

智能控制工程在机械电子工程中的应用

袁建

(湖北第二师范学院, 湖北 武汉 430205)

摘要 在全球制造业智能化转型的浪潮之中, 智能控制工程与机械电子工程的融合成为产业升级的关键方向。本文从二者融合发展的需求出发, 明确核心概念的内涵, 梳理应用优势的维度, 提出多场景的实践应用路径并对发展前景进行展望, 以为机械电子系统的智能化升级提供技术参考, 进而有助于提升设备运行的精度与效率, 推动相关产业契合国家智能制造战略, 实现高质量发展。

关键词 智能控制工程; 机械电子工程; 数控机床; 工业机器人系统; 智能仓储物流设备

中图分类号: TU17

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.06.007

0 引言

当前全球产业竞争聚焦智能制造领域, 我国大力推进制造业的数字化转型, 机械电子工程作为制造业的核心支撑, 正面临着传统技术瓶颈带来的发展制约。传统机械电子系统存在响应滞后、精度不足等问题, 难以适应现代工业高效生产的需求, 而智能控制工程所具备的自适应、自决策特性为突破这些瓶颈提供了有效路径。深入推进智能控制工程在机械电子工程中的应用, 不仅能够提升产业的核心竞争力, 更能夯实国家智能制造发展的基础, 具有重要的行业价值与战略意义。

1 智能控制工程与机械电子工程核心概念

1.1 智能控制工程概念

智能控制工程作为融合多学科技术的控制领域分支, 其核心在于让控制系统具备类似人类的感知、决策和调节能力。它依靠传感器采集环境与设备的数据, 通过智能算法对数据进行分析处理, 进而自主调整控制策略。智能控制工程无需人工持续干预, 能够应对复杂多变的工况, 弥补传统控制方式的局限性, 使控制过程更加精准、灵活, 广泛服务于各类需要自动调控的工业场景。

1.2 机械电子工程概念

机械电子工程作为机械技术、电子技术和信息技术的交叉学科, 核心是实现机械装置与电子系统的有机融合^[1]。它以机械结构为基础, 搭配电子元件和控制模块, 构建出兼具机械执行能力和电子调控功能的综合系统。机械电子工程打破了传统机械与电子分离

的局限, 提升了设备的自动化水平和功能多样性, 是现代制造业实现高效生产、精密加工的重要技术支撑, 覆盖工业生产、智能装备等多个领域。

2 智能控制工程在机械电子工程中的应用优势

2.1 提升机械电子系统的自适应调节能力

提升机械电子系统自适应调节能力, 需先构建多维度传感感知网络, 部署温度、压力、振动等高精度传感器, 实时采集系统运行参数与外部环境数据^[2]。将采集到的数据传输至智能控制核心模块, 采用模糊控制与神经网络融合算法进行数据解析, 建立系统运行状态与工况变化的映射模型。基于模型预判工况波动趋势, 提前调整控制参数; 当出现突发工况偏差时, 控制模块自动调用预设备选策略, 同步联动执行机构完成参数修正。同时嵌入工况自学习模块, 持续积累不同工况下的调节数据, 优化算法模型参数, 让系统调节精度随运行时间逐步提升, 实现对复杂多变工况的动态适配。

2.2 强化系统运行的精准控制与误差修正

强化系统运行精准控制与误差修正, 需构建双闭环反馈控制架构^[3]。内环以执行机构位移、速度等实时运行数据为反馈对象, 通过伺服控制单元实现毫秒级数据采集与参数调控; 外环聚焦最终输出精度, 结合激光测量、视觉检测等高精度检测技术, 捕捉系统输出与预设标准的偏差数据。将内外环反馈的误差数据汇总至智能控制单元, 采用模型预测控制算法分析误差产生根源, 区分机械传动间隙、电子元件漂移等不同类型误差。针对不同误差源制定差异化修正方案,

作者简介: 袁建(2002-), 男, 本科, 研究方向: 机械电子工程。

机械间隙误差通过补偿算法实时补足，电子漂移误差通过校准模块动态修正，同时建立误差数据库，规避同类误差重复出现，保障系统长期运行精度稳定性。

2.3 降低系统运维成本与人工干预依赖

降低系统运维成本与人工干预依赖，需嵌入智能诊断与预测性维护系统。通过传感器实时监测轴承、电机等关键部件运行状态数据，结合振动频谱分析、油液监测等技术，识别部件早期劣化信号。智能控制模块基于劣化信号与部件生命周期数据，构建故障预测模型，精准预判部件剩余使用寿命，生成针对性维护计划，避免盲目停机检修与过度维护。搭建远程智能监控平台，实现系统运行状态的远程可视化监测，平台自动推送异常预警信息；对于常见轻微故障，控制模块自动启动自愈程序，通过参数重置、冗余部件切换等方式恢复系统正常运行。减少人工巡检频次与故障处置时间，降低运维人力成本与备件损耗成本。

2.4 增强系统的多任务协同与动态响应效率

增强系统多任务协同与动态响应效率，需先建立任务优先级调度机制^[4]。通过智能控制单元对接收的多任务进行属性解析，根据任务紧急程度、精度要求、资源消耗等指标划分优先级，采用改进型遗传算法制定最优任务执行序列。构建分布式控制架构，将不同任务分配至对应子控制模块并行处理，子模块间通过高速以太网实现数据同步与协同联动，避免任务执行冲突。优化控制信号传输链路，采用实时操作系统与高速总线技术，缩短控制指令传输延迟；在任务切换阶段，提前预加载下一任务的控制参数与运行模型，减少切换耗时。同时，建立任务负载均衡模块，动态调配系统资源，避免单一模块过载运行，保障多任务执行过程的流畅性与高效性。

3 智能控制工程在机械电子工程中的实践应用

3.1 智能控制在数控机床中的实践应用

数控机床中智能控制的应用，核心在于实现加工过程自适应的精准调控。构建机床运行状态的感知系统，于主轴、导轨等关键位置布设振动传感器、温度传感器以及位移传感器，对切削力、主轴转速、刀具磨损量等核心参数进行实时采集。把这些参数传输到智能控制单元，运用深度学习算法构建起加工参数和工件精度的映射模型，再结合工件材质、加工工艺要求，对切削参数进行自动优化。在加工时，控制单元会实时将实际加工数据与标准参数做对比，一旦出现刀具磨损加剧或者工件精度偏差的情况，便立刻自动调整进给速度、切削深度，以此避免因刀具失效而导致加工缺陷。

3.2 智能控制在工业机器人系统中的实践应用

工业机器人系统中智能控制的应用，重点是提升作业的灵活性与协同精度。为机器人配备视觉传感器、力传感器和激光测距传感器，构建多感知融合的系统，从而精准识别工件位置、姿态以及作业环境中的障碍物。基于机器视觉技术，完成工件的自动定位和抓取路径规划，控制单元采用模糊PID算法，对关节电机运动参数进行调节，以确保抓取过程平稳且无冲击。针对多机器人协同作业的场景，构建分布式智能控制架构，通过5G工业互联网实现机器人之间数据的实时交互，采用改进型蚁群算法对作业任务进行分配，避免出现作业重叠与冲突。

3.3 智能控制在智能仓储物流设备中的实践应用

智能仓储物流设备中智能控制应用的关键之处在于实现货物存储、搬运以及分拣整个流程的自动化高效运转。在立体仓库当中，堆垛机配备着激光定位传感器和二维码识别模块，智能控制单元凭借激光定位数据精确获取堆垛机的位置，再结合仓储管理系统下达的货物信息，规划出最优的存取路径。运用伺服驱动控制技术来调节堆垛机的运行速度和升降精度，以此保证货物能够平稳地存取。在自动分拣环节，分拣机器人搭载着视觉识别系统，能够快速识别货物的条码和外形特征，控制单元依据识别结果采用路径动态规划算法，引导机器人把货物输送到指定的分拣口。针对仓储环境中的AGV小车，采用惯性导航和视觉导航融合技术，智能控制单元实时解析导航数据，调节小车的行驶方向和速度，避开行进过程中的障碍物；通过物联网技术实现AGV小车与仓储管理系统的联动，动态分配搬运任务，平衡各区域的作业负载。

3.4 智能控制在自动化生产线中的实践应用

自动化生产线中智能控制的应用，目的是实现工序协同、质量管控和效率优化的全流程升级。构建生产线的全局感知网络，在各工序节点部署传感器，实时采集设备的运行参数、物料的传输状态和产品的加工数据。智能控制中心运用工业物联网技术整合全生产线的数据，通过大数据分析算法挖掘生产过程中的瓶颈环节。在工序协同方面，采用模型预测控制技术预判各工序的产能匹配情况，提前调整设备的运行参数，确保物料传输和加工节奏同步；在物料输送环节，智能输送设备通过射频识别技术识别物料信息，控制单元根据生产计划自动分配输送路径，实现物料的精准配送。在质量管控方面，集成机器视觉与高精度检测设备，实时检测产品尺寸、外观等指标，控制单元

对比检测数据与标准阈值，自动筛选不合格产品并标记缺陷类型，同时追溯缺陷产生工序，触发参数调整指令。

3.5 智能控制在精密加工设备中的实践应用

精密加工设备中智能控制的核心目标是突破加工精度极限，保障加工质量的稳定性^[5]。在设备硬件层面，为精密加工设备配备高精度光栅尺、电容传感器，实时采集主轴回转误差、工作台位移误差等关键数据，数据采样频率可达微秒级。智能控制单元采用自适应滤波算法处理采集数据，剔除环境振动、温度变化等干扰因素带来的误差信号，精准提取设备实际运行误差。基于误差数据构建设备误差补偿模型，采用压电陶瓷微位移驱动技术，实时输出补偿量，修正工作台位移与主轴运动轨迹，将加工误差控制在微米级甚至纳米级范围。在加工过程中，控制单元实时监测切削温度与切削力变化，通过智能算法动态调整切削参数，避免热变形对加工精度的影响；同时搭载刀具状态监测模块，通过声发射传感器识别刀具磨损、破损信号，及时发出更换预警或自动切换备用刀具。

3.6 智能控制在新能源装备中的实践应用

智能控制在新能源装备中的应用聚焦提升能源转换效率、运行稳定性与安全防护水平。以光伏逆变器为例，智能控制单元实时采集光伏组件输出的电压、电流数据，采用最大功率点跟踪算法，动态调节逆变器的开关管导通角，确保光伏组件始终工作在最大功率输出状态。同时，监测电网电压、频率等参数，精准控制逆变器输出电能的质量，实现与电网的平稳并网；当电网出现波动或故障时，控制单元快速切断并网链路，保障设备与电网安全。在风电装备中，智能控制系统通过风速传感器、风向传感器实时获取风场数据，采用变桨距控制与变速恒频控制技术，调节风轮转速与桨叶角度，最大化捕获风能；针对风机运行中的振动、负载变化，采用智能减震控制算法，调节减震装置参数，降低设备损耗。在新能源储能设备中，智能控制单元实时监测储能电池的电压、温度、SOC 状态，采用均衡充电控制算法，确保电池组各单体电池性能一致；根据电网负荷需求，智能调度储能设备的充放电过程，实现能源的合理分配与高效利用，助力新能源消纳与电网平稳运行。

4 智能控制工程在机械电子工程中的应用前景

4.1 技术迭代赋能产业升级

智能控制与机械电子工程融合升级的核心驱动力在于技术迭代，人工智能、量子计算等先进技术和这

两个领域的深度耦合会不断催生新的算法与架构。脑启发神经网络能够对系统决策逻辑进行优化，让控制响应更具类人性；柔性电子和精密机械的结合会突破传统设备形态的限制，实现功能的集成化升级。这些技术上的突破会推动机械电子设备的控制精度和运行稳定性向更高维度跨越，为高端装备研发提供关键支撑，帮助产业挣脱传统技术的束缚，实现从自动化到智能化的进阶提升。

4.2 场景拓展驱动价值跃升

智能控制与机械电子工程融合的价值潜能会通过场景拓展进一步释放，这二者的应用边界正从传统工业领域向极端环境、民生服务等多样场景延伸。航空航天、深海探测等高端装备领域对智能控制的依赖程度不断提高，医疗精密设备、智能民生装备等场景的应用需求也在持续增长。场景的多元化会促使技术适配性优化，不同场景的特殊需求会推动定制化智能控制方案的研发，这种需求和技术的双向驱动，会让二者融合产生更大的产业价值，为制造业高质量发展拓宽道路。

5 结束语

智能控制工程与机械电子工程的深度融合是制造业升级的必然趋势，这二者的协同发展已经在多个领域展现出显著的优势和应用价值。智能控制工程与机械电子工程核心概念的清晰界定、应用优势的准确把握以及实践路径的有效落实，为产业智能化转型奠定了坚实的基础。未来，随着多学科技术的不断迭代，智能控制工程与机械电子工程的融合会向更深层次、更广范围拓展，进一步为高端装备研发与绿色制造发展赋能，为制造业高质量升级注入持久动力，助力产业实现质量和效率的双重提升。

参考文献：

- [1] 倪绍凯. 智能控制技术在机械电子工程中的集成应用与效能评估[J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 09(08): 240-242.
- [2] 徐小娟. 智能控制工程在机械电子工程中的运用探讨[J]. 中国设备工程, 2024(14): 33-35.
- [3] 周建鹏. 基于智能控制工程在机械电子工程中的应用探讨[J]. 中国设备工程, 2024(09): 40-42.
- [4] 陈建军. 智能控制工程在机械电子工程中的运用分析[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(04): 23-25, 28.
- [5] 次小天. 控制工程在机械电子工程中的应用研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(04): 46-49.