

附件二

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

CECE 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：1988年11月22日

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_{cur} ——混凝土芯样试件抗压强度值；
- l ——超声测距；
- m ——同批中构件数；
- $m_{f_{cu}}$ ——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；
- $R_{a\alpha}$ ——非水平状态下测得的测区回弹修正值；
- R_a^t 、 R_a^b ——由顶面或底面测得的测区回弹修正值；
- $S_{f_{cu}}^c$ ——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^c ——空气声速计算值；
- v^0 ——空气声速实测值；
- β ——超声测试面修正系数；
- η ——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°C 或高于 60°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}^x)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 $e_r \leq \pm 12\%$ ；
- 二、地区测强曲线，相对标准误差 $e_r \leq \pm 14\%$ 。

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±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 回弹仪的拆开推护，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 $0.5\text{--}9999\mu\text{s}$ ，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 $20\text{--}30\mu\text{s}$ 范围内时，2h内声时显示的漂移不得大于 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

第3.1.4条 仪器的放大器频率响应宜分为 $10\text{--}200\text{kHz}$ ， $200\text{--}500\text{kHz}$ 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 1m 。

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4h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 $50\text{--}100\text{kHz}$ 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 $30\text{--}40\text{mm}$ 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；
- 四、在实测时，接收信号的首波幅度均应调至 $30\text{--}40\text{mm}$ 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、在搬运过程中需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，并擦净残留粉尘。

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：

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

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：

$$R_a = R_m + R_{a\alpha}$$

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。

第4.2.6 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：

$$R_a = R_m + (R_a^t + R_a^b)$$

式中 R_a^t -----测顶面时的回弹修正值，按表2选用；

R_a^b -----测底面时的回弹修正值，按表2选用。

非水平状态测得的回弹修正值 $R_{a\alpha}$

表1

测试 角度	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. 当测试角度 $\alpha=0^\circ$ 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_a^t 、 R_a^b

表 2

测试面 R_m	顶 面	底 面
	20	+2.5
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 $0.1 \mu s$ ，声速值应精确至 $0.01 km/s$ 。
超声测距的测量误差应不大于 $\pm 1\%$ 。

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：

$$v = l / t_m$$

$$t_m = (t_1 + t_2 + t_3) / 3$$

式中 v ——测区声速值， km/s ；

l ——超声测距， mm ；

t_m ——测区平均声时值， μs ；

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：

$$v_a = \beta v$$

式中 v_a ——修正后的测区声速值， 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， $\beta=1$ 。

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

$$f_{cu,i}^c = 0.0038 (v_i)^{1.23} (R_{ai})^{1.95}$$

二、粗骨料为碎石时

$$f_{cu,i}^c = 0.008 (v_{ai})^{1.72} (R_{ai})^{1.57}$$

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

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

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} / f_{cu,i}^c$$

二、有混凝土芯样试件时

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} / f_{cu,i}^c$$

式中 η ----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计）MPa，精确至0.1 MPa；

$f_{cu,i}^c$ ----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0.1 MPa；

$f_{cor,i}$ ----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0.1 MPa；

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：

$$f_{cu,c} = m_{f_{cu}}^c - 1.645 S_{f_{cu}}^c$$

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：

$$m_{f_{cu}}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c$$
$$S_{f_{cu}}^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}}^c)^2}{n-1}}$$

三、当同批测区混凝土强度换算值标准差 $S_{f_{cu}}^c$ 过大时，批构件的混凝土强度推定值也可按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu,\min}}^c = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{cu,\min,j}^c$$

式中 $m_{f_{cu,\min}}^c$ ——该批每个构件中最小的测区混凝土强度换算值的平均值，MPa；

$f_{cu,\min,j}^c$ ——第j个构件中的最小测区混凝土强度换算值，MPa；

m ——批中抽取的构件数。

第5.0.4条 当属同批构件按批抽样检测时，若全部测区强度的标准差出现下列情况时，则该批构件应全部按单个构件检测：

一、当混凝土强度等级低于或等于C20时： $S_{f_{cu}}^c > 4.5$ MPa；

二、当混凝土强度等级高于C20时： $S_{f_{cu}}^c > 5.5$ MPa。

附录一 建立专用或地区混凝土强度曲线的基本要求

- 一、采用中型回弹仪，并应符合本规程第二章第一节的各项要求。
- 二、采用低频超声波检测仪，并应符合本规程第3.1.1-3.1.6条的要求。
- 三、选用的换能器应符合本规程第三章第二节的各项要求。

四、混凝土用水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥与粉煤灰硅酸盐水泥》的要求，混凝土用砂、石应符合现行部标准《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》和《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》的要求。

五、选用本地区常用水泥、粗骨料、细骨料，按最佳配合比制作混凝土强度等级为C10-C50的边长为150mm立方体试块。

六、试块试验应按下列步骤进行：

- 1、分别按龄期为7d、14d、28d、60d、90d、180d和365d进行立方体试块强度试验；
- 2、每一龄期的每组试件由3个（或6个）试块组成；
- 3、每种混凝土强度等级的试块数不应少于30块，并宜在同一天内用同条件的混凝土成型；
- 4、试块采用振动台成型，成型后第二天拆模；
- 5、如系自然养护，应将试块移至不直接受日晒雨淋处，按品字形堆放，盖上草袋并浇水养护。如用蒸汽养护，则试块静停时间和养护条件应与构件预期的相同。

七、试块声时值测试，应按下列规定进行：

- 1、试块声时测量，应取试块浇灌方向的侧面为测试面，宜采用黄油为耦合剂；
- 2、声时测量应采用对测法，在一个相对测试面上测3点（测点布置见附图），发射和接收换能器轴线应在一直线上，试块声时值 t_m 为3点平均值，保留小数点后一位数字。试块边长测量精确至1mm，测量误差不大于1%；

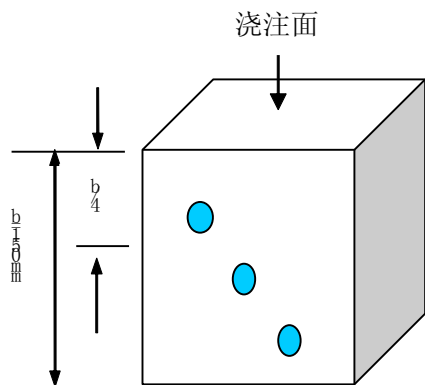
3、试块的声速值应按附1-1计算。

$$v = l / t_m \quad (\text{附1-1})$$

式中 v ——试块声速值，km/s，精确至0.01km/s；

l ——超声测距，mm。

八、试块回弹值应按下列规定进行测试：



1、回弹值测量应选用不同于声时测量的另一相对侧面。将试块油污擦净放置在压力机上下承压板之间，加压至30-50kN，并在此压力下，在试块相对测试面上按本规程第4.2.2条规定各测8点回弹值，剔除3个最大和最小值，将余下10个回弹值的平均值作为该试块的回弹值 R_a ，计算精确至0.1；

附图 声时测量测点布置示意

2、回弹值测试完毕后卸荷，将回弹面放置在压力承压板间，以每秒 6 ± 4 kN的速度连续均匀加荷至破坏。抗压强度值 f_{cu} 精确至0.1 MPa。

九、测强曲线应按下述步骤进行计算：

1、将各试块测试所得的声速值 v_a 、回弹值 R_a 及试块抗压强度值 f_{cu} 汇总，进行多元回归分析和误差分析：

2、回归分析时，可采用下列回归方程式：

$$f_{cu}^c = a(v_a)^b (R_a)^c \quad (\text{附1-2})$$

式中 a ——常数项系数；

b 、 c ——回归系数；

f_{cu}^c ——混凝土强度换算值，MPa。

相对标准误差 e_r ，可按下列公式计算：

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i} / f_{cu,i}^c - 1)^2}{n-1}} \times 100\% \quad (\text{附1-3})$$

式中 e_r ——相对标准误差，MPa；

$f_{cu,i}$ ——第 i 个立方体试块抗压强度，MPa；

$f_{cu,i}^c$ ——对应于 i 个立方试块按附1-2式计算的强度换算值，MPa；

十、经上述计算，如回归方程式的误差符合本规程第1.0.7条要求，则可报请有关部门批准，作为专用或地区测强曲线。

十一、按回归方程式，列出 $f_{cu}^c - v - R$ 测区混凝土强度换算表。超声声速应精确至0.01km/s，回弹值应精确至0.1，强度值应精确至0.1MPa。

十二、强度换算表限于所试验的范围，不得外推。

附录二 测区混凝土强度换算表

本附录的强度换算表适用于下列条件的普通混凝土：

一、混凝土用水泥应符合国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥与粉煤灰硅酸盐水泥》的要求；

二、混凝土用砂、石骨料应符合《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》和《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》的要求；

- 三、掺或不掺减水剂或早强剂；
- 四、人工或一般机械搅拌、成型；
- 五、钢模或木模，符合《钢筋混凝土工程施工及验收规范》的有关规定；
- 六、自然养护；
- 七、龄期为7-730d。如超过此龄期时，可钻取混凝土芯样进行修正；
- 八、混凝土强度等级为C10-C50。

附表2-1 测区混凝土强度换算表（卵石）略

附表2-2 测区混凝土强度换算表（碎石）略

附录三、附录四、附录五、附录七、附加说明 略

附录六 用超声仪在空气中实测声速的检验方法

一、测试步骤

取常用平面换能器一对，接于超声波仪器上，开机预热30min，在空气中将两换能器幅射面对准，在变动两幅射面彼此相隔距离的情况下（如0.10m, 0.15m, 0.20m, 0.25m, 0.30m, 0.35m, 0.40m），将接收信号尽可能放大，以手动游标或自动关门方式测出相应于各间距的声时读数 t_1, t_2, t_3, \dots 。同时测量空气温度 T （准确至 0.2°C ）。

测量时应注意下列事项：

- 1、换能器间距的测量误差应小于或等于0.5%；
- 2、换能器宜悬空相对，若置于地板或桌上时，须在换能器下面垫以海绵块。

二、计算空气声速

以换能器距离为纵座标，声速读数为横座标，将各组数据点绘在直角座标图上，各点应在一直线上。在座标纸上画出该直线，并算出直线斜率，即为空气声速实测值 v° 。

三、空气声速计算值按下式计算：

$$v^c = 340.3\sqrt{0.948 + 0.00347T}$$

式中 v^c ——空气声速计算值，m/s；

T ——空气温度， $^\circ\text{C}$ 。

四、误差计算

空气声速计算值 v^c 与空气声速实测值 v° 之间相对误差 e_r ，按下列公式计算：

$$e_r = \frac{v^c - v^\circ}{v^c} \times 100\%$$

超声仪在正常情况下，相对误差值不应大于0.5%。

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

条文说明

第一章 总 则

第1.0.1条 本条所指回弹仪，系为标准动能为2.207J（焦耳），指针直读式、自记式或带计算器处理的回弹仪；低频超声仪系指工作频率范围为10-500kHz的超声仪；普通混凝土为国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》规定的单位体积重量为1900-2500kg/m³的混凝土。

超声回弹综合法是国际上60年代发展起来的一种非破损检测方法，由于测试精度较高，已在我国混凝土工程上广泛应用。这种综合法是建立在超声波传播速度和回弹值同混凝土抗压强度之间相互联系的基础上的，以声速和回弹值综合反映混凝土的抗压强度。综合法与单一方法相比，精度高，适应范围广。

第1.0.2条 在正常情况下，混凝土质量的检查，应按国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》中第四章第六节的规定，采用标准试块的抗压强度来检验混凝土的强度质量。不允许采用本规程去取代国家标准制作试块的要求。

但是，由于管理不善、施工质量不良，试块与结构中混凝土质量不一致或对试块检验结果有怀疑时，可按本规程进行检测，推定混凝土强度，并可作为处理混凝土质量问题的一个主要依据。

第1.0.3条 对于长龄期混凝土，因混凝土碳化层对测试结果的影响较大，因此，只有在钻取芯样试件作校核条件下，才能按本规程对结构或构件进行检测和强度推定。

第1.0.4条 本规程适用于单位体积重量为1900-2500kg/m³的混凝土，不适用于下列情况的结构混凝土。

1、混凝土在硬化期间遭受冻害、化学侵蚀、火灾、高温损伤后，因已不符合混凝土内外基本一致的前提，所以本规程规定的方法不适用。但可除去破坏层后测试，或钻取芯样进行检测，以确定其损害程度。

2、被测构件厚度小于100mm，一般刚度较差，当用回弹仪测试时会使构件产生颤动，测得的回弹值偏低。

3、综合法采用回弹仪和超声波检测仪，当结构表面温度低于-4℃时，在混凝土中水结冰，体积增大，致使混凝土不是本身质量状态，因此，测试误差偏大。如果高

于60℃，已超过仪器例行使用温度，仪器元件性能发生变化，也会造成误差偏大。

第1.0.5条 本规程推定的混凝土强度不等于施工现场取样成型，在标准养护条件下养护28天的试块抗压强度。因为综合法测试的对象是建成结构上的混凝土强度，测试时龄期并不会刚好等于28天。但为了便于与常用的混凝土标准强度建立联系。在测强曲线建立时，以边长为150mm的立方体试块作为基准，在试验结果分析时，取具有95%保证率的强度值作为其推定值。

第1.0.6条 由于原材料中骨料的品种及粒径，混凝土的养护方式（蒸气或自然养护）都对综合法测试结果有较大的影响，在建立测强曲线时应考虑这些因素。此外，综合法虽然可以消除一些龄期影响，但如建立测强曲线所用的龄期范围与实际检测的混凝土龄期相差过大，也会造成一定误差。因此，在建立测强曲线时应考虑这一因素。

第1.0.7条 由于我国幅员辽阔，混凝土品种繁多，材料分散，凡有条件的地区或省、自治区、直辖市，可根据本地区常用的代表性材料。成型养护工艺和龄期为基本条件，制作一定数量的试块，进行超声、回弹测试和抗压试验，建立地区曲线或某一大型建设工程专用测强曲线，这种曲线，对于本地区或本工程来说，它的适应性和强度推定误差均优于全国基准曲线。

来自全国27个单位提供的计算综合法测强曲线数据表明：各地区测强曲线相对标准误差 e_r ，一般均小于±14.0%，其主要原因是专用或地区曲线所用原材料分散性小，因此要求它的相对误差比全国曲线相对误差要小。所以本规程规定专用测强曲线 e_r 小于或等于±12.0%，地区测强曲线 e_r 小于或等于±14.0%。

第1.0.8条 由于专用及地区测强曲线准确性比较高，检测结构或构件的混凝土强度时，应优先采用。若缺少该类曲线，须按本标准附录三规定，用该工程所用的材料及条件进行验证并校核后，方可采用通用测强基准曲线。

第1.0.9条 因超声仪系精密电子仪器，线路较为复杂，回弹仪系机械式测试仪器，各部零件装配、校验都必须按规定进行。因此，对上述两种仪器应用、校验和维护，都应进行专门培训。采用超声回弹综合法测试，虽测试精度较高，但比其他非破损法复杂，所以对于综合法测试、计算等技术也应经过专门培训、考核。

第1.0.10条 采用综合法测试推定混凝土强度，特别是在施工现场测试，现场用电、高空作业等，都应遵守现场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 本规程采用回弹仪为中型回弹仪，国内外常采用直射式，也有摆式；从显示值系统分为游标直读式、数字显示、自动记录、自动打印和微机处理式等，适应本规程用回弹仪，只要是冲击动能为2.207J(0.225kgf-m)，并经过有关部门正式鉴

定的都可以使用。

仪器制造厂生产的回弹仪，必须确保仪器规定的质量标准，因此每台出厂的回弹仪，应有产品合格证。

第2.1.2条 回弹仪的标准状态是统一仪器性能的基础，是使回弹法广泛应用于现场的关键所在，只有采用质量统一、性能一致的回弹仪，才能保证测试结果的可靠性，并能在同一水平上进行比较。

本条所指的标准状态就是指回弹仪在工作时应达到的具体指标，也就是回弹仪质量合格的主要指标。

回弹仪在工作时标准状态可归纳为三项：

1、当回弹仪水平弹击时，弹击锤脱钩的瞬间，回弹仪的标称动能 E ，即弹击拉簧恢复原始状态所作的功为：

$$E = \frac{1}{2} Cl^2 = \frac{1}{2} \times 784.532 \times 75^2 = 2.207J$$

式中 C ——弹击拉簧的刚度系数 (N/m)；

l ——弹击拉簧的拉伸长度(mm)。

由此可见，弹簧的刚度系数和拉伸长度直接影响回弹仪的标称动能。

2、弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间，弹击拉簧应处于自由状态，此时弹击锤起跳点应相应于刻度尺上的“0”处。要满足这两个要求，根据回弹仪有关零件的尺寸计算，必须使：

弹击拉簧的工作长度 $l_0 = 61.5\text{mm}$ ；

弹击拉簧的拉伸长度 $l = 75.0\text{mm}$ 。

此时弹击锤应在相应于刻度尺上的“100”处脱钩，也即在“0”处起跳。

试验表明，当弹击拉簧的工作长度、拉伸长度不符合以上规定要求时，各台仪器测得的回弹值离差相当大。

3、回弹仪经过校准后，为检验仪器在工作状态下各部零件的装配性能，回弹仪率定值应为 80 ± 2 。当然，由于各部分零件加工和装配都有一定公差范围，因此，即使回弹仪各零部件设计、加工都符合要求，各台回弹仪的重锤起跳点也未必都相应于刻度上的“0”处起跳，此时调整螺丝只起着调“0”的作用，而无调整率定值的功能。

第2.1.3条 此条为回弹仪作率定试验时的条件和方法。

第二节 检 验

第2.2.1条 为了进一步校验每一台用于工程测试回弹仪的实际质量和检查每台回弹仪在运输贮存过程中，可能造成的性能影响，新仪器（国产、进口）启用前应送检定单位进行检定。

由于弹击拉簧、弹簧座、弹击杆、中心导杆等主要零件经过更换或弹击拉簧前端

不在拉簧座孔或调零螺丝松动或回弹仪遭受严重撞击或其他损坏等，都会使回弹仪偏离标准状态，因此应将回弹仪送检定单位进行检验，并作必要的更换和校正。

在正常情况下，回弹仪送检定单位校验后的有效期以使用一年或累计弹击6000次为限。对于经常进行检测的回弹仪，应经常进行校验率定。

第2.2.2条 此条是为了保证在使用过程中及时发现和纠正回弹仪的非标准状态。

第三节 操 作

第2.3.1条 回弹仪在操作过程中，应着重注意以下二点：

- 1、回弹仪的轴线应始终与结构或构件测试面保持垂直；
- 2、缓慢均匀地将回弹仪垂直施压在测试面，在弹击重锤脱钩前不得施加冲力。

第四节 维 护

第2.4.1条 回弹仪使用完后，应及时清理擦拭干净。弹击杆压入机壳必须是待弹击后，使重锤脱钩才按下按钮锁住机芯，仪器宜平置贮存在干燥阴凉处。

第2.4.2-第2.4.4条 主要是对回弹仪常规保养所作的具体规定和要求，须注意指针块应经常保持清洁，但不得抹油。

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 为了保证超声仪的质量，仪器制造厂在正式投产之前，对试制样机的技术指标须经严格考核，经有关技术专家和工程技术人员评议审查，并通过技术鉴定。

批量生产的每台超声仪器出厂前，必须确保规定的质量指标，出厂仪器应具有质量检查合格证。

第3.1.2条 仪器声时测读范围是由仪器能测混凝土最大距离决定的。一般低频超声检测仪有效的最大探测距离在10m以上，如混凝土声速为4.00km/s，声时达2500 μ s，本条规定声时范围为0.5-9999 μ s，测读精度为0.1 μ s，足可满足不同测距要求。

仪器声时测读精度直接影响强度测量的准确度，因此，除声时控制在 $\pm 1\%$ 误差范围内，超声测距测量误差也应满足不大于 $\pm 1\%$ 。

第3.1.3条 仪器的稳定性是准确测量数据的基础，一般要求仪器能连续工作4小时以上，在工作期间仪器性能必须保持稳定。超声仪器的时间测读精度为0.1 μ s，它取决于晶体振荡器（10MHz）和计时门控方波的稳定可靠程度。在两个小时内声时最小数字显示漂移不大于 $\pm 0.2\mu$ s时，即可认为仪器稳定性能良好。

第3.1.4条 仪器的放大器频率响应与接收信号信噪比、放大倍数、信号失真度等因素有关。一般混凝土构件超声检测时使用频率为10kHz~200kHz，所以仪器的频响在10~500kHz即能满足要求。

如仪器的频响太宽，由于现场外界信号的干扰，使信噪比降低，为改善信噪比，可把放大器频响分成几段。

第3.1.5条 超声波仪器除了测量传播时间、信号幅度以外，有时还要求波形显示，因此，要求超声仪器宜具有示波屏。波形显示的优点有：

1、接收波形的首波起始点能清晰可辨，利用手动标记信号使与首波起始点重合，可测读时间，避免丢波；

2、利用首波等幅测量传播时间，可减少误差。如采用等压换能器，还可减少耦合影响，提高测试精度；

3、衰减测量也需要观察波形，且调节固定接收信号的首波幅度；

4、测量混凝土内部缺陷时，须观察波形的畸变和衰减程度。

第3.1.6条 超声仪器在出厂前采取抽样进行例行试验，包括温度、相对湿度、振动和电源电压波动等试验。例行试验时即要求保证仪器能在-10℃~+40℃环境下正常工作。基本能适应我国寒冷和炎热天气的测试环境。相对湿度小于或等于80%的规定是为了避免仪器的电子元件不被电击穿而损坏仪器。由于施工现场供电网络电压波动较大，因此，要求仪器在220V±10%波动范围内也能正常工作。

第二节 换能器技术要求

第3.2.1条 平面测试中采用的换能器，大多数是厚度伸缩模式振动，而孔中测试所用的换能器通常采用径向振动模式的增压式换能器。因综合法均属平面测试，故宜采用厚度振动模式换能器。

第3.2.2条 混凝土超声检测的换能器选择以测量声时精度要求、探测距离以及混凝土质量而定，一般频率选择在70~200kHz。试块测量及测距小于1m的结构测量，可用50~100kHz的换能器。对测距在1m以上的结构测试，可用25或50kHz的换能器。

第3.2.3条 换能器实测与标称的频率相差应不大于±10%。频率相差过大，可能造成数据分析比较没有规律性。所以，对换能器规定这一指标要求，也可有效促进换能器生产质量的提高。

第三节 超声仪器检验和操作

第3.3.1条 超声仪器检验。

1、为了解数字显示电路和集成元件工作是否正常，在试验之前或定期对数字及十进位显示作逐步检查，检查内容有：数码显示是否正常，调节延时旋钮，观察数码显示是否满足十进位要求（对于自动整形关门仪器，如JC-2、PUNDIT等，则采用调整

接收、发射换能器之间距离，来检查数码显示是否正常）。凡不按顺序递变显示的，均属仪器数显不正常，将会导致测读数据错误。因此，须注意此项检验。

2、在测试过程中，要求仪器扫描线和波形清晰稳定。因此，测试前须调节聚焦、辉度和扫描延迟旋钮，一方面是检查这些控制元件作用功能，同时也检查仪器是否满足上述要求；

3、换能器应与标准棒耦合良好后，调整增益时，观察波形信号是否随增益大小而变化。然后将增益置于最大，调节衰减器观察波形信号是否随衰减值增大而减少。再调节发射电压，也观察波形信号是否随电压增大而增大，通过上述检验如仪器工作正常，则该仪器可认为符合测试要求。如果每次检查均采用同技术条件（即包括所采用换能器频率、导线、耦合条件、脉冲重复频率和发射电压等保持一致），并定期检查记录，这样就可以了解仪器的稳定性和灵敏度性能；

4、这样检验方法为定期检验仪器综合性能的稳定性提供一种理论值的标准。

第3.3.2条 为仪器操作使用所做的规定。

第四节 检测仪器维护

第3.4.1~第3.4.2条 规定了超声仪和换能器的维护保养和存放要求。只有正确操作仪器和维护保养，测试仪器才能处于正常状态，检测的数据才正确可靠。

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 本条2~5项资料系对结构或构件检测混凝土强度应具有的必要资料。

第4.1.2条 规定超声回弹综合法检测结构或构件测区布置的原则。测区是指同时进行超声回弹测试，以提供分析用测试数据的测量单元。

第4.1.3条 按批抽样检测时，符合1~4项条件的构件才可作为同批构件。

第4.1.4条~第4.1.5条 是对布置测区的规定和要求。

第4.1.6条~第4.1.7条 进行“综合法”测试和计算测区混凝土强度的规定。

第二节 回弹值的测量与计算

第4.2.1条 因为在建立测强基准曲线时，是将回弹仪置于水平方向测试混凝土试块成型侧面。在一般情况下，均应按此要求进行回弹值测试。如果当结构或构件不能满足这一要求时，也可将回弹仪置于非水平方向（如测试屋架复杆、基础坡面），以及混凝土表、底面（如地下室顶板、某些柱子等）测试，但测试时回弹仪的轴线方向仍应与结构或构件的测试面相垂直。回弹值按本规程第4.2.5条和第4.2.6条进行修

正。

第4.2.2条~第4.2.3条 规定测区测点数量及测点位置。

第4.2.4条 关于在测区内应选多少个测点测得回弹值，以及如何取舍、取平均值等问题，大多数国家均以能符合统计原理的要求来确定，但具体的测点数和取舍方法又各不相同。本规程按照《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》规定，采用从16个测点中舍去最大和最小回弹值各3个后，取余下的10个回弹值加以平均的方法，计算结果表明：标准差较小，而且测试和计算过程十分简捷。在建立测强曲线时，在试块上和工程检测时在结构或构件上的测试，其取舍方法应一致。

第4.2.5条~第4.2.6条 当测试条件不得满足在水平方向和混凝土浇注侧面测试时，允许在非水平状态测试混凝土顶、底面，测试后按表4.2.5和表4.2.6修正。

第4.2.7条 本条规定先进行角度修正后再进行浇注面修正。

第三节 超声声速值的测量与计算

第4.3.1条~第4.3.4条 为了准确测量超声声时，在构件检测时，应在构件相对面布置测区，测区尺寸位置应准确，超声测试时才能保证收、发换能器轴线在一直线上。

声时测量后按照测距计算出声速，要求在声时读数时，重复测试误差不超过 $\pm 1\%$ ，超声测距测量误差为 $\leq \pm 1\%$ ，只有按此要求才能保证声速的误差 $\leq \pm 2\%$ 。声时测读保留小数点后一位，声速保留小数点后二位数。

第4.3.5条 规定了测区声速的计算方法。

第4.3.6条 当超声测点在浇注方向侧面时，声速修正值为1.0，如需测试现浇构件上表面和底面时，或已安装好预制构件，只有上表面和底面可供测试时，根据中国建筑科学研究院结构所和中建四局科研所对试件侧面和上、下面分别进行超声波测试的结果认为：由于上表面强度低，底面强度高，综合起来与成型侧面是有区别的，另外，因浇捣表面不平整，因此会使声速偏低，所以进行上表面与底面测试时声速应进行乘以1.034修正。

第五章 混凝土强度的推定

第5.0.1条 在结构或构件测区上所取得的回弹值和超声声速值经修正后，优先用专用或地区测强曲线确定混凝土强度值。如无该类曲线，经验证后可按附录二或按公式5.0.1-1、5.0.1-2计算确定。

第5.0.2条 当结构所用原材料与制定测强曲线所用材料有较大差异时，须用同条件试块或在测区钻取混凝土芯样进行强度修正。本条规定了修正方法、要求和修正系数的计算方法。

第5.0.3条 本条规定了结构或构件的混凝土强度推定值可按单个构件检测，或

按批抽样检测两种方法推定。

根据国家现行标准《混凝土强度检验评定标准》(GBJ107-87)规定“混凝土强度等级应按照标准抗压强度 $f_{cu,k}$ 确定。立方体抗压标准强度系指按照标准方法制作和养护的边长为150mm的立方体试件,在28d龄期,用标准试验方法测得的,具有95%保证率的抗压强度”。而非破损检测混凝土强度,一般都是龄期超过28d后进行测试的,同时构件并非在标准条件下进行养护。因此,对结构和构件混凝土强度不能进行“评定”,而是通过非破损检测获得一些参数进行计算,最后进行“推定”。在国际上,一些采用非破损测试的国家,也未采用“评定”强度,而是采用具有95%保证率特征强度估计值。见表5.0.3-1所示。根据上述情况,本规程规定可用综合法测试结果对结构或构件混凝土进行强度推定。

国际及外国标准规定表

表5.0.3-1

国 别	标准名称, 编号	检测后强度鉴定	取 值
国际标 准 草 案	ISO/DIS 8045 硬化后的混凝土——用 回弹仪测定回弹值	可用它来估算混 凝土强度	
国际标 准 草 案	ISO/DIS 8017 硬化后的混凝土——超 声波脉冲速度的测定		
民主德 国	TGL 33437/01 用回弹或压痕试验测定 混凝土的抗压强度	估计强度	$Z_s = Z - 1.645S_z$
英 国	BS 1408P4 表面硬度法	对混凝土强度作近 似估计	
捷 克	732411 混凝土结构的非破损试 验	声和回弹值可用于 估价混凝土性能	
日 本	M3 混凝土抗压强度——回 弹值	推断混凝土抗压强 度	取其最小值
罗马尼 亚	STAZ 6652/1-8 应用“超声脉冲速度—— 回弹值”综合测定现场混 凝土强度的方法	采用多种系数进行 修正, 求出总影响 系数 C_t , 推定混 凝土强度	$f = f_c \cdot C_t$

将中国建筑科学研究院检测的一些工程混凝土强度推定情况列于表：5.0.3—2。

工程检测混凝土强度推定 表5.0.3—2

序	工程名称	混凝土设计标号	构件数量(件)	平均强度 MPa	标准差 MPa	f_1 MPa	f_2 MPa	$f_{cu,e}$ MPa	$f_{cu,min}^c$ (MPa)
1	某地书店1、2层柱	400	48	49.4	6.1	46.8	37.8	39.4	32.0
2	某地书店1、2层梁	400	60	47.6	5.9	45.0	40.9	37.9	34.7
3	某地书店3、4层柱	300	60	40.2	3.4	41.0	40.8	34.6	34.6
4	某厂宿舍梁	200	90	28.2	3.5	20.8	23.1	17.4	19.6
5	某招待所梁、柱	200	60	23.4	2.0	23.8	24.4	20.1	20.7
6	某厂厂房柱	200	48	16.9	1.8	16.5	15.5	13.9	13.3
7	某宿舍梁、柱	200	80	37.7	4.4	30.7	39.1	30.5	33.1
8	某地通讯楼1, 2层梁、柱	200	36	41.6	7.9	34.6	29.9	28.8	25.3
9	某地通讯楼3, 4层梁、柱	200	26	23.5	3.9	20.4	17.5	17.7	14.8

注：1. $f_1=1.18(mf-KSn)$; $f_2=1.18f_{min}$

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c}$$

2. 每个构件均布置10个测区

1. 为了使保证率达到95%，必须 $f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.64S_{f_{cu}^c}$

2. 为了考虑到 $S_{f_{cu}^c}$ 偏大，可能出现比最小值还小的情况，因此如果小于

$m_{f_{cu,min}^c}$ ，则取 $f_{cu,min}^c$ 作为推定值。

由上表可以看到9个工程中有3个工程第二条件值大于第一条件值（即4、5、7项），但从检验效果来看，有6个工程按两个条件来推定的结论是一致的（大于相应等级或不满相应等级值），但第1、4、8项3个工程用两个条件推定的结果不一样，其中1、8两项工程因标准差太大不能按批进行推定。第4项工程按第一个条件计算其推定值为17.4 MPa，小于相应等级值，但如按第二条件计算推定值为19.6，大于相应等级值C18。因此，本条规定：按单个构件检测时，取该条件各测区中最小的混凝土计算强度值 $f_{cu,min}^c$ ，作为该构件的混凝土推定强度值。按批抽检时，该批构件的混凝土推定强度

$f_{cu,e}$ 按

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c} \quad (5.0.3-1) \text{和}$$

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

两公式计算，取两者中较大值。

第5.0.4条 各测区间的标准差过大，则说明已有某此偶然因素在起作用，这些测区不能认为是属于同一母体，不能按批进行推定。本规程规定了按批检测时的离散性界限，超过此界限则应逐个检测，以找出确切的问题部位和原因。

附录一（略）

附录二 测区混凝土强度换算表

本规程测区混凝土强度换算表，适用于下列条件的普通混凝土：

一、根据浙江建研所对普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和粉煤灰水泥，以及中国建研院结构所、广西区建研所采用普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥的试验研究表明，水泥品种对超声回弹综合法测强，没有显著影响，同时还认为在综合法测强中，碳化深度影响亦不显著。

二、重庆市建研所采用3种品种的砂（河砂、特细砂、山砂）进行试验研究，经回归分析及方差分析认为，3种砂子对综合法测强影响不显著。中建四局科研所按贵州地方标准《山砂混凝土规定》中的两项指标（一是粉末含量的限值、二是坚固性为基准），通过试验表明，砂子种类、产源、含粉量和压碎指标，对超声回弹综合法测强影响是不显著的。

在综合法测强中，粗骨料（石子）影响，大家一致认为必须重视，因为超声波在不同石子品种传播速度有明显判别，因此，在强度计算也有明显差异。交通部一航局科研所、广西区建研所、四川省建研所和中国建研院结构所等都进行试验研究。从交通部一航局科研所和广西区建研所研究表明：石子品种对综合法测强影响是较为明显的。若以碎石为基准，卵石和花岗石混凝土的修正系数为0.68和0.99。四川省建研所和中国建研院结构所试验认为，石子品种不同，对综合法测强有较大影响。因此，本规程的综合法测强曲线，按碎石和卵石混凝土分别建立和使用。

三、据四川省建研所对掺与不掺所规定的减水剂和早强剂的试验研究表明，对综合法测强影响不显著。

四、此处的一般搅拌成型工艺，包括采用通常使用的自落式和强制式机械搅拌，采用平板、插入、附着式振动器成型的混凝土，以及采用滑模、拉模、泵送等工艺浇注混凝土，但不包括采用离心法、真空法、压浆法、喷射法的混凝土。

五、根据中建四局科研所、中国建研院结构所采用钢模和木模分别成型C10~C40的混凝土试块，按自然养护28天试压认为，两种模板的混凝土，对超声回弹综合法测强影响不显著。

六、用超声回弹综合法测强，对于短龄期混凝土强度的测试也能满足，国外曾用超声法测定早期混凝土强度，对于加快施工进度、缩短周期都具有较好的效果。一般情况是，当发现28天强度未达到设计要求时，就需要对结构混凝土进行检测，本规程提出的测强曲线，都是在7~730天龄期范围，因此在本龄期内换算强度，不必考虑龄期修正，如若超过此龄期，可钻取混凝土芯样进行修正。

自然养护，一般指在常温条件下，混凝土浇注完后，应在12小时以内加以覆盖和浇水，混凝土的浇水日期不得小于7昼夜，养护用水与拌制用水相同，浇水次数应能保持混凝土具有足够的润湿状态。

七、结构混凝土常采用的强度等级是C10~C40，一些特殊结构混凝土强度等级已达C50，在提供的制定全国基标曲线数据中，一般都是在10~50MPa范围，低于此范围下限于高于此范围上限的数据未统计计算，故本规程只适用于推定强度为10~50MPa的混凝土。

本附录测区强度换算表，系回弹仪按《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》的规定，调整成标准状态。且超声检测仪按经统一率定标准棒扣除 t_0 。并按《超声、回弹综合法测强暂行试验方法（初稿）》，以及测试技术和数据处理基本一致的条件下，由北京、上海、天津、黑龙江、吉林、山西、内蒙、安徽、河南、陕西、青海、新疆、四川、云南、广西、江苏、湖北、湖南、江西、福建、贵州、广州、南京、重庆等建研所、建筑公司，以及高等院校共29个单位，提供基本与现场同条件试块或制定地区测强曲线试块数据，共8096组试块的声速值、回弹值、碳化深度值和抗压强度值，将这批数据按各地区分别进行计算，然后选用10种综合法回归方程式，33种组合进行优选，并经编制组认真分析讨论，最后选定按卵石、碎石两个回归方程式作为全国基准曲线，如下表所示：

全国基准曲线

粗骨料 品 种	方 程 系 数 ($f_{cr}^c = a v_i^b R_i^c$)	试块数 量(块)	相关系 数(r)	相对标准 误差 e_r (%)	平均相对误 差 m_{er} (%)
------------	---	-------------	-------------	----------------------	-------------------------

卵石	a=0.0037937 b=1.228138 c=1.952291	2164	0.9118	15.6	13.2
碎石	a=0.00799839 b=1.723517 c=1.568536	3124	0.9153	15.6	13.1

附录三 用超声仪在空气中实测声速的检验方法

曾用CTS-25型超声波检测仪，50kHz换能器进行空气声速实测，测距分别为0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40(m)，声时读数分别以最大振幅、定振幅（4大格）情况下的手动游标测读及自动整形测读（信号尽量放大）测试结果如下表。

计算声速 v^c 按下式计算：

$$v^c = 340.3\sqrt{0.948 + 0.00347T}$$

式中 v^c ——计算声速；

T——室温，℃。

实测声速 v^e 按下面两表测试计算。

误差按正式计算：

$$e_r = \frac{v^c - v^e}{v^c} \times 100\%$$

下面两表计算表明，误差在0.3%以内。考虑到测读准确性因人而异，故本规程实测声速与计算声速相差不大于±0.5%作为判断仪器是否正常的标准。

室温27.5℃时测试数据

测 距 (m)		0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	实测声 速m/s	计算声 速m/s	e_r (%)
声 时 μs	最大振幅	287.7	431.9	574.3	716.3	858.7	1005.5	1149.7	348.28		-0.19
	定 振 幅	288.1	432.2	574.6	716.6	858.9	1006.5	1149.7	348.45	347.61	-0.24
	自动测读	290.1	433.3	575.8	718.0	859.9	1009.5	1149.7	348.60		-0.28

室温20.4℃时测试数据

测 距 (m)		0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	实测声 速m/s	计算声 速m/s	e_r (%)
声 时	最大振幅	281.4	427.9	571.9	717.9	862.7	1007.7	1157.2	434.1	434.48	0.11
	定 振 幅	281.7	428.1	572.4	718.0	862.9	1009.9	1157.6	434.0		0.15

μs	自动测读	283.3	429.9	574.0	720.8	865.0	1011.1	1159.8	432.9		0.17
---------	------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	--	------

附注：本书参考了国家建筑工程质量监督检测中心主编《混凝土无损检测技术》部分章节，仅供内部交流使用，详细资料请查阅该书及《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21:90，《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》02:88。