

# 无损声波测试(CT)技术对防渗墙结合部位质量检测的应用分析

崔德浩

(深圳市东江水源工程管理处, 广东 深圳 518122)

**【摘要】** 水库堤坝防渗墙的质量对于坝体的防渗及稳定具有重要的影响,特别是结合部位施工质量是防渗墙质量控制的难点,传统的钻孔抽芯方法不可避免地存在“一孔之见”问题,其结果带有一定的局限性与偶然性。松子坑水库除险加固防渗墙工程在传统钻孔取芯基础上采用了无损声波测试(CT)技术对松子坑水库1号坝防渗墙部分施工槽段结合部质量进行检测,并和传统的钻孔取芯方法结论做了实际对比,本文就此技术在防渗墙质量检测中的应用进行阐述。

**【关键词】** 水库堤坝; 防渗墙; 无损声波测试

中图分类号: TV523

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)08-0067-05

## Analysis on applying non-destructive acoustic testing (CT) technique in quality test of cutoff wall binding site

CUI Dehao

(Shenzhen Dongjiang Water Source Engineering Administration, Shenzhen 518122, China)

**Abstract:** The quality of the reservoir dam cut-off wall has important influence on anti-seepage and stability of the dam, especially the construction quality of the binding site which is a difficulty to control cutoff wall quality. Traditional drilling core pulling method inevitably leads to the problem of 'peep-hole view'. The result has some limitations and contingency. In Songzikeng Reservoir Risk Removal and Reinforcement Cutoff Wall Project, non-destructive acoustic testing (CT) technique is adopted for testing the quality of the binding site in the cutoff wall construction part construction slot of Songzikeng Reservoir No. 1 dam. The technique is practically compared with traditional drilling core pulling method. In the paper, the application of the technique in cutoff wall quality test is described.

**Keywords:** reservoir dam; cutoff wall; nondestructive acoustic test

## 1 前言

水库堤坝防渗墙的施工质量对于坝体的防渗及稳定具有重要的影响,防渗墙施工过程中受外界条件影响较大,因此混凝土防渗墙(刚性)不可避免地会出现不同施工槽段质量接合不好、墙体连续性差、墙体底部沉渣过厚、墙体嵌入基岩深度不够、墙体夹泥、离析蜂

窝、浇注不连续而产生裂缝等质量问题。同时防渗墙施工过程中,混凝土是泥下浇注,容易出现塌槽、墙体含泥量大等质量隐患,因此,如何对防渗墙进行有效的质量检测,及时探测墙体中潜在质量隐患,采取有效的补救措施,对水库的竣工验收和安全运行具有重要的意义。传统的钻孔抽芯方法不可避免地存在“一孔之见”问题,其结果带有一定的局限性及偶然性。同时,

抽芯检测也严重依赖钻探质量,如:孔钻倾斜、取芯质量差都会影响防渗墙检测质量。为此,松子坑除险加固工程项采用无损的声波测试(CT)技术对松子坑水库1号坝防渗墙部分施工槽段结合部质量进行检测。

## 2 传统钻孔取芯检测法

钻孔取芯法是检查防渗墙墙体质量的一种原始、常规的检测方法,一方面检查混凝土芯中是否有裂缝、夹泥、混浆等质量问题,另一方面对混凝土芯样的密度、抗压强度、抗拉强度、弹性模量、抗渗指标等物理力学性能进行试验,是一种精度和准确度最高的检测方法。但钻孔取芯法存在破坏性强、抽样数量少、代表性差、费用高、检测速度慢等问题;且因对钻芯位置的选择及钻芯数量等均受到一定限制,而且它所代表的区域也是有限的;由于钻孔孔径相对于桩截面积很小,对于大桩钻孔截面积不到桩截面积的1%,对非全断面甚至是较严重的离析也可能出现遗漏而观察不到,而对有些局部轻微缺陷其占整个断面的比例很小,但钻孔恰好从其中穿过时可能会夸大缺陷的严重性,特别是当钻孔布置在轴线上时,由于施工过程中中心导管上拔时容易造成沿轴线分布的局部离析,使抽芯取不到芯样被误判为严重离析或断桩;此外,钻芯法检测桩身混凝土质量的方法属于局部破损检测法,当桩身混凝土局部强度过低或混凝土胶结较差时,钻芯过程中容易破坏砂浆与粗骨料之间的黏结力,影响检测结果的准确性只能反映钻孔范围内的小部分混凝土质量,不宜作为大面积检测方法。

## 3 坝体防渗墙设计及抽检部位

1号坝体局部采用C15W8普通混凝土防渗墙处理,处理范围A0+000~A0+210及A0+514.05~A0+666,总长度361.95m,成墙面积6370m<sup>2</sup>。防渗墙轴线布置在坝轴线上游侧2.60m处,防渗墙设计厚度为0.8m,墙顶高程为67.00m。抽检部位包括20~21槽段结合部、19~20槽段结合部、17~18槽段结合部、16~17槽段结合部、14~15槽段结合部、13~14槽段结合部质量,共6个CT剖面,完成射线13256对。

## 4 无损超声波检测技术原理及工作方法

### 4.1 技术原理

声波CT是利用声波穿透工程介质,通过声波走时和能量衰减的观测对工程结构进行成像。声波在穿透工程介质时,其速度快慢与介质的弹性模量、剪切模量、密度有关。介质密度大、强度高的其模量大、波速高、衰减小;破碎疏松介质的波速低、衰减大;波速可作为混凝土强度和缺陷评价的定量指标。

### 4.2 工作方法

在外业数据采集时,采用一孔发射-接收换能器,即在一孔中发射声波振源,在另一孔中接收通过岩体介质传播而来的声波信号,每两孔组成一对声测剖面。将发射换能器定在孔口,接收换能器从孔口至孔底观测一遍,然后把发射换能器下降0.5m,接收换能器再重复上述工作,直到发射换能器下到孔底为止,接收换能器的点距为0.5m。经过上述工作获得1对剖面的声波走时资料,观测系统如图1所示。遇异常段进行加密测试,加密段点距为0.25m。利用奥成科技提供的声波CT软件对实测资料进行反演处理,做出波速色谱成果图。 $V_p$ 值偏低就表明在该施工槽段结合部相应深度处存在缺陷。

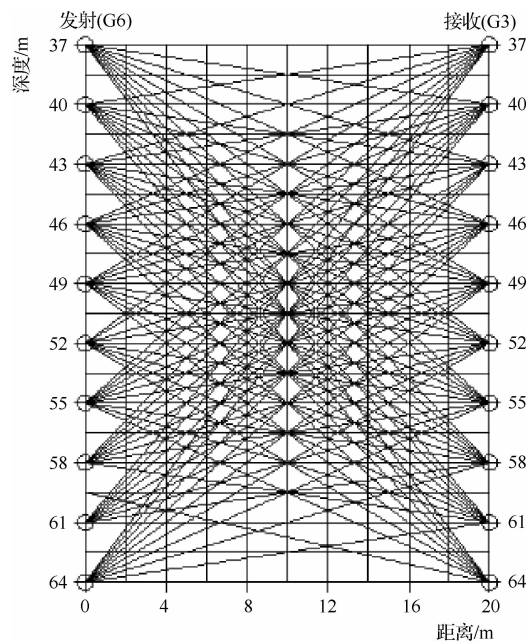


图1 观测系统

### 4.3 检测仪器

松子坑水库除险加固工程防渗墙无损声波测试采用的声波测试仪器是武汉某公司生产的 RS-ST01C 型非金属声波检测仪(见图 2),其主要工作参数为声时测读精度  $\pm 0.1\mu\text{s}$ ;发射电压 1000V;发射宽度  $40\mu\text{s}$ ;采样间隔  $2\mu\text{s}$ ;触发方式单发;频带宽度  $10\sim 3\text{kHz}$ ;输入噪音小于  $1\text{mV}$ 。



图 2 RS-ST01C 型非金属声波检测仪

发射换能器是奥成科技研制生产的稀土超磁致伸缩井间震源(HX-GMM-S60C)。

### 4.4 工作内容及钻孔布置

根据《水利水电工程物探规程》(SL 326—2005) 4.13 节的要求:在待检防渗墙槽段结合部布置声波 CT 剖面。合理布置钻孔(布置要求:在结合部向小里程方向  $1\sim 2\text{m}$ 、向大里程方向  $1\sim 2\text{m}$  处各布设 1 个钻孔,且相互平行),采用声波 CT 测试技术进行检测,检出各槽段结合部可能存在的缺陷(如空洞、夹泥及松散区等)。具体布置如下:

a. 20~21 槽段结合部布置声波 CT1 剖面(ZK1—ZK2),孔间距  $3\text{m}$ ,剖面深度  $17\text{m}$ ,测点间距按《水利水电工程物探规程》要求取为  $0.5\text{m}$ ,计  $17/0.5 \times 17/0.5 = 28 \times 28 = 1156$  个射线对。

b. 19~20 槽段结合部布置声波 CT2 剖面(ZK3—ZK4),孔间距  $3\text{m}$ ,剖面深度  $18\text{m}$ ,测点间距  $0.5\text{m}$ ,计  $36 \times 36 = 1296$  个射线对。

c. 17~18 槽段结合部布置声波 CT3 剖面(ZK5—ZK6),孔间距  $3\text{m}$ ,剖面深度  $21\text{m}$ ,测点间距  $0.5\text{m}$ ,共计  $42 \times 42 = 1764$  个射线对。

d. 16~17 槽段结合部布置声波 CT4 剖面(ZK7—ZK8),孔间距  $3\text{m}$ ,剖面深度  $24\text{m}$ ,测点间距  $0.5\text{m}$ ,共计  $48 \times 48 = 2304$  个射线对。

e. 14~15 槽段结合部布置声波 CT5 剖面(ZK9—ZK10),孔间距  $3\text{m}$ ,剖面深度  $28\text{m}$ ,测点间距  $0.5\text{m}$ ,共计  $56 \times 56 = 3136$  个射线对。

f. 13~14 槽段结合部布置声波 CT6 剖面(ZK11—ZK12),孔间距  $3\text{m}$ ,剖面深度  $30\text{m}$ ,测点间距  $0.5\text{m}$ ,共计  $60 \times 60 = 3600$  个射线对。

### 4.5 成果分析及检测结论

测试过程中,针对声波波速曲线的突变点和畸变线段、波速低值异常部位及重要测段进行重复观测读数,重复读数段总长  $12\text{m}$ ,其重复观测数据与原测数据平均相对误差在  $2.7\%$  以下(规程规定应小于  $5\%$ ),符合《水利水电工程物探规程》(SL 326—2005)相关要求,说明原测资料准确可靠。

利用奥成科技提供的声波 CT 软件对实测资料进行反演处理,做出色谱成果图。在充分了解施工工艺、施工过程记录的基础上,将声波 CT 结果出现地质异常的声波波速低值区定为施工槽段结合部缺陷,依据声波波速值变化情况辨别缺陷类型。声波对穿曲线如图 3 所示。

结合防渗墙混凝土设计标号为 C15 的情况,统计分析该次声波 CT 检测成果,确定声波波速低于  $2.8\text{km/s}$  为施工槽段结合部缺陷。从声波对穿曲线图和声波 CT 透视成果图可以看出:CT1 剖面钻孔 ZK1 一侧  $0\sim 1\text{m}$  孔深声波速度低于  $2.8\text{km/s}$  推断为低强度区,孔深  $17\sim 18.5\text{m}$  声波速度低于  $2.8\text{km/s}$  推断为蜂窝低强度区,靠近孔壁附近存在一离析、蜂窝缺陷低强度区,钻孔揭示骨料分布不均,有麻面小沟槽;CT1 剖面钻孔 ZK2 一侧  $0\sim 0.6\text{m}$  孔深声波速度低于  $2.8\text{km/s}$  推断为低强度区,可能为施工中振捣不够充分或墙顶局部含泥量偏高所致;CT2—CT6 剖面声波速度高于  $2.8\text{km/s}$  推断防渗墙满足设计要求,如图 4 所示。由此判断除 CT1 剖面局部存在缺陷外,其他剖面没有发现缺陷,防渗墙施工槽段结合部质量达到设计要求。

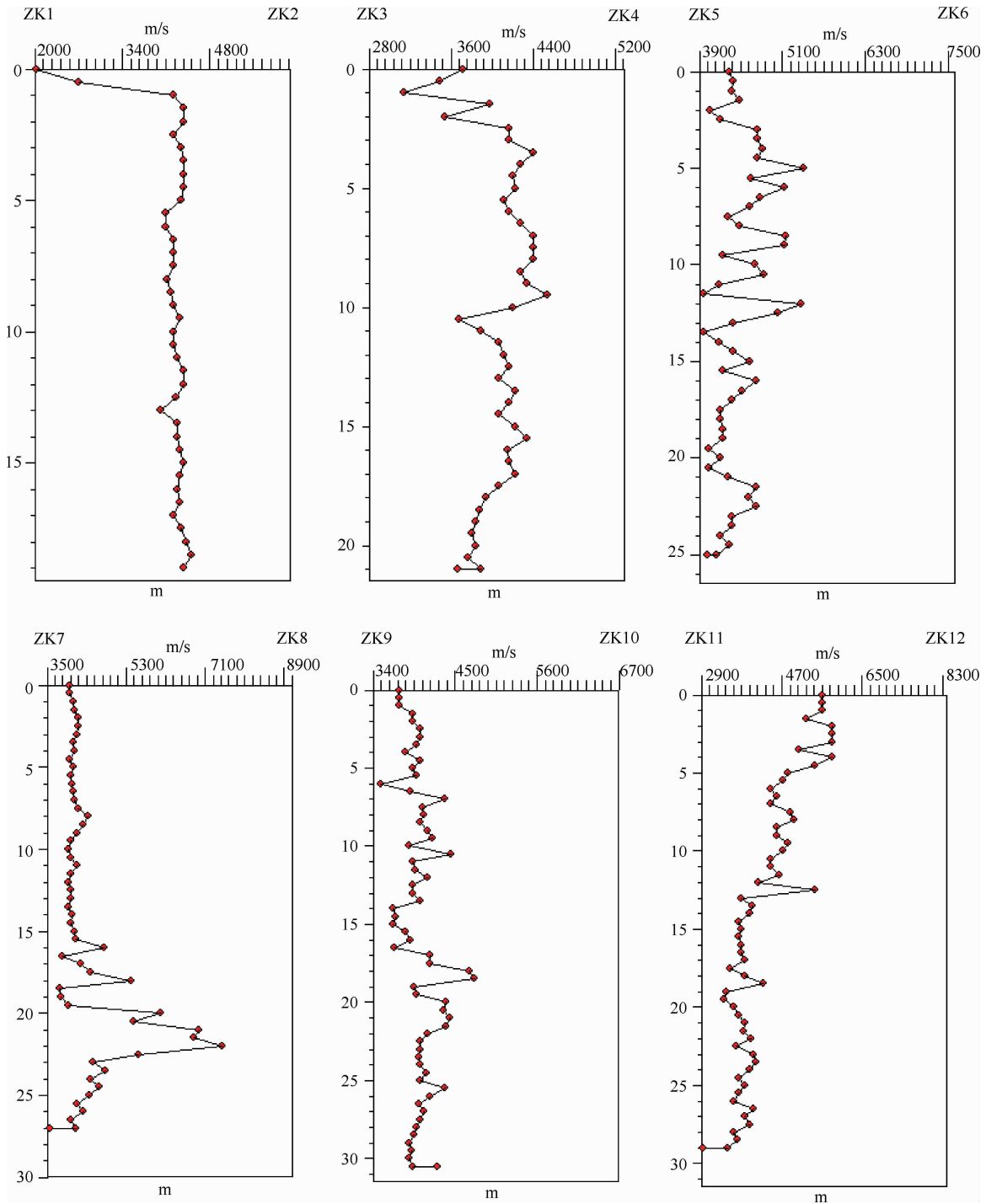


图3 声波对穿曲线

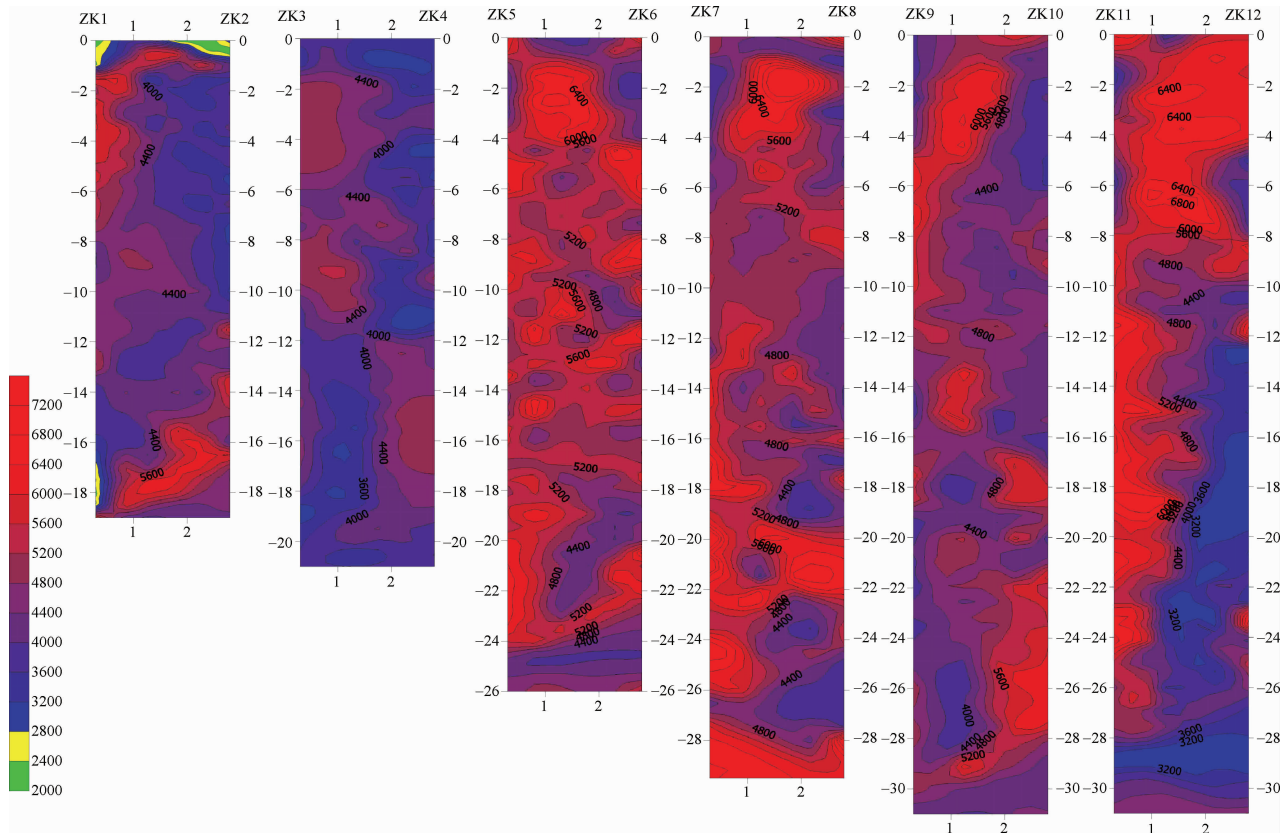


图4 声波 CT 透视成果

## 5 传统取芯检测和无损声波检测(CT)结果对比

松子坑水库除险加固工程1号坝防渗墙的10个槽段共30个检查孔的钻孔抽芯检测结论:5号、25号、38号、41号槽段墙身混凝土芯样完整性类别为I类;14号、17号、20号、30号、47号槽段墙身混凝土芯样完整性类别为II类;9号槽段墙身混凝土芯样完整性类别为III类,检测结果满足设计和规范要求。CT检查结果与钻孔取芯检查结果有较好的一致性,但是经无损声波检测发现CT1剖面局部存在离析、蜂窝缺陷低强度区,钻孔揭示为骨料分布不均,有麻面小沟槽,施工

单位对此部位采取了灌浆处理措施,杜绝了防渗墙质量隐患。

## 6 结语

无损声波测试(CT)技术检测对比传统钻孔取芯检测有直观图像、信息量丰富、适用性强的特点,且成像技术对探测混凝土防渗墙中的离析、裂纹等低速缺陷具有明显的效果,检测结果相对准确,解决了传统的钻孔抽芯方法“一孔之见”问题,特别是对防渗墙施工槽段结合部位进行了全面直观的检测,杜绝了传统钻孔取芯方法不能发现的质量隐患,对工程的竣工验收和水库的安全运行有重要的实际意义。◆