

表面波无损检测技术 在五强溪船闸裂缝深度检测中的应用探讨

陈冬勇

(五凌电力有限公司,湖南 长沙 410014)

摘要:根据表面波在混凝土中的传播特性,采用RL-2000系列无损检测仪对五强溪水电站船闸裂缝深度进行检测,并选取部分裂缝采用超声法和钻孔法验证裂缝深度,结果基本一致。

关键词:表面波;无损检测;裂缝检测;船闸裂缝

Title: Application of non-destructive testing technique by surface waves in the crack depth detection of Wuqiangxi lock// by CHEN Dong-yong// Wuling Power Corporation

Abstract: By use of propagation of surface wave in concrete, the RL-2000 series of non-destructive detector was adopted for crack depth testing for Wuqiangxi lock. What's more, part of the cracks were again tested by drilling and ultrasound method, the results were basically the same with the former ones.

Key words: surface wave; non-destructive testing; crack detection; lock cracks

中图分类号:TV698.1

文献标识码:B

文章编号:1671-1092(2012)04

1 工程概况

五强溪水电站位于湖南省沅陵县境内沅水干流上,是一座以发电为主、兼有防洪、航运等综合效益的大型水电工程。坝址以上控制流域面积83 800 km²,正常高水位108 m,水库总库容42.9亿m³,为季调节水库。电站总装机1 200 MW。

三级船闸由上游引航道、上游进水口、闸首(4个)、闸室(3个)、下游泄水口和下游引航道等11部分组成,呈直线型布置,全长达1.66 km,其中船闸主体结构长531.0 m。各闸首有效尺寸为130 m×12 m×2.5 m(长×宽×槛上最小水深),设计水头分别为37.7 m、27.7 m和24.0 m。

运行中发现船闸一闸室开合度超设计值,现场检查发现闸室地板及输水廊道出现大量裂缝。目前,混凝土裂缝深度无损检测手段主要有超声波平测法和表面波法,其中超声波平测法有效检测深度仅为0.5 m,而表面波法有效检测深度可达数米,且具有受混凝土内钢筋影响小等优点。为查明船闸混凝土裂缝深度发展性状,使用RL-2000系列表面波检测设备,采用表面波法对船闸一、二闸室底板和输水廊道底板若干裂缝的深度进行检测。

2 检测原理

表面波是纵波和垂直极化的横波的合成波,它包括三种波型的波(R波、Lamb波、Love波)。R波在半无限匀介质弹性体内传播,它的传播速度 V_R 与振动频率 f 之间关系如下:

$$V_R = f \cdot \lambda_R$$

其中: V_R 是表面波的传播速度; λ_R 是表面波的波长; f 是表面波的频率。

因此在已知介质中,改变振动频率即能改变表面波的波长。在有衰减的介质中(如混凝土、岩石、砂土),表面波的等效传播深度 D 一般为半波长深度,若改变表面波的频率,表面波的等效传播深度也随之改变,因此表面波在非均匀介质中传播将具有明显的频散特性,目前表面波法勘探或无损检测就是利用表面波的频散特性。表面波法检测裂缝深度时,利用穿透裂缝的表面波的频散特性检测混凝土中开口裂缝的深度,根据不同频率表面波的相位差检测有充填物的裂缝深度,通过分析表面波经过裂缝群形成的散射场检测其中最深的裂缝深度。见图1。

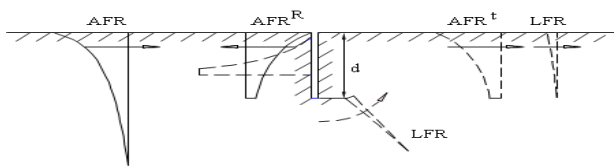
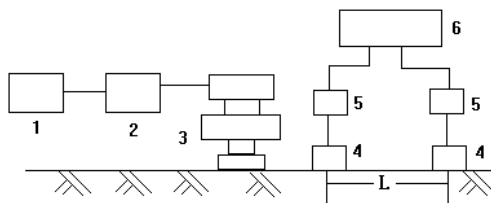


图1 表面波遇缝的传播机理示意图

Fig. 1 Propagation of surface wave as encounter of crack

3 检测设备

本次裂缝检测采用RL-2000系列表面波无损检测仪器,该仪器、由信号发生器、功率放大器、表面波激振器、拾振器、信号处理器、便携式工控机等组成。用于检测混凝土裂缝深度时,信号发生器、功率放大器及表面波激振器组成发射系统向混凝土发射不同频率的表面波信号,由拾振器、信号处理器及微机组成接收系统,对表面波信号进行拾取、放大、A/D转换以及有用信息的提取、分析计算并输出结果。现场仪器布置示意图见图2。



1.信号发生器;2.功率放大器;3.面波激振器;4.拾振器;5.前置放大器;6.信号处理器

图2 仪器的现场布置示意图

Fig. 2 Layout of the instruments

4 检测方法和检测结果

4.1 检测方法

现场检测时,根据现场情况在每个测区布置一条无缝区测线和一条有缝区测线,在每条测线上依次布置一个表面波激振器和两个拾振器,两条测线的表面波激振器可共用。测试时,表面波激振器从高频(20 000 Hz)到低频(300 Hz)发射表面波信号,利用两个拾振器检测传播到接收点的各频率表面波信号,逐步调低表面波频率以加大测试深度,直至有缝区测量的表面波频散曲线和无缝区测量的表面波频散曲线相交后结束。

根据船闸现场条件并结合一闸室有限元模拟计算裂缝情况(图3),选择27个典型测区检测裂缝深度。其中一闸室廊道底板布置15个测区($C_1 \sim C_{15}$,其中 C_5 、 C_7 为裂缝群),一闸室底板布置2个测区(C_{16} 、 C_{17});二闸室廊道底板布置8个测区($C_{18} \sim C_{25}$),二闸室底板布置2个测区(C_{26} 、 C_{27})。各测区每条测线上的两只拾振器间距均为1.0 m。检测仪器现场情况见图4。

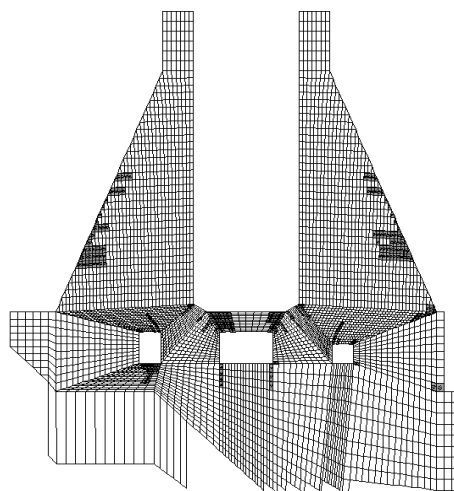


图3 一闸室模拟计算裂缝分布图

Fig. 3 Simulation of cracks distribution of chamber 1

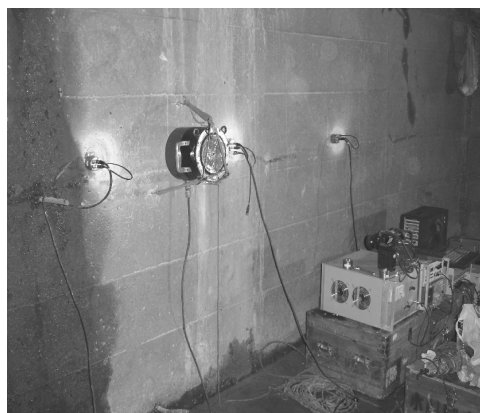


图4 检测仪器现场布置情况

Fig. 4 Layout of the testing instruments

4.2 检测结果

一闸室廊道底板 C_1 测区中 C_0 为无缝区的相频特性曲线, C_1 为有缝区的相频特性曲线,表面波振的特征频率 f_0 为2 000 Hz,表面波在两拾振器之间的传播时间 Δt 为442 μs ,由此计算得到表面波的传播速度 V_R 为2 262 m/s。根据表面波检测裂缝深度的原理计算,该处的裂缝深度为0.56 m。

同理,根据 $C_2 \sim C_{15}$ 及 $C_{18} \sim C_{25}$ 测区的检测结果计

算各部位的裂缝深度,计算结果见表1,其中一闸室廊道底板 C₁₁、C₁₂测区的相频特性曲线见图5。

根据一闸室底板 C₁₆、C₁₇测区和二闸室底板 C₂₇测区的无缝区相频特性曲线和有缝区相频特性曲线,结合闸室底板结构特点和Lamb波在板状结构物中的传播原理分析,该三个测区的裂缝均已裂穿闸室底板。

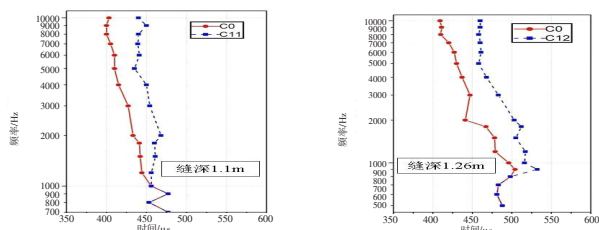


图5 C₁₁、C₁₂测区表面波相频特性曲线图

Fig. 5 Phase-frequency characteristic of the surface wave in C₁₁ and C₁₂ detection area

由于二闸室底板 C₂₆测区表面附近有两个临空面,不能近似看作半无限平面空间,而是一个有两个面并存在固定边界的结构面,在此类结构物表面传播的表面波为Lamb波,其传播等效深度要根据Lamb中S₁波振幅特性方程来计算,并由此计算得到该测区的裂缝深度为1.46m。

表面波无损检测结果表明一、二闸室底板局部已裂穿,闸室输水廊道的裂缝深度为0.3~2.4m,检测结果与有限元模拟计算成果基本吻合。选取其中13个测区采用超声平测法或钻孔法检验裂缝深度,与表面波无损检测结果基本一致(见表1)。

5 结 语

本次表面波法应用实例说明,表面波无损检测技术在检测复杂条件下的大体积混凝土深裂缝深度方面具有优越性,随着其应用的不断深入和推广,可能成为该领域一种比较有效的检测手段。

收稿日期:2011-06-07;修回日期:2012-02-06

作者简介:陈冬勇(1979-),男,湖南岳阳人,工程师,五凌电力有限公司,从事水工技术管理。

表1 不同方法检测部分测区的裂缝深度对比分析一览表

Table 1: Data of crack depth tested by different methods

部位	测区编号	检测缝深/m			模拟计算	备注
		表面波法	超声波平测法	钻孔		
中间廊道	C ₁	0.56			裂缝分布部位与现场基本一致,闸室底板部分裂穿、廊道裂缝发展最深约2.4m,位置基本与C ₇ 测区对应	闸室底板C ₁₆ 、C ₁₇ 、C ₂₇ 测区目测发现,上底面及下底面基本对应处位置均出现裂缝且长度、方向一致,从目测来看应该也已裂穿
	C ₂	1.10		1.04		
	C ₃	1.05		0.91		
	C ₄	0.37	0.38			
	C ₅	0.46	0.46			
	C ₆	1.80				
	C ₇	2.40				
	C ₈	0.92				
	C ₉	0.28	0.28			
	C ₁₀	0.39	0.39			
	C ₁₁	1.10				
	C ₁₈	0.70				
	C ₁₉	0.37				
C ₂₀	0.40					
C ₂₁	0.50					
左廊道	C ₁₂	1.26		1.09		
	C ₁₃	1.30				
	C ₂₄	0.60				
	C ₂₅	1.10				
右廊道	C ₁₄	1.20		1.11		
	C ₁₅	1.10				
	C ₂₂	0.60				
	C ₂₃	0.70				
底板	C ₁₆	裂穿				
	C ₁₇	裂穿				
	C ₂₆	1.46		1.28		
	C ₂₇	裂穿				