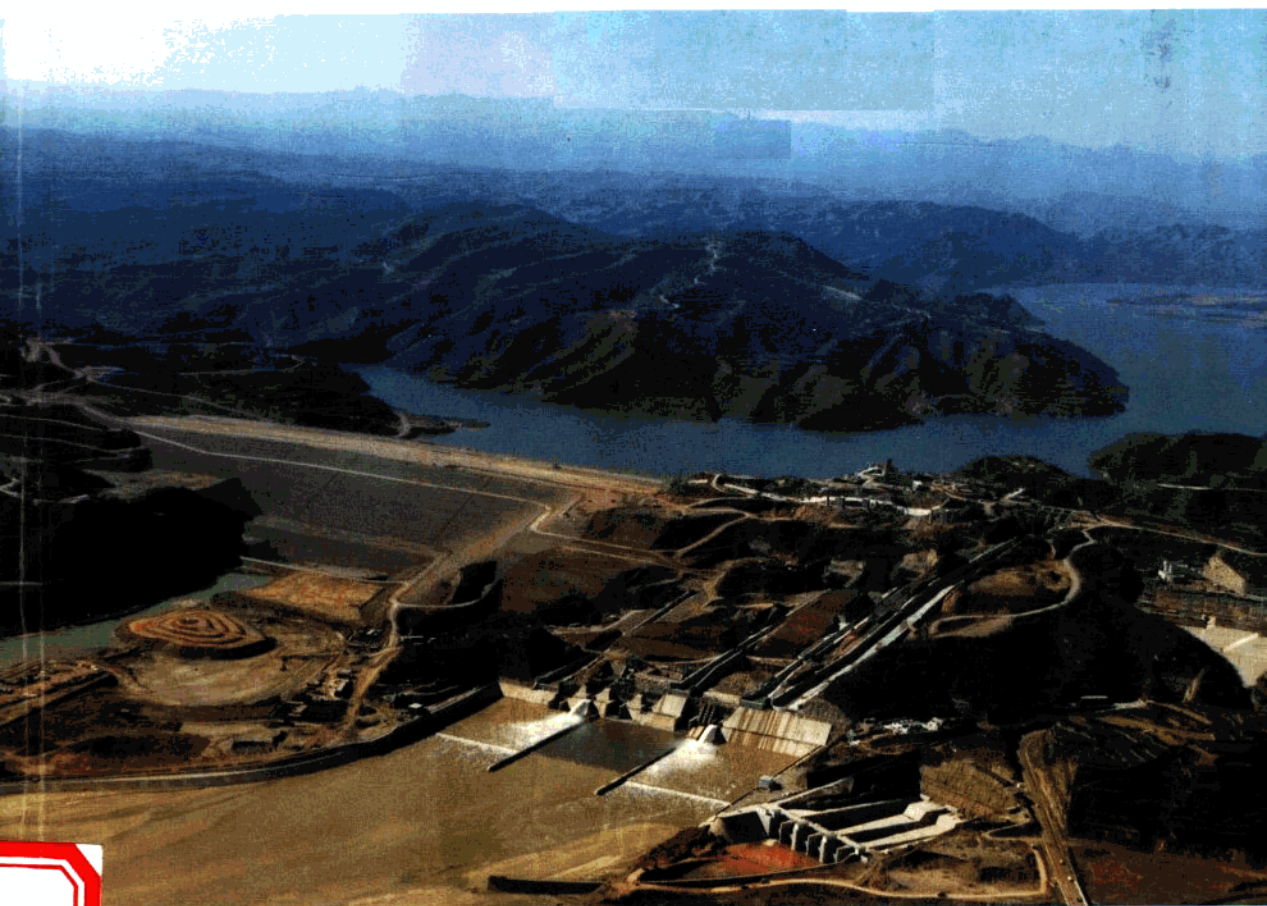


水利水电工程

物探新技术

毋光荣 郭玉松 主编



黄河水利出版社

水利水电工程物探新技术

主 编 毋光荣 郭玉松
副主编 崔亚令 耿瑜平 孙雅芳

黄河水利出版社

·郑州·

内 容 提 要

本书辑录了2000年全国堤坝隐患及渗漏探测学术研讨会论文25篇,2001年第三次全国水利电力物探新技术新方法学术研讨会论文15篇。内容包括堤坝隐患探测技术、堤坝加固及检测技术、工程物探测试新技术,反映了我国在这些领域测试和科研的最新成果。

本书内容丰富,资料翔实,实用性强。可供从事堤坝隐患探测、水利水电工程无损检测及相关学科的生产、科研人员和高等院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程物探新技术 / 毋光荣, 郭玉松主编.
郑州:黄河水利出版社,2001.9
ISBN 7-80621-495-X

I. 水… II. ①毋… ②郭… III. ①水利工程-地球物理勘探-文集②水力发电工程-地球物理勘探-文集 IV. TV698.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 058975 号

责任编辑:王路平
责任校对:张晓霞

封面设计:谢 萍
责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社
地址:河南省郑州市金水路11号 邮编:450003
发行部电话:(0371)6022620
E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn
印 刷:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16
版 次:2001年9月 第1版
印 次:2001年9月 郑州第1次印刷

印 张:13
印 数:1—2 000
字 数:300千字

定价:25.00元

前 言

随着科学技术的进步,地球物理勘探技术得到了长足发展,水利水电工程物探技术从传统的地震勘探、电法勘探、重力勘探、声波测试、综合测井等发展到今天的地质雷达、瑞雷面波、高密度电法、井间层析成像、堤坝与水库渗漏检测、大坝建基面检测、爆破与卸荷松动层厚度检测、锚杆锚固质量检测、喷层厚度检测、隧道超前探测、核磁共振技术等,不下数十种,这些新方法、新技术的发展和给工程物探注入了新的生机,在水利水电工程中发挥着不可替代的作用。

20世纪90年代以来,堤防隐患探测技术进入了快速发展时期。1992年,“堤防隐患探测技术研究”列入国家“八五”重点科技攻关课题,黄委会设计院物探总队经过几年的努力,在理论研究、方法技术及仪器设备研制等方面均取得突破性成果,并列国家“九五”重点科技推广项目。1999年,水利部将“堤防隐患和险情探测仪器开发”列入水利部重点科技攻关项目,通过招标的方式,黄委会设计院物探总队、中国水利水电科学研究院、中南大学分别中标,经过一年的努力,“高密度电阻率法堤防隐患探测仪”、“瞬变电磁法堤防渗漏探测仪”、“流场法堤坝管涌渗漏检测仪”相继研究成功,并通过国家鉴定。2000年9月“全国堤坝隐患及渗漏探测技术研讨会”在郑州召开,这次会议对推动堤防隐患和险情探测技术的进一步发展、不断完善堤坝隐患及渗漏探测技术装备、更好地为防洪决策和国民经济建设服务有着十分重要的现实意义。

堤防加固及检测技术重点介绍了弹性波CT检测技术在防渗墙质量检测中的应用。新方法、新技术仍期待着地球物理界的同仁共同努力。

工程物探测试新技术重点介绍了目前水利水电工程地震层析成像、可控源音频大地电磁法、洞室松动带测试、固结灌浆检测、静电 α 卡探测、桩基检测新技术,这些成果已在部分工程中发挥了巨大的作用。

本书辑录了2000年全国堤坝隐患及渗漏探测学术研讨会论文25篇,2001年第三次全国水利电力物探新技术新方法学术研讨会论文15篇。内容包括堤坝隐患探测技术、堤坝加固及检测技术、工程物探测试新技术,反映了我国在这些领域测试和科研的最新成果。

本书在编辑出版过程中得到了有关部门和专家的大力支持,在此一并致谢。由于时间仓促,水平有限,难免有遗漏、差错之处,敬请批评指正。

编 者

2001年9月

目 录

前 言

第一部分 堤坝隐患探测技术

堤防隐患探测技术综述	郭玉松 毋光荣 王运生(3)
堤防质量探测的地球物理方法及其应用成果概述	王清玉(8)
高密度电阻率探测系统在黄河下游堤防隐患探测中的应用与发展	谢向文 毋光荣 郭玉松等(17)
HGH-Ⅲ堤防隐患探测系统的开发与应用研究	郭玉松 谢向文 张晓豫(24)
瞬变电磁法探测堤防渗漏隐患	房纯纲 鲁 英 葛怀光等(31)
工程测试新技术在堤坝隐患探测中的应用	冷元宝 谢向文 毋光荣等(37)
高密度多波列地震影像法及其在堤坝隐患检测中的应用	彭皖生 夏学礼 仇恒永(40)
四极滚动快速隐患定位法及其应用	刘建伟(45)
一种快速简便的土坝防渗勘探方法——瑞雷波法	马 安(51)
大地电导率仪探测堤防渗漏隐患	贾永梅 房纯纲 葛怀光等(55)
隐患探测新技术在河南黄河堤防上的应用	王德智 符建铭 耿新杰等(61)
黄河大堤隐患探测技术	薛云峰 孙晓曦 袁江华(67)
电法探测隐患在东平湖堤防中的应用	武士国 祖光德 黄宜更(73)
综合探测技术在天津堤防隐患探测中的应用	田世场 曹大正 闫海新等(78)
物探在洞庭湖堤防隐患探测中的应用	吴 奇(84)
浅谈电法探测技术在堤防隐患探测中的应用	段立学 王良玉(88)
综合物探方法在堤坝隐患探测中的应用	刘宝利 李三红(92)
堤防隐患及渗漏探测中电法勘探新试验	董浩斌 王传雷(97)
同位素示踪技术在堤坝隐患及渗漏工程中的探测研究
.....	杜国平 朱德伦 闫 旭(101)
统计分析在堤防隐患探测中的应用	马爱玉 谢向文 随裕芬(106)
用目标相关算法解释高密度电法资料	王运生 冷元宝 郭玉松等(111)
色谱图像处理方法技术研究	王运生 毋光荣 王旭明等(115)
从管理单位的角度谈堤防隐患及渗漏探测技术	魏 蓬(118)
德国堤防隐患探测技术简介	房纯纲(120)

第二部分 堤坝加固及检测技术

弹性波 CT 技术在防渗墙质量检测中的应用	朱文仲 崔 林 薛云峰等(127)
多头小直径深层搅拌截渗墙加固堤防工程施工及检测技术研究	郭自超(131)
建于堤坝内的搅拌桩防渗墙防渗特性研究	赵 坚 肖 刚 冯晓红等(136)

高压喷射灌浆围井试验质量检测·····	张琦伟	冯 昆	刘 义(141)
汛期堤防监测预警系统方法研究·····	王传雷	何兴恒	董浩斌(144)

第三部分 工程物探测试新技术

溪洛渡水电站地下厂房地震层析成像·····	宋正宗	沙 椿	黄泽孝(151)
可控源音频大地电磁法在南水北调西线工程中的应用·····	毋光荣	耿瑜平	(157)
洞室松弛带的测定·····	常 伟	艾宝利	(161)
溪洛渡水电站坝基固结灌浆试验检测·····	沙 椿	黄泽孝	(168)
静电 α 卡探测在河南省回龙抽水蓄能电站工程勘探中的应用 ·····		冯保维	(176)
“屏蔽聚焦测深”新技术在地质勘探中的应用·····	范秦军	胡伟华	(179)
自平衡载荷试验确定单桩极限承载力·····	胡伟华	赵 磊	陈百诚(184)
试用沃依特模型解释单桩静载荷试验·····	郭 凯	段超杰	(187)
夯扩桩的高应变动力检测·····	袁江华	薛云峰	郭 凯(189)
超声波技术在五龙口沁河大桥混凝土裂缝检测中的应用 ·····	袁江华	冯保维	段超杰(193)
物探信息系统方法技术研究·····		王运生	(196)

第一部分

堤坝隐患探测技术

堤防隐患探测技术综述

郭玉松 毋光荣 王运生

(黄委会设计院物探总队 郑州 450003)

一、前言

堤防工程是防洪工程体系的重要组成部分。新中国成立以来,修筑堤防 25 万余 km,极大地支持了我国经济的迅速发展。但是,这些堤防工程受当时技术水平以及各种筑堤条件的限制,很多工程存在不同程度的隐患。古人云:“千里金堤,溃于蚁穴”,足见隐患对堤防工程的严重威胁。如何快速有效地探找隐患,及时对堤防工程进行加固处理,一直是防洪工程管理工作的重点课题。随着社会的发展与科技的进步,隐患探测技术取得了突破性进展,采用物探新技术快速探找隐患已大量应用于生产,为防洪工程建设提供了有力的支持手段。

二、堤防隐患探测概述

(一)堤防隐患概况

堤防工程隐患种类被河务部门专家精辟地概括为“洞、缝、松”三类。所谓“洞”,指的是各种洞穴。堤防的洞穴多为动物洞穴,如獾、狐、鼠洞及蚁穴。这类洞穴有此消彼生、今消明生的特点;洞径以獾洞最大,狐洞居中,鼠洞较小,从几厘米到几十厘米不等。所谓“缝”,即隐埋在堤身中的裂缝。裂缝种类很多,按其成因可分为堤身干缩裂缝、新老堤身的接触裂缝以及沉陷裂缝等;按其走向可分为横堤走向裂缝、顺堤走向裂缝及斜交裂缝。所谓“松”,主要是指隐埋在堤身内部或堤防基础部位的松散软弱体,比如干沙、淤泥等,以历史上堵口填筑基础最具代表性。

(二)隐患探测技术的发展过程

1. 锥探隐患

据有关文献记载,我国清代河务机构为消除堤防隐患,曾用过“签堤”的办法,即用细铁棍制成“铁签”,凭人的感觉及进土的快慢判断有无隐患。20 世纪 50 年代,河南封丘黄河修防段把用钢丝锥在黄河滩区找煤的技术用到查找大堤隐患上来,消灭了大量隐患。70 年代河南武陟黄河修防段研制了电动打锥机,提高了工作效率,处理了大批隐患。但这类方法目的性较差,准确度不高,劳动强度大。

2. 抽水涵堤

抽水涵堤的基本方法是:在堤顶开挖纵向沟槽,槽底锥孔灌水,根据渗水、漏水情况,分析判断堤身隐患。这种方法在 20 世纪五六十年代用于黄河大堤隐患探测,处理堤段长

度数千米。该方法费工费时,推广应用难度较大。

3. 物探技术探测隐患

20世纪50年代末至60年代初,山东黄河河务局与山东大学协作采用放射性钴60做过堤防隐患探测试验;70年代鞍山电子研究所研制了YB-1型暗缝探测仪,将隐患探测工作又推进了一步;80年代,山东省水科所在YB-1型仪器基础上改进研制ED-80型堤坝探伤仪,在黄河大堤上进行试验,对裂缝探测取得一定效果,但对洞穴探测反映不明显;1985年,黄委会科技办引进美国SIR-8型地质雷达,经过反复试验,对埋深2~3m、直径0.2~0.3m的模型洞穴反映比较明显,对穿黄涵管未探到结果。

20世纪90年代以来,堤防隐患探测技术进入快速发展时期。1992年,“堤防隐患探测技术研究”列入国家“八五”重点科技攻关课题,研究工作由黄委会设计院物探总队承担,经过几年的努力,隐患探测技术在理论研究、方法技术及仪器设备研制方面均获得突破性成果。同时,引进国外仪器设备进行大量隐患探测试验工作,国内有关科研机构也相继开展了隐患探测仪器研制、现场探测试验研究,取得了较好的成果。为了推动隐患探测技术研究工作的深入开展,国家防汛抗旱总指挥部办公室于1999年在湖南省益阳市洞庭湖一段废堤上建设了隐患探测试验场,并于同年3月组织多种检测仪器进行测评工作。同年11月,水利部重大科技项目“堤防隐患和险情探测仪器开发”正式启动。2000年年初,国家防总与水利部又在北京大兴县建设试验场,组织国内外仪器进行比测工作。这一系列重大举措,有力地推动了隐患探测技术的发展。

三、隐患探测的物探方法及仪器设备

随着科学技术的不断进步,地球物理勘探技术得到长足发展,从传统地震勘探、电法勘探、重力勘探等发展到现在的地质雷达、工程CT、高密度电法及核磁共振技术等不下数十种。由于每种物探方法均有其特定的应用前提,加之不同的堤防隐患种类其物性反映也不相同,所以只有部分物探方法适用于隐患探测。下面对用于隐患探测的方法进行简单的分类介绍,并且探讨物探方法对不同隐患种类的适应性。

目前,应用于堤防工程隐患探测的物探方法主要有三类,即电法勘探、电磁类物探方法,弹性波类方法。分述如下。

(一)电法勘探

理论研究及大量实践证明,电法勘探中的常规电阻率法、高密度电阻率法、自然电场法可用于隐患探测。

1. 常规电阻率法

其基本原理是利用隐患与周围介质的电性差异,研究隐患引起电阻率畸变的规律,根据电阻率数值大小及其曲线形态的变化特征,推测隐患的分布情况。常规电阻率法剖面法和测深法,电阻率剖面法常用于堤防隐患普查工作,主要有对称四极剖面法和中间梯度剖面法。

电剖面法对堤防工程裂缝、洞穴及堤身不均匀体等都有反映,尤其对裂缝隐患非常敏感。这种方法的特点是野外工作方法简单,探测速度快,一个作业组每天可探测剖面长度1.5~2km,资料处理简单,不仅可以确定隐患位置,还能定性判断隐患埋深,探测成本较低。

该方法所用仪器简单,常规电法仪器均能适应探测要求。

2. 高密度电阻率法

其基本原理与常规电阻率法相同,不同的是测点密度较高,极距在算术坐标系中呈等间隔,它是电剖面法和电测深法的结合,一次可以完成纵横二维勘探过程,观测精度较高,数据采集可靠,对地电结构具有一定的成像功能,获得的地质信息丰富。由于高密度电阻率法主要是靠电阻率图像推测隐患,所以它是堤防隐患探测详查的主要方法。

该方法是近年来发展起来的物探新技术,对隐患探测的适应能力较强,由于其现场采集数据量大、信息丰富,且对地电结构具有一定的成像功能,因此堤防裂缝、洞穴、不均匀体、软弱层等在探测成果图上均有明显、直观反映。目前,这项技术已大量投入隐患探测工作。

高密度电阻率法仪器型号很多,按其信号采集工作模式划分为二类。一类是串行式,即信号采集系统的接收主机只有一个信号通道,借助于转换控制器将空间上的多电极按规律组合接通,各路信号分时进入。另一类是并行式,即采集系统多通道,各路信号同时进入。堤防隐患探测大多数使用的是单道分时采集系统。按照电极转换开关设置情况,可分为分布式和集中式。

3. 自然电场法

自然电场一般由地下岩石的氧化—还原作用、扩散—吸附作用及渗透现象所形成。堤坝渗漏探测研究的是由渗透作用形成的过滤电场,即当地下水在一定压力作用下通过地层孔隙或裂隙时,由于固体颗粒表面对地下水中的正、负离子具有选择性的吸附作用,形成了在水流方向为高电位、背水流方向为低电位的过滤电场。根据此原理进行隐患探测。

目前,自然电场法已广泛应用于堤坝渗漏检测工作,它观测的是自然电场,无需人工供电,仪器设备比较简单,只需一台电位计及相应的辅助设备即可,普通电测仪器均可满足检测要求。

(二) 电磁类物探方法

1. 瞬变电磁法

瞬变电磁法属于时间域电磁感应法,英文缩写为 TEM。它是利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场,在一次脉冲磁场的间歇期间,利用线圈或接地电极观测二次涡流场的方法。该二次磁场是由地下良导体受激励引起的涡流产生的非稳定磁场。TEM法是在没有一次场背景的情况下观测研究二次场(纯异常),对提高方法的探测能力更具有前景。

该方法的主要优点是探测深度大、速度快、不受地形和接地电阻的影响,在隐患探测工作中多用于大范围异性材料(软弱层)以及堤坝渗漏位置检测,也用于堤基地质勘察。

2. 地质雷达

地质雷达仪器是根据电磁波传播原理,探测地下一定深度范围内的地层界面和埋藏目标的电磁装置。其工作原理是以高频电磁脉冲(10~1000 MHz)向地下发射,电磁波在地下传播中遇到不同电性分界面时,将产生向下传播和返回地表的电磁波。返回地表的电磁波被接收机接收、放大和数字化,而后存贮在磁盘或磁带中,可供数据处理及显示。

采用地质雷达技术进行隐患探测试验自 20 世纪 80 年代中期以来一直没有间断,由于土堤对高频电磁波的吸收作用较强,其探测深度受到限制,尤其遇到含水量较大的堤防土质,探测深度极浅,在土质相对干燥的条件下,可探到几米以内的洞穴等隐患。其特点是现场工作简单、速度快、效率高。

(三)弹性波类方法

弹性波勘探方法种类很多,如地震折射波法、地震反射波法、瑞雷面波法等,在堤防工程隐患探测工作中均进行了大量的试验,这类方法对相对较小的隐患目标探测不灵敏,对堤坝大范围异性材料探测效果较好。更有价值的是,弹性波速度与堤身力学强度指标关系密切,探测结果可对堤防质量进行评价。

瑞雷面波技术:其理论依据是利用瑞雷面波的频散(传播速度随频率变化)特征进行地质分层。瑞雷面波有如下特性,即在均匀介质中无频散,在非均匀介质中有频散,振幅与波传播路程呈指数衰减规律,地表两点间的瑞雷波速度等效为地表以下一定厚度(一个波长之内)的地层平均瑞雷波速度。对于层状介质,可以利用不同的激发频率测到不同瑞雷波速度,这种方法称为“频率测深”。由于瑞雷波速度与横波速度很接近,又有一定关系,已知面波速度后很容易求出横波速度,进而评价堤防质量。

四、堤防隐患探测工作展望

1. 进一步完善探测技术

经过多年尤其是近年来的研究探索,堤防隐患探测技术取得了重大进展,在防洪工程管理、维修与加固工作中正发挥着重要作用。但现有技术尚不能完全满足工程需要,存在问题较多,如在汛期工作时,探测速度不能满足要求、隐患的深度探测仍处在半定量阶段,精度不高等,需进一步提高完善。

(1)从长江和松花江 1998 年洪水堤防出险情况看,除堤身出险外,很多是由不良堤基引起的。因此,隐患探测工作除堤身外,还要兼顾堤防及坝岸基础。这就决定了隐患探测工作不可能采用单一的仪器及方法解决问题,发展方向应该是综合方法。在这方面国内几家单位已采用综合物探技术进行试验,取得了有价值的成果。

(2)仪器设备向智能化(傻瓜型)发展。目前用于隐患探测的国内外仪器,多为“数据采集型”仪器,即外业完成一定的工作量之后,室内采用数据处理软件进行资料处理与解释,探测工作的周期相对较长,而且对探测人员的专业技术水平要求较高,不利于河务部门的推广使用。新一代堤防隐患探测仪器要求操作非常简便,在进行数据采集时,具备适时数据处理功能,可视化程度较高。随着研究工作的不断深入,可将专业技术人员的探测工作进行统计、总结,建立专家分析支持系统,以便及时、准确地判断隐患。

2. 加强隐患探测管理工作

(1)在当前技术条件下,为了更好地进行堤防工程的维修、加固工作,隐患探测技术与钻探及土工试验工作相结合是适宜的。一方面可以将资料对比分析,互相验证;另一方面,可以积累各种筑堤材料在不同地质条件下判断隐患的比照参数,提高探测水平。

(2)对于堤防工程存在的隐患,可采用探测与监测相结合的方式,并逐步将隐患探测与监测资料录入“堤防管理地理信息系统”和“防洪决策支持系统”,使其更好地为防洪减

灾服务。因为堤防工程管理属于动态管理工作,随着自然环境以及各种条件的变化,堤防隐患是不断变化的,我国有几十万公里堤防,探测工作量非常大,普查工作不可能经常进行,有必要在重点险工堤段进行监测工作。目前,有的隐患探测仪器已具备监测工作能力,如多道分布式高密度电法仪,可以将小电极固定在重点险工堤段,监测隐患情况,尤其在汛期该方法更加有效。

(3)注重技术推广工作。首先,隐患探测技术目前已具备一定的生产能力,为使该项技术尽快服务于防洪工程的建设与管理,要加大技术推广力度。在这方面国家防总与水利部已做了大量工作,河务部门如黄河水利委员会已制定了探测技术推广实施办法;其次,新技术的发展,也离不开大量的生产实践,通过隐患探测与堤防加固处理工作相结合,丰富探测资料,才能使该项技术不断完善、提高。

【作者简介】 郭玉松,男,1966年生,高级工程师,黄委会设计院物探总队副总队长。

堤防质量探测的地球物理方法及其应用成果概述

王清玉

(水利部天津水利水电勘测设计研究院勘察院 天津 300222)

一、前言

众所周知,传统的堤防质量检查方法主要是钻探、坑槽探、锥探,此类方法虽然具有直观的优点,但费时、功效低、且仅局限在点上,难以全面评价堤防质量。

国内采用地球物理(简称物探)方法开展堤防隐患探测的研究始于20世纪80年代初,通过大量的试验,初步论证了电阻率法在评价堤防裂缝、洞穴方面的有效性。为此,探测堤防隐患的目标也多集中在裂缝、洞穴方面,但其成果价值、探测速度均难以满足新时期实际工作的要求。

事实上,堤防松散区、软弱夹层、不均匀沉陷带(多为各类隐患的载体)等不利地质单元构成的威胁与裂缝、洞穴可等量齐观,甚至影响更甚。如1998年长江九江城防堤溃口的主要原因是溃口段堤基表层存在0.7~1.0 m厚的薄弱环节——粉质壤土,其粘粒含量低(11%~15%),粉粒含量高(62%~75%),其余为极细砂粒,这种粒径组成的土,渗透系数虽不大,但抗渗透破坏的性能较差;堤基大部分土层为粉质粘土,粉粒含量较高(58%~68%),而粘粒含量也较高(21%~26%),这种粒径组成的土,渗透系数较小,抗渗透变形的性能较好;堤身土层为粉质粘土,粘粒含量高(36%~47%),渗透系数虽然中等偏大,但不宜产生管涌。故堤身、堤基相比较堤基表层的粉质壤土是薄弱环节。无独有偶,在海河流域平原区堤防工程质量检查中,发现的主要问题有:一是碾压功能不够或每次填土厚度太大,土体呈团块状或具大孔隙的松散状,原状样于室内不能制备或勉强制成的样品浸水后产生明显的沉陷等。二是填筑时没有碾压,以期靠土体自沉而达到对堤身土体要求的密实程度;或者填筑土体含水量太高,上堤土没有严格的含水量控制,当堤身土体长期处于干燥状态时,由于失水形成密集的收缩裂纹或裂缝,堤身土体似杂乱堆积的不规则的粘土块;或者筑堤土为粘土与粉细砂或砂壤土互层(均为薄层),上堤后未能有效拌和,堤身土体粘土与粉细砂或砂壤土呈鸡窝状分布,等等,堤身土体质量较差。综上所述,仅将裂缝、洞穴视为堤防隐患是不全面的。基于上述认识,应扩展用物探方法探测堤防隐患的“火力点”,从而提高物探成果的应用价值。

二、地质概况、堤防质量探测的物探任务和地球物理特征

1. 地质概况

海河流域平原区为冲积平原,平原区新生界松散堆积厚度达3000 m以上。由于河道变迁和洪水泛滥,表部粉细砂和粘性土往往是相间分布或在剖面上呈互层状。砂层在平面上多成封闭的条带状,剖面上多成大小不等的透镜状。

堤身为人工就近取土填筑而成,主要由壤土和粘土、砂砾石、含砾粗砂等不同颗粒组成的土体构成。

堤防的堤顶地形平坦,堤身高一般为3.0~8.0 m,堤顶宽一般为5.0~8.0 m,堤身坡度一般为1:1.5~1:2.5。地下水位自堤顶计算埋深一般为5~12 m。

2. 堤防质量探测的物探任务

针对海河流域的堤防特征,按照勘察任务的要求,利用物探方法探测堤防质量主要是对堤身(包括迎水坡护砌质量)、堤基以及拦(泄)洪闸闸基混凝土质量进行评价。具体任务是:

(1)探测存在于堤身、堤基的裂缝、洞穴、决口口门以及松散、软弱堤段等不良地质现象的空间分布情况。

(2)评价堤身土体质量、密实度。

(3)探测堤身护坡、闸室护坡护砌结构和护砌质量。

(4)探测闸室底板混凝土质量及其与基础的结合状况。

(5)探测深度要求一般为堤顶以下15 m。

3. 地球物理特征

根据理论分析、工程经验及现场试验结果:所探堤身隐患与正常堤身介质之间以及不同岩性或同一岩性不同密实度的堤防土体之间,具有一定的电性、弹性、电磁性等物性差异,具备地球物理探测前提,可用综合物探方法进行探测。但由于探测堤段分布范围广,堤身堆积土成分复杂、结构多变,导致测区内地球物理特征复杂,不同河系其物性参数差异较大,即使同一岩性土,视其所分布位置不同,其物性参数也不尽相同,甚至差异很大。

三、物探工作的有利、不利因素

1. 有利因素

各类堤防隐患与正常堤身(堤基)介质之间、各类岩土介质之间具有一定的电磁、电性和弹性差异,具备利用综合物探提高勘察效果的物理前提。同时,地震勘探可有效揭示地下水位界面之上下介质的波速和地下水的埋深。堤顶平坦,通视条件好,交通便利,有利于纵测线的布设。沿堤防分布有一定数量的钻孔,有利于物探资料的解释。

2. 不利因素

地下水位埋深较浅、矿化度较高、沿堤存在大量的动力架空线及含钢筋的水泥电杆、近堤工厂建筑物、过往车辆等,对探测的深度和精度均有影响。

四、堤防质量探测的技术路线和方法原理

针对上述隐患,采用综合物探已能够获得较好的勘察效果。①用地质雷达普查堤身、堤基,发现异常用高密度电法或地震波法佐证。②评价堤身护坡浆砌石质量、闸基混凝土质量可采用地质雷达法和声波测试法。③用地震折射波法或瑞雷波法以及土样声波测试成果与土工试验成果的对比分析评价堤身土体质量。从而达到定性、准定量评价堤防质量和隐患的性质。

(一)地质雷达

1. 基本原理

地质雷达的基本原理是基于高频电磁波理论,工作方式是以宽频带、短脉冲的电磁波形式,由地面通过发射天线 T 射入地下,经地下地层或目的体(借助堤防松散区、软弱夹层、不均匀沉陷带以及裂缝、洞穴等隐患与堤防正常介质的电磁性差异)反射而返回地面,被另一天线 R 所接收。

雷达图形常以脉冲反射波的形式记录。波形的正负峰分别以黑、白色表示,或者以灰阶或彩色表示,这样同相轴或等灰线、等色线即可形象地表示地下反射界面。

现场测量,通常采用剖面法(GDP)或者宽角法(WARR)两种方法。前者发射天线和接收天线以固定间距沿测线同步移动;后者是固定一个天线、移动另一个天线或者是两个天线同时由一中心点向两侧反方向移动。上述两种方式的记录点均为两个天线的中心点。

堤防勘察采用剖面法。视工作条件选用 50 MHz 或 250 MHz 天线,纵测线记录点距 0.5 m,横测线记录点距 0.2 m。测试仪器为瑞典 MALA 地质仪器公司生产的 RAMAC/GPR 地质雷达系统。

2. 资料整理与解释

对野外实测的地质雷达图像,进行直流调整、增益、平衡及点、道平均,时深转换等处理后,即可获得清晰的地质雷达剖面图。

通过分析电磁波的时频、振幅特征,就可判识地质体的展布形态和性质,从而达到工程地质勘察之目的。

一般而言,对于岩土介质,当含水量高时其电阻率变小、相对介电常数变大,则波的吸收衰减剧烈,其波速也将变小。所以,在电阻率小、介电常数大的高吸收、低波速介质中(如泥质或富含水的土壤),雷达图像以窄、细形同相轴出现,且由浅到深信号衰减较快;在低吸收、高波速介质(含水少的岩土介质)中,则雷达图像呈较宽粗的同相轴。此外,波在介质中传播,当遇到空隙时,波长将加大,因而在空隙界面处将产生波宽大、强度高的强反射,并且在充水或气的空洞中易产生多次反射。松散介质中雷达波形杂乱。此即为识别堤防隐患的依据。闸基混凝土若有断裂、蜂窝狗洞、疏松以及与基础脱空等不良现象,雷达波形将产生错短、杂乱等异常形态。概言之:①界面两侧介质的介电常数差异越大,则反射能量越强;反之,反射能量越弱。②介质的电阻率低、介电常数大,电磁波衰减剧烈,则反射波以窄、细同相轴出现;反之,电磁波反射强烈,则反射波以宽、粗同相轴出现。③介质松散或反射界面不连续时,易形成散射,则反射波杂乱,无明显连续的同相轴;反之,反射波同相轴连续、稳定。

结合地质勘察成果,具体分析探测深度范围内的地质雷达图像,一般具有下述规律:

(1)密实人工素填土、粘土、壤土的反射波频率高、振幅相对较小,雷达图像的同相轴窄而细,连续性好;松散的人工素填土、粘土、壤土的反射波易散射,反射波的频率相对较低、振幅相对较大,雷达图像的同相轴连续性差。

(2)土体沉陷的反射波频率、振幅变化不大,但雷达图像的同相轴错动。

(3)不均质异常体(洞穴状松散体、塌陷体、透镜体等)的反射波频率变低、振幅变大,雷达图像呈双曲线形态。

(二)高密度电阻率法

1. 基本原理

其原理仍然属于电阻率法的范畴,但与常规的电阻率法相比设置了较高的测点密度,一次可以完成纵、横二维的勘探过程,所以观测的精度高、信息丰富。因此,高密度电阻率法的实质是一种组合式的剖面装置,即首先选取基本点距 a ,然后分别改变 AM 、 AN 之间的互相关位置,再进行剖面测量。一般情况下选取 $AM = AN = NB = na$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),无论 n 等于几,但对于一次剖面测量时点距为 a ,把每组的视电阻率 ρ_s 值表示在该装置 MN 的中点与 A 电源位置下 $\theta = \arctg(2/3)$ 斜线的交点上。在此基础上勾绘等值线和处理各种数据。因此,对于每一个固定的 n 值而言就是一条剖面,而各重复观测的记录又相当于一个测深点,所以高密度电阻率法是剖面法和电测深法的组合。

高密度电法测试仪器为重庆奔腾自动化研究所生产的 $WDJD-1$ 型多功能电测仪和 $WGMD-1$ 型多功能电测仪及其附属设备。选用温纳尔装置,基本点距为 $1 \sim 3$ m,电极隔离系数为 $9 \sim 16$ 。

2. 资料整理

由野外采集的数据经编辑、调整后,进一步对曲线或绘图单元进行圆滑等处理,以达到消除干扰、突出异常、提高解释精度之目的。实测数据处理后可获得高密度电法视电阻率断面灰度图(或等值线图)。通过对比分析,掌握堤身、堤基介质的视电阻率变化特征及不同电阻率介质层(体)的分布形态,进而判识堤身内部是否有洞穴或其他不良结构体的存在。当堤身土体质量均匀无空洞、裂缝、土体不均一等异常隐患存在时,视电阻率等值线有规律地均匀分布,近水平层状;当堤身或堤基内有上述类型隐患存在时,则视电阻率等值线将发生变化,表现为成层性差、梯度变化大,出现高阻或低阻闭合圈等异常形态。测区视电阻率断面图一般具有以下类型:

(1)递增型:地下水位以上堤身土体视电阻率值由浅至深逐渐增大,主要反映的是正常堤身的岩性变化规律。

(2)递减型:土体视电阻率值由浅至深逐渐减小,主要反映的是决口口门松散土体或堤身表层松散的分布规律。

(3)局部高阻型:断面图上视电阻率值在局部呈团状高阻分布,是局部不均质体的异常反映。

(三)地震折射波法

1. 基本原理

地震折射波运动学是研究当入射波以临界角投射到地下折射界面(满足条件 $V_n <$