

# 绿氢-甲醇-合成氨综合能源分析

王丹

四川省机械研究设计院(集团)有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i5.9133

**[摘要]** 本文主要介绍了现阶段国内绿氢-甲醇-合成氨项目开展情况,提出我国绿氢-甲醇-合成氨的工艺路线,对现阶段绿氢-甲醇-合成氨进行了经济分析。在氢制甲醇和甲醇重整制氢方面已经有了多方面的应用。在国外,德国、日本、冰岛等国家在CO<sub>2</sub>制甲醇的研究项目和工程应用方面已取得了显著的成果。国内方面,中科院在山西、上海、河南等多个地区开展了工业试验、开发项目合作以及示范工程,并实现了大规模的技术建设。

**[关键词]** 绿氢; 绿醇; 绿氨

中图分类号: Q946.82+6.1 文献标识码: A

## Comprehensive energy analysis of green hydrogen methanol synthetic ammonia

Dan Wang

Sichuan Machinery Research and Design Institute (Group) Co., Ltd

**[Abstract]** This article mainly introduces the current situation of domestic green hydrogen methanol synthetic ammonia projects, proposes the process route of green hydrogen methanol synthetic ammonia, and conducts an economic analysis of the current green hydrogen methanol synthetic ammonia project. There have been various applications in hydrogen to methanol and methanol reforming for hydrogen production. Significant achievements have been made in research projects and engineering applications of CO<sub>2</sub> to methanol production in countries such as Germany, Japan, and Iceland abroad. Domestically, the Chinese Academy of Sciences has carried out industrial testing, development project cooperation, and demonstration projects in multiple regions such as Shanxi, Shanghai, and Henan, and has achieved large-scale technological construction.

**[Key words]** green hydrogen; Green alcohol; Green ammonia

### 引言

2023年9月20日,中远海运、国家电投、上港集团、中国检验认证共同签署《关于开展绿色甲醇产业链建设合作备忘录》,将共同构建符合国内外绿色认证标准、运转稳定畅通、具有可持续发展能力的绿色甲醇全产业链,全力推动国内首批绿色甲醇生产项目落实落地。

截至2024年1月,国内已建成及在建的绿色低碳甲醇项目11项,绿色低碳甲醇总产能约为32.07万吨/年。从建成及在建项目的规模来看,多数项目处于10万吨级以下水平,正处于技术及商业示范阶段。其中已披露的单项目最高产能11万吨/年,为2022年吉利集团在河南安阳建成的绿色低碳甲醇项目。

截至2024年1月,国内处于规划阶段的绿色低碳甲醇项目约24个,合计规划产能规模约751.7万吨/年。其中已披露规划项目中有多项产能超过100万吨/年,如中能建康乃尔绿电耦合煤气化制甲醇一体化项目,中广核赤峰风光制氢百万吨绿色甲醇项目。

截至2024年1月,我国建成及在建的二氧化碳加氢制甲醇项目约3项,总产能约21.1万吨/年。从开展路径来看,采用工业低碳氢源的路径最先展开规模化应用,产能达到10万吨级,如2022年建成的河南安阳CO<sub>2</sub>加氢制绿色低碳甲醇联产LNG项目。

截至2024年1月,我国规划的二氧化碳加氢制甲醇项目约4项,总产能约140万吨/年。规划中绿氢氢源规模最大,最大规划项目为中广核100万吨风光制氢绿色甲醇项目。

### 1 绿氢-甲醇-碳捕集流程

甲醇被誉为“液态阳光”,常温常压处于液态,可实现长期安全稳定的储存,是理想的低成本化学储氢载体;也是实现碳减排的重要路径。

我国绿氢制备成本相对来说仍然较高,但是储能行业热议的“液体阳光”概念提供了新思路。通过风能、太阳能等可再生能源分解水制绿氢,然后利用绿氢将二氧化碳通过碳捕获封存技术转化为甲醇(绿色甲醇)。将可再生资源综合循环利用起来,同时兼顾经济发展和实现“碳中和”目标。

表1 我国建成及在建的绿氢-甲醇主要项目

项目名称	主要参与方	绿醇产能(万吨/年)	项目状态
河南安阳顺腾集团绿色低碳甲醇项目	吉利控股	11	2023年投运
江苏斯尔邦“二氧化碳捕集利用-绿色甲醇-新能源材料”项目	鸿盛集团	11	2023年投运
液态太阳燃料合成示范工程项目	中科院大连化学物理研究所	0.1	2020年投运
吴忠市30万吨/年绿色低碳甲醇项目	吉利控股	30	2023年备案
10万吨/年液态阳光-二氧化碳加绿氢制甲醇技术示范项目	中煤鄂尔多斯能源化工有限公司	10	2023年开工建设
远景通辽风光制氢氨醇一体化项目	远景绿色气体(通辽)有限公司	60(合成氨)30(绿甲醇)	计划2024年开工建设
100万吨风光制氢绿色甲醇项目	内蒙古赤峰市政府、中广核新能源公司、扬州吉道能源有限公司	100	计划2024年开工建设

1.1 二氧化碳加氢制甲醇

C0<sub>2</sub>加氢反应过程简单,工艺日趋成熟。反应原理以氢气和二氧化碳为原料反应制备甲醇。二氧化碳和氢气在多原子金属簇催化剂表面吸附,逐步转化为气态的甲醇CH<sub>3</sub>OH。其中所使用的催化剂多为Cu-Zn-Al体系。该过程的本质是将可再生能源的能量存储在燃料甲醇中,使能量便于储存与运输,提升化学能的利用率。通过绿色化学反应产生的甲醇可在一些领域替代传统化石能源,壮大我国清洁能源产业,提升能源多元化保障能力,有助于双碳目标实现。

化脱硫,直接作为碳源。

甲醇制备和分离:将CO<sub>2</sub>与H<sub>2</sub>在缓冲罐内充分混合,恒温恒压(反应温度约250~350℃,反应压力约6~8MPa)下在甲醇合成塔内反应生成甲醇、水及副反应产物。随后在甲醇分离器内进行气液分离获得粗甲醇产物,最终通过精馏得到纯度较高的甲醇产物。

2 绿色甲醇成本分析

利用太阳能、风能等可再生能源获得绿色电力,电解水制绿氢,再由绿氢加二氧化碳转化生产的甲醇被称为电制甲醇。绿色甲醇的高成本主要源于电解水制氢所需的庞大电力消耗,这部分成本占到了总成本的77%。甲醇成本对比见下表。

表2 甲醇生产成本对比

煤制甲醇		绿色甲醇	
煤炭价格(元/吨)	甲醇成本(元/吨)	电价(元/KW.h)	甲醇成本(元/吨)
600	2000	0.1	2156
700	2335	0.2	3100
800	2700	0.3	4200
938	3195	0.4	5300

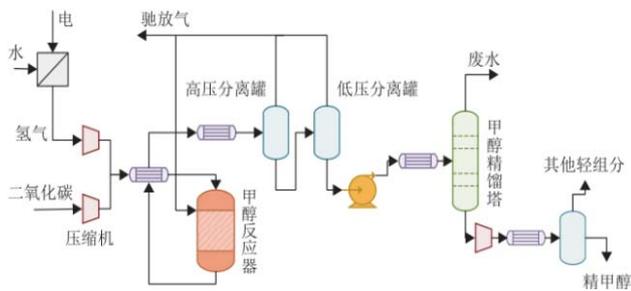


图1 二氧化碳加氢制甲醇流程

1.2 二氧化碳加氢制甲醇流程

H<sub>2</sub>制备:若采用绿氢,则需要将风、光等清洁能源转化为电能,通过电解水产生氢气,通过洗涤冷却器提纯氢气作为氢源。

CO<sub>2</sub>制备:可收集化工、炼钢等过程产生的二氧化碳无需净

表3 部分中国企业绿氨项目建设情况

项目名称	主要参与方	绿氨产能(万吨/年)	项目状态
大安风光制绿氨合成氨一体化示范项目	吉电股份	18	2022年启动
府谷县绿电制氢合成氨及储氢电池产业链项目	谷县人民政府、广东省能源集团贵州有限公司、浙江运达风电股份有限公司	20	2023年签约
张掖绿氨合成氨一体化示范项目	中国能建中电工程、中能装备	1.6	2023年开工
明阳多伦工业园区风电制氢一体化示范项目	多伦县浩阳风力发电有限公司	2	2023年通过审批
远景通辽风光制氢氨醇一体化项目	远景绿色气体(通辽)有限公司	60(合成氨) 30(绿甲醇)	计划2024年开工建设
茂旗绿氨合成氨项目	绿氨(北京)技术有限公司	30	2023年开工
国能阿拉善高新区百万千瓦风光氢氨+基础设施一体化低碳园区示范项目-配套14万吨绿氨合成氨项目	国能源创阿拉善新能源有限公司	14	2023年备案

现阶段, 甲醇的市场价格为每吨2200-3000元左右, 因此, 只有在再生能源电价降至0.2元/kWh以下的情况时, 绿色甲醇才能与传统煤化工甲醇勉强打平。但是随着光伏发电成本的下降, 二氧化碳和绿氨结合制甲醇的成本与煤制甲醇快速缩小。

### 3 国内外绿氨-合成氨现状

随着全球对碳减排的重视和绿色可持续发展的推进, 在过去三年中, 已经有60多家企业宣布建立可再生氨工厂, 以及多家化肥公司对现有的化石合成氨工厂进行改造, 项目集中投产时间在2026年左右。预计到2025年以后, 可再生氨将主导氨的新增产能。海外可再生氨工厂的设立主要分布在风光等可再生资源丰富和对“零碳”承诺响应程度较高的国家, 例如欧盟、澳大利亚和智利等。

在“双碳”背景下, 伴随着绿氢的发展, 氢的载体绿氨也被化工和能源企业重视, 以国能、国电投、远景能源、吉能股份、中国氢能、明拓集团等为代表的企业也正在国内积极投资布局风光电氢氨一体化项目。绿氨项目主要分布在西北、东北等可再生资源丰富的地区, 全国规划的绿氨项目总产能约380万吨, 其中内蒙古2022年公布的绿氨产能约180万吨。部分项目获得备案, 正在融资和筹建阶段, 预计2025-2026年陆续投产。

### 4 合成氨工艺流程

可再生能源电解制氢合成氨的工艺流程主要通过风能、光能、水能等可再生能源发电获取“绿电”, 进一步通过电解水

制氢装置生产“绿氢”, 最后耦合热催化合成氨工艺制取“绿氨”, 从而实现可再生能源的高效利用和安全存储, 工艺路线如图2所示。

根据工艺路线步骤主要分为三部分, 可再生能源发电主要涉及风光发电; 电解水制氢主要涉及碱性电解水和质子交换膜电解水工艺, 向不同电解质溶液中通入直流电, 根据电解质的不同, 水分子在不同电极上发生氧化或还原反应, 形成H<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>。

合成氨在低温低压过程中, N<sub>2</sub>先在活性位上吸附, H<sub>2</sub>吸附解离为H原子后, 加氢生成N<sub>2</sub>H<sub>x</sub> (x=1~5), 最后脱附生成NH<sub>3</sub>, 可以在温和条件下合成氨。

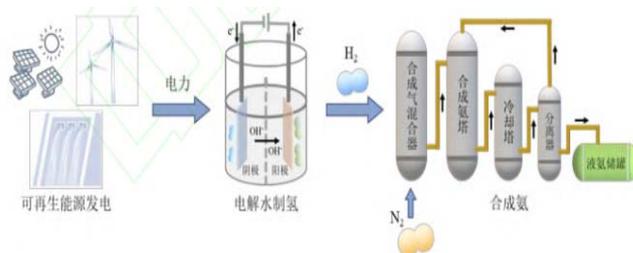


图2 绿氨制合成氨流程

### 5 绿氨成本分析

制氢用电量按照碱性电解水制氢进行估算。参照国内某风光制氢合成氨项目, 电解制氢合成氨装置的其他用电量按

933kWh/tNH<sub>3</sub>计算,其他成本考虑折旧、人工、蒸汽、水等成本。具体来说,计算电解槽和合成氨装置的总固定成本费用为686元/t,包含折旧费358元/t、修理费83元/t、其他制造费用74元/t、原材料和辅料成本15元/t、外购燃料成本4元/t、人工费107元/t、水费45元/t。此外,每吨氨折合为176kgH<sub>2</sub>,每标方氢的质量为89g。绿氨的成本主要取决于绿氢的成本,占氨生产成本的80%左右,由此得出不同电价下合成氨的成本,详见图3。

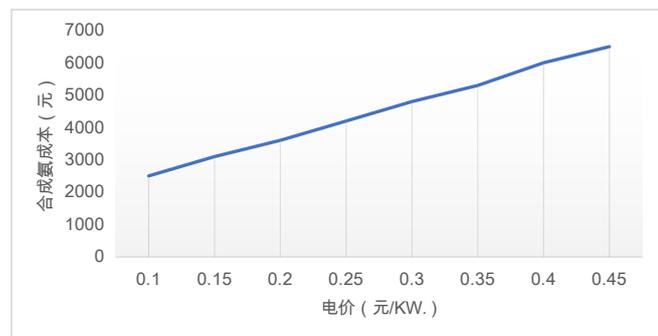


图3 不同电价下绿氨成本

## 6 结束语

2023年合成氨价格围绕2500-3500元/吨区间震荡。而在绿电电价0.3元/kW·h水平时,国内绿氨成本约为4500-5000元/t;电价为0.2元/kW·h水平时,绿氨成本约为3500元/t。电价越低、电解水制氢系统水平越高,电解制绿氨成本越低。当电解水制氢

系统为平均水平(直流能耗为4.5kWh/Nm<sup>3</sup>)、电价为0.15元/kWh时,绿氨成本为3000元/t,与煤价1400元/t时的灰氨成本相当。因此,随电解水系统水平提高以及可再生能源电价降低,绿氨成本有望低于灰氨。

## 【参考文献】

- [1]袁铁江,高玲玉.基于氢能的风-火耦合多能系统设计与综合评估[J].电力自动化设备,2021,41(10):227-233,255.
- [2]中国科学院.中科院二氧化碳甲醇技术完成工艺包编制[J].天然气化工(C1化学与化工),2016,41(3):15.
- [3]汪翼东.面向PEMFC的甲醇现场重整制氢系统设计与应用研究[D].杭州:浙江大学,2019.
- [4]熊宇峰,陈来军,郑天文,等.考虑电热气耦合特性的低碳园区综合能源系统氢储能优化配置[J].电力自动化设备,2021,41(09):31-38
- [5]关浩然,朱丽娜,朱凌岳,等.利用不同氢源及氮源电化学生成氨研究进展与挑战[J].化工进展,2022,41(8):4098-4110.
- [6]何发明,曾庆,吴剑,等.天然气裂解制氢与水电解制氢合成氨工艺特性比较[J].化肥设计,2020,58(2):5-9.

## 作者简介:

王丹(1986--),女,汉族,四川成都人,硕士研究生,职称:工程师,研究方向:燃气工程。