

# 帷幕注浆截流在矿井防治地表水害中的应用

王福顺

(平煤集团勘探工程处,河南平顶山 467000)

**摘要:**五矿帷幕注浆截流工程的实施,切断了富水区范围内的补给水源和通道,将地表水拦截在井田之外,减少了矿井涌水量,取得了较好的经济与社会效益。分析了矿区水文地质条件;介绍了帷幕注浆施工工艺;并对帷幕注浆截水效果进行了评价。

**关键词:**矿井;帷幕注浆;截流;防治水

**中图分类号:**TD745 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)S1-0236-03

## 1 概况

五矿位于平顶山矿区西部,距平顶山市约8 km,为平煤集团骨干矿井之一。

该矿水文地质条件复杂,矿井开采过程中曾多次发生突水现象,严重影响到矿井的正常安全生产。特别是大气降水、地表水对矿井涌水量变化存在着更为严重的影响,一到雨季,矿井涌水量急剧上升,达到1000 m<sup>3</sup>/h以上。

通过物探手段查明了井田内灰岩含水层的富水情况,经过认真分析论证,决定对11号、14号、2号富水性强的导水通道进行帷幕注浆截流,将地表水拦截在井田之外,减少矿井涌水量。

该工程分2期施工,第一期首先施工14号、11号导水通道,第二期施工2号导水通道。帷幕注浆工程均由我处负责施工,分别于2005年7月、11月,2006年10月竣工。

3个导水通道帷幕注浆施工钻孔包括观测孔、效果检查孔、注浆孔三类,其中观测孔、效果检查孔每个通道均施工2个,注浆孔各通道分别为12个、16个、29个,钻探总进尺分别为1700、1933、2609 m,注浆量分别为4353、4750、5873 m<sup>3</sup>。

帷幕注浆工程均严格按设计要求进行施工,注浆结束后通过检查孔取心、压水试验等多种注浆效果检查,证实具有良好的堵水效果,达到了预期的目的。

## 2 矿井水文地质条件分析

### 2.1 矿井水补给来源

五矿多年来开采实践表明,其矿井水主要来自地表水和大气降水。在井田南部的湛河、乌江河床

及两岸广泛分布有寒武系、石炭系灰岩及第三系泥灰岩,灰岩中溶洞溶隙发育。红旗渠部分地段直接揭露下伏各含水层,导致灰岩地下水与地表水水力联系异常密切。大气降水是矿井水的另一个主要来源,每年雨季矿井涌水量急增,地下水位迅速回升。同时煤系各含水层也在南部接受第三系泥灰岩的越流补给,井田内各含水层之间形成了统一的地下水系统。

庚一采区位于井田东南部,地势最低,为井田内地下水排泄去向和必经通道,同时,乌江河距庚组煤露头线的距离由西向东逐渐减小,到庚一采区地段,相距约350 m,通过第三系泥灰岩、松散第四系河流沉积补给下石炭、寒武系灰岩含水层,其补给充沛,水量稳定,不易疏干。庚一采区开采后矿井涌水量将有持续稳定的补给源和充沛的补给量。

### 2.2 地下水补给通道

大气降水和地表水(乌江河、红旗渠)经第三系泥灰岩、石炭系、寒武系灰岩露头渗入地下,构成开发庚组煤时矿井水的主要补给水源。

为了查明井田内第三系、石炭系、寒武系各灰岩含水层的富水性、富水区分布范围以及导水通道,五矿委托中国煤田地质总局物测队进行了庚组煤层瞬变电磁勘探,共解释富水区14个(编号1~14),富水性和导水性较强的为14号、12号、2号导水通道。特别是14号及11号导水通道,为煤层的直接导水通道,对煤层的正常回采影响最大。

2号石炭系富水区位于庚一采区浅部,主要分布在己组煤层与庚组煤层露头线之间,并在两端向深部延伸。经进一步综合分析,决定分期对14号、11号、2号导水通道进行帷幕注浆截流。

收稿日期:2007-05-30

作者简介:王福顺(1963-),男(汉族),河南叶县人,平煤集团勘探工程处工程师,煤田地质专业,从事矿井注浆技术工作,河南省平顶山市。

### 2.3 主要含水层及封堵层段的确定

五矿庚一采区南部地层包括第四系、第三系、石炭系、寒武系,主要含水层自上而下分述如下。

#### (1) 第四系含水层

主要由砂、砂砾组成,为近代河流堆积,厚约 3.0 ~ 18.0 m。直接受大气降水和地表水补给。

#### (2) 第三系泥灰岩含水层

沿煤层露头呈条带状分布,厚度 3.5 ~ 5.5 m,裂隙岩溶十分发育,导水性极强。第三系泥灰岩呈角度不整合上覆于煤系地层和寒武系各含水层之上,直接补给下伏各含水层,并导通地表水与下伏各含水层的水力联系,构成各含水层之间的导水通道,是地表水进入矿井的主要通道。由于该层呈面状分布,不宜封堵。

#### (3) 石炭系太原组含水层

本组地层厚度 38.0 ~ 65.0 m。含水层主要为灰岩含水层,厚度 20.0 ~ 36.0 m,含水性强。在各层灰岩中,上部灰岩距庚<sub>20</sub>煤层较远,由于中部砂质泥岩隔水层段的存在,正常情况下不会对本煤层开采造成水害威胁;而下部的灰岩层较厚且稳定,为庚<sub>20</sub>煤层直接充水含水层。从所采取的岩性看,岩溶裂隙较发育。钻进过程中,漏水严重,局部发育有小的溶洞。本段灰岩含水层对开采庚<sub>20</sub>煤层的威胁最大,是重点封堵截流的含水层。

#### (4) 寒武系灰岩含水层

含水层岩性为结晶白云质灰岩,细鲕粒结构,钻孔揭露厚度 1.3 ~ 3.5 m。岩溶裂隙不太发育,距庚<sub>20</sub>煤层约 20.0 m,为庚一采区间接充水含水层。由于寒武系灰岩上部有铝土泥岩的阻隔,寒武系灰岩与石炭系下部灰岩一般不沟通,而且该灰岩层段厚度较大,所以注浆截流不考虑该层。

## 3 注浆方案

通过对井田内第三系、石炭系、寒武系各灰岩含水层富水情况进行认真分析论证,并结合本矿井的实际水文情况,决定对 14 号、11 号、2 号导水通道进行帷幕注浆截流堵水,以便有针对性地对封堵裂隙及导水通道,减少开采庚组煤层时的矿井涌水量。同时这些地段还具有优越的施工条件,从其所处的位置看,注浆孔较浅,一般不超过 100 m;而且注浆之后,形成帷幕墙不会被庚组煤回采后所破坏,具有长期封堵地表水的效果,所以对导水通道内的石炭系下部灰岩进行帷幕注浆截流具有必要性和可行性。

本工程主要是在庚一采区南部石炭系下部通道

处截流大气降水和地表水对矿井的补给。

本次帷幕注浆采用从地面打钻、水泥单液浆为主、自上而下分段间歇性复注法。

在帷幕注浆方案确定后,注浆孔的合理布置、钻孔结构的确定、钻具的选用、钻进的要求等极为关键,现分述如下。

### 3.1 钻孔布置

注浆帷幕布置原则为:

(1) 在保证注浆效果的前提下使注浆帷幕段最短,即尽量沿其垂直导水通道方向布置;

(2) 注浆帷幕既不能影响五矿庚组煤采面布置又不受采面采动影响,所以将其布置在庚组煤 - 10 m 等高线与庚组煤露头线之间;

(3) 注浆帷幕段在横向上兼顾与岩层走向基本一致,减少注浆帷幕段落差,确保注浆帷幕的连续性。

根据注浆截流帷幕布置原则,导水通道在注浆帷幕处布设 2 排注浆钻孔。排距:14 号、11 号为 8 m,2 号为 10 m;孔距:14 号、11 号为 16 m,2 号为 30 m)。

在帷幕段中心两侧即南北向分别布置 2 个观测孔(上下游各 1 个),以观测水位的变化。

注浆截流帷幕施工结束后,在帷幕中部中心线上施工 2 个效果检查孔,以检查注浆效果情况。

### 3.2 钻孔结构

开孔  $\varnothing 172$  mm,钻过第四系土层和第三系泥灰岩,在孔深 30 ~ 40 m 处下入  $\varnothing 159$  mm 套管,以防止上部粘土、卵石、钙质结核坍塌、掉块,影响钻进;然后换径  $\varnothing 133$  mm 钻进至下部灰岩顶板以上 3 m 左右,下入  $\varnothing 127$  mm 第二层套管,水泥浆固管止水;最后换  $\varnothing 110$  mm 钻至铝土泥岩终孔。

### 3.3 钻进

根据孔径要求不同使用了  $\varnothing 146$  mm 全肋骨、 $\varnothing 127$  mm 和  $\varnothing 108$  mm 金刚石钻头钻进,并且在  $\varnothing 127$  mm 套管所处层位进行了取心钻进验证。

在注浆段施工过程中,一律采用清水钻进,并做好简易水文观测、漏水段(层)、溶洞发育情况等记录工作。

## 4 注浆工艺

### 4.1 注浆材料的选用

本次注浆主要采用水泥单液浆,该浆液具有材料来源丰富、价格低廉、浆液结石体强度高、抗渗透性能好的优点,同时单液注浆系统工艺及设备简单,

操作方便。

在 2 号通道注浆后期试验性地按一定比例加入了价格更加低廉的粉煤灰,改用水泥-粉煤灰浆压注,经检验效果也比较好。

水泥采用普通硅酸盐水泥,强度等级为 32.5。其产品相关指标均达到国家标准要求,质量合格。

粉煤灰为精选的粉煤灰,烧失量  $< 8\%$ ,  $SO_3^{2-}$  含量  $< 3\%$ 。

#### 4.1 主要注浆参数

##### 4.2.1 注浆段高

本次注浆主要是封堵石炭系下部灰岩中的岩溶、裂隙,注浆前期段高 5~10 m,复注 10~20 m,下部灰岩作为一个注浆段。

##### 4.2.2 浆液扩散半径(R)

浆液扩散半径与裂隙大小、岩溶发育程度有关。根据钻孔施工过程中的漏水及采取的岩心所能观察到的裂隙发育情况,浆液扩散半径取 8~15 m。在实际注浆过程中,从串浆情况看,所确定的扩散半径是合适的,整个注浆帷幕不留空白带,提高了注浆效果。

##### 4.2.3 浆液浓度

使用的浆液浓度一般是先稀后浓,结束时又略稀,并根据地层吸水量不断调整。在实际操作过程中,如果泵量不变,连续注浆 30 min 不升压不减泵量,就逐渐加浓一级。

使用的水泥浆水灰配比(质量比)分别为 1、0.8、0.7、0.6 四个级别,其密度为 1.50~1.71  $t/m^3$ 。

粉煤灰浆水、粉煤灰配比为 1、0.8、0.7 三个级别,其密度为 1.39~1.49  $t/m^3$ 。

粉煤灰浆与水泥浆的配比大致为 0.4~0.2。

##### 4.2.4 注浆压力

注浆压力受诸多因素影响,包括含水层的埋藏条件和地下水的静止水位、岩石的机械强度、裂隙率和裂隙开度以及充填程度、浆液扩散半径、浆液的配比和浓度等。

注浆压力既要能保证浆液从注浆孔中扩散到设计的扩散半径,又不至使岩石产生变形,一般应大于含水层静水压力的 2 倍。经过计算 14、11、2 号通道注浆终压最大值分别为 3.6、3.4、3.0 MPa。

在注浆过程中,可以发现不同注浆孔的起注压力值有较大差别。对起注压力存在的这种差别,经分析认为:第一是因为石炭系下部灰岩本身岩溶、裂隙发育具有不均衡性,连通性存在差异。起注压力

小的钻孔位置岩溶、裂隙发育、连通性好,而起注压力大的钻孔位置则相反;第二是与注浆的先后顺序有一定关系,即前期先注的钻孔随着浆液的扩散,对后期注浆钻孔产生一定的影响,浆液对其附近的地下岩溶、裂隙起到部分充填、堵塞作用,造成起注压力升高、变大。

此外在注浆作业实施过程中,注浆压力呈现一定的规律性变化,即每次注浆时,随着注浆时间的延长,注浆压力值呈增大趋势,同时随着注浆次数的增加,注浆压力值也呈越来越大的规律性变化。

##### 4.3 注浆结束标准

本次注浆为间歇性注浆,每孔注浆完成后 8~16 h,进行透孔、扫孔、冲洗、压水试验,然后再次进行注浆,每个注浆孔透孔复注 4~9 次。

当注浆压力达到最大终压值以上,并且较为稳定时,即可认为达到了注浆结束标准,结束本孔的注浆工作。

##### 4.4 封孔

当注浆孔达到了注浆结束标准,经分析确认已完成注浆任务后,即转入封孔工序,采用水灰比为 0.6 的较高浓度水泥浆进行封孔。

## 5 注浆效果评价及效益分析

### 5.1 注浆效果评价

在注浆孔施工期间,由于注浆段岩溶裂隙发育,漏水现象非常普遍;注浆开始阶段,串浆现象也较普遍;注浆后期阶段,所有钻孔均没有再发生串浆现象;在检查孔施工过程中,也不再漏水。造成这种现象的原因是因为通过注浆,帷幕带岩石裂隙、溶隙已被浆液充塞、压实、脱水、封闭。

(1)在检查孔施工过程中,对注浆段进行严格取心,通过观察,发现岩心中的溶隙、裂隙均被水泥浆充填完好,固结成一体。

(2)注浆孔结束时,终压都达到了设计终压值之上,确保了注浆效果。

(3)通过检查孔压水试验,压水压力与未注浆前其它孔所测定的压水试验结果相比,明显升高。2 号通道靠近检 1 孔的 B2-5 孔第一次注浆前压水压力为 1.40 MPa,检 1 孔的注水压力为 3.0 MPa。

(4)观测孔的水位在注浆后均发生变化。如 11 号导水通道注浆后浅部的观测孔(观 2)水位上升 3.52 m,深部的观测孔(观 1)水位下降了 4.10 m。

综上所述,从多方面看,帷幕注浆是成功的,效

(下转第 243 页)

下入钢筋束后,通过下入的  $\text{Ø}32 \text{ mm}$  灌浆管将水灰比为 0.5 的水泥浆注入孔内,在孔口纯压 30 min,压力为最大灌浆压力。

## 4 灌浆效果

### 4.1 耗灰量

由于井筒上部岩体卸荷裂隙极其发育,很容易发生浆液大量流失现象。施工过程中,先施工内外圈,再施工中间圈,内外圈以“堵”为主,对吃浆量偏大的孔段采取“浓浆、加砂(泵灌方式)、限流、间歇”等措施,取得了较好的效果,固结灌浆水泥耗量平均为  $899 \text{ kg/m}$ 。

### 4.2 灌浆效果检查

灌浆结束后,采取钻孔取心、压水试验、声波测试等手段对灌浆效果进行了检查。

钻孔取心及压水检查结果表明,岩心获得率较高、水泥结石充填较好,大部分孔段孔隙率在 20 Lu 以下。根据声波测试结果,声波平均值  $V_p$  在  $2500 \text{ m/s}$  以上,10~40 m 范围在  $3000 \text{ m/s}$ ,40 m 后声波值在  $4000 \text{ m/s}$  以上。说明固结灌浆效果显著。

开挖过程中未发生较大的坍塌现象,岩体裂隙内浆液充填较为密实,局部水泥充填厚度达 50 cm,灌浆后岩体完整性明显提高。

### 4.3 开挖效果

由于导井(溜渣井)周围已进行固结灌浆护壁,在不增加临时支护的前提下,溜井井径由原设计的

(上接第 238 页)

果比较显著,达到了预期的目的。

## 5.2 效益分析

五矿 14、11、2 导水通道进行帷幕注浆截流之后,井下涌水量发生明显变化,其中庚<sub>20</sub>-21070 机巷预计涌水量最大为  $280 \text{ m}^3/\text{h}$ ,掘进时正常涌水量仅为  $50 \sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ;庚一带上山预计涌水量为  $500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,实际为  $50 \sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ;庚<sub>20</sub>-21070 回风巷预计最大涌水量  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ,实际小于  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ;己<sub>16-17</sub>-21071 机巷突水点雨季涌水量高达  $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ,目

2.0 m 扩大到 3.0 m,有效地防止了溜井被堵塞,使施工进度明显加快,并降低了施工成本。

开挖实践表明,由于导井(溜渣井)圈、大井圈预先进行了固结灌浆护壁,从而扩大了溜井井径以及避免了开挖过程中井壁围岩发生较大的坍塌,给开挖安全、顺利施工提供了先期保障,加之采用了合理的开挖程序、倒挂混凝土衬砌以及机械扒渣等快速开挖技术,使福堂水电站调压井工程开挖工期由原计划的 18 个月缩短到 12 个月。

## 5 结语

福堂水电站调压井断面大,井筒上部约 60 m 置于强卸荷 V 类松弛破碎围岩中,围岩缺乏自稳能力,成井条件极差,给调压井开挖施工带来十分严重的安全威胁。通过对上部约 60 m 破碎带井段岩体采取深孔预固结灌浆和钢筋束进行加固处理,提高了中上部破碎岩体的完整性和成井能力,确保了调压井导井施工、调压井大井开挖的安全顺利进行。本工程的施工经验对以后类似的工程具有一定的参考借鉴作用。

深孔预固结灌浆过程中,采取了“先周边低压封堵,再中间升压灌注”的方法,有效地避免了浆液扩散过远,亦使中间圈的灌浆压力得以提高,从而提高了灌浆效果。此方法对其它工程的灌浆亦具有重要的指导意义。

前已降至  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  左右。矿井涌水量的明显降低,直接减少了治水费用的投入,节省了大量的人力、物力、财力,确保了矿井安全生产,提高了采掘进度,增加了煤炭产量,降低了生产成本,取得了较为显著的社会经济效益。

注:本文参考了平煤集团五矿开采庚组煤层防治水方案(平煤集团五矿焦作工学院,2004)和平煤集团五矿庚组煤层瞬变电磁法探水报告(中国煤炭地质总局物测队,2004)。