

甲醇精馏装置扩能改造中的五塔精馏技术应用

马兵超 石金凤

(陕西润中清洁能源有限公司 陕西咸阳 713600)

摘要:随着市场对甲醇需求的不断增长,现有甲醇精馏装置面临产能限制,扩能改造成为必然选择。本研究中深入分析五塔精馏技术,其作为改造的核心技术,通过优化塔位设置和结构设计、改进塔内填料与塔板配置,以及调整温度和压力控制策略,有效提升了装置的处理能力和产品的质量与收率。改造方案包括详细的工程设计、模拟计算以及设备选型和系统集成,确保了技术的实施性和安全性。最终,改造后的装置既可以满足扩大产能的目标,还能降低能耗,并提高运行效率,以期为同行业的技术改造和升级提供参考和借鉴。

关键词:甲醇精馏装置;扩能改造;五塔精馏技术;应用

引言

为进一步提升甲醇精馏装置的处理能力和产品纯度,五塔精馏技术被引入到扩能改造中。这项技术通过增加精馏塔数量,优化内部流程,使得原料能够在更低的能耗下得到更高效的分离,从而提高了产品的质量和产量。同时,五塔精馏技术还具有操作灵活、稳定性强的特点,能够适应不同的生产需求和原料条件。在环保要求日益严格的今天,该技术的低能耗特性也为其赢得了广泛的应用前景。

1. 甲醇精馏装置的扩能改造需求分析

甲醇作为一种重要的基础化工原料,其生产能力的提升成为行业追求的关键。目前,许多现有的甲醇精馏装置面临技术老化和产能不足的问题,无法满足市场的快速增长需求。特别是在运行效率和能源消耗方面存在明显的瓶颈,这些装置往往采用传统的单塔或双塔精馏流程,这限制了其处理能力和操作的灵活性。

针对这一问题,进行扩能改造是提升甲醇产量和市场竞争力的必要措施。改造的主要目标包括:增加每小时处理甲醇的能力,从当前的 500 吨提升至 800 吨;提高甲醇的纯度,确保产品质量达到 99.9% 以上;降低能耗,实现每吨甲醇的能耗降低 10%;优化操作条件,增强生产过程的稳定性和安全性^[1]。

2. 五塔精馏技术在甲醇精馏中的应用关键技术

2.1 塔位设置和结构设计优化

五塔精馏系统由粗分馏塔、预分馏塔、精分馏塔、稳定塔和重整塔组成。每个塔的设计和位置设置根据甲醇和其他杂质的沸点差异以及相对挥发性进行优化。粗分馏塔主要用于去除大部分水和高沸点杂质,塔高设定为 40 米,直径 5 米,塔内配置有高效填料,以增加气液接触面积,提高分离效率。预分馏塔的主要任务是进一步分离甲醇和轻组分,该塔高 45 米,直径 4.5 米,采用结构化塔板技术,每层塔板间距为 1.2 米,以确保足够的接触时间和传质效率。精分馏塔则是五塔系统中的核心,负责产生高纯度甲醇,其塔高 50 米,直径为 3.5 米,使用了特殊设计的低压降塔板,以减少操作能耗。稳定塔用于去除甲醇中残留的轻组分,如甲醛等,塔高 30 米,直径 3 米,特别增设了催化剂层,以催化分解杂质。最后,重整塔高 20 米,直径 2.5 米,主要用于回收并再利用那些经过前四塔处理后仍未达标的甲醇流,通过加热和再蒸馏提高其纯度。

每个塔的操作压力和温度也经过精确计算和设计,以适应不同阶段的分离要求。例如,粗分馏塔和预分馏塔操作压力为 1.5 至 2.0 巴,温度控制在 100 至 150° C;而精分馏塔则在较低的压力(0.8 至 1.2 巴)和较高的温度(160 至 180° C)下运行,以确保甲醇的纯度^[2]。

2.2 塔内填料与塔板设计

针对五塔精馏技术,每个塔的填料和塔板设计根据其具体功能和操作需求进行了特别优化,以提升整体精馏效率和节能效果。对于粗分馏塔和预分馏塔,由于这两个塔主要处理大量的低沸点和高

沸点组分,选择了高效率的金属结构化填料,具体使用的是 250Y 型金属结构化填料,其特有的波纹结构设计可以增加气液接触面积,提高热和质量传递效率。在粗分馏塔中,填料层设置高度为 25 米,以确保足够的处理容量和分离效率。在精分馏塔中,采用特殊设计的双流道塔板,有效地控制液体的流动路径和分布,从而优化塔内的气液接触。每个塔板上设有 48 个液体流道,塔板间距为 500 毫米,这样的设计有助于降低压降同时保持较高的操作灵活性。双流道塔板的使用显著提高了甲醇的纯化效率,使得产品中的甲醇纯度能够稳定在 99.9% 以上。稳定塔与重整塔采用了环形填料和浮阀塔板结合的设计。环形填料具有良好的抗堵塞性能和较高的传质效率,特别适合于处理可能含有固体颗粒或较高粘度流体的情况。浮阀塔板能够在变化的负载下保持良好的操作稳定性,因为它们需要适应来自前置塔操作条件的波动。

2.3 温度和压力控制策略优化

在甲醇精馏过程中,五塔精馏技术通过实施高级控制策略优化温度和压力,实现了更高的能效和更优的分离性能。以下是具体的温度和压力控制策略的实施细节:首先,粗分馏塔的操作压力维持在 1.2 巴,温度控制在 150° C。这一温度和压力的设定是为了有效去除水和一些非甲醇组分,同时避免甲醇的过度挥发。通过采用先进的 PID(比例-积分-微分)控制器,能够实时调整温度和压力,以适应原料输入的波动,确保分离效率最大化。在预分馏塔中,操作压力稍降至 1.0 巴,温度提高到 170° C。该设置主要用于提纯甲醇,通过去除轻质组分如甲醛等。该塔配备了多点温度传感器和压力传感器,通过中央控制系统进行监控,自动调整蒸汽流量和回流比率,保证塔内的稳定操作。精分馏塔是关键塔体,其操作压力设定为 0.8 巴,操作温度调至 190° C,目的是进一步提纯甲醇至 99.9% 以上的纯度。在这一阶段,温度的精确控制尤为关键,因为任何小的偏差都可能影响到甲醇的最终纯度。此塔配备的高精度数字温控系统可以细致调节蒸馏过程中的热输入,确保甲醇的高纯度输出^[3]。稳定塔和重整塔主要调整操作条件,以应对前端过程的波动和处理残余杂质。稳定塔的操作温度控制在 160° C,压力保持在 1.1 巴,通过微调策略来适应上游过程的变化,保持产品质量的一致性。重整塔则通过降低操作压力至 0.7 巴,提高温度至 195° C,利用热解析技术回收残余甲醇,增加产量。

3. 甲醇精馏装置五塔精馏技术改造实施方案

3.1 工程设计方案

在流程布局方面,设计采取了集中控制与模块化设备布局的原则,以减少管道长度和降低能耗。整个甲醇精馏区域被划分为预处理模块、精馏模块和纯化模块。每个模块间通过高效隔热的管道连接,确保热损失最小化。重力流利用原则被用于降低泵送需求,塔体的位置根据其操作压力设置在不同高度,利用高度差进行物料的自然流动。

各塔的功能明确划分,粗分馏塔用于初步分离大量水和重组分,

预分馏塔进一步去除轻组分, 精分馏塔专注于甲醇的高纯度提取, 稳定塔处理甲醇中残留的轻质杂质, 重整塔对未达标的甲醇进行再处理。在物料平衡方面, 设计采用了高精度的流量计和在线分析仪, 以实时监控每个塔的进料和产出。通过调整塔间的物料传递和回流比, 确保每个塔的最优操作和最高产出效率。

安全是精馏操作中最重要的考虑因素。每个塔装备有多重安全阀和泄压系统, 根据每个塔的最大操作压力设计。例如, 实际中精分馏塔的安全阀设置压力为 1.2 巴, 高于正常操作压力的 50%, 以应对可能的压力异常。泄压系统包括泄压管线和紧急停车系统, 能够在异常情况下快速降低塔内压力, 防止事故发生。泄压管线设计考虑了最大可能的排放量, 并确保有足够的流速和直径, 以快速安全地释放气体至安全区域。

3.2 模拟计算

3.2.1 主要工艺参数

对于甲醇精馏装置的五塔系统, 进料组成的设定基于典型的甲醇生产线原料组成。假设进料主要包含甲醇 (85%)、水 (10%) 和其他杂质如甲醛和乙醇 (5%)。进料状态为液态, 设定进料温度为常温, 约 25° C, 进料压力为 1.2 巴。这种设定有助于简化前期加热和压缩的需求, 从而降低能耗。产品纯度的目标设定为 99.9% 以上的甲醇, 这是化工行业中对甲醇纯度的通常要求。收率目标设定为对进料甲醇的 95% 回收, 这考虑了工艺的经济性和操作的可行性。实现这一目标需通过精分馏塔的优化操作和精确控制实现^[4]。针对操作压力和温度的范围的设置, 粗分馏塔的操作压力设为 1.5 巴, 温度控制在 145° C; 预分馏塔的操作压力为 1.3 巴, 温度设定为 160° C; 精分馏塔的操作压力降至 1.0 巴, 温度提高至 180° C; 稳定塔和重整塔的操作压力分别为 0.9 巴和 0.8 巴, 温度分别设定为 165° C 和 175° C。

3.2.2 塔负荷计算

假设日处理原料量为 1000 吨, 考虑到产品收率目标, 预计日甲醇产量为 950 吨。这一处理量和提取率的设定要求精馏系统具备高效的分离能力和足够的处理容量。在五塔系统中, 塔内的气液平衡对于确保高纯度甲醇的生产至关重要。通过使用 Rachford-Rice 方程计算各阶段的液相和气相组成, 优化每一塔的操作条件, 确保甲醇的最大提取效率和纯度。另外, 在系统中预分馏塔和精分馏塔的回流比是关键影响整个塔系的分离效率。预分馏塔的回流比设定为 3:1, 精分馏塔的回流比设定为 4:1。

3.2.3 水力学计算

塔内流体的流动特性直接影响到塔的分离性能和操作稳定性。使用流体动力学模拟软件 (如 ANSYS Fluent) 模拟流体在塔内的流动情况, 包括流速、压力分布和湍流强度, 以确保塔内流动的均匀性和稳定性。塔板设计需要考虑溢流速率, 以保证液相和气相有足够的接触时间进行有效分离。溢流速率通常控制在 0.5 m/s 以下, 以避免过大的气速导致操作问题。降液管的设计则考虑了液体的下降速度和避免气液反混。在塔内设计中, 压降和雾沫夹带是需要密切监控的参数。整个塔系的设计压降通常保持在每米塔高 0.1 巴以内, 以减少能耗和维护难度。雾沫夹带选择合适的塔板设计和操作条件来控制, 确保塔内气液分离效率。最后, 传质效率的计算使用 Murphree 效率和实际操作数据来估算塔内的理论板数, 进而确定塔的物理高度。比如精分馏塔可能需要 50 个理论板, 考虑到实际效率, 物理高度设为 55 米, 以确保达到所需的分离效果^[5]。

3.3 设备选型与改造

在五塔精馏技术改造项目中, 塔器结构与材质的精心选择应对了不同操作要求。粗分馏塔和预分馏塔由于处理较多杂质的重负荷流, 采用了 304 不锈钢, 这种材质适应了含水和甲醇混合物的处理需求。而涉及更高纯度甲醇处理的精分馏塔、稳定塔和重整塔, 则使用了 316 不锈钢, 适合于保持甲醇的高纯度。所有塔体设计为圆柱形, 优化了气液混合和传质效率。塔内构件与塔盘类型的匹配也

经过精确设计, 粗分馏塔和预分馏塔的筛板塔盘调整开孔率和孔径以适应大流量, 而精分馏塔的双流道塔盘则提升了气液接触的细致度, 所有塔盘均配备可调流程装置以应对变化的操作条件。在再沸器和冷凝器配置方面, 选择了型号 H-304 的高效热交换器和 H-316 型冷凝器, 保证了塔内蒸汽流的持续和高纯度蒸汽的有效冷凝。泵与压缩机的选择也体现了系统需求, 其中 P-205 型离心泵和 C-310 型螺杆压缩机不仅满足了高流量和适中扬程的需求, 还确保了与整个系统的高效兼容和稳定运行。

3.4 系统集成与调试

在五塔精馏技术的改造和系统集成中, 核心控制系统选用了高性能的 Siemens S7-1500 PLC 和 Honeywell C300 DCS, 提供了高速处理能力和远程监控功能, 确保了化工过程控制的复杂需求和操作的安全性。系统中还集成了高速的现场总线网络设备, 以实现数据的实时反馈和高效传输。软件编程方面, 采用了 Ladder Logic 和 Function Block Diagram 进行定制, 结合用户友好的触摸屏界面, 使操作人员能够精确控制温度、压力和流量等关键参数, 并实时监控系统状态。现场仪表和执行器包括压力传感器、温度传感器、流量计、液位计以及具有防爆功能的阀门和泵电动操作器, 均选用耐腐蚀材料, 保证了在化学环境中的稳定性和系统的安全运行。完成硬件安装和软件配置后, 进行联动试车和性能测试, 包括静态和动态测试, 确保每项性能指标符合 ISO 9001 和 API 标准, 同时重点测试系统的能效, 以确保在达到产量和纯度要求的同时, 最大限度地降低能耗。

4. 五塔精馏技术改造后的装置运行效果评价

4.1 产能提升效果分析

改造前的装置日处理能力为 700 吨甲醇, 改造后的装置能力提升至 1000 吨, 增加了约 42.9%。这得益于更高效的分离技术和改进的塔内设计, 允许更大流量的处理和更高效的分离。具体来说, 精分馏塔的设计优化, 如采用双流道塔盘和高效填料, 使得塔内的物质传递更为高效, 从而加快了生产流程, 同时通过精确控制操作参数, 如压力和温度, 进一步提升了生产效率, 使得整体周期时间缩短, 产能自然提高。

4.2 能耗降低与产品质量改善情况评估

改造后的甲醇精馏装置在能耗和产品质量方面也显示出显著改善。改造前, 每生产一吨甲醇的能耗为 1.2 吨标准煤, 改造后降低至 1.0 吨标准煤, 降低了 16.7%, 主要源于更有效的热能管理和回收系统的使用, 如引入高效再沸器和冷凝器, 优化了热交换流程, 减少能量损失。产品质量方面, 通过精分馏塔的优化操作, 甲醇的纯度从改造前的 99.7% 提升至 99.95%, 显著减少了杂质含量。

5. 结束语

综上所述, 五塔精馏技术应用于甲醇精馏装置扩能改造, 显著提升了产能与产品质量。该技术通过优化多塔系统设计和控制策略及工艺参数, 实现了高效分离。改造后的装置表现出更高的处理能力和更低的能耗, 满足了市场对高性能化工产品的需求。未来, 五塔精馏技术的进一步优化和创新将有望在提高能效、降低成本及减少环境影响方面发挥更大作用, 推动化工行业可持续发展。

参考文献:

- [1]袁仁华,吴润凤.甲醇精馏装置的优化控制[J].氮肥与合成气,2023,51(06):4-6.
- [2]吴祖乾.基于隔壁塔精馏技术的光刻胶废剥离液有效成分回收工艺的模拟优化研究[D].厦门大学,2022.
- [3]张磊,孙津生.甲醇精馏装置扩能改造方案对比研究[J].氮肥与合成气,2021,49(08):1-4+15.
- [4]刘爱国.甲醇精馏技术应用和节能减排的相关思考[J].化纤与纺织技术,2022,51(03):68-70.
- [5]马兵超.甲醇精馏的工艺优化和节能分析[J].现代化工,2023,43(05):210-213+219.