5G 和工业 PON 在轴承制造企业的技术研究

许建涛[1] 陆爽[2] 胡桥[3] 吕鸿霖[4]

1. 中国电信股份有限公司河北分公司；2. 宝山钢铁股份公司；

3. 南京钢铁股份有限公司；4. 宝武安徽马钢设备检修有限公司

摘要：随着全球制造业向数字化、智能化方向加速转型，5G 技术及工业 PON 双千兆网络（以下简称 5G 双千兆网络）与工业互联网的深度融合为传统制造企业提供了全新的升级路径。本文以某轴承制造企业为研究对象，围绕其 5G 双千兆网络工厂建设背景、目标、特色、实施路径及预期效益等方面展开系统研究。

关键词：5G；工业 PON；轴承；数字化转型

5G 技术的高速率、低时延、大连接特性，为工业互联网的广泛应用提供了坚实基础。在这一背景下，制造业企业亟需通过数字化转型实现生产流程的智能化升级，以应对日益激烈的市场竞争。本文旨在系统研究该企业 5G 双千兆网络工厂的技术方案，为同类企业提供可借鉴的实践路径。

1 背景介绍

某轴承制造企业作为制造业的重要组成部分，致力于高端零部件的制造与研发。随着市场需求的不断变化，企业面临生产效率低、产品质量不稳定、能源消耗大等问题。需通过 5G 双千兆网络工厂建设，实现生产流程的全面智能化升级。

2 建设目标

5G 双千兆网络工厂的建设目标是通过构建以工业互联网平台为核心的技术体系，实现生产流程的全面智能化、数据驱动的精细化管理、绿色低碳的可持续发展以及企业竞争力的全面提升，具体目标如下。

1）实现全流程自动化和无人化生产。通过智能机器人、自动化生产线和 5G 双千兆网络，实现关键工序的无人化作业，提升生产效率和产品质量。

2）构建数据驱动的精细化运营管理。通过物联网平台、数据中台和边缘计算技术，实现生产数据的实时采集、分析与应用，优化生产流程，降低能耗和成本。

3）提升质量管控与工艺优化能力。通过智能检测系统、数字孪生技术和工艺优化算法，实现产品质量的精准控制和工艺流程的持续优化。

4）推动绿色低碳和资源高效利用。通过能源管理系统、碳排放监测和资源循环利用技术，实现能源消耗的最小化和环境影响的最小化。

5）打造智能化、数字化的标杆工厂。通过数字孪生、AI 视频监管和智能运维平台，实现工厂的全面智能化管理，树立行业标杆。

3 建设方案

3.1 平台建设方案

5G 双千兆网络工厂的建设特色在于其平台架构的统一性、数据驱动的业务流程再造以及高度封装的定制化开发能力。采用统一的架构平台设计和数据库设计规范，对典型应用场景提供详细规范与标准化数据服务，从根本上打破数据孤岛。以数据驱动业务生产流程再造为基础，利用物联网和数采能力收集实时生产数据，以优化生产流程，减少能源消耗和物料浪费。在底层设计中，链接应用算法为基础的微智能体服务能力，为上层应用提供算法调用支撑服务。

3.2 5G 双千兆网络 + 工业 PON 建设特色

通过 5G 双千兆网络和工业 PON 技术的深度融合，构建适配智能制造场景的专属网络基础设施。网络架构如图 1 所示，具体建设内容包括：部署基于超级上行、载波聚合的 5G 独立基站，实现厂区毫米级深度覆盖；下沉边缘计算节点（MEC）与天翼云协同，确保

工业视觉检测、AGV 调度等关键业务数据本地化处理；采用网络切片技术为机器人控制、设备监测等业务划分独立虚拟通道，保障控制指令传输时延低于 50 ms。

该方案通过 5G 双千兆网络和工业 PON 技术的深度融合，解决了传统网络在高精度设备数据传输、恶劣环境适应性差、多协议兼容性不足和网络扩展成本高等问题，满足制造多环节协同和高精度制造需求。

3.3 系统架构设计

5G 双千兆网络工厂的系统架构分为 4 个层次：感知层、网络层、平台层和应用层。感知层通过传感器、摄像头、RFID 标签等设备，实时采集生产、设备、能源以及安全等多维度数据；网络层通过 5G 和 Wi-Fi6 技术，实现高带宽、低时延的数据传输；平台层基于边缘计算技术，对数据进行清洗、分析和智能决策支持；应用层则通过各种智能系统，如智能检测、安全监控以及能源管理等，实现生产流程的全面智能化管理。系统总体逻辑结构如图 2 所示。

3.4 功能设计

3.4.1 物联网平台

物联网平台是智慧工厂的核心组成部分，负责设备数据的接入、采集、传输和管理。平台通过标准化协议统一接入各类设备，实现设备状态的实时监控和远程控制。支持多种数据采集方式，包括数据采集器、传感器、视频监控等，实现生产数据的全面采集。提供数据中台，支持数据汇聚、存储、分析和应用，为上层应用提供数据支撑。

3.4.2 数据中台

数据中台是智慧工厂的数据中枢，负责数据的汇聚、治理、存储和分析。平台采用湖仓一体架构，底层依托数据湖技术存储结构化、半结构化、非结构化的大量级数据，通过数据分析引擎实现底层数据的分析和再加工计算，并以此形成数据指标模型体系，系统功能体系框架如图 3 所示。支持多种数据源的接入，包括关系型数据库、非关系型数据库、大数据数据源等。

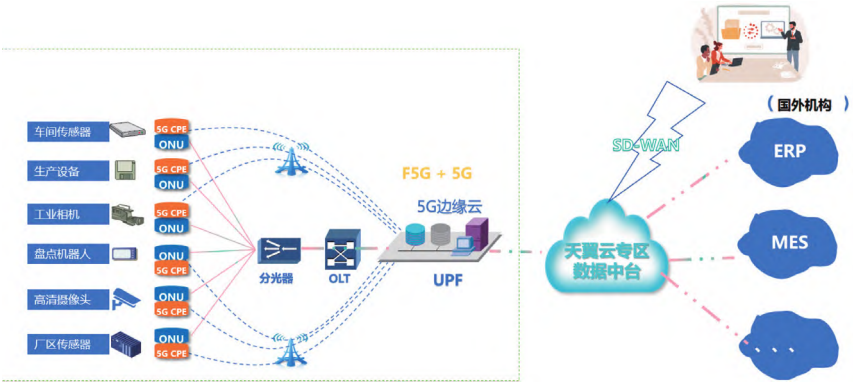

图 1 网络架构

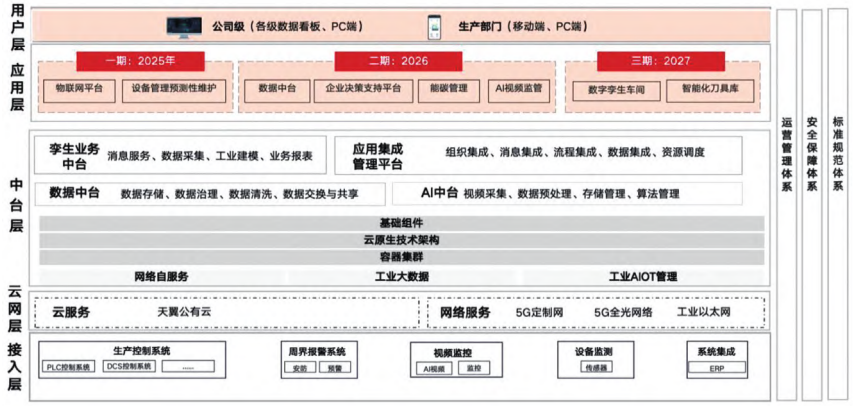

图 2 系统总体逻辑结构

图 3 系统功能体系框架

智能检测系统是智慧工厂质量管控的核心，通过 AI 视觉检测系统，实现产品质量的精准控制。系统采用多目视觉检测技术，结合高精度工业相机和图像处理算法，实现对关键部件的尺寸、几何误差、表面缺陷等的自动检测。系统支持多任务并行处理，可同时检测多个产品，提高检测效率。系统支持缺陷分类和分级，通过机器学习模型，实现对缺陷的自动识别和分类，提高检测准确率。系统支持与 MES 系统集成，实现检测数据的实时上传和工艺优化。系统支持远程监控，通过视频监控和 AI 视频分析，实现对生产现场的实时监控和异常预警。

3.4.3 智能检测系统

3.4.4 数字孪生系统

数字孪生系统是智慧工厂实现全流程可视化和可追溯的核心，通过构建物理实体的虚拟映射，实现对生产流程、设备状态、能耗数据等的实时监控和分析。系统采用三维建模技术，构建工厂的数字孪生模型，实现对工厂布

局、设备状态、工艺流程的可视化展示。系统支持实时数据采集，通过传感器、PLC、MES 等系统，实时获取设备运行状态、生产数据等信息，并在数字孪生模型中进行可视化展示。系统支持工艺仿真，通过数字孪生模型，模拟不同工艺参数对产品质量的影响，优化工艺流程。系统支持预测性维护，通过分析设备运行数据，预测设备故障风险，提前进行维护，减少停机时间。

3.4.5　能源管理系统

能源管理系统是智慧工厂实现绿色低碳和资源高效利用的核心，通过实时监测和优化能源消耗，实现能源的精细化管理。系统采用能源采集设备，对电力、水、气等能源消耗进行实时监测，并通过数据中台进行分析和优化。系统支持能源消耗分析，通过历史数据和实时数据的对比，分析能源消耗趋势，识别节能潜力。系统支持能源优化策略，通过算法模型，优化能源使用策略，降低能源消耗。系统支持能源可视化，通过大屏展示、看板分析等方式，实现能源消耗的直观呈现。系统支持能源管理决策，通过数据分析和预测，为管理层提供决策支持，优化能源使用策略。空压系统示意如图 4 所示。

3.4.6　安全监控系统

安全监控系统是智慧工厂实现安全生产和风险管控的核心，通过实时监控和预警，实现对生产现场的安全管理。系统采用视频监控、红外感应、智能门禁等技术，实现对生产现场的实时监控。系统支持智能识别，通过 AI 视频分析技术，识别异常行为，如人员违规操作、设备异常运行等，并进行预警。系统支持报警联动，通过报警信号，触发相关设备的自动关闭或报警通知，确保生产安全。系统支持远程监控，通过视频监控和报警信息，实现对生产现场的远程监控和管理。系统支持安全数据分析，通过历史数据和实时数据的分析，识别安全风险，优化安全管理策略。

3.4.7　智能运维系统

智能运维系统是智慧工厂实现设备全生命周期管理的核心，通过预测性维护、远程诊断等技术，实现设备的高效运维。系统采用设备状态监测技术，通过传感器、PLC 等设备，实时监测设备运行状态，并通过数据分析，预测设备故障风险。系统支持远程诊断，通过远程连接设备，进行故障诊断和维修指导，提高运维效率。系统支持设备健康管理，通过设备运行数据，评估设备健康状态，制定维护计划。系统支持运维知识库，通过历史故障数据和维修经验，建立运维知识库，提高运维效率。系统支持运维可视化，通过大屏展示、看板分析等方式，实现设备状态的直观呈现。

3.4.8　供应链协同平台

供应链协同平台是智慧工厂实现供应链协同和资源优化配置的核心，通过实时数据共享和协同，实现供应链的高效协同。平台采用供应链数据采集技术，对供应商、生产、物流等环节进行实时数据采集，并通过数据中台进行分析和优化。

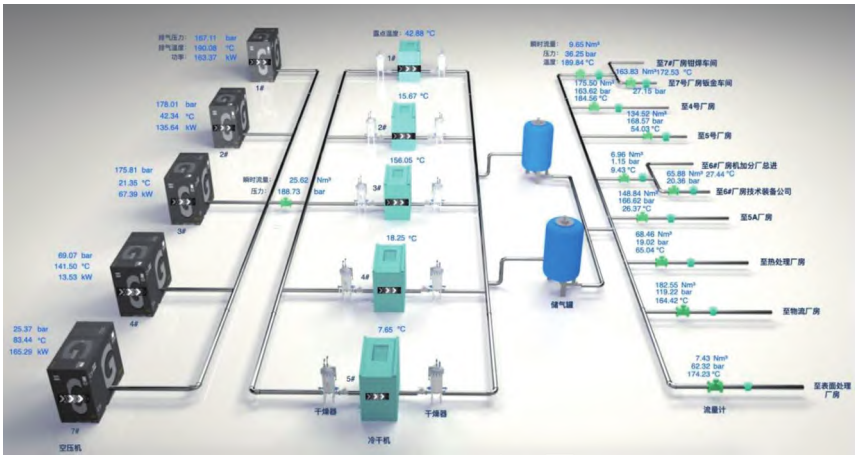

图 4　空压系统示意图

3.4.9　人才培训与知识传承平台

人才培训与知识传承平台是智慧工厂实现员工技能提升和知识传承的核心，通过数字化手段，实现员工技能的快速提升和知识的传承。平台采用在线培训系统，通过视频课程、模拟操作、在线考试等方式，实现员工技能的快速提升。平台支持知识库建设，通过历史工艺数据、操作经验、故障案例等，建立知识库，实现知识的传承和共享。平台支持技能认证，通过技能考核和认证，实现员工技能的量化评估和认证。

4　关键技术应用

4.1　5G 双千兆网络与工业 PON 融合

通过 5G 双千兆网络和工业 PON 技术的深度融合，实现高精度设备数据的实时传输，解决传统网络在高精度制造中的时延和稳定性问题。5G 双千兆网络提供高带宽、低时延的通信能力，支持工业视觉检测、AGV 调度等关键业务的实时数据传输。工业 PON 技术则提供光纤接入能力，实现设备与网络的无缝连接。

4.2　边缘计算与数字孪生

边缘计算技术实现数据的本地化处理，减少对云端的依赖，提高响应速度。数字孪生技术通过构建物理实体的虚拟映射，实现对生产流程、设备状态、能耗数据等的实时监控和分析，为生产优化提供数据支持。

4.3　AI 与大数据分析

AI 技术用于智能检测、智能运维等场景，提高检测准确率和运维效率。大数据分析技术用于生产数据的挖掘和分析，为工艺优化、能源管理等提供决策支持。

4.4 工业互联网平台

工业互联网平台是智慧工厂的核心，通过统一的数据采集、传输和处理能力，实现各系统之间的互联互通。平台支持多种协议和接口，具备良好的扩展性和兼容性，能够快速集成各类工业设备和系统。

4.5 绿色低碳技术

通过能源管理系统、碳排放监测等技术，实现能源消耗的最小化和环境影响的最小化。通过资源循环利用技术，提高资源利用效率，实现绿色低碳发展。

5 预期效益

5G 双千兆网络工厂的建设将带来多方面的显著效益，具体包括如下。

1）生产效率提升。通过自动化和智能化技术的应用，实现生产流程的全面优化，提高生产效率。例如，通过智能机器人和自动化生产线，减少人工干预，提高生产效率。

2）产品质量提升。通过智能检测系统和数字孪生技术的应用，实现产品质量的精准控制。例如，通过 AI 视觉检测技术，提高产品检测的准确率和效率，减少次品率。通过数字孪生系统，实现对生产流程的实时监控和优化，提高产品质量稳定性。

3）能源消耗降低。通过能源管理系统和绿色低碳技术的应用，实现能源消耗的最小化。通过安全监控系统和智能运维系统，实现对生产现场的安全管理。例如，通过 AI 视频分析技术，识别异常行为，提高安全预警能力。

4 ）企业竞争力提升。通过智慧工厂的建设，实现企业数字化转型，提升企业竞争力。例如，通过数据驱动的精细化管理，提高生产效率和产品质量。通过供应链协同平台，实现供应链的高效协同，降低库存成本和物流成本。通过人才培训与知识传承平台，实现员工技能的快速提升，提高企业创新能力。

5 ）经济效益提升。通过智慧工厂的建设，实现企业经济效益的全面提升。例如，通过生产效率的提升，降低生产成本，提高产品附加值。通过能源消耗的降低，减少能源支出，提高盈利能力。通过供应链优化，降低库存成本和物流成本，提高供应链效率。

6 风险与对策

6.1 技术风险

6.1.1 技术成熟度不足

5G 双千兆网络、工业 PON、边缘计算等技术在实际应用中可能存在技术成熟度不足的问题，影响系统的稳定性和可靠性。

对策：选择成熟的技术方案，与技术供应商合作，进行技术验证和优化，确保技术的稳定性和可靠性。

6.1.2 数据安全与隐私保护

在智慧工厂中，大量敏感数据被采集和传输，存在数据泄露和隐私保护的风险。

对策：建立完善的数据安全体系，采用数据加密、访问控制、审计日志等手段，确保数据的安全性和隐私性。

6.1.3 系统集成复杂性

智慧工厂涉及多个系统和平台的集成，存在系统兼容性差、数据不一致等问题。

对策：采用统一的架构平台设计和数据标准，确保各系统之间的互联互通和数据一致性。

6.2 实施风险

6.2.1 项目进度延迟

智慧工厂建设涉及多个环节，存在项目进度延迟的风险。

对策：制定详细的实施计划，分阶段推进，确保各阶段任务按时完成。

6.2.2 成本超支

智慧工厂建设涉及大量资金投入，存在成本超支的风险。

对策：进行详细的成本估算，合理分配资金，采用分阶段投资的方式，确保资金的合理使用。

6.2.3 人员培训不足

智慧工厂建设需要大量高素质人才，存在人员培训不足的风险。

对策：建立完善的人才培训体系，通过在线培训、模拟操作等方式，提高员工的数字化技能。

6.3 管理风险

6.3.1 组织架构调整

智慧工厂建设需要组织架构的调整，存在员工适应性差的风险。

对策：进行组织架构调整的规划，通过沟通和培训，提高员工的适应能力。

6.3.2 跨部门协作困难

智慧工厂建设涉及多个部门的协作，存在跨部门协作困难的风险。

对策：建立跨部门协作机制，通过定期会议和沟通平台，提高协作效率。

6.3.3 战略执行偏差

智慧工厂建设需要长期的战略规划，存在战略执行偏差的风险。

对策：建立战略执行机制，通过定期评估和调整，确保战略的顺利实施。

7 结论

5G 双千兆网络工厂的建设是企业实现数字化转型和智能化升级的重要举措。通过构建以工业互联网平台为核心的技术体系，实现生产流程的全面智能化、数据驱动的精细化管理、绿色低碳的可持续发展以及企业竞争力的全面提升。研究结果表明，5G 双千兆网络工厂的建设不仅能够显著提升生产效率和产品质量，还能有效降低能源消耗和安全风险，推动企业实现高质量发展。