

强岩溶地区动水注浆技术探讨

王伏春, 刘源, 乐应

(湖北中南勘察基础工程有限公司, 湖北武汉 430081)

摘要:帷幕注浆是目前解决矿山开采水患问题的重要方案之一,尤其在强岩溶地区,长期大量抽排地下水容易导致环境地质灾害。从帷幕设计、钻孔技术要求、注浆材料、注浆段长、注浆压力、浆液浓度选择、注浆结束标准、跑浆处理措施、效果检验等方面,详细阐述了强岩溶地区动水注浆技术。

关键词:帷幕注浆;强岩溶地区;动水注浆

中图分类号: TU265.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)02-0078-04

Discussion on Dynamic Water Grouting Technique in Strong Karst Area/WANG Fu-chun, LIU Yuan, YUE Ying
(Hubei Central South Exploration & Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430081, China)

Abstract: Curtain grouting is one of the most important processes to solve the mining flooding, especially in strong karst areas. Long-term substantial pumped groundwater can easily lead to environmental geological disasters. This paper elaborates the dynamic water grouting technology in strong karst area about the curtain design, drilling technology requirements, grouting materials, length of grouting segment, grouting pressure, slurry concentration, grouting completion standard, treatment of slurry overflowing and the effect test.

Key words: curtain grouting; strong karst area; dynamic water grouting

1 工程概况

广东凡口铅锌矿为我国有名的岩溶大水矿山。建矿 50 多年来,采用的浅部截流疏干防治地下水的方法,保证了矿床的安全开采。但长期的疏干排水,严重破坏了矿区地质生态环境,矿农矛盾突出,同时,塌陷回填、土地复垦、排水等费用高昂。为从根本上解决水患问题,矿方决定在主要进水方向建造帷幕,一方面缓解井下开采对周边环境的影响,同时可以降低排水费用,为矿山生产提供可靠保证。我公司承担了本次帷幕注浆任务。

2 矿区水文地质条件

矿区地质构造为一复式向斜,轴向北西,向南东倾伏。复式向斜内发育有近南北和东西向的次一级褶曲(如金星岭背斜、狮岭背斜),以及一系列走向北东或北北东的压扭性断层(如 F3、F4、F5 等)。区内有 3 个基本含水层:一是第四系含水层,在矿床疏干过程中,地表大量出现开裂和塌陷,大气降水与农田用水等地表水可通过孔隙、塌陷开裂等通道补给下伏含水层,具有较强透水性,与裂隙水有水力联系,所以,矿区内第四系的隔水作用已遭到破坏;二是位于含矿地层顶板的壶天群($C_{2+3}ht$)岩溶含水

层,该地层岩溶极为发育,含有丰富的地下水,覆盖于含矿层之上,在金星岭以及狮岭的局部与矿体直接接触,构成了矿体的直接或间接顶板,在平面上以金星岭为界,分为南、北 2 个区,在垂向上分为上、下 2 个带——上部强岩溶带和下部弱岩溶带;三是壶天群下部含矿地层的泥盆系中统东岗岭组上段(D_2d^h)~泥盆系上统天子岭组下段(D_3t^a)的灰岩裂隙含水层,该含水层浅部(约 50 m 标高以上)岩溶较发育,深部以裂隙含水为主,渗透系数 0.000336~0.2826 m/d。

根据长期观测资料,矿坑水的补给来源主要是大气降水和地表水的垂向入渗(或下灌),其次为降落漏斗外围地下水的侧向径流。采矿以来,旱季平均总排水量 28000 m³/d,雨季为 38000 m³/d,雨季最大排水量甚至可达 60000 m³/d 以上。

3 帷幕轴线布置

通过矿区水文地质条件分析,矿区进水方向主要为南部、西南和东南角,因此,帷幕轴线从矿区的西南角向南部、东南方向延伸,全长 1689 m。

收稿日期:2013-10-16

作者简介:王伏春(1980-),男(汉族),江西人,湖北中南勘察基础工程有限公司,岩土工程专业,硕士,从事矿山帷幕注浆工作,湖北省武汉市青山区和平大道 1250 号,1542852877@qq.com。

4 工程难点分析

(1) 凡口铅锌矿是有名的岩溶大水矿山,经过50多年的疏干排水,地下水径流通道比较畅通,水力联系密切。

(2) 进水方向范围大,帷幕轴线较长,对施工质量要求较高。

(3) 疏干漏斗外围水位标高超过基岩面,进入第四系地层,为防止地下水越过帷幕墙进入矿坑,因此第四系地层也需注浆处理。

(4) 在帷幕建造过程中,为不影响井下正常生产,矿坑仍然坚持疏干排水,注浆所在处与井下存在100多米的水位高差,在如此动水条件下进行注浆,对注浆技术要求较高。

5 注浆工艺

5.1 钻孔技术要求

(1) 钻孔布置采用单排孔布置的原则,钻孔间距为8~10 m,局部地段加密处理。

(2) 单排钻孔要形成一道连续幕墙,必须确保钻孔垂直度,所有钻孔在下孔口管之前测斜,下孔口管后复测,以后每隔50 m测斜一次,遇变径或地层复杂的地段加密测斜,当发现偏斜后及时采取纠斜措施,本工程要求全孔孔斜率不超过1.5%。

(3) 采用清水钻进,钻进过程中做好班报记录及水文地质编录工作。

(4) 当钻至预定孔深时,必须进行钻孔清洗工作,主要清洗孔内残留的岩粉、岩屑等,保持裂隙通道的畅通。具体做法:钻孔结束后,视孔内残留物的多少,用带取粉管的钻具进行捞粉,使用大泵量进行冲洗,直至回水变清,至孔内残留物沉淀厚度<20 cm。对于溶洞裂隙充填物,可以采用“高压脉冲法”进行钻孔清洗工作,从而确保通道畅通。

5.2 压(注)水试验

压(注)水试验的目的是为了求得帷幕注浆前岩石的单位透水率,用以确定该注浆段的初始浆液浓度和注浆质量检查。

钻孔压水试验分为全孔压水和下入止水胶塞分段压水2种方式。压水试验采用单点法压水,流量、压力采用灌浆自动记录仪自动记录,参照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148-2001),试验时,每间隔10 min记录一次流量和压力值,当流量和压力保持相对稳定,压入流量连续4次读数其最大值与最小值之差小于最终值的10%,或最大值与最小值之差小于1 L/min时,视为稳定,即可结

束试验,取最终值做为计算值。根据压(注)水试验结果选取初始浆液浓度,此外,在施工中还应参照钻探资料反映的受注段岩石完整程度,灵活掌握初始浆液配比。

5.3 注浆材料

注浆材料采用水泥粘土浆为主,岩溶发育孔段可添加谷壳、稻草、海带、锯末等粗骨料,甚至采取水泥粘土-水玻璃双液注浆。

(1) 水泥:为P. O 42.5普通硅酸盐水泥,水泥细度要求为通过80 μm方孔筛筛余量≥10%,所用水泥必须为无结块的新鲜水泥。每批进场水泥均应有出厂合格证和检验分析报告,进场水泥应按每批次或500 t送检验样一件,不合格水泥不能使用。

(2) 粘土:塑性指数<15,粘粒含量<30%,含砂(0.05~0.25 mm)量≥10%,有机质含量≥3%。

(3) 水玻璃:水玻璃选用模数为2.8~3.4,浓度为35~45波美度。

5.4 注浆段长

由于垂向上岩溶、裂隙发育具有不均一性,注浆段段长的确定主要视具体情况而定。本工程注浆段长一般为10~20 m,遇以下情况,注浆段长可适当调整:遇到大型溶洞、断裂破碎带时,在钻至溶洞或破碎带底板后,应停钻注浆;在岩溶发育较弱的深部孔段,注浆段长可适当延长至30~50 m;浅部岩溶发育部位,注浆段长适当缩短,深部岩溶发育较弱部位,注浆段长可适当延长。

5.5 注浆压力

注浆压力采用1.5~2倍静水压力,本工程注浆压力在0.3~2 MPa范围内,随钻孔深度增加而逐步提高。由于施工现场情况千变万化,在遵照设计的基础上,遇以下情况,经设计、建设、监理同意后,注浆压力可做适当调整:遇岩溶发育较弱,或钻孔周边裂隙可注性较差时,则适当加大注浆结束压力,以确保施工质量;遇大型溶洞或井下跑浆严重孔段,则适当降低注浆结束压力,避免浆液扩散太远,浪费资源,尤其是在浅部岩溶发育,注浆时地面冒浆严重的孔段。

5.6 浆液浓度选择

矿山帷幕注浆一般以先稀浆,后浓浆,逐级加浓的原则进行浆液浓度变换。实际施工过程中,当某一配比的浆液注入量达到一定量(30~50 m³),注浆压力无明显上升,或注入率无明显下降时,则改用浓一级浆液;当采用密度最大的浆液灌注仍不起压时,则采取间歇注浆,或添加粗骨料或水玻璃速凝

剂。

在注浆过程中,当注浆压力保持不变、注入率持续减少时,或当注入率不变而压力持续升高时,不进行浆液配比调整,并延长注浆时间,适当增加单次注浆量,以确保浆液有效扩散。

5.7 注浆结束标准

在注浆过程正常进行的前提下,注浆压力均匀持续上升达到设计终压,同时钻孔吸浆量 $< 10 \sim 20$ L/min 时,持续 20 ~ 30 min 即可结束注浆。

5.8 特殊情况处理措施

5.8.1 跑浆

在注浆过程中,井下正常生产排水形成的降落漏斗对施工影响较大,浆液容易随着地下水流入矿坑,造成浆液大量浪费、堵塞排水管道、水泵、水仓等,严重影响井下正常生产排水,因此如何解决跑浆问题是动水注浆的关键。

为此,项目制定了先堵大通道,后封堵小通道、裂隙的措施,有效的解决了跑浆问题。堵大通道的方式主要有:投入片石、瓜米石、水洗砂、海带、稻草等;采取水泥-水玻璃双液注浆,利用浆液凝固时间短的特点,快速封堵大通道。而后采取正常注浆封堵细小裂隙。

5.8.2 注浆中断

在注浆过程中,由于机械设备、输浆管道,仪表失真等原因引起的注浆中断,应及时查清问题所在,如能在较短的时间内处理好,则立刻恢复注浆,如需要较长时间处理,则应先待凝、扫孔,待问题处理好

后恢复注浆。

5.8.3 冒浆

由于第四系土层薄弱,基岩面及以下岩溶裂隙发育,浆液容易通过第四系扩散到地面。对于这样的情况,主要采用延长注浆间歇时间、注浆时选用浓度较高的浆液、限压限流、增加水玻璃用量、改用水泥尾砂浆来灌注及采用“小间歇”等方法来处理。

5.8.4 串浆

在注浆过程中,浆液从其它钻孔内流出发生串浆,其主要原因是岩石裂隙发育,相互串连,使注浆孔直接或间接地连通,造成串浆,当发现串浆应立即采取措施,可对串浆孔同时进行灌浆,或者将串浆孔封闭,待灌浆孔结束灌浆后,再将串浆孔打开,进行扫孔,冲洗,而后继续钻进或注浆。在本次施工过程中:如 ZK104 与 ZK106 串浆,ZK98 与 ZK96 串浆,ZK127 与 B39、B40 串浆,B40 与 B43 串浆。

6 注浆效果分析

6.1 各序次钻孔注浆前后单位透水率变化对比分析

单位透水率是反应钻孔渗漏情况的绝对指标,通过前后施工钻孔单位透水率变化情况对比分析,也能说明帷幕的堵水效果。

从表 1 可以看出,后续施工钻孔的单位透水率明显小于前序施工钻孔的单位透水率,说明前序钻孔注浆充填裂隙效果明显。

表 1 压水试验成果(透水率)按标高统计表

钻孔序次	标 高/m									
	>80	80~60	60~40	40~20	20~0	0~-20	-20~-40	-40~-60	-60~-80	<-80
I	65.373	73.145	47.846	36.425	28.883	23.593	19.440	37.419	69.805	7.869
II	49.155	38.238	19.226	6.591	4.845	6.909	6.018	6.121	9.060	3.049
III	25.080	8.933	7.765	6.600	3.162	2.375	3.072	4.239	2.241	1.263
加密孔	14.652	5.684	3.042	2.356	1.578	2.053	2.330	1.825	1.148	0.848

6.2 检查孔施工情况分析

检查孔是检查钻孔注浆在孔间的交联状态、交联部位的厚度,帷幕断面上是否存在尚未充填的透水裂隙、溶洞及其分布位置,浆液结石体的物理性能、水力性质和帷幕的防渗效率的一种最直接的手段。

从检查孔的钻探取心情况来看,在孔内不同深度的破碎地带、溶洞内取上大量水泥粘土浆及水泥尾砂浆结石体碎块,并在多处裂隙面上发现有水泥粘土浆薄层。取上大量结石体碎块表明,浆液有效

地对溶洞、裂隙进行了充填,浆液扩散范围满足设计要求。

从检查孔压水试验资料、注浆成果来看:

(1) 压水试验合格率达 94.4%,说明浆液对裂隙进行了较好的充填;

(2) 通过对不合格段的注浆,注入量较少,表明前期注浆效果明显,裂隙等主要导水通道被有效充填,但存在局部细小裂隙未被充填的情况。

6.3 结石体强度分析

将施工过程中取上的结石体,送实验室做抗压

试验,试验结果如表2。

表2 结石体物理力学性能表

钻孔	取样位置/m	抗压强度均值/MPa	性 质
ZK104	52.00~52.45	5.4	水泥粘土浆结石
B17	53.55~53.75	4.7	水泥粘土浆结石
B25	49.10~49.70	6.9	水泥粘土浆结石
B30	77.41~77.73	7.1	水泥粘土浆结石
J13	148.23~148.41	4.8	水泥粘土浆结石
J15	74.41~74.59	7.1	水泥粘土浆结石

从表2可以看出,在钻孔中不同深度所采取的水泥粘土浆,因受到了注浆压力的压实挤密作用,其抗压强度有很大的提高,平均可达到6.0 MPa,最大可达到7.1 MPa,结石体强度高,完全能够满足帷幕墙体强度要求。

6.4 水位变化对比分析

通过帷幕内外水文观测孔水位变化对比分析(表3),可以清楚看出,帷幕内水位基本保持不变,而帷幕外围水位随着帷幕建成而逐步抬升,最多抬升40多米,说明帷幕拦截地下水效果明显。

表3 帷幕线内外钻孔水位对比表

观测时间	帷幕内/m		帷幕外/m			
	CK52	CK29	216/FK2	CK0801	208/SK14	CK53
帷幕施工前	7.80	-9.50	48.60	53.67	59.03	66.19
帷幕施工后	8.17	-16.50	90.59	90.13	100.31	102.12
水位变化情况	0.37	-7.00	41.99	36.46	41.28	35.93

6.5 坑道排水对比分析

坑道排水多少最直接反应帷幕堵水效果,帷幕施工前月平均排水量为954775 t/m,帷幕施工后月平均排水量为290000 t/m,减少了69.6%,由于帷幕还未完全封闭,预计全封闭的情况下,堵水率将达到75%以上。

(上接第77页)

(2)采用疏水而不是止水方案,不仅解决了该竖井的施工问题,而且导出的水作为供水水源的一部分,减小了后续引水隧洞顶管直径。

(3)在破碎涌水地层中改变先施工注浆管棚,然后开挖再进行衬砌的施工工艺,直接采用顶管+管顶注浆技术,简化了施工工序,缩短了施工工期,降低了施工成本,提高了施工安全度。

(4)结合当地实际情况,用船载平台进行冲击成槽施工水下明渠是一种技术可行、经济、安全的施工方法。

7 结语

广东凡口铅锌矿帷幕注浆项目严格按照设计要求及相关规范组织施工,施工过程中钻孔压水试验成果表明:一序孔注浆前加权平均透水率为26.259 Lu,二序孔注浆前加权平均透水率为8.981 Lu,三序孔注浆前加权平均透水率为6.250 Lu,加密孔注浆前加权平均透水率为2.858 Lu,递减率分别达到65.8%、30.4%和54.3%,说明帷幕设计合理,施工质量较好。在帷幕还未完全封闭的情况下,堵水率已经达到69.6%。

施工过程中,ZK70、ZK85、ZK106、ZK127、ZK151、ZK158等钻孔吸浆量大,井下跑浆厉害,为避免浆液浪费,控制投资成本,减少注浆对井下排水的影响,采取了多项控浆措施,如投粗骨料、间歇注浆、双液注浆等,经现场检验,均取得了很好的效果。

帷幕注浆技术可有效解决矿山开采大量疏排水的问题,不但可以保证矿山生产安全、降低生产排水费用,而且有效保护矿区周边环境,避免大量抽排地下水使水位下降而引起地面开裂、塌陷等问题。随着矿山开采不断向深处发展,研究动水注浆技术,不断开发注浆新技术、新材料、新工艺具有重大意义。

参考文献:

- [1] 黄才启,孙健.大水矿山截水帷幕注浆工程施工关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):74-78.
- [2] 程秀德.安徽新桥硫铁矿大型帷幕注浆试验工程[J].探矿工程,2000,(3):29-31.
- [3] 冯玉国.注浆法在露天铁矿疏干巷道截水工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(3):31-32,40.
- [4] 董建忠,何家趾.双液注浆技术在杭州市天城广场工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):51-53.
- [5] 赵书梅,贾立芹,王德强,等.金地铁矿地面注浆堵水技术应用实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):64-65.

参考文献:

- [1] 龙志阳.立井短段掘砌混合作业法及其配套施工设备[J].建井技术,1998,(3):1-6.
- [2] 李廷义,李渊毅.立井井筒工作面预注浆封水施工技术与安全措施[J].中国科技信息,2010,(23):70-72.
- [3] 陈小雄.现代隧道工程理论与隧道施工[M].四川成都:西南交通大学出版社,2006.
- [4] 郑坚,张仁高.引水隧洞进水口岩塞爆破[J].工程爆破,2003,(2):69-72.
- [5] 何旭斌,陈建斌.冲击钻成槽工艺在柏峰水库混凝土防渗墙施工中的应用[J].浙江水利科技,2010,(3):78-79,82.