

几种无损检测技术在防渗墙质量检测中的应用

邓凯斌

(湖北省水利厅水利水电工程检测研究中心, 湖北 武汉 430071)

摘要 利用地质雷达、超声电视、视频电视和高密度弹性波 CT 等几种无损检测技术,对两个国家重点水利工程(西霞院反调节水库坝基和长江马鞍山河段一期防渗工程)的防渗墙进行了检测,通过对检测成果的分析,总结出每种无损检测技术在检测防渗墙中的优点及局限性。地质雷达检测防渗墙对内部缺陷情况可以进行定性解译,但定量测量不能满足要求;井下电视系统优点是通过超声波成像、视频成像,成果形象、直观可靠,但需要造孔;高密度弹性波 CT 检测防渗墙质量可反映墙体介质分布的均匀性,但目前软件只能满足一般性数据处理;超声波速 CT 成像技术能在不同深度位置将不同声速用不同颜色显示出来,成果一目了然,但图像颜色比较单一,相邻声速范围呈现的色彩区分较困难。

关键词 防渗墙;无损检测;地质雷达;超声电视;视频电视;CT 技术

中图分类号:TV698.1+5

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2007)02-0050-05

Application analysis of several non-destructive testing techniques in quality testing of impermeable walls //DENG Kai-bin
(Water Conservancy and Hydroelectric Project Test and Research Center of Water Resources Department of Hubei Province, Wuhan 430071, China)

Abstract :The impermeable walls of two state key projects of water conservancy in China, i. e. the Xixiayuan anti-regulating reservoir dam foundation project and the first stage anti-seepage project of Maanshan section of the Yangtze River, were detected by use of several effective non-destructive testing methods, including the geological radar, ultrasonic television, video television, and high-density elastic wave CT. Through the analysis of the test results, the advantages and limitations of the above methods were summarized. The geological radar method could give a qualitative explanation of internal defects of impermeable walls, but it could not meet the testing requirement in quantitative measurement. The visualization and high reliability could be realized by the bore-hole TV system, but it is needed to drill holes. The high-density elastic wave CT detecting technique can reflect the homogeneity of wall materials, but the existing software can only be used to process the common data. The ultrasonic wave CT imaging technique could identify different depths by means of different sound velocities and express them with different colors, but the colors are relatively dull, and it is difficult to identify the boundaries of adjoining velocity ranges.

Key words :impermeable wall; non-destructive testing; geological radar; ultrasonic television; video television; CT technique

堤坝防渗墙的质量与保护区内人民的生命财产安全息息相关,对已修建的防渗墙进行科学有效的质量验收检测工作十分必要。目前的防渗墙质量检测工作量大、面广,施工工艺和人为等因素造成的质量问题复杂多样,规律性差,传统方法满足不了需要,而至今尚无国家或行业有关防渗墙的检测验收标准。堤防防渗墙质量检测工作目前仍处于探索阶段^[1-2]。鉴于我国防渗墙质量无损检测技术的现状,湖北省水利厅水利水电工程检测研究中心于 2004 年采用地质雷达、超声电视和视频电视、高密度弹性波 CT、低应变深度测试等几种无损检测技术,先后对河南西霞院反调节水库工程及长江马鞍山河段整

治工程的防渗墙进行了检测研究。

1 工程检测实例

1.1 西霞院反调节水库坝基防渗墙检测

西霞院反调节水库是黄河小浪底水利枢纽的配套工程,主体工程于 2004 年元月开工建设。左右岸滩地和河槽段为土工膜斜墙砂砾石坝,总长 2609 m,最大坝高 20.2 m,坝顶宽 8.0 m,坝顶高程 138.2 m。坝基防渗采用混凝土防渗墙,防渗墙设计技术参数指标如下:①强度等级 C15;②渗透系数 W6;③厚度大于 0.60 m;④深度大于相对不透水地层埋深 1.5 ~ 3 m。主要检测仪器和设备包括:①NM-4B 非金属超

声波检测仪(北京康科瑞);②RG井下电视系统(英国RG);③SE2404EP综合工程探测仪;④PIT低应变桩体完整性测试仪(美国PDI);⑤SWY-6B跨孔超声波检测仪。

1.1.1 防渗墙钻孔超声波电视和视频电视检测

利用RG井下电视系统分别对3个检查孔进行了钻孔超声波成像和视频成像检测,3孔的编号及孔深分别为:ZA-CH-B1(以下简称B1孔),孔深15.65m;ZA-CH-B2(以下简称B2孔),孔深20.88m;ZA-CH-B3(以下简称B3孔),孔深22.05m。B1、B2和B3孔的布置见图1。

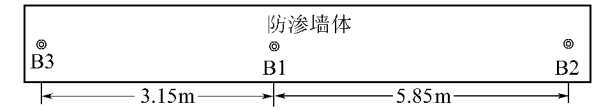


图1 钻孔位置

图2和图3分别为B3孔的一段超声波走时成像和声幅成像,两组成像较为详细地描述了钻孔孔壁的形态和对应深度混凝土强度相关的特征。相应深度的视频图像(图4)可以对钻孔孔壁形态特征作进一步直观的描述。钻孔孔深以校核后深度为准。

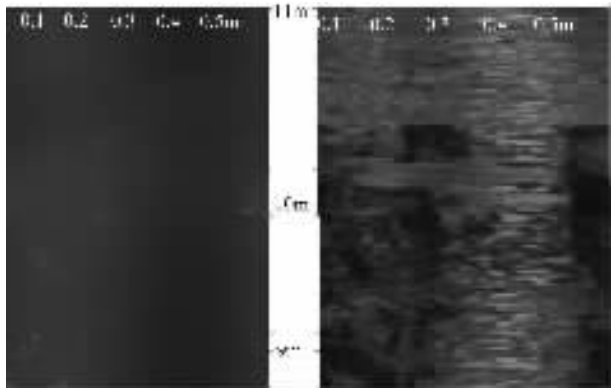


图2 超声波走时成像 图3 超声波声幅成像

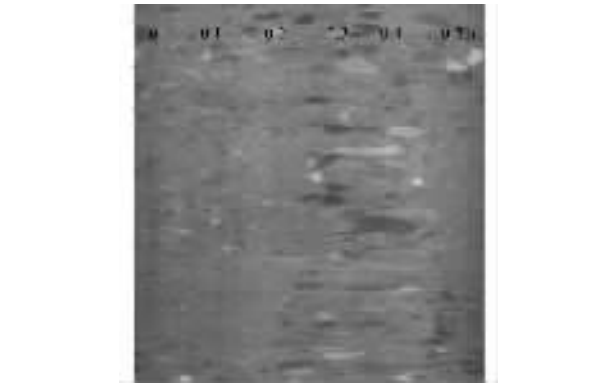


图4 视频成像

超声波走时成像(图2)反映出其孔壁较光滑,有少量骨料脱落的痕迹;而声幅成像(图3)则反映出防渗墙体的强度变化。从视频成像(图4)中可直观地看出粗细骨料明显不均匀和龟裂纹理现象,从

而造成墙体的强度发生变化。其对应深度的芯样则有局部不完整和缺损现象。

1.1.2 防渗墙体声速原位测试

采用NM-4B非金属超声波检测仪对防渗墙试验开挖段进行了6组原位声速测试,测试成果见表1。

表1 防渗墙试验段声速测试成果

序号	距离/m	走时/ μ s	声速/($m \cdot s^{-1}$)
1	0.25	67.33	3713
2	0.25	68.49	3650
3	0.25	67.84	3685
4	0.25	71.90	3477
5	0.25	66.85	3740
平均值			3653

在进行孔间声速成像测试过程中分别对B1、B2、B3孔进行了声速值取样计算,共30组,其声速平均值为3651m/s,对取出的芯样进行了3组抗压强度试验,平均抗压强度为22MPa,说明防渗墙强度达到设计要求。

1.1.3 防渗墙深度测试

利用PIT低应变测试仪在B3孔的桩号+5m处对防渗墙深度进行了低应变深度测试,测试波速采用防渗墙试验开挖段6组原位声速测试的平均值,即为3653m/s。测试结果为:防渗墙深度大于21.65m,其嵌入相对不透水地层深度1.6m,符合设计要求。

1.1.4 墙体外形尺寸弹性波高密度成像检测

使用SE2404EP综合工程探测仪并采用高密度弹性波成像检测法对墙体外形尺寸进行检测,检测位置位于B3孔的桩号+5m处,垂直防渗墙方向由东向西布置测线,测线长度3m,道间距0.05m,经数据处理成像(图5)解译后,得出该检测断面防渗墙体的深度大于22m,墙体厚度大于0.6m。

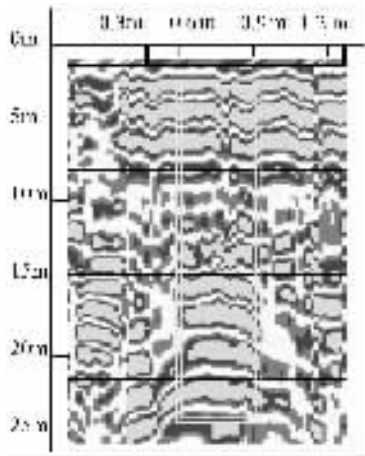


图5 高密度弹性波成像

1.1.5 防渗墙体钻孔孔间CT声速成像测试

采用孔间超声波速CT成像技术对混凝土防渗墙施工中搭接部位的墙体连接情况进行检测,是在

相应部位根据不同的声速以不同的颜色表现出来 , 从而可依据颜色情况判定低速区即缺陷区。

1.1.6 测试结果

- a. 防渗墙体的深度、厚度和嵌入相对不透水地层深度及强度符合设计要求。
- b. 检测断面 9 m 范围内超声波速 CT 成像反映防渗墙体较为完整 , 搭接部位未发现异常。
- c. 通过比对 3 个检查孔全孔超声波声时、声幅和视频成像及芯样表明 , 3 个钻孔的孔壁较光滑 , 钻孔的孔壁内有规则胶结纹理 , 但局部有少量粗细骨料搅拌不均匀和细小龟裂纹理。

1.2 马鞍山河段一期防渗工程检测

长江马鞍山河段整治工程是以防洪为主要目标 , 兼顾航运和地方经济发展的一项综合性河道整治工程。马鞍山河段崩岸整治一期工程从 1999 ~ 2000 年度开始实施 , 2000 ~ 2001 年度全部完成。防渗工程分两个标段 , 总长 5.174 km , 防渗墙施工工法有深搅、高喷和振动切槽等 , 其主要技术指标有 3 个 : ①防渗墙墙体厚度 20 cm 和 30 cm ; ②强度大于或等于 2.0 MPa ; ③渗透系数小于或等于 2.5×10^{-7} cm/s。

主要检测仪器包括 : ①EKKO 探地雷达(加拿大) ; ②SE2404EP 综合工程地震仪 ; ③NM-4B 非金属超声波检测仪。依据检测合同约定 , 每 2 km 抽检 1 个断面 , 长度不足 2 km 段(大于 500 m)亦检测 1 个断面。

1.2.1 检测方法

由于马鞍山干堤防渗工程施工已于 2001 年结束 , 所有防渗墙顶层均已加高培厚 , 多数堤段已经铺设了堤防公路 , 因此给防渗墙体检测带来很大难度。为确保检测数据的可靠和准确 , 依据防渗墙顶覆盖物不同确定是否具备开挖检测条件 , 相应采用不同的检测方法和技术。

- a. 开挖综合检测。对于具备开挖条件的断面 , 首先探测确定防渗墙的轴线位置 , 再采用综合工程探测方法探测防渗墙体深度 , 同时进行开挖检测。
- b. 全无损检测。对于不适宜开挖检测的断面 , 探测确定防渗墙轴线位置 , 布置纵横测线 , 用综合工程探测方法探测防渗墙体厚度、深度。

1.2.2 测线的布设与数据采集

- a. 测线的布设。首先根据断面布设原则确定断面位置 , 并用探地雷达探测出防渗墙的轴线 , 然后垂直防渗墙的轴线及沿防渗墙顶布置测线。
- b. 开挖综合检测。如具备开挖条件 , 则在桩号断面线与防渗墙轴线交点处布置一个长 2 m、宽 1.2 m、深 2 m 的开挖探槽。在探槽内进行声速等测试 , 用钢板尺测量墙体厚 , 观察其连续性 , 并在槽内距墙顶 0.5 m 以下取墙体试样 1 组 3 件 , 送实验室进

行渗透系数、强度试验。

- c. 波速测试。在开挖好的防渗墙探槽内 , 采用 NM-4B 非金属超声波检测仪进行 3 组波速测试 , 以确定防渗墙的波速。
- d. 防渗墙体的厚度检测。对于不具备开挖条件的断面 , 垂直于防渗墙轴线布置 2 条探地雷达测线以检测防渗墙体的厚度 , 见图 6 , 中间大约 0.6 ~ 0.9 m 的范围为检测到的墙体波形 , 即墙体宽度约 0.3 m。

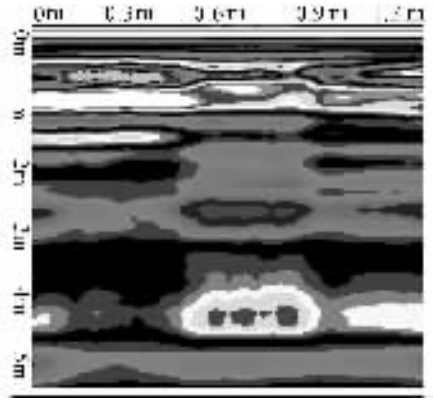


图 6 探地雷达探测防渗墙体厚度剖面

- e. 高密度弹性波成像墙体深度测试。沿防渗墙顶布置测线 , 采用 SE2404P 综合工程测试仪进行高密度弹性波成像墙体深度测试(点距 0.01 m) , 以检测防渗墙体的深度(见图 7) 。 由于不同的介质反应的波形不一样 , 图中最上部为墙体表面覆盖层波形 , 其下至 8.3 m 处为防渗墙波形 , 8.3 m 以下为防渗墙下部基础波形。

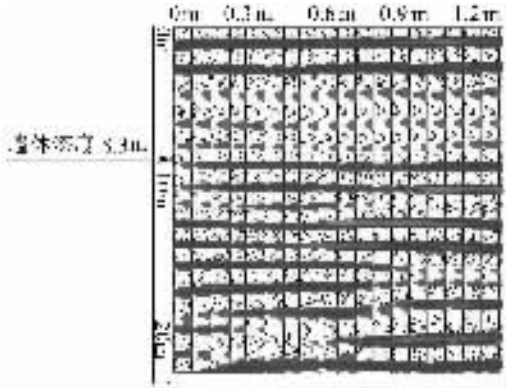


图 7 高密度弹性波深度探测剖面

1.2.3 检测结果

马鞍山河段共抽检防渗墙 4 个断面 , 其中 2 个断面具备开挖条件 , 进行了综合检测 , 分别检测墙体深度、厚度、渗透系数和抗压强度 ; 2 个断面不具备开挖条件 , 进行了全无损检测 , 分别检测墙体深度和厚度。主要检测成果见表 2。

抽检的 4 个断面墙体厚度、深度均达到设计要求 , 抽检的 2 个断面渗透系数和抗压强度也均符合

表 2 防渗墙工程质量检测成果统计

检测断面	墙体深度/m	墙体厚度/cm ($10^{-7}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	渗透系数/ MPa	抗压强度/ MPa	检测方法	覆盖物
MA1-7+903 m	8.3	> 30	2.3	2.7	综合	泥结石路
MA1-5+880 m	7.9	> 30	1.9	2.2	综合	泥结石路
MA2-0+850 m	28.7	> 20			全无损	水泥路面
MA2-0+220 m	29.0	> 20			全无损	水泥路面

2 检测效果分析

通过对西霞院反调节水库工程和马鞍山河段一期整治防渗工程质量实施检测,取得了较为满意的检测成果,为工程验收提供了依据,为高新检测技术在水利工程检测中的应用积累了经验,但这些检测技术在水利工程中的应用尚存在一定的局限性及一些需要解决的问题。以下对试验所用的各种方法检测效果进行简要的分析评价。

2.1 探地雷达

EKKO 系列探地雷达系统具有探测频带覆盖宽的特点,属分体嵌入式系统模式,雷达系统可进行点测和连测,但是主要突出点测方式采集数据。通过对一些水利工程的探测,EKKO100 雷达连测剖面效果可以进行定性解译,但是定量测量不能满足要求,EKKO100 雷达系统对混凝土内钢筋探测可见钢筋反射信号,但要求天线拖动极为缓慢和稳定。通过对防渗墙的检测,发现探地雷达在应用中主要存在以下问题:①从原理上讲,目前的地质雷达利用的是近场球面电磁波,其天线的探测范围是一个形似开口向下的圆锥体,接收信号是地下一定范围内物体的综合反映,由于防渗墙厚度较薄,旁侧的影响就会将目标体信号掩盖掉。②从参数选取上看,由于防渗墙体较薄,探测分辨率要求较高,因而天线的中心频率要求较高,当选取天线的中心频率增大时,天线的体积也随之增大^[3],对 EKKO100 型探地雷达而言,100MHz 天线的长度就为 1 m,因此从天线长短来看,难以满足薄层防渗墙的探测要求。③在防渗墙顶部都有 0.2~0.5 m 左右的泥土覆盖层,当天线在地表对其进行检测时,难以保证天线的中心正好位于防渗墙的顶部。④接收信号虽然携带有目标体甚至小缺陷的信息,但目前缺乏有力的数据处理方法将它们分开,因此,难以判断所接收到的信号异常究竟是墙体及其内部缺陷引起的真异常还是墙体周围介质引起的假异常。⑤连测数据采集速度慢,成像数据图像不精细,比美国 SIR 系列精度低。⑥图像处理软件不全。⑦低频强功率发射天线效果不明显,探测深度没有明显增加。

2.2 超声电视和视频电视

RG 井下电视系统优点是探测成果图像可以对钻孔进行岩性观察,通过对超声波成像、视频成像和地质资料综合分析,可以代替钻孔取芯,成果形象、直观可靠;另对于坝体渗漏调查钻孔和工程治理钻孔可以定性及定量测评。但此方法需要造孔,因而难以用作大范围的质量检测,而对较薄的墙体(如长江堤防防渗墙多为 15~30 cm)打孔而不偏离墙体,其技术难度较大,且墙体越薄,造孔对墙的危害性越大,因而它主要适用于墙体厚度大于 50 cm 的防渗墙检测。该系统还存在硬件不匹配,显示屏显示的深度值与实际深度值不一致,系统中的测井成果文件没有方位角和井斜数据记录内容,声波测井中的色标颜色变化调整只是单一的红黄黑变化,色标代表的声幅值需要界定,视频井下电视灯光太暗,直径 75 mm 钻孔中红色砂岩无图像显示等缺点,因而在软、硬件开发方面须进一步完善。

2.3 高密度弹性波 CT

采用高密度弹性波 CT 检测防渗墙质量,可反映墙体介质分布的均匀性,速度成像结果与声波测试结果基本上一致,在防渗墙深度检测中取得了较好效果。但试验结果发现,该方法对异常的精细检测未达到预期效果,不过这并不能否定该方法原理上的先进性。SE2404P 工程探测仪频带较宽,探测功能较全,除能够进行地面常规探测项目以外,还可以进行水上探测、钻孔中探测、孔间成像探测和桩基探测等。该系统在实际应用中也存在一些问题:①随机软件只能满足一般性数据处理,无专业的地震数据处理软件。②现在配套的检波器主频频点比较低。应研制高频检波器和加速度检波器,为高精度成像检测提供条件。③该仪器具有测井功能,但无相应测井电缆、检波器、三分量检波器。

2.4 超声波速 CT 成像技术

SWY-6B 跨孔超声波检测仪能在不同深度位置将不同声速用不同颜色显示出来,从而将混凝土剖面的不同强度用图像表示出来,使成果一目了然。存在的问题主要有:①图像颜色由于只有红色和绿色,使同种颜色表示声速的范围较大,虽然两种颜色的不同深度及组合可相应表示不同的声速,但相邻声速范围呈现的色彩区分较困难;②一般需要钻测试孔,操作不太方便;③该仪器测试的是声速,如要反应成强度,则应做相关性试验进行修正。

2.5 低应变深度测试

该方法与低应变桩基完整性检测基本原理相同,为了能得到较准确的防渗墙深度,根据同种波形在同种介质中声速相同的原理,用 NM-4B 非金属超

声波检测仪对混凝土防渗墙的波速进行了率定,取得了较好的检测效果。但该方法仍有几个问题须作进一步研究:①该方法主要是进行桩基检测的,桩和墙的几何形状不同,在实际应用中由于几何形状不同,对测试结果会引起多大误差,须作进一步研究;②墙体的厚度对测量墙体深度的影响,也须进一步分析;③低应变检测时应力波中 R 波占大部分能量, S 波次之, P 波携带的能量最小,用 NM-4B 非金属超声波检测仪对混凝土检测时,超声波也基本遵循这一规律,但相应各分量占的比例并不完全相同,以超声波的波速来率定应力波波速有多大误差,也须作进一步研究;④该方法仅对强度较高的 C15 混凝土防渗墙进行了试验,对强度较低的塑性混凝土防渗墙有待进一步研究。

3 结 语

利用地质雷达、超声电视、视频电视和高密度弹性波 CT 等几种无损检测技术,对两个国家重点水利工程的防渗墙进行了检测研究,取得了一定的成

果,为工程的竣工验收提供了科学、客观的依据。通过分析每种无损检测技术在检测防渗墙中的优点及局限性,为同行及仪器开发单位针对防渗墙检测进行相关研究提供了经验,也为国家或行业以后制订有关无损检测方法检测防渗墙的标准提供参考。随着计算机技术的迅速发展和广泛应用,使无损检测仪器逐步向高、精、尖方向发展,检测已由单一的参数检测变为多参数综合分析和直观的检测结果显示。相信在不久的将来,无损检测技术检测防渗墙一定会取得更大进步。

参考文献:

[1] 张仁瑜. 建筑工程质量检测新技术[M]. 北京:中国计划出版社, 2001.
 [2] 蔡靖, 张献民, 王建华, 等. 面波与震动映像结合的防渗墙无损检测技术[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(2): 40-42.
 [3] 王山山, 任青文. 黄河大堤防渗墙质量无损检测方法研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2004, 32(4): 405-409.
 (收稿日期: 2005-10-13 编辑: 熊水斌)

(上接第 36 页)



图 6 落潮平面流态



图 7 模型查询结果显示

5 结 语

物理模型相对于数学模型的最大优点就是能将相关的物理参数形象直观地显现出来,若数学模型

也能做到这一点的话,那么数学模型将更容易被人们接受和使用。作为 GIS 软件的 Mapinfo 在图形显示方面具有独特的功能,其内置的关系型数据库可方便地存储由数学模型生成的大量数据,不仅能够以图形的形式显示出来,更具有数据库的管理功能,方便管理和查询等;采用 Access 数据库可提高模型数据的存储和读取。本文通过正方形的计算单元使数学模型与 Mapinfo 紧密结合起来,数学模型生成的大量数据被输送到 Access 数据表,并以图形形式保存起来,模型计算结束后即可进行结果显示,起到所得即所见的效果。对于其他的计算单元如四边形或三角形网格,也可通过类似方法进行数学模型和 Mapinfo 的结合使用。

参考文献:

[1] 江毓武. 厦门港三维潮流数值模拟[J]. 海洋工程, 1998, 16(4): 66-73.
 [2] 童朝锋. 长江口深水航道数学模型信息系统研究[J]. 海洋工程, 2003, 21(1): 101-104.
 [3] 叶清华. 组件式海岸工程数学模型集成系统的开发与应用[D]. 南京:南京水利科学研究院, 2001.
 [4] 辛文杰. 潮流、波浪综合作用下河口二维悬沙数学模型[J]. 海洋工程, 1997, 15(2): 30-47.
 [5] 辛文杰, 何杰. 广深港客运专线跨珠江工程通航论证专题——水流泥沙数学模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2005: 18-44.
 (收稿日期: 2006-05-11 编辑: 高建群)