



土石围堰高压旋喷桩防渗施工技术应用

陈 浩

(中交四航局第四工程有限公司, 四川 成都 610213)

摘要: 针对犍为航电枢纽一期一段土石围堰汛期挡水问题, 为确保土石围堰为汛期施工提供无水施工条件, 在保证工程施工质量、安全的前提下, 进行一期一段土石围堰高压旋喷桩防渗板的研究, 通过施工过程中采用的高压旋喷桩防渗板墙双管法的施工工艺、试验与分析, 确定施工工艺及最佳施工参数, 并对土石围堰高压旋喷桩防渗施工优势进行总结分析, 为同类工程提供借鉴。

关键词: 土石围堰; 高压旋喷桩; 防渗板墙; 最佳施工参数; 犍为航电枢纽

中图分类号: U 615

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)12-0112-03

Application of anti-seepage construction technology of high-pressure rotary jet grouting pile in earth-rock cofferdam

CHEN Hao

(The Fourth Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: To ensure the ability of retaining water and anti-seepage of earth-rock cofferdam and the construction quality and safety of the project, we adopt the high-pressure rotary jet grouting anti-seepage slab wall in the first section of the earth-rock cofferdam of Qianwei navigation-power junction project in the Minjiang River. According to the research, test and analysis on the construction technology of the double pipe method of the high-pressure jet grouting pile anti-seepage sheet wall, we determine the construction technology and optimal construction parameters. Furthermore, we analyze the advantages of the high-pressure jet grouting pile anti-seepage construction in the earth-rock cofferdam to provide reference for similar projects.

Keywords: earth-rock cofferdam; high-pressure jet grouting pile; impervious panel wall; optimal construction parameter; Qianwei navigation-power junction

岷江犍为航电枢纽工程作为岷江干流航电梯级开发的第三级电站, 与老木孔、东风岩、龙溪 3 个梯级航电枢纽, 以及龙溪口—宜宾合江门航道整治和乐山港建设一起, 共同构筑起四川省大件出川的黄金水道, 是国家长江经济带综合立体交通走廊规划的重点项目, 也是四川省委、省政府加快岷江重大装备通道建设、实施现代产业发展战略的重点项目。

由于工程施工过程受自然环境复杂、结构体型复杂、施工工序繁多、施工工期紧、混凝土浇

筑强度大等诸多因素的影响, 使得施工计划安排、进度控制和资源优化配置十分复杂。为此, 工程创新提出采用“三期六段”导流施工, 确保施工期间不断航。围堰施工关系到工程的成功建设和施工质量与安全, 故工程土石围堰施工及防渗技术的应用非常关键。

1 工程概况

工程一期一段围堰主要围护左岸泄洪闸坝体、厂房基坑等部位, 确保以上部位在枯期时段实现

收稿日期: 2021-05-28

作者简介: 陈浩(1989—), 男, 助理工程师, 从事公路桥梁、水运、水电工程施工质量管理工作。

干施工条件。围堰采用“土石围堰+高压旋喷防渗墙”的结构形式，围堰分为上游横向段、纵向段、下游横向段。由纵向及上、下游围堰组成，上、下游与左岸坡相接。纵向土石围堰沿主河道（右槽）左边缘布置，不占压主河道，一期一段导流期间由右河道过流和通航。

一期一段围堰建筑物级别为 4 级，设计挡水标准为 10 a 一遇洪水，围堰设计当水位为高程 323.57 m，设计挡水时段为 2016 年 11 月 1 日—2017 年 5 月 31 日，相应流量为 6 300 m³/s。一期一段围堰分为以下 3 段：上游横向段、纵向段、下游横向段。上游横向段轴线长度约为 330.4 m，河床最低高程 316.00 m，最大堰高 9.1 m，最大防渗深度 18.2 m；下游横向段轴线长度约为 255 m，河床最低高程 317.00 m，最大堰高 7.6 m，最大防渗深度 30.6 m；纵向段轴线长度约为 814.3 m，河床最低高程 320.00 m，最大堰高 5.2 m，最大防渗深度 16.2 m。

2 围堰种类

从材料方面划分，围堰主要有土石围堰、钢板桩格型围堰、草土围堰、混凝土围堰、木笼围堰等^[1]。结合犍为航电枢纽工程实际情况，遵循就地取材的原则，围堰施工采用一次拦断法导流，利用土石混填的结构形式进行围堰主体填筑施工。一期一段围堰为基坑内提供干施工条件^[2]。围堰填筑高度计算公式（横向）为：

$$H=h+h_{1w}+\delta \tag{1}$$

式中： H 为围堰填筑总高度； h 为净水水头； h_{1w} 为波浪爬高； δ 为安全超高。在确定 H 时，上游围堰需要结合水力情况，下游围堰需要结合天然河道水位流量产生的关系曲线。

3 土石围堰施工技术应用

3.1 围堰位置确定

围堰位置确定期间，首先对施工的平面布置

进行分析，根据施工需求选定基坑范围。其次，根据横向围堰确定的位置确定工程轮廓，选择适当的材料堆放地点，保证施工期间积水能够顺利排放^[3]。在全段围堰施工中，横向围堰与施工河流的方向是相交垂直的状态，可最大程度地降低工程量；在分段围堰施工期间，采用梯状分布的方式，可保证水流顺畅。

3.2 围堰施工

1) 根据江口宽度与水深等条件选择围堰施工方式。根据犍为航电枢纽工程土石围堰施工现场所提供的条件，采用全段围堰法施工。2) 结合枯水期和施工期通航要求选定导流方式，确保截断水流后可利用分流的方式引导水流运动，尽量减小原江域的流速，不影响围堰外过往船舶航行^[4]。3) 根据选定的导流方式对围堰的上、下游进行填筑，并运用斜坡振动的方式将其夯实，须做好斜坡碾压与砂浆固坡。围堰施工期间，须采取加固和防渗措施后再进行围堰内基坑的抽、排水作业。

4 土石围堰高压旋喷桩施工工艺

4.1 工艺试验方案

采用双管法与三管法试桩进行对比以确定合理的喷射灌浆参数。试验场地选在距上游围堰施工轴线的起始端约 100 m 处轴线上，场地宽度为 8 m。在围堰轴线上进行生产性试验，试验桩孔孔距分别为 0.6、0.8 m，孔深深入基岩 0.5 m。

4.2 工艺参数比选

通过钻孔取芯和开挖直观检查，对双管法与三管法的水、气浆压与流量、旋喷转速及提升速度、浆液水灰比等施工技术参数进行对比，结果见表 1。试验结果表明三管法水的压力注入导致成孔不理想，最终选定双管法，取消了水的注入，为高压旋喷正式施工确定了最佳施工参数，以此作为现场施工控制的技术指标。

表 1 双管法与三管法灌浆参数对比

方法	水				气			
	压力/MPa	流量/(L·min ⁻¹)	喷嘴数量/个	喷嘴直径/mm	压力/MPa	流量/(m ³ ·min ⁻¹)	喷嘴数量/个	环状间隙/mm
三管法(规范取值范围)	35~40	70~80	2	1.7~1.9	0.6~0.8	0.8~1.2	1~2	1.0~1.5
双管法(规范取值范围)	-	-	-	-	0.6~0.8	0.8~1.2	2	1.0~1.5
实际施工参数	-	-	-	-	0.6~0.8	1.0~1.2	2	

方法	浆						提升速度/(mm·min ⁻¹)	旋喷转速/(r·min ⁻¹)
	压力/MPa	流量/(L·min ⁻¹)	密度/(g·cm ⁻³)	喷嘴数量/个	喷嘴直径/mm	回浆密度/(g·cm ⁻³)		
三管法(规范取值范围)	0.2~1.0	60~80	1.50~1.70	2	6.0~12.0	≥1.2	50~100	(0.8~1.0)v
双管法(规范取值范围)	25.0~40.0	70~100	1.40~1.50	1~2	2.0~3.2	≥1.3	50~100	(0.8~1.0)v
实际施工参数	32	80	1.45~1.55	2	2.0~2.5	≥1.3	60~80	8

4.3 钻孔施工

1) 选用技术参数符合要求的钻进设备，钻杆垂直度与桩位偏差应在 10 mm 以内，钻孔垂直度误差应控制在小于 0.3%。

2) 根据试验方案确定钻孔布置(图 1)。钻孔布置为单排，分 I、II 序施工，孔径 120 mm，要求孔位偏差≤50 mm，孔斜≤1%，孔深入岩 0.5 m。选定部分 I 序孔作为先导孔，划分层位，其深度应大于墙体深度，间距不大于 20 m。

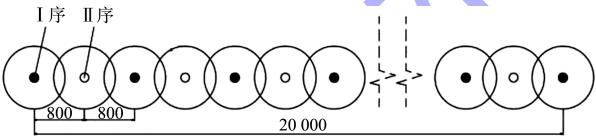


图 1 高压旋喷桩位布置 (单位: mm)

3) 做好施工质量控制。钻孔过程中对孔位、孔深、地层变化(表现为漏浆、钻进速度骤变,返渣特性变化等现象)等特殊情况及处理措施等做详细记录。

4.4 灌浆施工

1) 确定灌浆施工浆液配比。采用双重管法喷射注浆的水灰比为: I 序孔采用 0.6:1, II 序孔采用 1:1。制浆材料的称量误差不大于 5%, 一次搅拌量为 0.8 m³, 搅拌时间应不少于 60 s, 保持连续搅拌。根据环境温度确定浆液存放时间, 气温在 10 ℃ 以下时不得超过 5 h; 气温在 10 ℃ 以上

时, 不得超过 2.5 h。

2) 钻孔验收合格后进行高喷灌浆。首先进行机具试运转和试喷, 空压机风压保持 0.7 MPa, 泥浆泵泵压保持 2 MPa, 试喷检查喷嘴、喷管及相关设备是否运转正常。再按规定参数送浆、气后静喷 1~3 min, 待达到预定的喷射压力和喷浆量, 且浆液返出孔口、情况正常后再按预定的提升、旋转速度, 自下而上进行喷射作业, 直至达到设计高度方可停送气、浆, 提出喷射管。喷射过程应连续进行, 浆液用量保持在 60~70 L/min。喷射过程中应定时检测原浆、返浆密度, 当返浆密度<1.3 g/cm³时, 应立即停止提升, 直至回浆密度≥1.3 g/cm³ 时, 恢复正常喷浆作业。

5 土石围堰高压旋喷桩防渗施工优势

1) 经济效益好, 尤其是土石围堰填筑方量方面, 其单价比较低, 只有混凝土重力坝价格的 1/15, 但是重力却高出 6 倍^[5]。根据挖填平衡以及废渣废料的应用, 也可提高经济效益。

2) 能够结合大型机械作业, 既可以提高施工质量, 又能够加快施工进度。

3) 土石围堰结合高压旋喷桩板墙施工难度小、工期短, 能够在很多地区使用, 适应性更强。