

综合物探技术在长江堤防隐患探测中的应用

方绪顺,马泽宇,阎志坤

(南京水利科学研究所,江苏南京 210024)

摘要:堤防工程是沿江防洪工程体系中的重要组成部分,但因堤防工程结构复杂以及隐患分布多变,常用的单一物探方法存在局限性和不确定性,无法全面解决堤防隐患探测中隐患分布问题。以长江下游堤防工程隐患探测为例,分别采用地质雷达法和高密度电法探测堤防工程中的隐患分布,结果验证了地质雷达运用于长江堤防隐患探查的可行性,可为确保堤防工程的安全运行提供技术支持。

关键词:长江堤防; 隐患探测; 探地雷达法; 高密度电法

中图分类号:TV871

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)06-0054-0003

Application of comprehensive geophysical prospecting technology in hidden danger detection of the Yangtze River embankment

FANG Xushun, MA Zeyu, YAN Zhikun

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: Embankment engineering is an important part of flood control engineering system along the Yangtze River. However, due to the complex structure of embankment engineering and the changeable distribution of hidden dangers, the commonly used single geophysical prospecting method has limitations and uncertainties, which cannot fully solve the problem of hidden danger distribution in embankment hidden danger detection. Taking the hidden danger detection of the embankment project in the lower reaches of the Yangtze River as an example, the hidden danger distribution in the embankment project is detected by the geological radar method and the high-density electrical method respectively. The results verify the feasibility of the geological radar used in the hidden danger detection of the Yangtze River embankment. It provides technical support for ensuring the safe operation of the embankment project.

Key words: the Yangtze River embankment; hidden danger detection; ground penetrating radar method; high density electrical method

1 概述

由于江河堤防多为人工填筑,堤防内部存在松软层、洞穴、裂缝以及渗漏等缺陷,后期加固维护时新老堤防的堤身和堤坡结合部处理可能存在缺陷,

其中部分堤坝缺陷范围较大,存在一定隐患,是每年汛期的潜在险情^[1]。当遇到水位高、强度大的洪水可能会出现堤防渗漏、管涌、塌陷甚至决口等安全问题。因此,针对具有潜在地质灾害的水利工程堤坝如何有效进行检测^[2],并提出地质灾害防治与

收稿日期:2023-03-30

基金项目:江苏省水利科技项目(2018019)

作者简介:方绪顺(1972—),男,正高级工程师,主要从事堤坝安全监测与安全评价、隐患探测技术研究工作。E-mail: xsfang@nhri.cn.

应急措施,成为确保工程安全的关键因素,具有十分重要的意义。

2 常用物探方法及原理

工程物探是工程地球物理勘探的简称,近年来,工程物探技术在勘查能力和勘查精度方面得到极大提高,国际上工程物探已成为解决工程建设地质问题的必不可少且有效的高科技手段,也可以将其运用于水利工程质量检测 and 地质灾害防治工作^[3-4]。

2.1 探地雷达法

探地雷达方法是将高频电磁波以脉冲形式通过发射天线定向送入地下介质,雷达波在地下介质中传播时,当遇到存在电性差异的地下介质或目标体时便发生反射,反射回波返回地面后由接收天线所接收,通过AD芯片将模拟信号转化为数字信号后进行存储^[5]。

探地雷达单组收发天线在一定时间内向同一方向移动一段距离,多组反射波数据拼接起来称为B-Scan数据,可形成二维图像,直观地反映出一个界面的介质分布差异情况^[6]。通过分析探地雷达B-Scan图谱,可以识别地下介质的电性差异及其中包含的空洞、松散体、渗流等隐患。

2.2 高密度电法

高密度电法是一种基于电阻率法基本原理的探测方法^[7]。在野外观测中采用了高密度布点,将全部的电极布置在剖面上,利用仪器和软件自动控制供电电极和接收电极的变化,实现数据的快速和自动采集^[8]。

现场作业时,在预定的测线和测点上,高密度电法测量系统可一次性布设60根或120根电极,利用多芯电缆将全部电极连接到转换器上,电极转换器将电极组合成指定的电极装置和电极距,通过自动采集系统快速完成多种电极装置和多电极距在观测剖面的多个测点上的电阻率观测,探测浅部不均匀地质体的空间分布。高密度电法探测系统原理如图1所示。

3 堤防隐患探测实例及分析

3.1 地质雷达法探测实例

3.1.1 工程概况

研究区域位于长江南岸,该段堤防级别为1级,设计防洪水位为9.85 m,堤顶宽度5 m,为混凝土路面,迎水坡为混凝土护坡,堤顶迎水侧建有防洪

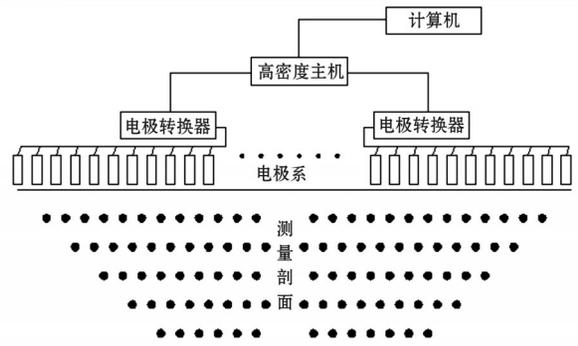


图1 高密度电法探测系统原理

墙。防洪大堤所在地貌属于长江中下游冲积平原河漫滩地貌、河床地貌,河岸较为顺直,堤内陆域地势起伏较小,仅仅局部地段由于人工挖填形成局部高低起伏。堤外河漫滩地宽度400~500 m,由江堤向陆域分布有水塘、芦苇地和树林。该段堤防为运行时间较长的堤防,近些年未经过加固处理,本段堤防在运行过程中堤顶道路部分区域出现了不均匀沉降、开裂的现象。

3.1.2 测线布置及定位

根据场地现状、场地条件及试验目的,沿大堤纵轴方向布置4条测线,分别命名为测线A、B、C、D。其中,测线A、B布置在大堤堤顶道路两侧,测线C布置在大堤迎水坡坡中,A、B、C测线起点均为里程桩长江70+650,往下游延伸至长江72+035。测线D布置在大堤堤顶道路轴线位置,起点里程桩长江70+815,往下游延伸至长江71+150。各测线编号、长度以及所在位置等详见表1。

表1 物探测线布置情况

| 测线编号 | 起点桩号 | 测线长/m | 所属区域 | 所在位置 |
|------|--------|-------|------|--------|
| A | 70+650 | 1 385 | 主堤 | 堤顶背水坡侧 |
| B | 70+650 | 1 385 | 主堤 | 堤顶迎水坡侧 |
| C | 70+650 | 1 380 | 主堤 | 迎水坡面坡中 |
| D | 70+815 | 335 | 主堤 | 堤顶轴线 |

3.1.3 探地雷达B-Scan数据分析

(1) 堤顶测线雷达时间剖面分析

堤顶测线共计3条,分别为A、B、D。测线A、B起点均为里程桩长江70+650,往下游延伸至长江72+035,测线长度均为1 385 m,分别布置在堤顶的背水坡侧和迎水坡侧;测线D布置在堤顶道路轴线位置,起点里程桩长江70+815,往下游延伸至长江71+150,长度为335 m。通过对时间剖面分析可知,

各测线雷达波形层次基本分明,但是异常区域众多,表现为同相轴间断、波形紊乱等特征。

以260.00~298.00 m区段地质雷达影像为例,在该区段内,从左到右图像发生了明显变化,突出表现为波形振幅变大、视周期也变大。该现象可以解释为区域内土体孔隙发生变化,对应土体的渗透性能发生改变。该位置正好就是道路表面,混凝土裂缝明显张开且向背水坡侧移动的开始位置。因此可以推断,表面一系列的裂缝与下部土体结构发生变化有关,进一步解释为,由于大堤两侧存在水位差,土层中细颗粒在渗流作用下从颗粒孔隙中被带走或冲出,造成土体结构发生变化,在重力及上部荷载作用下,土体产生变形沉降,从而导致裂缝。这个现象在本检测区段内普遍存在,因此道路开裂范围分布较广。

(2)迎水坡测线雷达时间剖面分析

测线C布置在大堤迎水坡坡中,测线起点为里程桩长江70+650,往下游延伸至长江72+030,长度为1380 m。

通过该区段时间剖面分析可以看出,测线雷达波形总体层次分明,同相轴连续,图像振幅较符合具体介质特性。同时,通过对图像进行详细分析,可以发现从160.00 m开始,图像波形振幅变大、视周期也有所变大,并且该现象一直延伸到510.00 m位置。这个现象与堤顶出现的现象位置基本一致,也可以解释为在地质条件薄弱地段,由于渗漏使堤身局部细颗粒流失,土体孔隙加大,在重力及外部荷载作用下,土体产生沉降,导致裂缝产生。

显然,在堤防两侧水位差较高的情况下,渗漏的存在会影响到土体孔隙变化,土体会出现松散、不密实、空洞、凹陷等缺陷,进一步导致道路开裂。

3.2 高密度电法探测实例

3.2.1 工程概况

研究区域堤顶高程11.50 m,防洪标准为50年一遇,设计洪水位9.68 m,抗震设防烈度为7度。

堤防防渗处理总长1 km,其中长江左岸1号坝段(LCS95+150~95+434)长300 m,长江右岸2号坝段(CCS0-350~0+360)长700 m。防渗方式采用高压旋喷桩防渗墙、带药充填灌浆。防渗墙采用D500高压旋喷桩,成墙厚度0.3 m,防渗深度8 m,桩径0.5 m,防渗高程2.70~10.70 m,位于路基下部,低于堤后地面高程约2 m。充填灌浆孔共6排,梅花形布置,灌浆深度6 m,灌浆高程4.70~10.70 m。

3.2.2 测线布置及定位

根据场地现状、场地条件及试验目的,在大堤背水坡坡中马道上采用高密度电法布置1条测线E。起点为长江右岸2号坝段上游04桩处,往下游延伸,长度为500 m。本次探测采用60根电极,电极距为5 m,采用温纳排列滚动测量。

3.2.3 高密度电法二维剖面数据分析

测量数据经坏点剔除、数据平滑和滤波处理后进行二维电阻率反演,迭代反演次数为4次,最终检测结果显示了堤坝视电阻率的变化,可知该侧面范围内地层电阻率较均匀,电阻率为15~35 $\Omega \cdot m$ 。野外作业现场有降雨,地表土壤湿润,电阻率较低。

4 结 语

针对江海堤防存在隐匿的裂缝、渗漏、松散等问题,以探地雷达法和高密度电法为基础,开展江海堤防隐患探测及应急抢险技术研究,开发了江海堤防隐患综合物探技术。相较于单一方法探测结果,多种方法综合物探能够起到相互补充、相互验证的效果,保证了探测的准确性和可信度。本文以长江堤防典型工程段为例,开展江海堤防隐患综合物探技术推广应用,分别以地质雷达法和高密度电法来探测堤防隐患分布,为相关堤防的安全管理和应急抢险提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 刘现锋,谢向文,马若龙,等.综合物探技术在复杂土质堤防隐患探测中的应用[J].人民黄河,2020,42(12):41-44.
- [2] 白广明,张守杰,卢建旗,等.流场法探测堤坝渗漏数值模拟及分析[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(1):52-58.
- [3] 徐力群,张国琛,马泽锴.土石堤坝隐患探测综合物探技术发展综述[J].地球物理学进展,2022,37(4):1769-1779.
- [4] 李雷,张国栋.我国堤坝隐患探测技术及面临的问题与建议[J].水利水运工程学报,2009,122(4):91-99.
- [5] 陈思静,胡祥云,彭荣华.城市地下管线探测研究进展与发展趋势[J].地球物理学进展,2021,36(3):1236-1247.
- [6] 晏军.岩溶隧道超前地质预报几种主要物探方法的选择与实践[J].隧道建设,2020,40(S1):327-336.
- [7] 董浩斌,王传雷.高密度电法的发展与应用[J].地学前沿,2003(1):171-176.
- [8] 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,2012,36(4):576-584.