

基于 PLC 的气动搬运机器人故障诊断与自愈系统设计

张广明, 张平平, 高智玉

东莞市技师学院, 广东 东莞 523000

DOI:10.61369/WCEST.2026030007

摘 要 : 气动搬运机器人因具有结构简单、成本低、维护方便等特点, 在制造行业的自动化中广泛应用于物料搬运以及生产线的自动化作业。其主要故障是气动元件方面的故障: 气缸密封圈老化、气压不足或泄漏等。影响到机械臂工作精度及响应速度; 在机械结构方面, 通常是由长期运行产生的部件磨损、脱落或者疲劳断裂引起的, 特别是经常使用的升降机构以及前后移动机构容易发生故障。

关 键 词 : PLC; 气动搬运机器人; 故障诊断; 自愈系统设计

Design of Fault Diagnosis and Self-Healing System for Pneumatic Handling Robot Based on PLC

Zhang Guangming, Zhang Pingping, Gao Zhiyu

Dongguan Technician College, Dongguan, Guangdong 523000

Abstract : Pneumatic handling robots are widely used in material handling and automated production line operations in the manufacturing industry due to their simple structure, low cost, and easy maintenance. The primary faults of these robots are related to pneumatic components, such as aging of cylinder seals, insufficient air pressure, or leakage, which affect the working accuracy and response speed of the robotic arm. In terms of mechanical structure, faults are usually caused by wear, detachment, or fatigue fracture of components due to long-term operation, particularly in frequently used lifting and horizontal movement mechanisms.

Keywords : PLC; pneumatic handling robot; fault diagnosis; self-healing system design

引言

随着现代工业的快速发展, 气动搬运机器人已经成为现代化制造业的重要设备之一, 在应用范围上也逐渐扩大, 并广泛应用于复杂的生产工艺过程之中。气动搬运机器人的出现, 以其高效准确的物料搬运能力提升了生产力水平以及自动化生产能力。而 PLC 构成的控制系统不仅可以对机器人的运行状态进行监控, 同时为机器人故障诊断及容错设计提供了实现方法。故障诊断与容错功能的设计使得气动搬运机器人的可靠性和稳定性得到了进一步提升。

一、基于 PLC 的气动搬运机器人故障诊断

(一) 提高气动搬运机器人的可靠性和稳定性

通过对故障进行检测, 可大幅提高气动搬运机器人的使用稳定度及使用寿命, 降低因突发故障而导致的生产线停机时间, 有效提升整体制造业生产效率; 对系统运行状况进行实时监控以及深度分析, 及时发现问题并采取防范手段, 防止其扩大化而造成更大经济损失; 这种故障检测的方法在实际应用中有利于改善维修工作的方式, 由被动转向主动进行预防式检修, 在减少检修费用的同时延长了设备的使用周期。

(二) 利用传感器采集机器人运行中的参数

在工业制造中, 基于 PLC(Programmable Logic Controller)

的机器人故障监测及诊断技术成为一种主流解决方案。PLC 利用传感器对信息进行采集和分析, 对机器人运行状态进行监控并对异常情况进行判断。具体而言就是将不同类型传感器采集到的机器人工作过程中关键参数, 如压力、温升以及位移等传输给 PLC 进行数据分析和判断。通过 PLC 对传感器的瞬时响应来判定异常情况的发生, 包括气压波动过大或剧烈抖动等情况。有利于及时发现故障并报警。

在 PLC 故障诊断的过程中, 还需要对大量的历史及当前的数据信息进行对比, 根据数据之间的差异性来判断是否存在故障, 并针对可能出现的问题给出相应对策。比如在气动部件发生故障的时候, PLC 可以通过对气缸的压力变化曲线进行分析来确定是否发生了泄露或者阻塞现象。于机械设备故障识别领域, 可编程

逻辑控制器借助振动频谱数据解析,评估零部件的损耗状况。该类依托数据建模的诊断策略,既提升了异常判定的精准度,又大幅压缩了问题定位耗时,从而有效支撑产线不间断运转。

(三) 通过传感器与抗干扰能力强的数据采集模块

在 PLC 气动搬运机器人中故障诊断及排除的过程中,主要是对不同环境中产生的干扰因素对于 PLC 故障检测准确度以及工作效率带来的影响进行分析的问题,如高温、高压或是强电磁干扰等问题,在这些情况下都会导致传感器采集到的信息受到干扰噪声的影响。从而影响到定位的准确度,降低定位的可靠性。针对上述这些问题,可以从仪器以及系统的层面来进行解决:一是采用高精度小偏差的传感器及抗干扰能力较强的采集模块;二是将传感元件放置在合适的位置以减少外界环境的影响。在软件方面,则可以通过一些新的信号分析技术,如小波变换以及小波包分解等方式将混乱噪声进行过滤并提取出有效的故障信息。

在诸多干扰因素的影响下,我们可以借助刚柔并济的方式将 PLC 基础下的气动式运输机械人发生毛病检验系统的工作效果显著提升,从而为后续自愈系统的构建打下了坚实的基础,并对这一系统展开了实际的应用性探究及检验。为证明其有用性及可靠性,进而能为其后续的自修复设计提供依据。

(四) 设计相应的硬件架构和软件控制程序

在制造自动化的过程中,由于气体移动运输机器人的高效性以及机动性强等特点,在搬运过程中得到了广泛的应用。但是在长时间的工作中,受环境的影响,机械系统的故障确实会发生,影响了工作效率,并对设备的安全运行造成了不良后果。因此设计出 PLC 故障诊断具有很强的现实意义。

基于对气动式搬运机器人的运动过程进行分析,设计了其对应的硬件平台及嵌入式的控制算法以实现对其工作状态的监测。为证明本文所提出的故障诊断方法的有效性 & 可靠性,在该汽车配件生产企业的气动搬运机器人上进行了应用研究。该系统是将产线完成加工的产品转运到缓存库中,在使用期间出现诸如气管接口破裂、气缸卡顿等情况。针对以上问题,本文搭建了基于 PLC 的故障诊断系统,包含传感器数据采集单元、智能判定单元以及警报反馈单元三大模块。传感器数据采集单元对机器人各重要部位的压力、温度、位移等实时监测;智能判定单元使用 PLC 的运算功能对瞬时传感器采集的数据进行判定,看是否处于正常状态;若存在异常情况,则警报响应单元马上发出声光报警并在人机界面给出具体的故障类别及发生部位信息。

二、基于 PLC 的气动搬运机器人的自愈系统设计

(一) 综合考虑硬件组成与软件模块的协同作用

基于上述诊断方法得出的结果可知自愈系统应包含硬件层和软件层两个方面,二者需协同工作。硬件层包括以 PLC 为控制核心的数据采集模块,该模块接收各类传感器传来的数据信息,并进行复位决策;气动执行机构及机械动作执行机构;人机交互设备,即人为操控者。以上装置就是实现健康度自动诊断系统及应急处置的基本单元组成。系统软架构主要包括三大功能块——信

息感知获取子系统、故障诊断子系统以及故障自愈处理子系统。信息感知获取子系统根据分布式部署的各类传感器采集到的各项运行参数实现对现场设备运行情况的感知;故障诊断子系统基于内嵌的诊断知识库,对感知到的信息进行处理,判断是否偏离正常状态;按照诊断结论进行自主修复动作,例如升力面复位、机构构型变化等等;所有子系统间采用快速通信机制传递所需的信息,组成具有反馈闭环的自主修复系统,进一步提升了气动搬运机器人的可靠性及运行环境要求。

(二) 通过 PLC 对传感器信号的实时监测与数据分析

本文所提出的 PLC 基于气动搬运机器人自愈架构体系下,其自愈控制方法是保障气动搬运机器人整体运行稳定性及可靠性的重要基础,在采用故障隔离及故障重构这两大核心关键技术的基础上,可有效缩短非计划性停线的时间,提升生产效率。故障隔离法是 PLC 对传感器传回的信息进行实时监控并分析后,将故障点迅速找到,并在故障点和正常部分间建立隔离层,从而防止故障扩大化。例如当气动装置出现故障后,PLC 能够通过对电磁阀进行控制,切换到相应的备用气体通道中去,以确保机器人的关键性工作得以正常运行;又如基于 PLC 内置自修复功能,在检测出某些错误状况后,能够自动对其执行维修操作,包括对相关部件的重启或是参数设置的更改等等。从而让机器人工作方式回到正常的工作状态中去。

功能逻辑管理主要由 PLC 来实现,其具备稳定性以及复杂多样性特点,在实现自身修复方面有着非常重要的意义,具体表现为:根据传感器所采集到的数据信息加以分析与计算,运用 PLC 内置的故障诊断系统判断是否存在问题发生。若检测出故障,则 PLC 按预先设定好的程序逻辑执行相应的自诊断处理程序。例如,在遇到机器设备的故障情况下,PLC 能够通过对电机反方向运转进行控制实现对卡死状态的救援;若未能成功,则能够将异常信号传送至主机部分并启动警报装置等待人工处理。除此之外,PLC 还能够提供较高的优先级设置,确保在多重因素影响的情况下,优先处理影响生产损失最大的问题以减少生产损失。为提高系统的实用性和自愈能力,在本文的研究过程中结合实际的应用场景,对 PLC 的程序进行优化处理,例如在运行较为复杂的情况下容易受到多种因素影响而导致误报警率较高,则可通过对以往信息的学习来进行优化。采用历史故障统计数据动态校正故障判据以降低误报率,并可由 PLC 远程监视及校正,从而可在不中断工程师工作的前提下在线改进和升级自愈系统,提升维护性和可靠性。

(三) 有效利用 Petri 网理论结合故障树分析法

基于 PLC 和气动式搬运机器人自修正系统的研究难点在于如何确保该系统整体工作过程中的可靠性以及稳定性,这两方面对于该自修正模式应用于实际生产线中以及能否长期稳定运行起着决定性的作用。首先要考虑的就是系统的可靠性需求,这正是开展自动化故障处置的前提条件;其次,为提高可靠性,我们还需要对软硬件进行协同改造,在硬件方面,我们需要采用精度高响应快的传感器及执行机构,防止因误差造成误判或者误动。

在软件方面,在建立自愈系统时应当注重其中所运用算法的

抗干扰能力以及灵活性,基于 Perti 网络理论和故障图论可建立复杂工况下故障扩散的路径模型和分析方法,并据此定位故障位置并采取相应的自愈策略。另外,随着工作环境的变化,自主修复机制应该能够进行实时学习,在线建立新的知识库,并据此动态地做出故障判断及维修决策,实现智能快速响应的同时降低了人为干预的程度。

此外在应用自愈系统过程中,还要注意其与其他周边设备兼容性的问题。由于工厂中常常存在不同厂家设备的情况,因此对于自愈系统来说应该具备良好的开放性和扩展性,从而能够很好地嵌入其他管理系统当中。例如若采用标准通讯协议的话,就能有效传递与共享信息,从而可以更好地实现功能扩展与发展;总之,通过对各项技术进行优化及整合之后,我们便能够有效地解决自愈体系设计难题,同时还能最终实现提升整个体系可靠性与稳定性的根本目标。

(四) 减少因故障导致的停机时间提高生产效率

虽然存在一定局限性,但是自愈系统的实际应用证明了其优势明显,可以提升气动搬运机器人装置运行的稳定性和可靠性,减少故障导致的停工时间,提升了工作效率。例如:复杂环境下,系统借助于在线监测及时发现并处理小范围故障,避免故障的扩大。同时,以 PLC 为核心的自愈系统结构非常模块化,便于后期维护及功能扩展,并能应用在工业自动化领域的更大范围中去。然而,自愈机制同样也有一些缺点,在使用过程中需要注意以下几点:第一,实现相对较为复杂,尤其是在面对复杂的业务流程以及大量的并发访问请求的时候,容易出现因资源竞争而无法及时响应甚至不能正确完成修复的情况。其次,当前自愈系统智能水平不高。对某些类型的故障尤其是一些涉及机电器件及电

子产品混合的多用途设备的检测与维修功能较弱;另外,自愈系统的设计开发成本较高,包括硬件设备投入以及软件程序研发等费用,这也在一定程度上限制其在大型及中型企业中的应用。

为提高自身恢复系统的功能完备性,可从以下几个方面对自身恢复系统进行优化完善:一是加强系统中资源配置手段的学习分析工作,在工作中合理设置任务的优先级以及机器的使用模式,确保自身的恢复策略能够在高负荷下正常运作;二是我们要引入先进的人工智能化技术如深度学习及增强式学习,以提升系统的复杂问题模式处理能力和问题解决率。

比如利用神经网络对历史故障信息进行学习研究,以提高故障预测及自愈策略制定的准确性;采用统一规范的设计模式来设计本系统,这可有效节省系统建设以及后期维护的人力资源投入,并且有利于系统功能的拓展以及与其他系统之间的对接融合。最后,在具体的场景下进行相应的试验验证以及性能分析,对自愈系统做出改进。在应用过程中不断完善自愈系统的能力和效果,让其更加实用可靠地应用于实际的气动搬运机器人当中。

三、结束语

展望未来,伴随先进科技技术的蓬勃发展,机器自检、自修功能将朝向高智慧化及微型化迈进;例如:运用深度学习的技术可提升异常预判性及定位正确性的概率;结合物联网网络技术,可强化远程侦测及自我修复能力等。另外,为适应复杂的工况条件和提高自身的自愈能力,并最终达到降低整个系统部署费用的目的,将是下一步的研究方向。以上工作都将促进气动式搬运机器人的智能升级和其他各类工业机器人设备的技术迭代。

参考文献

[1] 杨睿. 基于 PLC 的气动搬运机械手自动控制系统设计 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2024, (4):13-16.
[2] 黄熾元, 杨智超, 冯源, 高铭, 白亮进, 刘楠. 工业搬运机器人控制系统软件设计与实验 [J]. 工业控制计算机, 2021, 34(11):77-78.
[3] 柴彩彩, 汤萍, 付莎莎. 基于 PLC 的气动机械手控制系统设计 [J]. 内燃机与配件, 2024, (8):63-65.
[4] 邓瑜. 气动机械手控制系统设计分析与研究 [J]. 内燃机与配件, 2020, (8):232-233.
[5] 李丽, 廖映华. "四位一体" 理实一体化课堂教学研究 [J]. 四川职业技术学院学报, 2021, 31(6):34-39.
[6] 王佳乐. 基于 PLC 控制的气动搬运机械手设计研究 [J]. 花炮科技与市场, 2020, (1):225.