

能源经济预测与展望研究报告

FORECASTING AND PROSPECTS RESEARCH REPORT

CEEP-BIT-2023-006 (总第 70 期)



# 我国 CCUS 运输管网布局规划与展望

2023 年 1 月 8 日

北京理工大学能源与环境政策研究中心

<http://ceep.bit.edu.cn>

## 能源经济预测与展望研究报告发布会

主办单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心  
北京理工大学国家安全与发展研究院  
能源经济与环境管理北京市重点实验室  
协办单位：北京经济社会可持续发展研究基地  
北京理工大学管理与经济学院  
中国“双法”研究会能源经济与管理研究分会  
中国能源研究会能源经济专业委员会

### 特别声明

本报告是由北京理工大学能源与环境政策研究中心研究团队完成的系列研究报告之一。如果需要转载，须事先征得中心同意并注明“转载自北京理工大学能源与环境政策研究中心系列研究报告”字样。

### 我国 CCUS 运输管网布局规划与展望

执笔人：魏一鸣、刘兰翠、康佳宁、李小裕、崔鸿堃、田晓曦、张云龙、彭淞  
作者单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心  
联系人：康佳宁  
研究资助：国家自然科学基金项目（72293600，72104025）。



北京理工大学能源与环境政策研究中心  
北京市海淀区中关村南大街5号  
邮编：100081  
电话：010-68918651  
传真：010-68918651  
E-mail: kangjianing@bit.edu.cn  
网址：http://ceep.bit.edu.cn

Center for Energy and Environmental Policy Research  
Beijing Institute of Technology  
5 Zhongguancun South Street, Haidian District, Beijing 100081, China  
Tel: 86-10-68918651  
Fax: 86-10-68918651  
E-mail: kangjianing@bit.edu.cn  
Website: http://ceep.bit.edu.cn

# 我国 CCUS 运输管网布局规划与展望

二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）既可以实现二氧化碳大规模减排，又可以最低成本应对能源安全和气候安全的双重挑战，是实现碳中和目标的重要保障技术。碳中和目标的实现对 CCUS 技术需求巨大，其规模化发展势必将依赖长距离的 CO<sub>2</sub> 专用运输管网及其配套基础设施建设。然而，我国 CO<sub>2</sub> 管道运输尚在起步阶段，亟需规划与碳中和目标相匹配的管网布局方案。基于此，本报告着重分析了碳中和目标下我国 CCUS 管网发展需求和布局规划，并提出了相应的发展建议。

## 一、CCUS 运输发展现状

### （一）CCUS 技术是实现深度脱碳的必不可少技术

CCUS 技术内涵逐步向深度脱碳发展。一方面，实现全球 1.5°C 温控目标要求本世纪中叶前将人为净碳排放降为零，CCUS 技术是化石能源系统实现净零排放的唯一选择，也是钢铁水泥等难减排高碳工业“减最后一吨碳”的重要托底技术。另一方面，即使顺利实现净零排放目标，历史发展中所积累的过量温室气体仍可能导致不可逆的气候危机，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的 1.5°C 特别报告和第六次评估报告分别将生物质能碳捕集利用与封存（BECCS）和直接空气捕集（DAC）等碳移除技术纳入 CCUS 技术内涵，其与可再生能源相结合将提供负排放机会，从而降低大气中 CO<sub>2</sub> 浓度，减少气候风险。

**CCUS 是我国实现碳中和目标必不可少的技术构成。**据北京理工大学能源与环境政策研究中心研究结果显示,2060年前实现碳中和,即使大力发展以风能、光伏为代表的先进低碳技术和能效提高技术,2030年到2060年间仍将有累计约239-335亿吨的CO<sub>2</sub>排放需要通过CCUS技术实现减排,其中,以煤电占主力的电力行业需累计减排约173-233亿吨CO<sub>2</sub>,钢铁、水泥、化工等行业需减排约66-102亿吨,预计将累计部署千余项项目。

## **(二) CO<sub>2</sub>管道运输是未来CCUS规模化发展的主要输送方式**

**CO<sub>2</sub>管道运输在运输规模、成本和社会效益方面具有明显优势,是实现陆上大规模长距离低成本CO<sub>2</sub>运输的首选。**目前已经付于实践的陆上CO<sub>2</sub>运输方式主要有公路罐车运输和管道运输。其中,公路罐车具有运输灵活、可利用现有公路系统、前期投资少等优势,但其运力低、单位成本高、挤占道路资源、易产生安全事故,主要适用于小规模、短距离、非连续性陆上运输的CCUS示范项目。管道运输具有运量大、运输距离远、可实现连续性运输、运输成本相对较低、受外界干扰影响小、挤占社会公共资源少等优势,是目前国际陆上大规模CCUS项目最主要的运输形式。但其前期投资高昂,受地形影响大,需要超前规划。

**目前全球有CO<sub>2</sub>运输管道近9000公里,主要集中在北美地区。**美国的CO<sub>2</sub>管道基础设施大多建于20世纪80年代至90年代,目前已建成超50条独立的二氧化碳输送管道,管网总长度超过7200公里,由十几家不同的公司运营,总输量可达6.8亿吨/年。加拿大现有

与在建的 CO<sub>2</sub> 运输管道超过 370 公里。据估计，为实现全球气候目标，到 2050 年，北美的二氧化碳运输管道网络需要从约 9000 公里增长至 43000 公里。

**CO<sub>2</sub> 管道运输商业模式基本形成。**商业模式是影响 CCUS 管网发展的重要因素，在北美和欧洲主要存在两种商业模式，即门槛支付模式和共同建设模式。门槛支付模式中管道的所有权归属于承担建设成本的能源基础设施公司，需求方通过缴纳费用获得管道的使用许可。由于门槛支付模式对于管道所属公司的财力要求较高，为了分担成本和风险，进一步形成了共同建设模式。共同建设模式是由几家公司共同出资完成管道建设，一起承担成本和风险，并共同分享利润和权益。与国外两种典型模式不同，我国现有全流程 CCUS 项目一般采用自建自用模式，即项目及其 CO<sub>2</sub> 运输管道由单个大型企业独立开发、建设和运营。

### **（三）我国 CO<sub>2</sub> 运输以罐车输送为主而管道运输较少**

我国 CO<sub>2</sub> 运输主要以低温储罐公路运输为主，CO<sub>2</sub> 管道运输处于起步阶段。我国现有 CCUS 试点示范项目基本都采用公路罐车运输方式，现有商业化和示范项目中已建成 CO<sub>2</sub> 运输管道 3 条，累计长度约 80 公里，分别是吉林油田 EOR 项目 CO<sub>2</sub> 运输管道、华东油田 EOR 项目 CO<sub>2</sub> 运输管道和胜利油田 EOR 项目 CO<sub>2</sub> 运输管道。另有数条已完成预可研或设计，累计长度可超过 300 公里。作为承接 CO<sub>2</sub> 捕集和封存利用端的重要桥梁，我国 CO<sub>2</sub> 管道运输需要快速发展，以满足实现碳中和的 CCUS 大规模减排需求。

## 二、我国 CCUS 管网布局规划研究

综合考虑煤电的排放特点、面向碳中和的减排需求，运行时间以及对于能源安全与经济安全的重要保障作用等，本研究以煤电作为 CO<sub>2</sub> 运输管网布局的碳源，以地质封存和地质利用为 CCUS 碳汇，进行面向碳中和的 CCUS 管网布局研究。根据北京理工大学能源与环境政策研究中心自主开发的 C<sup>3</sup>IAM/NET 模型评估结果显示，要实现全国碳中和，低技术需求情景下，从 2030 年到 2050 年，CCUS 所需承担的煤电二氧化碳减排量为 78.54 亿吨，年峰值为 6.54 亿吨二氧化碳；高技术需求情景下，CCUS 技术在煤电行业的年减排需求峰值将增长至 15.36 亿吨 CO<sub>2</sub>。

### （一）碳中和目标下全国 CCUS 管网规划布局

全国需建设总里程超过 1.7 万公里的 CO<sub>2</sub> 运输管道。若 CCUS 技术要实现 6.54 亿吨 CO<sub>2</sub> 的最大年减排需求，需要对全国 172 个煤电集群进行改造，总计改造装机容量 170.13 GW，需要 182 个封存枢纽参与 CO<sub>2</sub> 封存或利用，所需的 CO<sub>2</sub> 运输管道总里程达 17589 公里，单条管道平均长度为 57.7 公里，最长长度达 535 公里（在青海）；若要进一步实现 15.36 亿吨 CO<sub>2</sub> 的最大年减排量，需要对全国 240 个煤电集群进行改造，总计改造装机容量为 366.55 GW，需要 254 个封存枢纽参与 CO<sub>2</sub> 封存或利用，所需建设的 CO<sub>2</sub> 运输管道总里程预计将增至 26032 公里，单条管道平均长度为 59.8 公里，最长管道长度仍为 535 公里。



性更强，不利于形成管道运输网络结构，具有 CO<sub>2</sub> 地质利用收益的含油封存盆地的封存潜力也小于其它地区。

随着煤电 CCUS 减排需求峰值增加至 15.36 亿吨 CO<sub>2</sub>/年，我国南部地区需要新建大量 CO<sub>2</sub> 运输管道。西南、华东、华中地区的 CO<sub>2</sub> 管道建设总长度需要增加至 8275 公里。这些地区的管道建设受地形、保护区、河流、人口等因素影响较大。与“三北”地区相比，西南、华东、华中地区单条管道的输送距离和容量相对较小，管道直径偏小，主要为 6 英寸、8 英寸和 12 英寸。华东和华中地区管网运输距离仍相对较短，但相较于低减排需求情景，具备了形成较好 CO<sub>2</sub> 管道运输网络的潜力，深部咸水层封存将成为主要的 CO<sub>2</sub> 封存类型。

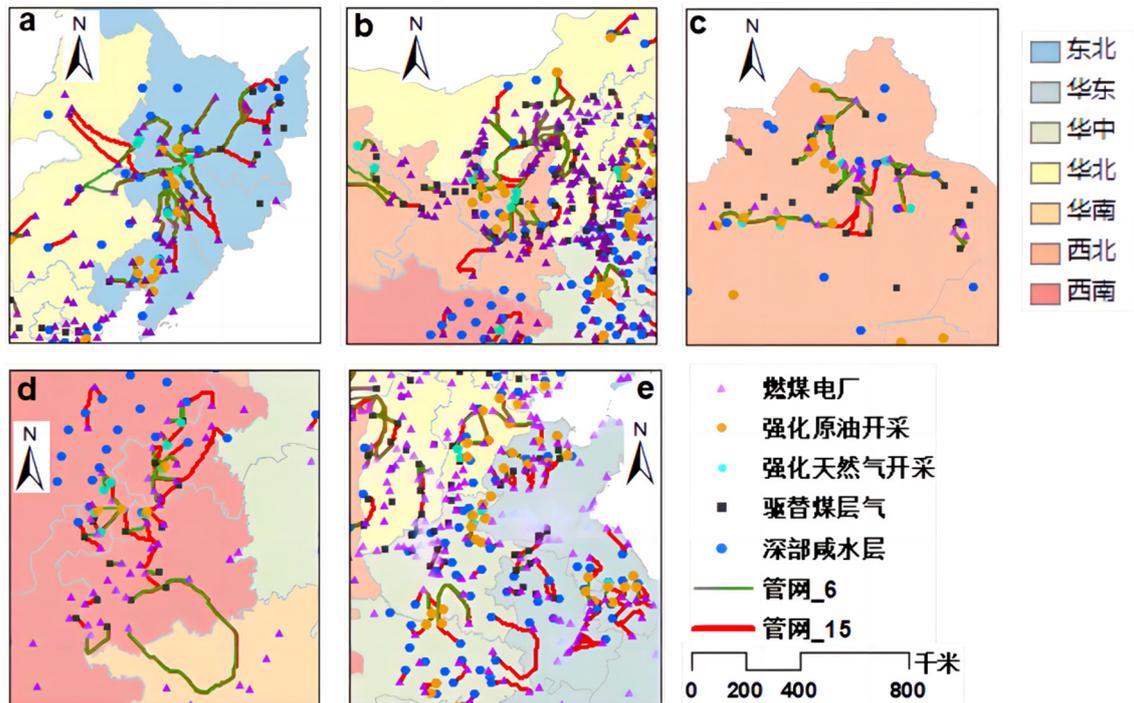


图 2 碳中和目标下我国煤电 CCUS 区域管网布局。(a) 东北区域；(b) 华北区域；(c) 西北区域；(d) 西南区域；(e) 中国东部和中部区域

地形等多种现实因素对 CCUS 管网投资成本影响大。多数 CCUS 管网规划的理论研究通常没有充分考虑影响 CO<sub>2</sub> 管道建设的现实因素，例如铁路、公路、河流、湖泊、人口、城市、自然保护区、生态功能区、地形坡度和地震带等，导致 CO<sub>2</sub> 管道建设成本被严重低估。我们的研究表明，CCUS 管网建设的布局与投资成本受上述现实条件中多种因素的影响很大。综合考虑这些现实因素后，CCUS 管道建设的实际成本与理论成本相比增加了 256%，凸显了系统规划 CCUS 管网基础设施的重要性。

### 三、CCUS 管网建设的保障措施与政策建议

CCUS 管网建设关系我国实现碳中和大局。应全面统筹 CCUS 碳源与碳汇，避免点对点的运输模式，强调基础设施“共享”，加大政策供给和资源投入力度，早谋划早布局有利于 CCUS 技术整体发展的 CO<sub>2</sub> 运输管网及其配套基础设施。为此提出以下具体建议。

一是尽快形成顶层设计思路，研究制定 CO<sub>2</sub> 管道运输相关专项规划。尽快组织研究制定 CO<sub>2</sub> 管道运输发展专项规划，合理规划 CCUS 产业集群布局，加大 CCUS 主干管网基础设施投入，加强 CO<sub>2</sub> 运输管网建设，明确国家牵头部门，强化部门分工和协同。

二是尽早颁布与 CO<sub>2</sub> 运输管道选址、建设相关的法律法规或行业指南。明确安全防护距离、风险评估准则与程序、选址标准等关键信息（具体可参考天然气管道建设相关指南、标准和规定等）。同时，有关部门应提前谋划制定与 CCUS 管网及其配套基础设施相关的规划文件。

三是探索形成 CCUS 管网运输管理模式。建立基础设施合作共享机制,优化管网设施管理模式,明确 CO<sub>2</sub> 运输成本匡算与定价机制,加强价格监管,科学制定跨省 CO<sub>2</sub> 运输价格,支撑推进国家 CCUS 运输管网互联互通与长远发展。

四是出台 CO<sub>2</sub> 管道建设运营的激励政策。通过稳步有序、精准直达的方式,支持相关企业进入 CO<sub>2</sub> 运输领域,促进具有高附加值的相关新型技术研发,积极开拓 CO<sub>2</sub> 管道建设运营投融资模式,引导能源相关企业及低碳投融资机构参与到 CO<sub>2</sub> 运输基础设施建设及 CCUS 技术发展中。

## 参考文献

- [1] 陆诗建, 张娟娟等. CO<sub>2</sub> 管道输送技术进展与未来发展浅析[J]. 南京大学学报 (自然科学), 2022, 58(6): 944-952.
- [2] 科技部社会发展科技司, 中国 21 世纪议程管理中心. 中国碳捕集利用与封存技术发展路线图 (2019 版) [R]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [3] 魏一鸣, 余碧莹, 唐葆君等. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究[J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2022, 24(4): 13-26.
- [4] BEIS, Carbon Capture, Usage and Storage: An update on business models for Carbon Capture, Usage and Storage[OL], 2020, <https://www.gov.uk/government/consultations/carbon-capture-usage-and-storage-ccus-business-models>.
- [5] GCCSI, 2022. GLOBAL STATUS OF CCS 2022[R]. Sydney: Global CCS Institute.
- [6] U.S. DOE/NETL, 2015. A Review of the CO<sub>2</sub> Pipeline Infrastructure in the U.S. [R]. Office of fossil energy, National Energy Technology Laboratory.
- [7] Wang PT, Wei Y.-M., Yang B, Li JQ, Kang JN, Liu LC, Yu B, Hou, Y, Zhang X. Carbon capture and storage in China's power sector: Optimal planning under the 2°C constraint[J]. Applied Energy, 2020, 263: 114694.
- [8] Wei Y.-M., Kang JN, Liu LC, Li Q, Wang PT, Hou JJ, Liang QM, Liao H, Huang SF, Yu B. A proposed global layout of carbon capture and storage in line with a 2°C climate target[J]. Nature Climate Change, 2021, 11(2): 112-118.
- [9] Wei Y M, Li X Y, Liu L C, et al. A cost-effective and reliable pipelines layout of carbon capture and storage for achieving China's carbon neutrality target[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 379: 134651.

## 北京理工大学能源与环境政策研究中心简介

北京理工大学能源与环境政策研究中心是 2009 年经学校批准成立的研究机构，挂靠在管理与经济学院。能源与环境政策中心大部分研究人员来自魏一鸣教授 2006 年在中科院创建的能源与环境政策研究中心。

北京理工大学能源与环境政策研究中心（CEEP-BIT）面向国家能源与应对气候变化领域的重大战略需求，针对能源经济与气候政策中的关键科学问题开展系统研究，旨在增进对能源、气候与经济社会发展关系的科学认识，并为政府制定能源气候战略、规划和政策提供科学依据、为能源企业发展提供决策支持、为社会培养高水平专门人才。

### 中心近年部分出版物

唐葆君. 项目管理——能源项目为例. 北京: 科学出版社, 2022.

余碧莹, 张俊杰等. 时间利用行为与低碳管理. 北京: 科学出版社, 2022.

沈萌, 魏一鸣. 智慧能源. 北京: 科学技术文献出版社, 2022.

魏一鸣等. 气候工程管理: 碳捕集与封存技术管理. 北京: 科学出版社, 2020.

魏一鸣, 廖华等. 能源经济学 (第三版). 北京: 中国人民大学出版社, 2019.

# 中心近年“能源经济预测与展望”报告

总期次	报告题目	总期次	报告题目
1	“十二五”中国能源和碳排放预测与展望	37	2019 年国际原油价格分析与趋势预测
2	2011 年国际原油价格分析与走势预测	38	我国农村居民生活用能现状与展望
3	2012 年国际原油价格分析与趋势预测	39	高耗能行业污染的健康效应评估与展望
4	我国中长期节能潜力展望	40	我国社会公众对雾霾关注的热点与展望
5	我国省际能源效率指数分析与展望	41	我国新能源汽车行业发展水平分析及展望
6	2013 年国际原油价格分析与趋势预测	42	2019 年光伏及风电产业前景预测与展望
7	2013 年我国电力需求分析与趋势预测	43	经济承压背景下中国能源经济发展与展望
8	国家能源安全指数分析与展望	44	2020 年光伏及风电产业前景预测与展望
9	中国能源需求预测展望	45	砥砺前行中的新能源汽车产业
10	2014 年国际原油价格分析与趋势预测	46	2020 年国际原油价格分析与趋势预测
11	我国区域能源贫困指数	47	二氧化碳捕集利用与封存项目进展与布局展望
12	国家能源安全分析与展望	48	2020 年碳市场预测与展望
13	经济“新常态”下的中国能源展望	49	我国“十四五”能源需求预测与展望
14	2015 年国际原油价格分析与趋势预测	50	基于行业视角的能源经济指数研究
15	我国新能源汽车产业发展展望	51	全球气候保护评估报告
16	我国区域碳排放权交易的潜在收益展望	52	全球气候治理策略及中国碳中和路径展望
17	“十三五”及 2030 年能源经济展望	53	新能源汽车产业 2020 年度回顾与未来展望
18	能源需求预测误差历史回顾与启示	54	碳中和背景下煤炭制氢的低碳发展
19	2016 年国际原油价格分析与趋势预测	55	2021 年国际原油价格分析与趋势预测
20	2016 年石油产业前景预测与展望	56	中国省际能源效率指数（2010-2018）
21	海外油气资源国投资风险评价指数	57	后疫情时代中国能源经济指数变化趋势
22	“十三五”北京市新能源汽车节能减排潜力分析	58	电力中断对供应链网络的影响
23	“十三五”碳排放权交易对工业部门减排成本的影响	59	2022 年国际原油价格分析与趋势预测
24	“供给侧改革”背景下中国能源经济形势展望	60	全国碳中和目标下各省碳达峰路径展望
25	2017 年国际原油价格分析与趋势预测	61	迈向碳中和的电力行业 CCUS 发展行动
26	新能源汽车推广应用：2016 回顾与 2017 展望	62	中国碳市场回顾与展望（2022）
27	我国共享出行节能减排现状及潜力展望	63	全球变暖对我国劳动力健康影响评估
28	我国电子废弃物回收处置现状及发展趋势展望	64	中国上市公司碳减排行动指数研究报告
29	2017 年我国碳市场预测与展望	65	2022 年中国能源经济指数研究
30	新时代能源经济预测与展望	66	省级能源高质量发展指数研究（2012-2022 年）
31	2018 年国际原油价格分析与趋势预测	67	中国电力部门省际虚拟水流动模式与影响分析
32	2018 年石化产业前景预测与展望	68	2023 年国际原油价格分析与趋势预测
33	新能源汽车新时代新征程:2017 回顾及未来展望	69	中国碳市场回顾与最优行业纳入顺序展望（2023）
34	我国电动汽车动力电池回收处置现状、趋势及对策	70	我国 CCUS 运输管网布局规划与展望
35	我国碳交易市场回顾与展望	71	全球变暖下区域经济影响评估
36	新贸易形势下中国能源经济预测与展望	72	迈向中国式现代化的能源发展图景