

高精度打声法在混凝土内部缺陷检测中的应用

王建国¹, 毛利胜², 沈卓洋¹

(1. 四川升拓检测技术有限责任公司, 成都 610072; 2. 四川理工学院建筑工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要: 打声法作为一种简便易行的无损检测方法, 在建筑、土木工程的质量检测(如混凝土浇筑密实度等)中得到了比较广泛的应用。文章介绍了打声法的特点, 提出了一种高精度的打声测试方法, 并利用混凝土试块进行了验证。

关键词: 混凝土; 无损检测; 打声法

中图分类号: TU 502

文献标识码: A

引言

混凝土作为一种施工方便、性能良好、价格低廉的建筑材料广泛应用到各种结构物中。有时因施工管理不善或受使用环境及自然灾害的影响, 结构物的内部可能存在不密实或空洞, 而外部可能形成蜂窝麻面、裂缝或剥离(损伤层)等缺陷。这些缺陷的存在会不同程度地影响结构物承载力和耐久性^[1]。

对混凝土缺陷的测试方法很多, 应用较广泛的有基于弹性波(包括超声波)的方法、基于冲击的方法(如回弹仪等), 基于电磁波、电磁诱导的方法(如混凝土雷达、钢筋仪等)^[2]。本文则研究了一种能够快速、全面检测混凝土缺陷特别是剥离的打声无损检测技术。

1 打声法技术简介

打声法(也称为谐振声波法)作为一种简单有效的现场无损测试手段, 上百年来在建设、机械、铁路和地质等现场得到了广泛的使用。

1.1 测试原理

对混凝土结构物用锤敲击其测试表面, 因混凝土的振动从而产生声响即打击声。由于声响的特征(声调, 声强以及声响的持续时间等)与混凝土材质的好坏、剥离及空洞的有无有密切的关系, 因此分析打击声的特征就可以进行相应的检测进而发展为“打声法”。图 1 所示为打声法的概念。

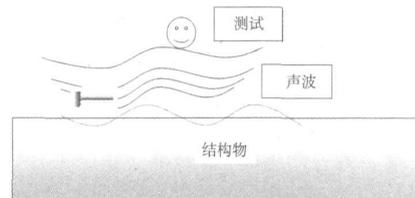


图 1 打声法的概念

1.2 技术特点

一般混凝土检测评价过程分 3 个阶段(表 1), 打声技术就是应用在第 2 阶段的无损诊断, 在测试混凝土内部缺陷, 评价混凝土损伤程度等方面有自身独特的优越性(表 2), 且具有非接触式拾取信号、快速测试等优点(表 3)。

表 1 混凝土检测评价过程

诊断次数	诊断项目
1	外观测试, 观察混凝土表面剥离、裂缝等异常部位
2	以无损检测试验为中心进行检测
3	破坏性试验, 对其内部进行详细调查

表 2 打声法与其它测试方法的比较

比较项目	检测法		
	打声法	超声法	冲击弹性波
强度	△	○	○
裂缝深度	×	○	◎
内部缺陷	浅	◎	○
	深	△	◎
测试效率	◎	△	○

注: ◎: 优; ○: 可以; △: 差; ×: 不可以; 浅、深裂缝区分界限为 20mm。

表 3 打声法的特点

	应用领域		测试参数
打声法	混凝土结构物	机械、金属	音调(频率) 音强(振幅)
	材质劣化剥离、空洞、异常情况 等隧道衬砌等	金属部件松动	
特点	非接触式、无损、快速		

1.3 评价方法

应用打声法在进行现场测试时, 主要关注测试信号的频率特性(音调)、衰减特性(持续时间)、振幅特性(音强)等的变化。一般来讲, 混凝土构造中有剥离或空洞等内部缺陷时, 测试信号有以下变化的现象:

(1) 频率特性的变化: 测试刚性显著降低, 打击声的卓越频率也降低(卓越周期变长)。

(2) 衰减特性的变化: 由于剥离遮断了弹性波的传播路径, 使得弹性波的逸散延迟, 打击声的持续时间变长。

(3) 振幅特性的变化: 在相同的打击力下, 出现剥离时使得振动块的质量变小, 从而加速度和打击声变大。另一方面, 当出现蜂窝以及混凝土材质变差造成混凝土刚性降低时, 又会造成加速度和打击声变小。因此, 振幅特性的变化也能够反映混凝土的状况。

图 2 是打声法检测混凝土性能及缺陷的概念。

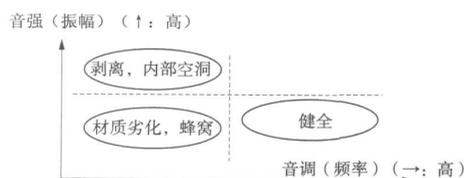


图 2 应用打声法对混凝土结构物进行评价的概念

2 高精度打声检测技术

打声法尽管具有悠久的历史, 但由于难以量化等原因, 其测试结果往往依赖于测试人员主观判断, 具有较大的人为误差。此外, 由于测试结果无法保存, 难以再现测试结果。因此, 尽管打声法有诸多优点, 但其使用也被局限在初步检查等领域, 难以作为正式的判断依据。

近年来, 随着计算机和电子技术的飞速发展, 在国外主要是日本在该技术做了大量研究并广泛的应用。比如佐藤工业株式会社开发的打声系统(音響機器を用いた打音システム)和隧道衬砌打声检测自动化系统(トンネル覆工打音検査自動化システム)。我们也作了大量的工作, 并开发了高精度打声检测技术 SCE-MATS。该技术具有如下特点:

(1) 基于计算机平台, 具有丰富的信号分析、统计

以及图形处理等能力。

(2) 测试信号的归一化

为了提高测试精度, 采用同样的击打力是非常理想的。但是, 人工击打不能保证打击力的一致, 一般需要采用自动激振装置。然而自动激振装置比较复杂, 操作起来也比较繁琐。而且, 即使采用自动激振装置, 对于不同的测点, 由于测试表面状况的差异, 其产生的激振力也会有所不同。为此, 我们在通常的打声法技术(图 3A)的基础上, 通过在激振锤上设置加速度传感器(图 3B), 进而利用击打力的对测试信号进行了归一化。

$$\tilde{y}(t) = \frac{y(t)}{M \cdot A}$$

其中, $\tilde{y}(t)$ 为归一化后的时域信号, $y(t)$ 为测试的声波信号, M 为激振锤的质量, A 为激振加速度信号的振幅(最大值)。

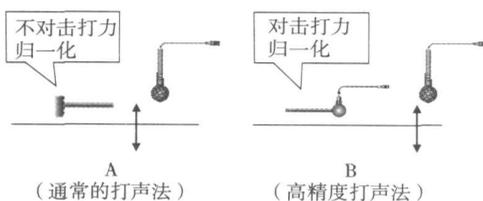


图 3 打声检测系统激振装置的区别

(3) 高度化的信号分析

在本技术中, 集成了频谱、持续时间回归等分析技术。

(4) 多参数统计分析

如前所述, 打声中不同的参数可以反映混凝土不同的特性。为了综合利用各参数, 我们引入了损伤指数 E 以提高测试精度。

在使用 M 个参数分析的时候(如前述的卓越周期、持续时间和归一化最大振幅)。

$$E = \frac{1}{M} \left(\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N H_{ki} \right)$$

其中, N 为测试的次数, 各变量 H_{ki} 为:

$$H_{ki} = \pm \left(\frac{x_{ki} - \bar{x}_k}{\sigma_k} \right)$$

其中, x_{ki} 为第 i 次个测点的第 k 个参数值(卓越周期、持续时间和归一化最大振幅), \bar{x}_k 与 σ_k 则为第 k 个参数的平均值和标准偏差。正负号则根据测试对象的要求而定, 如卓越周期和持续时间采用正号, 而归一化最大振幅则根据测试要求选取正负号。当然, 损伤系数越大, 表明混凝土有缺陷的可能性也越大。

(5) 图形处理机能

由于打声法本质上是一种相对的检测方法, 准确地把握健全测点与问题测点的差异是非常重要的。因此,

对测试结果进行图形处理是非常有益和有必要的。

3 工程试验

在实验室浇筑混凝土块 (1500 × 1500 × 1500) 进行模拟试验 (图 4)。预制 C 型泡沫塑料 (其厚度为 10mm), 离混凝土表面为 80mm 为剥离缺陷; 并在测试对面预制直径为 400 × 200 的圆柱空洞为内部缺陷。测试时先在混凝土表面画上方形网格 (50mm 为间距), 再用锤敲击交点并沿着水平方向进行依次采集数据, 该行测试结束后再沿纵方向移动一格继续水平方向测试, 最终把所有网点数据采集完。通过测试波形分析、频谱解析和图像处理, 得到的成果图如图 5 所示。可以看出测试结果与预先预制的缺陷有良好的对应关系。

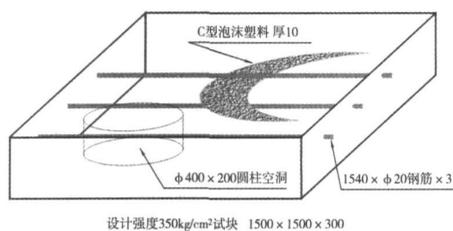


图 4 浇筑的混凝土模型

4 结论

打声法是一种虽然传统, 但却有很大发展前途的测

试方法。本文在现有技术的基础上, 充分利用现代的电子技术、信号分析技术, 开发了高精度打声测试技术。验证结果表明, 本技术能较好地检知混凝土的内部缺陷, 具有广泛的应用前景。

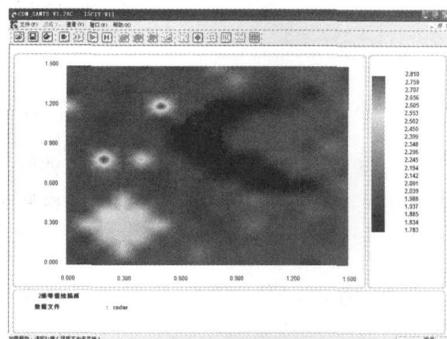


图 5 测试成果

参考文献:

- [1] 鎌田 敏郎. 弹性波コンクリート構造物の診断技術 [M]. 东京: 2001.
- [2] 島根県コンクリート診断士会, 非破壊試験研修テキスト [M]. 东京: 2005.
- [3] 金森 正樹, 飯坂 武男, 菊川 功治, 等. コンクリート打撃音による健全性の評価について [J]. コンクリート工学年次論文集, 2001 601-606.

Application of High-precision Resonance Acoustic Method in Detection of Internal Defects of Concrete

WANG Jianguo¹, MAO Lisheng², SHEN Zhuoyang¹

(1. Sichuan Central Inspection Technology Co Ltd, Chengdu 610072, China

2. School of Architecture Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract As a simple non-destructive testing method, resonance acoustic is widely used in construction for the civil engineering quality control such as the density of concrete pouring and so on. After introducing the features of resonance acoustic, a high-precision acoustic test method is proposed in the paper. By using the concrete test blocks, the method is verified.

Key words concrete, non-destructive testing, resonance acoustic method