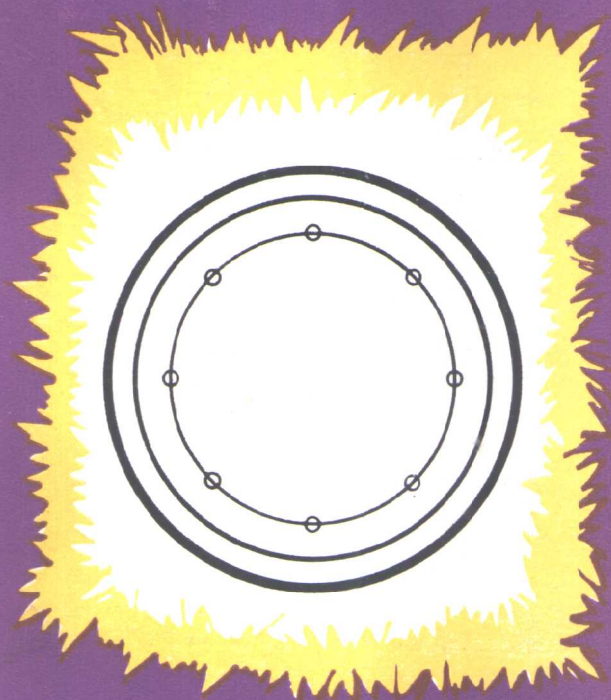


# 井筒涌水量预测 及注浆堵水

李勋千 杨春来 周庆芬 编著



煤炭工业出版社

# 井筒涌水量预测及 注浆堵水

李勋千 杨春来 周庆芬 编著

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

# 内 容 提 要

井筒涌水量预测是我国建井工作的一大难题。本书针对我国具体水文地质情况,提出了井筒涌水量综合预测方法,并结合建井工程实例介绍了不同地质条件的注浆堵水方法。内容包括:基岩裂隙水的基本理论;井筒涌水量预测常用方法及效果评价;井筒涌水量综合预测方法;注浆堵水实例;直接堵漏注浆技术;破壁注浆技术等。

井筒涌水量预测及注浆堵水工程

李励干 杨春来 周金芳 编著

责任编辑:孙金锦

煤炭工业出版社 出版

(北京安苑门内和平门北大街)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 787×1092mm<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 6 插页 2

字数 129 千字 印数 1—1,050

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

ISBN 7-5020-0700-8/TD·645

书号 3469G0222 定价 3.95元

## 前 言

在我国煤矿井筒施工中，井筒涌水量的大小决定着建井工期、经济效益、生产安全和机械化效能的发挥等各个方面。据1975~1985年对我国71个基岩段普通法施工的井筒统计，井筒涌水量和平均月进度及井筒造价的关系如下表。

井筒涌水量和平均月进度、井筒造价关系表

| 井筒涌水量( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | 平均月进度(m) | 井筒造价(元/m) |
|--------------------------------|----------|-----------|
| <10                            | 33.59    | 6004.8    |
| <30                            | 26.18    | 7695.1    |
| >30                            | 21.29    | 9763.4    |

由表中可以看出，随着涌水量的加大，掘进速度明显降低，工程成本大幅度提高。比较典型的如我国建设速度较快的兴隆庄矿主井筒，深399.2m，开挖后由于基岩水大，不得不进行3次工作面注浆，注浆工期约12个月，井筒建设工期共用29.6个月，注浆工期占井筒建设工期40.5%，而与其毗邻、条件类似的鲍店主井，井筒比兴隆庄主井深85m，由于水文地质条件清楚，开挖前采取了预处理措施，井筒建设工期仅用了19个月。据苏联\*统计资料，涌水量在 $80\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ 的井筒，其平均月进度从未超过8m，而井筒造价提高3~4

\* 本书出现的苏联系原苏联。

AB22/05

倍,即使涌水量只有 $20\text{m}^3/\text{h}$ ,井筒月进度也比正常条件下的施工速度低50%以上,造价增加30%以上。由此可见,井筒涌水量是制约井筒建设的重要因素。建井前详细研究井筒及其周围的水文地质条件,提出正确的水量预计资料并因地制宜的采用相应的治水措施,对加快建井速度和节省投资是有着重要意义的。

由于不重视井筒水文地质工作,井筒涌水量预计不准,造成的损失是十分巨大的,仅据1981年全国42个在建井筒统计,有30个井筒需作治水处理,其中20个井筒出现过淹井;也有些井筒,本来没有大水,而涌水量预计过大,采取了不必要的治水措施和特殊施工方式,耗力费时,浪费了大量资金。为此,总结以往教训,研究新的井筒涌水量评价方法,为制定安全合理的施工方案提供可靠的水文地质依据,是迫切需要解决的重要课题。

本书是在“七五”科研攻关项目“井筒涌水量预测方法研究”的基础上完成的。第一、二章全面总结分析了我国北方地区井筒涌水量预测中所采用的方法、效果及存在问题;第三章介绍了国外对该问题的研究现状和对策;第四章针对我国具体的水文地质条件提出了井筒涌水量综合预测方法;第五章重点介绍了复杂水文地质条件下井筒工作面注浆堵水的典型经验;第六章介绍了直接堵漏注浆技术;第七章介绍了厚表土流砂层破壁注浆加固修复井壁的新工艺。由于井筒涌水量预测是当前水文地质工作中的一大难题,许多问题还有待进一步研究,井筒注浆工艺也正在进一步发展。所以本书提出的一些方法还有待于在实践中继续充实,以不断的完善。书中错误和不妥之处还望读者批评指正。

本书一至四章由河南煤炭科学研究所李勋千同志编写,

第五章由煤炭科学研究总院北京建井研究所杨春来同志编写，第六、七章由煤炭科学研究总院合肥煤炭研究所周庆芬同志编写。中国矿业大学地质系郑世书、李宾亭两位副教授，河南煤炭科学研究所黄跃年工程师是该课题的主要研究成员，在该书编写过程中给予了大力支持和帮助。河南煤炭科学研究所辛红同志描绘了大部分图件，在此特表谢忱。

编 者

# 目 录

## 前 言

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第一章 基岩裂隙水研究的基本理论</b> .....    | 1   |
| 第一节 地下水在裂隙介质中运动的复杂性 .....        | 1   |
| 第二节 井场附近地下水的动力学特征 .....          | 5   |
| <b>第二章 井筒涌水量预测方法及效果评述</b> .....  | 9   |
| 第一节 井筒涌水量预测方法 .....              | 9   |
| 第二节 不同预测方法效果评述 .....             | 12  |
| 第三节 预测误差产生的原因分析 .....            | 21  |
| <b>第三章 国外井筒工程的专门水文地质工作</b> ..... | 35  |
| 第一节 国外井筒涌水量的预测方法 .....           | 35  |
| 第二节 综合注浆止水法和井中测流技术的发展 .....      | 44  |
| <b>第四章 井筒涌水量综合预测方法</b> .....     | 58  |
| 第一节 区域水文地质条件分析 .....             | 59  |
| 第二节 井筒工程的专门水文地质工作 .....          | 64  |
| 第三节 计算公式和参数的选用 .....             | 68  |
| <b>第五章 注浆堵水工程实例</b> .....        | 102 |
| 第一节 松软破碎地层注浆 .....               | 102 |
| 第二节 灰岩溶洞注浆 .....                 | 114 |
| 第三节 灰岩斜井注浆 .....                 | 124 |
| 第四节 斜井冒顶涌水事故注浆 .....             | 140 |
| <b>第六章 直接堵漏注浆技术</b> .....        | 146 |
| 第一节 直接堵漏注浆的特点和工艺流程 .....         | 147 |
| 第二节 直接堵漏注浆设备 .....               | 150 |
| 第三节 直接堵漏注浆技术在地下工程中的应用 .....      | 154 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>第七章 厚表土流砂层破壁注浆 .....</b> | <b>161</b> |
| 第一节 井筒水文地质情况 .....          | 161        |
| 第二节 井壁破裂情况及破裂原因分析 .....     | 165        |
| 第三节 厚表土层破壁注浆新工艺的实施 .....    | 169        |
| 第四节 破壁注浆新工艺注意事项 .....       | 174        |
| 第五节 破壁注浆技术经济效果 .....        | 175        |
| 第六节 井筒监测 .....              | 179        |
| 第七节 体会与建议 .....             | 181        |
| <b>参考文献 .....</b>           | <b>183</b> |

## 第一章 基岩裂隙水研究的基本理论

揭示地下水运动规律的水文地质理论，基本上是在对孔隙水研究的基础上确立的。自然界中孔隙介质多半是某地质时期沉积下来的松散沉积物。它们经过冲刷、搬运、分选，比较均质而平坦地堆积下来，埋藏较浅，直接接受大气降水和地表径流渗入的补给，在某些地区形成较好的蓄水层，和人类的生产生活密切相关。长期以来人们对孔隙水的研究比较深入，由此而建立起来的稳定流理论和非稳定流理论在生产实践中已经起到了比较好的作用，在研究方法和水文地质计算方面日臻成熟，因而已被人们所接受。对于基岩裂隙水，由于他们赋存和运动的复杂性，现在还没有一种比较符合实际的水文地质理论对它们进行很好的描述，在研究方法和水文地质计算方面与工程建设的实际需要还有很大的距离。多年来尽管国内外学者对基岩裂隙水的研究给予了极大关注，但至今还没有取得突破性进展。

### 第一节 地下水在裂隙介质中运动的复杂性

裂隙介质是由被裂隙系统分割开的若干岩石块段组成，块段和裂隙的大小变化范围很大，这取决于裂隙的发育程度。地下水在裂隙中的运动是极不规则的，我们研究裂隙水的运动规律就不得不首先研究裂隙。

众所周知，基岩裂隙分为原生裂隙、风化裂隙和构造裂隙。原生裂隙在成岩过程中和以后的沉积中多已被充填；风

化裂隙多在基岩风化带处发育，而且在许多地区和上覆松散沉积物组成统一含水体。比较复杂和对地下水起着控制作用的主要是构造裂隙。

构造裂隙受到区域构造场的控制，它主要在断层两侧或构造交汇部位、背、向斜轴部和收敛端，以及应力集中区发育。由于裂隙随构造而伴生，研究证明它的发育和展布具有如下特点：

### 1. 裂隙的方向性和共轭性

由于断层和褶曲的发育具有一定的方向性，因而由此产生的羽状裂隙或拉伸及剪切裂隙必然按照一定的方向发育。裂隙的统计和研究证明，在一个地区总是以某一方向裂隙的发育为主，而与其共轭的另一方向次之。裂隙及断裂的方向和地下水的运动密切相关，特别是新构造裂隙更是地下水聚集和活动的主要场所。例如我国东部地区一些由新构造运动形成的NNE和NWW向断裂和裂隙带就含有丰富的地下水。

### 2. 裂隙的成带性

在水平方向上裂隙的带状分布是明显的。如河南新密矿区根据新密煤田复式背向斜的展布，在向斜轴部形成了几个明显的裂隙径流带，且具有等距性特点；另据有关资料报导如汤池、昔阳、唐山等地的构造裂隙水和岩溶水皆呈NNE方向并延伸成带状；南京雨花台、徐州等地的构造裂隙水皆有NWW的方向性且成带状分布。裂隙在垂直方向上分带亦很明显，如淮南潘集矿区20号煤以上，17~10号煤层间和8号煤以下，漏水孔率、渗透系数和单位涌水量均有由上而下逐渐变小的趋势，证明裂隙在浅部发育，深部则不太发育。肖楠森教授曾按水动力和水化学特点将新构造裂隙带在垂向上分为三带，即由地表至50~60m深度内称为地下水淋滤入

渗带，这个深度以上裂隙中充填沉积有大量松散的泥砂、铁锰氧化物，水量水质均不稳定；在50~200m左右深度范围内为地下水侵蚀径流带，此带内有少量泥砂及 $O_2$ 、 $CO_2$ 等气体，对围岩有强烈侵蚀溶蚀作用，该带水量大，水质稳定；深度在200m以下叫地下水矿化滞流带，该深度以下裂隙逐渐闭合，矿化度加大，水量小、水质差。这些划分虽然比较粗略，但地下水在垂向上的分带性是客观存在的。

### 3. 裂隙的网络性

断裂和裂隙彼此交叉形成菱形网格，在断裂交汇和裂隙密集部位，利于地下水富集。砂页岩地层在刚性和柔性岩体之间容易形成层间裂隙，刚性岩体发育的高角度裂隙和层间裂隙相交，形成三维菱形网络，一般层间裂隙含有地下水。井筒开挖时有时掘至砂岩顶部即见水，而且水量较大。由于层间裂隙的存在和裂隙的网络性，地下水在岩体内的运动既有层间运动的特点，又不完全顺层向岩层的倾斜方向流动，在垂向上也没有随着含水层的继续下掘而水量按比例增大的规律，地下水在砂岩裂隙中的运动是一种脉状或网状运动，而不同于孔隙介质中的渗流。

### 4. 裂隙含水的不均一性

裂隙岩石在垂向和走向上渗透性都是不均一的。断裂切穿了岩性差异很大的地层，沟通了含水层之间的联系，而裂隙一般穿透能力较差。煤系地层裂隙一般仅在砂岩等刚性岩体中发育，在泥岩页岩中不发育。裂隙的发育程度除了受区域构造应力场的控制之外，还与岩体自身的岩性、胶结方式、力学性质、厚度等因素有关。颗粒较粗的砂岩裂隙较发育，而且孔隙度也大。接触式胶结的砂岩容易形成含水裂隙，而泥质钙质基底式胶结的砂岩则裂隙性差。砂岩厚度大，裂隙

比较稀疏，形成的平均间距也大，但这样的裂隙一般开度大、延伸远，成为地下水的主要流动干道，水量较大。反之则裂隙延展长度有限，水量易于疏干。煤系地层由于岩相变化大，厚度不稳定，裂隙发育的差异性很大，地下水的主要通道仅是那些与导水断层或含水层有直接联系的区域性裂隙，并不是所有裂隙均含水。井下开挖和工作面预注浆过程中，经常遇到同一含水层大多数钻孔不出水，仅有少数钻孔出大水的情况，这说明仅是个别裂隙含水。

由于裂隙发育的上述特点，使地下水的运动变得十分复杂。国内外学者对地下水在裂隙介质中的运动认识也不尽相同，因而在水量评价方法上还没有统一的意见。

在地下水动力学中，裂隙介质是被作为统一的水动力系统来考虑的。我们无法研究单一裂隙个别质点的运动规律，而是研究地下水在这个裂隙系统整体中的平均运动规律，即研究具有平均渗透的规律。实质上是假设一种水流与真实水流的平均特征参数（渗流流量、渗透速度，压力或水头，多孔性等）相同，作为连续介质水流来处理，这是一个宏观规模的水流概念，和地下水在单个裂隙中的实际流动概念是不同的。罗焕炎、陈雨荪等人认为，对于裂隙岩体可以分为4种情况：岩体透水，裂隙未充填（如基岩风化带），可看作渗流场的一部分，作为孔隙和裂隙两种不同渗流来处理；岩体不透水，裂隙未充填（如未风化的砂岩、岩浆岩等刚性岩体），具有网状渗流的性质，可作为宏观均质体来处理；岩体与裂隙透水性相近的岩体（如破裂后的页岩），可作为连续的各向异性介质处理，在抽水条件下，裂隙和岩块容易被压缩，注水则裂隙扩展，增大透水性；裂隙被充填，岩块透水性差（如泥岩、泥质充填的断裂带），可作为非均质介质

处理。

国外学者对裂隙岩石中的水流分析一是利用宏观（裂隙系统）连续体的方法，二是利用微观（单个裂隙）非连续体的方法加以研究。根据最近对裂隙岩石从理论到实践的研究报导，在连续体方法中，某些学者根据钻孔岩芯裂隙统计所获得的定量指标——裂隙度和裂隙指数设计出粗细不同、内壁粗糙度不同的管子组成相应的网络来模拟裂隙系统，研究水在裂隙介质中的运动。某些学者注意到宽缝裂隙中的非达西流问题和三维流问题，找到了裂隙岩石中非线性水流定律的实验室证据（Sharp and Maini 1972），威特基分别提出了线性—层流范围（达西范围），非线性层流范围和紊流范围等专门的水流定律（图1-1）。

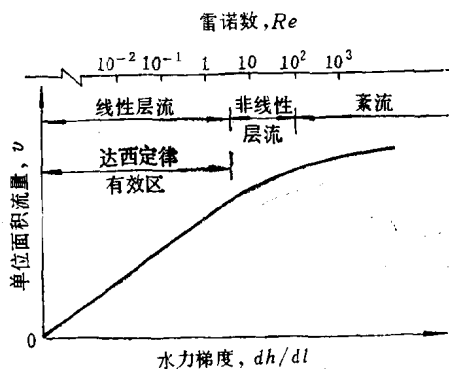


图 1-1 达西定律有效性的范围

## 第二节 井场附近地下水的动力学特征

地下水在孔隙和裂隙介质中的运动主要有两种理论进行描述。

按照稳定流理论裘布依的假设，在均质各向同性的介质中，地下水向承压水井和潜水井的流动可以用流网表示（图1-2、图1-3）。

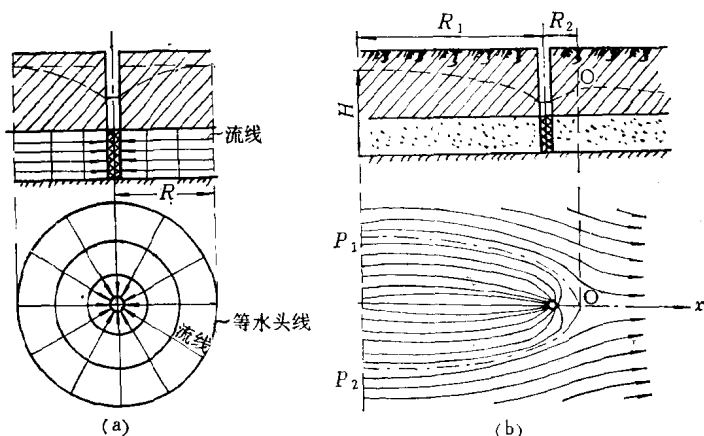


图 1-2 地下水向承压水井的运动  
a—对称的降落漏斗，b—不对称的降落漏斗  
O—分水点

当钻孔抽水时，对于均质各向同性的水平含水层，地下水作轴对称的径向运动，符合达西直线渗透定律。当抽水水量稳定后，此时井的涌水量正好等于含水层的补给量，通过任一过水断面的流量均相等，应用裘布依导出的完整井公式求解各项参数和计算井的涌水量应该有足够的准确性。

非稳定流理论认为，自然界中一般说来不存在稳定流。当钻孔抽水时，降落漏斗不断地扩张，地下水位持续下降，地下水流呈非稳定状态。非稳定流公式考虑了含水层的弹性释放以及水位降低与时间的关系，描述了降落漏斗的发展变

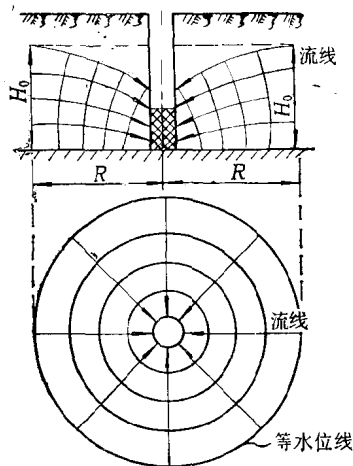


图 1-3 地下水向潜水井的运动（对称的降落漏斗）

化过程，因而它在理论上更严密、更加符合实际情况。70年代以来非稳定流理论在我国已经得到越来越广泛的应用。

对井筒直径为几米至十几米的“大井”，根据华北地区煤矿井筒建设情况，井筒涌水开始具有瞬时突发的弹性释放特点。当刚揭露含水层顶部或揭露含水裂隙时，涌水量很大，井筒排水后，水量逐渐变小，然后稳定在一个较小的数值上，或被疏干。这一突然涌水至稳定涌水的变化过程我们可以这样描述：井筒突然涌水时，水量主要来自井场附近集水范围内含水层中贮水量的释放，其次来自含水层的天然径流和其他可能的补给。地下水不但来自井的上游，也来自井的下游，漏斗的形状多半是不对称的，由于水量大，来势猛，井周围水流呈紊流状态，整个流场呈非稳定流运动。随着井筒的排水，集水范围和降落漏斗不断扩大，含水层中贮

水量不断释放，而且向外逐渐推移，当含水层中自身的贮水量释放完之后，此时井筒中的水量则主要为集水范围内所截获的地下水径流和其他可能获得的补给，含水层在集水范围内仅起导水作用。当水量稳定，水位已不再明显下降时，地下水整个流场则接近呈稳定状态。如果补给条件差，含水层逐渐被疏干，则地下水一直处于非稳定状态。

## 第二章 井筒涌水量预测方法及 效果评述

### 第一节 井筒涌水量预测方法

我国水文地质勘探对井筒检查孔抽水多采用稳定流方法计算,因而井筒开挖前期也多利用井检孔单孔抽水试验资料来预测含水层的涌水量。

国内常用的计算方法主要有二类:一类为解析法(稳定流、非稳定流),一类为类比法。现将几种常用的方法列举如下。

#### 一、稳定流完整井解析法

利用解析法可直接套用公式求算结果,计算便捷,所以应用广泛,常用公式为:

$$Q = \frac{1.366K(2H-S)S}{\lg R - \lg r} \quad (\text{裘布依潜水井公式}) \quad (2-1)$$

$$Q = \frac{2.73KM S}{\lg R - \lg r} \quad (\text{裘布依承压井公式}) \quad (2-2)$$

$$Q = \frac{1.366K(2H-M)M}{\lg R - \lg r} \quad (\text{承压转无压井公式}) \quad (2-3)$$

$$Q = 3.63KM\sqrt{(3H-2M)r} \quad (\text{克拉斯诺波里斯基素流公式}) \quad (2-4)$$

$$\text{或} \quad Q = 2\pi KM\sqrt{rS} \quad (2-5)$$