

探地雷达和高密度电阻率法在坝体渗漏探测中的应用

葛双成¹, 梁国钱², 陈 夷¹, 孙伯永¹

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江省钱塘江管理局, 浙江 杭州 310016)

摘要:对某水库大坝背水坡同一高程上出现的 3 处渗漏点进行踏勘和分析, 选用探地雷达和高密度电阻率法在坝顶设置 3 条纵测线进行探测. 探测结果表明 3 处渗漏点的成因是以近水平疏松薄弱层为主要特征的坝体整体疏松性, 并指出坝体疏松带的分布范围和特点. 该探测结果与现场直观标志具有较好的相应性, 并为开挖揭示所证实.

关键词:土坝; 坝体渗漏; 隐患探测; 探地雷达; 高密度电阻率法

中图分类号:TV698

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2005)05-0055-03

Application of GPR and high-density resistivity method to leakage detection of dam bodies//GE Shuang-cheng¹, LIANG Guo-qian², CHEN Yi¹, SUN Bo-yong¹(1. Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary, Hangzhou 310020, China; 2. Qiantang River Administration of Zhejiang Province, Hangzhou 310016, China)

Abstract: The GPR and high-density resistivity method were used to investigate the three leakage points occurring at the same altitude on the back slope of a reservoir dam by setting of three longitudinal measuring lines on the top of the dam. The result shows that the loose structure of the dam body mainly characterized by the horizontal loose layers is the cause of formation of the leakage points. Meanwhile, the distribution and characteristics of the loose belts were identified. The detection result was in good agreement with the reality, and it was also verified in excavation.

Key words: earth dam; leakage in dam body; detection of hidden trouble; GPR; high-density resistivity method

近 30 年来,虽然大坝隐患探测技术已取得了较大的进展,也常见工程实例报道^[1-6],但由于坝体缺陷性质多变和尺寸细小,再加上探测环境的复杂性,采用单一探测手段具有较大的局限性和盲目性.如何针对坝体缺陷的特点合理地选择探测方法,从而快速有效地查明隐患性质、分布规律及缺陷程度,是水利工程隐患探测的关键之一.

本文针对某水库大坝背水坡上出现的 3 处渗漏点,在分析渗漏特点、坝体性质和周围环境的基础上,应用探地雷达和高密度电阻率法基本查明了 3 处渗漏点的坝体疏松带分布范围和特点.探测结果与坝顶沉陷、背水坡出水点位置及地物标志等具有较好的相应性,并为开挖揭示所证实.

1 工程概况

某水库位于浙江中南部,属小(一)型水库.该水库大坝始建于 1958~1962 年,1966 年对大坝续建加高后,心墙顶宽 2 m,边坡 1:0.5.坝顶高程(系假设系统)

52.5 m,堰道顶高程 48.7 m,坝高 27.5 m,坝顶长约 262.8 m、宽约 6 m.迎水坡和背水坡均采用干砌石护坡.

2004 年 5 月,当库水位高出正常水位 0.2 m(坝顶下 3.9 m)以上时,在桩号(从右岸基准点起算)105 m,109 m 和 112 m 的背水坡上坝顶下 4.9 m 左右的同一高度上发现 3 个漏水点.当水位降至坝顶下 3.7 m 时渗漏现象消失,因此判断坝体漏水进口在坝顶下 3.7 m 以内,出口在坝顶下 4.9 m 左右.

2 坝体渗漏探测方法的原理与特点

2.1 探地雷达技术^[1-4,7,8]

探地雷达技术的原理是利用高频电磁波(主频 10~10³ MHz)以宽频带短脉冲形式,将电磁波由地面通过天线 T 送入地下,经地下地层或目标体反射后返回地面,为另一天线 R 所接收.当电磁波在地下介质中传播的波速 v (m/ns) 已知时,可根据测得的脉冲波旅行时间 t (ns) 求出反射体的深度(m).电磁波在介质中传播时,其强度与波形将随所通过介

质的电性及几何形态而变化.因此,根据接收到波的旅行时间(亦称双程走时)、幅度及波形资料,可推断介质的结构.当介质的导电率很低时,近似计算电磁波传播的速度公式为

$$v_i = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_i \mu_i}}$$

式中: v_i 为电磁波在第 i 层地层内的传播速度; c_0 为电磁波在真空中的传播速度 ($c_0 = 0.3 \text{ m/ns}$); ϵ_i 为第 i 层地层的介电常数; μ_i 为第 i 层地层的磁导率. ϵ_i 可利用已知值或测量获得.在实际探测中,一般可利用已知目标体的反射时间求取,或根据钻孔揭示层位进行标定.

对于非铁磁性介质,探测深度主要取决于天线的中心频率和介质的电导率.介质的电导率 δ 主要取决于介质的含水量和黏土含量,当 $\delta > 0.01 \text{ s/m}$ 时(如湿黏土、湿页岩、海水等),探地雷达技术的应用效果较差.

探地雷达的垂直分辨率是指可探测到的目标体最小垂向厚度,可取为 $1/2$ 波长;水平分辨率是指在水平方向上所能分辨的目标体最小尺寸或能区分的水平方向相邻异常体的最小水平距离.对于一定的介质和目标体深度,分辨率主要由天线中心频率 f_0 所决定.因此,在实际探测工作中,应针对介质条件和目标体性质、深度和尺寸,选择合适的天线频率.在确保分辨率的前提下,一般尽量选择较低频的天线.

在水库大坝探测中,如果坝体物性均一、土质干密度较大、坝身密实,则雷达反射波很弱,反射波同相轴连续,频率单一.当坝体局部发生渗漏时,局部介质含水量增大,电导率也增大,形成明显的电性界面.而渗漏的原因可大致归结为裂缝、空洞及坝体疏松等整体不均匀性,裂缝的反射特征主要表现为反射波组的中断和错动;空洞的反射特征主要表现为弧状或等轴线反射;当某坝段整体疏松且存在水平薄弱细层时,会出现近水平反射波组,相对两侧的正常坝段,其反射波组呈现出横向特征变化或中断.

2.2 高密度电阻率法^[6]

高密度电阻率法的实质是电阻率法中联合剖面法和电测深技术的集成.该方法的基本原理是由地面通过供电电极向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,从而推断和研究地下不同性质介质的变化及分布情况.从原理上讲,它仍属于电阻率剖面法的范畴,但与常规电阻率联合剖面法相比,由于布置了大量电极,并通过阵列方式不断改变供电和测量电极,从而可以获得不同极距(深度)和不同水平位置的电导率(或电阻率)数据.该方法采样密度高,具有一定的二

维地电断面成像功能,可形象直观地反映出地下不同性质介质变化及异常体的产状和深度.

当坝体均匀时,由于浅表部干燥密实、下部水分增加,视电阻率等值线呈层状分布,从地表(坝顶)向下呈降低趋势.当坝体内存在不均匀土体、裂缝、渗漏通道等隐患时,则视电阻率等值线梯度变化大,成层性差,出现高阻或低阻异常闭合圈.因此,可依据视电阻率等值线的变化情况及曲线形态,结合地质情况和坝体结构特征,推断隐患的性质、产状和埋深等情况.

3 探测成果及分析

现场探测时,库水位在坝顶下 6 m 左右.根据漏水点位置等现场观察情况,要求探测的深度范围在坝顶下 5 m 以内.经现场试验,本次雷达探测选用美国 SIR-20 型探地雷达及 100 MHz 天线进行连续剖面测量,采样率 512 ,时窗 200 ns ,低通 400 MHz ,高通 50 MHz .高密度电阻率法探测采用 MRS-F 型高密度电阻率测量系统.探测点距为 1.0 m ,电极距为 $1 \sim 16 \text{ m}$.

现场探测时,将桩号 $99 \text{ m} \sim 119 \text{ m}$ 坝段共 20 m 作为雷达探测剖面,高密度电阻率法剖面则设置于桩号 $59 \text{ m} \sim 179 \text{ m}$ 坝段.

3.1 雷达探测结果

图 1、图 2 所示为雷达探测图像,图中 $35 \sim 70 \text{ ns}$ 范围内出现了断续的近水平强反射波,主要集中在桩号 $102 \text{ m} \sim 109 \text{ m}$ 坝段,且在桩号 $104 \text{ m} \sim 106 \text{ m}$ 处厚度最大.从上游测线至下游测线,反射层顶都在 2.2 m 左右,底部则分别在 3.2 m 、 4.0 m 和 4.2 m 左右,厚度大约分别为 1.0 m 、 1.8 m 和 2.2 m .

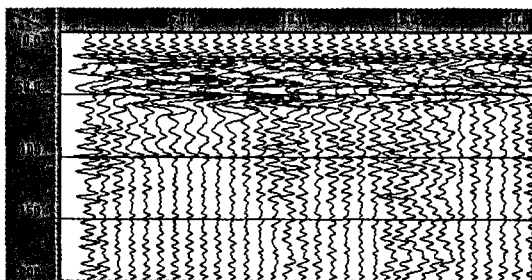


图 1 1 号测线雷达反射波图像

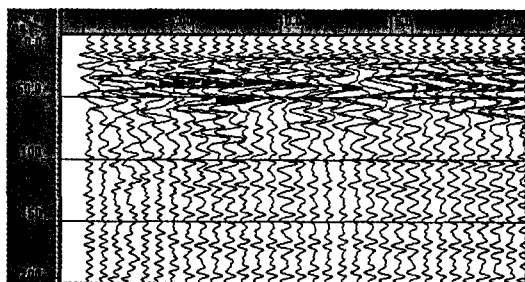


图 2 3 号测线雷达反射波图像

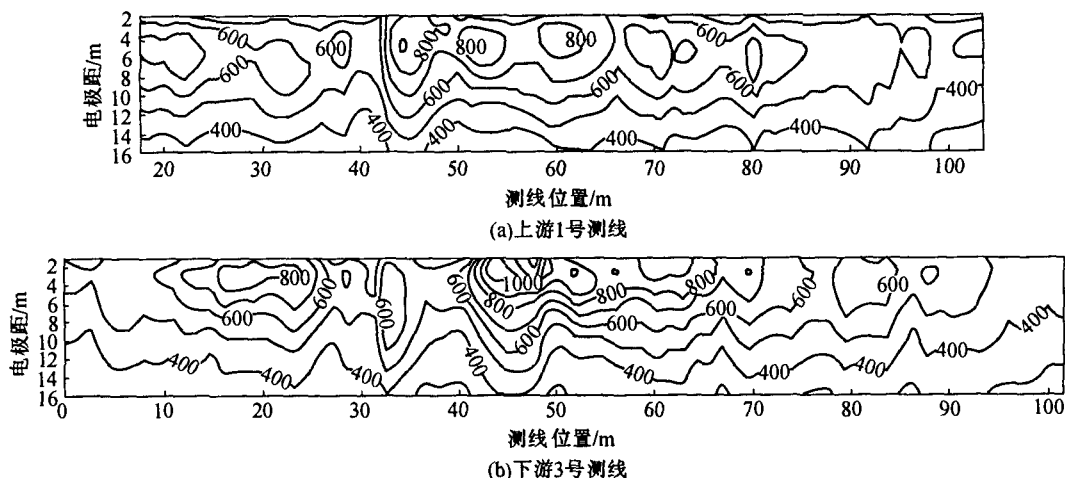


图3 高密度视电阻率等值线图

3.2 高密度电阻率法探测结果

图3所示为高密度电阻率法探测的视电阻率断面等值线。在40~68m(桩号99m~127m)坝段,当电极距为1~8m时, ρ_{SAB} 值明显升高,普遍可达800 $\Omega\cdot m$ 以上,在下游3号测线上可达1000 $\Omega\cdot m$ 以上,相对增高幅度达200~400 $\Omega\cdot m$ 。推断该坝段的中浅部坝体相对疏松或填筑土料差别较大。

在42~45m(桩号101m~104m)坝段处,探测的断面视电阻率等值线密集且变化梯度大。其中上游1号测线上表现为直立的条带状,下游3号测线上为近直立的紧密条带状。该处系40~68m(桩号99m~127m)相对高电阻率坝段的边界,但相对另一侧边界显然突显其梯级带异常性质,推测68m(桩号127m)边界处坝体疏密呈缓变型,而40m(桩号99m)边界处坝体疏密有突变。

4 实际开挖情况

左、右坝头和探测区开挖2.1~3.05m深度范围内的情况表明:左、右坝头坝体的黏土层顶深分别为0.95m和1.40m,探测区黏土层顶深为1.95m。左坝头坝体浅层分布了表部风化泥石和碎石土层,右坝头坝体及探测区浅部则在风化泥石和砂(碎)石土层下与黏土层之间分别夹有0.55m和0.9m厚的砂砾土层。从坝体密实情况来看,探测区土层比左、右坝头的明显疏松。

5 结论

据探地雷达和高密度电阻率法探测成果综合判断,导致某水库大坝中段3处漏水的主要原因是坝体的整体疏松性,且可能存在水平疏松薄弱层。其中桩号104m~106m坝段缺陷最严重,深度在1.0~4.2m左右。该探测结果与坝顶沉陷、背水坡出水点位置和地物标志等现象具有较好的相应性。实际开

挖结果表明探测区的坝体结构较复杂,坝体表部与黏土层之间的砂砾夹层厚达0.95m,且坝体浅部材料明显疏松,以至基本呈松散状态。

参考文献:

- [1] 祁明松.黄河大坝隐患的探地雷达探测[J].地球科学,1993,18(3):339—344.
- [2] 薛建,王者江,曾昭发,等.地质雷达方法在水坝渗漏检测中的应用[J].长春科技大学学报,2001,31(1):89—91.
- [3] 施逸忠.地质雷达原理及其在水利水电工程中的应用[J].水利水电科技进展,1996,16(1):16—20.
- [4] 冷元宝,朱文仲,何剑,等.我国堤坝隐患及渗漏探测技术现状及展望[J].水利水电科技进展,2002,22(2):59—62.
- [5] 石林珂,冷元宝,孙文怀,等.堤防质量探测资料多维灰色综合评估方法[J].水利水电科技进展,2004,24(3):24—26.
- [6] 刘晓芳.地电影像技术在堤坝隐患探测中的应用[J].水利水电科技进展,2002,22(3):44—45;53.
- [7] 李大心.探地雷达方法与应用[M].北京:地质出版社,1994.
- [8] 雷林源.探地雷达应用中的几个基本问题[J].物探与化探,1998,22(6):408—414.

(收稿日期:2005-03-03 编辑:高建群)

·简讯·

第二届全球华人岩土工程学术论坛在河海大学举行

由河海大学主办的第二届全球华人岩土工程学术论坛2005年8月19~22日在河海大学隆重举行。来自20多个国家及地区的近200名专家、学者聚集一堂,交流研究成果和最新动态,探讨岩土工程的发展与未来。论坛期间,河海大学殷宗泽教授、香港大学岳中琦教授、中国台湾交通大学黄安斌教授、法国里尔科技大学邵建富教授、新加坡国立大学李福豪、大连理工大学栾茂田教授等知名专家作了报告。学者们还围绕土力学与基础工程、岩石力学与工程、工程地质与环境、隧道与地下工程、环境岩土工程、岩土工程中的新技术与新材料等六个专题进行了专题报告及研讨。大会决定,第三届论坛将于2007年由台湾交通大学主办。

(本刊编辑部供稿)