

冻结井筒冻结孔涌水机理及逆流引流注浆封堵技术

曹祖宝¹, 邵红旗¹, 朱明诚²

(1. 中煤科工集团西安研究院工程地质研究所, 陕西 西安 710077; 2. 中煤科工集团西安研究院水文地质研究所, 陕西 西安 710054)

摘要:针对我国西部地区深基岩冻结井筒冻结孔涌水水害技术难题,以胡家河矿主立井井筒冻结孔水害治理工程为实例,分析了冻结孔环状导水通道生成及涌水机理,进而提出一种创新性的逆流引流注浆封堵技术,并介绍了该技术的原理及施工工艺。工程实践证明,该技术能高效快速治理冻结孔涌水水害。

关键词:冻结井筒;冻结孔涌水;环状导水通道;逆流引流注浆

中图分类号:TD745⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)08-0046-04

In-rushing Water Mechanism of Freezing Hole of Frozen Shaft and Counter-flow Water Diversion Grouting Sealing Technology/CAO Zu-bao¹, SHAO Hong-qi², ZHU Ming-cheng³ (1. Institute of Engineering Geology, Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Crop, Xi'an Shaanxi 710077, China; 2. Institute of Hydrological Geology, Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Crop, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: In order to solve the water disasters caused by freezing holes of full-depth bedrock frozen shaft in western China, analysis was made on the form of annular water-transmitting channels in freezing holes and the in-rushing water mechanism with the case of water disasters control project of Hujiahe coal mine. The paper presents an innovating counter-flow water diversion grouting sealing technology and introduced its principle and construction process. The project practice proved that this technology can effectively and quickly control the in-rushing water disaster of freezing hole.

Key words: frozen shaft; in-rushing water of freezing hole; annular water-transmitting channel; counter-flow water diversion grouting

0 前言

随着我国煤炭行业的蓬勃发展,冻结法施工的全深立井井筒越来越多,目前冻结井采用双层井壁基本上解决了我国西部地区深基岩冻结井筒井壁开裂渗漏水难题^[1~3]。但是井筒施工完成之后,由于矿井建设需要,一些与井筒相配套的巷道或硐室与其贯通,揭露冻结孔环状导水通道,造成冻结孔涌水水害。该种水害的特殊性是通道垂深大、水流速度高、冲刷力大、涌水中夹杂大量黄泥循环液及泥沙等岩石碎屑物,极易把井筒壁后掏空危及井筒整体稳定性,造成井筒不均匀下沉及开裂等事故。如不及时治理,矿井投产后,极易将上部含水层水源导到煤系地层,对安全生产造成极大水患威胁。

本文以胡家河矿深基岩全深冻结主立井两次冻结孔涌水水害治理工程成功实例为背景,在分析我国西部地区深基岩全深冻结井筒冻结孔环状导水通道生成及涌水机理基础上,提出并应用一种创新性的逆流引流注浆封堵技术。

1 工程背景及地层条件^[4]

胡家河矿主立井井筒采用全深冻结法施工,井筒设计净直径6.5 m,掘进荒径8.4 m,净断面33.2 m²,外壁厚350 mm,内壁厚600 mm,采用双层钢筋混凝土双塑料夹层复合井壁结构支护形式,井筒深539 m,属于典型的西部矿区深基岩大井径冻结井筒。2010年3月30日主井井筒箕斗装载硐室I号检修通道出现一涌水点(井筒里程位置-471.8 m),如图1所示,出水口流出大量黄泥水并夹杂有小块灰绿色泥岩碎石,井筒最大涌水量达158 m³/h。硐室北墙右上角有一条裂缝,宽30 mm,长1.2 m;井筒东北部与箕斗硐室拱部肩窝连接处有开裂现象,开裂部位面积约有0.7 m²。2011年1月23日,上仓通风联络巷(井筒里程位置-432 m)贯通施工中揭露9、10号冻结管时再次发生类似涌水事故,涌水强度约100 m³/h。

井筒穿过的地层由新到老为:第四系为11.96 m厚粉土及砂砾石松散层含水层,白垩系329.02 m

收稿日期:2012-03-12

基金项目:中煤科工集团西安研究院青年创新基金项目(2011XAYQN013)

作者简介:曹祖宝(1979-),男(汉族),安徽六安人,中煤科工集团西安研究院工程师,矿产普查与勘探专业,硕士,从事井巷特殊支护与防治水工程施工技术工作,陕西省西安市高新区锦业一路86号,caozubao@cctegxian.com。

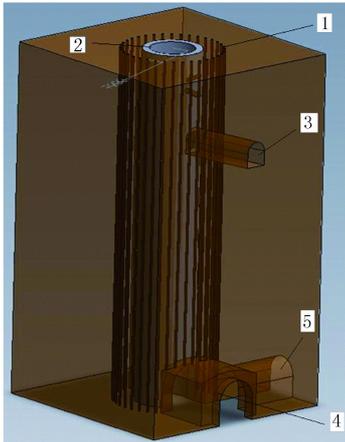


图1 胡家河矿主立井三维实体模型示意图

1—冻结管;2—井筒;3—井筒里程位置-432 m通风联络巷;4—井筒里程位置-471.8 m箕斗装载硐室;5—I号检修通道

厚洛河组粗粒砂岩承压含水层,白垩系 20.41 m 厚宜君组砾岩含水层,侏罗系安定组 51.8 m 厚粗粒砂岩及砂质泥岩层,侏罗系直罗组 32.98 m 厚粗粒砂岩及砂质泥岩层,侏罗系延安组 111.18 m 厚砂岩承压含水层,侏罗系安定组为矿井相对隔水层。其中洛河组含水层是井筒掘进通过的最长含水层,富水性中等~强,静止水位埋深 7.1 m,其他含水层富水性中等~弱。

2 环状导水通道生成及导水机理

2.1 导水通道生成机理分析

由前述工程及水文地质概况可知,西部地区深基岩冻结井筒(如胡家河矿、孟村矿及亭南矿等冻结井筒)与中东部地区新井建设相比,他们具有井筒直径大、冲积层浅、软弱基岩深、含水层多等特性。特别是基岩多为白垩系、侏罗系岩层,成岩晚、胶结程度差、强度低,多属软弱不稳定岩层,遇水软化,强度急剧下降,有的水解成为软泥、砂和砾石;且含水层多为孔隙裂隙含水层,浆液扩散难,预注浆效果差,当基岩含水层涌水量大时,不得不采用全深冻结法凿井^[5]。

胡家河矿主立井属于典型的西部地区深基岩全深冻结井筒,井筒一周布置 36 根冻结管,贯穿全井深的冻结孔($\varnothing 200$ mm)与冻结管($\varnothing 133$ mm)之间形成上下导通的环状空间,本文其为原生导水通道。

次生导水裂隙生成机理分析如下。冻结井爆破施工过程中将会扰动岩石介质,造成岩体应力和岩石强度的变化,产生岩体应力转移、集中和岩石强度的减小,使井筒周围岩体发生变形破坏,进而导致岩

石物理状态的改变,形成围绕井筒周围环状破裂区。本文把这个由于应力作用产生的环状破裂带称为井筒围岩松动圈,见图 2。井筒轮廓面为应力自由面,爆破开挖井筒对冻结壁来说是一种卸载过程,解除了原岩应力场,使环状破裂围岩松动圈内岩体产生开挖变形和开挖位移,对冻结壁中冻结孔围岩体产生较大拉应力,促进导水裂隙的发育生成。

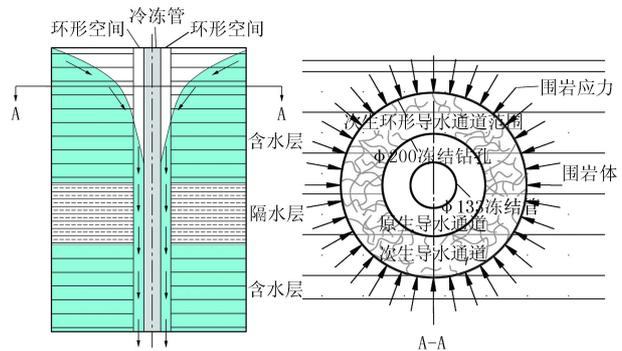


图2 深基岩冻结井筒冻结管环状导水通道纵、横剖面示意图

另外一个次生导水通道成因为冻融循环对冻结孔围岩体劣化损伤破坏作用。在冻融循环条件下,岩石材料承受着循环冻融引起的物理风化作用,内部相变与水热迁移及不同温度历史和不同含水(冰)状态导致内部材质劣化、岩石损伤破坏严重。白垩系及侏罗系岩层多属于孔隙裂隙含水层,本质上属于多孔脆性介质,当孔隙脆性介质冻结时,储存在其孔隙内部的水发生冻结并产生约 9% 的体积膨胀率,而这种膨胀将导致冻结孔围岩体内部产生较大的拉应力和微孔隙损伤;当围岩体介质内部的孔隙水(或裂隙水)融化时,水会在其内部微孔隙中迁移,进而加速这种损伤^[6]。

从力学角度来看,冻结壁中冻结孔围岩体的冻融破坏过程为:当环境温度降低时,岩石内部的孔隙水开始发生冻结,因为其体积发生膨胀对岩石颗粒产生冻胀力。由于这种冻胀力相对于某些胶结强度较弱的岩石颗粒具有破坏作用,故造成岩石内部出现了局部损伤;当温度升高时,岩石内部的水发生融解,伴随这一过程的是冻结应力的释放和水分的迁移,局部损伤区域逐步连通成裂缝,岩石强度和刚度不断降低,并最终造成岩石块体断裂、剥落等现象,从而影响力学特性和工程应用^[7,8]。

从上述冻结壁中冻结孔围岩体的冻融破坏机理上看,造成这种冻融破坏的原因是由于组成岩石冻结和融化状态的三相介质(水、空气、含冰岩石)具有不同热物理性质,岩石矿物颗粒在温度降低时,其体积发生收缩,而冰在温度降低时,体积发生膨胀

(约9%),岩石矿物颗粒为了限制这种膨胀,在矿物颗粒之间产生了巨大的局部拉、压应力(即冻胀力)。由于这种冻胀力是作用在矿物颗粒及岩石微孔隙这一微观尺度上,故孔隙水的存在及冻融循环条件会对岩石的损伤劣化产生深刻影响。

由前述2方面主要原因及冻结壁解冻引起较大垂深冻结管环状空间上下水流冲刷作用生成的环状裂隙导水通道称之为次生导水通道。通过正在进行的胡家河矿主立井冻结管水害治理工程施工实践验证,原生与次生导水通道在不同地层段对冻结管涌水水害起到不同的控制作用。原生导水通道范围较小但初期影响较大,能直接引起涌水甚至淹没部分采区。而次生导水通道是裂隙渐进破坏而生成的,对隔水层段来说,由于含粘土成分遇水软化膨胀使裂隙自动弥合,次生导水裂隙通道对冻结管涌水作用不太强烈,但对于含水层段,范围往往比原生导水通道大很多(如图2所示),若有些原生导水通道因为某种因素而导致长期充水(尤其是动态水),则将引起对立井及巷道危害更大、更难治理的水害,从水文地质学中矿山水害充水条件分析(充水水源、充水途径及充水强度)角度来看,次生导水通道是冻结管涌水的主要充水途径。

2.2 导水机理分析

煤矿井下涌水的本质是地下水在原有平衡条件(地层的综合阻隔水能力大于地下水的水头压力)遭受破坏后重新建立平衡的产物,当采掘活动削弱或破坏了采掘作业场所与某个含水层(体)之间的隔水岩层(体)的原有阻隔水能力,不足以完全抗衡含水层的水头压力时,该含水层的这一部分富余水头压力就会推动水流沿着最小阻力方向涌入已失去平衡的采掘场所。

冻结孔环状导水通道将主井深度范围内部分含水层甚至所有含水层水源上下沟通连成一体,使隔水层失去阻隔水能力,就如同在主井井壁外围有一圈(36个)导水管道,且具有很高的压力水头,当与井筒配套的巷道或硐室贯通揭露冻结管时,打破了冻结孔环状导水通道中地下水的原有平衡条件,使地层的综合阻隔水能力小于通道中的水头压力,发生冻结管涌水水害。

3 逆流引流注浆封堵技术

引流注浆技术最早是在煤矿陷落柱特大突水灾害、封堵突水巷道及快速复矿工程中提出来的^[9]。是指在矿井发生突水灾害淹井后,采取地面打钻注

浆的方法,在静水条件下,成功封堵了井下突水点或突水点外的过水通道之后,在矿井主副井或突水点附近进行引流排水,使静水条件变为动水条件,在水流上游继续实施注浆,让浆液在水流的带动下自动寻找细小过水裂隙通道并封堵加固之,从而进一步提高注浆堵水效果,减少地面打钻注浆的工作量,起到加快复矿速度的作用一种的注浆技术^[9~11]。

本文提出的引流注浆封堵技术是在引流注浆原理的基础上,创新性地提出的逆流引流注浆技术。即从水流下游逆向注浆,通过上游泄压孔引导浆液运动并观测注浆效果。

3.1 逆流引流注浆封堵技术的施工顺序

(1)在涌水点上方井筒内20~30 m范围内打1~2个有效泄压孔,命中冻结孔环状导水通道次生松动圈内。泄压孔主要起泄压减小导水通道水流速度、确保在注浆水闸墙稳定性及巷道或硐室围岩安全无胀裂。其次,泄压孔可起引流作用,促使浆液按设计冲填导水通道。

(2)冻结管涌水点附近的巷道或硐室围岩加固,为砌筑水闸墙、埋设导水管做安全保障。

(3)根据测得的水压及巷道或硐室的围岩岩性条件设计计算并在出水点砌筑水闸墙并埋设导水管。

(4)利用导水管作为注浆管,实施逆流引流注浆封堵技术。

3.2 引流注浆封堵技术原理分析

由上述冻结管环状导水通道生成及导水机理分析可知,在环状空间内由于松动圈破坏作用、冻融循环劣化损伤破坏作用及强大水流冲刷等原因堆积了很多岩石碎屑物,使冻结管涌水点与泄压孔垂直距离之间形成一定厚度的环状筛网通道,从水闸墙底部埋设的导水管中逆流上行注水泥单液浆,同时打开泄压孔闸阀以引导冻结管环状空间导水通道水从泄压孔中流出,起到引流泄压作用,让浆液在冻结管环状空间筛网导水通道中逆流上行。由浆液充填排水机理及流动沉积理论^[12,13]可知:浆液进入冻结管环状导水通道以后的流动速度和压力是随着离开钻孔的距离增加而迅速降低,如图3(a)所示。当浆液流动速度降低到某一临界值时,浆液不能再继续携带所包含的全部水泥颗粒向上流动,其中的部分水泥颗粒在重力作用下首先在临界流速处陆续向底部沉落,如图3(b)所示;与此同时,已开始水化反应的水泥颗粒已具有“活性”(吸附力),促使它能被岩缝周壁和先于它沉积的其它颗粒所吸附,靠这两种作用力,在流动状态下沉积下来的水泥颗粒或其絮团

之间逐渐凝固。沉积的结果使渗浆断面缩小,注浆压力和浆液流动速度都发生变化,如图3(c)所示;多余的水分在沉积层顶部或侧部微小的裂缝内以清水的形式从泄压孔中流出,直至环状空间全部充满为止,如图3(d)所示。待泄压孔返浆并逐渐变稠时,表明浆液颗粒已经快堆积到泄压孔孔口,这时开始注水泥-水玻璃双液浆,并逐渐关小泄压孔闸阀;待浆液凝固具有一定强度后,利用相同逆流引流注浆原理,从下面的泄压孔逆流注浆,使上面的泄压孔起到泄压及引流作用,依次进行,实现快速有效地封堵冻结管涌水水害。

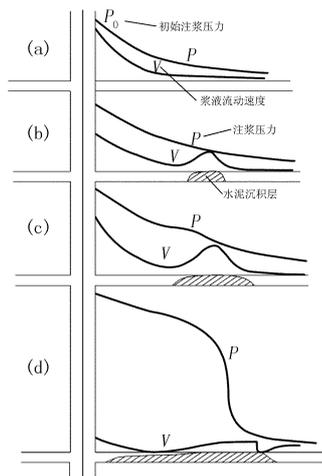


图3 水泥浆沉积排水过程原理示意图

4 引流注浆封堵效果

-432 m 通风联络巷与主立井井筒相贯通时,冻结孔导水通道注浆封堵效果良好,无渗漏水现象。现场采集的揭露9号冻结管实物照片及-471.8 m 箕斗装载硐室I号检修通道掘进时揭露的5号冻结管实物照片(如图4所示)可看出环状导水通道注浆封堵效果很好。表明引流注浆封堵深基岩冻结井筒冻结管涌水技术具有很大的推广和借鉴意义及应用空间。

5 结论

(1)本文分析了我国西部地区深基岩全深冻结井筒冻结孔环状导水通道生成机理及涌水机理。认为其由原生导水通道和次生导水通道组成,原生导水通道在隔水层段对涌水、灾害起控制性作用;次生导水通道在含水层段是冻结管涌水水害的主要充水

途径。

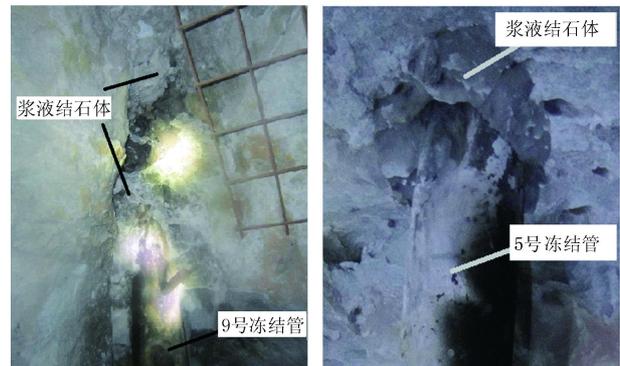


图4 9号及5号冻结管环状导水通道注浆封堵效果图

(2)提出并成功实施了一种创新性的逆流引流注浆封堵冻结孔涌水技术,治理了胡家河矿主立井冻结孔涌水水害。

(3)由于本逆流引流注浆封堵技术是初次提出且仅应用于一个矿井,虽然应用效果较好,但普及性有待于进一步深入的工程验证。

参考文献:

- [1] 张荣立,何国纬,李铎. 采矿工程设计手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2004.
- [2] 崔云龙,等. 简明建井工程手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2003. 1423-1429.
- [3] 王国际,黄小广,等. 矿井水灾防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2008. 291-293.
- [4] 陕西省煤田地质局186队. 陕西省彬长矿区开发建设有限责任公司胡家河矿井主立井井筒检查孔勘察地质报告[R]. 2007.
- [5] 姚直书,程桦,荣传新. 西部地区深基岩冻结井筒井壁结构设计及优化[J]. 煤炭学报,2010,(5):760-764.
- [6] Hori M. Micromechanical analysis on deterioration due to freezing and thawing in porous brittle materials [J]. Int. J. Eng. Sci., 1998,36(4):511-522.
- [7] 徐光苗,刘泉声. 岩石冻融破坏机理分析及冻融力学试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,(9):3076-3082.
- [8] 张继周,缪林昌,杨振峰. 冻融条件下岩石损伤劣化机制和力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,(8):1688-1694.
- [9] 陈立武,等. 东庞矿特大突水灾害治理技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005. 118-124.
- [10] 赵苏启,武强,郭启文,等. 引流注浆快速治理煤矿水害技术[J]. 煤炭科学技术,2003,(2):27-29.
- [11] 郭启文,赵苏启. 引流注浆治理东庞矿特大陷落柱突水灾害[J]. 煤炭科学技术,2005,(8):1-4.
- [12] 管学茂. 超细高性能灌浆水泥研究[D]. 湖北武汉:武汉理工大学,2002. 15-16.
- [13] 《岩土注浆理论与工程实例》协作组. 岩土注浆理论与工程实例[M]. 北京:科学出版社,2001. 86-89.