

山东省工程建设标准

动能回弹法检测混凝土抗压 强度技术规程

Technical specification for testing concrete compressive
strength by kinetic energy rebound method

DB37/T 5170—2020

住房和城乡建设部备案号：J 15415 — 2020

主编单位：山东省建筑科学研究院有限公司

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：2020年12月1日

中国建材工业出版社

2020 北 京

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于印发〈2018 年第一批山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》（鲁建标字〔2018〕9 号）的要求，规程编制组进行了广泛、深入的调查研究，认真总结实践经验，参考国家相关标准，借鉴国内外先进技术，结合山东省实际情况，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：总则；术语和符号；Q 值回弹仪；检测技术；测强曲线；检测数据分析处理；混凝土强度推定以及有关附录。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东省建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送山东省建筑科学研究院有限公司（地址：山东省济南市天桥区无影山路 29 号，邮编：250031，传真：0531-85595277，e-mail: jieougfengyuan@163.com）。

本 规 程 主 编 单 位：山东省建筑科学研究院有限公司
山东东汇工程检测鉴定有限公司

本 规 程 参 编 单 位：山东省建筑工程质量检验检测中心有
限公司
济南市工程质量与安全生产监督站
山东华森混凝土有限公司
齐河县住房和城乡建设局
山东弘丰信工程检测鉴定有限公司
青岛诚祥东强建筑工程检测有限公司
博势商贸（上海）有限公司

本规程主要起草人员：孙建东 孔旭文 崔 珑 王 君

王 志	朱立东	刘海松	孔淑臻
谢慧东	汪丕明	崔凤坤	刘 伟
薛玉寒	屈宇光	崔志坤	张宝春
张 华	张 超	王 建	
本规程主要审查人员：	赵考重	蒋世林	张 毅 徐新生
	宋亦工	石玉仁	孙 波 董先锐
	杨宏飞		

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 Q 值回弹仪	5
3.1 技术要求	5
3.2 校准	5
3.3 率定	6
3.4 操作	6
3.5 保养	7
4 检测技术	8
4.1 一般规定	8
4.2 Q 值测量与计算	10
4.3 碳化深度值测量与计算	10
4.4 钻芯修正	11
5 测强曲线	12
6 检测数据分析处理	14
7 混凝土强度推定	16
附录 A 专用测强曲线的制定方法	18
附录 B 不同浇筑面上 Q 值的修正值	20
附录 C (10~60MPa) 泵送混凝土测区强度换算表	22
附录 D (10~60MPa) 塑性混凝土测区强度换算表	30
附录 E 异常数据判断与处理	39
E.1 异常数据判断	39
E.2 异常数据处理	40

附录 F 格拉布斯检验临界值表	41
附录 G 检验批样本容量与推定区间上、下限系数	43
本规程用词说明	45
引用标准名录	46
附：条文说明	47

1 总 则

1.0.1 为规范动能回弹法检测结构混凝土抗压强度技术，保证检测精度，统一技术要求，方便技术推广，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于山东省行政区域内的结构中普通混凝土强度现场检测，检测混凝土强度范围（10.0~60.0）MPa。

1.0.3 动能回弹法检测结构混凝土抗压强度技术，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家及山东省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 动能回弹法 kinetic energy rebound method

在混凝土结构实体采用 Q 值回弹仪进行检测，根据 Q 值及有关参数来推定结构实体混凝土强度的方法。

2.1.2 Q 值 Q value

Q 值回弹仪检测值简称为 Q 值，实质是回弹仪弹击混凝土后的回弹速度与回弹仪弹击混凝土前的冲击速度的比值。

2.1.3 测区 test area

在被检测混凝土构件上，为取得检测数据而布置的检测区域。

2.1.4 测点 test point

测区内的回弹检测点。

2.1.5 检测批 inspection lot

混凝土强度等级相同，原材料、配合比、成型工艺、养护条件基本一致且龄期相近的同种类构件构成的检测对象。

2.1.6 按批抽样检测 batch sampling inspection

从检测批中抽取样本，通过对样本的测试确定该检测批质量的检测方法。

2.1.7 随机抽样 random sampling

从检测批中抽取样本单位，每个样本单位被抽取的可能性都相等的抽样方式。

2.1.8 测区强度换算值 conversion value of strength of test area

由测区的 Q 值等参数通过测强曲线计算得到的现龄期混凝土抗压强度值。相当于被测构件测试部位在所处条件及龄期下，边长为 150mm 立方体试块的抗压强度值。

2.1.9 强度推定值 estimated value of strength

相当于强度换算值总体分布中保证率不低于 95% 的混凝土强度值。

2.2 符 号

- Q_m ——测区平均 Q 值；
- Q_i ——第 i 个测点的 Q 值；
- Q_a^l ——回弹仪检测混凝土浇筑顶面时， Q 值的修正值；
- Q_a^b ——回弹仪检测混凝土浇筑底面时， Q 值的修正值；
- Q_m^l ——回弹仪检测混凝土浇筑顶面时，测区平均 Q 值；
- Q_m^b ——回弹仪检测混凝土浇筑底面时，测区平均 Q 值；
- $Q_{m,i}$ ——结构或构件第 i 个测区平均 Q 值，如有修正时，取修正后的值；
- d_m ——测区平均碳化深度值；
- $d_{m,i}$ ——结构或构件第 i 个测区的平均碳化深度；
- $f_{cu,i}^c$ ——第 i 个测区的混凝土强度换算值；
- $m_{f_{cu}^c}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值的平均值；
- $s_{f_{cu}^c}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值的标准差；
- δ ——构件或检测批混凝土强度换算值的变异系数；
- f_c ——回归方程混凝土抗压强度值；
- $f_{cu,min}^c$ ——结构或构件中测区混凝土抗压强度换算值中的最小值；
- $f_{cu,l}^c$ ——检测批混凝土强度标准值的推定区间下限值；
- $f_{cu,u}^c$ ——检测批混凝土强度标准值的推定区间上限值；
- $f_{cu,e}^c$ ——构件或检测批混凝土强度推定值；
- $f_{m,i}$ ——由第 i 个试块抗压试验得出的混凝土立方体抗压强度值；
- $f_{e,i}$ ——对应于第 i 个试块的 Q 值按回归方程式计算的强度换算值；

- e_r ——回归方程式的强度相对标准差；
 δ_r ——回归方程式的强度平均相对误差；
 G_n 、 G'_n ——格拉布斯检验统计量；
 $G_{0.975}$ 、 $G_{0.995}$ ——格拉布斯检验临界值；
 $k_{0.05,l}$ ——0.05 分位数推定区间下限值系数；
 $k_{0.05,u}$ ——0.05 分位数推定区间上限值系数。

3 Q 值回弹仪

3.1 技术要求

3.1.1 本规程所用回弹仪为 Q 值 M225 型回弹仪（以下简称回弹仪），应具有产品合格证，在明显的位置上应有下列标志：名称、型号、制造厂名（或商标）、出厂编号等。

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

3.1.3 回弹仪标准状态的主要技术性能应满足表 3.1.3 的要求。

表 3.1.3 M225 型回弹仪标准状态的主要技术性能

序号	项目	技术要求	最大允许误差
1	冲击能量 (J)	2.207	± 0.1
2	弹击杆端部球面半径 (mm)	25	± 1.0
3	弹击拉簧刚度 (N/m)	785	± 30
4	弹击拉簧工作长度 (mm)	61.5	± 0.3
5	弹击拉簧拉伸长度 (mm)	75.0	± 0.3
6	弹击锤起跳位置	在刻度尺“0”处	0 ~ 1
7	钢砧率定值	90	± 2

3.2 校 准

3.2.1 当回弹仪具有下列情况之一时，应按要求进行校准：

- 1 新回弹仪启用前；
- 2 达到校准有效期限（有效期限为半年）；
- 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、挂钩及调零螺丝）后；
- 4 弹击拉簧长度不符合要求或调零螺丝松动；

- 5 遭受严重撞击或其他损害；
 - 6 示值不准确或不稳定。
- 3.2.2 用于回弹仪率定的钢砧的率定面洛氏硬度应为 HRC60 ± 2，其校准有效期限为两年。

3.3 率 定

- 3.3.1 当遇下列情况之一时，应在钢砧上进行率定试验：
- 1 使用回弹仪检测前；
 - 2 检测过程中对 Q 值有怀疑时。
- 3.3.2 回弹仪的率定试验，应在室温为 5℃ ~ 35℃ 的条件下进行，率定时钢砧应稳固地安装在结构实体上。回弹仪率定过程中，弹击杆应旋转 4 次，每次旋转 90° 左右，回弹仪连续弹击钢砧率定面，取连续 3 次稳定 Q 值的平均值为率定值。每个方向的率定值应为 90 ± 2 。
- 3.3.3 当仪器率定值不在规定的范围内时，应按本规程第 3.5 条的要求，对回弹仪进行常规保养后再进行率定。若再次率定仍不合格，必须进行维修，维修后送校准机构校准合格才能使用。

3.4 操 作

- 3.4.1 检测过程中，仪器的纵轴线应始终与被测混凝土表面保持垂直，其操作程序应符合下列要求：
- 1 用弹击杆端部顶住混凝土检测面缓慢均匀施压，待弹击锤脱钩，冲击弹击杆后，弹击锤回弹，在此过程中，光电系统测出 Q 值；
 - 2 逐渐对回弹仪减压，使弹击杆自机壳内伸出，挂钩挂上弹击锤，待下一次使用；
 - 3 回弹仪每次使用完毕后，应先把仪器外壳和伸出机壳的弹击杆及前端球面和显示屏表面擦拭干净，水平放置于干燥阴凉处。

3.5 保 养

3.5.1 回弹仪有下列情况之一时，应进行保养：

- 1 使用达到两天；
- 2 对检测值有怀疑；
- 3 率定值不合格。

3.5.2 回弹仪的保养宜按下列步骤进行：

1 拧开后盖和前部盖帽，卸掉卡环，取出机芯，然后卸下弹击杆、缓冲压簧、弹击锤（连同弹击拉簧和拉簧座）、中心导杆（连同导向法兰）；

2 清洗机芯各零部件，特别是中心导杆、弹击锤、弹击杆的内孔和冲击面，清洗后在中心导杆上薄薄地抹上一层钟表油，其他零件均不得抹油；

3 清理机壳内壁；

4 如果 Q 值回弹仪出现了数值不稳定、数值偏小或者不采集数据的情况时，可能是传感器有脏污或灰尘覆盖，需要将电子仓（带液晶的部分）6 个固定螺钉拆掉，将发射和接收传感器进行一下清洁；

5 不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝；

6 保养后应按本规程第 3.3 条的要求进行率定，如果率定不符合要求应进行维修和校准。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 检测前应收集资料，主要包括以下内容：

- 1 工程名称及建设单位、设计单位、施工单位和监理单位名称；
- 2 结构或构件名称、混凝土设计强度等级及设计施工图纸；
- 3 水泥安定性检验报告，砂石品种、碎石最大粒径，混凝土配合比情况、混凝土拌合物坍落度等，确定混凝土种类、适用方法及测强曲线；
- 4 施工时材料计量情况、模板类型、混凝土浇筑方式、养护情况及成型日期；
- 5 结构或构件的试块混凝土强度试压资料以及相关的施工技术资料；
- 6 存在的质量问题及检测原因。

4.1.2 混凝土强度检测可采用以下两种方式进行：

- 1 单个构件检测：适用于单个柱、梁、墙、基础等构件检测，其检测结论不得扩大到未检测的构件或范围，当检测批构件总数少于5个时，按单个构件检测。
- 2 按批抽样检测：适用于检测批混凝土强度的检测。

4.1.3 大型结构按施工顺序可划分为若干个检测区域，每个检测区域作为一个独立构件，根据检测区域数量及检测需要，选择检测方式。

4.1.4 按批抽样检测时，应进行随机抽样，且抽测构件最小数量应符合表4.1.4的规定。

表 4.1.4 检测批最小样本容量

检测批的容量	检测类别和样本 最小容量			检测批的容量	检测类别和样本 最小容量		
	A	B	C		A	B	C
5 ~ 8	2	2	3	91 ~ 150	8	20	32
9 ~ 15	2	3	5	151 ~ 280	13	32	50
16 ~ 25	3	5	8	281 ~ 500	20	50	80
26 ~ 50	5	8	13	501 ~ 1200	32	80	125
51 ~ 90	5	13	20	—	—	—	—

- 注：1 检测类别 A 适用于一般项目施工质量检测，可用于既有结构的一般项目检测；
- 2 检测类别 B 适用于主控项目施工质量检测，可用于既有结构的重要项目检测；
- 3 检测类别 C 适用于结构工程施工的质量检测或复检，可用于存在问题较多既有结构的检测。

4.1.5 构件的测区应符合下列要求：

- 1 当单个构件检测时，每个构件测区数不应少于 10 个，对于某一方尺寸小于 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 按批抽样检测时，应根据构件类型和受力特征布置测区，每个构件测区数量不应少于 3 个，测区总数不应少于 10 个。
- 3 相邻两测区的间距不应大于 2m，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 0.1m。
- 4 测区宜优先选择使回弹仪处于水平方向检测混凝土浇筑侧面，若不能满足这一要求，可选择使回弹仪处于非水平方向检测表面或底面。
- 5 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。在构件的受力较大部位及薄弱部位应布置测区，并应避免预埋件。
- 6 测区尺寸宜为 0.04m^2 。

7 检测面应为清洁平整的原状混凝土面，并应避免蜂窝、麻面。

8 对于弹击时会产生颤动的薄壁、小型构件应进行固定。

4.1.6 测区应标有清晰的编号，宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。

4.2 Q 值测量与计算

4.2.1 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，测点距构件边缘或外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30mm。测点不应布置在气孔或外露石子上，同一测点只允许弹击一次。每一测区应记取 16 个 Q 值，每一测点的 Q 值读数精确至 0.5。

4.2.2 计算测区平均 Q 值，应从该测区的 16 个 Q 值中，剔除 3 个最大值和 3 个最小值，然后将余下的 10 个 Q 值按下列公式计算：

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} Q_i}{10} \quad (4.2.2)$$

式中： Q_m ——测区平均 Q 值，精确至 0.1；

Q_i ——第 i 个测点的 Q 值。

4.2.3 回弹仪检测混凝土顶面或底面时，测区的平均 Q 值应按下式修正：

$$Q_m = Q_m^t + Q_a^t \quad (4.2.3-1)$$

$$Q_m = Q_m^b + Q_a^b \quad (4.2.3-2)$$

式中： Q_m^t 、 Q_m^b ——检测混凝土顶面、底面时，测区平均 Q 值，精确至 0.1；

Q_a^t 、 Q_a^b ——混凝土浇筑顶面、底面 Q 值的修正值，按本规程附录 B 采用。

4.3 碳化深度值测量与计算

4.3.1 Q 值测量完毕后，应在有代表性的测区上选择一个测点，

进行碳化深度值测量，测点数不少于构件测区总数的 30%。当同一构件各测点碳化深度值极差大于 2.0mm 时，应分别测量每个测区的碳化深度值。

4.3.2 检测碳化深度用 1% 酚酞酒精溶液的推荐配比如下：

1g 酚酞 + 90g 浓度为 95% ~ 100% 的酒精 + 10g 蒸馏水

4.3.3 测量碳化深度值时，可在测区表面剔凿出直径约 15mm 的孔洞，其深度应大于碳化深度值。然后除净孔洞中的粉末和碎屑，不得用水冲洗。应采用浓度为 1% 的酚酞酒精溶液喷在孔洞内壁的边缘处，当已碳化与未碳化界线清晰时，再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离多次，选中间值作为该测点的碳化深度值，精确至 0.5mm。

4.3.4 当同一构件各测点碳化深度值极差不大于 2.0mm 时，取各测点碳化深度平均值作为该构件各测区的平均碳化深度值，按公式 (4.3.4) 计算：

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4.3.4)$$

式中： d_m ——构件各测区的平均碳化深度值，精确至 0.5mm；

d_i ——第 i 测点的碳化深度值；

n ——碳化深度测点数。

4.3.5 构件各测区的碳化深度值，当 $d_m > 10.0\text{mm}$ 时，取 $d_m = 10.0\text{mm}$ 。

4.4 钻芯修正

4.4.1 当对回弹检测结果有怀疑时，宜进行钻芯修正。

4.4.2 钻取芯样部位、加工技术要求及修正量计算等均应符合山东省地方标准《钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程》DB37/T 2368 的规定。

5 测强曲线

5.0.1 本规程适用于符合下列条件的混凝土强度的检测：

- 1 符合普通混凝土用材料、拌和用水的质量标准且粗骨料为碎石；
- 2 采用普通成型工艺；
- 3 采用符合国家标准规定的模板；
- 4 自然养护或蒸气养护出池后经自然养护 7d 以上，且混凝土表层为干燥状态；
- 5 龄期为 14d ~ 1100d；
- 6 抗压强度为 10.0MPa ~ 60.0MPa。

5.0.2 本规程不适用于下列情况混凝土强度的检测：

- 1 测试部位表层与内部的质量有明显差异或内部存在缺陷；
- 2 遭受冻害、化学侵蚀、火灾、高温损伤。

5.0.3 当混凝土有下列情况之一时，不得按本规程所给测强曲线计算测区混凝土抗压强度换算值，但可按本规程附录 A 的规定制定专用测强曲线或通过试验进行修正：

- 1 粗集料最大粒径大于 40mm；
- 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 长期处于高温、潮湿或浸水环境的混凝土。

5.0.4 对于抗压强度 [10.0, 60.0] MPa 的泵送混凝土，构件第 i 个测区的混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ ，应根据测区平均 Q 值 $Q_{m,i}$ 及碳化深度值 d_m 按下式计算，也可按本规程附录 C 查表：

$$f_{cu,i}^c = 0.01524 Q_{m,i}^{2.06} 10^{(-0.0094d_{m,i})} \quad (5.0.4)$$

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

$Q_{m,i}$ ——第 i 个测区平均 Q 值，如有修正，取修正后的值；

$d_{m,i}$ ——结构或构件第 i 个测区的平均碳化深度。

5.0.5 对于抗压强度 $[10.0, 60.0]$ MPa 的塑性混凝土, 构件第 i 个测区的混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$, 应根据测区平均 Q 值 $Q_{m,i}$ 及碳化深度值 d_m 按下式计算, 也可按本规程附录 D 查表:

$$f_{cu,i}^c = 0.01315 Q_{m,i}^{2.082} 10^{(-0.0108d_{m,i})} \quad (5.0.5)$$

6 检测数据分析处理

6.0.1 当测区数大于等于 10 个时, 构件或检测批混凝土强度换算值的平均值、标准差及变异系数应分别按下列公式计算:

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (6.0.1-1)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n (m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (6.0.1-2)$$

$$\delta = \frac{s_{f_{cu}^c}}{m_{f_{cu}^c}} \quad (6.0.1-3)$$

式中: $m_{f_{cu}^c}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值的平均值, 精确至 0.1MPa;

n ——对于单个构件检测, 取该构件的测区数; 对于按批抽样检测, 取所有被检测构件测区数之和;

$s_{f_{cu}^c}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值的标准差, 精确至 0.01MPa;

δ ——构件或检测批混凝土强度换算值的变异系数, 精确至 0.01。

6.0.2 按批抽样检测, 或单个构件检测测区数大于等于 10 个时, 应进行异常数据的判断和处理, 异常数据的判断和处理应符合《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》GB/T 4883 的规定, 详见本规程附录 E。

6.0.3 按批抽样检测时, 该批构件混凝土强度变异系数应满足表 6.0.3 的要求。

表 6.0.3 检测批混凝土强度的变异系数限值

检测批混凝土强度的 平均值 (MPa)	≤ 25	> 25 , 且 ≤ 45	> 45 , 且 ≤ 60
变异系数	≤ 0.20	≤ 0.16	≤ 0.14

6.0.4 当不能满足上述要求时,可在分析原因的基础上采取下列措施,并在检测报告中注明:

- 1 重新划分检测批;
- 2 增加测点的数量。

6.0.5 当采取上述措施仍不能满足要求,或无条件采取上述措施时,可按本规程第 7.0.1 条的规定提供单个构件的检测结果。

7 混凝土强度推定

7.0.1 单个构件的混凝土强度推定值应符合下列规定：

1 测区数少于 10 个时，以各测区混凝土强度换算值的最小值作为构件的混凝土强度推定值，应按下式计算：

$$f_{cu,e}^c = f_{cu,min}^c \quad (7.0.1-1)$$

式中： $f_{cu,e}^c$ ——构件或检测批的混凝土抗压强度推定值，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,min}^c$ ——构件测区混凝土强度换算值中的最小值，精确至 0.1MPa。

2 测区数大于等于 10 个时，应按下式计算：

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}}^c - 1.645s_{f_{cu}}^c \quad (7.0.1-2)$$

7.0.2 按批抽样检测，检测批混凝土强度推定值应按下式计算：

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}}^c - 1.645s_{f_{cu}}^c \quad (7.0.2)$$

7.0.3 检测批的混凝土强度推定区间的置信度宜为 0.90，并使错判概率和漏判概率均为 0.05，检测批混凝土具有 95% 保证率特征值的推定区间上限值和下限值应按下列公式计算：

$$f_{cu,u}^c = m_{f_{cu}}^c - k_{0.05,u}s_{f_{cu}}^c \quad (7.0.3-1)$$

$$f_{cu,l}^c = m_{f_{cu}}^c - k_{0.05,l}s_{f_{cu}}^c \quad (7.0.3-2)$$

式中： $f_{cu,u}^c$ ——检测批混凝土具有 95% 保证率特征值的推定区间上限值，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,l}^c$ ——检测批混凝土具有 95% 保证率特征值的推定区间下限值，精确至 0.1MPa；

$k_{0.05,u}$ ——0.05 分位数推定区间上限值系数，按检测批测区数量由本规程附录 G 查得；

$k_{0.05,l}$ ——0.05 分位数推定区间下限值系数，按检测批测区

数量由本规程附录 G 查得。

7.0.4 将同一检测批中各构件测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ 与 $f_{cu,e}^c$ 对比, 若 $f_{cu,e}^c - f_{cu,i}^c > 5.0 \text{MPa}$, 且 $f_{cu,i}^c$ 小于设计强度要求, 则应将这些构件作为异常构件。

7.0.5 对于强度换算值明显低于 $f_{cu,e}^c$ 的异常构件, 应结合施工资料, 考虑这些构件在结构中的分布, 将这些构件附近、同批施工的构件重新组成检测批, 不能重新组成检测批的, 应对异常构件按单个构件进行评定, 并在报告中说明。

附录 A 专用测强曲线的制定方法

A.0.1 制定专用测强曲线的单位，需具有见证取样和主体结构检测的资质。

A.0.2 采用检测仪器应符合本规程第 3 章的各项要求。

A.0.3 制定专用测强曲线的混凝土试块应与需检测结构或构件在原材料（含品种、规格）、成型工艺与养护方法等方面条件相同。混凝土用水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 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》JGJ 52 的要求，混凝土搅拌用水应符合现行国家标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的要求。

A.0.4 试块的制作和养护：

1 按最佳配合比设计 6 个强度等级，每一强度等级每一龄期制作不少于 6 个 150mm 立方体试块，同一龄期试块宜在同一天内成型完毕；

2 在成型后的第二天，将试块移至与被测结构或构件相同的条件下养护，试块拆模日期与结构或构件的拆模日期相同。

A.0.5 试块的测试：

1 将到达龄期的试块表面擦净，以贴试模的两个相对侧面置于压力机的上下承压板之间，加压 60kN ~ 100kN（低强度试块相应取低压力值）；

2 在试块保持 60kN ~ 100kN 的压力下，用 Q 值回弹仪按本规程第 4.2 节规定的方法，在试块的另外两个相对侧面上分别选择均匀分布的 8 个点进行回弹，记录 Q 值；

3 Q 值检测完毕后，应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB 50081 的规定，进行立方体试块抗压强度试验，得到试块的立方体抗压强度值 f_{cu}^c ，精确至 0.1MPa；

4 在破损后混凝土试块上,检测回弹检测面的碳化深度,精确到0.5mm;

5 从每一试块的16个 Q 值中分别剔除其中3个最大值和3个最小值,再求余下的10个 Q 值的平均值,计算精确至0.1,即得该试块的平均 Q 值。

A.0.6 专用测强曲线的计算:

1 专用测强曲线的回归方程式,应按每一试块测得 Q 值、碳化深度值和对应的抗压强度值,采用最小二乘法原理计算。

2 推荐采用的回归方程式如下式:

$$f_c = A Q_m^B 10^{Cd_m} \quad (\text{A.0.6-1})$$

式中: f_c ——回归方程混凝土抗压强度值;

A 、 B ——回归系数;

Q_m ——测区平均 Q 值;

d_m ——测区平均碳化深度值。

3 回归方程的平均相对误差 δ_r 及相对标准差 e_r ,可按下列公式计算:

$$\delta_r = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{c,i}}{f_{m,i}} - 1 \right| \times 100\% \quad (\text{A.0.6-2})$$

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{c,i}}{f_{m,i}} - 1 \right)^2} \times 100\% \quad (\text{A.0.6-3})$$

式中: δ_r ——回归方程式的强度平均相对误差,精确至0.1%;

e_r ——回归方程式的强度相对标准差,精确至0.1%;

$f_{m,i}$ ——由第 i 个试块抗压试验得出的混凝土抗压强度值,精确至0.1MPa;

$f_{c,i}$ ——对应于第 i 个试块的 Q 值、碳化深度值按式(A.0.6-1)计算得出的强度换算值,精确至0.1MPa;

n ——制定回归方程式的试块数。

A.0.7 专用测强曲线应符合下列规定:

1 平均相对误差 $\delta_r \leq 10.0\%$;

2 相对标准差 $e_r \leq 14.0\%$ 。

附录 B 不同浇筑面上 Q 值的修正值

表 B 不同浇筑面上 Q 值的修正值

Q_m	底面修正值 Q_d	表面修正值 Q_b
24	-1.4	3.2
25	-1.4	3.2
26	-1.4	3.2
27	-1.4	3.2
28	-1.4	3.2
29	-1.4	3.2
30	-1.4	3.2
31	-1.4	3.2
32	-1.4	3.2
33	-1.4	3.1
34	-1.4	3.1
35	-1.4	3.1
36	-1.4	3.0
37	-1.3	3.0
38	-1.3	3.0
39	-1.3	2.9
40	-1.3	2.9
41	-1.2	2.8
42	-1.2	2.8
43	-1.2	2.7
44	-1.2	2.6
45	-1.1	2.6

续表 B

Q_m	底面修正值 Q_d	表面修正值 Q_b
46	-1.1	2.5
47	-1.1	2.5
48	-1.0	2.4
49	-1.0	2.3
50	-1.0	2.2
51	-0.9	2.2
52	-0.9	2.1
53	-0.8	2.0
54	-0.8	1.9
55	-0.8	1.9
56	-0.7	1.8
57	-0.7	1.7
58	-0.6	1.6

注：1 Q_m 小于 24 或大于 58 时，均分别按 24 或 58 查表；

2 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；

3 表中未列入数值，可用内插法求得，精确至 0.01。

附录 C （10 ~ 60MPa）泵送 混凝土测区强度换算表

表 C 泵送混凝土测区强度换算表

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^e (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
23.2	9.9										
23.4	10.1										
23.6	10.3	10.0									
23.8	10.4	10.2	10.0								
24.0	10.6	10.4	10.2	10.0							
24.2	10.8	10.6	10.3	10.1	9.9						
24.4	11.0	10.8	10.5	10.3	10.1						
24.6	11.2	10.9	10.7	10.5	10.2	10.0					
24.8	11.4	11.1	10.9	10.7	10.4	10.2	10.0				
25.0	11.6	11.3	11.1	10.8	10.6	10.4	10.1	9.9			
25.2	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.5	10.3	10.1			
25.4	11.9	11.7	11.4	11.2	10.9	10.7	10.5	10.3	10.0	9.8	
25.6	12.1	11.9	11.6	11.4	11.1	10.9	10.7	10.4	10.2	10.0	
25.8	12.3	12.1	11.8	11.6	11.3	11.1	10.8	10.6	10.4	10.1	9.9
26.0	12.5	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.5	10.3	10.1
26.2	12.7	12.5	12.2	11.9	11.7	11.4	11.2	10.9	10.7	10.5	10.2
26.4	12.9	12.6	12.4	12.1	11.9	11.6	11.4	11.1	10.9	10.6	10.4
26.6	13.1	12.8	12.6	12.3	12.0	11.8	11.5	11.3	11.0	10.8	10.6
26.8	13.3	13.0	12.8	12.5	12.2	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.7

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
27.0	13.5	13.2	13.0	12.7	12.4	12.2	11.9	11.6	11.4	11.1	10.9
27.2	13.7	13.5	13.2	12.9	12.6	12.3	12.1	11.8	11.6	11.3	11.1
27.4	14.0	13.7	13.4	13.1	12.8	12.5	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2
27.6	14.2	13.9	13.6	13.3	13.0	12.7	12.4	12.2	11.9	11.7	11.4
27.8	14.4	14.1	13.8	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6
28.0	14.6	14.3	14.0	13.7	13.4	13.1	12.8	12.5	12.3	12.0	11.8
28.2	14.8	14.5	14.2	13.9	13.6	13.3	13.0	12.7	12.5	12.2	11.9
28.4	15.0	14.7	14.4	14.1	13.8	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1
28.6	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	13.7	13.4	13.1	12.8	12.5	12.3
28.8	15.5	15.1	14.8	14.5	14.2	13.9	13.6	13.3	13.0	12.7	12.5
29.0	15.7	15.4	15.0	14.7	14.4	14.1	13.8	13.5	13.2	12.9	12.6
29.2	15.9	15.6	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	13.7	13.4	13.1	12.8
29.4	16.1	15.8	15.5	15.1	14.8	14.5	14.2	13.9	13.6	13.3	13.0
29.6	16.4	16.0	15.7	15.3	15.0	14.7	14.4	14.1	13.8	13.5	13.2
29.8	16.6	16.2	15.9	15.5	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	13.7	13.4
30.0	16.8	16.5	16.1	15.8	15.4	15.1	14.8	14.5	14.1	13.8	13.5
30.2	17.1	16.7	16.3	16.0	15.6	15.3	15.0	14.7	14.3	14.0	13.7
30.4	17.3	16.9	16.6	16.2	15.9	15.5	15.2	14.9	14.5	14.2	13.9
30.6	17.5	17.1	16.8	16.4	16.1	15.7	15.4	15.1	14.7	14.4	14.1
30.8	17.8	17.4	17.0	16.6	16.3	15.9	15.6	15.3	14.9	14.6	14.3
31.0	18.0	17.6	17.2	16.9	16.5	16.2	15.8	15.5	15.1	14.8	14.5
31.2	18.2	17.8	17.5	17.1	16.7	16.4	16.0	15.7	15.3	15.0	14.7
31.4	18.5	18.1	17.7	17.3	16.9	16.6	16.2	15.9	15.5	15.2	14.9
31.6	18.7	18.3	17.9	17.5	17.2	16.8	16.4	16.1	15.7	15.4	15.1
31.8	19.0	18.6	18.2	17.8	17.4	17.0	16.7	16.3	16.0	15.6	15.3

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)											
	平均碳化深度值 d_m (mm)											
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
32.0	19.2	18.8	18.4	18.0	17.6	17.2	16.9	16.5	16.2	15.8	15.5	
32.2	19.5	19.0	18.6	18.2	17.8	17.5	17.1	16.7	16.4	16.0	15.7	
32.4	19.7	19.3	18.9	18.5	18.1	17.7	17.3	16.9	16.6	16.2	15.9	
32.6	20.0	19.5	19.1	18.7	18.3	17.9	17.5	17.2	16.8	16.4	16.1	
32.8	20.2	19.8	19.4	18.9	18.5	18.1	17.8	17.4	17.0	16.6	16.3	
33.0	20.5	20.0	19.6	19.2	18.8	18.4	18.0	17.6	17.2	16.8	16.5	
33.2	20.7	20.3	19.8	19.4	19.0	18.6	18.2	17.8	17.4	17.1	16.7	
33.4	21.0	20.5	20.1	19.7	19.2	18.8	18.4	18.0	17.6	17.3	16.9	
33.6	21.2	20.8	20.3	19.9	19.5	19.1	18.7	18.3	17.9	17.5	17.1	
33.8	21.5	21.0	20.6	20.2	19.7	19.3	18.9	18.5	18.1	17.7	17.3	
34.0	21.8	21.3	20.8	20.4	20.0	19.5	19.1	18.7	18.3	17.9	17.5	
34.2	22.0	21.6	21.1	20.6	20.2	19.8	19.3	18.9	18.5	18.1	17.7	
34.4	22.3	21.8	21.4	20.9	20.5	20.0	19.6	19.2	18.8	18.4	18.0	
34.6	22.6	22.1	21.6	21.1	20.7	20.3	19.8	19.4	19.0	18.6	18.2	
34.8	22.8	22.3	21.9	21.4	20.9	20.5	20.1	19.6	19.2	18.8	18.4	
35.0	23.1	22.6	22.1	21.7	21.2	20.7	20.3	19.9	19.4	19.0	18.6	
35.2	23.4	22.9	22.4	21.9	21.4	21.0	20.5	20.1	19.7	19.2	18.8	
35.4	23.7	23.1	22.7	22.2	21.7	21.2	20.8	20.3	19.9	19.5	19.1	
35.6	23.9	23.4	22.9	22.4	21.9	21.5	21.0	20.6	20.1	19.7	19.3	
35.8	24.2	23.7	23.2	22.7	22.2	21.7	21.3	20.8	20.4	19.9	19.5	
36.0	24.5	24.0	23.5	22.9	22.5	22.0	21.5	21.0	20.6	20.2	19.7	
36.2	24.8	24.2	23.7	23.2	22.7	22.2	21.8	21.3	20.8	20.4	19.9	
36.4	25.1	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.1	20.6	20.2	
36.6	25.3	24.8	24.3	23.7	23.2	22.7	22.3	21.8	21.3	20.9	20.4	
36.8	25.6	25.1	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.1	20.6	

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)											
	平均碳化深度值 d_m (mm)											
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
37.0	25.9	25.4	24.8	24.3	23.8	23.3	22.8	22.3	21.8	21.3	20.9	
37.2	26.2	25.6	25.1	24.6	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.6	21.1	
37.4	26.5	25.9	25.4	24.8	24.3	23.8	23.3	22.8	22.3	21.8	21.3	
37.6	26.8	26.2	25.6	25.1	24.6	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.6	
37.8	27.1	26.5	25.9	25.4	24.8	24.3	23.8	23.3	22.8	22.3	21.8	
38.0	27.4	26.8	26.2	25.7	25.1	24.6	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	
38.2	27.7	27.1	26.5	25.9	25.4	24.8	24.3	23.8	23.3	22.8	22.3	
38.4	28.0	27.4	26.8	26.2	25.7	25.1	24.6	24.0	23.5	23.0	22.5	
38.6	28.3	27.7	27.1	26.5	25.9	25.4	24.8	24.3	23.8	23.3	22.8	
38.8	28.6	28.0	27.4	26.8	26.2	25.6	25.1	24.6	24.0	23.5	23.0	
39.0	28.9	28.3	27.7	27.1	26.5	25.9	25.4	24.8	24.3	23.8	23.3	
39.2	29.2	28.6	27.9	27.3	26.8	26.2	25.6	25.1	24.5	24.0	23.5	
39.4	29.5	28.9	28.2	27.6	27.0	26.5	25.9	25.3	24.8	24.3	23.8	
39.6	29.8	29.2	28.5	27.9	27.3	26.7	26.2	25.6	25.1	24.5	24.0	
39.8	30.1	29.5	28.8	28.2	27.6	27.0	26.4	25.9	25.3	24.8	24.3	
40.0	30.4	29.8	29.1	28.5	27.9	27.3	26.7	26.1	25.6	25.0	24.5	
40.2	30.7	30.1	29.4	28.8	28.2	27.6	27.0	26.4	25.9	25.3	24.8	
40.4	31.1	30.4	29.7	29.1	28.5	27.9	27.3	26.7	26.1	25.6	25.0	
40.6	31.4	30.7	30.0	29.4	28.8	28.2	27.6	27.0	26.4	25.8	25.3	
40.8	31.7	31.0	30.3	29.7	29.1	28.4	27.8	27.2	26.7	26.1	25.5	
41.0	32.0	31.3	30.7	30.0	29.4	28.7	28.1	27.5	26.9	26.3	25.8	
41.2	32.3	31.6	31.0	30.3	29.7	29.0	28.4	27.8	27.2	26.6	26.0	
41.4	32.7	32.0	31.3	30.6	30.0	29.3	28.7	28.1	27.5	26.9	26.3	
41.6	33.0	32.3	31.6	30.9	30.2	29.6	29.0	28.3	27.7	27.1	26.6	
41.8	33.3	32.6	31.9	31.2	30.5	29.9	29.3	28.6	28.0	27.4	26.8	

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)											
	平均碳化深度值 d_m (mm)											
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
42.0	33.6	32.9	32.2	31.5	30.9	30.2	29.5	28.9	28.3	27.7	27.1	
42.2	34.0	33.2	32.5	31.8	31.2	30.5	29.8	29.2	28.6	28.0	27.4	
42.4	34.3	33.6	32.9	32.1	31.5	30.8	30.1	29.5	28.9	28.2	27.6	
42.6	34.6	33.9	33.2	32.5	31.8	31.1	30.4	29.8	29.1	28.5	27.9	
42.8	35.0	34.2	33.5	32.8	32.1	31.4	30.7	30.1	29.4	28.8	28.2	
43.0	35.3	34.6	33.8	33.1	32.4	31.7	31.0	30.3	29.7	29.1	28.4	
43.2	35.7	34.9	34.1	33.4	32.7	32.0	31.3	30.6	30.0	29.3	28.7	
43.4	36.0	35.2	34.5	33.7	33.0	32.3	31.6	30.9	30.3	29.6	29.0	
43.6	36.3	35.6	34.8	34.1	33.3	32.6	31.9	31.2	30.6	29.9	29.3	
43.8	36.7	35.9	35.1	34.4	33.6	32.9	32.2	31.5	30.8	30.2	29.5	
44.0	37.0	36.2	35.5	34.7	34.0	33.2	32.5	31.8	31.1	30.5	29.8	
44.2	37.4	36.6	35.8	35.0	34.3	33.5	32.8	32.1	31.4	30.8	30.1	
44.4	37.7	36.9	36.1	35.4	34.6	33.9	33.1	32.4	31.7	31.0	30.4	
44.6	38.1	37.3	36.5	35.7	34.9	34.2	33.4	32.7	32.0	31.3	30.7	
44.8	38.4	37.6	36.8	36.0	35.2	34.5	33.7	33.0	32.3	31.6	30.9	
45.0	38.8	37.9	37.1	36.3	35.6	34.8	34.1	33.3	32.6	31.9	31.2	
45.2	39.1	38.3	37.5	36.7	35.9	35.1	34.4	33.6	32.9	32.2	31.5	
45.4	39.5	38.6	37.8	37.0	36.2	35.4	34.7	33.9	33.2	32.5	31.8	
45.6	39.9	39.0	38.2	37.3	36.5	35.8	35.0	34.2	33.5	32.8	32.1	
45.8	40.2	39.4	38.5	37.7	36.9	36.1	35.3	34.6	33.8	33.1	32.4	
46.0	40.6	39.7	38.9	38.0	37.2	36.4	35.6	34.9	34.1	33.4	32.7	
46.2	40.9	40.1	39.2	38.4	37.5	36.7	36.0	35.2	34.4	33.7	33.0	
46.4	41.3	40.4	39.6	38.7	37.9	37.1	36.3	35.5	34.7	34.0	33.3	
46.6	41.7	40.8	39.9	39.1	38.2	37.4	36.6	35.8	35.0	34.3	33.6	
46.8	42.0	41.1	40.3	39.4	38.6	37.7	36.9	36.1	35.4	34.6	33.9	

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)											
	平均碳化深度值 d_m (mm)											
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
47.0	42.4	41.5	40.6	39.7	38.9	38.1	37.2	36.5	35.7	34.9	34.2	
47.2	42.8	41.9	41.0	40.1	39.2	38.4	37.6	36.8	36.0	35.2	34.5	
47.4	43.2	42.2	41.3	40.4	39.6	38.7	37.9	37.1	36.3	35.5	34.8	
47.6	43.5	42.6	41.7	40.8	39.9	39.1	38.2	37.4	36.6	35.8	35.1	
47.8	43.9	43.0	42.1	41.2	40.3	39.4	38.6	37.7	36.9	36.1	35.4	
48.0	44.3	43.3	42.4	41.5	40.6	39.8	38.9	38.1	37.3	36.5	35.7	
48.2	44.7	43.7	42.8	41.9	41.0	40.1	39.2	38.4	37.6	36.8	36.0	
48.4	45.1	44.1	43.1	42.2	41.3	40.4	39.6	38.7	37.9	37.1	36.3	
48.6	45.4	44.5	43.5	42.6	41.7	40.8	39.9	39.1	38.2	37.4	36.6	
48.8	45.8	44.8	43.9	42.9	42.0	41.1	40.2	39.4	38.5	37.7	36.9	
49.0	46.2	45.2	44.3	43.3	42.4	41.5	40.6	39.7	38.9	38.0	37.2	
49.2	46.6	45.6	44.6	43.7	42.7	41.8	40.9	40.1	39.2	38.4	37.5	
49.4	47.0	46.0	45.0	44.0	43.1	42.2	41.3	40.4	39.5	38.7	37.8	
49.6	47.4	46.4	45.4	44.4	43.5	42.5	41.6	40.7	39.9	39.0	38.2	
49.8	47.8	46.8	45.8	44.8	43.8	42.9	42.0	41.1	40.2	39.3	38.5	
50.0	48.2	47.1	46.1	45.2	44.2	43.2	42.3	41.4	40.5	39.7	38.8	
50.2	48.6	47.5	46.5	45.5	44.5	43.6	42.7	41.7	40.9	40.0	39.1	
50.4	49.0	47.9	46.9	45.9	44.9	44.0	43.0	42.1	41.2	40.3	39.4	
50.8	49.8	48.7	47.7	46.7	45.7	44.7	43.7	42.8	41.9	41.0	40.1	
51.0	50.2	49.1	48.1	47.0	46.0	45.0	44.1	43.1	42.2	41.3	40.4	
51.2	50.6	49.5	48.4	47.4	46.4	45.4	44.4	43.5	42.5	41.6	40.7	
51.4	51.0	49.9	48.8	47.8	46.8	45.8	44.8	43.8	42.9	42.0	41.1	
51.6	51.4	50.3	49.2	48.2	47.1	46.1	45.1	44.2	43.2	42.3	41.4	
51.8	51.8	50.7	49.6	48.6	47.5	46.5	45.5	44.5	43.6	42.6	41.7	
52.0	52.2	51.1	50.0	48.9	47.9	46.9	45.9	44.9	43.9	43.0	42.1	

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)											
	平均碳化深度值 d_m (mm)											
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
52.2	52.6	51.5	50.4	49.3	48.3	47.2	46.2	45.2	44.3	43.3	42.4	
52.4	53.1	51.9	50.8	49.7	48.7	47.6	46.6	45.6	44.6	43.7	42.7	
52.6	53.5	52.3	51.2	50.1	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.0	43.1	
52.8	53.9	52.7	51.6	50.5	49.4	48.4	47.3	46.3	45.3	44.4	43.4	
53.0	54.3	53.2	52.0	50.9	49.8	48.8	47.7	46.7	45.7	44.7	43.8	
53.2	54.7	53.6	52.4	51.3	50.2	49.1	48.1	47.1	46.0	45.1	44.1	
53.4	55.2	54.0	52.8	51.7	50.6	49.5	48.5	47.4	46.4	45.4	44.4	
53.6	55.6	54.4	53.2	52.1	51.0	49.9	48.8	47.8	46.8	45.8	44.8	
53.8	56.0	54.8	53.7	52.5	51.4	50.3	49.2	48.2	47.1	46.1	45.1	
54.0	56.5	55.2	54.1	52.9	51.8	50.7	49.6	48.5	47.5	46.5	45.5	
54.2	56.9	55.7	54.5	53.3	52.2	51.1	50.0	48.9	47.8	46.8	45.8	
54.4	57.3	56.1	54.9	53.7	52.6	51.4	50.3	49.3	48.2	47.2	46.2	
54.6	57.8	56.5	55.3	54.1	53.0	51.8	50.7	49.6	48.6	47.5	46.5	
54.8	58.2	56.9	55.7	54.5	53.4	52.2	51.1	50.0	48.9	47.9	46.9	
55.0	58.6	57.4	56.1	54.9	53.8	52.6	51.5	50.4	49.3	48.3	47.2	
55.2	59.1	57.8	56.6	55.4	54.2	53.0	51.9	50.8	49.7	48.6	47.6	
55.4	59.5	58.2	57.0	55.8	54.6	53.4	52.3	51.1	50.1	49.0	47.9	
55.6	60.0	58.7	57.4	56.2	55.0	53.8	52.7	51.5	50.4	49.3	48.3	
55.8		59.1	57.8	56.6	55.4	54.2	53.0	51.9	50.8	49.7	48.6	
56.0		59.5	58.3	57.0	55.8	54.6	53.4	52.3	51.2	50.1	49.0	
56.2		60.0	58.7	57.4	56.2	55.0	53.8	52.7	51.6	50.4	49.4	
56.4			59.1	57.9	56.6	55.4	54.2	53.1	51.9	50.8	49.7	
56.6			59.6	58.3	57.0	55.8	54.6	53.5	52.3	51.2	50.1	
56.8			60.0	58.7	57.5	56.2	55.0	53.8	52.7	51.6	50.5	
57.0				59.1	57.9	56.6	55.4	54.2	53.1	51.9	50.8	

续表 C

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
57.2				59.6	58.3	57.0	55.8	54.6	53.5	52.3	51.2
57.4				60.0	58.7	57.5	56.2	55.0	53.8	52.7	51.6
57.6					59.1	57.9	56.6	55.4	54.2	53.1	51.9
57.8					59.6	58.3	57.0	55.8	54.6	53.5	52.3
58.0					60.0	58.7	57.4	56.2	55.0	53.8	52.7
58.2						59.1	57.9	56.6	55.4	54.2	53.1
58.4						59.5	58.3	57.0	55.8	54.6	53.4
58.6						60.0	58.7	57.4	56.2	55.0	53.8
58.8							59.1	57.8	56.6	55.4	54.2
59.0							59.5	58.2	57.0	55.8	54.6
59.2							59.9	58.6	57.4	56.2	54.9
59.4							60.3	59.0	57.8	56.5	55.3
59.6								59.5	58.2	56.9	55.7
59.8								59.9	58.6	57.3	56.1
60.0								60.3	59.0	57.7	56.5
60.2									59.4	58.1	56.9
60.4									59.8	58.5	57.3
60.6									60.2	58.9	57.7
60.8										59.3	58.1
61.0										59.7	58.4
61.2										60.1	58.8
61.4											59.2
61.6											59.6
61.8											60.0

注：1 表中数据不得外延；

2 表中未列出数据可按内插法计算。

附录 D （10 ~ 60MPa）塑性混凝土 测区强度换算表

表 D 塑性混凝土测区强度换算表

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^e (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
24.2	10.0										
24.4	10.2	9.9									
24.6	10.3	10.1									
24.8	10.5	10.3	10.0								
25.0	10.7	10.4	10.2	9.9							
25.2	10.9	10.6	10.4	10.1	9.9						
25.4	11.1	10.8	10.5	10.3	10.0						
25.6	11.2	11.0	10.7	10.4	10.2	9.9					
25.8	11.4	11.1	10.9	10.6	10.3	10.1	9.8				
26.0	11.6	11.3	11.0	10.8	10.5	10.3	10.0				
26.2	11.8	11.5	11.2	11.0	10.7	10.4	10.2	9.9			
26.4	12.0	11.7	11.4	11.1	10.9	10.6	10.3	10.1	9.8		
26.6	12.2	11.9	11.6	11.3	11.0	10.8	10.5	10.2	10.0		
26.8	12.4	12.1	11.8	11.5	11.2	10.9	10.7	10.4	10.1	9.9	
27.0	12.6	12.3	12.0	11.7	11.4	11.1	10.8	10.6	10.3	10.0	
27.2	12.8	12.4	12.1	11.8	11.5	11.3	11.0	10.7	10.5	10.2	9.9
27.4	13.0	12.6	12.3	12.0	11.7	11.4	11.2	10.9	10.6	10.4	10.1
27.6	13.1	12.8	12.5	12.2	11.9	11.6	11.3	11.0	10.8	10.5	10.3
27.8	13.3	13.0	12.7	12.4	12.1	11.8	11.5	11.2	10.9	10.7	10.4

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
28.0	13.5	13.2	12.9	12.6	12.3	12.0	11.7	11.4	11.1	10.8	10.6
28.2	13.8	13.4	13.1	12.8	12.4	12.1	11.8	11.6	11.3	11.0	10.7
28.4	14.0	13.6	13.3	13.0	12.6	12.3	12.0	11.7	11.4	11.2	10.9
28.6	14.2	13.8	13.5	13.1	12.8	12.5	12.2	11.9	11.6	11.3	11.0
28.8	14.4	14.0	13.7	13.3	13.0	12.7	12.4	12.1	11.8	11.5	11.2
29.0	14.6	14.2	13.9	13.5	13.2	12.9	12.6	12.2	11.9	11.7	11.4
29.2	14.8	14.4	14.1	13.7	13.4	13.1	12.7	12.4	12.1	11.8	11.5
29.4	15.0	14.6	14.3	13.9	13.6	13.2	12.9	12.6	12.3	12.0	11.7
29.6	15.2	14.8	14.5	14.1	13.8	13.4	13.1	12.8	12.5	12.2	11.9
29.8	15.4	15.0	14.7	14.3	14.0	13.6	13.3	13.0	12.6	12.3	12.0
30.0	15.6	15.3	14.9	14.5	14.2	13.8	13.5	13.1	12.8	12.5	12.2
30.2	15.9	15.5	15.1	14.7	14.4	14.0	13.7	13.3	13.0	12.7	12.4
30.4	16.1	15.7	15.3	14.9	14.6	14.2	13.9	13.5	13.2	12.9	12.5
30.6	30.6	16.3	15.9	15.5	15.1	14.8	14.4	14.0	13.7	13.4	13.0
30.8	30.8	16.5	16.1	15.7	15.3	15.0	14.6	14.2	13.9	13.5	13.2
31.0	31.0	16.7	16.3	15.9	15.5	15.2	14.8	14.4	14.1	13.7	13.4
31.2	31.2	17.0	16.6	16.1	15.8	15.4	15.0	14.6	14.3	13.9	13.6
31.4	31.4	17.2	16.8	16.4	16.0	15.6	15.2	14.8	14.5	14.1	13.8
31.6	31.6	17.4	17.0	16.6	16.2	15.8	15.4	15.0	14.6	14.3	13.9
31.8	31.8	17.7	17.2	16.8	16.4	16.0	15.6	15.2	14.8	14.5	14.1
32.0	32.0	17.9	17.5	17.0	16.6	16.2	15.8	15.4	15.0	14.7	14.3
32.2	32.2	18.1	17.7	17.2	16.8	16.4	16.0	15.6	15.2	14.9	14.5
32.4	32.4	18.4	17.9	17.5	17.0	16.6	16.2	15.8	15.4	15.0	14.7
32.6	32.6	18.6	18.1	17.7	17.3	16.8	16.4	16.0	15.6	15.2	14.9
32.8	32.8	18.8	18.4	17.9	17.5	17.1	16.6	16.2	15.8	15.4	15.1

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
33.0	33.0	19.1	18.6	18.1	17.7	17.3	16.8	16.4	16.0	15.6	15.3
33.2	33.2	19.3	18.8	18.4	17.9	17.5	17.1	16.6	16.2	15.8	15.4
33.4	33.4	19.6	19.1	18.6	18.2	17.7	17.3	16.8	16.4	16.0	15.6
33.6	33.6	19.8	19.3	18.8	18.4	17.9	17.5	17.1	16.6	16.2	15.8
33.8	33.8	20.1	19.6	19.1	18.6	18.2	17.7	17.3	16.8	16.4	16.0
34.0	34.0	20.3	19.8	19.3	18.8	18.4	17.9	17.5	17.1	16.6	16.2
34.2	34.2	20.5	20.0	19.6	19.1	18.6	18.1	17.7	17.3	16.8	16.4
34.4	34.4	20.8	20.3	19.8	19.3	18.8	18.4	17.9	17.5	17.0	16.6
34.6	34.6	21.1	20.5	20.0	19.5	19.1	18.6	18.1	17.7	17.3	16.8
34.8	34.8	21.3	20.8	20.3	19.8	19.3	18.8	18.4	17.9	17.5	17.0
35.0	35.0	21.6	21.0	20.5	20.0	19.5	19.0	18.6	18.1	17.7	17.2
35.2	35.2	21.8	21.3	20.8	20.3	19.8	19.3	18.8	18.3	17.9	17.4
35.4	35.4	22.1	21.5	21.0	20.5	20.0	19.5	19.0	18.6	18.1	17.7
35.6	35.6	22.3	21.8	21.3	20.7	20.2	19.7	19.2	18.8	18.3	17.9
35.8	35.8	22.6	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	19.5	19.0	18.5	18.1
36.0	36.0	22.9	22.3	21.8	21.2	20.7	20.2	19.7	19.2	18.7	18.3
36.2	36.2	23.1	22.6	22.0	21.5	20.9	20.4	19.9	19.4	19.0	18.5
36.4	36.4	23.4	22.8	22.3	21.7	21.2	20.7	20.2	19.7	19.2	18.7
36.6	36.6	23.7	23.1	22.5	22.0	21.4	20.9	20.4	19.9	19.4	18.9
36.8	36.8	23.9	23.3	22.8	22.2	21.7	21.1	20.6	20.1	19.6	19.1
37.0	37.0	24.2	23.6	23.0	22.5	21.9	21.4	20.9	20.3	19.8	19.4
37.2	24.5	23.9	23.3	22.7	22.2	21.6	21.1	20.6	20.1	19.6	19.1
37.4	24.8	24.1	23.6	23.0	22.4	21.9	21.3	20.8	20.3	19.8	19.3
37.6	25.0	24.4	23.8	23.2	22.7	22.1	21.6	21.0	20.5	20.0	19.5
37.8	25.3	24.7	24.1	23.5	22.9	22.3	21.8	21.3	20.7	20.2	19.7

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
38.0	25.6	25.0	24.3	23.7	23.2	22.6	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0
38.2	25.9	25.2	24.6	24.0	23.4	22.8	22.3	21.7	21.2	20.7	20.2
38.4	26.2	25.5	24.9	24.3	23.7	23.1	22.5	22.0	21.4	20.9	20.4
38.6	26.4	25.8	25.2	24.5	23.9	23.3	22.8	22.2	21.7	21.1	20.6
38.8	26.7	26.1	25.4	24.8	24.2	23.6	23.0	22.5	21.9	21.4	20.8
39.0	27.0	26.3	25.7	25.1	24.5	23.9	23.3	22.7	22.1	21.6	21.1
39.2	27.3	26.6	26.0	25.3	24.7	24.1	23.5	22.9	22.4	21.8	21.3
39.4	27.6	26.9	26.3	25.6	25.0	24.4	23.8	23.2	22.6	22.1	21.5
39.6	27.9	27.2	26.5	25.9	25.2	24.6	24.0	23.4	22.9	22.3	21.7
39.8	28.2	27.5	26.8	26.2	25.5	24.9	24.3	23.7	23.1	22.5	22.0
40.0	28.5	27.8	27.1	26.4	25.8	25.1	24.5	23.9	23.3	22.8	22.2
40.2	28.8	28.1	27.4	26.7	26.0	25.4	24.8	24.2	23.6	23.0	22.4
40.4	29.1	28.4	27.7	27.0	26.3	25.7	25.0	24.4	23.8	23.2	22.7
40.6	29.4	28.6	27.9	27.3	26.6	25.9	25.3	24.7	24.1	23.5	22.9
40.8	29.7	28.9	28.2	27.5	26.9	26.2	25.6	24.9	24.3	23.7	23.1
41.0	30.0	29.2	28.5	27.8	27.1	26.5	25.8	25.2	24.6	24.0	23.4
41.2	30.3	29.5	28.8	28.1	27.4	26.7	26.1	25.4	24.8	24.2	23.6
41.4	30.6	29.8	29.1	28.4	27.7	27.0	26.3	25.7	25.1	24.5	23.9
41.6	30.9	30.1	29.4	28.7	28.0	27.3	26.6	26.0	25.3	24.7	24.1
41.8	31.2	30.4	29.7	29.0	28.2	27.6	26.9	26.2	25.6	24.9	24.3
42.0	31.5	30.7	30.0	29.3	28.5	27.8	27.1	26.5	25.8	25.2	24.6
42.2	31.8	31.0	30.3	29.5	28.8	28.1	27.4	26.7	26.1	25.4	24.8
42.4	32.1	31.4	30.6	29.8	29.1	28.4	27.7	27.0	26.3	25.7	25.1
42.6	32.5	31.7	30.9	30.1	29.4	28.7	28.0	27.3	26.6	26.0	25.3
42.8	32.8	32.0	31.2	30.4	29.7	28.9	28.2	27.5	26.9	26.2	25.6

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
43.0	33.1	32.3	31.5	30.7	30.0	29.2	28.5	27.8	27.1	26.5	25.8
43.2	33.4	32.6	31.8	31.0	30.3	29.5	28.8	28.1	27.4	26.7	26.1
43.4	33.7	32.9	32.1	31.3	30.5	29.8	29.1	28.4	27.7	27.0	26.3
43.6	34.1	33.2	32.4	31.6	30.8	30.1	29.3	28.6	27.9	27.2	26.6
43.8	34.4	33.5	32.7	31.9	31.1	30.4	29.6	28.9	28.2	27.5	26.8
44.0	34.7	33.9	33.0	32.2	31.4	30.7	29.9	29.2	28.5	27.8	27.1
44.2	35.1	34.2	33.3	32.5	31.7	31.0	30.2	29.5	28.7	28.0	27.3
44.4	35.4	34.5	33.7	32.8	32.0	31.2	30.5	29.7	29.0	28.3	27.6
44.6	35.7	34.8	34.0	33.1	32.3	31.5	30.8	30.0	29.3	28.6	27.9
44.8	36.0	35.2	34.3	33.5	32.6	31.8	31.1	30.3	29.5	28.8	28.1
45.0	36.4	35.5	34.6	33.8	32.9	32.1	31.3	30.6	29.8	29.1	28.4
45.2	36.7	35.8	34.9	34.1	33.2	32.4	31.6	30.9	30.1	29.4	28.6
45.4	37.1	36.2	35.3	34.4	33.6	32.7	31.9	31.1	30.4	29.6	28.9
45.6	37.4	36.5	35.6	34.7	33.9	33.0	32.2	31.4	30.7	29.9	29.2
45.8	37.7	36.8	35.9	35.0	34.2	33.3	32.5	31.7	30.9	30.2	29.4
46.0	38.1	37.2	36.2	35.3	34.5	33.6	32.8	32.0	31.2	30.5	29.7
46.2	38.4	37.5	36.6	35.7	34.8	33.9	33.1	32.3	31.5	30.7	30.0
46.4	38.8	37.8	36.9	36.0	35.1	34.2	33.4	32.6	31.8	31.0	30.2
46.6	39.1	38.2	37.2	36.3	35.4	34.6	33.7	32.9	32.1	31.3	30.5
46.8	39.5	38.5	37.6	36.6	35.7	34.9	34.0	33.2	32.4	31.6	30.8
47.0	39.8	38.9	37.9	37.0	36.1	35.2	34.3	33.5	32.6	31.8	31.1
47.2	40.2	39.2	38.2	37.3	36.4	35.5	34.6	33.8	32.9	32.1	31.3
47.4	40.5	39.5	38.6	37.6	36.7	35.8	34.9	34.1	33.2	32.4	31.6
47.6	40.9	39.9	38.9	38.0	37.0	36.1	35.2	34.4	33.5	32.7	31.9
47.8	41.3	40.2	39.3	38.3	37.4	36.4	35.5	34.7	33.8	33.0	32.2

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
48.0	41.6	40.6	39.6	38.6	37.7	36.8	35.8	35.0	34.1	33.3	32.5
48.2	42.0	40.9	39.9	39.0	38.0	37.1	36.2	35.3	34.4	33.6	32.7
48.4	42.3	41.3	40.3	39.3	38.3	37.4	36.5	35.6	34.7	33.9	33.0
48.6	42.7	41.7	40.6	39.6	38.7	37.7	36.8	35.9	35.0	34.1	33.3
48.8	43.1	42.0	41.0	40.0	39.0	38.0	37.1	36.2	35.3	34.4	33.6
49.0	43.4	42.4	41.3	40.3	39.3	38.4	37.4	36.5	35.6	34.7	33.9
49.2	43.8	42.7	41.7	40.7	39.7	38.7	37.7	36.8	35.9	35.0	34.2
49.4	44.2	43.1	42.0	41.0	40.0	39.0	38.1	37.1	36.2	35.3	34.5
49.6	44.6	43.5	42.4	41.4	40.3	39.3	38.4	37.4	36.5	35.6	34.7
49.8	44.9	43.8	42.8	41.7	40.7	39.7	38.7	37.8	36.8	35.9	35.0
50.0	45.3	44.2	43.1	42.1	41.0	40.0	39.0	38.1	37.1	36.2	35.3
50.2	45.7	44.6	43.5	42.4	41.4	40.3	39.4	38.4	37.4	36.5	35.6
50.4	46.1	44.9	43.8	42.8	41.7	40.7	39.7	38.7	37.8	36.8	35.9
50.6	46.4	45.3	44.2	43.1	42.1	41.0	40.0	39.0	38.1	37.1	36.2
50.8	46.8	45.7	44.6	43.5	42.4	41.4	40.3	39.3	38.4	37.4	36.5
51.0	47.2	46.1	44.9	43.8	42.7	41.7	40.7	39.7	38.7	37.7	36.8
51.2	47.6	46.4	45.3	44.2	43.1	42.0	41.0	40.0	39.0	38.1	37.1
51.4	48.0	46.8	45.7	44.5	43.4	42.4	41.3	40.3	39.3	38.4	37.4
51.6	48.4	47.2	46.0	44.9	43.8	42.7	41.7	40.7	39.7	38.7	37.7
51.8	48.8	47.6	46.4	45.3	44.2	43.1	42.0	41.0	40.0	39.0	38.0
52.0	49.2	48.0	46.8	45.6	44.5	43.4	42.3	41.3	40.3	39.3	38.3
52.2	49.6	48.3	47.2	46.0	44.9	43.8	42.7	41.6	40.6	39.6	38.6
52.4	50.0	48.7	47.5	46.4	45.2	44.1	43.0	42.0	40.9	39.9	39.0
52.6	50.4	49.1	47.9	46.7	45.6	44.5	43.4	42.3	41.3	40.3	39.3
52.8	50.8	49.5	48.3	47.1	45.9	44.8	43.7	42.6	41.6	40.6	39.6

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
53.0	51.2	49.9	48.7	47.5	46.3	45.2	44.1	43.0	41.9	40.9	39.9
53.2	51.6	50.3	49.1	47.8	46.7	45.5	44.4	43.3	42.3	41.2	40.2
53.4	52.0	50.7	49.4	48.2	47.0	45.9	44.8	43.7	42.6	41.5	40.5
53.6	52.4	51.1	49.8	48.6	47.4	46.2	45.1	44.0	42.9	41.9	40.8
53.8	52.8	51.5	50.2	49.0	47.8	46.6	45.5	44.3	43.3	42.2	41.2
54.0	53.2	51.9	50.6	49.4	48.1	47.0	45.8	44.7	43.6	42.5	41.5
54.2	53.6	52.3	51.0	49.7	48.5	47.3	46.2	45.0	43.9	42.8	41.8
54.4	54.0	52.7	51.4	50.1	48.9	47.7	46.5	45.4	44.3	43.2	42.1
54.6	54.4	53.1	51.8	50.5	49.3	48.1	46.9	45.7	44.6	43.5	42.4
54.8	54.8	53.5	52.2	50.9	49.6	48.4	47.2	46.1	44.9	43.8	42.8
55.0	55.3	53.9	52.6	51.3	50.0	48.8	47.6	46.4	45.3	44.2	43.1
55.2	55.7	54.3	53.0	51.7	50.4	49.2	48.0	46.8	45.6	44.5	43.4
55.4	56.1	54.7	53.4	52.1	50.8	49.5	48.3	47.1	46.0	44.8	43.7
55.6	56.5	55.1	53.8	52.5	51.2	49.9	48.7	47.5	46.3	45.2	44.1
55.8	56.9	55.5	54.2	52.8	51.5	50.3	49.0	47.8	46.7	45.5	44.4
56.0	57.4	56.0	54.6	53.2	51.9	50.7	49.4	48.2	47.0	45.9	44.7
56.2	57.8	56.4	55.0	53.6	52.3	51.0	49.8	48.6	47.4	46.2	45.1
56.4	58.2	56.8	55.4	54.0	52.7	51.4	50.2	48.9	47.7	46.5	45.4
56.6	58.7	57.2	55.8	54.4	53.1	51.8	50.5	49.3	48.1	46.9	45.7
56.8	59.1	57.6	56.2	54.8	53.5	52.2	50.9	49.6	48.4	47.2	46.1
57.0	59.5	58.1	56.6	55.2	53.9	52.6	51.3	50.0	48.8	47.6	46.4
57.2	60.0	58.5	57.0	55.6	54.3	52.9	51.6	50.4	49.1	47.9	46.8
57.4		58.9	57.5	56.1	54.7	53.3	52.0	50.7	49.5	48.3	47.1
57.6		59.3	57.9	56.5	55.1	53.7	52.4	51.1	49.9	48.6	47.4
57.8		59.8	58.3	56.9	55.5	54.1	52.8	51.5	50.2	49.0	47.8

续表 D

测区平均 Q 值 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)										
	平均碳化深度值 d_m (mm)										
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
58.0		60.2	58.7	57.3	55.9	54.5	53.2	51.9	50.6	49.3	48.1
58.2			59.1	57.7	56.3	54.9	53.5	52.2	50.9	49.7	48.5
58.4			59.6	58.1	56.7	55.3	53.9	52.6	51.3	50.0	48.8
58.6			60.0	58.5	57.1	55.7	54.3	53.0	51.7	50.4	49.2
58.8				58.9	57.5	56.1	54.7	53.4	52.0	50.8	49.5
59.0				59.4	57.9	56.5	55.1	53.7	52.4	51.1	49.9
59.2				59.8	58.3	56.9	55.5	54.1	52.8	51.5	50.2
59.4				60.2	58.7	57.3	55.9	54.5	53.2	51.9	50.6
59.6					59.1	57.7	56.3	54.9	53.5	52.2	50.9
59.8					59.5	58.1	56.7	55.3	53.9	52.6	51.3
60.0					60.0	58.5	57.0	55.6	54.3	52.9	51.6
60.2						58.9	57.4	56.0	54.7	53.3	52.0
60.4						59.3	57.8	56.4	55.0	53.7	52.4
60.6						59.7	58.2	56.8	55.4	54.1	52.7
60.8						60.1	58.6	57.2	55.8	54.4	53.1
61.0							59.0	57.6	56.2	54.8	53.5
61.2							59.4	58.0	56.6	55.2	53.8
61.4							59.9	58.4	56.9	55.6	54.2
61.6							60.3	58.8	57.3	55.9	54.6
61.8								59.2	57.7	56.3	54.9
62.0								59.6	58.1	56.7	55.3
62.2								60.0	58.5	57.1	55.7
62.4									58.9	57.5	56.0
62.6									59.3	57.8	56.4
62.8									59.7	58.2	56.8

续表 D

测区平均 Q_m	测区混凝土强度换算值 f_{cu}^c (MPa)											
	平均碳化深度值 d_m (mm)											
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
63.0									60.1	58.6	57.2	
63.2										59.0	57.5	
63.4										59.4	57.9	
63.6										59.8	58.3	
63.8										60.2	58.7	
64.0											59.1	
64.2											59.5	
64.4											59.8	
64.6											60.2	

注：1 表中数据不得外延；

2 表中未列出数据可按内插法计算。

附录 E 异常数据判断与处理

E.1 异常数据判断

E.1.1 依据现行国家标准《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》GB/T 4883, 可采用格拉布斯准则进行异常值判断, 将测点混凝土强度换算值按从小到大顺序排列 $f_{cu,1}$ 、 $f_{cu,2}$ 、 $\dots$ 、 $f_{cu,n}$, 格拉布斯检验统计量按下列公式计算:

$$G_n = (f_{cu,n} - m_{f_{cu}}) / s_{f_{cu}} \quad (\text{E. 1. 1-1})$$

$$G'_n = (m_{f_{cu}} - f_{cu,1}) / s_{f_{cu}} \quad (\text{E. 1. 1-2})$$

式中: G_n 、 G'_n ——格拉布斯检验统计量;

$f_{cu,1}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值的最小值;

$f_{cu,n}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值的最大值;

$G_{0.975}$ 、 $G_{0.995}$ ——格拉布斯检验临界值, 按检测批测点数量由本规程附录 F 查得。

E.1.2 取检出水平 α 为 5%、剔除水平 α^* 为 1%, 按双侧情形检验, 检出水平 α 对应临界值为 $G_{0.975}$, 剔除水平 α^* 对应临界值为 $G_{0.995}$ 。

E.1.3 若 $G_n > G'_n$, 且 $G_n > G_{0.975}$, 则判断 $f_{cu,n}$ 为离群值, 否则, 判断没有离群值。

E.1.4 对检出的离群值 $f_{cu,n}$, 若 $G_n > G_{0.995}$, 则判断 $f_{cu,n}$ 为统计离群值, 可考虑剔除, 否则, 判断未发现统计离群值, $f_{cu,n}$ 为歧离值。

E.1.5 若 $G'_n > G_n$, 且 $G'_n > G_{0.975}$, 则判断 $f_{cu,1}$ 为离群值, 否则, 判断没有离群值。

E.1.6 对检出的离群值 $f_{cu,1}$, 若 $G'_n > G_{0.995}$, 则判断 $f_{cu,1}$ 为统计离群值, 可考虑剔除, 否则, 判断未发现统计离群值, $f_{cu,1}$ 为歧离值。

E. 2 异常数据处理

E. 2.1 若检出了一个离群值，应用相同的检出水平和相同的规则继续检验，直到不能检出离群值为止。对除去已检出离群值后余下的数值，应按本规程第 6.0.1 条重新计算强度换算值的平均值、标准差和变异系数。检出的离群值总数不宜超过样本量的 5%，若检出的离群值总数超过了这个上限，对此样本应做慎重的研究和处理。

E. 2.2 检出歧离值后，不得随意舍去歧离值，应尽可能寻找其技术或物理上的原因，若在技术或物理上找到了原因，则应剔除或修正；若未找到技术或物理上的原因，则不得剔除或进行修正。

E. 2.3 为保证结构安全，建议按下列方法处理：

- 1 高端歧离值可从样本中直接剔除；
- 2 低端歧离值在有充分理由说明其异常原因时，可以剔除；
- 3 当无充分理由说明其异常原因时，在低端歧离值邻近位置重新取样复测，根据复测结果，判断是否剔除；
- 4 保留歧离值，补充检测，增加样本数后重新检验异常值；
- 5 保留歧离值，重新划分检测批后重新检测；
- 6 歧离值剔除应由主检签字认可，并应记录剔除的理由和必要的说明。

附录 F 格拉布斯检验临界值表

表 F 格拉布斯检验临界值表

测区 数量	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$	测区 数量	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$	测区 数量	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$
5	1.715	1.764	26	2.841	3.157	47	3.103	3.455
6	1.887	1.973	27	2.859	3.178	48	3.111	3.464
7	2.020	2.139	28	2.876	3.199	49	3.120	3.474
8	2.126	2.274	29	2.893	3.218	50	3.128	3.483
9	2.215	2.387	30	2.908	3.236	51	3.136	3.491
10	2.290	2.482	31	2.924	3.253	52	3.143	3.500
11	2.355	2.564	32	2.938	3.270	53	3.151	3.507
12	2.412	2.636	33	2.952	3.286	54	3.158	3.516
13	2.462	2.699	34	2.965	3.301	55	3.166	3.524
14	2.507	2.755	35	2.979	3.316	56	3.172	3.531
15	2.549	2.806	36	2.991	3.330	57	3.180	3.539
16	2.585	2.852	37	3.003	3.343	58	3.186	3.546
17	2.620	2.894	38	3.014	3.356	59	3.193	3.553
18	2.651	2.932	39	3.025	3.369	60	3.199	3.560
19	2.681	2.968	40	3.036	3.381	61	3.205	3.566
20	2.709	3.001	41	3.046	3.393	62	3.212	3.573
21	2.733	3.031	42	3.057	3.404	63	3.218	3.579
22	2.758	3.060	43	3.067	3.415	64	3.224	3.586
23	2.781	3.087	44	3.075	3.425	65	3.230	3.592
24	2.802	3.112	45	3.085	3.435	66	3.235	3.598
25	2.822	3.135	46	3.094	3.445	67	3.241	3.605

续表 F

测区 数量	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$	测区 数量	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$	测区 数量	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$
68	3.246	3.610	79	3.301	3.669	90	3.347	3.716
69	3.252	3.617	80	3.305	3.673	91	3.350	3.720
70	3.257	3.622	81	3.309	3.677	92	3.355	3.725
71	3.262	3.627	82	3.315	3.682	93	3.358	3.728
72	3.267	3.633	83	3.319	3.687	94	3.362	3.732
73	3.272	3.638	84	3.323	3.691	95	3.365	3.736
74	3.278	3.643	85	3.327	3.695	96	3.369	3.739
75	3.282	3.648	86	3.331	3.699	97	3.372	3.744
76	3.287	3.654	87	3.335	3.704	98	3.377	3.747
77	3.291	3.658	88	3.339	3.708	99	3.380	3.750
78	3.297	3.663	89	3.343	3.712	100	3.383	3.754

注：当测区数量大于 100 时，可按测区数量为 100 取值。

附录 G 检验批样本容量与推定区间 上、下限系数

表 G 检验批样本容量与推定区间上、下限系数

样本 容量 n	0.05 分位值		样本 容量 n	0.05 分位值	
	$k_{0.05,u}$ (0.05)	$k_{0.05,l}$ (0.05)		$k_{0.05,u}$ (0.05)	$k_{0.05,l}$ (0.05)
5	0.818	4.203	24	1.210	2.309
6	0.875	3.708	25	1.217	2.292
7	0.920	3.399	26	1.225	2.275
8	0.958	3.187	27	1.231	2.260
9	0.990	3.031	28	1.238	2.246
10	1.017	2.911	29	1.244	2.232
11	1.041	2.815	30	1.250	2.220
12	1.062	2.736	31	1.255	2.208
13	1.081	2.671	32	1.261	2.197
14	1.098	2.614	33	1.266	2.186
15	1.114	2.566	34	1.271	2.176
16	1.128	2.524	35	1.276	2.167
17	1.141	2.486	36	1.280	2.158
18	1.153	2.453	37	1.284	2.149
19	1.164	2.423	38	1.289	2.141
20	1.175	2.396	39	1.293	2.133
21	1.184	2.371	40	1.297	2.125
22	1.193	2.349	41	1.300	2.118
23	1.202	2.328	42	1.304	2.111

续表 G

样本 容量 n	0.05 分位值		样本 容量 n	0.05 分位值	
	$k_{0.05,u}$ (0.05)	$k_{0.05,l}$ (0.05)		$k_{0.05,u}$ (0.05)	$k_{0.05,l}$ (0.05)
43	1.308	2.105	100	1.414	1.927
44	1.311	2.098	110	1.424	1.912
45	1.314	2.092	120	1.433	1.899
46	1.317	2.086	130	1.441	1.888
47	1.321	2.081	140	1.448	1.879
48	1.324	2.075	150	1.454	1.870
49	1.327	2.070	160	1.459	1.862
50	1.329	2.065	170	1.465	1.855
60	1.354	2.022	180	1.469	1.849
70	1.374	1.990	190	1.474	1.843
80	1.390	1.964	200	1.478	1.837
90	1.403	1.944			

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

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，在条件许可时首先应这样做的用词：

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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 2 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 3 《计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划》 GB/T 2828.1
- 4 《钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程》 DB37/T 2368
- 5 《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》 GB/T 4883
- 6 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 7 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 8 《正态分布完全样本可靠度置信下限》 GB/T 4885

山东省工程建设标准

动能回弹法检测混凝土抗压
强度技术规程

DB37/T 5170—2020

条 文 说 明

编制说明

《动能回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》DB37/T 5170—2020 经山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局 2020 年 10 月 15 日以第 21 号公告批准、发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国工程建设和实践经验，同时参考国内相关技术标准，各参加单位进行了验证研究，为本规程编制提供了极有价值的资料。

为了便于广大设计、施工、检测、加固等单位有关人员在使用标准时正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1 总则	50
3 Q 值回弹仪	51
3.1 技术要求	51
3.2 校准	53
3.3 率定	53
3.4 操作	53
3.5 保养	54
4 检测技术	55
4.1 一般规定	55
4.2 Q 值测量与计算	56
4.3 碳化深度值测量与计算	57
4.4 钻芯修正	58
5 测强曲线	59
6 检测数据分析处理	61
7 混凝土强度推定	62

1 总 则

1.0.1 统一山东地区使用 Q 值回弹仪回弹法检测混凝土抗压强度的方法，推广使用山东地区 Q 值回弹仪回弹法检测混凝土强度地区曲线，保证检测精度，提高山东地区建筑工程质量检测技术水平，是制定本规程的目的。

1.0.2 本规程依据山东地区 Q 值回弹仪回弹法检测混凝土强度曲线编制，仅适用于山东地区范围内的工业与民用建筑和一般构筑物的普通混凝土抗压强度的检测。本条所指混凝土是主要由水泥、砂、石、外加剂、掺合料和水配制的密度为 $2000\text{kg/m}^3 \sim 2800\text{kg/m}^3$ 的混凝土。

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质量验收规范》GB 50204 和《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 执行，不允许采用本规程去取代国家标准制作试块的要求。

但是，当对结构或构件混凝土强度产生怀疑或试块与结构中混凝土质量明显不一致时，可按本规程进行检测，推定混凝土强度，并可作为处理混凝土质量问题的一个主要依据。

本规程中引进了抽样检验和概率统计的概念，推定的混凝土强度具有 95% 的保证率。

1.0.3 现场检测人员应遵守现场安全和劳动保护的规定。

3 Q 值回弹仪

3.1 技术要求

3.1.1 本规程所用 Q 值回弹仪与普通回弹仪（通称为 R 值回弹仪）检测参数完全不同，2007 年 PROCEQ 公司采用先进的光电、计算机集成技术，把传统 R 值回弹仪的优点和当今电子技术结合起来，创造推出了便携一体式数显 Q 值理念的 SilverSchmidt 回弹仪（以下简称 Q 值回弹仪）。Q 值回弹仪推广应用成为新的发展趋势。

Q 值回弹仪的工作原理：它测量的不是弹击锤的回弹距离，而是弹击锤的回弹速度，在每次冲击之前和冲击之后的瞬间，通过安装在回弹仪上的光电子器件信号采集系统，测量出回弹仪弹击和回弹的速度，进行数字转换和数据的处理计算 Q 值。

回弹法的基本原理是混凝土表面受到冲击时，混凝土表层变形损耗能量，当原始冲击能量恒定时，混凝土表层变形损耗的能量越多，冲击后剩余的能量就越少。而原始冲击能量恒定时，混凝土表层变形大小与混凝土强度密切相关。

两种回弹仪都是比较重锤冲击混凝土表面后能量的变化，能量的表达方法不唯一，所以，测量的量可以不同。

R 值回弹仪的回弹值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，R 值回弹仪测量的是回弹距离与冲击距离的比，见公式（1）。

Q 值回弹仪测量的是回弹速度与冲击速度的比，见公式（2）：

$$R = 100 \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{reflected}}}{E_{\text{forward}}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1/2 \cdot D x_R^2}{1/2 \cdot D x_0^2}} = 100 \cdot \frac{x_R}{x_0} \quad (1)$$

$$Q = 100 \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{reflected}}}{E_{\text{forward}}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1/2 \cdot m v_R^2}{1/2 \cdot m v_0^2}} = 100 \cdot \frac{v_R}{v_0} \quad (2)$$

式中：R、Q——回弹值；

D——弹击拉簧的刚度；

m——弹击锤质量；

E_{forward} ——冲击前能量；

$E_{\text{reflected}}$ ——回弹后能量；

x_0 ——冲击前的弹簧拉伸长度；

x_R ——冲击后的回弹长度；

v_0 ——冲击前的瞬间速度；

v_R ——冲击后的回弹速度。

测量回弹距离要考虑弹击锤回弹运动的全过程，影响 R 值回弹仪有两个物理因素：一个是回弹锤的重力，另一个是中心导杆的摩擦力以及指针滑块在指针轴上反复运动使其摩擦力发生变化，尤其在现场检测混凝土强度时，由于粉尘、油污的影响，中心导杆以及指针滑块的摩擦力会发生很大的变化，因此摩擦力的变化对回弹值影响较大。

测量回弹速度仅考虑弹击锤冲击之后瞬间的运动，没有指针轴和指针滑块，不受中心导杆摩擦力等的影响。

理论分析，与 R 值回弹仪比较，Q 值回弹仪具有下列优势：

1 回弹值的物理意义是弹击杆弹击混凝土前后瞬间的弹击能量的比值，与弹击杆弹击后重锤的位移变化无关，与冲击方向无关，任意角度弹击都不受重力影响，所以无须进行弹击角度的修正。

2 Q 值回弹仪在构造上去掉了指针轴和指针滑块，因为没有指针轴和指针滑块，所以没有与此相关的摩擦力影响，同时，采用双层密封防止灰尘和污垢，提高了仪器测量的准确性和重复性。

回弹仪为计量仪器，要求在回弹仪的明显位置上需要标明名称、型号、制造厂名、生产编号、生产日期等。

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

3.1.3 回弹仪质量及技术性能直接影响回弹法检测的准确性,回弹仪的标准状态是统一仪器性能的基础,只有采用质量统一、性能一致的回弹仪,才能保证检测结果稳定、准确、可靠,所以必须首先统一回弹仪标准状态和各项技术指标,保证检测时回弹仪处于标准状态。

3.2 校 准

3.2.1 测力系统准确可靠是检测结果准确可靠的基础,回弹仪应按要求定期校准,校准合格方可使用。

校准 Q 值回弹仪的单位应是由主管部门授权的法定计量检定机构。

因《回弹仪检定规程》JJG 817—2011 颁布较早,未包含 Q 值回弹仪技术性能指标,所以,要求 Q 值回弹仪检定或校准时依据 Q 值回弹仪技术性能指标。

3.2.2 钢砧用于回弹仪日常率定,使用较频繁,钢砧的钢芯硬度和表面状态会随着弹击次数的增加而变化,故规定钢砧应每两年校准一次。

3.3 率 定

3.3.1 回弹仪在钢砧上进行率定试验,可检查回弹仪是否处于标准状态,因此,在回弹仪使用前或对回弹值有怀疑时,进行率定试验帮助发现异常。

3.3.2 本条说明回弹仪率定试验方法和率定合格要求。

3.3.3 本条提出率定不合格的处理方法。

3.4 操 作

3.4.1 本条详细说明回弹仪操作方法,需要注意以下两点:

1 回弹仪弹击杆要始终垂直于被检测混凝土面;

2 回弹仪储存要防潮，运输中要防摔防碰。

3.5 保 养

3.5.1 考虑现场粉尘、摩擦及重力对 Q 值回弹仪检测结果影响较小，根据工作经验要求使用超过两天必须进行一次保养。

3.5.2 本条给出了回弹仪日常保养的方法，进行日常保养时，取出机芯后，应仔细清洁各零部件，中心导杆上薄涂润滑油不易太多，否则可能浸污其他部位。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 现场工程检测之前，应进行必要的资料准备，尽可能地全面了解有关原始记录和资料，为正确选择检测方案、测强曲线和推定混凝土强度提供可靠信息。

4.1.2 规定了结构或构件混凝土强度检测的两种方式。明确单个构件检测与按批抽样检测的适用范围。单个构件检测结果只能代表单个构件的混凝土强度，不能以单个构件检测结果代表其他构件的混凝土强度。

4.1.3 某些大型结构如烟囱、水塔等虽是单个结构，但按单个构件确定测区数量显然不合适，此时，可将大型结构按施工顺序划分为若干个检测区域，每个检测区域作为一个独立构件，根据检测区域数量，可选择单个构件检测，也可选择按批抽样检测。

4.1.4 回弹法检测具有快速、简便、完全无损等优点，所以，可以对结构混凝土进行全面的检测，具备按批抽样检测的条件，依据现行国家标准《计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划》GB/T 2828.1 和《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 相关规定，检测过程中，以构件总数作为检测批的容量，随机抽测构件最小数量应满足表 4.1.3 中的要求；也可在大型构件上布置若干个检测区域，以检测区域总数作为检测批的容量。

对于施工资料完善，混凝土立方体试块检测结果合格，或混凝土立方体试块检测结果缺失的情况下，可以按照正常检验执行。

对于施工资料不完善，或混凝土立方体试块检测结果不合格，或者已经发现混凝土质量问题的情况下，应按加严检验

执行。

对于施工资料完善，混凝土立方体试块检测结果合格，已获得资料证明混凝土强度符合质量要求的情况下，可按放宽检验执行。

按照此原则，工程结构混凝土强度检测抽测构件最小数量，正常检验对应检测类别 B，加严检验对应检测类别 C，放宽检验对应检测类别 A。

4.1.5 某些挑梁、空调板等尺寸较小，无法布置 10 个测区，另外，当受检测构件数量较多且混凝土质量较均匀时，还按每个构件 10 个测区，检测工作量太大，规定可以适当减少测区数量，但不得少于 5 个测区。

检测构件布置测区时，相邻两测区的间距及测区离构件端部或施工缝的距离应遵守本条规定。布置测区时，宜选在构件两个对称可测面上。当无对称可测面时，也可在一个检测面上布置测区。

当检测面有装饰层、浮浆、油垢时，可能引起检测误差。测点应避免接缝、蜂窝、麻面部位和混凝土表层的钢筋、预埋件，使检测结果更有代表性、更准确。

检测过程中，发现结构混凝土存在严重的蜂窝、麻面现象，可能影响结构安全时，检测人员有义务提出混凝土缺陷检测建议，或直接向监督部门反映。

对于薄壁小型构件，如果约束力不够，回弹时产生颤动，会造成回弹能量损失，使检测结果偏低。因此必须加以可靠支撑，使之有足够的约束力时方可检测。

4.1.6 在记录纸上描述测区在构件上的位置和外观质量（如有无裂缝、空洞等），目的是以备推定和分析处理构件混凝土强度时参考。

4.2 Q 值测量与计算

4.2.1 检测时，应注意回弹仪的轴线应始终垂直于混凝土检测

面，并且缓慢施压不能冲击，否则 Q 值读数不准确。

4.2.2 本条规定每一测区记取 16 点 Q 值，不包含弹击在气孔或石子上，明显异常值直接不记录，同一测点只允许弹击一次，不得重复弹击同一点及附近。

4.2.3 混凝土浇筑表面有浮浆，底面石子含量略高，为消除这些影响，对浇筑表面和底面检测的 Q 值进行修正。

4.3 碳化深度值测量与计算

4.3.1 同一结构或构件的各个测区所处条件基本一致，各测区的碳化深度值差异不大，加之测量碳化深度增加现场作业，因此，本规程规定仅选取不少于构件 30% 的测区数，在有代表性的位置上测量碳化深度值，如此既满足了一定的精度，又减少了现场作业。当出现测区间碳化深度值极差大于 2.0mm 情况时，可能预示该结构或构件混凝土强度不均匀，因此要求测量每一测区的碳化深度值。

4.3.2 因混凝土表层若非常干燥时，将无 OH^- 离子析出，以纯酒精配制酚酞溶液会出现未碳化混凝土延迟变色的现象，所以在此给出推荐配比。

4.3.3 由于现在所用水泥掺合料品种繁多，有些水泥水化后不能立即呈现碳化与未碳化的界线，需等待一段时间方显现。因此本条规定量测碳化深度时，需待碳化与未碳化界线清楚时再进行量测。碳化深度值的测量精确与否，直接影响到回弹法检测精度，因此在测量碳化深度值时应测量垂直距离，并非孔洞壁显现的非垂直距离。使用碳化深度测量仪可提高测量精度，也可使用深度卡尺测量。

4.3.4 构件每一测区的碳化深度值取各测点碳化深度值的平均值。试验和计算分析表明， Q 值虽随碳化深度的增大而增加，但当碳化深度超过 10mm 以后，即使碳化深度继续增大，它对 Q 值的影响已趋于平稳，此时 Q 值不再随碳化深度值的增大而有明显的增加。因此规定，当混凝土的碳化深度大于 10mm 时，则按

10mm 计算。

4.4 钻芯修正

4.4.1 当对无损检测结果有怀疑时，应钻取芯样进行修正。回弹法与钻芯法综合使用既避免了大量钻取芯样有损于混凝土结构，又提高了回弹法检测的精度，充分发挥了各自的特长。

4.4.2 山东省地方标准《钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程》DB37/T 2368 对钻芯法检测混凝土强度有详细规定，使用钻芯法进行修正也必须严格执行此标准有关要求。

5 测强曲线

5.0.1 Q 值回弹法测强曲线是以试验为基础的, 2015 年 6 月, 山东省建筑科学研究院制定详细试验研究方案, 混凝土强度现场检测制作 6 个龄期 C10 ~ C80 各等级标准混凝土立方体试块, 同条件制作 24 个 1600mm × 800mm × 250mm 现场检测试件, 包括塑性混凝土、泵送混凝土、高强混凝土、装配结构混凝土, 实际混凝土拌合物坍落度 40mm ~ 230mm, 混凝土立方体抗压强度 9.6MPa ~ 97.8MPa。总结分析试验数据, 最后确定山东省 Q 值回弹仪回弹法测强曲线。

山东省 Q 值回弹仪测强曲线的使用要注意以下要求:

1 山东地区建筑工程中采用的混凝土粗骨料一般为最大粒径小于或等于 40mm 的碎石, 很少使用大于 40mm 的粗骨料, 制定曲线时采用的粗骨料为最大粒径小于或等于 40mm 的碎石, 因此规定碎石最大料粒不超过 40mm。

2 由于制定曲线时, 10MPa 以下的混凝土试样较少, 本曲线不适用于 10MPa 以下的混凝土强度检测; 在现有技术条件下, 规定可检测混凝土最高强度为 60MPa。

3 混凝土的普通成型工艺是指一般普通机械搅拌振动成型或泵送施工成型, 不包括离心法、真空法、压浆法及喷射法等特殊工艺。

5.0.2 回弹法检测实质上是根据混凝土表面硬度与混凝土强度之间的函数关系推定混凝土强度, 当混凝土内外质量不一致时, 不应采用本规程。如混凝土构件中存在施工浇筑振捣不良或其他原因形成的离析、空洞或裂缝等缺陷时, 应避开缺陷进行混凝土强度检测, 同时, 应在报告中注明回弹检测部位, 并说明混凝土中缺陷的存在。

对于经化学腐蚀、火灾和冻伤的混凝土，也不符合混凝土质量内外基本一致的前提，不能按本规程检测其强度。

5.0.3 当现场结构或构件混凝土状况与本规程测强曲线的适用条件不一致时，不能直接用本规程测强曲线来推定其混凝土强度，若一定要使用 Q 值回弹仪回弹法检测，则必须另外制定相同条件的基准曲线，才能满足检测精度的要求，否则误差太大。

5.0.4、5.0.5 泵送混凝土与塑性混凝土对比试验分析证明：泵送混凝土回弹值明显低于同强度塑性混凝土回弹值，强度越高差异越大。分析认为，泵送混凝土回弹值偏低是使用了泵送剂、掺合料等，同时，胶凝材料比例增加，砂率增加，石子粒径偏小都是泵送混凝土回弹值偏低的原因。为提高检测精度，制定本规程时分别建立塑性混凝土测强曲线与泵送混凝土测强曲线。

综合分析各种情况，编制组最后确定抗压强度 [10, 60] MPa 的普通强度塑性混凝土测强曲线、普通强度泵送混凝土测强曲线。

1 泵送混凝土测强曲线：

$$f_{cu,i}^c = 0.01524 Q_{m,i}^{2.06} 10^{(-0.0094d_m)} \quad (3)$$

其中， $r = 0.944$ ， $s = 5.11 \text{ MPa}$ ， $\delta_r = 10.61\%$ ， $e_r = 13.99\%$ 。

2 塑性混凝土测强曲线：

$$f_{cu,i}^c = 0.01315 Q_{m,i}^{2.082} 10^{(-0.0108d_m)} \quad (4)$$

其中， $r = 0.956$ ， $s = 5.34 \text{ MPa}$ ， $\delta_r = 11.66\%$ ， $e_r = 14.63\%$ 。

6 检测数据分析处理

6.0.1 本条规定构件混凝土的强度平均值、标准差及变异系数计算方法。检测报告中，除给出强度推定值外，对于测区数大于等于 10 个的构件要给出测区强度平均值、标准差、变异系数和最小测区强度值，使委托方既能了解构件的强度推定值又能考虑其测区强度平均值、最小测区强度值和质量匀质性的，对设计人员事后处理构件混凝土质量问题很有用处。

6.0.2 异常数据的存在会降低检测精度，甚至导致错误结论。异常数据的判断和处理应符合《数据的统计处理和解释 正态样本异常值的判断和处理》GB/T 4883 的规定。

6.0.3 对按批抽样检测的变异系数进行限制，当变异系数过大时，说明已有某些偶然因素在起作用，这些测区不能认为是属于同一母体，不能按批进行推定。本规程变异系数限值的取值，是依据国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 条文说明附录 C 确定，此标准采用 2008—2010 年对全国商品混凝土参数的统计结果。

6.0.4、6.0.5 对检测批混凝土强度变异系数超出界限后可采取的相应措施做出规定。

7 混凝土强度推定

7.0.1 本规程规定的强度推定方法，是结合山东地区的具体情况，根据现场检测方案，在考虑与相关规程协调一致的基础上提出来的。

对于单个构件检测，当 $n < 10$ 时，样本太少，因结构破坏一般从强度最低处开始，故以最小值作为构件强度推定值。当 $n \geq 10$ 时，采用数理统计方法计算更科学。

当出现 $f_{cu,min}^c < 10.0\text{MPa}$ 时，该构件强度推定值为 $< 10.0\text{MPa}$ 。

7.0.2 参考国内相关标准，规定检测批具有 95% 保证率的推定值 $f_{cu,e}^c$ 的计算方法，即混凝土强度推定值 $f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}}^c - 1.645 s_{f_{cu}}^c$ ，这是构件本身的强度值。

7.0.3 由于抽样检测必然存在的抽样不确定性，所以给出的推定值必然与检测批混凝土强度值的真值存在偏差，因此，检验批的混凝土强度推定值应属于由置信度决定的一个推定区间。

根据国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的相关规定，错判概率小于 0.05，漏判概率小于 0.05，此推定区间的置信度应为 0.90，保证率应为 0.95。推定区间的上限值和下限值按下列公式计算：

上限值：

$$f_{cu,e1}^c = m_{f_{cu}}^c - k_1 s_{f_{cu}}^c \quad (5)$$

下限值：

$$f_{cu,e2}^c = m_{f_{cu}}^c - k_2 s_{f_{cu}}^c \quad (6)$$

式中： $f_{cu,e1}^c$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间的上限值；

$f_{cu,e2}^c$ ——检验批混凝土抗压强度推定区间的下限值；

k_1 、 k_2 ——推定区间的上限值系数和下限值系数，其取值可根据推定区间的置信度和保证率，由标准《正态分布完全样本可靠度置信下限》GB/T 4885查得。

如果我们按照数理统计的概念，仅给出被测混凝土强度真值所处的推定区间，将无法进行结构混凝土强度合格评定，所以，检测结果必须给出混凝土强度推定值。

7.0.4 有时同一检测批构件总数达到 200 多个，随机抽测构件数量 30 多个，会出现个别构件测区强度换算值的平均值明显小于同批强度推定值的现象， $f_{cu,e}^c - f_{cu,i}^c > 5.0$ 说明此构件强度换算值比同批强度推定值低一个强度等级，如果此构件强度换算值低于设计要求，编制组认为，结构的破坏总是从最薄弱的地方开始，作为一个结构整体，部分薄弱部位破坏后，其承担的荷载会重新分配到其他构件上，进而引起整体结构的破坏，所以，规定对强度明显低于 $f_{cu,e}^c$ 且低于设计要求的构件作为异常构件处理。

7.0.5 强度明显低于 $f_{cu,e}^c$ 的异常构件如果只是把这些数据简单剔除，就是给工程留下隐患，所以，要求对这部分混凝土及同时施工的混凝土重新进行检测。