

基于工业互联网的机械工程制造智能工厂构建

朱小红 李 伟 李 斌
中国轻工业长沙工程有限公司 湖南 长沙 410114

摘 要：本文围绕基于工业互联网的机械工程制造智能工厂构建展开。阐述工业互联网概念、架构及对智能工厂构建的作用，设计智能工厂总体架构并分析各层交互协同。探讨设备互联、大数据分析等关键技术，提出规划、建设、集成调试、运营优化的实施路径，为机械工程制造智能工厂建设提供参考。

关键词：工业互联网；机械工程制造；智能工厂；总体架构；实施路径

引言：随着工业互联网技术发展，机械工程制造行业迎来变革。传统工厂在生产效率、管理模式等方面面临挑战，构建智能工厂成为必然趋势。工业互联网为智能工厂建设提供有力支撑，能实现设备互联互通、数据共享，推动生产过程优化与决策智能化。在此背景下，研究基于工业互联网的机械工程制造智能工厂构建具有重要意义。

1 工业互联网与机械工程制造智能工厂基础

1.1 工业互联网的概念与架构

工业互联网融合先进信息技术与工业生产，以网络互联为基础，通过数据流动实现工业系统各要素协同。其核心要素包括智能设备、工业数据和工业应用。智能设备作为感知终端，分布于生产各环节，实时采集设备运行状态、工艺参数等数据；工业数据经过分析处理，挖掘设备维护、生产优化等价值；工业应用基于数据洞察，开发各类功能模块，满足不同生产管理需求。工业互联网体系架构包含网络层、平台层、安全层和应用层。网络层构建设备、系统间通信通道，涵盖工厂内网与外网，实现数据无缝传输。平台层是核心枢纽，具备数据存储、分析、管理能力，将海量异构数据转化为有价值信息。安全层贯穿各层级，通过设备认证、数据加密等措施，保障工业系统安全稳定运行。应用层基于平台数据与算法，开发生产调度、质量管控等应用，推动工业生产智能化升级。

1.2 机械工程制造智能工厂的特征与内涵

智能工厂以自动化为基石，生产设备与物流系统自动执行任务，减少人工干预。数字化将物理生产转化为数字模型，实现生产过程可视化与精准管控。网络化使设备、系统互联互通，促进数据共享与协同。智能化则赋予系统自主决策能力，依据数据反馈优化生产流程。机械工程制造智能工厂在生产过程实现智能调度与质量实时监控，根据订单与设备状态自动分配任务，通过传

感器与检测设备实时把控产品质量。管理模式上，利用数据驱动决策，替代传统经验管理，提高管理精准度与效率。供应链协同方面，与供应商、客户信息共享，实现需求预测、库存管理等环节协同运作，增强供应链响应速度与灵活性。

1.3 工业互联网对机械工程制造智能工厂构建的作用

工业互联网通过网络互联协议与通信技术，打破设备间通信壁垒，实现机械工程制造设备互联互通。不同品牌、型号设备产生的数据，经统一标准采集、传输，汇聚至数据中心，为智能工厂提供丰富数据基础。从生产线设备运行参数到仓储物流状态数据，都能实时获取，为后续分析应用奠定基础。工业互联网平台整合多源数据，运用大数据分析 with 人工智能算法，优化生产过程。分析设备运行数据，预测故障风险，提前安排维护，减少停机时间；挖掘工艺参数与产品质量关系，优化工艺方案。平台还支持管理决策智能化，依据订单、库存、设备等数据，自动生成生产计划与资源调配方案，推动机械工程制造智能工厂高效运转。

2 基于工业互联网的机械工程制造智能工厂总体架构设计

2.1 架构设计原则

可靠性原则要求智能工厂架构具备抵御各类工况干扰的能力。从硬件层面，关键设备采用冗余设计，如核心服务器双机热备，保障生产数据处理不间断；软件层面，系统具备故障自诊断与自动恢复功能，即便局部出现异常，也能通过负载均衡机制维持整体运行^[1]。开放性原则为系统集成与扩展奠定基础。采用标准化通信协议和接口，无论是新型智能设备接入，还是与外部供应链管理系统对接，都能实现无缝衔接，避免因系统封闭导致的信息孤岛。安全性原则围绕数据与系统安全展开。在数据传输过程中，运用加密算法对敏感信息进行处理，防止数据泄露与篡改；针对系统安全，设置多级权

限管理和防火墙机制,抵御网络攻击。灵活性原则契合机械工程制造的多变需求。通过模块化设计架构,当生产工艺调整或产品类型变化时,可快速重组应用模块,调整生产流程,使智能工厂能够灵活应对市场动态与个性化订单需求。

2.2 总体架构组成

设备层涵盖机械工程制造全流程设备。数控机床通过加装传感器和控制器,实现加工参数实时监测与自动调整;工业机器人配备智能控制系统,可精准执行复杂装配任务;自动化生产线通过集成控制单元,实现物料输送、加工、检测的全自动化。这些设备经智能化改造后,具备数据采集与通信能力,为生产决策提供底层数据支撑。网络层构建起设备与平台间的数据桥梁。有线网络采用工业以太网,保障数据稳定高速传输,适用于对实时性要求高的设备通信;无线网络则以5G或工业级Wi-Fi覆盖工厂区域,满足移动设备和远程监控需求。两种网络协同工作,确保设备数据、生产指令在工厂内快速准确传输。平台层作为智能工厂的核心枢纽,集成数据存储、分析与应用开发功能。分布式存储系统可容纳海量生产数据,大数据分析工具挖掘数据价值,识别生产瓶颈与优化空间;平台提供开放的应用开发接口,便于企业或第三方开发者定制个性化应用,满足不同业务场景需求。应用层将技术转化为实际生产力。生产管理系统统筹生产计划、排程与资源调配;质量管理系统实时监控产品质量,及时发现缺陷并追溯根源;设备维护系统通过预测性维护算法,提前预警设备故障,减少停机时间,各系统协同实现智能工厂高效运营。

2.3 架构各层之间的交互与协同

设备层采集的加工参数、设备状态等数据,经网络层加密传输至平台层。平台层对数据进行清洗、整合与深度分析,如根据设备运行数据预测故障风险,将分析结果转化为指令,再通过网络层反馈至设备层,实现设备参数自动调整或维护提醒。应用层基于平台层处理后的数据,生成生产报表、质量报告等,辅助管理层决策;管理层通过应用层下达生产任务,经平台层分解后,由网络层传输至设备层执行。各层协同依赖统一的数据标准与通信协议。设备层采集数据按标准格式封装,网络层遵循统一通信规则传输,平台层按规范解析处理,应用层基于标准化数据接口调用。这种协同机制确保信息在各层间顺畅流动,从设备运行监控到生产决策执行形成闭环,保障智能工厂高效稳定运转。

3 基于工业互联网的机械工程制造智能工厂关键技术

3.1 设备互联与数据采集技术

设备接入技术解决不同类型设备的联网难题。机械工程制造场景中,老旧数控机床、新型工业机器人及自动化生产线的通信协议各不相同。通过协议转换网关,可将Modbus、Profibus等专用协议转换为通用工业以太网协议,实现设备快速接入工业互联网。对于新设备,则采用标准化接口设计,支持即插即用,降低设备集成复杂度^[2]。数据采集技术依赖传感器与采集卡协同工作。压力传感器、温度传感器等实时监测设备运行参数,位移传感器捕捉加工精度数据。采集卡将传感器输出的模拟信号转换为数字信号,通过边缘计算单元进行初步处理,过滤无效数据后上传至网络层。这种分层处理机制既能减少数据传输压力,又能确保关键生产信息的实时性。

3.2 工业大数据分析与处理技术

工业大数据具有体量大、类型多、实时性强的特点。生产过程产生的设备日志、工艺参数、质量检测数据等,对存储、计算能力提出更高要求。机器学习算法用于分析设备运行模式,通过聚类分析识别异常工况;深度学习模型则可预测产品质量趋势,提前发现潜在缺陷。数据存储采用分布式架构,将结构化与非结构化数据分类存储于不同数据库。时序数据库专门管理设备运行数据,确保高并发读写性能;数据仓库则用于存储历史数据,支撑深度分析。数据管理通过权限分级与加密机制,保障数据安全,同时建立元数据管理系统,提升数据检索与利用效率。

3.3 工业互联网平台技术

工业互联网平台由多个功能模块构成。设备管理模块实时监控设备状态,提供远程诊断与固件升级功能;应用开发模块提供低代码开发环境,企业无需复杂编程即可定制生产管理、能耗监测等应用;数据分析模块集成可视化工具,将复杂数据转化为直观图表,辅助管理层决策。平台采用云服务模式,支持公有云、私有云或混合云部署。提供标准化API接口与开发工具包,第三方开发者可基于平台快速构建智能工厂应用。通过微服务架构设计,平台功能可按需扩展,适应企业不同发展阶段的数字化转型需求。

3.4 智能决策与控制技术

智能决策方法基于数据分析结果制定生产策略。生产计划优化模型综合考虑订单优先级、设备产能与物料供应,生成最优排产方案;质量预测模型通过分析历史工艺数据,识别影响产品质量的关键因素,提前调整生产参数。这些决策模型不断迭代优化,提升决策准确性。智能控制技术实现设备自动化运行。数字孪生技术为实体设备创建虚拟模型,通过实时数据映射预测设备

行为；自适应控制算法根据加工过程动态调整切削参数，确保加工精度。结合物联网与边缘计算，控制指令可直接下达至设备，减少响应延迟，实现精准控制。

4 基于工业互联网的机械工程制造智能工厂实施路径

4.1 规划阶段

在建设智能工厂之前，首先需要进行系统的规划工作。这一阶段的核心任务是开展深入的需求分析，明确企业在智能制造方面的发展方向和具体目标^[3]。通过对生产流程、产品类型、市场定位等因素的综合考量，确定智能工厂的功能需求和技术要求。在此基础上，制定详细的总体规划与实施方案，涵盖技术路线的选择、设备配置、软件平台布局以及项目推进的时间节点等内容。合理的规划能够为后续建设提供清晰的方向，也为资源的有效配置奠定基础。

4.2 建设阶段

进入建设阶段后，首要任务是对现有生产设备进行智能化升级。多数传统设备缺乏数据采集与通信功能，需通过加装传感器、控制器等方式提升其信息化水平，或直接引入具备联网能力的新设备，实现设备间的互联互通。在此基础上，构建稳定可靠的工业互联网网络成为支撑智能工厂运行的关键。该网络需具备高带宽、低延迟的特点，并具有良好的扩展性与安全性，以应对未来不断增长的数据传输需求。完成硬件设施建设后，下一步是搭建工业互联网平台并开发配套应用系统。平台应具备数据采集、处理、存储与可视化能力，支持对生产全过程的实时监控与分析。应用系统涵盖生产计划管理、质量检测、能源管理等多个模块，提升各环节的协同效率与自动化水平。平台与系统的建设需紧密结合企业实际业务流程，确保各项功能贴合具体使用场景。

4.3 集成与调试阶段

当硬件设施和软件系统分别完成后，便进入集成与调试阶段。此阶段的重点在于将各类设备、网络、平台及应用系统有机整合，打通信息流，实现跨系统、跨层级的数据交互与功能联动。通过统一的数据接口和协议

标准，使不同来源的信息能够在同一个平台上共享与处理，提升整体系统的协调性与响应能力。系统调试则是确保各项功能正常运行的重要步骤。在真实生产环境下进行多轮测试，验证设备控制逻辑的准确性、数据采集的完整性以及平台响应的及时性。根据测试结果不断调整参数设置和优化系统性能，消除潜在的技术隐患，使整个智能工厂达到预期的运行状态。

4.4 运营与优化阶段

智能工厂正式投入运行后，进入持续运营与优化阶段。日常运营管理包括生产任务的调度安排、产品质量的在线监测、设备运行状态的实时跟踪等。通过平台的数据分析能力，辅助管理人员做出更科学的决策，提高生产效率和资源利用率。随着运行时间的推移，原有的架构与流程可能难以完全匹配不断变化的生产需求。必须建立动态优化机制，基于实际运行数据对系统结构、工艺流程和资源配置进行定期评估与调整。这种持续改进的过程有助于提升智能工厂的灵活性与适应能力，使其更好地服务于企业的长期发展目标。

结束语

基于工业互联网的机械工程制造智能工厂构建是一个系统工程，涉及多方面技术与环节。通过合理设计总体架构、掌握关键技术并遵循科学实施路径，可实现智能工厂的顺利建设与高效运营。未来，还需不断探索创新，以适应行业发展需求，推动机械工程制造行业智能化水平持续提升。

参考文献

- [1] 聂顺,吴端胜,罗天雄,王佳.工业互联网环境下的智能制造全过程实时监控系统研究[J].软件,2023,44(6):175-177+180.
- [2] 周威,熊冠楚.面向优势产业数字化转型的工业互联网平台产品实践研究[J].新型工业化,2023,13(06):86-95.
- [3] 王红波,邹文杰.工业智能与工业互联网共性关键技术[J].中国通信业,2024(4):77-80.