

# 煤矿岩溶水水环境保护安全开采技术

赵 庆彪

(冀中能源集团有限责任公司,河北 邢台 054021)

**摘要:**总结了邢台矿区岩溶地下水水环境保护开采方面的技术经验,通过不断深入研究,在水文地质预测、超前探查、井田分区评价、煤层底板改造、快速建造阻水墙、建造陷落柱堵水塞和充填开采技术等方面,取得了较大的技术进步和成效。实现了矿井超前预探及采前安全性评判,采用下组煤带压开采底板注浆改造加固技术,综合注浆法快速建造阻水墙技术、陷落柱堵水塞建造技术、综合机械化充填采煤技术,有效防止了工作面突水事故的发生。

**关键词:**岩溶地下水;水环境保护;注浆加固;充填开采

中图分类号:TD745 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)01-0014-04

## Safety Mining Technology Under Water Environment Protection of Karst Underground Water in Coal Mine

ZHAO Qing-biao

(Jizhong Energy Group Corporation Limited, Xingtai 054021, China)

**Abstract:** The paper summarized the technical experiences on the mining aspects of water environment protection of karst underground water in Xingtai Mining Area. With the continued further study, great technical progress and achievements were obtained on the hydrogeological prediction, advance exploration, evaluation of the coal minefield subregion, seam floor reconstruction, rapid construction of water resistance wall, construction of water sealing plug in sinkhole, stowing mining technology and others. The mine advance detection and the safety adjustment before the mining operation was realized, the floor grouting reinforcement technology of the water pressurized mining in the down group seam, comprehensive grouting method and rapid construction of water resistance wall technology, construction of water sealing plug technology in sinkhole, full-mechanized stowing mining technology were applied to prevent the water inrush accident occurred in the coal mining face.

**Key words:** karst underground water; water environment protection; grouting reinforcement; stowing mining

## 0 引言

河北省是水资源极度匮乏的省份,人均水资源保有量只有  $302 \text{ m}^3$ ,仅为全国人均保有量的 13.8%,缺水已严重影响了工农业生产人民生活<sup>[1-3]</sup>。煤矿开采不可避免地要对矿井乃至矿区的地下水环境产生扰动或造成一定的破坏。据统计,全国煤矿每采 1 t 煤,平均要扰动影响  $2.54 \text{ m}^3$  地下水资源<sup>[4-6]</sup>。因此,研究减少煤矿开采对地下水环境的影响,特别是对主要含水层或强含水层予以保护性开采是非常必要的<sup>[7-10]</sup>。邢台煤田是典型的华

北型煤田,下组煤开采方面已有 30 年试采实践,在水文地质预测、超前探查、井田分区评价、煤层底板改造、快速建造阻水墙、建造陷落柱堵水塞和充填开采技术等多方面取得了突破,在岩溶水水环境保护煤矿开采方面形成了一整套的技术,取得了很好的环境和社会效益。

## 1 邢台矿区水文地质条件

邢台矿区地处太行山东麓与华北盆地的接触带,矿区地下水系属于邯邢水文地质单元,奥灰水文地质条件极其复杂,地下岩溶水十分丰富,地质构造

收稿日期:2013-11-01;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.01.004

作者简介:赵庆彪(1957—),男,辽宁海城人,教授级高级工程师,博士,现任冀中能源集团有限责任公司总工程师。E-mail:qingbiaozh@163.com  
引用格式:赵庆彪.煤矿岩溶水水环境保护安全开采技术[J].煤炭科学技术,2014,42(1):14-17,22.

ZHAO Qing-biao.Safety Mining Technology Under Water Environment Protection of Karst Underground Water in Coal Mine[J].Coal Science and Technology,2014,42(1):14-17,22.

复杂,岩溶陷落柱发育,煤系地层本身又有多层厚度不一的薄层灰岩,属典型的华北岩溶型煤田。煤系可采煤层分为上组煤(2、4—6号煤层)和下组煤(7—9号煤层),下组煤受底板奥陶系强含水层直接威胁,上组煤如遇垂直导水构造亦受奥灰水威胁。

煤田范围内主要分布有多个含水层,自下而上为煤系基底奥陶系灰岩、煤系下部的大青灰岩和本溪灰岩2个含水层、煤系中上部的伏青灰岩、野青灰岩及山西组2号煤顶板砂岩、煤系上覆地层的上、下石盒子组砂岩、第四系下更新统冰水沉积砾石层和冲、洪积砂层,各含水层之间均有良好的隔水层,在无构造破坏的情况下,基本无水力联系。开采对水环境影响比较大含水层有:①大青灰岩含水层。该层为8号煤层的直接顶板,分布较稳定,厚度为2.14~10.52 m,平均厚度为6.75 m,为含水性弱至中等含水层,局部富水。本层为层间岩溶裂隙水,易于疏干。②本溪灰岩含水层。厚度为1.50~8.21 m,埋深为200~600 m。本层为含水性弱至中等含水层,局部富水。③奥陶系灰岩含水层。厚度600~800 m,与上覆煤系地层假整合接触,多以溶蚀裂隙、溶孔和小型溶洞为主,富水性很强。根据岩性与含水性划分为三组八段。本煤田四段与五段位于中奥陶系灰岩以下70~170 m,为岩溶发育的主要富水段,六段到七段较为富水。因此,在开采下部9号煤层时,特别容易受奥陶系灰岩水的威胁,对水环境影响最大。

不同煤层开采过程中,奥灰水为主要突水对象,奥灰水涌入矿井的导水通道主要包括导水断层、导水陷落柱、裂隙密集带及封闭不良钻孔等。邢台矿区各矿在生产过程中已揭露102个陷落柱,对导水陷落柱的探查治理是矿井防治水工作的重中之重。

## 2 超前探技术及采前安全性评价

### 2.1 陷落柱区域预测

岩溶陷落柱属于隐伏垂向构造,一旦导通丰富的岩溶地下水将导致突水,对水环境和矿井安全危害极大,具有隐蔽性、突发性等特点。开展煤田岩溶陷落柱成因机理、发育、分布规律的定性宏观预测研究具有重要的理论意义和实用价值。陷落柱区域预测技术主要有如下3个方面<sup>[11~13]</sup>:①通过对陷落柱形成条件、地应力条件、岩石力学背景、水动力条件、构造演化史等方面的分析,建立了岩溶陷落柱的控

制和影响因素指标体系,提出了邢台矿区陷落柱的综合成因机理及分布发育规律;②依据所形成的隐伏导水陷落柱的控制和影响因素,提出了华北石炭二叠纪煤田岩溶陷落柱5个一级指标和13个二级指标的综合预测指标体系。建立了多因素、多层次模糊综合定量评判预测模型,编写了陷落柱构造预测与评价自主知识产权软件;③采用专门针对陷落柱的地震资料再解译实现了确定陷落柱位置、形状、大小等要素,放水试验及分析实现了陷落柱导水性探测,为陷落柱探查工程以及治理工程奠定了基础。

通过以上技术措施的实施,邢东煤矿陷落柱预测得到验证,葛泉煤矿应用放水试验查明了陷落柱导水性,表明了陷落柱区域预测技术的准确性。

### 2.2 井上下综合探水技术

岩溶陷落柱等隐伏构造的预测评判属宏观预测,只能给定一个区域而不是具体位置,仍需要进一步探查其位置、形态和导水性能强弱等。保水开采防探水工作贯穿于整个开采过程,通过三维地震资料精细解释以及电法、重力、电磁法、地震法等物探手段,圈定陷落柱异常,从而为钻探定位提供依据。一般采用井上、下立体综合勘探手段,坚持“井下为主、地面为辅、物探为主、钻探为辅、物探先行、钻探验证”的勘探原则。物探方法的选择主要考虑对探查体识别与定位的敏感性:采用地面三维地震勘探手段,主要探查开采煤层及隔水层中断层和异常体;地面瞬变电磁探查煤层底板富水性,从宏观上把握采区富水性特征;井下采用直流电法长距离超前探测技术和三、四极结合的假异常排除技术探测掘进工作面前方富水构造;坑透探查煤层构造;直流电法和音频电透视结合探查工作面底板隔水层富水区。防探水工作分3个阶段进行,即工作面掘进前阶段、巷道掘进阶段、工作面回采前阶段。

井下超前探测采用瞬变电磁探测满足了大测距、定向性、地下水运移状态探查及注浆效果全方位监测等要求,其电磁测距达300 m以上。该项技术首次提出巷道多角度、多切面电磁探测方法,具有定向性好,对水敏感,控制范围大,且较为简便、准确,为陷落柱突水预测、预防提供了一种科学可靠的新技术、新方法,丰富了我国井下物探技术。东庞煤矿2903工作面陷落柱堵水塞建造中,首次系统地完成了突水陷落柱治理过程中的全程监测、评价。通过不同时期瞬变电磁探测资料对比分析,为陷落柱中

水扩散运移,注浆浆液扩散范围及注浆结束后堵水效果评价等提供了重要技术依据。

### 2.3 带压开采安全性评价

带压开采的安全性评价主要利用突水系数法进行区域宏观评估,具体到采场而言主要通过计算隔水层不同路段的带压系数,评价底板隔水层阻水性能。利用“五图双系数法”评价带压开采的安全性。由于底板突水是一种多因素影响的动态水文地质现象,原有的预测模式难以克服因简化条件及人为经验因素的影响。为此,2006年在章村煤矿利用地理信息系统(GIS)与人工神经网络(ANN)耦合技术开展了9号煤层底板脆弱性安全评价研究。煤层底板突水脆弱性是指煤层底板突水的风险性,是水文地质构造和人为开采活动对煤层底板突水影响的结果。合理恰当地选取影响底板突水的主控因素,对预测神经网络模型和评价结果的准确性起关键作用。经反复研究煤层底板充水含水层、底板突水机理、隔水层的阻水强度等因素,选取以下8个因素作为煤层底板突水预测的主控因素如下:①奥灰强含水层的水压;②奥灰强含水层的富水性;③奥灰含水层顶部古风化壳厚度;④本溪灰岩厚度;⑤域内构造密度(褶皱和断层);⑥断层的断距(落差大于1m);⑦有效隔水层厚度;⑧矿压破坏带以下脆弱岩层的厚度。

该研究完成了影响煤层底板突水的主控因素分析,利用GIS与ANN耦合技术进行突水脆弱性分区评价研究,对煤层底板突水脆弱性进行了定量区划,并提出了相应的防治水对策。

## 3 下组煤带压开采底板注浆改造加固技术

邢台矿区下组煤(9号煤层)与奥陶系灰岩顶面距离一般为30~35m,其主要为铝土、砂岩、煤、泥岩等岩性,期间夹有薄层灰岩,具有一定的阻水抗压能力。可充分利用底板隔水层的阻水性能实施带压开采。隔水层的完整性和足够的阻水性能是实现安全带压开采的必要条件,但由于受沉积条件及构造破坏的影响,在隔水层中一般存在薄弱带或潜在导水通道,对带压开采的安全性构成威胁。特别是夹在隔水层中的薄层灰岩和本溪灰岩,易于沟通奥灰水,对9号煤层开采直接造成威胁。因此,必须通过对底板注浆加固与改造,达到加固隔水层,改造本溪灰岩为隔水层双重防治水效果。全面改造隔水层底

板,既基本保护了奥灰水水资源环境,又实现了下组煤的安全带压开采。为了达到全面注浆改造的目标,采取如下主要注浆工艺及技术参数。

1)准确定位待注浆岩层。考虑煤层底板采动破坏深度,待注浆加固岩层为煤层底板下10m至本溪灰岩底板下2m的含导水构造。对于深部隔水层厚度相对不够的工作面,为保证隔水层的厚度和强度将注浆层段下移至奥灰顶部。

2)注浆孔布置原则。浆液扩散半径为20m,注浆加固范围内钻孔终孔间距控制在40m以下。

3)采用下行式分段注浆方式,三阶段渐进式动态注浆工艺。第一阶段注浆封堵与充填较大的含导水裂隙;第二阶段为加密注浆阶段,对第一阶段尚未充填或封堵效果不理想的导水裂隙进行充填与封堵;第三阶段为补充注浆阶段,对前2个阶段遗漏的含(导)水裂隙进行封堵。

4)以钻孔密度、检查孔个数、检查孔单孔涌水量和见本灰水深度作为注浆效果评价的量化指标。

邢台矿区现有5个矿井开采下组煤,开采规模已达到300万t/a以上,承压水头达2.0~2.8MPa。由于采用煤层底板全部注浆改造措施,取得了较好的技术经济和水环境保护效果。

## 4 综合注浆法快速建造阻水墙技术

矿井发生突水后,构筑突水或过水巷道阻水墙来阻隔涌水,是一种较好的快速恢复被淹矿井方法。巷内阻水墙成功构筑的前提是通过灌注骨料形成一定长度的阻水段,即通过钻孔灌注各种骨料,有效阻塞过水通道,增加水流阻力,变管道流为渗透流,把水流速度和过水量尽可能减少到最小。阻水段一旦建成,必须立即转入初期注浆阶段。阻水墙的注浆建造分为4个阶段:①首先选择3个钻孔进行旋喷注浆施工,通过注入高压水泥浆液流,强行切割周围骨料,使水泥浆液与骨料充分混合,形成3个相对孤立的截断过水断面的砂浆或混凝土结石体。②在旋喷注浆孔之间进行充填注浆,充填旋喷结石体之间的空隙,形成一个整体的、连续的阻水墙。③升压注浆阶段,主要对阻水墙与顶底板岩石的接触面以及岩石裂隙进行注浆加固,一方面增强阻水墙与围岩黏聚力,提高抗挤出与抗水流冲刷能力。另一方面,注浆封堵了顶底板裂隙,可以防止突水绕流。另外,通过高压注浆提高阻水墙体的强度与抗渗透能力,

封堵薄弱的过水通道。④引流注浆阶段,在工程后期矿井完全淹没,阻水墙基本形成的情况下,井下基本为静水状态。为了检验堵水效果,封堵残留的小过水通道,在矿井试验排水期间,利用出水口钻孔进行注浆,对出水口附近进行注浆封堵。

以上各阶段划分主要依据受注层的水动力条件,裂隙与空隙特征和目标层的可注性等因素。不同的注浆工艺对应于不同的注浆阶段,不同的阶段实现不同的工程目标,4种注浆工艺的有序排列组合与实施形成了完整的阻水墙建造技术。东庞煤矿2903工作面陷落柱突水灾害的前期治理采取了及时在地面打孔快速建造阻水墙治理方案。该矿陷落柱突水一期治理工程仅用125 d取得堵水成功。该项工程封堵巷道埋深最深(580 m),奥灰水压最高(5.0 MPa);在煤巷中封堵巷道宽4.5 m,高3.5 m,断面15.75 m<sup>2</sup>,且煤层抗压强度仅为0.188 MPa的条件下,建造了长约105 m,抗压强度5.0 MPa以上的阻水墙,这在我国煤矿堵水史上尚属首次。

## 5 陷落柱堵水塞建造技术

导水陷落柱突水通常是造成矿井淹井的特大型突水,必须进行及时封堵根治,其主要方法是在陷落柱内部通过大规模注浆形成堵水塞,实现长期有效堵水。东庞煤矿2903工作面陷落柱突水灾害治理二期工程成功的采用了建造堵水塞技术,达到了彻底根治陷落柱突水的目的,及时有效地保护了地下岩溶水水环境。该项工程在总结以往经验的基础上,在钻探、注浆工艺控制、单孔结束标准及堵水效果评价等方面进行了改进或突破,归纳为以下4点。

1)大量采用分支造孔技术,由于采用了先进的螺杆钻具定向、随钻测斜与防斜纠偏钻探工艺,使钻进方向始终处于受控状态,确保钻机按照设计参数施工,而这是普通地质钻机无法实现的。

2)根据陷落柱的空间特征及工程地质条件,确立了分序分段注浆工艺,提出充填注浆、升压注浆、引流注浆、加固注浆4个注浆阶段,不同的阶段给出了相应的注浆工艺控制标准,使得注浆过程变得科学有序。

3)首次提出了钻孔注浆吸水率结束标准,建立了注浆钻孔分序分段注浆的吸水率结束标准。该标准考虑了受注层段的水压力、压水孔孔口压力、受注层段长度等因素,其结果不受浆液性能的影响,所测

结果能够与岩石的透水性相对应,直观地反映了钻孔的注浆效果。

4)提出了定量评价堵水塞注浆效果的方法。通过在井下施工放水钻孔,疏放堵水塞之上的陷落柱残留水,计算补给水量,定量评价堵水效果。这在国内陷落柱治理工程堵水效果检测技术中是首次应用,为陷落柱堵水效果评价提供了一种可靠的方法。

## 6 综合机械化充填采煤技术

综合机械化充填采煤是一种全新的采煤方法,其原理是在采煤的同时,将不同的充填材料密实充填到采空区,减小矿压显现和底板破坏深度,增加底板隔水层有效厚度,阻止矿井水涌出,从而保护煤系基底强含水层水环境不受大的扰动<sup>[14-15]</sup>。目前主要充填材料为矸石固体充填、矸石膏体充填、高水材料充填和似膏体充填。主要充填工艺为充填材料在地面经大垂深投料系统,运到工作面支架后部从机尾向机头方向依次充填,推压密实装置使充填料密实接顶后,停止充填,再进行采煤,依次循环。充填采煤一体化工艺核心是综采液压支架设备,其实现了2种工艺在空间上分开,时间上平行作业,使综合机械化充填采煤技术达到了规模化生产。全国第一个真正意义上的综合机械化推压密实充填开采工作面在邢台煤矿取得成功,生产能力达100万t/a。目前邯邢矿区11个矿井推广充填采煤技术,取得了很好的环境和社会效益。郭二庄煤矿采用充填开采下组煤取得了较好的效果,采空区充填后,初次来压和周期来压强度大幅降低,矿压显现明显减小。底板破坏深度降低了15%~30%,相对增加了底板隔水层厚度,底板阻水能力得到加强。而且充填煤层上部各含水层也得到了有效保护。

## 7 结语

我国大、中型矿井开采深度以每年8~12 m速度向深部延伸,亟需开展高承压水头条件下水环境保护及安全开采的研究。深入开展定向钻进应用技术研究,实施超前主动、区域治理、全部改造、带压开采技术指导原则,以保护水环境。加强超前探测方法研究,尤其是井下巷道狭窄,金属支护和设备对电磁波吸收、导引、屏蔽等因素影响数据采集质量条件下,提高超长探测准确可靠度显得更加重要。

(下转第22页)