

机械电子工程智能控制工程的应用

党 辉 杨 晨 孙 楠

西安爱生技术集团有限公司 陕西 西安 710065

摘 要: 机械电子工程中, 智能控制工程的应用广泛且关键。本文围绕机械电子系统与智能控制的适配原理展开, 探讨智能控制在机械运动、动力系统及信号处理中的应用。涵盖机械运动姿态调控、轨迹调节、传动协同管控, 动力输出调节、驱动协同控制、负荷适配调控, 以及信号智能采集、状态分析、异常识别响应等方面, 展现智能控制推动机械电子工程向智能化、高精度化发展的重要作用。

关键词: 机械电子工程; 智能控制; 运动控制; 动力系统; 信号处理

引言: 机械电子工程作为多学科融合的领域, 其系统运行具有强耦合、非线性等复杂特性, 传统控制方法难以满足需求。智能控制以模拟人类智能为核心, 不依赖精确数学模型, 能有效应对系统的不确定性。将智能控制应用于机械电子工程, 可实现控制算法与物理系统的深度适配, 使系统具备自主适应工况变化等能力。深入研究智能控制在机械电子工程中的应用, 对提升系统性能、推动行业发展具有重要意义。

1 机械电子工程与智能控制的适配原理

1.1 机械电子系统的运行控制特性

机械电子系统作为多学科融合的复杂载体, 具备强耦合、非线性与时变性的典型运行特征^[1]。系统内部机械传动结构的刚度、阻尼特性与电子驱动单元的响应延迟相互作用, 形成动态时变的动力学关系, 负载波动、环境温变及组件磨损等因素会进一步加剧系统参数的不确定性。运行过程中, 系统需同时实现力与运动的精准传递、多维度状态信息的实时感知及控制指令的快速响应, 传统固定参数控制方法难以适配其动态变化需求, 易出现响应滞后、精度衰减及稳定性下降等问题。

1.2 智能控制的核心运行机制

智能控制以模拟人类智能行为为核心, 融合模糊逻辑、神经网络与专家系统等技术, 构建不依赖精确数学模型的控制体系。运行过程中, 系统通过多源传感器采集状态数据, 利用模糊推理机制处理信息的不确定性与模糊性, 借助神经网络的非线性映射能力刻画复杂系统动态特性, 依托自学习机制积累运行经验并优化控制策略。核心机制体现为自主感知环境变化、动态调整控制参数、自主诊断运行故障及持续优化决策逻辑, 能够有效应对系统的非线性、时变性与不确定性问题。

1.3 智能控制与机电系统的融合逻辑

智能控制与机电系统的融合, 遵循“感知—决策—

执行—优化”的闭环逻辑, 实现控制算法与物理系统的深度适配。融合过程以机电系统的运行数据为输入, 通过智能控制算法对数据进行分析处理, 生成适配系统动态特性的控制指令, 驱动执行机构完成精准动作。机电系统运行状态的实时反馈, 为智能控制的自学习与参数优化提供数据支撑, 形成动态迭代的优化闭环。二者融合打破传统控制的模型依赖限制, 使机电系统具备自主适应工况变化、补偿动态误差及提升运行效率的能力, 推动机电装备向智能化、高精度化方向发展。

2 智能控制在机械运动控制中的应用

2.1 机械运动姿态的智能调控

机械运动姿态的精准调控是复杂任务执行的关键基础。传统控制方法依赖固定参数, 难以应对动态工况下姿态变化的非线性特征。智能控制通过引入多模态感知技术, 将惯性测量单元、视觉传感器与力反馈装置的数据深度融合, 构建三维空间姿态感知体系^[2]。基于模糊逻辑的控制算法可处理传感器数据的不确定性, 通过动态调整隶属度函数参数, 量化姿态偏差程度并生成适应性控制指令, 使系统在外部干扰下仍能维持稳定。神经网络算法凭借强大的非线性映射能力, 通过离线训练建立姿态误差与控制量的复杂映射关系, 在线运行时根据实时误差快速生成补偿策略, 显著提升姿态调整的响应速度与精度。强化学习算法通过定义状态空间、动作空间与奖励函数, 使系统在与环境的交互过程中自主优化控制策略, 逐步逼近最优姿态调整路径, 尤其适用于未知工况下的自适应调控。

2.2 机械运行轨迹的自主调节

机械运行轨迹的自主调节能力直接决定任务执行的灵活性。传统轨迹规划方法依赖离线计算与固定参数, 难以应对环境突变或任务变更。智能控制赋予系统在线轨迹重构能力, 环境感知模块实时采集障碍物分布、目标位置等信息, 结合随机树算法在约束空间内搜索可行

路径，人工势场法生成平滑避障轨迹，实现动态环境下的实时轨迹规划。模型预测控制通过滚动优化策略处理时滞影响，在每个控制周期内求解有限时域开环优化问题，将最优解首元素作为当前控制输入，使轨迹跟踪具备前瞻性与鲁棒性。变结构控制设计滑动模态增强轨迹跟踪的抗干扰能力，当系统偏离预设轨迹时，控制量按预设逻辑切换，迫使状态变量沿滑模面运动，有效抑制外部扰动。

2.3 传动机构的协同智能管控
多传动机构协同工作是复杂机械系统实现复杂运动

的核心需求。传统管控方法难以解决负载分配不均、功率匹配失调等核心问题，无法适配复杂工况下的协同管控需求。智能控制构建分布式协同架构，为每个传动单元配备独立智能控制器，通过相邻单元状态信息交互达成全局协调；借助负载敏感控制技术，实时监测各传动支路负载变化并调节参数，实现功率按需分配；依托迭代学习控制，消除弹性传动链的周期性振动与稳态误差；借助数字孪生技术优化控制参数、提升系统可靠性，不同智能控制方法在传动机构协同管控中的适配特性如表1所示。

表1

智能控制方法	核心管控目标	适配传动机构类型	优势特征
分布式协同控制	实现多单元全局协调，均衡负载分配	多支路联动传动机构、分布式传动系统	响应速度快，抗干扰能力强，可扩展性好
负载敏感控制	功率按需分配，避免过载与轻载运行	液压传动机构、电机传动支路	能耗低，运行效率高，适配负载波动工况
迭代学习控制	消除周期性振动与稳态误差	存在弹性变形的传动链、精密齿轮传动机构	控制精度高，可逐步优化管控效果
数字孪生控制	优化控制参数，提升系统可靠性	复杂精密传动系统、多单元协同传动机构	调试周期短，可提前规避运行风险

3 智能控制在机电动力系统中的应用

3.1 动力输出的智能动态调节

机电动力系统的动力输出需随工况变化实时调整，传统控制依赖固定参数难以应对复杂需求。智能控制通过引入环境感知模块，集成转速传感器、扭矩传感器与功率分析仪数据，构建多维度状态监测网络^[3]。多维度状态监测网络能够全面、准确地获取动力系统的运行状态信息，为智能调节提供丰富的数据支持。基于模糊逻辑的控制算法将转速偏差、负载波动等参数模糊化处理，通过预设规则库动态调整燃油喷射量或电机输入电压，实现动力输出的平滑过渡。神经网络算法通过离线训练建立负载特性与动力输出的非线性映射模型，在线运行时根据实时负载数据快速生成最优控制参数，提升调节响应速度。对于存在时滞特性的动力系统，模型预测控制通过滚动优化策略处理动态特性，在每个控制周期内求解有限时域开环问题，将最优解的首元素作为当前控制输入，有效抑制超调与振荡。深度强化学习在动力调节中展现独特优势，定义状态空间包含转速、扭矩、油门开度等变量，动作空间为控制量调整步长，通过持续交互学习最优调节策略，使系统在变负载工况下维持高效运行。

3.2 驱动单元的协同控制方法

多驱动单元协同工作是大中型机电设备实现复杂运动的基础，传统方法难以解决功率分配与动态协调难题。

智能控制采用分布式控制架构，为每个驱动单元配备独立智能控制器，通过高速通信总线交换状态信息。基于一致性算法的协同控制方法定义相邻单元间的耦合关系，通过迭代更新使各单元输出功率逐步趋同，实现负载均衡分配。主从控制模式将核心驱动单元设为主节点，其余单元作为从节点跟随主节点运动，利用滑模控制增强从节点跟踪鲁棒性，确保多驱动系统运动同步性。对于存在弹性耦合的驱动链，交叉耦合控制通过引入位置误差与速度误差的交叉补偿项，消除各单元间的动态干扰，提升协同控制精度。多智能体系统将驱动单元抽象为智能体，定义通信拓扑与协作规则，通过博弈论方法优化功率分配策略，在满足系统约束条件下最小化总能耗，实现驱动单元的智能协同。

3.3 动力负荷的自主适配调控

机电动力系统需根据负荷变化自主调整运行模式，传统调控依赖人工干预或固定阈值切换。智能控制通过构建负荷预测模型，集成历史运行数据与实时监测信息，利用长短期记忆网络预测未来负荷趋势，为调控策略提供数据支撑。基于专家系统的调控方法将运行经验转化为规则库，根据负荷等级自动选择经济运行模式或功率备用模式，优化系统能效。自适应控制技术通过在线辨识系统参数，动态调整控制器结构与参数，使系统在负荷突变时快速稳定至新的平衡点。对于可再生能源接入的混合动力系统，能量管理策略采用分层优化架

构,上层基于模型预测控制分配各能源输出功率,下层利用极值搜索算法实时优化电池充放电策略,实现动力负荷与能源供应的动态匹配。数字孪生技术为负荷调控提供虚拟验证平台,通过构建包含物理模型与行为模型的数字孪生体,模拟不同调控策略下的系统响应,为实际运行提供优化参考。

4 智能控制在机电信号处理中的应用

4.1 机电运行信号的智能采集

机电系统运行过程中产生的信号具有多源性、非线性与动态性特征,传统采集方法难以兼顾精度与效率。智能采集技术通过多传感器融合架构实现信号全面感知,将振动传感器、温度传感器、电流传感器与声发射传感器数据整合,构建多维信号监测网络^[4]。多传感器融合架构能够充分发挥不同传感器的优势,获取更全面、准确的信号信息,提高采集的质量。自适应采样策略根据信号特征动态调整采样频率,对平稳信号采用低频采样降低数据量,对突变信号实施高频采样捕捉细节信息。基于压缩感知理论的采集方法利用信号稀疏性,通过随机投影矩阵将高维信号压缩为低维测量值,在保证信号重构精度的前提下减少数据传输量。智能采集模块集成边缘计算单元,对原始信号进行初步滤波与特征提取,仅将关键信息上传至上层系统,有效缓解通信压力。分布式采集架构将多个智能节点部署于设备关键部位,通过无线通信网络实现数据汇聚,提升大型机电设备信号采集的灵活性与可扩展性。

4.2 设备状态信息的智能分析

设备状态信息分析是故障预测与健康管理的核心环节,传统分析方法依赖人工经验与固定阈值。智能分析技术引入机器学习算法实现状态特征自动提取,通过主成分分析降低信号维度,利用支持向量机构建状态分类模型,实现设备运行状态的精准划分。机器学习算法的应用,使得状态分析能够自动从大量数据中提取有用信息,提高了分析的准确性和效率。深度学习算法在状态分析中展现强大能力,卷积神经网络自动学习信号时空特征,循环神经网络捕捉状态序列演化规律,通过端到端训练实现状态评估与剩余寿命预测。知识图谱技术将设备结构、运行参数与故障模式关联,构建状态推理知识库,通过图神经网络实现故障传播路径预测与根本原因分析。智能分析系统采用分层架构,底层完成信号预

处理与特征提取,中层实现状态评估与异常检测,上层提供决策支持与可视化展示,形成完整的状态分析链条。

4.3 异常信号的自主识别与响应

异常信号自主识别是保障机电系统安全运行的关键,传统识别方法存在误报率高与响应延迟问题。智能识别技术通过构建异常检测模型实现信号异常模式自动识别,基于孤立森林算法检测数据分布中的离群点,利用自编码器重构误差量化信号异常程度,通过生成对抗网络增强模型对未知异常的泛化能力。多种异常检测算法的结合,能够从不同角度识别异常信号,提高识别的准确性和可靠性。多模态融合识别方法整合振动、温度、电流等多维度信号,通过注意力机制分配不同模态权重,提升复杂异常场景的识别准确率^[5]。智能响应机制根据异常等级自动触发保护动作,对于轻微异常实施参数调整与运行模式切换,对于严重异常启动紧急停机与故障隔离程序。闭环响应架构将异常识别结果反馈至控制层,通过模型预测控制优化系统运行轨迹,避免异常状态扩散,实现机电系统安全稳定运行。

结束语

智能控制在机械电子工程中的应用已取得显著成果,在机械运动、动力系统及信号处理等多个方面展现出强大优势。通过智能调控,机械电子系统实现了更精准的运动控制、更高效的动力输出以及更可靠的状态监测。随着技术的不断进步,智能控制与机械电子工程的融合将更加深入,持续优化系统性能,为机械电子工程领域的创新发展提供有力支撑,助力行业迈向新的发展阶段。

参考文献

- [1]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(9):40-42.
- [2]李春广.智能控制工程在机械电子工程中的应用[J].中国科技投资,2021(20):69,111.
- [3]王建朝.基于智能控制工程在机械电子工程中的应用[J].模型世界,2022(16):23-25.
- [4]付晓云.智能控制工程在机械电子工程中的应用[J].设备管理与维修,2021(10):76-78.
- [5]肖凯夫.智能控制工程在机械电子工程中的创新应用[J].中外交流,2021,28(4):1222.