

# 石油化工空分装置中的节能降耗技术研究

王军飞 崔富全

盛虹炼化(连云港)有限公司 江苏 连云港 222000

**摘要:** 随着石油化工行业的快速发展,空分装置作为关键的生产设备,其能耗问题日益受到关注。节能降耗不仅关乎企业的经济效益,更是实现可持续发展的重要途径。本文综述了石油化工空分装置中的节能降耗技术,分析了当前节能技术的现状,探讨了节能降耗技术的原理、应用及效果,并提出了未来节能技术的发展方向。

**关键词:** 石油化工;空分装置;节能降耗

## 引言

空分装置是石油化工行业中不可或缺的设备,用于将空气中的氧气、氮气和氩气等气体分离出来,以满足生产需求。然而,空分装置在生产过程中能耗巨大,成为制约企业经济效益和可持续发展的重要因素。因此,研究空分装置中的节能降耗技术,对于提高能源利用效率、降低生产成本、促进可持续发展具有重要意义。

### 1 空分装置的工作原理及能耗分析

#### 1.1 工作原理

空分装置的核心工作原理深深植根于低温精馏法之中。这一过程首先将空气通过压缩系统加压,为后续的冷却液化创造条件。随后,空气进入预冷系统,在这里,通过一系列冷却设备,空气温度逐渐降低,直至接近液化点,同时去除部分水分和杂质,为后续的纯化处理奠定基础。纯化系统则进一步确保空气的纯净度,通过分子筛等高效吸附材料,彻底去除空气中的微量水分、二氧化碳及碳氢化合物等杂质,为分馏系统提供高质量的原料气。换热系统在其中扮演着能量回收与利用的关键角色,通过精妙的热交换设计,回收冷却过程中产生的冷量,用于预热进入系统的空气或辅助其他制冷环节,从而有效降低能耗。最终,经过预冷、纯化和换热处理的空气进入分馏系统,在精馏塔内,依据各组分离点的差异,通过逐级冷凝与蒸发,实现氧气、氮气、氩气等气体的精准分离。产品送出系统则负责将这些宝贵的气体产品安全、高效地输送至用户手中。

#### 1.2 能耗分析

空分装置的能耗分布具有其独特性,主要集中在压缩系统、换热系统和分馏系统这三大核心部分。压缩系统作为空分装置的“心脏”,需要消耗大量的电能来将空气压缩至所需的高压状态。这一过程中,空气的体积被大大压缩,温度也随之升高,因此需要消耗大量的能量来克服空气的压缩热和摩擦损失。压缩机的效率和运

行状况直接影响着整个装置的能耗水平,是节能优化的重点关注对象。换热系统则承担着回收和利用冷量的重任。在空分装置中,制冷过程是一个能耗巨大的环节。为了降低能耗,换热系统通过热交换器将冷却过程中产生的冷量进行回收,用于预热进入系统的空气或辅助其他制冷设备。热交换器的设计和运行效率直接影响着冷量的回收利用率,进而影响着整个装置的能耗。分馏系统则是通过精馏塔实现气体分离的关键环节<sup>[1]</sup>。在这一过程中,需要大量的冷量来维持精馏塔内的低温环境,以确保各组分离能够按照沸点差异进行精准分离。冷量的消耗量与精馏塔的操作条件、分离效率以及气体的种类和纯度要求密切相关。因此,优化精馏塔的操作条件和提高分离效率是降低分馏系统能耗的有效途径。

### 2 石油化工空分装置中的节能降耗技术

#### 2.1 高效压缩技术

压缩系统是空分装置中能耗最大的部分之一,因此提高压缩效率是节能降耗的关键。高效压缩技术通过采用先进的压缩机设计和变频驱动技术,显著降低了压缩系统的能耗。高效压缩机是这一技术的核心。与传统压缩机相比,高效压缩机具有更高的压缩比和更低的能耗。这得益于其优化的结构设计、先进的制造工艺以及高效的润滑系统。高效压缩机能够在保证压缩气体质量的同时,减少压缩过程中的能量损失,从而提高能源利用效率。变频驱动技术则是高效压缩技术的另一重要组成部分。传统的压缩机通常采用恒速驱动,即无论生产需求如何变化,压缩机的运行速度都保持不变。这种运行方式在生产需求较低时会导致能源浪费。而变频驱动技术则可以根据生产需求实时调整压缩机的运行速度,使压缩机始终保持在最佳工作状态。当生产需求较低时,压缩机可以减速运行,减少能耗;当生产需求较高时,压缩机可以加速运行,满足生产需求。这种灵活的运行方式不仅提高了能源利用效率,还延长了压缩机的

使用寿命。在实际应用中, 高效压缩技术和变频驱动技术的结合可以显著降低空分装置的能耗。通过优化压缩机的设计和运行方式, 可以减少压缩过程中的能量损失, 提高压缩效率。同时, 变频驱动技术还可以根据生产需求实时调整压缩机的运行速度, 避免不必要的能源浪费。因此, 高效压缩技术已成为空分装置节能降耗的重要手段之一。

## 2.2 先进换热技术

换热系统是空分装置中另一个能耗较大的部分。优化换热器的设计和操作参数, 提高热交换效率, 是降低换热系统能耗的关键。先进换热技术通过采用高效换热器、增加换热面积、优化换热流程等措施, 显著减少了冷量损失, 提高了能源利用效率。高效换热器是先进换热技术的核心。与传统换热器相比, 高效换热器具有更高的换热效率和更低的压降。这得益于其优化的结构设计、先进的制造工艺以及高效的传热元件。高效换热器能够在保证换热效果的同时, 减少换热过程中的能量损失, 从而提高能源利用效率。增加换热面积也是提高换热效率的重要手段。通过增加换热器的换热面积, 可以增大换热过程中的传热面积, 提高传热速率。这可以通过增加换热器的管束数量、采用更高效的传热元件等方式实现。增加换热面积不仅可以提高换热效率, 还可以减少换热过程中的温差, 从而降低能耗。优化换热流程也是先进换热技术的重要组成部分。通过合理设计换热流程, 可以使换热过程中的冷热流体充分混合, 提高传热效率<sup>[2]</sup>。同时, 还可以采用多级换热、串联换热等方式, 进一步提高换热效率。优化换热流程不仅可以减少冷量损失, 还可以提高空分装置的整体运行效率。在实际应用中, 先进换热技术可以显著降低空分装置的能耗。通过优化换热器的设计和操作参数, 可以提高热交换效率, 减少冷量损失。同时, 增加换热面积和优化换热流程也可以进一步提高换热效率, 降低能耗。因此, 先进换热技术已成为空分装置节能降耗的重要手段之一。

## 2.3 精馏塔优化

精馏塔是空分装置中用于分离氧气、氮气等组分的关键设备。优化精馏塔的结构和操作参数, 可以提高精馏效率, 降低能耗。精馏塔优化技术通过采用高效规整填料塔、增加塔板数、优化进料位置和回流比等措施, 提高了精馏塔的分馏效率, 减少了能耗。高效规整填料塔是精馏塔优化的重要方向之一。与传统填料塔相比, 高效规整填料塔具有更高的分离效率和更低的压降。这得益于其优化的填料结构和先进的制造工艺。高效规整填料塔能够在保证分离效果的同时, 减少塔内的气体流

动阻力, 从而降低能耗。增加塔板数也是提高精馏效率的重要手段。通过增加塔板数, 可以增大精馏塔内的传质面积, 提高传质速率。这可以使氧气、氮气等组分在塔内得到更充分的分离, 从而提高分离效率。同时, 增加塔板数还可以减少塔内的返混现象, 进一步提高分离效率。优化进料位置和回流比也是精馏塔优化的重要组成部分。通过合理设计进料位置, 可以使原料气在塔内得到更均匀的分布, 从而提高分离效率。同时, 通过调整回流比, 可以控制塔内的温度和浓度分布, 进一步优化分离效果。优化进料位置和回流比不仅可以提高精馏效率, 还可以减少能耗和操作成本。在实际应用中, 精馏塔优化技术可以显著提高空分装置的分馏效率和能源利用效率。通过采用高效规整填料塔、增加塔板数、优化进料位置和回流比等措施, 可以提高精馏塔的分馏效率, 减少能耗。同时, 这些优化措施还可以延长精馏塔的使用寿命, 降低操作成本。因此, 精馏塔优化技术已成为空分装置节能降耗的重要手段之一。

## 2.4 废热回收技术

空分过程中会产生大量的废热, 这些废热具有较高的温度, 如果直接排放到环境中, 不仅会造成能源浪费, 还会对环境造成热污染。废热回收技术通过将废热用于预热原料气、加热生活用水或产生蒸汽等, 实现了能源的循环利用, 降低了空分装置的能耗。预热原料气是废热回收技术的主要应用之一。在空分装置中, 原料气需要经过预冷和净化等处理后才能进入精馏塔进行分离。通过利用废热来预热原料气, 可以减少预冷过程中的能耗, 提高能源利用效率。同时, 预热后的原料气还可以提高精馏塔的分馏效率, 进一步降低能耗。加热生活用水也是废热回收技术的另一重要应用。在石油化工企业中, 生活用水的需求量较大, 传统的加热方式通常采用蒸汽或电力等能源。而通过利用废热来加热生活用水, 可以减少对传统能源的依赖, 降低能耗和运营成本。同时, 加热后的生活用水还可以满足企业员工的日常生活需求, 提高员工的生活质量<sup>[3]</sup>。产生蒸汽也是废热回收技术的一种有效方式。在空分装置中, 废热可以通过余热锅炉等设备转化为蒸汽, 用于驱动蒸汽轮机或发电机等设备, 从而实现能源的再利用。这种方式不仅可以减少废热的排放, 还可以为企业额外的电力或动力来源, 降低运营成本。在实际应用中, 废热回收技术可以显著提高空分装置的能源利用效率, 降低能耗和运营成本。通过将废热用于预热原料气、加热生活用水或产生蒸汽等, 实现了能源的循环利用, 减少了对传统能源的依赖。同时, 废热回收技术还可以减少废热

的排放,对环境保护也起到了积极作用。因此,废热回收技术已成为空分装置节能降耗的重要手段之一。

### 2.5 智能化控制技术

随着信息技术的不断发展,智能化控制技术在石油化工行业中的应用越来越广泛。在空分装置中,采用先进的智能化控制技术,可以实现对装置运行状态的实时监控和优化调整,从而提高生产效率,降低能耗。智能化控制技术通过数据采集和监控系统,可以实时获取空分装置的运行数据,包括温度、压力、流量等关键参数。这些数据可以为操作人员提供准确的设备运行状态信息,帮助他们及时发现并处理潜在的问题,避免设备故障导致的生产中断和能源浪费。同时,智能化控制技术还可以利用数据分析和机器学习算法,对空分装置的运行数据进行深入挖掘和分析。通过对比历史数据和实时数据,可以发现设备运行过程中的异常情况和潜在问题,并预测未来的运行趋势。这有助于操作人员提前采取措施,优化设备运行状态,提高生产效率。此外,智能化控制技术还可以实现空分装置的自动化控制。通过设定合理的控制策略和参数,智能化控制系统可以自动调整设备的运行状态,使其始终保持在最佳工作状态。这不仅可以提高生产效率,还可以减少人为操作带来的误差和风险,降低能耗和运营成本<sup>[4]</sup>。在实际应用中,智能化控制技术可以显著提高空分装置的生产效率和能源利用效率。通过实时监控和优化调整设备运行状态,可以减少故障停机和能源浪费,提高生产效率。同时,智能化控制技术还可以实现设备的自动化控制,降低人为操作带来的误差和风险。因此,智能化控制技术已成为空分装置节能降耗的重要手段之一,并在石油化工行业中得到了广泛应用。

### 3 节能降耗技术的应用效果及发展方向

通过应用上述节能降耗技术,可以显著降低空分装

置的能耗,提高能源利用效率。例如,采用高效压缩机和变频驱动技术后,压缩系统的能耗可降低20%以上;优化换热器和精馏塔的操作参数后,换热系统和分馏系统的能耗也可显著降低。此外,废热回收技术和智能化控制技术的应用还可以进一步降低能耗,提高生产效益。未来,随着科技的不断进步和环保要求的日益严格,空分装置中的节能降耗技术将朝着更高效、更环保的方向发展。一方面,将继续研发更高效、更节能的设备和技术;另一方面,将加强智能化控制技术的应用,实现对空分装置运行状态的实时监控和优化调整。同时,还将加强废热回收和能源循环利用技术的研究和应用,推动石油化工行业的可持续发展。

### 结语

石油化工空分装置中的节能降耗技术对于提高能源利用效率、降低生产成本、促进可持续发展具有重要意义。通过应用高效压缩技术、先进换热技术、精馏塔优化、废热回收技术和智能化控制技术等措施,可以显著降低空分装置的能耗,提高生产效益。未来,随着科技的不断进步和环保要求的日益严格,空分装置中的节能降耗技术将不断发展完善,为石油化工行业的可持续发展做出更大贡献。

### 参考文献

- [1] 窦强利.空分装置节能降耗的实践与思考[J].大氮肥,2022,45(04):281-284.
- [2] 吴林林.空分装置节能降耗的实现及具体措施分析[J].资源节约与环保,2018,(07):6.
- [3] 才正彬.空分装置高效节能优化与应用[D].浙江大学,2019.
- [4] 陈海笑,董传利.煤化工空分装置的节能降耗措施及运行总结[J].氮肥与合成气,2023,51(01):20-23.