

DB37

山东省地方标准

DB 37/T 2361—2022

代替 DB 37/T 2361—2013

超声回弹综合法检测混凝土抗压强度 技术规程

Technical specification for detecting strength of concrete by ultrasonic-rebound
combined method

2022 - 11 - 24 发布

2023 - 02 - 01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程

1 范围

本文件规定了超声回弹综合法检测混凝土抗压强度的术语、定义、回弹仪技术要求、混凝土超声波检测仪技术要求、检测技术、测强曲线和检测数据分析处理。

本文件适用于采用超声回弹综合法进行建筑结构中普通混凝土抗压强度的检测。不适用于因冻害、化学侵蚀、火灾、高温等已造成表面疏松、剥落的混凝土抗压强度的检测。需要推定新建工程或既有建筑的混凝土强度时参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款，其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4883 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 9138 回弹仪

JG/T 5004 混凝土超声波检测仪

DB37/T 2368 钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超声回弹综合法 **ultrasonic-rebound combined method**

通过检测结构或构件混凝土的超声声速和回弹值等有关参数来推定该结构或构件混凝土抗压强度的方法。

3.2

普通混凝土 **ordinary concrete**

由水泥、砂、石、外加剂、掺合料和水配制的干表观密度为（2000～2800）kg/m³的混凝土。

[来源：JGJ/T 55—2011，2.1.1]

3.3

塑性混凝土 **plastic concrete**

拌合物坍落度为（10～90）mm的混凝土。

[来源：JGJ/T 55—2011，2.1.3]

3.4

泵送混凝土 **pump concrete**

可在施工现场通过压力泵及输送管道进行浇筑的混凝土。

[来源：JGJ/T 55—2011，2.1.9]

3.5

高强混凝土 high strength concrete

强度等级不低于C60的混凝土。

[来源: JGJ/T 55—2011, 2.1.8]

3.6

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。

3.7

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。

[来源: GB/T 50344—2019, 2.1.3]

3.8

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。

3.9

推定区间 interval estimation

由样本数量、置信水平和分位值确定的混凝土强度推定值的置信区间。

3.10

测区混凝土强度换算值 conversion strength of testing zone

由构件回弹值、超声声速值等参数通过测强曲线计算得到的混凝土抗压强度值。相当于被测构件的测区在所处条件及龄期下, 边长为150 mm立方体试块的抗压强度值。

3.11

强度推定值 estimated strength

相当于强度换算值总体分布中保证率不低于95 %的强度值。

4 符号

下列符号适用于本文件。

d_i : 第*i*测区的碳化深度值。

d_m : 构件的碳化深度平均值。

e_r : 回归方程式的强度相对标准差。

$f_{c,i}$: 对应于第*i*个试块的回弹值、超声声速和碳化深度按回归方程计算的强度换算值。

$f_{cu,e}^c$: 构件或检测批混凝土强度推定值。

$f_{cu,i}^c$: 第*i*个测区混凝土强度换算值。

$f_{cu,l}^c$: 检测批混凝土强度标准值的推定区间下限值。

$f_{cu,min}^c$: 构件或检测批混凝土强度换算值中的最小值。

$f_{cu,u}^c$: 检测批混凝土强度标准值的推定区间上限值。

$f_{m,i}$: 由第*i*个试块抗压试验得出的混凝土立方体抗压强度值。

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。

l ：超声测距。

$m_{f_{cu}^c}$ ：构件或检测批混凝土强度换算值的平均值。

R_{aa} ：非水平方向检测时，回弹值的修正值。

R_a^t ：回弹仪检测混凝土浇筑顶面时，回弹值的修正值。

R_a^b ：回弹仪检测混凝土浇筑底面时，回弹值的修正值。

R_i ：第 i 个测点的回弹值。

$R_{m,i}$ ：构件第 i 个测区平均回弹值。

R_m^b ：水平方向检测混凝土底面时，测区平均回弹值。

R_m^t ：水平方向检测混凝土顶面时，测区平均回弹值。

R_{ma} ：回弹仪非水平方向检测时，测区的平均回弹值。

$s_{f_{cu}^c}$ ：构件或检测批混凝土强度换算值的标准差。

t_m ：测区平均声时值。

t_0 ：超声仪在检测时的声时初读数。

t_i ：测区中第 i 个测点的声时值。

v ：测区声速值。

v_m ：角测测区超声声速平均值。

v_m' ：修正后的角测测区超声声速平均值。

β_d ：超声对测检测面修正系数。

λ ：平测声速修正系数。

λ_j ：在浇筑底面和侧面角测时的检测面修正系数。

λ_p ：平测声速修正系数。

δ ：构件或检测批混凝土强度换算值的变异系数。

δ_f ：回归方程式的强度平均相对误差。

5 回弹仪

5.1 基本要求

5.1.1 回弹仪应具有产品合格证、检定或校准证书，并在检定或校准有效期内使用，在明显的位置上应有下列标志：名称、型号、制造厂名（或商标）、出厂编号和计量器具生产许可证及 CMC 标志等。

5.1.2 回弹仪使用时的环境温度应为（-4~+40）℃。

5.1.3 M225 型回弹仪用于检测强度不小于 10.0 MPa，且小于 60.0 MPa 的混凝土。

5.1.4 H550 型回弹仪用于检测强度不小于 60.0 MPa，且不大于 80.0 MPa 的混凝土。

5.1.5 回弹仪技术性能应符合国家标准《回弹仪》GB/T 9138 的要求。

5.2 技术要求

5.2.1 外观要求

- 5.2.1.1 仪器外壳不允许有碰撞和摔落的明显损伤。
- 5.2.1.2 各运动部件活动自如、可靠，不得有松动、卡滞和影响操作的现象，指针滑块示值刻线和刻度尺上的刻线应清晰、均匀。
- 5.2.1.3 弹击杆外露球应光滑，无裂纹、缺损和锈蚀等。

5.2.2 M225 型回弹仪技术要求

M225型回弹仪标准状态的主要技术要求应满足表1要求：

表1 M225 型回弹仪主要技术要求

测试项目	性能要求
刻度尺上“100”刻线	与机壳刻度槽“100”刻线重合
指针长度/mm	20.0±0.2
指针摩擦力/N	0.65±0.15
弹击杆端部球面半径/mm	25.0±1.0
弹击拉簧刚度/N/m	785±30
弹击拉簧工作长度/mm	61.5±0.3
弹击拉簧拉伸长度/mm	75.0±0.3
弹击锤起跳位置	在刻度尺“0”处
在洛氏硬度为 HRC60±2 的钢砧上，回弹仪的率定值	80±2
示值一致性	指针滑块刻线对应的标尺数值与数字式回弹仪的显示值之差 ≤1，且两者的钢砧率定值均满足要求。

5.2.3 H550 型回弹仪技术要求

H550型回弹仪标准状态的主要技术要求应满足表2要求：

表2 H550 型回弹仪主要技术要求

项目	性能要求
刻度尺上“100”刻线	与机壳刻度槽“100”刻线重合
指针长度/mm	20.0±0.2
指针摩擦力/N	0.65±0.15
弹击杆端部球面半径/mm	18.0±1.0
弹击拉簧刚度/N/m	1100±50
弹击拉簧工作长度/mm	86.0±0.5
弹击拉簧拉伸长度/mm	100.0±0.5
弹击锤起跳位置	在刻度尺“0”处
在洛氏硬度为 HRC60±2 的钢砧上，回弹仪的率定值	83±2

示值一致性	指针滑块刻线对应的标尺数值与数字式回弹仪的显示值之差 ≤ 1 ，且两者的钢砧率定值均满足要求。
-------	--

5.3 校准

5.3.1 钢砧校准

回弹仪率定所采用钢砧应符合现行国家标准《回弹仪》GB/T 9138的有关规定，钢砧率定面的洛氏硬度应为HRC60±2，其校准有效期限为两年。

5.3.2 回弹仪校准

当回弹仪有下列情况之一时，应由计量检定机构按国家计量检定规程《回弹仪》JJG 817进行校准：

- a) 新回弹仪启用前；
- b) 达到校准有效期限（有效期限为半年）；
- c) 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；
- d) 弹击拉簧不在拉簧原孔位、调零螺丝松动；
- e) 遭受严重撞击或其他损害；
- f) 示值不准确或不稳定。

5.4 率定

5.4.1 当遇下列情况之一时，应在钢砧上进行率定试验：

- a) 使用回弹仪检测前后；
- b) 检测过程中对回弹值有怀疑时。

5.4.2 当仪器率定值不在规定的范围内时，应按本文件第 5.6 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，则应送校准机构校准。

5.4.3 回弹仪的率定试验应符合下列规定：

- a) 率定试验应在室温为 5℃～35℃的条件下进行；
- b) 钢砧表面应干燥、清洁，并应稳固地安放在刚度大的物体上；
- c) 率定试验应分四个方向进行，一个方向率定完成后，将弹击杆旋转 90°左右，再进行另一个方向率定；
- d) 回弹仪在每个方向弹击 3～5 次，取连续 3 次稳定回弹值的平均值为此方向率定值。

5.4.4 标准钢砧重量大，携带不便，现场检测过程中，为了检查仪器标准状态，保证检测数据一致性，可以考虑用轻型钢砧或微型钢砧进行校对。

5.5 操作

5.5.1 检测过程中，回弹仪的纵轴线应始终与被测混凝土检测面保持垂直。

5.5.2 回弹仪操作程序应符合下列要求：

- a) 将回弹仪的弹击杆端部顶住混凝土检测面，轻压仪器，使按钮松开，弹击杆慢慢伸出，并使挂钩挂上弹击锤；
- b) 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，弹击锤回弹带动指针向后移动至某一定位置时，指针块上的示值刻度线在刻度尺上指示出一定数值即为回弹值；

- c) 使回弹仪弹击杆端部继续顶住混凝土检测面,进行读数,如条件不利于读数,可按下锁定按钮,锁住机芯,将回弹仪移至他处读数;
- d) 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;
- e) 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刻度尺表面擦拭干净,然后将弹击杆压入仪器内,待弹击后用按钮锁住机芯,水平放置于干燥阴凉处。

5.6 保养

5.6.1 回弹仪有下列情况之一时,应进行保养

- a) 对检测值有怀疑;
- b) 率定值或校对值不合格。

5.6.2 回弹仪的保养应按下列步骤进行:

- a) 机壳上的刻度尺向上,使弹击锤脱钩后取出机芯,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)、刻度尺、指针轴和指针;
- b) 清理机壳内壁,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;
- c) 不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝;
- d) 保养后应按本文件第 5.4 条的要求进行率定或数值校对,如果不符合要求应进行校准。

6 混凝土超声波检测仪

6.1 基本要求

6.1.1 混凝土超声波检测仪(以下简称超声仪)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。

6.1.2 超声仪应具有产品合格证和校准合格证,并在校准有效期内使用,超声仪在明显的位置上应有名称、型号、制造商、出厂编号、出厂日期等标志。

6.1.3 超声仪技术性能应满足下列要求:

- a) 可对接收的超声波波形进行数字化采集和存储;
- b) 应具有清晰、稳定的波形显示示波装置;
- c) 应具备手动游标测读和自动测读两种声参量测读功能,且自动测读时可标记出声时、幅度的测读位置;
- d) 应具备对各测点的波形和测读声参量进行存储功能;
- e) 声时测量范围宜为 $0.1\ \mu\text{s}\sim 999.9\ \mu\text{s}$,声时分辨力应不大于 $0.1\ \mu\text{s}$,实测空气声速的相对允许误差应为 $\pm 0.5\%$;在 1 h 内每 5 min 测读一次的声时允许误差应不超过 $\pm 0.2\ \mu\text{s}$;
- f) 幅度测量范围不宜小于 80 dB,幅度分辨力应为 1 dB;
- g) 仪器信号接收系统的频带宽度应为 10 kHz~250 kHz;
- h) 信噪比为 3:1 时,接收灵敏度不应大于 $50\ \mu\text{V}$ 。

6.1.4 换能器技术性能应满足下列要求:

- a) 换能器应采用厚度振动形式压电材料;
- b) 换能器的工作频率应在 (50~100) kHz 范围内;
- c) 换能器实测频率与标称频率相差不大于 $\pm 10\%$ 。

6.2 超声仪正常工作条件

包括:

- a) 环境温度为(0~40)℃;
- b) 空气中不含腐蚀性气体,相对湿度小于80 %;
- c) 电源电压波动范围在标称值±10 %内;
- d) 不应有较大的震动和冲击;
- e) 连续工作时间不少于4 h。

6.3 超声仪校准

有下列情况之一时,超声仪应进行检定或校准:

- a) 新超声仪启用前;
- b) 达到校准有效期限(有效期限为1年);
- c) 仪器修理或更换零件后;
- d) 仪器遭受严重撞击或其它损害;
- e) 检测过程中对声速值有怀疑时。

6.4 超声仪操作

超声仪应按下列步骤进行操作:

- a) 使用新仪器前应仔细阅读仪器使用说明书;
- b) 接上电源后,仪器宜预热10 min;
- c) 有标准棒及调零装置的仪器,将换能器与标准棒良好耦合,调节首波幅度至(30~40) mm后测读标准棒声时值 t_p ,调节调零电位器以扣除初读数;
- d) 无标准棒及调零装置时,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,应重新测定声时初读数 t_0 ,计算混凝土超声声时应扣除初读数 t_0 ;
- e) 在实测时,接收信号的首波幅度均应调至(30~40) mm后,方可测读每个测点的声时值。

6.5 超声仪保养

超声仪应按下列规定进行保养:

- a) 如仪器在较长时间内停用,每月应通电一次,每次不少于1 h;
- b) 仪器检测完毕,应及时擦干上面的灰尘,放入机箱内,并存放在通风、阴凉、干燥处,无论存放或工作,均需防尘;
- c) 在搬运过程中应防止碰撞和剧烈振动;
- d) 换能器应避免摔损和撞击,工作完毕应擦拭干净单独存放。换能器的耦合面应避免磨损,严禁随意拆装;
- e) 为保证检测数据准确,检测单位有时需要对超声仪进行自检,自检可采用测量空气声速值的方法,具体操作见附录A。

7 检测技术

7.1 一般规定

7.1.1 检测前宜收集的资料

包括:

- a) 工程名称及建设单位、设计单位、施工单位、混凝土搅拌单位和监理单位名称;
- b) 结构或构件名称、混凝土设计强度等级及设计施工图纸;
- c) 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;
- d) 施工时材料计量情况、模板类型、混凝土浇注方式、养护情况及成型日期;
- e) 结构或构件的预留混凝土立方体试块抗压强度检测资料以及相关的施工技术资料;
- f) 存在的质量问题及检测原因。

7.1.2 检测方式选择

7.1.2.1 混凝土强度检测可采用以下两种方式进行:

- a) 单个构件检测: 适用于单个柱、梁、墙、基础等构件检测, 当检测批构件总数少于 9 个时, 按单个构件检测, 其检测结论不得扩大到未检测的构件或范围。
- b) 按批抽样检测: 适用于检测批混凝土强度的检测。

7.1.2.2 大型结构按施工顺序可划分为若干个检测单位, 每个检测单位作为一个独立构件, 根据检测单位数量及检测需要, 选择检测方式。

7.1.3 回弹仪选择

回弹仪的型号应根据混凝土立方体抗压强度资料及设计强度等级确定。混凝土设计强度等级小于 C60, 且现场预留混凝土试块抗压强度代表值小于 60.0 MPa 时, 应采用 M225 型回弹仪。混凝土设计强度等级不小于 C60, 且现场预留混凝土试块抗压强度代表值不小于 60.0 MPa 时, 应采用 H550 型回弹仪。若现场没有预留混凝土试块, 或者混凝土试块抗压强度代表值没有代表性, 混凝土实际强度在 60.0 MPa 左右时, 应用两种混凝土回弹仪对部分构件分别进行预估检测, 根据预估检测结果选择回弹仪:

- a) 当两种混凝土回弹仪的检测结果都小于 60.0 MPa, 应采用 M225 型回弹仪;
- b) 当两种混凝土回弹仪的检测结果都不小于 60.0 MPa, 应采用 H550 型回弹仪;
- c) 当两种混凝土回弹仪的检测结果不一致时, 应对检测结果进行钻芯修正。

7.1.4 按批抽样检测的规定

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3的规定。

表3 检验批最小样本容量

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

- 注1：检测类别 A 适用于施工资料完善，且已有资料结果合格，采取放宽检验的情况；
- 注2：检测类别 B 适用于施工资料完善，需要进一步确定混凝土质量状况的工程质量检测，采取正常检验的情况；
- 注3：检测类别 C 适用于施工资料不完善，或已有资料结果不合格，或现场发现存在问题较多，采取加严检验的情况。
- 注4：无特别说明时，样本单位为构件。

7.1.5 测区布置的规定

构件的测区应符合下列要求：

- a) 现浇结构构件单个构件检测时，每个构件测区数不应少于 5 个，对于某一方向尺寸小于 4.5 m 且另一方向尺寸小于 0.3 m 的构件，混凝土质量均匀时，其测区数量可适当减少，但不应少于 3 个，且测区布置应满足 e) 要求；
- b) 预制混凝土构件采用工业化生产，有长期质量控制措施时，构件测区数量可适当减少，但不应少于 3 个，且测区布置应满足 e) 要求；
- c) 对于重要结构构件或混凝土质量不均匀构件，其测区数量应适当增加；
- d) 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得少于 3 个，检测批测区总数不得少于 10 个；
- e) 相邻两测区的间距不应大于 2 m，测区离构件端部或施工缝边缘的距离不宜大于 0.5 m，且不宜小于 0.1 m；
- f) 当采用 M225 型回弹仪时，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；
- g) 采用 H550 型回弹仪时，测区应选在使回弹仪处于水平方向检测混凝土浇筑侧面；
- h) 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，且宜均匀分布。在构件的受力较大部位及薄弱部位应布置测区，并应避免钢筋密集区及预埋件；
- i) 测区尺寸面积宜为 0.04 m²，超声检测采用平测时宜为 0.16 m²；
- j) 检测面应为清洁平整的原状混凝土面，不应有接缝、施工缝、饰面层、浮浆和油垢，并应避免蜂窝、麻面；
- k) 对于弹击时会产生颤动的薄壁、小型构件应进行固定。

7.1.6 其它规定

包括：

- 构件的测区上宜标有清晰的编号，必要时在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况；
- 构件的每一测区，宜先进行回弹检测，再进行超声测试，最后测量碳化深度；
- 计算混凝土抗压强度换算值时，非同一测区内的回弹值、声速值不得混用。

7.2 回弹值测量与计算

7.2.1 回弹值测量

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 20 mm，测点距构件边缘或外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30 mm，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 10 个回弹值，每一测点的回弹值读数精确至 1。

7.2.2 回弹值计算

计算测区平均回弹值，应从该测区的10个回弹值中，剔除1个最大值和1个最小值，然后将余下的8个回弹值按公式（1）计算：

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^8 R_i}{8} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_m ——测区平均回弹值，精确至0.1；

R_i ——第*i*个测点的回弹值，精确至1。

7.2.3 回弹值角度修正

回弹仪非水平状态检测混凝土浇筑侧面时，测区的平均回弹值应按公式（2）修正：

$$R_m = R_{m\alpha} + R_{a\alpha} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$R_{m\alpha}$ ——非水平方向检测时测区的平均回弹值，精确至0.1；

$R_{a\alpha}$ ——非水平方向检测时回弹值的修正值，按附录B选用。

7.2.4 回弹值检测面修正

检测面为混凝土浇筑顶面时，如果混凝土凝固前对顶面进行压光处理，这种情况不进行检测面修正。

回弹仪水平方向检测混凝土顶面或底面时，测区的平均回弹值应按公式（3）或（4）修正：

$$R_m = R_m^t + R_a^t \dots\dots\dots (3)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \dots\dots\dots (4)$$

式中：

R_m^t 、 R_m^b ——水平方向检测混凝土顶面、底面时，测区平均回弹值，精确至0.1；

R_a^t 、 R_a^b ——混凝土浇筑顶面、底面回弹值的修正值，非泵送混凝土按附录C采用，泵送混凝土按附录D采用。

7.2.5 回弹值角度检测面同时修正

如检测时回弹仪非水平方向且测试面非浇筑侧面，则应先按附录B对回弹值进行角度修正，然后再按附录C或附录D对修正后的值进行浇筑面修正。

7.3 碳化深度值测量与计算

7.3.1 碳化深度值测量

7.3.1.1 当采用 M225 型回弹仪检测时，回弹值测量完毕后，应在有代表性的测区布置测点测量碳化深度值，测点数不少于构件测区数的 30%；当同一构件各测点碳化深度值极差大于 2.0 mm 时，应分别测量每个测区的碳化深度值，不再计算碳化深度平均值。

7.3.1.2 测量碳化深度值时，可在测区表面剔凿出直径约 15 mm 的孔洞，其深度应大于 6 mm，然后除净孔洞中的粉末和碎屑，不应用水冲洗。应采用浓度为 1%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，选择有代表性位置，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，读数精确至 0.5 mm，记录碳化深度值。

7.3.1.3 当采用 H550 型回弹仪检测时，不需要测量碳化深度。

7.3.2 碳化深度平均值计算

构件的碳化深度平均值按公式（5）计算：

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- d_m ——构件的碳化深度平均值，当 $d_m > 6.0$ mm时，取 $d_m = 6.0$ mm，精确至0.5 mm；
- d_i ——第*i*测区的碳化深度值；
- n ——检测碳化深度的测区数。

7.4 超声声速值测量与计算

7.4.1 基本要求

包括：

- 超声声速检测优先采用对测，对测不具备条件时，可采用角测，对测和角测都不具备条件时，可采用平测；
- 在每个测区内应布置 3~5 个测点，超声测点应布置在回弹检测的同一测区内，且应避开钢筋。
- 测量超声声速值时，应保证换能器与混凝土耦合良好；
- 声时测量应精确至 0.1 μs，超声测距测量应精确至 1.0 mm，且测量误差不应超过±1 %，声速计算应精确至 0.01 km/s。

7.4.2 超声声速对测法测量与计算

在每个测区内的相对检测面上，应布置3~5个测点，且发射和接收换能器的轴线宜在垂直于检测面的同一直线位置上。

测区声速值应按公式（6）、（7）计算：

$$v_i = l_i / (t_i - t_0) \dots\dots\dots (6)$$

$$v_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- v_i ——第*i*个测点测区声速值（km/s）；
- l_i ——第*i*个测点的超声测距（mm）；
- t_0 ——超声仪在检测时的声时初读数（μs）；
- t_i ——测区中第*i*个测点的声时值（μs）；
- v_m ——测区混凝土超声声速平均值（μs）；
- n ——测区内测点数，一般取3~5。

当在混凝土浇筑的顶面与底面检测时，测区声速值应按公式（8）修正：

$$v_a = \beta_d v \dots\dots\dots (8)$$

式中：

v_a ——修正后的测区超声声速代表值 (km/s)；

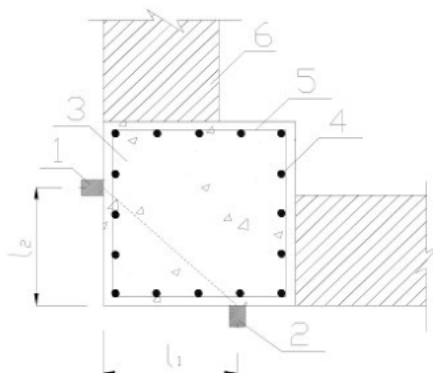
β_d ——超声对测检测面修正系数。在混凝土浇筑顶面及底面检测时， $\beta_d=1.034$ 。

7.4.3 超声声速角测法测量与计算

7.4.3.1 当结构或构件被测部位只有两个相邻面可供检测时，可采用角测方法测量混凝土中声速，角测的检测面可以选择两个浇筑侧面、一个浇筑表面和一个浇筑侧面或一个浇筑底面和一个浇筑侧面，角测换能器布置如图 1 所示。

7.4.3.2 每个测区应布置 3 个测点，并且 3 个测点在相应测试面的测距应保持基本一致。

7.4.3.3 布置超声角测点时，换能器中心与构件边缘的距离 l_1 、 l_2 不宜小于 300 mm；且两者相差不宜大于 1.5 倍。



说明：

1——发射换能器；

2——接收换能器；

3——混凝土构件；

4——主筋；

5——箍筋；

6——墙体。

图1 超声波角测示意

7.4.3.4 角测时超声测距可按公式 (9) 计算：

$$l_i = \sqrt{l_{i1}^2 + l_{i2}^2} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

l_i ——角测第 i 个测点的超声测距 (mm)；

l_{i1} 、 l_{i2} ——角测第 i 个测点换能器与构件边缘的距离 (mm)。

7.4.3.5 测区声速值应按公式 (10)、(11) 计算：

$$v_i = l_i / (t_i - t_0) \dots\dots\dots (10)$$

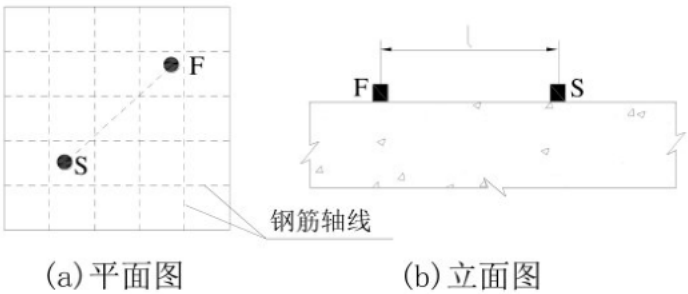
$$v_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \dots\dots\dots (11)$$

式中：
 v_i ——角测第*i*个测点的超声声速（km/s）；
 t_i ——角测第*i*个测点的声时值（ μs ）；
 t_0 ——超声仪在检测时的声时初读数（ μs ）。

7.4.4 超声声速平测法测量与计算

7.4.4.1 平测测点布置

当构件被测部位只有一个面可供检测时，可采用平测方法测量混凝土中声速。平测检测面可以是浇筑侧面、表面或底面，平测时超声波沿检测面传播，检测面状况不同必然对超声声速产生影响。平测换能器布置如图2所示。



说明：
F——发射换能器；
S——接收换能器。

图2 超声波平测示意

在纵横两个方向都有受力主筋的结构或构件中布置超声平测测点时，宜使发射和接收换能器的连线与附近钢筋轴线成（40~50）°角。超声测距 l 宜采用（300~500）mm。

7.4.4.2 平测声速代表值

布置平测测点时，每个测区应布置一排超声测点，发射和接收换能器的连线与附近钢筋轴线宜成40°~50°角。应以两个换能器内边距分别为200 mm、250 mm、300 mm、350 mm、400 mm、450 mm、500 mm进行平测，逐点测读相应声时值（ t ），并用回归分析方法求出下列直线方程：

$$l=a+ct \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：
 c ——平测测区混凝土中声速代表值 v_p 。

7.4.4.3 平测声速修正系数

应选取有代表性，且具有对测条件的构件，将平测测区混凝土中声速代表值 v_p 修正为对测测区混凝土中声速代表值 v_d 。

在构件上采用对测法得到对测测区混凝土中声速代表值 v_d ，并按照 7.4.4.2 条采用平测法得到平测时代表构件混凝土中平测声速 v_{pp} ，按公式 (13) 计算平测声速修正系数：

$$\lambda = v_d / v_{pp} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- v_d ——对测测区混凝土中声速代表值 (km/s)；
- v_{pp} ——平测时代表性构件混凝土中平测声速 (km/s)；
- λ ——平测声速修正系数。

7.4.4.4 平测超声声速修正为对测超声声速

平测法修正后的测区混凝土中声速代表值应按公式 (14) 计算：

$$v_a = \lambda v_p \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- v_a ——修正后的测区混凝土中声速代表值 (km/s)；
- v_p ——平测测区混凝土中声速代表值 (km/s)；
- λ ——平测声速修正系数。

7.4.4.5 平测超声声速检测面修正

平测测点布置在混凝土浇筑的顶面或底面时，平测超声声速还应按公式 (15) 进行检测面修正：

$$v_a = \beta v_m \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- β ——超声声速的检测面修正系数，顶面平测 $\beta=1.05$ ，底面平测 $\beta=0.95$ 。

7.5 钻芯修正

当对超声回弹综合法检测结果有怀疑时，应进行钻芯修正。

钻取芯样部位、加工技术要求及修正量计算等均应符合标准 DB37/T 2368 的规定。

8 测强曲线

8.1 适用条件

本文件适用于符合下列条件的混凝土强度的检测：

- a) 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；
- b) 采用普通成型工艺；
- c) 自然养护或蒸气养护出池后经自然养护 7 d 以上，且混凝土为干燥状态；
- d) 龄期为 (14~1100) d；
- e) 抗压强度为 10.0 MPa~80.0 MPa。

8.2 限制条件

本文件不适用于下列情况混凝土强度的检测：

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

8.3 制定专用测强曲线或通过试验进行修正

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

- a) 粗骨料最大粒径大于 40 mm；
- b) 特种成型工艺制作的混凝土；
- c) 检测部位曲率半径小于 250 mm；
- d) 长期处于高温、潮湿或浸水环境的混凝土。

8.4 山东地区（除青岛地区以外）测强曲线

8.4.1 采用 M225 型回弹仪检测塑性混凝土测强曲线

对于抗压强度不小于10.0 MPa，且小于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 $f_{cu,i}^c$ ，可根据测区平均回弹值 $R_{m,i}$ 、超声声速 $v_{m,i}$ 及碳化深度值 d_m ，按公式（16）计算：

$$f_{cu,i}^c = 0.01426 R_{m,i}^{1.367} v_{m,i}^{1.928} 10^{(-0.0149 d_m)} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

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

$R_{m,i}$ ——第 *i* 个测区平均回弹值，如有修正时，取修正后的值；

$v_{m,i}$ ——第 *i* 个测区超声声速代表值，如有修正时，取修正后的值（km/s）；

d_m ——构件的碳化深度平均值，当同一构件各测区碳化深度值极差大于 2.0 mm 时， d_m 取各测区碳化深度值 d_i （mm）。

8.4.2 采用 M225 型回弹仪检测泵送混凝土测强曲线

对于抗压强度不小于10.0 MPa，且小于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 $f_{cu,i}^c$ ，可根据测区平均回弹值 $R_{m,i}$ 、超声声速 $v_{m,i}$ 及碳化深度值 d_m ，按公式（17）计算：

$$f_{cu,i}^c = 0.002726 R_{m,i}^{2.051} v_{m,i}^{1.405} 10^{(-0.0115 d_m)} \dots\dots\dots (17)$$

8.4.3 采用 H550 型高强混凝土回弹仪高强混凝土测强曲线

对于不小于60.0 MPa，且不大于80.0 MPa的高强混凝土，构件第*i*个测区的混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ ，可根据测区平均回弹值 $R_{m,i}$ 和超声声速 $v_{m,i}$ ，按公式（18）计算：

$$f = 2.405 R_{m,i}^{0.50} v_{m,i}^{0.914} \dots\dots\dots (18)$$

8.5 青岛地区测强曲线

8.5.1 采用 M225 型回弹仪检测塑性混凝土测强曲线

对于抗压强度不小于10.0 MPa，且小于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 $f_{cu,i}^c$ ，可根据测区平均回弹值 $R_{m,i}$ 、超声声速 $v_{m,i}$ 及碳化深度值 d_m ，按公式（19）计算：

$$f_{cu,i}^c = 0.008 R_{m,i}^{1.5153} v_{m,i}^{2.0633} 10^{(-0.0198 d_m)} \dots\dots\dots (19)$$

8.5.2 采用 M225 型回弹仪检测泵送混凝土测强曲线

对于抗压强度不小于10.0 MPa，且小于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 $f_{cu,i}^c$ ，可根据测区平均回弹值 $R_{m,i}$ 、超声声速 $v_{m,i}$ 及碳化深度值 d_m ，按公式（20）计算：

$$f_{cu,i}^c = 0.0074 R_{m,i}^{1.9065} v_{m,i}^{1.1598} 10^{(-0.02 d_m)} \dots\dots\dots (20)$$

8.5.3 采用 H550 型高强混凝土回弹仪检测高强混凝土测强曲线

对于抗压强度不小于60.0 MPa，且不大于80.0 MPa的高强混凝土，构件第*i*个测区的混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ ，可根据测区平均回弹值 $R_{m,i}$ 和超声声速 $v_{m,i}$ ，按公式（21）计算：

$$f_{cu,i}^c = 1.95 R_{m,i}^{0.63} v_{m,i}^{0.78} \dots\dots\dots (21)$$

8.5.4 抗压强度（10.0~60.0）MPa 混凝土的修正

对于抗压强度不小于10.0 MPa，且小于60.0 MPa的混凝土抗压强度换算值，尚应按公式（22）进行修正：

$$f_{cu,i}^{c'} = f_{cu,i}^c \cdot k \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$f_{cu,i}^{c'}$ ——修正后的构件第*i*个测区的混凝土强度换算值，精确至0.1 MPa；

$f_{cu,i}^c$ ——构件第*i*个测区的混凝土强度换算值，精确至0.1 MPa；

k ——修正系数，取值如下：

$f_{cu,i}^c \leq 15$ MPa时， $k = 1.5357 - 0.0357 f_{cu,i}^c$ ；

$15 \text{ MPa} < f_{cu,i}^c < 50$ MPa时， $k = 1$ ；

$f_{cu,i}^c \geq 50$ MPa时， $k = 1.3571 - 0.0071 f_{cu,i}^c$ 。

9 检测数据分析处理

9.1 混凝土强度平均值、标准差及变异系数

当测区数不少于10个时，还应分别按公式（23）、（24）、（25）计算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：

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \dots\dots\dots (23)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (24)$$

$$\delta = \frac{s_{f_{cu}^c}}{m_{f_{cu}^c}} \dots\dots\dots (25)$$

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0.1 MPa；

n ——单个构件检测，取一个构件的测区数；按批抽样检测，取被抽取构件测区数之和；

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

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。

9.2 异常数据判断和处理

按批抽样检测，或单个构件检测测区数不少于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GB/T 4883的规定，详见附录F。

9.3 变异系数限值

按批抽样检测时，该批构件混凝土强度变异系数应满足表4的要求。

表 4 测区混凝土强度的变异系数限值

测区混凝土强度的平均值 (MPa)	≤25.0	>25.0, 且≤45.0	>45.0, 且≤60.0	>60.0, 且≤80.0
变异系数	≤0.20	≤0.16	≤0.14	≤0.12

当不能满足本文件表4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：

- a) 分析施工条件及检测结果，重新划分检测批；
- b) 增加测区的数量；
- c) 若采取上述措施仍不能满足要求，或无条件采取上述措施时，可按本文件第 9.4.1 条提供单个构件的检测结果。

9.4 混凝土强度推定

9.4.1 单个构件检测，当测区数少于 10 个时，以各测区混凝土强度换算值的最小值作为该构件的混凝土强度推定值，按公式（26）计算：

$$f_{cu,e}^c = f_{cu,min}^c \dots\dots\dots (26)$$

式中：

$f_{cu,e}^c$ ——构件或检测批混凝土强度推定值，精确至0.1 MPa；

$f_{cu,min}^c$ ——构件或检测批混凝土强度换算值中的最小值，精确至0.1 MPa。

9.4.2 按批抽样检测，或单个构件检测测区数不少于10个时，构件的混凝土强度推定值应按公式(27)计算：

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}^c} - 1.645s_{f_{cu}^c} \dots\dots\dots (27)$$

9.4.3 按批抽样检测，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可分别按公式(28)、(29)计算：

$$f_{cu,u}^c = m_{f_{cu}^c} - k_{0.05,u}s_{f_{cu}^c} \dots\dots\dots (28)$$

$$f_{cu,l}^c = m_{f_{cu}^c} - k_{0.05,l}s_{f_{cu}^c} \dots\dots\dots (29)$$

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0.1 MPa；

$f_{cu,l}^c$ ——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0.1 MPa；

$k_{0.05,u}$ ——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附录G查得。

9.5 异常构件处理

9.5.1 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 $f_{cu,e}^c - f_{cu,i}^c > 5.0\text{MPa}$ ，则对应构件为异常构件。

9.5.2 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，分析出现异常构件原因，异常构件应按单个构件评定强度，并在报告中说明。

附 录 A
(规范性)
用实测空气声速法检查超声仪

A.1 测试步骤

在恒温室中，取检测用平面换能器一对，接于超声仪上，开机预热30 min，在空气中将两换能器幅射面对准，依次改变两个换能器幅射面之间的距离（如0.10 m，0.15 m，0.20 m，0.25 m，0.30 m，0.35 m，0.40 m），测读不同距离下的声时 $t_1, t_2, t_3, \dots$ ，至少测读5组数据，同时测量空气温度（准确至0.2℃）。

测量时应注意下列事项：

- a) 换能器间距的测量误差应小于或等于 0.5 %；
- b) 换能器宜悬空相对，若置于地板或桌上时，应在换能器下面垫以海绵块。

A.2 计算空气声速

以换能器距离为纵座标，声时读数为横座标，将各组数据点绘在直角座标图上，各点应在一直线上。在座标纸上画出该直线，或用回归分析方法求出直线方程，直线斜率即为空气声速实测值 v^0 。

A.3 空气声速计算值

空气声速按公式（A.1）计算：

$$v^c = 0.3314 \sqrt{1 + 0.00367 T} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

v^c ——空气计算声速值，精确至 0.01 km/s；

T ——空气温度，精确至 0.1℃。

注：0℃时空气声速为0.3314 km/s。

A.4 误差计算

空气声速计算值 v^c 与空气声速实测值 v^0 之间相对误差 E_r 按公式（A.2）计算：

$$E_r = \frac{v^c - v^0}{v^c} \times 100\% \dots\dots\dots (A.2)$$

超声仪在正常情况下，相对误差 E_r 不应大于±0.5 %。

附 录 B
(规范性)

M225 型混凝土回弹仪非水平方向检测时回弹值的修正值

表B.1 M225 型混凝土回弹仪非水平方向检测时回弹值的修正值

R_{ma}	检 测 角 度							
	向 上				向 下			
	90	60	45	30	-30	-45	-60	-90
20	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
21	-5.9	-4.9	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
22	-5.8	-4.8	-3.9	-2.9	+2.4	+2.9	+3.4	+3.9
23	-5.7	-4.7	-3.9	-2.9	+2.4	+2.9	+3.4	+3.9
24	-5.6	-4.6	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
25	-5.5	-4.5	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
26	-5.4	-4.4	-3.7	-2.7	+2.2	+2.7	+3.2	+3.7
27	-5.3	-4.3	-3.7	-2.7	+2.2	+2.7	+3.2	+3.7
28	-5.2	-4.2	-3.6	-2.6	+2.1	+2.6	+3.1	+3.6
29	-5.1	-4.1	-3.6	-2.6	+2.1	+2.6	+3.1	+3.6
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
31	-4.9	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
32	-4.8	-3.9	-3.4	-2.4	+1.9	+2.4	+2.9	+3.4
33	-4.7	-3.9	-3.4	-2.4	+1.9	+2.4	+2.9	+3.4
34	-4.6	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
35	-4.5	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
36	-4.4	-3.7	-3.2	-2.2	+1.7	+2.2	+2.7	+3.2
37	-4.3	-3.7	-3.2	-2.2	+1.7	+2.2	+2.7	+3.2
38	-4.2	-3.6	-3.1	-2.1	+1.6	+2.1	+2.6	+3.1
39	-4.1	-3.6	-3.1	-2.1	+1.6	+2.1	+2.6	+3.1
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
41	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
42	-3.9	-3.4	-2.9	-1.9	+1.4	+1.9	+2.4	+2.9
43	-3.9	-3.4	-2.9	-1.9	+1.4	+1.9	+2.4	+2.9
44	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8
45	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8
46	-3.7	-3.2	-2.7	-1.7	+1.2	+1.7	+2.2	+2.7
47	-3.7	-3.2	-2.7	-1.7	+1.2	+1.7	+2.2	+2.7
48	-3.6	-3.1	-2.6	-1.6	+1.1	+1.6	+2.1	+2.6
49	-3.6	-3.1	-2.6	-1.6	+1.1	+1.6	+2.1	+2.6
50	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5
51	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5
52	-3.4	-2.9	-2.4	-1.4	+0.9	+1.4	+1.9	+2.4
53	-3.4	-2.9	-2.4	-1.4	+0.9	+1.4	+1.9	+2.4
54	-3.4	-2.9	-2.4	-1.4	+0.9	+1.4	+1.9	+2.4
55	-3.3	-2.8	-2.3	-1.3	+0.8	+1.3	+1.8	+2.3
56	-3.3	-2.8	-2.3	-1.3	+0.8	+1.3	+1.8	+2.3
注1: R_{ma} 小于 20 或大于 56 时,均分别按 20 或 56 查表;								
注2: 表中未列入的相应于 R_{ma} 的修正值可用内插法求得, 精确至 0.1。								

附 录 C
(规范性)

塑性混凝土 M225 型回弹仪不同浇筑面上回弹值的修正值

表C.1 塑性混凝土 M225 型回弹仪不同浇筑面上回弹值的修正值

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

注 1: R_m 小于 20 或大于 50 时, 均分别按 20 或 50 查表;

注 2: 表中有关混凝土浇筑顶面的修正系数, 是指一般原状混凝土面的修正值;

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

注 4: 表中未列入的相应于 R_m 的 R_a^t 或 R_a^b 值, 可用内插法求得, 精确至 0.1;

注 5: 非水平方向检测时, 用角度修正后的 R_m 查表。

附录 D
(规范性)

泵送混凝土 M225 型回弹仪不同浇筑面上回弹值的修正值

表D.1 泵送混凝土 M225 型回弹仪不同浇筑面上回弹值的修正值

R_m	顶面修正值 (R_a^t)	底面修正值 (R_a^b)
20	2.8	-2.3
21	2.7	-2.3
22	2.7	-2.2
23	2.7	-2.2
24	2.6	-2.2
25	2.5	-2.2
26	2.5	-2.2
27	2.4	-2.2
28	2.3	-2.2
29	2.2	-2.2
30	2.1	-2.1
31	2.0	-2.1
32	1.9	-2.1
33	1.8	-2.1
34	1.7	-2.0
35	1.6	-2.0
36	1.5	-2.0
37	1.4	-1.9
38	1.3	-1.9
39	1.2	-1.8
40	1.0	-1.8
41	0.9	-1.7
42	0.8	-1.7
43	0.6	-1.6
44	0.5	-1.6
45	0.4	-1.5
46	0.2	-1.5
47	0.1	-1.4
48	0	-1.5
49	0	-1.5
50	0	-1.4

注 1: R_m 小于 20 或大于 50 时, 均分别按 20 或 50 查表;

注 2: 表中有关混凝土浇筑顶面的修正系数, 是指一般原状混凝土面的修正值;

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

注 4: 表中未列入的相应于 R_m 的 R_a^t 或 R_a^b 值, 可用内插法求得, 精确至 0.1;

注 5: 非水平方向检测时, 用角度修正后的 R_m 查表。

附 录 E
(规范性)
专用测强曲线的制定方法

E.1.1 采用回弹仪应符合本文件第5章的各项要求，混凝土超声波检测仪器应符合本文件第6章的各项要求。

E.1.2 制定专用测强曲线的混凝土试块应与欲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GB 175的要求，混凝土用砂、石应符合JGJ 52的要求，混凝土搅拌用水应符合JGJ 63的要求。

E.1.3 试块的制作和养护

包括：

- a) 按施工常用配合比设计 5 个强度等级，每一强度等级每一龄期制作 6 个边长 150 mm 立方体试块，同一龄期试块宜在同一天内成型完毕；
- b) 在成型后的第二天，将试块移至与被测结构或构件相同的硬化条件下养护，试块拆模日期与结构或构件的拆模日期相同。

E.1.4 试块的测试

包括：

- a) 将到达龄期的试块表面擦净，以试块浇注侧面为承压面，将试块置于压力机的上、下承压板之间，加压（30~100）kN（低强度试块相应取低压力值）；
- b) 在试块保持（30~100）kN 的压力下，按本文件第 7.2 条规定的方法，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；
- c) 回弹值检测完毕后，再按本文件第 7.4 条要求进行超声声速检测；
- d) 按本文件规定，计算该试块的回弹平均值、超声声速平均值；
- e) 超声声速检测完毕后，应按 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，精确至 0.1 MPa；
- f) 按本文件第 7.3 条规定的方法检测回弹检测面的碳化深度。

E.1.5 专用测强曲线的计算

包括：

- a) 专用测强曲线的回归方程式，应按每一试块求得的回弹值、超声声速、碳化深度和抗压强度数据，采用最小二乘法原理计算；
- b) 回归方程宜采用以下函数关系式：

$$f_c = AR_m^B \cdot v_m^C 10^{Dd_m} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

A、B、C、D——回归系数。

- c) 回归方程的相对标准误差 e_r 及平均相对误差 δ_r ，可按公式（E.2）、（E.3）计算：

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

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

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 0.1 MPa；
- $f_{c,i}$ ——对应于第 i 个试块的回弹值、超声声速和碳化深度按 (E.1) 式回归方程计算的强度换算值，精确至 0.1 MPa；
- n ——制定回归方程式的试块数。

E. 1. 6 专用测强曲线的强度误差应符合下列规定：

- a) 平均相对误差 $\delta_r \leq 10.0$ %；
 - b) 相对标准差 $e_r \leq 12.0$ %。
- 当 δ_r 和 e_r 符合规定时，经专家论证通过后使用。

附 录 F (规范性) 异常数据判断和处理

F.1 异常数据判断

依据GB/T 4883，可采用格拉布斯准则进行异常值判断，将测区混凝土强度换算值按从小到大顺序排列 $f_{cu,1}$ 、 $f_{cu,2}$ 、……、 $f_{cu,n}$ ，计算统计量：

$$G_n = (f_{cu,n} - m_{f_{cu}}) / s_{f_{cu}} \dots\dots\dots (F.1)$$

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

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最小值；
- $f_{cu,n}$ ——构件或检测批混凝土强度换算值最大值；
- $G_{0.975}$ 、 $G_{0.995}$ ——格拉布斯检验临界值，按检测批测区数量由附录H查得。

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 $G_{0.995}$ 。

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。

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。

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。

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。

F.2 异常数据处理

若检出了一个离群值，应用相同的检出水平和相同的规则，对除去已检出离群值后余下的数值继续检验，直到不能检出离群值为止。对除去已检出统计离群值后余下的数值，应按本文件第9.1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，对此样本应作慎重的研究和处理。

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，若在技术上或物理上找到了产生它的原因，则应剔除或修正；若未找到产生它的物理上和技术上的原因，则不得剔除或进行修正。

为保证结构安全，建议按下列方法处理：

- a) 高端歧离值可从样本中直接剔除；
- b) 低端歧离值在有充分理由说明其异常原因时，可以剔除；
- c) 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；
- d) 保留歧离值，补充检测，增加样本数后重新检验异常值；
- e) 保留歧离值，重新划分检测批后重新检测；
- f) 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 G
(规范性)
检验批样本容量与推定区间上、下限系数

表G.1 检验批样本容量与推定区间上、下限系数

样本容量 <i>n</i>	0.05 分位值		样本容量 <i>n</i>	0.05 分位值	
	<i>k</i> _{0.05,u} (0.05)	<i>k</i> _{0.05,l} (0.05)		<i>k</i> _{0.05,u} (0.05)	<i>k</i> _{0.05,l} (0.05)
9	0.990	3.031	38	1.289	2.141
10	1.017	2.911	39	1.293	2.133
11	1.041	2.815	40	1.297	2.125
12	1.062	2.736	41	1.300	2.118
13	1.081	2.671	42	1.304	2.111
14	1.098	2.614	43	1.308	2.105
15	1.114	2.566	44	1.311	2.098
16	1.128	2.524	45	1.314	2.092
17	1.141	2.486	46	1.317	2.086
18	1.153	2.453	47	1.321	2.081
19	1.164	2.423	48	1.324	2.075
20	1.175	2.396	49	1.327	2.070
21	1.184	2.371	50	1.329	2.065
22	1.193	2.349	60	1.354	2.022
23	1.202	2.328	70	1.374	1.990
24	1.210	2.309	80	1.390	1.964
25	1.217	2.292	90	1.403	1.944
26	1.225	2.275	100	1.414	1.927
27	1.231	2.260	110	1.424	1.912
28	1.238	2.246	120	1.433	1.899
29	1.244	2.232	130	1.441	1.888
30	1.250	2.220	140	1.448	1.879
31	1.255	2.208	150	1.454	1.870
32	1.261	2.197	160	1.459	1.862
33	1.266	2.186	170	1.465	1.855
34	1.271	2.176	180	1.469	1.849
35	1.276	2.167	190	1.474	1.843
36	1.280	2.158	200	1.478	1.837
37	1.284	2.149	---	---	---
注：当测区数量大于200时，可按测区数量为200取值。					

附 录 H
(规范性)
格拉布斯检验临界值表

表H.1 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	$G_{0.975}$	$G_{0.995}$
9	2.215	2.387	40	3.036	3.381	71	3.262	3.627
10	2.290	2.482	41	3.046	3.393	72	3.267	3.633
11	2.355	2.564	42	3.057	3.404	73	3.272	3.638
12	2.412	2.636	43	3.067	3.415	74	3.278	3.643
13	2.462	2.699	44	3.075	3.425	75	3.282	3.648
14	2.507	2.755	45	3.085	3.435	76	3.287	3.654
15	2.549	2.806	46	3.094	3.445	77	3.291	3.658
16	2.585	2.852	47	3.103	3.455	78	3.297	3.663
17	2.620	2.894	48	3.111	3.464	79	3.301	3.669
18	2.651	2.932	49	3.120	3.474	80	3.305	3.673
19	2.681	2.968	50	3.128	3.483	81	3.309	3.677
20	2.709	3.001	51	3.136	3.491	82	3.315	3.682
21	2.733	3.031	52	3.143	3.500	83	3.319	3.687
22	2.758	3.060	53	3.151	3.507	84	3.323	3.691
23	2.781	3.087	54	3.158	3.516	85	3.327	3.695
24	2.802	3.112	55	3.166	3.524	86	3.331	3.699
25	2.822	3.135	56	3.172	3.531	87	3.335	3.704
26	2.841	3.157	57	3.180	3.539	88	3.339	3.708
27	2.859	3.178	58	3.186	3.546	89	3.343	3.712
28	2.876	3.199	59	3.193	3.553	90	3.347	3.716
29	2.893	3.218	60	3.199	3.560	91	3.350	3.720
30	2.908	3.236	61	3.205	3.566	92	3.355	3.725
31	2.924	3.253	62	3.212	3.573	93	3.358	3.728
32	2.938	3.270	63	3.218	3.579	94	3.362	3.732
33	2.952	3.286	64	3.224	3.586	95	3.365	3.736
34	2.965	3.301	65	3.230	3.592	96	3.369	3.739
35	2.979	3.316	66	3.235	3.598	97	3.372	3.744
36	2.991	3.330	67	3.241	3.605	98	3.377	3.747
37	3.003	3.343	68	3.246	3.610	99	3.380	3.750
38	3.014	3.356	69	3.252	3.617	100	3.383	3.754
39	3.025	3.369	70	3.257	3.622	---	---	---
注：当测区数量大于100时，可按测区数量为100取值。								

参 考 文 献

- [1] GB 50010—2010（2015年版） 混凝土结构设计规范
- [2] GB 50107—2010 混凝土强度检验评定标准
- [3] GB 50204—2015 混凝土结构工程施工质量验收规范
- [4] GB 50300—2013 建筑工程施工质量验收统一标准
- [5] GB/T 2828.1—2012 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
- [6] GB/T 3361—1982 数据的统计处理和解释 在成对观测值情形下两个均值的比较
- [7] GB/T 4885—2009 正态分布完全样本可靠度单侧置信下限
- [8] GB/T 50081—2019 混凝土物理力学性能试验方法标准
- [9] GB/T 50344—2019 建筑结构检测技术标准
- [10] GB/T 50784—2013 混凝土结构现场检测技术标准
- [11] JGJ 55—2011 普通混凝土配合比设计规程
- [12] T/CECS 02—2020 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程
-

《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术 规程》地方标准编制说明

一、起草单位

《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》主要起草单位为：山东省建筑科学研究院有限公司、山东普泰工程检测鉴定有限公司；参与起草单位为：青岛建科工程检测有限公司、青岛建国工程检测有限公司、山东泰山普惠建工有限公司、山东国泰建筑工程设计咨询有限公司、山东中科工程质量检测有限公司、国网山东省电力公司经济技术研究院、青岛高新区工程质量检测有限公司、山东省乐陵市回弹仪厂、山东鲁勘工程检测鉴定有限公司、日照兴业集团有限公司、山东建科特种建筑工程技术中心有限公司。

二、起草人

崔士起、孔旭文、成勃、李守才、陈恩震、李青灿、张伟、崔珑、戴姗姗、刘振栋、亓学涛、张庆厚、李自然、孙德峰、郑耀斌、宋龙、时兆福、刘小雷、房贤亭、窦家锋、韩建、王光青、贾清华、谢新法、朱翠霞、赵善民、刘国相、王清华、谢丹、蓝筱龙、董骞、李伟、杨汝俊、刘国辉、张国良、王帅、高超、王志鹏。

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，请反馈至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，联系电话：0531-85595207，e-mail: jiegoufengyuan@vip.163.com），以供今后修订时参考。