

# 在接觸式礦床傾斜岩層單面來水的條件下 計算坑道湧水量的新公式

張永交

(冶金部 507 水文地質隊)

## 一、前 言

礦區水文地質勘探的中心目的，主要是查明礦床的水文地質條件，為礦床開采，提供湧水水量和湧水狀態的資料。礦山進行開采設計時，坑道湧水水量的資料，不僅影響礦床的開拓方案和開采方法，而且決定礦床的開采命運。如果提供的湧水水量的資料不正確，無論是偏大或偏小，都會使設計造成錯誤，以至在礦山的建設中，造成巨大的浪費和損失。如果實際的水量大於預計的水量，則在施工中將會遇到事先沒有估計到的困難，或臨時增加設備，或改變開拓方案和開采方法，有時甚至不得不停止生產，這樣無疑將造成很大的浪費。如果實際的水量小於計算水量，則在設備上將造成積壓；或者使開拓方案和開采方法選得不合理，而形成浪費。有時由於過大的估計了湧水量，甚至否定了礦床的開采價值，這樣的浪費就更大了。總之，在礦山進行技術設計時，必須提出正確的坑道湧水水量的資料，否則將會在礦山建設中，造成巨大的浪費。在礦床勘探的過程中，必須象查明礦體的儲量一樣，查明礦床開采時坑道的可能湧水量。

要正確預計礦坑的湧水量，除了要獲得正確的計算參數，查明礦區的水文地質條件，如：含水層的厚度、產狀、構造、埋藏條件、滲透系數、地下水位、補給來源、水力特性等因素外，還必須根據具體的條件，選擇合理的公式來計算。事實證明，同一礦區用不同的公式計算所得出的結果，可差數倍。合理地選擇公式，對正確的預計坑道湧水量有極其重要的意義。

隨著水文地質科學的發展，計算坑道湧水量的公式，逐漸增多，計算的方法，也日趨完善。但這些公式，都有很多假定條件，都是在理想的标准狀況下演證出來的，如（1）含水層均質四周對稱，無限擴展；（2）含水層水平。在客觀的實際條件下，标准的條件是少有的；由於地質條件複雜，尤其是構造作用對含水層產狀的影響，有時已經完全違背了公式中所規定的條件。

此時，一般公式，已經不能適應客觀的情況，必須將公式根據具體的條件進行修正，本文就是對於在接觸式礦床傾斜岩層單面來水的地質條件下對坑道湧水水量的計算公式作初步的探討。

## 二、接觸式礦床的水文地質特點及使用 大井法公式及其他公式評述

所論述的接觸式礦床的地質特點是：火成岩與石灰岩相接觸，一般火成岩在下部，石灰岩在上部；接觸面傾角較大，約 $40^{\circ}$ — $70^{\circ}$ ；礦體產於接觸帶中，多呈透鏡體狀，有時幾個礦體斷續相連，延長數百至數千米。我國著名的大冶鐵礦、金嶺鎮鐵礦以及河北武安涉縣一帶的許多接觸式礦床，都具有上述的特點。

礦體的頂板是厚層的石灰岩，這些灰岩，由於受長期的風化作用、火成岩侵入的影響及地下水的溶蝕作用，生成了很多裂隙和喀斯特，它是強烈的含水層。因石灰岩岩層很厚，分布面積廣闊，地下水有良好的補給條件。其水力特性，多為潛水形態。

礦體的底板是火成岩岩基，含水很少，尤其是底部，幾乎不含水。與石灰岩相比，其水量可以忽略不計。

根據礦體產狀的特點，其開拓方案，一般是在礦體的頂板或底板布置狹長的坑道。

由於含水層分布在礦床的一邊，且開采坑道為一狹長形狀，故地下水為單面補給，水流狀態為平行流。其情況如圖 1 所示。

在這種情況下，有些人仍然採用大井法公式

$$Q = 1.366K \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r_0}}$$
來計算坑道湧水量。如所周知，

大井法公式只有開采面積長寬之比不大於 3 : 1，最大不超過 10 : 1 的情況下，才允許使用，現坑道寬一般為 2—3 米，坑道長數百至數千米，長寬之比大於 100—500，因此這公式顯然是不適合的。有時主要坑道掘在礦床底盤火成岩中，在石灰岩內不另掘坑道，此時石灰

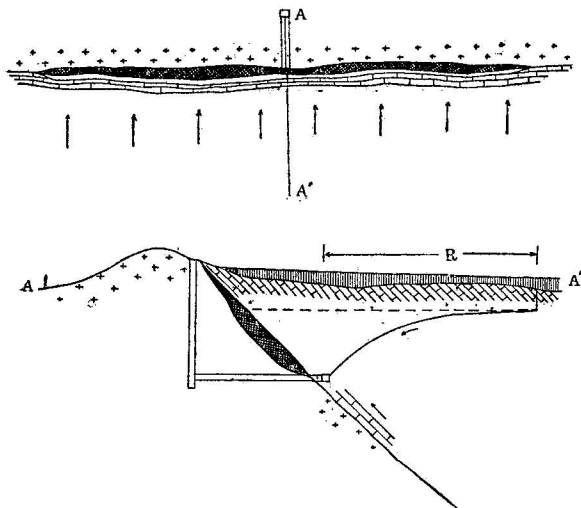


图 1

岩之湧水状态，为一直立的壁面，在水平面上，根本不存在宽度的概念，更沒有所謂长寬之比了。有些人为了有意識地减小坑道长寬的比值，以便适合大井法公式所規定的条件，将底部坑道的位置，投影到静止水位处，取含水层上部的寬度以代替矿区的开采寬度。很明显，当水位下降后，上部已形成疏干状态，这个寬度的因素，对湧水量毫无作用。这种作法，肯定是錯誤的。另外，大井法公式，对坑道以下含水层傾斜的延伸部分的湧水量未予考虑。

有些人用水平排水渠的公式  $(Q = BK \frac{H-h_1}{R} \cdot \frac{h_1+h_2}{2})$  計算坑道湧水量。从理論上講，排水渠公式在这种条件下，是比较适合的，但式中的  $R$  值，很难确定。虽然計算  $R$  的公式很多，但还没有一个令人滿意的公式能正确算出  $R$  值。公式中， $Q$  与  $R$  成反比， $R$  值的改变，直接影响水量的变化。既然所取的  $R$  值，是一个有很大的誤差的数据，那末計算出来的水量也就不可能准确了。实际証明，水位下降很大时，計算的  $R$  值偏大，所得的水量偏小。

用巴甫洛夫斯基的公式  $\{q = Klh_0 \cdot Q = Bq \quad l = h_0 [\phi(n_2) - \phi(n_1)]\}$ ，計算坑道湧水量，也存在与排水渠公式同样的缺点，式中  $l(R)$  值不能准确地得到，因而影响了水量的正确性。

因为目前还没有在接触式矿床傾斜岩层单面来水的地质条件下計算坑道湧水量的适当公式，笔者根据地下水运动的規律，并結合含水层的构造、产状，水流特性和补給条件，导出了两个公式，一个是适合傾斜底部透水的条件（即含水层底部傾斜），一个用于含水层底板水平为完整井的条件。现将两个公式，分別进行

演証如下。

### 三、第一种情况——含水层底部傾斜（参看图2）

第一种情况的水文地质条件，如图 2 所示，矿体頂板为石灰岩，底板为不含水或含水量极弱的火成岩，其接触面以一定的傾角向下延伸，灰岩岩层很厚，在水平和垂直方向，都延展很远，全层含水，除坑道水平以上岩层有湧水作用以外，坑道水平以下底部的傾斜部分，也有湧水作用。

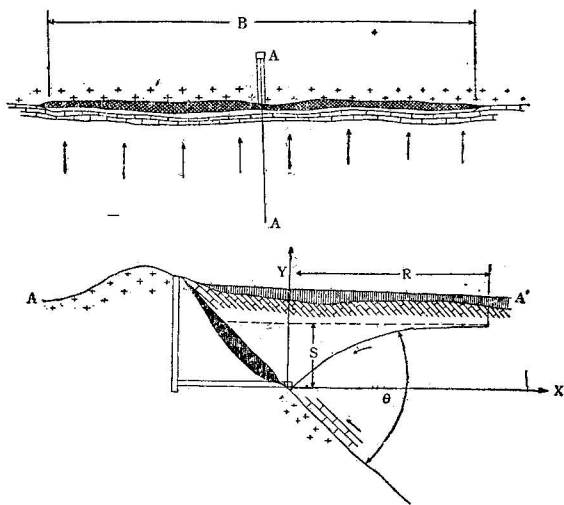


图 2

設坑道长  $B$  米，坑道排水沟寬  $r$  米，水位下降  $s$  米，灰岩渗透系数为  $K$ ，計算坑道湧水量。

解：作  $AA'$  剖面，按計算所得的  $R$  值在剖面上大体描划出降落曲綫（虽其形状可能略有誤差，但对  $\theta$  值影响不大），量出其与石灰岩底部的夹角  $\theta$ （ $\theta$  以弧度表之）。

在  $x$  处，其厚度（弧长）可写成  $x$  的函数，令其弧长为  $l$ ；

$$l = \theta x,$$

坑道在单位长度內，其面积

$$F = l \times 1 = x\theta.$$

又  $x$  处，水流的水力坡度

$$i = \frac{dy}{dx},$$

則坑道单位长度內的湧水量为：

$$q = KlF.$$

以  $lF$  之值代入上式：

$$q = K \frac{dy}{dx} \cdot x \cdot \theta.$$

分离变量得：

$$dy = \frac{q}{\theta K} \cdot \frac{dx}{x},$$

$$\int_{y_1}^{y_2} dy = -\frac{q}{\theta K} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x},$$

$$y_2 - y_1 = \frac{q}{\theta K} \ln \frac{x_2}{x_1},$$

$$y_2 - y_1 = S, \quad x_1 = r, \quad x_2 = R$$

則

$$S = -\frac{q}{\theta K} \ln \frac{R}{r}$$

∴

$$q = \frac{\theta K S}{2.3 \log \frac{R}{r}}$$

$$Q = qB$$

∴

$$Q = \frac{B\theta K S}{2.3 \log \frac{R}{r}} \quad (1)$$

閃長岩上部,有时也含有少量的水,可根据含水的实际厚度,用排水渠的公式計算湧水量( $Q = \frac{BKH^2}{2R}$ )。式中  $R$  值虽有誤差,但因水量很小,实际意义不大。也可用本文后面討論的第 2 个公式計算,这个公式中,  $R$  与  $Q$  成对数的变化。 $Q$  值較为精确。

实例:

某矿床的水文地质条件,如图 2 所示:石灰岩平均渗透系数  $K_{op} = 1.7$  米/日,坑道掘在石灰岩中,排水沟底部寬 0.2 米,坑道长度 1050 米,排水沟标高 35.317 米,地下水位最高季节静止水位标高 48.737 米,水位降低 13.42 米。用图解法得  $\theta \approx 60^\circ = \frac{\pi}{3}$ 。用公式(1)計算水量:

$$Q = \frac{B\theta K S}{2.3 \log \frac{R}{r}}$$

$$\theta = \frac{\pi}{3}, \quad K = 1.7 \text{ 米/日}, \quad S = 13.42, \quad r = 0.2 \text{ 米},$$

$$B = 1,050 \text{ 米}, \quad R = 575S\sqrt{H_0K} = 180 \text{ 米},$$

以上之值代入公式:

$$Q = \frac{1050 \times \pi \times 1.7 \times 13.42}{3 \times 2.3 \log \frac{180}{0.2}}$$

$$= 3630 \text{ m}^3/\text{日}$$

实际此时(最高水位季节)排水量,为 3,500 m<sup>3</sup>/日,計算結果与之极为近似。

#### 四、第二种情况——含水层底板呈水平状态

在石灰岩呈傾斜构造的条件下,有时含水带的底面,并不随层面傾斜,而呈水平状态,因裂隙和喀斯特只能延伸到一定的标高;或者由于充填作用,底部裂隙已被充填,故在一定的深度以下,底部已变为一个不含水或含水极弱的岩层。山东金岭鎮侯家庄铁矿的頂部

石灰岩裂隙和喀斯特的发育情况,就表现了上述特点。

前已述及,在狭长坑道单面来水的情况下,其水流性质,适合于排水渠的公式,但因式中  $R$  值不能准确获得,故計算的效果,不能令人滿意。現在我們用排水渠公式的观点,并用弗尔赫格依米尔·庫薩金的相互作用井的公式的方法,联合起来研究,可以导出一个新的公式。这个公式和上面的公式(1)一样,具有排水渠公式的物理意义,但因式中  $Q$  与  $R$  为对数函数,可使水量消除了由于  $R$  不准确而形成的重大誤差。

按照相互作用井的公式,在潛水条件下,其方程式为:

$$Q = \frac{\pi K (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln x_0} \quad (a)$$

$$\ln x_0 = \frac{1}{n} \ln x_1 x_2 \dots x_n \quad (b)$$

式中:  $H$  (米)含水层含水带厚度。

$h$  (米)某定点  $P$  处水柱深度。

$R$  (米)影响半径。

$n$  —— 鈎孔的个数。

$x_1 x_2 \dots x_n$  (米)各鈎孔至某定点  $P$  的距离。

如某定点  $P$  設在矿体的一端,則其关系如图 3 所示。

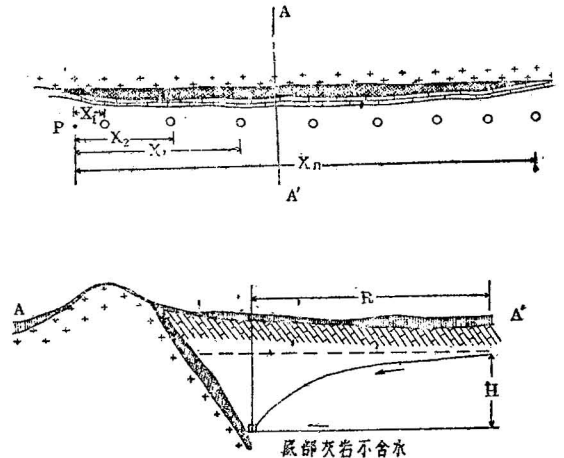


图 3

当井成直綫排列,井的个数  $n \rightarrow \infty$ , 井的距离为无限小时,則成了一个連貫的坑道。

当  $n \rightarrow \infty$  时,  $\ln x_0$  可写成下列的积分式:

$$\ln x_0 = \frac{1}{x_n - x_1} \int_{x_1}^{x_n} \ln x dx$$

$$= \frac{1}{x_n - x_1} [x \ln x - x]_{x_1}^{x_n}$$

$$= \frac{1}{x_n - x_1} [(x_n \ln x_n - x_n) - (x_1 \ln x_1 - x_1)]$$

$$= \frac{1}{x_n - x_1} [(x_n \ln x_n - x_1 \ln x_1) - (x_n - x_1)]$$

令  $x_1=1$

$$\ln x_0 = \frac{1}{x_n-1} [(x_n \ln x_n) - (x_n-1)] \quad (B)$$

$\ln x_0$  与  $\ln x$  的关系,如图 4 所示。

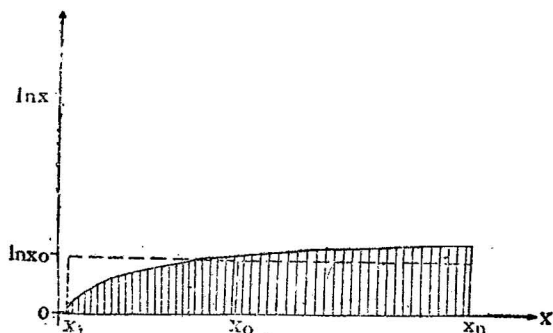


图 4

$x=1$ , 即  $P$  点在坑道一端的延长线上离坑道一米之处, 将  $P$  点定在坑道外一米, 对水量影响不大, 而使公式有简单的形式。

以 (B) 式代入 (A) 式:

$$Q = \frac{\pi K (H^2 - h^2)}{\ln R - \frac{1}{x_n-1} [(x_n \ln x_n) - (x_n-1)]}$$

$$= \frac{\pi K (H^2 - h^2)}{2.3 \left[ \log R - \frac{1}{x_n-1} \left( x_n \log x_n - \frac{x_n-1}{2.3} \right) \right]}$$

$$\therefore Q = 1.366K \frac{(H^2 - h^2)}{\log R - \frac{1}{x_n-1} \left( x_n \log x_n - \frac{x_n-1}{2.3} \right)}$$

因单面来水,  $Q$  以  $\frac{1}{2}$  修正之, 得:

$$Q = 0.68K \frac{H^2 - h^2}{\log R - \frac{1}{x_n-1} \left( x_n \log x_n - \frac{x_n-1}{2.3} \right)} \quad (2)$$

在承压水的情况下, 可写成下式:

$$Q = 1.36K \frac{MS}{\log R - \frac{1}{x_n-1} \left( x_n \log x_n - \frac{x_n-1}{2.3} \right)} \quad (3)$$

在承压水变潜水的情况下, 可写成下式:

$$Q = 0.68K \frac{(2HM - M^2 - h^2)}{\log R - \frac{1}{x_n-1} \left( x_n \log x_n - \frac{x_n-1}{2.3} \right)} \quad (4)$$

我們曾用 (2) 式和 (4) 式, 计算过一些单面来水底部为不透水层的坑道湧水量, 获得了较为合理的結果\*。

## 五、結 語

以上这两个公式, 完全是根据地下水运动的基本定律——达尔西定律演証的, 它們和鳩布依公式及弗

尔赫格依米尔·庫薩金公式, 具有同样的理論基础。公式 (1) 的微分方程的理論, 与鳩布依公式微分方程完全相同, 只是根据水流条件的变化作了修改, 所以得到了不同的形式。这一公式可以看作是鳩布依公式的发展。公式 (2) 是根据弗尔赫格依米尔·庫薩金井羣相互作用公式的理論演变出来的, 是該公式的一种特殊形式, 即当井羣增至无限多已联貫成一条坑道时的特例。

这些公式的理論基础, 似乎是沒有可以值得怀疑的; 由于这些公式考虑了一些影响水流的主要条件, 如地质构造, 水流特性, 补給面积及状态等因素, 所以在这些特定的条件下, 較已有的一些标准公式, 更切合实际。

一般的标准公式, 是在标准的条件下制定出来的。但在复杂的自然界中, 真正的标准条件很少, 或者沒有, 而不标准的条件, 如我們所研究傾斜岩层单面来水的条件, 反而常見。根据笔者所遇到的接触式矿床, 經大部分都构成了这种条件。如果这两个公式对这种水文地质条件、构造形态的地区, 較其他公式合适, 則此两公式在我們今后的水文地质计算中, 将具有一定实际意义。

任何公式, 都有一定的条件, 上述的两个公式, 是在一定的条件下演証出来的, 其使用时, 亦必須与规定的条件相适应。

公式 (1), 曾經实际驗証, 获得了比較滿意的結果; 公式 (2) 虽在使用中得到了较为合理的結果, 但未經实际驗証, 尙待以后証实。

## 参 考 文 献

- [1] A. И. Силин-Бекчусин, 1954: 专门水文地质学。
- [2] 卡明斯基, 克利門托夫等 1954: 矿床水文地质学。
- [3] 卡明斯基, 1955: 地下水动力学原理。
- [4] И. В. 嘎尔摩諾夫, А. В. 列別节夫, 1956: 地下水动力学問題。
- [5] 伊·阿·施克巴拉諾維奇, 1957: 水文地质计算。
- [6] E. E. 克爾斯基, 1958: 流入水量影响半径的确定。
- [7] Н. Н. 宾德曼, 1956: 地下水壅水与水库渗透水文地质计算。
- [8] Г. М. 馬利伍保利斯基, 1954: 建筑工程中人工降低地下水设计与施工規程。
- [9] М. Е. 阿尔托夫斯基, 1957: 干扰自流井与潛水井的计算方法指南。
- [10] Г. Н. 卡明斯基, 1957: 地下水的普查与勘探。
- [11] 魯薩諾夫, 1955: 根据地下水动力学的公式确定湧水量 (載“1954年苏联水文地质工程地质专家談話彙編”)。

\* (2), (3), (4) 式中  $x_n$  不应大于  $R$ 。