

# 标准维氏和布氏一体硬度机及压痕测量装置的设计

□ 阙鹏峰<sup>1</sup> 林硕<sup>2</sup> 吴思羽<sup>3</sup>

[ 1. 福建省计量科学研究院; 2. 福建省力值计量测试重点实验室; 3. 国家市场监督管理总局重点实验室(力值计量测试) ]

**【摘要】** 现有的标准维氏和布氏硬度机由于生产时间较早, 受当时技术限制, 导致其存在功能单一、自动化程度较低、压痕测量费时耗力等缺点。本文介绍了一种标准维氏和布氏一体硬度机, 可同时实现维氏硬度试验和七种标尺的布氏硬度试验。该硬度机具有自动测量的维氏布氏压痕测量装置, 可以实现单点或多点硬度试验, 并对硬度压痕进行自动测量。经初步验证, 其结果符合相关规程和标准的要求。

**【关键词】** 维氏硬度; 布氏硬度; 硬度机; 压痕测量

文献标识码: A 文章编号: 1003-1870 (2025) 05-0045-06

## The design of standard Vickers and Brinell integrated hardness testers and indentation measurement devices

**【Abstract】** The existing standard Vickers and Brinell hardness testers, due to their early production time and the technical limitations at that time, have disadvantages such as single function, low degree of automation, and time-consuming and labor-intensive indentation measurement. This article introduces a standard Vickers and Brinell integrated hardness tester, which can simultaneously perform Vickers hardness tests and Brinell hardness tests on seven scales. This hardness tester is equipped with an automatic Vickers and Brinell indentation measurement device, which can perform single-point or multi-point hardness tests and automatically measure hardness indentations. After preliminary verification, the results comply with the requirements of relevant regulations and standards.

**【Keywords】** Vickers hardness; Brinell hardness; Hardness machine; Indentation measurement

### 引言

维氏硬度试验和布氏硬度试验是材料力学性能评估的核心手段, 可以实现对材料抗变形能力的精准量化, 为工业生产和科学研究提供关键数据支撑。维氏硬度试验是通过金刚石正四棱锥压头产生

显微压痕, 结合光学测量技术计算硬度值, 主要用于测试小型精密零件的硬度。其试验力较小, 试验力范围为0.09807N至980.7N, 所以产生的压痕也很小, 对试样外观和使用性能影响较小。布氏硬度试验则采用钢球或硬质合金球压头, 通过测量较大

基金项目: 福建省市场监督管理局科技项目(项目名称: 维氏和布氏硬度工作基准装置压痕测量系统的开发, 项目编号: FJMS2023030)

压痕直径反映材料的整体抗塑性变形能力，广泛应用于汽车发动机缸体、船用铸钢件等大体积金属构件的批量质量检测。其试验力较大，试验力范围为9.807N至29420N，在金属材料表面上留下的压痕也较大。

标准维氏和布氏硬度机通常作为计量的基准装置，具有量值溯源和传递的作用。现有的标准维氏和布氏硬度机由于生产时间较早，受当时技术限制，导致其存在功能单一、自动化程度较低、压痕测量费时耗力等缺点<sup>[1-3]</sup>。本文介绍了一种标准维氏和布氏一体硬度机，可同时实现维氏硬度试验和七种标尺的布氏硬度试验，并且具有自动测量的维氏布氏压痕测量装置，其测量最大允许误差符合相关技术要求。

### 1 标准维氏和布氏硬度机压痕测量装置的技术要求

依据JJG148-2006《标准维氏硬度块检定规程》<sup>[4]</sup>，对标准维氏硬度机的压痕测量装置测量误差要求如表1所示。JJG147-2017《标准布氏硬度块检定规程》虽然没有对压痕测量装置的误差有明确的要求，但是在GB/T 231.3-2012《金属材料 布氏硬度试验 第3部分：标准硬度块的标定》<sup>[5]</sup>，对标准布氏硬度机的测量装置测量误差要求如表2所示。所以，综合以上

依据，标准维氏和布氏一体硬度机压痕测量装置应符合表1和表2中对压痕测量装置的技术要求。

表1 维氏压痕测量装置的最大允许误差

对角线长度d/mm	测量装置的分辨率	最大允许误差
$d \leq 0.040$	0.1 μm	± 0.2 μm
$d > 0.040$	0.25%d	± 0.5%d

表2 布氏压痕测量装置的最大允许误差 单位:mm

压痕直径	最大允许误差
$d < 1$	± 0.0005
$1 \leq d < 2.5$	± 0.0010
$d \geq 2.5$	± 0.0020

## 2 标准维氏和布氏一体硬度机

### 2.1 机械结构

笔者依据JJG 151-2006《金属维氏硬度计检定规程》<sup>[6]</sup>和JJG 150-2005《金属布氏硬度计检定规程》<sup>[7]</sup>对维氏和布氏硬度试验力的规定，在考虑标准硬度机普遍采用砝码净重加荷方式的基础上，同时兼顾设备结构的限制，通过模块化设计将维氏硬度试验和七种标尺的布氏硬度试验集成在同一台硬度机中实现。其维氏硬度和布氏硬度的标尺如表3所示。

表3 标准维氏和布氏一体硬度机试验力设置

试验力级	试验力F/N	维氏硬度标尺	布氏硬度标尺
第1级	49.03	HV5	HBW1/5
第2级	98.07	HV10	HBW1/10
第3级	196.1	HV20	/
第4级	294.2	HV30	HBW1/30
第5级	490.3	HV50	/
第6级	612.9	/	HBW5/62.5 HBW2.5/62.5
第7级	980.7	HV100	/
第8级	1226	/	HBW5/125
第9级	1839	/	HBW2.5/187.5

根据表3的试验力分布，并且结合维氏和布氏硬度试验的特点，标准维氏和布氏一体硬度机的结构示意图如图1所示。其主要由机身框架、砝码、升降

机构、变换试验力装置、XY高精度位移滑台、全自动压痕测量装置等部分组成。

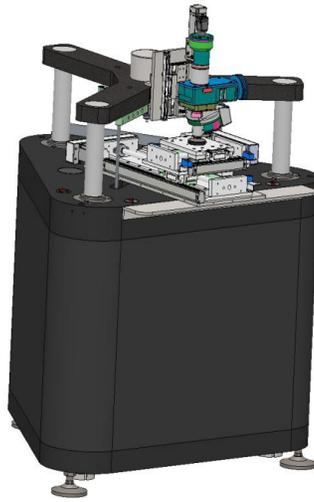


图1 标准维氏和布氏一体硬度机的结构示意图

其工作原理为：第一级试验力由主轴和吊挂产生，吊挂中设置有八块砝码，从而实现表3中所示的9级试验力。砝码通过变换试验力装置进行切换。选好相应的砝码后，主轴由升降机构进行升降，主轴下端装有维氏或布氏压头。当压头与硬度块接触后，升降机构与吊挂分离，从而实现砝码的净重加

荷。

## 2.2 系统原理

系统由PLC、驱动系统、上位机、力传感器、工业相机、光栅尺、显微镜和砝码组等几部分构成。系统构成如图2所示。

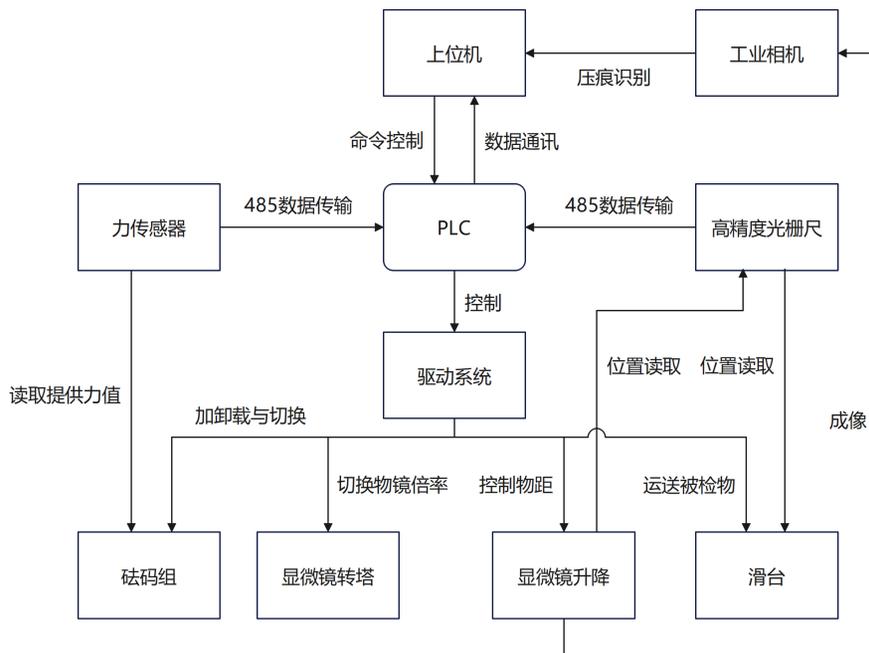


图2 系统构成

在标准维氏和布氏一体硬度机系统中，可编程逻辑控制器PLC作为主控，接收全部开关信号和485

通讯信号，通过发送脉冲控制电机驱动，电机驱动控制电机以位置模式运行。通过发送脉冲控制电机

驱动的方式可以控制砝码组力值的加载速度，使其符合规程要求。上位机通过TCP/IP与PLC通讯，PLC发送操作者需要了解的相关数据给上位机，以便操作者更好地掌控整体系统运行情况，上位机发送控制命令给PLC完成整个系统的协调工作。

### 3 压痕测量装置

为满足表3中维氏和布氏标尺的测量需求，根据《GB-T 4340.4-2022 金属材料 维氏硬度试验 第4部分 硬度值表》和《GB-T231.4-2009 金属材料 布氏硬度试验 第4部分 硬度值表》，其所需测量的压痕长度如表4所示。

表4 标准维氏和布氏一体硬度机压痕长度范围

维氏压痕对角线平均值/mm	布氏压痕平均直径/mm
0.056~1.400	0.240~3.000

#### 3.1 硬件配置

压痕测量装置的硬件包括CCD光学成像系统、显微镜升降滑台、XY高精度位移滑台和计算机。其

中，CCD光学成像系统对压痕进行拍照。CCD光学成像系统包括显微镜、工业相机、图像采集器等硬件。本文根据标准维氏和布氏一体硬度机压痕长度的测量范围(0.056~3)mm，选用的物镜放大倍数有1.5×、5×、10×、20×、50×，其测量范围为(0.02~3)mm。采用全自动物镜转换器进行更换物镜进行变倍，通过变换不同倍数的物镜，对相应标尺的维氏和布氏硬度压痕进行采集。通过工业相机对压痕进行拍照，把图像信号转换成电信号传送到图像采集卡。

#### 3.2 软件平台的设计

在选用合适的硬件配置后，通过图像采集卡将图像电信号转化成数字信息传送到计算机，再基于“NET”开发平台编程实现对维氏和布氏硬度压痕图像的处理。软件界面如图3所示。程序运行并加载测量系数，通过相机采集压痕图像，并基于矩阵运行视觉算法获取清晰、完整的压痕图片，再通过边缘算法进行边缘求解，获取压痕的尺寸，求解得到对应的硬度值。

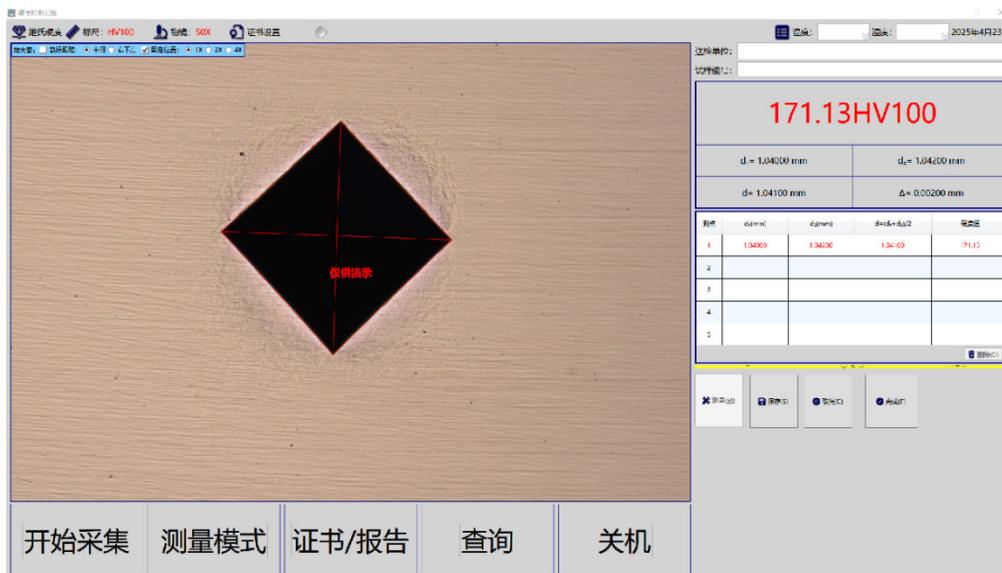


图3 软件操作界面

#### 3.3 工作流程与方法

在压痕测量时，需要运行显微镜控制链和滑台控制链。用户首先将硬度块放置在工作台的中间，然后在软件界面选择维氏硬度测量或者布氏硬度测量。选择好相应的硬度测试类别后，再选择试验

点数量，并且选择相应的硬度块直径和试验点分布模。例如：直径100mm，均匀分布5点。然后点击开始按钮，硬度机开始按照设定条件均匀分布压出5个压痕。硬度机主轴压完设定压痕数量后，停止运行，此时滑台将硬度块移出至显微镜物镜的正下

方。压痕测量系统对5个压痕逐个测量，测量模式可选自动或者手动。最后，对测量结果进行统计、计

算、分析，完成试验。工作流程如图4所示。

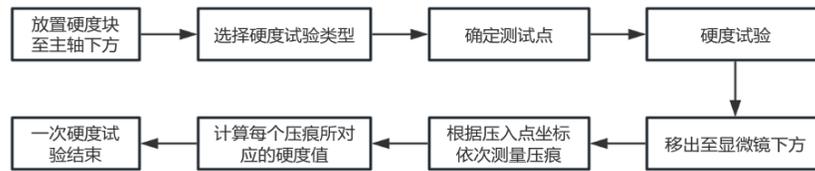


图4 工作流程

#### 4 验证方法及结果

维氏和布氏压痕测量装置的校准主要是依据JJG148-2006《标准维氏硬度块检定规程》和GB/T 231.3-2012《金属材料布氏硬度试验 第3部分：标准硬度块的标定》。校准方法为：对压痕装置的检测应使用标准线纹尺对其每一工作范围至少分5个测量段进行检测。根据本装置的压痕测量范围及相应的误差要求，用线纹尺对每种放大倍率下的压痕测量系统进行初步验证，线纹尺测量范围（0-6）mm， $U=0.50\mu\text{m}$ ， $k=3$ 。其中，每个工作范围分5个测量段进行测量。其测量结果如表5~表9所示。由测量结果可知，其偏差符合表1和表2的要求，符合预期。

表5 放大倍率1.5×校准结果

标称值/mm	示值/mm	偏差/mm
0	0	0
1.0	0.99974	-0.00026
1.5	1.49984	-0.00016
2.0	2.00015	0.00015
2.5	2.50028	0.00028
3.0	2.99968	-0.00032

表6 放大倍率5×校准结果

标称值/mm	示值/mm	偏差/mm
0	0	0
0.5	0.50013	0.00013
0.8	0.80021	0.00021
1.0	1.00012	0.00012
1.2	1.20015	0.00015
1.5	1.50017	0.00017

表7 放大倍率10×校准结果

标称值/mm	示值/mm	偏差/mm
0	0	0
0.2	0.19972	-0.00028
0.4	0.40014	0.00014
0.6	0.60011	0.00011
0.8	0.80017	0.00017
1.0	1.00037	0.00037

表8 放大倍率20×校准结果

标称值/mm	示值/mm	偏差/mm
0	0	0
0.05	0.05005	0.00005
0.10	0.10009	0.00009
0.15	0.15014	0.00014
0.20	0.20030	0.00030
0.30	0.25031	0.00031

表9 放大倍率50×校准结果

标称值/mm	示值/mm	偏差/mm
0	0	0
0.02	0.02014	0.00005
0.04	0.04011	0.00009
0.06	0.06018	0.00014
0.08	0.08014	0.00030
0.10	0.10016	0.00031

#### 5 结语

本文介绍了一种标准维氏和布氏一体硬度机，可同时实现维氏硬度试验和7种标尺的布氏硬度试

验。该硬度机具有自动测量的维氏布氏压痕测量装置，可以实现单点或多点硬度试验，并对硬度压痕进行自动测量。经高精度线纹尺对压痕测量装置进行性能验证，其结果符合JJG148-2006《标准维氏硬度块检定规程》和GB/T231.3-2012《金属材料 布氏硬度试验 第3部分：标准硬度块的标定》中对标准硬度机压痕测量装置的性能要求。

#### 参考文献

- [1] 杨辉其. 全自动维氏硬度基准的研制[J]. 现代计量测试, 1998, (05): 7 ~ 13.
- [2] 张巍, 骆昕, 林家春. 基于PLC的标准布氏硬度

机的自动控制系统[J]. 机电工程, 2020, 37(02): 211-215.

- [3] 刘吉萍. 布氏硬度基准装置的结构特点和计量性能[J]. 计量技术, 2007, (12): 44-45.
- [4] JJG148-2006《标准维氏硬度块检定规程》[S].
- [5] GB /T 231.3-2012《金属材料 布氏硬度试验 第3部分：标准硬度块的标定》[S].
- [6] JJG 151-2006《金属维氏硬度计检定规程》[S].
- [7] JJG 150-2005《金属布氏硬度计检定规程》[S].

#### 作者简介

阙鹏峰，工程师，国家一级注册计量师。主要研究方向：力值计量，机械设计。