

合肥综合性国家科学中心能源研究院 工作简报

(第二期)

合肥综合性国家科学中心能源研究院

2021年8月17日

编者按：习近平总书记在2020年9月第75届联合国大会上庄严宣告：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。为响应习近平总书记号召和党中央部署，围绕如期实现“碳达峰，碳中和”这一宏伟目标，全国上下、各行各业都在深入研究、大胆探索、积极作为。合肥综合性国家科学中心能源研究院（以下简称“能源研究院”）作为安徽省前沿能源研究机构，对推动实现“双碳”目标责无旁贷。为此，能源研究院立足安徽实际进行了深入系统研究，现将国内最新研究成果和我们的对策建议编印简报，供领导决策参考。

一、我国实现“双碳”目标需突破的关键技术

国内外权威机构研究表明，二氧化碳排放与人类能源活动息息相关，实现“双碳”目标必须从能源生产和能源消费“两端”同时发力：一是能源生产端，主要依靠生产低碳清洁能源实现二氧化碳减排；二是工业、建筑业、交通运输业、农业等途径构成的能源消费端，主要依靠使用相对清洁的非化石能源替代传统化石能源以及人工增加碳汇等方式实现二氧化碳减排。

科技部编制的《碳中和技术发展路线图》提出了实现“双碳”目标的五大类关键技术需求：

一是零碳电力技术。包括：可再生能源电力与核电技术、储能技术、电能替代技术、低碳电网技术等；

二是零碳非电能源技术。包括：制氢技术、氢储运技术、氢能利用技术、生物质燃料技术、氨能燃料技术等；

三是生产原料、燃料与工业替代技术。包括：生物质利用替代技术、低碳建筑材料技术、低 GWP 制冷技术、燃料替代技术、回收与循环利用技术、工业过程替代技术等；

四是碳捕获、储存与利用及碳汇技术。包括：二氧化碳捕集技术、二氧化碳压缩、运输、注入与封存技术、二氧化碳利用技术、负排放及碳汇技术等；

五是能源系统集成耦合与优化技术。包括：能源系统集成耦合技术、协同治理与生态循环技术、全产业链集成耦合技术、供需平衡优化技术、效率提升优化技术、成本降低优化技术等。

以上关键技术需要整合全国、全社会资源进行攻关，各省则需要根据自身特点，因地制宜，统筹谋划，扬长避短，精准施策，找准主攻方向和发力点。

二、能源研究院关于安徽实现“双碳”目标的总体考虑和对策建议

我省系中部地区煤炭大省，能源结构不合理，能源转型面临两个“困境”：一是长期依赖煤炭进行火力发电，节能减排任务艰巨；二是风光水等可再生能源不丰富，难以开展大规模稳定的可再生能源生产。因此，我省能源发展的当务之急是在保证电力供应的前提下，逐步减少煤电产生的二氧化碳。从长期看，我省亟需在未来寻找一种供应稳定、价格合理、低碳清洁的新能源来满足自身需要。为破解安徽能源转型发展“困境”，能源研究院结合自身研究方向开展了系统研究，重点从能源生产端提出以下对策建议：

（一）近中期技术路线—氨、甲醇、氢等能源技术助力碳达峰

——用绿氨作为燃料实现降碳目标。氨作为储氢储能材料与氢气相比具有独特的优势：一是氨燃料更具安全性、更易存储，氨仅需-33度或常温17个大气压即可液化，因此运输和储存成本较低。二是氨储能密度更高，液氨的储能密度为12.7GJ/m³（18.6MJ/kg）。三是氨气作为发动机燃料，稳定性更高。因此，制氨是解决氢存储、运输瓶颈的重要举措。

能源研究院氨燃料利用技术路线：一是利用可再生能源生产绿氨降低成本。常规能源制氨的成本约为2100元每吨，

如采用西部地区弃光和弃风的电来制氢合成氨，成本则只有1200元每吨。二是将在西部生产的氨液化后通过管道直接输送到终端用户（如火电厂）。经测算，每1000公里输氨管道的成本约33亿。三是在终端应用上采用煤电掺氨燃烧或混合燃气发电，从而达到减少碳排放的目的。2020年，安徽火电发电量为2527亿千瓦时，到2030年碳达峰时需减排5586万吨碳。按煤电每度电排放约0.87千克CO₂/kWh计算，安徽火电厂掺氨26.8%即可达到减碳5586万吨的目标。

——大力发展绿色甲醇。甲醇具有清洁燃烧特性和卓越运输优势，且兼具绿色、高效、经济、应用范围广的特征，是衔接传统化石燃料和新能源的重要载体、又是重要基础化工原料。将甲醇作为车用燃料，PM_{2.5}排放比汽柴油少80-85%，氮氧化物排放少60-80%，一氧化碳排放少75-90%。目前，甲醇主要用煤、天然气气化费托合成来制备，未来可以用太阳能催化二氧化碳和水来制甲醇，即变成绿色甲醇。

能源研究院的主攻方向：用煤层气低温部分（甲烷）氧化制甲醇，整个工艺过程绿色环保、无污染物外排、减少温室气体排放，对实现“双碳”目标，改善环境污染具有十分重要的意义。

——利用可再生能源制氢储能。氢能是理想的清洁能源，在储能、转换及智慧能源互联网中的应用潜力巨大。但现阶段，发展氢能的主要瓶颈在于储运难度大、成本高。对此，我们提出以下技术路线：一是利用内蒙古、新疆等西北地区丰富的光电、风电等可再生能源制氢，降低成本；二是突破

氢气液化技术，解决储运难题。

（二）长期技术路线—核聚变技术助力碳中和

核聚变能源由于资源丰富和几乎无污染，成为人类社会未来的理想能源，是最有希望彻底解决能源问题的根本出路，对于我国经济社会的可持续发展具有重大战略意义。今年5月28日，能源研究院主要依托单位中国科学院等离子体物理研究所传来捷报，有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST）创造新的世界纪录，成功实现可重复的1.2亿摄氏度101秒和1.6亿摄氏度20秒等离子体运行，将1亿摄氏度20秒的原纪录延长了5倍。这项新纪录不仅进一步证明核聚变能源的可行性，也为迈向商用奠定物理和工程基础。在此基础上，能源研究院在未来技术路线上规划了“三步走”战略：

一是2025年前，联合中国科学技术大学建设多个国际先进的全超导紧凑燃烧托卡马克装置（BEST）+聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）的研究平台，打造聚变国家重点实验室。力争高质量建成BEST装置，2030年前后率先在全球演示聚变小功率发电，并完成聚变电站的中试。

二是2035年前，通过长期开展BEST装置实验和大规模百万千瓦级中国聚变工程实验堆（CFETR）设施建设，建成国家级平台，汇聚和培养多位全球顶尖人才，其研究成果将带动安徽和国家产业升级和经济转型。

三是2050年前，实现聚变堆商用，建成完善的聚变堆+可再生能源协同发展的体系。2050-2060年间，每年建设10

座聚变电站，100 座聚变电站每年可减少 8.5 亿吨碳排放，助力国家实现 2060 年碳排放低于 60 亿吨的碳中和目标。

未来三十年，通过实施“2025-2035-2050”三步走的战略规划，能源研究院将打造全链条聚变能研发装置，牵头建设聚变工程堆，建成引领未来、国际一流的战略清洁能源研发机构，为安徽乃至全国实现碳中和目标提供技术支撑。

三、能源研究院按照以上技术路线规划布局的重大科研项目

（一）氢氨能源关键技术开发和高效利用

技术路径：一是在供给端提供可再生能源高效低成本制氢氨工程化方案，完成太阳能光伏间歇能源制氢/氨示范；二是在输运端提供氨存储及运输工程方案，完成液氨燃料储存罐研发，开展液氨罐、车船用液罐运输示范，实现大规模氨液化及输运技术突破；三是在应用端实现氨能高效利用，重点在火电厂开展掺氨示范，研制大型氨发动机，完成重型卡车工程化样机开发，实现氨能在能源生产（煤电厂）、冶金制造（热源取代）、运输装备（重卡、公交，柴油机、汽轮机等）等领域的大规模应用。

实施步骤：一是在 1-2 年内，发展氢大规模液化技术（10t/天）、灰氨大规模短距离运输、重卡柴油机改造、灰氨大规模用热替代、绿氨中规模生产、液氨长距离运输，拟选择安徽与内蒙古进行示范。二是在 3-5 年内，进一步完成氢大规模液化技术（100T/天）、绿氨大规模生产、绿氨大规模长距离运输、动力系统氨能利用、绿氨煤电厂工业示范、

冶金制造氢氨规模应用，拟选择安徽、内蒙古、青海、甘肃、新疆等省进行示范。

进展成果：一是已成功开发出高效低温等离子体氨裂解装置；二是成功开发出 5kW/30kW 掺氨发电机样机，稳定运行掺氨比 71-85%，预期达到 100%；三是成功研制 20kW 掺氨锅炉样机，正在开发 300kW 氨重卡样机，计划开发氨燃料涡喷发动机、燃气轮机等；四是筹备开展火电厂掺氨减碳示范。

（二）低浓度煤层气低温部分氧化制甲醇技术及示范

技术路径：以煤层气低温部分为原料，在技术方法、催化材料和平台建设等方面实现突破，攻克煤层气制甲醇过程催化材料宏量制备和产物分离关键难题，建立一套年处理能力为 50 万立方的煤层气制备甲醇中试示范生产线。

实施步骤：一是设计、搭建催化材料宏量制备装置、完成催化材料的宏量制备；二是完成示范平台设计和关键设备加工。三是安装建设一套低浓煤层气处理能力为 50 万立方每年的低浓煤层气制甲醇示范平台。项目预计三年完成。

进展成果：一是已完成适用于煤层气低温部分氧化制备甲醇的分子筛等催化剂的研发；二是搭建了用于整体式催化剂制备的负压涂覆的小试设备；三是设计安装了用于催化剂筛选的煤层气部分氧化制甲醇实验室装置和每小时处理 20 立方米的煤层气低温部分氧化制甲醇小试平台。

抄送：安徽省委、省人大常委会、省政府、省政协，省院合作建设领导小组，合肥市委、市政府，省有关单位，合肥市有关单位。
