

绿色甲醇发展前景分析

交通领域主流替代燃料，融合绿氢发展前景广阔

优于大市

核心观点

基于可再生能源所制备的绿色甲醇是理想的替代燃料。甲醇是一种重要的大宗基础化工产品，全球每年消费量达到 1.26 亿吨，行业产值超过 3000 亿元，近年来甲醇在替代燃料领域应用也日益增加。传统甲醇以煤炭或者天然气等化石能源为主要原料，碳排放量较高，尤其是我国甲醇生产以煤制甲醇为主。随着全球推行远期净零排放政策，甲醇行业面临重大转型。基于可再生能源制备的绿色甲醇产业开始加速发展。绿色甲醇是指基于可再生能源如生物质、捕获的二氧化碳和绿氢生产的甲醇，其全生命周期可实现近零排放，环境效益显著。

绿色甲醇技术路线丰富，降本空间较大。绿色甲醇技术路线包括电制甲醇、生物质气化制甲醇、生物质耦合绿氢制甲醇等，其中电制甲醇有望成为未来主流技术路线。电制甲醇路线基于绿氢和捕获的二氧化碳生产甲醇，目前成本超过 4500 元/吨，该技术路线所需要的绿氢和二氧化碳均可轻易实现大规模供应，未来有望下降 40% 以上，届时将具备大规模替代当前传统甲醇市场的可能性。远期假设我国甲醇消费全部甲醇电制供应，对应绿氢需求量为 2100 万吨左右，相当于目前我国绿氢产量的 41 倍，对应绿电的需求可能超过 1 万亿千瓦时，相当于 2023 年全国新能源发电量的 68%。

全球航运业脱碳压力巨大，生物质制甲醇路线经济性较好。根据国际海事组织预测，至 2050 年航运业传统化石燃料市场份额将减少到 15%，而绿色甲醇的使用率将逐步上升至 42%，到 2050 年航运业对绿色甲醇的需求量有望达到 1.9 亿吨。近年来以甲醇为燃料的营运船舶数量及订单数量增长，政策及配套设施逐渐完善。为了鼓励符合欧盟标准的以生物质为碳源的绿色甲醇供应，国际航运巨头目前与多家新能源企业签订高价的生物质绿色甲醇供货合同，对于生物质甲醇路线的盈利能力提供充分保障。

海内外绿色甲醇项目涌现，我国以电制甲醇技术路线为主。在航运业对绿色甲醇需求火热及传统甲醇产能面临绿色转型的背景下，海外及我国范围内的公司纷纷布局绿色甲醇项目。目前海外绿色甲醇项目超过 100 个，累计规划甲醇产能超过 1300 万吨；我国投产、在建、备案和签约的绿色甲醇项目也超过 70 个，合计规划年产能超过 2600 万吨，其中 66% 的产能为电制甲醇路线。

投资建议：我们看好前瞻性布局绿色甲醇的新能源企业在 2026 年以后的业绩成长性，建议关注金风科技、运达股份。

风险提示：全球绿色甲醇政策推进不及预期，绿色甲醇成本下降不及预期，绿色甲醇需求不及预期。

重点公司盈利预测及投资评级

公司 代码	公司 名称	投资 评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS		PE	
					2024E	2025E	2024E	2025E
300772.SZ	运达股份	优于大市	15.21	106.7	0.77	1.06	19.8	14.3
002202.SZ	金风科技	优于大市	11.16	471.5	0.53	0.76	21.1	14.7

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

行业研究 · 行业专题

电力设备

优于大市 · 维持

证券分析师：王蔚祺

010-88005313

wangweiqi2@guosen.com.cn

S0980520080003

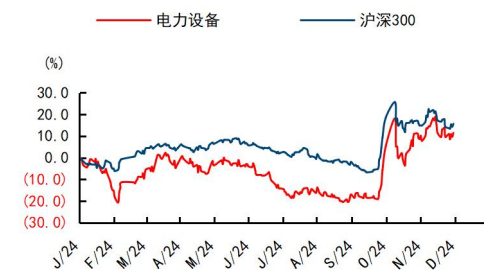
证券分析师：徐文辉

021-60375426

xuwenhui@guosen.com.cn

S0980524030001

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

《风电/电网产业链周评(11月第5周)-海风招标持续释放,2025年装机高增可期》——2024-12-01

《电力设备新能源 2025 年度投资策略-电网智能化升级,新能源龙头引领创新发展》——2024-11-26

《风电/电网产业链周评(11月第3周)-海上风电招标逐步释放,重视 2025 年行业需求反转》——2024-11-17

《电力设备新能源 2024 年 11 月投资策略-固态电池产业链迎来持续催化,国家推动新型储能与新能源车行业高质量发展》——2024-11-07

《风电/电网产业链周评(11月第1周)-甘肃-浙江特高压柔直中标公示,海缆招标提速》——2024-11-03

内容目录

绿色甲醇：新型清洁能源	5
甲醇简介	5
甲醇生产路线分类	6
绿色甲醇产业链	8
绿色甲醇技术路线及特点	9
绿色甲醇经济性比较分析	10
传统煤制甲醇成本	11
绿电制甲醇路线成本	11
绿电制甲醇降本趋势	12
绿色甲醇制备成本—生物质气化路线	13
绿色甲醇制备成本—生物质制甲烷再制甲醇路线	15
不同技术路线成本与目前甲醇价格对比（考虑碳排放成本）	15
绿色甲醇储运	17
绿色甲醇应用前景	19
一、航运燃料	19
二、化工原料	22
三、汽车燃料	24
三、储能/储氢载体	25
绿色甲醇产业发展现状	26
全球绿色甲醇项目	26
海外布局绿色甲醇的主要公司	27
我国绿色甲醇项目	28
我国绿色甲醇项目特点	28
我国政策推动绿色甲醇发展，各地政府促项目落地	30
各类型企业积极布局绿色甲醇项目	31
下游需求端现状及前景	34
我国绿色甲醇发展所面临风险	35
投资建议：关注绿色甲醇布局领先企业	35

图表目录

图 1: 2018-2022 年全球甲醇产能（百万吨/年）	5
图 2: 2019-2023 年我国甲醇产能、消费量及增速	5
图 3: 基于各种原料制备甲醇的全周期温室气体排放（吨/吨）	6
图 4: 棕色/黑色甲醇工艺（煤制甲醇）流程图	7
图 5: 灰色甲醇工艺（天然气制甲醇）流程图	7
图 6: 蓝色甲醇工艺流程图	8
图 7: 甲醇的分类及主要生产路线的碳排放比较	8
图 8: 绿色甲醇产业链示意图	9
图 9: 四种技术路线制备绿色甲醇流程图	10
图 10: 电制甲醇成本结构	12
图 11: 电制甲醇成本随制氢电耗及电价变化曲线	13
图 12: 电制绿色甲醇目前成本与未来成本对比（元/吨）	13
图 13: 生物质气化制绿色甲醇成本结构	15
图 14: 生物质气化制绿色甲醇成本随生物质原材料价格变化曲线	15
图 15: 我国 CCUS 技术路线	16
图 16: 不同技术路线制绿色甲醇成本区间	17
图 17: 2013-2024 年我国甲醇（优等品）市场价	17
图 18: 我国未来绿色甲醇贸易方向	18
图 19: 绿色甲醇运输距离与成本关系	19
图 20: 全球甲醇船舶在营运及订单数	21
图 21: 2023 年 6 月-2024 年 6 月全球船舶新增订单燃料分布	21
图 22: 甲醇下游产品链示意图	22
图 23: 2023 年中国甲醇下游消费占比	23
图 24: 2023 年全球甲醇下游消费占比	23
图 25: 2022 年我国各地 M100 车用甲醇燃料消费情况	25
图 26: 海外绿色甲醇项目数地理位置分布情况	26
图 27: 海外绿色甲醇规划产能地理位置分布情况	26
图 28: 海外绿色甲醇规划项目数技术路线分布情况	26
图 29: 海外绿色甲醇规划产能技术路线分布情况	26
图 30: 我国投产和建设的绿色甲醇项目数	28
图 31: 我国绿色甲醇项目数技术路线分布情况	29
图 32: 我国绿色甲醇产能技术路线分布情况	29
图 33: 我国规划绿色甲醇项目数地理位置分布情况	29
图 34: 我国规划绿色甲醇产能地理位置分布情况	29
图 35: 国家层面推动绿色甲醇发展的政策文件及主要内容	31

表1：甲醇的类型及其生产路线	6
表2：绿色甲醇的生产路线	9
表3：不同煤炭价格下煤制甲醇成本	11
表4：电制甲醇成本测算	12
表5：电制甲醇成本展望	13
表6：生物质制甲醇成本（元/吨）	14
表7：生物质制甲醇的成本与生物质价格关系	14
表8：不同技术路线制绿色甲醇成本对比（元/吨）	15
表9：各种燃料特性的比较	20
表10：2023 年中国甲醇下游消费占比	23
表11：HIF Global 公司绿色甲醇项目布局情况	27
表12：OCI Global 公司绿色甲醇项目布局情况	27
表13：ReNew Energy Global 公司绿色甲醇项目布局情况	27
表14：ABEL Energy 公司绿色甲醇项目布局情况	27
表15：Orsted 公司绿色甲醇项目布局情况	28
表16：金风科技绿色甲醇项目布局情况	32
表17：运达股份绿色甲醇项目布局情况	32
表18：中国天楹绿色甲醇项目布局情况	33
表19：吉利控股绿色甲醇项目布局情况	33
表20：国电投绿色甲醇项目布局情况	33
表21：中能建绿色甲醇项目布局情况	33
表22：相关公司盈利预测及估值（2024. 11. 29）	35

绿色甲醇：新型清洁能源

甲醇简介

甲醇是一种重要的大宗基础化工产品。甲醇是无色透明的液体，广泛应用于甲醛、醋酸、碳酸二甲酯等的制取，与木材、涂料、纺织、燃料、医药、农业等行业息息相关。同时甲醇具有质量轻、挥发性强、无色和易燃等特点，作为一种清洁能源应用于燃料电池、汽油添加剂和船舶燃料，还可以通过裂解释放出氢气，从而成为氢气储运的载体。

我国甲醇产能持续扩张，占全球总产能的约 60%。全球甲醇产能从 2018 年的 143.3 万吨/年增长到 2022 年 169.9 万吨/年，年均复合增长率为 4.3%。近年来主要的产能增长由中国贡献，我国作为世界甲醇生产第一大国，2023 年甲醇产能达到 1.08 亿吨/年，同比增加 5.8%，增速上涨了 2.7 个百分点，占全球总产能的约 60%。2019-2023 年我国甲醇产能年均复合增长率为 5.0%。2023 年，我国甲醇产量约为 8443 万吨，同比增加约 3%，产能利用率 78%。

我国是世界最大的甲醇消费国，引领世界甲醇市场发展。2023 年我国甲醇消费量为 0.99 亿吨，占全球消费量的 78.6%，2019-2023 年复合增长率达到 12.5%。目前我国的甲醇市场仍有缺口，约有 1200 万吨甲醇依靠进口。

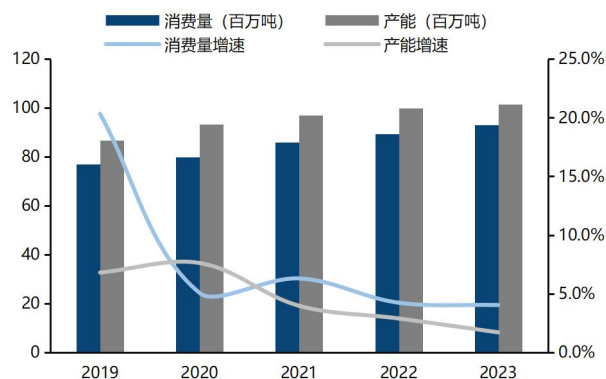
在我国甲醇的下游应用中，排名前三的分别是作为化工原料制烯烃（约 50.5%）、甲醇燃料（约 16%）和作为化工原料制甲醛（约 8.1%）。其中烯烃是重要的化工原料，可用于生产橡胶、塑料和纤维等；燃料方面，甲醇可以直接使用或与其他燃料混合使用，近年来，甲醇作为燃料的需求呈显著上升趋势；甲醛用于制造胶黏剂和涂料，广泛应用在木材加工、家具制造和建筑行业。

图1：2018-2022 年全球甲醇产能（百万吨/年）



资料来源：王明 等.《2023 年国内甲醇产业发展现状及展望》[J].《现代化工》2024 年第 44 卷第 5 期：15-20.，观研天下，前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

图2：2019-2023 年我国甲醇产能、消费量及增速



资料来源：Wind，观研天下，国信证券经济研究所整理

传统甲醇的生产路线为煤制甲醇和天然气制甲醇，我国以煤制甲醇为主。国际上，生产甲醇的原材料主要为天然气，中东、美洲等地区天然气资源丰富，价格低廉，天然气转化技术成熟可靠。受能源结构影响，我国主要采用煤制甲醇的工艺，比例超过 80%。

气候危机及环境污染背景下甲醇行业面临转型。大量采用化石燃料制甲醇使得甲

醇工业成为碳排放量最高的化工行业之一，煤制甲醇路线中每生产 1 吨甲醇需排放约 3 吨二氧化碳，每年中国甲醇行业的碳排放量在 2 亿吨以上。为应对能源危机和环境污染，采用更为环保的技术路线生产甲醇成为未来甲醇行业发展的趋势。

甲醇生产路线分类

国际可再生能源署建议按生产过程中碳排放强度由高到低将工业上生产的甲醇分为四种类型，分别为棕色/黑色甲醇、灰色甲醇、蓝色甲醇和绿色甲醇，对应于生产甲醇的原材料分别是煤、天然气、蓝氢和二氧化碳（或绿氢和不可再生二氧化碳）及生物质/可再生二氧化碳和绿氢。

表1：甲醇的类型及其生产路线

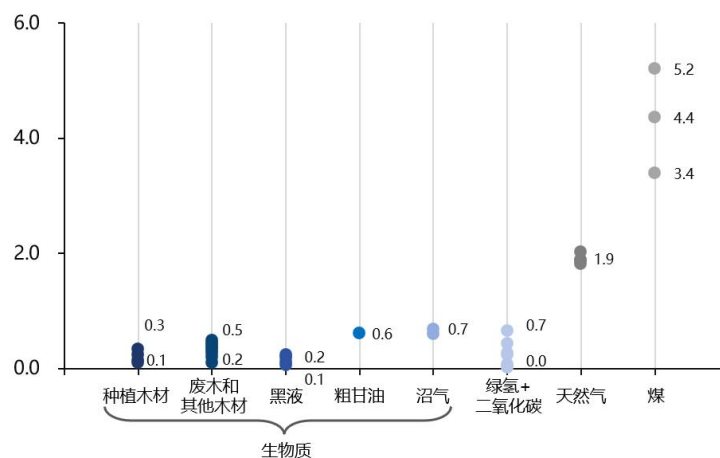
甲醇类型	生产路线	全生命周期碳排放量（吨/吨）	生产成本（元/吨）
棕色/黑色甲醇	煤-气化-合成气-甲醇	3.4-5.2	1800-2700（我国）
灰色甲醇	天然气-重整-合成气-甲醇	1.9-2.0	700-1500（国外）
蓝色甲醇	蓝氢+可再生/不可再生二氧化碳 绿氢+不可再生二氧化碳	介于灰色甲醇和绿色甲醇之间	介于灰色甲醇和绿色甲醇之间
绿色甲醇	电制甲醇：绿氢+可再生二氧化碳 生物质气化制甲醇：生物质-气化-合成气-甲醇 生物质耦合绿氢制甲醇：生物质-气化-合成气+绿氢 生物质制甲烷制甲醇：生物质-甲烷-甲醇	0-0.7	目前 4500-4600；远期 2100-2200 目前 3800 左右；远期 2300 左右 目前 3500-3600；远期 1900-2000 目前 3400-4200；远期不具优势

资料来源：舒斌等.《碳中和目标下推动绿色甲醇发展的必要性分析》[J].《化工进展》. 2023 年第 42 卷第 9 期：4471-4478.，国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理及测算

绿色甲醇生产过程中的碳排放趋近于零。从棕色/黑色甲醇，灰色甲醇，蓝色甲醇到绿色甲醇。甲醇生产过程中的碳排放逐步降低，绿色甲醇生产过程中的碳排放趋近于零。我国甲醇产能以煤制甲醇为主，甲醇行业年碳排放量超过 2 亿吨。大力发展绿色甲醇将大幅降低甲醇行业的碳排放。

当甲醇作为化工原料时下游应用繁多，产业链较长，因此以甲醇作为燃料，即最终完全燃烧的应用场景评估不同种类甲醇的碳排放强度。根据国际可再生能源署的数据，基于生物质、捕获二氧化碳和绿氢制备的绿色甲醇具有较低的碳排放强度，仅为 0-0.7 吨/吨，而棕色/黑色甲醇的碳排放量高达 3.4-5.2 吨/吨。

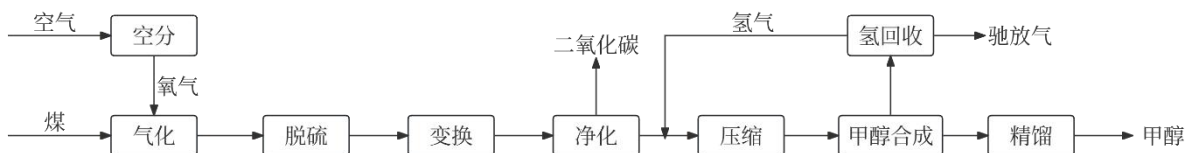
图3：基于各种原料制备甲醇的全周期温室气体排放（吨/吨）



资料来源：国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理（捕获的二氧化碳包括生物质工厂烟气或者火电厂烟气）

棕色/黑色甲醇是指利用煤炭生产甲醇。在煤制甲醇的工艺中，煤与来自空气中的氧气在气化炉内制得含有高浓度一氧化碳的粗煤气，然后按一定的碳氢比补充氢气，将混合气通过净化装置除掉多余的二氧化碳和硫化物得到甲醇合成气，再经过压缩，合成和精馏等工序得到甲醇产品。棕色/黑色甲醇的制备工艺存在**能耗高和污染严重**的问题。

图4：棕色/黑色甲醇工艺（煤制甲醇）流程图



资料来源：姚春德等.《甲醇燃料的应用现状及其展望》[J].《汽车安全与节能学报》2023年第14期第5卷:521-535.，国信证券经济研究所整理

灰色甲醇是以天然气为原料制备的。天然气制甲醇的工艺主要由预转化脱硫、调整水碳比并转化为合成气、压缩、合成和精馏等单元组成。与棕色/黑色甲醇相比，灰色甲醇的生产具有流程短、碳排放强度相对较低的特点，但仍属于高排放行业。

由于我国富煤贫油少气的基本国情，2012年国家发改委发布了《天然气利用政策》，**禁止新建或扩建以天然气为原料生产甲醇及甲醇生产下游产品装置**，天然气资源优先用于城市燃气。虽然2023年管控政策松绑，但天然气制甲醇仍被列为限制类项目。受资源和政策的影响，我国灰色甲醇仅占全国产能的8%左右。

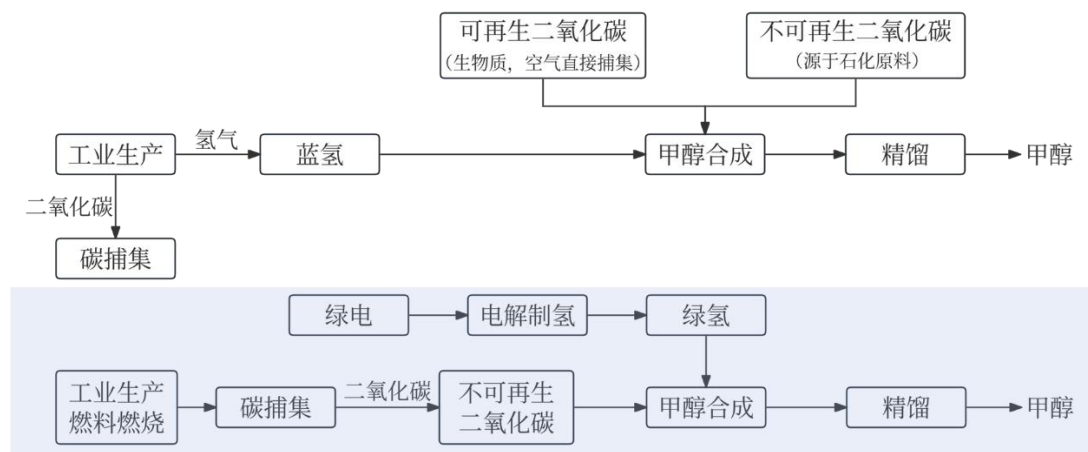
图5：灰色甲醇工艺（天然气制甲醇）流程图



资料来源：姚春德等.《甲醇燃料的应用现状及其展望》[J].《汽车安全与节能学报》2023年第14期第5卷:521-535.，国信证券经济研究所整理

蓝色甲醇是指在传统工艺基础上采用碳捕集和碳存储技术所制出的甲醇。包括利用蓝氢和可再生二氧化碳/不可再生二氧化碳，或绿氢和不可再生二氧化碳制备的甲醇。其中，蓝氢是指通过工业副产物或使用化石燃料但实施二氧化碳捕集利用与封存措施制得的氢气。可再生二氧化碳指通过生物源或直接空气捕集得到的二氧化碳，不可再生二氧化碳是指工业过程的二氧化碳。

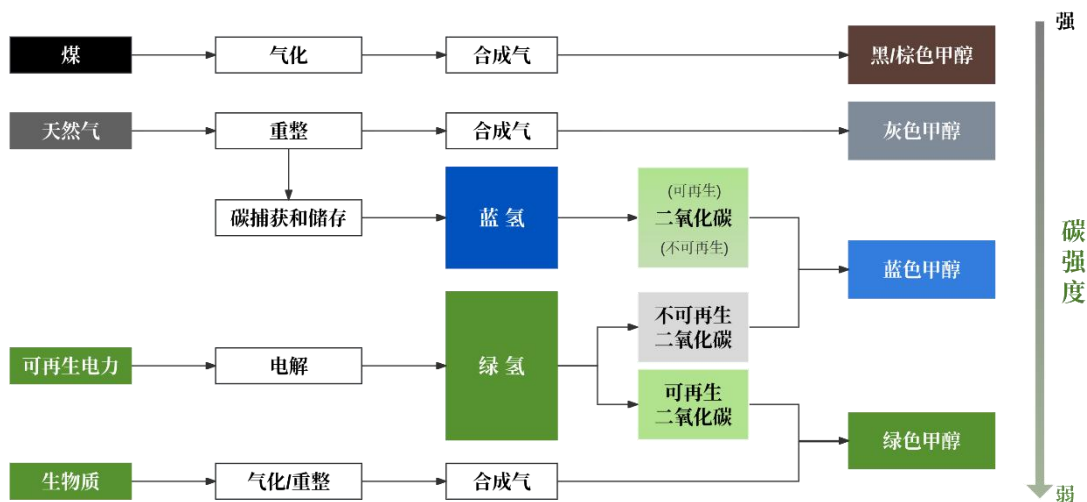
图6: 蓝色甲醇工艺流程图



资料来源：国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理

绿色甲醇指基于生物质、绿氢、二氧化碳等可再生能源制备的甲醇。目前国际上还没有形成统一的对绿色甲醇的定义，国际可再生能源署指出，绿色甲醇需要原料来源全部符合可再生能源标准。欧盟最新版本的《可再生能源指令》中提到，绿色甲醇可以分为生物燃料、非生物来源的可再生燃料和再循环碳燃料三类。即基于生物质、绿氢和二氧化碳制备甲醇。《可再生能源指令（RED II）》补充条例表示，短期内不再强制要求生物质制甲醇与绿电制甲醇作为绿色甲醇的唯一选择，而是把可计入欧盟碳排放交易体系，且在工业及火电场景中捕获来的不可再生CO2制备的甲醇也认定为绿色甲醇。中国目前正在积极探索绿色甲醇的认证标准。

图7: 甲醇的分类及主要生产路线的碳排放比较



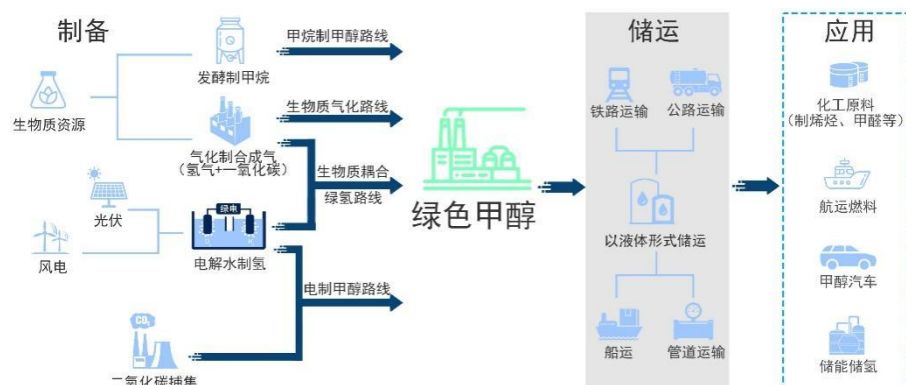
资料来源：国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理

绿色甲醇产业链

绿色甲醇的产业链主要包括制备、储运和应用三个环节。绿色甲醇的制备分为四种不同的技术路线，原材料涉及生物质、二氧化碳和绿氢。绿色甲醇以常温常压下的液体形式储存，运输方式分为铁路、公路、船运和管道运输。下游应用领域

包括船舶燃料、汽车燃料、化工原料和储能储氢载体。

图8: 绿色甲醇产业链示意图



资料来源：国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理

绿色甲醇技术路线及特点

绿色甲醇的制备分为四种路线，路线一为电制甲醇，基于绿氢和二氧化碳制备；路线二为生物质气化制甲醇；路线三为生物质耦合绿氢制甲醇，路线四为生物质发酵制甲烷再制甲醇。路线二、三、四均存在生物质原料的供应受季节和气候影响较大，生物质气化技术和设备面临一定挑战的问题。

表2: 绿色甲醇的生产路线

	路线一（电制甲醇）	路线二（生物质气化）	路线三（绿氢耦合生物质制甲醇）	路线四（生物质制甲烷）
技术路线	电解水制氢+可再生二氧化碳-甲醇	气化-合成气处理-甲醇	电解水制氢+生物质合成气/二氧化碳-甲醇	发酵-甲烷-甲烷重整-合成气压缩-甲醇
优势	电解水技术成熟	生物质来源广泛；热化学效率高；占地面积较小；合成气制甲醇技术成熟	生物质来源广泛；电解水技术成熟；生产过程完全符合欧盟认证标准	生物质来源广泛
劣势	绿氢和二氧化碳的成本较高	气化技术和设备面临一定挑战；生物质原料的供应受季节和气候影响	生物质原料的供应受季节和气候影响；气化技术和设备面临一定挑战，生物质资源和绿氢的输配	生物质原料的供应受季节和气候影响；自然发酵过程缓慢；土地需求较大；废液废渣处理难度较大
技术难点	绿氢与可再生二氧化碳的输配	大型气化炉设备	大型气化炉设备；系统集成	沼液和废渣的处理

资料来源：徐慧贞等.《绿色甲醇在航运燃料市场的前景分析》[J].《石油石化绿色低碳》2023年第8卷第5期:10-14.，国信证券经济研究所整理

路线一：电制甲醇

电制甲醇主要以绿氢和可再生二氧化碳为原料。其技术路线分为：利用可再生电力电解水得到的绿氢和捕获的二氧化碳生产甲醇；二氧化碳电催化还原制甲醇。其中二氧化碳电催化制甲醇尚不具备工业化条件，可再生二氧化碳与绿氢反应制备甲醇已被证明可实现大规模生产。电制甲醇的优势在于目前电解水技术已经成熟，但电解水和二氧化碳捕获成本高昂，绿氢与可再生二氧化碳的输配问题也面临挑战。

路线二：生物质气化制甲醇

生物质气化制甲醇技术是将生物质气化，然后通过变换和脱碳得到碳氢比一定的合成气来制备甲醇。我国拥有丰富的生物质资源，如秸秆、木屑、玉米芯、稻壳、稻草和城市固体废物等，可以高效利用这些生物质资源制造甲醇。该技术路线中

的关键工艺是生物质气化技术，得到合成气后制取甲醇的技术原理与煤制甲醇类似，工艺路线已经成熟稳定，热化学效率较高，对土地的面积要求较低，但气化和大型气化炉设备还存在技术挑战。

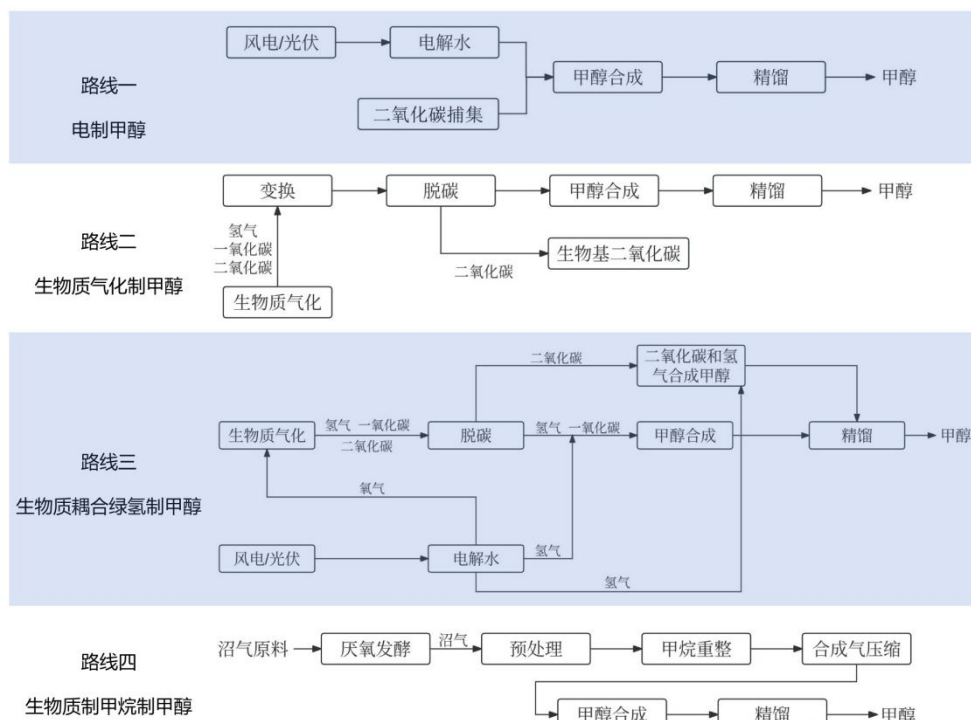
路线三：生物质耦合绿氢制甲醇

路线三是以生物质为碳源与绿氢反应制备甲醇。路线二当中，碳氢比调整存在耗能反应（水煤气环节）并排放二氧化碳。在此基础上如果将电解水制备得到的氧气运用在生物质气化环节，将绿氢导入合成气以调整碳氢比例，则可以取消变换单元，简化甲醇制备的设备和流程。

路线四：生物质制甲烷制甲醇

路线四是用生物质发酵得到甲烷再制甲醇。首先利用微生物将生物质厌氧发酵得到沼气（甲烷），通过甲烷重整得到氢气和二氧化碳的混合气并制备甲醇。由于自然发酵过程缓慢、沼气规模化的可能性较低，该技术路线需要大面积土地对生物质进行厌氧发酵，同时废渣处理难度较大。

图9：四种技术路线制备绿色甲醇流程图



资料来源：国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理

绿色甲醇经济性比较分析

由于目前我国存量甲醛产能以煤制甲醇为主，绿色甲醇产量较小，各种生产要素尚未达到规模化生产条件，因此目前绿色甲醇成本偏高，与黑/棕色甲醇成本差距较大，但未来随着产业化发展绿色甲醇降本空间巨大。

我们测算以上四种技术路线制备绿色甲醇的成本，目前绿电制甲醇的成本为4500-4600元/吨，生物质气化制甲醇的成本为3800元/吨左右，生物质耦合绿氢

制甲醇的成本为 3500–3600 元/吨, 生物质制甲烷制甲醇的成本 3500–4200 元/吨。

我国煤制甲醇产能占比超过 80%且天然气制甲醇属于限制类项目, 当煤炭价格为 500–1000 元时, 传统煤制甲醇(黑/棕色甲醇)的成本为 1800–2700 元/吨。

我们预期随着未来绿电成本的下降和生产规模的扩大, 绿电制甲醇和生物质耦合绿氢制甲醇的成本下降空间巨大, 单位生产成本有望达到 2100–2200 元/吨(电制甲醇)和 1900–2000 元/吨(生物质耦合绿氢制甲醇), 可对当前庞大的甲醇市场进行直接替代, 有效降低甲醇工业的碳排放量。

需要注意的是, 任何涉及到使用生物质原料的技术都需要考虑生物质颗粒的价格, 若未来能够发展大规模低成本的生物质来源, 那么当生物质颗粒价格下降至 600 元/吨以下时, 其经济性与煤制甲醇相当。而目前由于生物质资源分布较分散、供应量有限、呈季节性供应的特点, 大规模供应量存在不确定性。

传统煤制甲醇成本

我国甲醇的生产几乎完全依赖于煤炭, 即棕色/黑色甲醇。当煤炭价格为 500–1000 元时, 煤制甲醇的成本为 1800–2700 元/吨。例如据报道, 2023 年 12 月 8 日当周, 我国西北地区煤制甲醇制造成本在 2755 元/吨, 原料煤及燃料煤的成本占到甲醇总成本的 75%以上。

表3: 不同煤炭价格下煤制甲醇成本

煤炭价格 (元/吨)	甲醇成本 (元/吨)
500	1800–1900
1000	2600–2700
1500	3300–3400
2000	4100–4200

资料来源: 舒斌等.《碳中和目标下推动绿色甲醇发展的必要性分析》[J].《化工进展》2023 年第 42 卷第 9 期: 4471–4478., 国信证券经济研究所整理

绿电制甲醇路线成本

绿电制甲醇目前成本约为 4500–4600 元/吨, 未来随着绿电价格、碳捕获成本的下降以及技术发展, 有望降低至 2100–2200 元/吨。在电制甲醇工艺流程中, 氢气和二氧化碳分别来自于电解水制氢和二氧化碳捕获。绿电制甲醇的成本主要由原料气成本、工艺成本、设备折旧、运维操作等构成。

以设计建设年产 10 万吨的二氧化碳加氢制甲醇项目为对象, 总投资 2 亿元, 折旧残留率 5%, 设备折旧年限 20 年进行生产成本分析和预测。

项目采用目前常见的铜基催化剂, 据目前催化剂的性能, 原料气二氧化碳的单程转化率为 30%, 生成甲醇的选择性为 80%。年产 10 万吨甲醇需消耗氢气 1.88 万吨、二氧化碳 13.73 万吨。项目中所有用电来自光伏、风电等绿色电力, 氢气来自绿电制氢, 二氧化碳来自工业捕集, 纯度为 99.5%以上。制氢过程中以电耗 4.5kWh/Nm³, 电价以 0.3 元/kWh 计算。

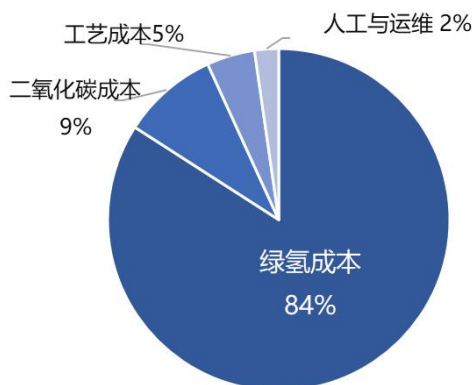
根据测算, 电制甲醇的成本为 4500–4600 元/吨, 其中氢气成本为主要成本, 占比达到 82%, 二氧化碳成本占比 9%。

表4: 电制甲醇成本测算

项目	成本（元/吨）	占比
绿氢	3700-3800	82%
二氧化碳	400 左右	9%
工艺成本（催化剂、生产过程中其他消耗品）	200 左右	4%
设备折旧	100 左右	2%
人工与运维	100 左右	2%
合计	4500-4600	100%

资料来源：舒斌等.《CO₂加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期：191-197.，国际可再生能源署，熊波 等.《工业排放气二氧化碳捕集与利用技术进展》[J].《低碳化学与化工》2023 年第 48 卷第 1 期：9-18.，鲁红志 等.《化学吸收法与变压吸附法用于水泥厂 CO₂ 捕集的对比分析》[J].《水泥 CEMENT》2023 年第 12 期：26-28.，国信证券经济研究所测算

图10: 电制甲醇成本结构



资料来源：舒斌等.《CO₂加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期：191-197.，国际可再生能源署，熊波 等.《工业排放气二氧化碳捕集与利用技术进展》[J].《低碳化学与化工》2023 年第 48 卷第 1 期：9-18.，鲁红志 等.《化学吸收法与变压吸附法用于水泥厂 CO₂ 捕集的对比分析》[J].《水泥 CEMENT》2023 年第 12 期：26-28.，国信证券经济研究所测算

绿电制甲醇降本趋势

考虑氢气成本及二氧化碳成本都有较大下降空间，同时技术革新将减少生产过程中消耗品的用量，未来绿电制甲醇的成本有望降低至 2100-2200 元/吨。电制甲醇的单耗分别为每生产 1 吨甲醇消耗 0.19 万吨氢气和 1.38 万吨二氧化碳。

未来绿电价格下降将带动绿氢成本大幅降低。绿氢占甲醇生产总成本的 80%左右，目前新能源发电的造价快速下行，同时设备发电效率提升，绿电价格有望降至 0.1 元/kWh，对应绿电制甲醇的成本约为 2600 元/吨，已经接近煤制甲醇的成本。

二氧化碳具备有一定下降空间。二氧化碳成本占比约为 7%，目前主要来源为从火电厂通过基于 MEA 的化学吸收法捕集获得。目前在 1 吨二氧化碳的综合成本约在 288 元，随着新材料的开发和新技术的发展，未来 5 年内捕集成本有望快速下降至 150 元/吨左右，2060 年有望进一步下降至 90-130 元/吨。2023 年我国二氧化碳排放总量达到 374 亿吨，其中电力行业约占总排放量的 48%。

工艺革新可进一步降低电制甲醇成本。工艺成本包括催化剂成本、甲醇生产过程中的电力成本、循环/冷却水消耗及工艺气体消耗等，其中催化剂成本影响较大。在二氧化碳加氢制甲醇的过程中，由于受到热力学限制，二氧化碳的单程转化率

最多仅为 40%。目前用于二氧化碳加氢的催化剂有铜基催化剂、金属氧化物和贵金属等，对甲醇的选择性为 40%–99%。

随着工艺革新，未来催化剂的性能有望同时达到 40%的单程转化率和 99%的甲醇选择性。据模拟，催化剂的使用成本将降低至 8 万元/吨甲醇。催化剂性能的提升也会导致电耗和工艺气用量的减少使成本进一步降低。

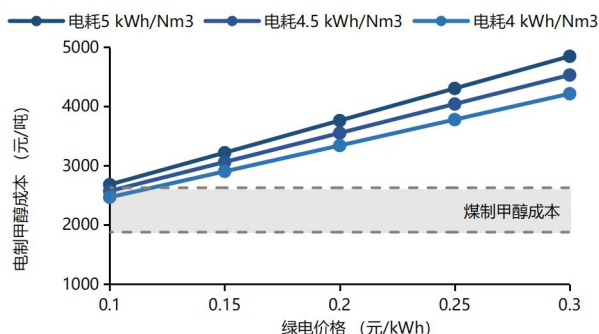
综合各项成本发展趋势，未来电制绿色甲醇的成本有望降低至 2100–2200 元/吨。

表5: 电制甲醇成本展望

项目	成本（元/吨）	占比
绿氢	1700 左右	79%
二氧化碳	90–150	7%
工艺成本（催化剂、生产过程中其他消耗品）	90 左右	4%
设备折旧	100 左右	5%
人工与运维	100 左右	5%
合计	2100–2200	100%

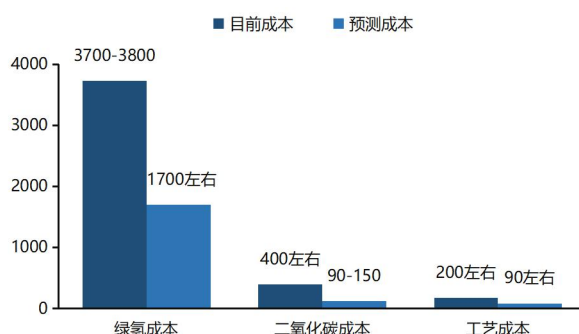
资料来源：舒斌等.《CO₂加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期：191–197.，国际可再生能源署，张贤 等.《中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2023）》[R]. 2023 年，国信证券经济研究所预测

图11: 电制甲醇成本随制氢电耗及电价变化曲线



资料来源：舒斌 等.《CO₂加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期：191–197.，《中国二氧化碳捕集利用与封存报告 2021》，国信证券经济研究所预测

图12: 电制绿色甲醇目前成本与未来成本对比（元/吨）



资料来源：舒斌等.《CO₂加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期：191–197.，国际可再生能源署，张贤 等.《中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2023）》[R]. 2023 年，国信证券经济研究所预测

绿色甲醇制备成本—生物质气化路线

目前生物质制甲醇的成本约 3800 元/吨左右，当生物质颗粒价格为 600 元/吨时成本下降至约 2300 元/吨左右。生物质气化制甲醇的成本主要包括设备投资成本、人工与运维成本、生物质原料和生产消耗成本。

我们参考江苏省盐城市岚泽大丰港拟投资项目数据，项目规划年产 30 万吨，以芦竹等生物质为原料通过热裂解生产绿色甲醇。项目投资 22.5 亿，折算设备分摊生产绿醇成本约为 300 元/吨。主要设备包括空分装置、生物质气化装置、气体净化装置、甲醇装置和配套的公用工程及辅助装置。

据国际能源署数据，生物质颗粒气化生产甲醇的能量转化效率约为 60%，按生物质颗粒的平均热值 17MJ/kg 计算，理论上每生产一吨甲醇需要 1.95 吨生物质颗粒，

考虑生产过程中损耗,因而单吨甲醇生产所需生物质颗粒按 2.5 吨测算。参考 2024 年生物质颗粒价格约为 1200 元/吨,即生产 1 吨甲醇的生物质颗粒成本约为 3000 元/吨。

电力成本方面,每生产一吨甲醇实际需消耗电量 500kWh,采用风光等绿电且按 0.3 元/kWh 计,分摊生产绿醇成本为 150 元/吨。其余生产过程消耗的除盐水、氮气等约合 250 元/吨。

综上该项目生物质制甲醇的成本约 3800 元/吨左右,其中生物质原材料占比最高,达到 79%;电力及生产过程消耗品的成本占比 10%,设备折旧费用占比 8%,人工与运维费用占比 5%。

表6: 生物质制甲醇成本 (元/吨)

成本构成	成本	占比
生物质原料	3000 左右	79%
工艺成本	400 左右	10%
设备折旧费用	300 左右	8%
人工与运维费用	100 左右	3%
合计	3800 左右	100%

资料来源: 胡宏姣.《生物质制备绿色甲醇的可行性探讨》[J/OL].《天津化工》:1-5[2024-11-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1201.TQ.20241030.1436.002.html>,舒斌等.《CO2 加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期: 191-197,国际可再生能源署,《岚泽大丰港年产 30 万吨绿色甲醇项目初步设计》江苏省公共交易资源网,江苏新曹农场有限公司中标结果公示,内蒙古得耳布尔森公司购置生物质颗粒公告,国信证券经济研究所测算

生物质气化制甲醇未来价格主要取决于生物质原材料价格。在生物质资源丰富且价格低廉的地区,生物质颗粒的价格有望降低。当生物质原材料价格低于 600 元/吨时,生物质气化制甲醇的成本约为 2300 元/吨,接近目前煤制甲醇的成本。

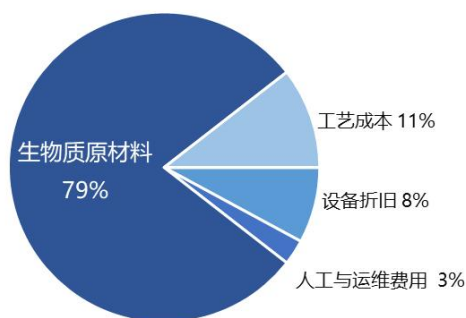
技术革新带来的成本下降较为有限。总体上位于生物质资源丰富,地势平坦,交通便利的生物质制甲醇项目盈利空间更大。

表7: 生物质制甲醇的成本与生物质价格关系

生物质价格 (元/吨)	甲醇成本 (元/吨)
400	1800 左右
600	2300 左右
800	2800 左右
1000	3300 左右
1200	3800 左右

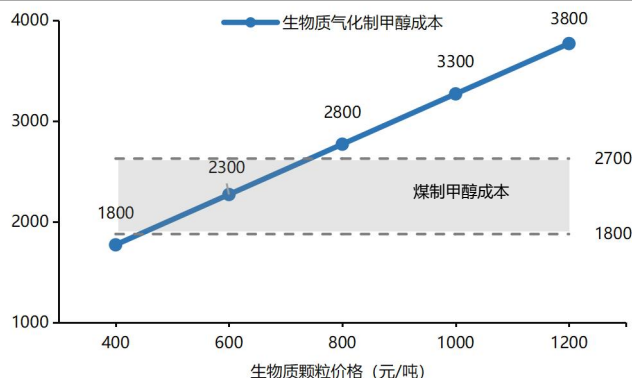
资料来源: 胡宏姣.《生物质制备绿色甲醇的可行性探讨》[J/OL].《天津化工》:1-5[2024-11-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1201.TQ.20241030.1436.002.html>,舒斌、范茂林等《CO2 加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J]《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期: 191-197,国际可再生能源署,国信证券经济研究所测算

图13: 生物质气化制绿色甲醇成本结构



资料来源：胡宏姣.《生物质制备绿色甲醇的可行性探讨》[J/OL].《天津化工》:1-5[2024-11-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1201.TQ.20241030.1436.002.html>.,舒斌、范茂林等《CO2加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024年第40卷第2期:191-197,国际可再生能源署,《岚泽大丰港年产30万吨绿色甲醇项目初步设计》江苏省公共资源交易资源网,江苏新曹农场有限公司中标结果公示,内蒙古得耳布尔森公司购置生物质颗粒公告,国信证券经济研究所测算

图14: 生物质气化制绿色甲醇成本随生物质原材料价格变化曲线



资料来源：舒斌等,《碳中和目标下推动绿色甲醇发展的必要性分析》[J],《化工进展》,2023年第42卷第9期:4471-4478.,国信证券经济研究所测算

绿色甲醇制备成本—生物质制甲烷再制甲醇路线

生物质制甲烷再制甲醇目前成本为 3400-4200 元/吨，远期不具备发展优势。生物质发酵制甲烷并进一步制备甲醇的路线在制备得到甲烷后工艺流程与天然气制甲醇一致。据国际可再生能源署计算，基于生物质制甲烷再制甲醇的成本将在天然气制甲醇成本的基础上增加 377 美元/吨，折合人民币约 2700 元/吨。而天然气制甲醇的成本为 100-200 美元/吨，即生物质制甲烷再制甲醇的成本为 3400-4200 元/吨。

生物质制甲烷再制甲醇的成本同样主要取决于生物质原材料的价格，但是由于生物质自然发酵缓慢及占地面积过大等问题，未来新增产能规模有限。

不同技术路线成本与目前甲醇价格对比（考虑碳排放成本）

传统路线制备甲醇将面临高昂碳价格，绿色甲醇成本优势显著。棕色/黑色甲醇（煤制甲醇）的碳排放量高，每吨生产 1 吨甲醇需排放 3 吨二氧化碳。据《中国能源体系碳中和报告 2060》预测，2030 年碳排放权价格将缓慢上涨至 300 元/吨，对应煤制甲醇成本将上升 900 元/吨，届时棕/黑色甲醇生产成本可能上升至 2700-3600 元/吨。在 2030 年以后碳价格还会加速上涨，最终于 2060 年达到 1300 元/吨，对应煤制甲醇的平均成本将上升 3900 元/吨，因此中远期考虑碳价格的影响，绿色甲醇的成本优势显著。

表8: 不同技术路线制绿色甲醇成本对比（元/吨）

	生物质气化	生物质制甲烷制甲醇	电制甲醇	生物质耦合绿氢制甲醇	煤制甲醇
目前	3800 左右	3400-4200	4500-4600	3500-3600	1800-2700
远期	2300 左右	占地面积大，制甲烷耗时较长，发展受限	2100-2200	1900-2000	2700-3600（碳价格按 300 元/吨计）

资料来源：国际可再生能源署，国信证券经济研究所整理与测算

绿色甲醇的四种生产路线中，电制甲醇和生物质耦合绿氢制甲醇未来空间广阔，成本下降趋势明显，其中电制甲醇有望成为主流路线。

一、电制甲醇目前成本较高，但远期降本空间较大，在我国的监管环境，其碳源主要为火电厂捕集的二氧化碳，供应量充足，未来可能成为主流技术路线。

如果当前我国甲醇消费量全部由电制甲醇供应，可消耗二氧化碳 1.4 亿吨（减排效应）。每制备 1 吨绿色甲醇需要消耗 1.38 吨二氧化碳，随着电制甲醇产能逐步取代传统产能，将带动超过 1.4 亿吨的二氧化碳需求。

从二氧化碳资源高效利用的角度来看，目前我国 CCUS 示范项目的二氧化碳利用方式主要以地质利用为主，少部分进行埋藏封存。随着碳捕获规模的扩大，二氧化碳需求少于碳捕集规模的问题会日益显著，而二氧化碳的运输和封存均需要投入成本，如果扩大二氧化碳转化为高价值化学品的规模，则可以在节约 CCUS 成本的同时为企业创造利润。

图15：我国 CCUS 技术路线



资料来源：张贤等.《中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2023）》[R]. 2023 年，国信证券经济研究所整理

若我国甲醇消费全部由电制甲醇供应，对应绿氢需求量为 2100 万吨左右，相当于目前我国绿氢产量的 41 倍，对应于绿电的需求为 1 万亿千瓦时，相当于 2023 年全国新能源发电量的 68%，这将推动我国绿氢产业和新能源发电的发展。截至 2024 年 11 月，我国已规划建设超过 400 个绿氢项目，绿氢产能总规划超过 800 万吨/年。

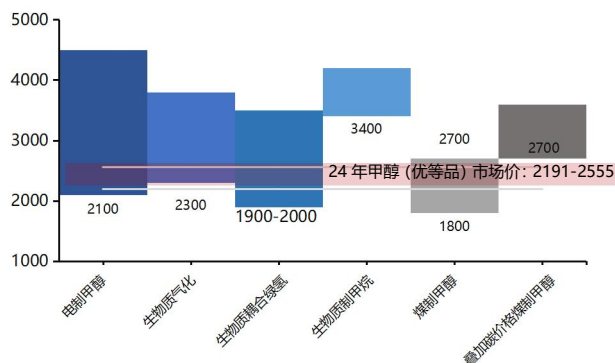
二、生物质气化路线成本主要取决于生物质颗粒的价格，由于生物质资源具有地域分布分散和供应受季节变化影响，目前来看该技术路线的成本下降空间和产能增长空间较为有限。

三、生物质耦合绿氢制甲醇能够实现资源的高效利用，未来成本下降趋势明显。但制备过程同时包含生物质气化和电解水制氢的环节，占地面积和投资金额较高。

2024 年我国甲醇（优等品）的价格为 2191-2555 元/吨，平均价格为 2336 元，远期来看绿色甲醇有一定盈利空间。

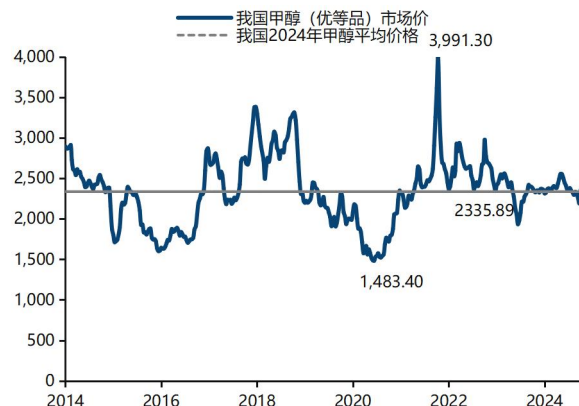
四、生物质制甲烷再制甲醇的技术路线的劣势在于占地面积大、生物质发酵制甲烷的耗时长，限制了其大规模应用。

图16: 不同技术路线制绿色甲醇成本区间



资料来源：国际可再生能源署，舒斌 等，《碳中和目标下推动绿色甲醇发展的必要性分析》[J].《化工进展》2023 年第 42 卷第 9 期：4471-4478.，舒斌 等《CO₂ 加氢制绿色甲醇的成本测算及预测》[J].《电力科技与环保》2024 年第 40 卷第 2 期：191-197.，国信证券经济研究所整理与测算

图17: 2013-2024 年我国甲醇（优等品）市场价



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

绿色甲醇储运

甲醇储运条件较为温和。甲醇在常温常压下为液体，具有易燃和易挥发的特性，具有毒性。根据我国《危险物品名表》（GB12268-2012），甲醇属于第3类易燃液体，危险等级为Ⅲ。甲醇的储运应选用复合标准的密封式容器，材质应耐高温、耐压。因为甲醇常温常压下为液体，因此储运时不需要保持低温或加压，储运条件较为温和。

甲醇储存技术难度低，规模大。工业多使用金属储罐存储甲醇，单缸容积可达1-2万立方米，最大储量可达1.4万吨。同时甲醇本身对碳钢几乎没有腐蚀性，仅需要对储罐内壁做基本防腐处理以避免甲醇中存在的水份和杂质对储罐的腐蚀。

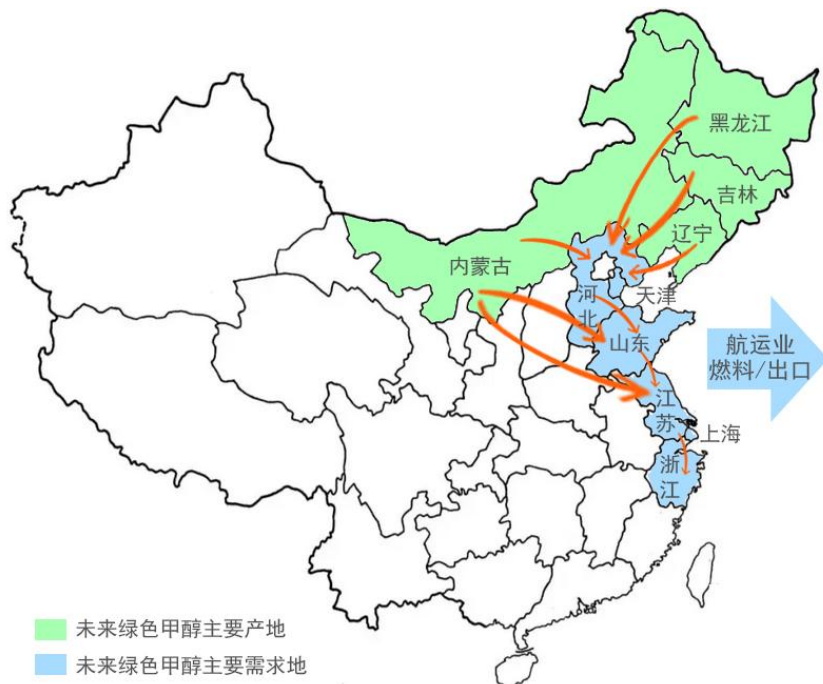
现阶段我国甲醇运输以公路汽车运送为主，运输费用约为0.24元/吨/公里左右。我国甲醇的运输方式包括公路、铁路、水路和管道运输。汽车运输具有方便灵活的特点，是我国甲醇主要的运输方式。参考从内蒙古鄂尔多斯运输甲醇至山东东营的路线计算甲醇的运输费用。根据隆众资讯数据，2024年8月甲醇的公路罐车运输费用为240元/吨，折合约0.24元/吨/公里。水路运输则多用于将甲醇从天津港、唐山港等运至苏南和浙江的港口。铁路运力有限，企业难以控制运输时间和运输量，并不是我国甲醇运输的主流方式。管道运输目前还处于规划和设计方案，未来或可成为长距离输送甲醇的有效解决方案。

绿色甲醇陆上生产地和消费地距离500-3000公里之间，公路汽车运输的费用为120-720元/吨。绿色甲醇的制备依赖生物质资源或风能和太阳能，丰富的生物质资源和风光资源为绿色甲醇的生产提供便利条件，就地发展一体化战略是未来绿色甲醇行业的主要发展方式，因此未来绿色甲醇产能将主要分布于我国西北、华北和东北地区。

但甲醇的不同下游产业多分布于东部地区，在航运燃料的应用场景中，绿色甲醇的主要消费地点在东部沿海港口，用于甲醇燃料船舶的加注和出口。我国目前甲醇最大的需求领域甲醇制烯烃产能也多分布于东部经济发达地区。

绿色甲醇从北方的风光基地运输至山东地区的运输距离约为 500-1000 公里，运输成本约 120-240 元/吨，运输至江苏地区距离约为 1500-1800 公里，运输成本约为 360-432 元/吨，运输至浙江地区距离约 1900-2300 公里，运输成本约 456-552 元/吨。

图18: 我国未来绿色甲醇贸易方向



资料来源：北极星电力网，国家能源报，国信证券经济研究所整理（根据绿色甲醇上下游产业链地理位置绘制）

管道运输或可成为未来长距离输送甲醇的有效解决方案。目前我国甲醇在长距离运输时存在费用偏高、运力不足和受天气路况等因素影响较大的问题，而管道运输可以保证甲醇长周期、安全稳定的输送，成本有望低于公路运输。

甲醇管输可利用原油等管道，成本约为 0.16 元/吨/公里。甲醇属于易输送介质，在输送过程中对管材设施的腐蚀性较小，不需要内防腐，并且输送过程中不需要保温设施，可利用原油等管道改输甲醇。参考我国成品油的输送费用，根据不同的地理环境，一般为 0.14-0.17 元/吨/公里，取平均值 0.16 元/吨/公里，在 500-3000 公里范围内运输费用为 80-480 元/吨。

目前国际上已有成功通过管道运输甲醇的案例。加拿大的一条甲醇运输管道由原油输送管道改造而来，管道全长 1146 公里，甲醇输送能力 4000 吨/天。位于加拿大的另一台管道由液化石油气输送管道改造，全长 3000 公里，甲醇输送能力 4000 吨/天。

我国也在积极探索甲醇管道运输的可行性。例如 2021 年 5 月中煤鄂尔多斯能源化工有限公司甲醇技改项目配套管道工程成功投产，成为我国首条甲醇制烯烃的长输管道，该管道全长 52 公里，设计压力为 2.5Mpa。但目前甲醇管道运输技术和经验还比较匮乏，尚未形成运输标准规范，距大规模和长距离运用还有较长时间。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/835340121031012004>