

# 钢筋混凝土结构裂缝深度无损检测技术的现状及发展

梁明进

(杭州市交通工程质量安全监督局,杭州 310014)

**摘 要:**钢筋混凝土结构在建设及运营过程中会由于多种原因出现裂缝。裂缝的位置、尺寸,尤其是裂缝的深度是判断裂缝对结构安全性影响程度的重要指标。近年来裂缝深度的无损检测技术有了长足进步,但其测试精度和探测深度仍然不理想。对目前裂缝深度无损测试技术进行了对比,并提出裂缝测试技术的进一步研究方向。

**关键词:**钢筋混凝土结构;裂缝;无损检测技术;超声波;弹性波;表面波

**中图分类号:**TU375

**文献标识码:**A

## 引 言

钢筋混凝土结构在建设及运营过程中,由于多种原因(如干燥收缩、温度应力、外荷载、基础变形等)会产生裂缝。裂缝的成因、状态、发展以及在结构中的位置等的不同,对结构安全性影响也不尽相同,严重的裂缝会危害结构的整体性和稳定性,对结构的安全运行产生很大影响;而一些细微裂缝,如表面温度变化或干燥收缩引起的浅裂缝则对结构安全性没有明显影响。此外,对于结构的加固,如裂缝充填(往裂缝中注入水泥砂浆或者环氧树脂等充填材料,以防内部钢筋锈蚀)和裂缝补强(裂缝表面粘贴钢板等)都需要在明确裂缝的状态、成因的基础上才能合理、有效地进行。

在合理评价裂缝对混凝土结构安全性的影响及确定加固方案的工作中,必须确定裂缝的状态、发展和成因,裂缝深度、长度、宽度都是非常重要的指标,尤其裂缝深度是关键指标。而在实际测试工作中,裂缝深度测试较之长度和宽度测试也要困难得多,最直接和准确的测试方法是钻孔取样,该方法除了费时费力、对结构有一定的损害以外,当裂缝深度较大或位于特殊部位时,难以进行钻孔取样,因此近年来针对裂缝深度的无损检

测技术开展了很多研究,并取得了长足的进步。

## 1 裂缝深度的无损检测方法

裂缝深度检测技术从激振的方式,分为超声波法、声波法和冲击弹性波法。

(1)超声波法:通过超声波探头产生和接收信号,信号频率高但能量较低、频谱响应性能差,一般适用于浅裂缝的测试。

(2)声波法:通过声波管产生和接收信号,信号频率较高但能量较低。但由于声波管的形状和激振要求,一般只能用于孔内测试。

(3)冲击弹性波法:主要采用锤击等方式激振产生信号,采用振动(如加速度)传感器来接受信号。信号频率低但能量高、频谱响应性能好,适用于较深裂缝的测试。

裂缝深度检测技术从激振信号发生和接受的位置关系,分为钻孔对测法和平测法。

(1)钻孔对测法:在裂缝两侧必须钻声测孔,且对钻孔的要求很严格。为使换能器在孔中移动顺畅,孔径应比换能器直径大5~10 mm;该测试方法的基础是以有无缝的混凝土声学参数相对比较而判别裂缝的所在范围,

收稿日期:2012-06-04

作者简介:梁明进(1956-),男,山东高密人,高级工程师,主要从事公路工程质量管理和检测技术方面的研究,(E-mail)fsdiyf@126.com

所以钻孔须深入到裂缝末端的完好混凝土中去,其深入深度应保证通过无缝混凝土的测点不少于3个,一般规定钻孔深度大于裂缝深度700 mm 以上,如图1所示。

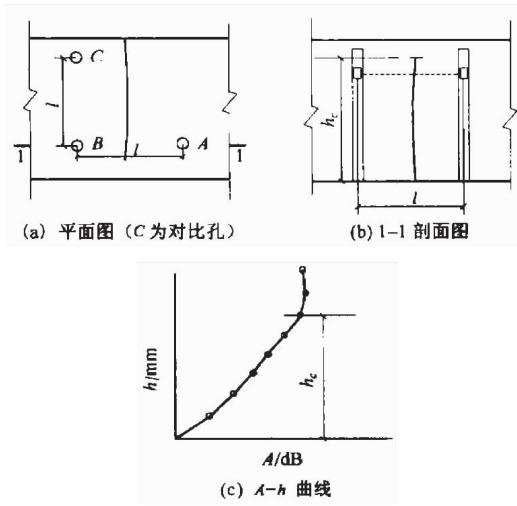


图1 钻孔对测法

(2)平测法:该方法在同一个表面进行测试,适用范围广。

钻孔对测法在条件许可时,其测试精度相对较高。但由于需要钻孔和注水,测试成本高且对结构有损伤。而平测法是无损检测技术,常用的方法有传播时间差法、相位反转法和表面波法。其中,传播时间法和和相位反转法主要通过弹性波(通常是P波)的传播距离以及几何关系计算裂缝深度,而表面波法则是通过弹性波中的表面波成分的衰减或速度频散来推算裂缝深度<sup>[1-4]</sup>,如图2所示。

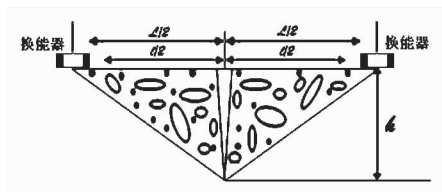


图2 平测法

## 2 裂缝深度无损检测方法的基本原理

传播时间差法:当裂缝开口时,在测试对象表面激振产生的弹性波信号(包括超声波、声波。在固体介质中,超声波、声波的特性与弹性波相同<sup>[5]</sup>)沿表面传播过程中会被裂缝遮断。因此,通过测量弹性波的传播时间从而换算传播距离,根据几何的关系即可测量裂缝深度,如图3所示。具体的算法有多种,常用的有 Delta 法、BS 法、T 法等。

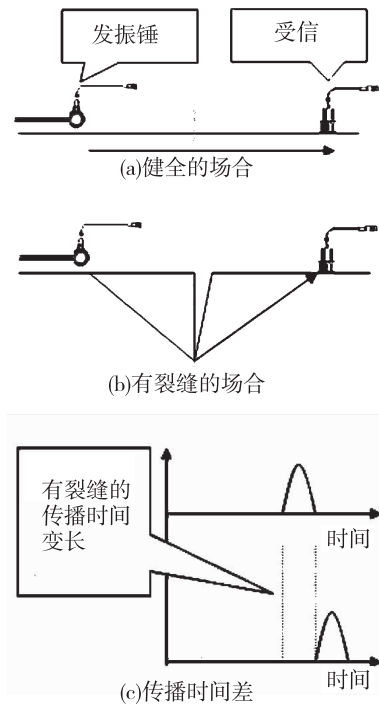


图3 传播时间差法

相位反转法:发振弹性波的P波成分,在裂缝底端衍射到达受信子。根据发振子、受信子及裂缝深度的几何关系,到达受信子的P波相位可能改变,如图4所示。对于混凝土材料,在向下的激振信号作用下,裂缝深度小于传感器/激振点与裂缝间的距离时,传感器拾取的初始P波信号是向上的。另一方面,当裂缝深度小于传感器/激振点与裂缝间的距离时,传感器拾取的初始P波信号是向下的,即出现相位反转。因此,以裂缝为中心点对置激振点和传感器,并移动其相对位置。根据传感器拾取的初始信号的相位反转点即可推定裂缝的深度。

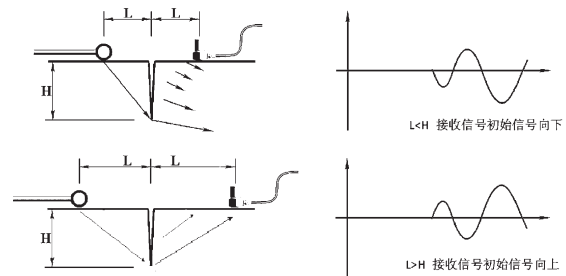


图4 相位反转法

表面波法:在结构物表面,用锤打击激振产生弹性波中以表面波(当结构物厚度大时,表面波主要是瑞利波)为主要成分,能量强。表面波遇到裂缝时被阻断,透过能量减少。根据能量减少的程度和波长,可以推算裂缝的深度,如图5所示。

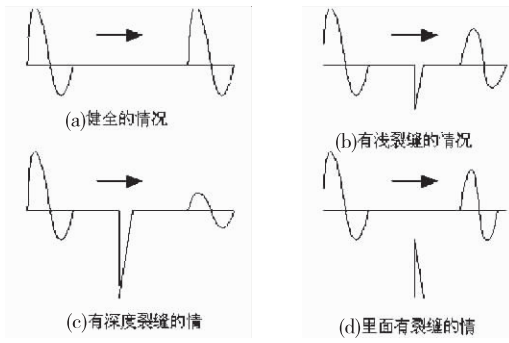


图5 表面波法

根据实验和理论分析结果,裂缝前后的振幅比与裂缝深度的关系可以表示为  $H = -0.7429\lambda \ln(x)$ , 其中,  $H, \lambda, x$  分别是裂缝的深度, 瑞利波波长以及振幅比(裂缝后的振幅/裂缝前的振幅)。

### 3 裂缝深度无损测试技术的对比

“传播时间差法”和“相位反转法”都是根据裂缝先端的折射信号的特征(传播时间、相位等)推算裂缝深度。该类方法虽然具有理论严密等优点,但受接触面/充填物/钢筋的影响大,以及不适用于深裂缝,随着裂缝深度的增加,裂缝先端的折射信号能量降低很快,如图6所示,相反,经由裂缝接触面的信号变的很卓越,如图7所示。因此,对于深裂缝,该法的测定值比实际值偏浅较多。而采用表面波的频散和衰减特性进行测试的“表面波法”则具有测试范围大,受充填物、钢筋、水分以及裂缝面接触的影响小的特点,适合于深裂缝的测试,如图8所示。3种方法的比较见表1。

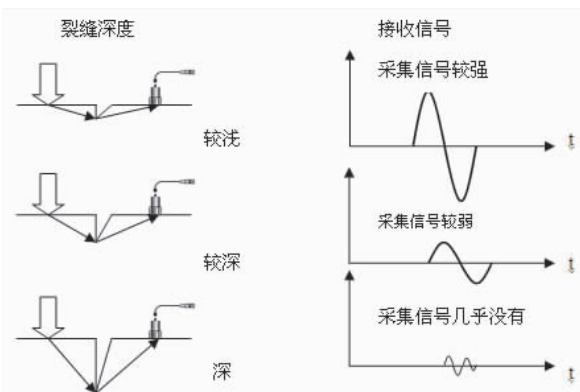


图6 接触·充填

从表1可以看出,表面波法也有其不足之处,如对激振信号的波长和测试边界的条件要求较高;同时,由于目前缺乏严密的理论研究成果的指导,造成传感器位置、适用范围不明确等问题。

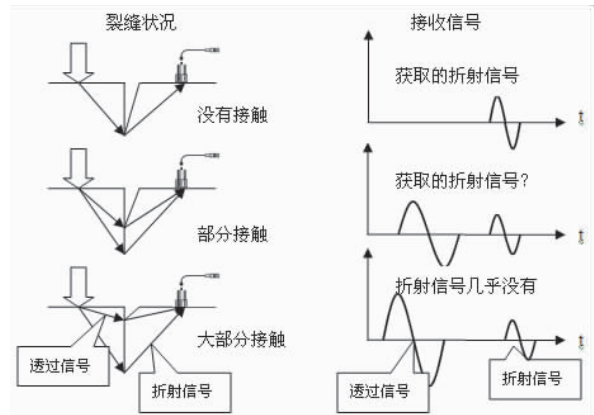


图7 受信能量降低

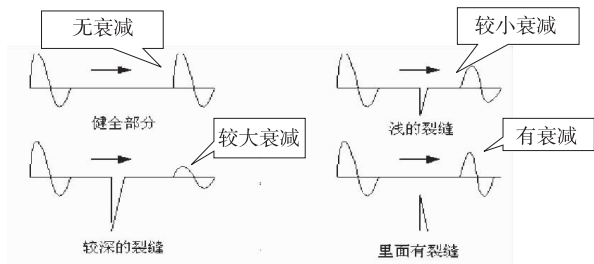


图8 表面波测试范围、测试环境对测试结果影响

表1 裂缝深度无损检测方法的比较

方法	传播时间法	相位反转法	表面波法
弹性波种类	P波/S波	P波	R(瑞利波)波
关注波的成分	初始成分	初始成分	卓越成分
基本原理	传播时间的延迟	初始相位的反转	R波的衰减
钢筋的影响		大	少(可以修正)
壁厚的影响		几乎没有	有
测试对象背面状况的影响		几乎没有	有
适用范围		浅的·开口裂缝	深的裂缝

### 4 裂缝深度无损测试的发展方向

钢筋混凝土结构中存在裂缝,会对表面波的传播产生阻碍,主要体现在两方面的影响:会降低表面波的传播速度(相位速度);不同波长的表面波,受裂缝的影响不同。波长越短,所受的影响越大,波速降低越多;会增加表面波的衰减:波长越短的表面波,所受裂缝的影响越大,衰减也越大。但是,裂缝深度~表面波传播特性的量化关系目前尚无研究成果。表面波测试技术可以在以下几个方面开展进一步研究:

(1) 表面波(瑞利波)是一种由P波和SV波的合成波,构成极其复杂,研究测试对象的边界条件对表面波的影响。

(2) 建立表面波的频散(即表面波中不同频率成分的相位速度)-裂缝深度间的关系,并研究F-K(频率-波

数域分析法)精确地提取表面波的频散曲线的方法。

(3)建立在不同厚度下表面波的衰减(即表面波中不同频率成分的振幅变化)—裂缝深度间的理论关系。

#### 参 考 文 献:

- [1] 社团法人日本非破坏性检查协会编辑.混凝土构造物的非破坏性试验法[M].东京:株式会社养贤堂发行,1994.
- [2] Nakamura T, Kawamura N, Hattori Y, et al. A new Non-destructive Testing Method for Crack and its application to tunnel structure[C]. Modern Tunneling and Technology, 2001, Swets & Zeitlinger, 2001.
- [3] Song W J, Popovics J S, Aldrin J C, et al. Measurement of

surface wave transmission coefficient across surface-breaking cracks and notches in concrete[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2003, 113(2):717-725.

- [4] 胡庸,王建国,吴佳晔.混凝土无损检测技术的可靠性及其提高方法[J].四川理工学院学报:自然科学版,2009,22(5):8-11.
- [5] 吴佳晔,堤知明.表面波を用いたひび割れ深さの新しい測定技術[C].コンクリート構造物の非破壊検査への期待論文集,2003.
- [6] 吴佳晔,安雪晖,田北平.混凝土无损检测技术的现状和进展[J].四川理工学院学报:自然科学版,2009,22(4):4-7.

## Present Situation and Development of Nondestructive Testing Technology on Reinforced Concrete Structure Crack Depth

*LIANG Ming-jin*

(Hangzhou Bureau of Communications Engineering Quality and Safety, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** The cracks in reinforced concrete structure are caused by many reasons in construction and operation process. The location and size, especially the depth of cracks is the most important index to judge the safety degree of structure. In recent years, the depth of the cracks in nondestructive testing technology has made great progress, but its testing accuracy and probing depth remains insufficient. Therefore, the depth of the crack nondestructive testing techniques are compared, and the further trend of the research is proposed.

**Key words:** reinforced concrete structure; crack; nondestructive testing technology; ultrasonic; elastic wave; surface wave