



# “中国加速迈向碳中和”之 七：碳捕集利用与封存技术 (CCUS)



作者：华强森，汪小帆，克林特·伍德，阿拉什戴尔·汉密尔顿和廖绪昌

编者按

在“中国加速迈向碳中和”系列文章中，我们畅想了 2050 年由电动汽车、氢气炼钢、光伏发电、绿色储能等新能源元素主导的碳中和世界。这一愿景的实现意味着全球需要在 2030 年将人为产生的二氧化碳净排放量较 2010 年减少约 45%，到 2050 年达到净零排放。面对目标与时间的双重挑战，碳中和转型如箭在弦。在各国竞相开展相关研究与落地工作之时，中国在 2020 年 9 月举行的第七十五届联合国大会一般性辩论上提出了碳达峰碳中和目标。近日，两份纲领性文件《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》与《2030 年前碳达峰行动方案》接连发布，中国“双碳”行动路线图逐步明确。这两个文件重申了中国此前承诺的 2030 年碳达峰、2060 年碳中和的双碳目标，并提出具体的实施路径和阶段目标。

在此大背景下，麦肯锡中国区启动了大规模碳中和转型研究，联合国可持续发展目标 13 “气候行动”也被麦肯锡中国区纳入履行社会责任的重点内容。基于麦肯锡全球可持续发展研究的丰富经验，结合对中国社会、行业和企业的全局理解和深刻洞见，动员全球百余名专家的知识力量，开展横跨各大主要工业板块的碳中和转型趋势、对策和技术研究，我们希望通过种种努力，能为中国早日达成碳中和目标略尽绵力。

这是本系列的第七篇文章，我们将探究碳捕集利用与封存（CCUS）技

术对中国碳中和转型的意义，后续还将发布有关氢能的专题研究。我们非常欢迎各界专家同仁不吝赐教，您可在留言区提出宝贵意见，也可直接与团队取得联系。我们期待与社会各界共同推进绿色中国碳中和转型之伟业。

### 推广 CCUS 势在必行

为实现 1.5 摄氏度的温控目标，到 2050 年全球二氧化碳减排必须达到 80%以上。碳捕集利用与封存（CCUS）是实现这一目标的必要技术手段，预计到 2050 年 CCUS 将抵消当前全球碳排放量的 10%-20%。过去十年间，CCUS 产能规模翻了一番。当前全球产能达到 4000 万吨，约半数集中在美国。CCUS 产能目前主要用于天然气加工，自然界天然气矿床可能含有大量二氧化碳，有些浓度甚至高达 90%，在天然气出售或进一步加工成为液化天然气之前，必须使用 CCUS 技术将二氧化碳分离出来。未来将有约 35 个 CCUS 项目计划在 2030 年前建成。如能按期建成达产，CCUS 产能将较当前增加两倍。

CCUS 是中国实现 1.5 摄氏度温控目标的关键技术抓手，可广泛应用于各行各业，特别是占中国二氧化碳排放量的 60%-75%的电力行业及减排较难的工业部门，CCUS 更是不可或缺的技术手段（见图 1）。综合考量麦肯锡 1.5 摄氏度情景分析的排放总额，以及其他抓手潜在的最大排放量，我们发现这些难减行业减排目标的 35%-40%需要依靠 CCUS 等尚不成熟的技术加以解决。如果其他减排抓手的应用速度与规模不理想，就更需要 CCUS 来填补碳中和缺口。到 2050 年，CCUS 年减排量要达到约 14 亿吨

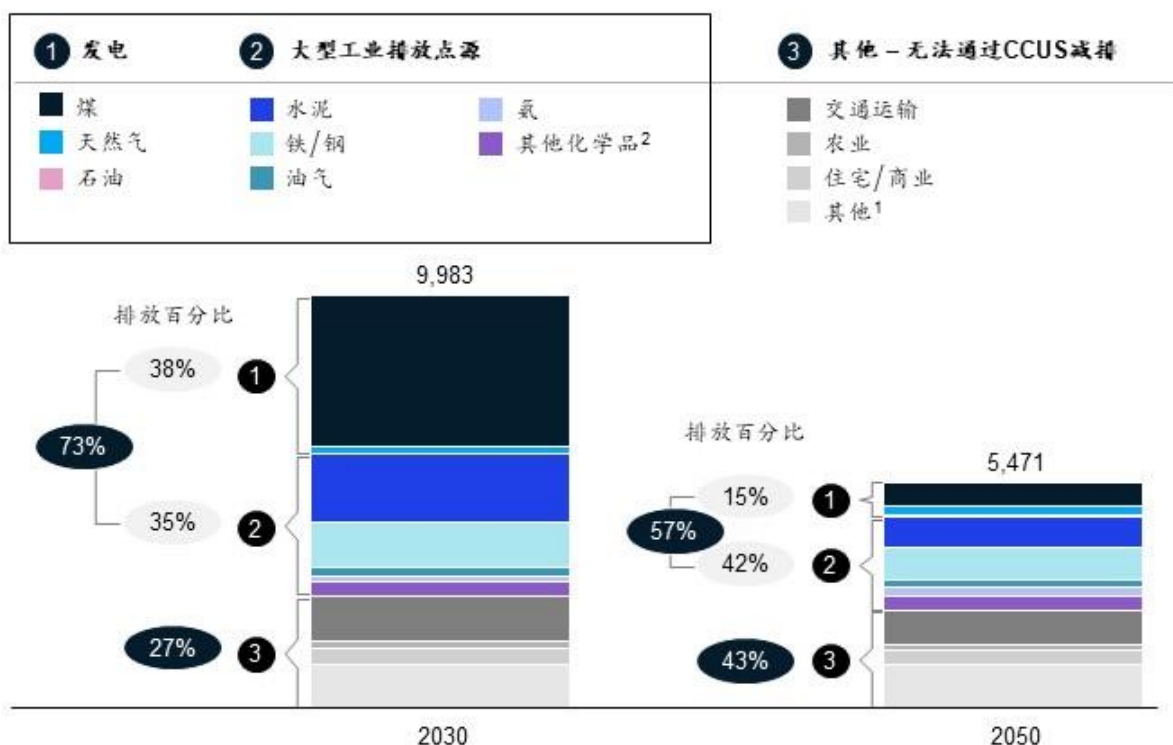
二氧化碳，而当前产能仅 100 万吨，应加快探索大规模应用手段。

# 图1 CCUS技术或可应用于中国60%-75%的二氧化碳排放源

CCUS仅适用于化石燃料发电和大型工业领域

仅中国

预计各行业二氧化碳基线排放量，单位：百万吨CO<sub>2</sub>



McKinsey & Company

1. 包括矿业、建筑、玻璃、食品、机械、运输设备、木制品、塑料、电气设备、制成品、计算机和电子产品  
2. 不包括氨

资料来源：麦肯锡亚太1.5摄氏度温控路径测算，专家访谈，团队分析

根据我们的分析,到 2050 年,中国二氧化碳年度减排量需达 14 亿吨,累计减排量约为 190 亿吨。目前 CCUS 有三种推广设想: 1, 匀速推广,即保持均匀的增长速度推广; 2, 有序过渡,即在 2030 年留出 50% 的缓冲,之后扩大规模; 3, 先慢后快,即在 2030 年留出 75% 的缓冲,之后扩大规模。

我们认为“先慢后快”可能是目前最合适的推广路径。在这样的情景下,未来十年是规模化推广 CCUS 应用的关键时期,在不超过碳排放预算的前提下争取平稳顺利推广,最终实现累计捕集约 190 亿吨的二氧化碳。短期来看,各行各业应当积极探索提高能效等经济效益更好的抓手,将 CCUS 作为最后的手段。我们也需要明确一个重要却容易被忽视的事实,即如果 2030 年各种负排放技术依然未见成熟,则需要更多地依靠 CCUS 来实现碳中和目标。

## CCUS 技术全链条和实施成本分析

CCUS 全链条由二氧化碳来源、捕集、运输、利用/封存这四个环节构成。我们分析了各个环节的主要技术及其可行性,并以封存为例,对 CCUS 全链条的实施成本进行拆解。我们认为,未来需要进一步探索降本抓手和收益机制,加快推动 CCUS 扩大部署。

### 捕集技术—排放源浓度

碳排放源的二氧化碳浓度决定了捕集化学方法,随着二氧化碳浓度升

高，捕集成本随之降低。目前各类技术提供商正在加紧研发低浓度点源与直接空气捕获等化学方法。技术最为成熟的高浓度点源（50%-90%浓度的烟气）主要来自乙醇、氨和天然气加工的排放，无需化学方法，可通过脱水和压缩设备实现碳捕集；低浓度点源（5%-15%浓度的烟气），主要来自于大型减排难行业的点源，如发电厂和水泥厂，可通过化学溶剂、固体材料吸附剂、膜分离等捕集方法，其中化学溶剂捕集方法较为成熟；直接空气捕获是实现“负排放”必需的技术手段，从大气环境中捕获低浓度二氧化碳，可通过高温碱性水溶液吸收再生、低温固体吸附剂（TSA）再生、低温液体溶剂（MSA）再生，目前技术尚不成熟（见图2）。

### 捕集技术—捕集成本

捕集成本与二氧化碳排放源浓度成反比，目前仅5%的排放量同时具备技术和经济可持续性，需要激励措施与技术提升。高浓度点源在当前激励政策下已具备经济可持续性，但它们的排放量小于5%；低浓度点源在不断出台的激励措施下将具备经济可持续性；直接空气捕获将需要激励措施以及技术提升才能实现经济可持续性。

### 捕集技术—生产阶段

根据碳排放源的不同，可以在生产过程的不同阶段捕集二氧化碳。以发电厂为例，可通过燃烧前、燃烧后与富氧燃烧的方式段捕集二氧化碳。燃烧前捕集过程将燃料转化为氢气和二氧化碳的气体混合物，促进清洁燃烧，并使二氧化碳被压缩后能够运输；燃烧后捕集过程将二氧化碳从尾气

中分离，使用液体溶剂捕集二氧化碳；燃烧后捕集过程中的富氧燃料使用氧气而非空气作为燃料，使废气中产生高浓度的二氧化碳，便于分离。

## 运输技术

管道是当前大量运输二氧化碳最主要的选择。在一定运输距离（650公里）内，管道运输具有成本优势。美国拥有约 6500 公里二氧化碳管道，约占全球总长度的 85%，而这一长度远不足以满足减排目标下的 CCUS 管道运输需求。预计到 2050 年，所需的 CCUS 二氧化碳运输管道长度大约是当前的 100 倍。预计未来通过一体化 CCUS 项目，可建立起囊括多个排放点源、汇集点和封存点的二氧化碳运输网络。一旦形成规模经济效应，可降低单个参与项目的门槛与成本。当前，美国正在研究将自身现有的天然气、合成氨、乙醇等基础设施与未来建设的二氧化碳管道相结合可能释放的潜力。船舶运输是长距离运输的一种新兴替代选择，当前主要应用于食品级液态二氧化碳的运输。铁路与卡车可用于少量运输二氧化碳，其较大的应用潜力在于将二氧化碳配送到终端市场。所有的运输方式都需将二氧化碳加压压缩，当前液态和超临界流体二氧化碳运输正在成为远距离储

**预览已结束，完整报告链接和二维码如下：**

[https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=1\\_31467](https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=1_31467)

