

砵码磁化率计自动测量系统的研究和实现

□王玲¹ 虞建忠²

(1. 江苏省计量科学研究院 2. 常州市艾克瑞特衡器有限公司)

【摘要】本文介绍了一种砵码磁化率计自动测量系统，利用机器人技术及软硬件的设计开发，实现了对标准砵码的全自动化磁性测量，系统具备自动加载、称量平台高度的自动调节，磁体南北极的自动翻转，数据实时采集与控制，过程监控与故障预警等功能，从而实现高效测量，解放人力。

【关键词】砵码；磁性测量；机器人技术；自动化

文献标识码：A 文章编号：1003-1870 (2025) 01-0037-05

Research and Implementation of Automatic Measurement System of Weight Magnetic Susceptibility Meter

Abstract: This paper introduces an automatic measurement system of weight magnetic susceptibility meter, which realizes the fully automatic magnetic measurement of standard weights with the robot technology and the design and development of software and hardware. The system has the functions of automatic loading, automatic adjustment of weighing platform height, automatic flip of north and south poles of magnet, real-time data acquisition and control, process monitoring and fault early warning, etc., so as to realize efficient measurement and labor saving.

Keywords: weight; magnetic measurement; robot technology; automation

引言

电子天平广泛应用在各个领域中对质量的标准称量，而标准砵码就是保证其称量准确的溯源源头。日常检测中，当采用优质的无磁性材料制作的砵码进行测试时，天平的平衡稳定时间短，反映出的天平重复性数据也更好。因此，磁性参数是高精度（E、F等级）砵码的首次检定项目，而且是质量测量前的优先测量项目。1994年OIML在R111国际建议中定义了砵码磁化率和（磁）极化强度两个参数和建议测量方法。JJG99《砵码》检定规程从2006版到现行的2022版，相关内容与国际建议保持一致。目前，使用最广泛的磁化率计法是通过测量砵码在永久磁铁产生的磁场梯度中所受的力来确定磁化率和极化强度的。商用的磁化率测量装置，都是基于上述方法进行设计应用的。

在多年的使用过程中，装置中称量平台高度及水平的调节、磁体的加载以及内置称量设备本身的蠕变特性都对使用人提出了一定的要求。称量台高

度的频繁调整造成设备的磨损，无法保证其高度的稳定和水平度。人工加载，无法保证砵码位置的一致性。磁铁的不当加载会发生支架的倾斜，不同人对读数读取也存在差异性等，都会影响砵码磁性测量的可靠性。

在对磁化率计装置的各个组件结构设计、检测原理及操作流程的拆解研究后，针对使用中遇到的各种问题，本文设计开发了一种砵码磁化率计自动测量系统，旨在减少砵码磁性测量中的随机误差，提高测量的效率和可靠性。

1 系统方案设计

本套砵码磁化率计自动测量系统的设计目标，是实现E等级、F等级测量范围（1g至1kg）成套圆柱形砵码的磁性测量任务。整个系统主要包括机器人系统，PLC控制系统，组态软件，数据库等。

磁化率计自动测量系统硬件上主要由以下几个部分构成，如图1所示。

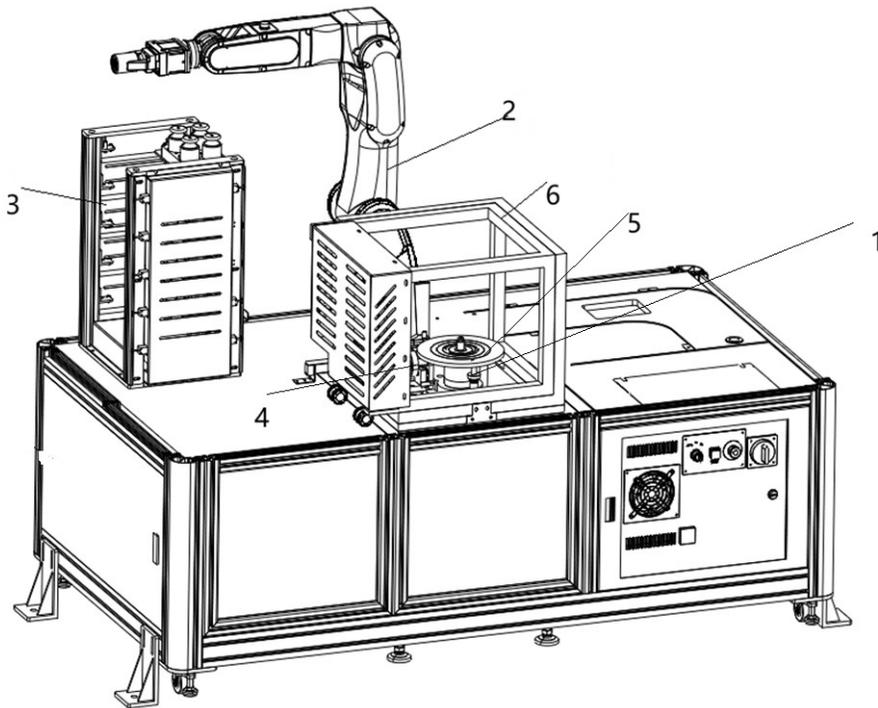


图1 磁化率计自动测量系统硬件结构图

(1) 一台量程大于5g, 分度值为0.001mg 的衡量仪器(质量比较仪), 重复性不大于0.003mg

目前设计的磁铁支架及磁铁自身的质量值3g左右, 砝码与磁铁吸引力引起的质量变化一般在毫克级别, 因此, 称量单元的重复性越小, 磁性测量时称量单元的重复性影响就越小。

(2) 一台6轴长臂直径911mm 的工业机器人

选用的是发那科品牌, 有较高的重复定位能力(不大于0.02mm), 提供电爪接口便于砝码夹爪的开发升级, 支持相应的智能应用功能, 采用高刚性手臂和先进的伺服系统, 能实现高速而平滑的动作性能。可按照程序执行多种任务, 是本系统实现自动化操作的核心所在。

(3) 立体工位库

考虑砝码的平铺占用较大空间, 源于汽车立体停车场的构思, 目前设计的是5层, 从下往上每层摆放一套砝码1~500g, 4只1kg单独放置在最高一层, 从而可以连续完成4套砝码的测量。其中5g, 2g, 1g砝码库位上加了弹性环, 机器人按压弹性环, 使砝码露出后再抓取, 提高了砝码抓取的安全性。

(4) 磁体翻转机构

源于开关门锁的构思, 整个机构包括外置固定

架、滑轨、滑块、转动轴、夹具等。为了保证磁铁翻转的安全性和自动化操作, 将磁铁包裹在一个铝合金材质的保护夹具内, 磁铁能够在夹具内上下滑动但无法滑落, 上下预留小于磁铁直径的圆口, 测试支柱可以通过并顶住磁铁。操作时, 由机器人驱动滑块沿着滑轨上下滑动, 带动与滑块连接的转动轴, 转动轴的一端设有夹具, 通过对夹具的翻转, 完成磁铁极性的切换。

(5) 称量平台升降机构

为了实现对不同准确度等级砝码的磁性测量, 利用伺服电机根据设置高度参数带动平台的上下移动, 再由光栅尺采集称量平台到磁铁中心的距离变化, 三个支撑点围绕质量比较仪的称量室, 等距分布, 使平台完全覆盖称量室, 确保称量平台的中心与磁铁在一个垂直线上, 并保持水平。

(6) 双层防风罩

为了实现数据的稳定采集, 在质量比较仪的称量室和大理石工作台外围安装了双层防风罩, 内层防风罩主要保护称量室内的称重单元免受环境波动的影响, 外层防风罩的开合由机器人配合加载砝码的进程来驱动。

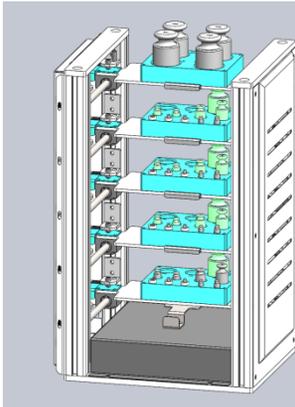


图2 立体工位库图

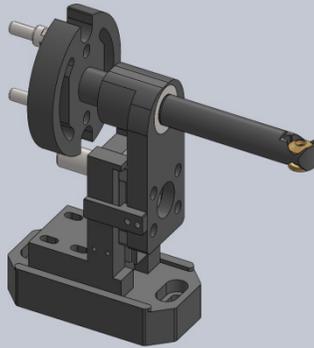


图3 磁铁翻转机构图

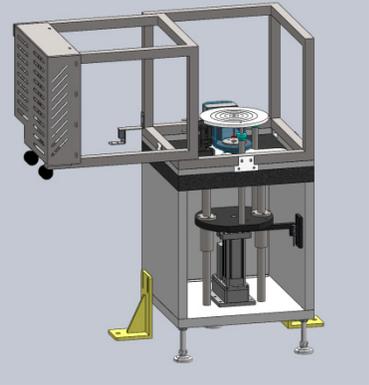


图4 平台升降机构及防风罩图

2 自动测量系统的实现

本系统将上述硬件结构合理布局到一个控制柜中，以质量比较仪为中心。独立的大理石工作台，砝码工位库和比较仪的平面垂线交接处安装机器人，使机器人操作便利。比较仪左侧空出防风罩开门的位置，右侧安装内嵌式工业电脑，大理石下方空间安装控制称量台升降高度的步进电机和光栅尺。为了免除机器人运行中振动的影响并保证重复定位能力，机器人的底座直接固定到地面。

在硬件搭建完成后，为了实现软件的通用性、数据调用的便利性、操作的实用性，用独立开发软件来进行控制，确保整个测量过程自动完成。控制软件基于机器人技术，让机器人来识别库位中砝码的位置、根据砝码直径来调节夹具的开合大小，砝码的加载，磁铁翻转机构的操作，防风罩的开合等。软件中的数据库完成对数据的采集、结果数据的计算汇总和记录报表的保存，如图5所示。



图5 砝码磁化率计自动化测量系统软件操作界面

以检测一套E2等级砝码为例，操作流程步骤如下：

- (1) 系统的登录。

软件对操作者规定了不同的权限。由于测量中涉及的一些固定参数是根据溯源证书进行更新的，由管理员进行定期修改，操作员就不会有误操作，

并设定了密码管理，从而数据不可被修改，保证了数据的真实性。

(2) 参数设置准备工作

软件登录后，首先是录入客户信息，包括证书单位、砝码等级、编号、生产厂及测量范围，其中生产厂关联了砝码的模型数据库。在模型库中，提前采集了不同生产厂的砝码几何量参数（即砝码圆柱体直径D1，圆柱体高度H1，砝码提钮最大直径D11，提钮颈部最小直径D12，砝码总高H11。如果砝码有凹底，还应采集凹底外圈直径D21，内圈直径D22，凹底深度H21），之后检查其他参数是否正确，包括：①称量平台到磁铁中心的距离Z0 设定为27mm，目前在初始位置18mm处，平台最高可以到45mm；②电爪的参数夹紧距离是否合适，不能大于砝码的直径；③设置一个数据读取时间间隔，当前设

置的是25s，为了提高数据读取的准确性，在25s后开始读数，设置1为读取一个数，设置3则读取3个数，可取平均值作为最终值采集；④检查重力加速度g、磁场梯度Bez、环境温度t、相对湿度RH、磁体磁距md 以及相应的不确定度分量均设置完成。

(3) 编制测量任务

参数设置完毕后，进入自动操作页面，选择摆好砝码的1号料盘，输入证书号作为原始记录保存的文件名，选择客户信息、测量次数（1~10次），测量模式（次模式或者组模式）、证书类型（检定或校准）。其中组模式是针对磁性不均匀的砝码，通过变换不同角度来加载，预置的有0°、120°、240°。如选择校准证书类型，则每只砝码需要测量6次来计算重复性并实现自动计算不确定度，测量任务界面见图6所示。



图6 测量任务界面

(4) 启动任务并实时采集数据

选择机器人上料后，在控制柜的控制面板上，选择初始化的旋钮。再进入软件的IO 监控页面，查看启动条件是否全部满足显示黄色（包括操作模式是否为自动模式，机器人是否在初始位置，称量平台是否回到初始位置，电爪是否初始位，磁铁北极是否朝下，库位是否在固定限位内，安全门是否关闭等）。如果装置在运行过程中出现故障，就在这里

查找故障模块，会显示橙色，方便快速查找原因及时排除。操作员可以在过程数据页面中看到每一只砝码的检测流程。

(5) 自动检测流程及输出测量结果

在控制面板启动按钮灯亮后，机器人就开始按照设置的流程进行操作：①机器人先拉出库位盘夹取砝码，转动到风罩上方；②质量比较仪配合自动清零后，机器人打开防风罩；③机器人将砝码垂直缓慢摆

放到称量平台中心，再还原到上方的指定位置去关闭防风罩；④质量比较仪开始称量，达到设置的稳定时间后，采集数据到软件界面的过程数据记录报表中；⑤机器人开启防风罩，将砝码夹出，防风罩关闭，达到稳定时间后采集回零时的数据；⑥机器人将砝码放回砝码原本的库位中。一个完整的操作后数据依次为清零A1、加载读数B1、卸载读数A2。等到库位的所有砝码都测量过后，机器人打开防风罩翻

转磁铁，再将之前测量的流程再进行一遍。最终每只砝码得到两组数据，一组是北极朝下测量得到的m1，一组是北极朝上测量得到的m2，在过程数据报表中记录，同时计算得到每只砝码的磁化率和极化强度以及合格判定（Ok/Bad）。在本地还会生成以证书号命名的一张内容更详细、分别记录每只砝码数据的原始记录，以Excel格式保存，方便数据的调用转换和管理。

图7 结果数据报表

3 结语

本文设计的砝码磁化率计自动测量系统，是工业自动化技术在计量领域的一次应用，是砝码检定项目在自动化领域的一次探索，通过近一年的实际测试，基本实现了预期的目标：砝码的自动加载，称量平台高度的自动调整，磁铁的自动翻转，数据的自动采集，并生成完整的电子原始记录。系统的使用可以完全解放人力，避免人员操作造成的误差，提高工作效率，也为计量检测技术数字化智能化奠定了基础。

参考文献

[1] 国家市场监督管理总局.JJG99-2022 砝码检定规程[S].北京:中国标准出版社,2023.

[2] 李占宏,王健.砝码磁性测量国内比对报告[R].2010.

[3] 李媛,张莉莉,金悦.基于磁化率计法的砝码磁性测量结果及自动化分析[J].衡器,2022,51(08):11-16.

[4] 戴艳梅,蔡岩,常建奎等.砝码磁性测量过程中几何形状修正因子的计算与影响[J].计测技术,2016,36(4):4.

[5] 王健,姚弘,张跃等.砝码磁化率对质量测量过程的影响[J].计量学报,2009,30(6):539-542.

作者简介

王玲,江苏省计量科学研究院,高级工程师。主要从事力学质量研究。