

基于 IOT 物联网的特钢产线一体化平台构建与应用

李亚^{1,*}, 郭馨培², 宋子轩³, 董世元¹, 何宗蔚¹

¹ 邯鄲威赛博工业互联网有限责任公司, 河北邯鄲, 中国

² 河钢数字信达(邯鄲)科技有限公司, 河北邯鄲, 中国

³ 南京林业大学, 江苏南京, 中国

*通讯作者

【摘要】 本文旨在搭建一套特钢产线一体化智能平台, 实现钢轧一体化质量管控。该平台基于 IOT 物联网技术, 有效打通了钢铁企业炼钢、轧钢各工序环节间的数据壁垒, 通过云边协同机制实时采集并整合生产现场多源异构数据, 实现了全流程数据的互联互通与沉淀利用。同时, 该系统实时监控工艺过程关键参数, 并基于预设的质量判定规则, 对全流程各工序产品进行质量等级动态评定, 由此建立起覆盖全流程的产品质量追溯体系, 从而显著降低高端特钢产品的质量波动性。

【关键词】 IOT 物联网; 钢轧一体化; 质量追溯

1. 引言

工业 4.0 浪潮正驱动全球制造业向数字化与智能化深刻转型[1], 这为钢铁行业通过 IOT 物联网等使能技术实现全流程质量管控的突破性升级提供了关键的时代背景与技术契机。同时, 特钢产线用户对产品质量要求不断升级, 为进一步推进特钢产品质量稳定提升, 满足下游轧钢对高端特钢产品的需求, 需构建一套特钢产线一体化智能平台。因此, 本文构建平台基于 IOT 物联网技术, 通过云边协同机制[2]实时采集和整合生产线上的各类多源异构数据, 进而确保从炼钢到轧钢全流程的产品质量数据得到整体把控, 减小产品质量的波动, 实现钢轧一体化, 提高高端特钢产品的稳定性和一致性。进一步响应国家制造强国战略、以信息技术与制造技术深度融合推动钢铁行业向智能制造转型升级[3]。

现有 mes 执行制造系统、生产二级系统、质检三级系统多局限于工序内部, 缺乏覆盖“炼钢-轧钢”跨工序质量协同分析与管理能力。本文旨在研究并构建一套基于 IOT 物联网的特钢产线一体化智能平台, 该平台的建设将重点解决以下问题: (a) 整合现场多源异构数据, 实现各工序全要素数据的统一接入与数据治理, 并提供数据推送服务;

(b) 各工序关键参数在线监控与诊断, 语音指导与颜色标识预警, 数据沉淀利用进行 SPC 过程统计分析; (c) 建立专家规则, 实现全流程跟踪与等级判定。

2. 平台设计

2.1 总体方案

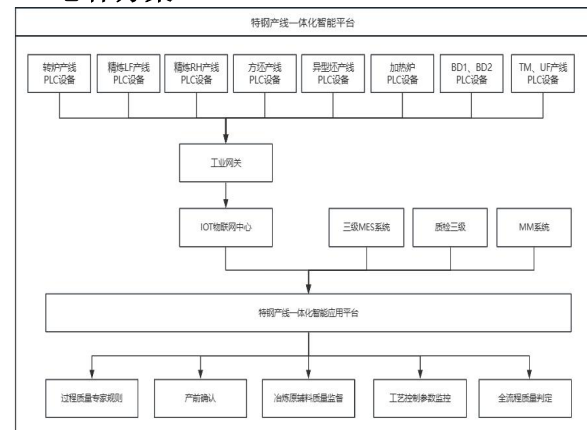


图 1. 平台设计总体流程图

本文提出方案旨在构建一套以数据驱动、模型支撑、业务联动[4]的特钢产线一体化智能平台。该方案依托 IOT 物联网数据中心, 汇聚特钢产线在炼钢、轧钢关键工序参数, 有效打通跨工序的数据壁垒。通过云边协同机制实时采集并整合生产现场多源异构数据, 实现了全流程数据的互联互通与沉淀利用。融合现场网络安全要求, 采用客户端-服务器架构开发设计了产前确认、冶炼原辅料质量监督、工艺过程参数监控、专家规则制定、全流程质量判定功能模块。平台实时监控工艺过程关键参数, 并基于预设的质量判定规则, 对全流程各工序产品进行质量等级动态评定, 为产品质量的全过程追踪与溯源提供核心支撑, 从而显著降低高端特钢产品的质量波动性。整体开发设计流程如图 1

所示。

2.2 物联网数据中心

在面向特钢产线一体化智能平台中，IOT 物联网数据中心是系统实现“数据驱动”的智能核心与赋能基础。该数据中心承载着将海量多源异构的原始工业数据转化为统一、可信、可用的高质量数据资产的关键使命。IOT 物联网数据中心向下连接边缘网关，向上通过 MQTT 订阅、API 接口将数据推送至应用侧。

工业网关与 IOT 物联网平台采用云边协同机制，无需重复管理设备，实现点位数据实时上传。边缘侧工业网关部署在炼钢、轧钢生产现场，通过 S7-400、S7-300、modbusTcp 等多种协议采集并解析 PLC、传感器等实体设备中的数据，并通过 MQTT 协议实时传送到 IOT 物联网数据中心。云端 IOT 物联网数据中心采用高吞吐、低成本、低延时的轻量级 IOTDB 时序数据库，以此来满足产线数据实时性的要求。云端 IOT 物联网数据中心接收数据后进行实时解析计算，按规则匹配后将数字可视化呈现在数据中心上，数据按权限要求开放至各应用系统，供应用侧进行各工艺模型的搭建。统一数据接口为各应用系统数据一致性提供保障。图 2 为 IOT 物联网数据中心整体架构。



图 2. IOT 物联网数据中心整体架构

2.3 产前设备确认

产前设备运行状态是决定产前工艺稳定性和最终产品质量的关键前馈因素。研究表明，关键机组（如精炼炉、连铸机、轧机）的振动、温度、精度等状态参数的异常波动，会直接导致工艺窗口偏移，进而引发成分不均、尺寸超差或表面缺陷等质量问题[5]。因此，在特钢产线全流程质量管控中，对设备状态的实时监测与健康评估，已成为实现预防性质量控制不可或缺的一环[6]。

本文所提方案通过开发人工录入界面，由炼钢、轧钢各岗位工艺人员在生产前检查设备运行状态，并及时填报系统。系统根据

用户填报情况，自动统计出具各班次离线报表。方便对现场设备进行管理，确保过程质量得到精准执行。

2.4 冶炼原辅料质量监督

特钢成品的最终性能与质量稳定性与冶炼过程中投入的原辅料的成分精确性与质量一致性密切相关。散料、铁合金、耐火材料等原辅料的化学成分及物理特性，是决定钢水洁净度、合金收得率及最终产品机械性能的决定性基础[7]。因此，在特钢产线一体化智能平台的建设中，为从源头上确保产品核心质量，构建并实施基于数据驱动的冶炼原辅料质量监督模块至关重要。

本文所提构建方案将根据组批号关联 MM 物流系统车辆信息、质检三级成分检验信息，进而提供进厂原辅料质量信息的跟踪。该功能模块支持按时间段查询化学成分、水分等关键质检信息，支持通过进厂物料号逆向追溯该批次辅料当前的使用流向与状态，同时系统可依据维护的质量标准，系统自动通过颜色标识进行报警。针对以供应商质检数据为准结算的物料，本文构建方案提供人工录入界面，由各工序工艺人员定期录入供方质保书。

2.5 工艺过程参数监控

工艺过程参数的实时监控是把控特钢产线成品质量的关键步骤[8]，本文所提方案通过 MQTT 协议订阅 IOT 物联网数据中心各产线工艺过程关键数据，在应用侧对这些工艺参数进行精确控制和实时监测预警，同时出具相关智能分析报表。下面以几个关键工序详细介绍工艺过程参数监控的具体实现形式。

转炉工序结合包号识别系统自动匹配当前炉次的冶炼前基础信息，通过物理静态模型预测吹氧量与加料量，同时融合烟气分析、声呐化渣及激光测温技术，完成转炉 TSC 的碳含量与温度预测，进而实现转炉冶炼过程的实时跟踪。

精炼工序实时采集并可视化关键工艺参数与趋势，自动接收生产计划并与前后工序智能协同，同时联动钢包管理系统提升周转效率。通过实时语音指导规范各阶段操作，降低人为失误，并具备参数预警与过程样跟踪功能以保障精炼质量。每炉生产后自动生成工艺与操作报表，进而实现钢水进站至出站的全流程闭环跟踪。

异型坯工序实时跟踪铸坯火切信号，针

对异常铸坯提供剔除与恢复功能，可视化展示液面波动、拉速、二冷水流量等关键工艺参数的详细趋势，系统自动生成历史生产记录报表，并与三级MES系统生产实绩自动匹配，为后续铸坯追踪提供技术支撑。

2.6 专家规则制定

为确保特钢产品质量达标，建立一套科学、动态、可追溯的质量规则体系。该体系旨在通过实时监控与数据回溯，实现对生产全流程的精准控制，从而提升效率、降低风险，保障产品质量的稳定性与可靠性。

在规则设计上，兼顾生产参数的多样性和复杂性，支持对单值指标（如化学成分含量）或连续值指标（如温度曲线）的灵活设定判定规则，同时允许针对特殊工艺定制个性化规则，工艺人员可在系统维护上限、下限、判定等级等详细规则参数。为加速规则迭代优化，开发了智能跑分模块，通过模拟历史数据对规则进行预验证，生成包含参数等级、等级占比等关键指标的评估报表，帮助技术人员快速定位规则缺陷，结合专家经验形成闭环优化机制，从而在保证严谨性的同时提升质量管理的敏捷性。同时，为方便工艺人员快速制定规则，本文所提构建方案提供规则整体复制和局部复制功能。

2.7 全流程质量判定

本文所提构建方案质量判定将贯穿于特钢产线全流程工序，实现从炼钢到轧钢的跨工序质量数据贯通与协同分析[9]。基础在于构建一个覆盖“钢-轧”全流程的数字化基座，通过IOT物联网技术对物质流与信息流进行同步映射与动态跟踪，从而支撑起贯穿制造全过程的质量判定、追溯与优化闭环[10]。

依托各工序预制定的专家判定规则，系统逐级进行质量等级动态评定并出具综合得分，最终整合各环节数据形成全流程综合判定报表，实现产品质量的全流程精准追溯。判定结果灵活组合钢种、牌号、时间、炉次等关键字段提供多维度查询，同时针对各工序关键参数提供SPC过程控制分析，基于 3σ 原则建立均值-极差控制图。

3. 结论

针对特钢生产流程长、质量影响因素复杂、跨工序协同难的问题，本文旨在基于IOT物联网技术开发构建一套特钢产线一体

化智能平台。该平台的构建与实施将促进钢铁企业响应“十五五规划”，进行数智化转型。本文所提构建方案覆盖原辅料、设备、冶炼过程、质检成分等多维度全流程质量管理体系，精准保障材料成分与性能，从而有效满足下游高端轧材对特钢产品在强度、韧性及可靠性等方面的严苛需求。同时，依托平台的实时监控与跨工序协同优化能力，生产效率获得系统性提高，具体表现为工艺稳定性增强、生产节奏优化以及非计划停机减少，实现了质量与效能的同步提升。

参考文献

- [1] XU, LI, DA, et al. Industry 4.0: state of the art and future trends [J]. International Journal of Production Research, 2018, 56(8): 2941-2962.
- [2] LU Y, XU X. Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable smart manufacturing [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2019, 50: 1-12.
- [3] 周济. 智能制造——“中国制造2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.
- [4] ZHANG Y, et al. An Industrial Internet of Things based platform for data-driven steelmaking process management [J]. Journal of Industrial Information Integration, 2020, 18: 100142.
- [5] GHOSH S, GUBBI J. IoT-based condition monitoring and predictive maintenance for steel plants [J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 19(22): 10673-10682.
- [6] 文胜利, 王国栋, 刘相华. 钢铁行业智能制造技术发展现状与展望[J]. 钢铁, 2019, 54(6): 1-12.
- [7] 李晶, 傅杰, 等. 特种钢冶炼用关键原辅材料对钢中非金属夹杂物的影响与控制[J]. 特殊钢, 2020, 41(1): 1-7.
- [8] 姜周华, 李花兵, 等. 高端装备用特种合金钢冶金质量精准控制[J]. 钢铁, 2020, 55(10): 1-12.
- [9] 李志伟, 王悦晓, 张军霞, 等. 智能钢轧一体化管控平台研究与应用[J]. 冶金自动化, 2023, 47(02): 41-47.
- [10] 何安瑞, 邵健, 孙文权. 基于工业互联网的钢铁智能制造平台构建与应用[J]. 钢铁, 2021, 56(10): 1-9.