

基于电气自动化的电动执行机构性能分析与改进策略

苗延龙

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 本文探讨了基于电气自动化的电动执行机构的性能分析与改进策略,概述了电气自动化技术和电动执行机构的工作原理与结构组成,并详细分析了电动执行机构在电气自动化系统中的作用。从基本性能指标、可靠性与稳定性指标、能耗与效率指标三个方面对电动执行机构的性能进行了深入分析。文章还探讨了影响电动执行机构性能的硬件、软件及外部环境因素,并据此提出了机械结构改进、控制算法优化、传感器与反馈装置升级以及增强外部环境适应性等一系列改进策略。这些策略旨在为提升电动执行机构的性能提供理论指导和实践参考。

关键词: 电动执行机构; 电气自动化; 性能分析; 控制策略

1 电气自动化与电动执行机构概述

1.1 电气自动化技术简介

电气自动化技术是融合电子技术、计算机技术、自动控制技术、网络通信技术等多学科知识的综合性技术体系。自20世纪中叶萌芽以来,经历了从继电-接触器控制、PLC控制到如今智能化、网络化控制的发展历程。在工业领域,电气自动化技术广泛应用于电力、化工、机械制造、冶金等行业,是实现工业自动化、智能化的核心支撑技术。在工业自动化控制中,电气自动化技术通过对生产过程中的各种参数进行实时监测、控制与调节,实现生产设备的自动运行、工艺流程的优化管理以及生产安全的有效保障。电动执行机构作为电气自动化系统的关键执行单元,与电气自动化技术紧密关联。电气自动化系统为电动执行机构提供控制指令与信号传输通道,而电动执行机构则将电气自动化系统的控制意图转化为实际的机械动作,二者协同工作,共同保障工业生产的高效、稳定运行。

1.2 电动执行机构的工作原理与结构组成

电动执行机构主要由执行器本体、控制器和传感器三大部分组成。执行器本体是实现机械动作的核心部件,通常包含电机、传动机构和执行部件。其工作原理为:控制器接收来自电气自动化系统的控制信号(如4-20mA电流信号或0-10V电压信号),经过信号处理与转换后,驱动电机运转。电机输出的旋转运动通过传动机构(如齿轮传动、蜗轮蜗杆传动、丝杠螺母传动等)转换为直线运动或角位移,从而带动执行部件(如阀门阀芯、挡板等)动作,实现对工业生产过程中流体流量、压力、温度等参数的调节。控制器是电动执行机构的“大脑”,负责信号处理、控制算法运算以及与外部系统的通信。它能够根据输入信号与反馈信号的偏差,运

用特定的控制算法(如PID控制算法)生成控制信号,调节电机的转速、转向和启停,以确保执行部件准确到达目标位置^[1]。传感器则用于实时检测执行部件的位置、速度等状态信息,并将其反馈给控制器,形成闭环控制,提高控制精度和系统稳定性。

1.3 电动执行机构在电气自动化系统中的作用

在电气自动化系统中,电动执行机构承担着将控制信号转化为实际动作的关键任务,是连接控制系统与被控对象的桥梁。以化工生产过程为例,电动执行机构通过精确调节阀门开度,控制物料的流量和压力,确保化学反应在设定的工艺条件下进行,从而保证产品质量和生产效率。在电力系统中,电动执行机构用于控制断路器、隔离开关等设备,实现电力系统的安全稳定运行和自动化调度。另外,电动执行机构的性能直接影响电气自动化系统的稳定性和可靠性。高精度、高响应速度的电动执行机构能够快速准确地执行控制指令,减少系统的调节时间和超调量,提高系统的动态性能;而可靠的电动执行机构可以降低系统故障发生率,减少维护成本和停机时间,保障工业生产的连续性。

2 基于电气自动化的电动执行机构性能指标分析

2.1 基本性能指标

电动执行机构作为电气自动化系统中的重要组成部分,其基本性能指标是衡量其性能优劣的基础。这些指标主要包括位置精度、速度控制、负载能力以及响应时间等。(1)位置精度是衡量电动执行机构控制精度的关键指标。在工业自动化系统中,精确的位置控制是实现生产流程精确控制的前提。电动执行机构的位置精度通常通过其定位误差来衡量,即实际位置与目标位置之间的偏差。高精度的电动执行机构能够确保在复杂的工业自动化环境中实现精准定位,从而提高生产效率和产

品质量。(2)速度控制是电动执行机构另一项重要的基本性能指标。电动执行机构需要具备快速响应和稳定运行的能力,以满足不同工况下的速度要求。速度控制的优劣直接影响系统的动态性能和稳定性。优秀的速度控制系统能够根据指令信号快速调整电机转速,实现平稳的加速和减速过程,从而确保整个系统的顺畅运行。

(3)负载能力是衡量电动执行机构驱动能力的重要指标。负载能力的大小决定了电动执行机构能够驱动的负载范围。在工业应用中,电动执行机构经常需要面对各种负载变化,因此具备良好的负载能力是其稳定运行的关键。高负载能力的电动执行机构能够应对更大的负载冲击,确保系统在各种工况下的稳定运行^[2]。(4)响应时间也是电动执行机构基本性能指标之一。它指的是电动执行机构从接收到控制信号到开始执行动作所需的时间。快速的响应时间能够确保系统在需要时迅速做出反应,从而提高整个系统的响应速度和灵活性。

2.2 可靠性与稳定性指标

在工业自动化领域中,可靠性和稳定性是衡量电动执行机构性能的重要指标。这些指标直接关系到系统的长期运行效果和设备的维护成本。可靠性是指电动执行机构在规定条件下,在预定时间内完成规定功能的能力。高可靠性的电动执行机构能够减少故障率,降低停机时间,从而提高系统的整体运行效率。可靠性的提升通常依赖于优质的材料选择、精密的制造工艺以及严格的质量控制。稳定性则是指电动执行机构在运行过程中保持性能稳定的能力。稳定的电动执行机构能够确保系统在长时间运行中性能不发生显著变化,从而保证生产过程的连续性和稳定性。提高电动执行机构的稳定性需要优化其控制系统设计,采用先进的控制算法和传感器技术,以及加强系统的散热和防护措施。在实际应用中,可靠性和稳定性往往相互关联。一个可靠的电动执行机构通常也具备较高的稳定性,反之亦然。因此,在设计和选型时,需要综合考虑这两个指标,以确保系统的长期稳定运行。

2.3 能耗与效率指标

能耗与效率是衡量电动执行机构性能的经济性和环保性的重要指标。在现代工业自动化系统中,节能降耗已成为越来越重要的考量因素。(1)能耗指标主要反映电动执行机构在运行过程中的能量消耗情况。低能耗的电动执行机构能够减少电力消耗,降低运行成本,同时也有利于环境保护。降低能耗通常可以通过采用高效电机、优化控制系统设计以及加强设备的维护保养等措施来实现。(2)效率指标则用来衡量电动执行机构将输

入电能转化为机械能的能力。高效率的电动执行机构能够减少能量损失,提高能量利用率。提高电动执行机构的效率需要从电机设计、传动机构优化以及控制系统改进等多个方面入手。在工业自动化系统中,综合考虑能耗与效率指标对于实现绿色生产和可持续发展具有重要意义。因此,在电动执行机构的设计、选型和使用过程中,需要充分关注这两个指标,以实现经济效益和环境效益的双赢。

3 电动执行机构性能影响因素分析

3.1 硬件因素

(1)电机性能:电机作为电动执行机构的动力源,其类型、功率、转速、转矩特性等参数对执行机构性能起着决定性作用。伺服电机具有高精度、高响应速度和良好的转矩特性,适用于对控制精度和响应速度要求较高的场合;步进电机则具有控制简单、成本较低的优点,但在精度和速度方面相对伺服电机有所不足。此外,电机的功率大小直接影响输出力矩,功率不足会导致执行机构无法驱动负载;电机的转速和转矩特性也会影响响应速度和定位精度。

(2)传动机构:传动机构的精度、磨损情况和传动效率对电动执行机构性能有显著影响。齿轮传动的齿侧间隙会导致执行部件运动时出现回差,影响定位精度;丝杠螺母传动的螺距误差和磨损会降低传动精度;传动部件的润滑不良会增加摩擦阻力,降低传动效率,影响输出力矩和响应速度。随着使用时间的增加,传动部件的磨损会逐渐加剧,性能下降,因此需要定期对传动机构进行维护和保养^[3]。

(3)传感器精度:位置传感器和速度传感器是实现电动执行机构闭环控制的关键部件,其精度直接影响定位精度和响应速度。光电编码器、磁栅尺等位置传感器的分辨率和线性度决定了位置反馈信号的准确性;速度传感器(如测速发电机、霍尔传感器等)的精度会影响速度控制的稳定性。如果传感器精度不足,控制器无法获得准确的反馈信息,就难以实现精确控制,导致执行机构性能下降。

3.2 软件因素

控制算法是电动执行机构实现精确控制的核心,不同的控制算法对执行机构性能影响巨大。传统的PID控制算法结构简单、易于实现,但在面对复杂非线性系统时,控制效果往往不理想;模糊控制、神经网络控制等智能控制算法具有较强的适应性和鲁棒性,能够更好地处理非线性、时变系统的控制问题,提高控制精度和响应速度。然而,智能控制算法也存在计算量大、实现复

杂等问题,需要根据具体应用场景选择合适的控制算法,并对其参数进行优化调整;程序的稳定性、实时性和容错性对电动执行机构的运行至关重要。不稳定的程序可能导致系统出现死机、误动作等故障;实时性差的程序无法及时响应控制信号,影响系统的动态性能;而缺乏容错能力的程序在遇到异常情况时,可能无法正常处理,导致系统崩溃。

3.3 外部环境因素

外部环境因素也是影响电动执行机构性能不可忽视的因素之一。这些因素包括温度、湿度、电磁干扰等。过高的温度容易导致电机过热、传感器失灵等问题;而过高的湿度则可能导致电路短路或腐蚀等问题。在电气自动化系统中,各种电气设备之间容易产生电磁干扰,从而影响电动执行机构的正常运行。

4 电气自动化的电动执行机构改进策略

4.1 机械结构改进

机械结构的优化是提升电动执行机构性能的基础。针对当前机械结构中存在的问题,如磨损严重、传动效率低等,可以采取以下改进措施:首先,优化传动装置的设计,采用更耐磨、强度更高的材料,减少因长期使用而导致的磨损问题。其次,改进机械结构的散热性能,通过增加散热片、优化散热风道等方式,有效降低电机和传动机构在工作过程中的温度,延长使用寿命,还可以考虑采用模块化设计,便于维修和更换损坏部件,提高设备的可维护性^[4]。

4.2 控制算法优化

控制算法的优化对于提高电动执行机构的响应速度、稳定性和精度至关重要。当前,随着智能控制理论不断发展,可以考虑将自适应控制、模糊控制等先进控制算法引入到电动执行机构的控制系统中。这些算法能够根据实际工况和需求,自动调整控制参数,实现更加精准的控制。同时,为了提高控制系统的鲁棒性,还可以采用冗余设计、故障诊断与容错控制等技术手段,确保系统在异常情况下的稳定运行。

4.3 传感器与反馈装置升级

传感器与反馈装置的性能直接影响电动执行机构的定位精度和反馈准确性。为了提升这方面的性能,可以采取以下升级措施:首先,选用高精度、高稳定性的传

感器,如激光测距传感器、磁编码器等,以提高测量精度和可靠性。其次,优化反馈装置的设计,采用冗余反馈系统,确保在单个传感器故障时仍能保持系统的正常运行。还可以考虑引入物联网技术,实现远程监控和数据实时传输,方便用户对电动执行机构的状态进行实时监测和管理^[5]。

4.4 外部环境适应性增强

针对外部环境对电动执行机构性能的影响,可以采取一系列适应性增强措施。首先,加强设备的防护等级,采用防水、防尘、防爆等设计,确保设备在恶劣环境下仍能稳定运行。其次,优化设备的散热设计,以适应高温、高湿等极端环境条件。另外,可以引入自适应控制策略,根据环境温度、湿度等参数自动调整设备的运行状态,以提高其适应性和稳定性。为了应对电磁干扰问题,可以采取屏蔽、接地等措施,降低电磁干扰对设备性能的影响。

结束语

综上所述,电动执行机构作为电气自动化系统中的关键组件,其性能优劣直接关系到整个系统的稳定性和可靠性。通过深入分析电动执行机构的性能指标和影响因素,并结合机械结构、控制算法、传感器技术以及外部环境适应性等方面的改进策略,可以有效提升电动执行机构的性能。未来,随着电气自动化技术的不断发展,对电动执行机构性能的要求也将不断提高,持续的技术创新和优化将成为推动电动执行机构性能提升的重要动力。

参考文献

- [1] 蔺维江,林秋祥.电动执行机构专业化功能的演化[J].石油化工自动化,2021,57(S1):182-185.
- [2] 张路畅.新型智能电动执行机构的设计与研究[D].北方民族大学,2021.000171.
- [3] 黄昊霖.电厂电动执行机构自动调节性能提升[J].电气技术与经济,2024(8):355-357.
- [4] 张世炜,许海洋,童少飞.核级电动执行机构防腐研究[J].阀门,2024,(03):300-304+314.
- [5] 曾海云,于海生,王晓洋,等.某系列电动执行机构阀位跳变故障的研究与处理[J].中国设备工程,2023,(S2):1-3.