智能机电设备自动化技术

任东垒
天津美腾科技股份有限公司　天津　300467

摘　要：智能机电设备自动化技术以多源信息融合与协同控制为核心支撑。传感采集环节需兼顾信号保真与前端预处理，闭环调节则依赖反馈机制维持系统抗扰能力。集成控制统筹机械动态与电气响应，数据处理进一步提炼运行特征并挖掘变量关联。协同技术通过设备间时序同步与应急调度保障产线连续性。优化设计涉及算法自适应整定、检测精度补偿、兼容性适配及能耗精细管控。升级方向聚焦智能化自学习、一体化融合、自主运维预警与轻量高效结构，推动系统向高可靠、低消耗方向持续演进。

关键词：智能机电设备；闭环调节；协同控制；能耗优化；自主运维

引言：现代制造场景下，智能机电设备自动化水平直接决定生产效能与产品质量。传感、控制、集成、分析与协同五大关键技术构成完整技术链条，任一环节的偏差均可能削弱整体运行品质。实际工况中非线性扰动、多机时序耦合、信号畸变及能量损耗等问题频繁出现，迫使系统在算法鲁棒性、检测一致性、接口开放性和功率管理等方面做出精细化改进。当前技术迭代加速，硬件性能提升与智能算法嵌入为控制精度、集成深度及运维自主性创造新空间，同时也对参数适配、兼容扩展和轻量化设计提出更严苛要求。厘清关键技术脉络与优化路径，对提升自动化系统综合效能具有现实意义。

1 智能机电设备自动化关键技术

1.1 智能传感与信息采集技术

智能传感与信息采集技术是整个自动化系统感知外部环境变化的基础层级，其核心在于将非电物理量准确转换为可供控制器识别的电信号。这项技术关注传感器选型与布置的合理性，要求敏感元件具备良好的线性度与重复性，确保原始数据真实反映现场实际状况。采集环节需处理多类型信号并存的情况，合理规划采样时序与通道切换策略，避免信号串扰和混叠现象。前端电路设计中引入滤波与放大模块，有效抑制共模干扰与随机噪声，提升信号的信噪比。随着微处理器性能的提升，采集端逐步嵌入初步判断逻辑，可在本地完成量程校验与异常标记，减少无效数据向主控系统的传递。

1.2 自动控制与闭环调节技术

自动控制与闭环调节技术依托反馈原理构建起系统的自我纠偏机制，使被控对象能够自动维持在规定状态附近运行。该技术将检测到的实际输出与期望给定进行比较，依据偏差方向与大小生成相应的修正指令，驱动执行部件进行反向调节，从而形成完整的作用循环。闭环结构赋予系统克服内部参数波动和外部负载扰动的能力，显著提高了运行过程的平稳性和一致性。在调节器参数整定方面，需要综合考虑响应快速性与系统稳定性之间的制约关系，合理设定比例增益、积分时间和微分作用强度。

1.3 机电一体化集成控制技术

机电一体化集成控制技术强调从整体视角统筹机械结构、驱动单元与信息处理环节之间的匹配关系，而非将各部分简单拼凑。这项技术着重解决动力传递链中的惯量匹配与刚度协调问题，确保机械执行端的动态特性与电气驱动端的时间常数相互适应，避免因响应速度不一致而产生的跟随误差。集成控制还涉及系统内部能量流动的合理规划，减少不必要的中间转换环节，提高整体能源利用效率[1]。在控制架构层面，该技术将运动控制、逻辑顺序控制和过程调节统一纳入同一平台进行调度，消除不同控制任务之间的指令冲突和资源竞争。系统状态切换的平滑性也是重点关注内容，通过合理的加速度规划和速度曲线设计，使设备在各运行阶段过渡自然，降低机械冲击。

1.4 数据处理与智能分析技术

数据处理与智能分析技术致力于从海量原始信号中提炼出反映系统本质状态的有效信息，为运行决策提供客观依据。该技术首先对采集数据进行质量筛查，剔除因传感器漂移或传输误码产生的异常点，并通过插值或预估方法补齐必要的缺失值。随后采用时域统计与频域变换等手段，提取信号中蕴含的均值变化趋势、波动幅度及周期性特征等关键指标。在分析层面，运用模式匹配与分类算法对设备当前运行阶段进行自动识别，判断其处于平稳状态、过渡状态还是异常倾向状态。该技术还关注不同测点数据之间的关联性挖掘，通过分析各变

量间的协同变化规律，及早发现系统内部的潜在失调因素。经过深度处理的信息最终以简洁明了的形式呈现给上层管理模块，有效降低人工解读的难度与工作量。

1.5 设备联动与协同自动化技术

设备联动与协同自动化技术解决的是多台独立设备在共同作业流程中如何形成有机整体这一关键问题。该技术通过建立设备间的信息交互通道，使各单机能够实时获知上下游工序的当前状态与进度信息，并据此主动调整自身的运行速度与动作时刻，实现流水线各环节的节奏同步[2]。协同机制还涉及突发状况下的应急处理策略，当某台设备出现短时效率下降或暂停时，联动逻辑能够快速重新规划周边设备的工作时序，避免故障沿工序方向逐级传递扩散。协同自动化还包含系统级启停顺序的编排，按照工序逻辑关系设定各设备的安全启动序列和停机序列，杜绝因无序启停造成的物料堆积或设备损伤，有效提升整条作业线的综合运行效率。

2 智能机电设备自动化技术优化设计

2.1 控制算法优化设计

控制算法的优化设计旨在提升系统在复杂工况下的动态响应品质与稳态保持能力。这项工作重点针对传统控制结构在非线性因素影响下暴露出的适应性不足问题，通过调整控制律中的关键参数，使系统输出能够更紧密地跟随给定指令。优化过程充分考虑负载突变和工况转换等典型场景，确保系统在不同运行阶段都能维持较好的控制性能。同时，引入自适应机制，使控制器能够根据实时误差变化趋势在线修正其输出特性，从而改善系统的跟踪精度和抗干扰水平。优化设计还需权衡快速性与超调之间的矛盾，合理配置闭环零极点分布，使系统在保证稳定裕度的前提下获得理想的过渡过程品质，最终让设备运行更加平稳可靠。

2.2 传感检测精度优化方案

传感检测精度优化方案着眼于提升信息采集环节的准确度与一致性，为控制系统提供更可靠的数据支撑。该方案从传感器自身特性出发，通过合理选型确保敏感元件的分辨率与测量范围满足实际需求，同时关注其温度稳定性和长期漂移指标。在信号处理层面，优化方案引入高精度的模数转换策略与合理的采样时序安排，有效降低量化误差和采样延迟带来的影响[3]。针对环境因素引起的测量偏差，采用实时补偿机制对零点偏移和增益变化进行在线校正。此外，优化方案还注重信号传输路径的噪声抑制，通过合理布线及屏蔽措施减少外界电磁干扰的耦合程度，确保微弱信号在传递过程中保持足够的保真度，从源头提升整个系统的感知精度。

2.3 系统集成兼容性优化

系统集成兼容性优化致力于解决多厂商、多型号设备在统一控制架构下的协同匹配问题，确保各类子系统能够顺畅对接并协调工作。该优化工作重点关注通信接口的标准化与协议的一致性，通过合理的转换与适配策略，消除因数据格式或传输速率差异造成的交互障碍。同时，优化方案还考虑各功能模块在电气特性上的相互影响，对电源供应、信号电平及接地方式进行统一规划，避免因电气不兼容导致的误动作或设备损坏。在软件层面，兼容性优化着重解决不同控制单元之间数据映射与指令解析的匹配问题，使上层调度指令能够被各执行端准确理解与响应。通过系统性的兼容优化，整个自动化平台的开放性和可扩展性得到明显提升。

2.4 设备自动化运行能耗优化

设备自动化运行能耗优化关注在满足生产节拍与加工质量的前提下，合理降低单位产出的能量消耗水平。该优化通过对设备各工作阶段的功率分布进行分析，识别出高耗能时段与待机能耗等可优化环节，并据此调整运行参数的设定值。在启停阶段，优化方案采用合适的加加速度控制来减少不必要的功率冲击，使动力输出更加平滑。在稳态运行中，依据负载变化实时调节驱动输出的幅值，避免长时间处于过驱动状态。能耗优化还涉及多设备联合运行时的功率协调，合理错开各设备的大功率需求时段，降低整体供电系统的峰值负荷。优化方案充分考虑设备空闲期间的自动待机策略，缩短非必要运行时间，实现能源的精细化管控与合理利用。

3 智能机电设备自动化技术升级方向

3.1 高精度智能化控制升级

高精度智能化控制升级旨在将设备运行精度从常规水平提升至更高量级，满足日益严苛的加工与操作要求。这一升级方向着重将传统固定参数控制转变为具有自适应能力的控制模式，使系统能够根据实时状态在线调整控制策略。升级过程中重点关注位置精度、速度平稳性和力矩输出一致性等多维指标的同步改善，确保各指标之间不产生相互制约。同时，智能算法的引入使得控制器具备一定的自学习能力，能够在重复作业中不断积累经验并优化自身输出特性[4]。升级方案还重视微小偏差的精细化处理，通过提高反馈信号的分辨率与控制指令的输出粒度，使系统对细微变化具备足够的响应能力，最终实现运行品质的根本性提升。

3.2 一体化集成技术升级

一体化集成技术升级致力于打破传统机电装备中机械传动、电气驱动与信息处理等功能模块之间的明显界

限，实现从物理层面到控制层面的深度融合。此次升级将原本独立布置的控制器单元、驱动放大器与功率转换模块进行高密度整合，缩短信号传输路径，减少中间转换环节带来的响应延迟与能量损耗，使系统整体动态特性得到改善。升级后的架构强调功能复用与资源共享，将运算处理能力、通信带宽与电源容量统一调配，提高各资源单元的利用效率。2025年7月，国内首个抽水蓄能电站二次系统智能一体化设计集成项目完成出厂验收，该项目在厂内完成了监控、调速、励磁、继电保护、静止变频器及状态监测等多专业的一体化联调，控制信息交互时间从秒级缩短至毫秒级；白鹤滩水电站1号机组采用智能一体化监控平台，对机组本地控制柜及相关设备进行全面国产化替代，实现从核心控制器到边缘计算软硬件的全链条自主可控。

3.3 自主化运维技术升级

自主化运维技术升级的核心目标是将设备维护模式从依赖人工经验判断和定期检修，转变为设备自身能够感知健康状态并主动规划维护活动的新形态。这一升级方向着重构建覆盖设备全运行周期的数据记录体系，对关键部件的温度、振动、电流及扭矩等参数进行持续采集与存储，为后续状态评估提供可靠的基础数据支撑。升级后的系统具备对性能衰退趋势进行定量跟踪的能力，当关键指标下降速率或幅值超过预设门限时，系统自动发出预警信号并给出建议维护窗口，使运维工作能够提前有序安排。2025年，龙源电力研发的风电机组智能运维系统在全国20余个省份、超过400座新能源场站成功应用，实现37吉瓦新能源资产的全场景覆盖，该系统基于全机型数据字典与机器学习预测算法，实现了关键设备状态的精准监测与故障超前预警；某石油化工企业自主研发的离线监测数据智能诊断体系，实现了设备运维从经验驱动向数据驱动的跨越；某自动化立体库的预测性维护系统提前7天预警了堆垛机电机异常，避免了计划外停机事故。

3.4 轻量化、高效化技术升级

轻量化与高效化技术升级关注从结构根源上降低设备自身质量并提升运行效率，进而改善设备的经济性能与动态响应特性。该升级方向首先着眼结构材料的合理选择与构件几何形状的科学优化，在满足强度与刚度约束的前提下尽可能去除冗余材料，降低运动部件的惯量水平[5]。惯量降低直接带来加减速过程驱动功率需求的下降，使设备在完成相同工作任务时消耗更少的电能。2025年，山东港口日照港投用的新一代双悬臂轻量化轨道吊，通过创新采用主梁加拉压杆系复合结构设计，单台设备减重70吨，整机自重下降超过20%，综合能耗降低15%以上，单台设备全生命周期可节约成本200万元。高效化升级同时涉及传动链路的精简设计，通过减少不必要的中间传动环节并选用低摩擦系数的支承元件，降低机械传递过程中的功率损失。热管理水平的提升也是关注要点，通过优化散热结构与选用耐温材料，使轻量化设计在长时间连续运行中维持稳定的尺寸精度与力学性能。

结束语：智能机电设备自动化技术的持续演进，依托于传感、控制、集成、分析与协同各层级的协同提升。优化工作需在算法自适应、检测精度、系统兼容及能耗管理等方面反复迭代，使硬件潜能与软件策略充分契合。升级方向指向更高精度、更深融合、更自主运维和更轻量高效的结构形态，这要求工程实践兼顾动态响应品质与长期运行经济性。通过系统性地改进关键环节，设备能够在复杂工况下保持稳定输出，同时降低资源消耗与维护负担，从而为自动化系统的高效可靠运行提供坚实支撑。

参考文献

[1]胥玉龙.智能制造背景下机电设备自动化改造技术[J].造纸装备及材料,2026,55(4):85-87.

[2]包壮伟.智能制造背景下机电设备自动化控制技术应用研究[J/OL].中国科技期刊数据库 工业A,2026,(6):187-190.

[3]陈丽.基于智能化技术的矿山机电设备自动化控制系统[J].数字技术与应用,2026,44(3):238-240.

[4]曹嘉庸.煤矿机电设备的自动化控制系统与关键技术研究[J].中国设备工程,2026,(5):201-203.

[5]赵杨.智能制造视域下造纸机电设备自动化升级探究[J].华东纸业,2026,56(7):16-18.