

中华人民共和国行业标准

回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

Technical Specification for Inspection of Concrete Compressive  
Strength by Rebound Method

**JGJ/T23-2001**

批准部门:中华人民共和国建设部

施行日期:2001 年 10 月 1 日

中国建筑工业出版社

2001 北 京

# 关于发布行业标准《回弹法检测混凝土 抗压强度技术规程》的通知

## 建标[2001]134号

根据建设部《关于印发〈一九九九年工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划〉的通知》(建标[1999]309号)的要求,由陕西省建筑科学研究设计院主编的《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》,经审查,批准为行业标准,该标准编号为JGJ/T23-2001,自2001年10月1日起施行。原行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23-92)同时废止。

本标准由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院负责管理,陕西省建筑科学研究设计院负责具体解释,建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版。

中华人民共和国建设部  
2001年6月29日

## 前 言

根据建设部建标[1999]309号文的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，修订了本规程。

本规程的主要技术内容是:1 总则; 2 术语、符号; 3 回弹仪; 4 检测技术; 5 回弹值计算; 6 测强曲线; 7 混凝土强度的计算。

本规程修订的主要技术内容是:1.规定了混凝土回弹仪的检定方法应按照国家现行标准《混凝土回弹仪》JJG817执行; 2.检测泵送混凝土制作的构件强度时应予修正; 3.扩大了统一测强曲线的适用范围; 4.改变了构件强度推定值的方法。

本规程由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院归口管理，授权由主编单位负责具体解释。

本规程主编单位是:陕西省建筑科学研究设计院(地址:西安市环城西路北段 272号 邮政编码:710082)

本规程参加单位是:

陕西省建设工程质量安全监督总站

浙江省建筑科学设计研究院

中国建筑科学研究院

山东省乐陵市回弹仪厂

四川省建筑科学研究院

江苏省建筑科学研究院

本规程主要起草人是:陈丽霞、文恒武、李玉林、徐国孝、邱平、王明堂、彭泽杨、魏超琪、刘敬思。

## 目 次

前 言 .....	4
目 次 .....	5
1 总 则 .....	6
2 术语、符号 .....	7
3 回 弹 仪 .....	8
4 检测技术 .....	10
5 回弹值计算 .....	13
6 测强曲线 .....	14
7 混凝土强度的计算 .....	16
附录 A 测区混凝土强度换算表 .....	18
附录 B 泵送混凝土测区混凝土强度换算值的修正值 .....	26
附录 C 非水平状态检测时的回弹值修正值 .....	27
附录 D 不同浇筑面的回弹值修正值 .....	28
附录 E 专用测强曲线的制定方法 .....	29
附录 F 回弹法检测混凝土抗压强度报告 .....	31
本规程用词说明 .....	32

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一使用回弹仪检测普通混凝土抗压强度的方法，保证检测精度，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工程结构普通混凝土抗压强度(以下简称混凝土强度)的检测。

当对结构的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一个依据。

本规程不适用于表层与内部质量有明显差异或内部存在缺陷的混凝土结构或构件的检测。

**1.0.3** 使用回弹仪进行工程检测的人员，应通过主管部门认可的专业培训，并应持有相应的资格证书。

**1.0.4** 使用回弹法检测及推定混凝土强度，除应遵守本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 测区 test area

检测结构或构件混凝土抗压强度时的一个检测单元。

#### 2.1.2 测点 test point

在测区内进行的一个检测点。

#### 2.1.3 测区混凝土强度换算值 conversion value of concrete compressive strength of test area

由测区的平均回弹值和碳化深度值通过测强曲线计算得到的该检测单元的现龄期混凝土抗压强度值。

### 2.2 符号

$R_i$ —第  $i$  个测点的回弹值。

$R_m$ —测区或试件的平均回弹值。

$R_{ma}$ —回弹仪非水平状态检测时，测区的平均回弹值。

$R_m^t$ —回弹仪在水平方向检测混凝土浇筑表面时，测区的平均回弹值。

$R_m^b$ —回弹仪在水平方向检测混凝土浇筑底面时，测区的平均回弹值。

$R_a^t$ —回弹仪检测混凝土浇筑表面时，回弹值的修正值。

$R_a^b$ —回弹仪检测混凝土浇筑底面时，回弹值的修正值。

$R_{aa}$ —非水平状态检测时，回弹值的修正值。

$d_i$ —第  $i$  次测量的碳化深度值。

$d_m$ —测区的平均碳化深度值。

$f_{cu,i}^c$ —测区混凝土强度换算值。

$f_{cu,i}^c$ —泵送混凝土测区混凝土强度换算值。

$m f_{cu}^c$ —测区混凝土强度换算值的平均值。

$f_{cu,\min}^c$ —构件中最小的测区混凝土强度换算值。

$s f_{cu}^c$ —同批构件测区混凝土强度换算值的标准差。

$f_{cu,e}$ —构件混凝土强度推定值。

$\eta$ —修正系数。

$K$ —泵送混凝土测区混凝土强度换算值的修正值。

## 3 回弹仪

### 3.1 技术要求

3.1.1 测定回弹值的仪器，宜采用示值系统为指针直读式的混凝土回弹仪。

3.1.2 回弹仪必须具有制造厂的产品合格证及检定单位的检定合格证，并应在回弹仪的明显位置上具有下列标志:名称、型号、制造厂名(或商标)、出厂编号、出厂日期和中国计量器具制造许可证标志 CMC 及许可证证号等。

3.1.3 回弹仪应符合下列标准状态的要求:

- 1 水平弹击时，弹击锤脱钩的瞬间，回弹仪的标准能量应为 2.207J;
- 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指针指示刻度尺上"0"处;
- 3 在洛氏硬度 HRC 为  $60\pm 2$  的钢砧上，回弹仪的率定值应为  $80\pm 2$ 。

3.1.4 回弹仪使用时的环境温度应为  $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.2 检 定

3.2.1 回弹仪具有下列情况之一时应送检定单位检定:

- 1 新回弹仪启用前;
- 2 超过检定有效期限(有效期为半年);
- 3 累计弹击次数超过 6000 次;
- 4 经常规保养后钢砧率定值不合格;
- 5 遭受严重撞击或其他损害。

3.2.2 回弹仪应由法定部门并按照国家现行标准《混凝土回弹仪》JJG817 对回弹仪进行检定。

3.2.3 回弹仪在工程检测前后，应在钢砧上作率定试验，并应符合本规程第 3.1.3 条的规定。

3.2.4 回弹仪率定试验宜在干燥、室温为  $5\sim 35^{\circ}\text{C}$  的条件下进行。率定时，钢砧应稳固地平放在刚度大的物体上。测定回弹值时，取连续向下弹击三次的稳定回弹平均值。弹击杆应分四次旋转，每次旋转宜为  $90^{\circ}$ 。弹击杆每旋转一次的率定平均值应为  $80\pm 2$ 。

## 3.3 保 养

**3.3.1** 回弹仪具有下列情况之一时应进行常规保养:

- 1 弹击超过 2000 次;
- 2 对检测值有怀疑时;
- 3 在钢砧上的率定值不合格。

**3.3.2** 常规保养应符合下列规定:

- 1 使弹击锤脱钩后取出机芯, 然后卸下弹击杆, 取出里面的缓冲压簧, 并取出弹击锤、弹击拉簧和拉簧座;
- 2 机芯各零部件应进行清洗, 重点清洗中心导杆、弹击锤和弹击杆的内孔和冲击面。清洗后应在中心导杆上薄薄涂抹钟表油, 其他零部件均不得抹油;
- 3 应清理机壳内壁, 卸下刻度尺, 并应检查指针, 其摩擦力应为  $0.5\sim 0.8\text{N}$ ;
- 4 不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝;
- 5 不得自制或更换零部件;
- 6 保养后应按本规程第 3.2.4 条的要求进行率定试验。

**3.3.3** 回弹仪使用完毕后应使弹击杆伸出机壳, 清除弹击杆、杆前端球面、以及刻度尺表面和外壳上的污垢、尘土。回弹仪不用时, 应将弹击杆压入仪器内, 经弹击后方可按下按钮锁住机芯, 将回弹仪装入仪器箱, 平放在干燥阴凉处。



## 4 检测技术

### 4.1 一般规定

4.1.1 结构或构件混凝土强度检测宜具有下列资料:

- 1 工程名称及设计、施工、监理(或监督)和建设单位名称;
- 2 结构或构件名称、外形尺寸、数量及混凝土强度等级;
- 3 水泥品种、强度等级、安定性、厂名;砂、石种类、粒径;外加剂或掺合料品种、掺量;混凝土配合比等;
- 4 施工时材料计量情况,模板、浇筑、养护情况及成型日期等;
- 5 必要的设计图纸和施工记录;
- 6 检测原因。

4.1.2 结构或构件混凝土强度检测可采用下列两种方式,其适用范围及结构或构件数量应符合下列规定:

- 1 单个检测:适用于单个结构或构件的检测;
- 2 批量检测:适用于在相同的生产工艺条件下,混凝土强度等级相同,原材料、配合比、成型工艺、养护条件基本一致且龄期相近的同类结构或构件。按批进行检测的构件,抽检数量不得少于同批构件总数的 30%且构件数量不得少于 10 件。抽检构件时,应随机抽取并使所选构件具有代表性。

4.1.3 每一结构或构件的测区应符合下列规定:

- 1 每一结构或构件测区数不应少于 10 个,对某一方向尺寸小、于 4.5m 且另一方向尺寸小于 0.3m 的构件,其测区数量可适当减少,但不应少于 5 个;
- 2 相邻两测区的间距应控制在 2m 以内,测区离构件端部或施工缝边缘的距离不宜大于 0.5m,且不宜小于 0.2m;
- 3 测区应选在使回弹仪处于水平方向检测混凝土浇筑侧面。当不能满足这一要求时,可使回弹仪处于非水平方向检测混凝土浇筑侧面、表面或底面;
- 4 测区宜选在构件的两个对称可测面上,也可选在一个可测面上,且应均匀分布。在构件的重要部位及薄弱部位必须布置测区,并应避免预埋件;
- 5 测区的面积不宜大于  $0.04\text{m}^2$ ;
- 6 检测面应为混凝土表面,并应清洁、平整,不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面,必要时可用砂轮清除疏松层和杂物,且不应有残留的粉末或碎

屑；

7 对弹击时产生颤动的薄壁、小型构件应进行固定。

**4.1.4** 结构或构件的测区应标有清晰的编号，必要时应在记录纸上描述测区布置示意图和外观质量情况。

**4.1.5** 当检测条件与测强曲线的适用条件有较大差异时，可采用同条件试件或钻取混凝土芯样进行修正，试件或钻取芯样数量不应少于 6 个。钻取芯样时每个部位应钻取一个芯样，计算时，测区混凝土强度换算值应乘以修正系数。

修正系数应按下列公式计算：

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} / f_{cu,i}^c \quad (4.1.5-1)$$

或

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} / f_{cu,i}^c \quad (4.1.5-2)$$

式中  $\eta$ —修正系数，精确到 0.01；

$f_{cu,i}$ —第  $i$  个混凝土立方体试件(边长为 150mm)的抗压强度值，精确到 0.1MPa；

$f_{cor,i}$ —第  $i$  个混凝土芯样试件的抗压强度值，精确到 0.1MPa；

$f_{cu,i}^c$ —对应于第  $i$  个试件或芯样部位回弹值和碳化深度值的混凝土强度换算值，可按本规程附录 A 采用；

$n$ —试件数。

**4.1.6** 泵送混凝土制作的结构或构件的混凝土强度的检测应符合下列规定：

1 当碳化深度值不大于 2.0mm 时，每一测区混凝土强度换算值应按本规程附录 B 修正。

2 当碳化深度值大于 2.0mm 时，可按本规程第 4.1.5 条的规定进行检测。

## 4.2 回弹值测量

**4.2.1** 检测时，回弹仪的轴线应始终垂直于结构或构件的混凝土检测面，缓慢施压，准确读数，快速复位。

**4.2.2** 测点宜在测区范围内均匀分布，相邻两测点的净距不宜小于 20mm；测点距外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30mm。测点不应在气孔或外露石子上，同一测点只应弹击一次。每一测区应记取 16 个回弹值，每一测点的回弹值读数估读至 1。

## 4.3 碳化深度值测量

**4.3.1** 回弹值测量完毕后，应在有代表性的位置上测量碳化深度值，测点表不应少于构件测区数的 30%，取其平均值为该构件每测区的碳化深度值。当碳化深度值极差大于 2.0mm 时，应在每一测区测量碳化深度值。

**4.3.2** 碳化深度值测量，可采用适当的工具在测区表面形成直径约 15mm 的孔洞，其深度应大于混凝土的碳化深度。孔洞中的粉末和碎屑应除净，并不得用水擦洗。同时，应采用浓度为 1% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处，当已碳化与未碳化界线清楚时，再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离，测量不应少于 3 次，取其平均值。每次读数精确至 0.5mm。

## 5 回弹值计算

**5.0.1** 计算测区平均回弹值，应从该测区的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值，余下的 10 个回弹值应按下式计算：

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (5.0.1)$$

式中  $R_m$ —测区平均回弹值，精确至 0.1；

$R_i$ —第  $i$  个测点的回弹值。

**5.0.2** 非水平方向检测混凝土浇筑侧面时，应按下式修正：

$$R_m = R_{ma} + R_{aa} \quad (5.0.2)$$

式中  $R_{ma}$ —非水平状态检测时测区的平均回弹值，精确至 0.1；

$R_{aa}$ —非水平状态检测时回弹值修正值，可按本规程附录 C 采用。

**5.0.3** 水平方向检测混凝土浇筑顶面或底面时，应按下列公式修正：

$$R_m = R_m^t + R_a^t \quad (5.0.3-1)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \quad (5.0.3-2)$$

式中  $R_m^t$ 、 $R_m^b$ —水平方向检测混凝土浇筑表面、底面时，测区的平均回弹值，精确至 0.1；

$R_a^t$ 、 $R_a^b$ —混凝土浇筑表面、底面回弹值的修正值，应按本规程附录 D 采用。

**5.0.4** 当检测时回弹仪为非水平方向且测试面为非混凝土的浇筑侧面时，应先按本规程附录 C 对回弹值进行角度修正，再按本规程附录 D 对修正后的值进行浇筑面修正。

## 6 测强曲线

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 混凝土强度换算值可采用以下三类测强曲线计算:

1 统一测强曲线:由全国有代表性的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件,通过试验所建立的曲线;

2 地区测强曲线:由本地区常用的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件,通过试验所建立的曲线;

3 专用测强曲线:由与结构或构件混凝土相同的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件,通过试验所建立的曲线。

**6.1.2** 对有条件的地区和部门,应制定本地区的测强曲线或专用测强曲线,经上级主管部门组织审定和批准后实施。各检测单位应按专用测强曲线、地区测强曲线、统一测强曲线的次序选用测强曲线。

### 6.2 统一测强曲线

**6.2.1** 符合下列条件的混凝土应采用本规程附录 A 进行测区混凝土强度换算:

- 1 普通混凝土采用的材料、拌和用水符合现行国家有关标准;
- 2 不掺外加剂或仅掺非引气型外加剂;
- 3 采用普通成型工艺;
- 4 采用符合现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》GB50204 规定的钢模、木模及其他材料制作的模板;
- 5 自然养护或蒸气养护出池后经自然养护 7d 以上,且混凝土表层为干燥状态;
- 6 龄期为 14~1000d;
- 7 抗压强度为 10~60MPa。

**6.2.2** 制订测区混凝土强度换算表所依据的统一测强曲线,其强度误差值应符合下列规定:

- 1 平均相对误差( $\delta$ )不应大于 $\pm 15.0\%$ ;
- 2 相对标准差( $e_r$ )不应大于 18.0%。

**6.2.3** 当有下列情况之一时,测区混凝土强度值不得按本规程附录 A 换算,但可制定专用测强曲线或通过试验进行修正,专用测强曲线的制定方法宜符合附录 E 的有关规定:

- 1 粗集料最大粒径大于 60mm;
- 2 特种成型工艺制作的混凝土;
- 3 检测部位曲率半径小于 250mm;
- 4 潮湿或浸水混凝土。

**6.2.4** 当构件混凝土抗压强度大于 60MPa 时,可采用标准能量大于 2.207J 的混凝土回弹仪, 并应另行制订检测方法及专用测强曲线进行检测。

### **6.3 地区和专用测强曲线**

**6.3.1** 地区和专用测强曲线的强度误差值应符合下列规定:

- 1 地区测强曲线:平均相对误差( $\delta$ )不应大于 $\pm 14.0\%$ ; 相对标准差( $e_r$ )不应大于 17.0%;
- 2 专用测强曲线:平均相对误差( $\delta$ )不应大于 $\pm 12.0\%$ ; 相对标准差( $e_r$ )不应大于 14.0%;
- 3 平均相对误差( $\delta$ )和相对标准差( $e_r$ )的计算应符合本规程附录 E 的规定。

**6.3.2** 地区和专用测强曲线应与制定该类测强曲线条件相同的混凝土相适应, 不得超出该类测强曲线的适用范围。应经常抽取一定数量的同条件试件进行校核, 当发现有显著差异时, 应及时查找原因, 并不得继续使用。

## 7 混凝土强度的计算

**7.0.1** 结构或构件第  $i$  个测区混凝土强度换算值，可按本规程第 5 章所求得平均回弹值( $R_m$ )及按本规程第 4.3.2 条所求得平均碳化深度值( $d_m$ )由本规程附录 A 查表得出，泵送混凝土还应按本规程第 4.1.6 条计算。当有地区测强曲线或专用测强曲线时，混凝土强度换算值应按地区测强曲线或专用测强曲线换算得出。

**7.0.2** 结构或构件的测区混凝土强度平均值可根据各测区的混凝土强度换算值计算。当测区数为 10 个及以上时，应计算强度标准差。平均值及标准差应按下列公式计算：

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (7.0.2-1)$$

$$S_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (7.0.2-2)$$

式中  $m_{f_{cu}^c}$ —结构或构件测区混凝土强度换算值的平均值(MPa)，精确至 0.1MPa；

$n$ —对于单个检测的构件，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和；

$s_{f_{cu}^c}$ —结构或构件测区混凝土强度换算值的标准差(MPa)，精确至 0.01MPa

**7.0.3** 结构或构件的混凝土强度推定值( $f_{cu,e}$ )应按下列公式确定：

- 1 当该结构或构件测区数少于 10 个时：

$$f_{cu,e} = f_{cu,\min}^c \quad (7.0.3-1)$$

式中  $f_{cu,\min}^c$ —构件中最小的测区混凝土强度换算值。

- 2 当该结构或构件的测区强度值中出现小于 10.0MPa 时：

$$f_{cu,e} < 10.0\text{Mpa} \quad (7.0.3-2)$$

- 3 当该结构或构件测区数不少于 10 个或按批量检测时，应按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645s_{f_{cu}^c} \quad (7.0.3-3)$$

注：结构或构件的混凝土强度推定值是指相应于强度换算值总体分布中保证率不低于 95%的结构或构件中的混凝土抗压强度值。

**7.0.4** 对按批量检测的构件，当该批构件混凝土强度标准差出现下列情况之一时，

则该批构件应全部按单个构件检测:

- 1 当该批构件混凝土强度平均值小于 25MPa 时:

$$s_{f_{cu}^c} > 4.5Mpa ;$$

- 2 当该批构件混凝土强度平均值不小、于 25MPa 时:

$$s_{f_{cu}^c} > 5.5Mpa 。$$

**7.0.5** 检测后应填写检测报告，并应符合本规程附录 F 的规定。



附录 A 测区混凝土强度换算表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ , (MPa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
20.0	10.3	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20.2	10.5	10.3	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20.4	10.7	10.5	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20.6	11.0	10.8	10.4	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20.8	11.2	11.0	10.6	10.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21.0	11.4	11.2	10.8	10.5	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—
21.2	11.6	11.4	11.0	10.7	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—
21.4	11.8	11.6	11.2	10.9	10.4	10.0	—	—	—	—	—	—	—
21.6	12.0	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2	—	—	—	—	—	—	—
21.8	12.3	12.1	11.7	11.3	10.8	10.5	10.1	—	—	—	—	—	—
22.0	12.5	12.2	11.9	11.5	11.0	10.6	10.2	—	—	—	—	—	—
22.2	12.7	12.4	12.1	11.7	11.2	10.8	10.4	10.0	—	—	—	—	—
22.4	13.0	12.7	12.4	12.0	11.4	11.0	10.7	10.3	10.0	—	—	—	—
22.6	13.2	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	10.8	10.4	10.2	—	—	—	—
22.8	13.4	13.1	12.7	12.3	11.8	11.4	11.0	10.6	10.3	—	—	—	—
23.0	13.7	13.4	13.0	12.6	12.1	11.6	11.2	10.8	10.5	10.1	—	—	—
23.2	13.9	13.6	13.2	12.8	12.2	11.8	11.4	11.0	10.7	10.3	10.0	—	—
23.4	14.1	13.8	13.4	13.0	12.4	12.0	11.6	11.2	10.9	10.4	10.2	—	—
23.6	14.4	14.1	13.7	13.2	12.7	12.2	11.8	11.4	11.1	10.7	10.4	10.1	—
23.8	14.6	14.3	13.9	13.4	12.8	12.4	12.0	11.5	11.2	10.8	10.5	10.2	—
24.0	14.9	14.6	14.2	13.7	13.1	12.7	12.2	11.8	11.5	11.0	10.7	10.4	10.1

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
24.2	15.1	14.8	14.3	13.9	13.3	12.8	12.4	11.9	11.6	11.2	10.9	10.6	10.3
24.4	15.4	15.1	14.6	14.2	13.6	13.1	12.6	12.2	11.9	11.4	11.1	10.8	10.4
24.6	15.6	15.3	14.8	14.4	13.7	13.3	12.8	12.3	12.0	11.5	11.2	10.9	10.6
24.8	15.9	15.6	15.1	14.6	14.0	13.5	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.1	10.7
25.0	16.2	15.9	15.4	14.9	14.3	13.8	13.3	12.8	12.5	12.0	11.7	11.3	10.9
25.2	16.4	16.1	15.6	15.1	14.4	13.9	13.4	13.0	12.6	12.1	11.8	11.5	11.0
25.4	16.7	16.4	15.9	15.4	14.7	14.2	13.7	13.2	12.9	12.4	12.0	11.7	11.2
25.6	16.9	16.6	16.1	15.7	14.9	14.4	13.9	13.4	13.0	12.5	12.2	11.8	11.3
25.8	17.2	16.9	16.3	15.8	15.1	14.6	14.1	13.6	13.2	12.7	12.4	12.0	11.5
26.0	17.5	17.2	16.6	16.1	15.4	14.9	14.4	13.8	13.5	13.0	12.6	12.2	11.6
26.2	17.8	17.4	16.9	16.4	15.7	15.1	14.6	14.0	13.7	13.2	12.8	12.4	11.8
26.4	18.0	17.6	17.1	16.6	15.8	15.3	14.8	14.2	13.9	13.3	13.0	12.6	12.0
26.6	18.3	17.9	17.4	16.8	16.1	15.6	15.0	14.4	14.1	13.5	13.2	12.8	12.1
26.8	18.6	18.2	17.7	17.1	16.4	15.8	15.3	14.6	14.3	13.8	13.4	12.9	12.3
27.0	18.9	18.5	18.0	17.4	16.6	16.1	15.5	14.8	14.6	14.0	13.6	13.1	12.4
27.2	19.1	18.7	18.1	17.6	16.8	16.2	15.7	15.0	14.7	14.1	13.8	13.3	12.6
27.4	19.4	19.0	18.4	17.8	17.0	16.4	15.9	15.2	14.9	14.3	14.0	13.4	12.7
27.6	19.7	19.3	18.7	18.0	17.2	16.6	16.1	15.4	15.1	14.5	14.1	13.6	12.9
27.8	20.0	19.6	19.0	18.2	17.4	16.8	16.3	15.6	15.3	14.7	14.2	13.7	13.0
28.0	20.3	19.7	19.2	18.4	17.6	17.0	16.5	15.8	15.4	14.8	14.4	13.9	13.2
28.2	20.6	20.0	19.5	18.6	17.8	17.2	16.7	16.0	15.6	15.0	14.6	14.0	13.3
28.4	20.9	20.3	19.7	18.8	18.0	17.4	16.9	16.2	15.8	15.2	14.8	14.2	13.5
28.6	21.2	20.6	20.0	19.1	18.2	17.6	17.1	16.4	16.0	15.4	15.0	14.3	13.6
28.8	21.5	20.9	20.2	19.4	18.5	17.8	17.3	16.6	16.2	15.6	15.2	14.5	13.8
29.0	21.8	21.1	20.5	19.6	18.7	18.1	17.5	16.8	16.4	15.8	15.4	14.6	13.9

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
29.2	22.1	21.4	20.8	19.9	19.0	18.3	17.7	17.0	16.6	16.0	15.6	14.8	14.1
29.4	22.4	21.7	21.1	20.2	19.3	18.6	17.9	17.2	16.8	16.2	15.8	15.0	14.2
29.6	22.7	22.0	21.3	20.4	19.5	18.8	18.2	17.5	17.0	16.4	16.0	15.1	14.4
29.8	23.0	22.3	21.6	20.7	19.8	19.1	18.4	17.7	17.2	16.6	16.2	15.3	14.5
30.0	23.3	22.6	21.9	21.0	20.0	19.3	18.6	17.9	17.4	16.8	16.4	15.4	14.7
30.2	23.6	22.9	22.2	21.2	20.3	19.6	18.9	18.2	17.6	17.0	16.6	15.6	14.9
30.4	23.9	23.2	22.5	21.5	20.6	19.8	19.1	18.4	17.8	17.2	16.8	15.8	15.1
30.6	24.3	23.6	22.8	21.9	20.9	20.2	19.4	18.7	18.0	17.5	17.0	16.0	15.2
30.8	24.6	23.9	23.1	22.1	21.2	20.4	19.7	18.9	18.2	17.7	17.2	16.2	15.4
31.0	24.9	24.2	23.4	22.4	21.4	20.7	19.9	19.2	18.4	17.9	17.4	16.4	15.5
31.2	25.2	24.4	23.7	22.7	21.7	20.9	20.2	19.4	18.6	18.1	17.6	16.6	15.7
31.4	25.6	24.8	24.1	23.0	22.0	21.2	20.5	19.7	18.9	18.4	17.8	16.9	15.8
31.6	25.9	25.1	24.3	23.3	22.3	21.5	20.7	19.9	19.2	18.6	18.0	17.1	16.0
31.8	26.2	25.4	24.6	23.6	22.5	21.7	21.0	20.2	19.4	18.9	18.2	17.3	16.2
32.0	26.5	25.7	24.9	23.9	22.8	22.0	21.2	20.4	19.6	19.1	18.4	17.5	16.4
32.2	26.9	26.1	25.3	24.2	23.1	22.3	21.5	20.7	19.9	19.4	18.6	17.7	16.6
32.4	27.2	26.4	25.6	24.5	23.4	22.6	21.8	20.9	20.1	19.6	18.8	17.9	16.8
32.6	27.6	26.8	25.9	24.8	23.7	22.9	22.1	21.3	20.4	19.9	19.0	18.1	17.0
32.8	27.9	27.1	26.2	25.1	24.0	23.2	22.3	21.5	20.6	20.1	19.2	18.3	17.2
33.0	28.2	27.4	26.5	25.4	24.3	23.4	22.6	21.7	20.9	20.3	19.4	18.5	17.4
33.2	28.6	27.7	26.8	25.7	24.6	23.7	22.9	22.0	21.2	20.5	19.6	18.7	17.6
33.4	28.9	28.0	27.1	26.0	24.9	24.0	23.1	22.3	21.4	20.7	19.8	18.9	17.8
33.6	29.3	28.4	27.4	26.4	25.2	24.2	23.3	22.6	21.7	20.9	20.0	19.1	18.0
33.8	29.6	28.7	27.7	26.6	25.4	24.4	23.5	22.8	21.9	21.1	20.2	19.3	18.2
34.0	30.0	29.1	28.0	26.8	25.6	24.6	23.7	23.0	22.1	21.3	20.4	19.5	18.3

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
34.2	30.3	29.4	28.3	27.0	25.8	24.8	23.9	23.2	22.3	21.5	20.6	19.7	18.4
34.4	30.7	29.8	28.6	27.2	26.0	25.0	24.1	23.4	22.5	21.7	20.8	19.8	18.6
34.6	31.1	30.2	28.9	27.4	26.2	25.2	24.3	23.6	22.7	21.9	21.0	20.0	18.8
34.8	31.4	30.5	29.2	27.6	26.4	25.4	24.5	23.8	22.9	22.1	21.2	20.2	19.0
35.0	31.8	30.8	29.6	28.0	26.7	25.8	24.8	24.0	23.2	22.3	21.4	20.4	19.2
35.2	32.1	31.1	29.9	28.2	27.0	26.0	25.0	24.2	23.4	22.5	21.6	20.6	19.4
35.4	32.5	31.5	30.2	28.6	27.3	26.3	25.4	24.4	23.7	22.8	21.8	20.8	19.6
35.6	32.9	31.9	30.6	29.0	27.6	26.6	25.7	24.7	24.0	23.0	22.0	21.0	19.8
35.8	33.3	32.3	31.0	29.3	28.0	27.0	26.0	25.0	24.3	23.3	22.2	21.2	20.0
36.0	33.6	32.6	31.2	29.6	28.2	27.2	26.2	25.2	24.5	23.5	22.4	21.4	20.2
36.2	34.0	33.0	31.6	29.9	28.6	27.5	26.5	25.5	24.8	23.8	22.6	21.6	20.4
36.4	34.4	33.4	32.0	30.3	28.9	27.9	26.8	25.8	25.1	24.1	22.8	21.8	20.6
36.6	34.8	33.8	32.4	30.6	29.2	28.2	27.1	26.1	25.4	24.4	23.0	22.0	20.9
36.8	35.2	34.1	32.7	31.0	29.6	28.5	27.5	26.4	25.7	24.6	23.2	22.2	21.1
37.0	35.5	34.4	33.0	31.2	29.8	28.8	27.7	26.6	25.9	24.8	23.4	22.4	21.3
37.2	35.9	34.8	33.4	31.6	30.2	29.1	28.0	26.9	26.2	25.1	23.7	22.6	21.5
37.4	36.3	35.2	33.8	31.9	30.5	29.4	28.3	27.2	26.5	25.4	24.0	22.9	21.8
37.6	36.7	35.6	34.1	32.3	30.8	29.7	28.6	27.5	26.8	25.7	24.2	23.1	22.0
37.8	37.1	36.0	34.5	32.6	31.2	30.0	28.9	27.8	27.1	26.0	24.5	23.4	22.3
38.0	37.5	36.4	34.9	33.0	31.5	30.3	29.2	28.1	27.4	26.2	24.8	23.6	22.5
38.2	37.9	36.8	35.2	33.4	31.8	30.6	29.5	28.4	27.7	26.5	25.0	23.9	22.7
38.4	38.3	37.2	35.6	33.7	32.1	30.9	29.8	28.7	28.0	26.8	25.3	24.1	23.0
38.6	38.7	37.5	36.0	34.1	32.4	31.2	30.1	29.0	28.3	27.0	25.5	24.4	23.2
38.8	39.1	37.9	36.4	34.4	32.7	31.5	30.4	29.3	28.5	27.2	25.8	24.6	23.5
39.0	39.5	38.2	36.7	34.7	33.0	31.8	30.6	29.6	28.8	27.4	26.0	24.8	23.7

续表

平均回弹 值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
39.2	39.9	38.5	37.0	35.0	33.3	32.1	30.8	29.8	29.0	27.6	26.2	25.0	24.0
39.4	40.3	38.8	37.3	35.3	33.6	32.4	31.0	30.0	29.2	27.8	26.4	25.2	24.2
39.6	40.7	39.1	37.6	35.6	33.9	32.7	31.2	30.2	29.4	28.0	26.6	25.4	24.4
39.8	41.2	39.6	38.0	35.9	34.2	33.0	31.4	30.5	29.7	28.2	26.8	25.6	24.7
40.0	41.6	39.9	38.3	36.2	34.5	33.3	31.7	30.8	30.0	28.4	27.0	25.8	25.0
40.2	42.0	40.3	38.6	36.5	34.8	33.6	32.0	31.1	30.2	28.6	27.3	26.0	25.2
40.4	42.4	40.7	39.0	36.9	35.1	33.9	32.3	31.4	30.5	28.8	27.6	26.2	25.4
40.6	42.8	41.1	39.4	37.2	35.4	34.2	32.6	31.7	30.8	29.1	27.8	26.5	25.7
40.8	43.3	41.6	39.8	37.7	35.7	34.5	32.9	32.0	31.2	29.4	28.1	26.8	26.0
41.0	43.7	42.0	40.2	38.0	36.0	34.8	33.2	32.3	31.5	29.7	28.4	27.1	26.2
41.2	44.1	42.3	40.6	38.4	36.3	35.1	33.5	32.6	31.8	30.0	28.7	27.3	26.5
41.4	44.5	42.7	40.9	38.7	36.6	35.4	33.8	32.9	32.0	30.3	28.9	27.6	26.7
41.6	45.0	43.2	41.4	39.2	36.9	35.7	34.2	33.3	32.4	30.6	29.2	27.9	27.0
41.8	45.4	43.6	41.8	39.5	37.2	36.0	34.5	33.6	32.7	30.9	29.5	28.1	27.2
42.0	45.9	44.1	42.2	39.9	37.6	36.3	34.9	34.0	33.0	31.2	29.8	28.5	27.5
42.2	46.3	44.4	42.6	40.3	38.0	36.6	35.2	34.3	33.3	31.5	30.1	28.7	27.8
42.4	46.7	44.8	43.0	40.6	38.3	36.9	35.5	34.6	33.6	31.8	30.4	29.0	28.0
42.6	47.2	45.3	43.4	41.1	38.7	37.3	35.9	34.9	34.0	32.1	30.7	29.3	28.3
42.8	47.6	45.7	43.8	41.4	39.0	37.6	36.2	35.2	34.3	32.4	30.9	29.5	28.6
43.0	48.1	46.2	44.2	41.8	39.4	38.0	36.6	35.6	34.6	32.7	31.3	29.8	28.9
43.2	48.5	46.6	44.6	42.2	39.8	38.3	36.9	35.9	34.9	33.0	31.5	30.1	29.1
43.4	49.0	47.0	45.1	42.6	40.2	38.7	37.2	36.3	35.3	33.3	31.8	30.4	29.4
43.6	49.4	47.4	45.4	43.0	40.5	39.0	37.5	36.6	35.6	33.6	32.1	30.6	29.6
43.8	49.9	47.9	45.9	43.4	40.9	39.4	37.9	36.9	35.9	33.9	32.4	30.9	29.9
44.0	50.4	48.4	46.4	43.8	41.3	39.8	38.3	37.3	36.3	34.3	32.8	31.2	30.2

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
44.2	50.8	48.8	46.7	44.2	41.7	40.1	38.6	37.6	36.6	34.5	33.0	31.5	30.5
44.4	51.3	49.2	47.2	44.6	42.1	40.5	39.0	38.0	36.9	34.9	33.3	31.8	30.8
44.6	51.7	49.6	47.6	45.0	42.4	40.8	39.3	38.3	37.2	35.2	33.6	32.1	31.0
44.8	52.2	50.1	48.0	45.4	42.8	41.2	39.7	38.6	37.6	35.5	33.9	32.4	31.3
45.0	52.7	50.6	48.5	45.8	43.2	41.6	40.1	39.0	37.9	35.8	34.3	32.7	31.6
45.2	53.2	51.1	48.9	46.3	43.6	42.0	40.4	39.4	38.3	36.2	34.6	33.0	31.9
45.4	53.6	51.5	49.4	46.6	44.0	42.3	40.7	39.7	38.6	36.4	34.8	33.2	32.2
45.6	54.1	51.9	49.8	47.1	44.4	42.7	41.1	40.0	39.0	36.8	35.2	33.5	32.5
45.8	54.6	52.4	50.2	47.5	44.8	43.1	41.5	40.4	39.3	37.1	35.5	33.9	32.8
46.0	55.0	52.8	50.6	47.9	45.2	43.5	41.9	40.8	39.7	37.5	35.8	34.2	33.1
46.2	55.5	53.3	51.1	48.3	45.5	43.8	42.2	41.1	40.0	37.7	36.1	34.4	33.3
46.4	56.0	53.8	51.5	48.7	45.9	44.2	42.6	41.4	40.3	38.1	36.4	34.7	33.6
46.6	56.5	54.2	52.0	49.2	46.3	44.6	42.9	41.8	40.7	38.4	36.7	35.0	33.9
46.8	57.0	54.7	52.4	49.6	46.7	45.0	43.3	42.2	41.0	38.8	37.0	35.3	34.2
47.0	57.5	55.2	52.9	50.0	47.2	45.2	43.7	42.6	41.4	39.1	37.4	35.6	34.5
47.2	58.0	55.7	53.4	50.5	47.6	45.8	44.1	42.9	41.8	39.4	37.7	36.0	34.8
47.4	58.5	56.2	53.8	50.9	48.0	46.2	44.5	43.3	42.1	39.8	38.0	36.3	35.1
47.6	59.0	56.6	54.3	51.3	48.4	46.6	44.8	43.7	42.5	40.1	38.4	36.6	35.4
47.8	59.5	57.1	54.7	51.8	48.8	47.0	45.2	44.0	42.8	40.5	38.7	36.9	35.7
48.0	60.0	57.6	55.2	52.2	49.2	47.4	45.6	44.4	43.2	40.8	39.0	37.2	36.0
48.2	—	58.0	55.7	52.6	49.6	47.8	46.0	44.8	43.6	41.1	39.3	37.5	36.3
48.4	—	58.6	56.1	53.1	50.0	48.2	46.4	45.1	43.9	41.5	39.6	37.8	36.6
48.6	—	59.0	56.6	53.5	50.4	48.6	46.7	45.5	44.3	41.8	40.0	38.1	36.9
48.8	—	59.5	57.1	54.0	50.9	49.0	47.1	45.9	44.6	42.2	40.3	38.4	37.2
49.0	—	60.0	57.5	54.4	51.3	49.4	47.5	46.2	45.0	42.5	40.6	38.8	37.5

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (Mpa)												
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$
49.2	—	—	58.0	54.8	51.7	49.8	47.9	46.6	45.4	42.8	41.0	39.1	37.8
49.4	—	—	58.5	55.3	52.1	50.2	48.3	47.1	45.8	43.2	41.3	39.4	38.2
49.6	—	—	58.9	55.7	52.5	50.6	48.7	47.4	46.2	43.6	41.7	39.7	38.5
49.8	—	—	59.4	56.2	53.0	51.0	49.1	47.8	46.5	43.9	42.0	40.1	38.8
50.0	—	—	59.9	56.7	53.4	51.4	49.5	48.2	46.9	44.3	42.3	40.4	39.1
50.2	—	—	—	57.1	53.8	51.9	49.9	48.5	47.2	44.6	42.6	40.7	39.4
50.4	—	—	—	57.6	54.3	52.3	50.3	49.0	47.7	45.0	43.0	41.0	39.7
50.6	—	—	—	58.0	54.7	52.7	50.7	49.4	48.0	45.4	43.4	41.4	40.0
50.8	—	—	—	58.5	55.1	53.1	51.1	49.8	48.4	45.7	43.7	41.7	40.3
51.0	—	—	—	59.0	55.6	53.5	51.5	50.1	48.8	46.1	44.1	42.0	40.7
51.2	—	—	—	59.4	56.0	54.0	51.9	50.5	49.2	46.4	44.4	42.3	41.0
51.4	—	—	—	59.9	56.4	54.4	52.3	50.9	49.6	46.8	44.7	42.7	41.3
51.6	—	—	—	—	56.9	54.8	52.7	51.3	50.0	47.2	45.1	43.0	41.6
51.8	—	—	—	—	57.3	55.2	53.1	51.7	50.3	47.5	45.4	43.3	41.8
52.0	—	—	—	—	57.8	55.7	53.6	52.1	50.7	47.9	45.8	43.7	42.3
52.2	—	—	—	—	58.2	56.1	54.0	52.5	51.1	48.3	46.2	44.0	42.6
52.4	—	—	—	—	58.7	56.5	54.4	53.0	51.5	48.7	46.5	44.4	43.0
52.6	—	—	—	—	59.1	57.0	54.8	53.4	51.9	49.0	46.9	44.7	43.3
52.8	—	—	—	—	59.6	57.4	55.2	53.8	52.3	49.4	47.3	45.1	43.6
53.0	—	—	—	—	60.0	57.8	55.6	54.2	52.7	49.8	47.6	45.4	43.9
53.2	—	—	—	—	—	58.3	56.1	54.6	53.1	50.2	48.0	45.8	44.3
53.4	—	—	—	—	—	58.7	56.5	55.0	53.5	50.5	48.3	46.1	44.6
53.6	—	—	—	—	—	59.2	56.9	55.4	53.9	50.9	48.7	46.4	44.9
53.8	—	—	—	—	—	59.6	57.3	55.8	54.3	51.3	49.0	46.8	45.3
54.0	—	—	—	—	—	—	57.8	56.3	54.7	51.7	49.4	47.1	45.6

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)													
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)													
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$	
54.2	—	—	—	—	—	—	58.2	56.7	55.1	52.1	49.8	47.5	46.0	
54.4	—	—	—	—	—	—	58.6	57.1	55.6	52.5	50.2	47.9	46.3	
54.6	—	—	—	—	—	—	59.1	57.5	56.0	52.9	50.5	48.2	46.6	
54.8	—	—	—	—	—	—	59.5	57.9	56.4	53.2	50.9	48.5	47.0	
55.0	—	—	—	—	—	—	59.9	58.4	56.8	53.6	51.3	48.9	47.3	
55.2	—	—	—	—	—	—	—	58.8	57.2	54.0	51.6	49.3	47.7	
55.4	—	—	—	—	—	—	—	59.2	57.6	54.4	52.0	49.6	48.0	
55.6	—	—	—	—	—	—	—	59.7	58.0	54.8	52.4	50.0	48.4	
55.8	—	—	—	—	—	—	—	—	58.5	55.2	52.8	50.3	48.7	
56.0	—	—	—	—	—	—	—	—	58.9	55.6	53.2	50.7	49.1	
56.2	—	—	—	—	—	—	—	—	59.3	56.0	53.5	51.1	49.4	
56.4	—	—	—	—	—	—	—	—	59.7	56.4	53.9	51.4	49.8	
56.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56.8	54.3	51.8	50.1	
56.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.2	54.7	52.2	50.5	
57.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.6	55.1	52.5	50.8	
57.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.0	55.5	52.9	51.2	
57.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.4	55.9	53.3	51.6	
57.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.9	56.3	53.7	51.9	
57.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.3	56.7	54.0	52.3	
58.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.7	57.0	54.4	52.7	
58.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.4	54.8	53.0	
58.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.8	55.2	53.4	
58.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.2	55.6	53.8	
58.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.6	55.9	54.1	
59.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.0	56.3	54.5	

续表

平均回 弹值 $R_m$	测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)													
	平均碳化深度值 $d_m$ (mm)													
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	$\geq 6.0$	
59.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.4	56.7	54.9	
59.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59.8	57.1	55.2	
59.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.5	55.6	
59.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57.9	56.0	
60.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58.3	56.4	

注：本表系按全国统一曲线制定。



## 附录 B 泵送混凝土测区混凝土强度换算值的修正值

碳化深度值 (mm)	抗压强度值(MPa)				
0.0; 0.5; 1.0	$f_{cu}^c$ (MPa)	≤40.0	45.0	50.0	55.0~60.0
	K (MPa)	+4.5	+3.0	+1.5	0.0
1.5; 2.0	$f_{cu}^c$ (MPa)	≤30.0	35.0	40.0~60.0	
	K(MPa)	+3.0	+1.5	0.0	

注：表中未列入的  $f_{cu,i}^c$  值可用内插法求得其修正值，精确至 0.1 MPa。

## 附录 C 非水平状态检测时的回弹值修正值

R <sub>m</sub>	检测角度							
	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
21	-5.9	-4.9	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
22	-5.8	-4.8	-3.9	-2.9	+2.4	+2.9	+3.4	+3.9
23	-5.7	-4.7	-3.9	-2.9	+2.4	+2.9	+3.4	+3.9
24	-5.6	-4.6	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
25	-5.5	-4.5	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
26	-5.4	-4.4	-3.7	-2.7	+2.2	+2.7	+3.2	+3.7
27	-5.3	-4.3	-3.7	-2.7	+2.2	+2.7	+3.2	+3.7
28	-5.2	-4.2	-3.6	-2.6	+2.1	+2.6	+3.1	+3.6
29	-5.1	-4.1	-3.6	-2.6	+2.1	+2.6	+3.1	+3.6
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
31	-4.9	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
32	-4.8	-3.9	-3.4	-2.4	+1.9	+2.4	+2.9	+3.4
33	-4.7	-3.9	-3.4	-2.4	+1.9	+2.4	+2.9	+3.4
34	-4.6	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
35	-4.5	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
36	-4.4	-3.7	-3.2	-2.2	+1.7	+2.2	+2.7	+3.2
37	-4.3	-3.7	-3.2	-2.2	+1.7	+2.2	+2.7	+3.2
38	-4.2	-3.6	-3.1	-2.1	+1.6	+2.1	+2.6	+3.1
39	-4.1	-3.6	-3.1	-2.1	+1.6	+2.1	+2.6	+3.1
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
41	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
42	-3.9	-3.4	-2.9	-1.9	+1.4	+1.9	+2.4	+2.9
43	-3.9	-3.4	-2.9	-1.9	+1.4	+1.9	+2.4	+2.9
44	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8

续表

R <sub>ma</sub>	检测角度							
	向上				向下			
	90°	60°	45°	30°	-30°	-45°	-60°	-90°
45	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8
46	-3.7	-3.2	-2.7	-1.7	+1.2	+1.7	+2.2	+2.7
47	-3.7	-3.2	-2.7	-1.7	+1.2	+1.7	+2.2	+2.7
48	-3.6	-3.1	-2.6	-1.6	+1.1	+1.6	+2.1	+2.6
49	-3.6	-3.1	-2.6	-1.6	+1.1	+1.6	+2.1	+2.6
50	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5

注：①R<sub>ma</sub> 小于 20 或大于 50 时，均分别按 20 或 50 查表；

②表中未列入的相应于 R<sub>ma</sub> 的修正值 R<sub>ma</sub>，可用内插法求得，精确至 0.1。

## 附录 D 不同浇筑面的回弹值修正值

$R'_m$ 或 $R^b_m$	表面修正值 ( $R^t_a$ )	底面修正值 ( $R^b_a$ )	$R'_m$ 或 $R^b_m$	表面修正值 ( $R^t_a$ )	底面修正值 ( $R^b_a$ )
20	+2.5	-3.0	36	+0.9	-1.4
21	+2.4	-2.9	37	+0.8	-1.3
22	+2.3	-2.8	38	+0.7	-1.2
23	+2.2	-2.7	39	+0.6	-1.1
24	+2.1	-2.6	40	+0.5	-1.0
25	+2.0	-2.5	41	+0.4	-0.9
26	+1.9	-2.4	42	+0.3	-0.8
27	+1.8	-2.3	43	+0.2	-0.7
28	+1.7	-2.2	44	+0.1	-0.6
29	+1.6	-2.1	45	0	-0.5
30	+1.5	-2.0	46	0	-0.4
31	+1.4	-1.9	47	0	-0.3
32	+1.3	-1.8	48	0	-0.2
33	+1.2	-1.7	49	0	-0.1
34	+1.1	-1.6	50	0	0
35	+1.0	-1.5			

注：①  $R'_m$  或  $R^b_m$  小于 20 或大于 50 时,均分别按 20 或 50 查表：

② 表中有关混凝土浇筑表面的修正系数，是指一般原浆抹面的修正值；

③ 表中有关混凝土浇筑表面的修正系数，是指构件底面与侧面采用同一类模板在正常浇筑情况下的修正值；

④ 表中未列入的相应于  $R'_m$  或  $R^b_m$  的( $R^t_a$ )和( $R^b_a$ )值，可用内插法求得，精确至 0.1。

## 附录 E 专用测强曲线的制定方法

**E.0.1** 制定专用测强曲线的试件应与欲测结构或构件在原材料(含品种、规格)的成型工艺与养护方法等方面条件相同。

**E.0.2** 试件的制作、养护应符合下列规定:

1 按最佳配合比设计 5 个强度等级, 每一强度等级每一龄期制作 6 个 150mm 立方体试件, 同一龄期试件宜在同一天内成型完毕。

2 在成型后的第二天, 应将试件移至与被测结构或构件相同的条件下养护, 试件拆模日期宜与结构或构件的拆模日期相同。

**E.0.3** 试件的测试应符合下列规定:

1 到达龄期的试件表面应擦净, 以浇筑侧面的两个相对面置于压力机的上下承压板之间, 加压 30~80kN(低强度试件取低值加压)。

2 在试件保持 30~80kN 的压力下, 用符合本规程第 2.1.3 条规定的标准状态的回弹仪和本规程第 3.2.1 条规定的操作方法, 在试件的另外两个相对侧面上分别选择均匀分布的 8 个点按本规程第 3.2.2 条的要求进行弹击。

3 从每一试件的 16 个回弹值分别剔除其中 3 个最大值和 3 个最小值, 然后再求余下的 10 个回弹值的平均值, 计算精确至 0.1, 即得该试件的平均回弹值  $R_m$ 。

4 将试件加荷直至破坏, 然后计算试件的抗压强度值  $f_{cu}$ (MPa), 精确至 0.1MPa。

**E.0.4** 专用测强曲线的计算应符合下列规定:

1 专用测强曲线的回归方程式, 应按每一试件求得的  $R_m$  和  $f_{cu}$ (MPa) 数据, 采用最小二乘法原理计算。

2 回归方程宜采用下式:

$$f_{cu}^c = AR_m^B \quad (E.0.4-1)$$

3 用下式计算回归方程式的强度平均相对误差  $\delta$  和强度相对标准差  $e_r$ , 当  $\delta$  和  $e_r$  均符合第 5.3.1 条规定时, 即可报请上级主管部门审批。

$$\delta = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{cu,i}^c}{f_{cu,i}^c} - 1 \right| \times 100 \quad (E.0.4-2)$$

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{cu,i}^c}{f_{cu,i}^c} - 1 \right)^2} \times 100 \quad (E.0.4-3)$$

式中  $\delta$ —回归方程式的强度平均相对误差(%), 精确至 0.1;

$e_r$ —回归方程式的强度相对标准差(%), 精确至 0.1;

$f_{cu,i}$ —由第  $i$  个试件抗压试验得出的混凝土抗压强度值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,i}^c$ —由同一试件的平均回弹值  $R_m$  按回归方程式算出的混凝土的强度换算值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$n$ —制定回归方程式的试件数。

**E.0.5** 当需制定具有较宽龄期范围的专用测强曲线时, 应在试验及回归分析时引入碳化深度变量, 并求得碳化深度修正系数。



## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于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：

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：

正面词采用"应"；

反面词采用"不应"或"不得"。

3)表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用"宜"；

反面词采用"不宜"。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用"可"。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为："应按……执行"或"应符合……规定(或要求)"。

中华人民共和国行业标准

回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

**JGJ/T23-2001**

条文说明



## 前 言

《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23-2001), 经建设部 2001 年 6 月 29 日以建标[2001]134 号文批准, 业已发布。

本规程第一版的主编单位是陕西省建筑科学研究设计院, 参加单位是中国建筑科学研究院、浙江省建筑科学设计研究院、四川省建筑科学研究院、贵州中建建筑科学研究设计院、重庆市建筑科学研究院、天津建筑仪器试验机公司。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位的有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定, 本规程修订组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明, 供使用者参考。

在使用中如发现本条文说明有不妥之处, 请将意见函寄陕西省建筑科学研究设计院《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》修订组。

## 目 次

前 言 .....	3
目 次 .....	4
1 总 则 .....	5
3 回 弹 仪.....	6
4 检测技术.....	9
5 回弹值计算 .....	12
6 测 强 曲 线.....	13
7 混凝土强度的计算.....	15

# 1 总 则

**1.0.1** 统一回弹仪检测方法，保证检测精度是本规程制定的目的。回弹法在我国使用已达四十余年，国外在使用回弹法时精度并不高，有的只能定性判断混凝土质量，不能定量给出具体的强度数值。但回弹法在我国却越用越广泛，这不仅是因为回弹法简便、灵活、符合国情，更是由于我国已解决了回弹法使用精度不高和不能普遍推广的关键问题，为了解决使用回弹法时出现的混乱状况，如有的按照国外进口仪器使用说明书使用，有的不知回弹仪要检定成标准状态，有的不测量碳化深度值等等。因此有必要统一检测方法，保证检测精度，使其在监督、检验结构工程和混凝土质量中发挥应有的作用。

此外，本条所指的普通混凝土系指现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》中第 4.1.1 条规定的由水泥、普通碎(卵)石、砂和水配制的质量密度为 1950~2500kg/m<sup>3</sup> 的普通混凝土。

**1.0.2** 在正常情况下，混凝土强度的检验与评定应按现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》及《混凝土强度检验评定标准》执行。不允许因为有了本规程而不按上述《规范》、《标准》制作规定数量的试件供常规检验之用。但是，当出现标准养护试件或同条件试件数量不足或未按规定制作试件时；当所制作的标准试件或同条件试件与所成型的构件在材料用量、配合比、水灰比等方面有较大差异，已不能代表构件的混凝土质量时；当标准试件或同条件试件的试压结果，不符合现行标准、规范规定的对结构或构件的强度合格要求，并且对该结果持有怀疑时。总之，当对结构中混凝土实际强度有检测要求时，可按本规程进行检测，检测结果可作为处理混凝土质量的一个依据。

由于回弹法是通过回弹仪检测混凝土表面硬度从而推算出混凝土强度的方法，因此不适用于表层与内部质量有明显差异或内部存在缺陷的混凝土结构或构件的检测。当混凝土表面遭受了火灾、冻伤、受化学物质侵蚀或内部有缺陷时，就不能直接采用回弹法检测。

**1.0.3** 由于本规程规定的方法与国外传统方法显著不同，若不进行统一培训，则会对同一结构或构件混凝土强度的推定结果存在着因人而异的混乱现象，因此本条规定凡从事本项检测的人员均应培训并持有相应的资格证书，且培训、宣贯应通过主管部门认可。

**1.0.4** 凡本规程涉及的其它有关方面，例如钻芯取样，高空、深坑作业时的安全技术和劳动保护等，均应遵守相应的标准、规范或规程。

## 3 回弹仪

### 3.1 技术要求

**3.1.1** 目前国内常用于检测混凝土抗压强度的回弹仪，其标准状态下的冲击能量为2.207J、示值系统为指针直读式。对原规程中"采用其它示值系统(例如数显式、自动记录式、信息遥记式和微机式等)的同类冲击能量的回弹仪，经鉴定认可，如性能稳定并有可靠的检验示值准确性的方法，亦允许使用"的内容予以删除。原因是:一、检定混凝土回弹仪已制订了国家计量检定规程，属于计量仪器范畴。而在已批准执行的回弹仪计量检定规程中并无上述(除直读式外)几种示值系统回弹仪的检定方法。二、目前只有极少数数字式回弹仪规定了检验非直读式回弹仪的示值准确性的方法，但是大部分使用非指针直读式仪器却无法按计量检定规程检定，从而影响了回弹法检测结果。本规程要求在条件许可的前提下，首先应使用指针直读式，若使用其它示值系统的仪器，要符合国家计量检定规程 JJG817 的要求。亦即该类型仪器能将回弹仪主体(指针直读式仪器)部分与其它功能(如自动记录、打印、计算)部分分开，将主体部分按计量规程检定，并要检定直读式仪器的示值与自记式、数显示值一致。有计算功能的还要检查其计算过程是否符合本规程的相关规定。

**3.1.2** 由于回弹仪为计量仪器，因此在回弹仪明显的位置上要标明名称、型号、制造厂名、生产编号及生产日期，尤其要有中国计量器具制造许可证标志 CMC 及许可证证号等。

**3.1.3** 回弹仪的质量及测试性能直接影响混凝土强度推定结果的准确性。例如，国际标准化组织制订的"硬化后的混凝土--用回弹仪测定回弹值"(国际标准草案)指出"同一型号的各个回弹仪会得出不同的回弹值，因此为了比较结果，应该使用同一回弹仪进行试验，如果混凝土用同一回弹仪，则应该在有代表性的混凝土表面或标准钢砧上进行相当数量的试验，以便定出预期差值的大小"。

根据多年对回弹仪的测试性能试验研究，认为: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。在此基础上，提出了下列回弹仪标准状态的各项具体指标:

1 水平弹击时，弹击锤脱钩的瞬间，回弹仪的标准能量  $E$ ，即弹击拉簧恢复原始状态所作的功为:

$$E = \frac{1}{2}KL^2 = \frac{1}{2} \times 784.532 \times 0.075^2 = 2.207J$$

式中 **K**—弹击拉簧的刚度(N/m);

**L**—弹击拉簧工作时拉伸长度(m)。

2 弹击锤与弹击杆碰撞瞬间,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,必须使弹击拉簧的工作长度为 0.0615m;弹击拉簧的冲击长度(即拉伸长度)为 0.075m。此时,弹击锤应相应于刻度尺上的"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、拉伸长度及弹击锤的起跳点不符合以上规定的要求,即不符合回弹仪工作的标准状态时,则各仪器在同一试块上测得的回弹值的极差高达 7.82 分度值,经调为标准状态后,极差为 1.72 分度值。

3 检验回弹仪的率定值是否符合  $80 \pm 2$  的作用是:检验回弹仪的标准能量是否为 2.207J;回弹仪的测试性能是否稳定;机芯的滑动部分是否有污垢等。

当钢砧率定值达不到  $80 \pm 2$  时,不允许沿用国外的方法,即将混凝土试块上的回弹值予以修正;更不允许旋转调零螺丝人为地使其达到  $80 \pm 2$  值。试验表明上述方法不符合回弹仪测试性能,并破坏了零点起跳亦即使回弹仪处于非标准状态。此时,可按本规程 3.3 节要求进行常规保养,若保养后仍不合格,可送检定单位检修。

**3.1.4** 环境温度异常时,对回弹仪的性能有影响,故规定了其使用时的环境温度。

## 3.2 检 定

**3.2.1** 目前国内外回弹仪生产不能保证每台新回弹仪均为标准状态,特别是一些国外进口仪器不按我国有关标准生产及检定,因此新回弹仪在使用前必须检定。

回弹仪送检定单位检定的有限期限为半年或累计弹击 6000 次为限,这样规定比较符合我国目前使用回弹仪的情况。其中 6000 次的规定,是参照国内外现有试验资料而定的,一般如不超过这一界限,正常质量的弹击拉簧不会产生显著的塑性变形而影响其工作性能。

**3.2.2** 本条明确指出,检定混凝土回弹仪的单位应由当地技术监督部门授权,并按照国家计量检定规程《混凝土回弹仪》JJG817 进行。开展检定工作要备有回弹仪检定器、拉簧刚度测量仪等设备。目前有的地区或部门不具备检定回弹仪的资格及条件,甚至不懂得回弹仪的标准状态,沿用国外调整调零螺丝以使其钢砧率定值达到  $80 \pm 2$  的错误方法;有的没有检定设备也开展检定工作,以至影响了回弹法的正确推广应用。因此,有必要强调检定单位的资格和统一检定回弹仪的方法。

**3.2.3** 本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。

**3.2.4** 本条对回弹仪率定试验环境增加了干燥的要求，并将室温要求的规定与计量规程《混凝土回弹仪》JJG817 一致。

### **3.3 保 养**

**3.3.1** 本条主要规定了回弹仪常规保养的步骤及要求。

**3.3.2** 进行常规保养时，必须先使弹击锤脱钩后再取出机芯，否则会使弹击杆突然伸出造成伤害。取机芯时要将指针轴向上轻轻抽出，以免造成指针片折断。此外各零部件清洗完后，不能在指针轴上抹油。否则，使用中由于指针轴的污垢，将使指针摩擦力变化，直接影响了检测结果。

**3.3.3** 回弹仪每次使用完毕后，应及时清除表面污垢。不用时，应将弹击杆压入仪器内，必须经弹击后方可按下按钮锁住机芯，如果未经弹击而锁住机芯，将使弹击拉簧在不工作时仍处于受拉状态，极易因疲劳而损坏。存放时回弹仪应平放在干燥阴凉处。如存放地点潮湿将会使仪器锈蚀。

## 4 检测技术

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 本条列举的 1~5 项资料,是为了对被检测的构件有全面、系统的了解。此处对水泥安定性必须了解合格与否。如水泥安定性不合格则不能检测,如不能确切提供水泥安定性合格与否则应在检测报告上说明,以免产生由于后期混凝土强度因水泥安定性不合格而降低或丧失所引起的事故责任不清的问题。另外,混凝土成型日期也应了解清楚,这样可以推算出检测时构件混凝土的龄期。

**4.1.2** 由于回弹法测试具有快速、简便的特点,能在短期内进行较多数量的检测,以取得代表性较高的总体混凝土强度质量,故作此规定。原规定按批进行检测的构件,抽检数量不得少于同批构件总数的 30%且测区数量不得少于 100 个。但是对于较小的构件,只需布置 5 个测区如果强调不少于 100 个测区的话,则被测构件数量过大。因此将其改为构件数量不得少于 10 件。

此外,抽取试样应严格遵守"随机"的原则,并宜由建设单位、监理单位、施工单位会同检测单位共同商定抽样的范围、数量和方法。

**4.1.3** 原规程对长度不小于 3m 的构件,规定其测区数不少于 10 个,对长度小于 3m 且高度低于 0.6m 的构件,规定其测区数可适当减少,但不应少于 5 个。现将"长度"、"高度"分别改为构件"某一方向尺寸"、"另一方向尺寸"这样的表述更为确切,例如柱子就应按高度决定其测区数。此外经多年实践,认为长度不小于 3m 的构件其测区数不允许少于 10 个测区数的规定过于严格,加大了检测工作量。一般民用建筑,尤其是砖混住宅,梁、柱尺寸不大,不必拘于原规定测区数。因此改作某一方向尺寸小于 4.5m,另一方向尺寸小于 0.3m 时,作为是否需要 10 个测区数的界线。

检测构件布置测区时,相邻两测区的间距及测区离构件端部或施工缝的距离应遵守本条规定。测区布置时,要选在构件两个对称的可测面上,但不强调一个测区要在构件的两相对检测面上布置基本对称的检测面。可以一个测区布置在构件的一个检测面上。

检测时必须为混凝土原浆面,已经粉刷的需将粉刷层除净,注意不可误将砂浆粉刷层当作混凝土原浆面进行检测。如果养护不当混凝土表面会产生疏松层,尤其在气候干燥地区更应注意,应将疏松层清除后方可检测,否则会造成误判。

对于薄壁小型构件,如果约束力不够回弹时产生颤动,会造成回弹能量损失,

使检测结果偏低。因此必须加以可靠支撑使之有足够的约束力方可检测。

**4.1.4** 在记录纸上描述测区在构件上的位置和外观质量(例如有无裂缝),目的是备推定和分析处理结构或构件混凝土强度时参考。

**4.1.5** 原规定当检测条件与测强曲线的适用条件有较大差异时,例如龄期、湿度、成型工艺的差异;有的地区在混凝土表面涂养护剂,以致造成混凝土内外差异等等,可以采用同条件试件或钻取混凝土芯样进行修正,试件数量应不少于 6 个。实践表明,作为取得修正系数的试件或芯样数量取 3 个太少了。尤其是芯样强度离散性较大,数量太少的话代表性不够,但由于取芯工作量大,又不宜在构件上取过多数量以致影响其结构安全性,因此规定数量不少于 6 个。需要指出的是,此处每一个芯样表面均需有构件混凝土原浆面,以便读取回弹值、碳化深度值后再制作芯样试件。不可以将较长芯样沿长度方向截取为几个芯样来计算修正系数。芯样的钻取、加工、计算可参照《钻芯法检测混凝土强度技术规程》规定执行。

**4.1.6** 近年来,随着大中城市泵送混凝土使用的普及,发现采用回弹法按附录 A 推定的测区混凝土强度值低于其实际强度值。这是因为泵送混凝土流动性大,粗骨料粒径较小,砂率增加,混凝土的砂浆包裹层偏厚,表面硬度较低所致。现根据浙江、四川、陕西、北京等地泵送混凝土自然养护的试件共 530 组进行分析对比,求出本规程附录 B 的修正值。经实测工程取芯验证表明,修正后的测区混凝土强度换算值符合实际强度。

本规程附录 B 的修正值,只适用于碳化深度值为 0.0~2.0mm。当碳化深度值大于 2.0mm 时,是否需要修正,尚待进一步研究。但是,由于泵送混凝土需满足预拌混凝土(GB14902)各项技术指标要求,混凝土质量比较均匀。而且工程中一旦出现混凝土试块抗压强度不合格,一般都会立即用回弹法检测,此时,混凝土龄期较短,碳化深度值相对较小,一般不超过 2.0mm。当出现超过 2.0mm 碳化深度值的情况时,可按 4.1.5 条进行检测。

## **4.2 回弹值测量**

**4.2.1** 检测时应注意回弹仪的轴线应始终垂直于混凝土检测面,并且缓慢施压不能冲击,否则回弹值读数不准确。

**4.2.2** 本条规定每一测区记取 16 点回弹值,它不包含弹击隐藏在薄薄一层水泥浆下的气孔或石子上的数值,这两种数值与该测区的正常回弹值偏差很大,很好判断。同一测点只允许弹击一次,若重复弹击则后者回弹值高于前者,这是因为经弹击后该局部位位置较密实,再弹击时吸收的能量较小从而使回弹值偏高,这种作法不允许



存在。

### 4.3 碳化深度值测量

**4.3.1** 本规程附录 A 中测区混凝土强度换算值由回弹值及碳化深度值两个因素确定，因此需要具体确定每一个测区的碳化深度值，故增加了条文中的方法。当出现测区间碳化深度值极差大于 2.0mm 情况时，可能预示该结构或构件混凝土强度不均匀，因此要求每一测区需测量碳化深度值。

**4.3.2** 由于现在所用水泥掺合料品种繁多，有些水泥水化后不能立即呈现碳化与未碳化的界线，需等待一段时间方显现。因此本条规定了量测碳化深度时，需待碳化与未碳化界线清楚时再进行量测的内容。碳化深度值的测量准确与否与回弹值一样，直接影响推定混凝土强度的精度，因此在测量碳化深度值时应为垂直距离，并非孔洞中显现的非垂直距离。测量碳化深度值时最好用专用测量仪器。

## 5 回弹值计算

**5.0.1** 本条规定的测区平均回弹值计算方法与瑞士、匈牙利、罗马尼亚、保加利亚、波兰、前苏联、日本、美国、英国、德国等国方法不同，虽然其舍弃值的统计依据稍差，但经计算对比，本方法标准差较小，测试和计算过程十分简捷，不必立即在现场计算和补点，而且和建立测强曲线时的取舍方法一致，不会引进新的误差。

**5.0.2~5.0.3** 由于现场检测条件的限制，有时不能满足水平方向检测混凝土浇筑侧面的要求，需按照规定修正。附录 C 及附录 D 系参考国外有关标准和国内试验资料而制定的。

**5.0.4** 当检测时回弹仪为非水平方向且测试面为非混凝土的浇筑侧面时，应先按附录 C 对回弹值进行角度修正，然后用上述按角度修正后的回弹值查附录 D 再行修正，两次修正后的值可理解为水平方向检测混凝土浇筑侧面的回弹值。这种先后修正的顺序不能颠倒，更不允许用分别修正后的值直接与原始回弹值相加(减)。

## 6 测 强 曲 线

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 我国地域辽阔，气候悬殊，混凝土材料品种繁多，工程分散，施工条件和水平不一。欲在全国城乡建设工程中推广采用回弹法，除统一仪器标准，统一测试技术，统一数据处理，统一强度推定方法外，还应尽力提高测强公式的精度，发挥各地区技术的作用。各地除可使用统一测强曲线外，也可以因地制宜结合具体条件和工程对象，制定和采用专用测强曲线和地区测强曲线。

**6.1.2** 对有条件的地区如能建立本地区测强曲线或专用测强曲线，这两类曲线在经过上级主管部门组织专业技术人员不少于三分之二的鉴定委员会审查和批准后，方可实施。并按专用测强曲线、地区测强曲线、统一测强曲线的次序选用。

### 6.2 统一测强曲线

**6.2.1** 统一测强曲线已经过 15 年试用，效果较好。为了进一步扩大使用范围和提高精度，本规程修编组对较高强度的适用性进行了验证。原规程所列测区混凝土强度换算表中抗压强度，适用于 10~50MPa，经西安、杭州、广州、中山、四川等省市共 164 个试件验证 50~60MPa 的适用性后，其验证平均相对误差为±7.73%，相对标准差 11.13%。因此抗压强度适用范围可以延至 10~60MPa。

**6.2.2** 本条明确指出了全国统一测强曲线的误差值。

**6.2.3** 试验表明，粗骨料的粒径和级配对回弹法测强的影响不大，虽然根据目前国内回弹法的资料粗骨料的粒径为 40mm，但为了与一般混凝土工程用的粗骨料最大粒径相适应，参考国外资料，将粗骨料最大粒径放宽至 60mm 外；构件生产中，有的并非一般机械成型工艺可以完成，例如混凝土轨枕，上、下管道等，就需采用加压振动或离心法成型工艺，超出了制订统一测强曲线的使用范围；对于测试面为非平面的结构或构件上测得的回弹值与在平面上测得的回弹值关系，国内目前尚无试验资料，现参照国外资料，对于测试部位的曲率半径小于 250mm 的结构或构件不能采用统一测强曲线；混凝土表面湿度对回弹法测强影响很大，经研究已得出混凝土表面湿度与回弹值之间的相关关系，由于此项研究工作较为复杂牵涉面较广，目前尚未找出精度符合要求的不同湿度修正系数。因此建议制定专用测强曲线或通过试验进行修正。

**6.2.4** 高层建筑的日益增多，使得高强混凝土的使用亦日益增多。对现场结构或构

件高强混凝土的检测，能量为 2.207J 的中型回弹仪已不适用。目前我国已有几个单位分别研制出了能量大于 2.207J 的高强混凝土回弹仪，但尚无统一的检测高强混凝土的方法及相应的标准等，只能各自制定使用方法及专用测强曲线。

### **6.3 地区和专用测强曲线**

**6.3.1** 地区和专用测强曲线的强度误差值均小于全国统一测强曲线，具体误差值见本规定。

**6.3.2** 地区和专用测强曲线制定并批准实施使用后，应注意其使用范围只能在制定该曲线时的试件条件范围内，例如龄期、原材料、外加剂、强度区间等等，不允许超出该使用范围。这些测强曲线均为经验公式制定，因此决不能仅仅根据测强公式而任意外推，以免得出错误的计算结果。此外，尚应经常抽取一定数量的同条件试件进行校核，如发现误差较大时，应停止使用并及时查找原因。

## 7 混凝土强度的计算

**7.0.1** 构件的每一测区的混凝土强度换算值，是由每一测区的平均回弹值及平均碳化深度值按统一测强曲线查出。如有地区测强曲线或专用测强曲线则应按相应测强曲线使用。对于泵送混凝土，按上述规定查出测区强度值后还应注意要按本规程第 4.1.6 条计算。

**7.0.2** 此处应注意计算测区混凝土强度平均值及标准差时，不要用手工计算，可采用带有方差统计运算功能的计算器或其它计算工具计算。

**7.0.3** 原规程规定单个构件取最小值为强度推定值。批量检测时取两公式中较大值为推定值。实际上，以最小值为结构或构件强度推定值的保证率并不是恒定的 95%，而是浮动的，有的较 95%高，有的低于 95%保证率但基本在 85%以上。当构件测区数  $\geq 10$  个时，从数理统计角度来看，欲满足 95%保证率取最小值亦不合适。为此对构件测区数  $\geq 10$  个时将公式改为现在完全按数理统计公式求得 95%保证率的方法，对构件测区数小于 10 个时，因样本太少，仍取最小值。此外，当构件中出现测区强度无法查出(即  $f_{cu}^c < 10.0$  或  $f_{cu}^c > 60.0$ )情况时，因无法计算平均值及方差值，也只能以最小值作为该构件强度推定值，当出现  $< 10.0\text{MPa}$  情况时，该构件强度推定值为  $< 10.0\text{MPa}$ 。经近年实际检测 331 个构件统计计算表明:最小值与 95%保证率换算值的比值约为 0.986。按 95%保证率换算的强度值略低于最小值。

一般情况下，结构或构件由于制作、养护等方面原因，其强度值要低于同条件试件强度值。本规程定义强度推定值为结构或构件本身的强度值，而实际应用时，多数错误的将该值直接与标准养护 150mm 立方体试件强度对比，造成回弹法检测的强度值偏低的印象。这里除了前述原因外，尚有不同保证率的差异。因此工程建设单位、施工单位、设计单位、监督、监理单位应注意这一差别:按本规程给出的强度值为结构或构件中的混凝土强度且具有 95%保证率，在处理混凝土质量问题时予以考虑。

**7.0.4** 当测区间的标准差过大时，说明已有某些偶然因素起作用，例如构件不是同一强度等级，龄期差异较大等，不属于同一母体，因此不能按批进行推定。

**7.0.5** 检测报告是工程测试的最后结果，是处理混凝土质量的依据，鉴于以往使用中检测报告格式较为混乱，因此要求按统一格式出具。本检测结果为构件混凝土强度，该强度与标准养护或同条件养护试件强度存有差异，因此不能据此结果对构件的设计强度等级给出合格与否的结论。此外，为加强管理，凡进行回弹法检测的人员均应有上岗证，使用的回弹仪应有检定合格证，在检测报告中应逐项填写。