

# 发展绿色甲醇产业 助力内蒙古新能源消纳体系建设

■ 课题组

**摘要：**“双碳”目标为内蒙古经济发展带来诸多新机遇，但也面临一系列新问题和新的挑战，主要表现为火电、化工等传统支柱产业受制于碳排放限制而难以进一步增能扩产，而风光等新能源发电又受制于消纳问题而难以充分释放潜能。为破解这些发展困境，内蒙古自治区正在着力构建源网荷储装一体、风光氢储车并重的协同发展机制，但目前整个产业链条中仍然存在着一系列技术瓶颈和产业堵点。本课题组通过调研发现，绿色甲醇产业可以成为内蒙古衔接新旧能源、破解链条堵点、畅通产业循环、促进绿色转型的“桥梁”性产业，在自治区现代能源经济和产业体系构建中具有纲举目张的作用，应该大力发展。

**关键词：**内蒙古 新能源 绿色甲醇

## 一、绿色甲醇产业对内蒙古经济发展的重大意义

本课题绿色甲醇产业是指通过技术手段捕集火电行业排放的二氧化碳作为碳源，通过风电光电发展电解水制氢作为氢源，采用新型技术工艺实现二氧化碳与氢气反应制取甲醇，并以甲醇作为燃料或原料深度加工利用的产业模式。这一产业模式对内蒙古实现传统能源和新能源并举、传统产业绿色化转型具有重大现实意义。

（一）有利于氢能产业加快发展

据国家电投氢能公司预测，2030年我国用氢量9000万吨左右，到2060年达到16亿吨左右，占终端能源消费27%。氢能产业发展的关键是储存和输送，目前主流的高压气态（管道输送）、低温液态、固态等储氢方式均存在高成本难题，而甲醇储氢密度高，可作为安全可靠的有机液态储氢载体大规模推广，有

效解决氢能储运难题，加快氢能产业发展。

（二）有利于火电行业减少碳排放实现碳中和

2022年，内蒙古火电装机容量1.05亿千瓦，发电量5221.2亿千瓦时居全国第一，但煤电的高排放始终是制约长久发展的重大因素，至今仍然没能实现根本性治理。火电排放二氧化碳可作为碳捕获主要应用场景，为绿色甲醇提供主要原料。甲醇催化重整制氢技术较为成熟，可作为氢燃料电池的原料，这是继水力发电、热能发电和原子能发电之后的第4种发电技术。

（三）有利于煤制甲醇低碳化替代

甲醇是一种重要的工业原料，内蒙古年产量可达2136万吨，占全国总产量的21%，但目前生产方式全部为煤制甲醇。在碳中和、碳达峰战略背景下，绿色甲醇既可以进行碳汇交易，还有固碳功能，属于零碳产品。如果应用绿色甲醇参与

生产，传统化工产业和其他下游领域均可实现低碳化。

（四）有利于发展长期储能

实现新能源替代传统能源需要发展长期储能。电池、抽水蓄能、压缩空气等储能都是短期储能技术，绿色甲醇作为液体燃料，便于长期储存且运输成本很低，是一种长期储能技术。内蒙古具有发展绿色甲醇产业的独特优势。

## 二、内蒙古发展绿色甲醇产业的可行性分析

（一）技术可行性方面

1. 火电行业的碳捕集。二氧化碳捕集技术主要包括燃烧前、燃烧中和燃烧后捕集，其中基于化学吸收的燃烧后捕集应用最广泛。以600MW火电机组为例，按年运行5500小时计算，排放二氧化碳267万吨/年，以捕集率90%计算，年捕集二氧化碳240万吨，内蒙古火电装机容量1.05亿千瓦，年捕集二氧化碳峰

值可达到4亿吨,可供生产3亿吨甲醇。2021年6月,国内最大规模15万吨/年二氧化碳捕获和封存全流程示范工程在陕西神木国家能源集团国华锦界电厂投入使用,该项目采用复合胺化学吸收方式,可实现二氧化碳捕集率大于90%,获得液态二氧化碳纯度达到99.97%以上,每吨二氧化碳的捕获成本约为250—280元。

2. 二氧化碳制甲醇。二氧化碳加氢制甲醇作为一种新兴的绿色化工技术,近些年在国内外发展较为迅速。其原理就是利用铜、锌等金属催化剂,将二氧化碳和氢分子吸附在其表面进行反应,最终生成甲醇和水。2009年日本建成了100 t/年的二氧化碳制甲醇中试装置。2012年,碳循环国际公司在冰岛利用地热电厂电解水制氢,再和二氧化碳反应合成甲醇,每年可消耗5600吨二氧化碳并制取约4000吨甲醇。2023年2月,由吉利控股集团和河南省顺成集团共同投资的全球首个十万吨级绿色低碳甲醇工厂在安阳正式投产,项目达产后,每年可生产甲醇11万吨和联产LNG 7万吨,实现销售收入5.6亿元。2023年1月中煤鄂尔多斯能源化工有限公司10万吨/年液态阳光—二氧化碳绿氢制甲醇项目成功入选自治区风光制氢一体化示范项目清单,项目制氢能力2.1万吨/年。这一技术在国际国内成熟应用,并在不

断优化提升中。

3. 甲醇多元化利用。2021年我国甲醇消费总量在8800万吨左右,其中国内产量7800万吨,进口量在1000万吨左右。甲醇的主要消费领域包括传统消费领域和新兴领域,近年来新兴消费领域占据主导地位。甲醇的传统消费端为甲醛、二甲醚、甲基叔丁基醚、醋酸、甲烷氯化物等,用途十分广泛。近年来,甲醇主要用于新兴下游消费领域,占甲醇消费总量的70%以上,主要包括甲醇制烯烃、甲醇燃料、甲醇燃料电池、甲醇制氢等领域。同时,甲醇在能源、交通、工业等众多领域替代煤炭、石油、天然气等传统能源。还可以用作甲醇燃料电池和改进的柴油发动机的液体燃料,成为具有绿色属性的能源产品。

## (二) 政策可行性方面

1. 石油替代是基本国策。2022年6月1日,国家印发《“十四五”可再生能源发展规划》提出要大规模开发并高效利用可再生能源,加快培育新模式新业态,明确在2030年非化石能源消费占比达到25%左右,风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上,基本建成清洁低碳、安全高效的能源体系。同时,面对日益突出的石油安全问题,实施石油替代战略,对解决中国经济社会的薄弱环节,消除不安全因素,具有重要意义。

2. 能控及碳控政策转变。党

的二十大报告提出,要完善能源消耗总量和强度调控,控制化石能源消费,逐步转向碳排放总量和强度“双控”制度。能耗“双控”转向碳排放“双控”有利于将经济发展和应对气候变化统一起来,有利于“控碳”和促进可再生能源发展,有利于促进低碳产业发展壮大。与此同时,国务院印发的《“十四五”节能减排综合工作方案》,已经明确把“十四五”新增可再生能源电力消费量,不纳入能源消费总量的考核当中,为内蒙古绿色甲醇的发展提供了政策依据。

3. 单纯煤制甲醇项目限批。我国煤制甲醇起步时间早,行业内企业生产规模和技术水平存在较大差距,相关企业50万吨以下的装置产能占比较高。2019年,国家发改委发布《产业结构调整指导目录(2019)》,我国限制建造年产能少于100万吨的煤制甲醇项目,同时部分中小落后的装置逐步淘汰。自治区发改委等部门也明确规定:从2021年起,不再审批焦炭、兰炭、电石、聚氯乙烯、烧碱、纯碱、合成氨、尿素、磷铵、甲醇。但是也明确规定:可再生能源制氢制甲醇除外。

4. 绿色甲醇属国家鼓励类产业政策。国家“十四五”规划建议提出,要实现“能源资源配置更加合理,利用效率大幅提高”的能源发展战略目标。甲醇是重要的基础化工原料,也是目前公

认的液态燃料中能够实现规模化应用的清洁能源。确立甲醇燃料的能源地位，发展甲醇经济，符合国家能源战略，有利于推动实现我国承诺的“双碳”目标。

### （三）经济合理性方面

1. 市场前景。在碳中和、碳达峰战略背景下，甲醇的价值不仅仅是创造经济效益和社会效益，以甲醇为原料的一次加工品有30种，深加工产品则超过100种。可以预见的是，未来国际碳汇交易体系完善后，绿色甲醇出口的可能性增大，作为全生命周期碳足迹可追溯产品，绿色甲醇的环保属性更易被国际买家所接受，国家和企业将因此获得更丰厚的产品溢价，释放更多绿色价值，绿色甲醇发展前景将更为广阔。

2. 成本核算。绿色甲醇的成本主要由二氧化碳捕获、电解水制氢与合成三部分组成，二氧化碳捕获成本参照国家能源集团国华锦界电厂碳捕获项目的250元/吨（每吨甲醇需消耗1.35吨二氧化碳）测算约为340元/吨；电解水制氢成本参照宝丰能源集团国家级太阳能电解水制氢综合示范项目的0.7元/标方（每吨甲醇需消耗2128标方）测算约为1500元/吨；绿色甲醇制造费用（人工、折旧和其他制造费用等）与煤制甲醇相比略高，约为360元/吨，则绿色甲醇的综合生产成本约为2200元/吨。考虑到绿色甲醇不仅不产生工艺排

碳，反而会消耗二氧化碳作为原料，每生产1吨甲醇减排二氧化碳至少1.35吨，按3月30日全国碳市场收盘价56.70元/吨测算，绿色甲醇综合成本可再降近80元/吨，这里还不含绿氢所产生的碳汇，绿色甲醇的综合成本将下降到约2120元/吨，已非常接近煤制甲醇成本（在煤价800元/吨时，煤制甲醇的成本约为1953元/吨）。若考虑绿氢碳汇，每生产1吨甲醇大约消耗250公斤氢气，减排2吨左右二氧化碳，又可获得碳汇收入节约成本100多元。

3. 衍生效益。截至2022年底自治区火电装机容量1.05亿千瓦，全年火力发电量5221.2亿千瓦时，大约每年排碳4.5亿吨。假设全部捕获作为甲醇原料，可形成甲醇产能3.3亿吨。若以56.7元/吨碳汇交易价格、2500元/吨的甲醇期货价格估算，相当于分别创造了200亿元的碳汇产业和8000亿元的甲醇产业，若按照专家目前预测的2023年欧盟平均碳汇交易价格86.17欧元/吨（即656元/吨）估算，相当于创造了2314亿元的碳汇产业。另外，对于零碳产品的国际关税优惠政策也非常可观，最低可达零关税。

简而言之，绿色甲醇有五大优点：一是清洁的“煤”，绿色甲醇低碳、含氧、富氢，燃烧的碳排放是汽油、柴油、煤炭的十分之一到几十分之一。二是便宜

的“油”，绿色甲醇可以作为各类交通工具燃料，每公里约省0.5元。三是简装的“气”，绿色甲醇常温下呈液态，性能稳定，安全系数高（是柴油的两倍）。四是移动的“电”，绿色甲醇的储电能力可达到1千克能转换5.48千瓦时电。五是液态的“氢气”，甲醇本来就是由氢合成，逆向转换也很好实现。此外，甲醇运输、储存和加注方便，价格低廉，一座加甲醇站的成本是加氢站的百分之一。

## 三、内蒙古发展绿色甲醇产业可能面临的困难与问题

### （一）认识上的欠缺

在社会公众认知和产业界接受层面看，传统甲醇行业（主要是煤制甲醇）不能有效解决二氧化碳排放问题，容易与绿色甲醇在降碳认知中形成模糊认识。在保障能源安全、推进甲醇燃料规模应用的进程中，由于氢气轻、性质活跃以及氢能属于危险化学品的身份，氢能似乎是和危险、易爆、难普及联系在一起，部分甲醇生产企业面临的“谈氢色变”的认知问题。此外在汽车端，绿色甲醇作为燃料的应用可以大力带动整体产业链的发展，不能局限在甲醇的传统应用领域。

### （二）技术上的短板

碳捕获技术和电解水制氢技术是绿色甲醇产业中两项基础技术。



1. 碳捕获技术。碳捕获技术路线分为碳捕获与封存（CCS）和碳捕集利用与封存（CCUS）技术，我国已发展 CCUS 技术为主，目前我国 CCUS 技术与国际先进水平整体相当，但捕集、运输、封存环节的个别关键技术及商业化集成水平有所滞后。

2. 电解水制氢技术。内蒙古大量的绿色电能为氢能产业提供了良好的能源基础，但技术装备对产业发展的支撑不足。由可再生能源电解水制氢，能有效解决可再生能源消纳问题，是一条颇具前景的清洁能源技术路径。如何提升电解水制氢的效率，降低技术成本，是突破该项技术发展的关键。目前电解水制氢主要分为碱性电

解水制氢、质子交换膜（PEM）电解水制氢、固态氧化物电解水制氢和阴离子交换膜（AEM）电解水制氢四种技术路线。其中碱性电解水制氢技术成熟度最高，成本最低，但存在腐蚀问题，且启停响应时间较长，不适合波动性电源。质子交换膜电解水制氢目前已实现初步商业化，其响应速度快，能适应波动性电源，但成本较高，且中国在质子交换膜等核心技术上有待进一步突破。固态氧化物电解水制氢效率高，工作温度高，目前仍处于实验室阶段。阴离子交换膜电解水制氢结合了碱性电解水制氢和质子交换膜电解水制氢的优点，成本较低，且能很好地适应波动性电源。该技术目前尚处于研发

阶段，生产规模受到限制。

### （三）规则上的滞后

作为绿色甲醇产业上游，CCUS 相关的国家标准《碳捕集、利用与封存（CCUS）项目温室气体减排量化和核查技术规范》于 2022 年 9 月启动，目前尚未颁布；氢能行业标准、地方标准目前适用的有 40 余项，但部分标准已明显滞后待更新；关于产品安全可靠、耐久性等方面的要求还有所欠缺。涉及加氢站、氢安全、车载储氢气瓶、燃料电池等方面仍然没有国家或行业标准。相对应作为新兴产业，绿色甲醇产业目前仍实行传统甲醇行业标准，对于不能完全适用于绿色甲醇的生产，一定程度上限制产业发展。



#### 四、内蒙古发展绿色甲醇产业的对策建议

##### (一) 加强顶层设计, 强化政策支持

在自治区层面制定绿色甲醇产业总体规划, 细化充实各项专项规划, 出台和完善绿色甲醇产业链上下游的政策法规, 为发展绿色甲醇产业提供政策支持。加快推动火电和新能源产业延伸产业链创造价值链, 以更大的力度鼓励企业开展技术创新, 发挥自治区独特优势, 推动产业高端化发展, 加快绿色甲醇全产业链布局。加快完善配套体系, 推动完善甲醇加注站点布局, 捋顺输配体系, 逐步扩大配套服务范围, 拓宽甲醇燃料示范应用的领域、行业和区域。

##### (二) 加强碳汇政策研究, 健全碳汇政策支持体系

积极争取国家政策支持, 统筹制定自治区碳汇市场准入、交易规则、操作流程、交易模式、利益联结机制等有关制度规定, 创新发展各层级碳汇交易市场, 争取将绿色甲醇产业纳入碳汇交易体系, 拓宽全区碳汇交易市场, 创新绿色产业补偿机制, 丰富碳汇产品价值转化路径, 推动内蒙古绿色发展、科学发展。率先开发完善全区碳汇模型, 加快构建全区碳汇监测体系及数据库, 推进新兴监测技术在碳汇核算中的广泛应用, 加快开展碳汇计量监测方法学和实施途径研

究, 筑牢碳汇精准核算的数据基础。多措并举加快交易体系建设, 组建智库专家委员会, 为政策规则制定、市场运行管理提供决策咨询。委托高等院校、科研院所、碳汇咨询服务机构、碳汇金融与碳汇交易企业集团承担机制设计、碳汇计量、系统建设、本土化人才培养, 打造碳汇市场化运营的内蒙古方案。

##### (三) 加快建设绿色甲醇项目, 构建多能互济绿色低碳的行业发展新格局

全球以甲醇为原料的一二次加工品 100 多种, 2022 年全球甲醇消费近九千万吨, 且以 5%-10% 逐年递增, 绿色甲醇对传统煤制甲醇行业的替代是必然趋势。绿色甲醇作为氢能的主要载体, 在促进绿氢产业发展的同时, 能实现多种能源绿色低碳协同发展。内蒙古要发挥独特优势, 加快建设绿色甲醇项目, 逐步实现绿色甲醇对传统行业替代。目前, 乌审旗的内蒙古宝丰煤基新材料有限公司用绿氢生产烯烃等高端化工产品, 成为全区唯一一家规模化用绿氢替代化石能源的绿色工业企业。相关部门应大力扶持同类示范企业, 在化工行业配套建设风光制氢一体化项目, 扩大用可再生资源制甲醇规模, 实现甲醇行业绿色发展。

##### (四) 打造零碳排放绿色火电示范园区, 推进火电和新能源产业链延伸

依托区属企业打造零碳排放

绿色火电示范项目, 推进火电厂二氧化碳补集和绿能制氢耦合生产绿色甲醇技术应用, 争当绿色甲醇产业先锋探路者、示范领跑者。以蒙能集团金山 392 万千瓦火电项目为例, 全部投产后, 每年可捕获二氧化碳 1686 万吨, 形成甲醇产能 1250 万吨, 可测算出氢气需求量为 238 万吨, 绿电需求量为 1190 亿度。根据风能资源区划分, 距金山项目 100km 内的武川县、四子王旗属于国家第 类风能资源区, 风能资源丰富, 可开发量形成发电装机, 年发电量基本可满足绿色甲醇制备需求。围绕金山项目建立二氧化碳捕获中心、绿色甲醇生产中心, 围绕武川、四子王旗等地新能源项目建立绿能制氢中心, 进一步谋划绿色甲醇全链条循环利用的产业布局, 打造全国零碳排放绿色火电示范园区。

(课题组成员: 李珩、高国峰、王学威、白永峰、徐晓东、陈泽锋、莫小宗、李塔娜、娜仁格日勒、代丹丹)

责任编辑: 张莉莉