

# 石油化工空分装置中的节能降耗技术研究

张万龙 马 亮

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保护意识的日益增强，石油化工空分装置中的节能降耗技术研究成为了行业发展的重要方向。本文旨在探讨石油化工空分装置中的节能降耗技术，通过高效节能设备的应用、工艺流程的优化、能源管理系统的建立及新型节能技术的应用等方面的措施，实现装置能耗的降低和能效的提升。本文将从空分装置的工作原理、能耗构成、节能技术及应用等方面进行详细阐述，以期为石油化工空分装置的节能降耗提供参考和借鉴。

**关键词：**石油化工；空分装置；节能降耗

## 引言

石油化工空分装置作为重要的气体分离设备，广泛应用于冶金、化工、医疗等领域。然而，其运行过程中需要消耗大量的能源，且能耗占企业生产成本的重要部分。因此，开展节能降耗技术研究对于提高空分装置的运行效率、降低生产成本、促进可持续发展具有重要意义。

## 1 石油化工空分装置的工作原理及能耗构成

### 1.1 工作原理

空分装置（空气分离装置）是石油化工行业中用于生产高纯度氧气、氮气以及其他稀有气体的关键设备。其核心工作原理基于空气中各组分物理性质的差异，特别是它们在低温下的沸点不同。这一过程主要通过低温精馏法实现，具体步骤如下：一是预处理：首先，空气通过过滤器去除灰尘和杂质，随后进入压缩机进行加压，提高空气密度，便于后续处理。二是冷却与液化：加压后的空气进入冷却系统，通过换热器与返回的低温气体进行热交换，进一步冷却至接近液化点。部分水分和二氧化碳可能会在此过程中被去除<sup>[1]</sup>。三是精馏分离：冷却后的空气进入精馏塔，塔内设置有多层塔板或填料，利用各组分沸点的不同进行逐级分离。氧气、氮气等气体根据沸点由低到高的顺序，在不同高度的塔板上聚集，并通过各自的出口收集。四是提纯与储存：收集到的气体可能还需经过进一步的提纯处理，如通过分子筛吸附器去除残留的水分和杂质，最终达到产品标准后储存或输送至用户端。

### 1.2 能耗构成

空分装置的能耗是评价其运行效率和经济效益的重要指标，主要由以下几部分构成：

#### 1.2.1 电耗

空气压缩系统压缩机是能耗最大的设备之一，用于

将空气加压至所需压力，其电耗随压缩比和流量的增加而增大。冷却系统包括冷却塔、冷冻机等，用于为精馏塔和其他设备提供必要的冷却条件，维持低温环境，电耗与冷却负荷直接相关。精馏塔系统塔内泵、阀门、仪表等辅助设备的运行也需要电能支持。产品压缩系统：对于需要高压储存或输送的气体产品，还需额外的压缩过程，增加电耗。

#### 1.2.2 水耗

空冷塔用于冷却压缩空气，减少其温度，以便进入后续处理，水在此过程中作为冷却介质被消耗。分子筛吸附器在再生过程中，需要用水冲洗吸附剂以去除吸附的杂质，产生水耗。其他冷却过程，如冷却塔的水蒸发损失等。

#### 1.2.3 冷却介质消耗：

在某些情况下，为了维持精馏塔的低温环境，可能需要补充液氮或液氧作为冷源，尤其是在启动阶段或紧急情况下。其他低温介质：如液氩、液态稀有气体等，根据生产需求可能也会被用作冷却介质。

## 2 石油化工空分装置中节能降耗技术及应用

### 2.1 高效节能设备的应用

#### 2.1.1 高效压缩机

高效压缩机，如先进的螺杆压缩机或离心压缩机，是空分装置中的核心设备。它们采用等温效率高的设计，能够在压缩过程中减少气体的温升和能量损失。同时，这些压缩机通常配备变频调速系统，能够根据实际生产需求自动调整转速，避免在高负荷下运行时的能源浪费。此外，高效压缩机的内部结构经过优化设计，减少了摩擦损失和泄漏损失，进一步提高了能效。应用高效压缩机后，装置的能耗可以显著降低，通常可降低10%至30%的电能消耗。同时，由于运行更加稳定，故障率也

相应减少,维护成本也随之降低。

### 2.1.2 高效膨胀机

膨胀机在空分装置中用于回收膨胀过程中的冷量,对于提高装置的能效具有重要作用。先进的透平膨胀机通过高速旋转的叶轮将高压气体的内能转化为机械能,实现冷量的高效回收。其流道经过优化设计,减少了气体流动过程中的阻力损失,提高了膨胀效率。此外,透平膨胀机还配备自动控制系统,能够根据生产需求自动调节膨胀机的运行状态,确保高效运行。应用高效膨胀机后,装置的冷量回收率可以显著提高,通常可提高15%至30%的回收率。同时,由于膨胀效率的提高,减少了不必要的能量损失,降低了装置的整体能耗。

### 2.1.3 高效换热器

高效换热器,如板式换热器或螺旋板式换热器,是空分装置中的关键设备之一。它们通过增加换热面积和优化流道设计,实现了更高的换热效率和更低的压降。板式换热器具有紧凑的结构和高效的换热性能,而螺旋板式换热器则通过独特的螺旋结构使换热介质在流道内形成湍流,增强了换热效果。此外,高效换热器还采用高效的传热材料,如不锈钢、钛合金等,提高了换热器的传热性能和耐腐蚀性能<sup>[2]</sup>。应用高效换热器后,装置的换热效率可以显著提高,通常可提高20%至50%的换热效率。同时,优化设计和高效传热材料的应用减少了热量损失,提高了能源的利用率。此外,紧凑型换热器的应用还减小了设备的体积和重量,节省了安装空间和维护成本。

## 2.2 工艺流程的优化

### 2.2.1 多级压缩与中间冷却

在空气压缩过程中,采用多级压缩与中间冷却技术是一种有效的节能方法。传统的单级压缩过程中,压缩机的出口温度较高,能耗也较大。而通过增加压缩级数,并在每级压缩后进行冷却,可以使压缩过程更接近等温过程,从而显著降低能耗。这是因为在多级压缩中,每一级压缩后的气体都会经过冷却器进行冷却,使气体的温度降低到接近环境温度,然后再进入下一级压缩。这样,每一级压缩的功耗都会降低,从而减少了整个压缩过程的能耗。此外,多级压缩与中间冷却技术还可以提高压缩机的稳定性和可靠性,延长其使用寿命。

### 2.2.2 精馏塔操作优化

精馏塔是空分装置中的关键设备之一,其操作参数的优化对于提高产品纯度和回收率,以及降低能耗具有重要意义。通过调整精馏塔的操作参数,如塔顶压力、塔底温度、回流比等,可以优化精馏过程,使产品纯度

和回收率达到最佳状态。例如,适当降低塔顶压力可以提高塔内气体的流速,从而增强传质效果,提高产品纯度;适当提高塔底温度可以增加塔内液体的蒸发量,从而提高回收率。此外,采用先进的塔内件和填料,如规整填料或高效塔板,也可以显著提高精馏效率,进一步降低能耗。这些先进的塔内件和填料具有更大的比表面积和更好的传质性能,能够使气体和液体在塔内更充分地接触和传质,从而提高精馏效率。

### 2.2.3 余热回收技术

在空分装置中,许多过程会产生余热,如压缩机的排气热、冷却器的散热等。这些余热如果不进行回收和利用,就会造成能源的浪费。因此,通过安装热交换器或余热回收系统,将这些余热回收并用于预热原料气、加热冷却介质等,可以显著降低能耗。余热回收技术不仅可以提高装置的能效,还可以降低装置的运行成本。例如,将压缩机的排气热回收并用于预热原料气,可以减少原料气的加热能耗;将冷却器的散热回收并用于加热冷却介质,可以减少冷却介质的加热能耗。此外,余热回收技术还可以减少装置对外部热源的需求,从而降低装置的碳排放和环境污染。

## 2.3 能源管理系统的建立

### 2.3.1 能耗监测系统

能耗监测系统是能源管理的核心组成部分。它通过建立全面的监测网络,对空分装置各生产环节的能耗进行实时监测和数据采集。这些监测点通常分布在装置的各个关键部位,如压缩机、膨胀机、换热器、精馏塔等,以确保能够准确捕捉到各环节的能耗数据。能耗监测系统不仅具备实时监测功能,还能对采集到的数据进行处理和分析。通过数据分析,企业可以及时发现能耗异常和潜在问题,如设备效率下降、工艺参数偏离最优值等<sup>[3]</sup>。这些问题一旦发现,就可以立即采取相应的措施进行解决,从而避免能耗的浪费和成本的增加。此外,能耗监测系统还能为节能降耗措施的制定和实施提供依据。通过对历史数据的分析和比较,企业可以了解装置的能耗趋势和节能潜力,从而制定出更加科学和有效的节能降耗方案。

### 2.3.2 智能化控制系统

智能化控制系统是石油化工空分装置实现自动化控制和优化调度的关键技术。通过采用先进的智能化控制系统,如PLC(可编程逻辑控制器)或DCS(分布式控制系统),企业可以对装置进行更加精确和高效的控制。智能化控制系统通常具备强大的数据处理和分析能力,能够实时监测装置的运行状态和能耗数据。通过智能算

法和模型预测控制等技术,系统可以对生产过程进行精确控制和优化调度,从而实现能耗的降低和生产效率的提高。例如,智能化控制系统可以根据装置的实时负荷和能耗数据,自动调整压缩机的转速和膨胀机的膨胀比等参数,以确保装置在最优状态下运行。同时,系统还可以对精馏塔的操作参数进行自动优化,以提高产品纯度和回收率,进一步降低能耗。此外,智能化控制系统还具备远程监控和故障诊断功能。通过远程监控,企业可以实时了解装置的运行状态和能耗情况,及时发现并解决问题。而故障诊断功能则可以帮助企业快速定位和解决装置故障,减少因故障导致的能耗浪费和成本增加。

## 2.4 新型节能技术的应用

### 2.4.1 低温精馏技术

低温精馏技术是空分装置中的核心技术之一,对于提高产品的纯度和回收率,以及降低能耗具有重要意义。传统的精馏技术往往需要在较高的温度下进行,这不仅增加了能耗,还可能对产品的质量和纯度造成不良影响。因此,采用先进的低温精馏工艺和设备,如深冷分离工艺或低温精馏塔等,成为了一种有效的解决方案。深冷分离工艺通过降低精馏过程中的温度,使得原料气中的各组分更容易分离,从而提高了产品的纯度和回收率。同时,低温条件下,气体的压缩和膨胀过程也会更加高效,从而降低了能耗。低温精馏塔则采用了先进的塔内件和填料,以及优化的操作参数,使得精馏过程更加稳定和高效。此外,低温精馏技术还可以与其他节能技术相结合,形成综合的节能方案。例如,可以将低温精馏技术与多级压缩与中间冷却技术相结合,将回收的余热用于中间冷却器的加热,从而进一步提高节能效果。

### 2.4.2 分子筛吸附技术

分子筛吸附技术用于去除原料气中的杂质和水分,是空分装置中不可或缺的一部分。传统的吸附技术往往存在吸附效率低、再生效果差等问题,导致能耗和原料消耗较高。因此,选用高效分子筛和优化吸附流程成为了一种有效的节能措施。高效分子筛具有更大的比表面积和更好的吸附性能,能够更快速地吸附原料气中的杂

质和水分,从而提高吸附效率。同时,通过优化吸附流程,如采用多级吸附、逆流吸附等方式,可以进一步提高吸附效果,减少能耗和原料消耗<sup>[4]</sup>。此外,分子筛吸附技术还可以与余热回收技术相结合,将吸附过程中产生的余热回收并用于其他环节的加热或冷却,从而进一步提高节能效果。

### 2.4.3 新型冷却技术

在空分装置中,冷却过程消耗大量能源。传统的冷却技术往往采用机械制冷或压缩制冷等方式,能耗较高且效率较低。因此,采用新型冷却技术成为了一种有效的节能措施。磁制冷技术是一种基于磁热效应的新型冷却技术。它通过改变磁场强度来控制材料的温度,从而实现冷却效果。磁制冷技术具有高效、环保、节能等优点,可以显著降低冷却过程中的能耗。吸附式制冷技术则是利用吸附剂的吸附和脱附过程来实现冷却效果。它通过改变吸附剂的温度和压力来控制其吸附和脱附过程,从而吸收或释放热量,实现冷却效果。吸附式制冷技术同样具有高效、环保、节能等优点,并且适用于多种工况和场合。

## 结语

石油化工空分装置中的节能降耗技术研究是提高装置运行效率、降低生产成本、促进可持续发展的重要途径。通过高效节能设备的应用、工艺流程的优化、能源管理系统的建立及新型节能技术的应用等方面的措施,可以显著降低空分装置的能耗并提高其能效。未来,随着技术的不断进步和创新,石油化工空分装置中的节能降耗技术将会得到更加广泛的应用和推广。

## 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] 姜磊,梁琦.空分装置预冷系统优化节能设计[J].冶金设备,2022,(02):22-25.
- [4] 陈琳轩.82000Nm<sup>3</sup>/h空分装置节能降耗管理措施探讨[J].化工管理,2021,(21):9-10.