

帷幕注浆技术在钾盐矿风井病害治理中的应用

许青海, 白宝云, 严德金, 王 宁

(青海省核工业地质局第一地质矿产勘查大队, 青海 西宁 810000)

摘要:老挝甘猛省钾盐矿开采系统中风井穿过极易溶于水的光卤石及石盐岩岩层, 建成后发现井壁后有溶腔现象, 严重威胁风井的正常使用。为了确保井筒施工安全以及矿山生产正常进行, 设计采用帷幕注浆对风井病害进行治疗。采用自上而下孔口封闭式帷幕注浆工艺, 边检查边注浆的施工方式, 最终完成了对风井的加固和堵水工作。期间对光卤石及石盐层的胶结材料进行室内试验, 确定了一种新型注浆材料——卤水+氧化镁浆液, 并确立科学的注浆配合比。通过总结经验, 为钾盐矿开采过程中防水、堵(治)水等工作的设计和施工积累了经验。

关键词:钾盐矿; 治水; 帷幕注浆; 注浆材料; 卤水+氧化镁浆液; 风井

中图分类号:TD265.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2018)07-0084-03

Application of Curtain Grouting Technology for Ventilating Shaft Disease Control in Soluble Potassium Salt Mine/XU Qing-hai, BAI Bao-yun, YAN De-jin, WANG ning (The First Geological Exploration Brigade, the Nuclear Industry Geological Bureau of Qinghai Province, Xining Qinghai 810000, China)

Abstractt: In the mining system of potassium salt mine of Ganmeng Province in Laos, the ventilating shaft passes through carnallite and halilith, which are easily soluble in water. After the ventilating shaft excavating, cavern phenomenon, a serious threat to the normal function of the shaft, is found behind shaft wall. In order to ensure the safety of shaft construction and the normal production, curtain grouting is adopted to control the disease of ventilating shaft. The closed curtain grouting technology is adopted with the method of grouting from the top to bottom and with effect checking while grouting to finish the reinforcement and water plugging. The cementing materials used for carnallite and halite layer were tested in laboratory, a new type of grouting material, brine + magnesium oxide slurry was determined together with the scientific grouting mix ratio. By the summarization, the design and construction experiences are accumulated for waterproofing and water blocking in potash mine mining process.

Key wordst: potassium salt mine; water control; curtain grouting; grouting material; brine + magnesium oxide slurry; ventilating shaft

0 引言

老挝钾盐资源储量丰富, 经济前景巨大。在国家“一带一路”的倡议指引下, 我国在老挝多处建成钾盐开采区。钾盐矿开发过程中需要建设多处竖井为开采工作服务, 竖井井壁围岩主要是泥岩、石盐岩层及钾石盐、光卤石等矿层, 由于井壁与围岩无法形成紧密闭合状态, 第四系地表水及孔隙水沿井壁下渗, 溶蚀并带走部分井壁的岩层, 在井壁周围形成“溶腔”, 井壁稳定性变差, 不仅对井筒的正常使用造成威胁, 而且对钾盐矿床造成破坏, 因此井筒防治水工作不仅关系到井筒的安全使用, 也影响到矿山安全生产。

1 工程概况

1.1 风井结构及病害简介

风井是钾盐矿山开采作业系统中最重要的永久性建筑工程之一, 老挝甘猛省钾盐矿开采系统中风井采用双层式钢筋混凝土结构, 内径 5 m, 外径 5.8 m, 井深 148 m。风井在掘砌施工中, 井上部约 10 m 段, 发生粉砂层液化, 大量涌水; 井深 80~97 m 段, 为古近系紫红色泥岩段, 该段地下水集中涌漏, 井筒岩壁破碎, 曾有多处不规则管道式涌漏点, 造成岩壁片帮坍塌; 光卤石矿层、石盐层均未见地下水涌漏。井筒浇注前, 在岩壁开挖面曾尝试对地下水涌漏段进行过简易封堵, 失败后各漏水点用胶管将地下水从井壁外引导至井筒内(底部)水窝, 集中抽排至地

表。井筒建成后,通过在井壁打孔注入各种胶结材料进行壁外止水和充填,未起到明显效果。风井壁外地层,尤其是石盐层和矿层,自建成后一直处于地表水和地下水冲刷和溶蚀,形成了多处“溶腔”,对井筒本身也造成破坏。为了矿山的安全开采,必须采用有效的措施对风井周围“溶腔”进行充填,加固井筒,同时阻断地下水在风井周围的流动。

1.2 工程地质条件

在井筒中心正北方向施工一个工程地质勘察钻孔,对井壁外地层情况和“溶腔”进行探测,钻孔深度 164.09 m。工程地质情况:0~10.41 m 为第四系松散体粉质粘土,夹有粉砂质粘土(具有较强的渗透性)和铁锰质结核砾石;10.41~130.10 m 主要为古近系古新统农波组泥岩组,其中在 42.76~46.40 m 处夹一层硬石膏层;130.10~163.75 m 主要为石盐层,其中 138.20~149.30 m 为光卤石层,岩性为浅白色、无色、灰白色、橘红色等块状光卤石岩,致密、块状构造,易溶于水、极易溶解,另外在 91.40~91.77、128.90~129.30、138.43~138.93、140.03~140.13 m 四段存在“溶腔”,并经过钻孔与井底内的连通试验发现“溶腔”与井底之间存在水力联系。

2 帷幕注浆方案设计

根据勘察钻孔岩心以及井筒施工过程中情况分析,井筒周围岩石出现的“溶腔”特性和分布不是很明确,所以井筒加固止水工作需要采用边探边治的方式进行。风井病害治理帷幕注浆施工的总体方案如下:

第一步先在井筒外 2 m 处施工 2 个对称的先导注浆钻孔(I 序),主要目的是为了查明风井井筒周围的工程地质特征和石盐层、矿层的溶蚀情况,并对井壁周围产生的空腔进行预测性分析,同时对井筒周围地层的可灌性及注浆工艺进一步优化。

第二步采用边施工边检查的方式进行,对称施工 II 序注浆孔,根据从钻孔中取出的岩心和注浆效果分析是否进行 III、IV 序注浆孔的施工。

帷幕注浆施工方案如图 1 所示。

3 注浆材料选择

由于可溶性钾盐矿的矿层在石盐层中,同时石盐层上部的泥岩具有高含盐量性,这类地层对于普通的硅酸盐水泥具有较强的腐蚀性,在注浆过程中

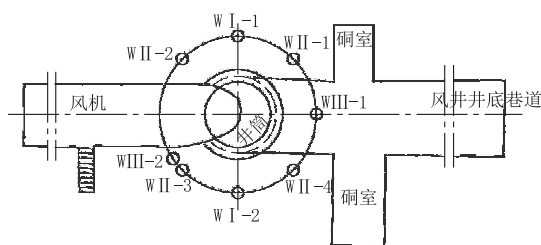


图 1 帷幕注浆施工方案示意

造成水泥浆凝固失效或凝固强度不高,达不到固结加固的目的,因此在该类层位需要进行新的注浆材料选择。通过资料查询和室内外试验分析比对,氧化镁(含量 75%)和卤水(MgCl 含量 24%)水灰比在 1 时,初凝时间为 60 min,终凝时间为 6 h。卤水氧化镁浆液能够进行充分搅拌,当水灰比达到 0.5 时,浆液稠化严重,无法采用灌浆泵进行灌浆。水灰比为 1 的试块 7 d 强度达到 16.5 MPa。卤水+氧化镁浆液产生的固结物能够很完美地与石盐、钾盐矿层胶结,同时具备很强的抗盐性,可以长期保持其固结物的强度特性。另外其搅拌性和可灌注性都与水泥浆液保持了一致性,具有很好的可操作性。

考虑与井筒周围地层进行配套,同时达到降低成本的目的,注浆材料选择采用分段分注浆材料的方式进行。具体操作如下:第四系、第一段泥岩(0~42.67 m)结束前,孔段使用普通硅酸盐水泥浆液;第一段泥岩下部(42.67 m 以深)使用卤水+氧化镁浆液。

卤水+氧化镁浆液使用注意事项:

(1)卤水采用氯化镁含量在 17% 以上为宜,卤水中氯化镁的含量越高对氧化镁的用量和凝固时间都大大缩小,因此现场使用时,需要对使用的卤水和氧化镁加入量和凝固时间进行试验,并确定其注浆水灰比。

(2)氧化镁和卤水的凝固起主导作用的是氧化镁与卤水中氯化镁之间的化学反应,因此加入的骨料以不影响该反应为前提。在注浆过程中,可以加入适量的盐类矿物、砂石做为骨料,减少氧化镁注入量。

4 帷幕注浆施工工艺

根据钾盐矿的地质特征、井筒病害治理工程的目的,注浆方法采用自上而下,孔口封闭,分段注浆法。帷幕注浆施工工艺流程:钻孔—钻孔冲洗—简易压水试验—注浆—封孔。采用此方法可以最大限

度地堵塞井筒周围的裂隙和后期形成的“溶腔”,保证注浆效果达到最优。

4.1 钻孔

钻孔采用XY-4型钻机,上部采用泥浆护壁、下部采用饱和盐水泥浆护壁,矿层段需要加入饱和氯化镁或饱和卤水。

由于该矿区上部属于泥岩,易缩径,故采用 $\varnothing 120$ mm开孔,然后下入 $\varnothing 108$ mm套管作为孔口管,并安装孔口封闭器。

为了保证帷幕注浆堵水效果和井筒的安全,要求每50 m测量一次孔斜,钻孔偏斜率 $<1\%$,且不向井筒方向偏斜,超过设计值必须纠斜。

4.2 钻孔冲洗及压水试验

所有注浆孔在钻进结束后采用自孔底向孔外大流量水冲洗钻孔。由于钻孔地层是泥岩和盐层2种类型,为了保证钻孔施工安全和钻孔的冲洗效果,冲洗介质也采用2种类型,即泥岩段采用稀泥浆;石盐层和矿层段采用卤水。

钻孔冲洗后注浆孔自上而下分段进行压水试验,采用简易压水试验和单点法压水试验。

(1)简易压水试验在裂隙冲洗后或结合裂隙冲洗进行。压水压力为注浆压力的80%,并不大于1 MPa,压水20 min,每5 min测读一次压入流量。取最后的流量值作为计算流量。

(2)注浆孔单点法压水试验压力控制在0.5 MPa以内,要求每隔2 min观测一次流量和压力值(试验压力和流量通过注浆自动记录仪器进行记录)。

压水试验结束要求:在稳定的压力下,压入流量连续3次读数最大和最小值之差小于平均流量的10%,或最大值和最小值之差 <1 L/min即可结束。

4.3 注浆工艺主要技术内容

4.3.1 注浆孔段长度

钾盐矿床地层主要以泥岩和石盐层组成,泥岩为隔水层,石盐层为结晶体,都不存在过水通道,因此注浆段长以10 m为基准。在较破碎的地层以孔内漏失情况进行调整。

4.3.2 水灰比控制及变换

普通硅酸盐水泥浆液水灰比选用1、0.8、0.6、0.5这4个比级(质量比)。

氧化镁浆液水灰比选用2、1.5、1这3个比级(质量比)。

4.3.3 注浆压力

注浆压力是注浆质量的一个重要影响因素,矿山帷幕注浆,注浆压力按经验一般取水头压力的1.5~2倍。本工程考虑到风井井壁因损伤承受的压力,结合2个先导孔注浆试验段结果,设计最大注浆压力为0.5 MPa,施工过程中的实际注浆压力是保持在0.3 MPa左右。

4.3.4 注浆结束标准

(1)为了减少灌浆工程的整体工作量,以及很好地验证前序钻孔的灌浆效果,后序灌浆钻孔全孔取心,边检查、边灌浆的方式进行。同时钾盐矿的地质特殊性,可以通过岩心中固结物判断灌浆材料的充填密实情况,因此当岩心率达到90%以上做为灌浆工程结束的最终标准。

(2)灌浆过程中孔口出现返浆,或长时间灌浆,灌浆量很大时,经待凝后继续钻孔灌浆,直到孔口返浆才能结束灌浆。

4.4 封孔

注浆完成后,封孔采用“上行式”注浆方式,将钻孔注浆段分为2段进行,即42.76 m以浅采用水泥注浆封孔;42.76 m以深采用氧化镁注浆封孔。注浆压力按照正常注浆设计压力控制,浆液浓度采用灌浆过程中的最浓级,按照正常注浆结束标准控制。

5 注浆效果资料分析

共施工8个帷幕注浆钻孔。通过2个先导注浆钻孔(WI-1、WI-2)的注浆施工水泥液 53 m^3 和卤水氧化镁浆液 887.25 m^3 ,通过对注浆数据的分析,结合现场操作发现,随着注浆次序的增加,渗透系数分布趋势向较小值方向显著移动,说明前序孔的注浆是有效的。另外,经后续注浆钻孔施工取出的岩心证实,充填效果很好,达到了对风井自下而上充填加固的目的。

在施工过程中,地表冒浆频发,在砂土层进行多次复灌(特别是在WI-1和WI-2号孔),对砂土层渗水现象起到了很好的抑制作用,通过对风井内壁上部渗水现象观察发现,风井内壁后期基本未见渗水,说明第四系地表水向下流动现象得到处理。

6 结论

(1)可溶性钾盐矿开采建设竖井等工程之前对
(下转第83页)

3.2 展望

(1)泥浆中加入无机和有机化学药剂,通过电中和、压缩双电层、架桥吸附和网捕等共同作用,将泥浆中的细小颗粒连接起来生成粗大颗粒,从而达到絮凝。无机与有机絮凝材料协同作用需要进一步研究。

(2)本文中无机絮凝剂 CaO 的添加量(针对温州地区泥浆)为最佳絮凝区域数值。添加量过小则絮凝效果不明显,添加量过大则出现固化现象,在经济上不可取。但针对不同地区废弃泥浆的絮凝沉降特性的研究仍需探讨。

(3)无机絮凝剂 CaO 添加顺序明显影响絮凝体的沉降量和颗粒粒径,但是否是影响絮凝效果的主要因素,值得进一步探索和研究。

参考文献:

[1] 房凯,张忠苗,刘兴旺,等.工程废弃泥浆污染及其防治措施研

究[J].岩土工程学报,2011,33(S2):238—241.

[2] 武亚军,陆逸天,牛坤,等.药剂真空预压法处理工程废浆试验[J].岩土工程学报,2016,38(8):1365—1373.

[3] 武亚军,陆逸天,骆嘉成,等.药剂真空预压法在工程废浆处理中的防淤堵作用[J].岩土工程学报,2017,39(3):525—532.

[4] 武亚军,牛坤,陆逸天,等.工程废浆处理过程中药剂真空预压法的防淤堵机理[J].土木工程学报,2017,50(6):95—103.

[5] 彭园,杨旭,孙长健.废弃泥浆无害化处理方法研究[J].环境科学与管理,2007,32(4):102—104.

[6] 黄伟钧.药剂真空预压排水方法处理废弃泥浆的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):81—84.

[7] 王艳,苗康康,胡登卫,等.絮凝剂的研究进展[J].化工时刊,2010,24(8):53—58

[8] 梁止水,杨才千,高海鹰,等.建筑工程废弃泥浆快速泥水分离试验研究[J].东南大学学报(自然科学版),2016,46(2):427—433

[9] 李冲,吕志刚,陈洪龄,等.阴离子型聚丙烯酰胺在废弃桩基废浆处理中的应用[J].环境科技,2012,25(1):33—37.

[10] 刘智峰,崔剑峰,蒋勇兵,等.絮凝剂对打桩废弃泥浆的处理研究[J].山西建筑,2015,(22):181—183

[11] 张忠苗,房凯,王智杰,等.泥浆零排放处理技术及分离土的工程特性研究[J].岩土工程学报,2011,33(9):1456—1461.

(上接第 86 页)

井筒周围围岩进行预帷幕注浆处理,能够有效地降低第四系和孔隙水的渗漏造成井壁周围岩石的破坏。

(2)针对可溶性钾盐矿地层的特殊性——可溶于水 and 强腐蚀性,注浆材料需要具备对地层的接触性和强抑制性能。

(3)对于已有所损伤的井筒进行帷幕注浆时,考虑到井筒的安全,注浆压力需要低于 0.5 MPa。

(4)应对卤水+氧化镁浆液进行进一步研究,以准确测量凝固特征参数,以便于采用注浆自动记录仪进行准确控制注浆效果。

参考文献:

[1] 李洪波.老挝万象钾盐矿井筒施工防水治水方案探讨[J].化工

矿物与加工,2011,40(5):29—31.

[2] 杨伟才,陈光林.竖井壁后溶腔处理方法浅析[J].科协论坛(下半月),2013,(8):13—15.

[3] 陈哲,张兆楠,石逊.福清核电厂边坡工程高压旋喷与帷幕灌浆止水施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):71—75.

[4] 彭春雷.矿山防治水及深部帷幕灌浆技术若干问题探讨[J].金属矿山,2010,(S1):251—255.

[5] 徐大宽.岩溶充水矿床帷幕注浆堵水技术研究[J].水文地质工程地质,1991,(1):17—21.

[6] 周范松.浅谈钻孔帷幕灌浆施工技术[J].探矿工程,1990,(5):42—45.

[7] 张建国.钻孔帷幕灌浆特殊情况的预防和处理[J].探矿工程,1991,(6):37—38.

[8] 宫述林,赵光贞,栾元滇,等.钾盐矿床钻探工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工),2011,38(7):25—28.

[9] 游红江.帷幕灌浆在中关铁矿治水中的应用[J].西部探矿工程,2017,29(4):174—176.