

# 基于机器人技术的电子天平自动 检定系统的研究

□浙江省计量科学研究院 赵志灏 孔新雄 闵玥 娄仁志 白楠 陈元杰 边浩阳  
何翔军 李金杨 高吉

**【摘要】**这篇文章介绍了一套电子天平自动检定系统。该系统由五部分组成，包括机器人系统、视觉系统、测距传感器、特殊定制砝码和稳定的操作平台。机器人系统由三菱电机制造的6自由度立式机器人和安装在机械手末端的电机驱动夹具组成。因此，机器人系统可以在砝码架和天平托盘之间夹紧和运输砝码，以进行平衡测试。视觉系统由摄像机、光源和一套图像处理软件组成，用于识别天平托盘的形状和计算天平托盘几何中心的水平坐标。此外，视觉系统用于识别天平质量测量的数字显示。距离测量传感器用于检测天平托盘和安装在机械手末端的夹具之间的距离。检测到的距离用于计算天平托盘的垂直坐标。由于水平和垂直坐标已经确定，机器人系统能够将重物夹紧并正确放置在天平托盘上。最后，设计出使整个系统运行良好，能根据电子天平检定规程对天平的重复性、称量能力和偏心度进行测试的控制程序。

**【关键词】**电子天平；自动检定；机器人技术；机器视觉技术

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）08-0025-05

## 引言

电子天平广泛应用于质量的测量和传递，因此对电子天平进行准确、高效的测试具有十分重要的意义。目前，电子天平的检定大多采用手动方式，只需手动将标准测试砝码放到天平上即可。天平检定的准确性和可靠性取决于检测人员的操作、熟练程度和耐心。为了提高天平检定的精度和可靠性，亟需设计一种机器人天平检定系统。1999年，一种用于重量校准的机器人系统被引入。其开发和设计由METROTEC公司与MettlerToledoAG公司合作进行。现有的许多商业机器人质量校准系统由梅特勒-托莱多公司、萨多利斯公司和拉德瓦格公司生产。但目前设计和生产的机器人天平校准系统或检定系统还很少。因此，有必要研究和设计一种机器人天平检定系统。文章中介绍了一种基于机器人技术的电子天平自动检定系统，说明了机器人自动检定系统是如何高效、可靠、独立地工作的。

## 1 系统的组成

整个系统可分为5个部分。分别是机器人系统、视觉系统、测距传感器、标准定制砝码和稳定操作平台。整个系统的大致轮廓如图1所示，它是系统的第一个版本，所以我们重点关注了系统的主要功能，系统的结构也较为简单。



图1 整个系统的大致轮廓

## 1.1 机器人系统

为了自动测试天平而不是人工操作，我们首先需要有一个智能机器人。该系统采用三菱电机公司生产的6自由度立式机器人作为操作机构，但它只是一只没有手的手臂。为了在砝码架和天平托盘之间夹持和运输砝码进行平衡测试，我们设计了一种安装在机械臂末端作为手的电机驱动夹具如图2所示，该手由两部分组成：驱动开闭机械的电机和安装在机械上的不锈钢机械夹。机械夹有两个爪如图3所示，短而大的爪用来夹大尺寸的标准砝码，长而小的爪用来夹小尺寸的标准砝码。机器人会选择合适的爪来

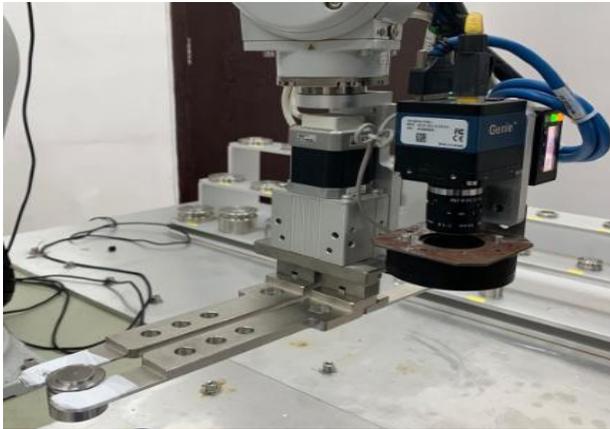


图2 机械手

夹住不同尺寸的标准砝码进行天平测试。

机器人是系统的核心，机器人的核心功能是在砝码架和天平托盘之间拾取和放回标准砝码。因此，必须在机器人系统中记录位于砝码架上砝码的坐标以及天平托盘坐标。我们采用机器人示教，逐一告诉机器人各种标准砝码在砝码架上的准确位置，同时不改变砝码架上砝码的坐标。对于天平托盘的坐标，我们利用机器视觉技术对天平托盘的中心和边缘进行拍摄和计算，这将在第2.2部分讨论。当你把不同的天平放在平台的不同位置时，天平托盘的坐标会改变。

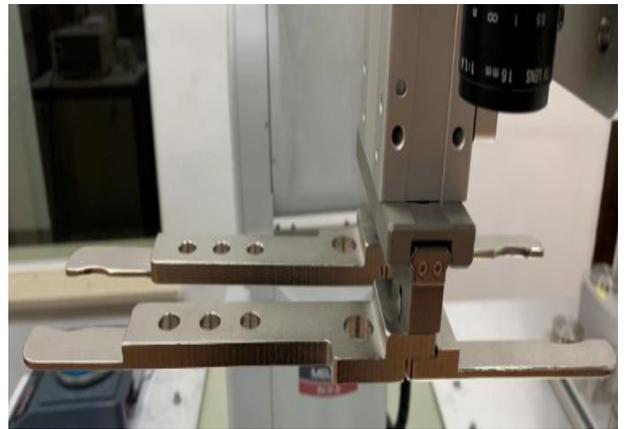


图3 机械夹

## 1.2 视觉系统与距离传感器

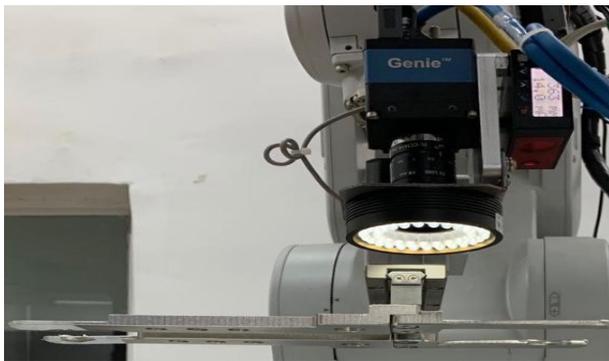


图4 视觉系统和距离传感器

利用视觉系统和距离传感器计算出天平托盘中心的三维坐标，使机器人能够将标准砝码准确地放置在天平托盘上。视觉系统包括一个摄像头、一个镜头和一个光源，如图4所示。视觉系统也安装在机器人机械手的末端，就在机械手旁，距离传感器安

装在摄像机的右侧。

为了获得天平托盘中心的三维坐标，系统工作如下。首先，机器人通过视觉系统和距离传感器移动机械手，使其靠近天平托盘的顶部。机器人示教预先记录“接近天平托盘顶部”的坐标。然后光源打开，拍下天平托盘的照片。同时，距离传感器通过传感器发射的激光束记录机械手和天平托盘之间的距离。拍下了天平托盘照片后，使用机器视觉算法来计算天平托盘的边缘和中心。然后得到天平托盘中心的水平坐标和半径。在此基础上，记录天平托盘中心的水平坐标和偏心试验中心周围的四个点，如图5所示。垂直坐标可由距离传感器从机械手到天平托盘的距离计算得出。水平和垂直坐标最终形成天平托盘的三维坐标。



图5 机器视觉算法的使用



图6 用机器视觉识别数字显示屏

视觉系统的另一个功能是利用机器视觉对天平显示的数字进行识别，其算法可称为光学字符识别，简称OCR。当机器人将标准砝码放在天平托盘上，保持稳定后，机器人将带相机的手移到数字显示器对面，如图6所示。然后拍摄数字显示器的照片，通过OCR算法识别显示器中的字符。识别出的字符或数字都记录在计算机数据库中。

### 1.3 标准砝码的设计

为适应电子天平机器人检定系统的要求，我们设计并制造了一套特殊的定制砝码作为标准砝码，如图7和图8所示，我们从两个方面考虑了特殊砝码的设计。首先，在砝码架和天平托盘之间运输砝码时，砝码必须易于抓取和固定。每个砝码都设计了一个颈部，这样机器人的机械夹具就可以轻松地抓住砝码的颈部；第二，砝码必须易于堆积。为了从轻到重检验平衡，我们必须逐渐增加重量。因此，特殊的砝码必须设计成扁平、短小的形状，以便于平稳堆叠，同时，砝码底部的凹面和顶部的凸面有助于两个砝码在堆叠时的精准匹配，使砝码堆放更加稳定。

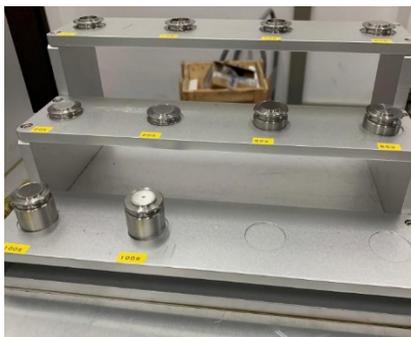
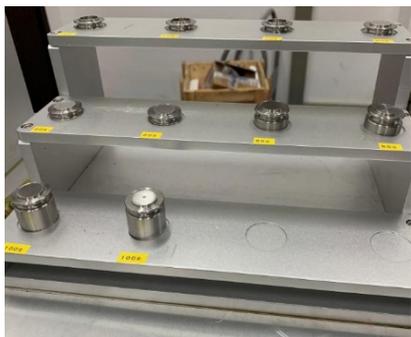


图7 砝码架上的砝码



图8 砝码堆叠



图9 系统平台

## 1.4 平台

该系统的平台如图9所示，为机器人的平稳放置砝码提供了平整表面，同时为机械手移动提供了稳固基座。平台表面平整、水平，应与机器人基座独立。机器人底座坚固厚重，通过螺栓和螺钉与机器人本体紧固。所以机器人的运动不会影响天平的稳定性，控制器和计算机都安装在底座的内腔中。

## 2 机器人检定过程

在本文的前一部分中，我们讨论了机器人检定系统的硬件组成。在本节中，我们将讨论控制机器人检定过程的系统软件或计算机程序。

下面的流程图10说明了计算机程序如何控制机器人系统、视觉系统和距离传感器，用标准砝码自动完成天平检定。

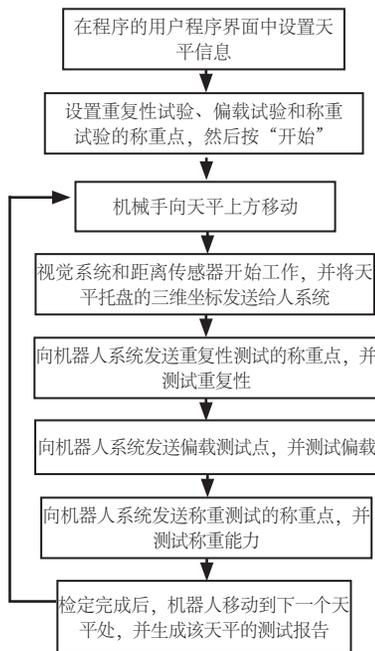


图10 机器人检定流程图

首先，用户在程序界面中设置天平信息，重复性测试、偏心率测试、称重测试的称重点，并按下“开始”按钮。然后，机器人将带摄像头和距离传感器的机械手移动到天平托盘上方的位置。摄像机拍照，距离传感器检测距离，计算机程序记录数据同时计算成三维坐标。坐标立即发送到机器人系统，用于标准砝码放置。之后，机器人开始移动、夹紧并将标准砝码放置在砝码架和天平托盘之间，以依次测试重复性、偏心率和称重能力。称重能力测试

完成后，机械手移动到下一个待测天平处，程序生成天平的测试报告。用户界面和测试结果如图11至图13所示。



图11 系统用户界面

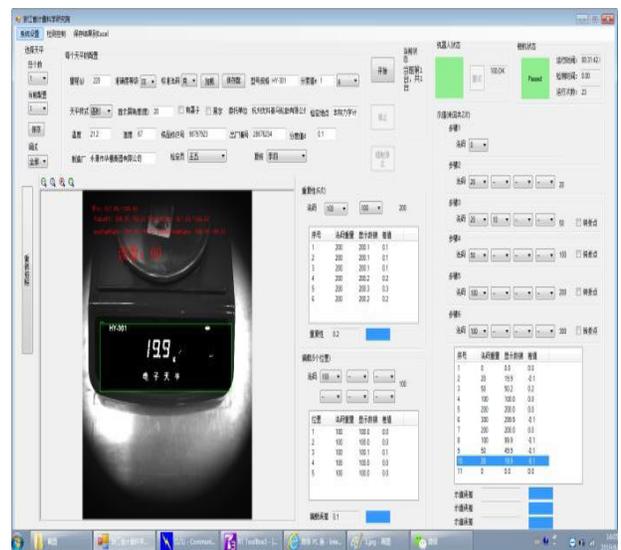


图12 天平信息设置

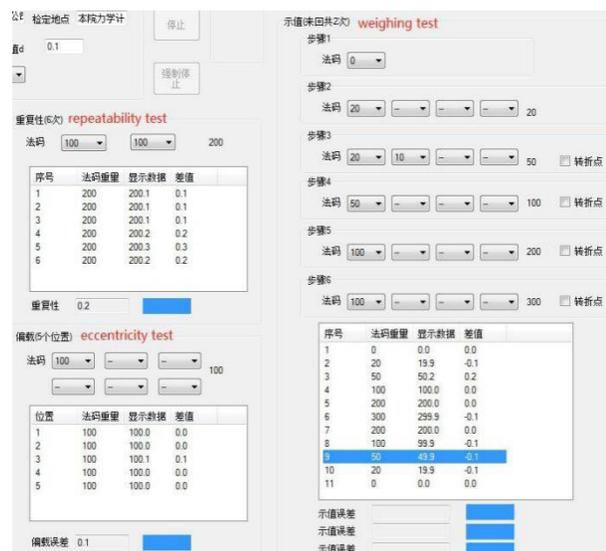


图13 平衡试验结果数据

### 3 结论

虽然机器人检定系统的研究和设计还不完善,需要进一步改善,但机器人技术和机器视觉在计量领域的应用具有重要意义。与机器人技术和机器视觉在汽车制造领域的应用一样,这些技术的应用将大大提高仪器校准或检定的效率。而且由于天平的校验较为简单,只需在天平上加载不同的砝码,判断是否超限,操作者通常会感到厌烦。机器人检定系统可以代替人工操作,使检测人员从枯燥重复的日常仪器测量中解脱出来,从事一些研究或有意义的工作。最后,由于机器人是一台没有情感的机器,不会疲劳,因此使用机器人检定或校准系统可以提高测量过程的重复性、准确性和稳定性。而人类存在情绪波动,长时间工作后必须休息。但大多数情况下,机器人与人类操作者合作将是最好的方式。人类操作者计划和决定,机器人实施和执行。

#### 参考文献

[1] 2017 甄志强,“电子天平检定过程初步分

析”,《计量测试技术》第44卷第5期,第71-72页,2017年。

[2] “机器人质量比较器质量校准”,第21届IMEKO世界大会“研究和工业测量”,2015年。

[3] 国际法定计量组织,“非自动称器”OIML R76-1:2006(E)。

[4] 陈元杰,“机器人技术在电子天平检定过程中的应用”,《衡器》2019,48(01)。

[5] 姜仁志,“电子天平自动检定装置研究”,《衡器》2022,51(10)。

[6] 韩宁,“机器视觉技术在三坐标测量机中的应用探讨”,《现代制造技术与装备》2020,56(10)。

#### 作者简介

赵志灏,男,(1987.08—)浙江诸暨人,本科学历,现主要从事质量称重计量检测和相关技术的研究工作。