

# 气体深冷分离技术分析

高龙

国家能源集团宁夏煤业公司煤制油分公司空分厂，宁夏银川，750000；

**摘要：**气体深冷分离技术目前主要应用于氮气与氧气的制取，企业人员通过采取气体深冷分离的技术手段，可确保分离得到的气体纯净程度更高。随着化学生产工艺的不断发展，气体深冷分离的装置设备更加成熟，能够实现气体分离的工艺流程日趋多样化，技术人员需要结合实际情况予以灵活选择。基于此，本文主要探讨气体深冷分离技术的基本原理及其实现形式，并探究气体深冷分离工艺的创新发展趋势。

**关键词：**气体深冷分离技术；基本原理；实现要点

DOI:10.69979/3029-2727.24.04.043

## 引言

气体深冷分离技术的本质在于将某种气体或者气体混合物作为载体，利用特殊的化工装置对其实施降温、压缩、液化、膨胀等处理，然后按照气体组分的沸点差异达到精馏分离的目标。煤制油的间接液化工艺就是首先对于原料煤进行气化，然后再做净化后处理，以此得到一氧化碳与氢气的原料气；将气体混合物加热至300℃左右，在催化剂与2.5MPa压强作用下合成油品或者化工产品。在煤制油空分厂的生产工艺中，气体深冷分离属于非常重要的技术手段，可用于制取纯度较高的氧气和氮气，并能够达到节约资源以及提升生产效率等目标。因此如何采用科学、合理的气体深冷分离技术方案，应成为煤制油空分厂实施气体加工、气体分离过程中的突出问题。

## 1 气体深冷分离技术的基本原理

气体深冷分离技术也称为“低温法”，指的是将单一气体或者混合气体作为原料实施降温、压缩、液化、膨胀等前期处理，然后利用气体组分的不同沸点特征，对于混合气体采取精馏分离的措施，最终获得高纯净度的氮气与氧气。在当前时期的化工生产实践中，气体深冷分离技术的适用领域较为广泛，其能够保证制备气体的纯净度符合相关要求。具体在采用气体深冷分离工艺的情况下，达到一定压力程度的气体原料还需要经过节流膨胀、低温转化等步骤，使得气体内部的冷量逐渐积累[1]。在此基础上，经过冷却后的混合气体将会通过换热器装置，依靠冷热介质之间的能量交换原理进行冷量回收，最终实现不同气体组分的完全分离目标。

化工企业的生产过程不能够缺少气体深冷分离的

技术作为保障，该技术的核心在于氧气以及氮气的沸点差异，依靠精馏塔等化工装置促使混合气体实现有效的分离。在气体深冷分离技术的支持下，存在不同沸点的化工气体可在短时间里快速达到相互分离的效果，并且对于二氧化碳、粉尘、水蒸气的常见杂质予以去除。用于气体深冷分离的化工装置应包括分子筛、空气过滤器、换热器等设备。当前时期的企业技术人员通过研究并开发气体深冷分离的配套加工装置，可进一步促使气体分离后的纯净度指标得到改善，提升化工生产设备在运行阶段的稳定性以及安全性。

如下图，为气体深冷分离的技术原理图：

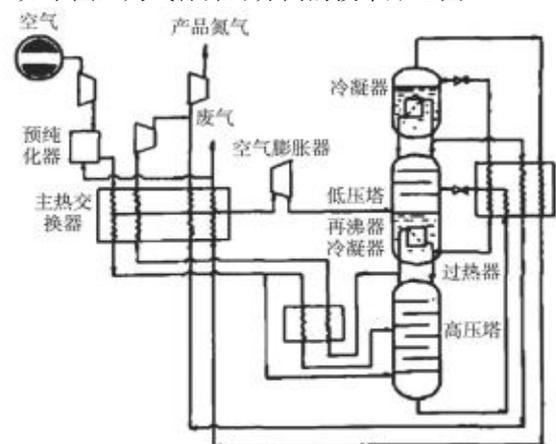


图 1：气体深冷分离工艺原理

## 2 气体深冷分离关键技术

### 2.1 低温精馏

空气当中不仅含有氧气、氮气，还存在二氧化碳、粉尘、水蒸气等物质，分离气体的过程中这些杂质可能会对设备造成损坏。为最大限度上降低二氧化碳、粉尘、水蒸气等物质对设备造成的破坏程度，因此对设备进行

改良,改良方式为在压缩机前加装过滤器,由过滤器对空气进入压缩机前进行过滤。空气进入压缩机后会被压缩,随后压缩空气进入空气冷却塔,由冷却水、冷冻水对冷却塔中的空气进行接触式降温处理。空气温度被降低的同时,其中的杂质还会被滤除。空气当中残余的水分、二氧化碳、乙炔等物质在分子筛干燥器的作用下被去除,

随后空气在热交换器的作用下被冷却至饱和温度,随后空气进入冷却塔的下方成为上升气实现精馏。上升气每经过一块塔板,就会与液体交换热与质,在此期间气相中难挥发物质被冷凝,液相中存在的易挥发物质被蒸发,使下塔顶部逐渐形成高纯度氮气,同时下塔底部形成富氧液空。

在节流降压的作用下,上塔中部对富氧液空开展二次精馏,液体下流过程中,使富氧液空在多次部分的作用下被蒸发,在其间大量的氮会被蒸发,相应的下流液体当中的氧浓度处于逐渐上升趋势,直至达到上塔底部可获得高纯度液氧,在冷凝蒸发器的作用下对高纯度液氧的热量进行吸收,在此期间液氧在蒸发作用下会逐渐成为气态,而未能成为气态的液态氧会作为产品被引出,大部分的氮在蒸发作用下进入气相中,并最终在上塔顶部聚集,位于上塔顶部高纯氮在压缩机的作用下输送给用户。

## 2.2 成分分离

氮气、氧气是空气当中的重要组成部分,且沸点存在较大差异,对此使用精馏塔将不同的成分分离出来,在此期间为避免空气中残余的粉尘、二氧化碳、水蒸气等物质。由于组成空气的主要成分氮气、氧气的沸点存在差异,实际工作中以沸点为切入点将空气中不同的成分分离出来。为避免在此期间空气杂质对设备造成损坏,应当使用自洁式空气过滤器、分子筛除去空气当中存在的杂质。通过降低生产温度,为精馏期间形成对流介质创造条件,以此实现提纯。

## 3 气体深冷分离的常见影响因素

### 3.1 原料因素

原料品质、纯净度等指标都会直接影响到气体深冷分离的目标实现,企业人员只有在确保原料品质符合要求的基础上,才能经过加工分离得到高纯度的氮气或氧气。气体深冷分离的主要原料即为空气,在化学分离装

置入口处的空气包含稀有气体、粉尘、二氧化碳、氮气与氧气等。因此技术人员在正式进入精馏操作之前,首先需要清除空气混合物中的多余成分,才能提高最终的分离产品质量。从以上角度进行分离,原料空气的质量与纯度需要得到保障。

具体而言,空气原料在进入热交换器之前,技术人员如果未能彻底清除其中的二氧化碳成分,那么当混合气体温度持续下降的情况下,转化为固体的二氧化碳就会堵塞热交换器,甚至会造成空分装置停车。氧化亚氮也是空气中含量较少的一种气体,当氧化亚氮进入冷凝蒸发器中的含量达到一定比例时,则会以固体颗粒的形式析出,并且占用冷凝蒸发器的通道。在固体颗粒与蒸发器壁摩擦产生静电或者其他因素的影响下,可能会导致冷凝蒸发器发生爆炸。此外,固体乙炔在液氧沸腾的情况下,容易与冷凝蒸发器的通道产生摩擦与撞击,在短时间里形成高强度的静电力,引起冷凝蒸发器的爆炸事故<sup>[5]</sup>。

### 3.2 设备因素

气体深冷分离的运行过程需要借助氮气压缩机、空气压缩机等,此外还要借助循环水泵、主换热器、分子筛、液氧泵、精馏塔、膨胀机、自清洁式的空气压缩机等。以上的设备装置如果长期处于高负荷运转的状态,则会容易造成装置出现过度疲劳,增加装置出现故障的概率。某些企业人员疏于定期维护装置设备,客观上增加装置出现疲劳损伤的可能性。

空气与氮气在深冷分离的全过程中需要保证持续供应,但是空气压缩机可承受的最大压力是有限的。因此在较小流量与较大气体压力的共同作用下,空气压缩机的设备喘振风险就会明显增加,不利于保证气体深冷分离的顺利实施。反之,过小的气体压力比有可能会造成精馏下部的液体无法返回上部,对于气体精馏的质量效果造成不利的影晌。

### 3.3 人为操作因素

气体深冷分离的工艺流程较为复杂,其中涉及较多的人工操作步骤。操作人员如果未能严格按照规定予以实施,那么错误的人为操作就会直接引发化工装置出现严重堵塞、爆炸、停机等后果,影响到气体深冷分离的正常进行。企业技术人员未能准确计算气体分离的工艺参数,导致化学工艺参数存在误差,对于气体深冷分离

的最终效果产生突出的影响。

例如,某厂的技术人员忽视检查空气原料的纯净度,因此造成空气原料在进入分离装置的阶段混入过多杂质。包含二氧化碳、灰尘与油污成分的空气混合物就会在温度降低的过程中发生反应,导致化工设备的管路受到腐蚀或者堵塞。此外,企业操作人员还有可能忽视空气的压缩、冷却、过滤、纯化等环节的温湿度控制,导致外界环境未能达到气体深冷分离的基本要求,影响到氧气与氮气的分离制作效果。

## 4 气体深冷分离技术的创新趋势

### 4.1 优化流程,提升产品纯度

优化气体深冷分离的工艺流程,对于提升产品纯度、节约企业资源都具有显著的作用。化工企业在当前时期面临工艺转型的挑战,企业技术人员需采用优化流程的措施进行应对,将工艺流程的优化、改进作为首要任务。例如在煤的间接液化生产中,运用深冷分离工艺技术分离空气组分,在此基础上使空气分离后达到纯度标准的产品,对气体进行分离后期提升成品气体温度,在分离期间应当以降温的方式提升工艺生产安全性、提纯可能性。结合实际情况优化气体深冷分离工艺技术,在此期间选择效率最高的生产设备,使设备运行时的安全性得到提升,以此确保满足生产工艺基本要求,最大限度上降低生产安全超压运行风险,使生产安全水平、产品质量得到提升。

对空气中的杂质进行全面清理,在自洁式空气过滤器的作用下清除空气中的粉尘、固体颗粒。由压缩机对处理后的空气进行增压处理,空气增压完成后进入空气冷却塔接受预冷,空冷塔包括上下两段,其中下段为循环水冷却、上段为冰机冷水冷却,减温过程在降低气体温度的同时,在水气接触的作用下将气体中的杂质去除,以此实现有效净化。从空冷塔流出的气体进入分子筛,分子筛吸附性将混合空气当中的水蒸气、二氧化碳去除,最大限度上避免后续膨胀期间发生冻堵。流出分子筛的干燥气体被分为两部分,其中大部分干燥气体直接进入主换热器,小部分的干燥气体在增压机、膨胀机的作用下,作为实现降温主要冷源。经过主换热器后的干燥空气进入精馏塔下塔成为上升气体。经过膨胀机后的气体进入下塔中段成为上升气体,而进入上塔的气体冷量逐渐积累,在气液对流的作用下,上塔底部逐渐形成液氧层,下塔气体冷量被上塔底部冷凝蒸发器吸收并液化,

由此获得粗液氮。获得的液氮被分为两部分,其中大部分液氮进入下塔参与下塔精馏,另一小部液氮分进入上塔顶部参与上塔精馏。

优化气体深冷分离的工艺流程,还要体现在低温蒸馏系统的参数设计改进。具体在实现低温精馏阶段,技术人员需结合设备装置的运行情况加以调整,力求在节约物料的同时灵活改变装置温度、原料流速以及气体压力等指标。技术人员目前能够利用计算机软件,采取人工智能的建模技术手段予以实施,经过工艺模拟得出最适宜的设备运行参数。企业技术人员还需要重视化工装置的进料压力以及操作压力调整,确保混合气体与液体在各阶段的回流比例适当。通过改进换热器以及制冷系统的结构设计,能够达到节约物料与降低能耗的良好效果,使得化工生产中的设备运维成本得到大幅节约。

### 4.2 技术融合,改善加工方式

很长时期以来,气体深冷分离的工艺优势广泛得到重视。然而由于气体深冷分离系统的纯化功能较为有限,导致其很难满足不断扩大的煤制油化工生产需求。为了妥善应对并解决以上问题,最根本的就是要采取技术融合的做法,在气体分离过程中结合采用深冷分离工艺与其他多种工艺。建立在多种分离工艺之上的气体组分纯度能够得到更好的保障,显示出气体深冷分离领域的技术融合重要性。

### 4.3 循环利用,降低企业能耗

煤制油空分厂的企业物料能源需要实现进一步的优化利用,基本思路就是要降低错误操作率并且提升能源的使用效率。例如,微型管道可在节约企业能源的基础上减少液体或气体原料的耗散率,引进微型管道设备来改造气体深冷分离装置,符合化工能源循环利用的宗旨,可确保企业在更大程度上降低能耗。

企业技术人员还要充分依靠新设备、新工艺实现循环利用化工能源的良好效果。为保证气体深冷分离中的能源得到节约,企业人员应当积极采用“循环式”的化工气体分离模式,助力化工企业的绿色环保、可持续发展目标实现。例如,R410A属于混合型的绿色制冷剂,其主要由二氟甲烷和五氟乙烷组成。其具有较高的制冷效率,且不会破坏臭氧层;其性能优于传统的氟利昂制冷剂,且具有相对更好的化学稳定性。因此在未来的气体深冷分离技术创新中,化工企业需要重视环境友好型

的制冷剂引进,将其广泛应用于气体深冷分离等重要的化学工业领域。丙烷、烃类等化学物质的特殊成分也是值得深入研究的,气体深冷分离的技术转型关键就是降低成本以及突出环保优势。在低温制冷的工艺模式下,企业人员可采用磁制冷、脉冲冷却、吸附制冷相结合的工艺手段,充分利用混合气体的冷却压缩以及受热膨胀性能,在降低环境污染风险的同时提高气体深冷分离的技术实施成效。

## 5 结束语

综上所述,气体深冷分离技术不仅能够用于分离多种气体组分,还能保证经过分离的气体纯度达到合格水平,满足煤炭间接液化生产运行需求。近些年以来,技术研究人员正在积极探索气体深冷分离工艺的改进路径,采用绿色环保的全新工艺形式实现降低污染的目标,促进化工生产资源的可循环、可持续利用。具体在优化改进气体深冷分离工艺的实践中,关键是要健全相关的生产流程以及规章制度,采用创新装置设备的做法降低

企业投入成本。煤制油空分厂的技术人员还要结合采用气体深冷分离以及其他技术手段,推动化学工艺流程的完善。

## 参考文献

- [1]刘春燕,刘凯.深冷分离技术在气体分离中的应用研究[J].石化技术,2024,31(07):213-215.
- [2]李小亮.煤层气中的甲烷与氮气分离技术研究进展[J].煤质技术,2024,39(02):43-52+60.
- [3]闫红伟,李灏,崔增涛等.膨胀机制冷技术在深冷分离液氮洗尾气制取电子级一氧化碳的研究和应用[J].低温与特气,2022,40(06):44-46.
- [4]曹蕊.气体深冷分离技术探讨[J].云南化工,2021,48(12):97-99.
- [5]于飞.膜分离及深冷分离技术在聚丙烯装置的应用[J].现代化工,2020,40(03):217-220.
- [6]姬存鹏,马云.深冷分离法与变压吸附法分离一氧化碳的技术经济比较[J].大氮肥,2019,42(01):50-53.