

Research on Curtain Grouting Test Technology of Baihetan Hydropower Station

Xiaoyan Wang

Sinohydro Fourth Engineering Bureau Co., Ltd, Xining, Qinghai, 810007, China

Abstract

Baihetan Hydropower Station, through the curtain grouting test technology research on the slow-dip staggered belt and joint-dense belt of dam foundation, has obtained detailed curtain grouting test technology results, effectively verified the construction technical parameters of curtain grouting of dam foundation, and played a good guiding role for the complete success of curtain grouting of dam foundation. It provides reliable technical support for curtain grouting of high dam of Baihetan Hydropower Station.

Keywords

hydropower station; curtain grouting; test results; technical research

白鹤滩水电站帷幕灌浆试验技术研究

王晓燕

中国水利水电第四工程局有限公司, 中国·青海 西宁 810007

摘要

白鹤滩水电站通过对坝基缓倾角错动带、节理密集带等构造进行帷幕灌浆试验技术研究, 取得了详细的帷幕灌浆试验技术成果, 有效验证了坝基帷幕灌浆施工技术参数, 为坝基帷幕灌浆取得圆满成功起到了良好指导作用, 为白鹤滩水电站高大坝帷幕灌浆提供了可靠技术保障。

关键词

水电站; 帷幕灌浆; 试验成果; 技术研究

1 引言

帷幕灌浆 (curtain grouting) 是将浆液灌入岩体或土层的裂隙、孔隙, 形成连续的阻水帷幕, 以减小渗流量和降低渗透压力的灌浆工程。开展坝址区帷幕灌浆生产性试验, 不仅可以论证设计参数的合理性和准确性, 还可以指导后续的帷幕灌浆施工, 同时也是成本控制的一种技术措施。

2 概述

2.1 工程概况

白鹤滩水电站工程枢纽区防渗帷幕由大坝基础防渗帷幕、地下厂房防渗帷幕和二道坝防渗帷幕三部分组成。其中两岸坝肩、大坝基础与地下厂房防渗帷幕相互联接, 形成完整防渗体系, 减少上游库水位向下游和坝肩抗力体渗流。

白鹤滩水电站左岸坝基对主要层间错动带、断层进行了截渗处理, 未进行截渗处理的多条缓倾角层内错动带及节理密集带, 岩体完整性较差, 透水性较强。因此, 针对坝基缓倾角层内错动带、节理密集带等构造进行帷幕灌浆试验技

术研究, 优化帷幕灌浆技术参数和施工工艺, 指导帷幕灌浆施工。

2.2 试验目的

①通过对帷幕灌浆试验拟定的施工方法、施工工艺及灌浆材料、浆液配比、孔排距、灌浆压力等各种灌浆参数的试验和检验, 论证坝基帷幕灌浆的可灌性。

②确定合理的施工工艺、参数 (灌浆压力、灌浆孔间排距等), 为业主、设计、监理等相关单位提供更为可靠、准确的数据资料。

③研究坝基层间错动带、层内错动带、节理密集带的帷幕灌浆效果和补强灌浆参数以及适宜的灌浆质量标准 and 检查方法。

④提供更为可靠、准确的数据资料以供决策, 为坝基帷幕灌浆做好施工及技术准备。

3 试验区选择

3.1 试验区

根据白鹤滩水电站大坝施工条件, 结合坝址处坝基地质构造, 试验区选择 WML2 帷幕灌浆洞为主帷幕试验区, WML1 帷幕灌浆洞为搭接帷幕试验区。

试验区工程地质从上向下依次揭露岩性为: P2 β 33 层

【作者简介】王晓燕 (1973-), 女, 中国甘肃会宁人, 本科, 高级工程师, 从事水利水电研究。

第一类柱状节理,厚44~47m;P2β32-3层角砾熔岩,厚6~8m;少量P2β32-2层第二类柱状节理。柱状节理玄武岩微裂隙发育,呈柱状镶嵌结构;角砾熔岩内裂隙不发育,岩体完整性好,呈块状、整体状。试验区未揭露断层,主要揭露的地质构造为层内错动带LS337、LS336、LS331,其中LS337在试验区孔深4~8m范围内,LS336在试验区孔深15.6~16.6m范围内,LS331在孔深43.4~47.2m范围内。

3.2 试验孔布置

本次帷幕灌浆试验区帷幕灌浆试验各划分为2个单元,试验区主帷幕孔分两排布置,排距1.3m,孔间距2m,单孔入岩深度为57m;搭接帷幕孔分5排布置,单孔入岩深度均为12m;主帷幕钻孔角度为10°,搭接帷幕钻孔角度为13°、6°、0°、-6°、-13°。

4 工艺流程

主帷幕为两排孔,先灌注下游排孔,下游排孔灌注完成后再灌注上游排孔。

主帷幕与搭接帷幕重叠范围,先灌注搭接帷幕。搭接帷幕从下游向上游灌注,分二序施工。

主帷幕灌浆采取孔口封闭法施工工艺;搭接帷幕采取自上而下灌注法(自孔口向孔底),进行循环式灌浆施工^[1]。

帷幕灌浆试验区灌浆施工程序:

钻孔放样→抬动观测孔(钻孔→安装抬动观测设备就位)→先导孔(分段钻孔→分段压水试验→声波测试→分段灌浆至终孔)→I序孔钻灌→II序孔钻灌→III序孔钻灌→检查孔(声波测试)→封孔(检查合格)→灌浆资料分析、整理→提交灌浆试验成果报告。

5 主要灌浆参数

5.1 钻孔

主帷幕灌浆先导孔、检查孔接触段孔径均为91mm,以下各段孔径为76mm;主帷幕其余灌浆孔接触段孔径为76mm,以下各段孔径为56mm;搭接帷幕先导孔、检查孔孔径均为76mm,搭接帷幕其余灌浆孔孔径均为56mm;抬动观测孔孔径为76mm。

5.2 压力试验

帷幕灌浆的先导孔和质量检查孔均采取“五点法”进行压水试验,一般灌浆孔采用简易压水试验,压试验水最大压力不大于灌浆最大压力的80%,且满足灌浆技术规范要求。压水试验在裂隙冲洗后进行,过程中同步进行抬动观测。

5.2.1 灌前压水试验

①帷幕灌浆先导孔自上而下分段进行压水试验,分段长度与灌浆段长一致,先导孔压水试验压力为0.3MPa、0.6MPa、1.0MPa、0.6MPa、0.3MPa。

②一般灌浆孔的各灌浆孔段在灌浆前均进行压水试验。压水结合裂隙冲洗进行,压力为灌浆压力的80%,该值大于1MPa时采用1MPa。

5.2.2 灌后压水试验检查

按照“五点法”压水试验检查,检查孔采用自上而下分段钻孔、分段压水。检查孔压水试验压力为0.3MPa、

0.6MPa、1.0MPa、0.6MPa、0.3MPa(搭接帷幕及主帷幕第一段)和0.6MPa、1.2MPa、2.0MPa、1.2MPa、0.6MPa(主帷幕其他段)^[2]。

5.3 浆液水灰比及浆液变換

普通硅酸盐水泥浆液水灰比采用5:1、3:1、2:1、1:1、0.8:1、0.5:1(重量比)六级;湿磨细水泥浆液水灰比为5:1、3:1、2:1、1:1、0.5:1(重量比)五级。浆液转换遵循技术规范灌浆技术要求。

5.4 灌浆压力及段长

①灌浆压力详见表1、表2。

表1 主帷幕灌浆压力

入岩深度/m	0~2	2~5	5~20	20~60
I序孔	1.5~2.0	2.0~2.5	3.0~3.5	4.0~4.5
II序孔	2.0~2.5	3.0~3.5	3.5~4.5	5.0~5.5
III序孔	2.0~3.0	3.5~4.0	4.0~4.5	5.5~6.0

表2 搭接帷幕灌浆压力

入岩深度/m	0~2	2~5	5~10	10~20
I序孔	0.8~1.0	1.0~1.5	2.0~2.5	3.0~3.5
II序孔	1.0~1.5	1.5~2.0	2.5~3.0	3.5~4.5

②帷幕灌浆孔灌浆段第一段段长2m,第二段段长3m,第三段及以下各段段长按5m控制,终孔段段长依据实际情况适当加长,最大段长不超过8m。

③在灌浆过程中根据岩层的吸浆量以及对地表观察,视有无冒浆或抬动变形情况,再做试验性压力调整。

④灌浆压力以孔口回浆管压力表读数为准,压力表读数读中值。压力表指针摆动范围控制在灌浆压力的20%以内,且对摆动幅度做记录。为便于现场操作控制,在水平段施工时回浆管路上的压力表和压力传感器安装在灌浆自动记录仪附近,回浆管路长度不大于20m,以保证回浆管路上的压力表值能准确反映灌浆实际压力。

6 灌浆试验施工

WML1 搭接帷幕灌浆试验于2018年1月7日开始先导孔施工,2018年2月23日完成帷幕灌浆,2018年3月16日完成灌后压水试验检查,施工历时63d。主要工程量完成为:抬动观测孔钻孔2.5m、抬动观测装置安装1套、先导孔钻灌24m、帷幕灌浆576m、灌后质量检查孔钻孔34m压水12段。

WML2 主帷幕灌浆试验于2018年3月7日开始先导孔施工,2018年6月22日完成帷幕灌浆,2018年8月3日完成灌后压水试验检查,施工历时147d。主要工程量完成为:抬动观测孔钻孔60.1m、抬动观测装置安装2套、先导孔钻灌114m、帷幕灌浆1539m、灌后质量检查孔钻孔499.7m压水104段。

7 灌浆试验成果分析

从单位注入量、单位透水率、质量检查情况进行数据分析。

7.1 单位透水率分析

通过帷幕灌浆试验成果分析:

7.1.1 搭接帷幕试验区

I序孔单位透水率 $q_I=1.59\text{Lu}$;

II序孔单位透水率 $q_{II}=0.55\text{Lu}$;

$q_{II} < q_I$, II序孔相对I序孔单位透水率递减率为89.70%。

7.1.2 主帷幕试验区

I序孔单位透水率 $q_I=0.56\text{Lu}$;

II序孔单位透水率 $q_{II}=0.47\text{Lu}$;

III序孔单位透水率 $q_{III}=0.17\text{Lu}$;

$q_{III} < q_{II} < q_I$, II序孔相对I序孔单位透水率递减率为16.07%, III序孔相对II序孔单位透水率递减率为63.83%。

7.2 单位注入量分析

通过帷幕灌浆试验成果分析:

7.2.1 搭接帷幕试验区

I序孔单位注入量 $C_I=15.96\text{kg/m}$;

II序孔单位注入量 $C_{II}=14.57\text{kg/m}$;

平均注入量为 $C_{均}=15.44\text{kg/m}$;

$C_{II} < C_I$, II序孔相对I序孔单位注入量递减率为54.18%。

7.2.2 主帷幕试验区

I序孔单位注入量 $C_I=22.11\text{kg/m}$;

II序孔单位注入量 $C_{II}=20.05\text{kg/m}$;

III序孔单位注入量 $C_{III}=18.38\text{kg/m}$;

平均注入量为 $C_{均}=20.0\text{kg/m}$;

$C_{III} < C_{II} < C_I$, II序孔相对I序孔单位注入量递减率为9.32%, III序孔相对II序孔单位注入量递减率为8.33%。

7.3 压水试验质量检查

帷幕灌浆试验质量按照设计大纲共布置4个灌后检查孔,压水分段与帷幕灌浆分段一致,自上而下分段进行“五点法”压水试验。

①搭接帷幕灌后检查孔压水20段,透水率超过1Lu的0段,最大透水率为0.63Lu,灌浆效果评价良好。

②主帷幕灌后检查孔压水56段,透水率超过1Lu的0段,最大透水率为0.86Lu,灌浆效果评价良好。

7.4 水泥结石

对岩芯中存留的水泥结石进行描述统计,发现水泥结石6处,灌浆孔钻探过程中,在不同深度的岩芯断面上发现有水泥结石和水泥结膜结石非常密实,说明灌浆效果非常显著。

7.5 封孔取芯检查

①搭接帷幕WML1-D-160-2 II进行封孔取芯检查,由第三方检测单位检测。

封检孔岩芯检查评价:平均采取率大于90.75%,平均获得率79.25%,未发现空洞、蜂窝麻面、不凝等不良现象,胶结较好,结构密实,强度高,满足灌浆技术规范及设计要求。

②主帷幕WML2-1-40- III进行封孔取芯检查,由第三方检测单位检测。

封检孔岩芯检查评价:平均采取率大于91%,平均获得率72%,未发现空洞、蜂窝麻面、不凝等不良现象,胶结较好,结构密实,强度高,满足相关规范及设计要求^[1]。

7.6 特殊情况分析

根据异常情况统计分析,表层接触段易出现串、冒、漏浆现象,建议在搭接帷幕灌浆施工区域布置浅层围岩固结灌浆,先实施浅层围岩固结灌浆再进行搭接帷幕施工,减少搭接帷幕接触段施工过程出现特殊情况,保证接触段搭接帷幕的施工质量。

7.7 变形观测分析

试验区324个灌浆段在裂隙冲洗、压水、灌浆及封孔过程均进行了岩石变形观测,经观测分析,各孔段灌浆正常,岩石未发生抬动变形。

8 试验效果评价

①帷幕灌浆效果显著,通过灌注水泥浆液充分堵塞了基岩中的渗水通道,达到了改善基岩物理性能,提高基岩防渗能力的目的。

②试验采取的施工方法、灌浆工艺、技术参数等符合坝基岩石特性,钻孔灌浆方法、段长、洗孔、压水试验方法、灌浆压力、水灰比等指标,符合灌浆设计技术要求,可作为坝基帷幕灌浆控制参数指导施工。

③试验投入的设备、材料性能满足帷幕灌浆施工,投入的施工人员素质、技能、技术水平、管理能力等满足坝基帷幕灌浆施工要求。

④坝基帷幕灌浆施工开灌水灰比3:1调整为5:1。

⑤安装 $\phi 73\text{mm}$ 无缝钢管易调整孔口管角度、孔口管与孔壁之间水泥充填充分、密实,方便施工,在坝基帷幕灌浆孔口管采用 $\phi 73\text{mm}$ 无缝钢管。

⑥根据湿磨细水泥及普通硅酸盐水泥灌浆效果,建议搭接帷幕灌浆采用普通硅酸盐水泥。

⑦湿磨水泥相对于普通硅酸盐水泥对柱状节理玄武岩灌浆效果显著,故主帷幕第一排易采用普通硅酸盐水泥,第二排及以上采用湿磨水泥。

9 结语

通过对坝基缓倾角错动带、节理密集带等构造进行帷幕灌浆试验技术研究,试验数据全面、可靠,灌后质量检查满足设计技术要求,取得了详细的帷幕灌浆试验成果,为类似高大坝帷幕灌浆施工提供借鉴经验。

参考文献

- [1] 张东升,吴昌春,张利莉,等.小浪底工程帷幕灌浆施工技术特点[J].水利水电科技进展,2003(6):88-90.
- [2] 马善才.长江三峡水利枢纽二期厂坝工程帷幕灌浆设计与施工概要[J].2002年水利水电地基与基础工程学术会议论文集,2002(11):55-58.
- [3] 苏强.探讨水利工程施工中防渗灌浆技术的应用[J].第二届世纪之星创新教育论坛论文集,2015(7):66-69.