

深冷空气分离法在制氧系统中的应用

张威虎

河南龙宇煤化工有限公司 河南 永城 476600

摘要: 通过全面剖析深冷空气分离法在制氧系统中的应用细节。从空气成分与分离目标出发,详细说明了深冷分离制氧的科学基础。对制氧系统中的关键技术展开深入探讨,涵盖了空气压缩净化、液化、精馏以及氧气提取输送等环节。在系统性能评估与优化上,从能耗效率、稳定可靠性以及经济环保性等多维度进行了分析。通过丰富的应用案例,文章充分展示了深冷空气分离法制氧系统在工业及特殊领域的广泛应用和显著成果。

关键词: 深冷空气分离法; 制氧系统; 应用

1 深冷空气分离法制氧原理

1.1 空气成分与分离目标

空气是一种复杂的气体混合物,主要由氮气、氧气和少量的稀有气体、二氧化碳以及其他杂质组成。在干燥空气中,氮气的含量约为78.09%(按体积计算),氧气的含量约为20.95%,剩余的1%左右则包括氩气、二氧化碳、水蒸气以及其它微量气体。在这些组分中,氮气的沸点为 -196°C ,而氧气的沸点为 -183°C ,这两种气体沸点的显著差异为深冷空气分离法制氧提供了物理基础。在工业生产中,特别是在钢铁冶炼、化工生产、医疗以及科学研究等领域,高纯度氧气具有广泛的应用。例如,在钢铁冶炼过程中,高纯度氧气用于高炉吹氧和转炉炼钢,能够显著提高燃烧效率和产品质量;在化工生产中,氧气是合成氨和环氧乙烷等化学品的关键原料;在医疗领域,高纯度氧气用于医院供氧和氧疗设备,对于呼吸系统疾病的治疗和患者康复具有重要意义^[1]。

1.2 深冷空气分离法的基本原理

深冷空气分离法制氧的基本原理是利用空气中各组分沸点的不同,通过低温液化与精馏过程实现氧气的分离。首先将空气压缩至一定压力,并经过净化处理去除其中的水蒸气、二氧化碳以及其它杂质。将净化后的空气送入冷却系统,通过多级冷却和膨胀过程将其温度降至接近液化点;在液化过程中,空气中的氧气和氮气等组分开始逐渐液化。由于氮气的沸点低于氧气,因此在温度逐渐降低的过程中,氮气会先于氧气液化;液态空气进入精馏塔,在塔内通过不同温度和压力条件下的分馏过程,进一步分离出液氧和液氮。在精馏塔中,蒸气中的氧气被冷凝下来,而液体中的氮气则蒸发出来,通过多次接触和分馏,最终实现氧气和氮气的有效分离。

2 深冷空气分离法制氧系统的关键技术

2.1 空气压缩与净化技术

空气压缩技术主要通过大型空气压缩机将外界空气压缩至一定压力,为后续的液化过程提供必要的能量。为了提高压缩效率,现代深冷空气分离系统通常采用多级压缩技术,通过分级提高空气压力,以降低每一级压缩过程中的能耗。在压缩过程中,空气中的水蒸气、二氧化碳、灰尘以及其它杂质会被带入系统,如果不及时清除,这些杂质会在后续的液化过程中凝结成固体,堵塞管道和设备,进而影响系统的整体效率。在空气进入液化系统之前,需要经过严格的净化处理。常用的净化方法包括分子筛吸附、冷凝除水以及化学吸收等。分子筛吸附技术利用分子筛对不同气体分子的吸附能力差异,可以有效去除空气中的水分和二氧化碳等杂质;冷凝除水则是利用冷却技术将空气中的水蒸气凝结成水滴并排出;化学吸收法则通过化学反应吸收掉空气中的特定杂质。在实际应用中,空气压缩与净化技术的优化可以显著提升制氧系统的效率和稳定性。例如,采用高效节能的压缩机和净化设备,可以减少系统的能耗和维修成本;通过精确控制压缩比和净化过程,可以确保空气在进入液化系统前达到最佳的纯度和温度条件。

2.2 空气液化技术

液化技术的好坏直接影响到后续精馏过程的效率和氧气的纯度,在空气液化过程中,通常采用的是多级冷却和膨胀制冷技术。空气经过压缩机压缩后,进入预冷系统,利用冷却水或制冷剂进行初步冷却,以降低其温度和减少后续冷却过程中的能耗;空气进入主换热器和液化器,通过多级冷却和膨胀过程,逐步降低其温度直至接近液化点。在液化器中,空气在极低的温度和压力下被液化成液态空气。液化技术的优化对于提高制氧系统的效率至关重要。例如,采用高效的换热器和液化器,可以显著降低冷却过程中的能耗和提高液化效率;通过精确控制冷却温度和压力条件,可以确保液态空气

中的氧气和氮气等组分在最佳的液化状态下进行分离^[2]。另外,液化过程中还需要注意防止液空冻堵和结冰现象的发生。由于液态空气中的氧气和氮气等组分在低温下容易形成固体结晶,因此需要在液化系统中设置相应的防冻措施和监控装置,以确保系统的稳定运行和高纯度氧气的产出。

2.3 精馏技术与设备

在塔内,上升蒸气中的氮含量逐渐提高,而下降液体中的氧含量逐渐增加。通过多次接触和分馏,最终实现氧气和氮气的有效分离。精馏塔的性能直接影响到氧气的纯度和生产效率。为了提高精馏效率,现代深冷空气分离系统通常采用高效的填料塔或板式塔等结构形式。填料塔通过填充具有高比表面积的填料来增强气液间的接触效果;板式塔则利用塔板上的液滴和气泡进行充分接触和分离;还可以采用回流比控制、塔板间距优化以及塔内流场调控等技术手段来提高精馏效率。除了精馏塔本身的结构设计外,精馏过程中的操作条件也对分离效率有着重要影响。例如,温度、压力和流量等参数的精确控制可以确保气液间达到最佳的接触和分离效果。同时,为了避免精馏过程中可能出现的液泛、漏液和返混等问题,需要在设计和运行过程中采取相应的措施进行预防和调整;精馏技术还需要与空气液化技术相结合,通过精确的温度控制和压力调节,确保液化后的空气在最佳的分离条件下进入精馏塔进行分离。

2.4 产品氧气提取与输送技术

在完成空气液化、精馏分离后,得到的高纯度氧气需要通过特定的设备和工艺进行提取和输送至用户端。在产品氧气提取方面,常用的方法包括冷凝法、吸附法和膜分离法等;冷凝法是通过降低氧气的温度至其沸点以下,使其液化并分离出来。这种方法基于不同气体组分在不同温度下的液化点不同,通过精确的温控和相分离技术,可以得到高纯度的液态氧。冷凝法在深冷空分系统中被广泛采用,因为其分离效率高,且能直接获得液态氧产品,便于储存和运输;吸附法则是利用吸附剂对氧气的选择性吸附能力进行分离。这种方法的关键在于选择合适的吸附剂,它能够优先吸附其他气体组分,而让氧气通过。通过多次吸附-脱附循环,可以得到较为纯净的氧气。吸附法具有设备简单、操作灵活的优点,但在处理大量氧气时,其分离效率和能耗可能不如冷凝法;膜分离法则利用高分子膜的选择透过性原理,让氧气分子在压力差或浓度差的作用下,通过膜孔实现分离。膜分离技术具有能耗低、设备紧凑、易于维护等优点,但其对气体组分的分离效率受膜材料、操作条件等

多种因素影响。

3 深冷空气分离法制氧系统的性能评估与优化

3.1 系统能耗与效率分析

深冷空气分离法制氧系统的能耗主要集中在压缩、净化、冷却、液化和分离这五个主要阶段。其中,压缩机的能耗占总能耗的较大比例,因为它需要将空气压缩至一定的压力,为后续的液化过程提供足够的动力。根据相关数据,一个典型的深冷空分制氧系统,其压缩机能耗约占整体能耗的30%-40%。冷却和液化过程中的热交换器效率也直接影响到整体能耗,高效的热交换器能够显著降低能耗。系统效率方面,深冷空分技术可以生产出高达99.5%以上纯度的氧气,这一高纯度对于医疗和工业应用尤为重要;系统整体效率受到多种因素的制约,包括设备老化、操作条件的变化以及维护不善等。为了提高效率,可以通过技术升级,比如采用更高效的压缩机和热交换器,以及优化操作流程,如减少不必要的停机时间和优化设备的运行参数^[3]。据统计,通过技术升级和优化操作,系统效率可以提高约10%-15%。

3.2 系统稳定性与可靠性评估

系统的稳定性主要依赖于各设备的性能和整个工艺流程的协调。例如,压缩机的稳定运行、净化过程的效率、冷却液化系统的温度控制以及分离塔的分馏效果等,都直接影响到系统的稳定性。根据行业数据,一个设计良好的深冷空分系统,其年运行时间可达350天以上,且故障率低于1%。为了评估和提高系统的可靠性,需要定期进行维护和检查,以及采用冗余设计。例如,配备备用压缩机和热交换器,以及设置紧急停机系统,可以在设备故障时迅速切换,确保生产的连续性;通过采用先进的传感器和监控系统,可以实时监测系统的运行状态,及时发现并处理潜在问题,进一步提高系统的可靠性。

3.3 系统经济性与环保性分析

从经济性角度来看,深冷空气分离法制氧系统的初始投资较大,但长期来看,其运行成本相对较低,且氧气纯度高,能够满足多种工业需求。据统计,一个日产千吨级氧气的深冷空分系统,其年运营成本(不包括折旧)约占初始投资的15%-20%。随着技术的进步和规模效应的发挥,系统的经济性还将进一步提升。在环保性方面,深冷空分制氧技术具有显著优势。该系统不产生任何有害物质,且消耗的能源主要为电力,易于实现能源的清洁和高效利用;通过优化操作流程和采用先进的节能技术,可以进一步降低能源消耗和碳排放。另外,高纯度的氧气在环保领域也有广泛应用,如污水处理、

废气处理等,为环保事业做出重要贡献。

4 深冷空气分离法制氧系统的应用案例

4.1 工业制氧系统应用案例

4.1.1 钢铁冶金行业

在钢铁冶金行业中,深冷空气分离法制氧系统扮演着至关重要的角色。氧气被广泛应用于氧气顶吹转炉炼钢工艺中,能显著提高燃烧效率,加快冶炼过程,降低碳含量,并改进钢的质量。数据显示,在氧气顶吹转炉炼钢中,使用高纯度氧气可以使得冶炼时间缩短15%-20%,能耗降低约10%。2023年,全球钢铁生产中约有60%的工艺使用深冷空分制氧技术。

4.1.2 化工行业

在化工行业中,深冷空分制氧设备提供的高纯度氧气也被广泛应用。例如,在合成氨过程中,氧气作为关键原料参与反应,提高反应效率,减少副产物生成。据统计,氧气参与的化工反应可以将生产效率提高30%,显著降低生产成本。此外,氧气还被用于气化反应、氧化反应等关键步骤,显著影响产品的质量和产量。数据显示,2022年化工行业中氧气的需求量达到约1.8亿立方米。

4.1.3 电力行业

在电力行业,尤其是煤化工和煤气化电站中,深冷空分制氧技术也发挥着重要作用。通过氧气参与的煤气化工艺,燃烧效率得到显著提高,同时可以减少二氧化碳的排放。数据显示,使用氧气气化工艺可以将燃烧效率提高至85%以上,相较于传统工艺减少20%的温室气体排放。2021年,全球煤气化电站中有超过40%的设备采用了深冷空分制氧技术^[4]。

4.2 特殊领域应用案例

4.2.1 医疗行业

深冷空分制氧设备在医疗行业中为医院提供了大量的医用氧气。氧气是维持生命的关键,在外科手术、急救、病房供氧等方面具有不可替代的作用。特别是在疫情期间,医院对氧气的需求量猛增,深冷空分制氧装置在保障氧气供应方面发挥了重要作用。据统计,在疫情高峰期,某些医院对氧气的需求增长了300%,深冷空分

制氧设备的高效运转保证了医疗救治的正常进行。

4.2.2 环保领域

在环保领域,深冷空分制氧技术被应用于废水处理、垃圾焚烧及有害物质的氧化处理中。例如,在废水处理过程中,氧气用于提高微生物的活性,加速污染物的分解,从而实现更高效的净化效果。数据显示,采用氧气增效的废水处理系统,其处理效率可提高约40%。

4.2.3 航空航天及科研领域

在航空航天及科研领域中,深冷空分制氧技术也发挥着重要作用。在火箭发射时,液氧是火箭燃料的重要组成部分之一,与氢燃料结合能够释放出巨大的能量。数据显示,每千克液氧与氢燃料的反应可以释放出约300兆焦耳的能量,在科研实验中,氧气被用于多种需要高氧环境的实验,如燃烧实验和化学反应试验等,确保实验结果的准确性^[5]。

结束语

综上所述,深冷空气分离法制氧系统以其高效、稳定、环保的特点,在工业生产和特殊领域中发挥着重要作用。随着技术的不断进步和应用的不断深化,深冷空分制氧技术将继续为各行各业的发展提供有力支持。未来,期待在技术创新、系统优化以及环保节能等方面取得更多突破,推动深冷空气分离法制氧系统实现更加广泛的应用和更高的发展水平。

参考文献

- [1]陈娟娟,蔡雪花,林海东等.一种新型便携式制氧系统的设计与应用[J].中国医学装备,2019,16(09):4-7.
- [2]李立卫.深冷空气分离法在制氧系统中的应用探析[J].化工时刊,2021,35(11):25-27.
- [3]储波.深冷空气分离法在制氧系统中的运用[J].华东科技:综合,2021(5):0006-0006
- [4]李连兄.深冷技术在空气分离设备设计中的应用探讨[J].中国化工贸易,2020,(18):134-135.
- [5]马倩.深冷空气分离法在制氧系统中的应用[J].化工管理,2023(16):126-128.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2023.16.036.