

现代计量技术中检定与校准过程自动化及其发展

王净宇

玉林市检验检测研究院 广西 玉林 537000

摘要: 现代计量技术中, 检定与校准过程自动化已成为提升效率与精度的关键。依托高精度传感器、模块化标准仪器及智能执行器, 结合大数据分析、AI算法与物联网技术, 实现从设备准备、数据采集到结果输出的全流程自动化。其发展正朝着技术融合、智能化升级及绿色计量方向迈进, 为工业制造、能源交通、科研医疗等领域提供精准、高效的计量保障。

关键词: 现代计量技术; 检定; 校准过程; 自动化; 发展

引言: 在科技飞速发展与产业升级浪潮下, 计量作为保障各领域精准运行的关键基石, 其重要性日益凸显。传统检定与校准方式依赖人工操作, 存在效率低、误差大等问题, 难以满足现代复杂、高精度计量需求。在此背景下, 自动化检定与校准技术应运而生, 它融合多种前沿科技, 实现全流程自动化, 正深刻改变计量模式, 成为推动各行业高质量发展的重要力量。

1 现代计量技术中自动化检定/校准的技术基础

1.1 核心技术与工具

(1) 硬件层: 作为自动化检定/校准的物理基础, 高精度传感器负责采集被检设备的关键参数, 保障数据采集的准确性与灵敏度; 模块化标准仪器以PXI总线设备为典型代表, 具备可扩展、易集成的优势, 能适配不同类型计量器具的检定需求; 智能执行器则实现检定流程的自动化操作, 如自动夹持、参数调节等, 大幅减少人工干预。(2) 软件层: 自动化校准软件依托SCPI协议实现与硬件设备的高效通信, 支撑检定流程的自动化编排与执行; 大数据分析平台对海量检定数据进行深度挖掘, 实现数据溯源、异常预警与趋势预判; AI算法库集成机器学习、深度学习等算法, 提升检定结果的智能化分析能力, 优化检定流程效率。(3) 网络层: 物联网技术构建起设备互联网络, 实现检定设备、被检器具及辅助设备的信息互通; 5G/6G技术凭借高带宽、低延迟的特性, 为远程实时监控提供稳定网络支撑, 打破地域限制, 助力远程检定与协同作业的实现^[1]。

1.2 系统架构设计

(1) 模块化架构: 采用模块化设计将系统拆解为传感器模块、控制模块、数据处理模块与人机交互模块。各模块独立运行, 便于维护、升级与替换; 同时通过标准化接口实现模块间的协同工作, 保障系统整体运行的稳定性与高效性, 可灵活适配不同计量场景的需求。(2) 分布

式控制: 融合DCS集散式系统与PCS现场总线技术, 构建分布式控制体系。现场总线实现各现场设备的分散控制与信息交互, DCS系统负责全局统筹管理, 既能精准把控局部检定流程, 又能实现整体协调, 有效适应复杂工业环境下多设备、多任务并行的检定需求。(3) 云平台集成: 将校准数据上传至云端进行集中存储与管理, 保障数据的安全性、完整性与可追溯性; 云平台支持多终端实时访问, 便于不同岗位人员共享数据、协同作业, 提升跨部门、跨地域的工作协同效率, 推动计量检定工作的数字化转型。

2 现代计量技术中自动化检定/校准的关键流程

2.1 设备准备与初始化

(1) 智能诊断: 作为自动化检定/校准的前置保障环节, 智能诊断依托高清视觉采集设备与图像识别技术, 对被校仪器及标准设备的外观进行全方位扫描检测, 可精准识别外壳破损、接口变形、标识模糊等显性缺陷; 同时结合设备历史运行数据, 通过AI算法构建故障预测模型, 对电路老化、部件磨损等潜在故障进行预判, 提前发出维护预警, 避免因设备异常影响检定结果准确性。(2) 自动预热与配置: 系统根据检定项目的预设参数, 自动触发标准源与被校仪器的启动程序, 按照规范要求完成预热流程, 确保设备各项性能指标达到稳定状态; 随后通过GPIB、USB或无线通信接口实现标准设备、被校仪器与控制终端的自动连接, 同步完成通信协议匹配、参数初始化配置等操作, 无需人工干预, 大幅提升流程启动效率。

2.2 数据采集与处理

(1) 多参数同步采集: 基于高精度传感器阵列与模块化数据采集单元, 系统可同时实现温度、压力、流量、电压、电流等多维度计量参数的实时采集。通过时钟同步技术保障各参数采集时序一致, 避免因数据滞后导致

的误差,采集频率与精度可根据检定标准灵活调整,满足不同类型仪器的检定需求。(2)动态显示与异常预警:采集的数据通过可视化界面进行动态展示,以曲线、数值等多种形式直观呈现参数变化趋势,方便操作人员实时监控;系统内置检定阈值标准,当采集数据超出合格范围时,立即触发异常预警机制,通过红色字体高亮标注不合格值,并同步发出声光报警信号,提醒操作人员及时核查处理,保障检定过程的规范性^[2]。(3)AI辅助分析:借助机器学习模型对采集的海量检定数据进行深度挖掘,通过对比历史数据、分析参数变化规律,精准识别设备性能退化趋势,为设备维护提供数据支撑;同时基于分析结果优化校准周期,对性能稳定的设备适当延长校准间隔,对退化较快的设备缩短周期,实现校准资源的合理配置,提升计量管理的智能化水平。

2.3 结果输出与报告生成

(1)自动生成证书:操作人员输入被校仪器的基本信息(如型号、编号、生产厂家)后,系统自动调用预设的标准化证书模板,将检定过程中的参数数据、合格判定结果等信息填充至模板对应位置,完成证书的自动生成。证书格式严格遵循国家计量检定规范要求,可直接打印输出或导出为电子文档,有效避免人工编制证书带来的疏漏与误差。(2)区块链溯源:校准过程中的关键数据(如采集数据、检定结果、操作人员、时间信息等)通过区块链技术进行上链存储,利用区块链去中心化、不可篡改的特性,构建全流程数据溯源体系。后续如需核查数据,可通过唯一溯源码查询完整的检定记录,确保校准数据的真实性与可追溯性,为计量结果的公信力提供有力保障。

3 现代计量技术中自动化检定/校准的应用

3.1 工业制造领域

(1)汽车制造:在汽车发动机研发与生产环节,发动机测试台架是核心检测设备,其计量精度直接影响发动机动力性能、油耗、排放等关键指标的评估准确性。自动化校准技术通过集成高精度压力、温度、转速传感器与PXI总线标准仪器,实现对测试台架各类检测参数的自动检定与校准。校准过程全程由软件系统按预设程序执行,无需人工手动调节与数据记录,有效规避了人工操作带来的主观误差与人为疏漏,确保测试台架始终处于精准计量状态,为发动机性能优化与质量管控提供可靠数据支撑^[3]。(2)半导体行业:半导体制造对晶圆检测设备的精度要求极高,微小的计量偏差就可能导致晶圆缺陷,降低产品良品率。自动化校准技术结合AI算法与高精度视觉检测系统,对晶圆检测设备的光学镜头、位移

平台、传感器等核心部件进行辅助校准。AI算法可通过分析历史校准数据与检测数据,精准识别设备计量精度的漂移趋势,提前预判校准需求并优化校准参数;校准过程自动化完成,大幅缩短校准周期,减少设备停机时间,同时提升校准精度,确保晶圆检测设备能精准识别晶圆表面的微小缺陷,有效提高半导体产品的良品率。

3.2 能源与交通领域

(1)智能电网:电力计量装置是智能电网电能计量与电费结算的核心设备,其计量准确性直接关系到供电企业与用电用户的切身利益。自动化校准技术依托物联网与5G通信技术,实现对智能电网中分布式部署的电力计量装置的远程自动化校准。系统通过远程终端实时采集电力计量装置的运行数据,结合云端标准计量数据进行比对分析,自动完成检定与校准操作;校准结果实时上传至云端平台,实现数据的集中管理与追溯。该模式无需工作人员现场操作,大幅降低了校准成本,提高了校准效率,同时确保电力计量数据的准确性与公正性,保障智能电网的稳定运行。(2)轨道交通:列车速度传感器是保障列车运行安全的关键设备,其计量精度直接影响列车调速、制动等控制系统的可靠性。自动化检定技术通过搭建专用的检定平台,集成智能执行器与高精度速度标准源,实现对列车速度传感器的自动化检定。检定过程中,系统自动控制速度标准源输出不同档位的标准速度信号,通过传感器采集信号并与标准信号比对,自动完成精度检定与校准。检定结果实时反馈至控制中心,若存在参数偏差则自动触发校准调整,确保速度传感器始终精准可靠,为列车运行速度的精准控制提供保障,有效规避因传感器计量误差导致的运行安全风险^[4]。

3.3 科研与医疗领域

(1)实验室设备:在科研实验中,光谱仪、质谱仪等精密仪器的计量精度直接决定实验数据的可靠性与科研成果的科学性。自动化校准技术通过集成专用的标准物质与智能校准软件,实现对这类实验室设备的智能校准。系统可根据仪器类型与实验需求,自动调用对应的校准程序,通过标准物质产生的标准信号与仪器检测信号进行比对,自动完成波长、强度、灵敏度等关键参数的校准。校准过程无需人工干预,校准数据自动记录并生成校准报告,确保实验仪器始终处于精准计量状态,为科研实验提供稳定、可靠的实验数据,助力科研工作的顺利推进。(2)医疗仪器:CT机、核磁共振设备等医疗仪器的计量精度直接影响疾病诊断的准确性,关系到患者的治疗效果与生命安全。自动化检定技术针对医疗仪器的计量特性,搭建专用的自动化检定平台,集成高精

度检测传感器与标准模体,实现对这类仪器关键性能参数的自动化检定。例如,对CT机的空间分辨率、密度分辨率等参数进行自动检测与校准,对核磁共振设备的磁场均匀性、信号强度等参数进行精准检定。检定过程严格遵循医疗仪器计量检定规范,自动化完成数据采集、分析与结果判定,确保医疗仪器的计量精度符合临床诊断要求,为精准医疗提供有力保障。

4 现代计量技术中自动化检定/校准的未来发展趋势

4.1 技术融合方向

(1) 数字孪生技术:数字孪生技术将成为自动化检定/校准领域的核心融合方向之一。通过采集被校设备的全生命周期数据,构建设备的高精度虚拟孪生模型,实现物理设备与虚拟模型的实时映射。在正式开展校准工作前,可在虚拟环境中模拟不同工况下的校准流程,预判校准过程中可能出现的问题,优化校准方案与参数设置。这一模式能大幅减少实体校准的试错成本,降低设备损耗,同时缩短校准准备周期,提升校准工作的规范性与高效性。(2) 增强现实(AR):增强现实(AR)技术将有效破解复杂校准场景下的远程协作难题。对于大型精密设备、特殊环境下的校准任务,远程专家可通过AR设备将校准操作指引、设备结构拆解图、故障排查方案等虚拟信息叠加到现场实景中,直观指导现场技术人员完成操作。这种方式打破了地域限制,无需专家亲临现场,既能保障复杂校准工作的精准性,又能降低差旅成本,提升跨区域技术支援效率。

4.2 智能化升级

(1) 自适应校准:智能化升级将推动自适应校准成为主流模式。依托深度学习算法,AI系统可实时感知被校设备的运行状态、环境参数变化,动态调整校准流程与核心参数,无需人工预设与干预,真正实现“一键式”全自动校准。无论是同一设备的不同老化阶段,还是不同类型设备的校准需求,系统都能自适应匹配最优方案,大幅提升校准的通用性与精准度,降低对操作人员专业技能的依赖。(2) 预测性维护:预测性维护将与自动化校准深度融合。通过大数据分析技术挖掘设备历史校准数据、运行参数、故障记录等信息,构建设备性能退化模

型,精准预测设备可能出现的故障类型与时间节点。在设备性能超出安全阈值前,系统自动触发校准需求与维护提醒,将传统的“事后校准”转变为“事前预判”,有效避免因设备故障导致的生产中断或计量误差,延长设备使用寿命^[5]。

4.3 绿色计量发展

(1) 节能设计:绿色低碳将成为自动化校准系统设计的核心考量。通过优化系统的冷却与散热方案,采用高效节能的元器件与电源模块,降低设备运行过程中的能耗;同时引入智能休眠机制,在无校准任务时自动切换至低功耗模式,进一步减少能源浪费,推动计量工作与节能降耗目标深度契合。(2) 环保材料:环保材料的应用将逐步普及。在校准工具、标准模体、包装材料等方面,将广泛采用可降解、可回收的环保材质,替代传统的难降解材料;同时建立校准废弃物的规范回收与处理机制,减少固体废弃物对环境的污染,实现计量技术发展与生态环境保护的协同推进。

结束语

现代计量技术中检定与校准过程自动化,凭借先进技术与创新架构,显著提升了计量的精准度与效率,为各行业稳健发展筑牢根基。展望未来,随着技术融合深化、智能化持续升级以及绿色计量理念的普及,自动化检定与校准将不断突破边界,拓展应用场景,以更高效、智能、环保的姿态,为全球科技进步与产业变革提供强有力的计量支撑。

参考文献

- [1]张芳蝶.医疗计量器具校准和检定技术研究[J].中国设备工程,2024,(07):172-174.
- [2]宋冬.计量检定及校准中计算机技术的应用研究[J].仪器仪表标准化与计量,2020,(03):39-41.
- [3]段志明.电气仪表计量检定及自动化探究[J].电气技术与经济,2023,(09):214-216.
- [4]宋冀红.计量检定校准自动化系统标准接口研究和实现探讨[J].新型工业化,2022,12(04):173-176.
- [5]周淑纯.仪器仪表计量及自动化应用浅析[J].轻工标准与质量,2021,(02):114-116.