

基于综合物探法的城市堤防浅层渗漏探测

耿晓明¹, 张 力², 孙 雪³, 蔡 敏¹

(1. 南京市秦淮河河道管理处, 江苏 南京 210012; 2. 盐城市农业资源开发规划设计与评审中心, 江苏 盐城 224000;
3. 南京市水利投资有限公司, 江苏 南京 210012)

摘要:为查清城市堤防隐患情况,摸清堤防不密实、不均匀土体分布,采用探地雷达和瑞雷面波的综合物探法对城市堤防浅层渗水区进行探测,探明了堤防隐患分布的位置和深度,为堤防消险工程设计提供了依据。通过2种方法互相验证、互为补充,克服了单一方法的局限性,为城市堤防浅水区隐患排查提供一种可靠的方法。

关键词:堤防渗漏; 综合物探法; 探地雷达法; 瑞雷面波法

中图分类号:TV867 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2022)04-0047-0004

Leakage detection in shallow layer of urban embankment based on comprehensive geophysical method

GENG Xiaoming¹, ZHANG Li², SUN Xue³, CAI Min¹

(1. Nanjing Qinhuai River Administration Office, Nanjing 210012, China; 2. Agricultural Resources Development Planning, Design and Evaluation Center of Yancheng, Yancheng 224000, China; 3. Nanjing Water Conservancy Investment Co., Ltd., Nanjing 210012, China)

Abstract: In order to find out the hidden dangers of urban embankments and find out the distribution of soil that is not dense and uneven in embankments, the comprehensive geophysical method of ground penetrating radar and Rayleigh surface wave are used to detect the shallow seepage area of urban embankments, and the location and depth of the hidden danger distribution of the embankment are found out, which provides a basis for the design of embankment risk elimination projects. The two methods verify and complement each other, overcome the limitations of a single method, and provide a reliable method for troubleshooting hidden dangers in shallow water areas of urban embankments.

Key words: dike leakage; comprehensive geophysical method; ground penetrating radar method; Rayleigh surface wave method

近年来,随着城市土地的开发利用不断加快,城市下垫面变化加剧了内涝排放,导致河道水位快速上涨,加大了城市河道防洪压力。堤防作为保护城市和人民财产生命安全的重要屏障,对城市防洪安全起到极端重要的作用。堤防在长期运行过程中,土地容易产生的一些洞穴、裂缝形成渗水通道,在高水位渗透压力下,容易发生渗漏、管涌等险情,通过无损检测对堤防进行有效的隐患排查,可以为

堤防除险加固提供技术支撑,便于消险方案的精准制定。本文结合南京市秦淮河实例,采用探地雷达和瑞雷面波2种隐患探测相结合的综合物探法对堤防渗水段进行全面检测,充分掌握堤身可能存在的松散、不密实和土体不均匀等不良质体的分布位置和范围,为堤防消险工程的设计提供依据,同时通过消险前后综合物探的对比,确保消险工程对堤防防渗处理达到预期效果。

收稿日期:2022-01-20

作者简介:耿晓明(1987—),男,工程师,硕士,主要从事水土资源管理工作。E-mail:363162823@qq.com

1 探地雷达和瑞雷面波勘探原理

1.1 探地雷达工作原理

探地雷达法是由发射天线向地下发射高频电磁波,利用地下介质对电磁波的不同反应来分辨地下介质特征的一种探测技术^[1]。当电磁波在地下传播时,介质的属性、电性、形状变化会导致电磁波的频率、振幅、相位等频谱参数产生变化并产生反射,由接收天线接收,通过识别雷达波所产生的波形参数变化,达到对地下目标体探测的目的。当堤防土体较密实均匀时,雷达反射波同相轴连续,波形稳定,频率均一,振幅一致性较好。当堤身存在异常缺陷,如渗漏时,缺陷位置的雷达波将和周围产生明显差异,如同相轴不连续,出现散射和绕射等杂波,波形杂乱无序,振幅变强等。本次探地雷达采用40 MHz和20 MHz的天线频率对堤防进行全面检测。

1.2 瑞雷面波勘探原理

瑞雷面波是一种沿介质自由表面传播的弹性波,其特有的传播规律反映了传播途径中所涉及介质的弹性参数^[2]。本次瑞雷面波勘查采用SWS工程勘探与工程检测仪,工作参数设计为:24道接受,记录采样点数1 024,采样间隔为1.0 ms,偏移距为5 m,采用锤击震源,5次叠加,观测排列方向平行于堤坝轴线。探测结果表明,瑞雷面波法对地层结构的划分和堤防隐患的探测均具有较好的效果,探测深度较深,不受地下水位影响,能获取地层的剪切波速度等物性参数,该方法揭示地下结构分布在物探方法中具有一定的优越性。

2 工程背景

现以秦淮河主城区某段堤防为例,该处堤防为土堤,汛期高水位期间背水侧坡脚发生渗漏险情,渗漏长度约350 m。汛期发生险情后,首先对出险范围内进行了地质勘查,检测结果显示堤顶所在场地地层由上至下分为:①杂填土,由黏性土、碎砖块、建筑垃圾及少量生活垃圾组成,层厚0.50~3.00 m;素填土(粉质黏土),以粉质黏土为主,见少许植物根茎及碎石,层厚2.60~5.45 m,顶板埋深0.00~3.00 m。②淤泥质粉质黏土,土质不太均匀,局部夹薄层状粉土,层厚2.80~16.80 m。③粉质黏土,该层局部未揭穿,最大可见层厚8.20 m。为了更精准地掌握堤身土体不密实、不均匀的分布情况,采取了探地雷达和瑞雷面波2种无损检测方法进行全面检测。

2.1 测线布置及定位

根据场地条件,在迎水坡、堤顶、背水坡布置3条纵向测线,在堤顶路面一侧布置了瑞雷面波勘探点。测线长度和定位用皮尺刻度定位,以迎水侧最高水位线为起点,沿测线每隔5 m距离做标记点。堤防消险处理后,在堤防的中心位置各布置一条探地雷达探测线。

2.2 探测结果

探地雷达结果表明:堤防表层,厚度小于0.5 m,雷达波波形稳定,振幅的一致性较好,变化较小,介质总体均匀性较好;杂填土层由黏性土、碎砖块、建筑垃圾及少量生活垃圾组成,介质颗粒分布均匀性差,介质的介电常数差异大,雷达波在杂填土层内发生折射和散射,振幅的一致性差,反射能量强,波形紊乱,表明堤防杂填土层孔隙率大,介质不均匀,密实性差;素填土层厚度有一定的变化,雷达波振幅的一致性较好,总体连续,但雷达波传播速度慢,说明素填土层孔隙率大,为高含水土体,素填土层同样欠密实。

其中:堤防堤顶下方堤身杂填土、素填土层土体均匀性差,孔隙率高,土体局部不密实,不密实区域深度基本都在6 m以上,主要分布在0~8 m、17~55 m、65~160 m、164~200 m、205~275 m。堤防迎水坡总体良好,土体介质总体分布均匀,局部存在欠密实区,主要分布的范围在水平位置77~93 m、118~130 m、175~212 m、230~247 m、253~262 m,堤防不密实区域深度基本都在6~7 m以上。堤防背水坡杂填土、素填土层土体均匀性差,孔隙率高,渗水性好,主要分布的范围在水平位置0~25 m、115~163 m、238~248 m、275~335 m,其中275~335 m为堤防土体高度富水区,范围相对较大。

探地雷达探测异常统计见表1。

瑞雷面波勘探资料的解释分辨率较高,可对堤防结构层中的杂填土层、素填土层、粉质黏土层和淤泥层等进行精细划分。瑞雷面波的频散曲线的形态表明,杂填土层内出现“之”字形拐点多,深度范围大约在4~6 m,反映了该深度范围内堤身结构层存在多个地层分界面,并且各层介质的速度差异大,说明在该深度范围堤身构筑物的均匀性较差,推测与该深度上堤身普遍存在碎砖块、建筑垃圾或生活垃圾等杂填土介质有关。

各面波点位的瑞雷面波探测结果见表2。

本次探测结果表明,堤防产生渗水的原因,主要为堤防杂填土和素填土层介质不均匀,孔隙率

表1 探地雷达探测异常统计

所在测线	水平位置/m	深度/m	异常推断
堤顶线	0~8	0.5~6.0	堤身土体不均匀、欠密实
	17~55	0.5~5.5	堤身土体分布不均匀、不密实
	65~160	0.5~4.5	堤身杂填土、素填土层不密实
	164~200	0.5~3.0	堤身杂填土层欠密实、孔隙率高、土体不均匀
	205~240	0.5~3.5	堤身杂填土层介质不均匀、欠密实、孔隙率高
	240~275	0.5~6.0	堤身杂填土、素填土层孔隙率高、土体不均匀
迎水坡	77~93	0.0~5.0	堤身填土欠密实,孔隙率高
	118~130	0.0~7.0	堤身填土欠密实、孔隙率高、富水
	175~212	0.0~8.0	堤身填土欠密实、孔隙率高、富水
	230~247	0.0~7.0	堤身填土欠密实、孔隙率高
	253~262	0.0~7.0	堤身填土欠密实、孔隙率高
背水坡	0~25	4.5~12.0	堤身土体孔隙率高、富水、局部欠密实
	115~163	0.0~6.0	堤身填土层不密实、土体不均匀、孔隙率高
	238~248	0.5~12.0	推测可能是干扰异常
	275~335	4.0~15.0	堤身下方土体富水、孔隙率高

表2 各面波点位的瑞雷面波探测结果

速度 (层厚)	5 m	25 m	50 m	75 m	100 m	125 m	150 m	175 m
$V_s(H_1)$	395 (2.0)	232 (1.2)	210 (0.7)	235 (1.3)	228 (1.9)	199 (1.0)	143 (1.0)	147 (1.5)
$V_s(H_2)$	352 (0.5)	280 (0.9)	142 (0.8)	223 (1.3)	258 (4.4)	158 (1.0)	209 (1.2)	190 (1.2)
$V_s(H_3)$	301 (1.3)	129 (1.6)	263 (1.5)	187 (2.1)	142 (2.4)	342 (4.1)	189 (2.1)	194 (1.4)
$V_s(H_4)$	247 (0.4)	345 (2.2)	242 (0.7)	145 (7.0)	178 (4.6)	638 (3.8)	442 (5.9)	207 (1.0)
$V_s(H_5)$	203 (1.7)	374 (10.0)	190 (0.8)	115 (4.0)	450	942	793	213 (2.5)
$V_s(H_6)$	164	526	385 (1.9)	210				187 (1.6)
$V_s(H_7)$			476 (2.9)					258 (2.3)
$V_s(H_8)$			397 (4.1)					401
速度 (层厚)	200 m	225 m	250 m	275 m	300 m	325 m	350 m	
$V_s(H_1)$	165 (0.9)	194 (0.8)	144 (0.7)	124 (0.9)	129 (0.6)	135 (1.3)	128 (0.7)	
$V_s(H_2)$	181 (0.8)	108 (1.5)	196 (0.4)	142 (0.2)	148 (0.7)	208 (3.2)	158 (0.6)	
$V_s(H_3)$	154 (0.7)	243 (1.2)	130 (0.7)	194 (1.0)	195 (1.2)	321 (2.3)	192 (0.7)	
$V_s(H_4)$	179 (0.5)	325 (2.0)	107 (0.6)	119 (0.9)	265 (1.1)	382 (1.8)	162 (0.9)	
$V_s(H_5)$	168 (0.85)	292 (3.2)	184 (0.8)	265 (2.3)	296 (1.0)	166 (2.3)	361	
$V_s(H_6)$	209 (2.3)	209 (2.3)	252 (2.0)	261 (1.2)	372 (1.4)	464	464	
$V_s(H_7)$	171 (3.3)	482 (4.1)	161 (1.1)	123 (2.1)	267			
$V_s(H_8)$	176 (5.9)	574	233 (4.0)	277 (6.3)				

高,为中等渗水土体,局部粉质黏土层弱渗水,是堤防内含有的不良土体,在瑞雷波速度上表现为 H_2 和 H_3 地层土体层速度值偏低。

2.3 现场开挖验证

综合物探探测所获得的堤防信息显示土体不均匀、欠密实和富水等异常体,是堤防土体层介质

相对周围介质物性存在差异的直接反映,推测堤身内存在大量杂填土、碎石及建筑垃圾等,为了进一步明确杂填土、建筑垃圾的存在情况,对堤顶进行了局部开挖,验证了综合物探探测结果,该段堤身杂填土、建筑垃圾较多,孔隙率高,在水的作用下,携带走大量的细小颗粒,易形成较大的渗水通道。

结合探测结果,对该段堤防针对性地采用了高压旋喷桩和压密灌浆双重防渗处理。

2.4 堤防消险后雷达结果

由堤防消险后探地雷达探测剖面图像可知,显示消险后的堤防电磁波在土体中传播时能量均匀衰减,雷达波同相轴连续性总体良好,波形、波向和振幅一致性均较好,表明消险后堤防的连续性总体良好,未见明显的不密实区域存在,说明消险后的堤防堤身土体的均匀性变好,堤身结构层土体密实性增强。

3 结 语

通过综合物探法的应用比较,本工程发现不同物探方法在解决不同问题的能力 & 优势^[3]。本次南京市秦淮河渗水段,采用了低频探地雷达和瑞雷面波法相结合的综合物探方法进行探测,以探地雷达法作为本次堤防隐患探测的主要物探方法,其探测效果好,反映的地层结构信息和土体异常更准确,不仅能反映出土体异常的性质,而且能

对异常的形态和规模进行量化^[4]。然后再以瑞雷面波法进行验证,查明了堤防土地内部的异常性质,主要为堤防堤身内杂填土和素填土层局部不密实、孔隙率高,局部堤身大面积富水,并圈定了异常的位置和范围,为堤防消险工程的实施提供了有力的依据,消险后通过探地雷达对堤防检测验证消险工程实施的效果。

参考文献:

- [1] 贾海磊,李军,郝洁.综合物探法在城市堤防渗漏隐患探测中的应用[J].中国水能及电气化,2018(11):61-66.
- [2] 王桂福,刘新文.瑞雷面波在基础强夯效果检测中的应用[J].人民长江,2009(15):36-38.
- [3] 赵志宏,邢庆祝.综合物探技术在水库堤防渗漏通道探测中的应用[J].矿产勘查,2011,5(3):322-324.
- [4] 翟铎,黄小祥,王颖聪,等.探地雷达技术在马汉河堤防隐患探查中的应用[J].黑龙江水利,2015(11):43-48.

(上接第21页)

均较低,主要通过从长江抽水以保证洪泽湖的蓄水量及下游地区的用水要求;平水年(2017—2018年)时,主要利用洪泽湖供水至各受水区,在洪泽湖水量较少时需要通过长江抽水进行补给;丰水年(2019—2020年)时,通过洪泽湖、骆马湖之间的调蓄作用进行供水,当洪泽湖水量到达饱和时,多余水量主要通过三河闸经淮河入江水道向长江进行泄放。

从洪泽湖、长江两大主要水源分析,洪泽湖周边在枯水年的进、出水量相比于平水年、丰水年时要高,出水量相对较少,其利用洪泽站抽调来更多的长江水,以保证湖泊自身水位在死水位以上。在2020年丰水年份,洪泽湖来水较多,在向受水区供水后仍然处在较高水位,由三河闸向长江泄放多余水量,以保证洪泽湖的水位在防汛限制水位以下。里运河受水区的进水量丰水年多于枯水年,原因是丰水年时洪泽湖通过南运西闸和北运西闸向里运河受水区泄放了较多水量,由江都站和宝应站从长江抽水量较少,而枯水年时主要是南运西闸和北运西闸泄水量较少。

5 结 语

南水北调东线江苏段工程承担外调出省、苏北

和苏中等地供水等多重任务,兼具防洪除涝、调水、航运等多种功能。本文分析了江苏省内各受水区的水量调配情况,能够直接反映泵站抽水情况、水流走向情况,通过进出水量差值间接反映水量损失情况和各受水区的用水情况,并通过分析里运河受水区、洪泽湖周边的主要泵站的水量变化数据得到不同典型年的来水规律所对应抽水情况,对于实现长江、淮河、沂沭泗等不同类别水源的互济互调,提升工程调度科学化和精细化水平具有重要意义,为工程运行阶段的调度决策提供科学参考和有效帮助。

参考文献:

- [1] 唐劲松,罗小青,徐旭.科学管理洪水提高沂沭泗防洪管理水平[J].中国水利,2005(3):48-50.
- [2] 鲍建腾,孙勇,黄芳.做好新时期江苏水利调度工作的思考[J].江苏水利,2020(4):58-62.
- [3] 滕海波,刘志芳,冯凯.南水北调东线一期工程供水目标实现存在的问题与对策研究[J].项目管理技术,2021,19(9):142-146.
- [4] 李国英.推动新阶段水利高质量发展 为全面建设社会主义现代化国家提供水安全保障[J].中国水利,2021(16):1-5.