

# 化工空分过程中的节能技术研究

仵亚锋 谭吉明

江苏盛虹石化产业集团有限公司 江苏 连云港 222000

**摘要:** 随着全球能源需求的不断增长和环境问题的日益严峻,化工空分过程中的节能技术研究显得尤为重要。空分技术作为化工领域中的关键技术之一,其能耗问题一直是制约其可持续发展的瓶颈。本文旨在探讨化工空分过程中的节能技术,通过优化空气压缩系统、改进精馏过程、回收利用余热、智能控制系统应用、加强设备维护与管理等措施,降低能耗,提高能源利用效率,促进化工空分技术的绿色发展。

**关键词:** 化工空分; 节能技术; 工艺流程优化; 先进设备; 余热回收

## 引言

空分技术,即将空气中的氧气、氮气等组分分离的技术,广泛应用于化工、钢铁、医疗等领域。然而,空分过程中大量的能耗问题一直是行业关注的焦点。随着全球能源危机的加剧和环保要求的提高,研究化工空分过程中的节能技术,降低能耗,提高能源利用效率,对于促进化工行业的可持续发展具有重要意义。

### 1 化工空分过程概述

化工空分过程是一个复杂而精细的系统工程,它起始于空气的压缩,通过多级压缩将空气压缩至所需压力,为后续步骤提供足够的驱动力。随后,压缩后的空气进入冷却阶段,利用冷却技术降低空气温度,为净化处理创造有利条件。净化环节则通过去除空气中的尘埃、水分、二氧化碳等杂质,确保进入精馏塔的空气品质。紧接着,膨胀制冷技术被应用,通过膨胀机将部分空气降压降温,为精馏过程提供冷量。最后,在精馏塔中,利用各组分沸点的差异,通过多次部分汽化和冷凝,实现氧气、氮气等组分的有效分离,从而得到满足不同需求的化工产品。

### 2 化工空分过程能耗分析

#### 2.1 压缩过程能耗

在化工空分过程中,压缩过程需要消耗大量的能量,主要源于空气分子间的相互吸引力和压缩过程中产生的热量。首先,压缩机的效率直接影响能耗的大小。压缩机在将空气压缩至高压时,会有一部分能量以热能的形式散失到环境中,这部分能量损失与压缩机的效率成反比。因此,压缩机的效率越高,压缩过程所需的能耗就越低。其次,压缩级数也是影响能耗的重要因素。多级压缩相比单级压缩,虽然设备更复杂,但每一级压缩的压力比更小,压缩过程中产生的热量更少,因此总能耗更低。此外,多级压缩过程中还可以采用中间冷却

技术,通过冷却压缩空气来降低其温度,从而减少后续压缩级所需的能耗<sup>[1]</sup>。再者,压缩比(即出口压力与进口压力之比)也是影响能耗的关键因素。压缩比越大,所需的能耗就越高。这是因为随着压缩比的增加,空气分子间的相互吸引力增大,压缩过程中需要克服的阻力也相应增大。最后,空气的初始温度和湿度也会对压缩过程的能耗产生影响。初始温度越高,压缩过程中产生的热量就越多,能耗也就越高。而空气中的水分在压缩过程中会凝结成液态水,并释放出潜热,这也会增加压缩过程的能耗。

#### 2.2 预冷过程能耗

在化工空分流程中,预冷过程能耗主要体现在冷却水的消耗以及制冷机组的运行能耗上。预冷过程中,冷却水是直接用于降低空气温度的关键介质。高温空气通过冷却器时,与冷却水进行热交换,将热量传递给冷却水,从而实现空气的降温。这一过程中,冷却水的消耗量取决于空气的初始温度、目标冷却温度以及空气的流量。为了维持冷却器的冷却效率,需要不断循环和补充冷却水,这无疑增加了水资源的消耗以及与之相关的泵送和处理的能耗。此外,制冷机组的能耗也是预冷过程中不可忽视的一部分。制冷机组通过消耗电能或其他能源来产生冷量,以维持冷却水的低温状态。机组的能耗与制冷量、制冷效率以及运行时间紧密相关。在预冷过程中,为了保持空气冷却所需的低温环境,制冷机组需要持续运行,从而导致了较高的能耗。

#### 2.3 精馏过程能耗

精馏过程的能耗主要集中在加热与冷却操作上,是整个空分工艺中能耗较为集中的部分。在精馏塔内,空气经过多次部分汽化和冷凝,实现组分的分离。为了实现这一复杂的物理过程,需要对空气进行精确的加热与冷却控制。加热操作通常通过蒸发器实现,利用蒸汽或

其他热源对塔底液进行加热,使其部分汽化,形成富含低沸点组分的蒸汽。这一过程需要消耗大量的热能,以维持蒸发器的正常工作。与此同时,冷却操作也是精馏过程中不可或缺的一环。在塔顶,富含高沸点组分的蒸汽需要通过冷凝器进行冷却,以液态形式收集。冷凝器通常使用低沸点组分介质来吸收蒸汽的热量,使其冷凝成液体。

### 3 化工空分过程中的节能技术

#### 3.1 优化空气压缩系统

空气压缩系统作为空分装置的“心脏”,其能耗占整个过程的很大比例,因此,探索并实施有效的优化措施对于实现节能降耗至关重要。在空气压缩系统中,压缩机的选型与设计直接关系到能耗的高低。高效的离心式压缩机凭借其先进的流体力学设计和优化的内部结构,能够在保证压缩效率的同时,显著降低能耗。这类压缩机通过减少内部涡流和摩擦损失,提高了压缩过程的热力学效率,从而实现了能耗的降低。除了压缩机本身的效率外,变频调速技术的应用也为空气压缩系统的节能提供了新思路。传统的空气压缩系统往往采用定速运行,无论实际需求如何变化,压缩机的转速都保持不变,这导致了大量的能量浪费。而变频调速技术则可以根据实际用气量的大小,自动调节压缩机的转速,使压缩机的输出与需求相匹配,避免了不必要的能耗<sup>[2]</sup>。这种技术不仅提高了系统的灵活性,还显著降低了能耗,是空分过程中节能的重要手段。此外,优化冷却系统也是降低空气压缩系统能耗的有效途径。压缩过程中产生的热量需要通过冷却系统及时散发出去,以保持压缩机的正常工作温度。优化冷却系统可以通过改进冷却塔的设计、提高冷却水的循环效率、采用更高效的换热器等方式实现。这些措施不仅可以降低冷却系统的能耗,还能提高压缩机的运行效率,进一步降低整个空气压缩系统的能耗。

#### 3.2 改进精馏过程

在化工空分领域,精馏过程作为核心分离技术,其能耗问题一直备受关注。为了有效降低这一环节的能耗,科研人员与工程师们不断探索并实践着各种改进措施,其中优化塔板结构、采用高效填料以及提高操作压力是尤为关键的几个方向。塔板作为精馏塔内的关键部件,其结构设计的合理性直接影响着气液两相的接触效率和传质效果。传统的塔板往往存在压降大、传质效率低等问题,导致能耗较高。而规整填料塔的出现,为这一难题提供了有效的解决方案。规整填料以其独特的结构,能够显著提高气液两相的接触面积和传质效率,同

时降低塔板压降,从而减少因克服压降而产生的能耗。这种填料的设计使得气流更加均匀,液膜更薄,传质阻力更小,从而在保持高效分离的同时,实现了能耗的显著降低。此外,提高操作压力也是降低精馏过程能耗的有效途径之一。在较高的操作压力下,塔内气液接触面积增大,气液两相间的传质速率加快,分离效率得以提高。同时,高压操作还有助于减少塔顶冷凝器和塔底蒸发器的热负荷,因为高压下组分的沸点升高,使得冷凝和汽化所需的温度差减小,从而降低了热能的消耗。这一措施在大型空分装置中尤为显著,能够有效提升整个系统的能源利用效率。

#### 3.3 回收利用余热

在化工空分过程中,余热的有效回收利用是提升能源利用效率、实现节能减排的重要手段。这一过程中产生的余热资源,如压缩热、膨胀热等,蕴含着巨大的节能潜力。通过科学合理的回收利用,不仅能够显著降低生产能耗,还能促进整个系统的能效提升。压缩过程中,空气被压缩至高压状态时会释放出大量的热能,这部分热能通常被称为压缩热。传统的处理方式往往是将其直接排放到大气中,造成了能源的浪费。然而,通过安装余热回收装置,我们可以将这部分热能捕获并转化为有用的能源。例如,将压缩热用于预热进入压缩机的原料空气,可以显著提高原料空气的温度,从而减少后续加热过程所需的能耗。这种预热方式不仅降低了加热器的热负荷,还提高了整个压缩系统的热效率<sup>[3]</sup>。另一方面,膨胀过程中产生的热能,即膨胀热,同样具有回收利用的价值。在空分装置的膨胀机中,高压空气膨胀做功时会释放出热能。这部分热能可以通过热交换器传递给其他需要加热的工艺流程,如锅炉水加热、再沸器加热等。通过这种方式,膨胀热得到了有效的利用,不仅减少了外部热源的依赖,还提高了整个系统的能源利用效率。此外,余热的回收利用还可以与其他节能技术相结合,形成综合的节能方案。例如,将回收的余热与热泵技术相结合,可以进一步提高余热的利用效率和系统的能效。这种综合节能方案不仅能够显著降低化工空分过程的能耗,还能为企业的可持续发展和环境保护做出积极贡献。

#### 3.4 智能控制系统应用

在化工空分领域,智能控制系统的引入为提升能效、优化运行提供了强有力的技术支持。其中,分布式控制系统(DCS)作为核心代表,凭借其高度集成、灵活可控的特点,成为了实现空分设备智能化管理、降低能耗的关键手段。DCS系统通过遍布全厂的传感器和执

行器,实时采集空分设备各关键节点的运行数据,包括温度、压力、流量、液位等,形成了全面而精确的设备状态监测网络。这些数据被实时传输至中央控制室,通过先进的算法和模型进行分析处理,为操作人员提供了直观、实时的设备运行画面和性能参数。更为重要的是,DCS系统能够根据当前的负荷需求和设备运行状况,进行自适应调节。在传统控制模式下,空分设备往往按照预设的固定参数运行,无论实际需求如何变化,设备都保持恒定的运行状态,这导致了在低负荷时段大量的能量浪费。而DCS系统则能够根据实际负荷的波动,自动调整设备的运行参数,如压缩机的转速、冷却水的流量、加热器的温度等,使设备始终保持在最佳能效状态下运行。这种自适应调节不仅避免了不必要的能耗,还提高了设备的运行效率和稳定性。此外,DCS系统还具备强大的故障诊断和预警功能。通过对历史数据和实时数据的对比分析,系统能够及时发现设备运行中的异常状况,并发出预警信号,为操作人员提供及时的维护建议,避免了因设备故障而导致的能耗增加和生产中断。

### 3.5 加强设备维护与管理

在化工空分过程中,设备维护与管理不仅是确保生产安全稳定运行的基础,更是提升能效、降低能耗的关键环节。设备的性能状态直接影响着整个空分系统的运行效率和能源利用效率,因此,加强设备维护与管理对于实现节能减排、提高经济效益具有深远的意义。换热器作为空分过程中的重要设备,其换热效率的高低直接影响着系统的能耗。定期清洗换热器,可以有效去除管束内外的污垢和杂质,保持换热表面的清洁度,从而提高换热效率,降低因换热不良而导致的能耗增加。同时,对于换热器的清洗,还需要根据设备的材质、工艺特点以及污垢的类型,选择合适的清洗方法和清洗剂,

以确保清洗效果并延长设备的使用寿命。除了换热器外,滤网等过滤设备的维护也至关重要。滤网用于过滤空气中的杂质和颗粒物,防止其进入系统内部对设备造成损害<sup>[4]</sup>。然而,随着时间的推移,滤网上会积累大量的杂质,导致过滤效率下降,甚至造成堵塞。因此,定期清洗或更换滤网,保持其清洁度和通透性,对于确保空分过程的顺畅进行以及降低能耗具有重要意义。此外,加强设备的润滑和密封管理也是降低能耗的有效途径。良好的润滑可以减少设备部件之间的摩擦损失,降低能耗;而严密的密封则可以防止气体泄漏,确保系统的压力和温度稳定,进一步提高能效。因此,需要建立完善的润滑和密封管理制度,定期对设备进行润滑和密封检查,及时发现并处理潜在的问题,确保设备始终处于最佳运行状态。

### 结语

本文通过对化工空分过程中的节能技术研究,提出了优化空气压缩系统、改进精馏过程、回收利用余热、智能控制系统应用、加强设备维护与管理等节能技术措施。这些措施能够显著降低空分过程的能耗,提高能源利用效率。未来,随着智能控制、绿色能源等新兴技术的不断应用,化工空分过程的节能潜力将进一步被挖掘,为化工行业的可持续发展做出更大贡献。

### 参考文献

- [1]孙素霞,王丽花.空分设备运行节能降耗的优化措施及操作实践[J].世界有色金属,2021,(14):35-37.
- [2]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.
- [3]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.
- [4]李琪.大型空分设备节能减排技术分析和实践[J].机电信息,2020,(36):69-70.