

中国工程建设标准化协会标准

摆锤敲入法检测混凝土抗压强度技术规程

Technical specification for inspecting of concrete compressive
strength by pendulum bob knocking-in resistance method

T/CECS *** : 2021

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

摆锤敲入法检测混凝土抗压强度技术规程

Technical specification for inspecting of concrete compressive
strength by pendulum bob knocking-in resistance method

T/CECS * : 2021**

主编单位：中建土木（北京）工程检测鉴定中心

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2021 年××月××日

中国建筑工业出版社

2021 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2019]12 号）要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

本规程共分 5 章和 3 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、检测仪器、检测技术、混凝土抗压强度计算及推定等。

本规程的某些内容涉及摆锤敲击法检测材料强度的装置（ZL 2017 2 0118021.2）及摆锤敲入仪（ZL 2019 3 0291656.7）等专利。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本规程的主编单位协商处理，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由中建土木（北京）工程检测鉴定中心负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中建土木（北京）工程检测鉴定中心（北京市朝阳区胜古南里 18 号楼 8-102，邮政编码：100029）。

主 编 单 位： 中建土木（北京）工程检测鉴定中心

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 检测仪器	4
3.1 仪器及性能	4
3.2 核查与校准	5
4 检测技术	6
4.1 一般规定	6
4.2 摆锤敲入法检测	7
5 混凝土抗压强度计算及推定	9
附录 A 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度记录表	12
附录 B 混凝土专用测强曲线制定方法	13
附录 C 检测报告	15
本规程用词说明	16
引用标准目录	17
附：条文说明	18

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	2
3 Testing Instruments	4
3.1 Instruments and Performance	4
3.2 Verification and Calibration	5
4 Testing Technology	6
4.1 General Requirements	6
4.2 Testing by Pendulum Bob Knocking-in Resistance	7
5 Calculation and inference of Compressive Strength for concrete	9
Appendix A Testing Record Table for Strength of concrete	12
Appendix B Method of Formulating for Special Curve of Testing Strength for concrete	13
Appendix C Testing Report	15
Explanation of Wording in This Specification	16
List of Quoted Standards	17
Addition: Explanation of Provisions	18

1 总 则

1.0.1 为了规范摆锤敲入法检测普通混凝土抗压强度的方法,保证现场检测数据准确、评价正确,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工程结构中混凝土抗压强度的现场无损检测,不适用于遭受高温、冻害、火灾等表面损伤混凝土的检测。

1.0.3 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度,除应执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 摆锤敲入法检测 test by pendulum bob knocking-in resistance method

摆锤敲入仪锤头自由下摆将测钉敲入混凝土中，依据测钉的敲入深度来推定混凝土抗压强度的检测方法。

2.1.2 检验批 inspection lot

混凝土生产工艺、强度等级相同，原材料、配合比、养护条件基本一致且龄期相近，由一定数量构件构成的检测对象。

2.1.3 测点 test point

在构件上按检测方法要求布置的若干个检测点。

2.1.4 测孔 pin hole

摆锤敲入法检测后，在混凝土上所留下的孔。

2.1.5 混凝土抗压强度换算值 conversion value of timber string static strength

依据测钉敲入混凝土的深度，通过测强曲线计算得到的混凝土抗压强度值。

2.2 符 号

d_j ——混凝土第 j 个测点的敲入深度值；

m_i ——第 i 个构件混凝土的敲入深度平均值；

$f_{cu,i}^c$ ——第 i 个构件的混凝土抗压强度换算值；

$f_{cu,e}^c$ ——混凝土抗压强度推定值；

η ——修正系数；

$f_{cor,i}$ ——第 i 个混凝土芯样试件的抗压强度值；

$m_{f_{cu}^c}$ ——检验批中所抽检构件混凝土强度换算值的平均值；

$S_{f_{cu}^c}$ ——检验批中所抽检构件混凝土强度换算值的标准差；

α 、 β ——测强曲线回归系数；

m_{δ} ——混凝土抗压强度换算值相对于实测混凝土抗压强度值的平均相对误差；

e_r ——混凝土抗压强度换算值相对于实测混凝土抗压强度值的相对标准差；

$f_{cu,i}$ ——第 i 个试块抗压强度值。

3 检测仪器

3.1 仪器及性能

3.1.1 摆锤敲入法检测仪器应包括摆锤敲入仪和深度测量表。

3.1.2 摆锤敲入仪（图 3.1.2）应包括锤头、摆杆、轴承、悬臂、竖板、测钉、测钉座、激发杆、水准泡、调节螺丝、限位销、把手和防护架等组件。

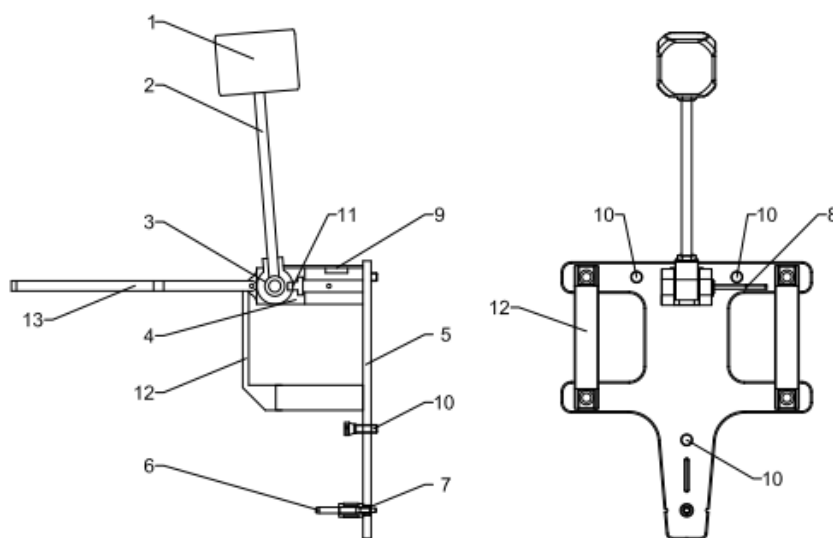


图 3.1.2 摆锤敲入仪构造示意图

1—锤头；2—摆杆；3—轴承；4—悬臂；5—竖板；6—测钉；7—测钉座；
8—激发杆；9—水准泡；10—调节螺丝；11—限位销；12—把手；13—防护架

3.1.3 摆锤敲入仪和深度测量表应具有产品合格证及经校准后符合测试要求的校准证书。

3.1.4 摆锤敲入仪应符合下列技术要求：

- 1 锤头质量应为 (2 ± 0.02) kg；
- 2 摆杆直径应为 (10 ± 0.1) mm；
- 3 轴承中心到锤头中心的距离应为 (223 ± 2) mm；
- 4 摆动角度应为 $(175 \pm 1)^\circ$ ；
- 5 当将摆锤敲入仪水平向固定于支架上时，锤头自由摆动至最低点时的速度不应小于 1.84m/s。

3.1.5 深度测量表（图 3.1.5）的分度值应为 0.01mm。

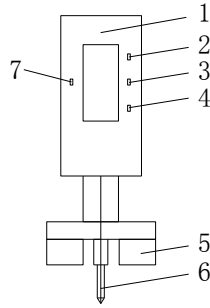


图 3.1.5 深度测量表示意图

1-深度测量表；2-保持键；3-清零键；4-开关；5-扁头；6-尖测针；7-测量单位选择键

3.1.6 测钉宜采用工具钢，其洛氏硬度 HRC 宜为 45~50，并应符合下列规定：

- 1 测钉细端应为半球面。球的直径为 (3.00 ± 0.06) mm，细端总长度应为 4.50mm；
- 2 测钉过渡段长度应为 12.00mm；
- 3 测钉粗端长度应为 43.50mm，直径应为 (6.00 ± 0.06) mm。

3.1.7 深度测量表使用的环境温度应为 $-4^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 核查与校准

3.2.1 使用摆锤敲入仪前应对其进行核查，并符合下列规定：

- 1 将摆锤敲入仪水平固定于支架上时，锤头自顶部自由下摆后的持续摆动时间不应少于 4min；
- 2 摆锤敲入仪轴承中心到锤头中心的距离应为 (223 ± 2) mm；
- 3 测钉应无弯曲且细端的直径应为 (4.00 ± 0.06) mm。

3.2.2 摆锤敲入仪应由校准机构进行校准，校准周期宜为 3 年。

3.2.3 当出现下列情况之一时，应对摆锤敲入仪进行校准：

- 1 新仪器启用前；
- 2 达到校准周期；
- 3 更换主要零件或对仪器进行过调整；
- 4 检测数据异常；

3.2.4 摆锤敲入仪的校准应符合本规程第 3.1.4 条第 5 款的要求。

3.2.5 深度测量表应经计量部门检定合格。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 用摆锤敲入法检测的混凝土应符合下列规定：

- 1 混凝土采用的水泥、砂石、外加剂、掺合料、拌和用水符合国家现行有关标准；
- 2 采用符合国家标准规定的模板以及普通成型工艺；
- 3 表面应干燥、清洁、平整；
- 4 龄期不应少于 14d；
- 5 抗压强度应为 10MPa~50MPa；
- 6 结构或构件厚度不应小于 80mm；
- 7 测试部位铅直面高度不宜小于 500mm。

4.1.2 检测混凝土抗压强度时，委托单位宜提供下列资料：

- 1 建设单位、设计单位、施工单位名称；
- 2 工程名称、结构类型及工程图纸；
- 3 混凝土种类、设计强度等级；
- 4 施工建造日期；
- 5 检测原因。

4.1.3 混凝土抗压强度的检测，可按单个构件或按检验批抽样进行检测。按检验批抽样检测时，构件抽样数不应少于表 4.1.3 规定的数量。

表 4.1.3 建筑结构抽样检测的最小样本容量

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
3~8	2	2	3	281~500	20	50	80
9~15	2	3	5	501~1200	32	80	125
16~25	3	5	8	1201~3200	50	125	200
26~50	5	8	13	3201~10000	80	200	315
51~90	5	13	20	10001~35000	125	315	500
91~150	8	20	32	35001~150000	200	500	800
151~280	13	32	50	150001~500000	315	800	1250

注：1 检测类别 A 适用于施工或监理单位一般性抽样检测；可用于既有结构的一般性抽样检测；

2 检测类别 B 适用于混凝土施工质量的抽样检测；可用于既有结构安全鉴定时的混凝土强度检测；

3 检测类别 C 适用于混凝土施工质量的复检；可用于存在问题较多的既有结构混凝土强度的检测。

4.1.4 构件上测点的布置应符合下列规定：

- 1 测点应选在能使摆锤敲入仪处于铅直位置的混凝土浇筑侧面，且避开门窗洞口及预埋件等布置。
- 2 测点表面应为混凝土原浆面，不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面。
- 3 一个构件上应布置 12 个测点，两相邻测点间的距离以及测点与构件边缘的距离均不应小于 30mm。

4.2 摆锤敲入法检测

4.2.1 摆锤敲入法检测应按下列程序操作：

- 1 弹起激发杆，将锤头提至顶部，测钉插入竖板上的测钉座中，测钉细端朝被测构件，测钉座对准被测混凝土。
- 2 将摆锤敲入仪的竖板紧贴在构件上，使竖板处于铅直位置；当构件本身不完全铅直时，可调整摆锤敲入仪上的调节螺丝，使水准泡居中，以保证竖板处于铅直位置。
- 3 紧压摆锤敲入仪的把手，确认水准泡居中后，并确保锤头下摆不会伤及检测人员自身安全的前提下，拇指压激发杆，使锤头自由下摆，将测钉敲入混凝土中。锤头停止摆动后，测量测钉的敲入深度。

4.2.2 当检测过程中摆锤敲入仪出现滑动时，检测无效，并应重新选定测点进行补测。

4.2.3 测钉敲入深度的测量应按下列程序操作：

- 1 开启深度测量表，将其置于平整量块上（图 4.2.3），当扁头端面和平整量块表面重合时，再将深度测量表的示值调为零。
- 2 将测钉从混凝土中拔出，如测孔内落入异物，应用橡皮吹风器将测孔中的粉尘吹干净。

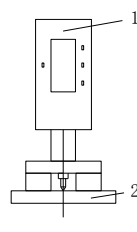


图 4.2.3 深度测量表示意图

1- 深度测量表；2-钢制平整量块

3 将深度测量表的尖测针对准测孔，使深度测量表扁头紧贴被测混凝土，并保持测量表垂直于被测混凝土的表面，从测量表中读取显示值 d_i 并记录，精确至 0.01mm。摆锤敲入法检测混凝土抗压强度的记录可采用本规程附录 A 的记录表。

5 混凝土抗压强度计算及推定

5.0.1 计算第 i 个构件混凝土的敲入深度平均值时，应先剔除 12 个测量值中的 1 个最大值和 1 个最小值，其余 10 个敲入深度的平均值应按下列式计算：

$$m_i = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} d_j \quad (5.0.1)$$

式中： m_i ——第 i 个构件混凝土的敲入深度平均值(mm)，精确至 0.01mm；

d_j ——混凝土第 j 个测点的敲入深度值(mm)，精确至 0.01mm。

5.0.2 第 i 个构件混凝土的抗压强度换算值应按下列式计算：

$$f_{cu,i}^c = 109.0 m_i^{-1.24} \quad (5.0.2)$$

式中： $f_{cu,i}^c$ ——第 i 个构件混凝土的抗压强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa。

5.0.3 当按式 (5.0.2) 计算所得混凝土的抗压强度换算值小于 10.0MPa 或大于 50.0MPa 时，不宜给出具体换算值。

5.0.4 当需要制定某项目的专用测强曲线时，其测强曲线的制定应符合本规程附录 B 的规定。

5.0.5 当结构所采用的材料与本规程第 4.1.1 条所规定的材料有较大差异时，应从结构中钻取直径 100mm 的混凝土芯样，根据芯样抗压强度对混凝土强度换算值进行修正。芯样数量不应少于 4 个，在每个钻取芯样附近进行 12 个点的敲入试验，取测区敲入深度平均值代入公式 (5.0.2) 中，计算每个芯样附近的混凝土强度换算值，修正系数可按下列式计算：

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i} / f_{cu,i}^c \quad (5.0.5)$$

式中 η ——修正系数，精确至 0.01；

$f_{cu,i}^c$ ——第 i 个芯样附近的混凝土强度换算值 (MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cor,i}$ ——第 i 个混凝土芯样试件的抗压强度值 (MPa)，精确至 0.1MPa；

n ——芯样数 ($n \geq 4$)。

5.0.6 当用钻芯法对摆锤敲入法进行修正时，芯样的钻取、加工、试验等应符合现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的要求。各测点混凝土抗压强度换算值均应乘以修正系数 η 。

5.0.7 当按单个构件检测时，构件的混凝土抗压强度推定，应按下式计算：

$$f_{cu,e}^c = 0.9f_{cu,i}^c \quad (5.0.7)$$

式中： $f_{cu,e}^c$ ——混凝土抗压强度推定值(MPa)，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,i}^c$ ——第 i 个构件混凝土抗压强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa。

5.0.8 当按检验批检测时，检验批的混凝土抗压强度推定值，应符合下列规定：

1 当检验批中构件数量少于 10 时，应按下式计算：

$$f_{cu,e}^c = f_{cu,min}^c \quad (5.0.8-1)$$

式中： $f_{cu,min}^c$ ——检验批中最小的构件混凝土抗压强度推定值(MPa)，精确至 1MPa；

2 当检验批中构件数量不少于 10 时，应按下列公式计算：

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c} \quad (5.0.8-2)$$

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \quad (5.0.8-3)$$

$$S_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c - m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (5.0.8-4)$$

式中 $f_{cu,e}^c$ 一检验批的混凝土抗压强度推定值

$m_{f_{cu}^c}$ 一检验批中所抽检构件混凝土强度换算值的平均值(MPa)，精确至 0.1MPa；

n 一检验批中所抽检的构件数；

$f_{cu,i}^c$ 一第 i 个构件混凝土强度换算值(MPa)，精确至 0.1MPa；

$S_{f_{cu}^c}$ —检验批中所抽检构件混凝土强度换算值的标准差 (MPa)，精确至 0.01MPa。

5.0.9 确定检验批混凝土强度推定值时，可剔除构件混凝土强度代表值中的离群值。剔除规则应按现行国家标准《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》GB/T 4883 的规定执行。剔除离群值后，检验批中构件数应满足本规程第 4.1.3 条的要求，并应重新计算检验批中混凝土强度代表值的平均值、标准差和最小值。

5.0.10 对按检验批检测的构件，当该批构件混凝土强度代表值的标准差出现下列情况之一时，该批构件应全部按单个构件进行检测：

1 当该批构件混凝土强度代表值的平均值 $m_{f_{cu}^c} < 25.0\text{MPa}$ 时，标准差 $S_{f_{cu}^c} > 4.50\text{MPa}$ ；

2 当该批构件混凝土强度代表值的平均值 $m_{f_{cu}^c} \geq 25.0\text{MPa}$ 时，标准差 $S_{f_{cu}^c} > 5.50\text{MPa}$ 。

5.0.11 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度报告可按本规程附录 C 的格式编写。

附录 A 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度记录表

表 A 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度记录表

共 页第 页

工程名称:						
检测仪器型号及编号:			构件表面状况:			
混凝土的种类:			施工建造日期:			
环境温度:			检测依据:			
构件位置	序号	敲入深度 d_j (mm)	序号	敲入深度 d_j (mm)	序号	敲入深度 d_j (mm)
	1		5		9	
	2		6		10	
	3		7		11	
	4		8		12	
	$\text{第 } i \text{ 个构件混凝土的敲入深度平均值 } m_i = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} d_j =$ $\text{第 } i \text{ 个构件混凝土的抗压强度换算值 } f_{cu,i}^c = 109.0 m_i^{-1.24} =$					
构件位置	序号	敲入深度 d_j (mm)	序号	敲入深度 d_j (mm)	序号	敲入深度 d_j (mm)
	1		5		9	
	2		6		10	
	3		7		11	
	4		8		12	
	$\text{第 } i \text{ 个构件混凝土的敲入深度平均值 } m_i = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} d_j =$ $\text{第 } i \text{ 个构件混凝土的抗压强度换算值 } f_{cu,i}^c = 109.0 m_i^{-1.24} =$					
备注	计算混凝土的敲入深度平均值时, 去掉 12 个测点中的 1 个最大值和 1 个最小值					

检测:

记录:

校核:

检测日期:

附录 B 混凝土专用测强曲线制定方法

B.0.1 制定专用测强曲线的试块应与欲测构件在原材料（含品种、规格）、成型工艺、养护方法等方面条件相同。

B.0.2 试块的制作、养护应符合下列规定：

1 应选取 8 种不同强度等级（C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50）的混凝土进行试验，每一强度等级应分别制作不少于 6 组（18 块）边长 150mm 的立方体试块。

2 在成型 24h 后，应将试块移至与被测构件相同条件下养护，试块拆模日期宜与构件的拆模日期相同。

B.0.3 试块的测试应符合下列规定：

1 按龄期 14d、28d、60d、90d、180d 和 365d 分别进行 1 组（3 块）混凝土试块的摆锤敲入试验和抗压强度试验。

2 将 150mm 立方体试块置于试验机的下承压板上，其上对齐叠放 150mm×150mm×360mm 木块，试块的承压面应与成型时的顶面垂直，浇筑侧面朝向测试人员，加压（80～100）kN；

3 在试块保持压力下，采用符合本规定第 3.1.4 条规定的摆锤敲入仪和本规定第 4.2.1 条规定的操作方法，对 150mm 立方体试块的一个浇筑侧面用摆锤敲入 4 个点；

4 1 组混凝土试块共需进行 12 次摆锤敲入试验，剔除 12 个测量值中的 1 个最大值和 1 个最小值，以余下的 10 个敲入深度的平均值作为该组试块的代表值 m_i （mm），精确至 0.01mm；

5 卸荷后，取出立方体试块上方的 150mm×150mm×360mm 木块；

6 对每个试块进行加载试验，加荷直至破坏，以 3 个试块的抗压强度平均值作为该组试块的抗压强度值 $f_{cu,i}^c$ ，精确至 0.1MPa；

B.0.4 专用测强曲线的计算应符合下列规定：

1 专用测强曲线的回归方程式：

应按每一组试块的敲入深度平均值 m_i 和对应试块的抗压强度值 $f_{cu,i}^c$ ，采用最小二乘法进行计算。

2 回归方程式宜采用下式:

$$f_{cu} = \alpha \times m^\beta \quad (\text{B.0.3})$$

式中: α 、 β ——测强曲线回归系数;

m_i ——敲入深度平均值 (mm);

$f_{cu,i}^c$ ——第 i 组混凝土试件抗压强度换算值(MPa)。

B.0.5 测强曲线的平均相对误差不应大于 12%，相对标准差不应大于 14%。平均相对误差和相对标准差按下式计算:

$$m_\delta = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{cu,i}^c}{f_{cu,i}} - 1 \right| \times 100 \% \quad (\text{B.0.5-1})$$

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{cu,i}^c}{f_{cu,i}} - 1 \right)^2} \times 100 \% \quad (\text{B.0.5-2})$$

式中: m_δ ——混凝土抗压强度换算值相对于实测混凝土抗压强度值的平均相对误差 (%), 精确至 0.1;

e_r ——混凝土抗压强度换算值相对于实测混凝土抗压强度值的相对标准差 (%) 精确至 0.1;

$f_{cu,i}^c$ ——第 i 个试块抗压强度换算值 (MPa), 精确至 0.1MPa。

$f_{cu,i}$ ——第 i 个试块抗压强度值 (MPa), 精确至 0.1MPa。

n ——用于建立测强曲线的混凝土试块数。

附录 C 检测报告

C.0.1 检测报告宜包括下列内容：

- 1 委托单位、设计单位及施工单位名称；
- 2 建筑工程概况，包括工程名称、结构类型、规模、施工日期、现状及结构平面图；
- 3 检测原因；
- 4 检测项目、检测方法、检测数量及检测依据；
- 5 混凝土抗压强度等级，检测数据与检测结果；
- 6 出具报告的单位名称，主检、审核及批准人员签字；
- 7 检测及出具报告的日期。

C.0.2 其他需要说明的事项；对于无法用文字表述清楚的内容，应附简图。

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”。

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

引用标准目录

- 1 《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
- 2 《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 3 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 4 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》 JGJ/T 384

中国工程建设标准化协会标准

摆锤敲入法检测混凝土抗压强度技术规程

T/CECS *** : 2021

条文说明

目 次

1 总则	20
3 检测仪器	21
3.1 仪器及性能	21
3.2 核查与校准	22
4 检测技术	23
4.1 一般规定	23
4.2 摆锤敲入法检测	23
5 混凝土抗压强度计算及推定	24
附录 B 混凝土专用测强曲线制定方法	26

1 总 则

1.0.1 钢筋混凝土结构中混凝土抗压强度是工程质量事故和既有建筑物鉴定的重要数据基础，科学准确地检测混凝土抗压强度至关重要。摆锤敲入法是一种根据摆锤将测钉敲入混凝土中的深度确定混凝土抗压强度的原位无损检测方法，操作简单、检测快捷、检测结果精度较高，受人为影响因素小，具有比较广阔的应用前景。

1.0.2 当混凝土遭受火灾、腐朽、化学侵蚀等损伤时，敲入的深度将会受到影响，从而不再适用已建立的混凝土测强曲线。因此，摆锤敲入法检测技术不适用于表面有损伤的混凝土抗压强度检测。

1.0.3 正常情况下，混凝土抗压强度的检验和评定应按国家现行标准执行，不允许用本规程取代制作试件的规定。但是，当钢筋混凝土结构中所用混凝土抗压强度不符合相关标准规范的要求或对其有怀疑，以及对既有建筑进行检测鉴定时，可按本规程进行检测，并作为混凝土抗压强度检测的依据。

3 检测仪器

3.1 仪器及性能

3.1.1、3.1.2 摆锤敲入仪是通过测钉敲入构件的深度推定构件材料强度的一种新型检测仪器。摆锤敲入仪主要由锤头、摆杆、轴承、悬臂、竖板、测钉、测钉座、激发杆、水准泡、调节螺丝、限位销、把手、防护架等组成。摆锤敲入仪涉及摆锤敲击法检测材料强度的装置（ZL 2017 2 0118021.2）和摆锤敲入仪（ZL 2019 3 0291656.7）等专利，使用者可直接与本规程的第一主编单位协商处理。

深度测量表是用数显式百分表改制而成，精度高且可靠耐用。为了准确地测定敲入的深度，摆锤敲入仪测钉敲入部分的直径为 3mm。

3.1.3 摆锤敲入仪在使用前，应由校准机构对其进行校准，校准结果应符合本规程的技术要求。摆锤敲入仪为计量仪器，应在其明显位置标注名称、型号、制造厂名、生产日期及出厂编号。

3.1.4 摆锤敲入仪的敲入能量是通过锤头自由下摆的摆动获得的。锤头的重量、摆杆的长度、轴承到锤头中心的距离等性能指标决定了敲入能量的大小。通过试验确定敲入能量为 8.80J 是较为合适的，如果能量较小，其相应敲入深度小，不同强度的材料，敲入深度不易被拉开；如果能量过大，同时考虑到检测人员安全操作的需要，不能通过加长摆杆的长度，只能增加锤头的重量，从而引起摆锤敲入时离心力的增加，这样就难以满足检测时一个人对摆锤敲入仪操控的需要。

摆锤敲入仪的摆动角度为 175° ，是考虑在不借助外力的作用下摆锤便可自由下摆，从而确保摆锤敲入仪具有固定的敲入能量。当摆锤敲入仪经长时间的使用，有可能阻尼增大，测量自由摆动速度的目的是保证其敲击时能量不变。

3.1.6 工具钢具有硬度高，且其韧性、耐磨性和耐热性均较好，是制作测钉的理想材料。测钉的形状和几何尺寸是通过试验确定的。测钉的细端为敲入端，细端应为半球面，球的直径为 3.00mm，细端总长度应为 4.50mm。过渡段与粗端的设计主要是为了增强测钉的刚度，提高测钉的重复使用次数。当测钉的几何尺寸和公差不能满足本规程要求时，将影响检测结果的精度。

3.1.7 环境温度异常时，对深度测量表的性能有影响，故规定了其使用环境温度应为 $-4^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 核查与校准

3.2.1 为便于检测单位对有效期内的摆锤敲入仪进行期间核查，可制作摆锤敲入仪期间核查用的支架（见图 3.2.1）。支架由 1 块尺寸为 $400\text{mm} \times 240\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的钢板和 2 根高 350mm 、宽 200mm 、直径不小于 14mm 的“U”形钢筋焊接而成，2 根“U”形钢筋间距为 200mm 。期间核查时，将摆锤敲入仪放在支架上，固定摆锤敲入仪和激发杆，将锤头提至最高处，使锤头自由下摆，摆锤自由摆动一个周期为一次，当摆锤自由摆动的时间少于 4min 时，应对仪器维修、调试，并重新进行校准。

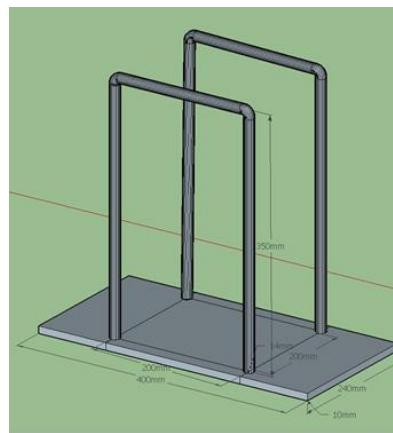


图 3.2.1 摆锤敲入仪期间核查用的支架

3.2.2 仪器的校准是为了保证仪器的检测状态满足摆锤敲入仪的技术要求。只有统一仪器的性能，才能适用规程所建立的测强曲线，才能保证检测结果的可靠性，才能在同一水平上进行比较。由于仪器在使用中，轴承转动时的摩擦力会随着仪器的使用次数、油的粘度变化而发生变化，因此规程规定了定期校准的要求。

3.2.3 当更换或调整仪器的主要零件时，轴承到锤头中心的距离、摆动角度等技术指标会发生变化，因此，在更换主要零件或对仪器进行调整时应进行校准。

将摆锤敲入仪水平置于支架上，测试其自由摆动的持续时间是为了验证摆锤自由下摆时的阻尼。经理论计算和实际测试，摆锤敲入仪自由摆动的周期约为 1s ，自由摆动的持续时间不少于 4min ，即自由摆动的次数不少于 240 次。

摆锤敲入仪其重量是恒定的，不像回弹仪、贯入仪依靠弹簧拉伸或压缩来提供能量，而弹簧是随着使用的次数，其刚度会降低。当摆锤敲入仪锤头缺损或锈蚀严重，有可能导致质量发生改变，超出其允许偏差范围时，应更换摆锤敲入仪。

3.2.4 摆锤敲击时的能量大小与速度直接相关，计量部门可用激光测量装置，对摆锤的速度进行测试。如果竖向放置摆锤敲入仪，测试最低点的速度，由于水平向撞击作用，其测试结果波动较大；而水平向放置摆锤敲入仪，测试最低点的速度，无水平向撞击作用，其测试结果波动较小。

3.2.5 深度测量表的准确性对检测结果的影响较大，使用前应经法定部门检定合格。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土受潮或被雨淋湿后表面硬度降低，当对其进行敲入法检测时，敲入深度会变大，因此被检测混凝土表面应为自然干燥状态。混凝土的表面是否清洁、平整，对敲入深度的检测与测量影响也较大，故要求被测混凝土的表面应清洁、平整。当结构或构件厚度过小，会引起结构或构件在测试时发颤，导致测试结果偏大；测试部位铅直面高度过小，会引起仪器操作空间不足，甚至无法进行现场测试。故要求结构或构件厚度不应小于 80mm，且测试部位铅直面高度不应小于 550mm。

4.1.4 当构件表面有饰面层时，应剔除饰面层，剔除尺寸不宜小于 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ；当混凝土表面不平整时，可用角磨机打磨。

4.2 摆锤敲入法检测

4.2.2 当检测过程中摆锤敲入仪出现滑动时，摆锤敲入的动能有所降低，导致敲入深度测量结果偏浅，应重新选定测点进行补测。

4.2.3 敲入试验后，如测孔内有粉尘等异物，可用橡皮吹风器将测孔内的粉尘吹干净，否则将导致敲入深度测量结果偏浅。

5 混凝土抗压强度计算及推定

5.0.2 本规程所建立的测强曲线，是在大量试验数据的基础上，通过对试验结果进行回归分析建立的，试验数据取自北京、广西、吉林、安徽、浙江、河南、内蒙古等省市，测强曲线的回归效果见表 1。

表 1 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度测强曲线

类别	测强曲线	相关系数	平均相对误差
普通混凝土	$f_{cu,i}^c = 109.0m_i^{-1.24}$	0.90	12.0%

5.0.5、5.0.6 当现场检测条件与测强曲线的适用条件有较大差异时，须从结构或构件中钻取混凝土芯样试件进行修正。修正的方法有修正系数法和修正量法，本规程采用修正系数法。在确定修正系数时，试件数量不应少于 4 个，且在不同的构件上钻取芯样试件。

工程实践和理论分析表明，修正系数估计的准确程度与确定修正系数的试件数量有关，修正系数的标准差与试件数量的平方根成反比。钻取混凝土芯样试件越多，其准确度越高，但结构或构件中钻取混凝土芯样过多，会影响结构或构件的承载力，因此，规定钻取的芯样数量不应少于 4 个。

按照现行协会标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的要求，抗压试验的芯样试件宜使用标准芯样试件，其公称直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍；工程实践表明，芯样试件的抗压强度随芯样直径不同而有所不同，一般而言，对于强度等级不大于 C25 的混凝土，小芯样试件的抗压强度往往会偏低；对于强度等级大于 C40 的混凝土，小芯样试件的抗压强度往往会偏高。因此，为减小芯样直径对其强度的影响，用钻芯法对摆锤敲入法进行修正时，宜钻取直径为 100mm 的标准芯样。

5.0.7 当按单个构件检测时，混凝土抗压强度推定值之所以考虑 0.9 折减，是为了使强度推定值具有一定的保证率。

5.0.8 国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 规定，混凝土强度等级应按立方体试块抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 确定。立方体试块抗压强度标准值系指按照标准方法制作和养护的边长为 150mm 的立方体试块，在 28d 龄期，用标准试验方法测得的抗压强度总体分布中的一个值，强度低于该值的百分率不超过 5%。而

摆锤敲入法检测对象在多数情况下，龄期难以保证为 28d，养护条件也大多不是标准养护条件，因此，按本条计算得到的混凝土强度推定值相当于被测结构在所处境况及龄期下，边长为 150mm 立方体试块的抗压强度总体分布具有 95%保证率的强度值。

5.0.9 离群值的舍弃应有一定的规则，本条提供了离群值的舍弃标准。以下使用格拉布斯（Grubbs）检验法，举例说明离群值剔除的计算过程。

有 10 个构件的混凝土强度代表值(单位:MPa)分别为 34.7、35.4、36.0、36.5、37.3、37.0、38.2、39.0、39.7、46.0, 检查这些数据中是否存在上侧离群值。

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + \cdots + X_n) / n = 38.0;$$

$$s = (\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1))^{1/2} = 3.22$$

$$G_{10} = (X_{10} - \bar{X}) / s = (46.0 - 38.0) / 3.22 = 2.484$$

确定检出水平 $\alpha = 0.05$ ，在表 2 中查出临界值 $G_{0.95}(10) = 2.176$ ，因 $G_{10} > G_{0.95}(10)$ ，判定 $X_{10} = 46.0$ 为离群值。

对于检出的离群值 $X_{10} = 46.0$ ，确定剔除水平 $\alpha^* = 0.01$ ，在表 2 中查出临界值 $G_{0.99} = 2.410$ ，因 $G_{10} > G_{0.99}(10)$ ，故判 $X_{10} = 46.0$ 为高度离群值，可以剔除。

表 2 格拉布斯（Grubbs）检验法的临界值

n	95%（检出水平 $\alpha = 0.05$ ）	99%（剔除水平 $\alpha^* = 0.01$ ）
5	1.672	1.749
6	1.822	1.944
7	1.938	2.097
8	2.032	2.221
9	2.110	2.323
10	2.176	2.410
11	2.234	2.485
12	2.285	2.550
13	2.331	2.607
14	2.371	2.659
15	2.409	2.705

5.0.10 当检验批的标准差过大时，说明已有某些偶然因素起作用，例如构件不是同一强度等级、龄期差异较大等，检验批混凝土不属于同一母体，不能按批进行推定。

附录 B 混凝土专用测强曲线制定方法

B.0.1 制定专用测强曲线的试块应与欲测构件在原材料（含品种、规格）、成型工艺、养护方法等方面条件相同时，测强曲线的针对性强，检测结果的重复性好，检测精度高。

B.0.2 试块的制作、养护应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的要求，规定每一强度等级不少于 6 组 150mm 立方体试块的试验数据，主要是为了用不同龄期的试块进行试验。

B.0.3 进行摆锤敲入仪试验时，摆锤锤头最高点与最低点间的高度差约为 500mm，为了能在试验机上进行摆锤敲入试验，故将 150mm×150mm×360mm 木块与立方体试块对齐叠放于试验机的上下承压板之间，增加的 360mm 高度，以满足摆锤敲入仪测试所需要的高度。为了固定混凝土试块，敲入试验前应对与木块叠放在一起的立方体试块加压（80～100）kN。浇筑侧面朝向测试人员，是为了便于测试人员对试块进行敲入试验。敲入试验后，对敲入深度值进行测量，1 组混凝土试块共需进行 12 次摆锤敲入试验，剔除 12 个测量值中的 1 个最大值和 1 个最小值，以余下的 10 个敲入深度的平均值作为该组试块的代表值。测量敲入深度值完成后，应进行卸荷，取出上面木块，再对下方混凝土试块进行加载试验，加荷直至破坏，以 3 个试块的平均值作为该组试块的抗压强度值 $f_{cu,i}^c$ 。