

测和评估技术规程》进行评定。

## 5 剩余使用寿命评估方法

水工混凝土结构的剩余使用寿命评估方法较多,包括基于经验的预测方法、基于比较的预测方法、加速试验预测方法、数学模型预测方法和随机寿命预测方法等<sup>[9~11]</sup>。其中数学模型预测方法中基于材料劣化模型的使用寿命预测,如混凝土碳化预测模型、氯离子侵蚀模型、耐久性综合评价模型等,大大促进了腐蚀剩余使用寿命等方面研究进程,但由于环境作用和建筑物材料性能劣化机理的复杂性、不确定性与不确知性以及缺乏足够的经验和数据,简单的数学模型难以描述和涵盖实际劣化过程中所有的机理和作用因素,模型的参数又很难准确给定,目前尚难对建筑物的耐久性及其实际使用年限作出准确的预测<sup>[12]</sup>。因此,为使得评估指标及其标准尽可能具有权威性及其可比性,评估指标及标准的制定要尽量以水工混凝土结构现行标准为主要依据,同时参考其它行业标准<sup>[13]</sup>。考虑到现行标准直接引用到腐蚀评估时,内容不够全面,标准也不完全合适,还应根据腐蚀评估的要求,重新划定或调整指标的分级,使之具有可操作性<sup>[14,15]</sup>。

### 参考文献:

[1] 周云,王继光.沿海水工钢筋混凝土结构腐蚀病害及防护修复[J].江

- 苏水利,2001(2):23~24.
- [2] 高小建,马保国,赵志曼.西部地区水工混凝土长期腐蚀产物与腐蚀机理[J].中国腐蚀与防护学报,2005(5):299~302.
- [3] 黎鹏平,刘行,范志宏.满足100年耐久性设计的自密实海工高性能混凝土寿命评价技术研究[J].混凝土,2015(2):46~49.
- [4] 杨国瑞,李贵清,成栋,等.水工钢筋混凝土联合防腐措施在白浪河防潮闸工程中的应用研究[J].水利规划与设计,2013(2):68~70.
- [5] 冯琳.探地雷达在水利工程质量检测中的应用[J].建筑工程技术与设计,2016(20):31~33.
- [6] 王勇,李汶青.仁宗海水库电站压力管道下斜段回填混凝土灌浆后冲击回波法质量检测[J].变频器世界,2006(1):89~93.
- [7] 王五平,宋人心,傅翔,等.用超声波CT探测混凝土内部缺陷[J].水利水运工程学报,2003(2):56~60.
- [8] 朱雅仙,朱锡昶,葛燕,等.用半电池电位评估钢筋混凝土构件中钢筋腐蚀状态[J].水利水运工程学报,2003(4):41~44.
- [9] 王钧利.在役桥梁检测、可靠性分析与寿命预测[M].北京:中国水利水电出版社,2006.1:257~262.
- [10] 李杰,陈淮,江莹莹,等.基于可靠度理论预应力混凝土桥梁使用寿命预测研究[J].世界桥梁,2015(6):51~57.
- [11] 刘卫东,赵治广,魏晓东.现有混凝土结构的剩余使用年限预测[J].工业建筑,2000(8):41~48.
- [12] 张萍,秦鸿根,庞超明.海洋环境结构混凝土耐久性试验研究综述[J].水利水电科技进展,2012(3):81~85.
- [13] 洪晓林,柯敏勇,金初阳.水闸安全检测与评估分析[M].北京:中国水利水电出版社,2007.1:245~280.
- [14] 金伟良.腐蚀混凝土结构学[M].北京:科学出版社,2011.8:1~30.
- [15] 古松,苏有文,于忆骅.既有钢筋混凝土结构构件承载力估算方法[J].浙江工业大学学报,2009(4):459~463.

编辑:张绍付

## Corrosion detection and evaluation method for hydraulic concrete structures

LIANG Jianpeng, YANG Yufeng

(Branch of Water Supply of Petro - China Xinjiang Oilfield Company, Kelamayi 834000, China)

**Abstract:** The evolution of hydraulic concrete structure in comprehensive effect of environmental erosion, material aging and physical mechanical properties change, overload incidents and other factors will inevitably lead to structural damage, directly affects the working state, and cause the decline of structural strength, stability and durability and other important safety performance indicators, reduce the ability to resist natural disasters the ability to influence the normal operation, even structural damage. Therefore, within environment effects determined by designing, actual operation conditions and the provisions of maintenance conditions, detecting, analyzing and evaluating are presented inevitable for corrosion status of existing concrete structures, serviceability and structural safety in reasonable using life are appraised, and remaining using life is calculated. Corrosion of hydraulic concrete structure detection basic procedures and requirements, detection and assessment methods and contents, corrosion residual life evaluation method are introduced in the paper, and detection and evaluation for the corrosion of hydraulic concrete structure is provided for similar engineering.

**Key words:** Corrosion testing; Evaluation method; Hydraulic concrete

翻译:梁建鹏

# 地质雷达在水利工程质量检测中的应用

张宇驰<sup>1,2</sup>,梅新坡<sup>3</sup>

(1. 江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029;2. 江西省水工安全工程技术研究中心,江西 南昌 330029;  
3. 江西省德安县水务局,江西 德安 330400)

**摘要:**目前,江西省水利工程质量检测多采用取芯法或回弹法检测混凝土实体质量,传统的检测方法难以检测混凝土内部缺陷,同时,存在时效性和适用性不强的缺点.本文结合混凝土挡墙工程的实际检测环境,采用地质雷达无损检测方法,以提高检测效率,客观高效地实现对水工混凝土质量的控制.该方法基于波的反射定律,通过对地质雷达接收波进行信号分析,判断目标物的位置、形状、缺陷等,用以分析混凝土的施工质量.将地质雷达检测方法应用于浯溪口水利枢纽混凝土挡墙工程质量检测中,对比分析地质雷达检测法与钻芯法检测结果,表明:地质雷达法能够很好的应用于混凝土挡墙工程质量检测,与传统检测方法相比具有无损、快速和高效的特点,在水利工程混凝土质量检测方面具有很好的应用前景.

**关键词:**地质雷达;挡墙;质量检测;钻芯法

**中图分类号:**TV523 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2016)05-0348-04

## 0 引言

挡墙是水利工程边坡防护与加固的一种常见的混凝土结构,其服役过程中长期受到气候骤变、温度变化、水质污染等因素的影响,不可避免的会出现空洞、裂缝、疏松层等质量缺陷.因此,找到一种合理有效的检测手段,对水工挡墙结构内部中存在的病害进行合理控制,评估工程的质量状况具有实际意义.

在混凝土质量检测中,传统的检测方法主要有:钻芯法、回弹法以及超声波法等检测方法.其中,钻芯法属于破损检测方法,检测时不仅费时费力,同时,对建筑物有一定的破坏,因此,具有一定的局限性;回弹法的检测精度受仪器性能、操作方法、环境气候等因素影响,难以准确获得对混凝土质量的一致性评定;超声波法在操作上相对简单、灵活,但因其检测精度不高,难以普遍推广.而实际工程中,关于混凝土内部缺陷检测目前有效的手段不多.近年来,随着电子、计算机和信息处理技术的发展,地质雷达技术被广泛应用于工程无损检测领域.

地质雷达(Ground Penetrating Radar, GPR),又称探地雷达,是一种无损探测方法,通过频率介于1 MHz~1

GHz的无线电电磁波来确定地下介质分布<sup>[1]</sup>.地质雷达无损检测技术现已广泛应用于岩土工程勘察、水文地质调查、城市地下管网和考古探测等诸多领域<sup>[2]</sup>,同样,在水工混凝土质量检测领域也有相关的应用及研究,诸如:水工隧洞<sup>[3]</sup>、防渗墙<sup>[4]</sup>等工程.本文以江西省境内浯溪口水利枢纽工程右岸混凝土挡墙为例,详细介绍了地质雷达在水工混凝土质量检测中的应用.

## 1 地质雷达对混凝土的质量检测工作原理

地质雷达的实质是利用(超)高频电磁波的反射来定位物体或分界面的一种无损探测方法,遵循波的反射定律,其主要由发射(天线、发射机)和接收(接收机)两部分组成.

当地质雷达正常工作时,雷达主机控制脉冲源发射周期性信号,作用于发射机产生高频电磁波,由发射天线T发出,通过地下层,经目标物(面)反射回地面,被接收天线R接收.对所接收到的电磁波进行信号处理,分析其波形、振幅以及传播时间,以判断目标物的形态、位置、埋深等,实现对目标性态的准确判定,其工作原理示意图如图1所示<sup>[5,6]</sup>.

电磁波的反射是由于其传播时所遇到目标物时,两

收稿日期:2016-08-25

项目来源:江西省水利厅水利政策研究课题2015004.

作者简介:张宇驰(1990-),男,硕士,助理工程师.

种物体的介电常数差异造成的,介电常数的差异直接关系到反射波信号的强弱,影响目标识别的效果。介电常数差异越大,发射信号越强,识别效果越好;反之,则不然<sup>[7]</sup>。

地质雷达所接收到的电磁波信号经过信号处理可以得到高分辨率的探测影像,能够很好的反映出目标物界面。根据已知的目标物和周边地下介质的介电常数 $\epsilon_r$ ,真空中的光速 $c(c=0.3\text{ m/ns})$ ,由式(1)可以计算出电磁波在地下介质中的传播速度 $V$ :

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

通过读取电磁波的旅行时间 $t$ ,根据图1所示的天线间距 $x$ ,电磁波的行程 $V \cdot t$ ,以及目标界面的深度 $h$ 之间的距离关系,由式(3)可得目标界面的深度 $h$ :

$$\left(\frac{x}{2}\right)^2 + h^2 = \left(\frac{V \cdot t}{2}\right)^2 \quad (2)$$

$$h = \frac{\sqrt{V^2 t^2 - x^2}}{2} \quad (3)$$

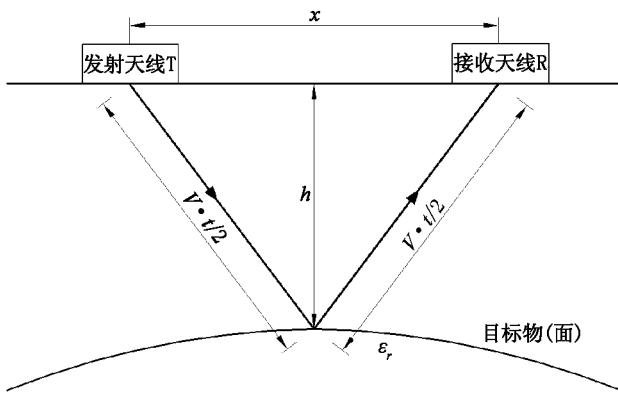


图1 地质雷达工作原理示意图

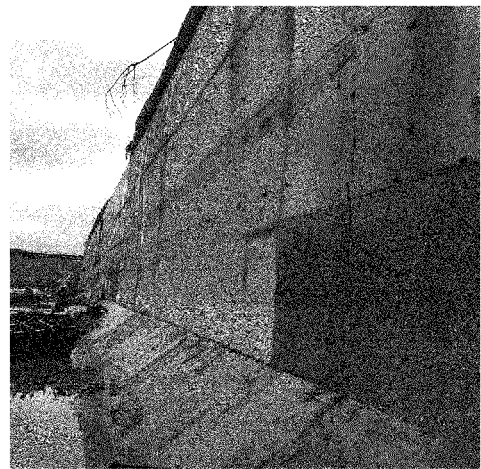


图2 右岸混凝土挡墙示意图

## 2 工程应用实例

### 2.1 工程概况

浯溪口水利枢纽位于江西省饶河支流昌江中游,距离景德镇市区约40 km,是一座以防洪为主,兼有供水、发电等综合利用的大(2)型水利枢纽工程,枢纽主要建筑物有左右岸碾压混凝土非溢流坝、表孔溢流坝、低孔溢流坝、河床式厂房、左右岸挡墙。本工程等别为II等工程,永久挡水建筑物为2级,次要建筑物为3级,坝顶高程65.50 m,最大坝高46.80 m,正常蓄水位56.00 m,水库总库容 $4.747 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,电站装机容量32 MW。

为加强混凝土挡墙施工过程中的质量控制,避免出现浇筑不均匀、分层、空洞等现象。加上由于混凝土内空洞层与混凝土介质本身的介电常数存在较大差异,考虑浯溪口水利枢纽工程实际情况,结合施工单位的意见,选取混凝土挡墙两处相对薄弱的部位(桩号:1+165~1+185,2+275~2+290),图2所示为右岸混凝土挡墙,采用地质雷达检测方法,通过分析信号处理后

的地质雷达反射波形图,分辨出混凝土内部质量情况,并与钻芯法进行对比验证。

### 2.2 仪器选择与参数设置

地质雷达的工作频率影响着探测深度及分辨率,分辨率的提高,是以牺牲探测深度为代价的<sup>[8]</sup>。因此,地质雷达参数的确定对于挡墙工程质量检测效果至关重要。结合地质雷达法检测的实际工程情况,兼顾探测深度及分辨率要求,合理选择地质雷达的工作频率。

本工程地质雷达选用美国GSSI公司生产的TerraSIRch SIR 3000地质雷达系统(简称SIR-3000)。图3为地质雷达法混凝土挡墙实体检测图。具体参数设置为:采用中心频率400 MHz和900 MHz天线进行测试,测量点距为1.5 m,采用记录线为64根/s,采样点数为512个/记录线,时窗大小为50 ns。将反射信号通过radan7.0软件进行后处理得到典型的地质雷达信号图。

钻芯法选用混凝土取芯钻机,直径100 mm钻头进行取样,图4为钻芯法混凝土挡墙实体检测图,通过芯样外观结果与地质雷达法结果进行对比验证。

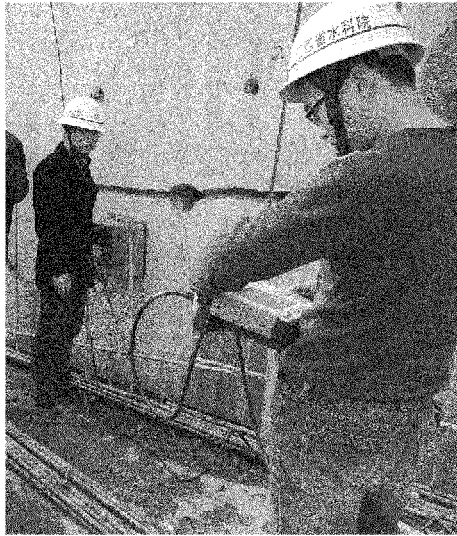


图3 地质雷达法混凝土挡墙实体检测图

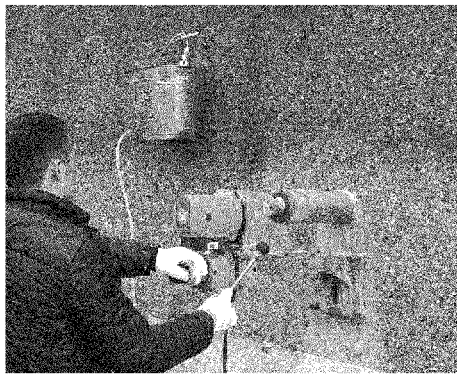


图4 钻芯法混凝土挡墙实体检测图

### 2.3 探测成果

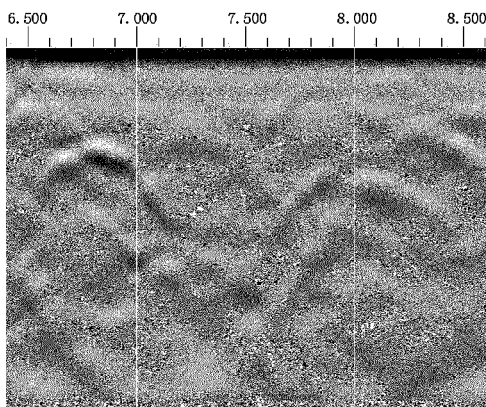


图5 地质雷达图像(1+165~1+185)

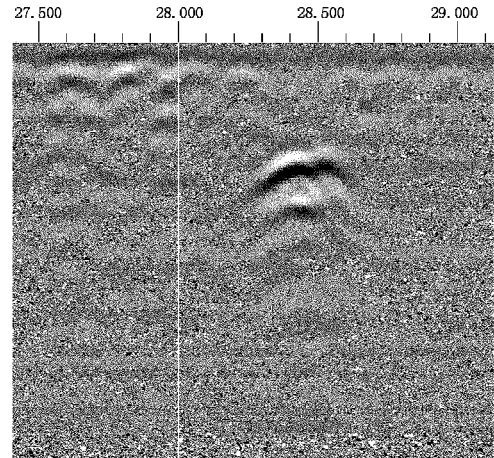


图6 地质雷达图像(2+275~1+290)

图5,6所示分别为桩号1+165~1+185和2+275~2+290两段混凝土挡墙雷达信号图。从图5可以看出雷达信号幅度较弱,无明显的界面反射信号,可以初步认为该段墙体较为均匀密实。图6中所示墙体雷达信号出现部分不连续及分散现象,在标注段(桩号:2+280处)有较为清晰的反射信号,表明该位置的混凝土墙体粗细骨料分离,可能出现不密实,蜂窝或空洞现象。

图7所示的是两根混凝土挡墙芯样的对比图,其中,左侧为桩号1+170处混凝土挡墙芯样,右侧为桩号2+280处混凝土挡墙芯样,标注区域芯样表面粗糙,骨料与水泥粘结较差,存在一定数量的孔洞。钻芯法检测结果如表1所示,其检测结果表明1号孔位置混凝土挡墙连续完整,无明显缺陷;2号孔位置混凝土挡墙出现了松散现象,存在空洞隐患。

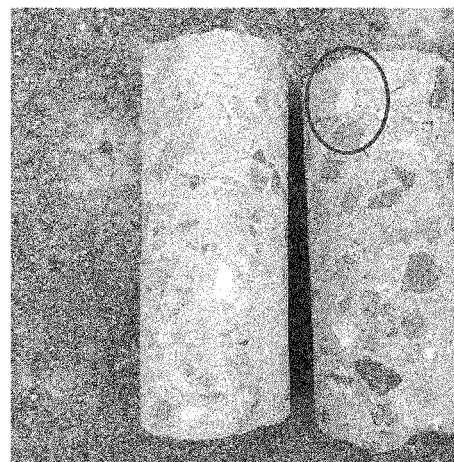


图7 混凝土挡墙芯样对比图