

我国截渗墙质量检测技术的研究与实践

冷元宝¹,周均增²,王 锐³,朱文仲¹

(1.黄委会基本建设工程质量检测中心,河南 郑州 450003; 2.郑州市工程质量监督站,河南 郑州 450052;

3.黄河水利科学研究院,河南 郑州 450003)

摘要:对目前截渗墙的主要特点与可能存在的质量问题进行了总结,简要介绍了近年来得到研究与实践的一些截渗墙质量检测技术,包括高密度电法、地质雷达法、可控源音频大地电磁测深法、面波法、浅层地震法、工程CT法、垂直反射法、同位素示踪法等,并对各种检测技术的特点进行了分析。在对近年来国内截渗墙检测实践与研究进行回顾与分析的基础上,推荐了采用以可控源音频大地电磁测深法为主,配合地震映像法、垂直反射法或其他方法进行地面检测,以弹性波工程CT方法作为详测手段,条件允许时,用同位素示踪进行墙体渗漏或渗透系数检测的截渗墙质量检测的技术方案。

关键词:截渗墙;质量检测;电法;电磁波法;弹性波法;同位素示踪法

中图分类号:TV223.4+2

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2004)04-0057-04

1 截渗墙特点及可能存在的质量问题

截渗墙属于隐蔽工程,施工方法多样且质量控制难度很大,由工艺与人为因素造成的质量问题复杂多样,而且截渗墙的几何形态特殊,边界条件复杂,被测目标体在水平方向的几何尺度很小,这些都给地球物理方法检测截渗墙质量带来了很大的困难。

深层搅拌水泥土截渗墙可能出现的主要问题是墙体开叉、墙体连续性差或因孔距偏大而造成套接处墙体厚度不够,达不到设计要求;塑性混凝土截渗墙存在的主要质量问题为各槽段接合不好,墙体连续性差,底部缩径;振动切槽法施工的水泥砂浆截渗墙可能出现的主要问题是局部充泥,地下水位以下局部无墙;高喷灌浆截渗墙易造成上粗下细的固结体和墙体架空、离析或蜂窝等;钢筋混凝土截渗墙易造成墙体夹泥、离析或蜂窝等。

截渗墙质量检测需要解决的主要问题包括:

①截渗墙体连续性尤其是深层搅拌法施工中套接状况的检测问题;②墙体架空、蜂窝、离析、裂隙,尤其是切槽法施工易造成的局部充泥、无墙等检测问题;③槽段墙体接缝检测问题;④搅拌桩间墙体开叉检测问题;⑤因侧压缩径造成墙体变薄的检测问题。

2 截渗墙质量的主要检测方法和技术

2.1 电法

在截渗墙质量检测中,主要应用高密度电法,其

特点有:①电极布设一次完成;②能有效进行多种电极排列方式的扫描测量;③数据采集自动化或半自动化,扫描效率高,可避免人为错误。

采用该方法进行检测,必须确保截渗墙体与地层、正常墙体与异常结构间存在电性差异。检测过程中,需要注意检测地段的干扰电流场分布及堤身特殊的地形对检测工作产生的不利影响。

检测中可采用纵横剖面交错布置,纵剖面沿截渗墙轴线布置,测点位于截渗墙顶端;横剖面与纵剖面垂直相交。分段测量时要注意电极位置与上一测量段要重叠一定长度,以保证下部数据在剖面连接时连续。检测过程中,需要注意检测地段的干扰电流场分布及堤身特殊的地形对检测工作产生的不利影响,尤其是地形和体积效应影响、探测低阻异常时的高阻屏蔽影响、截渗墙体作为相对高阻体的电流排斥作用影响等。

2.2 电磁法

截渗墙检测中用到的电磁法主要包括地质雷达法和可控源音频大地电磁测深法。

2.2.1 地质雷达法

地质雷达利用高频电磁波脉冲的反射来探测目的体与地质现象。近年来,随着仪器信噪比的提高,其应用范围越来越广泛,在地质构造填图、水文地质调查及地基、道路、水坝、隧道勘察中得到广泛应用。现有的地质雷达中,通常采用电偶极子源激发,电偶极子的辐射场是一种球面波,但在离开辐射源较远

的区域,波的等相面在一定范围内可看成平面,对雷达波在层状介质中的传播可用波长分析进行。

探测目的体与围岩的电性参数(介电常数与电导率)差异大小是决定雷达探测是否有效的基本前提。一般来说,当围岩与目的体相对介电常数分别为 ϵ_h 和 ϵ_r 时,目的体功率反射系数

$$P_r \left(P_r = \left| \frac{\sqrt{\epsilon_h} - \sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{\epsilon_h} + \sqrt{\epsilon_r}} \right|^2 \right) \text{应不小于 } 0.01.$$

时域地质雷达测量方式常用的有剖面法和宽角法两种。一般采用剖面法进行连续或小间隔采样。可沿墙走向布置测线获得纵剖面,沿垂直墙的走向布置测线获得横剖面。该方法不能提供物性参数,只能作定性分析。截渗墙较薄时,旁侧反射造成的影响容易掩盖目标体信号。检测分辨率要求如果过高,会造成天线较长,当天线长度超过墙体厚度时,就难以满足截渗墙的探测需要;同时,截渗墙顶部覆盖的泥土会影响天线定位,周围介质还有可能引起假异常,影响真异常的分辨效果。

2.2.2 可控源音频大地电磁测深法

可控源音频大地电磁测深(CSAMT)法是一种人工场源的频率域测深方法,20世纪80年代以来得到了很大发展。其主要优点有:①工作效率高,在发射偶极子两侧很大的扇形区域内都可进行测量,每一测量点都是测深点;②探测深度范围大,可达数千米;③垂直分辨率高,探测对象厚度与埋深之比约为10%~20%;④水平分辨能力与收发距离无关(与电法勘探不同),约等于接收偶极子之间的距离;⑤地形影响小,且易于校正;⑥高阻层屏蔽作用小。检测时,通过发射机向接地偶极发送交变电流来建立电磁场,在距场源相当远处测量电场的 x 分量 E_x 和 y

分量 H_y ,根据公式 $\rho = \frac{1}{5f} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2}$ 计算卡尼亚视电阻率,由视电阻率值对检测对象质量好坏进行评价。

该方法探测效果较好,工作效率高,但该方法仍属体积勘探方法,存在扩大异常的可能,一定程度上影响了异常的精细划分。

2.3 弹性波法

2.3.1 面波法

面波勘探主要有稳态法和瞬态法两种方法,以半波长理论为基础,通过求取瑞利波频散曲线反演地下介质结构。

检测时一般沿墙走向布置一条纵剖面,沿被检测墙体轴线布置面波检测点。检测前最好试验选择最佳的偏移距和观测系统,以便最有效地采集面波数据。

需要注意的是,由于墙体是非软土层,在墙体表面

产生的主要是高频面波,但目前国内外对高频面波的应用存在一定的空白,需要进一步相关研究,提高检测效果。

2.3.2 浅层地震法

浅层地震法是利用介质由于物性差异,在物性发生变化或突变的部位会产生波的反射或绕射和频散现象的原理进行检测的一种地球物理方法。根据有关研究,可利用式(1)计算深度为 h 处墙体的厚度^[1]:

$$dh = \frac{(v_n - v_{nq})v_{nq}\Delta x}{(v_n - v_{nq})v_{nq}} \quad (1)$$

式中: v_n, v_{nq}, v_{nq} 分别是深度为 h 处的围土、墙体两侧检波器之间(即墙和围土的综合)和墙体的面波速度; dh 是深度为 h 处的墙的厚度; Δx 是墙体两侧两检波器之间的距离。

应用该方法时应确定墙与围土、墙与夹泥(疏松体)之间存在明显的物性差异。工作中,一般沿墙体正上方布置测线,利用浅层地震仪进行检测。该方法只能给出定性分析,无法提供物性参数。

2.3.3 工程 CT 法

工程 CT 法是利用数学上的投影原理,将按一定规律得到的大量观测射线所携带的空间介质的物理信息,通过拉登变换及一定的数学方法进行反演,重构空间介质物性参数图像,精确描述发射阵列与接收阵列之间地质目标体的几何形态和介质分布的地球物理方法。

弹性波工程 CT 法利用了射线的弹性波走时原理,将多条通过介质的弹性波走时提取出来,经反演和成像处理,绘制出介质弹性波速度的空间分布图像。

除了弹性波工程 CT 法外,目前应用的还包括电磁波工程 CT、电阻率工程 CT 等方法。从原理上讲,只要异常构造与正常墙体存在物性差异就可以采用工程 CT 检测方法。

检测时,沿墙边土层钻检测孔,于孔间进行检测工作。在其中一孔安放检波器,另一孔中安放震源。激发点距和接收点距根据实际情况确定。该方法对检测仪器、震源和接收传感器要求都比较高,要求大能量、高频率,以保证检测效果。

2.3.4 垂直反射法

垂直反射法是一种极小偏移距离的反射方法,基本思想是简化观测场,其特点是发射与接收之间的距离几乎为零。

当弹性波在墙顶垂直入射时,其反射波为同种类型的波,无转换波。在墙顶激振产生的弹性纵波,沿墙身向下传播,假设墙体没有缺陷,该波不会发生

转换,直至传播到墙底并根据墙底情况反射.当波在交界面上出现反射和透射时,满足牛顿第三定律和连续介质的位移连续定理.在墙体某部位存在缺陷,波阻抗变化时,入射波在墙顶与缺陷顶之间、墙顶与缺陷底之间、墙顶与墙底之间来回反射,这些反射信息被拾振器接收后可用于分析处理.这种方法的突出优点是反射信号波形成分单一,不含其他类型的转换波,资料解释简单.该方法适合场地狭窄、地势起伏大的场合.

检测剖面一般沿墙顶纵向布置,采集时发射和接收偏移为零并同步移动,用凡士林做耦合剂.

当异常与正常墙体波阻抗差异不大时采用此法会影响检测效果.当异常埋深较深时,因激震能量所限,有可能漏掉异常,且只能做定性分析.

2.4 同位素示踪法

同位素示踪法是利用同位素示踪技术,通过向地下水中投入放射性同位素示踪剂,利用测试仪器确定地下渗流流场情况的检测方法.该方法可以用来对截渗墙的渗漏隐患和渗透系数进行检测与评估.近年来江苏省农科院在这一领域内取得了较为突出的成果,成功研制出了智能化地下水动态参数测量仪^[2].该仪器拥有多项国家专利,处于国际领先水平,能够智能化地定量测出测区任一空间点地下水流的渗透流速流向、垂向流速流向、井中水压力、导水系数、渗透系数和水力梯度等.

3 国内应用情况

1994年,小浪底水利枢纽建设管理局在主坝截渗墙验收时,将弹性波层析成像(CT)成果列为主要的验收资料.该主坝截渗墙为开槽浇注墙,宽1.2m,深15~80m不等,混凝土设计强度为C35.通过检测,并对圈定的异常部位打孔验证,结果十分吻合,有效地控制了小浪底主坝截渗墙的施工质量^[3].验收委员会结论称:“CT检测应用于截渗墙这项新技术,国内未见,在国外也少有.CT检测成果能定性反映墙体大面积的质量,很快找出薄弱缺陷部位,为下步施工检查积累了经验.”

中国地质大学应用地球物理系的刘江平^[1]等开展了浅层地震技术在截渗墙质量检测中的应用研究,并在实际检测中应用了该方法,检测的截渗墙包括设计厚度0.22m,埋深14m的混凝土截渗墙;设计厚度0.33m,埋深18m的搅拌隔渗墙.采用浅层地震反射

波和瞬态瑞利面波法相结合的方法对这两种截渗墙质量进行了检测,可确定墙体深度及厚度.

1998年12月,黄河水利委员会王旭明等^①对黄河下游堤防八孔桥截渗墙工程进行了超声波CT检测.检测内容包括混凝土截渗墙内部缺陷、匀质性、混凝土强度检测等.截渗墙采用锯槽法和射水法分段施工,设计墙体厚度0.22m,平均深度12.5m,混凝土截渗墙防渗标号S6(渗透系数 $K=1\times 10^{-7}$ cm/s),混凝土墙体强度20MPa.共完成了6组超声波测试,获得测试数据2799组,基本确定了检测段的墙体声速分布,推算出了墙体混凝土强度分布数据,对截渗墙的施工质量作出了评价.

2000年,黄河水利委员会对黄壁庄水库(全国43座重点病险水库之一)副坝截渗墙采用多种方法进行了测试^②,该坝截渗墙全长4858.8m,设计墙厚0.8m,墙深40~68m不等,墙体混凝土设计强度10MPa.该水库截渗墙的墙体长度和墙体面积均为世界之最.根据实际情况,优选了垂直反射法和瞬变电磁法对截渗墙进行普查,然后对查出异常的地段作跨孔弹性波CT详查,进而确定异常位置,进行钻孔取芯.经打孔验证,表明检测效果很好,说明地面普查与跨孔弹性波CT详查相结合的方法是一种全面、经济、快速检测混凝土截渗墙质量的有效方法.

2001年10月,长江水利委员会肖柏勋等^③完成了“堤防隐蔽工程质量无损检测试验研究”项目,此项目从长江堤防隐蔽工程截渗墙质量检测工作的迫切需要出发,系统开展了堤防截渗墙质量无损检测的有效性试验研究,对当前主要的检测方法进行了分析筛选.提出了以可控源音频大地电磁测深法为主,高密度多波列地震影像法和垂直反射法为辅进行质量检测普查,查出重点异常堤段再用弹性波CT方法和钻孔取芯法进行综合探测验证的方案.

2002年3月,黄河水利委员会“混凝土截渗墙质量动测技术试验研究”项目立项^④.该项目将动测法用于混凝土截渗墙质量检测,对弹性波传播规律和特征、检测仪器配置与检测方案和信息处理等多个领域进行试验研究与创新.该项技术开发成功后不仅可用于堤防截渗墙质量检测,同样也可用于水利工程大量采用的各种混凝土地下连续墙工程.

2003年,截渗墙(防渗墙)质量检测已列入正在修编的水利部《水利水电工程物探规程》中.

从1994年至今10年间,科技工作者在截渗墙

①王旭明等.黄河下游堤防八孔桥截渗墙工程检测报告.黄河水利委员会,1998.

②朱文仲等.黄壁庄水库副坝截渗墙检测报告.黄河水利委员会,2000.

③肖柏勋等.“堤防隐蔽工程质量无损检测试验研究”项目研究报告.长江水利委员会,2001.

④潘恕等.混凝土防渗墙质量动测技术试验研究可行性研究报告.黄河水利科学研究院,2002.

质量检测方法技术的研究实践方面,孜孜不倦探求,取得不少成果.虽然如此,仍不能完全满足快速无损检测的要求,仍有许多值得我们继续努力的地方.

4 结 语

对截渗墙质量进行快速无损检测时间虽然不长,但近年来全国各有关单位已经进行了大量相关研究与实践,取得了一些成果.但由于截渗墙自身的特殊性,如何针对截渗墙的特点,优化检测方案,高效优质地完成检测任务,仍旧是一个值得深入研究的课题.根据近年来从检测工作中获得的研究及实际经验,笔者认为,采用以可控源音频大地电磁测深法为主,配合地震映像法、垂直反射法或其他方法进行地面检测,以弹性波工程 CT 方法作为详测手段,条件允许时,用同位素示踪进行墙体渗漏或渗透系数检测的方案是比较合理的.因为弹性类方法(主要是体波)探测中,墙体与周围介质波速差异大,受体积影响小,但垂直声波反射法和多波地震映像法的探测深度有限且只能做定性分析,在一定探测深度内具有较好的效果.电磁法中可控源音频大地电磁测深法能够克服近场、地形、屏蔽、体积效应等不利

因素,但可控源音频大地电磁测深法对截渗墙接缝和开叉等缺陷的分辨率有限.从探测效果和效率两方面考虑,垂直声波反射法、多波地震映像法、电磁法等方法适合对截渗墙进行普查性质的快速检测,遇到重点可疑或发现异常的区段,再有针对性地布置少量钻孔并采用精度高、信息量大的弹性波工程 CT 技术及获取墙体渗透系数的有效手段——同位素示踪技术对其可靠性进行检测,可以有效提高截渗墙质量检测的准确性.继续各种方法的深化研究是今后一段时间内该技术的发展趋势.

参考文献:

- [1] 刘江平.截渗墙质量检测中的综合浅层地震技术[J].中国地球物理学会年刊,2000:136
- [2] 杜国平,郑喜莲,王律,等.航空定向技术在地下水流流向中的应用研究[J].南京航空航天大学学报,2000,32(4):483~486.
- [3] 冷元宝.工程 CT 技术在工程勘察中的应用[A]. '98 水利水电地基与基础工程学术交流会论文集编辑委员会. '98 水利水电地基与基础工程学术交流会论文集[C]. 天津:天津科学技术出版社,1999.520~524.
(收稿日期:2003-10-17 编辑:熊水斌)
- [7] 李光永.世界微灌发展态势[J].节水灌溉,2001(2):24~27.
- [8] Thompson T L, Doerge T A. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002,66(1):186~192.
- [9] 冯广志.关于微灌技术研究与推广的几个问题[J].节水灌溉,2000(2):6~8.
- [10] 吴景社.国外节水灌溉技术发展现状与趋势[J].世界农业,1994(1):20~30.
- [11] 黄修桥,高峰,王宪杰.节水灌溉与 21 世纪水资源的持续利用[J].灌溉排水,2001,20(3):1~5.
- [12] 古智生.以色列水资源的开发与利用[J].节水灌溉,1999(6):34~35.
- [13] 刘润堂,许建中.我国污水灌溉现状、问题及其对策[J].中国水利,2002(10):123~125.
- [14] Tsadilas C D, Vakalis P S. Economic benefit from irrigation of cotton and corn treated wastewater[J]. Water Science and Technology: Water Supply, 2003,3(4):223~229.
- [15] 张祖新.我国北方雨水集蓄与节水灌溉技术[J].节水灌溉,2000(3):13~14.
- [16] Renato S F, Fibeiro R. Fuzzy logic based automated irrigation control system optimized via neural networks[D]. Chattanooga: The University of Tennessee, 1998.
- [17] 康绍忠.关于建设国家节水灌溉试验与监测网络的建议[J].中国农村水利水电,2002(12):18~22.
- [18] 张兵,袁孝其,成立.节水灌溉自动化技术的发展及趋势[J].灌排机械,2003,21(2):37~41.
- [19] 水利部农村水利司.水稻节水灌溉技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [20] 金千瑜,欧阳由男.中国农业可持续发展中的水危机及其对策[J].农业现代化研究,2003,24(1):23~27.
- [21] Khepar S D, Yadav A K, Sondhi S K. Water balance model for paddy fields under intermittent irrigation practices[J]. Irrigation Science, 2000,19(4):199~208.
- [22] Oad Ramchand, Azim RAjab. Irrigation policy reforms for rice cultivation in Egypt[J]. Irrigation and Drainage Systems, 2002, 16(1):15~31.
- [23] 关光男.日本农业用水的现状[J].灌溉排水,1999,18(4):60~63.
(收稿日期:2003-10-22 编辑:熊水斌)

