

# 便携式智能型洛氏硬度计检定系统

张盛海

(无锡市检验检测认证研究院, 江苏,无锡 214101)

**摘要:** 目前洛氏硬度计检定装置所需配套标准器分散、繁杂或笨重不便携带,且检定和校准过程中操作环节较多,工作效率较低,还影响测量结果的可靠性。针对现有洛氏硬度计检定装置的这些不足之处,优化设计了一套用于检定和校准洛氏硬度计的便携式智能系统。该装置体积小,重量轻,便于携带和操作,集成了力传感器、位移传感器和计时器,能够实现对硬度计的加载载荷及其保持时间、测深装置及硬度示值进行同步校准,极大的提升了工作效率,改善的测量环节,提高了测量数据的可靠性。本文还对该装置的计量特性进行了系统的测试和分析,并对该装置对洛氏硬度计的校准结果按照国家规范的要求进行了全面验证。试验结果表明,该装置具有较高的精度和良好的稳定性,能够满足洛氏硬度计各计量参数的校准要求。

**关键词:** 洛氏硬度计; 校准; 便携式装置; 力传感器

**中图分类号:** TH71

**文献标识码:**

## Research on metrological characteristics of portable intelligent Rockwell hardness tester calibration system

ZhangSheng hai

(Wuxi Institute of Inspection, Testing and Certification, Jingsu, wuxi, 214101)

**Abstract:** At present, the supporting instruments and equipment required for the verification device of Rockwell hardness tester are scattered, complex, or cumbersome, which is inconvenient to carry. Additionally, there are many operational steps in the verification and calibration process, resulting in low work efficiency and affecting the reliability of measurement results. In response to these shortcomings of the existing Rockwell hardness tester verification device, a portable intelligent system for verifying and calibrating Rockwell hardness testers has been optimized and designed. The device is small in size and light in weight, making it easy to carry and operate. More importantly, it integrates force sensors, displacement sensors, and timers, enabling synchronous calibration of the loading load and holding time of the hardness tester, the depth measuring device, and the hardness indication. This greatly improves work efficiency, improves the measurement process, and improves the reliability of measurement data. This article also

conducted systematic testing and analysis of the metrological characteristics of the device, and comprehensively verified the calibration results of the Rockwell hardness tester according to national standards. The experimental results indicate that the device has high accuracy and good stability, and can meet the calibration requirements of various metrological parameters of the Rockwell hardness tester.

**Keywords:** Rockwell hardness tester; calibration; portable device; force sensor

## 1 引言

硬度表征的是材料局部抵抗外界物体侵入表面的能力,分为划痕硬度和压入硬度。洛氏硬度就是压入硬度的一种,对金属材料的洛氏硬度,一般常采用洛氏硬度计进行测试。在洛氏硬度试验中采用不同的压头和不同的试验力,会产生不同的组合,对应于洛氏硬度不同的标尺。常用的有3个标尺,其应用涵盖了几乎所有常用的金属材料,因而被广泛应用于各种金属制品的硬度测试。为了保证测试结果的准确性和可靠性,需要对洛氏硬度计进行定期检定或校准<sup>[1]</sup>。洛氏硬度计一般需要进行直接和间接两种方式的检验。其中,直接检验包括:试验力的校准、压头的检测、压痕深度测量装置的校准和实验循环时间的检测;间接检验即使用标准硬度块对洛氏硬度计的硬度示值校准。

对洛氏硬度计的检定和校准一般采用专用的计量检定装置或系统,即洛氏硬度计计量检定装置,其计量特性直接关系到洛氏硬度计测试结果的准确性和可靠性<sup>[2-4]</sup>。目前已有的一些洛氏硬度计校准装置,都是对各计量参数采用各自的标准器进行测试,如使用标准测力仪测量加载载荷的力值,专用的测深装置检定装置测量硬度计测试装置,标准硬度块测量硬度示值误差,电子秒表检测加力及保持时间。设计的参数较多,所需标准器较多,且试验过程比较复杂,逐项试验,效率低下,不同操作人员的操作会导致一定的数据偏差,数据获取源头过多,数据处理不方便等问题<sup>[5-9]</sup>。有些测力仪及仪表、测深装置检定装置比较笨重且占空间,不便于携带,不能实现现场检测以满足客户需求。

为了解决上面提及的一些问题,提升工作效率并实现现场校准,本文研发一套洛氏硬度计专用的检定系统,集成检定洛氏硬度计的主要参数的各项功能,一体化设计,系统体积小,重量轻,便于携带和操作,能够实现对洛氏硬度计的加载载荷及其保持时间、测深装置及硬度示值进行同步校准。

针对研发的洛氏硬度计检定系统,对其计量特性进行了系统性研究,通过试验测试和数

据分析，得出该系统的准确性、稳定性等计量特性指标，并采用该系统，依据国家检定规程 JJG 112-2013《洛氏硬度计检定规程》，对市场上常用的洛氏硬度计进行校准，并按 JJF 1033-2022《计量标准考核规范》进行验证，结果表明，该系统稳定可靠，达到规程对检定装置的要求，满足市场需求。

## 2 洛氏硬度计检定系统设计

### 2.1 工作原理和结构

洛氏硬度计是在规定的条件下，将压头（金刚石圆锥、钢球或硬质合金球）压入试样表面。待卸除主试验力后，在初试验力下测量压痕残余深度。以压痕残余深度来表征被测物洛氏硬度的高低。

本文研究的便携式洛氏硬度计检定系统的原理是通过模拟洛氏硬度计实际测试过程，对洛氏硬度计的压力、时间、深度等参数进行测试和校准，从而保证洛氏硬度计测试结果的准确性和可靠性。

系统的主件结构如图 1 所示，它可直接安装在被检洛氏硬度计上，转换压块上端直接和硬度计的施压机构连接，下端与测头相连，底座带有支腿，可以稳定的放在标准洛氏硬度块上面。

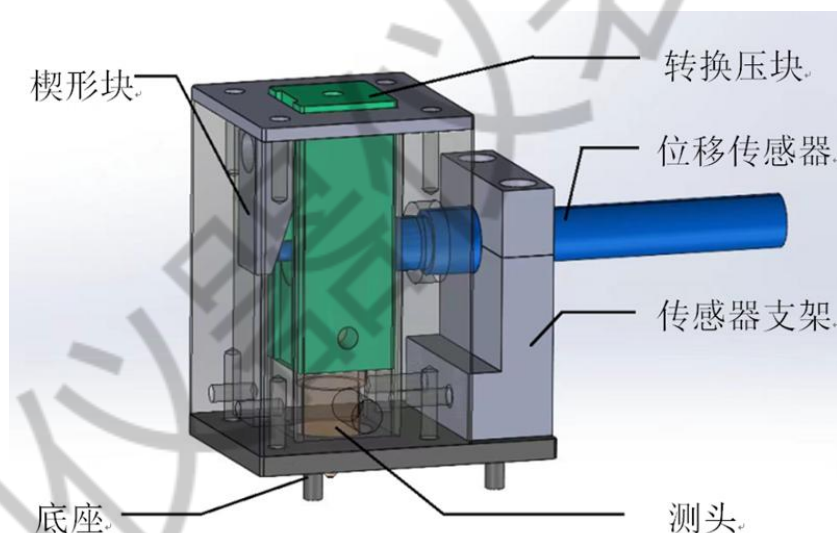


图 1 便携式洛氏硬度计检定系统结构图

试验时，将该系统及配套的测力平台上放在被检硬度计的测试平台上（标准洛氏硬度块放置在测力平台上），在试验过程中，在硬度计载荷的作用下，楔形块依附转换压块一起下移，将垂直方向的测深参量转化为水平方向的位移，通过位移传感器将采集的数据传输到微机系统，测力平台也将载荷大小通过力传感器适时反馈给微机系统并记录，同时，通过载荷

和位移的变化，微机系统可以识别被检硬度计的加载时间，这样，可以同步起到校准力值、测深和时间这几个主要参数。

## 2.2 硬件与软件设计

整个系统采用微机系统处理数据，其特点是功耗低、体积小、性能稳定。系统采用了 18 位多功能数据采集卡作为硬件部分的核心设备。数据采集卡具有多个输入通道，可以同时测量多个参数，满足了洛氏硬度计检定和校准时多参数的测试要求。

此外，本系统还标配置显示器、键盘、鼠标等硬件设备，使得用户可以更加方便地进行数据输入和结果输出。

系统采用 windows (win7 以上) 操作系统，并开发了专用的硬度计检定软件。该软件结合了洛氏硬度计的测试原理和数学模型，可以实现完整的检定和校准过程。具体功能包括：

- 1) 硬度计测试界面：用于设置测试条件、选择测试模式、启动测试等操作。
- 2) 测试数据采集与处理模块：采集测试数据并进行实时处理，并生成测试结果。
- 3) 测试结果输出模块：用于输出测试结果，并提供保存、导出等功能。

## 3 系统的计量特性

计量标准装置必须满足相应计量规程的要求<sup>[2]</sup>。为了研究本系统的计量特性，分别采用高等级的计量标准对系统的各关键参数进行计量校准，并根据 JJF1033-2022《计量标准考核规范》的要求，对系统进行稳定性考核，对每个参数，每间隔一个月，进行 1 组 10 次重复测量，每组取算术平均值作为该组测得值。持续半年测得 6 组数据，各组测得值的最大值与最小值之差即为该时间段内的稳定性指标。

### 3.1 测力平台

对系统的测力平台采用 L6-II 型 0.01 级力标准机，依据 JJG 144-2007《标准测力仪检定规程》，在  $(20 \pm 2.5)^\circ\text{C}$  (校准期间温度变动范围小于  $1^\circ\text{C}$ )，相对湿度 56.8% 的环境条件下，按要求将系统的测力平台预先放置在校准实验室 8h 以上等温，对其力值校准，其结果如下表 1 所示：

表 1 测力平台的力值计量特性

标准力值 (N)	进程示值 (N)	重复性 (%)	回程示值 (N)	不确定度 $U$ (%)	稳定性 (N)
0	0.00	/	0.00	/	/
250	250.07	0.01	250.08	0.08	0.03

500	500.15	0.02	500.17	0.08	0.04
1000	1000.32	0.03	1000.35	0.07	0.12
1250	1250.28	0.04	1250.29	0.07	0.09
1500	1500.44	0.05	1500.47	0.06	0.16
1750	1750.64	0.05	1750.72	0.06	0.18
2000	2000.37	0.06	2000.53	0.05	0.24
2500	2500.76	0.07	2500.79	0.05	0.36

由表 1 可知，该测力平台的各计量指标符合 JJG 144-2007《标准测力仪检定规程》对 0.3 级标准测力仪的计量要求，满足 JJG 112-2013《洛氏硬度计检定规程》对测力标准器的要求。

### 3.2 测深装置检定系统

采用规格为(0.5~100)mm 的二等量块，依据 JJF 1682-2017《光栅式测微仪校准规范》，在(20±0.2)°C（温度波动优于 0.1°C/h），相对湿度 56.6%的环境条件下，按要求将本系统的硬度计测深装置检定系统放置在校准实验室 8h 以上等温，然后对长度参数进行校准，其结果如下表 2 所示。

表 2 测深装置检定系统的计量特性

测量点 (mm)	示值 (mm)	示值误差 (μm)	重复性 (μm)	不确定度 (μm)	稳定性 (μm)
0.05	0.05001	0.01	0.01	0.10	0.01
0.15	0.15001	0.01	0.01	0.10	0.01
0.20	0.20002	0.02	0.01	0.10	0.01
0.25	0.25002	0.02	0.01	0.10	0.02
0.30	0.30003	0.03	0.01	0.10	0.02

由表 2 可知，该硬度计测深装置检定系统的各计量指标符合 JJF 1682-2017《光栅式测微仪校准规范》对 0.2μm 光栅式测微仪的计量要求，满足 JJG 112-2013《洛氏硬度计检定规程》对硬度计测深装置检定仪的要求。

### 3.3 计时系统

对系统的计时系统采用 MPE 为±(T×10<sup>7</sup>+2ms)的时间检定仪，MPE 为±0.01s/d 的日差仪，依据 JJG 237-2010《秒表检定规程》，在(20±2.5)°C(校准期间温度变动范围小于 2°C)，

相对湿度 56.8%的环境条件下，进行校准，其结果如下表 3 所示。

**表 3 计时系统的计量特性**

时间间隔(s)	实测值(s)	最大允许误差(s)	不确定度(s)	稳定性(s)
10s	10.00	0.05	0.03	0.00
600s	600.00	0.07	0.03	0.01
3600s	3600.01	0.10	0.03	0.02
86400s	86400.25	0.50	0.03	0.24

由上表可知，该计时系统的日差 + 0.25s/d, U=0.05 s/d, 各计量指标优于 JJG 237-2010 《秒表检定规程》对电子秒表的计量要求，满足 JJG 112-2013 《洛氏硬度计检定规程》对计时标准器的要求。

综上所述，结合表 1~3 可知，本系统的各项参数的计量指标均满足相应技术规程/规范的要求，其稳定性也满足 JJF1033-2022 《计量标准考核规范》对计量标准的要求。

#### 4 校准结果的验证

根据 JJF1033-2022 《计量标准考核规范》中检定或校准结果的验证方案，结合洛氏硬度计的项目特点，采用比对法对本系统进行系统性验证<sup>[10,11]</sup>。

根据本系统的精度等级和各参数测量不确定度评定<sup>[12-17]</sup>情况，选择项目能力相当，测量不确定度相近的两家已建标市级机构，与本实验室进行实验室间比对。依据 JJG 112-2013 《洛氏硬度计检定规程》，在 (23±5) °C，相对湿度 50.4%~58.6%的环境条件下分别对莱州华银试验仪器有限公司生产的编号为 1685，HRS-150 型数显洛氏硬度计进行校准，本系统（记为 1#）和另外两家洛氏硬度计检定装置（分别记为 2#、3#）的校准结果如表 4~7 所示。

**表 4 试验力校准结果**

试验力	标准器力值 (N)	硬度计最大力值 (N)			试验力偏差 (%)			最大允许偏差 (%)	不确定度 Urel (%)		
		1#	2#	3#	1#	2#	3#		1#	2#	3#
初试	98.07	97.85	97.65	98.23	0.2	0.5	0.2	±2	0.3	0.3	0.3
总试	1471.00	1465.25	1463.47	1474.34	0.4	0.5	0.3	±1	0.3	0.3	0.3

表 5 测深装置校准结果

测量位置	标准值 ( $\mu\text{m}$ )	最大允许误差 ( $\mu\text{m}$ )	测量值 ( $\mu\text{m}$ )			不确定度 U ( $\mu\text{m}$ )		
			1#	2#	3#	1#	2#	3#
1	50	$\pm 1$	50.08	50.12	50.14	0.15	0.20	0.15
2	100	$\pm 1$	100.16	100.23	100.18	0.15	0.20	0.15
3	200	$\pm 1$	200.24	200.38	200.28	0.15	0.20	0.15

总试验力保持时间设置 5s，主试验力施加时间为 (5~8) s，主试验力在 (2~3) s 内平稳卸除，选用常用的 C 标尺，硬度计的硬度示值校准结果如表 6 所示。

表 6 硬度示值校准结果

标准硬度 值 (HRC)	最大允 许误差 (HRC)	硬度计示值 (HRC)			示值误差 (HRC)			示值重复性 (HRC)			不确定度 U (HRC)		
		1#	2#	3#	1#	2#	3#	1#	2#	3#	1#	2#	3#
		27.3	$\pm 1.5$	27.9	27.9	27.7	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.6	0.7
47.3	$\pm 1.5$	47.7	47.5	47.9	0.4	0.2	0.6	0.3	0.5	0.4	0.8	0.9	0.8
64.1	$\pm 1.5$	64.3	64.6	64.7	0.2	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.9	0.9	0.8

表 7 总试验力保持时间的校准结果

总试验力保持时间 (s)			技术要求 (s)			不确定度 U (s)		
1#	2#	3#	1#	2#	3#	1#	2#	3#
5.12	5.25	5.32	$\pm 1$	0.20	0.36	0.40		

根据 JJF1033-2022《计量标准考核规范》，对比对结果的评价采用式 (1)

$$|y_{\text{lab}} - \bar{y}| \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} U_{\text{lab}} \quad (1)$$

进行评价，其  $y_{\text{lab}}$  为本系统的测量值， $\bar{y}$  为三家实验室测量值的平均值， $U_{\text{lab}}$  为本系统的测量不确定度， $n$  为参加实验室的数量，即为 3。

将表 4~7 中各数据代入式 (1)，计算可得：试验力、测深装置的深度值、硬度示值和加力保持时间均满足式 (1) 的要求，即本系统对被检洛氏硬度计的校准结果准确可靠，满足 JJG 112-2013《洛氏硬度计检定规程》对计量标准装置的要求。此外，因为测深和时间参数是系统智能识别和记录，其校准结果明显优于另外两家。

## 5 结论

便携式洛氏硬度计检定系统具有体积小、重量轻、便于携带和操作,其力值的最大量程可达 2500N,精度优于 0.3 级(标准测力仪),长度参数的最大测量值超过 0.3mm,其测量精度相当于 0.2 $\mu$ m 等级的光栅测微仪,时间的测量精度可达到分辨率为 0.01s 的电子秒表水平,满足 JJG 112-2013《洛氏硬度计检定规程》对标准器的要求,也符合 JJF1033-2022《计量标准考核规范》对洛氏硬度计检定装置的计量考核要求。

该系统能同步完成硬度计加载载荷、硬度示值、测深装置和加载保持时间的校准,校准结果符合 JJG 112-2013《洛氏硬度计检定规程》的要求,极大提高了工作效率,可对市场上各类洛氏硬度计开展检定和校准工作。

#### 参考文献:

- [1] 赵彩平,李健.洛氏硬度计的计量检测及常见故障分析[J].中国质量与标准导报,2022(01):40-42.
- [2] JJG 112-2013, 金属洛氏硬度计(A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T 标尺)[S]. 6.
- [3] 谭伟新.影响洛氏硬度计测量准确度的因素[J].工业计量,2009,19(03):24-25.
- [4] 郭贵勇,马兴.携带式洛氏硬度计的量值传递及影响量的分析与研究[J].科技视界,2019(32):125-126.
- [5] 魏居锋,张旭敏,刘克先.洛氏硬度计计量建标方案探讨[J].装备制造技术,2017(05):274-276+279.
- [6] 沈运杰,李自武,牟娟.洛氏硬度计在校准时易被忽略的现象分析[J].计测技术,2013,33(01):50-52.
- [7] 李自武,沈运杰,苗淼.洛氏硬度计压痕测量系统检定方法探讨[J].计测技术,2016,36(04):48-50.
- [8] 高亚利,卢劲松.洛氏硬度计检定中常见各种误差及处理方法[J].中国计量,2001(10):34.
- [9] 赵进,陈茂林,齐凤阳.浅析金属洛氏硬度计检定过程中注意事项和故障的分析与排除[J].计量与测试技术,2017,44(07):63+67
- [10] 池宏峰.关于计量标准考核规范思考[J].中国计量,2021(11):45.
- [11] 江文松,吴娅辉,李新良等.动态力计量建模与分析方法综述[J].计测技术,2022,42(02):2-12.
- [12] 王韵晴,李闻涛,陈敏等.洛氏硬度计(C 标尺)测量结果的不确定度评定[J].中国医疗器械



信息,2014,20(12):29-33

- [13] 张曙香,余泽利,房永强等.洛氏硬度计示值误差测量不确定度评定[J].科学技术创新,2020(23):45-46.
- [14] 金莉,杨秀范,霍建武.金属洛氏硬度计测量不确定度评定[J].工业计量,2007(S1):141-143.
- [15] 姜山,潘维朋,刘英华.试验力 F 对洛氏硬度计示值影响的定量分析[J].哈尔滨轴承,2006(01):49-51.
- [16] 李久林,肖红.国外标准中洛氏硬度值测量不确定度的评定方法对比与分析[J].物理测试,2006(01):49-54.
- [17] 邹洪浪,尤惠珠.金属韦氏硬度计示值误差测量结果不确定度评定[J].计测技术,2013,33(S1):196-197.