

# 综合探测技术在堤坝渗漏隐患调查中的应用

汤金云

(中水珠江规划勘测设计有限公司,广东 广州 510610)

**摘要:**堤坝的安全运行关系到国民经济建设和人民生命财产安全,重要性毋庸置疑。结合多年堤坝渗漏隐患调查的实践经验,分析高密度电法、自然电场法、原位试验和室内土工试验等探测技术的优缺点,即采用高密度电法探测渗漏异常区的空间分布,采用自然电场法探测是否存在渗漏通道,原位试验和室内土工试验则对上述异常进行验证,并结合堤坝隐患的性质进行具体分析和判断,总结出一套行之有效的堤坝渗漏隐患综合探测方法,为后期加固除险提供依据。

**关键词:**综合探测技术;堤坝;渗漏隐患

**中图分类号:**TV871.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-9235(2013)05-0071-04

## 0 前言

堤坝作为重要的水利基础设施,在水利防洪体系中起到关键作用,与国民经济建设和保障人民生命财产安全密切相关。由于历史原因,不同时期修建的堤坝普遍存在安全隐患,严重威胁着人民生命财产安全和社会安定发展<sup>[1]</sup>。查明堤防和大坝渗漏等隐患空间位置和分布,为后期除险加固工程设计提供可靠依据,具有重要的现实意义。

目前,针对堤坝常见的渗漏、裂缝、松散等隐患的探测技术,大多采用电法、电磁法等物探方法<sup>[5]</sup>。这些物探方法单独使用一般都存在一定的局限性,笔者结合单位多年的堤坝渗漏调查的实践经验,分析高密度电法、自然电场法、原位试验和室内土工试验等探测技术的优缺点,总结出一套行之有效的堤坝渗漏隐患综合探测方法,为加固除险提供依据。

## 1 基本原理及技术特点

### 1.1 高密度电法

高密度电法是为满足浅部精细勘查的实际需要而研制的一种电法勘探系统。高密度电法原理为将直流电通过接地电极供入地下,建立稳定的人工电场,在地表观测某点的垂向和水平方向的电阻率变化,从而了解地下介质的特性,图1为高密度电阻率法勘探系统的结构示意图。高密度电法实现了野外测量数据的快速、自动和智能化采集,采集数据量大,施工效率高,探测精度比较理想,是堤坝渗漏调查中常用的探测方法;同时高密度电法的应用也有不少制约因素,在实际探测实践中应注意:地形干扰、探测体埋深过大、多解性和旁侧影响<sup>[2-3]</sup>。

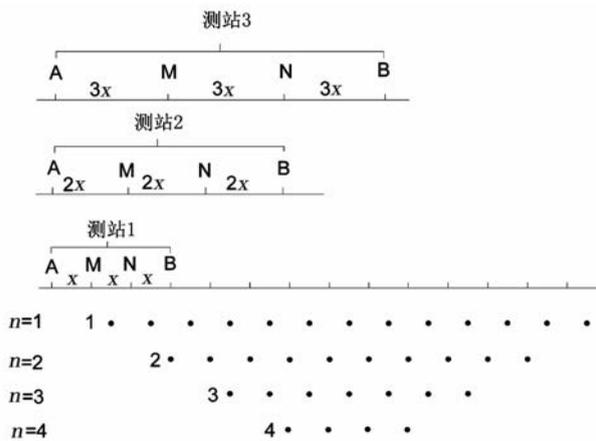


图1 高密度电阻率法勘探系统的结构示意图

### 1.2 自然电场法

自然电场的形成主要有3种形式:岩土氧化—还原、扩散—吸附和渗透过滤。本次主要利用其渗透过滤原理进行检测,即坝体渗漏具有通道短窄、水力坡度大的特点,水的渗透过滤作用过程中,水流拖着溶液中的正离子,并使之聚集到水流的方向上,在水流的反方向,则滞留负离子,于是水流破坏了电性的平衡状态,形成了极化,产生了过滤电场,通过自然的电位观测法,可以发现来自渗透的过滤电场。通过自然电位的变化来反映可能渗漏的平面位置及其通道。自然电场法作为一维物探方法,无法对异常的具体位置进行解释。

收稿日期:2013-07-01

作者简介:汤金云,男,江苏镇江人,主要从事工程物探、工程检(监)测技术与管理工。

### 1.3 原位试验

采用钻孔注水试验和钻孔压水试验来测定堤坝防渗墙体的渗透性。其中钻孔压水试验一般用于测定混凝土防渗墙等透水性较弱的堤坝防渗构造物的渗透性;钻孔注水试验主要适用于不能进行压水试验,灌浆补强等隔水性要求不高的堤坝防渗构造物。钻孔注(压)水试验能反映堤坝总体、综合性渗透性,但无法对堤坝进行全面调查。

### 1.4 室内土工试验

采用钻孔取样进行土工常规试验,测定堤坝岩土体的物理性指标、液塑限指数、颗粒组成、渗透系数等参数来判定岩土体的工程特性。根据工程经验,土工试验数据往往受样本代表性限制,渗透系数值偏小,有很大的局限性。

高密度电法、自然电场法、注(压)水试验和土工试验有着各自的技术特点,只有掌握上述方法的优缺点,根据任务要求与现场条件,合理运用上述方法,才能很好地解决工程问题。因此,为了探明堤坝渗漏隐患的空间分布和形态特征,采用高密度电法探测渗漏异常区的空间分布,采用自然电场法探测是否存在渗漏通道,注(压)水试验和土工试验则对上述异常进行验证,并结合堤坝隐患的性质,进行具体分析和判断。

## 2 工程实例

此次调查的为一座小型水库,位于海南省境内,是一宗以灌溉为主,兼顾养殖等综合利用的小(1)型水利工程。该

水库竣工后,水库主坝坝后坡出现不同程度渗漏。为了探明主坝渗漏隐患的空间分布和形态特征,主要针对坝体水泥搅拌桩防渗墙、坝基及接触带部位的主要问题进行了现场物探(高密度电法和自然电场法)、钻探以及原位测试(钻孔注水)和室内土工试验。

### 2.1 现场工作布置

堤坝渗漏探测采用物探方法详查和原位及室内土工试验验证相结合的方法。物探测线按照相关规范要求:在堤坝顶面宽度不大于4 m的堤坝上进行探测时,一般沿堤坝顶面中线或迎水面堤坝肩布置一条测线;堤坝顶面宽度大于4 m,可沿迎水面和背水面堤坝肩各布置一条测线;可根据追踪隐患分布的需要,在堤坝坡、堤坝脚处,或垂直堤坝轴线加密布置测线<sup>[4]</sup>。对于上述物探方法探测的渗漏异常部位,布置钻孔进行注(压)水试验并取样。

该水库枢纽工程主要建筑物由主坝、副坝、溢洪道和输水涵管组成,主坝呈“一”字形布置。主坝坝体为均质土坝,坝顶宽为4.0 m,坝顶长271.3 m,坝顶高程33.5 m,最大坝基宽度约为70 m。根据主坝的基本情况,分别沿坝体防渗墙轴线和坝后坡马道位置布置了2条高密度电法测线,测点距4 m,以了解防渗墙体的胶结质量薄弱区(低阻渗漏区)的空间位置;自然电场法测线布置于坝前坡水面线和坝后坡马道,点距为2 m,以了解渗漏区域的平面位置,见图2。

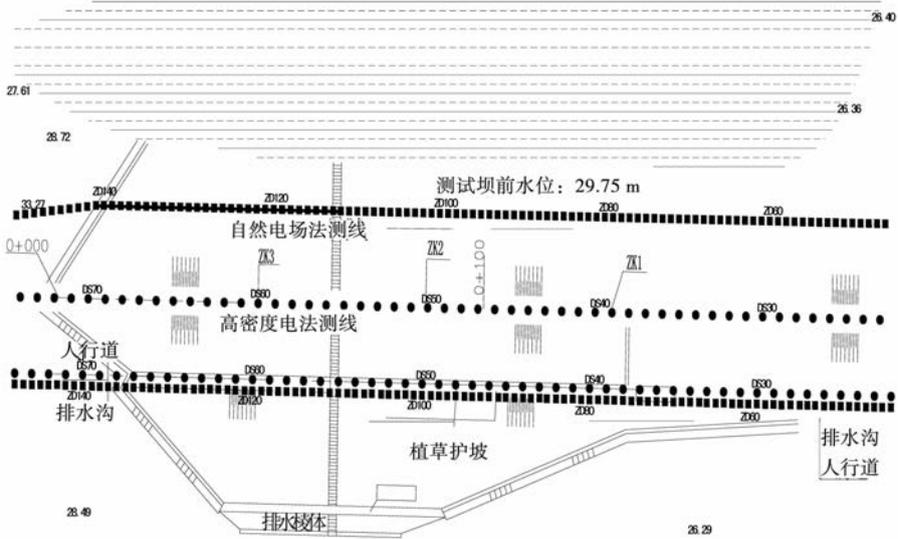


图2 野外工作布置及异常位置示意

### 2.2 资料分析

#### 2.2.1 高密度电法。

根据主坝的基本情况和渗漏探测要求,高密度电法探测采用温纳装置,一次可以同时完成水平与垂直二维的勘探数据的自然采集,高密度电法一个排列布置60根电极,滚动测量。沿防渗墙轴线和坝后马道布置高密度剖面,电极距为4 m,仪器为WGMD-9超级高密度电法系统,WDA-1A超级

数字直流电法仪、电极和电缆等设备,供电电源为180 V直流电源。系统工作时仪器极化补偿,采集数据为自动化。

高密度测线共2条,平行坝轴线布置。图3为高密度电法反演成果图,其中防渗墙测线在高程15~26 m上下,桩号为0+052~0+076、0+92~0+112和0+136~0+164,电阻率等值线呈低阻闭合圈异常反映,推测为低阻异常;坝后坡马道测线在高程15~24 m,桩号为0+052~0+072、0+

072 ~ 0 + 112 和 0 + 132 ~ 0 + 168, 电阻率等值线呈低阻闭合圈异常反映, 推测为低阻异常。

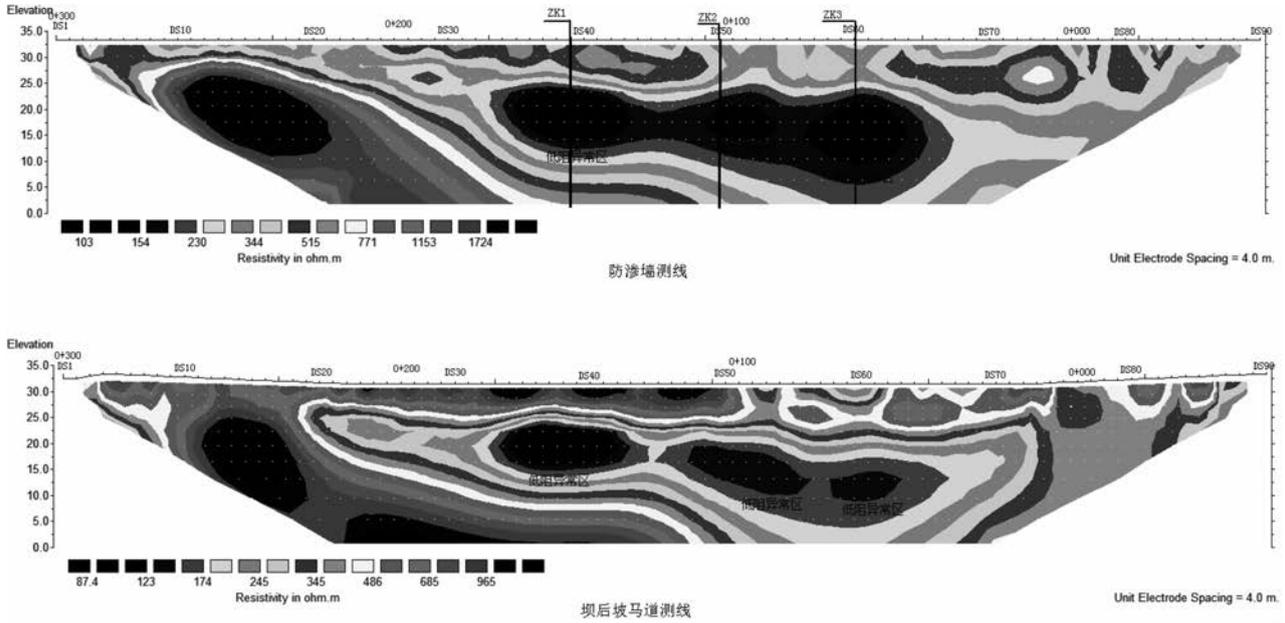


图3 高密度电法反演成果

### 2.2.2 自然电场法。

自然电场法渗漏探测是利用所谓“渗漏电场”, 即堤坝体地下水渗漏通道在流动过程中, 导致负离子吸附在上游岩土体, 正离子则吸附在下游岩土体上, 形成自然电场, 通过对自然电位的观测, 判断是否存在渗漏通道。本次探测使用 WDA-1A 超级数字直流电法仪, 配用不极化电极 (其极差小于 2 mV), 点距 2.0 m, 在坝前坡迎水面和坝后坡马道平行坝轴线各布置一条测线。

图 4 为自然电场法测线成果图, 其中坝前坡迎水面测线在桩号 0 - 003 ~ 0 + 006、0 + 092 ~ 0 + 134 测点间电位值相对较低, 推测为渗漏段, 坝后坡马道测线在桩号 0 + 076 ~ 0 + 124、0 + 128 ~ 0 + 138、0 + 154 ~ 0 + 196 测点间电位值相对较

低, 推测为渗漏段。

综合高密度电法和自然电场法解释成果, 桩号 0 + 92 ~ 0 + 112, 高程约为 15 ~ 22 m、桩号 0 + 136 ~ 0 + 164, 高程约为 15 ~ 26 m 等地段电阻率等值线呈低阻闭合圈异常反映, 推测为渗漏带; 桩号 0 + 052 ~ 0 + 076, 高程约为 12 ~ 20 m 段电阻率等值线呈低阻闭合圈异常反映, 推测为富水区。。

### 2.2.3 注水及土工试验

针对电上述异常区在坝轴线上布置钻孔 3 个进行验证, 分别为 ZK1、ZK2、ZK3, 对应桩号分别为 0 + 148、0 + 104、0 + 64。由钻孔芯样土工试验成果可知, 水泥搅拌桩底部搅拌不均匀, 连续性一般, 芯样多呈碎块状; 接触带水泥搅拌桩成桩效果差, 呈松散状; 坝基花岗岩风化土主要为花岗岩全 ~ 强

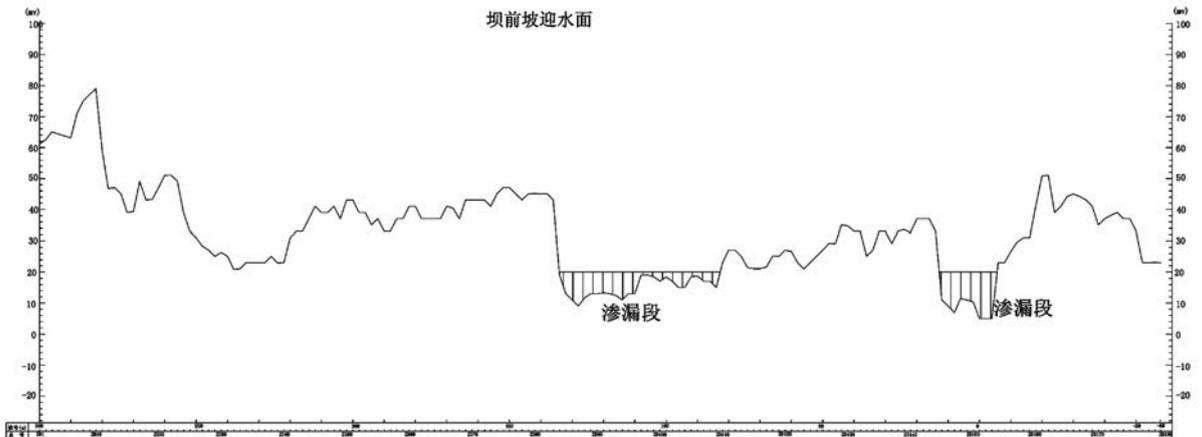
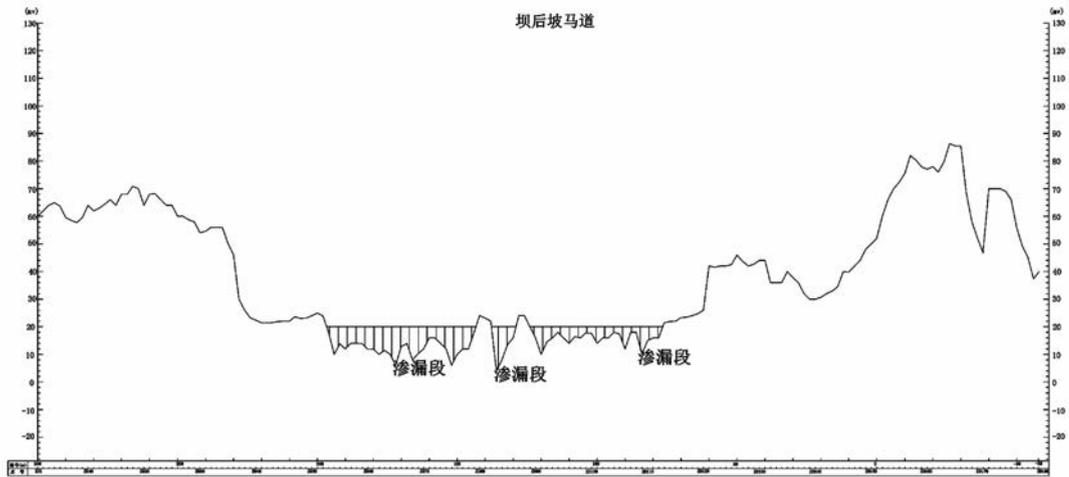


图4 自然电场法测线成果



续图4 自然电场法测线成果

风化土,范围自水泥搅拌桩防渗墙底部至坝基花岗岩弱风化上限,硬塑状,压缩性中等,属弱透水层,局部属中等透水性。岩芯呈密实砂土状,颗粒组成为砾石组占10.2%,砂粒组占32.7%,粉粘粒组占57.1%,成分与填筑土相近。

由注水试验成果统计,防渗墙渗透系数主要区间为  $2.78 \times 10^{-6} \sim 3.60 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ,属于中~弱透水范围;坝基花岗岩风化土渗透系数主要区间为  $4.03 \times 10^{-5} \sim 1.80 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ,属弱透水层。

通过高密度电法和自然电场法综合探测,经钻孔注水试验和土工试验验证,查明了该水库主坝渗漏异常部位主要为水泥搅拌桩防渗墙与坝基接触带,为后期的进一步补强处理提供依据

### 3 结语

通过上述探测实践表明,利用高密度电法对低阻体反映能力强的特点,及自然电场法对地下水渗流探测敏感度高的优势,选择合适的工作参数和现场布置,并结合钻孔注水试验和室内土工试验资料,能有效得探明堤坝体的渗漏隐患,

具有明显的经济效益和社会效益。

总之,合理组合上述方法能很好地解决水利水电工程中堤坝体渗漏隐患等异常探测问题,为后期处理提供依据。

### 参考文献:

- [1] 龚壁建,周力峰,董建军,等. 堤防工程探测、监测与监测[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006:17-125.
- [2] 房纯纲,姚成林,贾永梅,等. 堤坝隐患及渗漏无损检测技术与仪器[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010:39-89.
- [3] 王才欢,屈国治,雷长海,等. 水利工程安全检测与评估[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:246-351.
- [4] 中国水利电力物探科技信息网. 工程物探手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011:622-634.
- [5] 蔡新,黄健夫. 水利工程安全隐患与病害特点[J]. 小水电,2004(6).

(责任编辑:杨钧文)

## Application of Comprehensive Detection Technique in Investigation of Dam with Leakage Hidden Trouble

Tang Jin-yun

(China Water Resource Pearl River Planning Surveying and Designing CO. LTD., Guangdong Guangzhou 510610)

**Abstract:** The safe operation of the dams relationship to the national economic construction and people's lives and property safety, the importance undoubtedly. This article practical experience combined with years of dam leakage hazards survey, analysis of the advantages and disadvantages of high density electrical, natural electric field, in-situ testing and indoor soil test detection technology, used high density electrical detecting Spatial distribution for Leakage anomaly, natural electric field detecting Leakage channel, and in-situ testing and indoor soil test verified these abnormalities, Combined with the specific nature of the dam hazard analysis and judgment, summed up a set of effective detection method of dam leakage risks, provided the basis for post-reinforcement Danger.

**Key words:** Comprehensive Detection Technique; Dam; Leakage Hidden Trouble