

Inspection and Analysis of Leakage of Grouting Curtain on the Left Bank of a Hydropower Station Dam

Xiaoping Yu

China Power Construction Electric Power Maintenance Engineering Co., Ltd., Leshan, Sichuan, 614000, China

Abstract

This paper focuses on the issue of large seepage flow around the left bank of a certain hydropower station dam. Based on the actual monitoring data since its operation, through analysis and research, it was decided to conduct a comprehensive quality inspection of the grouting curtain above the 2066m elevation on the left bank by means of core drilling and water pressure tests. The research results show that within the anti-seepage range of the grouting flat tunnel curtain at an elevation of 2138 meters on the left bank, the bedrock is fragmented and the permeability rate is relatively high. The bedrock beneath the foundation corridor of the bank slope is broken, and there are obvious leakage channels. There are through cracks in the lap curtain of the 2066m elevation grouting flat tunnel. Based on the research results, treatment suggestions such as curtain grouting reinforcement and consolidation grouting were proposed, providing a reference for the handling of leakage problems in similar projects.

Keywords

Hydropower station dam Grouting curtain Leakage inspection Water pressure test Leakage channel

某水电站大坝左岸灌浆帷幕渗漏检查及分析研究

余小平

中电建电力检修工程有限公司, 中国 · 四川 乐山 614000

摘 要

本文针对某水电站大坝左岸绕坝渗流量较大的问题, 结合运行以来监测实际数据, 通过分析和研究决定通过钻孔取芯和压水试验等方法, 对左岸2066m高程以上灌浆帷幕进行了全面质量检查。研究结果表明: 左岸2138m高程灌浆平洞帷幕防渗范围内基岩破碎, 透水率偏大; 岸坡基础廊道下伏基岩破碎, 存在明显渗漏通道; 2066m高程灌浆平洞搭接帷幕存在贯通性裂隙。基于研究成果, 提出了帷幕灌浆补强、固结灌浆等处理建议, 为类似工程渗漏问题处理提供了参考。

关键词

水电站大坝; 灌浆帷幕; 渗漏检查; 压水试验; 渗漏通道

1 工程概况

1.1 工程基本情况

某水电站采用混合式开发方案, 水库正常蓄水位 2133m, 死水位 2063m, 正常蓄水位以下库容约 5.4 亿 m^3 , 调节库容约 4.4 亿 m^3 , 具有年调节能力。工程大坝枢纽主要由以下建筑物组成: 砾石土心墙堆石坝(最大坝高 147.0m), 左岸布置电站进水口及引水隧洞; 泄洪建筑物采用岸边溢洪道和放空洞联合泄洪的布置方式, 左岸短溢洪道与左岸长放空洞结合方案, 即溢洪道出口布置在上游, 放空洞出口布置在下游的泄洪建筑物布置方案。

1.2 渗漏问题背景

1.2.1 渗漏基本情况

工程自投运后, 根据量水堰汇总测量数据显示: 库水

位超过一期帷幕高程 2080m 时, 左岸总渗流量显著增加; 特别是放空洞交通洞出现渗水现象, 且随着水位抬高增加。

达到正常蓄水位时: 左岸灌浆平洞下游侧排水孔渗流量约 $72\text{m}^3/\text{h}$; 导流洞内量水堰测量渗流量约 $216\text{m}^3/\text{h}$; 放空洞交通洞内渗流量约 $252\text{m}^3/\text{h}$ 。初步分析表明, 左岸 2066m 高程以上帷幕幕体及幕体以外岩体可能存在渗漏通道。

1.2.2 大坝监测情况

(1) 坝体内渗压计布置及监测情况

大坝通过坝体内布置的 55 支渗压计正常工作以监测大坝坝体内部渗压情况, 大坝坝体内部渗压监测成果。从大坝各监测点渗压情况分析, 坝体渗压计中:

1) 水位达到 2108m 高程, 渗压计测值随库水位变化而变化。

2) 水位达到 2078m 高程, 心墙上游侧渗压计测值随库水位变化而变化; 水位达到 2048m 高程, 心墙上游侧渗压计测值随库水位变化而变化; 水位达到 2031m 高程, 各测点渗透压力测值相对稳定, 基本无变化。

【作者简介】余小平(1974-), 男, 中国四川泸州人, 本科, 高级工程师, 从事水电工程研究。

3) 对应以上高程位于心墙下游侧渗压计测值基本不变, 未随库水位升降而增减, 与库水位变化无实质影响和相关性, 表明心墙防渗效果显著。

(2) 左岸绕渗孔布置及监测情况

为全周期掌握防渗体下游地下水位的变化及绕坝渗流的通道和趋势, 在坝体岸边灌浆平洞和坝体轴线后, 按照设计布置 7 根绕坝渗流监测孔, 管内安装高精度扬压力计。

根据监测成果分析: 左岸绕渗监测数据及趋势图分析, 绕渗孔水头测值变化趋势与库水位变化具有正相关性。其中绕渗孔 RK8、RK9 孔内水头与库水位上升下降同步增减趋势较其他孔明显; RK6 近几年与库水位有关联性, 但 RK5、RK7 与库水位关联相对较小, 三只绕渗孔安装位置均靠近大坝左岸岸坡沿坡降布置, 根据孔内水头沿水流方向呈现明显递减趋势可知, 左岸山体透水性强。

1.2.3 左岸绕渗、测压和渗漏分析

(1) 通过 2138m 廊道, 安装高程 2081m 绕渗孔测值分析, 库水位从 2081m 至 2133m 之间变化, 测值与水位呈正相关性, 结合放空洞交通洞、导流洞交通洞渗漏与水位变化正相关性, 2014 年以来趋势稳定, 说明该区间存在帷幕或山体渗漏。

(2) 通过 2066m 廊道, 安装高程 2041m 绕渗孔测值分析, 库水位从 2063m 至 2133m 之间变化, 测值与水位呈正相关性, 2014 年以来趋势稳定。结合 2066m 廊道和 1994m 廊道测压管数据, 水位在 2080m 至 2133m 之间与水位变化呈正相关性, 2080m 以下变化明显较小, 趋势一致, 趋于平缓。

(3) 渗漏水情况分析, 当库区水位升降过程低于 2090m 时, 放空洞交通洞基本无渗漏水, 历年情况一致, 排水廊道和导流洞交通洞总渗流量维持在 25L/s 至 30L/s 之间, 比较稳定; 水位在 2090m 至 2133 米之间, 渗流量与水位呈正相关性, 最高水位总渗流量达到 200L/s 至 210L/s 之间, 历年数值相近。

(4) 因为左岸布置有引水隧洞、放空洞等主要水工建筑, 但是通过对 2063 米至 2080 米以下渗流量分析, 趋势稳定, 说明这些水工建筑物渗漏与水位变化无明显相关性。

(5) 坝基廊道、导流洞及放空洞渗流。运行期各部位渗流量较初蓄期均有所减小, 且渗流规律逐渐趋于稳定, 实时库水位与历史同等库水位所对应的渗流量变化不大; 各部位渗流量与库水位均呈现出正相关性, 汛期即库水位较高时, 渗流量较大, 枯水期即库水位较低时, 渗流量较小。其中导流洞和放空洞较为明显, 随库水位波动较大, 说明库水位对其造成的影响较大, 而坝基廊道渗流曲线则较为平缓, 说明库水位对其虽有影响, 但相对较小; 且通过曲线可以看出, 导流洞和坝基廊道常年均有渗流, 而放空洞在库水位低于 2090m 左右时, 几乎没有渗流现象。左岸排水廊道渗流量约占导流洞总渗流量 13%、导流洞洞身渗流量约占导流洞总渗流量 75%。

通过以上分析, 初步判断 1994m 廊道至 2066m 廊道之

间帷幕和山体趋于稳定, 2066m 至 2080 m 之间也基本趋于稳定; 2063 米至 2080 米以下渗流量分析, 趋势稳定, 说明这些水工建筑物渗漏与水位变化无明显相关性; 主要渗漏通道存在于 2080m 至 2133m 之间, 主要渗漏来自山体还是帷幕, 有待进一步对施工进行分析或采取工程检查措施后再确定。

2 检查方法与实施方案

2.1 检查方案设计

基于渗流监测数据分析, 重点对左岸 2066m 高程以上灌浆帷幕 (包括主帷幕、搭接帷幕) 及帷幕外基岩进行检查, 具体布置: 2066m 高程以上: 10 个检查孔 (6 个主帷幕孔 +4 个搭接帷幕孔); 2066m 高程以下灌浆帷幕布置 2 个检查孔, 并进行压水试验。

2.2 检查方法

采用 " 钻孔取芯 + 压水试验 " 的综合检测方法。

2.2.1 钻孔技术

1) 设备选型: XY-1A 型地质钻机 (1 台), XY-2 型地质钻机 (1 台)

2) 质量控制:

孔位偏差控制: 钻进过程中作业人员必须时刻观察钻机的是否工作正常, 如观察发现有孔斜情况, 要及时予以纠正和调整。钻孔孔位与设计位置偏差不大于 5cm, 孔深 >60m 时, 孔底最大允许偏差值可根据工程实际情况确定, 偏差不大于孔距; 岩芯管理: 完整保存, 准确编号, 详细记录。

钻孔与岩芯: 对各孔位进行钻探取样, 如实记录钻进过程, 遇岩层、岩性变化, 发生掉钻、塌孔、钻速变化、回水变色、失水、涌水等异常情况, 应详细记录。对钻取的岩芯, 要进行编号, 详细描述各段岩层的厚度, 岩芯实际状况, 将每次取得的岩芯完整保存到岩芯箱里。岩芯必须按照取芯顺序进行排列摆放,

2.2.2 压水试验

1) 试验方法: 压水试验随钻孔的加深自上而下地用单栓塞分段隔离进行。单点法压水。

压水试验段长与压水控制压力

段次	第 1 段	第 2 段	第 3 段	第 4 段	第 5 段及以后
段长 (m)	2	3	5	5	5
压力 (MPa)	0.16	0.4	0.8	1.2	1.5

2) 实施流程:

洗孔: 采用压水法洗孔, 将钻杆下到孔底, 用水泵最大排水量冲洗至回水清净为止。

试段隔离: 栓塞要卡在岩石较完整的部位。

水位观测: 每隔 5min 进行一次。当水位下降速度连续两次均小于 5cm/min 时, 即可结束观测, 用最后的观测结果确定压力计算零线。试验标准: 流量波动 <10% 或 <1L/min。

压水试验: 在稳定的压力下, 每 3~5min 测读一次压入流量, 连续 4 次读数中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 1L/min 时, 即可结束压水试验, 取最终值作为计算值。压水试验采用灌浆自动记录

系统自动记录压水压力与流量。

3) 试验成果:

各孔压水成果如下:

孔号	段号	孔深(m)		段长(m)	透水率(Lu)	备注
		自	至			
ZJC1	1	0.4	22.58	22.18 (6 段)	1.06-2.49	砵 0.40m
	1	0.75	10.75	10 (3 段)	0.70-3.65	砵 0.75m
ZJC2	2	10.75	25.75	15 (3 段)	9.01-35.80	
	3	25.75	40.75	15 (3 段)	0.73-5.96	
ZJC3	1	1.28	16.28	15 (3 段)	1.82-5.34	砵 1.28m
	2	16.28	31.28	15 (3 段)	11.89-34.76	
	3	31.28	36.28	5	4.172	
	4	36.28	57.63	21.35 (4 段)	0.32-1.18	
ZJC4	1	0.65	10.65	10 (3 段)	0.42-2.46	砵 0.65m
	2	10.65	65.25	54.6(11 段)	6.44-18.34	
ZJC5	1	0.68	2.68	2	4.556	砵 0.68m
	2	2.68	5.68	3	32.829	
	3	5.68	65	59.32(12 段)	7.48-26.47	
ZJC6	1	2.05	4.05	5 (2 段)	78.88-194.76	砵 2.05m
	2	7.05	32.05	25 (5 段)	25.92-41.61	
	3	32.05	36.88	4.83	10.6	
DJC5	1	0.65	5.65	5 (2 段)	7.65-9.15	砵 0.65m
	2	5.65	20	14.35 (3 段)	1.02-1.21	
DJC6	1	0.83	2.83	2	7.928	砵 0.83m
	2	2.83	5.83	3	35.215	
	3	5.83	65	59.17(12 段)	0.57-8.2	
DJC1	1	0.47	8.5	8.03 (2 段)	11.94-27.11	砵 0.47m
DJC2	1	0.46	8.5	8.04 (2 段)	5.98-7.36	砵 0.46m
DJC3	1	0.44	8.5	8.06 (2 段)	9.69-12.51	砵 0.44m
DJC4	1	0.45	8.5	8.05 (2 段)	27.85-32.00	砵 0.45m

3 检查结果与分析

3.1 钻孔取芯结果

1) 2138 灌浆平洞段。ZJC1 基岩完整,无明显渗漏通道。ZJC2~ZJC5 混凝土底板与基岩接触面岩层破碎;约 11 米后因漏水量大回水变小,部分孔段甚至无回水;钻进时掉块严重、甚至塌孔埋钻,造成起下钻困难,需反复扫孔才能正常钻进,甚至需注水泥浆待凝后扫孔才能继续向下钻进,特别是靠近岸坡的 ZJC5,掉块、塌孔更为严重;钻进时 30m 以上还可见少量水泥浆液结石,30m 以下基本取不出明显的水泥浆液结石。

2) 岸坡基础廊道段。ZJC6 孔: ZJC6 号孔取出的梯步混凝土芯样,下部结构松散,或为混凝土强度较低所致;混凝土以下基岩破碎,钻孔时漏水量大、无回水,掉块严重,钻孔至 12.05m 注水泥浆护壁后才正常钻进;钻孔时可见少量水泥浆液结石。

3) 2066 灌浆平洞段。向下帷幕孔:岩层相对完整;向上搭接帷幕孔:在钻进时,检查孔周边的原灌浆孔或排水孔存在漏水现象。

3.2 压水试验结果

3.2.1 透水率超标情况统计

左岸 2138 灌浆平洞段, ZJC1 全孔透水率小于 5Lu; ZJC2 号孔 10.75m~30.75m 孔段透水率大于设计要求的 5Lu; ZJC3~ZJC5 号孔大部分孔段都大于设计防渗标准 3Lu, 部分孔段因注入流量大于灌浆泵额定排量而未达到预定压水压力。

左岸岸坡基础廊道段, ZJC6 号孔透水率远远大于设计防渗标准, 多数孔段因注入流量大于灌浆泵额定排量而未达到预定压水压力。

左岸 2066 灌浆平洞以下帷幕灌浆检查孔, 集中在基岩与混凝土接触面以下 2~3 段次透水率偏大, DJC6 在接近孔底有 3 段压水透水率不能满足设计防渗标准。

左岸 2066 灌浆平洞垂直向上的搭接帷幕检查孔, 全部孔段透水率大于设计的防渗标准。

4 结论与建议

4.1 主要结论

根据钻孔及压水情况, 具体成果如下:

(1)左岸 2138m 高程灌浆平洞, 帷幕防渗范围内基岩较破碎, 透水率偏大, 特别是靠近岸坡部分, 或存在渗漏通道。

(2)左岸岸坡基础廊道内, 下伏基岩破碎, 钻进时无回水, 透水率过大, 存在渗漏通道, 长久放任或掏空下部松散岩层, 架空廊道梯步。

(3)左岸 2066m 高程灌浆平洞内, 垂直向上的搭接帷幕, 钻进时四周漏水严重, 或存在贯通性裂隙, 透水率过大, 越靠近岸坡越严重。

(4)左岸 2066m 高程灌浆平洞内, 向下的帷幕灌浆孔, 在 10~15m 范围内或存在渗漏通道。

4.2 处理建议

分级处理方案:

(1)对左岸 2138m 高程灌浆平洞, 进行帷幕灌浆补强。

(2)对左岸岸坡基础廊道, 因长期渗水, 混凝土衬砌施工缝和其它薄弱部分有冲蚀现象, 建议对左岸岸坡基础廊道衬砌外基岩进行固结灌浆以保护衬砌混凝土。固结灌浆完成后对下部进行帷幕灌浆补强。

(3)对左岸 2066m 高程灌浆平洞, 因长期渗水, 混凝土衬砌施工缝和其它薄弱部分也有冲蚀现象, 可先对其进行固结灌浆。固结灌浆后对平洞混凝土底板下 15m 基岩进行帷幕灌浆补强和平洞顶拱垂直向上的搭接帷幕进行灌浆补强。

(4)从钻孔取芯情况来看, 部分孔段的岩层存在细小裂隙, 建议在灌浆前进行帷幕灌浆试验, 以验证补强帷幕灌浆的可灌性及其它灌浆参数。

参考文献

[1] 吴周.水利水电工程中的帷幕灌浆施工技术[J].科学技术创新, 2025(17).
[2] 胡其华.水库除险加固工程大坝帷幕灌浆施工分析[J].现代工程科技, 2023, 2(3):30-33.
[3] 刘丰泽,孟利利,艾大伟.水电站大坝趾板防渗加固帷幕灌浆施工技术应用研究[J].现代工程科技, 2024, 3(20):85-88.