

合成氨装置节能降耗控制措施

慕占文

国家能源集团宁夏煤业有限公司烯烃二分公司 宁夏 银川 750000

摘要: 合成氨作为重要的化工产品,在农业、工业等诸多领域有着广泛应用。本文深入探讨了合成氨装置的节能降耗控制措施。合成氨作为重要的化工原料,在生产过程中消耗大量能源并产生环境影响。文章首先概述了合成氨装置的工艺流程,包括原料气制备、净化流程和合成反应等关键环节。接着,分析了当前合成氨生产节能降耗的现状,包括主要措施、效果及存在的问题与挑战。在此基础上,提出了优化产能布局与设备选型、改进生产工艺与技术看新、加强余热余压回收利用、推进低碳原料燃料替代和提升数字化管理水平等具体措施,旨在为合成氨装置的节能降耗提供有效路径。

关键词: 合成氨装置;节能降耗;控制措施

引言:合成氨作为化肥、医药、炸药等化工产品的重要原料,在国民经济中占有举足轻重的地位。然而,合成氨生产过程中消耗的能源巨大,且排放的污染物对环境造成严重影响。随着全球能源危机和环保意识的增强,合成氨装置的节能降耗已成为亟待解决的问题。本文旨在通过对合成氨装置工艺流程的深入剖析,探讨当前节能降耗的现状及存在的问题,进而提出一系列有效的控制措施,以期合成氨行业的可持续发展提供参考。

1 合成氨装置工艺流程概述

1.1 原料气制备

合成氨的原料气制备因原料不同而有差异。以天然气为原料时,先将天然气脱硫,然后在蒸汽转化炉中,在高温及镍催化剂作用下,与水蒸气反应生成氢气与一氧化碳等混合气,主要反应为 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$ 。以煤炭为原料则需先进行气化,在高温高压且有氧或水蒸气存在条件下,煤炭转化为一氧化碳、氢气等,如 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2$,后续还可能进行变换反应调整一氧化碳与氢气比例,为后续合成氨提供合适的原料气组成,这一过程需精准控制温度、压力与催化剂活性等条件以提高原料气质量与产率。

1.2 净化流程

净化流程主要目的是去除原料气中的杂质。首先是脱硫过程,采用湿法脱硫(如醇胺法)或干法脱硫(如氧化锌法),脱除硫化氢等含硫化合物,防止其毒害后续催化剂。例如醇胺法是利用醇胺溶液与硫化氢反应生成硫化物,再通过加热再生醇胺。接着是脱碳环节,常采用碳酸钾溶液吸收二氧化碳,反应式为 $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{KHCO}_3$,也有低温甲醇洗等工艺,能同时脱除多种杂质。净化后的原料气纯度大幅提高,为

氨合成反应创造良好条件,减少副反应发生,提高合成氨效率与产品质量^[1]。

1.3 合成反应

氨合成反应是在高温高压及催化剂条件下进行的可逆放热反应,其化学方程式为 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ 。反应在合成塔中进行,通常采用铁系催化剂。反应温度一般在400-500℃,压力在10-30MPa之间。高温可加快反应速率,但不利于平衡向生成氨的方向移动,高压则有利于氨的合成。反应过程中需不断移走反应热,以维持反应温度稳定,可通过设置冷激气或换热器等方式实现。合成反应生成的氨混合气需经冷却、分离等步骤,得到液态氨产品,未反应的原料气则循环回合成塔继续反应,以提高原料利用率。

2 合成氨装置节能降耗的现状

2.1 合成氨生产的基本流程

(1) 原料准备

合成氨生产的原料准备至关重要。对于以煤为原料的情况,需对煤炭进行预处理,包括筛选、破碎等操作,以保证其粒度符合气化要求,同时还需进行煤质分析,确定其含硫量、挥发分等指标,为后续脱硫等工艺提供数据依据。若是以天然气为原料,则要确保天然气的纯度与压力稳定,进行必要的调压与除杂,为后续高效转化奠定基础。

(2) 造气系统

造气系统是合成氨的前端关键环节。若采用煤气化工艺,煤炭在气化炉中与氧气、水蒸气等发生复杂反应,生成一氧化碳、氢气及少量二氧化碳等混合气体,反应温度通常在1000-1500℃。以天然气为原料时,在转化炉中借助催化剂使天然气与水蒸气反应产生合成气,

该过程需严格控制温度、压力及蒸汽与天然气比例，以获取合适的原料气组成与产量。

(3) 变换系统

变换系统主要对造气得到的原料气进行一氧化碳含量调整。通过变换反应，使一氧化碳与水蒸气反应生成二氧化碳和氢气，即 $\text{CO}+\text{H}_2\text{O}\rightleftharpoons\text{CO}_2+\text{H}_2$ 。此反应在特定催化剂作用下进行，根据原料气中一氧化碳初始含量，可设置一段或多段变换。通过控制反应温度、压力及催化剂活性，精准调节一氧化碳与氢气的比例，满足后续合成氨反应对氢氮比的要求，提高原料气利用效率。

(4) 净化系统

净化系统旨在深度去除原料气中的杂质。脱硫环节，运用多种方法脱除硫化氢等含硫杂质，如湿法脱硫中的栲胶法，利用栲胶溶液的氧化还原特性吸收硫化氢并再生循环使用。脱碳过程采用碳酸钾溶液吸收二氧化碳，反应后溶液经再生可重复利用。此外，还可能有微量杂质脱除工序，如采用分子筛吸附一氧化碳、甲烷等微量杂质，保障进入合成系统的原料气纯度极高，防止催化剂中毒，确保合成氨反应顺利进行。

(5) 合成系统

合成系统是合成氨的核心。原料气按一定氢氮比混合后进入合成塔，在高温高压及铁系催化剂作用下发生氨合成反应 $\text{N}_2+3\text{H}_2\rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ 。合成塔内温度一般控制在400-500℃，压力在10-30MPa之间，反应热通过内部换热器或冷激气等方式移出，以维持反应温度稳定。生成的氨混合气经冷却、分离得到液态氨产品，未反应的原料气循环回合成塔，提高氨的转化率与产率，保证合成氨生产的连续性与高效性。

2.2 当前节能降耗的主要措施及效果

(1) 设备选型节能

在合成氨装置中，设备选型节能意义重大。选用高效节能的压缩机、合成塔等核心设备，可降低运行能耗。例如新型离心式压缩机，其采用先进叶轮设计与高效电机，较传统压缩机能耗降低约20%-30%。节能型合成塔通过优化内部结构与换热方式，提高氨合成效率，减少循环气量，从而降低压缩与加热能耗，从设备源头为合成氨生产节能降耗奠定基础，提升整体能源利用效率。

(2) 技改节能

技改节能措施多样且成效显著。通过对合成氨工艺进行技术改造，如优化合成回路，调整换热器网络布局，可减少热量损失与阻力降。采用新型催化剂能降低反应活化能，使反应在更温和条件下进行，减少能源消耗。例如某企业对变换系统技改后，变换反应效率提

高，蒸汽消耗降低约15%。这些技改措施精准针对生产环节中的能耗痛点，有效提升了合成氨装置的能源利用效率与经济效益。

(3) 余热余压回收利用

余热余压回收利用是合成氨节能的关键环节。利用合成反应热产生高压蒸汽，驱动蒸汽轮机发电或拖动其他设备，实现能量的梯级利用。余热锅炉回收高温余热，换热器则回收中低温余热用于预热原料气等。同时，对压缩机等设备的余压进行回收，如采用膨胀机回收压力能。据统计，完善的余热余压回收系统可满足合成氨装置20%-30%的电力需求，大幅降低了对外购电的依赖，显著降低生产成本^[2]。

(4) 低碳原料燃料替代

低碳原料燃料替代为合成氨节能降耗开辟新径。以生物质、氢气等替代传统的煤炭、天然气等原料，可减少碳排放与能源消耗。例如生物质气化合成氨，利用农林废弃物等生物质资源，在气化过程中产生合成气，其碳足迹远低于化石燃料。氢气作为清洁原料，在氨合成中可实现零碳排放。采用低碳原料不仅符合环保要求，还能在一定程度上降低原料成本与能耗，推动合成氨行业向绿色低碳转型。

(5) 数字化赋能

数字化赋能在合成氨节能中作用日益凸显。通过建立先进的自动化控制系统，如DCS、PLC系统，实现对生产过程的精准监控与实时优化。利用大数据分析与人智能算法，对工艺参数进行智能调整，提高反应效率与能源利用率。例如基于模型预测控制(MPC)可根据实时工况预测并优化操作，降低能耗约10%-15%。数字化技术还可实现设备的远程诊断与维护，减少停机时间与能源浪费，提升合成氨装置的整体运行效能。

2.3 存在的问题与挑战

(1) 技术瓶颈

合成氨节能降耗面临诸多技术瓶颈。传统合成氨工艺的高温高压条件难以突破，导致能耗居高不下。新型节能技术如电化学合成氨，电催化剂活性与稳定性不足，能量转化效率低。余热回收系统难以适应复杂余热品质与工况变化，存在换热效率低、腐蚀结垢等问题。自动化控制难以精准协调合成氨复杂工艺的多变量参数，且模型易失配，这些技术难题制约着节能降耗水平的提升。

(2) 资金、人才限制

资金与人才限制是合成氨节能降耗的重要阻碍。节能设备购置、技术研发与改造需大量资金投入，如新型

高效合成塔、先进控制系统等成本高昂,许多企业难以承担。同时,缺乏专业的节能技术人才与管理人才,企业在技术创新、工艺优化及能源管理方面难以有效开展工作。人才培养周期长、成本高,资金短缺又无法吸引和留住人才,形成恶性循环,阻碍节能降耗工作推进。

(3) 环保政策压力

环保政策压力给合成氨行业带来巨大挑战。随着环保要求日益严格,合成氨生产过程中的二氧化碳、氮氧化物等污染物排放受到严格限制。企业需投入大量资金用于污染治理与减排技术研发,如碳捕集与封存技术(CCS)成本极高且技术不成熟。此外,环保政策的频繁调整与加严,要求企业不断更新环保设施与工艺,增加了企业的运营成本与合规风险,若无法达标,可能面临停产整顿等处罚。

3 合成氨装置节能降耗控制措施

3.1 优化产能布局与设备选型

优化产能布局应依据市场需求与资源分布,合理规划合成氨装置规模与选址,避免产能过剩或运输成本过高。在设备选型方面,优先选用高效节能型设备。例如,采用新型低阻力合成塔,其特殊的内部结构可降低气体流动阻力,减少压缩能耗;选用变频调速的压缩机,能根据生产负荷自动调整转速,降低电力消耗,对设备进行综合评估,考虑设备的全生命周期成本,包括采购、运行、维护等费用,确保所选设备在长期运行中实现能源利用最大化,提高整体生产效益并降低能耗。

3.2 改进生产工艺与技术创新

改进生产工艺可从多环节入手。在原料气制备阶段,采用先进的气化技术,如粉煤气化,提高原料转化率与合成气质量,减少废渣与废气产生。合成反应环节,研发新型催化剂,降低反应活化能,使反应能在更温和条件下进行,减少高温高压带来的能耗。技术创新方面,探索新型合成氨工艺,如生物合成氨或光催化合成氨,虽目前处于研究阶段,但有望突破传统工艺的能耗局限。

3.3 加强余热余压回收利用

加强余热余压回收利用需构建完善的回收系统。针对合成反应产生的高温余热,安装高效余热锅炉,产生高压蒸汽用于发电或驱动其他耗能设备,实现能量的梯级利用。对于中低温余热,采用换热器网络,预热原料气、工艺水等,提高热能利用率。在余压回收上,利用膨胀机回收压缩机出口的余压能,将其转化为机械能或

电能。同时,加强对余热余压回收设备的维护与管理,定期检查换热设备的结垢与腐蚀情况,确保设备高效稳定运行,防止因设备故障导致余热余压资源浪费,从而有效降低合成氨装置的能耗。

3.4 推进低碳原料燃料替代

推进低碳原料燃料替代是合成氨节能降耗的重要方向。以生物质为原料,如利用农作物秸秆、木屑等进行气化合成氨,其生长过程吸收二氧化碳,可实现碳中和。氢气也是理想的替代原料,水电解制氢结合可再生能源,可实现绿色制氢用于合成氨生产,过程中无碳排放。此外,对于天然气等传统原料,可通过优化预处理工艺,提高其纯度与反应活性,减少原料消耗与能耗。在燃料替代方面,采用清洁燃料如生物质成型燃料或沼气替代煤炭等传统燃料,降低燃烧过程中的污染物排放与能源浪费,推动合成氨生产向低碳环保迈进。

3.5 提升数字化管理水平

提升数字化管理水平需构建全面的数字化平台。首先,安装先进的自动化控制系统,如DCS或PLC系统,对合成氨生产过程中的温度、压力、流量等参数进行实时精准监测与控制。利用大数据分析技术,收集与分析生产数据,挖掘能耗与工艺参数之间的潜在关系,为优化生产提供依据。采用人工智能算法,如模型预测控制(MPC),提前预测工艺变化并自动调整操作参数,实现节能优化^[3]。

结束语

在合成氨装置节能降耗的征程中,我们通过多维度的控制措施,从优化产能布局与设备选型,到改进生产工艺与技术创新,再到余热余压回收利用、低碳原料燃料替代以及数字化管理水平提升,取得了阶段性的显著成效。然而,节能降耗之路永无止境,未来仍需持续探索新技术、新材料,不断完善管理体系与控制策略,以应对日益严峻的能源与环境挑战,推动合成氨工业朝着绿色、高效、可持续的方向稳步前行,为全球化工产业的生态化转型贡献力量。

参考文献

- [1]朱晓飞,李成明.合成氨装置节能降耗控制措施[J].城市建筑与发展,2023,4(19):45-67
- [2]王刚.合成氨装置节能降耗控制措施[J].化工设计通讯,2019,45(3):9-10.
- [3]文涛,魏常星.合成氨装置节能降耗控制措施[J].河南化工,2019,34(4):37-39.