

声波探查混凝土裂缝深度的数学分析与实践

1 引言

在混凝土结构物的施工及运用过程中,往往会构成一些缺陷和损伤。尽管形成这些缺陷和损伤的原因多种多样,但是缺陷和损伤的情况不外乎以下几种:裂缝、孔洞、蜂窝及层状破坏。这些缺陷和损伤往往会严重影响结构物的承载能力和耐久性。因此是事故处理、施工验收、陈旧建筑物安全性鉴定、进行维修和补强设计时必须检测的项目。

声波探查混凝土缺陷已得到一定程度的应用,尤其在查明孔洞、蜂窝、层状破坏等缺陷时其效果较为突出。但声波探查技术也与其它方法技术一样,必须满足必要的物性条件,因此,有其一定的适应范围。如声波探查混凝土裂缝深度,若不认真分析很可能导致误判。基于此,本文仅就声波探查混凝土裂缝深度的可行性从数学角度加以分析与论证,并列出了工程实例。

2 声波探查混凝土裂缝深度的可行性分析

目前,声波探查混凝土裂缝深度主要有直接检验和沿面检验两种方法,下面分别加以分析:

2.1 直接检验 当构件的断面不大,而且裂缝表面的两个侧面都能安放探头时,可对裂缝直接进行探测,如图1。当发射、接收两个探头在两侧面相对的位置移动时,测出不同位置的声波传播时间 t ,作出 $x-t$ 关系曲线,曲线的转折处即为裂缝的深度。

直接检验法利用 $x-t$ 关系曲线转折处来判定裂缝深度,笔者认为,实际应用效果可能会令人满意。但问题是声波在遇到裂缝时,其最优传播路径是否沿图1a所示的 $2 \rightarrow 0 \rightarrow 2'$ 。此问题,让我们做一浅显的分析:

设混凝土正常波速为 V_p 、裂缝空隙的波速为 V_p' , $3, 3'$ 点距裂缝距离相等为 L , $3, 2$ 点之间的距离为 S , 裂缝宽度为 l , 则声波

沿 $2 \rightarrow 0 \rightarrow 2'$ 的传播时间为:

$$t_1 = 2(S^2 + L^2)^{1/2} / V_p \quad (1)$$

波由2点直接到 $2'$ 点的时间为:

$$t_2 = [(2L - l) / V_p] + l / V_p' \quad (2)$$

由(1)、(2)式可知,当 $t_2 > t_1$ 时,沿 $2 \rightarrow 0 \rightarrow 2'$ 的绕射波方能优先到达接收探头。

设 $V_p = 4000 \text{m/s}$, $V_p' = 340 \text{m/s}$ (最低值),

$$L = 0.5 \text{m}, l = 0.005 \text{m}, S = 0.2 \text{m}.$$

将上述参数分别代入(1)、(2)式可得:

$$t_1 = 269 \mu\text{s}, t_2 = 263 \mu\text{s}.$$

此时声波以直达波优先到达接收探头。

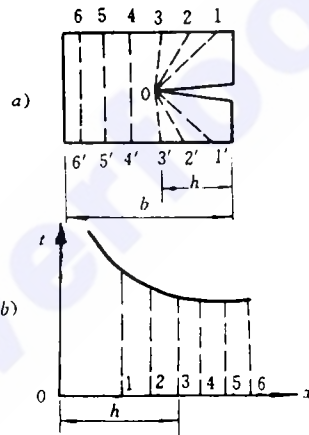


图1

2.2 沿面检测 当结构物断面很大,无法在侧面用穿透法测量时,可用开口垂直裂缝的深度平测法探测,其探测与判断方式一般采用图2的方式。首先测出正常场波速 V_p , 读出声波绕过裂缝末端时的声时值,根据几何关系:

$$\overline{DC}^2 = \overline{AC}^2 - AB^2 / 4 \quad (3)$$

$$\text{其中 } \overline{AC} = V_p t_1 / 2 \quad (4)$$

则裂缝深度:

$$\overline{DC} = 1/2 [(V_p t_1)^2 - AB^2]^{1/2} \quad (5)$$

对于斜裂缝不但要测出深度,而且要测

出走向,一般采用三角形定位法和双椭圆定位法。对于图2的探测图示,我们做一分析:

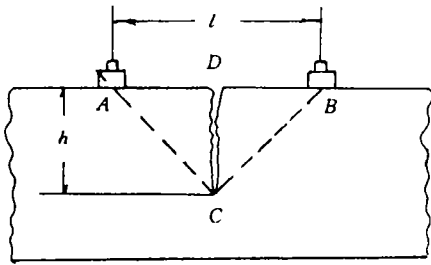


图2

设裂缝宽度为 S , V_p 为正常场波速, V'_p 为裂缝之孔隙速度, 则波沿 ACB 之路径所需时间为:

$$t_2 = 2(l/2 - S/2)^2 + h^2 / V_p \quad (6)$$

波沿 ADB 路径所需时间为:

$$t_1 = (l - S) / V_p + S / V'_p \quad (7)$$

要使波沿 ACB 之路径为最佳路径必须满足 $t_2 > t_1$ 的条件。

2.3 工程实例

1. 工程实例 I。某水库,坝型为拱坝,运行近20年,坝面的两端发现3条裂缝,其宽度为2.5~5mm,深度分别为4m、6m、10.5m,如图3所示,试问用声波是否能探查其深度?

设 $V_p = 3500\text{m/s}$, $V'_p = 340\text{m/s}$, 发射与接收探头对称于裂缝布设且点距为1m, 裂缝宽度为5mm, 深度为4m, 则声波绕过裂缝所用的时间由式(6)计算得 $t_1 = 2303\mu\text{s}$, 直达波时间由式(7)计算得 $t_2 = 299\mu\text{s}$, 即 $t_2 \ll t_1$, 故绕射波难以优先到达接收探头。

同理, $h = 6\text{m}$ 、 $h = 10.5\text{m}$ 时, 声波更以直达波优先到达接收探头, 此时声波难以探

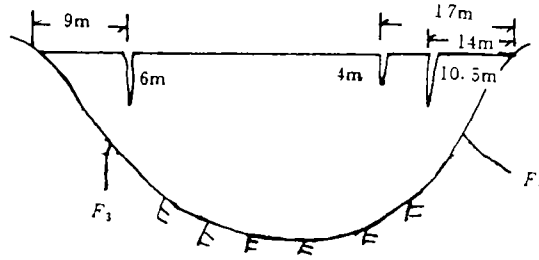


图3

查裂缝深度。

2. 工程实例 II。某闸门混凝土裂缝深度的探测, 裂缝宽1~2mm, 正常波速 $V_p = 3500\text{m/s}$, 收、发探头对称与裂缝布设, 点距为0.2m、0.3m 共布设4条测线, 分别测得:

当点距为0.2m 时, $t = 66\mu\text{s}$ 、 $63\mu\text{s}$ 。

当点距为0.3m 时, $t = 93\mu\text{s}$ 、 $87\mu\text{s}$ 。

设声波绕过裂缝末端优先到达接收探头, 深度应分别为5.8cm、4.6cm、6.3cm、2.6cm。

以上计算经验证, 其深度延伸不足2cm, 这充分表明, 声波并不是绕过裂缝优先到达接收探头, 而是以直达波的方式穿过裂缝优先到达接收探头。

3 结 语

由上所述, 声波在探查混凝土裂缝深度方面应用效果并不理想。究其原因, 主要在于绕过裂缝末端到达的波往往并不优先到达接收探头, 而穿过裂缝末端的直达波一般情况下优先到达接收探头。通过本文的粗浅分析可知, 应用声波技术检查混凝土裂缝深度时千万要慎重。(天津勘测设计院王清玉)

(收稿日期:19920716, 退修回日期:19921119)

气接线与普通国内的液位信号器不同, 要特别注意两对接点不能串联使用, 否则 LS300 不能工作; 另外2只 LS300 工作点之间距离必须大于45mm, 否则会影响测量精度。具体机械安装及电气接线见图1、图2。(广东电力试验研究所 甄华锋) (收稿日期:19930610)