基于 PLC 的自动化生产线电机群启停顺序控制与配电保护策略

聂龙涛

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450001

【摘　要】：电机群是自动化产线的动力来源，启停次序错乱会同时引发电网冲击、工序卡料与机械磨损。早期继电器回路布线固定，改线成本高、排障耗时长。PLC 以程序替代硬接线，可按节拍完成多台电机顺起逆停，但程序仅管控动作次序，无法单独应对短路、缺相、过载等配电故障。基于此，本文将围绕连续输送产线，梳理 PLC 时序控制实现要点，给出匹配的分级配电保护思路，旨在使启停节拍与电气防护形成闭环。

【关键词】：PLC；自动化生产线；电机群启停；顺序控制；配电保护

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.070

引言

工业产线多电机同步作业场景下，随意启停会催生瞬时电流波动，造成部件连锁损毁，打乱实际生产节奏。老式继电器控制布线繁杂，故障定位耗时费力，很难满足现场安全生产条件。因此，利用 PLC 实现电机群时序逻辑管控，辅以针对性配电防护措施，对减少设备损坏概率、保障生产有序开展有着实际研究意义。

1 基于 PLC 的自动化生产线电机群启停顺序控制与配电保护的困境

1.1 固定时序逻辑适配性差

目前工业现场多数自动化产线的 PLC 电机控制程序，普遍采用固定时长延时启停机制，常规间隔设定为 5 秒，仅能适配标准化生产场景。实际作业过程中，物料重量、设备运行负载的动态波动会彻底打乱预设时序，若物料负载增幅超过 30%，前级驱动电机尚未完成稳速运行，后级电机便会提前启动。该控制方式完全依靠内置定时器触发动作，未搭载实时负载检测与动态校准功能，结合现场运维统计数据，非标准工况下时序错乱故障发生率可达 18.7%，极易造成物料堆积、传动结构卡顿，直接削弱生产线整体运行可靠性。

1.2 工频启动冲击电流大

市面上多数中小型自动化生产线的电机群组，依旧沿用工频直接启动的传统模式，单台电机启动瞬间的冲击电流，峰值可达设备额定工作电流的 5 至 7 倍。多台电机集中启动、交替运行时，叠加的瞬时浪涌电流会引发配电回路电压骤变，电压波动幅度频繁突破国家电气规范±10%的安全限值。传统 PLC 程序仅能规避多电机同步启动问题，无法对启动冲击电流进行抑制与优化。长期反复的电流冲击会加速供电线路老化、造成接触器触点烧蚀氧化，据厂区设备故障统计，此类电气隐患引发的设备故障占比超 23%，同时会干扰同回路高精度电控元器件的稳定工作状态。

1.3 状态判别逻辑单一

多数现场应用的 PLC 控制系统，仅依托自身输出触点的通断信号判定电机运行状态，并未接入电流、转速等核心运行工况的实时监测数据。电机运行过程中出现的缺相、轻微卡滞、低速过载等隐蔽性故障，无法被系统精准识别，控制器会判定设备运行正常并持续执行后续启停工序。常规热继电器的故障响应时长处于 0.3 至 0.5 秒区间，响应速度远滞后于 PLC 毫秒级的控制节奏，故障处理滞后会引发多级设备连锁过载问题，数据显示，单台电机隐性故障诱发整组设备停机的概率可达 15.3%，大幅提升机电设备损坏与生产线停产的风险。

1.4 配电保护分层不足

当前多数电机群组配电保护体系存在设计缺陷，过载、短路保护参数采用统一阈值配置，未结合各电机功率参数、生产工序重要程度进行差异化分级设置。小功率辅助电机出现轻微故障时，极易触发总供电回路保护跳闸，导致整条生产线无故停机，严重影响生产连续性。同时系统未配备专属故障定位、数据记录功能，故障发生后，技术人员人工排查、定位故障点位的平均耗时超 45 分钟，大幅增加换产调试与设备复位的时间成本。此外，配电保护逻辑与 PLC 启停控制时序相互独立、衔接脱节，无法实现故障瞬时闭锁、分级有序停机，难以同步兼顾生产效率与电气系统运行安全。

2 基于 PLC 的自动化生产线电机群启停顺序控制与配电保护策略

2.1 搭建动态时序调控体系，提升工况自适应能力

传统 PLC 控制方案多采用定值定时器完成电机启停管控，固定的延时参数无法适配生产工况的动态

变化，整体容错性能较差。对此，可舍弃单一固定时长的控制方式，依托 PLC 模拟量采集硬件模块，搭建负载联动式动态时序调控架构。在电机驱动回路布设电流、载荷传感采集装置，实时捕捉生产线物料负重、设备运行负荷的动态数据，并将采集信号传输至主控单元。系统依托内置比例调控算法，自主修正各电机的启停间隔与运行节奏，彻底摆脱传统固定 5 秒延时的局限。该调控模式可随生产负荷变化自适应更新控制逻辑，有效规避负载波动引发的时序错乱问题，减少非标生产场景下的设备故障，从程序控制层面杜绝物料堆积、传动机构卡滞等隐患，显著提升生产线多场景适配能力与运行可靠性。

2.2 搭载软启动调控技术，弱化电网冲击扰动

电机群组工频直接启动模式会产生超大瞬时电流，极易造成电网波动、线路损耗加剧，是生产线电气系统的常见隐患。相关部门可摒弃传统工频启动方式，采用 PLC 与软启动模块联动的协同控制方案。通过 PLC 数字输出端口对接软启动设备，依托自编程序实现阶梯式升压、限流启动逻辑，把电机启动峰值电流管控在额定电流的 2 至 3 倍，有效规避工频启动 5 至 7 倍额定电流的高强度冲击。同时，利用 PLC 灵活的时序编程特性，设置多机组错峰启停机制，分散设备启动峰值，避免冲击电流叠加导致的电压超标问题，将电网波动范围稳定在国家电气标准±10%的安全区间。大幅降低瞬时浪涌电流对供电线路、接触器触点的磨损，延缓电气设备老化速度，减少触点烧蚀引发的停机故障，保障同回路精密电气元件稳定工作，优化整体配电系统运行工况。

2.3 构建多参数闭环监测，补齐连锁保护盲区

单纯依靠 PLC 触点通断信号判断电机运行状态的方式，存在判别维度单一、故障响应滞后的问题，形成大量电气保护盲区。为补齐防护短板，可搭建基于多运行参数的 PLC 闭环监测控制系统，完善设备状态判别与联动保护机制。系统不再局限于开关量信号监测，而是将电机工作电流、运转转速、机体温度等关键运行参数接入 PLC 模拟量输入端口，实现设备运行状态的全方位实时监测。通过程序自定义各类故障阈值与判别逻辑，精准识别电机缺相、低速过载、机械卡阻等不易察觉的隐性故障，弥补传统热继电器 0.3 至 0.5 秒响应延迟的缺陷，匹配 PLC 毫秒级的极速控制性能。同时，在增设故障自锁与联动停机程序的基础上，设备出现异常时即刻触发分级停机与工序锁止，阻断故障逐级扩散，降低单台设备故障引发整线停运的概率，夯实生产线电气运行安全基础。

2.4 优化分级配电保护架构，提升故障运维效率

现阶段多数生产线配电保护体系存在参数统一化、层级划分模糊的问题，故障排查流程繁琐、运维效率偏低。为优化该现状，需重新搭建分层分级的配电保护体系，实现电气防护逻辑与 PLC 启停时序的深度适配。同时，结合各电机的额定功率、工序优先级与负载特性，针对性设定差异化的过载、短路、缺相保护参数，区分主干回路与分支设备的保护阈值，避免小功率辅助设备轻微故障触发总回路跳闸、整线停工的问题，最大程度保障生产连续性。另外，还可依托 PLC 的数据存储与通讯交互能力，搭建故障自动溯源与定位系统，自动记录故障时段、故障点位、运行参数等核心信息，简化人工排查流程，大幅缩短设备复位与调试耗时。通过程序联动实现故障瞬时闭锁、分级有序停机，让配电防护机制适配设备动态运行状态，兼顾生产线运行效率与电气系统安全防护能力。

总而言之，借助 PLC 硬件逻辑完成产线多台电机的先后启停调度，配合分级配电防护手段，可缓解电机批量投切产生的冲击电流，阻断故障连锁传导问题，维持生产线稳定持续运转。整套控制方案落地门槛低，安全余量充足，为同类型设备电气升级提供了现实借鉴。后续还需依托现场运行采集的数据完善故障预警逻辑，持续提升产线运维安全水平。

参考文献：

[1] 耿秀明.基于 PLC 的自动化生产线系统设计与实现[J].内蒙古科技与经济,2026,(13):131-134.

[2] 郑夏黎,刘灿华.基于分布式控制方式的自动化生产线[J].机电工程技术,2026,55(13):60-63+96.

[3] 梁博堯,陈艳,李博文.变频器在自动化生产线电机转速控制中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2025,9(9):51-53.