

承压水上采煤

王作宇 刘鸿泉 著

煤炭工业出版社

承压水上采煤

王作宇 刘鸿泉 著

煤炭工业出版社

(京) 新登字042号

内 容 提 要

本书主要介绍煤矿底板的突水现象、突水因素与突水机制,煤矿底板承压水上采煤的预分析研究,底板岩体移动的现场观测,煤矿底板突水的防治和承压水上采煤的综合开采体系等内容。本书不仅从理论上阐述了底板突水的规律,也从生产实践中总结出一套防水、治水的经验。

本书适于煤矿企业、矿井设计和科研单位的工程技术人员及大专院校的师生阅读。

承 压 水

王作宇 刘鸿景 著

责任编辑:王作宇

煤炭工业出版社

(北京安定门外和平里北街1号)

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^{1/32} 印张10^{5/8} 插页 5

字数 234 千字 印数1—1,070

1993年2月第1版 1993年2月第1次印刷

ISBN 7-5020-0758-X/TD·701

书号 3525 G 0238 定价 8.40元



前 言

我国灰岩岩溶 (Karst) 的分布很广, 约占全国总面积的五分之一。这些地区也正是重要的煤产地, 有60%的煤矿不同程度地受到底板岩溶承压水的威胁, 受水害的面积和严重程度均居世界各主要产煤国家的首位。因此, 解决威胁煤矿的底板岩溶水害是煤炭生产的当务之急。

“承压水上采煤”是一门新兴科学, 近几年来发展迅速。作者通过大量的工程实践和理论研究, 初步完成了“承压水上采煤”的基本理论和治水方法的研究, 并逐步应用于生产实践。

本书从着重分析“影响底板突水的基本因素”出发, 介绍底板突水的机制、岩体移动的现场观测方法, 防治底板突水的基本原则、途径和方法等。此外, 本书也阐明了如何用科学方法解决复杂的“承压水上采煤”问题。

本书初稿承蒙葛亮涛、仲维林两位教授审阅, 提出了宝贵意见与建议。全书由王作宇整理, 宋晓平同志协助整理稿件, 现场及北京开采所特采室的部分同志提供了有关的资料, 在此一并致谢。

王作宇 刘鸿泉

1992.5.

目 录

第一章 概述	1
第二章 煤矿底板的突水现象、突水因素 与突水机制	16
第一节 底板突水现象	16
第二节 影响底板突水的因素	54
第三节 底板突水的基本理论	85
第三章 煤矿底板承压水上采煤的预分析研究	102
第一节 底板隔水层力学条件测试	102
第二节 底板隔水层厚度的地震探测	113
第三节 底板临界隔水层厚度的计算	130
第四节 底板岩体移动的模拟试验	160
第五节 顶底板岩体移动一致性的理论分析	170
第六节 底板水疏降试验	173
第四章 底板岩体移动的现场观测	184
第一节 岩体移动观测简述	184
第二节 用超声波观测岩体移动	187
第三节 注(涌)水岩体移动观测	200
第四节 底板岩体应力状态的观测	211
第五节 采空区压力观测	233
第六节 其它观测方法	247
第五章 煤矿底板突水的防治	252
第一节 防治底板突水的基本原则	252
第二节 防治底板突水的基本途径	257
第三节 底板防治水工艺	279

第四节	底板防治水的监测工作	300
第六章	承压水上采煤的综合开采体系	307
第一节	综合开采体系	307
第二节	综合开采体系的采煤方法	310
第三节	承压水上采煤开采方法的选择	325
参考文献		329

第一章 概 述

一、基本概念

1. 煤层底板岩溶水（又称底板承压水）

赋存和运动于煤层底板岩溶地层空间中的水体和水流叫做煤层底板岩溶水。它不同于松散层内的孔隙水和基岩裂隙水，具有本身的迳流特征和运动规律。

2. 煤层底板突然涌水

煤层底板的承压水在水压、矿压等因素的作用下，克服煤层和岩溶含水层之间相对隔水层的岩体强度及断层、节理等结构面的阻力，通过在底板岩体内形成的破坏面构成的导水通道，以突然的方式涌入工作面或巷道的现象叫底板突然涌水。它直接威胁着矿井的安全生产。

3. 带压开采

广义上讲，带压开采是指开采煤层底板岩溶含水层中承压水头高度高于回采工作面水平条件下的回采；狭义上讲，是指开采有底板突水危险的工作面时，采用特殊措施保证安全采煤。

4. 疏降开采

带压开采时，如工作面底板承压水进入工作面，给生产带来影响，就需要降低一定承压水的水头值，减小水头压力，以达到工作面底板隔水岩体能够承受的水头压力，这种情况称疏水降压采煤，又称疏降开采。在条件允许时，如为封闭型水文单元或含水层水量少时，对工作面底板岩溶含水

层的承压水疏干后再回采，此时的疏降开采又称疏干开采。

5. 含水层

本书所说的含水层（如不特别说明）是指在煤层底板灰岩岩溶地层中，以岩溶、裂隙和裂隙-岩溶三种方式存在的承压状态的水体，其特点是垂直分带性和水平不均一性。

6. 隔水层

存在于含水层与开采煤层底板、巷道和采空区之间的能阻碍或减弱水流动的岩层。该岩层内的孔隙不连通，地下水无运动条件，常以吸着水形式存在，无重力水，则称其为隔水层，亦称不透水层或保护层。

7. 等值隔水层

由于隔水层的性质和结构不同，其隔水-阻水性能也不同。两个质量不同的而单位厚度相同的岩层，在相同的水文地质边界条件下，隔水-阻水作用相等时，称之为等值隔水层。

8. 等值系数

等值系数值见表1-1，也可用下列公式计算：

$$\delta_1 = \frac{m_1}{m_0} \quad (1-1)$$

式中 m_0 ——选择标准单位厚度（如泥岩）的隔水-阻水作用值；

m_1 ——与 m_0 相比较的不同质量而单位厚度相同的岩层的隔水-阻水作用值；

δ_1 —— m_1 值相对于 m_0 值的等值系数。

9. 隔水系数

表 1-1 等 值 系 数 表

岩 石 名 称	δ_1 值
泥岩、钙质泥岩、泥页岩、铝土岩、粘土岩	1.0
未岩溶的渗水灰岩、灰岩	1.3
砂 页 岩	0.8
煤	0.7
砂 岩	0.4
砂、砾石、岩溶化的灰岩、泥砂、开采区松动带	0.0

注：取自匈牙利《矿业保安规程》等资料。

各种岩石的等值隔水层厚度总和 ($\Sigma m_i \delta_i$) 减去不可靠等值隔水层厚度 (a)，除以水压 (p) 所得值，即

$$V = \frac{\Sigma m_i \delta_i - a}{p}, \text{ m/MPa} \quad (1-2)$$

式中 V ——隔水系数；

a ——等值隔水层厚度的修正值，m；在确定防水煤柱时， a 值为10m，在确定主要岩溶含水层的相对隔水层厚度时， a 值为8m，其它情况下， a 值为5m；

p ——水压力值，MPa。

10. 突水系数

突水系数是水压力值与隔水层厚度的比值，即

$$T = \frac{p}{m} \quad (1-3)$$

式中 T ——突水系数，MPa/m；

p ——水压力值，MPa；

m ——隔水层厚度，m。

1-3式为60年代在焦作水文会战时采用, 70年代末, 在参照匈牙利隔水层等值厚度概念的基础上对公式作了部分修正, 其表达式为:

$$T = \frac{p}{m_0 - C_p} = \frac{p}{\sum_{i=1}^n m_i M_i - C_p} \quad (1-4)$$

式中 C_p ——矿压破坏底板最大深度, m;

m_0 ——等效隔水层厚度, m;

m_i ——隔水底板各分层真厚度, m;

M_i ——各分层等效厚度换算系数。

我国部分矿区的突水系数经验值见表1-2。

表 1-2 部分矿区的突水系数经验值

矿 区	突 水 系 数	矿 区	突 水 系 数
峰 峰	0.66~0.76	淄 博	0.60~1.40
焦 作	0.60~1.00	井 陘	0.60~1.50

11. 煤层底板岩体的原位张裂

煤层底板岩体的原位张裂是指煤层底板岩体在采场超前压力压缩段内形成自下而上的破坏。原位张裂起始点的确定用岩体张裂起始角和起始距量度。原位张裂起始角是指工作面零位与煤层底板原位张裂起始破坏点联线在煤壁方向上与水平线之间的夹角, 用 β 表示。原位张裂起始距是指煤层底板原位张裂起始破坏点在工作面零位在煤壁方向上的水平线投影之距, 用 r 表示。

原位张裂的恢复和闭合用闭合角(β'')与恢复角(β')

和闭合距 (R) 三个参数衡量。恢复角是指工作面零位与原位张裂开始恢复点的连线与水平线在采空区方向上的夹角；闭合角是指工作面零位与原位张裂完全闭合点连线与水平线在采空区方向上的夹角；其垂直投影在水平线上之距为闭合距。

12. 煤层底板的零位破坏

煤层底板岩体在工作面零位附近发生自上而下的破坏，其破坏程度基本上是一次性达到最大破坏深度，并随开采向前推进，在采空区底板形成零位破坏区。零位破坏的零位破坏带用零位破坏角量度。零位破坏角是指零位破坏带与水平线在采空区方向上的夹角。（用 γ 表示）。

13. 岩溶动态承压水面

煤层底板岩溶的水面在工作面前方的超前压力压缩段内潜入隔水层的一定高度，形成采动过程中的岩溶水动态承压水面。

14. 临界隔水层厚度（又称保护层厚度）

临界隔水层厚度是指开采过程中保证工作面不突水的底板最小隔水层厚度。其厚度值随开采条件、地质条件和水文条件的变化而变化。该厚度由两部分组成：一为煤层底板岩体的零位破坏带厚度，用 h_1 表示；一为隔水煤岩柱（又称空间剩余完整岩体）厚度，用 h_2 表示。故临界隔水层厚度(H)可用下式表示：

$$H = h_1 + h_2, \text{ m} \quad (1-5)$$

二、承压水上采煤研究的意义

我国灰岩岩溶(Karst)的分布很广，面积大约有2Mkm²，约占全国总面积的五分之一。这些地区也正是重要的煤产地，有60%的煤矿不同程度地受到底板岩溶承压水的威胁，

受水害的面积和严重程度均居世界各主要采煤国家的首位。

在主要产煤的华北型矿区，东起徐州、淄博，西至陕西渭北；北起辽宁南部，南至淮南、平顶山一带，有数十个矿田受到灰岩岩溶水的影响。如焦作、峰峰、邯郸、邢台、开滦、淄博、肥城、新汶、枣庄、徐州、淮南等主要矿区，灰岩岩溶水资源丰富，含水性强，补给条件充沛。目前，不少矿井已进入深部开采，有些矿井下组煤的开采标高已达到 -600m ，最深的已超过 -1000m 。煤层底板承受岩溶承压水的压力很大，水压值已达到 $2.0\sim 6.5\text{MPa}$ 。另外，下组煤层与其下伏的灰岩岩溶含水层之间的隔水层厚度一般只有 $10\sim 20\text{m}$ ，最大可达 $50\sim 60\text{m}$ ，突水的机率大增，淹井的事故也逐年上升。

我国南方的一些主要矿区，如涟邵、南桐、天府、中梁山、合山、韶关、东昌、萍乡、丰城等地，在主要开采煤层的底板下面有 $110\sim 220\text{m}$ 厚的含水丰富的茅口灰岩，对煤矿开采构成了严重威胁。

据解放以后的资料统计，1955~1985年的30年内共发生淹井事故218次，突水769次（其中老窑突水198次）；1955~1965年的11年间，全国统配煤矿发生淹井事故62次，突水162次（平均每年淹井5.6次，突水14.6次）；1966~1976年的11年间，发生淹井事故61次，突水238次（平均每年淹井5.5次，突水21.6次）；1977~1983年的6年间，发生淹井事故48次，突水313次（平均每年淹井8次，突水52.1次）；1984~1986年的3年间发生淹井事故达24次，突水次数已超过56次。以上统计表明，80年代与50年代相比，突水频率增长257%，淹井频率增长96%。

在突水水量方面，50~60年代，一般突水涌水量为 $5\sim$

$20\text{m}^3/\text{min}$, 个别的达到 $50\text{m}^3/\text{min}$; 60年代以后, 突水涌水量一般上升为 $20\sim 40\text{m}^3/\text{min}$, 个别的达到 $100\text{m}^3/\text{min}$; 70年代以后, 一般突水涌水量都在 $50\text{m}^3/\text{min}$ 以上。如开滦范各庄矿80年代的突水淹井事故最大涌水量达 $2053\text{m}^3/\text{min}$, 为有记载的世界煤矿突水水量之最。

在突水形式方面, 由于断层而引起的开采工作面或掘进巷道中的突水占突水总数的80%以上。这就是说, 煤矿开采的突水事故主要是由构造原因引起的, 而且滞后型突水多于突发型突水, 工作面开采突水多于掘进巷道突水。

煤矿突水事故频繁, 造成的经济损失大, 其原因是至今人们对煤层底板岩体结构的采动力学效应还缺乏研究, 对突水征兆认识不足, 探测手段落后, 不能对煤层底板突水做迅速、准确、超前预报。如1984~1985年, 全国统配煤矿发生重大淹井停产事故就有19起, 几乎平均每个月发生一次, 影响煤炭产量 12.66Mt , 造成经济损失约6.4亿元。开滦范各庄矿1984年突水淹井后, 由于矿井边界煤柱被破坏, 致使吕家坨矿被淹。突水还通过吕家坨矿和林西矿边界煤柱渗入林西矿, 造成该矿停产, 赵各庄矿、唐家庄矿也受到威胁。矿井为恢复正常生产用了两年时间, 损失煤炭产量近 8.5Mt , 造成直接经济损失近5亿元。80年代以来, 发生的突水淹井事故的次数和造成的经济损失是惊人的, 教训也是十分深刻的。

“七五”、“八五”期间是我国煤炭工业的重要发展时期, 到1990年原煤产量达到 1070Mt , 要求平均每年递增 40Mt , 以实现本世纪末煤炭产量翻一番的目标, 这与当前煤矿的生产现状很不适应。据统计, 目前受水威胁的矿井有222处, 核定生产能力为 11.28Mt/a , 占统配煤矿矿井总数的

48%以上。其中受水威胁比较严重的矿井有171处,受水威胁的煤炭储量为6660Mt,占统配煤矿总储量的18%,有51对矿井随时都有突水的可能。这种局面严重阻碍着煤炭生产的发展,影响矿井的生产接续。在华北一些主要矿区,如焦作、峰峰、邯郸、邢台、井陘、淄博、肥城、韩城等矿区受水威胁的储量占矿井总储量的45%以上。因此,不迅速解决煤层底板岩溶水害问题,将会出现每年煤炭产量下降的趋势。在峰峰矿区,每年产量将会递减500kt,照这样下去,本世纪末,一个近千万吨的大矿区将面临停关的危险。韩城矿区建井期间就出现底板水的问题,长期达不到生产能力。从19个矿区的资料分析,如不开展煤矿底板岩溶水的水害防治工作,原煤产量将每年递减2000kt以上,年增加亏损额为4686万元。

综上所述,我国煤矿底板岩溶水的突水频率日趋上升,突水水量日趋增大,造成的损失也日趋严重。因此,为适应煤炭生产的迅速发展,加强煤矿底板岩溶水的研究,具有十分重要的现实与深远意义。

三、承压水上采煤研究的历史和现状

1. 国外概况

就世界范围而论,岩溶地层分布面积占世界大陆面积的四分之一,有些国家,如匈牙利、南斯拉夫、西班牙等,岩溶地层覆盖面积更大,因而在煤矿开发中都程度不同地受到底板岩溶水的影响。国外煤矿底板岩溶水的研究已有100多年的历史,在底板岩体结构的研究、探测技术及防排水措施等方面,积累了丰富的经验。

早在20世纪初,国外就有人注意到底板隔水层的作用,并从若干次底板突水资料中认识到,只要煤层底板有隔水

层，突水次数就少，突水水量也小，隔水层越厚则突水量越少。直到1944年，匈牙利韦格·弗伦斯第一次提出底板相对隔水层的概念。他指出，煤层底板突水不仅与隔水层厚度有关，而且还与水压力有关。突水条件受相对隔水层厚度（相对隔水层厚度是等值隔水层厚度与水压力值之比）的制约。同时提出，在相对隔水层厚度大于 1.5m/atm 的情况下，开采过程中基本不突水，而80~88%的突水都是相对隔水层厚度小于此值。1952年以后，许多岩溶水上采煤的国家引用了只要相对隔水层厚度大于 2m/atm 就不会引起煤层底板突水的概念。以后，现场和实验室相结合研究了隔水层的作用，研究的主要问题有两个，一是岩体结构——阻水能力，二是岩体强度——抗破坏能力。前者主要研究岩石的地质特征，如层间断层、裂隙密度、岩溶发育规律、水流特征及岩石限制水流能力等；有人根据现场观测，提出运用阻水系数表示隔水层的突水条件、隔水层的水力阻抗程度。后者指在巷道或采空区形成的情况下，隔水层抗破坏的能力，并从能量平衡观点解释底板隔水层的破坏条件。

1974年，匈牙利国家矿业技术鉴定委员会已将相对隔水层厚度的概念列入《矿业安全规程》，并对不同矿井条件作了规定和说明。70年代后，苏联等国家也开始研究相对隔水层的作用，包括采空区引起的应力变化对相对隔水层厚度的影响，以及水流和岩石结构关系等。

1) 水害的防治方法。在理论研究的同时，世界各国还十分重视水害的防治和岩溶及断裂的探测技术等。目前水害的防治主要有三种方法：

(1) 传统的消积方法。此法适用于水量较小，水压力不大，涌水量预计不超出技术和经济的允许范围，并且煤层

底板为岩溶裂隙水为主。

(2) 以预防为主的水方法(又称防、排、堵、三位一体法)。此法在水量大、水压力大时采用。此时矿山应具备以下条件:煤层底板相对隔水层厚度大于 1m/atm ,其岩体结构、力学指标较清楚;留足够的断层、裂隙带煤柱;主要巷道中装有防水闸门,采区具有独立的排水系统等,以达到安全采煤的目的。

(3) 积极的水方法(又称为强排降压方法)。此法主要用于水量大、水压大、煤层底板又大多没有隔水层或隔水层较薄,以及治水机械化程度较高的矿区。降低水位一般采用两种方法,一是地下放水巷道疏水降压,主要用于富水性较弱的岩溶含水层;二是地面钻孔降低水位,用于富水性较强的岩溶含水层。匈牙利矿山安全局规定,导水性分界线 $KM=3\sim 4\text{m}^3/\text{s}$ 。小于该值时,用巷道方式降低水位;大于该值时,用地面钻孔方式降低水位。同时,配合水量、水位观测网,检查水位动态变化,以保证水位在安全开采限以下。

2) 探测仪器。随着电子工业的发展,国外岩溶探测技术有了很大进步,尤其是80年代,探测仪器的先进性、实用性主要表现在,能准确探查采前煤层底板岩溶发育特点及分布规律,超前探测构造的导水性,并且向“无损”探测技术发展。国外的探测仪器主要有以下几种:

(1) Petro-sonde地电探测仪。这是美国国际地球物理公司(GI)基于天然电磁场,借助于航天技术而制造的一种较新的物探仪器,它不仅能用于直接找煤,并且能准确探明与水害有关的岩溶、断裂带、老窑以及陷落柱等。此外,该仪器具有轻便、操作简单、工效高、价格低廉等优点,其

探测深度可达到1000m以上，并且不论深度大小其探测精度都在1.5~7.5m。用它可大大减小钻探工程量，并且不受地形地物及环境影响，可实现在地表进行“无损”探测地下水害的目的。

(2) ES-1225、ES-2401型多道信息增强型地震仪。该仪器为美国GD公司研制生产。用于探测地下矿体、岩层界面、岩石(岩体)弹性参数以及与水害直接有关的含水层、断层、老空区充水等，尤其查明断层界面、充水岩体精度较高。仪器本身具有重量轻、应用方便、野外施工人员少及工作效率高等优点，是防治水害的一种有效物探手段。

(3) 地质雷达。该仪器由美国军工生产，用于探测掘进巷道前方岩溶溶洞、不连续界面等。超前探测距离为35~45m，精度可满足要求。仪器轻便，井下使用适用性强。

(4) SEAMEX-85型槽波地震仪。主要由德国制造。该仪器采用先进的数字采集系统，处理上采用特殊的动态道集法，对于井下探测小构造、工作面前方大于煤层厚度的断层效果较好，具有井下使用安全火花型优点。

(5) GR-810型全自动地下勘探仪。该仪器由日本VIC震动仪器公司研制生产，采用瑞雷波法测定井下0~70m范围内的岩溶、老窑、小断层、陷落柱等，对岩溶、空洞的探测精度为探测深度的1/10。由于该仪器主要用于测线距离较短、施工场地小，可以在巷道掘进工作面内施工，也可在各种物性条件下的地层内施工，因此，可用于井下开采层探测底板隔水层厚度、岩溶、空洞及各种小构造等，也是独头巷道超前探测的有效手段。

此外，匈牙利、南斯拉夫等国家采用偶极探测法寻找地下岩溶溶穴；激发极化法探测地下含水岩层；无线电波透视