

DB51

四 川 省 地 方 标 准

DB51/T1996—2015

**公路工程超声回弹综合法
检测结构混凝土强度技术规程**

2015—07—08 发布

2015—10—01 实施

四川省质量技术监督局 发布

目 次

前 言	II
1 范 围.....	1
2 术语与主要符号.....	1
2.1 术语.....	1
2.2 主要符号.....	2
3 总则.....	2
4 回弹仪.....	3
4.1 技术要求.....	3
4.2 检验.....	3
4.3 操作.....	4
4.4 维护.....	4
5 超声波检测仪器.....	4
5.1 一般规定.....	4
5.2 换能器技术要求.....	5
5.3 超声仪器检验与操作.....	5
5.4 检测仪器维护.....	5
6 测区回弹值及声速的测量与计算.....	5
6.1 一般规定.....	5
6.2 回弹值的测量与计算.....	6
6.3 超声声速的测量与计算.....	8
7 结构混凝土强度的推定.....	8
附录 A（规范性附录）超声波角测、平测和声速计算方法.....	10
附录 B（规范性附录）测强曲线的验证方法.....	12
附录 C（规范性附录）测强曲线的修正系数计算.....	13

前 言

超声回弹综合法检测混凝土强度，是目前我国使用较广的一种结构混凝土强度非破损检验方法。它较之单一的超声或回弹非破损检验方法具有精度高、适用范围广等优点，受到检测单位和广大检测人员的欢迎。

由于《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02: 2005)中的全国统一测强曲线应用于我省公路行业水泥混凝土强度检测有可能产生较明显的偏差，四川省交通运输厅为统一检验程序和强度推定原则，提高检验结果的可靠性和可比性，在全省范围内经过大量长期的试验，最后将数据汇总分析得出四川省测强曲线，供工程建设领域混凝土强度检测使用。

本规程的主要技术内容是：1 范围；2 术语与主要符号；3 总则；4 回弹仪；5 超声波检测仪器；6 测区回弹及声速的测量与计算；7 混凝土强度的推定。

本规程主编单位是四川省交通运输厅工程质量监督局（通讯地址：四川省成都市武侯祠大街 180 号，邮政编码 610041，联系电话：028-85527467）。在实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和资料径寄解释单位。

本标准编制所依据的起草规则为 GB/T 1.1-2009 标准化工作导则第一部分：标准的结构和编写。

本标准由四川省交通运输厅提出并归口。

本标准由四川省质量技术监督局批准。

本标准由四川省交通运输厅工程质量监督局负责解释。

本标准起草单位：四川省交通运输厅工程质量监督局、四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

本标准主要起草人：刘孝明、刘星、刘金涛、姜云、谭举鸿、王学武、李蒙、李萼雄、骆燕、刘洪生、邱月龙、胡德贵、何清友、苗宇、李俊鹏

公路工程超声回弹综合法

检测结构混凝土强度技术规程

1 范围

本规程适用于四川省工程建设中普通混凝土强度的检测。当对结构混凝土强度有检测要求时,可按本规程进行检测,检测结果可作为处理混凝土质量问题的依据之一。

本规程适用于龄期大于 14d,强度为(15~60)MP_a的普通混凝土抗压强度检测,在具有用钻芯试件作校核的条件下,可按本规程对结构或构件更长龄期的混凝土强度进行检测推定。但不适用于因冻害、化学侵蚀、火灾等造成表面疏松、剥落的结构混凝土强度检测。

2 术语与主要符号

2.1 术语

2.1.1

检测单元 Detective element

按照检测要求确定的混凝土结构的组成单元。

2.1.2

测区 Detective region

在进行结构或构件混凝土强度检测时确定的检测区域。

2.1.3

测点 Detective point

测区内的检测点。

2.1.4

超声回弹综合法 Ultrasonic-rebound combined method

根据实测声速值和回弹值综合推定混凝土强度的方法。本方法采用带波形显示器的低频超声波检测仪,并配置频率为(50~100)kHz的换能器,测量混凝土中的超声波声速值,以及采用弹击锤冲击能量为 2.207J 的混凝土回弹仪,测量回弹值。

2.1.5

回弹仪率定 rebound equipment rating

回弹仪使用前后或使用过程中,在洛氏硬度 HRC 为 60±2 的钢砧上对回弹仪标准状态进行校验。

2.1.6

超声波速度 Velocity of ultrasonic wave

在混凝土中,超声脉冲波单位时间内的传播距离。

2.1.7

波幅 Amplitude of wave

超声脉冲波通过混凝土被换能器接收后，由超声波检测仪显示的首波信号的幅度。

2.1.8

测区混凝土抗压强度换算值 Conversion value for the compression strength of concrete at detective region

根据测区混凝土中的声速代表值和回弹代表值，通过测强曲线换算所得的该测区现龄期混凝土的抗压强度值。

2.1.9

混凝土抗压强度推定值 Inferable value for compression strength of concrete

根据测区混凝土抗压强度换算值推定的结构或构件中现龄期混凝土的抗压强度值。

2.2 主要符号

R — 测区回弹代表值；

R_a — 修正后的测区回弹值；

$R_{a\alpha}$ — 测试角度为 α 的回弹修正值；

— 测量顶面时的回弹修正值；

R_a^b — 测量底面时的回弹修正值；

R_i — 第 i 个测点的有效回弹值；

R_{ai} — 第 i 个测区的回弹代表值；

R_m — 测区平均回弹值；

er — 相对误差；

f_{cu}^c — 结构混凝土抗压强度换算值；

$f_{cu,e}$ — 结构混凝土抗压强度推定值；

$f_{cu,min}^c$ — 结构或构件最小的测区混凝土抗压强度换算值；

$f_{cor,i}^0$ — 第 i 个混凝土芯样试件的抗压强度实测值；

$f_{cu,i}^c$ — 第 i 个混凝土试件抗压强度实测值；

$f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区或混凝土试件抗压强度换算值；

l_i — 第 i 个测点的超声测距；

$m_{f_{cu}^c}$ — 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值；

$S_{f_{cu}^i}$ — 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的标准差；

t_0 — 测声速时仪器的零读数；

v — 测区混凝土中声速代表值；

v_a — 修正后的测区混凝土中声速值；

v_{ai} — 第*i*个测区的声速代表值；

v_i — 第*i*个测点的混凝土中声速值；

β 超声测试面修正系数；

η_0 。

α — 回弹仪的测试角度；

3 总则

3.0.1 为适应四川省采用非破损方法检测结构混凝土抗压强度的要求，保证检测工作的规范性和精度要求，制定本规程。

3.0.2 在正常情况下，混凝土强度的验收与评定应按现行有关国家标准执行。当对结构中的混凝土有强度检测要求时，可按本规程进行检测，并推定混凝土强度，作为处理混凝土质量问题的一个依据。

超声回弹综合法检测精度优于回弹法，对检测结果有争议时，宜采用钻芯法复核评定。

3.0.3 按本规程检测所得的混凝土强度换算值(f_{cu}^c)是根据用综合法取得的测值换算成相当于被测结构物所处条件及龄期下、边长 150mm 立方体试块的抗压强度值。

混凝土强度推定值($f_{cu,e}$)是指相应于强度换算值总体分布中保证率不低于 95% 的强度值。

3.0.4 检测结构或构件的混凝土强度时须经过验证证明符合要求后方可采用四川省测强曲线或国家通用测强曲线。

3.0.5 从事超声仪、回弹仪的检验、维护以及测试和测试结果分析的人员，均应经过专门培训与考核。

3.0.6 采用超声回弹综合法检测及推定混凝土强度，除应遵守本规程外，尚应符合现行有关强制性标准的规定。

4 回弹仪

4.1 技术要求

4.1.1 测定回弹值时，应采用中型回弹仪。回弹仪应通过技术鉴定，并必须具有产品合格证及检验证。

4.1.2 回弹仪应符合下列标准状态的要求：

- a) 水平弹击时，在弹击锤脱钩的瞬间，回弹仪的标称动能应为 2.207J；
- b) 弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间，弹击拉簧应处于自由状态，此时弹击锤起点应位于刻度尺的零点处；
- c) 在洛氏硬度为 HRC60±2 的钢砧上，回弹仪的率定值应为 80±2。

4.1.3 回弹仪的率定试验,宜在干燥、室温为(5~35)℃的条件下进行,率定时钢砧应稳固地平放在坚实的混凝土地坪上。回弹仪向下弹击,弹击杆应旋转 4 次,每次旋转角度 90° 左右,弹击 3~5 次,取连续 3 次稳定回弹值计算平均值。弹击杆每旋转一次的率定平均值均应符合 3.1.2 条第 3 项的要求。

4.2 检验

4.2.1 当遇有下列情况之一时,回弹仪应送专门检定机构检验:

- a) 新回弹仪启用前;
- b) 超过检定有效期;
- c) 累计弹击次数超过 6000 次;
- d) 更换主要零件(弹击拉簧、弹簧座、弹击杆、缓冲压簧、中心导杆、导向法兰、弹击锤、指针轴、指针片、指针块、挂钩及调零螺丝)后;
- e) 弹击拉簧前端不在拉簧座原孔位或调零螺丝松动;
- f) 遭受严重撞击或其他损害。

检验合格的回弹仪应具有检定合格证,其有效期为一年。

4.2.2 当遇下列情况之一时,应在钢砧上进行率定试验:

- a) 回弹仪当天使用前;
- b) 测试过程中对回弹值有怀疑时。

当仪器率定值不在 80 ± 2 的范围内时,应按本规程 3.4.2 条的要求,对回弹仪进行常规保养后再进行率定。若再次率定仍不合格,则应送专门机构检验。

4.3 操作

4.3.1 测试过程中,仪器的纵轴线应始终与被测混凝土表面保持垂直,其操作程序应符合使用说明书的规定。

4.4 维护

4.4.1 仪器每次使用完毕后,应及时进行维护。先把仪器外壳和伸出机壳的弹击杆及前端球面擦拭清洁,然后将弹击杆压入仪器内,待弹击后用按钮锁住机芯,装入套筒,置于干燥阴凉处。

4.4.2 仪器有下列情况之一时,应将仪器拆开维护:

- a) 弹击超过 2000 次;
- b) 仪器发生故障或零件损坏时;
- c) 率定试验不合要求。

4.4.3 回弹仪拆开维护,应按下列步骤进行:

- a) 使弹击锤脱钩,取出机芯。然后卸下弹击杆、中心导杆(连同导向法兰)、缓冲压簧、刻度尺、指针轴和指针;
- b) 用清洗剂清洗机芯的中心导杆、弹击拉簧、拉簧座、弹击杆及其内孔和冲击面、指针滑块及其内孔、指针片、指针轴、刻度尺、卡环及仪器外壳的内壁和指针导槽。清洗完毕后,组装仪器做率定试验。

4.4.4 回弹仪的拆开维护,应注意下列事项:

- a) 经过清洗的零部件,除中心导杆需涂上微量的轻油外,其他零部件均不得涂油;
- b) 应保持弹击拉簧前端钩入拉簧座的原孔位;
- c) 不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝;
- d) 不得自制或更换零部件。

5 超声波检测仪器

5.1 一般规定

5.1.1 超声波检测仪应通过技术鉴定,并必须具有产品合格证和检定证。

5.1.2 仪器的声时范围应为 $(0.5\sim 9999)\mu\text{s}$,测读精度为 $0.1\mu\text{s}$ 。

5.1.3 仪器应具有良好的稳定性,声时显示调节在 $(20\sim 30)\mu\text{s}$ 范围内时,2h内声时显示的漂移不得大于 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

5.1.4 仪器的放大器频率响应宜分为 $(10\sim 200)\text{kHz}$ 、 $(200\sim 500)\text{kHz}$ 两频段。

5.1.5 仪器宜具有示波屏显示及手动游标测读功能。

显示应清晰稳定。若采用整形自动测读,混凝土超声测距不得超过1m。

5.1.6 仪器应能适用于温度为 $-4^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于80%、电源电压波动为 $220\text{V}\pm 22\text{V}$ 的环境中,且能连续4h正常工作。

5.2 换能器技术要求

5.2.1 换能器宜采用厚度振动形式压电材料。

5.2.2 换能器的频率宜在 $(50\sim 100)\text{kHz}$ 范围以内。

5.2.3 换能器实测频率与标称频率相差应不大于 $\pm 10\%$ 。

5.3 超声仪器检验和操作

5.3.1 超声仪器检验时应满足下列要求:

- a) 缓慢调节延时旋钮,数字显示满足十进位递变的要求;
- b) 调节聚焦、辉度和扫描延时旋钮,扫描基线清晰稳定;
- c) 换能器与标准棒耦合良好,衰减器及发射电压正常;
- d) 超声波在空气中传播的计算声速与实测声速值相比,相差不大于 $\pm 0.5\%$ 。

5.3.2 超声仪器应按下列步骤进行操作:

- a) 操作前应仔细阅读仪器使用说明书;
- b) 仪器在接通电源前,应检查电源电压,接上电源后,仪器宜预热10min;
- c) 换能器与标准棒应耦合良好,调节首波幅度至 $(30\sim 40)\text{mm}$ 后测读声时值。有调零装置的仪器,应调节调零电位器以扣除初读数;
- d) 在实测时,接收信号的首波幅度均应调至 $(30\sim 40)\text{mm}$ 后,才能测读每个测点的声时值。

5.4 检测仪器维护

5.4.1 超声仪应按下列规定进行维护:

- a) 如仪器在较长时间内停用,每月应通电一次,每次不少于 1h;
- b) 仪器需存放在通风、阴凉、干燥处,无论存放或工作,均需防尘;
- c) 在搬运过程中须防止碰撞和剧烈振动。

5.4.2 换能器应避免摔损和撞击,工作完毕应擦拭干净单独存放。换能器的耦合面应避免磨损。

6 测区回弹值及声速的测量与计算

6.1 一般规定

6.1.1 测试前应具备下列有关资料:

- a) 工程名称及设计、施工、建设单位名称;
- b) 结构或构件名称、施工图纸及要求的混凝土强度等级;
- c) 水泥品种、标号、用量、出厂厂名、砂石品种、粒径、外加剂或掺合料品种、掺量以及混凝土配合比等;
- d) 模板类型,混凝土浇灌和养护情况以及成型日期;
- e) 结构或构件检测原因的说明。

6.1.2 测区布置应符合下列规定:

- a) 当按单个构件检测时,应在构件上均匀布置测区,每个构件上的测区数不应少于 10 个;
- b) 对同批构件按批抽样检测时,构件抽样数应不少于同批构件的 30%,且不少于 10 件,每个构件测区数不应少于 10 个;
- c) 对某一方尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 的构件,其测区数量可适当减少,但不应少于 5 个。

6.1.3 当按批抽样检测时,符合下列条件的构件才可作为同批构件:

- a) 混凝土强度等级相同;
- b) 混凝土原材料、配合比、成型工艺、养护条件及龄期基本相同;
- c) 构件种类相同;
- d) 在施工阶段所处状态相同。

6.1.4 构件的测区,应满足下列要求:

- a) 测区布置在构件混凝土浇灌方向的侧面;
- b) 测区均匀分布,相邻两测区的间距不宜大于 2m;
- c) 测区避开钢筋密集区和预埋件;
- d) 测区尺寸宜为 200mm×200mm; 采用平测时宜为 400mm×400mm;
- e) 测试面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、饰面层、浮浆和油垢,并避开蜂窝、麻面部位,必要时可用砂轮片清除杂物和磨平不平整处,并擦净残留粉尘。

6.1.5 结构或构件上的测区应注明编号,并记录测区位置和外观质量情况。

6.1.6 结构或构件的每一测区,宜先进行回弹测试,后进行超声测试。

6.1.7 非同一测区内的回弹值及超声声速值,在计算混凝土强度换算值时不得混用。

6.2 回弹值的测量与计算

6.2.1 用回弹仪测试时,宜使仪器处于水平状态,测试混凝土浇灌方向的侧面。如不能满足这一要求,也可非水平状态测试,或测试混凝土浇灌方向的顶面或底面。

6.2.2 测量回弹值应在构件测区内超声波的发射和接收面各弹击 8 点;超声波单面平测时,可在超声波的发射和接收测点之间弹击 16 点。每一测点的回弹值,测读精确至 1.0。

6.2.3 测点在测区范围内宜均匀分布,但不得布置在气孔或外露石子上。相邻两测点的间距一般不小于 30mm;测点距构件边缘或外露钢筋、铁件的距离不小于 50mm,且同一测点只允许弹击一次。

6.2.4 计算测区平均回弹值时,应从该测区两个相对测试面的 16 个回弹值中,剔除 3 个最大值和最小值,然后将余下的 10 个回弹值按下列公式计算:

$$R_m = \sum_{i=1}^{10} R_i / 10 \quad (1)$$

式中 R_m —测区平均回弹值,计算至 0.1;

R_i —第 i 个测点的有效回弹值。

6.2.5 非水平状态测得的回弹值,应按下列公式修正:

$$R_a = R_m + R_{a\alpha} \quad (2)$$

式中 R_a —修正后的测区回弹值;

$R_{a\alpha}$ —测试角度为 α 的回弹修正值,按表 1 选用。

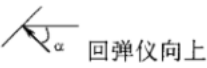
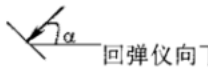
6.2.6 由混凝土浇灌方向的顶面或底面测得的回弹值,应按下列公式修正:

$$R_a = R_m + (R_a^a + R_a^b) \quad (3)$$

式中 R_a^a —测量顶面时的回弹修正值,按表 2 选用;

R_a^b —测量底面时的回弹修正值,按表 2 选用。

表 1 非水平状态测得回弹修正值 $R_{a\alpha}$

R_m	测角							
	 回弹仪向上				 回弹仪向下			
	+90	+60	+45	+30	-30	-45	-60	-90
20	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
50	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5

注 1: 当测试角 $\alpha = 0$ 时,修正值为 0; R_m 小于 20 或大于 50 时,分别按 20 或 50 查表
注 2: 表中未列数值,可用内插法求得。

表 2 由混凝土浇灌的顶面或底面测得的回弹修正值 R

R_m 或 R_a	测试面	
	顶面 R_a^a	底面 R_a^b
20	+2.5	-3.0
25	+2.0	-2.5
30	+1.5	-2.0
35	+1.0	-1.5
40	+0.5	-1.0
45	0	-0.5
50	0	0

注 1: 在侧面测试时修正值为 0; R_m 或 R_a 小于 20 或大于 50 时, 分别按 20 或 50 查表
 注 2: 当先进行角度修正时, 采用修正后的回弹代表值 R_a
 注 3: 表中未列数值, 可用内插法求得。

6.2.7 在测试时, 如仪器处于非水平状态, 同时构件测区又非混凝土的浇灌侧面, 则应对测得的回弹值先进行角度修正, 然后进行顶面或底面修正。

6.3 超声声速值的测量与计算

6.3.1 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内。超声测试宜优先采用对测或角测, 当被测构件不具备对测或角测条件时, 可采用单面平测, 测区混凝土中声速代表值应按本规程附录 A 计算和修正。

6.3.2 测量超声声时时, 应保证换能器与混凝土耦合良好。

6.3.3 测试的声时值应精确至 0.1 μ s, 声速值应精确至 0.01km/s。超声测距的测量误差应不大于 $\pm 1\%$ 。

6.3.4 在每个测区内的相对测试面上, 应各布置 3 个测点, 且发射和接收换能器的轴线应在同一轴线上。

6.3.5 测区声速应按下列公式计算:

(4)

式中 v — 测区混凝土中的声速值(km/s);

l_i — 第 i 个测点的超声测距(mm);

t_i — 第 i 个测点的声时读数(μ s);

t_0 — 声时初读数(μ s)。

6.3.6 当在混凝土浇灌的顶面与底面测试时, 测区声速值应按下列公式修正:

$$v_a = \beta v \quad (5)$$

式中 v_a — 修正后的测区混凝土中声速值(km/s);

β — 超声测试面修正系数。在混凝土浇灌顶面及底面测试时, $\beta=1.034$; 在混凝土侧面测试时, $\beta=1$ 。

7 结构混凝土强度的推定

7.0.1 结构或构件中第 i 个测区的混凝土抗压强度换算值,可按本规程 5.2 与 5.3 相关规定求得修正后的测区回弹代表值 R_{ai} 和声速代表值 v_{ai} 后,采用四川省测强曲线换算而得。

7.0.2 四川省测强曲线通过验证后,按下列公式计算混凝土抗压强度换算值:

a) 当粗骨料为碎石时:

$$f_{cu,i}^c = 0.0263 v_{ai}^{1.79} R_{ai}^{1.26} \quad f_{cu,i}^c = 0.0263 v_{ai}^{1.79} R_{ai}^{1.26} \quad (6)$$

b) 当粗骨料为卵石时:

$$f_{cu,i}^c = 0.0456 v_{ai}^{0.274} R_{ai}^{1.76} \quad f_{cu,i}^c = 0.0456 v_{ai}^{0.274} R_{ai}^{1.76} \quad (7)$$

式中: $f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区的混凝土抗压强度换算值,精确至 0.1 MPa

7.0.3 当结构或构件中的测区数不少于 10 个时,各测区混凝土抗压强度换算值的平均值和标准差应按下列公式计算:

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (8)$$

(9)

式中, $f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区或混凝土试件的抗压强度换算值(MPa);

$m_{f_{cu}^c}$ — 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值(MPa);

$S_{f_{cu}^c}$ — 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的标准差(MPa);

n — 测区数。对单个检测的构件,取一个构件的测区数;对批量检测的构件,取被抽检构件测区数之总和。

7.0.4 如采用超声回弹综合法测强曲线计算所得的混凝土换算强度与所钻取芯样抗压强度或同条件立方体试件抗压强度间相对误差 e_r 大于 14%时,则应进行修正。相对误差 e_r 的计算方法和具体修正方法见附录 C。

7.0.5 结构或构件混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$,应按下列规定确定:

a) 当结构或构件的测区抗压强度换算值中出现小于 10.0MPa 的值时,该构件的混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$ 为: 小于 10MPa。

b) 当结构或构件中测区数少于 10 个时:

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (10)$$

式中: $f_{cu,min}^c$ — 结构或构件最小的测区混凝土抗压强度换算值 (MPa)。

c) 当结构或构件中测区数不少于 10 个或按批量检测时:

(11)

7.0.6 对按批量检测的构件，当一批构件的测区混凝土抗压强度标准差出现下列情况之一时，该批构件应全部重新按单个构件进行检测：

- a) 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}} < 25\text{MPa}$ 时，标准差 $s_{f_{cu}} > 4.5\text{MPa}$ 。
- b) 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}} = 25\text{MPa} \sim 50\text{MPa}$ 时，标准差 $s_{f_{cu}} > 5.5\text{MPa}$ 。
- c) 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}} > 50\text{MPa}$ 时，标准差 $s_{f_{cu}} > 6.5\text{MPa}$ 。

附录 A
(规范性附录)
超声波角测、平测和声速计算方法

A.1 超声波角测方法

A.1.1 当结构或构件被测部位只有两个相邻表面可供检测时,可采用角测方法测量混凝土中声速。每个测区布置 3 个测点,换能器布置如图 A.1.1 所示。

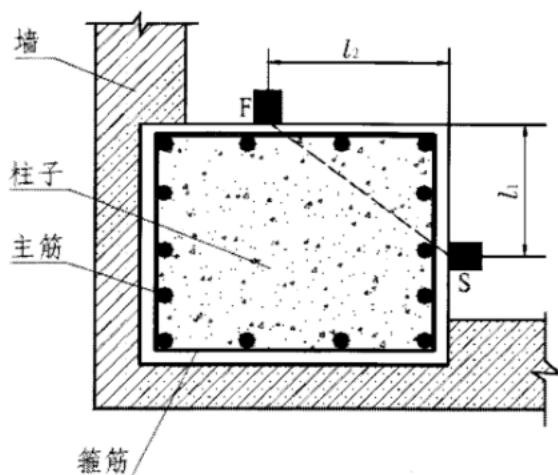


图 A.1 超声波角测示意

A.1.2 布置超声角测点时,换能器中心与构件边缘的距离 l_1 、 l_2 不宜小于 200mm。

A.1.3 角测时超声测距应按下列公式计算:

$$l_i = \sqrt{l_{1i}^2 + l_{2i}^2} \quad (\text{A.1})$$

式中, l_i — 第 i 个测点的超声测距(mm);

l_{1i} 、 l_{2i} — 角测第 i 个测点换能器与构件边缘的距离(mm);

A.1.4 角测时混凝土中声速代表值应按下列公式计算:

(A.2)

式中, v — 角测时混凝土中声速代表值(km/s);

t_i — 角测第 i 个测点的声时读数(μs);

t_0 — 声时初读数(μs)。

A.2 超声波平测方法

A.2.1 当结构或构件被测部位只有一个表面可供检测时，可采用平测方法测量混凝土中声速。每个测区布置 3 个测点，换能器布置如图 A.2.1 所示。

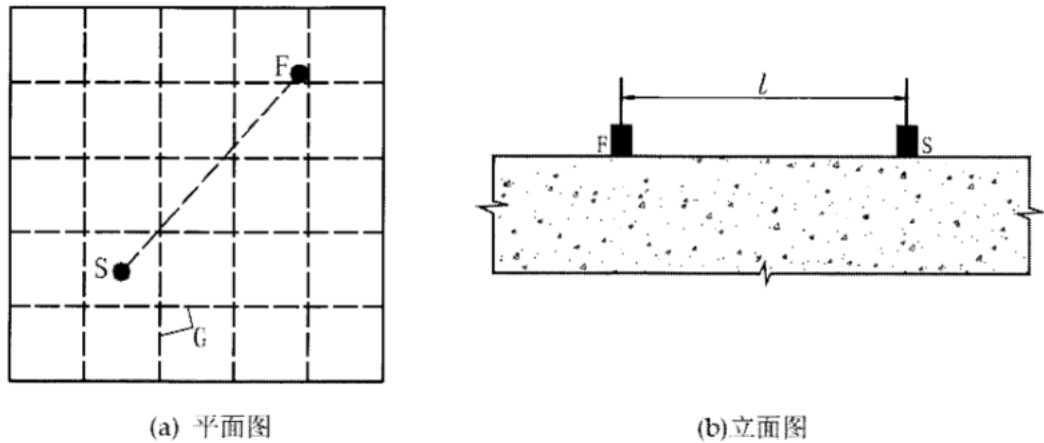


图 A.2 超声平角测示意

F—发射换能器 S—接收换能器 G—钢筋轴线

A.2.2 布置超声平测点时，宜使发射和接收换能器的连线与附近钢筋轴线成 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ，超声测距 l 宜采用 350mm~450mm。

A.2.3 宜采用同一构件的对测声速 v_d 与平测声速 v_p 之比求得修正系数 λ ($\lambda = v_d/v_p$)，对平测声速进行修正。

A.2.4 当被测构件不具备平测与对测的对比条件时，宜选取有代表性的部位，以测距 $l = 200\text{mm}$ 、250mm、300mm、350mm、400mm、450mm、500mm，逐点测读相应声时值 t ，用回归分析方法求出直线方程 $l = a + bt$ 。以回归系数 b 代替对测声速 v_d ，再按本规程 A.2.3 条的规定对各平测声速进行修正。

A.2.5 平测时，修正后的混凝土中声速代表值应按下列公式计算：

(A.3)

式中， v_a — 修正后的平测时混凝土中声速代表值(km/s);
 l_i — 平测第 i 个测点的超声测距(mm);
 t_i — 角测第 i 个测点的声时读数(μs);
 λ — 平测声速修正系数。

附录 B
(规范性附录)
测强曲线的验证方法

B.0.1 采用四川省测强曲线前应进行验证。

B.0.2 测强曲线可按下列方法进行验证：

- a) 选用本地区常用的混凝土原材料，按最佳配合比配制强度等级为 C15、C20、C30、C40、C50、C60 的混凝土，制作边长为 150mm 的立方体试件各 3 组（共计 18 组），7d 潮湿养护后在用自然养护；
- b) 采用符合本规程第 3.1 节要求的回弹仪和符合本规程 4.1 节要求的超声波检测仪；
- c) 按龄期为 28d、60d 和 90d 进行综合法测试和试件抗压强度试验；
- d) 根据每个试件测得的回弹代表值 R_{ai} 和声速代表值 v_{ai} ，由本规程第 6 章中的对应公式算出试件抗压强度的换算值 $f_{cu,i}^c$ ；
- e) 将试件抗压强度试验得出的抗压强度实测值 $f_{cu,i}^o$ 和相应的抗压强度换算值 $f_{cu,i}^c$ 代入式 (C.1) 进行计算，所得误差 $e_r \leq 14\%$ ，则可以使用本规程内的四川省测强曲线；如所得相对误差 $e_r > 14\%$ ，则需按照本规程附录 C 的方法进行修正。

附录 C

(规范性附录)

测强曲线的修正系数计算

C.0.1 在使用四川省测强曲线前,按本规程附录 B 的方法进行验证,计算相对误差 e_r ,具体计算方法如下:

(C.1)

其中, e_r — 相对误差;

$f_{cu,i}^o$ — 第 i 个混凝土试件抗压强度实测值 (MPa);

$f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区或混凝土试件的抗压强度换算值 (MPa);

C.0.2 若相对误差 $e_r > 14\%$,则在使用本测强曲线时,应采用同条件立方体试件或从结构或构件测区中钻取的混凝土芯样试件的抗压强度进行修正,试件数量不应少于 4 个。此时采用四川省测强曲线计算所得的混凝土强度换算值乘上列修正系数 η :

a) 采用同条件立方体试件修正时:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f_{cu,i}^o}{f_{cu,i}^c} \quad (C.2)$$

b) 采用混凝土芯样试件修正时:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f_{cor,i}^o}{f_{cu,i}^c} \quad (C.3)$$

式中, η — 修正系数,精确值 (0.01);

$f_{cu,i}^o$ — 第 i 个混凝土试件抗压强度实测值 (MPa);

$f_{cor,i}^o$ — 第 i 个混凝土芯样试件抗压强度实测值 (MPa);

$f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区或混凝土试件的抗压强度换算值 (MPa);

— 试件数。