

# 高密度电法在土坝浸润线探测中的应用

周 杨<sup>1,2,3</sup>, 陈红卫<sup>2</sup>

(1. 河海大学 水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 3. 水利部 堤防安全与病害防治工程技术研究中心, 河南 郑州 450003)

**摘 要:** 常规的堤坝浸润线观测方法受限于时空分布的局限性, 仪器的损坏, 以及未安装仪器等因素限制了其应用。基于土体含水率和电阻率具有相关关系的基础, 尝试应用高密度电法探测坝体浸润线, 该方法具有无需钻孔、机动灵活、工程量小、测点多、分辨率高等优点。结合实际工程开展了利用高密度电法探测坝体浸润线的试验, 并与测压管数据进行对比验证, 结果表明, 该方法能够快速准确地对坝体浸润线实施观测。

**关键词:** 高密度电法; 浸润线; 土坝; 探测

**中图分类号:** TV221.2

**文献标志码:** A

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.05.020

## 0 引言

水库是防洪工程体系的重要组成部分, 是防御洪水的最后屏障, 截止 2010 年底, 全国已建成各类型水库 87 873 座<sup>[1]</sup>, 其中大部分建于上世纪 50—70 年代, 限于当时的技术水平和经济条件, 许多水库的质量和建设水平都不是太高, 大部分是小型坝, 小型坝中 90% 以上是土石坝。根据相关统计资料, 病险水库的数量过半, 达到 4 万多座。从 1954 年有溃坝记录以来, 全国共发生溃坝水库 3 515 座, 其中小型水库占 98.8%。经过数次专项治理, 计划于 2015 年末, 由国家集中力量进行的除险加固工程将全部完成, 中国将基本消灭病险水库<sup>[2]</sup>。目前, 病险水库的安全隐患还依然存在。

浸润线是坝体横剖面上稳定渗流的自由水面线(或渗流顶面线)。水体在坝体、坝肩和坝基土中受重力作用总是由高处向低处渗透流动, 由于渗流受到土粒的阻力, 浸润线就产生水力坡降, 水力坡降越大, 对土粒的压力就越大, 超过临界值后将使土体产生流土、管涌等变形破坏。因此掌握浸润线的变化情况, 对判断工程渗透稳定、滑坡稳定、抗震液化安全等有重要作用。

浸润线位置受到材料渗透系数、上下游水位、上下游坡度、降雨量等多种因素的影响, 很难通过理论计算的方法确定, 现场观测法是获得坝内实际浸润线位置的重要方法之一。

## 1 现有浸润线观测技术

坝体浸润线的观测常用的方法是选择能反映主要渗流情况的横断面, 或预计有可能出现异常渗流的横断面作为观测断面, 埋设适当数量的测压管, 通过人工测量测压管中水位来获得浸润线的高低; 或利用孔隙水压力传感器组建自动化、实时在线监测系统, 传感器的类型主要有振弦式孔压传感器、光纤渗压传感器, 这些都是通过测定孔隙水压力进而求得浸润线。

浸润线的人工观测和自动化监测, 都需要在坝顶部、坡面上进行大量的钻孔施工, 监测断面数量有限; 每个监测断面上的监测点一般是 3~5 个, 数量有限, 而且经常有测压管因锈蚀或淤堵而不能正常工作的情况发生。紧急情况时, 对于没有建立观测系统的大坝无法实现快速布置。因此, 需要寻找一种快速无损的探测方法, 以准确及时地提供浸润线资料。

**收稿日期:** 2012-03-28; **修订日期:** 2012-05-17

**基金项目:** 水利部科技推广计划资助项目(TG1116); 水利公益性行业专项资助项目(200901053); 水利标准化工作资助项目(1261120162509、1261120162510); 农业标准化示范区资助项目(水利工程建设质量监控标准化示范区)。

**作者简介:** 周杨(1974-), 男, 河南信阳人, 河南水利科学研究院高级工程师, 硕士, 主要从事工程质量与安全方面的研究。E-mail: chou.young@gmail.com.

## 2 高密度电法探测技术<sup>[3-6]</sup>

高密度电阻率法是一种以岩土体导电性差异为基础的一类阵列勘探方法,研究在人工施加电场的作用下地层中的传导电流以达到解决各类地质问题的目的。当地下介质间电阻率存在较大差异时,人工施加电场作用下的传导电流的分布会因电阻率的高低而分布有疏有密,传导电流的分布与地下介质(土性、裂缝、孔洞等)的性质、大小、埋深等赋存状态各因素有着密切的关系。因此从探测到的传导电流的分布规律可以分析地下电阻率在不同区域间的变化,从而可以反演推测地下的地质情况,尤其是地下裂缝、孔洞、松散带等不良地质体的发育情况。高密度电阻率法进行二维电断面测量,兼具剖面法与测深法的功能,有点距小、采样密度高的特点,在堤坝隐患探测方面得以广泛应用。在高密度电阻率法的成果图中,高阻异常一般对应裂缝、松散体、石块、没过水的引水涵洞等,低阻异常一般对应渗漏通道、相对高含水地层等。

## 3 应用实例<sup>[7]</sup>

### 3.1 工程概况

九龙水库位于河南省信阳市罗山县潘新镇九龙村,在淮河流域竹竿河支流九龙河上,控制流域面积 250.6 km<sup>2</sup>,总库容 543 万 m<sup>3</sup>,是一座以防洪、灌溉为主,结合水产养殖等综合开发利用的小(1)型水库,水库建成于 1965 年,主、副坝均为均质土坝,最大坝高 10.5 m。

九龙水库副坝坝基为岩体均一结构或土岩双层结构,云母石英片岩弱风化,具弱透水性,工程地质条件较好;副坝填土以重粉质壤土为主,厚 3~10 m,下为细砂层。

为给加固方案提供技术支持,针对该工程开展了高密度电法探测。

### 3.2 电法测线与渗压计监测断面布置

#### 3.2.1 高密度电法测线布置

利用高密度电法在工程现场开展了探测工作,在坝顶布置了 2 条测线,在背坡布置了 1 条测线,如图 1,2 所示。

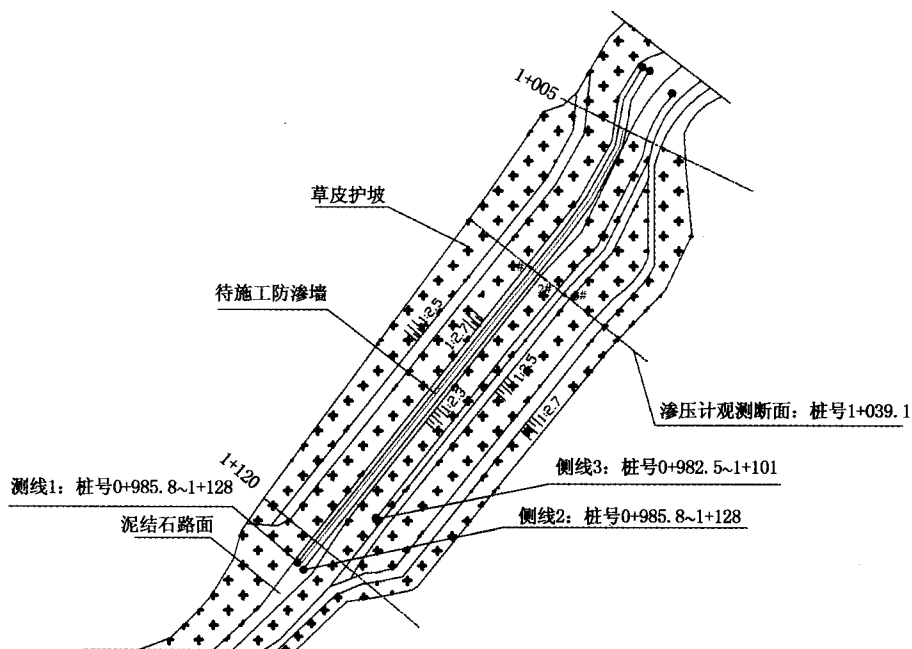


图1 高密度电法测线布置平面示意图

Fig.1 Saturation line survey plan using high-density resistivity method

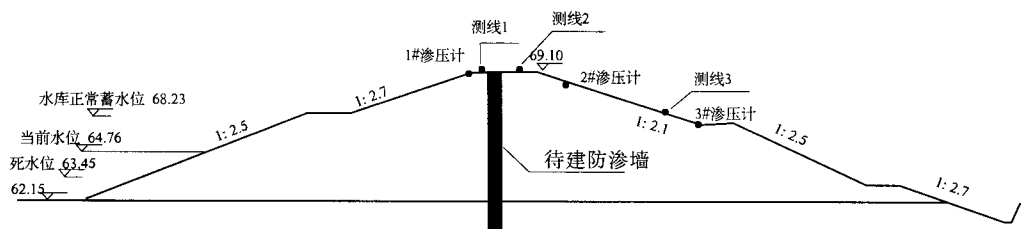


图2 高密度电法测线布置剖面示意图

Fig.2 Saturation line survey profile using high-density resistivity method

测线 1:位于坝顶高聚物防渗墙迎水面侧与坝轴线平行,桩号 k0 + 985.8 ~ k1 + 128,道间距 1.8 m,总道数 80,测点数 1 042,测线总长 142.2 m.

测线 2:位于坝顶高聚物防渗墙背水面侧与坝轴线平行,桩号 k0 + 985.8 ~ k1 + 128,由测线 1 平移 4m 左右所得.道间距 1.8 m,总道数 80,测点数 1 042,测线总长 142.2 m.

测线 3:位于坝坡背水面侧与坝轴线平行,测线 3 距坝顶测线 2 水平距离 6.60 m,垂直距离 3.192,桩号 k0 + 982.5 ~ k1 + 101,道间距 1.5 m,总道数 80,测点数 1 042,测线总长 118.5 m.

3.2.2 渗压计布置

在桩号 1 + 039.1 断面,安装 3 个渗压计,如图 1、图 2.

3.3 探测结果

测线 1:如图 3,该剖面探测深度约 17 m,深度 0 ~ 6 m 范围内的电阻率值较高,分布均匀,在 85 以上;深度 6 m 以下部分,电阻率值较低,分布均匀,小于 85 ;其中桩号 k1 + 012.8 ~ k1 + 099.2,在深度 6 ~ 12 m 范围内是较为联通的低阻区,电阻率值小于 50.

测线 2:如图 4,该剖面探测成果与测线 1 基本一致.

测线 3:如图 5,该剖面探测深度约 14 m,桩号 k1 + 065 ~ k1 + 101,在深度 0 ~ 7 m 范围内是特高阻区,电阻率值大于 1 000,推测该部分为含石料较多的强透水层,或为黏土含量较高的不透水层;其余部分电阻率值较低,且分布均匀,大多在 80 以下,电阻率值较低与前一阶段持续集中降雨、背坡土壤涵养水分效果好、受交通干扰少等有关.

(1)测线 1 探测成果、测线 2 探测成果差异很小,与测线平行移动距离不大有关,说明探测成果的一致性非常好.

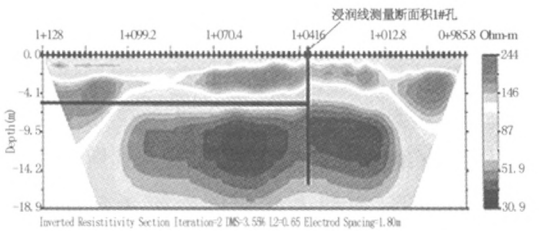


图 3 测线 1 视电阻率色谱图  
Fig. 3 Apparent resistivity chromatogram of Survey line 1#

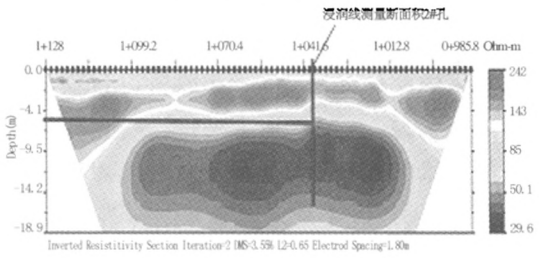


图 4 测线 2 视电阻率色谱图  
Fig. 4 Apparent resistivity chromatogram of survey line 2#

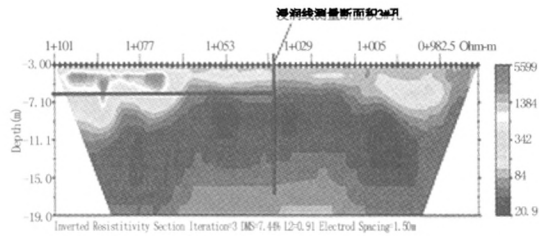


图 5 测线 3 视电阻率色谱图  
Fig. 5 Apparent resistivity chromatogram of survey line 3#

(2)测线 1,2,3 电法探测成果与浸润线测量断面当日监测成果进行对比,如图 6 中,蓝色部分为渗压计测试结果,红色部分为高密度电法勘探成果,两者的测量结果相互吻合的比较好,均能反映出水位高程 64.76 m 条件下,坝体内部浸润线的情况.

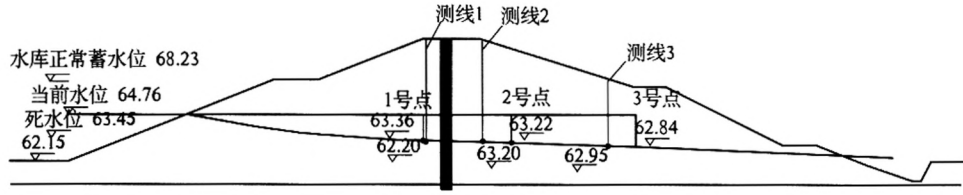


图 6 两种方法所测得浸润线位置对比图  
Fig. 6 The comparison chart of Saturation lines got by the two methods

#### 4 结语

利用高密度电法通过测量坝体内部的导电性间接推求含水层,进而推测浸润线的位置这一方法适用可行.该方法的优势在于:

(1)机动性好,不受点位影响,可以在坝面任意位置布设测量.如果条件具备,一条测线直接探测大坝的横断面,即可推求该断面处的浸润线位置.

(2)施工量小,无需进行钻孔施工,直接在坝面砂土层插入金属电极进行测量.

(3)测量效率高,工作时间短.

(4)获取信息量大,除确定浸润线位置外,还可通过利用整个剖面的视电阻率等值线图,分析剖面上坝体内部的隐患发育状况.

#### 参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 2010 年全国水利统计公

报[M]. 中国水利水电出版社, 2011:12.

[2] 郭芳,李凤桃,汪孝宗,等. 病坝之患 4 万座险水库的威胁[N]. 中国经济周刊,2011,8:25-29.

[3] 李军,马新龙. 高密度电法在水库大坝塌陷勘测中的应用[J]. 工程勘察, 2010, (1): 89-94.

[4] 王宇玺,肖宏跃,雷宛,等. 高密度电法探测未知目标体的技术及其效果[J]. 工程勘察, 2009, (11): 86-90.

[5] 周杨,冷元宝,王锐. 综合物探方法在震损土坝应急除险中的应用[C]. 北京:中国水利学会,2008:160-162.

[6] 周杨,冷元宝,王锐. 电法探测在震损土坝应急除险隐患探测工作中的应用[C]. 北京:中国水利学会量测技术专业委员会,2008. 163-165.

[7] 黄河水利科学研究院. 罗山县九龙水库大坝右 2# 副坝渗漏探测成果报告[R]. 郑州:黄河水利科学研究院. 2010.

### High-density Resistivity Method Used in Detection of Earth Dam Saturation Line

ZHOU Yang<sup>1,2,3</sup>, CHEN Hong-wei<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 3. Research Center on Levee Safety & Disaster Prevention Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** Conventional dam saturation line inspection methods are limited by the limitations of spatial and temporal distribution, damage to the instruments, and instruments are not installed, so the application is restricted. In view of the fact that soil moisture content is proportional to its electrical resistivity, this article tried to apply high-density resistivity method to detect dam saturation line, this method has no need to drill, and it has flexibility, a small amount of engineering and high resolution. The actual works based on high-density resistivity method for dam saturation line test, and compare with the method of Osmometer, the results show that this method can quickly and accurately observed the dam saturation line.

**Key words:** high-density resistivity method; saturation line; soil dam; inspection