

蜀河水电站防渗帷幕灌浆技术

刘三虎¹, 丁永波²

(1. 北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102; 2. 白浪水库管理局, 山东 潍坊 261052)

摘要:采用灌浆技术处理大坝渗漏是一个较为复杂的问题, 针对灌浆技术在蜀河水电站中的应用, 介绍了防渗帷幕灌浆的设计思路和施工方法, 总结了防渗帷幕灌浆施工规律和存在的问题, 对灌浆技术的应用提出了一些看法和建议。

关键词: 防渗; 帷幕灌浆; 蜀河水电站

中图分类号: TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)11-0061-04

Technology of Seepage Proof Curtain Grouting in Shuhe Power Station/LIU San-hu¹, DING Yong-bo² (1. Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd, Beijing 100102, China; 2. The Reservoir Administration of Bai langhe, Weifang Shandong 261052, China)

Abstract: Dealing with the dam seepage by the grouting technology is a complicated process. According to the application of grouting technology in Shuhe power station, the paper introduces the design idea and the construction method, summarizes the practice rule of the project and the existing problems, puts forward some new ideas about the application of grouting technique and provides some experience for the other similar project construction.

Key words: seepage proof; curtain grouting; Shuhe power station

1 工程概况

蜀河水电站位于陕西省旬阳县境内汉江干流上, 距上游已建成的安康水电站约 120 km, 距下游已建成的丹江口水电站约 200 km, 是汉江上游梯级开发规划中的第六个水电站, 装有 6 台 46 MW 贯流机组, 总容量 276 MW, 水库库容 1.76 亿 m³, 工程规模为二等大(2)型, 枢纽布置采用厂顶溢流式方案, 从右至左依次为: 右副坝、垂直升船机兼泄洪闸坝段、泄洪闸坝段、电站厂房坝段、安装间坝段、左副坝等建筑物, 坝顶总长度 290 m, 最大坝高 72 m。

2 工程地质条件

坝址区汉江河谷为斜向谷, 谷底宽 140 ~ 160 m, 横向呈较开阔的不对称 V 字形, 两岸山势总体是右陡左缓, 坝址区出露的地层岩性主要有: 志留系下统(S₁) 炭泥质板岩(S₁-S₁)、绢云母千枚岩(S₁-Ph₁)、白云母石英片岩(S₁-S_c), 局部穿插石英岩脉; 第四系全新统(Q₄) 冲积、洪积、崩坡积、滑坡堆积等。

断层、裂隙较为发育, 局部地段还发育小褶皱。出露的断层多顺层发育, 为逆断层, 破碎带宽度一般小于 0.5 m, 以中、陡倾角为主。裂隙按其走向特征

大致可划分为 4 组: ①组层面裂隙, 是坝址区最为发育的一组裂隙; ②组裂隙在两坝肩均较发育, 左岸以倾向 SE 者为主, 右岸以 NW 居多, 与不甚发育的④组裂隙共同为岸坡岩体稳定的控制性结构面; ③组裂隙在坝区零星发育、断续延伸, 与②组夹角大于 50°, 多互切形成“菱形”岩块(体)。

右岸岸坡断层 F33、F32 之间为炭泥质板岩、F32、F4 之间为白云石英片岩, ①、②组裂隙互切发育, 且②组裂隙多呈张开状, 局部张开宽 10 ~ 20 cm。左坝肩发育规模较大的 F32、F33、F4 断层, 坝址区①、②组裂隙亦较为发育, 该段岩体破碎, 为 C V 类岩体。

3 灌浆帷幕布设

根据工程地质条件, 由于断层、裂隙发育, 为了有效减少水库水量的流失和确保大坝的稳定, 在大坝坝基主廊道和左右岸灌浆平洞布置防渗帷幕进行防渗处理, 在消力池下游尾坎和左右导墙内设有基础灌浆廊道, 左、右侧廊道分别与上游坝基主廊道和下游尾坎廊道相连通, 使闸室、消力池基础形成封闭区域, 帷幕灌浆孔设置均为铅垂孔。

左岸在厂房坝段坝下 0+007.50 和坝下 0+

收稿日期: 2012-06-29; 修回日期: 2012-11-11

作者简介: 刘三虎(1974-), 男(汉族), 河南南阳人, 北京振冲工程股份有限公司高级工程师, 土木工程专业, 从事基础工程设计与施工工作, 北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦 12 层, 83918864@qq.com。

008.40处布置了2排防渗帷幕,帷幕灌浆廊道底板高程为167.50 m,灌浆帷幕伸入3 Lu以下岩层,最低处高程为133.00 m,最大深度为34.5 m。

沿坝轴线基础设计2道防渗帷幕。主帷幕底线深入到基岩相对不透水层(岩体透水率 $q < 3$ Lu)下3 m,即主排帷幕孔的底高程为132.00~164.00 m,副排帷幕孔的底高程为156.00~175.00 m,孔距均为2.5 m。

左侧和下游廊道内设2道防渗帷幕,左廊道主排孔底高程左侧廊道为156 m,副排孔底高程165 m,下游廊道主排孔底高程156.00~162.0 m,副排孔底高程165.00~168.0 m,主、副排孔间距均为2.5 m。右侧廊道内设单道防渗帷幕,帷幕孔底高程为165 m,孔间距为2.0 m。

从坝右0+101.50 m~右坝肩灌浆平硐末端坝右0+165.50 m范围内,防渗帷幕布设单排,深入岩体相对不透水层内4 m,帷幕孔的底高程为164.00~209.50 m。孔距2.5 m。

4 帷幕灌浆施工

钻孔采用回转地质钻机小口径金刚石钻头钻进,开孔孔径75 mm,终孔孔径56 mm,高压灌浆泵灌注,灌浆记录仪对灌浆全过程进行监控。自上而下分段,孔口封闭、孔内循环法灌浆的施工工艺,按先进行抬动观测孔→先导孔→灌浆孔→检查孔,灌浆孔严格按“先Ⅰ序、后Ⅱ序、再Ⅲ序”的原则进行钻孔和灌注。

4.1 帷幕灌浆孔布置和施工次序

防渗帷幕在不同部位分为单排和双排布置,分三序孔进行灌浆,按分排分序加密原则施工,先施工下游排,再施工上游排,排内按Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ次序,按次序分段进行钻孔灌浆。帷幕灌浆按“同次序等孔距”布置,“……—①—③—②—③—①—③—②—③—①—……”(其中①表示一序孔,其它依此类推)。

4.2 施工工艺

帷幕灌浆孔第一段采用孔口卡塞循环塞式注浆。第二段及以下各段采用“孔口封闭灌浆法”灌注,用孔口封闭器封闭,要确保封闭器密封的可靠性,灌浆管在孔口封闭器中心部位能灵活转动和升降,经常转动和升降灌浆管,以防止灌浆管在孔内被水泥浆凝住,射浆管距孔底距离 ≥ 50 cm^[1]。

4.2.1 孔口管施工

孔口管在第一段灌浆结束后镶注,埋设深度一

般按入岩石2 m控制,其顶部高出孔口10 cm,用灌浆的方法向孔内压入水灰比为0.5的水泥浆,待孔口管与孔壁之间返出同一浓度水泥浆时,导正孔口管,待凝72 h后,方可钻灌第二段。

4.2.2 钻孔

(1)采用回转式地质钻机配合金刚石钻头回转钻进,混凝土部位通过灌浆预埋管($\varnothing 91$ mm)钻进,以下钻孔孔径为75 mm。

(2)灌浆孔的施钻按施工次序,分序分段进行。钻孔孔位偏差小于10 cm,孔深20.0 m以浅每钻进5.0 m调校钻机一次;20.0 m以深每钻进10.0 m调校钻机一次,以保证钻进孔向准确。

(3)所有灌浆孔均全孔测斜,在施工中经常采取可靠的措施,保证钻孔的垂直度符合设计要求。

4.2.3 浆液的选择

本工程为岩石地基帷幕灌浆,灌浆浆液采用袋装PO.42.5普通硅酸盐水泥制成的纯水泥浆。遇到特殊地质条件时,根据实际情况需要,经监理人批准,可在水泥浆液中掺入砂和水玻璃等掺合料。

4.2.4 灌浆

本工程采用3SNS型高压泥浆泵灌浆,配备三参数大循环灌浆自动记录仪实时记录。

4.2.4.1 灌浆段长及灌浆压力的划分

通过帷幕灌浆试验及成果优化选择的段长及压力参数见表1。

表1 帷幕灌浆段长及压力参数表

段长深度 /m	压力 /MPa	段长深度 /m	压力 /MPa
0~1.5	0.2~0.25	30~35	2.4
1.5~5	0.5	35~40	2.8
5~10	0.8	40~45	3.2
10~15	1.2	45~50	3.6
15~20	1.5	50~55	4.0
20~25	1.8	>55	4.0
25~30	2.0		

4.2.4.2 浆液变换

(1)根据试验孔的灌浆情况,施工区的基础岩石可灌性较差,浆液水灰比采用5:1,3:1,2:1,1:1,0.8:1和0.5:1六个级别,浆液由稀至浓逐级变换。

(2)当某一比级浆液的注入量已达300 L以上或灌注时间已达30 min,灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时,改浓一级。

(3)当注入率 > 30.0 L/min时,根据具体情况越级变浓。

4.2.4.3 灌浆结束标准

(1)在该段最大设计压力下,注入率 ≥ 1 L/min,继续灌注 60 min,可结束灌浆。

(2)灌浆过程中如出现回浆变浓,换用相同水灰比的新浆灌注,若效果不明显,继续灌注 30 min,结束本段灌浆,不再进行复灌。

4.2.4.4 封孔

封孔采用全孔灌浆封孔法,用新鲜的水灰比 0.5 的水泥浆液,采用置换压力灌浆法封孔,封孔时间 ≤ 1 h,孔口未满则用水泥砂浆进行二次封孔。

5 特殊情况及处理措施

5.1 对吃浆量大,难以按灌浆技术要求结束孔段的处理措施

在本工程灌浆过程中,尤其是在下游排 I 序孔的施工过程中,经常遇到一些注入量大且不起压,灌浆难以结束的孔段,工程地质条件差是主要原因,从岩体岩性分析,基岩岩性为白云母片岩、绢云母千枚岩、炭泥质板岩,发育 L45 裂隙及 F5、F32、F33、F4 断层,各断层基本向上游倾斜,倾角 $30^\circ \sim 38^\circ$ 岸贯穿,强风化带厚一般 6~9 m,弱风化带厚 10~11 m,岩体破碎、裂隙较发育、透水性较强,断层的跨灌区的影响明显。

对于这一情况的孔段,可采取的处理方法是采用低压浓浆灌注,当低压浓浆灌注仍无法达到结束标准时,采用限流、限量灌注^[2],使其注入率控制在 15 L/min 左右,灌入水泥限量为 3.0 t/m。如仍无法达到结束标准时,再采用间歇待凝、扫孔复灌,或采用掺加速凝剂的方法进行灌注,直至达到灌浆结束标准。间歇待凝时间一般为 2~4 h,速凝剂的掺加量根据现场实验情况确定,一般为水泥质量的 3%~7%。

5.2 对串浆情况的处理措施

在本工程灌浆过程中,在 I 序孔的施工过程中,发生串浆的情况较多,为确保灌浆质量和减少水泥损失,施工时采用以下方法进行处理。

(1)具备灌浆条件的串浆孔,采用一孔一泵对灌浆孔和串浆孔同时灌注。

(2)不具备灌浆条件的串浆孔,则将串浆孔堵塞,待灌浆孔灌浆结束后,再对串浆孔进行扫孔、冲孔、继续钻进和灌浆。

(3)正在钻进的串浆孔,立即停机起钻,防止因串浆而埋钻。并将串浆孔从孔口封堵,待灌浆孔灌浆结束后,再对串浆孔进行扫孔、继续钻进和灌浆。

5.3 对孔口有涌水情况的处理措施

由于多条断层跨越灌浆区域,特别是 F32(影响带宽 8 m 以上)、F33(断层宽 4 m 以上,影响带宽超过 10 m)等大型断层带,岩石透水性很强,因此涌水现象是蜀河电站灌浆的一个普遍现象,甚至个别孔涌水喷出孔口高达 1 m 高。如何解决好涌水孔的灌浆问题,是本工程的最主要的难题。为此主要采取以下 3 项措施进行处理。

(1)提高灌浆压力。涌水孔段灌浆压力采用该段设计灌浆压力+涌水压力,保证在足够大的灌浆压力下进行灌浆。

(2)闭浆和待凝。对于涌水量 < 40 L/min 的孔段,先用常规循环式灌浆 1.5 t 后提起射浆管,再用卡塞纯压式灌 0.5:1 的水泥浓浆灌注 0.5 t 后,闭浆待凝 24 h,然后扫孔、复灌。涌水量 > 40 L/min 的孔段,先用 0.5:1 的浓浆纯压式灌浆,灌 2.0 t 后闭浆待凝 24 h,然后扫孔、复灌。待凝后扫孔至灌浆段底,观测若仍涌水,则再测涌水量和压力后进行复灌,若无涌水,钻灌下一段^[3]。

(3)严格控制灌浆压力,起始压力要小,避免使用大压力和过快升高压力;采用浓浆,少用或不用稀浆。起始注入率要小,防止过快和突然增大注入率,始终保持中等偏小的注入率。采取限流、限量灌浆,即当灌注水泥量达到 1.5 t 时,待凝、再扫孔、复灌^[4]。

6 灌浆成果资料分析

6.1 岩体可灌性分析

帷幕灌浆共划分为 24 个单元,827 个孔,灌浆长深度 18787.66 m,注入水泥 5099.29 t,平均单位注入量 271.42 kg/m(见表 2),特殊地质情况下个别孔段的注入量大导致平均单耗高。

表 2 帷幕灌浆成果统计分析表

分序	孔数 / 个	钻孔深度 / m	灌浆深度 / m	水泥总耗 / t	水泥单耗 / (kg·m ⁻¹)
I	242	6222.96	5496.56	2196858.80	399.68
II	223	5607.00	4926.40	1400132.00	284.21
III	362	9296.30	8364.70	1502305.60	179.60
Σ	827	21126.26	18787.66	5099296.40	271.42

在本工程中 I 序孔单位注入量 399.68 kg/m; II 序孔单位注入量 284.21 kg/m,单位注入量较 I 序孔递减 29%; III 序孔单位注入量 179.60 kg/m,单位注入量较 II 序孔递减 36.8%,说明 I 序孔、II 序孔的灌浆对 III 序孔有一定的影响。随灌浆次序增进

单位注入量逐渐降低,符合灌浆的一般规律。

6.2 灌浆质量检查

6.2.1 灌前压水试验

各序孔在灌浆前均进行压水试验,了解灌浆前岩石透水率,透水率统计情况见表3。

表3 灌浆前压水试验资料分析

次序	部 位				
	厂房基础	左副坝段	泄洪坝段	右副坝段	航运坝段
I	23.19	36.51	46.23	16.58	19.88
II	14.82	25.63	26.94	17.61	13.45
III	10.62	22.64	23.62	4.96	9.92

总体上分析,经I、II序孔灌浆后岩体透水性下降显著,表明在灌浆孔逐步加密的过程中,基岩中的裂隙、漏水和渗水通道逐步的被水泥浆液充填,裂隙中的充填物得到了挤密,这使得基岩的防渗能力逐步地得到提高,在一定程度上反映了灌浆的效果,符合一般灌浆规律。

6.2.2 灌后检查孔压水

为了检查幕体在灌浆后的透水性情况,在各个单元工程灌浆完工14天后,在相应的单元钻检查孔进行压水试验,共布置检查孔69个,进行压水试验418段。

其中小于或等于1 Lu 为24段占6%,大于1 Lu 小于3 Lu 有305段占73%,大于3 Lu 有89段占21%,其最大透水率为11.24 Lu。检查孔压水试验成果分析见表4。

表4 检查孔压水试验成果分析表

部位	孔数	段数	透水率(Lu)区间段数			合格率 /%
			$q \leq 1$	$1 < q \leq 3$	$q > 3$	
厂房基础	9	63	10	53	0	100
左副坝	9	71	0	70	1	100
通航段	1	10	0	9	1	100
泄洪坝段	47	257	13	157	87	100
右副坝	3	17	1	16	0	100
合计	69	418	24	305	89	100

右岸泄洪坝段帷幕灌浆有5个单元27个孔帷幕灌后检查孔压水透水率 >3 Lu,最大透水率为11.24 Lu,不能满足设计要求,最终设计通知帷幕由单排孔变更为双排孔,透水率标准由3 Lu 变为5 Lu,仍有5个孔的透水率 >5 Lu,后采取了补孔灌浆后

再作压水检查,最终透水率1.49~4.4 Lu,平均透水率2.91 Lu,小于设计规定5 Lu,满足设计要求。通航段帷幕灌后检查孔压水分别有1段透水率 >3 Lu,但小于设计规定3 Lu 的150%的值,满足设计要求。

其它部位灌后检查孔压水试验透水率均小于3 Lu,满足设计要求。

6.2.3 岩心检查

在灌浆岩心和检查孔岩心中,发现多处裂隙充填水泥结石,胶结良好,常见厚1~3 mm。由此可见帷幕灌浆达到了封堵渗水通道的目的。

7 结论和存在的问题

施工实践表明,在蜀河水电站采用孔口封闭高压灌浆法的施工工艺是可行和有效的。从耗灰量的递减规律、灌前压水试验及灌后压水试验数据来看是符合灌浆规律的,在一定程度上反映出了灌浆所取得的效果。

但同时,在本工程的施工过程中,尚存在以下问题尚待商酌。

(1)本工程最大坝高72 m,灌浆采用了最大4 MPa 的压力,相当于5倍多的水头,压力过大,导致地层多处被劈裂,耗浆量增大,类似工程灌浆压力可按2~3倍坝高水头控制即可^[5]。

(2)由于地质条件的不均一性,断层、裂隙发育部位个别孔段注浆量大,其它部位孔段注浆量较小,可灌性不均衡,在这种情况下,布孔应考虑缩小孔距或按双排布孔,从右岸泄洪坝段帷幕灌浆质量检查和后期处理情况也说明了这一点。

参考文献:

- [1] DL/T 5148-2001, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [2] 李焰,余常茂. 三峡坝基灌浆施工主要技术问题及解决措施[J]. 水利水电科技进展, 2007, (1): 31-35.
- [3] 李建涛. 蜀河水电站高水头、大涌水帷幕灌浆施工技术分析应用[J]. 西北水电, 2011, (5): 27-29.
- [4] 王福平, 蔺刚, 王立民, 等. 通化桃园水利枢纽工程特殊坝段帷幕灌浆工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 64-65.
- [5] 孙钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.