

一种料罐秤校准方法的探讨

冯晓媛

安徽省计量科学研究院 合肥 230000

摘要: 针对传统料罐秤校准方法在工业场景下存在的痛点,本研究以 JJG 539《数字指示秤》^[1]、JJF 1911《大量程散料料仓称重装置校准规范》^[2]、JJF 1847《电子天平校准规范》^[3] 为理论依据,参考 GB/T 27738《重力式自动装料衡器》^[4]、JB/T 20191《药用称量配料装置》^[5] 及 JJG 564-2019《重力式自动装料衡器检定规程》^[6] 中关于称重条目,系统剖析现有校准技术在料罐秤应用中的局限性。创新性提出基于小质量砝码的小范围示值误差校准方案,通过对比传统方法易引发物料污染、资源浪费及操作繁琐等问题,从测量精度、成本控制、现场适用性等维度,全面论证新方法在工业料罐秤校准中的技术优势,为实现高精度、低成本的工业计量校准提供可靠技术路径。

关键词: 料罐秤; 小质量砝码; 小范围内示值误差; 分步替代法

引言

在制药、化工、食品、制药等流程型制造领域,料罐秤作为物料计量的核心设备,其校准精度直接关系到生产过程的稳定性与产品品质。当前行业普遍采用的全量程校准模式,与实际生产中“单次取料精准度优先”的需求存在结构性矛盾。以制药和化工合成工艺为例,关键原料配比的微小误差可能导致反应路径偏离预期,甚至引发安全隐患;食品加工环节中,配料称量偏差会直接影响产品风味特性与营养成分的稳定性。受制于技术原理与现场应用条件,传统校准方法在兼顾效率与精度方面存在显著瓶颈,亟需开发更贴合工业实际需求的校准技术方案。

在线料罐秤的校准需综合多领域标准,以应对不同行业的精准计量需求。本文基于 JJG 539,结合 JJF 1911、JB/T 20191 等标准,提出一种小范围示值误差校准的方法。通过整合数字指示秤、散料称重、制药配料等场景的技术要点,优化校准流程,解决污染风险、资源浪费及动态误差难题。

1 现有料罐秤参考的检定规程和校准规范

1.1 现有料罐秤没有专用的检定规程和校准规范。一般是参考 JJG 539《数字指示秤检定规程》进行检定和校准。需要用到满量程的砝码,对秤进行重复性和示值误差的检定。对于比较大型的秤(例如 1 吨以上)来说,用到的砝码就非常多。即使使用替代载荷,也需要准备至少 1/5 满量程的砝码。砝码的量如此之多,对于检定人员来说是一个很大的工作量,并且砝码的加载和卸载时间很长,会产生蠕变的

误差。

替代载荷通常使用的是纯水,这个就有可能给企业造成麻烦。每次校准的时候需要将罐里的物料卸载干净,这就影响到工厂的正常运行。校准过程又要用到大量的纯水,也会造成更多的资源浪费。另外校准过程有可能会对罐体造成污染。

1.2 现在社会上用到的其他校准方法。

根据 JJF 1911《大量程散料料仓称重装置校准规范》,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。

云南省计量测试技术研究院设计了一套物料计重罐校准装置^[7],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。

梅特勒托利多厂家有个 RapidCal™ 校准方法^[8]。校准过程的精度是通过液压缸施加力来实现的,这些力由参考称重传感器测量,确保可追溯到测试质量标准。这种方法模拟了正常的称重条件,并自动补偿管道效应,提供可靠的结果。

茵泰科 Smart Calibration^[9] 是基于茵泰科传感器高一致性的无砝码智能校准技术,结合每只传感器的独一无二的灵敏度系数 Cn 校准重量值。

这些校准方法主要是利用了称重传感器,用液压泵施加力,来实现秤的校准。其优点是比用传统砝码节省了人力,校准速度也很快。但其精度因为增加了力值的影响而有变

化,因而采用传感器方法校准,在我国质量量值传递系统表中不予认可。并且校准过程可能需要在地上打螺栓固定,破坏了地面。另外高精度传感器价格比较高,也不够经济实惠。

也有需要将罐体抬起,对每个称重传感器进行校准后,再将罐体放置在秤上。由于一般料罐秤都是由几个称重传感器来组成,因而即使单独的称重传感器是合格的,几个组合起来也不一定合格。因此这个方法不够精确。

1.3 参考 JJG 564-2019《重力式自动装料衡器检定规程》、GB/T 27738《重力式自动装料衡器》及 JB/T 20191《药用称量配料装置》,使用 GB/T 8885 中二级食用玉米淀粉等实际物料,用分离检定法或集中检定法进行校准。将物料先进行称重后,再倒入罐中,观察示值变化。这在料罐秤校准中也可以使用。但对大量程料罐秤的校准也不是很合适,因为要携带高精度天平先对物料进行称重。需要携带的标准器变多,并且也存在污染料罐的风险。

1.4 综上,现有方法均遵循“全秤量覆盖”的校准原则,但忽略了工业现场 90% 以上的取料操作集中在小量程段,导致校准资源与实际需求错配。标准砝码法的高准确度与高人力成本、液压法的高效性与高成本、替代法的便捷性与高污染风险,形成技术选择的“不可能三角”。亟需针对小范围内示值误差的专用校准方法突破现有瓶颈,满足企业对每次取用小部分溶液是否准确的需求。

2 基于小质量砝码的小范围内示值误差校准方案

小范围内示值误差是指在现有试验载荷下添加的一组小质量砝码,料罐秤由于该砝码引起的示值变化与砝码质量值之间的差。

2.1 砝码的选择

砝码应符合 JJG 99 砝码检定规程的计量要求。对于证书中只给出标称质量值的砝码,选择 F2 等级及以上砝码;对于证书中给出折算质量值的砝码,选择 M1 等级及以上砝码。

另外要具备符合化整误差消除所用闪变点法使用的附加标准砝码。

2.2 校准前准备

开机预热,预热时间等于或大于制造厂商规定的预热时间,一般不超过 30 min。

预加载,将被校物料罐加载物料到最大秤量(或接近最大秤量),然后卸载,检查料罐秤、标准载荷加载系统等各受力部件、仪表指示装置是否正常。预加载应不少于 1 次。

化整误差的消除参考 JJG539 数字指示秤检定规程。

2.3 小范围内示值误差校准

a) 从零点开始施加砝码,校准该载荷下的误差,然后卸去砝码,返回零点(有零点跟踪装置的秤,示值为 $10e$);

b) 用物料取代前面所加砝码质量值并继续加载,直至达到 10% 最大秤量;

c) 再施加砝码,校准施加载荷下的误差,然后卸去砝码;

d) 用物料取代前面所加砝码质量值并继续加载,直至达到 20% 最大秤量;

e) 重复上述 c)、d) 操作,以 10% 递进加载到最大秤量;

f) 记录每次读数。

小范围示值误差校准,可按照用户的需求选取校准砝码值和载荷点。

2.4 重复性的校准

将物料罐加载物料到不低于 50% 最大秤量后,加载砝码,为一组测试。反复加载不小于 3 次,稳定时读取示值。

每次称量时,零点应重新置零。每次称量卸载时读数仅作为溶液是否有泄漏等判断依据。

重复性 E_R 用以下公式计算: $E_R = E_{\max} - E_{\min}$

式中:

E_R ——重复性, kg、g 或 t;

$E_{\max}$ ——多次加载中示值误差的最大值, kg、g 或 t;

$E_{\min}$ ——多次加载中示值误差的最小值, kg、g 或 t;

同一载荷在不同位置的示值误差(若适用)

先将物料罐加载物料到不低于 30% 最大秤量后,先将砝码分散均匀放置,用闪变法确定加载位置示值的误差。再将砝码依次转 90° 、 180° 、 270° ,加载在料罐秤的不同位置。推荐轮流加载在每个称重传感器支撑点上方或附近。

3 不确定度评定

示值误差的标准不确定度

测量模型为: $E = I - L$

合成标准不确定度的计算公式: $u_c(E) = \sqrt{u^2(I) + u^2(L)}$

标准不确定度评定

3.2.1 料罐秤分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta I)$

料罐秤分辨力为 d ,区间半宽度为 $0.5d$,若使用扩展指示装置,其区间半宽度为 $0.05d$,服从矩形分布,其标准不确定度为: $u(\delta I) = \text{区间半宽度} / \sqrt{3}$ 。

3.2.2 重复性引起的标准不确定度 $u(\delta I_{rep})$

重复性为连续加载标准载荷单元测量得到测量列，采用 B 类方法进行评定。 $u(\delta I_{rep})$ 表示料罐秤重复性，用极差法来表示，其标准不确定度为： $u(\delta I_{rep}) = \frac{E_R}{C}$ 。

因为只进行一组重复性测量，则该测量的重复性引入的不确定度分量可代表料罐秤整个量程的重复性不确定度。

3.2.3 同一载荷在不同位置的重心的偏离引起的标准不确定度 $u(\delta I_{ecc})$

$u(\delta I_{ecc})$ 表示由于试验载荷重心的偏心位置引起的误差。公式，其中， IL_i 为第 i 个位置显示值， IL_1 为载荷均匀分布时的示值。 δI_{ecc} 与载荷重心到承载器中心的距离成比例，与载荷值成比例。 I_{ecc} 为偏载试验所用载荷标称值， I 为载荷在不同位置的示值。其最大差值 $|\Delta I_{ecc}|_{max}$ 符合矩形分布，其标准不确定度为：

$$u(\delta I_{ecc}) = I |\Delta I_{ecc}|_{max} / (2L_{ecc} \sqrt{3})$$

3.2.4 蠕变和滞后引起的标准不确定度 $u(\delta I_{time})$

由于量程较大，要不断进行加 / 卸载，所用时间较长，因此需要考虑蠕变和滞后的影响。可把相同载荷在进程和回程的最大差值 Δj_{max} 作为蠕变和滞后的影响的极限值。如无此数据，可把最后回零时零点示值 E_0 作为蠕变和滞后的影响的极限值，其标准不确定度为：

$$u(\delta I_{time}) = I \times E_0 / (2\sqrt{3} \times L_{max})$$

示值的标准不确定度。

3.2.5 标准砝码的标准不确定度

标准砝码有检定证书，且在校准过程中仅使用砝码标称值。

3.2.6 合成标准不确定度的评定

示值误差的合成标准不确定度

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(I) + u^2(L)}$$

扩展不确定度评定：取 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c(E)$$

4 结论与建议

本研究针对传统料罐秤校准方法在工业场景中的痛点，提出基于小质量砝码的小范围示值误差校准方案。该方案突破传统全秤量的校准模式，及资源浪费、操作繁琐及污染风险等方面的局限，通过 10% 递进加载至最大秤量的分步校准法，关注小范围内示值误差，在测量精度、成本控制及现场适用性上具显著优势。经不确定度评定验证，其校准结果符合计量溯源要求，为制药、化工等领域提供高精度、低成本的工业计量校准技术路径，推动料罐秤校准从“全量程覆盖”向“需求导向型精准校准”转型。

参考文献：

- [1] 全国衡器计量技术委员会 . JJG 539-2016 数字指示秤检定规程 [S]. 北京 : 中国质检出版社 , 2016.
- [2] 全国衡器计量技术委员会 . JJF 1911-2021 大量程散料料仓称重装置校准规范 [S]. 北京 : 中国标准出版社 , 2021.
- [3] 国家市场监督管理总局 . JJF 1847-2020 电子天平校准规范 [S]. 北京 : 中国质检出版社 , 2020.
- [4] 国家市场监督管理总局 . GB/T 27738-2011 重力式自动装料衡器 [S]. 北京 : 中国标准出版社 , 2011.
- [5] 全国制药装备标准化技术委员会 . JB/T 20191-2018 药用称量配料装置 [S]. 北京 : 机械工业出版社 , 2018.
- [6] 国家市场监督管理总局 . JJF 2050-2023 无线电子秤校准规范 [S]. 北京 : 中国标准出版社 , 2023.
- [7] 闫菁, 阮俊, 李丹, 等 . 物料计重罐校准装置的研究 [J]. 衡器 , 2024, (11): 20-23.
- [8] 梅特勒托利多公司 . RapidCal™ 液压校准技术手册 [M]. 上海 : 梅特勒托利多中国有限公司 , 2019.
- [9] 茵泰科工业称重设备 (北京) 有限公司 . Smart Calibration 智能校准技术白皮书 [R]. 北京 : 茵泰科公司 , 2022.