

文章编号: 1001-1749(2024)01-0118-09

综合物探在水库大坝渗漏隐患检测中的应用

王永刚, 吕明, 张俊

(中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司, 贵阳 550081)

摘要: 水库大坝渗漏隐患检测是水利工程安全运行及除险加固工作的重要环节, 对保障大坝安全运行及下游人民生命财产安全具有重要意义。笔者根据水库大坝物性特征的分析, 充分利用直流电法对渗漏通道视电阻率响应特征灵敏的优点, 合理选取了充电法及高密度电法对水库大坝进行综合探测, 首先利用充电法追索坝体渗漏通道, 然后结合高密度电法对每条测线二维纵向剖面进行解析, 通过两种方法的相互验证, 有效圈定渗漏隐患发育位置及规模, 取得了可靠的成果, 从而达到由点及线、由线及面的综合探测效果, 为水库大坝渗漏通道排查及除险加固提供精确可靠的依据。

关键词: 综合物探; 水库大坝; 渗漏隐患; 充电法; 高密度电法; 除险加固

中图分类号: P 319.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.01.14

0 引言

近年来, 随着极端气候的频繁发生, 各种自然灾害(地震、冰雪灾害、洪灾、泥石流、山体滑坡等)给各地基础设施带来了严重挑战, 尤其是局部长时间的特大暴雨常常威胁着水利工程坝体安全运行^[1]。因此, 水库大坝渗漏隐患排查是水利工程安全运行及除险加固工作的重要环节, 对保障大坝安全运行及下游人民生命财产安全具有重要意义^[2-3]。

水库大坝渗漏检测的方法中, 钻探、槽探等直接检测方法虽然准确可靠, 但其效率低、成本高、加之探测范围有限, 存在可能破坏坝体结构等风险^[4-5]。目前水库大坝渗漏检测方法主要为无损检测, 借助无损检测即物探技术, 可精准快速排查出坝体隐患位置及规模^[6-11]。经过前人大量研究, 在水库大坝存在隐患或发生渗漏时, 由于长期浸水, 导致水库大坝渗漏通道位置含水量较高, 其电阻率与周围坝体电阻率差异较大, 电阻率响应最为敏感且易于无损探测。因此, 利用直流电法进行土坝渗漏通道追踪

探测成为目前应用较为广泛的无损检测方法^[12-17]。直流电阻率方法中, 充电法对于水库大坝渗漏通道追索效果极佳, 在渗漏位置设置充电点便可追坝体内有水系渗漏联通的通道, 是坝体渗漏检测最直接有效的方法, 但其仅能追索出渗漏通道的平面位置, 对异常规模刻画有限^[18-20], 而高密度电法对浅层地质结构的勘探效果较好, 能精确刻画隐患发育规模, 受地形影响相对较小, 且其分辨率相对较高, 施工效率高, 是渗漏探测有效的方法之一^[12-17]。因此, 笔者在前人研究基础上, 将直流电阻率方法应用于贵州某水库大坝渗漏检测中, 首先利用充电法追索坝体渗漏通道, 然后结合高密度电法对每条测线二维纵向剖面进行解析, 圈定渗漏隐患发育规模, 从而达到由点及线、由线及面的综合探测效果, 为水库大坝渗漏通道排查及除险加固提供精确可靠的依据。

1 工程概况

贵州某水库大坝始建于 20 世纪 60 年代, 主要功能为灌溉, 大坝主要为均质土坝, 筑坝土料取自水



图 1 水库坝体渗漏现状图
Fig. 1 Diagram of reservoir dam leakage status

库右岸山体土料,坝体土料填筑采用人工夯实,水库正常蓄水位 1 246. 60 m,坝顶高程为 1 248. 00 m,防浪墙顶高程为 1 248. 80 m,最大坝高 12. 24 m,坝顶轴线长 74 m,坝顶宽 3 m,最大坝底宽 39. 7 m。但自水库建成后,无运行观测管理人员,因此在调查中不能确切了解大坝运行的具体情况。2001 年清镇市水电局委托贵阳市水利水电勘测设计队开展水库除险加固勘测设计工作,施工单位及施工资料不详。经蓄水观察,大坝有局部渗漏现象,经过多年的运行后,坝体沉降基本上稳定,坝体渗漏现象不再出现,但坝基渗漏仍存在。2001 年在坝顶进行 3 m 孔间距的帷幕灌浆加固处理,但处理后水库仍然存在局部渗漏,而且漏水量无明显变化,下游坝坡出现局部因渗漏而引起的跨塌现象,如图 1 所示,目前水库虽然能蓄水,但存在安全隐患,需对坝体进行渗漏隐患排查。

2 方法原理

2.1 充电法

充电法是水库大坝追索渗漏通道平面位置效果极佳的物探方法,通过在渗漏位置设置充电点便可追索坝体内有联通的渗漏水系通道。它是利用被探测对象具有良好的导电特性,采用人工方法对被探测的对象进行充电,测量和研究充电体及其周围电场分布特征,达到解决地质问题的目的^[18-20],其原理示意图如图 2 所示。

充电法中主要有电位法、电位梯度法和直接追

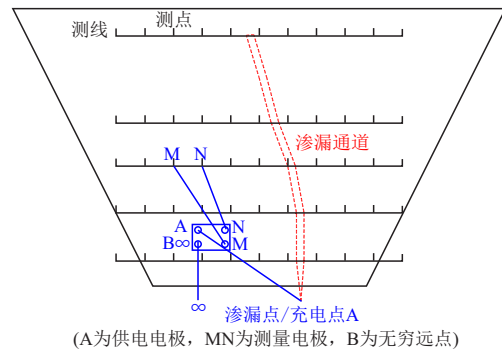
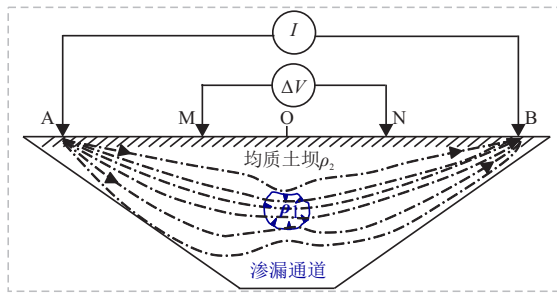


图 2 充电法基本原理示意图(电位梯度观测装置)
Fig. 2 Schematic diagram of basic principle of the charge method(Potential gradient observation device)

索等位线法三种观测方式,其中的电位梯度法是将供电电极 A(正极)放于具有良好导电性的探测体上,供电电极 B 极(负极)置于相距较远的位置,逐点观测各测线测点上的电位差 ΔU_{MN} ,根据电位差曲线的零点确定渗漏通道位置^[18-20]。

2.2 高密度电法

当水库大坝坝体存在渗漏通道时,因其地质隐患地电断面往往单一,与围岩存在明显的电阻率差异,因此在电性参数反演上特征明显而比较容易被识别出来。而高密度电法是一种经济、无损、快速且直观的浅层地球物理勘探方法之一,它具有分辨率高、效率高、成本低、解释方便等诸多优点^[12-17]。其原理是基于目标体与周围介质之间的导电性差异,首先通过供电电极 A、B 建立人工电场,在地电半空



(AB为供电电极, MN为测量电极, O为测点, ΔV 为测量电极间的电位差, I 为供电电流; $\rho_{01}-\rho_2$ 分别为渗漏通道及坝体电阻率)

图 3 高密度电法基本原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of high density resistivity method

间里形成人工电流场 I , 然后利用测量电极 M、N 在人工电场作用下测量测点 O 处的电位差 ΔV , 最后得到测点处一定深度范围内的岩土视电阻率 $\rho_s = K \cdot \Delta V / I^{[21]}$, 如图 3 所示, 通过一次布极可以完成纵、横向二维勘探过程, 既能反映地下某一深度沿水平方向岩土体的电性变化, 同时又能提供地层岩性沿纵向的电性变化情况, 具备电剖面法和电测深法两种方法的综合探测能力^[21-24]。从而可根据不同岩土体视电阻率差异推断解释地下地质异常体的分布、规模等地质问题^[21-25]。

当水库大坝坝体存在渗漏时, 因其地质隐患地电断面单一、与围岩存在明显的物性差异, 因此在物性参数反演上特征明显而比较容易被识别出来。为了给现场探测、分析、解释坝体隐患特征提供理论依据, 建立了大坝渗漏隐患数值模型(如图 4(a)所示), 通过正反演对比总结分析渗漏通道在电阻率剖

面上的特征, 对生产实践的指导具有一定的现实意义。数值模型中假设渗漏通道(含水)的电阻率为 $100 \Omega \cdot m$, 围岩电阻率为 $500 \Omega \cdot m$, 规模宽 1 m, 高 1 m, 顶部距地表 0.5 m。数据采集参数为电极 32 根, 电极距为 1 m。利用有限元法计算得到大坝渗漏模型的电性分布^[26-27], 在此基础上进行反演, 对模型电阻率反演结果进行综合分析。

图 4(b)为渗漏通道电阻率模型及其对应的二维电阻率反演拟断面图。根据模型反演计算得到的断面信息可知, 模型反演断面图能直观地反映渗漏隐患的位置及发育规模, 异常体位置与模型模拟的位置一一对应。而在生产实践中由于复杂的地质条件以及坝体各岩土构成的电阻率受矿物性质、含水量、黏粒含量、压实度等多种因素影响, 导致高密度电法反演成果存在“非唯一性”的固有缺陷, 在刻画隐患规模时, 须通过多种手段相互综合验证解释。

3 测试效果分析

3.1 充电法

贵州某水库为均质土坝, 由于坝体渗漏区域较窄, 人工地质调查工作相对粗略, 而且坝体渗漏产生原因复杂, 为了找出具体渗漏通道范围, 以便进行进一步处理, 首先采用定位精度直观可靠的充电法梯度观测装置追索出坝体渗漏通道。

以该水库大坝北侧渗漏汇流区作为充电点, 通过 7 条充电法测线, 获得了坝址以南向北走向的电位异常带(电位差曲线从负值到正值的零点位置连线), 如图 5 中红色虚线所示。由此追索出该水库

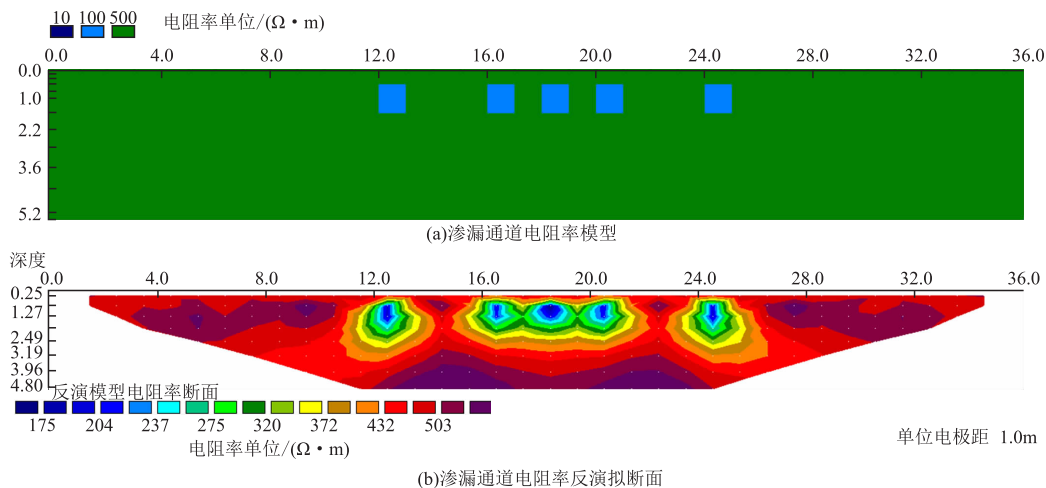


图 4 渗漏通道电阻率模型(a)及其电阻率反演拟断面图(b)

Fig. 4 Resistivity model of leakage channel (a) and its resistivity inversion pseudo section map (b)

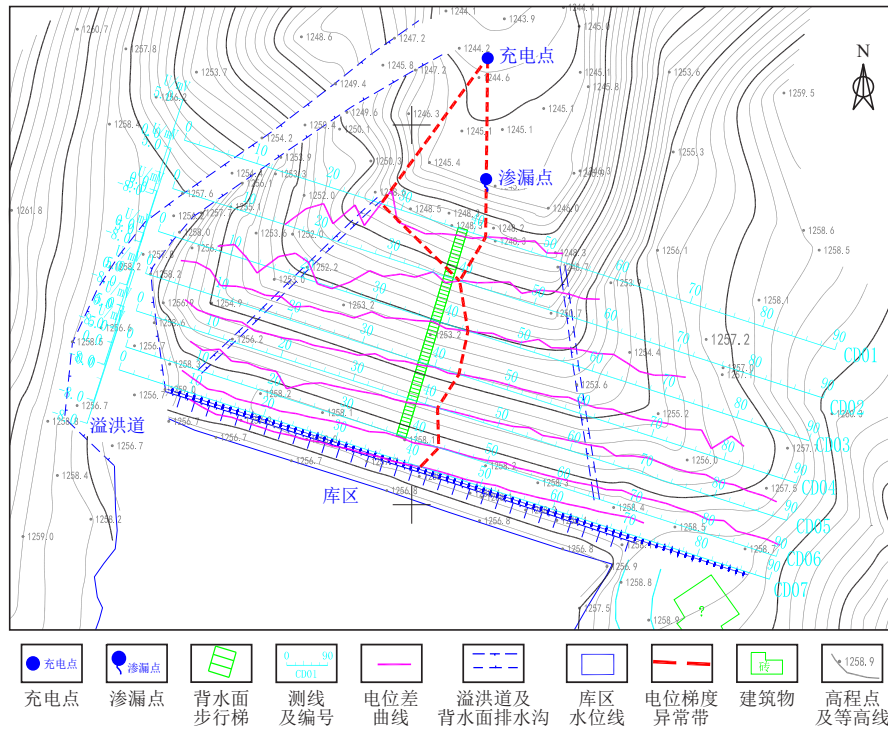


图 5 充电法电位差曲线图

Fig. 5 The potential difference curve of the mise-a-la-masse method

表 1 高密度电法异常描述及推断解释结果

Tab. 1 High-density resistivity method anomaly description and inference interpretation results

剖面号	异常里程/m	异常描述及推断解释结果	异常编号
GMD01	32~34	宽约 0 m~2 m、深度约 2.7 m~4.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 1
	40~41	宽约 0 m~1 m、深度约 2.7 m~3.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 2
GMD02	32~36	宽约 0 m~4 m、深度约 2.0 m~3.0 m,推测为坝体土层含水率较高引起的异常	低阻异常 3
	40~45	宽约 0 m~5 m、深度约 3.5 m~5.5 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 4
GMD03	39~45	宽约 0 m~6 m、深度约 4.5 m~7.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 5
GMD04	37~45	宽约 0 m~8 m、深度约 3.5 m~8.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 6
	48~55	宽约 0 m~7 m、深度约 2.0 m~4.5 m,推测为坝体土层含水率较高引起的异常	低阻异常 7
GMD05	41~45	宽约 0 m~5 m、深度约 5.0 m~9.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 8
GMD06	41~45	宽约 0 m~5 m、深度约 5.0 m~9.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常	低阻异常 9

大坝渗漏的平面位置走向为:CD07 号测线的 41.7 m 位置→CD06 号测线的 43.2 m 位置→CD05 号测线的 41.6 m 位置→CD04 号测线的 43.3 m 位置→CD03 号测线的 42.8 m 位置→CD02 号测线的 39.7 m 位置→CD01 号测线的 41.6 m 位置→渗漏点→充电点。

3.2 高密度电法

针对充电法追索到的渗漏通道,由于成果仅能体现渗漏通道平面位置,其深度及规模充电法难以揭示,因此针对渗漏通道布置高密度电法进行二维断面解释,高密度电法测线共布置 6 条测线,

其中 GMD01 测线与 CD01 测线对应,里程为 12 m~53 m,长 42 m;GMD02 测线与 CD03 测线对应,里程为 13 m~72 m,长 59 m;GMD03 测线与 CD04 测线对应,里程为 13 m~72 m,长 59 m;GMD04 测线与 CD06 测线对应,里程为 13 m~72 m,长 59 m;GMD06 测线与 CD07 测线对应,里程为 13 m~72 m,长 59 m;而 GMD05 测线位于 GMD04 与 GMD06 测线之间,与其完全平行,该三条测线间距 1.5 m,其中 GMD05 测线沿着帷幕灌浆孔布置,该测线主要检测水库大坝帷幕灌浆处理缺陷。

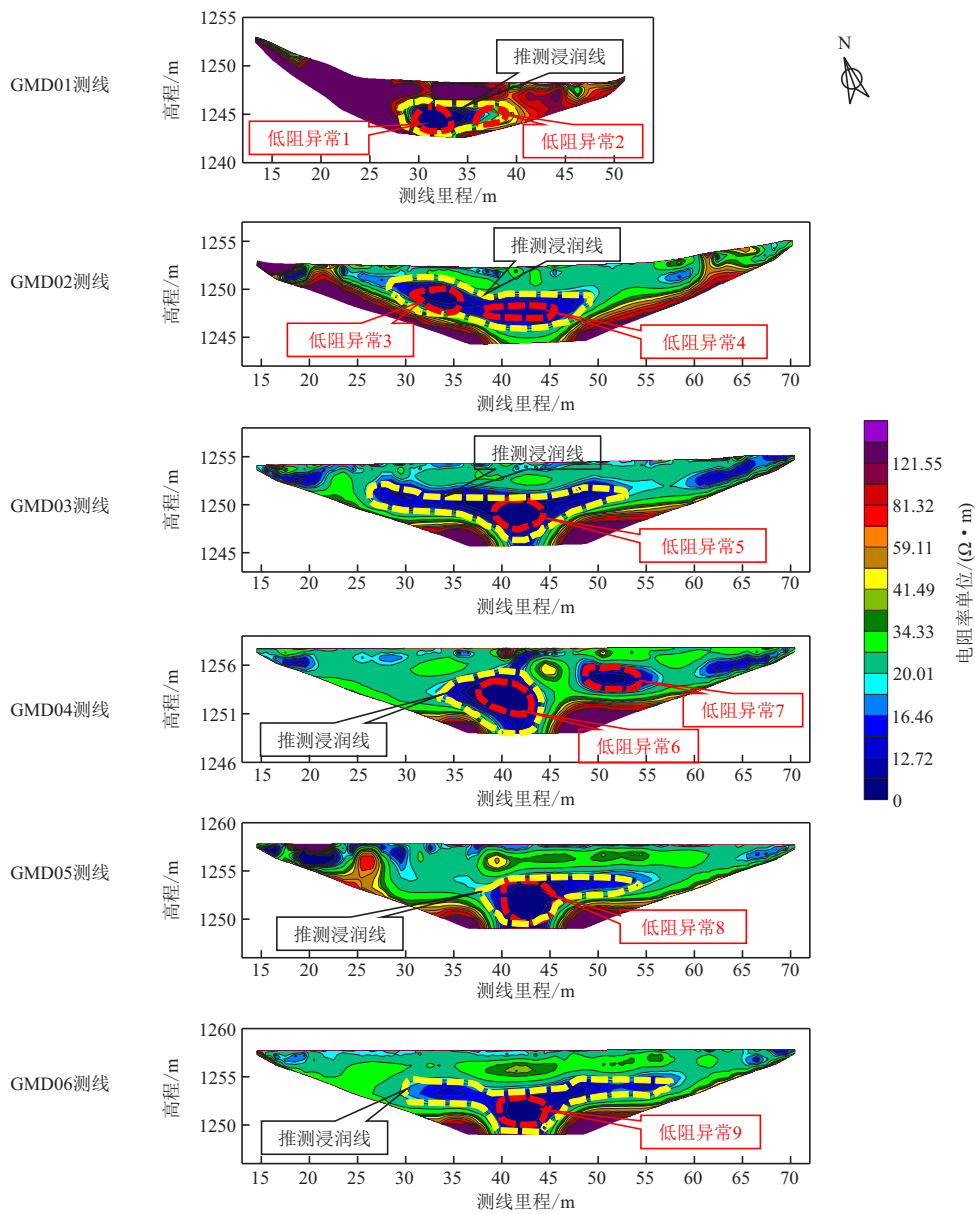


图 6 高密度电法 GMD01-GMD06 测线视电阻率反演断面图

Fig. 6 Apparent resistivity inversion section of high density electrical method for the GMD01-GMD06 survey line

结合渗漏通道数值模拟反演结果及现场地质调查分析,低阻异常区电阻率范围为 $10 \Omega \cdot \text{m} \sim 14 \Omega \cdot \text{m}$,结合充电法成果,主要推断解释为两种情况:①水库渗漏通道引起的异常;②坝体土层可能存在淤积水或含水率相对较高引起的异常。具体详细推断解译详见表 1,以及高密度电法反演图 6 中红色虚线框所示。

另外,坝体浸润线主要是根据充电法异常点与高密度电法视电阻率反演综合揭示的渗漏通道断面周围电阻率较低的范围,具体以电阻率为 $11 \Omega \cdot \text{m}$

$\sim 18 \Omega \cdot \text{m}$ 区域进行划分,详见高密度电法反演图 6 中黑色虚线框所示。

3.3 综合物探分析

通过两种物探方法的异常解释结果(如图 7 所示),现将水库大坝物探异常描述如下:

1)根据充电法电位梯度曲线异常可知,该水库大坝渗漏通道平面位置走向为:CD07 号测线的 41.7 m 位置→CD06 号测线的 43.2 m 位置→CD05 号测线的 41.6 m 位置→CD04 号测线的 43.3 m 位置→CD03 号测线的 42.8 m 位置→CD02 号测线的

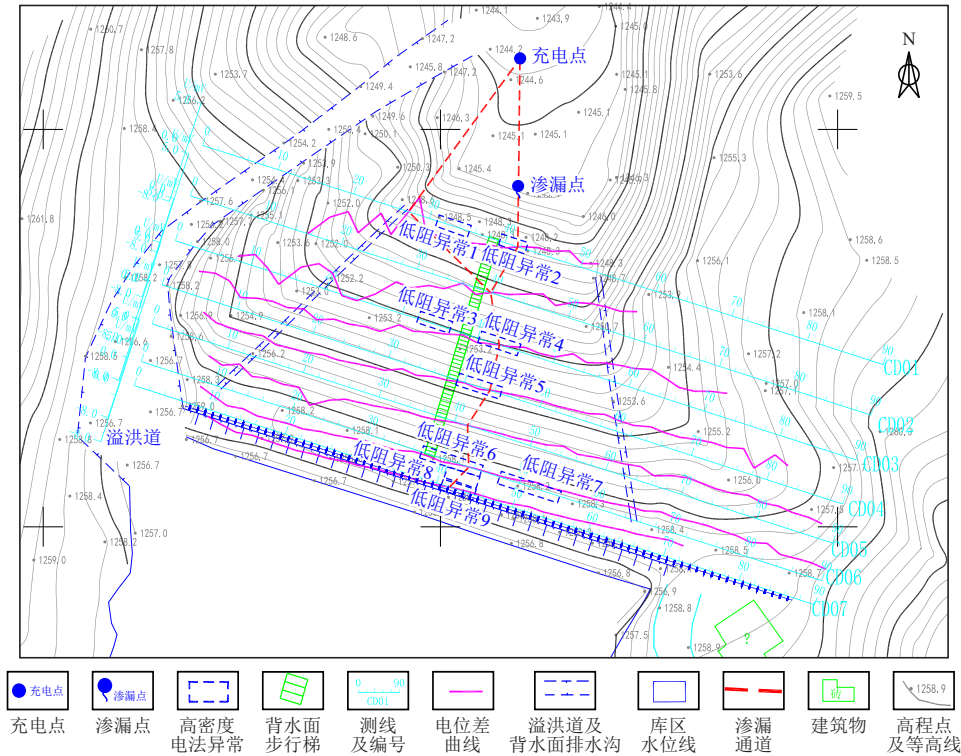


图7 水库大坝渗漏通道综合物探异常推断解释图

Fig. 7 Interpretation diagram of comprehensive geophysical anomaly inference of leakage channels for reservoir dam

39.7 m 位置→CD01 号测线的 41.6 m 位置→渗漏点→充电点。

2) 结合现场地质调查与数值模拟分析,根据高密度电法视电阻率反演断面图解释可知,GMD01 测线里程 32 m~34 m、深度约 2.7 m~4.0 m、测线里程 40 m~41 m、深度约 2.7 m~3.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常;GMD02 测线里程 40 m~45 m,深度约 3.5 m~5.5 m,推测为水库渗漏通道引起的异常;GMD03 测线里程 39 m~45 m,深度约 4.5 m~7.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常;GMD04 测线里程 37 m~45 m,深度约 3.5 m~8.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常;GMD05 与 GMD06 测线里程 41 m~45 m,深度约 5.0 m~9.0 m,推测为水库渗漏通道引起的异常。另外,根据 GMD05 测线视电阻率反演拟断面图可知,在测线里程 41 m~45 m,深度约 5.0 m~9.0 m,位置、电阻率呈现封闭低阻异常,综合推测该处对应的帷幕灌浆效果较差,从而造成渗流穿过该区域渗流至北侧坝底,形成贯通的渗流通道。

3) 综合两种物探异常解释结果分析可知,该水库大坝渗漏通道两种物探方法推断解释的平面位置吻合度较高,且通过高密度电法反演拟断面清晰直

观地解析了该渗流通道二维断面位置,其解释成果可靠。

4 结论

笔者通过直流电阻率方法中的充电法及高密度电法相互结合,将其应用于水库大坝渗漏检测中,取得了较好的应用效果:

1) 根据 GMD05 测线视电阻率反演拟断面图可知,在测线里程 41 m~45 m,深度约 5.0 m~9.0 m 位置,电阻率呈现封闭低阻异常,分析主要是由于帷幕灌浆前未开展物探工作,从而导致帷幕灌浆未能针对性进行除险加固,故而造成渗流穿过该区域渗流至北侧坝底,形成贯通的渗流通道。因此,建议水库大坝除险加固处理前,须结合物探及钻探资料查明大坝渗漏通道分布特征,确定靶区后再针对性进行加固处理。

2) 综合物探结果表明,充电法电位梯度曲线清晰地追踪出水库大坝渗漏通道的平面位置,高密度电法反演断面图直观地解译了大坝渗漏通道的二维断面,两种物探资料相结合对渗漏通道平面及断面上的分布特征进行了精确地刻画,为大坝渗漏隐患

加固提供精确可靠的依据。同时,多种物探方法相结合克服了单一物探方法解译“非唯一性”的固有缺陷,从而提高了对目标体的探测精度。

3)针对均质土坝或土石坝,若存在渗漏隐患,其电阻率与压实均质土或土石体存在明显的电性差异,基于电阻率法的物探方法(高密度电法、充电法、浅层瞬变电磁法)效果较好;对于混凝土坝体,由于直流式电阻率法接地较差,通常采用交流式电阻率法(浅层瞬变电磁法)或探地雷达、地震映像等方法效果较好。

参考文献:

- [1] 李兆锋,陈江平,陈敏,等. 水利工程运行安全检测关键技术及其应用[J]. 水利水电快报,2022,43(6):66-72.
LI Z F, CHEN J P, CHEN M, et al. Advanced detecting technology and application for hydraulic engineering operation safety[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2022, 43(6): 66-72. (In Chinese)
- [2] 徐竹青,张桂荣,郑军. 我国病险土石坝隐患分类及快速检测方法概述[J]. 水利与建筑工程学报,2010,8(3):50-52.
XU Z Q, ZHANG G R, ZHENG J. Classification of hidden troubles and corresponding rapid detection methods about sick earth-rock dam in China[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2010, 8(3): 50-52. (In Chinese)
- [3] 杨启贵,周和清,刘加龙. 东方山水库大坝管道型渗漏的应急抢险与除险加固[J]. 人民长江,2022,53(3):202-206.
YANG Q G, ZHOU H Q, LIU J L. Emergency rescue and reinforcement for pipeline leakage of Dongfangshan Reservoir Dam[J]. Yangtze River, 2022, 53(3): 202-206. (In Chinese)
- [4] 何熠. 水库大坝渗漏探测及定向处理技术及应用探究[J]. 水利科学与寒区工程,2021,4(6):151-153.
HE Y. Reservoir dam leakage detection and directional treatment technology and its application [J]. Hydro Science and Cold Zone Engineering, 2021, 4(6): 151-153. (In Chinese)
- [5] 冷元宝,黄建通,张震夏,等. 堤坝隐患探测技术研究进展[J]. 地球物理学进展,2003,18(3):370-379.
LENG Y B, HUANG J T, ZHANG Z X, et al. Research progress in scatheless detection of hidden troubles in embankments [J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(3): 370-379. (In Chinese)
- [6] 黄世强. 水库大坝渗漏探测方法概述[J]. 大坝与安全,2021,2:42-50.
HUANG S Q. Leakage detection methods for reservoir dams[J]. Dam and Safety, 2021, 2: 42-50. (In Chinese)
- [7] 姚纪华,罗仕军,宋文杰,等. 综合物探在水库渗漏探测中的应用[J]. 物探与化探,2020,44(2):456-462.
YAO J H, LUO S J, SONG W J, et al. The application of comprehensive geophysical exploration method to leakage detection of reservoir[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(2): 456-462. (In Chinese)
- [8] 张建清,徐磊,李鹏,等. 综合物探技术在大坝渗漏探测中的试验研究[J]. 地球物理学进展,2018,33(1):0432-0440.
ZHANG J Q, XU L, LI P, et al. Experimental study on comprehensive geophysical prospecting technology in dam leakage detection [J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(1): 0432-0440. (In Chinese)
- [9] 赵汉金,江晓益,韩君良,等. 综合物探方法在土石坝渗漏联合诊断中的试验研究[J]. 地球物理学进展,2021,36(3):1341-1348.
ZHAO H J, JIANG X Y, HAN J L, et al. Experimental study on integrated geophysical prospecting method for joint diagnosing leakage in embankment dam[J]. Progress in Geophysics, 2021, 36(3): 1341-1348. (In Chinese)
- [10] 叶立龙,徐洪苗,胡俊杰. 综合物探方法在土坝渗漏通道检测中的应用[J]. 工程地球物理学报,2020,17(5):604-609.
YE L L, XU H M, HU J J, et al. Application of comprehensive geophysical exploration technique in detecting hidden defects of reservoir dams[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2020, 17(5): 604-609. (In Chinese)
- [11] 张明财,祁增云,李洪. 综合物探方法在堤坝渗漏通道检测中的应用[J]. 水利规划与设计,2019,5:136-139.
ZHANG M C, QI Z Y, LI H. Application of integrated geophysical prospecting method in detection of seepage channel in dyke[J]. Water Resources Planning and Design, 2019, 5: 136-139. (In Chinese)
- [12] 孔繁良,徐超,李军. 高密度电法在新疆某水库大坝病险隐患探测中的应用[J]. 工程地球物理学报,2022,19(1):16-20.
KONG F L, XU C, LI J. Application of multi-electrode resistivity method in detection of hidden dangers of a reservoir dam in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Engi-

- neering Geophysics, 2022, 19(1): 16—20. (In Chinese)
- [13] 樊炳森, 郭成超. 高密度电法在水库渗漏检测中的应用[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(10): 165—168.
FAN B S, GUO C C. Application of high density resistivity method to reservoir leakage inspection[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2019, 36(10): 165—168. (In Chinese)
- [14] 孙卫民, 孙大利, 李文忠, 等. 基于时移高密度电法的堤防隐患探测技术[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(10): 157—160.
SUN W M, SUN D L, LI W Z, et al. Technology of detecting dyke's hidden danger using time lapse high density resistivity method[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2019, 36(10): 157—160. (In Chinese)
- [15] 李宏恩, 徐海峰, 李铮, 等. 地面核磁共振法与高密度电法联合探测堤坝渗漏隐患原位试验研究[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(4): 1627—1634.
LI H E, XU H F, LI Z, et al. Insitu experimental study on resistivity magnetic resonance sounding coupling imaging diagnosis method for an embankment dam with seepage defects[J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(4): 1627—1634. (In Chinese)
- [16] 朱冠宇. 综合电法在前天子水库大坝渗漏检测中的研究与应用[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
ZHU G Y. Research and application of comprehensive electrical method in dam leakage detection of Qianyaoyi reservoir[D]. Chang chun: Jilin University, 2019. (In Chinese)
- [17] 樊炳森. 基于高密度电法的土石堤坝渗漏隐患探测应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
FAN B S. Application research on leakage hazard detection of earth-rock dam based on high-density resistivity method[D]. Zheng zhou: Zhengzhou University, 2020. (In Chinese)
- [18] 孙钦同, 徐淑贞, 李才明. 应用高密度电阻率法实现坝体渗漏快速探测[J]. 地质与勘探, 2019, 55(6): 1436—1441.
SUN Q T, XU S Z, LI C M. Rapid detection of dam seepage using the high-density resistivity method[J]. Geology and Exploration, 2019, 55(6): 1436—1441. (In Chinese)
- [19] 王战军. 电法在追索水库坝区地下暗河中的应用[J]. 物探与化探, 2019, 43(5): 1157—1162.
WANG Z J. The application of electrical method to tracking underground river of reservoir dam area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(5): 1157—1162. (In Chinese)
- [20] 魏石磊, 杨明瑞, 刘永. 综合直流电法在岩溶裂隙水勘察中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2018, 15(2): 159—165.
WEI S L, YANG M R, LIU Y. The Application of comprehensive direct current electrical method to karst fissure water exploration[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2018, 15(2): 159—165. (In Chinese)
- [21] 贺桂有, 王永刚. 高密度电阻率成像与联合剖面法在输电线路隐伏岩溶探测中的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2019, 16(1): 53—60.
HE G Y, WANG Y G. Combined application of high-density electrical resistivity tomography and combined profiles method for hidden karst investigation in transmission line engineering [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2019, 16(1): 53—60. (In Chinese)
- [22] 刘国勇, 杨明瑞, 王永刚. 高密度电法在煤矿积水采空区探测中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(5): 90—94.
LIU G Y, YANG M R, WANG Y G. Application of high density resistivity method for water accumulated goaf detection in coal mines[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2019, 46(5): 90—94. (In Chinese)
- [23] 吕明, 王永刚, 杨明瑞. 综合物探方法在输电线路桩基岩溶探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2020, 17(3): 386—392.
LV M, WANG Y G, YANG M R. Application of integrated geophysical method to karst detection of pile foundation in transmission line[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2020, 17(3): 386—392. (In Chinese)
- [24] 江坤, 王永刚. 高密度电法岩溶探测模型及其在变电工程中的应用[J]. 地质学刊, 2021, 45(2): 161—167.
JIANG K, WANG Y G. Application of high-density resistivity method for karst investigation in power transformation project[J]. Journal of Geology, 2021, 45(2): 161—167. (In Chinese)
- [25] 刘国兴. 电法勘探原理与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
LIU G X. Principles and methods of electrical prospecting[M]. Beijing: Geological publishing house, 2005. (In Chinese)
- [26] LOKE M H, Barker R D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo sections by a quasi-Newton method[J]. Geophysical Prospecting, 1996, 44, 131—152.
- [27] LOKE M H, DAHLIN T. A comparison of the Gauss-

Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion [J]. Journal of Applied Geophysics, 2002,49,149—162.

Application of integrated geophysical prospecting in the detection of hidden leakage of reservoir dam

WANG Yonggang, LV Ming, ZHANG Jun

(Power China Guizhou Electric Power Engineering Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: Reservoir dam leakage detection is essential to operate and reinforce water conservancy projects safely. It is significant to ensure the safe operation of DAMS and the safety of downstream people's lives and property. According to the reservoir dam analysis's physical characteristics, this paper fully uses the advantages of the direct current method, which is very sensitive to apparent resistivity response characteristics for leakage channels. Therefore, the mise-a-la-masse and high-density resistivity methods are reasonably selected for comprehensive detection of the reservoir dam. Firstly, the mise-a-la-masse method is used to pursue the leakage channel of the dam body and then combined with the high-density resistivity method for interpreting the two-dimensional longitudinal profile of each line. Finally, through mutual verification of these two methods, the location and scale of potential leakage hazards are delineated effectively, and reliable results are obtained. So as to achieve the comprehensive detection effect of point to line, line to plane, and provide an accurate and reliable basis for the investigation and reinforcement of the seepage channel of the reservoir dam.

Keywords: integrated geophysical prospecting; reservoir dam; leakage hidden trouble; mise-a-la-masse method; high-density resistivity method; reinforcement