

# 混凝土结构及构件实体、后置埋件

## 第一章 混凝土结构及构件实体的混凝土强度检测

混凝土结构及构件实体检测主要包括现场结构混凝土抗压强度检测、混凝土构件缺陷检测和混凝土中钢筋的检测。

混凝土的抗压强度是指混凝土受力达到破坏极限时的应力值，现场结构混凝土强度检测通常采用的是非破损或微破损检测方法，就是要在不破坏结构或构件的情况下，取得破坏应力值，因此只能寻找一个或几个与混凝土强度具有相关性的物理量作为混凝土强度的推算依据。本章介绍了混凝土结构及构件实体强度检测中常用的回弹法、钻芯法、超声法和超声回弹法等方法。

混凝土是一种复合材料，施工时受原材料、配合比、拌和、浇捣等多种因素影响，而产生表面和内部缺陷；为了改变使用功能、需要改扩建和抗震加固的工程，或因为使用已久受力及腐蚀性破坏所造成的损伤缺陷是现场检测的主要内容，这类缺陷包括蜂窝、孔洞、裂缝、不密实区、腐蚀破坏层及其它损伤部位等。有缺陷的结构往往对承载力和结构的耐久性造成影响，现场混凝土缺陷主要采用非破损的超声波检测方法进行。

混凝土结构及构件中的钢筋检测主要是对钢筋的公称直径、间距和保护层厚度进行检测，通常采用的是非破损并结合微破损验证的检测方法。

### § 1 回弹法检测结构混凝土强度

#### 一、检测原理、适用范围

##### 1、检测原理

回弹法是利用混凝土表面硬度与强度之间的相关关系来推定混凝土强度的一种方法，即 $f_{cu} = f(R \cdot l)$ 。其基本原理是：用一弹簧驱动的重锤，通过弹击杆（传力杆），弹击混凝土表面，并测出重锤被反弹回来的距离，即回弹值（反弹距离与弹簧初始长度之比）作为与强度相关的指标，同时考虑混凝土表面碳化后硬度变化的影响，来推定混凝土强度的一种方法。由于测量在混凝土表面进行，所以应属于表面硬度法的一种。

图 1-1 为回弹法的原理示意图。当重锤被拉到冲击前的起始状态时，若重锤的质量等于 1，则这时重锤所具有的势能 $e$ 为：

$$e = \frac{1}{2} E_s l^2 \quad (1-1-1)$$

式中 $E_s$ ——拉力弹簧的刚度系数；

$l$ ——拉力弹簧起始拉伸长度。

混凝土受冲击后产生瞬时弹性变形，其恢复力使重锤弹回，当重锤被弹回到 $x$ 位置时所具有的势能 $e_x$ 为

$$e_x = \frac{1}{2}E_s x^2 \quad (1-1-2)$$

式中 $x$ ——重锤反弹位置或重锤弹回时弹簧的拉伸长度。

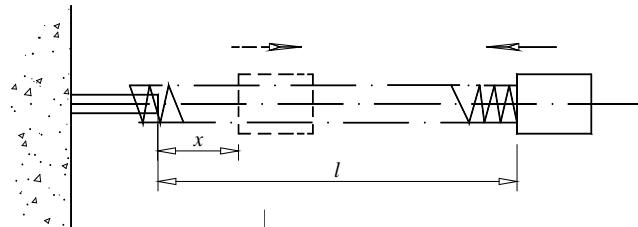
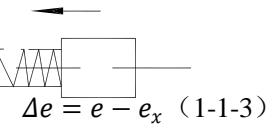


图 1-1 回弹法原理示意

所以重锤在弹击过程中，所消耗的能量 $\Delta e$ 为：



将(1-1)、(1-2)式代入(1-3)式得到：

$$\Delta e = \frac{E_s l^2}{2} - \frac{E_s x^2}{2} = e \left[ 1 - \left( \frac{x}{l} \right)^2 \right] \quad (1-1-4)$$

$$\text{令 } R = \frac{x}{l} \quad (1-1-5)$$

在回弹仪中， $l$ 为定值，所以 $R$ 与 $x$ 成正比，称为回弹值。将 $R$ 代入(1-4)式得

$$R = \sqrt{1 - \frac{\Delta e}{e}} = \sqrt{\frac{e_x}{e}} \quad (1-1-6)$$

从(1-6)式可知，回弹值 $R$ 等于重锤冲击混凝土表面后剩余的势能与原有势能之比的平方根。简而言之，回弹值 $R$ 是重锤冲击过程中能量损失的反映。能量损失包括以下3方面：

- 1、混凝土受冲击后产生塑性变形所吸收的能量；
- 2、混凝土受冲击后产生振动所消耗的能量；
- 3、回弹仪各机构之间的摩擦所消耗的能量。

在具体的试验中，上述2、3两项应尽可能使其固定于某一统一的条件，例如，试体应有足够的厚度，或对较薄的试体予以加固，以减少振动，回弹仪应进行统一的计量率定，使冲击能量与仪器内摩擦损耗尽量保持统一等。因此，能量损失主要是由第一项引起。

根据以上分析可以认为，回弹值通过重锤在弹击混凝土前后的能量变化，既反映了混凝土的弹性性能，也反映了混凝土的塑性性能。若联系公式(1-1)来思考，回弹值 $R$ 反映了该式中的 $E_s$ 和 $l$ 两项，当然与强度 $f_{cu}^c$ 有着必然联系，但由于影响因素较多， $R$ 与 $E_s$ 、 $l$ 的理论关系尚难推导。因此，目前均采用试验归纳法，建立混凝土强度 $f_{cu}^c$ 与回弹值 $R$ 及主要影响因素（例如碳化深度 $L$ ）之间的二元回归公式。这些回归的公式可采用各种不同的函数方程形式，根据大量试验数据进行回归拟合，将其相关系数较大者作为实用经验公式。目前常见的形式主要有以下几种：

$$\text{直 线 方 程 } f_{cu}^c = A + BR \quad (1-1-7)$$

$$\text{幕 函 数 方 程 } f_{cu}^c = AR^B \quad (1-1-8)$$

$$\text{抛物线方程 } f_{cu}^c = A + BR + CR^2 \quad (1-1-9)$$

$$\text{二元方程 } f_{cu}^c = AR^B \cdot 10^{cL} \quad (1-1-10)$$

上述式中  $f_{cu}^c$  ——混凝土测区的推算强度;

$R$  ——测区平均回弹值;

$L$  ——测区平均碳化深度值;

$A$ 、 $B$ 、 $C$  ——常数项，视原材料条件等因素不同而不同。

## 2、回弹法的特点

回弹法是目前国内应用最为广泛的结构实体混凝土抗压强度检测方法。其特点如下：

- 1：对结构没有损伤；
- 2：仪器轻巧，使用方便；
- 3：测试速度快；
- 4：测试费用相对较低；
- 5：可以基本反映结构混凝土抗压强度规律。

## 3、适用范围

适用于普通混凝土抗压强度的检测。普通混凝土是指主要由水泥、砂、石、外加剂、掺合料和水配制的密度为  $2000\sim2800\text{kg/m}^3$  的混凝土。

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。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。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。

## 二、检测依据

《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》 JGJ/T23-2011。

## 三、仪器设备及检测环境

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。

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 C M C 及许可证证号等

3、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。（注：小型，0. 735J、中型，2. 207J、大型，29. 40J。普通混凝土一般使用中型回弹仪进行检测）

4、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；

- 5、在洛氏硬度 HRC 为  $60\pm 2$  的钢砧上，回弹仪的率定值应为  $80\pm 2$ 。
- 6、回弹仪使用时的环境温度应为  $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。
- 7、回弹仪检定周期为半年，当回弹仪具有下列情况之一时，应由法定计量检定机构按现行行业标准《回弹仪》JJG817 进行检定：

- (1) 新回弹仪启用前；
- (2) 超过检定有效期限；
- (3) 数字式回弹仪数字显示的回弹值与指针直读示值相差大于 1；
- (4) 经保养后，在钢砧上的率定值不合格；
- (5) 遭受严重撞击或其他损害。

8、回弹仪的率定试验应符合下列规定：

- (1) 率定试验应在干燥、室温为  $5\sim 35^{\circ}\text{C}$  的条件下进行。
- (2) 钢砧表面应干燥、清洁，并应稳固地平放在刚度大的物体上。
- (3) 回弹值应取向下弹击三次的稳定回弹结果的平均值。
- (4) 率定试验应分四个方向进行，且每个方向弹击前，弹击杆应旋转  $90^{\circ}$ 。每个方向的回弹平均值应为  $80\pm 2$ 。

回弹仪率定试验所用的钢砧应每 2 年送授权计量检定机构检定或校准。

回弹仪在检测前后，均应在钢砧上做率定试验。

9、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) 在钢砧上的率定值不合格；
- (3) 对检测值有怀疑。

保养后应按要求进行率定试验。

- 10、回弹仪使用完毕，应使弹击杆伸出机壳，并应清除弹击杆、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。当数字式回弹仪长期不用时，应取出电池。

## 四、强度检测取样部位和取样要求

- 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、设计及施工单位；
  - (2) 结构或构件名称、数量及混凝土类型、强度等级；
  - (3) 水泥安定性，外加剂、掺合料品种，混凝土配合比等；
  - (4) 施工模板、混凝土浇筑、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。

2、结构或构件取样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、养护条件基本一致且龄期相近的一批同类构件。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。当检验批构件数量大于 30 个时, 抽样构件数量可适当调整, 并不得少于国家现行有关标准规定的最小抽样数量。抽检构件时, 应随机抽取并使所选构件具有代表性。

3、每一结构或构件的测区应符合下列规定:

(1) 对于一般构件, 测区数不应少于 10 个。当受检构件数量大于 30 个且不需提供单个构件推定强度或受检构件某一方向尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 时, 每个构件的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, 并应避开预埋件;

(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;

(7) 对弹击时产生颤动的薄壁、小型构件, 应进行固定。

4、结构或构件的测区应标有清晰的编号, 并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。

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, 对同一强度等级混凝土修正时, 芯样数量不应少于 6 个。芯样应在测区内钻取, 计算时, 推荐采用修正量方法对测区混凝土强度进行修正。

## 五、检测操作步骤

### 1、回弹值测量

(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。

(2) 每一测区应读取 16 个回弹值，每一测点的回弹值读数应精确至 1。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。

### 2、碳化深度值测量

(1) 回弹值测量完毕后，应在有代表性的测区上测量碳化深度值，测点数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，应在每一回弹测区分别测量碳化深度值。

(2) 碳化深度值测量，可采用适当的工具如铁锤和尖头铁凿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。应除净孔洞中的粉末和碎屑，并不得用水擦洗，再采用浓度为 1%~2% 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，再用碳化深度测量仪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，应测量 3 次，每次读数应精确至 0.25mm，取其平均值作为该测区的碳化深度检测结果，每次读数精确至 0.5mm。

检测泵送混凝土强度时，测区应选在混凝土浇筑侧面。

## 六、数据处理与结果判定

### 1、回弹值计算

(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：

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (1-1-11)$$

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。

(2) 非水平方向检测混凝土浇筑侧面时，应按下式修正：

$$R_m = R_{m\alpha} + R_{a\alpha} \quad (1-1-12)$$

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

$R_{a\alpha}$ ——非水平状态检测时回弹值修正值，可按表 1-1 采用。

(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：

$$R_m = R_m^t + R_a^t \quad (1-1-13)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \quad (1-1-14)$$

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，应按表 1-2 采用。

(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，应先按表 1-1 对回弹值进行角度修正，再按表 1-2 对修正后的值进行浇筑面修正。

(5) 符合下列条件的混凝土应采用《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T23-2011 附录 A 进行测区混凝土强度换算：

- ① 混凝土采用的水泥、砂石、外加剂、掺合料、拌合用水符合国家现行有关标准；
- ② 采用普通成型工艺；
- ③ 采用符合现行国家标准规定的模板；
- ④ 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；
- ⑤ 自然养护且龄期为 14~1000d；
- ⑥ 抗压强度为 10~60MPa。

(6) 当有下列情况之一时，测区混凝土强度值不得按《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T23-2011 附录 A 或附录 B 换算：

- ① 非泵送混凝土粗集料最大粒径大于 60mm，泵送混凝土粗集料最大粒径大于 31.5mm；
- 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。

表 1-1 非水平状态检测时的回弹值修正值

$R_{ma}$	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
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: ①  $R_{ma}$  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  $R_{ma}$  的修正值  $R_{ma}$ , 可用内插法求得, 精确至 0.1。

表 1-2 不同浇筑面的回弹值修正值

$R_m^t$ 或 $R_m^b$	表面修正值( $R_a^t$ )	底面修正值( $R_a^b$ )	$R_m^t$ 或 $R_m^b$	表面修正值( $R_a^t$ )	底面修正值( $R_a^b$ )
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  $R_m^t$  或  $R_m^b$  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底面的修正系数, 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 $R_m^t$ 或 $R_m^b$ 的 $R_a^t$ 和 $R_a^b$ 值，可用内插法求得，精确至0.1。

## 2、混凝土强度的计算

(1) 结构或构件第*i*个测区混凝土强度换算值，可将所求得的平均回弹值( $R_m$ )及平均碳化深度值( $d_m$ )查表得出。

(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：

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (1-1-15)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c - m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (1-1-16)$$

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。

3、如构件采取钻芯法进行修正时，测区混凝土强度换算值应采用修正量修正。

(1) 修正量应按下列公式计算：

$$\Delta_{tot} = f_{cor,m} - f_{cu,m0}^c \quad (1-1-17)$$

$$\Delta_{tot} = f_{cu,m} - f_{cu,m0}^c \quad (1-1-18)$$

$$f_{cor,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} \quad (1-1-19)$$

$$f_{cu,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} \quad (1-1-20)$$

$$f_{cu,m0}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-1-21)$$

式中 $\Delta_{tot}$ ——测区混凝土强度修正量，精确到0.1 MPa；

$f_{cor,m}$ ——芯样试件混凝土强度平均值(MPa)，精确到0.1MPa；

$f_{cu,m}$ ——150mm同条件立方体试块混凝土强度平均值(MPa)，精确到0.1MPa；

$f_{cu,m0}^c$ ——对应与钻芯部位或同条件立方体试块回弹测区混凝土强度换算值的平均值(MPa)，

精确到0.1MPa；

$f_{cor,i}$ ——第*i*个混凝土芯样试件的抗压强度；

$f_{cu,i}$ ——第*i*个混凝土芯样试件的抗压强度；

$f_{cu,i}^c$ ——对应第  $i$  个芯样部位或同条件立方体试块测区回弹值和碳化深度值的混凝土强度换算值，可按《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T23-2011 中附录 A、B 取值。

(2) 测区混凝土强度换算值的修正应按下式计算：

$$\triangle \quad f_{cu,i1}^c = f_{cu,i0}^c + \Delta_{tot} \quad (1-1-21)$$

$f_{cu,i0}^c$ ——第  $i$  个测区修正前的混凝土强度换算值 (MPa)，精确到 0.1MPa；

$f_{cu,i1}^c$ ——第  $i$  个测区修正后的混凝土强度换算值 (MPa)，精确到 0.1MPa。

4、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：

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (1-1-22)$$

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 10.0 MPa 时：

$$f_{cu,e} < 10.0 \text{ MPa} \quad (1-1-22)$$

(3) 当该结构或构件测区数不少于 10 个时，应按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645 s_{f_{cu}^c} \quad (1-1-23)$$

(3) 当批量检测时，应按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - k s_{f_{cu}^c} \quad (1-1-24)$$

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。

测区混凝土强度换算表见《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》附录 A 所示；泵送混凝土测区强度换算表见规程附录 B 所示。

5、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、 $s_{f_{cu}^c} > 4.5 \text{ MPa}$  时；

(2) 当该批构件混凝土强度平均值不小于 25MPa 且不大于 60MPa、 $s_{f_{cu}^c} > 5.5 \text{ MPa}$  时。

## 七、例题

某现浇混凝土柱，混凝土设计强度等级为 C30，采用泵送混凝土浇筑，现场检测时选取了该混凝土柱 10 个测区，弹击侧面。回弹仪读数和碳化深度检测值如下表，试计算该构件的现龄期混凝土强度推定值。

构件名称及编号: -----轴混凝土柱测试日期: 年月日																		
构件	测区	回弹值																碳化深度 (mm)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	39	39	41	35	33	38	41	39	37	41	36	38	37	39	40	38	0.50,0.50,0.5
	2	42	35	36	33	37	37	38	38	33	33	34	38	37	37	39	37	
	3	38	37	38	39	40	37	36	32	38	37	34	35	38	39	33	37	
	4	36	35	33	39	32	38	38	34	34	37	37	38	35	39	39	38	
	5	38	38	39	38	35	33	39	34	32	37	33	37	35	38	35	34	
	6	38	32	35	37	37	35	43	32	37	37	38	31	35	35	42	38	0.50,0.50,0.00
	7	37	39	39	39	42	32	37	35	38	34	38	32	38	37	31	38	
	8	39	33	42	42	37	32	34	38	34	38	33	33	37	32	39	37	
	9	38	39	33	42	43	39	38	38	37	37	32	31	35	38	34	37	0.50,0.00,0.00
	10	35	41	37	37	35	38	35	38	35	33	38	35	38	35	39	38	

解: 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 个回弹值计算平均值;

2、由于泵送混凝土, 测区选在混凝土浇筑侧面, 无角度、浇筑面修正;

3、根据平均碳化深度查表得测区强度值, 查表;

4、测区数不少于 10 个, 按  $f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - k s_{f_{cu}^c}$  计算, 精确到 0.1。

计算结果见下表:

构件名称及编号: -----轴混凝土柱计算日期: 年月日																
项目测区			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
回 弹 值	测区平均值			38.4	36.6	37.1	36.6	36.1	36.4	37.1	36.0	37.1	36.6			
	角度修正值			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			
	角度修正后			/	/	/	/	/	/	/	/	/				
	浇灌面修正值			/	/	/	/	/	/	/	/	/				
	浇灌面修正后			/	/	/	/	/	/	/	/	/				
平均碳化深度值 (mm)				0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			
测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)				/	/	/	/	/	/	/	/	/				
泵送混凝土测区强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa)				40.1	36.5	37.5	36.5	35.5	36.1	37.5	35.3	37.5	36.5			
强度计算 (MPa) n=10				$m_{f_{cu}^c} = 36.9$		$s_{f_{cu}^c} = 1.35$				$f_{cu,min}^c = 35.7$						
使用测区强度换算表名称: JGJ/T23-2011							$f_{cu,e} = 34.7$									

## § 2 超声回弹综合法检测现场混凝土强度

### 一、检测原理和适用范围

#### 1、检测原理

超声回弹综合法是指采用超声仪和回弹仪，在结构混凝土同一测区分别测量声速值 V 及回弹值 R，根据混凝土强度与表面硬度以及超声波在混凝土中的传播速度之间的相关关系推定混凝土强度等级，即  $f_{cu} = f(R \cdot V)$ 。与单一回弹或超声法相比综合法具有以下特点：

1)、减少龄期和含水率的影响。

2)、弥补各自不足

采用回弹法和超声法综合测定混凝土强度，既可内外结合，又能在较低或较高的强度区间相互弥补各自的不足，能够较全面地反映结构混凝土的实际质量。

3)、提高测试精度

由于综合法能减少一些因素的影响程度，较全面的反映整体混凝土质量，所以对提高无损检测混凝土强度的精度，具有明显的效果。

#### 2、适用范围

本方法适用于符合下列条件的普通混凝土：

- 1 混凝土采用的水泥、砂石、外加剂、掺合料、拌合用水符合国家现行标准的有关规定；
- 2 自然养护或蒸汽养护后经自然养护 7d 以上，且混凝土表层为干燥状态；
- 3 龄期为 7d~2000d；
- 4 混凝土抗压强度为 10MPa~70MPa。

### 二、检测依据

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抗压强度技术规程》T/CECS 02-2020。

### 三、仪器设备及检测环境

- 1、本方法采用中型回弹仪，有关回弹仪的使用要求、检定和保养同回弹法中对回弹仪的规定。
- 2、超声波检测仪技术要求

混凝土超声波检测仪应具有产品合格证、检定或校准证书，混凝土超声波检测仪的明显位置上应有名称、型号、制造商、出厂编号、出厂日期等标识；应符合现行行业标准《混凝土超声波检测仪》JG/T5004 的有关规定。混凝土超声波检测仪宜为数字式，并应符合下列规定：

- (1) 可对接收的超声波波形进行数字化采集和存储；

- (2) 应具有清晰、稳定的波形显示示波装置;
- (3) 应具备手动游标测读和自动测读两种声参量测读功能，且自动测读时可标记出声时、幅度的测读位置;
- (4) 应具备对各测点的波形和测读声参量进行存储功能。

数字式混凝土超声波检测仪的性能指标应符合：

- (1) 声时测量范围宜为  $0.1\mu s$ ~ $999.9\mu s$ ，声时分辨力应为  $0.1\mu s$ ，实测空气声速的相对测量允许误差应为±0.5%；在1h内每5min测读一次的声时允许误差应为± $0.2\mu s$ ；
- (2) 幅度测量范围不宜小于80dB；幅度分辨力应为1dB；
- (3) 仪器信号接收系统的频带宽度应为10kHz~250kHz；
- (4) 信噪比为3:1时，接收灵敏度不应大于 $50\mu V$ 。

#### 换能器技术要求

换能器的工作频率宜在50~100kHz范围内。换能器的实测频率与标称频率相差应不大于±10%。

### 3、超声波检测仪的检定、校准和保养

- (1) 有下列情况之一时，混凝土超声波检测仪应进行检定或校准：

新仪器启动前；

超过检定或校准有效期；

仪器修理或更换零件后；

测试过程中对声时值有怀疑时；

仪器遭受严重撞击或其他损害

- (2) 超声波检测仪的保养应符合下列规定：

如仪器在较长时间内停用，每月应通电一次，每次不少于1h；

仪器需存放在通风、阴凉、干燥处，无论存放或工作，均需防尘；

在搬运过程中须防止碰撞和剧烈振动。

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，不得随意拆装。

## 四、取样要求与强度检测一般规定

### 1、检测前应具备下列有关资料：

- (1) 工程名称及建设、勘察、设计、施工、监理、委托单位名称
- (2) 构件名称、设计图纸；

- (3) 水泥的安定性、品种规格、强度等级和用量，砂石的品种、粒径，外加剂或掺合料的品种、掺量，混凝土配合比、拌合物坍落度和混凝土设计强度等级等；
- (4) 模板类型，混凝土浇筑情况、养护情况、浇筑日期和气象温湿度等；
- (5) 混凝土试件抗压强度测试资料及相关的施工技术资料；
- (6) 构件存在的质量问题或检测原因。

## 2、检测数量应符合下列规定：

- (1) 构件检测时，应在构件检测面上均匀布置测区，每个构件上的测区数不应少于 10 个。对于检测面一个方向尺寸不大于 4.5m，且另一个方向尺寸不大于 0.3m 的构件，测区数可适当减少，但不应少于 5 个；
- (2) 当同批构件按批进行一次或二次随机抽样检测时，随机抽样的最小样本容量宜符合规范表 5.1.2 的规定。

## 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：

- (1) 混凝土强度等级相同；
- (2) 混凝土原材料、配合比、成型工艺、养护条件及龄期基本相同；
- (3) 构件种类相同；
- (4) 在施工阶段所处状态基本相同。

## 4、构件的测区布置，宜满足下列规定：

- (1) 在条件允许时，测区宜优先布置在构件混凝土浇筑方向的侧面；
- (2) 测区可在构件的两个对应面、相邻面或同一面上布置；
- (3) 测区宜均匀布置，相邻两侧区的间距不宜大于 2m；
- (4) 测区应避开钢筋密集区和预埋件；
- (5) 测区尺寸宜为 200mm×200mm；采用平测时宜为 400mm×400mm；
- (6) 测试面应清洁、平整、干燥，不应有接缝、施工缝、饰面层、泥浆和油垢，并应避开蜂窝、麻面部位；
- (7) 测试时可能产生颤动的薄壁、小型构件，应对构件进行固定。

## 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、结构或构件的每一测区，应先进行回弹测试，后进行超声测试。

## 7、计算混凝土抗压强度换算值时，非同一测区内的回弹值及超声声速值不得混用。

# 五、检测方法与试验操作步骤

## 1、回弹值的测量与计算

(1) 用回弹仪测试时, 应始终保持回弹仪的轴线垂直于混凝土测试面, 并优先选择混凝土浇筑方向的侧面进行水平方向测试。如不能满足这一要求, 也可非水平状态测试, 或测试混凝土浇筑的表面或底面。

(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 5 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 10 点。每一测点的回弹值测读精确至 1, 且同一测点只允许弹击一次。

(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 20mm; 测点距构件边缘或外露钢筋、铁件的距离不小于 30mm。

(4) 计算测区平均回弹值时, 应从该测区的 10 个回弹值中, 各剔除 1 个较大值和较小值, 然后将余下的 8 个回弹值按下列公式计算:

$$R_m = \sum_{i=1}^8 \frac{R_i}{8} \quad (1-2-1)$$

式中  $R_m$  —— 测区平均回弹值, 计算至 0.1;

$R_i$  —— 第  $i$  个测点的回弹值。

(5) 非水平状态测得的回弹值, 应按下列公式修正:

$$R_a = R + R_{aa} \quad (1-2-2)$$

式中  $R_a$  —— 修正后的测区回弹值;

$R_{aa}$  —— 测试角度为  $\alpha$  的回弹修正值, 按表 2-1 选用。

非水平状态测得的回弹修正值  $R_{aa}$  表 2-1

测试角度 R	回弹仪向上 $\alpha$				回弹仪向下 $\alpha$			
	+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	+2.0	+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	+1.9	+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	+1.8	+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	+1.7	+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	+1.6	+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	+1.5	+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
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: ①当测试角度等于 0 时, 修正值为 0; R 小于 20 或大于 50 时, 分别按 20 或 50 查表;

②当表中未列数值, 可用内插法求得, 精确至 0.1。

浇筑面的回弹修正值  $R_a^t$ 、 $R_a^b$  表 2-2

测试面 $R$ 或 $R_a$	顶面	底面
20	+2.5	-3.0
21	+2.4	-2.9
22	+2.3	-2.8
23	+2.2	-2.7
24	+2.1	-2.6
25	+2.0	-2.5
26	+1.9	-2.4
27	+1.8	-2.3
28	+1.7	-2.2
29	+1.6	-2.1
30	+1.5	-2.0
31	+1.4	-1.9
32	+1.3	-1.8

33	+1.2	-1.7
34	+1.1	-1.6
35	+1.0	-1.5
36	+0.9	-1.4
37	+0.8	-1.3
38	+0.7	-1.2
39	+0.6	-1.1
40	+0.5	-1.0
41	+0.4	-0.9
42	+0.3	-0.8
43	+0.2	-0.7
44	+0.1	-0.6
45	0	-0.5
46	0	-0.4
47	0	-0.3
48	0	-0.2
49	0	-0.1
50	0	0

注：①在侧面测试时，修正值为0；R 小于 20 或大于 50 时，分别按 20 或 50 查表；

②当先进行角度修正时，采用修正后的回弹代表值  $R_a$ ；

③表中未列数值，可用内插法求得，精确至 0.1。

(6) 由混凝土浇筑方向的表面或底面测得的回弹值，应按下列公式修正：

$$R_a = R_m + R_a^t \quad (1-2-3)$$

$$R_a = R_m + R_a^b \quad (1-2-4)$$

式中  $R_a^t$ ——测量混凝土浇筑表面时的测区回弹修正值，按表 2-2 选用；

$R_a^b$ ——测量混凝土浇筑底面时的测区回弹修正值，按表 2-2 选用。

(7) 在测试时，如仪器处于非水平状态，同时测试面又非混凝土的浇筑侧面，则应对测得的回弹值先进行角度修正，然后对角度修正后的值进行表面或底面修正。

## 2、超声声速值的测量与计算

(1) 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内，每一测区应布置 3 个测点。超声测试宜采用对测，当被测构件不具备对测条件时，可采用角测或平测。

(2) 超声测试时，应保证换能器与混凝土测试面耦合良好。

(3) 应先测定声时初读数 ( $t_0$ )，再进行声时测量，读数应精确至  $0.1\mu s$ ，超声测距测量应精确至 1mm，测量误差不应超过  $\pm 1\%$ 。声速计算应精确至  $0.01km/s$ 。

(4) 当在混凝土浇筑方向的侧面对测时，测区混凝土中声速代表值应根据该测区中 3 个测点的混凝土中声速值，按下列公式计算：

$$v_i = \frac{l_i}{t_i - t_0} v_d = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (1-2-5)$$

式中  $v_d$ ——测区混凝土中声速代表值, km/s;

$v_i$ ——第  $i$  点的声速代表值, 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,  $\mu\text{s}$ ;

$t_0$ ——声时初读数,  $\mu\text{s}$ 。

(5) 当在混凝土浇筑的表面与底面测试时, 测区声速值应按下列公式修正:

$$v_a = \beta \cdot v_d \quad (1-2-6)$$

式中  $v_a$ ——修正后的测区声速值, km/s;

$\beta$ ——超声测试面修正系数取 1.034。

## 六、数据处理与结果判定

1、全国统一测区混凝土抗压强度换算可按下式计算:

$$f_{cu,i}^c = 0.0286 v_{ai}^{1.999} R_{ai}^{1.155} \quad (1-2-7)$$

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  $i$  个测区修正后的声速代表值;

$R_{ai}$ ——第  $i$  个测区修正后的回弹代表值。

2、当无专用测强曲线或地区测强曲线时, 按《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》附录 E 的有关规定通过验证后, 可按附录 F 的有关规定对测区混凝土抗压强度进行换算, 也可按规程的全国统一测区混凝土抗压强度公式进行计算。

$i f_{cu,i}^c R_{ai} v_{ai} f_{cu,i}^c (v_{ai})^{1.439} (R_{ai})^{1.769} f_{cu,i}^c (v_{ai})^{1.656} (R_{ai})^{1.410} f_{cu,i}^c i 3$ 、当构件所采用的材料及龄期与制定测强曲线所采用的材料及龄期有较大差异时, 可采用在构件上钻取混凝土芯样或同条件立方体试件对测区混凝土抗压强度换算值进行修正。芯样修正时, 数量不应少于 4 个, 公称直径宜为 100mm, 高径比应为 1, 芯样应在测区内钻取, 每个芯样应只加工 1 个试件, 并应符合《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的有关规定。同条件立方试块修正时, 试块数量不应少于 4 个, 试块边长应为 150mm。并应符合 GB/T 50081 《混凝土物理力学性能试验方法标准》的规定。

(1) 测区混凝土抗压强度修正量应按下列公式计算:

$$\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c / f_{cu,i}^c \Delta_{tot} = f_{cor,m}^c - f_{cu,m0}^c \quad (1-2-8)$$

$$\Delta_{tot} = f_{cu,m}^c - f_{cu,m0}^c \quad (1-2-9)$$

$$f_{cor,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} \quad (1-2-10)$$

$$f_{cu,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} \quad (1-2-11)$$

$$f_{cu,m0}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-2-12)$$

$\sum_{i=1}^n f_{cor,i}^o / f_{cu,i}^c$  式中：  $\Delta_{tot}$  —— 测区混凝土抗压强度修正量 (MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cor,m}$  —— 芯样试件混凝土抗压强度平均值 (MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,m}$  —— 同条件立方体试件混凝土抗压强度平均值 (MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,m0}^c$  —— 对应于芯样部位或同条件立方体试件测区混凝土抗压强度换算值的平均值 (MPa)，精确至 0.1MPa；

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

$f_{cu,i}$  —— 第  $i$  个混凝土同条件立方体试件的抗压强度；

$f_{cu,i}^c$  —— 对应于第  $i$  个芯样部位或同条件立方体试件测区回弹值和声速值的混凝土抗压强度换算值，按规程附录 F 取值；

$n$  —— 芯样或试件数量。

(2) 测区混凝土抗压强度换算值的修正应按下式计算：

$$f_{ci,i1}^c = f_{cu,i0}^c + \Delta_{tot} \quad (1-2-13)$$

式中： $f_{ci,i1}^c$  —— 第  $i$  个测区修正后的混凝土强度换算值 (MPa)，精确至 0.1MPa；  $f_{cu,i}^c$

$f_{cu,i0}^c$  —— 第  $i$  个测区修正前的混凝土强度换算值 (MPa)，精确至 0.1MPa。  $f_{cor,i}$

3、结构或构件的混凝土强度推定值  $f_{cu,e}$ ，应按下列条件确定：

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

(2) 当结构或构件中测区小于 10 个时， $f_{cu,e}=f_{cu,min}^c$ ；

(3) 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：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645 S_{f_{cu}^c} \quad (1-2-14)$$

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：

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-2-15)$$

$$S_{fcu}^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{fcu}^c)^2}{n-1}} \quad (1-2-16)$$

4、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：

- (1) 一批构件的混凝土抗压强度平均值  $m_{fcu}^c < 25.0$  MPa, 标准差  $S_{fcu}^c > 4.5$  MPa;
- (2) 一批构件的混凝土抗压强度平均值  $m_{fcu}^c = 25.0 \sim 50.0$  MPa, 标准差  $S_{fcu}^c > 5.5$  MPa;
- (3) 一批构件的混凝土抗压强度平均值  $m_{fcu}^c > 50.0$  MPa, 标准差  $S_{fcu}^c > 6.50$  MPa。

## § 3 钻芯法检测现场混凝土强度

### 一、检测原理

钻芯法检测混凝土抗压强度是指采用在混凝土中钻取规定直径 100mm 的标准芯样进行试压，以测定结构构件不大于 80MPa 的普通混凝土的强度。普遍认为它是一种直观、可靠和准确的方法，但对结构混凝土造成局部损伤，是一种半破损的现场检测手段。对混凝土强度等级低于 C10 的结构，不宜采用钻芯法检测。钻芯法可用于确定检测批或单个构件的混凝土强度推定值；也可用于钻芯修正间接强度检测方法得到的混凝土抗压强度换算值。

### 二、检测依据

中华人民共和国行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》 JGJ/T 384-2016；

### 三、仪器设备及环境

- 1、钻取芯样及芯样加工的主要设备仪器均应具有产品合格证。, 计量器具应具有检定证书并在有效使用期内。
- 2、钻芯机应具有足够的刚度、操作灵活、固定和移动方便，并应有水冷却系统。
- 3、钻取芯样时宜采用人造金刚石薄壁钻头。钻头胎体不得有裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。
- 4、锯切芯样用的锯切机和磨平芯样的磨平机，应具有冷却系统和牢固夹紧芯样的装置；配套使用的人造金刚石圆锯片应有足够的刚度：锯切芯样宜使用双刀锯切机。
- 5、用于芯样端面加工的补平装置，应保证芯样的端面平整，并应保证芯样端面与芯样轴线垂直。
- 6、探测钢筋位置的钢筋探测仪，应适用于现场操作，其最大探测深度不应小于 60mm，探测位置偏差不宜大于 3mm。
- 7、在钻芯工作完毕后，应对钻芯机和芯样加工设备进行维修保养。

### 四、芯样取样及加工制备要求

- 1、钻芯法确定检测批的混凝土强度推定值时，取样应遵守下列规定：
  - (1) 芯样试件的数量应根据检测批的容量确定。直径 100mm 的标准芯样试件的最小样本量不宜少于 15 个，小直径芯样试件的最小样本量不宜少于 20 个；
  - (2) 芯样应从检测批的结构构件中随机抽取，每个芯样应取自一个构件或结构的局部部位，且取芯位置应符合取样部位的要求。
- 2、芯样钻取部位

(1) 采用钻芯法检测结构混凝土强度前,应具备下列资料:

- ①工程名称及设计、施工、监理和建设单位名称;
- ②结构或构件种类、外形尺寸及数量;
- ③设计采用混凝土强度等级;
- ④浇筑日期、配合比通知单和强度试验报告;
- ⑤结构或构件质量状况和施工记录;
- ⑥有关的结构设计施工图等。

(2) 芯样应在结构或构件的下列部位钻取:

- ①结构或构件受力较小的部位;
- ②混凝土强度质量具有代表性的部位;
- ③便于钻芯机安装与操作的部位;
- ④宜采用钢筋探测仪测试或局部剔凿的方法避开主筋、预埋件和管线。

(3) 抗压试验的芯样试件宜使用标准芯样试件,其公称直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍;也可采用小直径芯样试件,但其公称直径不应小于 70mm 且不得小于骨料最大粒径的 2 倍。

(4) 钻芯机就位并安放平稳后,应将钻机固定。固定的方法应根据钻芯机构造和施工现场的具体情况确定。钻芯机在未安装钻头之前,应先通电检查主轴旋转方向为顺时针方向。钻芯时用于冷却钻头和排除混凝土料屑的冷却水流量宜为 3~5L/min。芯样应进行标记,钻取部位应予以记录。芯样高度及质量不能满足要求时,则应重新钻取芯样。芯样应采取保护措施,避免在运输和贮存中损坏。结构或构件钻芯后所留下的孔洞应及时进行修补。

### 3、芯样加工及技术要求

(1) 芯样抗压试件的高度和直径之比宜为 1。

(3) 抗压芯样试件内不宜含有钢筋,也可有一根直径小于 10mm 的钢筋,且钢筋应与芯样的轴线基本垂直并离开端面 10mm 以上。

(4) 锯切后的芯样应进行端面处理,可采取在磨平机上磨平端面的处理方法。也可采用硫黄胶泥或环氧胶泥补平,补平层厚度不宜大于 2mm。抗压强度低于 30MPa 的芯样试件,不宜采用磨平端面的处理方法;抗压强度高于 60MPa 的芯样试件,不宜采用硫黄胶泥或环氧胶泥补平的处理方法。

(5) 芯样在试验前应对其几何尺寸作下列测量:

①平均直径:用游标卡尺在芯样试件上部、中部和下部在相互垂直的两个位置上共测量 6 次,取测量的算术平均值,精确至 0.5mm;

- ②芯样高度:用钢卷尺或钢板尺进行测量, 精确至 1.0mm;
- ③垂直度:用游标量角器测量两个端面与母线的夹角, 精确至 0.1°;
- ④平整度:用钢板尺或角尺紧靠在芯样试件承压面(线)上, 一面转动钢板尺, 一面用塞尺测量与芯样端面之间的缝隙; 取最大缝隙, 也可采用其它专用设备量测。

芯样试件尺寸偏差及外观质量超过下列数值时, 相应的芯样试件不宜进行试验:

- ①芯样试件的实际高径比小于要求高径比的 0.95 或大于 1.05;
- ②沿芯样高度任一直径与平均直径相差达 1.5mm 以上时;
- ③芯样端面的不平整度在 100mm 长度内大于 0.1mm 时;
- ④芯样端面与轴线的不垂直度大于 1° 时;
- ⑤芯样有裂缝或其他较大缺陷时。

## 五、检测方法与试验操作步骤

1、加工好的芯样试件的抗压试验应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T50081 中对立方体试块抗压试验的规定进行。

2、芯样试件应以自然干燥状态进行试验; 如结构工作条件比较潮湿, 需要确定潮湿状态下混凝土的强度时, 芯样试件应在 20°C ± 5°C 的清水中浸泡 40~48h, 从水中取出后应立即进行抗压试验。

## 六、数据处理与结果判定

1、芯样试件混凝土强度换算值系指用钻芯法测得的芯样强度, 换算成相应于测试龄期的、边长为 150mm 的立方体试块的抗压强度值。

芯样试件的混凝土强度换算值, 应按式 (1-3-1) 计算:

$$f_{cu,cor} = \beta c \frac{F_c}{A_c} \quad (1-3-1)$$

式中  $f_{cu,cor}$  —— 芯样试件混凝土强度换算值 (MPa), 精确至 0.1MPa;

$F_c$  —— 芯样试件抗压试验测的破坏荷载 (N);

$A_c$  —— 芯样试件抗压截面面积 ( $\text{mm}^2$ );

$\beta c$  —— 芯样试件强度换算系数, 取 1.0.

2、检测批混凝土强度的推定值应按下列方法确定:

(1) 检测批的混凝土强度推定值应计算推定区间, 推定区间的上限值和下限值按下列公式计算:

$$\text{上限值 } f_{cu,e1} = f_{cu,cor,m} - k_1 S_{cu} \quad (1-3-2)$$

下限值  $f_{cu,e2} = f_{cu,cor,m} - k_2 S_{cu}$  (1-3-3)

$$\text{平均值 } f_{cu,cor,m} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,cor,i}}{n} \quad (1-3-4)$$

$$\text{标准差 } S_{cu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,cor,i} - f_{cu,cor,m})^2}{n-1}} \quad (1-3-5)$$

式中  $f_{cu,cor,m}$  ——芯样试件的混凝土抗压强度平均值 (MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,cor,i}$  ——单个芯样试件的混凝土抗压强度值 (MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,e1}$  ——混凝土抗压强度推定上限值 (MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,e2}$  ——混凝土抗压强度推定下限值 (MPa), 精确至 0.1MPa;

$k_1, k_2$  ——推定区间上限值系数和下限值系数, 按规范 JGJ/T 384 附录 A 查得;

$S_{cu}$  ——芯样试件抗压强度样本的标准差 (MPa), 精确至 0.1MPa;

(2)  $f_{cu,e1}$  和  $f_{cu,e2}$  所构成推定区间的置信度宜为 0.9, 当采用小直径芯样试件时, 推定区间的置信度可为 0.85。 $f_{cu,e1}$  和  $f_{cu,e2}$  之间的差值不宜大于 5.0 MPa 和  $0.10f_{cu,cor,m}$  两者的较大值;

(3) 宜以  $f_{cu,e1}$  作为检测批混凝土强度的推定值。

3、钻芯确定检测批混凝土强度推定值时, 可剔除芯样试件抗压强度样本中的异常值。剔除规则应按现行国家标准《数据的统计处理和解释正态样本异常值的判断和处理》GB/T4883 的规定执行。当确有试验依据时, 可对芯样试件抗压强度样本的标准差  $S_{cu}$  进行符合实际情况的修正或调整。

4、钻芯确定单个构件的混凝土强度推定值时, 芯样试件的数量不应少于 3 个; 钻芯对构件工作性能影响较大的小尺寸构件, 芯样试件的数量不得少于 2 个。单个构件的混凝土强度推定值不再进行数据的舍弃, 而应按芯样试件混凝土抗压强度值中的最小值确定。

5、钻芯法确定构件混凝土抗压强度代表值时, 芯样试件的数量宜为 3 个, 应取芯样试件抗压强度值的算术平均值作为构件混凝土抗压强度代表值。

## 6、钻芯修正方法:

(1) 对间接测强方法进行钻芯修正时, 宜采用修正量的方法, 也可采用其他形式的修正方法。当采用修正量的方法时, 芯样试件的数量和取芯位置应符合下列位置:

① 之间 100mm 芯样试件的数量不应少于 6 个, 小直径芯样试件数量不应少于 9 个;

② 当采用的间接检测方法为无损检测方法时, 钻芯位置应与间接检测方法相应的测区重合;

③ 当采用的间接检测方法对结构构件有损伤时, 钻芯位置应布置在相应测区的附近。

(2) 钻芯修正后的换算强度可按下列公式计算:

$$f_{cu,i0}^c = f_{cu,i}^c + \Delta f \quad (1-3-6)$$

$$\Delta f = f_{cu,cor,m} - f_{cu,mj}^c \quad (1-3-7)$$

式中  $f_{cu,i0}^c$ ——修正后的换算强度；

$f_{cu,i}^c$ ——修正前的换算强度；

$\Delta f$ ——修正量；

$f_{cu,mj}^c$ ——所用间接检测方法对应芯样测区的换算强度的算术平均值。

## 七、例题

某生产车间柱混凝土设计强度等级 C20，现场对该构件钻取混凝土芯样 3 只，磨平后放置于自然干燥环境，芯样试压最大压力分别为 157kN、121 kN、105 kN，试计算该混凝土构件现龄期混凝土强度代表值。

答：求芯样混凝土强度换算值：

$$\text{芯样①: } f_{cu,cor} = \beta c \frac{F_c}{A_c} = (4 \times 157000) / (\pi \times 100.02) = 20.2 \text{ MPa},$$

$$\text{芯样②: } f_{cu,cor} = \beta c \frac{F_c}{A_c} = (4 \times 121000) / (\pi \times 99.52) = 16.0 \text{ MPa},$$

$$\text{芯样③: } f_{cu,cor} = \beta c \frac{F_c}{A_c} = (4 \times 105000) / (\pi \times 100.52) = 13.2 \text{ MPa}.$$

该混凝土构件现龄期混凝土强度代表值取芯样混凝土强度换算值中的最低值：13.2 MPa。

## § 4 高强混凝土检测技术

### 一、适用范围

适用于工程结构中强度等级为 C50~C100 的混凝土抗压强度检测。不适用于下列情况的混凝土抗压强度检测：遭受严重冻伤、化学侵蚀、火灾而导致表里质量不一致的混凝土和表面不平整的混凝土；潮湿的和特种工艺成型的混凝土；厚度小于 150mm 的混凝土构件；所处环境温度低于 0℃ 或高于 40℃ 的混凝土。当有钻芯试件或同条件的标准试件做校核时，可对 900d 以上龄期混凝土抗压强度进行检测和推定。

### 二、检测依据

《高强混凝土强度检测技术规程》 JGJ/T294-2013

### 三、仪器设备及检测环境

1、回弹仪的弹击锤脱钩时，指针滑块示值刻线应对于仪器壳的上刻线处，且示值误差不应超过  $\pm 0.4\text{mm}$ 。

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。

3、回弹仪率定的规定：

(1) 钢砧应稳固地平放在坚实的地坪上；

(2) 回弹仪应向下弹击；

(3) 弹击杆应旋转 3 次，每次应旋转 90°，且每旋转 1 次弹击杆，应弹击 3 次；

(4) 应取连续 3 次稳定回弹值的平均值作为率定值。

4、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；

(3) 更换零件和检修后；

(4) 尾盖螺钉松动和调整后；

(5) 遭受严重撞击或其他损害。

5、回弹仪具有下列情况之一时，应将回弹仪拆开维护：

(1) 弹击超过 2000 次；

(2) 率定值不合格。

6、保养后应按要求进行率定试验。

7、混凝土超声波检测仪应符合现行行业标准《混凝土超声波检测仪》JG/T5004 的规定，且计量检定结果应在有效期内。

#### 四、强度检测取样部位和取样要求

1、检测前宜收集下列有关资料：

- (1) 工程名称及建设、设计、施工及监理单位名称；
- (2) 结构或构件名称、数量及混凝土类型、强度等级；
- (3) 水泥品种、强度等级、砂石品种、粒径、外加剂品种、掺合料类别及等级、混凝土配合比等；
- (4) 混凝土浇筑日期、施工工艺、养护情况及施工记录；
- (5) 结构及现状；
- (6) 检测原因。

2、结构或构件取样数量应符合下列规定：

构件应随机抽样，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。当检验批构件数量大于 50 个时，抽样构件数量可适当按《建筑结构检测技术标准》GB/T50344 调整，但抽取的构件总数不宜少于 10 件，并应按 GB/T50344 进行检测批混凝土的强度推定。

3、测区应符合下列规定：

- (1) 每一构件测区数不应少于 10 个。
- (2) 某一方向尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 时，每个构件的测区数量可适当减少，但不应少于 5 个；
- (3) 相邻两测区的间距应控制在 2m 以内，测区离构件边缘的距离不宜小于 100mm；
- (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，并应避开预埋件；
- (5) 测区的面积宜为 200mm×200mm；
- (6) 检测面应为混凝土表面，并应清洁、平整、干燥，不应有接缝、饰面层、浮浆和油垢；表面不平处可用砂轮适度打磨，并擦干净残留粉尘；

4、结构或构件的测区应标有清晰的编号，并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。

#### 五、回弹测试及计算

1、回弹值测量

(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。

(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 30mm; 测点距外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 100mm。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。

## 2、回弹值计算

(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:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (1-4-1)$$

式中  $R_m$ ——测区平均回弹值, 精确至 0.1;

$R_i$ ——第  $i$  个测点的有效回弹值。

## 六、超声测试及声速值计算

1、采用超声回弹综合法检测时, 应在回弹测试完毕的测区内进行超声测试。每一测区应布置 3 个测点。超声测试宜优先采用对测, 当被测构件不具备对测条件时, 可采用角测和单面平测。

2、超声测试时, 换能器辐射面应采用耦合剂使其与混凝土测试面良好耦合。

3、声时测量应精确至 0.1μs, 超声测距测量应精确至 1mm, 且测量误差应在超声测距的±1%之内, 声速计算应精确至 0.01km/s。

4、当在混凝土浇筑方向的两个侧面进行对测时, 测区混凝土中声速代表值应为测区中 3 个测点的平均声速值, 并应按下式计算:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (1-4-2)$$

式中:  $v$ ——测区混凝土中声速代表值(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(μs);

$t_0$ ——声时初读数(μs)。

## 七、混凝土强度的推定

1、本规程给出的强度换算公式适用于配制强度等级为 C50~C100 的混凝土, 且混凝土应符合下列规定:

(1) 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定;

- (2) 砂、石应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定;
- (3) 应自然养护
- (4) 龄期不宜超过 900d。

2、应计算出所用检测方法对应的测区测试参数代表值，并应优先采用专用测强曲线或地区测强曲线换算取得。专用测强曲线和地区测强曲线应按《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294-2013 附录 C 的规定制定。

3、当无专用测强曲线和地区测强曲线时，可按《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294-2013 附录 D 的规定，通过验证后，采用下面给出的全国高强混凝土测强曲线公式，计算结构或构件中第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值。

4、当采用回弹法检测时，结构或构件中第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值，可按《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294-2013 附录 A（标称动能 4.5J 回弹仪）或附录 B（标称动能 5.5J 回弹仪）查表得出。

5、当采用超声回弹综合法检测时，结构或构件第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值，可按下式计算，也可按《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294-2013 附录 E 查表得出：

$$f_{cu,i}^c = 0.11708v^{0.539038} \cdot R^{1.33947} \quad (1-4-3)$$

式中：  $f_{cu,i}^c$  —— 结构或构件第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值(MPa);

R——4.5J 回弹仪测区回弹代表值，精确至 0.1。

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

$$m_{f_{cu}}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-4-4)$$

$$s_{f_{cu}}^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}}^c)^2}{n-1}} \quad (1-4-5)$$

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

$s_{f_{cu}}^c$  —— 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的标准差(MPa)，精确至 0.1MPa；

n——测区数。对应单个检测的构件，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、当检测条件与测强曲线的适用条件有较大差异或曲线没有经过验证时，应采用同条件标准试

件或直接从结构构件测区内钻取混凝土芯样进行推定强度修正，且试件数量或混凝土芯样不应少于6个。计算时，测区混凝土强度修正量及测区混凝土强度换算值的修正应符合下列规定：

(1) 修正量应按下列公式计算：

$$\Delta_{\text{tot}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i}^c \quad (1-4-6)$$

$$\Delta_{\text{tot}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (1-4-7)$$

式中： $\Delta_{\text{tot}}$ ——测区混凝土强度修正量(MPa),精确至 0.1MPa;

$f_{cor,i}$ ——第*i*个混凝土芯样试件的抗压强度；

$f_{cu,i}$ ——第*i*个同条件混凝土标准试件的抗压强度；

$f_{cu,i}^c$ ——对应于第*i*个芯样部位和同条件混凝土标准试件的混凝土强度换算值；

n——混凝土芯样或标准试件数量。

(2) 测区混凝土强度换算值的修正应按下式计算：

$$f_{cu,i1}^c = f_{cu,i0}^c - \Delta_{\text{tot}} \quad (1-4-8)$$

式中： $f_{cu,i1}^c$ ——第*i*个测区修正前的混凝土强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,i0}^c$ ——第*i*个测区修正后的混凝土强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

8、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：

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (1-4-9)$$

式中  $f_{cu,min}^c$ ——构件中最小的测区混凝土强度换算值 (MPa)，精确至 0.1 MPa。

(2) 当该结构或构件测区数不少于 10 个时或按批量检测时，应按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645 s_{f_{cu}^c} \quad (1-4-10)$$

9、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不大于 50MPa，且：

$$s_{f_{cu}^c} > 5.50 \text{ MPa};$$

(2) 当该批构件混凝土强度平均值大于 50MPa，且：

$$s_{f_{cu}^c} > 6.50 \text{ MPa}.$$

## 思考题

- 1、《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294-2013 中混凝土强度的适用等级。
- 2、《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T294-2013 中给出的是哪两种回弹仪的推定强度换算值。
- 3、对于高强混凝土的强度检测，对按批量检测的构件，当该批构件混凝土强度标准差出现哪些情况时，则该批构件应全部按单个构件检测。
- 4、高强混凝土强度检测所使用的回弹仪率定的要求是什么。
- 5、高强混凝土采用回弹法检测其强度时，混凝土龄期不宜超过多少天。

## 第二章 超声法检测实体混凝土缺陷

### 一、检测原理

采用超声波检测结构混凝土缺陷是利用脉冲波在技术条件相同（指混凝土的原材料、配合比、龄期和测试距离一致）的混凝土中传播的时间（或速度）、接收波的振幅和频率等声学参数的相对变化，来判定混凝土的缺陷。

因为超声波传播速度的快慢，与混凝土的密实程度有直接关系，对于原材料、配合比、龄期及测试距离一定的混凝土来说，声速高则混凝土密实，相反则混凝土不密实。当有空洞或裂缝存在时，便破坏了混凝土的整体性，超声脉冲只能绕过空洞或裂缝传播到接收换能器，因此传播的路程增大，测得的声时必然偏长或声速降低。

另外，由于空气的声阻抗率远小于混凝土的声阻抗率，脉冲波在混凝土中传播时，遇着蜂窝、空洞或裂缝等缺陷，便在缺陷界面发生反射和散射，声能被衰减，其中频率较高的成分衰减更快，因此接收信号的波幅明显降低，频率明显减小或者频率谱中高频成分明显减少。再者经缺陷反射或绕过缺陷传播的脉冲波信号与直达波信号之间存在声程和相位差，又叠加后互相干扰，致使接收信号的波型发生畸变。

根据上述原理，可以利用混凝土声学参数测量值和相对变化综合分析、判别其缺陷的位置和范围，或者估算缺陷的尺寸。

由于混凝土非匀质性，一般不能像金属探伤那样，利用超声波在缺陷界面反射的信号，作为判别缺陷状态的依据，而是利用超声波透过混凝土的信号来判别缺陷状况。一般根据被测结构或构件的形状、尺寸及所处环境，确定具体测试方法。常用的测试方法见表 2-1：

表 2-1 超声波检测结构混凝土缺陷常用方法

测试方法		定义
平面测试（用厚度振动式换能器）	对测法	一对发射（T）和接收（R）换能器，分别置于被测结构相互平行的两个表面，且两个换能器的轴线位于同一直线上；
	斜测法	一对发射和接收换能器分别置于被测结构的两个表面，但两个换能器的轴线不在同一直线上；
	单面平测法	一对发射和接收换能器置于被测结构同一个表面上进行测试。
钻孔测试（采用径向振动式换能器）	孔中对测	一对换能器分别置于两个对应钻孔中，位于同一高度进行测试；
	孔中斜测	一对换能器分别置于两个对应钻孔中，但不在同一高度而是在保持一定高程差的条件下进行测试；

	孔中平测	一对换能器置于同一钻孔中，以一定的高程差同步移动进行测试。
--	------	-------------------------------

厚度振动式换能器置于结构表面，径向振动式换能器置于钻孔中进行对测和斜测。

## 二、检测依据

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》 CECS21:2000

## 三、仪器设备及环境

### 1、超声波检测仪的技术要求

(1) 用于混凝土的超声波检测仪分为下列两类：

模拟式：接收信号为连续模拟量，可由时域波形信号测读声学参数；

数字式：接收信号转化为离散数字量，具有采集、储存数字信号、测读声学参数和对数字信号处理的智能化功能。

(2) 超声波检测仪应符合国家现行有关标准的要求，并在法定计量检定有效期限内使用。

#### (3) 超声波检测仪技术要求

除前述超声回弹综合法测强中超声波检测仪的一般要求以外尚应具备以下要求：

①具有波形清晰、显示稳定的示波装置；

②具有最小分度为 1dB 的衰减系统；

③接收放大器频率响应范围  $10\sim 500\text{kHz}$ , 总增益  $\geq 80\text{dB}$ , 接收灵敏度(在信噪比为 3:1 时)  $\leq 50\mu\text{V}$ ；

④电源电压波动范围在标称值  $\pm 10\%$  的情况下能正常工作；

⑤对于模拟式超声波检测仪应具有手动游标和自动整形两种声时读数功能；

⑥对于数字式超声波检测仪还应满足下列要求：

a. 具有手动游标测读和自动测读方式。当自动测读时，在同一测试条件下，1h 内每隔 5min 测读一次声时的差异应不大于  $\pm 2$  个采样点；

b. 波形显示幅度分辨率应不低于 1/256，并具有可显示、存储和输出打印数字化波形的功能，波形最大存储长度不宜小于 4k bytes；

c. 自动测读方式下，在显示的波形上应有光标指示声时、波幅的测读位置；

d. 宜具有幅度谱分析功能（FFT 功能）。

### 2、换能器的技术要求

(1) 常用换能器具有厚度振动方式和径向振动方式两种类型，可根据不同测试需要选用。

(2) 厚度振动式换能器的频率宜采用 20~250kHz。径向振动式换能器的频率宜采用 20~60 kHz，直径不宜大于 32mm。当接收信号较弱时，宜选用带前置放大器的接收换能器。

(3) 换能器的实测主频与标称频率相差应不大于±10%。对用于水中的换能器，其水密性应在 1MPa 水压下不渗漏。

### 3、超声波检测仪的校准

(1) 超声波检测仪的声时校准应按“时—距”法测量空气声速的实测值  $v_s$ （见《超声法检测混凝土缺陷技术规程》附录 A），并与按公式（2-1）计算的空气声速标准  $v_c$  相比较，二者的相对误差应不大于±0.5%。

$$v^c = 331.4 \sqrt{1 + 0.00367T_K} \quad (2-1)$$

式中 331.4—0°C 时空气的声速 (m/s)；

$v^c$ —温度为 T K 度的空气声速 (m/s)；

$T_K$ —被测空气的温度 (°C)。

(2) 超声仪波幅计量检验。可将屏幕显示的首波幅度调至一定高度，然后把仪器衰减系统的衰减量增加或减少 6dB，此时屏幕波幅高度应降低一半或升高一倍。

## 四、混凝土缺陷检测一般规定

1、检测前应取得下列有关资料：

- (1) 工程名称；
- (2) 检测目的与要求；
- (3) 混凝土原材料品种和规格；
- (4) 混凝土浇筑和养护情况；
- (5) 构件尺寸和配筋施工图或钢筋隐蔽图；
- (6) 构件外观质量及存在的问题。

2、依据检测要求和测试操作条件，确定缺陷测试的部位（简称测位）。

3、测位混凝土表面应清洁、平整，必要时可用砂轮磨平或用高强度的快凝砂浆抹平。抹平砂浆必须与混凝土粘结良好。

- 4、在满足首波幅度测读精度的条件下，应选用较高频率的换能器。
- 5、换能器应通过耦合剂与混凝土测试表面保持紧密结合，耦合层不得夹杂泥砂或空气。
- 6、检测时应避免超声传播路径与附近钢筋轴线平行，如无法避免，应使两个换能器连线与该钢筋的最短距离不小于超声测距的 1/6。

7、检测中出现可疑数据时应及时查找原因，必要时进行复测校核或加密测点补测。

## 五、检测方法与试验操作步骤

### 1、裂缝深度检测

#### (1) 一般规定

①本方法适用于超声法检测混凝土裂缝的深度。被测裂缝中不得有积水或泥浆等。

②裂缝深度检测时，当裂缝部位只有一个可测表面可采用单面平测法，当裂缝部位具有两个相互平行的测试表面可采用双面穿透斜测法检测。

#### (2) 单面平测法

①当结构的裂缝部位只有一个可测表面，估计裂缝深度又不大于 500mm 时，可采用单面平测法。平测时应在裂缝的被测部位，以不同的测距，按跨缝和不跨缝布置测点（布置测点时应避开钢筋的影响）进行检测，其检测步骤为：

a.不跨缝的声时测量：将 T 和 R 换能器置于裂缝附近同一侧，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（图 2-1）或用回归分析的方法求出声时与测距之间的回归直线方程： $l_i = a + bt_i$

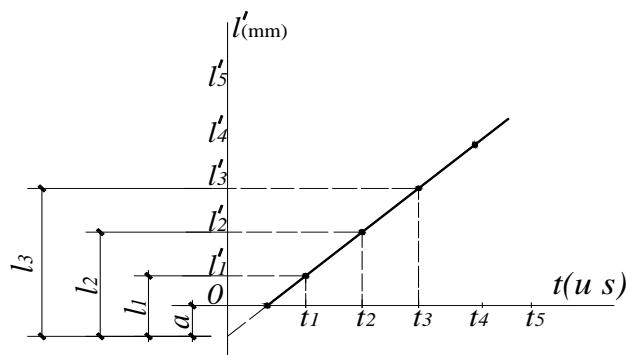


图 2-1 平测“时-距”图

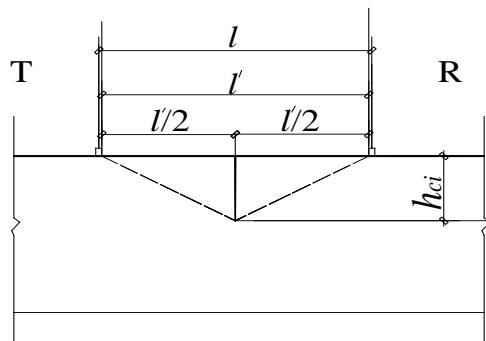


图 2-2 绕过裂缝示意图

每测点超声波实际传播距离  $l_i$  为：

$$l_i = l' + |a| \quad (2-2)$$

式中  $l_i$ —第  $i$  点的超声波实际传播距离 (mm);

$l'$ —第  $i$  点的 R、T 换能器内边缘间距 (mm);

$a$ —“时—距”图中  $l'$  轴的截距或回归直线方程的常数项 (mm)。

不跨缝平测的混凝土声速值为:

$$v = (l_n' - l_1') / (t_n - t_1) \text{ (km/s)} \quad (2-3)$$

$$\text{或 } v = b \text{ (km/s)} \quad (2-4)$$

式中  $l_n'$ 、 $l_1'$ —第  $n$  点和第 1 点的测距 (mm);

$t_n$ 、 $t_1$ —第  $n$  点和第 1 点读取的声时值 ( $\mu\text{s}$ );

$b$ —回归系数。

b. 跨缝的声时测量: 如图 (2-2) 所示, 将 T、R 换能器分别置于以裂缝为对称的两侧,  $l'$  取 100、150、200mm、……分别读取声时值  $t_i^0$ , 同时观察首波相位的变化。

② 平测法检测, 裂缝深度应按下式计算:

$$h_{ci} = (l_i/2) * \sqrt{(t_i^0 v / l_i)^2 - 1} \quad (2-5)$$

$$m_{hc} = (1/n) * \sum_{i=1}^n h_{ci} \quad (2-6)$$

式中  $l_i$ —不跨缝平测时第  $i$  点的超声波实际传播距离 (mm);

$h_{ci}$ —第  $i$  点计算的裂缝深度值 (mm);

$t_i^0$ —第  $i$  点跨缝平测的声时值 ( $\mu\text{s}$ );

$m_{hc}$ —各测点计算裂缝深度的平均值 (mm);

$n$ —测点数。

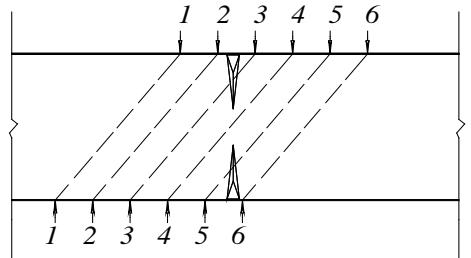
③ 裂缝深度的确定方法如下:

a. 跨缝测量中, 当在某测距发现首波反相时, 可用该测距及两个相邻测距的测量值按 (2-5) 式计算  $h_{ci}$  值, 取此三点  $h_{ci}$  的平均值作为该裂缝的深度值 ( $h_c$ );

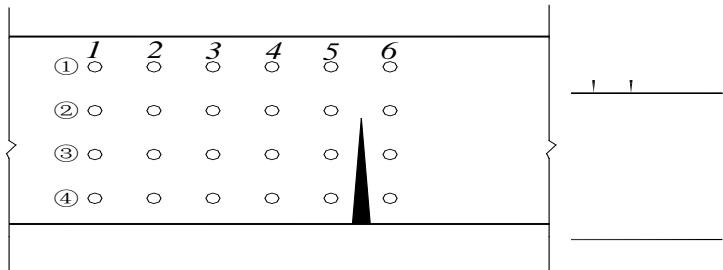
b. 跨缝测量中如难于发现首波反相, 则以不同测距按(2-5)式 (2-6)式计算  $h_{ci}$  及其平均值( $m_{hc}$ )。将各测距  $l_i'$  与  $m_{hc}$  相比较, 凡测距  $l_i'$  小于  $m_{hc}$  和大于  $3m_{hc}$ , 应剔除该组数据, 然后取余下  $h_{ci}$  的平均值, 作为该裂缝的深度值 ( $h_c$ )。

### (3) 双面斜测法

① 当结构的裂缝部位具有两个相互平行的测试表面时, 可采用双面穿透斜测法检测。测点布置如图 2-3 所示, 将 T、R 换能器分别置于两测试表面对应测点 1、2、3……的位置, 读取相应声时值  $t_i$ 、波幅值  $A_i$  及主频率  $f_i$ 。



(a)平面图



(b)立面图

图 2-3 斜测裂缝测点布置示意图

②裂缝深度判定：当 T、R 换能器的连线通过裂缝，根据波幅、声时和主频的突变，可以判定裂缝深度以及是否在所处断面内贯通。

## 2、不密实区和空洞检测

### (1) 一般规定

①本方法适用于超声法检测混凝土内部不密实区、空洞的位置和范围。

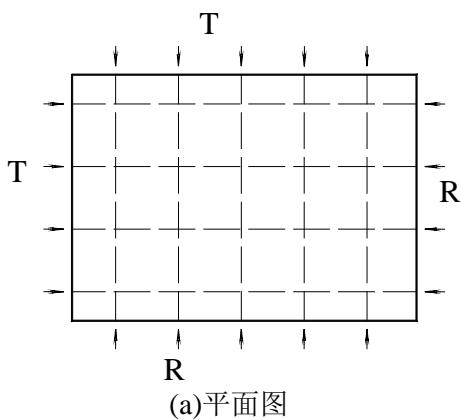
②检测不密实区和空洞时构件的被测部位应满足下列要求：

- a. 被测部位应具有一对（或两对）相互平行的测试面；
- b. 测试范围除应大于有怀疑的区域外，还应有同条件的正常混凝土进行对比，且对比测点数不应少于 20。

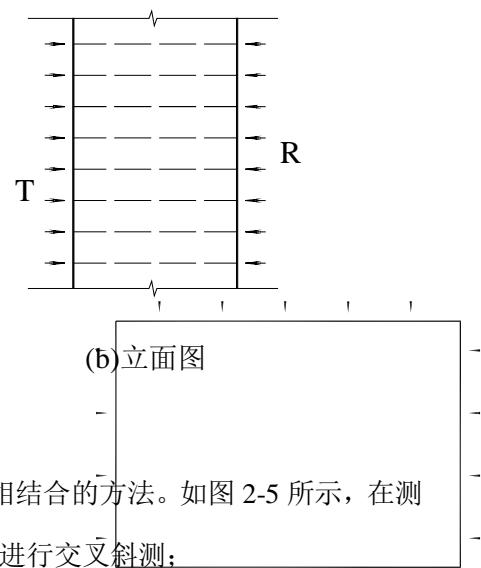
### (2) 测试方法

①根据被测构件实际情况，选择下列方法之一布置换能器：

- a. 当构件具有两对相互平行的测试面时，可采用对测法。如图 2-4 所示，在测试部位两对相互平行的测试面上，分别画出等间距的网格（网格间距：工业与民用建筑为 100~300mm，其它大型结构物可适当放宽），并编号确定对应的测点位置；



(a)平面图



(b)立面图

图 2-4 对测法示意图

b.当构件只有一对相互平行的测试面时，可采用对测和斜测相结合的方法。如图 2-5 所示，在测位两个相互平行的测试面上分别画出网格线，可在对测的基础上进行交叉斜测；

c.当测距较大时，可采用钻孔或预埋管测法。如图 2-6 所示，在测位预埋声测管或钻出竖向测试孔，预埋管内径或钻孔直径宜比换能器直径大 5~10 mm，预埋管或钻孔间距宜为 2~3 m，其深度可根据测试需要确定。检测时可用两个径向振动式换能器分别置于两测孔中进行测试，或用一个径向振动式与一个厚度振动式换能器，分别置于测孔中和平行于测孔的侧面进行测试。

②每一测点的声时、波幅、主频和测距，应按《超声法检测混凝土缺陷技术规程》第 4.2 节进行测量。

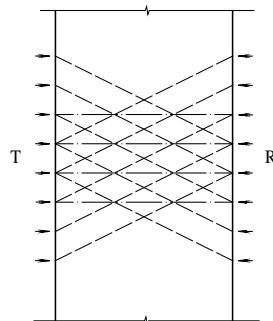
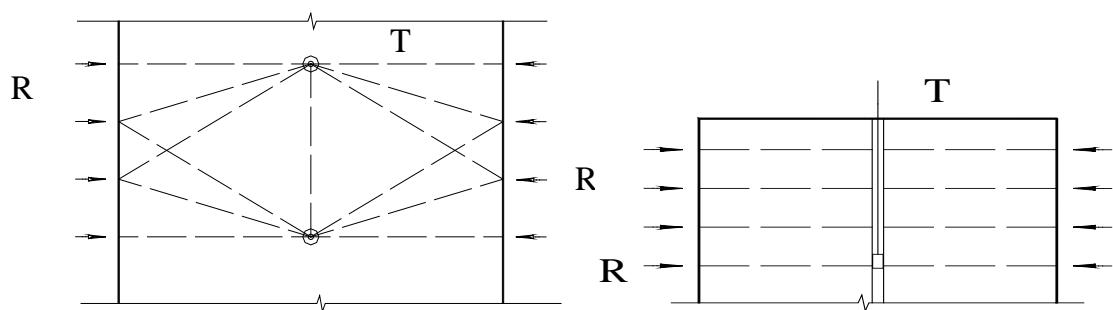


图 2-5 斜测法立面图



(a)平面图

(b)立面图

图 2-6 钻孔法示意图

(3) 数据处理及判断

①测位混凝土声学参数的平均值 ( $m_x$ ) 和标准差 ( $s_x$ ) 应按下式计算:

$$m_x = \sum X_i / n \quad (2-7)$$

$$s_x = \sqrt{(\sum X_i^2 - n \cdot m_x^2) / (n - 1)} \quad (2-8)$$

式中  $\sigma_t$ — 第  $b$  点的声学参数测量值;

$n$ —参与统计的测点数。

②异常数据可按下列方法判别:

a. 将测位各测点的波幅、声速或主频值由大至小按顺序分别排列, 即  $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_n \geq X_{n+1} \dots$ , 将排在在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  $X_n$ ) 连同其前面的数据计算出  $m_x$  及  $s_x$  值, 并按 (2-9) 式计算异常情况的判断值 ( $X_o$ ):

$$X_o = m_x - \lambda_1 \cdot s_x \quad (2-9)$$

式中  $\lambda_1$  按表 2-2 取值。

将判断值 ( $X_o$ ) 与可疑数据的最大值 ( $X_n$ ) 相比较, 当  $X_n$  不大于  $X_o$  时, 则  $X_n$  及排列于其后的各数据均为异常值, 并且去掉  $X_n$ , 再用  $X_1 \sim X_{n-1}$  进行计算和判别, 直至判不出异常值为止; 当  $X_n$  大于  $X_o$  时, 应再将  $X_{n+1}$  放进去重新进行计算和判别;

b. 当测位中判出异常测点时, 可根据异常测点的分布情况, 按 (2-10) 式进一步判别其相邻测点是否异常:

$$X_o = m_x - \lambda_2 \cdot s_x \text{ 或 } X_o = m_x - \lambda_3 \cdot s_x \quad (2-10)$$

式中  $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  按表 2-2 取值。当测点布置为网络状时取  $\lambda_2$ ; 当单排布置测点时 (如在声测孔中检测) 取  $\lambda_3$ 。

注: 若保证不了耦合条件的一致性, 则波幅值不能作为统计法的判据。

表 2-2 统计数的个数  $n$  与对应的  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  值

$n$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
$\lambda_1$	1.65	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.92	1.94
$\lambda_2$	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.38	1.39
$\lambda_3$	1.05	1.07	1.09	1.11	1.12	1.14	1.16	1.17	1.18	1.19
$n$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
$\lambda_1$	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	0.10	2.12
$\lambda_2$	1.41	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.49
$\lambda_3$	1.20	1.22	1.23	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31
$n$	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78

$\lambda_1$	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
$\lambda_2$	1.50	1.51	1.52	1.53	1.53	1.54	1.55	1.56	1.56	1.57
$\lambda_3$	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.36	1.37	1.38	1.39
n	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
$\lambda_1$	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.30	2.30	2.31	2.31
$\lambda_2$	1.58	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63
$\lambda_3$	1.39	1.40	1.41	1.42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.45	1.45
n	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160
$\lambda_1$	2.32	2.35	2.36	2.38	2.40	2.41	2.43	2.45	2.48	2.50
$\lambda_2$	1.64	1.65	1.66	1.67	1.68	1.69	1.71	1.73	1.75	1.77
$\lambda_3$	1.46	1.47	1.48	1.49	1.51	1.53	1.54	1.56	1.58	1.59

c.当测位中某些测点的声学参数被判为异常值时，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位置及范围。

当判定缺陷是空洞，可按《超声法检测混凝土缺陷技术规程》附录 C 估算空洞的当量尺寸。

### 3、混凝土结合面质量检测

#### (1) 一般规定

①适用于前后两次浇筑的混凝土之间接触面的结合质量检测。

②检测混凝土结合面时，被测部位及测点的确定应满足下列要求：

a.测试前应查明结合面的位置及走向，明确被测部位及范围；

b.构件的被测部位应具有使声波垂直或斜穿结合面的测试条件。

#### (2) 测试方法

①混凝土结合面质量检测可采用对测法和斜测法，如图 2-7 所示。布置测点时应注意下列几点：

a.使测试范围覆盖全部结合面或有怀疑的部位；

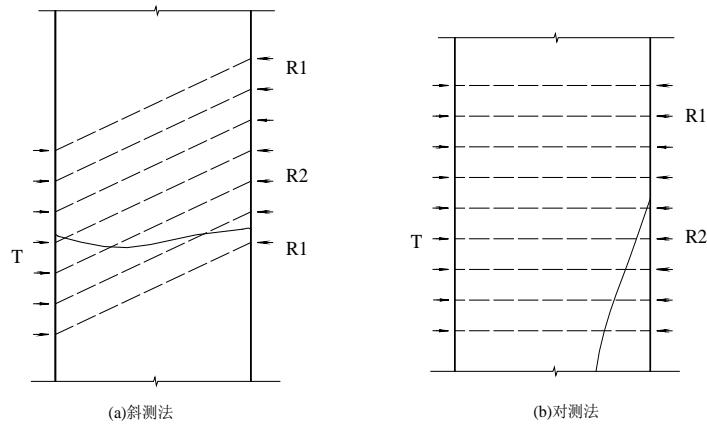


图 2-7 混凝土结合面质量检测示意图

b.各对 T—R1（声波传播不经过结合面）和 T—R2（声波传播经过结合面）换能器连线的倾斜

角测距应相等；

c. 测点的间距视构件尺寸和结合面外观质量情况而定，宜为 100~300 mm。

②按布置好的测点分别测出各点的声时、波幅和主频值。

### (3) 数据处理及判断

①将同一测位各测点声速、波幅和主频值分别按前述不密实取和空洞检测数据处理方法进行统计和判断。

②当测点数无法满足统计法判断时，可将 T—R2 的声速、波幅等声学参数与 T—R1 进行比较，若 T—R2 的声学参数比 T—R1 显著低时，则该点可判为异常测点。

③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。

## 4、表面损伤层检测

### (1) 一般规定

①本章适用于因冻害、高温或化学腐蚀等引起的混凝土表面损伤层厚度的检测。

②检测表面损伤层厚度时，被测部位和测点的确定应满足下列要求：

a. 根据构件的损伤情况和外观质量选取有代表性的部位布置测位；

b. 构件被测表面应平整并处于自然干燥状态，且无接缝和饰面层。

③本方法测试结果宜作局部破损验证。

### (2) 测试方法

①表面损伤层检测宜选用频率较低的厚度振动式换能器。

②测试时 T 换能器应耦合好，并保持不动，然后将 R 换能器依次耦合在间距为 30mm 的测点 1、2、3、……位置上，读取相应的声时值  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ ……，并测量每次 T、R 换能器内边缘之间的距离  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 、……。每一测位的测点数不得少于 6 个，当损伤层较厚时，应适当增加测点数。见图 2-8 所示。

③当构件的损伤层厚度不均匀时，应适当增加测位数量。

### (3) 数据处理及判断

损伤层厚度计算详见《超声法检测混凝土缺陷技术规程》8.3 条，此处不再赘述。

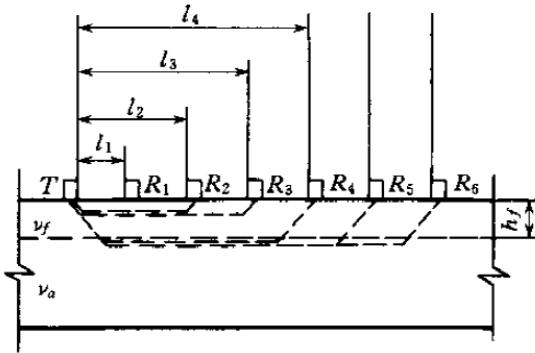


图 2-8 检测损伤层厚度示意图

## 5、钢管混凝土缺陷检测

### (1) 一般规定

- ①本检测方法仅适用于管壁与混凝土胶结良好的钢管混凝土缺陷检测。
- ②检测过程中应注意防止首波信号经由钢管壁传播。
- ③所用钢管的外表面应光洁，无严重锈蚀。

### (2) 检测方法

- ①钢管混凝土检测应采用径向对测的方法，如图 2-9 所示。

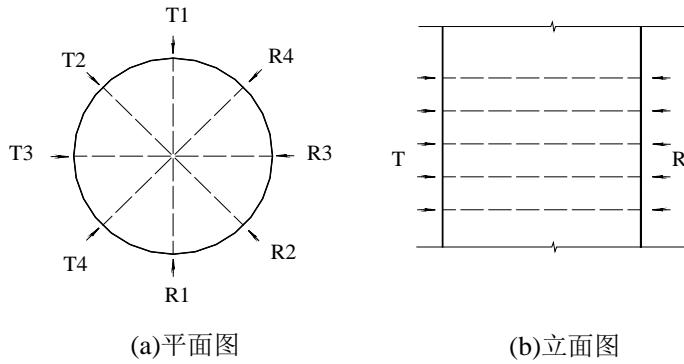


图 2-9 钢管混凝土检测示意图

- ②应选择钢管与混凝土胶结良好的部位布置测点。

③布置测点时，可先测量钢管实际周长，再将圆周等分，在钢管测试部位画出若干根母线和等间距的环向线，线间距宜为 150~300mm。

④检测时可先作径向对测，在钢管混凝土每一环线上保持 T、R 换能器连线通过圆心，沿环向测试，逐点读取声时、波幅和主频。

### (3) 数据处理与判断

①同一测距的声时、波幅和频率的统计计算及异常值判别应按前述不密实取和空洞检测数据处理方法进行统计和判断。

②当同一测位的测试数据离散性较大或数据较少时，可将怀疑部位的声速，波幅、主频与相同直径钢管混凝土的质量正常部位的声学参数相比较，综合分析判断所测部位的内部质量。

## 第三章 混凝土构件中的钢筋检测

### 一、检测原理

钢筋间距、保护层厚度的无损检测主要采用两种方法，一是用电磁感应原理检测的电磁感应法，二是通过发射和接收到毫微秒级电磁波来检测的雷达法。

### 二、检测依据

中华人民共和国行业标准《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152-2019

### 三、仪器性能要求

1、电磁感应法钢筋探测仪（以下简称钢筋探测仪）和雷达仪检测前应采用校准试件进行校准，当混凝土保护层厚度为 10~50mm 时，混凝土保护层厚度检测的允许误差为 $\pm 1\text{mm}$ ；当混凝土保护层厚度大于 50mm 时，保护层厚度检测允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

2、用于钢筋间距检测的仪器，当混凝土保护层厚度为 10mm~50mm 时，钢筋间距的检测允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

3、钢筋探测仪的校准应按规程附录 A 的规定进行，雷达仪的校准应按规程附录 B 的规定进行。正常情况下，钢筋探测仪和雷达校准有效期可为一年。发生下列情况之一时，应对钢筋探测仪和雷达仪进行校准：

- (1) 新仪器启用前；
- (2) 检测数据异常，无法进行调整；
- (3) 经过维修或更换主要零配件。

### 四、一般规定

1、本检测方法不适用于含有铁磁性物质的混凝土检测，当含有铁磁性物质时，可采用直接法进行检测。

2、检测面选择应便于仪器操作并应避开金属预埋件；检测面应清洁平整。

3、进行混凝土保护层厚度检测时，检测部位应无饰面层，有饰面层时应清除；当进行钢筋间距检测时，检测部位宜选择无饰面层或饰面层影响较小的部位。

4、混凝土保护层检测位置宜选择保护层要求较高的部位。

5、检测所进行的钻孔、剔凿等不得损坏钢筋。混凝土保护层厚度的直接量测精度不应低于 0.1mm。钢筋间距的直接量测精度不应低于 1mm。

## 五、抽样规定

1、对混凝土结构进行工程质量检测时，混凝土保护层厚度检测抽样应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015 的规定：

钢筋保护层厚度检验的结构部位和构件数量应符合下列要求：

- 1)、对悬挑构件之外的梁板类构件，应各抽取构件数量的 2%且不少于 5 个构件进行检验。
- 2)、对悬挑梁，应抽取构件数量的 5%且不少于 10 个构件进行检验；当悬挑梁数量少于 10 个时，应全数检验。
- 3)、对悬挑板，应抽取构件数量的 10%且不少于 20 个构件进行检验；当悬挑梁数量少于 20 个时，应全数检验。
- 4) 对选定的梁类构件应对全部纵向受力钢筋的保护层厚度进行检验。对选定的板类构件应抽取不少于 6 根纵向受力钢筋的保护层厚度进行检验。对每根钢筋，应选择有代表性的不同部位测量 3 点取平均值。

钢筋保护层厚度检验时，纵向受力钢筋保护层厚度的允许偏差应符合下表的规定。

构件类型	允许偏差 (mm)
梁	+10, -7
板	+8, -5

梁类板类构件纵向受力钢筋的保护层厚度应分别进行验收，并应符合下列规定：

- 1) 当全部钢筋保护层厚度检验的合格点率为 90%及以上时钢筋保护层厚度的检验结果应判为合格
- 2) 当全部钢筋保护层厚度检验的合格点率小于 90%但不小于 80%，可再抽取相同数量的构件进行检验，当按两次抽样总和计算的合格点率为 90%及以上时钢筋保护层厚度的检验结果仍应判为合格；
- 3) 每次抽样检验结果中不合格点的最大偏差均不应大于 GB50204 附录 E.0.4 条规定允许偏差的 1.5 倍.

构件类型	允许偏差 (mm)	最大允许偏差 (mm)
梁	+10, -7	+15, -10.5
板	+8, -5	+12, -7.5

2、对混凝土结构进行结构性能检测时，混凝土保护层厚度及钢筋间距的抽样可按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344-2019 或《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784-2013 的规定进行。当委托方有明确要求时，应按相关要求确定。

## 六、检测方法与试验操作步骤

### 1、电磁感应法

(1) 检测前，应进行下列准备工作：根据设计资料了解钢筋的直径和间距；根据检测目的确定检测部位，检测部位应避开钢筋接头、绑丝及金属预埋件。检测部位的钢筋间距应符合电磁感应法钢筋探测仪的检测要求；根据所检钢筋的布置状况，确定垂直于所检钢筋轴线方向为探测方向，检测部位应平整光洁；应对钢筋探测仪进行预热和调零，调零时探头应远离金属物体。

(2) 检测前应进行预扫描，电磁感应法钢筋探测仪的探头在检测面上沿探测方向移动，直到仪器保护层厚度示值最小，此时探头中心线与钢筋轴线应重合，在相应位置作好标记。并初步了解钢筋埋设深度。重复上述步骤将相邻的其他钢筋位置逐一标出。

(3) 钢筋混凝土保护层厚度的检测应按下列步骤进行：

①应根据预扫描结果设定钢筋探测仪量程范围，根据原位实测结果或设计资料设定仪器的钢筋直径参数。沿被测钢筋轴线选择相邻钢筋影响较小的位置，在预扫描的基础上进行扫描探测，确定钢筋的准确位置，将探头放在与钢筋轴线重合的检测面上读取保护层厚度检测值。

②应对同一根钢筋同一处检测 2 次，读取的 2 个保护层厚度值相差不大于 1mm 时，取二次检测数据的平均值为保护层厚度值，精确至 1mm；相差大于 1mm 时，该组检测数据应无效，并查明原因，在该处应重新进行 2 次检测，仍不符合规定时，应更换钢筋探测仪或采用直接法进行检测。

(4) 当实际混凝土保护层厚度小于钢筋探测仪最小示值时，应采用在探头下附加垫块的方法进行检测。垫块对钢筋探测仪检测结果不应产生干扰，表面应光滑平整，其各方向厚度值偏差不应大于 0.1mm。所加垫块厚度在计算时应予扣除。

(5) 钢筋间距的检测应按下列步骤进行：

①根据预扫描的结果，设定仪器量程范围，在预扫描的基础上进行扫描，确定钢筋的准确位置；

②检测钢筋间距时，应将检测范围内的设计间距相同的连续相邻钢筋逐一标出，并应逐个量测钢筋的间距。当同一构件检测的钢筋数量较多时，应对钢筋间距进行连续量测，且不宜少于 6 个。

(6) 遇到下列情况之一时，应采用直接法进行验证：

①认为相邻钢筋对检测结果有影响；

②钢筋公认直径未知或有异议；

③钢筋实际根数、位置与设计有较大偏差；

④钢筋以及混凝土材质与校准试件有显著差异。

(7) 当采用直接法验证时，应选取不少于 30% 的已测钢筋，且不应少于 7 根，当实际检测数量小于 7 根时应全部抽取。

### 2、雷达法

(1) 雷达法宜用于结构及构件中钢筋间距有大面积扫描检测；当检测精度满足需要时，也可用于钢筋的混凝土保护层厚度检测。

(2) 钢筋检测应按下列步骤进行:

①根据检测构件的钢筋位置选定合适的天线中心频率。天线中心频率的选定应在满足探测深度的前提下，使用较高分辨率天线的雷达仪。

②根据检测构件中钢筋的排列方向，雷达仪探头或天线沿垂直于选定的被测钢筋轴线方向扫描采集数据。场地允许的情况下，宜使用天线阵雷达进行网格状扫描。

③根据钢筋的反射回波在波幅及波形上的变化形成图像，来确定钢筋间距、位置和混凝土保护层厚度检测值，并可对被检测区域的钢筋进行三维立体显示。

(3) 遇到下列情况之一时，宜采用直接法验证:

①认为相邻钢筋对检测结果有影响；

②无设计图纸时，需要确定钢筋根数和位置；

③当有设计图纸时，钢筋检测数量与设计不符或钢筋间距检测值超过相关标准允许的偏差；

④混凝土未达到表面风干状态；

⑤饰面层电磁性能与混凝土有较大差异。

(4) 当采用直接法验证时，应选取不少于 30% 的已测钢筋且不应少于 7 根，当实际检测数量不到 7 根时应全部抽取。

### 3、直接法

混凝土保护层厚度检测步骤:

1)、采用无损检测方法确定被测钢筋位置；

2)、采用空心钻头钻孔或剔凿去除钢筋外层混凝土直至被测钢筋直径方向完全暴露，且沿钢筋长度方向不宜小于 2 倍钢筋直径；

3)、采用游标卡尺测量钢筋外轮廓至混凝土表面最小距离。

钢筋间距检测步骤:

1)、在垂直于被测钢筋长度方向上对混凝土进行连续剔凿，直至钢筋直径方向完全暴露，暴露的连续分布且设计间距相同钢筋不宜少于 6 根；当钢筋数量少于 6 根时，应全部剔凿。

2)、采用钢卷尺逐个量测钢筋的间距。

## 七、数据处理与结果判定

1、当采用直接法验证混凝土保护层厚度时，应先计算保护层厚度修正量：

$$C_c = \sum_{i=1}^n ((c_i^z) - (c_i^t)) / n \quad (3-1)$$

钢筋的混凝土保护层厚度平均检测值应按下式计算：

$$c_{m,i}^t = (c_1^t + c_2^t + 2c_c + 2c_0)/2 \quad (3-2)$$

式中  $c_{m,i}^t$  --- 第 i 测点混凝土保护层厚度平均检测值, 精确至 1mm;

$c_1^t$ 、 $c_2^t$  --- 第 1、2 次检测的混凝土保护层厚度检测值, 精确至 1mm;

$c_c$  --- 混凝土保护层厚度修正值, 为同一规格钢筋的混凝土保护层厚度实测验证值减去检测值, 精确至 0.1mm;

$c_0$  --- 探头垫块厚度, 精确至 0.1mm; 不加垫块时  $c_0=0$ 。

2、检测钢筋间距时, 可根据实际需要采用绘图方式给出结果。当同一构件检测钢筋为连续 6 个间距时, 也可给出被测钢筋的最大间距、最小间距, 并按下式计算钢筋平均间距:

$$s_{m,i} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} \quad (3-3)$$

式中  $s_{m,i}$  --- 钢筋平均间距, 精确至 1mm;

$s_i$  --- 第 i 个钢筋间距, 精确至 1mm。

## 思考题

- 1、现从下往上弹击一楼板底面, 某测区回弹值为 33, 31, 35, 33, 33, 35, 32, 37, 28, 30, 36, 34, 31, 32, 38, 30, 碳化深度为 1.0mm, 混凝土为泵送混凝土, 计算该测区混凝土强度换算值。
- 2、简述构件混凝土强度如何按单个构件和按批抽样检测混凝土强度推定值。
- 3、超声回弹法和回弹法在构件测区布置上有何不同要求?
- 4、对不满足《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》中要求的条件, 声速值须进行哪些修正? 如何进行修正?
- 5、钻芯法为半破损检测, 考虑构件受力性能现场钻芯时对受弯构件、受压构件芯样的测区部位应如何确定?
- 6、某芯样抗压试验压力值为 238kN, 芯样高度 103mm, 芯样直径 99.5mm, 芯样试件混凝土强度换算值为多少?
- 7、简述如何进行混凝土不密实区和空洞检测中异常数据的判别。
- 8、简述进行混凝土不密实区和空洞检测时, 可按哪几种方法布置换能器?

## 第四章 后置埋件

### 一、基本概念

后置埋件是指安装在结构上的埋置锚固件，其中涉及到三种客体：结构基材、锚固件和被连接体。锚固件不但要完成被锚固件与原结构的连接作用，更重要的是能有效的将外加荷载直接传递到原结构上，从而达到安全、可靠的功效。近几年许多既有建筑需要进行加固，或者是被赋予了新的功能，需要进行改造，或是在原建筑物上添加新的建筑。在这些情况下，需要在建筑本身建好以后再使用一些方法将新的结构、构件、设备连接到这些建筑主体或者建筑上来，这样的方法称之为后锚固技术。后锚固是指通过相关技术手段在既有混凝土结构上的锚固。该方法具有施工简单、使用灵活，既可用于加固改造工程也可用于新建建筑物，但其受力状态复杂破坏类型较多，失效概率较大。

影响后置埋件可靠性的影响因素主要有两个，一是锚固件本身的质量，二是后埋置技术。后置埋件作用原理可以分为凸形结合(机械锁定嵌固结合)，摩擦结合和材料结合。凸形结合时，荷载通过锚栓与锚固基础间的机械啮合来传递。此类结合的钻孔须专门与锚栓匹配的钻头进行拓孔，锚栓在拓孔部分与锚固基础形成凸形结合，通过啮合将荷载传给锚固基底。此类锚栓在混凝土结构中具有良好的抗震、抗冲击性能，可以在混凝土受拉区中使用。膨胀式锚栓的作用原理属摩擦结合，膨胀片张开后，使锚栓与孔壁间形成摩擦力。膨胀力可由两种途径产生：扭矩控制和位移控制。扭矩控制是用力矩扳手达到规定的安装扭矩后，膨胀片张开。位移控制是把扩充锥体敲击入膨胀套管内，达到规定的打入行程后，膨胀片张开。第三种是材料结合。即通过胶合体将荷载传给锚固基础，如当今应用很广泛的植筋技术。

### 二、后置埋件分类

后置埋件锚固的方法有很多，总的可以分为两大类：植筋和使用锚栓锚固。锚栓是将被连接件锚固到混凝土基材上的锚固组件。

锚栓按工作原理可分为：膨胀型锚栓（按照形成膨胀力来源分为扭矩控制式和位移控制式）、扩底型锚栓（按照扩孔方式可分为自扩孔和预扩孔）。

1、膨胀型锚栓：利用膨胀件挤压锚孔孔壁形成锚固作用的锚栓（图4-1，图4-2）。

2、扩底型锚栓：通过锚孔底部扩孔与锚栓膨胀件之间的锁键形成锚固作用的锚栓（图4-3）。

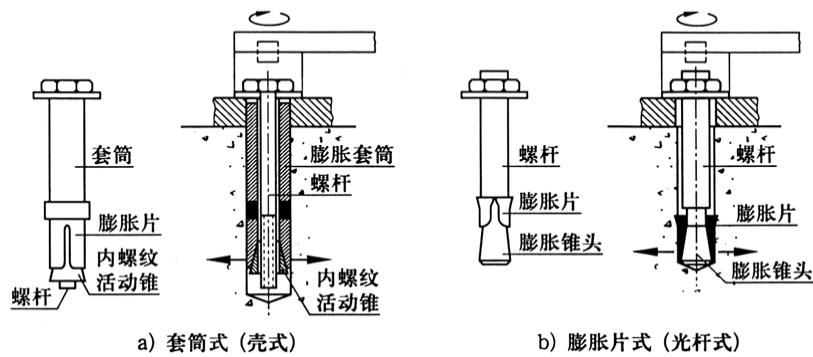


图4-1 扭矩控制式膨胀型锚栓

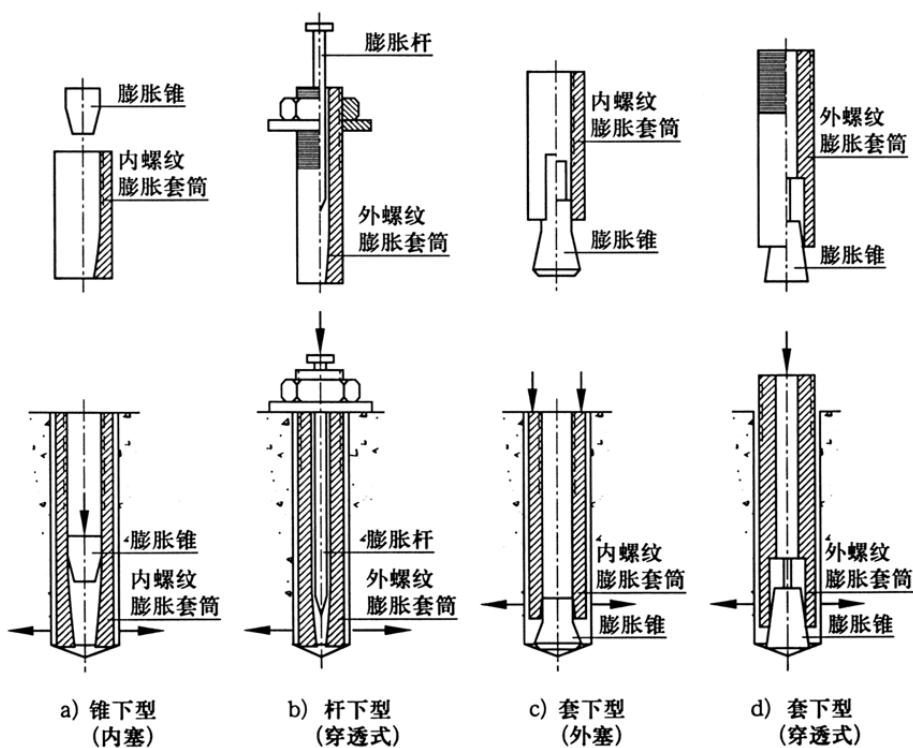
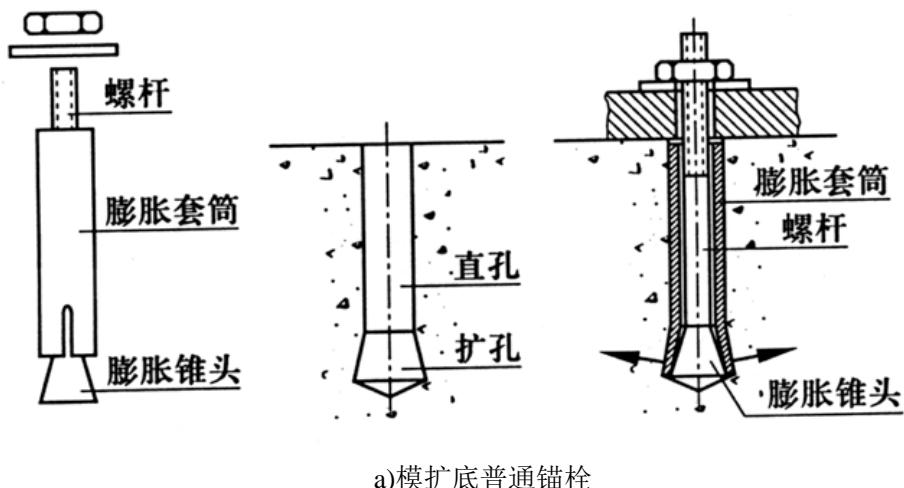
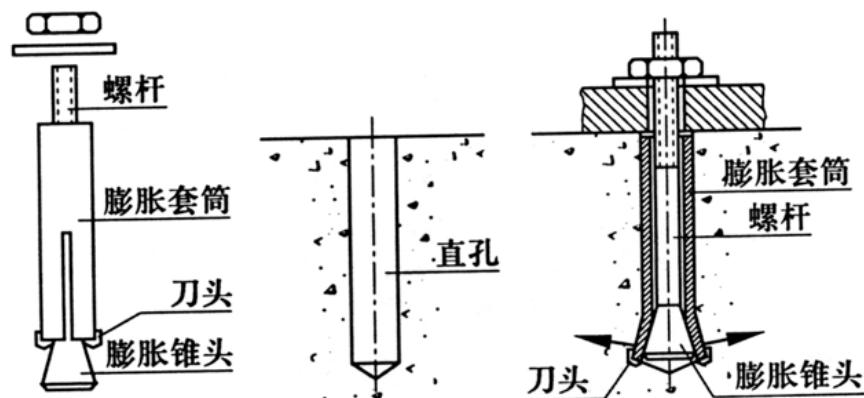


图4-2 位移控制式膨胀型锚栓



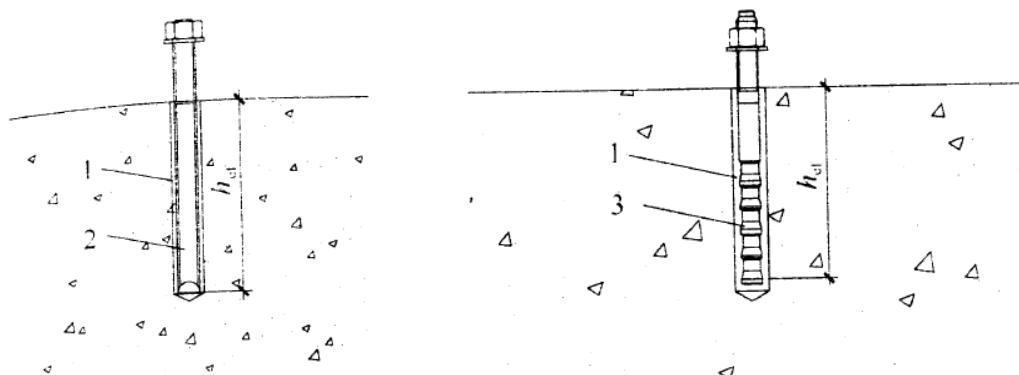
a) 模扩底普通锚栓



b)自扩底专用锚栓

图4-3 扩孔型锚栓

8、化学锚栓：由金属锚杆和锚固胶组成，通过锚固胶形成锚固作用的锚栓（图4-4）。



(a) 普通化学锚栓 (b) 特殊倒锥形化学锚栓

1—锚固胶；2—标准螺纹全牙螺杆；3—倒锥形螺杆

图4-4 化学锚栓示意

9、植筋：是指以专用的有机或无机胶黏剂将带肋钢筋或螺纹螺杆种植于混凝土基材中的一种后锚固连接方法（图4-5）。

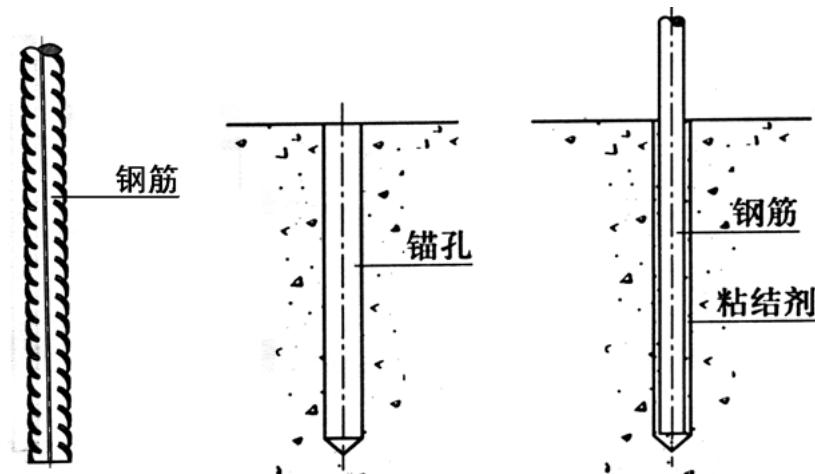


图4-4 植筋示意

### 三、锚栓与植筋的选用

1、锚栓应按照锚栓性能、基材性状、锚固连接的受力性质、被连接结构类型、抗震设防等要求选用。锚栓用于结构构件连接及非结构构件连接时的适用范围参照《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145-2013表4.1.1-1、表4.1.1-2。

2、承重构件的植筋锚固应在计算和构造上防止混凝土破坏及拔出破坏；植筋宜仅承受轴向力，应按照充分利用钢材强度设计值的计算模式根据香型国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010进行设计。

### 四、后锚固设计原则

#### 1、后锚固设计原则

采用以试验研究数据和工程实践经验为依据，以概率理论为基础的极限状态设计方法，采用锚固承载力分项系数的技术表达式进行设计。后锚固连接设计所采用的设计使用年限应与整个被连接结构的设计使用年限一致，并不宜少于30年。对化学锚栓和植筋，应定期检查其工作状态，检查的时间间隔可由设计单位确定，但第一次检查时间不应迟于10年。根据锚固连接破坏后果的严重程度，后锚固连接划分为二个安全等级。混凝土结构后锚固连接设计，应按表4-1的规定，采用相应的安全等级，但不应低于被连接结构的安全等级。

表4-1 锚固连接安全等级

安全等级	破坏后果	锚固类型
一级	很严重	重要的锚固
二级	严重	一般的锚固

后锚固连接承载力应采用下列设计表达式进行验算：

$$\text{无地震作用组合} \quad \gamma_A S \leq R \quad (4-1)$$

$$\text{有地震作用组合} \quad S \leq kR / \gamma_{RE} \quad (4-2)$$

$$R = R_k / \gamma_R \quad (4-3)$$

式中  $\gamma_A$  ——锚固连接重要性系数，对一级、二级的锚固安全等级，分别取1.2、1.1；且  $\gamma_A \geq \gamma_0$ ，  
 $\gamma_0$  为被连接结构的重要性系数，对地震设计状况应取1.0；  
 $S$  ——承载能力极限状态下，锚固连接作用组合的效应设计值：对持久设计状况和短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算；  
 $R$  ——锚固承载力设计值；  
 $R_k$  ——锚固承载力标准值；  
 $k$  ——地震作用下锚固承载力降低系数；  
 $\gamma_{RE}$  ——锚固承载力抗震调整系数，取1.0；  
 $\gamma_R$  ——锚固承载力分项系数。

后锚固连接设计，应根据被连接结构类型、锚固连接受力性质及锚固件类型的不同，对其破坏型态加以控制。对受拉、边缘受剪、拉剪组合之结构构件及生命线工程非结构构件的锚固连接，应控制为锚固件或植筋钢材破坏；对于膨胀型锚栓及扩底型锚栓锚固连接，不应发生整体拔出破坏或锚杆穿出破坏，植筋连接，不应发生混凝土基材破坏及沿胶筋界面和胶混界面的破坏。

混凝土结构后锚固连接承载力分项系数  $\gamma_R$ ，应根据锚固连接破坏类型及被连接结构类型的不同，按表4-2采用。未经有资质的技术鉴定或设计许可，不得改变后锚固连接的用途和使用环境。

表4-2 锚固承载力分项系数  $\gamma_R$

项次	符号	被连接结构类型		结构构件	非结构构件
		锚固破坏类型			
1	$\gamma_{Rc,N}$	混凝土锥体受拉破坏		3.0	1.8
2	$\gamma_{Rc,V}$	混凝土边缘受剪破坏		2.5	1.5
3	$\gamma_{Rsp}$	混凝土劈裂破坏		3.0	1.8
4	$\gamma_{Rcp}$	混凝土剪撬破坏		2.5	1.5
5	$\gamma_{Rp}$	混合破坏		3.0	1.8
6	$\gamma_{Rs,N}$	锚栓钢材受拉破坏		1.3	1.2
7	$\gamma_{Rs,V}$	锚栓钢材受剪破坏		1.3	1.2

## 2、锚栓构造措施

(1) 混凝土基材的厚度 $h$  应满足下列规定:

- i) 对于膨胀型锚栓和扩孔型锚栓,  $h \geq 2h_{\text{ef}}$  且  $h > 100\text{mm}$ ;
- ii) 对于化学锚栓,  $h \geq h_{\text{ef}} + 2d_0$  且  $h > 100\text{mm}$ , 其中  $h_{\text{ef}}$  为锚栓的埋置深度,  $d_0$  为钻孔直径。

(2) 群锚锚栓最小间距值 $s_{\text{min}}$  和最小边距值 $c_{\text{min}}$ , 应由厂家通过国家授权的检测机构检验分析后给定, 否则不应小于下列数值:

- i) 位移控制式膨胀型锚栓:  $s_{\text{min}} \geq 6d_{\text{nom}}$ ;  $c_{\text{min}} \geq 10d_{\text{nom}}$ ; 扭矩控制式膨胀型锚栓:  $s_{\text{min}} \geq 6d_{\text{nom}}$ ;  
 $c_{\text{min}} \geq 8d_{\text{nom}}$ ;
- ii) 扩底型锚栓:  $s_{\text{min}} \geq 6d_{\text{nom}}$ ;  $c_{\text{min}} \geq 6d_{\text{nom}}$ ;
- iii) 化学锚栓:  $s_{\text{min}} \geq 6d_{\text{nom}}$ ;  $c_{\text{min}} \geq 6d_{\text{nom}}$ 。

其中  $d_{\text{nom}}$  为锚栓外径。

(3) 锚栓不得布置在混凝土的保护层中, 有效锚固深度 $h_{\text{ef}}$  不得包括装饰层或抹灰层。

(4) 承重结构用的锚栓, 其公称直径不应小于12mm, 锚固深度不应小于60mm。

(5) 承受扭矩的群锚, 应采用胶黏剂将锚板上的锚孔间隙填充密实。

(6) 锚板孔径及化学锚栓的最小锚固深度均应满足现行规范《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145-2013中的相应要求。

## 3、植筋构造措施

(1) 植筋的最小锚固长度, 对受拉钢筋, 应取  $0.3l_s$ 、 $10d$  和  $100\text{mm}$  三者之间的最大值; 对受压钢筋, 应取  $0.6l_s$ 、 $10d$  和  $100\text{mm}$  三者之间的最大值; 对悬挑构件尚应乘以 1.5 的修正系数。 $l_s$  植筋的基本锚固深度,  $d$  为钢筋直径。

(2) 基材在植筋方向的最小尺寸不应小于  $l_d + 2D$ ,  $D$  为钻孔直径。

(3) 植筋与混凝土边缘距离不宜小于  $5d$ , 且不宜小于  $100\text{mm}$ 。

## 五、现场承载力检验基本规定

### 1、适用范围及应用条件

- (1) 本方法适用于混凝土结构后锚固工程质量的现场检验。
- (2) 后锚固工程质量应按锚固件抗拔承载力的现场抽样检验结果进行评定。
- (3) 后锚固件应进行抗拔承载力现场非破损检验, 满足下列条件之一时, 还应进行破坏性检验:

a 安全等级为一级的后锚固构件；

b 悬挑结构和构件；

c 对后锚固设计参数有疑问；

d 对该工程锚固质量有怀疑。

(4) 受现场条件限制无法进行原位破坏性检验时，可在工程施工的同时，现场浇筑同条件的混凝土块体作为基材安装锚固件，并应按规定的时间进行破坏性检验，且应事先征得设计和监理单位的书面同意，并在现场见证试验。

## 2 、抽样规则

(1) 锚固质量现场检验抽样时，应以同品种、同规格、同强度等级的锚固件安装于锚固部位基本相同的同类构件为一检验批，并应从每一检验批所含的锚固件中进行抽样。

(2) 现场破坏性检验宜选择锚固区以外的同条件位置，应取每一检验批锚固件总数的 0.1% 且不少于 5 件进行检验。锚固件为植筋且数量不超过 100 件时，可取 3 件进行检验。

(3) 现场非破损检验的抽样数量，应符合下列规定：

### A 、锚栓锚固质量的非破损检验

1) 对重要结构构件及生命线工程的非结构构件，应按表 C.2.3 规定的抽样数量对该检验批的锚栓进行检验；

**表 C.2.3 重要结构构件及生命线工程的非结构构件  
锚栓锚固质量非破损检验抽样表**

检验批的锚栓总数	$\leq 100$	500	1000	2500	$\geq 5000$
按检验批锚栓总数 计算的最小抽样量	20% 且不少于 5 件	10%	7%	4%	3%

注：当锚栓总数介于两栏数量之间时，可按线性内插法确定抽样数量。

2) 对一般结构构件，应取重要结构构件抽样量的 50% 且不少于 5 件进行检验；

3) 对非生命线工程的非结构构件，应取每一检验批锚固件总数的 0.1% 且不少于 5 件进行检验。

### B 、植筋锚固质量的非破损检验

1) 对重要结构构件及生命线工程的非结构构件，应取每一检验批植筋总数的 3% 且不少于 5 件进行检验；

2) 对一般结构构件，应取每一检验批植筋总数的 1% 且不少于 3 件进行检验；

3) 对非生命线工程的非结构构件，应取每一检验批锚固件总数的 0.1% 且不少于 3 件进行检验。

(4) 胶粘的锚固件，其检验宜在锚固胶达到其产品说明书标示的固化时间的当天进行。若因故需推迟抽样与检验日期，除应征得监理单位同意外，推迟不应超过 3d。

### 3、仪器设备要求

(1) 现场检测用的加载设备，可采用专门的拉拔仪，应符合下列规定：

a 设备的加载能力应比预计的检验荷载值至少大 20%，且不大于检验荷载的 2.5 倍，应能连续、平稳、速度可控的运行；

b 加载设备应能够按照规定的速度加载，测力系统整机允许偏差为全量程的 $\pm 2\%$ ；

c 设备的液压加载系统持荷时间不超过 5min 时，其降荷值不应大于 5%；

d 加载设备应能够保证所施加的拉伸荷载始终与后锚固构件的轴线一致；

5 加载设备支撑环内径 $D_0$ 应符合下列规定：

a 植筋： $D_0$ 不应小于 12d 和 250mm 的较大值；

b 膨胀型锚栓和扩底型锚栓： $D_0$ 不应小于  $4h_{ef}$ ；

c 化学锚栓发生混合破坏及钢材破坏时： $D_0$ 不应小于 12d 和 250mm 的较大值；

d 化学锚栓发生混凝土锥体破坏时： $D_0$ 不应小于  $4h_{ef}$ 。

(2) 当委托方要求检测重要结构锚固件连接的荷载-位移曲线时，现场测量位移的装置应符合下列规定：

a 仪表的量程不应小于 50mm；其测量的允许偏差应为 $\pm 0.02\text{mm}$ ；

b 测量位移装置应能与测力系统同步工作，连续记录，测出锚固件相对于混凝土表面的垂直位移，并绘制荷载-位移的全程曲线。

(3) 现场检验用的仪器设备应定期由法定计量检定机构进行检定。遇到下列情况之一时，还应重新检定：

a 读数出现异常；

b 拆卸检查或更换零部件后。

### 4、加载方式

(1) 检验锚固拉拔承载力的加载方式可为连续加载或分级加载，可根据实际条件选用。

(2) 进行非破损检验时，施加荷载应符合下列规定：

a 连续加载时，应以均匀速率在 2min~3min 时间内加载至设定的检验荷载，并持荷 2min；

b 分级加载时，应将设定的检验荷载均分为 10 级，每级持荷 1min，直至设定的检验荷载，并持荷 2min；

c 荷载检验值应取  $0.9f_{yk}A_s$  和  $0.8N_{Rk,*}$  的较小值。 $N_{Rk,*}$  为非钢材破坏承载力标准值，可按《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013 第 6 章有关规定计算。

(3) 进行破坏性检验时，施加荷载应符合下列规定：

a 连续加载时，对锚栓应以均匀速率在 2min~3min 时间内加荷至锚固破坏，对植筋应以均匀速率 2min~7min 时间内加荷至锚固破坏；

b 分级加载时，前 8 级，每级荷载增量应取为  $0.1N_u$ ，且每级持荷 1min~1.5min；自第 9 级起，每级荷载增量应取为  $0.05N_u$ ，且每级持荷 30s，直至锚固破坏。 $N_u$  为计算的破坏荷载值。

## 5、检验结果评定

(1) 非破损检验的评定，应按下列规定进行：

a 试样在持荷期间，锚固件无滑移、基材混凝土无裂纹或其他局部损坏迹象出现，且加载装置的荷载示值在 2min 内无下降或下降幅度不超过 5% 的检验荷载时，应评定为合格；

b 一个检验批所抽取的试样全部合格时，该检验批应评定为合格检验批；

c 一个检验批中不合格的试样不超过 5% 时，应另抽 3 根试样进行破坏性检验，若检验结果全部合格，该检验批仍可评定为合格检验批；

d 一个检验批中不合格的试样超过 5% 时，该检验批应评定为不合格，且不应重做检验。

(2) 锚栓破坏性检验发生混凝土破坏，检验结果满足下列要求时，其锚固质量应评定为合格：

$$N_{Rm}^c \geq \gamma_{u,lim} N_{Rk,*}$$

$$N_{Rmin}^c \geq N_{Rk,*}$$

式中： $N_{Rm}^c$  ——受检验锚固件极限抗拔力实测平均值（N）；

$N_{Rmin}^c$  ——受检验锚固件极限抗拔力实测最小值（N）；

$N_{Rk,*}$  ——混凝土破坏受检验锚固件极限抗拔力标准值（N），按本规程第 6 章有关规定计算；

$\gamma_{u,lim}$  ——锚固承载力检验系数允许值， $\gamma_{u,lim}$  取为 1.1。

(3) 锚栓破坏性检验发生钢材破坏，检验结果满足下列要求时，其锚固质量应评定为合格。

$$N_{Rmin}^c \geq \frac{f_{stk}}{f_{yk}} N_{Rk,s}$$

式中： $N_{Rmin}^c$  ——受检验锚固件极限抗拔力实测最小值（N）；

$N_{Rk,s}$  ——锚栓钢材破坏受拉承载力标准值（N），按本规程第 6 章有关规定计算。

(4) 植筋破坏性检验结果满足下列要求时，其锚固质量应评定为合格：

$$N_{Rm}^c \geq 1.45 f_y A_s$$

$$N_{Rmin}^c \geq 1.25 f_y A_s$$

式中： $N_{Rm}^c$  ——受检验锚固件极限抗拔力实测平均值（N）；

$N_{R\min}^c$  ——受检验锚固件极限抗拔力实测最小值（N）；

$f_y$  ——植筋用钢筋的抗拉强度设计值（N/mm<sup>2</sup>）；

$A_s$  ——钢筋截面面积（mm<sup>2</sup>）；

(5) 当检验结果不满足上述规定时，应判定该检验批后锚固连接不合格，并应会同有关部门根据检验结果，研究采取专门措施处理。

## 思考题

- 1、后置埋件是指什么？主要功能和作用原理是什么？
- 2、后置埋件的分类、锚固方式和选用原则、应用范围如何？
- 3、后锚固件安装后的受力机理？
- 4、后锚固的设计原则？
- 5、后置锚固件的锚固技术主要有哪几种
- 6、后锚固件锚固后的质量及可靠性如何检测？检测依据是什么？如何判定？
- 7、简述后置锚固件现场检测步骤及操作要点？
- 8、后锚固承载力如何确定？
- 9、如何评定锚固承载力现场检验结果？
- 10、锚固承载力现场检验中使用的仪器基本要求是什么？
- 11、为什么要规定加荷设备支撑环内径？

## 课前请学员自行准备以下标准：

1. 中华人民共和国国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784-2013;
2. 中华人民共和国国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015;
3. 中华人民共和国国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344-2019;
4. 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/T 23-2011;
5. 中国工程建设标准化协会标准《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》T/CECS 02-2020;
6. 中国工程建设标准化协会标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS 03: 2007
7. 中华人民共和国行业标准《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294-2013;
8. 中华人民共和国行业标准《后锚固法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 208-2010;
9. 中国工程建设标准化协会标准《拔出法检测混凝土强度技术规程》CECS 69: 2011 ;
10. 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: 2000 ;
11. 中华人民共和国行业标准《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411-2017;
12. 中华人民共和国行业标准《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152-2019;
13. 中华人民共和国行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145-2013。