

化工工艺过程中的自动化控制与优化

李军年 侯钢祖

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：化工工艺过程作为现代工业生产的重要组成部分，其高效、稳定、安全的运行对于提升企业竞争力、保障生产安全及环境保护具有至关重要的意义。随着信息技术的飞速发展，自动化控制与优化技术在化工领域的应用日益广泛，不仅显著提高了生产效率，还实现了资源的高效利用和环境污染的最小化。本文旨在探讨化工工艺过程中的自动化控制原理、关键技术及其优化策略，为化工行业的智能化转型提供理论支撑和技术参考。

关键词：化工工艺；自动化控制；优化；智能技术；资源效率

引言

化工工艺过程涉及复杂的化学反应、物料传输、能量转换等多个环节，传统的人工控制方式难以满足高精度、高效率的生产需求。自动化控制与优化技术的应用，通过集成传感器、执行器、控制器及先进的算法，实现了对化工过程的精确监控与动态调整，有效提升了生产效率和产品质量，降低了能耗与排放。

1 化工工艺过程中的自动化控制原理

1.1 基础控制理论

1.1.1 反馈控制

反馈控制，又称为闭环控制，其工作原理基于偏差调节原理，即控制系统通过传感器实时监测被控对象的实际输出值，并与预先设定的期望值（或称为设定值）进行比较，得到偏差信号。这个偏差信号随后被送入控制器，控制器根据偏差的大小和方向，按照预定的控制规律（如PID控制算法）计算出相应的控制量，通过执行器调整被控对象的输入，从而逐步减小乃至消除偏差，使实际输出逼近或达到设定值。反馈控制的优势在于能够自动纠正偏差，保持系统输出的稳定性，但也可能存在响应延迟和振荡等问题。

1.1.2 前馈控制

前馈控制，与反馈控制相对，是一种开环控制方式。它侧重于根据扰动量的预测或测量，在扰动作用于被控对象之前，就提前调整控制量，以补偿或抵消扰动对系统输出的影响。前馈控制的关键在于准确预测或测量扰动量，并设计合适的控制策略。例如，在化工过程中，原料流量的波动可能是一个重要的扰动源，前馈控制可以根据原料流量的变化，提前调整反应器的温度或催化剂的加入量，以保持产品质量的稳定。前馈控制的优势在于响应速度快，能够提前预防扰动的影响，但其效果高度依赖于扰动预测的准确性和控制策略的有效性。

1.1.3 最优控制

最优控制是一种基于系统数学模型和优化算法的控制方式。它的目标是在满足一定约束条件下，通过求解优化问题，找到使系统性能指标（如生产效率、能耗、产品质量等）达到最优的控制策略。最优控制的实现通常包括两个步骤：首先，建立系统的数学模型，该模型应能够准确描述系统动态特性和输入输出关系；其次，运用优化算法（如线性规划、动态规划、遗传算法等）求解最优控制策略。最优控制的优势在于能够综合考虑多个性能指标和约束条件，实现系统全局最优，但其应用也受限于模型精度、算法复杂度和计算资源等因素。

1.2 关键控制技术

1.2.1 分布式控制系统（DCS）

分布式控制系统（DCS）是化工工艺过程中自动化控制的核心技术之一，它实现了全厂范围内的数据采集、监控与控制，极大地提高了系统的可靠性和灵活性。DCS采用分层分布式结构，通常由现场控制层、过程控制层和生产管理层三个层次组成。现场控制层位于最底层，直接与被控对象相连，通过大量的传感器和执行器实现数据的采集和控制的执行。过程控制层位于中间层，负责接收现场控制层上传的数据，进行实时处理和分析，并根据控制策略发出控制指令^[1]。生产管理层位于最上层，负责整个生产过程的监视、调度和优化，为生产决策提供支持。DCS的核心特点是其分散控制和集中管理的能力。分散控制意味着每个控制节点都具有一定的自主性和独立性，能够独立完成特定的控制任务，从而提高了系统的可靠性和容错性。即使某个节点发生故障，也不会影响整个系统的正常运行。集中管理则使得操作人员可以在中央控制室对全厂的生产过程进行统一的监视和控制，提高了生产效率和安全性。此外，DCS还具有高度的灵活性和可扩展性。它可以根据生产

需求的变化,方便地增加或减少控制节点,调整控制策略,而无需对整个系统进行大规模的改造。同时,DCS还支持与各种智能设备(如智能仪表、智能执行器等)的通信和集成,实现了信息的共享和协同工作。

1.2.2 可编程逻辑控制器(PLC)

可编程逻辑控制器(PLC)是化工工艺过程中用于现场设备直接控制的关键技术设备。它以其高度的可靠性和灵活性,以及易于编程与维护的特性,在自动化控制领域占据了重要地位。PLC是一种专为工业环境设计的数字运算操作电子系统,它采用可编程的存储器,用于存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,并通过数字或模拟的输入输出接口,控制各种类型的机械设备或生产过程。在化工工艺过程中,PLC通常被用于控制泵、阀门、搅拌器、加热器等现场设备,实现精确的流量、压力、温度等参数的调节。PLC的可靠性是其最显著的特点之一。它采用了多种硬件和软件措施,如电源冗余、CPU冗余、程序备份等,以确保在恶劣的工业环境下也能稳定运行。同时,PLC还具有高度的灵活性,其控制程序可以根据生产需求的变化进行方便的修改和扩展,而无需更换硬件^[2]。此外,PLC的编程和维护也相对简单。它通常提供了直观的编程界面和丰富的编程语言,如梯形图、指令表、功能块图等,使得编程人员可以快速地编写和调试控制程序。同时,PLC还提供了完善的故障诊断和报警功能,使得维护人员可以快速地定位和解决问题。

1.2.3 先进过程控制(APC)

先进过程控制(APC)是化工工艺过程中实现高效、优化控制的关键技术。它主要基于模型预测控制(Model Predictive Control,简称MPC)等先进技术,对复杂多变量的生产过程进行优化控制,旨在提高生产效率和产品质量。APC的核心在于利用数学模型对化工过程进行精确描述,并通过MPC等优化算法对过程进行动态优化。MPC是一种基于模型的控制策略,它利用过程的动态模型预测未来一段时间内的输出,并根据预定的优化目标(如最大化产量、最小化能耗等)计算出最优的控制输入。通过不断滚动优化和反馈校正,MPC能够实现对复杂多变量过程的有效控制。在化工工艺过程中,APC的应用可以显著提高生产效率和产品质量。例如,在精馏塔的控制中,APC可以根据原料的组成和产品的需求,动态调整塔的操作条件(如回流比、塔顶压力等),以实现产品纯度和产量的最优化。在反应器的控制中,APC可以根据反应的动力学特性和产物的质量要求,精确控制反应物的加入量和反应温度,以提高产

物的收率和选择性。此外,APC还具有强大的数据处理和分析能力。它能够实时采集和分析生产过程中的大量数据,识别过程中的异常情况和潜在问题,为操作人员提供及时的预警和决策支持。这有助于减少生产过程中的故障和停机时间,提高设备的利用率和生产效率。

2 化工工艺过程自动化控制的优化策略

2.1 过程建模与仿真

过程建模与仿真是化工工艺过程自动化控制优化策略的重要组成部分。它利用数学模型对化工过程进行精确描述,通过仿真分析预测不同操作条件下的性能,为优化决策提供依据。在过程建模阶段,首先需要深入理解化工过程的物理和化学机理,明确过程的输入输出关系以及各变量之间的相互作用。然后,根据这些机理和关系,建立能够反映过程动态特性的数学模型。这些模型可以是基于机理的模型,如质量守恒、能量守恒等基本原理解导出的模型;也可以是基于数据的模型,如利用历史数据通过机器学习算法训练得到的模型。仿真分析是在建立数学模型的基础上,通过计算机模拟不同操作条件下的过程行为,预测过程的输出和性能指标。通过仿真,可以评估不同控制策略和优化方案的效果,为实际操作提供指导。同时,仿真还可以帮助识别过程中的潜在问题和瓶颈,为改进设计提供依据。为了提高模型的精度和适应性,可以结合机器学习算法对模型进行优化。机器学习算法能够从大量数据中学习过程的复杂规律,提高模型对非线性、时变过程的准确模拟能力。例如,可以利用神经网络、支持向量机等算法对模型的参数进行估计和优化,使模型更加符合实际过程的行为。

2.2 能源管理与优化

能源管理与优化是化工工艺过程自动化控制中的关键策略,旨在提高能源利用效率,减少能源消耗和碳排放,从而实现可持续发展。实施能源管理系统(EMS)是能源管理与优化的核心。EMS通过实时监测能源消耗,收集和分析能源数据,为优化能源使用策略提供有力支持。系统能够识别能源消耗的峰值和低谷,分析能源使用的趋势和模式,从而帮助制定更加合理的能源计划^[3]。此外,EMS还能与自动化控制系统集成,实现能源需求的动态调整,确保能源供应与需求的平衡。在优化能源使用策略方面,热集成技术和余热回收是两种有效的手段。热集成技术通过合理设计和布置化工过程中的换热器网络,实现冷热流体的有效匹配,从而减少能源浪费。这种技术能够显著提高能源利用效率,降低能源消耗。余热回收则是将化工过程中产生的废热进行回收和利用,用于加热、蒸发等工艺环节,从而减少对新鲜

能源的需求。除了热集成技术和余热回收，还可以采用其他节能措施，如优化设备操作条件、提高设备效率、使用高效节能设备等。

2.3 质量控制与优化

质量控制与优化是化工工艺过程自动化控制中的关键环节，对于确保产品稳定性和提升客户满意度至关重要。统计过程控制（SPC）和六西格玛管理方法是质量控制与优化的核心策略。SPC通过应用统计技术对生产过程进行监控，及时发现并纠正过程中的异常波动，从而减少过程变异，确保产品质量的稳定性。它利用控制图、直方图等工具对过程数据进行分析，帮助识别潜在的质量问题，并为改进过程提供依据。六西格玛管理方法则是一种系统性的质量管理方法，它强调以数据为基础，通过定义、测量、分析、改进和控制（DMAIC）五个步骤，实现过程的持续改进和优化。在化工工艺过程中，六西格玛管理方法可以帮助识别影响产品质量的关键因素，制定针对性的改进措施，并监控改进效果，确保产品质量的持续提升^[4]。为了实现实时质量控制，可以引入在线质量监测设备。这些设备能够实时监测生产过程中的关键质量指标，如温度、压力、流量等，并将数据传输到控制系统。通过与控制系统的集成，可以实现工艺参数的及时调整，确保产品符合质量标准。

2.4 智能优化算法

智能优化算法在化工过程优化中扮演着至关重要的角色，尤其是针对非线性、多目标等复杂问题。其中，遗传算法和粒子群优化是两种广泛应用的智能算法。遗传算法是一种模拟生物进化过程的优化算法。它通过编码将问题的解空间表示为种群中的个体，并利用选择、交叉、变异等遗传操作对种群进行迭代更新，从而找到最优解。在化工过程优化中，遗传算法可以应用于反

应条件优化、产品配方设计等问题，通过迭代搜索找到最佳工艺参数组合。粒子群优化则是一种基于群体智能的优化算法。它将问题的解空间看作粒子群，每个粒子都代表问题的一个可能解。通过模拟粒子的飞行过程，利用群体信息共享和个体经验更新粒子的位置和速度，从而找到最优解。在化工过程中，粒子群优化可以应用于流程优化、资源调度等问题，通过协调不同生产环节的操作，实现整体效益的最大化。为了进一步提高优化效果，智能优化算法可以与大数据分析相结合。通过对生产数据的深入挖掘和分析，可以揭示出生产过程中的隐含规律和潜在关联，为工艺参数的优化调整提供有力支持。

结语

化工工艺过程中的自动化控制与优化是提升行业竞争力、实现可持续发展的关键。通过深入研究基础控制理论、关键控制技术，并结合过程建模、能源管理、质量控制及智能优化策略，可以有效提高生产效率、降低能耗、保障产品质量，推动化工行业向智能化、绿色化转型。未来，持续的技术创新与应用探索将是化工工艺自动化控制与优化领域的重要发展方向。

参考文献

- [1]孙吉水,金宗杰,吕健.自动化在化工工艺控制中的应用与优化[J].化工管理,2024,(16):156-158.
- [2]查耀斌.危险化工工艺全流程自动化困境和出路探讨[J].湖北应急管理,2024,(04):69.
- [3]陈磊,石运冬.自动化控制在化工安全生产中的应用及优化[J].全面腐蚀控制,2024,38(08):48-50.
- [4]王鹏.关于化工生产中自动化控制系统应用的探析[J].化肥设计,2024,62(01):43-45.