

# 基于空分技术的煤化工氧气制备系统优化

刘芳芝

河南心连心化学工业集团股份有限公司 河南 新乡 453700

**摘要:** 煤化工行业中, 氧气制备效率与稳定性至关重要。本文聚焦基于空分技术的煤化工氧气制备系统优化。空分技术通过物理方法高效分离氧气, 但现有系统面临能耗高、运行效率低及纯度不稳定等挑战。为应对这些难题, 本文提出工艺流程改进、设备选型升级、操作参数优化及智能化控制等策略, 旨在提升系统效率, 降低能耗, 确保氧气纯度稳定, 为煤化工行业的可持续发展提供强有力的技术支持, 助力行业高效、绿色转型。

**关键词:** 基于空分技术; 煤化工; 氧气制备系统; 优化

## 引言

煤化工行业作为能源化工的关键一环, 氧气需求持续攀升。空分技术, 作为氧气制备的基础, 其效能与稳定性直接关系到煤化工产品的品质与成本控制。然而当前氧气制备系统面临能耗高、效率低等挑战, 制约了煤化工行业的进一步发展。因此, 深入剖析空分技术原理及其在煤化工中的应用, 并探索优化策略, 对于提升行业竞争力、推动煤化工产业绿色发展具有至关重要的意义。

## 1 空分技术原理及在煤化工中的应用

### 1.1 空分技术原理

空分技术作为现代工业气体制备的关键手段, 其核心原理在于巧妙利用空气中各组分的沸点差异实现分离, 自然界的空气是多种气体的混合物, 主要包含氮气(约占78%)、氧气(约占21%)以及少量的氩气、二氧化碳、稀有气体等<sup>[1]</sup>。在空分过程中, 首先要对空气进行预处理。空气压缩是第一步, 通过压缩机将空气压力提升至特定范围, 这是后续处理的基础。压缩后的空气紧接着进入净化单元, 利用吸附、过滤等技术去除其中的水分、二氧化碳、碳氢化合物等杂质。这些杂质在后续的低温环境下极易结冰或形成固体颗粒, 从而堵塞管道与设备, 严重影响系统的正常运行, 因此净化环节至关重要。完成净化的空气随后进入换热器, 在这里与冷媒进行热交换, 温度逐步降低至接近其液化温度。此时的空气已具备进入精馏塔的条件, 精馏塔是实现空气分离的核心设备。在精馏塔内, 根据氧气和氮气沸点的显著不同(氧气沸点约为-183°C, 氮气沸点约为-196°C), 通过反复的蒸发和冷凝循环操作, 实现二者的精确分离与提纯。底部的液态空气在加热时, 沸点较低的氮气首先蒸发上升, 经过多次精馏后在塔顶得到高纯度的氮气; 而沸点较高的氧气则更多地留在塔底, 经过进一步的精制处理后, 最终获得符合工业标准的高纯度氧气产品,

为煤化工等众多领域提供关键的气体原料, 支撑着现代工业生产的高效运转。

### 1.2 空分技术在煤化工中的应用

在煤化工复杂且多元的生产体系中, 空分技术制取的氧气发挥着不可或缺的关键作用, 其应用贯穿多个核心工艺环节, 成为煤化工产业高效运转的重要基础。煤气化作为煤化工产业链的起始环节, 氧气的参与极大地改变了反应进程和效率。当氧气作为气化剂与煤炭在高温高压的严苛环境下相遇时, 会引发一系列复杂而高效的化学反应。这种氧化反应能够显著提升煤炭的转化效率, 使得更多的煤炭转化为合成气, 且合成气中的一氧化碳和氢气含量更加稳定且可控, 为后续的深加工提供了优质的原料基础。在采用先进的气流床气化技术的装置中, 充足且稳定的氧气供应能够确保煤炭颗粒与气化剂充分接触并发生反应, 使煤气化的碳转化率提高到90%以上, 合成气的有效成分含量也大幅提升, 为后续化工产品的合成奠定了坚实的物质基础。而在煤液化过程中, 氧气同样有着不可替代的作用。煤液化旨在将固态煤炭转化为液态燃料, 以满足能源市场对于清洁液体燃料的需求。在此过程中, 氧气参与的反应有助于调节反应体系的氧化还原氛围, 促进煤炭大分子结构的裂解和加氢反应, 从而提高液体燃料的产率和质量, 降低杂质含量, 提升产品的市场竞争力。甲醇合成工艺也高度依赖氧气所带来的氧原子。在合成甲醇的化学反应中, 氧气参与的反应步骤能够优化反应路径, 提高甲醇的合成效率和选择性, 减少副产物的生成, 保障甲醇产品的纯度和产量。通过精确控制氧气的供给量和反应条件, 煤化工企业能够实现甲醇生产的高效益和规模化, 满足市场对于甲醇这一基础化工原料的大量需求, 推动整个煤化工产业的繁荣发展。总之, 空分技术所提供的高质量、稳定供应的氧气, 从源头上保障了煤化工企业各个

生产环节的顺利进行,是实现煤化工产业高效益、可持续发展的核心要素之一。

## 2 现有氧气制备系统存在的问题

### 2.1 能耗较高

传统的空分氧气制备系统在空气压缩、制冷等环节消耗大量的电能。空气压缩机的功耗占整个空分装置能耗的很大比例,而且在制冷过程中,由于冷量回收不完全以及换热器效率等问题,导致冷量损失较大,需要消耗额外的能量来补充冷量,使得系统的整体能耗居高不下<sup>[2]</sup>。这不仅增加了企业的生产成本,还对能源的有效利用造成了一定的压力,不符合当前节能减排的发展趋势。

### 2.2 设备运行效率有待提高

部分空分设备存在老化、技术落后等问题,导致其运行效率较低。一些精馏塔的塔板效率不高,使得氧气和氮气的分离效果不理想,需要更多的塔板数和更高的回流比来实现产品的纯度要求,这无疑增加了设备的投资成本和运行能耗。此外,空气压缩机、膨胀机等关键设备的性能也可能无法满足现代化生产的需求,存在着机械效率低、密封性能差等问题,进一步影响了整个系统的运行效率和稳定性。

### 2.3 氧气产品纯度不稳定

在实际生产过程中,氧气制备系统受到多种因素的影响,导致氧气产品的纯度出现波动。原料空气的质量变化,如空气中杂质含量的增加或湿度的变化,可能会影响净化效果,进而影响后续的精馏分离过程,使氧气纯度降低。操作参数的波动,如温度、压力、流量等控制不当,也会对精馏塔的分离效果产生不利影响,导致氧气产品纯度不稳定。氧气纯度的不稳定不仅会影响煤化工产品的质量和产量,还可能对下游工艺设备的安全稳定运行造成潜在威胁。

## 3 氧气制备系统优化措施

### 3.1 工艺流程改进

(1) 采用新型空气净化技术。在氧气制备系统的前端,空气净化环节至关重要。引入高效的吸附剂以及先进的吸附工艺,如变压吸附(PSA)技术与深冷空分技术相结合,能够对空气中的杂质进行深度净化。PSA技术基于不同气体在特定吸附剂上吸附能力的差异,在常温条件下选择性地吸附二氧化碳、水分以及部分碳氢化合物等杂质。这一过程极大地减轻了后续深冷净化的负担,使得整个净化流程更加高效。通过减少杂质在深冷系统中的积累,有效降低了设备堵塞和腐蚀的风险,为空分系统的稳定、可靠运行创造了良好条件。杂质含量的降低有助于提高氧气产品的纯度和稳定性,为后续的精馏

分离提供了更优质的原料气,从而保障了整个氧气制备系统的产品质量。(2) 优化精馏流程。精馏流程的优化是提升氧气制备效率和质量的关键举措。采用双塔或多塔精馏工艺,并结合先进的精馏塔内件设计,能够显著改善分离效果。高效规整填料的应用是其中的重要一环,与传统的筛板塔相比,规整填料具有诸多优势。其传质效率高,能够使气液两相在填料表面充分接触,加速物质交换,从而提高分离效果;压力降小,减少了气体在塔内流动的阻力,降低了压缩机的能耗;操作弹性大,使得精馏塔在不同的生产负荷下都能保持稳定的分离性能。这些优点使得在较低的回流比下即可实现高纯度氧气和氮气的分离,不仅减少了精馏过程中的能耗,还降低了设备投资成本。此外通过对精馏塔的进料位置、回流分配等操作参数进行优化,并根据实际生产负荷进行动态调整,能够进一步提高精馏效率和产品质量稳定性。在生产负荷较低时,适当调整进料位置和回流比,可避免过度回流导致的能耗增加和产品纯度波动,确保氧气产品始终符合高质量标准,满足煤化工生产对氧气的严格要求,提升整个氧气制备系统的经济效益和运行可靠性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 设备选型与升级

第一,选用高效空气压缩机。空气压缩机作为氧气制备系统的核心设备之一,其性能直接影响着整个系统的能耗与运行效率。采用新型的螺杆式或离心式空气压缩机是提升系统性能的重要途径。螺杆式压缩机凭借其独特的结构设计,具备结构紧凑、运行平稳且噪音低的显著优势,尤其在部分负荷工况下,依然能够维持较高的工作效率,这对于实际生产中经常出现的变负荷运行情况具有良好的适应性,有效避免了因负荷波动导致的能源浪费。而离心式压缩机则更适用于大规模、高压力的空气压缩场景,其通过采用先进的叶轮设计和变频调速技术,实现了对空气流量和压力的精确调控,能够根据空分系统的实时负荷变化迅速做出响应,精准匹配系统需求,从而显著降低压缩机的能耗,为提高整个空分系统的能源利用效率提供了有力支撑,确保在满足生产用氧需求的最大限度减少能源消耗,降低企业的运营成本,增强企业的市场竞争力。第二,升级膨胀机。膨胀机在空分系统中承担着制取冷量的关键任务,其性能优劣对于系统的制冷效果和能耗水平有着至关重要的影响。选用高效透平膨胀机并配备先进的制动和调节系统是优化氧气制备系统的关键举措。高效的透平膨胀机能够在高压气体绝热膨胀过程中更高效地制取冷量,有效降低制冷环节的能耗。通过优化制动方式,如采用发电

机制或油制动,不仅可以将膨胀过程中的能量有效回收,转化为电能或机械能加以利用,还能结合精确的转速调节和流量调节装置,确保膨胀机在各种工况下都能稳定运行,进一步提高其运行效率和稳定性。这一系列措施确保了冷量的稳定供应,为满足空分系统复杂多变的制冷需求提供了坚实保障,使得整个氧气制备系统能够在稳定、高效的运行状态下运行,提高氧气产品的产量和质量,为煤化工企业的生产运营提供可靠的氧气保障,推动企业的可持续发展。

### 3.3 操作参数优化

精确控制空气冷却过程中的温度,确保空气在进入精馏塔之前达到最佳的液化温度范围。通过优化换热器的换热面积、传热系数以及冷媒的流量和温度等参数,提高空气的冷却效率,减少冷量损失<sup>[4]</sup>。在精馏塔内,合理控制各塔板的温度分布,根据氧气和氮气的沸点差异,采用灵敏板温度控制等策略,保证精馏过程的稳定进行,提高氧气产品的纯度和提取率。对空气压缩和精馏系统的压力进行精确调控。在空气压缩阶段,根据空分装置的生产能力和设备性能,确定最佳的压缩压力,避免过高或过低的压力对设备能耗和运行稳定性产生不利影响。在精馏塔内,稳定的压力是保证精馏效果的关键因素之一,通过压力调节阀和回流比的协同控制,使精馏塔在不同负荷下都能保持稳定的压力,提高氧气和氮气的分离效率,减少产品纯度的波动。

### 3.4 智能化控制

(1) 建立自动化控制系统。采用先进的分布式控制系统(DCS)或可编程逻辑控制器(PLC),对氧气制备系统的各个环节进行实时监控和自动控制。通过传感器采集空气流量、温度、压力、设备运行状态等参数,并将这些数据传输至控制系统,控制系统根据预设的控制

算法和工艺参数,自动调节压缩机、膨胀机、换热器、精馏塔等设备的运行参数,实现整个系统的自动化、智能化运行。这不仅提高了生产效率和产品质量的稳定性,还减少了人工操作带来的误差和劳动强度。(2) 引入预测性维护技术。利用大数据分析和人工智能算法,对设备的运行数据进行实时监测和分析,预测设备可能出现的故障和性能劣化趋势。通过建立设备故障模型和性能预测模型,提前发现潜在的问题,并及时采取相应的维护措施,如设备检修、备件更换等,避免设备突发故障导致的停产损失,提高设备的可靠性和使用寿命,降低设备维护成本,保障氧气制备系统的长期稳定运行。

### 结语

通过对煤化工氧气制备系统的全面优化,我们成功实现了性能的大幅提升。这些优化措施不仅显著降低了能耗,还提高了设备运行效率,确保了氧气产品的纯度稳定,为煤化工行业的生产提供了有力保障。展望未来,随着科技的持续进步,我们有理由相信,煤化工氧气制备系统将朝着更高效、更节能、更智能化的方向不断迈进,为煤化工行业的可持续发展注入更强的动力,助力行业实现绿色、低碳的转型升级。

### 参考文献

- [1]高云见.现代煤化工中的煤气化技术与配套空分装置选型策略分析[J].天津化工,2023,37(5):59-61.
- [2]柴育鹏,姚良波,唐志明,等.现代空分技术与设备在大型煤化工领域的发展现状[J].工程技术创新与发展,2024,2(4):15-19.
- [3]尚瑞祥,毛玉龙,郭侯拴,等.煤化工行业空分装置阀门的故障预测与维护策略[J].石化技术,2024,31(10):48-50.
- [4]余朝浪.现代空分技术与设备在大型煤化工领域的发展现状[J].中国化工贸易,2020,12(29):82-83.