

## 水下大坝帷幕灌浆检查孔施工技术研究与应用

王 斌, 臧 鹏, 李乔斌, 钟久安, 冯杨文, 陈 益

(四川共拓岩土科技股份有限公司, 四川 成都, 610073)

**摘 要:**为复查多诺水电站震后大坝坝肩及坝基的防渗性,需在蓄水条件下进行大坝灌浆帷幕质量检查。水下检查孔施工水深达40~69 m,钻孔难度大,综合采用水上浮船平台、潜水技术、水下定位与钻探技术,成功完成了蓄水条件下大坝帷幕质量检查,对类似工程具有重要的借鉴意义。

**关键词:**灌浆帷幕;质量检查;蓄水条件;水下钻孔

**Title:** Research and application of the construction technology of underwater inspection hole for dam curtain grouting// by WANG Bin, ZANG Peng, LI Qiaobin, ZHONG Jiuan, FENG Yangwen and CHEN Yi// Sichuan Gotone Geotechnical Technology Co., Ltd.

**Abstract:** In order to recheck the impermeability of abutments and dam foundation of Donuo hydropower station after the earthquake, it is necessary to check the quality of dam grouting curtain under the reservoir impoundment condition. The drilling depth of the underwater inspection hole is 40~69 m, and the drilling is difficult. By comprehensively using the floating boat platform, diving technology, underwater positioning and drilling technology, the quality inspection of dam curtain under the condition of reservoir impoundment has been successfully completed, which offers important reference for similar projects.

**Key words:** grouting curtain; quality inspection; reservoir impoundment condition; underwater drilling

中图分类号:TV697

文献标志码:B

文章编号:1671-1092(2026)02-0068-03

### 0 引 言

多诺水电站位于四川省九寨沟县白水江流域上游河段,属黑河-白水江流域梯级水电规划“一库七级”方案中的龙头水库电站,装机容量 $2\times 50$  MW。拦河大坝采用混凝土面板堆石坝,最大坝高112.5 m。水库正常蓄水位2 370.00 m,正常蓄水位以下水库总库容5 753万 $\text{m}^3$ 。运行多年后,存在渗漏现象,为此,需复查大坝坝肩与坝基灌浆帷幕的防渗情况。

通常,岸坡基岩灌浆帷幕检查孔属于干地作业场景。本工程坝基复查检查孔位于库水中,根据实际需要,水下部分检查孔需在水库不放水的条件下进行施工,施工期间水深40~69 m,钻孔难度极大<sup>[1-3]</sup>。水下检查孔施工条件如图1所示。

### 1 工程重难点分析

#### 1.1 水面作业平台方案选择

检查孔位于库区水位以下,需在水面上搭建施



图1 水下检查孔施工条件

Fig. 1 The construction condition of underwater inspection hole. 平台主要承受静荷载和施工动荷载,同时需在平台上完成超百米孔深的钻孔作业,因此必须保证平台的可靠性、安全性、稳定性。

#### 1.2 水下孔口管镶铸

水下钻探时,需镶铸长孔口管隔水,面临着定位难、镶铸难、悬空部分固定难等难题。

目前的水下测量精度难以满足本次钻孔孔位测放要求,无法直接采用测量仪器进行水下测量,因此水下钻孔精确定位存在较大难度,需潜水作业。

超长孔口管垂直度要求较高,同时镶铸难度也更大。整个孔口管从趾板至钻机机头部分均为悬空

(位于水下),长度约40~69 m,因此固定难度较大。

### 1.3 孔斜控制

影响钻孔偏斜的主要因素有:(1)水面平台受库水位动态变化的影响;(2)地层条件复杂;(3)孔口管超长。

### 1.4 大水深水下潜水难度

水下帷幕检查孔位于水面以下40~69 m,水下钻孔定位、孔口管镶铸、孔口管加固、孔口管割除等水下作业需要潜水员完成,局部水深超过空气潜水界限值60 m,因此水下作业具有较大难度。

## 2 水上施工工艺与技术措施

### 2.1 水面作业平台

水面作业平台以浮体为载体,浮体采用对称布置,中间预留1 m间隙作为钻孔时起下钻及孔口管安装空间。上部采用321型贝雷桥桁架,并在其上方铺装横梁、纵骨和木板。浮体上设桁架及斜支撑作为固定装置。平台通过钢丝绳等限位手段保证定位精度和适应水位涨落变化<sup>[4-6]</sup>,平台构造见图2。

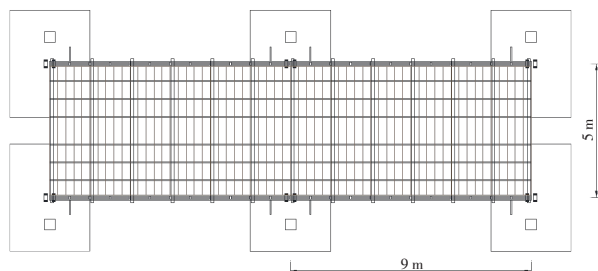


图2 平台构造

Fig. 2 Platform structure

### 2.2 水下钻孔定位

进行水下清淤后,测量人员沿趾板将孔位测放至水面平台上,再由现场技术人员从水面作业平台开孔位置采用重锤球将孔位引至水下,潜水员根据锤球位置及钻孔在趾板面上的设计相对位置进行水下钻孔定位并标识。

钻孔开始施工前,将钻具下放至趾板面,由潜水员水下引导钻具对准原测放孔位后开钻<sup>[7]</sup>。

### 2.3 水下跟管钻进与孔口管安设

灌浆帷幕检查孔处于水面以下,且孔位处覆盖淤积层,面临塌孔问题,故需埋设孔口管进行护

壁。最后将孔口管接长至水上平台,进行后续钻孔取芯、压水试验作业。

鉴于孔位处淤积较厚或淤积层板结,采用跟管钻进工艺,解决孔口管埋设之前淤积层钻孔护壁问题。下入模袋孔口管后拔出护壁套管,在模袋、孔口管内注入水泥浓浆,将孔口管镶铸牢固。孔口管镶铸、孔口管定位及镶铸质量检查需潜水员配合进行。潜水员需做好孔口管定位引导、孔口管镶铸情况拍照等工作。

为了保持孔口管的垂直度,在水中采用缆绳约束,在孔口管中上部悬挂浮筒辅助。

### 2.4 检查孔施工

为了控制钻孔方向,严格控制开孔角度,每个检查孔开孔时均需复核方位及垂直度,符合要求后开孔。

(1)钻孔深度:设计基岩段钻孔深度为70~125 m。

(2)钻孔孔径:作业平台至孔口导向管段孔径为130 mm、趾板至入岩5 m段孔径为91 mm、入岩5 m至终孔孔径为75 mm。

(3)钻孔取芯:基岩段全孔取芯,芯样最大长度限制在3 m以内,一旦发现芯样卡钻或被磨损便立即取出。对于1 m或大于1 m的回次,芯样获得率若小于80%,则下一回次应减少循环深度50%,之后依次减少50%,直至50 cm。若芯样获得率仍较低,则换用SDB单动双管钻具与半合管进行取芯钻进。岩芯在岩芯箱内,由左向右、自上而下排放,不得颠倒。长度超过50 mm的岩芯,按顺序用色笔编号。岩芯编录按照规范要求进行,并拍摄岩芯照片。

(4)压水试验:钻孔压水试验随钻孔加深自上而下用顶压式压水栓塞在孔内卡塞的方式进行。采用单点法,压水试验试段长度一般为5 m。试验前,先观测孔内水位。多诺水电站最大坝高112.5 m。参照DL/T 5148—2021《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》附录C 灌浆工程压水试验的规定,拟定压水试验压力为1 MPa或坝前水头 $H(m)$ 且不大于2 MPa。

(5)水下孔口管检查:检查孔施工过程中,潜水员按计划入水检查孔口管的破损、断裂情况。

### 2.5 其他

检查孔全孔压水试验检查完毕,按技术要求进行灌浆封孔。

钻孔、压水及封孔工作结束后,由潜水员到水

下割除孔口管。

### 3 结 语

通过水下大坝灌浆帷幕检查孔施工技术探索和实践,成功完成了多诺水电站正常蓄水条件下大坝灌浆帷幕防渗效果复查工作。整套工艺技术要点如下:

(1)水面作业平台满足水下钻孔施工荷载、孔位偏差控制等方面的要求。

(2)水下孔口管镶铸方案合理,满足水下钻孔施工的要求。

(3)浮船作业平台随水位变化实时定位测量及修正,钻孔孔斜控制满足设计相关要求。

实践表明,该水下钻孔工艺可行,能够满足大坝在不放水条件下进行灌浆帷幕质量检查、补灌及渗漏处理施工的要求。笔者总结水下定位、孔口管镶铸、超长孔口管垂直扶正、水下开孔等工艺技术,以期今后类似水下钻孔与灌浆工程提供参考和借鉴。

(上接第62页)

较高,稳定系数在水位抬升时呈现先降后升的弱波动趋势,最大降幅3.4%,而在水位骤降时则经历先增后降的演变过程,最大增幅5.5%,这种非对称响应特性与渗流场滞后效应及基质吸力演化密切相关。通过对比四种极端工况的模拟结果,验证了下游边坡最小稳定系数均高于规范要求的安全阈值,证实了现行坝体结构在非常运行条件下的可靠性。研究成果不仅深化了水力-力学耦合机制的理论认知,更为土石坝全生命周期安全管理及优化调度提供了科学方法,以完善复杂水文条件下土石坝安全评估的理论框架与实践指南。

### 参考文献:

- [1] 倪小东,赵帅龙,王媛.考虑发育薄弱区对管涌发展影响的数学模型研究[J].岩土力学,2014,35(12):3627-3635.
- [2] 马系勇.不同渗流状态对土石坝渗流场的影响研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(3):17-20.
- [3] 徐晗,熊泽斌,潘家军,等.拉洛水利枢纽沥青混凝土心墙与廊道连接型式研究[J].人民长江,2023,54(3):161-165.
- [4] 李跃鹏.某土石坝运行期渗流状态测试分析与理论研究[D].长沙:中南大学,2013.

### 参考文献:

- [1] 李丽莎,任鑫鑫,高祎博,等.乌干达伊辛巴水电站帷幕灌浆检查孔施工[J].华东科技(综合),2019(10):131,147.
- [2] 许卫民.荣地水电站大坝检查孔施工技术[J].广西电力工程,1996(4):43-45.
- [3] 孙钊.大坝基岩灌浆[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [4] 刘振杰.水上作业平台的制作及在水库库区勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(10):43-45.
- [5] 吴阿丽.水上作业平台设计及受力验算[J].知识经济,2013(15):92.
- [6] 宋宝杰,栾东平,范晓.漂浮式水上钻探平台的设计与应用[J].钻探工程,2021,48(6):74-79.
- [7] 王雍,钟久安,袁永定.深水条件水下帷幕灌浆钻孔定位方法研究[J].云南水力发电,2016,32(5):31-33.
- [8] 龙先润,曾猛.深厚覆盖层跟管钻进新工艺[J].西北水电,2017(4):99-101.

收稿日期:2022-11-29;修回日期:2022-12-21

作者简介:王 斌(1985—),男,四川南部人,工程师,主要从事水利水电工程注浆技术研究和管理工作。

作者邮箱:283930737@qq.com

- [5] 冯蕊,何蕴龙,曹学兴,等.深厚覆盖层上高土石坝坝基廊道安全性研究[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2023,56(5):513-523.
- [6] 邹德高,屈永倩,孔宪京,等.深厚覆盖层上土石坝防渗墙损伤开裂精细化分析及防渗功能评价[J].水利学报,2024,55(2):147-157.
- [7] 王飞,宋志强,刘云贺,等.SH波不同入射方位下沥青混凝土心墙土石坝响应特性及安全评价研究[J].振动工程学报,2024,37(6):1043-1054.
- [8] 张乔威.深切河谷高陡岩质边坡岩体结构面参数估计及稳定性分析[D].合肥:合肥工业大学,2021.
- [9] 冯细霞,张旭,陈雷,等.黏土心墙-混凝土防渗墙土石坝渗流稳定分析[J].水利规划与设计,2024(10):75-78.
- [10] 夏甜,杨文滨,袁明道,等.基于有限元法的土石坝渗流安全问题分析[J].广东水利水电,2019(1):11-14.
- [11] 毛昶熙.渗流计算分析与控制[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

收稿日期:2025-06-09;修回日期:2025-07-09

作者简介:林海炎(1988—),男,广西玉林人,工程师,主要从事水工结构设计与研究工作。

作者邮箱:kennuyiva6@163.com