

工业电气自动化系统中远程控制技术应用探究

张国将

中冶天工集团有限公司 天津 300308

摘要：工业电气自动化系统对远程控制技术的依赖性持续加深，远程通信架构与自动化控制层级的融合已成为提升产线管控效率的关键路径。本文围绕现场总线、可编程逻辑控制器远程编程、传感器执行器协同采集及无线移动操控等实现方式展开讨论，梳理了远程启停调控、故障诊断、供配电调度与电机调速等典型应用场景中的技术逻辑，并从通信抗干扰、权限分级管控、冗余切换策略及日常运维管理等维度提出了系统稳定性保障方案，为工业电气自动化远程控制体系的工程化落地提供技术支持。

关键词：工业电气自动化；远程控制技术；通信架构；系统稳定性；运维管理

引言：工业电气自动化产线对设备管控的时空覆盖范围提出了更高要求，传统本地封闭控制模式已难以适配多车间、跨厂区的协同生产场景。远程控制技术依托有线与无线通信链路，将现场设备的感知数据与控制指令在异地主站间双向传输，打破了操作人员的物理空间限制。该技术与自动化系统的深度融合，改变了系统响应逻辑与数据流向，使产线启停、参数调控、故障诊断等操作均可在远程终端完成。通信协议统一、时序匹配及安全防护机制的构建，是保障远程介入下生产过程平稳有序运行的技术前提。

1 工业电气自动化系统与远程控制技术基础

1.1 工业电气自动化系统架构组成

工业电气自动化系统由多层软硬件模块协同搭建，整体分为现场设备层、控制层、管理监控层，各层级分工明确、联动运行。现场设备层主要依托传感器采集生产过程中的电压、电流、温度、转速等电气参数，持续将模拟量、开关量信号传输至控制层。控制层以可编程逻辑控制器、分布式控制系统为核心，接收现场信号后，按照预设程序逻辑完成运算判断，输出控制指令驱动现场执行设备运行^[1]。管理监控层负责整合全站生产数据并实现可视化展示，供操作人员实时监控设备状态、调整生产参数。各层级通过工业总线、以太网完成数据交互，形成“感知-决策-执行”的完整控制闭环，保障系统可在少人、无人干预的条件下实现连续自动化生产。

1.2 远程控制技术基本原理与通信模式

远程控制技术的核心是通过远距离双向数据传输，实现异地设备操控，稳定的通信链路是技术运行的基

础。按传输介质划分，远程通信主要分为有线、无线两种模式。有线通信以光纤、以太网电缆为传输载体，带宽充足、抗干扰能力强，适用于固定工位的稳定控制交互。无线通信依托移动通信网络、工业专用频段传输数据，部署灵活，可覆盖有线网络无法触及的分散生产区域。远程控制的运行原理为：现场设备将运行数据编码后上传至远程主站，主站完成数据处理与逻辑运算后，反向下发控制指令，现场单元接收并执行指令，以此形成完整的远程控制回路。同时系统会对数据进行分包传输、时序同步处理，确保指令精准解析、可靠执行。

1.3 远程控制与自动化系统的融合逻辑

远程控制技术融入工业电气自动化系统后，打破了传统本地封闭式控制模式，构建起开放式远距离控制架构，彻底改变了系统的响应逻辑与数据流向。融合过程中，远程主站与现场控制器建立数据映射关系，将远程操作指令转化为控制器可识别的底层执行信号。现场控制器接收远程指令后，会依托本地安全逻辑完成指令校验与权限核验，确认合法有效后，再驱动执行机构完成对应动作。这种融合方式突破了操作人员的物理空间限制，实现异地生产调度与设备管控。为保障系统稳定运行，远程控制模块与自动化系统需保持通信协议统一、时序匹配，有效规避通信延迟、数据丢包引发的指令执行偏差，确保远程介入下的生产过程平稳有序。

2 远程控制技术在自动化系统中的关键实现方式

2.1 现场总线与工业以太网通信技术应用

现场总线与工业以太网是远程控制系统的核心数据传输载体，直接决定各设备节点的信息交互效率与稳定性。现场总线采用点对点、总线型拓扑结构，串联产线

各类传感器、变送器与控制器,通过主从轮询、令牌传递的方式有序传输数据,适配车间内设备密集区域的短距控制通信场景^[2]。工业以太网在传统以太网基础上优化实时通信机制,通过报文优先级调度、时间片分配,保障控制数据优先传输,主要用于跨车间、跨厂区的远距离数据汇聚与远程监控。工业生产环境电磁干扰复杂,通信系统需合理匹配协议类型,同时配置冗余路由与差错校验机制,有效降低传输时延与丢包概率,保障长距离传输的数据完整性与准确性。

2.2 可编程逻辑控制器远程编程与在线监控技术

可编程逻辑控制器是自动化产线的核心运算控制单元,远程编程与在线监控技术,实现了设备逻辑异地调试、状态实时监测。系统通过搭建加密通信隧道,连通远程编程终端与现场控制器,工程师可异地完成梯形图、结构化文本程序的编辑、编译与下载,实现控制逻辑的远程优化升级。在线监控依托控制器内置 Web 服务与专用监控接口,实时上传设备寄存器状态、定时器数据、故障报警信息,方便操作人员远程掌握设备运行工况。系统设置分级操作权限与指令二次确认机制,规避远程误操作导致的产线停机问题。

2.3 传感器与执行器远程数据采集与指令传输技术

传感器与执行器是自动化系统的现场终端,分别负责信号采集与指令执行,二者的协同配合是远程精准控制的关键。数据采集阶段,通过远程 I/O 模块、分布式采集站汇聚现场温度、压力、流量等模拟量与数字量信号,经模数转换、协议封装后上传至远程主站。指令执行阶段,远程主站生成的控制指令通过反向通信链路下发,驱动执行器调整阀门开度、电机工况等设备状态,完成远程控制闭环。为规避现场电磁噪声干扰,系统会对采集信号进行滤波处理与量程标定,保障数据精度。同时根据产线工艺节拍,匹配数据采样频率与指令刷新周期,避免数据滞后导致控制动作与生产工况脱节。

2.4 无线通信与移动终端远程操控技术

无线通信技术摆脱了有线链路的空限制,搭配移动终端设备,实现了灵活化、移动式远程设备管控。系统依托工业 Wi-Fi、4G、5G 等无线通信网络搭建远程控制链路,操作人员通过专用移动端 APP,即可实时接收生产数据、下发设备控制指令。工业场景中金属设备遮挡、多径效应易造成无线信号波动,系统通过跳频扩频、多天线分集技术,有效提升通信链路的稳定性。移动端界面适配触屏操作模式,针对启停、参数修改等关键操作设置二次确认、手势验证功能,降低误触风险。

该技术适配设备巡检、应急处置等零散作业场景,大幅提升了远程操控的灵活性与现场响应效率。

3 远程控制在典型自动化环节中的应用路径

3.1 生产线远程启停与运行参数调控

远程控制技术可实现生产线整体启停与运行参数异地微调,无需操作人员现场逐台设备手动操作。产线远程启停依托预设联锁逻辑运行,远程下发启动指令后,各工位设备按既定顺序依次上电启动;下发停机指令后,系统执行逆向联锁流程,逐级切断设备动力供给,保障启停过程安全有序^[3]。参数调控涵盖设备运行速度、工艺温度、工作压力等核心指标,远程主站更新参数后,通过通信链路同步至各节点控制器,实时更新设备运行工况。系统内置参数变动范围约束与调节速率限制,避免参数突变对设备造成冲击。

3.2 电气设备远程故障诊断与状态监测

依托实时数据采集与智能分析算法,远程控制技术可实现电气设备在线状态监测与提前故障诊断。通过在设备关键部位部署传感器,实时采集振动幅值、绝缘电阻、绕组温度等核心状态参数,数据经编码传输至远程诊断平台。平台将实时数据与正常工况基准数据比对分析,精准识别参数异常波动与工况偏移问题。当检测到参数持续越限或多维度关联异常时,系统自动触发故障预警,并将预警信息推送至监控终端。运维人员可依托远程诊断数据,提前排查设备隐患、制定检修计划,实现设备预防性维护。

3.3 供配电系统远程调度与负荷管理

远程控制技术将各配电节点整合为一体化管控平台,实现供配电系统的远程调度与智能负荷管理。系统实时采集各供电回路的电流、电压、功率等运行数据,动态监测整体负荷变化,可自动生成调度方案或支持人工远程下发调度指令。负荷高峰期时,系统可远程执行负荷均衡分配、次要负荷切除等操作,避免变压器过载运行,保障配电系统稳定。所有调度指令通过加密通道下发至配电终端智能保护装置,经合法性校验后执行分合闸操作,完成配电工况调整。

3.4 变频驱动与电机系统远程调速控制

远程控制技术将电机调速操作从本地面板拓展至远程终端,实现电机转速无级调节与运行模式异地切换。远程调速指令传输至变频器控制单元后,变频器通过调整输出电压与频率配比,精准控制电机运行转速。调速过程中,变频器实时回传电机实际转速、工作电流等数据,远程端根据反馈动态修正目标参数,保障调速精

度。针对多电机协同运行场景,可通过组态软件设置联动调速逻辑,实现多设备按预设速率配比同步运行。

4 远程控制系统运行稳定性与安全保障

4.1 通信链路抗干扰与数据传输可靠性保障

工业现场变频器、大功率电机、焊接设备等设备会产生大量电磁干扰,极易造成远程通信数据失真、传输异常。为保障通信稳定,需从物理层与链路层双向优化防护^[4]。物理层采用屏蔽双绞线、光纤等抗干扰传输介质,通过屏蔽结构、光信号传输特性隔绝外部电磁噪声干扰。链路层搭载循环冗余校验、自动重传请求机制,对传输数据进行完整性校验,发现数据错误、缺失时自动触发重传,确保数据包完整有效。同时系统配置主备双冗余通信链路,主链路故障时备用链路自动切换接管,杜绝单点故障引发的指令丢失、通信中断问题。

4.2 远程控制系统权限分级与操作安全防护机制

针对多岗位协同操作场景,系统采用分级权限管理模式,规避越权操作、误操作风险,保障远程操控安全。系统将操作权限划分为三级,分别为监视级、操作级、管理级。监视级仅具备数据查看、状态监控权限,无法下发控制指令;操作级可完成设备启停、常规参数修改等基础操作;管理级拥有用户管理、系统配置、参数大幅调整等高级权限。各级权限对应独立账号密码,关键高危操作需额外完成二次确认。网络边界部署工业防火墙、入侵检测设备,拦截非法访问与异常接入行为。系统全程记录操作日志,留存指令来源、操作时间、执行状态等数据,为故障追溯、安全核查提供依据。

4.3 系统冗余设计与异常工况自动切换策略

为避免单一部件故障导致整体系统瘫痪,远程控制系统搭建了软硬件双重冗余架构。控制器采用双机热备模式,主、备控制器通过心跳报文实时监测彼此运行状态,主控制器故障时,备用控制器可瞬时接管全部控制任务,保障生产不中断。通信网络采用环形拓扑结构,任意线路断点可自动绕行传输,规避线路中断造成的通信失效。同时系统预设多类异常工况处置逻辑,检测到通信超时、控制器掉线、电源失电等故障时,自动切换至降级安全运行模式,将设备切换为本地管控状态;

待远程通信与设备工况恢复后,自动切换回远程管控模式,保障系统运行全程安全可控。

4.4 远程控制系统日常运维与技术管理要点

规范化的日常运维与技术管理,是远程控制系统长期稳定运行的核心保障。运维人员需定期检测通信链路信号质量、传输时延与丢包率,及时排查线缆接头、交换机端口老化、接触不良等问题。按照标准化流程完成控制器固件、监控软件的版本更新,更新前必须在测试环境完成兼容性验证,确认无误后再部署至生产系统^[5]。技术管理方面,建立完善的设备台账与配置档案,详细记录控制器程序版本、通信参数、接线方式等核心信息,所有系统配置变更需履行审批流程,并同步更新档案资料。完整记录每次巡检、故障处理的全过程,形成运维数据积累,为系统优化升级提供数据支撑。

结束语

远程控制技术已深度嵌入工业自动化系统的各个控制层级,从现场总线通信到可编程逻辑控制器远程调试,从传感器数据采集到供配电智能调度,技术覆盖范围持续拓展。通信链路抗干扰设计、分级权限管控与软硬件冗余架构,为系统长期稳定运行构筑了多重安全屏障。规范化的日常运维与技术档案管理,则是保障远程控制系统持续可靠运转的基础性工作。各技术环节的协同配合与参数精细化管控,共同支撑着工业自动化产线在远程操控模式下的安全高效运行。

参考文献

- [1] 王超伟,李宪,薛子威. 矿山电气自动化系统中的智能监控与远程控制技术[J]. 中国金属通报,2024(18):71-73.
- [2] 朱彦梦瑶. 电气自动化技术在智能照明系统中的应用研究[J]. 光源与照明,2025(6):57-59.
- [3] 陈茗茗. 电气自动化技术在智能照明系统中的应用[J]. 光源与照明,2025(11):51-53.
- [4] 陈忠文. 电气系统中的数字化保护与自动化技术应用研究[J]. 电工技术,2024(z1):122-125.
- [5] 路梓鹤. 电气自动化技术在供配电系统中的应用解析[J]. 电子元器件与信息技术,2023,7(4):69-71,91.