

全自动布氏压痕测量系统校准方法研究

李宁¹, 杜勤¹, 陈建志², 周杰³, 陈静¹, 祁金秋¹, 祝国荣¹

1. 北京北方车辆集团有限公司 北京 100072
2. 江苏科技大学机械工程学院 江苏镇江 212003
3. 江南工业集团有限公司 湖南湘潭 411207

摘要: 以创新驱动和质量为先, 加强量传溯源技术和方法研究, 是我国计量发展规划的重要内容。开展全自动布氏压痕测量系统校准方法研究, 解决其系统校准问题, 满足力学性能试验中布氏硬度的检测技术要求, 制定校准规范, 实现全自动布氏压痕测量系统溯源, 为国防工业、民用机械行业力学性能试验提供成功经验, 发挥重要作用。

关键词: 全自动; 布氏压痕测量系统; 量传溯源; 校准规范

Research on calibration method of fully automatic brinell indentation measurement system

LI Ning¹, DU Qin¹, CHEN Jianzhi², ZHOU Jie³, CHEN Jing¹, QI Jinqiu¹, ZHU Guorong¹

1. Beijing North Vehicle Group Co., Ltd., Beijing 100072, China
2. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhen Jiang 212003, Jiangsu, China
3. Jiangnan Industrial Group Co., Ltd., Xiangtan 411207, Hunan, China

Abstract: Strengthening the research on quantity transmission and traceability technology and methods, with innovation driven and quality as the priority, is an important part of China's metrology development plan. Conduct research on the calibration method of the fully automatic Brinell indentation measurement system, solve the system calibration problem, meet the technical requirements for Brinell hardness detection in mechanical performance testing, develop calibration specifications, achieve traceability of the fully automatic Brinell indentation measurement system, provide successful experience for mechanical performance testing in the national defense industry and civil machinery industry, and play an important role.

Keywords: fully automatic; brinell indentation measurement system; quantitative traceability; calibration specifications

1 序言

全自动布氏压痕测量系统^[1]采用目前世界上最先进的视频成像系统, 保证某些表面较为粗糙、甚至未作抛光处理的铸铁工件表面进行测试且能保

证测量精度^[2-5]。全自动布氏压痕测量系统如图1所示, 主要由图像采集装置和分析软件构成, 图像采集装置获取试样表面布氏球痕尺寸(见图2), 再经软件分析给出压痕直径以及布氏硬度值^[1-6]。

第一作者: 李宁, 正高级工程师, 硕士研究生, 中国兵器青年科技带头人, 主要研究方向为理化分析、无损检测、计量校准、可靠性等, E-mail: 359658976@qq.com。

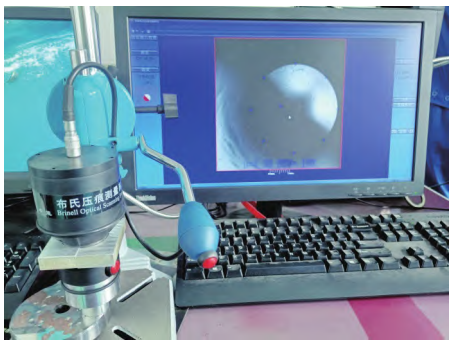


图1 全自动布氏压痕测量系统



图2 布氏硬度压痕

全自动布氏压痕测量系统是近年来出现的新技术，该系统使用方便、可靠，打破了传统光学显微镜先测量压痕直径再查布氏硬度表的传统模式，是现代数码技术与计算机测量技术的完美结合，可与任何布氏硬度机搭配使用，具有快速、准确、高重复性及高性价比等特点。其测量结果得到UKAS认证，符合ISO、ASTM等国际标准^[6]。随着技术的发展，这种新的测量手段必将代替普通的光学显微镜，广泛用于兵器工业、船舶重工、电力、汽车及铁路等行业的理化检测。

2 应用现状及存在的问题

针对全自动布氏压痕测量系统这项新技术，市面上常见的不同品牌的测量系统校准方法较混乱，甚至是不可行的。例如：①有的厂家只用一个硬度块，让客户自行对比。②有的厂家宣称系统可以实现自我校准，不用再进行校准。③有的厂家采用标准刻线尺依据JJG 150—2005《金属布氏硬度计检定规程》进行校准，而标准刻线尺仅是校准光学显微镜的计量器具。

因此，虽然推荐的校准方法多样，但没有一个权威的、统一的校准规范。

JJG 150—2005详细规定了光学显微镜的检定方法，采用的器具是标准刻线尺，检查时先调好焦距，在目镜内能够清晰地看到标准刻线尺的刻线，然后移动显微镜刻线与标准刻线尺的刻线进行比较。这种校准方法不适用于全自动布氏压痕测量系统。全自动布氏压痕测量系统的图像采集原理如图3所示，采集点位于球形压坑的边界，是一个三维空间图像，不同位置对光的反射不同，有的地方暗、有的地方亮，正是利用这种明暗的变化来测量不同位置压痕的直径，然后取平均值。而标准刻线尺（见图4）是一个二维平面图形，对光线的反射属于漫反射，没有明显的明暗变化，导致该系统无法直接采集长度，因此不能用标准刻线尺进行校准。

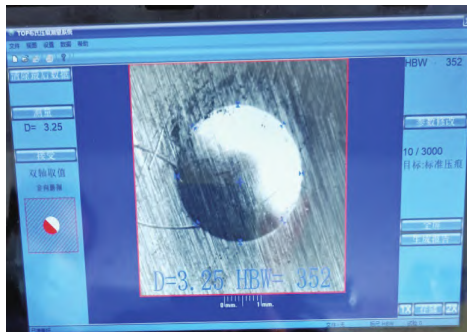


图3 全自动布氏压痕测量系统图像采集原理



图4 标准刻线尺

经调研，兵器系统六一八厂、六一七厂、四四七厂等单位已经广泛应用了全自动布氏压痕测量系统，全自动布氏压痕测量系统的大量应用，保证了布氏硬度试验的检测质量，但该系统不能有效溯源，目前尚没有统一的、权威的校准方法，长此以往将导致测量系统功能出现波动而不知，致使检测结果出现偏差，而试验人员基于检测结果误将合格的产品判定为不合格，或者将不合格的产品误判定为合格，因此造成产品报废或者严重质量安全事故。

计量器具是标准物质，在整个计量立法中处

于相当重要的地位，计量器具准确度要保持一致，因此计量器具都需要纳入周期管理，按时依据检定规程或校准规范对其进行检定和校准。全自动布氏压痕测量系统直接出示压痕直径和布氏硬度值，应划分为计量器具管理，因此亟需制定相应的校准方法，从而保障全自动布氏压痕测量系统测量的准确性。

3 全自动布氏压痕测量系统校准方法研究

3.1 设定目标值

对全自动布氏压痕测量系统的校准方法进行探究，首先确定主要计量项目是示值误差和示值重复性。全自动布氏压痕测量系统与金属布氏硬度计类似，给出的测量结果均是硬度值，在校准方法研究过程中，主要计量项目的量化目标借鉴了国家计量检定规程JJG 150—2005对硬度计示值最大允许误差和示值重复性的规定。其量化目标根据不同的硬度范围而不同，具体的量化目标见表1。

表1 量化目标（计量特性）

硬度HBW	示值最大允许误差 δ (%)	示值重复性 H_{ct} (%)
≤ 125	± 2.5	≤ 3.0
$> 125 \sim 225$	± 2.0	≤ 2.5
> 225	± 1.5	≤ 2.0

3.2 确定最佳方案

（1）制定初步方案 针对本课题提出的具体目标，根据实际工作过程中积累的经验，并通过查

阅相关资料及市场调研，初步提出以下两个总体方案，如图5所示。

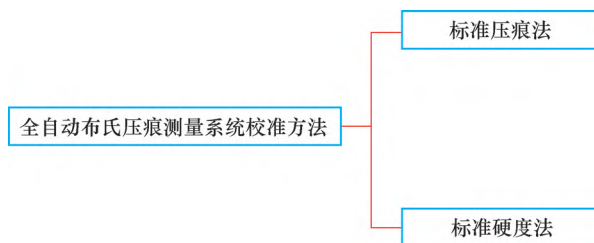


图5 初步方案

（2）总体方案分析与选择

1) 方案目标。①示值最大允许误差： $\pm 2.5\%$ ($\leq 125\text{HBW}$)、 $\pm 2.0\%$ ($> 125 \sim 225\text{HBW}$)、 $\pm 1.5\%$ ($> 225\text{HBW}$)。②示值重复性： $\leq 3.0\%$ ($\leq 125\text{HBW}$)、 $\leq 2.5\%$ ($> 125 \sim 225\text{HBW}$)、 $\leq 2.0\%$ ($> 225\text{HBW}$)。③可以溯源。④方法简单。

2) 试验描述。利用全自动布氏压痕测量系统对标准值进行测量，共测量5组，按照给定的计算公式计算示值误差和示值重复性。

对两种初步方案进行分析，见表2。

从表2可知，标准压痕法虽然精确度高，但是压痕无法溯源，不能作为校准用器具；标准硬度法虽然精确度较低，但是布氏硬度块能够溯源，可以作为校准用器具，因此决定选用标准硬度法作为本课题主方案。

（3）对确定方案进行分解 根据校准方法最终能够实现的目标，将标准硬度法的设计分解为主要计量项目、计量器具和计算方法3个部分，如图6所示。

表2 总体方案分析

设想方案	试验分析	方案评估	结论
方案一： 标准压痕法	<p>操作步骤：</p> <p>1. 制作标准压痕：根据不同球径压头所对应的理论压痕直径，在多个理论压痕直径范围内各选择一块标准布氏硬度块，采用多个压头分别在标准布氏硬度块上各打多组压痕；从每组压痕中选定一个最接近理论压痕直径的压痕作为标准压痕，标准压痕的选定依据为各个方向的直径相差最小，在标准压痕外围使用图案进行标记</p> <p>2. 利用布氏压痕测量系统测量标准压痕直径，测量多组并计算示值误差</p>	<p>优点： 精确度高，可以精确到0.001mm</p> <p>缺点： 1. 标准压痕无法溯源 2. 方法复杂</p>	不选择
方案二： 标准硬度法	<p>操作步骤：</p> <p>利用全自动布氏压痕测量系统测量标准硬度块上指定的标准压痕，共测量5组，计算示值误差和示值重复性</p>	<p>优点： 1. 标准硬度块可以溯源，满足要求 2. 方法简单</p> <p>缺点： 精确度低，只能精确到0.01mm，但是满足要求</p>	选择

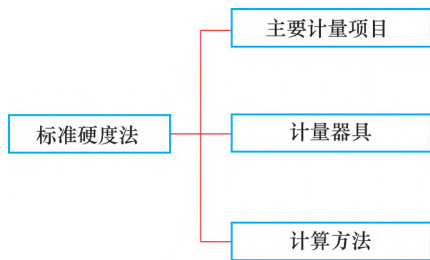


图6 方案分解

全自动布氏压痕测量系统测量的是压痕的直径，然后换算成硬度值，因此最重要的是需要对示值进行校准，主要计量项目分解如图7所示。

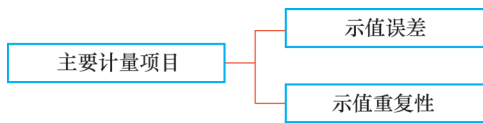


图7 主要计量项目

计量器具选择标准布氏硬度块。计算方法包括示值误差的计算方法和示值重复性的计算。

(4) 确定最佳方案 经校准方法研究，确定最佳方案如图8所示。

(5) 全自动布氏压痕测量系统校准方法 课题组提出一种硬度法校准全自动布氏压痕测量系统的

方法，阐述如下。

1) 计量特性：校准方法（硬度法）主要计量特性的技术指标（即量化目标），包括其名称、测量范围和最大允许误差（见表1）。

2) 校准项目及校准用标准器：校准室内温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，校准室内湿度：相对湿度不超过70%。被校准仪器在室内平衡温度时间 $\geq 24\text{h}$ ，校准用标准器在室内平衡温度时间 $\geq 3\text{h}$ 。校准时周围环境应清洁、无振动、无腐蚀性气体。校准项目及校准用标准器见表3。

3) 校准方法：开机后，使全自动布氏硬度压痕测量系统正常工作，并确认无影响测量准确度的缺陷后，再进行校准。

用全自动布氏硬度压痕测量系统测量5次标准压痕直径，给出测量结果。

示值重复性校准：按式（1）计算示值重复性，即

$$H_{cf} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\bar{H}_j} \times 100\% \quad (1)$$

式中 H_{cf} ——测量系统示值重复性（%）；

$H_{\max}$ ——5点中硬度最大值（HBW）；

$H_{\min}$ ——5点中硬度最小值（HBW）；

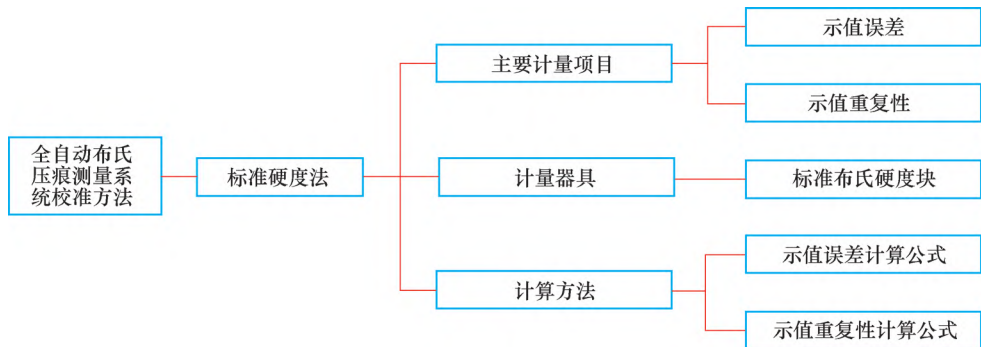


图8 最佳方案

表3 校准项目及校准用标准器

校准项目	校准用标准器			
	名称	技术要求		
示值误差和示值重复性	标准硬度块（1套共计9块）	HBW10/3000	硬度HBW	≤ 225
		HBW10/1000		> 225
		HBW5/750		≤ 125
		HBW5/250		≤ 225
		HBW2.5/187.5		> 225
		HBW2.5/62.5		≤ 125
				≤ 125