

# 平朔井工开采煤层顶底板水文地质条件评价及防治水对策研究

张忠温<sup>1</sup>, 武强<sup>2</sup>, 付恩俊<sup>1</sup>, 樊振丽<sup>2</sup>

(1. 中煤平朔煤业有限责任公司, 山西朔州 036006; 2. 中国矿业大学, 北京 100083)

[摘要] 针对平朔井工一矿所面临的煤层顶底板水害威胁, 在分析矿井采矿、地质等条件的基础上, 确定了与煤层顶底板水文地质条件相关的若干因素, 分别运用“三图法”和“脆弱性指数法”对该矿煤层顶板涌突水条件和底板突水脆弱性进行了评价, 并制定了具体的防治水措施。

[关键词] 三图法; 脆弱性指数法; 煤矿水害; 防治水对策

[中图分类号] TD742 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)11-0094-08

## 1 前言

### 1.1 我国顶底板水害<sup>[1~4]</sup>

中国煤炭资源丰富, 煤炭资源的开发利用是我国国民经济发展的的重要组成部分和既定国策。然而, 我国许多煤田水文地质条件十分复杂, 煤层开采过程中受到多种水体的威胁, 顶板水问题十分普遍, 底板突水问题也非常突出, 煤矿突水事故频繁发生, 严重地威胁着煤炭的安全开采, 并不断造成巨大的经济损失和不良社会影响。

煤矿顶板水是指煤层顶板以上的承压、潜水含水层水, 在煤炭开采过程中通过断层带、裂隙涌入或在顶板孔隙裂隙渗入、淋、滴入矿井采面的水体; 在开采煤层情况下, 围岩应力重新分配, 冒落带高度范围内顶板岩层产生新的裂隙或裂隙性质向张性改变, 导致新增的顶板水进入矿井, 对开采造成重大威胁, 有时发生涌(突)水事故, 形成煤矿顶板水害。顶板水在我国矿井生产中普遍存在, 侏罗纪、二叠纪煤层的顶板水主要是砂岩, 石炭系煤层顶板水主要是石灰岩, 部分地区为砂岩, 如山西高原的沁水、大同、平朔矿区等。

煤矿底板突水, 是指煤层下伏承压含水层中的水突然涌入采掘工作面, 使矿井涌水量增加或淹井

的灾害现象, 底板突水是我国煤田水文地质条件的显著特征之一, 并且底板水具有的强富水和高水压特点致使下组煤层难以开采。据原煤炭工业部统计, 占全国煤炭储量 60% 的华北型煤田, 其受底板承压水威胁的煤炭储量就在 160 亿 t 以上, 造成 40% 左右的煤炭不能正常开采。我国北方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, 矿床水文地质条件复杂, 下组煤层与其下伏的灰岩岩溶含水层之间的隔水层厚度从几米到几十米不等, 几乎都受石炭二叠纪煤系底部巨厚层奥陶系、寒武系灰岩强富水含水层高压水的影响, 矿井底板岩溶水害严重。比如, 在 1984 年 6 月 2 日开滦范各庄矿 2171 综采工作面发生的陷落柱奥陶系灰岩水突水事故, 以及 2003 年 9 月 2 日 0 时 30 分, 河南省伊川县奋进煤矿黄村分矿发生的底板寒武系灰岩水突水事故均造成了巨大经济损失。南方煤田煤层下方茅口灰岩厚度达 140~170 m, 煤层底板至灰岩之间的隔水层仅数米甚至无隔水层, 矿井受底板水害威胁严重。目前, 矿井水害尚处于散乱和不完善状态, 难以快速地查阅、处理和科学分析各种水害信息。煤矿淹井伤人事故仍多有发生, 给人民的生命与财产带来了极大的损失, 严重制约着煤炭工业的可持续发展, 影响着

[收稿日期] 2011-09-01

[作者简介] 张忠温(1964—), 男, 河北南皮县人, 教授级高级工程师, 研究方向为现代化采矿技术; E-mail: zhangzhongwen@pingshuocoal.com

保水采煤等环境工程。因此,煤矿底板突水的预测和防范一直是矿业工程中的攻关问题。

## 1.2 平朔井工一矿受水害威胁情况与研究意义

平朔井工一矿位于产煤大省山西宁武煤田中北部,其水文地质条件比较复杂。该矿主要可开采煤层为4、9、11号煤层,其顶板充水含水层是富水性较好的中厚砂岩裂隙承压含水层组,对煤层安全生产造成很大的威胁;底板下伏奥陶系灰岩水,随着开采深度的不断增加,水压也越来越大,对生产的威胁越来越大。底板突水问题是开采下组煤层的重大隐患,因此,煤层顶、底板涌(突)水问题是影响煤矿生产的两大水文地质问题,是该矿目前迫切需要解决的问题<sup>[5,6]</sup>。

煤层顶底板涌(突)水条件评价是在对矿区地质、水文地质条件,包括井田构造、地下水运移规律和矿井生产过程中暴露的地质、水文地质现象等进行详细研究的基础上,采用武强教授提出的顶板“三图法”和底板“脆弱指数法”水害评价方法对煤层受顶底板含水层威胁情况进行综合分析评价。顶板分析主要开采煤层顶板含水层富水性,并对煤层顶板涌(突)水危险性进行分区;底板采用多元地学信息叠加方法,确定突水危险区,对下组煤层底板的突水脆弱性进行研究和评价预测,最终针对性地制定出切实可行的防治水措施,对平朔井工一矿煤炭安全生产和长远衔接具有极其重要的理论指导意义和实用价值,对于解放煤田储量,保证矿井的安全生产和提高矿井经济效益具有重要意义。

## 2 煤层顶底板水文地质条件评价原理

### 2.1 煤层顶板水文地质条件评价原理——

#### “三图法”

“三图法”是指一种解决煤层顶板充水水源、通道和强度3大问题的顶板水害评价方法。三图是指煤层顶板充水含水层富水性分区图、顶板冒裂安全性分区图和顶板涌(突)水条件综合分区图<sup>[7]</sup>。

对煤层顶板含水层富水性的评价主要依据多元地学信息复合叠加的概念,在建立与含水层富水性相关的各地学因素专题库与图的基础上结合地理信息系统(GIS)强大的空间分析功能与相关数学方法耦合的富水性指数区域分布进行充水含水层富水性的分区。该分区利用多个水文地质物理场的不同特征,相互对比验证,互相弥补不足,对充水含水层的富水性进行了系统综合分析。煤层顶板充水含水层

富水性分区图旨在解决煤层顶板水害水源问题。

顶板冒裂安全性分区图提出了煤层顶板充水的充分必要条件是煤层回采形成的顶板导水裂隙带沟通了上覆直接充水含水层,并且含水层在回采工作面冒裂范围对应的部位富水性较强,研究了采动前、后危险区、安全区的分布状况,由此区划顶板冒裂安全性信息。顶板冒裂安全性分区图旨在解决煤层顶板水害通道问题<sup>[8-12]</sup>。

在解决了顶板水害的水源与突水通道问题之后,将水源富水性信息与突水通道信息叠加耦合,找出既富水又能导通矿井工作空间的区域,依据不同的耦合信息确定不同的突水危险性等级分区,即煤层顶板涌(突)水条件综合分区图,该图中不同的危险性等级亦代表了突水强度信息,解决了突水强度问题。

### 2.2 煤层底板水文地质条件评价原理——

#### “脆弱性指数法”

“脆弱性指数法”是一种将可确定充水含水层富水性多种主控因素权重系数的信息融合方法与具有强大空间信息分析处理功能的GIS耦合在一起的预测评价方法。它不仅可以考虑影响充水含水层富水性的众多主控因素,而且可以刻画多因素之间相互复杂的作用关系以及对富水性贡献的相对“权重”比例,并可实施富水性的多级分区。依据信息融合的不同数学方法,充水含水层富水性评价新方法可划分为非线性和线性两大类。非线性评价方法有基于GIS的ANN型脆弱性指数法、基于GIS的证据权重法型脆弱性指数法、基于GIS的贝叶斯法型脆弱性指数法等;线性评价方法有基于GIS的AHP型脆弱性指数法等。该方法是在实践中逐步完善起来的,是现代信息技术与地学的结晶,它使复杂的底板水害问题,以更直观、更准确的表达形式指导于矿井实际生产中<sup>[13-15]</sup>。

## 3 煤层顶板水文地质条件评价

### 3.1 综合反映充水含水层富水性的多元地学信息

含水层富水性是由多种因素共同决定的,在分析了井工一矿的地质、采矿条件后,确定了含水层厚度、煤层顶板覆岩结构、单位涌水量、渗透系数、冲洗液消耗量、岩心取芯率、构造(断层、陷落柱、褶皱)等与含水层富水性相关的多元地学信息<sup>[16]</sup>。

### 3.2 基于 GIS 煤层顶板含水层富水性分区

#### 3.2.1 多元地学信息对富水性影响权重的确定

利用层次分析法(AHP)将多元地学信息分成3个层次,即煤层顶板充水含水层富水性是这一问题的最终目的,这作为模型的目标层(A层次);岩性场、水力特性、构造因素决定了富水性,但其影响方式还需通过与其相关的具体因素来体现,这是解

决问题的中间环节,亦即模型的准则层(B层次),各个具体的主控因素指标构成了本模型的决策层(C层次),通过对该层次问题的决策,即可最终达到所要求解的目标<sup>[17,18]</sup>。运用层次分析法将定性与定量有机结合,最终确定出各个地学因素对煤层顶板含水层富水性的影响,表1为4号煤顶板间接充水含水层富水性各主控因素的权重值。

表1 影响顶板富水性各主控因素的权重

Table 1 The roof watery weights of main control factors

影响因素	含水层厚度( $W_1$ )	脆塑性岩厚度比( $W_2$ )	单位涌水量( $W_3$ )	钻孔取芯率( $W_4$ )	渗透系数( $W_5$ )	冲洗液消耗量( $W_6$ )	断层( $W_7$ )	陷落柱( $W_8$ )	褶皱轴( $W_9$ )
权重 $W_i$	0.122 6	0.040 9	0.252 2	0.051 5	0.086 4	0.149 6	0.099	0.099	0.099

#### 3.2.2 煤层顶板含水层富水性分区

首先,利用搜集的各个地质因素的基础数据绘制矢量化GIS单因素等值线专题图;其次,利用GIS强大的空间数据复合叠加功能将各种地学信息(单因素专题图)依据其对富水性不同的影响权重进行复合叠加,最终得出含水层富水性专题图。图1为井工一矿4号煤顶板间接充水含水层(下石盒子组砂岩裂隙含水层)富水性分区专题图。

带的发育高度之差,若差值为正则说明导水通道未贯通含水层或水源,为冒裂安全区;反之,则说明导水通道连通了含水层或水源,为冒裂非安全区。在以钻孔为单位对覆岩厚度与导水裂隙带的发育高度之差进行计算的基础上,对其进行整个研究区的差值运算,使得开采冒裂安全性分区精确化得以实现。4号煤顶板间接含水层冒裂安全性分区如图2所示,研究区大部已经导通间接含水层,只有在K2钻孔周围区域(图中浅色区域)导水裂隙带没有发育到间接含水层底界。

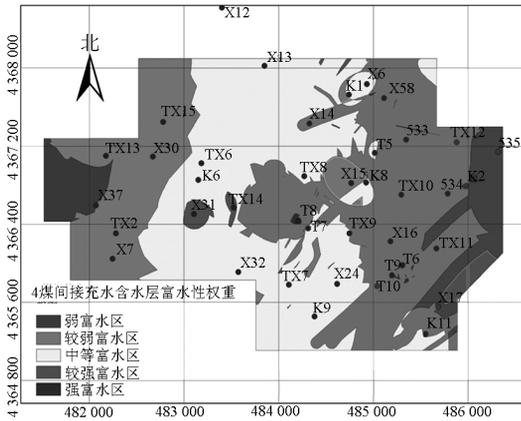


图1 4号煤顶板间接充水含水层富水性分区图

Fig.1 Watery zoning map of 4# indirect roof aquifer

#### 3.3 冒裂安全性评价与分区<sup>[19]</sup>

前已述及,采用“三图法”评价煤层顶板突水安全性,不仅要研究充水水源的富水性,而且在研究开采冒落裂隙带的发育高度是否触及充水含水层的底板标高及所触及部位的富水情况的基础上,建立煤层顶板突水条件综合分区。通过数值模拟计算,精确得出煤层顶板开采导水裂隙带最大发育高度,计算煤层顶板距离含水层底界的覆岩厚度与导水裂隙

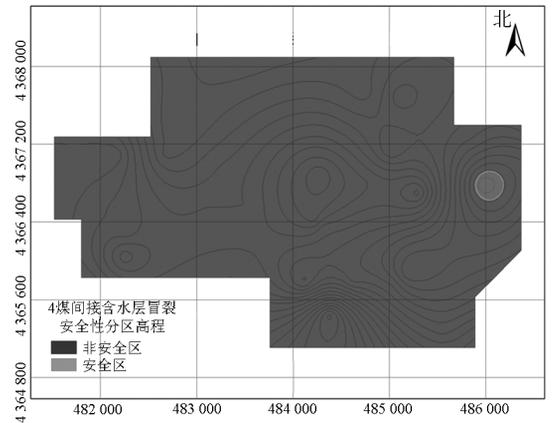


图2 4号煤间接充水含水层冒裂安全性分区图

Fig.2 Cracking safety subarea map of 4# coal indirect aquifer

#### 3.4 煤层顶板含水层涌(突)水条件综合分区

“三图法”中的富水性分区图和冒裂安全性分区图得到之后,将其空间信息数据进行分析梳理,将涌(突)水水源信息与通道信息相结合,将间接含水层的富水性图与冒裂安全性分区图(见图1、图2)

复合叠加后可得出4号煤间接充水含水层涌(突)水条件综合分区(见图3)。

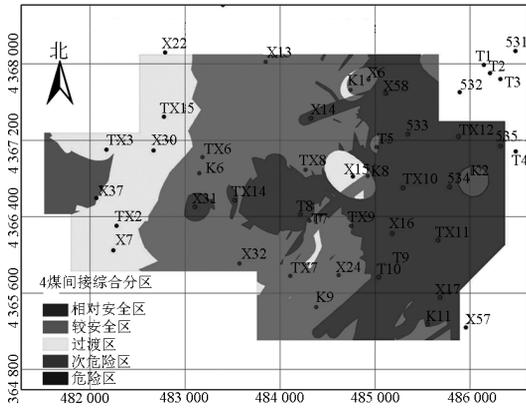


图3 4号煤间接充水含水层涌(突)水条件综合分区图

Fig. 3 Hydrogeology conditions zoning map of 4# coal indirect aquifer

#### 4 煤层底板水文地质条件评价

依据平朔井工一矿的生产经验,采用基于GIS的AHP型脆弱性指数法对该矿煤层底板突水危险性进行评价。首先,利用GIS强大的空间信息处理能力,对各地质要素图形信息进行量化;其次,运用层次分析法(AHP)对地质因素进行量化处理,计算出各因素对富水性的影响权重;最后,应用GIS的空间复合叠加功能并结合AHP的计算结果进行富水性评价,并以直观的图件形式给出评价分区结果<sup>[20,21]</sup>。该方法不仅充分利用了大量繁杂的空间信息,运用定性与定量相结合的思维来研究地学问题,深入剖析问题的本质,而且其评价结果较单一的文字评价更为直观、准确。

##### 4.1 煤层底板涌(突)水条件主控因素确定

合理恰当地选取影响底板突水的主控因素,对

层次分析法模型建立和评价结果的准确性起关键性的作用。因此,底板突水主控因素的选择和数据采集就十分重要。通过对平朔井工一矿的现有水文和地质及生产经验资料的研究和对突水因素的分析,在主控因素的选择和数据采集过程中,主要考虑了以下几个方面:

1)煤层底板的充水含水层:该矿下组煤的开采,对其威胁最大的就是奥陶系灰岩含水层。影响奥陶系灰岩含水层的因素包括它的富水性、岩溶发育程度以及含水层对上部隔水层的水头压力。

2)从地质构造考虑:井田内褶皱、断层、陷落柱的存在对隔水层造成严重的破坏和影响,所以它们的分布及其发育情况、规模大小等对底板突水起控制作用。

3)从隔水层的隔水强度考虑:煤层底板与主要研究的含水层之间的隔水层厚度及其岩性组合和分布位置,对底板突水起关键性的作用。

根据以上考虑的情况,选取奥陶系灰岩含水层的水压、富水性要素、煤层底板有效隔水层的等效厚度、奥灰顶部古风化壳厚度、断层线分布、断层交点和端点的分布、陷落柱影响带分布以及褶皱影响带分布共8个因素作为煤层底板突水脆弱性预测的主控因素。

##### 4.2 各主控因素权值的确定

同顶板含水层评价,底板突水脆弱性评价是这一问题的最终目的,这作为模型的目标层(A层次);地质构造、承压含水层、底板隔水层决定了突水的可能性,但其影响方式还需通过与其相关的具体因素来体现,这是解决问题的中间环节,亦即模型的准则层(B层次),各个具体的主控因素指标构成了本模型的决策层(C层次),通过对该层次问题的决策,即可最终达到所要求解的目标。利用AHP法确定影响底板突水脆弱性因素的权重,如表2所示。

表2 影响底板突水各主控因素的权重

Table 2 The floor watery weights of main control factors

影响因素	有效隔水层等效厚度 ( $W_1$ )	奥灰顶部古风化壳厚度 ( $W_2$ )	断层线分布 ( $W_3$ )	断层交点和端点分布 ( $W_4$ )	褶皱影响带分布 ( $W_5$ )	陷落柱影响带分布 ( $W_6$ )	含水层水压 ( $W_7$ )	含水层富水性 ( $W_8$ )
权重 $W_i$	0.262 0	0.065 5	0.094 5	0.047 3	0.023 6	0.094 5	0.309 5	0.103 1

##### 4.3 煤层底板突水脆弱性评价分区

###### 4.3.1 评价分区数学模型

建立煤层底板突水脆弱性模型,实际上就是建

立一个表明各影响因素作用的数学模型,这个模型所得出的计算值能反映出某一地理位置煤层底板突水的危险程度。初始模型的建立必须以地质条件分

析、突水因素分析以及各因素对突水的贡献机理为基础。单个突水主控因素专题图只包含一个因素的信息,因此它不能满足通过一个数字模型进行多因素综合处理的要求。

须先构造一个初始模型,使之能基本反映各因素的作用,然后通过反复调参、多次拟合运算,使之逐步向目标逼近,最终建立能反映井工一矿煤层底板突水脆弱性情况的模型。

为此引入脆弱性指数 VI(vulnerability index)的初始模型来对煤层底板突水脆弱性进行评价。脆弱性指数定义为某一地区的某一地段的某一栅格位置上的各种影响因素对其产生的叠加影响总和。可用以下模型公式表示:

$$VI = \sum_{k=1}^n W_k \cdot f_k(x, y) \quad (1)$$

式(1)中,VI 为脆弱性指数;  $W_k$  为主控因素权重;

$f_k(x, y)$  为单因素影响值函数;  $x, y$  为地理坐标;  $n$  为影响因素的个数。

#### 4.3.2 评价分区

对脆弱性指数进行统计分析做出底板突水脆弱性指数累计统计直方图,确定出分区阈值 0.25、0.36、0.48、0.65(见图 4)。脆弱性指数越大,突水的可能性也就越大。

$VI > 0.65$	底板突水脆弱区
$0.48 < VI \leq 0.65$	底板突水较脆弱区
$0.36 < VI \leq 0.48$	底板突水过渡区
$0.25 < VI \leq 0.36$	底板突水较安全区
$VI \leq 0.25$	底板突水相对安全区

根据分区阈值将研究区域划分为 5 个区域,图 5 为 9 号煤底板突水脆弱性评价分区图。

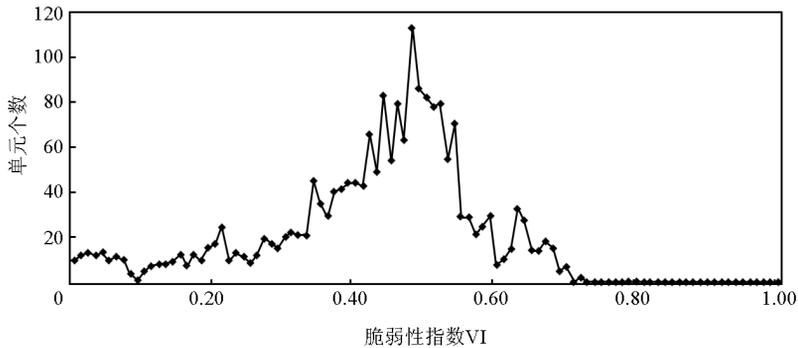


图 4 脆弱性指数统计图

Fig. 4 Vulnerability index statistical figure

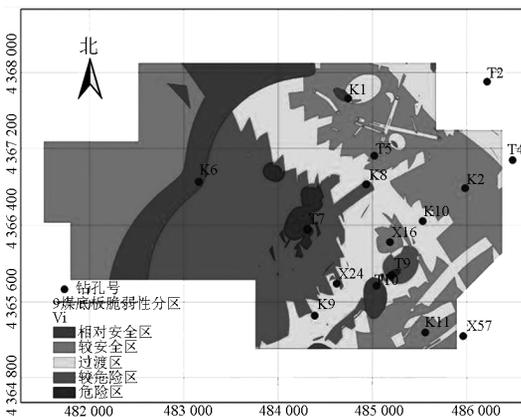


图 5 9 号煤底板突水脆弱性分区图

Fig. 5 Water bursting vulnerability zoning map of 9# coal floor

## 5 防治水对策

采掘施工前必须做好水害的预测预报工作,坚持“预测预报,有疑必探,先探后掘,先治后采”的探放水原则,做好水害排查制度,加强日常管理工作,有针对性地开展水文地质工作,以确保矿井的安全生产。

### 5.1 地表防治水措施

研究区主要发育的七里河因安太堡露天矿的建设已经改道经井坪,其汇水面积仅限于本矿区范围内。其四条支沟转吉沟—马蹄沟、罗家坪沟、井沟、大路门沟以及东部发育有狼塔沟是矿区内能够威胁矿井开采的主要地表水。由“三图法”结果看,顶板冒裂带已经基本涉及全部区域,因此,矿井防治水最重要的一个环节就是防治地表水或大气降水的渗透

补给。矿区位于丘陵地貌区,为确保井下安全生产,避免由洪水季节形成的地表水顺冒裂带溃入矿井而引发水害事故,建议对较大沟谷转吉沟—马蹄沟、井沟和大路门沟在开采初期的冒裂不稳定期采用在矿区北部、西部边界截流,在后期稳定阶段可进行疏通改造,对较窄支沟加宽取直,铺设垫层,使地表水有序排出矿区。必要时在地表河流或者沟壑低洼地带修筑防渗工事,防止汛期地表水溃入井巷。

### 5.2 煤层顶板砂岩裂隙水防治措施

1) 建议在煤层顶板的危险区、次危险区进行井下钻孔探放水验证,或者其他措施验证,有水时进行放水。对于导水裂隙带导通顶板含水层的区域,应采取预先抽水疏干措施,并与矿井供水相结合,做到既解除矿井水患威胁又保证水资源综合利用的双重目的;对于导水裂隙带未导通的含水层作出必要的封堵注浆措施。对于顶板探放水顺序,建议在开采4号煤探放水时,对9号煤顶板、4号煤底板也进行探放水。建议主要运输巷道和主要回风巷布置在不受水害威胁的层位,或者提前探放水后进行治理,并以石门分区开采。

2) 从研究区煤层顶板充水含水层涌(突)水条件综合分区图上可以看出,过渡区主要分布在危险区、次危险区和较安全区之间,该区域富水性一般,隔水层厚度中等,但该区域也有突水的可能,特别是构造发育地段也存在突水可能。对于过渡区应采取以下措施:a. 对接近构造区段或者局部富水区段采取抽放水、含水层改造和隔水层加固措施;b. 对区内导水断层及断层带应预留防水煤柱。

3) 分区图中的较安全区和相对安全区富水性相对较弱,在开采时一般不会发生突水。但是,开采时也应该采取一些预防、监测措施,以防突水发生。

### 5.3 煤层底板奥陶系岩溶裂隙水防治措施

1) 地面、井下放水降压孔。在汇水区、高水压地段布置大口径地面超前疏排钻孔,对煤层底板奥陶系含水层提前疏水降压,减少突发性涌水事故的发生。井下放水孔可在主辅运巷道中实施,地面排水孔建议在白家新窑向斜核部的南、北两端和普3孔向斜、普23孔背斜南端,这样在考虑疏排水钻孔布设时,不过多地占压煤炭资源。

地面观测孔和井下放水钻孔竣工后,可进行一次井下奥陶系含水层放水,井下、地面联合观测的放水试验,以对奥陶系含水层岩溶裂隙水流场、水量变化、动态以及对周边环境影响有一个全面的深度了

解,对进一步的工作起到积极作用。

2) 底板加固与含水层改造。煤层底板加固与含水层改造技术是指通过注浆加固底板和填充含水层裂隙,一方面提高底板强度,一方面截断或阻滞地下水径流通道,确保安全生产,该技术是解决底板,尤其是奥陶系突水威胁的有效途径之一。目前,已成功应用于肥城、焦作、郑州、邢台、峰峰、永城等大水矿区,并且取得了明显的经济效益和社会效益。

近年来,永城煤电集团城郊煤矿通过20多个回采工作面煤层底板、含水层注浆改造技术实践,探索出一套行之有效的保障技术与方法。对于平朔井工一矿来讲,可以在探明的薄弱地带、研究的脆弱区域进行底板注浆加固或者周边含水层改造。底板加固和含水层改造,最好取得井下疏放水试验成果资料,如果奥陶系防水降压有效,则可减少底板加固的面积和厚度,降低防治水费用。

3) 帷幕截流。帷幕注浆截流技术考虑以下两个方面:a. 根据矿区水文地质条件结合物探成果,查清导水裂隙带、通道和采空区的空间位置,构造微裂隙中以静水或达西渗流状态下的条件,有的放矢设计注浆钻孔,准确控制注浆钻孔深度和个数;b. 可考虑采用三液浆为主,单液、双液浆为附的注浆技术,达到在保证幕墙墙体强度的基础上尽可能的节约材料,降低费用。

帷幕注浆截流成本相对较高,在帷幕注浆截流技术实施前,要在地面或井下放水孔实施后,并具有一定数量的奥陶系观测孔网的观测资料,经过分析得到确定无误的补给方向后实施。

4) 奥灰水防治的重点应放在构造的探测上。工作面回采前要进行无线电波透视工作,查明3m以上的断层和直径大于10m的陷落柱,同时对查明的地质构造要用钻探或物探方法进行含水性评价,确认无突水危险后方可进行生产,尽量避免采掘工程直接揭露导水构造而引发恶性突水事故的发生。

5) 对于含水构造(大型断层、陷落柱)或无法确定是否导水的构造,要留设防隔水煤柱。

### 5.4 断层、陷落柱积水防治措施

断层、陷落柱水主要来自于沟通奥陶系和上部砂岩含水层水,在已有的空间富集,对开采造成威胁,对于断层、陷落柱水的治理原则一是探明,二是在源头上截流。

1) 岩溶陷落柱要首先进行超前探测,根据水量大小,选择适当的处理措施,水量不大的可以疏排;

中等者采取填骨料、注浆;水量大者,采取在上游截流技术封堵。

2)井田中勘探时期已知断层以及在采掘过程中新发现的导水断层处应预留防水煤(岩)柱,严重的可采取两盘预注浆或者局部疏水降压等措施处理。

### 5.5 采空区积水防治措施

采空区突水具有来势猛、损害性大的特点,建议采取以下措施:

1)做好采区内及其周边小煤窑采空区与钻孔封孔情况的调查、勘测确认工作,对于周边老窑、生产井等的开采边界、采空区逐一查明。开采9号煤时防范4号煤老空水的工作,避免采空区老空水害和封孔不佳的钻孔导通涌(突)水水源的情况发生。

2)采掘工程需穿越废弃的空巷和采空区时,均要先进行探放水后方可穿越空巷和采空区。

3)有关部门要对已形成的采空区以及废弃的巷道进行严格排查,将可能形成的积水区域标于充水性图上,同时还应标注积水量及积水水位标高,在实际施工中根据不同的积水情况采取相应的措施进行治理。下分层巷道掘进时,应安排打钻探放水,采取边探边掘的措施,以保证巷道施工的顺利进行。

## 6 结语

1)通过对平朔井工一矿井田地质条件、水文地质条件的研究,对导致煤层顶板突水的主要控制因素进行了综合分析,确定了含水层厚度、脆塑性岩厚度比、渗透系数、单位涌水量、钻孔取芯率、冲洗液消耗量、断层、陷落柱、褶皱等因素是影响顶板突水的主要控制因素。这些因素相互作用,共同影响煤层顶板突水的发展过程。

2)利用“三图法”评价了平朔井工一矿煤层顶板水文地质条件,分别区划了煤层顶板充水含水层涌(突)水条件相对安全区、较安全区、过渡区、较危险区和危险区。

3)利用“脆弱性指数法”评价了平朔井工一矿煤层底板突水脆弱性程度,分别区划了煤层底板突水脆弱区、较脆弱区、过渡区、较安全区和相对安全区。

4)针对水文地质条件研究结果,提出了针对性的防治水措施。即加强探测、监测工作,保证疏排系统正常运转,针对不同危险性水体采用疏降、封堵、底板加固、留设煤柱、帷幕截流等技术措施,确保矿

井安全生产。

### 参考文献

- [1] 武强. 华北型煤田矿井防治水决策系统[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995.
- [2] 武强. 矿井水灾防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2002.
- [3] 武强,管恩太,冀焕军. 煤矿底板突水的多源地学信息复合模型研究——以焦作演马庄矿为例[J]. 工程勘察,2001(4):18-20.
- [4] 中国煤田地质总局. 中国煤田水文地质学[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
- [5] 山西省平朔安家岭一号井工矿生产矿井地质报告[R]. 山西:山西省煤炭地质115勘察院.
- [6] 平朔矿区安家岭一、二号井工矿防治水水文地质勘查报告[R]. 北京:中国煤炭地质总局第一水文地质队(2007—2009).
- [7] 武强,黄晓玲,董东林,等. 评价煤层顶板涌(突)水条件的“三图一双预测法”[J]. 煤炭学报,2000,25(1):60-65.
- [8] 钱鸣高,石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [9] 赵福全. 煤矿安全手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992.
- [10] 武强,李建民. 东欢坨矿顶板涌水条件与工作面水量动态预测[J]. 煤田地质与勘探,2000(6):32-35.
- [11] 武强,魏学勇,张宏,等. 开滦东欢坨矿北二采区冒裂带高度可视化数值模拟[J]. 煤田地质与勘探,2002,30(5):41-44.
- [12] 刘增辉,杨本水. 利用数值模拟方法确定导水裂隙带发育高度[J]. 矿业安全与环保,2006,33(5):16-19.
- [13] 武强,张志龙,马积福. 煤层底板突水评价的新型实用方法I——主控指标体系的建设[J]. 煤炭学报,2007,32(1):42-47.
- [14] 武强,张志龙,张生元,等. 煤层底板突水评价的新型实用方法II——脆弱性指数法[J]. 煤炭学报,2007,32(11):1121-1126.
- [15] 武强,解淑寒,裴振江,等. 煤层底板突水评价的新型实用方法III——基于GIS的ANN型脆弱性指数法应用[J]. 煤炭学报,2007,32(12):1301-1306.
- [16] 徐连利. 谈钻探施工过程简易水文地质观测工作的重要性[M]//煤矿深部开采地质保障技术研究与应用. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [17] 陈述彭. 地理信息系统概论[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [18] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [19] 刘同彬,施龙青,韩进,等. 导水断裂带高度理论计算[J]. 煤炭学报,2006,31:93-96.
- [20] 商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展——脆弱性研究[J]. 地域研究与开发,2000(2):74.
- [21] 武强,傅耀军,杨明. 基于GIS、RS与AHP耦合技术的矿山水力侵蚀研究[J]. 煤田地质与勘探,2004,32(6):35-38.

# Coal seam roof and floor hydrogeology conditions evaluation of Pingshuo No. 1 mine and measures of preventing water bursting

Zhang Zhongwen<sup>1</sup>, Wu Qiang<sup>2</sup>, Fu Enjun<sup>1</sup>, Fan Zhenli<sup>2</sup>

(1. China Coal Pingshuo Coal Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi 036006, China;

2. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

[Abstract] Aiming at water hazards menace of Pingshuo No. 1 coal mine roof and floor, the paper ascertains relevant factors of coal mine water bursting on the base of analyzing the mining and geology conditions, and evaluates the roof hydrogeology conditions and floor water bursting vulnerability. At last, it sets down a series of measures of preventing water hazards.

[Key words] three maps method; vulnerability index method; water hazards of coal mine; prevented measures of water hazards

---

(上接 93 页)

## Research progress of the frozen wall thickness in deep alluvium

Shen Wei'an, Wang Jianzhou

(China Coal 5<sup>th</sup> Construction Company, Xuzhou, Jiangsu 221000, China)

[Abstract] According to the problem of design theory lagging behind engineering application, with the thickness increasing of deep alluvium for the freezing shaft-sinking engineering, the frozen wall is regarded as homogeneous and isotropic thick wall cylinder while designing and calculating, and the calculate results based on the elastic and elastic-plastic theory can't apply to the freezing shaft-sinking engineering in the future. In this paper, frozen wall thickness design theory of the present research situation and the existing problems were summarized. The radial creep displacement of heterogeneous frozen wall will reduce 25% ~ 30% when the homogeneous frozen wall, so the bearing capacity and deformation performance of frozen wall can be fully used and the thickness of frozen wall can be reduced efficiently.

[Key words] frozen wall; deep alluvium; radial delimitation model; viscoelastic