

浅析称重配液罐逐步替代法校准

□王赞

苏州市计量测试院有限公司

【摘要】针对大型称重配液罐难以离线送至实验室进行整体校准的行业难题，本文深入分析与探讨了逐步替代法作为一种高效、实用的在线校准解决方案。论文详细阐述了该方法的实施原理与操作流程，即通过使用经过溯源的、高准确度等级的标准砝码及替代物，以分步累加和替代的方式，在不解除罐体安装状态的情况下，实现对其整个称量系统的系统误差校准与性能验证。研究重点在于剖析该方法在实践应用中的关键影响因素，并据此提出相应的优化控制措施。实践应用表明，逐步替代法作为一种可追溯的校准手段，不仅能有效保证配液罐计量结果的准确性与可靠性，而且为制药、化工、食品等流程工业中固定式称重设备的在线计量保障提供了重要的技术依据与实践参考。

【关键词】称重配液罐；在线校准；逐步替代法；量值溯源；计量保证

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）01-0045-04

A Brief Analysis of Stepwise Substitution Method for Calibration of Weighing and Liquid Preparation Tanks

【Abstract】In response to the industry challenge that large weighing and liquid preparation tanks are difficult to be sent offline to the laboratory for integral calibration, this paper thoroughly analyzes and discusses the stepwise substitution method as an efficient and practical online calibration solution. The paper elaborates on the implementation principle and operation process of the method, namely, by using traceable, high-accuracy standard weights and substitutes, the systematic error calibration and performance verification of the entire weighing system can be achieved in a step-by-step accumulation and substitution manner without removing the tank from its installed state. The research focuses on analyzing the key influencing factors of this method in practical applications and proposing corresponding optimization and control measures accordingly. Practical applications have shown that the stepwise substitution method, as a traceable calibration approach, can not only effectively ensure the accuracy and reliability of the measurement results of the liquid preparation tank, but also provide important technical basis and practical reference for the online metrological assurance of fixed weighing equipment in pharmaceutical, chemical, food and other process industries.

【Keywords】weighing and liquid preparation tank; online calibration; stepwise substitution method; measurement traceability; metrological assurance

引言

随着科学技术的飞速发展，生物科技产业如雨后春笋一样不断的涌现出来。伴随着生产的需要及现代科技的普及，精准、快捷、高效、自动化已经成为各个生物科技公司的必然需求，称重配液罐（图1）便

由此随之而来。它自身的优势使其在各个生物科技公司中普遍应用。但是在没有相应的国家校准规范及国家检定规程的情况下，如何保证其称重的准确可靠成为了一个很大的问题。



图1 称重配液罐示意图

1 称重配液罐的结构及原理

在图1中我们可以看到称重配液罐与普通电子秤相比，同样是由传感器、承载器、显示器三大件组成。由于称重配液罐的特殊用途，其承载器是由罐体的形式来表现的，通过称重脚或立柱来固定安装在传感器上。显示器通过接线盒连接传感器，固定在醒目可见的位置，方便更好地读数。为了方便称重配液时液体的传输搅拌，称重配液罐罐体会有不同的管道连接。称重配液罐通过对不同配液的称重来控制配比，虽然称重配液罐作为固定式电子衡器，但其特殊的结构给现场计量校准带来了一定的难度。

2 称重配液罐校准的重要性及其方法

虽然称重配液罐在生物科技产业已广泛应用，但由于结构非标准化的设计，其准确度和计量特性上没有统一的标准。生产厂家一般通过用梅特勒-托利多、赛多利斯等知名厂商提供的配件来保证其计量性能，但不能将其计量性能量化。而使用单位则通过其生产技术要求来作为称重配液罐静态称重的计量性能的要求，同样存在着确认计量性能的需求。最常用的就是通过校准比对的方法来进行，用校准结果来确认称重配液罐计量性能或对比实际的生产要求确认称重配液罐是否符合要求。鉴于目前称重配液罐存在校准需求但又没有与之相对应的校

准方式，笔者针对其与传统数字指示秤的异同点，融合JJG539-2016《数字指示秤检定规程》、JJG564-2019《重力式自动装料衡器检定规程》及JJG658-2022《烘干法水分测定仪》的相关方法，设计了对称重配液罐逐步替代的校准方法。通过校准结果来确认称重配液罐的静态计量性能。这种方法需要称重配液罐能够直接或通过某种特定方式对其进行砝码的加载。

2.1 校准前准备

由于该方法需要用水（因为水经常被用来清洗称重配液罐，一般都会用水来替代）或别的配液替代存在不可逆性，所以只对加载的过程进行校准。校准前需要通过观察来去除在校准过程中会出现的不确定影响。后面我们以水作为替代来描述校准方法。

2.1.1 标准器选择

校准过程中会使用到控制衡器、标准砝码及秒表。

由于称重配液罐不具备有效标识的原因，我们无法去确定检定分度值 e ，从而用实际分度值 d 去替代来达到同样的效果。JJG539《数字指示秤检定规程》中 $0 \leq m \leq 500e$ 中最大允许误差为 $\pm 0.5e$ ，参考JJG564-2019《重力式自动装料衡器》中对控制衡器和砝码的选择，我们选择控制衡器和砝码是应保证对其影响不超过 d 的 $1/6$ 。

2.1.2 校准环境与预热

作为电子衡器的一种，称重配液罐环境要求与普通电子衡器一致，没有区别。校准前提前1小时开启对其预热。

2.1.3 传感器限位

对于新安装的称重配液罐，在设备运输过程中称重配液罐生产企业为了对传感器进行保护，通常会有传感器限位保护装置。观察传感器，确认传感器限位装置是否拆除。忽视传感器限位装置会导致出现重大误差，导致校准时间和替代资源上产生浪费。

2.1.4 接线盒的检查

因为称重配液罐的特殊性，我们把接线盒的检查同样列入了对称重配液罐校准前的准备。确保在接线盒中没有接线松动、虚焊等情况出现。

2.1.5 辅助承载装置

各个称重配液罐生产厂商的设计不同，有些称重配液罐有可加载砝码的承载平台，有些称重配液罐不能直接加载或只能加载少量砝码（图2）。在这种情况下，就需要借助辅助承载装置。辅助承载装置优先考虑能够平整稳定在有效称重位置上方。有效称重位即在传感器支承位上方，但又不连通外部的的位置。图2中承重位是传感器立柱间横向连接杆（红色），而罐底通过蓝色软连接（黄色框内）连接外部的的位置，不能把它看作有效称重位。



图2 承重位与非承重位示意图

以图2为例，我们可以通过长条形辅助承载装置（不锈钢板、长条形栈板等）来作为加载砝码的承载台。通过控制衡器，来确认辅助承载装置的重量，并通过砝码在控制衡器上对其凑整。例如在校准过程中我们会使用20kg砝码，即把辅助承载装置通过砝码配重凑成20kg的大于等于1的整数倍并记录该值。此时辅助承载装置加上砝码可以作为标准替代物使用。

2.2 置零准确度

在无任何加载的情况下进行置零，通过JJG539-2016中的方法计算化整前的零点误差 E_0 。

2.3 称量校准

从零点起逐步加砝码直至承载台或辅助承载装置没有空间加载得到加载标准重量 L （为方便计算 L 尽量为 $100X$ 的重量， X 为整数）。在使用承载辅助装置时，应将配重砝码一同加载作为标准重量。利用闪变点法来确认化整前的示值 $P=I+0.5d-\Delta L$ 并记录，式中 I 为此时示值， ΔL 为附加砝码质量，此时得到标准重量为 L 时化整前示值为 P 。此次加载值是通过完全以标准重量对称重配液罐加载而得到的。卸载全部砝码，仅保留承载辅助装置。对称重配液罐加水，使显示器示值接近 I 时停止加水，停止加水的重量根据称重配液罐加水速率来确认，保证明显不超过 I 即可。停止加水后，等待示值稳定，当60s时间内质量变化量不大于 $1d$ 时，即认为注水完成。此时加载若干砝码，并再次拿下，重复3次后，同样确认60s时间内质量变化量不大于 $1d$ 。这是为了确保加载过程中的震动不会导致注水管上挂壁的水对校准产生影响。由于此时示值还未超出 I ，通过加载使示值变为 I ，再通过加载附加砝码使示值刚好跳变成 $I+d$ ，卸载得到化整前示值 P 时加载的 ΔL 便能得到化整前示值 P ，其相对应的标准值为 L 。再次用砝码对称重配液罐逐步加载，通过这种方式循环，得到校准需要的校准点。在一般情况下，以最大称量每五分之一作为一个校准点，每个校准点的校准结果都应以砝码加载的形式得到，并通过附加砝码得到其化整前示值 Q 。此时校准完成。得到由 E_0 及 Q_n 组成的校准数据。若校准时，最大称量与能够加载的砝码重量相差过大则需要通过逐步替代来得到各个校准点。与其对应关系见表1。

表1 逐步替代法标准重量和化整前示值对照表

标准重量	1L	2L	1/5 Max	3L	4L	2/5 Max	5L	6L	7L	3/5 Max	8L	9L	4/5 Max	10L	11L	Max
化整前示值	P ₁	P ₂	Q ₁	P ₃	P ₄	Q ₂	P ₅	P ₆	P ₇	Q ₃	P ₈	P ₉	Q ₄	P ₁₀	P ₁₁	Q ₅

3 现场试验

我们在生物制药企业选用一台8td=1kg的称重配液罐（图2）做一次校准试验。由于是无尘车间我们选用F2等级砝码作为计量标准，并用型号MW1PIC-60FE-I，d=0.2g Max=60kg的电子天平作为控制衡器。现场的环境温度是符合要求的。校准前提前1小时将该设备开启完成预热后确认传感器限位以及接线盒接线不存在问题。由于空间有限，此次校准选用两块长条不锈钢板作为辅助承载装置，分别对其称重为17.3782kg、16.7256kg，共34.1038kg，并通过

砝码配重凑成40kg。完成置零准确度的校准并记录后，将辅助承载装置即配重加载在立柱的3根连接杆上并加载砝码。由于空间有限，首次加载了500kg的砝码，通过“闪变点法”得到化整前示值，卸下砝码通过注水替代并加载砝码的方式得到同样的化整前示值，循环此方法分别加载到1600kg、3200kg、4800kg、6400kg、8000kg得到相应的校准值并记录，并通过计算得到化整前的误差及化整前的修正误差。

记录测量数据见表2。

表2 现场测试数据

测试类别	相应条件	测试结果kg
辅助称重装置测试	M ₁	17.3782
	M ₂	16.7256
配重后测试	M _c	40.0000
零点测试	10d	10.1
称量测试	L ₁ =500kg	500.1
	L ₂ =1000kg	1000.3
	L ₃ =1500kg	1500.4
	1/5Max=1600kg	1600.4
	L ₄ =2000kg	2000.5
	L ₅ =2500kg	2500.8
	L ₆ =3000kg	3001.1
	2/5Max=3200kg	3201.3
	L ₇ =3500kg	3501.6
	L ₈ =4000kg	4002.1
	L ₉ =4500kg	4502.6
	3/5Max=4800kg	4802.9
	L ₁₀ =5000kg	5003.2
	L ₁₁ =5500kg	5503.9
	L ₁₂ =6000kg	6004.7
4/5Max=6400kg	6405.5	
L ₁₃ =6500kg	6505.7	
L ₁₄ =7000kg	7006.7	
L ₁₅ =7500kg	7507.8	
Max=8000kg	8009.2	

4 结语

现在工业紧跟着科技的脚步不断前进，越来越多在线称重装置、自动称重装置逐渐成为主流，而传统的JJG539-2016《数字指示秤检定规程》及各种自动衡器检定规程已经无法满足现在各类新型称重方式的校准需求，需要根据新型电子衡器特有的称重方式及特征寻找新的校准方法，以保证电子衡器能满足生产要求，确保其在使用中准确可靠。

参考文献

- [1] GB/T7723-2008《固定式电子衡器》.
- [2] JJG539-2016《数字指示秤检定规程》.

[3] JJG564-2019《重力式自动装料衡器》.

[4] JJG658-2022《烘干法水分测定仪》.

作者简介

王赞，本科学历，电气工程及其自动化专业，现供职于苏州市计量测试院有限公司，研究方向：衡器计量检测及研究。