LỜI NÓI ĐẦU

Nước ngầm là nguồn nước ngọt lớn nhất sẵn có trên trái đất khá ổn định và có trữ lượng vượt xa so với nguồn nước mặt từ sông, suối, hồ, ao. Hiện nay, do sự phát triển của các ngành kinh tế và vấn đề bùng nổ dân số, nhu cầu dùng nước tăng lên không ngừng và mâu thuẫn giữa khả năng cung cấp nước và nhu cầu dùng nước ngày càng gay gắt cả về số lượng và chất lượng. Vì vậy, nước ngầm lại càng trở nên gần gũi và quan trọng hơn đối với cuộc sống con người. Tuy nhiên, viêc nghiên cứu các vấn đề liên quan đến sự vận động của nước ngầm và đặc biệt là việc phát triển và quản lý nguồn tài nguyên nước ngầm mới được quan tâm trong những năm gần đây. Để đáp ứng nhu cầu thiết thực cho việc nghiên cứu về lĩnh vực này, cuốn Giáo trình "Phát triển và quản lý tài nguyên nước ngầm" được đề xuất trong khuôn khổ Tiểu hợp phần 1.3 "Hỗ trợ tăng cường năng lực cho Trường Đại học Thủy lợi" thuộc dự án hỗ trợ ngành nước (WaterSPS) của DANIDA để đưa vào chương trình đào tạo đại học và cao học ngành kỹ thuật như thủy lợi, xây dựng, giao thông, mỏ địa chất...

Mục đích của cuốn giáo trình này là cung cấp cho sinh viên các kiến thức tổng quan về qui luật vận động và truyền tải vật chất của nước dưới đất, thủy lực giếng và cách xác định các thông số, ứng dụng mô hình toán nước ngầm, kỹ thuật phân tích, đánh giá về trữ lượng cũng như chất lượng nước ngầm và việc áp dụng chúng trong thực tế với các thông tin cập nhật nhất liên quan đến vấn đề phát triển và quản lý nước ngầm.

Nội dung chủ yếu của cuốn giáo trình này gồm 5 chương:

Chương 1: Cơ sở của dòng chảy và truyền chất trong nước ngầm

Chương 2: Vận động của nước ngầm tới giếng khoan và các phương pháp xác định các thông số của tầng chứa nước

Chương 3: Đánh giá trữ lượng nước ngầm

Chương 4: Mô hình toán nước ngầm

Chương 5: Quản lý nước ngầm

Đề cương giáo trình này được xây dựng với sự tư vấn và phối hợp của các chuyên gia tư vấn của dự án và các giảng viên Trường Đại học Thủy lợi biên soạn do TS. Nguyễn Thu Hiền là chủ biên. Chương 1, 3 và 4 do TS. Nguyễn Thu Hiền viết, Chương 2 do TS. Trịnh Minh Thụ viết và Chương 5 do TS. Hồ Việt Hùng viết.

Trong quá trình biên soạn, chúng tôi đã tham khảo các tài liệu trong và ngoài nước trong đó chủ yếu là các tài liệu nước ngoài liên quan đến lĩnh vực thủy văn nước ngầm, địa chất thuỷ văn, ô nhiễm nước ngầm và mô hình toán nước ngầm cập nhật nhất hiện nay với phương châm cố gắng giới thiệu những nội dung cần thiết và mới, tiếp cận với quốc tế và thích ứng với điều kiện Việt Nam.

Chúng tôi xin bày tỏ sự cám ơn đặc biệt tới TS. Roger Chenevey - Cố vấn trưởng Tiểu hợp phần 1.3, tới GS.TS. Gupta, chuyên gia tư vấn quốc tế xây dựng đề cương giáo trinh này và tới PGS. TS. Đoàn Văn Cánh, chuyên gia tư vấn trong nước về xây dựng đề cương và sự giúp đỡ, tư vấn nhiệt tình đặc biệt là sự cung cấp các

thông tin quí giá về thăm dò và đánh giá trữ lượng nước ngầm ở Việt Nam của ông trong quá trình viết giáo trình.

Chúng tôi xin bày tỏ sự cám ơn chân thành tới PGS. TS. Phạm Quí Nhân, là chuyên gia phản biện của giáo trình với những ý kiến đóng góp quí báu của ông để đảm bảo chất lượng cho cuốn giáo trình này.

Chúng tôi xin cám ơn Ban Giám hiệu Trường Đại học thuỷ lợi và Văn phòng Dự án Hỗ trợ ngành nước (WaterSPS) của DANIDA đã giúp đỡ chúng tôi trong quá trình biên soạn.

Cuốn giáo trình này xuất bản lần đầu trong thời gian có hạn nên không thể tránh khỏi những sai sót và chưa thực sự hoàn chỉnh. Chúng tôi rất mong nhận được ý kiến phê bình đóng góp của các bạn đọc.

Mọi ý kiến xin gửi về:

Bộ môn Thủy lực, Trường Đại học Thủy lợi ,
175, Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội

Chúng tôi xin chân thành cám ơn.

CHƯƠNG 1 CƠ SỞ VẬN ĐỘNG VÀ TRUYỀN CHẤT TRONG NƯỚC NGẦM

Sự vận động và truyền chất trong nước ngầm liên quan đến các quá trình vật lý và hoá học xảy ra dưới mặt đất và trong môi trường địa chất. Chương này sẽ trình bày các cơ sở quan trọng về sự vận chuyển và quá trình truyền chất của nước ngầm. Đó là cơ sở để nghiên cứu các vấn đề liên quan đến phát triển và quản lý tài nguyên nước ngầm.

1.1 Vận động của dòng ngầm

1.1.1 Các thành tạo địa chất chứa nước có áp, không áp và bán áp

Một thành tạo địa chất chứa một lượng nước đáng kể và có lỗ rỗng đủ lớn sao cho có thể khai thác được nước từ đó được gọi là một tầng chứa nước. Có nhiều thành tạo địa chất được xem như một tầng chứa nước với khả năng trữ nước trong các lỗ rỗng khác nhau. Lỗ rỗng có thể hình thành do đứt gãy, nứt nẻ hoặc do sự sắp xếp các hạt của đất đá. Dưới đây là vai trò của một số loại thành tạo địa chất chứa nước.

a) Bồi tích (phù sa)

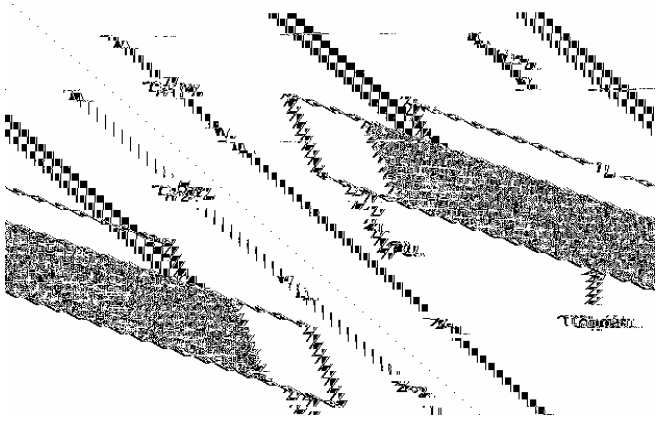
Có khoảng 90% các tầng chứa nước thuộc loại này. Chúng bao gồm cuội, sỏi, cát bở rời. Những thành tạo chứa nước này có thể phân ra làm bốn loại dựa trên sự hình thành của nó: lòng sông suối, thung lũng chôn vùi hay các lòng sông cổ, đồng bằng và thung lũng giữa núi. Loại thứ nhất bao gồm các bồi tích phù sa tạo nên dưới lòng sông hoặc bên cạnh các bãi ven sông. Do nằm kề với dòng chảy mặt nên có một lượng nước khá lớn thấm từ sông ngòi vào trong đất. Loại thứ hai là những thung lũng chôn vùi hay các lòng sông cổ do dòng sông thay đổi hướng chảy hình thành nên. Mặc dù loại này gần giống như loại thứ nhất, nhưng độ thẩm, độ chứa, lượng bổ sung nước ngầm thường ít hơn. Loại thứ ba là những đồng bằng rộng lớn được bồi đắp bởi phù sa. Nằm dưới những đồng bằng này là những lớp cuội, sỏi và cát tạo thành các tầng chứa nước quan trọng. Loại thứ tư là thung lũng giữa núi nơi có nhiều trầm tích chứa nước ngầm khá lớn. Nguồn cung cấp nước chủ yếu là do nước mưa hoặc thấm từ các dòng chảy không thường xuyên.

b) Đá vôi

Đá vôi có mật độ, độ rỗng và tính thấm nước thay đổi trong một phạm vi khá lớn, tuỳ thuộc vào cấu tạo và sự phát triển các đới nứt nẻ, cáctơ hóa. 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. Những mạch nước lớn thường tìm thấy ở những vùng đá vôi. Sự hoà tan $CaCO_3$ trong nước làm cho nước ngầm ở những vùng này có độ cứng lớn. Cũng do sự hoà tan $CaCO_3$ trong nước mà các hang động, lỗ rỗng trong đá vôi ngày càng phát triển. Hiện tượng này gọi là hiện tượng cáctơ (karst).

c) Đá hình thành do núi lửa (đá phun trào)

Đá hình thành do núi lửa cũng có thể tạo thành một tầng chứa nước có tính thấm 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 có thể chứa và thấm nước tốt. Ngoài ra, khả năng chứa và thấm nước tốt của đá bazan còn do hiện tượng phong hoá và do các vận động nội sinh gây ra.



Hình 1.2. Phân bố cột nước áp suất và tổn thất cột nước qua cột thấm.

1.1.3 Đặc trưng về độ rỗng và hệ số nhả nước

Độ rỗng là phần thể tích tạo bởi các khe hở và lỗ rỗng. Độ rỗng thường được biểu thị theo phần trăm như sau:

$$n = \frac{W_w}{W} 100\% \qquad (1.5)$$

trong đó: n là độ rỗng, W_w là thể tích các lỗ rỗng, W là tổng thể tích của mẫu đất đá.

Trong các vật liệu rời, độ rỗng phụ thuộc vào ba tính chất của đất đá: độ nén chặt, hình dạng hạt và sự phân bố kích thước hạt. Độ rỗng của các loại đất đá khác nhau được trình bày trong Bảng 1.1.

Hệ số nhả nước trọng lực (S_y) (specific yield)

Hệ số nhả nước trọng lực của đất đá là tỉ số giữa lượng nước (trong đới bão hoà) có thể được thoát ra do trọng lực và thể tích của nó:

$$S_y = \frac{W_y}{W} \qquad (1.6)$$

Trong đó W_y là thể tích nước thoát ra.

Bảng 1.1. Độ rỗng của các loại đất đá khác nhau (theo Todd và Mays 2005)

Vật liệu	Độ rỗng (%)	Vật liệu	Độ rỗng (%)
Sỏi thô	28	Hoàng thổ	49
Sỏi trung bình	32	Than bùn	92
Sỏi mịn	34	Đá phiến (schist)	38
Cát thô	39	Bột kết	35
Cát trung bình	39	Sét kết	43
Cát mịn	43	Đá phiến sét (shale)	6
Đất phù sa	46	Tảng lăn lẫn sét, bột	34
Sét	42	Tảng lăn lẫn cát	31
Cát kết hạt mịn	33	Tro núi lửa (tuff)	41
Cát kết hạt trung bình	37	Đá Bazan	17
Đá vôi	30	Gabrô bị phong hóa	43
Đolomit	26	Granit bị phong hoá	45
Cát ở cồn cát ven biển	45		

Hệ số giữ nước (S_r)

Hệ số giữ nước của đất đá là tỉ số giữa lượng nước còn giữ lại sau khi thoát nước do trọng lực và thể tích của nó:

$$S_r = \frac{W_r}{W} \quad (1.7)$$

Trong đó W_r là thể tích nước còn giữ lại.

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

$$n = S_y + S_r \quad (1.8)$$

Hệ số nhả nước (S_s):

Nước chảy hay thấm vào một tầng chứa nước biểu thị bởi sự thay đổi tổng lượng nước chứa trong tầng chứa nước đó. Đối với tầng chứa nước không áp nó đơn giản được biểu thị bởi sự thay đổi lượng nước ngầm trong một thời đoạn. Tuy nhiên, trong tầng chứa nước có áp, sự thay đổi cột nước áp suất chỉ gây ra một sự thay đổi nhỏ về trữ lượng. Khi áp suất thuỷ tĩnh giảm, chẳng hạn do bơm hút thí nghiệm, lực nén của tầng chứa nước tăng. Sự nén ép của tầng chứa nước gây ra những lực tác động lên các phân tử nước.

Hệ số nhả nước được xác định bằng lượng nước thoát ra hay bổ xung vào một tầng chứa nước có áp trên một đơn vị diện tích bề mặt của tầng chứa nước khi cột nước áp suất thay đổi một đơn vị.

Hệ số nhả nước thường được xác định bằng thí nghiệm hút nước từ giếng sẽ được đề cập trong các chương sau.

1.1.4 Định luật Đacxi, hệ số thấm, tính không đồng nhất, không đẳng hướng và độ dẫn nước

Định luật Đacxi: Henry Đacxy (1856) đã quan trắc thí nghiệm thấy rằng vận tốc dòng chảy tầng giữa hai điểm trong môi trường lỗ rỗng tỉ lệ với gradient thuỷ lực giữa hai điểm đó. Phương trình biểu diễn lưu lượng chảy qua môi trường lỗ rỗng được biểu diễn như sau:

$$Q = - KA\frac{dh}{dl} \quad (1.9)$$

hay

$$v = - K\frac{dh}{dl} \quad (1.10)$$

trong đó Q là lưu lượng dòng thấm (m^3/s), v là vận tốc dòng chảy Đacxy (m/s), K là hệ số thấm (m/s), A là tiết diện mặt cắt của dòng chảy (m^2), h là cột nước thuỷ lực (m), l là khoảng cách giữa hai điểm (m).

Vận tốc thấm trong phương trình Đacxy gọi là vận tốc Đacxy vì giả thiết dòng thấm chảy qua toàn bộ mặt cắt ngang bao gồm cả các phần tử rắn và lỗ rỗng. Thực ra dòng chảy chỉ chảy qua các lỗ rỗng, vì thế vận tốc thấm thực trung bình sẽ bằng:

$$t = \frac{v}{n_e} \quad (1.11)$$

trong đó n_e là độ rỗng hữu hiệu của môi trường lỗ rỗng (là phần lỗ rỗng qua đó dòng chảy có thể thấm qua).

Khi áp dụng định luật Đacxy cần phải hiểu rõ phạm vi áp dụng của nó. Bởi vì trong chế độ chảy tầng, vận tốc của dòng chảy tỉ lệ bậc nhất với gradient cột nước, nên

định luật Đacxy cũng chỉ đúng khi vận tốc dòng chảy trong môi trường lỗ rỗng đủ nhỏ để có thể coi dòng chảy là chảy tầng.

Sử dụng chỉ số Râynon:

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu} \tag{1.12}$$

Trong đó: ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, v là vận tốc của dòng chảy, d là đường kính hạt đất đá tương ứng với nó có 10% khối lượng đất đá có kích thước đường kính nhỏ hơn, μ là hệ số nhớt động lực học của chất lỏng.

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

Hệ số thấm K

Hệ số thấm đặc trưng cho khả năng truyền ẩm của đất. Nó phụ thuộc vào tính chất của đất và chất lỏng.

Hệ số thấm có thứ nguyên là vận tốc (LT^{-1}). Hệ số thấm biểu thị vận tốc chảy của dòng ngầm trong một đơn vị thời gian qua một đơn vị diện tích mặt cắt ngang vuông góc với phương chảy khi độ dốc (gradient) thuỷ lực bằng một đơn vị.

Hệ số dẫn nước T

Hệ số dẫn nước được dùng rộng rãi trong tính toán dòng ngầm. Nó chính là vận tốc chảy của dòng ngầm chảy qua một đơn vị chiều rộng tầng chứa nước dưới một đơn vị gradient thuỷ lực. Ta có:

$$T = Kb \tag{1.13}$$

Trong đó b là chiều dày phần bão hoà của tầng chứa nước.

Tính không đồng nhất và không đẳng hướng

Các tính chất địa chất thuỷ văn, chẳng hạn như hệ số thấm, có thể biến đổi theo không gian trong một thành tạo địa chất. Sự biến đổi theo không gian của các tính chất này được gọi là tính bất đồng nhất. Có nhiều dạng bất đồng nhất trong các môi trường địa chất. Một ví dụ điển hình là bất đồng nhất phân lớp phổ biến đối với các đá trầm tích. Nếu một phân vị địa chất có các tính chất thuỷ văn như nhau tại tất cả các vị trí, thì phân vị địa chất đó là đồng nhất.

Các đặc trưng địa chất thuỷ văn có thể cũng thay đổi theo các phương khác nhau trong một thành tạo địa chất. Sự biến đổi của các tính chất này theo các phương khác nhau được gọi là tính bất đẳng hướng. Trên các qui mô nhỏ, nguyên nhân của tính bất đẳng hướng là do hình dạng và phương của các khoáng chất trong đá trầm tích và các trầm tích bở rời (Hình 1.3). Trên các qui mô lớn hơn, tính bất đẳng hướng là do tính không đồng nhất phân tầng. Nếu một đơn vị địa chất có cùng tính chất địa chất thuỷ văn theo tất cả các hướng thì đơn vị đó là đẳng hướng.

Hình 1.3. Hình dạng và hướng của hạt trầm tích có thể ảnh hưởng đến tính đẳng hướng và bất đẳng hướng

Chúng ta xét tầng chứa nước gồm nhiều lớp trong Hình 1.4. Mỗi lớp có môi trường là đồng chất và đẳng hướng với hệ số thấm là K_1, K_2,…K_n. Trước hết ta kiểm tra trường hợp ở đó dòng chảy vuông góc với các lớp này. Lưu lượng Q đi vào mỗi lớp phải bằng lưu lượng khi đi ra khỏi tầng đó. Gọi Δh_1, Δh_2,… Δh_n là tổn thất cột nước qua tầng thứ nhất, thứ hai,…và thứ n. Tổng tổn thất cột nước qua toàn bộ cấu trúc là $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + ... + \Delta h_n$.

Từ phương trình Đacxy ta có:

$$v = \frac{Q}{A} = - K_1\left(\frac{\Delta h_1}{d_1}\right) = - K_2 \frac{\Delta h_2}{d_2} = ... = - K_n \frac{\Delta h_n}{d_n} = - K_z \frac{\Delta h}{d} \qquad (1.14)$$

trong đó K_z là hệ số thấm tương đương theo phương đứng cho toàn bộ cấu trúc phân tầng, d_i là chiều dày của lớp thứ i ($i = 1, 2, 3…,n$) và d là chiều dày toàn bộ của cấu trúc phân tầng (Hình 1.4).

Từ phương trình (1.14) ta có:

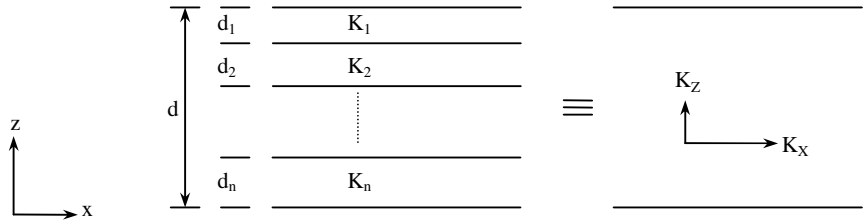
$$\Delta h_i = - v \frac{d_i}{K_i} \qquad (1.15)$$

và

$$\Delta h = - v \frac{d}{K_z} \qquad (1.16)$$

Thế phương trình (1.15) vào phương trình (1.16) và rút gọn ta được:

$$K_z = \frac{d}{\frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2} + ... + \frac{d_n}{K_n}} \qquad (1.17)$$



Hình 1.4. Mối quan hệ giữa bất đồng nhất phân tầng và bất đẳng hướng

Hãy xét trường hợp dòng chảy theo phương ngang. Với Δh là tổn thất cột nước trên chiều dài nằm ngang l. Lưu lượng qua cấu trúc phân tầng là tổng lưu lượng chảy qua mỗi tầng. Nếu chiều rộng của mỗi tầng là 1 đơn vị, thì dòng chảy qua mặt cắt ngang của cấu trúc phân tầng là:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n \\ &= \left(- K_1 (d_1 \times 1) \frac{\Delta h}{l} \right) + \left(- K_2 (d_2 \times 1) \frac{\Delta h}{l} \right) + \ldots + \left(- K_n (d_n \times 1) \frac{\Delta h}{l} \right) \\ &= - \left(K_1 d_1 + K_2 d_2 + \ldots + K_n d_n \right) \frac{\Delta h}{l} \end{aligned} \tag{1.18}$$

Nếu hệ số thấm tương đương theo phương ngang của cấu trúc phân tầng là K_x, ta có:

$$Q = - K_x d \frac{\Delta h}{l} \tag{1.19}$$

Cân bằng phương trình (1.18) và (1.19) ta có:

$$K_x = \frac{K_1 d_1 + K_2 d_2 + \ldots + K_n d_n}{d} \tag{1.20}$$

Các phương trình (1.17) và (1.20) cung cấp các giá trị K_x và K_z cho một tầng địa chất đồng nhất nhưng bất đẳng hướng tương đương với cấu trúc phân tầng hình thành bởi các tầng địa chất đồng nhất và đẳng hướng như mô tả ở Hình 1.4. Ví dụ, một hệ thống phân tầng đơn giản 2 lớp có chiều dày như nhau với K_1=10^{-1} cm/s (sỏi) và K_2=10^{-4} cm/s (cát mịn), thì tỉ số của K_x/K_z là 250.

1.1.5 Phương trình vi phân liên tục của dòng ngầm - Điều kiện ban đầu và điều kiện biên

Xét một phân tố hình hộp trong trường hợp môi trường không đồng nhất và không đẳng hướng của dòng chảy bão hoà có độ dài các cạnh là Δx, Δy, và Δz như trong Hình 1.5.

TaiLieu.vn

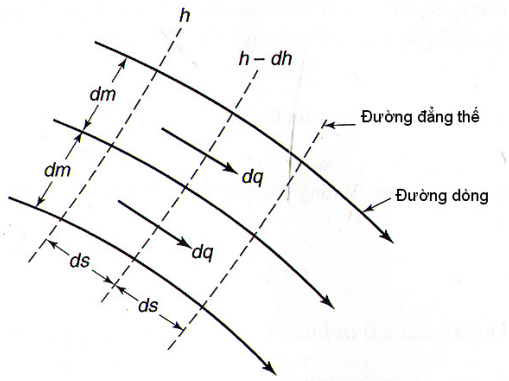
phân tích lưới thuỷ động lực đã được áp dụng khá nhiều để phục vụ cho các nghiên cứu về nước ngầm.

Xét một phần của lưới thuỷ động lực trong Hình 1.6 gradient thuỷ lực i được xác định bởi biểu thức:

$$i = \frac{dh}{ds} \tag{1.34}$$

và lưu lượng đơn vị không đổi q giữa hai đường dòng cạnh nhau là:

$$q = K\frac{dh}{ds}dm \tag{1.35}$$



Hình 1.6. Một phần lưới thuỷ động lực tạo nên bởi các đường dòng và đường thế

Đối với những ô lưới hình vuông, ta có $ds \approx dm$, khi đó ta có thể rút gọn phương trình (1.35) thành:

$$q = Kdh \tag{1.36}$$

Áp dụng phương trình này vào toàn hệ lưới thuỷ động lực, ở đó tổn thất cột nước được chia thành n ô vuông nằm giữa hai đường dòng bất kỳ cạnh nhau, ta có:

$$dh = \frac{h}{n} \tag{1.37}$$

Nếu dòng chảy được chia thành m băng dòng thì tổng lưu lượng dòng chảy là:

$$Q = mq = \frac{Kmh}{n} \tag{1.38}$$

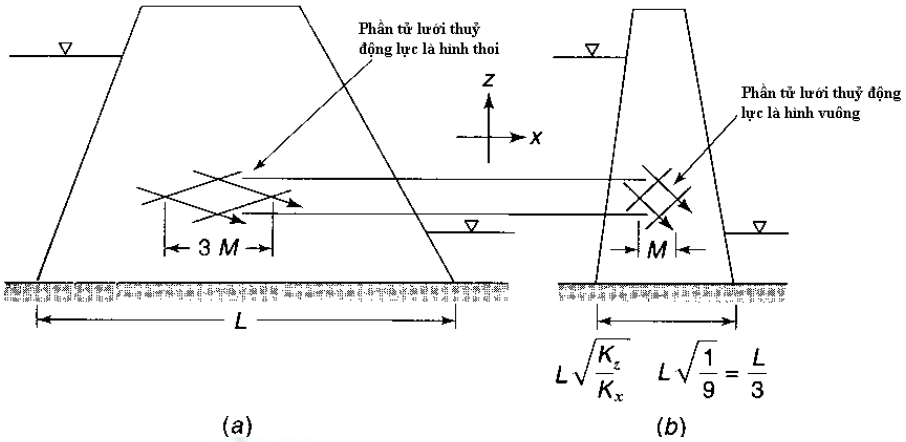
Vì vậy, từ hình học của lưới thuỷ động lực cùng với hệ số thấm và tổn thất cột nước có thể tính trực tiếp được tổng lưu lượng qua mặt cắt.

Trong môi trường không đẳng hướng, các đường dòng và đường thế không vuông góc, trừ khi dòng chảy song song với một phương chính. Để tính toán trong trường hợp này, các biên của một mặt cắt dòng chảy sẽ được chuyển đổi vì vậy sẽ tạo ra một môi trường đẳng hướng. Đối với trường hợp điển hình khi $K_x > K_z$, tất cả các phương nằm ngang được giảm bởi tỉ số $\sqrt{K_z / K_x}$. Điều này tạo nên một mặt cắt được biến đổi với môi trường đẳng hướng có một hệ số thấm tương đương là:

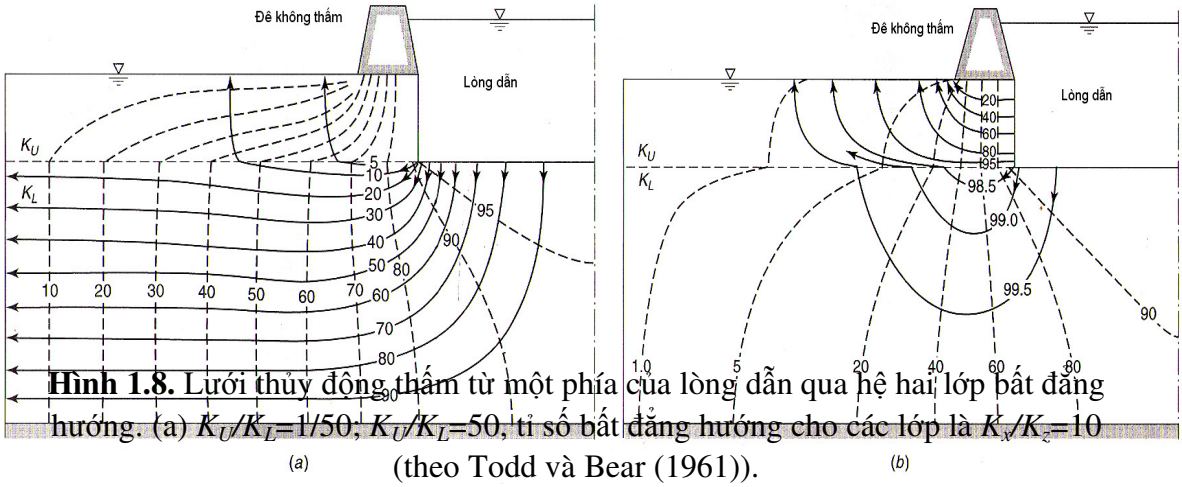
$$K¢ = \sqrt{K_x K_z} \tag{1.39}$$

Với mặt cắt biến đổi này, ta có thể vẽ được lưới thuỷ động lực và lưu lượng sẽ được xác định.

Sau khi có được lưới thuỷ động lực, lưới này có thể được chuyển trở lại mặt cắt không đẳng hướng thực bằng cách nhân tất cả các phương nằm ngang với $\sqrt{K_z / K_x}$. Hình 1.7 mô tả trường hợp đối với đập đất cũng như biểu diễn sự biến dạng tạo ra bởi sự bất đẳng hướng trong phân tố của lưới thủy động. Kỹ thuật này cũng có thể được mở rộng cho lớp bất đồng nhất theo hai phương. Hình 1.8 biểu diễn lưới thuỷ động lực đối với dòng thấm qua môi trường hai lớp có hệ số thấm khác nhau.



Hình 1.7. Phân tích lưới thuỷ động lực trong đập đất có hệ số thấm không đẳng hướng. (a) Mặt cắt thực với $K_x=9K_z$; (b) Mặt cắt chuyển đổi đẳng hướng với $K_x=K_z$



Hình 1.8. Lưới thủy động thấm từ một phía của lòng dẫn qua hệ hai lớp bất đẳng hướng. (a) K_U/K_L=1/50; K_U/K_L=50, tỉ số bất đẳng hướng cho các lớp là K_x/K_z=10 (theo Todd và Bear (1961)).

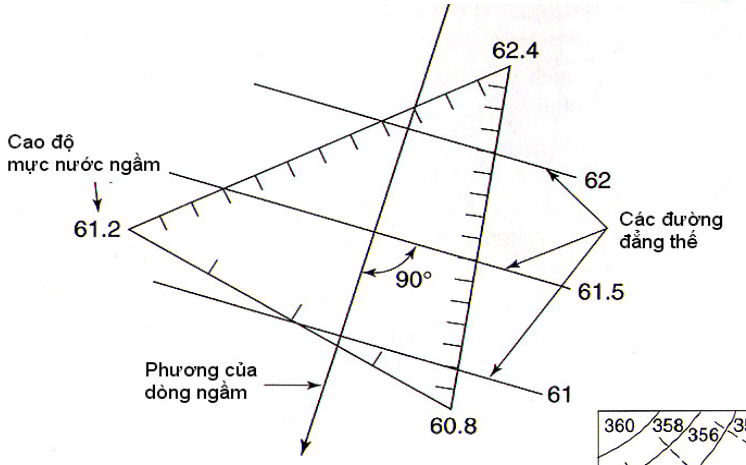
b) Xác định đường đẳng thế và phương dòng chảy

Tại các biên cách nước không có dòng thấm chảy qua, các đường dòng phải song song với nó. Tương tự như cho tầng chứa nước không áp, nếu không có dòng chảy cắt ngang mực nước ngầm và mực nước ngầm trở thành mặt thoáng của dòng chảy. Đường năng (đường tổng cột nước) h_E hoặc đường thế năng (cột nước đo áp) viết cho bất cứ điểm nào nằm trên mực nước ngầm có thể xấp xỉ bằng:

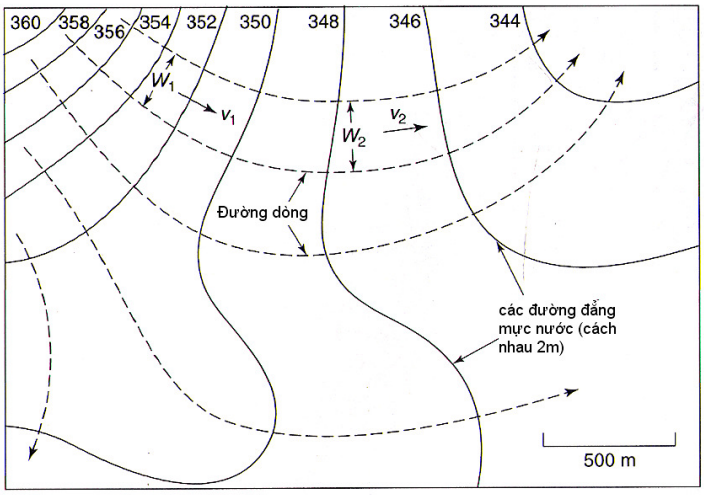
$$h_E = \frac{p}{g} + z \tag{1.40}$$

với áp suất tại điểm nằm trên mặt tự do của mực nước ngầm bằng áp suất khí quyển, vì vậy áp suất dư p_{du}=0 nên $h_E = z$. Vì vậy, trong điều kiện thấm ổn định, cao độ của một điểm bất kỳ nằm trên mực nước ngầm chính bằng cột nước năng lượng và kết quả là các đường dòng nằm vuông góc với mực nước ngầm. Tương tự, các đường dòng bên trong tầng chứa nước có áp thì vuông góc với các đường đẳng thế.

Hình 1.9 mô tả việc xác định các đường đẳng thế và phương dòng chảy khi biết độ cao mực nước ngầm ở các giếng. Từ các đo đạc của mực nước tĩnh trong giếng ở một lưu vực, người ta có thể xây dựng bản đồ đẳng thế (đường đẳng áp hoặc đẳng cao). Từ đó, có thể xác định được các đường dòng bằng cách vẽ vuông góc với các đường đẳng thế và phương chuyển động. Hình 1.10 là một ví dụ minh hoạ.



Hình 1.9. Xác định các đường đẳng thế và phương dòng chảy từ cao độ mực nước của ba giếng



Hình 1.10. Bản đồ đẳng mực nước của dòng ngầm biểu thị các đường dòng

Các bản đồ đẳng áp cùng với các đường dòng là các số liệu cần thiết để xác định vị trí các giếng khoan. Các đường đẳng thế lồi thể hiện những vùng cấp nước, còn các đường đẳng thế lõm thì thể hiện những vùng thu nước. Hơn nữa, hệ số thấm của các vùng có thể được xác định bằng khoảng cách giữa các đường đẳng thế. Nếu tầng chứa nước có chiều dày không đổi, lưu lượng đơn vị dòng chảy tại mặt cắt 1 và 2 trong Hình 1.10 được tính bằng công thức:

$$q = W_1 v_1 = W_2 v_2 \tag{1.41}$$

trong đó v là vận tốc và W là chiều rộng của mặt cắt vuông góc với dòng chảy.

Từ định luật Darcy:

$$W_1 K_1 i_1 = W_2 K_2 i_2 \tag{1.42}$$

Công thức (1.42) có thể được viết lại thành:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{W_2 i_2}{W_1 i_1} \tag{1.43}$$

trong đó K là hệ số thấm và i là gradient thuỷ lực. Tỉ số W_2/W_1 và i_2/i_1 có thể được xác định từ bản đồ đẳng mực nước (xem Hình 1.10). Đối với trường hợp đặc biệt, các đường dòng gần như song song, phương trình (1.43) trở thành:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{i_2}{i_1} \tag{1.44}$$

Điều này có thể cho thấy rằng ở vùng dòng ngầm chảy đều, những nơi có khoảng cách giữa các đường đẳng áp xa nhau (gradient nhỏ) có hệ số thấm cao hơn so với những nơi có các đường đẳng áp gần nhau (gradient lớn). Vì vậy, trong Hình 1.10, giếng đặt ở vị trí gần mặt cắt 2 tốt hơn là gần mặt cắt 1.

Ở các bản đồ thủy đẳng cao gần xung quanh một nhóm các giếng, nếu biết tổng lưu lượng giếng khoan thì có thể tính được hệ số dẫn nước của tầng chứa nước trong vùng đó. Nếu lưới thuỷ động lực có thể vẽ được, phương trình (1.38) trở thành:

$$T = \frac{nQ}{h} \tag{1.45}$$

trong đó h là sự chênh lệch cao độ giữa hai đường đẳng cao (hay đẳng áp) được chọn gần nhau.

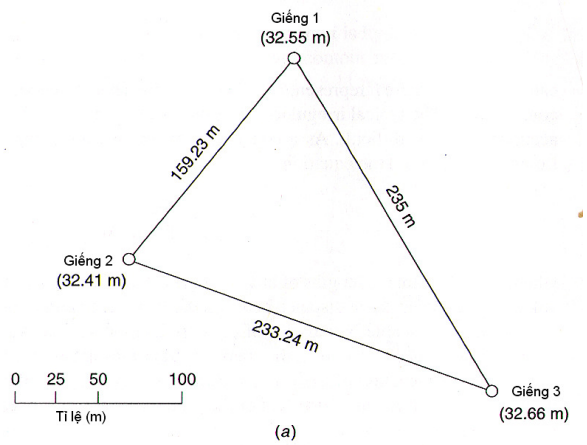
Các đường đẳng cao trong tầng chứa nước thường không đồng đều. Vì vậy, thường khó có thể xây dựng được một lưới thuỷ động lực chính xác. Lohman kiến nghị phương trình dưới đây như một phương án thay thế cho việc sử dụng các đường đẳng mực nước:

$$T = \frac{2Q}{(L_1 + L_2)\mathrm{D}h / \mathrm{D}r} \tag{1.46}$$

trong đó L_1 và L_2 là chiều dài của hai đường đẳng cao đồng tâm gần nhau bất kỳ, Δh là gia số cột nước giữa hai đường đẳng cao, Δr là khoảng cách trung bình giữa hai đường đẳng cao gần nhau.

Đối với các ao hồ, cột nước đo áp trên mặt nước là như nhau tại mọi nơi và bằng độ cao của bề mặt mực nước, vì vậy các đường dòng phải cắt vuông góc với mặt mực nước đó.

Ví dụ 1.1: Ba lỗ khoan quan trắc được xây dựng để xác định hướng chuyển động của nước ngầm và độ dốc thuỷ lực của một tầng chứa nước trong vùng. Khoảng cách giữa các lỗ khoan và tổng cột nước tại từng lỗ khoan cho trong Hình 1.11.



(a)

Hình 1.11. Vị trí của ba lỗ khoan quan trắc trong ví dụ 1.1

Giải:

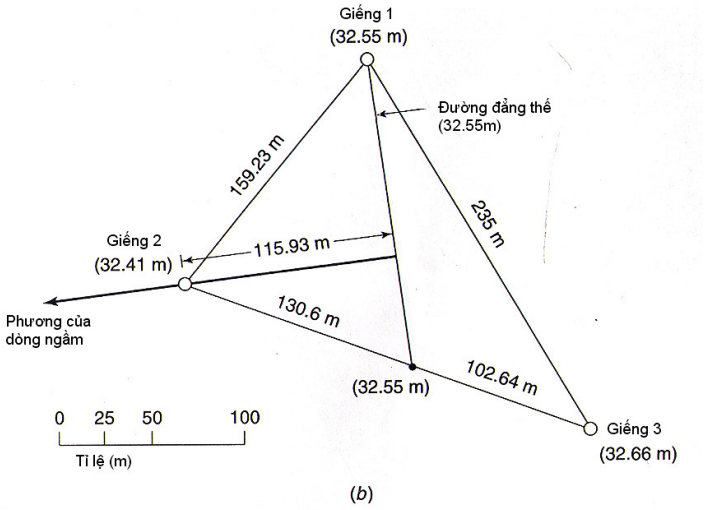
Bước 1: Xác định giếng có mực nước trung gian - Giếng 1 trong trường hợp này.

Bước 2: Dọc theo đường thẳng giữa giếng có cột nước lớn nhất và giếng có cột nước nhỏ nhất, định ra vị trí có cột nước bằng cột nước của giếng có mực nước trung gian.

Bước 3: Vẽ đường thẳng giữa giếng trung gian và điểm định ra trong bước 2. Đây là một đoạn của đường đẳng thế có cột nước bằng với giếng trung gian (nghĩa là đường đẳng thế có cột nước bằng 32.55 m trong trường hợp này).

Bước 4: Vẽ đường vuông góc với đường đẳng thế đi qua giếng có cột nước thấp nhất. Độ dốc thuỷ lực là độ dốc của đường vuông góc này. Và phương của đường thẳng này chỉ hướng chuyển động của nước ngầm (xem Hình 1.12). Độ dốc thuỷ lực được tính như sau:

$$i = \frac{32.55 - 32.41}{115.93} = 0.0012$$



Hình 1.12. Mô tả phương pháp đồ giải của ví dụ 1.1

c) Dòng chảy thấm qua mực nước ngầm

Khi dòng chảy không thấm qua mực nước ngầm, bề mặt nước ngầm nó đóng vai trò như biên nước ngầm. Tuy nhiên, nếu có dòng chảy cắt ngang mực nước ngầm chẳng hạn như nước thấm từ trên xuống, các đường dòng không còn song song với mực nước ngầm như biên không thấm nữa. Để mô tả ảnh hưởng khúc xạ này của đường dòng, gọi v_u là vận tốc thẳng đứng của dòng không bão hoà tiến đến mực nước ngầm và v_s là vận tốc dòng chảy bão hoà dưới mực nước ngầm (Hình 1.13). Cột nước tổn thất dh đối với dòng chảy dọc theo phía trái đường dòng dưới mực nước ngầm xảy ra trong khoảng cách $b_s \tan(\alpha + \varepsilon)$ được xác định như trong Hình 1.13. Vì vậy ta có:

$$v_s = Ki = K\frac{dh}{b_s \tan(\alpha + \varepsilon)} \qquad (1.47)$$

Nhưng: $$dh = b_u \tan(d) \tag{1.48}$$

vì vậy: $$v_s = K \frac{b_u \tan d}{b_s \tan(d+e)} \tag{1.49}$$

Mặt khác ta có phương trình liên tục: $$\frac{b_u}{b_s} = \frac{v_s}{v_u} \tag{1.50}$$

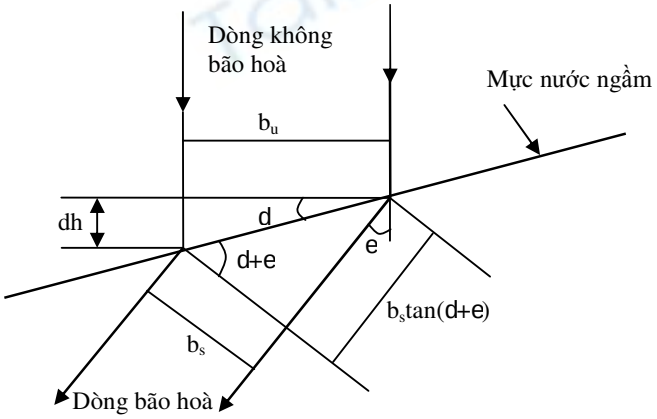
trong đó b_u và b_s như chỉ ra ở Hình 1.13 thay vào 1.49 ta có:

$$v_s = K \frac{v_s \tan d}{v_u \tan(d+e)} \tag{1.51}$$

giải ra ta được biểu thức xác định ε :

$$e = \tan^{-1}\left(\frac{K}{v_u}\tan d\right) - d \tag{1.52}$$

Điều đó nghĩa là đường dòng sẽ tạo với mực nước ngầm một góc $(90^o - d - e)$ về phía dưới. Đối với trường hợp không có thấm đứng, v_u=0 và $e = 90^o - d$, khi đó v_s song song với mực nước ngầm.



Hình 1.13. Khúc xạ của các đường dòng cắt mực nước ngầm

Ví dụ 1.2. Một tầng chứa nước không áp có tốc độ thấm thẳng đứng 1.6m/năm tới mực nước ngầm. Nếu hệ số thấm và gradient thuỷ lực của tầng chứa nước tương ứng là 9.3m/ngày và 0.01. Hãy xác định góc lệch của đường dòng khi chúng cắt qua mực nước ngầm của tầng chứa nước.

Giải : Ta có i=0.01, v_u=1.6m/năm=4.38´ 10^{-3}m/ngày, K=9.3 m/ngày và $\tan d = i = 0.01$ nên $d = 0.573^o$. Góc lệch của đường dòng e được xác định theo phương trình:

$$e = \tan^{-1}\left(\frac{K}{v_u}\tan d\right) - d = \tan^{-1}\left(\frac{9.3}{4.38\acute{}\ 10^{-3}}\tan(0.573)\right) - 0.573 = 86.7^o$$

Góc giữa mực nước ngầm và các đường dòng bị lệch là:

$$90^o - (d+e) = 90^o - (0.573^o + 86.7^o) = 2.7^o .$$

d) Dòng chảy qua biên thấm có hệ số thấm thay đổi

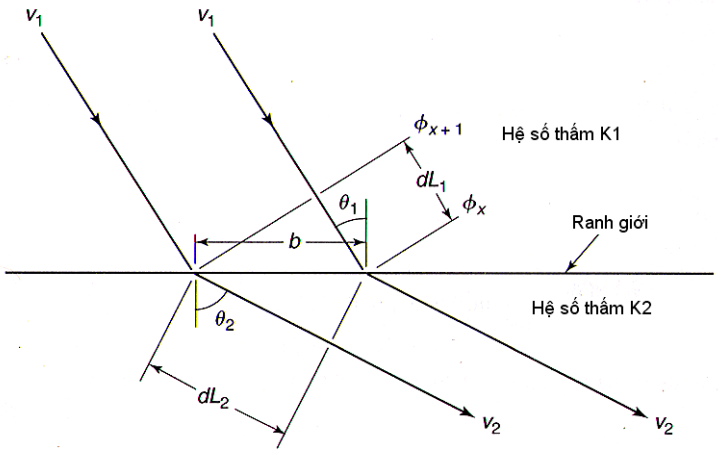
Tương tự như phân tích ở trên, ở những nơi dòng chảy chảy từ một vùng hệ số thấm K_1 sang vùng có hệ số thấm K_2 sẽ có sự thay đổi phương của dòng chảy. Sự thay

đổi phương có thể rút ra từ tính liên tục và được biểu thị qua các giá trị của hai hệ số thấm này. Xét trường dòng chảy trong Hình 1.14, ta thấy rằng các thành phần vuông góc của dòng chảy đến và đi khỏi biên phải bằng nhau:

$$v_{n1} = v_{n2} \tag{1.53}$$

Hay :
$$K_1 \frac{dh_1}{dL_1} cos\, q_1 = K_2 \frac{dh_2}{dL_2} cos\, q_2 \tag{1.54}$$

trong đó q_1 và q_2 là các góc tạo với phương vuông góc như chỉ ra trong Hình 1.14. Và khoảng cách b dọc theo biên giữa hai đường dòng cạnh nhau cùng phía của biên.



Hình 1.14. Khúc xạ của đường dòng khi dòng ngầm cắt ngang biên thấm

Từ Hình 1.14, khoảng cách b được tính là:

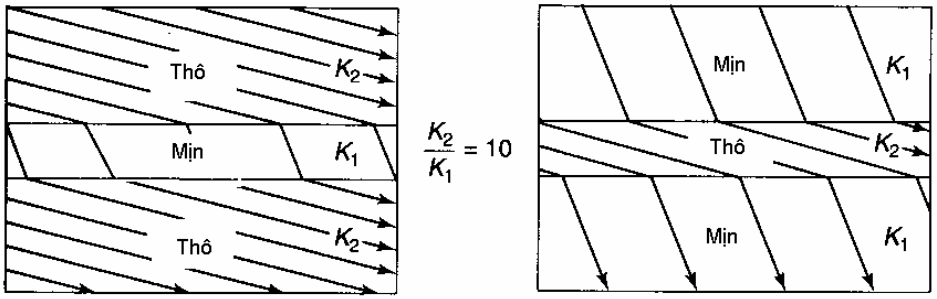
$$b = \frac{dL_1}{sin\, q_1} = \frac{dL_2}{sin\, q_2} \tag{1.55}$$

sắp xếp lại ta có : $$dL_1 \, sin\, q_2 = dL_2 \, sin\, q_1 \tag{1.56}$$

Chia phương trình này cho phương trình (1.54) và lưu ý rằng $dh_1 = dh_2$ giữa hai đường đẳng thế, ta được:

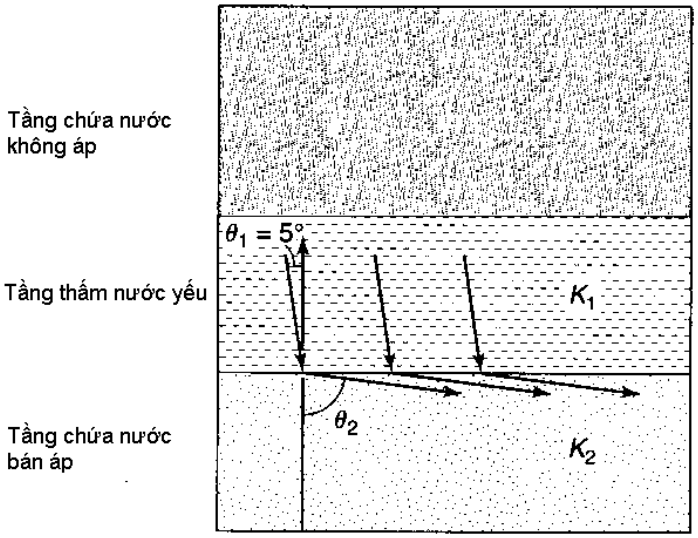
$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{tan\, q_1}{tan\, q_2} \tag{1.57}$$

Vì vậy, đối với dòng bão hoà từ môi trường có hệ số thấm này sang hệ số thấm khác, sự khúc xạ của đường dòng xảy ra sao cho tỉ số của hệ số thấm bằng tỉ số của tang các góc mà các đường dòng tạo với đường vuông góc với biên. Kết quả của mối quan hệ này chỉ ra trong Hình 1.15.



Hình 1.15. Sự khúc xạ qua các tầng cát thô và mịn với tỉ số hệ số thấm bằng 10

Ví dụ 1.3. Xét trường hợp một tầng chứa nước bán áp với hệ số thấm ngang là 4,5 m/ngày, nằm trên nó là một tầng thấm nước yếu có hệ số thấm thẳng đứng là 0,052m/ngày. Nước thấm qua tầng thấm nước yếu hướng xuống dưới và tạo với phương thẳng đứng một góc q_1=5^o. Hãy xác định q_2.



Hình 1.16. Mặt cắt địa chất thủy văn tầng phân lớp cho ví dụ 1.3.

Giải : Cho K_1=0,052 m/ngày, K_2=4,5 m/ngày và $q_1 = 5^o$, phương trình (1.47) được dùng để tính q_2.

$tan\,q_2 = tan\left(5^o\right)\frac{4.5}{0.052}$. Từ đó ta tính được $q_2 = 82.5^o$

Đường dòng trở nên gần như nằm ngang khi chúng đi vào tầng chứa nước bán áp. Đây là trường hợp điển hình của hệ thống dòng chảy, vì hệ số thấm của tầng chứa nước lớn hơn nhiều lần so với lớp phía trên.

e) Dòng chảy ổn định đồng hướng

Dòng chảy ổn định là dòng chảy mà các yếu tố thuỷ động lực của dòng chảy không thay đổi theo thời gian. Dưới đây sẽ xét với hai trường hợp: tầng chứa nước có áp và tầng chứa nước không áp. Trước hết xét với trường hợp dòng một chiều.

** Tầng chứa nước có áp*

Dòng ngầm với vận tốc là *v* theo phương *x* của tầng chứa nước có áp chiều dày không đổi. Phương trình dòng chảy một chiều ổn định là:

$$\frac{\P^2 h}{\P x^2} = 0 \qquad (1.58)$$

Nó có nghiệm là $h = C_1 x + C_2$

Trong đó *h* là cột nước so với mặt chuẩn và C_1 và C_2 là các hằng số tích phân. Giả thiết *h*=h1 khi *x*=0, h=h2 khi x=L và từ định luật Đacxy $\P h / \P x = -(v / K)$, ta có

$$\Delta h = h_1 - h_2 = -\frac{v_x}{K} L \qquad (1.59)$$

Nghĩa là cột nước giảm tuyến tính với dòng chảy theo phương *x* như Hình 1.17.