

物料计重罐校准装置的研究

□ 闫菁 阮俊 李丹 郑晓兰 王晖

(云南省计量测试技术研究院, 云南昆明, 650000)

【摘要】在计量行业中,大量程的物料计重罐的校准一直是一个难点,以往采用的砝码校准、替代法校准以及杠杆称量校准等方法,均存在一系列难以解决的实际问题。本文针对这一现状,结合检测市场的计量需求,设计了一套物料计重罐校准装置,利用自动控制高精度传感器加载技术实现了对物料计重罐的在线校准,为物料计重罐的校准提供了一种新的方法。

【关键词】称重;物料计重罐;校准方法

文献标识码: A

文章编号: 1003-1870 (2024) 11-0020-04

引言

物料计重罐是用于称量工业生产过程中物料重量的计量器具,属于非自动衡器的一种特殊型式,在生物医药、精细化工、烟草等领域得到了广泛的应用。物料计重罐的精确计量制约着整个工艺流程的产品监控,同时也是实现生产过程自动化和智能化、企业的科学管理、安全稳定生产和节能降耗的重要手段,对物料计重罐校准方法的研究具有很好的社会意义和较大的经济价值。近年来,随着电子技术的发展以及智能控制水平的提高,开始尝试采用自动机控制高精度传感器加载的方式替代砝码进行加载。阙鹏峰^[1]设计了一套由龙门式反力架、标准载荷测量单元和液压控制系统等部件组成,校准最大秤量为40t的料罐秤的装置。朱浩等^[2]将自动控制技术与液压装置和辅助工装结构相结合,研发了一套称重计量罐检测装置,可完成0~8000kg称重计量罐的自动检测。JJF1911-2021《大量程散料料仓称重装置校准规范》^[3]在制定过程中考虑了被校称重装置称量范围大,难以实现,使用标准砝码进行校准,因而将称重传感器作为载荷转换测量单元,用标准载荷测量装置对大量程散料料仓称重装置的计量特性进行校准。但由于物料计重罐本身的结构特点和使用环境,导致现在校准困难,传统的称重校准方法已经无法满足现场校准的需求。在计量校准的过程中,目前主要存在以下问题:采用砝码加载,

人工搬运和装卸砝码时极为费时费力,人工成本高;现场受到空间的影响,砝码不能方便有效的搬运至物料计重罐罐体下;现场受到进出料、给排水等各种管道的影响,目前不能均匀的加载砝码,在校准过程中对罐体产生偏载影响。

在针对物料计重罐进行在线计量校准装置的实际需求,对物料计重罐校准方法进行研究,创新性的采用移动配重作为反力荷载,采用自动控制电液伺服作为加载设施,采用高精度传感器作为标准荷载,研发了一套校准装置。该装置最大允许误差为 $\pm 0.12\%$,能够满足测量范围为(100~4000)kg的物料计重罐的逐级加载在线校准。本文对该装置进行试验验证,并对该装置进行不确定度分析。

1 校准方法选择

为满足物料计重罐的计量要求,本文对砝码校准法、置换法、杠杆测量法、自动控制高精度传感器加载法这四种校准方法进行对比验证。

(1) 砝码校准法

采用砝码加载,人工搬运和装卸砝码时极为费时费力,人工成本高。受到空间的影响,砝码不能方便有效的搬运至物料计重罐罐体下。受到进出料、给排水等各种管道的影响,不能均匀的加载砝码,在校准过程中对罐体产生偏载影响。若定制专用砝码,则费用昂贵,不利于企业应用推广。

(2) 置换法

为了满足全量程校准,依据JJG 1834-2020《非自动衡器通用技术要求》^[4]可以采用半量的砝码通过替代法进行校准,但是替代法由于砝码加载的局限性,检测量程有限,检测精度无法得到保障,同时耗时耗力,考虑置换法需要大量物料,而一般企业使用的物料较为昂贵,造成大量人力物力的浪费。

(3) 杠杆测量法

杠杆测量法可以减少砝码的使用量,但是杠杆加载法要求对杠杆以及各连接件的机械加工精度很高,且校准过程中仍然要加工砝码和人工加载砝码,工作流程复杂,不利于现场开展工作。

(4) 自动控制高精度传感器加载法

自动控制高精度传感器加载法利用高精度力传感器替代砝码加载,能解决目前常用的料罐秤校准方法操作难度大,校准效率低的情况。且大部分物料罐安装环境复杂,进出料管线布置密集,不方便采用砝码或杠杆直接测量,故采用自动控制高精度力传感器加载法来解决物料罐的计量问题。

2 校准装置确定

为了确定合适的校准装置,本文设计了杠杆加载法模型实验、高精度传感器加载法模型实验,反力法模型试验进行对比分析。

(1) 杠杆加载法,主要由杠杆,水平仪,标准砝码组成,其试验量程为1000N,受加工精度和安装方式的影响,整体精度 $\leq 0.3\%$,结果表明该方法受杠杆的水平度影响较大;加卸载砝码费工时,效率较低。

(2) 高精度传感器加载法主要通过液压系统采用微型拉拔仪进行加载,测量系统采用高精度传感器控制,其试验量程为1000N,该装置的整体精度 $\leq 0.1\%$,结果表明该方法受液压控制速度和加载垂直度即偏载影响较大,但加卸载方便,效率高。

(3) 反力法主要由标准力传感器、III级电子秤、加载装置组成,其试验量程为500kg,装置整体精度 $\leq 0.1\%$,结果表明该方法液压控制速度和加载垂直度即偏载影响较大;加卸载方便,效率高,便于复杂环境下测量。

根据以上模型实验结果,本文采用高精度传感器加载法来完成物料罐计量方法的研究。

3 校准装置的设计加工与测试

3.1 装置的设计与加工

本文设计了一套物料计量罐校准装置,对测量范围为(100~4000)kg的物料计量罐实现校准。该物料计量罐校准装置主要由承载支架、称重传感器、液压油缸以及自动控制电液伺服系统组成,反力装置由多个配重组成,质量大于500kg。伺服电机安装在配重上,连接传感器,起到控制加载作用。物料计量罐校准装置以称重传感器和液压油缸组成标准载荷测量单元,其中为减少不确定度影响分量,采用C3级称重传感器作为标准传感器,并且整个装置采用液压加载系统作为载荷动力源,借助反力辅助装置对物料罐的施加标准载荷,从而实现物料罐的校准。

3.2 校准装置标定与稳定性分析

采用测量范围6kN,精度0.01%的静重式力标准机对C3级称重传感器进行标定。传感器在200N以上,其测量的重复性精度均能够控制在0.1%以内。对C3级传感器每隔三个月,共四次进行校准,传感器在200N以上其稳定性都能够满足0.1%测量精度的要求。

3.3 装置整体模拟测试

传感器标定后,在实验室按照物料罐支撑钢架的尺寸和材料,以1:1的比例加工了一个测试架,模拟现场测试的情况,对装置的整体进行安装和测试。

(1) 30s 加载恒定测试

启动装置,加载目标值分别为100kg、500kg、2000kg和4000kg,记录其在0s、10s、20s、30s的实测值和示值变动性。其中,100kg在0s~30s内的实测值分别为100.01kg、100.00kg、100.00kg、100.01kg,变动性为0.01%;500kg在0s~30s内的实测值分别为500.00kg、500.01kg、500.00kg、500.00kg,变动性为0.00%;2000kg在0s~30s内的实测值分别为2000.00kg、2000.01kg、1999.99kg、2000.00kg,变动性为0.00%;4000kg在0s~30s内的实测值分别为4000.00kg、3999.98kg、4000.04kg、4000.00kg,变动性为0.01%。以上结果表明:该装置采用自动控制电液伺服控制,其控制系统采用叠加式力标准机控制软件,其30s内示值变动性满足 $\pm 0.01\%$ 的要求。

(2) 标准砝码测试

对传感器采用砝码测试,标准砝码的质量分别为6.795kg、26.795kg、46.795kg、66.795kg、100.98kg、

200.98kg、500.98kg。

标准砝码测试结果如下：当标准砝码为6.795kg时，其装置示值均值为6.79kg，示值误差为-0.02%；当标准砝码为26.795kg，其装置示值均值为26.79kg，示值误差为-0.01%；当标准砝码为46.795kg，其装置示值均值为46.79kg，示值误差分别为-0.01%；当标准砝码为66.795kg，其装置示值均值为66.79kg，示值误差为-0.03%；当标准砝码为100.98kg，其装置示值均值为100.90kg，示值误差分别为0.01%；当标准砝码为200.98kg，其装置示值均值为200.95kg，示值误差分别为0.03%。当标准砝码为500.98kg，其装置示值均值为0.91kg，示值误差为0.03%。

通过砝码测试，可以看出装置测试精度可以达到0.1%。

(3) 装置重复性和稳定性测试

采用100kg、500kg、2000kg和4000kg砝码对装置整体的重复性和稳定性进行考核，分别对(100~4000)kg的砝码进行10次重复性测试，并且每隔三个月对装置进行测试，稳定性考核重复4次，测试结果用标称值和实测值的标准偏差 s 来表示，测试结果如下：

当标准荷载为100kg时，其标称值和实测值的 s 为0.02，其每隔三个月测试的 s 为0.01；当标准荷载为500kg时，其标称值和实测值的 s 为0.06，其每隔三个月测试的 s 为0.05；当标准荷载为2000kg时，其标称值和实测值的 s 为0.12，其每隔三个月测试的 s 为0.11；当标准荷载为4000kg时，其标称值和实测值的 s 为0.25，其每隔三个月测试的 s 为0.16。

结果表明该装置的标称值和实测值的 s 均小于0.3。

3.4 装置不确定度分析

物料罐校准装置由多个标准称重传感器和伺服加载装置组合成加载单元并联而成，各加载单元在量传和溯源过程中独立运行。因此，各单一加载单元是相对独立运行的，在进行不确定度分析时，随机选取某单一加载单元以最小称量值100kg为示例进行分析。

3.4.1 不确定度评定

(1) 示值重复性引起的标准不确定度 u_1 ：

采用100kg砝码分别重复测量10次，测量结果分别为100.01kg，100.04kg，100.03kg，100.06kg，100.02kg，100.01kg，100.02kg，100.05kg，

100.02kg，100.03kg，采用贝塞尔公式，标准偏差 s 为0.017。重复性测量引入的标准不确定度分量 u_1 ：

$$u_1 = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (1)$$

则得到：100kg时， $u_1=0.017\text{kg}$ 。

(2) 分辨力引起的不确定度 u_2 为均匀分布：

$$u_2 = \frac{r}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

装置的分辨力 $r=0.01\text{kg}$ ， $u_2=0.003\text{kg}$ 。

(3) 标准砝码引入的标准不确定度 u_3 ：

本次校准采用M1等级砝码，100kg的最大允许误差 e 为 $\pm 5\text{g}$ ，为均匀分布：

$$u_3 = \frac{e}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

当100kg时， $u_3=0.003\text{kg}$ 。

(4) 检定过程中，由于温度的变化引入的标准不确定度 u_4 ：

在物料计重罐校准装置校准过程中温度变化不超过 2°C 。由此引起的最大误差为 $\pm 0.054\%$ ，均匀分布， a 为校准点，由此引入的标准不确定度为：

$$u_4 = \frac{0.054\% \times a}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

则当100kg时， $u_4=0.016\text{kg}$ 。

(5) 检定过程中，由于连接方式的影响引入的标准不确定度 u_5 ：

在物料计重罐校准装置校准过程中，连接方式采用吊环和球形关节连接杆连接，各连接之间可能使得受力方法产生一定的夹角，形成一定的摩擦力，且加载的荷载越大，产生的摩擦力越大。由此引起的最大误差估计为 $\pm 0.06\%$ ，均匀分布， a 为校准点，由此引入的标准不确定度为：

$$u_5 = \frac{0.06\% \times a}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

当100kg时， $u_5=0.035\text{kg}$ 。

(6) 传感器引入的标准不确定度 u_6 ：

在物料计重罐校准装置采用的是c3级称重传感器。由此引起的最大误差为 $\pm 0.03\%$ ，均匀分布， a 为校准点，由此引入的标准不确定度为：

$$u_6 = \frac{0.03\% \times a}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

100kg时， $u_6=0.017\text{kg}$ 。

3.4.2 相对合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \quad (7)$$

当100kg时, $u_c=0.046\text{kg}$ 。

3.4.3 相对扩展不确定度

$$U_{rel} = k \times u_{rel} (k=2) \quad (8)$$

将各分量值代入, 最终得到该装置的扩展不确定度为: $U_{rel}=0.10\%$, $k=2$ 。

4 现场测试

在(15~25)℃的环境条件下, 将称重装置的承载器加载物料至最大秤量, 待称重装置稳定后, 读取称重装置的初始值 I_1 , 用标准荷载测量装置对某企业物料计量罐逐级施加载荷至最大值或接近于最大值, 分别测定各校准点称量的示值误差 E , 分别得到校准试验数据。

4.1 示值测量

分别测试的标准荷载400kg、800kg、1200kg、1600kg、2000kg、2400kg、3000kg、3200kg、3600kg、4000kg。当标准荷载为400kg时, 其示值误差为-0.25%, 重复性为0.13%; 当标准荷载为800kg时, 其示值误差为-0.06%, 重复性为0.06%; 当标准荷载为1200kg时, 其示值误差为-0.01%, 重复性为0.02%; 当标准荷载为1600kg时, 其示值误差为-0.01%, 重复性为0.02%; 当标准荷载为2000kg时, 其示值误差为0.00%, 重复性为0.04%; 当标准荷载为2400kg时, 其示值误差为0.01%, 重复性为0.02%; 当标准荷载为3000kg时, 其示值误差为-0.01%, 重复性为0.02%; 当标准荷载为3200kg时, 其示值误差为-0.01%, 重复性为0.01%; 当标准荷载为3600kg时, 其示值误差为-0.01%, 重复性为0.03%; 当标准荷载为4000kg时, 其示值误差为-0.04%, 重复性为0.03%。

以上结果表明现场测试结果满足用户提出的精度达到0.5%的要求。

4.2 现场测量结果验证

现场测量结果验证采用传递法进行, 即用砝码校准与本校准装置结果进行比较。采用 E_n 值进行判定, E_n 值小于1则满足要求。其中 x_a 为砝码测量值, x_b 为装置测量值, U_a 为砝码测量不确定度, U_b 为装置测量不确定度。测试的标准荷载分别为100kg、400kg、2000kg、4000kg。

测试结果如下所示:

当标准荷载为100kg时, 其砝码校准的 x_a 为99.73kg, U_a 为0.00%, 其装置校准的 x_b 为99.70kg, U_b 为0.30%, E_n 值为0.1。当标准荷载为400kg时, 其砝码校准的 x_a 为399.93kg, U_a 为-0.04%, 其装置校准的 x_b 为399.90kg, U_b 为-0.02%, E_n 值分别为0.1。当标准荷载为2000kg时, 其砝码校准的 x_a 为1999.90kg, U_a 为-0.01%, 其装置校准的 x_b 为2000.03kg, U_b 为0.00%, E_n 值为0.1。当标准荷载为4000kg时, 其砝码校准的 x_a 为4000.13kg, U_a 为0.00%, 其装置校准的 x_b 为3998.40kg, U_b 为-0.04%, E_n 值为0.4。

可以看出测试的标准荷载分别为100kg、400kg、2000kg、4000kg时, 其 E_n 值均小于1, 验证了物料罐校准装置测量结果是符合要求的。

5 结语

本文设计了一套自动控制高精度传感器加载料的物料计重罐校准装置, 首先确定称重传感器精度, 然后采用自动控制高精度传感器加载, 并通过现场测试试验和现场测量结果验证, 并对其不确定度进行分析, 最终结果表明该物料计重罐校准装置的测量结果能够满足测量范围(100~4000)kg, 精度0.5%的溯源要求, 该装置实现了加载过程的智能化, 解决了罐体底部管路密集不利于人工操作的问题, 完成了物料计重罐的最大秤量4000kg的逐级加载在线校准。

参考文献

- [1] 阙鹏峰. 大吨位料罐秤校准装置的研究[J]. 衡器, 2023, 52(02): 25-29.
- [2] 朱浩, 梁晓瑜, 黄现云等. 称重计量罐检测装置的研制[J]. 衡器, 2022, 51(12): 8-11.
- [3] JJF 1911-2021, 大量程散料料仓称重装置校准规范[S]. 中国质检出版社.
- [4] JJG 555-1996, 非自动秤通用检定规程[S]. 中国质检出版社.

作者简介

闫菁(1993—), 女, 汉族, 新疆克拉玛依, 硕士研究生, 工程师, 云南省计量测试技术研究院, 研究方向: 质量计量、力学计量。