

矿坑涌水量 预测方法

地质部矿区水文地质干部进修班編著

中国工业出版社

矿坑涌水量 预测方法

地质部矿区水文地质干部进修班編著

中国工业出版社

252948

本书为地质部矿区水文地质干部进修班集体编写，书中详细分析了矿坑充水的主要因素和涌水量计算参数的确定方法，同时根据我国的实际资料对各种公式的应用条件和不同开采方式的计算方法作了较全面的阐述。

本书是水文地质工作者，尤其是矿区水文地质工作者在实际工作中很好的参考书，对各院校水文地质工程地质专业师生和科学研究人员也有一定参考价值。

矿坑涌水量预测方法

地质部矿区水文地质干部进修班编著

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京经二路路西10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $6^{5/16}$ ·插页1·字数166,000

1963年9月北京第一版·1963年9月北京第一次印刷

印数0001—1,800·定价（10-6）1.05元

统一书号：15165·2167（地质-221）

序 言

測定可能流入坑道的水量是一个复杂而又重要的問題。因为矿坑涌水量的大小直接关系到矿山的开发远景和生产能力。同时，矿床充水程度又是决定矿山取舍的条件之一。因此，做好矿坑涌水量的預測工作对矿床的設计和开发有着重要的意义。

解放后，特别是1958年以来，在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，随着矿产普查勘探、生产矿井的不断增多，我国矿区水文地质工作也取得了丰富的經驗。为了总结經驗，不断提高科学理論和技术水平，地质部于1960年举办了矿区水文地质干部进修班，参加这个进修班的，除了地质部矿区水文地质人員外，还有煤炭工业部、冶金工业部的水文地质人員，他們在进修过程中根据我国的实际資料和已有文献，曾就一些專門問題进行了系統总结，“矿坑涌水量預測方法”就是专题总结之一。

作者們相信，这本书的出版，将有助于我国矿区水文地质工作水平的提高；同时应当說明，由于時間和水平限制，书中缺点和錯誤在所难免。因此，殷切地期望来自各方面的批評和指正。

目 录

序言

第一章 影响矿坑涌水量预测的几个主要因素	7
第一节 矿坑水的补给条件对矿坑涌水量预测的影响	7
第二节 岩石的性质与产状对矿坑涌水量预测的影响	3
第三节 矿床的开采方式对矿坑涌水量预测的影响	6
第四节 计算公式中的参数对矿坑涌水量预测的影响	9
第二章 涌水量计算公式中参数的确定方法	12
第一节 岩层渗透系数的确定	12
第二节 影响半径的确定	38
第三节 含水层厚度的确定	51
第四节 水位降低值与静止水位的确定	58
第五节 地下迳流系数的确定	66
第六节 给水度的确定	70
第三章 矿坑涌水量预测	75
第一节 竖井涌水量预测	75
第二节 坑道涌水量预测	115
第三节 露天采矿场涌水量预测	163
結語	181
主要参考文献	182
附表1 渗透系数公式一览表	184
附表2 三角堰流量换算表	插頁
附表3 β_1 值对数表	197

第一章 影响矿坑涌水量

预测的几个主要因素

正确地预测矿坑涌水量，是在詳尽地查明矿坑充水因素及获得可靠計算参数的基础上，根据矿床开采設計，选择相应的公式进行的。

由于矿坑涌水量预测的精确程度，直接影响矿床的合理开采和安全生产，因此工作时必須对以下几个影响矿坑涌水量预测的因素，进行周密的研究和考虑。

第一节 矿坑水的补給条件 对矿坑涌水量预测的影响

流入矿坑的水，包括矿坑揭露的矿体及其围岩本身貯存的地下水的靜儲量，通过不同岩层和不同途径进入矿井的地下水的动儲量，在某些情况下还有来自深层的承压水。

预测矿坑涌水量时，应当考虑充水因素在時間与空間上的影响：

1. 充水因素影响的强度和延續時間；
2. 矿坑充水的补給范围（补給面积和补給边界）。

大气降水，往往直接或間接地成为矿床充水因素，影响矿坑涌水量的变化速度，幅度和延續時間。同时具体的水文地质条件，如距补給区的远近、埋藏深度、降雨强度和延續時間也对矿床充水有一定的影响。有一些矿井实际資料証实，距补給区近，埋藏浅的矿井的涌水量变化速度快，幅度大；而距补給区远的，埋藏深的矿井則相反（見表1）。

因此在预测涌水量时，应当查清正常的涌水量，干季涌水量，雨季涌水量及其可能出現的日期、延續時間等情况。这一工作是建立在对大气降水及地下水的动态观测的基础上的。

表 1 某矿区一些矿井地下水补给关系

矿 井	至补给区	埋藏深度 (海拔、米)	正常涌水 量(米 ³ /时)	雨季涌水 量(米 ³ /时)	涌水量增 加幅度(为 原来水量的 倍数)	最大涌水 量出现日期
	距离(米)					
8 号井	1000	— 50	120	390	2.25	9月
39号井	4000	— 40	336	540	0.60	11月
12号井	1000	—115	420	600	0.45	11月

地表水体(河流、湖泊、水库、海洋等)对矿床充水的影响,取决于矿坑与地表水体之间水力联系程度、补给距离和地表水体的规模。如湖南一个矿坑在河下50米处,涌水量为132—360米³/时,其中76—81%为河水补给;而在深部120—250米处,矿坑涌水量减为17—11米³/时,河水对深部几乎没有影响。

在预测矿坑涌水量时,应根据具体的水文地质条件,选定补给半径,指出矿坑涌水量可能发生的变化。这一工作要建立在查明地表水体与矿坑之间水力联系及地表水与地下水动态的基础上。

构造破碎带能否成为矿坑充水因素,决定于构造破碎带的性质,充填物质的成分及其胶结程度以及构造破碎带同地表水的水力联系程度等等。如山东某矿与另一矿的一、二井之间被断层分割,成为一不发生水力联系的独立块段,地下水位相差116米。很明显构造破碎带在这里起了隔水作用(图1)。

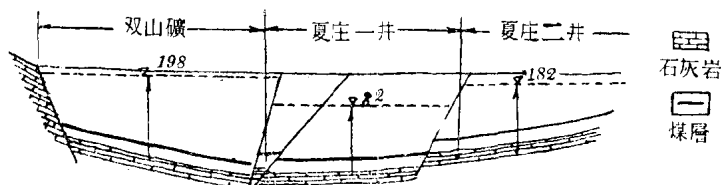


图 1 山东某煤田水文地质示意图

江苏某矿坑,排水后所形成的降落漏斗曲线,明显地受到断层的截阻。如(图2)11孔水位降低20米时,与其相距200米的

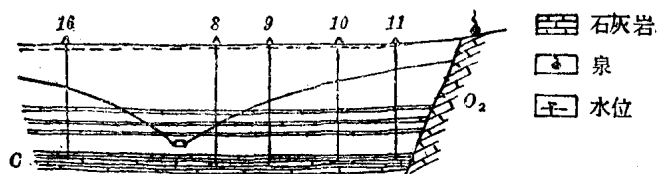


图 2 某石門勘探坑道排水降落漏斗

一处泉水并没有受到影响(图2)。

我国有些煤矿,常在断层带处,发生突水事故。大多是断裂带与石灰岩喀斯特发生水力联系的缘故。在这种情况下,常常由于突水点水头高度不同产生了不同的涌水量,如某矿井水头高为50米时,涌水量为300~1000米³/时;水头高度为150米时,涌水量为400~2000米³/时;水头高度为250米时,涌水量为500~6300米³/时。

因此,在预测涌水量时,应考虑突水事故发生的可能性及突水强度。同时,在确定补给半径时,应考虑可能受到含水或隔水的构造破碎带的阻截等情况。

第二节 岩石的性质与产状对矿坑涌水量预测的影响

地表水及地下水是通过矿体围岩流入矿坑的,因而,矿体及其围岩的岩石性质和产状,在很大程度上控制了地下水运动的特征。在地壳岩石圈中,岩石性质和产状无论在空间和时间上都有不同程度的差别,因此,应详尽地研究岩层(体)及岩层组的以下特点:

1. 岩石成份、粒度、形状、排列和胶结情况;
2. 岩石的孔隙、裂隙、喀斯特发育的性质与强度;
3. 岩层(体)及岩层组的岩石性质在水平和垂直方向上的变化规律及递变的急剧程度。

对于疏松岩层,应研究堆积物的成因类型及分布特点。在冰积、残积、坡积、洪积和冲积层中,岩石性质往往是非均质的,

分布也不稳定。

对于坚硬和半坚硬岩层，应研究裂隙的性质（原生的、构造的、风化的），裂隙的分布规律（区域的、局部的），指出最发育的裂隙方向和交切情况以及与地下水运动方向的关系。

对于碳酸盐质岩层，应研究喀斯特发生、发展、变化的规律及其分布特征。

岩石性质的不均匀性，常引起岩石透水性的差异，一般的情况是在最发育的裂隙方向上，透水性最强烈。如黄土的垂直裂隙发育，其垂直渗透性比水平渗透性就要大。因此，在预测矿坑涌水量时，对于计算公式的选择，计算参数的确定，计算区段的划分等都必須結合岩石性质来考虑。

岩层的不同产状直接影响着矿坑进水条件，造成矿坑涌水量预测的复杂化。

一、水平产状：具有隔水底板的单一均质水平岩层（图 3 I），矿坑进水条件简单。当岩层为非均质垂直分布时，进入矿坑的水量（图 3 II），受不同岩层渗透性能控制，这就应按平均渗透系数值或不同渗透系数值分别计算。进入矿坑系统的水量（图 3 III），主要受 K_2 层控制， K_2 等于 K_1 时，影响半径正常扩展； K_2 大于 K_1 时，影响半径缩小。当上部岩层含水极丰富时，由矿坑上部进入的水量应单独考虑。水平方向为非均质岩层时（图 3 IV），影响半径不能正常扩展，进入矿坑的水量也受限制。

二、直立岩层：厚度极大时，影响半径一般达不到含水层边缘，这与水平岩层不完整井相同，但这种情况在实际工作中是很少见到的。有限厚的直立岩层，矿坑进水条件较复杂，两侧为弱透水性岩层时（图 3 V—A），进入矿坑的水量有两部分：一为沿岩层走向方向进入的水量（图 3 V—B）；一为垂直岩层走向方向进入的水量（图 3 V—C）。沿走向方向进入矿坑的水量，又可分为矿坑上部 Q_1 和下部 Q_2 两部分水量。沿垂直走向方向进入的水量，则受两侧岩层控制；这些水量包括影响半径以内

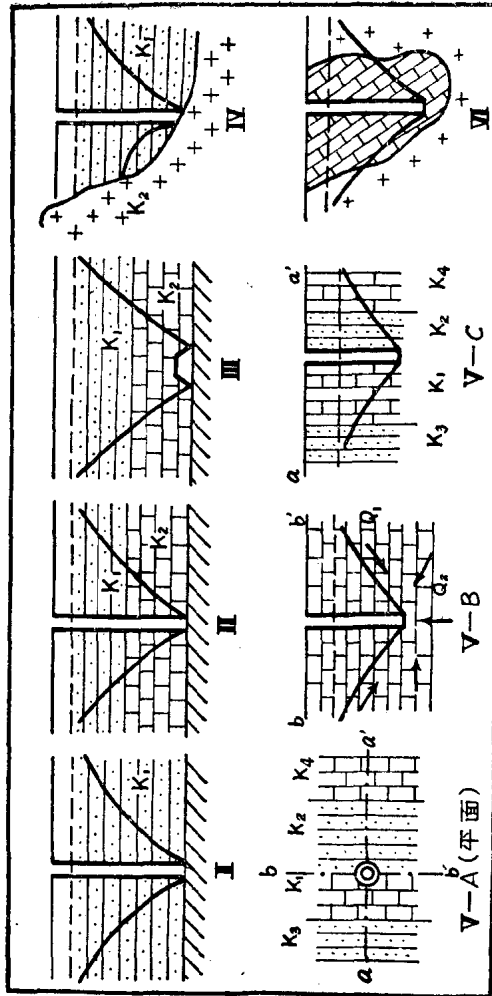


图 3 水平和倾斜岩层的矿坑进水条件示意图

的各个岩层流来的水量 $Q_3 \dots Q_n$ (图 3 V-C)。

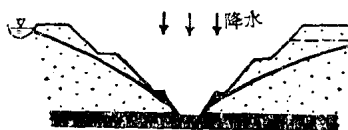
三、倾斜岩层：这类岩层的倾角大于 45° 以上的，可以按直立岩层计算；倾角小于 45° 的，可按水平岩层计算。

四、透鏡體：不規則的透鏡體含水層，進水條件簡單。當圍岩為隔水層時，礦坑進水來源一般僅為靜儲量；但這種情況很少見到。當圍岩為弱透水岩層時，進入礦坑的水量除靜儲量外，還包括自弱透水性岩層流來的水量（圖 3 V）。

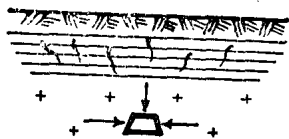
第三节 矿床的开采方式对矿坑涌水量预测的影响

不同的矿床开采方式，会直接影响矿坑充水程度与进水条件的改变。因此，在预测矿坑涌水量时，除了分析自然地理、地质与水文地质因素外，还必须考虑到开采方式的影响。

一般开采方式，可分为露天的和井下的两种类型。井下的开采又包括竖井和坑道。对于倾斜坑道，在预测涌水量时，可以依照倾斜角度的大小——大于 45° 和小于 45° ，分别以垂直和水平坑道的方法计算。



a 露天开采充水示意图



b 井下开采充水示意图

图 4 矿坑充水示意图

预测露天采矿场的涌水量，实际上就是计算影响半径范围内的静储量与动储量。有些矿区，矿层底板以下的承压水也可能通过裂隙流入采矿场。其动储量则与开采面积内的降水量和集水面积内降水的渗透量有关。有时，也可能有来自附近地表水体的渗透量。大气降水的直接补给是构成露天采矿场涌水的重要来源，故排水的强度要随大气降水强度的变化而变化。所以预测

露天采矿场涌水量时，确定降雨强度、地下迳流系数和水力均衡条件就显得非常重要（图 4 a）。

井下开采与露天开采不同，大气降水的直接补给影响很小。井下开采的涌水量为竖井和坑道涌水量的总和，以水平坑道来講，充水的程度取决于所揭露岩层的含水性。但有时不仅要考虑到被直接揭露的含水层的充水，还应考虑到由于开采工作形成的人工裂隙所引起的顶板含水层的充水（图4b）。

进行竖井开采时，竖井会穿过许多厚度不同、含水量不同的岩层，但对矿坑涌水具有实际意义的是充水性大的含水层。因此在预测竖井涌水量时，应对各个含水层分别计算。

具体到一个矿区，开采方式不同，矿坑充水条件与涌水量大小亦不相同。例如，浙江某矿区，露天开采时，平均涌水量每昼夜最大达万余吨，其中90%是大气降水直接补给的。又例如某煤矿，竖井由煤层顶板开拓，通过喀斯特含水层时，涌水量很大；但由煤层底板开拓，充水条件则简单得多。

以上实例，充分说明了在预测坑道涌水量时，必须结合开采方式分析未来矿坑进水的条件，才能符合实际情况。但是，为了全面评价矿坑充水的程度和进入矿坑的水量，仅仅预测涌水量的大小是不够的，还必须知道涌水量的动态，亦即涌水量在开采过程中的变化情况。

由于坑道深度和面积随掘进而逐渐加深和扩大，因之坑道涌水量也将随着改变。如某煤田，有许多矿坑随着开采水平的加深，涌水量随水头高度而变化，当水头高度为150米时，涌水量为250—650米³/时；当水头高度为250米时，涌水量为300—900米³/时。同样，随着开采面积的扩大，涌水量也不断增加。

如果矿区內地下水主要是静储量，在开采初期，就会有最大的涌水量，以后涌水量将逐渐减少。如某煤田某矿区，经过三年多的时间的排水，结果涌水量减少了73%，已趋疏干。涌水量的递减率是平均每年30%。

如果矿区內有大量动储量，且没有阻碍降落漏斗发展的地质条件，则坑道涌水量在开采初期很小，随着坑道的掘进，降落漏斗的形成与扩大，涌水量便逐渐增加；此增加值往往与坑道的深

度、长度或面积成某一函数的关系。如某煤田有些矿井，开采面积每增加0.1平方公里，涌水量即增加1—3米³/分。

如果矿区内静储量与动储量同时存在，则开采初期，总涌水量很大，且主要是静储量的消耗；以后逐渐减少，经过一定时期后，当降落漏斗接近于稳定时，涌水量便越来越稳定，且完全为动储量所补给。

除了上述开采过程中的涌水量的逐渐变化外，还有涌水量急剧增加的情况。其原因为坑道掘进时，或遇到了喀斯特化的石灰岩地段、或穿过了断层破碎带、或为顶板陷落、或为底板承压水涌出或者挖掘到积水的旧坑道。如某煤田的突水事故（最大突水量竟达6300米³/时），多为断层带勾通矿层底部石灰岩承压水所致。

下边谈谈在预计河下矿层的涌水量时应考虑的因素。预计河下矿层涌水量不仅涉及到水文地质条件，也涉及到开采的方法。如图5所示：河下采空后，不仅河水可能向下流，而且矿层

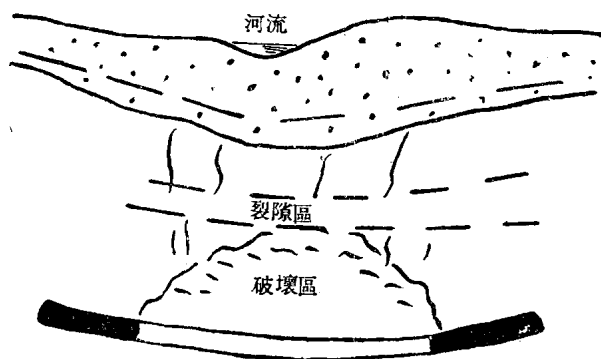


图5 河下采煤后的岩层移动状态

上方含水层的水也能向下流。因此河水对井下开采带来了很大的威胁。图6表示了在回采过程中，巷道上方造成的岩石的移动现象，尤以大冒顶现象较为突出。由于如图6所示的这种坍塌，采空区上方可以造成三个不同的地带：

I带：可称为不规则的塌陷带（破坏区），也是最危险带。

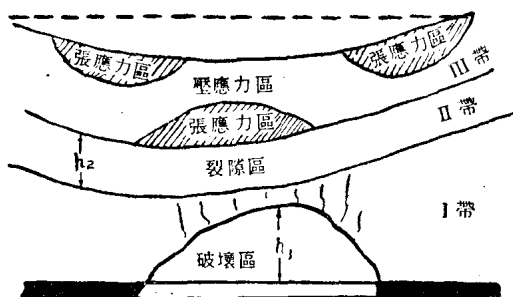


图 6 回采过程中巷道上方岩石移动现象

I 带：可称为裂隙带，尤其在这一带的下方，产生许多危险的裂隙。

II 带：可称为不具裂隙的缓慢沉降带。

为了能安全地在河下开采，必须弄清矿层顶部影响带的范围，亦即上部河水对矿坑充水的程度，为此必须确定：

1. 坍塌的实际高度 h_1 。用下列公式求得：

$$h_1 = \frac{m}{(K-1)\cos\alpha}$$

K ——岩石的膨胀系数；

α ——矿层倾角；

h_1 ——坍塌高度（米）；

m ——矿层开采厚度（米）。

2. **I 带**的裂隙高度 h_2 。

$$h_2 = 2 \sim 3h_1$$

3. 地表裂隙是否可能与下面各带裂隙相通。根据实际经验，地表裂隙发育深度一般为几米至数十米不等。

第四节 计算公式中的参数对 矿坑涌水量预测的影响

矿坑涌水量预测的正确与否，与原始数据的精确程度和计算参数的正确选择有关。从裘布依公式：

$$Q = 1.366K \frac{(2H-S)S}{\lg \frac{R}{r}}$$

可見，渗透系数 K ，影响半径 R ，井筒半径 r ，含水层厚度 H ，水位降低 S 等主要参数，对涌水量 Q 都有直接的关系。

一、渗透系数(K)

在公式中渗透系数与涌水量成正比关系。由于自然界条件复杂，往往在同一个矿区不同地段，渗透系数变化也很大。例如福建某铁矿区，由于喀斯特岩层之裂隙与溶洞发育不均匀，从两个相距 200 米钻孔测定出的渗透系数就相差几十倍。

目前计算渗透系数的公式繁多，影响计算方法的自然因素多种多样，因此，选择一个符合于具体条件的公式，正确获得渗透系数的大小，对矿坑涌水量的正确计算是极其重要的。

二、影响半径(R)与井筒半径(r)

影响半径和井筒半径都是计算涌水量的原始数据，虽然在公式中都是取其对数，对于涌水量计算结果影响不大，但在某些情况下，如水平渠道公式 $Q = BK \frac{H^2 - h^2}{2R}$ 中，影响半径则与涌水量

成反比关系而非对数关系，其大小直接影响到涌水量的变化。

在实际情况中，由于岩层渗透性不同及开采方式的影响，影响范围与井筒往往成不规则几何图形，导致计算的复杂性。因此，必须正确的确定影响半径和井筒半径。

三、含水层厚度(H 、 M)

含水层是根据岩层透水性及含水性的强弱来判定的。一般认为砂岩与可溶盐类岩层为含水性强的岩层，而頁岩类岩层为含水性极弱的隔水层。但在自然界中岩层性质变化很大，含水层又取决于裂隙溶洞的发育程度与分布规律。即使同一岩层，其含水性与透水性也有不同。例如某煤田，石灰岩总厚为 118 米，最初认为全部是含水层，后经物探测井查明含水层仅厚 37 米，且分四层埋藏在不同的深度。由此可见，判定含水层厚度是极其复杂

的，也是非常重要的，它直接关系到，矿坑充水条件与涌水量的大小。

四、水位降低 (S)

水位降低与含水层厚度有一定的关系，并且影响到矿坑涌水量的变化。一般认为，当水位降低到含水层厚度一半时涌水量最大，若超过这一限度，则会有显著的水跃现象产生。但也有人认为水跃出现在 $S = \frac{2}{3}H$ 的深度下。这一问题目前尚未解决，有待今后研究解决。通常在用裘布依公式计算涌水量时，当水位降低到含水层底板时 ($S=H$) 取 $h=0$ ，未考虑到水跃的影响，故计算出的涌水量要偏大很多（约 $\frac{1}{3}$ ）。因此，预测矿坑涌水量时应适当考虑水位降低与含水层厚度的关系。

五、在预测矿坑涌水量时，对于水位（水压）的正确测定也很重要，因为水位降低 (S) 和含水层厚度 (H) 的确定，都和它有直接关系。如用水力均衡法计算矿坑涌水量，则必须正确确定各种均衡要素，如地下迳流系数与给水度。地下迳流系数是计算矿坑动储量的主要数据，它受大气降水量和集水面积的影响；而给水度是计算地下水静储量的重要参数，它受地形、植被、降水与岩性等因素影响。因此，在选用地下迳流系数与给水度等参数值时，要全面分析上述因素。

第二章 涌水量計算公式中

参数的确定方法

第一节 岩层渗透系数的确定

确定岩层渗透系数的方法有二：一是野外水文地质試驗方法，一是实驗室方法。

一、根据抽水試驗資料确定渗透系数

用抽水試驗确定渗透系数，为目前广泛采用的較准确的方法。但因其計算公式很多，并且应用的水文地质条件不一，选择一个符合具体条件的公式，仍然是一个很重要的問題。

(一) 影响选择公式的基本因素

1. 地下水的运动状态(层流或紊流)

許多研究資料和試驗結果都認為地下水的运动状态主要是层流，即使是在喀斯特化强烈的石灰岩中，地下水仍服从直綫渗透定律。当抽水試驗时，由于水力坡度增大，有可能发生紊流。但观测資料証明，在强透水性的岩层中，地下水的渗透既有层流又有紊流。这两种运动状态的存在，决定于裂隙的大小和水流速度。其确定方法有以下几种：

(1) 距主孔 4—7 米布置观测孔，根据宾德曼的結論：在对承压水抽水时，如地下水运动遵守直綫渗透定律，則：

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{\Delta S'}{\Delta S''} = \text{常数} \quad (1)$$

式中 Q' ——观测孔中降深为 $\Delta S'$ 时主孔的涌水量(升/秒)；

Q'' ——观测孔中降深为 $\Delta S''$ 时主孔的涌水量(升/秒)。

对潜水抽水时則：

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{(2H - S'_1 - S'_2)\Delta S'}{(2H - S''_1 - S''_2)\Delta S''} = \text{常数} \quad (2)$$