

# 大型合成氨生产节能分析

王文超

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃二分公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 大型合成氨广泛应用于氮肥生产及其他化工领域,然而,传统合成氨生产方法高能耗问题严重,节能减排成为合成氨行业发展关键。本文对大型合成氨生产的节能问题进行了深入分析,阐述了全球能源形势下合成氨生产能耗现状,剖析生产工艺各环节能耗,挖掘节能潜力,指出存在的技术、经济和管理问题,并提出包括技术改进、经济激励和管理优化的节能措施,期以为合成氨行业节能发展提供参考。

**关键词:** 大型合成氨;节能;生产工艺;能耗分析

## 引言

合成氨工业从原料制备到产品储存均是能源消耗大户,在全球能源形势紧张的大环境下,不仅生产成本居高不下,且大量能源消耗引发的温室气体和污染物排放对环境造成巨大压力。本研究目的是深入剖析大型合成氨生产各环节能源消耗情况,明确能耗分布与影响因素,挖掘其节能潜力点,并提出节能措施,指导企业提高能源利用效率。降低生产成本、有效减少污染物排放,为合成氨工业节能改造提供理论和实践参考,保障行业可持续发展。

## 1 大型合成氨生产工艺及能耗分析

### 1.1 大型合成氨生产工艺概述

(1) 传统工艺。哈伯法是合成氨工业中最经典的生产方法,其核心是氮气和氢气在高温、高压和催化剂的作用下发生反应生成氨。在原料准备阶段,首先要获取高纯度的氮气和氢气。氮气通常从空气中分离得到,氢气则主要通过天然气重整、水煤气变换等方法制取。反应过程需要在高温(约400~500℃)、高压(10~30MPa)的条件下,并使用铁基催化剂来促进反应的进行。整个工艺流程包括原料气的制备、净化、压缩、合成以及产品的分离与精制等环节。气体净化是为了去除原料气中的杂质,如硫化物、二氧化碳等,以免对催化剂造成中毒。经过净化后的气体被压缩到反应所需的压力,然后进入合成塔进行反应。反应后的混合气体中含有未反应的氮气、氢气和生成的氨,通过冷凝、精馏等分离方法将氨产品从混合气体中分离出来。(2) 现代改进工艺。现代节能型合成氨工艺在传统哈伯法的基础上进行了多方面的改进。在催化剂方面,新型催化剂具有更高的活性和选择性,能够在相对较低的温度和压力下实现高效的氨合成反应,从而降低了反应过程中的能量需求。例如,一些新型的钨基催化剂表现出了优

异的性能。在工艺流程上,采用了更紧凑的设计,减少了不必要的中间环节和设备,降低了能量损失。此外,改进工艺还注重对能源的综合利用,如利用反应余热预热原料气,提高了能源利用效率。与传统工艺相比,节能型工艺在降低能耗、提高生产效率和减少环境污染等方面具有明显优势。

### 1.2 大型合成氨生产能耗分析

(1) 原料制备环节能耗。合成氨生产以天然气为原料时,开采过程需要消耗大量的能源用于钻井、采气等作业。在加工环节,天然气重整制氢需要在高温下进行,消耗大量的热能。例如,蒸汽重整过程需要在(700~850℃)的高温下,通过与水蒸气反应将甲烷转化为氢气和一氧化碳,这一过程需要大量的燃料燃烧来提供热量。在运输方面,如果采用管道运输,需要维持管道的压力和温度,保证天然气的稳定输送,也会消耗一定的能源。以煤炭为原料时,开采过程中的采煤机、提升机等设备耗能巨大,煤炭的洗选和加工也需要消耗电能和热能。不同原料路线由于其本身的性质和加工难度不同,对能耗的影响显著,煤炭制合成氨通常比天然气制合成氨能耗更高。(2) 反应过程环节能耗。合成氨反应是一个可逆的放热反应,但反应需要在高温高压条件下才能获得可观的反应速率。在吸热反应阶段,需要外部供热来维持反应温度,这部分热量需求在整个能耗中占比较大。同时,维持高压条件需要压缩机消耗大量的电能。反应温度和压力对反应速率和能耗有着复杂的影响。过高的温度虽然能加快反应速率,但会使平衡向逆反应方向移动,增加能耗。<sup>[1]</sup>而且高温高压条件下设备的材质要求更高,设备制造和维护成本也相应增加。催化剂在反应中起着关键作用,它能降低反应的活化能,提高反应速率。不同类型的催化剂对反应条件的要求不同,从而间接影响能耗。例如,高效的催化剂可以在较

低温度下实现较高的反应速率,减少了维持高温所需的能量。(3)气体净化与压缩环节能耗。在气体净化过程中,脱硫、脱碳等操作需要消耗大量的能量。例如,采用化学吸收法脱硫时,吸收剂的再生过程需要加热,消耗热能。脱碳过程中,如果使用醇胺溶液吸收二氧化碳,溶液的再生同样需要消耗大量的蒸汽。气体压缩是合成氨生产中的耗能大户。压缩机的类型(如往复式、离心式)和级数对压缩能耗有重要影响。多级压缩可以提高压缩效率,但会增加设备的复杂性和投资成本。在不同的压力等级下,气体的压缩比不同,能耗也不同。随着合成氨生产规模的扩大,气体压缩的能耗问题更加突出。(4)产品分离与储存环节能耗分析。合成氨产品从反应后的混合气体中分离出来主要通过冷凝和精馏等过程。冷凝过程需要消耗大量的冷却介质,如冷却水或制冷剂,以降低气体温度,使氨液化。精馏过程则需要维持一定的温度和压力梯度,实现氨与其他气体的分离,这也需要消耗一定的能量。在产品储存环节,如果需要低温储存,制冷设备需要持续运行,消耗电能。同时,储存设施的保温措施也需要消耗一定的能源来维持储存环境的温度,防止氨的挥发和损失。

## 2 大型合成氨生产节能潜力分析

### 2.1 合成氨生产节能潜力

(1)工艺优化节能。通过对合成氨生产工艺的优化,可以显著降低能耗。例如,模拟计算表明,优化反应流程,将一些串联的反应步骤改为并联或调整反应顺序,可以减少物料的循环和能量的浪费。调整反应条件,如将反应温度降低(20~3℃),结合新型催化剂的使用,可以在不降低氨产量的情况下降低能耗约(10%~15%)。这些节能潜力的挖掘需要综合考虑工艺的可行性、设备的适应性和经济效益等多方面因素。

(2)设备升级节能。更新或改造关键生产设备对节能具有巨大潜力。例如,采用高效压缩机替代传统压缩机,通过提高压缩效率,可以降低压缩过程中的能耗约(20%~30%)。新型换热器的应用能够更有效地利用反应余热,提高能源回收效率。先进的反应器设计可以改善反应条件的均匀性,提高反应转化率,从而减少能量消耗。设备升级不仅可以直接降低设备运行过程中的能耗,还可以通过提高设备可靠性和稳定性,减少因设备故障导致的生产中断和能源浪费。(3)能源管理节能。加强能源管理是实现节能的重要途径。实施能源监测系统可以实时掌握能源消耗情况,及时发现能源浪费点。通过优化生产调度,合理安排生产任务,避免设备的空转和过度运行,可以减少不必要的能源消耗。开展员工

节能培训,提高员工的节能意识和操作技能,使员工在日常操作中自觉采取节能措施。据统计,有效的能源管理措施可以实现(5%~10%)的节能效果。

### 2.2 合成氨生产节能现存问题

(1)技术问题。现有节能技术在大型合成氨生产中的应用存在一定局限性。例如,一些新型的节能工艺可能在小规模试验中表现良好,但在大型工业化生产中,由于设备放大效应、复杂的物料平衡和热平衡问题,难以达到预期的节能效果。<sup>[2]</sup>新型节能技术的研发面临诸多障碍,技术复杂性高,需要跨学科的知识和技术支持。研发成本大,企业和科研机构需要投入大量的资金和人力。而且从实验室到工业规模的放大过程中,存在许多未知因素,需要反复试验和改进。(2)经济问题。节能设备和技术的投资成本往往较高。例如,新型高效压缩机、先进的催化剂等设备和技术的采购和安装成本可能是传统设备的数倍。企业面临较长的投资回报周期,这使得一些企业在进行节能改造时犹豫不决。此外,能源价格波动对节能效益有显著影响。在能源价格较低时期,节能投资的经济驱动力不足,企业可能更倾向于维持现状,而不是进行节能改造。(3)管理问题。当前部分合成氨企业能源管理体系不完善,缺乏有效的能源监测和评估机制。无法准确掌握能源消耗的详细情况,不能及时发现能源浪费的环节和设备。同时企业内部部门之间在节能工作中的协调不足,导致节能措施难以有效实施。并且能源管理岗位人员专业素质参差不齐,也影响了能源管理工作的质量和效果。

## 3 大型合成氨生产节能措施与建议

### 3.1 技术改进

研发和应用新型合成氨工艺是节能的关键方向。例如,开发基于等离子体技术或生物合成技术的合成氨新方法。等离子体技术可以在较低温度和压力下实现氮气和氢气的活化和反应,具有潜在的节能优势。生物合成氨利用微生物在温和条件下将氮气转化为氨,虽然目前还处于实验室研究阶段,但具有巨大的发展潜力。持续优化现有工艺参数也是提高能源利用效率的重要手段。利用先进的计算机模拟软件和实验研究相结合的方法,精确确定最佳反应温度、压力、物料配比等参数。例如,通过模拟不同条件下的反应动力学和热力学过程,找到使反应速率和平衡转化率最佳的参数组合,从而减少能量消耗。此外,对关键设备进行节能改造可以显著降低能耗<sup>[3]</sup>。在压缩机上采用变频调速技术,根据生产负荷自动调整压缩机转速,避免电机在额定功率下的空转或过载运行,提高能源利用效率。对于换热器,优化

换热结构,增加换热面积,提高传热系数。例如,采用新型的板式换热器或高效的翅片管换热器,提高热量传递效率,有效利用反应余热。在新设备选型时,优先选择高效节能型设备。例如,新型的合成塔设计可以提高氨的合成效率,减少能量损失。低能耗的泵和风机通过优化叶轮设计、采用高效电机等方式降低运行能耗。不同忽视的还有能源综合利用技术。通过回收利用生产过程中的废热、废气等二次能源实现节能。在合成氨生产中,大量的反应余热可以通过余热回收装置转化为蒸汽或热水,用于预热原料气、驱动汽轮机发电或为其他生产环节供热。对于废气中的可燃成分,如合成放空气、弛放气等,可以通过变压吸附、膜分离等技术回收其中的氢气,然后将剩余的可燃气体作为燃料,用于加热炉等设备,实现能源的再利用。此外,探索合成氨与其他能源化工过程的耦合技术,如合成氨与甲醇合成的联产工艺,实现能源的梯级利用和资源的综合利用,提高整个生产系统的能源利用效率。

### 3.2 管理优化

(1) 政府政策支持。政府应出台财政补贴政策,对合成氨企业采用节能技术和设备给予补贴。例如,对于企业购买新型节能压缩机、高效催化剂等节能设备的费用,政府可以按照一定比例给予补贴,降低企业节能改造的成本负担。实施税收优惠政策,对节能设备采购、节能项目投资给予税收减免。例如,对企业投资建设的余热回收项目、节能工艺改造项目等,在增值税、所得税等方面给予优惠,鼓励企业积极开展节能工作。(2) 企业自身优化策略。经济方面,企业要建立合理的节能投资决策机制。在进行节能投资前,综合考虑节能效益、投资成本和投资回报期等因素。通过详细的技术经济分析,评估节能项目的可行性。例如,采用净现值法、内部收益率法等经济评价方法,对节能项目进行评估。同时,企业可以通过开展节能效益分享机制,与节能服务公司合作,以合同能源管理模式实施节能项目。

在这种模式下,节能服务公司负责提供节能技术和设备,并承担项目的投资和运营风险,企业按照合同约定与节能服务公司分享节能效益,降低企业自身风险,提高企业节能改造的积极性。管理方面,企业应建立健全能源管理体系,包括制定完善的能源管理制度、设立专门的能源管理岗位、明确能源管理流程等。协调各部门之间的能源管理工作,实现对能源消耗的全过程管理。引入先进的能源管理信息系统,实时监测能源消耗数据,利用数据分析技术,分析能源利用效率,及时发现能源浪费现象和节能潜力点,为节能决策提供数据支持<sup>[4]</sup>。同时注意加强员工节能意识的培训与提升,使员工认识到节能对企业和社会的重要意义。为企业长足有效开展节能生产提供基础支持。

### 结语

各生产环节在合成氨生产能耗中占比不一,但均存在显著节能空间。持续推进节能工作是确保合成氨行业在全球能源转型中保持竞争力及满足相关产业对合成氨产品的需求的关键。工艺研发优化可降低能耗,设备改造更是直接影响能源使用。能源综合利用能有效回收二次能源,实现梯级利用。政府和企业管理优化均可降低生产成本,提升节能积极性。未来仍需加强国际合作,增加研发投入,完善政策支持,以应对合成氨生产节能的新挑战。

### 参考文献

- [1]黄国祥.大型合成氨生产节能分析[J].化工设计通讯,2020,46(08):2-3.
- [2]严军开.大型合成氨装置节能减排的措施综述[J].化肥设计,2023,61(02):59-62.
- [3]张伟.合成氨生产工艺及KBR合成氨工艺分析[J].化工设计通讯,2020,46(07):1+3.
- [4]朱良东.节能减排技术在合成氨生产中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(23):187-189.