

智能配平仪校准方法的研究

□杨小红¹ 肖湘辉¹ 喻准² 承继³

(1. 衡阳市的计量测试中心, 湖南衡阳, 421001; 2. 湖南省计量检测研究院, 湖南长沙, 410018; 3. 湖南赫西仪器装备有限公司, 湖南长沙, 420217)

【摘要】为保证智能配平仪检测数据的准确性和可靠性, 本研究深入探讨了其计量特性、环境因素的影响、标准设备的应用以及校准技术。在此基础上, 建立了一种新的校准方法和实时动态平衡监测技术相结合, 旨在满足复杂应用场景下智能配平仪的高精度校准需求, 增强该仪器的工作效能及其稳定性。

【关键词】智能配平仪; 校准方法; 研究; 准确性; 可靠性

文献标识码: A

文章编号: 1003-1870 (2025) 07-0023-06

Research on Calibration Method of Intelligent Balancing Instrument

【Abstract】In order to ensure the accuracy and reliability of the detection data of the intelligent balancing instrument, this study deeply explored its metrological characteristics, the influence of environmental factors, the application of standard equipment and calibration technology. On this basis, a new calibration method combined with real-time dynamic balance monitoring technology is established, aiming to meet the high-precision calibration requirements of the intelligent balancing instrument in complex application scenarios and enhance the working efficiency and stability of the instrument.

【Keywords】intelligent balancing instrument; calibration method; research; accuracy; reliability

引言

自动配平仪采用电脑控制、配备两个或两个以上称重传感器, 既可配平, 又可称重。用于血液离心前的批量配平, 替代传统电子天平, 满足离心机的平衡要求, 提高血液分离的质量, 大大降低工作强度, 提高工作效率, 目前广泛应用于各级血站、医院、科研院所、实验室离心前的配平使用的计量器具。

^[1]当前智能配平仪校准面临诸多挑战, 主要体现在以下三个方面: 一是校准效率低, 传统校准方法耗时较长, 无法满足现代医疗和科研快速发展的需求; 二是人为误差大, 校准过程中人为操作因素导致结果偏差较大; 三是缺乏专用规范, 现有的校准标准无法完全适用于智能配平仪的特殊功能和高精度要

求。据《中国医疗器械蓝皮书(2024)》数据显示, 当前国内智能配平仪市场规模正以每年12%的速度增长, 预计在2025年份将达到150亿元人民币。然而, 智能配平仪年故障率比3%, 其中因校准偏差导致的故障占比高达10%, 严重影响了其在医疗、科研等关键领域的安全稳定运行。国际上现行的称重设备检测规范如OIML R76, EN45501等, 在面对智能配平仪复杂的功能和满足离心机平衡要求时, 存在诸多局限性。例如, 未能充分考虑智能配平仪在多称重单元协同工作以及快速动态配平过程中的特殊校准需求。

本研究旨在设计并优化智能配平仪的校准方法, 通过深入探讨其计量性能、环境因素的影响、标准设备的应用以及具体的校准技术, 构建一套标

准化的校准体系，从而提升该仪器的使用效率与可靠性。在开展这项研究时，将严格遵循当前适用的国际及国家标准、国家规范以及产品说明书中的技术指导信息。本文将全面分析智能配平仪校准流程的关键环节，涵盖校准步骤、所需满足的技术指标、适宜的校准环境、校准工具的选择依据以及如何正确记录和解释校准结果等，旨在为智能配平仪的日常管理和定期维护提供坚实的理论基础和实用指南。鉴于此，为了保障智能配平仪在实际操作中保持准确度和可靠性，对其进行校正显得尤为重要。这样做不仅有助于快速识别出可能存在的偏差或配平点，还能及时采取相应措施加以修正。维持设备的良好运行状态对于提高生产过程中的质量控

制水平和工作效率具有重要意义。

1 概述

^[10] 智能配平仪是一种精密仪器，主要由称重传感器、多个承载器、显示仪表等组成如图1所示，它通常配备有两至六个用于执行称重测量单元，实现对被测样品的快速、准确测量和配平。智能配平仪在使用过程中，根据事先写入中央处理器内的算法，当多袋血液质量值相差符合设定配平标准时，中央处理器输出配对信号，并由与控制电路板相连接的显示器或者扬声器输出，从而提高工作效率并有效地降低工作强度。

按称重单元（或秤盘）数量的不同分为：双盘智能配平仪；四盘智能配平仪；六盘智能配平仪等。



图1 智能配平仪

2 研究方法

2.1 实验设计

^[2] 实验设计覆盖了示值误差、偏载误差、重复性等关键指标，符合计量学规范。实验过程中，对环境条件进行了严格监控。环境温度保持在 $20 \pm 5^\circ \text{C}$ ；相对湿度维持在 $\leq 85\%$ ，通过专业的电磁干扰监测设备，确保实验场地的电磁干扰强度低于100 微特斯拉。在每次实验前，均记录环境参数，以保证实验结果的可验证性。

2.2 标准设备选择

标准设备选择合理，数据可信度高。^[8] 如： F_1 等级砝码，准确度等级I 级、 $d=0.1\text{mg}$ 的电子天平，分度值为 0.01s 的电子秒表。

2.3 对比实验

^[5] 为验证智能配平仪的特殊性需求，进行了与传统电子天平的对比校准实验。使用相同的 F_1 等级砝码标准设备，对智能配平仪和传统电子天平进行校

准，并详细记录和分析校准结果。实验结果表明，在处理复杂的多秤盘配平任务时，智能配平仪在示值误差、偏载误差等关键指标上与传统电子天平存在显著差异，进一步凸显了为智能配平仪制定专属校准方法的必要性。

3 校准方法

^[3] 在深入研究智能配平仪计量特性的基础上，提出以下校准方法：

3.1 外观及初步检查

^[6] 在开始正式校准之前，首先需要对设备进行外观上的初步检查，以确认其外壳完整无损、所有按钮功能正常且显示屏清晰准确。此外，还需仔细核查仪器的各种接口连接是否牢固可靠，并验证电源状态是否良好。

3.2 示值误差试验

^[4] 试验时，载荷应从零载荷开始，逐渐往上加载，直到配平仪的最大称量为止，然后逐渐地卸下

载荷，直到零载荷为止。试验载荷点必须包括下述载荷：

- (1) 空载；
- (2) 最小称量；
- (3) 二分之一最大称量；
- (4) 最大称量。

无论加载或卸载，试验点不应小于5点。

示值误差的计算公式

对于每一个试验载荷，示值误差（ E ）计算公式如下：

$$E = I - m_{\text{ref}} \quad (1)$$

式中： E ——最大允许误差；

I ——配平仪显示值；

m_{ref} ——试验载荷的约定质量或者标称质量。

示值误差取各秤盘中误差最大值，并注明哪一个秤盘。

3.3 重复性试验

^[6] 在重复性条件下，以实际一致的方法将同一载荷多次地放置在承载器上，天平提供相互一致结果的能力。

(1) 试验中所使用的负载应为配平仪最大称量的80%至100%之间的单个砝码，且该实验至少需要重复进行6次；

(2) 试验中，加载前每次应置零；

(3) 重复性的计算公式如下：

$$E_s = E_{\text{max}} - E_{\text{min}} \quad (2)$$

式中： E_s ——重复性误差；

E_{max} ——加载时平配仪示值误差的最大值；

E_{min} ——加载时平配仪示值误差的最小值；

$E_s \leq |\text{MPE}|$ ，取各秤盘中误差最大值。

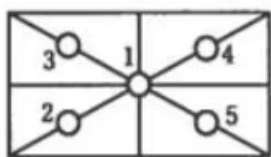
3.4 偏载误差试验

^[6] 同一载荷在不同位置的示值误差，用不同位置的示值与中间位置示值的最大差值表示。

(1) 试验载荷相当于配平仪1/3量程的砝码。

^[6] 建议选用数量较少的砝码，如果单个砝码不足以达到所需重量，则允许将砝码叠加使用。当加载单个砝码时，应将其放在中心位置；若需多个砝码共同作用，则这些砝码应当均匀分布在整個测量区域内。

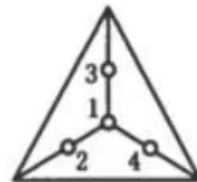
(2) ^[4] 测量包括将试验载荷放在秤盘的不同位置，放置方式需确保施加的载荷重心在图2中所示的位置或尽可能接近的同等位置。根据秤盘的形状不同，测量点数量及位置可以发生变化。除中心点外的其它测量点的位置按照图2所示，为中心点到秤盘边缘距离的1/2处。



(a)



(b)



(c)

图2 载荷位置

(3) 载荷在秤盘不同位置结果

^[6] 根据不同载荷位置中获得的示值来计算载荷在不同位置的误差。

$$\Delta I_{\text{ecc}i} = I_{Li} - I_{L1} \quad (3)$$

式中： $\Delta I_{\text{ecc}i}$ ——载荷在不同位置的误差；

I_{Li} ——第 i 个位置的显示值；（ $i=2, 3, 4, 5$ ）

I_{L1} ——中心位置示值。

(4) $\Delta I_{\text{ecc}i} \leq |\text{MPE}|$ ，取各秤盘中误差最大值。

3.5 配平准确度试验

^[6] 用标准砝码操作配平过程，试验载荷相当于配平仪1/3量程的砝码，优选个数较少的砝码，如果不是单个砝码，允许砝码叠放使用。单个砝码应放置在测量区域的中心位置，若使用多个砝码，应均匀分布在测量区域内。标准砝码可随意选择放在某一个秤盘，按下“比较”或“配平”键，当显示器提示达到平衡状态时，配平准确度误差 $E_p \leq 4g$ ，用如下

公式计算:

$$E_p = |E_{\max}| - |E_{\min}| \quad (4)$$

式中: E_p ——配平准确度误差;

$E_{\max}$ ——各秤盘中示值误差最大值;

$E_{\min}$ ——各秤盘中示值误差最小值。

3.6 配平时间试验

^[6] 用配套砝码操作配平过程, 试验载荷相当于配平仪1/3 量程的砝码, 优选个数较少的砝码, 如果不是单个砝码, 允许砝码叠放使用。单个砝码应放置在测量区域的中心位置, 若使用多个砝码, 应均匀分布在测量区域内。按下“比较”或“配平”键的同时, 用秒表测试配平时间, 当显示器提示达到平衡状态时, 按停秒表。配平时间 $s \leq 3s$ 。

3.7 ^[8] 专用配重砝码的校准

采用准确度等级I 级、 $d=0.1mg$ 、且已检定合格的电子天平, 对配套的砝码进行称重, 并记录其显示数值。之后, 用如下公式来计算专用配重砝码存在的误差值。

$$\Delta E = \frac{I-L}{L} \times 100\% \quad (5)$$

式中: ΔE ——配套砝码的示值误差;

I ——电子天平的显示值;

L ——配套砝码的标称值。

4 实验数据验证

^[5] 基于上述提出的校准方法, 为了验证其准确性和可靠性, 选取市场上广泛使用的ES5000 系列智能配平仪基本信息如表1 作为实验对象, 最大称量为5100g。采用的标准器信息如表2。进行了一系列实验数据验证。实验结果如表3 显示, 采用本校准方法后, 智能配平仪在示值误差、偏载误差、重复性等关键指标上均满足相关技术要求, 证明了该校准方法的有效性和实用性。

表1 智能配平仪基本信息

被校设备名称	智能配平仪
型号/ 规格	ES5000-6/1g ~ 5100g
制造单位	湖南赫西仪器装备有限公司
出厂编号	ES5-622030484

表2 标准器信息

标准器名称	标准器编号	测量范围	准确度等级或最大允许误差	证书编号	有效期
砝码	433	1g ~ 500g	F ₁ 等级	2024012905401010	2026-01-25
砝码	833	1kg ~ 10kg	F ₁ 等级	2024012905401009	2026-01-25
电子天平	B034062524	0.1mg ~ 220g	①级	821035403	2026-03-24
电子秒表	5S004	(0 ~ 1)h	0.01s	2025010806561001	2026-01-07

表3 实验结果

示值误差	测量点(g)	载荷(g)	示值(g)	示值误差(g)	测量不确定度U(k=2)		
	0	0	0	0	1.1		
	10	10	10	0	1.1		
	100	100	100	0	1.1		
	1000	1000	1000	0	1.2		
	2500	2500	2500	0	1.4		
	5000	5000	5000	0	1.9		
重复性(试验载荷5000g)							
序号	1	2	3	4	5	6	Es
示值(g)	5000	5000	5000	4999	5000	5000	1
偏载试验(试验载荷2000g)							
位置	中间	左下	左上	右上	右下	△Iecci	
示值(g)	2000	2000	2000	2000	1999	-1	
秤盘2:							
示值误差	测量点(g)	载荷(g)	示值(g)	示值误差(g)	测量不确定度(k=2)		

续表

	0	0	0	0	1.1		
	10	10	10	0	1.1		
	100	100	100	0	1.1		
	1000	1000	999	-1	1.2		
	2500	2500	2500	0	1.4		
	5000	5000	5000	0	1.9		
重复性(试验载荷5000g)							
序号	1	2	3	4	5	6	E_s
示值(g)	5000	5000	5000	5000	5000	5000	0
偏载试验(试验载荷2000g)							
位置	中间	左下	左上	右上	右下	ΔI_{ecci}	
示值(g)	2000	2000	2000	1999	2000	-1	
秤盘3:							
示值误差	测量点(g)	载荷(g)	示值(g)	示值误差(g)	测量不确定度($k=2$)		
	0	0	0	0	1.1		
	10	10	10	0	1.1		
	100	100	100	0	1.1		
	1000	1000	1000	0	1.2		
	2500	2500	2500	0	1.4		
	5000	5000	5000	0	1.9		
重复性(试验载荷5000g)							
序号	1	2	3	4	5	6	E_s
示值(g)	5000	5000	5000	5000	5000	5000	0
偏载试验(试验载荷2000g)							
位置	中间	左下	左上	右上	右下	ΔI_{ecci}	
示值(g)	2000	2000	2000	2000	2000	0	
秤盘4:							
示值误差	测量点(g)	载荷(g)	示值(g)	示值误差(g)	测量不确定度($k=2$)		
	0	0	0	0	1.1		
	10	10	10	0	1.1		
	100	100	100	0	1.1		
	1000	1000	1000	0	1.2		
	2500	2500	2500	0	1.4		
	5000	5000	5000	0	1.9		
重复性(试验载荷5000g)							
序号	1	2	3	4	5	6	E_s
示值(g)	5000	5000	5000	4999	5000	5000	1
偏载试验(试验载荷2000g)							
位置	中间	左下	左上	右上	右下	ΔI_{ecci}	
示值(g)	2000	2000	2000	2000	2000	0	
秤盘5:							
示值误差	测量点(g)	载荷(g)	示值(g)	示值误差(g)	测量不确定度($k=2$)		
	0	0	0	0	1.1		
	10	10	10	0	1.1		
	100	100	100	0	1.1		

续表

	1000	1000	1000	0	1.2		
	2500	2500	2499	-1	1.4		
	5000	5000	5000	0	1.9		
重复性(试验载荷5000g)							
序号	1	2	3	4	5	6	E_s
示值(g)	4999	5000	5000	5000	5000	5000	1
偏载试验(试验载荷2000g)							
位置	中间	左下	左上	右上	右下	ΔI_{ecci}	
示值(g)	1999	2000	2000	2000	2000	1	
秤盘6:							
示值误差	测量点(g)	载荷(g)	示值(g)	示值误差(g)	测量不确定度($k=2$)		
	0	0	0	0	1.1		
	10	10	10	0	1.1		
	100	100	100	0	1.1		
	1000	1000	999	-1	1.2		
	2500	2500	2500	0	1.4		
	5000	5000	5000	0	1.9		
重复性(试验载荷5000g)							
序号	1	2	3	4	5	6	E_s
示值(g)	5000	5000	5000	5000	5000	5000	0
偏载试验(试验载荷2000g)							
位置	中间	左下	左上	右上	右下	ΔI_{ecci}	
示值(g)	2000	2000	2000	2000	2000	0	
专用配重砝码校准:							
标称质量(g)	称重质量(g)	误差(%)	标称质量(g)	称重质量(g)	误差(%)		
2	2.02	+1.0	4	4.04	+1.0		
2	2.02	+1.0	5	5.96	-0.8		
3	2.97	-1.0	10	9.96	-0.4		
3	3.01	0.0	20	19.95	-0.2		
4	4.03	+0.8	/	/	/		
配平准确度试验:							
E_{max}	E_{maxl}		E_{min}	E_{minl}	E_p		
-2g	-2g		0g	0g	2g		
配平时间试验: 1s							
校准结果							
校准项目		校准结果			最大允许误差		
测量范围		(0 ~ 5000)g					
实际分度值		1g					
偏载误差		-1e			$\leq 1.5e$		
重复性		1e			$\leq 1.5e$		
示值误差		-1e			$\leq 1.5e$		
专用配重砝码误差		+1.0%			$\pm 3\%$		
配平准确度试验		2g			$\leq 4g$		
配平时间试验		1s			$\leq 3s$		

注: e为智能配平仪的检定分度值。

注: e为智能配平仪的检定分度值。

5 论证分析

本研究中，误差主要来源于传感器线性度、环境扰动以及砝码自身的误差等因素。针对传感器线性度问题，可以通过更先进的校准算法进行补偿；对于环境扰动，未来研究可考虑设计更严格的环境控制方案。此外，进一步优化砝码误差评估方法，提高校准的精度和可靠性，将是后续研究的重要方向。

6 创新性

本研究具有以下创新性，首次将动态配平时间（ $\leq 3s$ ）纳入校准指标体系，填补了该领域在动态性能校准方面的空白。二是开发多个称重单元协同误差分析方法，显著提高了智能配平仪多个称重单元工作时的精度和效率。三是研究中使用的湖南赫西仪器装备有限公司的控制电路，拥有独特的专利技术，能够在智能配平仪校准过程中实现更精准、稳定的控制，为所提出的校准方法提供了有力的技术支持。

7 结论

本研究通过对智能配平仪计量特性、环境因素、标准设备及校准技术的深入研究，建立了一套完整且有效的校准体系。该体系不仅解决了当前智能配平仪校准中存在的效率低、人为误差大、缺乏专用规范等问题，还通过引入创新的校准指标和方

法，提高了智能配平仪的校准精度和稳定性。后续研究将进一步优化校准方法，探索更多提高智能配平仪性能的途径，为其在医疗、科研等领域的广泛应用提供更坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 国际法制计量组织(OIML) 国际建议 R76《非自动衡器》.
- [2] JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》.
- [3] JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》.
- [4] JJG815-2018《电子采血秤》检定规程.
- [5] JJF 1847-2020《电子天平》校准规范.
- [6] JJG 1036-2022《电子天平》检定规程.
- [7] GB/T 26497-2022《电子天平》国家标准.
- [8] JJG99-2022《砝码》检定规程.
- [9] JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》.
- [10] 张进、丁慧任、霄惠《智能化自动配平仪在血液离心配平工作中的应用》中国输血杂志卷29期4.

作者简介

杨小红（1972—），女，汉族，湖南邵阳人，工程师。主要研究方向：计量检测技术及仪器仪表。