

高密度电法在桥水库渗漏隐患探测中的应用研究

秦继辉¹, 吴云星^{2,3}, 谷艳昌^{2,3}

(1. 天津市引滦工程于桥水库管理处, 天津 301900; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;
3. 水利部大坝安全管理中心, 江苏 南京 210029)

摘要:为查明于桥水库大坝渗漏隐患区域及其成因,采用高密度电法分别探测了0+356、1+130、1+605三个断面两侧93m范围内的坝体视电阻率分布情况。探测结果表明,三个断面附近均存在低视电阻率体,为渗漏隐患区域,探测结果与坝体渗流压力监测资料分析成果基本一致,验证了高密度电法的可靠性。

关键词:高密度电法; 渗漏探测; 水库大坝

中图分类号:TV641.2⁺2

文献标识码:A

文章编号:1004-4701(2018)02-0111-08

1 工程渗漏及其加固情况

于桥水库位于天津蓟县,总库容 $15.59 \times 10^8 \text{ m}^3$,工程等别为I等。水库正常蓄水位21.16 m,设计洪水位24.60 m,校核洪水位25.62 m,PMP校核洪水位27.72 m。枢纽包括大坝、放水洞、溢洪道和发电站等。大坝为均质土坝,坝顶长2 222.00 m,坝顶宽6.00 m,最大坝高24.00 m,坝顶高程28.70 m。放水洞位于大坝南端坝体内(桩号0+356),截面尺寸为5.90 m $\times$ 6.00 m,洞身长55.00 m。大坝0+000~0+760桩号为重碾压坝段,0+760~0+900桩号为轻碾压坝段,0+900~1+500桩号为水中倒土坝段,1+500~1+800桩号为轻碾压坝段,1+800~1+935桩号为重碾压坝段。

大坝建成运行后,出现了坝肩渗漏、下游坝坡与坝脚渗水、下游坡渗流压力过高、坝基测压管水位超过地面、坝后出现沼泽化与冒水翻砂等问题。为此,自1976年至今,先后进行了3次除险加固工程。1976年~1983年对坝基实施了第一次除险加固工程:0+500~0+700坝段帷幕灌浆,0+700~0+830坝段砼防渗墙,0+830~1+930坝段接触灌浆,1+280~1+850坝址下游新建减压沟,0+700~0+920段分3层台阶压重。

1995年~1996年再次对坝基进行了加固:1+250~1+750坝基透水层内进行高喷防渗墙,0+970~1+283和1+700~1+800采用压重及贴坡反滤。由于前两次加固效果不明显,2000年~2003年水库进行了第三次除险加固,主要有以下加固内容:0+830~1+250混凝土防渗墙,1+400~1+500高喷防渗墙,1+750~1+870高压喷射灌浆,0+000~0+250和1+250~1+400坝段帷幕灌浆。

水库虽然进行了多次加固,但仍未形成封闭的防渗体系。由运行和观测资料发现,当库水位达到18.00 m时,1+600断面下游坝脚附近出现明显渗水,1+130断面也有类似情况。另外,0+356断面(放水洞)处存在接触渗流隐患。为此,采用高密度电法对于桥水库大坝进行渗漏隐患探测,对探测结果进行分析,找出大坝低电阻率相对集中区域,并结合大坝渗流观测资料,佐证大坝渗流异常的原因,同时为水库后期安全评价、除险加固提供依据。

2 高密度电法原理及设备

2.1 基本原理

高密度电法又称高密度电阻率法(electrical resistivity imaging,简称ERI),是以岩土体电性差异为基础

收稿日期:2017-11-10

项目来源:国家重点研发计划(2016YFC0401600);水利部公益性行业科研专项(201501033);江苏省水利科技项目(2015010);广西水利厅科技项目(201614);南京水利科学研究院基金(Y717007);南京水利科学研究院基本科研业务费项目(Y716016)。

作者简介:秦继辉(1973-),男,大学本科,高级工程师。

的一种电探方法,是电阻率剖面法和测深法的结合^[1]。

高密度电法是采用许多电极组成高密度阵列探测,基本原理与常规电阻率法相同。电阻率法探测的基本原理是通过人工方式形成地下稳定直流电场,根据被探测目标与周围介质之间导电性差异查找工程隐患。实际工作中,常规的电阻率法是通过给 AB 极供电,测量 MN 极电位差 ΔV ,再通过公式 $\rho = K \frac{\Delta V}{I}$ 可以求得平面二维视电阻率,其工作原理见图 1。K 为装置系数,满足下列关系式:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (1)$$

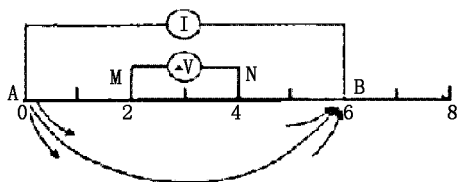


图1 高密度电法原理图

由于地层介质的电阻率与岩土性质、含水性等因素有关,因此大坝渗漏异常处,土体含水量大,导电性强,在用高密度电法进行探测时,其测得的视电阻率相应就小^[2]。因此,根据实测的视电阻率剖面,便可直观地划分地层,并把视电阻率相对较小的位置视为潜在渗流隐患区域。

高密度电法与传统的地质钻探法相比,无需开挖坝体,且成本低、效率高,能够揭示大坝内部渗流信息^[3]。同时,相比于常规电法,高密度电法电极布设一次性完成,能进行多种电极排列方式的测量,可实现自动化数据采集,其效率高、精度高,探测能力提高明显。

2.2 探测设备

高密度电法在实际工作时,将许多电极按一定极距排列,通过电缆、开关控制箱同测量仪器相连。测量时,测量仪器通过指令控制开关控制箱,并以一定的排列顺序将电极转换成供电电极或测量电极,其工作方式见图2^[4]。

于桥水库大坝渗漏隐患探测采用日本 OYO 公司(应用地质株式会社)生产的 McOHM Profiler 4 多道数字电阻率测量仪。该仪器有 32 个电极转换功能,带有高分辨率 24 位 delta sigma A/D 转换器的四通道接收电路,用于技术支持的基于 PC 的控制器,最大输出为 400 V(峰流量 800 V、120 mA)^[5]。能显示电流波形、四通

道电位波形和衰减曲线,所以能有效地控制数据的质量,该仪器见图3。

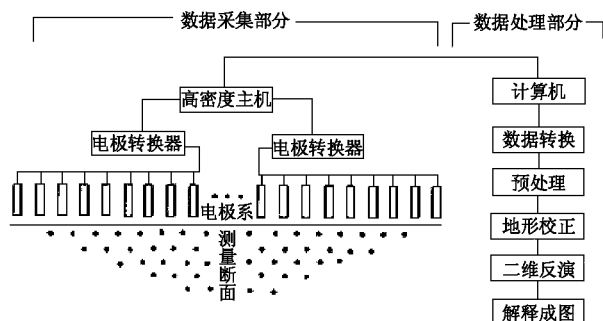


图2 高密度电法工作方式示意图

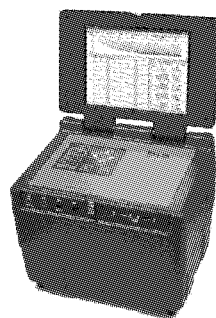


图3 McOHM Profiler 4 多道数字电阻率测量仪

3 渗漏探测与结果分析

3.1 测线布置

于桥水库大坝高密度电法渗漏隐患探测布置,采用电极间距由疏到密、局部加密、探测范围适度扩大的原则。每次探测布置 32 个电极,探测纵断面长度为“31 × 电极间距”。为了解大坝渗流性态,高密度电法探测布置如下:

(1) 0 + 311 ~ 0 + 404 桩号段

放水洞所在位置为桩号 0 + 356,以该断面为中心,左右两侧各布置 16 个电极,电极间距 3.00m。探测范围为 0 + 311 ~ 0 + 404,测线位于坝轴线 + 6.50 m、高程 27.50 m 的坝坡上。探测分两次进行,实际探测深度分别为 26.00 m 和 52.00 m。探测时库水位为 19.30 m。

(2) 1 + 083 ~ 1 + 176 桩号段

1 + 130 断面渗流监测结果表明该断面的渗流压力较高。以该断面为中心,左右两侧各布置 16 个电极,电极间距 3.00 m,探测纵断面范围为 1 + 083 ~ 1 + 176。探测分两次进行,实际探测深度分别为 26.00 m 和

52.00 m。探测时库水位为 19.30 m。

(3)1+572~1+655 桩号段

在右坝段 1+605 下游坡脚存在渗水,为此,以该断面为中心从上游到下游依次布置 4 个探测纵剖面。每个纵剖面左右两侧各布置 16 个电极,电极间距为 3.00 m,探测范围为 1+572~1+655。四个纵剖面距坝轴线依次为-10.00 m、+6.50 m、+28.00 m、+41.50 m,高程依次为 26.70 m、27.50 m、22.50 m、20.80 m,每个纵剖面探测 1 次,共计 4 次,探测深度均为 26.00 m。探

测时库水位为 19.30 m。

3.2 探测结果分析

首先对高密度电法探测成果进行人工辨识删除异常值,然后采用 Res2dinv 快速二维电阻率反演软件对数据进行反演,获得视电阻率二维色谱图。色谱图中横坐标为桩号,纵坐标为测深,电阻率单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

3.2.1 0+311~0+404 桩号段

放水洞附近探测数据经反演得到的视电阻率图谱见图 4。

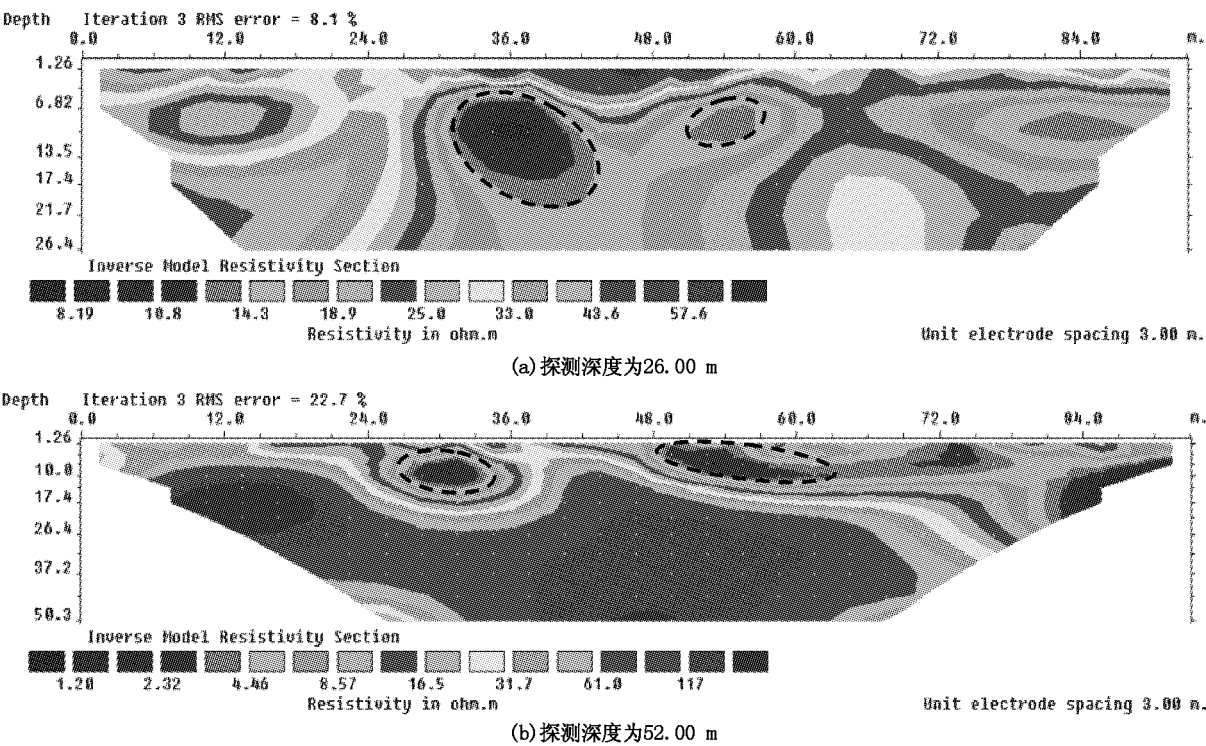


图 4 放水洞附近视电阻率分布图

放水洞在图中的位置为 42.00 m~47.00 m(即 0+353~0+358 之间),埋设深度在 13.00 m~18.00 m 之间。

根据高密度电法探测原理,土体含水量高、导电性强,其视电阻率相应就小。由上图可知,放水洞位置处的视电阻率较高,而两侧分别存在低视电阻率分布区域(见图中黑色虚线所围区域),深度为 7.00~12.00 m,表明放水洞两侧透水性较强,存在渗漏区。

为了进一步验证放水洞周围存在渗漏区,对放水洞附近 0+360 断面轴距为 +6.00 m 处的渗压计监测资料进行分析。坝体渗压计 B0360BA 测值过程线表明(见图 5),其测值稳定在 15.50 m 上下(深度位置为 12.00 m),并呈现逐年上升趋势,测值最高达 17.50 m

(深度位置为 10.00 m),说明该断面周边坝体透水性增强,有可能是放水管渗漏或接触渗漏造成。另外,坝基渗压计 B0360BB 与库水位相关性较强,相关系数为 0.81。

表 1 0+360 断面渗压计考证信息表

测点编号	桩号	轴距/m	埋设高程/m	孔口/孔底高程/m	备注
B0360BA	0+360	6.00	14.88	27.15/10.95	坝体
B0360BB	0+360	6.00	11.52		第一透水层

由以上分析可知,高密度电法探测的低视电阻率区

域与渗流资料分析结果基本一致;而放水洞两侧渗流异常或放水洞渗漏导致坝体出现渗流饱和区,致使出现低视电阻率区域。

3.2.2 1+083~1+176 桩号段

根据探测数据经反演得到的1+083~1+176 桩号段视电阻率图谱见图6。

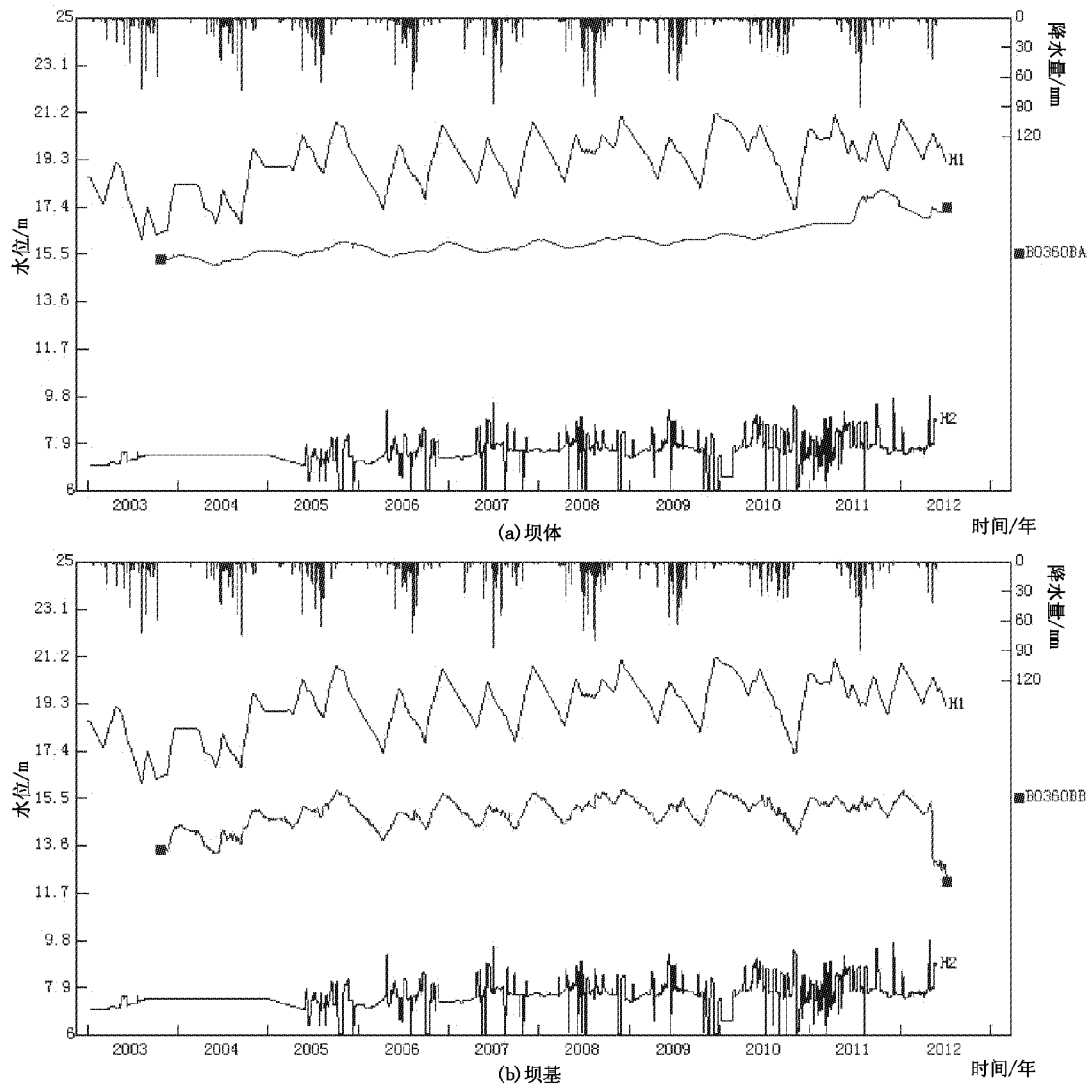
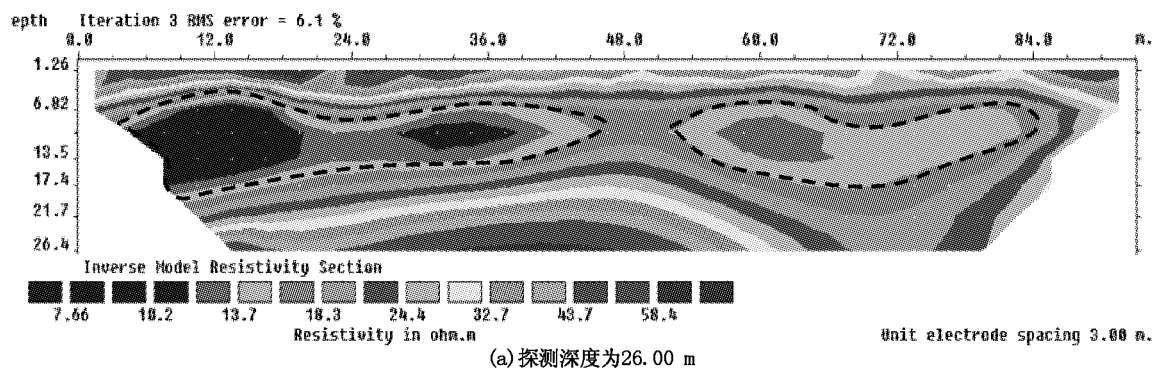


图5 0+360 桩号断面渗压过程线图



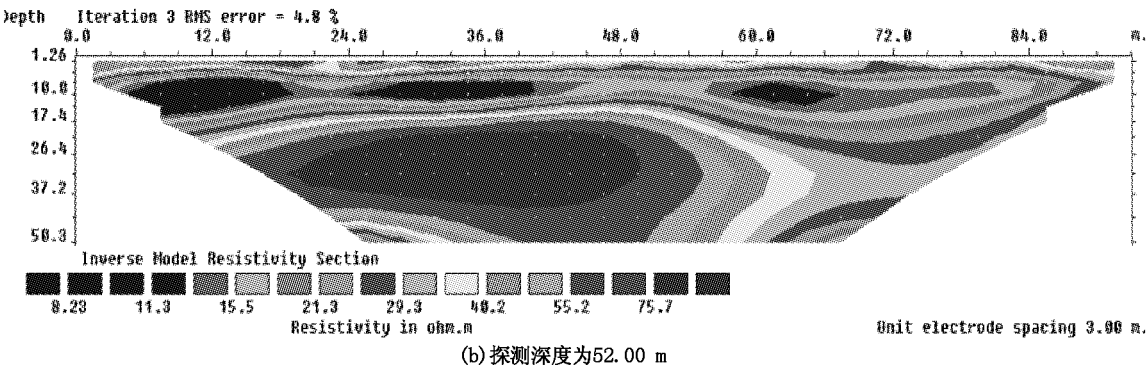


图 6 1+130 断面附近视电阻率分布图

图 6 显示了 1+130 断面左右两侧均存在明显的呈带状分布的低阻区,推测土体含水率较高。

1+130 断面渗压计考证信息见表 3,坝体渗流压力过程线见图 7。由图 7 可知该断面测点渗流压力均较大,其中 B1130EA、B1130AA、B1130BA 三测点测值接近库水位,一般保持在 17.40 m~19.30 m(深度位置为 8.20 m~10.10 m)之间。

表 2 1+130 断面渗压计考证信息

测点编号	桩号	轴距/m	埋设高程/m	孔口/孔底高程/m	备注
B1130EA	1+130	-18.50	13.60	24.31/-9.69	坝体
B1130AA	1+130	-12.00	13.90	24.70/-11.30	坝体
B1130BA	1+130	6.00	13.63	27.10/-1.60	坝体
B1130CA	1+130	40.00	13.63	20.40/1.61	坝体

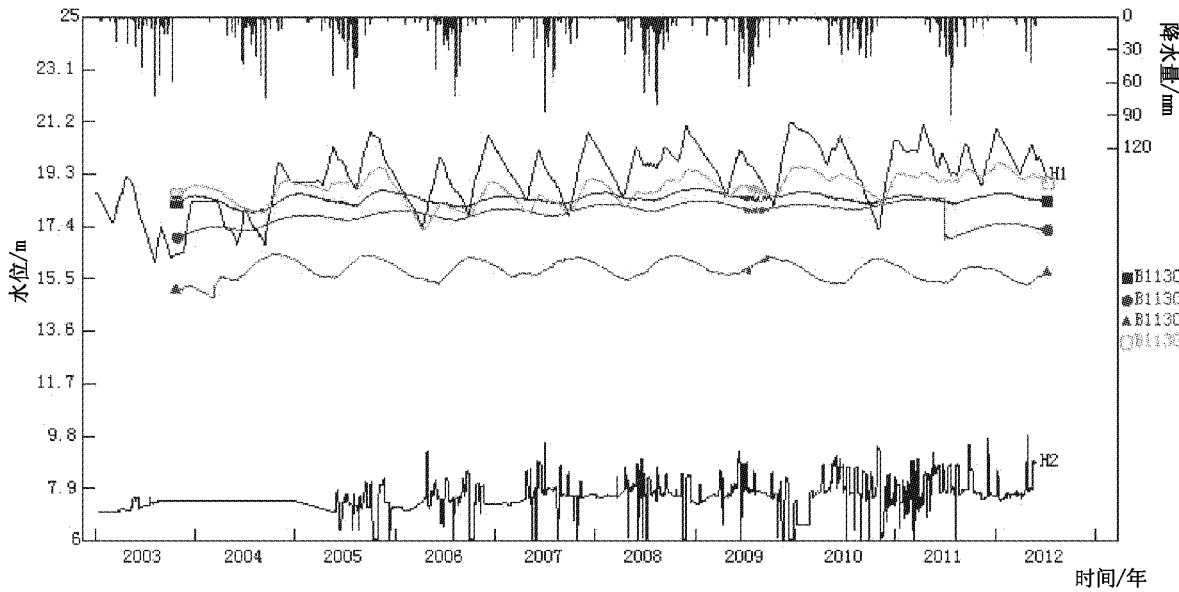


图 7 1+130 断面坝体渗流压力过程线图

由以上分析可知,高密度电法探测结果与资料分析结果基本一致。由于 1+130 断面处于水中倒土坝段,该断面左右两侧出现带状低阻区可能与该坝段坝体填筑材料有关。

3.2.3 1+572~1+665 桩号段

1+572~1+665 桩号段 4 个纵剖面探测数据经反演得到的视电阻率图谱见图 8~11。

由图 8~11 可知,在图中 33.00 m~39.00 m 处(即 1+605~1+611 之间),四个纵剖面均存在一集中低电阻率区域,从上游到下游距坝面的深度范围依次为 4 m~12 m、4 m~12 m、2 m~12 m、3 m~13 m,对应的高程依次为 14.70 m~22.70 m、15.50 m~23.50 m、10.50 m~20.50 m、7.80 m~17.80 m。

取临近断面 1+650 坝体渗流压力监测资料进行分

析,该断面渗压计考证信息见表 3,渗流压力过程线见图 12。从图中可以看出,渗压计 B1650EA 水头测值较大,接近库水位,渗压计 B1650AA 与 B1650BA 水位测值保持在 16.30 m 上下,渗压计 B1650CA 水位测值保

持在 15.50 m 左右。由此可见,该坝段的渗压计水位较高,且随库水位的变化作同步变化,与库水位的相关性显著。

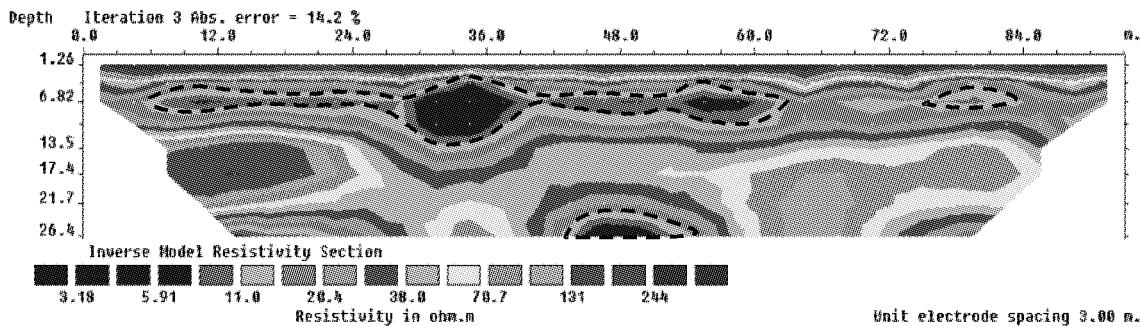


图 8 轴距为 -10.00 m 电阻率分布图

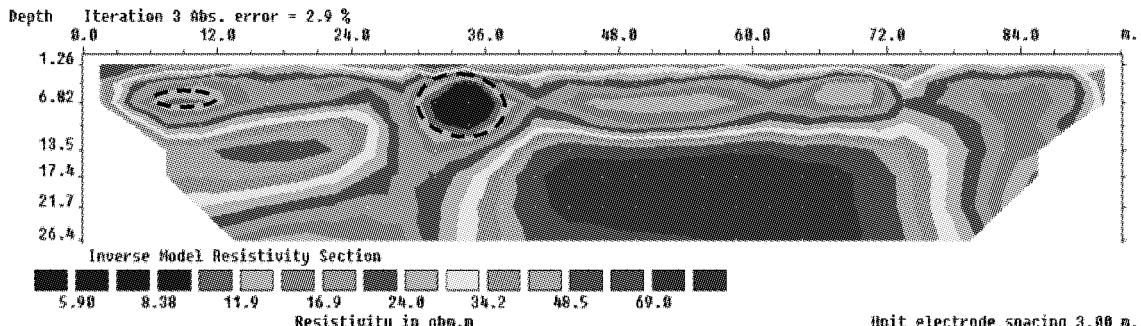


图 9 轴距为 6.50 m 电阻率分布图

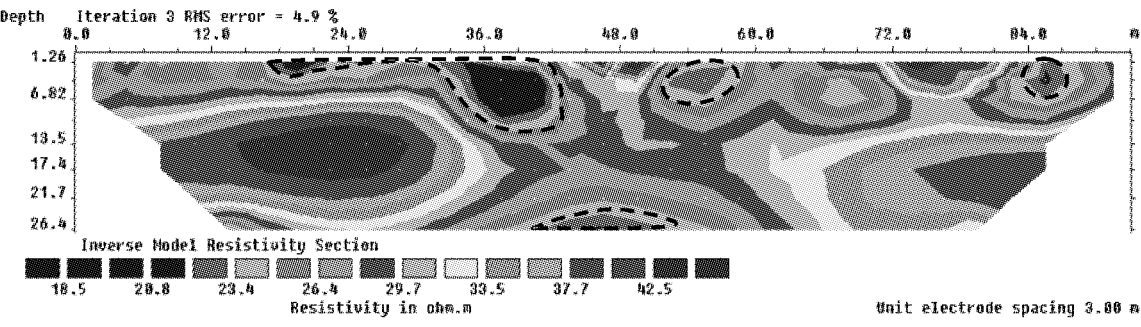


图 10 轴距为 28.00 m 电阻率分布图

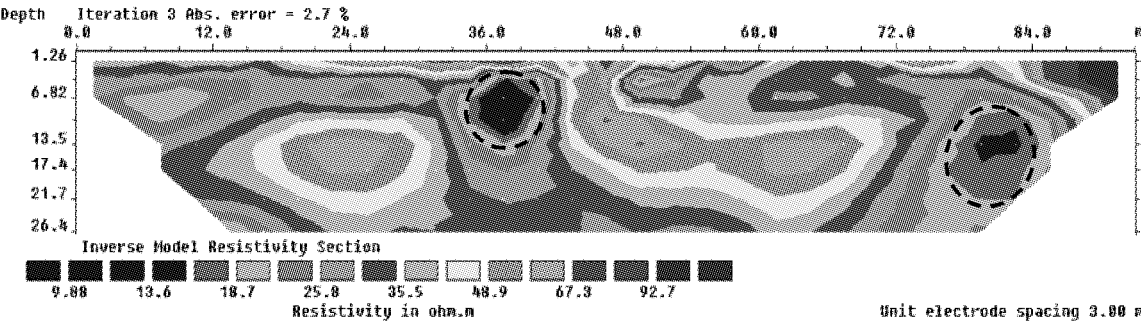


图 11 轴距为 41.50 m 电阻率分布图

表 3 1 + 650 断面渗压计考证信息
及与库水位相关系数表

测点编号	桩号	轴距/m	埋设高程/m	孔口/孔底高程/m	相关系数
B1650EA	1 + 650	- 18. 50	15. 24	24. 41/ - 12. 70	0. 95
B1650AA	1 + 650	- 12. 00	14. 41	24. 80/ - 13. 80	0. 91
B1650BA	1 + 650	6. 00	14. 77	27. 06/ - 5. 04	0. 87
B1650CA	1 + 650	40. 00	14. 71	19. 37/ - 2. 63	0. 94

综合隐患探测和渗流监测资料分析成果,认为坝体在 1 + 600 断面附近存在贯通上下游的低电阻率区,由

于该断面恰好位于右岸轻碾压坝段,可能是土体渗透性强所致。

4 结 语

文中将高密度电法应用于桥水库大坝渗漏隐患探测中,获得了大坝视电阻率分布情况,查明了大坝渗漏区域。综合探测断面的电阻率云图以及渗流观测资料分析成果,本次高密度电法探测较好地揭示了坝体各断面渗流情况,验证了高密度电法在大坝渗漏隐患探测中的可行性和可靠性。

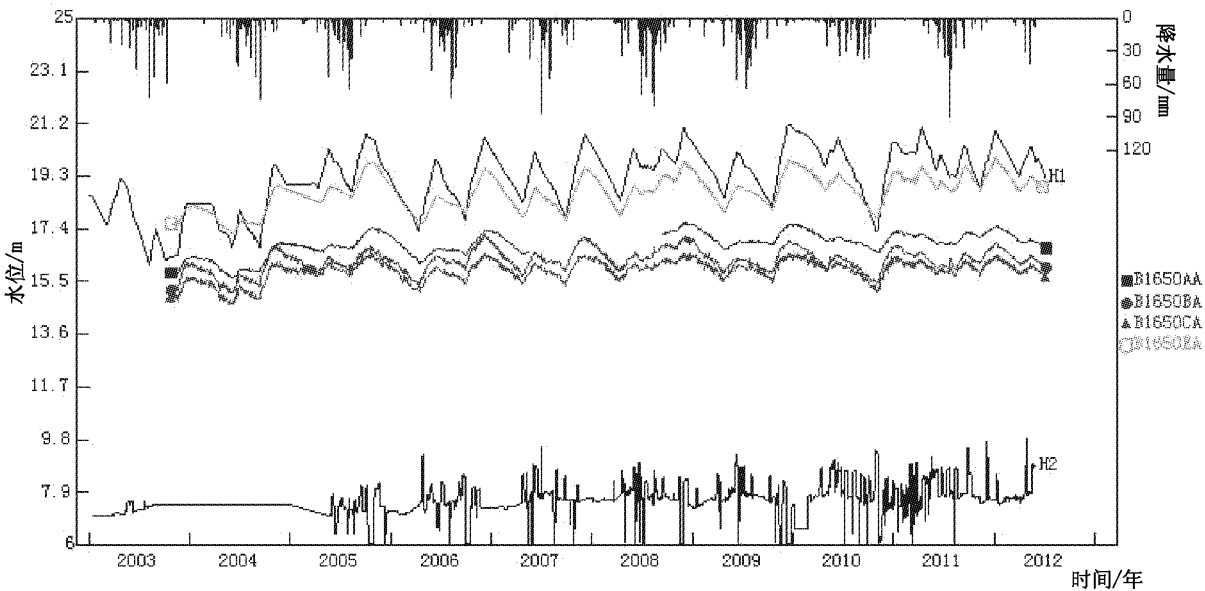


图 12 1 + 650 断面坝体渗流压力过程线图

高密度电法运用方便、无需开挖坝体,且成果可信,未来在水库大坝应急监测和检测方面,如何充分发挥高密度电法的作用及提高探测效果,还需进一步探索研究。

参考文献:

[1] 严加永,孟贵祥,吕庆田,等. 高密度电法的进展与展望[J]. 物探与化探,2012,34(6):576 ~ 583.

[2] 谷艳昌,王宏巍,王宏,等. 高密度电法仪在溃坝试验中的应用研究[J]. 水利水电技术,2015,46(3):94 ~ 96.
[3] 杨阳,徐海峰,李卓,等. 霍林河水库渗漏检测与防渗效果分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2015,37(3):11 ~ 14.
[4] 邓超文,周孝宇. 高密度电法的原理及工程应用[J]. 西部探矿工程,2006,(s):278 ~ 279.

编辑:张绍付

Study on application of high – density resistivity method in leakage detection of Yuqiao Reservoir

QIN Jihui¹, WU Yunxing^{2,3}, GU Yanchang^{2,3}

(1. Yuqiao Reservoir Administration of Diversion Project in Tianjin City, Tianjin 301900, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

3. Dam Safety Management Center of the Ministry of Water Resources, PRC, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to find out the Yuqiao reservoir dam leakage area and its causes, using high density resistivity method detecting the resistivity distribution in the 93m range of three sections of 0 + 356, 1 + 130 and 1 + 605. The results show that the low resistivity bodies exist near the three sections are leakage zones. The detection results and the analysis results of dam seepage pressure monitoring data are basically consistent, verify the reliability of the high density resistivity method.

Key words: High density resistivity method; Leakage detection; Reservoir dam

翻译: 秦继辉

王纯副厅长出席江西省长江经济带战略 实施情况新闻发布会

3月20日,江西省政府新闻办、省发展改革委联合召开2017年江西省长江经济带战略实施情况及2018年推动长江经济带发展工作重点新闻发布会。省政府新闻办新闻发布处处长陈惠龙主持发布会,省参与"一带一路"建设和推动长江经济带发展领导小组办公室副主任、省发展改革委副主任李志刚介绍2017年江西省长江经济带战略实施情况及2018年推动长江经济带发展工作重点,省水利厅副厅长王纯出席新闻发布会,并回答记者提问。

王纯在回答记者提问时,介绍了我省全面实施河长制工作取得的成效和下一步工作打算。他指出,江西自2015年底全面启动河长制工作,率先在全国建立规格最高、覆盖面广、组织体系完善的河长制体系,实现了从"见河长"到"见行动""见成效",河湖管护成效显著。一方面是水质环境得到提升。全省地表水质达标率由2015年的81.4%提升至2017年的88.5%,重要江河湖泊水功能区水质达标率由2015年的93.8%提升至2017年的99.1%,县城以上集中式饮用水源地达标率保持在100%。特别是2017年全省开展消灭劣V类水工作,44个劣V类水重点治理断面大部分断面水质得到了提升。另一方面是突出问题得到解决。集中开展多个专项整治行动,分流域、分区域、分行业梳理各类问题共计1962个,整改完成率达95%以上,解决了一大批影响河湖健康的突出问题。下一步,将加大河湖保护、管理、治理力度,进一步巩固治水成果。一是巩固成果,持续抓实河长制。二是对标中央,全面落实湖长制。三是问题导向,持续推进专项整治行动。四是绿色发展,全面启动生态鄱阳湖流域建设。

(江西省水利厅宣发中心 钟建平)