

机械设备以及电气自动化控制的有效结合

耿非凡

中国船舶集团有限公司第七一三研究所 河南 郑州 450000

摘要: 在工业智能化发展背景下, 机械设备与电气自动化控制的有效结合是提升重型装备运行精度、效率与可靠性的关键。本文阐述了二者结合的理论基础与耦合机理, 分析工业现场总线、PLC适配、伺服与变频协同等关键技术, 设计硬件集成、软件编程、人机交互及监控系统的完整集成方案。研究表明, 合理的技术适配与系统集成可实现机械动作与电气控制的精准协同, 解决二者结合中的兼容性、联动性问题, 为重型装备智能化升级提供技术支撑与实践参考。

关键词: 机械设备; 电气自动化控制; 有效结合; 关键技术; 集成方案设计

引言: 随着工业4.0推进, 重型装备对运行精度、节能性与智能化水平的需求不断提升, 传统机械设备人工控制模式已难以满足复杂工况需求。电气自动化控制技术的快速发展, 为机械设备升级提供了技术路径, 二者的有效结合成为工业装备发展的必然趋势。本文围绕机械设备与电气自动化控制的理论基础、关键技术及系统集成方案展开研究, 旨在解决二者结合中的技术难点, 推动重型装备向智能化、高效化、可靠化发展, 助力相关领域产业升级。

1 机械设备与电气自动化控制理论基础

1.1 机械设备核心原理与构成

机械设备是工业生产的基础载体, 核心原理围绕能量传递、运动转换展开, 通过合理设计机械结构实现特定作业功能。其主要由动力、传动、执行、控制四部分构成: 动力部分(如电机、内燃机)提供动力源; 传动部分(如齿轮、皮带传动)传递动力至执行机构; 执行部分(如机床主轴、输送机输送带)直接完成作业; 控制部分协调各组件有序运行, 为与电气自动化控制结合奠定结构基础。

1.2 电气自动化控制技术体系

电气自动化控制技术以电工电子技术、控制理论为核心, 形成完整体系, 包含控制、检测、执行、通信四大装置。控制装置(如PLC、单片机)为核心, 负责接收指令并输出控制信号; 检测装置(如传感器、变送器)采集设备运行参数, 为控制决策提供数据; 执行装置(如接触器、电磁阀)将电气信号转换为机械动作; 通信装置实现设备间信号传输, 保障系统协同。

1.3 耦合机理及适配逻辑

两者结合并非简单叠加, 核心是基于协同适配的耦合机理, 实现机械动作与电气控制精准同步。电气自动

化控制为机械设备提供智能化指令, 通过检测装置反馈的数据动态调整控制信号, 优化动作精度与效率; 机械设备为电气控制提供实践载体, 其结构设计需适配电气控制装置安装运行, 形成“检测-控制-执行-反馈”闭环系统, 实现功能互补、运行协同, 为后续系统集成奠定理论基础^[1]。

2 机械设备与电气自动化控制结合的关键技术

2.1 工业现场总线与工业以太网通信技术

工业现场总线与工业以太网技术作为数据交互核心, 其应用实效直接决定控制指令传输效率、运行数据反馈精度及装备整体联动响应速度, 是装备可靠运行的基础。(1)现场总线技术的现场应用。装备制造与运行现场多为强电磁干扰、多节点密集连接环境, 部分装备需聚焦单台设备内部精准联动。现场总线技术凭借抗干扰强、布线成本低、实时性高的优势, 广泛应用于单机装备与中小型成套设备控制网络。如某型舰载装备动力系统单机控制, 通过CAN总线连接机械执行机构与PLC控制单元, 数据传输速率稳定在1Mbps, 可实时下发液压伺服机构动作、动力传输部件转速指令并反馈状态, 保障单台装备各组件协同运行, 满足复杂工况需求。(2)工业以太网技术的规模化部署。随着装备向大型化、集群化、智能化发展, 需实现多台装备、多套控制系统的互联互通与统一管控。基于TCP/IP协议的工业以太网技术, 凭借高带宽、远距离传输、多节点兼容优势, 成为大型装备集群控制网络主流方案。在某型船舶动力系统装备集群中, 通过Profinet、EtherCAT等工业以太网协议, 连接主机组、辅机组、监控终端等数十台套设备, 实现动力参数、运行工况、故障信息等多维度数据统一采集与远程监控, 解决了传统现场总线网络规模受限、传输容量不足的问题。(3)通信技术的兼容性优化实

践。不同品牌、代际的机械设备与自动化控制设备存在通信协议差异,是二者结合的核心难点。通过加装专用通信协议转换器、开发定制化接口程序,可实现不同总线与以太网间的协议转换与数据互通^[2]。

2.2 可编程逻辑控制器(PLC)适配应用技术

PLC是电气自动化控制的核心装置,需结合重型装备机械结构、复杂工况及长期运行特性,优化PLC选型、编程与调试策略,确保控制方案贴合实际需求。(1) PLC的差异化选型策略。不同机械设备的控制复杂度、运行环境、负载特性差异显著,需针对性选型。对于结构简单、控制逻辑固定的通用型机械装备,如车间物料输送、辅助加工设备,选用小型PLC即可满足需求,其体积小、成本低、编程便捷,适配低负载、固定逻辑运行场景;对于控制流程复杂、多模块协同、高负荷的重型装备,如动力装置、作业装备,选用中大型PLC,其具备多通道输入输出、强大运算能力与高可靠性,可同时处理数百个控制点位与复杂逻辑运算,满足重载、多工况控制需求。(2) PLC控制程序的机械场景适配编程。PLC程序是连接电气控制与机械运动的核心纽带,需紧密结合装备作业特性、运行参数与安全要求,避免通用化编程导致控制偏差。如某型装备轨道调平机械,针对调平高精度要求,在PLC编程中加入位置闭环控制程序,通过位移、倾角传感器实时采集数据,动态调整机械执行机构推进速度与调平高度,确保作业精度达标;某型重载装备则编写过载、过流等多重保护程序,当负载或电流异常时,自动切断动力并触发声光报警,保障设备与人员安全。(3) PLC与机械执行机构的联动调试。PLC输出信号与伺服电机、液压缸等执行元件的联动匹配度,直接决定机械动作精准性与稳定性,需通过精准调试实现协同运行。调试时先搭建模拟环境,验证控制逻辑正确性;再进行在线调试,将程序下载至PLC并接入装备,调整伺服响应、液压缸动作等参数,匹配机械执行机构的响应速度与动作特性。某型装备故障诊断系统改造中,通过反复调试联动参数,实现故障信号精准采集与执行机构快速响应,提升装备运行可靠性。

2.3 伺服系统与变频调速控制协同技术

伺服系统与变频调速技术是实现机械设备精准运动、节能高效运行的核心技术,优化参数匹配、运行模式与联动逻辑,实现精准性与节能性统一。(1) 伺服系统的机械负载匹配应用。伺服系统具备高精度位置控制、快速响应、高稳定性特点,适用于精密加工、精准作业等对精度和响应速度要求高的装备。实际应用中,需根据机械负载的扭矩、转速、惯量等参数,选型适配

的伺服电机与驱动器,避免参数不匹配导致的精度不足、设备振动等问题。如小型精密加工装备刀具驱动模块,选用额定扭矩 $0.5\text{--}2\text{N}\cdot\text{m}$ 的小型伺服系统;大型装备关节驱动、精准定位模块,选用大扭矩、高响应伺服系统,同时优化刚性与阻尼参数,确保与机械负载精准适配。(2) 变频调速技术的机械节能与运行适配。变频调速通过改变电机输入频率调节转速,实现电机功率与负载需求动态匹配,广泛应用于风机、水泵、大型动力装置等大负载、变负荷设备。实际运行中,结合装备负荷变化、工况切换调整电机频率,可显著降低能耗,提升经济性。(3) 伺服系统与变频调速的协同控制。对于兼具精准运动与调速需求的装备,需通过PLC搭建统一控制平台,实现二者协同联动,根据运行状态自动切换控制模式。如某型水利装备闸门启闭设备,通过伺服系统实现闸门位置精准闭环控制,配合变频调速调节启闭电机转速,确保闸门平稳运行;通过PLC实现伺服与变频器信号交互,根据运行状态、负载变化自动切换模式,接近目标位置时切换至伺服精准控制,保障装备运行精准稳定,满足复杂工况需求^[3]。

3 结合过程中的系统集成方案设计

3.1 硬件系统选型与集成架构

硬件系统是重型装备与电气自动化控制结合的核心载体,选型需兼顾抗干扰性、兼容性与长期稳定性,集成架构贴合装备研发与运行场景,规避冗余设计,围绕控制层、执行层、检测层开展选型与集成,适配复杂工况需求。(1) 核心控制硬件选型。优先选用适配海洋及重型装备场景、兼容性强的标准化设备,控制核心选用中大型PLC,根据控制点位数量、逻辑复杂度确定输入输出模块规格,确保与执行元件、检测设备接口匹配;电源模块选用工业级宽电压开关电源,具备过压、过流、防浪涌保护,适配复杂供电环境;针对装备集群与多系统联动需求,增设IPC用于数据汇总与集中管控,采用冗余设计,避免单一控制节点故障影响整体运行。(2) 执行与检测硬件选型。执行硬件需与装备机械结构、负载特性精准匹配,伺服电机选用带编码器的闭环型,适配精准定位需求,变频器选用矢量型,满足转速、扭矩调节及动力系统变负荷运行需求;检测硬件选用高精度、抗强电磁干扰的工业传感器,重点采集动力部件、传动机构运行参数;布线采用防腐蚀、抗干扰屏蔽电缆,规避电磁干扰,保障信号传输稳定。(3) 集成架构设计。采用控制层、执行层、检测层分层设计,控制层由PLC、IPC组成,负责指令下发与数据处理,适配直流组网等新型供配电方案;执行层由伺服电机、变频器等组成,

精准执行控制指令；检测层由各类传感器组成，实时采集数据并反馈，形成闭环控制；各层通过工业以太网（Profinet）、现场总线（CAN）连接，遵循“模块化、可扩展”原则，预留接口，便于装备升级扩容。

3.2 软件控制流程与程序编制

软件控制流程贴合重型装备实际作业流程，程序编制注重逻辑性、可操作性与稳定性，避免冗余代码，围绕控制、联动、保护逻辑开展，确保电气控制与机械动作精准协同，适配装备长期可靠运行需求。（1）控制流程设计。结合装备作业步骤，设计初始化、参数设定、运行控制、故障处理闭环流程：初始化阶段完成硬件自检，适配智能机舱设备状态校验；参数设定阶段通过HMI输入转速、位移等运行参数；运行控制阶段根据检测数据与设定参数，下发指令协调执行元件动作；故障处理阶段，检测到异常参数时自动触发停机、报警，保障装备与人员安全。（2）程序编制要点。采用梯形图（LD）、功能块图（FBD）编制PLC程序，梯形图用于启停、连锁等简单逻辑控制，功能块图用于PID调节等复杂运算；遵循“模块化”原则，将动力控制、精度调节、故障报警等功能拆分为独立模块，便于调试维护；加入容错设计，针对关键控制点位设置双重校验逻辑，避免指令误发导致装备故障。（3）程序调试优化。先通过PLC编程软件进行离线模拟调试，验证控制逻辑正确性；再进行在线调试，将程序下载至PLC并接入装备，测试各模块联动效果，调整伺服响应速度、变频器频率调节步长等参数，解决程序与机械动作不匹配、响应滞后等问题，确保程序稳定可靠^[4]。

3.3 人机交互（HMI）与监控系统设计

HMI与监控系统是实现人机协同、装备状态管控的关键，设计兼顾操作便捷性与监控全面性，贴合操作人员习惯，聚焦核心管控需求，适配重型装备特殊运行环境。（1）HMI设计。选用工业级防水、防尘触摸屏，现场操作选用7-10英寸，集中管控选用12英寸以上；界面布局简洁直观，分为参数设定、运行状态、故障报警三

区，支持航向、动力参数等核心参数的设定与显示，故障报警区以文字、声光提示故障类型与位置，便于快速排查。（2）监控系统设计。采用“本地+远程”监控模式，本地通过HMI、IPC实现状态查看、参数监控与手动干预；远程通过工业以太网将数据上传至监控中心，实现多装备集中管控、故障远程报警与参数远程调整，适配岸基远程监控需求；内置数据存储功能，自动记录运行参数与故障信息，存储周期不少于3个月，便于后续追溯分析。（3）安全与适配设计。HMI设置分级权限，避免误操作；监控系统加入数据加密功能，防止数据泄露篡改；HMI选用抗强电磁干扰型号，监控系统具备抗电磁干扰、断电保护功能，确保恶劣工况下正常运行，保障管控连续性^[5]。

结束语：本文围绕机械设备与电气自动化控制的有效结合展开系统研究，从理论基础、关键技术到系统集成方案，形成了一套贴合重型装备场景的完整技术体系，有效解决了二者结合中的通信兼容、PLC适配、联动协同等核心问题。结合相关实践，验证了该技术体系的可行性与实用性。未来可进一步优化系统兼容性与智能化水平，推动技术与更多重型装备场景深度融合，持续提升装备运行效率与可靠性，为工业智能化发展注入新动力。

参考文献

- [1]涂明东.智能化机械设备电气自动化技术探究[J].中国设备工程,2026(2):39-41.
- [2]曹春宜.电气技术在机械设备自动化中的应用--评《机械电气控制及自动化》[J].铸造,2021,70(11):1379-1379.
- [3]韩莎莎.基于PLC的机械设备电气自动化控制分析[J].造纸装备及材料,2022,51(9):19-21.
- [4]崔阳,冯迎迎,高廷蕾.关于机械设备电气工程自动化技术的应用探究[J].新潮电子,2025(22):25-27.
- [5]傅桂林.智能化技术在机械电气设备中自动化控制系统的应用研究[J].电子质量,2025(4):35-39.