

# 工业物联网环境下钢铁机械检定校准的实时性优化策略

姜新军 魏铁龙 郭伟

河南金数智能科技股份有限公司 河南 安阳 455004

**摘要:** 钢铁工业智能化转型中, 仪器仪表等关键测量设备的检定校准实时性关乎生产精度与设备安全, 工业物联网为解决传统检定校准延迟问题提供新路径。本文梳理工业物联网技术体系与钢铁行业相关设备检定校准基础, 分析技术、管理、环境影响实时性的因素, 阐述其提升实时性的作用机制, 从技术、管理维度提出优化策略与保障措施, 为钢铁企业构建高效实时检定校准体系提供方案, 推动高质量发展。

**关键词:** 工业物联网; 钢铁行业; 仪器仪表; 检定校准; 实时性优化

## 1 工业物联网与钢铁机械检定校准概述

### 1.1 工业物联网技术体系

工业物联网 (IIoT) 技术体系以“感知-传输-平台-应用”为核心架构, 各层级协同支撑工业场景的智能化运行。感知层通过高精度压力传感器、智能仪表、RFID 标签等设备, 实时采集压力变送器的输出信号、仪器仪表的测量误差、传感器的工作状态等关键数据, 其中本实验室专注于压力表检定校准专业, 2008年依据ISO/IEC17025《检测和校准实验室能力通用要求》建立质量管理体系, 2009年10月首次通过国家认可委员会现场审核, 核心业务为企业内部各类压力表、压力变送器的检定校准与量值溯源, 所采用的高精度压力传感器精度可达 $\pm 0.1\%$ , 满足钢铁行业测量设备高精度数据采集需求; 传输层依托5G、工业以太网、LoRa等通信技术, 实现检定校准数据高速、低延迟传输, 5G技术的毫秒级时延与高可靠性, 能确保压力变送器实时数据、仪器仪表校准指令无延迟传递; 平台层涵盖边缘计算节点与云端平台, 边缘计算可在数据源头完成传感器信号滤波、压力变送器数据补偿等预处理, 减少数据传输量, 云端平台则提供数据存储、算力支持与资源调度; 应用层针对仪器仪表、压力变送器、传感器检定校准场景, 开发实时监控、智能诊断、远程校准等功能模块, 形成从数据采集到应用落地的完整技术闭环, 为检定校准实时性优化奠定技术基础。

### 1.2 钢铁机械检定校准基础

钢铁行业检定校准的核心对象是生产环节中关键的仪器仪表、压力变送器、传感器, 这些设备是保障生产参数精准、避免安全事故的关键, 涵盖压力测量 (如蒸汽管道压力变送器)、温度测量 (如加热炉温度传感器)、流量测量 (如介质流量仪表) 等类型。从检定校准内容看, 需对压力变送器的示值误差、零点漂移、量

程偏差, 仪器仪表的测量精度、重复性、稳定性, 传感器的响应速度、线性度进行定期检测, 确保各项指标符合GB/T1226等国家标准; 从传统流程看, 需人工携带标准设备到现场, 逐一采集压力变送器输出信号、仪器仪表读数后离线分析, 校准过程需暂停设备运行, 存在数据采集滞后、校准周期长 (通常1-2周/次)、影响生产连续性问题。随着钢铁生产向连续化、高速化发展, 传统检定校准模式已难以满足实时性需求, 例如蒸汽管道压力变送器若不能及时校准, 会导致压力控制偏差, 引发加热炉温度波动, 影响钢材质量, 因此需结合工业物联网技术优化检定校准流程, 提升实时响应能力<sup>[1]</sup>。

## 2 影响钢铁机械检定校准实时性的因素分析

### 2.1 技术因素

技术因素是制约钢铁行业仪器仪表、压力变送器、传感器检定校准实时性的核心, 首先, 数据采集技术存在局限, 传统人工采集方式效率低, 单台压力变送器数据采集需30分钟以上, 且易受人为操作误差影响; 部分老旧传感器响应速度慢 (响应时间  $> 1$ 秒)、智能仪表数据输出接口不兼容, 无法实时捕捉压力变送器动态运行中的瞬时波动数据。其次, 数据传输存在瓶颈, 传统工业总线传输速率低 (如RS485总线速率  $\leq 115.2$ kbps), 多台仪器仪表同时传输数据时易出现拥堵; 部分钢铁厂厂区面积大, 信号覆盖不均, 边缘区域 (如储罐区压力变送器) 数据传输延迟可达数秒, 导致检定校准数据无法实时反馈。最后, 数据处理技术滞后, 传统离线数据分析需人工整理压力变送器示值误差、仪器仪表测量偏差, 从数据采集到生成校准报告需数小时, 无法快速生成校准指令, 延误校准时机, 尤其在压力变送器突发零点漂移时, 难以及时调整, 影响生产参数控制。

### 2.2 管理因素

管理因素通过流程设计与资源调配影响测量设备检

定校准实时性，一是检定校准计划缺乏动态调整机制，多数钢铁企业采用固定周期（如每月一次）校准模式，未结合压力变送器工作负荷、仪器仪表使用频率、传感器环境适应性灵活调整，导致设备异常时无法及时校准，而正常运行设备过度校准，浪费资源。二是部门协同效率低，检定校准需生产部门配合暂停压力变送器所在设备运行、技术部门提供设备参数（如压力变送器量程、精度等级）、校准部门执行操作，传统沟通依赖会议、纸质单据，信息传递耗时，例如生产部门发现流量仪表测量偏差申请紧急校准时，需多层审批，响应时间超24小时。三是人员管理存在短板，部分校准人员对新型智能压力变送器、数字化仪器仪表操作不熟练，延长校准操作时间；同时人员排班不合理，高峰时段（如月度检修）校准任务集中，导致传感器、压力变送器等待校准时间过长，影响实时性。

### 2.3 环境因素

钢铁生产环境的特殊性对测量设备检定校准实时性产生显著影响，一是恶劣的物理环境干扰，钢铁厂区高温（部分区域温度 > 60℃）、高粉尘、强电磁辐射，会降低压力变送器、传感器、智能仪表的稳定性，导致数据采集频繁中断，例如粉尘附着在压力变送器膜片上，会使压力测量误差增大，需频繁清理维护，延误数据采集；强电磁辐射会干扰传感器无线传输信号，导致数据丢包率超5%，影响数据实时传输<sup>[2]</sup>。二是生产负荷波动影响，钢铁生产存在旺季、淡季差异，旺季时设备满负荷运行，生产部门为保障产量，常推迟非紧急仪器仪表、传感器校准任务，导致校准延迟；同时满负荷运行下压力变送器、流量仪表磨损加快，精度偏差风险升高，需更频繁校准，进一步加剧校准资源紧张与实时性矛盾。三是空间布局限制，大型钢铁企业厂区跨度大（可达数公里），部分校准标准设备（如便携式压力校准仪）需在不同车间间移动，运输耗时，尤其在高峰期交通拥堵，导致校准人员到达储罐区、加热炉等压力变送器所在区域时间延长，影响实时响应。

## 3 工业互联网对提升钢铁机械检定校准实时性的作用机制

### 3.1 实时数据采集与传输

工业互联网通过感知层与传输层协同，打破传统测量设备数据采集传输的时空限制，为实时性提升奠定数据基础。在数据采集环节，部署耐高温、抗粉尘的工业级设备，如高温型压力变送器（工作温度-40℃~120℃）、防尘型传感器（防护等级IP68）、数字化智能仪表，直接嵌入钢铁生产关键部位，实现24小

时不间断数据采集，采集频率可达毫秒级（如每10ms采集一次压力变送器输出信号），无需人工干预，避免人为延迟；同时设备具备自清洁、自校准功能（如压力变送器自动零点校准），减少环境干扰导致的采集中断，数据采集连续性提升至99%以上。在数据传输环节，采用5G+工业互联网融合传输方案，5G网络覆盖厂区边缘区域（如储罐区），解决信号盲区问题，传输时延控制在10ms以内；工业互联网连接核心测量设备（如中央控制室仪器仪表、关键压力变送器），确保大数据量（如压力变送器连续曲线、仪器仪表历史数据）高速传输，数据丢包率低于0.1%，实现采集数据实时上传至云端或边缘平台，为后续分析校准提供及时数据支撑。

### 3.2 智能数据分析与处理

工业互联网通过平台层的智能算法，实现测量设备数据快速分析与校准决策自动化，缩短从数据采集到校准执行的时间差。一方面，边缘计算节点对采集的实时数据进行预处理，筛选关键指标（如压力变送器示值误差、传感器线性度偏差、仪器仪表重复性），剔除无效数据，减少数据传输量，同时通过预设阈值（如压力变送器示值误差超过±0.5%FS触发预警）实时监测设备精度状态，一旦超标立即生成异常信号，无需等待云端分析，响应时间缩短至秒级。另一方面，云端平台利用机器学习、大数据分析算法，构建测量设备精度预测模型，结合历史校准数据（如压力变送器历年零点漂移趋势）、设备运行环境（温度、湿度），实时预测精度偏差趋势，例如通过分析蒸汽管道压力变送器的输出数据，提前2小时预测其示值误差将超阈值，主动推送校准提醒；同时算法可自动生成校准方案，明确压力变送器校准点、仪器仪表调整参数，无需人工计算设计，方案生成时间从传统4小时缩短至5分钟，大幅提升校准决策效率。

### 3.3 远程协同与自动化控制

工业互联网通过应用层的远程协同与自动化功能，减少人工干预环节，提升测量设备校准操作实时性。在远程协同方面，搭建跨部门协同平台，生产、技术、校准部门实时共享压力变送器运行数据、仪器仪表故障信息、传感器校准需求，生产部门提交紧急校准申请后，系统自动推送至技术部门审核（确认设备参数）、校准部门接单，审批流程从24小时缩短至1小时；同时支持远程专家协作，当现场人员遇到智能压力变送器校准难题时，可通过平台上传设备数据、实时视频，专家远程指导操作，避免等待专家到场的现场时间损耗，例如远程指导加热炉温度传感器校准，可节省专家往返4小时路程时间<sup>[3]</sup>。

在自动化控制方面,对具备远程控制功能的智能压力变送器、数字化仪器仪表,可通过工业物联网平台直接下发校准指令,控制设备自动调整参数,无需人工现场操作,例如对流量仪表测量精度校准,系统自动发送量程调整指令,实时监测调整效果,校准时间从传统2小时缩短至30分钟,且校准过程无需停机,实现“在线实时校准”,保障生产连续性。

#### 4 钢铁机械检定校准实时性优化策略

##### 4.1 技术优化策略

技术优化聚焦“采集-传输-处理-执行”全流程。数据采集方面,升级设备,用工业级智能设备替换老旧款,高温高粉尘区域选耐高温、防尘型设备,确保稳定采集;引入智能仪表校验仪等,通过图像识别等实时监测仪器仪表外观及传感器信号。传输网络架构上,构建“5G+边缘节点+工业以太网”三层网络,在厂区关键区域部署5G微基站,边缘节点设于各车间,实现数据就近处理与快速传输;核心设备用工业以太网专线连接,引入网络切片技术,为检定校准数据分配独立通道,传输时延控制在5ms内。智能算法应用上,边缘节点部署轻量化异常检测算法,实现实时预警;云端开发校准参数自优化算法,自动生成最优参数;引入数字孪生技术,构建虚拟模型,模拟优化实际校准流程,缩短现场操作时间。

##### 4.2 管理优化策略

管理优化通过流程与资源调整提升协同效率。建立动态校准计划机制,基于设备工作负荷等分级,A类关键设备实时监测、按需校准,B类重要设备“周期+预警”校准,C类辅助设备固定周期校准;开发智能计划调度系统,动态分配任务。构建跨部门协同平台,整合数据,实现全流程线上化,设紧急校准“绿色通道”,简化审批至2级,1小时内响应;建立实时沟通模块,解决信息不对称。优化人员管理,开展“物联网+校准”技能培训,考核合格上岗;采用弹性排班制,高峰时段增援;建立绩效与实时性挂钩机制,激励人员提升效率<sup>[4]</sup>。

##### 4.3 保障措施

保障措施从技术、管理、资源三方面确保测量设备检定校准实时性优化策略有效落实。(1)技术保障方

面,构建设备运维体系,定期对压力变送器、传感器等设备开展巡检维护,每月检测设备精度、响应速度及网络传输质量,每季度对平台算法如校准参数自优化算法进行优化升级,保障技术设备稳定运行。同时,建立数据安全保障机制,运用SSL/TLS协议加密传输,实施访问权限分级管理,仅允许校准人员修改压力变送器校准参数,防止数据泄露与篡改,确保数据可靠。

(2)管理保障上,制定《钢铁行业测量设备实时校准管理规范》,明确各部门职责、设备校准流程及实时性指标,如响应时间不超1小时、校准完成时间不超2小时。定期开展合规检查,通报整改违规行为。建立效果评估机制,每月分析校准实时性数据,如延迟率、设备停机时间,对比优化前后效果,及时调整策略。(3)资源保障上,加大资金投入,用于采购与升级智能压力变送器等设备,设立专项基金支持技术研发。加强人才储备,引进专业人才,与高校、科研机构合作攻关技术,培养复合型人才,为优化提供长期支撑。

#### 结束语

工业互联网推动下,钢铁工业智能化转型,测量设备检定校准实时性对保障生产精度、降低成本至关重要。本文剖析了制约实时性的技术、管理及环境因素,阐述了工业互联网在测量设备各环节的作用,给出全流程技术、精细化管理优化方案及多维度保障措施,为构建实时校准体系指明方向。未来,6G、人工智能大模型等技术发展,测量设备检定校准将迈向“全自主实时校准”,企业应持续创新变革,融入生产全流程,推动钢铁工业高效、智能、绿色发展。

#### 参考文献

- [1]吴旻.浅谈钢铁机械环保节能设计要点[J].冶金与材料,2019,39(5):98,100.
- [2]周晓东.轧压钢铁机械设备存在的问题及对策[J].冶金与材料,2022,42(1):143-144.
- [3]徐磊.钢铁机械设备的故障诊断及处理方法分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(5):549-550.
- [4]赵建磊.轧压钢铁机械设备的检查维修探讨[J].文渊(小学版),2020(2):783-784.