

深冷空分装置工艺优化分析研究

张乃强

杭州杭氧化医工程有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 随着工业气体需求的不断增长,深冷空分装置作为关键生产设备,其工艺优化显得尤为重要。本研究深入分析了深冷空分装置的基本原理,探讨了工艺优化的必要性,包括能耗现状、环保需求等方面。通过优化分子筛吸附技术、提升压缩机与膨胀机性能、改进换热器与精馏塔设计、回收利用余热与冷量以及集成智能化控制系统,提出了一系列工艺优化措施。

关键词: 深冷空分装置; 工艺优化技术; 挑战与对策

引言: 深冷空分装置作为工业气体生产的核心设备,其工艺优化对于提升能效、降低成本及促进环保具有重要意义。随着科技的进步和工业需求的提升,对深冷空分装置的工艺优化提出了更高要求。本研究旨在通过系统分析深冷空分装置的工作原理和能耗现状,探讨工艺优化的关键技术与方法,为实现高效、节能、环保的工业气体生产提供理论支持和实践指导。

1 深冷空分装置的基本原理

1.1 深冷分离技术概述

深冷分离技术,其核心在于利用低温环境下,空气中各组分(如氮气、氧气、氩气等)沸点的不同,通过一系列物理过程实现气体的有效分离。当空气被冷却至其组分的沸点以下时,这些组分将依次液化,形成液态混合物。随后,利用精馏等分离手段,可以精确地将各组分从混合物中分离出来,得到高纯度的工业气体。

1.2 深冷空分装置工艺流程

深冷空分装置的工艺流程主要包括以下四个步骤:

(1) 空气压缩。通过大型空气压缩机对空气进行压缩,提高其压力,为后续的气体液化提供动力。(2) 预冷与净化。压缩后的空气进入预冷机进行初步冷却,减轻后续换热器的负担。随后,空气进入纯化器,进一步去除其中的水分、二氧化碳和其他杂质,以防止这些杂质在深冷过程中凝结成固体,堵塞管道和设备。(3) 主换热与精馏。经过预冷和净化的空气进入主换热器,与低温产品气体进行热交换,被冷却至极低的温度。之后,混合气体进入精馏塔,根据各组分的沸点差异进行分离,最终得到高纯度的氧气、氮气和氩气等产品。(4) 产品提取与储存。分离出的产品气体经过进一步处理,如液态氧气的储存和气化,以满足不同工业用途的需求^[1]。

1.3 关键技术设备

深冷空分装置的关键技术设备包括压缩机、分子筛

吸附器、换热器、精馏塔和膨胀机等。这些设备协同工作,确保了深冷空分装置的稳定运行和高效分离。其中,压缩机负责提供压缩动力,分子筛吸附器用于净化空气,换热器实现热量的传递和回收,精馏塔完成气体的分离提纯,而膨胀机则用于降低空气温度并回收部分能量。

2 深冷空分装置工艺优化的必要性

2.1 能耗现状分析

深冷空分装置,作为工业气体生产的核心设备,其能耗问题一直是行业关注的焦点。在整体生产成本中,深冷空分装置的能耗占比高达60%-70%,这一数据直观地反映出优化其工艺的紧迫性和重要性。(1) 深冷空分装置能耗占比。深冷空分装置的能耗主要来源于空气压缩、预冷、换热、精馏等关键环节。空气压缩阶段,压缩机需消耗大量电能来提升空气压力和温度;预冷和换热阶段,冷却介质的使用同样消耗不少能源;而在精馏过程中,热交换和冷凝操作也会带来显著的能量损失。这些环节共同构成了深冷空分装置的高能耗结构。(2) 能耗高的主要原因分析。深冷空分装置能耗高的背后,隐藏着多重原因。一方面,传统设备的能效水平有限,压缩机的效率提升空间大,预冷和换热设备的热效率也有待提高;另一方面,精馏塔的设计和操作参数不够优化,导致能量损失严重。此外,装置运行过程中的能量回收和利用不足,也是导致能耗高的重要原因。

2.2 工艺优化对能效提升的作用

面对深冷空分装置的高能耗现状,工艺优化成为提升能效的关键。(1) 通过优化工艺参数降低能耗。优化工艺参数,如调整压缩机的压缩比、优化预冷和换热设备的操作条件、改进精馏塔的结构和填料等,均能有效降低能耗。通过精确控制各个环节的操作参数,减少不必要的能量损失,提高能量利用效率。(2) 提高设备运

行效率和稳定性。提升设备运行效率和稳定性，也是降低能耗的有效途径。选用高效、节能的设备，如高效压缩机、节能换热器等，可以显著降低运行过程中的能耗。同时，加强设备的维护和保养，确保设备长期处于最佳运行状态，减少故障停机时间，也能间接降低能耗。

2.3 环保与可持续发展需求

在当前全球气候变化和资源日益紧张背景下，环保与可持续发展已成为工业气体行业的重要议题。深冷空分装置作为工业气体生产的核心设备，其工艺优化不仅有助于降低能耗，还能环保和可持续发展做出贡献。（1）减少温室气体排放。通过优化深冷空分装置的工艺参数和提高设备运行效率，可以显著降低能耗和温室气体排放。这不仅有助于减少工业气体生产过程中的碳足迹，还能全球应对气候变化做出贡献。（2）促进工业气体行业绿色转型。深冷空分装置的工艺优化还可以推动工业气体行业的绿色转型。通过采用先进的节能技术和设备，提高资源利用效率，减少能源消耗和废弃物排放，可以实现工业气体生产的绿色化、低碳化和可持续化。这不仅有助于提升行业的整体竞争力，还能全社会的可持续发展做出贡献。

3 深冷空分装置工艺优化技术研究

3.1 分子筛吸附技术优化

（1）采用双层床吸附技术提高杂质去除效率。传统单层床吸附技术在处理复杂气体组分时，往往存在吸附效率不高、再生能耗大等问题。为此，深冷空分装置采用双层床吸附技术，即利用两种不同性能的吸附剂组合形成双层床结构。这种结构能更充分地利用吸附剂的吸附能力，提高杂质去除效率。通过精确控制吸附剂的种类、粒径和装填方式，双层床吸附技术能够实现对不同杂质的精准吸附和分离，从而降低后续工艺的能耗和成本。（2）吸附剂再生能耗的降低方法。吸附剂的再生能耗是深冷空分装置运行成本的重要组成部分。为了降低再生能耗，可以采取以下方法：一是优化再生温度和压力条件，通过精确控制再生过程中的温度和压力变化，减少不必要的能量损失；二是采用热再生技术，利用余热或废热对吸附剂进行再生，从而提高能量利用效率；三是改进再生工艺流程，通过优化流程设计和操作参数，减少再生过程中的能耗和排放^[2]。

3.2 压缩机与膨胀机性能提升

（1）变频离心式空压机的应用。传统定频空压机在运行过程中往往存在能耗高、适应性差等问题。为了克服这些局限性，变频离心式空压机得到了广泛应用。该类型空压机能够根据负荷需求动态调整转速和压缩比，

实现能耗的精准控制。这种空压机不仅能够显著降低能耗，还能提高空气压缩效率，延长设备使用寿命。同时，变频技术的应用还使得空压机在启动和停机过程中更加平稳，减少了对电网的冲击。（2）三元流叶轮增压透平膨胀机的优化。膨胀机在深冷空分装置中主要用于回收能量和降低温度。三元流叶轮增压透平膨胀机采用先进的流体动力学设计，能够显著提高膨胀效率和能量回收率。为了进一步优化其性能，可以从叶轮结构和材料选择入手。通过采用高强度、耐腐蚀的材料以及优化叶轮形状和尺寸，可以进一步提高膨胀机的稳定性和耐用性。此外，还可以考虑采用变工况调节技术，根据实际需求动态调整膨胀机的运行参数，以实现最佳能效。

3.3 换热器与精馏塔设计改进

（1）高效规整填料的应用。传统筛板塔盘在精馏过程中往往存在气液接触不良、分离效率低等问题。为了提高分离效率，现代深冷空分装置普遍采用高效规整填料。高效规整填料采用先进的结构设计，能够显著提高气液接触面积和传质效率。通过优化填料的形状、尺寸和排列方式，可以进一步提高精馏塔的分离效率和稳定性。这种填料的应用不仅提高了产品质量，还降低了能耗和运行成本^[3]。（2）热交换器结构和材料的优化。热交换器在深冷空分装置中用于实现能量的传递和回收。为了提高热交换效率和能量回收率，可以对热交换器的结构和材料进行优化。例如，采用板翅式热交换器可以显著增加热量传递面积，提高热交换效率；选用高性能保温材料可以减少热损失；采用耐腐蚀材料可以延长设备使用寿命。同时，还可以通过优化热交换器的流道设计和排列方式，进一步提高热交换性能。

3.4 余热与冷量回收技术

（1）余热回收系统设计与实施。余热回收系统通常设计为多级回收结构，以最大限度地捕获和利用余热。通过合理布局热交换设备，利用压缩机出口、膨胀机入口等高温部位的余热来预热原料空气、加热再生气体或用于其他工艺环节，可以显著提高能源利用效率。在实施余热回收系统时，需要综合考虑系统复杂性、投资成本、回收效率以及操作便捷性等因素，以确保系统的经济性和实用性。（2）构建多级冷媒循环系统回收冷量。深冷空分装置中产生的低温产品和废气中蕴含大量的冷量。为了有效利用这些冷量，可以构建多级冷媒循环系统。该系统通过引入冷媒介质，将低温产品和废气中的冷量传递给需要冷却的工艺环节或设备。通过优化冷媒介质的种类、流量、压力等参数，以及合理设计循环系统的结构和控制策略，可以进一步提高冷量回收效率和

稳定性^[4]。

3.5 智能化控制系统集成

(1) 基于模糊PID算法的智能控制策略。模糊PID算法结合了模糊逻辑和PID控制算法的优点,能够实现对复杂过程的精确控制。在深冷空分装置中,基于模糊PID算法的智能控制策略可以根据实时运行数据和历史经验,动态调整控制参数,以实现最佳控制效果。这种策略不仅提高了控制系统的鲁棒性和适应性,还有效降低了操作难度和人工成本。(2) 三维热力学仿真模型的应用。三维热力学仿真模型可以模拟深冷空分装置的整个运行过程,包括压缩、预冷、换热、精馏等关键环节。通过仿真模型,可以实现对装置运行状态的实时监测和精确控制,以及对潜在故障和安全隐患的预警和诊断。这种模型的应用不仅提高了生产效率,还有效降低了事故风险和维修成本。(3) DCS系统与能源管理系统的集成。DCS(集散控制系统)是现代工业自动化领域的重要技术,能够实现对整个深冷空分装置的集中控制和监测。将DCS系统与能源管理系统进行集成,可以实现数据共享和互通,从而更全面地掌握装置的运行状态和能耗情况。通过实时监测和分析能耗数据,可以发现潜在的节能机会和改进点,为制定优化策略和节能措施提供有力支持。这种集成不仅提高了能源利用效率,还有效降低了运行成本。

4 深冷空分装置工艺优化的挑战与对策

4.1 技术挑战

(1) 新型分离材料与技术的研发难度。深冷空分装置的性能提升和工艺优化,很大程度上依赖于新型分离材料和技术的研发。然而,这些新材料和新技术的研发难度较大,需要跨学科知识的综合运用,如材料科学、化学工程、热力学等。同时,研发过程中还需要解决材料性能稳定性、成本效益以及环境影响等多方面问题。这些因素共同构成了新型分离材料与技术研发的重大挑战。(2) 设备稳定运行与长期维护的问题。深冷空分装置的运行环境复杂多变,对设备的稳定性和可靠性要求较高。然而,在实际运行中,设备往往受到高温、高压、低温、腐蚀等多种因素的影响,容易出现故障和损坏。此外,设备的长期维护也面临着人员技能水平、备件供应、维修成本等多方面的挑战。这些问题共同影响

着设备的稳定运行和工艺优化的实施。

4.2 对策与建议

(1) 加强技术研发与创新能力培养。面对新型分离材料与技术的研发难度,应加强技术研发和创新能力培养。这包括加强与高校、科研院所等机构的合作,引入跨学科人才和先进技术,构建研发创新平台。同时,加大研发投入,鼓励技术创新和成果转化,推动深冷空分装置工艺优化技术的持续发展。(2) 完善设备维护管理体系。为了确保设备的稳定运行和长期维护,应建立完善的设备维护管理体系。这包括制定科学合理的维护计划,加强人员技能培训和备件库存管理,建立故障预警和快速响应机制。同时,引入先进的管理工具和方法,如设备状态监测和数据分析技术,提高维护效率和质量。(3) 推动智能化与模块化发展趋势。智能化和模块化是深冷空分装置工艺优化的重要发展方向。通过引入智能传感器、云计算、大数据等技术,实现设备的实时监测和远程控制,提高工艺优化的精准度和效率。同时,推动模块化设计和制造,降低设备成本和安装周期,提高设备的可靠性和灵活性。这些措施将有助于推动深冷空分装置工艺优化的持续发展和创新。

结束语

综上所述,深冷空分装置工艺优化是提高能效、降低成本及实现环保目标的关键途径。通过技术创新和设备升级,我们成功提出了一系列优化措施,并在实践中取得了显著成效。未来,随着智能化、模块化技术的进一步发展,深冷空分装置的工艺优化将迎来更多机遇与挑战。我们将持续关注行业动态,不断探索和创新,为推动工业气体行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]高爱琴.空分装置工艺流程的应用分析[J].建筑技术科学,2023,(08):84-85.
- [2]刘福明.深冷空分装置工艺优化分析研究[J].现代工业经济和信息化,2024,(13):126-127.
- [3]张伟.深冷空分工艺流程模拟及优化[J].内蒙古石油化工,2023,(03):34-35.
- [4]吴清卫,赵陈.350kt/a水煤浆制氨配套空分工艺设计[J].化工生产与技术,2020,(02):29-30.