

合成氨生产中液氮洗工艺与设备节能的协同策略

李其福 吕 品 李征徐
连云港碱业有限公司 江苏 连云港 222042

摘 要: 本文聚焦合成氨生产中液氮洗工艺与设备节能协同策略。先介绍合成氨生产重要性及液氮洗工艺的关键地位,分析当前液氮洗在能源利用上能耗高、回收利用不充分等问题。阐述节能协同策略的理论基础,从工艺、设备、操作管理等多维度提出策略,如优化流程、采用高效设备、建立科学管理体系等。最后以实际案例验证策略有效可行,为企业节能降耗、增效提供支持。

关键词: 合成氨生产;液氮洗工艺;设备节能;协同策略

1 引言

合成氨是化学工业重要基础产品,广泛应用于农业、化工、医药等领域,对保障粮食安全、推动化工产业链发展意义重大,其生产稳定高效运行关乎国民经济发展与社会稳定。液氮洗工艺是合成氨生产中净化原料气的关键环节,能深度净化原料气,为氨合成提供纯净氢氮混合气,确保生产高效稳定,其运行效果影响产品质量与量。鉴于全球能源危机加剧和环保要求提高,液氮洗工艺与设备能耗大,开展节能协同研究、采取有效节能策略降低能耗,对提高企业效益、减少污染、实现可持续发展意义重大。

2 液氮洗工艺与设备能源利用现状及问题

2.1 液氮洗工艺能源利用现状

目前,合成氨生产中液氮洗工艺主要采用深冷分离技术。该工艺通过多级换热器将原料气冷却至低温(一般低于 -190°C),使杂质气体(如 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 Ar 等)冷凝或液化,然后通过分离设备将其从原料气中分离出来。在冷却过程中,需要消耗大量的冷量,这些冷量通常由液氮蒸发提供。液氮的制备一般采用空气分离装置,通过低温精馏的方法将空气中的氮气分离出来并液化。空气分离装置的运行需要消耗大量的电能,用于压缩空气、冷却空气以及维持低温环境等。此外,在液氮洗工艺中,为了实现原料气的冷却和杂质的分离,还需要设置多个换热器,这些换热器在换热过程中存在一定的不可逆损失,导致能源利用效率不高。

2.2 液氮洗设备能源利用现状

液氮洗设备主要包括换热器、分离器、液氮储罐等。换热器是液氮洗工艺中的核心设备,其作用是实现原料气与冷介质(液氮或低温氮气)之间的热量交换。目前,液氮洗工艺中常用的换热器有板翅式换热器、绕管式换热器等。这些换热器虽然在一定程度上能够满

足工艺要求,但在换热效率方面仍存在一些问题^[1]。例如,板翅式换热器的流道较小,容易堵塞,且在低温环境下,翅片的传热性能会受到一定影响;绕管式换热器的结构复杂,制造难度大,且换热面积的利用率有待提高。此外,液氮洗设备的保温性能也对能源利用效率有重要影响。如果设备的保温措施不到位,会导致大量的冷量损失,增加能源消耗。

2.3 存在的问题分析

2.3.1 能耗高

液氮洗工艺与设备的能耗主要来自于液氮的制备和原料气的冷却过程。空气分离装置制备液氮需要消耗大量的电能,而液氮洗过程中为了维持低温环境,也需要不断补充液氮,进一步增加了能源消耗。此外,换热器的不可逆损失以及设备的冷量损失等,也导致了整体能耗的升高。

2.3.2 能量回收利用不充分

在液氮洗工艺中,存在着大量的低温余热资源,如原料气冷却过程中释放的热量、液氮蒸发产生的冷量等。目前,这些余热资源大多没有得到有效的回收利用,而是直接排放到环境中,造成了能源的浪费。例如,原料气冷却过程中释放的热量可以通过换热器回收,用于预热其他工艺介质或产生低压蒸汽等,但在实际生产中,由于技术和设备等方面的限制,这部分余热的回收利用率较低。

2.3.3 设备性能有待提高

液氮洗设备的性能直接影响到能源利用效率。目前,部分液氮洗设备存在设计不合理、制造质量不高、运行稳定性差等问题。例如,换热器的换热面积不足、换热效率低下,导致原料气冷却不充分,需要消耗更多的冷量;分离器的分离效果不佳,使得部分杂质气体进入后续的氨合成系统,影响催化剂的活性和使用寿命^[2]。

此外,设备的自动化控制水平较低,无法根据工艺参数的变化及时调整设备的运行状态,也增加了能源消耗。

3 液氮洗工艺与设备节能协同策略的理论基础

3.1 能量梯级利用原理

能量梯级利用原理是指根据能量的品质高低,将不同品质的能量进行合理分配和利用,以提高能量的综合利用效率。在液氮洗工艺中,存在着不同温度级别的能量,如高温的原料气、低温的液氮以及中间温度的工艺介质等。通过能量梯级利用原理,可以将高温原料气的热量用于预热其他低温介质,将液氮蒸发产生的冷量按照不同的温度需求进行分配,优先用于对冷量要求较高的工艺环节,从而实现能量的高效利用。例如,在液氮洗流程中,可以先利用原料气的高温热量预热进入换热器的冷介质,然后再利用液氮的低温冷量对原料气进行深度冷却,这样可以减少能量的浪费,提高能源利用效率。

3.2 热力学第二定律在节能中的应用

热力学第二定律指出,在热力学过程中,能量的转换和传递具有方向性,且不可避免地会存在一定的不可逆损失。在液氮洗工艺与设备中,存在着多种不可逆过程,如换热器的传热不可逆、节流过程的不可逆等。通过应用热力学第二定律,可以对这些不可逆过程进行分析和优化,减少不可逆损失,提高能源利用效率。例如,在换热器设计中,可以采用逆流换热的方式,减小传热温差,降低传热不可逆损失;在工艺流程设计中,应尽量避免不必要的节流过程,减少能量的损失。

3.3 过程系统能量集成理论

过程系统能量集成理论是将整个液氮洗工艺过程看作一个有机的整体,通过系统分析和优化,实现能量的合理分配和利用。该理论强调从全局的角度出发,综合考虑工艺流程、设备选型、操作参数等因素,寻找最优的能量利用方案。例如,通过建立过程系统的能量模型,对不同工艺方案进行模拟和优化,确定最佳的换热网络结构和操作参数,以实现能源消耗的最小化。同时,过程系统能量集成理论还注重与其他节能技术(如余热回收技术、高效设备应用技术等)的结合,形成综合的节能策略。

4 液氮洗工艺与设备节能协同策略

4.1 工艺优化策略

4.1.1 优化液氮洗流程

对传统的液氮洗流程进行优化,实现能量的合理分配与利用。可以采用多股流换热技术,将不同温度级别的工艺介质进行组合换热,提高换热效率。例如,将原料气、冷介质和液氮蒸发后的氮气进行多股流换热,充

分利用各股流之间的温差,减少换热器的数量和换热面积,降低设备投资和能源消耗。此外,还可以优化原料气的冷却路径,采用分段冷却的方式,根据原料气中不同杂质的冷凝温度,逐步降低原料气的温度,避免过度冷却造成的能量浪费。

4.1.2 强化余热回收利用

加强对液氮洗工艺中余热资源的回收利用。可以在原料气冷却过程中设置余热回收换热器,将原料气释放的热量用于预热进入系统的其他介质,如空气、水等。同时,对于液氮蒸发产生的冷量,可以通过设置冷量回收装置,将其用于其他需要低温环境的工艺环节,如低温甲醇洗工艺的预冷等^[3]。此外,还可以考虑将液氮洗工艺与合成氨生产中的其他工艺进行耦合,实现能量的综合利用。例如,将液氮洗工艺中回收的余热用于合成氨压缩机的中间冷却,减少压缩机的能耗。

4.1.3 合理调整工艺参数

通过对液氮洗工艺参数的合理调整,实现节能降耗。例如,优化原料气的压力、温度和流量等参数,使其在满足工艺要求的前提下,尽量降低能源消耗。在原料气冷却过程中,合理控制液氮的蒸发压力和流量,避免液氮的过度蒸发和浪费。同时,根据生产负荷的变化,及时调整工艺参数,保持设备的最佳运行状态,提高能源利用效率。

4.2 设备改进策略

4.2.1 采用高效节能的换热器

采用高效节能的换热器替代传统换热器,提高换热效率。例如,新型的板式换热器采用优化的翅片结构和流道设计,增大了换热面积,降低了流阻,提高了传热性能。同时,采用高导热系数的材料制作换热器翅片,进一步提高了换热效率。此外,还可以考虑采用紧凑式换热器,如印刷电路板式换热器,其具有结构紧凑、换热效率高、耐低温等优点,适用于液氮洗工艺中的低温换热场合。

4.2.2 改进分离器性能

对液氮洗工艺中的分离器进行改进,提高分离效果,减少杂质气体进入后续工艺环节。可以采用新型的分离器结构,如高效旋风分离器、复合式分离器等,增强气液分离能力。同时,优化分离器的操作参数,如进气速度、分离器压力等,提高分离效率。此外,加强对分离器的维护和保养,定期清理分离器内部的杂质和污垢,保证分离器的正常运行。

4.2.3 加强设备保温

加强液氮洗设备的保温措施,减少冷量损失。采用

高效的保温材料,如聚氨酯泡沫、气凝胶毡等,对换热器、管道、液氮储罐等设备进行保温处理。同时,优化保温结构,减少保温层的热桥现象,提高保温效果^[4]。此外,定期对设备的保温情况进行检查和维护,及时修复破损的保温层,确保设备的保温性能始终处于良好状态。

4.3 操作管理优化策略

4.3.1 建立科学的操作管理体系

建立科学的操作管理体系,规范操作人员的操作行为。制定详细的操作规程和操作手册,明确各岗位的操作职责和操作流程。加强对操作人员的培训,提高操作人员的业务水平和节能意识。同时,建立操作考核机制,对操作人员的操作情况进行定期考核,将节能指标纳入考核体系,激励操作人员积极采取节能措施。

4.3.2 实施设备状态监测与故障诊断

实施设备状态监测与故障诊断技术,实时掌握设备的运行状态。通过安装传感器和监测仪器,对设备的温度、压力、流量等参数进行实时监测,及时发现设备的异常情况。利用故障诊断系统对监测数据进行分析 and 处理,判断设备的故障类型和故障部位,提前采取维修措施,避免设备故障导致的能源浪费和生产中断。

4.3.3 优化设备维护计划

优化设备维护计划,合理安排设备的维护时间和维护内容。根据设备的运行状况和使用寿命,制定科学的维护周期,定期对设备进行检修和保养。在维护过程中,注重对设备的关键部件进行检查和更换,确保设备的性能和可靠性。同时,采用先进的维护技术和方法,如无损检测技术、在线修复技术等,减少设备维护对生产的影响,提高设备的运行效率。

5 实际案例分析——以中国石油宁夏石化公司为例

5.1 协同节能技术路径

5.1.1 液氮冷量梯级利用

(1) 抽液氮至甲醇洗:将液氮洗尾气中的冷量通过惰性组分传递至甲醇洗工号,替代甲醇洗原有冷源,减少甲醇洗工号冷量需求。(2) 尾气回收再利用:将液氮洗尾气加压后送入天然气管压缩机入口,替代部分天然气燃料。经测算,尾气替代天然气可节约日耗约3.0万元,折合年节约标煤超千吨。

5.1.2 设备能效提升

(1) 板式换热器改造:优化换热器结构,提高换热效率,使节流阀开度在50%负荷下即可满足冷量需求,避免系统过冷导致的冷量浪费。(2) 尾气压缩机增设:新

增尾气压缩机回收尾气中的有效气体,提高氢气回收率至99%以上,减少原料气消耗。

5.1.3 工艺参数优化

(1) 冷量平衡控制:通过DCS系统实时监测液氮洗塔顶温度、尾液流量等参数,动态调整液氮加入量与节流阀开度,实现冷量精确匹配。(2) 热力学耦合:将液氮洗与甲醇洗、氨合成等工号的热力学参数耦合,利用低温余热预热原料气,降低蒸汽消耗。

5.2 实施效果与经济效益

一是能耗显著下降:改造后,液氮洗工号冷量利用率提高20%,尾气排放量减少80%,年节约标煤约1.2万吨。二是经济效益提升:尾气回收替代天然气年节约费用超千万元,氢气回收率提升减少原料气采购成本。三是环保效益:CO₂排放量减少约3万吨/年,氮氧化物排放降低15%,符合国家“双碳”目标要求。

5.3 行业推广价值

该案例的技术路径具有以下可复制性:(1) 工艺通用性:液氮洗与甲醇洗的冷量耦合技术适用于以煤、天然气为原料的合成氨装置。(2) 设备国产化:板式换热器、尾气压缩机等关键设备已实现国产化,投资回收期短。(3) 政策支持:符合《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平》要求,可申请节能专项资金。

结语

本文深入研究了合成氨生产中液氮洗工艺与设备节能的协同策略,分析能源利用现状及问题后,从多维度提出协同策略并通过案例验证其有效可行。结果表明合理策略能显著降低能耗、提高能效,带来经济效益与环境效益。尽管已取得成果,但未来仍需进一步研究,如优化工艺流程、开发新型节能技术,加强高效节能设备研发应用,深入过程系统能量集成理论研究,探索智能化技术应用等,以推动合成氨生产行业向节能、环保、高效方向发展。

参考文献

- [1]丁元元.大型合成氨装置液氮洗工艺流程的优化研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(07):146-148.
- [2]张寒修.工业合成氨中低温液氮洗工艺分析及优化[D].青岛科技大学,2019.
- [3]谢辉,高杨,张彪,等.320kt/a合成氨装置液氮洗系统运行问题及处理[J].中氮肥,2024,(04):28-32.
- [4]李洋洪.合成氨装置低温液氮洗瓶颈原因分析及解决措施[J].化工设计通讯,2019,45(01):2.