

# 基于可再生能源的绿色合成氨工艺探索

宋健伟

内蒙古大地远通化工有限公司 内蒙古 赤峰 024000

**摘要:** 在全球气候变化的背景下, 基于可再生能源的绿色合成氨技术受到了广泛关注。本文综述了当前绿色合成氨技术的研究现状, 分析了面临的挑战, 并提出了可能的解决方案。此外, 本文还展望了绿色合成氨技术的未来发展趋势, 旨在为相关研究和产业化进程提供指导。

**关键词:** 可再生能源; 绿色合成氨; 工艺探索; 环境保护; 技术挑战; 发展趋势

## 引言

氨 (NH<sub>3</sub>) 作为世界上最重要的化工原料之一, 在农业肥料、工业制冷剂以及能源载体等领域有着广泛的应用。然而, 传统的哈伯-博施法合成氨工艺严重依赖于化石燃料, 不仅能源消耗巨大, 而且产生了大量的温室气体排放。因此, 寻求一种基于可再生能源的绿色合成氨工艺, 对于实现可持续发展和减缓全球气候变化具有重要意义。

### 1 绿色合成氨工艺的现状

#### 1.1 可再生能源的种类与应用

近年来, 随着可再生能源技术的不断发展, 太阳能、风能和生物质能等清洁能源在合成氨领域的应用逐渐增多。太阳能和风能可以通过光伏和风力发电技术转化为电能, 进一步通过电解水制氢为合成氨提供原料。生物质能则可以通过气化或发酵过程转化为富含氢气的合成气, 进而用于合成氨。

#### 1.2 绿色合成氨技术路线

##### 1.2.1 电解水制氢

电解水制氢作为绿色合成氨工艺中的关键环节, 是

一种清洁、可持续的氢气生产方法。该方法利用电能将水分子分解为氢气和氧气, 其中氢气是合成氨的主要原料之一。电解水制氢具有原料来源广泛、产品纯度高以及环保无污染等优点, 因此在绿色合成氨工艺中得到了广泛应用。在电解水制氢过程中, 电能是关键因素。随着可再生能源技术的不断发展, 太阳能、风能等清洁能源可以通过光伏和风力发电技术转化为电能, 为电解水提供动力。这使得电解水制氢成为一种真正的绿色、可持续的制氢方法。电解水制氢的技术路线包括碱性电解水、质子交换膜电解水以及固体氧化物电解水等。其中, 碱性电解水技术相对成熟, 但能效较低; 质子交换膜电解水技术具有能效高、适应性强等优点, 但成本较高; 固体氧化物电解水技术则可以在高温下运行, 有望进一步提高能效和降低成本 (图1)。除了技术选择外, 电解水制氢还需要考虑设备的规模、能效和寿命等因素<sup>[1]</sup>。目前, 电解水制氢设备的能效和寿命尚未达到理想水平, 因此需要加大研发力度, 提高设备的性能和稳定性。同时, 为了实现规模化生产, 还需要探索大型电解水制氢设备的设计和制造技术。

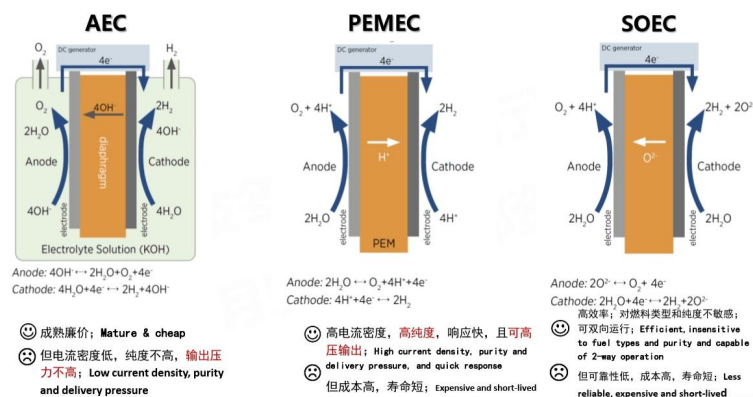


图1 几种电解水制氢技术特点

##### 1.2.2 生物质气化制氢

生物质气化制氢是绿色合成氨工艺中的另一重要技

术路线。它利用农业废弃物、林业残余物、能源作物等生物质资源, 在高温和缺氧条件下, 与气化剂 (通常

是空气、氧气或二氧化碳)反应,生成富含氢气的合成气。这一过程不仅实现了废物的资源化利用,还有助于减少化石燃料消耗和温室气体排放,因此被认为是一种具有广阔前景的绿色制氢方法。生物质气化制氢的技术原理(图2)是将生物质中的碳、氢、氧等元素转化为一氧化碳、氢气和少量的二氧化碳等气体。这些气体可以进一步通过变换反应和水气置换反应提高氢气含量,从而满足合成氨工艺对氢气的需求。与传统的化石燃料制氢相比,生物质气化制氢具有原料可再生、碳循环封闭、环境友好等优势。在实际应用中,生物质气化制氢技术面临一些挑战,如原料的收集、运输和储存问题,气化过程中的焦油生成和处理问题,以及合成气的净化和提质问题等。为了解决这些问题,研究者们正在努力提高生物质气化的效率,优化气化剂的选择和配比,开发高效的焦油脱除和合成气净化技术。

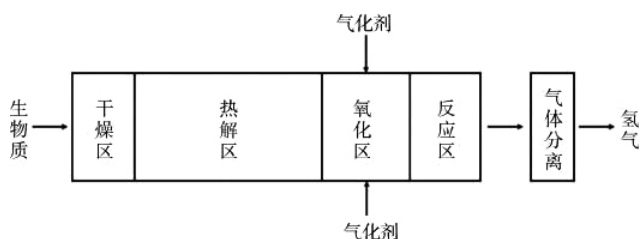


图2 生物质气化制氢流程图

### 1.2.3 空气分离制氮

空气分离制氮是绿色合成氨工艺中不可或缺的一环,它负责为合成氨过程提供所需的氮气原料。空气作为一种丰富、易得且无污染的资源,在合成氨工艺中具有得天独厚的优势。通过空气分离技术,我们可以有效地从空气中提取出高纯度的氮气,满足合成氨工艺对原料的需求。空气分离制氮的技术原理主要基于空气中各组分沸点的不同。在低温条件下,通过压缩、冷却和精馏等步骤,可以将空气中的氧气、氮气和其他稀有气体分离出来。其中,氮气作为合成氨的主要原料之一,其纯度对合成氨的质量和效率具有重要影响<sup>[2]</sup>。因此,在空气分离过程中,需要严格控制操作条件,确保氮气的纯度和产量。在实际应用中,空气分离制氮技术已经相当成熟,且设备投资相对较低,运行维护成本也相对较低。这使得空气分离制氮成为绿色合成氨工艺中经济、可行的选择。例如,在低温条件下操作需要消耗大量的能源,且设备容易受到腐蚀和磨损等影响。为了解决这些问题,研究者们正在努力提高空气分离技术的能效和稳定性,开发新型耐腐蚀、耐磨损的材料和设备,以降低能耗和延长设备使用寿命。

### 1.2.4 催化合成氨等步骤

催化合成氨是绿色合成氨工艺中的核心步骤,它利用催化剂的作用,在相对较低的温度和压力下,将氢气和氮气转化为氨气。这一过程不仅提高了合成氨的反应速率,还降低了能耗和排放,因此是绿色合成氨工艺中不可或缺的一环。催化合成氨的技术原理是基于哈伯-博施法的反应原理,即利用铁、钨等金属催化剂,在高温高压条件下,将氢气和氮气转化为氨气。然而,传统的哈伯-博施法存在能耗高、排放大等问题,不符合绿色化学的理念。因此,研究者们致力于开发新型催化剂和反应条件,以实现温和条件下的高效合成氨。近年来,随着纳米技术、材料科学等领域的不断发展,新型催化剂的研发取得了显著进展。例如,金属有机框架、单原子催化剂等新型催化剂材料,具有比表面积大、活性位点多、选择性好等优势,能够在温和条件下实现高效合成氨。此外,通过优化催化剂的制备方法和结构设计,还可以进一步提高催化剂的活性和稳定性。除了催化剂的选择外,反应条件也是影响催化合成氨效果的重要因素。为了实现绿色合成氨,需要降低反应温度和压力,减少能耗和排放。因此,研究者们正在探索新型反应器和工艺流程,以实现温和条件下的高效合成氨。

## 2 面临的挑战与解决方案

### 2.1 能源转换效率问题

尽管可再生能源如太阳能、风能等具有巨大的应用潜力,为合成氨工艺提供了新的能源选择,但其本身的不稳定性和间歇性却给实际生产带来了不小的挑战。这种不稳定性意味着在某些时段能源供应可能过剩,而在其他时段则可能不足,这直接影响到合成氨工艺的连续性和稳定性。为了有效应对这一问题,我们可以考虑引入储能技术。储能技术,如电池储能、氢能储存等,能够在能源供应过剩时将多余能源储存起来,并在能源供应不足时释放储存的能源,从而平衡能源供需,确保合成氨工艺的稳定运行。这不仅有助于解决可再生能源的间歇性问题,还能提高能源的整体利用效率<sup>[3]</sup>。

### 2.2 催化剂性能问题

催化剂在合成氨反应中扮演着举足轻重的角色,其性能直接决定了反应的效率和稳定性。然而,目前商业化的合成氨催化剂,如铁基和钨基催化剂,虽然已被广泛应用,但仍存在诸多性能上的局限。这些传统催化剂往往需要在高温高压的苛刻条件下才能发挥出理想的催化活性。这不仅增加了能源消耗和设备成本,还可能导致催化剂的快速失活和副反应的发生。更为严重的是,这些催化剂对毒物如硫、氯等极为敏感,一旦受到这些毒物的污染,其催化性能便会大幅下降甚至完全失活。

为了克服这些挑战,绿色合成氨工艺急需开发新型的高效、稳定且能在温和条件下工作的催化剂。研究者们正致力于探索各种新型催化剂材料,如金属有机框架和单原子催化剂等。这些新型材料具有独特的结构和性质,有望在较低的温度和压力下实现高效的合成氨反应<sup>[4]</sup>。

### 2.3 高效反应器和工艺控制技术的缺乏

高效反应器和先进的工艺控制技术是实现绿色合成氨过程优化、提升产能以及节能减排的两大核心要素。然而,当前这两方面的研究与应用仍显得相对滞后,成为了制约绿色合成氨技术进一步发展的瓶颈。在传统合成氨工艺中,反应器的设计和工艺控制已经积累了一定的成熟经验。但这些经验并不能完全照搬到绿色合成氨工艺中,因为后者对能效、环保和安全性有着更高的要求。因此,我们需要借鉴传统工艺中的精华,并结合绿色合成氨的特点进行创新和改进,开发出真正适合绿色合成氨的高效反应器和工艺控制技术。此外,高效反应器和工艺控制技术的研发涉及化学工程、材料科学、自动控制等多个学科领域。要想取得突破性的进展,单靠某一学科的力量是远远不够的。因此,加强跨学科的合作和交流显得尤为重要。通过搭建多学科交叉的研究平台,汇聚各领域的专家和智慧,共同攻克绿色合成氨技术中的难题,推动相关领域的技术进步。

## 3 未来发展趋势与展望

### 3.1 集成化、智能化技术发展

随着科技的飞速发展,未来绿色合成氨工艺必将朝着更为集成化、智能化的方向大步迈进。集成化技术将致力于整合和优化合成氨工艺中的各个关键步骤,如原料预处理、催化反应、产物分离与纯化等,通过精心设计的工艺流程和高效能的设备布局,实现整体效率的显著提升和能耗的大幅降低。这种集成化不仅有助于减少生产过程中的物料浪费和能源消耗,还能降低环境污染,提高经济效益。智能化技术则是绿色合成氨工艺发展的另一大趋势。借助人工智能、大数据等前沿技术,我们可以对合成氨生产过程进行实时、精准的监控和分析。通过对生产数据的深入挖掘和处理,智能化系统能够及时发现生产过程中的异常情况,并自动进行优化调整,确保生产始终保持在最佳状态。

### 3.2 多领域协同创新

绿色合成氨工艺的发展,绝非单一学科或领域能够独立完成任务,它迫切需要多学科、多领域的深度融合与协同创新。化学工程、材料科学、能源科学等领域的专业知识与技术,都是推动绿色合成氨技术不断向前发展的关键力量。这些领域的深度融合,能够产生出更

多创新性的解决方案,共同应对合成氨工艺中遇到的种种挑战。例如,化学工程领域可以提供高效的反应器和工艺设计,材料科学领域可以研发出性能更优越的催化剂和储能材料,而能源科学领域则可以为整个工艺提供可持续、清洁的能源解决方案。这些领域的协同合作,无疑将大大加速绿色合成氨技术的发展进程。此外,绿色合成氨技术的广泛应用和产业化发展,也离不开与环保、农业等相关行业的紧密合作与交流。环保行业可以为绿色合成氨工艺提供严格的环保标准和监管措施,确保其生产过程真正达到绿色、环保的要求;而农业行业作为氨的主要消费领域,对绿色合成氨技术的需求和应用反馈,将直接推动该技术的不断完善和优化。

### 3.3 政策支持与市场机制

政府在推动绿色合成氨产业的发展中将发挥不可或缺的引导与支持作用。为了加速绿色合成氨技术的研发和应用,政府需要制定一系列具有针对性和激励性的政策和法规。这些政策可能包括研发补贴、税收优惠、技术转移和推广计划等,旨在降低企业的研发风险,提高其创新积极性。除了政策层面的支持,建立完善的市场机制也至关重要。一个健康、公平的市场环境能够促进绿色合成氨产品的市场化和规模化应用。政府可以通过设置环保标准、建立绿色采购制度等方式,引导市场需求向绿色、环保的产品转移。同时,加强对市场的监管,打击不正当竞争和侵权行为,确保绿色合成氨技术能够在市场中得到公正的评价和回报。此外,加强国际合作与交流也是推动绿色合成氨技术发展的重要途径。

## 结语

基于可再生能源的绿色合成氨工艺在环保和可持续发展方面具有显著优势,是未来合成氨产业的发展方向。尽管目前仍面临一些挑战和问题,但随着科技的不断进步和创新能力的不断提升以及政策支持和市场机制的推动,相信未来绿色合成氨工艺一定能够取得更大的突破和发展。这将为应对全球气候变化、促进可持续发展和保护人类生存环境做出重要贡献。

## 参考文献

- [1]郭启星.合成氨工艺与技术节能探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2022(16):12-15.
- [2]李建强.合成氨工艺流程分析与节能措施[J].科技与企业,2022(08):48-39.
- [3]赵永刚.煤化工合成氨工艺分析及节能改造措施[J].黑龙江科技信息,2022(34).
- [4]杨清.不同气源条件下合成氨装置的工艺优化及运行总结[J].肥料与健康,2020,47(05):42-45.