

烟草行业测量设备生命周期数字化管理

蔡书豪 张 迁 刘佳璇 潘逸辉 何鲲鹏

湖北中烟工业有限责任公司广水卷烟厂 湖北 随州 432721

摘要: 本文聚焦于烟草行业测量设备全生命周期管理 (Life Cycle Management, LCM) 的数字化转型, 系统阐述了测量设备在选型采购、验收安装、使用维护、计量校准、维修报废等各阶段的核心痛点, 并构建了一套基于物联网 (IoT)、大数据、云计算及人工智能 (AI) 技术的数字化管理框架。该框架通过建立统一的数据中台, 实现设备状态实时感知、运维任务智能调度、风险隐患主动预警、资源成本精细核算, 最终达成提升设备综合效率 (OEE)、保障产品质量、降低运营成本、强化合规管理的目标。本文的研究为烟草行业乃至其他流程制造业的设备管理数字化提供了理论参考与实践路径。

关键词: 烟草行业; 测量设备; 全生命周期管理; 数字化转型; 物联网; 数据中台

引言

烟草行业属流程制造业, 工艺复杂、质控严苛。从烟叶初加工到成品检验, 各环节都需精确测量多种物理量, 测量数据是调整工艺参数和判定产品质量的依据, 测量设备是质量管理体系基石。但烟草企业测量设备管理长期采用传统模式, 以纸质台账、Excel表格和独立信息系统为主, 导致信息分散, 形成孤岛。设备状态难实时掌握, 预防性维护差、故障响应慢、校准周期乱、备件库存不合理, 既增加运维成本, 又潜藏质量事故风险。当下, 《中国制造2025》等国家战略文件要求制造业向数字化、网络化、智能化发展。烟草行业利用新一代信息技术重构测量设备管理模式, 是提升竞争力、响应号召、履行责任的必然。研究并实践测量设备全生命周期数字化管理, 理论和实践意义重大。

1 测量设备全生命周期内涵界定

测量设备全生命周期管理, 是对设备从需求识别到报废处置的全过程闭环管理, 可划分为四个阶段: 规划与获取阶段: 始于新测量需求提出, 终于设备验收投入使用。核心活动有需求分析、选型采购、验收安装及首次计量确认等。运行与维护阶段: 是设备生命周期中最长且关键的阶段, 设备持续提供测量服务。管理重点是确保设备正常运行, 活动包括日常点检、预防性维护、纠正性维修及使用调度等。计量与合规阶段: 贯穿设备服役期, 因专业性和法规强制性被单独强调。核心任务是周期性计量检定/校准, 保证量值溯源和结果准确, 并生成合规记录。退役与处置阶段: 设备无法继续使用时进入, 活动有停用申请、技术鉴定、报废审批及环保处置等。传统模式各阶段由不同部门负责, 信息流断裂、效率低, 数字化管理旨在打通阶段, 实现数据驱动的协

同闭环。

2 烟草行业测量设备管理现状与核心痛点

2.1 信息孤岛严重, 数据割裂

在当前的烟草企业中, 测量设备的基础档案通常存储在设备管理系统 (EAM) 中, 而计量校准记录则保存在计量管理系统或实验室信息管理系统 (LIMS) 里, 设备的实时运行状态数据又可能分散在DCS或SCADA等工控系统之中。这种多系统并行、数据标准不一的局面, 使得设备信息被人为地割裂开来。当需要全面评估一台设备的健康状况或追溯某次质量问题的根源时, 管理人员不得不在多个系统间反复切换、手动拼凑信息, 不仅效率低下, 而且极易遗漏关键数据, 严重影响了管理决策的科学性和及时性。

2.2 管理模式被动, 缺乏预见性

目前, 多数烟草企业的设备维护仍以事后维修为主, 即“坏了再修”。预防性维护计划虽然存在, 但由于缺乏有效的执行跟踪机制和绩效考核手段, 往往流于形式。更为关键的是, 由于缺少对设备运行状态的连续监测和数据分析能力, 管理者无法洞察设备性能的缓慢劣化趋势, 只能在故障发生后才被动响应^[1]。这种被动管理模式不仅导致非计划停机时间增加, 打乱生产节奏, 还可能因突发故障引发连锁反应, 造成更大的经济损失和安全风险。

2.3 计量管理粗放, 合规风险高

在计量管理方面, 许多企业依然沿用固定的校准周期, 无论设备的实际使用强度、环境条件如何变化, 一律按照预设的时间间隔进行校准。这种“一刀切”的做法, 一方面可能导致对稳定性良好的设备进行不必要的过度校准, 浪费宝贵的计量资源; 另一方面, 也可能使

那些在恶劣环境下高频使用的设备在校准周期内就已失准，从而埋下质量隐患。此外，校准证书和记录多以纸质或半电子化形式存在，一旦面临外部审计，追溯过程繁琐且容易出错，给企业的合规性带来巨大挑战。

2.4 成本核算模糊，决策依据不足

测量设备的总拥有成本（TCO）是一个复杂的概念，它不仅包括初始的购置费用，还涵盖了后续的运维、校准、能耗、故障损失以及人员培训等多项支出。然而，由于相关数据分散在财务、设备、计量等多个部门，企业很难对单台设备或某一类设备的TCO进行精确核算。这种成本核算的模糊性，使得企业在进行设备更新换代、供应商选择或投资回报评估等重大决策时，往往只能依赖经验判断，缺乏坚实的数据支撑，增加了决策失误的风险。

2.5 人员技能依赖度高，知识传承困难

设备的日常维护和复杂故障诊断，高度依赖于少数经验丰富的技术人员。他们的隐性知识和操作诀窍是企业宝贵的财富，但这些知识往往难以被系统化地记录和传承。一旦这些核心人员离职或退休，相关技能便随之流失，新员工需要花费大量时间才能积累足够的经验。同时，缺乏标准化的知识库和智能化的辅助工具，也使得现场维修效率低下，延长了设备停机时间，制约了整体运维水平的提升。

3 数字化管理总体架构设计

为解决上述痛点，本文提出一个“云-边-端”协同的测量设备全生命周期数字化管理架构。

3.1 架构概述

该架构自下而上可分为三层。在感知层，通过为关键测量设备加装物联网传感器或利用其自带的通信接口，实时采集设备的运行状态、环境参数及计量性能数据，为上层应用提供原始数据源。在平台层，数据首先在边缘计算节点进行初步的清洗和本地化处理，以降低云端负载并提升响应速度，随后上传至云端的测量设备数据中台。这个数据中台是整个架构的核心枢纽，它集成了数据湖、主数据管理、规则引擎和AI模型库等关键功能，负责对来自各个源头的异构数据进行融合、治理和深度分析^[2]。在应用层，基于数据中台提供的强大服务能力，可以构建一系列面向不同用户角色的微应用，如为管理者提供全局设备健康视图，为计量员提供智能校准任务调度，为维修工提供AR辅助指导等，从而实现精细化、智能化的设备管理。

3.2 核心组件：测量设备数据中台

数据中台的成功构建是打破信息孤岛、实现全生命

周期管理的关键所在。其核心在于建立一个统一的设备主数据模型，该模型能够唯一标识每一台物理设备，并将其在EAM、LIMS、MES、ERP以及IoT平台中产生的所有静态属性和动态事件进行关联整合。通过这种方式，每台设备都拥有了一个完整、鲜活的“数字身份证”。这个数字身份证不仅记录了设备的型号、序列号、技术参数等基本信息，更动态地描绘了其从采购、安装、运行、校准到维修的全过程轨迹。正是基于这样一个统一、可信的数据底座，上层的各种智能应用才能得以高效、准确地运行，真正实现数据驱动的闭环管理。

4 全生命周期各阶段数字化管理策略

4.1 规划与获取阶段的数字化赋能

在规划与获取阶段，数字化技术可以从源头上提升设备选型和采购的质量与效率。企业可以在数据中台中构建一个设备选型知识库，系统性地沉淀历史设备的全生命周期表现数据，包括其可靠性指标、故障模式、供应商履约评价以及详细的总拥有成本（TCO）分析。当新的测量需求产生时，采购或技术部门不再需要仅凭个人经验和有限的市场信息进行决策，而是可以借助系统内置的智能推荐引擎。该引擎能够根据当前需求场景，自动匹配知识库中相似的历史案例，并结合多维度的量化指标，为决策者提供最优的设备型号和供应商组合建议^[3]。此外，在设备交付环节，推行“数字交付”模式也至关重要。供应商在交付物理设备的同时，必须同步提供一份结构化的数字文档包，其中包含设备的BOM清单、三维模型、操作与维护手册、出厂校准报告等关键信息。这些数字资产将被自动归档至对应设备的数字身份证中，实现无缝的数字化移交，为后续的高效运维奠定坚实基础。

4.2 运行与维护阶段的智能化升级

运行与维护阶段是设备发挥价值的核心时期，也是数字化赋能效果最为显著的领域。借助物联网技术，企业可以对关键测量设备的关键性能指标进行7×24小时的不间断监控，彻底改变过去依赖人工巡检的低效模式。在此基础上，利用机器学习算法对海量的历史运行数据进行深度挖掘，可以构建出精准的设备健康度评估模型和故障预测模型。这些模型能够敏锐地捕捉到设备性能的微小异常和劣化趋势，并在故障发生前发出预警。系统会根据预警级别自动生成相应的维护工单，并通过移动端推送给指定的维护人员，从而将传统的“被动维修”转变为高效的“预测性维护”。为了进一步提升现场维修效率，还可以引入增强现实（AR）技术。维护人员只需通过AR眼镜或移动终端扫描设备上的二维码，

即可即时调取该设备的三维结构模型、详细的维修步骤指引、过往的故障处理案例乃至远程专家的实时视频指导，极大地降低了维修的技术门槛和时间成本。

4.3 计量与合规阶段的精细化管理

计量管理是确保产品质量和满足法规要求的生命线，其数字化转型的核心在于实现从“固定周期”到“动态优化”的转变。系统不再简单地对所有同类设备设定一个统一的校准周期，而是综合考量每台设备的具体使用频率、所处环境的应力水平（如温湿度、粉尘）、以及历次校准数据所反映出的稳定性趋势等多个动态因素。通过内置的风险评估算法，系统能够为每台设备动态计算出一个最优的下次校准日期，既有效规避了因校准不足带来的质量风险，又避免了过度校准造成的资源浪费^[4]。与此同时，整个计量流程也实现了全面的无纸化和自动化。计量员在现场通过移动终端即可完成校准任务的接收、数据录入、电子签名等全部操作，所有记录实时同步至云端。当面临外部审计时，系统能够一键生成符合ISO/IEC17025等国际标准要求、包含完整审计追踪信息的合规报告，极大地提升了企业的合规自信和审计效率。

4.4 退役与处置阶段的数据驱动决策

在设备的退役与处置阶段，数字化管理同样能发挥关键作用。系统通过持续跟踪设备在其整个服役期内的各项经济与技术指标，如累计维修成本、平均故障间隔时间（MTBF）、能耗水平以及对生产效率的影响等，能够客观、量化地评估其继续使用的经济性和技术可行性。当某台设备的综合成本效益比低于预设阈值，或其技术性能已无法满足新工艺的质量要求时，系统会自动生成一份详尽的报废建议报告，为管理层的最终决策提供坚实的数据支撑，避免了主观臆断。更为重要的是，设备退役并不意味着其数据价值的终结。其完整的全生

命周期数据将被作为宝贵的知识资产永久保存下来，用于反哺企业的知识管理体系。这些历史数据可以用来优化未来同类设备的选型标准、改进维护规程、甚至指导新产品的研发设计，从而形成一个持续学习、不断优化、不断优化的管理闭环。

5 结语

本文系统地探讨了烟草行业测量设备全生命周期数字化管理的必要性、挑战与实施路径。研究表明，通过构建以数据中台为核心的“云-边-端”一体化架构，能够有效打通设备管理的各个阶段，实现从信息割裂到数据融合、从事后响应到事前预测、从经验驱动到数据驱动的根本性转变。这不仅能显著提升设备的可靠性与可用性，保障产品质量，更能为企业降本增效、强化合规、辅助战略决策提供强大支撑。展望未来，随着5G、数字孪生、区块链等技术的进一步成熟，烟草行业的测量设备管理将迈向更高阶的智能化。例如，利用数字孪生技术，可以在虚拟空间中对设备的运行和维护策略进行仿真验证；利用区块链技术，则可以确保计量数据的不可篡改性和全程可追溯性，为构建更加可信的质量生态奠定基础。总而言之，测量设备的数字化管理不仅是技术升级，更是一场深刻的管理变革，它将引领烟草行业向更高质量、更可持续的未来迈进。

参考文献

- [1]姚岚.构建烟草工业企业监视和测量设备管控模式[J].设备管理与维修,2023,(05):10-12.
- [2]杨守臣.烟草行业测量设备分类管理方法的实践与探索[J].科技风,2018,(25):204.
- [3]张骏芳.SG卷烟厂测量管理体系改进研究[D].广东工业大学,2020.
- [4]高洁.基于测量管理体系的卷烟厂计量管理信息系统[J].设备管理与维修,2019,(14):18-20.