

机电控制系统的控制方式分析

林净净

山东山博电机集团有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19232

[摘要] 在机电控制系统不断发展和应用的当下,合理选择控制方式对系统性能优化至关重要,本文深入分析机电控制系统多种控制方式。先阐述经典开环控制的时序、条件逻辑控制原理特征及局限,接着剖析经典闭环控制的反馈、单回路、多回路与级联控制。再探讨现代控制策略的自适应、模糊、神经网络、预测控制。最后综合对比不同控制方式在动态性能、复杂度、鲁棒性等方面的差异,给出选择依据,为机电控制系统控制方式选择提供参考。

[关键词] 机电控制系统; 开环控制; 闭环控制; 现代控制策略; 控制方式选择

中图分类号: TM921.5 **文献标识码:** A

Analysis of Control Methods for Electromechanical Control Systems

Jingjing Lin

Shandong Shanbo Motor Group Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous development and application of electromechanical control systems, the reasonable selection of control methods is crucial for system performance optimization. This paper deeply analyzes various control methods for electromechanical control systems. It first expounds the principles, characteristics, and limitations of classic open-loop control, including timing and conditional logic control. Then it analyzes classic closed-loop control, including feedback control, single-loop control, multi-loop control, and cascade control. It further explores modern control strategies such as adaptive control, fuzzy control, neural network control, and predictive control. Finally, it comprehensively compares the differences among different control methods in terms of dynamic performance, complexity, robustness, and other aspects, and provides selection criteria, offering reference for the selection of control methods in electromechanical control systems.

[Key words] electromechanical control system; open-loop control; closed-loop control; modern control strategy; control method selection

引言

机电控制系统在工业生产、日常生活等领域应用广泛,其控制方式直接影响系统性能与效果。不同控制方式各有特点,适用于不同场景。经典开环控制简单但精度稳定性欠佳,经典闭环控制能提升精度稳定性但复杂度增加,现代控制策略在应对复杂系统时优势明显。深入研究各类控制方式,对合理选择与应用机电控制系统控制方式意义重大。

1 经典开环控制方式分析

1.1 时序控制原理与特征

时序控制依据预先设定的时间顺序来执行控制动作。在系统运行前,工程师会精心规划好各个控制环节的时间节点与先后顺序,并将这些信息存储在控制装置中^[1]。例如在一个简单的自动化流水线系统中,设定在0-5秒内,传送带以1米/秒的速度

运行;5-10秒内,机械臂进行抓取动作;10-15秒内,将物品放置到指定位置。当系统启动后,控制装置严格按照既定时间序列,依次触发相应的控制操作。这种控制方式具有显著的特征,其操作流程清晰明确,每个步骤都有确切的时间定位,便于设计与调试。而且,时序控制不依赖系统输出反馈,仅依据时间因素推进控制进程,使得系统结构相对简单,硬件成本较低。不过,时序控制缺乏灵活性,一旦时间设定完成,在运行过程中难以根据实际情况进行动态调整。若外界环境发生变化或系统内部出现意外状况,可能导致控制动作与实际需求脱节,影响系统正常运行。

1.2 条件逻辑控制原理与特征

条件逻辑控制根据预设的条件来决定控制动作的执行与否。在系统中会设定一系列条件判断语句,当输入信号满足特定条件时,触发相应的控制指令。比如在温度控制系统中,设定当

温度低于20摄氏度时,加热器开启;当温度高于30摄氏度时,加热器关闭。这种控制方式能够根据不同的输入情况做出针对性的响应,相较于时序控制更具灵活性。它可以根据系统的实时状态调整控制策略,适应多种不同的工作场景。然而,条件逻辑控制的复杂度会随着条件数量的增加而显著上升。若系统中有10个不同的条件判断,控制程序就会变得相对复杂;若有20个甚至更多条件判断,控制程序会变得冗长复杂,增加设计与维护的难度。并且,条件逻辑控制同样属于开环控制,无法对控制结果进行实时修正,一旦条件判断出现偏差,可能导致控制效果不理想。

1.3 开环控制方式的稳定性与精度局限

开环控制方式由于没有反馈环节,无法获取系统输出的实际信息,也就不能根据输出与设定值之间的偏差进行动态调整。这使得开环控制系统在面外界干扰或系统参数变化时,稳定性难以保证。在精度方面,开环控制难以实现高精度的控制要求。例如在一个简单的电机转速控制系统中,采用开环控制,设定电机转速为1000转/分钟,但由于外界负载变化或电机自身参数漂移,实际转速可能在900-1100转/分钟之间波动。随着系统运行时间的延长,各种因素导致的误差会逐渐累积,使得输出结果与设定值之间的偏差越来越大,无法满足对控制精度有较高要求的场景。

2 经典闭环控制方式分析

2.1 反馈控制的基本原理与结构

反馈控制核心在于将系统输出量反馈至输入端,与设定值进行比对。若存在偏差,控制装置依据偏差大小和方向调整控制动作,促使输出量逐步趋近设定值。这种机制形成闭环,使系统具备自我修正能力。从结构看,反馈控制系统包含控制器、执行器、被控对象和测量元件。控制器依据偏差生成控制信号,执行器将信号转化为实际操作,被控对象是控制目标,测量元件负责检测输出量并反馈给控制器。各部分紧密协作,共同保障系统按预期运行。反馈控制结构虽相对复杂,但能有效应对外界干扰和系统参数变化,提升控制精度与稳定性。

2.2 单回路控制系统的性能分析

单回路控制系统仅有一个反馈回路,结构简洁,易于设计与调试。在性能方面,响应速度受系统惯性影响。例如在一个简单的弹簧-质量系统中,若质量为1千克,弹簧刚度为10牛/米,系统惯性较小,当受到外力作用时,能在0.1秒内快速响应,跟踪设定值变化;若质量为10千克,弹簧刚度不变,系统惯性大,响应迟缓,调整时间可能长达1秒甚至更久。稳定性是单回路系统关键指标,与系统参数密切相关^[2]。参数设置合理,系统稳定运行;参数不当,可能出现振荡甚至发散,导致系统失控。控制精度取决于反馈环节的测量精度和控制器调节能力。测量精度高、控制器调节能力强,输出与设定值偏差小,控制精度高;反之,精度降低。

2.3 多回路与级联控制的结构分析

多回路控制系统包含多个反馈回路,各回路针对不同变量

或环节进行控制。多个回路相互独立又协同工作,共同提升系统整体性能。通过分散控制,降低各回路间耦合影响,增强系统抗干扰能力。例如在一个复杂的化工生产过程中,有温度、压力、流量等多个变量需要控制,多回路控制系统分别对每个变量设置反馈回路,独立进行控制,同时各回路之间又通过一定的协调机制协同工作。级联控制是多回路控制的特殊形式,由主回路和副回路组成。主回路控制主要变量,副回路控制影响主要变量的次要变量。副回路快速响应次要变量变化,减少对主回路干扰,主回路则专注于主要变量精确控制。比如在温度-流量级联控制系统中,主回路控制温度,副回路控制流量,当流量发生变化时,副回路迅速调整,使流量稳定在合适范围,减少对温度控制的干扰,主回路则根据温度设定值精确调节加热功率。这种结构使系统兼具快速响应和精确控制优势,适用于复杂、高精度控制场景。

3 现代控制策略分析

3.1 自适应控制的结构与学习机制

自适应控制依托可变结构与在线调节能力适配被控对象的动态特性变化。系统核心架构包含前馈控制通道与反馈校正模块,前者依据预设模型生成基础控制信号,后者实时采集输出偏差与参数漂移数据。学习机制贯穿控制全过程,通过持续辨识被控对象的特征参数,动态修正控制律参数。参数辨识环节采用递推估计算法,结合输入输出数据完成模型参数的实时更新,校正模块则根据辨识结果调整控制策略,确保系统在参数摄动与外部扰动条件下维持稳定控制精度。

3.2 模糊控制的规则生成与推理机制

模糊控制突破传统控制对精确数学模型的依赖,规则生成建立在对被控过程的经验总结与语言描述之上。规则库由一系列模糊条件语句构成,通过将输入变量与输出变量划分为若干模糊子集,实现对复杂非线性关系的表征。规则生成需经过模糊化处理、模糊关系构建与清晰化转换三个关键步骤,模糊化环节将精确输入量映射为模糊集合,模糊关系构建基于逻辑运算整合条件语句,清晰化环节则将模糊输出量转化为可执行的控制信号。推理机制采用模糊逻辑推理方法,依据输入变量的模糊隶属度,匹配规则库中的对应条目,通过模糊合成运算得到输出模糊集合,最终通过解模糊操作输出精确控制量。例如在空调温度控制中,将温度划分为“低”“中”“高”三个模糊子集,风速划分为“小”“中”“大”三个模糊子集,根据温度和风速的模糊输入,通过模糊推理得出合适的风速控制输出。

3.3 神经网络控制的模型与映射特性

神经网络控制以模拟生物神经元的连接方式构建非线性映射模型。网络模型由输入层、隐含层与输出层组成,各层神经元通过权值矩阵实现信息传递。映射特性体现在对复杂非线性函数的逼近能力,通过调整神经元之间的连接权值,网络能够学习被控对象的输入输出关系。权值调整依赖误差反向传播算法,将系统输出误差逐层反馈至各层神经元,通过梯度下降法完成权值的迭代更新。这种分布式信息处理模式赋予系统强大的容

错性与自学习能力,可在被控对象特性未知或存在强耦合特性时实现有效控制。

3.4 预测控制的模型运用与优化策略

预测控制以滚动优化为核心,模型运用聚焦于建立被控对象的预测模型。预测模型根据系统历史输入输出数据,预测未来一段时间内的输出轨迹。优化策略围绕性能指标函数展开,通过在线求解最优控制序列,使系统输出轨迹贴合期望轨迹。滚动优化过程摒弃传统最优控制的全局求解模式,采用有限时域内的滚动计算,每一步求解得到的控制序列仅执行当前时刻的控制量,下一时刻则根据新的测量数据重新优化。这种滚动求解机制增强了系统对模型失配与外部扰动的鲁棒性,确保控制策略的实时性与有效性。

4 控制方式的综合对比与选择依据

4.1 各类控制方式在动态性能上的差异

经典闭环控制中的反馈控制,动态响应速度受系统参数影响较大。参数设置合理时,能较快跟踪输入信号变化,但面对快速变化的信号或强干扰,可能出现超调与振荡,动态调整过程相对较长^[3]。单回路系统结构简单,动态性能提升空间有限;多回路与级联控制通过多回路协同,动态响应速度和精度有所提升,尤其在处理多变量耦合系统时,能更好地协调各变量变化。现代控制策略里,自适应控制能根据系统动态变化自动调整参数,在环境或参数改变时,可快速适应并保持较好动态性能。模糊控制凭借模糊推理,对复杂非线性系统动态响应有一定优势,但推理过程相对复杂,可能影响响应速度。神经网络控制通过强大非线性映射能力,能快速捕捉系统动态特性,实现高精度动态控制,不过训练过程可能耗时较长。预测控制基于预测模型提前规划控制动作,在动态性能上能较好应对未来变化,优化系统动态轨迹。

4.2 系统复杂度与实现成本的权衡

经典闭环控制结构相对简单,硬件实现成本较低,软件算法也不复杂,适合对成本敏感、系统复杂度要求不高的场合。现代控制策略中,自适应控制需增加参数辨识和调整机构,系统复杂度增加,硬件成本和软件算法开发成本上升。模糊控制规则生成和推理机制需要一定专业知识,规则库构建和推理算法实现会增加系统复杂度与成本。神经网络控制需大量神经元和复杂网络结构,硬件上对计算能力要求高,软件算法训练过程复杂,实

现成本较高。预测控制要构建预测模型并进行滚动优化计算,对硬件计算资源和软件算法复杂度都有较高要求,成本相对较高。

4.3 外部扰动与模型不确定性下的鲁棒性分析

经典闭环控制在面对较小外部扰动和模型不确定性时,通过反馈调节能保持一定鲁棒性,但扰动过大或模型误差严重时,性能会明显下降。自适应控制能自动调整参数以适应模型变化和外部扰动,在模型不确定性和外部扰动较大时,仍能保持较好控制性能。模糊控制不依赖精确数学模型,对模型不确定性有较强适应能力,对外部扰动时,能依据模糊规则进行灵活调整,鲁棒性较好。神经网络控制通过大量数据训练,能学习系统复杂特性,对模型不确定性和外部扰动有一定容忍度,但训练数据不充分时,鲁棒性会受影响。预测控制基于预测模型进行优化,模型准确性对鲁棒性影响较大,不过滚动优化策略能在一定程度上弥补模型误差,增强对外部扰动的抵抗能力。

4.4 控制方式选择的一般性原则

选择控制方式需综合考虑系统动态性能要求、复杂度与成本限制、外部扰动和模型不确定性程度等因素。对动态性能要求不高、成本敏感、系统简单的场合,经典闭环控制是合适选择。若系统存在较大模型不确定性或外部扰动,且对动态性能有一定要求,自适应控制、模糊控制等现代控制策略更具优势。对动态性能要求极高、系统复杂且成本允许的情况下,神经网络控制和预测控制能发挥更大作用。

5 结束语

机电控制系统控制方式多样,经典开环、闭环控制与现代控制策略各有优劣。实际应用中,需依据系统动态性能需求、复杂度与成本限制、外部扰动和模型不确定性程度等因素综合考量。合理选择控制方式,才能充分发挥机电控制系统效能,满足不同场景下的工作要求,推动相关领域持续发展。

[参考文献]

- [1]钟坤.机电一体化控制系统在供水泵站中的应用研究[J].中国新技术新产品,2025(23):107-109.
- [2]王青弟,周旭,王欢.金属矿山机电控制系统中自动控制技术的实践研究[J].世界有色金属,2024(9):22-24.
- [3]李百华.矢量控制的电动汽车驱动电机控制系统研究[J].自动化仪表,2025,46(2):57-61,66.