

北海市小江水库主坝塑性混凝土心墙工程地质评价

顾 城

广西水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 广西 南宁 530023

[摘要] 运用物探试验与钻探相结合的勘察方法, 准确、全面地查明了大坝混凝土防渗心墙的工程地质条件, 为水库的除险加固工作提供了可靠的地质成果资料, 能为同类型的勘察工作提供参考。

[关键词] 混凝土心墙坝; 防渗心墙; 高密度电法; 低应变反射波法

DOI: 10.33142/hst.v6i1.8030

中图分类号: TV641

文献标识码: A

Engineering Geological Evaluation of Plastic Concrete Core Wall for the Main Dam of Xiaojiang Reservoir in Beihai City

GU Cheng

Guangxi Water & Power Design Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530023, China

Abstract: The engineering geological conditions of the concrete impervious core wall of the dam have been accurately and comprehensively identified using a survey method combining geophysical testing and drilling, so as to provide reliable geological results for the reinforcement work of the reservoir and providing reference for similar types of survey work.

Keywords: concrete core dam; impervious core wall; high density electrical method; low strain reflected wave method

1 工程概况

小江水库总库容 10.25 亿 m^3 , 正常蓄水位 59.27m (1985 国家高程基准), 设计洪水位 62.76m, 校核洪水位 63.95m, 死水位 48.57m。小江水库是以灌溉为主, 兼有防洪、发电、供水于一体的大 (1) 型多年调节水库。小江水库主要由 1 座主坝、16 座副坝 (13~18#)、2 座溢洪道、6 座放水设施、1 座水力发电站组成。水库工程等别为 I 等。主坝原设计为均质土坝, 2000 年进行除险加固时将主坝改建成塑性混凝土心墙坝, 改造后的主坝坝顶高程为 65.8m, 坝顶长 910m, 最大坝高 45.8m。根据 2000 年小江水库除险加固设计文件, 主坝砼防渗心墙分为两段, 即主坝河床段和拗坝段, 其中主坝河床段 224.8m, 拗坝段 487.60m。防渗墙顶高程 63.20m, 采用塑性砼, 防渗墙厚度 0.6m, 嵌入基岩大于 0.5m。防渗墙采用槽孔式, 砼防渗心墙设计抗渗系数 $\leq 10^{-8} \text{cm/s}$ 。

根据 2019 年水利部大坝安全中心对小江水库安全鉴定成果的核查意见, 小江水库被鉴定类别为“三类坝”, 水库大坝不能正常安全运行。因此, 查清主坝塑性混凝土防渗心墙的防渗质量是下一步除险加固工作的重要前置条件。基于此, 本次勘察主要采用物探以及钻探相结合的勘察方法。物探试验主要在混凝土心墙进行高密度电法和低应变测试试验, 钻探工作主要在主坝混凝土防渗心墙布置钻孔 5 个, 布置于河床主坝、2#拗坝及 3#拗坝防渗墙, 并在钻孔中进行注水及压水试验, 取柱状混凝土岩芯进行室内岩石试验。

2 工程区地质条件

2.1 地形地貌

根据地貌类型划分, 坝区属于低山—丘陵地貌, 由于

风化剥蚀不均, 主坝和副坝两岸山体总体不对称, 山顶高程一般为 78~114.4m。其中, 主坝、1#~10#副坝和第一第二溢洪道为志留系地层组成的低山丘陵, 形态呈宽背窄谷, 山体顶尖坡度相对稍陡, 一般为 10~30°; 13#~18#副坝由花岗岩组成的低山丘陵, 形态上呈宽背窄谷状, 山体丘陵大都顶圆呈馒头状, 一般为 5~20°。坝区两岸植被覆盖率高, 沟谷发育, 且多处谷地高程均低于正常库水位。

2.2 地层岩性

根据工程地质测绘及勘探钻孔资料, 小江水库主坝和副坝坝址区出露的地层为印支期侵入岩 (γ_s^1)、浅层侵入岩 (γ_π)、志留系连滩群上亚群 (S_{1t}^c) 和第四系 (Q) 近代堆积的松散岩层。根据岩层组织特性, 地层岩性由老到新分述如下:

(1) 印支期侵入岩 (γ_s^1): 董青黑云斑状花岗岩, 侵入 S_{1t}^c 地层。分布于 13#副坝~18#副坝。

(2) 浅层侵入岩 (γ_π): 花岗斑岩。侵入志留系 (S) 地层, 在库区范围内偶有分布。在主坝 2#拗坝钻孔 ZK02、ZK204 和第二溢洪道钻孔 Y2ZK01 有揭示, 岩芯呈砂土状, 受该层侵入岩的挤压作用, 附近岩体扭曲并破碎。

(3) 志留系连滩群上亚群 (S_{1t}^c): 上部灰、黄白色粉砂岩与灰黑、紫红、灰绿色页岩、条带状页岩互层夹薄层细砂岩、粉砂质页岩; 下部黄、黄红色粉砂岩夹细砂岩及灰色页岩等。为主坝主要岩层。

(4) 残坡积层 (Q^{ed}): 志留系连滩群上亚群 (S_{1t}^c) 地层区域呈黄褐色~红褐色含碎石黏土, 干~稍湿, 硬~可塑状态, 分布于主坝两侧坝肩山体。

(5) 冲洪积层 (Q^{ap1}): 褐色淤泥质土、淤泥质中粗砂等。为水库淤积物, 厚度一般为 1~4m, 分布于库区内。

(6) 坝体上部填土 (Q^{s-2}): 为含砾粉质粘土, 黄褐色, 干~稍湿, 硬塑~坚硬状, 中等透水性为主。

(7) 坝体下部填土 (Q^{s-1}): 为含砾黏土, 主要为残积土与砂泥岩风化料的混合物, 全风化岩石经碾压夯实基本呈土状, 强风化呈棱角状, 块径大小不一, 分布不均。红褐~砖红色, 稍湿, 硬塑~坚硬状, 中等透水性为主。

(8) 主坝防渗墙: 为塑性混凝土墙, 厚度 60cm。位于主坝处的河床主坝、主坝 1#~3#坝坝处, 防渗墙风化严重, 岩芯多呈黄褐色、褐色, 饱和抗压强度、抗剪强度低, 岩芯因机械破碎呈砂状夹断柱状。

2.3 地质构造

根据现场地质测绘成果, 主坝砂泥岩地层 (S_{11t}^c) 以薄层夹中厚层为主, 裂隙发育, 岩层产状为 NE, SE \angle 40~80° 与 NE, NW \angle 60°~80°。受浦北复式背斜影响, 坝基及坝肩岩层产状不稳定。主要发育节理为 NE 走向, 倾 SE、NW 走向, 倾 SW、NE 走向, 倾 NW 等 3 组。裂隙短小、较密集, 一般延伸长 1~3m, 极少超过 5m。

2.4 水文地质条件

坝区地下水类型为松散岩类孔隙水、碎屑岩裂隙水和岩浆岩裂隙水, 松散岩类孔隙水赋存于库周第四系残坡积及冲洪积层中, 碎屑岩裂隙水和岩浆岩裂隙水赋存于基岩裂隙中, 主要受大气降水补给, 水量不丰富。地下水主要沿基岩面、岩层面及岩体节理裂隙活动, 向水库及河流排泄。

根据现场压水试验成果统计, 第四系冲积层为中等~弱透水层, 残坡积层为中等~弱透水层。坝区岩体志留系连滩群上亚群 (S_{11t}^c) 砂、泥岩地层, 全、强风化层为中等透水岩层, 弱风化层为弱~微透水岩层。印支期侵入岩 (γ_5^1) 地层全、强风化层为中等透水岩层, 弱风化层为弱~微透水岩层。库水对混凝土为中等腐蚀性, 对钢筋混凝土中的钢筋为弱腐蚀性, 对钢结构有弱腐蚀性。

2.5 物理力学性质及参数建议值

为准确评价主坝塑性混凝土防渗心墙质量, 本次勘察主要采用物探试验、钻探取芯、水文地质试验相结合的勘察方法。物探试验主要在混凝土心墙进行高密度电法和低应变测试试验, 钻探主要在主坝混凝土防渗心墙布置钻孔 5 个, 布置于河床主坝、2#坝坝及 3#坝坝防渗墙, 并在钻孔中进行注水及压水试验, 取柱状混凝土岩芯进行室内岩石试验。

(1) 钻探取芯

根据主坝混凝土防渗心墙钻孔岩芯情况, 取芯率较高处岩芯呈短柱状, 敲击声较清脆, 水泥浆包裹质量较好, 取部分柱状岩芯进行了室内岩石试验, 测得饱和抗压强度平均值为 5.3MPa; 取芯率较低处岩芯不成形, 墙体胶结质量较差。防渗墙钻孔取芯较差区域的分布位置不规律,

防渗墙墙体胶结程度不均匀, 墙体材料胶结程度差。整体取芯率如表 1 所示, 钻孔岩芯如图 1 所示。

(2) 水文地质试验

勘察中在防渗墙钻孔进行了压、注水试验, 试验成果如表 2 所示。从试验成果分析, 主坝混凝土防渗心墙的注水试验的渗透系数 K 的范围值以 10^{-4} ~ 10^{-5} cm/s 量级为主, 为弱~中等透水, 以中等透水为主; 压水试验的吕荣值为 1.73~9.39Lu, 为中等~微透水, 以弱透水为主。从主坝混凝土防渗心墙水文试验成果看, 砂状岩芯处以注水试验为主, 渗透性大; 而柱状岩芯处整体胶结较好, 渗透性以弱透水为主, 这也说明了现状防渗墙墙体没有达到设计防渗要求。

表 1 主坝塑性混凝土防渗心墙钻孔取芯情况表

钻孔编号	ZK04	ZK219	ZK216	ZK217
钻孔位置	河床主坝心墙	河床主坝心墙	2#坝坝心墙	3#坝坝心墙
钻孔高程(m)	66.1	66.1	66.1	66.1
钻孔取芯较差段分布范围	5.8~27.0m 30.0~37.0m 40.3~44.0m 46.0~48.0m	8.3~15.3m 15.5~17.2m 17.7~19.8m	2.8~3.7m 3.9~4.4m 4.7~6.2m 6.3~7.1m 7.6~8.1m	2.1~5.9m、 6.5~6.9m、 8.6~10.9m、 13.5~17.8m、 18.2~20.6m、 20.6~22.5m、 22.9~27.3m、 29.3~34.1m
钻孔取芯较差段占比	75.2%	52.7%	40.0%	75.5%

表 2 主坝塑性混凝土防渗心墙水文试验成果汇总表

钻孔位置	钻孔编号	起始深度(m)	终止深度(m)	吕荣值(Lu)	渗透性量级
主坝河床段心墙	ZK219	5.0	10.5	4.82	弱透水
	ZK219	10.5	15.5	4.92	弱透水
	ZK219	15.5	20.2	9.39	弱透水
	ZK04	3.0	8.0	1.73	弱透水
	ZK04	28.0	33.0	3.57	弱透水
	ZK04	33.0	38.0	4.06	弱透水
	ZK04	38.0	43.0	3.33	弱透水
主坝河床段心墙	ZK219	0.1	5.0	3.42E-05	弱透水
	ZK219	4.0	25.4	1.37E-04	中等透水
	ZK04	8.0	13.0	2.83E-05	弱透水
	ZK04	13.0	18.0	2.65E-04	中等透水
	ZK04	18.0	23.0	2.34E-04	中等透水
	ZK04	23.0	28.0	3.16E-04	中等透水

(3) 物探试验

根据大坝场地条件及仪器设备工作特点, 首先采用电法探测, 结合已知钻孔资料前提下圈定异常; 然后综合分析电法资料和已知资料选定若干典型异常开展低应变测试。

①高密度电法成果分析

在主坝防渗墙体上电法剖面主要有 ZW1~ZW1'、ZW2~ZW2' 和辅助剖面 ZW3~ZW3'、ZW4~ZW4'。其中 ZW1~ZW1' 剖面长约 900m，布置于防渗墙体顶部。剖面 0~20m 为交通道路边，未到大坝。剖面 20~896m 位于大坝上，距离防浪墙有一定距离。电探工作首先采用常规温钠装置对大坝防渗墙体进行测试，在河床主坝段补充三极装置测试剖面 (ZW2~ZW2') 以获得河床主坝深部地电信息。此外，在 2 号、3#坝坝搭接部位及其往左右岸两侧一定范围内采用了小极距进行辅助测试 (ZW3~ZW3'、ZW4~ZW4')。综合分析视电阻率等值线图得出：剖面 240~530m 存在低阻异常 (ZW1-YC1)，异常底部稍有起伏变化，异常深度变化范围为 6~36m 不等；剖面 680~880m 存在低阻异常 (ZW1-YC2) 且下部异常未封闭，异常往大号方向深切。

②低应变反射波法成果分析

本次勘察工作在小江水库大坝防渗墙布置了低应变测试试验，低应变测试点从左岸至右岸编号分别为 DYB01~10。低应变测试首先根据钻孔所在位置揭露的防渗墙深度进行敲击测试，通过已知深度及低应变曲线特征，分析确定防渗墙体大致的波速传播速度，再采用该波速分析其他位置敲击的测试曲线特征，从而得到各个测试位置的墙体深度。根据所测波形特性，并结合有关地质资料对每处测试位置对应的实测波形曲线进行分析，成果如表 3 所示。

河床主坝部位呈现低阻异常往大号方向深切，河床主坝防渗墙整体呈低阻异常状态；河床主坝防渗墙段低应变测试显示多个同相位反射波或无明显来自底部的反射波特征；推测河床主坝防渗墙段大部分墙体材料胶结程度较低。

表 3 北海市小江水库低应变测试成果表

序号	桩号 (#)	桩径 (m)	桩长 (m)	波速 (m/s)	桩身结构完整性描述	类别	备注
1	DYB01	1000	11.9	2654	1.4m 缺陷, 2.48m 缺陷, 3.62m 胶结不良, 7.93m 胶结不良。	IV	大坝混凝土心墙
2	DYB02	1000	16.5	2521	1.81m 缺陷, 3.97m 缺陷, 8.82m 胶结不良, 15.35m 胶结不良。	IV	
3	DYB03	1000	22.2	2637	1.06m 缺陷, 2.08m 缺陷, 3.23m 胶结不良, 6.69m 胶结不良。	IV	
4	DYB04	1000	19.9	2650	2.34m 缺陷, 4.34m 胶结不良。	IV	
5	DYB05	1000	20.3	2645	1.06m 缺陷, 2.17m 缺陷, 3.28m 缺陷, 4.4m 缺陷。	IV	
6	DYB06	1000	34.1	2644	0.94m 缺陷, 1.94m 胶结不良。	IV	
7	DYB07	1000	30.9	2645	2.04m 缺陷, 4.15m 胶结不良, 13.95m 胶结不良。	IV	
8	DYB08	1000	23	2907	1.27m 缺陷, 3.61m 胶结不良, 4.73m 胶结不良, 5.8m 胶结不良。	IV	
9	DYB09	1000	47.9	2703	1.63m 胶结不良, 3.07m 胶结不良, 4.51m 胶结不良。	IV	
10	DYB10	1000	43.49	2759	0.98m 缺陷, 2.25m 胶结不良, 3.43m 胶结不良。	IV	

(4) 测压管水位与实测浸润线的联系

位于河床主坝，布置于主坝桩号 0+582m 处，设有 5 根测压管，从上游至下游依次为 5#~9#测压管，其中 5#测压管位于防渗心墙上游，6~9#测压管依次往下游布置，埋设位置如图 1 所示。

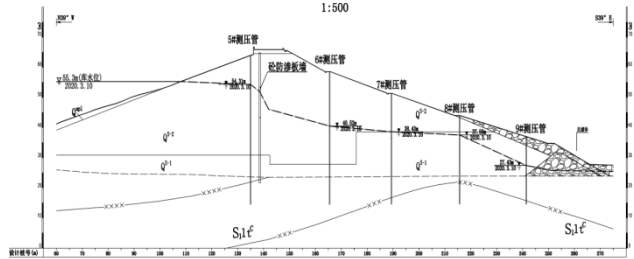


图 1 河床主坝观测断面浸润线示意图

主坝观测断面的 5#测压管位于防渗心墙上游，受上游库水位变化的影响较大，管内水位没有明显的滞后，水位变化与库水位变化趋势基本对应，一般略低于库水位，表明该部位坝体透水性较强。沿渗流方向，防渗心墙前后的水位有一定的陡降，陡降幅度约 8.2m，说明该处的防渗心墙仍有一定的防渗效果。6#~8#测压管水位一般较平稳，但在丰水期 (6 月至 9 月) 时，测压管受降雨影响较大，是由于该部位坝体填筑质量较差，透水性大，使得测压管水位的涨跌随降雨响应较快。9#测压管靠近反滤体，水位较平稳，受库水位及季节降水影响较小。

综上所述，河床主坝观测断面的测压管水位与库水位线性相关性较好，沿渗流方向的测压管水位逐渐降低，观测数据的发展变化符合坝体渗流规律，反映出坝体透水性较强，坝体渗流总体稳定性较差。防渗心墙仍有一定的防渗效果，但防渗心墙前后水位的陡降幅度不大，局部已经失去防渗效果，防渗效果较差

3 混凝土防渗心墙防渗质量评价

根据混凝土防渗心墙勘察成果，对水库主坝混凝土防渗心墙的质量及防渗效果评价如下：

(1) 结合物探高密度电法成果、低应变测试结果及已知钻孔资料分析，水库河床主坝的防渗墙体试验参数整体呈低阻异常状态，反映出其材料胶结程度较低。

(2) 从混凝土防渗心墙补充钻孔岩芯情况来看，防渗墙墙体的胶结程度不均匀，虽然部分柱状岩芯的抗压强度满足设计要求，但就钻孔整体取芯情况而言，砂状岩芯所占比例较高，防渗墙墙体胶结质量整体较差，与物探试验成果一致。

(3) 根据混凝土防渗心墙补充钻孔地压、注水试验成果分析，主坝混凝土防渗心墙墙体现状的渗透性以中等~弱透水性为主，部分为微透水性，不满足原设计 (规范) 要求。

(4) 根据混凝土防渗心墙稳定水位量测成果结合坝顶各测压管的观测资料分析，主坝防渗心墙上、下游的地

下水位有一定程度的陡降,幅度为5~8m,防渗心墙有一定的防渗效果,但效果较差。

4 结语

本次勘察采取物探试验与钻探相结合的勘察手段,准确查明了已建大坝混凝土防渗心墙的工程地质条件,并对混凝土防渗心墙的防渗质量进行了客观的评价,为大坝进行下一步的除险加固工作提供了可靠的地质成果。可为同类型的勘察项目提供参考。

[参考文献]

- [1]郑延鹏. 混凝土防渗墙在水库除险加固应用与分析[J]. 水利科学与寒区工程,2022,5(4):115-118.
- [2]刘琳,宋志强,王飞,等. 近断层 SV 波斜入射下沥青混凝土心墙坝响应分析[J]. 振动与冲击,2021,40(21):97-105.
- [3]柳莹,吴俊杰,马军,等. 某水库复杂坝基沥青混凝土心墙坝渗透安全评价[J]. 人民黄河,2021,43(7):137-140.
- [4]陆嘉伟,张继勋,任旭华. 深厚覆盖层塑性混凝土心墙

坝应力变形特性研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2021,43(4):19-24.

[5]郝学军,李杰. 一种新的坝型—混凝土防渗墙心墙坝[C]. 成都:2013 水利水电地基与基础工程技术—中国水利学会地基与基础工程专业委员会第12次全国学术会议论文集,2013.

[6]谢琼,彭有义. 防渗墙处理技术在水库除险加固中的应用研究[J]. 科技传播,2011(15):113-114.

[7]李时雄. 塑性混凝土防渗心墙在江西溪霞水库除险加固工程中的应用[J]. 水利科技,2010(2):46-48.

[8]Hyoung-Soo Kim, Jung-Yul Kim, Yoo-Sung Kim. 用连续地震反射法发现心墙土坝的结构及材料特性的变化[C]. 西安:大坝安全与堤坝隐患探测国际学术研讨会论文集,2005.

作者简介:顾城(1989.9-),男,桂林理工大学,岩土工程,广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司,工程师。