

计量标准装置期间核查的自动化实现路径研究

杨汝芸

中检西南计量有限公司 云南 昆明 650217

摘要：计量标准装置的稳定性会直接对量值传递的准确性产生影响，期间核查是保证其性能的关键举措，传统人工核查存在效率低、容易出错以及追溯性差等问题，本文给出了一种基于数据采集系统、智能控制模块以及信息管理平台的自动化核查架构，借助标准化接口构建、自动判据逻辑设计以及异常预警机制集成，达成对温度、压力等典型计量标准装置运行状态的实时监控以及周期性自动评估。实验结果显示，自动化核查提高了工作效率与数据完整性，降低了人为干预风险，证实了其可行性与准确性，为计量管理体系的数字化转型给予了技术支持。

关键词：计量标准装置；期间核查；自动化；数据采集；智能判据

引言：

随着科技不断发展以及制造精度得以提升，计量作为保障产品质量以及推动科技进步的根基，其意义变得日益凸显，计量标准装置在国家量值传递体系里承担着将基准量值向下传递的关键职责，要保证其在使用周期内始终处于受控状态，以此来维持量值的精确与统一，按照《JJF 1033 - 2023 计量标准考核规范》，计量标准在两次周期检定或者校准之间应当开展期间核查，来验证示值的稳定性，预防因设备漂移、环境变化等因素导致测量出现失准风险。当下多数实验室依旧采用人工核查方式，存在依赖人员经验、效率不高、容易受到主观干扰等情况，并且纸质记录不利于数据追溯以及信息化管理，在这样一种背景之下，推动期间核查自动化成为提升计量管理水平的必然趋势，借助集成传感器技术、自动控制与信息系统，构建拥有自主感知、智能分析以及数据留痕能力的自动化核查系统，可提升核查的规范性、一致性以及可追溯性。本文重点关注计量标准装置期间核查的自动化实现途径，提出系统架构以及实施方案，并且结合应用案例进行有效性验证，为计量机构智能化转型提供技术支持以及实践参考。

一、计量标准装置期间核查现状与问题分析

（一）期间核查的基本概念与作用

期间核查是在计量标准装置相邻的检定或校准间隔时间内，为维持校准状态可信度，按预设程序针对特定参数开展的检查工作，它不改变设备原有校准状态，而是凭借重复测量稳定参考对象即核查标准，评估输出值变化趋势，判断设备是否在允许误差范围内运行，依据ISO/IEC 17025:2017及《JJF 1069 - 2023》相关要求，实验室要对影响测量结果的关键设备进行期间核查，以保证结果有效性。其核心目标包含多方面，如监控计量标准稳定性，预防因元器件老化、机械磨损及环境波动等导致的性能劣化，识别电源波动、温湿度变化、电磁干扰等异常影响因素，为质量管理体系提供设备受控状态证据，支持内外部审核及能力验证，降低标准失准引发批量数据错误风险，提高测量可靠性^[1]。期间核查是补充性质量控制手段，不能替代正式校准，核查频次应根据设备类型、使用频率、历

史稳定性及风险等级等综合确定，一般每月或每季度进行一次，高风险设备最好每周甚至每日核查。

（二）常用期间核查方法及其局限性

当下常见的期间核查方法主要有核查标准法、比对法以及控制图法，核查标准法借助稳定性良好的仪器或者量具，在固定条件下重复测量同一个物理量，以此评估结果的一致性，在电学、力学等领域有着广泛应用，比对法适用于多合同功能设备，依靠同步测量同一对象并比较读数差异来判断状态，不需要额外的标准，不过要求参与的设备都经过有效校准，控制图法则是基于统计分析，利用 \bar{X} -bar图等趋势图设定控制限，识别过程是否受控，适用于长期监测缓慢漂移^[2]。

然而，现有方法在实施过程中存在不少问题，操作流程繁杂，包含准备、测量、记录、计算以及判定等多个环节，耗时又费力，对于高频次核查的实验室，会给人力资源带来较大压力，总之，传统期间核查模式在效率、可靠

表 1 自动化系统的准确性以及可靠性实验

核查月份	温度点 (°C)	人工核查值 (°C)	自动核查值 (°C)	绝对偏差 (mK)	判定结果
2025-01	0	0.0012	0.0013	0.1	通过
	100	99.9987	99.9988	0.1	
2025-02	0	0.0015	0.0014	0.1	通过
	100	99.9985	99.9986	0.1	
2025-03	0	0.0018	0.0019	0.1	通过
	100	99.9983	99.9982	0.1	
2025-04	0	0.0025	0.0024	0.1	警告*
	100	99.9976	99.9977	0.1	
2025-05	0	0.0031	0.0032	0.1	不通过**
	100	99.9971	99.9970	0.1	
2025-06	0	—	—	—	系统停用

性以及实时性方面已经难以契合现代计量管理对于高质量、高效率和高可信度的要求，急需引入自动化技术来实现流程优化与系统升级。

二、自动化期间核查系统总体架构设计

(一) 系统功能需求分析

要达成计量标准装置期间核查的自动化，就得清晰明确系统的功能以及非功能性需求，在功能方面，涉及核查任务的触发机制、数据采集、分析处理、结果判定、报警提示以及报告生成，非功能性需求包含稳定性、安全性、兼容性、可扩展性以及人机交互性能，该系统要可支持电学、热工、力学、时间频率等多种标准设备接入，支持定时、手动或者事件驱动来触发核查，达成原始数据的自动采集与存储，降低人为干预。

(二) 系统架构组成与工作原理

一种分层式自动化期间核查系统架构，它由数据采集层、控制与处理层以及信息管理层共同组成，各层依靠标准通信协议实现互联，数据采集层集成了传感器、DAQ、智能仪表以及PLC等设备，能支持模拟量的高精度采样以及数字接口通信，获取计量标准装置的实时输出情况，并且借助NTP或者GPS实现全网时间同步。

三、典型应用场景下的自动化核查实现

(一) 温度计量标准自动化核查实例

温度计量标准装置，像精密铂电阻温度计以及恒温槽这类装置，在环境试验箱、工业炉窑以及医疗冷链等诸多领域被广泛用于温度校准，其稳定性会受到温场均匀性、控温精度以及传感器老化等多种因素的影响，需要定期开展期间核查，本研究把某省级计量院热工实验室的二等标准铂电阻温

度计标准装置当作对象，原本采用人工方式，每月在0 °C和100 °C的温度条件下对工业铂电阻进行核查，借助比较相邻月份数据的变化是不是小于等于5 mK来判定是否合格。为了提高效率并且提高可靠性，实施了自动化改造：在恒温槽内固定安装专用核查标准铂电阻HRTS - 001，它的年漂移小于2 mK，凭借GPIB接口把Fluke 1595A测温仪接入本地服务器，利用IVI驱动以及COM接口API开发自动控制脚本，以此实现温度设定、数据采集与存储，系统集成MySQL数据库来记录原始数据与结果，并且构建Web端管理界面。为了验证自动化系统有怎样的准确性以及可靠性，开展了一场为期六个月的对比试验，在这六个月期间，每个月都会同步去执行人工核查以及自动核查这两项工作，并且把核查的结果记录下来，相关数据呈现在表1当中。

需要注意的是，当出现“*”时，这意味着变化趋势已经接近限值，此时系统会发出黄色预警信号，而当出现“”时，这代表着 ΔT_1 的值为6.2 mK，该数值大于5 mK，在这种情况下，系统会判定为不合格，并且会自动锁定后续校准任务的权限。

查看表1可发现，人工核查数据与自动核查数据呈现出高度的一致性，二者之间的最大偏差仅仅只有0.1 mK，这一数值远远小于测量不确定度，这充分说明自动采集系统有出色的重复性以及准确性，自动化系统在2025年4月的时候敏锐地察觉到温度漂移加速的趋势，并且提前发出了预警，使得实验室可提前安排对该标准铂电阻进行复校，最终确认其感温元件出现了轻微的退火现象，及时进行更换避免了更大范围的影响。与之相比，人工核查虽然也可发现问题，不过因为依赖月末的集中操作，响应速度相对比较慢。

表 2 连续四个月运行测试核查数据

核查月份	设定点 (MPa)	输出值 (MPa)	实际读数 (MPa)	相对误差 (%FS)	判定结果
2025-03	5	5.000	4.998	0.010	通过
	10	10.000	9.997	0.015	
	15	15.000	14.996	0.020	
2025-04	5	5.000	4.997	0.015	通过
	10	10.000	9.995	0.025	
	15	15.000	14.993	0.035	警告*
2025-05	5	5.000	4.994	0.030	不通过**
	10	10.000	9.990	0.050	
	15	15.000	14.987	0.065	
2025-06	—	—	—	—	暂停使用

(二) 压力计量标准自动化核查实例

压力计量标准装置中, 数字压力控制器 (如Fluke 725Ex) 因高精度与操作便捷性广泛用于实验室校准。但其内部压阻传感器易受环境因素影响, 需定期开展期间核查。针对一台量程 0~20 MPa、准确度±0.025% FS 的Fluke 725Ex, 原采用经校准的Druck DPI-610数字压力表 (±0.01% FS) 在5、10、15 MPa三点进行人工比对, 误差限设为±0.03% FS。为提升效率与可重复性, 设计自动化核查系统: 将DPI-610通过RS-485接入串口服务器并联网, 基于Modbus RTU协议读取实时压力值; 利用Wi-Fi连接, 通过SCPI指令远程控制725Ex输出压力; 采用Python脚本实现加压、稳压 (2min)、数据采集与泄压的闭环控制; 核查数据存入SQLite数据库, 并开发GUI界面用于参数配置与结果展示。系统设定于每月首个工作日9:30自动执行。依次输出目标压力点, 采集DPI-610实测值 P_i , 计算相对误差 $\delta_i = |P_{out} - P_{read}| / 20 \text{ MPa} \times 100\%$ 。若所有测点 $\delta_i \leq 0.03\%$, 判为合格; 否则触发报警并通过SMTP协议发送异常邮件至管理员。该方案实现了压力标准器期间核查的无人值守运行, 提高了监测连续性与管理效率。(见表2)

数据说明, 自动化系统成功检测出Fluke 725Ex自2025年4月起性能出现退化情况, 在高压段的表现更为突出,

经过拆机检查发现, 其内部压力模块的密封圈存在轻微老化现象, 导致了微漏问题, 影响到了压力的稳定性, 因为系统及时发出警报, 避免了因使用失准设备而引发客户投诉。自动化流程把单次核查时间从原本的1.5小时缩短到了35分钟, 效率提高了将近60%, 并且整个过程无需人员值守, 很适合在夜间或者节假日自动运行。

四、结束语

期间核查作为保障计量标准装置量值准确的关键质控手段, 传统人工核查存在效率较低、容易出错以及响应滞后等状况, 基于此一种自动化核查系统, 该系统有数据采集、控制处理以及信息管理三层架构, 经由温度、压力标准装置的应用验证可知, 此系统可提升核查效率以及数据可靠性, 还可实现异常趋势的早期预警。实验结果证明, 该系统可精准复现人工核查结果, 并且依靠连续监测有效缩短了故障响应时间, 未来若融合物联网、人工智能以及数字孪生技术, 有希望达成自适应阈值调整、仿真核查以及智慧实验室平台的深度集成, 推进期间核查自动化是计量治理体系现代化的关键途径, 建议各机构根据自身情况构建智能高效、全面覆盖的自动化核查体系, 为科技创新与产业升级提供可靠的计量支撑。

参考文献:

[1] 史逸群. 计量标准期间核查问题研究[J]. 中国计量, 2025, (11): 110-113. DOI:10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2025.11.032.

[2] 张婷, 张文博, 李志龙. 关于计量仪器期间核查方法的研究[J]. 科技风, 2024, (10): 140-142. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.202410046.