



中国工程建设标准化委员会标准

# 超声回弹综合法 检测混凝土强度技术规程

TECHNICAL SPECIFICATION FOR  
TESTING CONCRETE STRENGTH  
BY ULTRASONIC—REBOUND  
COMBINED METHOD



CHINA COMMITTEE FOR ENGINEERING  
CONSTRUCTION STANDARDIZATION

中国工程建设标准化委员会标准

超 声 回 弹 综 合 法  
检 测 混 凝 土 强 度 技 术 规 程

**CECS 02 : 88**

主编单位：中 国 建 筑 科 学 研 究 院

批准单位：中国工程建设标准化委员会

批准日期：1 9 8 8 年 1 1 月 2 2 日

1989 北 京

## 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中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。为了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，原城乡建设环境保护部于1984年以城科学153号文，委托中国建筑科学研究院会同有关单位进行本规程的编制工作。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。

根据国家计委计标〔1986〕1649号文“关于请中国工程建设标准化委员会组织推荐性工程建设标准试点工作的通知”，并经建设部领导同意，将《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》纳入中国工程建设标准化委员会标准计划，并负责审批和组织实施。

现批准《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》为中国工程建设标准化委员会标准，编号为CECS 02：88，并推荐给工程建设有关单位检测混凝土强度时使用。在使用过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和有关资料寄北京安外小黄庄中国建筑科学研究院建筑结构研究所。

中国工程建设标准化委员会

1988年11月22日

目 录

主要符号..... (1)

第一章 总 则..... (1)

第二章 回 弹 仪..... (3)

    第一节 技术要求 ..... (3)

    第二节 检 验 ..... (3)

    第三节 操 作 ..... (4)

    第四节 维 护 ..... (4)

第三章 超声波检测仪器..... (6)

    第一节 超声波检测仪技术要求 ..... (6)

    第二节 换能器技术要求 ..... (6)

    第三节 超声仪器检验和操作 ..... (7)

    第四节 检测仪器维护 ..... (7)

第四章 测区回弹值及声速值的测量与计算..... (8)

    第一节 一般规定 ..... (8)

    第二节 回弹值的测量与计算 ..... (9)

    第三节 超声声速值的测量与计算 ..... (11)

第五章 混凝土强度的推定 ..... (13)

附录一 建立专用或地区混凝土强度曲线的基本要求 ..... (16)

附录二 测区混凝土强度换算表 ..... (19)

附录三 综合法测定混凝土强度曲线的验证方法 ..... (28)

附录四 结构或构件混凝土强度计算汇总表 ..... (29)

附录五 综合法测试原始记录表 ..... (30)

附录六 用超声仪在空气中实测声速的检验方法 ..... (32)

附录七 本规程用词说明 ..... (34)

附加说明 ..... (35)

## 主 要 符 号

- $e_r$  —— 相对标准误差；  
 $f_{cu}^c$  —— 测区混凝土强度换算值；  
 $f_{cu,e}$  —— 混凝土强度推定值；  
 $f_{cu,min}^c$  —— 构件中最小的测区混凝土强度换算值；  
 $f_{cu}$  —— 混凝土立方试块抗压强度值；  
 $f_{cor}$  —— 混凝土芯样试件抗压强度值；  
 $l$  —— 超声测距；  
 $m$  —— 同批中构件数；  
 $^mf_{cu}^c$  —— 同批构件测区混凝土强度换算值的平均值；  
 $n$  —— 构件测区数；  
 $R_i$  —— 第  $i$  个测点的回弹值；  
 $R_m$  —— 测区平均回弹值；  
 $R_a$  —— 修正后的测区回弹值；  
 $R_{na}$  —— 非水平状态下测得的测区回弹修正值；  
 $R_a^i$ 、 $R_a^b$  —— 由顶面或底面测得的测区回弹修正值；  
 $f_{cu}^c$  —— 同批构件的测区混凝土强度换算值标准差；  
 $T$  —— 空气温度；  
 $t_0$  —— 测声时的仪器零读数；  
 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  —— 测区中各点声时值；  
 $t_m$  —— 测区平均声时值；  
 $v$  —— 测区声速值；  
 $v_a$  —— 修正后的测区声速值；  
 $v^o$  —— 空气声速计算值；  
 $v^o$  —— 空气声速实测值；

$\beta$  ——超声测试面修正系数；  
 $\eta$  ——修正系数。

## 第一章 总 则

**第 1.0.1 条** 本规程适用于以中型回弹仪、低频超声仪按综合法检测建筑结构和构筑物中的普通混凝土抗压强度值。

**第 1.0.2 条** 在正常情况下，混凝土强度的验收与评定应按现行的国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》及《混凝土强度检验评定标准》执行。当对结构的混凝土强度有怀疑时，可按本规程进行检测，以推定混凝土强度，并作为处理混凝土质量问题的一个主要依据。

**第 1.0.3 条** 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长龄期的混凝土强度进行检测推定。

**第 1.0.4 条** 本规程不适用于下列情况的结构混凝土：

- 一、遭受冻害、化学侵蚀、火灾、高温损伤；
- 二、被测构件厚度小于 100mm；
- 三、结构表面温度低于 $-4^{\circ}\text{C}$ 或高于  $60^{\circ}\text{C}$ 。

**第 1.0.5 条** 按本规程检测所得的混凝土强度换算值 ( $f_{cu}$ ) 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。

**第 1.0.6 条** 应用超声回弹综合法时，混凝土强度曲线（以下简称测强曲线）应根据原材料品种、龄期和养护条件等，通过专门试验确定。

**第 1.0.7 条** 专用测强曲线和地区测强曲线应按本规程附录一的基本要求制定，并需经主管质量的部门审定。专用或地区测强曲线的强度误差规定如下：

一、专用测强曲线，相对标准误差  $e \leq \pm 12\%$ ；

二、地区测强曲线，相对标准误差  $e_s \leq \pm 14\%$ 。

**第 1.0.8 条** 检测结构或构件的混凝土强度时，应优先采用专用或地区测强曲线。当缺少该类曲线时，经过验证证明符合要求后方可采用本规程通用测强曲线。

**第 1.0.9 条** 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。

**第 1.0.10 条** 在现场作业时，应遵守现行安全技术和劳动保护的有关规定。



## 第二章 回 弹 仪

### 第一节 技 术 要 求

**第 2.1.1 条** 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。

**第 2.1.2 条** 回弹仪应符合下列标准状态的要求：

一、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**；

二、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；

三、在洛氏硬度为 **HRC60±2** 的钢砧上，回弹仪的率定值应为 **80±2**。

**第 2.1.3 条** 回弹仪的率定试验，宜在气温为 **20±5℃** 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第 **2.1.2** 条第 **3** 项的要求。

### 第二节 检 验

**第 2.2.1 条** 当遇有下列情况之一时，回弹仪应送专门检定机构检验；

一、新回弹仪启用前；

二、超过检定有效期；

三、累计弹击次数超过 **6000** 次；

四、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;

五、弹击拉簧前端不在拉簧座原孔位或调零螺丝松动;

六、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。

**第 2.2.2 条** 当遇下列情况之一时,应在钢砧上进行率定试验:

一、回弹仪当天使用前;

二、测试过程中对回弹值有怀疑时。

当仪器率定值不在  $80 \pm 2$  的范围内时,应按本规程第 2.4.2 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。

### 第三节 操 作

**第 2.3.1 条** 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。

### 第四节 维 护

**第 2.4.1 条** 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。

**第 2.4.2 条** 仪器有下列情况之一时,应将仪器拆开维护:

一、弹击超过 2000 次;

二、仪器发生故障或零件损坏时;

三、率定试验不合要求。

**第 2.4.3 条** 回弹仪拆开维护,应按下列步骤进行:

一、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;

二、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。

**第 2.4.4 条** 回弹仪的拆开维护，应注意下列事项：

一、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；

二、应保持弹击拉簧前端钩入拉簧座的原孔位；

三、不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝；

四、不得自制或更换零部件。

## 第三章 超声波检测仪器

### 第一节 超声波检测仪技术要求

**第 3.1.1 条** 超声波检测仪应通过技术鉴定，并必须具有产品合格证。

**第 3.1.2 条** 仪器的声时范围应为  $0.5\sim 9999\mu\text{s}$ ，测读精度为  $0.1\mu\text{s}$ 。

**第 3.1.3 条** 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， $2\text{h}$  内声时显示的漂移不得大于  $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

**第 3.1.4 条** 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。

**第 3.1.5 条** 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  $1\text{m}$ 。

**第 3.1.6 条** 仪器应能适用于温度为  $-10^{\circ}\text{C}\sim +40^{\circ}\text{C}$ 、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  $4\text{h}$  正常工作。

### 第二节 换能器技术要求

**第 3.2.1 条** 换能器宜采用厚度振动形式压电材料。

**第 3.2.2 条** 换能器的频率宜在  $50\sim 100\text{kHz}$  范围以内。

**第 3.2.3 条** 换能器实测频率与标称频率相差应不大于  $\pm 10\%$ 。

### 第三节 超声仪器检验和操作

**第 3.3.1 条** 超声仪器检验时应满足下列要求；

- 一、缓慢调节延时旋钮，数字显示满足十进位递变的要求；
- 二、调节聚焦、辉度和扫描延时旋钮，扫描基线清晰稳定；
- 三、换能器与标准棒耦合良好，衰减器及发射电压正常；
- 四、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 $\pm 0.5\%$ 。

**第 3.3.2 条** 超声仪器应按下列步骤进行操作：

- 一、操作前应仔细阅读仪器使用说明书；
- 二、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；
- 三、换能器与标准棒应耦合良好，调节首波幅度至 30~40mm 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；
- 四、在实测时，接收信号的首波幅度均应调至 30~40mm 后，才能测读每个测点的声时值。

### 第四节 检测仪器维护

**第 3.4.1 条** 超声仪应按下列规定进行维护：

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

**第 3.4.2 条** 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。

## 第四章 测区回弹值及声速

### 值的测量与计算

#### 第一节 一般规定

**第 4.1.1 条** 测试前应具备下列有关资料：

- 一、工程名称及设计、施工、建设单位名称；
- 二、结构或构件名称、施工图纸及要求的混凝土强度等级；
- 三、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；
- 四、模板类型，混凝土浇灌和养护情况以及成型日期；
- 五、结构或构件存在的质量问题。

**第 4.1.2 条** 测区布置应符合下列规定：

- 一、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；
- 二、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；
- 三、对长度小于或等于 2m 的构件，其测区数量可适当减少，但不应少于 3 个。

**第 4.1.3 条** 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：

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

**第 4.1.4 条** 构件的测区，应满足下列要求：

- 一、测区布置在构件混凝土浇灌方向的侧面；
- 二、测区均匀分布，相邻两测区的间距不宜大于 **2m**；
- 三、测区避开钢筋密集区和预埋件；
- 四、测区尺寸为 **200mm×200mm**；

五、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，并搞净残留粉尘。

**第 4.1.5 条** 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。

**第 4.1.6 条** 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。

**第 4.1.7 条** 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。

## 第二节 回弹值的测量与计算

**第 4.2.1 条** 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。

**第 4.2.2 条** 应按《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》的要求，对构件上每一测区的两个相对测试面各弹击 **8** 点，每一测点的回弹值测读精确至 **1.0**。

**第 4.2.3 条** 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。

**第 4.2.4 条** 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：

$$R_m = \sum_{i=1}^{10} R_i / 10 \tag{4.2.4}$$

式中  $R_m$ ——测区平均回弹值，计算至 0.1；  
 $R_i$ ——第  $i$  个测点的回弹值。

第 4.2.5 条 非水平状态测得的回弹值，应按下列公式修正：  
$$R_a = R_m + R_{a\alpha} \tag{4.2.5}$$


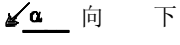
式中  $R_a$ ——修正后的测区回弹值；  
 $R_{a\alpha}$ ——测试角度为  $\alpha$  的回弹修正值，按表 4.2.5 选用。

第 4.2.6 条 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：  
$$R = R_m + (R_a^a + R_a^b) \tag{4.2.6}$$

式中  $R_a^a$ ——测顶面时的回弹修正值，按表 4.2.6 选用；  
 $R_a^b$ ——测底面时的回弹修正值，按表 4.2.6 选用。

非水平状态测得的回弹修正值  $R_{a\alpha}$

表 4.2.5

测试角 度  $R_m$	 向 上				 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  $\alpha=0^\circ$  时，修正值为 0；  
2. 表中未列数值，可用内插法求得。



由混凝土浇灌的顶面或底面测得的回弹修正值 **R**, **R**

表 4.2.6

<div>测试面</div> <div><i>R<sub>m</sub></i></div>	顶面	底面
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；  
2. 表中未列数值，可用内插法求得。

**第 4.2.7 条** 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。

第三节 超声声速值的测量与计算

**第 4.3.1 条** 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内。

**第 4.3.2 条** 测量超声声时时，应保证换能器与混凝土耦合良好。

**第 4.3.3 条** 测试的声时值应精确至 0.1μs，声速值应精确至 0.01km/s。超声测距的测量误差应不大于±1%。

**第 4.3.4 条** 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。

**第 4.3.5 条** 测区声速应按下列公式计算：

$$v=l/t_m \tag{4.3.5-1}$$

$$t_m=(t_1+t_2+t_3)/3 \tag{4.3.5-2}$$

式中  $v$ ——测区声速值,  $\text{km/s}$ ;

$l$ ——超声测距,  $\text{mm}$ ;

$t_m$ ——测区平均声时值,  $\mu\text{s}$ ;

$t_1, t_2, t_3$ ——分别为测区中 3 个测点的声时值。

**第 4.3.6 条** 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:

$$v_a = \beta v \quad (4.3.6)$$

式中  $v_a$ ——修正后的测区声速值,  $\text{km/s}$ ;

$\beta$ ——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,  $\beta=1$ 。

## 第五章 混凝土强度的推定

**第 5.0.1 条** 构件第  $i$  个测区的混凝土强度换算值  $f_{cu,i}^c$ ，应根据第 4.2.4~4.2.6 条、第 4.3.5~4.3.6 条规定的修正后的测区回弹值  $R_{ai}$  及修正后的测区声速值  $v_{ai}$ ，优先采用专用或地区测强曲线推定。当无该类测强曲线时，经验证后也可按附录二的规定确定，或按下列公式计算：

一、粗骨料为卵石时

$$f_{cu,i}^c = 0.0038 (v_{ai})^{1.28} (R_{ai})^{1.95} \quad (5.0.1-1)$$

二、粗骨料为碎石时

$$f_{cu,i}^c = 0.008 (v_{ai})^{1.72} (R_{ai})^{1.57} \quad (5.0.1-2)$$

式中  $f_{cu,i}^c$  ——第  $i$  个测区混凝土强度换算值，MPa，精确至 0.1MPa；

$v_{ai}$  ——第  $i$  个测区修正后的超声声速值，km/s，精确至 0.01km/s；

$R_{ai}$  ——第  $i$  个测区修正后的回弹值，精确至 0.1。

**第 5.0.2 条** 当结构所用材料与制定的测强曲线所用材料有较大差异时，须用同条件试块或从结构构件测区钻取的混凝土芯样进行修正，试件数量应不少于 3 个。此时，得到的测区混凝土强度换算值应乘以修正系数。修正系数可按下列公式计算：

一、有同条件立方试块时

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} / f_{cu,i}^c \quad (5.0.2-1)$$

## 二、有混凝土芯样试件时

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} / f_{cu,i} \quad (5.0.2-2)$$

式中  $\eta$ ——修正系数，精确至小数点后两位；  
 $f_{cu,i}$ ——第  $i$  个混凝土立方体试块抗压强度值，（以边长为 150mm）MPa，精确至 0.1MPa；  
 $f_{cu,i}^c$ ——对应于第  $i$  个立方试块或芯样试件的混凝土强度换算值，MPa，精确至 0.1MPa；  
 $f_{cor,i}$ ——第  $i$  个混凝土芯样试件抗压强度值，（以  $\phi 100 \times 100$ mm 计），MPa，精确至 0.1MPa；  
 $n$ ——试件数。

**第 5.0.3 条** 结构或构件的混凝土强度推定值  $f_{cu,e}$  可按下列条件确定：

一、当按单个构件检测时，单个构件的混凝土强度推定值  $f_{cu,e}$ ，取该构件各测区中最小的混凝土强度换算值  $f_{cu,min}^c$ 。

二、当按批抽样检测时，该批构件的混凝土强度推定值应按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m f_{cu}^c - 1.645 s f_{cu}^c \quad (5.0.3-1)$$

式中的各测区混凝土强度换算值的平均值  $m f_{cu}^c$  及标准差  $s f_{cu}^c$ ，应按下列公式计算：

$$m f_{cu}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (5.0.3-2)$$

$$s f_{cu}^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n (m f_{cu}^c)^2}{n-1}} \quad (5.0.3-3)$$