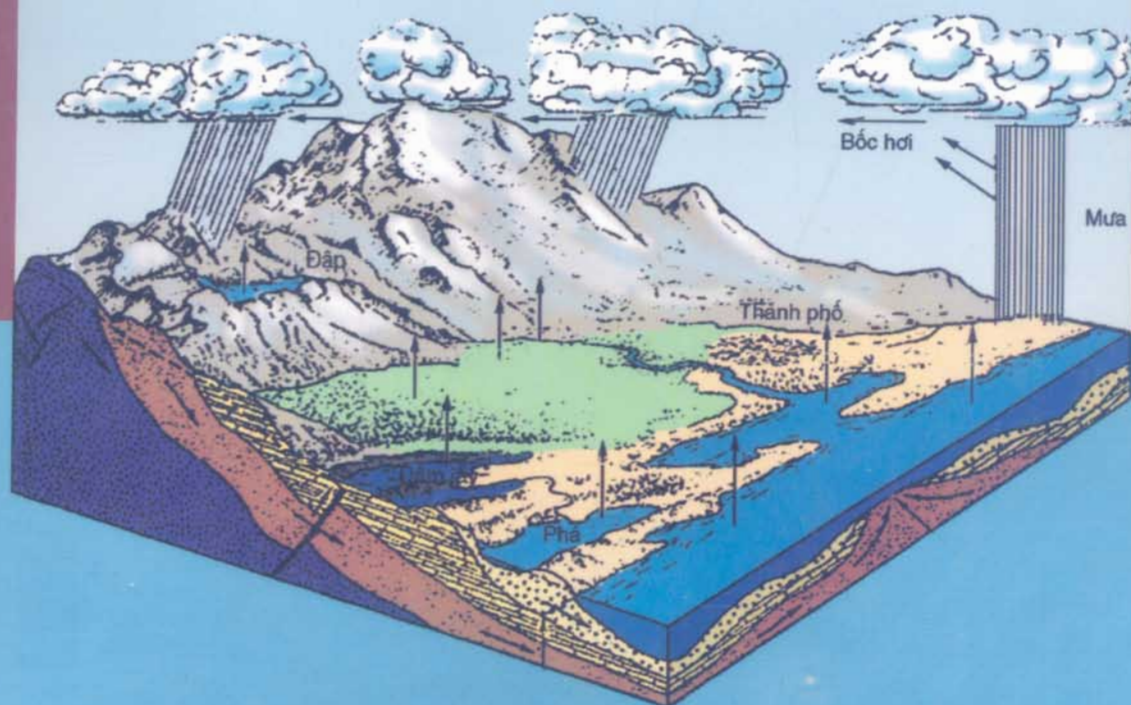


TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI  
PGS. TS. VŨ MINH CÁT - TS. BÙI CÔNG QUANG

# THỦY VĂN NƯỚC DƯỚI ĐẤT



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI  
TS. BÙI CÔNG QUANG - PGS. TS. VŨ MINH CÁT

# THỦY VĂN NƯỚC DƯỚI ĐẤT

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG  
HÀ NỘI - 2002

## LỜI NÓI ĐẦU

Cùng với sự phát triển của các ngành kinh tế quốc dân, yêu cầu dùng nước cũng tăng lên không ngừng. Vấn đề bùng nổ dân số, việc phá rừng bừa bãi, sự ô nhiễm nguồn nước... làm cho mâu thuẫn giữa khả năng cung cấp nước và nhu cầu nước dùng ngày càng gay gắt cả về số lượng và chất lượng. Về mùa kiệt, nước ở các dòng sông bị cạn kiệt không đáp ứng được yêu cầu nước dùng, nhất là ở những vùng khô hạn kéo dài. Chính vì vậy, ở nước ta mặc dù nguồn nước phong phú nhưng từ xa xưa ông cha ta đã chú ý đến khai thác nước ngầm. Song có lẽ chỉ trong những năm gần đây nó mới được phát triển mạnh mẽ và rộng khắp.

Nước ngầm trở nên gần gũi và quan trọng đối với cuộc sống của con người. Nguồn nước ngầm có trữ lượng lớn, chất lượng tốt và là nguồn duy nhất bổ sung cho nước mặt nhằm thoả mãn yêu cầu dùng nước của con người.

Để cung cấp những kiến thức cơ bản về thủy văn nước ngầm cho sinh viên ngành Thủy văn và sinh viên các ngành có liên quan, đáp ứng yêu cầu của công cuộc đổi mới giáo dục trong các Trường Đại học, năm 1991 chúng tôi đã biên soạn giáo trình: "**Thủy văn nước dưới đất**". Sau 10 năm, cùng với những tiến bộ của khoa học, những kinh nghiệm tích lũy thêm được, giáo trình cần được cập nhật, sửa chữa và bổ sung nhiều thông tin mới. Ngoài mục đích phục vụ giảng dạy và học tập ở bậc đại học, giáo trình cung cấp những kiến thức giúp cho nghiên cứu ở các bậc sau đại học.

Mặc dù đã cố gắng tìm kiếm tài liệu tham khảo và suy nghĩ chọn lọc thông tin, nhưng không thể tránh khỏi những sai sót. Chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý chân thành của đồng nghiệp và các em sinh viên.

Nhân dịp này, chúng tôi cũng xin bày tỏ lòng biết ơn của mình với Bộ môn Tính toán Thủy văn đã tạo điều kiện thuận lợi, động viên và giúp đỡ chúng tôi hoàn thành giáo trình này.

**Các tác giả**

# Chương I

## MỞ ĐẦU

Thủy văn nước dưới đất có thể định nghĩa như một khoa học nghiên cứu sự xuất hiện, sự phân bố và sự chuyển động của nước dưới bề mặt đất.

### LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA THỦY VĂN NƯỚC DƯỚI ĐẤT

Việc sử dụng nước dưới đất có từ thời cổ xưa. Trong Kinh Cựu ước người ta đã nói đến nước ngầm, suối và giếng. Người ta đã dùng những qanats, những giếng nằm ngang để lấy nước ngầm. Những giếng này vẫn còn tồn tại đến ngày nay ở các vùng sa mạc tây nam Châu Á và bắc Châu Phi kéo dài từ Arghanistan đến Morocco. Người ta xác nhận các qanats đã được những người thợ tài hoa xây dựng cách đây 3.000 năm.

Iran có nhiều qanats, nhất khoảng 22.000 qanats, cung cấp 75% tổng lượng nước dùng cho đất nước. Chiều dài của qanats kéo dài có khi tới 30km, nhưng hầu hết ngắn hơn 5km. Độ sâu giếng mẹ thường nhỏ hơn 50m, nhưng cũng có giếng sâu tới 250m. Lưu lượng của qanats thay đổi theo mùa với sự dao động của mực nước ngầm, nhưng rất ít khi lưu lượng vượt quá 100m<sup>3</sup>/h.

Tuy nhiên đây mới chỉ là thực tế sử dụng, khai thác nước ngầm của người xưa. Còn việc nghiên cứu lý thuyết thì được tiến hành chậm hơn.

Các học gia Hy-lạp và La-mã đã giải thích nguồn gốc của suối và nước ngầm bằng thuyết thần bí. Vào thế kỷ 17, người ta cho rằng nước chảy trong suối, sông không thể do nước mưa tạo ra. Người ta cứ một mực khẳng định rằng khối lượng nước mưa không đáng kể và trên bề mặt đất không thấm nước, nước không thể thấm xuống tầng sâu được. Do vậy, những triết gia Hy-lạp như Homer, Thales, Plato cho rằng nước suối được hình thành bởi nước biển xuyên qua các đường dẫn nước ngầm nằm dưới núi, sau đó được đẩy lên trên bề mặt đất.

Aristotle giả định rằng không khí chui vào các hang động lạnh và tối ở dưới núi, ở đó nước sẽ ngưng đọng và chảy vào suối.

Những triết gia La-mã, bao gồm Seneca và Pliny theo những tư tưởng Hy-lạp và đã đóng góp ban đầu vào lĩnh vực nghiên cứu nước ngầm.

Một bước tiến quan trọng đã được tạo ra bởi kiến trúc sư La-mã - Vitruvius, ông giải thích rằng núi nhận một khối lượng khá lớn nước mưa thông qua quá trình thấm qua đất.

Những nhà lý luận Hy-lạp vẫn bảo thủ. Qua cả thời kỳ trung cổ không có một bước tiến bộ nào. Cho đến cuối thời kỳ Phục Hưng, người thợ gốm Pháp và cũng là một triết gia Berard Palissay (A.C 1510-1589) lặp lại lý thuyết thấm trong năm 1580. Tuy nhiên, sự đóng góp của ông không đáng kể lắm.



Nhà thiên văn học Johannes Kepler (1571-1630) người Đức là một người giàu trí tưởng tượng đã coi trái đất như một động vật khổng lồ lấy nước ở biển cả, đại dương mang đến các vùng khác nhau, xả xuống, hình thành ra nước mặt và nước ngầm.

Lý thuyết nước biển của những người Hy-lạp đã được bổ sung tư tưởng của quá trình bốc hơi và quá trình ngưng đọng trên trái đất do nhà triết học Rene Descartes (1596-1650) người Pháp.

Nửa cuối thế kỷ 17, những hiểu biết về chu trình thủy văn đã được nghiên cứu. Lần đầu tiên lý thuyết nước ngầm được tạo trên cơ sở các số liệu thực nghiệm. Ba người đã có cống hiến to lớn là:

1. Pierre Perrault (1611-1680) đã đo được lượng mưa rơi trong 3 năm và điều tra dòng chảy ở thượng lưu sông Seino. Năm 1674 ông đã công bố kết quả nghiên cứu trong đó lượng mưa trên lưu vực gấp 6 lần lượng nước sông.

2. Nhà vật lý Edme Mariotte (1620-1684) người Pháp đã tiến hành đo đạc thủy văn ở Seino (Pháp) và công nhận kết quả của Perrault. Những kết quả nghiên cứu của ông xuất bản vào năm 1686 sau khi ông qua đời, đã chứng minh một cách xác đáng lý thuyết thấm.

Nhà khoa học Meinzer đã viết về ông như sau "Mariotte đáng được ca ngợi hơn bất cứ một người nào khác. Ông là người sáng lập ra khoa học Thủy văn nước ngầm và cũng có thể nói là người đặt nền móng cho khoa học thủy văn".

3. Nhà thiên văn học Edmund Halley (1656-1742) người Anh, sau khi đo đạc bốc hơi, năm 1693 đã công bố "lượng nước bốc hơi trên biển đủ cung cấp nước trở lại cho tất cả sông suối".

Trong thế kỷ 18, dựa trên cơ sở địa chất học, người ta đã có những hiểu biết đáng kể về sự xuất hiện và vận động của nước ngầm. Trong nửa đầu thế kỷ 19, rất nhiều giếng có áp được khoan ở Pháp. Kỹ sư thủy lực Henry Darcy (1803-1858) người Pháp đã nghiên cứu sự chuyển động nước qua cát. Ông nhận được mối quan hệ giữa tốc độ dòng thấm và tính chất môi trường thấm, gradient cột nước, sau này thường gọi là định luật Darcy.

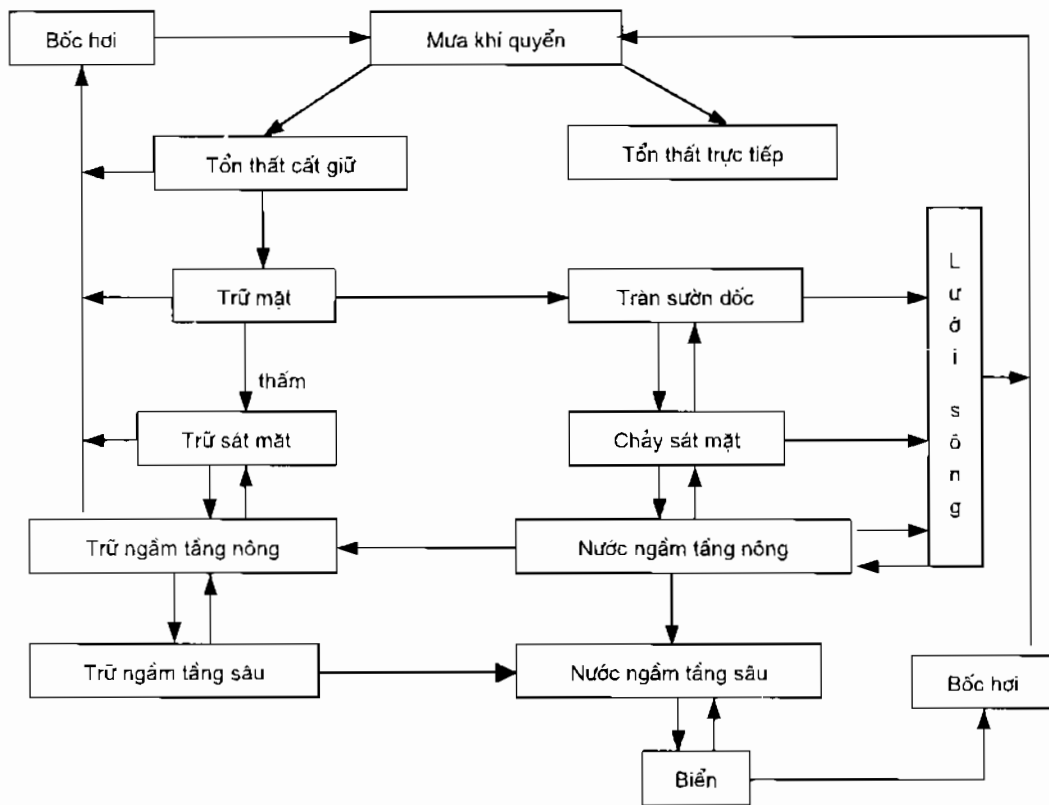
Những đóng góp của các nhà khoa học Châu Âu ở thế kỷ 19 đã thực sự làm cho việc nghiên cứu, khai thác, sử dụng nước ngầm phát triển một cách đáng kể. Các nhà khoa học có những đóng góp to lớn là J.Boussinesq, G.A Daubree, J.Dupuit, P.Forchheimer và A.Thiem.

Trong thế kỷ 20, các công trình về thủy văn nước dưới đất của các tác giả nổi tiếng như R.Dachler, E.Imbeause, K.Keilhak, W.Koehne, J.Kozeny, E.Prinz, H.Scgoeller và G.Thiem đã được công bố.

## II. SỰ XUẤT HIỆN NƯỚC DƯỚI ĐẤT

### 2.1. Nước dưới đất trong chu trình thủy văn

Nước dưới đất là một bộ phận trong chu trình thủy văn (hình 1-1).



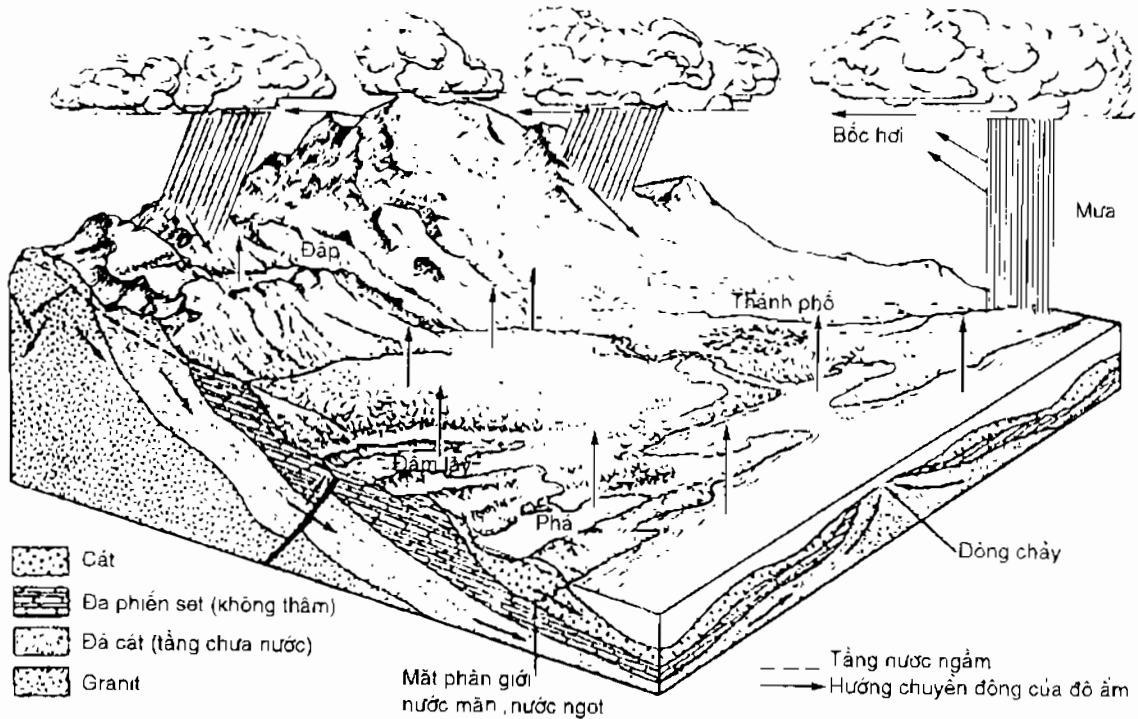
**Hình 1-1:** Sơ đồ chu trình thủy văn và sự hình thành nước dưới đất

Nước xâm nhập vào hệ thống đất đá từ bề mặt đất hoặc từ ao, hồ, sông, suối trên mặt đất. Nước ngầm vận động một cách chậm chạp trong lòng đất cho đến khi trở lại bề mặt do trọng lực của dòng chảy tự nhiên, do thực vật và do các hoạt động của con người... Với khả năng trữ nước trong kho chứa ngầm và kết hợp với lưu lượng chảy ra khá nhỏ đã duy trì sự cung cấp nước cho nguồn nước mặt suốt một thời gian dài. Có thể kể ra các nguồn cung cấp cho nước dưới đất như sau:

- Mưa;
- Dòng chảy mặt;
- Hồ, ao, kho chứa nước;
- Cấp nước nhân tạo, chẳng hạn khi tưới vượt khả năng giữ ẩm của đất;
- Nước ngầm ở vùng ven biển cũng có thể bị nhiễm mặn khi độ dốc mặt nước hướng vào đất liền.

Nước sau khi vận chuyển qua vùng đất không bão hoà dưới tác dụng của trọng lực và lực khuếch tán sẽ tới vùng bão hoà. Lượng nước đến vùng bão hoà phụ thuộc vào điều kiện thủy lực môi trường đất đá xung quanh.

Nước ngầm chảy ra khỏi lòng đất sẽ chảy vào hồ, ao, sông suối và cuối cùng chảy ra biển cả, trong quá trình ấy một phần có thể trực tiếp bốc hơi trở về khí quyển. Bơm nước từ các giếng là một loại xuất lưu nước ngầm nhân tạo.



**Hình 1-2: Chu trình tuần hoàn nước**

## 2.2. Phân loại hệ tầng chứa nước

Dựa trên tính chất chứa nước (trữ nước) và tính chuyển nước của đất đá có thể được phân các loại đất đá thành các hệ tầng chứa nước như sau:

1) Tầng chứa nước (aquifer): là một hệ địa chất trong đó nước có thể chứa và chuyển động, chẳng hạn cát, cuội sỏi, đá... Hiện nay theo các nhà khoa học trên thế giới, một thành tạo địa chất ngoài việc chứa và chuyển nước thì chỉ được gọi là tầng chứa nước khi nước trong tầng được khai thác.

2) Tầng thấm nước yếu (aquitard) là một hệ địa chất có tính chứa nước và dẫn nước kém. Đất thịt, đất sét pha cát là loại đất chứa nước yếu.

3) Tầng chứa nhưng không thấm nước (aquiclude) là một hệ địa chất có khả năng chứa nước mà không có khả năng dẫn nước. Ví dụ : đất sét.

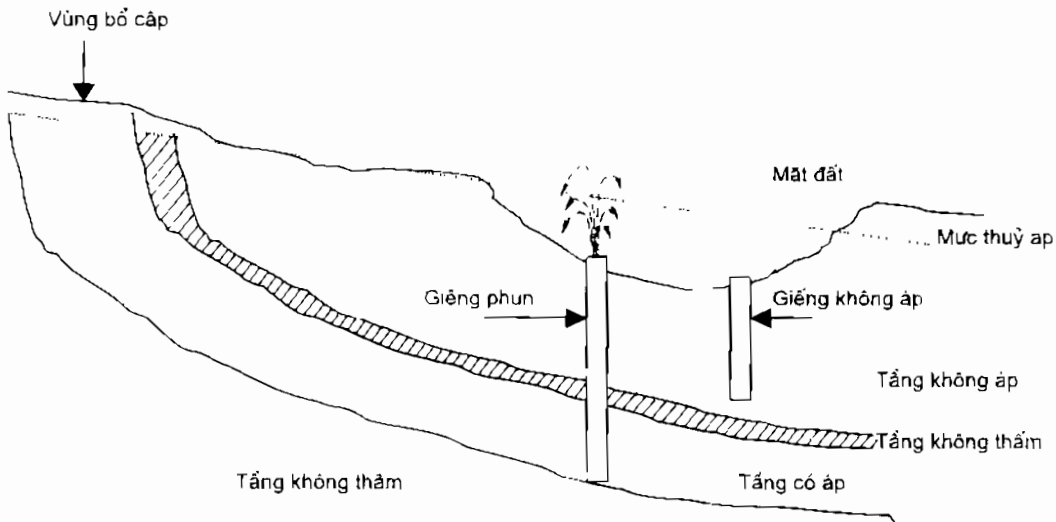
4) Tầng cách nước (aquifuge) là hệ địa chất không có khả năng chứa nước và cũng không có khả năng dẫn nước. Ví dụ như các loại đá granite.

Trong bốn loại trên, tầng chứa nước (aquifer) có ý nghĩa nhất đối với nước ngầm. Nó đóng vai trò như một kho chứa nước ngầm và điều tiết dẫn cho nước mặt. Hầu hết các tầng chứa nước là một vùng rộng, kéo dài. Nước tập trung vào kho chứa từ sự bổ sung ngầm của tự nhiên hay nhân tạo. Nước ngầm chảy ra ngoài bề mặt đất dưới tác dụng của trọng lực hoặc bơm hút. Thông thường tổng lượng hàng năm của nước ngầm biến đổi rất ít. Tầng

chứa nước có thể được phân loại thành tầng chứa nước có áp và tầng chứa nước không áp. Tầng chứa nước bán áp là trung gian giữa hai loại trên.

*a) Tầng chứa nước không áp*

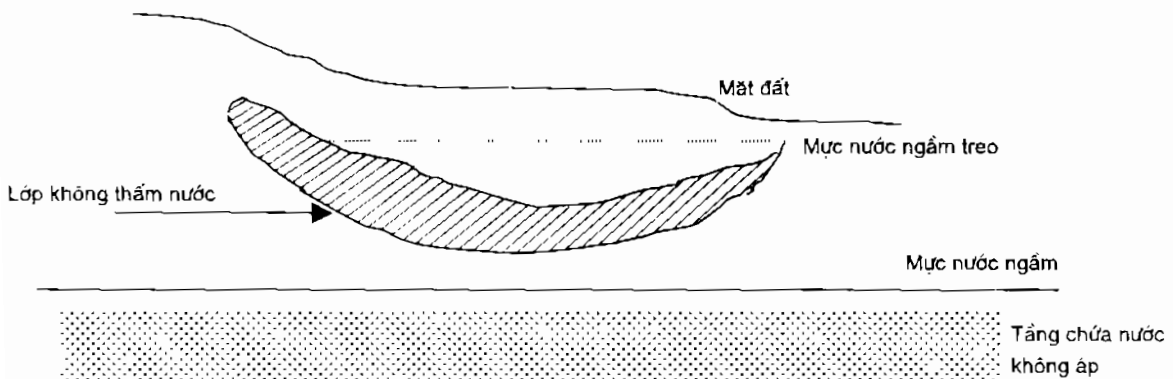
Là loại tầng chứa nước trong đó có mực nước ngầm biến đổi dưới dạng sóng và dưới dạng dốc. Nó phụ thuộc vào diện tích của vùng bổ sung nước ngầm, lưu lượng thoát ra và tính thấm nước của tầng chứa nước. Sự nâng lên và hạ xuống của mực nước ngầm tương ứng với sự thay đổi tổng lượng nước trữ trong tầng chứa nước (hình 1-3).



**Hình 1-3:** Sơ đồ mô tả các loại tầng chứa nước

Để xây dựng bản đồ mực nước ngầm hoặc mực nước ngầm theo mặt cắt dọc, ta có thể dựa vào các số liệu điều tra mực nước giếng trong vùng.

Trường hợp đặc biệt, một tầng chứa nước không áp có thể bao gồm nhiều bộ phận nước ngầm treo (hình 1-4).



**Hình 1-4:** Sơ đồ mô tả nước ngầm treo

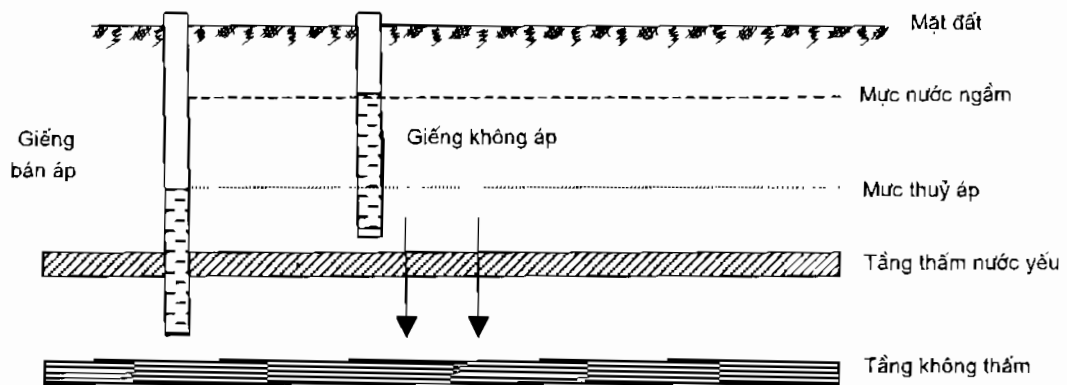
Nước ngầm treo (túi nước ngầm) xuất hiện bất kỳ ở đâu khi bộ phận chứa nước ngầm bị tách biệt với vùng nước ngầm chính do tầng không thấm nước có diện tích nhỏ. Nước ngầm treo thường có ở vùng trầm tích cuội sỏi, phía dưới là lớp đất sét. Lượng nước trong các túi nước ngầm thường nhỏ và chỉ tồn tại tạm thời.

#### b) Tầng chứa nước có áp

Xuất hiện ở những nơi nước ngầm bị nén ép dưới một áp suất khá lớn (lớn hơn áp suất khí quyển) (hình 1-3). Sự thay đổi mực nước trong giếng có áp phụ thuộc vào sự thay đổi áp suất (mực thủy áp). Có thể coi nó là một đường ống dẫn nước từ vùng nhận cấp nước đến vùng khác. Đường thủy áp là đường tương đương trùng với đường cột nước thủy tĩnh của tầng chứa nước. Tầng chứa nước có áp trở thành tầng chứa nước không có áp khi mực thủy áp hạ thấp hơn đáy trên của tầng chứa nước có áp.

#### c) Tầng chứa nước bán áp

Là tầng chứa nước có áp, nhưng tầng phía trên có khả năng thấm xuyên. Nước trong tầng bán áp có thể trao đổi với bên ngoài, tùy thuộc vào tương quan giữa mực nước ngầm và bề mặt thủy áp (hình 1-5).



Hình 1-5: Sơ đồ mô tả tầng chứa nước bán áp

### 2.3. Phân bố của nước dưới đất theo phương thẳng đứng

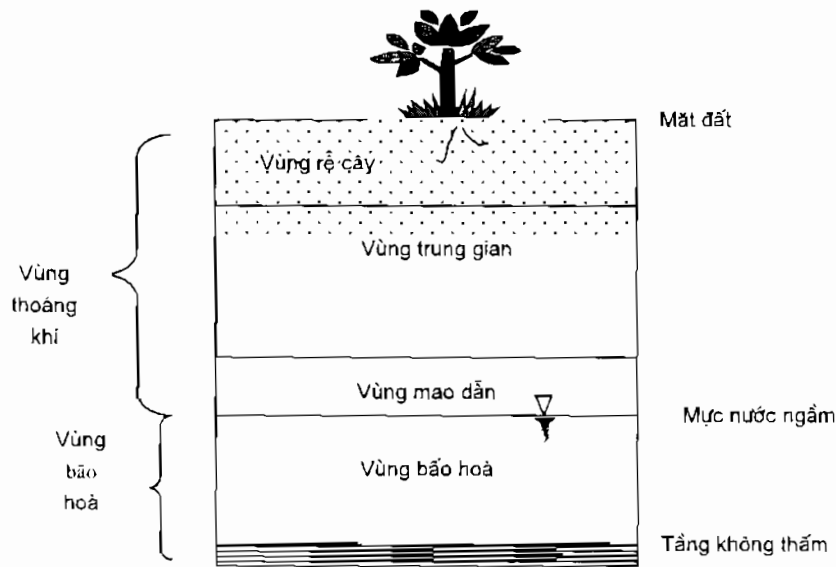
Nước dưới đất có thể được phân chia thành hai đối: Đối thông khí và đối bão hoà. Đối thông khí bao gồm các lỗ rỗng trong đó nước chiếm một phần, phần còn lại là không khí. Trong đối bão hoà, toàn bộ các lỗ rỗng trong đất được lấp đầy bởi nước dưới áp lực thủy tĩnh. Đối thông khí có thể chia thành các vùng nhỏ như vùng rễ cây, vùng trung gian và vùng mao dẫn.

#### 1. Đối thông khí

##### a) Vùng rễ cây

Nước ở trong vùng này tồn tại với độ ẩm thực tế nhỏ hơn độ ẩm bão hoà, trừ trường hợp bão hoà tạm thời do nước ngầm dâng cao hoặc do mưa, do tưới. Vùng này kéo dài từ bề mặt

đất đến hết chiều sâu hoạt động của rễ cây. Độ dày của tầng này thay đổi tùy thuộc vào loại đất và loại cây trồng và có ý nghĩa rất lớn đối với sản xuất nông nghiệp, do vậy quy luật phân bố cũng như chuyển động của nước trong vùng này được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu.



**Hình 1-6:** Sơ đồ phân bố theo chiều thẳng đứng của nước dưới đất

Độ ẩm của đất trong tầng rễ cây phụ thuộc trước hết vào các yếu tố khí tượng. Dưới điều kiện khô nóng, nước bốc thoát hơi mạnh làm giảm độ ẩm trong vùng rễ cây. Nước trong đất giảm đến mức chỉ còn những màng nước mỏng bao quanh các phần tử đất được gọi là nước màng. Nước trong vùng rễ cây cũng có thể ở dạng nước mao quản. Trong những trường hợp có cấp nước trên mặt (mưa hoặc tưới), độ ẩm vượt quá khả năng giữ ẩm của đất sẽ xuất hiện nước trọng lực.

#### a) Vùng trung gian

Vùng trung gian kéo dài từ biên dưới của tầng rễ cây đến biên trên của tầng mao dẫn. Độ dày của tầng này có thể bằng không khi nước mao dẫn phát triển tới sát tầng rễ cây và cũng có thể đạt tới hàng trăm mét khi mực nước ngầm ở rất sâu. Vùng này đóng vai trò như vùng nối tiếp giữa vùng sát mặt đất và vùng kề sát nước ngầm. Nước chuyển động từ trên xuống vùng bão hòa bắt buộc phải qua vùng này. Nước giữ lại trong vùng này do lực mao dẫn và lực hút phân tử. Nước trọng lực sẽ chuyển từ trên xuống dưới khi độ ẩm đất vượt quá khả năng giữ ẩm của đất.

#### c) Vùng mao dẫn

Vùng mao dẫn kéo dài từ mực nước ngầm đến giới hạn dâng mao dẫn của nước. Nếu giả thiết các lỗ rỗng trong đất hình thành bởi các ống dẫn lý tưởng, thì độ dâng mao dẫn được tính theo công thức:

$$h_c = \frac{2\tau}{r\gamma} \cos \lambda \quad (1-1)$$

Trong đó:

$\tau$  - Sức căng bề mặt;

$\gamma$  - Trọng lượng riêng của nước;

$r$  - Bán kính của ống dẫn;

$\lambda$  - Góc nghiêng giữa thành ống và phương tiếp tuyến bề mặt cong.

Đối với nước nguyên chất trong ống thủy tinh sạch:  $\lambda = 0$ ;  $t = 20^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 0.074 \text{ g/cm}$ ;  $\gamma = 1 \text{ g/cm}^3$  thì:

$$h_c = \frac{0,15}{r} \quad (1-2)$$

Theo công thức (1-2), độ dày của đới mao dẫn sẽ tỷ lệ nghịch với kích thước của các lỗ rỗng trong đất đá.

Kết quả đo đạc về độ mao dẫn đối với một số loại đất đá được đưa ra ở bảng sau:

**Độ dâng mao dẫn một số loại đất đá**

Loại đất đá	Kích thước hạt (mm)	Độ mao dẫn (cm)
Cuội nhỏ	5,00 ÷ 2,00	2,5
Cát rất thô	2,00 ÷ 1,00	6,5
Cát thô	1,00 ÷ 0,50	13,5
Cát trung bình	0,50 ÷ 0,20	24,6
Cát mịn	0,20 ÷ 0,10	42,8
Cát rất mịn	0,10 ÷ 0,05	105,5
Sét	0,05 ÷ 0,02	200,0
		Sau 72 ngày

Ở phía trên mực nước ngầm, hầu hết các lỗ rỗng trong đất chứa nước mao dẫn. Càng lên cao lượng nước trong lỗ hổng càng giảm. Sự phân bố của nước mao dẫn trên mực nước ngầm qua khảo sát thực nghiệm đối với cát biểu diễn trên hình 1-7.

Các đặc trưng của đới thông khí như sau:

1) Độ ẩm của đất là tỷ số phần trăm (%) giữa trọng lượng nước có trong mẫu đất và trọng lượng của mẫu đất đó.

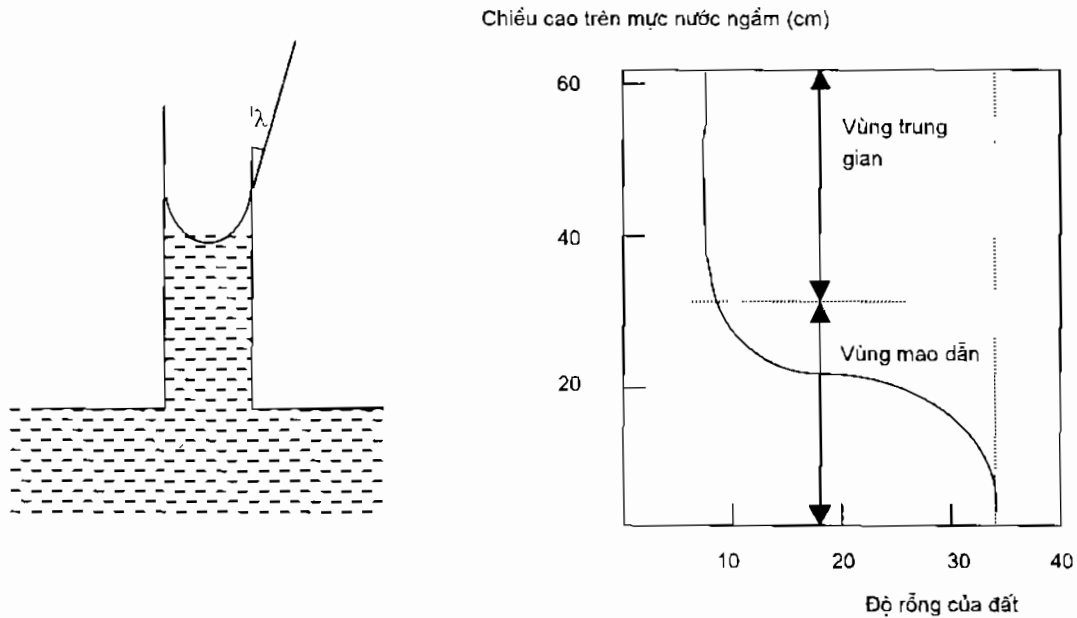
2) Độ ẩm cây héo: Độ ẩm của đất tương ứng với trạng thái thực vật không có khả năng hút ẩm trong đất. Lực hút của rễ cây nhỏ hơn lực hút phân tử giữa nước và đất.

3) Độ ẩm đồng ruộng (khả năng giữ ẩm của đất): Độ ẩm của đất tương ứng với trạng thái nước mao quản treo ở trong đất.



4) Độ rỗng của đất là tỷ số giữa thể tích của tất cả các lỗ rỗng trên một đơn vị thể tích mẫu đất.

5) Dung trọng của đất là trọng lượng một đơn vị thể tích đất ở trạng thái tự nhiên (dung trọng ướt) hoặc ở trạng thái khô kiệt (dung trọng khô).



**Hình 1-7:** Sự phân bố của nước trên mực nước ngầm đối với mẫu cát

## 2. Đối bão hoà

Trong đối bão hoà, nước lấp đầy tất cả các lỗ rỗng của đất đá. Do vậy, độ rỗng (hữu ích) sẽ cho biết được lượng nước trữ trong một đơn vị thể tích đất đá. Một bộ phận nước có thể chuyển ra khỏi thành tạo địa chất do tiêu nước hoặc do hút nước thí nghiệm. Tuy nhiên do lực hút phân tử và lực hút bề mặt một phần nước sẽ bị giữ lại ở trong đất. Các đặc trưng của đối bão hoà bao gồm: hệ số giữ nước (specific retention), hệ số thoát nước (specific yield) và hệ số chứa nước (storage coefficient).

### a) Hệ số giữ nước ( $S_r$ )

Hệ số giữ nước của đất, đá là tỷ số giữa lượng nước còn giữ lại sau khi thoát nước do trọng lực đối với thể tích của nó.

$$S_r = \frac{W_r}{V} \quad (1-3)$$

Trong đó:

$W_r$  - Thể tích nước còn giữ lại;

$V$  - Thể tích mẫu đất, đá.

*b) Hệ số thoát nước ( $S_y$ )*

Hệ số thoát nước hay còn gọi là hệ số nhả nước của đất hay đá là tỷ số giữa lượng nước (sau khi bão hoà) có thể được thoát ra do trọng lực và thể tích của nó.

$$S_y = \frac{W_y}{V} \quad (1-4)$$

Ở đây,  $W_y$  là thể tích nước thoát ra.

Giá trị của  $S_r$  và  $S_y$  có thể biểu thị dưới dạng phần trăm (%). Quan hệ giữa độ rỗng của đất, đá với hệ số giữ nước và thoát nước như sau:

$$\alpha = S_r + S_y$$

Trong đó:  $\alpha$  là độ rỗng của đất, đá.

Hệ số thoát nước ( $S_y$ ) phụ thuộc vào kích thước hạt, phân bố các lỗ rỗng, sự nén chặt của các địa tầng và thời gian thoát nước. Hệ số thoát nước của một vài loại đất đá như sau:

<i>Loại đất đá</i>	<i>Hệ số thoát nước <math>S_y</math> (%)</i>
1. Cuội, sỏi thô	23
2. Cuội, sỏi trung bình	24
3. Cuội sỏi nhỏ	25
4. Cát thô	27
5. Cát trung bình	28
6. Cát mịn	23
7. Đất thịt	8
8. Đất sét	3

Cần chú ý rằng, các vật liệu có kích thước hạt nhỏ thì hệ số thoát nước càng nhỏ. Trong thực tế các loại vật liệu pha trộn với nhau thì hệ số thoát nước giảm từ 7 ÷ 15%.

*c) Hệ số chứa nước*

Nước chảy ra hay thấm vào một tầng chứa nước biểu thị qua sự thay đổi tổng lượng nước chứa trong tầng chứa nước. Đối với các tầng chứa nước không áp, nó đơn giản được biểu thị bởi sự thay đổi lượng nước ngầm nằm trong khoảng mực nước ngầm ở đầu thời điểm và cuối thời điểm tính toán. Tuy nhiên, trong tầng chứa nước có áp, giả thiết rằng tầng chứa nước vẫn còn duy trì trạng thái bão hoà, sự thay đổi áp suất chỉ gây ra sự thay đổi nhỏ trong lượng trữ. Khi áp suất của thủy tĩnh giảm đi, chẳng hạn do bơm hút thí nghiệm, lực nén của tầng chứa nước tăng lên. Sự nén ép của tầng chứa nước gây ra những lực tác động lên phân tử nước.

Hệ số chứa nước được xác định bằng tổng lượng nước thoát ra hay nhập vào một tầng chứa nước trên một đơn vị diện tích bề mặt của tầng chứa nước khi thay đổi một đơn vị cột nước áp lực.

Nói chung người ta xác định hệ số chứa nước bằng các thí nghiệm hút nước từ giếng (vấn đề sẽ được đề cập đến trong các chương sau).

## **2.4. Các thành tạo hệ địa chất chứa nước**

Một hệ địa chất sản sinh ra một lượng nước đáng kể được gọi là một hệ tầng chứa nước. Nhiều loại hệ địa chất hoạt động như một tầng chứa nước. Yêu cầu chủ yếu là khả năng của nó trữ nước trong các lỗ rỗng của đất đá. Độ rỗng có thể hình thành do đứt gãy, nứt nẻ của đất đá. Dưới đây là một số loại thành tạo địa chất chứa nước.

### **1. Bồi tích (phù sa)**

Hầu như 90% các tầng chứa nước phát triển đều bao gồm đá, cuội, sỏi, cát không nén chặt. Những hệ chứa nước này có thể được phân chia thành 2 loại dựa trên trạng thái xuất hiện của nó.

a) *Thành tạo kể sát nguồn nước:* Bao gồm các bồi tích phù sa, trong đó nước hình thành trong lòng đất hoặc hình thành bên cạnh các bãi tràn lũ. Những giếng nước ở đây có thành tạo địa chất thấm nước tốt. Do tiếp giáp với dòng chảy mặt nên có một khối lượng nước khá lớn thấm từ dòng chảy mặt (sông ngòi) vào trong đất.

b) *Thành hệ thung lũng chôn vùi hay các lòng sông cổ:* Là những thung lũng do dòng sông thay đổi hướng chảy hoặc bị cướp dòng hình thành nên. Mặc dù loại này gần giống như loại kể sát nguồn nước, nhưng độ thấm thấu và khối lượng nước ngầm ít, lượng bổ sung nước ngầm ít hơn so với loại hệ kể sát nguồn nước. Những đồng bằng rộng lớn mà dưới mặt đất là những lớp cuội, sỏi, cát không bị nén chặt là nơi chứa nhiều nước ngầm. Những thung lũng kể sát sườn núi, nơi trầm tích nhiều cũng là nơi chứa nước ngầm khá lớn. Nguồn cung cấp nước chủ yếu là do nước mưa hoặc thấm thấu từ các dòng chảy không thường xuyên.

### **2. Đá vôi**

Đá vôi có mật độ, độ rỗng và tính thấm nước thay đổi trong một phạm vi khá lớn, tùy thuộc vào mức độ kết cấu và phát triển của các vùng có khả năng thấm sau khi tích tụ. Những lỗ rỗng ở trong đá vôi có thể là các lỗ nhỏ li ti, nhưng cũng có thể là những hang động lớn, hình thành nên các dòng sông ngầm. Sự hoà tan  $\text{CaCO}_3$  do nước làm cho nước ngầm có độ cứng lớn. Cũng do hoà tan  $\text{CaCO}_3$  mà các hang động, lỗ rỗng trong đá ngày càng phát triển. Hiện tượng đó gọi là caxtơ (karst).

### **3. Đá hình thành do núi lửa**

Đá hình thành do núi lửa có thể là một tầng chứa nước tốt, đặc biệt là đá bazan. Những lớp cuội, sỏi, cát hoặc vật liệu khác nằm xen kẽ giữa hai lớp dung nham tạo cho đá bazan chứa và chuyển nước tốt. Ngoài ra, do hiện tượng phong hoá, do các vận động nội sinh gây ra đứt gãy mà đá bazan có khả năng chứa và chuyển nước tốt.

### **4. Cát kết**

Đá cát và đá dăm kết là các dạng bị xi măng hoá của cát và cuội sỏi. Do vậy, độ rỗng, khả năng sản sinh nước ngầm của chúng bị giảm nhỏ do xi măng liên kết. Các tầng chứa

nước đá cát sản sinh nước ngầm qua các chỗ nối, liên kết của các phần tử cứng (hạt cát). Đá dăm kết không có ý nghĩa lớn lắm trong việc chứa và chuyển nước ngầm.

### **5. Hóa thạch và đá biến chất**

Các dạng đá cứng của hoá thạch và đá biến chất không thấm nước và do vậy có thể coi chúng là các tầng chứa nước rất kém. Ở những nơi loại đá này lộ ra trên mặt đất, chúng bị phong hoá mạnh và do vậy dần dần chúng phát triển thành tầng chứa nước. Lượng nước chứa trong loại thành tạo này tương đối nhỏ chỉ đủ dùng cho sinh hoạt của một số hộ.

### **6. Đất sét**

Đất sét và các vật liệu thô hơn bị trộn lẫn với sét nói chung có độ rỗng tương đối lớn, nhưng lỗ rỗng của chúng lại quá nhỏ đến mức có thể coi chúng là vật liệu không thấm nước. Các tầng đất sét nằm trong một hệ chứa nước tốt có thể hình thành nên các túi nước ngầm cục bộ hoặc hình thành nên các tầng chứa nước bán áp.

### **2.5. Lưu vực nước ngầm**

Một lưu vực nước ngầm có thể được xác định như là một đơn vị địa chất thủy văn, chứa một tầng chứa nước rộng lớn hoặc một vài tầng chứa nước liên thông và quan hệ qua lại với nhau. Trong một thung lũng giữa các dãy núi, lưu vực nước ngầm có thể chỉ ở phần trung tâm của lưu vực dòng chảy mặt. Trong vùng đá vôi và vùng đất cát, lưu vực nước ngầm và lưu vực dòng chảy mặt hoàn toàn khác nhau. Khái niệm lưu vực nước ngầm trở nên rất quan trọng vì tính liên tục thủy lực trong khu vực chứa nước ngầm.

Để xác định lưu vực nước ngầm cần phải có bản đồ địa chất của khu vực cần nghiên cứu, kết hợp với các tài liệu về địa lý tự nhiên.

## **III. NƯỚC NGẦM Ở VIỆT NAM**

Trong những năm gần đây, ở nước ta nước ngầm đang được quan tâm nghiên cứu phục vụ cho các hoạt động kinh tế - xã hội. Ngành địa chất đã tiến hành đồng bộ việc nghiên cứu, điều tra, tìm kiếm thăm dò và lập bản đồ địa chất thủy văn với các tỷ lệ khác nhau, tìm kiếm các nguồn nước khoáng, nước nóng chữa bệnh, quan trắc động thái nước dưới đất v.v... Các loại bản đồ địa chất được xây dựng bao gồm:

- Bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ nhỏ: Năm 1984 đã hoàn thành việc đo vẽ, lập bản đồ tỷ lệ 1: 500.000 trong toàn quốc. Ngoài ra, còn có nhiều công trình nghiên cứu tổng hợp, trong đó quan trọng nhất là bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ 1: 3.000.000 được lập trong Atlas quốc gia và bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ 1: 1.000.000 của Tổng cục Địa chất.
- Bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ 1: 200.000 được lập theo tờ hay nhóm tờ ở những vùng kinh tế, dân cư quan trọng. Đến năm 1997, đã hoàn thành 17 tờ và nhóm tờ với tổng diện tích 255.000 km<sup>2</sup> đã được đo vẽ, chiếm khoảng 79% diện tích toàn lãnh thổ. Các bản đồ đã làm sáng tỏ tình hình địa chất, thủy văn khu vực, giúp cho việc định hướng tìm kiếm nước dưới đất, phục vụ có hiệu quả cho các nghiên cứu và điều tra cơ bản khác.

- Bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ lớn 1 : 50.000 và 1 : 25.000 được lập cho các vùng đô thị, khu công nghiệp. Đến năm 1997 đã có 46 vùng công nghiệp với diện tích 40.000 km<sup>2</sup> được lập bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ này. Bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ lớn góp phần vào công tác quy hoạch, xây dựng, khai thác và bảo vệ tài nguyên nước dưới đất.

Ngoài công tác lập bản đồ địa chất thủy văn, chúng ta tiến hành công tác tìm kiếm thăm dò nước dưới đất. Đến năm 1997 đã có 165 vùng được tìm kiếm, thăm dò với tổng trữ lượng khai thác ước tính 2.300.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm.

Đến năm 1996 đã có 3 mạng quan trắc quốc gia động thái nước dưới đất được xây dựng và đưa vào hoạt động ở đồng bằng Bắc bộ, Nam bộ và Tây nguyên với tổng số 500 lỗ khoan quan trắc. Ngoài ra còn một mạng quan trắc chuyên ngành với 62 trạm, 120 lỗ khoan cũng đã được xây dựng ở Hà Nội.

Theo các kết quả điều tra và nghiên cứu địa chất thủy văn khu vực và tìm kiếm thăm dò, có thể phân chia các phân vị địa chất thủy văn ở nước ta như sau:

- Các tầng chứa nước lỗ hổng trong thành tạo đệ tứ;
- Các tầng chứa nước khe nứt trong thành tạo bazan Pliocen - đệ tứ;
- Các tầng chứa nước khe nứt trong thành tạo lục nguyên;
- Các tầng chứa nước khe nứt karst trong thành tạo carbonate;
- Các thành tạo địa chất rất nghèo nước hoặc không chứa nước.

### 3.1. Các tầng chứa nước lỗ hổng

Các tầng chứa nước loại này phân bố rộng rãi ở đồng bằng Bắc bộ, Nam bộ và ven biển miền Trung.

*Đồng bằng Bắc bộ:* có 02 tầng chứa nước chủ yếu là Halocen (Q<sub>h</sub>) và Pleistocen (Q<sub>p</sub>). Tổng trữ lượng khai thác khoảng 7.500.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm.

Tầng Q<sub>h</sub> phân bố hầu khắp đồng bằng, thường gặp ở độ sâu 20m ÷ 40m. Đất đá chứa nước chủ yếu là cát, sạn, sỏi. Lưu lượng lỗ khoan từ 0,5 ÷ 10 l/s. Ở vùng ven biển, nước bị nhiễm mặn. Nước trong tầng có quan hệ trực tiếp với nước mặt. Tầng chứa nước này có thể đáp ứng yêu cầu cấp nước quy mô từ nhỏ đến trung bình. Hầu hết các lỗ khoan lấy nước sinh hoạt ở nông thôn nằm trong tầng này.

Tầng Q<sub>p</sub> nằm dưới tầng Q<sub>h</sub> và được ngăn cách bởi một lớp sét màu loang lổ dày từ 5 ÷ 20m, thường gặp ở độ sâu 50 ÷ 60m. Đất đá chứa nước là cát, cuội, sỏi hạt thô. Đây là tầng chứa nước có áp, giàu nước và có thể đáp ứng yêu cầu khai thác lớn. Lưu lượng lỗ khoan thường lớn hơn 10 l/s. Hầu hết các nhà máy nước ở đồng bằng Bắc bộ đang khai thác ở tầng này. Nước có quan hệ với tầng Q<sub>h</sub> và tầng mặt thông qua các cửa sổ địa chất thủy văn. Vùng ven biển và hải đảo thường bị nhiễm mặn.

*Đồng bằng Nam bộ:* Có 5 tầng chứa nước lỗ rỗng kể từ trên xuống dưới là Halocen (Q<sub>h</sub>) và Pleistocen trung- thượng (Q<sub>p2-3</sub>), Pliocen (M<sub>4</sub>) và Miocen (M<sub>3</sub>). Tổng trữ lượng khai thác khoảng 27.500.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm.

Tầng  $Q_h$  có diện tích phân bố khoảng  $43.000 \text{ km}^2$ , thường gặp ở độ sâu  $20 \div 70\text{m}$ . Đất đá chứa nước chủ yếu là cát hạt nhỏ, cát bột. Nhìn chung, tầng này nghèo nước, chất lượng nước kém, thường bị nhiễm phèn, nhiễm mặn.

Tầng  $Q_{p2-3}$  phân bố trên hầu hết đồng bằng với diện tích khoảng  $50.000\text{km}^2$ . Tầng này nằm ở độ sâu  $40 \div 80\text{m}$ , bề dày từ  $25 \div 135\text{m}$ , trung bình  $50 \div 70\text{m}$ . Đất đá chứa nước là cát, sỏi, đôi khi lẫn sạn, sỏi. Đây là tầng chứa nước phong phú. Chất lượng nước thay đổi từng vùng. Ở đông Nam bộ, nước tầng này có quan hệ mật thiết với nước mặt, chất lượng nước tốt. Ở tây Nam bộ, có nhiều nơi nước bị nhiễm mặn.

Tầng  $M_4$  phân bố trên diện tích khoảng  $49.000\text{km}^2$ , độ sâu khoảng  $150 \div 350\text{m}$ , bề dày  $50 \div 140\text{m}$ , thường gặp ở độ sâu  $90 \div 100\text{m}$ . Đất đá chứa nước là cát với nhiều cỡ hạt, lẫn sạn sỏi. Đây là tầng chứa nước khá phong phú. Chất lượng nước thay đổi từng vùng. Vùng trung tâm và vùng ven biển nước bị nhiễm mặn.

Tầng  $M_3$  phân cách với tầng  $M_4$  bởi lớp sét dày  $20 \div 50\text{m}$ , phân bố trên diện tích khoảng  $37.000\text{km}^2$ , độ sâu khoảng  $200 \div 450\text{m}$ , thường gặp ở độ sâu  $200 \div 350\text{m}$ . Đất đá chứa nước là cát lẫn sạn sỏi. Đây là tầng chứa nước khá phong phú. Chất lượng nước tốt. Vùng trung tâm và vùng ven biển nước bị nhiễm mặn.

*Đồng bằng ven biển miền Trung:* Các tầng chứa nước phân bố trên diện hẹp, kéo dài và không liên tục. Thường gặp cả hai loại tầng là  $Q_h$  và  $Q_p$ , nhưng chiều dày nhỏ. Tầng chứa nước chủ yếu là cát. Tầng  $Q_p$  là cát, sỏi, cuội. Hiện tượng nhiễm mặn trong tầng chứa nước khá phổ biến, nhất là tầng  $Q_h$ .

### **3.2. Các tầng chứa nước khe nứt trong thành tạo bazan Pliocen- đệ tứ**

Tầng này phân bố rộng khắp ở Tây Nguyên và đông Nam bộ, ngoài ra còn gặp ở một số vùng với diện tích không lớn như Quỳnh Hợp, Điện Biên v.v... Đất đá chủ yếu là bazan olivin và bazan kiềm. Mức độ phong phú nước thay đổi theo vùng, phụ thuộc vào mức độ nứt nẻ, độ dày và mức độ phân bố của khối bazan. Chiều sâu lỗ khoan khai thác thường không quá  $100\text{m}$ . Có nơi khối bazan dày tới  $200 \div 300\text{m}$  như vùng Pleiku. Nước trong thành tạo bazan có chất lượng tốt, phổ biến là nước bicarbonat - clorua có độ tổng khoáng hoá  $0,2 \div 0,3 \text{ g/l}$ . Nguồn cung cấp chủ yếu là nước mưa. Động thái biến đổi mạnh theo mùa. Mùa khô, mực nước hạ thấp rất nhanh. Nước trong thành tạo bazan có thể cung cấp cho quy mô khai thác từ vừa đến lớn.

### **3.3. Các tầng chứa nước khe nứt trong thành tạo lục nguyên Mesozoi**

Phân bố chủ yếu ở vùng đông bắc Bắc bộ, bắc Trung bộ, ngoài ra còn gặp ở Tây Nguyên và nam Trung bộ. Tầng chứa nước bao gồm các trầm tích lục nguyên hệ Triat, Jura, Neogen. Đất đá chứa nước chủ yếu là cát kết, cuội kết và sét kết bị nứt nẻ.

Nhìn chung tầng này nghèo nước. Tuy nhiên, ở một số nơi có thể gặp tầng cát kết, cuội kết nứt nẻ khá giàu nước. Lưu lượng lỗ khoan có thể đạt tới  $5 \div 10 \text{ l/s}$ . Lưu lượng phổ biến

trong tầng tại các lỗ khoan 0,5 ÷ 2,0 l/s hoặc nhỏ hơn. Tầng chứa nước này chỉ thích hợp với yêu cầu cấp nước nhỏ, cục bộ. Chất lượng nước tốt, tổng độ khoáng hoá thường 0,01 ÷ 0,2 g/l.

### **3.4. Các tầng chứa nước khe nứt karst trong thành tạo carbonat :**

Các thành tạo carbonate ở Việt Nam có tuổi Carbon - Pecmi đến Triat. Các tầng chứa nước hệ Triat phân bố thành một dải lớn kéo dài theo hướng tây bắc - đông nam trên vùng Tây Bắc với diện tích khoảng 1.200km<sup>2</sup> thuộc các tỉnh Lai Châu, Sơn La, Ninh Bình, Thanh Hoá. Các tầng chứa nước khe nứt karst - Paleozoi phân bố khá rộng ở nhiều vùng thuộc bắc bộ như Quảng Ninh, Cao Bằng, Lạng Sơn, Bắc Kạn, Thái Nguyên, Tuyên Quang, Sơn La, Lai Châu, Thanh Hoá. Đất đá chứa nước là đá vôi nứt nẻ hoặc karst phát triển. Nhìn chung tầng chứa nước này khá phong phú. Lỗ khoan khai thác thường ở độ sâu 80 ÷ 150m có lưu lượng 50 ÷ 15 l/s hoặc lớn hơn. Chất lượng nước tốt thường là dạng bicarbonate - clorua hoặc bicarbonate - sulfat, có độ tổng khoáng hoá từ 0,3 ÷ 0,7 g/l. Tầng chứa nước loại này có thể đáp ứng quy mô khai thác từ vừa đến lớn.

Các thành tạo carbonate Ordevic - Silur có diện tích phân bố hẹp, bắt gặp ở một số vùng ở tây Nghệ An, Hà Tĩnh, Quảng Bình, Quảng Trị, Điện Biên, Lai Châu v.v... Thành phần chủ yếu là các đá mỏng, mức độ nứt nẻ và karst yếu nên chứa nước nghèo.

### **3.5. Các thành tạo địa chất rất nghèo nước hoặc không chứa nước**

Bao gồm các thành tạo lục nguyên, lục nguyên phun trào hệ Paleogen - Neogen (P-N), hệ Jura - Creta (J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>) và hệ Triat. Thành phần thạch học chủ yếu là sét kết, bột kết và phiến sét. Các thành tạo biến chất Cambri - Ordevic, Proterozoi (Pr) và Arkeozoi (Ar). Đất đá chủ yếu là phiến thạch anh, mica, đá phiến amphibolit, quartzit. Các thành tạo này phân bố ở vùng Bắc bộ, Tây bắc, bắc Trung bộ và Tây Nguyên. Nhìn chung, các thành tạo này nghèo nước. Các lỗ khoan thường không có nước hoặc lưu lượng < 1,0 l/s. Tuy nhiên, các đứt gãy kiến tạo hình thành các đới phá huỷ khá phong phú nước. Đây chính là đối tượng tìm kiếm dây triển vọng trong các thành tạo nghèo nước. Nước trong thành tạo loại này chất lượng tốt, tổng độ khoáng hoá thường nhỏ hơn 0,3 g/l, nước thường là dạng bicarbonate - clorua.

Các thành tạo mắc ma xâm nhập có cấu tạo khối đặc, ít nứt nẻ nên không có nước. Nước chỉ tồn tại trong đới phong hoá phát triển không dày trên bề mặt các khối xâm nhập. Trong mùa khô nước trong khối phong hoá thường không tồn tại hoặc rất ít.



## Chương II

# PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN NƯỚC DƯỚI ĐẤT

### I. PHƯƠNG TRÌNH TRUYỀN ẨM TRONG ĐẤT

#### 1.1. Phương trình cơ bản truyền ẩm trong môi trường không bão hoà

Trong môi trường đất đồng nhất về mặt nhiệt độ, nồng độ muối, các lực tác động lên phân tử nước bao gồm: lực hút mao quản (gồm áp lực mao quản sức căng mặt ngoài, lực hút ion) và áp lực bên ngoài. Xét trong một quá trình nào đó, các lực trên thay đổi dẫn đến sự xuất hiện gradient cột nước trong đất. Đó chính là nguyên nhân gây ra sự chuyển động nước trong đất.

Việc nghiên cứu chuyển động nước trong môi trường đất bão hoà đã được Darcy nghiên cứu từ năm 1855. Lúc đầu định luật Darcy được rút ra từ kết quả quan trắc thực nghiệm. Sau này người ta đã chứng minh rằng đó là kết quả của giới hạn việc áp dụng một trong những quy luật cơ bản của chất lỏng. Định luật Darcy được biểu diễn bằng công thức sau:

$$V = - K_{\Phi} \times \text{grad} (\Phi) \quad (2-1)$$

Trong đó:

V - Tốc độ thấm;

$K_{\Phi}$  - Hệ số thấm ổn định;

$$\text{grad} (\Phi) = \frac{\partial \Phi}{\partial t};$$

$\Phi$  - Tổng thế năng.

Do những giả thiết khi xây dựng, định luật (2-1) chỉ được áp dụng trong những điều kiện sau:

- Môi trường xốp đồng nhất về mặt cấu trúc;
- Tốc độ chuyển động đủ nhỏ để đảm bảo trạng thái chuyển động là chảy tầng.

Sử dụng số Râyônô: 
$$R_c = \frac{V \rho d}{\mu}$$

Trong đó:

V - Tốc độ dòng;

$\rho$  - Mật độ nước;

d - Đường kính lỗ;

$\mu$  - Hệ số nhớt động học của nước.

Nếu  $R_c > 1000$  thì trạng thái chảy là chảy rối.

Theo Fanchen-Lewis, Bener thì quy luật Darcy không thể áp dụng vô điều kiện khi số  $R_c > 1$  vì khi đó chuyển động sẽ tuân theo quy luật Pooc-gây-mer:

$$\text{Grad } \Phi = aV + bV |V|^n; \quad (0 < n < 1)$$

Trong vòng hơn 40 năm gần đây, qua thí nghiệm và chứng minh bằng lý thuyết người ta thấy rằng trong đất không bão hoà, tốc độ chuyển động tỷ lệ với gradient thế năng:

$$V = -K \text{grad} (p + \rho g z) \quad (2-2)$$

Biểu thức (2-2) cũng có thể viết dưới dạng:

$$V = D \text{grad } \theta + K \bar{k} \quad (2-3)$$

Trong đó:

$$D = K \frac{\partial h}{\partial \theta} \text{ được gọi là hệ số khuếch tán mao dẫn;}$$

$\theta$  - Độ ẩm của đất;

$\bar{k}$  - Véc tơ đơn vị theo phương truyền ẩm;

$h$  - Cột nước mao quản;

$K$  - Hệ số truyền dẫn trọng lực.

Hệ số truyền dẫn trọng lực ( $K$ ) có thứ nguyên tốc độ ( $LT^{-1}$ ) đặc trưng cho tính truyền ẩm của đất. Độ truyền dẫn trọng lực biểu thị các trạng thái cho phép chất lỏng chuyển qua môi trường xốp dưới một gradient nhất định.

Trong môi trường bão hoà, hệ số truyền dẫn trọng lực phụ thuộc vào kích thước của lỗ và số lượng của chúng. Trường hợp lý tưởng mô hình hoá dạng các lỗ mao quản là hình trụ bán kính  $r$ , trục ống nằm theo phương gradient thế, vận dụng phương trình Poazeyo ta có thể tìm được hệ số truyền dẫn trọng lực:

$$K = \frac{n\pi r^4}{\theta\mu} \quad (2-4)$$

Trong đó:

$n$  - Số lượng các lỗ;

$\mu$  - Hệ số nhớt của chất lỏng.

Theo Saizo và Colizooc, có thể giả thiết các lỗ là các mao quản ngắn từng đoạn, có chiều dài bằng nhau, bán kính lỗ phân bố theo phương trình đường cong đặc trưng ẩm của đất. Các mao quản được nối liền với nhau một cách hỗn loạn theo tính chất ngẫu nhiên. Mặt phẳng cắt ngang vuông góc với gradient thế xuyên qua điểm nối tiếp các mao quản. Từ đó tìm ra được công thức:

$$K = \frac{1}{4\mu} \sum_{\alpha} \sum_{\beta} r^2 \delta V_{\alpha} \delta V_{\beta} \quad (2-5)$$

Trong đó:

$r$  - Bán kính lỗ;

$\delta V_\alpha, \delta V_\beta$  - Diện tích nối tiếp các mặt đất của ống.

Trong môi trường bão hoà, theo kết quả nghiên cứu của Staple, Lelaine, Philip thì hệ số truyền dẫn trọng lực không phải là hằng số. Nó đặc trưng cho độ dẫn ẩm không chỉ đối với chất lỏng mà còn đối với dòng hơi. Độ truyền dẫn phụ thuộc chủ yếu vào tính chất của đất, nhiệt độ đất, nồng độ muối. Trường hợp tính chất của đất, nhiệt độ, nồng độ muối không thay đổi thì hệ số truyền dẫn trọng lực phụ thuộc vào độ ẩm của đất.

Các tác giả Philip, Gardner nhất trí cho rằng với độ ẩm nhỏ thì hệ số truyền dẫn trọng lực bằng 0. Điều này có thể được giải thích là đối với độ ẩm nhỏ, nước tồn tại trong đất dưới dạng nước màng hoặc từng đoạn mao quản ngắn. Như vậy, trọng lực tác động lên các phân tử nước trong đất rất nhỏ so với lực hút giữa các phân tử đất và phân tử nước. Nước không thể di chuyển dưới tác dụng của trọng lực được. Hay nói cách khác, hệ số truyền dẫn trọng lực bằng 0. Nhưng với độ ẩm cụ thể nào (đối với từng loại đất) hệ số  $K = 0$  còn là vấn đề chưa được thống nhất. Càng gần tới độ ẩm bão hoà thì hệ số truyền dẫn trọng lực càng tăng nhanh và đạt giá trị lớn nhất tại độ ẩm bão hoà.

Chúng ta đã biết hình thức chuyển động của nước trong đất gồm: nước trọng lực, nước mao quản, nước màng, nước dưới dạng hơi. Nếu hệ số truyền dẫn trọng lực đặc trưng cho pha chuyển động nước trọng lực thì hệ số khuếch tán mao dẫn đặc trưng cho pha nước mao quản. Hệ số khuếch tán mao dẫn có thứ nguyên ( $L^2 T^{-1}$ ) biểu thị cường độ khuếch tán độ ẩm trong đất. Đứng về mặt toán học thì hệ số khuếch tán mao dẫn và hệ số truyền dẫn trọng lực có sự liên hệ thông qua biểu thức:

$$D = K \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad (2-6)$$

Trong đó :  $\psi$  - Năng lượng hút mao dẫn.

Có thể nhận thức được rằng, hệ số khuếch tán mao dẫn  $D$  cũng là một đặc trưng gần giống hệ số  $K$ . Hệ số  $D$  cũng phụ thuộc vào tính chất, độ ẩm, nồng độ muối, nhiệt độ đất v.v...

Trong trường hợp các yếu tố như tính chất đất, nồng độ muối cố định thì hệ số  $D$  cũng phụ thuộc chủ yếu vào độ ẩm của đất như hệ số  $K$ . Có thể nhận thấy ngay rằng, ứng với độ ẩm nào đó hệ số  $K = 0$  thì hệ số  $D$  cũng bằng 0 và ứng với độ ẩm bão hoà thì hệ số  $D$  cũng đạt giá trị lớn nhất.

Trường hợp dung trọng của đất thay đổi, hệ số  $D$  và  $K$  cũng thay đổi. Khi dung trọng của đất tăng lên, giá trị  $D$  và  $K$  giảm nhỏ.

Sự khác biệt giữa  $D$  và  $K$  về ý nghĩa vật lý là ở chỗ: hệ số  $D$  biểu thị sự truyền dẫn ẩm trong đất dưới dạng khuếch tán dưới tác dụng của gradient năng lượng hút mao quản. Còn hệ số truyền dẫn trọng lực biểu thị sự truyền ẩm dưới tác dụng của trọng lực.

Như vậy, trong quá trình chuyển động ẩm, thành phần tốc độ do khuếch tán mao dẫn và do trọng lực cũng ảnh hưởng đến tốc độ chuyển động của các phân tử nước trong đất. Nhưng tùy từng giai đoạn mà thành phần này trội hơn thành phần kia.

Hệ số khuếch tán mao dẫn đóng vai trò chủ yếu đối với tốc độ chuyển động của nước trong vùng độ ẩm đất nhỏ. Lúc này trị số D nhỏ, nhưng do gradient ẩm lớn nên thành phần tốc độ khuếch tán rất lớn, còn thành phần tốc độ do trọng lực không đáng kể. Khi độ ẩm đất tăng lên, sự phân bố trong đất khá đồng đều, gradient giảm nhỏ và dù hệ khuếch tán có tăng nhưng thành phần tốc độ khuếch tán vẫn giảm, trong khi đó thành phần tốc độ do trọng lực tăng lên.

Biểu thức (2-3) không thuận tiện cho việc nghiên cứu trực tiếp vấn đề chuyển động ẩm. Biến đổi phương trình (2-3) với các điều kiện trình bày ở trên nhận được mô hình truyền ẩm trong đất:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{div}(D \text{grad} \theta + K) \quad (2-7)$$

(2-7) là phương trình vi phân đạo hàm riêng cấp hai, phi tuyến dạng parabolic. Giải phương trình (2-7) nhận được sự phân bố ẩm trong đất. Từ đó có thể xác định tốc độ truyền ẩm ở một điểm bất kỳ. Trong trường hợp chung không thể tìm được nghiệm giải tích của (2-7).

Năm 1955, Philip sử dụng phép biến đổi Bolsman đưa phương trình truyền ẩm theo một phương thành phương trình vi phân thường. Cũng bằng cách đó, sau này Klute, Bruce, Russell, Gardner đã giải bài toán trong một vài trường hợp đơn giản.

Năm 1956, Childs đã giải phương trình truyền ẩm trong trường hợp dòng ổn định với việc mô hình hoá quan hệ giữa hệ số truyền dẫn trọng lực K và lực hút mao quản.

Vì cố gắng tìm một nghiệm giải tích lời giải gọn ghẽ, đẹp dễ nên các tác giả đã làm đơn giản hoá bài toán và không phù hợp với thực tế. Vì vậy việc ứng dụng kết quả rất hạn chế.

Năm 1969, Hanks, Klute và Brealer Freeze đã sử dụng phương pháp số để giải bài toán truyền ẩm với sự giúp đỡ của máy tính điện tử.

Phương trình (2-3) không xét đến ảnh hưởng của bốc thoát hơi nước, vì vậy khi vận dụng đối với tầng đất canh tác cần phải có sự cải biến.

Richards đã biến đổi (2-3) dưới một dạng khác và đưa thêm thành phần bốc thoát hơi nước vào phương trình. Phương trình của Richards có dạng như sau:

$$c \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial h}{\partial z} + K \right) + S(z,t) \quad (2-8)$$

Trong đó:

h - Cột nước mao quản;

K - Hệ số truyền dẫn trọng lực;

$$c = \frac{\partial \theta}{\partial h};$$

S(z,t) - Lượng nước bốc thoát trên một đơn vị thể tích của đất;

z - Trục tọa độ thẳng đứng;

t - Thời gian.

Trong khoảng 10 năm gần đây đã có nhiều tác giả giải quyết (2-8) bằng phương pháp số (sai phân hữu hạn hoặc phần tử hữu hạn) như Brun và Fyvoloslu (1974), Newman (1975), Vayhoc (1978), Minal và Hands (1973), Hill (1977), Feddes (1976), Slak (1972), Singh và Kumar (1983).

Thực chất lời giải của các tác giả trên khác nhau là do mục đích của họ khác nhau dẫn đến điều kiện bài toán khác nhau.

Muốn sử dụng mô hình truyền ẩm dưới dạng (2-3) hoặc (2-8) phải xác định được các thông số mô hình  $D(\theta)$  và  $K(\theta)$ .

## 1.2. Xác định thông số của mô hình truyền ẩm

Trên cơ sở lý thuyết  $D$  và  $K$  được xác định bằng cách tiến hành những chương trình thực nghiệm xác định riêng biệt  $D$ ,  $K$  hoặc xác định  $K$  trước sau đó dựa vào  $K$  để xác định  $D$  hay ngược lại. Như vậy có nghĩa là không thể xác định bằng thực nghiệm đồng thời  $D$  và  $K$  mà phải tìm cách tạo ra một chương trình thực nghiệm trong đó hoặc  $K$  hoặc  $D$  bị khử đi.

Hiện nay phương pháp ổn định và phương pháp không ổn định thường được dùng để xác định hệ số truyền dẫn  $K$  và hệ số khuếch tán bằng thực nghiệm. Phương pháp ổn định sử dụng chế độ ổn định của chuyển động, trong đó phân bố ẩm phụ thuộc vào thời gian. Phương pháp không ổn định sử dụng chế độ không ổn định của chuyển động, phân bố ẩm thay đổi theo không gian và thời gian.

Mỗi phương pháp có những ưu điểm và tồn tại khác nhau. Phương pháp ổn định khi chỉnh lý số liệu ít sử dụng các giả thiết và nói chung là chặt chẽ hơn phương pháp không ổn định. Tuy nhiên, trong thực tế chế độ ổn định về mặt kỹ thuật không phải lúc nào cũng dễ dàng tạo ra được. Thêm vào đó thời gian thực nghiệm theo phương pháp này yêu cầu phải đủ lớn. Phương pháp không ổn định giảm bớt được thời gian thực nghiệm. Tuy nhiên mức độ tin cậy và độ chính xác của số liệu nhận được phụ thuộc vào điều kiện thực nghiệm có phù hợp với những giả thiết trong lý thuyết hay không. Khi trong đất có nhiều lỗ cụt (hay còn gọi là thể tích chết), đại lượng  $K$  xác định theo phương pháp ổn định và phương pháp không ổn định sẽ khác nhau.

Như vậy vấn đề lựa chọn phương pháp thực nghiệm xác định  $D$  và  $K$  phải dựa trên điều kiện kỹ thuật có thể thực hiện được và điều kiện thực tế nơi thực nghiệm.

Trong trường hợp truyền ẩm theo phương nằm ngang, một chiều phương trình truyền ẩm có dạng:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (2-9)$$

Như vậy, trong phương trình chỉ còn một thông số là  $D$ . Có thể xác định  $D$  bằng cách dựa vào phương trình (2-9) hoặc sử dụng công thức Darcy trong môi trường không bão hoà nước khi biết sự phân bố ẩm theo thời gian tại các mặt cắt ngang của mẫu đất thực nghiệm:

$$V_x = D \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (2-10)$$

Trường hợp truyền ẩm theo phương bất kỳ, phương trình truyền ẩm có dạng:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x'} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial x'} + K \sin \alpha \right) \quad (2-11)$$

Công thức Darcy trong trường hợp này có dạng:

$$V_x' = D \frac{\partial \theta}{\partial x'} + K \sin \alpha \quad (2-12)$$

Trong đó:

$x'$  - Trục của phương trình ẩm;

$\alpha$  - Góc tạo bởi phương trình truyền ẩm và phương nằm ngang.

Nếu như biết được phân bố ẩm theo không gian, thời gian và giả thiết môi trường truyền ẩm đẳng hướng thì có thể tính được hệ số K theo (2-11) hoặc (2-12).

Từ các điều kiện phân tích ở trên ta thấy để xác định D cần phải tổ chức một chương trình thực nghiệm về sự truyền ẩm của phương nằm ngang với hai yêu cầu:

- Ẩm được truyền trong đất nằm ngang dưới tác động của lực khuếch tán mao dẫn;
- Đo độ ẩm của các mặt cắt ngang mẫu đất đảm bảo không phá vỡ kết cấu của mẫu đất, không gây ảnh hưởng đến quá trình truyền ẩm.

Để tính toán giá trị K và D dựa trên số liệu thực nghiệm theo phương pháp không ổn định có thể sử dụng các phương pháp:

1. Phương pháp dựa trên nghiệm gần đúng của phương trình truyền ẩm.
2. Phương pháp dựa trên cơ sở giả thiết dòng không ổn định dưới dạng tổng của các giai đoạn ổn định.

Có thể thấy rằng nếu dựa vào một số giả thiết để khắc phục những khó khăn về thuật toán gặp phải trong lý thuyết của phương pháp thứ nhất cũng có sự khác nhau giữa tính chất của môi trường thực với môi trường lý tưởng sẽ gây ra sự khác biệt giữa kết quả tính và tài liệu thực đo. Nhưng tính toán theo phương pháp này nhanh chóng nên nó vẫn hấp dẫn nhiều người nghiên cứu hoàn chỉnh lý thuyết và kỹ thuật tính.

Phương pháp thứ hai hoàn thiện hơn. Vấn đề độ chính xác của phương pháp liên quan đến số lượng những giai đoạn ổn định được phân chia từ quá trình không ổn định. Hay nói cách khác đi nó liên quan tới khả năng hoàn thành số lượng lớn trong công việc đo đạc và trong chỉnh lý số liệu.

## II. ĐỊNH LUẬT DARCY

Cách đây một thế kỷ, kỹ sư thủy lực Darcy người Pháp đã thực nghiệm dòng chảy qua một ống mẫu cát được dùng để lọc nước. Ông viết "Tôi dự định bằng những thực nghiệm

đặc biệt để xác định dòng chảy qua những dụng cụ lọc... thực nghiệm đã chứng tỏ rằng lượng nước chuyển qua mầu cát tỷ lệ thuận với áp suất và tỷ lệ nghịch với chiều dài của ống mầu mà nước chuyển qua".

Có thể phát biểu rằng: lưu lượng dòng chảy qua một môi trường lỗ rỗng tỉ lệ với cột nước tổn thất và tỉ lệ nghịch với chiều dài của quãng đường dòng chảy. Sau này, lời phát biểu đó đã trở thành nổi tiếng và được gọi là luật Darcy. Sự đóng góp của Darcy đối với sự nghiên cứu nước dưới đất to lớn hơn bất kỳ một sự đóng góp nào khác.

Luật Darcy có thể được biểu diễn qua biểu thức:

$$Q = -K \cdot A \frac{\Delta h}{L} \quad (2-13)$$

Hoặc: 
$$Q = -K \cdot A \frac{dh}{dl} \quad (2-14)$$

Hay: 
$$V = \frac{Q}{A} = -K \frac{dh}{dl} \quad (2-15)$$

Trong đó:

V - Vận tốc dòng chảy Darcy;

K - Hệ số thấm;

Q - Lưu lượng;

A - Diện tích mặt cắt ngang;

$\Delta h$  - Chênh lệch đầu nước.

Tốc độ V trong phương trình (2-15) được gọi là tốc độ Darcy vì giả thiết dòng chảy chảy qua toàn bộ mặt cắt ngang mà không xem xét đến các phần tử rắn và lỗ rỗng ở trong đó.

Thực ra dòng chảy chỉ tồn tại trong các lỗ rỗng, vì thế tốc độ thấm thực trung bình sẽ bằng:

$$V_h = \frac{Q}{\alpha \cdot A} \quad (2-16)$$

Trong đó:  $\alpha$  là độ rỗng của môi trường lỗ rỗng.

Với môi trường là cát có độ rỗng  $\alpha = 33\%$  thì  $V_h = 3V$ .

Để xác định tốc độ thực của dòng chảy, bắt buộc phải xem xét đến cấu trúc của vật liệu đó. Ví dụ nước chảy qua các khoảng không của lỗ rỗng thay đổi liên tục tại các vị trí khác nhau trong môi trường xốp. Điều này có nghĩa rằng tốc độ thực không phải là đều.

Khi áp dụng định luật Darcy, cần phải hiểu rõ phạm vi ứng dụng của nó. Bởi vì trong chế độ chảy tầng, tốc độ tỷ lệ bậc nhất với gradient cột nước nên định luật Darcy cũng chỉ có hiệu lực khi tốc độ chảy trong môi trường xốp đủ nhỏ để có thể coi chế độ chảy là chảy tầng.

Sử dụng số Raynon:

$$R_c = \frac{\rho V d}{\mu}$$



Trong đó:

$\rho$  - Mật độ chất lỏng;

$V$  - Tốc độ dòng chảy;

$d$  - Đường kính ống;

$\mu$  - Độ nhớt của chất lỏng.

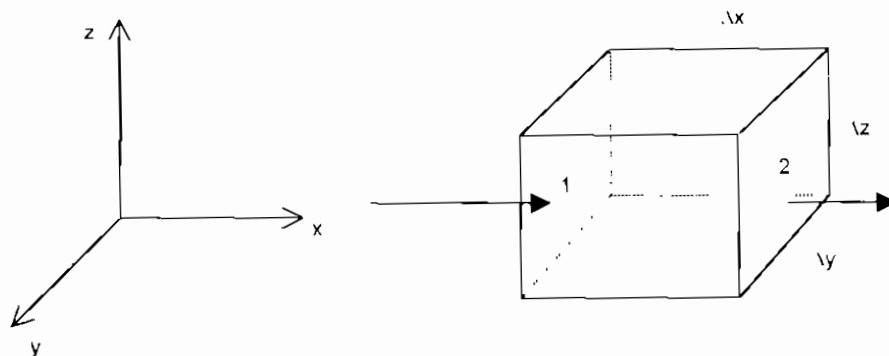
Thực nghiệm đã chứng tỏ rằng luật Darcy chỉ đúng khi  $R_e < 1$  và không có ý nghĩa khi  $R_e \geq 10$ .

### III. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN DÒNG CHẢY TRONG MÔI TRƯỜNG BẢO HOÀ

#### 3.1. Dòng chảy không ổn định trong tầng chứa nước

##### 1. Trường hợp môi trường đồng nhất, không đẳng hướng

Xét một phân tử tính toán có độ dài  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  trên toạ độ Đề Các như hình 2-1.



Hình 2-1: Phân tử tính toán thiết lập phương trình cơ bản

Lượng nước vào thể tích không chế qua mặt 1 trong một đơn vị thời gian là:

$$-\left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}\right) \Delta y \Delta z \quad (2-17)$$

Lượng nước ra khỏi thể tích không chế qua mặt 2 trong một đơn vị thời gian:

$$\Delta z \Delta y \left( -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \Delta x \right) \quad (2-18)$$

Lượng nước trong thể tích không chế theo phương x là:

$$K_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2-19)$$

Tương tự như vậy đối với phương y và z, ta nhận được lượng nước trong thể tích không chế theo cả ba phương sẽ là:

$$\left( K_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) \quad (2-20)$$

Theo định luật bảo toàn khối lượng (2-20) phải bằng sự thay đổi trữ lượng trong thời gian tính toán, hay:

$$K_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-21)$$

Trong đó:

$K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  - Hệ số thấm theo các phương x, y, z;

$S_s$  - Hệ số trữ nước đơn vị;

h - Cột nước tính toán.

## 2. Trường hợp môi trường không đồng nhất, không đẳng hướng

Tương tự như cách làm trên ta nhận được:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-22)$$

Phương trình (2-22) viết cho một đơn vị thể tích của tầng chứa nước. Trong trường hợp viết cho toàn bộ tầng chứa nước có áp, có độ dày b phương trình sẽ có dạng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( T_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-23)$$

Đối với tầng chứa nước không áp, phương trình sẽ có dạng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-24)$$

## 3. Giả thiết Dupuit - Forchheimer

Để đơn giản hoá dòng chảy ngầm ba chiều, Dupuit - Forchheimer đưa ra các giả thiết sau:

a) Tốc độ hướng ngang trên toàn bộ mặt cắt độc lập với phương thẳng đứng z.

b) Tốc độ tại bề mặt nước ngầm được tính theo công thức:

$$V = -K \frac{\partial h}{\partial s} ; \frac{\partial h}{\partial s} \approx \frac{\partial h}{\partial x} ; \sin\theta \approx \text{tg}\theta \quad (2-25)$$

Với giả thiết của Dupuit - Forchheimer có thể viết lại phương trình dòng chảy ngầm trong môi trường không đẳng hướng và không đồng nhất như sau:

Gọi  $b(x,y,t)$  là độ dày tầng bão hoà, lượng nước vào qua mặt 1 trong một đơn vị thời gian là:

$$V_x \Delta x \Delta y = -K_{xx} b \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \Delta y \quad (2-26)$$

Lượng nước ra khỏi mặt 2 trong một đơn vị thời gian là:

$$\left( V_x + \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) \Delta x \Delta y \quad (2-27)$$

Lượng nước còn lại trong thể tích khối chế trong một đơn vị thời gian theo phương x là:

$$\Delta x \Delta y \frac{\partial}{\partial x} \left( b K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (2-28)$$

Tương tự đối với phương y là:

$$\Delta x \Delta y \frac{\partial}{\partial y} \left( b K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) \quad (2-29)$$

Tổng lượng dòng chảy còn lại trong thể tích khối chế theo cả hai phương là:

$$\Delta x \Delta y \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( b K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( b K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right] \quad (2-30)$$

Theo định luật bảo toàn khối lượng ta có:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( b K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( b K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-31)$$

Đối với tầng ngậm nước không áp  $b(x,y,t) = h(x,y,t)$ . Do đó ta nhận được:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-32)$$

Trường hợp có lượng nước bổ sung nước ngậm hoặc mất nước trong khu vực:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} b \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} b \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-33)$$

Hay:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-34)$$

Trường hợp đối với dòng chảy ổn định về phải của (2-34) bằng 0, ta có phương trình Bouqssiness với môi trường đồng nhất và đẳng hướng:

$$T \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + Q = 0 \quad (2-35)$$

Trong đó:  $S$  - Là hệ số trữ nước ;

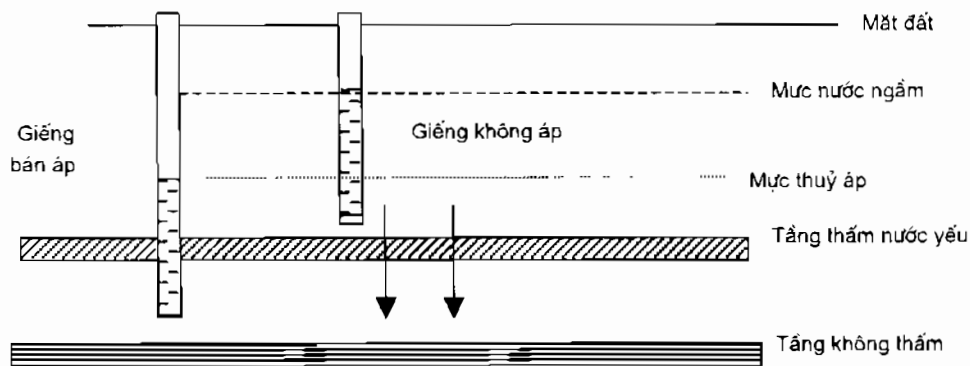
$T_{xx}, T_{yy}, T_{zz}$  - Hệ số dẫn nước ( $L^2T^{-1}$ );

$Q$  - Lượng bổ sung thấm ( $L T^{-1}$ ).

Có thể nhận xét rằng các phương trình trên đều là các phương trình vi phân phi tuyến cấp II dạng parabolic. Trong trường hợp chung, chúng ta không thể tìm nghiệm giải tích của nó.

### 3.2. Phương trình cơ bản đối với tầng chứa có thấm xuyên (tầng bán áp)

Đặc điểm của loại tầng ngậm nước này, như đã nói, là tầng có một tầng ngậm nước yếu ở trên nó (aquitard), vì thế nước vẫn có thể trao đổi với bên ngoài tầng ngậm nước. Mức độ trao đổi tùy thuộc vào tương quan giữa mực nước ngậm và mực thủy áp.



*Hình 2-2: Sơ đồ tầng chứa có thấm xuyên*

Phương trình cơ bản có thể viết dưới dạng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} b \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} b \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-36)$$

$$Q = Q(h) = [h_w(x, y, t) - h(x, y, t)] \frac{K'}{H'}$$

$$Q = (h_0 - h) \frac{K'}{H'} = \frac{h_0 - h}{\frac{H'}{K'}}$$

Đặt:  $C = \frac{K'}{H'}$  - Sức cản thủy lực của tầng ngậm nước yếu, đơn vị thường dùng là  $(\text{ngày})^{-1}$ ;

$\lambda = \sqrt{KbC}$  - Chỉ số thấm xuyên (Leakage factor).

Đối với tầng ngậm nước có áp  $\lambda = \infty$ , còn đối với tầng ngậm nước không áp  $\lambda$  rất nhỏ.

Xét trường hợp dòng chảy ổn định, môi trường đồng nhất và đẳng hướng:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{h_0 - h}{T.C} = 0 \quad (2-37)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{h - h_0}{\lambda^2}$$

Nghiệm của bài toán là:

$$h = C_1 e^{-x/\lambda} + C_2 e^{x/\lambda} + h_0 \quad (2-38)$$

Trong đó  $C_1$  và  $C_2$  là hai hằng số tích phân, chúng được xác định theo các điều kiện biên.

Ví dụ:

$$x = 0 \rightarrow h = H_1$$

$$x = L \rightarrow h = H_2$$

Ta nhận được:

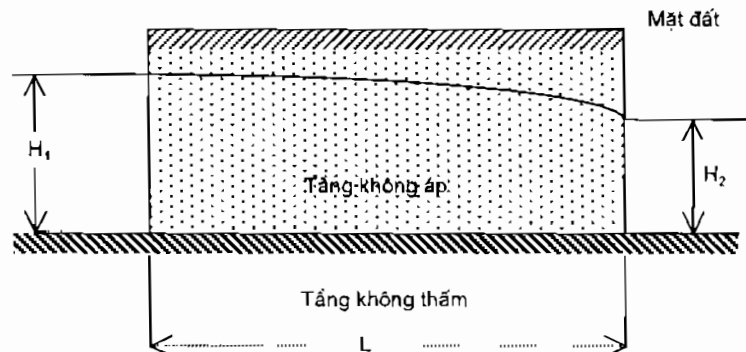
$$H_1 = C_1 + C_2 + h_0$$

$$H_2 = C_1 e^{-L/\lambda} + C_2 e^{L/\lambda} \quad (2-39)$$

Giải hệ phương trình ta sẽ tìm được  $C_1$  và  $C_2$ .

#### IV. MỘT SỐ BÀI TOÁN THƯỜNG GẶP TRONG THỰC TẾ

##### 4.1. Dòng chảy ổn định một chiều đối với tầng ngậm nước không áp, môi trường đồng nhất, đáy không thấm nằm ngang



**Hình 2-3:** Dòng chảy ổn định trong tầng không áp

Phương trình: 
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (2-40)$$

Điều kiện biên: 
$$H(0) = H_1 ; H(L) = H_2$$

Tích phân phương trình (2-40) ta nhận được:

$$h^2 = Ax + B \quad (2-41)$$

Trong đó: A, B là các hằng số tích phân.

Theo điều kiện biên: 
$$A = \frac{H_2^2 - H_1^2}{L}$$

$$B = H_1^2$$

Ta có: 
$$h^2 = H_1^2 + \frac{H_2^2 - H_1^2}{L} x \quad (2-42)$$

Trường hợp có lượng bổ cập cho nước ngầm, phương trình có dạng:

$$K \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) \right] + R = 0 \quad (2-43)$$

Sau khi tích phân ta nhận được:

$$h^2 = -\frac{Rx^2}{K} + Ax + B \quad (2-44)$$

Theo điều kiện biên  $h(0) = H_1$ ,  $h(L) = H_2$ :

$$A = \frac{H_2^2 - H_1^2}{L} + \frac{RL}{K}$$

$$B = H_1^2$$

Do đó: 
$$h^2 = H_1^2 + (H_2^2 - H_1^2) \frac{x}{L} + \frac{Rx}{K} (L - x) \quad (2-45)$$

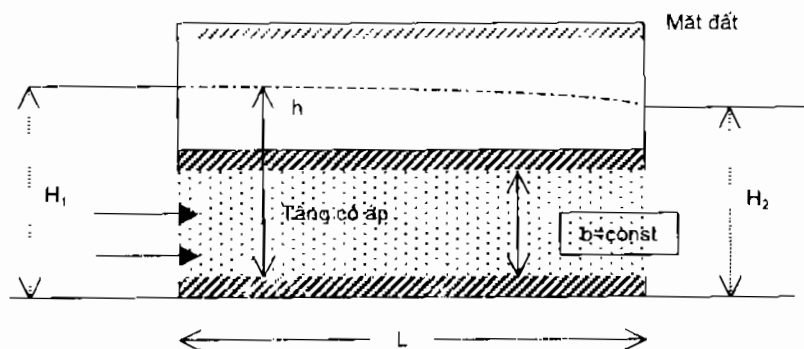
Trường hợp điều kiện biên cho dưới dạng Neuman:

Tại  $x = 0$  thì:  $\frac{\partial h}{\partial x} = 0$ ;  $x = L$ ;  $h = H$

Ta có: 
$$h^2 = \frac{R}{K} (L^2 - x^2) + H^2 \quad (2-46)$$

#### 4.2. Đối với tầng ngậm nước có áp, dòng chảy ổn định một chiều, môi trường đồng nhất

a) Chiều dày tầng ngậm nước không đổi ( $b = \text{const}$ )



Hình 2-4: Dòng chảy ổn định trong tầng có áp có bề dày không đổi

Phương trình cơ bản:

$$T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + Q = 0 \quad (2-47)$$

Điều kiện biên:

$$x = 0 \rightarrow h = H_1$$

$$x = L \rightarrow h = H_2$$

Tích phân phương trình (2-47) ta nhận được:

$$h = -\frac{Qx^2}{2T} + Ax + B \quad (2-48)$$

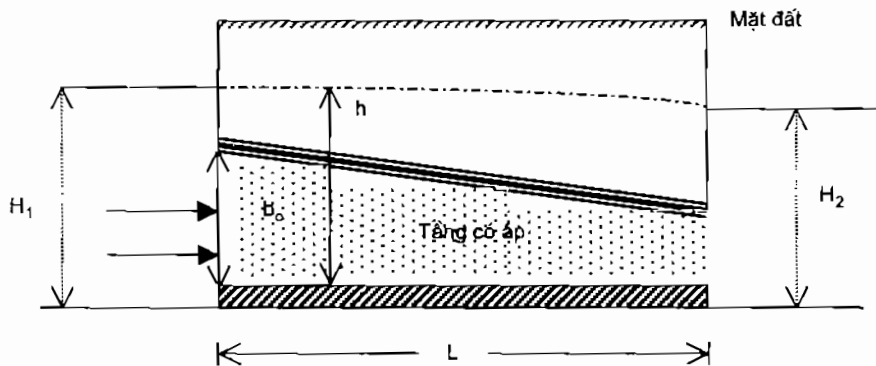
Theo điều kiện biên xác định được các hằng số tích phân A và B:

$$B = H_1$$

$$A = \frac{QL}{2T} \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Do đó: 
$$h = H_1 - \frac{H_1 - H_2}{L} x + \frac{Qx}{2T} (L - x) \quad (2-49)$$

b) Chiều dày tầng ngậm nước thay đổi ( $b \neq \text{const}$ )



**Hình 2-5:** Dòng chảy ổn định trong tầng có áp có bề dày thay đổi

Giá thiết chiều dày tầng chứa nước thay đổi tuyến tính theo phương trình:

$$b = b_0 - x \tan \alpha.$$

Với  $\alpha$  là độ nghiêng của tầng chứa nước ( $^{\circ}$ ).

Ta có: 
$$K \frac{\partial}{\partial x} (b_0 - x \tan \alpha) \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (2-50)$$

Sau khi phân tích ta được:

$$h(x) = \frac{A \ln(b_0 - x \tan \alpha)}{-\tan \alpha} + B \quad (2-51)$$

Dựa vào điều kiện biên cụ thể có thể xác định được các hằng số tích phân A và B.



## BÀI TẬP CHƯƠNG II

1. Tầng cát có đường kính hạt trung vị bằng 0,50 cm. Để áp dụng định luật Darcy, đối với nước tinh khiết ở 15°C tốc độ lớn nhất cho phép là bao nhiêu?

Lời giải:

Tương ứng với nhiệt độ 15°C,  $\rho = 0,999 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  và  $\mu = 1,14 \times 10^{-2} \text{ g/s-cm}$ .

Theo công thức:

$$R_e = \frac{\rho V d}{\mu}$$

Ta có :

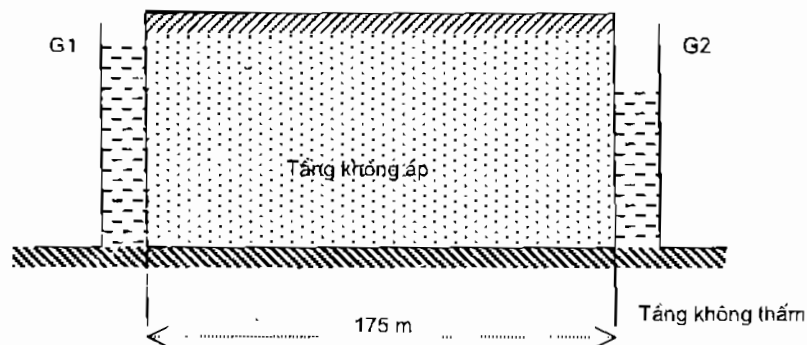
$$V = \frac{R_e \mu}{\rho d}$$

Để đảm bảo R không được phép lớn hơn 1 thì tốc độ lớn nhất cho phép sẽ là:

$$V = \frac{1 \times 1,14 \times 10^{-2}}{0,999 \times 10^3 \times 0,005} = 0,0028 \text{ m/s}$$

Như vậy để đảm bảo định luật Darcy có giá trị, tốc độ dòng chảy trong tầng cát này phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0028m/s.

2. Một tầng chứa nước không áp có độ dẫn thủy lực bằng 0,0020cm/s và độ rỗng hiệu quả bằng 0,27. Tầng chứa nước này có độ dày đồng đều 31m kể từ mặt đất. Tại giếng 1, mực nước ngầm là 21m dưới bề mặt đất. Tại giếng 2, cách giếng 1 chừng 175m, mực nước ngầm là 23,5m dưới mặt đất. Tính a) Lưu lượng trên một đơn vị chiều rộng; b) Tốc độ trung bình tại giếng 1; c) Mực nước ngầm ở vị trí giữa của hai giếng.



Lời giải:

a) Tính lưu lượng đơn vị:

Theo phương trình:

$$q = \frac{1}{2} K \left( \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \right)$$

$$h_1 = 31\text{m} - 21\text{m} = 10\text{m}$$

$$h_2 = 31\text{m} - 23,5\text{m} = 7,5\text{m}$$

$$L = 175\text{m}$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot 1,7 \left( \frac{10^2 - 7,5^2}{2 \times 175} \right) = 0,21 \text{ m}^2/\text{ng}$$

b) Tốc độ trung bình tại giếng 1: 
$$V = \frac{Q}{nA}$$

Theo công thức :

Vì  $Q = q \times \text{độ rộng}$  và  $A = h \times \text{độ rộng}$ , nên :

$$V = \frac{q}{nh} = \frac{0,21}{0,27 \times 10} = 0,08 \text{ m/ng}$$

c) Mức nước ngầm ở giữa hai giếng:

Theo phương trình: 
$$h = \sqrt{h_1^2 - \frac{(h_1^2 - h_2^2)x}{L} + \frac{w}{K}(L-x)x}$$

Trong đó :  $h$  - Đầu nước tại  $x$ ;

$x$  - Khoảng cách, kể từ gốc tọa độ;

$h_1$  - Mức nước ngầm tại gốc tọa độ;

$h_2$  - Mức nước ngầm tại khoảng cách  $L$ ;

$K$  - Độ dẫn thủy lực;

$w$  - Lượng bổ cập (lượng gia nhập ngầm).

Ta có thể rút ra: 
$$h = \sqrt{h_1^2 - (h_1^2 - h_2^2) \left( \frac{x}{L} \right)}$$

Thay các số liệu đã cho vào phương trình trên, ta nhận được:

$$h = \sqrt{(10)^2 - (10^2 - 7,5^2) \left( \frac{87,5}{175} \right)} = 8,8\text{m}$$

3. Một kênh tưới được xây dựng song song với sông, cách sông 1500m. Cả kênh và sông đều nằm trong tầng cát có độ dẫn thủy lực  $K = 1,2\text{m/ngày}$ . Khu vực này có lượng gia nhập ngầm là  $0,0014\text{m/ngày}$ . Mức nước sông là 31m và mức nước kênh là 27m. Xác định: a) Vị trí đường phân chia nước ngầm; b) Mức nước ngầm cao nhất; c) Lưu lượng trên một đơn vị chiều dài vào sông; d) Lưu lượng trên một đơn vị chiều dài vào kênh.

Lời giải:

a) Vị trí đường phân chia nước ngầm:

Theo công thức: 
$$d = \frac{L}{2} - \frac{K}{w} \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2L}$$

Với các số liệu đã cho:  $h_1 = 31\text{m}$  ;  $h_2 = 27\text{m}$ ;  $L = 1500\text{m}$ ;

$$K = 1,2\text{m/ng}; w = 0,0014\text{m/ngày}.$$

Thay các số liệu vào công thức trên ta có:

$$d = \frac{1500}{2} - \frac{1,2}{0,001} \frac{(31^2 - 27^2)}{2 \times 1500} = 680\text{m} \text{ (kể từ sông)}$$

b) Mục nước ngầm cao nhất:

Theo công thức: 
$$h_{\max} = \sqrt{h_1^2 - \frac{(h_1^2 - h_2^2)d}{L} + \frac{w}{K}(L - d)d}$$

Thay các số liệu đã cho

$$h_{\max} = \sqrt{31^2 - \frac{(31^2 - 27^2)680}{1500} + \frac{0,0014}{1,2}(1500 - 680)680} = 39\text{m}$$

c) Lưu lượng trên một đơn vị chiều dài vào sông:

Theo phương trình 
$$q = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2L} - w \left( \frac{L}{2} - x \right)$$

Khi  $x = 0$  ta có: 
$$q_0 = \frac{K(h_1^2 - h_2^2)}{2L} - w \left( \frac{L}{2} \right)$$

Thay số liệu vào:

$$q_0 = \frac{1,2(31^2 - 27^2)}{2 \times 1500} - 0,0014 \left( \frac{1500}{2} \right) = -0,960 \text{ m}^3/\text{ng/m}$$

Dấu (-) biểu thị chiều dòng chảy ngược với chiều dương của trục tọa độ

d) Lưu lượng trên một đơn vị chiều dài vào kênh:

Tương tự như câu hỏi ở trên, với  $x = L = 1500\text{m}$ , ta có

$$q_L = \frac{1,2(31^2 - 27^2)}{2 \times 1500} - 0,0014 \left( \frac{1500}{2} - 1500 \right) = 1100 \text{ m}^3/\text{ng/m}$$

4. Một tầng ngậm nước không áp nối liền hai sông A và B có độ dẫn thủy lực bằng 1,2m/ngày. Mục nước ở sông A là 17m, mục nước ở sông B là 12m. Khoảng cách giữa hai sông là 4525m. Lượng nước gia nhập ngậm hàng năm là 0,0002m/ngày. Hãy tính: a) Lưu lượng qua một đơn vị chiều dài sông A; b) Lưu lượng qua một đơn vị chiều dài sông B; c) Vị trí đường phân chia nước ngầm; d) Độ cao mục nước ngầm lớn nhất.

5. Một đập đất được xây dựng trên một nền không thấm. Độ rộng của đập là 500m. Đập dài 100m. Độ dẫn thủy lực trung bình  $K = 0,23\text{m/ngày}$ . Mục nước trong hồ là 75m. Mục nước hạ lưu (sau đập) là 20m. Hãy tính lưu lượng thấm qua đập.

# Chương III

## DÒNG CHẢY VÀO GIẾNG

Giếng là một trong những khía cạnh quan trọng nhất của thủy văn nước dưới đất. Giếng được sử dụng để khai thác nước phục vụ các hoạt động kinh tế xã hội. Giếng cũng được dùng để chống xâm nhập mặn, bơm tiêu thoát nước bị ô nhiễm ra khỏi tầng chứa nước, làm hạ thấp mực nước ngầm trong các hố móng, làm giảm áp lực dưới đập.

Chương này đề cập đến hai vấn đề cơ bản (i) xác định độ hạ thấp mực nước tại giếng và xung quanh giếng bơm, khi biết hệ số dẫn nước và hệ số nhả nước của tầng chứa nước và (ii) xác định hệ số dẫn nước và hệ số nhả nước của tầng chứa nước khi có tài liệu hút nước thí nghiệm.

### I. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN DÒNG CHẢY VÀO GIẾNG

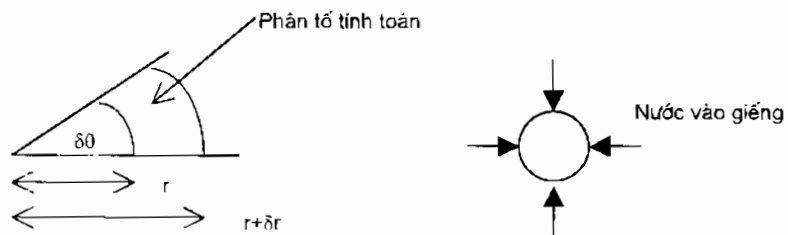
#### 1.1. Các giả thiết cơ bản

- a) Tầng chứa nước nằm trên đáy không thấm;
- b) Các thành tạo địa chất nằm ngang và có chiều dài vô hạn;
- c) Trước khi bơm, bề mặt áp lực nằm ngang;
- d) Cột nước áp lực không thay đổi theo thời gian trước khi bơm;
- e) Mọi thay đổi vị trí của mặt áp lực chỉ do việc bơm thí nghiệm gây ra;
- f) Tầng chứa nước là đồng nhất và đẳng hướng;
- g) Dòng chảy vào giếng hướng vào trục tâm giếng ở mọi phía;
- h) Dòng chảy vào giếng theo phương nằm ngang;
- i) Dòng chảy tuân thủ theo định luật Darcy;
- j) Nước ngầm có mật độ và độ nhớt không đổi;
- k) Giếng bơm và giếng quan trắc đều là giếng hoàn chỉnh, tức là chúng đều được khoan qua toàn bộ bề dày tầng chứa nước;
- l) Giếng bơm có đường kính đủ nhỏ để có thể bỏ qua lượng trữ trong giếng.

#### 1.2. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng có áp

Xét trường hợp tầng ngậm nước là tầng có áp, dòng chảy không ổn định trong tọa độ cực với giả thiết của Dupuit-Forchheler.

**Hình 3-1:** Dòng chảy qua thể tích không chế trong tọa độ cực



Lượng nước đi vào trong thể tích khống chế là:

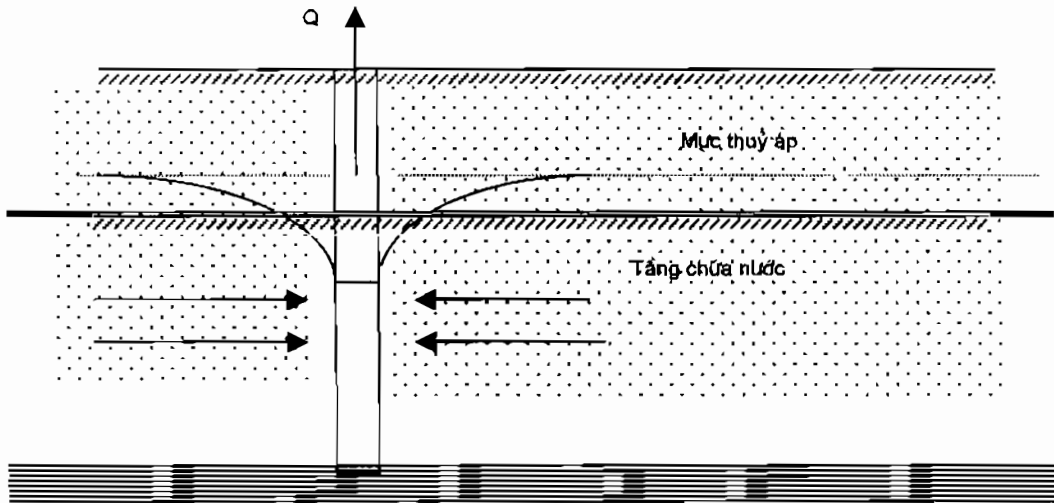
$$-\frac{\partial h}{\partial r} T_r r \delta \theta \quad (3-1)$$

Lượng nước ra khỏi thể tích khống chế là:

$$\frac{-\frac{\partial h}{\partial r} T_r + \frac{\partial h}{\partial r} \left( -\frac{\partial h}{\partial r} T_r \right) \delta r}{(r \delta \theta + \delta \theta \times \delta r)} \quad (3-2)$$

Lượng nước còn lại trong thể tích khống chế là:

$$\begin{aligned} & -\frac{\partial h}{\partial r} T_r r \delta \theta - \frac{\partial h}{\partial r} \left( -\frac{\partial h}{\partial r} T_r \right) \delta r r \delta \theta - T_r \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial r} \left( -\frac{\partial h}{\partial r} T_r \right) \delta r^2 \delta \theta + \left( -\frac{\partial h}{\partial r} T_r r \delta \theta \right) \\ & = \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial h}{\partial r} T_r \right) r \delta r \delta \theta + T_r \frac{\partial h}{\partial r} \delta r \delta \theta \end{aligned} \quad (3-3)$$



Hình 3-2: Dòng chảy vào giếng có áp

Lượng nước này theo phương trình cân bằng nước phải bằng  $S \frac{\partial h}{\partial t}$ , do đó:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( T_r \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{T_r}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-4)$$

Trường hợp môi trường là đồng nhất, ta có:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-5)$$

Trong đó:

- h - Cột nước áp lực (m);
- r - Bán kính kể từ giếng bơm đến vị trí tính toán (m);
- S - Hệ số trữ nước (không thứ nguyên);
- T - Hệ số dẫn nước (m<sup>2</sup>/ngày);
- t - Thời gian (ngày).

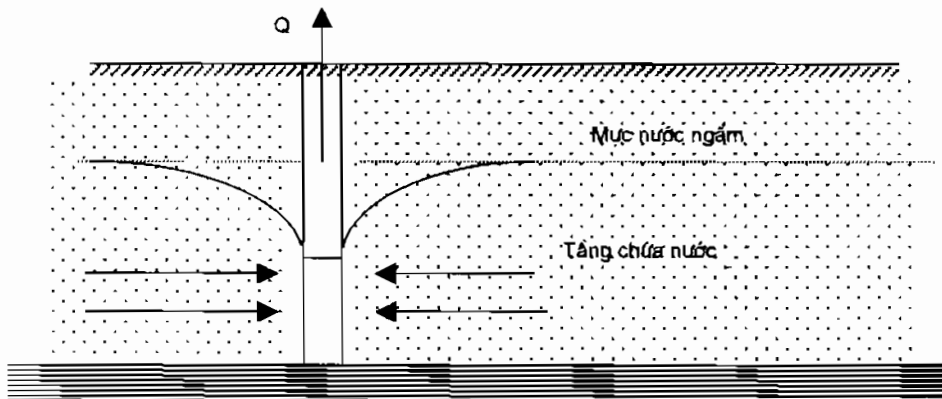
### 1.3. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng không áp

Tương tự như các bước thiết lập phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng có áp ở trên, nhưng có xét đến lượng bổ sung theo phương thẳng đứng chúng ta có thể tìm được phương trình dòng chảy cơ bản vào giếng không áp (Newman và Withespoon, 1969):

$$K_r \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{K_r}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-6)$$

Trong đó:

- h - Mực nước ngầm (m);
- r - Bán kính kể từ giếng bơm tới điểm tính toán (m);
- z - Cao độ so với đáy không thấm của tầng chứa nước không áp (m);
- S<sub>s</sub> - Hệ số trữ nước đơn vị (không thứ nguyên);
- K<sub>r</sub>, K<sub>z</sub> - Hệ số thấm theo phương ngang và thẳng đứng (m/ngày);
- t - Thời gian (ngày).



Hình 3-3: Dòng chảy vào giếng không áp

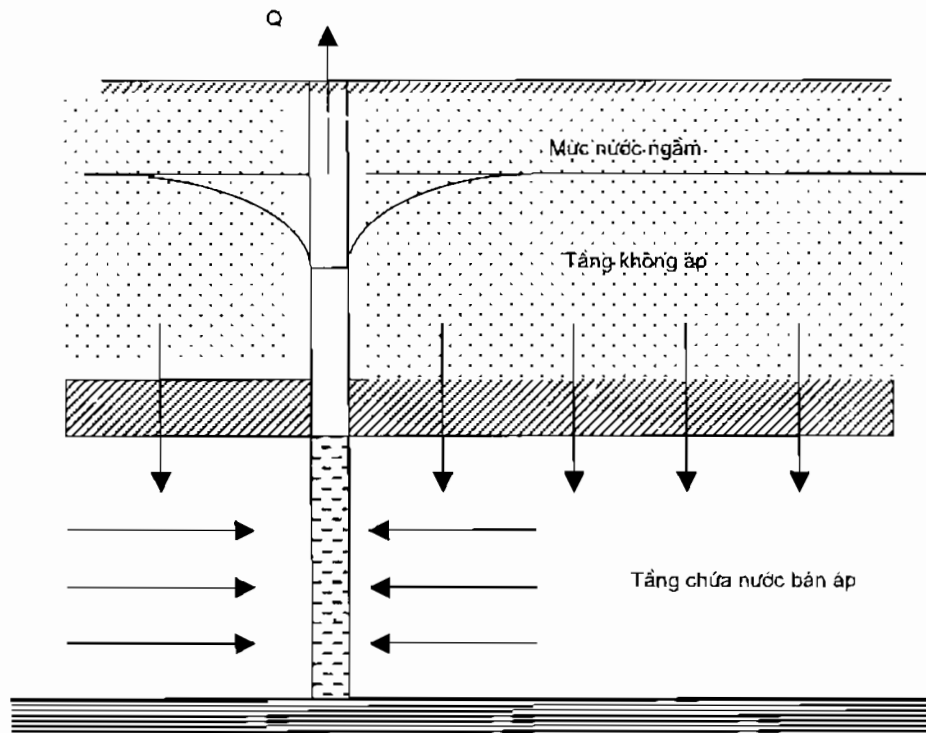
### 1.4. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng có thấm xuyên

Từ phương trình cơ bản viết cho tầng chứa nước có áp ở trên, có thể suy ra phương trình dòng chảy cơ bản vào giếng trong tầng chứa nước có thấm xuyên.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{(h_0 - h)K'}{Tb'} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-7)$$

Trong đó:

- h** - Cột nước áp lực (m);
- (h<sub>0</sub> - h)** - Độ hạ thấp mực nước;
- r** - Bán kính kể từ giếng bơm tới điểm tính toán (m);
- b'** - Bề dày tầng thấm nước yếu (m);
- S** - Hệ số trữ nước;
- T** - Hệ số dẫn nước (m<sup>2</sup>/ngày);
- K'** - Hệ số thấm theo phương thẳng đứng tầng chứa nước yếu (m/ngày);
- t** - Thời gian (ngày).

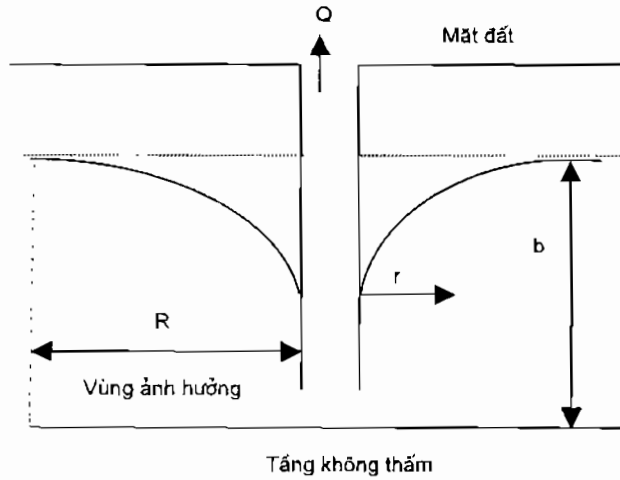


*Hình 3-4: Dòng chảy vào giếng có thấm xuyên*

## II. DÒNG CHẢY ỔN ĐỊNH VÀO GIẾNG

Khi bơm, nước sẽ chuyển động từ tầng ngậm nước vào giếng và mực nước ngầm (hay mực thủy áp) sẽ hạ thấp dần. Sự hạ thấp ở điểm càng xa giếng càng nhỏ. Trong không gian ba chiều có thể thấy mặt hạ thấp như một hình phễu. Tại điểm mực nước (cột nước áp lực) không thay đổi ứng với một lưu lượng bơm lên nhất định gọi là vùng ảnh hưởng của giếng.

a) Xét trường hợp tầng ngậm nước có áp và dòng chảy ở mọi nơi đều hướng ngang nên áp dụng được giả thiết của Dupuit - Forcheimer



**Hình 3-5:** Dòng chảy ổn định vào giếng có áp

Theo phương trình cân bằng nước:

$$Q = A.V = 2\pi r b K \frac{dh}{dr} \quad (3-8)$$

Điều kiện của bài toán:

Tại giếng:  $r = r_w \rightarrow h = h_w$

Tại  $r = R \rightarrow h = h_0$  (điểm giới hạn không chịu ảnh hưởng thay đổi mực nước).

Tích phân phương trình (3-8) ta có:

$$h_0 - h_w = \frac{Q}{2\pi b K} \ln \frac{R}{r_w} \quad (3-9)$$

Hay:

$$Q = 2\pi b K \frac{h_0 - h_w}{\ln \left( \frac{R}{r_w} \right)} \quad (3-10)$$

Gọi  $s = h_0 - h_w$  là độ hạ thấp mực nước, ta có:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r}{r_w} \quad (3-11)$$

Giả sử có một giếng bơm hút và hai giếng quan trắc ở vị trí 1 và 2 có bán kính tới giếng bơm là  $r_1$  và  $r_2$  tương ứng thì:

$$T = Kb = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3-12)$$



b) Đối với tầng ngậm nước không áp

1. Không có lượng gia nhập từ mặt đất:

$$Q = K \frac{dh}{dr} \times 2\pi r h \quad (3-13)$$

$$\frac{2\pi K}{Q} h dh = \frac{dr}{r} \quad (3-14)$$

Điều kiện biên:  $h = h_w$  tại  $r = r_w$  và  $h = h_0$  tại  $r = R$

$$Q = \frac{\pi K (h_0^2 - h_w^2)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)} \quad (3-15)$$

Giả sử có hai giếng quan trắc ở vị trí 1 và 2 ta có:

$$Q = \pi K \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (3-16)$$

Từ đây rút ra: 
$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3-17)$$

Tuy nhiên phương trình này không đúng trong trường hợp giếng quan trắc gần sát với giếng bơm bởi vì phân dòng chảy thẳng đứng lớn, trái với giả thiết của Dupuit.

Trong thực tế, sự hạ thấp mực nước rất nhỏ so với chiều dày tầng bão hoà, hệ số dẫn nước có thể tính như sau:

$$T = K \frac{h_1 + h_2}{2}$$

Nếu tại hai giếng quan trắc, biết  $s_1$  và  $s_2$ , ta có  $h_1 = h_0 - s_1$  và  $h_2 = h_0 - s_2$  thì hệ số dẫn nước sẽ bằng:

$$T = K h_0 = \frac{Q}{2\pi \left( s_1 - \frac{s_1^2}{2h_0} \right) - \left( s_2 - \frac{s_2^2}{2h_0} \right)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3-18)$$

2. Trường hợp có lượng cung cấp thấm (bổ cập)

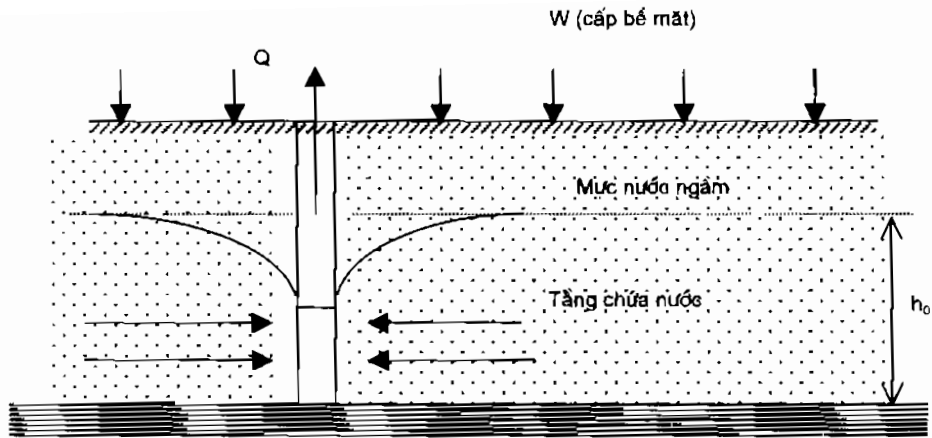
Hình 3-6 là một giếng bơm với lưu lượng là  $Q_w$ . Lượng bổ cập ngậm đồng đều  $W$  (từ mưa hoặc tưới quá mức hoặc từ dòng chảy mặt).

Theo phương trình cân bằng nước:

$$dQ = -2\pi r W dr \quad (3-19)$$

Tích phân biểu thức ta nhận được:

$$Q = -\pi r^2 W + C \quad (3-20)$$



Hình 3-6: Dòng ổn định chảy vào giếng không áp có cung cấp thấm

Khi :  $r \rightarrow 0$ ,  $C = Q_w$ . Vì vậy:

$$Q = -\pi r^2 W + Q_w \quad (3-21)$$

Mặt khác ta lại có:

$$Q = 2\pi r K h \frac{dh}{dr} \quad (3-22)$$

Nên:

$$\pi r^2 W + Q_w = -2\pi r K h \frac{dh}{dr} \quad (3-23)$$

Tích phân phương trình (3-23) với điều kiện biên của bài toán:  $r = r_0 \rightarrow h = h_0$  ta có:

$$h_0^2 - h^2 = \frac{W}{2K} (r^2 - R^2) + \frac{Q_w}{K} \cdot \ln \frac{R}{r} \quad (3-24)$$

Trường hợp  $W = 0$ , ta có

$$h_0^2 - h^2 = \frac{Q_w}{K} \cdot \ln \left( \frac{R}{r} \right) \quad (3-25)$$

### III. DÒNG CHẢY KHÔNG ỔN ĐỊNH VÀO GIẾNG CÓ ÁP

Khi một giếng bơm hút nước từ một tầng ngậm nước đủ lớn với lưu lượng bơm không đổi thì ảnh hưởng của lưu lượng sẽ tăng theo thời gian. Vì nước phải lấy ra từ lượng trữ trong tầng ngậm nên đầu nước tiếp tục hạ thấp, do đó tồn tại trạng thái chảy không ổn định. Tuy nhiên tốc độ hạ thấp mực nước ngầm giảm khi diện tích vùng ảnh hưởng đủ rộng.

Phương trình cơ bản của tầng ngậm nước đồng nhất và đẳng hướng trong tọa độ cực là:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-26)$$

Trong đó:

$h$  - Cột nước tại điểm tính toán;

$r$  - Khoảng cách từ giếng bơm đến điểm cần tính toán;

S - Hệ số trữ nước;

T - Hệ số dẫn nước;

t - Thời gian kể từ khi bắt đầu bơm đến thời điểm tính toán.

Theis đã giải phương trình (3-26) dựa trên cơ sở tương tự giữa phương trình dòng chảy ngầm và phương trình truyền nhiệt.

Với điều kiện biên:  $h = h_0$  tại  $t = 0$ ;  $h \rightarrow h_0$  với  $x \rightarrow \infty$ .

Nghiệm của Theis có dạng:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u} du}{u} \quad (3-27)$$

Trong đó:

s - Độ hạ thấp mực nước;

Q - Lưu lượng bơm;

$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$  - Hàm giếng.

Phương trình (3-27) được coi là phương trình dòng không ổn định hoặc phương trình Theis.

Tích phân (3-27) ta có nghiệm gần đúng như sau:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[ -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} \dots \right] \quad (3-28)$$

Phương trình Theis cho phép xác định các hằng số S, T của hệ địa chất bằng cách bơm hút nước thí nghiệm. Phương trình được áp dụng một cách rộng rãi trong thực tế và ưu điểm hơn phương trình ổn định vì:

- Giá trị của S có thể xác định được;
- Chỉ cần một giếng quan trắc;
- Chỉ cần thời gian bơm thí nghiệm ngắn;
- Không cần giả thiết dòng chảy là ổn định.

Tuy nhiên, khi áp dụng cần chú ý đến các giả thiết của Theis như sau:

1. Tầng ngầm nước là đồng nhất, đẳng hướng, độ dày không đổi và mở rộng vô hạn;
2. Trước khi bơm, mực nước áp lực nằm ngang;
3. Lưu lượng bơm thí nghiệm không đổi;
4. Giếng bơm hút thí nghiệm nằm trong toàn bộ tầng ngầm nước và dòng chảy ở mọi nơi là nằm ngang;
5. Đường kính giếng đủ nhỏ để có thể coi lượng trữ nước trong giếng có thể bỏ qua;
6. Sự hạ thấp mực nước trong giếng xảy ra ngay sau khi nước được hút lên từ giếng.

Rất ít khi những giả thiết trên thực sự thoả mãn, nhưng bằng việc công nhận điều kiện đó sẽ giúp có nhận thức về sự gần đúng trong khi sử dụng phương trình không ổn định trong điều kiện thực tế.

Giá trị trung bình  $S$  và  $T$  có thể nhận được bằng cách quan trắc sự thay đổi  $s \sim t$  tại một hoặc nhiều giếng lân cận với điều kiện lưu lượng bơm thí nghiệm không đổi.

Ngoài việc tìm nghiệm từ việc giải trực tiếp phương trình (3-28), một số tác giả đã đề ra các phương pháp đồ giải.

### 3.1. Phương pháp đồ giải Theis

Nội dung phương pháp đồ giải Theis như sau:

Viết lại phương trình (3-28):

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (3-29)$$

Trong đó:  $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$  hay:

$$\frac{r^2}{t} = \frac{4T}{S} u \quad (3-30)$$

Logarit hoá (3-29) ta có  $\lg(s) = \lg\left(\frac{Q}{4\pi T}\right) + \lg W(u)$

$$\lg(s) - \lg W(u) = \lg \frac{Q}{4\pi T} \quad (3-31)$$

Logarit hoá phương trình (3-30) ta có:

$$\lg\left(\frac{r^2}{t}\right) - \lg(u) = \lg\left(\frac{4T}{S}\right) \quad (3-32)$$

Nhận xét: Vế phải của (3-31) và (3-32) là các hằng số.

Giả sử đường quan hệ  $\lg W(u) \sim \lg(u)$  đã cho và theo tài liệu quan trắc ta vẽ đường quan hệ  $\lg(s) \sim \lg \frac{r^2}{t}$  thì hai đường quan hệ này phải tương tự nhau và chúng chỉ khác nhau một hằng số. Như vậy các bước của phương pháp đồ giải Theis như sau:

1. Quan hệ  $\lg W(u) \sim \lg(u)$  đã cho sẵn;
2. Quan hệ  $\lg(s) \sim \lg \frac{r^2}{t}$  được vẽ cùng một tỷ lệ với quan hệ  $\lg W(u) \sim \lg(u)$ ;
3. Dịch chuyển giấy vẽ sao cho hai quan hệ đó trùng nhau (gốc toạ độ sẽ khác nhau);
4. Chọn một điểm thuận lợi để có  $W(u)$  và từ đó tra ra được  $\lg(s)$  và  $\lg \frac{r^2}{t}$  trên đồ thị;

$$5. \text{ Tính: } T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (3-33)$$

$$S = \frac{4Tu}{r^2/t} \quad (3-34)$$

Hoặc sau khi trượt để hai đường trùng nhau thì hiệu số tung độ bằng  $\lg \frac{Q}{4\pi T}$  và hiệu số hoành độ là  $\lg \frac{4T}{S}$ . Từ đây dễ dàng xác định được T và S theo các biểu thức (3-33) và (3-34).

### 3.2. Phương pháp đường quan hệ thời gian và sự hạ thấp cột nước áp lực

$$\lg(s) - \lg W(u) = \lg \frac{Q}{4\pi T} \quad (3-35)$$

$$\lg\left(\frac{r^2}{t}\right) - \lg(u) = \lg\left(\frac{4T}{S}\right) \quad (3-36)$$

Từ phương trình (3-36) có thể viết lại:

$$\lg\left(\frac{1}{t}\right) - \lg(u) = \lg\left(\frac{4T}{Sr^2}\right) \quad (3-37)$$

Hay:

$$\lg(t) - \lg\left(\frac{1}{u}\right) = \lg\left(\frac{Sr^2}{4T}\right) \quad (3-38)$$

Các bước làm tương tự như phương pháp Thies, nhưng khi tính thì:

$$\frac{1}{u} = \frac{Tt}{r^2 S} \quad (3-39)$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (3-40)$$

**Chú ý:** Khoảng cách giữa giếng bơm và giếng quan trắc nên bằng 1-4 lần chiều dày tầng bão hoà và cần kiểm tra lại tốc độ chảy:

$$V = \frac{Q}{2\pi r b}; \quad R_r = \frac{V r d}{\gamma}$$

để kết luận trạng thái chảy có phải chảy tầng không.

### 3.3. Phương pháp Cooper- Jacob

Cooper và Jacob đã thấy rằng với giá trị r nhỏ và t lớn, tức là u nhỏ thì những số hạng sau số hạng thứ hai trong phương trình (3-28) có thể bỏ qua. Khi đó:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0,5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right) \quad (3-41)$$

Viết lại phương trình trên dưới dạng loga thập phân:

$$s = \frac{2,30Q}{4\pi T} \lg \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (3-42)$$

Do vậy, vẽ quan hệ độ hạ thấp mực nước  $s$  với  $\lg t$  ta sẽ nhận được quan hệ tuyến tính tại  $s = 0$ ;  $t = t_0$  ta có:

$$0 = \frac{2,30Q}{4\pi T} \lg \frac{2,25Tt_0}{r^2 S}$$

Tức là: 
$$\frac{2,25Tt_0}{r^2 S} = 1 \rightarrow S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (3-43)$$

Biết giá trị của  $S$  trên đường quan hệ xác định được hệ số góc của nó và sẽ xác định được giá trị của  $T$  theo biểu thức:

$$T = \frac{2,30Q}{4\pi t g \alpha} \quad (3-44)$$

Trong đó :  $t g \alpha$  - Hệ số góc của đường quan hệ

*Chú ý: Phương pháp này có hiệu quả khi  $u < 0,01$ .*

*Ví dụ: Tính toán hệ số dẫn nước (T) và hệ số lượng trữ (S) bằng phương pháp Theis và Cooper - Jacob.*

Một giếng hút nước thí nghiệm từ tầng chứa nước có áp với lưu lượng bơm bằng 2500 m<sup>3</sup>/ngày đêm. Quá trình hạ thấp mực nước tại giếng quan trắc cách giếng hút nước thí nghiệm 60m cho trong bảng dưới đây. Giá trị của hàm  $W(u)$  và  $u$  đã cho sẵn. Hãy xác định hệ số dẫn nước (T) và hệ số lượng trữ (S) theo phương pháp Theis và Cooper - Jacob.

Số liệu thu được tại giếng quan trắc như sau:

$t(\text{phút})$	$s(m)$	$r^2/t$
0,0	0,0	$\infty$
1,0	0,20	3600
1,5	0,27	2400
2,0	0,30	1800
3,0	0,34	1200
4,0	0,37	900
5,0	0,41	720
6,0	0,45	600
8,0	0,48	450
10,0	0,53	360
12,0	0,57	300
14,0	0,63	257

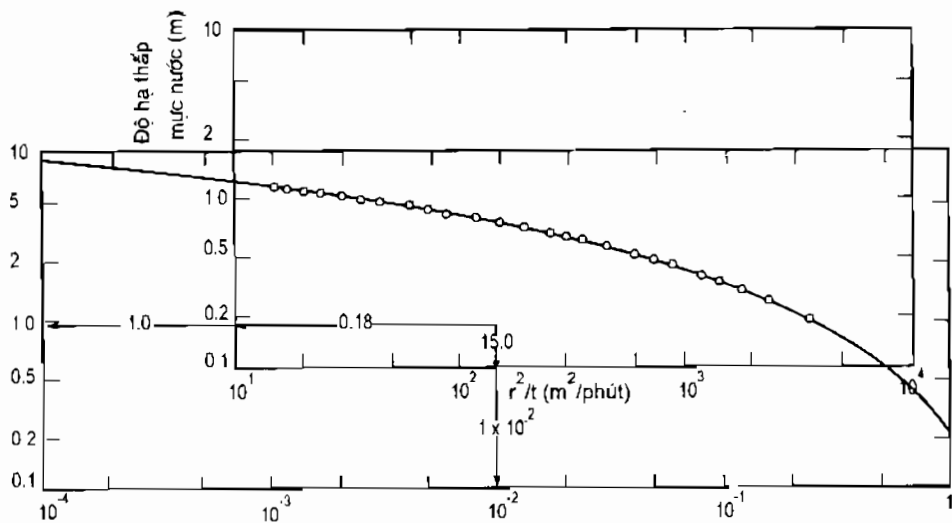
18,0	0,67	200
24,0	0,72	150
30,0	0,76	120
40,0	0,81	90
50,0	0,85	72
60,0	0,90	60
80,0	0,93	45
100,0	0,96	36
120,0	1,00	30
150,0	1,04	24
180,0	1,07	20
210,0	1,10	17
240,0	1,12	15

**Phương pháp Theis:**

Vẽ quan hệ  $s$  và  $r^2/t$  lên giấy logarit hai chiều. Giá trị của  $W(u)$  và  $u$  cũng được vẽ trên tờ giấy logarit hai chiều khác có cùng tỉ lệ với quan hệ  $s$  và  $r^2/t$ . Di chuyển 2 tờ giấy sao cho 2 quan hệ trùng nhau (hình 3-7). Chọn điểm thích hợp ứng với  $W(u) = 1,0$  và  $u = 1 \times 10^{-2}$ ,  $s = 0,18$  m ;  $r^2/t = 150$  m<sup>2</sup>/phút = 216.000m<sup>2</sup>/ngày.

$$\text{Tính các giá trị : } T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) = \frac{2500 \times (1,0)}{4 \times 3,14 \times 0,18} = 1110 \text{ m}^2/\text{ng}$$

$$S = \frac{4Tu}{r^2/t} = \frac{4 \times 1110 \times 10^{-2}}{216} = 0,000206$$



**Hình 3-7:** Phương pháp đồ giải Theis đối với dòng chảy không ổn định

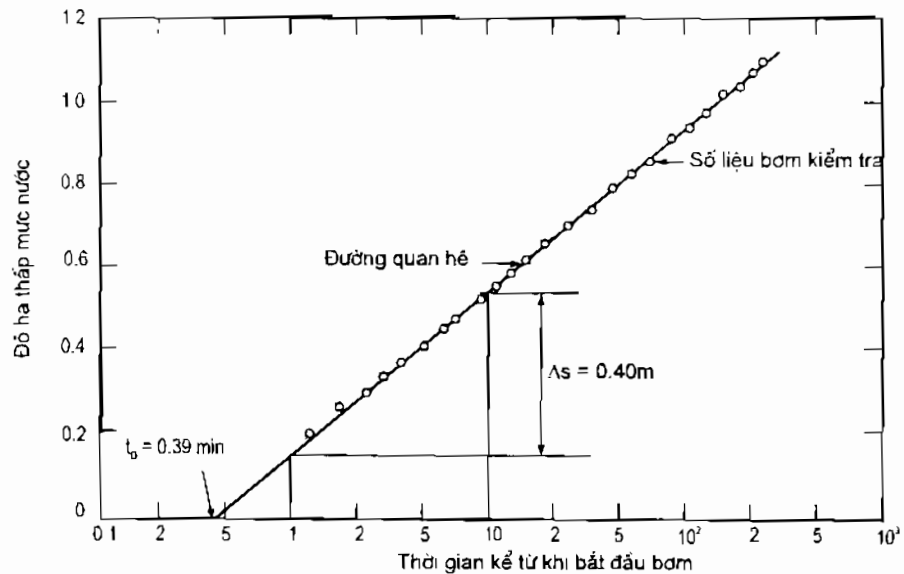
### Phương pháp Cooper - Jacob

Vẽ số liệu thực đo lên giấy logarit 1 chiều (hình 3-8).

Theo đường quan hệ ta có :  $\Delta s = 0,40$  và  $t_0 = 0,39$  phút =  $2,70 \times 10^{-4}$  ngày

Thay vào biểu thức (3-44) ta có :  $T = \frac{2,30 \times 2500}{4 \times 3,14 \times 0,40} = 1145 \text{ m}^2/\text{ng}$

và :  $S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} = \frac{2,25 \times 1145 \times 2,70 \times 10^{-4}}{60^2} = 0,000193$



Hình 3-8: Phương pháp đồ giải Cooper - Jacob đối với dòng không ổn định

### 3.4. Phương pháp quan trắc sự hồi phục nước giếng

Khi dừng bơm, mực nước trong các giếng bơm và giá quan trắc sẽ bắt đầu dâng lên. Hiện tượng đó được coi là sự phục hồi mực nước giếng.

Trong thực tế việc quan trắc, đo đạc mực nước giếng hồi phục rất cần thiết vì qua phân tích số liệu có thể xác định được suất chuyển nước T. Giá trị này có thể dùng để kiểm tra lại kết quả tính T theo phương pháp bơm hút ở trạm. Hơn nữa, lưu lượng Q vào giếng trong quá trình hồi phục mực nước được coi là không đổi và bằng lưu lượng trung bình trong quá trình bơm hút, điều này dễ chấp nhận hơn là bảo đảm lưu lượng bơm hút không đổi.

Nếu nước ở một giếng được bơm lên trong một thời khoảng nào đó và đột nhiên dừng lại thì sự hồi phục mực nước sau đó sẽ được coi như do một lưu lượng bơm bổ sung vào giếng. Ta có thể viết:



$$s' = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) - W(u')] \quad (3-45)$$

Trong đó:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} ; u' = \frac{r^2 S}{4Tt'} \quad (3-46)$$

t - Thời gian bơm;

t' - Thời gian kể từ khi dừng máy bơm.

Trường hợp r nhỏ, t' khá lớn thì:

$$s' = \frac{2,30Q}{4\pi T} \lg \frac{t}{t'} \quad (3-47)$$

Dùng phương pháp đồ giải vẽ quan hệ  $s \sim \frac{t}{t'}$  (giống như phương pháp Jacob) sẽ xác định được giá trị hệ số dẫn nước T.

*Chú ý: Phương pháp này không cho phép xác định giá trị S.*

#### IV. DÒNG CHẢY KHÔNG ỔN ĐỊNH VÀO GIẾNG KHÔNG ÁP

Những lời giải trước đây đối với phương trình không ổn định áp dụng đối với bơm thí nghiệm ở tầng ngậm nước có áp. Lời giải đó cũng có thể áp dụng cho tầng ngậm nước không áp trên cơ sở những giả thiết cơ bản phải được thoả mãn. Nói chung, nếu độ hạ thấp mực nước nhỏ không đáng kể so với độ dày tầng bão hoà, thì sự áp dụng cho tầng không áp là có thể được.

Tuy nhiên, đối với tầng không áp, khi hút nước thí nghiệm, nước chảy ra từ lượng nước trữ trong đất sẽ ngay lập tức kéo theo sự hạ thấp mực nước ngầm. Đó là hiện tượng trễ (delayed yield).

Boulton đã nghiên cứu hàng loạt các thực nghiệm và phân tích quan hệ  $s \sim t$ , ông nhận thấy đường quan hệ  $\lg(s) \sim \lg(t)$  có thể chia làm 3 phần:

Phần thứ nhất: Tài liệu đo đạc trong một vài phút đầu khi nước thoát ra ngay lập tức từ lượng trữ. Phần này hầu như trùng với đường quan hệ của tầng ngậm nước có áp.

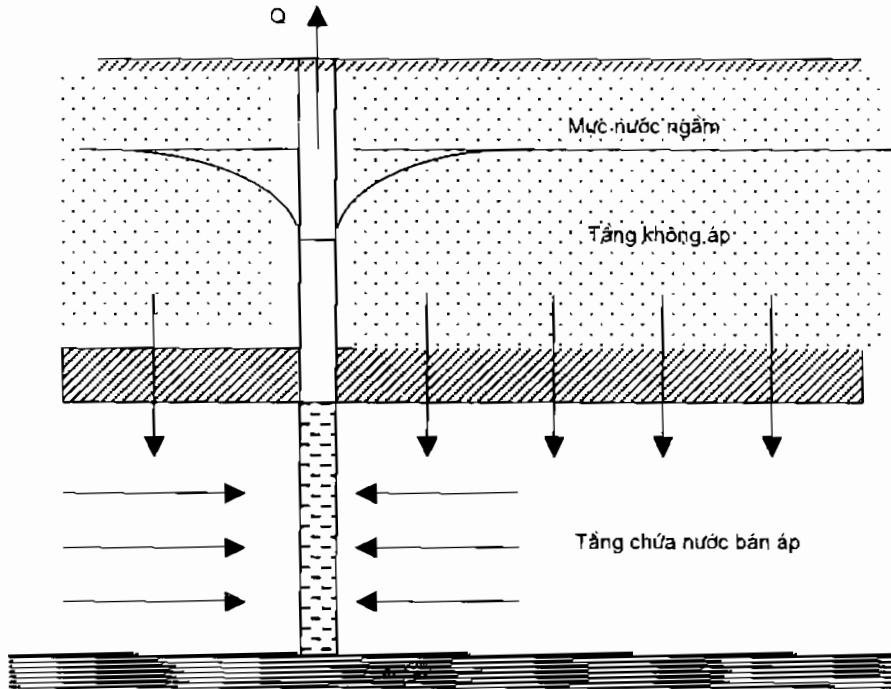
Phần thứ hai: Độ dốc của đường quan hệ này gần như nằm ngang hoặc rất nhỏ do nước trọng lực thay thế dần dần không khí trong các lỗ rỗng của đất.

Phần thứ ba: Sự cân bằng đã đạt được sự thoát nước trọng lực và tốc độ hạ thấp mực nước ngầm. Điều kiện này xuất hiện sau một vài phút đến một vài ngày, tùy thuộc vào hệ địa chất (loại tầng ngậm nước) và có thể dùng đường này để xác định hệ số lượng trữ của tầng ngậm nước không áp.

Thời gian tối thiểu hút nước thí nghiệm để xác định S của tầng ngậm nước không áp như sau:

Loại vật liệu	Thời gian bơm (giờ)
- Đất thịt, đất sét	170
- Cát mịn	30
- Cát thô hoặc cát trung bình	4

## V. DÒNG CHẢY KHÔNG ỔN ĐỊNH VÀO GIẾNG CÓ CUNG CẤP THẨM



Hình 3-9: Giếng hút nước trong tầng có cung cấp thấm

### 5.1. Dòng chảy không ổn định trong tầng có cung cấp thấm không có trữ trong tầng chứa nước yếu - Phương pháp đồ giải Walton

Các thí nghiệm bơm hút có thể được dùng để xác định các thông số thành tạo địa chất của cả tầng chứa nước và tầng chứa nước yếu hoặc ở phía trên hoặc phía dưới. Ta gọi các tầng chứa nước này là các tầng bán áp.

W.C. Walton (1960, 1962) đã đề nghị phương pháp đồ giải dựa trên họ đường cong  $W(u, r/B)$ . Các đường cong này được vẽ trên giấy logarit, trục tung là  $W(u, r/B)$  và trục hoành là  $1/u$  (hình 3-10). Đường cong với giá trị  $r/B = 0$  tương ứng với đường cong dạng Theis.

Các số liệu độ hạ thấp mực nước theo thời gian trong thí nghiệm bơm hút được vẽ trên giấy logarit [cùng một tỷ lệ như quan hệ  $W(u, r/B) \sim (1/u)$ ]. Tương tự như phương pháp đồ giải Theis, dịch chuyển đường quan hệ này để trùng với một trong số các đường quan hệ

$W(u, r/B)$  sao cho các trục tọa độ phải song song với nhau. Chọn một điểm thích hợp trên đường quan hệ trùng nhau sẽ xác định được các giá trị  $W(u, r/B)$ ,  $1/u$ ,  $t$  và  $s$  (độ hạ thấp mực nước  $(h_0-h)$ ). Biết giá trị của  $r/B$  sẽ xác định được  $T$  theo công thức:

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u, r/B) \quad (3-48)$$

Trong đó:

$Q$  - Lưu lượng bơm ( $m^3/ngày$ );

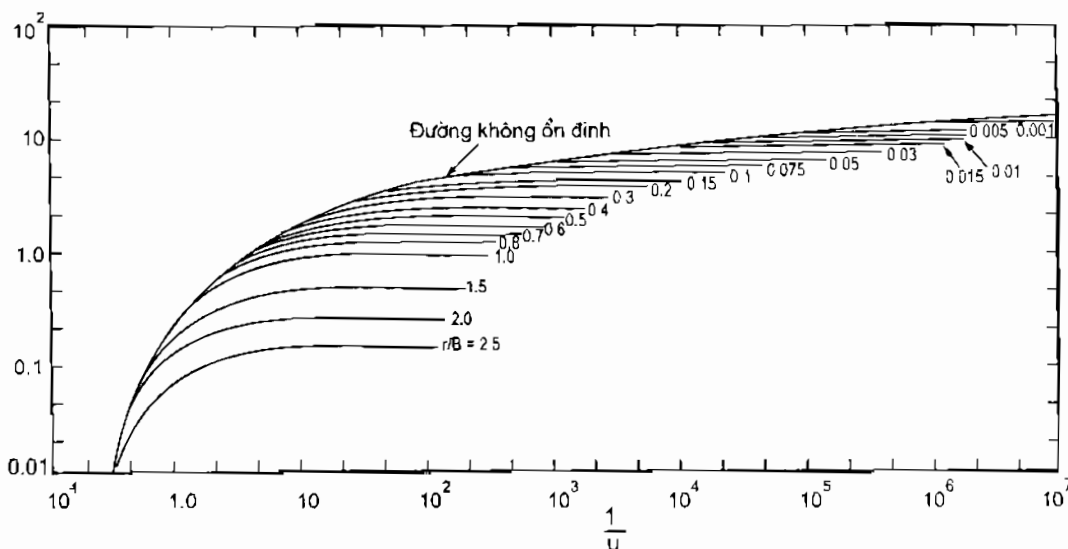
$T$  - Hệ số dẫn nước của tầng chứa nước có áp ( $m^2/ngày$ );

$t$  - Thời gian (ngày);

$r$  - Khoảng cách kể từ giếng hút nước đến giếng quan trắc (m);

Gọi  $K'$  là độ dẫn thủy lực theo phương thẳng đứng của tầng chứa nước yếu (m/s):

$$K' = \frac{Tb'(r/B)^2}{r^2}$$



Hình 3-10: Họ đường cong chuẩn Walton xác định các thông số tầng chứa nước yếu

## 5.2. Dòng chảy không ổn định trong tầng bán áp không có trữ trong tầng chứa nước yếu - Phương pháp điểm uốn của Hantush

M.S. Hantush (1956) đã xây dựng một phương pháp không cần phải dùng tới họ các đường chuẩn như các phương pháp khác. Trên giấy logarit một chiều, vẽ quan hệ độ hạ thấp mực nước giếng với thời gian. Trên đồ thị này ta thấy có một điểm uốn. Phương pháp Hantush sẽ dựa trên cơ sở phát hiện điểm uốn này. Các bước tiến hành như sau:

1. Vẽ quan hệ độ hạ thấp mực nước theo thời gian kể từ khi bắt đầu bơm trên giấy logarit một chiều (độ hạ thấp mực nước được lấy theo trục tọa độ thường, còn thời gian lấy theo trục logarit).

2. Độ hạ thấp mực nước tại điểm uốn  $(h_0-h)_i$  được xác định bằng một nửa độ hạ thấp mực nước lớn nhất.

3. Theo đồ thị, xác định thời gian  $t_i$ , tương ứng với  $(h_0-h)_i$ . Cũng theo đồ thị xác định được độ dốc  $(m_i)$  của đường quan hệ tại điểm uốn. Nói chung, độ dốc này bằng độ dốc của phần quan hệ đường thẳng  $(h_0-h)$  với  $t$ . Độ dốc này được tính bằng độ hạ thấp mực nước trong một khoảng chu trình logarit.

Tại điểm uốn ta có các quan hệ sau:

$$u_i = \frac{r^2 S}{4t_i T} = \frac{r}{2B} \quad (3-49)$$

$$m_i = \left( \frac{2,3Q}{4\pi T} \right) \exp\left( \frac{-r}{B} \right) \quad (3-50)$$

$$(h_0 - h)_i = 0,5(h_0 - h)_{\max} = \frac{Q}{4\pi T} K_0 \left( \frac{r}{B} \right) \quad (3-51)$$

$$B = \left( \frac{T}{K'/b'} \right)^{1/2} \quad (3-52)$$

$$f\left( \frac{r}{B} \right) = \frac{2,3(h_0 - h)_i}{m_i} = \exp\left( \frac{r}{B} \right) K_0 \left( \frac{r}{B} \right) \quad (3-53)$$

Trong đó giá trị  $K_0(x)$  và hàm  $\exp(x)[K_0(r/B)]$  đã cho trong phụ lục cuối chương.

Từ độ hạ thấp mực nước và độ dốc tại điểm uốn, giá trị của  $f(r/B)$  có thể được xác định:

$$f(r/B) = 2,3 (h_0 - h)_i / m_i.$$

Biết giá trị  $f(r/B)$ , theo bảng tra phụ lục 3-2 sẽ xác định được giá trị của  $r/B$ , do  $f(x) = \exp(x) K_0(x)$ . Biết giá trị của  $r$ , tìm được  $B$ .

Hệ số dẫn nước  $T$  khi đó sẽ được xác định theo công thức:

$$T = \frac{QK_0(r/B)}{2\pi(h_0 - h)_{\max}} \quad (3-54)$$

Giá trị  $S$  được tính theo công thức:

$$S = \frac{4t_i T}{2rB} \quad (3-55)$$

Hệ số thấm của tầng bán áp có thể được xác định nếu biết độ dày  $(b')$  của nó:

$$K' = \frac{Tb'}{B^2} \quad (3-56)$$

### 5.3. Lời giải đối với trường hợp không có thoát nước từ tầng chứa nước bán áp

Lời giải đầu tiên đối với bài toán này được M.S. Hantush (1956) đưa ra. Trong trường hợp này Hantush đã giả thiết rằng tất cả nước chảy vào giếng bơm đều từ trữ đàn hồi trong tầng có áp hay chuyển nước qua tầng chứa nước yếu. Nước không chảy ra từ tầng ngậm nước yếu bên trên. Để giải phương trình dòng chảy vào giếng bán áp (3-7), ngoài những giả thiết cơ bản trong mục 3-1, Hantush đã đưa thêm các giả thiết sau:

1. Bên trên tầng chứa nước là tầng chứa nước yếu;
2. Tầng chứa nước yếu nằm bên dưới tầng chứa nước không áp;
3. Mực nước ngầm trong tầng không áp ban đầu là nằm ngang;
4. Mực nước ngầm không sụt giảm trong khi bơm nước từ tầng bán áp;
5. Dòng chảy ngầm trong tầng chứa nước yếu theo phương thẳng đứng;
6. Tầng chứa nước có thể nén được và nước được thoát ngay khi đầu nước hạ thấp;
7. Tầng chứa nước yếu không chịu nén, để đảm bảo không có nước từ lượng trữ trong tầng chứa nước yếu khi bơm nước từ tầng bán áp.

Giả thiết thứ tư rất khó thực hiện được, trừ khi liên tục có lượng bổ cập vào tầng không áp. Tuy nhiên, có thể chấp nhận giả thiết này với điều kiện:

$$t < \frac{S'(b')^2}{10bK'} \quad (3-57)$$

Hoặc theo Neuman và Witherspoon (1969):

$$b''K'' > 100bK \quad (3-58)$$

Trong đó:

- t - Thời gian kể từ khi bắt đầu bơm;
- S' - Hệ số trữ nước của tầng chứa nước yếu;
- b' - Bề dày của tầng chứa nước yếu;
- b - Bề dày của tầng chứa nước bán áp;
- b'' - Bề dày tầng bão hoà trong tầng chứa nước không áp;
- K' - Hệ số thấm thẳng đứng của tầng chứa nước yếu;
- K'' - Hệ số thấm của tầng chứa nước không áp;
- K - Hệ số thấm của tầng chứa nước bán áp.

Giả thiết 7, nước không thoát từ tầng chứa nước yếu sẽ chấp nhận được, nếu thoả mãn điều kiện:

Theo Hantush:  $t > 0,036 b'S'/K'$ .

Hoặc theo Neuman và Witherspoon (1969):  $r < 0,04 b [KS_1/K'S_1']^{1/2}$ .

Trong đó:  $S_1$  là hệ số nhả nước của tầng chứa nước bán áp;

$S_1'$  là hệ số nhả nước của tầng chứa nước yếu;

#### 5.4. Lời giải đối với trường hợp có thoát nước từ trữ đàn hồi trong tầng chứa nước yếu

Việc kiểm tra điều kiện  $t > 0,036 b'S/K'$  cho rằng sự đóng góp từ trữ đàn hồi trong tầng chứa nước yếu tỉ lệ với bề dày của tầng, hệ số trữ nước và tỉ lệ nghịch với hệ số thấm của tầng chứa. Trường hợp điều kiện trên không thỏa mãn, phải sử dụng lời giải đối với tầng chứa nước có cung cấp thấm và có đóng góp nước từ trữ đàn hồi trong tầng chứa nước yếu ((Hantush 1960; Neuman và Witherspoon, 1969).

Lời giải dựa trên các giả thiết trình bày trong các phần I và 5.3 ngoại trừ giả thiết lượng nước từ tầng chứa nước yếu có thể bỏ qua.

Trường hợp này có 2 lời giải. Trong giai đoạn hút nước ban đầu, khi các điều kiện sau được thỏa mãn thì nước sẽ thoát ra từ trữ đàn hồi trong tầng bán áp và tầng chứa nước yếu:

$$t > \frac{b'S'}{10K'} \quad (3-59)$$

- Lời giải của phương trình (3-5) sẽ là:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} H(u, \beta) \quad (3-60)$$

Trong đó  $H(u, \beta)$  là hàm được cho sẵn dưới dạng bảng trong phần phụ lục

$$\beta = \frac{r}{4B} (S'/S)^{1/2} \quad (3-61)$$

$$B = (Tb'/K')^{1/2} \quad (3-62)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (3-63)$$

Lưu lượng nước chảy ra từ phần trữ đàn hồi trong tầng bán áp bằng:

$$q_x = Q \exp(vt) \operatorname{erfc}(\sqrt{vt}) \quad (3-64)$$

Trong đó: 
$$v = \frac{K'}{b'} \cdot \frac{S'}{S^2} \quad (3-65)$$

Với thời gian bơm đủ dài, tầng chứa nước sẽ đạt tới trạng thái ổn định và tất cả nước sẽ thoát ra từ tầng chứa nước không áp. Thời gian cần để đạt tới trạng thái ổn định là:

$$t > \frac{8[S + (S'/3) + S']}{[(K'/b'T) + (K''/b''T)]^{1/2}} \quad (3-66)$$

- Nếu giá trị  $r_w/B < 0,01$  thì lời giải là:

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B) \quad (3-67)$$

Lời giải này giống như lời giải đối với trạng thái ổn định trong trường hợp không có nước từ trữ đàn hồi trong tầng chứa nước yếu do tất cả nước từ tầng chứa nước không áp bên trên.

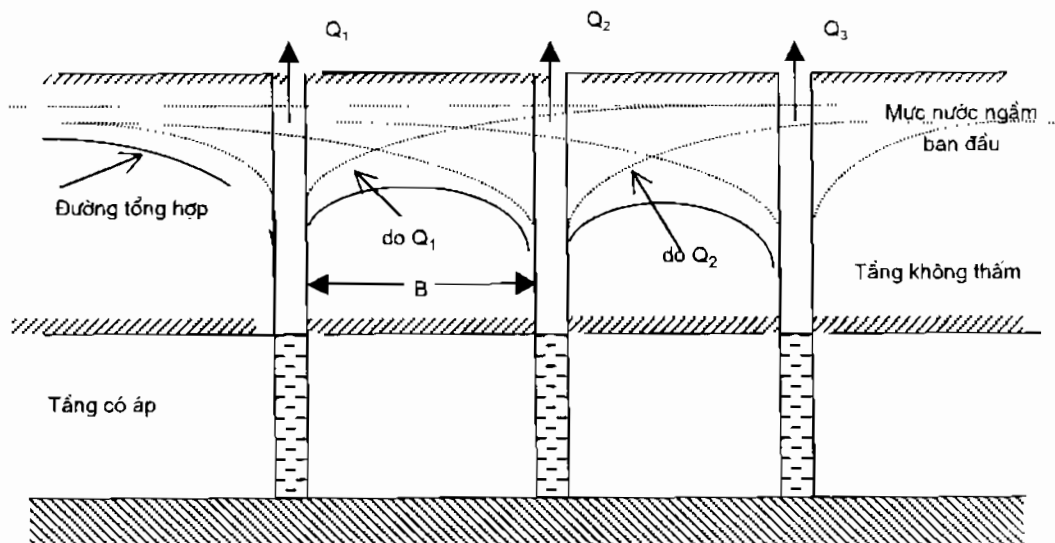
## VI. HỆ THỐNG GIẾNG

### 6.1. Hệ thống giếng hoàn chỉnh

Khi các phễu hạ thấp của hai giếng bơm gần nhau trùng vào nhau, giếng này sẽ được coi là gây ảnh hưởng làm tăng độ hạ thấp mực nước ngầm đến giếng kia. Đối với một nhóm các giếng bơm hình thành nên một bãi giếng (bãi giếng), độ hạ thấp mực nước ngầm có thể được xác định tại bất kỳ một điểm nào nếu như biết lưu lượng bơm của các giếng. Dựa trên nguyên lý chồng tung độ, độ hạ thấp mực nước ngầm ở bất kỳ điểm nào trong khu vực ảnh hưởng do việc bơm của một số giếng gây ra sẽ bằng tổng của các mức hạ thấp mực nước ngầm do từng giếng gây ra:

$$s_T = s_a + s_b + s_c + \dots + s_n \quad (3-68)$$

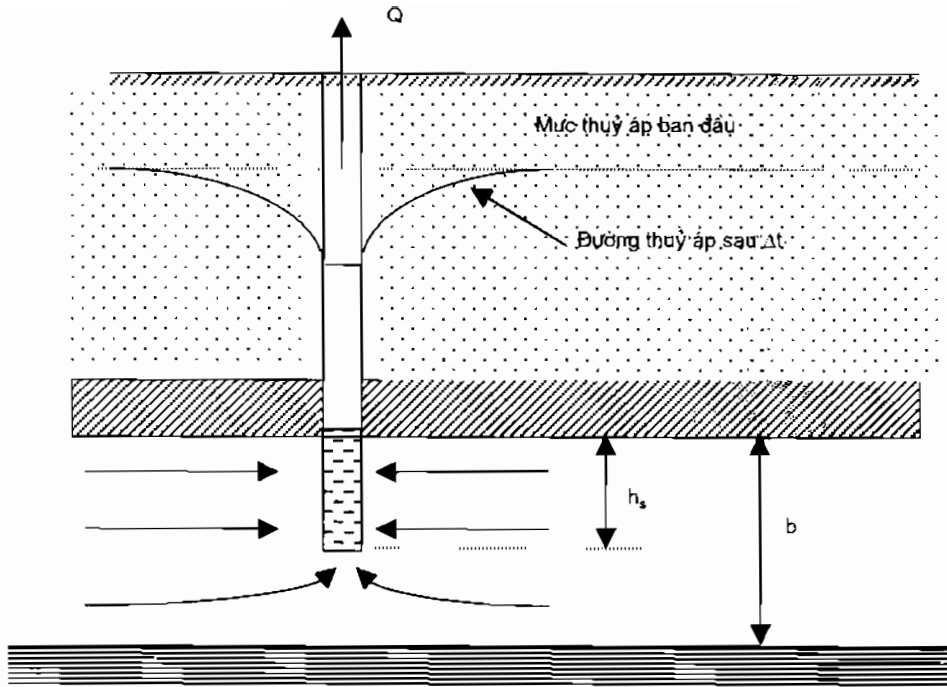
Trong đó:  $s_T$  là độ hạ thấp mực nước ngầm tổng ở tại điểm đã biết và  $s_a, s_b, s_c, \dots, s_n$  là độ hạ thấp mực nước ngầm tại điểm đó do các giếng hút nước a, b, c ... n gây ra. Có thể nhận thấy rằng số lượng giếng và đặc trưng hình học của bãi giếng là rất quan trọng khi xác định độ hạ thấp mực nước ngầm do bơm. Có thể dựa trên phương trình dòng ổn định hay không ổn định để xác định độ hạ thấp mực nước ngầm trong một bãi giếng. Nói chung, các giếng trong một bãi giếng được thiết kế cho cấp nước cần được bố trí khoảng cách giữa các giếng càng xa càng tốt để giảm thiểu mức độ ảnh hưởng giữa chúng.



Hình 3-11: Đường hạ thấp mực nước do hệ thống giếng tạo ra

### 6.2. Hệ thống giếng không hoàn chỉnh

Giếng khoan có đáy nằm cao hơn đỉnh trên tầng không thấm dưới được gọi là giếng khoan không hoàn chỉnh (hình 3-12). Dòng chảy vào các giếng này khác với dòng chảy hướng dòng nằm ngang vào trục giếng như các giếng hoàn chỉnh.



**Hình 3-12: Đường hạ thấp mực nước giếng hút nước không hoàn chỉnh**

Chiều dài trung bình của một đường dòng vào giếng không hoàn chỉnh lớn hơn chiều dài trung bình đường dòng vào giếng hoàn chỉnh, do vậy cần phải tính đến sức cản lớn hơn đối với dòng chảy. Trong thực tế, đối với một giếng chưa hoàn thiện và một giếng hoàn thiện trong cùng một tầng chứa nước, nếu  $Q_p = Q$  thì  $s_p > s$ , nếu  $s_p = s$  thì  $Q_p < Q$ , trong đó  $Q$  là lưu lượng bơm của giếng,  $s$  là độ hạ thấp mực nước trong giếng, còn chỉ số  $p$  để chỉ giếng không hoàn chỉnh. Ảnh hưởng của việc khoan không hoàn chỉnh có thể được bỏ qua đối với dòng chảy và độ hạ thấp mực nước ở ngoài bán kính  $0,5 + 2,0$  lần độ dày tầng bão hoà  $b$  (tùy thuộc vào mức độ khoan).

Độ hạ thấp mực nước  $s_p$  tại giếng không hoàn chỉnh trong tầng chứa nước có áp có thể biểu thị trong hình 3-12:

$$s_p = s + \Delta s \quad (3-69)$$

Trong đó  $\Delta s$  là độ hạ thấp phụ thêm do ảnh hưởng của việc khoan không hoàn chỉnh. Trong trường hợp dòng chảy ổn định có thể tính  $\Delta s$  theo công thức:

$$\Delta s = \frac{Q_p}{2\pi T} \frac{1-p}{p} \ln \frac{(1-p)h_s}{r_w} \quad (3-70)$$

Trong đó:  $T$  - Hệ số dẫn nước;  $p$  - Hệ số khoan ( $p = h_s/b$ );  $h_s$  - Độ dài giếng cắm vào tầng chứa nước có bề dày  $b$ ;  $r_w$  - Bán kính giếng. Phương trình (3-70) được áp dụng khi  $p > 0,20$ .

Trong trường hợp ống lọc của giếng được đặt giữa tầng chứa nước thì giá trị của  $\Delta s$  được xác định theo công thức:



$$\Delta s = \frac{Q_p}{2\pi T} \frac{1-p}{p} \ln \frac{(1-p)h_s}{2r_w} \quad (3-71)$$

Phương trình (3-70) có thể được biến đổi đối với tầng chứa nước không áp:

$$2h_w \Delta s = \frac{Q_p}{\pi K} \frac{1-p}{p} \ln \frac{(1-p)h_s}{2r_w} \quad (3-72)$$

Như vậy: 
$$s_p^2 = s^2 + 2h_w \Delta s \quad (3-73)$$

## VII. DÒNG CHẢY VÀO GIẾNG GẦN CÁC BIÊN ĐẶC BIỆT

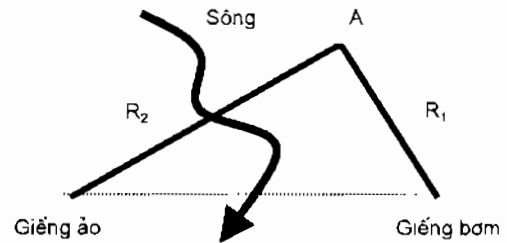
Ở những nơi giếng bơm lên gần các biên ngậm nước giả thiết tầng ngậm nước kéo dài vô hạn là không đảm bảo. Phân tích tình huống này dựa trên nguyên lý chồng tung độ (Superposition), sự hạ thấp của hai hay nhiều giếng sẽ là tổng của sự hạ thấp của từng giếng riêng biệt.

Bằng cách đưa ra những giếng ảo, một tầng ngậm nước hữu hạn có thể chuyển đổi sang tầng ngậm nước vô hạn do đó lời giải của các phương pháp trước đây có thể được áp dụng.

### 7.1. Giếng ở gần dòng chảy mặt

Giả sử có một giếng bơm ở gần một sông. Lưu lượng bơm là  $Q$ . Để thay thế biên là một con sông kề gần giếng bơm ta tưởng tượng có một giếng bơm khác với lưu lượng  $(-Q)$  đối xứng qua sông.

Như vậy, tại vị trí giữa hai giếng, không có sự hạ thấp mực nước. Sự hạ thấp mực nước tại một điểm A nào đó được tính theo công thức:

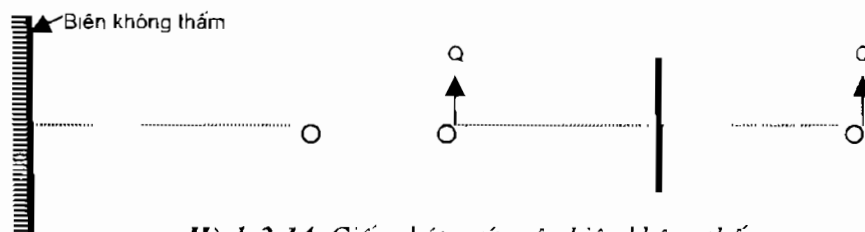


Hình 3-13: Giếng hút nước gần biên sông

$$s_A = \frac{Q}{4\pi T} W(u_1) - \frac{Q}{4\pi T} W(u_2) \quad (3-74)$$

Trong đó: 
$$u_1 = \frac{R_1^2 S}{4Tt}; \quad u_2 = \frac{R_2^2 S}{4Tt} \quad (3-75)$$

### 7.2. Giếng bơm ở gần biên không thấm



Hình 3-14: Giếng hút nước gần biên không thấm

Có thể thấy tại biên không thấm nước:  $\frac{\partial h}{\partial r} = 0$ .

Để đảm bảo điều kiện này, giếng ảo cũng sẽ bơm với lưu lượng bằng lưu lượng giếng hút. Một cách tổng quát, số lượng giếng ảo được tính bằng công thức sau:

$$n = (360^\circ/\theta) - 1 \quad (3-76)$$

Trong đó: n - Số lượng giếng ảo;  $\theta$  - Góc hợp bởi các biên đặc biệt.



Hình 3-15: Góc  $\theta$  hợp bởi các đường biên

## VIII. TỔN THẤT CỘT NƯỚC TRONG GIẾNG

Ta đã biết khi bơm nước từ một giếng, sự hạ thấp mực nước trong giếng không chỉ do lưu lượng bơm lên mà còn tổn thất do dòng chảy qua thành giếng và qua đầu vòi bơm hút. Vì tổn thất của giếng liên quan đến dòng chảy rối nên nó có thể coi là tỷ lệ với lưu lượng  $Q$  có số mũ  $n$  ( $n > 1$ ) (Jacob đề nghị  $n = 2$ . Nhưng theo Rosabaugh, thì  $n$  biến dạng xung quanh 2). Giá trị  $n$  thay đổi với các giếng khác nhau. Cần phải có sự điều tra bên ngoài và bên trong giếng. Có thể coi là tổn thất cột nước trong giếng là tổng của tổn thất cột nước do hệ đất đá gây ra và do giếng gây ra.

Có thể viết: 
$$s_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_w} + CQ^n \quad (3-77)$$

Trong đó:  $C$  là hằng số phụ thuộc vào bán kính giếng, điều kiện thi công và các điều kiện khác.

Trong trường hợp tổng quát, tổn thất cột nước trong giếng có thể viết:

$$s_w = BQ + CQ^n \quad (3-78)$$

Để xác định  $B$  và  $C$  có thể dùng phương pháp thử sai hoặc dò tìm tối ưu hoặc phương pháp đồ giải.

Theo phương pháp đồ giải ta có thể viết:

$$\frac{s_w}{Q} = B + CQ^{n-1} \quad (3-79)$$

(thông thường  $1 < n < 2$ ;  $0,5C < B < 1,5C$ )

Lấy logarit hai vế ta có:

$$\lg \left( \frac{s_w}{Q} - B \right) = \lg C + (n - 1) \lg Q$$

Giả thiết giá trị nào đó của B. Nếu giả thiết đúng thì quan hệ  $\lg \left( \frac{s_w}{Q} - B \right) \sim \lg Q$  là đường thẳng và hệ số góc của đường quan hệ đó là giá trị  $(n - 1)$ . Với giá trị  $Q = 0$  ta có thể xác định được giá trị C.

#### Quan hệ giữa hệ số tổn thất giếng C và điều kiện của giếng

Điều kiện giếng	Hệ số tổn thất C (phút/m <sup>2</sup> )
Giếng được thiết kế và xây dựng hoàn hảo	< 0,5
Hư hỏng nhẹ và ít bị bịt kín thành giếng	0,5 ÷ 1,0
Hư hỏng nặng và bị bịt kín nhiều thành giếng	0,5 ÷ 1,0
Hư hỏng nặng, khó sửa chữa lại như ban đầu	> 4,0

**Phụ lục III-1: Giá trị của hàm số  $W(u)$  tương ứng với giá trị  $u$**

$u$	$W(u)$	$u$	$W(u)$	$u$	$W(u)$	$u$	$W(u)$
$1.10^{-10}$	22,45	$1.10^{-8}$	15,90	$4.10^{-5}$	9,55	$1.10^{-2}$	4,04
2.	21,76	8.	15,76	5.	9,33	2.	3,35
3.	21,35	9.	15,65	6.	9,14	3.	2,96
4.	21,06	$1.10^{-7}$	15,54	7.	8,99	4.	2,68
5.	20,84	2.	14,85	8.	8,86	5.	2,47
6.	20,66	3.	14,44	9.	8,74	6.	2,30
7.	20,50	4.	14,15	$1.10^{-4}$	8,63	7.	2,15
8.	20,37	5.	13,93	2.	7,94	8.	2,03
9.	20,25	6.	13,75	3.	7,53	9.	1,92
$1.10^{-9}$	20,15	7.	13,60	4.	7,25	$1.10^{-1}$	1,823
2.	19,45	8.	13,46	5.	7,02	2.	1,223
3.	19,05	9.	13,34	6.	6,84	3.	0,906
4.	18,76	$1.10^{-6}$	13,24	7.	6,69	4.	0,702
5.	18,54	2.	12,55	8.	6,55	5.	0,560
6.	18,35	3.	12,14	9.	6,44	6.	0,454
7.	18,20	4.	11,85	$1.10^{-3}$	6,33	7.	0,374
8.	18,07	5.	11,63	2.	5,64	8.	0,311
9.	17,95	6.	11,45	3.	5,23	9.	0,260
$1.10^{-8}$	17,84	7.	11,29	4.	4,95	$1.10^0$	0,219
2.	17,15	8.	11,16	5.	4,73	2.	0,049
3.	16,74	9.	11,04	6.	4,54	3.	0,013
4.	16,46	$1.10^{-6}$	10,94	7.	4,39	4.	0,004
5.	16,23	2.	10,24	8.	4,26	5.	0,001
6.	16,05	3.	9,84	9.	4,14		

**Phụ lục III-2: Giá trị hàm số  $K_0(x)$  và  $\exp(x) K_0(x)$**

$x$	$K_0(x)$	$\exp(x) K_0(x)$	$x$	$K_0(x)$	$\exp(x) K_0(x)$
0,001	7,02	7,03	0,25	1,54	1,98
0,005	5,41	5,44	0,30	1,37	1,85
0,01	4,72	4,77	0,35	1,23	1,75
0,015	4,32	3,38	0,4	1,11	1,66
0,02	4,03	4,11	0,45	1,01	1,59
0,025	3,81	3,91	0,50	0,92	1,52
0,03	3,62	3,73	0,55	0,85	1,47
0,035	3,47	3,59	0,60	0,78	1,42
0,04	3,34	3,47	0,65	1,72	1,3

**Phụ lục III-2: (tiếp theo)**

x	$K_0(x)$	$\exp(x) K_0(x)$	x	$K_0(x)$	$\exp(x) K_0(x)$
0,045	3,22	3,37	0,70	0,66	1,33
0,05	3,11	3,27	0,75	0,61	1,29
0,055	3,02	3,19	0,80	0,57	1,26
0,06	2,93	3,11	0,85	0,52	1,23
0,065	2,85	3,05	0,90	0,49	1,20
0,07	2,78	2,98	0,95	0,45	1,17
0,075	2,71	2,92	1,0	0,42	1,14
0,08	2,65	2,87	1,5	0,21	0,96
0,085	2,59	2,82	2,0	0,11	0,84
0,09	2,53	2,77	2,5	0,062	0,760
0,095	2,48	2,72	3,0	0,035	0,698
0,1	2,43	2,68	3,5	0,020	0,649
0,15	2,03	2,36	4,0	0,011	0,609
0,2	1,75	2,14	4,5	0,006	0,576
			5,0	0,004	0,548

**Phụ lục III-3: Quan hệ r/B và  $K_0(r/B)$  do Hantush xây dựng (1956)**

N	$r/B = N \times 10^{-3}$	$N \times 10^{-2}$	$N \times 10^{-1}$	N
1,0	7,0237	4,7212	2,4271	0,4210
1,5	6,6182	4,3159	2,0300	0,2138
2,0	6,3305	4,0285	1,7527	0,1139
2,5	6,1074	3,8056	1,5415	0,0623
3,0	5,9251	3,6235	1,3725	0,0347
3,5	5,7709	3,4697	1,2327	0,0196
4,0	5,6374	3,3365	1,1145	0,0112
4,5	5,5196	3,2192	1,0129	0,0064
5,0	5,4143	3,1142	0,9244	0,0037
5,5	5,3190	3,0195	0,8466	
6,0	5,2320	2,9329	0,7775	0,0012
6,5	5,1520	2,8534	0,7159	
7,0	5,0779	2,7798	0,6605	0,004
7,5	5,0089	2,7114	0,6106	
8,0	4,9443	2,6475	0,5653	
8,5	4,8837	2,5875	0,5242	
9,0	4,8266	2,5310	0,4857	
9,5	4,7725	2,4776	0,4524	

### BÀI TẬP CHƯƠNG III

1. Một giếng hút nước nằm trong tầng chứa nước có áp có hệ số thấm  $K = 14,9$  m/s và  $S = 0,0051$ . Độ dày của tầng chứa nước  $b = 20,1$ m. Lưu lượng bơm  $Q = 2725$  m<sup>3</sup>/ngày. Tính độ hạ thấp mực nước tại khoảng cách 7m kể từ giếng sau 1 ngày hút nước?

Lời giải:

$$T = Kb = 14,9 \text{ m/ng} \times 20,1 \text{ m} = 299 \text{ m}^2/\text{ng}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} = \frac{7^2 \times 0,0051}{4 \times 299 \times 1} = 0,00021$$

Tra bảng quan hệ  $W(u)$  và  $u$ , tương ứng với  $u = 2 \times 10^{-4}$ , ta có  $W(u) = 7,94$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) = \frac{2725 \times 7,94}{4 \times 3,14 \times 299} = 5,7\text{m}$$

2. Một tầng chứa nước có áp nằm trên tầng không thấm và ở dưới tầng chứa nước yếu với các dữ kiện sau đây:

Tầng có áp:  $b = 5,2$ m;  $K = 0,73$  m/ngày;  $S = 0,0035$ ;  $T = 3,8$ m<sup>2</sup>/ng

Tầng chứa nước yếu:  $b' = 1,1$  m;  $K' = 5,5 \times 10^{-5}$  m/ngày;  $S' = 0,00061$

Tầng không áp:  $b'' = 25$  m;  $K'' = 35$ m/ngày

Tính độ hạ thấp mực nước tại giếng quan trắc cách giếng hút nước khoảng cách  $r$ , biết rằng bán kính giếng hút  $r_w = 0,15$ m.

Lời giải:

\* Trước hết kiểm tra giả thiết đối với tầng chứa nước yếu và tầng chứa nước có áp với việc bỏ qua sự trữ nước trong tầng chứa nước yếu:

Sử dụng điều kiện:  $b''K'' > 100 bK$ . Ta có:

$$25 \times 35 = 875 \text{ m}^2/\text{ng} > 100 \times 5,2 \times 0,73 = 380 \text{ m}^2/\text{ng}$$

Như vậy giả thiết đúng.

\* Kiểm tra sự đóng góp từ việc trữ nước của tầng chứa nước yếu theo điều kiện:

$$t > 0,036 b'S'/K'$$

với:  $t = 1$  ngày

$$\text{thì: } \frac{0,036 \times 1,1 \times 0,00061}{5,5 \times 10^{-5}} = 0,44$$

Như vậy điều kiện  $t > 0,036 b'S'/K'$  là đảm bảo.

\* Kiểm tra bán kính giếng đủ nhỏ để bỏ qua lượng trữ trong giếng:

$$\text{Điều kiện kiểm tra: } t > \frac{30r_w^2 S}{T} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{10r_w}{b} \right)^2 \right]$$

$$\frac{(30 \times 0,15^2 \times 0,0035)}{3,8} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{10 \times 0,15}{5,2} \right)^2 \right] = 5,7 \times 10^{-4} \text{ (ngày)}$$

Theo đầu bài  $t = 1$  ngày nên điều kiện trên thoả mãn.

và theo điều kiện:  $r_w / (Tb'/K')^{1/2} < 0,1$

$$\frac{0,15}{\left[ 3,8 \times 1,1 / (5,5 \times 10^{-5}) \right]^{1/2}} = 5,4 \times 10^{-4} < 0,1 \text{ thoả mãn điều kiện trên.}$$

Để tìm  $W(u, r/B)$ , trước hết chúng ta phải tìm  $u$  và  $r/B$  tương ứng với các giá trị  $r$  khác nhau. Kết quả tính toán cho ở bảng dưới đây:

$r$ . (m)	$u = r^2 S / 4Tt$	$r/B = r / (Tb'/K')^{1/2}$	$W(u, r/B)$	$s = h_0 - h$
1,5	$5,17 \times 10^{-4}$	$5,45 \times 10^{-3}$	7,0000	4,1000
5,5	$6,96 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-2}$	4,4000	2,6000
10,0	$2,30 \times 10^{-2}$	$3,64 \times 10^{-2}$	3,2000	1,9000
25,0	$1,44 \times 10^{-1}$	$9,09 \times 10^{-2}$	1,5000	0,8900
75,0	1,29	$2,73 \times 10^{-1}$	0,1700	0,1000
150,0	5,18	$5,45 \times 10^{-1}$	0,0017	0,0001

**3. Một tầng chứa nước có áp nằm dưới tầng chứa nước yếu và tầng chứa nước không áp. Đặc trưng của các tầng chứa nước như sau:**

- Tầng có áp :  $b = 4,3\text{m}$ ;  $K = 1,1\text{m/ngày}$ ;  $S = 0,00053$ ;  $T = 4,7\text{m}^2/\text{ngày}$
- Tầng chứa nước yếu :  $b' = 7,2\text{m}$ ;  $K' = 5,5 \times 10^{-6} \text{ m/ngày}$ ;  $S' = 0,00012$
- Tầng chứa nước yếu :  $b'' = 17,0\text{m}$ ;  $K'' = 87,0\text{m/ngày}$ ;  $S'' = 0,055$

Nếu lưu lượng bơm bằng  $15 \text{ m}^3/\text{ngày}$  trong suốt  $1,76$  ngày thì độ hạ thấp mực nước ở khoảng cách  $22 \text{ m}$  kể từ giếng bơm hút là bao nhiêu?

*Lời giải:*

- Kiểm tra lại giả thiết cột nước tầng không áp có thể coi là hằng số có thoả mãn không?  
 Sử dụng điều kiện:  $b''K'' > 100bK$

$$b''K'' = 17 \times 87 = 1479; 100bK = 100 \times 4,3 \times 1,1 = 473 \text{ vậy } b''K'' > 100bK.$$

- Kiểm tra sự đóng góp từ việc trữ nước đàn hồi trong tầng chứa nước yếu:

Nếu điều kiện  $t > 0,036b'S'/K'$  thoả mãn thì có thể bỏ qua lượng trữ đàn hồi trong tầng chứa nước yếu.

Theo đầu bài:  $t = 1,76$  ngày

$$0,036b'S'/K' = 0,036 \times 7,2 \times 0,00012 / (5,5 \times 10^{-6}) = 5,66 \text{ ngày}$$

Như vậy  $t < 0,036b'S'/K'$  tức là điều kiện trên không thoả mãn. Ta phải xét tới ảnh hưởng của trữ nước đàn hồi trong tầng chứa nước yếu.

- Kiểm tra xem có thể sử dụng phương trình dòng ổn định của tầng chứa nước có áp với lượng trữ nước đàn hồi trong tầng chứa nước yếu được không?

Sử dụng điều kiện:

$$t > \frac{8[S + (S'/3) + S'']}{\left(\frac{K'}{b'T} + \frac{K''}{b''T}\right)^{1/2}}$$

Thay số ta có:

$$\frac{8[0,00053 + (0,00012/3) + 0,055]}{\left(\frac{5,5 \times 10^{-6}}{7,2 \times 4,7} + \frac{87}{17 \times 4,7}\right)^{1/2}} = 0,42 \text{ ngày}$$

Hay :  $t = 1,76 > 0,42$

Giả thiết trên được chấp nhận. Như vậy có thể sử dụng phương trình dòng ổn định của tầng chứa nước có áp với lượng trữ nước đàn hồi trong tầng chứa nước yếu để tính toán.

Phương trình tính toán (3-67) như sau:

$$h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B)$$

Trong đó:  $B = (Tb'/K')^{1/2} = [(4,7 \times 7,2) / (5,5 \times 10^{-6})]^{1/2} = 2480$

$$r/B = 22/2480 = 8,8709 \times 10^{-3}$$

Theo phụ lục (3-3) ứng với  $r/B = 8,8709 \times 10^{-3}$  ta có:  $K_0(r/B) = 4,8$

Thay vào công thức  $s = h_0 - h = \frac{Q}{2\pi T} K_0(r/B) = \frac{15 \times 4,8}{2 \times 3,14 \times 4,7} = 2,44 \text{ m}$

4. Một giếng hút nước trong tầng chứa nước có áp với lưu lượng hút  $Q = 13000 \text{ m}^3/\text{ng}$ . Sau 1270 phút bơm, quan sát thấy mực nước trong giếng quan trắc cách giếng hút nước 260m là 29,34m so với đáy trên của tầng chứa nước có áp và ở giếng quan trắc số 2 cách giếng hút 730m là 32,56m so với đáy trên của tầng chứa nước có áp. Xác định hệ số dẫn nước của tầng chứa nước này.

Lời giải:

Áp dụng phương trình:  $T = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)} \ln \frac{r_2}{r_1}$



Ta có: 
$$T = \frac{13000}{2 \times 3,14 \times (32,56 - 29,34)} \ln\left(\frac{730}{260}\right) = 665 \text{ m}^2/\text{ngày}$$

5. Nước được hút lên từ một giếng có áp với lưu lượng  $Q = 2500\text{m}^3/\text{ngày}$  trong 24 giờ. Hãy xác định độ hạ thấp mực nước lớn nhất tại giếng. Xác định thời gian kể từ khi ngừng bơm độ hạ thấp mực nước tại giếng chỉ còn 5cm so với trước khi hút nước. Biết rằng  $T = 1500\text{m}^2/\text{ngày}$ ;  $S = 0,0001$  và  $r_w = 15\text{cm}$ .

6. Một giếng khoan sâu toàn bộ tầng chứa nước có áp với  $r_w = 15\text{cm}$ . Nếu lưu lượng bơm bằng  $28\text{m}^3/\text{ngày}$  trong suốt 1 ngày thì độ hạ thấp mực nước tại các giếng quan trắc cách giếng bơm hút 1,5m; 5,5m; 10m; 25m; 75m; 150m là bao nhiêu?

7. Một làng dự định khoan một giếng mới trong tầng chứa nước có áp với  $T = 267\text{m}^2/\text{ngày}$ ;  $S = 0,002$ , lưu lượng bơm thiết kế  $Q = 3\text{m}^3/\text{phút}$ . Xung quanh giếng có một vài giếng cũng đặt trong tầng chứa nước có áp. Hãy tính độ hạ thấp mực nước do giếng chính gây ra cho các giếng xung quanh sau 30 ngày bơm liên tục với khoảng cách từ các giếng tới giếng trung tâm lần lượt là 50, 150, 250, 500, 1000, 3000, 6000, 10000m.

8. Cũng với bài toán 7, hãy tính độ hạ thấp mực nước tại giếng cách giếng trung tâm 250m sau 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60 phút; 2,5; 12 giờ và 1, 5, 10, 20, 30 ngày.

## Chương IV

# CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN MỨC NƯỚC NGẦM

## I. CÁC YẾU TỐ KHÍ TƯỢNG

### 1.1. Áp suất khí quyển

Sự thay đổi áp suất khí quyển gây ra do sự dao động mực nước thủy áp trong tầng chứa nước có áp. Mối quan hệ đó là quan hệ nghịch biến có nghĩa là tăng áp suất khí quyển sẽ làm giảm mực thủy áp và ngược lại. Khi sự thay đổi áp suất khí quyển được biểu thị bằng cột nước, tỷ lệ thay đổi mực thủy áp với sự thay đổi của áp suất được gọi là hiệu ứng áp suất của tầng chứa nước:

$$B = \gamma \frac{\Delta h}{\Delta p_a} \quad (4-1)$$

Trong đó:

B - Hiệu ứng áp suất (Barometric efficiency);

$\gamma$  - Trọng lượng riêng của nước;

$\Delta h$  - Sự thay đổi mực thủy áp;

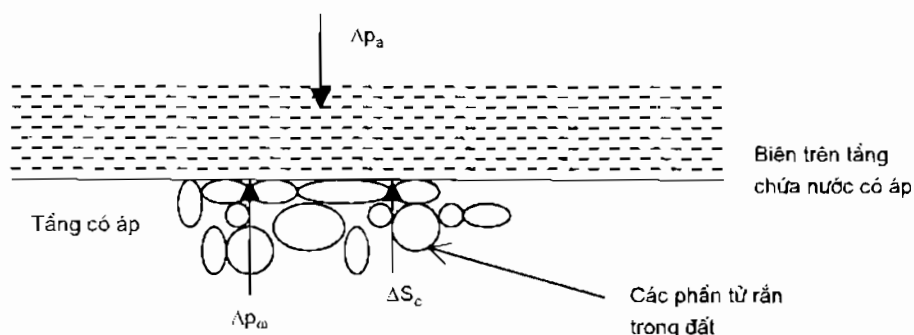
$\Delta p_a$  - Sự thay đổi áp suất khí quyển.

Hầu hết các quan trắc cho giá trị B nằm trong khoảng từ 20 ÷ 70%.

Để giải thích hiện tượng trên có thể coi tầng chứa nước như là một vật thể đàn hồi. Nếu  $\Delta p_a$  là sự thay đổi áp suất khí quyển và  $\Delta p_w$  là kết quả của sự thay đổi áp suất thủy tĩnh ở đỉnh của tầng chứa nước có áp thì:

$$\Delta p_a = \Delta p_w + \Delta S_c \quad (4-2)$$

Trong đó:  $\Delta S_c$  là ứng suất nén được tăng lên trên tầng chứa nước.



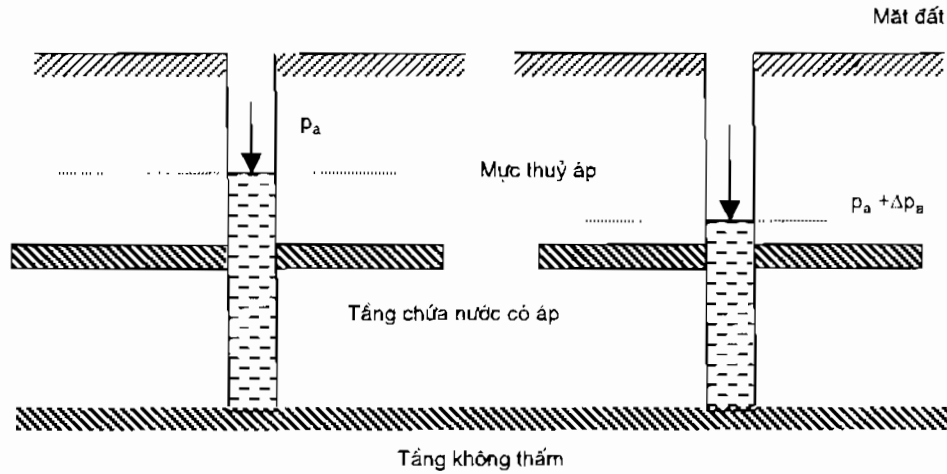
**Hình 4-1:** Phân bố lý tưởng của các lực ở biên trên của tầng chứa nước có áp chịu ảnh hưởng của sự thay đổi khí áp

Tại giếng hút nước từ tầng chứa nước có áp:

$$p_w = p_a + \gamma h \quad (4-3)$$

Cho áp suất khí quyển tăng thêm  $\Delta p_a$  thì:

$$p_w + \Delta p_w = p_a + \Delta p_a + \gamma h' \quad (4-4)$$



*Hình 4-2: Ảnh hưởng của khí áp đến mực thủy áp*

Thay  $p_w$  từ phương trình (4-3) ta có:

$$\Delta p_w = \Delta p_a + \gamma (h' - h) \quad (4-5)$$

Từ phương trình (4-2) rõ ràng rằng  $\Delta p_w < \Delta p_a$  do đó  $h' < h$ .

Nói chung, mực nước trong giếng hạ thấp xuống khi áp suất khí quyển tăng lên.

## 1.2. Mưa

Mưa không phải là một chỉ thị chính xác của lượng bổ sung nước ngầm do tổn thất trên mặt và dưới mặt đất cũng như là thời gian vận chuyển của thấm thẳng đứng. Thời gian này có thể biến đổi từ một vài phút khi mực nước ngầm ở gần mặt đất hoặc đến một vài tháng hay hàng năm đối với mực nước ngầm nằm sâu và thấm sâu rất chậm (trong trường hợp này có thể coi lượng bổ cập bằng 0).

Mực nước ngầm có thể chỉ ra sự biến động theo mùa do mưa nhưng thông thường sự thay đổi này còn do xuất lưu tự nhiên và ảnh hưởng của bơm hút. Hạn hán kéo dài trong một vài năm làm cho mực nước ngầm hạ thấp xuống.

Ở vùng không bão hoà phía trên mực nước ngầm có độ ẩm nhỏ hơn hệ số giữ nước, nước ngầm sẽ không nhận được lượng nước bổ sung cho đến khi độ hút ẩm được thoả mãn. Do đó sự gia tăng  $h$  sẽ được tính:

$$\Delta h = \frac{P_1}{S_y} \quad (4-6)$$

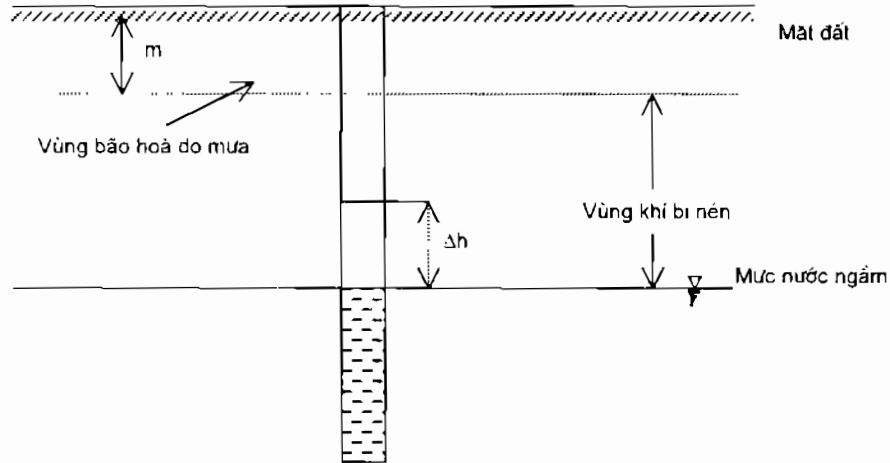
Trong đó:

$P_1$  - Phân lượng nước thấm tới mực nước ngầm;

$S_y$  - Hệ số nhả nước.

Khi mưa, nước làm bão hoà tạm thời một lớp nước mặt (với độ sâu là  $m$ ) sẽ dồn ép không khí trong vùng đất không bão hoà và gây ảnh hưởng đến mực nước trong giếng làm cho mực nước trong giếng thay đổi một lượng (dâng lên):

$$\Delta h = \frac{m}{H - m} \times 10, \text{ (m)} \quad (4-7)$$



**Hình 4-3:** Mực nước ngầm dâng trong giếng quan trắc do thấm mặt bị kín bề mặt đất và không khí nén trên mực nước ngầm

### 1.3. Gió

Gió thổi trên mặt của giếng gây ra ảnh hưởng thứ yếu đến mực nước ngầm thông qua ảnh hưởng của áp suất không khí.

## II. ẢNH HƯỞNG CỦA THUYẾT TRIỀU

Trong những tầng chứa nước tiếp giáp với biển, sự dao động của thủy triều dẫn đến sự biến động của nước ngầm.

Xét trường hợp đơn giản, đối với dòng chảy một chiều trong tầng chứa nước có áp. Phương trình mô tả chuyển động nước ngầm có dạng:

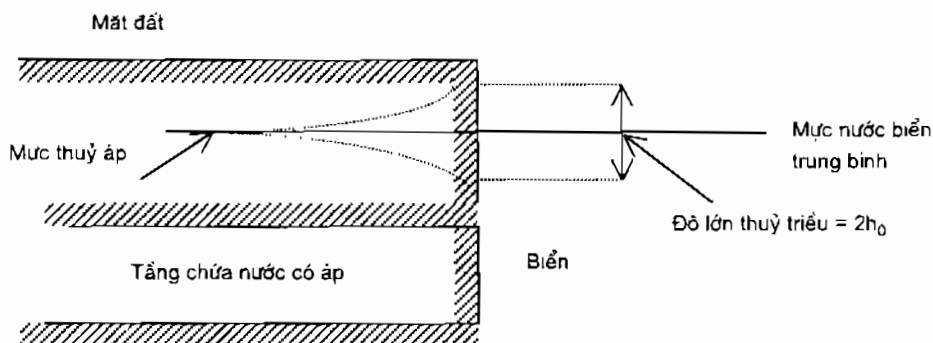
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4-8)$$

Giả thiết điều kiện biên: tại  $x = 0$ ;  $h = h_0 \sin \omega t$  và  $h = 0$  tại  $x = \infty$ , (lấy mặt chuẩn là mực nước biển trung bình).

Trong đó:  $\omega$  - Vận tốc góc;

$t_0$  - Chu kỳ thủy triều.

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{t_0} \quad (4-9)$$



**Hình 4-4:** Dao động mực nước thủy áp do ảnh hưởng của thủy triều

Nghiệm của bài toán là:

$$h = h_0 e^{-x\sqrt{\pi S/(t_0 T)}} \sin \left( \frac{2\pi t}{t_0} - x\sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}} \right) \quad (4-10)$$

Như thế biên độ dao động tại mặt cắt  $x$  kể từ bờ biển là:

$$h_x = h_0 e^{-x\sqrt{\pi S/(t_0 T)}} \quad (4-11)$$

Thời gian truyền sóng:

$$t_L = x \cdot \sqrt{\frac{t_0 S}{4\pi T}} \quad (4-12)$$

Tốc độ truyền sóng:

$$v = \frac{x}{t_L} = \sqrt{\frac{4\pi T}{t_0 S}} \quad (4-13)$$

Chiều dài sóng:

$$L_\omega = v \cdot t_0 = \sqrt{\frac{4\pi t_0 T}{S}} \quad (4-14)$$

Lượng dòng chảy vào trong tầng chứa nước trong nửa chu kỳ:

$$V = h_0 \sqrt{\frac{2t_0 S T}{\pi}} \quad (4-15)$$

Lời giải giải tích ở trên cũng có thể áp dụng gần đúng với tầng chứa nước không áp khi sự dao động mực nước nhỏ không đáng kể so với độ dày tầng bão hòa.

Ở trên đã nói sự thay đổi áp suất không khí dẫn đến sự biến đổi mực thủy áp. Sự dao động thủy triều cũng dẫn đến sự thay đổi mực thủy áp trong tầng chứa nước có áp.

Mức độ ảnh hưởng của thủy triều được biểu thị qua hệ số thủy triều C:

$$C = 1 - B \quad (4-16)$$

### III. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ ĐÔ THỊ HOÁ

Quá trình đô thị hoá thường gây ra những sự thay đổi mực nước ngầm do kết quả của việc làm giảm lượng bổ sung nước ngầm và tăng cường việc khai thác nước ngầm. Ở những vùng nông thôn nước dùng thường được lấy từ các giếng nông, trong khi đó hầu hết các nước thải của đô thị lại trở lại đất thông qua các hồ chứa nước bẩn. Do vậy sự nhiễm bẩn nước giếng tăng lên. Nhiều giếng ở các hộ dùng riêng phải bỏ đi. Sau này, người ta đã phải đặt các hệ thống xử lý nước cống, nước thải, nước mưa trong khu vực.

Ba điều kiện làm cho mực nước ngầm giảm là:

- Làm giảm lượng bổ sung nước ngầm do lát bề mặt;
- Bơm hút tăng;
- Giảm lượng bổ sung nước ngầm do hệ thống cống ngầm thu nhận nước ngầm từ trên xuống.

Ngoài ra còn có những ảnh hưởng khác như ảnh hưởng của động đất, ảnh hưởng của tải trọng bên ngoài,...

### IV. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐÔ THỊ HOÁ ĐẾN NƯỚC NGẦM KHU VỰC HÀ NỘI

1. Phá huỷ động thái tự nhiên tầng khai thác, tháo khô tầng trên: Do bị khai thác, động thái tự nhiên của nước dưới đất khu vực Hà Nội bị phá huỷ dẫn đến sự hình thành phễu hạ thấp mực nước với mức độ lan rộng và hạ sâu không ngừng phát triển trên toàn bộ thành phố. Diện tích phễu 190km<sup>2</sup> vào năm 1991 tăng lên 245,5km<sup>2</sup> vào năm 1994 với tốc độ mở rộng trung bình 14km<sup>2</sup>/năm. Hiện nay, phễu còn lan rộng ra nhiều, vượt quá xa sông Nhuệ về phía Tây và đến tận Thường Tín về phía Nam. Rốn phễu sâu nhất ở Hạ Đình và Tương Mai, đến 32 ÷ 35m. Tốc độ hạ thấp mực nước lớn nhất 0,8 ÷ 1,0m/năm ở khu vực trung tâm; 0,6 ÷ 0,7m/năm ở Lương Yên và Yên Phụ; có xu hướng giảm dần ra mép phễu, tới mức 0,2 ÷ 0,4m/năm ở Chèm và Cổ Nhuế.

2. Suy thoái giếng khoan khai thác: Suy thoái là sự suy giảm lưu lượng hoặc không ngừng gia tăng mực nước động của giếng khoan khai thác, dẫn đến hiệu quả thấp, thậm chí phải đình chỉ hoạt động của công trình khai thác nước. Suy thoái biểu thị qua chỉ tiêu hiệu suất nhỏ hơn 75% công suất thiết kế, mực nước động hạ sâu dưới độ cao tuyệt đối - 16m và lưu lượng giếng đơn vị nhỏ hơn 18m<sup>3</sup>/h/m. Đối với hệ thống khai thác tập trung có đến 5% số bãi giếng khoan rơi vào tình trạng suy thoái lưu lượng, trong đó nặng nhất ở khu vực Ngô Sỹ Liên và Yên Phụ. Nhiều giếng khoan vừa mới xây dựng, sau vài năm lưu lượng bị

giảm liên tục, hiệu suất khai thác chỉ còn  $33 \div 44\%$ , thậm chí  $24\%$  công suất ban đầu. Tỷ lệ giếng suy thoái chiếm  $22,4\%$  tổng số giếng hoạt động năm 1992 trên toàn vùng. Trong khi đó, ở Lương Yên, Ngọc Hà và một số trạm cấp nước nhỏ hiệu suất khai thác đạt  $90 \div 95\%$  có nơi  $98 \div 100\%$ . Gần  $60\%$  số giếng có mực nước động nằm dưới độ cao  $-16\text{m}$ , đang ở vào tình trạng báo động hoặc đã bị suy thoái; đáng quan tâm nhất là ở Hạ Đình và Tương Mai chiếm tới  $100\%$ , ở khu vực Ngô Sỹ Liên và Yên Phụ:  $60\%$ ; ở Pháp Vân:  $56\%$  số giếng khoan trên bãi giếng có mực nước hạ quá sâu. Các giếng này có đặc điểm chung là mực nước động không ngừng tăng với tốc độ từ  $0,2 \div 0,4\text{m/năm}$  đến  $3,2\text{m/năm}$ , trung bình  $1,0 \div 2,0\text{m/năm}$ . Độ hao hụt mực nước trong các năm 1990-1996 đạt giá trị tuyệt đối từ  $5 \div 6$  đến  $12 \div 13\text{m}$ . Hơn một phần ba số giếng có lưu lượng đơn vị khai thác trung bình dưới  $40\%$ , đa số chỉ còn  $10 \div 20\%$  lưu lượng đơn vị ban đầu.

3. Gây nhiễm bản tầng chứa nước: Nước ở nhiều giếng khoan khai thác đã bị ô nhiễm. Trong số 109 giếng thuộc 28 nhà máy nước và trạm cấp nước có  $48,6\%$  số giếng bị nhiễm bản  $\text{NH}_4^+$ ;  $63,3\%$  nhiễm bản  $\text{NO}_3^-$ ;  $4\%$  nhiễm bản  $\text{NO}_2^-$ ;  $81,6\%$  nhiễm bản  $\text{PO}_4^{3-}$ ; hàm lượng Faecal lớn gấp hàng trăm, hàng nghìn lần tiêu chuẩn cho phép.

4. Gây sụt lún đất: Theo các số liệu quan trắc lún mặt đất tại 50 mốc đo trong thời gian 1988-1994, sự sụt lún biểu hiện rõ rệt ở các khu Mai Dịch, Thành Công, Ngã Tư Sở, Ngã Tư Vọng và Pháp Vân. Tại các khu vực này, tốc độ lún từ  $4,0 \div 38,0\text{mm/năm}$ .

## Chương V

# MÔ HÌNH HOÁ NƯỚC DƯỚI ĐẤT

Do nhận thức được vai trò của nguồn tài nguyên nước ngầm nên con người đã tìm mọi biện pháp để nghiên cứu nó dưới các điều kiện tự nhiên và nhân tạo. Một trong những biện pháp đó là mô phỏng các quá trình chuyển động nước ngầm bằng các mô hình vật lý, mô hình toán, mô hình tỷ lệ....

Những loại mô hình vật lý lại có thể phân loại thành: mô hình môi trường xốp, mô hình tương tự điện, mô hình tương tự chất lỏng nhớt và mô hình màng căng. Trong các loại mô hình tương tự người ta dựa vào sự tương tự giữa luật Darcy và các định luật khác như: định luật Ohm, luật sức căng mặt ngoài...

Trong những năm gần đây với sự hỗ trợ của máy tính điện tử, phương pháp số trị phát triển rất nhanh chóng. Mô hình vật lý- toán nước dưới đất đã và đang được ứng dụng một cách có hiệu quả trong thực tế.

## I. MÔ HÌNH MÔI TRƯỜNG XỐP

### 1.1. Mô hình tỷ lệ bể chứa cát

Mô hình bể chứa cát là một loại mô hình tỷ lệ của một tầng ngậm nước nào đó với tỷ lệ của các biên giảm nhỏ và giá trị độ thấm thấu, giá trị tuyệt đối và sự phân bố ẩm trong không gian được mô phỏng. Mô hình được cấu trúc trong các hộp kín nước với các hình dạng khác nhau: hình hộp chữ nhật, hình trụ và phổ biến nhất là dạng hình quạt.

Trong mô hình bể chứa cát, việc quan sát mực nước ngầm rất khó khăn. Thông thường, mực nước ngầm và mực thuỷ áp có thể thu nhận một cách tốt nhất từ các ống đo áp được gắn vào mô hình. Cũng có thể dùng các thuốc màu trong thực nghiệm để quan sát một cách dễ dàng.

Những hạt cát thô được cho vào trong hộp mô hình với một khối lượng nhỏ và được nén chặt để gây thoát khí sẽ tạo ra một độ thấm thấu đồng nhất trong mô hình. Độ thấm thấu không đồng hướng có thể được tạo ra bằng các lớp cát khác nhau về cỡ hạt.

Hiện tượng dâng mao quản trong mô hình bể chứa cát không giống thực tế với các điều kiện tự nhiên. Khi nghiên cứu các mẫu dòng chảy đặc biệt bao gồm các tầng chứa nước có áp thì ảnh hưởng này không quan trọng. Tuy nhiên, trong một tầng chứa nước không áp, việc điều tra nhằm hiệu chỉnh lại kết quả thực nghiệm do ảnh hưởng của hiện tượng dâng mao quản là cần thiết.

Hiện tượng dâng mao quản có thể là nhỏ nhất khi dùng các môi trường xốp có cỡ hạt thô và nếu cần thiết có thể dùng chất lỏng có tính nhớt cao.



Sự tương tự về hình học được xác định bởi tỷ lệ kích thước giữa mô hình và nguyên hình:

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} \quad (5-1)$$

Trong đó: các ký hiệu r, m, p tương ứng với tỷ lệ mô hình và nguyên hình.

Do định luật Darcy được áp dụng cho cả mô hình lẫn nguyên hình, tỷ lệ vận tốc đối với trường hợp đẳng hướng có thể nhận được qua biểu thức:

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{K_m I_m}{K_p I_p} \quad (5-2)$$

Trong đó: K là độ dẫn thủy lực và I là gradient thủy lực. Khi vận tốc như nhau, hệ số vận tốc sẽ là:

$$V_r = K_r \quad (5-3)$$

Đối với tầng ngậm nước không áp, tỷ lệ thời gian nhận được từ:

$$Q_r = \left( \frac{W_m}{t_m} \right) / \left( \frac{W_p}{t_p} \right) = \frac{W_r}{t_r} \quad (5-4)$$

Trong đó: W là khối lượng chất lỏng và t là thời gian.

Nếu sử dụng hệ số nhả nước  $S_y$ , ta có:

$$S_{yr} L_r^3 = W_r \quad (5-5)$$

Do đó:

$$t_r = \frac{S_{yr} L_r^3}{K_r} \quad (5-6)$$

Mô hình bể chứa cát đã được sử dụng rộng rãi để điều tra, giải quyết các vấn đề như nghiên cứu dòng chảy vào giếng, thăm bổ sung cho nước ngầm, xâm nhập mặn.

## 1.2. Mô hình tương tự

Dòng qua một môi trường xốp tuân theo các luật đã thu nhận của các hệ vật lý khác bao gồm dòng chảy tầng của chất lỏng, dòng nhiệt và dòng điện. Những sự tương tự này cho khả năng tạo ra các kỹ thuật làm mô hình để nghiên cứu sự chuyển động của nước ngầm.

### 1.2.1. Mô hình chất lỏng nhớt

Sự chuyển động của chất lỏng nhớt chảy giữa hai tấm phẳng đặt song song, kề sát tương tự như dòng chảy ngầm hai chiều. Mô hình chất lỏng nhớt đầu tiên dựa trên nguyên tắc này đã được Hele-Shaw sử dụng ở Anh năm 1897 để biểu thị những mẫu dòng chảy với các biến cố hình dạng khác nhau.

Với dòng chảy tầng giữa hai tấm phẳng song song có thể chỉ ra được rằng dạng đường dòng tạo ra một trường dòng thế năng hai chiều. Phương trình chuyển động Navier - Stokes đã mô tả hiện tượng này. Đối với tấm phẳng đứng, vận tốc trung bình của dòng chảy với giả thiết Dupuit được cho bởi:

$$V_m = - \frac{b^2 \rho_m g}{12 \mu_m} \frac{dh}{dx} \quad (5-7)$$

Trong đó:

$b$  - Khoảng cách giữa hai tấm;

$\rho_m, \mu_m$  - Mật độ và độ nhớt của chất lỏng dùng trong mô hình;

$g$  - Gia tốc trọng trường;

$\frac{dh}{dx}$  - Gradient thủy lực hay còn gọi là độ dốc.

Từ sự tương tự với luật Darcy, độ dẫn thủy lực  $K_m$  của mô hình là:

$$K_m = \frac{b^2 \rho_m g}{12 \mu_m} \quad (5-8)$$

Điều đó chỉ ra rằng khoảng cách hai tấm phẳng là dòng chảy cần phải được lựa chọn để tương ứng với độ thấm mong muốn. Tỷ lệ vận tốc:

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\rho_m b^2 \mu_p}{12 \rho_p K \mu_m} = \frac{b^2 \rho_r}{12 K \mu_r} \quad (5-9)$$

Trong đó:  $K$  là độ thấm thực (độ dẫn thủy lực thực).

Phương trình (5-9) cùng với tỷ lệ chiều dài  $L_r$  của mô hình cho tỷ lệ thời gian:

$$t_r = \frac{L_r}{V_r} \quad (5-10)$$

Những loại mô hình này được xây dựng từ hai tấm kính mỏng và khoảng cách giữa hai tấm được cố định. Thùng chứa chất lỏng được gắn chặt vào bên cạnh hoặc hai đầu của mô hình. Dầu hoặc glycerin có thể được dùng như là chất lỏng nhớt. Khoảng cách nhỏ để đảm bảo chất lỏng chảy trong trạng thái chảy tầng. Thuốc màu được đưa vào trong chất lỏng xác định bề mặt tự do đối với dòng chảy không áp trong khi đó những điểm của nguồn nhuộm màu ở biên vào biểu thị những đường dòng.

Mô hình lỏng nhớt thẳng đứng biểu hiện mặt cắt thẳng đứng qua một tầng ngậm nước đã được dùng để nghiên cứu sự trữ nước của bãi cát bên cạnh sông, thấm thấu qua kênh sông, tiêu ngậm và nhiễm mặn, bổ sung nước ngậm và những bài toán có biên bất thường.

### 1.2.2. Mô hình màng căng

Một loại hình tương tự đối với dòng chảy ngầm đó là mô hình được xây dựng bằng một màng cao su mỏng. Độ dốc nhỏ của bề mặt màng căng có thể được biểu thị theo tọa độ cực như sau:

$$\frac{d^2 z}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dz}{dr} = \frac{W_m}{T_m} \quad (5-11)$$

Trong đó:

$dz$  - Độ nâng cao của bề mặt tại khoảng cách từ điểm gây ra sự thay đổi độ cao trên bề mặt;

$W_m$  - Trọng lượng của màng trên một đơn vị diện tích;

$T_m$  - Sức căng của màng căng cao su đồng nhất.

Đối với dòng chảy toả tròn ổn định vào giếng trong một tầng ngậm nước có áp đồng nhất và đẳng hướng:

$$\frac{d^2h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = 0 \quad (5-12)$$

Khi trọng lượng của màng được sử dụng trong mô hình rất nhỏ hoặc khi nó được đặt ở vị trí thẳng đứng, thì phương trình sẽ tương tự nhau.

Để nghiên cứu hình dạng của bề mặt tự do xung quanh một giếng, màng cao su được cap chặt lại dưới một sức căng đồng nhất. Một que được dùng để nâng mặt cao su lên biểu thị như một giếng bơm. Sự thay đổi độ cao của bề mặt màng căng tương tự như sự hạ thấp mực nước ngậm khi bơm và được đo bằng các dụng cụ đo chính xác.

Loại mô hình này có thể được sử dụng cho loại tầng ngậm nước không áp và cho hệ thống giếng hoặc đối với những bài toán có điều kiện biên phức tạp.

### 1.2.3. Mô hình tương tự điện

Theo định luật Ohm:

$$I = -\sigma \frac{dE}{dx} \quad (5-13)$$

Trong đó:  $I$  là cường độ dòng điện trên một đơn vị diện tích qua một vật liệu có suất dẫn điện và có gradient điện thế  $\frac{dE}{dx}$ ;  $\sigma$  là điện trở suất.

Phương trình này cũng thoả mãn phương trình Laplace và khi so sánh với phương trình Darcy:

$$V = -K \frac{dh}{dr} \quad (5-14)$$

Sự tương tự giữa hai phương trình như sau:

- Vận tốc  $V$  tương tự như cường độ dòng điện  $I$ ;
- Độ dẫn thủy lực  $K$  tương tự như suất dẫn điện;
- Cột nước  $h$  tương tự như điện thế  $E$ .

Sự tương tự này cho cơ sở để tạo ra các mô hình tương tự điện dùng để nghiên cứu nước ngậm.

Có hai loại cơ bản thuộc loại mô hình tương tự điện:

*a) Mô hình với môi trường dẫn điện lỏng*

Mô hình này được hình thành bởi một bể cách điện chứa đầy chất điện phân (chẳng hạn sunphat đồng  $\text{CuSO}_4$ ). Những biên của bể được làm theo tỷ lệ nhất định biểu thị các biên của nguyên hình (tầng ngậm nước thực tế). Những cực đồng được nhúng chìm vào trong bể tạo ra bề mặt đẳng thế. Những đường đẳng thế được tìm bằng cách sử dụng que dò tìm nối liền với một dao động kế.

Các đường đẳng thế và đường dòng có thể được vẽ bằng cách thay đổi bề mặt biên dẫn điện và cách điện.

Những loại mô hình trên thường được dùng cho việc nghiên cứu dòng chảy ổn định hai chiều. Tuy nhiên bằng những mô hình biến đổi một cách gần đúng tầng ngậm nước có các lớp dẫn nước khác nhau, độ dẫn thuỷ lực khác nhau không đẳng hướng. Thậm chí dòng chảy theo ba phương cũng có thể được nghiên cứu bằng loại mô hình này.

Mô hình dẫn điện lỏng được áp dụng để điều tra sự khác nhau giữa các điều kiện thấm qua đập, kênh mương, sự hạ thấp mực nước ở gần giếng và dòng chảy ngầm.

*b) Mô hình với môi trường dẫn điện cứng*

Mô hình với môi trường dẫn điện cứng hoạt động trên một nguyên tắc với mô hình điện lỏng, chỉ khác môi trường cứng thay thế môi trường lỏng. Tùy thuộc vào yêu cầu mà hình dạng của mô hình có thay đổi. Loại mô hình này tốt nhất là dùng để nghiên cứu dòng chảy ổn định với tầng ngậm nước có áp.

*c) Mô hình với hệ thống điện trở và tụ điện*

Hệ thống điện trở và tụ điện được sử dụng một cách điển hình để đánh giá tầng ngậm nước có áp với điều kiện trạng thái chảy không ổn định theo hai phương. Kỹ thuật mô hình có thể cho phép một tầng ngậm nước với ảnh hưởng của giếng bơm được mô hình hoá.

Sự tương tự giữa hệ thống điện trở, tụ điện và hệ thống nước ngầm dựa trên cơ sở lưới sai phân hữu hạn.

Dạng sai phân hữu hạn của phương trình dòng chảy không ổn định hai chiều:

$$T(h_2 + h_3 + h_4 + h_5 - 4h_1) = A^2S \frac{dh_1}{dt} \quad (5-15)$$

Tương ứng với hệ thống điện trở và tụ điện:

$$\frac{1}{R} (V_2 + V_3 + V_4 + V_5 - 4V_1) = C \frac{dV_1}{dt} \quad (5-16)$$

Tỷ lệ các đại lượng trong mô hình như sau:

$$K_1 = \frac{q, (m^3)}{Q_{(coul)}} ; K_2 = \frac{h, (m)}{V_{(volt)}} ; K_3 = \frac{Q}{I} \cdot \frac{m^3}{\text{ngày}} \cdot \frac{1}{(amp)}$$

$$K_4 = \frac{t_d}{t_s}, \frac{(\text{ngày})}{(\text{giây})}; K_5 = \frac{A(m)}{(\text{cm})}$$

Từ đây, ta có thể xác định được các giá trị của các điện trở và điện dung trong hệ thống:

$$R = \frac{K_3}{K_2 \cdot T}, (\text{Ohms});$$

$$C = A^2 S \frac{K_2}{K_1}, (\text{Farads})$$

Trong đó: T - Hệ số dẫn nước cục bộ của tầng ngậm nước ( $\text{m}^2/\text{ngày}$ );

S - Hệ số trữ nước cục bộ của tầng ngậm nước.

#### d) Mô hình với hệ thống điện trở

Thiết kế loại mô hình tương tự với hệ thống điện trở giống như mô hình với hệ thống điện trở tụ điện. Tuy nhiên mô hình này, chỉ bao gồm một dãy các điện trở, các tụ điện được bỏ đi. Do đó sẽ không có các yếu tố lượng trữ tham gia vào trong hệ thống. Như vậy mô hình chỉ áp dụng đối với dòng chảy ổn định mà thôi. Các yếu tố tỷ lệ giữa điện và thủy lực được xem xét như trước.

Dạng sai phân của phương trình Laplace đối với dòng chảy hai chiều ổn định trong môi trường đồng nhất và đẳng hướng được viết là:

$$h_2 + h_3 + h_4 + h_5 - 4h_1 = 0 \quad (5-17)$$

## II. MÔ HÌNH TOÁN

Trong hơn ba chục năm gần đây, với sự trợ giúp đắc lực của máy tính điện tử người ta đã sử dụng các mô hình toán để nghiên cứu dòng chảy nước dưới đất. Nguyên lý chung của các mô hình toán nước dưới đất là dựa vào quy luật chứa và chảy. Trong quá trình giải các phương trình vi phân phi tuyến bậc hai, người ta có thể sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn, phương pháp phần tử hữu hạn hay phương pháp phần tử biên. Dưới đây xin trình bày phương pháp sai phân hữu hạn và phương pháp phần tử hữu hạn dùng để giải các bài toán nước dưới đất.

Phương pháp sai phân hữu hạn và phương pháp phần tử hữu hạn thực chất là một cách tìm nghiệm gần đúng của bài toán thông qua việc rời rạc hoá miền tính toán bằng lưới sai phân hay bằng lưới các phần tử.

### 2.1. Khái niệm chung về mô hình toán

Mô hình toán là sự mô tả gần đúng một hệ thống hay một quá trình thực bằng các biểu thức toán học. Các mô tả này buộc phải đơn giản hoá, khái quát hoá hệ thống thực hay quá trình thực.

Dưới đây xin giới thiệu một số khái niệm thường dùng trong mô hình toán thủy văn.

**Hệ thống thủy văn (Hydrological system):** Một tập hợp các quá trình thủy văn chuyển đổi một biến đầu vào (ví dụ như mưa) thành một biến đầu ra (ví dụ như dòng chảy mặt). Các quá trình này cũng có thể có bản chất hoá học hay sinh học và có thể bao gồm một vài biến đầu vào (ví dụ như mưa và bốc hơi).

**Mô hình thủy văn (Hydrological models):** Một thể hiện đơn giản hoá quá trình thủy văn dẫn tới một mô phỏng có thể chấp nhận được của quá trình vật lý và các quá trình khác trong thủy văn.

**Mô hình tất định (Deterministic models):**

a) Mô hình dựa trên tồn thất vật lý chi phối dòng chảy của nước và các mối quan hệ với các đặc trưng của hệ thống.

b) Bất kỳ một loại mô hình nào tạo ra một phản hồi đơn từ một đầu vào cho trước.

**Mô hình mô phỏng hộp đen (Black box simulation models):** Mô hình trong đó các quá trình vật lý của hệ thống (hộp) không được xem xét nhưng trong đó người ta nhận được sự mô phỏng bằng tập hợp các phương trình toán học (ví dụ như phương pháp đường đơn vị).

**Mô hình thông số gộp (Lumped parameter models):** Mô hình thủy văn không xét đến sự thay đổi theo không gian của các biến trên toàn bộ hệ thống.

**Mô hình nhận thức (Conceptual models):** Mô hình dùng để chuyển đổi lượng mưa hiệu quả trên một lưu vực thành một dòng chảy mặt trực tiếp trên lưu vực đó. Những mô hình này được dựa trên các khái niệm chuyển động và chứa của quá trình dòng chảy. Do vậy, quá trình này có thể được mô phỏng bằng cách cho lượng đầu vào qua một hệ thống ảo của các lòng dẫn và hồ chứa.

**Mô hình thông số phân phối (Distributed parameter models):** Mô hình thủy văn có xét đến sự thay đổi theo không gian từ điểm này đến điểm kia của các thông số trên toàn bộ hệ thống.

**Mô hình quá trình ngẫu nhiên (Stochastic model):** Mô hình toán mô phỏng các quá trình ngẫu nhiên.



**Hình 5-1:** Sơ đồ vị trí mô hình trong hệ thống khoa học

## 2.2. Mô hình truyền âm sai phân hữu hạn

Ứng dụng mô hình truyền âm để nghiên cứu nước dưới đất, chúng ta không cố gắng tìm nghiệm giải tích của phương trình (2-4) hoặc phương trình (2-5). Vì muốn làm được điều đó không phải đơn giản hoá các điều kiện biên và điều kiện ban đầu mà còn phải coi các thông số của mô hình là hằng số. Kết quả nhận được dù có gọn, dễ sử dụng nhưng so với thực tế dễ mắc sai số lớn.

Sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn (Finite Difference Method) với sự giúp đỡ của máy tính điện tử chúng ta tìm lời giải của phương trình (2-4) hoặc phương trình (2-5) với các điều kiện khác nhau dưới dạng sai phân hữu hạn.

Nội dung của phương pháp sai phân hữu hạn có thể tóm tắt như sau:

Giả sử cần tìm hệ các phân tử một tham số  $U(t)$  thuộc không gian  $B$  ( $t$  là tham số thực) thoả mãn phương trình:

$$\frac{d}{dt}U(t) = AU(t) \quad (5-18)$$

$$0 \leq t \leq T \quad (5-19)$$

$$U(0) = U_0$$

Trong đó:  $A$  là toán tử tuyến tính, còn  $U_0$  là các phân tử cho trước thuộc  $B$ . Các điều kiện biên nếu tồn tại giả thiết là tuyến tính và thuận nhất. Đồng thời miền xác định của các toán tử  $A$  gồm các hàm thoả mãn điều kiện biên đó.

Bài toán (5-18), (5-19) được coi là thành lập đúng đắn nếu tập hợp các nghiệm đúng của nó khá rộng và nếu những nghiệm này phụ thuộc đơn vị và liên tục vào các giá trị ban đầu. Giả sử  $D$  là tập hợp các phân tử  $U_0 \in B$  sao cho mỗi  $U_0$  tồn tại nghiệm đúng duy nhất của bài toán (5-18), (5-19) với mọi  $t$  ổn định. Sự tương ứng giữa  $U_0$  và  $U(t)$  sẽ xác định một phép biến đổi trong  $\beta$  với miền xác định  $D$  [ký hiệu phép biến đổi đó là  $E_0(t)$ ]. Công thức:

$$U(t) = E_0(t)U_0 \quad (5-20)$$

Với  $U_0 \in D$  sẽ cho nghiệm của bài toán (5-18), (5-19) đối với trạng thái ban đầu đảm bảo sự tồn tại của nghiệm đúng.

Bài toán (5-18), (5-19) xác định bởi toán tử tuyến tính  $A$  được gọi là thành lập đúng đắn nếu thoả mãn hai điều kiện sau:

1. Miền xác định  $D$  của phép biến đổi  $E_0$  trù mật trong  $B$ .

2. Họ các phép biến đổi  $E_0(t)$  bị chặn đều tức là tồn tại một số  $K$  sao cho  $\|E_0(t)\| \leq K$  với  $0 \leq t \leq T$ . Thực chất của điều kiện thứ hai là đòi hỏi nghiệm của bài toán (5-18), (5-19) phụ thuộc vào điều kiện ban đầu.

Phép xấp xỉ bằng phương trình sai phân hữu hạn cũng có thể coi như một điểm trong không gian  $B$ . Trong đó họ hàm một tham số  $U(t)$  được thay bằng dãy điểm  $U_0, U_1, U_2, \dots, U_n$  đồng thời  $U_n$  theo giả thiết là giá trị gần đúng của  $U(n, \Delta t)$  ( $\Delta t$ : ký hiệu một số gia thời gian).

Phương trình sai phân hữu hạn tương ứng với (5-18) có thể viết dưới dạng:

$$B_0 U_{n+1} = B_1 U_n \quad (5-21)$$

Trong đó:  $B_0 = B_0(\Delta t, \Delta X_1, \Delta X_2, \dots)$ ;  $B_1 = B_1(\Delta t, \Delta X_1, \Delta X_2, \dots)$  là các toán tử tuyến tính sai phân hữu hạn.

Tại mỗi điểm của không gian, cả hai vế của phương trình (5-21) là tổ hợp tuyến tính của các giá trị hàm  $U$  trên một tập hợp nào đó gồm các điểm gần nhau. Ta giả thiết rằng luôn luôn có cách tính  $U_{n+1}$  với bất kỳ  $U_n$  đồng thời  $U_{n+1}$  phụ thuộc liên tục và đơn vị theo  $U_n$ .

Tác dụng  $n$  lần toán tử  $C(\Delta t)$  vào  $U_n$  ta được đại lượng:

$$U_n = C(\Delta t)^n U_0 \quad (5-22)$$

Họ các toán tử  $C(\Delta t)$  đảm bảo sự xấp xỉ hội tụ cho bài toán (5-21), (5-22) nên với  $t$  cố định, tùy ý thuộc không gian  $B$  ( $U \in B$ ) và đối với dãy hội tụ tới 0 gần các số giá trị dương theo thời đoạn  $t_1, t_2, \dots, t_j$  ta có hệ thức giới hạn:

$$\| C(\Delta t_j)^{n_j} U_0 - E(t) U_0 \| \leq 0 \text{ khi } j \rightarrow \infty \quad (5-23)$$

Trong đó:  $n_j$  là số nguyên gần với  $\frac{t}{\Delta t_j}$  theo nghĩa  $n_j \Delta t_j \rightarrow t$  khi  $j \rightarrow \infty$ .

Nếu  $\Delta t_j \rightarrow 0$  ở trong dãy các tính toán mỗi tính toán được thực hiện từ  $t = 0$  đến  $t = T$  thì mỗi toán tử trong tập hợp vô hạn  $C(\Delta t_j)_n$  với:

$$0 \leq n \Delta t \leq T$$

Thực chất tính ổn định của (5-23) là việc tồn tại các giới hạn chặn trên đối với các thành phần của hàm ban đầu tạo nên trong quá trình tính toán. Vì vậy, phép xấp xỉ  $C(\Delta t_j)$  được gọi là ổn định với số  $t > 0$  nào đó, tập hợp vô hạn các toán tử  $0, C(\Delta t)^n$ .

Trong trường hợp xét sự truyền âm theo phương thẳng đứng (2-7) được viết lại là:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial z} + K \right) \quad (5-24)$$

Dạng lược đồ sai phân của (5-24) được viết dưới dạng tổng quát:

$$\frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{(\Delta z)^2} \left\{ \delta \left[ \bar{D}_{j+1} (\theta_{i+1}^{j+1} - \theta_i^{j+1}) - \bar{D}_j (\theta_i^{j+1} - \theta_{i-1}^{j+1}) \right] - (1 - \delta) \left( \bar{D}_{j+1} (\theta_{i+1}^j - \theta_i^j) - \bar{D}_j (\theta_i^j - \theta_{i-1}^j) \right) \right\} - \frac{1}{\Delta z} (K_{i+1}^j - K_i^j); \delta \geq 0 \quad (5-25)$$

Trong trường hợp  $\delta = 0$ , (5-25) trở thành lược đồ hiện 4 điểm với việc lấy sai phân theo hướng tiến của thời gian. Các giá trị khác của  $\delta$  cho lược đồ ẩn.  $\delta = \frac{1}{2}$  cho lược đồ 6 điểm



với sai phân trung tâm theo thời gian;  $\delta = 1$  cho lược đồ 4 điểm.  $D$  là hệ số hàm,  $D = D(\theta)$  vì vậy khi sai phân hoá cần phải tuyến tính hoá. Ở đây có thể tuyến tính hoá như sau:

$$\bar{D}_{i+1}^j = D \left( \frac{\theta_{i+1}^j + \theta_i^j}{2} \right) \quad (5-26)$$

Ứng dụng phương pháp sai phân hữu hạn để giải (5-25) có thể dùng lược đồ ẩn hoặc lược đồ hiện. Xét về mặt sai số, hai loại lược đồ này đều có sai số xấp xỉ bằng vô cùng bé cùng bậc với  $\Delta t$  và  $(\Delta x)^2$ . Riêng lược đồ hiện cần thoả mãn tiêu chuẩn ổn định:

$$D_{\max} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (5-27)$$

Lược đồ ẩn có ưu điểm hơn lược đồ hiện ở những điểm sau:

- Không bị khống chế bởi tiêu chuẩn ổn định nên có thể chọn bước thời gian không quá nhỏ giảm bớt được khối lượng tính toán.

- Bước chia không gian có thể chọn nhỏ đi để đảm bảo sai số xấp xỉ.

Tuy vậy thuật toán để giải hệ phương trình đại số tuyến tính trong lược đồ ẩn phức tạp hơn nhiều so với lược đồ hiện.

Chúng ta chọn lược đồ ẩn có dạng sau để sai phân hoá (5-24):

$$\frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{(\Delta z)^2} [\bar{D}_{j+1} (\theta_{i+1}^{j+1} - \theta_i^{j+1}) - \bar{D}_j (\theta_i^{j+1} - \theta_{i-1}^{j+1})] - \frac{K_{i+1}^{j+1} - K_i^{j+1}}{\Delta z} \quad (5-28)$$

(5-28) là một hệ đại số tuyến tính có ma trận hệ số dạng ba đường chéo. Để giải (5-28) dùng phương pháp khử đuôi, có thể tóm tắt nội dung phương pháp này như sau:

(5-28) có thể viết dưới dạng:

$$A_i U_{i-1} - C_i U_i + B_i U_{i+1} + F_i = 0 \quad (5-29)$$

Trong đó:

$$A_i = \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} D_i$$

$$B_i = \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} D_{i+1}$$

$$C_i = 1 + A_i + B_i$$

$$F_i = \frac{(K_{i+1} - K_i)}{\Delta z} \Delta t + \theta_i^j$$

Có thể tìm nghiệm của (5-29) dưới dạng:

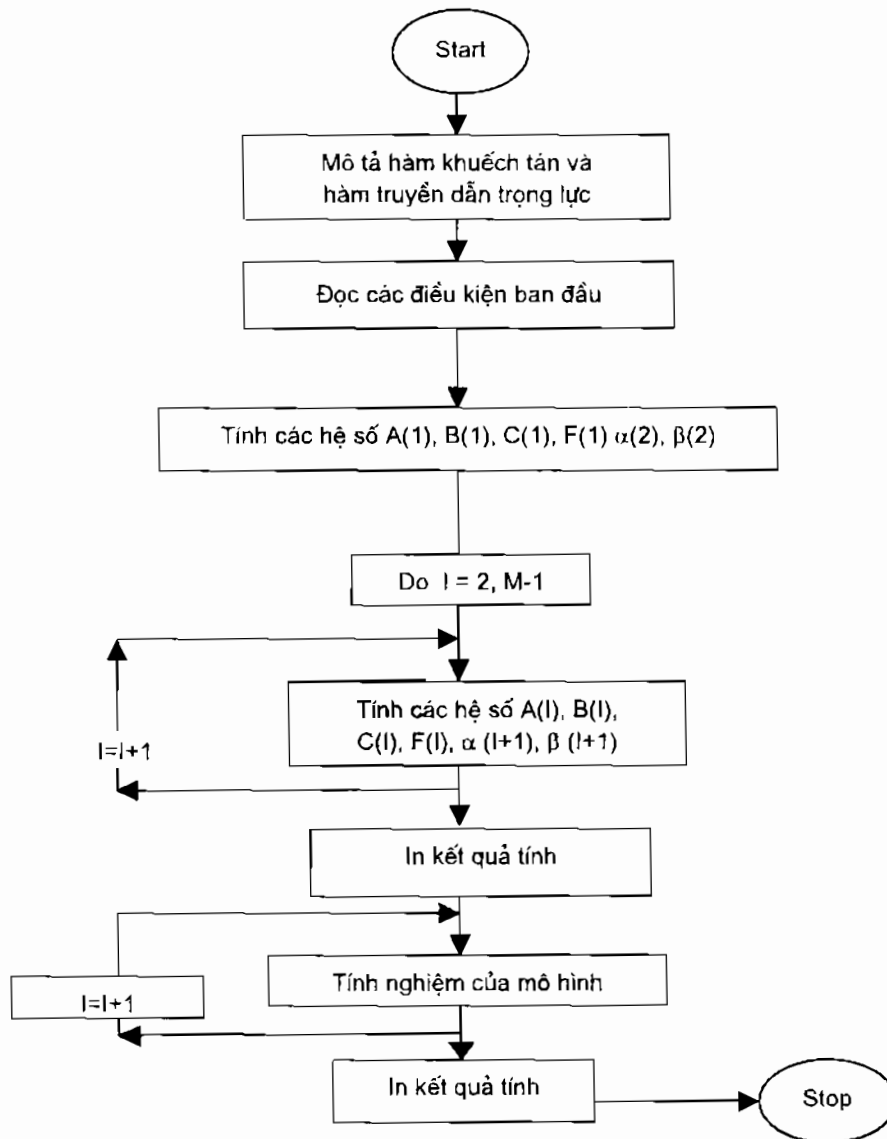
$$U_{i-1} = \alpha_i U_i + \beta_i \quad (5-30)$$

Thay (5-30) vào (5-29) qua một vài phép biến đổi đơn giản ta có:

$$\alpha_{i+1} = \frac{B_i}{C_i - A_i \alpha_i}$$

$$\beta_{i+1} = \frac{F_i + A_i \beta_i}{C_i - A_i \alpha_i} \quad (5-31)$$

Dựa vào điều kiện biên, điều kiện ban đầu, giá trị  $\Delta t$ ,  $\Delta x$  lựa chọn theo (5-31) ta tính được  $\alpha_{i+1}$ ,  $\beta_{i+1}$  rồi dùng công thức truy hồi (5-30) sẽ tìm được nghiệm của (5-29).



**Hình 5-2:** Sơ đồ logic giải mô hình truyền âm bằng sai phân hữu hạn

### 2.3. Mô hình sai phân hữu hạn dòng chảy ổn định hai chiều

Phương trình cơ bản dòng chảy không ổn định trong tầng chứa nước có áp đồng nhất có thể viết như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \quad (5-32)$$

Trong đó:

T - Suất chuyển nước;

h - Mực thủy áp;

x, y - Tọa độ không gian trong hệ Đề - Các.

Sơ đồ sai phân :

$$T \left( \frac{h_{i+1,j} + h_{i-1,j} - 2h_{i,j}}{\Delta x^2} \right) + T \left( \frac{h_{i,j+1} + h_{i,j-1} - 2h_{i,j}}{\Delta y^2} \right) = 0 \quad (5-33)$$

Trong đó:  $i = 1, 2, 3 \dots n\Delta x$

$j = 1, 2, 3 \dots n\Delta y$

Để giải (5-33) có thể dùng phương pháp tính lặp. Dưới đây là chương trình mẫu viết bằng ngôn ngữ Basic cho trường hợp này.

```

100 DEFINT I-N:KEY OFF:GOSUB 540
110 PRINT"--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
120 PRINT"--- Plane steady groundwater flow"
130 PRINT"--- Finite differences":PRINT"--- Program 9.1"
140 PRINT"--- Rectangular area, with irregular mesh":PRINT:PRINT
150 DIM X(21),Y(21),F(21,21),IP(21,21),A(21),B(21),C(21),D(21)
160 INPUT"Number of mesh lines in x-direction (max. 20) ";NX
170 INPUT"Number of mesh lines in y-direction (max. 20) ";NY:PRINT
180 FOR I=1 TO NX:PRINT"x-coordinate of line ";I:INPUT X(I):NEXT I
190 PRINT:FOR I=1 TO NY:PRINT"y-coordinate of line ";I:INPUT Y(I)
200 NEXT I:X(0)=X(1)-(X(2)-X(1)):X(NX+1)=X(NX)+(X(NX)-X(NX-1))
210 Y(0)=Y(1)-(Y(2)-Y(1)):Y(NY+1)=Y(NY)+(Y(NY)-Y(NY-1)):GOSUB 540
220 A=0:K=0:PRINT"The head must be given in at least one point"
230 PRINT:PRINT" i = ":INPUT I:PRINT" j = ":INPUT J
240 PRINT" F = ":INPUT F(I,J):IP(I,J)=1:A=A+F(I,J):K=K+1
250 PRINT:PRINT"Repeat input of given head (Y/N) ? ":GOSUB 510
260 IF A$="Y" THEN 230
270 A=A/K:FOR I=0 TO NX+1:FOR J=0 TO NY+1:IF IP(I,J)=0 THEN F(I,J)=A

```

```

280 NEXT J:NEXT I
290 FOR I=1 TO NX:A(I)=2/((X(I+1)-X(I))*(X(I+1)-X(I-1)))
300 B(I)=2/((X(I)-X(I-1))*(X(I+1)-X(I-1))):NEXT I
310 FOR J=1 TO NY:C(J)=2/((Y(J+1)-Y(J))*(Y(J+1)-Y(J-1)))
320 D(J)=2/((Y(J)-Y(J-1))*(Y(J+1)-Y(J-1))):NEXT J:NI=NX*NY:RX=1.4
330 PRINT:PRINT"Iteration";:FOR IT=1 TO NI:PRINT IT;
340 FOR I=1 TO NX:F(I,0)=F(I,2)
350 FOR J=1 TO NY:F(0,J)=F(2,J):IF IP(I,J)>0 THEN 380
360 A=A(I)*F(I+1,J)+B(I)*F(I-1,J)+C(J)*F(I,J+1)+D(J)*F(I,J-1)
370 A=A/(A(I)+B(I)+C(J)+D(J)):F(I,J)=F(I,J)+RX*(A-F(I,J))
380 F(NX+1,J)=F(NX-1,J):NEXT J:F(I,NY+1)=F(I,NY-1):NEXT I
390 FOR J=1 TO NY:F(NX+1,J)=F(NX-1,J)
400 FOR I=1 TO NX:F(I,NY+1)=F(I,NY-1):IF IP(I,J)>0 THEN 430
410 A=A(I)*F(I+1,J)+B(I)*F(I-1,J)+C(J)*F(I,J+1)+D(J)*F(I,J-1)
420 A=A/(A(I)+B(I)+C(J)+D(J)):F(I,J)=F(I,J)+RX*(A-F(I,J))
430 F(I,0)=F(I,2):NEXT I:F(0,J)=F(2,J):NEXT J
440 NEXT IT:GOSUB 540:PRINT"Output":PRINT:A$="####.###"
450 FOR I=1 TO NX:FOR J=1 TO NY
460 PRINT" x = ";;PRINT USING A$;X(I);
470 PRINT" - y = ";;PRINT USING A$;Y(J);
480 PRINT" - F = ";;PRINT USING A$;F(I,J):NEXT J,I:PRINT
490 PRINT"Repeat iterations (Y/N) ? ";;GOSUB 510:IF A$="Y" THEN 330
500 PRINT:END
510 A$=INPUT$(1):IF A$="Y" OR A$="y" THEN A$="Y":PRINT"Yes":RETURN
520 IF A$="N" OR A$="n" THEN A$="N":PRINT"No":RETURN
530 GOTO 510
540 CLS:LOCATE 1,28,1:COLOR 0,7:PRINT" Finite Differences - 1 ";
550 COLOR 7,0:PRINT:PRINT:RETURN

```

#### 2.4. Mô hình sai phân hữu hạn dòng chảy không ổn định hai chiều

Phương trình cơ bản mô hình hai chiều dòng chảy không ổn định với lượng thấm đồng đều trên toàn bề mặt tầng chứa nước có thể viết như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + I = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5-34)$$

Trong đó:

T - Suất chuyển nước;

h - Mức thủy áp;

I - Tốc độ thấm;

$S_y$  - Hệ số nhả nước;

x, y - Tọa độ không gian trong hệ Đề - Các;

t: Thời gian.

Điều kiện ban đầu:  $t = 0; h(x,y) = h_0(x,y);$

Điều kiện biên:  $h(x = 0, y = 0) = h_0(x,y);$  (5-35)

$h(x = L_1, y = L_2) = h_1(x,y)$

hoặc cho dưới dạng hàm trao đổi nước :  $\partial h/\partial x = 0$  và  $\partial h/\partial y = 0$  tại  $x = L_1$  và  $y = L_2$ .

**2.4.1 Sơ đồ sai phân hiện :** Trong trường hợp này sơ đồ hiện được viết như sau:

$$T \left( \frac{h_{i+1,j}^n - 2h_{i,j}^n + h_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} \right) + T \left( \frac{h_{i,j+1}^n - 2h_{i,j}^n + h_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right) + I_{i,j} = S_{i,j} \frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^n}{\Delta t} \quad (5-36)$$

Trong đó:  $i = 1, 2, 3 \dots n\Delta x$

$j = 1, 2, 3 \dots n\Delta y$

$n = 1, 2, 3 \dots n\Delta t$

Trong phương trình sai phân (5-36) chỉ có một ẩn số đầu nước  $h_{i,j}^{n+1}$  ở nút i,j tại bước thời gian n+1, đầu nước ở các bước thời gian n, ( $h_{i,j}^n$ ) đã biết theo điều kiện ban đầu.

Chương trình mẫu viết cho trường hợp này như sau:

```
100 DEFINT I-N:KEY OFF:GOSUB 370
110 PRINT"--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
120 PRINT"--- Non-steady Groundwater Flow"
130 PRINT"--- Explicit Finite Differences":PRINT"--- Program 9.2"
140 PRINT"--- Homogeneous infiltration in rectangular aquifer"
150 PRINT:PRINT:DIM F(50,50) FA(50,50):TT=0
160 INPUT"Dimension in x-direction : ";XT
170 INPUT"Subdivisions ..... : ";NX:DX=XT/NX:A=!/(DX*DX)
180 INPUT"Dimension in y-direction : ";YT
190 INPUT"Subdivisions ..... : ";NY:DY=YT/NY:P=!/(DY*DY)
200 INPUT"Initial head ..... : ";H
210 INPUT"Infiltration rate ..... : ";P
220 INPUT"Transmissivity ..... : ";T
```

```

230 INPUT"Storativity ..... : ";S:DT=S/(2*T*(A+B))
240 PRINT"Suggestion for time step : ";DT
250 INPUT"Time step ..... : ";DT:PP=P*DT/S
260 INPUT"Number of time steps ... : ";NS:GOSUB 370
270 FOR I=0 TO NX:FOR J=0 TO NY:F(I,J)=H:FA(I,J)=H:NEXT J,I
280 AA=T*DT/S:A=A*AA:B=B*AA:II=INT(NX/2+.1):JJ=INT(NY/2+.1)
290 FOR IS=1 TO NS:TT=TT+DT:FOR I=1 TO NX-1:FOR J=1 TO NY-1
300 D=F(I-1,J)-2*F(I,J)+F(I+1,J):E=F(I,J-1)-2*F(I,J)+F(I,J+1)
310 FA(I,J)=F(I,J)+PP+A*D+B*E:NEXT J,I
320 PRINT"Time : ";:PRINT USING "#####.###";TT;
330 PRINT" --- Head in the center : ";
340 PRINT USING "###.###";FA(II,JJ)
350 FOR I=1 TO NX-1:FOR J=1 TO NY-1:F(I,J)=FA(I,J):NEXT J,I,IS
360 PRINT:END
370 CLS:LOCATE 1,28,1:COLOR 0,7:PRINT" Finite Differences - 2 ";
380 COLOR 7,0:PRINT:PRINT:RETURN

```

#### 2.4.2. Sơ đồ sai phân khử luân hướng

Trong trường hợp này, đối với một bước thời gian, đầu nước được tính lặp theo các bước như sau:

*Bước thứ nhất:* Lấy sai phân hiện đối với phương x và ẩn theo phương y. Theo cách này phương trình sai phân của (5-34) sẽ là:

$$T \left( \frac{h_{i+1,j}^n - 2h_{i,j}^n + h_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} \right) + T \left( \frac{h_{i,j+1}^{n+1} - 2h_{i,j}^{n+1} + h_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} \right) + I_{i,j} = S_{i,j} \frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^n}{\Delta t} \quad (5-37)$$

Giải hệ phương trình đại số tuyến tính (5-37) trên cơ sở các điều kiện biên và điều kiện ban đầu, sẽ xác định được đầu nước ở các nút tại bước thời gian n+1 ở bước lặp thứ l.

*Bước thứ hai:* Lấy sai phân hiện đối với phương y và ẩn theo phương x:

$$T \left( \frac{h_{i+1,j+1}^{n+1} - 2h_{i,j}^{n+1} + h_{i-1,j+1}^{n+1}}{\Delta x^2} \right) + T \left( \frac{h_{i,j+1}^{n+1} - 2h_{i,j}^{n+1} + h_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} \right) + I_{i,j} = S_{i,j} \frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^n}{\Delta t} \quad (5-38)$$

Cột nước ở các nút tại bước thời gian n+1 với bước lặp thứ l theo phương y đã biết theo kết quả tính ở bước thứ nhất. Giải hệ đại số tuyến tính (5-38) sẽ xác định được giá trị đầu nước tại các nút ở bước thời gian n+1.

*Bước thứ ba:* So sánh kết quả tính đầu nước tại các nút ở bước lặp thứ l và l+1. Nếu sai số nhỏ hơn hoặc bằng sai số cho phép, sẽ dừng tính lặp cho bước thời gian n+1 và tiếp tục

tính cho bước thời gian tiếp theo. Nếu điều kiện này không thoả mãn tiếp tục phép tính lặp cho đến khi sai số nằm trong phạm vi cho phép.

Có thể dùng tiêu chuẩn sai số tuyệt đối:

$$\text{Max} \left| h'_{i,j}{}^{+1} - h'_{i,j} \right| \leq \varepsilon$$

hoặc tiêu chuẩn sai số quân phương:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i,j}^n (h'_{i,j}{}^{+1} - h'_{i,j})^2}{n-1}} \leq \varepsilon$$

Trong đó  $\varepsilon$  là sai số cho phép.

## 2.5. Mô hình toán nước ngầm ba chiều MODFLOW

Chuyển động theo ba phương của nước ngầm với mật độ không đổi qua đất xốp có thể được mô tả bởi phương trình vi phân đạo hàm riêng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5-39)$$

Trong đó:

$x, y, z$ : - Các trục tọa độ gắn với các trục chính của độ dẫn thuỷ lực;

$K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  - Độ dẫn thuỷ lực theo các phương  $x, y, z$ ;

$h$  - Mực nước ngầm (mực thuỷ áp);

$W$  - Lượng nước trao đổi qua một đơn vị thể tích giữa bên ngoài và bên trong hệ thống;

$S_s$  - Hệ số lượng trữ của đất, đá (hệ số nhả nước);

$t$  - Thời gian.

Nói chung,  $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  có thể là các hàm số của không gian  $S_s = S_s(x, y, z, t)$  và  $K_{xx} = K_{xx}(x, y, z)$ ... và  $h, W$  có thể là hàm số không gian và thời gian  $h = h(x, y, z, t)$ ;  $W = W(x, y, z, t)$  do đó phương trình (5-32) mô tả dòng chảy nước ngầm không ổn định trong một môi trường không đồng nhất và không đẳng hướng.

Phương trình (5-39) kết hợp với các điều kiện biên và điều kiện ban đầu của hệ thống nước ngầm hình thành nên mô hình toán của dòng chảy nước ngầm. Một lời giải của phương trình (5-39), theo định nghĩa giải tích là một biểu thức đại số cho  $h(x, y, z)$  sao cho khi lấy đạo hàm của  $h$  theo không gian và thời gian và thay thế vào trong phương trình (5-39) thì phương trình đó và các điều kiện biên, điều kiện ban đầu đều thoả mãn.

Ngoại trừ các trường hợp hệ thống nước ngầm rất đơn giản, hầu như không có khả năng tìm được nghiệm giải tích của phương trình (5-39) do vậy buộc phải sử dụng các phương pháp số để nhận được lời giải gần đúng. Một trong những phương pháp đó là phương pháp sai phân hữu hạn trong đó hệ thống liên tục mô tả trong phương trình (5-39) được thay thế

bởi hệ hữu hạn của các điểm rời rạc trong không gian và thời gian, đạo hàm riêng được thay thế bằng tỷ sai phân.

Dưới đây trình bày các thành phần trong mô hình toán nước ngầm ba chiều MODFLOW giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn

Với giả thiết rằng mật độ của nước ngầm là không đổi, phương trình liên tục biểu thị sự cân bằng các dòng chảy đối với một thể tích yếu tố là:

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (5-40)$$

Trong đó:

$Q_i$  - Lưu lượng chuyển qua thể tích phân tố;

$S_s$  - Hệ số lượng trữ;

$V$  - Thể tích phân tố;

$h$  - Sự thay đổi đầu nước trong khoảng thời gian  $t$ .

Theo định luật Darcy ta có:

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta C_j \Delta V_K \frac{(h_{i,j-1} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (5-41)$$

Trong đó:

$q_{i,j-1/2,k}$  - Lưu lượng dòng chảy ngầm qua các mặt giữa, thể tích yếu tố  $i, j, k$  và  $i, j-1, k$ ; [ $L^3 T^{-1}$ ]

$KR_{i,j-1/2,k}$  - Độ dẫn thủy lực dọc theo hàng giữa các nút  $i, j, k$  và  $i, j-1, k$ ; [ $LT^{-1}$ ]

$\Delta r_{j-1/2}$  - Khoảng cách giữa các nút  $i, j, k$  và  $i, j-1, k$ ; [ $L$ ]

Chỉ số  $j-1/2$  được sử dụng để chỉ không gian giữa các nút, nó không chỉ một điểm chính xác nào giữa các nút. Ví dụ như  $KR_{i,j-1/2,k}$  biểu thị độ dẫn thủy lực trên toàn bộ vùng giữa các nút  $i, j, k$  và  $i, j-1, k$ .

Sử dụng (5-41) và (5-39) có thể nhận được phương trình sai phân:

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta C_j \Delta V_k) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t_m - t_{m-1}} \end{aligned} \quad (5-42)$$

Trong đó:

$CR, CC, CV$  - Độ dẫn thủy lực tương ứng với phương  $x, y, z$ .

$P$  - Lưu lượng trao đổi đơn vị ( $L^2 T^{-1}$ ) của hệ thống phụ thuộc vào mực thủy áp  $h$ .

$Q$  - Lưu lượng ( $L^3 T^{-1}$ ) của hệ thống trao đổi với bên ngoài.

$\Delta r_j \Delta C_j \Delta V_k$  - Tương ứng với khoảng chia sai phân theo phương  $x, y, z$ .



Mức thủy áp tại thời điểm bắt đầu tính toán  $h_{i,j,k}^{m-1}$  với tất cả các thông số của mô hình tại nút  $i, j, k$  đều đã biết. Bấy giờ giá trị mức thủy áp tại thời điểm  $t_m$  chưa biết. Phương trình không thể giải một cách riêng biệt được vì trong phương trình có 7 ẩn số. Tuy nhiên một phương trình kiểu này có thể được viết cho từng yếu tố thể tích trong hệ thống ( $n$  phần tử thể tích). Vì thế có thể giải được hệ phương trình gồm  $n$  phương trình với  $n$  ẩn số.

Mô hình nước ngầm ba chiều MODFLOW do M.G McDonald và A.W. Harbaugh xây dựng, mô phỏng tương đối đầy đủ thực tế của một lưu vực nước ngầm. Các tác giả đã mô phỏng các quá trình bốc hơi, bổ sung nước ngầm hoạt động hệ thống giếng, hệ thống tiêu ngầm, hệ thống trao đổi giữa nước dưới đất và nước trong sông, kênh mương, hồ chứa trong lưu vực.

Dưới đây là sự mô phỏng của các tác giả.

### 1. Bốc thoát hơi nước

Các tác giả cho rằng:

$$\left\{ \begin{array}{ll} E = 0 & \text{khi } h < EXEL \\ E = \frac{EVTR(h - EXEL)}{EXDP} & \text{khi } SURF \geq h \geq EXEL \\ E = EVTR & \text{khi } h > SURF \end{array} \right. \quad (5-43)$$

Trong đó:

$E$  - Lượng bốc thoát hơi nước;

$h$  - Mức thủy áp trong tầng chứa nước;

$EXEL$  - Độ cao tới hạn của bốc hơi;

$SURF$  - Độ cao của bề mặt đất;

$EVTR$  - Lượng bốc thoát hơi nước lớn nhất (khả năng bốc thoát hơi).

Như vậy:

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q = 0 & \text{khi } h < SURF - EXDP \\ Q = \frac{EVTR(h - (SURF - EXDP))}{EXDP} & \text{khi } SURF \geq h \geq SURF - EXDP \\ Q = EVTR & \text{khi } h > SURF. \end{array} \right. \quad (5-44)$$

### 2. Thoát nước trong hệ thống tiêu bằng ống ngầm

$$QL_{i,j,k} = CD_{i,j,k} (h_{i,j,k} - d_{i,j,k}) \quad (5-45)$$

Trong đó:

$QL_{i,j,k}$  - Lưu lượng chảy vào trong đường ống tiêu [ $L^3 T^{-1}$ ];

$d_{i,j,k}$  - Đầu nước ở trong ống tiêu [L];

$h_{i,j,k}$  - Đầu nước ở trong tầng chứa nước gần ống tiêu [L];

$CD_{i,j,k}$  - Độ dẫn thủy lực của mặt trung gian giữa tầng chứa nước và ống tiêu [ $LT^{-1}$ ].

### 3. Quan hệ với sông ngòi trong lưu vực nước ngầm

Lượng nước thấm thấu vào (hoặc ra) lòng sông được tính gần đúng theo luật Darcy:

$$QRIV = \frac{KLW(HRIV - HAO)}{M} \quad (5-46)$$

Trong đó:

QRIV - Lưu lượng thấm thấu [ $L^3 T^{-1}$ ];

K - Độ dẫn thuỷ lực của đáy sông [ $L T^{-1}$ ];

W - Chiều rộng của sông [L];

HAO - Mực thuỷ áp [L];

HRIV - Mực nước sông [L];

M - Độ sâu dòng chảy trong sông [L].

Ta có thể viết:

$$QRIV = CRIV (HRIV - HAO) \quad (5-47)$$

Trong đó:

$$CRIV = \frac{KLW}{M} \quad (5-48)$$

Trường hợp đáy sông cao hơn mực nước ngầm:

$$QRIV = CRIV (HRIV - RBOT) \quad (5-49)$$

Trong đó: RBOT là cao độ đáy sông.

### 4. Trao đổi nước ở các biên

Sự trao đổi nước ở bên ngoài và các yếu tố có thể tích được biểu thị qua biểu thức:

$$Q_{i,j,k}^m = C_m (HB_m - h_{i,j,k}) \quad (5-50)$$

Trong đó:

$C_m$  - Hằng số biểu thị sự trao đổi nước bên ngoài và bên trong lưu vực nước ngầm;

$Q_{i,j,k,m}$  - Lưu lượng trao đổi ở biên;

$HB_m$  - Mực thuỷ áp của biên;

$h_{i,j,k}$  - Mực thuỷ áp ở yếu tố thể tích i, j, k.

Nguồn nước ở biên có thể là sông, trong đó hằng số tỷ lệ là độ dẫn nước của đáy sông. Biên cũng có thể là đường ống tiêu ngầm, khi đó độ dẫn nước của đường ống là hàm số của vật liệu xung quanh đường ống tiêu nước và kích thước, khoảng cách ở các lỗ ở thành ống. Biên cũng có thể là một tầng chứa nước khác ở bên ngoài lưu vực nước ngầm cần tính toán, khi đó hệ số tỷ lệ là độ dẫn thuỷ lực của đất đá giữa biên và lưu vực nước ngầm.

### 5. Lượng gia nhập nước ngầm

Lượng gia nhập nước ngầm tại một khu vực nào đó trên lưu vực nước ngầm được tính theo một hệ số tỷ lệ nào đó của lượng cấp nước (mưa hay tưới). Nó phụ thuộc vào độ sâu của mực nước ngầm, tính chất cơ lý, thủy lý của đất đá và lượng cấp nước (mưa hay tưới).

$$RC_{i,j,k} = I_{i,j,k} \cdot DELR_j \cdot DELC_1 \quad (5-51)$$

Trong đó:  $I_{i,j,k}$  là lượng thấm [ $LT^{-1}$ ].

### 6. Hệ thống giếng bơm

Hệ thống giếng bơm trong lưu vực nước ngầm được mô tả thực, tức là vị trí giếng, lưu lượng khai thác được mô tả cụ thể trong mô hình.

### 7. Tính độ dẫn thủy lực trong môi trường không đồng nhất và không đẳng hướng

Trường hợp có n lớp đất đá có độ dẫn thủy lực khác nhau, độ dẫn thủy lực trung bình được tính theo công thức:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$\frac{1}{CR_{i,j+\frac{1}{2},k}} = \frac{1}{\frac{TR_{i,j,k} \cdot DELC_1}{DELRL_{j+\frac{1}{2}}}} + \frac{1}{\frac{TR_{i,j-1,k} \cdot DELC_1}{DELRL_{j+\frac{1}{2}}}} \quad (5-52)$$

$$CR_{i,j+1/2,k} = 2 \cdot DELC_1 \cdot \frac{TR_{i,j,k} \cdot TR_{i,j+1,k}}{TR_{i,j,k} \cdot DELR_{j+1} + TR_{i,j+1,k} \cdot DELR_j} \quad (5-53)$$

Trong đó:

$TR_{i,j,k}$  - Suất chuyển nước tại yếu tố thể tích i, j, k;

$CR_{i,j+1/2}$  - Độ dẫn thủy lực theo phương nằm ngang (y).

$$CC_{i,j+1/2,k} = 2 \cdot DELC_j \cdot \frac{TC_{i,j,k} \cdot TC_{i+1,j,k}}{TC_{i,j,k} \cdot DELC_{i+1} + TC_{i+1,j,k} \cdot DELC_i} \quad (5-54)$$

Suất chuyển nước ở trong một yếu tố thể tích được tính theo cách sau (theo phương y):

$$\text{Nếu } HNEW_{i,j,k} \geq TOP_{i,j,k} \text{ thì } TR_{i,j,k} = (TOP_{i,j,k} - BOT_{i,j,k}) \cdot HIR_{i,j,k} \quad (5-55)$$

$$\text{Nếu } TOR_{i,j,k} > HNEW_{i,j,k} > BOT_{i,j,k} \text{ thì } TR_{i,j,k} = (HNEW_{i,j,k} - BOT_{i,j,k}) \cdot HIR_{i,j,k} \quad (5-56)$$

$$\text{Nếu } HNEW_{i,j,k} \leq BOT_{i,j,k} \text{ thì } TR_{i,j,k} = 0 \quad (5-57)$$

Trong đó:

$HIR$  - Độ dẫn thủy lực của yếu tố thể tích;

$TOP$  - Cao độ phía trên của yếu tố thể tích.

Độ dẫn thuỷ lực theo phương thẳng đứng được tính theo công thức:

$$V_{\text{conti},j,k+1/2} = \frac{KV_{i,j,k+1/2}}{Z_{i,j,k+1/2}} \quad (5-58)$$

$$KV_{i,j,k+1/2} = KV_{\text{conti},j,k+1/2} \text{ DELR}_j \text{ DELC}_i \quad (5-59)$$

Trong đó:

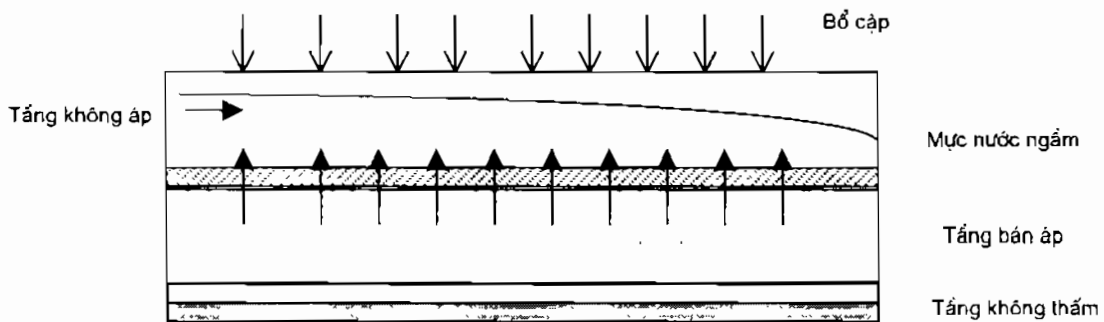
KV - Độ dẫn thuỷ lực theo phương thẳng đứng;

Z - Khoảng cách giữa các nút.

Sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn để mô hình hoá mô hình nước ngầm, theo ba phương (x,y,z) dẫn đến việc phải giải hệ đại số tuyến tính có 7 đường chéo. Các tác giả đã sử dụng thuật toán khử lùi và khử tiến để giải hệ đại số tuyến tính này (Strongly Implicit Scheme). Có thể nói phương pháp này tỏ ra rất hiệu lực trong trường hợp hệ đại số tuyến tính có 7 đường chéo.

## 2.6. Mô hình phần tử hữu hạn đối với dòng chảy ổn định trong tầng chứa nước không áp

Xét dòng chảy ngầm ổn định trong tầng chứa nước không áp có suất chuyển nước T. Tầng chứa nước này lại nhận nước từ tầng chứa nước bán áp phía dưới (hình 5-3). Giả thiết rằng đầu nước của tầng chứa nước bán áp đã biết.



Hình 5-3: Tầng chứa nước không áp nằm trên tầng bán áp

Phương trình cơ bản đối với trường hợp này có thể viết như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + I - \frac{\Phi - \Phi'}{C} = 0 \quad (5-60)$$

Trong đó: I - Lượng nước thấm (đã biết);

$\Phi$  - Đầu nước của tầng chứa nước không áp;

$\Phi'$  - Đầu nước của tầng chứa nước bán áp phía dưới;

C - Sức cản của tầng chứa nước yếu phân cách hai tầng chứa nước.

Số hạng cuối cùng của vế trái biểu thị lượng nước gia nhập từ tầng chứa nước phía dưới.

Suất chuyển nước của tầng chứa nước phía trên là  $T = K.h$ , trong đó  $h$  là độ dày của lớp bão hoà nước. Phương trình (5-60) buộc phải thoả mãn trên toàn bộ miền  $R$  trong mặt phẳng  $(x, y)$ .

Một dạng tổng quát của điều kiện là:

$$\text{Trên } S_1 : \quad \Phi = f \quad (5-61)$$

$$\text{Và trên } S_2 : \quad T \frac{\partial \Phi}{\partial n} = q.h \quad (5-62)$$

Trong đó  $S_1$  và  $S_2$  là các phần biên cấu tạo nên toàn bộ miền  $R$ . Trên  $S_1$  đầu nước đã cho trước, còn trên  $S_2$  trao đổi nước theo phương vuông góc với biên đã được mô tả.

Dạng đơn giản nhất của xấp xỉ phần tử hữu hạn là dùng phép nội suy tuyến tính trong các phần tử tam giác. Tư tưởng cơ bản ở đây là đầu nước được xác định tại các nút của mạng lưới tam giác và phép nội suy tuyến tính trong một phần tử được biểu thị bởi việc định nghĩa hàm dạng  $N_i(x, y)$  như sau:

$$\begin{aligned} N_i(x, y) &= 1 \text{ nếu } j = i \\ N_i(x, y) &= 0 \text{ nếu } j \neq i \end{aligned} \quad (5-63)$$

Mục thuỷ áp (đầu nước) bây giờ có thể biểu diễn như sau:

$$\Phi(x, y) = \sum_{i=1}^n N_i(x, y) \cdot \Phi_i \quad (5-64)$$

Trong đó:  $\Phi_i$  là đầu nước tại nút thứ  $i$ , giá trị là ẩn số  $\Phi_i$  khi  $i$  là nút ở bên trong, hoặc khi nút  $i$  nằm trên biên loại  $S_1$ .

Hàm nội suy (5-64) cũng có thể được sử dụng đối với đầu nước đã biết trong tầng chứa nước phía dưới. Ta có thể viết

$$\Phi'(x, y) = \sum_{i=1}^n N_i(x, y) \cdot \Phi'_i \quad (5-65)$$

Trong đó:  $\Phi'_i$  là giá trị đầu nước tại nút thứ  $i$  của tầng chứa nước phía dưới.

Tích phân phương trình vi phân (5-60) ta có:

$$\int_R \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + I - \frac{\Phi - \Phi'}{C} \right) \right] N_i \right\} dx dy = 0 \quad (5-66)$$

Hai số hạng đầu trong tích phân có thể tách thành hai phần :

$$\left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) \right] N_i = \frac{\partial}{\partial x} \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) - T \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial \Phi}{\partial x} - T \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

Thay vào (5-66) ta có thể viết lại  $J_p$  theo cách sau:

$$J_p = J_1 + J_2 + J_3 \quad (5-67)$$

Trong đó:

$$J_1 = \int_R \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) \right\} dx dy = 0 \quad (5-68)$$

$$J_2 = - \int_R \left\{ T \sum \Phi \left[ \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy \quad (5-69)$$

$$J_3 = \int_R \left\{ I N_i - \frac{1}{C} \sum N_i \cdot N_j \cdot (\Phi_i - \Phi'_j) \right\} dx dy \quad (5-70)$$

Tổng trong tích phân thứ hai và thứ ba cần được biểu diễn trên toàn bộ giá trị  $j$  từ nút  $j=1$  đến  $j=n$ , trong đó  $n$  là số nút.

Các tích phân  $J_1$ ,  $J_2$  và  $J_3$  sẽ được xác định lần lượt như sau:

*a. Tích phân thứ nhất  $J_1$*

Theo định lý Gauss, tích phân thứ nhất  $J_1$  có thể chuyển đổi thành tích phân đường theo biên  $S$  của miền  $R$  như sau:

$$J_1 = \int_R \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) \right\} dx dy = \int_S \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right) dS \quad (5-71)$$

Bởi vì trong (5-71) các giá trị  $i$  hoàn toàn thuộc lớp  $C$ , tức là lớp có các giá trị đầu nước là ẩn số, các giá trị  $i$  đối với tất cả các điểm trên phần biên  $S_1$  bị loại trừ.

Do đó, trong tích phân ở vế trái của (5-71), các giá trị  $i$  hoàn toàn nằm trên biên  $S_2$ . Theo hàm dạng  $N_i = 0$  trên  $S_1$  và do vậy chỉ có sự đóng góp từ tích phân dọc theo  $S_2$ . Trên phần biên đó giá trị  $T \partial \Phi / \partial n$  đã biết.

Cho giá trị hàm cung cấp dọc theo một phần tử biên điển hình bằng  $q_k h$  và chiều dài của phần tử biên bằng  $l_k$ .

Các đóng góp đối với tích phân trong (5-71) có thể hy vọng chỉ từ những phần tử đó của biên, trên đó  $N_i \neq 0$ . Đây là trường hợp chỉ các phần tử dọc hai biên trên cả hai phía của nút  $i$ . Dọc theo hai biên, giá trị của  $N_i$  bằng  $1/2$  và do vậy tích phân sẽ là tổng của hai giá trị  $q_k h l_k$ , một bên trái và một bên phải của nút  $i$ . Tổng này sẽ được ký hiệu là  $Q_i$ . Điều này có nghĩa là tổng lượng nước cung cấp dọc theo một phần tử có thuộc tính đồng đều đối với các nút của nó. Do đó:

$$J_1 = \int_R \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_i T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) \right\} dx dy = Q_i \quad (5-72)$$

Trong đó  $Q_i$  là lượng nước cung cấp cho hệ thống tại nút  $i$ . Nước cung cấp dọc theo phần biên bất kỳ  $S_2$ , một bên phần tử xác định bởi một số  $k$  với chiều dài  $l_k$  được phân chia đều cho các nút tại hai đầu của nó, có nghĩa là tương ứng với  $Q_i$  trong (5-72) có thể biểu diễn là:

$$Q_i = \frac{1}{2} q_k h_k \quad (5-73)$$

*b. Tích phân thứ hai*

Tích phân thứ hai  $J_2$  được xác định bởi (5-69) được tính như sau:

$$J_2 = - \int_R \left\{ T \sum \Phi \left[ \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy = - \sum_j P_{ij} \Phi_j \quad (5-74)$$

Trong đó:

$$P_{ij} = - \int_{R_p} \left\{ T \left[ \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy \quad (5-75)$$

Để đánh giá tích phân này, trước hết chúng ta chú ý rằng, đóng góp đối với tích phân này có thể được thể hiện chỉ khi phần tử  $R_p$  chứa cả hai nút  $i$  và  $j$ . Nếu hoặc  $i$  hoặc  $j$  không thuộc phần tử này, một trong số các hàm dạng bằng 0 và do vậy không có sự đóng góp nào đối với tích phân này cả. Do vậy, ta chỉ xét các phần tử có chứa cả hai nút  $i$  và  $j$ .

Bởi vì hàm dạng là tuyến tính, ta có thể viết

$$N_i(x, y) = p_i x + q_i y + r_i \quad (5-76)$$

$$N_j(x, y) = p_j x + q_j y + r_j \quad (5-77)$$

Trong đó, các hệ số  $p_i, q_i, \dots$  là các hằng số. Giá sử ba nút của một phần tử  $R_p$  được ký hiệu là  $j, k$  và  $l$  (trong đó  $i$  có thể là  $j, k$  hay  $l$ ). Khi đó  $N_i$  phải bằng 1 tại nút  $j$  và bằng 0 ở các nút  $k$  và  $l$ . Do vậy:

$$p_j x_j + q_j y_j + r_j = 1 \quad (5-78)$$

$$p_j x_k + q_j y_k + r_j = 0 \quad (5-79)$$

$$p_j x_l + q_j y_l + r_j = 0 \quad (5-80)$$

Đây là một hệ phương trình tuyến tính với ba ẩn số là  $p_j, q_j, r_j$ . Nghiệm của hệ phương trình này là:

$$p_j = b_j/D; \quad q_j = c_j/D; \quad r = d_j/D.$$

Trong đó:

$$b_j = y_k - y_l; \quad b_k = y_l - y_j; \quad b_l = y_j - y_k$$

$$c_j = x_l - x_k; \quad c_k = x_j - x_l; \quad c_l = x_k - x_j$$

$$d_j = x_k y_l - x_l y_k; \quad d_k = x_l y_j - x_j y_l; \quad d_l = x_j y_k - x_k y_j$$

$$D = x_j b_j + x_k b_k + x_l b_l$$

Ở đây,  $D$  là định thức của hệ phương trình trên. Các thành phần khác là định thức con của hệ phương trình này.

$$\text{Ta biết:} \quad \partial N_i / \partial x = p_i; \quad \partial N_j / \partial x = p_j; \quad \partial N_i / \partial y = q_i; \quad \partial N_j / \partial y = q_j$$

Giả thiết rằng hệ số dẫn nước  $T$  là hằng số  $T_p$  trên toàn bộ phần tử  $R_p$ . Giả thiết này không làm mất đi tính tổng quát, vì các phần tử được chia đủ nhỏ để đảm bảo giả thiết này. Chúng ta nhận được:

$$P_{ij} = T_p A_p [b_i b_j + c_i c_j] / |D|^2. \quad (5-81)$$

Trong đó  $A_p$  là diện tích của phần tử  $R_p$ . Diện tích  $A_p$  này bằng  $0,5 |D|$ . Vì vậy cuối cùng ta có:

$$P_{ij} = \frac{0,5 T_p (b_i b_j + c_i c_j)}{|D|} \quad (5-82)$$

Như vậy tích phân thứ hai sẽ bằng:

$$J_2 = -\sum P_{ij} \Phi_j \quad (5-83)$$

### c. Tích phân thứ ba $J_3$

Tích phân thứ ba được xác định bởi (5-70) có thể được xem như bao gồm hai thành phần. Thành phần thứ nhất là tích phân của hàm thấm  $I$ .

$$J_{3-1} = \int_R \{I N_i\} dx dy \quad (5-84)$$

Đối với một giá trị riêng bất kỳ  $i$ , hàm dạng  $N_i$  chỉ khác 0 trong các phần tử xung quanh. Nếu trong tất cả các phần tử này, hàm thấm  $I$  được giả thiết bằng hằng số (vì các phần tử được chia khá nhỏ). Bởi vì  $I_p$  là hằng số, giá trị trung bình của  $N_i = 1/3$  diện tích phần tử tam giác (diện tích này =  $0,5 |D|$ ). Phần thứ nhất của tích phân thứ ba bằng:

$$J_{3-1} = |D| / 6; \quad (i \in R_p) \quad (5-85)$$

Ở đây điều kiện  $i \in R_p$  chỉ ra rằng đối với giá trị riêng của  $P$  tức là thấm trên phần tử  $R_p$ , sự đóng góp chỉ nhận được khi nút  $i$  thuộc phần tử đó. Theo ý nghĩa tổng lượng thấm trên một phần tử  $0,5 I_p |D|$  được phân chia đồng đều trên ba nút của phần tử tam giác giống như trường hợp tích phân thứ nhất biên cấp nước được phân bố đồng đều trên hai nút của phần tử mặt. Thực tế chúng ta có thể viết:

$$J_{3-1} = Q_i; \quad (i \in R_p) \quad (5-86)$$

Trong đó  $Q_i$  bây giờ là phần thấm thuộc về nút  $i$ . Đối với tất cả các phần tử chứa nút  $i$  chúng ta có:

$$Q_i = I_p |D| / 6; \quad (i \in R_p) \quad (5-87)$$

Từ (5-70) ta xét tiếp phần thứ hai của tích phân thứ ba:

$$J_{3-2} = \int_R \left\{ -\frac{1}{C} \sum N_i N_j (\Phi_i - \Phi'_j) \right\} dx dy \quad (5-88)$$

Ta thấy rằng  $J_{3-2}$  có thể viết thành:

$$J_{3-2} = \sum R_{ij} (\Phi_i - \Phi'_j) \quad (5-89)$$



Trong đó:

$$R_{ij} = \frac{\{b_i b_j Z_{xx} + c_i c_j Z_{yy} + (b_i c_j + b_j c_i) Z_{xy}\}}{|D|} \quad (5-90)$$

Kết hợp các kết quả tích phân ở trên cuối cùng ta có:

$$\sum P_{ij} \Phi_j + R_{ij} (\Phi_j - \Phi'_j) = Q_i \quad (5-91)$$

Trong đó, các hệ số  $P_{ij}$  và  $R_{ij}$  đã được tính theo công thức (5-81) và (5-90). Tất cả các hệ số này có thể được tính dễ dàng đối với một phần tử nếu những giá trị hệ số dẫn nước  $T$ , lượng thấm  $I$  và sức cản  $C$  đã biết và toạ độ của các nút đã xác định.

### CHƯƠNG TRÌNH TÍNH ĐỐI VỚI DÒNG CHẢY ỔN ĐỊNH CÓ THẤM VÀ TRAO ĐỔI NƯỚC QUA TẦNG CHỨA NƯỚC YẾU THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

```

100 DEFINT I-N:KEY OFF:OPTION BASE 1:GOSUB 730
110 PRINT"--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
120 PRINT"--- Plane steady Flow with Infiltration and Leakage"
130 PRINT"--- Finite Element Method":PRINT"--- Program 10.3"
140 PRINT"--- Quadrangular elements, input from dataset"
150 DIM XJ(4),YJ(4),B(3),C(3),D(3),KS(4,3)
160 DIM X(300),Y(300),IP(300),F(300),FA(300),Q(300)
170 DIM NP(250,4),T(250),PP(250),CC(250)
180 DIM U(300),V(300),W(300),P(300,11),R(300,11),KP(300,11):NZ=11
190 PRINT:PRINT:PRINT"Reading data":PRINT:INPUT"Name of dataset ";A$
200 OPEN "I",1,A$:INPUT #1,N,M
210 FOR I=1 TO N:INPUT #1,X(I),Y(I),IP(I),F(I),FA(I),Q(I):NEXT I
220 FOR J=1 TO M:INPUT #1,NP(J,1),NP(J,2),NP(J,3),NP(J,4),T(J),PP(J),CC(J)
230 NEXT J:CLOSE 1:FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 3:K=I+J-1:IF K>4 THEN K=K-4
240 KS(I,J)=K:NEXT J,I:GOSUB 730:PRINT"Generation of pointer matrix"
250 FOR I=1 TO N:KP(I,1)=I:KP(I,NZ)=1:NEXT I
260 PRINT" Element ..... ":FOR J=1 TO M:PRINT J;
270 FOR K=1 TO 4:KK=NP(J,K):FOR L=1 TO 4:LL=NP(J,L)
280 IA=0:FOR II=1 TO KP(KK,NZ):IF KP(KK,II)=LL THEN IA=1
290 NEXT II:IF IA=0 THEN KB=KP(KK,NZ)+1:KP(KK,NZ)=KB:KP(KK,KB)=I,L
300 IF KB=NZ THEN 720
310 NEXT L,K,J:PRINT:PRINT:FE=.00001
320 PRINT"Generation of system matrices":PRINT" Element ..... ";
330 FOR J=1 TO M:PRINT J::FOR KW=1 TO 4:ZX=0:ZY=0
340 FOR I=1 TO 3:K=NP(J,KS(KW,I)):XJ(I)=X(K):YJ(I)=Y(K)

```

```

350 ZX=ZX+X(K):ZY=ZY+Y(K):NEXT I:ZX=ZX/3:ZY=ZY/3
360 FOR I=1 TO 3:XJ(I)=XJ(I)-ZX:YJ(I)=YJ(I)-ZY:NEXT I
370 B(1)=YJ(2)-YJ(3):B(2)=YJ(3)-YJ(1):B(3)=YJ(1)-YJ(2)
380 C(1)=XJ(3)-XJ(2):C(2)=XJ(1)-XJ(3):C(3)=XJ(2)-XJ(1)
390 D(1)=XJ(2)*YJ(3)-XJ(3)*YJ(2):D(2)=XJ(3)*YJ(1)-XJ(1)*YJ(3)
400 D(3)=XJ(1)*YJ(2)-XJ(2)*YJ(1)
410 D=ABS(D(1)+D(2)+D(3)):IF D<EE THEN 540
420 DD=T(J)/(4*D):DE=1/(4*CC(J)*D)
430 XX=(XJ(1)*XJ(1)+XJ(2)*XJ(2)+XJ(3)*XJ(3))/12
440 XY=(XJ(1)*YJ(1)+XJ(2)*YJ(2)+XJ(3)*YJ(3))/12
450 YY=(YJ(1)*YJ(1)+YJ(2)*YJ(2)+YJ(3)*YJ(3))/12
460 FOR K=1 TO 3:KK=NP(J,KS(KW,K)):II=KP(KK,NZ):FOR LL=1 TO II:L=1
470 KV=KS(KW,L):IF NP(J,KV)=KP(KK,LL) THEN 490
480 L=L+1:IF L<4 THEN 470 ELSE 520
490 P(KK,LL)=P(KK,LL)+DD*(B(K)*B(L)+C(K)*C(L))
500 AA=XX*B(K)*B(L)+XY*(B(K)*C(L)+B(L)*C(K))+YY*C(K)*C(L)+D(K)*D(L)
510 R(KK,LL)=R(KK,LL)+DE*AA
520 NEXT LL,K
530 FOR I=1 TO 3:K=NP(J,KS(KW,I)):Q(K)=Q(K)+D*PP(J)/12:NEXT I
540 NEXT KW,J:PRINT:PRINT:EE=EE*EE
550 PRINT"Solution of equations":PRINT" Iteration .... ";IT=1
560 FOR I=1 TO N:IZ=KP(I,NZ):U(I)=0:IF IP(I)>0 THEN 590
570 U(I)=Q(I):FOR J=1 TO IZ:CC=R(I,J):L=KP(I,J)
580 U(I)=U(I)-(P(I,J)+CC)*F(L)+CC*FA(L):NEXT J
590 V(I)=U(I):NEXT I:UU=0:FOR I=1 TO N:UU=UU+U(I)*U(I):NEXT I
600 PRINT IT:FOR I=1 TO N:W(I)=0:IZ=KP(I,NZ)
610 FOR J=1 TO IZ:W(I)=W(I)+(P(I,J)+R(I,J))*V(KP(I,J)):NEXT J,I
620 VW=0:FOR I=1 TO N:VW=VW+V(I)*W(I):NEXT I
630 AA=UU/VW:FOR I=1 TO N:IF IP(I)>0 THEN 650
640 F(I)=F(I)+AA*V(I):U(I)=U(I)-AA*W(I)
650 NEXT I:WW=0:FOR I=1 TO N:WW=WW+U(I)*U(I):NEXT I
660 BB=WW/UU:FOR I=1 TO N:V(I)=U(I)+BB*V(I):NEXT I:UU=WW
670 IT=IT+1:IF IT<=N AND UU>EE THEN 600
680 GOSUB 730:PRINT:A$="#####.###":FOR I=1 TO N
690 PRINT" x = ";PRINT USING A$,X(I):PRINT" - y = ";

```

```

700 PRINT USING A$;Y(I);:PRINT" - F = "':PRINT USING A$;F(I):NEXT I
710 PRINT:END
720 GOSUB 730:PRINT"Pointer width (NZ) too small.":GOTO 710
730 CLS:LOCATE 1,30,1:COLOR 0,7:PRINT" Finite Elements - 3 "':COLOR 7,0
740 COLOR 7,0:PRINT:PRINT:RETURN

```

Data:

```

22,10
0,0,-1,0,0,0,0,100,-1,0,0,0
100,0,-1,0,0,0,100,100,-1,0,0,0
200,0,-1,0,0,0,200,100,-1,0,0,0
300,0,-1,0,0,0,300,100,-1,0,0,0
400,0,-1,0,0,0,400,100,-1,0,0,0
500,0,-1,0,0,0,500,100,-1,0,0,0
600,0,-1,0,0,0,600,100,-1,0,0,0
700,0,-1,0,0,0,700,100,-1,0,0,0
800,0,-1,0,0,0,800,100,-1,0,0,0
900,0,-1,0,0,0,900,100,-1,0,0,0
1000,0,1,0,0,0,1000,100,1,0,0,0
1,2,3,4,100,0.001,10000
3,4,5,6,100,0.001,10000
5,6,7,8,100,0.001,10000
7,8,9,10,100,0.001,10000
9,10,11,12,100,0.001,10000
11,12,13,14,100,0.001,10000
13,14,15,16,100,0.001,10000
15,16,17,18,100,0.001,10000
17,18,19,20,100,0.001,10000
19,20,21,22,100,0.001,10000

```

Trong chương trình tính này:

N - Số nút;

M - Số các phần tử;

X(i) - Tọa độ theo phương X của nút i;

Y(i) - Tọa độ theo phương Y của nút i;

IP(i) - Chỉ số biểu thị loại nút i;

FA(i) - Đầu nước trong tầng chứa nước phía trên tại nút i;

- Q(i) - Lượng nước cung cấp tại nút i;
- NP(j,1) - Nút 1 của phần tử j;
- NP(j,2) - Nút 2 của phần tử j;
- NP(j,3) - Nút 3 của phần tử j;
- NP(j,4) - Nút 4 của phần tử j;
- T(j) - Suất chuyển nước của phần tử j;
- PP(j)- Lượng thấm trong phần tử j;
- CC(j)- Sức cản của tầng chứa nước yếu trong phần tử j.

## 2.7. Mô hình phần tử hữu hạn đối với dòng chảy không ổn định trong tầng chứa nước có áp

Phương trình vi phân cơ bản cho tầng chứa nước có áp có thể viết như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + I = S \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (5-92)$$

Trong đó : S - Hệ số trữ nước;

I - Lượng thấm.

Điều kiện biên được giả thiết loại 1 hoặc loại 2, tức là mọi nơi dọc theo biên hoặc đầu nước hoặc tốc độ cho trước. Khác với trường hợp dòng chảy ổn định, bài toán này muốn giải phải biết điều kiện ban đầu. Tại thời điểm ban đầu  $t = 0$ , điều kiện ban đầu có thể viết như sau:

$$\Phi = \Phi^0(x, y) \quad (5-93)$$

Trong đó :  $\Phi^0(x, y)$  là hàm đã biết.

Bài toán được giải theo từng bước thời gian. Tiến trình được phát triển trong đó các giá trị ở cuối bước thứ nhất sẽ được tính từ các giá trị ban đầu. Ở các bước sau giá trị cuối của bước thứ nhất sẽ là điều kiện ban đầu của bước thứ hai .v.v...

Đường lối đơn giản để dẫn dắt tới các phương trình đại số tuyến tính của phương pháp số trị là tính gần đúng tích phân phương trình vi phân (5-92) từ  $t = 0$  đến  $t = \Delta t$ . Như thế chúng ta nhận được :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + I = S \frac{\Phi' - \Phi^0}{\Delta t} \quad (5-94)$$

Trong đó  $\Phi'$  là giá trị đầu nước tại cuối bước thời gian đang xét, trong khi đó các giá trị  $\Phi$  và I là giá trị trung bình trong bước thời gian đó, chúng nhận được bằng cách tích phân trên  $\Delta t$  sau đó chia kết quả cho  $\Delta t$ .

Bây giờ giả thiết rằng các giá trị trung bình của đầu nước  $\Phi$  trong một khoảng thời gian có thể được biểu thị thông qua các giá trị ở đầu và cuối thời đoạn tính toán, dưới dạng:

$$\Phi = \varepsilon\Phi^0 + (1 - \varepsilon)\Phi' \quad (5-95)$$

Trong đó  $\varepsilon$  là hằng số nội suy, với  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ .

Công thức (5-95) phát biểu rằng, giá trị trung bình là sự kết hợp tuyến tính các giá trị đầu và cuối với các trọng số khác nhau. Đối với  $\varepsilon = 0$ , giá trị trung bình bằng giá trị cuối thời đoạn. Điều này tương ứng với sai phân hữu hạn lùi. Đối với  $\varepsilon = 1/2$  tương ứng với sai phân hữu hạn trung tâm.

Từ (5-95) ta nhận được:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + I - S \frac{\Phi' - \Phi^0}{(1 - \varepsilon)\Delta t} = 0 \quad (5-96)$$

So sánh (5-96) với (5-60) ta thấy rằng chúng tương tự nhau. Chỉ khác ở chỗ hệ số  $1/C$  được thay thế bằng  $S/[\Delta t(1 - \varepsilon)]$  và giá trị biên cho trước  $\Phi$  được thay thế bằng  $\Phi^0$ . Như vậy thuật toán dùng để giải (5-60) cũng có thể dùng trực tiếp để giải (5-96).

Có thể kết luận rằng chương trình tính theo phương pháp phần tử hữu hạn đối với nghiệm của dòng không ổn định trong tầng chứa nước có áp có thể được dựa trên một chút biến đổi của (5-91). Tức là :

$$\sum P_{ij}\Phi_j + R_{ij}(\Phi_j - \Phi_j^0) = Q_i \quad (5-97)$$

Trong đó  $P_{ij}$  và  $R_{ij}$  được tính như sau:

$$P_{ij} = \frac{T_p}{2|D|} (b_i b_j + c_i c_j) \quad (5-98)$$

$$R_{ij} = \frac{b_i b_j Z_{xx} + c_i c_j Z_{yy} + (b_i c_j + b_j c_i) Z_{xy}}{2|D|\Delta t(1 - \varepsilon)} \quad (5-99)$$

## CHƯƠNG TRÌNH TÍNH DÒNG CHẢY KHÔNG ỔN ĐỊNH THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

```

100 DEFINT I-N:KEY OFF:OPTION BASE 1:GOSUB 770
110 PRINT"--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
120 PRINT"--- Plane non-steady Groundwater Flow"
130 PRINT"--- Finite Element Method":PRINT"--- Program 10.5"
140 PRINT"--- Quadrangular elements, input from datafile"
150 PRINT"--- Solution by conjugate gradient method"
160 DIM XJ(4),YJ(4),B(3),C(3),D(3),KS(4,3)
170 DIM X(300),Y(300),IP(300),F(300),FA(300),Q(300)
180 DIM NP(250,4),T(250),S(250),PP(250)
190 DIM U(300),V(300),W(300),P(300,11),R(300,11),KP(300,11):NZ=11

```

```

200 PRINT:PRINT:PRINT"Reading data":PRINT:INPUT"Name of datafile ";A$
210 OPEN "I",1,A$:INPUT #1,N,M,E
220 FOR I=1 TO N:INPUT #1,X(I),Y(I),IP(I),FA(I),Q(I):F(I)=FA(I):NEXT I
230 FOR J=1 TO M:INPUT #1,NP(J,1),NP(J,2),NP(J,3),NP(J,4),T(J),S(J),PP(J)
240 NEXT J:CLOSE 1:FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 3:K=I+J-1:IF K>4 THEN K=K-4
250 KS(I,J)=K:NEXT J,I:GOSUB 770:PRINT"Generation of pointer matrix"
260 FOR I=1 TO N:KP(I,1)=I:KP(I,NZ)=1:NEXT I
270 PRINT" Element ..... ";FOR J=1 TO M:PRINT J;
280 FOR K=1 TO 4:KK=NP(J,K):FOR L=1 TO 4:LL=NP(J,L)
290 IA=0:FOR II=1 TO KP(KK,NZ):IF KP(KK,II)=LL THEN IA=1
300 NEXT II:IF IA=0 THEN KB=KP(KK,NZ)+1:KP(KK,NZ)=KB:KP(KK,KB)=LL
310 IF KB=NZ THEN 760
320 NEXT L,K,J:PRINT:PRINT:EE=.00001
330 PRINT"Generation of system matrices":PRINT" Element ..... ";
340 FOR J=1 TO M:PRINT J,:FOR KW=1 TO 4:ZX=0:ZY=0
350 FOR I=1 TO 3:K=NP(J,KS(KW,I)):XJ(I)=X(K):YJ(I)=Y(K)
360 ZX=ZX+X(K):ZY=ZY+Y(K):NEXT I:ZX=ZX/3:ZY=ZY/3
370 FOR I=1 TO 3:XJ(I)=XJ(I)-ZX:YJ(I)=YJ(I)-ZY:NEXT I
380 B(1)=YJ(2)-YJ(3):B(2)=YJ(3)-YJ(1):B(3)=YJ(1)-YJ(2)
390 C(1)=XJ(3)-XJ(2):C(2)=XJ(1)-XJ(3):C(3)=XJ(2)-XJ(1)
400 D(1)=XJ(2)*YJ(3)-XJ(3)*YJ(2):D(2)=XJ(3)*YJ(1)-XJ(1)*YJ(3)
410 D(3)=XJ(1)*YJ(2)-XJ(2)*YJ(1)
420 D=ABS(D(1)+D(2)+D(3)):IF D<EE THEN 550
430 DD=T(J)/(4*D):DF=S(J)/(4*(1-E)*D)
440 XX=(XJ(1)*XJ(1)+XJ(2)*XJ(2)+XJ(3)*XJ(3))/12
450 XY=(XJ(1)*YJ(1)+XJ(2)*YJ(2)+XJ(3)*YJ(3))/12
460 YY=(YJ(1)*YJ(1)+YJ(2)*YJ(2)+YJ(3)*YJ(3))/12
470 FOR K=1 TO 3:KK=NP(J,KS(KW,K)):II=KP(KK,NZ):FOR LL=1 TO II:L=1
480 KV=KS(KW,L):IF NP(J,KV)=KP(KK,LL) THEN 500
490 L=L+1:IF L<4 THEN 480 ELSE 530
500 P(KK,LL)=P(KK,LL)+DD*(B(K)*B(L)+C(K)*C(L))
510 AA=XX*B(K)*B(L)+XY*(B(K)*C(L)+B(L)*C(K))+YY*C(K)*C(L)+D(K)*D(L)
520 R(KK,LL)=R(KK,LL)+DE*AA
530 NEXT LL,K
540 FOR I=1 TO 3:K=NP(J,KS(KW,I)):Q(K)=Q(K)+D*PP(J)/12:NEXT I

```

```

550 NEXT KW,J:PRINT:PRINT:TN=0:EE=EE*EE:PRINT"Time = ";TN
560 INPUT"Time after next step ";TT:IT=1:DT=TT-TN:IF DT<=0 THEN 750
570 B=1/DT:TN=TT:PRINT"Solution of equations":PRINT" Iteration ";
580 FOR I=1 TO N:U(I)=0:IZ=KP(I,NZ):IF IP(I)>0 THEN 610
590 U(I)=Q(I):FOR J=1 TO IZ:CC=B*R(I,J):L=KP(I,J)
600 U(I)=U(I)-(P(I,J)+CC)*F(L)+CC*FA(L):NEXT J
610 V(I)=U(I):NEXT I:UU=0:FOR I=1 TO N:UU=UU+U(I)*U(I):NEXT I
620 PRINT IT:FOR I=1 TO N:W(I)=0:IZ=KP(I,NZ)
630 FOR J=1 TO IZ:W(I)=W(I)+(P(I,J)+B*R(I,J))*V(KP(I,J)):NEXT J,I
640 VW=0:FOR I=1 TO N:VW=VW+V(I)*W(I):NEXT I
650 AA=UU/VW:FOR I=1 TO N:IF IP(I)>0 THEN 670
660 F(I)=F(I)+AA*V(I):U(I)=U(I)-AA*W(I)
670 NEXT I:WW=0:FOR I=1 TO N:WW=WW+U(I)*U(I):NEXT I
680 BB=WW/UU:FOR I=1 TO N:V(I)=U(I)+BB*V(I):NEXT I:UU=WW
690 IT=IT+1:IF IT<=N AND UU>EE THEN 620
700 FOR I=1 TO N:FA(I)=FA(I)+(F(I)-FA(I))/(1-E):F(I)=FA(I):NEXT I
710 GOSUB 770:A$="#####.###":FOR I=1 TO N
720 PRINT" x = ";:PRINT USING A$;X(I):PRINT" - y = ";
730 PRINT USING A$;Y(I):PRINT" - F = ";:PRINT USING A$;FA(I)
740 NEXT I:PRINT"Time = ";TN:GOTO 560
750 PRINT:END
760 GOSUB 770:PRINT"Pointer width (NZ) too small.":GOTO 750
770 CLS:LOCATE 1,30,1:COLOR 0,7:PRINT" Finite Elements - 5 ";
780 COLOR 7,0:PRINT:PRINT:RETURN

```

DATA

```

22,10,0.5,13
0,0,-1,0,0,0,100,-1,0,0
100,0,-1,0,0,100,100,-1,0,0
200,0,-1,0,0,200,100,-1,0,0
300,0,-1,0,0,300,100,-1,0,0
400,0,-1,0,0,400,100,-1,0,0
500,0,-1,0,0,500,100,-1,0,0
600,0,-1,0,0,600,100,-1,0,0
700,0,-1,0,0,700,100,-1,0,0
800,0,-1,0,0,800,100,-1,0,0

```

900,0,-1,0,0,900,100,-1,0,0  
 1000,0,1,0,0,1000.100,1,0,0  
 1,2,3,4,1000,0.4,0.001  
 3,4,5,6,1000,0.4,0.001  
 5,6,7,8,1000,0.4,0.001  
 7,8,9,10,1000,0.4,0.001  
 9,10,11,12,1000,0.4,0.001  
 11,12,13,14,1000,0.4,0.001  
 13,14,15,16,1000,0.4,0.001  
 15,16,17,18,1000,0.4,0.001  
 17,18,19,20,1000,0.4,0.001  
 19,20,21,22,1000,0.4,0.001

## CHƯƠNG TRÌNH TÍNH DÒNG THẤM QUA ĐẬP ĐỒNG NHẤT THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

```

1000 DEFINT I-N:KEY OFF:OPTION BASE 1:GOSUB 1760
1010 PRINT"--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
1020 PRINT"--- Plane steady flow in triangular dam"
1030 PRINT"--- Finite Element Method":PRINT"--- Program 10.4"
1040 PRINT"--- Quadrangular elements, interactive input":PRINT
1050 DIM X(240),Y(240),IP(240),F(240),U(240),V(240),W(240)
1060 DIM KP(240,10),P(240,10),NP(200,4),T(200):NZ=10
1070 DIM XJ(3),YJ(3),PJ(3,3),B(3),C(3),KS(4,3)
1080 DIM XB(21),XT(21),YT(21),CT(21)
1090 INPUT"Width of dam at the bottom (m) ..... ":W
1100 INPUT"Inclination of slope left (degrees) ... ":AL
1110 INPUT"Inclination of slope right (degrees) .. ":AR
1120 INPUT"Water level left (m) ..... ":HL
1130 INPUT"Water level right (m) ..... ":HR
1140 INPUT"Number of columns of elements ..... ":NL
1150 IF NL>20 THEN NL=20:PRINT" Maximum value : 20"
1160 INPUT"Number of rows of elements ..... ":NI
1170 IF NI>10 THEN NI=10:PRINT" Maximum value : 10"
1180 PRINT:A=4*ATN(1)/180:AL=A*AL:AR=A*AR:E=HL/500
1190 N=(NI+1)*(NL+1):M=NH*NL
  
```



```

1200 CL=COS(AL)/SIN(AL):CR=COS(AR)/SIN(AR):IS=0
1210 FOR I=1 TO NL+1:A=(I-1)/NL:XB(I)=A*W:CT(I)=CL+A*(CR-CL)
1220 YT(I)=HL+.8*A*(HR-HL):XT(I)=XB(I)+CT(I)*YT(I):NEXT I
1230 FOR I=1 TO NL:K=(I-1)*(NH+1):L=(I-1)*NH:FOR J=1 TO NH:J^=L+J
1240 NP(JA,1)=K+J:NP(JA,2)=NP(JA,1)+NH+1:NP(JA,3)=NP(JA,1)+1
1250 NP(JA,4)=NP(JA,2)+1:T(JA)=1:NEXT J,I
1260 PRINT"Calculation of pointer matrix":PRINT"  Element ..... ";
1270 FOR I=1 TO N:KP(I,1)=I:KP(I,NZ)=1:NEXT I:FOR J=1 TO M:PRINT J;
1280 FOR K=1 TO 4:KK=NP(J,K):FOR L=1 TO 4:LL=NP(J,L):IA=0
1290 FOR II=1 TO KP(KK,NZ):IF KP(KK,II)=LL THEN IA=1
1300 NEXT II:IF IA=0 THEN KB=KP(KK,NZ)+1:KP(KK,NZ)=KB:KP(KK,KB)=LL
1310 NEXT L,K,J:PRINT:LL=1
1320 FOR I=1 TO 4:FOR J=1 TO 3:K=I+J-1:IF K>4 THEN K=K-4
1330 KS(I,J)=K:NEXT J,I
1340 FOR J=1 TO NH+1:F(J)=HL:IP(J)=2:IP(N+1-J)=2:F(N+1-J)=HR:NEXT J
1350 IP(N)=0:FOR I=1 TO NL+1:K=(I-1)*NH+I
1360 FOR J=1 TO NH+1:L=K+J-1:Y(L)=(J-1)*YT(I)/NH
1370 IF IS=0 THEN F(L)=YT(I)
1380 X(L)=XB(I)+Y(L)*CT(I):NEXT J,I
1390 GOSUB 1760:PRINT"Free surface after";IS;"cycle";
1400 IF IS<>1 THEN PRINT"s";
1410 PRINT:PRINT:FOR I=1 TO NL+1:K=I*(NH+1):A$="####.###"
1420 PRINT"  x = ";;PRINT USING A$:X(K);
1430 PRINT"  y = ";;PRINT USING A$:Y(K):NEXT I:IF LL<0 THEN 1620
1440 FOR I=N-NH TO N:F(I)=HR:IF Y(I)>HR THEN F(I)=Y(I)
1450 NEXT I:PRINT:PRINT"Generation of Matrix":PRINT"  Element ..... ";
1460 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO NZ:P(I,J)=0:NEXT J,I
1470 FOR J=1 TO M:PRINT J;:FOR KW=1 TO 4:FOR I=1 TO 3
1480 K=NP(J,KS(KW,I)):XJ(I)=X(K):YJ(I)=Y(K)
1490 NEXT I:B(1)=YJ(2)-YJ(3):B(2)=YJ(3)-YJ(1):B(3)=YJ(1)-YJ(2)
1500 C(1)=XJ(3)-XJ(2):C(2)=XJ(1)-XJ(3):C(3)=XJ(2)-XJ(1)
1510 D=ABS(XJ(1)*B(1)+XJ(2)*B(2)+XJ(3)*B(3)):IF D<EE THEN 1580
1520 D=T(J)/(4*D)
1530 FOR K=1 TO 3:KK=NP(J,KS(KW,K)):II=KP(KK,NZ):FOR LL=1 TO II:L=1
1540 KV=KS(KW,L):IF NP(J,KV)=KP(KK,LL) THEN 1560

```

```

1550 L=L+1:IF L<4 THEN 1540 ELSE 1570
1560 P(KK,LL)=P(KK,LL)+D*(B(K)*B(L)+C(K)*C(L))
1570 NEXT LL,K
1580 NEXT KW,J:PRINT:PRINT:GOSUB 1630
1590 LL=-1:FOR I=1 TO NL+1:K=I*(NH+1)
1600 A=F(K)-Y(K):YT(I)=YT(I)+A:IF ABS(A)>E THEN LL=1
1610 NEXT I:IS=IS+1:PRINT:GOTO 1350
1620 PRINT:END
1630 PRINT"Solution of equations":PRINT" Iteration ... ":IT=1
1640 EE=.00001:EE=EE*EE:FOR I=1 TO N:U(I)=0:IF IP(I)>0 THEN 1660
1650 FOR J=1 TO KP(I,NZ):U(I)=U(I)-P(I,J)*F(KP(I,J)):NEXT J
1660 V(I)=U(I):NEXT I:UU=0:FOR I=1 TO N:UU=UU+U(I)*U(I):NEXT I
1670 PRINT IT:FOR I=1 TO N:W(I)=0
1680 FOR J=1 TO KP(I,NZ):W(I)=W(I)+P(I,J)*V(KP(I,J)):NEXT J,I
1690 VW=0:FOR I=1 TO N:VW=VW+V(I)*W(I):NEXT I
1700 AA=UU/VW:FOR I=1 TO N:IF IP(I)>0 THEN 1720
1710 F(I)=F(I)+AA*V(I):U(I)=U(I)-AA*W(I)
1720 NEXT I:WW=0:FOR I=1 TO N:WW=WW+U(I)*U(I):NEXT I
1730 BB=WW/UU:FOR I=1 TO N:V(I)=U(I)+BB*V(I):NEXT I:UU=WW
1740 IT=IT+1:IF IT<=N AND UU>EE THEN 1670
1750 RETURN
1760 CLS:LOCATE 1,30,1:COLOR 0,7:PRINT" Finite Elements - 4 ";
1770 COLOR 7,0:PRINT:PRINT:RETURN.

```

## Chương VI

# TÍNH TOÁN NHIỄM MẶN CÁC VÙNG ĐẤT VEN BIỂN

Các bể nước ngọt dưới đất là nguồn tài nguyên vô cùng quan trọng, đặc biệt đối với các vùng khô hạn và bán khô hạn là nơi nguồn nước ngọt hầu như không có. Trong các bể chứa ngầm vùng ven biển, các hệ thống nước ngọt thường có liên hệ trực tiếp với nước mặn. Thông thường hiện tượng thẩm thấu xảy ra trong các tầng đất, khi xuất hiện độ dốc thủy lực do sự chênh lệch mực nước giữa vùng ven bờ biển và các vùng đất nằm sâu trong lục địa hoặc khi sử dụng nước ngầm vùng ven biển cho các mục đích kinh tế và sinh hoạt.

Việc tìm hiểu sự chuyển động và sự trộn lẫn giữa nước ngọt với nước mặn và các quá trình ảnh hưởng đến nó đối với các vùng ven biển, nơi tập trung các thành phố, thị xã quan trọng, các khu vực dân sinh, kinh tế trọng điểm của đất nước là điều hết sức cấp thiết để quản lý, bảo vệ và khai thác tối ưu các bể chứa nước ngầm trước mắt cũng như trong tương lai.

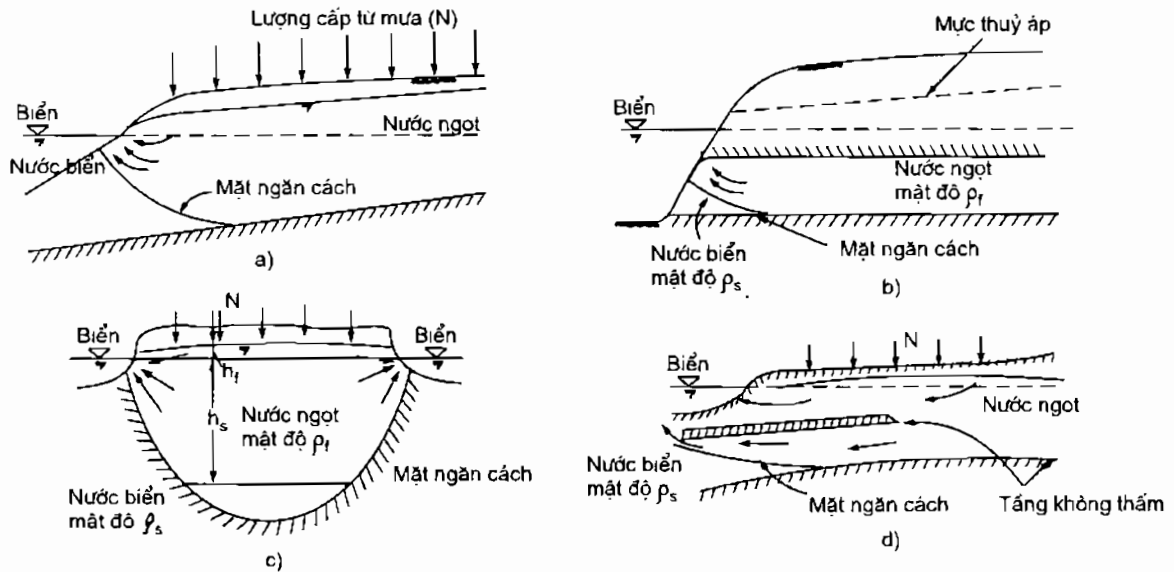
## I. QUÁ TRÌNH NHIỄM MẶN CÁC VÙNG ĐẤT VEN BIỂN

Ở vùng ven biển, độ dốc đường mặt nước thường có hướng dốc ra biển nhưng thường rất nhỏ và ở vùng sát bờ biển thì hướng của đường mặt nước thay đổi do sự lên xuống của thủy triều. Trong điều kiện tự nhiên, nước biển có mật độ lớn hơn nên thường nằm dưới lớp nước ngọt có mật độ nhỏ hơn. Mặt cắt điển hình sự tiếp xúc giữa hai khối nước có mật độ khác nhau được biểu diễn trong hình (6-1). Khi khai thác nước ngầm cho các mục đích kinh tế và sinh hoạt, mặt tiếp xúc đó sẽ bị biến dạng.

Trong thực tế, nước ngọt và nước biển trộn lẫn vào nhau hình thành một vùng tiếp giáp chứ không phải một mặt. Vùng này có một độ rộng đáng kể gọi là vùng nước hỗn hợp. Xét trên mặt cắt thẳng đứng của vùng nước hỗn hợp thấy rằng mật độ tăng dần từ vùng nước ngọt sang vùng nước mặn. Tuy nhiên trong các điều kiện cụ thể và nhất là trong các bài toán kỹ thuật, độ rộng của vùng nước hỗn hợp thường được xem là khá nhỏ so với các khối lượng nước ngọt và nước biển. Vì vậy trong tính toán nó được xem như một mặt ngăn cách giữa nước mặn và nước ngọt. Những kết quả nghiên cứu của Jacob và Schmorak (1960), Schmorak (1967) dọc theo vùng ven bờ của các quần đảo đã khẳng định một cách chắc chắn rằng việc mô phỏng vùng tiếp giáp giữa nước biển mặn và nước ngọt như một mặt ngăn cách giữa chúng là có thể chấp nhận được.

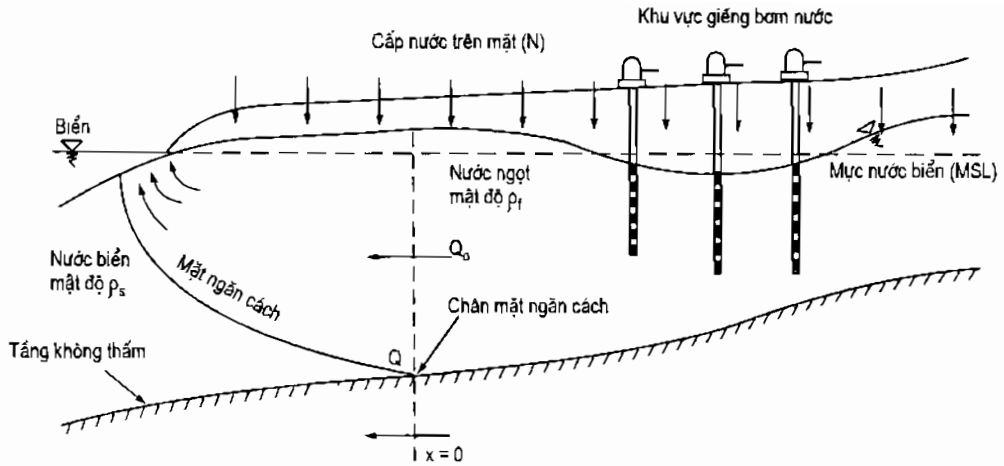
Mặt khác, với cơ sở của thuyết thủy động lực học, việc nghiên cứu vùng chuyển tiếp trong điều kiện thực tế như là một vùng nước chuyển tiếp cũng được thực hiện nhờ việc mô phỏng sự chuyển động của nước ngọt ra biển và xâm nhập của nước biển vào các tầng chứa nước ngọt và công cụ hữu hiệu để giải các bài toán là máy tính điện tử. Trong điều kiện tự nhiên, ở các vùng chứa nước ven biển, trạng thái cân bằng được thiết lập với mặt ngăn cách

tính và nước ngọt chảy ra biển ở phía trên mặt đó. Mỗi điểm trên mặt ngăn cách, độ cao và độ dốc được xác định bởi chiều cao cột nước ngọt  $h_f$  và độ dốc của đường mực nước (hay tốc độ chảy). Sự thay đổi liên tục của độ dốc mặt nước là nguyên nhân sự xâm nhập của nước mặn vào các tầng chứa nước. Lưu lượng đơn vị của nước ngọt tiếp tuyến với mặt ngăn cách tăng dần.



**Hình 6-1:** Mặt cắt điển hình của các mặt tiếp giữa nước mặn và nước ngọt trong điều kiện tự nhiên.

Do việc bơm nước từ các bể chứa ngầm vùng ven biển lớn hơn lượng cung cấp trở lại cho các bể nước ngầm làm mặt nước ngầm bị hạ thấp. Sự hạ thấp đó phát triển dần từ giếng bơm ra biển và đến một lúc nào đó xuất hiện độ dốc ngược và kết quả là mặt ngăn cách cũng tịnh tiến dần vào sâu trong các tầng đất. Nêm mặn sẽ chỉ dừng lại khi một cân bằng mới được thiết lập. Hiện tượng này gọi là quá trình xâm nhập mặn. Khi mặt ngăn cách tiến vào thì vùng chuyển tiếp cũng mở rộng. Trong nhiều bài toán, chúng ta giả thiết rằng mặt tiếp xúc là một mặt cứng và di chuyển tịnh tiến vuông góc với bờ vào phía trong hay ra ngoài tùy thuộc vào độ cao cột nước ngọt phía trên mực nước biển trung bình và hướng của độ dốc mặt nước (đường thủy áp). Khi mặt ngăn cách tiến vào giếng bơm nước thì quá trình bị mặn trong giếng sẽ xảy ra. Khi mặt ngăn cách nằm dưới đáy giếng thì chúng ta lấy được nước ngọt, nhưng việc bơm nước vẫn tiếp tục thì do ảnh hưởng của trường tốc độ theo chiều thẳng đứng và nằm ngang cũng như quá trình khuếch tán do các vùng nước khác mật độ dẫn tới hiện tượng nâng dần lên của mặt ngăn cách. Mặt này có dạng hình nón mà đỉnh nón nằm ở các giếng bơm nước. Hiện tượng này trong chuyên môn gọi là hiện tượng "Upconing" hay còn gọi là nồm nước mặn.



Hình 6-2: Mặt cắt điển hình của tầng chứa nước khi bơm nước

## II. BIỂU DIỄN TOÁN HỌC BÀI TOÁN XÂM NHẬP MẶN

Việc mô phỏng sự xâm nhập mặn vào các tầng đất cũng như vào các bể chứa nước ngầm đã được nghiên cứu khá kỹ lưỡng. Bản chất của hiện tượng là sự chuyển động các chất lỏng với nồng độ muối xác định dưới tác dụng của trường tốc độ mà trường này thiết lập trong điều kiện tự nhiên (thủy triều biển - biên vùng ven bờ) và mực nước sông (biên phía sâu trong đất liền) hoặc trong điều kiện nhân tạo (có lấy nước hoặc nước hồi quy).

Về thực chất là việc giải đồng thời phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \left[ \frac{\partial}{\partial z} (V_x C) + \frac{\partial}{\partial y} (V_y C) + \frac{\partial}{\partial z} (V_z C) \right] \frac{\partial q}{\partial t} \quad (6-1)$$

Trong đó:

$D_x, D_y, D_z$  - Hệ số khuếch tán viết cho ba phương chủ yếu trên toạ độ Đề-Các;

$C$  - Nồng độ chất hoà tan (mg/l), (ppm);

$V_x, V_y, V_z$  - Tốc độ thấm thực, bằng vận tốc Darcy chia cho độ rỗng tổng cộng của môi trường.

Và giải phương trình vi phân biểu diễn dòng chảy ngầm:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( T_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, z, t) \quad (6-2)$$

Trong đó:

$T_x, T_y, T_z$  - Hệ số dẫn nước của môi trường;

$h$  - Mực nước ngầm (Unconfined Aquifer) đối với tầng chứa nước không áp và cột nước áp lực hay mực thủy áp với tầng chứa nước có áp;

$W(x, y, z, t)$  - Lượng nước lấy lên hoặc bổ sung vào tầng chứa nước;

S - Hệ số trữ nước.

Việc giải hệ phương trình (6-1), (6-2) trong các bài toán cụ thể sẽ cho chúng ta vị trí và hình dạng của mặt ngăn cách. Song cũng cần phải nói rằng: hệ (6-1), (6-2) là các hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng phi tuyến dạng Parabolic (hoặc hyperbolic).

Cho nên, cố gắng để tìm được một lời giải thích chính xác cho vấn đề xâm nhập mặn là điều kiện không thể thực hiện được. Chính vì vậy, trong điều kiện thực tế, các tác giả đã đưa ra các điều kiện giới hạn để giải bài toán trên. Dưới đây chúng tôi xin nêu ra một số điều kiện giới hạn đó:

- Xem bài toán là thủy tĩnh nghĩa là không tồn tại chuyển động, trong trường hợp này nước ngọt nằm trên nước biển và mặt ngăn cách là mặt nằm ngang. Vấn đề này sẽ được trình bày ở phần sau.

- Khi xem bài toán là thủy động thì có thể giới hạn:

1. Môi trường là đồng nhất, đẳng hướng;
2. Dòng chảy một chiều;
3. Dòng chảy chỉ xảy ra trên mặt nằm ngang;
4. Dòng chảy có dạng tròn khi chảy vào giếng...

Với các điều kiện giới hạn ở trên bài toán sẽ được đưa về dạng đơn giản hơn để giải, tìm phân bố của mặt tiếp xúc, cũng như phân bố của nước biển mặn trong môi trường ở các vùng ven biển.

### III. QUAN HỆ GIỮA NƯỚC BIỂN VÀ NƯỚC NGỌT TRONG ỐNG CHỮ U - BIỂU THỨC CỦA GHYBEL-HERZBERG

Hơn 60 năm trước đây, hai nhà khoa học nghiên cứu một cách độc lập dọc theo bờ biển thuộc Châu Âu và đều đưa ra kết luận: Nước mặn trong khu vực tiếp giáp tồn tại ở dưới đất không phải nằm ngang mực nước biển mà ở độ sâu dưới mực nước biển khoảng 40 lần độ cao của cột nước ngọt nằm phía trên mực nước biển. Phân bố này được thiết lập đối với cân bằng tĩnh tồn tại giữa hai chất lỏng có mật độ khác nhau.

Cân bằng thủy tĩnh giữa nước biển và nước ngọt có thể biểu diễn bằng ống chữ U trên hình 6-3. Áp suất ở mỗi mặt tiếp xúc trong ống chữ U phải bằng nhau, do đó:

$$\rho_s g Z = \rho_f g (Z + h_f) \quad (6-3)$$

Trong đó:  $\rho_s$  - Mật độ khối nước biển ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_f$  - Mật độ khối nước ngọt ( $\text{g/cm}^3$ );

Z và  $h_f$  - Được biểu diễn như trên hình (6-3).

Giải phương trình (6-3) ta có:

$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (6-4)$$

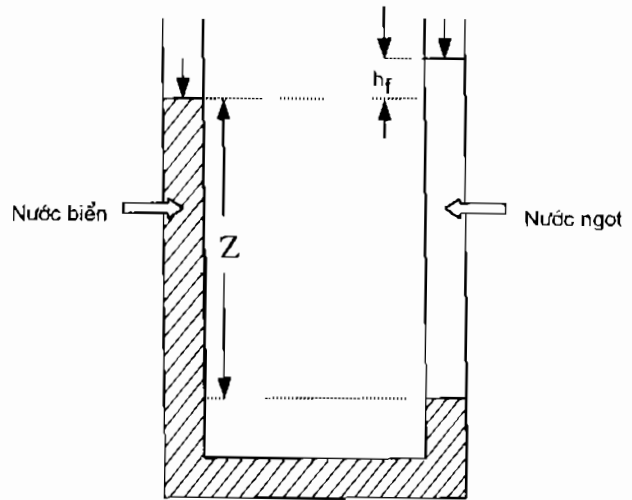
Công thức (6-4) do hai nhà khoa học Ghybel và Herzberg tìm ra nên gọi là công thức Ghybel- Herzberg.

Ví dụ :  $\rho_s = 1,025 \text{ g/cm}^3$  ;  $\rho_f = 1,000 \text{ g/cm}^3$  thay vào (6-4) ta có:

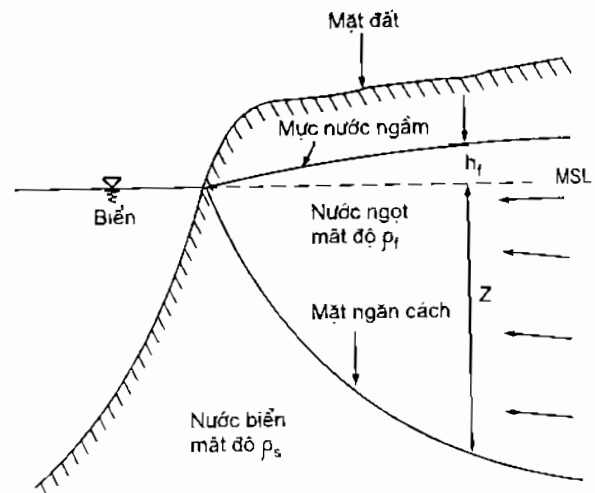
$$Z \approx 40 h_f \quad (6-5)$$

Chuyển kết quả nghiên cứu từ ống chữ U ra ngoài thực tế vùng ven biển biểu diễn trong hình (6-4);  $h_f$  sẽ trở thành mực nước ngầm trên mặt nước biển và  $Z$  là độ sâu đến mặt ngăn cách từ một điểm đã xác định cho tới mực nước biển trung bình (MSL). Trạng thái này mang tính chất thủy động hơn là thủy tĩnh do đường mặt nước có xu thế đổ ra biển. Nếu chỉ nghiên cứu mật độ của chất lỏng mà không quan tâm tới sự chuyển động của chất lỏng trong đó thì mặt ngăn cách sẽ là nằm ngang, nước ngọt với mật độ nhỏ hơn nằm trên mà dưới đó là nước biển với mật độ lớn hơn. Điều này muốn chỉ ra rằng: ở nơi nào dòng chảy gần nằm ngang thì quan hệ (6-5) sẽ cho kết quả khá phù hợp. Đối với các vùng ngang ven bờ, thậm chí vùng đồng bằng ven biển, nơi độ dốc nước không lớn hơn vài phần vạn thì quan hệ Ghybel - Herzberg cho phép "tính toán thô" độ sâu mà tại đó nước biển tồn tại và có thể xem đây là giá trị ban đầu cho các tính toán chi tiết hơn đánh giá sự nhiễm mặn của các vùng đất ven bờ.

Còn đối với vùng ngay bờ biển, do ảnh hưởng của thủy triều xuất hiện độ dốc ngược chảy vào trong thì quan hệ (6-4) và (6-5) sẽ cho kết quả với độ chính xác không cao.



**Hình 6-3:** Cân bằng thủy tĩnh giữa nước biển và nước ngọt trong ống chữ U.



**Hình 6-4:** Mặt ngăn cách lý tưởng giữa nước biển và nước ngọt trong tầng không áp, vùng ven bờ.

Đối với các tầng chứa nước có áp, biểu thức (6-4) và (6-5) cũng có thể áp dụng được bằng cách thay thế mực nước ngầm bằng mực thủy áp. Một điều cần lưu ý khi sử dụng quan hệ Ghybel- Herzberg là cân bằng giữa nước biển và nước ngọt đòi hỏi mực nước ngầm (trong trường hợp tầng chứa nước không áp) hoặc mực thủy áp (trong tầng chứa có áp) phải thỏa mãn hai điều kiện:

- Nằm phía trên mực nước biển ;
- Đường mực nước có hướng chảy ra biển.

Nếu không có các điều kiện trên thì nước biển sẽ tiến vào các tầng đất một cách dễ dàng.

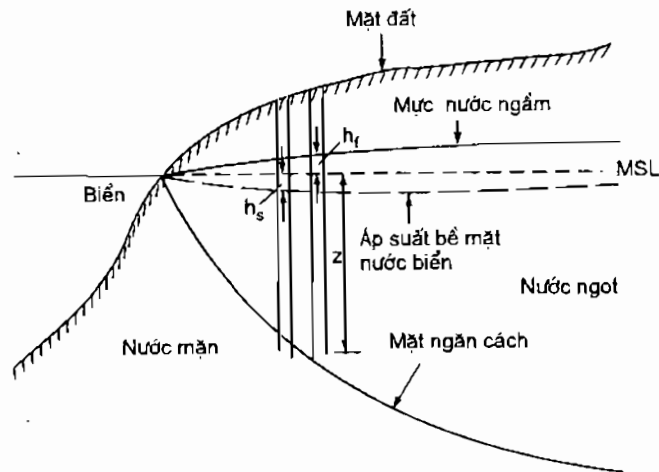
Xuất phát từ các công trình nghiên cứu của Ghybel và Herzberg, tác giả Hubbert, Luszczynski và các tác giả khác đã phát triển cho trường hợp nước biển nằm dưới nước ngọt chuyển động với mực nước nằm trên hoặc nằm dưới mực nước biển trung bình nhiều năm (MSL). Đây được xem là trạng thái không cân bằng và được biểu diễn dưới dạng sau:

$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f - \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_s \quad (6-6)$$

Trong đó:  $h_f$  - Cột nước ngọt nằm trên mực nước biển (MSL) với mật độ  $\rho_f$ .

$h_s$  - Cột nước biển nằm dưới (hoặc trên) mực nước biển với mật độ  $\rho_s$  (hình 6-5).

**Hình 6-5:** Sơ đồ biểu diễn sự khác nhau của mực nước với điều kiện không cân bằng cho vùng nước tiếp giáp, trong tầng chứa nước không áp.



Khi  $h_s = 0$ , nghĩa là nước biển ở trạng thái tĩnh thì (6-6) trở lại (6-4) tức là trở lại quan hệ Ghybel- Herzberg.

### 3.1. Hình dạng của mặt ngăn cách

Quan hệ Ghybel- Herzberg chỉ áp dụng tốt trong trường hợp thủy tĩnh. Trong thực tế, do có sự chuyển động của cả khối nước ngọt hướng ra biển, cũng như khối nước mặn từ biển vào, nên những lời giải chính xác hơn để xác định hình dạng của mặt ngăn cách được phát triển từ lý thuyết dòng chảy.



Một trong các nghiên cứu tìm được bởi Glover như sau:

$$Z^2 = \frac{2\rho q x}{\Delta\rho.K} + \left( \frac{\rho q}{\Delta\rho.K} \right)^2 \quad (6-7)$$

Trong đó:

$Z, x$  - Được biểu diễn trong hình (6-6);

$\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$ ;

$K$  - Hệ số dẫn nước của tầng chứa nước;

$q$  - Lưu lượng nước ngọt đơn vị ( $m^3/s/m$ ) tính dọc theo bờ biển.

Hình dạng tương ứng của đường mặt nước được biểu diễn bởi biểu thức sau:

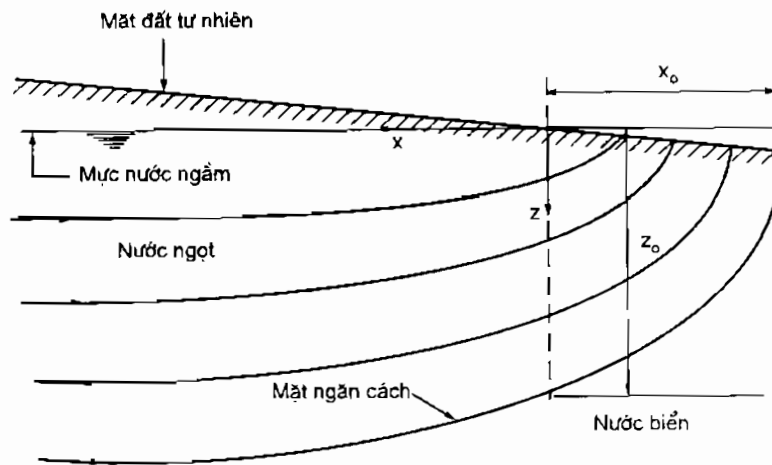
$$h_f = \sqrt{\frac{2\Delta\rho q x}{\rho_s.K}} \quad (6-8)$$

Khoảng cách lớn nhất kể từ bờ biển mà tại đó mặt ngăn cách có thể tìm được bằng cách cho  $Z=0$ , ta có:

$$x_0 = - \frac{\rho q}{2\Delta\rho.K} \quad (6-9)$$

Độ sâu của mặt ngăn cách ngay tại bờ biển tương ứng với  $x=0$ :

$$Z_0 = \frac{\rho q}{\Delta\rho.K} \quad (6-10)$$



**Hình 6-6:** Sơ đồ dòng chảy ngầm tầng chứa nước không áp.

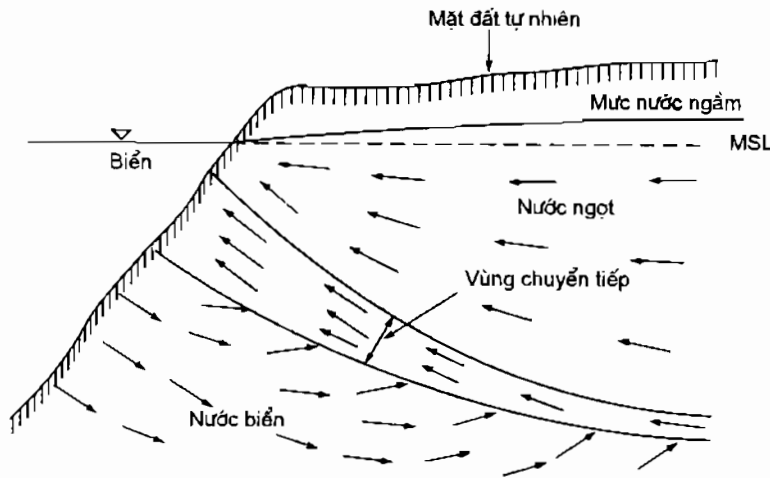
### 3.2. Cấu trúc thực của mặt ngăn cách

Biên ngăn cách giữa nước biển và nước ngầm ngọt như đã được trình bày ở trên đây không xảy ra trong điều kiện thực tế. Thay vào đó là một vùng chuyển tiếp với độ dày xác định ngăn cách hai khối chất lỏng nói trên mà chúng ta gọi là vùng nước lợ.

Vùng này phát triển do sự khuếch tán của dòng chảy ngọt và sự dịch chuyển không ổn định của mặt ngăn cách dưới ảnh hưởng của các nhân tố như: Thủy triều biển, nước hồi quy và hiện tượng bơm nước từ các bể ngầm. Nhìn chung, độ dày lớn nhất của vùng chuyển tiếp này thường xảy ra ở những vùng chứa nước với các vật chất có khả năng dẫn nước lớn và chịu ảnh hưởng của việc bơm nước với lưu lượng đáng kể. Độ dày đã đo đạc được thay đổi từ vài mét đến vài trăm mét kể từ bờ biển. Vùng chuyển tiếp này có nồng độ muối giảm dần khi đi vào đất liền. Sự thay đổi đó được biểu diễn bằng các đường đẳng nồng độ.

Hình (6-7) mô tả dòng chảy trên mặt cắt thẳng đứng, theo đó có thể phân chia thành 3 vùng. Phía trên cùng là vùng nước ngọt có hướng chảy ra biển. Vùng chuyển tiếp xu thế của nó cũng chảy ra biển. Tuy nhiên, vùng nước mặn nằm dưới lại có hướng đi vào đất liền. Tài liệu đo đạc thực tế và các nghiên cứu thực nghiệm đã khẳng định tính đúng đắn của giả thiết trên.

Khi ảnh hưởng của thủy triều là trội hơn trong các nhân tố ảnh hưởng thì sự pha trộn cơ học, sự thay đổi nước ngầm và độ dày của các vùng chuyển tiếp là lớn nhất ở ngay sát đường bờ biển.



**Hình 6-7:** Mô phỏng mặt cắt thẳng đứng trường dòng chảy khi có sự tiếp xúc giữa nước ngọt và nước biển trong tầng chứa nước không áp vùng ven biển

Dọc theo vùng chuyển tiếp, nồng độ muối tăng một cách chậm chạp từ phía nước ngọt sang phía nước mặn. Về mặt lý thuyết phân bố này như là phân bố sai số tiêu chuẩn được biểu diễn trong hình (6-8a). Căn cứ vào đường phân bố, cho phép xác định lượng muối tương đối  $S_R$  bằng biểu thức sau:

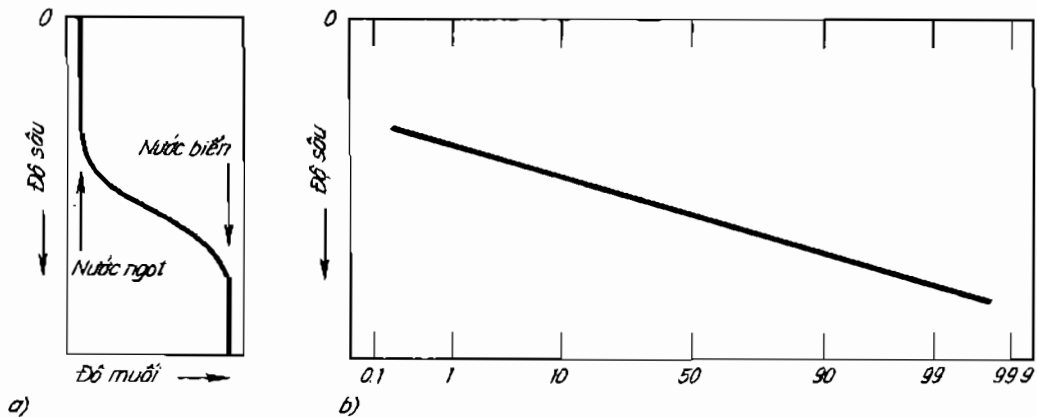
$$S_R = 100 \frac{C - C_f}{C_s - C_f} \quad (6-11)$$

Trong đó:

C - Nồng độ muối ở một độ sâu nào đó trong vùng chuyển tiếp;

$C_f, C_s$  - Nồng độ muối của nước ngọt và nước biển.

Xây dựng quan hệ giữa  $S_R$  với độ sâu trên giấy logarit một chiều, quan hệ thường là một đường thẳng, biểu diễn trên hình (6-8b).



**Hình 6-8: Sự tăng lên của lượng muối theo độ sâu trong vùng chuyển tiếp (transition zone).**  
a) Vẽ trên giấy thường; b) Vẽ trên giấy logarit

Vì những tài liệu chi tiết để xây dựng cấu trúc của vùng chuyển tiếp rất khó khăn khi thu thập ngoài thực địa, nên đồ thị trên đây cho phép xác định nồng độ muối nằm trong vùng của hai điểm thực đo. Điểm ứng với  $S_R = 50\%$  là điểm giữa của vùng chuyển tiếp và là vị trí của mặt ngăn cách nếu xem rằng mặt này là cứng.

Ở những vùng không đồng nhất, do sự phân tầng của các vật chất chứa nước dẫn tới phân bố của nước muối và phân bố của vùng chuyển tiếp cũng không mang tính quy luật và vì vậy các nghiên cứu về hiện tượng xâm nhập mặn cho các tầng chứa nước loại này cần phải có những phương pháp thích hợp để tính toán sự chuyển động và xâm nhập của nước biển vào sâu trong các tầng đất.

### 3.3. Xác định mặt ngăn cách của nước biển và nước ngọt vùng ven biển trong tầng chứa nước không áp bằng phương pháp giải tích

Xác định sự chuyển động của mặt tiếp xúc của vùng ven biển là một vấn đề cực kỳ khó khăn. Lời giải giải tích trong trường hợp mật độ giữa hai chất lỏng khác nhau và sự khuếch tán trong vùng chuyển tiếp là một vấn đề hết sức phức tạp.

Phần lớn các bể chứa nước ngầm vùng ven biển là các bể chứa không áp, đặc biệt là các bể chứa tầng nông nơi có liên hệ trực tiếp của việc lấy nước cho các hoạt động kinh tế xã hội. Trong phần này xin giới thiệu một phương pháp giải tích nghiên cứu chuyển động của mặt nước ngăn cách.

Sơ đồ biểu diễn trạng thái dòng chảy của vùng không áp gần bờ biển được trình bày trong hình 6-9.

Giả thiết tầng chứa nước là đồng nhất, đẳng hướng và có bề dày không đổi; dòng chảy tuân theo quy luật Darcy và phù hợp với các giả thiết của Dupuit; khuếch tán động lực giữa nước biển và nước ngọt thường khá nhỏ và trong trường hợp này xem như bằng không và mật ngăn cách giữa hai khối nước biển và nước ngọt không đổi.

Dòng nước ngọt chảy ra biển với cột nước không đổi  $h_0$  ở phía thượng lưu nằm trên mực nước biển. Khoảng cách từ biển tới bờ biển là  $L(m)$  với giả thiết tồn tại chế độ dòng chảy đều. Giả thiết này có nghĩa là lưu lượng dòng chảy không thay đổi theo mật cắt ngang khi đi từ mật cắt thượng lưu ra phía bờ biển. Như vậy nếu như biên trên có sự thay đổi (hàm kích thích) thì mật nước ngầm sẽ thay đổi và kéo theo là sự chuyển động của mật ngăn cách.

Dưới đây là các dạng đặc trưng của sự thay đổi mực nước biển trên.

### 3.4. Sự thay đổi mực nước ở biển trên (hàm kích thích)

Bốn dạng hàm kích thích được nghiên cứu, có sự thay đổi đáng kể mực nước ở biển thượng lưu bao gồm:

#### 1. Hàm sóng tăng đột ngột

Mực nước thượng lưu tăng đột ngột đến mức  $h_0 + h_a$  trên mực nước biển (MSL) và sau đó giữ không đổi (hình 6-10a) và điều kiện biên trong trường hợp này là:

$$h(L, t) = h_0 + h_a; t > 0 \quad (6-12)$$

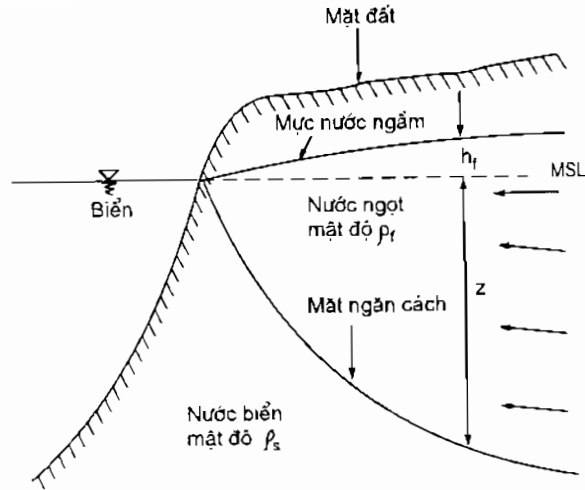
Với:  $h(L, t)$  - Mực nước ngầm trên MSL;  
 $h_a$  - Biên độ dao động cực đại.

#### 2. Hàm sóng tăng tuyến tính

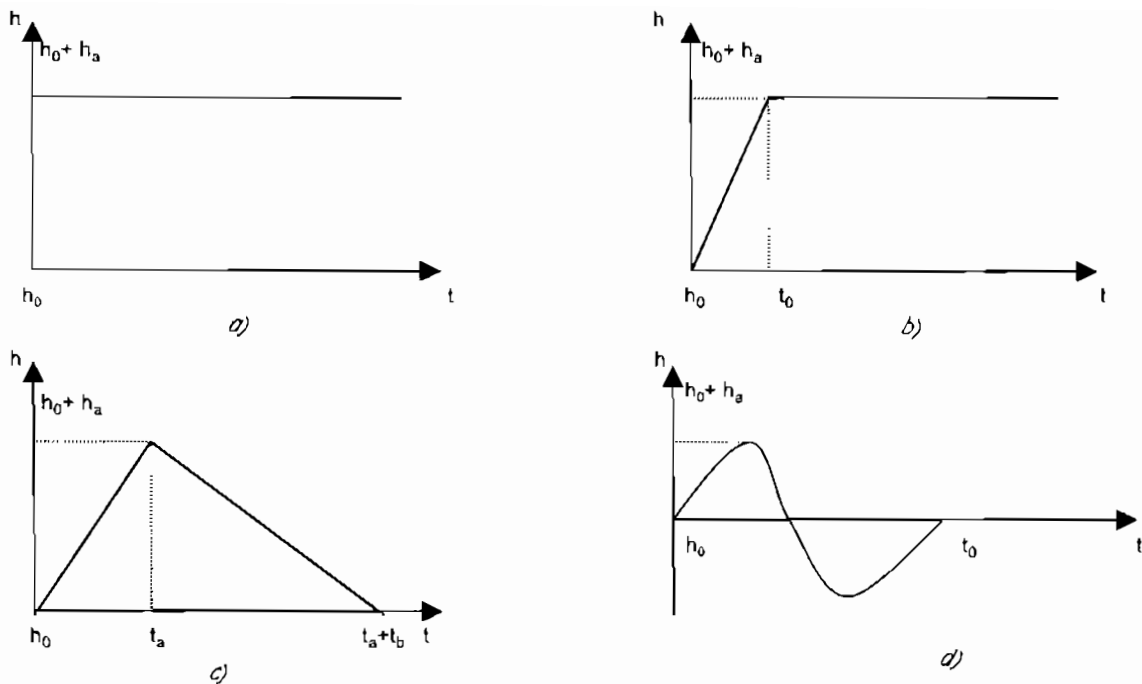
Hàm sóng tăng tuyến tính được biểu diễn trên hình (6-10b) và điều kiện biên được biểu diễn như sau:

$$h(L, t) = h_0 + \frac{h_a t}{t_0} - \frac{h_a t}{t_0} U(t - t_0) + h_a U(t - t_0); t > 0 \quad (6-13)$$

Trong đó:  $U(t - t_0)$  là hàm bước sóng đơn vị.



Hình 6-9: Sơ đồ dòng chảy tầng chứa nước không áp vùng ven biển.



Hình 6-10: Các dạng hàm kích thích

### 3. Hàm sóng dạng tam giác

Hàm sóng dạng tam giác được biểu diễn trên hình (6-10c) và khi đó điều kiện biên được biểu diễn như sau:

$$h(L, t) = h_0 + f(t); \quad t > 0 \quad (6-14)$$

Trong đó:

$$f(t) = h_a \frac{t}{t_a} - \frac{h_a t}{t_a} U(t - t_a) + \frac{h_a}{t_b} (t_a + t_b - t) U(t - t_a) - h_a \frac{t_a + t_b - t}{t_b} U(t - t_a - t_b) \quad (6-15)$$

### 4. Hàm sóng dạng hình sin

Hàm sóng dạng hình sin được biểu diễn trên hình (6-10d) và khi đó điều kiện biên được biểu diễn như sau:

$$h(L, t) = h_0 + h_a \sin \omega t; \quad t > 0 \quad (6-16)$$

Trong đó:  $\omega = \frac{2\pi}{t_0}$  là chu kỳ của sóng hình sin.

**3.5. Lời giải của bài toán:** Bài toán được giải theo hai bước

*Bước một:* Giải bài toán dòng chảy, xác định mặt nước ngầm.

Về thực chất đây là bài toán dòng chảy một chiều biểu diễn bằng phương trình:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S_y}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6-17)$$

Trong đó:

$T = Kb$  với  $b$  là chiều dày tầng chứa nước;

$S_y$  - Hệ số nhả nước của tầng chứa nước.

*Bước hai:* Xác định mặt ngăn cách

Sử dụng kết quả tính toán đường mặt nước ngầm trong bước một như hàm vào và giải phương trình tìm mặt ngăn cách theo hai cách:

1. Giải gần đúng: xem rằng trạng thái dòng chảy tức thời là tĩnh và dùng quan hệ (6-4) hoặc (6-5) để xác định độ sâu từ mặt biển trung bình (MSL) tới mặt ngăn cách ở mỗi điểm. Cách này cho lời giải gần đúng. Trong các tính toán với độ chính xác không cao có thể sử dụng phương pháp này.

2. Để có lời giải chính xác sử dụng phương pháp số giải phương trình biểu diễn mặt ngăn cách:

$$\frac{\partial}{\partial x} (h + H) \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{S_y}{K\alpha} \left( \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial t} \right) \quad (6-18)$$

Trong đó:

$H$  - Cột nước ngầm từ MSL đến mặt ngăn cách;

$h$  - Cột nước ngầm phía trên MSL;

$$\alpha = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}$$

Với:  $\rho_s, \rho_f$  là trọng lượng riêng của nước biển và nước ngọt tương ứng.

Các phương pháp sai phân hữu hạn, phần tử hữu hạn được sử dụng để giải phương trình (6-18), trong đó phân bố của mặt nước ngầm xem như đã tìm được trong bước thứ nhất.

Cũng cần nói thêm rằng việc tìm phân bố của mặt nước ngầm về thực chất là giải phương trình (6-17) có thể làm được bằng phương pháp giải tích.

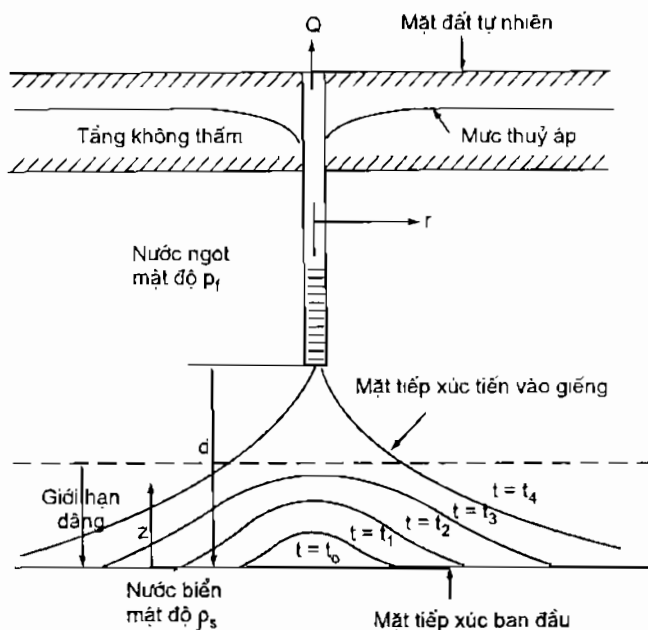
### 3.6. Nhiệm mặn khi bơm nước ngọt từ các giếng vùng ven biển

Như đã trình bày ở trên, do cấu tạo của địa hình, các vùng đất ven biển thường bằng phẳng, độ dốc đường mặt nước trong các sông suối thường rất nhỏ, nên trong điều kiện tự nhiên mặt ngăn cách của nước mặn và nước ngọt thường nằm ngang hoặc gần nằm ngang với dạng phân bố nước ngọt nằm ở phía trên nước mặn.

Do yêu cầu phát triển kinh tế, các giếng khai thác nước ngầm được đặt ở các độ sâu khác nhau trong các vùng chứa nước ngọt của các bể chứa ngầm. Tùy theo tính chất địa chất thủy văn mà đáy giếng đặt ở các độ sâu khác nhau, nhưng thông thường đáy giếng đặt ở độ

sâu  $3/4H$ , trong đó  $H$  là chiều dày của tầng chứa nước (trong các bể chứa có áp), hoặc chiều cao cột nước ngầm kể từ đáy không thấm dưới (trong các bể chứa không áp).

Khi bắt đầu bơm nước, dưới ảnh hưởng của trường vận tốc thẳng đứng và nằm ngang, mặt ngăn cách nâng lên cục bộ, bắt đầu từ trung tâm của giếng. Hiện tượng này gọi là hiện tượng dâng mặn hình nón (Upconing), biểu diễn trong hình (6-11). Khi thời gian bơm nước tăng lên, mặt ngăn cách càng xa dần vị trí ban đầu và nón mặn tiến vào giếng bơm. Đồng thời vùng ảnh hưởng cũng mở rộng dần ra ngoài. Nếu quá trình bơm tiếp tục thì đến một lúc nào đó nước mặn sẽ tiến vào trong giếng bơm. Khi lượng nước mặn đi vào giếng đến một giới hạn cho phép thì máy bơm phải ngừng hoạt động.



**Hình 6-11:** Sơ đồ biểu diễn quá trình nước mặn đi vào giếng bơm

Upconing là một hiện tượng phức tạp, nó phụ thuộc vào điều kiện bơm nước bao gồm: chế độ bơm, lưu lượng bơm và các tính chất thủy văn địa chất của tầng chứa nước.

Vấn đề này có một ý nghĩa cực kỳ quan trọng trong việc thiết lập và vận hành các giếng đơn hoặc hệ thống giếng nhằm lấy được một lượng nước ngọt lớn nhất mà không làm ảnh hưởng xấu đến các bể chứa nước ngầm. Điều này còn có nghĩa là xác định vị trí tối ưu, độ sâu đặt giếng, lưu lượng bơm, chu kỳ bơm, khoảng cách giữa các giếng bơm để cho một lượng nước ngọt lớn nhất mà không ảnh hưởng đến các bể nước ngầm.

Về mặt định lượng, chúng ta phải giải quyết bài toán chuyển động của mặt ngăn cách dưới tác động của trường tốc độ trên hệ tọa độ tròn.

Sự chuyển động của nước biển trong trường hợp này được biểu diễn bằng phương trình bảo toàn khối lượng.

Việc xác định nghiệm của bài toán được kết hợp với việc giải phương trình dòng chảy vào giếng. Phương trình chuyển động của vật chất được biểu diễn bởi phương trình sau:

$$\frac{D_r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{q_r}{n} \frac{\partial C}{\partial r} - \frac{q_z}{n} \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (6-19)$$

Trong đó:

- $D_r, D_z$  - Hệ số khuếch tán theo phương  $r$  và phương thẳng đứng  $z$  ( $L^2T^{-1}$ );
- $C$  - Nồng độ muối trong nước biển (% hoặc ppm);
- $q$  - Lưu lượng đơn vị (lưu lượng Darcy -  $LT^{-1}$ );
- $n$  - Độ rỗng của tầng chứa nước (không thứ nguyên);
- $r$  - Bán kính kể từ trung tâm giếng (L).

Hai số hạng đầu của phương trình (6-19) biểu diễn hiện tượng khuếch tán. Hiện tượng này xảy ra dưới ảnh hưởng của trường tốc độ, do sự chênh lệch đầu nước xảy ra khi bơm, tính từ trung tâm giếng, đồng thời do sự chênh lệch nồng độ muối giữa hai vùng nước ngọt và nước biển.

Hai số hạng cuối biểu diễn chuyển động thẳng đứng (đối lưu). Phương trình (6-19) không thể tìm được nghiệm giải tích. Ngay trong trường hợp giải bằng phương pháp số, một số trường hợp cũng không cho kết quả vì tính ổn định và sự hội tụ của sơ đồ giải. Trường hợp tổng quát, hai thành phần khuếch tán và đối lưu được đánh giá riêng rẽ, sau đó tập hợp lại.

Thông thường thành phần đối lưu chiếm tới 95%, cho nên có một số sơ đồ người ta bỏ qua 2 số hạng khuếch tán mà chỉ tính thành phần đối lưu.

Thành phần đối lưu được đánh giá bằng phương pháp đặc trưng - một phương pháp khá hữu hiệu và phổ biến hiện nay. Phân bố lưu tốc cần thiết cho tính toán trên đạt được bằng cách giải phương trình chuyển động dòng chảy trục đối xứng tròn, không ổn định hai chiều trong môi trường lỗ rỗng.

Phương trình có dạng sau:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( K_r \frac{\partial s}{\partial r} \right) + \frac{K_r}{r} \frac{\partial s}{\partial r} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial s}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial s}{\partial t} \quad (6-20)$$

Trong đó:

- $s$  - Độ hạ thấp mực nước ở một thời điểm nào đó so với thời điểm ban đầu, có thể thay  $s$  bằng đường mặt nước ngầm (trong tầng chứa nước không áp) hoặc đường mặt nước thủy áp (trong tầng chứa nước có áp) (L).
- $S_s$  - Hệ số trữ nước của tầng chứa nước (không thứ nguyên).
- $K_r, K_z$  - Hệ số dẫn nước. Như đã trình bày ở phần đầu  $K$  là hàm số phụ thuộc vào tính chất của chất lỏng và tính chất của tầng chứa nước ( $LT^{-1}$ ).
- $r$  - Bán kính, xét trong dòng chảy tròn vào giếng (L).



Phương pháp số giải bài toán chuyển động của mặt tiếp xúc trong môi trường lỗ rỗng chứa đầy nước, không đồng nhất đẳng hướng xét cả hai thành phần chuyển động đối lưu và chuyển động khuếch tán, ứng dụng phương pháp đặc trưng được tóm tắt bằng một số bước sau:

1. Tính toán phân bố của độ hạ thấp mực nước, đường mặt nước hoặc đường thủy áp:

- Ứng dụng phương pháp sai phân hữu hạn (xem các sơ đồ sai phân) hoặc phương pháp phân tử hữu hạn biến phương trình vi phân đạo hàm riêng (6-20) về dạng sai phân để giải. Cũng cần chú ý rằng nghiệm của bài toán phụ thuộc vào điều kiện ban đầu và điều kiện biên của bài toán. Có thể dẫn ra một ví dụ: giếng đặt ở trung tâm một hòn đảo thì một biên chính là thành giếng và biên thứ hai chính là bờ đảo với mực nước không đổi bằng mực nước biển trung bình nhiều năm (MSL) hoặc dao động mực nước triều.

- Mỗi sơ đồ sai phân có những ưu nhược điểm riêng, phụ thuộc vào những tài liệu cần thiết thu thập được trên khu vực. Song cũng cần lưu ý rằng với bài toán giếng thì sơ đồ sai phân ẩn luôn được dùng khá rộng rãi vì nó có nhiều ưu điểm (Iterative Alternating Direction Implicit scheme) gọi tắt là IADI.

2. Tính toán phân bố lưu tốc ở các điểm cố định trong trường dòng chảy.

3. Sơ đồ (6-12) biểu diễn sự chuyển động của nước biển vào vùng kiểm soát của giếng ngầm.

Xem rằng các hạt vật chất tồn tại trong nước biển (các hạt muối) phân bố đều theo không gian, có nghĩa là tại thời điểm ban đầu có một số lượng nhất định các hạt nằm trong các ô chứa nước biển, chưa có hạt nào nằm trong các ô nước ngọt. Khi bắt đầu bơm, trường tốc độ hình thành, lập tức các hạt vật chất này sẽ chuyển động lên phía trên mặt ngăn cách ban đầu và tràn sang các ô nước ngọt. Quá trình này sẽ được tăng lên theo thời gian và các hạt có xu thế chuyển động dần về giếng bơm. Vị trí ban đầu của các hạt vật chất là xác định. Bằng phương pháp nội suy ba chiều ta có thể xác định được vị trí tiếp theo của các hạt đó và đồng thời tính được số lượng hạt muối nằm trong mỗi ô xác định bởi điểm  $A(i, j)$ .

4. Xem rằng mỗi hạt muối mang theo một khối lượng nước và nồng độ ban đầu bằng nồng độ nước biển. Gọi thể tích nước mỗi hạt muối mang theo là  $V_k$  thì sau 1 thời gian  $\Delta t$  trong vùng kiểm soát nút  $A(i, j)$  sẽ có  $mV_k$  thể tích nước muối đi vào. Khi đó nồng độ muối trong vùng kiểm soát của nút  $A(i, j)$  sẽ là:

$$C_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^m V_k}{n \times VLX(i, j)} \quad (6-21)$$

Trong đó:

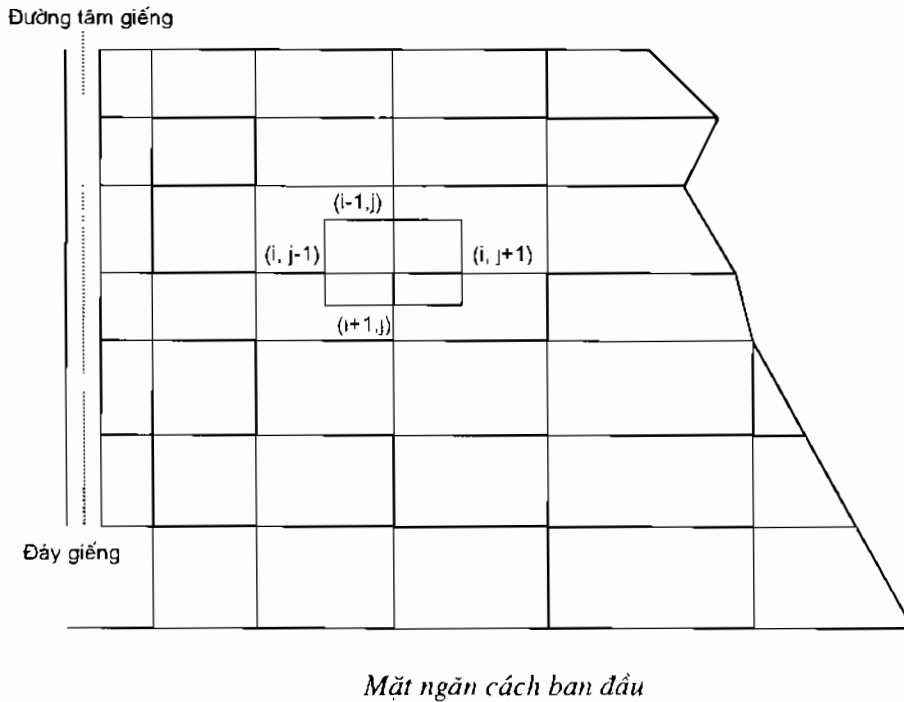
$V_k$  - Tổng dung tích muối với nồng độ ban đầu;

$n$  - Độ rỗng của đất;

$VLX$  - Thể tích đất cố định trong nút  $A(i, j)$ .

5. Đánh giá thành phần khuếch tán bằng cách giải theo sơ đồ sai phân 2 thành phần đầu của phương trình (6-19):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (6-22)$$



**Hình 6-12:** Sơ đồ biểu diễn chuyển động của nước biển vào một giếng nước ngầm.

6. Tính tổng hai thành phần chuyển động thẳng đứng và khuếch tán sau mỗi thời khoảng  $\Delta t$  ta được nồng độ muối tại các nút  $(i, j)$ .

7. Kết quả tính toán ở thời điểm  $(t + 1)$  sẽ là dữ kiện đầu để tính cho thời điểm  $(t + 2)$ . Bài toán sẽ dừng lại khi yêu cầu mô phỏng đạt đến giới hạn cho phép của nồng độ muối trong giếng.

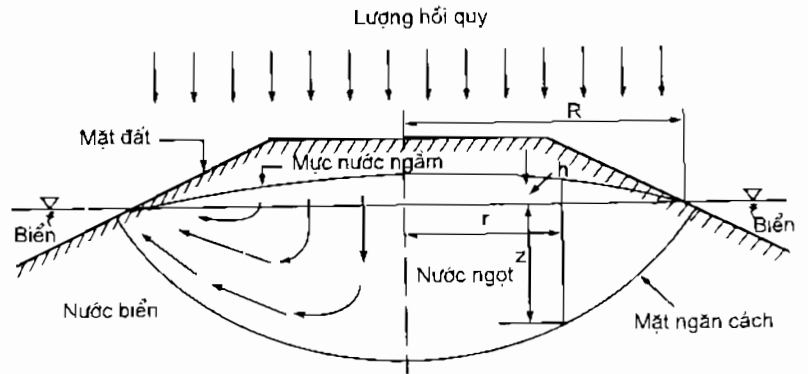
Việc ứng dụng sơ đồ trên đây để mô phỏng quá trình xâm nhập của nước biển vào các bể chứa nước ngọt có thể ứng dụng cho môi trường tổng quát, nghĩa là môi trường không đồng nhất và không đẳng hướng có hệ số truyền dẫn nước thay đổi ở các điểm khác nhau trong môi trường, nhưng ổn định theo thời gian. Cũng cần lưu ý rằng, việc mô phỏng được thực hiện tùy theo mục đích khác nhau và các tài liệu có được khác nhau. Thí dụ chúng ta có tài liệu nồng độ muối ở tất cả các điểm trên mặt, có tài liệu đo đạc ở các biên và yêu cầu bài toán trên có phân bố nồng độ muối theo phương nằm ngang thì có thể giải trực tiếp phương trình (6-1) bằng sơ đồ sai phân hữu hạn hoặc phân tử hữu hạn.

### 3.7. Quan hệ giữa nước mặn và nước ngọt ở các đảo

Hầu hết đất đá các đảo vùng ven biển có tính thấm tương đối lớn nên nước biển có quan hệ với nước ngầm ở tất cả các phía của đảo. Nước ngầm ở các vùng đảo được cung cấp chủ

yếu từ mưa và lượng nước cũng rất nhỏ. Các lớp nước ngọt mỏng chuyển động từ tâm đảo ra phía biển. Lớp nước ngọt nằm trên tầng nước muối dày phía dưới và độ dày của nó giảm dần từ trung tâm đảo ra bờ biển.

**Hình 6-13:** Phân bố tự nhiên của nước ngọt và nước mặn ở các đảo vùng biển



Từ các giả thiết của Dupuit và quan hệ Ghybel - Herzberg, biên nước ngọt có thể xác định được một cách gần đúng.

Giả sử đảo tròn với bán kính  $R$ , nhận lượng mưa cung cấp cho nước ngầm dưới dạng nước hồi quy là  $P(\text{mm})$ . Lưu lượng dòng chảy từ đảo ra bờ biển  $Q$  ứng với bán kính  $r$  từ tâm đảo sẽ là:

$$Q = 2\pi rK (z + h) \frac{dh}{dr} \quad (6-23)$$

Trong đó:

$K$  - Hệ số dẫn nước của tầng chứa nước;

$h$  và  $z$  được xác định như hình (6-13);

Mặt khác từ quan hệ (6-4) ta có:

$$h = \frac{\Delta\rho}{\rho} z \quad (6-24)$$

Phương trình liên tục của dòng chảy sẽ là:

$$Q = 2\pi r^2 P \quad (6-25)$$

Từ các phương trình (6-23) và (6-25) với điều kiện (6-24) ta có:

$$zdz = \frac{Pr dr}{2K \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho}\right) \frac{\Delta\rho}{\rho}} \quad (6-26)$$

Lấy tích phân phương trình (6-26) với điều kiện  $h = 0$  khi  $r = R$  ta được:

$$z^2 = \frac{P(R^2 - r^2)}{2K \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho}\right) \frac{\Delta\rho}{\rho}} \quad (6-27)$$

Từ biểu thức (6-27) ta thấy rằng độ sâu tới nước muối tại bất kỳ điểm nào trên đảo là hàm số các lượng dòng chảy hồi quy P, kích thước của các đảo và khả năng dẫn nước của đất đá.

Kết quả tính từ các con đường khác nhau đã chỉ ra rằng biểu thức (6-27) cho phép tính độ sâu cột nước ngọt tới mặt ngăn cách giữa nước ngọt và nước biển với độ chính xác có thể chấp nhận được.

Sự biến đổi của nước hồi quy, áp suất khí quyển, thủy triều và hiện tượng khuếch tán đã tạo nên vùng chuyển tiếp giữa các túi nước ngọt và nước biển ở các vùng đảo. Do ảnh hưởng lấy nước ngọt, vùng nước chuyển tiếp đã nâng dần lên như hiện tượng "Upconing" đã được trình bày ở trên và nước biển sẽ đi vào giếng bơm.

Để tránh lấy nước mặn dùng cho kinh tế và sinh hoạt, các giếng bơm cần hoạt động theo lịch trình để hạn chế phá vỡ cân bằng của mặt ngăn cách một cách ít nhất. Độ sâu thiết kế của một giếng nằm ở độ sâu  $\frac{2}{3}z$  đến  $\frac{1}{2}z$  kể từ mực nước biển trung bình và độ sâu này giảm dần từ trung tâm đảo ra ngoài. Lưu lượng bơm lên thông thường cũng không lớn. Trong những vùng mực nước ngầm lớn, người ta thường thiết kế các ống lấy nước nằm ngang đặt xấp xỉ với mực nước ngầm để khi bơm có thể lấy được lượng nước ngọt nhiều hơn.

### 3.8. Bơm nước ở các đảo trong trường hợp tầng chứa nước không áp, dòng chảy không ổn định và lượng bổ cập là nước mưa

Giả sử đảo có bán kính từ trung tâm ra mép nước là R(m) được cung cấp lượng mưa hiệu quả là P(mm/ngày), lưu lượng bơm tại giếng trung tâm là  $Q_w$  (l/ngđ).

Gọi độ sâu từ mặt nước biển trung bình tới đáy tầng chứa là H(m) và chiều cao cột nước ngầm ứng với bán kính r là h(m).

Do dòng chảy vào giếng là dòng chảy dạng tròn nên từ định luật Darcy ta có:

$$Q = 2\pi rhK \frac{dh}{dr} \quad (6-28)$$

Mặt khác phương trình liên tục ta lại có:

$$dQ = -2\pi rPdr \quad (6-29)$$

Lấy tích phân (6-29) ta có:

$$Q = -\pi r^2P + C_1 \quad (6-30)$$

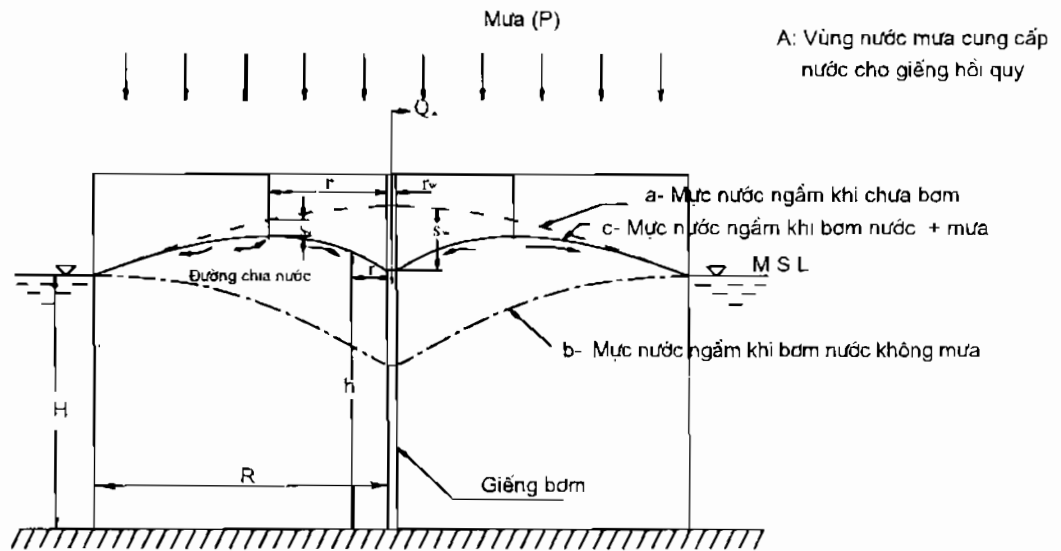
Khi  $r = r_w \approx 0$  ta có  $Q = Q_w$  nên  $C_1 = Q_w$ . Thay vào (6-30) ta có:

$$Q = -\pi r^2P + Q_w \quad (6-31)$$

Thay (6-31) vào (6-28) ta có:

$$-\pi r^2P + Q_w = 2\pi rhK \frac{dh}{dr}$$

$$hdh = \frac{Q_w}{2\pi K} \frac{dr}{r} - \frac{P}{2K} r dr \quad (6-32)$$



**Hình 6-14:** Bơm nước ở các đảo với dòng chảy ngầm không áp

Tích phân phương trình (6-32) ta được:

$$h^2 = \frac{Q_w}{\pi K} \ln r - \frac{P}{2K} r^2 + C_2 \quad (6-33)$$

Khi  $r = R$  thì  $h = H$  thay vào (6-33) ta có:

$$C_2 = H^2 - \frac{Q_w}{\pi K} \ln R + \frac{P}{2K} R^2$$

Thay kết quả vào (6-33) ta có:

$$H^2 - h^2 = \frac{Q_w}{\pi K} \ln \frac{R}{r} - \frac{P}{2K} (R^2 - r^2) \quad (6-34)$$

Nếu như không bơm nước thì:

$$H^2 - h^2 = - \frac{P}{2K} (R^2 - r^2) \quad (6-35)$$

Biểu diễn  $h > H$ , bằng đường a trong hình (6-14).

Trong trường hợp bơm nước nhưng không có mưa ta có:

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r} \quad (6-36)$$

*Ví dụ tính toán*

Đảo tròn có  $R = 600\text{m}$ , lượng mưa hiệu quả cung cấp cho nước ngầm  $P = 5\text{mm/ngày}$ . Ở trung tâm đảo có một giếng bơm nước đường kính  $d = 30\text{cm}$  bơm với lưu lượng  $Q = 30\text{m}^3/\text{giờ}$ . Hệ số dẫn nước  $K = 25\text{m/ngày}$ , độ sâu của biển xung quanh đảo là  $10\text{m}$ . Tính độ hạ thấp mực nước tại giếng và ở đường phân nước.

Lời giải:

Mức nước tại bán kính  $r$  cho bởi công thức:

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r} - \frac{P}{2K} (R^2 - r^2)$$

Tại giếng  $r_w = 0,15$  ta có:

$$10^2 - h_w^2 = \frac{30 \times 24}{3,14 \times 25} \times 2,303 \lg \frac{600}{0,15} - \frac{0,005}{2 \times 25} (600^2 - 0,15^2)$$

$$h_w = 7,71(\text{m})$$

Trong trường hợp không bơm ( $Q_w = 0$ ) mức nước tại giếng sẽ là:

$$10^2 - h_w^{*2} = - \frac{0,005}{2 \times 25} (600^2 - 0,15^2)$$

$$h_w^* = 11,67 (\text{m})$$

So với trường hợp không bơm độ hạ thấp mức nước ở giếng trong trường hợp bơm nước hồi quy  $P = 5\text{mm/ngày}$  sẽ là:

$$s_w = h_w^* - h_w = 11,67 - 7,71 = 3,96 (\text{m})$$

Gọi  $x$  là khoảng cách từ tâm giếng tới đường chia nước, thì lưu lượng nước bơm lên:

$$Q_w = \pi x^2 P$$

Từ đây ta có:

$$x = \sqrt{\frac{Q_w}{\pi P}}$$

Thay số vào ta được  $x = 214 (\text{m})$ .

Thay phương trình (6-34) ứng với  $r = x = 214 (\text{m})$ , ta có:

$$h_r = 11,06 (\text{m})$$

Trong trường hợp không bơm, áp dụng phương trình (6-35) ta có:

$$h_r^* = 11,45 (\text{m})$$

Vậy độ hạ thấp mức nước tại đường phân nước sẽ là:

$$h_r^* - h_r = 0,39 (\text{m})$$

### 3.9. Phương pháp chống nhiễm mặn các vùng đất ven biển

Nước biển là dạng thường gặp nhất gây nhiễm bản nước ngọt trong các bể ngậm. Sự thẩm thấu của nước biển xảy ra ở những nơi nước biển chiếm chỗ hoặc trộn lẫn với nước ngọt trong các tầng chứa nước. Hiện tượng này có thể xảy ra trong các tầng ngậm nước khá sâu với sự "thẩm thấu" của nước biển vào các tầng chứa nước, sự thẩm thấu từ các nguồn

nước bản bề mặt xuống các tầng chứa nước nông và sự thẩm thấu của nước biển ở các vùng ven biển.

Quan hệ tương hỗ giữa hai loại chất lỏng khi trộn lẫn với nhau trong các tầng ngậm nước vùng ven biển đã được nghiên cứu cả trên phương diện lý thuyết cũng như thực nghiệm. Trên cơ sở đó, các kỹ thuật quản lý, khai thác nguồn nước ngầm ven biển được phát triển. Đồng thời tìm ra các phương pháp hữu hiệu khống chế sự nhiễm mặn vào các bể chứa ngầm.

Chúng ta đều biết rằng vùng tiếp giáp giữa nước ngọt và nước biển là kết quả của quan hệ động lực. Trong trường hợp độ dốc đường mật nước quá nhỏ ( $\leq 4\text{‰}$ ) hoặc nằm ngang thì mối tương quan giữa độ sâu cột nước ngọt và nước mặn có thể trực tiếp xác định từ quan hệ (6-4) và (6-5).

Các tầng chứa nước thực tế gồm 2 loại: tầng chứa nước không áp và tầng chứa nước có áp.

Đối với các tầng chứa nước có áp, quan hệ thủy tĩnh có thể được áp dụng bởi việc thay mực nước bằng cột nước thủy áp. Cũng cần chú ý rằng quan hệ Ghyben- Herzberg đòi hỏi mực nước ngầm hoặc cột nước thủy áp phải nằm phía trên mực nước biển và kết quả đường mật nước có áp hướng nghiêng ra biển. Nếu không có điều kiện này, nước biển sẽ dễ dàng tràn vào các bể chứa ngầm.

Trong trường hợp các dòng chảy ngọt (từ đất liền ra biển) và dòng chảy của nước biển (vào các dòng chứa nước) trong trạng thái không cân bằng hay trạng thái chuyển động, có thể biểu diễn bằng phương trình tổng quát sau:

$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f - \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_s \quad (6-37)$$

Trong đó:

$h_f$  - Cột nước ngọt trong giếng với mật độ  $\rho_f$  tương ứng với độ sâu tới mặt ngăn cách là  $z$ ;

$h_s$  - Cột nước mặn tương ứng với  $\rho_s$ .

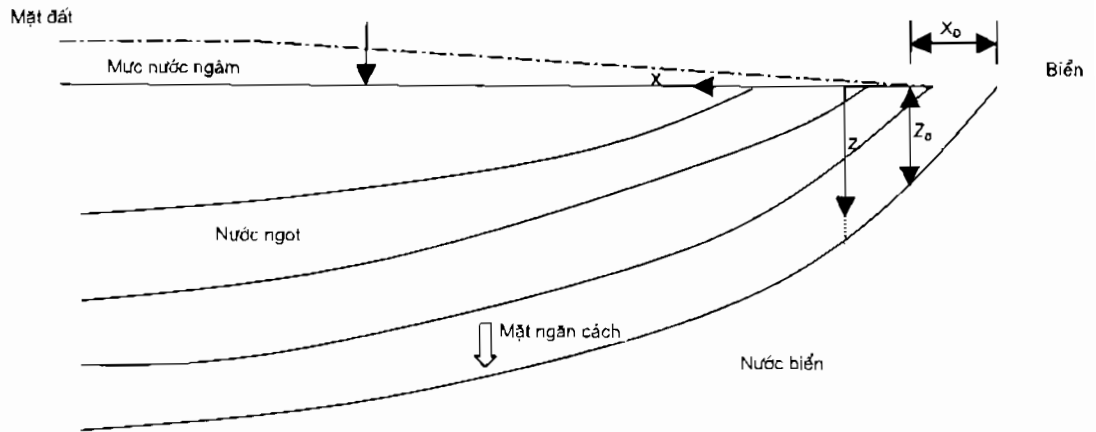
### 3.10. Hiện tượng thẩm nước biển vào các tầng chứa nước không áp

Vị trí cũng như hình dạng của mặt ngăn cách được nghiên cứu khá rộng rãi bằng lý thuyết cũng như các công trình thực nghiệm. Mô hình dòng chảy trong tầng chứa nước không áp được mô tả bằng hình (6-15).

Giá trị  $x_0$  và  $z_0$  có thể xác định được thông qua lưu lượng đơn vị chênh lệch mật độ nước biển và nước ngọt và khả năng chuyển nước trong tầng chứa nước. Quan hệ đó được biểu diễn bằng quan hệ (6-9) và (6-10).

Trong tầng chứa nước có áp, vị trí của nêm mặn tính theo biểu thức sau:

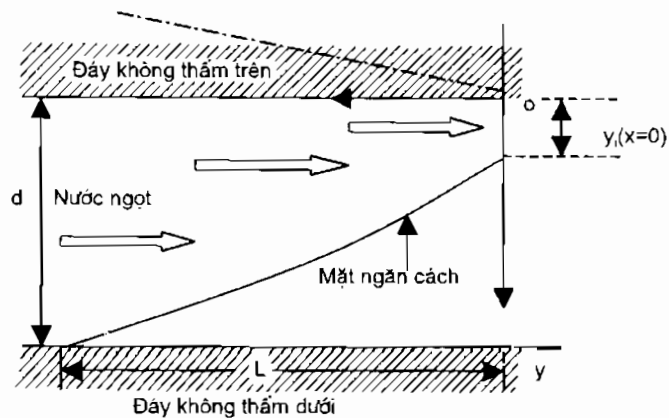
$$y_1(x=0) = \frac{0,749}{K \frac{\Delta\rho}{\rho}} \quad (6-38)$$



**Hình 6-15:** Phân bố dòng chảy không áp vùng ven biển

Độ rộng của nêm mặn: 
$$L = \frac{\Delta \rho d K}{2 \rho q} \quad (6-39)$$

Trong đó:  $y_1(x=0)$ ,  $d$ ,  $L$  được biểu diễn như hình (6-16).



**Hình 6-16:** Hình dạng mặt ngăn cách trong tầng chứa nước có áp.

### 3.11. Các phương pháp khống chế nhiễm mặn ven biển

Các phương pháp khống chế nhiễm mặn ven biển thay đổi khá rộng phụ thuộc vào nguồn nước mặn, sự phát triển nêm mặn, cấu trúc địa chất, sử dụng nước và các yếu tố kinh tế.

Để phòng ngừa nhiễm mặn vùng ven biển, thông thường 5 phương pháp sau đây được sử dụng.

1. Sử dụng chế độ bơm nước ngọt thay đổi:



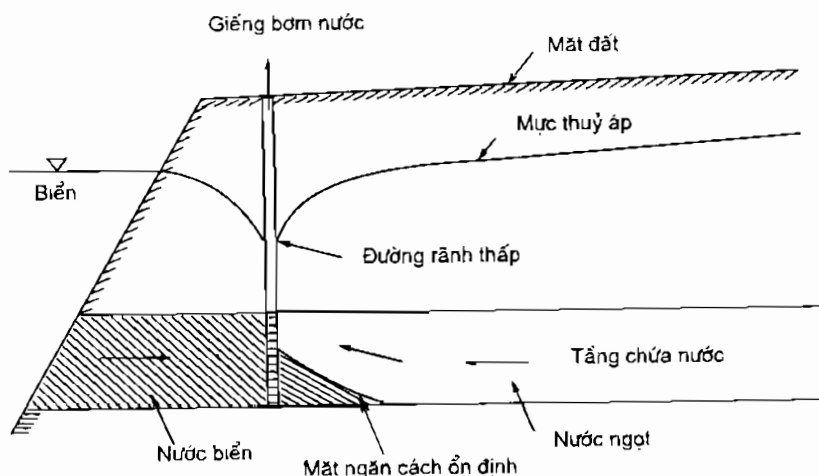
Thay đổi vị trí của các giếng bơm: thông thường các giếng bơm được dịch chuyển sâu dần vào trong đất liền có thể giúp cho việc tái lập độ dốc thủy lực nghiêng ra biển, mặt khác nếu giữ nguyên các giếng bơm ở gần biển thì việc giảm lưu lượng bơm và việc thay đổi chế độ bơm cũng giúp cho việc giảm tới mức thấp nhất hiện tượng nhiễm mặn vào các tầng đất ven biển.

## 2. Bơm nước ngọt trở lại các bể nước ngầm (nước ngọt hồi quy nhân tạo):

Mức nước ngầm có thể tăng lên và duy trì trong một thời gian dài bởi nước hồi quy. Bằng phương pháp hồi quy nhân tạo, đường phân nước hình thành tại ngay gần bờ biển, hạn chế việc thấm thấu của nước biển vào phía trong các giếng bơm.

## 3. Tường chắn bằng hệ thống bơm nước ngầm lên (Extraction Barrier):

Tường chắn kiểu này được tạo ra bởi một hệ thống giếng được bố trí ngay gần sát bờ biển, bơm nước liên tục, tạo ra một đường mặt nước lõm khi cắt một mặt cắt vuông góc với bờ biển. Nước biển sẽ chảy vào đất liền đến miền yên ngựa này, đồng thời nước ngọt từ trong đất liền cũng chảy ra miền trũng đó. Hiện tượng này được miêu tả trong hình (6-17). Nước bơm lên là nước mặn và thông thường nó được đổ trả lại biển. Bằng cách này chúng ta có thể kéo miền bị ảnh hưởng mặn ra sát đường bờ biển.



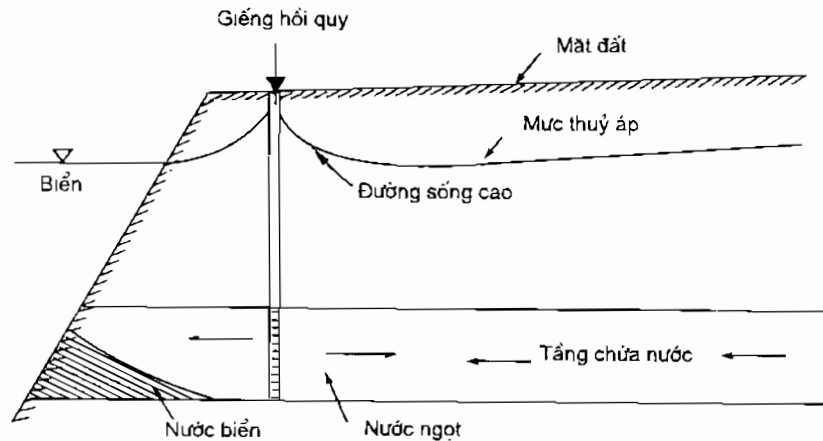
**Hình 6-17:** Khống chế quá trình nhiễm mặn bằng hệ thống bơm nước ngầm tạo rãnh thấp song song với bờ biển.

## 4. Tường chắn bằng hệ thống bơm nước trả lại các bể ngầm:

Ngược lại với phương pháp tạo rãnh thấp gần bờ biển song song với đường bờ như đã trình bày ở phần trên. Để khống chế hiện tượng nhiễm mặn, một phương pháp khá phổ biến được dùng nhiều ở các nước khá phát triển là bơm nước trả lại các tầng chứa nước (nguồn bổ sung nhân tạo). Thực chất cách này sử dụng một hệ thống giếng dọc theo bờ biển trong vùng cần quan tâm, bơm nước ngọt xuống các giếng đó tạo nên một đường mặt nước vừa có hướng ra biển vừa có hướng vào đất liền (hình 6-18). Việc tạo ra đường mặt nước có hướng ra biển sẽ hạn chế được quá trình thấm thấu của nước biển vào sâu trong đất liền.

Phương pháp này nước bơm xuống phải có chất lượng đặc biệt tốt tránh làm ô nhiễm tầng nước ngầm.

Để giảm bớt lưu lượng bơm xuống có thể sử dụng đồng thời hai quá trình (3) và (4) đã trình bày ở trên. Song trường hợp này số giếng sẽ phải tăng lên khá nhiều và việc bố trí giếng sẽ phức tạp hơn.



**Hình 6-18:** Khống chế nhiễm mặn bằng bơm nước ngọt trả lại tầng chứa nước (Injection Barrier)

#### 5. Xây dựng các đê ngầm chắn nước mặn (Subsurface Barrier):

Xây dựng con đê ngầm chống thấm, song song với bờ biển. Độ sâu của chân đê ngầm đến đáy của tầng không thấm theo chiều thẳng đứng. Vật chất dùng để xây dựng đê ngăn mặn gồm: tường cừ, tường bê tông, tường sét, bitum, vữa xi măng, bentonite, keo silicát và nhựa tổng hợp. Những vấn đề chính quyết định giá thành xây dựng là đặc tính địa chất khu vực, vấn đề chống thấm, chống xói mòn cũng như ảnh hưởng của động đất đến hệ thống đê ngầm.

Tùy thuộc vào điều kiện cụ thể từng khu vực, trình độ kinh tế, kỹ thuật của từng nước mà lựa chọn biện pháp phù hợp cho việc chống nhiễm mặn.

Bài toán nhiễm mặn cần được xét trong bài toán quy hoạch tổng hợp tối ưu nguồn nước, cũng như tối ưu kinh tế để với một vốn đầu tư nhất định, ta có thể nhận được một hiệu quả kinh tế lớn nhất.

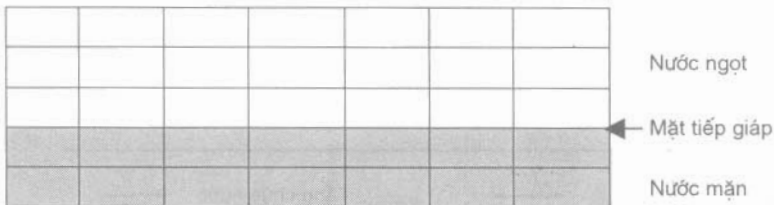
### IV. MÔ HÌNH NHIỄM MẶN THEO PHƯƠNG THẲNG ĐỨNG

#### 4.1. Mô hình nhiễm mặn theo phương thẳng đứng

Phương trình cơ bản mô tả hiện tượng dâng mặn theo phương thẳng đứng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = - \frac{\partial k}{\partial y} \frac{\gamma}{\mu} \quad (6-40)$$

Phương trình (6-40) là phương trình vi phân phi tuyến bậc hai dạng Parabolic. Trong trường hợp tổng quát (hệ số là hàm số, điều kiện biên và điều kiện ban đầu phức tạp) không thể tìm nghiệm giải tích của bài toán được. Trong những năm gần đây, với sự trợ giúp của máy tính điện tử, người ta đã dùng phương pháp số để giải bài toán trên. So với phương pháp sai phân hữu hạn, phương pháp phần tử hữu hạn có ưu điểm riêng, nhất là trong trường hợp miền biên có hình dạng phức tạp. Trong phần này, xin trình bày phương pháp phần tử hữu hạn với trường hợp các phần tử có dạng hình tứ giác. Độ lớn của các phần tử được chia mịn dần về hướng giếng bơm và được thực hiện tự động thông qua chương trình tính trên máy tính điện tử.



Thông thường bề mặt tiếp giáp được giả thiết chứa một loạt các phần tử biên, phía trên các phần tử biên này là các phần tử chứa nước ngọt và phía dưới là các phần tử chứa nước mặn.

Như vậy, trạng thái chuyển tiếp của bề mặt tiếp giáp có thể được mô phỏng bằng cách cho các nút trên bề mặt tiếp giáp chuyển động. Với cách mô phỏng này ta thấy hình dạng của mạng lưới là hàm số của thời gian. Để tập trung chủ yếu vào bài toán - sự chuyển động của bề mặt tiếp giáp - sẽ không xét tới những vấn đề phức tạp khác có thể xảy ra như trĩ đàn hồi, trĩ do thay đổi mực nước ngầm.

Phương trình cơ bản của định luật Darcy và phương trình liên tục có thể viết như sau:

$$q_x = \left( \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (6-41)$$

$$q_y = \left( \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \gamma \quad (6-42)$$

Trong đó:

$p$  - Áp suất;

$k$  - Độ dẫn thủy lực của môi trường xốp;

$\mu$  - Độ nhớt của chất lỏng;

$\gamma$  - Dung trọng của nước;

$q_x$  và  $q_y$  - Lưu lượng theo trục  $x$  và trục  $y$ .

Trục  $y$  được giả thiết hướng lên trên, do đó có chiều ngược với chiều trọng lực;

Phương trình bảo toàn khối lượng trong trường hợp không có cấp nước bổ sung, không có trĩ đàn hồi và giả thiết rằng nước là chất lỏng không nén được có dạng:

$$\left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) = 0 \quad (6-43)$$

Thay (6-41) vào (6-43) ta sẽ có phương trình (6-40).

Để đơn giản bài toán, người ta giả thiết rằng theo tất cả các biên hoặc là đầu nước đã biết hoặc là lượng gia nhập bằng 0 (đối với biên không thấm) và cũng giả thiết rằng biên hoặc là nằm ngang hoặc là thẳng đứng.

Độ dẫn thủy lực  $k$  và độ nhớt  $\mu$  cũng được coi là hằng số trong toàn miền tính toán.

Trong trường hợp bề mặt tiếp giáp giữa nước ngọt và nước mặn mỏng, dung trọng là hằng số tại mặt tiếp giáp, hay nói cách khác đạo hàm của  $\gamma$  ngang qua bề mặt tiếp giáp bằng 0.

Tuy nhiên một bề mặt tiếp giáp mỏng có thể được coi là trường hợp giới hạn của vùng chuyển tiếp có độ dày  $d$ , trong đó dung trọng thay đổi từ  $\gamma_s$  (dung trọng nước mặn) sang  $\gamma_f$  (dung trọng nước ngọt). Do vậy trong vùng chuyển tiếp:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \frac{k}{\mu} \frac{\Delta \gamma}{d} \quad (6-44)$$

Trong đó :  $\Delta \gamma = \gamma_s - \gamma_f$

Có thể giải (6-44) tương tự như các bài toán phần tử hữu hạn đối với nước ngầm hai chiều. Dưới đây là chương trình tính nhiễm mặn trong một giếng bơm đơn.

#### 4.2. Chương trình tính nhiễm mặn trong một giếng bơm đơn.

```

1000 DEFINT I-N: KEY OFF: OPTION BASE 1: GOSUB 2090
1010 PRINT "--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
1020 PRINT "--- Non-steady groundwater flow in vertical plane"
1030 PRINT "--- Fresh and salt water with sharp interface"
1040 PRINT "--- Program 13.1"
1050 PRINT "--- Upconing due to a single well": PRINT
1060 DIM X(360), Y(360), NT(360), NM(361), F(360), Q(360), KP(3000), P(3000)
1070 DIM T(320), NP(320, 4), PX(320), PY(320), U(360), V(360), W(360)
1080 DIM B(3), C(3), XJ(3), YJ(3), E(3, 3), KS(4, 3)
1090 DIM FS(21), NA(20), NB(20), DX(20), XN(21), YN(21), QX(21), QY(21), NK(21, 7)
1100 PRINT : INPUT "Use default input data (Y/N) "; I$: IS = LEFT$(I$, 1): PRINT
1110 IF I$ = "n" OR I$ = "N" THEN IS = "N": GOTO 1140
1120 IS = "Y": WW = 100: HT = 37.5: H1 = 15: H2 = 17.5: H3 = 10: NV = 20: NW = 21: N1 =
4: N2 = 8: N3 = 5
1130 GF = 10: GS = 10.25: DG = GS - GF: PM = 1: PR = .35: QQ = 100: GOTO 1280
1140 GOSUB 2090: INPUT "Length of aquifer ..... "; WW
1150 INPUT "Thickness of aquifer ..... "; HT

```

```

1160 INPUT "Interface level ..... "; H1
1170 INPUT "Well level ..... "; H2: H3 = HT - H2: H2 = H2 - H1
1180 INPUT "Horizontal elements (3...20) ... "; NV: NW = NV + 1
1190 INPUT "Vertical elements (4...16) ..... "; N6: N5 = N6 + 1
1200 N1 = INT(N5 * H1 / HT + .1): IF N1 < 2 THEN N1 = 2
1210 N3 = INT(N5 * H3 / HT + .1): IF N3 < 1 THEN N3 = 1
1220 N2 = N5 - N1 - N3: IF N2 < 1 THEN N2 = 1
1230 PRINT "Density of fresh water ..... 10.00": GF = 10
1240 INPUT "Density of salt water ..... "; GS: DG = GS - GF
1250 INPUT "Permeability/viscosity ..... "; PM
1260 INPUT "Storativity ..... "; PR
1270 INPUT "Discharge of well ..... "; QQ
1280 GOSUB 2090: N5 = N1 + N2 + N3: N6 = N5 - 1: N = N5 * NW: M = N6 * NV
1290 FOR I = 1 TO N5: NT(I * NW) = 2: NEXT I
1300 FOR I = 1 TO N6: L = (I - 1) * NV: K = (I - 1) * NW: FOR J = 1 TO NV: LL = L + J: KK = K + J
1310 NP(LL, 1) = KK: NP(LL, 2) = KK + NW: NP(LL, 3) = KK + NW + 1: NP(LL, 4) = KK +
I: NEXT J, I
1320 FOR I = 1 TO 4: FOR J = 1 TO 3: K = I + J - 1: IF K > 4 THEN K = K - 4
1330 KS(I, J) = K: NEXT J, I: PRINT "Generation of pointer vector": W = 1
1340 CL = CSRLIN: FOR I = 1 TO N: LOCATE CL, 3, 0: PRINT "Node"; I: KP(W) = I: NM(I) = W
1350 K = 0: FOR J = 1 TO M: FOR H = 1 TO 4: IF NP(J, H) = I GOTO 1370
1360 NEXT H: GOTO 1400
1370 FOR H = 1 TO 4: G = NP(J, H): FOR L = 0 TO K: IF KP(W + L) = G GOTO 1390
1380 NEXT L: K = K + 1: KP(W + K) = G
1390 NEXT H
1400 NEXT J: W = W + K + 1: NEXT I: PRINT: PRINT "Pointer length ="; W: NM(N + 1) = W
1410 FOR I = 1 TO NW: NK(I, 5) = 4: NEXT I: NK(1, 5) = 2: NK(NW, 5) = 2
1420 L = (N1 - 2) * NV: FOR I = 1 TO NV: NK(I, 1) = L + I: NK(I, 2) = L + I + NV: NEXT I
1430 L = (N1 - 2) * NV - 1: FOR I = 2 TO NV: NK(I, 3) = L + I: NK(I, 4) = L + I + NV: NEXT I
1440 L = (N1 - 1) * NV: NK(NW, 1) = L: NK(NW, 2) = L + NV: NN = W - 1: DX(1) = 1:
DX(2) = 1
1450 AA = 2: FOR I = 3 TO NV: DX(I) = 1.4 * DX(I - 2): AA = AA + DX(I): NEXT I
1460 FOR I = 1 TO NV: DX(I) = WW * DX(I) / AA: NEXT I: L = (N1 - 1) * NW: FOR I = 1 TO NV
1470 NA(I) = L + I: NB(I) = L + I + 1: NEXT I: FOR I = 1 TO N5: L = (I - 1) * NW + 1: X(L) = 0
1480 FOR J = 1 TO NV: X(L + J) = X(L + J - 1) + DX(J): NEXT J, I: FOR I = 1 TO NW
1490 FS(I) = H1: XN(I) = 1: YN(I) = 0: NEXT I: FOR I = 1 TO M: T(I) = PM: NEXT I
1500 SP = DX(1) * PR / (PM * GF): IF I$ = "Y" THEN SP = 1: NS = 4: GOTO 1540
1510 PRINT: PRINT "Suggestion for time step :"; SP: PRINT

```

```

1520 INPUT "Time step ..... "; SP
1530 INPUT "Number of time steps ... "; NS
1540 FOR IK = 0 TO NS: IF IK = 0 THEN GOSUB 2050 ELSE GOTO 1570
1550 AA = (H2 + H3) * GF: L = N1 * NW: FOR I = 1 TO L: F(I) = AA + (H1 - Y(I)) * GS: NEXT I
1560 L = L + 1: FOR I = L TO N: F(I) = (Y(N) - Y(I)) * GF: NEXT I: GOTO 1820
1570 FOR I = 1 TO NN: P(I) = 0: NEXT I: FOR I = 1 TO M: FOR KW = 1 TO 4: FOR J = 1 TO 3
1580 K = NP(I, KS(KW, J)): XJ(J) = X(K): YJ(J) = Y(K): NEXT J
1590 B(1) = YJ(2) - YJ(3): B(2) = YJ(3) - YJ(1): B(3) = YJ(1) - YJ(2)
1600 C(1) = XJ(3) - XJ(2): C(2) = XJ(1) - XJ(3): C(3) = XJ(2) - XJ(1)
1610 D = T(I) / (4 * ABS(XJ(1) * B(1) + XJ(2) * B(2) + XJ(3) * B(3)))
1620 FOR J = 1 TO 3: FOR K = 1 TO 3: E(J, K) = D * (B(J) * B(K) + C(J) * C(K)): NEXT K, J
1630 FOR J = 1 TO 3: G = NP(I, KS(KW, J)): W = NM(G): H = NM(G + 1) - W - 1: FOR K = 0 TO H
1640 FOR L = 1 TO 3: IF NP(I, KS(KW, L)) = KP(W + K) THEN P(W + K) = P(W + K) + E(J, L)
1650 NEXT L, K, J, KW, I: IT = 1: EE = .1: FOR I = 1 TO N: Q(I) = 0: NEXT I
1660 L = (N1 + N2 - 1) * NW + 1: Q(L) = -QQ: FOR K = 1 TO NV: I = NA(K): J = NB(K)
1670 AA = .5 * PM * DG * DX(K): Q(I) = Q(I) - AA: Q(J) = Q(J) - AA
1680 AA = .5 * PM * GF * DX(K): Q(N - NW + K) = Q(N - NW + K) - AA: Q(N - NV + K) =
Q(N - NV + K) - AA
1690 AA = .5 * PM * GS * DX(K): Q(K) = Q(K) + AA: Q(K + 1) = Q(K + 1) + AA: NEXT K
1700 FOR I = 1 TO N: H = NM(I): G = NM(I + 1) - H - 1: U(I) = 0: IF NT(I) > I THEN 1720
1710 U(I) = Q(I): FOR J = 0 TO G: U(I) = U(I) - P(H + J) * F(KP(H + J)): NEXT J
1720 V(I) = U(I): NEXT I: UU = 0: FOR I = 1 TO N: UU = UU + U(I) * U(I): NEXT I
1730 LOCATE 5, 54, 0: PRINT "Iteration "; IT: LOCATE 6, 54, 0: PRINT "Error "; UU
1740 FOR I = 1 TO N: W(I) = 0: H = NM(I): G = NM(I + 1) - H - 1
1750 FOR J = 0 TO G: W(I) = W(I) + P(H + J) * V(KP(H + J)): NEXT J, I
1760 VW = 0: FOR I = 1 TO N: VW = VW + V(I) * W(I): NEXT I
1770 AA = UU / VW: FOR I = 1 TO N: IF NT(I) > I THEN 1790
1780 F(I) = F(I) + AA * V(I): U(I) = U(I) - AA * W(I)
1790 NEXT I: WT = 0: FOR I = 1 TO N: WT = WT + U(I) * U(I): NEXT I
1800 BB = WT / UU: FOR I = 1 TO N: V(I) = U(I) + BB * V(I): NEXT I: UU = WT
1810 IT = IT + 1: IF IT <= N AND UU > EE THEN 1730
1820 FOR J = 1 TO M: PX(J) = 0: PY(J) = GS: IF J > (N1 - 1) * NV THEN PY(J) = GF
1830 FOR KW = 1 TO 4: FOR K = 1 TO 3: L = NP(J, KS(KW, K)): XJ(K) = X(L): YJ(K) = Y(L)
1840 NEXT K: B(1) = YJ(2) - YJ(3): B(2) = YJ(3) - YJ(1): B(3) = YJ(1) - YJ(2)
1850 C(1) = XJ(3) - XJ(2): C(2) = XJ(1) - XJ(3): C(3) = XJ(2) - XJ(1)
1860 AA = 4 * (XJ(1) * B(1) + XJ(2) * B(2) + XJ(3) * B(3)): FOR K = 1 TO 3: L = NP(J,
KS(KW, K))
1870 PX(J) = PX(J) + B(K) * F(L) / AA: PY(J) = PY(J) + C(K) * F(L) / AA: NEXT K, KW

```

```

1880 PX(J) = -PM * PX(J): PY(J) = -PM * PY(J): NEXT J: FOR I = 1 TO NW: QX(I) = 0:
QY(I) = 0
1890 FOR K = 1 TO NK(I, 5): II = NK(I, K): LL = NK(I, 5): QX(I) = QX(I) + PX(II) / LL
1900 QY(I) = QY(I) + PY(II) / LL: NEXT K, I: AA = SP / PR: FOR I = 1 TO NV: QX(I) = AA * QX(I)
1910 QY(I) = AA * QY(I): FS(I) = FS(I) + QY(I) - QX(I) * YN(I) / XN(I): NEXT I: GOSUB 2050
1920 FOR I = 2 TO NV: AA = DX(I - 1) + DX(I): AB = FS(I + 1) - FS(I - 1)
1930 A1 = SQR(AA * AA + AB * AB): XN(I) = AA / A1: YN(I) = AB / A1: NEXT I
1940 SCREEN 2: CLS: SX = 639 / WW: SY = 199 / HT
1950 FOR I = 1 TO M: FOR J = 1 TO 4: JJ = NP(I, J): K = J + 1: IF K > 4 THEN K = 1
1960 KK = NP(I, K): IA = SX * X(JJ): IB = SX * X(KK): JA = 199 - SY * Y(JJ): JB = 199 - SY * Y(KK)
1970 LINE (IA, JA)-(IB, JB): NEXT J, I: FOR I = 1 TO NV: IA = SX * X(I) + 1: IB = SX * X(I + 1)
1980 JA = SY * FS(I): JB = SY * FS(I + 1): IF IA >= IB THEN 2020
1990 FOR K = IA TO IB: AA = (K - IA) / (IB - IA): BB = JA + AA * (JB - JA)
2000 FOR L = 1 TO 20: IC = 199 * RND(1): IF IC <= BB THEN PSET (K, 199 - IC)
2010 NEXT L, K
2020 NEXT I: LOCATE 4, 54, 0: PRINT "Time = "; : PRINT USING "####.###"; T;
2030 T = T + SP: B$ = INKEY$: IF B$ = "S" OR B$ = "s" THEN SCREEN 0: CLS: END
2040 NEXT IK: B$ = INPUT$(1): SCREEN 0: CLS: END
2050 FOR I = 1 TO NW: A1 = FS(I) / (N1 - 1): A2 = (H1 + H2 - FS(I)) / N2: A3 = H3 / N3
2060 FOR J = 1 TO N1: K = I + (J - 1) * NW: Y(K) = (J - 1) * A1: NEXT J: L = N1 + 1: LL = N1 + N2
2070 FOR J = L TO LL: K = I + (J - 1) * NW: Y(K) = FS(I) + (J - L + 1) * A2: NEXT J: L = LL + 1
2080 FOR J = L TO N5: K = I + (J - 1) * NW: Y(K) = H1 + H2 + (J - L + 1) * A3: NEXT J, I:
RETURN
2090 CLS: LOCATE 1, 26, 1: COLOR 0, 7: PRINT " Interface in vertical plane ";
2100 COLOR 7, 0: PRINT: PRINT: RETURN

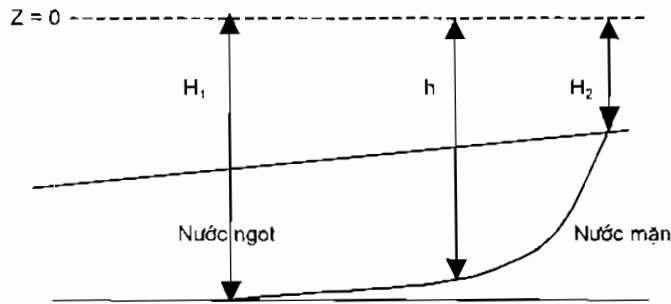
```

## V. MÔ HÌNH NHIỄM MẶN VÙNG TRONG ĐẤT

Đối với dòng chảy trong các tầng ngậm nước có chiều rộng lớn hơn rất nhiều so với chiều dày tầng ngậm nước, người ta có thể giả thiết rằng sự biến động của mực nước ngầm theo phương thẳng đứng nhỏ không đáng kể so với độ lớn của mực nước ngầm và điều đó dẫn tới việc trung bình hoá mực nước ngầm và dẫn tới mô hình hai chiều. Các mô hình loại này đã được nhiều tác giả sử dụng như Pinder và Page (1977) Wilson và Sa-da Costa (1982). Đôi khi có những khó khăn trong trường hợp bề mặt tiếp giáp cắt ngang một tầng không thấm và điều đó có thể cần phải có những kỹ thuật tính phức tạp hơn, đặc biệt đối với bài toán không ổn định.

Ở đây bài toán xây dựng với hai biến cơ bản, đó là đầu nước của chất lỏng (nước ngọt) và độ sâu của bề mặt tiếp giáp. Bằng cách sử dụng phương trình cân bằng theo nguyên lý bảo toàn khối lượng, có thể nhận được hệ phương trình đối với vùng nước ngọt và nước mặn trong đất.

Coi dòng chảy nước ngọt và nước mặn được phân chia bởi một mặt tiếp giáp mỏng trong một tầng chứa nước có áp được giới hạn bởi hai tầng không thấm tương đối nằm ngang.



Hình 6-19: Tầng ngậm nước với mặt tiếp giáp nước ngọt và nước mặn

Bề mặt tầng dưới và tầng trên của tầng chứa nước được mô tả bằng bề mặt  $Z = -H_1$  và  $Z = -H_2$ . Do đó độ dày của tầng ngậm nước sẽ là :  $H_1 - H_2$ .

Độ dẫn thủy lực của tầng ngậm nước ký hiệu là  $k$ . Mật độ của nước ngọt là  $\rho_f$  và mật độ của nước mặn là  $\rho_s$ . Hai chất lỏng ngọt và mặn được giả thiết là có cùng một độ nhớt thủy động  $\mu$ . Vị trí bề mặt tiếp giáp giữa hai chất lỏng được mô tả bằng hàm số:  $Z = -h(x, y)$ .

Để có thể nhận được lời giải số trị, chúng ta sẽ sử dụng giả thiết Dupuit, cho rằng sự phân bố áp suất theo phương thẳng đứng là áp suất thủy tĩnh:

$$\frac{\partial p}{\partial Z} = \rho g \quad (6-45)$$

Trong đó  $g$  là gia tốc trọng trường.

Phương trình (6-45) biểu thị rằng ở mọi nơi trong chất lỏng, áp suất của chất lỏng tương đương với trọng lượng cục bộ của chất lỏng. Tích phân (6-45) theo chiều thẳng đứng dẫn tới biểu thức đối với áp suất trong hai chất lỏng:

$$\text{Nước ngọt: } h < Z < -H_2 \rightarrow p = \rho_f g \Phi - \rho_f g Z$$

$$\text{Nước mặn: } H_1 < Z < h \rightarrow p = \rho_f g \Phi - \rho_s g Z - (\rho_s - \rho_f) g h \quad (6-46)$$

Có thể dễ dàng nhận thấy những biểu thức này thoả mãn (6-45) và do đó áp suất liên tục tại bề mặt tiếp giáp  $Z = -h$ . Trong (6-46) áp suất trong hai chất lỏng thực tế được biểu thị trong các số hạng của hai biến  $h$  và  $\Phi$ . Cả hai biến đều là hàm số của tọa độ  $x, y$  trong mặt nằm ngang và của thời gian. Biến số  $\Phi$  là đầu nước ngọt trong vùng nước ngọt tại mức  $Z = 0$ . Tất cả các đầu nước khác có thể được biểu thị theo  $\Phi$  và  $h$ . Biến số  $\Phi$  được đưa vào khi nó có cùng thứ nguyên vật lý như độ sâu bề mặt tiếp giáp  $h$  (cả hai được tính bằng mét). Cũng cần nhấn mạnh rằng, hàm áp suất  $p$  là hàm liên tục.

Dòng chảy của chất lỏng trong mặt phẳng  $(x, y)$  theo định luật Darcy:

$$q = (k/\mu) \nabla p \quad (6-47)$$

Trong đó  $k$  là độ thấm trong môi trường xốp và  $\mu$  là độ nhớt động lực.



Do sự khác biệt của độ nhớt, thường có một sự ảnh hưởng nhỏ tới bề mặt tiếp giáp so với ảnh hưởng của chênh lệch mật độ (theo Verrwijlt, 1980). Người ta có thể giả thiết rằng cả hai chất lỏng đều có cùng một độ nhớt.

Từ (6-46) ta có:

$$\text{Nước ngọt:} \quad h < Z < -H_2 \rightarrow q = -K\nabla\Phi$$

$$\text{Nước mặn:} \quad H_1 < Z < h \rightarrow q = -K\nabla\Phi - \alpha K\nabla h \quad (6-48)$$

Trong đó K là độ dẫn thủy lực của môi trường xốp :

$$K = \frac{k}{\mu\rho_l g}$$

và  $\alpha$  là chênh lệch mật độ tương đối:

$$\alpha = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}$$

Có thể nhận thấy rằng từ (6-48) tốc độ dòng chảy  $q$  là không tỷ lệ theo độ dốc của bề mặt tiếp giáp. Thực tế, có thể biểu thị ứng suất tiếp tuyến của dòng chảy sẽ tỷ lệ với  $\sin$  của độ dốc bề mặt tiếp giáp (theo Josselin de Jong, 1981). Điều này có nghĩa là việc lấy xấp xỉ, trong đó ứng suất tiếp tỷ lệ với độ dốc của chính bề mặt tiếp giáp, chỉ có thể áp dụng được khi độ dốc tương đối nhỏ.

Phương trình liên tục của hai chất lỏng là:

$$\text{Nước ngọt:} \quad S \frac{\partial h}{\partial t} = I_f - \nabla[(H_1 - h)q]$$

$$\text{Nước mặn:} \quad S \frac{\partial h}{\partial t} = I_s - \nabla[(h - H_2)q] \quad (6-49)$$

Trong đó:

S - Hệ số trữ nước;

$I_s$  và  $I_f$  - Các hàm cấp nước, biểu thị sự cung cấp nước trên mặt của nước mặn và nước ngọt trong tầng chứa nước.

Trong (6-49) thành phần lượng trữ được tính chỉ do sự chuyển động của bề mặt tiếp giáp. Các dạng khác của lượng trữ (đàn hồi hay có áp) không được xét ở đây. Thay (6-48) vào (6-49) dẫn tới phương trình sau:

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = I_f - \nabla[(h - H_1)K\nabla\Phi] \quad (6-50)$$

$$-S \frac{\partial h}{\partial t} = I_s + \nabla\{[K(H_2 - h)\nabla\Phi] - \nabla[\alpha K(H_2 - h)]\nabla h\} \quad (6-51)$$

Trong đó tất cả các đạo hàm riêng phân chỉ nằm trong mặt phẳng (x, y). Hệ hai phương trình vi phân này với hai biến h và  $\Phi$  sẽ được giải với các điều kiện biên và điều kiện ban đầu tương ứng.

Để thuận tiện hơn nhưng vẫn đảm bảo ý nghĩa toán học và vật lý của bài toán, có thể gộp cả hai phương trình trên lại. Điều này dẫn tới việc loại bỏ biến thời gian:

$$-\nabla(T \cdot \nabla \Phi) = I \quad (6-52)$$

Trong đó: T là suất chuyển nước của tầng chứa nước:

$$T = K(H_1 - H_2) \quad (6-53)$$

$I = I(x, y, t)$  đặc trưng cho hàm nguồn:

$$I = I_f + I_s - \nabla[\alpha K(H_1 - h) \nabla h] \quad (6-54)$$

Phương trình (6-52) có thể coi là phương trình liên tục đối với dòng chảy trong toàn bộ tầng chứa nước có dạng giống như các phương trình vi phân thông thường đối với dòng chảy ổn định tầng chứa nước có áp và có thể áp dụng các phương pháp số trị để giải.

Cách giải hệ phương trình trên tốt nhất như sau: Đầu tiên xác định đầu nước  $\Phi$  theo phương trình vi phân (6-52) bằng cách giả thiết vị trí mặt tiếp giáp để tính giá trị của vế phải I. Điều này sẽ cho phép tính phân bố đầu nước  $\Phi$  có kể đến tất cả thành phần cung cấp nước bên ngoài và điều kiện biên đối với đầu nước. Sang bước thứ hai, xác định lại vị trí bề mặt tiếp giáp từ phương trình (6-50) hoặc (6-51). Tiến trình tính toán được lặp lại cho đến khi nghiệm hội tụ.

Dưới đây là ứng dụng phương pháp phân tử hữu hạn giải bài toán nhiễm mặn vùng.

Như đã trình bày ở chương 5, lời giải của bài toán dòng chảy ổn định trong tầng ngầm nước không áp với phương trình cơ bản sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + I - \frac{\Phi - \Phi'}{C} = 0 \quad (6-55)$$

được coi là một bài toán chuẩn trong lý thuyết phân tử hữu hạn. Theo các tiến trình của phương pháp phân tử hữu hạn sẽ dẫn đến hệ phương trình tuyến tính có dạng sau:

$$\sum_{j=1}^n P(i, j) \cdot \Phi(j) = Q(i); \quad i = (1, 2, 3, \dots, n) \quad (6-56)$$

Trong đó n là số các nút. Ma trận P chứa tổng trên tất cả các phân tử ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) của ma trận con có dạng:

$$P_k(i, j) = T_k [b(i) \cdot b(j) + c(i) \cdot c(j)] / (2|\Delta|); \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots) \quad (6-57)$$

Trong đó:  $b(1) = y(2) - y(3); c(1) = x(3) - x(2); v.v..$

và  $\Delta = x(1)b(1) + x(2)b(2) + x(3)b(3).$

Véc-tơ Q bao gồm đóng góp của từng phân tử, có dạng:

$$Q_k(i) = I \cdot |\Delta|/6 ; (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (6-58)$$

Vì  $|\Delta|/2$  là diện tích của phần tử tam giác và nó nhận được  $1/3$  tổng lượng nước cung cấp. Do đó phương trình (6-56) có thể coi là một biểu thức của sự liên tục dòng chảy tại nút  $i$ . Biểu thức  $\sum P(i,j) \cdot \Phi(j)$  là tương đương về trị số với biểu thức giải tích  $-\nabla(T\nabla\Phi)$ .

Như đã đề cập ở trên, tốt nhất là sử dụng phương trình cân bằng nước (6-52) kết hợp với một trong hai phương trình hoặc (6-50) hoặc (6-51). Nếu phương trình nước mặn được sử dụng là phương trình thứ hai, hệ phương trình sẽ là:

$$-\nabla(T \cdot \nabla\Phi) = I_f + I_s - \nabla(\alpha T_a \nabla h) \quad (6-59)$$

$$S(\partial h/\partial t) - \nabla(\alpha T_a \nabla h) + \nabla(\alpha T_a \nabla\Phi) = -I_s \quad (6-60)$$

Trong đó:  $T_a = T(H_1 - h)/(H_1 - H_2)$ , biểu thị suất chuyển nước bị giảm bớt.

Hệ phương trình (6-59) và (6-60) bây giờ được biến đổi đi chút ít bằng cách đưa vào một biến mới  $f$ , được định nghĩa là  $f = \Phi/\alpha$ .

Biến số này khác với đầu nước ở chỗ, yếu tố tỷ lệ được lựa chọn sao cho sự biến động trong  $f$  và  $h$  là gần như nhau. Điều này sẽ thuận lợi trong khi ứng dụng các phương pháp số trị. Hệ phương trình bây giờ sẽ là:

$$-\nabla(\alpha T \cdot \nabla\Phi) + \nabla(\alpha T_a \nabla h) = I_f + I_s \quad (6-61)$$

$$S(\partial h/\partial t) - \nabla(\alpha T_a \nabla h) + \nabla(\alpha T_a \nabla\Phi) = -I_s \quad (6-62)$$

Một ưu điểm của sự thay đổi biến số là rõ ràng từ những phương trình này các số hạng song đôi bây giờ có cùng một hệ số hoặc nói một cách khác là hệ thống đối xứng.

Xấp xỉ phương trình vi phân (6-61), (6-62) bằng phương pháp phần tử hữu hạn như đã trình bày trước đây, có thể dẫn tới hệ phương trình sau:

$$\sum_{j=1}^n P_a(i, j) f(j) - \sum_{j=1}^n P_b(i, j) \cdot h(j) = Q_f(i) + Q_s(i) \quad (6-63)$$

$$-\sum_{j=1}^n P_b(i, j) f(j) - \sum_{j=1}^n \{P_b(i, j) + P_c(i, j)\} \cdot h(j) = -Q_s(i) + \sum_{j=1}^n P_c(i, j) \cdot h_a(j) \quad (6-64)$$

Trong các phương trình này véc-tơ  $Q$  và ma trận  $P$  là các tương đương số trị của các số hạng khác nhau trong phương trình vi phân (6-61), (6-62), các hệ số của chúng có thể được tính toán tương tự như đã trình bày ở mục IV.

Dưới đây là chương trình tính nhiệm mặn vùng trong đất được viết bằng ngôn ngữ Basic:

```
1000 DEFINT I-N: KEY OFF: OPTION BASE 1: GOSUB 2000
1010 PRINT "--- Bear & Verruijt - Groundwater Modeling"
1020 PRINT "--- Regional groundwater flow in coastal aquifer"
1030 PRINT "--- Fresh and salt water with sharp interface"
1040 PRINT "--- Program 13.2"
```

```

1050 PRINT "--- Solution by finite elements": PRINT
1060 DIM X(200), Y(200), IP(200), H(200), F(200), HA(200), QF(200), QS(200)
1070 DIM PF(200), PS(200), PA(200, 10), PB(200, 10), PD(200, 10), KP(200, 10)
1080 DIM U(200), V(200), W(200), GF(200), GS(200): NS = 200: MS = 150: NZ = 10
1090 DIM B(3), C(3), XJ(3), YJ(3), QA(3, 3), QB(3, 3), KS(4, 3)
1100 DIM NP(150, 4), TR(150), FF(150), FS(150), TT(100), RF(100)
1110 IK = 1: AS = "Reading input data": GOSUB 2040: READ N, M, NS, NC, GF, GS, HT, SS
1120 DG = (GS - GF) / GF: FOR I = 1 TO N: READ X(I), Y(I), F(I), H(I), QF(I), QS(I), IP(I)
1130 F(I) = F(I) / DG: HA(I) = H(I): NEXT I
1140 FOR J = 1 TO M: READ NP(J, 1), NP(J, 2), NP(J, 3), NP(J, 4), TR(J), FF(J), FS(J)
1150 NEXT J: FOR K = 1 TO NS: READ TT(K), RF(K): NEXT K
1160 KS(1, 1) = 1: KS(1, 2) = 2: KS(1, 3) = 3: KS(2, 1) = 2: KS(2, 2) = 3: KS(2, 3) = 4
1170 KS(3, 1) = 3: KS(3, 2) = 4: KS(3, 3) = 1: KS(4, 1) = 4: KS(4, 2) = 1: KS(4, 3) = 2
1180 PRINT "Generation of pointer matrix": CL = CSRLIN: FOR I = 1 TO N: KP(I, 1) = I
1190 KP(I, NZ) = 1: NEXT I: FOR J = 1 TO M: LOCATE CL, 4, 0: PRINT "Element ..... ";
1200 PRINT USING "####"; J, : FOR K = 1 TO 4: KK = NP(J, K): FOR L = 1 TO 4: LL = NP(J, L)
1210 IA = 0: FOR II = 1 TO KP(KK, NZ): IF KP(KK, II) = LL THEN IA = 1
1220 NEXT II: IF IA = 0 THEN KB = KP(KK, NZ) + 1: KP(KK, NZ) = KB: KP(KK, KB) = LL
1230 NEXT L, K, J: DT = TT(IK): GOSUB 2000
1240 IC = 1: AS = "Step" + STR$(IK): GOSUB 2040: EE = .0000001
1250 FOR I = 1 TO N: FOR J = 1 TO NZ: PA(I, J) = 0: PB(I, J) = 0: PD(I, J) = 0: NEXT J
1260 PF(I) = RF(IK) * (QF(I) + QS(I)): PS(I) = -RF(IK) * QS(I): NEXT I
1270 PRINT "Generation of system matrix": CL = CSRLIN: FOR J = 1 TO M
1280 LOCATE CL, 4, 0: PRINT "Element ..... "; : PRINT USING "####"; J;
1290 FOR KW = 1 TO 4: HM = 0: FOR I = 1 TO 3: K = NP(J, KS(KW, I))
1300 XJ(I) = X(K): YJ(I) = Y(K): HM = HM + H(K) + HA(K): NEXT I: HM = HM / 6
1310 B(1) = YJ(2) - YJ(3): B(2) = YJ(3) - YJ(1): B(3) = YJ(1) - YJ(2)
1320 C(1) = XJ(3) - XJ(2): C(2) = XJ(1) - XJ(3): C(3) = XJ(2) - XJ(1)
1330 D = ABS(XJ(1) * B(1) + XJ(2) * B(2) + XJ(3) * B(3)): IF D < EE THEN 1460
1340 FA = DG * TR(J) / (4 * D): FB = FA * (HT - HM) / HT
1350 FOR K = 1 TO 3: FOR L = 1 TO 3: QA(K, L) = B(K) * B(L) + C(K) * C(L)
1360 QB(K, L) = FB * QA(K, L): QA(K, L) = FA * QA(K, L): NEXT L, K
1370 FOR K = 1 TO 3: IU = NP(J, KS(KW, K)): III = KP(IU, NZ): FOR L = 1 TO IH: LV = 1
1380 KV = KS(KW, LV): IF NP(J, KV) = KP(IU, L) THEN 1400
1390 LV = LV + 1: IF LV < 4 THEN 1380 ELSE 1420
1400 PA(IU, L) = PA(IU, L) + QA(K, LV): PB(IU, L) = PB(IU, L) + QB(K, LV)
1410 PD(IU, L) = PD(IU, L) + QB(K, LV)

```

```

1420 NEXT L, K: FOR I = 1 TO 3: K = NP(J, KS(KW, I))
1430 PF(K) = PF(K) + RF(IK) * (FF(J) + FS(J)) * D / 12: PS(K) = PS(K) - RF(IK) * FS(J) * D / 12
1440 PD(K, 1) = PD(K, 1) + SS * D / (12 * DT): PD(K, NZ) = PD(K, NZ) + SS * D * HA(K) / (12 * DT)
1450 NEXT I
1460 NEXT KW, J: PRINT : PRINT : EE = .00001: EE = EE * EE
1470 FOR I = 1 TO N: PA(I, NZ) = PA(I, NZ) + PF(I): PD(I, NZ) = PD(I, NZ) + PS(I): NEXT I
1480 PRINT "Solution of equations for F": CL = CSRLIN: IT = 1
1490 FOR I = 1 TO N: U(I) = 0: IF IP(I) > 1 THEN 1520
1500 U(I) = PA(I, NZ): FOR J = 1 TO KP(I, NZ): K = KP(I, J)
1510 U(I) = U(I) - PA(I, J) * F(K) + PB(I, J) * H(K): NEXT J
1520 V(I) = U(I): NEXT I: UU = 0: FOR I = 1 TO N: UU = UU + U(I) * U(I): NEXT I
1530 LOCATE CL, 4, 0: PRINT "Iteration ..... ": PRINT USING "####"; IT
1540 FOR I = 1 TO N: W(I) = 0: FOR J = 1 TO KP(I, NZ)
1550 K = KP(I, J): W(I) = W(I) + PA(I, J) * V(K): NEXT J, I
1560 VW = 0: FOR I = 1 TO N: VW = VW + V(I) * W(I): NEXT I
1570 AA = UU / VW: FOR I = 1 TO N: IF IP(I) > 1 THEN 1590
1580 F(I) = F(I) + AA * V(I): U(I) = U(I) - AA * W(I)
1590 NEXT I: WW = 0: FOR I = 1 TO N: WW = WW + U(I) * U(I): NEXT I
1600 BB = WW / UU: FOR I = 1 TO N: V(I) = U(I) + BB * V(I)
1610 NEXT I: UU = WW: IT = IT + 1: IF UU > 0 THEN E = LOG(UU) / LOG(10) ELSE E = -10
1620 PRINT "  Log(error) .... ": PRINT USING "####.#"; E
1630 IF (UU > EE AND IT <= 2 * N) THEN 1530
1640 FOR I = 1 TO N: GF(I) = -PA(I, NZ): FOR J = 1 TO KP(I, NZ)
1650 K = KP(I, J): GF(I) = GF(I) + PA(I, J) * F(K) - PB(I, J) * H(K): NEXT J, I
1660 PRINT : PRINT "Solution of equations for h": CL = CSRLIN: IT = 1
1670 FOR I = 1 TO N: U(I) = 0: IF IP(I) > 1 THEN 1700
1680 U(I) = PD(I, NZ): FOR J = 1 TO KP(I, NZ): K = KP(I, J)
1690 U(I) = U(I) + PB(I, J) * F(K) - PD(I, J) * H(K): NEXT J
1700 V(I) = U(I): NEXT I: UU = 0: FOR I = 1 TO N: UU = UU + U(I) * U(I): NEXT I
1710 LOCATE CL, 4, 0: PRINT "Iteration ..... ": PRINT USING "####"; IT
1720 FOR I = 1 TO N: W(I) = 0: FOR J = 1 TO KP(I, NZ)
1730 K = KP(I, J): W(I) = W(I) + PD(I, J) * V(K): NEXT J, I
1740 VW = 0: FOR I = 1 TO N: VW = VW + V(I) * W(I): NEXT I
1750 AA = UU / VW: FOR I = 1 TO N: IF IP(I) > 1 THEN 1770
1760 H(I) = H(I) + AA * V(I): U(I) = U(I) - AA * W(I)
1770 NEXT I: WW = 0: FOR I = 1 TO N: WW = WW + U(I) * U(I): NEXT I
1780 BB = WW / UU: FOR I = 1 TO N: V(I) = U(I) + BB * V(I)

```

```

1790 NEXT I: UU = WW: IT = IT + 1: IF UU > 0 THEN E = LOG(UU) / LOG(10) ELSE E = -10
1800 PRINT "  Log(error) .... "; : PRINT USING "####.#"; E
1810 IF (UU > EE AND IT <= 2 * N) THEN 1710
1820 FOR I = 1 TO N: GS(I) = PD(I, NZ): FOR J = 1 TO KP(I, NZ)
1830 K = KP(I, J): GS(I) = GS(I) + PB(I, J) * F(K) - PD(I, J) * H(K): NEXT J
1840 GF(I) = GF(I) - GS(I): NEXT I
1850 FOR I = 1 TO N: IF H(I) < 0 THEN H(I) = 0 ELSE IF H(I) > HT THEN H(I) = HT
1860 NEXT I: IC = IC + 1: A$ = "Step" + STR$(IK): IF IC > NC THEN 1880
1870 GOSUB 2000: A$ = A$ + ", cycle" + STR$(IC): GOSUB 2040: GOTO 1250
1880 IK = IK + 1: FOR I = 1 TO N: HN = H(I) + H(I) - HA(I): HA(I) = H(I): HI(I) = IIN
1890 IF H(I) < 0 THEN HI(I) = 0 ELSE IF H(I) > HT THEN H(I) = HT
1900 NEXT I: GOSUB 2000: A$ = "Output": GOSUB 2040: B$ = "###.###"
1910 FOR I = 1 TO N: PRINT "i = "; : PRINT USING "###"; I;
1920 PRINT "  f = "; : PRINT USING B$; DG * F(I);
1930 PRINT "  h = "; : PRINT USING B$; HA(I);
1940 PRINT "  Qf = "; : PRINT USING B$; GF(I);
1950 PRINT "  Qs = "; : PRINT USING B$; GS(I)
1960 NEXT I: PRINT "Time = "; IT(IK - 1); : GOSUB 2020: GOSUB 2000
1970 IF IK > NS THEN 1990
1980 DT = TT(IK) - TT(IK - 1): GOTO 1240
1990 GOSUB 2000: A$ = "END": GOSUB 2040: END
2000 CLS : LOCATE 1, 26, 1: COLOR 0, 7: PRINT " Regional interface model ";
2010 COLOR 7, 0: PRINT : PRINT : RETURN
2020 LOCATE 25, 27, 0: COLOR 0, 7: PRINT " Touch any key to continue ";
2030 COLOR 7, 0: LOCATE 25, 29, 1: A$ = INPUT$(1): RETURN
2040 COLOR 0, 7: PRINT " "; A$; " "; : COLOR 7, 0: PRINT : PRINT : RETURN
2050 DATA 22,10,17,3,1000,1025,20,0.4
2060 DATA 0,0,0,5,0,0,2,0,100,0,5,0,0,2
2070 DATA 100,0,0,5,0,0,0,100,100,0,5,0,0,0
2080 DATA 200,0,0,5,0,0,0,200,100,0,5,0,0,02

```

## BÀI TẬP CHƯƠNG 6

### I. Lựa chọn câu trả lời đúng

1. Hiện tượng thẩm thấu của nước biển vào các bể ngầm ven biển xảy ra khi:

- Đất đá không thấm nước lộ ra ngay tại bờ biển.
- Đất đá thấm nước lộ ra ngay tại bờ biển.
- Trường hợp (a) khi đường mặt nước nghiêng vào trong đất liền.
- Trường hợp (b) khi đường mặt nước nghiêng vào trong đất liền.
- Trường hợp (b) khi đường mặt nước hướng ra ngoài biển.
- Tất cả các trường hợp trên đều đúng.

2. Theo nguyên lý của Ghyben - Herzberg thì cột nước ngọt 41m sẽ cân bằng với cột nước mặn 40m:

- Vì nước mặn có tỉ trọng là  $1,025\text{g/cm}^3$ .
- Hiện tượng thẩm thấu xảy ra ở độ sâu 40m dưới MSL khi độ sâu của cột nước ngọt là 1m trên MSL.
- Hiện tượng thẩm thấu xảy ra ở độ sâu 41m dưới MSL khi độ sâu của cột nước ngọt là 1m trên MSL.
- Hiện tượng thẩm thấu xảy ra ở độ sâu 80m dưới MSL khi độ sâu của cột nước ngọt là 2m trên MSL.
- Nước ngầm sẽ hoàn toàn bị mặn khi cao trình mặt nước ngầm ngang bằng MSL hoặc thấp hơn.

3. Lượng nước ngọt lấy lên tăng khi:

- Mực nước ngầm tiếp tục giảm xuống.
  - Khi nêm mặn chuyển động sâu vào đất liền với hình dạng của mặt ngăn cách là parabol có điểm tiếp xúc trên mặt đứng tại MSL.
  - Khi nêm mặn chuyển động sâu vào đất liền với hình dạng của mặt ngăn cách là đường thẳng cho bởi phương trình  $y = 40h_f$ , trong đó  $y$  là độ sâu của mặt ngăn cách dưới MSL;  $h_f$  là độ sâu cột nước ngọt phía trên MSL.
  - Nêm mặn thẳng đứng chuyển động tịnh tiến vào đất liền.
  - Chân nêm mặn chuyển động sâu vào đất liền và nêm bị kéo dài ra tạo thành 1 lớp mỏng.
  - Chân nêm mặn chuyển động sâu vào đất liền tạo thành nêm nằm ngang.
  - Lượng nước ngọt chảy ra biển giảm xuống.
4. Chuyển động của nêm mặn:
- Là rất chậm chạp.
  - Chiều dài của nêm tỉ lệ thuận với lượng nước ngọt hút lên.
  - Tốc độ chuyển động của chân nêm mặn tỉ lệ với độ rỗng của đất đá.

- d. Chiều dài của nêm mặn tỉ lệ nghịch với lưu lượng nước ngọt chảy ra biển.
  - e. Chiều dài của nêm mặn thay đổi tuyến tính với chiều dày của tầng chứa nước.
  - f. Khi mặt ngăn cách không rõ ràng (vùng chuyển tiếp) thì đường tổng các chất hoà tan (TDS) = 1,500 - 2,000 ppm được xem như mặt ngăn cách.
5. Hiện tượng thẩm thấu nước mặn có thể khống chế bằng:
- a. Tăng lượng nước hút lên, điều này đồng nghĩa với giảm nhỏ nhất lượng nước ngọt thoát ra biển.
  - b. Hạn chế việc hút nước, cố gắng giữ mực nước ngầm cao hơn MSL.
  - c. Lập hệ thống giếng hồi quy song song với bờ biển.
  - d. Lập hệ thống giếng bơm liên tục song song với bờ biển.
  - e. Xây dựng đập chắn ngầm hoặc tường chắn song song với bờ biển.
  - f. Trồng lúa tại những vùng trũng vùng ven biển.
  - g. Phương pháp nào thường được dùng và phương pháp nào tốt nhất nếu lượng nước ngọt trong các bể ngầm đó được dùng cho các mục đích kinh tế hơn là để nó chảy một cách phí hoài ra biển.

h. Sử dụng tất cả các phương pháp.

6. Nước ngầm cấp từ hải đảo:

- a. Bị giới hạn bởi lượng mưa hiệu quả.
- b. Được lấy từ giếng tự nhiên.
- c. Từ giếng sâu bơm với lưu lượng lớn.
- d. Từ giếng nông bơm với lưu lượng để đường phân nước tại ngay bờ đảo.

**II.** Do việc khai thác nước ngầm trên phạm vi rộng vùng ven biển, nước biển thẩm thấu vào tầng chứa nước. Từ việc đo độ dẫn điện ở 2 giếng cách bờ biển 180m và 300m thì đường đẳng nồng độ 1,500ppm ở độ sâu 18,75m và 23,60m tương ứng dưới MSL. Chiều dày của tầng chứa nước là 30m, hệ số thấm là 50m/ngđ, độ rỗng đất đá là 10%. Xác định: (a) Lượng nước ngọt chảy ra biển, (b) Chiều dài của nêm mặn và (c) Tốc độ chuyển động của nêm.

Nếu lượng nước ngọt chảy ra biển tăng lên gấp đôi do hạn chế lượng hút lên thì chiều dài của nêm sẽ là bao nhiêu. Cho tỉ trọng của nước biển là  $1,025 \text{ g/cm}^3$ .

**III.** Lưu lượng nước ngọt chảy ra biển là  $40 \text{ m}^3/\text{ngày}/\text{m}$ . Độ sâu tầng chứa nước là 40m dưới mực nước biển, hệ số thấm là 50m/ngđ. Xác định vị trí chân nêm mặn? Nếu lượng nước ngọt chảy ra biển chỉ bằng 90% lưu lượng trên thì chân nêm mặn ở đâu?

**IV.** Đảo tròn bán kính 800m có lượng mưa hiệu quả 6mm/ngđ. Một giếng bơm đường kính 30cm bơm với lưu lượng 600 l/ph. Hệ số thấm nước là 20m/ngđ. Độ sâu của biển xung quanh đảo là 10m. Xác định độ hạ thấp mực nước tại giếng và tại đường phân nước.

**V.** Ống lọc độ dài 1m đặt tại độ sâu 15m dưới mực nước ngầm trong tầng chứa nước không áp có hệ số thấm 12m/ngđ. Mặt ngăn cách ở độ sâu 32m dưới mực nước ngầm. Lưu lượng lớn nhất có thể hút lên mà không làm nước mặn đi vào giếng là bao nhiêu?



## Chương VII

# CHẤT LƯỢNG NƯỚC NGẦM VÀ QUẢN LÝ CÁC LƯU VỰC NƯỚC NGẦM

Nhiễm bẩn nước ngầm được định nghĩa như là sự giảm chất lượng nước ngầm tự nhiên. Nhiễm bẩn nước ngầm sẽ dẫn tới việc giảm lượng nước ngầm cần thiết và gây độc hại đối với sức khoẻ con người và động thực vật vì các hoá chất tồn tại trong nước. Phần lớn các nguồn nhiễm bẩn xuất phát từ các nguồn nước thải qua việc sử dụng với các mục đích khác nhau. Các nguồn cũng như nguyên nhân gây nhiễm bẩn nước ngầm thay đổi trên phạm vi rất rộng.

Do có sự liên hệ thường xuyên và trực tiếp với nhiễm bẩn bề mặt, mặt khác do có những tính chất mang nét đặc thù riêng mà nhiễm bẩn nước ngầm rất khó khống chế và nếu như các bể ngầm đã bị nhiễm bẩn thì phải cần một thời gian rất dài với những biện pháp đặc biệt mới có thể cải tạo được.

Cùng với sự phát triển của nền kinh tế, nước ngầm ngày càng được quan tâm, việc sử dụng ngày càng tăng nên những cố gắng bảo vệ, làm giảm và hạn chế đến mức tối đa sự nhiễm bẩn các bể chứa ngầm là rất quan trọng.

### I. QUAN HỆ GIỮA NHIỄM BẨN VỚI VIỆC SỬ DỤNG NƯỚC

Nguyên nhân nhiễm bẩn của nước ngầm thường không dễ dàng xác định như nước mặt. Từ việc nghiên cứu các mẫu nước ngầm, các nhà khoa học đã chỉ ra nguyên nhân nhiễm bẩn bao gồm: nhiễm do phóng xạ, vật lý, sinh học và hoá học (cả vô cơ và hữu cơ). Nguồn và nguyên nhân làm nhiễm bẩn có liên quan mật thiết với việc sử dụng nước của con người. Những mối quan hệ bên trong phức tạp ảnh hưởng đến chất lượng nước được tạo ra bởi các hoạt động của con người ảnh hưởng đến vòng tuần hoàn nước.

Nguyên nhân chính dẫn đến nhiễm bẩn nước ngầm là các nguồn chất thải từ đô thị, công nghiệp, nông nghiệp và nguyên nhân hỗn hợp. Thành phần nước thải tùy thuộc vào tính chất thải, nơi phát sinh và tình hình thực tế.

Dưới đây xin trình bày tóm tắt các nguyên nhân, các nguồn nhiễm bẩn và ảnh hưởng của nó đến chất lượng nước ngầm.

#### 1.1. Nguồn nhiễm bẩn từ đô thị

##### *a) Sự rò rỉ của hệ thống cống thải nước*

Thông thường hệ thống thải nước phải kín, nhưng do các hoạt động của con người như đào bới, để các vật nặng trên hệ thống thải hoặc xe cộ đi lại, các điều kiện tự nhiên như sụt trượt đất, hoạt động địa chấn, rễ cây đâm vào... làm cho hệ thống nước thải bị rạn nứt hoặc

vỡ ra và nước thải thấm vào các tầng đất. Sự rò rỉ của hệ thống nước thải mang theo các hợp chất vô cơ, hữu cơ, các vi khuẩn độc hại với nồng độ cao vào trong nước ngầm. Tại các khu công nghiệp, việc rò rỉ sẽ mang theo các kim loại nặng rất nguy hiểm như As, Cd, Cr, CO, Cu, Mg, Hg, v.v... đi vào nguồn nước ngầm.

#### *b) Nguồn nhiễm bẩn dưới dạng lỏng*

Nước thải ở vùng đô thị từ các nguồn sinh hoạt, công nghiệp, các hoạt động kinh tế xã hội và từ dòng chảy do mưa. Phần lớn chúng được xử lý ở những mức độ khác nhau trước khi thải vào nguồn nước mặt. Hiện nay xu thế thải nước vào trong đất đang tăng lên và vùng đất được sử dụng như một bể lọc trước khi đưa loại nước này trở lại vòng tuần hoàn chung của nó.

#### *c) Chất thải dưới dạng rắn*

Chất thải dưới dạng rắn là một nguồn gây nhiễm bẩn nước ngầm. Thông thường nước thải bao gồm các chất thải rắn được thải ra mặt đất, các vùng đất này nếu có các khe nứt thì phần lớn các chất thải, cặn bã dưới dạng rắn sẽ theo phần nước thải đi xuống làm nhiễm bẩn nguồn nước ngầm.

#### *d) Nguồn nhiễm bẩn do các hoạt động công nghiệp*

Nước được sử dụng trong công nghiệp dùng để làm lạnh, làm vệ sinh, sản xuất và gia công sản phẩm. Trong quá trình đó có rất nhiều chất độc hại, các chất cặn bã bị thải ra. Các nguồn này có thể thải trực tiếp bằng dòng chảy mặt ra các hệ thống sông suối và nó sẽ gây nguy hiểm khi có nồng độ chất độc hại cao hoặc cũng có thể được thải ra và lọc qua các bể đất (landfills) và tập trung vào các bể để sử dụng lại hoặc trả lại cho dòng chảy mặt, hoặc cho thấm xuống cung cấp cho nước ngầm.

Với sự phát triển với tốc độ cao của nền công nghiệp thế giới, tình hình nhiễm bẩn nước từ ngành công nghiệp là khá nghiêm trọng.

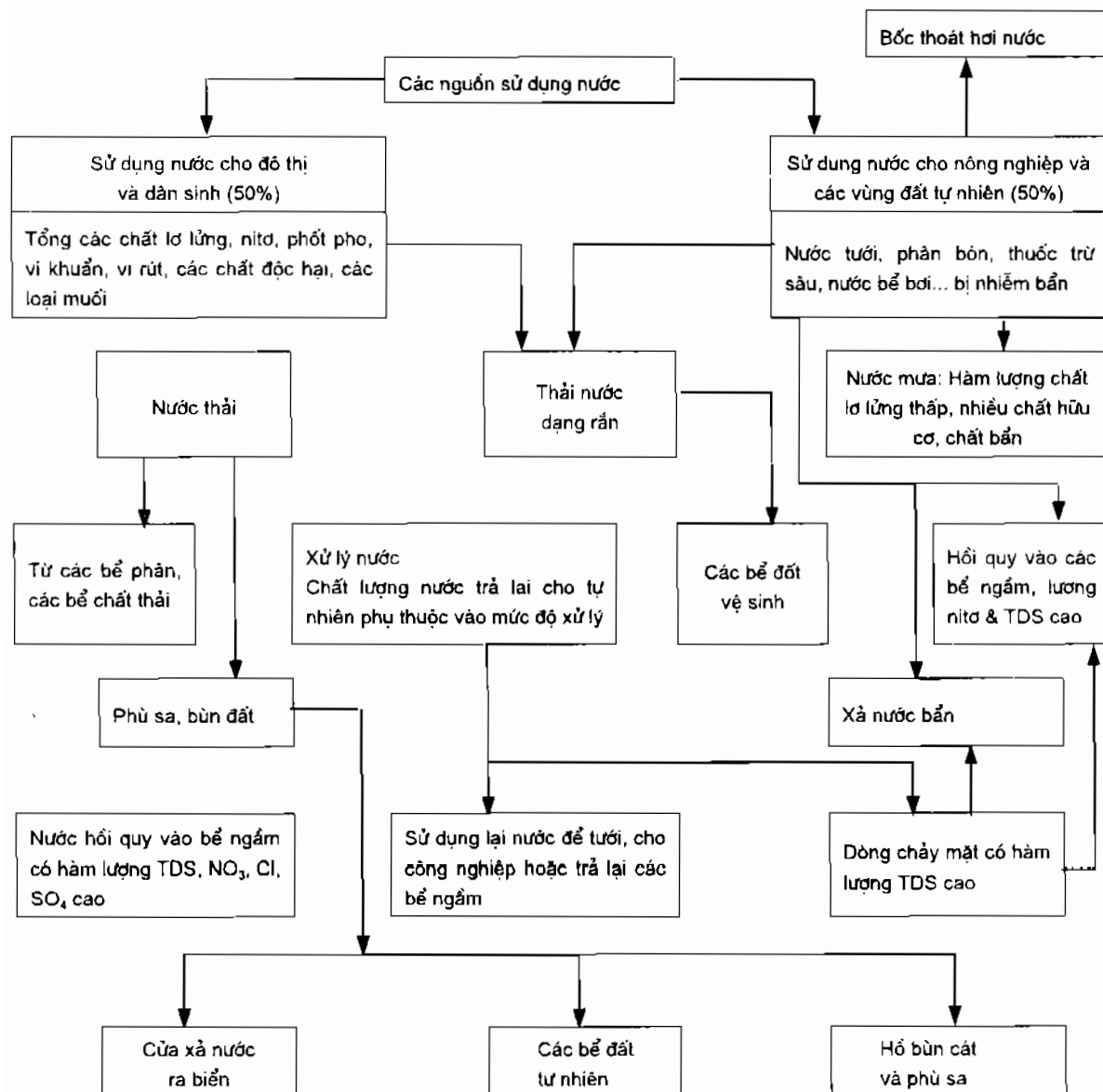
Việc sử dụng nước vì các mục đích kinh tế, xã hội và ảnh hưởng của nó đến chất lượng nước được biểu diễn bằng sơ đồ hình (7-1).

### **1.2. Nguồn nhiễm bẩn từ nông nghiệp**

Nguồn này được kể đến do sản xuất nông nghiệp và chăn nuôi. Trong quá trình sinh trưởng, rễ cây và các bộ phận liên quan lấy thức ăn từ đất, nhưng đồng thời cũng thải ra các chất và muối. Ngoài ra để bảo vệ mùa màng, hàng năm một lượng lớn thuốc diệt trừ sâu bọ và côn trùng được sử dụng, nó đã giết các sinh vật có ích, đồng thời cũng đã thải ra một lượng khổng lồ các chất độc hại vào đất và nước.

Để tăng độ phì của đất, phân hoá học (phân vô cơ) cũng được sử dụng nhiều. Ngoài những mặt tích cực thì nó cũng gây nên những mặt hạn chế, nhất là sau khi phân hoá trở thành các nguyên tố hoá học có gốc  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $NO_4$ ,  $CO_2$ ... mà các gốc này khi tác dụng với các chất hoá học có chứa trong đất ở những điều kiện thích hợp sẽ tạo ra môi trường axit hoặc kiềm cho đất.

Việc chăn nuôi và nguồn phân hữu cơ do súc vật thải ra, khi gặp trời mưa sẽ chảy tràn trên bề mặt đất gây nhiễm bẩn nước mặt, đồng thời thấm xuống sâu ảnh hưởng tới các tầng nước ngầm. Ngoài những độc tố thì lượng vi khuẩn, vi trùng trong nguồn chất thải này cũng rất lớn sẽ là mầm mống gây bệnh cho các sinh vật trong vùng bị ảnh hưởng.



**Hình 7-1:** Các nguồn sử dụng nước và ảnh hưởng của nó đến chất lượng nước.

Ngoài những nguồn đã phân tích ở trên, việc nhiễm bẩn còn phải kể đến do khai thác hầm mỏ, dầu mỡ từ xe cộ vận chuyển trên đường, khai thác và chuyên chở dầu mỡ, các hoạt động gây phóng xạ...

Đối với Việt Nam, chiều dài tiếp xúc với biển trên 3000km thì nhiễm mặn là một vấn đề cần phải đặc biệt quan tâm. Vấn đề này sẽ được đề cập kỹ trong các phần sau.

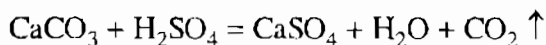
## II. QUÁ TRÌNH PHA LOÃNG VÀ MỞ RỘNG CÁC NGUỒN NƯỚC BẮN

Thông thường nguồn chất thải và nước bẩn thường tập trung ở những vùng hoặc những điểm nhất định. Song do hiện tượng khuếch tán và chuyển tải, do chảy tràn trên mặt đất, thấm xuống tầng sâu, bị giữ lại, cản trở trong quá trình chuyển vận, sự phân huỷ các hợp chất hữu cơ,... sẽ làm cho nồng độ của nó giảm dần và vùng ảnh hưởng mở rộng ra. Quá trình này được gọi là quá trình pha loãng và mở rộng của các nguồn nhiễm bẩn. Dưới đây xin trình bày các dạng pha loãng, đồng thời mở rộng của các nguồn nhiễm bẩn nước ngầm.

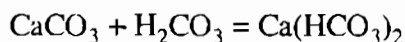
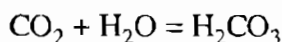
### 2.1. Quá trình hoá học

Các quá trình kết tủa trong nước ngầm dễ dàng xảy ra khi trong đất tồn tại một lượng ion đủ lớn. Các ion này thực hiện các phản ứng hoá học gọi là các phản ứng thay thế bề mặt. Các ion của các nguyên tố hoạt động mạnh hơn sẽ đẩy các nguyên tố có khả năng hoạt động yếu hơn để tạo nên một màng vững chắc, nhưng đồng thời cũng làm thay đổi tính chất của đất.

Chẳng hạn, đất chứa nhiều hợp chất  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{-}$ , nguyên tố can xi (Ca) dễ tan trong nước, nên gốc  $\text{SO}_4$  kết hợp với nước tạo thành axit sulphuric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) và sau đó lại kết hợp với  $\text{CaCO}_3$  (thực chất là vôi được rải xuống ruộng trong quá trình ngọt hoá đất) để trở thành  $\text{CaSO}_4$ . Nếu thành phần đất thuộc loại kiềm thì ion  $\text{Ca}^{++}$  sẽ thay thế  $\text{Na}^+$  tạo thành đất chứa  $\text{Ca}^{++}$  bền vững hơn. Phản ứng như sau:



$2(\text{Na} + \text{Đất}) + \text{CaSO}_4 = (\text{Ca} + \text{Đất}) + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (dễ hoà tan) và sẽ chảy đi.



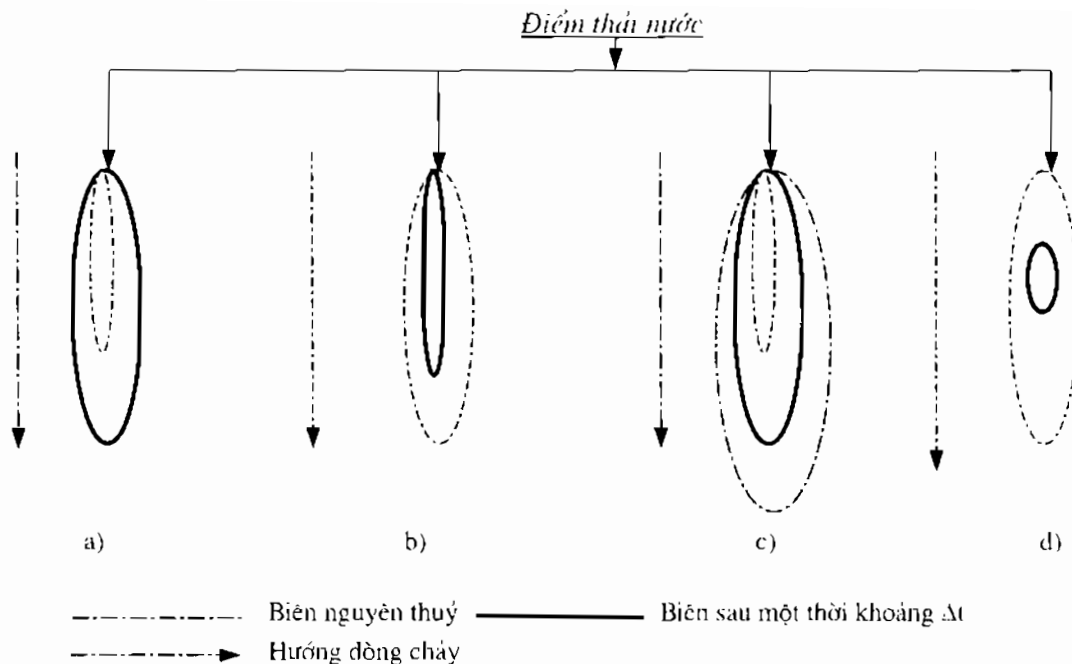
$2(\text{Na} + \text{Đất}) + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = (\text{Ca} + \text{Đất}) + 2\text{NaHCO}_3$  (hoà tan).

Do có nguồn gốc hình thành khác nhau nên đất mang theo các nguyên tố hoá học khác nhau, song do có phản ứng thay thế mà xu thế tạo thành các bề mặt vững bền hơn đã làm thay đổi tính chất của đất. Có những phản ứng mang lại độ phì cho đất, nhưng cũng có phản ứng phá huỷ đất như kết hợp của sắt với các hợp chất để tạo thành oxit sắt mà chúng ta còn gọi là hiện tượng đá ong.

### 2.2. Quá trình vận chuyển và phân huỷ các hợp chất hữu cơ

Do hoạt động kinh tế và sinh hoạt mà rất nhiều chất thải dưới dạng hữu cơ bị thải vào nguồn nước, dưới các điều kiện thuận lợi các vi khuẩn và vi sinh hoạt động để phân huỷ các hợp chất hữu cơ. Cùng đồng thời với quá trình phân huỷ là quá trình vận chuyển, làm loang rộng vùng ảnh hưởng, làm nghiêm trọng thêm tình trạng ô nhiễm nguồn nước.

Tùy theo sự phân bố của nguồn nước thải, các nguồn nhiễm bẩn (ở dạng lỏng hoặc rắn), các phế thải ở dạng rắn như phôi sắt, thép, cao su vụn, giấy thừa... mà có thể có những dạng phát triển như hình 7-2.



**Hình 7-2:** Phân bố các nguồn nhiễm bẩn

*Loại a:* Hình lông chim phát triển rộng dần do nguồn nhiễm bẩn được cung cấp thường xuyên, lưu lượng nước chảy qua cũng ít thay đổi. Thí dụ nước thải sinh hoạt của một vùng nào đó chảy qua bãi đổ rác, phế thải của một nhà máy...

*Loại b:* Nồng độ chất bẩn giảm dần cùng với việc thu hẹp vùng ảnh hưởng do lưu lượng chất thải giảm dần theo thời gian. Cũng có thể do một loại chất thải khác đã được đưa vào mà khả năng phân huỷ của nó chậm hơn nên quá trình nhiễm bẩn cũng giảm thấp.

*Loại c:* Nồng độ và vùng ảnh hưởng của nó thay đổi liên tục theo thời gian do lưu lượng chất thải thay đổi, chủng loại chất bẩn cũng đa dạng và chế độ thủy văn, khí tượng, đặc điểm địa lý, địa chất khu vực cũng có sự biến đổi theo thời gian.

*Loại d:* Nồng độ và vùng ảnh hưởng của nó đột ngột giảm xuống do nguồn cung cấp chỉ mang tính chất cục bộ, không thường xuyên.

### III. CHẤT LƯỢNG NƯỚC NGẦM

Trong nước tồn tại các loại muối, các chất hoà tan do các nguồn tự nhiên và nhân tạo cung cấp. Chất lượng của nước được đánh giá tùy thuộc vào mục đích sử dụng, yêu cầu đòi hỏi về chất lượng nước của các ngành khác nhau như: nước uống, nước dùng trong công nghiệp cho việc làm lạnh, sản xuất và tinh chế sản phẩm, nước dùng cho công nghiệp, làm nghiệp, thủy sản, dùng trong các hoạt động vui chơi, giải trí...

Việc đánh giá chất lượng nước thông qua tiêu chuẩn chất lượng. Tiêu chuẩn chất lượng là các chỉ tiêu định lượng của các chất hữu cơ, vô cơ cho phép tồn tại trong nước ứng với các yêu cầu sử dụng khác nhau. Chỉ tiêu này phụ thuộc vào loại chất gây ô nhiễm, trình độ

phát triển kinh tế, kỹ thuật của mỗi khu vực, mỗi nước và các ngành dùng nước khác nhau. Dưới đây xin trình bày một số tiêu chuẩn nước ngầm cho các ngành khác nhau.

### 3.1. Chất lượng nước uống

Đòi hỏi về chất lượng nước uống rất cao, chẳng hạn nước uống không được có màu, mùi vị, không có khuẩn và thành phần hoá học như bảng dưới đây:

**Tiêu chuẩn nước uống (do WHO đề ra)**

Các đặc trưng	Giới hạn được thừa nhận (mg/l)	Giới hạn cho phép (mg/l)
Tổng các chất hoà tan	500	1500
Màu (°H)	5,0	50
Độ đục	5,0	25
Cl	200	600
Fe <sup>++</sup>	0,3	1,0
Mn	0,1	0,5
Cu	1,0	1,5
Zn	5,0	15,0
Ca	75,0	200
Mg	50,0	150
Sunfat Mangan, Natri	500	1000
NO <sub>3</sub>	45	
Phenol	0,001	0,002
pH	7,0 ÷ 8,0	min 6,5; max 9,2

Trong nước uống nhất thiết phải loại bỏ hoặc hạ thấp đến mức thấp nhất các hoá chất độc như Pb, F, Hg...

### 3.2. Nước dùng trong công nghiệp

Nước dùng trong công nghiệp tùy theo yêu cầu sử dụng mà yêu cầu chất lượng cũng khác nhau. Nước dùng làm lạnh trong các nhà máy nhiệt điện, sản xuất sắt thép... thì chất lượng không cần cao lắm, nhưng nước dùng trong các nồi hơi, nếu lượng canxi quá cao thì sẽ dẫn tới hiện tượng lắng cặn, làm cho nhiệt cần thiết đun sôi ngày càng yêu cầu cao hơn, nhanh chóng phá huỷ nồi hơi hoặc nước dùng để sản xuất sợi, sản xuất các hoá chất... thì lại đòi hỏi phải có độ tinh khiết cao .v.v..

Có những ngành công nghiệp, nước được dùng như một tác nhân hoạt động, chẳng hạn thủy điện thì yêu cầu về chất lượng nước lại không cần cao lắm.

Yêu cầu dùng nước của các ngành công nghiệp rất lớn, cho nên trước khi sử dụng, nước cần được xử lý để đạt chất lượng cần thiết. Dưới đây là số liệu dùng nước của một số ngành công nghiệp.

### Tiêu chuẩn nước dùng của một số ngành công nghiệp

Ngành công nghiệp	Nước cần (m <sup>3</sup> /tấn sản phẩm)
Mỏ	5
Dệt	4
Giấy	90
Thép	45
Đường hoá học	8 tới 1100

### 3.3. Nước dùng cho nông nghiệp

Trong nông nghiệp nước dùng chủ yếu để tưới, chất lượng nước tưới cần đảm bảo các yêu cầu sau đây:

- Tổng các chất hoà tan trong nước (TDS);
- Tỷ số tương đối giữa Na<sup>+</sup> với các ion dương khác;
- Nồng độ các nguyên tố đặc biệt;
- Các ion dư thừa.

#### a) Tổng các chất hoà tan trong nước

Nếu nồng độ muối tăng lên, thì sẽ gây khó khăn cho cây trồng hút thức ăn từ đất và nước. Các thực nghiệm đã chỉ ra rằng dưới điều kiện áp suất thẩm lọc từ 1,5 ÷ 2,0 (atm) thì cây không còn khả năng phát triển nữa. Quan hệ giữa áp suất thẩm lọc và nồng độ muối như sau:

$$P = i RTC$$

Trong đó:  $i$  - Hệ số Vonthoff;

$P$  - Áp suất thẩm lọc (atm);

$R$  - Hằng số;

$T$  - Nhiệt độ (tính theo nhiệt độ tuyệt đối).

$C$  - Nồng độ muối (mol/l);

Dưới đây là một số ví dụ tính áp suất thẩm lọc  $P$  của một số loại muối:

NaCl (1%) giá trị  $i = 2$ ;  $C = 1$  (g/l) hay 1/58,5 (mol/l); tích số  $RT = 22,41$  thì:

$$P = \frac{2 \times 22,4}{58,5} = 0,766 \text{ (atm)}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ (1\%)}, i = 3, \quad P = \frac{3 \times 22,4}{142} = 0,47 \text{ (atm)}$$

$$\text{CaCl}_2 \text{ (1\%)}, i = 3, \quad P = \frac{3 \times 22,4}{111} = 0,605 \text{ (atm)}$$

$$\text{CaSO}_4 \text{ (1\%)}, i = 2, \quad P = \frac{2 \times 22,4}{136} = 0,329 \text{ (atm)}$$

Mức độc hại của một muối sẽ tăng lên cùng với sự tăng của nhiệt độ.

### Yêu cầu chất lượng nước cho các ngành công nghiệp

Ngành công nghiệp	Độ đục	Màu	Mùi và vị	Ion Fe (ppm)	Mg hoặc Mn	TDS (ppm)	Độ cứng CaCO <sub>3</sub> (ppm)	Kiểm CaCO <sub>3</sub> (ppm)	Hydrogen Sulphide	pH	Các yêu cầu khác
Làm lạnh	10	10	Thấp	0,5	0,5				1,0		Lạnh không ăn mòn
Nồi hơi với áp suất 00 ÷ 10 kG/cm <sup>2</sup>	20	80				3000 ÷ 500	80		5	8,0	
Nồi hơi với áp suất 10 ÷ 17 kG/cm <sup>2</sup>	10	40				2500 ÷ 500	40	Thấp	3	8,4	Chất hoà tan ít
Nồi hơi với áp suất 17 ÷ 27 kG/cm <sup>2</sup>	5	5				1500 ÷ 100	10		0	9,0	ô xy và silicat
Rượu chưng cất	10		Thấp	0,1	0,1	500 ÷ 1000		75 ÷ 150	0,2	7,0	
Đóng hộp	10		Thấp	0,2	0,2		25÷75		1,0		Nước sạch
Bánh mứt kẹo			Thấp	0,2	0,2	100			0,2	7,0	
Bông	Thấp		Thấp	0,2	0,2						
Nhựa	2	2		0,02	0,02	200					
Giấy	25	15		0,2	0,1	300	100				
Len dạ	50	20		1,0	0,5		180				
Tơ nhân tạo, sợi	5	20		0,25	0,25	200					

Một số liên hệ quan trọng:

- 1) TDS (ppm) = 0,64 × EC (µmhos/cm);
- 2) Áp suất thẩm lọc P(atm) = 0,00036 × EC (µmhos/cm);
- 3) 1(mhos/cm) = 1000(milimhos/cm) = 10<sup>6</sup> (µmhos/cm);
- 4) Nồng độ ion được biểu diễn như sau:

$$\text{Milli đương lượng (me/l)} = \frac{\text{Nồng độ muối (mg/l)}}{\text{Đương lượng}}$$

$$\text{Đương lượng phân triệu (epm)} = \frac{\text{Nồng độ muối (ppm)}}{\text{Đương lượng}}$$

Vì mg/l ≈ ppm nên me/l = epm.

$$\text{Đương lượng} = \frac{\text{Trọng lượng nguyên tử}}{\text{Hoá trị của nguyên tố}}$$



5) Logarit của số âm của nồng độ ion hydro được gọi là độ pH:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

Dung dịch với  $\text{pH} < 7$  là axit,  $\text{pH} > 7$  là kiềm và  $\text{pH} = 7$  là dung dịch trung tính. Nước tự nhiên có độ pH thay đổi từ 6 ÷ 8.

6) Phần lớn nước cứng là do tồn tại ion  $\text{Ca}^{++}$  và  $\text{Mg}^{++}$ . Tổng độ cứng (TH) được biểu diễn bằng ppm của  $\text{CaCO}_3$ :

$$\begin{aligned} \text{TH} &= \text{Ca} \times \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Ca}} + \text{Mg} \times \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Mg}} = \text{ppm của trọng lượng tương đương} \\ &= 2,497 \text{ Ca} + 4,115 \text{ Mg} \end{aligned}$$

Tất cả các thành phần được biểu diễn bằng đơn vị (ppm).

Tổng độ cứng (ppm) bằng tổng của epm của ion  $\text{Ca}^{++}$  và  $\text{Mg}^{++} \times 50$  (tổng có ý nghĩa của  $\text{Ca}^{++}$  và  $\text{Mg}$ , nếu tồn tại, cũng được kể đến) ( $\text{TH} = (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}) \times 50$ ).

7) Nước cứng không có cacbon (Non Carbonate) (NCH) tính bằng ppm.

$$\text{NCH (ppm)} = (\text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) \times 50$$

Khi  $\text{NCH} < 0$  thì trong tính toán  $\text{NCH} = 0$ .

8) TDS (ppm) = tổng của các ion (ppm) + nồng độ ion ( $\text{HCO}_3$ )  $\times 0,49$ .

9) EC ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) = ( $\Sigma$ ion dương hoặc  $\Sigma$ ion âm)  $\times 100$

$$[\text{EC} (\mu\text{mhos/cm}) = 100 \times \Sigma \text{ion dương} = 100 \times \Sigma \text{điện tử}]$$

10) Phần trăm giá trị hoạt động (PAV) của bất kỳ nguyên tố nào là nồng độ của nguyên tố đó (epm) được biểu diễn bằng phần trăm của tổng ion dương hoặc ion âm tính bằng (epm).

11) Chỉ số muối (SI).

12) Giá trị của một số ion chủ yếu:

Nguyên tố	Trọng lượng nguyên tử	Hoá trị	Trọng lượng tương đương
Ion dương		+	
Ca	40,08	2	20,04
Mg	24,32	2	12,16
Na	23,00	1	23,00
K	39,00	1	39,00
Ion âm		-	
$\text{CO}_3$	60,01	2	30,00
$\text{HCO}_3$	61,02	1	61,02
$\text{SO}_4$	96,06	2	48,03
Cl	35,46	1	35,46
$\text{NO}_3$	62,01	1	62,01
F	19,00	1	19,00

13) Khi  $TH \leq$  độ kiềm thì độ cứng của nước có thể xem là cứng do  $CO_3$  tạo ra.

$TH \geq$  độ kiềm thì độ cứng các bon (Carbonate hardness) = độ kiềm

$NCH = TH -$  độ kiềm

Chỉ số độ cứng quy định bởi Cục Địa chất Hoa Kỳ như sau:

Loại	Độ cứng (mg/l)	Ghi chú
Nước mềm	0 ÷ 55	Không cần phải làm mềm
Nước hơi cứng	56 ÷ 100	
Nước cứng trung bình	101 ÷ 200	Đòi hỏi phải làm mềm
Nước nửa cứng	201 ÷ 500	

b) Tỷ lệ giữa ion  $Na^+$  với các ion dương khác có trong nước

Nếu nồng độ muối ở trong nước cao dẫn đến sự hình thành đất mặn, ngược lại nếu nồng độ  $Na^+$  cao dẫn đến đất kiềm. Cục phát triển đất của Mỹ (USDA) định nghĩa đất kiềm là đất có  $pH \geq 8,5$  với mức độ bão hoà  $Na^+ \geq 15\%$ . Đất kiềm có kết cấu yếu, dễ hoá bùn và không thoáng. Mức độ bão hoà Na cao là nguyên nhân của hiện tượng thiếu can xi. Nước tưới với tỷ lệ hấp thụ Na thấp (SAR) phù hợp với nông nghiệp.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \text{ (me/l)}$$

$$Na\% = \frac{Na + K}{Ca + Mg + Na + K} \cdot 100$$

Nồng độ của tất cả các nguyên tố được tính bằng (me/l). USDA xây dựng biểu đồ đọc trực tiếp ESP.

c) Nồng độ của các nguyên tố đặc biệt

Các nguyên tố đặc biệt như: Se (selenium), Molipden (Molybdenum) và Flouride thì thực vật có thể chịu đựng được, nhưng rất độc hại đối với động vật. Các nguyên tố như Baron (Br); Lithium (Li) thì ngược lại đối với thực vật. Trong nước ngầm lượng Br giàu hơn nước mặt với hàm lượng  $> 0,5$  ppm. Baron có hại với cam, quýt, cây có dầu và các cây ăn quả quý. Nhưng ngũ cốc, bông thì có thể chịu đựng được một cách bình thường với Baron, trong khi cỏ linh lăng, củ cải đường, măng tây và chà là thì phát triển bình thường với  $Br = 1 \div 2$  (ppm). Baron có trong nhiều loại xà phòng và nó trở thành nhân tố độc hại khi sử dụng nước thải để tưới.

d) Lượng các bon thùa (RC)

Khi tổng lượng cacbonnat và bicarbonnat lớn hơn tổng lượng can xi và ma giê thì sẽ có hiện tượng kết tủa ở giai đoạn sau trong đất.

$$RC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++}) \text{ (me/l)}$$

### 3.4. Các phương pháp biểu thị kết quả phân tích chất lượng nước

Các biểu diễn hình học nồng độ các ion khác nhau trong mẫu nước được hình thành phát triển và hoàn thiện dần. Thông qua các biểu diễn này chúng ta nhìn nhận dễ dàng và nhanh chóng các kết quả phân tích. Trên cơ sở đó, xem xét và đưa ra những kết luận sơ bộ, đề xuất các giải pháp cần thiết để xử lý nước.

Dưới đây chúng tôi xin trình bày một số phương pháp biểu thị tài liệu phân tích chất lượng nước.

a) *Biểu đồ nồng độ ion (còn gọi là biểu đồ Collin do USGS đề xuất)*

- Biểu diễn các ion dương phía bên phải gồm: Na + K, Mg, Ca.
- Ion âm phía bên trái bao gồm: Cl + NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub>.

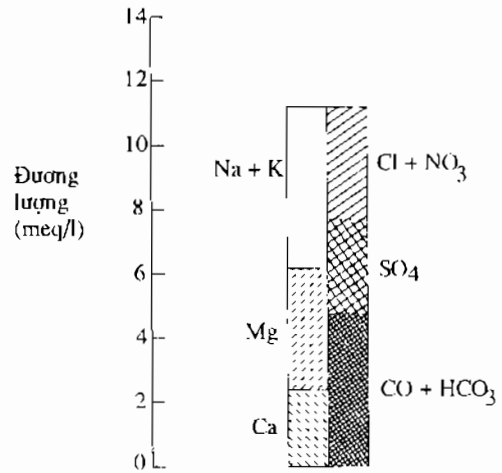
Tất cả các ion được phân tích ở thứ nguyên (me/l) và bằng cách phân tích như vậy thì ion dương phải bằng ion âm.

b) *Phương pháp đa giác Stiff*

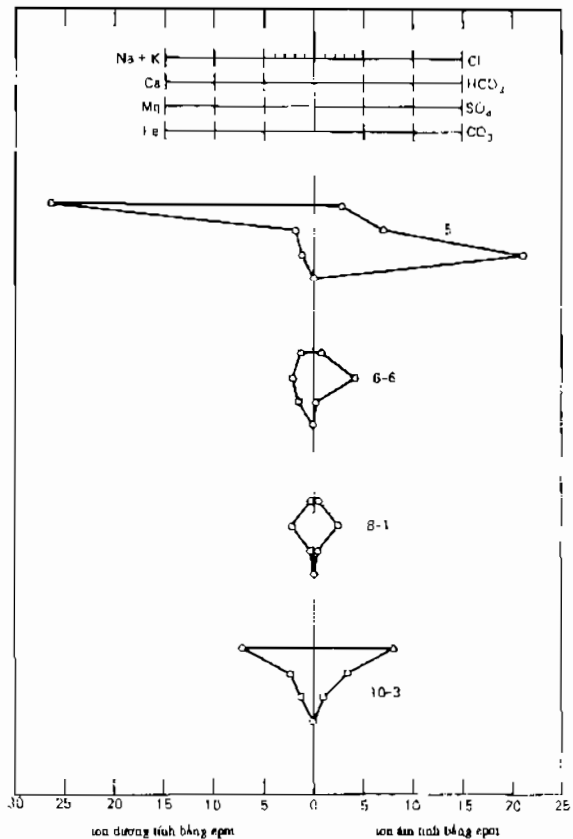
Sử dụng bốn trục nằm ngang song song với nhau và một trục thẳng đứng. Bốn ion dương được vẽ về một phía còn bốn ion âm vẽ về một phía đối diện. Đường nối các đỉnh của nó sẽ cho một đa giác mang tính chất đặc trưng cho loại nước đó. Tất cả các ion được tính bằng ppm. Bốn loại ion dương là: Na + K, Ca, Mg, Fe và bốn loại ion âm là: Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> và CO<sub>3</sub>. Cách biểu diễn như hình (7-4).

c) *Biểu đồ hình quạt*

Nồng độ tổng cộng của các ion (ppm) được biểu diễn bằng diện tích hình tròn, trong đó nồng độ mỗi loại ion được biểu diễn bằng các phần khác nhau trên hình tròn đó. Cách biểu diễn như hình 7-5.

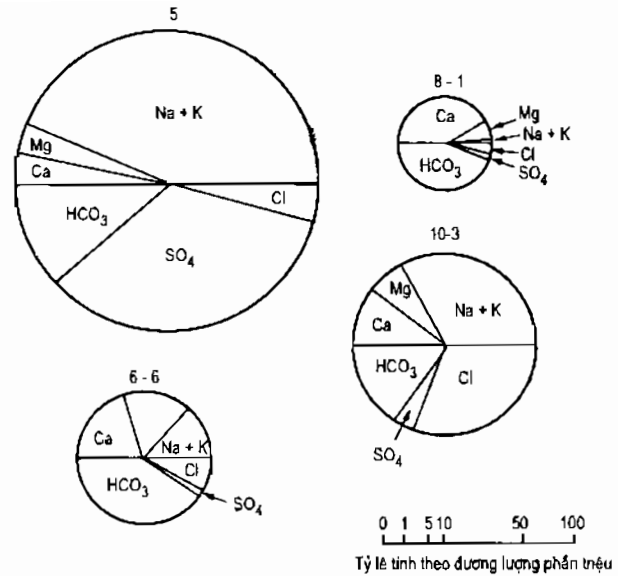


Hình 7-3: Biểu đồ Collin



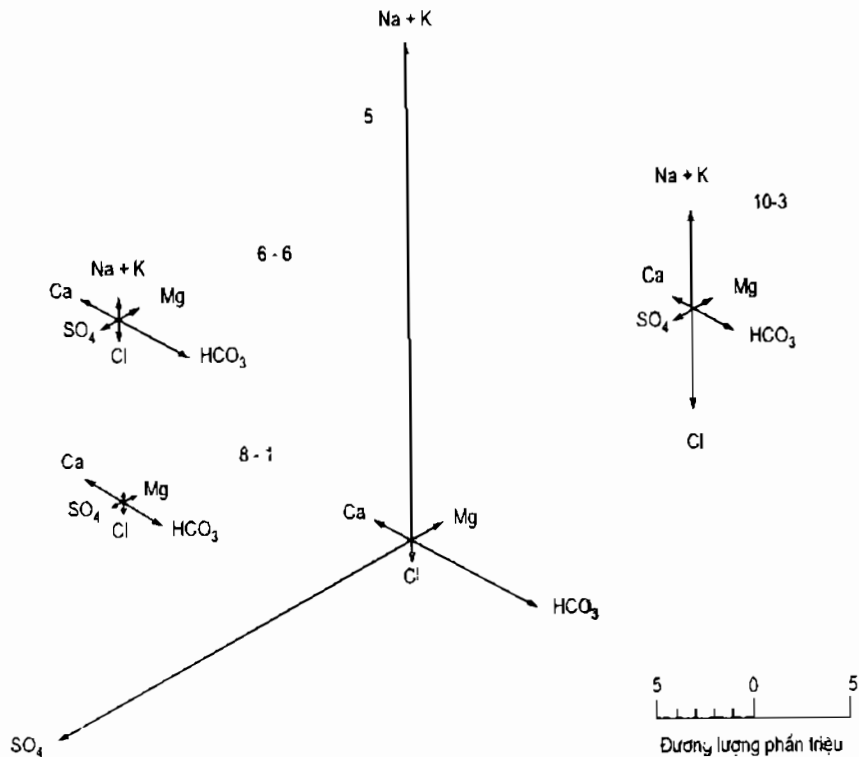
Hình 7-4: Biểu đồ Stiff

**Hình 7-5:**  
Biểu đồ hình quạt



*d) Dạng biểu đồ vectơ*

Biểu diễn bằng véc tơ bán kính hay còn gọi là hệ thống biểu diễn của Maucha. Chiều dài của mỗi véc tơ biểu diễn nồng độ ion (epm) của một nguyên tố. Hệ thống này đơn giản và thuận lợi. Một số hệ thống chỉ biểu diễn phần trăm của nồng độ (epm). Cách biểu diễn như hình 7-6.



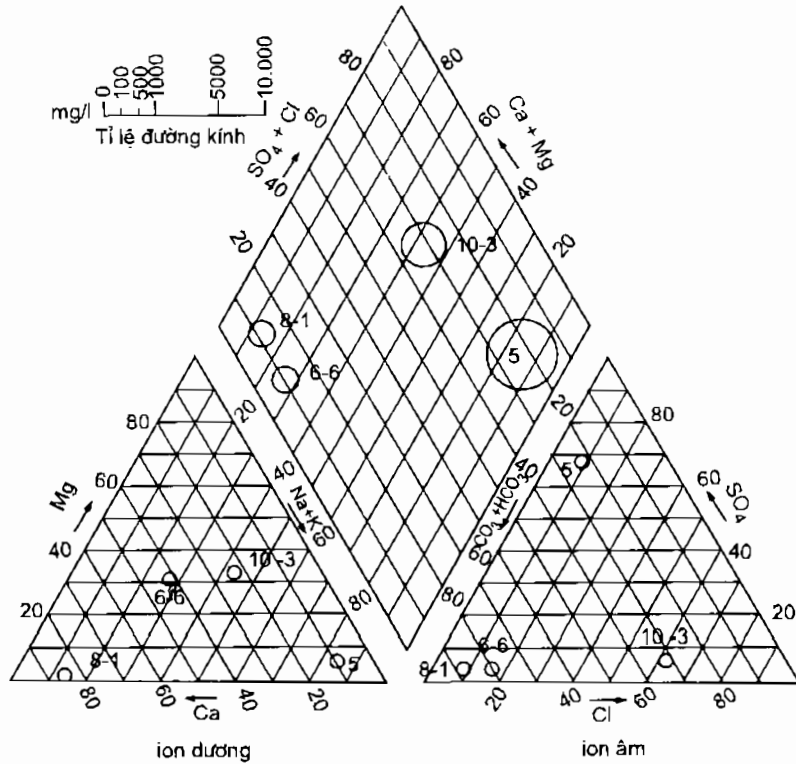
**Hình 7-6:** Biểu đồ dạng Vector

e) Biểu diễn bằng véc tơ ba chiều của Piper

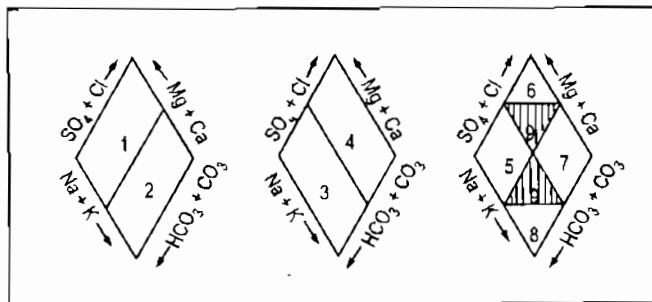
Biểu đồ của Piper gồm hai hình tam giác và một hình quả trám (hình thoi) ở mỗi vùng được chia thành 100 phần. Số phần trăm của nồng độ (epm được tính bằng %) của các ion dương (hoặc âm) được vẽ trên mỗi vùng tương ứng trên hai hình tam giác và nối song song ra hình thoi. Loại chất lượng nước được xác định là hợp điểm của nó thuộc vùng nào trên hình thoi. Cách biểu diễn mô tả trong hình 7-7.

Hình thoi được chia thành các miền với các loại chất nước khác nhau:

1. Vùng nước kiềm trội;
2. Vùng nước ít kiềm;
3. Vùng nước axit yếu;



Phần trăm của tổng epm



Hình 7-7: Biểu đồ của Piper

4. Vùng nước axit mạnh;
5. Khi Mg + Ca và HCO<sub>3</sub> chiếm ưu thế gọi là nước kiềm mới;
6. Nước giàu SO<sub>4</sub> + Cl và Mg + Ca được gọi là nước mặn hay nước Clo, muối canxi;
7. Nước giàu Na + K và SO<sub>4</sub> + Cl gọi là nước muối gốc;
9. Khi các ion dương và âm đều không vượt quá 50% gọi là nước trung tính;
9. Nước giàu Na + K và HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub> gọi là nước kiềm gốc..

### 3.5. Các loại bản đồ chất lượng nước

Chất lượng nước ngầm có thể được biểu diễn bằng bản đồ. Các loại bản đồ thường dùng là:

- Đường đẳng nồng độ chất hoà tan (TDS);
- Đường cùng nồng độ Clo;
- Đường cùng nồng độ pH...

Tùy theo mức độ chi tiết của tài liệu mà việc xây dựng các bản đồ sẽ cho độ chính xác cao hay thấp và tùy theo yêu cầu nghiên cứu mà có thể vẽ các bản đồ của các nguyên tố khác nhau.

#### Ví dụ tính toán:

Phân tích mẫu nước từ giếng ngầm tại vị trí A có các số liệu sau:

Nguyên tố	Ca	Mg	Na	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	TH (CaCO <sub>3</sub> )	TDS
N. độ (mg/l)	56	16	85	256	24	43	82	205	440

$$\text{pH} = 7,5 \quad \text{EC} (t = 25^{\circ}\text{C}) = 700 \text{ (ohom/cm)}$$

Tính thành phần các nguyên tố dưới dạng các ion (epm):

Ion dương			Ion âm		
Nguyên tố	mg/l	me/l	Nguyên tố	mg/l	me/l
Ca	56	2,75	HCO <sub>3</sub>	256	4,20
Mg	16	1,32	CO <sub>3</sub>	24	0,80
Na	85	3,70	Cl	82	2,31
K	-	-	SO <sub>4</sub>	43	0,89
Tổng số		7,77			8,20

Theo nguyên tắc cân bằng ion khi tính bằng nồng độ (me/l) có thể lấy giá trị trung bình cân bằng 8 (me/l).

Đây cũng là điều kiện để kiểm tra mẫu nước được phân tích đúng hay sai nếu:

$$\frac{|\sum \text{ion dương} - \sum \text{ion âm}|}{\text{Tổng nhỏ hơn trong 2 tổng}} \leq 10\% \text{ thì mẫu đã phân tích coi như đạt yêu cầu.}$$

1) *Tính độ cứng tổng cộng (TH)*

$TH = (Ca + Mg) \times 50 = (2,75 + 1,32) \times 50 = 203,5$  (mg/l). Giá trị tính toán xấp xỉ với giá trị phân tích từ mẫu nước.

2) *Độ cứng không kể cacbon (NCH)*

$NCH = [(Ca + Mg) - (CO_3 + HCO_3)] \times 50 = [(2,75 + 1,32) - (0,80 + 4,2)] \times 50 < 0$ , nên chọn  $NCH = 0$

3) *Tính tổng các chất hoà tan trong mẫu nước*

$TDS = 56 + 16 + 85 + (256 \times 0,49) + 24 + 43 + 82 = 431,5$  (mg/l). Giá trị này cũng xấp xỉ giá trị phân tích.

4) *Tính phần trăm của  $Na^+$*

$$Na\% = \frac{Na + K}{Na + K + Ca + Mg} \times 100 = \frac{3,7}{8} = 46,2\%$$

5)  $EC = 8 \times 100 = 800$  (miliohm/cm): Giá trị này xấp xỉ bằng giá trị phân tích

$$6) SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} = \frac{3,7}{\sqrt{\frac{2,75 + 1,32}{2}}} = 2,58$$

7)  $RC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) = (0,8 + 4,20) - (2,75 + 1,32) = 0,93$

***Phân loại nước tưới***

Phòng thí nghiệm mặn của Mỹ đã xây dựng biểu đồ để phân loại nước tưới. Theo cách phân loại này có 16 loại nước khác nhau với việc sử dụng kết hợp SAR như một chỉ số.

Để biểu thị nồng độ Na bất lợi và EC như một chỉ số mức độ muối. Biểu đồ các loại nước ở hình 7-8 và việc phân loại chất lượng nước tưới cho ở bảng dưới đây:

**Phân loại chất lượng nước tưới**

Loại nước	Mức độ muối EC ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) ở $t = 25^\circ\text{C}$	Nồng độ (me/l)	Độ kiềm SAR	RC (me/l)
Tinh khiết	< 250	< 0,25	10 ÷ 18	< 1,25
Tốt	250 ÷ 750	0,25 ÷ 7,50	18 ÷ 25	1,25 ÷ 2,50
Trung bình	250 ÷ 2250	7,50 ÷ 22,50	18 ÷ 26	> 2,50
Xấu	2250 ÷ 4000	22,5 ÷ 40,0	> 26	
Rất xấu	> 4000	> 40		

Biểu đồ trong hình (7-8) do Doneen xây dựng dựa trên chỉ số dẫn nước (PI):

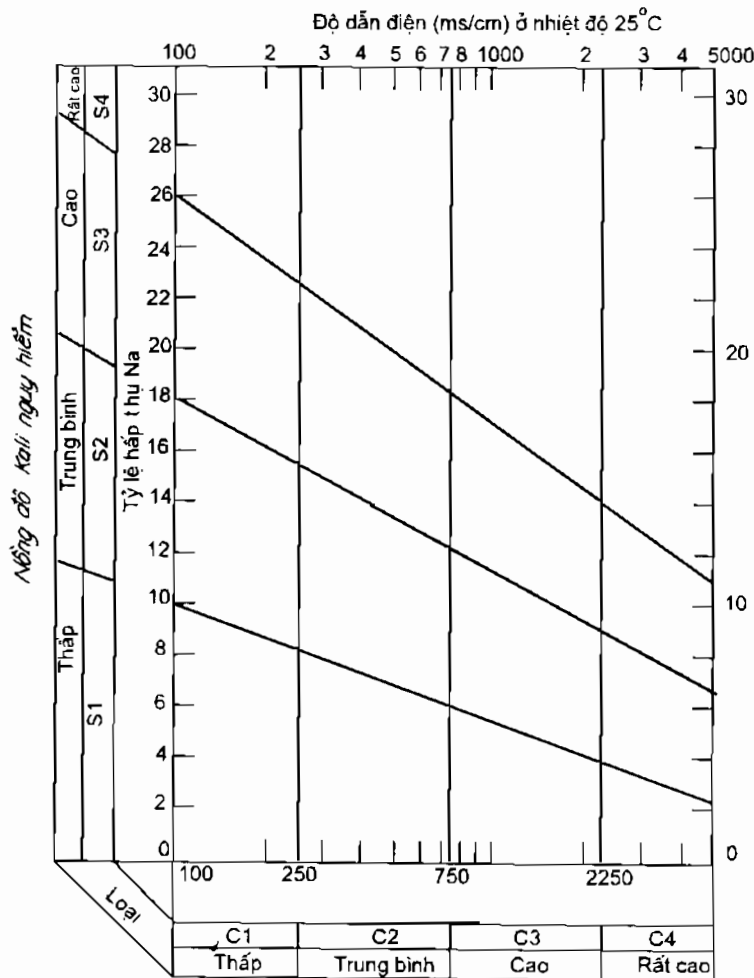
$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} 100$$

Tất cả các ion được tính bằng (me/l).

Một cách tổng quát, nước thuộc loại tốt nếu:

- Khi biểu diễn, nó thuộc vùng nước tốt hoặc bình thường.
- Nước thuộc loại 1 hoặc 2 trong biểu đồ của Doneen.
- TDS > 1000 ppm, giới hạn này có thể đến 1700ppm, nếu  $\frac{Ca}{Na + Ca} 100 \leq 25\%$ .
- Chỉ số nước đạt giá trị âm.

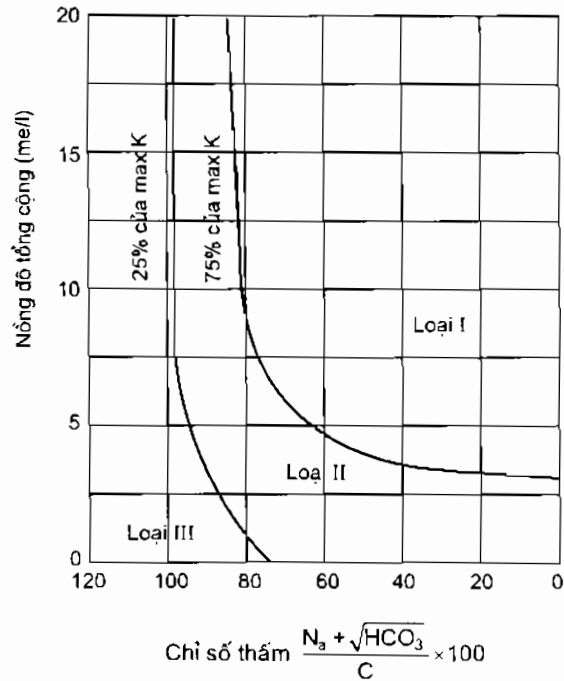
Ngoài những chỉ tiêu đã trình bày ở trên thì nước rơi vào các vùng khác sẽ có chất lượng không đảm bảo để tưới cho cây trồng.



Hình 7-8 : Biểu đồ phân loại nước tưới (USDA)



**Hình 7-9:** Phân loại nước tưới đối với đất có khả năng dẫn nước trung bình của Doneen



Từ ví dụ tính toán nói trên ta có:

$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} \times 100 = \frac{3,70 + \sqrt{4,20}}{2,75 + 1,32 + 3,70} = 74\%$$

Từ hình 7-8 thì mẫu nước được phân loại thuộc  $C_3 - S_1$  tức là có chất lượng nước từ trung bình đến cao, độ kiềm thấp, có thể dùng tưới được.

## IV. QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN NƯỚC DƯỚI ĐẤT

### 4.1. Quản lý tài nguyên nước là gì ?

Những người thuộc chuyên môn khác nhau có cách nhìn về quản lý tài nguyên nước khác nhau. Đối với nhà sinh thái học, *quản lý tài nguyên nước* thường gắn liền với những ảnh hưởng làm suy giảm hệ sinh thái, làm suy thoái đất, gây ô nhiễm và phá hoại vùng đất ướt. Đối với các kỹ sư thủy lợi nói đến *quản lý tài nguyên nước* có nghĩa là nói tới các hồ chứa, đập chuyển nước, phòng chống lũ, chỉnh trị sông, xử lý nước và khai hoang. Với các luật sư, các vấn đề chủ yếu trong *quản lý tài nguyên nước* là quyền sở hữu nước, hệ thống quyền dùng nước, ưu tiên sử dụng nước, thị trường nước, các vấn đề pháp lý về nước và luật quốc tế về nước. Đối với các nhà kinh tế, *quản lý tài nguyên nước* liên quan tới hiệu quả kinh tế, hoàn vốn và việc đạt được các mục tiêu quốc gia. Có thể nói rằng *quản lý tài nguyên nước* với tất cả các thành phần của nó là một lĩnh vực liên ngành.

Trong những năm gần đây, nhiều khái niệm liên quan tới tài nguyên nước được sử dụng rộng rãi, như *phát triển tài nguyên nước*, *quy hoạch tài nguyên nước*, *quản lý tài*

nguyên nước, và gần đây nhất là *quản lý thống nhất và tổng hợp tài nguyên nước*. Cần thiết phải định nghĩa các thuật ngữ này hoặc ít nhất cũng phải thống nhất các khái niệm định nghĩa một cách rộng rãi để tất cả những ai làm việc trong lĩnh vực này có một khái niệm chung.

- *Phát triển tài nguyên nước*: các hoạt động đưa tới việc sử dụng hữu hiệu tài nguyên nước cho một mục đích hoặc nhiều mục đích.

- *Quy hoạch tài nguyên nước*: quy hoạch, bảo vệ, phân phối nguồn nước giữa các ngành dùng nước và các hoạt động kinh tế - xã hội; cân đối giữa nguồn nước khai thác và nhu cầu dùng nước; xem xét các mục tiêu, các khó khăn, trở ngại và quyền lợi của các bên có liên quan.

- *Quản lý tài nguyên nước*: toàn bộ các hoạt động vận hành, pháp lý, quản lý, thể chế và kỹ thuật cần thiết để quy hoạch, vận hành và quản lý tài nguyên nước. Nói một cách khác, quản lý tài nguyên nước là một quá trình bao gồm cả các hoạt động quy hoạch, thiết kế, xây dựng và vận hành hệ thống tài nguyên nước.

Trong những năm gần đây, khái niệm *quản lý thống nhất và tổng hợp tài nguyên nước* đã được dùng. *Quản lý thống nhất và tổng hợp tài nguyên nước* xét đến: (i) tất cả các khía cạnh tự nhiên của tài nguyên nước; (ii) những đối tượng quan tâm và các ngành liên quan; (iii) sự thay đổi theo không gian của tài nguyên nước và nhu cầu dùng nước; (iv) các khung chính sách liên quan (trở ngại và mục tiêu quốc gia); (v) các cấp thể chế.

Để hoạt động quản lý tài nguyên nước có hiệu quả, cần phải thực hiện các nguyên tắc sau:

- Quản lý tài nguyên nước phải được tiến hành theo một cách thức tổng thể, nhất quán và bền vững để đáp ứng được các mục tiêu phát triển và bảo vệ môi trường.

- Quản lý tài nguyên nước cụ thể cần phải được phân cấp quản lý thích hợp theo gianh giới lưu vực.

- Các dịch vụ cấp nước cụ thể phải được giao cho các cơ quan tự chủ và có trách nhiệm của nhà nước, tư nhân hay tổ chức tập thể thực hiện các dịch vụ cung cấp nước có định lượng trong một khu vực địa lý xác định cho khách hàng hoặc các thành viên trong tổ chức đó với một mức phí phù hợp.

- Sử dụng nước trong cộng đồng phải bền vững - có chế độ khuyến khích, kiểm tra, giám sát thường xuyên, giáo dục cộng đồng nâng cao hiệu quả kinh tế, bảo vệ tài nguyên nước và bảo vệ môi trường với khung chính sách công khai.

- Tài nguyên nước dùng chung trong quốc gia và giữa các quốc gia phải được phân chia một cách hiệu quả đảm bảo có lợi ích của tất cả các hộ sử dụng nước ven sông.

*Quản lý thống nhất và tổng hợp tài nguyên nước* sẽ là một công cụ hiệu quả để thực thi các nguyên tắc trên.

## 4.2. Phát triển bền vững tài nguyên nước

Hiện nay khái niệm về phát triển bền vững thường được hiểu là: thế hệ ngày nay sử dụng nguồn tài nguyên nước hiện có sẽ không gây ra những rủi ro cho thế hệ mai sau.

Quy hoạch kém dẫn đến phát triển tài nguyên nước không bền vững. Trên thế giới, nhiều vùng đất rộng lớn nhưng lại có rất ít tài nguyên nước ngọt. Mặc dầu nước mặt được coi là nguồn tài nguyên có thể tái tạo được nhưng chỉ chiếm 1,5% tài nguyên nước ngọt trên đất liền. Trong khi đó lượng nước ngọt lớn lại là nguồn nước dưới đất (chiếm 98,5%). Việc khai thác quá mức hoặc phá hoại các nguồn tài nguyên nước (ví dụ như gây ô nhiễm) sẽ gây nên nhiều tác động xấu đến việc sử dụng nước trong tương lai. Phát triển bền vững tài nguyên nước, ngoài khía cạnh bền vững về cơ sở vật chất, bền vững còn thể hiện ở các khía cạnh sau:

- Bền vững về kỹ thuật (cân bằng cung và cầu, cân bằng giữa lượng bổ sung và lượng khai thác nước dưới đất đối với tầng ngậm nước);
- Bền vững về mặt tài chính (hoàn lại vốn);
- Bền vững về xã hội (ổn định dân số, ổn định nhu cầu, sẵn sàng trả các khoản phí);
- Bền vững kinh tế (phát triển kinh tế, phúc lợi, sản xuất một cách bền vững);
- Bền vững về thể chế (khả năng lập kế hoạch, quản lý và vận hành hệ thống);
- Bền vững về môi trường (không có các tác động tiêu cực lâu dài hoặc các ảnh hưởng không thể khắc phục được).

Vấn đề cốt yếu của quản lý tài nguyên nước bền vững là sự cân bằng giữa cung và cầu của mọi mặt hàng và dịch vụ liên quan tới nước. Hệ thống tài nguyên nước gồm có các công trình thuỷ lợi (gồm cả công trình tự nhiên và nhân tạo) và cơ cấu hạ tầng hành chính (khung thể chế), các dịch vụ và hàng hoá đối với các hộ sử dụng nước, bao gồm tất cả các hoạt động trong xã hội có sử dụng nước, không xét đến việc có tiêu hao nước hay không. Hệ thống tài nguyên nước chỉ cung cấp nước cho những hộ sử dụng nước trên cơ sở có nhu cầu rõ ràng, thường biểu thị qua việc sẵn sàng chi trả các khoản phí, chứ không phải dựa trên cơ sở dự báo hoặc những dự định mơ hồ. Lợi ích rõ ràng và trực tiếp đối với những hộ sử dụng nước là một điều kiện để đảm bảo sự bền vững của việc cung cấp nước cả về mặt số lượng và chất lượng.

Các hoạt động phát triển tài nguyên nước diễn ra trong mối quan hệ qua lại giữa hệ thống tài nguyên nước và hộ dùng nước. Các hoạt động này tác động đến trạng thái của cơ sở tài nguyên môi trường và cả cơ sở nguồn lực xã hội trong đơn vị không gian lập quy hoạch (lưu vực sông, vùng hay quốc gia). Đồng thời, các hoạt động này chỉ có thể thực hiện được nếu được trợ giúp. Cơ sở tài nguyên môi trường, bao gồm tài nguyên nước, tài nguyên đất và hệ sinh thái. Cơ sở nguồn lực xã hội, bao gồm nguồn tài chính, nguồn nhân lực và cơ sở kiến thức.

Người quản lý nguồn tài nguyên nước can thiệp vào hệ thống thông qua các hành động: Cung cấp các biện pháp đã được định hướng, như xây dựng cơ sở hạ tầng, khoan các giếng khoan, hoặc xây dựng các hồ chứa và thông qua các biện pháp định hướng để đáp ứng các yêu cầu. Người quản lý tài nguyên nước nhận phản hồi từ trạng thái của cơ sở nguồn của xã hội hay cơ sở tài nguyên môi trường và thực hiện lại các hành động.

Trước đây, người quản lý tài nguyên nước tập trung hầu hết chú ý vào việc cung cấp nước, nhiệm vụ chính là đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của các kế hoạch sử dụng nước theo các phương án cung cấp nước. Kết quả là, ở nhiều nơi trên thế giới, các phương án hấp dẫn nhất đối với phát triển cơ sở hạ tầng tài nguyên nước đã được thực hiện và ở nhiều nơi khó có thể có các phương án khả thi nào khác để tăng thêm lượng nước cung cấp. Khi nhu cầu dùng nước tăng cao như hiện nay và dự đoán sẽ tăng nhiều hơn nữa trong những thập niên tới, vấn đề thiếu nước sẽ hết sức trầm trọng. Nói tóm lại, việc gia tăng nhu cầu dùng nước là không ổn định và các vấn đề này phải được giải quyết tiếp trong tương lai.

### **4.3. Các nguyên tắc cơ bản trong phát triển và quản lý tài nguyên nước dưới đất**

- Quản lý thống nhất nguồn nước dưới đất và nước mặt;
- Sử dụng kết hợp nước dưới đất và nước mặt. Triệt để sử dụng các ưu điểm của từng nguồn đảm bảo đạt hiệu quả cao nhất và bảo vệ môi trường tự nhiên;
- Khai thác tổng hợp tài nguyên nước, bao gồm cả tài nguyên nước dưới đất - nơi có chất lượng nước tốt. Cần phải ưu tiên nước cho mục đích sinh hoạt trước, khi dư thừa mới sử dụng cho các mục đích khác. Mức độ ưu tiên cho các mục đích khác phụ thuộc vào hiệu quả kinh tế của việc sử dụng nước và thứ tự thời gian khai thác sử dụng;
- Các chính sách, văn bản pháp quy và các tiêu chuẩn kỹ thuật phục vụ cho phát triển và quản lý tài nguyên nước dưới đất phải phù hợp với điều kiện địa chất thủy văn, mức độ sử dụng nước, điều kiện kinh tế xã hội, trình độ phát triển và tập quán của từng vùng.

### **4.4. Các nội dung chính của công tác quản lý nhà nước về nước dưới đất**

- Xây dựng chiến lược quốc gia về phát triển, quản lý, bảo vệ nước dưới đất;
- Xây dựng quy hoạch, kế hoạch phát triển, quản lý, bảo vệ nước dưới đất;
- Quản lý điều tra cơ bản về nước dưới đất;
- Quản lý khai thác nước dưới đất;
- Quản lý công tác bảo vệ nước dưới đất;
- Quản lý việc bổ sung nhân tạo cho nước dưới đất;
- Quản lý quan trắc động thái nước dưới đất;
- Tổ chức và chỉ đạo thực hiện các công việc sau:

- Kiểm kê nguồn nước dưới đất, xây dựng ngân hàng dữ liệu về nước dưới đất, cấp sổ đăng ký công trình khai thác nước dưới đất;
- Điều hoà phân phối nước dưới đất;
- Cấp, điều chỉnh và thu hồi giấy phép khai thác nước dưới đất, tiêu thoát nước dưới đất và xả nước thải vào lòng đất;
- Giám sát và thanh tra, kiểm tra việc thi hành Luật Tài nguyên Nước, việc khai thác nước dưới đất và các hoạt động làm ô nhiễm nước dưới đất;
- Giải quyết các tranh chấp, khiếu nại và tố tụng về nguồn nước dưới đất mà Việt Nam là một bên ký kết hoặc tham gia;
- Soạn thảo các văn bản dưới luật phục vụ công tác quản lý nước dưới đất;

Theo Luật Tài nguyên Nước được Quốc hội thông qua ngày 20 tháng 5 năm 1998, thẩm quyền của các cơ quan quản lý nước dưới đất như sau:

- Bộ trưởng Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn chịu trách nhiệm trước Chính phủ về việc thực hiện chức năng, nhiệm vụ quản lý nhà nước về tài nguyên nước dưới đất.
- Các cơ quan khác ở Trung ương phối hợp với Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn trong công tác quản lý nước dưới đất.
- Các cơ quan quản lý nhà nước và các cơ quan có thẩm quyền khác thuộc Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn chịu trách nhiệm trước Bộ trưởng thực hiện chức năng nhiệm vụ quản lý nước dưới đất.
- Các cơ quan quản lý nước ở địa phương, Ủy ban Nhân dân các cấp quản lý tài nguyên nước theo thẩm quyền được phân.
- Bộ Công nghiệp thực hiện công tác điều tra cơ bản và quan trắc nước dưới đất theo yêu cầu của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn được Nhà nước phê duyệt. Cung cấp các tài liệu thu thập được cho Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
- Bộ Xây dựng, Bộ Công nghiệp phối hợp với Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn trong việc lập quy hoạch khai thác nước dưới đất để cung cấp cho các đô thị, thành phố.
- Các Bộ, ngành theo chức năng và nhiệm vụ của mình, phối hợp với Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn thực hiện tốt công tác quản lý và bảo vệ nước dưới đất.
- Các hộ thăm dò và khai thác nước dưới đất có trách nhiệm cung cấp đầy đủ các dữ liệu về thăm dò và khai thác nước dưới đất cho Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
- Các tài liệu về điều tra cơ bản về nước dưới đất được bổ sung và lưu trữ thường xuyên vào ngân hàng dữ liệu Quốc gia về nước dưới đất đặt tại Cục Quản lý Nước & Công trình Thủy lợi và được công bố hàng năm để các ngành sử dụng.

Việc phát triển tối đa nguồn nước ngầm cho các mục đích kinh tế và xã hội cần được hiểu như vấn đề quy hoạch hoàn chỉnh một lưu vực. Cần nhận thức rằng lưu vực ở đây là một hồ chứa nước ngầm và việc sử dụng nước của một hồ này sẽ có ảnh hưởng đến việc cấp nước của các hệ khác. Các mục tiêu quản lý phải được lựa chọn để phát triển và vận hành các bể chứa ngầm. Để làm được điều này, đòi hỏi con người không chỉ nghiên cứu về địa chất thủy văn mà còn phải nghiên cứu các lĩnh vực về kinh tế, tài chính, pháp luật và chính trị... Việc phát triển kinh tế tối ưu nguồn nước của một lưu vực đòi hỏi phải có sự nghiên cứu tổng hợp, sự phối hợp sử dụng nước mặt và nước ngầm. Sau khi đánh giá được tổng lượng nước và chuẩn bị cho những kế hoạch quản lý thì cần phải có các quyết định thực thi bởi các cơ quan chức năng của nhà nước và tổ chức chuyên ngành.

## V. NHỮNG NỘI DUNG VỀ QUẢN LÝ LƯU VỰC NƯỚC NGẦM

### 5.1. Khái niệm

Quản lý lưu vực nước ngầm bao gồm các chương trình phát triển và sử dụng nguồn nước dưới đất cho những mục đích đã đề ra, mà phổ biến nhất là các vấn đề về kinh tế, xã hội. Nhìn chung, điều mong muốn của chúng ta là lấy được lượng nước ngầm lớn nhất với chất lượng cho phép và giá thành rẻ nhất. Vì lưu vực nước ngầm được xem như một bể chứa ngầm, song do các đặc tính thủy văn địa chất, nên việc lấy nước thông qua các giếng ở vị trí này sẽ ảnh hưởng đến chất lượng nước phải lấy ở tất cả các vị trí khác trên lưu vực.

Nước ngầm được khai thác như các tài nguyên khác như dầu, hơi đốt, song đây lại là một nguồn khá đặc biệt vì nó là một tài nguyên tự nhiên có thể tự hồi phục. Vì vậy, khi đào giếng, chúng ta luôn nghĩ rằng nguồn nước là vô tận và không cạn với thời gian. Nhưng trong thực tế, điều này chỉ xảy ra nếu tồn tại cân bằng giữa nguồn nước trả lại cho lưu vực từ bề mặt và lượng nước bơm lên từ các giếng.

Việc phát triển và sử dụng nước ngầm ban đầu chỉ là một vài giếng nằm rải rác trên lưu vực, song số giếng đào ngày càng nhiều lên và đến một lúc nào đó lưu lượng lấy lên vượt quá lưu lượng bổ sung lại cho các bể ngầm. Sau thời điểm này, nếu tiếp tục khai thác nước ngầm mà không có sự quản lý sẽ dẫn đến làm cạn kiệt và phá huỷ các bể chứa ngầm.

Các dự báo về yêu cầu dùng nước trong tương lai đã chỉ ra rằng: không hoặc thiếu sự quản lý các bể chứa ngầm thì không thể hy vọng tiếp tục có đủ nguồn nước cho các mục đích kinh tế và xã hội. Mục tiêu quản lý sẽ bao gồm: sử dụng kinh tế nguồn nước ngầm và cung cấp một cách liên tục để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng lên của nguồn nước ngầm.

Một số ưu điểm và hạn chế của các bể chứa ngầm và chứa mặt được tóm tắt ở bảng dưới đây.

## Những ưu điểm và hạn chế của các bể chứa ngầm và mặt

Ưu điểm của bể chứa ngầm	Hạn chế hồ chứa nước mặt
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ở nhiều nơi dưới lòng đất;</li> <li>2. Không hoặc ít bốc hơi;</li> <li>3. Không chiếm mất diện tích;</li> <li>4. Không sợ nguy cơ bị phá hủy;</li> <li>5. Nhiệt độ nước không thay đổi;</li> <li>6. Khá sạch;</li> <li>7. Không bị nhiễm phóng xạ và các chất thải phóng xạ;</li> <li>8. Không cần hệ thống dẫn nước để sử dụng hoặc nếu cần thì không quá lớn.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chỉ có thể đặt tại vị trí thuận lợi;</li> <li>2. Tổn thất do bốc hơi là đáng kể;</li> <li>3. Mất diện tích đất khá rộng;</li> <li>4. Dễ bị các hư hỏng và phá hủy;</li> <li>5. Nhiệt độ nước dao động theo thời gian;</li> <li>6. Từ bản cho đến rất bản;</li> <li>7. Dễ bị phóng xạ;</li> <li>8. Cần kênh mương dẫn nước đi xa.</li> </ol>

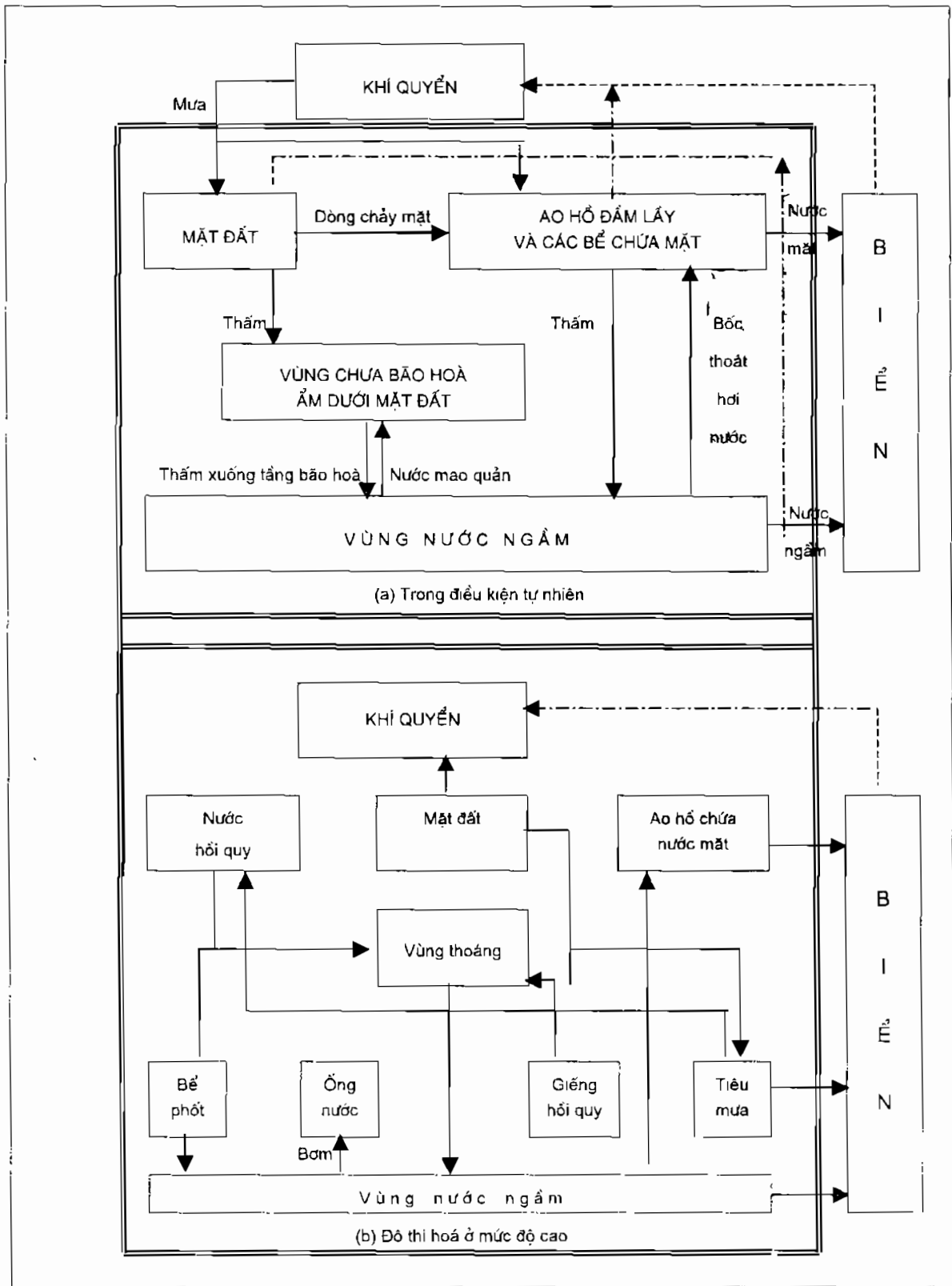
Hạn chế của bể chứa ngầm	Ưu điểm hồ chứa nước mặt
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muốn có nước cần phải bơm;</li> <li>2. Chỉ có trữ và dẫn đến sử dụng (1 mục đích);</li> <li>3. Trong nước có nhiều khoáng chất;</li> <li>4. Lưu lượng không quá lớn;</li> <li>5. Không có đầu nước cho thủy điện;</li> <li>6. Khó và đắt cho thăm dò đánh giá và quản lý.</li> <li>7. Việc cấp nước trở lại (khả năng khôi phục) phụ thuộc nhiều vào điều kiện bề mặt;</li> <li>8. Nước hồi quy cần phải xử lý khá đắt trước khi trả lại các bể ngầm.</li> <li>9. Bảo dưỡng đắt và khó.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tự chảy;</li> <li>2. Có thể sử dụng đa mục tiêu;</li> <li>3. Thông thường ít khoáng chất;</li> <li>4. Lưu lượng lớn;</li> <li>5. Khả năng thủy điện lớn;</li> <li>6. Tương đối dễ trong việc đánh giá, thăm dò và quản lý;</li> <li>7. Khả năng khôi phục trực tiếp từ mưa;</li> <li>8. Không yêu cầu cao về mặt xử lý;</li> <li>9. Thông thường bảo dưỡng dễ.</li> </ol>

### 5.2. Phương trình cân bằng nước

Để quản lý các lưu vực ngầm thì cần phải có những kiến thức và hiểu biết về tổng lượng nước ngầm có thể khai thác được. Việc xác định nguồn nước hữu hiệu trên lưu vực đòi hỏi đánh giá các thành phần trong phương trình cân bằng nước.

Sơ đồ của hệ thống nguồn nước các lưu vực trong điều kiện tự nhiên được mô tả trong hình 7-10a. Hệ thống sử dụng nước ngầm đô thị và các vùng phụ cận được mô tả trong hình 7-10b.

Vòng tuần hoàn nước cho một lưu vực ngầm bất kỳ phải tồn tại cân bằng giữa lượng cung cấp cho lưu vực và lượng ra khỏi lưu vực. Phương trình cân bằng biểu diễn như sau:



Hình 7-10: Sơ đồ vòng tuần hoàn nước



Dòng chảy mặt đến + dòng chảy ngầm đến + mưa + lượng nhập vào lưu vực + giảm lượng trữ mặt + giảm lượng trữ ngầm.

=

Dòng chảy mặt đi + dòng chảy ngầm đi + lượng nước đã sử dụng + nước thoát lưu + tăng lượng trữ mặt + tăng lượng trữ ngầm.

Trong phương trình này, tất cả các thành phần nước đi và đến, trên mặt và dưới đất đã được biểu diễn. Trong những trường hợp cụ thể có thể bỏ qua một số thành phần nếu thành phần đó rất nhỏ hoặc không ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Ví dụ tăng ngầm nước có áp có cân bằng nước độc lập với dòng chảy trên mặt, do vậy dòng chảy trên mặt, mưa, nước dùng, nước nhập lưu và thoát lưu, thay đổi lượng trữ có thể bỏ qua trong phương trình.

Phương trình có thể áp dụng cho lưu vực có diện tích bất kỳ. Tuy nhiên, với ý nghĩa đây đủ nhất thì một lưu vực nước ngầm, một tầng ngầm nước hoặc một lưu vực sông là những đơn vị tốt nhất.

### 5.3. Các vấn đề cần thiết khảo sát, thăm dò lưu vực ngầm

Một cách lý tưởng, trước khi phát triển nước ngầm thì cần tiến hành việc thăm dò, khảo sát các nguồn nước ngầm. Trong thực tế, điều này khó thực hiện, thay vào đó, vấn đề được xem xét hoặc sau khi đã phát triển khá toàn diện, song cần tiếp tục hoàn thiện hơn, hoặc do phát triển quá mức có thể có nguy cơ phá huỷ các bể ngầm. Các vấn đề khảo sát, điều tra cũng chỉ làm ở khu vực cần cấp nước mà thôi.

Thông thường nội dung của vấn đề này liên quan đến việc đánh giá về lượng cũng như về chất của những nguồn nước ngầm đang khai thác hoặc xác định ảnh hưởng nhân tạo hoặc các hoạt động kinh tế xã hội đến các nguồn nước ngầm.

Việc thăm dò, khảo sát quản lý nguồn nước thực hiện theo các bước thể hiện trong hình 7-11.

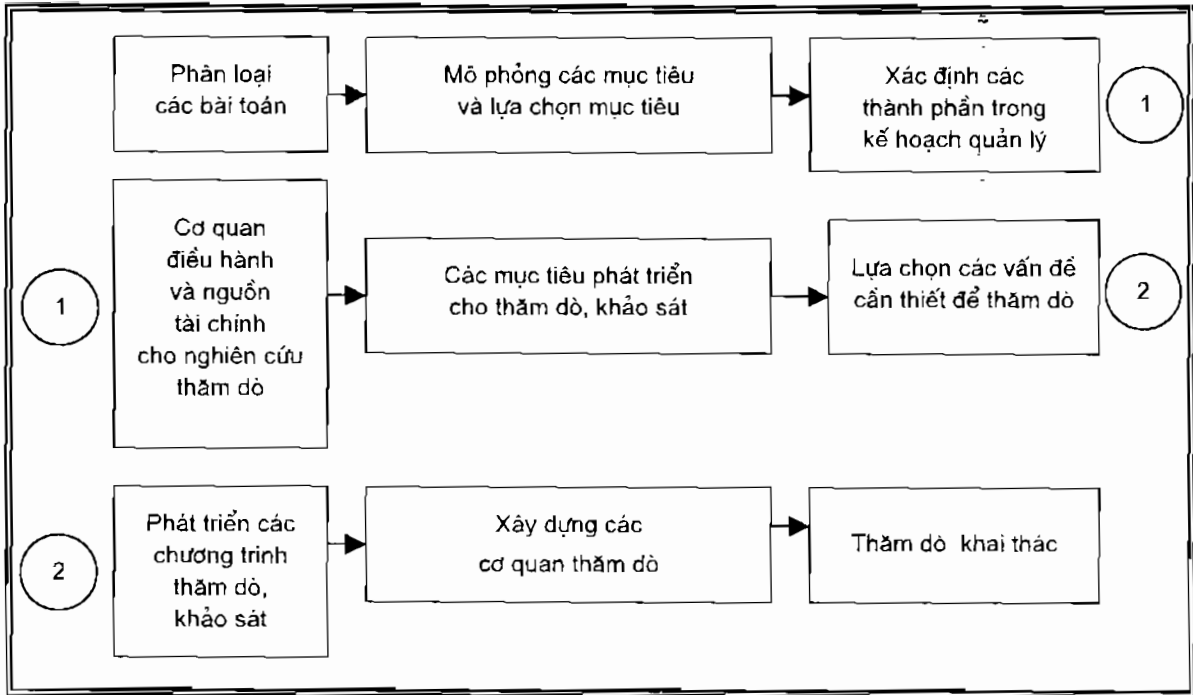
Các vấn đề nghiên cứu quản lý nước ngầm được thực hiện bởi các cơ quan chuyên môn và thông thường được tiến hành qua 4 giai đoạn sau:

1. Đánh giá sơ bộ: dựa trên những báo cáo của các chuyên gia đưa ra những khả năng có thể quản lý cho một khu vực xác định.

2. Thăm dò: bước này nghiên cứu các khả năng có thể mô hình hoá các kế hoạch quản lý nguồn nước cho một lưu vực xác định bao gồm cả tính toán kinh tế (chi phí và lợi ích). Việc thăm dò đưa ra những số liệu cần thiết và giảm đến mức thấp nhất việc thu thập những số liệu mới. Vì việc này rất khó khăn và tốn kém.

3. Khả năng thực hiện: bước này đòi hỏi cần có những phân tích tỉ mỉ, chi tiết về kỹ thuật, kinh tế và lợi nhuận để đảm bảo rằng công trình đã được chọn là tối ưu.

4. Xác định các công trình: bước này bao gồm nghiên cứu quy hoạch xác định các đặc điểm cụ thể của công trình đã được lựa chọn. Báo cáo tổng quan sẽ là tài liệu cơ bản nhất cho các thiết kế cuối cùng và chuẩn bị cho việc tiến hành.



*Hình 7-11: Chiến lược quản lý nguồn nước*

#### **5.4. Thu thập tài liệu và công tác thực địa**

Các tài liệu và công tác cần thiết ở những vị trí dự định thăm dò hoặc có khả năng nghiên cứu cho quản lý các lưu vực ngầm sẽ được giới thiệu một cách tóm tắt dưới đây:

a) Tài liệu địa hình gồm đo vẽ bản đồ, ảnh máy bay các khu vực đầu mối. Các tài liệu này giúp cho việc định vị các giếng khoan, đo đặc mực nước ngầm...

b) Tài liệu địa chất: các bản đồ địa chất trên mặt và dưới đất cung cấp những dữ liệu cơ bản về hình thành và chuyển động của nước ngầm. Vì vậy nó là tài liệu cơ bản cho các nghiên cứu khả thi. Các tài liệu địa chất để phân tích địa tầng. Tài liệu bơm kiểm tra để xác định các thông số của tầng ngầm nước. Các mẫu nước được phân tích cho phép xác định các bề ngầm và sự phát triển của nó, các vùng nước có áp và các vùng nước không áp, vùng sụt lún, vùng chắn nước và các cấu trúc địa chất đặc biệt.

c) Tài liệu thủy văn: mục đích của việc thu thập tài liệu thủy văn là để thiết lập phương trình cân bằng nước. Các tài liệu gồm có:

1. Dòng chảy mặt đến và đi khỏi lưu vực, nhập lưu và xuất lưu từ lưu vực;
2. Tài liệu mưa;
3. Tài liệu sử dụng nước, chủ yếu cho vùng nông nghiệp;
4. Tài liệu thay đổi trữ lượng nước và thay đổi ẩm;
5. Thay đổi trữ lượng nước ngầm;
6. Dòng chảy ngầm đến và đi khỏi lưu vực.

## VI. MỘT SỐ KHÁI NIỆM VỀ LƯU LƯỢNG

### 6.1. Lưu lượng khai thác

Nếu lưu lượng lấy lên vượt quá lưu lượng hoàn trả lại tầng chứa, thì xuất hiện khái niệm lưu lượng khai thác. Lưu lượng này là hạn chế, nó tồn tại đến khi toàn bộ lượng trữ ngầm bị rút hết. Rất nhiều lưu vực ngầm hiện nay đã bị khai thác cạn kiệt. Nếu tình hình này xảy ra thì kinh tế các địa phương (nơi chủ yếu sử dụng nước ngầm) sẽ bị thay đổi hoặc là chúng ta phải hạn chế việc dùng nước hoặc cần phải có biện pháp nhập nước trả lại cho lưu vực. Rất nhiều luận chứng khác nhau đã chứng tỏ khai thác thành công nước trong tầng chứa nước. Người ta cho rằng nước này sẽ không có giá trị nếu như nó không được sử dụng. Ở những vùng khô hạn, chẳng hạn sa mạc Sahara, nơi nước ngầm không được bổ sung thường xuyên từ trên mặt thì bất cứ một sự can thiệp nào vào nước ngầm cũng có ý nghĩa là lấy từ lượng trữ trong đất, song do yêu cầu phát triển kinh tế, việc này vẫn được tiếp tục thực hiện. Với việc quản lý phù hợp cộng thêm với việc bảo vệ nguồn nước, các bể ngầm đó vẫn có thể khai thác được từ hàng vài chục năm đến vài trăm năm.

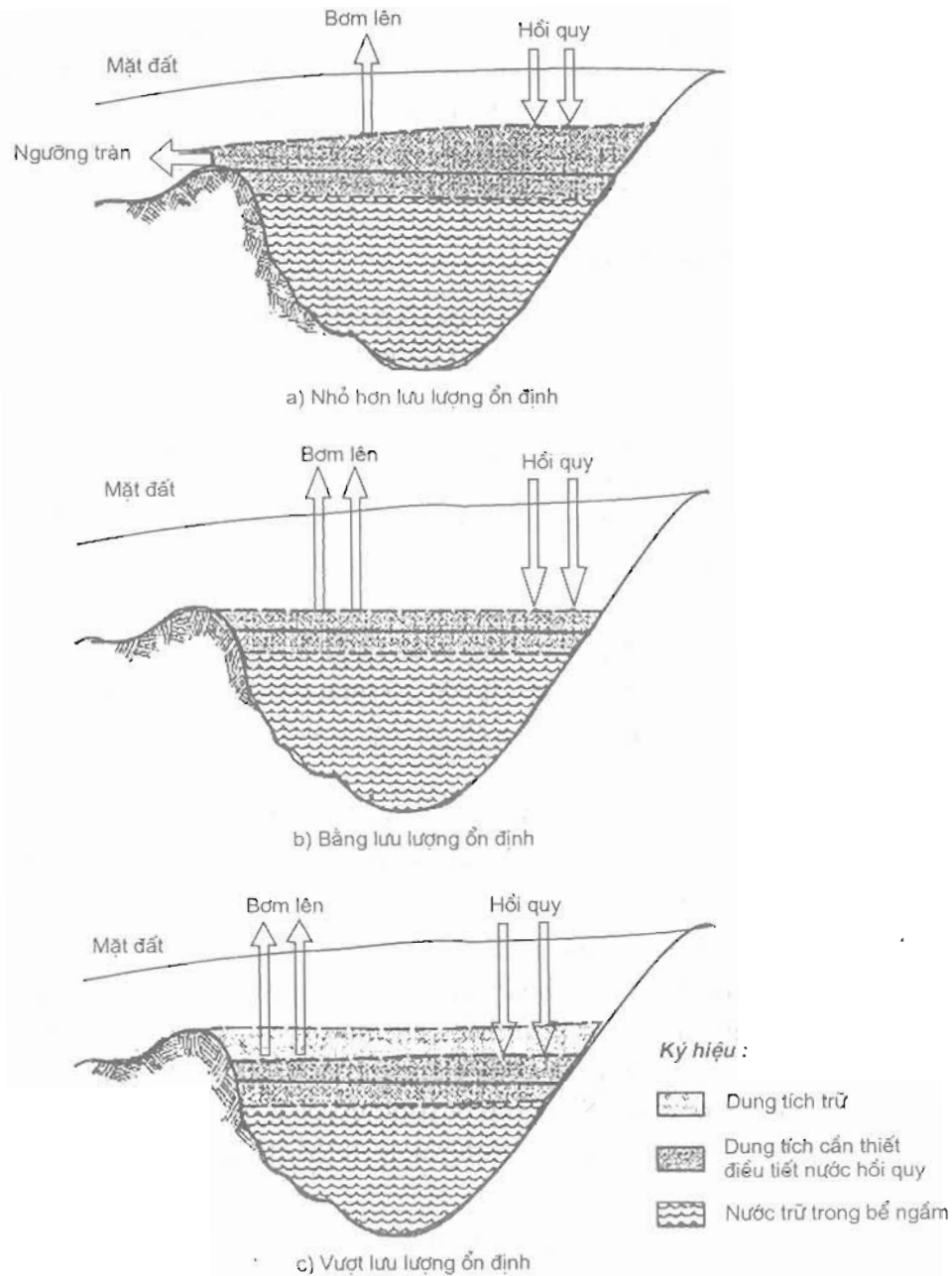
### 6.2. Lưu lượng thường xuyên ổn định

Lưu lượng thường xuyên ổn định của lưu lượng ngầm được định nghĩa như là lưu lượng nước lấy lên một cách ổn định trong các điều kiện vận hành cụ thể mà không gây nên những hậu quả xấu. Bất cứ một sự vượt quá lưu lượng ổn định thường xuyên nào sẽ dẫn đến hiện tượng "dùng quá tải". Nếu hiện tượng dùng quá tải tiếp tục xảy ra sẽ dẫn đến ảnh hưởng xấu nghiêm trọng đến các điều kiện kinh tế, xã hội và môi trường. Biểu đồ dùng nước ngầm nhỏ hơn lưu lượng thường xuyên ổn định biểu diễn trên hình (7-12a). Ở hình này nhập lưu do nước hồi quy lớn hơn lượng dùng và nước ngầm sẽ chảy ra khỏi bể chứa. Nếu lượng nước hồi quy bằng lượng nước ngầm lấy lên thì mực nước ngầm vừa ngang bằng với ngưỡng tràn và sẽ không có hiện tượng mất nước do tràn ngầm (hình 7-12b).

### 6.3. Lưu lượng ổn định gia cường

Khái niệm này gắn với hai giai đoạn bơm với lưu lượng khác nhau. Lúc đầu bơm với lưu lượng vượt quá lưu lượng thường xuyên ổn định và kết quả là mực nước ngầm sẽ bị hạ thấp dưới ngưỡng tràn. Việc lấy nước ngầm vượt quá lượng khống chế này không hề tạo ra bất cứ ảnh hưởng xấu nào, mà nước lấy lên giá thành lại thấp không có nước thừa chảy đi và tránh được tổn thất bốc hơi lên trên bề mặt do mực nước ngầm cao. Sau khi bơm đến một mực ấn định trước, lưu lượng bơm được giảm xuống sao cho lưu lượng ổn định thường xuyên hay cân bằng với nước hồi quy từ mặt xuống.

Nếu dung tích trữ kết hợp càng lớn thì lượng nước hồi quy càng lớn và tất nhiên lưu lượng lấy lên được càng lớn. Điều này được biểu diễn trên hình (7-12c).



Hình 7-12: Quan hệ lượng trữ nước ngầm

#### 6.4. Lưu lượng ổn định lớn nhất

Khái niệm này gắn với tổng lượng nước ngầm lớn nhất có thể lấy lên một cách thường xuyên nếu như áp dụng các phương pháp tối đa để trả lại nước cho các lưu vực ngầm. Trên thực tế, lượng này phụ thuộc vào tổng lượng nước có ý nghĩa về mặt kinh tế, xã hội, chính trị đối với một cộng đồng hay một tổ chức nào đó. Song rõ ràng rằng nếu lượng nước hồi quy cả tự nhiên và nhân tạo càng lớn thì lưu lượng ổn định càng lớn.

Để đạt được lưu lượng ổn định lớn, cân quản lý lưu vực như một thể thống nhất, hiệu quả và tính kinh tế của nó đòi hỏi rằng tất cả việc bơm nước, nhập lưu và phân phối nước phải được làm để lợi nhuận của hệ thống quản lý là lớn nhất. Ở những nơi nước mặt có thể bổ sung cho nước ngầm thì hai nguồn này cần được sử dụng kết hợp. Việc sử dụng kết hợp sẽ cho hiệu quả kinh tế lớn hơn việc sử dụng độc lập.

### 6.5. Đánh giá lưu lượng ổn định

Từ việc nghiên cứu một số khái niệm lưu lượng cho chúng ta thấy rằng rất có thể có một hoặc một vài hậu quả xấu do bơm nước ngầm. Lưu lượng thường xuyên có thể thay đổi khi thay đổi lượng nước hồi quy và sử dụng nước.

Nếu nước ngầm được xem là nguồn có khả năng tự hồi phục thì chỉ có một lượng xác định của nước ngầm lấy lên thường xuyên mà thôi. Lượng nước ngầm lớn nhất có thể khai thác được mà không gây nên những ảnh hưởng xấu, phụ thuộc vào lưu lượng thường xuyên ổn định. Do vậy việc đánh giá lưu lượng thường xuyên là một công việc vô cùng quan trọng.

Về cơ bản lượng nước ngầm được bổ sung hoặc từ phân tử trong các lỗ rỗng của đất, hoặc từ các nguồn nước hồi quy từ bề mặt. Nguồn bổ sung này là rộng khắp và trực tiếp nếu bề chứa ngầm là bề không áp và nó được cấp xuống từ các cửa tiếp nước nếu tầng chứa nước là có áp.

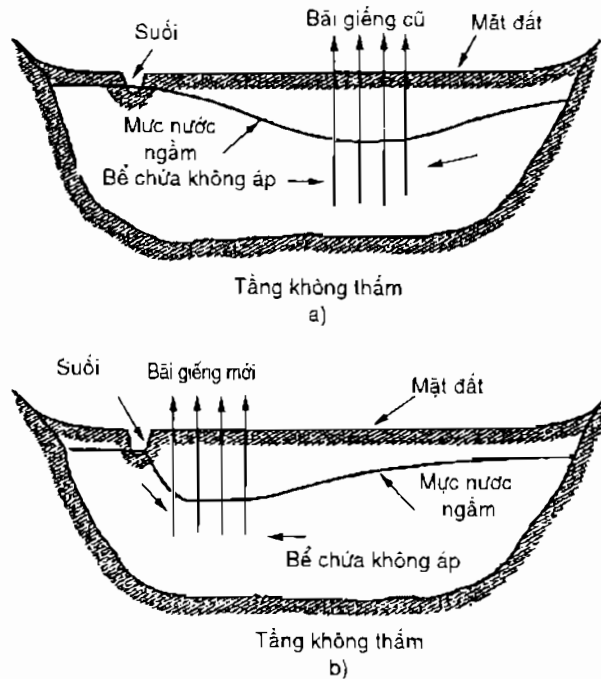
Như vậy rõ ràng rằng lưu lượng ổn định có xu thế thay đổi theo thời gian và việc xác định lượng nước ổn định của một lưu vực bất kỳ cần dựa trên những điều kiện cụ thể có xét tới sự biến động của điều kiện đó.

Thông thường người ta sử dụng nước ngầm khi thấy cần thiết và chỉ đến khi lượng nước lấy lên không đáp ứng được yêu cầu cần sử dụng nữa thì người ta mới nghĩ đến việc đánh giá lại chúng. Ở những lưu vực mà sự khai thác chưa nhiều, nơi mà cân bằng tự nhiên giữa nước đến và đi còn tồn tại thì chúng ta chưa quan tâm đến việc đánh giá các thành phần trong phương trình cân bằng nước. Song ở một trình độ phát triển nào đó thì cần phải có sự đánh giá một cách chính xác và thận trọng từng thành phần trong phương trình cân bằng nước.

Lưu lượng ổn định thay đổi với mực nước ngầm, vì vậy nếu mực nước ngầm hạ thấp, dòng chảy ngầm đến sẽ tăng lên và dòng chảy đi sẽ giảm. Nước hồi quy từ các cửa nhận nước sẽ tăng lên và lưu lượng nước từ các cửa sông suối ngầm lại giảm xuống. Nếu mực nước ngầm tăng lên sẽ gây nên những kết quả ngược lại. Trong trường hợp nước hồi quy là thoả mãn, lưu lượng thường xuyên ổn định và tỉ lệ với lượng nước lấy lên, song lưu lượng thường xuyên lớn nhất thì phụ thuộc vào các điều kiện về luật dòng nước và kinh tế.

Các lưu vực ngầm không áp nhận nước từ các nguồn hồi quy đầy đủ có thể tăng lưu lượng thường xuyên ổn định không những làm tăng lưu lượng bơm lên mà còn có thể thay đổi chế độ bơm nước. Nếu mặt độ giếng đầy, đặt gần các nguồn hồi quy thì sẽ tăng lượng dòng chảy đến. Việc bố trí hợp lý hệ thống giếng bơm có thể làm tăng lưu lượng mà không cần phải tăng công suất máy bơm.

Hình (7-13) biểu diễn những nội dung đã trình bày ở trên. Trong hình (7-13) dòng suối được xem là nguồn nước hồi quy chủ yếu. Bằng việc di chuyển hệ thống giếng bơm đến gần nguồn nước hồi quy hơn, thì lượng nước lấy lên sẽ tăng lên, song cũng làm cho độ dốc nước ngầm khu vực suối tăng lên. Với các bể chứa ngầm có áp thì lưu lượng ổn định phụ thuộc vào lưu lượng chảy qua tầng ngậm nước.



**Hình 7-13:** Tầng lưu lượng thường xuyên ổn định bằng cách dịch chuyển hệ thống giếng bơm đến gần nguồn nước hồi quy.

Với các bể khá lớn và lưu lượng bơm lên rất nhỏ thì lưu lượng thường xuyên ổn định không hề bị ảnh hưởng. Sau nhiều năm vận hành, đường mặt nước có áp sẽ bị giảm thấp dần. Bên cạnh những thay đổi bằng công tác điều hành các bể ngầm đã nêu lên ở trên, lưu lượng thường xuyên ổn định cũng còn bị thay đổi do những thay đổi từ từ hoặc đột biến trên lưu vực. Sự thay đổi cây trồng, thậm chí thay đổi mùa trồng trọt, độ sâu tầng rễ... làm thay đổi lượng thấm bề mặt, dẫn tới việc thay đổi mực nước ngầm. Ở những vùng đô thị, nơi lượng dòng chảy mặt cũng như lượng nước thải rất lớn thì lượng nước hồi quy bị giảm xuống, dẫn tới sự giảm thấp lưu lượng ổn định của nước ngầm.

## VII. CÂN BẰNG MUỐI

Để sử dụng nguồn nước ngầm một cách lâu dài yêu cầu lượng muối trong lưu vực không được phép tăng lên theo thời gian. Cân bằng trong thời gian phải đảm bảo:

$$\sum_{i=1}^n C_{Q_i} = 0$$

Trong đó:  $C_{Q_i}$  là nồng độ muối ứng với lưu lượng lần thứ  $i$  đến hoặc đi khỏi lưu vực.

Trong thực tế, điều kiện trên không thể tồn tại vì hầu hết mọi nguồn dùng nước đều đưa thêm các chất hoà tan và các muối vào nước ngầm thông qua nước hồi quy.

Muối đưa thêm vào nguồn nước ngầm do vật chất hoà tan được mang theo từ nước mưa và các nguồn từ bề mặt và sát mặt, đặc biệt từ các mỏ muối và nước biển thẩm thấu vào các bể ngầm. Hiện tượng bốc thoát hơi làm một phần nước thoát ra, dẫn tới nồng độ muối trong nước ngầm tăng lên. Sử dụng nước trong công nghiệp, đô thị, trong nông nghiệp (sử dụng các hoá chất, phân bón, thuốc trừ sâu)... sẽ làm tăng lượng chất hoà tan trong nước. Muối đi khỏi nguồn nước ngầm do bơm, tiêu nước và nước chảy ra tự nhiên trong lòng đất cung cấp cho sông suối. Vấn đề muối trở nên vô cùng quan trọng khi dùng nước ngầm cho nông nghiệp, các vùng khô hạn và bán khô hạn. Nếu mực nước ngầm cao mà thiếu hệ thống tiêu, dẫn tới sự tích tụ của muối, phá huỷ dân đất nông nghiệp. Nồng độ muối trong đất phụ thuộc vào điều kiện cụ thể ở từng địa phương, những nơi có mực nước ngầm thấp có hệ thống tiêu tốt thì sẽ hạn chế được mức độ nhiễm mặn của đất.

Cần nhận thức một cách đúng đắn rằng: Nước ngầm ở một lưu vực được xem là tốt nếu như cân bằng muối được giữ vững. Mặc dù có thể tăng lượng nước cần sử dụng nhưng trong trường hợp đó cũng cần thiết phải tăng lượng nước hồi quy. Bảng số liệu dưới đây của một lưu vực hồ Tulare, California - USA (lượng muối tính bằng tấn).

Đặc trưng	1970	1980
Lượng đến:		
- Từ nước mưa	23	25
- Dòng chảy sông suối	357	357
- Nhập lưu	326	846
- Cải tạo đất	476	543
- Phân hoá học	176	190
- Chất thải do động vật	51	55
- Mở rộng các vùng đất mới	0	771
- Nước bán đô thị	38	44
- Dòng chảy mặt từ đô thị	7	8
- Nước thải công nghiệp	28	30
- Nước thải công nghiệp dầu	182	5
Tổng cộng	1664	2874
Lượng đi		
- Dòng chảy ngầm	35	102
- Trên mặt và ngầm	0	545
Tổng cộng	35	647
Lượng muối tích đọng tăng lên	$1664 - 35 = 1629$	$2874 - 647 = 2227$

Qua bảng chúng ta thấy rằng có 2227 tấn muối tích đọng trong lưu vực và hàm lượng muối trong nước tăng lên từ  $1 \div 4$  mg/l. Ở vùng khô hạn con số này có thể lên tới từ  $10 \div 30$  mg/l trong một năm.

## VIII. QUẢN LÝ LƯU VỰC BẰNG VIỆC SỬ DỤNG KẾT HỢP NGUỒN NƯỚC

Việc sử dụng kết hợp nguồn nước mặt và nước ngầm là một hình thức phát triển nguồn nước đạt tới mục đích tối ưu nhất.

Nước mặt được giữ trong các hồ chứa sẽ cung cấp một phần cho nước ngầm. Nó làm nhiệm vụ cấp nước thường xuyên. Các bể ngầm được xem như một nguồn dự trữ để sử dụng trong những năm nguồn nước trên mặt ít, nó sẽ được bổ sung trở lại khi lượng mưa và nước mặt vượt quá yêu cầu sử dụng. Chính sự dao động này dẫn đến sự dao động tương ứng của mực nước ngầm.

Trong thời kỳ lượng mưa vượt quá trung bình thì nguồn nước mặt không những đủ cung cấp cho yêu cầu sử dụng mà còn bổ sung một phần làm tăng lượng trữ ngầm và mực nước ngầm từ từ được nâng lên gần mặt đất. Ngược lại trong thời kỳ khô hạn, nước mặt không còn đủ đáp ứng yêu cầu dùng nước nữa thì lượng trữ ngầm được rút dần ra để bù thêm vào phần thiếu hụt của nước mặt và mực nước ngầm lại từ từ hạ thấp. Sự điều hành kết hợp cho phép ở một giới hạn nhất định. Đó chính là phần dung tích trữ lượng nước hồi quy và cho phép rút một phần nước trong các lỗ hổng của đất. Quản lý lưu vực bằng sử dụng kết hợp nguồn nước là một kỹ thuật khá tổng hợp và phức tạp đòi hỏi phải có kiến thức đầy đủ về phân bố nguồn nước, nước hồi quy, bơm và quy trình vận hành hệ thống.

Nghiên cứu quản lý sử dụng kết hợp đòi hỏi phải có các tài liệu về nước mặt, nước ngầm, các điều kiện địa chất; về hệ thống phân bố nguồn nước, nguồn và vị trí nước thải...

Sau đây chúng tôi xin nêu ra một sơ đồ tổng quát cho việc nghiên cứu sử dụng kết hợp nguồn nước (hình 7-14).

Bảng dưới đây cho chúng ta những nhận thức tổng quát về tính ưu việt và những khó khăn khi sử dụng kết hợp nguồn nước mặt và nguồn nước ngầm.

**Sử dụng kết hợp nước mặt và nước ngầm**

Ưu điểm	Nhược điểm
1. Giảm nhỏ quy mô	1. Tiềm năng thủy điện giảm
2. Giảm nhỏ hệ thống tiêu	2. Năng lượng tiêu hao cao hơn lấy nước ngầm
3. Giảm tổn thất do thấm và bốc hơi	3. Nhiễm mặn tăng
4. Giảm lũ	4. Vận hành hệ thống phức tạp
5. Giảm khả năng đổ vỡ của công trình	5. Dễ sụt lún
6. Thuận lợi trong việc bố trí cơ cấu cây trồng và nguồn nước	

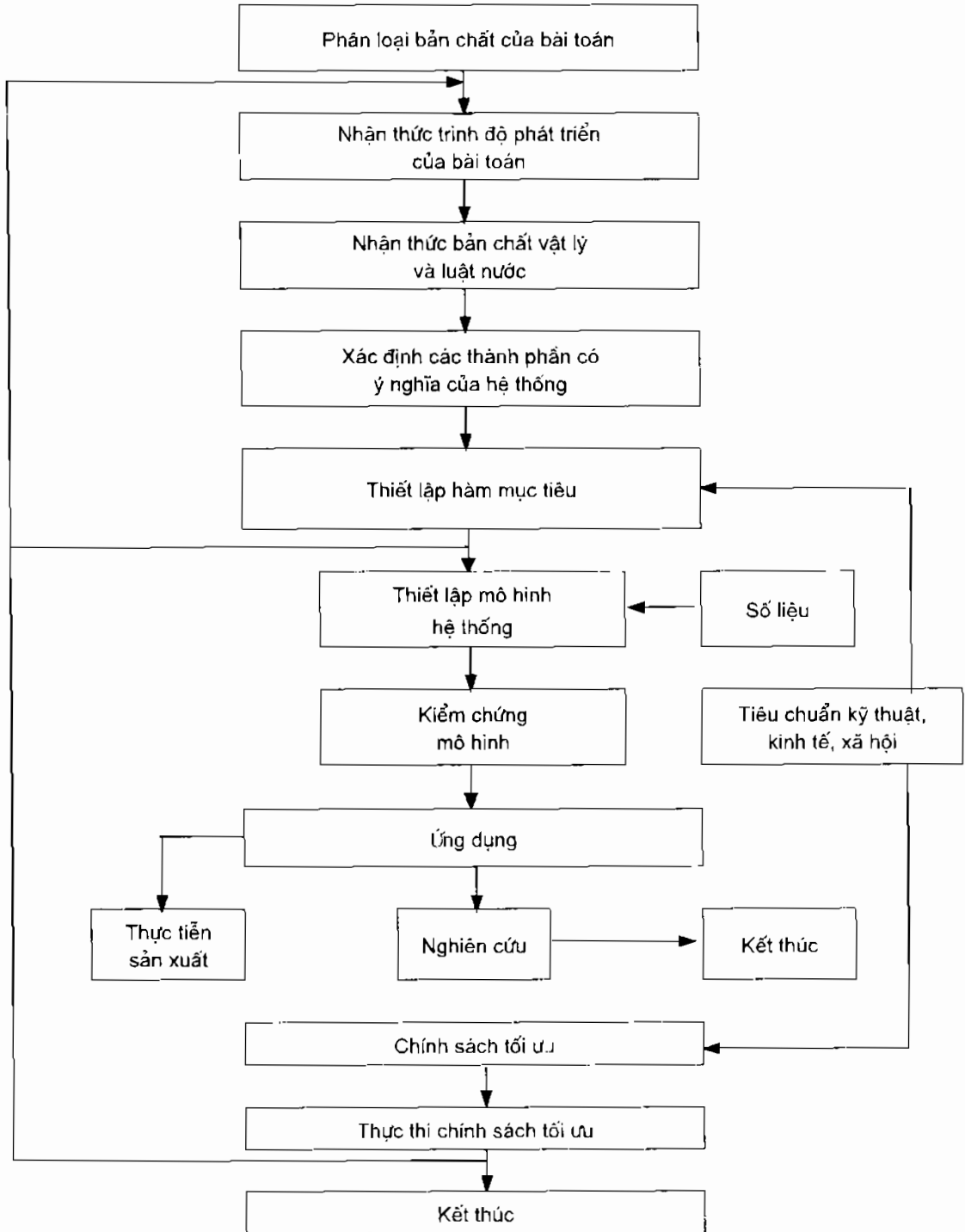
Những nguyên tắc cơ bản về điều hành và quản lý những lưu vực ngầm - dựa trên những nguyên tắc đó tạo ra sơ đồ quản lý nguồn nước tối ưu - bao gồm những điểm chính sau:

1. Tất cả các nguồn nước mặt và nước ngầm trên lưu vực hoặc đơn vị lãnh thổ phải được khảo sát, đánh giá tỉ mỉ để có kế hoạch sử dụng một cách kinh tế nhất, đồng thời nó cũng cần được bảo vệ để đạt chất lượng tiêu chuẩn.



Hệ thống phân bố nước mặt phải được kết hợp với hệ thống các bể ngầm tạo nên một thể thống nhất có lợi nhất về kinh tế và tiện lợi trong việc sử dụng.

Các cơ quan chuyên môn cần phải có kiến thức đầy đủ và cơ sở vật chất hiện đại để quản lý và vận hành hệ thống nguồn nước.



**Hình 7-14:** Sơ đồ hoá việc nghiên cứu hệ thống sử dụng tổng hợp nguồn nước

## BÀI TẬP CHƯƠNG VII

1.

- a) Làm thế nào để xác định được EC của mẫu nước ngầm?  
b) Mẫu nước có TDS = 6.400 mg/l, tính toán điện trở riêng (ohms/cm) của mẫu đó?

2.

- a) Làm thế nào để xác định độ pH của mẫu nước trong phòng thí nghiệm?  
b) Giả sử mẫu nước có pH = 8,5, độ pH sẽ thay đổi như thế nào khi:  
- Nếu thêm vào mẫu nước đó 10 giọt axit mạnh.  
- Nếu thêm 5 giọt nước cất vào mẫu nước.  
- Nếu thêm 5 giọt dung dịch NaOH vào mẫu nước.

3.

- a) Quy trình để xác định TDS trong mẫu nước?  
b) Xác định TDS (mg/l) của mẫu nước ngầm từ số liệu thí nghiệm sau:  
- Trọng lượng của đĩa thí nghiệm : 54,5505 gr;  
- Lượng nước của mẫu : 250 cc;  
- Trọng lượng của đĩa + chất sấy khô : 54,7565 gr.

4. Phân tích hoá học mẫu nước ngầm lấy từ hố khoan A cho các số liệu dưới đây:

Nguyên tố	SiO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	TDS
Nồng độ (mg/l)	60	200	43	495	300	366	812	1700

Phân loại nước theo tiêu chuẩn mức độ độc hại của muối và kiềm và tính phù hợp của nó khi dùng cho tưới.

Tổng độ cứng do CaCO<sub>3</sub> tạo ra là 670 mg/l, pH = 7,8.

Vẽ biểu đồ hình quạt và Stiff của mẫu nước.

5. Phân tích hoá học mẫu nước ngầm qua các số liệu sau đây:

- Ca = Mg = Na = 50ppm
- HCO<sub>3</sub> = 138ppm; SO<sub>4</sub> = Cl = NO<sub>3</sub> = 100ppm

Hãy làm báo cáo về chất lượng của mẫu nước.

## Chương VIII

# THIẾT KẾ GIẾNG BƠM

### I. CÁC NGUYÊN TẮC, TRÌNH TỰ VÀ SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ GIẾNG

#### 1.1. Các nguyên tắc và trình tự khi thiết kế giếng

##### 1.1.1. Các nguyên tắc khi thiết kế giếng

- Một thiết kế giếng tốt phải đảm bảo được các nguyên tắc sau:
  - Giếng phải hoạt động dễ dàng và có khả năng khai thác nước tốt nhất từ tầng chứa nước;
  - Chất lượng nước tốt với các biện pháp thích hợp để bảo vệ nước khỏi bị nhiễm bẩn;
  - Không còn cát trong nước;
  - Thời hạn sử dụng dài (>25 năm), giá thành thấp.
- Từ các nguyên tắc trên cho thấy khi thiết kế giếng phải đạt được các yêu cầu cơ bản sau:
  - Từ các tài liệu địa chất và địa chất thủy văn, chọn tầng chứa hợp lý là tầng chứa có chiều dày lớn, hệ số thấm cao, chất lượng nước tốt và nằm không sâu;
  - Giếng phải làm việc ổn định cả về mực nước lẫn thành phần hoá học và sinh học. Giếng có khả năng chống nhiễm bẩn cho cả tầng chứa;
  - Ống vách phải đủ bền về lực, khả năng chống ăn mòn cao và phù hợp về kết cấu;
  - Ống lọc phải thu nước tốt, tổn thất ít và có kích thước hợp lý.

##### 1.1.2. Trình tự thiết kế giếng

###### 1. Các bước thiết kế

- Công tác thiết kế giếng đòi hỏi người kỹ sư phải có những bước phân tích tài liệu và tính toán cân nhắc để đảm bảo được các nguyên tắc và yêu cầu trên. Việc thu thập và phân tích thông tin địa chất thủy văn là bước quan trọng đầu tiên của công tác thiết kế. Các thông tin đó bao gồm:
  - Những thông tin về địa tầng học liên quan đến tầng nước ngầm và cặn lơ lửng trong nước.
  - Hệ số thấm (K) và hệ số trữ nước (S) của tầng nước ngầm.
  - Những điều kiện cân bằng nước hiện tại và lâu dài cho tầng chứa nước.
  - Kích thước vết nứt của tầng đá chứa nước, độ rỗng của đất đá hay thành phần thạch học của tầng chứa nước ngầm.
  - Chất lượng nước ngầm.
- Trình tự thiết kế giếng khoan bao gồm các bước:

- Dựa vào các tài liệu thăm dò địa vật lý, khoan thăm dò, xây dựng mặt cắt địa chất với đầy đủ các số hệ về địa chất và thủy văn như: cấu tạo địa chất và đặc trưng của các lớp đất đá, chiều dày và hệ số thấm của mỗi lớp đất đá và nguồn cung cấp cho tầng ngầm.

- Lựa chọn tầng chứa nước và xác định độ sâu lỗ khoan.

- Từ yêu cầu về lưu lượng nước sử dụng, chọn sơ bộ số lượng giếng, sơ đồ bố trí giếng, khoảng cách giữa các giếng và lưu lượng cho một giếng.

- Tính toán ống lọc, chọn kiểu, loại, xác định đường kính và chiều dài ống.

- Xác định đường kính ống vách cho phù hợp với máy bơm và bảo vệ giếng.

- Xác định khả năng cung cấp nước của giếng bằng cách chọn lưu lượng rồi kiểm tra lại độ hạ thấp mực nước trong giếng khi bơm nước hoặc ngược lại sao cho lưu lượng này phù hợp với yêu cầu đề ra.

- Thiết kế phân cách ly và bảo vệ.

## 2. Xác định một số thông số cơ bản khi thiết kế giếng

Trong thiết kế bãi giếng khoan, các thông số bán kính ảnh hưởng (R), độ hạ thấp mực nước (s) ứng với mỗi lưu lượng khai thác là các thông số cơ bản cần được tính toán. Các thông số này giúp người thiết kế ước lượng được việc lựa chọn các thông số tiếp theo.

### a) Xác định bán kính ảnh hưởng (R)

Bán kính ảnh hưởng là một đại lượng khó xác định một cách chính xác. Nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cấu tạo địa chất của tầng chứa nước, nguồn cấp và chế độ khai thác. Khi lưu lượng khai thác lớn, nguồn cấp không đầy đủ thì bán kính ảnh hưởng sẽ tăng theo thời gian khai thác và ảnh hưởng đến giới hạn khai thác của tầng chứa nước. Trường hợp này giếng khoan sẽ làm việc không ổn định. Ngược lại, nếu nguồn cấp nước đầy đủ thì bán kính ảnh hưởng sẽ hầu như không thay đổi trong thời gian khai thác và trong trường hợp này giếng khoan làm việc ổn định. Có thể sơ bộ lựa chọn bán kính ảnh hưởng r theo bảng dưới đây

**Bảng 1: Hệ số thấm K và bán kính ảnh hưởng R trong các tầng chứa nước**

STT	Cấu tạo tầng chứa nước	Hệ số thấm K (m/ngđ)	Bán kính ảnh hưởng R (m)
1	Cát trung bình	10 ÷ 25	100 ÷ 200
2	Cát thô	25 ÷ 85	200 ÷ 300
3	Cát thô pha sỏi	50 ÷ 100	300 ÷ 500
4	Sỏi pha cát thô	85 ÷ 150	400 ÷ 600
5	Sỏi pha cát hạt lớn	100 ÷ 200	500 ÷ 1000
6	Cuội sỏi	200 ÷ 300	1000 ÷ 2000

- Trong trường hợp có điều kiện, nên có các lỗ khoan thăm dò và bơm hút nước thí nghiệm. Khi đó bán kính ảnh hưởng có thể xác định tương đối chính xác theo giếng thí nghiệm hoặc có thể dựa vào các giếng đang khai thác có điều kiện địa chất thủy văn tương tự theo công thức:

$$R = R^* \frac{s \log(R^* - r^*)}{s^* \log(R - r)} \quad (8-1)$$

Trong đó:

$R, r, s$  - Bán kính ảnh hưởng, bán kính ống lọc và độ hạ thấp mực nước ngầm thiết kế;

$R^*, r^*, s^*$  - Bán kính ảnh hưởng, bán kính ống lọc và độ hạ thấp mực nước ngầm của giếng tương tự hoặc giếng đang khai thác;

- Có thể xác định bán kính ảnh hưởng bằng công thức thực nghiệm:

+ Trường hợp chuyển động là ổn định:

$$R = 10s \sqrt{K} \quad (8-2)$$

Với :  $s$  - Độ hạ thấp mực nước (m);

$K$  - Hệ số thấm của tầng chứa (m/ngđ).

+ Trường hợp chuyển động không ổn định:

$$R = 1,5 \sqrt{Tt} \quad (8-3)$$

Với :  $T$  - Hệ số dẫn nước ( $m^2/ngđ$ );

$t$  - Thời gian bơm nước (ng).

#### b) Xác định độ hạ thấp mực nước giới hạn

Trong tính toán cũng như trong khai thác nước, ứng với mỗi giá trị  $Q$  bơm sẽ có một độ hạ thấp tương ứng của mực nước ngầm. Vấn đề đặt ra là phải chọn được phương án hợp lý nhất đảm bảo về lưu lượng khai thác ( $Q$ ), độ hạ thấp mực nước giếng ( $s$ ) hoặc nhóm giếng ( $s_i$ ) làm việc ổn định, đảm bảo yêu cầu cấp nước tốt nhất với điều kiện:

$$s < s_{gh} \quad (8-4)$$

Ở đây:  $s$  - Độ hạ thấp mực nước thiết kế

$s_{gh}$  - Độ hạ thấp mực nước cho phép lớn nhất của giếng.

+ Với giếng khai thác ở tầng nước ngầm có áp.

$$s_{gh} = H - (0,3 \div 0,5)b - \Delta s - \Delta H_b \quad (8-5)$$

+ Với giếng khai thác ở tầng nước ngầm không áp:

$$s_{gh} = (0,5 \div 0,8)h - \Delta s - \Delta H_b \quad (8-6)$$

Trong đó.

$H$  - Chiều sâu mực nước tĩnh đến đáy cách nước khi chưa bơm.

$b$  - Chiều dày tầng chứa nước.

$\Delta s$  - Tổn thất mực nước qua ống lọc.

$\Delta H_b$  - Độ sâu đặt bơm dưới mực nước động, có thể lấy từ 2 ÷ 5m.

### 3. Quan hệ giữa lưu lượng, độ hạ thấp mực nước và lưu lượng đơn vị của giếng

Giữa lưu lượng bơm hút nước và độ hạ thấp mực nước trong giếng khi bơm có mối liên hệ lẫn nhau. Trong tính toán hoặc bơm thí nghiệm ta có thể thiết lập được các biểu đồ thể hiện mối quan hệ  $Q = f(s)$  hoặc  $s = f(Q)$ .

Các biểu đồ quan hệ này giúp cho người thiết kế có thể giảm bớt được thời gian và khối lượng tính khi sử dụng đồ thị của giếng từ các số liệu thực nghiệm.

- Trường hợp tầng nước ngầm có áp:

Mối quan hệ  $Q = f(s)$  có thể coi như gần tuyến tính. Tỷ lệ giữa lưu lượng và độ hạ thấp gần như không thay đổi, nghĩa là:

$$\frac{Q_1}{s_1} = \frac{Q_2}{s_2} = \dots = q = \text{const} \quad (8-7)$$

Trong đó  $q$  là lưu lượng bình quân trên một đơn vị chiều sâu hạ thấp mực nước gọi là lưu lượng đơn vị của giếng. Lưu lượng này phụ thuộc vào cấu tạo địa tầng. Có thể chọn sơ bộ lưu lượng đơn vị của giếng như sau:

Với tầng chứa nước có áp thì:

- Vật liệu tầng chứa nước là cát mịn  $\Rightarrow q = 2 \div 4 \text{ (m}^3\text{/m/h)}$
- Vật liệu tầng chứa nước là cát thô  $\Rightarrow q = 4 \div 8 \text{ (m}^3\text{/m/h)}$
- Vật liệu tầng chứa nước là cát thô lẫn sỏi  $\Rightarrow q = 10 \div 12 \text{ (m}^3\text{/m/h)}$

- Với tầng nước ngầm không áp:

Trong tầng này, khi độ hạ thấp mực nước tăng thì chiều dày lớp nước chảy vào giếng giảm (với tầng có áp thì chiều dày không thay đổi), vì vậy lưu lượng bơm sẽ giảm đi cũng đồng nghĩa với độ hạ thấp mực nước tăng nhanh hơn độ tăng của  $Q$  và do đó lưu lượng đơn vị không còn là hằng số nữa. Hay nói cách khác khi độ hạ thấp mực nước càng tăng thì lưu lượng đơn vị của giếng càng giảm. Mối quan hệ  $Q = f(s)$  sẽ là một đường cong. Trong thực tế quan hệ đó được biểu diễn bằng công thức:

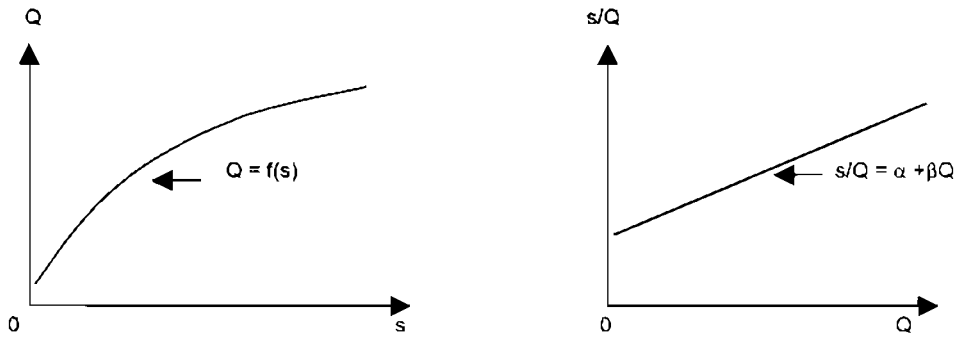
$$s = \alpha Q + \beta Q^2 \quad (8-8)$$

Trong đó  $\alpha$  và  $\beta$  là các hệ số xác định từ thực nghiệm.

Từ công thức (8-8) ta biến đổi như sau:

$$\frac{s}{Q} = \alpha + \beta Q \quad (8-9)$$

Đây là phương trình tuyến tính và biểu diễn như sau:



**Hình 8-1:** Quan hệ giữa lưu lượng bơm và độ hạ thấp mực nước.

Lần bơm thứ nhất ta có  $s_1, Q_1$  ;

Lần bơm thứ hai ta có  $s_2, Q_2$  ;

.....  
Lần bơm thứ n ta có  $s_n, Q_n$  ;

Dựa vào các điểm thực nghiệm ta có thể xây dựng được đường quan hệ trên và xác định các hệ số  $\alpha, \beta$ .

*a) Tính toán ống lọc (ống thu nước)*

Một giếng khoan khi hoạt động thì ống lọc là bộ phận cấu tạo quan trọng, nó quyết định chế độ làm việc ổn định và chất lượng nước giếng. Vì vậy, tính toán thiết kế ống lọc có ý nghĩa rất lớn trong thiết kế giếng khoan. Các yêu cầu cần bảo đảm khi thiết kế ống lọc là:

- Diện tích lỗ hứng thu nước là lớn nhất;
- Ngăn không cho vật liệu từ tầng chứa và vật liệu chèn đi vào giếng;
- Tổn thất đầu nước vào giếng là nhỏ nhất;
- Đủ bền về cơ học và chống ăn mòn tốt;
- Đủ khoảng trống để làm công tác bảo dưỡng định kỳ;
- Chống lại sự ăn mòn và bám cặn.

Để đảm bảo các yêu cầu trên thì các vấn đề cần chú ý khi tính toán ống lọc là:

- Chiều dài làm việc của ống lọc;
- Đường kính ống lọc;
- Kích cỡ và hình dạng của khe lọc nước;
- Lưu lượng nước cần thu vào giếng;
- Tổn thất qua ống lọc.

*b) Chọn kiểu ống lọc*

Ống lọc nước có rất nhiều kiểu, loại. Tùy từng điều kiện cụ thể của cấu trúc địa tầng, thành phần hạt của tầng chứa, yêu cầu thu nước và điều kiện thi công để lựa chọn kiểu ống lọc cho hợp lý. Về vật liệu, thông thường là dùng thép đen hoặc thép không rỉ. Tuy nhiên,

với các loại giếng nhỏ có thể dùng các loại ống lọc bằng nhựa. Thông thường, các giếng khoan hiện nay sử dụng các loại ống lọc dưới đây:

+ Ống lọc khoan lỗ: Các ống thép đen hoặc thép không rỉ được khoan các lỗ tròn đường kính từ 10 ÷ 25mm, tỷ lệ diện tích lỗ lọc khoảng 35% diện tích ống lọc và có thể là một hoặc nhiều đoạn nối với nhau. Các lỗ khoan bố trí đều và đối xứng xung quanh ống.

+ Ống lọc cát khe: Loại ống lọc này được chế tạo từ các ống thép bằng các máy khía hoặc máy đột dập. Có thể phân thành các loại:

- Loại khe dọc: Các khe dọc có kích thước chiều dài từ 20 ÷ 200mm, chiều rộng từ 2,5 ÷ 15mm. Các khe dọc có thể bố trí so le, đối xứng hoặc xen kẽ. Tuy nhiên loại này diện tích khe trống không lớn nhưng tổn thất thủy lực tương đối lớn.

- Loại ống lọc có gờ nổi: được gia công bằng cách dập trên tấm thép sau đó cuốn lại và hàn. Loại này có tổng diện tích khe lớn nhưng độ bền không cao và đòi hỏi phải có máy gia công.

- Loại ống lọc có khe cửa sổ: Các khe này thường được bố trí theo hàng ngang và có kích thước nhỏ. Tổng diện tích các khe trống khá lớn và độ bền cao. Tuy nhiên chế tạo phải bằng máy chuyên dụng.

- Loại ống lọc có dây cuốn bọc lưới hoặc bọc sỏi: Loại ống lọc này được sử dụng khi toàn bộ ống thu nước đặt ở tầng chứa nước có cấu trúc hạt nhỏ mịn.

- Loại ống lọc có dây cuốn: Các ống khoan lỗ hoặc cát khe được quấn một lớp liên tục bằng dây đồng hoặc thép không rỉ có đường kính từ 1 ÷ 2,5mm, khoảng cách các vòng dây từ 1 ÷ 2,5mm. Giữa lớp dây quấn và ống lọc có các dây thép cỡ từ 2 ÷ 5mm đặt dọc theo ống với khoảng cách từ 40 ÷ 50mm. Cách quấn dây có thể là vuông góc hoặc chéo 45<sup>0</sup> với đường sinh của ống lọc.

- Loại ống lọc bọc lưới hoặc bọc sỏi : Phía ngoài ống lọc là một lớp lưới bằng đồng, thép không rỉ hoặc phi kim loại có đường kính từ 0,25 ÷ 1mm và kích thước đan là từ (1 × 1) ÷ (3 × 3)mm. Trường hợp tầng chứa nước là cát nhỏ hoặc cát mịn thì phía ngoài của lớp lưới bọc hoặc dây quấn có thể bọc từ 1 ÷ 2 lớp sỏi ở ngoài cùng. Chiều dày lớp bọc này tối thiểu là từ 30 ÷ 85mm tùy thuộc vào phương pháp thi công.

Các kiểu loại ống lọc được sử dụng hiện nay được trình bày ở phụ lục.

Có thể áp dụng các kiểu, loại ống lọc với các phạm vi ứng dụng sau:

- Nếu tầng chứa nước có cấu tạo nham thạch cứng, ổn định, các khe nứt bé không đùn cát có thể không cần đặt ống lọc.

- Nếu tầng chứa nước là nham thạch nửa cứng, không ổn định, đá dăm cuội có cỡ hạt từ 10 ÷ 50mm chiếm trên 50% khối lượng có thể áp dụng các loại ống lọc sau:

+ Ống lọc có lỗ khoan  $\Phi = 10 \div 25\text{mm}$ ;

+ Ống lọc có khe dọc kích thước (150 ÷ 200mm) × (10 ÷ 15mm).



- Nếu tầng chứa có sỏi, đá dăm, cát to cỡ hạt từ 1 ÷ 10mm, các hạt có kích thước từ 1 ÷ 5mm chiếm trên 50% khối lượng có thể dùng. Ống lọc khoan lỗ hoặc khe dọc quấn dây kích thước khe là: (50 ÷ 200mm) × (2,5 ÷ 5m).

• *Ống lọc có gờ nổi*

Nếu tầng chứa có cát thô cỡ hạt 1 ÷ 2mm chiếm trên 50% khối lượng có thể áp dụng các loại :

- Ống khoan lỗ, khe dọc quấn dây hoặc bọc lưới với kích thước mặt lưới là (1 × 1mm) ÷ (2 × 2mm).

- Nếu đường kính hạt của tầng chứa có độ lớn 0,25 ÷ 0,5mm chiếm trên 50% khối lượng hoặc cát mịn có cỡ hạt 0,1 ÷ 0,25mm chiếm trên 50% khối lượng thì dùng loại ống lọc một hoặc hai lớp bọc sỏi.

c) *Xác định kích thước ống lọc*

Lưu lượng giếng được xác định theo công thức:

$$Q = \pi DLV \quad (8-10)$$

Trong đó:

D - Đường kính ống lọc (m);

L - Chiều dài của ống lọc (m);

V - Vận tốc nước chảy qua ống lọc vào giếng (m/ng).

Chiều dài của ống lọc phải nằm hoàn toàn trong tầng chứa nước định khai thác, phải nằm cách đỉnh và đáy tầng chứa nước ít nhất là từ 0,5 ÷ 1m. Ở tầng chứa nước có áp với loại giếng hoàn chỉnh - giếng đặt tới tầng cách nước đáy - thì chiều dài ống lọc khoảng 0,8 ÷ 0,9 chiều dày tầng chứa nước. Giếng ở tầng không áp, đỉnh ống lọc phải thấp hơn mực nước động thấp nhất tối thiểu là 3m.

Tốc độ nước chảy qua ống lọc vào giếng phải đảm bảo cho nước chảy trong tầng chứa đến giếng luôn luôn ở trạng thái chảy tầng. Có thể sử dụng công thức thực nghiệm xác lập mối quan hệ giữa hệ số thấm và gradient áp lực I qua công thức.

$$I = a / K^b \quad (8-11)$$

Với các ống lọc loại khoan lỗ, khe dọc, quấn dây hoặc bọc sỏi có thể lấy a = 60 và b = 2/3, vì vậy ta có:

$$I = 60/K^{2/3} \quad (8-12)$$

Từ công thức của Darcy trong điều kiện chảy tầng thì lưu lượng nước thu vào giếng được xác định theo công thức:

$$Q = K\omega I \quad (8-13)$$

Ở đây:  $\omega$  - Diện tích xung quanh của ống lọc phần làm việc và do vậy:

$$\omega = \pi DL \quad (8-14)$$

Từ (8-10), (8-13) và (8-18) ta có thể viết:

$$V = KI \quad (8-15)$$

Do đó: 
$$V = 60\sqrt[3]{K} \quad (8-16)$$

Với K là hệ số thấm của tầng chứa (m/ng) và được xác định bằng thực nghiệm. Trong bước tính sơ bộ có thể chọn theo bảng (8-1).

Khi tính toán, dựa vào tài liệu địa chất và địa chất thủy văn người ta thường chọn trước chiều dài làm việc (L) của ống lọc và xác định đường kính ống lọc theo công thức:

$$D = \frac{Q}{\pi LV}; \quad (m) \quad (8-17)$$

Trong đó:

Q - Lưu lượng thiết kế của giếng ( $m^3/ng$ );

L - Chiều dài ống lọc (m);

V - Vận tốc nước chảy qua ống lọc vào giếng (m/ng).

Từ kết quả tính toán ta chọn đường kính ống lọc phù hợp với đường kính ống lọc theo tiêu chuẩn chế tạo sẵn.

#### d) Chèn sỏi ống lọc

Việc tính toán lớp sỏi chèn phía ngoài ống lọc nhằm mục đích để cho giếng làm việc ổn định và nước từ tầng chứa dễ dàng chảy vào giếng qua ống lọc không bị tắc và ngăn chặn cát từ tầng chứa lọt vào giếng khi bơm phát triển hay còn gọi là bơm thổi rửa. Chọn lựa kích cỡ hạt sỏi phụ thuộc vào cấu tạo tầng chứa nước. Khi tính lớp sỏi chèn cần đảm bảo các yêu cầu :

- Có hệ số thấm lớn.
- Vận tốc nước chảy vào giếng nhỏ.
- Bền vững với các loại hoá chất có trong tầng chứa.

Thông thường sỏi chèn được chọn là sỏi thạch anh có độ tròn cao, các bước chọn sỏi để chèn như sau:

- Xác định cỡ hạt của tầng chứa nước chọn 80% cỡ hạt giữ trên sàng. Lấy cỡ hạt còn sót trên sàng nhân với các hệ số khác nhau tùy thuộc cấu tạo tầng chứa.
  - Nhân với 8 nếu tầng chứa là các hạt mịn và đồng nhất.
  - Nhân với 6 nếu tầng chứa là các hạt thô và đồng nhất.
  - Nhân với 5 nếu tầng chứa là các hạt thô và không đồng nhất.
- Vẽ đường quan hệ phân bố cỡ hạt của lớp sỏi chèn với hệ số không đồng nhất nhỏ hơn 2,5 cho 80% cỡ hạt.
- Kích thước sỏi chèn phải đảm bảo 90% không lọt qua khe trống của ống lọc.
- Lớp sỏi chèn tối thiểu phải dày 85mm.

e) *Tính toán tổn thất qua ống lọc*

Khi nước chảy từ tầng chứa nước vào giếng qua vách ống lọc sẽ có tổn thất. Việc tính toán tổn thất qua ống lọc vào giếng là rất cần thiết khi tính độ hạ thấp mực nước trong giếng khoan. Theo Barker và Herbert (1992) khi nước chảy vào giếng từ tầng chứa có các tổn thất như tổn thất thủy lực trong tầng chứa, tổn thất qua sỏi chèn, tổn thất qua vách lọc, tổn thất khi chảy từ ống lọc vào bơm. Tổng tổn thất đó sẽ là:

$$\Delta s = h_{lc} + h_s + h_k + h_l \quad (8-18)$$

Các tổn thất được tính như sau.

- Tổn thất thủy lực  $h_{lc}$  do nước chảy từ tầng chứa đến giếng và tính theo biểu thức

$$h_{lc} = \left( \frac{Q}{2\pi KL} \right)^2 \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{R} \right) V_a ; m \quad (8-19)$$

Trong đó: Q, L, K, R đã trình bày ở trên;

$r_0$  - Bán kính ống lọc (m);

$V_a$  - Lưu tốc dòng chảy rối trong môi trường hạt:

$$V_a = 0,5K^{1,25} \quad (8-20)$$

- Tổn thất thủy lực qua lớp sỏi chèn  $h_s$ :

$$h_s = \frac{Q}{2\pi L K_s} \ln \frac{r_s}{r_0} + \Delta h_s, m \quad (8-21)$$

Trong đó:  $K_s$  - Hệ số thấm của lớp sỏi chèn. Có thể lấy  $K_s = 35 \div 50$  (m/ngđ);

$r_s$  - Bán kính lớp sỏi chèn tính từ tâm giếng đến mặt ngoài lớp sỏi chèn (m);

$\Delta h_s$  - Tổn thất thủy lực trong lớp sỏi chèn do chảy rối (m):

$$\Delta h_s = V_s \left( \frac{Q}{2\pi L K_s} \right)^2 \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_s} \right) \quad (8-22)$$

Với:  $V_s = 0,5 K_s^{1,25}$  là vận tốc chảy rối lớp sỏi.

- Tổn thất thủy lực qua khe thu nước của ống lọc ( $h_k$ ) được tính theo biểu thức:

$$h_k = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{2\pi L r_0 C_v C_c A_p} \right)^2, (m) \quad (8-23)$$

Trong đó :

g - Gia tốc trọng trường;

$C_v = 0,98$  là hệ số vận tốc cho khe dọc;

$C_c = 0,63$  là hệ số co hẹp dòng chảy;

$A_p$  - Tỷ lệ diện tích ống lọc có thể tính bằng tích của tỷ lệ diện tích lọc nhân với độ rộng lớp sỏi chèn;

- Tổn thất thủy lực dọc theo chiều dài ống lọc ( $h_c$ ):

$$h_c = \frac{Q^2}{\frac{\alpha L}{4} + \frac{\beta}{3}}, m \quad (8-24)$$

$\alpha$  - Hệ số kinh nghiệm của tổn thất theo chiều dài ống lọc;

$\beta$  - Hệ số kể đến sự mất áp xung lượng trong ống lọc;

- Tổn thất thủy lực dọc theo ống vách tính từ phía trên ống lọc ( $h_t$ ).

$$h_t = \frac{8Q^2}{\pi^2 g} \sum h, m$$

Với :

$$\sum h = \sum \frac{i_v L_v}{D_v^5} + \sum \left[ K_c \left( \frac{1}{D_1^2} - \frac{1}{D_2^2} \right) - \left( \frac{1}{D_1^4} - \frac{1}{D_2^4} \right) \right] \quad (8-25)$$

Trong đó:

$i_v$  - hệ số ma sát của ống vách thép;

$L_v$  - chiều dài ống vách giếng (m);

$D_v$  - Đường kính ống vách (m);

$D_1$  và  $D_2$  - Đường kính 2 đầu của côn nối (m);

$K_c = 0,2$  - Hệ số tổn thất áp lực trong côn với góc thu  $15^\circ$ .

Việc tính toán ống lọc có thể tham khảo một số bảng tra ở phần phụ lục tính ống lọc.

## 1.2. Các sơ đồ tính toán thiết kế giếng

Khi thiết kế giếng khai thác nước ngầm có thể có giếng làm việc đơn lẻ độc lập. Nhưng với quy mô khai thác lớn thì thông thường các giếng khoan cùng làm việc đồng thời trong một hay nhiều bãi giếng tạo ra vùng ảnh hưởng rộng và độ hạ thấp mực nước trong tầng chứa diễn biến phức tạp hơn. Mục đích của việc tính toán này là nhằm xác định độ hạ thấp mực nước khi giếng khoan có hoạt động bơm hút để đánh giá tầng chứa và khả năng khai thác của tầng chứa. Mặt khác nó sẽ quy định được vị trí đặt bơm trong giếng để khai thác nước an toàn và hiệu quả.

### 1.2.1. Giếng khoan làm việc đơn lẻ

Thông thường nước ngầm được khai thác trong hai tầng chứa nước cơ bản là có áp và không áp. Tầng bán áp chỉ là một dạng riêng của tầng chứa có áp khi xét đến sự xâm nhập của nước ngầm bổ sung.

#### 1. Tầng nước ngầm có áp

Trên thực tế, tùy thuộc vào yêu cầu sử dụng nước và tình hình địa chất thủy văn ở khu vực khai thác mà có các quyết định khác nhau về vị trí và độ dài của ống thu nước (ống lọc). Có thể đặt ống thu nước hết tầng chứa, nhưng nhiều khi chỉ cần đặt ống thu nước ở

một phần trong tầng chứa nước. Vì vậy có các tên gọi khác nhau của giếng khoan là: giếng khoan hoàn chỉnh và giếng khoan không hoàn chỉnh.

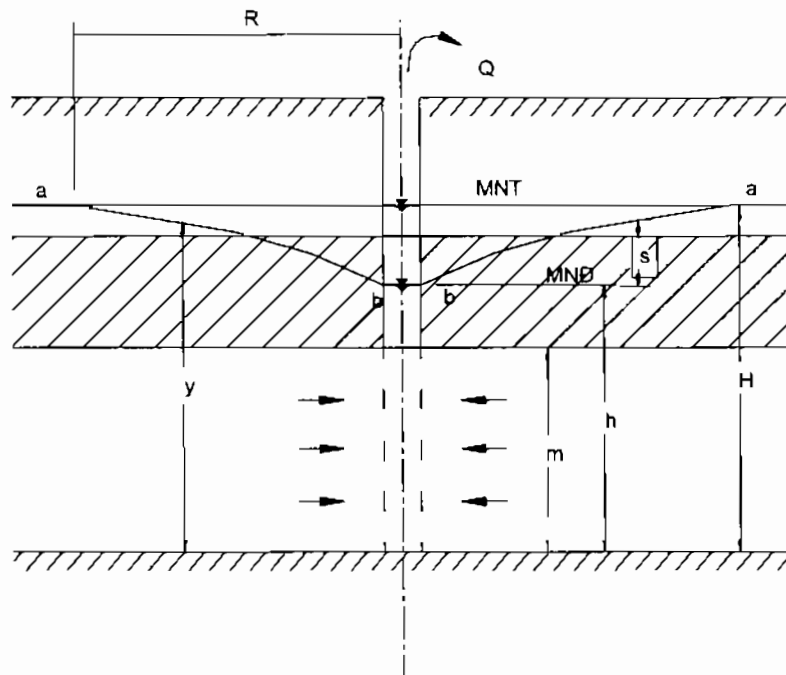
*a) Giếng khoan hoàn chỉnh lấy nước trong tầng có áp*

Hình 8-2 mô tả sơ đồ tính của một giếng khoan hoàn chỉnh trong tầng chứa nước ngầm có áp.

Xét bài toán môi trường đồng chất, đẳng hướng, tầng nước ngầm có áp và có đáy cách nước nằm ngang như hình 8-2.

Trước khi bơm nước, giả sử mực nước nằm trong giếng khoan ngang bằng với mực thủy áp (a-a) và gọi  $H$  là chiều sâu cột nước tính từ đáy cách nước nằm ngang đến mực nước tĩnh (mực thủy áp).

Khi bơm ra khỏi giếng với lưu lượng không đổi là  $Q$  lúc đó mực nước trong giếng sẽ giảm dần và nước từ tầng chứa bắt đầu chuyển động vào giếng. Lúc đó có sự phân bố lại áp lực nước ngầm trong tầng chứa và phân xung quanh giếng sẽ có sự giảm áp lực tạo thành mặt đẳng áp có dạng hình phễu. Đây chính là mặt cong ảnh hưởng toả tròn xung quanh giếng dạng hình nón ngược.



**Hình 8-2:** Tính toán cho giếng đơn hoàn chỉnh

Xét bài toán phẳng thì đường cong ảnh hưởng  $ab$  biểu diễn sự hạ thấp mực nước ngầm và xác định ranh giới ảnh hưởng của giếng trong tầng đất đá. Khoảng cách từ tâm giếng đến điểm bất đầu có sự thay đổi áp lực (biên vùng ảnh hưởng) được gọi là bán kính ảnh hưởng của giếng khi bơm nước với lưu lượng  $Q$  không đổi và ký hiệu là  $R$ . Mực nước trong giếng khi chưa bơm gọi là mực nước tĩnh (MNT) và mực nước trong giếng khi bơm hoạt

động gọi là mực nước động (MND), hiệu số của hai mực nước này gọi là độ hạ thấp mực nước và ký hiệu là  $s$ . Đây là một đại lượng rất quan trọng khi tính toán thiết kế giếng khoan. Khi tính độ hạ thấp mực nước cho một giếng ở một vùng cụ thể nếu:

- $s$  quá nhỏ sẽ không tận dụng hết khả năng chứa nước của tầng chứa.
- $s$  quá lớn sẽ làm tăng cột nước toàn phần của máy bơm gây lãng phí và gây ra việc khai thác quá khả năng cấp nước của tầng chứa. Trường hợp này giếng làm việc không ổn định nên có thể tăng số giếng khai thác và có thể phải đánh giá lại tầng chứa nước đang khai thác.

Khi máy bơm hút nước từ tầng chứa qua giếng, nếu lưu lượng hút bằng lưu lượng nước từ tầng chứa chảy vào giếng thì MND ở giếng không thay đổi. Có nghĩa là chuyển động của nước ngầm vào giếng là chuyển động ổn định. Khi đó với lưu lượng khai thác không đổi sẽ có  $s$  không đổi theo thời gian khai thác. Ngược lại khi dòng chảy ngầm vào giếng là chuyển động không ổn định thì lưu lượng hoặc độ hạ thấp sẽ thay đổi theo thời gian khai thác. Việc tính toán giếng khoan ở đây chính là việc xác lập mối quan hệ giữa lưu lượng, độ hạ thấp mực nước, bán kính ống lọc với các đặc trưng của tầng chứa nước.

*a1. Khi chuyển động nước ngầm là ổn định*

Từ lý thuyết chuyển động của nước ngầm vào giếng đơn khi dòng chảy ổn định ở tầng nước có áp có thể áp dụng công thức tính của Dupuit:

$$Q = A.V = K\omega I \quad (8-26)$$

Ở đây:  $K$  là hệ số thấm của tầng chứa;  $\omega$  là diện tích giới hạn phần thu nước vào giếng. Với giếng khoan hoàn chỉnh, thu nước có áp thì diện tích này bằng diện tích xung quanh một hình trụ có chiều cao bằng chiều dày tầng chứa nước ( $b$ ) và bán kính  $x$  nào đó. Vì vậy:

$$\omega = 2\pi x b \quad (8-27)$$

$I$  là Gradien áp lực và theo Darcy thì:  $I = dy/dx$ . Do vậy:

$$Q = 2\pi K b x dy/dx \quad (8-28)$$

và có:

$$dy = \frac{Q}{2\pi K b} \frac{dx}{x} \quad (8-29)$$

Theo sơ đồ tính ở hình 8-2 thì:  $x$  biến thiên trong khoảng  $r_0 \rightarrow R$  và  $y$  biến thiên trong khoảng  $h \rightarrow H$ . Tích phân (8-29) với các biến trên ta sẽ tính được độ hạ thấp mực nước:

$$H - h = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{r}{r_0} \quad (8-30)$$

Vậy độ hạ thấp mực nước giếng là:

$$s = H - h = \frac{Q}{2\pi K b} \ln \frac{r}{r_0} \text{ hay } s = 0,366 \frac{Q}{K b} \lg \frac{r}{r_0} \quad (8-31)$$

Từ (8-31), nếu ta giả định trước độ hạ thấp mực nước cho giếng thì có thể tính lưu lượng khai thác của giếng theo:

$$Q = \frac{2,73 K b s}{\lg(r/r_0)} \quad (8-32)$$

Ở các công thức này các ký hiệu đều theo quy ước như trên và  $r$  phải xác định bằng thực nghiệm.

*a2. Khi chuyển động nước ngầm không ổn định*

Từ phương trình không ổn định của Theis, có thể giải trực tiếp bằng giải tích hoặc có thể bằng các phương pháp đồ giải hay phương pháp số. Khi không có sự cân bằng giữa lưu lượng bơm đi và lưu lượng chảy vào giếng, giếng khoan sẽ làm việc không ổn định. Sẽ có hai trường hợp sẽ xảy ra:

**Trường hợp 1:** Khi bơm với lưu lượng không đổi thì độ hạ thấp mực nước trong giếng sẽ thay đổi theo thời gian khai thác và được xác định theo công thức:

$$s = -0,08 \frac{Q}{Kb} E_i \left( -\frac{r_0^2}{4Tt} \right) \quad (8-33)$$

Ở đây  $E_i \left( -\frac{r_0^2}{4Tt} \right)$  là hàm số mũ tích phân, giá trị của nó phụ thuộc vào giá trị của đối số

$$\lambda = \frac{r_0^2}{4Tt}$$

Trong đó :

$t$  - Thời gian khai thác nước (tính bằng ngày);

$r_0$  - Bán kính ống lọc (m);

$T$  - Hệ số dẫn nước ( $m^2/ng$ ). Hệ số này đặc trưng cho tốc độ phân bố lại áp lực nước ngầm khi chuyển động của nước ngầm vào giếng không ổn định:

$$T = \frac{Kb}{S_y}$$

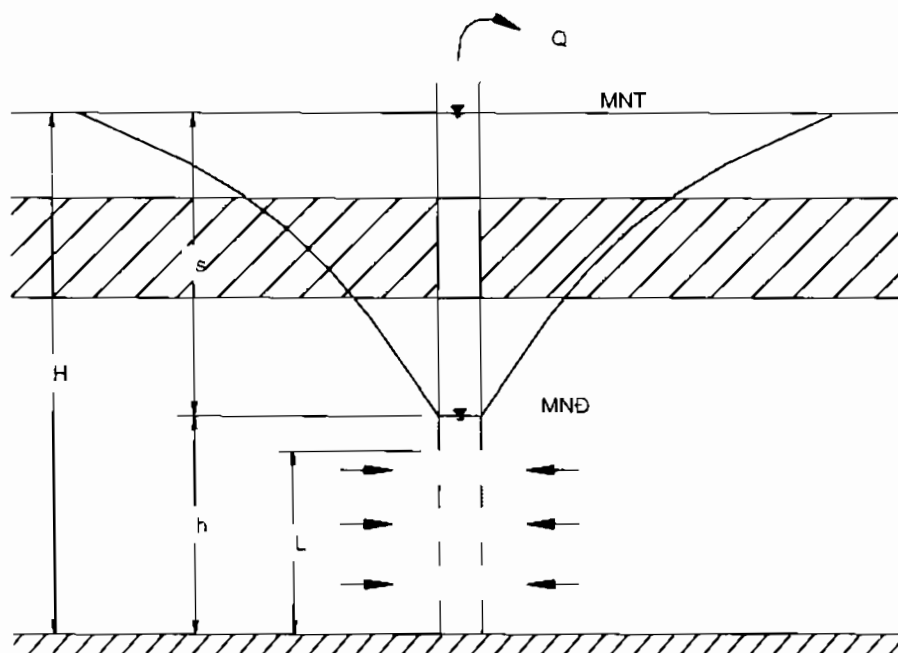
Với  $S_y$  là hệ số phóng thích nước hay gọi là hệ số nhả nước đàn hồi. Đây là hệ số đặc trưng cho khả năng giải phóng lượng nước tự do ra khỏi lớp đất của nước khi bơm nước từ tầng chứa có áp. Giá trị của  $S_y$  được xác định bằng tỉ số giữa lượng nước thoát ra và thể tích đất chứa nước. Có thể xác định  $S_y$  theo giếng thí nghiệm hoặc giếng khai thác làm việc ở điều kiện tương tự với giếng thiết kế. Khi tính toán sơ bộ có thể chọn  $T$  bằng cách tra bảng theo cấu tạo của tầng chứa nước. Ở tầng chứa có áp,  $T$  thường nằm trong khoảng  $1000 \div 3000 m^2/ng$ , trong khi ở tầng chứa không áp hệ số  $T$  thường từ  $100 \div 500 m^2/ng$ .

Bảng 8-2 cho sẵn một số giá trị của hàm  $E_i \left( -\frac{r_0^2}{4Tt} \right)$  khi biết giá trị của  $\lambda = \frac{r_0^2}{4Tt}$

**Bảng 8-2: Giá trị của hàm số  $E_1(-\lambda)$**

$\lambda = \frac{r_0^2}{4Tt}$	$E_1(-\lambda)$	$\lambda = \frac{r_0^2}{4Tt}$	$E_1(-\lambda)$
0,0001	-8,633	0,8	-0,384
0,001	-6,331	1,0	-0,220
0,01	-4,038	2,0	-0,049
0,1	-1,823	3,0	-0,013
0,2	-1,223	4,0	-0,0036
0,3	-0,906	5,0	-0,0012
0,5	-0,560		

Chú ý rằng, nếu nguồn nước bổ sung cho tầng chứa không đủ thì độ hạ thấp mực nước (s) sẽ tăng dần theo thời gian khai thác. Khi đó mực nước động (MND) trong giếng sẽ càng ngày càng thấp. Nếu đến mức nào đó mà MND hạ thấp hơn tầng cách nước phía trên thì lúc này giếng sẽ làm việc như một giếng hoàn chỉnh không áp sẽ trình bày ở phần sau. Hình 8-3 sẽ mô tả trường hợp này.



**Hình 8-3: Sơ đồ tính toán giếng MND dưới tầng cách nước trên**

**Trường hợp 2:** Nếu giữ độ hạ thấp mực nước trong giếng không đổi thì phải thay đổi lưu lượng bơm tháo  $Q$  theo thời gian. Và khi đó  $Q$  được xác định:

$$Q = \frac{-12,56Kbs}{E_1(-\lambda)} \quad (8-34)$$



Trong trường hợp khi thời gian khai thác nước rất lớn ( $\lambda < 0,1$ ) thì có thể áp dụng các công thức (8-31) và (8-32) của trường hợp dòng chảy ổn định. Nhưng lúc này bán kính ảnh hưởng sẽ càng tăng dần theo thời gian khai thác và tính theo:

$$r = 1,50\sqrt{Tt} \quad (8-35)$$

b) *Giếng không hoàn chỉnh ở tầng nước ngầm có áp*

Như trên đã trình bày, khi một giếng khoan đặt ống lưu nước ở một phần tầng chứa nước được gọi là giếng không hoàn chỉnh. Nước ngầm có áp chảy vào giếng gặp sức cản lớn hơn so với giếng hoàn chỉnh. Trong điều kiện làm việc ở cùng điều kiện địa chất thủy văn như nhau và hút cùng một lưu lượng thì độ hạ thấp mực nước ở giếng không hoàn chỉnh lớn hơn so với giếng hoàn chỉnh. Vì vậy độ hạ thấp mực nước ở trường hợp này sẽ là:

$$s_k = s + \Delta s$$

Với:  $s$  - Độ hạ thấp mực nước ở giếng hoàn chỉnh tương tự;

$\Delta s$  - Độ hạ thấp mực nước do giếng không hoàn chỉnh gây ra và được tính:

$$\Delta s = 0,16 \frac{Q}{Kb} \xi \quad (8-36)$$

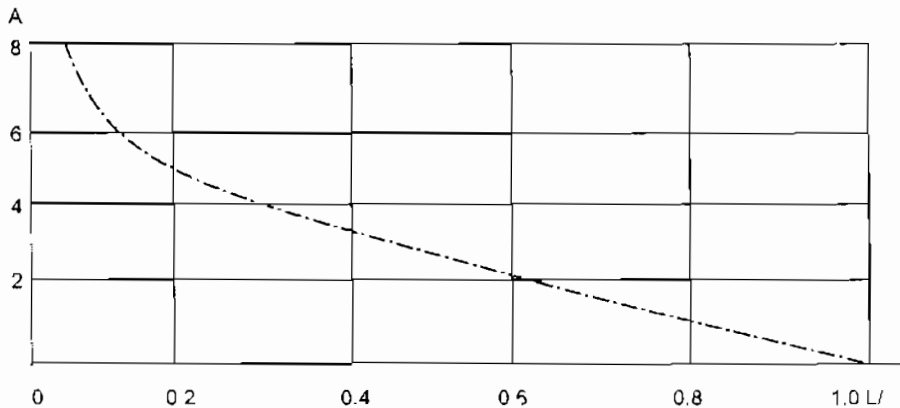
Với 
$$\xi = 2,3 \left( \frac{b}{L} - 1 \right) \lg \frac{4b}{r_0} - \frac{b}{2r_0} A$$

Trong đó:  $L$  - Chiều dài làm việc của ống lọc (m);

$b$  - Chiều dày tầng chứa nước (m);

$r_0$  - Bán kính ống lọc (m);

$A$  - Hệ số được xác định theo tỉ số ( $L/b$ ) được biểu diễn trên hình (8-4).



Hình 8-4: Biểu đồ xác định hệ số  $A$

Khi chiều dày tầng chứa nước rất lớn thì lưu lượng của giếng được xác định bởi:

$$Q = \frac{2\pi K L s}{\ln \frac{1,32L}{r_0}} = 2,73 \frac{K L s}{\lg \frac{1,32L}{r_0}} \quad (8-37)$$

Chú ý rằng khi  $\frac{L}{b} \leq \frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$  và  $\frac{r_0}{b} \leq 5 \div 8$  thì sử dụng (8-37) cho kết quả có sai số < 10%.

Mặt khác trong công thức (8-37) không chứa đại lượng  $R$  - một trị số khó xác định chính xác nên nó được áp dụng khá phổ biến trong tính toán.

Ngoài cách tính độ hạ thấp mực nước ( $\Delta s$ ) do giếng không hoàn chỉnh như ở phần trên, có thể áp dụng công thức Barker để xác định  $\Delta s$ :

$$\Delta s = \frac{Q(1-p)}{2\pi K L p} \ln \frac{p(1-p)b}{(n^2 - n_c^2)r_s} \sqrt{\frac{K}{K_s}} \quad (8-38)$$

Các đại lượng  $Q, K, L, b$  như quy ước trên.

$$p = \frac{L}{b} \quad \text{và} \quad n_c = \frac{2Z_c}{b(1-p)}$$

Trong đó:

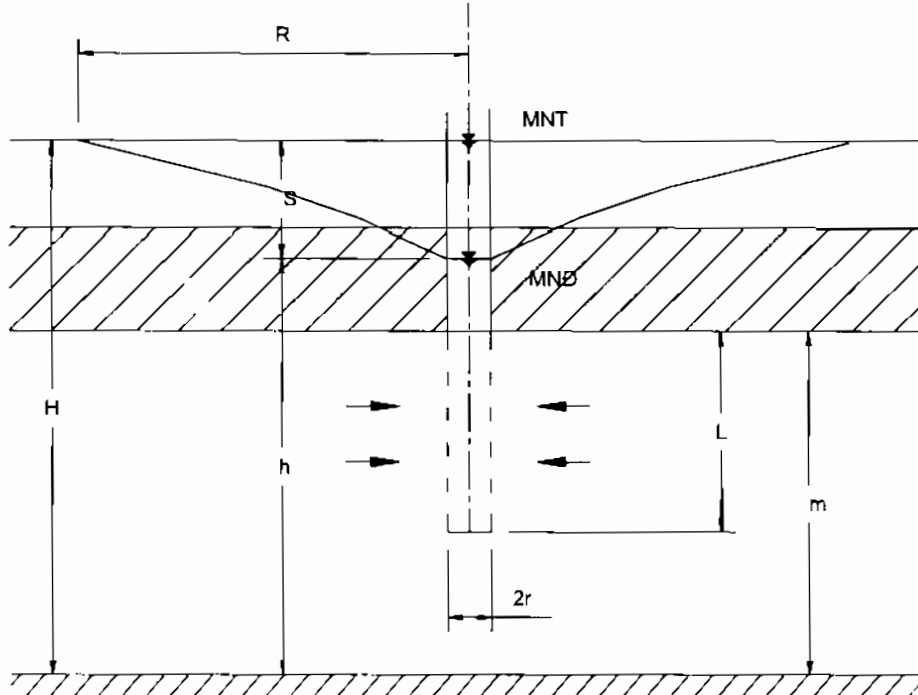
$K_s$  - Hệ số thấm của lớp sỏi chèn ống lọc lấy bằng 35 ÷ 50 (m/ngđ);

$n$  - Hệ số nhám của ống lọc;

$Z_c$  - Khoảng cách theo chiều đứng từ giữa ống lọc đến tâm tầng chứa nước;

$r_s$  - Bán kính lớp sỏi chèn tính từ tâm ống đến mặt ngoài lớp sỏi chèn.

Hình 8-5 mô tả sơ đồ tính của trường hợp giếng không hoàn chỉnh ở tầng nước ngầm có áp.



**Hình 8-5:** Sơ đồ tính độ hạ thấp mực nước giếng không hoàn chỉnh

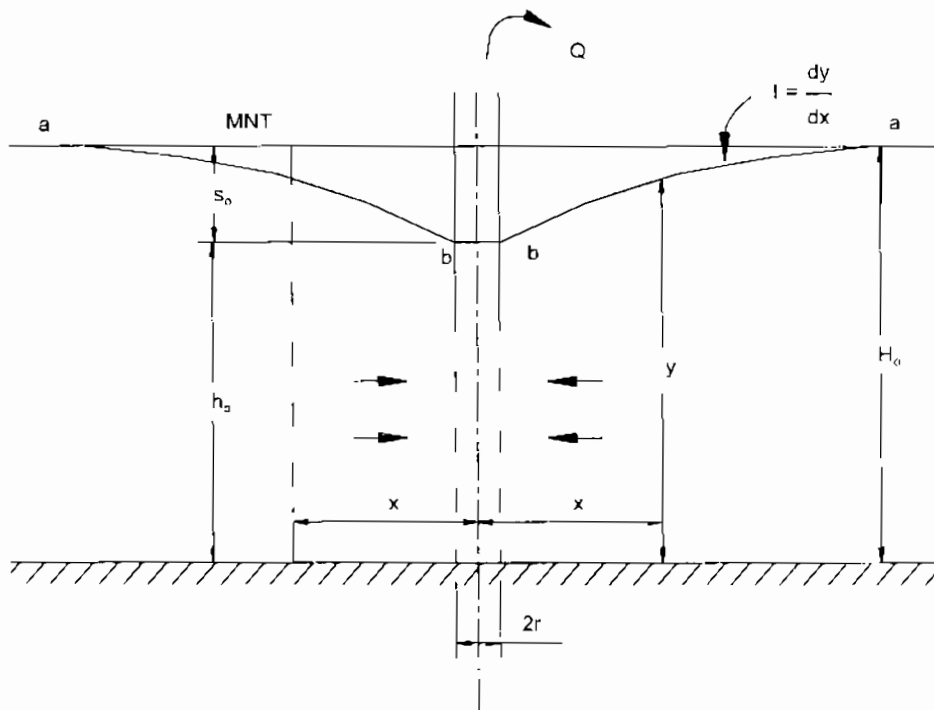
## 2. Tầng chứa nước không áp

### a) Giếng khoan hoàn chỉnh

Xuất phát từ các giả thiết của Dupuit, lý thuyết thủy lực giếng đã giải quyết bài toán này trong hai trường hợp (i) khi có sự gia nhập thêm và (ii) không có sự gia nhập thêm của nguồn nước bổ cấp.

Hình vẽ (8-6) là sơ đồ tính toán giếng khoan hoàn chỉnh đặt trong tầng nước không áp.

Mực nước ngầm trong tầng chứa khí khai thác và mực nước tĩnh trong giếng xem như trùng với đường (a-a). Khi bơm hút nước từ giếng với lưu lượng không đổi  $Q$ , mực nước trong giếng hạ xuống và nước từ tầng chứa chảy vào giếng làm mực nước xung quanh giếng ở tầng chứa cũng hạ xuống tạo ra phễu hạ mực nước. Đường (b-b) là mực nước động và đường cong (a-b) gọi là đường cong ảnh hưởng. Độ sâu từ mực nước động (MND) đến đáy cách nước gọi là  $h_0$ .



**Hình 8-6:** Sơ đồ tính cho giếng hoàn chỉnh không áp

Ta xét hai trường hợp chuyển động của nước ngầm vào giếng:

#### a1. Dòng chảy ổn định vào giếng

Từ công thức của Dupuit, xác định lưu lượng chảy vào giếng:

$$Q = \omega V \quad (8-39)$$

Cũng như trên,  $\omega$  là diện tích giới hạn phân thu nước và nó được tính bằng diện tích xung quanh một hình trụ có bán kính  $x$  và chiều cao  $y$  trong tầng thu (hình 8-6).

Khi đó:

$$\omega = 2\pi xy \quad (8-40)$$

Ở đây  $x$  biến thiên từ  $r_0 \rightarrow r$  và  $y$  biến thiên từ  $h_0 \rightarrow H_0$  trong vùng ảnh hưởng của giếng.

Vận tốc trung bình của dòng chảy vào giếng theo Darcy được tính:

$$V = KI \quad (8-41)$$

Trong đó :  $K$  là độ thấm của tầng chứa;  $I$  là độ dốc thủy lực và được tính

$$I = \frac{dy}{dx} \quad (8-42)$$

thay vào (8-41) ta có:

$$V = K \frac{dy}{dx} \quad (8-43)$$

Từ (8-39), (8-41) và (8-43) thay thế và rút gọn ta sẽ được:

$$Q = 2\pi xyK \frac{dy}{dx} \quad (8-44)$$

Hay :

$$ydy = \frac{Qdx}{2\pi Kx} \quad (8-45)$$

Tích phân (8-45) ta có:

$$\frac{Q}{2\pi K} \ln x = \frac{1}{2} y^2 + c \quad (8-46)$$

Ở đây  $c$  là hằng số tích phân được xác định từ điều kiện biên tại điểm ngoài cùng của giới hạn vùng ảnh hưởng, khi đó:

$$\text{Với } y = H_0 \text{ và } x = R \text{ thì: } c = \frac{Q}{2\pi K} \ln R - \frac{1}{2} H_0^2 \quad (8-47)$$

Thay (8-47) vào (8-46) ta có:

$$\frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{R}{x} = \frac{1}{2} (H_0^2 - y^2) \quad (8-48)$$

Tại biên thành giếng ta có:  $x = r_0$  và  $y = h_0$

Lưu lượng nước chảy vào giếng sẽ là:

$$Q = \frac{\pi K (H_0^2 - h_0^2)}{\ln \left( \frac{R}{r_0} \right)} \quad (8-49)$$

Thực hiện phép biến đổi với  $s_0 = H_0 - h_0$  ta sẽ được:

$$H_0^2 - h_0^2 = (H_0 - h_0)(H_0 + h_0) = s_0(2H_0 - s_0)$$

vì vậy (8-49) sẽ trở thành:

$$Q = 1,36 \frac{Ks_0(2H_0 - s_0)}{\lg\left(\frac{R}{r_0}\right)} \quad (8-50)$$

Độ hạ thấp mực nước sẽ là:

$$s_0 = H_0 - \sqrt{H_0^2 - 0,73 \frac{Q}{K} \lg \frac{R}{r_0}} \quad (8-51)$$

Để vẽ được đường cong ảnh hưởng phải xác định độ sâu mực nước  $y$  trong vùng ảnh hưởng tại khoảng cách  $x$  bất kỳ tới tâm giếng. Phương trình đường cong ảnh hưởng có dạng:

$$y = \sqrt{h_0 + \frac{\lg \frac{x}{r_0}}{\lg \frac{R}{r_0}} (H_0^2 - h_0^2)} \quad (8-52)$$

### a2. Dòng chảy không ổn định vào giếng

Tương tự như trường hợp dòng chảy không ổn định ở tầng có áp, dựa vào phương trình không ổn định của Theis tính toán các thông số của giếng. Ta cũng phân thành 2 trường hợp.

+ **Trường hợp 1:** Khi bơm với lưu lượng không đổi thì độ hạ thấp mực nước trong giếng sẽ thay đổi theo thời gian khai thác và được xác định bởi công thức:

$$s_0 = H_0 - \sqrt{H_0^2 + 0,16 \frac{Q}{K} E_1(-\lambda)} \quad (8-53)$$

Với  $E_1(-\lambda)$  là hàm số mũ tích phân và được xác định bằng bảng.

+ **Trường hợp 2:** Nếu giữ cho độ hạ thấp mực nước  $s_0$  là không đổi thì lưu lượng khai thác của giếng sẽ được tính theo:

$$Q = \frac{-6.28Ks_0(2H_0 - s_0)}{E_1(-\lambda)} \quad (8-54)$$

Chú ý rằng nếu thời gian khai thác là quá lớn có thể coi như giếng làm việc như trường hợp dòng chảy ổn định và như vậy có thể sử dụng các công thức (8-50) và (8-51) để tính cho các trường hợp này nhưng phải lưu ý là khi đó bán kính ảnh hưởng tăng dần theo thời gian khai thác và xác định theo công thức:

$$r = 1,5 \sqrt{Tt} \quad (8-55)$$

Với 
$$T \approx \frac{Kh_{th}}{S_y}$$

Trong đó:  $K$  - Hệ số thấm của tầng chứa nước;

$T$  - Hệ số dẫn nước của tầng chứa nước;

$h_{th}$  - Độ dày trung bình của tầng chứa trong thời gian khai thác;

$S_y$  - Hệ số nhả nước.

*b. Khi giếng khoan không hoàn chỉnh khai thác nước ở tầng không áp*

Hình vẽ (8-7) mô tả sơ đồ tính cho một giếng khai thác không hoàn chỉnh ở tầng chứa nước không áp.

Cũng tương tự như trường hợp giếng có áp, khi giếng khoan không hoàn chỉnh làm việc trong tầng chứa không áp thì độ hạ thấp mực nước trong giếng cũng tăng thêm một đại lượng  $\Delta s_0$  do tổn thất bị gây ra bởi tính không hoàn chỉnh của giếng:

$$\Delta s_0 = h - \sqrt{h^2 - 0,37 \frac{Q}{K} \xi} \quad (8-56)$$

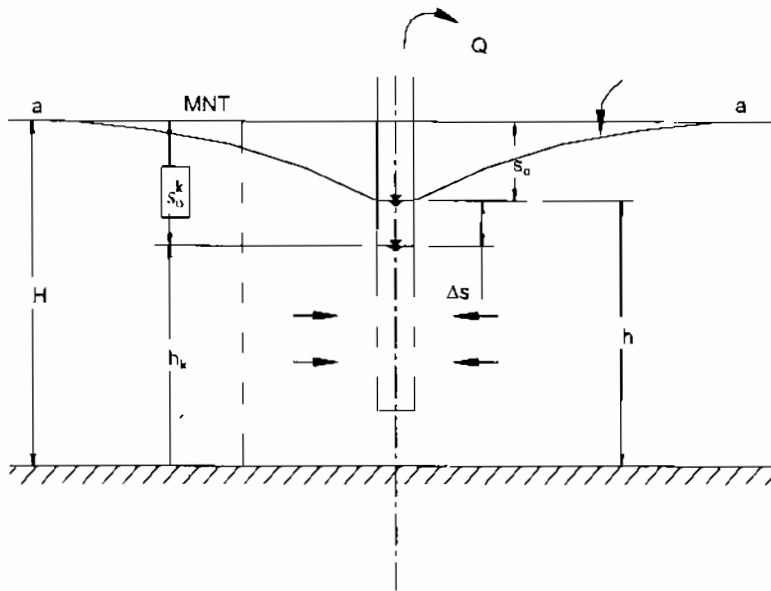
Ở đây  $h = H_0 - s_0$ ,

$H_0$  - Độ sâu mực nước tính đến đáy tầng chứa khi bơm chưa hoạt động.

$s_0$  - Độ hạ thấp mực nước trong giếng xác định theo (8-51) và (8-53) ứng với chuyển động ổn định và không ổn định.

$\xi$  - Hàm không thứ nguyên được xác định theo công thức:

$$\xi = 2,3 \left( \frac{L}{b} - 1 \right) \lg \frac{4b}{r_0} - \frac{b}{2r_0} A \quad (8-57)$$



**Hình 8-7:** Khai thác nước ở tầng không áp giếng không hoàn chỉnh

Giá trị của A được tra theo đồ thị, trong đó:

$$b = H_0 - \frac{s_0^k}{2} \text{ và } L = L_1 - \frac{s_0}{2}$$

Ở đây:

$L_1$  - Chiều dài phân thu nước thực tế của giếng;

$s_0^k$  - Độ hạ mực nước thực tế trong giếng không hoàn chỉnh không áp;

Ta có : 
$$s_0^k = s_0 + \Delta s_0 \quad (8-58)$$

**1.2.2. Trường hợp giếng làm việc đồng thời trên bãi giếng**

Trong thực tế cấp nước, yêu cầu về lưu lượng khai thác thường lớn hơn nhiều so với khả năng cấp nước của một giếng. Mặt khác cũng không thể tăng mãi công suất khai thác nước từ một giếng vì nó sẽ làm độ hạ thấp mực nước tầng lớn có thể ảnh hưởng hoặc phá cân bằng tầng chứa. Chính vì vậy thường phải bố trí nhiều giếng thành bãi trong phạm vi khai thác của một nhà máy.

Khi có nhiều giếng cùng làm việc đồng thời trong cùng một tầng chứa nước thì hoạt động của từng giếng sẽ gây ảnh hưởng lẫn nhau trong nhóm giếng làm cho phần hạ thấp mức nước của nhóm giếng có dạng phức tạp hơn nhiều so với trường hợp một giếng. Mức độ ảnh hưởng lẫn nhau của các giếng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: lưu lượng khai thác, đặc trưng của tầng chứa, nguồn bổ cấp và khoảng cách giữa các giếng...

Việc tính toán ảnh hưởng của giếng trong bãi giếng xuất phát từ các phương trình cân bằng và không cân bằng của dòng chảy ngầm. Các tác giả như Dupuit, Forgymer, Barker, Autopxki... đưa ra các phương pháp tính khác nhau nhưng đều cho rằng: Độ hạ thấp mực nước trong một bãi giếng tại một điểm bất kỳ bằng tổng độ hạ thấp mực nước do từng giếng gây ra.

$$s_{\text{tổng}} = s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n \quad (8-59)$$

Dưới đây là phương pháp tính các thông số trong một số trường hợp cụ thể:

- Trường hợp bãi giếng khai thác nước tầng không áp với lưu lượng bằng nhau:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q_0/n \quad (8-60)$$

Với n là số lượng giếng và Q<sub>0</sub> là tổng lưu lượng khai thác của bãi giếng.

Gọi khoảng cách từ điểm tính toán tới các giếng lần lượt là x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ..., x<sub>n</sub>. Nếu biên không còn bị ảnh hưởng bơm với mực nước H của cả nhóm giếng là R thì phương trình mặt nước tại điểm tính toán sẽ là:

$$y^2 = H^2 - \frac{Q_0}{\pi K n} (\ln R^n - \sum_{i=1}^n \ln x_i) \quad (8-61)$$

Tương tự với bãi giếng hoàn chỉnh khai thác nước trong tầng có áp sẽ là:

$$Q_0 = \frac{2\pi K b s}{\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 x_2 \dots x_{n-1}} \quad (8-62)$$

Trong đó: K - Hệ số thấm (m/ngđ); b - Chiều dày tầng chứa nước; s - Độ hạ thấp mực nước.

- Trường hợp nhóm giếng bố trí trên chu vi đường tròn:

Hình 8-8 dưới đây mô tả bãi giếng hoạt động khai thác nước ngầm bố trí trên chu vi tròn.

Gọi khoảng cách từ các giếng tới tâm đường tròn là  $r$  (m); bán kính ảnh hưởng lớn nhất của bãi giếng là  $R$  (m) thì đường mặt nước tại tâm đường tròn biểu diễn bởi phương trình sau:

$$H^2 - y^2 = \frac{Q_0}{\pi Kn} \ln \frac{R}{r} \quad (8-63)$$

Nếu gọi  $s$  là độ hạ thấp mực nước tại tâm giếng thì :

$$Q_0 = \frac{1,36Ks(2H - s)}{\lg \frac{R}{r}} \quad (8-64)$$

Chú ý rằng công thức trên chỉ đúng trong trường hợp:

- Đáy tầng không thấm được xem là nằm ngang;
- Tại biên vùng ảnh hưởng độ hạ thấp mực nước ngầm bằng không;
- Mặt giới hạn của vùng thấm là mặt trụ thẳng đứng.

• Nhóm giếng bố trí tại đỉnh của tam giác đều: (hình 8-9).

+ Với giếng hoàn chỉnh không áp:

$$Q_0 = \frac{1,36Ks(2H - s)}{\lg \frac{R^3}{4a^2r}} \quad (8-65)$$

+ Với giếng hoàn chỉnh có áp

$$Q_0 = \frac{2,73Kbs}{\lg \frac{R^3}{4a^2r}} \quad (8-66)$$

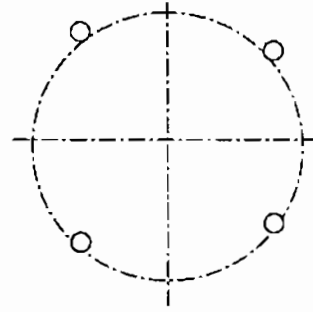
• Nhóm giếng bố trí tại đỉnh của hình vuông như hình 8-10.

+ Với giếng hoàn chỉnh không áp:

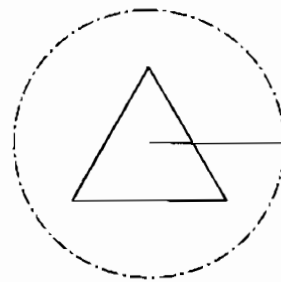
$$Q_0 = \frac{1,36Ks(2H - s)}{\lg \frac{R^4}{11,3a^3r}} \quad (8-67)$$

+ Với giếng hoàn chỉnh có áp:

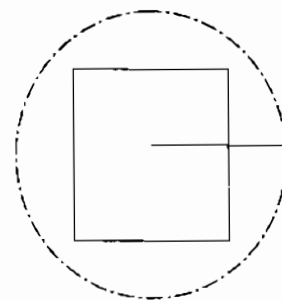
$$Q_0 = \frac{2,73Kbs}{\lg \frac{R^4}{11,3a^3r}} \quad (8-68)$$



**Hình 8-8:** Sơ đồ bãi giếng bố trí trên đường tròn



**Hình 8-9:**



**Hình 8-10:**



Trong đó:  $r$  - Bán kính của đường tròn chứa hệ giếng;  
 $R$  - Bán kính vùng ảnh hưởng hay giới hạn tại đó  $s = 0$ ;  
 $a$  - Nửa khoảng cách giữa hai đỉnh tam giác hoặc hình vuông.

### 1.2.3. Khoảng cách giữa các giếng khoan trong bãi giếng

Trong một bãi giếng khai thác nước từ một tầng chứa, việc bố trí khoảng cách giữa các giếng cũng là một vấn đề cần chú ý. Nguyên tắc chung là giếng bố trí càng xa nhau thì càng ít ảnh hưởng lẫn nhau về lưu lượng khai thác cũng như độ hạ thấp mực nước. Tuy nhiên, nếu khoảng cách giữa các giếng quá xa sẽ gây lãng phí lớn về mặt kinh tế cũng như công tác quản lý và vận hành giếng. Khoảng cách giữa các giếng trong một bãi khai thác hợp lý nhất là phải đạt cả tiêu chuẩn kinh tế lẫn kỹ thuật sao cho giá thành thấp nhất và nước khai thác đạt lưu lượng lớn nhất phù hợp với khả năng cung cấp nước của tầng chứa.

Năm 1975, Theis đã đề xuất một công thức tính kinh tế nhằm chọn khoảng cách giữa hai giếng khoan cùng lấy nước ở một tầng chứa nước ngầm với lưu lượng khai thác bằng nhau:

$$l_{\text{opt}} = \frac{2,4 \cdot 10^8 C_v Q^2}{kT} \quad (8-69)$$

Trong đó:

$l_{\text{opt}}$  - Khoảng cách tốt nhất;

$C_v$  - Giá thành để đưa  $1\text{m}^3$  nước lên cao một mét (bao gồm cả chi phí năng lượng và thiết bị);

$T$  - Hệ số dẫn nước.

Năm 1941, Theis đưa ra một công thức xác định khoảng cách cho phép giữa hai giếng trong cùng một tầng chứa đồng nhất đẳng hướng:

$$l_{\text{cp}} = \frac{2Q}{IT} \quad (8-70)$$

Trong đó:

$l_{\text{cp}}$  - Khoảng cách cho phép giữa hai giếng không gây ảnh hưởng lẫn nhau;

$Q$  - Lưu lượng khai thác của một giếng ( $\text{m}^3/\text{ngđ}$ );

$T$  - Hệ số dẫn nước của tầng chứa ( $\text{m}^2/\text{ngđ}$ );

$I$  - Gradient mặt nước ngầm hoặc mực thủy áp (không thứ nguyên).

## II. KHOAN KHAI THÁC NƯỚC NGẦM

Khoan giếng là quá trình nhằm tạo ra một giếng thu nước ngầm từ tầng chứa nước phục vụ các mục đích thăm dò, khai thác hoặc quan trắc. Một giếng khoan có chất lượng là tổng hợp thành quả của một quá trình từ việc nghiên cứu các điều kiện địa chất, địa chất thủy văn, chọn vị trí giếng, khoan giếng, lắp đặt kết cấu và bơm rửa phát triển giếng đến quá trình quản lý khai thác, sử dụng sau này.

Trong phạm vi tài liệu này chỉ giới thiệu một số nét chung nhất của công tác khoan giếng và chủ yếu là khoan giếng thăm dò, thăm dò kết hợp khai thác hoặc giếng khai thác. Nội dung bao gồm các phần sau:

- Các phương pháp khoan giếng;
- Thiết bị khoan giếng;
- Kết cấu giếng;
- Thiết kế giếng;
- Kỹ thuật khoan và lắp đặt kết cấu giếng;
- Bơm rửa phát triển giếng;
- Vệ sinh công trường và hoàn thiện giếng.

## **2.1. Các phương pháp khoan giếng**

Theo cơ chế phá huỷ đất đá trong quá trình khoan, có các phương pháp khoan chủ yếu sau:

- Khoan xoay;
- Khoan đập;
- Khoan xoay đập;
- Khoan thủy lực.

### **2.1.1. Khoan xoay**

Khoan xoay bao gồm: khoan xoay lấy mẫu và khoan xoay phá toàn đáy. Khoan xoay lấy mẫu chủ yếu áp dụng cho các giếng khoan hoặc các công đoạn khoan cần phải lấy mẫu để xác định địa tầng. Khoan xoay phá toàn đáy chủ yếu áp dụng cho các giếng khoan khai thác tại những vị trí mà cột địa tầng đã được xác định hoặc khoan roa mở rộng đường kính để lắp đặt kết cấu giếng.

Tuỳ thuộc vào phương pháp vận chuyển và làm sạch mùn khoan trong quá trình khoan có phương pháp khoan bơm rửa và phương pháp khoan thổi rửa bằng khí nén.

#### **1. Bộ dụng cụ khoan**

Bộ dụng cụ khoan bao gồm: Cần khoan, cần nặng, các đầu nối cần, đầu nối chuyển tiếp, ống lắng mùn khoan, ống mẫu (hoặc ống dẫn hướng) và mũi khoan.

Chức năng của bộ dụng cụ khoan là thực hiện việc truyền mô men quay và tải trọng dọc trục từ máy khoan trên mặt đất cho mũi khoan ở dưới đáy để thực hiện việc phá huỷ đất đá tạo chiều sâu giếng. Trong một số trường hợp nó còn làm nhiệm vụ tạo tải trọng cho mũi khoan bằng trọng lượng bản thân.

Yêu cầu cơ bản đối với bộ dụng cụ khoan là phải đảm bảo độ cứng vững trong quá trình khoan, không bị đứt, gãy hoặc làm cong, xiên giếng khoan. Một bộ dụng cụ khoan không đảm bảo yêu cầu kỹ thuật có thể gây ra những sự cố phiền toái trong quá trình khoan, đôi khi dẫn đến việc huỷ bỏ giếng.

## 2. Mũi khoan (dụng cụ phá huỷ đất đá)

Các loại mũi khoan sử dụng cho khoan xoay tùy thuộc vào mục đích khoan.

- Đối với khoan thăm dò lấy mẫu địa tầng:

Sử dụng các loại mũi khoan gắn răng hợp kim cứng hoặc mũi khoan kim cương tùy theo cấp đất đá.

Các loại mũi khoan hợp kim cứng dùng để khoan các đất đá từ mềm đến cứng (cấp I đến cấp VII (VIII) bao gồm các loại:

- + Mũi khoan đất đá mềm bờ rời, sét ký hiệu M;
- + Mũi khoan các tầng đất đá cứng trung bình ký hiệu CT, CM;
- + Mũi khoan đá cứng ký hiệu CA.

Các loại mũi khoan kim cương dùng để khoan các đất đá cứng đến rất cứng cấp VII (VIII) đến cấp XII. Mũi khoan kim cương gồm ba loại:

- + Loại mũi khoan một lớp;
- + Loại nhiều lớp;
- + Loại thăm nghiệm.

Theo trật tự này các hạt kim cương được gắn kết trên bề mặt mũi khoan có kích thước hạt giảm dần.

- Đối với khoan phá toàn đáy:

Sử dụng các chông khoan (mũi khoan) dạng chóp xoay, chông cánh, chông đuôi cá tùy thuộc vào cấp đất đá khoan qua. Các chông khoan dạng chóp xoay bao gồm các loại chông để khoan trong đất đá mềm (M, C, CT), khoan các đá cứng trung bình (T, TZ), khoan đá cứng (K) và đá rất cứng (OK) .

Các chông cánh, chông đuôi cá chỉ sử dụng để khoan trong các tầng đất đá mềm, bờ rời, các lớp sét....

## 3. Các thông số chế độ khoan xoay

Các thông số chế độ khoan xoay gồm:

- + Tải trọng dọc trục P (kg);
- + Tốc độ quay của bộ dụng cụ khoan n (vòng/phút);
- + Dung dịch khoan (nước rửa) và lưu lượng của chúng Q (lít/phút).

Trong những điều kiện chung nhất, tốc độ khoan (năng suất khoan) phụ thuộc chủ yếu vào P và n. Nhìn chung khi P, n tăng lên thì tốc độ khoan cũng tăng lên và ngược lại, còn loại dung dịch khoan và lưu lượng nước rửa Q sẽ quyết định tình trạng của giếng khoan (lỗ khoan).

Vai trò của dung dịch khoan trong quá trình khoan là vận chuyển mùn khoan lên khỏi giếng, làm mát dụng cụ phá huỷ đất đá ở dưới đáy, làm sạch đáy giếng và ổn định thành giếng khoan (khi khoan qua các tầng đất đá mềm yếu bờ rời).

Dung dịch dùng trong khoan giếng bao gồm một số loại phổ biến sau:

- + Nước lã;
- + Dung dịch sét tự nhiên hoặc nhân tạo;
- + Dung dịch polyme tự nhiên.

Tùy thuộc vào chiều sâu khoan giếng, đặc tính và mức độ ổn định của các tầng đất đá khoan qua ... người ta có thể lựa chọn một trong các loại dung dịch trên.

Tuy nhiên cần lưu ý rằng việc sử dụng dung dịch sét với các thông số không được kiểm soát chặt chẽ sẽ tạo nguy cơ xâm nhập của các vật liệu mịn vào tầng chứa nước, làm cho quá trình thả vật liệu lọc khó khăn hơn và quá trình bơm rửa phát triển giếng cũng khó đạt hiệu quả. Điều này cần đặc biệt lưu ý khi tầng chứa nước là các lớp cát hạt mịn. Để giải quyết một phần các nhược điểm này, gần đây người ta đã chú ý tới việc sử dụng dung dịch khoan bằng polyme tự nhiên, tuy giá thành tương đối cao hơn so với việc sử dụng dung dịch sét, song xét về mặt tổng thể, hiệu quả kinh tế có thể cao hơn do giảm được thời gian thổi rửa phát triển giếng và hiệu quả giếng cũng như tuổi thọ của nó được cải thiện đáng kể.

### **2.1.2. Khoan đập**

Là quá trình khoan mà sự phá huỷ đất đá ở dưới đáy giếng xảy ra theo cơ chế đập vỡ. Các phương pháp khoan đập bao gồm:

- + Khoan đập cấp;
- + Khoan đập cần (khoan động).

Phương pháp khoan đập cấp thích hợp với việc khoan các giếng khai thác đường kính lớn, chiều sâu nhỏ và trong các tầng trầm tích mềm yếu, bờ rời. Phương pháp khoan động tỏ ra có nhiều ưu điểm trong việc khoan các giếng đường kính nhỏ cấp nước theo kiểu UNICEF trong các tầng trầm tích mềm yếu, bờ rời.

#### **1. Bộ dụng cụ khoan đập**

Bộ dụng cụ khoan đập bao gồm: Cáp khoan đập, đầu nối cáp, dao cấp, cần đập (cần nặng), mũi khoan (chòng đập).

Chức năng của bộ dụng cụ khoan đập là truyền năng lượng từ trên mặt để nâng bộ dụng cụ khoan (chòng khoan) lên cách đáy một độ cao nhất định ( $0,8 \div 1,5\text{m}$ ) và thả nó rơi tự do để đập vỡ đất đá ở dưới đáy giếng, đồng thời xoay chòng khoan một góc tương đối sau mỗi cú đập.

#### **2. Chòng khoan (dụng cụ phá huỷ đất đá)**

Tùy thuộc vào cấp đất đá, người ta sử dụng các loại chòng khoan hoặc ống mức.

Chòng khoan gồm có chòng chữ I, chòng chữ thập hoặc chòng tròn. Chòng khoan được sử dụng để phá vỡ đá cứng. Ống mức gồm có ống mức van cầu và ống mức van cánh. Ống mức được dùng để khoan trong các tầng đất đá mềm, bờ rời, sét... hoặc để mức mùn khoan sau khi đã phá vỡ bằng chòng.

### 3. Các thông số chế độ khoan đập

Các thông số chế độ khoan đập bao gồm:

- + Chiều cao đập (m);
- + Tần số đập (lần/ phút);
- + Trọng lượng bộ dụng cụ đập (kg).

Nhìn chung khi đất đá càng cứng thì chiều cao đập và trọng lượng bộ dụng cụ đập cần tăng lên.

Khi khoan đập qua các tầng mềm yếu, bờ rời, việc ổn định thành giếng trong quá trình khoan có thể bằng ống chống tạm được chống theo đoạn hoặc vừa khoan vừa chống ống, hoặc ổn định bằng đất sét. Việc dùng đất sét để ổn định thành giếng khi khoan qua các tầng chứa nước nên hạn chế ở mức tối thiểu.

#### 2.1.3. Khoan xoay đập

Các phương pháp khoan xoay đập gồm:

- + Khoan xoay đập thủy lực: có hai phương pháp khoan đập thủy lực, đó là:
  - Khoan xoay đập thủy lực búa đập ở dưới đáy;
  - Khoan xoay đập thủy lực búa đập ở trên mặt;
- + Khoan xoay đập khí nén.

Hiện nay phương pháp khoan xoay đập thủy lực có búa đập trên mặt đang được sử dụng phổ biến để khoan lỗ phục vụ các mục đích gia cố, xử lý nền móng công trình xây dựng và khoan lỗ nạp mìn trong khai thác mỏ. Chất lỏng truyền dẫn năng lượng là dầu thủy lực. Phạm vi áp dụng của nó là các giếng có chiều sâu và đường kính không lớn. Phương pháp này đặc biệt có hiệu quả trong các tầng đá cứng, giòn.

Phương pháp khoan xoay đập thủy lực búa đập dưới đáy chủ yếu áp dụng cho các giếng khoan sâu trong thăm dò và khai thác dầu khí.

Đối với phương pháp khoan xoay đập bằng khí nén, búa đập được lắp ở dưới đáy, ngay trên mũi khoan (chòng khoan) và được truyền dẫn năng lượng từ trên mặt nhờ khí nén. Phương pháp này có hiệu quả đặc biệt khi khoan trong các tầng đất đá cứng chắc và rất cứng. Phạm vi áp dụng là khi khoan các giếng khai thác nước trong các tầng đất đá cứng chắc, chiều sâu lớn và có đường kính trung bình.

Các thông số chủ yếu của phương pháp khoan đập khí nén gồm:

- + Tải trọng dọc trục lên chòng khoan P (kg);
- + Tần số đập N (lần/phút);
- + Tốc độ quay của bộ dụng cụ khoan n (vòng/phút).

Việc điều chỉnh các thông số P, n được thực hiện bằng máy khoan. Tần số đập được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh lưu lượng và áp suất của máy nén khí.

Năng suất khoan (tốc độ khoan) chủ yếu phụ thuộc vào tần số đập và tải trọng dọc trục

#### **2.1.4. Khoan thủy lực**

Phương pháp khoan thủy lực là phương pháp khoan mà quá trình phá huỷ đất đá ở dưới đáy được thực hiện nhờ năng lượng của dòng nước có tốc độ cao qua một vòi phun thủy lực được đặt ở dưới đáy của bộ dụng cụ khoan. Năng lượng của dòng nước được cung cấp bởi một máy bơm piston có áp suất và lưu lượng cao.

Phương pháp này thích hợp với việc khoan các giếng có đường kính nhỏ, trong các tầng trầm tích bờ rời, mềm yếu phục vụ việc cấp nước đơn lẻ kiểu UNICEF.

### **2.2. Thiết bị khoan giếng**

#### **2.2.1. Máy khoan xoay**

Căn cứ vào phương pháp truyền tải trọng lên mũi khoan trong quá trình khoan loại đầu khoan, thiết bị khoan xoay bao gồm các loại:

- Máy khoan có đầu quay vít vi sai - đòn bẩy;
- Máy khoan có đầu quay thủy lực;
- Máy khoan có đầu quay roto truyền động cơ khí;
- Máy khoan có đầu quay roto bằng turbin thủy lực, đầu khoan di động.

Các máy khoan có đầu quay vít vi sai - tay đòn bẩy và thủy lực thích hợp cho việc khoan thăm dò xác định địa tầng, khoan các giếng thăm dò, quan trắc và các giếng khai thác có đường kính nhỏ. Ưu điểm của các loại máy này là cho phép điều chỉnh một cách dễ dàng tải trọng dọc trục lên mũi khoan, tuy nhiên không có khả năng truyền mô men lớn.

Các máy khoan có đầu quay roto có khả năng truyền mô men lớn thích hợp với việc khoan các giếng khoan có đường kính lớn trung bình, chiều sâu lớn.

Một số loại máy khoan xoay đang sử dụng phổ biến ở trong nước:

- Máy khoan vít - vi sai: ZUB -150, XJ-100, XJ-1.
- Máy khoan xoay thủy lực: ZUB 300, ZUB 650, ZUB 1200, ZUB 2000, YKδ-500C, CKδ-4, CδA-500, XY-1, XY-2, KO KEN-100, OP-1, LONGYEAR-38 và LONGYEAR-48.
- Máy khoan roto: URB-3AM, URB-2.5A, URB-4P.

#### **2.2.2. Máy khoan đập**

Căn cứ vào phương pháp đập, có các loại máy khoan đập sau:

- Máy khoan đập cấp;
- Máy khoan đập cân (khoan động).

Các máy khoan đập cấp thích hợp cho việc khoan các giếng khoan khai thác đường kính lớn, các máy khoan đập cân thích hợp với việc khoan các giếng có đường kính nhỏ hoặc khoan thăm dò xác định địa tầng.

Một số loại máy khoan đập đang được sử dụng phổ biến ở trong nước hiện nay là YKC-22M, YKC-30M, YГδ-3YK.

### **2.2.3. Máy khoan xoay đập**

Căn cứ vào loại búa đập được sử dụng và vị trí của nó, có các loại máy khoan xoay đập sau:

- Máy khoan xoay đập búa đập thủy lực ở trên mặt;
- Máy khoan xoay đập búa đập ở dưới đáy;
- Máy khoan xoay đập búa đập khí nén.

Các máy khoan xoay đập thủy lực búa đập ở trên mặt có chiều sâu khoan và đường kính nhỏ, thích hợp với việc khoan qua các tầng đất đá cứng và rất cứng.

Các máy khoan xoay đập thủy lực búa đập ở dưới đáy thích hợp với việc khoan các giếng khoan sâu, chủ yếu là trong thăm dò và khai thác dầu khí.

Các máy khoan xoay đập khí nén thích hợp với việc khoan đá cứng và rất cứng, chiều sâu khoan có thể tới một vài trăm mét. Tùy thuộc loại búa đập sử dụng, đường kính giếng khoan có thể từ 76mm đến 300mm.

Đối với các máy khoan xoay đập, ngoài máy khoan chính, trong thành phần của tổ hợp thiết bị khoan còn phải có thêm bơm dầu thủy lực, bơm bùn hoặc máy nén khí (tùy thuộc vào loại máy khoan) để cung cấp năng lượng cho búa đập.

Các máy khoan xoay đập về cơ bản giống thiết bị khoan xoay. Các thiết bị khoan xoay có thể được nối thêm búa đập khí nén phù hợp để áp dụng phương pháp khoan xoay đập khí nén.

Một số máy khoan đập và búa đập khí nén đang được sử dụng phổ biến ở nước ta hiện nay là:

- + Máy khoan đập: CδY-100Г, CδY-100N, CδY-100P, YBM, KOKEN.
- + Búa đập: П-105; П-125; DH125; DH150; DH 200; DH 250; DH 300.

### **2.2.4. Máy bơm**

Đối với các phương pháp khoan xoay bơm rửa và khoan đập thủy lực búa đập ở dưới đáy, trong thành phần của thiết bị khoan còn có thêm máy bơm bùn để bơm dung dịch làm mát lưỡi khoan, bôi trơn dụng cụ khoan và vận chuyển mùn khoan lên mặt hoặc cung cấp năng lượng cho búa đập thủy lực.

Các máy bơm bùn sử dụng cho khoan có thể được lắp đồng bộ trên máy khoan hoặc được lắp đặt và vận chuyển riêng lẻ. Đặc điểm chủ yếu của các máy bơm bùn sử dụng trong khoan giếng là có áp lực cao (đến 60 kg/cm<sup>2</sup>), lưu lượng tới 400 ÷ 500 lít/phút và có khả năng bơm được dung dịch có tỷ trọng cao, hàm lượng cát lớn. Tùy thuộc vào đường kính và chiều sâu khoan giếng mà có thể lựa chọn máy bơm có lưu lượng và áp lực hợp lý.

Một số máy bơm thông dụng: HГP250/50, HИP300/50, HГP350/50, Hδ-32, Иδ3-120/40, Hδ4-160/63, Hδ2- 63/40.

### **2.2.5. Máy nén khí**

Đối với phương pháp khoan xoay đập khí nén, trong thành phần của thiết bị khoan còn có thêm máy nén khí để cung cấp năng lượng cho búa đập, làm mát mũi khoan ở dưới đáy và vận chuyển mùn khoan lên mặt.

Tùy thuộc vào loại búa đập, sử dụng máy nén khí có lưu lượng và áp suất phù hợp. Dưới đây là một số máy nén khí thông dụng: DK-9M, PR-10, PV-10, DK-661, DK-660, PS150, PS200.

## **2.3. Kết cấu giếng khoan**

### **2.3.1. Các thành phần cơ bản của một giếng thăm dò, khai thác nước ngầm**

Một giếng thăm dò, khai thác nước ngầm được thiết kế hoàn chỉnh bao gồm các thành phần sau:

- Ống chống bảo vệ;
- Ống chống khai thác;
- Ống lọc;
- Ống lắng;
- Lớp vật liệu lọc (cát lọc hoặc sỏi lọc);
- Lớp cách ly (sét hoặc hỗn hợp xi măng sét);
- Ống tiếp sỏi;
- Ống quan trắc mực nước trong giếng.

Tuy nhiên, trên thực tế, tùy thuộc vào mục đích sử dụng giếng (giếng thăm dò, khai thác, quan trắc), điều kiện địa tầng... mà các thành phần của một kết cấu giếng có thể thay đổi.

### **2.3.2. Các thành phần cơ bản của kết cấu giếng**

#### **1. Ống chống tạm và ống chống khai thác**

Vai trò của ống chống tạm là bảo vệ thành giếng khoan, ổn định địa tầng trong quá trình khoan giếng, đồng thời bảo vệ giếng khỏi sự xâm nhập của nước mặt và nước ngầm từ các tầng không khai thác phía trên xuống tầng khai thác và giếng. Đối với ống chống khai thác ngoài các nhiệm vụ trên nó còn có chức năng là tạo ra một ống dẫn nước trong giếng và bảo vệ máy bơm trong quá trình khai thác.

Vật liệu chế tạo ống chống tạm và ống chống khai thác có thể bằng các loại ống thép cacbon thông dụng, ống thép cacbon cường độ cao, ống thép mạ kẽm, ống nhựa PVC, hoặc ống inox. Việc sử dụng loại ống nào được căn cứ vào mục đích sử dụng giếng, mức độ ăn mòn nước dưới đất, chiều sâu giếng và hiệu quả kinh tế để cân nhắc lựa chọn. Việc sử dụng ống PVC để kết cấu giếng cần đặc biệt chú ý tới độ dày thành ống và áp lực phá hoại.



## 2. Ống lọc

Nhiệm vụ của ống lọc là thu nhận nước từ các tầng chứa nước, ngăn cản các hạt cát, mảnh vụn và vật liệu lọc không cho xâm nhập vào giếng, đồng thời ổn định địa tầng và bảo vệ thành giếng trong quá trình khai thác. Các loại ống lọc thông dụng bao gồm:

- Ống lọc trần khoan lỗ;
- Ống lọc khoan lỗ, quấn dây;
- Ống lọc khoan lỗ, bọc lưới;
- Ống lọc "Johnson";
- Ống lọc xẻ rãnh;
- Ống lọc bọc sỏi.

Vật liệu chế tạo ống lọc có thể là thép cacbon, thép cacbon mạ kẽm, inox hoặc vật liệu PVC. Riêng đối với loại ống lọc bọc sỏi còn bao gồm cả lớp vật liệu lọc nằm giữa hai lớp ống lọc.

Ống lọc Johnson được chế tạo chủ yếu bằng inox hoặc thép cacbon mạ kẽm, các dây quấn có tiết diện hình tam giác được quấn xung quanh lớp trong ống và được hàn theo phương pháp hàn tiếp xúc tạo thành một rãnh lọc liên tục, mặt cắt rãnh hình tam giác, đỉnh ở phía ngoài. Một trong những ưu điểm nổi bật của loại ống lọc này là ngăn ngừa sự lấp nhét làm tắc rãnh lọc trong quá trình khai thác đảm bảo hiệu quả hoạt động lâu dài của giếng. Hiện nay việc sử dụng ống lọc này để lắp đặt cho các giếng khai thác nước, đặc biệt là trong tầng cát hạt mịn, hạt trung đang trở nên phổ biến và tỏ ra rất có hiệu quả.

## 3. Lớp vật liệu lọc

Vai trò của lớp vật liệu lọc là ổn định địa tầng và tạo ra một tầng lọc ngược ở vùng cận phía ngoài của ống lọc, có tác dụng ngăn không cho các hạt mịn từ tầng chứa nước xâm nhập vào giếng trong quá trình khai thác.

Đối với những giếng mà tầng chứa nước là các tầng đá ổn định có thể không cần lớp vật liệu lọc để đơn giản cho quá trình bơm rửa phát triển giếng. Vật liệu lọc có cấp phối thành phần hạt tùy thuộc vào cấp phối thành phần hạt của tầng chứa nước.

## 4. Lớp cách ly

Nhiệm vụ của lớp cách ly là ổn định và bảo vệ địa tầng các tầng không khai thác, bảo vệ cột ống chống, bảo vệ hoặc cột ống chống khai thác, cách ly nước mặt và nước ngầm không đảm bảo chất lượng từ các tầng không khai thác với giếng và các tầng chứa nước khai thác.

Lớp cách ly có thể được lắp đặt bằng vật liệu sét viên, dung dịch vữa xi măng - sét hoặc dung dịch xi măng. Lớp cách ly được lắp đặt tại chỗ trong quá trình thi công giếng bằng cách nhồi khi dùng sét viên hoặc trám khi dùng dung dịch.

### **3.3.3. Một số loại kết cấu giếng điển hình**

#### **1. Kết cấu giếng có lớp vật liệu lọc được bọc hoàn chỉnh**

Đặc điểm của loại kết cấu này là giếng có lớp vật liệu lọc được lắp đặt hoàn chỉnh đến miệng giếng. Ưu điểm của kiểu kết cấu này là đơn giản trong quá trình thi công, cho phép bổ sung vật liệu lọc trong quá trình khai thác, chi phí xây dựng thấp. Kiểu kết cấu này đang được áp dụng tương đối phổ biến.

#### **2. Kết cấu giếng có lớp vật liệu lọc bọc một phần**

Đặc điểm của kiểu kết cấu này là lớp vật liệu lọc chỉ được lắp đặt một phần trên toàn bộ chiều sâu giếng, phần còn lại của ống chống khai thác được trám lớp cách ly và được lắp đặt ống nạp vật liệu lọc. Việc bổ sung vật liệu lọc trong quá trình khai thác được thực hiện qua ống nạp. Phía ngoài ống chống bảo vệ được trám cách ly. Kiểu kết cấu này thích hợp với các giếng khai thác có tầng chứa nước sâu, việc chống cột ống chống bảo vệ và lắp đặt lớp cách ly tới chiều sâu lớn sẽ tốn kém.

#### **3. Kết cấu giếng có ống lọc lồng**

Kiểu kết cấu này có đặc điểm là phía ngoài ống chống khai thác được trám lớp vật liệu cách ly và ống lọc được lắp đặt lồng vào trong ống khai thác bằng một dụng cụ chuyên dùng. Kiểu kết cấu này đòi hỏi đường kính ống chống khai thác phải đủ lớn để lắp đặt ống lọc và lớp vật liệu lọc. Việc bổ sung vật liệu lọc trong quá trình khai thác phức tạp hơn so với hai kiểu kết cấu giếng được mô tả ở trên. Kiểu ống lọc này thích hợp với các giếng khoan sâu, được khoan bằng phương pháp khoan xoay hoặc khoan đập cấp.

#### **4. Kết cấu giếng có ống lọc lồng trong giếng được khoan doa mở rộng đường kính ở phần dưới (khoan bung)**

Kiểu kết cấu này tương tự như kiểu kết cấu đã được mô tả ở mục 2.3, chỉ khác là phần giếng khoan phía dưới ống chống khai thác được khoan doa mở rộng đường kính lớn hơn đường kính trong của ống chống khai thác. Kiểu kết cấu này cho phép lắp đặt ống lọc có đường kính lớn và lớp vật liệu lọc có chiều dày lớn hơn. Việc khoan doa mở rộng đường kính ở phía dưới được thực hiện bằng chông khoan chuyên dùng kiểu "khoan bung". Kiểu kết cấu này thích hợp với phương pháp khoan xoay, tầng chứa nước nằm sâu và yêu cầu đường kính ống lọc, chiều dày lớp vật liệu lọc lớn.

#### **5. Kết cấu giếng có ống lọc bố trí phân tầng**

Kiểu kết cấu này có ống lọc được bố trí phân đoạn phù hợp với sự phân bố của các tầng chứa nước, các đoạn ống lọc được nối với nhau bởi các đoạn ống chống khai thác. Kiểu kết cấu này cho phép tiết kiệm ống lọc trong điều kiện các giếng khai thác trong các tầng chứa nước phân bố kiểu xen kẽ giữa các tầng cách nước dày. Tuy nhiên trong một số trường hợp, kiểu kết cấu này không cho phép bổ sung vật liệu lọc trong quá trình khai thác, vì vậy

đòi hỏi việc lắp đặt lớp vật liệu lọc trong quá trình thi công giếng phải đảm bảo lắp đầy khoảng vành khăn giữa thành giếng và ống lọc, ống lọc phải nằm ở trung tâm của giếng.

#### *6. Kết cấu giếng kiểu đánh sập tự nhiên, ống lọc được đục lỗ tại chỗ*

Đặc điểm của kiểu kết cấu này là ống chống khai thác được lắp đặt đồng thời với quá trình khoan bằng phương pháp đóng, nén hoặc tự rơi. Sau khi kết thúc quá trình khoan, một phần của cột ống chống khai thác nằm đối diện với tầng chứa nước dự định khai thác sẽ được đục lỗ tại chỗ để tạo thành ống lọc bằng các thiết bị đục lỗ chuyên dùng. Ưu điểm của kiểu kết cấu này là cho phép thi công giếng trong các tầng trầm tích bờ rời mà việc bảo vệ thành giếng trong quá trình khoan bằng dung dịch khoan tỏ ra kém hiệu quả. Kiểu kết cấu này thích hợp với phương pháp khoan đập cấp vừa khoan vừa chống ống và tầng chứa nước có cấp phối thành phân hạt cho phép tạo tầng lọc ngược tự nhiên trong quá trình bơm rửa phát triển giếng. Tuy nhiên kiểu kết cấu này đòi hỏi phải có thiết bị đục lỗ chuyên dùng và việc lựa chọn kiểu ống lọc bị giới hạn bởi phương pháp đục lỗ ống lọc.

#### *7. Kết cấu giếng kiểu đánh sập tự nhiên có ống lọc được lắp đặt sau khi khoan hoặc trong quá trình khoan*

Khác với kiểu kết cấu được nêu trên, ống lọc đã được chế tạo sẵn trước khi lắp đặt. Việc lắp đặt ống lọc được thực hiện trong các tầng khoan bằng cách lắp dẫn ống lọc trong khi khoan hoặc lắp đặt sau khi kết thúc quá trình khoan bằng cách rút cột ống chống tạm. Kiểu kết cấu này thích hợp với các giếng nông, chiều dài đoạn ống lọc ngắn và áp dụng phương pháp khoan đập cấp.

#### *8. Kết cấu giếng trong tầng đá gốc không có ống lọc*

Đặc điểm của kiểu kết cấu này là ống chống khai thác được lắp đặt tới mái của tầng đá gốc chứa nước và phía ngoài được trám một lớp cách ly. Phần phía dưới của giếng được để trần không lắp đặt ống lọc. Kiểu kết cấu này thích hợp với các giếng khai thác trong tầng đá gốc ổn định, tiết kiệm chi phí lắp đặt ống lọc và vật liệu lọc. Tuy nhiên thời gian bơm rửa phát triển giếng phải đủ lớn để đảm bảo làm sạch giếng.

#### *9. Kết cấu giếng trong tầng đá gốc có ống lọc*

Khác với kiểu kết cấu vừa được nêu trên, phần phía dưới giếng nằm trong đá gốc chứa nước được lắp đặt ống lọc và lớp vật liệu lọc để bảo vệ và ổn định tầng chứa nước. Kiểu kết cấu này thích hợp với các giếng khai thác trong đá gốc nứt nẻ, thành giếng không ổn định hoặc chứa nhiều vật liệu mịn.

### **2.3.4. Phân loại kết cấu giếng**

Một số phương pháp phân loại kết cấu giếng đơn giản:

i) Theo mối quan hệ giữa chiều dài ống lọc và chiều dày của tầng chứa nước có các loại sau:

- Giếng có kết cấu hoàn chỉnh: ống lọc được đặt đối với toàn bộ chiều dày của tầng chứa nước.

- Giếng có kết cấu không hoàn chỉnh: ống lọc chỉ được đặt trong một phần của tầng chứa nước.

ii) Theo kiểu lắp đặt ống lọc có các loại sau:

- Kết cấu giếng có ống lọc lồng: ống lọc thả lồng vào trong lòng của ống khai thác.

- Kết cấu giếng có ống lọc được nối liền cùng với ống chống khai thác.

iii) Theo sự phân bố của các đoạn ống lọc có các loại sau:

- Giếng có kết cấu ống lọc liên tục: ống lọc được bố trí liên tục.

- Giếng có kết cấu ống lọc phân đoạn: ống lọc bố trí thành các đoạn không liên tục.

## **2.4. Thiết kế giếng khoan**

### **2.4.1. Một số vấn đề chung**

Một giếng khai thác tốt là thành quả cuối cùng của một quá trình lập đi lập lại từ việc xem xét mục đích và các đặc điểm địa chất thủy văn, địa tầng; quá trình thi công, hoàn thiện giếng đến các quy trình vận hành và bảo dưỡng giếng sau khi đưa giếng vào vận hành.

Việc thiết kế giếng được căn cứ vào yêu cầu mục đích sử dụng giếng, các đặc điểm về điều kiện địa chất, địa chất thủy văn, yêu cầu về bảo vệ giếng và tầng chứa nước, thiết bị và phương pháp khoan giếng, các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành... đồng thời còn chịu ảnh hưởng từ kinh nghiệm có được từ các giếng lân cận đã được thi công và vận hành trước đây.

Chức năng của một giếng khai thác là tạo ra một ống dẫn nước từ tầng chứa nước lên mặt đất và ống dẫn đó phải được thiết kế để đạt được các mục tiêu sau:

i) Lưu lượng của giếng phải phù hợp với lưu lượng yêu cầu của máy bơm và đặc tính của tầng chứa nước.

ii) Đạt được lưu lượng thiết kế với hiệu quả giếng cao nhất.

iii) Nước được khai thác từ giếng cho chất lượng ở mức độ chấp nhận được và bảo vệ giếng cũng như tầng chứa nước không bị ô nhiễm, suy thoái.

iv) Nâng cao tối đa tuổi thọ của giếng, kéo dài chu kỳ bảo dưỡng một cách hợp lý và đạt được hiệu quả kinh tế.

### **2.4.2. Một số nhân tố ảnh hưởng tới quá trình thiết kế giếng**

#### **1. Các điều kiện địa chất thủy văn**

Trên cơ sở các tài liệu đã có, kinh nghiệm từ các giếng đã được thi công, việc đánh giá các điều kiện địa chất thủy văn là mối quan tâm hàng đầu của quá trình thiết kế giếng. Công việc này nhằm mục đích thu thập các thông tin sơ bộ cần thiết cho việc thiết kế giếng.

Các điều kiện địa chất thủy văn của khu vực, các thông số của tầng chứa nước, cột địa tầng của giếng khoan là những nhân tố cơ bản cho việc thiết kế khoan giếng và cấu trúc giếng, các thông tin này cần được cập nhật trong quá trình thi công hiện trường và một số thông số của giếng sẽ được điều chỉnh cho phù hợp với thực tế trong quá trình thi công.

## *2. Mục đích sử dụng giếng*

Mặc dù các tiêu chuẩn cao cho việc thi công và vận hành giếng luôn là điều cần thiết, song mục đích sử dụng sẽ ảnh hưởng tới một số thông số trong quá trình thiết kế giếng bao gồm tuổi thọ, hàm lượng cát và chất lượng nước có thể chấp nhận được. Ngoài ra khi chức năng các giếng là khác nhau thì các yêu cầu về kỹ thuật cho chúng cũng khác nhau.

## *3. Chế độ vận hành giếng*

Đối với các giếng khai thác, chế độ vận hành giếng ảnh hưởng tới việc thiết kế giếng. Chế độ vận hành liên tục trong ngày sẽ kéo theo tốc độ suy thoái giếng lớn và chu kỳ bảo dưỡng giếng ngắn lại. Vì vậy trong những điều kiện cho phép nên lựa chọn chế độ vận hành hợp lý.

## *4. Phương pháp và thiết bị khoan*

Các phương pháp khoan và thiết bị khoan giếng ảnh hưởng đến quá trình lựa chọn cấu trúc giếng để đảm bảo khả năng thực thi dự án.

### **4.4.3. Một số điểm cần chú ý khi thiết kế cấu trúc giếng khai thác**

#### *1. Lựa chọn loại kết cấu giếng*

Tùy thuộc vào cột địa tầng dự kiến, đặc điểm của tầng chứa nước ... lựa chọn kiểu kết cấu giếng. Nhìn chung trong những điều kiện cho phép nên chọn kiểu kết cấu giếng đơn giản, dễ thi công.

#### *2. Ống chống khai thác và ống chống bảo vệ*

Đường kính của ống chống bảo vệ phải đủ lớn để cho phép lắp đặt ống chống khai thác; chiều sâu chống ống căn cứ vào cột địa tầng và phải đủ lớn để bảo vệ được thành giếng trong quá trình thi công, bảo vệ giếng khỏi bị ô nhiễm bởi nước mặt hoặc từ các tầng chứa nước không khai thác phía trên trong quá trình khai thác.

Đối với ống khai thác, đường kính trong của ống phải được chọn đủ lớn để đảm bảo lắp đặt thiết bị bơm giếng khai thác theo tiêu chuẩn của nhà cung cấp đồng thời phải đảm bảo vận tốc dòng nước trong ống trong quá trình khai thác không được lớn hơn 1.5m/s. Chiều sâu chống ống khai thác căn cứ vào cột địa tầng thực tế, mực nước tĩnh, mực nước động, chiều sâu lắp đặt máy bơm và các dự kiến về giảm mực nước động trong quá trình khai thác đồng thời còn phải quan tâm tới chiều sâu lắp đặt ống lọc và bảo vệ được giếng trong quá trình khai thác. Ngoài ra, khi chọn đường kính ống khai thác cần phải xem xét đến điều kiện thi công, thiết bị và phương pháp khoan giếng.

Loại ống chống bảo vệ và ống chống khai thác được chọn căn cứ vào chiều sâu chống, các tính chất lý hoá, mức độ ăn mòn của nước dưới đất và môi trường chung tại khu vực giếng. Các loại ống này có thể được chế tạo bằng thép cacbon thường, thép cacbon mác cao, thép không rỉ, thép mạ kẽm hoặc PVC.

### 3. Ống lọc

Loại ống lọc được lựa chọn căn cứ vào đặc điểm của tầng chứa nước, chiều sâu chống ống lọc và các tính chất lý hoá của nước dưới đất. Tùy thuộc vào đặc điểm của tầng chứa nước, có thể chọn ống lọc trần, ống lọc trần quấn dây, ống lọc trần quấn lưới, ống lọc có rãnh liên tục hoặc rãnh không liên tục thẳng đứng. Vật liệu chế tạo ống lọc có thể là thép cacbon, thép mạ kẽm, inox hoặc PVC.

Chiều dài ống lọc được lựa chọn căn cứ vào lưu lượng thiết kế giếng, chiều dây và sự phân bố của các tầng chứa nước. Nhìn chung khi tầng chứa nước không quá dày, chiều dài và sự phân bố các đoạn ống lọc thường phù hợp với chiều dây và sự phân bố của các tầng chứa nước khai thác. Đường kính ống lọc được lựa chọn để đảm bảo tổng diện tích độ mở của ống lọc đủ lớn để tốc độ dòng nước chảy vào giếng không vượt quá giới hạn cho phép. Khe hở của rãnh lọc hoặc đường kính lỗ ống lọc trần được lựa chọn căn cứ vào cấp phối thành phần hạt và hệ số đồng nhất của địa tầng. Nhìn chung khi độ hạt càng nhỏ thì khe hở rãnh lọc hoặc đường kính lỗ lọc càng nhỏ và ngược lại. Độ mở của ống lọc có quan hệ với khe hở rãnh lọc hoặc đường kính lỗ lọc và được chọn để vừa đảm bảo vận tốc giới hạn của dòng chảy đồng thời đảm bảo các giới hạn về độ bền của ống lọc mà chủ yếu là áp lực băng hoại và lực kéo đứt.

Nhìn chung trên thị trường có nhiều loại ống lọc đang được sử dụng để lấp đặt cho các giếng khai thác, các loại ống lọc sản xuất trong nước thường do các đơn vị tự gia công, các thông số và chất lượng không đảm bảo cho việc sử dụng lâu dài, tốc độ suy thoái giếng nhanh, các loại ống nhập khẩu thường có chất lượng cao hơn, trong số đó có thể kể đến loại ống lọc có rãnh liên tục được chế tạo bằng phương pháp hàn, tiết diện rãnh hình tam giác đỉnh ở phía ngoài theo kiểu ống lọc Johnson. Do kiểu thiết kế rãnh lọc này hạn chế quá trình lấp nhét và làm giảm tốc độ suy thoái giếng. Đây là một trong những loại ống lọc mà trong quá trình thiết kế cần xem xét lựa chọn để đảm bảo hiệu quả làm việc lâu dài của giếng.

### 4. Lớp vật liệu lọc

Các thông số cần được tính toán lựa chọn đối với lớp vật liệu lọc bao gồm: Chiều dài lấp đặt, cấp phối và bề dày của lớp vật liệu lọc. Chiều dài lớp vật liệu lọc tùy thuộc vào kiểu kết cấu giếng được lựa chọn. Trong những điều kiện cho phép nên lựa chọn giải pháp lấp đặt lớp vật liệu lọc tới bề mặt để đảm bảo vững chắc việc bổ sung vật liệu lọc trong quá trình bơm rửa phát triển giếng và khai thác sau này.

Cấp phối thành phần hạt của vật liệu lọc được chọn căn cứ vào cấp phối và hệ số đồng nhất của địa tầng. Khi độ hạt của địa tầng càng nhỏ thì độ hạt của vật liệu lọc cũng càng

nhỏ và ngược lại. Chiều dày của lớp vật liệu lọc phải đảm bảo trị số tối thiểu tùy thuộc vào chiều sâu lấp đặt, độ hạt và phương pháp lấp đặt lớp vật liệu lọc.

### *5. Lớp cách ly*

Tùy thuộc vào điều kiện thi công thực tế có thể lựa chọn lớp cách ly bằng sét chèn hoặc trám trực tiếp. Khi áp dụng giải pháp tạo lớp cách ly bằng sét chèn thì khe hở giữa ống chông (khai thác hoặc bảo vệ) và thành giếng phải đủ lớn để đảm bảo điều kiện tối thiểu cho công việc chèn sét, giải pháp này thường chỉ nên áp dụng cho trường hợp chiều sâu lớp cách ly nhỏ. Các trường hợp còn lại nên chọn giải pháp trám trực tiếp tạo lớp cách ly. Vật liệu trám có thể là dung dịch sét, dung dịch sét - xi măng hoặc dung dịch xi măng. Tuy nhiên khi áp dụng giải pháp trám trực tiếp cần chú ý để vật liệu trám không xâm nhập vào tầng chứa nước hoặc lớp vật liệu lọc.

### *6. Đường kính và chiều sâu khoan giếng*

Việc thiết kế đường kính khoan giếng thường căn cứ vào đường kính ngoài của ống lọc và chiều dày lớp vật liệu lọc để chọn cấp đường kính khoan giếng cuối cùng (trừ phương pháp khoan bung). Khi giếng thiết kế đổ sỏi, tùy thuộc chiều sâu khoan, cấp phối vật liệu lọc, đường kính giếng khoan phải lớn hơn đường kính ngoài của ống lọc tối thiểu 100 mm để đảm bảo khe hở lấp đặt lớp vật liệu lọc.

Tùy thuộc chiều sâu giếng, cột địa tầng, đường kính ngoài của các ống chống khai thác, ống chống bảo vệ và sơ đồ cấu trúc giếng, xuất phát từ đường kính cuối cùng của giếng mà lựa chọn các cấp đường kính tiếp theo cho hợp lý. Tuy nhiên một cấu trúc tối ưu là một cấu trúc đơn giản với sự thay đổi cấp đường kính là ít nhất.

Chiều sâu khoan giếng tùy thuộc vào chiều sâu lấp đặt kết cấu giếng và phải đảm bảo cho phép lấp đặt kết cấu chính xác tới chiều sâu đã được thiết kế.

## **2.5. Một số vấn đề kỹ thuật khoan và lấp đặt kết cấu giếng**

### **5.1. Kỹ thuật khoan giếng**

#### *1. Khoan xoay bơm rửa*

##### *a) Khoan thăm dò xác định địa tầng*

Trừ khi cột địa tầng đã được tìm hiểu một cách rõ ràng, công việc khoan giếng thường được bắt đầu từ việc khoan thăm dò lấy mẫu xác định địa tầng. Công việc này nhằm khẳng định hoặc chính xác hoá các điều kiện địa tầng đã được dự kiến nhằm điều chỉnh thiết kế giếng.

Để đạt mục đích này, một mặt phải áp dụng công nghệ lấy mẫu phù hợp đối với từng tầng đất đá để đảm bảo tỷ lệ lấy mẫu không nhỏ hơn 70% so với chiều dài mỗi hiệp khoan, đồng thời phải thường xuyên theo dõi tình trạng làm việc của máy khoan. mùn khoan để kết hợp với mẫu làm cho việc xác định cột địa tầng thêm tin cậy.

Tùy theo loại đất đá mà sử dụng các bộ dụng cụ lấy mẫu khác nhau:

Đối với các tầng sét, bột sét hoặc cát pha dính kết, sử dụng các bộ ống mẫu hai, ba nòng với phương pháp khoan bơm rửa hoặc bộ ống mẫu đơn với phương pháp khoan khô, hiệp khoan ngắn.

Đối với các tầng bờ rời, cát cuội sỏi sử dụng bộ ống mẫu đơn với phương pháp khoan khô hiệp khoan ngắn hoặc sử dụng bộ dụng cụ lấy mẫu kiểu "hom". Tuy nhiên việc đảm bảo tỷ lệ lấy mẫu trong tầng này vẫn là vấn đề khó khăn.

Đối với các tầng cát bờ rời, cát chảy, sử dụng bộ dụng cụ lấy mẫu kiểu ống mức có van.

Đối với các tầng đá nứt nẻ, không ổn định sử dụng bộ ống mẫu đơn, ống mẫu hai nòng hoặc ba nòng.

Khi khoan trong các tầng đá cứng chắc việc sử dụng bộ ống mẫu đơn để lấy mẫu là hợp lý nhất.

Bằng việc áp dụng các công nghệ lấy mẫu mới sử dụng các bộ ống mẫu ba nòng cho phép lấy mẫu hiệu quả trong các tầng dính kết hoặc đá nứt nẻ. Tuy nhiên việc lấy mẫu trong các tầng bờ rời (cát, cát sạn sỏi...) vẫn còn là vấn đề khó khăn. Trong những trường hợp này yêu cầu tối thiểu là phải xác định được ranh giới biến đổi của địa tầng và lấy được mẫu nguyên trạng về thành phần hạt để thí nghiệm.

Về mặt chế độ khoan:

Mục đích chính của quá trình này là lấy mẫu xác định địa tầng, vì vậy ngoài việc lựa chọn công nghệ lấy mẫu hợp lý, các thông số của chế độ khoan phải được điều chỉnh hợp lý để đạt tỷ lệ lấy mẫu. Khi khoan lấy mẫu trong các tầng trầm tích, thông số lưu lượng nước rửa đôi khi quyết định tới tỷ lệ mẫu. Nhìn chung lưu lượng nước rửa nên không chế tối thiểu để không phá huỷ mẫu, đồng thời đủ để vận chuyển mùn lên mặt đất.

Khi khoan lấy mẫu trong các tầng đá nứt nẻ không ổn định, thông số tốc độ quay của bộ dụng cụ khoan sẽ quyết định tới tỷ lệ mẫu. Trong trường hợp này phải giảm tốc độ quay tới trị số tối thiểu hợp lý để không phá huỷ mẫu.

Khi khoan trong các tầng đá cứng chắc cần phải tăng tốc độ quay và tải trọng đáy để đạt tốc độ khoan cao.

#### *b) Khoan doa mở rộng đường kính*

Tùy thuộc đường kính giếng khoan đã được thiết kế, việc khoan doa sẽ được tiến hành một cách tuần tự theo các cấp đường kính khác nhau theo thứ tự tăng dần.

Theo tiêu chuẩn thông dụng, đường kính chông khoan có các cấp sau:

D112, D118, D132, D146, D151, D190, D214, D243, D295, D346, D394, D445, D494, D630.

Căn cứ vào loại máy khoan sử dụng và tình trạng của bộ dụng cụ khoan, tùy thuộc đường kính thiết kế có thể lựa chọn các cấp khoan doa hợp lý.



Thông thường nên chọn các cấp khoan doa theo trình tự sau: D146 (D151), D190 (D243), D295 (D346), D394 (D445), D494 (D630).

Khi khoan doa mở rộng đường kính qua các tầng trầm tích bở rời, một trong các yếu tố quan trọng nhất là đảm bảo sự ổn định thành giếng cho quá trình khoan. Tùy trường hợp cụ thể có thể ổn định bằng dung dịch sét hoặc bằng biện pháp chống ống tạm. Khi đường kính khoan càng lớn, đòi hỏi tải trọng đáy và độ bền vững của cột cần khoan càng cao và nhiều khi phải lắp thêm bộ cần nặng để tăng tải trọng đáy.

Ngoài ra khi khoan đường kính lớn phải có thêm bộ ống dẫn hướng trong thành phần của bộ dụng cụ khoan để đảm bảo độ thẳng tâm của giếng đồng thời tăng trọng lượng bản thân cho bộ dụng cụ khoan. Nhìn chung khi khoan đường kính lớn, để vận chuyển mùn khoan và làm sạch giếng đòi hỏi phải kết hợp giữa việc điều chỉnh các thông số của dung dịch và lưu lượng nước rửa phải đủ lớn. Máy bơm bùn phải sử dụng loại có lưu lượng và áp lực cao.

Khi khoan đường kính lớn qua các tầng đá cứng chắc, mức độ bền vững của cột cần khoan và tải trọng lên đáy quyết định hiệu quả của công tác khoan. Do tải trọng đáy lớn, đường kính lớn nên đòi hỏi độ cứng của cột cần khoan và trọng lượng bản thân của nó phải lớn (khi sử dụng các máy khoan roto). Thường trong trường hợp này sử dụng bộ cần khoan đường kính lớn và lắp thêm cần nặng, ống dẫn hướng. Khi đất đá càng cứng tải trọng đáy càng phải cao và ngược lại.

## *2. Khoan xoay đập khí nén*

Phương pháp khoan này chỉ áp dụng cho các tầng đá không cho phép lấy mẫu xác định địa tầng và chỉ khoan một cấp để đạt đường kính thiết kế. Đối với phương pháp này, loại búa đập phải được chọn phù hợp với đường kính chông và các thông số (P, Q) của máy nén khí phải phù hợp với yêu cầu của búa đập.

Năng suất khoan chủ yếu phụ thuộc vào tải trọng đáy và tần số đập. Tuy nhiên trong quá trình khoan theo chu kỳ cần thiết phải dừng quá trình khoan tạo lỗ dùng khí nén để đẩy mùn khoan lên khỏi giếng chống tạo nút mùn. Khi khoan sâu, mực nước ngầm trong giếng cao, việc đưa bộ dụng cụ khoan xuống đáy phải thận trọng để tránh mùn khoan trong giếng lấp nhét vào chông khoan và búa đập. Tùy thuộc lượng mùn khoan còn lại trong đáy, thông thường khi bộ dụng cụ khoan cách đáy 20 ÷ 30m phải dừng lại và thực hiện thổi rửa lại giếng. Khi bộ dụng cụ khoan gần sát đáy phải thực hiện thả bộ dụng cụ cùng với việc bơm khí nén qua búa đập.

Phương pháp khoan này chỉ thích hợp với đá cứng, vì vậy thông thường phải kết hợp với phương pháp khoan xoay bơm rửa. Ở những phân trên của giếng nằm trong các tầng phong hoá hoặc các tầng trầm tích bở rời trước khi khoan vào tầng đá gốc.

### *3. Khoan đập cát*

Phương pháp này thích hợp với việc khoan các giếng đường kính lớn, trong các tầng trầm tích bờ rời, cát chảy mà việc bảo vệ thành giếng bằng dung dịch sét hoặc sự tuần hoàn nước rửa bị giới hạn (mất nước).

Để bảo vệ thành giếng có thể áp dụng giải pháp vừa khoan vừa chống ống (khoan trong ống) hoặc dùng đất sét.

Biện pháp vừa khoan vừa chống ống đôi khi là biện pháp duy nhất để khoan qua tầng cát chảy. Trong trường hợp này, dùng ống mức để mức đất đá trong cột ống chống tạm và ống chống có thể tự rơi hoặc được đóng xuống để bảo vệ thành giếng.

Khi khoan qua các tầng đất đá cứng chắc, phải dùng chông để đập vỡ đất đá dưới đáy trước khi dùng ống mức cố van để mức mùn khoan. Đối với phương pháp này, năng suất khoan qua các tầng đá cứng phụ thuộc chủ yếu vào việc điều chỉnh thông số trọng lượng và chiều cao của bộ dụng cụ đập.

#### **2.5.2. Lắp đặt kết cấu giếng**

Để việc lắp đặt kết cấu giếng được đảm bảo đúng thiết kế, trong trường hợp thành giếng được ổn định bằng dung dịch sét, công tác chuẩn bị cho quá trình lắp đặt phải hoàn thành trước khi kết thúc quá trình khoan giếng. Trong những trường hợp cho phép, trước khi lắp đặt kết cấu giếng thực hiện bơm tuần hoàn để làm loãng một phần dung dịch khoan đồng thời nhanh chóng lắp đặt kết cấu.

Tùy thuộc các loại ống được lựa chọn, việc nối ống có thể bằng mối nối ren hoặc mối nối hàn. Khi lắp đặt, ngoài việc phải đảm bảo mối nối kín chắc, một yếu tố quan trọng khác là yêu cầu các ống được nối với nhau phải thẳng tâm và tâm của cột ống thẳng với tâm của giếng khoan.

Sau khi kết thúc quá trình lắp đặt kết cấu thực hiện việc bơm rửa giếng khoan, sơ bộ làm loãng dung dịch tới mức có thể và đổ vật liệu lọc. Việc đổ vật liệu lọc thường được đổ thông qua một ống PVC. Ống đổ được đưa tới gần sát chiều sâu cần lắp đặt, sau đó đổ tuần tự theo từng lớp, mỗi lớp có chiều dài tối đa không quá 5m tùy thuộc chiều sâu. Trong quá trình lắp đặt vật liệu lọc đồng thời bơm hút nước từ giếng để một mặt tiếp tục làm loãng dung dịch, mặt khác để lớp vật liệu lọc được sắp xếp ổn định trên toàn bộ chiều dài và bề mặt ngoài ống lọc.

Kết thúc quá trình đổ vật liệu lọc phải bơm hút với lưu lượng lớn để tiếp tục làm ổn định lớp lọc đồng thời kiểm tra chiều cao của lớp lọc, nếu thiếu tiếp tục bổ sung vật liệu lọc. Đối với kiểu kết cấu không cho phép bổ sung vật liệu lọc trong quá trình khai thác thì quá trình ổn định và bổ sung vật liệu lọc càng đòi hỏi nghiêm ngặt. Đối với kiểu kết cấu này việc lắp đặt lớp vật liệu lọc đôi khi là yếu tố quyết định tới hiệu quả và tuổi thọ của giếng.

Đối với các giếng khoan áp dụng biện pháp ổn định thành giếng bằng ống chống tạm, trước khi lắp đặt kết cấu và lớp vật liệu lọc nên bơm rửa giếng sạch để đảm bảo cho quá trình bơm rửa phát triển giếng được đơn giản.

## **2.6. Bơm rửa phát triển giếng**

Bơm rửa phát triển giếng là một công đoạn không thể thiếu đối với bất kỳ một giếng nào cho dù là giếng quan trắc, thăm dò hay khai thác.

Quá trình này bao gồm các giai đoạn: Giai đoạn trước thổi rửa, thổi rửa sơ bộ, thổi rửa hoàn tất. Nhìn chung quá trình thi công giếng đòi hỏi phải thi công liên tục không gián đoạn và công việc thổi rửa giếng cần phải bắt đầu ngay sau khi lắp đặt lớp vật liệu lọc. Việc kéo dài thời gian bắt đầu bơm rửa phát triển giếng sau khi đã lắp đặt vật liệu lọc sẽ là nguy cơ cho công việc bơm rửa phát triển giếng.

Mục đích của quá trình bơm rửa phát triển giếng là làm sạch dung dịch khoan và mùn khoan trong khe hở của ống lọc, trong lớp vật liệu lọc, thành giếng khoan và trong tầng chứa nước; tạo ra một mặt tiếp xúc thủy lực có hiệu quả giữa lớp lọc và tầng chứa, sắp xếp lại và làm ổn định lớp vật liệu lọc.

### **2.6.1. Giai đoạn trước khi thổi rửa**

Công việc này được bắt đầu ngay sau khi kết thúc quá trình khoan, cần nhanh chóng kiểm tra tình trạng dung dịch trong giếng, sơ bộ làm loãng dung dịch, kết cấu giếng, sau đó tiếp tục làm loãng dung dịch và lắp đặt vật liệu lọc. Khi thành giếng đã có thể được bảo đảm ổn định, tiến hành ngay các công việc bơm tuần hoàn trong giếng dùng ống mức mức nước trong giếng và tiếp tục bơm tuần hoàn sơ bộ làm sạch dung dịch. Quá trình này kết thúc khi lớp vật liệu lọc đã tương đối ổn định, dung dịch trong giếng đã sơ bộ được làm sạch và nước đã chảy vào trong giếng.

### **2.6.2. Thổi rửa sơ bộ**

Hiệu quả của việc thổi rửa sơ bộ tùy thuộc vào đặc điểm của tầng chứa nước, kinh nghiệm của thợ khoan và đôi khi còn phụ thuộc vào trình tự của quy trình thổi rửa. Tuy nhiên việc thổi rửa sơ bộ có thể bao gồm các công đoạn sau:

#### **1. Thông giếng và tuần hoàn**

Công việc này được thực hiện bằng quá trình bơm nước tuần hoàn trong giếng qua cột cần khoan và phía dưới cùng có lắp một tấm chắn kiểu pit tông. Nước sạch được cung cấp từ máy bơm qua cột cần xuống phía dưới tấm chắn, đi qua ống lọc vào lớp lọc và trở về giếng ở phần trên tấm chắn có tác dụng phá vỡ các cầu nối, làm ổn định lớp lọc, lấp đầy lỗ hổng, lôi kéo các hạt sét và mùn khoan ra khỏi giếng. Công việc này được bắt đầu từ đoạn ống lọc dưới cùng sau đó rút dần lên đoạn trên kế tiếp. Quá trình này được lặp đi lặp lại từ hai đến ba lần dọc theo toàn bộ chiều dài ống lọc và tùy thuộc vào lớp vật liệu lọc có còn

lún nữa hay không. Trong quá trình này cần thường xuyên theo dõi cao trình của lớp lọc, bổ sung vật liệu lọc và đánh giá lượng mảnh vụn, các hạt mịn được lấy ra khỏi giếng.

## 2. Bơm sục

Quá trình này được thực hiện bằng việc bơm nước qua cột cần khoan xuống một công cụ chuyên dùng dạng pit tông kép được lắp ở dưới cột cần. Nước bơm xuống qua các lỗ nằm giữa hai tấm chắn, vào ống lọc, qua lớp vật liệu lọc và vào giếng ở phía trên. Công việc này cũng được thực hiện cho từng đoạn ống lọc có chiều dài tương ứng với khoảng cách giữa hai tấm chắn, từ đoạn ống lọc dưới cùng và tịnh tiến dần lên phía trên. Quá trình này được lập đi lập lại cho tới khi nước bơm lên mang theo một lượng đáng kể các hạt sét và mảnh vụn hoặc lớp vật liệu lọc đã ổn định.

## 3. Nhồi giếng bằng pit tông

Một bộ dụng cụ kiểu pit tông có van dưới đáy được đưa xuống giếng bằng cột cần khoan hoặc bằng cáp. Gioăng của pit tông có đường kính nhỏ hơn đường kính trong của ống lọc không quá 15mm. Dùng tời máy khoan kéo lên thả xuống từng đoạn ngắn bắt đầu từ đỉnh của ống lọc và tịnh tiến xuống dần cho tới khi hết chiều dài ống lọc. Tốc độ nhồi phải đủ lớn để tăng hiệu quả của quá trình nhồi, tuy nhiên trong quá trình thao tác cần thận trọng tránh làm hỏng ống lọc.

## 4. Thổi rửa bằng khí nén

Quy trình thổi rửa bằng khí nén bao gồm ba thao tác và có thể được phối hợp làm nhiều cách: Tạo xung, bơm thổi khí và bơm dâng vệt cặn.

*Tạo xung:* Khí nén đủ áp suất được bơm vào giếng để tạo ra cột nước lẫn bọt khí dâng lên khỏi miệng giếng hoặc gần tới miệng giếng rồi đóng van khí lại để cột nước trong giếng đập trở lại qua ống lọc.

*Thổi khí:* Quy trình tương tự như trên nhưng thời gian thổi khí lâu hơn để nước tràn qua miệng giếng.

*Bơm dâng vệt cặn:* Thao tác này chỉ nhằm mục đích vệt sạch cát và các mảnh vụn dưới đáy giếng.

Thiết bị và dụng cụ để thổi rửa bằng khí nén bao gồm:

- Máy nén khí;
- Bộ dụng cụ elip;
- Ống thoát nước.

Máy nén khí phải có áp suất và lưu lượng đủ lớn để thổi rửa giếng với lưu lượng nước được bơm lên lớn hơn tối thiểu 1,5 lần lưu lượng khai thác thiết kế. Bộ dụng cụ elip bao gồm ống cao su dẫn khí, ống dẫn khí, ống nâng hoặc bao gồm cả dụng cụ kiểu pit tông, vòi

phun khí chuyên dùng lắp dưới ống nâng hoặc ống dẫn khí tùy thuộc các thao tác thổi rửa áp dụng. Ống thoát nước được dùng để dẫn nước ra các vị trí thoát nước đã thiết kế.

Khi bắt đầu quá trình thổi rửa, thực hiện thao tác tạo xung và bắn khí, vị trí của ống khí đặt trong hoặc ngay trên đỉnh của ống lọc. Chuyển động rối loạn của các bọt khí trong giếng sẽ khuấy trộn lớp vật liệu lọc xung quanh ống lọc. Quá trình này sẽ tiếp tục sắp xếp, làm ổn định lớp lọc đồng thời mùn khoan và dung dịch khoan còn lại tiếp tục được rửa sạch. Trong trường hợp cần bắn khí, một vòi phun khí được lắp đặt tại vị trí cuối cùng của ống dẫn khí và khí nén với vận tốc cao qua vòi phun này sẽ sục qua ống lọc vào lớp vật liệu lọc và sục rửa chúng hiệu quả hơn.

Khi kết hợp tạo xung với bơm, ống khí được đặt ngang với vùng sẽ thổi rửa, ống nâng đặt cao hơn ống khí khoảng 1,0 ÷ 1,5m và khí nén được bơm vào giếng thành từng đợt để tạo xung. Quá trình này được tiến hành cho tới khi người vận hành đánh giá là ống lọc đã được thông, không bị tắc, sau đó thực hiện quá trình bơm dâng vét cạn bằng cách đưa ống nâng xuống dưới ống khí khoảng vài mét.

Quá trình tạo xung nên làm cho từng đoạn ống lọc để tăng cường hiệu quả. Để thực hiện điều này, phần dưới cùng của ống nâng nên đục lỗ và lắp đặt hai vòng đệm kiểu pit tông ở hai đầu để ngăn cách đoạn này.

Trong trường hợp các biện pháp thổi rửa nêu trên không cải thiện đáng kể lưu lượng của giếng, cần thiết phải xử lý giếng bằng các chất làm tan keo tụ trong giếng. Các hoá chất để xử lý thông dụng là dung dịch polyphosphat. Dung dịch này được đưa vào giếng và ngâm tối thiểu 24 giờ sau đó bắt đầu các công đoạn thổi rửa đã nêu trên.

Trong một số trường hợp để cải thiện lưu lượng giếng khai thác trong các tầng đá gốc khe nứt, có thể áp dụng biện pháp ép nước để tăng độ thông thoáng của hệ thống khe nứt trong vùng cận ống lọc.

### **2.6.3. Thổi rửa hoàn tất**

Kết quả của quá trình bơm thổi rửa sơ bộ là yếu tố cơ bản trong việc chọn phương pháp sử dụng và thời gian cần thiết cho thổi rửa hoàn tất giếng. Lưu lượng bơm rửa thường bắt đầu từ tỷ lệ nhỏ và tăng dần đến khi đạt ít nhất 150% lưu lượng bơm khai thác ổn định dự kiến.

Quá trình này bao gồm các đợt bơm lưu lượng ổn định ở các cấp khác nhau kết hợp với sục ngược. Đợt bơm đầu tiên được bắt đầu với lưu lượng khoảng 20% lưu lượng thiết kế dự kiến. Tiến hành bơm lưu lượng ổn định khi thấy nước trong và hàm lượng cát giảm đáng kể sẽ tiến hành ngừng bơm đột ngột để cột nước trong giếng sục ngược trở lại qua ống lọc, chờ khoảng từ 5 phút đến 10 phút (tùy thuộc từng giếng) lại bắt đầu lại quy trình này. Sau một vài đợt thao tác như vừa mô tả, tiếp tục một đợt mới bằng cách tăng lưu lượng bơm. Đợt bơm cuối cùng lưu lượng đạt khoảng 150% lưu lượng thiết kế, nếu kết quả mà nước trong, tỷ lệ lưu lượng ổn định và hàm lượng cát trong giếng đạt yêu cầu thiết kế thì quá trình bơm phát triển giếng được coi như hoàn thành.

Cần lưu ý rằng việc bơm rửa với lưu lượng cao trong những giai đoạn đầu của quá trình bơm rửa có thể là nguy cơ gây tổn thất lưu lượng của giếng và nhiều khi không thể khắc phục được. Trường hợp này được giải thích là do vận tốc dòng nước chảy qua lớp lọc quá cao ngay từ giai đoạn đầu đã giữ lại các hạt mịn của tầng chứa nước và mùn khoan.

Trình tự bơm và sục nước như đã được mô tả phải được tuân thủ với lưu lượng tăng dần. Tuy nhiên quy trình này áp dụng cho các tầng chứa nước lỗ rỗng, đối với các tầng chứa nước khe nứt có thể bơm với lưu lượng lớn ngay từ đầu.

Trong trường hợp khi bơm với lưu lượng lớn mà hàm lượng cát trong nước vẫn còn lớn, điều đó chứng tỏ quá trình bơm rửa giếng chưa đạt yêu cầu.

### **2.7. Công tác vệ sinh công trường và hoàn thiện giếng**

Công việc hoàn thiện giếng bao gồm khử trùng, đổ bê tông xung quanh miệng giếng, lắp đặt máy bơm khai thác hoặc làm nắp bảo vệ giếng, đổ bê tông sân phủ để bảo vệ giếng và tầng chứa nước.

Các công việc này phải được thiết kế và thi công đảm bảo loại bỏ tối đa nguy cơ gây nhiễm bẩn cho giếng trong quá trình khai thác lâu dài. Công tác vệ sinh công trường bao gồm việc hoàn trả mặt bằng thi công, thu dọn mùn khoan, dung dịch thừa và thải nước trong quá trình bơm rửa đúng vị trí đã được thiết kế.

## PHỤ LỤC CHƯƠNG 8

**Bảng 1: Kích thước của ống vách và khớp nối**

Đường ống				Khớp nối		
Đường kính ngoài (mm)	Chiều dày (mm)	Đường kính trong (mm)	Khối lượng 1m (kg)	Đường kính ngoài (mm)	Chiều dài (mm)	Khối lượng 1m (kg)
1	2	3	4	5	6	7
114	6,0	102	16,0	133	191	6,3
	7,0	100	18,5			
	8,0	98	20,9			
	9,0	96	23,3			
127	6,0	115	17,9	147	191	7,3
	7,0	113	20,7			
	8,0	111	23,5			
	9,0	109	26,2			
141	6,0	129	20,0	166	191	8,7
	7,0	127	23,1			
	8,0	125	26,2			
	9,0	123	29,3			
	10,0	121	32,3			
	11,0	119	35,3			
	12,0	119	35,3			
146	6,0	134	20,7	166	191	8,7
	7,0	132	24,0			
	8,0	130	27,2			
	9,0	128	30,4			
	10,0	126	33,5			
	11,0	124	36,6			
	12,0	122	39,7			
159	6,0	147	22,6	179	191	9,0
	7,0	145	26,2			
	8,0	143	29,8			
	9,0	141	33,3			
	10,0	139	36,7			
	11,0	137	40,1			
	12,0	135	43,5			
168	6,0	156	24,0	188	191	9,3
	7,0	154	27,8			
	8,0	152	31,6			
	9,0	150	35,3			
	10,0	148	39,0			
	11,0	146	42,6			
	12,0	144	46,2			
	13,0	142	49,7			
	14,0	140	53,2			

**Bảng 1: (tiếp theo)**

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
194	8,0	178	36,7	216	203	12,5
	9,0	176	41,1			
	10,0	174	45,4			
	11,0	172	49,4			
	12,0	170	53,9			
	13,0	168	58,0			
	14,0	166	62,2			
219	7,0	205	36,6	243	203	15,0
	8,0	203	41,6			
	9,5	200	49,1			
	11,0	197	56,4			
	12,5	194	63,7			
245	7,0	231	41,1	269	203	17,3
	8,0	229	46,8			
	9,5	226	55,2			
	11,0	223	63,5			
	12,5	220	71,7			
273	9,0	255	58,5	298	216	21,5
	10,5	252	68,0			
	12,0	249	77,2			
299	9,0	281	64,4	325	216	24,3
	10,0	279	71,3			
	11,0	277	78,1			
	12,0	275	84,9			
325	9,0	307	70,1	351	229	28,0
	10,0	305	77,7			
	11,0	303	85,2			
	12,0	301	92,6			
351	10,0	331	84,1	376	229	29,0
	11,0	329	92,2			
	12,0	327	100,3			
377	10,0	357	90,5	402	229	31,0
	11,0	355	99,8			
	12,0	353	108,0			
426	10,0	406	102,7	451	229	35,0
	11,0	404	112,6			
	12,0	402	122,5			



**Bảng 2: Ống vách nổi bằng cách hàn**

Đường kính ngoài (mm)	Chiều dày ống (mm)	Đường kính trong (mm)	Trọng lượng 1m (kg)	Đường kính ngoài (mm)	Chiều dày ống (mm)	Đường kính trong (mm)	Trọng lượng 1m (kg)
426	2	412	72,3	630	8	614	122,7
	8	410	82,5		9	612	137,8
	9	408	92,6		10	610	152,9
	10	406	102,6		11	608	167,9
	11	404	112,6		12	606	182,9
	12	402	122,5				
487	7	464	81,3	720	9	702	157,8
	8	462	92,6		10	700	175,0
	9	460	104,1		11	698	192,3
	10	458	115,4		12	696	209,0
	11	456	126,7				
	12	454	137,9				
529	8	513	102,8	820	9	802	180,0
	9	511	115,4		10	800	199,8
	10	509	128,0		11	798	219,5
	11	507	140,5		12	796	239,1
	12	505	153,0				

**Bảng 3: Ống lọc khoan lỗ**

Đường kính ngoài (mm)	Tỉ lệ diện tích lọc (%)	Đường kính lỗ (mm)	Số lượng lỗ trên 1m ống	K/c tâm lỗ theo chiều ngang (mm)	K/c tâm lỗ theo chiều đứng (mm)
1	2	3	4	5	6
168	25	10	1680	25,0	12,5
	35	10	2350	21,0	19,6
	25	12	1170	29,1	15,1
	35	12	1638	25,0	12,6
	25	16	650	40,2	20,0
	35	16	915	34,8	16,4
	25	20	420	51,8	23,8
	35	20	588	43,5	20,4
	25	24	288	57,4	31,1
	35	24	400	51,8	25,0

**Bảng 3 (tiếp theo)**

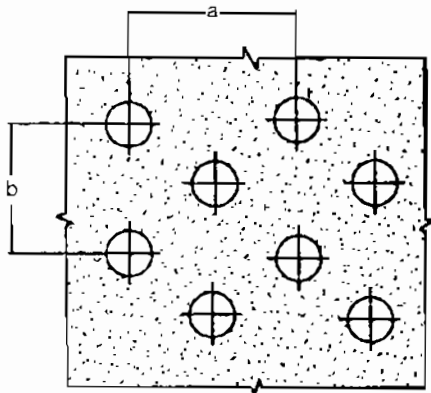
<i>l</i>	2	3	4	5	6
219	25	10	2184	24,4	12,8
	35	10	3069	20,7	10,8
	25	12	1518	29,9	15,2
	35	12	2660	24,5	13,2
	25	16	850	40,1	20,0
	35	16	1200	34,2	16,6
	25	20	546	48,6	25,6
	35	20	768	42,7	20,8
	25	24	374	61,6	29,4
	35	24	546	48,6	25,6
273	25	10	2720	25,1	12,5
	35	10	3840	21,3	10,4
	25	12	1820	28,4	15,9
	35	12	2660	25,5	13,2
	25	16	1071	39,0	20,4
	35	16	1500	34,2	16,7
	25	20	680	50,1	25,0
	35	20	960	42,8	20,8
	25	24	476	60,7	29,4
	35	24	663	50,1	25,6

**Bảng 4: Ống lọc quán dây**

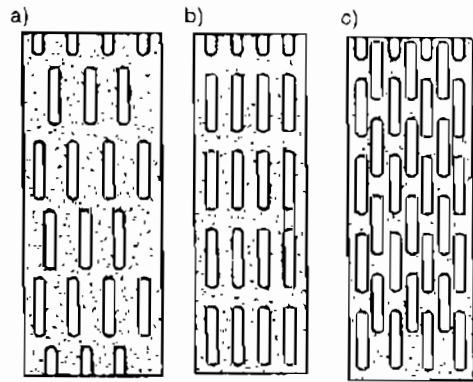
Khoảng cách giữa các vòng dây (mm)	Đường kính dây quán (mm)	Khối lượng dây quán (tính bằng kg) cho 1m ống với các đường kính (tính bằng mm)					Tỉ lệ diện tích lọc (%)
		168	219	273	325	377	
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8
0,5	2	4,9	6,4	7,7	9,1	10,5	20,0
1,0	2	4,2	5,2	6,5	7,4	8,8	33,3
	3	7,1	9,3	11,1	13,0	14,8	25,0
	4	10,3	13,0	12,5	18,5	21,2	20,0
1,5	2	3,5	4,7	4,0	6,5	7,5	42,9
	3	6,4	8,3	10,0	11,6	13,2	33,3
	4	8,8	11,9	14,5	16,8	19,4	27,3
	5	12,0	15,6	19,2	22,2	25,6	23,1

**Bảng 4:** (tiếp theo)

1	2	3	4	5	6	7	8
2,0	2	3,1	4,0	4,8	5,2	6,6	50,0
	3	5,8	7,5	8,8	10,4	11,9	40,0
	4	8,5	10,9	13,3	15,4	17,6	33,3
	5	10,6	12,7	18,6	21,2	24,6	28,6
3,0	2	2,2	3,3	3,7	4,6	5,3	60,0
	3	4,8	6,4	7,0	8,7	10,0	50,0
	4	6,8	9,5	10,8	12,7	14,5	49,2

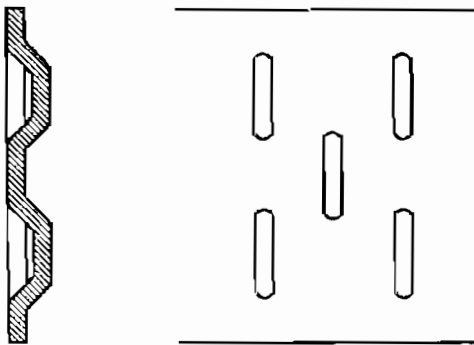


**Ống lọc khoan lỗ tròn**

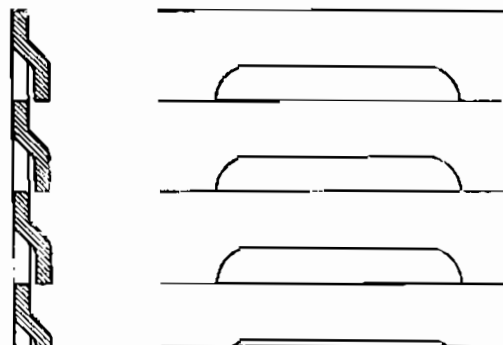


**Ống lọc kiểu khe cửa sổ**

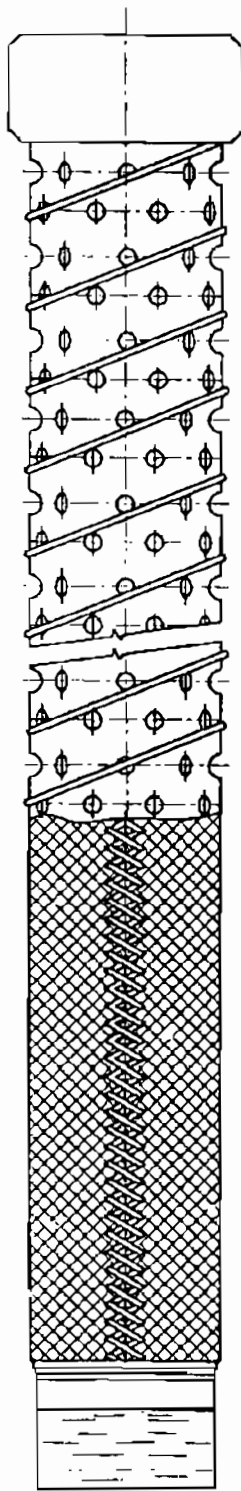
- a) Bố trí so le
- b) Bố trí đối nhau
- c) Bố trí xen kẽ



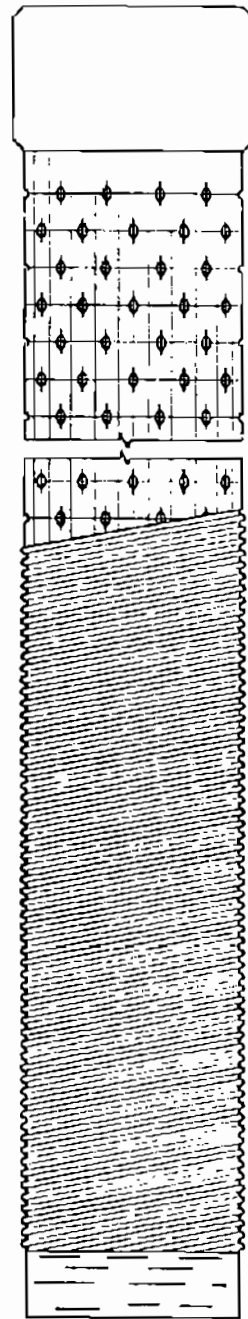
**Ống lọc kiểu khe trống có gờ nổi**



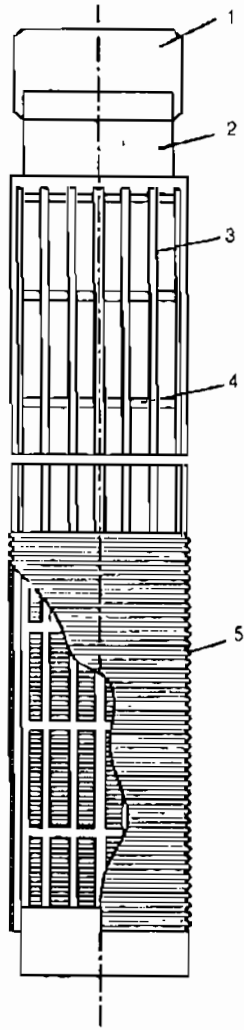
**Ống lọc kiểu khe trống có khe cửa sổ**



Ống lọc bọc lưới

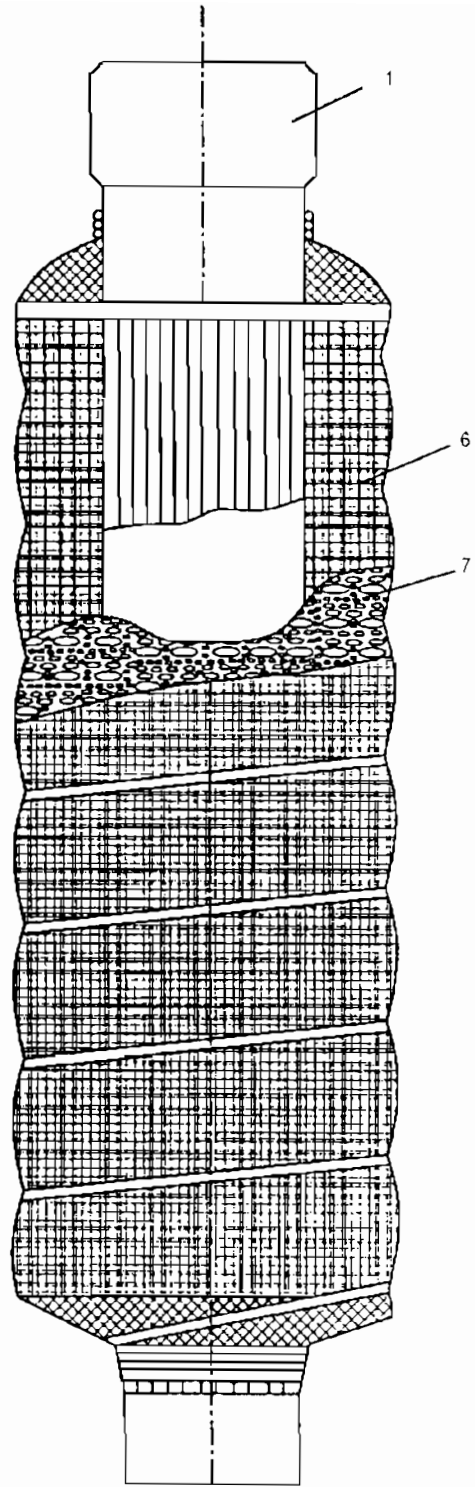


Ống lọc cuốn dây



**Ống lọc khung xương quấn dây**

- 1- Đai nối
- 2- Đầu nối
- 3- Thanh dọc
- 4- Thanh ngang
- 5- Dây quấn



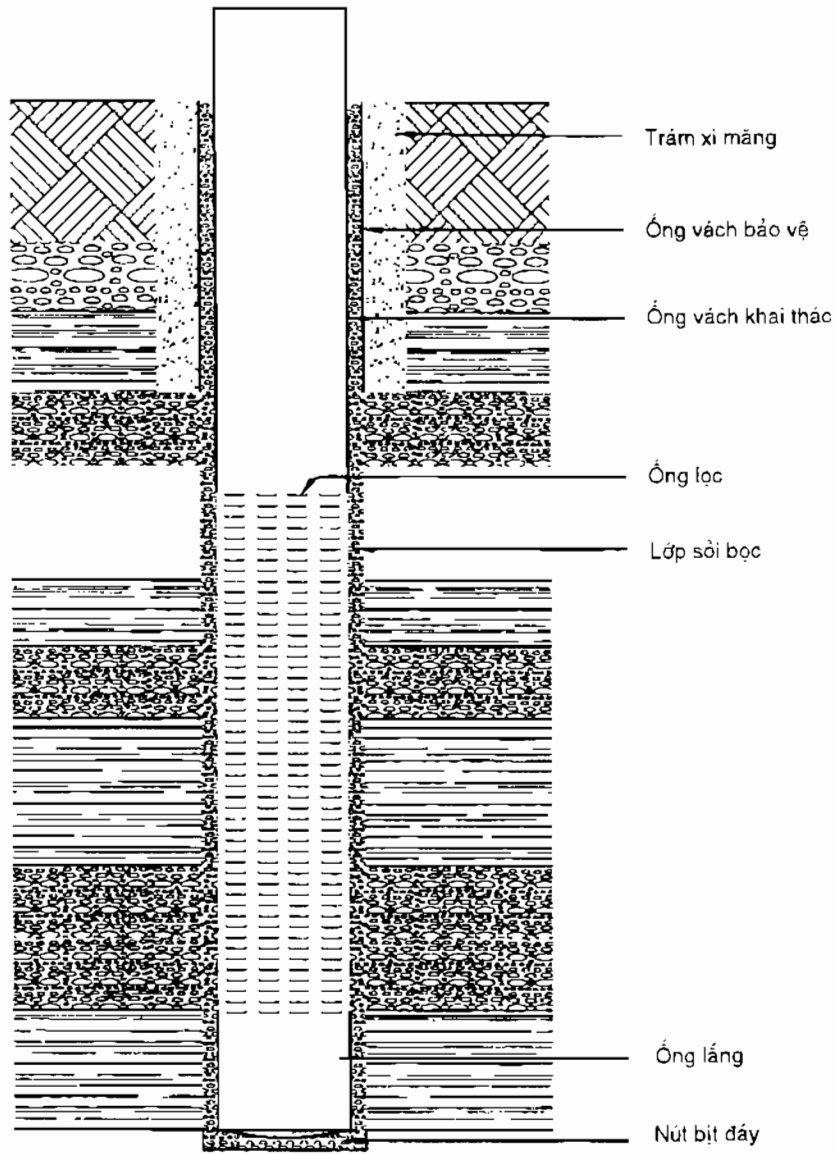
**Ống lọc bọc sỏi**

## KẾT CẤU GIẾNG KHOAN KHAI THÁC VÀ KẾT CẤU ĐỊA TẦNG

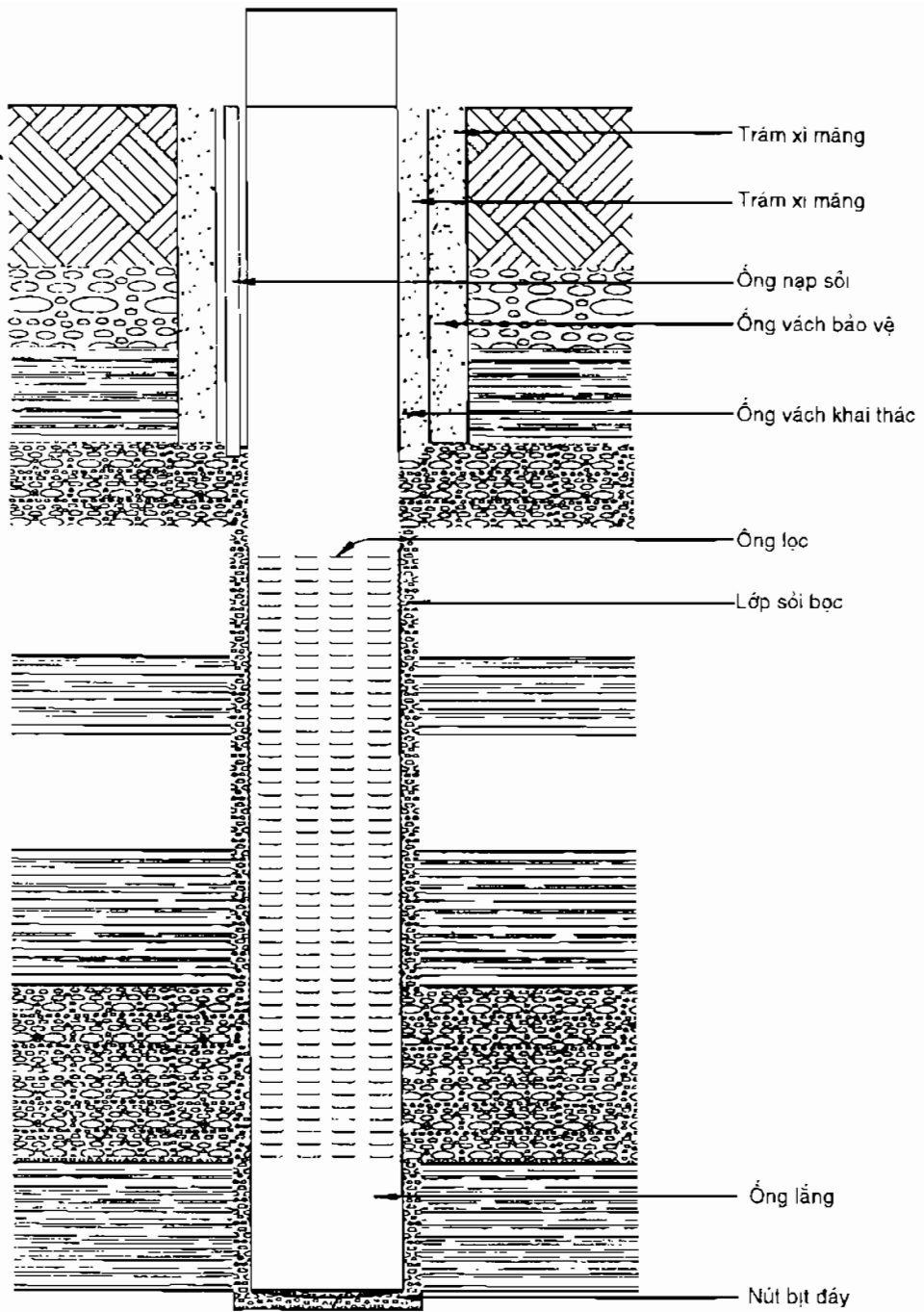
Thứ tự lớp	MÔ TẢ ĐỊA TẦNG		Độ sâu (m)	Chiều dày tầng (m)	KẾT CẤU GIẾNG KHOAN THIẾT KẾ	Độ sâu mực nước (m)
			0,0			
1	Đất phủ	✱ ✱ ✱	5,0	5		
2	Sét, sét pha, cát mịn	[Dotted pattern]	36,0	31		Tĩnh = 8,0 Động = 13
3	Cát pha lẫn sạn	[Diagonal lines]	42,0	6		32,5
4	Cát sạn	[Horizontal lines]	43,0	1		
5	Cát, sạn, sỏi nhỏ	[Diagonal lines]	45,0	2		47,5
6	Cuội sỏi lẫn ít cát	[Dotted pattern]	60,0	5		59,5
7	Neogen dạng sét kết	[Staircase pattern]		>60		61,5

**Ghi chú:**

- 1- Chiều sâu của giếng ghi đơn vị là mét
- 2- Đường kính giếng ghi đơn vị là mm
- 3- Tỷ lệ đứng 1/500
- 4- Tỷ lệ ngang 1/50

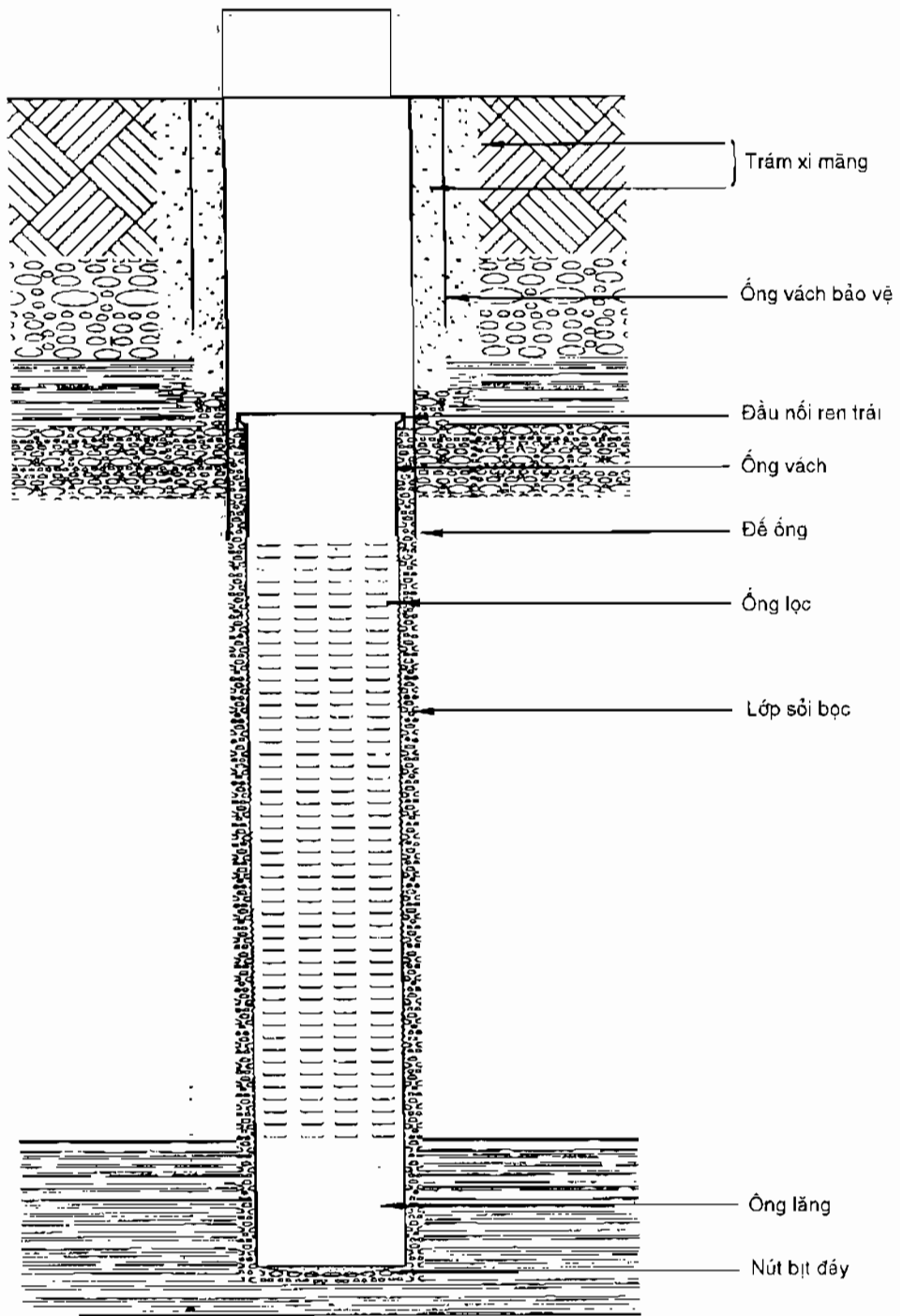


**Giếng có lớp vật liệu lọc bọc hoàn chỉnh**

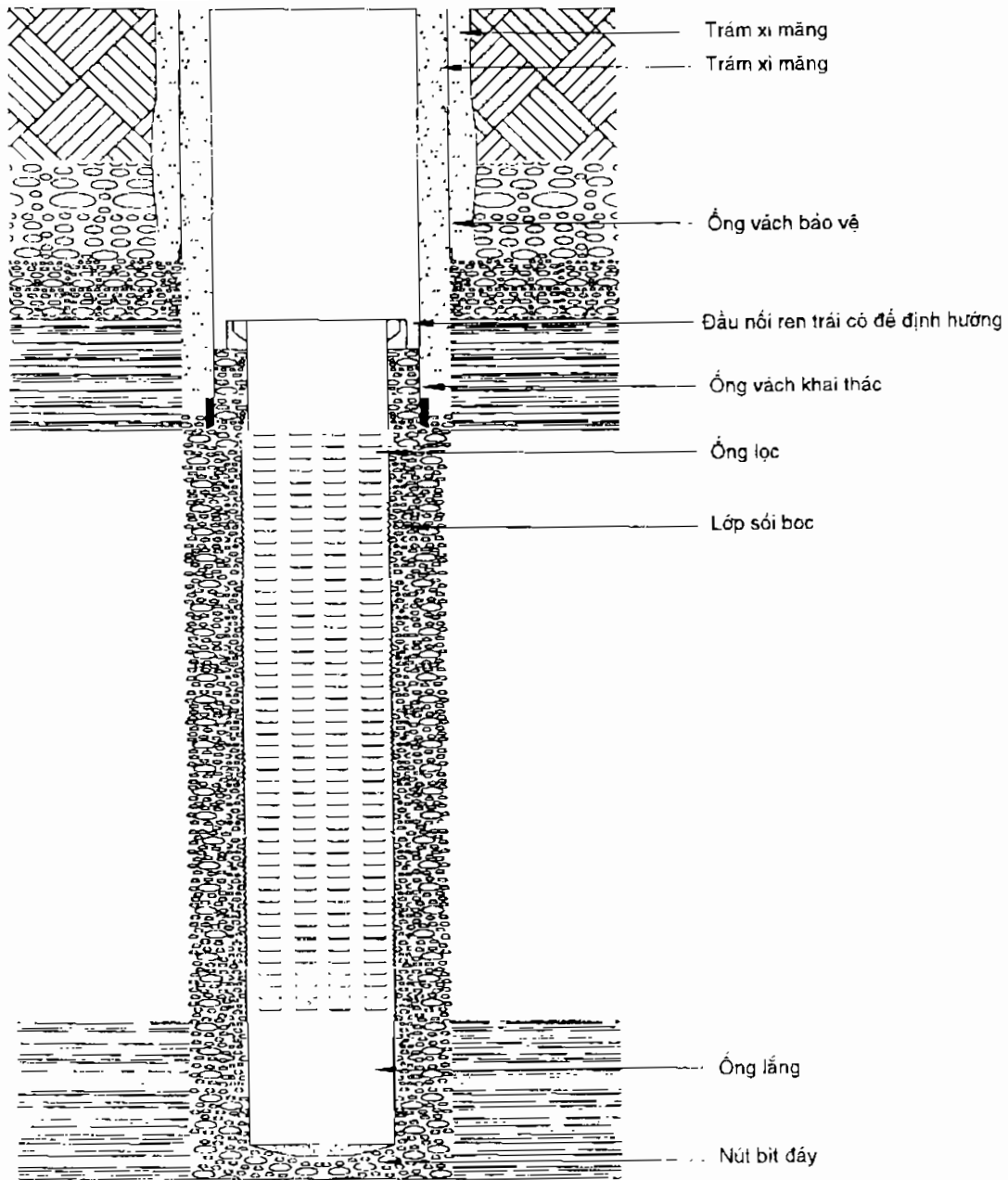


**Giếng có lớp vật liệu lọc bọc một phần**

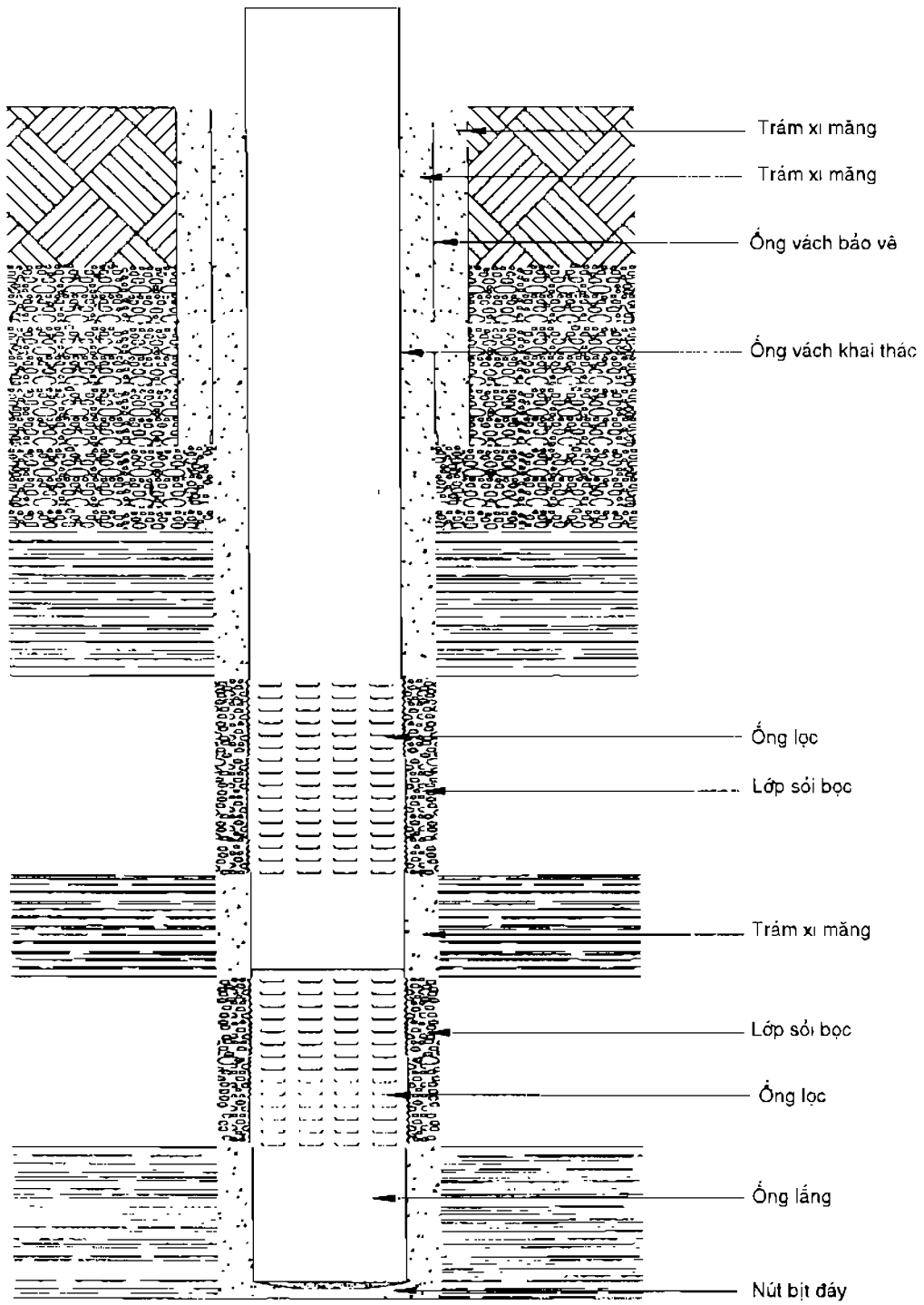




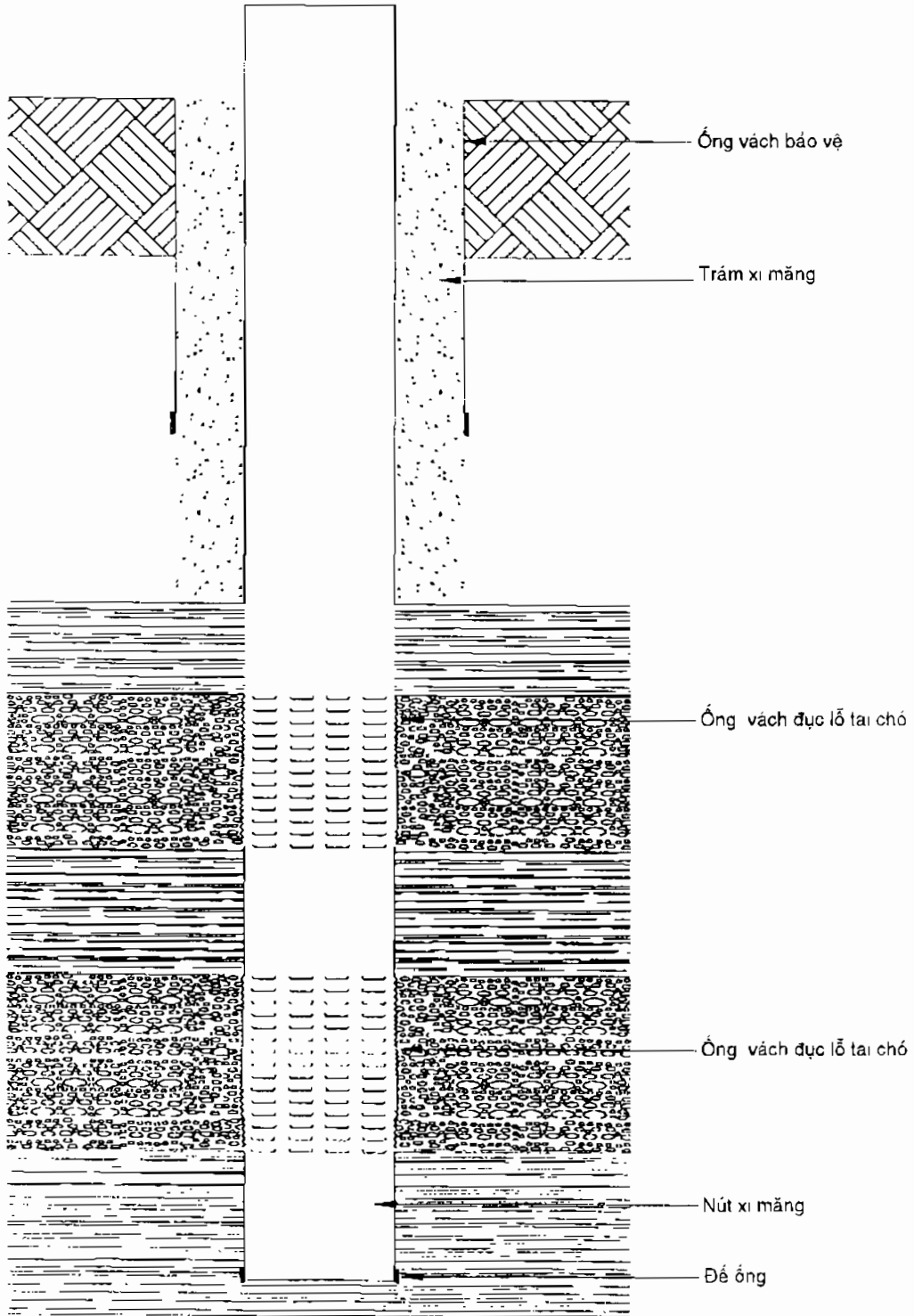
4.1 **Giếng có ống lọc lồng**



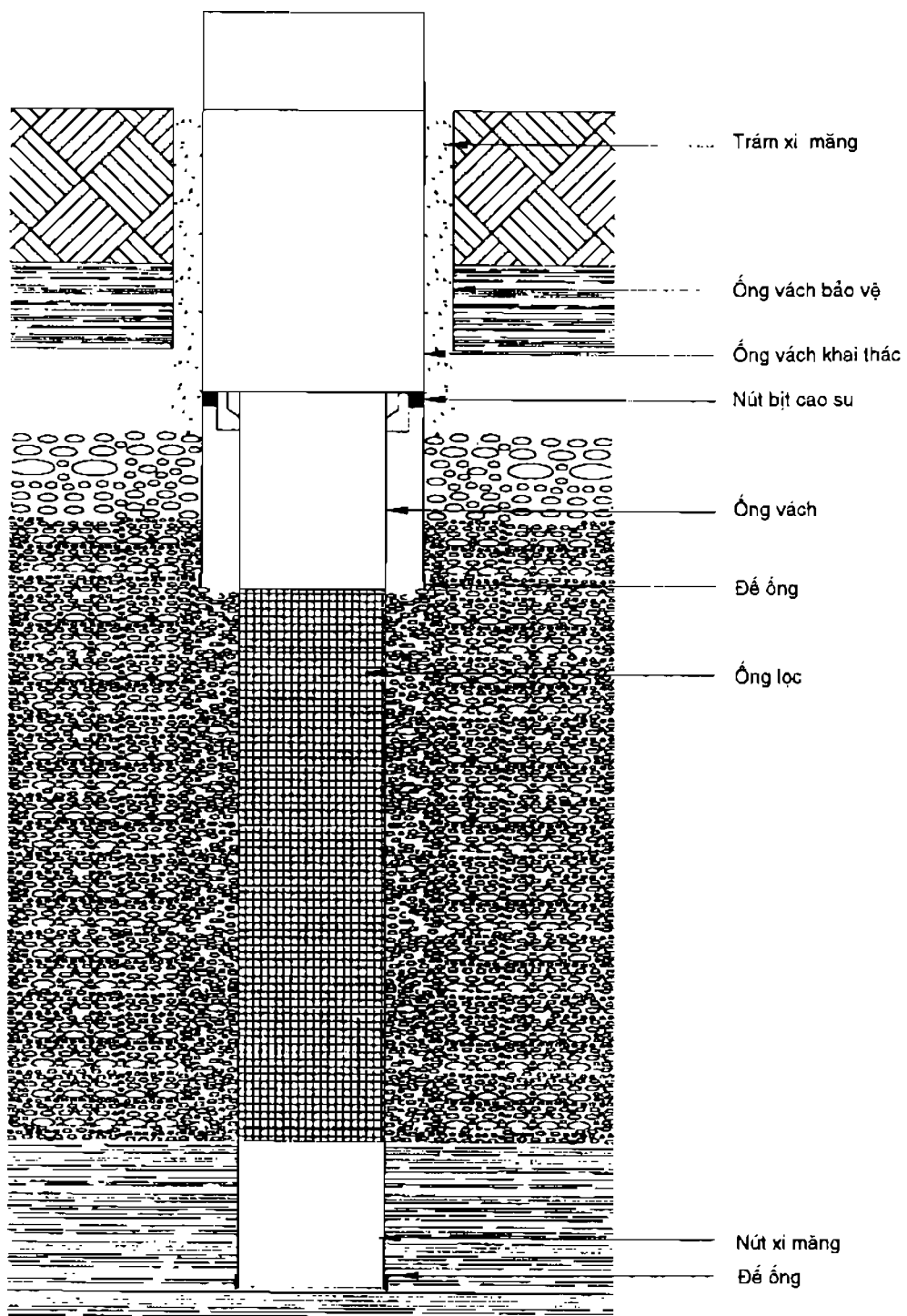
**Giếng có ống lọc lồng trong lỗ khoan doa rộng phần dưới**



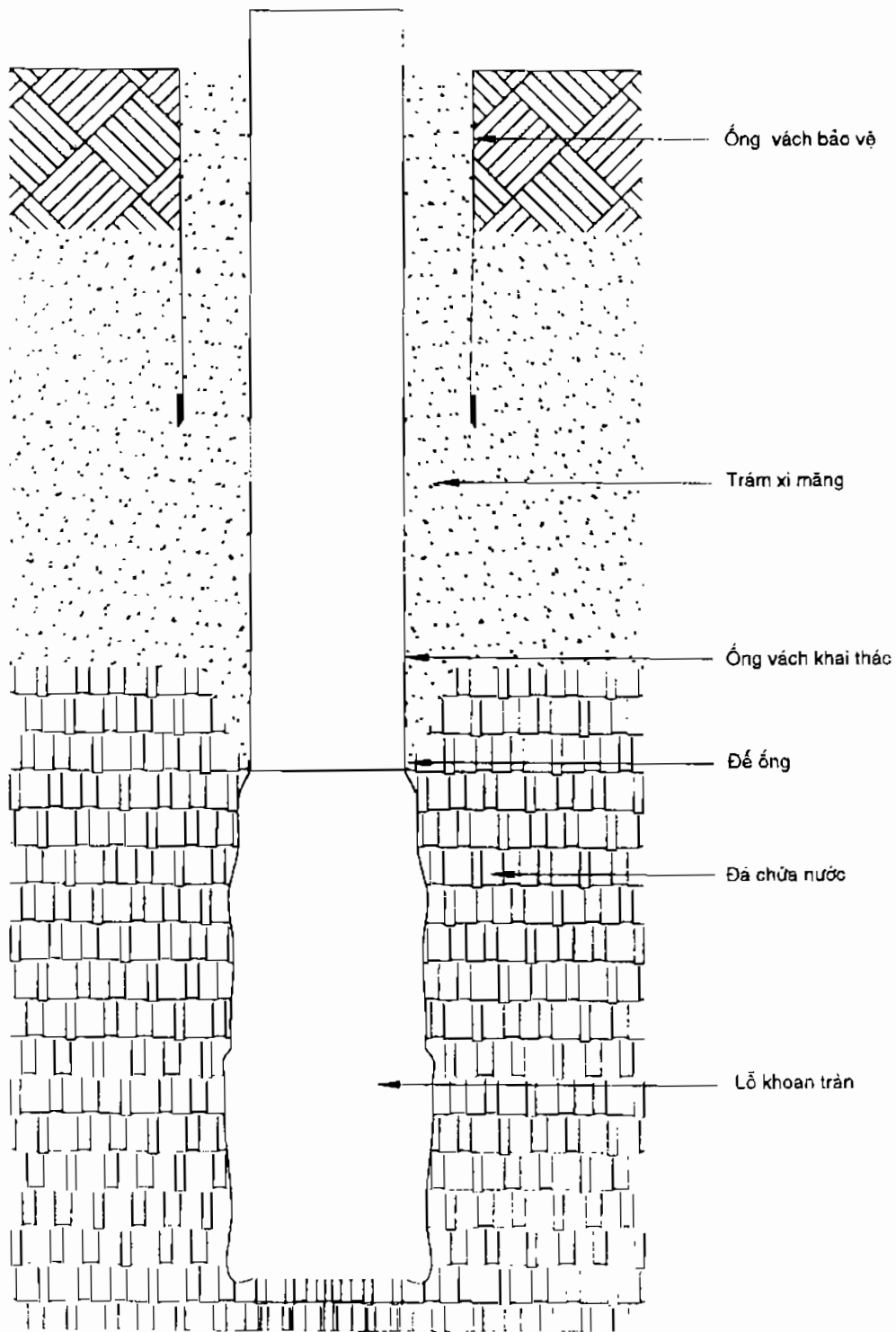
**Giếng có ống lọc bố trí phân tầng**



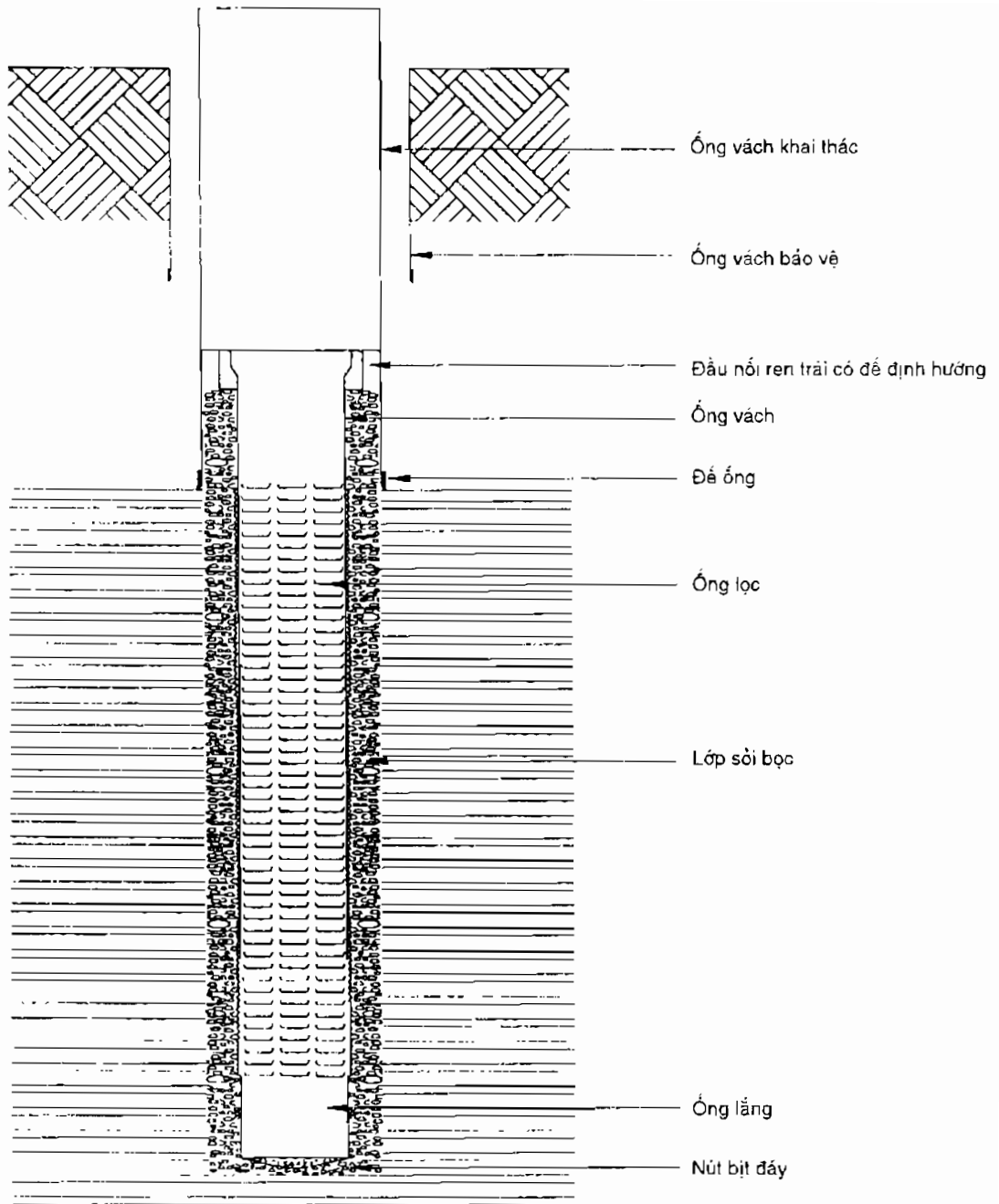
**Giếng đánh sập tự nhiên ống lọc đục lỗ tại chỗ**



**Giếng đánh sập tự nhiên, ống lọc lắp đặt sau khi khoan hoặc trong quá trình khoan**



**Giếng không có ống lọc trong đá gốc**



**Giếng có ống lọc trong đá gốc**

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Công Quang, Vũ Minh Cát - *Giáo trình thủy văn nước dưới đất*, Trường Đại học Thủy lợi, 1991.
2. Cục Địa chất và Khoáng sản - *Đặc trưng động thái nước dưới đất*, 1998.
3. David Keith Todd - *Groundwater Hydrology*, Nhà xuất bản John Wiley & Sons, 1980.
4. Irwin Remson - *Numerical Methods in Subsurface Hydrology*, Nhà xuất bản Trường Đại học Stanford, California, 1971.
5. Jacob Bear and Arnold Verruijt - *Modeling Groundwater Flow and Pollution*, Nhà xuất bản D. Reidel Publishing, 1990.
6. H.M. Raghunath - *Ground Water*, Nhà xuất bản Wiley Eastern Limited, 1983.
7. Nguyễn Kim Ngọc và NNK - *Tài nguyên nước dưới đất lãnh thổ Việt Nam*, 1994.
8. S.P. Garg - *Groundwater and Tube wells*, Nhà xuất bản Oxford & IBH, 1982.
9. William C. Walton - *Groundwater Resources Evaluation*, Nhà xuất bản McGraw-Hill Kogakusha, 1970.



# MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Lời nói đầu	3
<b>Chương I: MỞ ĐẦU</b>	
I. Lịch sử phát triển của thủy văn nước dưới đất	5
II. Sự xuất hiện nước dưới đất	6
2.1. Nước dưới đất trong chu trình thủy văn	6
2.2. Phân loại hệ tầng chứa nước	8
2.3. Phân bố của nước dưới đất theo phương thẳng đứng	10
2.4. Các thành hệ địa chất chứa nước.	15
2.5. Lưu vực tạo nước ngầm	16
III. Nước ngầm ở Việt Nam	16
3.1. Các tầng chứa nước lỗ hổng	17
3.2. Các tầng chứa nước khe nứt trong thành tạo bazan Pliocen - đệ tứ	18
3.3. Các tầng chứa nước khe nứt trong thành tạo lục nguyên Mesozoi	18
3.4. Các tầng chứa nước khe nứt karst trong thành tạo carbonate	19
3.5. Các thành tạo địa chất rất nghèo nước hoặc không chứa nước	19
<b>Chương II: PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN NƯỚC DƯỚI ĐẤT</b>	
I. Phương trình truyền ẩm trong đất	20
1.1. Phương trình cơ bản truyền ẩm trong môi trường không bão hoà	20
1.2. Xác định thông số của mô hình truyền ẩm	24
II. Định luật Darcy	25
III. Phương trình cơ bản dòng chảy trong môi trường bão hoà	27
3.1. Dòng chảy không ổn định trong tầng chứa nước	27
3.2. Phương trình cơ bản đối với tầng chứa có thấm xuyên (tầng bán áp)	30
IV. Một số bài toán thường gặp trong thực tế	31
4.1. Dòng chảy ổn định một chiều đối với tầng ngấm nước không áp, môi trường đồng nhất, đáy không thấm nằm ngang	31
4.2. Đối với tầng ngấm nước có áp, dòng chảy ổn định một chiều, môi trường đồng nhất	32
Bài tập chương II	34

### **Chương III: DÒNG CHẢY VÀO GIẾNG**

I. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng	37
1.1. Các giả thiết cơ bản	37
1.2. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng có áp	37
1.3. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng không áp	39
1.4. Phương trình cơ bản dòng chảy vào giếng có thấm xuyên	39
II. Dòng chảy ổn định vào giếng	40
III. Dòng chảy không ổn định vào giếng có áp	43
3.1. Phương pháp đồ giải Theis	45
3.2. Phương pháp đường quan hệ thời gian và sự hạ thấp cột nước áp lực	46
3.3. Phương pháp Cooper- Jacob	46
3.4. Phương pháp quan trắc sự hồi phục nước giếng	49
IV. Dòng chảy không ổn định vào giếng không áp	50
V. Dòng chảy không ổn định vào giếng có cung cấp thấm	51
5.1. Dòng chảy không ổn định trong tầng có cung cấp thấm không có trữ trong tầng chứa nước yếu - Phương pháp đồ giải Walton	51
5.2. Dòng chảy không ổn định trong tầng bán áp không có trữ trong tầng chứa nước yếu - Phương pháp điểm uốn của Hantush	52
5.3. Lời giải đối với trường hợp không có thoát nước từ tầng chứa nước bán áp	54
5.4. Lời giải đối với trường hợp có thoát nước từ trữ đàn hồi trong tầng chứa nước yếu	55
VI. Hệ thống giếng	56
6.1. Hệ thống giếng hoàn chỉnh	56
6.2. Hệ thống giếng không hoàn chỉnh	56
VII. Dòng chảy vào giếng gần các biên đặc biệt	58
7.1. Giếng ở gần dòng chảy mặt	58
7.2. Giếng bơm ở gần biên không thấm nước	58
VIII. Tổn thất cột nước trong giếng	59
Phụ lục chương III	61
Bài tập chương III	63

### **Chương IV: CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN MỨC NƯỚC NGẦM**

I. Các yếu tố khí tượng	67
1.1. Áp suất khí quyển	67
1.2. Mưa	68
1.3. Gió	69

II. Ảnh hưởng của thủy triều	69
III. Ảnh hưởng của sự đô thị hoá	71
IV. Ảnh hưởng của đô thị hoá đến nước ngầm khu vực Hà Nội	71
<b>Chương V: MÔ HÌNH HOÁ NƯỚC DƯỚI ĐẤT</b>	
I. Mô hình môi trường xốp	73
1.1. Mô hình tỷ lệ bể chứa cát	73
1.2. Mô hình tương tự	74
II. Mô hình toán	78
2.1. Khái niệm chung về mô hình toán	78
2.2. Mô hình truyền âm sai phân hữu hạn	80
2.3. Mô hình sai phân hữu hạn dòng chảy ổn định hai chiều	84
2.4. Mô hình sai phân hữu hạn dòng chảy không ổn định hai chiều	85
2.5. Mô hình toán nước ngầm ba chiều MODFLOW	88
2.6. Mô hình phân tử hữu hạn đối với dòng chảy ổn định trong tầng chứa nước không áp	93
2.7. Mô hình phân tử hữu hạn đối với dòng chảy không ổn định trong tầng chứa nước có áp	101
<b>Chương VI: TÍNH TOÁN NHIỄM MẶN CÁC VÙNG ĐẤT VEN BIỂN</b>	
I. Quá trình nhiễm mặn các vùng đất ven biển	108
II. Biểu diễn toán học bài toán xâm nhập mặn	110
III. Quan hệ giữa nước biển và nước ngọt trong ống chữ U biểu thức của Ghybel-Herzberg	111
3.1. Hình dạng của mặt ngăn cách	113
3.2. Cấu trúc thực của mặt ngăn cách	114
3.3. Xác định mặt ngăn cách của nước biển và nước ngọt vùng ven biển trong tầng chứa nước không áp bằng phương pháp giải tích	116
3.4. Sự thay đổi mực nước ở biên trên (hàm kích thích)	117
3.5. Lời giải của bài toán	118
3.6. Nhiễm mặn khi bơm nước ngọt từ các giếng vùng ven biển	119
3.7. Quan hệ giữa nước mặn và nước ngọt ở các đảo	123
3.8. Bơm nước ở các đảo trong trường hợp tầng chứa nước không áp, dòng chảy không ổn định và lượng bổ cập là nước mưa	125
3.9. Phương pháp chống nhiễm mặn các vùng đất ven biển	127
3.10. Hiện tượng thấm nước biển vào các tầng chứa nước không áp	128
3.11. Các phương pháp khống chế nhiễm mặn ven biển	129

IV. Mô hình nhiễm mặn theo phương thẳng đứng	131
4.1. Mô hình nhiễm mặn theo phương thẳng đứng	131
4.2. Chương trình tính nhiễm mặn trong một giếng bơm đơn	133
V. Mô hình nhiễm mặn vùng trong đất	136
Bài tập chương VI	144

## **Chương VII: CHẤT LƯỢNG NƯỚC NGẦM VÀ QUẢN LÝ CÁC LƯU VỰC NƯỚC NGẦM**

I. Quan hệ giữa nhiễm bẩn với việc sử dụng nước	146
1.1. Nguồn nhiễm bẩn từ đô thị	146
1.2. Nguồn nhiễm bẩn từ nông nghiệp	147
II. Quá trình pha loãng và mở rộng các nguồn nước bẩn	149
III. Chất lượng nước ngầm	150
3.1. Chất lượng nước uống	151
3.2. Nước dùng trong công nghiệp	151
3.3. Nước dùng cho nông nghiệp	152
3.4. Các phương pháp biểu thị kết quả phân tích chất lượng nước	156
3.5. Các loại bản đồ chất lượng nước	159
IV. Quản lý tài nguyên nước dưới đất	162
4.1. Quản lý tài nguyên nước là gì	162
4.2. Phát triển bền vững tài nguyên nước	164
4.3. Các nguyên tắc cơ bản trong phát triển và quản lý tài nguyên nước dưới đất	165
4.4. Các nội dung chính của công tác quản lý nhà nước về nước dưới đất	165
V. Những nội dung về quản lý lưu vực nước ngầm	167
5.1. Khái niệm	167
5.2. Phương trình cân bằng nước	168
5.3. Các vấn đề cần thiết khảo sát, thăm dò lưu vực ngầm	170
5.4. Thu thập tài liệu và công tác thực địa	171
VI. Một số khái niệm về lưu lượng	172
6.1. Lưu lượng khai thác	172
6.2. Lưu lượng thường xuyên ổn định	172
6.3. Lưu lượng ổn định gia cường	172
6.4. Lưu lượng ổn định lớn nhất	173
6.5. Đánh giá lưu lượng ổn định	174
VII. Cân bằng muối	175
VIII. Quản lý lưu vực bằng việc sử dụng kết hợp nguồn nước	177
Bài tập chương VII	179

## **Chương VIII: THIẾT KẾ GIẾNG BƠM**

I. Các nguyên tắc, trình tự và sơ đồ tính toán thiết kế giếng	180
1.1. Các nguyên tắc và trình tự khi thiết kế giếng	180
1.2. Các sơ đồ tính toán thiết kế giếng	189
II. Khoan khai thác nước ngầm	202
2.1. Các phương pháp khoan giếng	203
2.2. Thiết bị khoan giếng	207
2.3. Kết cấu giếng khoan	209
2.4. Thiết kế giếng khoan	213
2.5. Một số vấn đề kỹ thuật khoan và lắp đặt kết cấu giếng	216
2.6. Bơm rửa phát triển giếng	220
2.7. Công tác vệ sinh công trường và hoàn thiện giếng	223
Phụ lục chương VIII	224
Tài liệu tham khảo	241

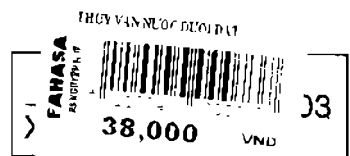
# THUYẾT VĂN NƯỚC DƯỚI ĐẤT

*Chịu trách nhiệm xuất bản :*  
BÙI HỮU HẠNH

*Biên tập :* TRỊNH KIM NGÂN  
*Chế bản :* LÊ THỊ HƯƠNG  
*Sửa bản in :* TRỊNH KIM NGÂN  
TRẦN HÀNG THU  
*Bìa :* NGUYỄN HỮU TÙNG

---

In 500 cuốn khổ 19 × 27cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 920/XB-QLXB-5, ngày 16-8-2002. In xong nộp lưu chiểu tháng 12 năm 2002.



Giá : 38.000<sup>d</sup>