



CECS 21 : 90

中国工程建设标准化协会标准

超声法检测混凝土 缺陷技术规范

TECHNICAL SPECIFICATION FOR
DETECTING DEFECTS IN
CONCRETE USING ULTRASONIC METHOD

CHINA ASSOCIATION FOR ENGINEERING
CONSTRUCTION STANDARDIZATION

中国工程建设标准化协会标准

超 声 法 检 测 混 凝 土
缺 陷 技 术 规 程

CECS 21 : 90

主编单位: 陕西省建筑科学研究设计院
上 海 同 济 大 学
批准单位: 中国工程建设标准化协会
批准日期: 1990 年 9 月 10 日

1991 北 京

前 言

超声法检测混凝土缺陷是一种检测混凝土强度和缺陷的非破损检验方法,在我国已较为广泛的应用。为了统一检验程序和判定缺陷的方法,提高检验结果的可靠性,原城乡建设环境保护部1986年以(86)城科字第263号文委托陕西省建筑科学研究设计院和同济大学会同有关单位进行本规程的编制工作。1988年新组建的建设部将此任务转入中国工程建设标准化协会标准计划。本规程在编制过程中,经过多次征求意见和修改,最后由建筑工程标准研究中心组织审查定稿。

现批准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》为中国工程建设标准化协会标准,编号为CECS21:90,并推荐给工程建设有关单位用于混凝土质量监测和检验。在使用中,如发现需要修改补充之处,请将意见和有关资料寄交西安市环城西路142号陕西省建筑科学研究设计院(邮政编码:710082)。

中国工程建设标准化协会

1990年9月10日

目 录

主要符号	(1)
第一章 总 则	(1)
第二章 超声检测设备	(2)
第一节 超声检测仪技术要求	(2)
第二节 换能器的技术要求	(2)
第三节 检测设备的准备、检验和维护	(2)
第三章 检测技术	(4)
第一节 一般规定	(4)
第二节 声学参数测量	(4)
第四章 浅裂缝检测	(6)
第一节 一般规定	(6)
第二节 测试方法	(6)
第三节 数据处理及判定	(8)
第五章 深裂缝检测	(9)
第一节 一般规定	(9)
第二节 测试方法	(9)
第三节 裂缝深度判定	(10)
第六章 不密实区和空洞检测	(11)
第一节 一般规定	(11)
第二节 测试方法	(11)
第三节 数据处理及判定	(13)
第七章 混凝土结合面质量检测	(15)
第一节 一般规定	(15)
第二节 测试方法	(15)
第三节 数据处理及判定	(16)

第八章 表面损伤层检测	(17)
第一节 一般规定	(17)
第二节 测试方法	(17)
第三节 数据处理及判定	(18)
第九章 匀质性检测	(20)
第一节 一般规定	(20)
第二节 测试与计算	(20)
附录一 用超声仪测量空气声速进行自身校验	(22)
附录二 径向振动式换能器声时初读数(t_0)的测量	(24)
附录三 空洞尺寸估算方法	(26)
附录四 超声测缺原始记录表	(28)
附录五 本规程用词说明	(29)
附加说明	(30)

主 要 符 号

A_i ——第 i 点的接收信号首波的幅度值；

d_c ——裂缝深度；

d_f ——混凝土损伤层的厚度；

f_i ——第 i 点接收信号第一个周期波的频率；

l ——超声测试距离；

l' ——平测时发射与接收换能器内边缘之间的距离；

l_0 ——超声波传播路径从损伤层转到未损伤混凝土时的测距；

l_h ——空洞中心距一个测试面的垂直距离；

m_{ta} ——空洞附近无缺陷混凝土的测读声时平均值；

m_x 、 s_x ——分别为测区混凝土某一声学参数的平均值和标准差；

m_v 、 s_v ——分别为测点混凝土声速的平均值和标准差；

r ——空洞半径；

T ——空气的温度；

t_i ——第 i 点的测读声时值；

t_{ci} ——第 i 点混凝土的声时值；

t_0 ——声时初读数；

t_i^0 ——过缝平测时第 i 点的测读声时值；

t_{00} ——在钻孔中测试的声时初读数；

t_h ——绕过空洞传播的声时测读值；

v_i ——第 i 点混凝土的声速；

v_{cal} ——空气声速计算值；

v_{obs} ——空气声速实测值；

v_f ——损伤层混凝土的声速；

v_a ——未损伤混凝土的声速；

v_w ——被测水的声速；

X_i ——第 i 点混凝土的某一声学参数值；

X_0 ——声学参数异常值的判断值；

λ ——异常值判定系数。

第一章 总 则

第 1.0.1 条 本规程适用于使用超声法对混凝土和钢筋混凝土进行缺陷检测。

第 1.0.2 条 本规程所定义的超声法系指采用带示波器的低频超声仪,测量超声脉冲纵波在结构混凝土中的传播速度(以下简称声速)、首波幅度(以下简称波幅)和接收信号频率等声学参数,并根据这些参数的相对变化,判定混凝土中的缺陷情况。

第 1.0.3 条 缺陷检测系指对混凝土内部空洞和不密实区的位置及范围、裂缝深度、表面损伤层厚度、不同时间浇筑的混凝土结合面的质量和混凝土匀质性的检测。

第 1.0.4 条 在按本规程进行缺陷检测时,除应遵守本规程的规定外,尚应符合有关标准的规定。

第二章 超声检测设备

第一节 超声检测仪技术要求

第 2.1.1 条 超声波检测仪应通过技术鉴定,并具有产品合格证书。

第 2.1.2 条 超声仪应满足下列技术要求:

一、具有波形清晰,显示稳定的示波装置。

二、计时器的最小读数为 $0.1\mu\text{s}$, 计时范围 $0.5\sim 5000\mu\text{s}$ 。

三、数字显示稳定,声时调节在 $20\sim 30\mu\text{s}$ 范围内,在 2h 内数字变化应不大于 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

四、具有最小分度为 1dB 的衰减器。

五、接收放大器频响范围 $10\sim 500\text{kHz}$, 总增益不小于 100 dB。

六、在温度为 $-10\sim +40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度小于或等于 90%、电源电压在 $220\text{V}\pm 10\%$ (直流供电电压 $\pm 5\%$) 的环境下能正常工作。

第二节 换能器的技术要求

第 2.2.1 条 根据不同的测试需要,换能器可具备两种类型:厚度振动方式和径向振动方式。

第 2.2.2 条 换能器的频率宜选用 $20\sim 250\text{kHz}$ 。

第 2.2.3 条 换能器的实测频率相差应不大于 $\pm 10\%$ 。

第三节 检测设备的准备、检验和维护

第 2.3.1 条 超声仪在使用前应进行以下准备工作:

一、操作人员熟悉仪器使用说明书,熟练掌握基本操作方法。

二、仪器通电前先进行检查,以保证换能器、电缆线和高频插头连接无误。电源电压应符合仪器要求。

三、仪器通电预热 **10min** 后方可使用。

第 2.3.2 条 超声仪检验时应满足以下要求:

一、调节“辉度”、“聚焦”、“扫延”等旋钮,使示波屏上扫描基线清晰稳定。

二、缓慢调节“扫延”旋钮或“游标”脉冲,显示的数字应符合十进制。

三、将发射和接收换能器通过耦合剂与标准棒耦合好,“增益”和“发射电压”保持不变,调节衰减器,使接收波幅度的变化应与衰减值相对应。

四、按“时一距”法测量空气的声速 v_{obs} (见附录一),并与公式 (2.3.2) 计算的空气理论声速 v_{cal} 相比较,二者的相对误差不应大于 0.5%。

$$v_{\text{cal}} = 331.4 \sqrt{1 + 0.00367T} \quad (2.3.2)$$

式中 v_{cal} ——温度为 T 度的空气声速(m/s);

T ——被测空气的温度(°C)。

第 2.3.3 条 超声仪应按下列规定进行维护:

一、仪器使用完毕后,应切断电源,并将“增益”和“发射电压”旋钮拨向“0”位置。

二、仪器和换能器在使用和搬运过程中,应防止强烈振动,并注意防尘防潮。

三、暂不使用的仪器应存在干燥通风的环境,每隔 **60d** 通电 **2h**,以排除机内潮气。

第三章 检测技术

第一节 一般规定

第 3.1.1 条 检测前应掌握和取得以下有关结构情况的资料:

- 一、工程和结构名称。
- 二、混凝土原材料品种和规格。
- 三、混凝土浇筑和养护情况。
- 四、结构尺寸和配筋施工图或钢筋隐蔽图。
- 五、结构外观质量及存在的问题。

第 3.1.2 条 可根据检测要求和结构外观质量,选择对混凝土质量有怀疑的区域(以下简称测区)进行测试。

第 3.1.3 条 测区混凝土表面应清洁、平整,必要时可用砂轮磨平或用高标号快凝砂浆抹平。

第 3.1.4 条 以质量正常的混凝土首波幅度不小于 30mm 为前提,应选用较高频率的换能器。

第 3.1.5 条 换能器应通过耦合剂与结构表面接触,耦合层中不得夹杂泥砂或空气。

第 3.1.6 条 检测时应采用普测与细测相结合的方法。普测的测点间距宜为 200~500mm(平测法例外),对出现可疑数据的区域,应加密布点进行细测。

第二节 声学参数测量

第 3.2.1 条 测量之前应视测试距离(以下简称测距)大小将仪器的发射电压调在某一档,并以扫描基线不产生明显噪音干扰

为前提,将仪器“增益”调至较大位置保持不动。

第 3.2.2 条 声时测量时,应将发射换能器(以下简称 **T** 换能器)和接收换能器(以下简称 **R** 换能器)分别耦合在测区同一测点对应位置上,用“衰减器”将接收信号首波调至一定高度,再调节游标脉冲,用其前沿对准首波前沿基线弯曲的起始点,读取声时值 t_i (精确至 $0.1\mu\text{s}$),该测点混凝土声时值应按下式计算:

$$t_c = t_i - t_0 \quad (3.2.2)$$

式中 t_{ci} ——第 i 点混凝土声时值(μs);

t_i ——第 i 点测读声时值(μs);

t_0 ——声时初读数(μs)。当采用厚度振动式换能器时,可参照仪器使用说明书测得,当采用径向振动式换能器时,可按附录二规定的“时—距”法测得。

第 3.2.3 条 波幅测量时,应在保持换能器良好耦合状态下采用下列两种方法之一进行读取:

一、刻度法:将衰减器固定在某一衰减位置,从仪器示波屏上读取首波幅度(格数)。

二、衰减值法:采用衰减器将首波幅度调至一定高度(如 5mm 或刻度一格),读取衰减器上的 **dB** 值。

第 3.2.4 条 频率测量时,应先将游标脉冲调至首波前半周期的波谷(或波峰),读取声时值 $t_1(\mu\text{s})$,再将游标脉冲调至相邻的波谷(或波峰),读取声时值 $t_2(\mu\text{s})$,由此即可按下式计算出该点(第 i 点)第一个周期波的频率 f_i (精确至 0.1kHz)。

$$f_i = \frac{1000}{t_2 - t_1} \quad (3.2.4)$$

第 3.2.5 条 测距可用钢卷尺测量两个换能器之间的距离,测量误差不应大于 $\pm 1\%$ 。

第 3.2.6 条 波形观察时主要观察接收信号的波形是否畸变或包络线的形状,必要时可描绘或拍照。

第四章 浅裂缝检测

第一节 一般规定

第 4.1.1 条 本章适用于结构混凝土开裂深度小于或等于 500mm 的裂缝检测。

第 4.1.2 条 需要检测的裂缝中,不得充水或泥浆。

第 4.1.3 条 如有主钢筋穿过裂缝且与 T、R 换能器的连线大致平行,布置测点时应注意使 T、R 换能器连线至少与该钢筋轴线相覆 1.5 倍的裂缝预计深度。

第二节 测试方法

第 4.2.1 条 当结构的裂缝部位只有一个可测表面,可采用平测法检测,平测时应 在裂缝的被测部位以不同的测距同时按跨缝和不跨缝布置测点进行声时测量,其测量步骤应为:

一、不跨缝声时测量:将 T 和 R 换能器置于裂缝同一侧,以两个换能器内边缘间距(l')等于 100、150、200、250mm……分别读取声时值(t_i),绘制时—距坐标图(见图 4.2.1—1)或用统计的方法求出两者的关系式。

每测点超声实际传播的距离应为:

$$l_i = l'_i + a \quad (4.2.1)$$

式中 l_i ——第 i 点的超声实际传播距离(mm);

l'_i ——第 i 点的 R、T 换能器内边缘间距(mm);

a ——“时—距”图中 l' 轴的截距或回归所得关系式的常数项(mm)。

二、跨缝的声时测量:如图(4.2.1—2)所示,将 T、R 换能

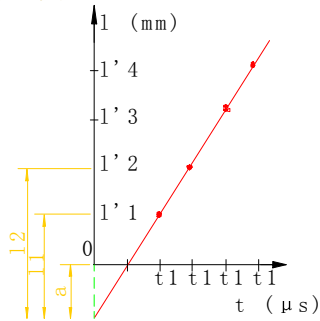


图 4.2.1-1 平测“时—距”图

器分别置于以裂缝为轴线的对称两侧，两换能器中心连线垂直于裂缝走向，以 $l' = 100、150、200、250、300\text{mm} \cdots$ 分别读声时值 t_i^0 。

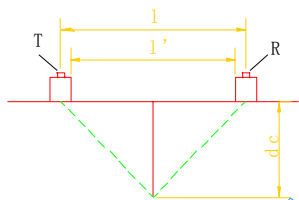


图 4.2.1-2 绕过裂缝测试图

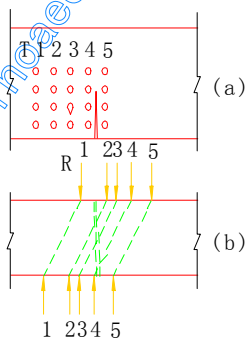


图 4.2.2 斜测裂缝示意图
(a)立面图；(b)平面图

第 4.2.2 条 当结构的裂缝部位具有两个相互平行的测试表面时，可采用斜测法检测。其方法如图 4.2.2 所示，将 T、R 换能器分别置于对应测点 1、2、3……的位置，读取相应声时值 t_i 和波幅值 A_i 及频率值 f_i 。

第三节 数据处理及判定

第 4.3.1 条 平测法的裂缝深度可按式计算：

$$d_{\text{d}} = \frac{l_i}{2} \sqrt{\left(\frac{t_i^0}{t_i}\right)^2 - 1} \quad (4.3.1)$$

式中 d_{d} ——裂缝深度(mm)；

t_i, t_i^0 ——分别代表测距为 l_i 时不跨缝、跨缝平测的声时值(μs)；

l_i ——不跨缝平测时第 i 次的超声传播距离(mm)。

以不同测距取得的 d_{d} 的平均值作为该裂缝的深度值(d_{c})。如所得的 d_{c} 值大于原测距中任一个 l_i ，则应把该 l_i 测得的 d_{d} 舍弃后重新计算 d_{c} 值。

第 4.3.2 条 斜测法时，如 T、R 换能器的连线通过裂缝，则接收信号的波幅和频率明显降低。根据波幅和频率的突变，可以判定裂缝深度以及是否在平面方向贯通。

第五章 深裂缝检测

第一节 一般规定

第 5.1.1 条 本章适用于大体积混凝土结构中预计深度在 500 mm 以上的裂缝检测。

第 5.1.2 条 被检测结构应满足下列要求：

一、允许在裂缝两旁钻测试孔。

二、裂缝中不得充水或泥浆。

第 5.1.3 条 被测结构上钻取的测试孔应满足下列要求：

一、孔径应比换能器直径大 5~10mm。

二、孔深应至少比裂缝预计深度深 700mm，经测试如浅于裂缝深度，则应加深钻孔。

三、对应的两个测试孔，必须始终位于裂缝两侧，其轴线应保持平行。

四、两个对应测试孔的间距宜为 2000mm，同一结构的各对应测孔间距应相同。

五、孔中粉末碎屑应清理干净。

六、如图 5.2.2(a) 所示，宜在裂缝一侧多钻一个较浅的孔，测试无缝混凝土的声学参数，供对比判别之用。

第二节 测试方法

第 5.2.1 条 深裂缝检测应选用频率为 20~40kHz 的径向振动式换能器，并在其接线上作出等距离标志（一般间隔 100~500mm）。

第 5.2.2 条 测试前应为向测试孔中注满清水，然后将 T 和

R 换能器分别置于裂缝两侧的对应孔中,以相同高程等间距从上至下同步移动,逐点读取声时、波幅和换能器所处的深度〔见图 5.2.2(b)〕。

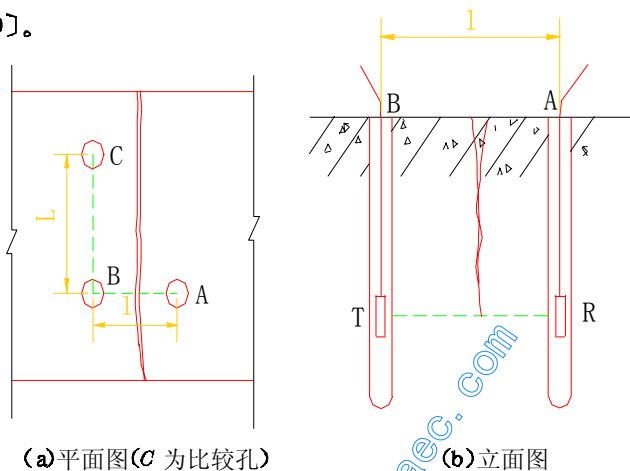


图 5.2.2 钻孔测裂缝深度

第三节 裂缝深度判定

第 5.3.1 条 以换能器所处深度(d)与对应的波幅值(A)绘制 $d-A$ 坐标图(如图 5.3.1 所示),随着换能器位置的下移,波幅逐渐增大,当换能器下移至某一位置后,波幅达到最大并基本稳定,该位置所对应的深度便是裂缝深度 d_c 。

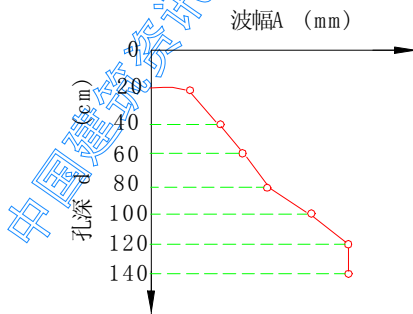


图 5.3.1 $d-A$ 坐标图

第六章 不密实区和空洞检测

第一节 一般规定

第 6.1.1 条 本章适用于结构混凝土局部区域内的不密实和空洞情况检测。

第 6.1.2 条 进行混凝土不密实区和空洞检测时,结构的被测部位及测区应满足以下要求:

一、被测部位应具有一对(或两对)相互平行的测试面。

二、测区的范围应大于有怀疑的区域。

三、在测区布置测点时,应避免 T、R 换能器的连线与附近的主钢筋轴线平行。

第二节 测试方法

第 6.2.1 条 根据被测结构实际情况,可按下列方法之一布置换能器:

一、结构具有两对互相平行的测试面时可采用对测法,其测试方法如图 6.2.1—1 所示。在测区的两对相互平行的测试面上,分别画间距为 200~300mm 的网格,并编号确定对应的测点位置。

二、结构中只有一对相互平行的测试面时可采用斜测法。即在测区的两个相互平行的测试面上,分别画出交叉测试的两组测点位置,如图 6.2.1—2 所示。

三、当结构的测试距离较大时,为了提高测试灵敏度,可在测区适当位置钻出平行于侧面的测试孔,测孔直径 45~50mm,深度视测试需要而定,结构侧面采用厚度振动式换能器,用黄油耦合,测孔中采用径向振孔式换能器,用水耦合,换能器布置如图 6.2.1—3 所示。

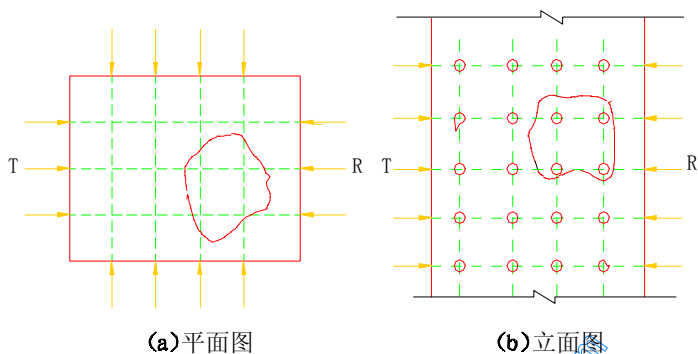


图 6.2.1—1 对测法换能器布置图

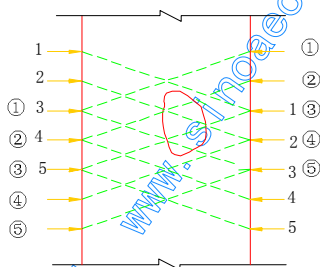


图 6.2.1—2 斜测法换能器布置立面图 T

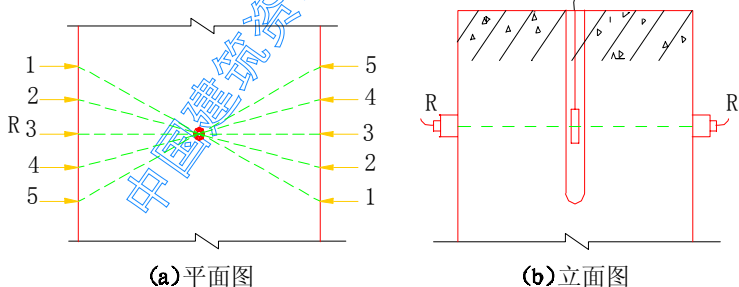


图 6.2.1—3 钻孔测法换能器布置图

第 6.2.2 条 每一测点的声时、波幅、频率和测距的测量,应分别按第 3.2.1 条至第 3.2.5 条的规定进行。

第三节 数据处理及判定

第 6.3.1 条 测区混凝土声时(或声速)、波幅、频率测量值的平均值(m_x)和标准差(s_x)应按下列式计算:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.3.1-1)$$

$$s_x = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \cdot m_x^2 \right\} / (n-1)} \quad (6.3.1-2)$$

式中 X_i ——第 i 点的声时(或声速)、波幅、频率的测量值;

n ——一个测区参与统计的测点数。

第 6.3.2 条 测区中的异常数据可按以下方法判别:

一、将一测区各测点的声时值由小至大按顺序排列,即 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n \leq t_{n+1} \dots$, 将排在后面明显大的数据视为可疑,再将这些可疑数据中最小的一个(假定 t_n)连同其前面的数据按第 6.3.1 条计算出 m_t 及 s_t 并代入(6.3.2-1)式,算出异常情况的判断值(X_0)。

$$X_0 = m_t + \lambda_1 \cdot s_t \quad (6.3.2-1)$$

式中 λ_1 ——异常值判定系数,应按表 6.3.2 取值。

把 X_0 值与可疑数据中的最小值(t_n)相比较,若 t_n 大于或等于 X_0 ,则 t_n 及排在其后的各声时值均为异常值;当 t_n 小于 X_0 时,应再将 t_{n+1} 放进去重新进行统计计算和判别。

二、将一测区各测点的波幅、频率或由声时计算的声速值由大至小按顺序排列,即 $X_1 \geq X_2 \geq \dots X_n \geq X_{n+1} \dots$, 将排在后面明显小的数据视为可疑,再将这些可疑数据中最大的一个(假定 X_n)连同其前面的数据按第 6.3.1 条计算出 m_x 及 s_x 值,并代入 6.3.2-2 式计算出异常情况的判断值(X_0)。

$$X_0 = m_x - \lambda_1 \cdot s_x \quad (6.3.2-2)$$

将判断值(X_0)与可疑数据的最大值(X_n)相比较,如 X_n 小于或等于 X_0 ,则 X_n 及排列于其后的各数据均为异常值;当 X_n 大于 X_0 ,应再将 X_{n+1} 放进去重新进行统计计算和判别。

注:若耦合条件保证不了测幅稳定,则波幅值不能作为统计法的判据。

统计数的个数 n 与对应的 λ_1 值

表 6.3.2

n	14	16	18	20	22	24	26	28	30
λ_1	1.47	1.53	1.59	1.64	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83
n	32	34	36	38	40	42	44	46	48
λ_1	1.86	1.89	1.92	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04
n	50	52	54	56	58	60	62	64	66
λ_1	2.05	2.07	2.09	2.10	2.12	2.13	2.14	2.155	2.17
n	68	70	74	78	80	84	88	90	95
λ_1	2.18	2.19	2.20	2.23	2.24	2.26	2.28	2.29	2.31
n	100	105	110	115	120	125	130	135	140
λ_1	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.41	2.42	2.43	2.45
n	145	150	155	160	170	180	190	200	210
λ_1	2.46	2.48	2.49	2.50	2.52	2.54	2.56	2.57	2.59

第 6.3.3 条 当测区中某些测点的声时值(或声速值)、波幅值(或频率值)被判为异常值时,可结合异常测点的分布及波形状况确定混凝土内部存在不密实区和空洞的范围。

当判定缺陷是空洞时,估算其尺寸的方法见附录三。

第七章 混凝土结合面质量检测

第一节 一般规定

第 7.1.1 条 混凝土结合面(简称结合面),系指前后两次浇筑间隔时间大于 3h 的混凝土之间所形成的接触面,如施工缝、修补加固等。

第 7.1.2 条 混凝土结合面检测时,被测部位及测点的确定应满足以下要求:

一、测试前应查明结合面的位置及走向,以正确确定被测部位及布置测点。

二、结构的被测部位应具有使声波垂直或斜穿结合面的一对平行测试面。

三、所布置的测点应避开平行声波传播方向的主钢筋或预埋铁件。

第二节 测试方法

第 7.2.1 条 混凝土结合面质量检测可采用斜测法,可按图 7.2.2(a)或 7.2.2(b)布置测点。布置测点时应注意以下几点:

一、使测试范围覆盖全部结合面或有怀疑的部位。

二、各对 T、R 换能器连线的倾斜角及测距应相等。

三、测点的间距视结构尺寸和结合面外观质量情况而定,可控制在 100~300mm。

第 7.2.2 条 按布置好的测点(图 7.2.2)分别测出各点的声时、波幅和频率值。

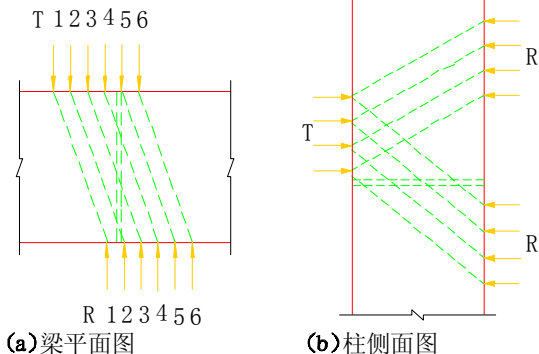


图 7.2.2 检测结合面的换能器布置

第三节 数据处理及判定

第 7.3.1 条 某一测区各测点声时、波幅和频率值分别按第 6.3.1 条和第 6.3.2 条进行统计和异常值判断。

第 7.3.2 条 当通过结合面的某些测点的数据被判为异常，并查明无其他因素影响时，可判定混凝土结合面在该部位结合不良。

第八章 表面损伤层检测

第一节 一般规定

第 8.1.1 条 本章适用于因冻害、高温或化学侵蚀等所引起的混凝土表面损伤厚度的检测。

第 8.1.2 条 检测表面损伤厚度时,被测部位和测点的确定应满足以下要求:

一、根据结构的损伤情况和外观质量选取有代表性的部位布置测区。

二、结构被测表面应平整并处于自然干燥状态,且无接缝和饰面层。

三、测点布置时应避免 **T**、**R** 换能器的连线方向与附近主钢筋的轴线平行。

第二节 测试方法

第 8.2.1 条 表面损伤层检测宜选用频率较低的厚度振动式换能器(图 8.2.1)。

第 8.2.2 条 测试时 **T** 换能器应耦合好保持不动,然后将 **R** 换能器依次耦合在测点 1、2、3、……位置上,如图 8.2.1,读取相应的声时值 t_1 、 t_2 、 t_3 ……,并测量每次 **R**、**T** 换能器之间的距离 l_1 、 l_2 、 l_3 ……。 **R** 换能器每次移动的距离不宜大于 100mm,每一测区的测点数不得少于 5 个。

第 8.2.3 条 当结构的损伤层厚度不均匀时,应适当增加测区数。

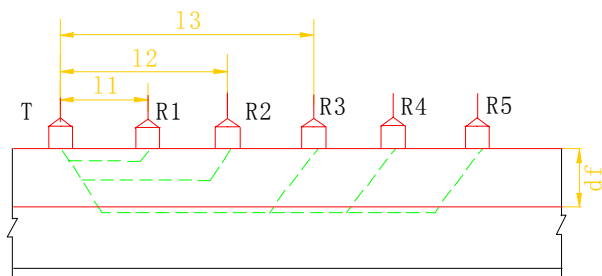


图 8.2.1 损伤层检测的换能器布置

第三节 数据处理及判定

第 8.3.1 条 以各测点的声时值 t_i 和相应测距值 l_i 绘制“时—距”坐标图,如图 8.3.1 所示。由图可得到声速改变所形成的拐点,并可按式 8.3.1—1 和式 8.3.1—2 计算出损伤层混凝土的声速(v_f)和未损伤混凝土的声速(v_a)。

$$v_f = \text{ctg} \alpha = \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} \quad (8.3.1-1)$$

$$v_a = \text{ctg} \beta = \frac{l_5 - l_3}{t_5 - t_3} \quad (8.3.1-2)$$

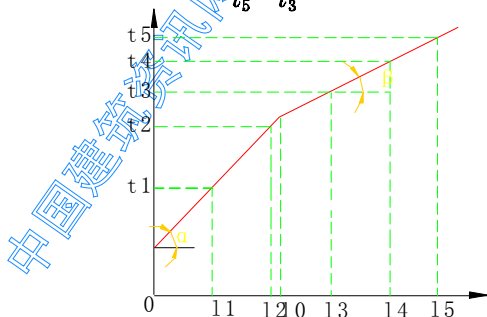


图 8.3.1 损伤层检测“时—距”图

式中 $l_1、l_2、l_3、l_5$ ——分别为拐点前后各测点的测距(mm);

$t_1、t_2、t_3、t_5$ ——相对于测距 $l_1、l_2、l_3、l_5$ 的声时(μs)。

第 8.3.2 条 损伤层厚度应按下式计算:

$$d_f = \frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{v_a - v_f}{v_a + v_f}} \quad (8.3.2)$$

式中 d_f ——损伤层厚度(mm);

l_0 ——声速产生突变时的测距(mm);

v_f ——损伤层混凝土的声速(km/s);

v_a ——未损伤混凝土的声速(km/s)。

第九章 匀质性检测

第一节 一般规定

第 9.1.1 条 本章适用于结构混凝土各部位的相对匀质性的检测。

第 9.1.2 条 匀质性检测时,被测部位和测点的布置应满足以下要求:

一、被检测的部位应具有相对平行的测试面。

二、测点应在被测部位上均匀布置,测点的间距一般为 200~500mm。

三、测点布置时,应避开与声波传播方向相一致的主钢筋。

第二节 测试与计算

第 9.2.1 条 每一测点的声时和测距的测量,应按第 3.2.2 条和第 3.2.5 条进行。

第 9.2.2 条 各测点的混凝土声速值应按下式计算:

$$v_i = \frac{l_i}{t_{di}} \quad (9.2.2)$$

式中 v_i ——第 i 点混凝土声速值(km/s);

l_i ——第 i 点测距值(mm);

t_{di} ——第 i 点的混凝土声时值(μ s)。

第 9.2.3 条 各测点混凝土声速的平均值 m_v 和标准差 s_v 及离系数 c_v 应按下式分别计算:

$$m_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (9.2.3-1)$$

$$s_v = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^n v_i^2 - n \cdot m_v^2 \right\} / (n-1)} \quad (9.2.3-2)$$

$$c_v = s_v / m_v \quad (9.2.3-3)$$

式中 v_i ——第 i 个测点的混凝土声速值(km/s);

n ——测点数。

第 9.2.4 条 根据声速的标准差和离差系数,可以相对比较相同测距的同类结构或各部位混凝土质量均匀性的优劣。

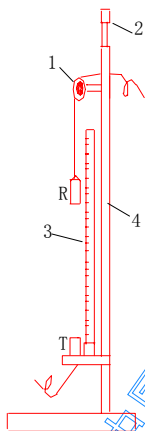
附录一 用超声仪测量空气声速 进行自身校验

一、测试步骤:

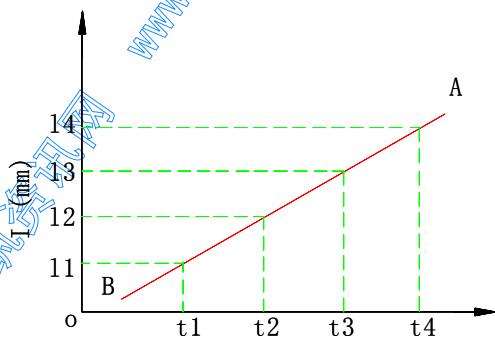
取常用的厚度振动式(平面式)换能器一对,接于超声仪器上,开机预热 **10min**,将两个换能器的辐射面相互对准,以一定间距放置在空气中,将接收信号尽量放大,依次在间距为 **50、100、150、200mm**……调节游标脉冲,使其前沿对准首波前沿,读取相应声时值 $t_1、t_2、t_3、\dots\dots t_n$ 。同时测量空气的温度 T_a (精确至 0.5°C)。

测量时应注意下列事项:

1. 两换能器间距的测量误差应不大于 $\pm 0.5\%$ 。
2. 换能器宜悬空相对放置(如附图 1.1 所示),若置于地



附图 1.1 换能器悬挂装置图



附图 1.2 测空气声速的“时-距”图

1——定滑轮;2——螺栓;3——刻度尺;4——支架

板或桌面时,应在换能器下面垫以海棉或橡胶板。

3. 测点数应不少于 10 个。

二、空气声速测量值计算:

以测距 l_i 为纵坐标,以声时读数 t_i 为横坐标,绘制“时—距”坐标图(如附图 1.2 所示),或用统计方法求出 l_i 与 t_i 之间的回归直线方程 $l=a+bt$ (式中 a 、 b 为待求的回归系数)。

坐标图中直线 AB 的斜率“ $\Delta l/\Delta t$ ”或直线方程的回归系数“ b ”即为空气声速的测量值 v_{obs} 。

三、空气声速的计算值:

空气的声速计算值应按下式计算:

$$v_{\text{cal}}=331.4\sqrt{1+0.00367T} \quad (\text{附 1.1})$$

式中 v_{cal} ——空气声速的计算值(m/s);

T ——空气的温度($^{\circ}\text{C}$)。

四、空气声速测量值的误差:

空气声速测量值 v_{obs} 与空气声速计算值 v_{cal} 之间的相对误差 e_r 应按下式计算:

$$e_r=(v_{\text{cal}}-v_{\text{obs}})/v_{\text{cal}}\times 100\% \quad (\text{附 1.2})$$

通过(附 1.2)式计算的相对误差 e 不得大于 $\pm 0.5\%$ 。

附录二 径向振动式换能器声时 初读数(t_0)的测量

将两个径向振动式换能器保持其轴线相互平行,置于清水中同一水平高度,逐次调节两个换能器轴线间距,并测量其距离 l_i 和读取相应的声时值 t_i (测点数不得少于 10),用统计方法求出 t_i 和 l_i 之间的回归式。

$$t = a + bl \quad (\text{附 2.1})$$

式中 a, b ——待求的回归系数。

“ a ”便是由仪器和换能器及其高频电缆所产生的初读数部分(t_0)。

径向振动式换能器在钻孔中进行对测时,声时初读数应按下式计算:

$$t_{00} = t_0 + \frac{d_1 - d_2}{v_w} \quad (\text{附 2.2})$$

式中 t_{00} ——孔中测试的声时初读数(μs);

t_0 ——仪器设备的声时初读数(μs);

d_1 ——钻孔直径(mm);

d_2 ——换能器直径(mm);

v_w ——水中的声速。按表 2.1 取值。

水中声速与水温的关系

附表 2.1

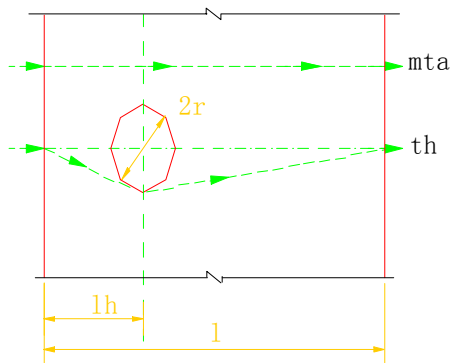
水温(℃)	5	10	15	20	25	30
声速(km/s)	1.45	1.46	1.47	1.48	1.50	1.51

当采用一只厚度振动式换能器和一只径向振动式换能器进行检测时,声时初读数可取该厚度振动式换能器和该径向振动式换能器的初读数之和的一半。

附录三 空洞尺寸估算办法

如附图 3.1 所示,设检测距离为 l ,空洞中心(在另一对测试面上,声时最长的测点位置)距一个测试面的垂直距离为 l_h ,声波在空洞附近无缺陷混凝土中传播的时间平均值为 m_{ta} ,绕空洞传播的时间(空洞处的最大声时)为 t_h ,空洞半径为 r 。

根据 l_x/l 值和 $(t_h - m_{ta})/m_{ta} \times 100\%$ 值,可由附表 3.1 查得空洞半径 r 与测距 l 的比值,再计算空洞的大致尺寸 r 。



附图 3.1 空洞尺寸估算原理

如被测部位只有一对可供测试的表面,空洞尺寸可用下式计算:

$$r = \frac{l}{2} \sqrt{\left[\frac{t_h}{m_{ta}} \right]^2 - 1} \quad (\text{附 3.1})$$

式中 r ——空洞半径(mm);
 l ——T、R 换能器之间的距离(mm);
 t_h ——缺陷处的最大声时值(μs);
 m_{ta} ——无缺陷区的平均声时值(μs)。

空洞半径 r 与测距 l 的比值

附表 3.1

$\begin{matrix} z \\ x \\ y \end{matrix}$		0.05	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30
0.10(0.9)		1.42	3.77	6.26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.15(0.85)		1.00	2.56	4.06	5.97	8.39	—	—	—	—	—	—	—	—
0.2(0.8)		0.78	2.02	3.18	4.62	6.36	8.44	10.9	13.9	—	—	—	—	—
0.25(0.75)		0.67	1.72	2.69	3.90	5.34	7.03	8.98	11.2	13.8	16.8	—	—	—
0.3(0.7)		0.60	1.53	2.40	3.46	4.73	6.21	7.91	9.38	12.0	14.4	17.1	20.1	23.6
0.35(0.65)		0.55	1.41	2.21	3.19	4.35	5.70	7.25	9.00	10.9	13.1	15.5	18.1	21.0
0.4(0.6)		0.52	1.34	2.09	3.02	4.12	5.39	6.84	8.48	10.3	12.3	14.5	16.9	19.6
0.45(0.55)		0.50	1.30	2.03	2.92	3.99	5.22	6.62	8.20	9.95	11.9	14.0	16.3	18.8
0.5		0.50	1.28	2.00	2.89	3.94	5.16	6.55	8.11	9.84	11.8	13.3	16.1	18.6

注：表中 $x = (t_h - t_m) / t_m \times 100\%$ ； $y = t_h / l$ ； $z = r / l$ 。

附录四 超声测缺原始记录表

超声测缺原始记录表 第 页 共 页 附表 4.1

编 号		参数	测点号及参数测读值										平均值	测距 (mm)
结构	测区		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		t_1												
		A_1												
		t_{11}												
		t_{12}												
		t_1												
		A_1												
		t_{11}												
		t_{12}												
仪器	测区											测读		
换能器	示意图											记录		
												计算		
												日期		

附录五 本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1. 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2. 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示稍有选择,在条件许可时首先这样做的用词:

正面词用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

二、条文中指定按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时,写法为“可参照……”。

附加说明

本规程主别单位、参加单位 和主要起草人名单

主 编 单 位:陕西省建筑科学研究设计院
上 海 同 济 大 学

参 加 单 位:中国建筑科学研究院结构所
水电部南京水利科学研究院

主要起草人:张治泰 李为杜 林维正 吴新璇 罗骐先

中国建筑资讯网

www.sinoaec.com