

配料称重罐常见校准方案分析

□孙鹏飞 胡文华 陆浩

上海市计量测试技术研究院有限公司

【摘要】食品、制药、化工、仓储等企业为了保证产品质量需要对配料称重罐内的生产原料进行精确计量和控制。为了解决这一问题，企业所使用的配料称重罐安装了称重传感器和称重显示器，用于控制原料质量。配料称重罐称量的准确性需要通过计量校准来保证，本文主要介绍了配料称重罐常见的4种校准方案。

【关键词】称重罐；校准

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）01-0036-05

Analysis of Common Calibration Schemes for Batch Weighing Tanks

【Abstract】To ensure product quality, food, pharmaceutical, chemical, and warehousing companies need to accurately measure and control the raw materials in the batch weighing tanks. To address this issue, the companies have installed load cells and weighing indicators on their batch weighing tanks to control the quality of raw materials. The accuracy of batch weighing tanks needs to be ensured through metrological calibration, and four common calibration methods for batch weighing tanks are mainly introduced in this paper.

【Keywords】weighing tank; calibration

引言

配料称重罐属于一种特殊的专用称重设备，一般由罐体、内胆、投料口、搅拌轴、称重传感器、称重显示器及支架等结构组成，具有结构设计人性化、操作方便、搅拌均匀、清洗简单、传动平稳、噪声低等优点，广泛应用于生物制药、食品加工、石油化工、物料仓储等，对原料进行搅拌、配比称重的行业。计量准确的称重罐，可以实现对生产过程的自动控制、自动监测、自动称量，保证生产过程的可靠性、稳定性和安全性，提高生产质量和生产效率。因此，如何对配料称重罐进行有效的量值溯源，保证计量的准确性显得至关重要，既能完善计量体系建设，又服务企业高质量发展。本论文主要介绍配料称重罐4种常见校准方案。

1 配料称重罐工作原理

配料称重罐工作原理就是在物料投入称重罐体

内时，称重传感器受到压力，弹性发生变形，然后输出mV电信号，称重罐的称重仪表接收该mV电信号，并通过AD转换模块转换为质量值显示，该显示数据就是罐体内原料的质量。

2 校准方案分析

2.1 砝码校准方案

通过加载实物量具标准砝码来实现配料称重罐的量值溯源，是一种常见的校准方案。这种方案在配料称重罐设计初期，需要在罐体外面预留砝码承载位，方便后期称重罐校准过程中加卸载砝码，如图1所示。该加载位通过螺栓与罐体装配，在校准结束后即可拆卸，不影响企业日常配料作业空间。若罐体外表面圆滑没有可均匀加载砝码的承载位，则需要从罐体上部加载少量砝码校准，或者从罐体内部加载砝码进行校准。



图1 砝码校准方案示意图

该种方案优点是，校准精度高，校准精度可达 $\pm 0.03\% \sim \pm 0.1\%$ ，适用于称重罐有砝码承载位且对配料称重精度要求高的企业。缺点也很明显，效率低，加卸载砝码存在安全隐患，现场校准作业空间有限，校准吨位通常不大于2t。若没有砝码承载位，一般企业不允许改造罐体结构，重新焊接砝码承载位，这时砝码加载至罐体上部或者内部困难较大、且不卫生、耗时耗力，更容易发生安全事故，损伤罐体内部结构。液体原料的配料称重罐，为避免液体外溢，罐体会采用密封焊接结构，这种方案无法从罐体内部加载砝码，因此该种方案往往不适用液体配料称重罐。

2.2 流量计校准方案

使用流量计将液体物料或者液体替代物打入料罐，依据流量计显示值与料罐仪表显示值进行比对校准。该种方案常见于流量行业中，装置上本身安装流量计，通过流量计和称重罐的双重校准确保物料的称量准确性。首先通过流量标准装置对流量仪表进行量值传递，确保流量计的准确度和重复性等技术指标符合要求。如图2所示。



图2 流量计校准方案示意图

这种校准方案适用于液体配料罐，现场校准空间有限，无法通过砝码校准的场合，校准吨位能达到20t。企业装置本身有流量计，在保证流量计准确性的前提下，将企业自己的液体原料打入称重罐，能做到边生产边校准，对企业的生产影响小。缺点是校准时间长，效率较低；所使用的液体物料，不可追溯，无法进行重复性测试；若使用液体替代物校准，替代物昂贵，浪费资源，并且存在交叉污染的风险等缺点。同时不同类型的流量计因测量原理不同，本身测量精度也有高低，如差压式流量计，测量体积流量，则会因为流体密度的变化带来很大的测量误差，特殊情况测量误差高达 $\pm 20\% \sim \pm 30\%$ ，不适合配料罐校准。电磁流量计、容积式流量计、超声波流量计整体测量精度相对较高，但是也容易受到速度、密度、气泡、温湿度等因素影响，测量精度一般在 $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。质量流量计是采用感热式测量，通过分体带走的分子质量多少从而来测量流量。因为感热式测量，所以不会因为气体温度、压力的变化从而影响到测量的结果，是配料称重罐流量计校准方案比较理想的选择，校准精度一般在 $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ 。不同类型流量计的原理和特点如表1所示。

表1 流量计分类

流量计种类	原理	特点
质量流量计	利用科里奥利效应直接测量质量流量	直接测量质量流量，精度高，不受温度、压力变化影响，适用于贸易结算
电磁流量计	基于法拉第电磁感应定律，测量导电流体产生的感应电势	测量精度较高，无阻流件，压力损失为零，适用于导电液体，耐腐蚀性强
超声波流量计	通过检测超声波在流体中顺流、逆流传播的时间差计算流速	非接触测量，不改变流场，安装简便，维护成本低，适用于大口径管道
差压式流量计	基于伯努利方程，通过测量节流件前后压差计算流量	技术成熟，应用历史悠久，结构简单，成本较低，适用于高温高压工况
容积式流量计	通过计量腔体充满和排放的次数计算流量	测量精度较高，受流体黏度影响小，适用于高黏度介质

2.3 替代法校准方案

所谓的替代法校准，就是由于砝码加载困难而利用某种方便加载的物质替代砝码或者部分替代砝码来间接完成配料称重罐的校准。比如用水作为替代物进行配料称重罐校准是一种常见的替代法校准，如图3所示。



图3 水替代法校准方案示意图

替代法校准方案具体操作步骤：首先根据配料称重罐的结构，在保证校准安全的前提下，确定能加载多少砝码（即单次最大安全砝码载荷），记录数据，然后卸下砝码。其次，以该数据为标准，加载同质量的水，该阶段要平稳缓慢，防止水晃动引起校准误差。第三，待水平稳后，再次加载同第一步相同载荷的砝码，记录数据，卸载砝码。最后一直

循环第二步、第三步操作，直到校准值达到最大秤量，卸载砝码，整个校准工作结束。水替代法校准方案流程如图4所示。

为测算替代法校准方案误差，同时也方便试验操作，在上海某企业选用了一台小秤量的带有砝码承载位的配料称重罐进行两组试验，该称量罐最大秤量600kg，显示分度值0.2kg。测试试验分两步：第一步先确保该称量罐的称量准确性，先用标准砝码对该配料罐进行线性标定，标定结束后，用标准砝码测试称量罐6个常用测量点：100kg、200kg、300kg、400kg、500kg、600kg，每个测量点测两组数据，取其平均值计入表2，通过测试数据基本确认该配料称重罐称量误差在最大允许误差范围内（参考JJG539-2016表三）。第二步用水替代法进行测试，先用标准砝码测试100kg秤量点，卸载砝码，罐体加水至称重仪表显示100kg，再加100kg标准砝码，卸载砝码，罐体加水至称重仪表显示200kg，重复循环，直到加载至最大秤量600kg，同样测试两组数据，取其平均值计入表2。通过表2，不考虑其他因素影响，测得本次替代法校准方案的测量相对误差为0.2%~0.4%。

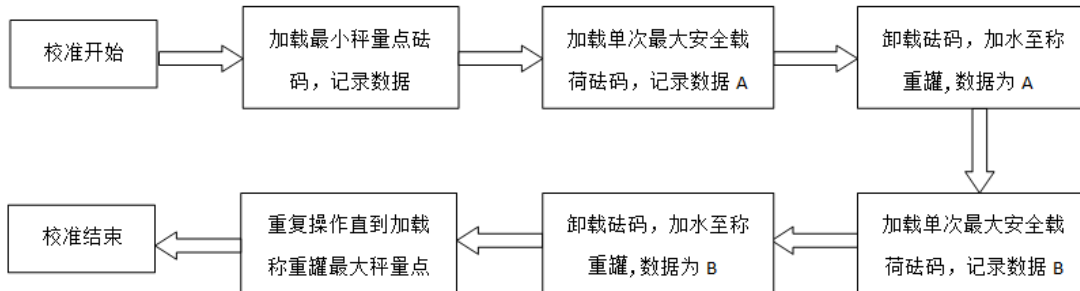


图4 水替代法校准方案流程图

表2 替代法校准方案试验数据

单位：kg

测量点	100	200	300	400	500	600
砝码	100.0	200.0	300.0	400.2	500.2	600.2
水替代法	100.0	200.4	301.2	401.2	501.4	601.6
水替代法测量相对误差	/	0.2%	0.4%	0.3%	0.3%	0.3%

替代法校准方案的测量误差与多种因素有关：①砝码本身误差。②称量罐的称量范围，范围越小，

整个校准过程越容易控制，误差越小，范围越大，加水次数越多，造成的损耗越大，校准误差越大。

③加水的准确性带来的误差（如理论加水至500kg，实际人工加水有可能是500.2kg 或者499.8kg）。④加水过程中的溢出、蒸发等损耗。⑤水的流动冲击造成的读数误差等等。该校准方案校准精度一般在 $\pm 0.1\% \sim \pm 1\%$ ，通常比砝码校准方案精度低，但是高于流量计校准方案。该校准方案适用于企业对校准精度有一定要求、校准吨位一般小于10t的液体配料称重罐。缺点是，校准需要砝码、替代物，有一定的校准成本，浪费水资源；对企业产品存在交叉感染的风险；校准时间较长校准吨位太大，不方便寻找替代物。

2.4 物料量值传递校准方案

当生产企业对生产卫生条件很高，考虑到不对企业产品质量产生污染和影响，无法通过标准砝码、流量计和替代法等校准方案。这时候可以考虑就地取材，利用物料作为砝码替代物，完成量值传递。配料称重罐校准前，利用检定合格的电子台秤对所用物料进行准确称量，然后将物料定量投料至被校准称重罐，称重罐上的称重模块感知标准重量产生对应mV电信号，仪表同时收到该mV信号，比对添加标准重量与称重仪表输出当前值是否一样，并在测试点计算出不确定度，完成校准工作。若标准重量值和称重仪表数据不一致，还可以手动设置称重仪表，数字显示为当前所添加的重量值，建立mV与kg的关系，完成标定工作，如图5所示。

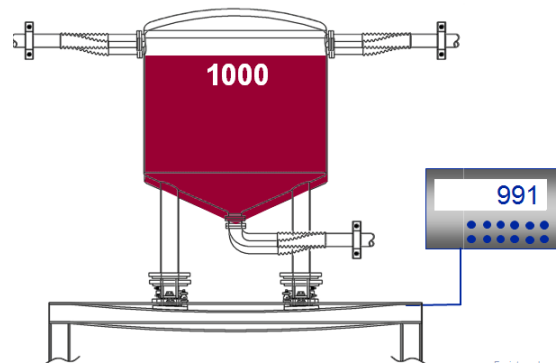


图5 物料量值传递校准方案示意图

为测算物料量值传递校准方案误差，同时也方便试验操作，在替代方案现场试验的基础上，再找一台控制衡器（型号TCS-150，最大称量150kg，显示分度值0.05kg的电子台秤），然后利用砝码对控制衡器线性标定，标定结束后，重新使用砝码进行检定，确保该电子台秤检定合格，控制衡器主要用于精确控制试验中固体原料的质量。然后继续进行试验，使用专用容器，在TCS-150电子台秤上，称量100kg固体原料，然后通过称重罐投料口倒入罐体内，后面每次称量100kg固体原料投入称重罐，直至最大称量600kg。测试两组数据，取其平均值计入表3。通过表3，不考虑其他因素影响，间接测得本次替代法校准方案的测量误差为 $-0.6\% \sim -0.4\%$ 。

表3 物料量值传递校准方案试验数据

单位：kg

测量点	100	200	300	400	500	600
砝码	100.0	200.0	300.0	400.2	500.2	600.2
物料量值传递	99.6	199.0	298.6	397.6	497.0	596.6
物料量值传递测量相对误差	-0.4%	-0.5%	-0.5%	-0.6%	-0.6%	-0.6%

物料量值传递校准方案的测量误差与多种因素有关：①控制衡器引入的误差。②称量罐的称量范围：范围越小，投料次数少，校准过程越容易控制，误差越小；范围越大，投料次数多，校准过程难度递增，造成的损耗越大，校准误差越大。③投料容器上的物料残留。④物料在控制衡器上的称量、中转、投料造成的物料损耗等等。该校准方案校准精度一般在 $\pm 0.3\% \sim \pm 1.5\%$ ，校准吨位一般小于5t。这种校准方案优点是，不直接使用砝码，不改变称重罐的环境条件，对企业正常生产影响小，适用于对

称重罐卫生要求高，校准精度要求不高的场合。该方案的缺点，有一定的工作强度，需要准备全量物料和检定合格的电子台秤，并且还要完成物料的准确称重和投料工作。投料过程中，容易物料外漏，因此校准精度不高。如果物料为液体，换需要有专用收纳容器，可操作性不强。校准需要提前确定物料质量，具有一定的工作强度，因此校准吨位不易过大。

3 校准方案总结

配料称重罐常见4种校准方案特点，见表4。

表4 校准方案明细表

校准方案	砝码	流量计	替代法	物料量值传递
校准精度	$\pm 0.03\% \sim \pm 0.1\%$	$\pm 1\% \sim \pm 2\%$	$\pm 0.1\% \sim \pm 1\%$	$\pm 0.3\% \sim \pm 1.5\%$
校准量程	$\leq 2t$	$\leq 20t$	$\leq 10t$	$\leq 5t$
校准优点	校准精度高；有砝码承载位时，无交叉污染风险	校准量程大，对企业生产影响较小	校准精度适中，可行性适中	校准卫生条件好，无交叉污染风险；经济性好，不浪费物料；对企业生产影响较小
校准缺点	需要有砝码加载位，适用性低；装卸砝码安全系数低	误差影响因素多，校准精度低；适用于液体称重罐；可追溯性不强，无法做重复性测试	具有一定的经济成本，浪费水资源；存在交叉感染的风险	校准精度较低，具有一定的工作强度

4 结语

称重类计量器具通常利用标准砝码进行量值溯源，但配料称重罐具有一定的特殊性，首先是否具有砝码加载位，其次要充分考虑到加载砝码的安全性，第三配料称重罐的吨位较大，能达到几吨、十几吨，因此往往无法通过累加足量标准砝码量值溯源。本文介绍的4种配料称重罐校准方案各有优缺点，适用不同的称重罐。校准工作前，要结合配料称重罐的现场校准环境和条件，考虑企业校准需求，选择可行性较高的校准方案完成配料称重罐的校准工作。随着计量技术的发展，配料称重罐校准的精度和可操作性都会大大提高。

参考文献

- [1] JJG539-2016《数字指示秤》检定规程[S]. 中国质检出版社.
- [2] JJG99-2006《砝码》检定规程[S]. 中国计量出版社.
- [3] JJG164-2000《液体流量标准装置》检定规程[S]. 中国计量出版社.

作者简介

孙鹏飞（1989—），硕士，中级工程师，现供职于上海市计量测试技术研究院有限公司。研究方向：质量衡器计量。