

浅析力学计量管理与计量标准装置现状及发展

吕怡伟¹ 王振¹ 蔡高键¹ 于修源² 吕华东²

1. 淄博市检验检测计量研究总院 山东 淄博 255000

2. 东岳氟硅科技集团有限公司 山东 淄博 255000

摘要: 力学计量管理与计量标准装置是保障现代工业生产和科学研究准确性、可靠性的关键基础。当前, 计量标准装置呈现多样化发展态势, 管理水平随技术进步逐步提升, 技术创新持续推动行业变革。未来, 智能化、自动化成为主要发展方向, 高精度、高可靠性需求促使技术不断突破, 量限拓展与多功能集成增强实用性, 与新兴技术的融合将开辟更多应用场景, 为各领域发展提供有力支撑。

关键词: 力学计量管理; 计量标准装置; 现状; 发展

引言

在现代工业与科研领域, 力学计量的精准性直接影响产品质量、工程安全及科研成果可靠性。力学计量管理通过科学规范的制度与流程, 保障计量活动有序开展; 计量标准装置则是实现精准测量的核心载体。随着科技快速发展, 各行业对力学计量的要求不断提高。本文深入剖析力学计量管理与计量标准装置的现状, 探讨其未来发展趋势, 旨在为行业发展提供理论参考与实践指导。

1 力学计量管理与计量标准装置概述

1.1 力学计量管理

力学计量作为现代计量学重要分支, 专注于力、质量、压力、扭矩等力学量的测量与研究, 在工业制造、科学研究、航空航天等多领域发挥关键支撑作用。力学计量管理通过系统性技术手段和实践活动, 确保测量结果的准确性、可靠性与一致性。在实际操作中, 需对测量仪器进行全生命周期管控, 从采购环节严格筛选具备高精度、高稳定性的仪器, 到使用过程中依据测量环境和对象特性合理调整参数, 保障仪器性能稳定。测量过程控制同样不容忽视, 要求操作人员遵循标准化流程, 利用误差分析与数据处理方法, 对测量结果进行科学评估, 识别并修正随机误差与系统误差, 减少外界因素干扰。定期开展实验室间比对和能力验证活动, 可通过与行业内其他专业机构测量结果对比, 客观评价自身计量水平, 及时发现潜在问题并改进, 从而持续提升力学计量管理质量, 为各领域力学量测量提供坚实保障。

1.2 计量标准装置

计量标准装置是实现量值传递与溯源的核心载体, 其通过将国家基准所复现的计量单位量值, 经各级计量标准传递到工作计量器具, 确保全国范围内量值统一。

该装置由测量仪器、辅助设备及配套软件构成复杂系统, 各组件紧密配合实现精准测量。以压力计量标准装置为例, 精密压力传感器作为核心部件, 将压力信号转换为电信号, 经高精度数据采集模块处理后传输至分析软件, 软件依据内置算法计算压力值并与标准值比对。装置需具备良好的环境适应性和稳定性, 通过恒温、恒湿、隔振等技术手段, 减少环境因素对测量结果的影响。日常运行中, 定期校准和维护是维持装置性能的关键, 利用更高等级标准对装置进行校准, 更换老化部件, 优化软件算法, 确保其始终处于最佳工作状态, 使测量结果能够准确溯源至国家基准, 为工业生产、科学研究等提供可靠的计量数据支撑。

2 力学计量管理与计量标准装置现状分析

2.1 计量标准装置多样化发展

在力学计量范畴, 各类计量标准装置展现出丰富多样的发展态势, 以契合不同领域、不同精度要求的测量需求。杠杆式力标准机借助不等臂杠杆系统, 将砝码重力放大成标准力值施加于被检测力仪。其力值不确定度受重力与杠杆比测量精度左右, 装置性能则取决于刀刃、刀承构造以及杠杆组合与加工质量, 目前力值不确定度可达 1×10^{-4} 量级。静重式力基、标准机以已知砝码重力为标准力值, 采用直接加荷方式作用于测力仪, 其结构、砝码稳定性和加载方式决定测量性能, 测量不确定度能低至 1×10^{-5} , 在高精度测量场景中优势显著。液压式力基、标准机基于帕斯卡原理, 运用面积不等的缸塞副放大砝码重力, 具有较大放大比, 能提供从几百千牛到数十兆牛的不同量程, 常见如20MN、5MN等规格, 测量力值不确定度可达 1×10^{-4} , 在大力值测量领域应用广泛。叠加式力标准机采用相对比较测量法, 通过叠置标准测力仪与被检测力仪, 利用机械或液压方式加荷来确定被

检仪器计量特性，其力值不确定度由标准测力仪性能、串联安装情况及加荷结构性能决定，现有500kN和1MN量程的设备，力值不确定度处于 1×10^{-4} 水平。随着微纳米技术兴起，用于微纳米位移定位校准的双溯源链路计量标准装置应运而生，包含激光干涉法与光栅衍射干涉法校准装置，满足了微纳米定位校准的多样化应用需求，增强了溯源的全面性与可靠性^[1]。

2.2 计量管理水平逐步提升

随着力学计量工作不断深入开展，计量管理水平呈稳步提升态势。在日常运行管理方面，对计量标准装置建立了全面、系统的档案，涵盖装置采购、安装调试、使用维护、期间核查以及历次校准记录等详细信息，方便随时追溯装置全生命周期状态，为科学决策提供详实依据。例如，通过对大量历史校准数据的整理分析，能精准掌握装置性能变化趋势，提前预判潜在故障风险，合理安排维护与校准计划，保障装置稳定运行。在人员管理层面，注重培养计量人员专业素养与操作技能。定期组织内部培训与技术研讨，邀请行业专家讲学，分享最新技术动态与操作经验，促使计量人员及时更新知识体系，熟练掌握各类先进计量标准装置操作流程与数据处理方法。鼓励人员参与外部专业培训与资质考核，提升团队整体专业资质水平，确保在实际工作中能严谨、规范地开展计量操作，减少人为误差，提高测量数据准确性与可靠性。在数据管理环节，引入先进的信息化管理系统，实现测量数据自动采集、存储、传输与分析。该系统不仅大幅提高数据处理效率，还能对数据进行深度挖掘，通过统计分析手段评估测量过程稳定性、重复性与复现性等关键指标，及时发现测量过程中的异常波动，助力优化测量流程，提升整体计量管理水平。

2.3 技术创新推动发展

技术创新为力学计量管理与计量标准装置发展注入强劲动力。在材料科学领域，新型高强度、耐腐蚀材料的研发与应用，显著改善了计量标准装置的机械性能与使用寿命。例如，在大力值液压式力标准机中，采用高强度合金材料制造关键部件，有效提升设备承载能力，降低因长期重载导致的结构变形风险，保障力值输出稳定可靠。在传感器技术方面，不断涌现的高精度、高灵敏度传感器，极大提高了力学量测量精度与响应速度。如微机电系统（MEMS）传感器，凭借其体积小、功耗低、集成度高的优势，广泛应用于微小力值、加速度等参数测量场景，拓展了力学计量应用边界。自动化控制技术的融入，实现了计量标准装置操作智能化与测量过程自动化。以力标准机为例，借助自动化控制系统，可

精准控制加载速率、保持加载时间，自动完成力值施加、数据采集与处理等一系列操作，减少人为干预，提高测量结果一致性与准确性，同时大幅提升工作效率。人工智能与大数据技术在力学计量中的应用崭露头角。利用人工智能算法对海量测量数据进行深度分析，能够实现测量设备故障智能诊断、预测性维护，以及测量结果的智能评估与优化；大数据技术则有助于整合行业内分散的计量数据资源，通过数据挖掘与共享，为力学计量技术发展提供宏观决策支持，推动整个行业技术创新与进步^[2]。

3 力学计量管理与计量标准装置的发展趋势

3.1 智能化与自动化发展

（1）在当下科技迅猛发展的时代，智能化与自动化已成为力学计量管理与计量标准装置发展的关键趋势。以智能传感器为例，其能够依据外界环境变化，自动调整测量参数，实现对力学量的精准测量。在工业生产线上，智能压力传感器可实时监测管道内压力，一旦压力超出预设范围，能迅速发出警报并自动调节，极大提升了生产的安全性与稳定性。（2）自动化测量系统也在力学计量领域崭露头角。比如自动化的力值测量系统，通过计算机程序控制，可自动完成加载、测量、数据记录等一系列操作，不仅提高了测量效率，还降低了人为因素导致的误差。在材料力学性能测试中，自动化拉伸试验机能够按照设定的速率对材料进行拉伸，实时采集力与位移数据，生成精准的应力-应变曲线，为材料性能评估提供可靠依据。（3）智能化的数据分析与处理技术也得到广泛应用。借助人工智能算法，可对大量的力学计量数据进行深度挖掘，发现数据背后的规律与潜在问题。在计量器具的校准数据处理中，通过机器学习算法能够快速判断器具是否符合校准要求，预测其性能变化趋势，为及时维护与更新提供有力支撑，进一步推动力学计量管理与计量标准装置向智能化与自动化方向迈进。

3.2 高精度与高可靠性追求

（1）随着各行业对产品质量与性能要求的不断提高，对力学计量的高精度与高可靠性需求愈发迫切。在航空航天领域，飞行器的零部件制造对力学参数的精度要求极高。例如，发动机叶片的制造，其承受的力非常复杂，需要通过高精度的力学计量来确保叶片在高温、高压、高转速等极端条件下的可靠性，任何微小的误差都可能引发严重的安全事故。（2）在精密仪器制造中，同样需要高精度的力学计量标准装置。以原子力显微镜为例，其利用微小的力来探测样品表面的微观结构，这就要求力的测量精度达到皮牛级别。只有具备如此高精

度的计量装置,才能满足对微观世界精确测量的需求,推动纳米技术等前沿科学的发展。(3)为实现高精度与高可靠性,计量标准装置在硬件与软件方面都不断优化。在硬件上,采用更优质的材料与先进的制造工艺,减少装置本身的误差;在软件上,运用更精确的算法与数据处理技术,对测量数据进行修正与补偿。通过建立严格的质量控制体系,对计量过程进行全程监控,确保每一次测量结果都准确可靠,满足各行业日益增长的高精度与高可靠性需求^[3]。

3.3 量限拓展与多功能集成

(1)在实际应用中,不同场景对力学计量的量限要求差异巨大,这促使力学计量标准装置不断拓展量限。在大型建筑工程中,对建筑材料的抗压、抗拉强度测试需要大量程的力值测量装置。例如,对桥梁主缆的拉力测试,其力值可能达到数千吨,这就需要研发能够测量超大载荷的计量标准装置,以保障工程的安全性与稳定性。(2)在微观领域,如生物医学研究中,对细胞、生物分子间作用力的测量则需要极小量程的装置。比如测量DNA与蛋白质间单个生物分子的结合力,这种作用力极其微弱,量程可能精确到皮牛至纳牛级别,传统测量手段难以胜任。通过研发新的传感技术与测量原理,不断拓展力学计量装置的下限,满足微观世界研究的需求。(3)除了量限拓展,多功能集成也是发展趋势之一。如今的力学计量标准装置不再局限于单一力学量的测量,而是朝着能够同时测量多种力学量的方向发展。例如,一些先进的材料测试设备,既能测量材料的拉伸强度,又能测量其弯曲、剪切等力学性能,甚至还能同步测量材料在受力过程中的温度、电阻等物理量变化,为全面了解材料性能提供丰富的数据,提高了测量效率与综合分析能力。

3.4 与新兴技术融合发展

(1)新兴技术的蓬勃发展为力学计量管理与计量标准装置带来了新的机遇与变革,两者的融合成为必然趋势。以量子技术为例,量子传感器具有极高的灵敏度与稳定性,将其应用于力学计量领域,有望实现对力、加

速度等力学量的超高精度测量。在基础物理研究中,利用量子重力仪能够更精确地测量重力加速度,为研究地球重力场分布以及引力理论提供更精准的数据。(2)大数据与云计算技术也在力学计量中发挥着重要作用。通过收集海量的力学计量数据,并借助云计算强大的计算能力,可对数据进行深度分析与挖掘。在计量器具的校准管理中,利用大数据分析可以优化校准计划,预测器具的故障风险,实现智能化的计量管理。基于云计算平台,不同地区的计量机构可以实现数据共享与协同工作,提高整体的计量服务水平。(3)物联网技术使得力学计量装置能够实现互联互通。在工业互联网场景下,分布在不同生产环节的力学计量设备可以实时将测量数据上传至云端,生产管理人员可以通过终端设备随时随地获取数据,进行远程监控与管理。这不仅提高了生产过程的自动化与智能化水平,还为质量追溯与优化生产工艺提供了有力支持,推动力学计量管理与计量标准装置在新兴技术融合的道路上不断创新发展^[4]。

结语

综上所述,力学计量管理与计量标准装置在当前已取得显著发展成果,多样化的装置、提升的管理水平及技术创新,为各领域提供了重要保障。面对未来,智能化、自动化、高精度等发展趋势将进一步推动行业革新。通过不断深化技术创新、加强新兴技术融合,力学计量管理与计量标准装置将在更广泛领域发挥更大效能,为工业进步与科学研究筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]李时鑫.力学计量技术标准装置的现状及发展趋势[J].中国设备工程,2021(1):205-206.
- [2]张艳.力学计量技术标准装置的发展现状及发展趋势[J].中国科技投资,2020(17):175-176.
- [3]张保勇,梁勇.力学计量技术标准装置的应用现状及趋势分析[J].大众标准化,2022(13):185-187.
- [4]王玉良.力学计量技术标准装置的现状及发展趋势[J].百科论坛电子杂志,2021(2):1992-1993.