

上海市工程建设规范

结构混凝土抗压强度检测  
技术规程

——回弹法、超声回弹综合法、钻芯法

Technical specification for inspection of  
structure concrete compressive strength by  
rebound, untrasonic-rebound  
combine and drill core methods

DG/TJ08—2020—2007

主编单位：上海市建设工程检测行业协会

批准部门：上海市建设和交通委员会

施行日期：2007年9月1日

2007 上海

# 上海市建设和交通委员会

沪建交[2007]348号

## 上海市建设和交通委员会 关于批准《结构混凝土抗压强度检测 技术规程》为上海市工程建设 规范的通知

各有关单位：

由上海市建设工程检测行业协会编制的《结构混凝土抗压强度检测技术规程》，经技术审查和我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号 DG/TJ08—2020—2007，自 2007 年 9 月 1 日起实施。

本规范由市建设交通委负责管理、市建设工程检测行业协会负责解释。

上海市建设和交通委员会  
二〇〇七年五月二十八日

## 前 言

本规程是根据上海市建设和交通委员会沪建交[2006]183号文的要求,由上海市建设工程检测行业协会会同有关单位编制而成。

依据上海地区预拌混凝土的原材料特性,生产工艺和环境气温条件,新建立回弹法检测结构混凝土抗压强度方法,修订超声回弹综合法检测结构混凝土抗压强度方法,并建立芯样直径小型化,强度等级 C15~C80 的钻芯法检测混凝土抗压强度的方法。

编制组在规程编制过程中参考了国家有关标准规程,进行了大量的科学研究和试验,在总结历年实践经验,广泛征求相关单位和专家意见的基础上编制了本规程。

本规程包括总则;术语;符号;回弹法检测结构混凝土抗压强度;超声回弹综合法检测结构混凝土抗压强度;钻芯法检测结构混凝土抗压强度,以及规程条文说明等。

各单位在执行本规程时,不断总结经验,积累资料,提出宝贵意见和建议,并函告上海市建设工程检测行业协会(地址:上海市中山南二路 777 弄 1 号楼 1701 室,邮编:200032),以供修订时参考。

主 编 单 位:上海市建设工程检测行业协会

参 编 单 位:同济大学

上海市建筑科学研究院(集团)有限公司

上海同纳建设工程质量检测有限公司

上海市杨浦区建设工程质量检测站

上海浦东新区建设工程技术监督有限公司

上海虹口建设工程质量检测有限公司

上海嘉华混凝土有限公司

上海隧道工程股份有限公司混凝土分公司

主要起草人: 缪 群 李为杜 方之枰 童寿兴 朱文献

鲍德波 金维芬 汤永军 鲁 欢

参加起草人: 龚志华 戴 斌 唐晨浩 李运兴 王 维

陆 进 孙剑艳 李欢欢

上海市建筑建材业市场管理总站

二〇〇七年三月

# 目 次

1	总 则 .....	(1)
2	术语、符号 .....	(2)
2.1	术 语 .....	(2)
2.2	符 号 .....	(3)
3	回弹法检测结构混凝土抗压强度 .....	(5)
3.1	回弹仪 .....	(5)
3.2	回弹测区布置 .....	(7)
3.3	回弹值检测与计算 .....	(8)
3.4	碳化深度值检测 .....	(10)
3.5	结构混凝土抗压强度的计算与推定 .....	(11)
4	超声回弹综合法检测结构混凝土抗压强度 .....	(14)
4.1	回弹仪 .....	(14)
4.2	混凝土超声检测仪 .....	(14)
4.3	回弹值检测和数据计算 .....	(16)
4.4	超声声速检测和数据计算 .....	(16)
4.5	超声回弹综合法推定结构混凝土抗压强度 .....	(17)
5	钻芯法检测结构混凝土抗压强度 .....	(19)
5.1	一般规定 .....	(19)
5.2	钻芯法推定混凝土抗压强度 .....	(19)
5.3	钻芯修正方法 .....	(21)
5.4	主要设备 .....	(21)

5.5	芯样的钻取 .....	(22)
5.6	芯样的加工及试件的技术要求 .....	(23)
5.7	芯样试件的试验 .....	(24)
附录 A	工程测试应具备的相关资料 .....	(26)
附录 B	建立回弹法、超声回弹综合法专用混凝土测强曲线 的基本要求 .....	(27)
附录 C	超声波角测、平测和声速计算方法 .....	(29)
C.1	超声波角测方法 .....	(29)
C.2	超声波平测方法 .....	(30)
附录 D	用实测空气声速法校准超声仪 .....	(31)
附录 E	钻芯法混凝土抗压强度推定区间系数表 .....	(33)
	本规程用词说明 .....	(34)
	条文说明 .....	(35)

# 1 总 则

**1.0.1** 为适应上海地区采用非破损方法检测结构混凝土抗压强度的要求,保证检测工作规范性和检测的精度要求,制定本规程。

**1.0.2** 本规程中回弹法、超声回弹综合法适用于龄期 14~1500d,强度为 10~70MPa 结构混凝土抗压强度检测,但不适用于因冻害、化学侵蚀、火灾等造成表面疏松、剥落的结构混凝土强度检测。

钻芯法适用于检测强度等级为 C10~C80 的新、老结构或构件混凝土的抗压强度。

**1.0.3** 混凝土强度验收和评定应按国家现行有关的标准执行,当对结构混凝土强度有怀疑或有检测需要时,可选用本规程制定的相应方法进行检测和推定结构混凝土的强度,并作为混凝土结构处理的依据之一。

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

**1.0.4** 按本规程进行检测的人员,应经过专业技术培训,并持相应资格证书方可从事检测技术工作。

**1.0.5** 结构混凝土抗压强度检测,除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关的标准规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 预拌混凝土 ready-mixed concrete

混凝土搅拌站按混凝土设计强度等级要求,预先拌制的商品混凝土。

#### 2.1.2 测区 test area

结构或构件混凝土强度检测时确定的检测区域。

#### 2.1.3 测点 test point

测区内的检测点。

#### 2.1.4 测区混凝土抗压强度换算值 conversion value of concrete compressive strength of test area

由测区的检测平均值按测强曲线计算得到该单元现龄期的混凝土抗压强度。

#### 2.1.5 结构或构件的强度推定值 strength estimate value of structure or member

相应于强度换算值总体分布中保证率不低于 95% 的结构或构件的混凝土强度值。

#### 2.1.6 回弹仪率定 rebound equipment rating

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

#### 2.1.7 超声回弹综合法 ultrasonic-rebound combined method

根据实测声速值和回弹值综合推定混凝土强度的方法。

#### 2.1.8 置信度 confidence level



被测试值的真值落在某一区间的概率。

### 2.1.9 芯样试件标称直径 nominal diameter of core specimen

以薄壁钻头内径为标准的芯样试件直径。

### 2.1.10 标准芯样试件 standard core specimen

端面和质量符合要求的标称直径为 100mm 和高度为 100mm 测定抗压强度的芯样试件。

### 2.1.11 推定区间 estimate interval

由上限和下限值构成的认为被测值和真值落在其中概率较大的区间

### 2.1.12 随机抽取 draw a item at random

从  $n$  个个体组成的总体中抽取一个个体,若总体中的每一个个体被抽取的几率都相等,则称这种抽取方法为随机抽取。

## 2.2 符 号

$f_{cu,i}^c$ ——结构或构件测区混凝土抗压强度换算值;

$f_{cu,e}$ ——结构或构件混凝土抗压强度推定值;

$f_{cu,min}^c$ ——结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的最小值;

$f_{cu}^v$ ——混凝土立方体试件的抗压强度实测值;

$f_{ar}^v$ ——混凝土芯样试件的抗压强度实测值;

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

$R_i$ ——第  $i$  个测点的有效回弹值;

$R$ ——测区回弹值代表值;

$R_a$ ——修正后的测区回弹值代表值;

$\alpha$ ——回弹仪测试角度;

$R_{\alpha}$ ——测试角度为  $\alpha$  时测区回弹修正值;

$R_a^t, R_a^b$ ——混凝土浇筑顶面、底面回弹值的修正值;

- $d_m$ ——测区的平均碳化深度；  
 $l_i$ ——第  $i$  个测点的超声测距；  
 $t_i$ ——第  $i$  个测点的声时值  
 $t_0$ ——声时初读数；  
 $v_i$ ——第  $i$  个测点的混凝土的声速值；  
 $v$ ——测区混凝土中声速代表值；  
 $\beta$ ——超声测试面的声速修正系数；  
 $v_a$ ——修正后的测区混凝土声速代表值；  
 $\lambda$ ——平测声速修正系数；  
 $v_k$ ——空气中声速计算值；  
 $v_0$ ——空气中声速实测值；  
 $T_k$ ——空气的摄氏温度；  
 $A$ ——芯样试件承压面面积；  
 $F_c$ ——芯样试件试验的最大测试力；  
 $H$ ——抗压芯样试件的高度；  
 $D$ ——芯样试件的平均直径；  
 $s_{cor}$ ——芯样试件强度样本的标准差；  
 $f_{cu,e1}$ ——混凝土抗压强度推定上限值；  
 $f_{cu,e2}$ ——混凝土抗压强度推定下限值；  
 $m_{f_{cor}}^c$ ——芯样试件混凝土抗压强度换算值的平均值；  
 $k_1、k_2$ ——混凝土芯样抗压强度推定区间的上限值、下限值  
 系数；  
 $\Delta_f$ ——局部修正量；  
 $f_{cor}^c$ ——芯样试件混凝土抗压强度换算值。

## 3 回弹法检测结构混凝土抗压强度

### 3.1 回弹仪

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

3.1.2 合格的回弹仪,应符合下列标准状态的要求:

1 水平弹击时,在弹击锤脱钩的瞬间,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,此时弹击锤起点应位于刻度尺的“0”处。

3 在洛氏硬度为  $HRC60 \pm 2$  的钢砧上校验回弹仪的率定值应为  $80 \pm 2$ 。

3.1.3 回弹仪使用时的环境温度宜为  $-4 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.4 回弹仪校准有效期为半年,当遇有下列情况之一时,回弹仪应送专门机构校准:

1 新回弹仪启用前。

2 超过校准有效期。

3 更换主要零件(弹击拉簧、弹簧座、弹击杆、缓冲压簧、中心导杆、导向法兰、弹击锤、指针轴、指针片、指针块、挂钩及调零螺丝)后。

4 常规保养后在钢砧上率定值不合格。

5 遭受严重撞击或其他损害。

3.1.5 当遇下列情况之一时,应在钢砧上进行率定试验:

1 回弹仪当天使用前、后。

## 2 测试过程中对回弹值有怀疑时。

当仪器率定值不在  $80 \pm 2$  的范围内时,应对回弹仪进行常规保养后再进行率定。若再次率定仍不合格,则应送专门机构校准。

**3.1.6** 回弹仪的率定试验,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实体上。回弹仪向下弹击,弹击杆应旋转 3 次,每次旋转角度  $90^{\circ}$  左右,弹击 3~5 次,取连续 3 次稳定回弹值计算平均值。弹击杆每旋转一次的率定平均值均应符合第 3.1.2 条第 3 款的要求。

**3.1.7** 检测过程中,回弹仪的纵轴线应始终与被测混凝土表面保持垂直,且应符合回弹仪操作的规定。

**3.1.8** 回弹仪每次使用完毕后,应及时进行维护。先使弹击杆伸出机壳,清除外壳和弹击杆上的污垢和尘土,回弹仪不用时,应在弹击后将弹击杆压入仪器内,然后用按钮锁住机芯,装入机箱,平放在干燥阴凉处。

**3.1.9** 回弹仪有下列情况之一时,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。

**3.1.10** 常规保养应按下列步骤进行:

1 使弹击锤脱钩,取出机芯。然后卸下弹击杆、中心导杆(连同导向法兰)、缓冲压簧、刻度尺、指针轴和指针。

2 用清洗剂清洗机芯的中心导杆、弹击拉簧、拉簧座、弹击杆及其内孔和冲击面、指针滑块及其内孔、指针片、指针轴、刻度尺、卡环及仪器外壳的内壁和指针导槽。

3 经过清洗的零部件,除中心导杆需薄薄地抹上一层 20 号

机油外,其他零部件均不得涂油。

4 清理机壳内壁,卸下刻度尺,检查指针,其摩擦力应在 0.5~0.8N;并保持弹击拉簧前端钩入拉簧座的原孔位。

5 不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝。

6 不得自制或更换零部件。

### 3.2 回弹测区布置

3.2.1 测区布置应符合下列规定:

1 当按单个构件检测时,应在构件上均匀布置测区,每个构件上的测区数不应少于 10 个;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 对同批构件按批抽样检测时,被测构件应随机抽取,抽样数不应少于同批构件的 30%,且不应少于 10 件,每个构件测区数应符合 3.2.1 条第 1 款规定。

3.2.2 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相同。

3.2.3 构件的测区,应满足下列要求:

1 测区宜布置在构件混凝土浇筑方向两个对称的侧面,也可选在一个可测的侧面。

2 测区均匀分布,相邻两测区的间距不应大于 2m。

3 测区应避免钢筋密集区和预埋件。

4 测区尺寸宜为 200mm×200mm。

5 测试面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、饰面层、浮浆和油垢,并避开蜂窝、麻面部位,必要时可用砂轮片清除杂物和磨平不平整处,并清除残留粉尘。

3.2.4 结构或构件上的测区宜注明编号,并记录测区位置和外观质量情况。

### 3.3 回弹值检测与计算

3.3.1 回弹值检测过程中,应使回弹仪的轴线垂直于混凝土浇筑方向侧面并保持水平。如不具备浇筑方向侧面水平测试的条件,可采用非水平状态检测,或检测混凝土浇筑的顶面或底面,此时回弹值应按表 3.3.5 和表 3.3.6 加以修正。

3.3.2 测量回弹值应在每个测区内弹击 16 点;综合法检测时,应在超声波的发射和接收面各弹击 8 点;超声波单面平测时,可在超声波的发射和接收测点之间弹击 16 点。每一测点的回弹值,测读精确度至 1。

3.3.3 测点在测区范围内宜均匀布置,但不得布置在气孔或外露石子上。相邻两测点的间距不宜小于 30mm;测点距构件边缘或外露钢筋、预埋件的距离不应小于 50mm,同一测点只允许弹击一次。

3.3.4 测区回弹代表值应从该测区的 16 个回弹值中剔除 3 个较大值和 3 个较小值,其余 10 个有效回弹值应按下列公式计算:

$$R = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_i \quad (3.3.4)$$

式中  $R$  —— 测区回弹代表值,取有效检测数据的平均值,精确至 0.1;

$R_i$ ——第  $i$  个测点的有效回弹值。

### 3.3.5 非水平状态下测得的回弹值,应按下列公式修正:

$$R_a = R + R_{\alpha} \quad (3.3.5)$$

式中  $R_a$ ——修正后的测区回弹代表值,精确至 0.1;

$R_{\alpha}$ ——测试角度为  $\alpha$  时的测区回弹修正值,按表 3.3.5 的规定采用。

表 3.3.5 非水平状态下检测时的回弹修正值

测试角度 $R_{\alpha}$	回弹仪向上				回弹仪向下			
	$+90^\circ$	$+60^\circ$	$+45^\circ$	$+30^\circ$	$-30^\circ$	$-45^\circ$	$-60^\circ$	$-90^\circ$
20	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
25	-5.5	-4.5	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
35	-4.5	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
45	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8
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  $0^\circ$  时,修正值为 0;  $R$  小于 20 或大于 50 时,分别按 20 或 50 查表;

2. 表中未列数值,可采用内插法求得,精确至 0.1。

### 3.3.6 在混凝土浇筑的顶面或底面测得的回弹值,应按下列公式修正:

$$R_a = R + R_{\alpha} + R_a^t \quad (3.3.6-1)$$

$$R_a = R + R_{\alpha} + R_a^b \quad (3.3.6-2)$$

式中  $R_a^t$ 、 $R_a^b$ ——混凝土浇筑顶面、底面回弹值的修正值,应按表 3.3.6 的规定采用。

**表 3.3.6 检测混凝土浇筑顶面或底面时的回弹修正值  $R_a^t$ 、 $R_a^b$**

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

注:1.  $R$  或  $R_a$  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,采用角度修正后的回弹代表值  $R_a$ ;

3. 表中未列数值,可采用内插法求得,精确至 0.1。

**3.3.7** 检测时回弹仪处于非水平状态,同时测试面又非混凝土浇筑方向的侧面时,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再进行顶面或底面修正。

### 3.4 碳化深度值检测

**3.4.1** 回弹值检测后,应在有代表性的位置上测量碳化深度值,测点数不应少于该构件测区数的 30%,且不应少于三个,取其平均值作为该构件的碳化深度值,精确至 0.5mm。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。

**3.4.2** 测量碳化深度值时,可用合适的工具在测区表面钻成直径约 15mm 的孔洞,其深度大于 6mm,然后除净孔洞中的粉末和碎屑,不得用水冲洗,并立即用浓度约为 1%酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处,再用深度测量工具测量已碳化和未碳化混凝土



交界面到混凝土表面的垂直距离不应少于 3 次,取其平均值,该距离即为该测点的碳化深度值,每次读数精确至 0.5mm。

### 3.5 结构混凝土抗压强度的计算与推定

**3.5.1** 按本规程第 3.3.5 条和第 3.3.6 条的规定求得修正后的测区回弹代表值  $R_{ai}$  和碳化深度值  $d_{mi}$  后,按照本规程测强曲线换算,得到结构或构件中第  $i$  个测区的混凝土抗压强度换算值。

**3.5.2** 测区混凝土抗压强度换算应按下列公式计算:

$$f_{cu,i}^c = 0.00548 \cdot R_{ai}^{2.449} \cdot 10^{-0.00836d_{mi}} \quad (3.5.2)$$

式中  $f_{cu,i}^c$ ——第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至 0.1MPa。

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

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (3.5.3-1)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (3.5.3-2)$$

式中  $f_{cu,i}^c$ ——结构或构件第  $i$  个测区的混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至 0.1MPa;

$m_{f_{cu}^c}$ ——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 0.01MPa。

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

**3.5.4** 当结构或构件所采用的材料及其龄期与制定测强曲线所采用的材料及其龄期有较大差异时,应采用同条件立方体试件或从构件测区中钻取的混凝土芯样试件的抗压强度进行修正,试件数量不宜少于6个。此时:

1 芯样试件修正时:

$$f_{cu,i1}^c = f_{cu,i}^c + \Delta_f \quad (3.5.4-1)$$

$$\Delta_f = m_{f_{avr}}^o - m_{f_{cu,j}}^o$$

2 采用同条件立方试件修正时:

$$f_{cu,i2}^c = f_{cu,i}^c + \Delta_f \quad (3.5.4-2)$$

$$\Delta_f = m_{f_{cu}}^o - m_{f_{cu,j}}^o$$

式中  $f_{cu,i}^c$ ——修正前混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至0.1MPa;

$m_{f_{avr}}^o$ ——修正用的混凝土芯样( $\Phi 100 \times 100$ mm)试件的抗压强度实测平均值(MPa),精确至0.1MPa;

$m_{f_{cu}}^o$ ——修正用的同条件混凝土立方体(边长150mm)试件的抗压强度实测平均值(MPa),精确至0.1MPa;

$m_{f_{cu,j}}^o$ ——修正试件对应的测区混凝土抗压强度换算值的平均值(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,i1}^c$ ——用芯样试件修正后的结构或构件混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,i2}^c$ ——用同条件试件修正后的结构或构件混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至0.1MPa;

$\Delta_f$ ——局部修正量(MPa),精确至0.1MPa;

**3.5.5** 结构或构件混凝土抗压强度推定值,应按下列规定确定:

1 当结构或构件的测区抗压强度换算值中出现小于

10.0MPa 的值时,该构件的混凝土抗压强度推定值  $f_{cu,e}$  取小于 10.0MPa。

当结构或构件的测区抗压强度换算值中出现大于 70.0MPa 的值时,该构件的混凝土抗压强度推定值  $f_{cu,e}$  取大于 70.0MPa。

2 当结构或构件中测区数少于 10 个时,混凝土抗压强度推定值取测区强度最小值:

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (3.5.5-1)$$

式中  $f_{cu,min}^c$  —— 结构或构件最小的测区混凝土抗压强度换算值 (MPa),精确至 0.1MPa。

3 当结构或构件中测区数不少于 10 个或按批量检测时,按下式推定强度:

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}}^c - 1.645s_{f_{cu}}^c \quad (3.5.5-2)$$

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

1 一批构件的混凝土抗压强度换算值的平均值  $m_{f_{cu}}^c < 25.0\text{MPa}$ ,标准差  $s_{f_{cu}}^c > 4.50\text{MPa}$ 。

2 一批构件的混凝土抗压强度换算值的平均值  $m_{f_{cu}}^c = 25.0 \sim 50.0\text{MPa}$ ,标准差  $s_{f_{cu}}^c > 5.50\text{MPa}$ 。

3 一批构件的混凝土抗压强度换算值的平均值  $m_{f_{cu}}^c > 50.0\text{MPa}$ ,标准差  $s_{f_{cu}}^c > 6.50\text{MPa}$ 。

## 4 超声回弹综合法检测结构 混凝土抗压强度

### 4.1 回弹仪

4.1.1 超声回弹综合法检测采用的回弹仪应与回弹法检测采用的回弹仪一致。

4.1.2 对回弹仪的状态、使用环境温度、校准、率定、操作及维护保养等要求同 3.1 节。

### 4.2 混凝土超声波检测仪

#### 4.2.1 一般规定

1 混凝土超声波检测仪必须具有产品合格证及检定或校准证书。

2 用于混凝土检测的超声波检测仪可分为下列两类：

1) 模拟型：接收的信号为连续模拟量，可由时域波形信号测读声学参数；

2) 智能型：接收的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。

4.2.2 所采用的超声波检测仪应符合现行国家标准《混凝土超声波检测仪》(JG/T5004)的要求，并在校准有效期内使用。

4.2.3 超声波检测仪应满足下列要求：

1 具有波形清晰、显示稳定的示波装置。

2 声时最小分度值为  $0.1\mu\text{s}$ 。

- 3 具有最小分度值为 1dB 的信号幅度调整系统。
  - 4 接收放大器频响范围 10~500kHz,总增益不小于 80dB,接收灵敏度(信噪比 3:1 时)不大于 50 $\mu$ V。
  - 5 电源电压波动范围在标称值 $\pm 10\%$ 情况下能正常工作。
  - 6 连续正常工作时间不少于 4h。
- 4.2.4 模拟型超声波检测仪还应满足下列要求:
- 1 具有手动游标和自动整形两种声时测读功能。
  - 2 数字显示稳定,声时调节在 20~30 $\mu$ s 范围内,连续静置 1h 数字变化不超过 $\pm 0.2\mu$ s。
- 4.2.5 智能型超声波检测仪尚应满足下列要求:
- 1 具有采集、储存数字信号并进行数据处理的功能。
  - 2 具有手动游标测读和自动测读两种方式。当自动测读时,在同一测试条件下,在 1h 内每 5min 测读一次声时值的差异不超过 $\pm 0.2\mu$ s。
  - 3 自动测读时,在显示器的接收波形上,有光标指示声时的测读位置。
- 4.2.6 超声波检测仪器使用时,环境温度应为 0~40 $^{\circ}$ C。
- 4.2.7 换能器技术要求
- 1 换能器的工作频率宜在 50~100kHz 范围内。
  - 2 换能器的实测主频与标称频率相差不应超过 $\pm 10\%$ 。
- 4.2.8 校准和保养
- 1 超声波检测仪的声时计量检验,应按“时—距”法测量空气中声速实测值  $v_0$ (附录 D),并与按下列公式计算的空气中声速计算值  $v_k$  相比较,二者的相对误差不应超过 $\pm 0.5\%$ 。

$$v_k = 331.4 \sqrt{1 + 0.00367 T_k} \quad (4.2.8)$$

式中 331.4 —— 0 $^{\circ}$ C 时空气中的声速值(m/s);

$v_k$ ——温度为  $T_k$  时空气中的声速计算值(m/s);

$T_k$ ——测试时空气的温度(°C)。

2 检测时,应根据测试需要在仪器上配置合适的换能器和高频电缆线,并测定声时初读数  $t_0$ 。检测过程中如更换换能器或高频电缆线,应重新测定  $t_0$ 。

3 超声波检测仪应定期保养,注意防尘,防震,放置在阴凉干燥的环境,对较长时间不用的仪器,应定期通电排除潮气。

### 4.3 回弹值检测和数据计算

4.3.1 超声回弹综合法检测时的测区布置应符合 3.2 节回弹测区布置的规定。

4.3.2 回弹值检测和数据计算部分与 3.3 节同。

### 4.4 超声声速检测和数据计算

4.4.1 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内,超声测试应优先采用对测,每一测区布置 3 个测点。对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。计算混凝土抗压强度换算值时,非同一测区内的回弹值和声速值不得混用。当被测构件不具备对测条件时,可采用角测或单面平测。角测的场合每一测区布置 3 个测点;单面平测的场合每个测区布置一排超声波测点(附录 C)。

4.4.2 超声测试时,换能器辐射面应通过耦合剂与混凝土测试面良好耦合。

4.4.3 声时测量应精确至  $0.1\mu\text{s}$ ,超声测距测量应精确至 1mm,且测量误差不应超过  $\pm 1\%$ 。声速计算应精确至  $0.01\text{km/s}$ 。

4.4.4 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, 并按下列公式计算:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (4.4.4)$$

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)。角测时测距按本规程附录 C 第 C.1 节计算;  
 $t_i$  —— 第  $i$  个测点的声时读数( $\mu$ s);  
 $t_0$  —— 声时初读数( $\mu$ s)。

4.4.5 当在混凝土浇筑的顶面或底面测试时, 测区声速代表值应按下列公式修正:

$$v_a = \beta v \quad (4.4.5)$$

式中  $v_a$  —— 修正后的测区混凝土中声速代表值(km/s);  
 $\beta$  —— 超声测试面的声速修正系数, 在混凝土浇筑的顶面和底面上下间对测时, 取 1.034。

4.4.6 当在混凝土浇筑的顶面或底面上单面平测时, 测区混凝土中声速代表值应按本规程附录 C 第 C.2 节计算和修正:

$$v_a = \lambda v_p \quad (4.4.6)$$

式中  $v_a$  —— 修正后的测区混凝土中声速代表值(km/s);  
 $\lambda$  —— 由对测声速  $v_d$  与平测声速  $v_p$  之比求得的修正系数。

## 4.5 超声回弹综合法推定结构混凝土抗压强度

4.5.1 结构或构件中第  $i$  个测区的混凝土抗压强度换算值, 可按本规程第 4.3 节和第 4.4 节的规定求得修正后的测区回弹代表值  $R_{ai}$  和声速代表值  $v_{ai}$  后, 按下述测区混凝土抗压强度换算公式

计算:

$$f_{ca,i}^c = 0.00846 v_a^{2.273} R_a^{1.382} \quad (4.5.1)$$

式中  $f_{ca,i}^c$ ——第  $i$  个测区混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至 0.1MPa。

**4.5.2** 当结构或构件中的测区数不少于 10 个时,各测区混凝土抗压强度换算值的平均值和标准差计算同本规程的 3.5.3 条。

**4.5.3** 当结构或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,抗压强度换算值的修正同本规程的 3.5.4 条。

**4.5.4** 结构或构件混凝土抗压强度推定值的确定同本规程的 3.5.5 条。

**4.5.5** 按批检测的构件,当测区抗压强度标准差超出规定时,该批构件应全部按单个构件进行强度推定,要求同本规程的 3.5.6 条。



## 5 钻芯法检测结构混凝土抗压强度

### 5.1 一般规定

5.1.1 从结构或构件中钻取的混凝土芯样应加工成符合本规程第 5.6 节规定的芯样试件。

5.1.2 芯样试件的混凝土抗压强度应通过对其施加压力的方法确定。

5.1.3 抗压试验的芯样试件,标称直径宜为 100mm、70mm 和 55mm,标称直径不得小于骨料最大粒径的 2 倍。

5.1.4 检测混凝土抗压强度时,钻芯法可单独用以确定结构或单个构件混凝土的推定强度,也可以作为钻芯修正法与其他混凝土抗压强度检测方法配合使用。

### 5.2 钻芯法推定混凝土抗压强度

5.2.1 强度推定可分按批量推定和单个构件推定两种。

5.2.2 按批量推定时,同规格芯样试件的数量应根据同一检测批中样本容量的大小确定,但不应少于 15 个。

5.2.3 应随机抽取结构的构件或结构的局部,每个芯样取自一个构件或结构的局部部位。

5.2.4 在推定混凝土抗压强度时,应给出推定强度的推定区间,推定区间的上限值和下限值应分别按式(5.2.4-1)和(5.2.4-2)计算:

$$f_{cu,e1} = m_{f_{cor}} - k_1 s_{cor} \quad (5.2.4-1)$$

$$f_{cu,e2} = m_{f_{cor}} - k_2 s_{cor} \quad (5.2.4-2)$$

$$\text{平均值计算公式: } m_{f_{\text{cor}}}^c = \frac{\sum_{i=1}^n f_{\text{cor},i}^c}{n} \quad (5.2.4-3)$$

$$\text{标准差计算公式: } s_{\text{cor}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{\text{cor},i}^c)^2 - n(m_{f_{\text{cor}}}^c)^2}{n-1}} \quad (5.2.4-4)$$

- 式中  $m_{f_{\text{cor}}}^c$  —— 芯样试件混凝土抗压强度换算值的平均值 (MPa), 精确至 0.1MPa;
- $f_{\text{cu},e1}$  —— 混凝土抗压强度推定上限值 (MPa), 精确至 0.1MPa;
- $f_{\text{cu},e2}$  —— 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, 可按附录 E 查得;
- $s_{\text{cor}}$  —— 芯样试件换算抗压强度样本的标准差 (MPa), 精确至 0.01MPa。

**5.2.5**  $f_{\text{cu},e1}$  和  $f_{\text{cu},e2}$  所构成推定区间的置信度宜为 0.85,  $f_{\text{cu},e1}$  和  $f_{\text{cu},e2}$  之间的差值不宜大于 5.0MPa 和  $0.10m_{f_{\text{cor}}}^c$  两者的较大值。

**5.2.6** 钻芯推定混凝土强度时, 可剔除芯样试件混凝土抗压强度换算值样本中的异常值, 剔除规则应按现行国家标准《正态样本异常值的判断和处理》(GB4883) 或其他标准的规定执行。

**5.2.7** 混凝土抗压强度的推定, 宜以推定值上限  $f_{\text{cu},e1}$  作为结构混凝土抗压强度的推定值。

**5.2.8** 按单个构件推定混凝土强度时, 有效芯样试件的数据不得少于 3 个。

**5.2.9** 单个构件混凝土的推定强度应按有效芯样试件混凝土换算强度中的最小值确定, 不应进行数据的舍弃。

### 5.3 钻芯修正方法

5.3.1 钻芯修正宜采用对应测区修正量的修正方法。

5.3.2 一般情况下钻芯修正标准芯样( $\Phi 100 \times 100\text{mm}$ )试件的数量不宜少于6个,小直径芯样试件数量不宜少于9个。

5.3.3 钻芯的构件或结构的局部应有所选用检测方法的测区,当所选用检测方法为无损方法时,钻芯位置应与该方法的某个测区重合;当所选用检测方法为有损伤方法时,钻芯位置应布置在该方法测区的附近。

5.3.4 修正可按式(5.3.4-1)计算,局部修正量 $\Delta_f$ 可按式(5.3.4-2)计算。

$$f_{cu,u}^c = f_{cu,i}^c + \Delta_f \quad (5.3.4-1)$$

$$\Delta_f = m_{f_{ar}}^c - m_{f_{cu,j}}^c \quad (5.3.4-2)$$

式中  $\Delta_f$ ——局部修正量(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,u}^c$ ——修正后的混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,i}^c$ ——修正前的混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至0.1MPa;

$m_{f_{cu,j}}^c$ ——所选用检测方法对应芯样测区的混凝土抗压强度换算值的平均值(MPa),精确至0.1MPa;

$m_{f_{ar}}^c$ ——芯样试件的混凝土抗压强度平均值(MPa),精确至0.1MPa。

### 5.4 主要设备

5.4.1 钻取芯样及芯样加工、测量的主要设备与仪器均应有产品合格证,计量器具应有检定证书并在有效期内。

- 5.4.2 钻芯机应具有足够的刚度,固定和移动方便,旋转主轴与薄壁钻头具有良好同心度,并应有水冷却系统。
- 5.4.3 钻取芯样时宜采用人造金钢石薄壁钻头。钻头胎体不得有肉眼可见的裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。
- 5.4.4 锯切芯样时使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;配套使用的人造金钢石圆锯片应有足够的刚度。
- 5.4.5 芯样宜采用研磨机进行芯样端面加工。补平装置除应保证芯样的端面平整外,尚应保证芯样轴线垂直。
- 5.4.6 探测钢筋位置的定位仪,应适用于现场操作,最大探测深度不应小于60mm,探测位置偏差不宜大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

## 5.5 芯样的钻取

- 5.5.1 芯样宜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 混凝土强度具有代表性的部位。
  - 3 便于钻芯机安放与操作的部位。
  - 4 避开主筋、预埋件和管线的位置。
- 5.5.2 钻芯机就位并安放平稳后,应将钻心机固定。固定的方法应根据钻芯机的构造和施工现场的具体情况确定。
- 5.5.3 钻芯机在未安装钻头之前,应先通电检查主轴旋转方向(三相电动机)。
- 5.5.4 钻芯时用于冷却钻头和排除混凝土碎屑的冷却水的流量宜为 $3\sim 5\text{l/min}$ 。
- 5.5.5 钻取芯样时应控制进钻的速度,钻头以较慢进钻速度接触混凝土表面,再缓慢增速钻取。

5.5.6 若所取芯样的高度及质量不能满足本规程的加工要求,则应重新钻取芯样。从钻孔中取出的芯样应标上清晰的标记。

5.5.7 芯样在运送前应采取保护措施,避免运送和储存中损坏。

5.5.8 结构或构件钻芯后所留下的孔洞应及时进行修补,修补的混凝土应比结构混凝土强度高一等级,并应掺适量膨胀剂,使混凝土膨胀率接近1%。

5.5.9 钻芯工作完毕后,应及时对钻芯机和芯样加工设备进行维修保养。

5.5.10 钻芯操作应遵守国家有关安全生产和劳动保护的规定,并应遵守钻芯现场安全生产有关规定。

## 5.6 芯样的加工及试件的技术要求

5.6.1 抗压芯样试件的高度与直径之比  $H/D$  宜为 1.00。

5.6.2 芯样试件内不宜含有钢筋。如不能满足此项要求,试件应符合下列要求:

1 芯样试件标称直径不小于 100mm 时,每个试件内直径小于 10mm 的钢筋不得多于 2 根。

2 芯样试件标称直径小于 100mm 时,每个试件内直径小于 10mm 的钢筋不得多于 1 根。

3 芯样内的钢筋应与芯样试件的轴线基本垂直并离开端面 10mm 以上。

5.6.3 锯切后的芯样,应按下列方法进行端面处理:

1 抗压强度高于 40MPa,直径 100mm、70mm 和 55mm 的芯样试件的端面应采取磨平机磨平的处理方法。

2 抗压强度低于 40MPa 的芯样试件,宜采用硫磺胶泥补平,补平厚度不宜大于 1.5mm。

3 对抗压强度低于 40MPa 有争议的芯样,应以磨平机磨平的端面处理方法为准。

5.6.4 在试验前应测量芯样试件的尺寸,测量方法与精度要求应符合下列规定:

1 平均直径,用游标卡尺在芯样试件中部相互垂直的两个位置上测量,取测量的算术平均值作为芯样试件的直径,精确至 0.5mm。

2 芯样试件高度,用钢卷尺或钢板尺进行测量,精确至 1mm。

3 垂直度,用游标量角器测量芯样试件两个端面与母线的夹角,精确至  $0.1^\circ$ 。

4 不平整度,用钢板尺或角尺紧靠在芯样试件端面上,一面转动钢板尺,一面用塞尺测量钢板尺与芯样试件端面之间的缝隙;也可采用专用设备量测。

5.6.5 芯样试件尺寸偏差及外观质量超过下列数值时其测试数据不得计入有效试样:

1 芯样试件的实际高径比(H/D)小于要求高径比的 0.95 倍或大于 1.05 倍。

2 沿芯样试件高度任一直径与平均直径的差超过 2mm。

3 抗压芯样试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm。

4 芯样试件端面与轴线的不垂直度超过  $1^\circ$ 。

5 芯样有裂缝或有其他较大缺陷。

## 5.7 芯样试件的试验

5.7.1 芯样试件应在自然干燥状态下进行抗压试验,一般芯样

试件在加工完毕后,在试验室内自然干燥 3d 以上。

5.7.2 当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,芯样试件宜在  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  的清水中浸泡 40~80h,从水中取出后立即进行试验。

5.7.3 芯样试件抗压试验的操作应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081)中对立方体试块抗压试验的规定。

5.7.4 混凝土芯样抗压强度换算值,可按式(5.7.4)计算:

$$f_{cor} = \gamma \frac{F_c}{A} \quad (5.7.4)$$

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

$F_c$ ——芯样试件抗压试验测得的最大压力(N);

$A$ ——芯样试件抗压截面面积( $\text{mm}^2$ );

$\gamma$ ——芯样试件端面磨平处理的修正系数取 1.00,采用硫磺补平芯样端面的修正系数取 1.05。

## 附录 A 工程测试应具备的相关资料

- A.0.1 工程名称和设计、施工、建设、监理、委托单位名称。
- A.0.2 结构或构件名称、施工图纸和混凝土设计强度等级。
- A.0.3 水泥的品种、强度等级和用量,砂石的品种、粒径,外加剂;品种和掺和料的品种、掺量和混凝土配合比等。
- A.0.4 模板类型、混凝土浇筑成型日期和养护情况。
- A.0.5 结构或构件检测原因说明



## 附录 B 建立回弹法、超声回弹综合法 专用混凝土测强曲线的基本要求

**B.0.1** 采用中型回弹仪,并应符合本规程 3.1 节的各项要求。

**B.0.2** 采用低频超声波检测仪,并应符合本规程 4.2 节的要求。

**B.0.3** 混凝土用水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175)和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥与粉煤灰硅酸盐水泥》(GB1344)的要求,混凝土用砂、石应符合现行国家标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ52)的要求。

**B.0.4** 选用本地区常用水泥、粗骨料、细骨料,按最佳配合比制作混凝土强度等级为 C10~C60 的边长为 150mm 立方体试件。

**B.0.5** 试件试验应按下列步骤进行:

1 分别按龄期为 7d、14d、28d、60d、90d、180d 和 365d 等进行立方体试件强度试验。

2 每一龄期的每组试件由 3 个(或 6 个)试件组成。

3 每种混凝土强度等级的试件数不应少于 30 个,并宜在同一天内用同条件的混凝土成型。

4 试件采用振动台成型,成型后第二天拆模。

5 如系自然养护,应将试件移至不直接受日晒雨淋处,按品字形堆放,盖上草袋并浇水养护。如用蒸气养护,则试件静停时间和养护条件应与构件的相同。

**B.0.6** 试件回弹值应按下列规定进行测试:

1 回弹值测量应选用不同于声时测量的另一相对侧面。将试件油污擦净放置在压力机上下承压板之间,加压至 60~80kN,

并在此压力下,在试件相对测试面上按本规程 3.3.2 条规定各测 8 点回弹值,剔除 3 个最大和最小值,将余下 10 个回弹值的平均值作为该试件的回弹值,计算精确至 0.1。

## 2 超声声速值的测量:

量取对测测距  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ ,测量对测声时  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ ,并以测距平均值  $l_i$  和声时平均值  $t_i$  计算声速代表值:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (\text{B.0.6})$$

式中  $v$  —— 试件混凝土声速代表值(km/s);精确至 0.01km/s;  
 $l_i$  —— 第  $i$  个测点的超声测距(mm);精确至 1mm;  
 $t_i$  —— 第  $i$  个测点混凝土中声时读数( $\mu\text{s}$ );精确至 0.1 $\mu\text{s}$ ;  
 $t_0$  —— 声时初读数( $\mu\text{s}$ )。

3 抗压强度试验:回弹值超声声速值测量完毕,将回弹测试面放置在压力机承压板正中,按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081)的规定,以每秒  $6 \pm 4\text{kN}$  的速度连续均匀加荷至破坏,计算抗压强度实测值  $f_{cu}$  精确至 0.1MPa。

## B.0.7 测强曲线回归分析

将各试件测试所得的碳化值  $d_m$ 、回弹值  $R$ 、超声声速值  $v$  及试件抗压强度值  $f_{cu}$  汇总,进行多元回归分析和误差分析。

B.0.8 选择回归分析相关系数和相对标准差优良的校正曲线作为专用测强曲线,需经上海市主管部门审定和批准后方可实施使用。

## 附录 C 超声波角测、平测和声速计算方法

### C.1 超声波角测方法

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

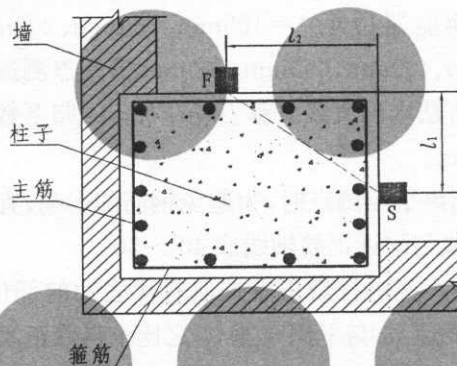


图 C.1.1 超声波角测示意图

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

C.1.3 角测时超声测距应按下列公式计算:

$$l_i = \sqrt{l_{1i}^2 + l_{2i}^2} \quad (\text{C.1.3})$$

式中  $l_i$ ——角测第  $i$  个测点的超声测距(mm);

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

C.1.4 角测时,混凝土中声速代表值应按下列公式计算:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (\text{C.1.4})$$

式中  $v$  —— 角测时混凝土中声速代表值(km/s);  
 $t_i$  —— 角测第  $i$  个测点的声时读数( $\mu s$ );  
 $t_0$  —— 声时初读数( $\mu s$ )。

## C.2 超声波平测方法

**C.2.1** 当结构或构件被测部位只有一个表面可供检测时,可采用平测方法测量混凝土中声速。每个测区布置一排超声波测点(回弹 16 个测点布置在超声测点附近),换能器布置如图 C.2.3 所示,以两个换能器边距  $l = 100\text{mm}$ 、 $150\text{mm}$ 、 $200\text{mm}$ 、 $250\text{mm}$ 、 $300\text{mm}$ 、 $350\text{mm}$ 、 $400\text{mm}$ 、 $450\text{mm}$ 、 $500\text{mm}$  等逐点测读相应声时值  $t$ ,用回归分析方法求出直线方程  $l = a + bt$ 。回归系数  $b$  即为该测区的平测声速  $v_p$ 。

**C.2.2** 布置超声平测测点时,为避免钢筋的影响,宜使发射和接收换能器的连线与附近钢筋轴线成  $40^\circ \sim 50^\circ$ 。

**C.2.3** 对平测声速进行修正宜选取有代表性的部位,宜采用同一构件的对测声速  $v_d$  与平测声速  $v_p$  之比求得修正系数  $\lambda (\lambda = v_d / v_p)$ 。

**C.2.4** 单面平测时的测区混凝土中声速代表值为:  $v_a = \lambda v_p$

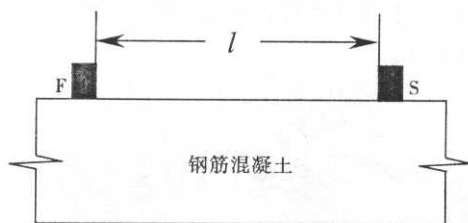


图 C.2.3 两个换能器边距  $l$  示意图

F 为发射换能器, S 为接收换能器

## 附录 D 用实测空气声速法校准超声仪

### D.0.1 空气中声速的测试步骤如下:

取常用平面换能器一对,接于超声波仪器上。开机预热 10min。在空气中将两个换能器的辐射面对准,依次改变两个换能器辐射面之间的距离  $l$  (如 50mm, 75mm, 100mm, 125mm, 150mm, 175mm, 200mm, 225mm, 250mm……),在保持首波幅度一致的前提下,读取各间距所对应的声时值  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 。同时测量空气温度  $T_k$ ,精确至  $0.5^\circ\text{C}$ 。

测量时应注意下列事项:

- 1 两个换能器辐射面的轴线始终保持在同一直线上;
- 2 换能器辐射面间距的测量误差应不超过  $\pm 1\%$ ,且测量精度为 0.5mm;
- 3 换能器辐射面宜悬空相对放置;若置于地板或桌面上,必须在换能器下面垫以吸声材料。

### D.0.2 实测空气中声速可采用下列两种方法之一计算:

1 以换能器辐射面间距为纵坐标,声时读数为横坐标,将各组数据点绘在直角坐标图上。穿越各点形成一直线,算出该直线的斜率,即为空气中声速实测值  $v_0$ 。

2 以各测点的测距和对应的声时求回归直线方程  $l = a + bt$ 。回归系数  $b$  便是空气中声速实测值  $v_0$ 。

### D.0.3 空气中声速计算值可按式(4.2.8)求得。

### D.0.4 误差计算

空气中声速计算值  $v_k$  与空气中声速实测值  $v_0$  之间的相对误

差  $e_r$ , 可按下列公式计算:

$$e_r = (v_k - v_0) / v_k \times 100\% \quad (\text{D. 0. 4})$$

按式(D. 0. 4)计算所得的值  $e_r$  不应超过  $\pm 0.5\%$ 。否则, 应检查仪器各部位的连接后重测, 或更换超声波检测仪。

## 附录 E 钻芯法混凝土抗压强度 推定区间系数表

置信度为 0.85, 试件数与推定上下限系数  $k_1$ 、 $k_2$  的关系

上、下限值系数表

试件数 $n$	$k_1(0.10)$	$k_2(0.05)$	试件数 $n$	$k_1(0.10)$	$k_2(0.05)$
15	1.222	2.566	37	1.360	2.149
16	1.234	2.524	38	1.363	2.141
17	1.244	2.486	39	1.366	2.133
18	1.254	2.453	40	1.369	2.125
19	1.263	2.423	41	1.372	2.118
20	1.271	2.396	42	1.375	2.111
21	1.279	2.371	43	1.378	2.105
22	1.286	2.349	44	1.381	2.098
23	1.293	2.328	45	1.383	2.092
24	1.300	2.309	46	1.386	2.086
25	1.306	2.292	47	1.389	2.081
26	1.311	2.275	48	1.391	2.075
27	1.317	2.260	49	1.393	2.070
28	1.322	2.246	50	1.396	2.065
29	1.327	2.232	60	1.415	2.022
30	1.332	2.220	70	1.431	1.990
31	1.336	2.208	80	1.444	1.964
32	1.341	2.197	90	1.454	1.944
33	1.345	2.186	100	1.463	1.927
34	1.349	2.176	110	1.471	1.912
35	1.352	2.167	120	1.478	1.899
36	1.356	2.158	—	—	—

## 本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

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用词:

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,在条件许可时首先这样做的词:

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 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。



上海市工程建设规范

结构混凝土抗压强度检测  
技术规程

——回弹法、超声回弹综合法、钻芯法

DG/TJ08-2020-2007

条文说明

2007 上海

# 目 次

1	总 则 .....	(37)
3	回弹法检测结构混凝土抗压强度 .....	(39)
3.1	回弹仪 .....	(39)
3.2	回弹测区布置 .....	(40)
3.3	回弹值检测与计算 .....	(40)
3.4	碳化深度值检测 .....	(40)
3.5	结构混凝土抗压强度的计算与推定 .....	(40)
4	超声回弹综合法检测结构混凝土抗压强度 .....	(42)
4.1	回弹仪 .....	(42)
4.2	混凝土超声检测仪 .....	(42)
4.3	回弹值检测和数据计算 .....	(45)
4.4	超声声速检测和数据计算 .....	(45)
4.5	超声回弹综合法推定结构混凝土抗压强度 .....	(46)
5	钻芯法检测结构混凝土抗压强度 .....	(47)
5.1	一般规定 .....	(47)
5.2	钻芯法推定混凝土抗压强度 .....	(47)
5.3	钻芯修正方法 .....	(48)
5.4	主要设备 .....	(48)
5.5	芯样的钻取 .....	(49)
5.6	芯样的加工及试件的技术要求 .....	(49)
5.7	芯样试件的试验 .....	(49)

# 1 总 则

**1.0.1** 回弹法、超声回弹综合法中均明确规定：“对于有条件的地区和部门，应制定本地区的测强曲线或专用曲线”。为了保证检测精度，提高本市建筑工程质量检测水平，制定本规程。

**1.0.2** 本规程中的结构混凝土系指现行国家标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55) 2.1.1 条所定义的干密度为  $2000 \sim 2800 \text{kg/m}^3$  的水泥混凝土以及参照 2.1.9 条的规定为“混凝土拌和物的坍落度不低于  $100 \text{mm}$  并用泵送施工的混凝土”。本规程回弹法、超声回弹综合法适合检测上海地区预拌混凝土，钻芯法则适用范围更广，可检测预拌和非预拌结构混凝土。

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和综合法检测。

**1.0.3** 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》(GB50204) 及《混凝土强度检验评定标准》(GBJ107) 执行。出现如下情况之一时，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。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。

**1.0.4** 检测人员若未经过统一培训,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,因此对从事本项检测的人员均应培训并持有相应主管部门认可的资格证书。

**1.0.5** “国家现行有关的标准规定”指设计、施工、验收等方面的要求。

## 3 回弹法检测结构混凝土抗压强度

### 3.1 回弹仪

3.1.1 行业标准中规定了回弹法主要采用指针直读式的中型回弹仪,对采用数字显示、自动记录的混凝土回弹仪,只要其示值系统进行检定并符合要求,则允许使用。

3.1.2~3.1.3 回弹仪的标准状态及使用温度。

3.1.4 本条文规定了回弹仪应校准的几种情况:

1 新出厂的仪器,由于在生产过程中的质量控制水平不同,而且贮存运输过程会对仪器产生一定影响,为保证仪器启用时处于标准状态,应进行校准;

2 依据现行国家标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23)的相关条文,仪器检定有效期限规定为半年;

3 更换主要零件后,仪器的整体性能会产生变化,应进行校准;

4 仪器经常规保养后,钢砧率定值仍不符合要求,表明仪器已偏离标准状态,应进行校准;

5 遭受严重撞击或其它损害的回弹仪,无法采用常规保养的方式使其处于标准状态,应进行校准。

3.1.5 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。

3.1.6 本条规定了回弹仪率定试验方法及环境条件。

3.1.7 本条规定了回弹仪正常操作的要求。

3.1.8~3.1.10 检测用回弹仪应注意日常保养以保持正常状

态,在此规定了维护保养的基本要求与方法。

### 3.2 回弹测区布置

3.2.1~3.2.4 引用现行国家标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23)中 4.1.2~4.1.4 条的基本规定。

### 3.3 回弹值检测与计算

3.3.1 规定了回弹仪正常操作的要求,对非正常的操作进行补充规定。

3.3.2~3.3.3 测点布置的基本规定。

3.3.4~3.3.7 在不同的混凝土浇筑面以及以不同的角度进行回弹测试时,会对回弹值产生影响,条文规定了回弹值的计算及非正常检测状态下的修正方法。

### 3.4 碳化深度值检测

3.4.1~3.4.2 碳化深度测试过程中,测点代表性的选择及测孔的清理状况往往影响测试结果,为此规定采样原则,并规定碳化深度测点数不少于 3 个,同时对孔洞要求深度大于 6mm,避免多次开洞。

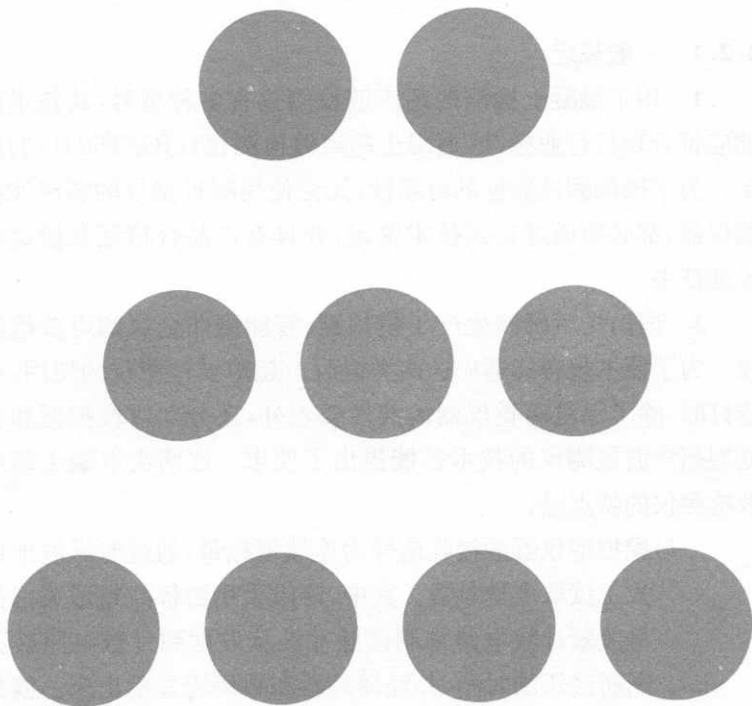
### 3.5 结构混凝土抗压强度的计算与推定

3.5.1~3.5.2 规定了上海地区的回弹法检测参量代表值及按测强曲线的换算。上海地区的回弹法曲线是根据采集到的 410 组有效数据,经过回归分析得到的。该曲线的相关系数  $r = 0.938$ ;平均相对误差  $\delta = 9.80\%$ ;相对标准误差  $e_r = 12.74\%$ 。

3.5.4 在实际检测中会遇到被测结构或构件的材料及龄期与测

强曲线制定条件有较大差异的状况,采用修正量的方法可对结果进行必要修正。修正所采用的试件尺寸在此方法中规定为标准试件尺寸,即芯样试件直径和高度尺寸为 100mm,混凝土立方体试件边长为 150mm。

**3.5.5~3.5.6** 引用现行国家标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23)中 7.0.3~7.0.4 条的基本推定原则,并对  $m_{fcu} > 50.0\text{MPa}$  的情况作了规定。



## 4 超声回弹综合法检测结构 混凝土抗压强度

### 4.1 回弹仪

4.1.1~4.1.2 回弹仪部分与3.1节同。

### 4.2 混凝土超声波检测仪

#### 4.2.1 一般规定

1 用于混凝土检测的超声波检测仪有多种型号,其技术性应应符合现行行业标准《混凝土超声波检测仪》(JG/T5004)的规定。为了确保测试数据的可靠性,无论使用哪种型号的超声波检测仪器,都必须通过正式技术鉴定,并具有产品合格证及检定或校准证书。

2 国内先后研制生产了模拟型、智能型非金属超声波检测仪。为了使本规程能适应这两类混凝土超声波检测仪的使用,在修订时,除了保留两类仪器的共性要求外,还分别对模拟型和智能型超声波检测仪的技术性能提出了要求。这两类混凝土超声波检测仪的特点是:

- 1)模拟型仪器的接收信号为连续模拟量,通过时域波形由人工读取声学参数。其中,声时采用游标或整形关门信号关断计数电路来测读脉冲波从发射到计数电路被关断所经历的时间,并经译码器和数码管显示出来。波幅读数是通过人工调节,读取衰减器的“dB”数或首波高度“格”数;



2) 智能型仪器是将所接收的信号经高速 A/D 转换为离散的数字量并直接输入计算机, 通过相关软件进行分析处理, 自动读取声时、波幅和主频值并显示于仪器屏幕上。具有对数字信号采集、处理、存储等高度智能化的功能。

4.2.2~4.2.3 规定超声波检测仪的技术要求和使用要求。两类超声波检测仪应满足下列通用技术要求:

1 混凝土强度检测主要利用超声波传播速度, 获得可靠的声速值应准确测量声时和声传播路程, 因此有此要求。

2 声时最小分度是声时测量精度的决定因素, 因此超声波检测仪应满足这个要求。

3 由于不同首波高度下测量的声时值存在一定差异, 因此在声时测量中宜采用衰减器先将首波调至一定高度后再进行测试。超声波检测仪应具有最小分度为 1dB 的衰减器。

4 仪器接收放大器的频响范围应与混凝土超声检测中所采用的换能器的频率相适应。检测混凝土所采用的换能器一般为 20~250kHz(混凝土强度检测为 50~100kHz), 所以接收放大器在此频响范围内可以满足电气性能要求。对仪器不能单纯追求接收放大器的增益, 应同时考虑其噪声水平, 采用信噪比达到 3:1 时的接收灵敏度较为适当, 可以直观地反映出仪器的真实测试灵敏度。

5 仪器对电源电压有一个适应范围, 当电压在此范围内波动时, 仪器的技术指标仍能满足规定的要求。

4.2.4 对于模拟型超声波检测仪, 除了满足上述要求外还应满足下列技术要求:

1 模拟型超声波检测仪必须具备手动游标读数功能, 以便准确判读首波声时。自动整形声时读数功能一般仅能适应强信

号、弱噪声条件。当信号较弱或信噪比较低时,自动整形读取的声时值偏大甚至丢波,会造成很大的测试误差,应谨慎使用。

2 模拟型仪器数码显示的稳定性是准确测量声时的基础。现场测试时一般要求仪器连续工作 4h 以上,在此工作期间,仪器性能必须保持一定的稳定性。

4.2.5 对智能型超声波检测仪还应满足以下技术要求:

1 采集、存储数字信号并按检测要求对数据进行计算处理,是数字式超声波检测仪应具有的基本功能。

2 智能型仪器以采用自动判读为主,在大距离测试或信噪比极低的情况下,需要用手动游标读数。不管手动还是自动判读声时,在同一测试条件下,测读数值都应具有一定的重复性。重复性越好,说明声时读数越准确可靠,故应建立一个声时测量重复性的检查方法。在重复测试中,首波起始点的样本偏差点数乘以样本时间间隔,即为声时读数的差异。

3 在自动判读声时的过程中,仪器屏幕上应显示判读的位置,这样可及时检查自动读数是否有误。

4.2.6 综合法采用的超声仪由电子元器件组成,检测环境和测试条件如不满足检测要求,就会带来测试偏差。当环境温度低于  $0^{\circ}\text{C}$  时,混凝土中的自由水结冰,体积增大,可导致声速值偏高而产生较大的测试误差。当环境温度高于  $40^{\circ}\text{C}$  时,超过了仪器例行的使用温度,因电子元件性能改变,也会产生测试误差。

4.2.7 换能器的技术要求。大量模拟试验表明,由于超声脉冲波的频散效应,采用不同频率换能器测量的混凝土中声速有所不同,且声速有随换能器频率增高而增大的趋势。当换能器工作频率为  $50\sim 100\text{kHz}$  时,所测声速偏差较小,所以本规程对换能器的工作频率作了限制。换能器的实际频率与标称频率应尽量一致。

若实际频率与标称频率差异过大,则测读的声时值会产生较大误差,以致测出的声速值难以反映混凝土的真实强度值。

#### 4.2.8 校准和保养

1 由物理学可知,在常温下空气中的声速值除了随温度变化而有一定变化外,受其它因素的影响很小。因此,用测量空气中声速的方法定期检验仪器性能,是一种简单易行的方法。此方法不仅可检验仪器的计时机构是否可靠,还验证了仪器操作者的声时读取方法是否正确。

2 在声时测量过程中有一个声时初读数,而除了与仪器的传输电路有关外还与换能器的构造和高频电缆长度有关。因此,每次检测时,应先对所用仪器和按需要配置的换能器、电缆线进行测量。

3 为确保仪器处于正常状态,应定期对超声仪进行保养。仪器工作时应注意防尘、防震;仪器应存放在阴凉、干燥的环境中;对较长时间不用的仪器,应定期通电排除潮气。

### 4.3 回弹值检测和计算

4.3.1 回弹值检测和计算以及超声回弹综合法检测时的测区布置引用了国家现行标准《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS02)和《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23)并适当引伸。

### 4.4 超声声速检测和计算

4.4.1 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内。当被测构件不具备对测或角测条件时(如地下室外墙面、底板),可采用单面平测法。单面平测的场合每个测区布置一排超声波测点。平测

时两个换能器的连线应与附近钢筋的轴线保持  $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$  夹角,以避免钢筋的影响。大量实践证明,为使接收信号首波清晰易辨认,平测时测距宜采用  $100\sim 500\text{mm}$ ,逐点测读相应声时值  $t$ ,用回归分析方法求出直线方程  $l=a+bt$ 。回归系数  $b$  即为该测区的平测声速  $v_p$ ,角测和平测的具体测试方法见附录 C。

**4.4.2** 使用耦合剂是为了保证换能器辐射面与混凝土测试面达到完全的面接触,排除其间的空气和杂物。同时,每一测点均应使耦合层尽量薄并保持耦合状态一致,以保证声时测量条件的一致性。

**4.4.3** 本条对声时读数和测距量测的精度提出了严格要求,以保证声速值计算的准确。

**4.4.4~4.4.6** 规定了测区混凝土中声速代表值的计算和修正方法。当超声测点在浇筑方向的侧面对测或斜测时,声速不做修正。如只能沿构件浇筑的表面和底面对测时,试验表明,测得的声速偏低,沿此方向测得的声速需要乘以修正系数 1.034。当只能在构件浇筑的表面或底面上单面平测时,对比试验表明平测的声速比对测的声速偏低,此时可在有条件的适当部位由对测声速  $v_d$  与平测声速  $v_p$  之比求得修正系数  $\lambda$ ,对平测的声速加以修正。

## 4.5 超声回弹综合法推定结构混凝土抗压强度

**4.5.1** 规定了上海地区应采用超声回弹综合法测强的曲线。该曲线是根据采集到的 838 个有效数据,经过回归分析得到的综合法测强曲线。其相关系数  $r=0.959$ ;平均相对误差  $\delta=6.67\%$ ;相对标准误差  $e_r=8.98\%$ 。

**4.5.2~4.5.5** 强度推定方法同本规程 3.5.3~3.5.6 条。

## 5 钻芯法推定混凝土抗压强度

### 5.1 一般规定

5.1.1 混凝土芯样的平整度、垂直度、端面处理情况等均对芯样抗压强度构成影响,故强调混凝土芯样的加工应符合本规程(5.6)章的规定。

5.1.2~5.1.3 规定了钻芯法的使用范围。

1 本条规定本规程钻芯法仅作抗压强度的检测。

2 由于粗骨料的最大粒径影响芯样的抗压强度值,国内外试验资料表明,芯样的直径不小于骨料最大粒径的2倍可以保证检测的准确性。

5.1.4 钻芯法检测混凝土的系统偏差较小,而强度样本的标准差相对较大(即随机性偏差与样本的容量少有关),而回弹法、超声回弹综合法可获得较多检测数据,其标准差与检测批混凝土强度的实际情况比较接近,故钻芯法与其他检测方法配合使用,有利于扬长避短,减少检测工作不确定性。

### 5.2 钻芯法推定混凝土抗压强度

5.2.2 以用混凝土设计强度等级 C20、C40、C60、C80 按钻芯直径 100mm、70mm、55mm 钻取每组 15 个芯样共 48 组,其平均值、标准差以置信度为 0.85 的推定上、下限和区间差值不大于 5.0MPa 和  $0.10m_{f_{\text{cor}}}$  验证合格,特规定了本条按批量检测构件时芯样试件的数量。

5.2.3 本条规定了芯样在结构或构件上的抽取办法。

5.2.4~5.2.7 由于抽样检测确定的混凝土推定值与检测批混

凝土强度值的真值存在偏差,给出一个推定区间更为合理,即推定区间是对检测批混凝土强度真值的估计区间,符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB50300)的相关规定,错判概率小于 0.05,漏判概率小于 0.10。

以检测批混凝土强度推定区间的上限值作为混凝土工程施工质量的评定界限,符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB50300)关于错判概率不大于 0.05 的规定;芯样试样抗压强度值一般不会高出结构混凝土的实际强度。

**5.2.8** 规定了所取芯样必须有至少 3 个符合本标准对样品的规定。

### 5.3 钻芯修正方法

**5.3.1~5.3.4** 修正实际上是对成对观测的两个均值进行比较,修正量的概念与现行国家标准《在成对观测值情形下两个均值的比较》(GB/T3361)的概念相符,修正量方法只对间接方法测得的混凝土强度的平均值进行修正,不修正标准差,由于间接方法测试的系统误差比钻芯法的系统误差大,而钻芯法因抽样容量小,间接方法检测抽样数量多,所以钻芯法检测随机抽样的标准差比间接方法检测的随机抽样标准差大,所以以修正量方法对间接方法测得的强度平均值进行修正更适合钻芯法的特点。本规程中以直径为 100mm、高径比为 1:1 的芯样试件为标准芯样试件,直径小于 100mm 的芯样试件称为小直径芯样试件。

### 5.4 主要设备

**5.4.1~5.4.5** 钻芯机、锯片机、磨平机等取芯检测的主要设备的技术性能直接影响到芯样的质量,影响到样本的标准差,因此均应满足相应的技术要求,并应有产品的合格证,计量器具应有

检定或校准证书。

## 5.5 芯样的钻取

- 5.5.1 对芯样在结构或构件的钻取部位的规定。
- 5.5.2~5.5.5 钻机的安装和钻取芯样时的注意事项。
- 5.5.6 芯样的高度及质量不能满足本规程的加工要求时,应重新钻取芯样,芯样应标上清晰的标记。
- 5.5.8 钻芯后的结构或构件所留下的孔洞应及时进行修补。

## 5.6 芯样的加工及试件的技术要求

- 5.6.1 明确抗压芯样试件的高度与直径之比  $H/D$  宜为 1.00。
- 5.6.2 对芯样内的钢筋数量作出规定。
- 5.6.3 锯切后的芯样,应进行端面处理及不同强度等级的芯样试件应进行不同的处理。
- 5.6.4 芯样试件的尺寸对芯样试验的准确性有很大的影响,因此,试验前对芯样试件尺寸的测量要求是必须的。
- 5.6.5 当芯样试件尺寸偏差及外观质量超过规定数值时其测试数据不得计入有效试样。

## 5.7 芯样试件的试验

- 5.7.1~5.7.2 芯样试件在自然干燥状态及潮湿状态下抗压强度结果有所不同,为此规定了不同状态下的试验条件。
- 5.7.3 规定了芯样试件的抗压试验方法。
- 5.7.4 混凝土芯样抗压强度换算值的计算公式,当用硫磺胶泥补平芯样端面时应进行修正。