

# Research on the Influencing Factors of On-site Testing of Rockwell Hardness of Steel

Xiaojun Yuan Binghui Chen Yuqiao Zhao Pingping Zu

Jiangsu Testing Center for Quality of Construction Engineering Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210033, China

## Abstract

In order to study the influence of field environmental factors on the Rockwell hardness of steel, experimental research was carried out on the variation of Rockwell hardness of 8 different thickness of steel plates and 8 section kinds of steel members under tensile and compressive forces respectively. The results show that: compared with the results in the non-stress state Rockwell hardness tests, the stress state of steel has an influence on the Rockwell hardness test results. The steel in tensile state will have reduced results, while the steel in compression state will have increased results. When the steel is in the elastic stage, the influence of the stress state is small, usually around 5%, but when the steel is in the elastic-plastic state, the influence of the stress state on the test result is obviously, usually more than 15%. The results show that the dispersion of Rockwell hardness test results increases due to corrosion, and it is difficult to accurately reflect the real hardness of steel. Therefore, it is suggested that the surface rust layer should be polished before testing.

## Keywords

Rockwell hardness; influence factors; stress state; experimental study

# 钢材洛氏硬度现场检测的影响因素研究

袁小军 陈丙辉 赵昱乔 祖萍萍

江苏省建筑工程质量检测中心有限公司, 中国·江苏·南京 210033

## 摘要

为研究现场环境因素对洛氏硬度法检测钢材硬度时的影响规律, 对8种常用厚度钢板和8个型钢构件在拉、压受力状态下的洛氏硬度变化规律开展了试验研究。研究结果显示: 相对于无应力状态下的洛氏硬度检测结果, 钢材受力状态对洛氏硬度检测结果有影响; 钢材受拉会使检测结果减小, 受压时会使检测结果增大; 当钢材处于弹性阶段时, 拉压力的影响较小, 通常在5%左右, 而当钢材处于弹塑性状态时, 受力状态对检测结果的影响较大, 通常超过了15%。分别对表面锈蚀和表面打磨处理后的钢板的洛氏硬度进行了对比分析, 结果表明, 锈蚀使得洛氏硬度检测结果的离散性增大, 难以准确反映钢材的真实硬度, 建议检测前对表面锈蚀层进行打磨处理。

## 关键词

洛氏硬度; 影响因素; 受力状态; 试验研究

## 1 引言

自20世纪90年代以来, 钢结构在中国的应用日益增多。随着使用年限的增加, 经常需要对钢结构进行质量检测, 特别是对一些年代久远和设计资料缺失的钢结构工程, 安全性评估显得尤为重要。其中, 钢材质量检测是对既有钢结构进行安全性评估或加固改造的重要内容。

目前, 现场检测钢材质量主要采用的是基于表面硬度法的无损或微破损检测方法, 即现场检测钢材的硬度, 再根

据钢材硬度与其强度之间的关系, 换算得到钢材的强度<sup>[1]</sup>。表面硬度检测法的种类有很多, 其中洛氏硬度检测法因为操作简单和适应性强等特点在实际工程中应用非常广泛, 图1为工程中常用的便携式洛氏硬度仪。



图1 便携式洛氏硬度仪

【基金项目】江苏省住房和城乡建设厅科技指导性项目(项目编号: 2019ZD108)。

【作者简介】袁小军(1980-), 男, 中国江苏泰州人, 博士, 正高级工程师, 从事土木工程检测鉴定技术研究。

国内外学者对材料强度和硬度之间的关系开展了理论研究<sup>[2-4]</sup>,但材料强度和硬度之间准确的理论关系尚不明确,相关的理论研究成果较少,且已有的成果比较复杂,不便于工程应用。因此,当前国内外学者主要基于试验数据,采用回归分析的方法从宏观上建立材料硬度与强度的量化关系。王玲等<sup>[5]</sup>对常用的 Q235 和 Q345 钢材开展了大量的洛氏硬度和单向拉伸试验,基于数据统计,结果表明难以用一种模型建立洛氏硬度和钢材屈服强度、抗拉强度的函数关系,并提出了一种采用洛氏硬度法区别钢材种类的评定方法。范语萱等<sup>[6]</sup>基于铝合金材料,对洛氏硬度检测时不同的总试验力保持时间的影响进行了试验研究,结果表明随着保持时间的增大,检测结果有减小的趋势。张亚楠<sup>[7]</sup>基于宏观和微观试验以及数学回归法建立了 Q235 和 Q345 钢材的洛氏硬度和抗拉强度之间的数学模型。吴芳堤等<sup>[8]</sup>通过试验和数据回归,建立了高强度钢材的洛氏硬度与抗拉强度之间的关系。Dehuri、Asgharzadeh 等<sup>[9,10]</sup>针对铝合金材料的硬度和强度关系开展了试验研究,并对试验过程进行了有限元模拟,建立了铝合金材料的硬度—强度关系模型。

目前,虽然不少学者基于试验建立了不同钢材的洛氏硬度和强度的关系模型<sup>[11]</sup>,同时还有国家规范 GB/T 33362—2016《金属材料硬度值的换算》作为参考依据,但实际工程中经常出现换算结果与实际材料强度不一致的情况<sup>[12]</sup>。其中的一个主要原因是已有的研究大多没有考虑现场环境的影响,如被测构件通常处于受力状态(研究中一般只考察构件处于零应力状态时的硬度)和锈蚀状态。因此,亟须对现场环境因素的影响规律开展研究。

论文对不同受力状态和锈蚀程度下构件的洛氏硬度进行试验研究,通过对试验结果的分析,揭示了不同受力状态下构件洛氏硬度的变化规律,并对洛氏硬度检测法提出了建议,为钢结构无损检测法的准确应用提供支撑。

## 2 压力对洛氏硬度检测的影响

论文基于热轧和焊接 H 型钢开展压力对洛氏硬度检测结果影响的研究。为了能在试验过程中测得腹板的硬度,将 H 型钢切割成 T 形截面(图 2),并在 T 形截面两端焊接厚度为 16mm 的端板。试件编号和对应的原始 H 型钢如表 1 所示。

将试件安装就位后,采用千斤顶分级对试件进行加载(图 3)。在每个分级阶段,分别对翼缘和腹板的洛氏硬度进行检测(翼缘和腹板均检测了 4 个点)。本次实验共对 8 个构件进行加载,得到结果如表 2 所示。

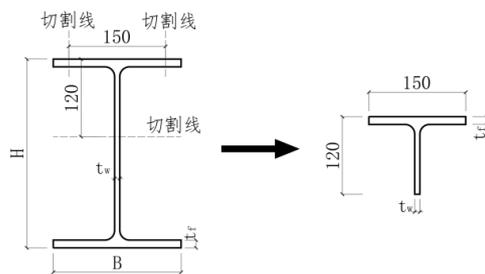


图 2 H 型钢切割示意图

表 1 试件编号及对应的 H 型钢

试件编号	对应 H 型钢
试件 1	HW100×100×6×8
试件 2	HN350×150×5.5×8
试件 3	HM340×250×9×14
试件 4	HM292×198×8×12
试件 5	H200×200×10×12
试件 6	HM400×300×10×16
试件 7	H300×300×18×20
试件 8	H300×300×12×16

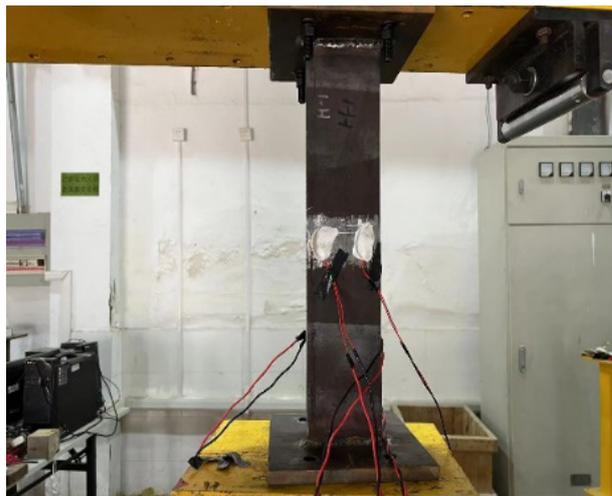


图 3 受压试件

由表 2 可见,随着压力的增大,钢板洛氏硬度都有增大的趋势,但在弹性范围内,增大的幅度较小(受限于试验条件,论文仅开展了弹性阶段的压力试验)。以试件 1 为例,初始无应力状态时翼缘的洛氏硬度为 81.8,当压应力为 216MPa(尚未屈服)时的洛氏硬度为 85.5,增大了约 4.5%。其他试件的洛氏硬度也有相同的规律。但硬度增大的不明显,与无应力状态的洛氏硬度值相比,增大的硬度值在 5% 左右。

表 2 不同压应力水平下的洛氏硬度检测结果

应力 /MPa		0	43	87	130	173	216
试件 1	翼缘	81.8	82.5	84.0	85.5	86.8	85.5
	腹板	87.8	88.3	89.0	88.8	89.8	90.0
应力 /MPa		0	28	56	84	112	140
试件 2	翼缘	81.5	84.5	83.3	84.5	84.0	85.0
	腹板	84.3	84.8	87.0	86.8	86.0	86.8
应力 /MPa		0	18	35	52	70	88
试件 3	翼缘	82.3	83.5	84.8	81.8	82.5	82.3
	腹板	78.0	77.8	79.5	78.3	78.5	79.0
应力 /MPa		0	20	40	59	78	98
试件 4	翼缘	84.3	86.3	85.5	88.8	88.8	87.8
	腹板	84.2	84.4	85.3	86.1	85.5	86.5
应力 /MPa		0	18	36	54	72	91
试件 5	翼缘	84.3	86.0	85.8	85.5	86.3	85.8
	腹板	84.3	85.3	85.5	85.5	85.8	87.3
应力 /MPa		0	15	30	45	60	75
试件 6	翼缘	80.8	82.0	83.8	84.5	85.0	83.5
	腹板	84.0	85.0	85.5	86.5	86.3	87.5
应力 /MPa		0	11	21	32	43	53
试件 7	翼缘	84.5	85.8	86.8	85.8	86.0	86.5
	腹板	85.5	85.7	85.3	84.8	85.7	86.6
应力 /MPa		0	14	28	42	57	71
试件 8	翼缘	84.5	85.5	86.0	86.5	86.0	87.0
	腹板	85.0	88.0	87.3	85.8	86.3	86.8

注：限于篇幅，表中硬度值均为四次测量的平均值。

### 3 拉力对洛氏硬度检测的影响

论文对 8 种不同厚度的钢板开展分级单向拉伸试验，分别测量试件每级应力状态下的洛氏硬度（图 4），每次检测 4 个点。将试件安装就位后，采用拉力试验机进行拉伸，在弹性阶段和弹塑性阶段分别测量 2 次硬度，得到结果如表 3 所示。



图 4 受拉试件硬度测量

表 3 不同拉应力水平下的洛氏硬度检测结果

应力 /MPa	0	147	293	433	450
t=6mm	83.3	79.4	74.3	70.9	69.0
应力 /MPa	0	147	195	393	442
t=8mm	82.0	80.3	78.9	77.5	77.5
应力 /MPa	0	167	335	448	481
t=10mm	82.0	79.2	77.1	74.6	76.5
应力 /MPa	0	134	168	269	302
t=12mm	59.1	57.3	56.1	55.0	54.3
应力 /MPa	0	296	355	458	473
t=14mm	75.8	71.1	69.6	68.6	68.8
应力 /MPa	0	77	153	447	460
t=16mm	82.4	78.8	72.3	67.9	63.8
应力 /MPa	0	275	389	429	445
t=18mm	83.0	79.7	76.5	74.1	72.8
应力 /MPa	0	283	400	420	437
t=20mm	82.4	80.1	77.1	74.6	72.8

注：限于篇幅，表中硬度值均为四次测量的平均值。

由表3可见,随着拉力的增大,钢板洛氏硬度总体呈减小的趋势。在弹性范围内,洛氏硬度减小的幅度通常在5%~10%。以t=10mm钢板为例,初始无拉力状态的平均洛氏硬度为82.0,当拉应力为335MPa(尚未屈服)时的平均洛氏硬度为77.1,降低了约5.9%。

在弹塑性范围内,洛氏硬度减小的幅度明显。以t=6mm钢板为例,初始无应力状态的洛氏硬度为83.3,当拉应力为450MPa时的洛氏硬度为69,降低了约17.2%(弹性阶段降低约10%),其他试件的洛氏硬度也有相同的规律(特别是t=16mm钢板,洛氏硬度值降低了约23.3%)。总的来说,钢材受拉屈服后的硬度值比无应力状态的硬度值降低了10%~20%。因此,对处于弹塑性状态的受拉构件进行洛氏硬度检测时,建议可在洛氏硬度检测结果的基础上增加10%得到无应力状态的洛氏硬度,再根据规范或者相关拟合公式换算得到钢材的原始抗拉强度。

#### 4 锈蚀对洛氏硬度检测的影响

针对不同厚度的锈蚀钢板,首先对表面未打磨情况进行洛氏硬度检测,再打磨检测位置并对表面硬度进行检测,得到结果如表4所示。

表4 钢板表面处理和未处理的洛氏硬度检测结果

表面情况	表面未处理	表面打磨处理	误差
t=6mm	75.7	84.2	10.1%
t=8mm	60.7	78.3	22.6%
t=10mm	63.5	80.5	16.1%
t=12mm	80.0	82.0	2.4%
t=14mm	75.0	80.5	6.8%
t=16mm	77.8	81.8	5.0%
t=18mm	81.0	84.7	4.3%
t=20mm	81.5	85.3	4.5%

注:限于篇幅,表中硬度值均为测量的平均值。

由表4可见,未打磨的钢板的洛氏硬度均小于打磨后的,两者的差距与表面锈蚀程度有很大关系,锈蚀情况越严重,两者的差距越大。同时,表4显示未打磨情况下的洛氏硬度离散性很大,不能反映钢材真实的硬度。为准确得到钢板的洛氏硬度值,建议检测时应将表面锈蚀层打磨掉。

#### 5 结论

论文主要对洛氏硬度检测时的环境因素的影响规律进行了研究,主要结论如下:

①压力作用会使钢板的洛氏硬度检测结果比无应力状态的检测结果大,并且随着压力的增大,钢板洛氏硬度的增长幅度也增大。在弹性范围内,压力导致洛氏硬度检测结果的增大幅度在5%左右。

②随着拉力的增大,钢板洛氏硬度总体有减小的趋势。在弹性范围内,洛氏硬度降低的幅度在5%~10%;在弹塑性阶段,洛氏硬度减小的幅度较大(在15%左右)。对于弹塑性阶段的受拉构件,建议可在洛氏硬度检测结果的基础上增加10%得到无应力状态的洛氏硬度,再换算得到钢材的原始抗拉强度。

③锈蚀对钢板洛氏硬度检测结果影响较大,锈蚀后未打磨的钢板的洛氏硬度均小于打磨后的检测结果,两者的差距与表面锈蚀程度有很大关系。锈蚀情况越严重,两者的差距越大。同时,锈蚀后钢板的洛氏硬度离散性很大,不能反映钢材的真实硬度。为准确得到钢板的洛氏硬度值,建议检测时应将表面锈蚀层打磨掉。

#### 参考文献

- 梁韵婕,杜正伟,郑义文.钢结构钢材强度无损检测分析[J].建材与装饰,2018(33):47-48.
- Brooks I, Lin P, Palumbo G, et al. Analysis of hardness-tensile strength relationships for electroformed nanocrystalline materials[J]. Materials Science and Engineering A, 2008,491:412-419.
- Zhu ML, Xuan FZ. Correlation between microstructure, hardness and strength in HAZ of dissimilar welds of rotor steels[J]. Materials Science and Engineering A, 2010,527:4035-4042.
- 张志杰,郑鹏飞,陈辉,等.基于能量等效原理的金属材料硬度预测方法[J].工程力学,2021,38(3):17-26.
- 王玲,郭小华,杨建平,等.现场采用洛氏硬度法判别Q235和Q345钢材种类试验研究[J].建筑结构,2022,52(19):145-149.
- 范语萱,孙冠军.不同总试验力保持时间对铝合金洛氏硬度测试结果的影响[J].理化检验—物理分册,2023,59(10):22-26+78.
- 张亚楠.基于宏微观模型推断钢构件强度的无损检测技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2015.
- 吴芳堤,曹晶晶.金属材料洛氏硬度与抗拉强度的相关关系[J].理化检验—物理分册,2019,55(5):301-304.
- Dehuri B, Pradhan SS. Correlation between hardness and tensile strength of cracked aluminium plates with composite patches[J]. Materials today: proceedings, 2020,21:1335-1339.
- Asgharzadeh A, Nazari S A, Esmailpour R, et al. Determination of hardness-strength and -flow behavior relationships in bulged aluminum alloys and verification by FE analysis on Rockwell hardness test[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020,106:315-331.
- 袁小军,谢甫哲,陈丙辉.钢材洛氏硬度与强度关系的试验研究[J].江苏建筑,2001(6):106-109.
- 李晓东.洛氏硬度试验结果的影响因素[J].理化检验—物理分册,2010,46(4):274-276.