

## Tài nguyên và trữ lượng nước dưới đất

Đoàn Văn Cảnh.

Trưởng Đại học Mô-Địa chất.

### Giới thiệu

Khi thăm dò, khai thác và sử dụng các nguồn nước dưới đất có hai đại lượng cơ bản cần được xác định và đánh giá đó là tài nguyên dự báo và trữ lượng nước dưới đất.

*Tài nguyên dự báo nước dưới đất* là lượng nước có chất lượng và giá trị xác định có thể nhận được trong giới hạn một cấu trúc địa chất thủy văn, một lưu vực sông hay một vùng có tiềm năng khai thác sử dụng sau này.

Đối tượng đánh giá *tài nguyên dự báo nước dưới đất* là các tầng chứa nước trong giới hạn một cấu trúc địa chất thủy văn hay một thung lũng sông theo kết quả mô hình hóa điều kiện địa chất thủy văn khu vực, bằng phương pháp tính toán cân bằng, tính

toán thủy động lực hoặc có thể bằng phương pháp tương tự địa chất thủy văn.

Tài nguyên dự báo nước dưới đất thể hiện bằng khối lượng ( $m^3$ ,  $km^3$ ) hoặc lưu lượng ( $km^3/năm$ ,  $m^3/ngày$ ) có thể nhận được từ tầng chứa nước bằng thể tích nước trữ trong đó, hoặc bằng các công trình khai thác quy ước trong giới hạn một cấu trúc chứa nước, hay trong một thung lũng sông, một địa giới hành chính xác định.

Trữ lượng khai thác nước dưới đất không phải là khối lượng, trọng lượng được đo đếm như đối với khoáng sản rắn, mà là lưu lượng, nghĩa là lượng nước có thể lấy được theo thời gian bằng các công trình khai thác.

Theo định nghĩa cô điển, trữ lượng khai thác nước dưới đất là lưu lượng công trình khai thác hợp lý về mặt kinh tế kỹ thuật tuân thủ điều kiện khai thác theo đặt hàng.

Định nghĩa đầy đủ hiện nay là trữ lượng nước dưới đất (trữ lượng khai thác nước dưới đất) là lượng nước có thể nhận được từ mỏ nước hay một phần mỏ nước bởi các công trình khai thác nước hợp lý về mặt địa chất, kinh tế kỹ thuật trong điều kiện và chế độ khai thác đã cho với chất lượng nước thỏa mãn yêu cầu sử dụng trong suốt thời gian khai thác, không gây tác động môi trường.

Trữ lượng nước dưới đất được tính toán theo kết quả công tác thăm dò địa chất thủy văn cũng như theo tài liệu khai thác nước dưới đất trong diện tích mỏ nước. Đối tượng tính toán trữ lượng nước dưới đất là mỏ nước dưới đất dùng cho ăn uống sinh hoạt, kỹ thuật và mỏ nước khoáng.

Nhằm phục vụ cho việc tính toán trữ lượng khai thác, trong tìm kiếm thăm dò nước dưới đất những yếu tố sau đây cần được xác định – số lượng lỗ khoan, sơ đồ vị trí phân bố công trình, cấu trúc của công trình, kích thước đới phòng hộ vệ sinh. Công trình cần phải được thực hiện đúng như những yếu tố đã được xác định, đồng thời quá trình công tác phải ổn định suốt trong thời gian tính toán. Trong điều kiện đó, mực nước không được hạ thấp quá giới hạn cho phép, chất lượng phải đảm bảo theo yêu cầu, không có tác động xấu đến môi trường.

### **Các phương pháp đánh giá dự báo tài nguyên và tính toán trữ lượng nước dưới đất**

#### **Các phương pháp tính toán trữ lượng nước dưới đất**

Tính toán trữ lượng nước dưới đất gồm xác định lưu lượng có thể khai thác của công trình lấy nước với độ hạ thấp mực nước thiết kế, hoặc dự báo độ hạ thấp mực nước trong các công trình lấy nước với lưu lượng đã cho trong phạm vi diện tích (khu) đánh giá. Trong đó phải chứng minh được khả năng khai thác bằng hệ thống các công trình lấy nước hợp lý nhất với lượng nước tính toán lấy ra trong khoảng thời gian nhất định, hoặc khai thác với thời gian không hạn định (vô hạn) với điều kiện chất lượng nước phải thỏa mãn mục đích sử dụng trong suốt thời gian tính toán.

Trong điều kiện như thế, mực nước không được hạ thấp quá giới hạn cho phép, chất lượng phải đảm bảo theo yêu cầu, không có tác động xấu đến môi trường.

Việc tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất được tiến hành: 1) Trên những diện tích cục bộ với mục đích cung cấp nước cho những đối tượng riêng lẻ, cũng như để tưới ruộng; 2) Trong phạm vi các vùng địa chất thủy văn rộng lớn để lập quy hoạch công tác tìm kiếm thăm dò và luận chứng tổng sơ đồ sử dụng tổng hợp và bảo vệ tài nguyên nước.

Trong những diện tích cục bộ, trữ lượng khai thác được đánh giá trên cơ sở công tác thăm dò địa chất thủy văn, hoặc kết quả khai thác của các công trình lấy nước đang hoạt động.

Tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất phục vụ cho tưới, cũng như trong trường hợp lưu lượng khai thác không đều trong năm, được tiến hành với chế độ khai thác định trước. Trữ lượng khai thác được trình Hội đồng phê chuẩn tương ứng với lưu lượng của công trình khai thác theo chế độ liên tục, tức là tương ứng với lưu lượng trung bình hàng năm của nó. Ngoài ra, cần xác định lượng nước lấy ra hàng ngày lớn nhất và thời gian kéo dài, chế độ khai thác tối đa trong thời kỳ sinh trưởng của cây trồng.

Nếu lấy nước bằng cách khai dẫn trực tiếp từ các mạch lộ thì trữ lượng khai thác được xác định theo lưu lượng cực tiểu ngày trong năm của mạch nước với độ đảm bảo 85 - 95%, hoặc theo lưu lượng trung bình năm của các mạch nước đó cùng với độ đảm bảo như trên, nếu dự kiến chế độ khai thác tương ứng với động thái của mạch nước theo các mùa trong năm.

Trữ lượng khai thác nước dưới đất được tính toán phù hợp với bối cảnh tự nhiên và kinh tế hiện tại. Trong trường hợp dự kiến được các phương án thay đổi đối với bối cảnh tự nhiên và kinh tế (ví dụ xây dựng kênh dẫn và hồ chứa, bổ sung nhân tạo nước dưới đất) thì khi đánh giá trữ lượng cấp thấp phải chú ý đến những thay đổi đó.

Nếu việc khai thác nước dưới đất được thiết kế có kèm theo những giải pháp bổ sung nhân tạo, khi đó việc đánh giá trữ lượng khai thác nước dưới đất cần được thực hiện phù hợp với sơ đồ bố trí công trình thăm và chế độ làm việc dự kiến của chúng.

Khi đánh giá trữ lượng khai thác nước dưới đất nên chú ý đến ảnh hưởng của khai thác nước dưới đất đối với sự thay đổi dòng chảy trên mặt, và ảnh hưởng đến các mạch lộ và kênh thoát gần đó.

Trường hợp trên diện tích đánh giá trữ lượng có các công trình lấy nước đơn hoặc nhóm các công trình lấy nước đang hoạt động, khi đó đánh giá ảnh hưởng của các công trình thiết kế mới đối với chúng. Đồng thời cần đưa ra những đề nghị về cách tổ chức việc cung cấp nước cho những hộ tiêu thụ nước của các công trình đang khai thác nếu chúng ngừng hoạt động.

Trong trường hợp nguồn hình thành chủ yếu trữ lượng khai thác nước dưới đất là trữ lượng tĩnh tự nhiên (kể cả trữ lượng đàn hồi) của các tầng chứa nước và việc khai thác được tiến hành theo chế độ không ổn định, cần phải dự tính thời hạn khai thác. Nếu thời hạn đó không dự kiến được, thời gian tính toán hoạt động của các công trình được quy ước lấy bằng 25 - 27 năm (tuổi thọ của công trình khai thác). Đến hết thời hạn tính toán, theo tài liệu khai thác nhiều năm có thể tiến hành đánh giá lại trữ lượng



hoặc tìm nguồn cung cấp bổ sung cho đối tượng sử dụng nước.

Trữ lượng khai thác nước dưới đất được xem là được đảm bảo nếu mực nước hạ thấp tính toán của công trình khai thác nước nhỏ hơn hoặc bằng mực nước hạ thấp cho phép (ngưỡng giới hạn mực nước động cho phép). Mực nước hạ thấp cho phép có thể được xác định thông qua mực nước động tính từ mặt đất hoặc bằng trị số hạ thấp mực nước tính từ mực nước tĩnh tới mực nước động. Trị số mực nước hạ thấp cho phép được xác định phụ thuộc vào các yếu tố địa chất thủy văn và yếu tố kinh tế - kĩ thuật. Trong mọi trường hợp, bề sâu mực nước động trong giếng khai thác không được vượt quá độ cao nâng nước có thể của thiết bị bơm, và cột nước còn lại trong giếng khoan phải đủ để máy bơm làm việc một cách bình thường. Đối với các tầng chứa nước có áp nằm sâu có cột nước áp lực lớn, việc chọn trị số hạ thấp mực nước cho phép cần tính đến cả điều kiện kinh tế - kĩ thuật (gồm máy bơm và thiết bị nâng nước kèm theo).

Trong các tầng chứa nước không áp, trị số hạ thấp mực nước cho phép thường lấy bằng 50 - 70% chiều dày tầng chứa nước. Còn đối với tầng chứa nước áp lực nông thì trị số hạ thấp mực nước cho phép được lấy bằng chiều cao cột nước áp lực so với mái tầng chứa nước cộng với 50-70% chiều dày tầng chứa nước. Giới hạn này cho phép nhận được dự trữ cần thiết về mực nước và bảo đảm an toàn cho máy bơm hoạt động. Điều đó đặc biệt quan trọng khi điều kiện địa chất thủy văn phức tạp mà trong tính toán địa chất thủy văn hoàn toàn không chú ý được tất cả các yếu tố tự nhiên.

Khi chọn trị số hạ thấp mực nước cho phép trong các tầng chứa nước không áp (cũng như trong các tầng chứa nước có áp có thể có sự tháo khô một phần lớp chứa nước) cần xác định quy luật thay đổi tình thấm trong mặt cắt thẳng đứng và phải chứng minh bằng thực nghiệm khả năng nhận được lưu lượng tính toán từ phần lớp chưa bị tháo khô.

Tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất có thể được tiến hành bằng phương pháp thủy động lực, thủy lực, cân bằng, cũng như phương pháp tương tự địa chất thủy văn, hoặc áp dụng đồng thời các phương pháp kể trên.

Việc lựa chọn một hoặc một số phương pháp nào đó là do điều kiện địa chất thủy văn và mức độ nghiên cứu quyết định.

#### **Phương pháp thủy động lực**

Tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất bằng phương pháp thủy động lực là tính toán công trình khai thác nước trong những điều kiện ban đầu và điều kiện biên nhất định với các thông số của các tầng chứa nước trong phạm vi miền thấm được nghiên cứu. Phương pháp thủy động lực có thể được

chia ra làm phương pháp giải tích và phương pháp mô hình. Phương pháp mô hình bao gồm phương pháp mô hình trên máy tương tự (tương tự điện hoặc tương tự thủy lực), trên máy tính (mô hình số).

Việc tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất bằng phương pháp thủy động lực được thực hiện theo trình tự như sau:

- Xác định điều kiện địa chất thủy văn và các nguồn chủ yếu hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất từ đó thành lập sơ đồ địa chất thủy văn tự nhiên, trong đó thể hiện điều kiện trên biên, phân vùng diện tích nghiên cứu theo giá trị các thông số: chiều dày, mực nước, hệ số thấm, hệ số chứa, cường độ bổ cấp, cường độ bốc hơi, v.v...;

- Thành lập sơ đồ tính toán trữ lượng khai thác: thiết lập mạng lưới tính toán, sơ đồ bố trí công trình khai thác, điều kiện trên biên, v.v...;

- Chọn phương pháp tính và công thức tính;

- Chọn giá trị các thông số tính toán và tiến hành tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất, tức là dự báo sự hạ thấp mực nước khi công trình khai thác hoạt động với lưu lượng và chế độ khai thác đã cho trước bằng nhiều phương án khác nhau, sau đó chọn phương án khai thác hợp lý nhất;

- Tiến hành dự tính thời gian dịch chuyển của các loại nước không đạt tiêu chuẩn đến công trình lấy nước.

Dựa vào kết quả điều tra nước dưới đất đã được tiến hành để xác định cấu tạo địa chất diện tích nghiên cứu, điều kiện thể nằm và sự phân bố các tầng chứa nước, các lớp thấm nước yếu và cách nước, các nguồn chủ yếu hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất, các thông số địa chất thủy văn và các quy luật thay đổi của chúng trên bình đồ và mặt cắt, quy luật thay đổi chất lượng của nước dưới đất.

Cấu trúc của miền thấm trên mặt cắt thẳng đứng được xác định bằng sự có mặt của một hay một số tầng chứa nước, bằng đặc trưng của các lớp ngăn cách, cũng như hình dạng các ranh giới miền thấm trên bình đồ có liên quan với sự thay đổi thành phần thạch học, sự vát nhọn của các tầng chứa nước, các đới phá hủy kiến tạo, sự tiếp xúc giữa các tầng chứa nước với các khối nước mặt, v.v... Tất cả những đặc điểm đó phải được thể hiện trên sơ đồ địa chất thủy văn. Tiến hành phân đới tầng chứa nước theo tính thấm và tính chứa nước. Xác định điều kiện biên của tầng chứa nước (biên không thấm nước, biên có áp lực không đổi; biên với áp lực hoặc lưu lượng thay đổi). Cũng cần lưu ý trên cùng một biên giới nhưng ở những khu khác nhau có thể hình thành những điều kiện biên khác nhau (ví dụ, sự xuất lộ tập trung của các mạch nước).

Sơ đồ tính toán được thành lập trên cơ sở phân tích sơ đồ địa chất thủy văn tự nhiên có chú ý đến



những nhân tố chủ yếu quyết định quy luật hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất và mức độ tin cậy của chúng trên sơ đồ tài liệu thực tế. Đồng thời, để tính toán trữ lượng khai thác của một mỏ nào đó, có thể thành lập một số sơ đồ tính toán đặc trưng cho những nhận định khác nhau về nguồn hình thành trữ lượng.

Khi chuyển từ điều kiện tự nhiên sang sơ đồ tính toán cần sơ đồ hóa các yếu tố sau đây:

- Dạng hình học của các hệ thống chứa nước trên bình đồ và trên mặt cắt, mặt cắt nhiều lớp hay một lớp;
- Cấu trúc dòng thấm, các dòng không gian được đưa về dòng một chiều hoặc hai chiều, bỏ qua thành phần thẳng đứng của tốc độ thấm;
- Điều kiện trên các biên giới của tầng chứa nước (điều kiện cung cấp và thoát nước);
- Lập sơ đồ phân vùng theo giá trị các thông số thấm, chứa, ngấm và thoát.

Việc lựa chọn phương pháp tính (giải tích hoặc mô hình) và phương trình tính toán (khi dùng phương pháp giải tích) dựa trên cơ sở sơ đồ tính toán dự kiến.

Tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất bằng phương pháp giải tích được áp dụng khi điều kiện địa chất thủy văn tương đối đơn giản (tính chứa và thấm tương đối đồng nhất, các biên giới của tầng chứa nước là đường thẳng, điều kiện trên biên giới không đổi). Trong trường hợp này phương pháp giải tích hoàn toàn đảm bảo độ chính xác để giải các bài toán thực tế. Những điều kiện như thế thường đặc trưng cho các tầng chứa nước có áp nằm dưới sâu, trong những trầm tích bờ rời thuộc các bồn artesi kiểu miền nền, các thung lũng sông mà ở đó nước mặt và nước dưới đất có quan hệ thủy lực chặt chẽ với nhau.

Trong những điều kiện địa chất thủy văn phức tạp do sự không đồng nhất về tính thấm, do hình dáng phức tạp của các biên giới, do sự thay đổi theo thời gian các nguồn hình thành trữ lượng nước dưới đất, trong điều kiện mặt cắt phân lớp thì áp dụng phương pháp mô hình số là hợp lí.

Sử dụng phương pháp mô hình số rất có hiệu quả khi tính toán khu vực trữ lượng khai thác nước dưới đất trong những vùng có nhiều công trình khai thác nước đang hoạt động và cho phép xem xét nhiều phương án bố trí công trình và thay đổi công suất khai thác.

Cũng có thể cho phép làm chính xác thêm các điều kiện biên giới và các thông số địa chất thủy văn của các tầng chứa nước bằng cách giải bài toán ngược. Ngoài ra, bằng phương pháp mô hình toán có thể tính toán định lượng các nguồn riêng biệt hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất.

Số lượng lỗ khoan khai thác nước, hệ thống bố trí lỗ khoan và khoảng cách giữa chúng có chú ý đến biên giới của tầng chứa nước được xác định căn cứ

vào công suất yêu cầu của các công trình khai thác và lưu lượng có thể đạt được. Thời hạn tính toán khai thác và trị số hạ thấp mực nước cho phép được xác định theo những điều kiện đã trình bày ở trên. Việc tính toán trị số hạ thấp mực nước được tiến hành phù hợp với sơ đồ đã chọn và so sánh với trị số hạ thấp mực nước cho phép. Nếu trị số hạ thấp mực nước tính toán không vượt quá trị số cho phép thì trữ lượng khai thác được xem như đảm bảo. Trong trường hợp này nên tiến hành tính toán bổ sung để xác định lưu lượng cực đại có thể lấy được với trị số hạ thấp mực nước cho phép đã định. Khi tính toán có thể dựa theo vị trí thực tế của các lỗ khoan và số lượng của chúng, hoặc khi có nhiều lỗ khoan khai thác thì xem chúng như một "giếng lớn".

Nếu trên diện tích nghiên cứu tồn tại các loại nước dưới đất có thành phần không đạt tiêu chuẩn (hoặc nước mặn) thì phải tiến hành dự đoán thời gian dịch chuyển ranh giới của chúng trên bình đồ và mặt cắt, đồng thời xác định nồng độ của các nguyên tố trong nước theo các tiêu chuẩn quy định.

Khi hàm lượng của một nguyên tố nào đó vượt quá tiêu chuẩn cho phép thì trữ lượng khai thác được xác định khi chưa chú ý đến khả năng thay đổi chất lượng nước phải giảm đến trị số đảm bảo được chất lượng của nước trong giới hạn đòi hỏi.

Như đã trình bày ở trên, áp dụng phương pháp thủy động lực không đơn thuần là việc giải các phương trình toán học. Công việc quan trọng hơn khi áp dụng phương pháp thủy động lực là sơ đồ hóa các điều kiện tự nhiên. Cần lưu ý, sơ đồ tính toán được dùng để tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất trong mọi trường hợp đều có những giả thiết nhất định có liên quan trước hết với những nhận thức không đầy đủ về hoàn cảnh tự nhiên. Do đó độ chính xác cao của các tính toán thủy động lực không thể quyết định độ tin cậy của việc tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất theo những công thức đó.

Vì vậy, luận chứng các nguồn chủ yếu hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất và những quy luật thay đổi của các thông số địa chất thủy văn là rất quan trọng. Những luận chứng khác nhau phải được thể hiện trong những phương án tính toán khác nhau và trong việc phân cấp trữ lượng khai thác nước dưới đất.

Khi tính toán bằng phương pháp thủy động lực trong trường hợp trên sơ đồ tính toán phát hiện thấy có các nguồn hình thành trữ lượng mới (sự thu hút nước từ lớp phủ, sự thấm xuyên từ tầng chứa nước khác, sự giảm lượng thất thoát tự nhiên (tháo khô mạch lộ, sự lôi kéo dòng nước mặt, sự thấm của nước tưới...) thì đồng thời với việc tính toán công trình khai thác cần tiến hành tính toán độ đảm bảo trữ lượng khai thác theo thời gian bằng tổng trữ lượng động tự nhiên. Sự tính toán như vậy cho phép luận chứng sự



bảo tồn (hoặc thay đổi) điều kiện biên giới đã chọn trong toàn bộ thời hạn tính toán khai thác.

Vì công trình khai thác thường gồm nhiều lỗ khoan, nên sau đây chỉ đưa ra những công thức để xác định trị số hạ thấp mực nước trong trường hợp "giếng lớn" mà hệ thống các lỗ khoan thực tế đã được quy đổi. Ngoài ra, do trữ lượng khai thác được tính toán cho thời gian dài nên sẽ xem xét những công thức áp dụng cho thời gian dài kể từ thời điểm bắt đầu khai thác.

Các công thức tính toán đã được trình bày cụ thể, chi tiết trong nhiều sách chuyên môn. Trong mọi trường hợp; cần chú trọng phương pháp chiếu và cộng dòng, từ những điều kiện biên phức tạp hoàn toàn có thể đưa về trường hợp tầng chứa nước phân bố vô hạn để tính toán. Hơn nữa, những công thức đơn giản, phù hợp với tầng chứa nước có áp, tuy nhiên hoàn toàn có thể áp dụng đối với tầng chứa nước không áp, hoặc có áp - không áp, trong các công thức tính toán chỉ cần có sự hiệu chỉnh bằng cách thay thế như sau:

Đối với tầng chứa nước không áp: thay  $2mS = H^2 + h^2$ ;

Đối với tầng chứa nước có áp - không áp thay  $2mS = (2He - m) - h^2$ .

Ở đây:  $m$  - chiều dày của tầng chứa nước có áp;  $S$  - trị số hạ thấp mực nước trong tầng chứa nước có áp;  $H$  - chiều dày của tầng chứa nước không áp;  $h$  - trị số cột nước còn lại trong tầng chứa nước có áp hoặc có áp - không áp;  $He$  - áp lực ban đầu (áp lực trước khi khai thác) tính từ đáy của tầng chứa nước có áp.

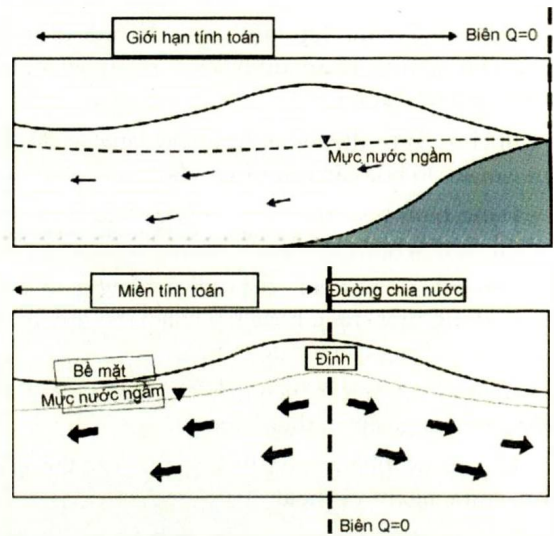
**Điều kiện biên**

Người ta phân biệt 3 loại điều kiện biên (gần đây một số tác giả đưa ra biên loại 4 thực ra là một trường hợp của biên loại II trình bày dưới đây).

*Biên loại I* (biên Dirichle). Biên loại I là biên mà trên đó mực nước dưới đất được xác định. Trong tự nhiên biên loại này thường gặp trong những trường hợp nước dưới đất có quan hệ trực tiếp với nước mặt. Mực nước trên biên có thể không biến đổi theo thời gian ( $H=const$ ) hoặc cũng có thể biến đổi theo thời gian theo một hàm số biết trước  $H = H(t)$  nào đó.

*Biên loại II* (biên Neuman). Biên loại II là biên mà tại đó giá trị cung cấp cho tầng chứa nước đã được xác định. Trong thực tế loại biên này thường là những ranh giới tiếp xúc giữa tầng chứa nước với đất đá không thấm nước hoặc ranh giới tiếp xúc giữa tầng chứa nước với đất đá có tính thấm khác biệt so với đất đá của tầng chứa nước. Lưu lượng cung cấp từ biên cho tầng chứa nước có thể bằng không ( $Q = 0$ ), bằng hằng số ( $Q = const$ ) hoặc cũng có thể lượng cung cấp biến đổi theo thời gian theo một hàm số xác định  $Q = Q(t)$ . Những điều kiện biên như đã nêu trên người ta thường gọi là "biên cứng". Thực tế tính toán trong một số trường hợp người ta sử dụng biên loại II

để mô cho các đường phân thủy nước ngầm ( $Q = 0$ ), dòng bên sườn ( $Q = const$ ). Các biên loại này gọi là "biên mềm" [H.1].

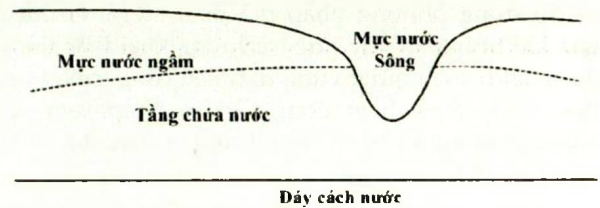


Hình 1. Mô phỏng biên mực nước ban đầu và biên  $Q = 0$ .

*Biên loại III* (biên Cauchy). Biên loại III là tổ hợp của biên loại I và biên loại II: lượng cung cấp cho tầng chứa nước từ biên phụ thuộc vào sự chênh lệch mực nước giữa tầng chứa nước với mực nước trên biên. Trong thực tế, biên loại này thường là các sông suối, các nguồn nước mặt có quan hệ "không chặt" với tầng chứa nước, sông chỉ cắt qua một phần của tầng chứa nước và lòng sông tồn tại lớp trầm tích đáy lòng sông gây ra sức cản thủy lực [H.2]. Trên mặt cắt, biên loại III được mô phỏng cho trường hợp tầng chứa nước nằm trên cung cấp cho tầng chứa nước nằm dưới thông qua lớp thấm nước kém.

Trong tính toán biên loại III này có thể chuyển đổi được về biên loại I hoặc biên loại II sau đó được mô phỏng như các biên loại I hoặc II.

Ví dụ với sông tồn tại lớp trầm tích đáy lòng thì được mô phỏng là biên loại III nhưng được chuyển về biên loại I bằng cách dịch chuyển biên đi một đoạn  $\Delta L$  tương ứng với sức cản trầm tích đáy lòng sông.



Hình 2. Mô phỏng biên sông.

**Điều kiện ban đầu**

Điều kiện ban đầu là hàm phân bố mực nước dưới đất trên toàn bộ miền tính toán tại thời điểm ban đầu. Giá trị mực nước ban đầu được sử dụng để tính toán xác định sự phân bố mực nước trong các bước thời gian tiếp theo. Trong quá trình tính toán

giá trị mực nước ở thời điểm t sẽ được sử dụng làm số liệu đầu vào để xác định hàm phân bố mực nước ở thời điểm (t+1).

**Phương pháp thủy lực**

Tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất bằng phương pháp thủy lực là xác định lưu lượng tính toán của công trình khai thác nước, hoặc xác định mực nước hạ thấp trong các lỗ khoan theo tài liệu thực nghiệm nhận được trực tiếp trong quá trình thí nghiệm ngoài trời, có xét đến một cách tổng hợp ảnh hưởng của những nhân tố khác có tính chất quyết định chế độ làm việc của các công trình khai thác nước.

Khi tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất, phương pháp thủy lực được áp dụng trong các trường hợp sau.

- Để xác định trị số hạ thấp mực nước trong lỗ khoan tương ứng với lưu lượng thiết kế. Việc đó có thể dựa vào đường cong lưu lượng được xác lập theo tài liệu thí nghiệm hút nước ổn định;

- Để xác định độ hao hụt mực nước khi tính toán các lỗ khoan can nhiễu (cũng trong chế độ vận động ổn định);

- Để xác định trị số hạ thấp mực nước trong lỗ khoan khai thác vào cuối thời hạn tính toán khi lưu lượng không đổi bằng thực nghiệm dựa vào quy luật hạ thấp mực nước theo thời gian đã xác định trong công trình khai thác nước.

Khác với phương pháp thủy động lực (các phương trình tính toán cũng như các thông số địa chất thủy văn chủ yếu được xác định từ điều kiện biên giới của tầng chứa nước đã sơ đồ hóa cho gần giống với lý thuyết thủy động lực) trong phương pháp thủy lực thì từ dạng phương trình đến các hệ số của phương trình đều được xác định theo tài liệu thực nghiệm, ở đó ảnh hưởng của những nhân tố khác nhau (tính không đồng nhất của tầng chứa nước. Ảnh hưởng của điều kiện biên đến công trình khai thác, sức cản trong đới gần lỗ khoan, sự phá hủy quy luật thấm đường thẳng...) được thể hiện một cách tổng hợp nhất trong kết quả bơm hút nước. Vì vậy phương pháp thủy lực nên áp dụng rộng rãi trong những điều kiện địa chất thủy văn rất phức tạp bởi cấu tạo rất không đồng nhất của môi trường thấm và khó xác định nguồn hình thành trữ lượng khai thác.

Phương pháp thủy lực không thể xác định độ đảm bảo bổ sung trữ lượng khai thác nước dưới đất, vì trong các công thức thực nghiệm không đưa vào những đại lượng đặc trưng cho cân bằng của dòng chảy. Bởi thế phương pháp này chỉ có thể áp dụng kết hợp với phương pháp thủy động lực hoặc phương pháp cân bằng. Sử dụng độc lập phương pháp thủy lực trong chế độ vận động không ổn định (xác định

quy luật thực nghiệm của trị số hạ thấp mực nước theo thời gian) là một ngoại lệ, bởi vì trong điều kiện rất phức tạp đó không áp dụng được phương pháp thủy động lực cũng như phương pháp cân bằng. Khi đó việc xác định khoảng thời gian thí nghiệm hợp lý có ý nghĩa đặc biệt, nó phải được chọn để quan hệ thực nghiệm nhận được trong quá trình thí nghiệm thể hiện ảnh hưởng của tất cả các biên giới của tầng chứa nước. Song, bằng thực nghiệm không cần tính hết những ảnh hưởng sẽ diễn ra trong quá trình khai thác. Ảnh hưởng này có thể làm thay đổi dạng quan hệ giữa trị số hạ thấp mực nước theo thời gian. Điều đó cần được chú ý đến khi phân cấp trữ lượng khai thác nước dưới đất.

Dự đoán trị số hạ thấp mực nước trong lỗ khoan trên cơ sở lưu lượng thiết kế là lập các đồ thị quan hệ và ngoại suy theo các đồ thị đó. Phương pháp tiến hành như sau.

Quan hệ giữa Q và S có thể là tuyến tính hoặc phi tuyến, nghĩa là đồ thị Q = f(S) có thể là thẳng hoặc cong [Bảng 1].

**Bảng 1.** Tập hợp và xử lý kết quả hút nước để xác định phương trình đường cong lưu lượng.

Số lần hút nước	Lưu lượng hút nước Q, l/s	Trị số hạ thấp mực nước tương ứng S, m	$S_o = \frac{S}{Q}$	lgQ	lgS
1	Q <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	$S_{o1} = \frac{S_1}{Q_1}$	lgQ <sub>1</sub>	lgS <sub>1</sub>
2	Q <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	$S_{o2} = \frac{S_2}{Q_2}$	lgQ <sub>2</sub>	lgS <sub>2</sub>
3	Q <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	$S_{o3} = \frac{S_3}{Q_3}$	lgQ <sub>3</sub>	lgS <sub>3</sub>

Nếu đồ thị Q = f(S) là đường thẳng, thì phương trình đường cong lưu lượng là phương trình tuyến tính, được viết bởi phương trình Duypuy: Q = qS. Đó là trường hợp xảy ra khi hút nước trong tầng chứa nước có áp, vận động của nước là chảy tầng, đất đá bờ rời.

Ngược lại nếu hút nước trong tầng chứa nước không áp, hoặc tầng chứa nước áp lực nông, tầng chứa nước khe nứt-karst thì đồ thị Q = f(S) thường có dạng đường cong, nghĩa là quan hệ Q = f(S) là phi tuyến.

Đường cong phi tuyến đó có thể biểu diễn dưới dạng các phương trình:

Phương trình hàm bậc hai (phương trình Keller):

$$S = aQ + bQ^2; \tag{2}$$

Phương trình hàm mũ (phương trình Smoreker):

$$S = \left(\frac{Q}{q}\right)^m \text{ hay } Q = q\sqrt[m]{S}; 1 < m < 2; \tag{3}$$

Hoặc phương trình hàm logarit (phương trình Altovski):

$$Q = a + blgS. \tag{4}$$



Để xác định quan hệ  $Q$  và  $S$  thông qua các phương trình và hệ số, cần thực hiện các bước theo trình tự sau đây.

Để làm điều đó, chúng ta thực hiện theo trình tự các bước sau:

+ Theo kết quả hút nước, lập một bảng số liệu để xác định phương trình đường cong lưu lượng hút nước tối thiểu 3 cấp lưu lượng. Các cấp lưu lượng phải chênh nhau để trị số hạ thấp mực nước tương ứng  $S_{min}$  và chênh giữa các đợt hạ thấp không nhỏ hơn 1,00 mét.

+ Theo số liệu trong bảng, lập đồ thị trong hệ trục tọa độ  $Q = f(S)$ . Nếu đồ thị  $Q = f(S)$  là thẳng, thì phương trình đường cong lưu lượng có dạng  $Q = qS$ ;

Nếu đồ thị  $Q = f(S)$  là đường cong thì lập tiếp một số đồ thị bổ sung:

+ Đồ thị  $S_0 = \frac{s}{Q} = f(Q)$  là đường thẳng, thì phương trình đường cong lưu lượng có dạng  $S = aQ + bQ^2$ .

+ Đồ thị  $lgQ = f(lgs)$  là thẳng, thì phương trình đường cong lưu lượng có dạng hàm mũ:

$$S = \left(\frac{Q}{q}\right)^m$$

+ Đồ thị  $Q = f(lgs)$  là thẳng, thì phương trình đường cong lưu lượng có dạng hàm logarit:  $Q = a + blgs$ .

Trong đó, các hệ số  $a, b, m, q$  của các phương trình kể trên có thể được xác định trực tiếp từ các đồ thị (tung độ góc và tgα của các đồ thị đường thẳng tương ứng) hoặc được xác định bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất hoặc sai số quân phương theo nhóm các số hiệu thống kê các mẫu chọn  $Q$  và  $S$ .

*Phương pháp thủy lực còn có thể được sử dụng để tính toán sự can nhiễu giữa các lỗ khoan khai thác.* Việc xác định trị số hao hụt mực nước trong các lỗ khoan can nhiễu được thực hiện bằng cách tăng hoặc giảm trị số hao hụt mực nước nhận được trong quá trình hút nước đi một số lần bằng số lần lớn hơn hoặc bé hơn lưu lượng các lỗ khoan thiết kế gây ra hao hụt so với lưu lượng của chính các lỗ khoan đó khi hút nước. Việc tính toán độ hao hụt mực nước được tiến hành theo công thức:

$$\Delta S_i^d = \frac{Q_d}{Q_m} \Delta S_i^m, \quad (5)$$

Trong đó,  $\Delta S_i^d$  và  $\Delta S_i^m$  - trị số hao hụt mực nước dự đoán ứng với lưu lượng thiết kế và trị số hao hụt mực nước khi hút nước thí nghiệm;  $Q_m$  và  $Q_d$  - lưu lượng của lỗ khoan gây ra hao hụt mực nước khi hút nước thí nghiệm và lưu lượng thiết kế.

Trong trường hợp hệ thống công trình khai thác gồm một số lỗ khoan thì trị số hạ thấp mực nước trong mỗi lỗ khoan khai thác được xác định bằng

tổng trị số hạ thấp trong lỗ khoan nghiên cứu khi làm việc đơn độc (tính toán theo đường cong lưu lượng hoặc xác định trực tiếp bằng thực nghiệm) và trị số hao hụt mực nước do mỗi lỗ khoan can nhiễu sinh ra được xác định theo công thức (5) khi đưa vào sơ đồ công trình khai thác các lỗ khoan bổ sung (thiết kế) thì trị số hao hụt mực nước do các lỗ khoan đó gây ra được xác định tùy thuộc vào khoảng cách của chúng đến lỗ khoan tính toán. Với mực đích trên, theo tài liệu hút nước thí nghiệm, vẽ các đồ thị  $\Delta S_i = f(lgr)$  ứng với lưu lượng nhất định hoặc đồ thị tổng hợp  $\frac{\Delta S_i}{Q} = f(lgr)$ . Dựa vào các đồ thị đó ta xác

định được trị số hao hụt mực nước ở những khoảng cách khác nhau từ các lỗ khoan hút nước ứng với lưu lượng đã cho.

Việc dự đoán trị số hạ thấp mực nước vào cuối thời hạn tính toán trong lỗ khoan khai thác với lưu lượng không đổi theo quy luật hạ thấp mực nước đã xác định bằng thực nghiệm được tiến hành dựa vào kết quả hút nước khai thác thí nghiệm. Nội dung dự đoán bao gồm việc xác định quy luật thực nghiệm về sự thay đổi mực nước theo thời gian và các điều kiện tự nhiên thực tế ảnh hưởng đến sự thay đổi các quy luật đó. Để xác định quy luật thay đổi mực nước theo thời gian người ta lập đồ thị quan hệ  $S = f(lgt)$ ,  $S = f(\sqrt{t})$ ,  $S = f(t)$  tương ứng với các điều kiện tầng vô hạn (nửa giới hạn) dạng dài, hoặc khép kín và để tính toán người ta chọn quan hệ gần với đường thẳng nhất. Trong trường hợp cả ba đều lệch xa quan hệ đường thẳng thì chọn quan hệ lũy thừa (tổng quát hơn)  $S \div t^c$  là phù hợp  $c < 1$ . Để xác định trị số  $c$  cần vẽ một số đồ thị bằng cách cho trước những giá trị khác nhau của nó.

Một biến dạng của phương pháp thủy lực khi vận động không ổn định là *phương pháp thông số tổng quát*. Khi dùng phương pháp này thì tầng chứa nước không đồng nhất thực tế với đường viền là những ranh giới phức tạp sẽ được thay bằng tầng chứa nước đồng nhất vô hạn với các thông số được xác định theo những đoạn cuối cùng của đồ thị  $S \div lgt$  (nếu đoạn cuối là đường thẳng). Phương pháp này cho phép dự đoán độ hạ thấp mực nước khi lưu lượng lớn hơn giá trị nhận được trong hút nước khai thác - thí nghiệm trong điều kiện hệ thống khai thác nước không thay đổi.

#### Phương pháp cân bằng

Tính toán trữ lượng khai thác bằng phương pháp cân bằng là xác định lưu lượng của nước dưới đất có thể nhận được nhờ các công trình khai thác trong phạm vi một vùng nào đó trong một thời hạn khai thác nhất định bằng cách thu hút nước từ một số nguồn hình thành trữ lượng. Khi đó, mỗi nguồn hình thành trữ lượng được tính toán bằng các công thức khác nhau một cách riêng biệt rồi cộng các kết quả nhận được.



Khi áp dụng phương pháp cân bằng, người ta nghiên cứu cân bằng của một khu (vùng, diện tích) nói chung theo lượng nước chảy đến và thoát đi trên các ranh giới của khu đó. Vì vậy phương pháp cân bằng chỉ cho phép xác định trị số hạ thấp mực nước trung bình của tầng chứa nước chứ không xác định được trị số hạ thấp mực nước trong các lỗ khoan. Phương pháp cân bằng cũng không thể xác định lưu lượng có thể khai thác được của từng lỗ khoan. Điều đó cho thấy phương pháp cân bằng chỉ nên sử dụng kết hợp với phương pháp thủy động lực.

Ngược lại, chỉ nhờ phương pháp cân bằng mới có thể xác định được vai trò của từng nguồn hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất, và mới có thể tính toán được mức độ đảm bảo trữ lượng. Vì vậy phương pháp cân bằng được sử dụng kết hợp với các phương pháp để tính toán trữ lượng khai thác là rất có hiệu quả.

Phương pháp cân bằng được sử dụng độc lập để tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất trong các cấu trúc nhỏ hữu hạn có các tầng chứa nước với hệ số dẫn nước lớn. Trong những cấu trúc đó, khi khai thác, hình phễu hạ thấp lan truyền nhanh chóng trên toàn bộ diện tích và sự khác nhau giữa mực nước ở trung tâm và rìa diện tích nghiên cứu là không đáng kể.

Phương pháp cân bằng thường được sử dụng để tính toán lưu lượng mạch nước. Khi đó, tính toán trữ lượng khai thác bao gồm việc xác định sự thay đổi lưu lượng các mạch nước theo thời gian trên cơ sở tài liệu quan trắc động thái lưu lượng mạch nước. Trong trường hợp thời gian quan trắc ngắn, có thể sử dụng số liệu của các mạch nước tương tự đã được quan trắc dài hơn hoặc theo lượng mưa khi đã xác lập được mối tương quan giữa lưu lượng của mạch nước nghiên cứu với lưu lượng của mạch nước tương tự, hoặc với lượng mưa. Để làm điều đó nên sử dụng phương pháp tương quan đôi một và nhiều yếu tố với nhau đã được áp dụng rộng rãi khi dự đoán động thái tự nhiên của nước dưới đất.

Nếu như phương pháp cân bằng chỉ có ý nghĩa phụ trợ khi tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất của những khu riêng biệt (cục bộ) thì khi tính toán khu vực trữ lượng khai thác nước dưới đất vai trò của nó tăng lên rất nhiều, đặc biệt là khi các công trình khai thác nước được bố trí theo diện tích.

**Các phương pháp phối hợp**

Như đã trình bày ở trên mỗi phương pháp (thủy động lực, thủy lực, cân bằng) có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Vì vậy tốt nhất nên áp dụng phối hợp một số phương pháp tính toán trữ lượng cùng một lúc. Lựa chọn phương pháp tùy thuộc vào điều kiện địa chất thủy văn cụ thể và mức độ nghiên cứu.

Kết hợp phương pháp thủy động lực và thủy lực rất có hiệu quả khi tính toán trữ lượng khai thác nước dưới đất trong các tầng chứa nước không đồng nhất về tính thấm. Trong trường hợp này trị số hạ

thấp mực nước ứng với lưu lượng thiết kế của các lỗ khoan và trị số hao hụt mực nước do các lỗ khoan can nhiễu gây ra trong khoảng thời gian thí nghiệm được xác định bằng phương pháp thủy lực. Trị số hạ thấp mực nước bổ sung theo thời gian được xác định bằng phương pháp thủy động lực tùy thuộc vào điều kiện biên giới của tầng chứa nước.

- Đối với tầng chứa nước vô hạn, trị số hạ thấp mực nước bổ sung có thể tính theo công thức:

$$\Delta S_t = \frac{Q_i}{4\pi(Km)_{tb}} \ln \frac{t_{kt}}{t_0} \tag{6}$$

Ở đây  $(Km)_{tb}$  - hệ số dẫn nước trung bình;  $t_{kt}$  - thời gian khai thác tính toán;  $t_0$  - thời gian hút nước thí nghiệm khi thăm dò.

- Đối với tầng chứa nước nửa giới hạn có ranh giới không thấm nước, áp dụng công thức:

$$\Delta S_t = \frac{Q_i}{2\pi(Km)_{tb}} \ln \frac{t_{kt}}{t_0} \tag{7}$$

Trị số hạ thấp mực nước bổ sung do hoạt động của công trình khai thác trong khoảng thời gian từ khi kết thúc thí nghiệm đến cuối thời gian khai thác được xác định theo các công thức (6) và (7). Để áp dụng các công thức đó cần phải xác định hệ số dẫn nước trung bình trong phạm vi hình phễu hạ thấp.

Có thể bỏ qua việc trên, nếu tính được trị số hạ thấp bổ sung do mỗi lỗ khoan làm việc đơn độc theo công thức (8):

$$\Delta S_{i(t)} = \frac{Q_{k-i}}{Q_{0-i}} (\Delta S_{2i\Delta} - \Delta S_{1i}) \frac{\ln \frac{t_{kt}}{t_{2i}}}{\ln \frac{t_{kt}}{t_{1i}}} \tag{8}$$

Ở đây  $\Delta S_{1i}$  - trị số hạ thấp mực nước bổ sung do hoạt động của lỗ khoan thứ  $i$  với lưu lượng  $Q_{ki}$ ;  $\Delta S_{2i}$ ,  $\Delta S_{1i}$  - trị số hao hụt mực nước từ lỗ khoan nghiên cứu khi hút nước từ lỗ khoan thứ  $i$  ở các thời điểm  $t_{2i}$  và  $t_{1i}$  sau khi bắt đầu hút nước với lưu lượng không đổi  $Q_{0i}$ .

Các giá trị hạ thấp mực nước bổ sung tính toán do hoạt động của mỗi lỗ khoan (kể cả lỗ khoan nghiên cứu) được cộng lại. Công thức (8) có thể sử dụng cho tầng chứa nước vô hạn, nửa giới hạn với chu vi không thấm nước và tầng chứa nước giới hạn bởi hai biên giới không thấm nước cắt nhau với điều kiện trong thời gian hút nước đã chịu ảnh hưởng của các biên giới đó.

Khi áp dụng đồng thời phương pháp thủy lực và cân bằng thì lưu lượng của công trình khai thác được xác định bằng phương pháp thủy lực (trực tiếp theo tài liệu thí nghiệm), còn độ đảm bảo lưu lượng sẽ được xác định bằng phương pháp cân bằng.

Trong điều kiện địa chất thủy văn đặc biệt phức tạp do tính thấm không đồng nhất, sự cung cấp không đều, thì nên áp dụng cả ba phương pháp.



**Đánh giá dự báo tài nguyên nước dưới đất**

Trong trường hợp tổng quát, tài nguyên dự báo nước dưới đất được hình thành từ các nguồn tự nhiên và nhân tạo theo phương trình cân bằng sau:

$$Q_{in} = \alpha_1 Q_{tn} + \alpha_2 \frac{V_{ln}}{t} + \alpha_3 Q_{nt} + \alpha_4 \frac{V_{nt}}{t} + Q_{bs} \quad (9)$$

Trong đó:  $Q_{in}$  - tài nguyên dự báo;  $Q_{tn}$ ,  $Q_n$ ,  $Q_{bs}$  - nguồn dòng chảy tự nhiên, nhân tạo, nguồn bổ sung, cuốn theo;  $V_{ln}$  và  $V_{nt}$  - dự trữ tự nhiên và nhân tạo;  $t$  - thời gian khai thác tính toán nước;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  - hệ số sử dụng các nguồn hình thành tài nguyên.

Dự trữ tự nhiên là lượng nước trọng lực trong các lỗ hổng, khe nứt và hang hốc karst của đất đá chứa nước. Dự trữ tự nhiên của nước ngầm còn gồm cả lượng nước trọng lực chứa trong đới dao động mực nước, phần đó được gọi là "lượng nước điều tiết", cũng có tác giả cho đó là phần nguồn động của nước ngầm được hình thành do nước mưa.

Trong các vỉa có áp, lượng dự trữ tự nhiên còn gồm cả "phần trữ đàn hồi". Lượng trữ đàn hồi là thể tích nước có thể lấy ra từ các vỉa chứa nước khi hạ thấp mực nước dưới đất do tính đàn hồi của nước và đất đá gây ra.

Nguồn động tự nhiên của nước dưới đất là lượng cung cấp của tầng chứa nước trong điều kiện chưa bị phá huỷ bởi khai thác. Nguồn động tự nhiên được hình thành có thể do thấm của nước mưa, thấm từ sông và các khối mặt, thấm xuyên từ các tầng chứa nước lân cận...; hoặc bằng lưu lượng của dòng chảy dưới đất, hoặc bằng tổng lượng thoát của các yếu tố cân bằng nước (lượng bốc hơi, lượng thoát của mạch nước, lượng thấm xuyên vào các tầng chứa nước lân cận, thấm vào sông, v.v...).

Nguồn nước bổ sung là lượng nước chảy vào tầng chứa nước do tăng sự cung cấp nhờ hoạt động của các công trình khai thác (sự phát sinh hay gia tăng quá trình thấm từ sông, hồ, thấm xuyên từ các tầng chứa nước lân cận, gia tăng lượng cung cấp do thấm).

Lượng trữ nhân tạo là thể tích nước dưới đất được con người đưa vào tích chứa trong đới đất đá chưa bão hoà nước.

Nguồn động nhân tạo là lượng nước thấm vào các tầng chứa nước từ các kênh đào, hồ chứa, diện tích tưới cũng như do tiến hành những biện pháp kỹ thuật để gia tăng nguồn cung cấp cho nước dưới đất.

**Tài liệu tham khảo**

- Đoàn Văn Cảnh, Phạm Quý Nhân, 2002. Tìm kiếm, thăm dò và đánh giá trữ lượng khai thác nước dưới đất. *NXB Khoa học và Kỹ thuật*. 120 tr. Hà Nội.
- Đoàn Văn Cảnh, Phạm Quý Nhân, 2005. Tin học Địa chất thủy văn ứng dụng. *NXB Khoa học và Kỹ thuật*. 220 tr. Hà Nội.
- Fetter, C.W., 2005. *Applied Hydrogeology* (5nd edition), Merrill Publishing Co. 592 pgs. Columbus, Ohio.
- JORC, 2004. The Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (JORC Code, 2004 edition), <http://www.jorc.org/main.php>
- Proposed Groundwater classification scheme, 2006. Ben Green, SRK Consulting (UK) Limited, Cardiff, UK; Anastasia Boronina, SRK Consulting (UK) Limited, Cardiff, UK; Richard Connelly, SRK Consulting (UK) Limited, Cardiff, UK;
- Proposals for a Groundwater classification system and its application in regulation. *UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive*. Final Report (SR1- 2007) October 2007.
- Боревский Б.В., Боревский Л.В., Язвин Л.С., 2005. Основные принципы разработки новой Классификации эксплуатационных запасов и прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод. \ Библиотека ГИДЭК \ Журналы \ "Разведка и охрана недр", №11, 2005 г.
- ПРИКАЗ от 30 июля 2007 г. N 195 МПР. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод.
- ПРАВОВЫЕ АКТЫ: Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 30 июля 2007 г. № 195.