

智能温度传感器校准系统软件设计研究

马静, 蔡震坤*, 吴宁, 辛备豫, 吐鲁逊·伊力
新疆维吾尔自治区气象技术装备保障中心, 新疆 乌鲁木齐 830000
DOI:10.61369/ERA.2026020035

摘要 : 智能温度传感器作为现代工业自动化、环境监测、医疗健康、能源管理等领域的核心感知元件, 其量值的准确性与可靠性至关重要。本文从系统架构、设计理念、关键技术与功能实现进行智能温度传感器校准系统软件设计。该软件以网络化、自动化和信息化为核心, 集成了被检仪表管理、标准器管理、多规程校准、任务流程控制、数据自动采集处理、证书智能生成等功能, 通过模块化设计、标准化流程、友好人机交互以及灵活可配置的策略, 显著提升了温度传感器校准作业的效率、规范性、准确性与数据管理水平, 为构建现代化、智能化的计量校准实验室提供了重要的软件平台支撑。

关键词 : 智能温度传感器; 自动化校准系统; 数据追溯

Research on Software Design of Intelligent Temperature Sensor Calibration System

Ma Jing, Cai Zhenkun*, Wu Ning, Xin Beiyu, Tu Lusun · Yi Li

Xinjiang Uygur Autonomous Region Meteorological Technology Equipment Support Center, Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract : As a core sensing component in modern industrial automation, environmental monitoring, medical health, energy management and other fields, the accuracy and reliability of the measurement values of intelligent temperature sensors are of vital importance. This paper designs the software of an intelligent temperature sensor calibration system from the aspects of system architecture, design concept, key technologies and functional realization. The software, with networking, automation and informatization at its core, integrates functions such as the management of inspected instruments, standard device management, multi-procedure calibration, task flow control, automatic data collection and processing, and intelligent certificate generation. Through modular design, standardized processes, friendly human-computer interaction, and flexible and configurable strategies, it significantly enhances the efficiency, standardization, accuracy and data management level of temperature sensor calibration operations, providing an important software platform support for the construction of modern and intelligent metrology calibration laboratories.

Keywords : intelligent temperature sensor; automated calibration system; data traceability

引言

随着工业4.0、物联网、智能制造的快速发展, 温度传感器作为关键的物理量感知设备, 其应用范围日益扩大, 从工业生产过程的精密控制到实验室的科学研究, 再到日常生活的环境监测, 无处不在。传感器的性能, 尤其是其测量准确性、稳定性与可靠性, 直接影响整个系统的运行效能与安全性。因此, 对温度传感器进行定期、规范的校准, 确保其量值传递的准确可靠, 是保障生产质量、科学研究数据有效性和公共安全的基础性工作。

传统的温度传感器校准工作主要依赖人工操作, 普遍存在效率低下, 需手动设定温场、记录数据、计算误差, 耗时耗力, 难以应对大批量仪表的校准需求; 易引入人为误差: 人工读数、记录、计算过程易出错, 影响校准结果的准确性; 流程规范性难以保证: 操作步骤、数据格式、证书内容依赖于操作人员的经验和习惯, 难以统一; 数据管理与追溯困难: 纸质记录或分散的电子文档不便于查询、统计和长期保存, 难以实现仪表全生命周期的有效管理; 协同工作能力弱: 多用户、多任务、多地点协同校准困难, 资源难以共享等问题。

为了解决上述问题, 利用软件技术实现校准过程的自动化、标准化和信息化已成为必然趋势。本文所研究的智能温度传感器校准系统软件(以下简称“本系统”), 正是这一趋势下的代表性成果。本系统旨在构建一个集设备控制、数据采集、流程管理、信息追溯于一体的综合软件平台, 以提升校准实验室的整体技术水平和工作效率。

作者简介: 马静(1993.03-), 女, 新疆人, 本科, 工程师, 研究方向: 从事气象计量检定工作9年。

通讯作者: 蔡震坤(1970.09-), 男, 汉族, 广东人, 本科, 气象探测高级工程师, 从事气象计量行业二十余年, 全国气象专用计量器具计量技术委员会、新疆气象标准化委员会委员。

一、系统总体设计

（一）设计目标与原则

本系统的设计遵循六项核心目标与原则，即网络化与协同化：支持在局域网环境下运行，实现多用户同时在线、协同工作，数据集中管理，资源高效共享；流程自动化与标准化：将国家及国际校准规范（如 JJG、ISO 等）内嵌于软件逻辑中，引导并强制用户遵循标准流程，自动控制校准设备，自动采集和处理数据；功能集成化与模块化：将仪表管理、校准执行、数据管理、证书处理、系统配置等功能高度集成，同时采用模块化设计，便于功能扩展和维护；操作友好与智能化：提供简洁直观的图形用户界面，支持触摸屏操作，内置智能提醒、向导式任务创建、模板化配置等功能，降低用户学习成本；数据安全与可追溯性：建立完善的用户权限体系，记录详细的操作日志，实现从仪表入库、校准、使用到报废的全过程数据记录与追溯；灵活性与可配置性：支持用户自定义校准方案、证书模板、流水号规则、提醒策略等，以适应不同行业和用户的个性化需求。

（二）系统架构

本系统采用典型的 C/S（客户端 / 服务器）或单机增强型架构，软件整体由十大功能模块构成，逻辑清晰，职责分明。分别为：软件首页：系统入口，提供快捷导航和新手指南；校准中心：校准任务执行的核心模块，负责方案配置、任务创建、过程控制与数据采集；数据中心：存储和管理所有校准原始数据与结果记录，支持数据的增删改查、备份和证书生成；证书中心：集中管理所有已生成的校准 / 检定证书，提供查询、预览、打印、导出（PDF/Excel）和备份功能；被检仪表管理：实现送检温度传感器的全生命周期信息管理，包括信息录入、查询、校准计划制定、周期提醒等；标准仪表管理：管理实验室标准器的信息、校准计划和周期状态，确保标准器量值有效；配置中心：系统的“大脑”，用于配置校准单位、校准规范、参数策略、用户模板、流水号、仪表类别等所有业务规则；系统管理：负责用户账户、角色权限、操作日志等系统级安全与审计功能；工具箱：提供单位换算、传感器换算、设备通讯调试、数据迁移等实用工具集合；校验仪任务管理：支持与便携式现场校验仪联动，实现任务的下载与数据的上传，扩展现场校准能力。

二、核心功能模块设计与实现

（一）系统管理与安全控制

为确保数据安全和操作合规，本系统建立了多层次的安全控制机制。包括用户与角色管理：系统预置管理员、工程师、操作员、核验员、批准人五类角色，并支持自定义角色，管理员可以创建用户，并为其分配一个或多个角色，实现基于角色的访问控制（RBAC），不同角色具有不同的操作权限，例如操作员只能执行校准，工程师可进行业务配置，管理员拥有全部权限；操作日志：系统记录所有关键操作，包括用户登录登出、数据增删改、证书生成打印、配置修改等。管理员可按时间、用户、操作类型

等条件查询和导出日志，满足内部审核和外部认证（如 ISO/IEC 17025）的追溯要求。

（二）灵活的业务配置体系

强大的可配置能力是本系统适应多样需求的关键。软件支持多规程可选，系统内置大量现行有效的国家检定规程（JJG）和校准规范（JJF），并允许用户在单次校准前选择适用的规范，打破了传统软件一种仪表只对应一种规范的限制。用户可自定义规范与方案，支持用户以系统规范为模板，创建符合特定内部要求或特殊仪表的自定义校准规范。同时，用户可以根据实验室现有设备（如多路测温仪、温控器、恒温槽等），灵活组合并保存为“校准方案”，方便后续重复调用。另外可对参数与模板自定义，软件提供全面的参数设置，包括校准周期、不确定度管理、系统策略等，证书模板和报表模板完全开放，用户可自主设计符合自身机构形象的证书格式，并支持多语言。

（三）全生命周期的仪表管理

软件支持将仪表作为核心资产进行信息化管理。通过被检仪表管理模块，详细记录仪表的类型、型号、量程、准确度、生产商、出厂编号、使用位置、送检单位等信息；支持批量导入、多条件高级查询。核心功能是校准计划与提醒，系统可根据设定的校准周期和上次校准日期，自动列出即将到期的仪表，并可一键生成校准计划或加入待检清单，有效防止漏检。针对标准仪表管理，设计实验室标准器的档案、技术指标、校准证书信息及有效期关联页面。对于可通讯的智能标准器（如某些温控器），系统能通过通讯自动识别并关联其信息，提升效率。

（四）自动化与智能化的校准流程

以“任务”为驱动，实现温度校准的全程自动化。在任务创建模块，用户可便捷地创建温度校准任务，指定被检仪表（支持多支同时检）、选择校准规范和方案、设定温度点（支持升降温循环、断点续检）、配置控温参数（波动度、稳定时间等）。设计通道配置与验证页面，对于多通道测温系统，提供图形化拖拽界面，直观地将物理接线通道与软件中的被检及标准器逻辑通道进行绑定，绑定后可执行通道验证，确保所有接线正确，信号读取正常。设计过程执行与监控页面，启动任务后，软件自动控制温场（如恒温槽、干体炉）到达设定点并稳定，自动从多路测温仪或数据采集器中读取标准器和被检传感器的数据，界面实时显示温场变化曲线、各通道数据、任务进度和状态，过程透明可控。

（五）数据处理与证书生成

对于数据自动处理，采集完成后，系统依据选定的规范自动计算示值误差、重复性、稳定性等指标，并判定合格与否。所有原始数据和计算结果自动保存至数据中心。对采集后的数据进行处理，在证书生成与数据管理模块设计

一键生成证书功能，即校准数据审核无误后，按预设模版生成格式规范、内容完整的校准证书或检定证书，证书包含调整前 / 后数据、测量不确定度、环境条件、所用标准器等信息。通过数据中心模块，保存所有校准记录，支持对历史数据的查询、统计、分析和再处理，也可手动创建记录或对已有记录发起“复检”。另外设计证书中心，对所有已出具证书进行集中归档管理，

方便检索、打印和电子化分发。

（六）二维码技术集成应用

利用物联网技术提升效率，增加二维码打印功能，可为每台被检仪表、标准仪表及每份证书生成唯一二维码标签。打印内容可配置，包含关键识别信息。通过扫描枪快速操作，在仪表入库、查找、开始校准时，使用扫描枪扫描仪表自身的二维码或系统打印的标签，即可快速调出该仪表所有信息，或将其直接添加到校准任务中，避免了繁琐的手工录入，极大提升效率并杜绝输入错误。

（七）现场校准支持

通过“校验仪任务管理”模块，支持离线作业模式。工程师可在办公室软件端创建任务并下载到便携式温度校验仪中，携带校验仪到现场完成校准后，再将数据上传回软件端生成正式证书，实现了实验室校准与现场校准的无缝衔接。

三、关键技术实现

（一）基于规范的自动化测试引擎

系统核心是一个解释执行引擎，能够解析不同的校准规范（JJG/JJF 等），将其转化为具体的设备控制指令、数据采集逻辑和计算判据。这使得软件具备了遵循标准化流程的“硬约束”能力。^[4]

（二）多设备通讯与集成控制

系统支持通过 GPIB、RS-232、RS-485、USB、以太网等多种接口与温控器、多路测温仪、数字多用表、恒温槽等校准设备通信。内置丰富的设备驱动库，能够发送控制指令、读取测量数据，实现多设备协同自动化运行^[6-9]。

（三）高精度数据采集与处理算法

针对温度校准中信号微弱、易受干扰的特点，软件采用了数字滤波、多次采样平均等技术确保数据稳定性。在数据处理阶段，严格依据规范实现误差计算、修约和符合性判定，确保计算结果准确可靠。

（四）结构化数据库设计

采用关系型数据库（如 SQLite 或 SQL Server），精心设计仪表信息表、校准记录表、证书表、用户表、日志表等，并建立

有效的关联关系。这保障了海量数据的高效存储、快速检索和完整的事务处理能力。

（五）可扩展的插件与模板机制

通过“用户自定义规范 / 方案 / 模板”功能，系统实现了业务逻辑层面的可扩展性。用户无需修改软件代码，即可适应新的仪表类型或内部管理要求，延长了软件的生命周期。

四、软件应用效果与分析

通过本文软件设计研究，将对校准效率有大幅提升，自动化流程使单次校准时间平均缩短50%以上，批量校准优势更加明显。工作质量提高，消除了人工读数计算错误，流程强制规范，确保了校准结果的一致性与权威性。管理水平飞跃：实现了仪表的数字化、全生命周期管理，校准计划自动提醒，历史数据随时可查，为设备维护和计量决策提供了数据支撑。人力资源优化，将技术人员从重重复性劳动中解放出来，更专注于方法研究、数据分析等更高价值的工作。符合性与追溯性，详尽的日志和规范的证书输出，轻松满足 CNAS、CMA 等认可准则及 ISO/IEC 17025 对技术记录和可追溯性的严格要求。

五、结论与展望

本文详细研究并阐述了一款智能温度传感器校准系统软件的设计与实现。该软件以现代软件工程思想为指导，深度融合计量专业技术，成功构建了一个网络化、自动化、信息化的综合校准管理平台。它通过创新的架构设计、灵活的业务配置、智能的流程控制和先进的物联网技术应用，有效解决了传统校准模式的诸多痛点，显著提升了校准工作的效率、质量和可管理水平。

综上所述，本系统的设计与实践为计量行业的数字化转型提供了有力的工具，其设计理念和关键技术对开发其他物理量的智能校准系统也具有重要的参考价值。持续的技术创新与应用深化，必将推动计量校准领域迈向更加智能、高效的新阶段。

参考文献

- [1] JJG 229-2010, 工业铂、铜热电阻检定规程.
- [2] JJF 1637-2017, 廉金属热电偶校准规范.
- [3] JJF 1076-2020, 数字式温湿度计校准规范.
- [4] ISO/IEC 17025:2017, 检测和校准实验室能力的通用要求.
- [6] 王池, 李金海. 自动测试系统集成技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [7] 刘志强, 张军. 现代计量管理信息系统设计与实现 [J]. 计量技术, 2021(4): 70-74.
- [8] 赵静, 孙晓. 基于二维码技术的计量器具信息化管理研究 [J]. 中国计量, 2022(3): 45-48.
- [9] 陈晓峰, 高鹏. 云计算在计量检测信息化中的应用探讨 [J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(8): 1-8.