伪随机流场法在仁宗海坝前和右岸 渗漏探测的应用

彭鑫¹,张浩²

(1.四川省投资集团有限责任公司,四川成都 610044;2.黄河电力检修工程有限公司,青海西宁 810003)

摘 要:仁宗海大坝自建成以来,渗漏问题一直较为突出,虽经多次处理,但渗漏量依然较大。仁宗海坝面土工膜、坝基防渗 墙、两岸防渗帷幕的防渗体系较为特殊,尤其是土工膜与左右岸趾板及防渗墙连接位置易出现压合不紧密的情况。为准确 探明坝面和右岸渗漏入水点位,采用伪随机流场法,在正常蓄水位时,对坝面和左右岸区域进行精准探测,并经后期数据处 理和成像显示,发现土工膜与两岸趾板、防渗墙连接处及右岸边坡存在较为明显的渗漏异常区。结合水下机器人喷墨显影, 清晰显示了异常区的渗漏现象。该次探测未发现坝面土工膜存在渗漏异常区。

关键词:伪随机;流场法;仁宗海;渗漏

中图分类号:TV697.3+2

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)增 2-0111-05

Application of Pseudo-random Flow Field Method in Leakage Detection in Front of Renzonghai Dam and on the Right Bank

PENG Xin¹, ZHANG Hao²

(1. Sichuan Provincial Investment Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610044;

2. Yellow River Power Maintenance Engineering Co., Ltd., Xining Qinghai 810003)

Abstract: Since the Renzonghai Dam was built, the leakage problem has been prominent. Although it has been treated multiple times, the leakage volume is still large. The anti-seepage system of the Renzonghai dam is special composed by the geomembrane on the dam surface, anti-seepage wall on the dam foundation, and anti-seepage curtain on both sides, especially where the connection between the geomembrane and the left and right bank toe plates and anti-seepage walls, which is prone to loose compression. In order to accurately detect the leakage points on the dam surface and the right bank, the pseudo-random flow field method was used in this study to accurately detect the dam surface and left and right bank areas. After later data processing and imaging, it was found that there were obvious abnormal leakage areas at the connection between the geomembrane and the toe plates on both banks, the anti-seepage wall, and the right bank slope. Combined with underwater robot inkjet imaging, the leakage phenomenon in the abnormal area was clearly displayed. This inspection found no abnormal leakage areas in the geomembrane on the dam surface.

Key words: Pseudo-random; Flow field method; Renzonghai; Leakage

1 大坝工程概况及地球物理特征

仁宗海大坝位于四川省甘孜州康定市境内, 在原天然堰塞湖仁宗海海口上游约400 m处,坝 型为复合土工膜面板堆石坝,坝顶高程2934.00 m,坝顶宽8.00 m、长843.87 m,最大坝高56.00 m^[1]。坝基覆盖层深厚,采用悬挂式防渗墙防渗, 墙厚1m,最大墙深82 m,两岸及坝肩基岩采用

收稿日期:2023-03-15

两排帷幕灌浆防渗^[2]。

在现场库区不同的地点进行了 15 次背景场标定探测,从探测结果来看,库区内正常场电势值一般在 10 mV 以下;而后期工作中,发现库区渗漏区异常场电势值通常大于 20 mV。正常场与异常场二者差异明显,有必要开展渗漏探测^[3]。

2 伪随机流场法原理及资料处理简介

2.1 伪随机流场法原理

伪随机流场法基本原理是:渗漏入水口会产

生微弱的水流场,而渗流场的数学控制方程为拉 普拉斯方程,与恒定电流场的数学控制方程相同, 在空间分布上具有相似的规律,因此可用恒定的 电流场来拟合渗漏水流场。如果测到电流场分布 可推算出渗流场分布^[4]。

流速势和电势的微分控制方程具有相同的表 达形式,且由于漏水通道的导电性较好,渗流场的 边界条件与电流场的边界条件是一致的,通过在 探测现场布置的电流场,用电位差模拟水头差,就 可以通过探测电流场的分布拟合渗流场分布,渗流 场与稳定电流场相关对应方程见表1。

表 1 渗流场与稳定电流场相关对应方程

定常、无旋渗流场	稳定电流场
流速势 φ	电势 U
水流连续性方程∇・u=0	电流密度连续性方程 ∇・ E=0
微分控制方程∇ ² φ=0	微分控制方程∇ ² U=0
不透水面 $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$	绝缘面 $\frac{\partial U}{\partial n} = 0$
透水界面 $\varphi_1 \mid \mathbf{e}_s = \varphi_2 \mid \mathbf{e}_s$	不绝缘面 $U_1 e_s = U_2 e_s$
$\left. \frac{\partial \phi_1}{\partial n} \right _{r_s} = \frac{\partial \phi_2}{\partial n} \right _{r_s}$	$\frac{1}{\rho_1} \left. \frac{\partial U_1}{\partial n} \right _{r_s} = \frac{1}{\rho_2} \left. \frac{\partial U_2}{\partial n} \right _{r_s}$

2.2 资料处理简介

伪随机流场法探测的是库区内的电流场,探测参数为电势(单位:mV),很直观。室内资料处理只需要将野外所测的原始数值、测点桩号(或者大地坐标)写入 Excel 表格中,经过相应的数字滤波处理后,利用 Grapher、Surfer 软件绘制相应的单条测线曲线图或者测区平面图即可^[5]。

3 探测工作布置

3.1 测网布置方法

野外工作中,将供电电极 A 放在库区外的渗漏出水口处,因仁宗海有多处渗漏,就在每一渗漏 处各布置一个电极,然后用导线将其并联,把 A 极固定好,以免被水冲走或被意外拔出。无穷远 供电电极 B 布置在库区内离查漏区域较远的水 体一侧。确保 A、B 两极连接好后,在 AB 之间加 以 100 V 左右的伪随机电压,电流强度一般在 500~900 mA 之间。接收机与探头则放置在船 上,在指定的探测区域按照设计的测网进行探测, 伪随机流场法工作示意图见图 1。

3.2 测线测点布置



图 1 伪随机流场法工作示意图

(1)库区左岸边坡渗漏入水点探测。

供电点布置:在坝后左岸排水廊道中进行供 电 A 极布置,在左岸边坡距离大坝1000 m 处布 置供电 B 极,以便在探测区域中形成稳定电流 场,对库区左岸区域进行伪随机流场法探测。

测线布置:库区左岸探测区域探测测线按网格状布置,采用2m×2m的测网进行测量,对异常区域进行加密探测。

(2)库区右岸边坡渗漏入水点探测。

供电点布置:在坝后右岸排水廊道中进行供 电A极布置,在进水口附近区域布置供电B极, 以便在探测区域中形成稳定电流场,对库区左岸 区域进行伪随机流场法探测。

测线布置:库区左岸探测区域探测测线按网 格状布置,采用2m×2m的测网进行测量,对异 常区域进行加密探测。

(3)防渗轴线区域渗漏入水点探测。

供电点布置:分别在坝后左右排水廊道中进 行供电 A 极布置,左岸部分探测时采用左岸供电 B 极,右岸部分探测时采用右岸供电 B 极,以便在 探测区域中形成稳定电流场,对水边线至防渗轴 线上游 50 m 区域进行伪随机流场法探测。库区 检测布置见图 2。



图 2 库区检测布置图

测线布置:库区左岸检测区域检测测线按网 格状布置,采用2m×2m的测网进行测量,对异 常区域进行加密探测。

4 伪随机流场法探测成果与分析

4.1 左岸趾板及左岸坝体区域

左岸趾板轴线区域及其下游侧坝体区域存在 渗漏入水点。左岸趾板轴线渗漏区域范围:桩号 (坝)0+0m~(坝)0+135m、高程2890.00~ 2920.00 m,总体分为坝肩趾板部分和防渗墙轴 线左侧与趾板接触部位;左岸坝体区域渗漏范围: (坝)0+0m~(坝)0+50m、高程2900.00~



该部位还采用了水下机器人检查复核,在坝 体表层预制混凝土扣板中间缝隙处采用喷墨示踪 进行探测,明显发现多处渗漏入水点,喷墨会随渗 漏水迅速吸入表层预制混凝土扣板中间缝隙后消 失。左岸趾板下游侧坝体渗漏入水点喷墨示踪视 频截图见图 4。



图 3 左岸趾板轴线及其下游侧坝体区域渗漏异常的平面位置图

图 4 左岸趾板下游侧坝体渗漏入水点喷墨示踪视频截图

根据异常平面位置图,异常区域位于左岸山体边坡、左岸坝肩趾板轴线、左岸坝体区域、防 渗墙轴线与左岸趾板接触区域。因此推测,左 岸边坡异常区域库水在边坡卸荷区域渗漏,经 左岸灌浆帷幕薄弱环节或山体内部卸荷裂隙通 道渗漏至坝后;左岸趾板及左岸坝体探测异常 区域库水从土工膜与防渗墙、岸坡趾板连接部 位、坝体表面渗漏进入坝体;防渗墙轴线与左岸 趾板接触区域库水从防渗墙浅部或防渗墙底部 帷幕薄弱部位渗漏。

4.2 防渗墙轴线及库区局部区域

对坝前库区进行伪随机流场法探测,探测区 域为水边线至防渗墙轴线上游 50 m 范围,该区 域内渗漏异常基本分为两个区域:防渗墙轴线区 域,渗漏异常沿坝前上游防渗轴线不连续分布,主 要集中在两岸区域,中部区域不明显;库区局部区

域,存在3处渗漏入水点,异常位置与其下游坝前 防渗轴线渗漏入水点位置基本对应分布。

坝前防渗墙轴线及库区局部区域渗漏入水点 总体面积1890m²,异常中心区域伪随机流场法探 测均值在36mV,属于中等渗漏。坝前防渗墙轴线 及库区局部区域渗漏异常、平面位置见图5。

图 5 坝前防渗墙轴线及库区局部区域渗漏异常的平面位置图

根据异常平面位置图,坝前防渗墙轴线异常 区域位于坝前防渗墙轴线,且枯水期现场检查发 现的凹坑大部分位于防渗轴线上游区域,推测库 水经防渗墙浅部区域薄弱环节渗漏;库区探测异 常区域与防渗轴线异常区域对应,距离轴线区域 30 m 左右,推测库区探测异常区域库水经防渗墙 中下部薄弱部位渗漏或底部绕过防渗墙渗漏。

4.3 右岸趾板及其上游侧边坡区域

右岸趾板及其上游侧边坡区域存在渗漏入水 点,渗漏区域范围:桩号(坝)0+780 m~(坝)0+ 830 m、高程 2 895~2 920 m,右岸趾板渗漏区域 总体分为坝肩趾板部分和防渗墙轴线右侧与趾板 接触部位。右岸趾板及其上游侧边坡区域渗漏入 水点面积 960 m²,异常中心区域伪随机流场法探 测均值在 52 mV,局部测值达到设备限制(>100 mV),属于严重渗漏。右岸趾板及其上游侧边坡 区域渗漏异常、平面位置见图 6。

水下机器人对该区域进行反复观测,未发现 明显集中的渗漏异常区域,推测该区域为大面积 面状渗漏,无集中渗漏点状或裂隙状通道。

根据异常平面位置图,右岸趾板及上游侧边 坡探测异常区域在右岸趾板防渗轴线及其上游 侧,异常区一直延伸至水边线处,且右岸坝肩处的 防渗帷幕是在破碎岩体中进行,具备渗漏条件。 因此推测,该区域库水经右岸坝肩穿过防渗帷幕 体系或经右岸坝肩破碎山体区域渗漏。

4.4 右岸边坡区域

右岸边坡区域存在渗漏入水点,渗漏区域范 围在整个右岸边坡区域不连续分布,异常中心分 散、高程2885m以上区域。该次探测面积4400 m²,可能沿右岸边坡向上游方向继续存在,异常 中心区域伪随机流场法探测均值在 32 mV,局部 测值达到 60 mV,属于中等渗漏。

根据异常平面位置图,右岸边坡异常面积大 中心不集中,分布于整个边坡区域。水下机器人

探测发现异常中心区域为边坡卸荷裂隙明显发育 区域。可以推测,库水渗漏可能主要是穿过经山 体卸荷区域再进入右坝肩区域,然后穿过防渗体 系进入坝体。右岸边坡区域渗漏异常、平面位置 见图 7。

图 6 右岸趾板及其上游侧边坡区域渗漏异常平面位置图

图 7 右岸边坡区域渗漏异常平面位置图

5 结 语

仁宗海渗漏问题较为复杂,该次采用伪随机 流场法对坝前及右岸进行了较为详细的渗漏探 测,发现仁宗海大坝坝面土工膜无渗漏异常区,说 明极有可能坝面土工膜防渗效果较好。但也发现 了左右岸趾板区域、防渗墙沿线区域、右岸边坡区 域存在较为明显的渗漏现象,检测成果与现场实 际的情况较为符合,对仁宗海大坝的渗漏治理有 积极的指导作用。

参考文献:

- [1] 郭文玮,汪家林,李永民. 仁宗海堆石坝蓄水初期右岸绕坝 渗流监测成果分析[J]. 工程建设与设计,2011(2):101-104.
- [2] 李和伟,刘明鑫,汪家林. 仁宗海水电站堆石坝变形监测资

料分析[J]. 四川水利,2014(1):36-40.

- [3] 张凯馨,高文达,方致远.基于伪随机流场法的岩溶地区土 石坝渗漏检测[J].中国水利,2018(20):46-49.
- [4] 戴前伟,程敏波,雷铁. 伪随机流场法在水库渗漏检测中的 异常特征正演分析[J]. 地球物理学进展,2022,37(2): 0810-0816.
- [5] 白广明,张守杰,卢建旗,等. 流场法探测堤坝渗漏数值 模拟及分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018.46 (1):52-58.

作者简介:

- 彭 鑫(1990-),男,四川仁寿人,工程师,硕士,从事水利水电工 程建设运行管理;
- 张 浩(1978-),男,青海西宁人,工程师,学士,从事水利水电工 程建设运行管理.

(责任编辑:吴永红)