



T/CECS 1050—2022

中国工程建设标准化协会标准

工程结构加固用特种混凝土 抗压强度现场检测标准

Standard for field inspection of compressive
strength of special concrete for structure
strengthening engineering

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(5)
4	检测设备	(7)
4.1	回弹仪	(7)
4.2	超声波检测仪	(7)
4.3	钻芯法检测设备	(8)
4.4	拔出法检测设备	(8)
5	回弹法	(11)
6	超声回弹法	(13)
6.1	一般规定	(13)
6.2	回弹测试及回弹值计算	(13)
6.3	超声测试及声速值计算	(14)
7	钻芯法	(15)
7.1	一般规定	(15)
7.2	钻取芯样	(15)
7.3	芯样处理	(16)
7.4	抗压试验	(17)
8	先装拔出法	(18)
8.1	一般规定	(18)
8.2	安装锚固件和固定架	(18)
8.3	拔出试验	(19)

9	后装拔出法	(21)
9.1	一般规定	(21)
9.2	钻孔与注胶	(21)
9.3	安装锚固件	(21)
9.4	拔出试验	(22)
10	特种混凝土抗压强度换算及推定	(24)
10.1	抗压强度换算值的确定	(24)
10.2	单个构件的特种混凝土抗压强度推定	(25)
10.3	检验批的特种混凝土抗压强度推定	(27)
附录 A	回弹法地区和专用测强曲线的制定方法	(28)
附录 B	超声回弹法地区和专用测强曲线的制定方法	(30)
附录 C	拔出法地区和专用测强曲线的制定方法	(32)
	用词说明	(33)
	引用标准名录	(34)
	附:条文说明	(35)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(5)
4	Testing equipment	(7)
4.1	Rebound hammer	(7)
4.2	Ultrasonic tester	(7)
4.3	Core drilling machine	(8)
4.4	Pullout equipment	(8)
5	Rebound method	(11)
6	Ultrasonic-rebound method	(13)
6.1	General requirements	(13)
6.2	Rebound testing and data calculation	(13)
6.3	Ultrasonic testing and data calculation	(14)
7	Core drilling method	(15)
7.1	General requirements	(15)
7.2	Core drilling	(15)
7.3	Core sample processing	(16)
7.4	Compression test	(17)
8	Cast-install pullout method	(18)
8.1	General requirements	(18)
8.2	Fixing anchoring parts and fixed frame	(18)
8.3	Pull-out test	(19)

9	Post-install pullout method	(21)
9.1	General requirements	(21)
9.2	Drilling and injecting glue	(21)
9.3	Fixing anchoring parts	(21)
9.4	Pull-out test	(22)
10	Conversion and estimating of compressive strength of special concrete	(24)
10.1	Conversion of compressive strength	(24)
10.2	Compressive strength estimating of single component	(25)
10.3	Compressive strength estimating of inspection lot	(27)
Appendix A	Regional and special strength curve of rebound method	(28)
Appendix B	Regional and special strength curve of ultrasonic-rebound method	(30)
Appendix C	Regional and special strength curve of pullout method	(32)
	Explanation of wording	(33)
	List of quoted standards	(34)
	Addition; Explanation of provisions	(35)

1 总 则

1.0.1 为规范工程结构加固用特种混凝土抗压强度现场检测的技术要求,做到技术先进、数据准确、安全可靠,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于工程结构加固用特种混凝土抗压强度的现场检测与强度推定。

1.0.3 工程结构加固用特种混凝土抗压强度的现场检测与强度推定,除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 特种混凝土 special concrete

抗压强度为 80MPa~100MPa 的高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土,以及抗压强度为 100MPa~200MPa 的活性粉末混凝土。

2.1.2 测区 test area

布置一个或若干个测点的区域。

2.1.3 测点 test point

在测区内获取数据的一个检测点。

2.1.4 测区特种混凝土抗压强度换算值 conversion value of compressive strength of special concrete in test area

根据测区的强度参数代表值,通过测强曲线换算得到的测区现龄期特种混凝土的抗压强度值。

2.1.5 特种混凝土抗压强度推定值 estimation value of compressive strength for special concrete

相应于强度换算值总体分布中保证率不低于 95%的现龄期特种混凝土强度值。

2.1.6 检验批 inspect inspection lot

强度等级、生产工艺、原材料、配合比、成型工艺、养护条件相同,由一定数量构件构成的检测对象。

2.1.7 回弹法 rebound method

在加固层表面进行回弹测试,根据回弹值推定特种混凝土抗压强度的方法。

2.1.8 超声回弹法 ultrasonic-rebound combined method

根据加固层测区得到的超声波声速值和回弹值推定特种混凝土抗压强度的方法。

2.1.9 钻芯法 core drilling method

在加固层中钻取圆柱状试件,通过芯样抗压强度值推定特种混凝土抗压强度的方法。

2.1.10 先装拔出法 cast-in-place pullout method

对预先埋置在特种混凝土中的锚固件进行拔出试验,根据拔出力来推定特种混凝土抗压强度的检测方法。

2.1.11 后装拔出法 post-install pullout method

采用锚固胶在已硬化的特种混凝土表面设置锚固件进行拔出试验,根据拔出力来推定特种混凝土抗压强度的检测方法。

2.2 符 号

A_c ——芯样试件抗压截面面积;

e_r ——标准差;

F_c ——芯样试件抗压试验的破坏荷载;

F_h ——后装拔出力代表值;

F_x ——先装拔出力代表值;

f_{cor} ——芯样强度代表值;

f_{cu} ——立方体抗压强度代表值;

f_{cu}^c ——测区特种混凝土抗压强度换算值;

$f_{cu,e}$ ——特种混凝土抗压强度推定值;

$f_{cu,min}^c$ ——测区特种混凝土抗压强度换算值中的最小值;

l ——超声测距;

m_f ——测区特种混凝土抗压强度换算值的平均值;

n ——测区数;

R ——回弹代表值;

S_f ——测区特种混凝土抗压强度换算值的标准差;

t ——声时读数;

t_0 ——声时初读数；

v ——声速代表值；

β_c ——不同尺寸的芯样试件抗压强度换算系数。

3 基本规定

3.0.1 在特种混凝土抗压强度现场检测前应了解工程基本信息。

工程基本信息宜包括下列内容：

- 1 结构或构件的部位、名称；
- 2 特种混凝土种类、强度等级、配合比；
- 3 浇筑日期、施工工艺、养护情况及施工记录；
- 4 结构或构件表面现状；
- 5 检测原因；
- 6 结构构件的施工图纸。

3.0.2 同批次的结构或构件应符合下列规定：

- 1 结构或构件种类、强度等级应相同；
- 2 原材料、配合比、施工工艺应相同；
- 3 构件所处环境、养护条件及龄期应相近。

3.0.3 采用统一测强曲线的特种混凝土应符合下列规定：

- 1 现场施工应采用普通成型工艺；
- 2 高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土应采用自然养护，活性粉末混凝土宜采用热养护；
- 3 龄期宜为 14d~1000d；
- 4 高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土的抗压强度应为 80MPa~100MPa，活性粉末混凝土的抗压强度应为 100MPa~200MPa。

3.0.4 特种混凝土抗压强度的统一测强曲线标准差不应大于 12%。制定地区测强曲线和专用测强曲线标准差不应大于 12%。建立地区和专用测强曲线应符合本标准附录 A~附录 C 的有关规定。

3.0.5 钻芯法、先装拔出法、后装拔出法检测后留下的破损区域，应采用与测点部位材料种类相同且强度等级比设计强度等级高一级的特种混凝土进行修补。

3.0.6 现场检测特种混凝土抗压强度采用的回弹仪、超声波检测仪、拔出仪、压力试验机应具有产品合格证和检定合格证。当出现下列情况之一时，应对检测仪器重新检定和校准：

- 1 新仪器使用前；
- 2 遭受严重撞击或其他损害；
- 3 经维修后；
- 4 显示数值异常时。

4 检测设备

4.1 回弹仪

4.1.1 现场检测应采用标称动能为 4.5J 的回弹仪,回弹仪应符合现行国家标准《回弹仪》GB/T 9138 的有关规定。

4.1.2 检测前应对回弹仪进行率定,回弹仪的率定应符合下列规定:

- 1 钢砧应稳固平放在坚实地坪上;
- 2 回弹仪应向下弹击 3 次,每次弹击后应旋转 90° 再进行下一次弹击;
- 3 应取连续 3 次稳定回弹值的平均值作为率定值。

4.1.3 回弹仪使用的环境温度应为 $5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$,湿度不应大于 90%。

4.2 超声波检测仪

4.2.1 现场检测应采用数字式超声波检测仪,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/T 5004 的有关规定。

4.2.2 超声波检测仪应符合下列规定:

- 1 应具有波形清晰、显示稳定的示波装置;
- 2 应具备记录波形和声学参数的存储功能;
- 3 声时最小分度值应为 $0.1\mu\text{s}$,测量范围宜为 $0.1\mu\text{s} \sim 999.9\mu\text{s}$;
- 4 信号幅度最小分度值应为 1dB,测量范围不应小于 80dB;
- 5 接收放大器频响范围应为 $10\text{kHz} \sim 250\text{kHz}$;
- 6 信噪比 3:1 时接收灵敏度不应大于 $50\mu\text{V}$;
- 7 连续正常工作时间不宜少于 4h;
- 8 声时调节范围应在 $20\mu\text{s} \sim 30\mu\text{s}$ 内,连续静置 1h 数字变化不应超过 $\pm 0.2\mu\text{s}$;

9 自动测读时,在同一测试条件下 1h 内每 5min 测读一次声时值的差异不应超过 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

4.2.3 超声波检测仪器使用时的环境温度应为 $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$,湿度不应大于 80%。

4.3 钻芯法检测设备

4.3.1 钻芯机宜配有水冷却系统和可拆卸的固定装置。

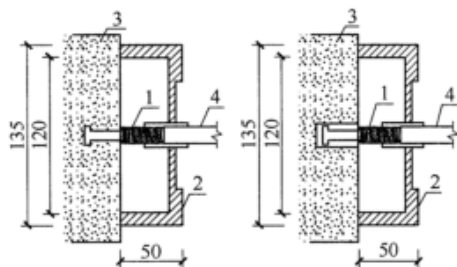
4.3.2 钻取芯样时应采用人造金刚石薄壁钻头。钻头直径应根据加固部位、加固层厚度选择。钻头胎体不应出现裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。

4.3.3 锯切芯样时使用的锯切机和磨平芯样的磨平机,宜具有冷却系统和夹紧芯样的装置,配套使用的人造金刚石圆锯片应无裂纹、缺口或崩边等缺陷。

4.4 拔出法检测设备

4.4.1 拔出仪(图 4.4.1)应由加荷装置、测力装置及反力支承圆环三部分组成,拔出仪技术性能应符合下列规定:

- 1 测试最大拔出力应为额定拔出力的 80%;
- 2 拔出仪拉杆应采用不小于 6.8 级的碳钢制作;
- 3 拔出仪工作行程不应小于 20mm;



1—锚固件;2—反力支承圆环;3—特种混凝土;4—拔出仪拉杆

图 4.4.1 拔出仪示意图

- 4 显示值的允许误差不应超过仪器额定拔出力的 $\pm 2\%$ ；
- 5 测力装置应具有峰值保持功能。
- 4.4.2 拔出仪的反力支承圆环应采用屈服强度标准值不小于400MPa的碳钢制作。反力支承圆环的尺寸应符合下列规定：
- 1 内径应为 $120\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ；
 - 2 外径应为 $135\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ；
 - 3 高度应为 $50\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ；
 - 4 上壁厚应为 $15\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。
- 4.4.3 后装拔出法试验采用的锚固胶性能指标应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 中以混凝土为基材粘贴钢材用结构胶基本性能的有关规定。
- 4.4.4 现场检测高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土时宜采用平头锚固件，检测活性粉末混凝土时应采用尖头锚固件。
- 4.4.5 锚固件(图 4.4.5)的锚固端尺寸应为 14mm、螺纹端尺寸应为 14mm，长度加工尺寸允许误差应为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。锚固件应采用屈服强度标准值不小于 400MPa 的碳钢制作。

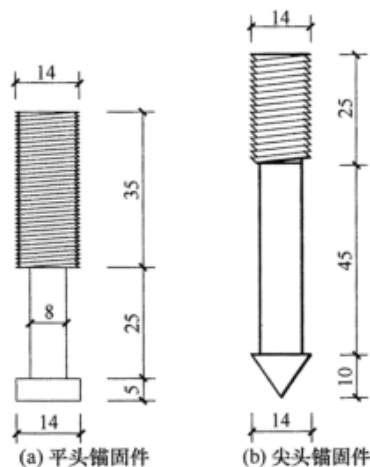
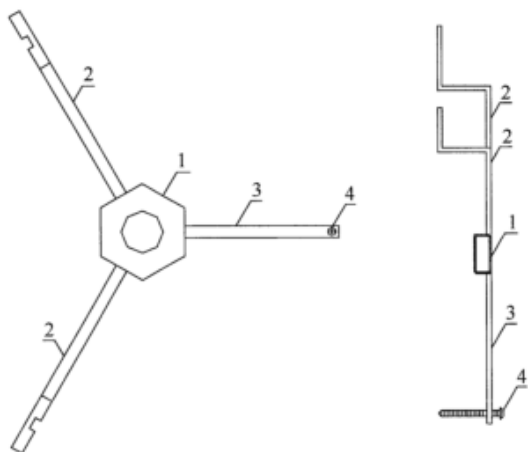


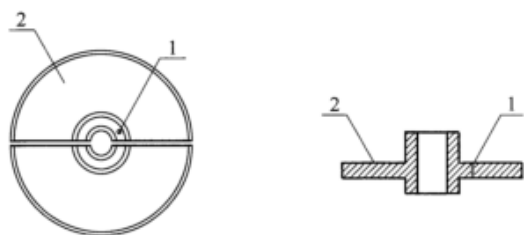
图 4.4.5 锚固件示意图

4.4.6 固定架可采用三点式固定架(图 4.4.6-1)和圆盘式固定架(图 4.4.6-2),固定架宜具有调节锚固件中轴线与特种混凝土表面垂直度的功能。



1—中心螺母;2—固定杆;3—活动杆;4—活动杆调节螺丝

图 4.4.6-1 三点式固定架示意图



1—溢胶通气孔;2—半圆盘

图 4.4.6-2 圆盘式固定架示意图

5 回 弹 法

5.0.1 采用回弹法对特种混凝土抗压强度进行现场检测时,除应符合本章的规定外,尚应符合现行行业标准《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294 的有关规定。

5.0.2 对同批构件按批抽样检测时,应随机抽样,抽样数量不宜少于同批构件的 30%,且不宜少于 10 件。

5.0.3 当检验批中构件数量小于或等于 25 件时,应全数检测;当检验批中构件数量大于 25 件时,构件抽样数量可按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的有关规定进行调整,但抽取的构件总数不宜少于 10 件。

5.0.4 测区布置应符合下列规定:

- 1 测区应选择布置在构件特种混凝土浇筑方向的侧面;
- 2 测区尺寸宜为 200mm×200mm;
- 3 测区部位特种混凝土加固层厚度不应小于 35mm;
- 4 测区应在构件上均匀布置,相邻两测区的间距不宜小于

200mm;

5 每个构件上的测区数不宜少于 10 个;当测试区域长度尺寸小于 4.5m 且宽度尺寸小于 0.4m 时,测区数量可减少,但不应少于 3 个;

6 测试面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、饰面层、浮浆和油垢。

5.0.5 在构件上进行回弹测试时,应采用水平方向测试,回弹仪的纵轴线应始终与特种混凝土成型侧面保持垂直,并应缓慢施压、准确读数、快速复位。

5.0.6 每一测区应回弹 16 个测点,每一测点应测读 1 个回弹值

并精确至 1。

5.0.7 测点在测区范围内宜均匀分布,且应避开气孔或外露石子。同一测点应只弹击 1 次,相邻两测点的间距不宜小于 30mm;测点距外露钢筋、金属件的距离不宜小于 100mm。

5.0.8 计算测区回弹值时,应先剔除每一测区内的 16 个回弹值中的 3 个最大值和 3 个最小值,再采用余下的 10 个回弹值计算测区回弹代表值。测区回弹代表值(R)应按下列式计算:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (5.0.8)$$

式中: R ——测区回弹代表值;

R_i ——第 i 个测点的回弹值。

6 超声回弹法

6.1 一般规定

6.1.1 采用超声回弹法检测时,检测数量应符合本标准第 5.0.2 条、第 5.0.3 条的规定。

6.1.2 测区布置应符合下列规定:

1 按单个构件检测时,每个构件上测区数量不宜少于 10 个;当测试区域长度尺寸小于 4.5m 且宽度尺寸小于 0.4m 时,测区数量可减少,但不应少于 3 个;

2 测区部位特种混凝土加固层厚度不应小于 35mm;

3 测区应在构件上均匀布置,相邻两测区的间距不宜小于 200mm;

4 对测测区尺寸宜为 200mm×200mm;平测测区尺寸宜为 400mm×400mm;

5 测试面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、施工缝、饰面层、浮浆和油垢,并应避免蜂窝、麻面部位、钢筋密集区和预埋件。

6.1.3 结构或构件上的测区宜编号,并宜记录测区位置和外观质量情况。每一测区的超声测试应在回弹测试后进行。

6.1.4 计算测区特种混凝土抗压强度换算值时,应采用同一测区内的回弹值和声速值。

6.2 回弹测试及回弹值计算

6.2.1 回弹测区宜布置在构件特种混凝土浇筑的侧面,并宜布置在构件的两个对称的可测面上。

6.2.2 测量回弹值应在超声波的发射测区和接收测区各弹击 8 个点。每一测点的回弹值应精确至 1。

6.2.3 测点应分布在无气孔或外露凸起部位。同一测点应只弹击1次,相邻两个测点的间距不宜小于30mm。

6.2.4 测区回弹值的计算应符合本标准第5.0.8条的规定。

6.3 超声测试及声速值计算

6.3.1 超声测试应在回弹测试完毕的测区内进行。每一测区应布置3个超声测点。超声测试宜采用对测,当被测构件不具备对测条件时,可采用单面平测。

6.3.2 超声测试时换能器辐射面应使用润滑油类耦合剂进行耦合。

6.3.3 声时测量应精确至 $0.1\mu\text{s}$;超声测距测量应精确至1mm,测量误差不应大于超声测距的1%;声速计算值应精确至 0.01km/s 。

6.3.4 测区特种混凝土的声速代表值应按下式计算:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (6.3.4)$$

式中: v ——测区特种混凝土的声速代表值(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(μs);

t_0 ——声时初读数(μs)。

7 钻 芯 法

7.1 一 般 规 定

7.1.1 钻芯法可用于确定检测批或单个构件的特种混凝土抗压强度推定值。

7.1.2 钻芯法采用的芯样试件尺寸应根据钻芯部位特种混凝土的尺寸或加固层厚度确定,并应符合下列规定:

1 当测试部位特种混凝土尺寸和厚度大于 100mm 时,宜采用直径为 100mm 的芯样试件;

2 当测试部位特种混凝土尺寸和厚度大于 75mm 且小于或等于 100mm 时,宜采用直径为 75mm 的芯样试件。

7.1.3 当测试部位特种混凝土尺寸和厚度小于或等于 75mm 时,应采用其他方法现场检测特种混凝土抗压强度。

7.2 钻 取 芯 样

7.2.1 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 抗压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 钢筋、预埋件和管线分布较少的部位。

7.2.2 在构件上钻取多个芯样时,相邻芯样钻孔之间距离不应小于 500mm。

7.2.3 钻芯时用于冷却钻头和排除碎屑的冷却水的流量宜为 3L/min~5L/min。钻芯操作时应匀速钻进,并宜采取防止碎屑飞溅的措施。

7.2.4 若取出的芯样表面出现裂缝和尺寸大于 5mm 的缺棱,或

芯样中含有钢筋、预埋件、管线时,应重新钻取芯样。

7.2.5 钻芯部位和取出的芯样应进行记录和编号。取出的芯样应进行表面清理,转运和放置时宜采取防护措施。

7.3 芯样处理

7.3.1 钻取的芯样经清洁后应进行切割和磨平加工。芯样试件端部表面存在气孔时,尚应进行填平处理。

7.3.2 加工后芯样试件端部表面与芯样轴线垂直度偏差不应大于 1° ,高度与直径的比值宜为 1 ± 0.5 。

7.3.3 抗压试验前芯样试件的尺寸测量应符合下列规定:

1 平均直径应采用游标卡尺在芯样试件上部、中部和下部相互垂直的两个方向上共测量6次,应以测量值的算术平均值作为芯样试件的直径,精确至0.5mm;

2 芯样试件高度可采用钢卷尺或钢板尺进行测量,精确至1.0mm;

3 芯样试件垂直度应采用游标量角器测量芯样试件两个端部表面与母线的夹角,并应取测量值的最大值作为芯样试件的垂直度,精确至 0.1° ;

4 平整度可采用钢板尺或角尺测量。应取钢板尺与芯样试件承压面(线)之间的最大缝隙为芯样试件的平整度。

7.3.4 加工后的芯样试件尺寸偏差及外观质量出现下列情况之一时,应舍弃对应的芯样试件:

1 抗压芯样试件的实际高径比(H/d)小于要求高径比的95%或大于105%;

2 抗压芯样试件端部表面与轴线的垂直度偏差超过 1° ;

3 沿芯样试件高度方向的任一直径与平均直径相差超过1.5mm;

4 芯样有裂缝、破损、缺口等缺陷。

7.4 抗压试验

7.4.1 芯样试件应在自然干燥状态下进行抗压试验。当取芯构件工作环境潮湿,需要确定芯样在潮湿状态下混凝土的抗压强度时,芯样试件宜在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的清水中浸泡 $40\text{h} \sim 48\text{h}$,从水中取出后应去除表面水渍,并立即进行试验。

7.4.2 芯样试件的抗压试验操作步骤应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中关于立方体试件抗压试验的有关规定。

7.4.3 芯样试件抗压强度值应按下式计算:

$$f_{\text{cor}} = \beta_c \frac{F_c}{A_c} \quad (7.4.3)$$

式中: f_{cor} ——芯样试件抗压强度代表值(MPa),精确至 0.1MPa;
 β_c ——不同尺寸的芯样试件强度换算系数,试件直径为 95mm~100mm 时取 1.0,试件直径为 70mm~75mm 时取 0.95;
 F_c ——芯样试件抗压试验的破坏荷载(N);
 A_c ——芯样试件抗压截面面积(mm^2)。

8 先装拔出法

8.1 一般规定

8.1.1 对单个构件进行强度测试时,构件上布置的测点不应少于3个。

8.1.2 按批量检测时,应进行随机抽样,并应符合下列规定:

1 当检验批中构件数量小于或等于25件时,应全数检测;

2 当检验批中构件数量大于25时,构件抽样数量可按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344的有关规定进行调整,但抽取的构件总数不宜少于10件;

3 对同批构件按批抽样检测时,每个抽检构件上的测点数量不应少于1个。

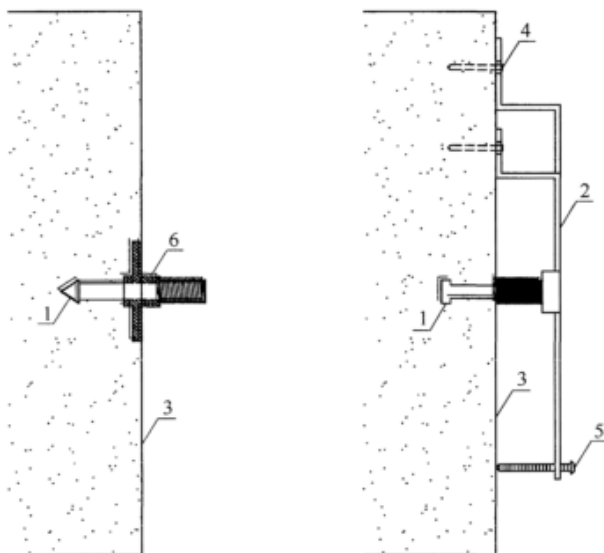
8.1.3 相邻测点之间的距离不应小于300mm,测点至构件边缘的距离不应小于100mm,测点部位的厚度尺寸不应小于35mm。测点位置应避免避开钢筋、预埋件、裂缝、破损和表面疏松部位。

8.2 安装锚固件和固定架

8.2.1 抹压特种混凝土前应安装固定架,锚固件和固定架外表应涂隔离剂。

8.2.2 先装拔出法中固定架可使用三点式固定架和圆盘式固定架。固定架安装完成后应与浇筑、抹压或喷射的特种混凝土表面垂直(图8.2.2)。

8.2.3 应在特种混凝土终凝前拆除三点式固定架,圆盘式固定架可留置在测点处不进行拆除。



1—锚固件；2—三点式固定架；3—特种混凝土；4—固定钢钉；
5—活动杆调节螺丝；6—圆盘式固定架

图 8.2.2 先装拔出法中锚固件和固定架安装示意图

8.3 拔出试验

8.3.1 拔出仪与锚固件应通过拉杆连接对中，并与特种混凝土测试面垂直。

8.3.2 施加拔出力时应连续均匀，速度应控制在 $0.5\text{kN/s} \sim 1.0\text{kN/s}$ 。

8.3.3 测点处特种混凝土破坏后应立即卸除拉拔力，测力显示器读数记录的拔出力值应精确至 0.1kN 。

8.3.4 检测时，应采取防止拔出仪及机具脱落伤人或摔坏的措施。

8.3.5 出现下列情况之一时，应进行补充检测：

1 单个构件检测时，因锚固件损伤或异常导致有效测试点不足 3 个；

2 按批抽样检测时,因锚固件损伤或数据异常导致抽测构件最小数量不足 5 个,无法按批进行推定;

3 单个构件检测时,同一构件 3 个测点中测得的最大拔出力或最小拔出力与中间值之差的绝对值大于中间值的 15%。

8.3.6 补充检测时应采用后装拔出法,补充的测点与原有测点的距离不应小于 200mm。

9 后装拔出法

9.1 一般规定

9.1.1 采用后装拔出法检测特种混凝土强度时,可采用单个检测和按批量抽样检测。检测数量应符合本标准第 8.1.1 条和第 8.1.2 条的规定。

9.1.2 后装拔出法测点布置应符合本标准第 8.1.3 条的规定。

9.2 钻孔与注胶

9.2.1 在钻孔时应保持钻头与特种混凝土测试面垂直,垂直度偏差不应大于 3° 。

9.2.2 钻孔后的成孔尺寸应符合下列规定:

1 钻孔直径宜为 $18\text{mm} \pm 1\text{mm}$;

2 高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土钻孔深度应为 $35.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$;

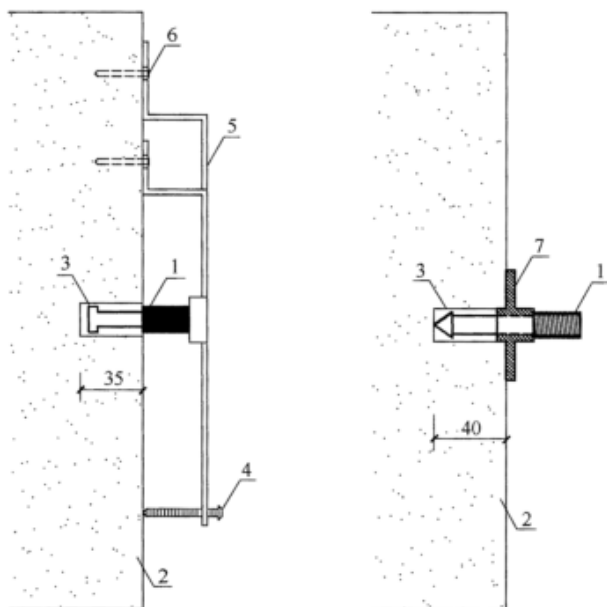
3 活性粉末混凝土钻孔深度应为 $40.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。

9.2.3 注胶前应采用毛刷或吹尘球清除孔内粉尘,孔壁应干燥光洁。

9.2.4 向孔内注入锚固胶时,应从内向外缓慢注胶至胶体从孔内溢出,孔内胶体应饱满无气孔。

9.3 安装锚固件

9.3.1 注胶完成后应在胶体固化前安放锚固件,锚固件应与固定架连接后同时安装。锚固件应缓慢旋入孔内,锚固件与锚固胶应紧密连接且无气孔或淌胶(图 9.3.1)。



1—锚固件；2—特种混凝土；3—钻孔内胶体；4—活动杆调节螺丝；

5—三点式固定架；6—锚固钢钉；7—圆盘式固定架

图 9.3.1 后装拔出法中锚固件和固定架安装示意图

9.3.2 锚固件旋入孔内后应在胶体固化前调节固定架并进行固定，固定后的锚固件应与测试面垂直。

9.3.3 拆除固定架应在锚固胶固化完成 48h 后进行。

9.4 拔出试验

9.4.1 拔出试验操作应符合本标准第 8.3.1 条～第 8.3.3 条的规定。

9.4.2 出现下列情况之一时，应舍弃异常测点数据，并按本标准第 8.3.6 条规定进行补充检测：

- 1 破坏体呈非完整破坏状态；

- 2 反力支承圆环外特种混凝土出现裂缝；
- 3 锚固件出现断裂或滑脱；
- 4 破坏体的破坏面上有显著影响检测精度的缺陷或异物；
- 5 按单个构件检测时，最大拔出力或最小拔出力与中间值之差的绝对值大于中间值的 15%。

10 特种混凝土抗压强度换算及推定

10.1 抗压强度换算值的确定

10.1.1 采用回弹法对特种混凝土进行现场检测时,测区抗压强度换算值可按下式计算:

$$f_{cu}^c = \begin{cases} 11.691 - 0.441R + 0.017R^2 & (\text{高强水泥基灌浆料}) \\ -10.814 - 0.244R + 0.019R^2 & (\text{自密实混凝土}) \\ -26.168 + 1.171R + 0.006R^2 & (\text{高强混凝土}) \end{cases} \quad (10.1.1)$$

式中: f_{cu}^c ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至 0.1MPa;

R ——回弹代表值,精确至 1。

10.1.2 采用超声回弹法对特种混凝土进行现场检测时,测区抗压强度换算值可按下式计算:

$$f_{cu}^c = \begin{cases} 0.013R^{0.996}v^{2.839} & (\text{高强水泥基灌浆料}) \\ 0.013R^{1.526}v^{1.491} & (\text{自密实混凝土}) \\ 0.117R^{1.250}v^{0.825} & (\text{高强混凝土}) \end{cases} \quad (10.1.2)$$

式中: f_{cu}^c ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至 0.1MPa;

R ——回弹代表值,精确至 1;

v ——声速代表值(km/s),精确至 0.01km/s。

10.1.3 采用钻芯法对特种混凝土进行现场检测时,芯样抗压强度换算值可按下式计算:

$$f_{cu}^c = \begin{cases} 0.956f_{cor}^{1.004} & (\text{高强水泥基灌浆料}) \\ 0.959f_{cor}^{1.007} & (\text{自密实混凝土}) \\ 0.963f_{cor}^{1.009} & (\text{高强混凝土}) \\ 0.927f_{cor}^{1.009} & (\text{活性粉末混凝土}) \end{cases} \quad (10.1.3)$$

式中： f_{cu}^c ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

f_{cor} ——芯样抗压强度代表值(MPa)，精确至 0.1MPa。

10.1.4 采用先装拔出法对特种混凝土进行现场检测时，测点抗压强度换算值可按下式计算：

$$f_{cu}^c = \begin{cases} 1.644F_x - 5.956 & \text{(高强水泥基灌浆料)} \\ 1.197F_x + 23.677 & \text{(自密实混凝土)} \\ 0.894F_x + 38.027 & \text{(高强混凝土)} \\ 0.003F_x - 7.956 & \text{(活性粉末混凝土)} \end{cases} \quad (10.1.4)$$

式中： f_{cu}^c ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

F_x ——先装拔出力代表值(kN)，精确至 0.1kN。

10.1.5 采用后装拔出法对特种混凝土进行现场检测时，测点抗压强度换算值可按下式计算：

$$f_{cu}^c = \begin{cases} 1.781F_h + 28.029 & \text{(高强水泥基灌浆料)} \\ 0.9F_h + 24.53 & \text{(自密实混凝土)} \\ 1.373F_h + 22.061 & \text{(高强混凝土)} \\ 0.004F_h + 29.417 & \text{(活性粉末混凝土)} \end{cases} \quad (10.1.5)$$

式中： f_{cu}^c ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

F_h ——后装拔出力代表值(kN)，精确至 0.1kN。

10.2 单个构件的特种混凝土抗压强度推定

10.2.1 采用回弹法、超声回弹法检测时，单个构件的特种混凝土抗压强度应根据各个测区的抗压强度换算值计算。当测区数为 10 个及以上时，尚应计算抗压强度平均值和标准差。平均值及标准差应按下列公式计算：

$$m_f = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (10.2.1-1)$$

$$S_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - nm_f^2}{n-1}} \quad (10.2.1-2)$$

式中： m_f ——测区特种混凝土抗压强度换算值的平均值(MPa)，精确至 0.1MPa；

S_f ——测区特种混凝土抗压强度换算值的标准差(MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,i}^c$ ——测区特种混凝土抗压强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

n ——对于单个检测的构件取构件上的测区数。

10.2.2 采用回弹法、超声回弹法检测时，结构或构件的特种混凝土抗压强度推定值应符合下列规定：

1 当测区数少于 10 个时，应按下式计算：

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (10.2.2-1)$$

式中： $f_{cu,e}$ ——特种混凝土抗压强度推定值；

$f_{cu,min}^c$ ——结构或构件中数值最小的测区特种混凝土抗压强度换算值。

2 当测区数不少于 10 个时，应按下式计算：

$$f_{cu,e} = m_f - 1.645S_f \quad (10.2.2-2)$$

10.2.3 采用钻芯确定单个构件的混凝土抗压强度推定值时，有效芯样试件的数量不应少于 3 个。单个构件的抗压强度推定值应按有效芯样试件抗压强度值中的最小值确定。

10.2.4 采用先装拔出法、后装拔出法检测特种混凝土抗压强度推定值时，单个构件的抗压强度推定值的确定方法应符合下列规定：

1 当 3 个拔出力的最大值和最小值与中间值之差的绝对值均未超过中间值的 15% 时，应以 3 个拔出力的算术平均值作为构件拔出力，应精确至 0.1kN。

2 当需要加测或补测时，应将加测的 2 个拔出力值和最小拔出力值一起取平均值，再与前一次的拔出力中间值比较，取小值作为构件拔出力的代表值。

3 应将单个构件的拔出力根据本标准式(10.1.4)和式(10.1.5)计算的抗压强度换算值作为单个构件特种混凝土抗压强

度推定值。

10.3 检验批的特种混凝土抗压强度推定

10.3.1 按批量检测时,检验批的特种混凝土抗压强度可根据各个测区的抗压强度换算值计算。检验批测区抗压强度平均值及标准差应按下列公式计算:

$$m_f = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (10.3.1-1)$$

$$S_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - nm_f^2}{n-1}} \quad (10.3.1-2)$$

$$f_{cu,e} = m_f - 1.645S_f \quad (10.3.1-3)$$

式中: m_f ——测区特种混凝土抗压强度换算值的平均值(MPa),精确至0.1MPa;

S_f ——测区特种混凝土抗压强度换算值的标准差(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,i}^c$ ——测区特种混凝土抗压强度换算值(MPa),精确至0.1MPa;

n ——检验批中所有测区数之和。

10.3.2 对于按批抽样检测的构件,当按式(10.3.1-2)计算得到的抗压强度标准差大于6.5MPa时,应全部按单个构件进行检测。

附录 A 回弹法地区和专用测强曲线的制定方法

A.0.1 回弹法检测装置应符合本标准第 4 章的有关规定。

A.0.2 试件和试块的制作应符合下列规定：

1 设计的特种混凝土不应少于 5 个强度等级，每一强度等级制作的试件数量不应少于 6 组；

2 每组试件应由 1 个 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的回弹法试件和 3 个 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块组成；

3 每组回弹法试件和立方体试块均应采用同盘特种混凝土制作，且应在同条件下养护，到达龄期后应同时进行试验。

A.0.3 对回弹法试件进行测试时，应按下列步骤进行：

1 试验前应擦净试件表面，将试件置于压力机上下承压板之间，施加 $60\text{kN} \sim 100\text{kN}$ 的稳压荷载且应维持荷载稳定；

2 在试件 2 个相对的浇筑侧面进行回弹测试，两个侧面分别水平弹击 8 个点，测试方法应符合本标准第 5.0.5 条和第 5.0.6 条的规定；

3 从每一个试件的 16 个回弹值中分别剔除 3 个最大值和 3 个最小值后，再以剩下的 10 个回弹值的平均值作为单个试件的回弹代表值，精确至 1。

A.0.4 回弹法试件对应的 3 个立方体试块抗压强度应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定，应将 3 个立方体试块的抗压强度平均值作为单组试件的立方体抗压强度代表值，精确至 0.1MPa 。

A.0.5 制定地区和专用测强曲线时，应将每一组试件测得的回弹代表值和立方体抗压强度代表值进行数据汇总。

A.0.6 回归方程式应采用下式进行拟合：

$$f_{\text{cu}}^c = a + bR + cR^2 \quad (\text{A. 0. 6})$$

式中： f_{cu}^c ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa)；

R ——回弹代表值；

a 、 b 、 c ——回归系数。

A. 0. 7 回归方程的标准差应按下式计算：

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{\text{cu},i}}{f_{\text{cu},i}^c} - 1 \right)^2}{n}} \times 100\% \quad (\text{A. 0. 7})$$

式中： e_r ——标准差；

$f_{\text{cu},i}$ ——立方体试件抗压强度试验得到的第 i 组试件的立方体抗压强度代表值(MPa)，精确至 0. 1MPa；

$f_{\text{cu},i}^c$ ——由第 i 个试件的回弹代表值代入式(A. 0. 6)计算的抗压强度换算值(MPa)，精确至 0. 1MPa；

n ——建立回归方程式的试件组数。

A. 0. 8 测强曲线应仅限于在建立回归方程所试验的特种混凝土抗压强度范围内使用。

附录 B 超声回弹法地区和专用测强曲线的制定方法

B.0.1 超声回弹法采用的回弹仪应符合本标准第 4.1 节的规定,超声波检测仪应符合本标准第 4.2 节的规定。

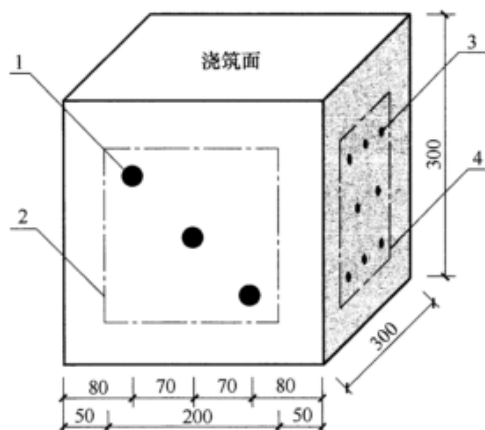
B.0.2 试件和试块的制作应符合下列规定:

1 建立专用或地区测强曲线的特种混凝土不应少于 5 个强度等级,每一强度等级制作的试件数量不应少于 6 组;

2 每组试件应由 1 个 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的超声回弹法试件和 3 个 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的立方体试块组成;

3 每组超声回弹法试件应采用同盘特种混凝土制作,且应在相同条件进行养护和试验;

4 每个试件应以 4 个浇筑侧面作为超声回弹测试区域,且一对相对侧面作为超声法测区,另一对相对侧面作为回弹法测区。



1—超声法测点;2—超声法测区;3—回弹法测点;4—回弹法测区

图 B.0.2 超声回弹法试件示意图

B.0.3 超声测试应符合下列规定:

1 一对相对侧面上布置的测区尺寸应为 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$, 每个侧面应布置 3 个发射点和接收点, 同一对发射点和接收点之间的测距应保持一致;

2 测量两测试面之间的垂直距离时, 应在测试面的两边各量测 1 次, 并应取平均值作为各测点超声测距值 (l_1, l_2, l_3);

3 在测点部位涂抹耦合剂进行超声测试过程中应保持 2 个换能器的轴线在同一轴线上, 测得的声时读数 (t_1, t_2, t_3) 应精确至 $0.1\mu\text{s}$;

4 计算声学参数时, 应根据 3 个测点的测距和声时计算得到测点的声速值 (v_i), 并应以 3 个测点的声速值的平均值作为试件的声速代表值 (v)。

B.0.4 回弹测试应符合本标准第 A.0.3 条的规定。

B.0.5 每组试件中的 3 个立方体试块应按本标准第 A.0.4 条的规定进行立方体抗压强度试验。

B.0.6 拟合测强曲线应以每组试件测得的声速代表值、回弹代表值和立方体抗压强度代表值进行汇总, 并按下式计算:

$$f_{\text{cu}}^{\text{c}} = av^b R^x \quad (\text{B.0.6})$$

式中: f_{cu}^{c} ——混凝土抗压强度换算值 (MPa);

v ——声速代表值 (km/s);

R ——回弹代表值;

a, b, x ——回归系数。

B.0.7 回归方程的标准差应按本标准第 A.0.7 条的规定计算。

附录 C 拔出法地区和专用测强曲线的制定方法

C.0.1 拔出法检测装置应符合本标准第 4 章的有关规定。

C.0.2 试件和试块的制作应符合下列规定：

1 建立专用或地区测强曲线的特种混凝土不应少于 5 个强度等级，每一强度等级制作的试件数量不应少于 6 组；

2 每组试件应由 3 个 300mm×300mm×300mm 的拔出法试件和 3 个 100mm×100mm×100mm 的立方体试块组成；

3 每组试件和试块应采用同盘特种混凝土制作，且应在相同条件下进行养护和试验。

C.0.3 拔出法检测应符合下列规定：

1 拔出法检测的测点应布置在试件的浇筑侧面；

2 在每一拔出试件上应进行不少于 3 个测点的拔出法检测，且应取平均值作为试件的拔出力计算值。

C.0.4 每组试件中的 3 个立方体试块应按本标准第 A.0.4 条的步骤进行抗压强度试验。

C.0.5 将每组试件的拔出力计算值及立方体试块的抗压强度汇总后，应按下式拟合测强曲线的回归方程：

$$f_{cu}^e = aF + b \quad (\text{C.0.5})$$

式中： f_{cu}^e ——特种混凝土抗压强度换算值(MPa)；

F ——拔出力代表值(kN)；

a 、 b ——回归系数。

C.0.6 回归方程的标准差应按本标准式(A.0.7)计算。

C.0.7 测强曲线的使用应仅限于建立回归方程所试验的特种混凝土抗压强度。

用词说明

为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:
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”;
- 4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中,注日期的,仅对该日期对应的版本适用本标准;不注日期的,其最新版适用于本标准。

《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081

《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344

《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728

《回弹仪》GB/T 9138

《高强混凝土强度检测技术规程》JGJ/T 294

《混凝土超声波检测仪》JG/T 5004

中国工程建设标准化协会标准

工程结构加固用特种混凝土
抗压强度现场检测标准

T/CECS 1050—2022

条文说明

制定说明

本标准制定过程中,编制组进行了回弹法、超声回弹法、钻芯法、先装拔出法、后装拔出法现场检测特种混凝土抗压强度的调查研究,总结了我国工程建设中工程结构加固用特种混凝土抗压强度现场检测领域的实践经验。同时参考了现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规程》GB 50728 关于工程结构加固材料的特性指标和现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中对水泥基材料物理性能测试的技术内容。通过回弹法、超声回弹法、钻芯法、先装拔出法、后装拔出法现场试验,得出了工程结构加固用特种混凝土抗压强度的推定方法和测强曲线的制定方法,总结了现场检测设备的技术要求和性能,形成了一套现场检测试验技术方法。

本标准对于强度等级 100MPa 以上的工程结构加固用特种混凝土抗压强度的回弹法检测尚需进行深入研究。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定,《工程结构加固用特种混凝土抗压强度现场检测标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的相关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(41)
3	基本规定	(42)
4	检测设备	(43)
4.1	回弹仪	(43)
4.2	超声波检测仪	(43)
4.3	钻芯法检测设备	(44)
4.4	拔出法检测设备	(44)
5	回弹法	(46)
6	超声回弹法	(47)
6.1	一般规定	(47)
6.2	回弹测试及回弹值计算	(47)
6.3	超声测试及声速值计算	(48)
7	钻芯法	(49)
7.1	一般规定	(49)
7.2	钻取芯样	(49)
7.3	芯样处理	(49)
7.4	抗压试验	(50)
8	先装拔出法	(51)
8.1	一般规定	(51)
8.2	安装锚固件和固定架	(51)
8.3	拔出试验	(51)
9	后装拔出法	(53)
9.1	一般规定	(53)
9.2	钻孔与注胶	(53)

9.3	安装锚固件	(53)
9.4	拔出试验	(53)
10	特种混凝土抗压强度换算及推定	(55)
10.1	抗压强度换算值的确定	(55)
10.2	单个构件的特种混凝土抗压强度推定	(55)
10.3	检验批的特种混凝土抗压强度推定	(56)
附录 A	回弹法地区和专用测强曲线的制定方法	(57)
附录 B	超声回弹法地区和专用测强曲线的制定方法	(59)
附录 C	拔出法地区和专用测强曲线的制定方法	(61)

1 总 则

1.0.1 工程加固用特种混凝土应用场景广泛,常被用于置换缺陷混凝土结构和构件,或对缺陷部位进行局部置换,以及对混凝土结构和构件进行薄层外包。因此难以用一种通用的现场检测方法进行检测。此外,仅仅采用留置试块等方法进行施工前的原材料检测难以满足工程加固领域验收和鉴定的要求,因此有必要制定适用于不同条件的工程加固用特种混凝土强度现场检测方法。

工程结构加固用特种混凝土通常用于缺陷结构和构件,属于加固和补强措施,若现场实际强度无法满足加固设计要求,将给结构和构件带来严重的安全隐患。制定和推广精确可靠的现场检测技术与强度推定方法对工程结构加固至关重要。

1.0.2 工程结构加固领域使用的特种混凝土强度等级较高,常用的有抗压强度为 80MPa~100MPa 的高强水泥基灌浆料、抗压强度为 80MPa~100MPa 的自密实混凝土、抗压强度为 80MPa~100MPa 的高强混凝土,以及抗压强度为 100MPa~200MPa 的活性粉末混凝土,因此本标准将适用范围推广到上述各种强度等级的特种混凝土。

3 基本规定

3.0.1 在特种混凝土抗压强度现场检测前,需要了解和收集必要的工程资料,以利于正确选择检测技术和强度推定方法。

3.0.2、3.0.3 同一批次特种混凝土强度的分布规律,不但与统计对象的生产周期和生产工艺有关,而且与统计总体的特种混凝土配制强度和试验龄期等因素有关。大量的统计分析和试验研究表明,同一等级的混凝土,在龄期相同、生产工艺和配合比基本一致的情况下,特种混凝土强度的概率分布可用正态分布来描述。因此,本标准的抽样检验方案是基于检验数据服从正态分布而制定的。规定检验批应由试件强度等级和试验龄期相同、生产工艺条件和配合比基本相同的特种混凝土组成,以保证所评定的混凝土的强度基本符合正态分布。

3.0.5 采用钻芯法、先装拔出法、后装拔出法对测试部位特种混凝土现场检测后,会造成局部缺陷和破损。为了不影响美观和检测后的正常使用,测试完成后应采用与测试部位材料种类相同且强度等级比设计强度提高一级的特种混凝土进行修补。

4 检测设备

4.1 回弹仪

4.1.1 本标准检测采用的 4.5J 标称动能回弹仪,需要特别区分回弹仪类型,采用普通混凝土回弹仪或其他标称动能的回弹仪的测试结果均不适用于本标准。

4.1.2 由于回弹仪的使用环境不确定性大,仪器内相互移动的部件间有相对磨损,因此必须经常做好维护和保养工作,并应率定以确保测试精度。回弹仪标称动能的具体检查方法是:先将回弹仪刻度尺从仪壳上拆下,露出指针滑块。然后将弹击杆压缩至外露长度约 1/3 时,用手将指针滑块拨至刻度尺率定值对应的仪壳刻线以上的高度,继续施压至弹击锤脱钩,按住按钮,观察指针滑块示值刻线停留位置。此时的停留位置应与仪壳上的上刻线对齐。否则需调整尾盖上的螺栓。率定时应采用与回弹仪配套的钢砧。

4.1.3 回弹仪使用时环境温度过高和过低均会导致仪器内部部件因温度变化导致变形和磨损加剧,影响试验精度和仪器寿命。

4.2 超声波检测仪

4.2.1 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检定,并具有产品合格证和仪器检定证。超声波检测仪送计量单位进行检定后,有效期为一年。

4.2.2 目前非金属超声波检测仪器型号各不相同,本条规定了超声波检测仪的性能要求。数字式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。

4.2.3 本条规定了超声波检测仪器使用时对环境温度的要求,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,将会带来较大的测试偏差。

4.3 钻芯法检测设备

4.3.1 特种混凝土强度较高时,钻芯机应具有足够大的功率,干钻将加快钻头磨损,因此宜配备水冷却系统,以便钻取完整的芯样试件。

4.3.2 本标准采用钻芯法检测特种混凝土时,可根据材料种类选择直径 75mm、100mm 的芯样,并根据加固部位、加固层厚度选择合理的取芯直径。

4.3.3 芯样端部表面的平整度和芯样中轴与端部表面垂直度,是影响芯样抗压试验结果的重要因素,因此本标准对芯样时间段切割和端部磨平装置做了相应的规定,确保检测进度。

4.4 拔出法检测设备

4.4.1 拔出法检测最小拔出力小于额定拔出力 20% 时会造成测试结果误差偏大,大于额定拔出力 80% 时容易对拔出仪造成损伤,本条规定了拔出法检测最大拔出力的范围。为保证拔出仪工作过程中不被拉断,本条规定了拔出仪拉杆制造材料的最小强度。

4.4.2 当测试构件的特种混凝土强度较高时,反力支承圆环应具有足够的强度和刚度,因此对制造反力支承圆环的材料强度提出了要求。

为了保持拔出仪各部件正常工作,同时使反力支承圆环对测试面均匀施压,本条规定了反力支承圆环的尺寸要求。

4.4.3 当锚固胶性能不满足本条规定时,后装拔出法检测中,可能出现锚固件拔脱破坏、特种混凝土破坏体与胶体粘结破坏等异常破坏模式情况,导致测试结果不准确。因此本条规定了锚固胶的性能指标。

4.4.4 高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土强度等级为 80MPa~100MPa,而活性粉末混凝土的强度等级达到 100MPa~200MPa,因此本标准提出了两种规格和型号的锚固件。通过相关单位的试验研究和工程应用表明,采用上述规格型号的锚固件,既能满足测试精度的要求,又能确保锚固件不发生变形破坏。锚固件和固定装置可能涉及“用于后装拔出法检测强度的锚固件成套装置”(ZL 2019 2 15619864)专利。当涉及专利的具体技术问题,使用者可直接与本标准的主编单位及专利持有人协商处理。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

4.4.5 锚固件制造材料强度和尺寸低于本标准规定时可能导致锚固件拔断,强度和尺寸太大时对测点部位损伤较大,因此本条对锚固件的制造材料强度和尺寸做出了规定。

4.4.6 固定架应有足够的强度和刚度,确保在作业过程中不因固定架变形导致锚固件偏斜,从而影响测试精度。

5 回 弹 法

5.0.3 为了使批量检测结果具有代表性,规定了对同批构件按批抽样检测时的样品数量。同时,工程结构加固中常常为少量构件加固,当检验批中构件数量小于或等于 25 件时,按照最小样本容量检测容易导致对结果的争议,因此出现此类情况时应全数检测。

5.0.4 测区布置应具有足够代表性。加固工程通常为小范围的加固或局部加固,单个构件上布置测区数量太少无法满足检测数据统计需求,而布置测区数量太多往往较难实现。

5.0.5 本条规定的回弹操作方法与普通回弹仪相同,遵循“纵轴垂直、缓慢施压、准确读数、快速复位”的原则。

5.0.7 为了保证检测质量,应保证获取的测试值均为有效值,从而对测点的选择至关重要。测点部位应避免气孔或外露石子、金属件、预埋件、钢筋等。

5.0.8 计算测区回弹值时,在每一测区内的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值,能避免数据的离散性和随机性过大。余下的 10 个回弹值的平均值作为测区回弹值的代表值,与回弹法检测普通混凝土和高强混凝土数据处理方法一致。

6 超声回弹法

6.1 一般规定

6.1.1、6.1.2 超声回弹法检测技术中,关于测区和测点的选择需要考虑回弹测试的要求,因此本标准中做了相应规定。超声测试法对测区数量的要求相对于回弹法更宽松,建议不少于10个,但布置位置需要考虑对测探头的放置需求。单面平测时超声测点为对测的两倍以上,因此测区尺寸更大。

6.1.3 超声测试时在测区残留的耦合剂对回弹测试有一定影响,因此对结构或构件的每一测区,需要先进行回弹测试,后进行超声测试。

6.1.4 计算测区特种混凝土抗压强度换算值时,规定采用同一测区内的回弹值和声速值。不同测区的特种混凝土材料性质存在差异,回弹值和声速值不具备关联性,因此不能混用非同一测区的数据。

6.2 回弹测试及回弹值计算

6.2.1 超声回弹法测区的布置形式主要是双面对测,因此本条回弹测区建议布置在构件特种混凝土浇筑的侧面,并布置在构件的两个对称的可测面上。如无对称的可测面,可在同一可测面布置测区进行水平方向回弹测试,随后进行超声波单面平测。对于底面、顶面和不同角度的情形,建议采用其他现场检测方法进行测试。

6.2.2~6.2.4 双面对测时,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8个点;单面平测时,测量回弹值应在超声波的发射和接收测点之间弹击16个点。上述两种情形均获得一组超声测区的16个回弹值,进而得到测区回弹代表值。

6.3 超声测试及声速值计算

6.3.1 3个超声测点布置在回弹测试的同一测区内,以便获得较为接近的声速值。测强曲线建立和实际工程检测时应优先采用对测的方法,能更均匀地反映特种混凝土的声学参数。当被测构件不具备对测条件时,可采用单面平测法。

6.3.2 超声测试时应确保良好耦合,才能在示波器上读取到稳定的数值信号和波形图。耦合剂能保证换能器辐射面与混凝土测试面达到完全接触,排出接触面空隙中的空气和杂物。每一测点均应使耦合层达到最薄,以保持耦合状态一致,这样才能保证声时测量条件的一致性。常用的耦合剂可采用润滑油等材料。

6.3.3 本条规定的声时测量进度、测距精度的要求,是根据超声检测仪仪器的示值选择的。

6.3.4 本条规定了测区混凝土中声速代表值的计算方法。以超声测距与测区内3个测点混凝土中的声时平均值的比值作为测区混凝土中声速代表值。当超声测点在浇筑方向的侧面对测时,声速不做修正。如果超声测试采用了平测,按现行协会标准《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》T/CECS 02的有关规定执行,事先找到声速的修正系数对声速进行修正。每次现场测试开始前都需要确认声时初读数。

7 钻 芯 法

7.1 一 般 规 定

7.1.2 加固工程具有特殊性,不同加固方法、不同加固部位所采用的特种混凝土尺寸各不相同,因此本条规定了根据钻芯部位特种混凝土的尺寸或加固层厚度确定芯样试件尺寸的两种情形。

本条规定的取芯直径,确保了钻取的芯样经过锯切和端部表面磨平后仍能保证高径比 1:1 的要求。

7.2 钻 取 芯 样

7.2.1 合理选择钻芯位置可减小测试误差,本条给出了在结构或构件上选择取芯部位的规定。

7.2.2 本条规定了相邻芯样钻孔之间的最小距离,避免在结构构件上造成连续损伤,对加固构件不利。

7.2.3 钻芯机、锯切机等主要设备的技术性能直接影响到芯样的质量,影响到芯样试件抗压强度样本的标准差。钻芯机工作中必须使用冷却水才能达到冷却钻头和排出混凝土碎屑的目的。在高温下金刚石钻头会烧损,混凝土碎屑不能排除不仅加速钻头的磨损,还会影响进钻速度和芯样表面质量。

7.2.5 本条规定对芯样应进行标记,防止芯样加工后因外形一致而出现混乱。

7.3 芯 样 处 理

7.3.1、7.3.2 芯样加工后的平整度、垂直度、端部表面处理情况等均会对芯样试件强度造成影响,故强调了芯样的加工要求。锯切后芯样的端部表面观感上虽然比较平整,但仍需经过断面磨平

后才能符合抗压试件的要求。国内相关试验研究表明,锯切但未磨平的芯样,测得的抗压强度比端部表面磨平加工后芯样试件的抗压强度降低 10%~30%。

7.3.3 本条规定了试验前测量芯样试件尺寸的方法。直径测量时,对芯样试件上部、中部和下部等部位多次测量,以及旋转 90°后测量,可验证芯样加工的精确程度。角度测量时,可将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,一面用塞尺测量钢板尺与芯样试件承压面(线)之间的缝隙。

7.3.4 本条对芯样试件尺寸偏差及外观质量做出相应规定,目的是减小测试偏差和样本的标准差。

7.4 抗压试验

7.4.1 芯样试件的含水率对强度有一定影响,含水率越高则强度越低。因此本条规定在自然干燥状态下进行试验。

7.4.3 本条规定了特种混凝土芯样试件抗压强度的计算方法。引入的强度换算系数与芯样尺寸相关。特种混凝土骨料均匀性好,粗大粒径组分不多,芯样尺寸引起的强度差异不大,通过强度等级 50MPa~100MPa 的水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土以及 100MPa~200MPa 活性粉末混凝土的钻芯试验结果发现,75mm 芯样的强度比 100mm 芯样的强度高 1.3%~3.9%,因此本标准偏安全地综合考虑折减系数为 5%。

8 先装拔出法

8.1 一般规定

8.1.1 拔出法会对构件测点部位造成局部损伤,所以在构件上不建议布置较多的测点。本条规定单个构件设置测点的最小数量为3个。

8.1.2 为了使拔出法检测结果具有更好的代表性,本条规定了随机抽样检测时抽测构件的最小数量,以保证检测的拔出力具有较高的保证率。

8.1.3 拔出试验过程中,反力支承圆环对测试面有挤压作用,测点周围的砂浆层在拔出测试时受力破坏或变形。为了使相邻测点之间互相不受影响,本条规定相邻测点间距不小于300mm。考虑到反力支承圆环的外径大小,规定测点距离构件边缘不小于100mm,以使拔出试验时反力支承圆环完全覆盖在测试面上。本标准规定的测点附近特种混凝土厚度不应小于35mm,若低于35mm,则无法放置锚固件。

8.2 安装锚固件和固定架

8.2.1 涂刷隔离剂能使固定架方便拆除。

8.2.2 固定架安装完成后应与浇筑、抹压或喷射的特种混凝土表面垂直,才能使锚固件垂直于测试面,从而保证检测精度。

8.2.3 三点式固定架建议在特种混凝土终凝前拆除,因为终凝后固定架难以拆下。

8.3 拔出试验

8.3.1 拔出检测过程中拉杆沿着反力支承圆环轴线向外移动,拔

出仪拉杆与锚固件连接不对中会对拔出仪造成损伤,因此锚固件应与拔出仪对中连接。

8.3.2 施加拔出力的速度会影响拔出法的检测结果。操作时拔出速度过快会导致测得的拔出力数值偏大,拔出速度过慢会导致测得的拔出力数值偏小,因此应按本条规定的加荷速度进行操作。

8.3.5 当拔出试验出现本条列出的情况之一时,会导致测点数据无法代表相应单个构件或检验批强度,因此需要进行补充检测。

9 后装拔出法

9.1 一般规定

9.1.2 相邻两测点的间距以及测点距构件边缘距离较小时,会影响测点拔出力,导致拔出的破坏体不完整,导致测试结果偏小。

9.2 钻孔与注胶

9.2.1 钻孔垂直度偏差是影响测试精度的主要因素之一,钻孔倾斜过大会导致锚固件与测试面不垂直,因此本条规定了垂直度偏差限值。

9.2.2 本条规定的成孔直径比锚固件直径略大,成孔深度比锚固件埋入段的长度略大,是为了有足够的空间让锚固件与锚固胶充分粘结。

9.2.3 孔壁内残留的粉尘会降低锚固胶与砂浆的粘结效果。为了保证检测精度,应清除孔内粉尘,防止拔出试验时锚固件发生拔脱破坏。

9.2.4 锚固胶为半流动状态胶黏体,注胶完成后 10min 内应安放锚固件,否则胶体会从孔内流出,影响锚固效果。

9.3 安装锚固件

9.3.1 固定架与锚固件连接并调节至与测试面垂直后,需要在 10min 内进行固定,否则会造成锚固件晃动或倾斜,影响测试结果。放置时间超过 3h 后锚固胶局部固化,无法调节。

9.4 拔出试验

9.4.1 拔出仪按本标准第 4.4 节的规定执行。

9.4.2 本条规定了拔出试验需要进行补测和加测的情形。后装拔出法检测周期短,可以在试验结果出现偏差后 2d 至 3d 内进行补测,以获得足量的试验数据。

10 特种混凝土抗压强度换算及推定

10.1 抗压强度换算值的确定

10.1.1、10.1.2 目前回弹仪能适用的强度范围尚未超过 100MPa,而工程中使用的活性粉末混凝土强度等级达到 100MPa~200MPa,超出现有仪器设备的测试范围,因此未提供回弹法和超声回弹法检测活性粉末混凝土的测强曲线。

10.1.3 工程中采用直径为 100mm 的芯样作为标准芯样,在抗压试验中,使用标准芯样试件时样本的标准差相对较小,因此推荐使用标准芯样试件确定混凝土抗压强度值。但特种混凝土主要应用于加固工程中,加固层的尺寸和厚度往往较小,甚至小于 100mm,采用薄层加固或局部置换时无法钻取标准芯样。

根据编制组获得的大量试验研究数据发现,小直径芯样会使抗压强度试验结果偏高,因此提出了尺寸效应相关的折减系数。

10.2 单个构件的特种混凝土抗压强度推定

10.2.1 采用回弹法、超声回弹法检测时,若测区数为 10 个及以上时,为了保证 95% 的保证率,需要采用数理统计的公式计算强度推定值。

10.2.3 采用钻芯确定单个构件的混凝土抗压强度推定值时,本条规定的 3 个有效样本已经较少,因此不再进行数据的舍弃,而是按有效芯样试件混凝土抗压强度值中的最小值确定。

10.2.4 采用先装拔出法、后装拔出法检测特种混凝土强度推定值时,最大值和最小值与中间值之差均小于中间值的 15% 时,说明所测构件各测点强度代表值的均匀性较好,此时选择算术平均值作为单个构件拔出力。当单个构件 3 个拔出力中最大或最小拔

出力与中间值之差均大于中间值的 15% 时,说明所测构件各测点拔出力偏差较大,取小值作为构件拔出力代表值较为可靠。

10.3 检验批的特种混凝土抗压强度推定

10.3.2 按批抽样检测时,检测批各测区特种混凝土抗压强度换算值的标准差过大时,说明这些测点不能视为同一母体,不能按批进行检测。因此本条对抽样检测的标准差限值做出了规定。

附录 A 回弹法地区和专用测强曲线的制定方法

A.0.2 建立测强曲线需要足够的试验数据支持。本标准建立测强曲线所进行的试验研究中,采用的高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土强度等级为 50MPa、55MPa、60MPa、65MPa、70MPa、75MPa、80MPa、85MPa、90MPa、95MPa、100MPa,活性粉末混凝土的强度等级为 100MPa、120MPa、150MPa、180MPa、200MPa,因此本条规定了建立测强曲线的试验分组要求。

建立测强曲线所采用的试件,需要考虑回弹法测试的操作要求,采用尺寸为 300mm×300mm×300mm 的试件能确保在侧面设置 200mm×200mm 的测区,同时确保最外侧的测点距离试件边缘不小于 50mm。

普通混凝土进行抗压强度试验采用的是 150mm×150mm×150mm 的立方体试块,而特种混凝土原材料中无大粒径的粗骨料,100mm×100mm×100mm 的立方体试块与更大尺寸立方体试块得到的试验结果并无差别,为节省材料,减小制作试块的工作量,因此规定采用 100mm×100mm×100mm 的立方体试块。此外,考虑到特种混凝土抗压强度较高,较大尺寸的试块意味着更大的承压面积,对压力试验机的加载水平要求也更高,因此采用小尺寸立方体试块是合理可靠的。

A.0.4 各组 3 个立方体试块抗压强度试验按照现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定进行,加载速率按强度等级大于 C60 的混凝土材料考虑。

对于一组 3 个立方体试块抗压强度结果的判定:当 3 个立方体试块抗压强度的最大值或最小值与中间值的差值均未超出中间值的 15%时,取三者平均值作为单组试件的立方体抗压强度;当 3

个立方体试块抗压强度的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超出中间值的 15% 时,取中间值作为单组试件的立方体抗压强度;当两者与中间值的差值均超过中间值的 15% 时,需要舍弃数据重新补测。

A. 0.5 采用回弹法进行现场检测时,采用二项式回归函数建立地区和专用测强曲线,用以计算特种混凝土抗压强度换算值。基于本标准编制组获得的大量试验数据结果,将每一组试件测得的回弹代表值和立方体抗压强度代表值汇总后进行回归分析,得到的结果如下:

(1) 高强水泥基灌浆料的回归方程为 $f_{cu}^c = 11.691 - 0.441R + 0.017R^2$, 试验样本数据的相关系数为 0.985, 标准差为 2.17%;

(2) 自密实混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = -10.814 - 0.244R + 0.019R^2$, 试验样本数据的相关系数为 0.970, 标准差为 3.70%;

(3) 高强混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = -26.168 + 1.171R + 0.006R^2$, 试验样本数据的相关系数为 0.983, 标准差为 2.21%。

附录 B 超声回弹法地区和专用测强曲线的制定方法

B.0.2 超声回弹法试件尺寸需要考虑超声波传递范围,测点距离边缘太近时声波路径容易受边界外部环境的影响,从而影响通道内测得的声时读数。选择尺寸为 300mm 的立方体试块,在各个侧面声波测距基本相同,一个侧面能充分布置 3 个测点,试件得到有效利用,同时又不因尺寸过小影响测试精度。

制作超声回弹法试件时,可将同盘特种混凝土制作对应的 3 个立方体试块,确保了原材料的种类、配置条件、浇筑试件一致,在相同条件下养护后,便能获得完全一致的基本试验条件。

每个超声回弹法试件的四个浇筑侧面基本一致,选择一对侧面作为超声法测区,试件边长(声波测距)相同,可以方便地进行对测。随后以另一对侧面作为回弹法测区,也能顺利进行每测区 8 个测点的回弹测试。

B.0.3 超声测试时,不同的声波透射仪的设置参数有差异,因此很难笼统地对操作步骤进行规定。但市面上所有仪器的超声波测试原理是一致的,本条的规定是为了确保能准确地测量测距,顺利获取声时读数。

耦合剂通常采用润滑油脂类,采购和获取较为简便。涂抹均匀后须持换能器探头在测点部位反复旋转抹压,直至示波器上得到稳定完整的初始信号。测试过程中应保持两个换能器的轴线在同一轴线上,确保间接量测的测距与声波传递路径长度相同。为了满足这一要求,在标示测点时应准确定位。

B.0.6 基于本标准编制组获得的大量试验数据结果,将每一组试件测得的回弹代表值、声速值和立方体抗压强度代表值汇总后进行回归分析,得到的结果如下:

(1) 高强水泥基灌浆料的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.013R^{0.996}v^{2.839}$, 试验样本数据的相关系数为 0.984, 标准差为 2.15%;

(2) 自密实混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.013R^{1.526}v^{1.491}$, 试验样本数据的相关系数为 0.989, 标准差为 1.44%;

(3) 高强混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.117R^{1.250}v^{0.825}$, 试验样本数据的相关系数为 0.986, 标准差为 2.14%。

附录 C 拔出法地区和专用测强 曲线的制定方法

C.0.6 本标准编制组采用先装拔出法和后装拔出法分别对高强水泥基灌浆料、自密实混凝土、高强混凝土、活性粉末混凝土试件进行了共计 2000 余组拔出法试验,根据大量试验数据结果,将每一组试件测得的拔出力代表值和立方体抗压强度代表值汇总后,采用最小二乘法原理进行回归分析,并进行了一致性检验和显著性检验,结果都显示出了较好的线性相关性和精确度。

(1)采用先装法进行现场检测时,拟合得到的结果如下:

高强水泥基灌浆料的回归方程为 $f_{cu}^c = 1.644F_x - 5.956$,试验样本数据的相关系数为 0.981,标准差为 2.46%;

自密实混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 1.197F_x + 23.677$,试验样本数据的相关系数为 0.973,标准差为 6.25%;

高强混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.894F_x + 38.027$,试验样本数据的相关系数为 0.983,标准差为 2.29%;

活性粉末混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.003F_x - 7.956$,试验样本数据的相关系数为 0.953,标准差为 5.22%。

(2)采用后装法进行现场检测时,拟合得到的结果如下:

高强水泥基灌浆料的回归方程为 $f_{cu}^c = 1.781F_h + 28.029$,试验样本数据的相关系数为 0.980,标准差为 2.63%;

自密实混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.9F_h + 24.53$,试验样本数据的相关系数为 0.968,标准差为 7.52%;

高强混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 1.373F_h + 22.601$,试验样本数据的相关系数为 0.978,标准差为 2.55%;

活性粉末混凝土的回归方程为 $f_{cu}^c = 0.0038F_h + 29.417$,试验样本数据的相关系数为 0.963,标准差为 4.27%。