

# 地电影像技术在堤坝隐患探测中的应用

刘晓芳

(滁州市城西水库管理处, 安徽 滁州 239000)

**摘要:** 阐述地电影像技术的基本原理和地质-地球物理基础, 并结合两个实例展示了地电影像技术在水利工程中的应用效果及前景. 提出实际应用中应注意: 对堤坝实施定期检测; 地电影像技术应与其它物探方法相结合, 以确保探测结果的准确性; 水利工程技术人員应与物探工作者密切配合.

**关键词:** 地电影像技术; 堤坝隐患; 探测

**中图分类号:** TV86; P319.3

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-7647(2002)03-0044-02

近年来, 堤坝隐患探测技术发展很快, 尤其是多种浅层物探方法的试验应用取得一定效果<sup>[1,2]</sup>. 由于堤坝隐患探测目的体的特殊性, 及电法勘探自身的特点, 地电影像技术已成为探测堤坝隐患快速、有效的方法之一.

地电影像技术是新发展起来的物探方法之一, 它是通过微机自动控制多道电极高密度采集, 并由成像反演软件处理, 直接生成地下的电性分布图像. 堤坝隐患往往为裂缝、洞穴、松软土夹层等, 会引起一定的电性异常, 因此可以通过分析堤坝的地电影像特征来判断隐患的存在.

## 1 地电影像原理概述

常规电法由于其观测方式的限制, 测点密度不高, 测量数据有限, 处理和解释只能以一维方法为主. 20世纪80年代后期兴起的高密度法在野外采集上有了很大突破, 以电极转换开关控制多根电极, 大大提高了数据采集密度和工作效率, 但资料处理未有大的改进.

日本的 Shima 等首次采用了电阻率层析成像(resistivity tomography)一词, 并提出了反演方法, 日本 OYO 公司于20世纪90年代初推出了用于电阻率成像数据采集的 MCOHM-21 型仪器.

直流电场在理论上满足拉普拉斯方程, 属于位场, 因此, 电阻率成像与地震波、电磁波成像存在着本质差异. 在电阻率成像过程中, 正演计算主要是有限元法和  $\alpha$  中心法. 前者适用于对任意地形、任意电导率分布介质进行数值模拟, 缺点是计算量大; 后者采用一种非线性变换, 使电位计算成为级数求和,

计算快速, 但不适用于电导率呈急剧变化的介质<sup>[3]</sup>.

我国的电阻率成像研究和应用也已取得较大进展, 白登海系统研究了浅层电阻率成像的理论和方法; 王兴泰、刘建伟等研究了电阻率成像反演的佐迪(Zohdy)方法; 中国地质大学和长春科技大学于20世纪90年代后期相继推出了适用于地电影像探测的分布式智能化的 GMD-3, E60 仪器.

中国煤田地质总质水文地质局于2000年底引进了 E60 地电影像系统, 并分别在多处水库大坝、古墓等开展试验, 探测效果较好. 该仪器以一根9芯电缆覆盖整个剖面的所有电极开关(图1), 根据施测现场地形及探测目的体等因素, 选择二极、三极、温纳及偶极等装置形式, 并由主机程控自动完成电极组合, 野外直接生成视电阻率断面, 在室内将实测数据传输到微机上, 应用专门配置的成像软件(RT)和成图软件(RTMapper), 生成接近地下真电阻率分布的地电影像.

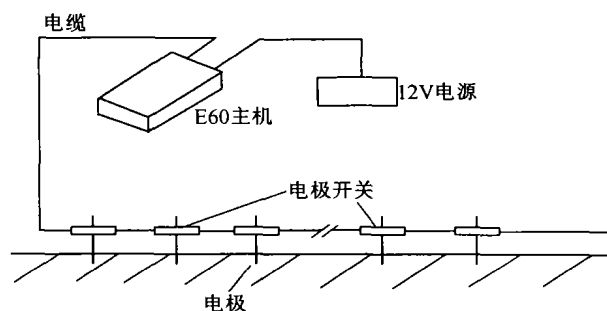


图1 E60系统野外工作示意图

## 2 地质-地球物理基础

探测目的体与围岩存在明显的电性差异是能够

作者简介: 刘晓芳(1968—), 女, 安徽滁州人, 工程师, 主要从事水库运行管理工作.

运用电法方法解决地质问题的地质-地球物理基础, 由于岩石的电性与岩性、压实程度、含水程度及水质(矿化度)等密切相关, 使得电法在许多领域得到广泛应用. 土质堤坝的隐患往往为裂缝、洞穴、松软土夹层等. 一般来说, 在未充水的情况下, 压实紧密地段电阻率低, 而松软地段电阻率高, 当位于水位以下时正好相反. 另外, 粒度大的土层(或含砂)表现为高阻, 粒度小的土层表现为低阻. 根据这些特征, 就可以在地电影像上识别出坝体及坝基的岩性分布及隐患的位置、形态.

### 3 应用实例分析

#### 3.1 磁县窑头东小水库副坝探测

磁县窑头东小水库位于河北省磁县磁州镇东窑头村东, 距县城西南约 6 km 处, 总库容 21 万  $\text{m}^3$ , 主坝为砌石溢流坝, 坝长 61 m, 高 7.5 m. 该水库建成于 1975 年, 担负着京广铁路、107 国道及县城的防洪安全; 限于当时的建筑材料、施工技术等多种因素制约, 加之运行多年, 导致水库存在着多处病险隐患, 尤其是副坝与主坝的连接段渗漏严重. 本次试验选择在水库枯水期进行, 图 2(a) 为副坝迎水坡实测地电影像, 采用温纳装置, 极距 2 m, 极数 64 个. 该坝为河谷冲积砂卵石、粘土互层经加固而成, 图中 0~32 m 段及 8 m 以深, 电阻率小于  $40 \Omega \cdot \text{m}$  区段为粘土质坝基的反映, 其余区段即为坝体. 其中, 108~120 m 段、埋深 2~6 m 处, 存在一电阻率大于  $150 \Omega \cdot \text{m}$  的高阻圈, 推断为长年漏水冲刷掉粘土层后残留干卵石的反映. 图 2(b) 为该坝加密实测结果, 除极距改为 1 m 外, 其它工作参数不变, 该图更清晰地显示了漏水段的空间形态, 后经开挖, 证实了推断成果.

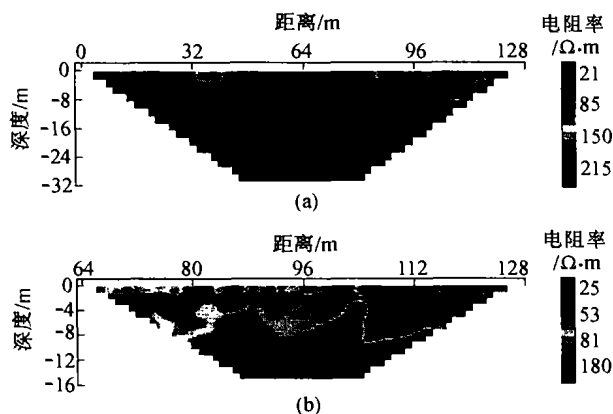


图 2 窑头东小水库地电影像

#### 3.2 邯郸某水库主坝探测

该水库位于海河流域的子牙河水系两大支流之一的滏阳河上游, 经过 1958 年初建、1970 年扩建及 1975 年加固等三期工程, 目前的总库容为 1.54 亿  $\text{m}^3$ ,

控制面积 340  $\text{km}^2$ , 主坝为均质碾压式土坝, 坝高 34.1 m, 坝长 2 646 m, 坝顶宽 5.75 m, 在灌溉、防洪和邯郸市工业用水等方面一直发挥着显著作用. 近年发现桩号 0+126 处出现散浸, 为进一步查明坝体散浸的来源及范围, 在桩号 (0+0)~(0+192) 段开展了地电探测工作. 图 3(a) 和图 3(b) 分别为坝后平行坝线野外实测视电阻率断面和经室内处理生成的地电影像, 不难看出, 图 3(b) 显示的影像特征更加清晰, 现就该图所反映的地电影像特征结合已知资料解释如下: 24 m 以深电阻率在  $18 \sim 20 \Omega \cdot \text{m}$  之间, 推断为粘土质坝基, 24 m 以上的碾压土层坝体的电阻率总体上比较均匀, 但在 4 m 以下出现了数个规模较小的、电阻率大于  $30 \Omega \cdot \text{m}$  的高阻圈, 为表土层压实不密所致. 126 m 段、埋深 6 m 处的电阻率小于  $18 \Omega \cdot \text{m}$  的低阻圈即为已知散浸带的反映, 另外, 埋深 6~12 m、大于 132 m 段出现了较大范围的低阻异常带, 推断为相对富水段, 存在渗漏隐患.

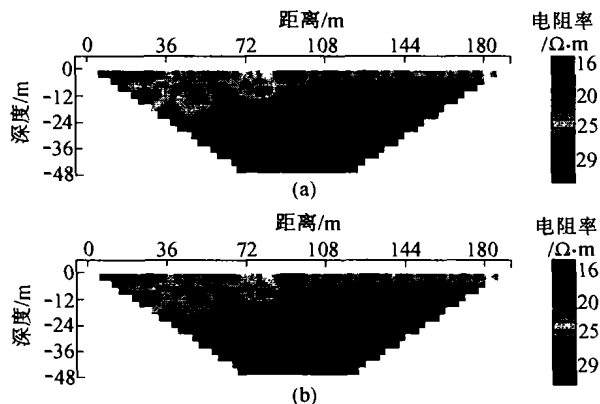


图 3 邯郸某水库地电影像

### 4 结 语

实测试验表明, 地电影像技术具有高效、经济和探测结果直观等特点, 随着研究的逐步深入和采集系统的日趋完善, 该技术已成为水利堤坝隐患探测的有效方法之一, 尤其适合土质堤坝的探测, 可查出堤坝中裂缝、洞穴、松散土夹层等隐患的位置、性质及埋深, 为整治堤坝隐患提供可靠依据. 在实际应用中应注意以下几点:

- 为做到防患于未然, 在有条件的情况下, 应对堤坝实施定期检测, 尤其是重点区段, 以确保防洪安全. 当然, 在汛期后即投入物探工作, 往往探测效果更好, 这是由于堤坝隐患的物性差异比平时要大.
- 水利工程技术人員与物探工作者的密切配合, 是地电影像技术在水利堤坝隐患探测中取得应用效果的前提.

(下转第 53 页)

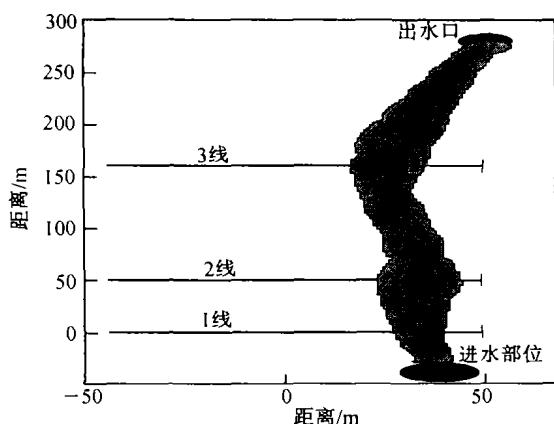


图5 洪泽湖大堤 52K+315 断面渗漏通道路径漏或其它挡水建筑物的渗漏检测。

DB-3<sup>I</sup>型堤坝管涌渗漏检测系统在江西、湖北、湖南等省的堤防查险及防汛工作中已发挥出巨大效益,但在洪泽湖堤防渗漏检测中尚属首次,为在众多

的隐患探测方法中筛选出一个目前最为合理的隐患探测方法,我们将该方法和传统的较为准确的“同位素示踪”法进行检测比较,从这次检测的结果看,两种方法检测的结论完全一致,而从检测的过程和总体效益看,DB-3<sup>I</sup>型堤坝管涌渗漏检测系统更具有明显的经济、快速和操作方便的优势,最重要的是它还能应用于汛期恶劣环境(表1),是江、河、湖、库堤坝管涌、渗漏探测的首选设备,具有广阔的应用前景。

表1 DB-3<sup>I</sup>型堤坝管涌渗漏检测系统与“同位素示踪”法检测效益对比

| 检测方法                 | 投资/万元         | 检测时间/d | 检测过程               | 可操作性         |
|----------------------|---------------|--------|--------------------|--------------|
| 同位素示踪法               | 15<br>(一次性)   | 12     | 布点、钻孔、投放元素、检测、计算分析 | 需中高级专业技术人员操作 |
| DB-3 <sup>I</sup> 系统 | 11<br>(可重复使用) | 1      | 安装仪器、布线、检测、分析      | 培训后即可操作      |

(收稿日期:2001-09-10 编辑:熊水斌)

(上接第35页)

d. 左右两岸沿灌浆斜洞、灌浆支洞,接坝基帷幕下游侧(与坝轴线近乎垂直)全线竖直向上、向下各布设一排排水孔。

e. 左岸在导流洞和2号施工支洞内各设一条长度分别为220m、198m的排水洞,命名分别为左排1号、左排2号,其向上、向下各钻设一排排水孔。右岸EL187m及坝顶各打一条排水洞(坝顶排水洞兼作交通洞),其向上、向下各钻设一排排水孔。

各层排水洞、排水孔和阻水帷幕灌浆孔以打穿地质缺陷所在岩层为深度控制,这样,形成左右岸分层排水、高水高排、排堵结合的综合处理措施。

## 4 结 语

管涌发生后,坝肩左右岸共补打4条排水洞(其中1条兼作交通洞),增加排水孔约15000m,补强及岸坡阻水帷幕灌浆孔2032m,各排水洞排水效果明显。尤其在暴雨后,部分排水孔大量出水,出水点集中出现在溶蚀带、断层、层间错动部位,其它部位无水或出水极少。通过绕坝渗流孔观测,2000年汛期同等降雨强度下地下水位远低于1999年。

经过2000年汛期大暴雨及水库正常高水位(EL236m)的考验,证明坝肩分层排水、高水高排、阻排结合的方案切实可行,达到了预期目的。本文介绍的管涌处理措施,值得岩溶地区,特别是高山峡谷岩溶地区的坝工建设借鉴。

(收稿日期:2001-02-15 编辑:张志琴)

(上接第45页)

c. 任何物探方法都有其局限性和多解性,地电影像技术也不例外,仅以一种参数——电阻率值的高低作为解释依据,必定产生认识上的不足。因此,需要尽可能结合已知资料,并辅以其它物探方法,以利于资料解释、分析,保证探测结果的准确性。

中国煤田地质总质水文地质局物理探测队乔建民、龚惠民等参加了野外试验,北京骄鹏工程技术有限公司刘力高级工程师给予了指导,在此深表谢意。

## 参考文献:

- [1] 刘建伟.电阻率连续测深法及其在堤坝隐患探测中的应用[J].工程勘察,2000(3):35~38.
- [2] 刘康和.物探技术在水利水电工程中的应用简介[J].水利水电科技进展,1999,19(4):61~63.
- [3] 崔元星.电阻率层析成像的实质及其应用[J].水文地质工程地质,1997(2):42~44.

(收稿日期:2001-03-05 编辑:张志琴)

(上接第18页)

## 参考文献:

- [1] Ganji V, Gucunski N, Maher M H. Detection of underground obstacles by SASW method[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1997, 123(3): 212~219.
- [2] 王兴泰.工程与环境物探新方法新技术[M].北京:地质出版社,1996.
- [3] Nazarian S, Desia M R. Automated surface wave method: field testing[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1993, 119(7): 1094~1111.

(收稿日期:2001-02-21 编辑:张志琴)