

三维横波在检测大体积混凝土缺陷中的应用

陈勇 庄志凯

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

摘要：混凝土结构是工程建设中应用极为广泛的结构体系，随着工程发展要求以及施工技术不断改进，大体积混凝土结构的应用范围不断扩大，延伸到风电场风机结构当中。大体积混凝土结构给施工提出更高要求。因环境温差、振捣不实、分层浇筑实践控制问题等造成的混凝土内部缺陷，对工程整体安全稳定性造成影响。为了对大体积混凝土进行质量控制，运用三维横波无损检测技术进行大体积混凝土缺陷的检测，有助于探求大体积混凝土存在的问题，保证工程整体安全稳定运行。

关键词：三维横波；大体积混凝土；缺陷监测

一、三维横波检测法概述

三维横波检测法使用的采集成像系统运用了三维横波、短脉冲、传感器、聚焦技术等信号处理算法来呈现图像。其原理与先进性表现在以下几点。

(一) 横波探测

三维横波检测法运用的是质点振动方向与波的传播方向互相垂直的波，在大体积混凝土中，是平行与混凝土结构表面的，速度较纵波慢40%。根据公式，波的速度与波长和频率成正比，则同样频率下，横波的波长较短速度较低，分辨率较高。因为波在混凝土中随着传播距离的增大强度会逐渐减小，也会因为混凝土不均匀性引起波的散射，如存在内部缺陷，则会加速波的衰减。用三维横波进行测量可降低散射造成的信号衰减问题^[1]。

(二) 耦合换能器

三维横波监测系统的发射装置由12×4点阵换能器和一个控制单元组成。换能器相继进行发射和接受，具有较高的衰减系数来产生短脉冲。换能器控制单元控制第一列换能器发射信号，其他的换能器接收信号。再用下一列换能器发射信号，其他的换能器接收信号。这一过程重复到前十一列换能器都发射过信号为止。同一组传感器可作为信号的发射器和接收器^[2]。

(三) 阵列合成孔径原理

传感器阵列中的探头都可以作为发射探头，其他探头轮流作为接收探头，每个探头发射数据，由其他探头接收。将所有数据导入计算软件中进行成像处理。12个探头组成的阵列可以形成21条独立的扫孔线。对大体积混凝土进行检测时，在监测表面确定一定间隔的测试分区，设置扫描线，沿扫描线获得数据并重建混凝土内部三维图像，确定反射面情况^[3]。

大体积混凝土在建设过程中存在部分薄弱环节，影响混凝土层间结合性能，可能存在骨料分离、裂缝等问题，运用三维横波检测会产生强反射。利用三维横波检测法的特性，采用超声横波避免信号在混凝土结构中的散射，保证探测精度。运用

阵列换能器，大大提高了数据采集量，保证数据精度。三维横波检测法让大体积混凝土的缺陷监测的效率、信噪比、分辨率有了较大提升^[4]。

二、工程应用

运用三维横波检测法对风电场风机基础大体积混凝土结构进行缺陷检测，三维横波测线3条，工程量为120米，大体积混凝土结构如图1所示。



图1 风机基础大体积混凝土

(一) 工作参数

现场检测前，调节仪器参数进行对比试验，根据检测目的选择最合适参数。本次工作参数设置如下：

- 1、彩色增益为25dB；
- 2、模拟增益为30 dB；
- 3、工作频率为25KHz；
- 4、超声横波波速为2520m/s；
- 5、MAP（测试）深度2m。

(二) 测线布置

根据现场条件，本次检测在混凝土基础上布置超声横波扫描测线共计3条，测量方式均为点测。其中：

- 1、1#测线位于半径4.5m圆周上，测线周长28m，扫描深度1.5m，测试点距0.2m，测线起点正南（S）方向，测线方向为顺时针；
- 2、2#测线位于半径6.5m圆周上，测线周长41m，扫描深度2m，测试点距0.2m，测线起点正南（S）方向，测线方向为顺时针；
- 3、3#测线位于半径8.5m圆周上，测线周长56m，扫描深度2m，测试点距0.2m，测线起点正南（S）方向，测线方向为顺

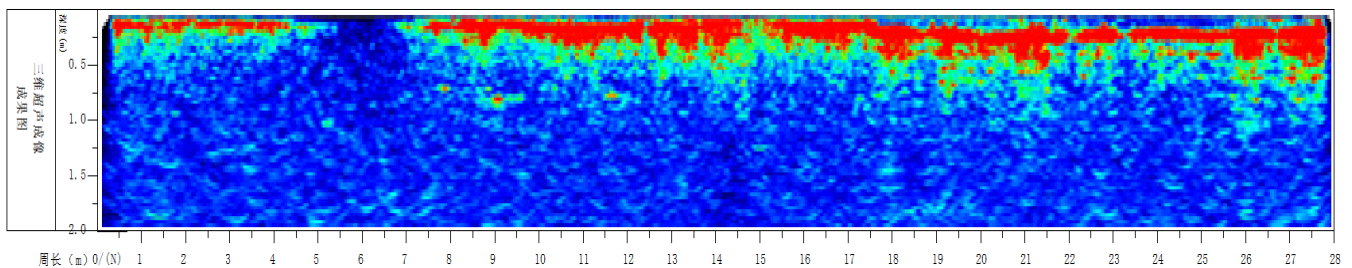


图2 1#测线三维横波检测成果图

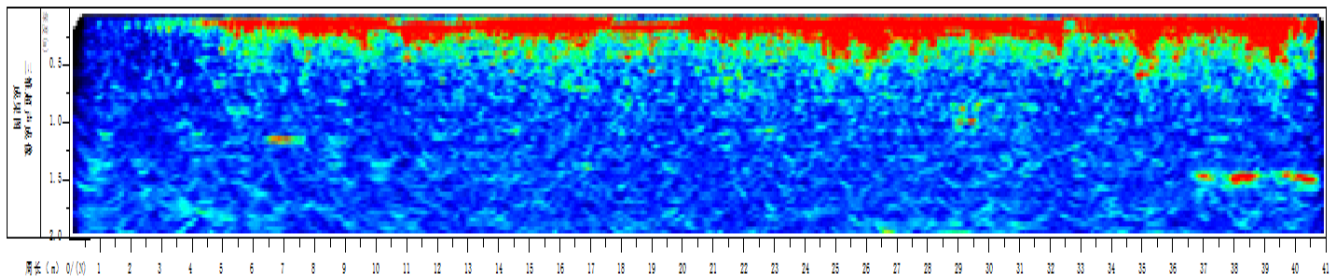


图3 2#测线三维横波检测成果图

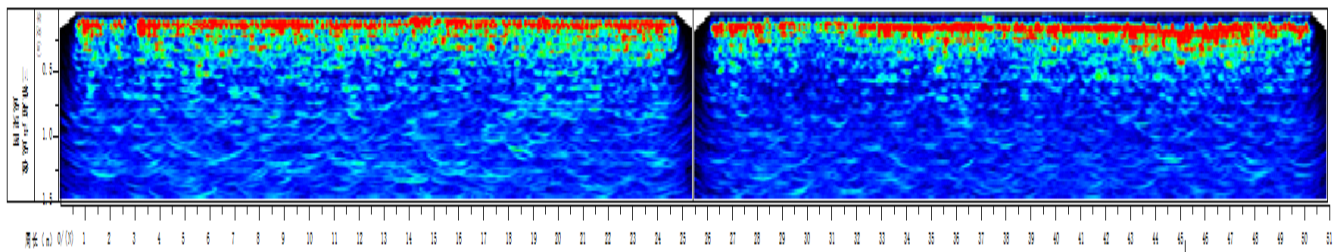


图4 3#测线三维横波检测成果图

时针。

(三) 检测方法

运用三维横波检测测孔和侧孔之间、侧孔和边缘之间的混凝土内部结构的质量。运用的检测仪器有：钢筋保护测试仪，雷达仪，超声波换能器，超声波检测仪，油脂，水准仪，墨盒，盒尺。

每个测试区内侧孔之间进行两两对测，测试之前要把两个侧孔用清水注满，将径向换能器置于孔中测试，分别在各个测点之间移动，读取测试数据并将数据记录下来。侧孔中布置径向换能器，在孔所对应的外侧测试点上布置厚度换能器开始测试，顺时针测试所有点位，读取测试数据并将数据记录下来。

(四) 检测结果

本次检测共完成革利风电场7#风机基础下承台3条超声横波扫描测线的混凝土质量检测工作，测线总长120m。成果统计表1。

表1 风机超声横波混凝土质量检测成果统计表

序号	测线编号	成果解释	备注
1	1#测线	桩号 8.4~9.6m 深度 0.4~0.9m 混凝土欠密实	
2	2#测线	桩号 28.8~29.8m 深度 0.7~1.2m 混凝土欠密实	
3		桩号 36.6~40.7m 深度 1.5~1.7m 施工冷缝	
4	3#测线	混凝土较均匀，无明显缺陷	

1#测线：桩号8.4~9.6m深度0.4~0.9m存在小区域混凝土欠密实现象，其余部位混凝土较均匀，无明显缺陷；检测成果见图2。

2#测线：桩号28.8~29.8m深度0.7~1.2m存在小区域混凝土欠密实现象；桩号36.6~40.7m深度1.5~1.7m存在一条水平的红色条带，结合现场情况，解释为施工缝，其余部位混凝土较均匀，无明显缺陷；检测成果见图3。

3#测线：混凝土较均匀，无明显缺陷。检测成果见图4。

由以上数据可知，1#测线和2#测线测试的是风机基础下的大体积混凝土承台，混凝土结构中存在小区域混凝土密实度不够的问题，局部混凝土浇筑存在施工缝。3#测线测试的是基础上台柱的混凝土结构，总体较为均匀，内部无明显缺陷。

(五) 测试效果

风机系统的大体积混凝土底座，结构层间结合的缺陷极为微小，相对于探测来讲显得很微小，并且混凝土结构自身也存在不均匀性，导致运用电磁波探测或者弹性波探测都会受到极大干扰。而使用三维横波测试法，将横波作为探测手段，速度慢，能量衰减慢，分辨率较高。运用阵列式的测试探头，获取的数据精准且量大，可以充分支持后续进行数据分析。后期采用合成孔径技术进行信号处理，合成图像，让三维横波检测法可以对体量小、深度大的混凝土缺陷展开有效检测。对于混凝土内部的层间结合面不够密实的情况，三维横波检测也是完全可以应对的，并且密实度越差，横波反射越明显，检测的准确率越高。如果出现检测错误，其原因主要在于缺陷小、深度太大、结构太复杂，导致了随机异常。

三、结语

由实验可见，三维横波检测方法在测距增大到3米以上时，仍然能够准确地找到缺陷位置和大小，测试范围较大，测试成本较低，对大体积混凝土结构的损失降低到最低限度，因此三维横波检测法的前景较为广阔。超声测试对于测试轴线和轴线附近的缺陷都可以探查，测试面积覆盖率较大。针对不同大体积混凝土的测试，可以将三维横波检测法与其他检测方法结合使用，提高测试效率和测试精度。三维横波检测法为大体积混凝土内部缺陷监测提供了效率高、有效性强的无损检测办法，可以对大体积混凝土内部缺陷进行精细和高效的探测，为大体积混凝土的设计、施工、维护提供可参考的检测数据。随着采集和处理数据的技术持续发展，检测精度和效率将不断提升。

参考文献

[1] 张兴斌, 房厦, 陈李华. 一种用于大体积及复杂结构混凝土缺陷检测的新型超声波探头[J]. 工程建设, 2017, 49(12): 50-54.
 [2] 谢静. 超声法检测混凝土缺陷的方法研究[J]. 山西建筑, 2016, 42(36): 44-45.
 [3] 潘海结, 沈维成. 探地雷达在大体积混凝土缺陷检测中的应用[J]. 工程与建设, 2014, 28(03): 376-378+382.
 [4] 史三元, 郭周超, 商冬凡, 边智慧. 超声法结合钻芯法检测大体积混凝土内部缺陷[J]. 混凝土, 2011(04): 137-138+141.