

山东省工程建设标准



DB37/T 5169—2020

J 15414—2020

印痕法检测建筑钢材强度技术规程

Technical specification for testing construction
steel strength by imprint method

2020-10-15 发布

2020-12-01 实施



统一书号：155160·2267
定 价：45.00 元

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

山东省工程建设标准

印痕法检测建筑钢材强度技术规程

Technical specification for testing construction
steel strength by imprint method

DB37/T 5169—2020

住房和城乡建设部备案号: J 15414 — 2020

主编单位: 山东省建筑科学研究院有限公司

铁正检测科技有限公司

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

实施日期: 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、山东省质量技术监督局《关于印发〈2018年第二批山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》（鲁建标字〔2018〕17号）的要求，标准编制组进行了广泛、深入的调查研究，总结了国内外钢材强度检测的经验，结合山东省房屋建筑的实际，在调查、研讨、修改、总结实践经验的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：总则、术语和符号、检测设备、检测技术、测强曲线、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）。

本 规 程 主 编 单 位：山东省建筑科学研究院有限公司
铁正检测科技有限公司

本 规 程 参 编 单 位：济南市工程质量与安全生产监督站
滨州市工程建设质量监督站
青岛理工大学
枣庄市建筑工程质量监督站
莱州市建筑工程质量监督站
泗水县建筑工程质量监督站
山东建科建筑设计有限责任公司

本规程主要起草人员：成 勃 姜丽萍 鲁爱民 李宗才
崔士起 李建业 金跃衡 刘 伟
刘伟明 武 杰 王 伟 苏 磊
李仰贤 李 潭 王鹏刚 卢传伟

相龙辉 李德旺 赵 晶 孙 浩
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	2
3 检测设备	3
3.1 仪器及性能	3
3.2 校准基本要求	4
4 检测技术	5
4.1 一般规定	5
4.2 测点布置	6
4.3 印痕检测	6
5 测强曲线	8
5.1 一般规定	8
5.2 山东地区测强曲线	8
5.3 专用测强曲线	9
6 强度推定	11
附录 A 异常数据判断和处理	14
本规程用词说明	16
引用标准名录	17
附：条文说明	19

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Testing Equipments	3
3.1	Equipment and Performance	3
3.2	Basic Requirements for Calibration	4
4	Detection Technology	5
4.1	General Provisions	5
4.2	Measuring Point Arrangement	6
4.3	Measuring Impression	6
5	Strength Curve	8
5.1	General Provisions	8
5.2	Shandong Area Strength Curve	8
5.3	Dedicated Strength Curve	9
6	Strength Presumption	11
	Appendix A Abnormal Data Judgment and Processing	14
	Explanation of Wording in This Code	16
	List of Quoted Standards	17
	Addition: Explanation of Provisions	19

1 总 则

1.0.1 为规范印痕法检测建筑钢材强度技术，保证检测工作质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑结构中钢材强度的检测，其检测结果可作为建筑工程质量评定或结构性能鉴定的依据。

1.0.3 印痕法检测建筑钢材强度，除应符合本规程外，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 印痕法 imprint method

对合金钢球施加一定的力，将其压入待测建筑钢材表面，形成凹陷痕迹，根据钢材表面印痕直径和钢材强度间的相关关系，由印痕直径通过测强曲线来换算钢材强度的检测方法。

2.1.2 测点 test point

印痕法试验时，硬质合金球在钢材表面所形成的凹陷点。

2.1.3 钢材强度换算值 conversion value of steel strength

根据印痕直径和测强曲线得到的钢材强度值。

2.1.4 强度推定值 reference value of strength

对各测点强度换算值按本规程的规则计算后，得出的代表单个构件或检测批的钢材强度值。

2.2 符 号

d_{20} —— 压力为 20kN 时的印痕直径，mm；

R —— 钢材测点强度换算值，包括屈服强度换算值和抗拉强度换算值，MPa；

R_{eL} —— 钢材测点屈服强度换算值，MPa；

R_m —— 钢材测点抗拉强度换算值，MPa；

R_e —— 钢材强度推定值，包括屈服强度推定值和抗拉强度推定值，MPa；

$R_{e,L}$ —— 钢材屈服强度推定值，MPa；

$R_{e,m}$ —— 钢材抗拉强度推定值，MPa。

3 检测设备

3.1 仪器及性能

3.1.1 印痕法检测建筑钢材强度使用的仪器应包括印痕仪、硬质合金球和印痕直径测量尺。

3.1.2 印痕仪、硬质合金球及印痕直径测量尺应具有产品合格证，并按本规程第3.2节的要求进行校准。

3.1.3 印痕仪（图3.1.3）应便于携带，应具有满足检测需要的强度和刚度，并应符合下列规定：

- 1 最大压力不应小于30kN；
- 2 测力装置精度不应大于 $\pm 1.0\%$ ，且不应大于0.5kN；
- 3 工作行程应不小于10mm。

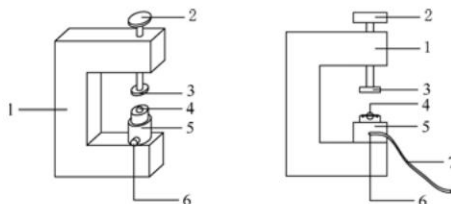


图 3.1.3 印痕仪构造示意

1—反力架；2—调节手柄；3—承压板；4—硬质合金球；5—油缸；
6—油泵及压力表接口；7—油管

3.1.4 印痕直径测量尺应符合下列规定：

- 1 最大量程不应小于10mm；
- 2 分度值不应大于0.02mm。

3.1.5 印痕仪使用时的环境温度应为 $-4^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.6 硬质合金球的直径应为10mm。

3.2 校准基本要求

3.2.1 正常使用过程中，印痕仪应由校准机构进行校准，校准周期不应超过一年。

3.2.2 当遇到下列情况之一时，印痕仪应进行校准，其性能应符合本规程第 3.1.3 条的要求：

- 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 可能对检测数据产生影响时；
- 5 校准周期内累计检测次数达到 6000 次。

3.2.3 硬质合金球应抛光，且无表面缺陷。

3.2.4 硬质合金球的检测，应符合现行国家标准《金属材料布氏硬度试验 第 2 部分：硬度计的检验与校准》GB/T 231.2 中压头用球的检测规定。检测时，应在一批球中随机抽取一个样品，检测其尺寸和硬度，做过硬度检测的球应予以剔除，不再使用。

3.2.5 硬质合金球应符合下列规定：

- 1 球的密度应为 $(14.8 \pm 0.2) \text{g/cm}^3$ ；
- 2 球的直径应在不少于 3 个位置上测量，每个测量值均应在 $(10 \pm 0.005) \text{mm}$ 的范围内；
- 3 按现行国家标准《金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法》GB/T 4340.1 的方法，使用至少 4.903N 的试验力测定的球的维氏硬度不应低于 1500HV。

3.2.6 印痕直径测量尺应经计量部门检定合格。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 现场检测前宜收集下列资料：

- 1 建设单位、设计单位、施工单位和监理单位名称；
- 2 工程名称、结构类型、相关设计文件；
- 3 检测原因；
- 4 工程施工时间；
- 5 相关施工资料。

4.1.2 使用本规程进行现场检测时，应遵守国家有关安全、劳动保护和环境保护的规定，应做到正确和安全操作。

4.1.3 硬质合金球使用前应进行外观检查，球表面应抛光，不应有裂纹和肉眼可见的凹坑、气孔、表面腐蚀等缺陷。

4.1.4 采用印痕法检测的钢材应符合下列规定：

- 1 钢材应为型钢、钢板、钢筋等，其强度等级应符合测强曲线换算范围的要求；
- 2 型钢、钢板的厚度不应小于 4mm，钢筋直径不应小于 14mm；
- 3 钢材表面不应有油污、锈蚀、涂层等杂质；
- 4 钢材表面应与内部质量一致。

4.1.5 印痕法检测建筑钢材强度的检测方式可分为单个构件检测和批量检测，其适用范围应符合下列规定：

- 1 单个构件检测的检测结果仅限于被测构件；
- 2 批量检测的检测结果适用于该检测批所有构件。

4.1.6 批量检测时，宜随机抽取样本。当不具备随机抽样条件时，可按约定方法抽取样本。检验批最小样本容量应符合表 4.1.6 的要求。

表 4.1.6 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
3 ~ 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，也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，也可用于既有结构的重要项目检测；
- 3 检测类型 C 适用于结构工程施工的质量检测或复检，也可用于存在问题较多的既有结构的检测。

4.1.7 检测结束后，应及时修复破损位置。

4.2 测点布置

4.2.1 单个构件检测时，每构件的测点不应少于 5 个；按批抽样检测时，每构件的测点不应少于 3 个。

4.2.2 测点布置应符合下列规定：

- 1 同一钢材测点间距不应小于 50mm。
- 2 不同钢筋的测点应错开，错开长度不应小于 $35d$ (d 为钢筋直径)。
- 3 型钢及钢板的测点与试件边缘的距离不应小于 10mm。
- 4 钢筋表面应打磨平整，其平整面的范围不应小于 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，测点应位于平整面的中部。

4.2.3 测点应均匀布置，不应布置在焊缝及焊接热影响区域。

4.3 印痕检测

4.3.1 印痕检测前应采取措施，使测点表面平坦光滑，具有金

属光泽，不应有氧化层、防护层、污物、油脂等。测点表面应能保证印痕直径的精确测量。

4.3.2 印痕检测应按下列步骤进行：

1 将印痕仪的承压板与球形压头夹持住待测钢材的表面，使压头与试件被测表面接触（图 4.3.2）。

2 启动印痕仪的千斤顶，驱动硬质合金球，无冲击、无振动、均匀地在 5s ~ 10s 内施加至 20kN，在钢材表面压出印痕，持荷 10s ~ 20s 后卸荷。加载及持荷过程中，试件与印痕仪之间不应发生横向位移。

3 检查测点背面，如测点背面出现可见变形，则此测点作废，并在记录中注明。

4 在印痕相互垂直的两个位置上测量直径，取两个读数的平均值作为第 i 个测点的印痕直径 $d_{20,i}$ ，精确到 0.02mm。

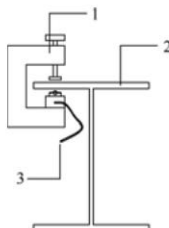


图 4.3.2 印痕法检测示意图

1—印痕仪；2—待测型钢；3—接油泵及压力表

5 测强曲线

5.1 一般规定

5.1.1 钢材强度换算值可采用下列测强曲线计算：

1 统一测强曲线：由全国有代表性的钢材，通过试验所建立起来的测强曲线。

2 地区测强曲线：由本地区常用的钢材，通过试验所建立起来的测强曲线。

3 专用测强曲线：由相同的原材料和工艺生产的钢材，通过试验所建立起来的测强曲线。

5.1.2 检测单位宜按专用测强曲线、地区测强曲线、统一测强曲线的顺序选用测强曲线。

5.2 山东地区测强曲线

5.2.1 采用山东地区测强曲线时，被测建筑钢材应为 Q235 钢、Q355 钢及 HPB235、HPB300、HRB335、HRB400 钢筋，其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 等标准的要求。

5.2.2 当 d_{20} 大于 3.50mm 且不大于 4.50mm 时，山东地区测强曲线钢材屈服强度换算值可按下式计算：

$$R_{eL} = 470.11 d_{20}^2 - 4145.9 d_{20} + 9417 \quad (5.2.2)$$

式中： R_{eL} ——钢材屈服强度换算值，MPa；

d_{20} ——压力为 20kN 时的印痕直径，精确值 0.02mm。

5.2.3 山东地区测强曲线钢材屈服强度换算值的范围为 235MPa ~ 520MPa。当屈服强度换算值小于 235MPa 或大于 520MPa 时，可仅给

出检测值范围, 记作: “ $R_{el} < 235\text{MPa}$ ” 或 “ $R_{el} > 520\text{MPa}$ ”。

5.2.4 当 d_{20} 大于 3.50mm 且不大于 4.50mm 时, 山东地区测强曲线钢材抗拉强度换算值可按下式计算:

$$R_m = -8.8892 d_{20}^2 - 108.72 d_{20} + 1079.4 \quad (5.2.4)$$

式中: R_m ——钢材抗拉强度换算值, MPa;

d_{20} ——压力为 20kN 时的印痕直径, 精确值 0.02mm。

5.2.5 山东地区测强曲线钢材抗拉强度换算值的范围为 370MPa ~ 650MPa。当屈服强度换算值小于 370MPa 或大于 650MPa 时, 可仅给出检测值范围, 记作: “ $R_m < 370\text{MPa}$ ” 或 “ $R_m > 650\text{MPa}$ ”。

5.3 专用测强曲线

5.3.1 有条件的单位, 可制定专用测强曲线。

5.3.2 制定专用测强曲线时, 测试钢材应为相同原材料和生产工艺。

5.3.3 专用测强曲线的平均相对误差 δ 不应大于 $\pm 3.5\%$, 相对标准差 e_r 不应大于 4.5%。平均相对误差 δ 和相对标准差 e_r 应按下列公式计算:

$$\delta = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{R_i}{f_i} - 1 \right| \times 100 \quad (5.3.3-1)$$

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i}{f_i} - 1 \right)^2} \times 100 \quad (5.3.3-2)$$

式中: δ ——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;

R_i ——由曲线方程得出的测点强度换算值 (MPa), 精确至 1MPa;

f_i ——由试验实测得出的测点所在试件的强度换算值 (MPa), 精确至 1MPa。

5.3.4 使用专用测强曲线时, 被检钢材应与制定该类测强曲线

钢材的适应条件相同，不应超出该类测强曲线的适应范围，并应每年抽取一定数量的试件进行校核，当存在显著差异时，应查找原因，不应继续使用。

6 强度推定

6.0.1 构件或检测批测点强度换算值的平均值和标准差，应分别按照下列公式计算：

$$m_R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (6.0.1-1)$$

$$s_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_R - R_i)^2}{n-1}} \quad (6.0.1-2)$$

式中： R_i ——构件或检测批第 i 个测点的强度换算值，包括屈服强度换算值 R_{eL} 和抗拉强度换算值 R_m ，MPa；

m_R ——构件或检测批强度换算值的平均值（MPa），精确至 1MPa；

n ——构件或检测批测点数总数；

s_R ——构件或检测批测点强度换算值的标准差（MPa），精确至 1MPa。

6.0.2 检测批测点的强度换算值宜按本规程附录 A 规定的方法进行异常数据判断和处理。

6.0.3 钢材强度推定值的计算应符合下列规定：

1 当按单个构件检测时，应按下式计算：

$$R_e = R_{\min} \quad (6.0.3-1)$$

2 当按批量检测时，应按下列公式计算推定区间和强度推定值：

$$R_{e,1} = m_R - k_1 \cdot s_R \quad (6.0.3-2)$$

$$R_{e,2} = m_R - k_2 \cdot s_R \quad (6.0.3-3)$$

$$R_e = R_{e,1} \quad (6.0.3-4)$$

式中： R_e ——钢材强度推定值，MPa；

$R_{\min}$ ——测点强度换算值的最小值, MPa;
 $R_{e,1}$ ——钢材强度推定区间的上限值, MPa;
 $R_{e,2}$ ——钢材强度推定区间的下限值, MPa;
 m_R ——检测批测点强度换算值的平均值, MPa;
 s_R ——检测批测点强度换算值的标准差, MPa;
 k_1 、 k_2 ——推定系数, 按表 6.0.3 取值。

表 6.0.3 计量抽样标准差未知时推定区间上限值与下限值系数

测点数量 n	k_1	k_2	测点数量 n	k_1	k_2
10	1.01730	2.91096	34	1.27079	2.17623
11	1.04127	2.81499	35	1.27551	2.16672
12	1.06247	2.73634	36	1.28004	2.15768
13	1.08141	2.67050	37	1.28441	2.14906
14	1.09848	2.61443	38	1.28861	2.14085
15	1.11397	2.56600	39	1.29266	2.13300
16	1.12812	2.52366	40	1.29657	2.12549
17	1.14112	2.48626	41	1.30035	2.11831
18	1.15311	2.45295	42	1.30399	2.11142
19	1.16423	2.42304	43	1.30752	2.10481
20	1.17458	2.39600	44	1.31094	2.09846
21	1.18425	2.37142	45	1.31425	2.09235
22	1.19330	2.34896	46	1.31746	2.08648
23	1.20181	2.32832	47	1.32058	2.08081
24	1.20982	2.30929	48	1.32360	2.07535
25	1.21739	2.29167	49	1.32653	2.07008
26	1.22455	2.27530	50	1.32939	2.06499
27	1.23135	2.26005	60	1.35412	2.02216
28	1.23780	2.24578	70	1.37364	1.98987
29	1.24395	2.23241	80	1.38959	1.96444
30	1.24981	2.21984	90	1.40294	1.94376
31	1.25540	2.20800	100	1.41433	1.92654
32	1.26075	2.19682	110	1.42421	1.91191
33	1.26588	2.18625	120	1.43289	1.89929

6.0.4 钢材强度推定区间的上限值与下限值之差，不宜大于两者算术平均值的 10%。当检测批的检测结果不能满足上述要求时，宜补充检测或重新划分检测批进行检测；当不具备补充检测或重新检测条件时，可提供单个构件的检测结果。

6.0.5 当设计要求的相应数值小于或等于推定上限值时，可判定为符合设计要求；当设计要求的相应数值大于推定上限值时，可判定为低于设计要求。

6.0.6 检验批构件钢材强度等级的区分应符合下列规定：

- 1 钢材强度上限值与下限值的平均值可作为该批钢材强度特征值；
- 2 强度特征值接近的构件可视为同等强度等级；
- 3 所有构件钢材强度特征值可作为与钢材强度等级对应强度标准值的比较值。

附录 A 异常数据判断和处理

A.0.1 检测批的异常数据应按下列步骤进行判断：

1 将测点强度换算值按从小到大顺序排列为 R_1 、 R_2 、……、 R_n ；

2 格拉布斯统计量 G_n 、 G'_n 应按下列公式进行计算：

$$G_n = (f_{cu,n} - m_f) / s_f \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$G'_n = (m_f - f_{cu,1}) / s_f \quad (\text{A.0.1-2})$$

3 检出水平 α 取 0.05，按表 A.0.1 查取 $G_{0.975}(n)$ 。当 $G_n = G'_n$ 时，应重新考虑限定检出离群值的个数；当 $G_n > G'_n$ 且 $G_n > G_{0.975}(n)$ 时，判断 $f_{cu,n}$ 为离群值；当 $G'_n > G_n$ 且 $G'_n > G_{0.975}(n)$ 时，判定 $f_{cu,1}$ 为离群值，否则未发现离群值。

4 对于检出的离群值，剔除水平 α 取 0.01，按表 A.0.1 查取 $G_{0.995}(n)$ 。当 $G_n > G'_n$ 且 $G_n > G_{0.995}(n)$ 时，判断 $f_{cu,n}$ 为统计离群值，可考虑删除；否则，判断未发现统计离群值， $f_{cu,n}$ 为高端歧离值。当 $G'_n > G_n$ 且 $G'_n > G_{0.995}(n)$ 时，判定 $f_{cu,1}$ 为统计离群值，可考虑删除；否则，判断未发现统计离群值， $f_{cu,1}$ 为低端歧离值。

A.0.2 异常数据的处理应符合下列规定：

1 对于统计离群值和高端歧离值，宜从样本中剔除；对于低端歧离值，当有充分理由时，可从样本中剔除；当无法说明异常原因时，可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。剔除的数据应留有原始记录、剔除的理由和必要的说明。

2 保留异常数据，增加样本数补充检测，然后进行数据判断和强度推定。

3 保留异常数据，重新划分检测批，然后进行数据判断和强度推定。

A.0.3 剔除异常数据后，应按本规程第 6.0.1 条对余下的数据重新计算强度换算值的平均值、标准差和变异系数，然后继续按照 A.0.1 的要求进行检验。

A.0.4 检出的统计离群值总数不宜超过最初样本量的 5%，否则对此样本应做慎重的研究和处理。

表 A.0.1 格拉布斯检验法的临界值表

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

注：当测点数量大于 100 时，可按测点数量为 100 取值。

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……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《金属材料 布氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》 GB/T 231.2
- 2 《金属材料 布氏硬度试验 第4部分：硬度值表》 GB/T 231.4
- 3 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 4 《黑色金属硬度及强度换算值》 GB/T 1172
- 5 《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》 GB/T 1499.1
- 6 《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》 GB/T 1499.2
- 7 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591

山东省工程建设标准

印痕法检测建筑钢材强度技术规程

DB37/T 5169—2020

条文说明

制 定 说 明

《印痕法检测建筑钢材强度技术规程》DB37/T 5169—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 日以鲁建标字〔2020〕21 号文件批准、发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国目前各科研及检测等单位在房屋建筑安全评估技术的实践经验，同时参考了有关国际标准和国外先进标准，开展了多项专题研究，并以多种方式广泛征求了有关单位和专家的意见，对主要问题进行了反复讨论、协调和修改。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《印痕法检测建筑钢材强度技术规程》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	22
2 术语和符号	23
2.1 术语	23
3 检测设备	24
3.1 仪器及性能	24
3.2 校准基本要求	24
4 检测技术	25
4.1 一般规定	25
4.2 测点布置	26
4.3 印痕检测	27
5 测强曲线	28
5.1 一般规定	28
5.2 山东地区测强曲线	28
5.3 专用测强曲线	29
6 强度推定	30

1 总 则

1.0.1 建筑钢材的力学性能是影响建筑结构安全性的重要因素。在对既有结构工程进行检测鉴定时，需要确定建筑钢材的强度，但目前大多数情况下还需要在结构实体上取样。现场取样对主体结构的破坏性比较大，费时费力且不容易实施。采用原位、非破损的方法检测钢材强度是亟待解决的问题。

印痕法检测建筑钢材强度技术属于非破损检测方法，对结构无损伤，检测时对钢材表面的粗糙度要求较低，受客观条件影响较小。目前我国建筑工程检测技术正逐渐从试验室检测向现场检测技术方向发展，从破损检测向微破损、无损检测技术方向发展，本规程的编制符合这一趋势。

1.0.2 建筑钢材强度与表面抗塑性变形能力之间存在着较为明显的对应关系，抗塑性变形的能力越高，其强度值也越高。

1.0.3 采用本规程应与国家相关标准相衔接。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 本规程所述钢材，包括建筑结构用的型钢、钢板、钢筋等。

2.1.4 本规程按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB 50784 中钢筋强度推定的原则，规定了检验批标准差为未知时，计量抽样检验批具有 95% 保证率特征值的推定区间上限值和下限值。

3 检测设备

3.1 仪器及性能

3.1.1 印痕仪、硬质合金球和印痕直径测量尺是印痕法检测建筑钢材强度的必要仪器。现场检测时可能还需要对钢材表面打磨，本规程只要求打磨效果，不对打磨工具提出要求。

3.1.2~3.1.6 对印痕仪、硬质合金球和印痕直径测量尺的性能提出了要求。

硬质合金球，俗称钨钢球，是以高硬度难熔金属的碳化物（WC、TiC）微米级粉末为主要成分，以钴（Co）或镍（Ni）、钼（Mo）为粘结剂，在真空炉或氢气还原炉中烧结而成的粉末冶金制品，目前常见的硬质合金有 YG、YN、YT、YW 系列，具有硬度高、耐磨、抗腐蚀、抗弯曲等特点。

3.2 校准基本要求

3.2.1、3.2.2 印痕仪是用来产生和测量压力的仪器，需要量测系统油压，测量精度会随着仪器的使用次数、油的黏度及更换零件等因素发生变化，因此本规程规定了校准周期及其他需校准的情况。

3.2.3~3.2.5 硬质合金球的尺寸和硬度与印痕直径直接相关，应严格控制。维氏硬度检测会对试样产生一定的损伤，故硬度检测后的球不应再使用。

3.2.6 印痕直径测量尺为刻度放大镜或读数显微镜的一种，作为计量器具，应经检定合格方可使用。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 本条所列举的资料，是为了对被检测构件有较为全面系统的了解，以便制定针对性的检测方案。

4.1.2 印痕法检测时可能因局部打磨产生粉尘，可能涉及高空作业等复杂工作环境，可能产生仪器坠落等意外情况，现场检测时应严格遵守有关规定，确保人员、设备、环境等安全。

4.1.3 硬质合金球长时间使用，可能产生损伤，从而影响测量精度。除正常校准外，每次检测前应对其进行外观检查。

4.1.4 印痕法通过测量钢材表面抗塑性变形能力推测钢材强度，因此要求钢材表面与内部质量一致，并对钢材表面状态做了统一规定。本规程所给的测强曲线，为大量试验结果所形成的统计曲线，钢材强度应在曲线换算范围以内，不得外推。

钢筋测试时，应打磨成平面，对于直径 14mm 的钢筋，其削弱面积约占总面积的 10%，考虑到构件配筋一般多于 1 根，这个削弱尚不足以影响整个构件的结构安全。

4.1.5 当检测对象为单个构件时，其检测结论不得扩大到未检测的构件或范围；同样，批量检测时，其结论不得扩大到检测批以外的构件或范围。

4.1.6 批量检测时，抽取试样应遵守随机的原则。当无法随机抽样时，宜由建设单位、监理单位、施工单位等相关单位，与检测单位一起，共同商定抽样的范围和原则。

表 4.1.6 中所列的是检测批样本的最小容量，为防止个别检测数据作废造成检测批样本容量不足的情况，有条件时样本数量可适当增加。

4.1.7 印痕法检测属于非破损检测，但检测时仍应剔除混凝土

保护层、打磨钢筋表面、清除钢材表面防护层等，检测结束后，应及时修复这些破损的位置。

4.2 测点布置

4.2.1 当无需推定检测批中单个构件强度时，应把测点尽量布置在较多的构件上，使检测结果更具代表性。

4.2.2 试验表明，当试件较薄时，印痕试验结束后，试件有明显的整体弯曲变形，测点的背面有挤印痕迹，测点两侧边缘有向外的变形（图1）。

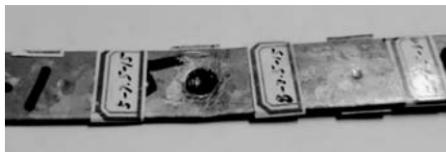


图1 试件较薄时的变形情况

印痕法检测时，试件厚度为印痕深度的8倍以上、印痕中心距试件边缘为印痕直径的2倍以上、印痕中心间距为印痕直径的3倍（图2）时，各类因素影响较小。

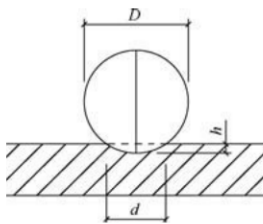


图2 试件厚度与印痕深度的关系

4.2.3 相较于钢材母材，焊缝及焊接热影响区域的抗塑性变形能力与强度的关系已发生较大变化，不再适用于本规程钢材的测

强曲线。

4.3 印痕检测

4.3.1 构件测试部位的处理，可用钢锉打磨构件表面，除去表面油漆、氧化层，然后分别用粗、细砂纸打磨，直至露出金属光泽。当钢材表面存在氧化层时，印痕直径略有减少，对数据读取会造成不便，误差较大。印痕法试验前应采用打磨等方式去除氧化层，使试件表面平坦光滑。

4.3.2 印痕试验时，应在无冲击、无振动的条件下均匀施压。

试验表明，持荷时间为 15s、30s 和 45s 时，印痕直径的差异不大，在 $-0.10\text{mm} \sim 0.20\text{mm}$ 之间随机分布。加载至 7.5kN，加荷时间分别为 3s、5s 和 8s 时，以及加载至 30kN，加荷时间分别为 5s、10s 和 15s 时，各自的印痕大，在 $-0.20\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$ 之间随机分布。由此本规程规定了加载和持荷时间。

通过数据统计、回归及对比，项目组发现试验压力越大，其关系曲线的相关性越好。当试验压力为 10kN 及以下时，印痕较小，直径判读困难，读数误差趋大，同一组数据的标准差也较大，两曲线的相关系数均不如试验压力为 15kN 及以上的曲线。考虑到压力越大，对试验装置的要求越高，钢材表面印痕也越大，对钢材表面外观有一定影响。为此，项目组最终选取的试验压力为 20kN。

加载及持荷过程中，试件与印痕仪之间不应错动，硬质合金球不应横向位移。

测点背面出现的可见变形与试件厚度、强度等因素有关，试件已发生异常变形，不再适用于本规程测强曲线。

5 测强曲线

5.1 一般规定

5.1.1、5.1.2 我国地域辽阔、气候差别很大，各地钢材生产环境也有所不同，统一测强曲线精度受到限制。有条件的地区如能建立本地区的测强曲线或专用测强曲线，则可以提高检测精度。地区和专用测强曲线须经地方建设行政主管部门组织的审查和批准方能实施。

国家标准《黑色金属硬度及强度换算值》GB/T 1172—1999 中列举了碳钢及合金钢的硬度与抗拉强度之间的换算值。此换算关系具有一定的局限性：

1 《黑色金属硬度及强度换算值》GB/T 1172—1999 中列举的钢材是碳钢及合金钢，建筑工程中常用的是低碳钢，两者硬度与抗拉强度之间的对应关系有一定的区别。

2 《黑色金属硬度及强度换算值》GB/T 1172—1999 仅列出硬度与抗拉强度的关系。而相比于抗拉强度，既有工程检测鉴定时的计算更需要钢材屈服强度。

5.2 山东地区测强曲线

5.2.1 本规程采用试验方法得到的印痕直径-屈服强度和印痕直径-抗拉强度曲线，试验所用的建筑钢材为本条文所列钢材。目前缺乏其他钢材试验数据，不能保证其他钢材印痕直径-强度曲线与本规程所列曲线的符合性。

5.2.2~5.2.5 理论分析表明，印痕直径与钢材塑性变形有关，弹性变形结束到塑性变形初期与屈服强度相关，塑性变形结束到断裂阶段与钢材抗拉强度相关。印痕法试验对钢材基本无损伤，未达到破坏或断裂阶段，故相比于印痕直径与抗拉强度的相关

性，印痕直径与钢材屈服强度的相关性更强。

试验建立了 Q235、Q355 钢材和 HPB235、HPB300、HRB335、HRB400 钢筋在 5kN ~ 35kN 的压力下印痕直径与屈服强度、抗拉强度间的关系，项目组分析了各曲线的相关性，也发现了相同的规律。即在相同压力作用下，钢材屈服强度与印痕直径的关系更为密切。同时，选取了相关性最好的 20kN 压力下印痕直径与屈服强度、抗拉强度关系曲线。

表 1 所示为试验各压力作用下印痕直径-抗拉强度、印痕直径-屈服强度曲线的相关系数。

表 1 印痕直径与强度的相关系数

压力值	35kN	30kN	25kN	20kN	15kN	10kN	7.5kN	5kN
印痕直径与抗拉强度	0.854	0.842	0.873	0.871	0.830	0.797	0.755	0.827
印痕直径与屈服强度	0.946	0.918	0.924	0.908	0.914	0.792	0.762	0.844

5.3 专用测强曲线

5.3.1 ~ 5.3.4 专用测强曲线的误差应小于地区曲线，本节给出了专用测强曲线的制定办法和误差要求。这些测强曲线均为数理统计公式制定，因此不适用于试验范围以外的情况。此外，还应经常抽取一定数量的同类钢材进行校核，如发现误差较大，应停止使用该曲线并及时查找原因。

6 强度推定

6.0.2 正常情况下，同一批钢材力学性能的变异性不大，检测出的异常数据表明可能有异常样本混入检测批，或者检测批划分可能存在某些问题。本规程异常数据的判断是基于格拉布斯（Grubbs）检验法进行的。

6.0.3 本条文钢材强度推定值的计算规定，是以现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的规定为依据的，给出了检测批具有 95% 保证率的标准值（0.05 分位值）的推定区间。

6.0.4 本条对计量抽样检测批检测结果推定区间的上限值与下限值之差进行了限制。

在置信度相同的前提下，差值越小，推定结果的不确定性越小。样本的标准差和样本容量决定了差值的大小。补充检测可增大样本容量，重新划分检测批可能减小样本标准差，从而减小差值。

在不具备上述条件时，考虑到抽样检测时抽到力学性能最好和最差钢材的概率都极小，以最小检测值作为该批钢材的检测值是合理的。

6.0.5 本条文是按照现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 关于计量抽样检测批判定规则的规定制定的。

6.0.6 本条所述的钢材强度，包含钢材屈服强度和钢材抗拉强度。根据《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度合金钢》GB/T 1591、《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 等现行国家标准，工程中不同类型钢材的强度允许区间存在一定的重复区域（表 2）。在工程检测鉴定时，难以通过试

验数据准确推断钢材类型，但可推断出钢材的屈服强度和抗拉强度，并可取保守数值进行复核验算。

当所有构件钢材强度特征值接近或高于某种钢材的标准值时，可按该品种钢材的屈服强度或条件屈服强度进行构件承载力的验算。

当屈服强度和抗拉强度对应的钢材型号不一致时，钢材型号可推定为较低强度等级的对应钢材型号。

本条文参考了国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344—2019 的规定。

表 2 建筑钢材强度与型号的对应关系

钢材型号		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa
钢板	Q235	235 ~ 274	370 ~ 500
	Q355	265 ~ 490	470 ~ 630
钢筋	HPB235	235 ~ 300	370 ~ 420
	HPB300	300 ~ 390	420 ~ 540
	HRB335	335 ~ 435	455 ~ 545
	HRB400	400 ~ 520	540 ~ 650