

空分精馏塔控制系统探究

赵忱俊 董佳斌

杭州杭氧低温液化设备有限公司 浙江 杭州 311305

摘要: 空分精馏塔控制系统探究旨在优化化工生产中气体分离的效率与质量。通过深入分析温度、压力、流量等关键参数的精确调控策略,结合先进控制算法与智能监测技术,实现对精馏过程的精细管理。研究不仅提升产品的纯度和收率,还显著降低能耗与运行成本,为化工行业高效、绿色生产提供有力支持。

关键词: 空分精馏塔; 工作原理; 系统设计

1 空分精馏塔的基本结构和工作原理

空分精馏塔是化工行业中常用的一种设备,主要用于分离和提纯混合物,其核心基于不同组分在不同温度下沸腾的特性。基本结构,空分精馏塔主要由以下几个部分组成;一是塔身:塔身是精馏塔的核心部分,通常由金属材料制成,其大小和形状根据操作条件和待分离混合物的性质确定。塔内可能包含一系列平行的管道或塔板,用于增加气液接触面积。二是进料区:位于精馏塔的顶部,负责接收待分离的混合物。进料区通常设置有一个气液分布器,能够将混合物均匀地喷淋到塔内,确保混合物在塔内均匀分布。三是塔板或填料:塔板或填料是精馏塔的关键组件,用于增加气液接触时间,促进质量传递。塔板可以是泡罩塔板、筛板塔板、浮阀塔板等多种类型,而填料则可以是各种形状和材质的固体颗粒,如环形、网状等。四是蒸汽冷凝器:位于精馏塔顶部,用于冷却并冷凝塔顶的气相和失重蒸汽。冷凝器通常包括冷却介质的进出口和用于冷却蒸汽的管网。五是冷凝器回流罐:位于精馏塔底部,主要用于回收精馏分和分离底部的物质。该部分通常包括管道和控制阀门,以调整塔顶和塔底的液位。六是加热设备:在塔体内设置加热设备,通过加热使混合物开始汽化,不同组分根据其沸点的不同在不同温度下汽化。

工作原理,空分精馏塔的工作原理基于物理分馏过程,主要步骤包括;(1)进料:待分离的混合物被引入塔顶进料区,通过气液分布器均匀分布到塔内。(2)加热:塔体内的加热设备对混合物进行加热,使其开始汽化。不同组分的沸点不同,因此会在不同的温度下开始汽化。(3)汽液混合与分离:汽化后的混合物在塔内形成汽液混合物。较轻的组分汽化速度快,浓度高,而较重的组分汽化速度慢,浓度低。塔内的塔板或填料增加了气液接触面积,促进了质量传递^[1]。(4)逐步分离:在塔内,随着温度的逐渐降低,不同组分在不同的高度

上蒸发或凝结。这样,空分精馏塔就能够在不同的高度收集到不同的气体,实现分离。(5)塔顶和塔底收集:经过填料层或塔板层传递后,较轻的组分在塔顶进一步汇集,形成纯度较高的产品。而较重的组分则通过塔底的收集装置,形成较低纯度的副产品或废物。(6)循环冷却:在分离过程中产生的蒸汽通过蒸汽冷凝器进行冷却,冷凝为液体,以便回收和再利用。

2 空分精馏塔在化工领域中的重要性

空分精馏塔在化工领域中占据着举足轻重的地位,其重要性不言而喻。第一、空分精馏塔在空气分离工业中发挥着关键作用,通过精确调控,它能够将空气中的氧气、氮气等组分高效分离,为钢铁冶炼、化工合成、医疗气体供应等多个行业提供必需的纯氧、纯氮等气体原料。这些高纯度气体不仅是工业生产中不可或缺的能源和反应介质,也是保障产品质量和安全生产的重要基础。第二、空分精馏塔在石油化工、精细化工等领域同样具有广泛应用,在石油化工中,它用于分离和提纯石油裂解气、合成气等复杂混合物,为下游生产提供高质量的烯烃、烷烃等原料。在精细化工中,空分精馏塔则用于分离和提纯各种有机化合物,如醇类、酯类、酮类等,以满足医药、农药、染料等行业对高纯度原料的需求。第三、空分精馏塔还具备高效、节能、环保等优点,通过优化塔内结构、改进操作条件、采用新型填料和塔板等技术手段,可以进一步提高分离效率、降低能耗和减少污染物排放。

3 目前空分精馏塔控制系统研究存在的问题

空分精馏塔的结构机理复杂,包含多层塔板及众多的输入和输出变量,这些变量之间相互影响且关联度高,要实现精确控制,需要对塔内各种参数进行实时监测和精准调节。由于控制变量的多样性和相互之间的非线性关系,使得控制系统的设计变得极为复杂,化工过程对控制精度的要求极高,微小的偏差都可能导致产品

质量的下降,这对控制系统的稳定性和准确性提出了严峻的挑战。空分精馏塔在运行过程中会受到多种外部和内部干扰因素的影响,如原料组成波动、操作条件变化、设备老化等。这些因素都可能导致塔内参数发生波动,从而影响控制效果。如何有效抑制干扰因素,确保控制系统的稳定运行,是当前研究中的一个重要问题。虽然现代控制理论和技术如模糊控制、神经网络控制、预测控制等已经在许多领域取得了显著成效,但在空分精馏塔控制系统中的应用仍受到一定限制。这主要是由于空分精馏塔的过程特性复杂,难以建立精确的数学模型,同时先进控制算法的计算复杂度和对硬件资源的要求也较高,如何将这些先进控制技术有效地应用于空分精馏塔控制系统,提高系统的控制性能和鲁棒性,是当前研究的一个重要方向。在空分精馏塔的控制系统中,往往侧重于对单一控制目标的优化,如产品质量、能耗等,而忽视与整个工艺过程的优化相结合^[2]。

4 空分精馏塔控制系统设计与优化

4.1 控制系统的整体设计方案

空分精馏塔控制系统的整体设计方案是确保精馏过程高效、稳定运行的关键。需要明确系统的控制目标和要求,即实现混合物中各组分的高精度分离,同时保证生产的安全性、稳定性和经济性。基于这些目标,控制系统需综合考虑硬件选型、软件架构、控制策略及算法等多个方面。硬件选型:控制系统硬件包括传感器、执行器、控制器及通讯设备等。传感器用于实时监测塔内温度、压力、流量等关键参数,其精度和可靠性直接影响控制效果。执行器如阀门、加热器等则根据控制信号调节工艺条件。控制器作为核心部件,需具备强大的数据处理能力和灵活的编程接口。通讯设备则负责各部件之间的数据传输和远程监控。软件架构:控制系统软件架构一般采用模块化设计,包括数据采集与处理模块、控制算法模块、人机界面模块及故障诊断与报警模块等。数据采集与处理模块负责接收传感器信号并进行预处理;控制算法模块根据预设的控制策略计算控制输出;人机界面模块提供直观的操作界面和监控画面;故障诊断与报警模块则实时监控系统运行状态,及时发现并处理异常情况。控制策略:控制策略的选择需根据空分精馏塔的具体工艺特性和控制目标确定。常用的控制策略包括PID控制、模型预测控制、模糊控制等。PID控制因其简单可靠而被广泛应用,但面对复杂多变的工艺过程时,可能需要结合其他高级控制策略以提高控制效果。

4.2 控制系统对温度、压力、流量等参数的监控和调节策略

在空分精馏塔控制系统中,对温度、压力、流量等参数的精准监控和调节是实现高效分离的关键。温度是影响精馏过程的关键因素之一。控制系统通过温度传感器实时监测塔内各关键位置的温度,并根据预设的温度曲线或控制策略对加热系统进行调节。采用先进的温度控制算法,如自适应PID控制或模糊PID控制,以提高温度控制的精度和稳定性。压力也是影响精馏效果的重要参数。控制系统通过压力传感器实时监测塔内压力,并根据工艺要求调节排气阀或进气阀的开度以维持稳定的操作压力,还可采用压力补偿技术,对由于温度波动引起的压力变化进行自动补偿,确保控制系统的稳定性和准确性。流量控制对于保持塔内气液平衡和分离效率至关重要。控制系统通过流量传感器实时监测进料流量、回流流量等关键流量参数,并根据工艺要求调节流量控制阀的开度以维持稳定的流量。采用流量控制算法,如比例控制或流量积分控制,以提高流量控制的精度和响应速度。

4.3 控制系统的优化方法和技术应用

为进一步提高空分精馏塔控制系统的性能和效率,可采用多种优化方法和技术应用。MPC是一种基于模型的先进控制策略,通过预测未来系统行为并优化控制输入来实现控制目标。在空分精馏塔控制系统中,MPC可以综合考虑温度、压力、流量等多个参数之间的相互影响和约束条件,通过求解优化问题得到最优控制策略。MPC的应用可以显著提高控制系统的稳定性和分离效率。除了传统的PID控制外,还可以引入模糊控制、神经网络控制等先进控制算法。这些算法能够处理复杂的非线性系统和不确定性因素,提高控制系统的鲁棒性和适应性。例如,模糊控制可以基于模糊规则库对控制参数进行模糊推理和决策;神经网络控制则可以通过学习历史数据来构建系统模型并进行预测和控制^[3]。将控制系统与工艺过程、生产计划等系统集成起来,实现整个生产过程的优化运行。通过信息共享和协同控制,可以进一步提高生产效率和产品质量,采用多目标优化技术,综合考虑产品质量、能耗、生产成本等多个目标函数,实现全局最优控制。利用先进的故障诊断技术和预测维护策略,及时发现并处理控制系统中的潜在故障和异常情况。

5 控制系统在实际生产中的应用与效果评估

5.1 空分精馏塔控制系统在生产过程中的实施步骤

在实际生产中,空分精馏塔控制系统的实施是一个系统而细致的过程,它确保了控制系统能够顺利集成到生产流程中并有效运行。根据生产需求、工艺特性及现有设备状况,进行详细的控制系统需求分析,明确控制

目标、控制参数、控制精度等要求,并据此设计控制系统的整体架构、硬件配置和软件功能。按照设计方案,进行传感器的安装、执行器的配置以及控制器的部署。确保所有硬件设备正确连接,并进行初步的功能测试,验证其工作正常,对通讯网络进行搭建和调试,确保数据传输的可靠性和实时性。根据控制策略和控制算法,进行软件编程和配置,编写数据采集与处理、控制算法、人机界面及故障诊断等模块的程序代码,并进行集成测试。配置系统参数,如PID控制器的参数设置、温度压力曲线的设定等,确保软件能够按照预期工作。在完成硬件安装和软件编程后,进行系统联调,通过模拟实际生产环境,对控制系统进行全面的测试和调试。检查各模块之间的协同工作是否顺畅,控制策略是否有效,以及系统对外部干扰的抵抗能力。在试运行过程中,及时发现并解决潜在问题,优化系统性能。对生产操作人员进行控制系统操作和维护的培训,确保他们能够熟练掌握系统的使用方法和注意事项,编制操作手册和维护指南,为后续的生产运行提供技术支持。

5.2 控制系统运行效果的监测和评估

为确保空分精馏塔控制系统在生产过程中持续发挥良好作用,需要对其运行效果进行定期监测和评估。通过控制系统的人机界面或远程监控系统,实时监测塔内温度、压力、流量等关键参数的变化情况。确保这些参数在预设范围内波动,并及时发现异常数据。定期采集产品样本进行化验分析,评估产品的纯度和收率等关键指标^[4]。将实际数据与理论值或历史数据进行对比,分析控制系统的分离效率是否达到预期目标。统计控制系统的能耗数据,包括电能、热能等消耗情况。结合生产产量和产品质量,计算单位产品的能耗成本和生产成本。与未采用控制系统前的数据进行对比,评估控制系统的节能降耗效果。记录控制系统的故障发生次数和维修情况,计算故障率和维护成本。分析故障原因并采取相应的预防措施,降低故障率和维护成本。

5.3 控制系统优化后对生产效率和质量的影响分析

优化后的控制系统能够更精确地控制塔内温度、压力等参数,减少因参数波动导致的生产中断和调整时间,通过提高分离效率,缩短了生产周期并增加了产量。这些因素共同作用使得生产效率得到显著提升。优化后的控制系统能够确保产品纯度和收率等关键指标达到或超过预期目标,通过实时监测和调节关键参数,减少杂质和副产品的生成,提高产品的纯度和一致性,稳定的控制过程也有助于减少产品批次间的差异,提升整体产品质量。优化后的控制系统通过精确控制加热、冷却等能耗环节,减少不必要的能量损失和浪费,通过提高分离效率和减少故障率等措施,降低生产过程中的物料消耗和维修成本。这些因素共同作用使得整体能耗和成本得到有效降低。优化后的控制系统具备完善的故障诊断与报警功能,能够及时发现并处理潜在的安全隐患。

结束语

空分精馏塔控制系统的深入探究展现了其在提升生产效率、保障产品质量及促进节能减排方面的巨大潜力。未来,随着技术的不断进步与创新,我们有理由相信,该控制系统将更加智能化、高效化,为化工行业的可持续发展贡献更大力量,推动产业升级与转型迈向新高度。

参考文献

- [1]冯兴仁.空分精馏塔事故应急响应与安全管理策略研究[J].建筑与施工,2023,2(15):85-86.DOI:10.12417/2811-0528.23.15.041.
- [2]刘丽文.空分精馏塔工况波动技术分析[J].石油化工应用,2021,40(8):108-110,113.DOI:10.3969/j.issn.1673-5285.2021.08.022.
- [3]程彬彬.深冷空分精馏系统动态过程研究[J].山西化工.2024,44(2).DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2024.02.048.
- [4]张嘉骏,赵耀宗.浅谈空分精馏塔爆炸的原因及处理措施[J].中国化工贸易,2018,10(24):175.DOI:10.3969/j.issn.1674-5167.2018.24.163.