

# 电子天平自动检定装置研究

□浙江省计量科学研究院 姜仁志 陈元杰 葛锐 白楠

**【摘要】**针对目前电子天平检定的数量大而人工检定存在效率低、包含人为误差等问题，本文对电子天平的自动化检定进行了研究，研制出一套电子天平自动检定装置。该装置由AGV小车搭载机械手对电子天平开展检定，机械手上装有定位相机和测距传感器，可以准确定位天平秤盘的位置和尺寸，采用视觉技术读取天平的示数。对两台相同的电子天平分别进行了人工检定和自动检定，最终结果表明，自动检定相对人工检定同样具有较高的准确性，并且能够提高电子天平检定的工作效率，可以替代人工进行检定。

**【关键词】**电子天平；自动检定；AGV小车；机械手；防风罩

## 前言

天平是最古老的用于称量物体质量的计量器具，距今已有4000多年的历史。根据天平的结构和称量原理，可以把天平分为扭力天平、液体静力天平、杠杆天平、电子天平。扭力天平和液体静力天平只在个别领域被使用，数量较少。杠杆天平和电子天平遍布于各大领域，被大量使用<sup>[1]</sup>。电子天平由于使用方便并且测量精度高，逐渐成为各行业精密称重设备的首选。

电子天平通常使用电磁力传感器，具有准确度高、稳定性好等特点，被广泛应用于贸易、生物、医疗、化学、环保、食品等领域。电子天平测量的准确性对上述领域相关应用和产品的可靠性非常重要，因此必须对电子天平进行周期性的检定来保证电子天平测量的准确可靠。

目前，电子天平的检定基本都是采取人工检定的方式，即检定人员依据JJG 1036-2008《电子天平》

检定规程的要求，用镊子夹取砝码，对电子天平进行示值误差、重复性误差、偏载误差的检定<sup>[2]</sup>。由于电子天平使用数量巨大，采用人工检定的方式给检定人员带来较大的工作负担，同时由于检定人员长期重复性操作和操作方式差异的影响，会给电子天平的检定结果引入一定的人为误差。因此，本文介绍了一种可以代替人工检定的电子天平自动检定装置，该自动检定装置能够根据电子天平检定规程对电子天平进行标准化的检定，在提高检定效率的同时，提高检定结果的准确性和一致性。

## 1 研究现状

国内对电子天平自动化检定的研究还不成熟，存在一些与之类似的电子台秤的自动化检定的研究。杭州市计量技术监督检测院的厉志飞和中国计量大学的赵伟国等人进行了电子计价秤自动检定系统的研究<sup>[3]</sup>。该自动检定系统采用LabVIEW作为操作界面的开发平台，利用PLC来控制标准砝码的加载和卸载，采用OPC配置来实现PLC与LabVIEW间的通信，从而实现电子计价秤的自动检定过程。该自动检定系统能够较好完成单台电子秤的检定，但是由于砝码加载的位置都是固定的，只能对同一种型号或秤盘形状相同的电子秤进行检定，对于不同秤盘形状的电子秤无法进行检定。同时，电子秤比电子天平的准确度更低，实现自动检定的难度相对较小。

浙江省计量科学研究院的陈元杰等人对电子天平的自动化检定进行了研究，提出了两种基于机器人技术及视觉技术的电子天平自动化检定方法，分别是直线导轨式多台天平检定和转盘式多台天平检定<sup>[4]</sup>。直线导轨式多台天平检定方案将机器人安装在直线导轨上，使机器人可以沿直线导轨来回运动，

机器人可以对放置在导轨两侧的电子天平开展检定工作。转盘式多台天平检定方案将机械手固定在基座上，电子天平摆放在机械手的周围，通过机械手的旋转切换工位对电子天平进行检定。两种方案都各自存在一定的局限，直线导轨式多台天平检定的局限是对场地要求比较高，必须对场地进行改造，安装直线导轨，并且没有配备防风装置，现场的气流会对检定结果造成影响。转盘式多台天平检定的

局限是被检工位较少，只能围绕机械手一周设置检定工位，检定效率不够高。

## 2 自动检定装置设计

### 2.1 装置结构

电子天平自动检定装置的结构主要包括，操作平台、机械手、AGV 小车，整体结构如图1所示。该装置有5个检测工位，可以对最大称量为3000g以下，检定分度值大于等于1mg的电子天平开展检定。

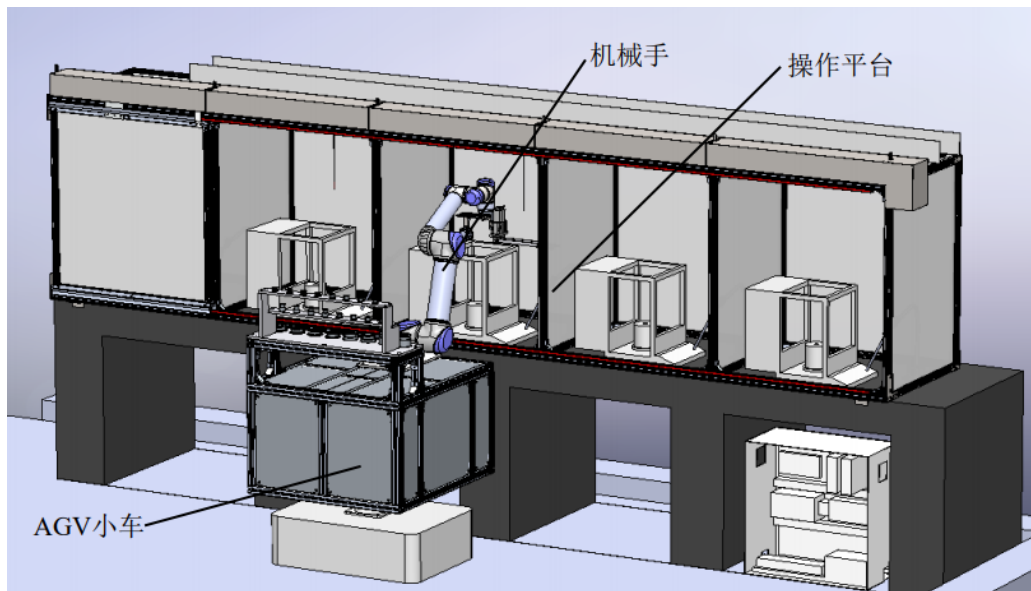


图1 装置整体结构

操作平台用于放置待检定的电子天平，平台表面具有良好的平面度和水平度，能够保证放在操作平台上的电子天平平稳，不受外界振动和AGV 小车移动的影响。操作平台包括多个工位，每个工位放置一台电子天平，每个工位上都装有一个读数相机，用于拍摄和读取电子天平的示数，拍摄的照片会被存储到上位机，当对相机读数有怀疑时可进行核对。读数相机应用了机器视觉技术，是通过相机拍摄采集图像，然后计算机应用自动算法对图像进行识别<sup>[5]</sup>。操作平台上还装有防风罩，用于防止气流对电子天平读数稳定性的影响。防风罩覆盖操作平台的所有工位，每个工位都有顶壁、侧壁和开口，由一扇移动门来控制打开或遮蔽开口。

机械手包括了机械臂和爪夹。机械臂安装在AGV小车上，跟随AGV 小车移动。机械臂选用的是

垂直多关节的机械臂，包含6个旋转关节。这种机械臂能够在空间内完成各种路径的运动，广泛应用于汽车、金属加工、电子等行业，能够代替人工完成装配、焊接等工作<sup>[6]</sup>。这种机械臂的空间运动能力，可以很好地完成电子天平的检定工作，能够准确放置砝码的位置。爪夹安装在机械臂的末端，由驱动装置来控制爪夹实现夹取和放置砝码的动作。爪夹是一种复合式爪夹，前端部位内径较大，用于夹取200g~1000g的大砝码。中间部位内径小，用于夹取10g~100g的小砝码，如图2所示。机械臂的末端还装有测距传感器和定位相机，测距传感器用于测量爪夹与电子天平秤盘间的距离，定位相机用于测量秤盘圆心的位置，以及识别秤盘的形状和大小，能够识别圆形、方形和三角形的秤盘。

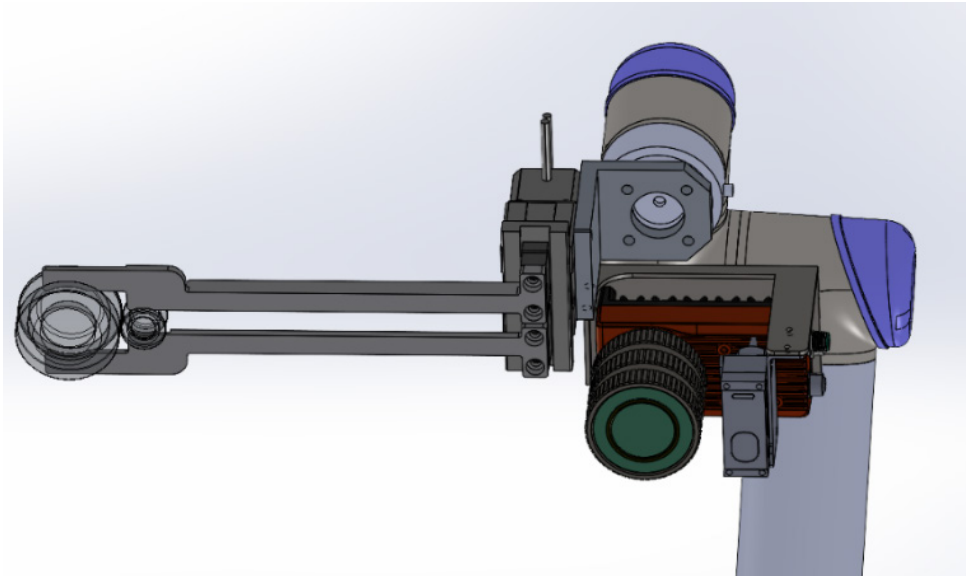


图2 爪夹

AGV 小车 (Automated Guided Vehicle)，是指装有电磁或光学等自动导航装置，能够沿规定路径行驶，具有安全运载功能的运输车，属于移动机器人的一种。AGV 小车不仅需要运载机械手到操作工位上，还需要为机械手供电。AGV 小车上装有砝码支架，砝码放置在砝码支架上。砝码支架采用多层阶梯式结构，多层阶梯式结构的每一层放有不同大小的砝码，支架上设置砝码槽，砝码放在砝码槽内，

砝码槽的大小与砝码相匹配，可以准确定位砝码的放置位置，如图3所示。砝码是一种机械手爪夹易于夹取的特殊砝码，形状为圆柱体，包括10g、20g、50g、100g的小砝码和200g、500g、1000g的大砝码，200g和500g砝码中间空心，可以套在小砝码外部，砝码上端设有凸块，下端设有凹槽，使多个砝码叠放时更加稳定。

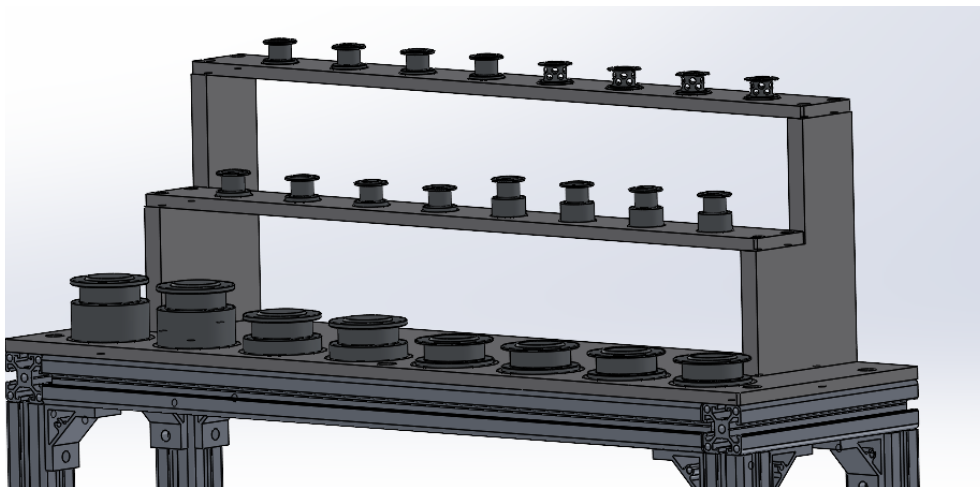


图3 砝码和砝码支架

## 2.2 操作流程

自动检定装置能够完成电子天平的自动化检定，具体操作流程如下：

(1) 测量前将电子天平放置于操作平台的相应

工位上，显示屏对准读数相机的方向，自带护罩的天平需将护罩门打开。在系统内输入相应工位上的电子天平信息，包括型号规格、等级、量程、实际分度值、检定分度值。系统会根据输入的信息计算得到

电子天平的检定点位，以及检定点位的允许误差。

(2) 控制系统向AGV 小车发送指令，使AGV 小车运动到待检定的工位处。

(3) AGV 小车到达检定工位后，防风罩上的移动门打开，机械臂控制爪夹移动到电子天平的上方，定位相机识别秤盘的中心位置以及秤盘的形状和大小，秤盘形状主要有圆形、方形和三角形三类，以圆形居多，测距传感器测量秤盘与爪夹间的距离。

(4) 机械臂控制爪夹夹取砝码执行检定工作，分别进行示值误差、重复性误差、偏载误差的测量。每次机械手放置砝码时，防风罩的移动门会打开，放置结束后，移动门会关闭，等待电子天平的读数稳定后，读数相机会拍照存储并读取电子天平的读数。

(5) 执行完当前工位的检定工作后，AGV 小车

会移动到下一个工位执行检定工作，直到完成所有工位的检定后，AGV 小车会回到初始位置。系统能够自动生成检定过程的原始记录和报告。

### 3 试验验证

为了验证电子天平自动检定装置能够高效、准确完成电子天平的检定，对两台不同量程的电子天平分别进行了人工检定和自动检定，对比两者的检定结果准确性和检定效率。

#### 3.1 人工检定

根据电子天平检定规程，采用人工检定的方式对一台最大称量为220g，检定分度值为1mg，实际分度值为0.1mg的Ⅰ级电子天平 and 一台最大称量为3000g，检定分度值为1g，实际分度值为0.1g的Ⅲ级电子天平进行检定，检定结果如表1和表2所示，完成这两台电子天平的检定分别耗时15分钟和12分钟。

表1 220g电子天平人工检定结果

实际分度值：0.1mg		检定分度值：1mg	最大称量：220g
检定项目		检定结果	最大允许误差
天平偏载误差		-0.4mg	± 1.0mg
天平重复性		0.1mg	1.0mg
天平示值误差	0 ≤ m ≤ 50g	-0.2mg	± 0.5mg
	50g < m ≤ 200g	-0.3mg	± 1.0mg
	200g < m ≤ 220g	0.3mg	± 1.5mg

表2 3000g电子天平人工检定结果

实际分度值：0.1g		检定分度值：1g	最大称量：3000g
检定项目		检定结果	最大允许误差
天平偏载误差		-0.1g	± 1.0g
天平重复性		0.1g	1.5g
天平示值误差	0 ≤ m ≤ 500g	0.0g	± 0.5g
	500g < m ≤ 2000g	0.0g	± 1.0g
	2000g < m ≤ 3000g	0.1g	± 1.5g

#### 3.2 装置自动检定

电子天平自动检定装置根据操作流程对上述同样的两台电子天平进行自动检定，检定结果如表3和表4所示，完成这两台电子天平的检定分别耗时16分钟和20分钟。

对比两台电子天平的人工检定结果和自动检定装置检定结果可以看出，两者检定结果数据基本一

致。对于最大称量为220g的电子天平，两种检定方式的检定结果只有在200g < m ≤ 220g范围内的示值误差相差0.1mg；对于最大称量为3000g的电子天平，两种检定方式只有重复性测量的结果相差0.1g。通过对读数相机拍摄的示值照片和读取的示值，确认相机读数准确。由此可以得出结论，采用电子天平自动检定装置检定相对于人工检定同样具有较高的准确性。

表3 220g电子天平自动检定装置检定结果

实际分度值：0.1mg		检定分度值：1mg	最大秤量：220g
检定项目		检定结果	最大允许误差
天平偏载误差		-0.4mg	± 1.0mg
天平重复性		0.1mg	1.0mg
天平示值误差	$0 \leq m \leq 50g$	-0.2mg	± 0.5mg
	$50g < m \leq 200g$	-0.3mg	± 1.0mg
	$200g < m \leq 220g$	0.4mg	± 1.5mg

表4 3000g电子天平自动检定装置检定结果

实际分度值：0.1g		检定分度值：1g	最大秤量：3000g
检定项目		检定结果	最大允许误差
天平偏载误差		-0.1g	± 1.0g
天平重复性		0.0g	1.5g
天平示值误差	$0 \leq m \leq 500g$	0.0g	± 0.5g
	$500g < m \leq 2000g$	0.0g	± 1.0g
	$2000g < m \leq 3000g$	0.1g	± 1.5g

对比人工检定和自动检定装置检定的耗时，发现自动检定的耗时比人工检定更长，并且对于量程越大的电子天平检定耗时越长，这是因为对于大量程的电子天平需要采用砝码叠放的方式进行检定，会增加检定的时长。但自动检定装置能够自动生成原始记录和证书报告，不需要人工再出具证书报告，可以节省人力去做其他事情，同样提高了整体工作的效率。

通过对不同称量范围的电子天平进行多次实验，发现自动检定装置完成单台电子天平检定的时间15~20分钟范围内。

#### 4 总结

本文介绍了一种电子天平自动检定装置的结构和操作流程，并与人工检定进行了试验比对，主要结论如下：

(1) 电子天平自动检定装置能够有效完成最大秤量为3000g以内，检定分度值为大于等于1mg的电子天平的自动化检定，完成单台电子天平的检定耗时在15~20分钟，能够减少人工的重复劳动，提高工作效率。

(2) 该装置采用AGV小车和机械手相结合组成移动机器人，机器人运动比较灵活，对场地的适应性比较强，不需要对场地做过多的改造。

(3) 该装置的操作平台带有防风罩，能够防止气流对电子天平读数的影响，加快电子天平读数稳定的时间。

(4) 定位相机能够识别圆形、方形和三角形的秤盘，对不同型号的电子天平都有较好的适应性。

#### 参考文献

- [1] 骆钦华, 骆英. 天平的发展演变[J]. 中国计量, 2003(9):4.
- [2] JJG 1036-2008, 电子天平检定规程[S].
- [3] 厉志飞, 赵伟国, 孙斌等. 电子计价秤自动检定系统的研制[J]. 衡器, 2011, 40(12):4.
- [4] 陈元杰, 葛锐, 孔新雄等. 机器人技术在电子天平检定过程中的应用[J]. 衡器, 2019, 48(1):5.
- [5] 张娟. 基于机器视觉的仪表自动化读数识别技术探讨[J]. 自动化应用, 2020(2):3.
- [6] 王浩. 工业机器人技术的发展与应用综述[J]. 中国新技术新产品, 2018(3):2.

**作者简介:** 姜仁志(1995-), 男, 浙江临海人, 汉族, 硕士研究生学历, 浙江省计量科学研究院工作, 研究方向为力学计量。