

天平检定中误差原因和控制

郑高峰

高平市综合检验检测中心 山西 晋城 048000

摘要：天平作为计量领域核心器具，其检定精度直接影响科研、生产、贸易等领域的计量准确性。本文基于JJG 1036-2022及OIML R111-1:2024标准，分析天平检定中设备自身、环境、人为操作及标准器具四大类误差成因，明确各因素对检定结果的影响机制，针对性提出设备维护、环境管控、操作规范、砝码管理等控制措施，为提升天平检定精度、保障计量结果可靠提供理论支撑与实操参考，助力天平检定工作规范化开展。

关键词：天平检定；误差原因；控制

引言：随着科技发展与计量要求提升，天平广泛应用于实验室分析、高端科研、工业生产等诸多场景，其称量准确性是计量工作的核心前提。天平检定作为保障天平性能的关键环节，受多种因素影响易产生误差，导致检定结果失真，进而影响后续工作的可靠性。基于此，本文系统分析天平检定中的误差来源，探索科学有效的误差控制方法，对规范检定流程、提升计量精度、推动计量工作高质量发展具有重要现实意义。

1 天平检定相关基础理论

1.1 天平的基本原理与分类

(1) 基本原理：天平检定核心基于电磁力平衡原理，其核心部件包括传感器、线圈、磁钢等。工作时，传感器感知物体质量信号并转化为电信号，线圈在磁钢产生的磁场中受到电磁力，通过调节电流使电磁力与物体重力平衡，进而通过电流大小换算出物体质量，实现天平的平衡状态与精准称重。(2) 主要分类：按精度等级可分为四类，普通天平适用于日常粗略称重，精密天平用于实验室常规分析，微量天平精度达毫克级，适用于微量样品检测，超微量天平精度达微克级，用于高端科研领域；按结构类型分为电子天平和机械天平，电子天平操作便捷、精度高，广泛应用于各类场景，机械天平依靠杠杆原理，多用于传统计量或教学场景^[1]。

1.2 天平检定的核心标准与要求

(1) 核心检定标准：国内遵循JJG 1036-2022《电子天平检定规程》，明确天平检定的流程、方法及合格判定依据；国际遵循OIML R111-1:2024标准，重点规范天平的精度、稳定性等核心指标，确保计量结果的国际一致性。(2) 检定核心要求：准确度等级需符合对应标准分级，最大允许误差、重复性误差、偏载误差（四角误差）需控制在规定范围，其中偏载误差需检测天平四个支撑角的示值差异；检定环境需满足温度、湿度、振动

等要求，避免环境因素影响检定精度。

1.3 天平检定的核心流程与关键环节

(1) 检定前准备：需检查天平外观、零部件完整性，调试环境至规定范围，对所用砝码进行校准确保精度，同时对天平进行充分预热，保障设备处于稳定工作状态。(2) 核心检定环节：依次进行外观检查，确认无破损、异常；示值误差检定，对比标准砝码与天平示值差异；重复性检定，多次测量同一物体验证稳定性；偏载误差检定，检测四角示值一致性；动态误差检定，验证天平加载、卸载时的示值稳定性。(3) 检定后处理：规范记录所有检定数据，根据误差范围判定天平合格与否，及时反馈检定结果，对合格设备出具检定证书，不合格设备提出整改建议并重新检定。

2 天平检定中误差产生的原因分析

2.1 设备自身因素导致的误差

(1) 天平硬件性能缺陷：核心部件性能不足易引发误差，如电磁力平衡传感器存在线性误差，会导致不同量程下示值偏差不一致；应变片传感器稳定性欠缺，长期使用后会出现示值漂移；秤盘结构不合理、重心偏移，会加剧偏载误差；防风罩密封性差，易引入气流干扰，影响天平平衡稳定性，进而产生检定误差。(2) 天平校准与维护缺失：未严格遵循校准规范，每日内校和每年外校未按时执行，导致天平示值基准偏移；传感器老化、零部件松动未及时检修，会降低设备灵敏度；日常清洁不到位，秤盘、传感器表面附着灰尘、杂质，会增加额外负载，影响检定结果准确性。(3) 电子系统故障：电子电路及软件问题会直接导致误差，如滤波算法存在缺陷，无法有效过滤外界干扰信号；温度补偿功能失效，不能抵消环境温度变化对电子元件的影响；电源电压波动会破坏电子电路稳定性，导致信号传输异常；软件系统漏洞会造成数据处理、换算偏差，影响检定数

据的可靠性^[2]。

2.2 环境因素导致的误差

(1) 温湿度影响: 实验室温湿度偏离标准范围是常见误差来源, 温度超出 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度超出45-60%, 会改变天平零部件的物理特性, 影响传感器灵敏度; 样品与环境温差过大时, 会产生浮力效应, 导致秤盘示值出现偏差, 且温差越大, 误差越明显。(2) 振动与气流干扰: 外界振动(频率0.5-50Hz)会破坏天平的平衡状态, 导致示值波动, 尤其是精密、微量天平对振动更为敏感; 气流流速超过0.2m/s时, 会对秤盘产生冲击力, 引发示值漂移, 若防风罩防护不足, 会进一步加剧气流干扰的影响。(3) 其他环境干扰: 静电作用会使样品或称量容器吸附空气中的杂质, 增加额外质量, 导致检定误差; 外界电磁干扰会干扰电子天平的电子系统运行, 影响信号处理精度; 腐蚀性气体会损坏天平零部件, 降低设备性能, 长期暴露会导致误差逐渐增大。

2.3 人为操作因素导致的误差

(1) 操作不规范: 未采用中心称量法, 将样品放置在秤盘边缘, 会引发偏载误差; 拿取、放置砝码时未使用专用工具, 导致砝码污染、磕碰, 改变砝码实际质量; 操作过程中触碰天平秤盘、防风罩, 会破坏天平平衡, 影响示值稳定性。(2) 检定人员专业素养不足: 部分检定人员对JJG 1036-2022等核心检定标准、操作流程不熟悉, 易出现操作步骤遗漏、顺序错误; 数据读取时视线偏移、记录失误, 会直接导致检定数据失真; 未准确判断示值稳定状态, 提前读数会造成示值偏差。(3) 样品与容器处理不当: 样品未在实验室环境中预平衡, 与环境温差过大引发浮力误差; 选择的称量容器表面积与体积比超标, 易吸附杂质、产生静电; 容器未进行静电消除处理, 会因静电作用影响称量精度, 进而导致检定误差^[3]。

2.4 标准器具因素导致的误差

(1) 砝码质量偏差: 标准砝码未按规定定期检定, 长期使用后质量超出最大允许误差; 砝码磁化率不符合要求(大于0.001), 会受电磁力影响, 导致实际质量与标称质量偏差, 进而影响天平检定的基准准确性。(2) 砝码使用不当: 砝码长期使用出现磨损、锈蚀, 会减少实际质量; 未按规定存放在干燥、清洁的专用容器中, 导致砝码污染、受潮, 改变其质量; 选用的砝码与天平量程不匹配, 会因量程适配性差, 加剧示值误差, 影响检定结果。

3 天平检定中误差的控制措施

3.1 设备自身误差的控制措施

(1) 优化设备选型与维护: 在天平选型阶段, 优先选用线性误差小、温度系数符合检定标准的核心传感器, 确保传感器在不同量程和环境温度下均能保持稳定性能; 日常定期检查秤盘平整度、重心位置及防风罩密封性能, 及时更换破损的密封胶条、松动的零部件, 避免因部件异常引发误差; 建立完善的日常维护台账, 详细记录设备检查时间、维护内容、部件更换情况及运行状态, 实现设备维护的规范化、可追溯, 从源头减少设备自身缺陷带来的误差。(2) 规范校准流程: 严格执行天平校准规范, 每日首次使用天平前, 必须启动内置E2级标准砝码完成内校操作, 校准后核对示值偏差, 确保天平初始状态精准; 每年委托具备资质的计量检定部门, 采用F1级标准砝码进行外校, 全面检测天平的示值误差、重复性误差等核心指标, 出具校准报告, 对校准中发现的偏差及时调整; 针对传感器老化、电子元件故障等问题, 建立快速维修机制, 及时更换老化部件、修复故障, 避免因设备失准导致检定误差扩大。(3) 优化电子系统性能: 采用移动平均滤波与卡尔曼滤波相结合的算法, 有效过滤外界干扰信号, 提升电子系统的信号处理精度, 减少示值波动; 完善温度补偿功能, 通过内置高精度温度传感器实时采集环境温度, 自动调整电子元件参数, 抵消温度变化对电子系统的影响; 为天平配备专用稳压器, 确保电源电压稳定在额定范围, 避免电压波动破坏电子电路稳定性; 定期更新天平软件系统, 修复软件漏洞, 优化数据处理与换算逻辑, 保障检定数据的准确性和可靠性^[4]。

3.2 环境因素误差的控制措施

(1) 温湿度精准控制: 在天平检定实验室配备恒温恒湿箱和高精度温湿度传感器, 将实验室温度严格控制在 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度控制在45-60%的标准范围; 温湿度传感器实时采集环境数据, 同步传输至控制系统, 当温湿度偏离标准值时, 恒温恒湿箱自动启动调节功能, 确保环境温湿度的稳定性; 检定前启动恒温恒湿设备, 待环境参数稳定后再开展检定工作, 同时避免在温湿度剧烈变化时段进行检定, 减少温湿度差异带来的浮力效应误差。(2) 振动与气流抑制: 选用大理石实验台搭配气垫减震系统, 利用大理石的稳定性和气垫的缓冲作用, 有效吸收外界振动(尤其是0.5-50Hz的干扰振动), 减少振动对天平平衡状态的影响; 为天平配置双层密封防风罩, 增强防风性能, 严格控制实验室空气流速 $\leq 0.2\text{m/s}$, 避免气流对秤盘产生冲击力; 将天平放置在远离振动源和气流源的位置, 进一步降低振动与气流的干扰, 保障天平示值稳定^[5]。(3) 其他环境干扰防

控：针对静电干扰，采用离子风枪对样品、称量容器进行静电消除处理，同时选用表面带有导电涂层的容器，减少静电吸附杂质的现象；将天平远离电磁干扰源，避免电磁信号干扰电子系统的正常运行；保持实验室清洁卫生，定期通风换气，避免灰尘、腐蚀性气体堆积，定期清洁天平表面及实验室环境，防止腐蚀性气体损坏天平零部件，从多方面防控环境干扰引发的检定误差。

3.3 人为操作误差的控制措施

(1) 规范操作流程：严格执行中心称量法，在秤盘上放置定位模板，确保每次样品和砝码都放置在秤盘中心位置，避免因放置偏差产生偏载误差；拿取砝码时必须使用专用镊子，禁止用手直接接触，防止手上的汗液、灰尘污染砝码，放置砝码时轻拿轻放，避免磕碰导致砝码质量变化；定期清洁砝码和秤盘，去除表面杂质，确保称量基准精准，同时规范操作步骤，避免触碰秤盘、防风罩等部件，防止破坏天平平衡状态。(2) 提升人员专业素养：定期组织检定人员开展培训，重点讲解JJG 1036-2022等核心检定标准、天平操作流程及误差控制要点，邀请专业技术人员进行现场指导；建立上岗考核机制，检定人员需通过理论考试和实操考核，合格后方可开展检定工作；定期开展技能提升培训和工作复盘，总结检定过程中的常见问题及改进方法，提升检定人员的操作熟练度和专业判断力，减少因操作不熟练、判断失误带来的误差。(3) 规范样品与容器处理：检定前将样品放置在实验室环境中进行预平衡，确保样品与环境温差 $\leq 0.5^{\circ}\text{C}$ ，消除温差带来的浮力误差；优先选用铝制或聚四氟乙烯材质的称量容器，此类容器表面积与体积比合理，不易吸附杂质和产生静电，且化学性质稳定，避免容器自身因素影响检定结果；使用容器前，采用离子风枪进行静电消除处理，同时清洁容器表面，去除残留杂质，确保样品称量的准确性。

3.4 标准器具误差的控制措施

(1) 规范砝码管理：选用符合国家计量标准和OIML R111-1:2024国际标准的E2级、F1级标准砝码，确保

砝码的质量精度、磁化率等指标符合要求（磁化率 ≤ 0.001 ）；建立砝码管理台账，定期将砝码送法定计量部门进行检定，检定周期严格遵循相关标准，对检定不合格的砝码及时更换，禁止使用超期未检、磨损、锈蚀的砝码；将砝码存放在干燥、清洁、恒温的专用容器中，避免砝码受潮、污染、磨损和锈蚀，定期对砝码进行清洁、维护，确保砝码质量稳定。(2) 合理选用砝码：根据天平的量程、准确度等级，选择质量匹配的砝码，避免砝码质量超出天平最大允许误差的1/3，确保砝码与天平的适配性；在检定过程中，根据称量范围合理组合砝码，优先选用接近称量值的砝码，减少砝码组合带来的累积误差；使用砝码前检查砝码的外观状态，确认无磨损、锈蚀和污染后再使用，避免因砝码选用不当导致检定误差增大，确保检定结果的准确性和可靠性。

结束语

天平检定的误差控制是一项系统性工作，需兼顾设备、环境、人员、标准器具等多方面因素，缺一不可。本文梳理的误差成因与控制措施，贴合实际检定场景，可有效指导实操工作，减少各类误差对检定结果的影响。未来需持续优化检定流程、提升人员专业素养、完善设备维护体系，严格遵循相关检定标准，不断提升天平检定精度，为各领域计量工作的精准开展提供坚实保障，推动计量事业持续进步。

参考文献

- [1]姚彬,杨颖.砝码计量检定误差的控制对策[J].品牌与标准化,2022,13(4):122-124.
- [2]柴小丽,徐晓晖.对计量检定中天平砝码检定误差原因与控制的思考[J].装备维修技术,2021,9(3):17-21.
- [3]邵菲.对计量检定中天平砝码检定误差原因与控制的思考[J].技术与市场,2023,25(12):172-176.
- [4]李建中.金属材料密度对天平砝码的检定误差与改进方法研究[J].中国金属通报,2024,8(11):187-189.
- [5]黄晓楠.计量检定中天平砝码检定误差原因与控制[J].城市建设理论研究,2023,20(23):94-97.