

工业机械手抓取机构的 PLC 控制程序设计

高粱松 陈 燕

重庆钢铁集团电子有限责任公司 重庆 400080

【摘 要】：工业机械手抓取机构承担工件定位、夹紧、转移和释放任务，程序顺序、互锁边界和异常处理直接影响自动化单元稳定性。本文分析抓取机构动作节拍、检测信号和安全互锁目标，设计自动循环、手动调试、复位回原点、夹爪互锁和故障报警逻辑。抓取机构 PLC 程序应以状态步序组织动作，以原点、到位、工件检测、气压确认和急停链路约束输出，使夹紧、释放和搬运过程具备清晰的控制结构。

【关键词】：工业机械手；抓取机构；PLC 控制；程序设计；安全互锁

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.074

引言

工业机械手在装配、搬运、分拣和上下料工位中通常以抓取机构作为末端执行单元。抓取动作看似只包含夹紧与释放，现场控制还要与伸出、回缩、升降、旋转、工件有无、气压状态和急停链路共同构成动作链。PLC 具备离散量采集、顺序控制和现场维护便利等特点，适合承担机械手抓取机构的基础控制任务。桁架机械手上下料、工业机械手运动控制和自动化控制系统的近年题录共同指向动作顺序、输入输出映射和故障处理三个关键面向。围绕抓取机构建立清晰的 PLC 程序结构，不只是完成启停输出，还要把动作条件、互锁边界、报警诊断和调试维护纳入同一控制逻辑。

1 工业机械手抓取机构的控制需求分析

1.1 抓取机构动作单元与工位节拍要求

工业机械手抓取机构通常由水平或垂直移动单元、夹爪执行单元、到位检测单元和输送配合单元组成^[1]。PLC 程序设计的第一步不是直接写梯形图，而是把取料、伸出、夹紧、提升、搬运、下降、释放和回原点等动作拆成可判定的状态。每一步都要明确进入条件、保持条件和退出条件，避免机械动作尚未完成就触发下一步。工位节拍还决定定时器报警阈值的取值原则，节拍过紧会放大传感器抖动、气缸迟滞和夹爪回弹的影响，节拍过松又会降低设备效率。程序以稳定抓取为前提，把动作顺序、等待确认和异常停机统一到同一套步进逻辑中，并在每个状态保留人工观察和单步调试入口，便于现场把机械卡滞、气压波动和信号迟到区分开来。

1.2 夹紧、释放与到位检测信号条件

夹紧和释放是抓取机构的核心动作，PLC 不能只依据输出线圈是否得电判断动作成功，还要读取夹紧到位、张开到位、工件检测和气压确认等信号。夹紧条件一般包括夹爪处于张开状态、机械手到达取料位置、工件存在、气压正常且无急停或

门锁报警；释放条件则要求机械手已到达放料位置，并确认下游托盘或输送机构允许接收。到位检测信号要设置抗抖和互斥判断，当伸出到位与回缩到位同时出现、夹紧与张开同时有效时，程序应判为信号异常而不是继续循环^[2]。这样才能让 PLC 程序从“输出动作”转向“确认动作结果”，并把传感器断线、接反、粘连和气动滞后纳入同一类诊断。

1.3 PLC 程序设计的安全互锁目标

安全互锁目标应覆盖人员安全、设备保护和工艺连续性。急停、护门和安全继电器属于硬件安全链，PLC 程序不能替代其切断危险输出的功能，但应读取这些状态并给出停机原因。程序层互锁主要防止错误步序、输出冲突和带故障复位，例如夹爪未夹紧时禁止搬运，机械手未回缩时禁止输送线启动，驱动器报警未清除时禁止自动运行^[3]。互锁条件还要区分手动调试和自动循环，手动模式允许单步点动，但必须保留方向互斥、限位保护和急停优先。只有把安全条件写在每个动作许可之前，PLC 控制程序才具有可维护的保护边界；当操作员切换模式或恢复供电时，程序也能先回到受控待机状态。

2 抓取机构 PLC 控制程序设计

2.1 自动循环流程与步进顺序控制

自动循环宜采用步进顺序控制^[4]。初始步确认急停释放、气压正常、机械手在原点且夹爪张开；取料步输出伸出或下降指令，到位后进入夹紧步；夹紧步收到夹紧到位和工件确认后进入搬运步；搬运到放料位置后执行释放，再按回缩、回原点和循环结束的顺序返回。每一步只允许本步相关输出得电，并把下一步转换条件写在同一逻辑区域，避免多个网络分散判断造成隐含竞争。若某一步超时或出现互斥信号，程序应立即退出自动步进，关闭危险输出并转入故障保持。采用这种状态步号方式，既便于监控当前运行位置，也便于在调试时追踪循环停滞原因。步号转换还应采用上升沿或一次性置位，避免按钮

长按、传感器抖动或扫描周期差异造成连续跨步。

2.2 手动调试、复位与原点回归程序

手动调试程序服务于安装、检修和单动作确认，应与自动循环分开编写^[5]。手动模式下，伸出、回缩、夹紧、释放等按钮只在急停释放、限位条件允许和互斥输出关闭时有效，按钮松开后输出应按设备特性复位或保持。复位程序不能简单清空全部位，而要先关闭输出、清除步号，再根据原点、夹具张开和驱动状态决定是否允许进入待机。原点回归应按机械结构确定顺序，例如先释放夹具、回缩气缸，再回到水平原点；若任一到位信号缺失，应保持回原点故障并提示具体对象。这样可避免自动循环从未知位置启动，提高现场恢复效率。复位按钮也不能清除仍在触发的急停、气压不足或驱动报警，只能在故障条件消失后解除保持位。

2.3 夹具动作互锁与故障报警逻辑

夹具互锁逻辑应把互斥输出、动作限时和状态一致性结合起来。夹紧与释放不能同时输出，伸出与回缩不能同时输出，搬运动作不能在夹紧未确认或回缩未到位时启动。对于夹紧动作，可设置夹紧指令发出后开始计时，若在设定时间内未收到夹紧到位或压力确认，则置位“夹紧超时”故障，关闭夹紧输出并保持报警；若工件检测在夹紧后消失，则置位“工件丢失”故障并禁止进入搬运步。释放动作也应设置释放到位或夹具张开确认，防止工件未放下就回程^[6]。PLC 程序中的故障报警可按输入故障、动作超时、互锁禁止和驱动报警四类编码，报警灯显示总故障，监控表显示具体故障位。报警复位必须在故障条件消失后才有效，不能用复位按钮覆盖仍然存在的传感器异

常。对重复出现的夹紧超时和工件丢失，可保留最近故障步号，便于维护人员判断问题来自夹具、气源还是工件定位。当设备采用双夹具或夹具加真空吸附的组合结构时，互锁还要区分主夹紧、辅助保持和释放确认，避免一个执行端已经松开而另一个执行端仍被程序误判为安全状态。控制信号流与互锁逻辑见图 1。

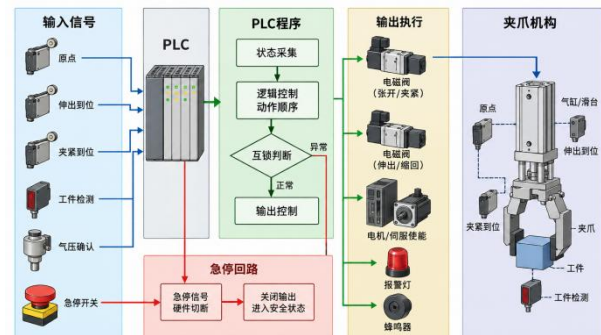


图 1 抓取机构 PLC 控制信号流与互锁逻辑示意图

3 结语

工业机械手抓取机构的 PLC 控制程序设计应以动作链为骨架，以输入确认、互锁放行和异常处理为控制边界。抓取、伸出、回缩、夹紧、释放等动作只有在原点、到位、工件检测和气压确认同时满足时才能进入下一步，程序内部还应为手动调试、复位回原点、急停恢复和报警保持留出独立逻辑。程序实现上，步进顺序、定时监控和故障位锁存要分层组织，避免单个输出线圈跨段复用。核心是把机械动作条件转化为可核查、可维护、可追踪的 PLC 控制程序。

参考文献:

- [1] 郑海鑫,李修岭,朱璟,等.柔性制造单元桁架机械手上下料控制程序设计[J].机械工程与自动化,2023,(2):25-28.
- [2] 聂洪淼.基于 S7-200 SMART PLC 的工业机械手运动控制系统的设计[J].黑龙江科学,2025,16(6):159-161.
- [3] 李世强,王霞.工业机械手自动化控制系统设计[J].自动化技术与应用,2022,41(10):1-3+14.
- [4] 秦涛.PLC 在工业机械手自动化控制中的应用[J].集成电路应用,2022,39(4):164-165.
- [5] 蓝富仁.工业机械手在自动化生产线中的运用实践[J].造纸装备及材料,2023,52(4):49-51.
- [6] 常丽园.基于模糊补偿的工业机械手末端轨迹跟踪控制研究[J].工业仪表与自动化装置,2025,(4):91-95.