

# 智能制造背景下机电系统集成技术研究

王 露

华新控股(河南)有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 在智能制造背景下,机电系统集成技术至关重要。本文首先阐述其核心构成,涵盖机械、电气、控制与信息系统集成基础。接着分析智能制造对机电系统集成在柔性化、协同化、智能化、模块化方面的要求。随后探讨关键技术,包括系统互联、异构系统兼容、分布式控制等。最后指出该技术在智能制造生产线、智能装备机电、全流程机电协同等方向的应用,为制造系统升级提供技术支持。

**关键词:** 智能制造;机电系统集成;柔性化;协同化;模块化

引言:制造业正经历向智能制造的深刻转型,其核心在于通过技术融合实现生产过程的智能化与高效化。机电系统集成技术作为智能制造的关键支撑,融合机械、电气、控制与信息技术,构建起物理系统与数字系统的桥梁。该技术不仅需满足传统制造对精度与效率的要求,更需应对智能制造对柔性化生产、多要素协同、全链条智能化的新挑战。因此,深入研究机电系统集成技术的构成、要求与关键技术,对推动制造业智能化升级具有重要意义。

## 1 机电系统集成技术的核心构成

### 1.1 机械系统集成基础

机械系统集成是机电一体化的物理载体,其核心在于通过精密设计与模块化组合实现运动与力的传递<sup>[1]</sup>。该领域以机械设计理论为基础,聚焦传动机构、执行装置与本体结构的优化。传动机构设计需兼顾效率与精度,通过齿轮、皮带、连杆等元件的合理选型与布局,确保动力传输的平稳性;执行装置则强调响应速度与负载能力,伺服电机、液压缸等元件的集成需匹配生产场景的动态需求;本体结构需满足轻量化与高强度要求,通过拓扑优化与新材料应用降低能耗并提升可靠性。机械系统集成的关键在于实现各组件的几何兼容性与功能协同性,为电气与控制模块提供稳定的物理平台。

### 1.2 电气系统集成基础

电气系统集成聚焦能量转换与信号传输,是机电系统的动力与神经中枢。该领域以电路理论为核心,涵盖电源管理、信号采集与驱动控制三大方向。电源管理需根据设备功耗特性设计分布式供电方案,通过开关电源、UPS等模块确保能量供应的稳定性,一般要求电源的转换效率达到90%以上;信号采集依赖高精度传感器网络,温度、压力、位移等物理量的实时监测为控制系统提供决策依据,传感器的精度可达到0.1%甚至更高;驱动控制

则通过变频器、伺服驱动器等元件实现电机转速与转矩的精准调节,调节精度可控制在 $\pm 0.01\%$ 以内。电气系统集成的核心挑战在于电磁兼容性设计,需通过屏蔽、滤波等技术抑制干扰,保障信号传输的保真度。

### 1.3 控制系统集成基础

控制系统集成是机电系统的决策核心,其本质是通过算法与逻辑实现生产过程的自动化调控。该领域以控制理论为指导,涵盖硬件架构与软件算法两个层面。硬件层面,PLC、DCS等控制器作为核心单元,需具备高速运算能力与多任务处理能力,以支持复杂控制策略的实施;软件层面,PID控制、模糊控制等经典算法与深度学习、强化学习等智能方法相结合,形成分层递阶的控制体系。控制系统集成的关键在于实现控制逻辑与机械运动的精准匹配,通过实时反馈与动态调整优化生产效率与产品质量。

### 1.4 信息系统集成基础

信息系统集成是机电系统的数据中枢,其目标是通过工业互联网技术实现生产要素的全连接与全感知。该领域以信息论为基础,聚焦数据采集、传输与处理三大环节。数据采集依赖边缘计算设备对传感器信号进行预处理,提取关键特征以降低传输负担;传输网络采用工业以太网、5G等高速通信技术,构建低时延、高可靠的数据通道;处理环节则通过云计算与大数据技术实现生产数据的存储、分析与挖掘,为智能决策提供支撑。信息系统集成的核心价值在于打破信息孤岛,通过数据流动驱动制造系统的全局优化。

## 2 智能制造对机电系统集成技术的核心要求

### 2.1 柔性化集成要求

柔性化是智能制造应对市场不确定性的关键能力,要求机电系统集成技术具备快速适应生产任务变更的能力<sup>[2]</sup>。这一需求体现在硬件与软件两个层面:硬件层面需

通过标准化接口与可替换模块设计,实现设备功能的动态扩展与重组,例如采用快换夹具与可重构机械臂,缩短产线切换周期;软件层面需构建开放式的控制架构,支持控制算法的在线更新与参数自适应调整,使系统能够根据订单需求实时优化运动轨迹与加工参数。柔性化集成的本质是通过解耦硬件功能与软件逻辑,降低系统对固定生产模式的依赖,提升对多品种、小批量生产场景的适配能力。

## 2.2 协同化集成要求

协同化强调制造系统中人、机、物、环境等多要素的深度交互与资源高效配置。机电系统集成需打破传统自动化系统的信息孤岛,构建覆盖设计、生产、物流、服务等全流程的协同网络。在设备协同层面,通过工业互联网协议实现异构设备的互联互通,支持加工、检测、装配等工序的无缝衔接;在人机协同层面,借助增强现实(AR)与力反馈技术,提升操作人员对复杂任务的执行效率与精准度;在供应链协同层面,依托数字孪生技术实现生产计划与物料供应的动态匹配,减少库存积压与生产延误。协同化集成的核心在于通过数据流动驱动资源优化,形成价值共创的制造生态。

## 2.3 智能化集成要求

智能化是智能制造的核心特征,要求机电系统集成技术具备感知、分析、决策与执行的全链条智能能力。在感知层面,需集成多模态传感器网络,实现对设备状态、环境参数与生产质量的实时监测;在分析层面,依托边缘计算与云计算平台,运用机器学习算法对海量数据进行深度挖掘,识别生产瓶颈与质量缺陷根源;在决策层面,通过强化学习与知识图谱技术,构建自主优化模型,实现工艺参数、调度策略与能源配置的动态调整;在执行层面,结合数字孪生与闭环控制技术,确保物理系统与虚拟模型的同步演化,提升系统对突发扰动的鲁棒性。智能化集成的目标是通过数据与算法的融合,赋予制造系统“思考”与“进化”的能力。

## 2.4 模块化集成要求

模块化是应对制造系统复杂性的有效方法,要求机电系统集成技术采用标准化、可复用的功能单元构建系统。这一需求体现在设计、开发、部署与维护全生命周期:在设计阶段,通过功能分解与接口定义,将系统划分为独立的机械、电气、控制与信息模块,降低开发难度与成本;在开发阶段,采用基于模型的系统工程(MBSE)方法,实现多学科设计的协同优化;在部署阶段,支持模块的即插即用与热插拔,缩短系统组装与调试周期;在维护阶段,通过模块化设计简化故障定位与

替换流程,提升系统可用性。模块化集成的价值在于通过结构化设计提升系统的可扩展性与可维护性,为制造系统的持续升级提供技术基础。

## 3 智能制造背景下机电系统集成的关键技术

### 3.1 系统互联与接口集成技术

系统互联与接口集成技术是机电系统实现智能化集成的基础支撑,核心在于构建统一的接口架构,实现不同层级、不同类型机电组件的无缝衔接<sup>[3]</sup>。该技术通过标准化接口设计,打破传统机电系统中各组件的连接壁垒,规范信号传输路径与数据交互格式,确保机械、电气、控制等各子系统之间的高效联动。接口集成需兼顾信号传输的稳定性与适配性,适配不同通信协议的接口转换需求,消除接口不兼容导致的互联障碍,为后续异构系统兼容、数据交互等技术的应用奠定基础,是保障机电系统整体集成效能的前提条件。

### 3.2 异构系统兼容集成技术

异构系统兼容集成技术聚焦解决不同厂商、不同规格机电系统及组件间的适配难题,是智能制造背景下机电集成的核心突破点。受技术标准、研发体系差异影响,机电系统中常存在多种异构组件,其通信协议、数据格式、运行机制存在显著差异,易形成数据孤岛。该技术通过协议解析、格式转换与架构优化,实现异构组件的协同运行,无需改变原有系统核心结构,即可完成不同系统的有机融合,提升系统集成的灵活性与适用性,契合智能制造对多系统协同运行的核心需求。

### 3.3 分布式控制集成技术

分布式控制集成技术依托多节点协同处理理念,重构机电系统控制架构,打破传统集中式控制的局限。该技术将控制功能合理分配至各子系统的智能节点,利用各节点的高速运算能力,实现控制任务的分散处理与协同调度,减轻中央控制器的运行负荷,提升系统响应速度与数据处理效率。通过构建分布式控制网络,实现各子系统控制指令的精准传输与协同执行,优化资源分配模式,增强系统运行的灵活性与扩展性,适配智能制造场景下多轴协同、高精度控制的应用需求。

### 3.4 数据传输与交互集成技术

数据传输与交互集成技术是机电系统实现智能化管控的核心支撑,承担着系统内各类数据的高效传递与有序交互任务。该技术整合边缘计算与加密传输技术,在本地完成数据清洗、格式转换等初步处理,减少网络传输压力,保障数据传输的时效性与准确性。通过构建安全可靠的传输链路,采用加密算法与身份认证机制,防范数据泄露与篡改风险,确保机电系统运行参数、控制

指令等各类数据的安全传输。同时规范数据交互标准,实现数据在各子系统间的顺畅流转,为系统智能化决策提供数据支撑。

### 3.5 模块化设计与集成技术

模块化设计与集成技术以功能拆解与重组为核心,将机电系统划分为若干功能独立的标准模块,通过标准化接口实现模块间的快速组合与灵活适配<sup>[4]</sup>。该技术基于系统功能需求,优化模块划分方案,提升模块的通用性与可复用性,缩短系统研发与集成周期,降低集成成本。模块设计过程中兼顾功能完整性与结构兼容性,通过模块的灵活组合的方式,快速响应智能制造场景下的需求变化,实现机电系统的快速迭代与升级,推动机电集成向轻量化、灵活化方向发展。

## 4 机电系统集成技术的应用方向

### 4.1 智能制造生产线集成

智能制造生产线集成聚焦于产线资源的高效配置与动态适应能力提升。通过机电一体化技术,将机械结构、电气控制与信息技术深度融合,构建具备自主感知与决策能力的智能产线。这一方向的核心在于实现设备间的智能协同:在物理层面,集成高精度传感器与智能执行器,使设备能够实时感知加工状态并自主调整工艺参数,例如通过力反馈技术优化装配过程中的接触力控制;在信息层面,依托工业互联网平台建立设备间通信网络,实现生产数据与控制指令的实时交互,支持产线根据订单需求自动切换工艺路线与生产节拍。智能制造生产线集成的价值在于通过全局优化提升产线综合效率,降低换型时间与在制品库存,增强对多品种、小批量生产模式的适应能力。

### 4.2 智能装备机电集成

智能装备机电集成致力于提升单机设备的智能化水平与任务执行能力。通过机械系统、电气系统与软件系统的深度集成,赋予装备自主感知环境、分析数据与执行决策的能力。这一方向的技术重点体现在三个层面:在感知层面,集成多类型传感器构建装备状态监测网络,实时采集振动、温度、压力等运行参数,为故障预测与健康管理提供数据基础;在控制层面,采用嵌入式系统与边缘计算架构,支持本地化数据处理与实时控制算法运行,减少对云端计算的依赖,提升系统响应速度;在交互层面,通过自然用户界面(NUI)与增强现实(AR)技术,

优化操作人员与装备的交互方式,例如在复杂设备调试中通过AR眼镜叠加虚拟操作指引,降低技能门槛。智能装备机电集成的目标是通过技术融合提升装备的自主性与适应性,使其能够胜任更复杂的制造任务。

### 4.3 全流程机电协同集成

全流程机电协同集成着眼于制造全价值链的优化与价值共创。通过打通设计、生产、物流、服务等环节的信息壁垒,构建覆盖产品全生命周期的数字主线,实现跨域资源的高效配置与协同运作。这一方向需建立统一的数据模型与信息交互标准,确保设计数据、工艺数据与生产数据在全流程中的无缝流转:在设计阶段,通过机电一体化仿真技术验证产品可制造性与装备适配性,减少物理样机试制成本;在生产阶段,依托数字孪生技术建立虚拟产线,模拟生产过程并优化工艺参数,提前识别潜在瓶颈;在服务阶段,通过远程监控与预测性维护技术实时跟踪装备运行状态,提前预警故障并安排维护计划,延长设备使用寿命<sup>[5]</sup>。全流程机电协同集成的本质是通过数据驱动实现业务闭环优化,推动制造企业向服务型制造转型。

### 结束语

机电系统集成技术作为智能制造的核心载体,通过机械、电气、控制与信息系统的深度融合,构建起覆盖设计、生产、服务全流程的智能体系。其柔性化、协同化、智能化与模块化特性,有效提升了制造系统对市场变化的适应能力与资源优化效率。关键技术的突破与应用方向的拓展,进一步推动了制造系统向自主感知、自主决策与自主执行的方向演进。这一技术体系的发展,将持续为制造业的智能化转型注入核心动力。

### 参考文献

- [1]朱常乐.基于定向声源的机电制造系统集成技术研究[J].电声技术,2025,49(7):47-49.
- [2]徐骏.跨海通道环境下高速公路隧道机电系统集成施工技术分析[J].工程技术研究,2025,10(20):62-64.
- [3]黄俊业.高速公路机电系统集成设计与实施关键技术研究[J].运输经理世界,2025(24):142-144.
- [4]徐峰,邓博轩.高速公路机电工程系统集成设计与施工调试技术[J].工程技术研究,2022,7(12):101-103.
- [5]谢文彬,伊轩轩.市政隧道机电工程系统集成设计与施工调试技术浅析[J].中国市政工程,2025(6):124-126.