

空分装置的节能优化操作

石 林 乐 凯 徐世安
杭氧集团股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：空分装置作为现代工业关键设备，其节能优化对于降低能耗、提高能效至关重要。本文探讨了空分装置节能优化的理论基础，包括工作原理和关键要素，提出了工艺优化、设备升级、余热回收与利用以及管理与维护等主要措施，并通过案例分析展示了节能优化操作的实践成果。同时，也指出了节能优化过程中面临的技术、经济和管理挑战，并给出了相应的对策，为空分装置的节能降耗提供了有益参考。

关键词：空分装置；节能；优化操作

引言：空分装置作为现代工业气体生产的核心设备，其能效直接关系到企业的运营成本和环保水平。随着能源价格的上涨和环保法规的日益严格，空分装置的节能优化已成为工业界关注的焦点。本文旨在深入探讨空分装置的节能优化操作，通过理论分析与实际案例，揭示节能降耗的有效途径，为相关行业提供可借鉴的技术与管理策略，推动工业绿色发展，实现经济效益与环境效益的双赢。

1 空分装置节能优化的理论基础

1.1 空分装置的工作原理

空分装置，作为现代工业中至关重要的设备，其核心功能在于将空气中的主要成分进行高效分离，以生产纯度较高的氧气、氮气及其他稀有气体。其工作原理主要涵盖以下几个关键环节：（1）空气压缩与冷却。首先，空气通过过滤器去除尘埃和杂质后，进入空气压缩机进行压缩。此过程旨在提高空气压力，为后续分离操作提供必要的条件。压缩后的空气随后进入冷却系统，通过空冷塔和水冷塔等设备降低温度，以便于后续的纯化与分离步骤。（2）空气分离与纯化。冷却后的空气进入分子筛纯化系统，通过吸附作用去除水分、二氧化碳等杂质。随后，空气进入精馏塔，利用各组分沸点的差异进行分离。在精馏过程中，高沸点的氧气和氩气更多地冷凝进入液相，而低沸点的氮气则更多地蒸发进入气相，从而实现有效分离。（3）产品提取与储存。经过精馏分离后，得到的氧气、氮气和氩气等气体产品通过相应的管道提取出来。对于液态产品，如液氧和液氮，它们会被送入储存罐中，以备后续使用。

1.2 空分装置节能的关键要素

在空分装置的节能优化中，以下几个要素至关重要：（1）能量利用效率。提高设备的整体能量利用效率是节能降耗的关键。这包括优化空压机的运行参数、减

少不必要的压缩损失以及提高冷却系统的换热效率等。

（2）冷量损失控制。空分装置在运行过程中会产生大量的冷量损失，主要包括复热不足损失、跑冷损失以及液态产品取出时的冷量损失等。有效控制这些冷量损失，对于提高设备能效具有重要意义。（3）设备运行周期管理。通过科学的管理和维护手段，延长设备的运行周期，减少因故障停机而造成的能耗损失。这包括定期对设备进行检修、清洗以及更换老化的零部件等。

2 空分装置节能优化操作的主要措施

2.1 工艺优化

（1）精确设计与动态调整操作参数。工艺参数的精确设计与动态调整是空分装置节能的关键。通过精确计算和分析，确定最佳的操作压力、温度、流量等参数，可以显著提高设备的能效。同时，随着生产环境的变化，及时动态调整这些参数，确保设备始终处于最优运行状态，也是节能降耗的重要手段。例如，根据空气湿度、温度等外部条件的变化，适时调整空压机的进口导叶开度，以保持压缩机的最佳工作状态。（2）应用先进的工艺控制系统。先进的工艺控制系统是空分装置节能优化的重要支撑。通过引入自动化、智能化控制技术，实现对设备运行的精准控制，减少人为误操作带来的能耗损失。例如，采用集散控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC）对空分装置进行自动化控制，可以实时监测设备运行状态，自动调节工艺参数，确保设备高效、稳定运行^[1]。（3）空压机负荷匹配实际需求。空压机是空分装置的主要能耗设备之一。为了实现节能降耗，应根据实际需求合理匹配空压机的负荷。通过安装变频器等设备，根据生产负荷的变化实时调整空压机的转速和功率输出，避免“大马拉小车”现象的发生，从而降低能耗。

2.2 设备升级

(1) 选择高效空压机与冷却系统。选用高效、节能的空压机和冷却系统是空分装置节能优化的基础。通过对比不同品牌和型号的空压机,选择能效高、维护成本低的产品,可以显著降低能耗。同时,采用先进的冷却系统,如闭式冷却塔等,可以有效提高冷却效率,减少冷却水的消耗。(2) 定期清洗换热器与更新密封件。换热器是空分装置中的重要部件,其热交换效率直接影响设备的能耗。因此,定期对换热器进行清洗,去除表面积聚的污垢和沉积物,保持其良好的热交换性能至关重要。此外,及时更新老化、损坏的密封件,防止泄漏造成的能耗损失也是节能优化的重要环节。(3) 提升冷箱绝热性能。冷箱是空分装置中的关键设备之一,其绝热性能的好坏直接影响冷量的损失。通过采用高性能的绝热材料、优化冷箱结构设计等措施,提高冷箱的绝热性能,可以有效减少冷量损失,降低能耗。

2.3 余热回收与利用

(1) 余热回收装置的安装与应用。在空分装置中,空压机、膨胀机等设备在运行过程中会产生大量的余热。通过安装余热回收装置,将这些余热转化为可利用的能源,如热水、蒸汽等,可以显著降低能耗。同时,余热回收装置还可以为厂区提供供暖、热水制备等辅助功能,进一步提高能源利用效率^[2]。(2) 余热在厂区供暖、热水制备中的利用。将回收的余热用于厂区供暖、热水制备等场合,不仅可以降低能耗,还可以提高能源的综合利用效率。例如,在冬季,可以利用余热为厂区提供供暖服务;在全年中,可以利用余热制备热水供员工使用或用于其他工业用途。(3) 余热回收对碳排放的改善。余热回收与利用是空分装置节能减排的重要手段之一。通过回收和利用余热,可以减少对传统能源的依赖,从而降低碳排放量。这对于实现企业的绿色可持续发展具有重要意义。

2.4 管理与维护

(1) 建立完善的运行监测系统。建立完善的运行监测系统是空分装置节能优化的重要保障。通过实时监测设备的运行状态、工艺参数等数据,可以及时发现并处理潜在的能耗问题。同时,运行监测系统还可以为设备的节能降耗提供数据支持和分析依据。(2) 定期对设备进行检修与维护。定期对空分装置进行检修与维护是保证设备高效、稳定运行的关键。通过及时发现并处理设备故障和隐患,可以避免因故障停机造成的能耗损失。同时,定期维护还可以延长设备的使用寿命,降低维修成本^[3]。(3) 操作人员的培训与技能提升。操作人员的技能和素质直接影响空分装置的节能降耗效果。因此,

加强对操作人员的培训和技能提升至关重要。通过定期的培训课程、实践操作指导以及经验分享等方式,提高操作人员对空分装置运行原理、操作流程、节能措施等方面的理解和掌握程度,使其能够熟练操作设备,准确判断设备运行状态,及时采取措施应对突发情况,从而有效降低能耗,提高设备运行效率。

3 空分装置节能优化操作的案例分析

3.1 某公司空分装置节能技术改造项目

3.1.1 项目背景与目的

华鲁恒升公司原有空分装置存在能耗高、设备老化等问题,如5000m³/h空分装置运行超40年,技术滞后导致综合能耗较高。同时,随着生产规模扩大,氧气需求量增加,原有系统无法满足高效供氧需求。项目旨在通过技术改造提升资源利用率、降低能耗并保障氧气稳定供应。

3.1.2 改造内容与实施过程

改造核心是新建一套大型空分装置,采用分子筛净化空气、增压透平膨胀机提供冷量、双塔精馏及液氧/液氮双泵内压缩流程。

关键措施包括:(1) 工艺升级。淘汰旧式空分装置,引入填料上塔与筛板下塔组合,优化精馏效率。

(2) 自动化控制。采用DCS系统集中监控,实现液氮泵变频调节、联锁切换等智能操作,减少人工干预。(3) 设备匹配优化。针对空压机组负荷与装置运行不匹配问题,调整蒸汽流量与抽汽比例,降低冗余能耗。

项目总投资5.06亿元,历时24个月完成,2024年进入试生产阶段。

3.1.3 节能效果与经济效益分析

改造后空分系统综合能耗降低约20%,年节约电费超3000万元。具体效益体现在:(1) 能耗优化。空压机组能耗占比从96%降至85%,蒸汽消耗减少17%。(2) 产能提升。氧气供应量提升至设计负荷的90%以上,满足后续合成氨装置需求。(3) 投资回报。预计3-5年收回成本,长期运行成本降低显著。

3.2 空分液化装置一键启动优化

3.2.1 一键启动的设计与实现

某企业针对传统空分装置启动流程复杂、冷量损失大的问题,开发了一键启动系统。设计核心包括:(1) 自动化预冷流程。通过DCS系统自动控制液氮泵预冷条件(如密封气压差 $>0.1\text{MPa}$ 、轴承温度 $<115^{\circ}\text{C}$),缩短启动时间至原流程的60%。(2) 变频与联锁控制。集成液氧泵变频调速与备用泵自动切换逻辑,避免双泵冲突导致精馏塔液位波动。(3) 参数动态跟踪。实时监测膨胀机运行状态,调整惰转设定值,确保启动过程平稳。

3.2.2 节能效果与操作稳定性分析

(1) 节能效果: 一键启动减少冷量损失约15%, 年节约电能超500万kW·h。(2) 稳定性提升: 启动过程中主冷凝器液位波动幅度从 $\pm 10\%$ 降至 $\pm 3\%$, 产品氧纯度稳定在99.6%以上。

3.2.3 对劳动成本与设备可靠性的影响

(1) 劳动成本降低: 操作人员从每班3人减至1人, 年节省人力成本约100万元。(2) 设备寿命延长: 通过减少误操作和过载风险, 关键设备(如膨胀机)故障率下降40%。(3) 维护效率提升: 自动化系统可实时诊断异常, 缩短故障处理时间30%以上。

4 空分装置节能优化操作的挑战与对策

4.1 技术挑战

(1) 先进工艺控制系统的研发与应用。先进工艺控制系统的研发与应用是实现空分装置节能降耗的关键。然而, 这一过程中面临的技术挑战不容忽视。系统需要高度集成、智能化, 并能精准控制空分装置的各个环节。为此, 企业需投入大量资源进行技术研发, 并需解决控制系统与现有设备的兼容性问题。对策包括加强科研合作, 引进先进技术, 以及进行系统的定制化开发, 以确保其在实际应用中的有效性和稳定性。(2) 设备升级与改造的技术难度。设备升级与改造是提升空分装置能效的重要途径。然而, 技术难度高、改造周期长等问题常使这一过程变得复杂。企业需评估现有设备的性能与升级潜力, 制定合理的改造方案。同时, 需解决新老设备之间的兼容性问题, 确保改造后的系统能够稳定运行。对策包括与专业设备制造商合作, 引进成熟的改造技术, 以及进行详尽的技术论证与测试。

4.2 经济挑战

(1) 节能改造项目的投资与回报分析。节能改造项目往往涉及较大的资金投入, 且回报周期较长。因此, 企业需进行详尽的投资与回报分析, 以确保项目的经济可行性。这包括评估改造前后的能耗差异、生产成本变化, 以及潜在的政策补贴与税收优惠等因素。对策包括制定详细的项目预算, 进行风险评估, 以及寻求政府或金融机构的资金支持。(2) 节能设备与维护成本的控制。节能设备的购置与维护成本也是企业面临的一大经济挑战。为了降低成本, 企业需选择性价比高的设备,

并建立完善的维护体系。这包括定期对设备进行保养、维修, 以及培训操作人员以提高设备使用效率。对策包括与设备供应商签订长期维护合同, 以及引入预防性维护策略以降低设备故障率^[4]。

4.3 管理挑战

(1) 运行监测系统的建立与维护。建立有效的运行监测系统是确保空分装置节能优化的基础。然而, 系统的建立与维护需要投入大量资源。为了应对这一挑战, 企业需制定详尽的监测计划, 并选择合适的监测技术与设备。同时, 需建立专业的监测团队负责系统的日常维护与更新。(2) 操作人员的培训与考核。操作人员的技能水平直接关系到空分装置的节能效果。因此, 企业需加强对操作人员的培训与考核工作。这包括制定详细的培训计划、考核标准, 以及定期组织培训与考核活动。

(3) 节能降耗意识的普及与提升。节能降耗意识的普及与提升是实现空分装置节能优化的关键。企业需通过内部培训、宣传栏、企业网站等多种途径普及节能降耗知识, 提高员工的节能意识。同时, 需将节能降耗纳入企业文化, 鼓励员工积极参与节能降耗活动。

结束语

综上所述, 空分装置的节能优化操作是一个涉及多方面因素的系统工程, 需要从工艺优化、设备升级、余热回收与管理维护等多个角度入手。通过精确设计与动态调整操作参数、引入先进控制系统、合理匹配设备负荷、定期维护以及余热的有效利用等措施, 可以显著提升空分装置的能效水平。未来, 随着技术的不断进步和管理水平的日益提升, 空分装置的节能降耗将具有更广阔的空间和潜力, 为推动工业绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1]郭震.煤化工空分装置运行问题和建议[J].中国设备工程,2023,(09):88-90.
- [2]王海宁,吴国权,金晓明.先进控制技术在空分装置自动变负荷中的应用[J].自动化仪表,2020,(08):103-104.
- [3]李雁翎,王爽,王艺诺.优化空分装置运行提高装置经济效益[J].化工管理,2020,(18):219-220.
- [4]徐瑞平.空分装置产能优化措施[J].建筑技术科学,2024,(03):32-33.