

黄河堤防工程安全检测技术简析

谢向文

(黄河勘测规划设计有限公司工程物探研究院,河南 郑州 450003)

摘要 通过对堤防工程隐患的地球物理特征分析,介绍了高密度电阻率法、地质雷达、瞬态面波和瞬变电磁法以及工程 CT 等在堤防工程安全检测中的应用效果,进而提出了采用地球物理技术进行黄河堤防工程安全监测的新思路。

关键词 堤防工程 安全检测 地球物理技术

中图分类号 :TV871 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2009)S1-0132-03

堤防工程从设计施工到建成运营是一个从无到有的过程,也是一个“生命”的过程,它的健康状况关系到工程的使用寿命和安全度。因此,定期开展安全检测是确保工程安全的重要措施。

地球物理技术是一种无损检测手段,类似于医学上的 B 超、CT 和透视技术,对工程结构本身没有破坏作用,是工程安全检测和监测领域中的新技术,也是发展趋势。

目前,堤防工程安全检测主要采用的地球物理方法有:直流电阻率法(常规电阻率法、高密度电阻率法)、自然电场法、瞬变电磁法、放射性同位素示踪法、测温法、瞬态面波、地质雷达以及工程 CT 技术等。应用效果比较好的方法是高密度电阻率法、瞬变电磁法、瞬态面波、地质雷达和工程 CT 技术。本文重点介绍这些技术在堤防工程检测中的应用研究。

1 堤防工程安全检测技术

堤身安全检测技术已广泛应用于在黄河、长江、淮河等堤防工程的建设与管理,曾先后进行过数百公里的堤防隐患探测工作。

1.1 堤身安全检测

影响堤身安全的隐患主要有裂缝、洞穴、不均匀松散体和软弱层等。用于堤身隐患探测的地球物理方法主要有电阻率剖面法、高密度电阻率法和地质雷达等。其中电阻率剖面法以斯龙贝格装置为主,有时也用中间梯度装置;高密度电阻率法探测主要采用斯龙贝格装置和温纳装置;地质雷达探测主要采用等偏移距反射法连续扫描方式。

1.1.1 高密度电阻率法^[1]

高密度电阻率法基本原理如下:在堤顶通过供电电极向地下供入直流电,形成人工电场,然后利用测量电极通过仪器观测其电场分布情况,研究不同隐患所引起的地下电场变化。在理想条件下,将大堤视为均质体,其电阻率在垂直和水平方向变化不大,电场分布均匀;当堤身或堤基存在隐患时,均质体被破坏,导致电场分布发生变化,使隐患处的视电阻率发生变化,通过视电阻率成像和反演技术,结合地质情况,即可推断出隐患的性质、部位和埋深。

探测实例 探测是在堤顶顺堤布置临河和背河测线,点距 2m(详测时为 1m)。仪器为自己开发研制的 HGH-III 堤防隐患探测系统。高密度电测工作装置一般以斯龙贝格装置为主,根据黄河大堤堤身高度设置最大电极间隔 8 到 12。最后绘制电阻率色谱图,并据此判定隐患。图 1 为典型堤身裂缝探测实例。

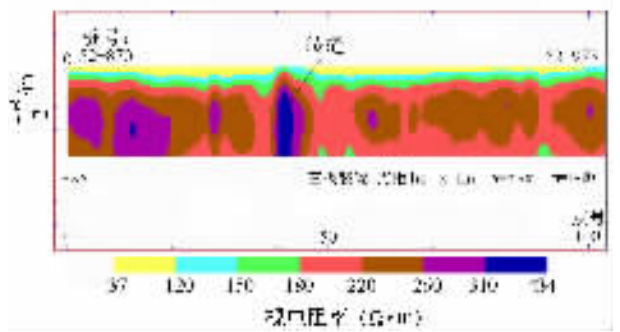


图 1 堤身裂缝探测成果示意图

1.1.2 地质雷达

地质雷达探测原理:主机产生无载波高速脉冲

信号,经由发射天线将高速脉冲信号转换成脉冲电磁波进行辐射,一部分直接到达接收天线形成直达波,另一部分进入地下传播,在传播路径上遇到探测目标或不同介质的界面时产生反射,反射的电磁波经地表到接收天线形成反射波,反射波信号被送回接收机。若其中存在裂缝或空洞,雷达信号就会被反射,测试的反射波信号幅度会明显增强,在雷达检测剖面图像上形成明显异常。

标准化堤防工程建设后多数堤顶路面已被硬化,由于种种原因形成了很多裂缝,常使硬化的路面使用不久即开始开裂剥蚀直至破坏。图2为硬化路面上地质雷达探测的裂缝图像。探测时采用的是500 MHz天线,收发距为20 cm,点距为5 cm。

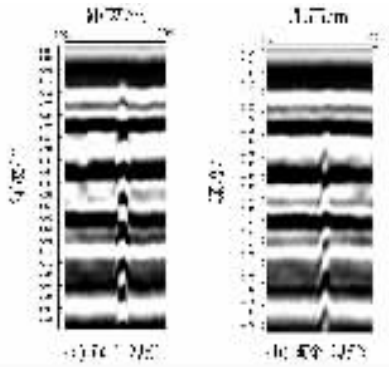


图2 地质雷达探测的裂缝图像

1.2 堤基安全检测

堤基隐患主要是老口门、渗水点、渗水段以及管涌等。用于堤基隐患探测的地球物理方法主要有瞬态面波法、瞬变电磁法、高密度电阻率法和充电法等。

1.2.1 瞬态面波法

瞬态面波法基本原理:由压缩波与 S_V 型剪切波在地层界面附近的干涉叠加产生瑞雷面波,其能量大、速度低、频率低、衰减慢。瑞雷面波在均匀介质中传播时无频散性,在非均匀介质中瑞雷面波速度随频率而变化,具有频散特性,面波的频散特性就是其勘探的理论基础。面波勘探按震源方式分为稳态和瞬态,用周期性外力激发地表产生的面波称为稳态面波,用瞬间外力冲击地表产生的面波称为瞬态面波。

探测实例^[2]:黄河九堡老口门是1843年决口形成的,据钻孔揭露地层自上而下约3层:①堤身填土。人工填筑,厚7~13 m;②老口门填土。人工填土有秸秆等杂物,厚3~35 m;③大堤基底。中砂层为主,局部夹有薄层黏土。测量时选用500 kg重锤提升0.5 m,然后自由下落击振产生面波。使用ES-1225地震仪接收信号,记录长度为2000 ms,检波距40 m,测点距60 m,每个测点单边触发记录3~6组信号。

1.2.2 瞬变电磁法

瞬变电磁法基本原理:该方法是利用不接地回线向地下发送一次脉冲磁场,在一次场间歇期间利用另一回线接收测量由地下介质产生的感应电场即二次场随时间的变化。二次涡流场的衰减快慢与地质体的电阻率有关,电阻率高时衰减较快,电阻率低时衰减较慢。由于老口门、渗水点、渗水段等堤基隐患主要表现为低阻异常,二次涡流场随时间衰减较慢。这是其探测低阻堤基隐患的物理基础。

1.2.3 充电法

充电法的基本原理:在渗漏出水部位或水体上布置1个电极(A)进行充电,另一供电电极(B)置于远离充电点的地方,可以供入稳定电流(直流)或交变电流(电磁信号),电流经充电体流入周围介质,形成稳定电流场(或电磁场)。在地表利用测量电极(或线圈)观测电位变化,并以此来分析判断渗漏管涌通道。观测方式有电位法、电位梯度法和追索等位线法3种。

1.3 防渗墙质量检测

堤防防渗加固工程一般采用防渗墙,防渗墙质量检测的物探方法主要有:弹性波CT方法、垂直反射法和探地雷达等方法,常用的方法是弹性波CT方法和垂直反射法。

弹性波CT方法又分为地震波CT方法和声波(超声波)CT方法,两者成像方法原理完全一致。首先通过扇形测试获取大量的首波走时数据(t_i),然后通过求解大型矩阵方程来获取两孔之间的速度剖面图像,根据速度剖面图像可以直观准确地判定隐患大小分布,是目前最为有效、精确的测试方法之一。结合超声波CT检测的速度谱和强度分布图,分析判别防渗墙质量的优劣,确定防渗墙内部缺陷(如不密实区、夹泥、空洞等)。

防渗墙质量检测技术曾先后应用在黄河大堤、长江大堤等多个堤防防渗墙工程中,如黄河下游堤防荆隆宫防渗墙超声波CT检测、黄河防洪工程濮阳黄河堤防加固防渗墙探地雷达探测等。

探测实例:图3为某段黄河堤防截渗墙超声波CT质量检测成果剖面图。采用SCT软件层析成像,建立和解算大型的多元线性方程组。采用二级阻尼的SIRT算法,选用直线(或曲线)方法进行计算,用加权最小二乘法圆滑,采用图像均衡技术进行处理。由此得到超声波CT检测剖面的超声波速度谱。超声波速度3180~4580 m/s,推算混凝土的强度等级绝大部分为C20,下部极小部分区域为C15。从图3中可以看到,截渗墙混凝土浇筑质量较好,超声波速度较高,速度均在3100 m/s以上,混凝土浇筑实,墙

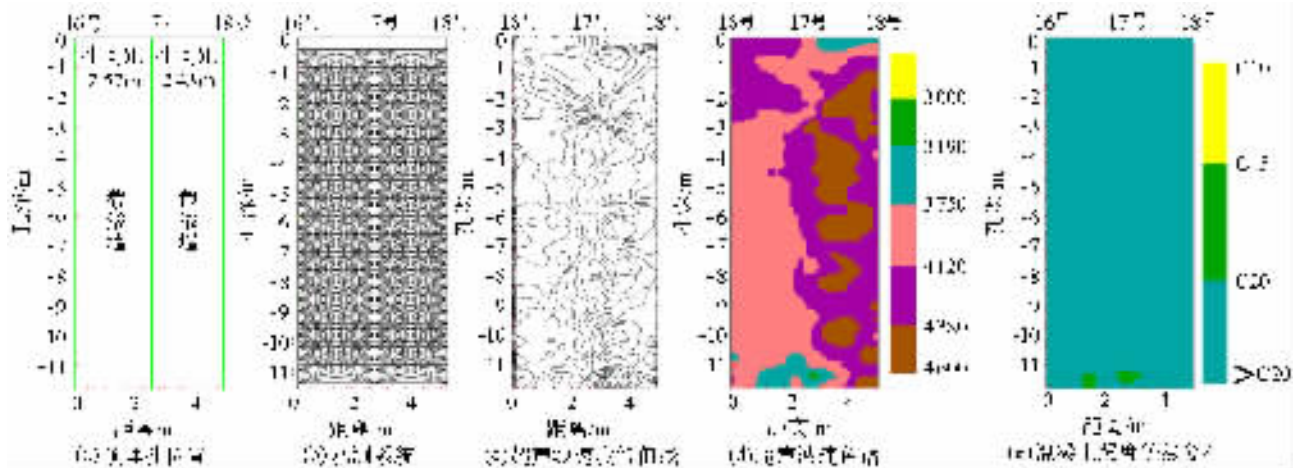


图3 超声波 CT 检测防渗墙成果剖面(桩号 276+704)

体强度满足设计要求。

1.4 堤防灌浆加固效果检测

灌浆处理也是堤防工程常用的一种加固措施,灌浆加固效果主要采用前后对比的方法,观测加固体的物理力学参数变化,以此来评价灌浆效果。检测方法有跨孔波速测试、工程 CT、面波测试、高密度电阻率法、孔中弹性模量(变形模量)测试等。

1.5 护岸控导工程桩检测

护岸控导工程桩在近几年的河道整治工程中使用较多,由于将桩径大、桩长长、上部不承受荷重,所以检测内容主要是桩身完整性和单桩水平承载力检测,检测方法有低应变反射法、超声波投射法、高应变法和单桩水平静载试验。

低应变反射法的基本理论依据是一维杆件的应力波反射理论。依据反射信号判定桩身的完整性。

单桩水平静载试验是根据施加的水平推力和水平位移变化曲线确定单桩水平承载力。

护岸控导工程桩检测技术已在黄河多个护岸控导工程中得到应用,如韦滩灌注桩护岸工程、武庄控导工程、东安控导工程等。

2 堤防工程安全监测新思路

堤防工程安全仅仅依靠隐患探测和工程质量检测是不够的,堤防工程从兴建、运营到损毁报废这一过程看,其隐患和病害也是一个发生、发育和消除的过程,如果能把这些过程监测下来,建立堤防工程健康档案,对防汛抢险和工程管理将具有重大的指导意义。

地球物理技术是地震灾害监测预报中的重要技术手段,同样适合堤防工程安全监测,为此,笔者开展了一些方法研究。汛期防洪抢险工作都是紧密围绕水情变化开展的,因此,堤防安全监测必须选择那些与水关系密切的地球物理参数,下面介绍堤防在汛前、汛后电阻率参数的变化特征。

在低水位情况下进行堤防隐患探测时,由于黄河大堤长期不靠水,裂缝、松散体和孔洞等隐患在电阻率剖面中都是表现为高阻异常形态。进入汛期特别是在高水位下,由于河水上涨使堤身电阻率降低,同时由于堤身内部渗透速度不同,含水量发生变化,致使原来隐患的高阻异常转变为低阻异常^[3]。

在水情发生变化时,堤防隐患在电阻率图像中出现性质反转,由原来的高阻异常变为低阻异常,其变化过程与水位上涨过程有非常好的关联度,据此完全可以进行堤防安全监测,对堤防工程出险几率进行预测预报^[4-5]。

3 结 语

采用地球物理无损检测技术进行堤防工程安全检测和险情监测预报无疑是一种新颖的技术思路,以电阻率成像、电磁成像、红外成像、弹性波场成像和放射性成像技术为基础体现了无损、快速、可靠、经济等特点,建立堤防工程健康档案,使水利工程数字化管理更进一步,为防汛、抢险和减灾提供科学依据,是未来水利科技的发展方向,也是“数字水利”的具体实践。

参考文献:

- [1] 邓洪亮,谢向文,郭玉松,等.黄河下游堤防工程隐患探测技术与应用[J].地球物理学进展,2008(3):936-941.
- [2] 陈效国,李丕武,谢向文,等.堤防工程新技术[M].郑州:黄河水利出版社,1998:21-29.
- [3] 郭玉松,谢向文,马爱玉,等.从堤防隐患探测到堤防隐患监测的思考[J].水利技术监督,2003(3):34-36.
- [4] 谢向文.堤防隐患探测和险情监测技术研究[J].大坝与安全,2004(1):15-18.
- [5] 谢向文.地球物理技术在黄河下游堤防工程隐患探测中的应用与发展[C]//中国大坝委员会.大坝安全与堤防隐患探测国际学术研讨会论文集.西安:2005:86-87.

(收稿日期 2009-01-12 编辑:方宇彤)