

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2021.02.12

无人值守智能化洛氏硬度测试平台

石伟, 陈诗琳, 陶继增

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 在精密计量和智能计量的概念和技术基础上, 结合高精度力值加载技术、压痕测量技术、自动控制技术和机器人应用技术等, 设计并研制了无人值守的智能化洛氏硬度测试平台。平台包括 PLC 总控系统、自动运输系统、自动进样系统、自动打压测量系统和自动打标系统等。测试结果表明: 无人值守的智能化洛氏硬度测试平台测量准确度良好, 在提高测量效率方面具有显著优势。该平台的成功应用, 推进了硬度测量智能化进程, 为其它专业无人值守精密计量技术的发展提供了良好的参考方向。

关键词: 硬度计量; 无人值守; 洛氏硬度; 测试平台

中图分类号: TB938.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2021)02-0095-06

Unattended Intelligent Rockwell Hardness Testing Platform

SHI Wei, CHEN Shilin, TAO Jizeng

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Based on the concept and technology of precision measurement and intelligent measurement, combined with high-precision force loading technology, indentation measurement technology, automatic control technology and robot technology, an unattended intelligent Rockwell hardness testing platform was designed and developed. The platform includes PLC control system, automatic transportation system, automatic sample injection system, automatic measurement system and automatic marking system, etc. The test results show that the platform has good measurement accuracy and significant advantages in improving measurement efficiency. The completion of the device promotes the intelligent process of hardness measurement, and provides a good reference for the development of unattended precision measurement and calibration of other specialties.

Key words: hardness measurement; Rockwell hardness; unmanned; robot technology

0 引言

洛氏硬度是以压痕塑性变形深度来确定硬度值的指标, 在航空航天、汽车、船舶、仪器仪表等制造业的应用需求非常广泛, 几乎 70% 的原材料及零部件都需要进行洛氏硬度试验, 而硬度试验结果的准确与高效始终是硬度计量人员追求的目标^[1]。目前洛氏硬度精密计量标准装置的自动化程度还较低, 在洛氏硬度块的压痕打压过程中, 不同硬度块的更换、每一硬度块上不同压痕位置点的变换等环节, 大多是人工手动操作完成, 严重影响了计量工作效率。

随着计算机、电子技术的不断发展, 越来越多的技术可以应用到硬度计量过程中, 如无人化运输技术、机器人技术、视觉识别技术、自动测量技术、自动打标技术、远程控制技术等, 这些技术为硬度测量领域智能化转型提供了前提条件。因此, 本文将无人值守这个概念引入到硬度计量领域, 以洛氏硬度国防最高

标准装置为核心, 搭建了无人值守测试平台, 实现了洛氏硬度全流程自动化测量, 突破了硬度领域在此方面的空白, 解放了人力资源, 提升了洛氏硬度国防最高标准的综合技术能力, 改进了洛氏硬度量传体系的整体质量。

1 平台设计及研制

无人值守智能化洛氏硬度测试平台组成结构示意图如图 1 所示。装置由 PLC 总控系统、自动运输系统、自动进样系统、自动打压测量系统自动打标系统等组成。以洛氏硬度国防最高标准装置原有的控制系统为中心, 衔接实现多块洛氏硬度块的自动传输、上样进样、分拣以及每一个洛氏硬度块不同打压位置点的自动变换、硬度值自动测量、自动打标等功能。将以往洛氏硬度试验过程中靠手工分步骤完成的工作由人工智能系统统一协调, 并自动控制, 实现了无人值守洛氏硬度计量全过程的自动机械化流水作业。

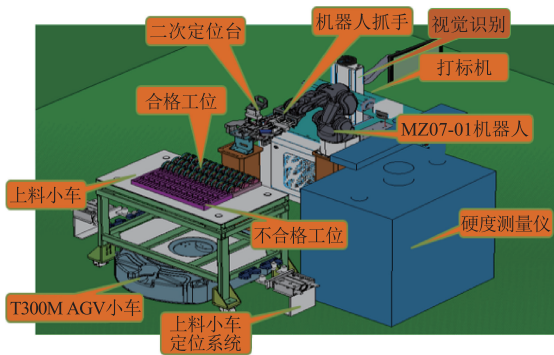


图 1 无人值守智能化洛氏硬度测试平台组成示意图

本系统运行流程为：利用 AGV 小车进行硬度块料装系统的运输，人工装好待标定的硬度块之后，AGV 小车自动运输料装系统到打压测量标定工位，在触摸屏上设置或调用硬度块需标定的打点轨迹方案，启动自动控制程序后，机械手抓取料盘上的一号位硬度块，测量硬度块直径和厚度，通过二次定位机构补偿硬度块位置偏差，再通过程序控制精准放置到工作平台的基准点位置，进行硬度块的自动标定。标定时，系统给出力值加荷信号，经过力值保持、卸荷和硬度值的自动测量后，硬度计压头离开硬度块，机械手带动台面上的硬度块按照阿基米德螺旋线轨迹移动到下一个设定位置，系统随后再次给出加荷信号，往复经过 6 次或 11 次力值的保持、卸荷、硬度值的自动测量和工作台的移动等过程后，一号硬度块完成 6 点或 11 点的自动标定。随后，系统根据计算的硬度值及均匀度给出合格与否的判别信号，机械手自动进行分拣安放，再通过小车将料装系统运送到打标工位，激光打标机实现对合格硬度块的自动打标（打标的内容包括硬度块编号、硬度值、标定单位等信息）；之后，上料小车将打标好的硬度块送至已检区，再运输下一车未检硬度块进入工作标定区域。循环往复，实现洛氏硬度块的无人值守自动运输、自动进样、自动打压测量和自动打标系统。系统运行流程如图 2 所示。

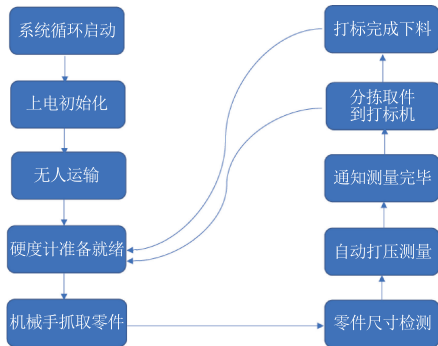


图 2 系统运行流程图

1.1 PLC 总控系统

本硬度测试平台由 PLC 整体控制，PLC 控制器通过与 CCLINK 总线模块通讯，通过无线网络发送指令给机器人 1，2，3，实现机器人 1 与洛氏硬度机，机器人 2 与表面洛氏硬度机，机器人 3 与打标机的相互协调，实现洛氏硬度块、表面洛氏硬度块的批量自动检定和硬度块的自动打标，PLC 控制结构布局如图 3 所示。

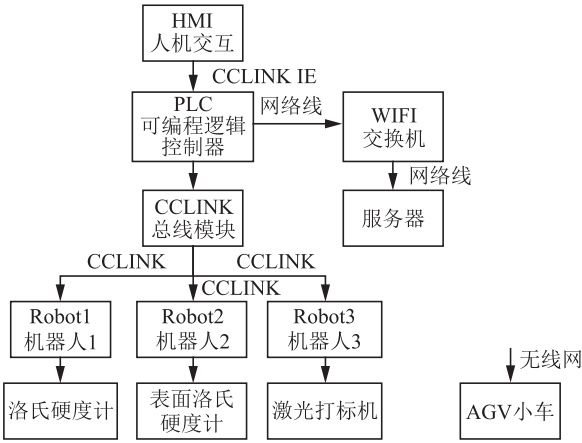


图 3 PLC 控制结构布局

PLC 发送指令给机器人 1，2，3，可以实现机器人 1 与洛氏硬度机，机器人 2 与表面洛氏硬度机的相互协调并完成洛氏硬度块和表面洛氏硬度块的批量自动标定，达到整体控制的目的。PLC 总控系统界面如图 4 所示。



图 4 PLC 总控系统界面

1.2 自动运输系统

自动运输系统由 AGV 小车搭配料装小车实现。在本测试平台应用的硬度块校准试验室，AGV 小车的运输路径包括库房、表面洛氏硬度计、洛氏硬度计和打标机^[2]。

PLC 将指令通过有线网络发给 AGV 服务器，由 AGV 服务器对指令进行分析处理产生出 AGV 小车的实际运行轨迹，运行轨迹中包含有特征位置点（如拐弯位

置点、AGV 小车横向与纵向运行方向变换、起始与终点位置点), AGV 小车将当前位置、报错信息与运行状态返送回 AGV 服务器, 便于及时纠正错误轨迹^[3]。AGV 小车如图 5 所示。



图5 AGV 小车

小车料装部分主体如图 6 所示, 小车料装主体两侧机械结构为精定位结构, 可以与 AGV 小车配合使用, 即人工装好待料装后, 通过小车自动运输到标定工位, 依靠精定位结构确定料装系统定位点, 方便机械手抓取物块。完成标定后, 再通过机械手分拣以及小车将合格工件运送到打标工位, 执行打标工作。

料装小车主体上为料装托盘, 计划托盘一次可装载 33 个硬度块, 分成不合格区和合格区两个部分, 硬度块上料时统一存放在合格料区, 分拣完成后将不合格区的硬度块下料, 达到区分硬度块合格与否的目的。



图6 小车料装部分主体

1.3 自动进样系统

自动进样概念包括实现自由设定标定硬度块的数量、自动识别硬度块的外形和几何尺寸(包括直径 $\Phi 60$ mm 的圆形硬度块和 $40\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ 的方形硬度块)、自动抓取和上下料、根据自由设定的不同硬度块上的打点轨迹, 实现硬度块的位置变换。

自动进样系统包括机械臂部分和测量部分。采用机械臂自动进样, 可以完成硬度块自动抓取、改变硬

度块位置、合格不合格硬度块分拣的工作^[4]。

机械臂本体外观图如图 7 所示, 其具有小型紧凑、安装条件自由、可适应任何安装条件等特点。

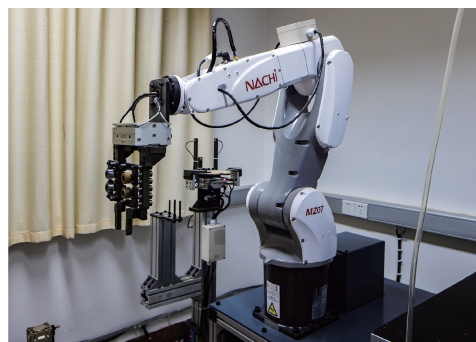


图7 机械臂本体外观图

机械臂的抓手需要做到平稳地抓取和精准的移动不同形状的硬度块, 并不损伤硬度块操作面^[5]。为此机械臂抓手采用橡胶等软性材料作为主体材料, 在不降低抓手强度的前提下, 大大降低了抓手留下划痕的可能性。

在硬度块进行打压测量时, 机械手需要沿阿基米德螺旋线方向推动硬度块, 以得到 6 - 11 个打压点, 因此通过传统抓取式机械手上设计推动装置的方案, 满足了打压时的要求。抓手如图 8 所示, 由传统的夹持部分和方便推动硬度块的推动装置组成。



图8 机械臂抓手

测量部分负责对不同尺寸、厚度、形状的硬度块进行测量并反馈给机械手, 从而达到提高设备柔性度的目的^[6], 其实物如图 9 所示。机械手夹持硬度块到测量装置处, 通过光电传感器获得所夹持硬度块的尺寸信息, 改变夹持状态以适应后续测量工作^[7]。同时尺寸信息也将发送至推动机构, 用于后续改变硬度块打压点。最终可以达到一套设备对不同尺寸硬度块都可以进行打压的目的。

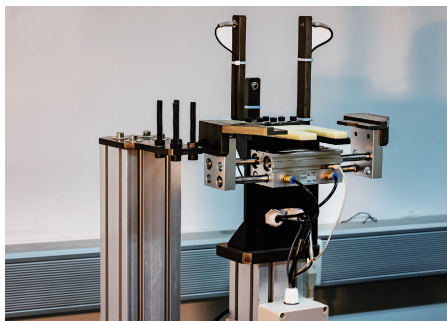


图9 测量装置

1.4 自动打压测量系统

洛氏硬度国防最高标准装置如图 10 所示, 主要包括两部分: 一是智能力加载系统, 采用电机带动丝杠驱动砝码起落的方式进行试验力的加卸载, 获得准确的试验力值, 并将整个施力过程通过高精度力传感器进行监控并反馈, 全程实现智能化控制; 二是压痕深度测量装置, 由安装在主轴上方的激光干涉系统跟随主轴的位移移动, 实时测量压痕的深度, 整个试验过程实现一键式自动化操作。

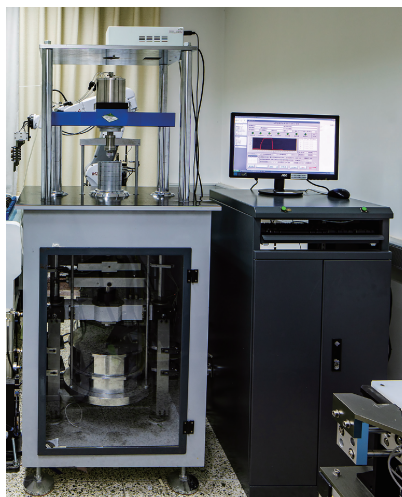


图10 洛氏硬度国防最高标准装置

1.5 自动打标系统

自动打标系统核心为自动激光打标机。基于激光束在各种不同的物质表面打上永久的标记, 有非接触式打标、工件无变形和噪音、打印深度可调、打印内容精度高、打印速度快、不受工件材质硬度影响、可打狭小空间和焦距范围内的凹面等优点^[8]。

洛氏硬度国防最高标准装置将批量洛氏硬度块检定完成后, 会自动保存批量洛氏硬度块检定信息的文本文件, 文本文件中包含有硬度块编号与硬度值等信息, 洛氏硬度机通过网络将文本信息发送至自动打标

机的指定位置。自动打标机设置为变量文本打标方式, 该打标方式可读取指定位置的文本文件的某一行信息进行打标, 打标机实时采集串口信号, 每接收一次信号进行一次打标, 对上一块硬度块打标后, 打标机将停留设定的时间以备机械手移除已打标硬度块并更换新的硬度块, 当再接收到打标信号后, 打标机会对文本文件中的下一行信息进行读取后进行打标。自动打标系统如图 11 所示。

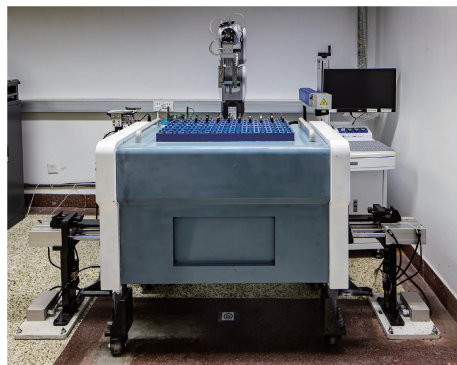


图11 洛氏硬度块自动打标系统

1.6 研制成果

研制成功了无人值守智能化洛氏硬度测试平台, 如图 12 所示。



图12 无人值守智能化洛氏硬度测试平台

该测试平台具有以下特点:

- 1) 无线控制的自动导引小车 (AGV) 传输的洛氏硬度块自动搬运功能;
- 2) 利用机械手实现硬度块的自动上样功能;
- 3) 利用洛氏硬度国防最高标准装置进行硬度示值的校准, 实现了洛氏硬度的精密计量;
- 4) 硬度块不同打压位置的自动变换功能;
- 5) 不同形状及尺寸硬度块 (圆形块和方形块) 压痕的自动打压、自动测量、自动计算和硬度块合格状态的判定功能;
- 6) 硬度块的自动打标功能。

2 系统性能检测试验

系统搭建完成后对系统进行了检测试验，主要从三个方面进行试验：①本系统能否达到检定规程要求的测量精度；②本系统能否提高检测效率；③本系统能否实现各个组件间精确配合。

2.1 测量精度试验

试验使用无人值守智能化洛氏硬度测试平台一次进行 33 块硬度块的全自动计量校准，选取部分不同硬度值的硬度块，依据 JJG 113 - 2013《标准金属洛氏硬度块检定规程》进行试验^[9]，自动测量并计算硬度值和均匀度，并进行判断，试验结果如图 13 所示，2 块硬度块因不合格依次放在了料盘下部的不合格样区位置，合格硬度块依次放在上部料盘的原位置。



图 13 试验结果

部分实验记录结果如图 14 所示。图中标准值与标准均匀度是手动上样测量的结果，试验值与试验均匀度是无人化自动上样的测量结果，分别比较硬度值偏差和均匀度偏差，可以看出：无人化测量与手动测量的均匀度偏差最大为 0.1 HRC，证明了无人化校准装置具有很好的重复性和稳定性，能真实客观地反应硬度块的均匀性。无人化测量的硬度值与手动测量的标准值的最大偏差为 0.1 HRC，表明了本文的洛氏硬度无人化校准装置具有很高的精度，可以替代手动测量的标准装置。

2.2 效率试验

试验使用无人值守智能化洛氏硬度测试平台进行全天的硬度块的全自动计量校准，并用相同标尺的硬度块通过计量员手工操作进行全天的硬度块的计量校准。将人工与平台的计量效率进行比较，平台一天可以达到 126 块/天，人工仅有 40 块/天，表明本系统显著提高了检测效率。

表 1 实验记录结果 HRC

编号	标准值	标准值 均匀度	试验值	试验值 均匀度	硬度值 偏差	均匀度 偏差
2007 - 101	61.2	0.2	61.1	0.1	-0.1	-0.1
2007 - 102	61.0	0.1	61.1	0.1	0.1	0.0
2007 - 103	60.5	0.3	60.6	0.2	0.1	-0.1
2007 - 104	61.3	0.2	61.3	0.1	0.0	-0.1
2007 - 105	63.1	0.2	63.2	0.3	0.1	0.1
2007 - 106	63.5	0.3	63.6	0.2	0.1	-0.1
2007 - 107	40.8	0.2	40.8	0.3	0.0	0.1
2007 - 108	41.8	0.3	41.7	0.4	-0.1	0.1
2007 - 109	44.5	0.4	44.4	0.3	-0.1	-0.1
2007 - 110	41.9	0.4	41.8	0.4	-0.1	0.0
2007 - 111	43.6	0.2	43.5	0.2	-0.1	0.0
2007 - 112	42.0	0.5	42.0	0.5	0.0	0.0

2.3 定位精度试验

试验目的为确认机械手重复定位精度，试验通过机械手反复从一点抓取硬度块并放回，每一次机械手运动后，用千分表测量其位置偏差，确定机械手在一点的重定位精度。

试验共进行 30 次，所有返回位置与初始位置偏差均在 0.1 mm 内，则机械手重复定位精度可达 ± 0.1 mm，满足本平台定位精度需求。

3 结论

无人值守智能化洛氏硬度测试平台通过将 AGV 小车、机械臂和激光打标机等引入到已有的洛氏硬度国防最高标准装置中，由无人值守智能化洛氏硬度测试系统统一协调、管理、控制，实现了 AGV 小车通过识别预设轨迹自动进行洛氏硬度块的运输，洛氏硬度标准装置与机械手臂协调完成批量洛氏硬度块的自动上样、不同打压点的位置变换、计量数据的自动运算统计与存储，激光打标机与机械手臂协调完成批量洛氏硬度块的信息标刻的机械化流程，代替了过去从硬度块的运输、上样、检定、打压点的手动变换到硬度块的信息标刻全部由手工操作依次完成的过程，由此极大地解放了人力物力，提高了生产效率，将精密计量技术和智能化计量技术进行了完美结合。

无人值守智能化洛氏硬度测试平台提升了硬度计量自动化技术水平，开创了将先进的自动化技术成功引入到硬度精密计量的先例，为实现其它计量领域的自动化提供了经验与技术基础^[10]。

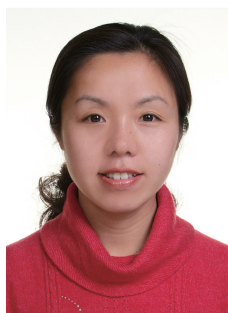
参 考 文 献

- [1] Esteban Broitman. Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview[J]. Tribology Letters, 2017, 65(1): 23.
- [2] 吴平, 刘刚军, 牛志朝, 等. 室内 AGV 导引和定位系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(06): 1782 - 1787.
- [3] 李海珍. AGV 自动输送物料的精定位系统设计[J]. 机械工程师, 2020(10): 124 - 127.
- [4] 胡志刚, 陈伟卓. 机械手搬运物料精确定位控制系统设计[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(06): 93 - 96.
- [5] 孟彩茹, 张高青, 李夏楠, 等. 夹持机械手爪机构的设计与优化[J]. 机械设计与制造, 2016(06): 70 - 74.
- [6] Yan J H, Guo X, Liu Y B, et al. Design and kinematics analysis of a modular manipulator[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2015, 47(1): 20 - 25.
- [7] 雷艺聪. 光电传感器在自动化生产线上的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2020(10): 116 - 117.
- [8] 郑红. 自动打标机构系统设计与分析[J]. 价值工程, 2018, 37(28): 122 - 123.
- [9] 国家质量检验检疫总局. JJG 113 - 2013 标准金属洛氏硬度块检定规程[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.
- [10] 田野, 商玉林, 赵旭朝. 无人值守远程计量系统建设及应用% The Construction and Application of Unmanned Remote Metering System Unattended[J]. 价值工程, 2019, 38(14): 153 - 155.

收稿日期: 2021 - 02 - 04

基金项目: 创新基金项目(ZC02001530)

作者简介



石伟(1972 -), 女, 北京人, 高级工程师, 主要研究方向为力学硬度数字化精密计量与校准。全国力值硬度重力计量技术委员会委员; 全国试验机标准化技术委员会委员; 北京长城计量测试技术研究所金牛特级专家; 国家计量标准一级考评员。