

碳捕集利用与封存 (CCUS) 供应链合作：

释放 CCUS 在中英两国的减排潜力

2024 年 1 月



GREAT
英国



报告编写机构



中英（广东）CCUS中心
UK-China (Guangdong) CCUS Centre



中国21世纪议程管理中心
The Administrative Center for China's Agenda 21

目录

前言	1
报告的关键信息	2
执行摘要	3
第1章 引言	4
第2章 CCUS 在中国的进展	6
2.1 二氧化碳捕集	9
2.2 二氧化碳运输	11
2.3 二氧化碳利用	12
2.4 二氧化碳封存	14
2.5 中国 CCUS 集群部署	15
2.6 中国政府 CCUS 政策	17
2.7 中国 CCUS 标准	18
2.8 中国 CCUS 市场展望	18
2.9 中国 CCUS 成本	20
第3章 英国 CCUS 发展战略与能力	22
3.1 英国当前的 CCUS 部署计划	23
3.2 英国在 CCUS 领域的的能力	23
第4章 中国 CCUS 供应链评估	26
4.1 碳捕集供应链	28
4.2 碳运输供应链	28
4.3 碳利用供应链	30
4.4 碳封存供应链	32
4.5 英国 CCUS 企业的商业机会	32
4.6 外国公司准入	33
第5章 加强中英合作与英国 CCUS 企业在中国的发展	34
5.1 英国 CCUS 企业在中国的发展情况	35
5.2 关于加强中英在 CCUS 领域合作的建议	36
5.3 市场风险及应对策略	37



前言

我很高兴为这份深入探讨英国企业在中国碳捕集、利用与封存（CCUS）领域所面临机遇的优秀报告撰写前言。

英国和中国都制定了雄心勃勃的二氧化碳减排目标——英国致力于在 2050 年实现净零排放，而中国则承诺在 2060 年实现碳中和。CCUS 是实现这些目标的关键组成部分，它提供了一条减少温室气体排放、确保可持续发展未来的可行路径。英国独立的气候变化委员会（CCC）已将 CCUS 视为“必需项而非可选项”。

这份综合报告深入探讨了 CCUS 技术的关键方面、当前状况以及对英国和中国的巨大潜力；概述了 CCUS 供应链各个环节的合作机会，阐明了中英两国应共同努力的领域，以加快 CCUS 解决方案的部署并最大限度地发挥其影响力。

中国在各个领域拥有近 100 个 CCUS 项目，令人印象深刻，其雄心勃勃的碳捕集行业发展目标，为合作提供了重要机遇。英国愿意通过加强合作，在工程咨询、项目开发、融资和关键组件供应等方面提供专业知识。通过加强合作，我们可以增强能力，推动 CCUS 技术的创新。

这份报告指出了 CCUS 领域中多个英国企业可以做出显著商业贡献的细分行业，包括高效胺溶液、生物质碳捕集解决方案、海上碳封存解决方案和关键的 CCUS 设备等。报告还强调了英国公司进入中国市场

可能遇到的挑战，同时解释了中国积极鼓励外国投资和参与 CCUS 行业的政策和举措。

我希望本报告能促使英国企业更多地参与中国的 CCUS 项目。这不仅具有巨大的商业成功潜力，而且能够应对全球性的气候变化挑战，气候变化不分国界。通过共同努力，我们可以充分发挥 CCUS 的全部潜力，为所有人的可持续未来做出贡献。

我要向为本报告提供了宝贵见解和专业知识的英国公司表示感谢。同时，我也要向致力于编写本报告的团队和专家表示衷心的感谢。我期待看到这项工作对中英两国在碳捕集、利用与封存方面的合作以及对全球应对气候变化产生的积极影响。



倪乐思 (Lewis Neal)

A handwritten signature in black ink that reads "Lewis Neal". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

英国驻华贸易使节

报告的关键信息

01

中英两国都认识到碳捕集、利用与封存技术在各自脱碳战略中的关键作用，并处于全球部署这一变革性技术的最前沿。

英国承诺在 2030 年之前拨款 200 亿英镑发展四个 CCUS 集群，而中国拥有遍布不同行业的近 100 个 CCUS 项目，突显了中英两国在全球 CCUS 领域的领先地位。

02

英国的 CCUS 行业处于有利地位，可以在快速增长的中国 CCUS 市场中抓住重要机遇。

英国在多个 CCUS 领域表现出色，包括关键的碳捕集组件制造、海上 CO₂ 运输和封存技术，以及致力于 CCUS 技术创新。目前一些英国公司已经进入中国 CCUS 市场，预示着合作和增长的良好机会。

03

中英两国在 CCUS 领域的合作将产生超越国界的影响，为全球应对气候变化的努力做出贡献。

中国鼓励外国投资 CCUS 领域，而英国企业的贡献将有助于世界上最大的温室气体排放国脱碳，从而在全球范围内产生积极影响。

执行摘要

英国和中国均致力于发展繁荣的碳捕集、利用与封存（CCUS）产业，以实现各自在 2050 年达到净零排放目标，以及 2060 年实现碳中和的承诺。鉴于中英两国对 CCUS 的共同承诺，本报告旨在识别中英两国在 CCUS 供应链中的协同机会，并就两国如何共同加速 CCUS 示范项目的规模化，释放 CCUS 技术的减排潜力提供建议。

英国



2050

净零排放目标

中国目前有约 100 个 CCUS 项目，涵盖各个不同阶段，为 2025 年至 2035 年 CCUS 技术部署提供了重要窗口。根据中国国家科技部的评估，为了实现 2060 年碳中和的目标，中国必须将其碳捕集能力从 400 万吨 / 年大幅提高到 21-25 亿吨 / 年。英国政府已承诺投入 200 亿英镑用于 CCUS 的早期部署。英国的关键能力，例如工程咨询、项目开发、融资专业知识和零部件供应，可以在中国市场中创造价值。

在特定的 CCUS 领域，英国公司具备较强优势。基于胺的碳捕集行业需要高效的胺溶液。此外，英国在供应换热器、塔内件和过滤器方面具有竞争力。由于中国经验有限，生物质烟气碳捕集、CO₂ 分离膜和直接空气捕集等其他领域也存在双方合作机会。中国的 CO₂ 运输行业目前依赖船舶运输，但在管道设计、规划和建设方面存在不足，双方具有合作潜力。英国在管道设计、耐腐蚀性和检测方面的专业知识可以在该领域同中国开展合作。

中国

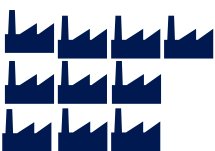


2060

碳中和的目标

在 CO₂ 封存领域，英国公司可以在二氧化碳地质封存和监测过程中寻求机会，包括 CO₂ 注入、风险分析、泄漏管理和先进的监测技术。英国在海上 CO₂ 封存的储层工程设计、海洋和海底作业等方面的能力为中英合作提供了潜力。

英国企业进入中国 CCUS 行业存在两个障碍：一是中国限制外资对水运公司的所有权，二是中国国有石油公司在 CO₂ 封存领域的主导地位，可能需要与当地石油公司进行合资以开展业务。



100

CCUS 项目

中国积极鼓励外商投资 CCUS 产业，已发布了《鼓励外商投资产业目录》等政策。中国经济脱碳和应对气候变化的需求为英国 CCUS 相关行业提供了巨大的商业机会。中英两国在气候变化问题上的合作将产生超越国界的影响，为国际社会创造价值。

第1章 引言



Image source: CSSC Jiangnan Shipyard

碳捕集、利用与封存（CCUS）技术从工业或发电过程中捕集 CO₂，加以利用或永久地封存与地下，有效地阻止 CO₂ 释放到大气中，减少关键行业的碳排放，在应对气候变化中具有至关重要的作用。中英双方均认识到 CCUS 的重要性，并支持其发展。

在英国，CCUS 对于在 2050 年实现净零排放目标和促进绿色经济至关重要。英国政府已启动 10 亿英镑的碳捕集与封存基础设施基金（Carbon Capture and Storage Infrastructure Fund）和 3.15 亿英镑的工业脱碳挑战计划（Industrial Decarbonisation Challenge）等举措，同时还承诺投入 200 亿英镑用于早期 CCUS 集群的部署。中国也在其国家发展规划

中将 CCUS 视为关键，目前已有大约 100 个各行业的 CCUS 项目正在进行中。

英国在 CCUS 领域有国际合作的历史，特别是与中国。2013 年，英国碳捕集与封存研究中心（UKCCSRC）和苏格兰碳捕集与封存中心（SCCS）与中国能源建设集团广东省电力设计院（GEDI）合作，成立了中英（广东）CCUS 中心，用于推动 CCUS 在中国的研究和项目发展。

鉴于双方对 CCUS 的共同承诺，中英在 CCUS 供应链领域有巨大的合作机会。本报告研究识别了这些机会，并就如何充分释放 CCUS 的减排潜力提出了建议。

200 亿英镑

英国政府已经承诺投入 200 亿英镑用于 CCUS 集群的早期部署。



100 个 CCUS 项目

中国同样将 CCUS 视为国家发展计划的关键，目前各行业开展的 CCUS 项目数量大约在 100 个。



第 2 章

CCUS 在中国的 进展



国家能源集团泰州电厂 50 万吨 / 年碳捕
集项目 (照片来源: 国家能源集团) 详细

2022 年，中国能源燃烧和工业过程产生的 CO₂ 排放达 121 亿吨，占全球总量的 32.8%，是世界上最大的碳排放国。据中国科技部最新全国调查显示，截至 2022 年底，中国共有 96 个 CCUS 项目处于运营、建设或规划阶段。表 2-1 展示了中国具有代表性 CCUS

项目，涵盖电力、水泥、钢铁、化工和石油等多个行业。总的来说，这些项目的二氧化碳捕集能力约为每年 900 万吨，其中二氧化碳大部分被利用，仅有不到 100 万吨进行地质封存。

表 2-1 中国 CCUS 代表性项目列表（按启动时间排序）

序号	项目名称（规模）	行业	企业 / 高校	开始年份（状态*）	地点
1	大庆油田 CO ₂ -EOR 示范项目 (20 万吨 / 年)	石油	中国石油	2003 (O)	黑龙江大庆
2	吉林油田 CO ₂ -EOR 项目 (60 万吨 / 年)	石油	中国石油	2008 (O)	吉林松原
3	石洞口电厂碳捕集示范项目 (12 万吨 / 年)	电力	中国华能	2009 (O)	上海
4	重庆双槐电厂碳捕集示范项目 (1 万吨 / 年)	电力	国家电投	2010 (O)	重庆
5	国家能源集团鄂尔多斯咸水层封存项目 (10 万吨 / 年)	化工	国家能源集团	2011 (M)	内蒙古 鄂尔多斯
6	大唐高井热电厂碳捕集示范项目 (2 千吨 / 年)	电力	中国大唐	2012 (O)	北京
7	华中科技大学 35MW 富氧燃烧工业示范项目 (10 万吨 / 年)	电力	华中科技大学	2014 (O)	湖北应城
8	克拉玛依敦华石油 - 新疆油田 CO ₂ -EOR 项目 (10 万吨 / 年)	石油	中国石油	2015 (O)	新疆克拉玛依
9	华能绿色煤电 IGCC 电厂 CCUS 示范项目 (10 万吨 / 年)	电力	中国华能	2016 (O)	天津
10	甲烷二氧化碳自热重整制合成气装置 (2 万吨 / 年)	化工	山西潞安集团	2017 (O)	山西长治
11	长庆油田 CO ₂ -EOR 项目 (5 万吨 / 年)	石油	中国石油	2017 (O)	陕西榆林
12	海螺集团芜湖白马山水泥厂二氧化碳捕集纯化示范项目 (5 万吨 / 年)	水泥	海螺集团	2018 (O)	安徽芜湖
13	华润海丰电厂碳捕集技术测试平台示范项目 (2 万吨 / 年)	电力	华润电力	2019 (O)	广东汕尾

1. International Energy Agency (IEA), CO₂ Emissions in 2022[R], 2023
2. 张贤, 杨晓亮, 鲁玺 等. 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2023) [R]. 中国 21 世纪议程管理中心, 全球碳捕集与封存研究院, 清华大学. 2023.

14	江苏华电句容电厂碳捕集项目 (1 万吨 / 年)	电力	中国华电	2019 (O)	江苏镇江
15	CO ₂ 基生物降解塑料项目 (30 万吨 / 年)	化工	中国科学院长春应用化学研究所	2021 (O)	吉林
16	煤制氢废气 CO ₂ 捕集项目 (20 万吨 / 年)	化工	中国石化	2021 (O)	江苏南京
17	包钢集团碳化法钢渣综合利用项目 (200 万吨 / 年)	钢铁	包钢集团	2021 (C)	内蒙古包头
18	国华锦界电厂燃烧后 CO ₂ 捕集与封存全流程项目 (15 万吨 / 年)	电力	国家能源集团	2021 (O)	陕西榆林
19	恩平 15-1 油田群 CO ₂ 回注示范项目 (30 万吨 / 年)	石油	中国海油	2022 (O)	广东海域
20	中石化齐鲁石化 - 胜利油田 CO ₂ -EOR 项目 (100 万吨 / 年)	石油	中国石化	2022 (O)	山东淄博
21	陕西延长石油煤化工 CO ₂ 捕集与驱油示范项目 (30 万吨 / 年)	石化	延长石油	2022 (O)	陕西榆林
22	化学链燃烧兆瓦级中试试验示范项目	电力	四川东方锅炉工业 / 道达尔	2022 (O)	四川德阳
23	广汇能源 CCUS 项目 (10 万吨 / 年)	石油	新疆广汇新能源有限公司	2022 (C)	新疆哈密
24	浙能兰溪 CO ₂ 捕集与矿化利用集成示范项目 (1.5 万吨 / 年)	电力	浙能集团	2022 (C)	浙江兰溪
25	曹妃甸 CCUS 示范项目 (15 万吨 / 年)	电力	华润电力	2022 (C)	河北唐山
26	陇东 CCUS 示范项目 (150 万吨 / 年)	电力	中国华能	2023 (C)	甘肃庆阳
27	泰州电厂 CCUS 示范项目 (50 万吨 / 年)	电力	国家能源集团	2023 (O)	江苏泰州
28	长兴岛电厂 CCUS 示范项目 (10 万吨 / 年)	电力	国家电投	2023 (O)	上海
29	宁东基地 CCUS 示范项目 (100 万吨 / 年)	石化	国家能源集团 / 中国石油	2023 (C)	宁夏宁东

* O 表示运行状态, C 表示建设状态, M 表示二氧化碳地质封存监测状态。

2.1 二氧化碳捕集

中国已应用了多种二氧化碳捕集技术，包括富氧燃烧、燃烧前碳捕集和燃烧后捕集（表 2-2）。中国的碳捕集示范项目大多集中在电力行业，主要使用胺溶液进行燃烧后碳捕获，其他方法也在探索中，例如华润海丰 CCUS 示范项目的 CO₂ 膜分离和天津华能电厂的燃烧前碳捕集与整体煤气化联合循环（IGCC）技术。华中科技大学实现了富氧燃烧 CO₂ 捕集；在四川省德阳市则应用了化学链燃烧技术。

在水泥行业，海螺水泥于 2018 年率先建成中国首座碳捕集装置，年产 3 万吨食品级 CO₂ 和 2 万吨工业级 CO₂。青州中联水泥于 2023 年 6 月启动了碳捕集示范项目的建设工程，采用富氧燃烧工艺（20 万吨 / 年）。

华润水泥在广东肇庆的富氧燃烧碳捕集项目（10 万吨 / 年）已完成环境评估，等待启动。

在钢铁行业，包钢正在内蒙古包头建设中国首个碳捕集项目，该项目采用胺基二氧化碳捕集系统，目标是每年捕获 200 万吨二氧化碳，其中第一阶段为年捕获 50 万吨的项目。捕获的二氧化碳将通过与钢渣反应和用于强化采油（EOR）等方式得到利用。

在煤化工行业，以甲醇为吸收溶剂的 Rectisol 二氧化碳分离技术通常应用于水煤气变换过程中捕获高浓度二氧化碳（体积分数 >80%）。该技术的典型案例包括延长石油 CCUS 项目和宁东基地 CCUS 示范项目。



华能洋浦燃气电厂碳捕集示范项目（年捕获量 2 千吨），海南儋州（照片来源：中国华能）

表 2-2 中国具有代表性的碳捕集项目（按行业和时间顺序排列）

项目名称 (规模)	运营公司	技术	领域	开始年份 (状态)	地点
华能石洞口电厂碳捕集示范项目 (12 万吨 / 年)	中国华能	燃烧后	燃煤电厂	2009 (O)	上海
大唐北京高井燃气热电联产工程碳捕集系统 (2000 吨 / 年)	中国大唐	燃烧后	燃气电厂	2014 (O)	北京
华中科技大学 35MW 富氧燃烧技术示范项目 (10 万吨 / 年)	华中科技大学	富氧燃烧	燃煤电厂	2015 (O)	湖北应城
华能绿色煤电 IGCC 电厂捕集利用和封存项目 (10 万吨 / 年)	中国华能	燃烧前	燃煤电厂	2016 (O)	天津
华润海丰电厂碳捕集测试平台示范项目 (2 万吨 / 年)	华润电力	燃烧后	燃煤电厂	2019 (O)	广东汕尾
国华锦界电厂燃烧后 CO ₂ 捕集与封存全流程项目 (15 万吨 / 年)	国家能源集团	燃烧后	燃煤电厂	2021 (O)	陕西榆林
化学链燃烧兆瓦级中试试验示范项目	四川东方锅炉工业 / 道达尔	化学链燃烧	燃煤电厂	2022 (O)	四川德阳
泰州电厂 CCUS 示范项目 (50 万吨 / 年)	国家能源集团	燃烧后	燃煤电厂	2023 (O)	江苏泰州
陇东 CCUS 示范项目 (150 万吨 / 年)	中国华能	燃烧后	燃煤电厂	2023 (C)	甘肃庆阳
华能洋浦天然气碳捕集示范装项目 (2000 吨 / 年)	中国华能	燃烧后	燃气电厂	2023 (O)	海南儋州
白马山水泥厂二氧化碳捕集示范项目 (5 万吨 / 年)	海螺集团	燃烧后	水泥	2018 (O)	安徽芜湖
联合水泥青州碳捕集示范项目 (20 万吨 / 年)	中国建材	富氧燃烧	水泥	2023 (C)	山东潍坊
包钢集团碳化法钢铁渣综合利用 CCUS 示范项目 (200 万吨 / 年)	包钢集团	燃烧后	钢铁	2022 (C)	内蒙包头
延长石油 CCUS 项目 (30 万吨 / 年)	延长石油	燃烧前 (低温甲醇洗)	化工	2012 (O)	陕西西安
中石化齐鲁石化 - 胜利油田 CCUS 项目 (100 万吨 / 年)	中国石化	燃烧前 (低温甲醇洗)	化工	2022 (O)	山东淄博
宁东基地 CCUS 示范项目 (250 万吨 / 年)	国家能源集团 / 中国石油	燃烧前 (低温甲醇洗)	化工	2022 (C)	宁夏宁东

* O 表示运行状态，C 表示建设状态。



陕西省延长石油榆林煤化公司碳捕集设施，陕西榆林（照片来源：延长石油）

2.2 二氧化碳运输

中国的 CCUS 项目大多处于示范阶段，总体上规模较小，罐车运输是目前主要的运输方式。中国具备建造 CO₂ 运输船的能力，例如，中国国际海运集装箱集团（中集集团）与华润电力合作，于 2020 年为广东海丰电厂的百万吨级 CCUS 项目制定了 CO₂ 运输船设计及运营方案。

中国百万吨级 CO₂ 的管道运输尚处于早期阶段。中石油吉林油田 CCUS 项目中有 20 公里的 CO₂ 管道运输（表 2-3）。与此同时，齐鲁石化 - 胜利油田 CCUS 项目正在建设一条 108 公里的陆上管道。中国的海底 CO₂ 管道运输目前正处于可行性研究阶段。

表 2-3 目前中国利用管道输送二氧化碳的 CCUS 项目

项目名称 (规模)	状态	运输距离 (km)
中石油大庆油田 CO ₂ -EOR 示范项目 (20 万吨 / 年)	运行中	-
中石油吉林油田 CO ₂ -EOR 项目 (60 万吨 / 年)	运行中	20
中石化齐鲁石化 - 胜利油田 CCUS 项目 (100 万吨 / 年)	建设中	108

2.3 二氧化碳利用

近年来，全球二氧化碳利用技术领域取得了显著进展，中国在此领域也取得了长足进步。新的二氧化碳利用技术和项目不断涌现，工业示范稳步推进。中国二氧化碳利用项目采用地质、化学和生物等多种方法。这些方法包括 CO₂ 强化采油 (CO₂-EOR)，以及将 CO₂ 转化为各种材料，包括甲醇、合成气、可生物降解塑料、碳酸钙、纳米材料和负碳建筑材料。总体而言，中国的 CO₂ 利用技术水平与国际前沿水平相当，在某些方面甚至展现出技术优势 (图 2-1)。例如，在二氧化碳地质利用领域，中国已广泛利用 CO₂ 提高陆上油田的石油采收率。中国还建立了利用二氧化碳生产绿

色甲醇、合成汽油和合成气的试点项目，其技术能力在 CO₂ 合成燃料领域处于全球领先地位。此外，中国还开展了二氧化碳合成碳酸二甲酯、异氰酸酯、二甲基甲酰胺、四甲苯、丁二酸、生物可降解塑料、碳纳米管等领域的试点项目，其中一些应用技术已达到全球领先水平。在二氧化碳农业应用方面，二氧化碳合成尿素和碳酸氢铵产业已趋成熟，二氧化碳气体肥料已在一些省份得到验证和推广，二氧化碳培养微藻的商业化应用已达到成熟阶段。中国拥有这些二氧化碳利用技术的研究机构或企业名单详见第 4.3 节。



中国石油吉林油田 CO₂ 注入现场，吉林松原 (照片来源：中国石油天然气集团公司)

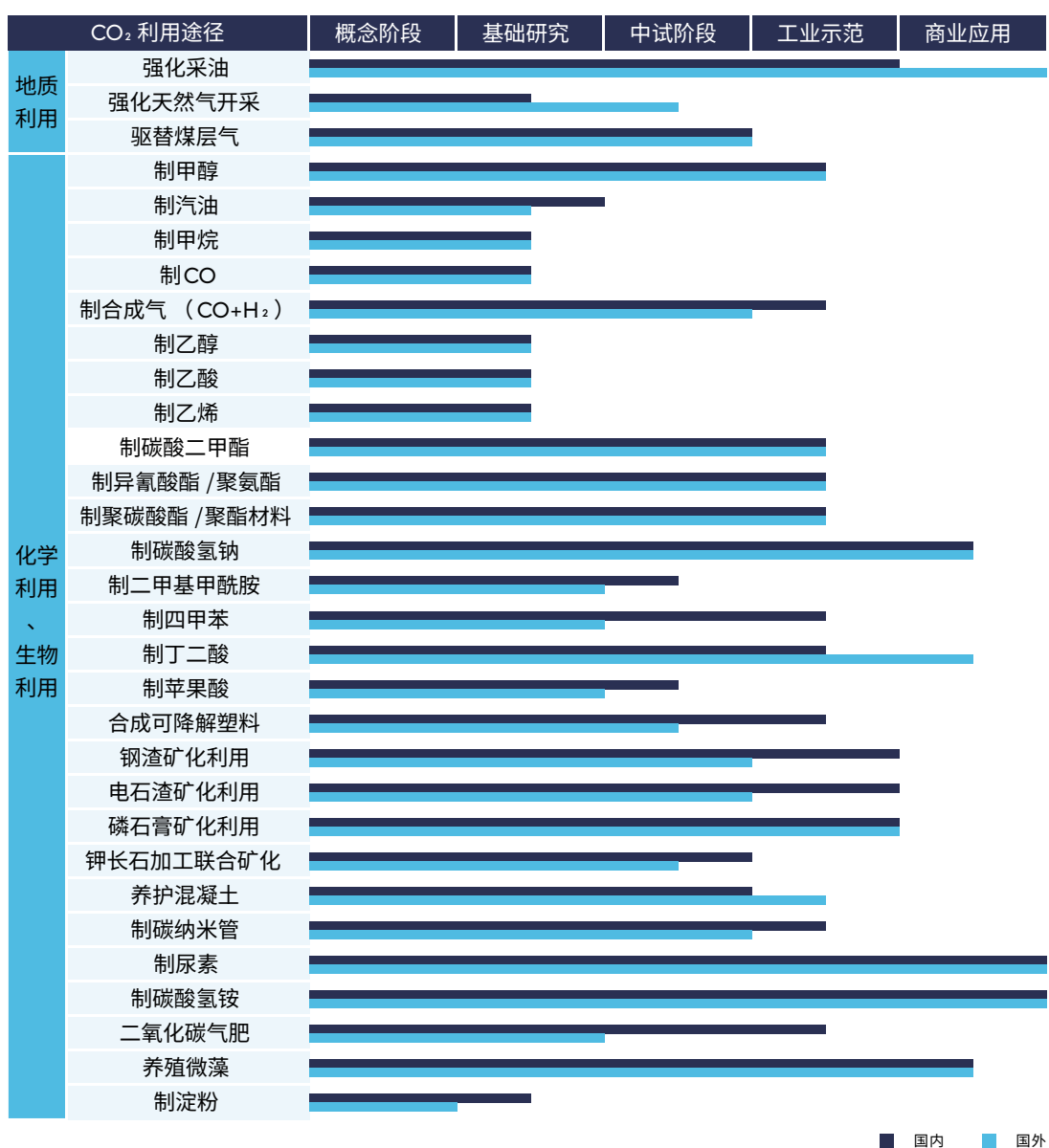


图 2-1 中国二氧化碳利用技术进展与全球前沿水平的对比。中国通过甲醇和合成气合成示范，展示了其尖端的二氧化碳转化为燃料的技术。同时，中国还展示了利用二氧化碳生产一系列化学品的能力，其中包括碳酸二甲酯、聚氨酯等。值得注意的是，在中国，多种工业废弃物，如钢渣、电石渣和磷石膏，已被用于捕获二氧化碳，进而制造建筑材料，如大理石³。

3. 广东南方碳捕集与封存产业中心，宁夏回族自治区二氧化碳产业发展路径研究报告 [R]，2023

2.4 二氧化碳封存

中国在陆地和海上都拥有巨大的二氧化碳封存潜力，包括沉积盆地和玄武岩岩层。据中国地质调查局水文地质环境地质调查中心估计，中国地下深部咸水层的CO₂地质封存潜力占沉积盆地总潜力的90%以上，预计封存容量约为7.69 亿吨⁴。此外，该研究还估计海上深部咸水层的二氧化碳封存潜力约为2.34 亿吨。2022年，青岛海洋地质研究所重新评估中国海上深部咸水层二氧化碳封存潜力后得出的数字为2.58 亿吨，进一步印证了中国地下咸水层巨大的碳封存潜力⁵。

中国已利用陆地和海上的咸水层开展了二氧化碳封存示范项目。神华集团于2011年在鄂尔多斯启动的中国首个深部咸水层CO₂封存示范项目，每年可注入10万吨二氧化碳。注入过程历时三年，封存了30万吨二氧化碳。迄今为止，该项目仍处于监测阶段，封存的二氧化碳处于安全状态。2021年，中海油在恩平15-1

油田启动了中国首个海上二氧化碳封存项目，目标是年捕集和封存30万吨二氧化碳。该项目在约80米的水深下作业，通过与石油平台相连的定向注入井将CO₂注入到800米处的咸水层。

此外，将二氧化碳封存在玄武岩中的概念因其快速矿化、成本低廉等优势而备受关注⁶。中国石油大学研究人员对中国玄武岩二氧化碳总体封存潜力进行了评估，发现超临界CO₂注入和碳酸水注入的理论封存能力分别为607.79-1121.44 亿吨和201.13-303.85 亿吨⁷。Carbfix和腾讯公司对中国各区域玄武岩碳封存潜力的初步评估表明，中国玄武岩的CO₂理论封存潜力从数万吨到数十万吨不等。然而，鉴于中国玄武岩二氧化碳封存技术尚处于早期阶段，因此还需要进一步验证。玄武岩CO₂封存技术为缺乏大型沉积盆地的地区提供了潜在的封存途径，有效地增强了地质碳汇的规模，对于整体碳减排战略具有重要意义。

4. 郭建强, 文冬光, 张森琦, 许天福, 李旭峰, 刁玉杰等. (2015). 中国二氧化碳地质储存潜力评价与示范工程. 中国地质调查, 2(4), 11.
5. 中国自然资源部, 我国海域二氧化碳地质封存预测潜力达2.58 亿吨, 2023, https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202301/t20230116_2773942.html
6. Snæbjörnsdóttir S Ó, Sigfússon B, Marieni C, et al. Carbon dioxide storage through mineral carbonation[J]. Nature Reviews Earth & Environment, 2020, 1(2): 90-102.
7. Zhang L, Wen R, Li F, et al. Assessment of CO₂ mineral storage potential in the terrestrial basalts of China[J]. Fuel, 2023, 348: 128602.
8. Carbfix, Tencent, Pre-feasibility screening study for CO₂ mineral storage potential in China[R], 2021



恩平 15-1 油田平台上的 CO₂ 处理回注模块，广东珠江口盆地（照片来源：中国海油）。

2.5 中国 CCUS 集群部署

中国政府与部分省份以及国有石油公司正在探索 CCUS 集群的实施。中国科技部（MOST）已确定几个具备有利条件部署 CCUS 集群的地区⁹。这些地区包括内蒙古、陕西和宁夏的鄂尔多斯盆地；新疆的准噶尔盆地、吐鲁番 - 哈密盆地、塔里木盆地；黑龙江和吉林的松辽盆地；四川的四川盆地；以及广东近海的珠江口盆地。

在省级初步层面，广东已开展全省 CCUS 集群布局方案研究，提出了四个集群方案（图 2-2）：粤东 CCUS 集群、广佛肇 - 深莞惠 CCUS 集群、珠江口西岸 CCUS 集群和粤西 CCUS 集群¹⁰。其中，广佛肇 - 深莞惠 CCUS

集群规模最大，年排放量超过 1.2 亿吨二氧化碳。粤西 CCUS 集群每年的排放量约为 7000 万吨二氧化碳，而粤东和珠江口西岸集群的年排放量分别为 5000 万吨和 4000 万吨二氧化碳。

中国石油天然气集团公司（CNPC）计划在第一阶段（2025 年前）从其自有设施中每年捕获 300 万吨二氧化碳，并基于强化采油（EOR）构建相关的管道和系统，以实现地质封存和利用（表 2-4）¹¹。在第二阶段，该项目预计在 2030 年前每年捕获 1 千万吨二氧化碳，将从附近的燃煤电厂、钢厂、水泥厂和其他高排放行业捕获二氧化碳，同时扩大运输系统。

9. 科学技术部社会发展科技司，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],2019

10. 广东南方碳捕集与封存产业中心，广东工业大学，中国能建广东省电力设计院，广东省二氧化碳捕集利用运输与封存规划研究报告 [R],2022

11. 油气行业气候倡议组织，中国碳捕集、利用与封存（CCUS）商业化白皮书 [R],2021

表 2-4 中国石油规划中的 CCUS 枢纽¹⁰

计划枢纽	封存盆地	区域	规模 (百万吨 CO ₂ /年)	运营状态	潜在碳源
中国西北	准噶尔盆地	西北	3.0	2025	化工、电力、钢铁、水泥行业
大庆	松辽盆地	东北	3.0	至 2030	化工、电力、钢铁、石化、水泥、生物质行业
长庆	鄂尔多斯盆地	西北	3.0	至 2030	化工、电力行业
大港	渤海湾盆地	华北	1.0	至 2030	化工、电力、钢铁、石化、水泥、生物质行业

中国石化牵头在上海、江苏、浙江和安徽等地建设区域性 CCUS 集群。2022 年 11 月，中石化与壳牌、中国宝武和巴斯夫签署了合作谅解备忘录，旨在开发中国华东地区年产能为 1000 万吨二氧化碳的 CCUS 集群，为各类工业企业提供有效的综合二氧化碳减排解决方案。

中国海油正研究华南地区 CCUS 集群的可行性。2023 年 1 月，广东省发展和改革委员会、中国海油、壳牌和埃克森美孚签署了惠州大亚湾 CCUS 集群的联合研究协议。该协议的目的是寻找合作机会，建设一个 1000 万吨的碳捕集结合离岸封存 CCUS 集群。

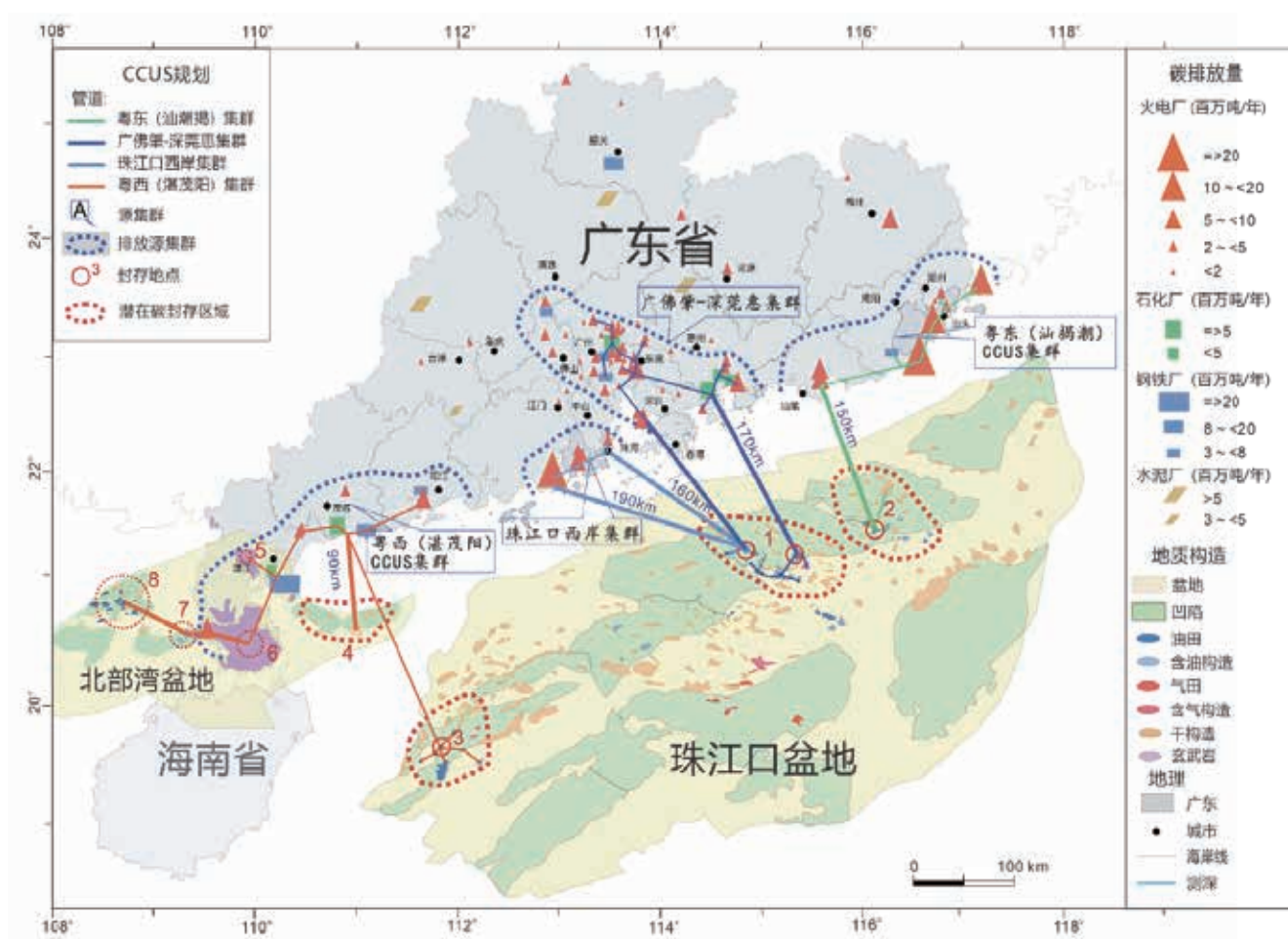


图 2-2 广东 CCUS 集群部署设计方案¹¹

2.6 中国政府 CCUS 政策

为实现碳中和目标，中国预计将通过逐步完善激励机制及法律法规来发展 CCUS 行业。从 2006 年到 2023 年，中国政府已发布 30 余项有关 CCUS 的政策、发展规划、行动计划和路线图。这些政策为 CCUS 技术的发展、示范、应用及更广泛的实施提供了指导。

自“十一五”时期（2006-2010 年）起，中国政府已将 CCUS 技术纳入国家计划和政策中。“十二五”和“十三五”时期（2011-2015 年和 2016-2020 年）期间，政府多项规划文件中提及 CCUS 创新与部署，并推动了系统性示范项目的发展。在“十四五”时期（2021-2025 年），政府正集中力量推动 CCUS 技术创新和示范应用，

并提供更多的财政支持。然而，尽管出台了各种政策，但仍缺乏实质性的激励政策、具有约束力的法律法规，以及部门间的合作与协同。

考虑到中国减排目标规模大、实现时间有限，“十四五”期间更新 CCUS 政策至关重要。接下来的关键步骤包括政府制定实质性的激励政策、具有约束力的法律法规，以及促进部门间的合作与协同。此外，建立统一的审批程序监管框架，并实施统一的 CCUS 减排核算方法，对于提高 CCUS 项目的经济可行性至关重要。



二氧化碳加氢制甲醇“液态阳光”示范项目，甘肃兰州

2.7 中国 CCUS 标准

CCUS 标准可为 CCUS 项目的设计、运营和报告提供统一的框架，作用至关重要。这些标准有助于建立项目开发的通用标准，确保 CCUS 项目以标准化和透明的方式实施，并使利益相关者能够评估 CCUS 项目的有效性和对于减缓气候变化的贡献。

2023 年 4 月，中国国家标准委发布了《碳达峰碳中和标准体系建设指南》。该文件的目的是促进与绿色技术有关的基本标准的推进，包括术语和工业流程。目前，中国有超过 10 项与 CCUS 相关的标准，但并非强制性标准（表 2-5）。总的目标是建立一个包括国家标准、行业标准和团体标准的综合性 CCUS 标准体系，以协调各个领域。

2.8 中国 CCUS 市场展望

中国的发电行业占全国碳排放量的 50% 以上，每年从 2000 多个排放源产生超过 40 亿吨 CO₂。中国能否实现碳中和，在很大程度上将取决于电力行业对 CCUS 技术的采纳程度。据预测，到 2060 年，发电厂需通过 CCUS 技术每年削减约 9.9 亿吨的二氧化碳排放量（图 2-3）²。同时，根据预测分析，2030 年至 2050 年将是电力行业快速部署 CCUS 的关键时期（图 2-3）。

减排 9800 万吨的目标（图 2-3）。在水泥行业，预计到 2030 年，由于 CCUS 的助力，水泥行业的年碳排放量将减少 800 万吨，而到 2060 年，这一数字有望进一步增加至 2.48 亿吨（图 2-3）。

在钢铁行业，CCUS 技术的应用有望在 2030 年减少 300 万吨 / 年的碳排放量，并预计在 2060 年达到年

考虑到中国石化和化工行业中煤化工、氨及甲醇生产厂产生的高浓度二氧化碳排放，这为早期实施低成本、高效的 CCUS 示范项目提供了有利条件。为实现碳中和目标，这些行业需广泛应用 CCUS 技术，以期每年削减 1.9 亿吨的二氧化碳排放量。



神华咸水层封存项目（照片来源：中国神华）

表 2-5 中国具有代表性 CCUS 相关标准（按行业和时间顺序排序）

序号	领域	标准名称（标准出版编号）	编制单位	时间
1	二氧化碳捕集、利用与封存	二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）	生态环境部环境规划院	2016
2	碳捕集	烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准（GB/T 51316—2018）	中石化石油工程设计有限公司	2018
3	碳捕集	火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测量技术规范	国家能源集团新能源技术研究院	2022
4	碳捕集	燃烧后 CO ₂ 捕集吸收解决方案的关键性能指标和测试方法（ISO 27927）	中国华能集团清洁能源技术研究院	2022
5	碳运输	二氧化碳输送管道工程设计标准（SH/T 3202-2018）	中国石化石油工程设计有限公司	2018
6	碳运输	二氧化碳捕集、输送和地质封存管道输送系统（GB 20211022-T-469）	中国石油集团工程材料研究院	2021
7	碳运输	二氧化碳管道站场工艺管道施工及验收规范（T/CSPSTC 104-2022）	中国石油天然气管道工程有限公司	2023
8	碳利用	二氧化碳制备甲醇技术导则（GB/T 34236-2017）	西南化工研究设计院	2017
9	碳利用	二氧化碳制甲醇安全技术规范（GB/T 34250-2017）	西南化工研究设计院	2017
10	碳利用	石油天然气开发注二氧化碳安全规范（SY/T 6565-2018）	中国石油吉林油田分公司	2018
11	碳利用	CO ₂ 驱油田注入及采出系统设计规范（SY/T 7440-2019）	吉林石油集团石油工程有限责任公司	2019
12	碳利用	二氧化碳驱油封存项目碳减排量核算技术规范（DB37/T 4548-2022）	中国石化胜利油田分公司	2022
13	碳封存	CO ₂ 地质利用与封存工程泄漏风险评估规范（T/CSSES 71-2022）	中国科学院武汉岩土力学研究所	2022
14	海上 CCUS	海上油气二氧化碳捕集利用与封存系统检验指南	中国船级社	2023

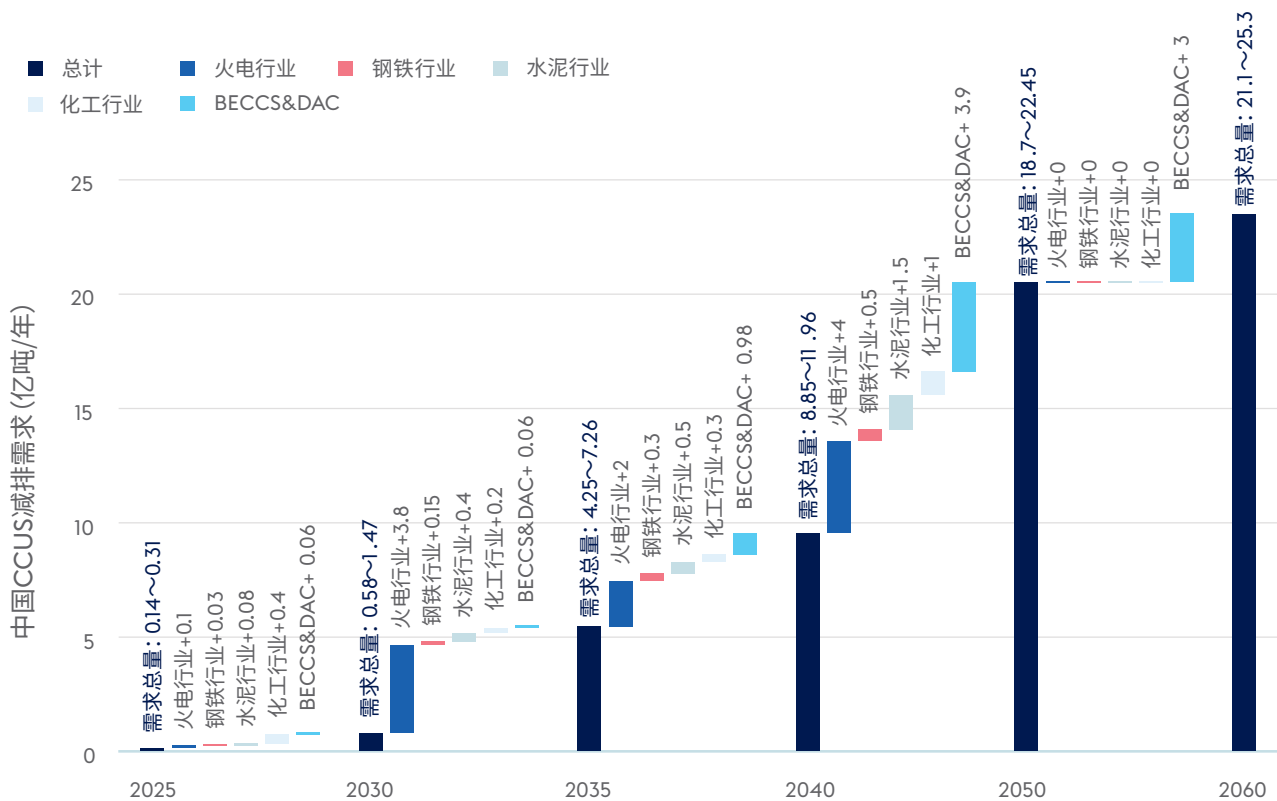


图 2-3 2025-2060 年中国各行业 CCUS 减排需求¹²

2.9 中国 CCUS 成本

成本对于 CCUS 项目至关重要，因为它直接关系到项目的经济可行性、对投资者的吸引力、行业竞争力、排放目标的达成以及规模扩大的能力。

碳捕集过程通常占 CCUS 项目费用的很大一部分，其成本受到 CO₂ 浓度和烟气杂质等因素的影响。在中国，从烟气中分离 CO₂ 成本最低的是天然气处理行业（图

2-4）。煤化工和石化行业也受益于相对较低的碳捕集成本，因为其排放的烟气中存在高浓度的 CO₂。对于燃煤电厂，根据实际项目费用，CCUS 成本通常在 200-600 元 / 吨 CO₂ 范围内。另一方面，与燃煤电厂相比，燃气电厂的碳捕集成本通常更高，因为其烟气排放中 CO₂ 浓度较低。水泥厂的碳捕集成本高，范围在 305-730 元 / 吨 CO₂ 之间。

12. 张贤, 杨晓亮, 鲁玺等. 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2023) [R]. 中国 21 世纪议程管理中心, 全球碳捕集与封存研究院, 清华大学. 2023.

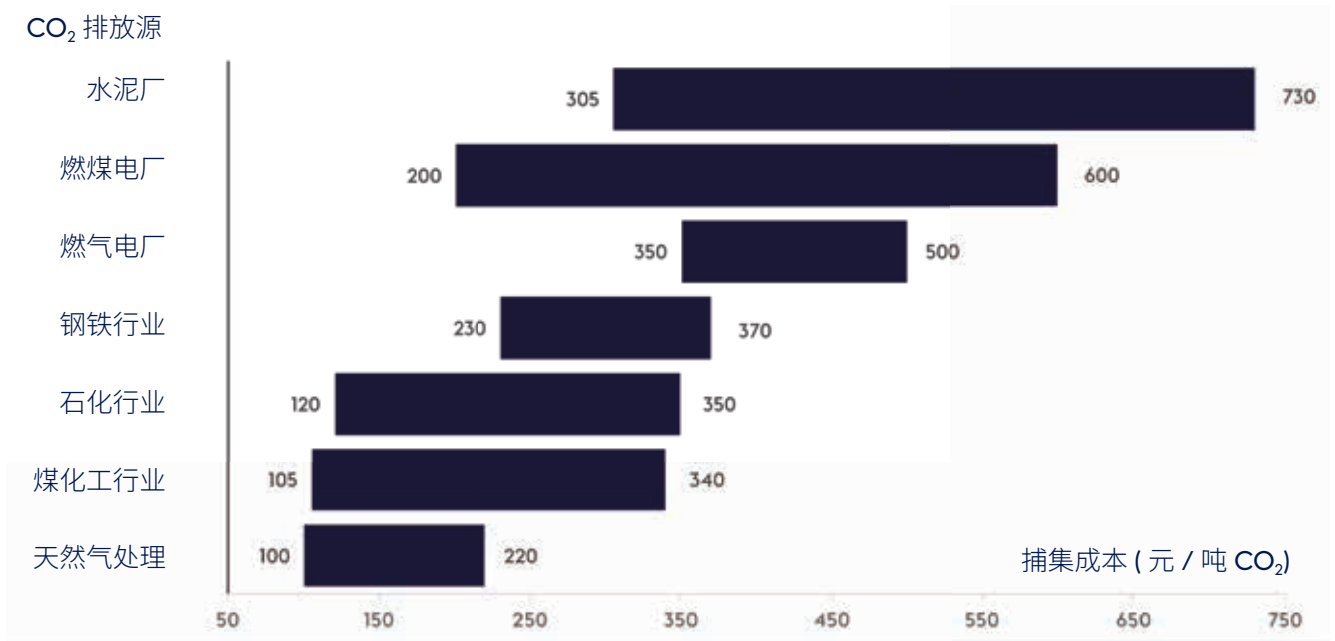


图 2-4 中国各行业的二氧化碳捕集成本。成本数据来自中国 CCUS 项目的实际经验¹³,并辅以燃气电厂碳捕集的预可研结果。人民币与英镑的近似汇率约为 9 人民币 (CNY) 兑换 1 英镑 (GBP)。

在二氧化碳运输领域，罐车的运输成本为 0.9-1.4 元 / (吨 CO₂·公里)，而对于年产量超过 100 万吨的项目来说，管道运输更为经济，成本范围为 0.3-0.8 元 / (吨 CO₂·公里)¹⁴。

对于陆上沉积盆地的 CO₂ 封存，成本可以控制在 50-60 元 / 吨 CO₂ 的范围内。然而，在中国，海上 CO₂ 封存缺乏丰富的工程经验，初步成本估算超过 300 元 / 吨 CO₂。

在中国，由于劳动力成本相对较低，原材料成本相对较低，设备制造和运输效率高，CCUS 的成本可以比发达国家低 10-30%。然而，截至 2023 年 8 月，由于中国碳排放权交易市场中的价格相对较低，每吨二氧化碳的价格在 50 至 75 元之间，中国的 CCUS 项目面临挑战。这些价格不足以覆盖项目成本，因此需要额外的财政支持来确保 CCUS 项目的可持续性。

13. The Administrative Center for China's Agenda 21, Global CCS Institute, Tsinghua University, CCUS Progress in China—A status report, 2023, Page 16.

14. 蔡博峰, 李琦, 张贤 等. 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2021)——中国 CCUS 路径研究 [R]. 生态环境部环境规划院, 中国科学院武汉岩土力学研究所, 中国 21 世纪议程管理中心. 2021.

第3章

英国 CCUS 发展战略与能力

©shutterstock/Anton Balazh

3.1 英国当前的 CCUS 部署计划

英国当前的 CCUS 计划主要以各个地区的集群为中心，所有集群都可以通过管道或船舶（例如南威尔士和南安普敦集群）运输二氧化碳至海上封存。此外，英国还有一项战略计划是利用北海北部的 CCUS 集群封存来自欧洲的二氧化碳。

根据英国 2020 年 11 月发布的《绿色工业革命十点计划》¹⁵ 和 2022 年 4 月发布的《英国能源安全战略》¹⁶，英国计划到 2025 年左右在两个工业集群中实施 CCUS，并在 2030 年之前扩展至四个工业集群，每年捕集约 1000 万吨 CO₂。CCUS 发展资金来源包括工业减碳挑战基金（1.7 亿英镑）¹⁷、10 亿英镑的 CCS

基础设施基金¹⁸，以及基于市场的 CO₂ 运输和封存、电力和工业碳捕集的商业模型¹⁹。

在征求建议后，有五个潜在的 CCUS 集群获得了资金以制定计划，其中 HyNet 和 East Coast (东海) 集群被选为 Track 1 集群，有望在 2025 年左右投入运营。2023 年 3 月的英国春季预算确认为 CCUS 提供 200 亿英镑支持²⁰，释放私人投资和创造就业机会，尤其是在英格兰东海岸、西北部和北威尔士地区。截至 2023 年 7 月 31 日，Acorn 和 Viking 的二氧化碳运输和封存系统是首选的 Track 2 候选项目，最终决定将在尽职调查和可负担性评估后做出²¹。

3.2 英国在 CCUS 领域的的能力

英国在 CCUS 领域的关键能力，在中国市场上具有价值的主要包括技术服务、工程咨询以及跨领域的知识技能。这涵盖了项目开发、融资方面的专业知识，以及直接或通过许可协议从英国引进关键部件的供应。表 3-1 罗列了英国通过 CCUS 集群建设和项目开发所掌握的重要能力。虽然部分能力已经较为成熟，但正

在进行的 CCUS 集群和项目部署将进一步提升其他能力。在 2023 年，英国能源安全与净零排放部门组织了一次对英国 CCUS 供应链能力的系统评估，确定了英国在 CCUS 工程和设计、关键设备制造（例如塔式容器、过程控制系统、热交换器）等方面的优势²³。

15 HMG (2020), “The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution”, 18 Nov 2020.

16 HMG (2022), British Energy Security Strategy: Secure, clean and affordable British energy for the long term, Apr 2022.

17 UKRI (2021), “Industrial decarbonisation challenge” .

18 BEIS (2021a), “The Carbon Capture and Storage Infrastructure Fund” , May 2021.

19 BEIS (2021e), “Research and analysis: Carbon capture, usage and storage (CCUS): business models” , Updated 5 October, 2021.

20 HMT (2023), “Spring Budget 2023: Copy of the Budget Report – March 2023 as Laid before the House of Commons by the Chancellor of the Exchequer when opening the Budget.” , House of Commons HC 1183.

21 HMG (2023), Cluster sequencing for carbon capture, usage and storage (CCUS): Track-2, 31 July 2023

23 Department for Energy Security and Net Zero. ‘A Remarkable New Infrastructure System’ Opportunities for economic growth in the UK’ s Carbon Capture & Storage Industry, 2023.

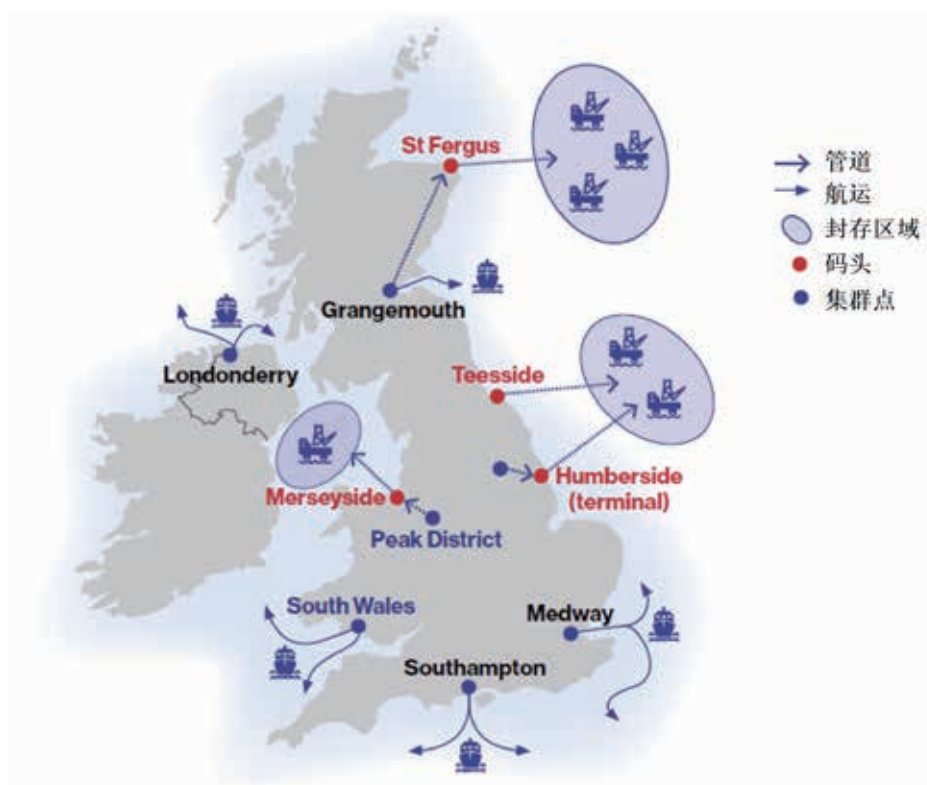


图 3-1 英国计划的二氧化碳运输和封存战略²²

表 3-1 英国 CCUS 集群建设和项目部署开发能力

二氧化碳捕集 - 项目设计与建造	实例
电力行业	东海岸集群（基德比电厂、西波顿电厂、斯特索普电厂、阿尔法纳尔电厂和怀特泰尔电厂）
生物质行业	东海岸集群（德拉克斯电厂、MGT 提赛德电厂、利尼茅斯电厂）
城市垃圾处理行业	东海岸集群 (Altafo Immingham 废物转化为燃料项目、STV 项目)
水泥行业	布雷登水泥厂、汉森帕德斯伍德水泥厂、ZerCaL250 项目
钢铁行业	利伯蒂钢铁布林斯沃思厂
石化行业	斯坦洛炼油厂、普拉克斯林赛石油炼油厂
玻璃行业	东海岸集群（圣戈班玻璃厂）、Glass Futures 皮尔金顿厂
直接空气碳捕集	赛兹韦尔 C 直接空气捕获项目、ENCORE 项目、DACMIN 项目、CO ₂ CirculAir 项目

22. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Department for Energy Security and Net Zero, Industrial decarbonisation strategy, 2021, Link: <https://www.gov.uk/government/publications/industrial-decarbonisation-strategy/industrial-decarbonisation-strategy-accessible-webpage>

利用 CCUS 制取蓝氢	
天然气重整制氢	Hynet 和东海岸集群
二氧化碳运输	
利用现有管道运输二氧化碳	Hynet 集群, Acorn 和 Viking 二氧化碳运输与封存系统
陆上二氧化碳管道	Track 1 和 2 集群 [°]
海上二氧化碳管道	Track 1 和 2 集群
二氧化碳管道穿越环境敏感区, 例如海滩	Track 1 和 2 集群
船舶运输二氧化碳	Acorn 和 Viking 二氧化碳运输与封存系统
码头装卸二氧化碳	Acorn 和 Viking 二氧化碳运输与封存系统
船到管道转运码头	Acorn 和 Viking 二氧化碳运输与封存系统计划接收来自英国和欧盟其他地区的 CO ₂
公路二氧化碳罐车及运营	待定
二氧化碳利用	
待定	待定
二氧化碳地质封存	
废弃油气藏	Track 1 和 2 集群
地下咸水层	东海岸集群, Acorn 二氧化碳运输与封存系统
海上封存评估技术	Track 1 和 2 集群
海上 CCUS 监测、报告与核查 (MRV) 技术	Track 1 和 2 集群
海上封存地点的共同使用和空间规划	Track 1 和 2 集群
许可、监管和融资	
CCUS 项目的健康、安全、环境 (HSE) 许可评估和文件	建设能力和专业知识将随着 Track 1 和 Track 2 集群的推进而发展。
CCUS 商业模式	如上
项目间合同安排	如上
CCUS 项目风险管理与融资	如上

注: [°] 英国政府已承诺到 2025 年左右在两个工业区布局 CCUS 集群, 到 2030 年扩大至四个 CCUS 集群。Track-1 集群是 HyNet 和东海岸集群, Acorn 和 Viking 二氧化碳运输与封存系统是 Track-2 集群的备选。

第4章 中国 CCUS 供应链评估



为实现碳中和目标，到 2060 年，中国需要将碳捕集能力从目前的 600 万吨 / 年提高到 21-25 亿吨 / 年²⁴，市场规模将增加 100 倍以上。评估中国 CCUS 供应链的就绪状态与稳健性对于满足当前及未来需求至关重要。

本节使用技术成熟度 (TRL) 与制造成熟度 (MRL)

指标评估中国的 CCUS 供应链能力。其中，TRL 主要用于衡量技术从研发到应用阶段的成熟度 (1-9 级；表 4-1)，而 MRL 则专注于评估制造工艺从理论到量产的成熟程度 (1-10 级；表 4-2)。对 TRL 与 MRL 的综合评估，是确保技术与生产环节达到预定质量、数量及成本效益的关键所在。

表 4-1 TRL 技术成熟度评价体系²⁴

等级	定义描述
1	基本原理被发现或报告
2	技术概念或用途被阐明
3	关键功能和特性通过可行性验证
4	实验室环境下的部件级或试验模型验证
5	相关环境下的部件或试验模型验证
6	相关环境下的系统 / 子系统模型或样机验证
7	模拟使用环境下的系统样机验证
8	实际系统完成试验验证
9	实际系统完成使用验证

表 4-2 MRL 制造成熟度评价体系²⁵

等级	定义描述
1	确定制造基本原理
2	确定制造概念
3	开发和验证制造概念
4	具备在实验室环境下生产技术原型的能力
5	具备在相关生产环境下生产零部件原型的能力
6	具备在相关生产环境下生产原型系统或子系统的能力
7	具备在典型生产环境下生产系统、子系统或部件的能力
8	试生产能力通过验证，准备进入小批量生产
9	小批量生产通过验证，准备进入大批量生产
10	大批量生产通过验证，转向精益生产

24 Technology Readiness Assessment Best Practices Guide, US National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205003605/downloads/%20SP-20205003605%20TRA%20BP%20Guide%20FINAL.pdf>

25 Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook, US Department of Defense Manufacturing Technology Program, 2022, http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_2022__20221001_Final.pdf

4.1 碳捕集供应链

碳捕集涵盖多种方法，包括燃烧前捕集、富氧燃烧、燃烧后捕集和化学链式燃烧捕集。在中国，这些技术的发展情况各不相同，一些已经进入商业应用阶段，而其他的还处于研究阶段。

燃烧前捕集技术侧重于在化石燃料燃烧之前捕获 CO₂。燃烧前的天然气处理技术已经相当成熟，技术成熟度 (TRL) 为 9，制造成熟度 (MRL) 为 10 (表 4-3)。另一方面，整体煤气化联合循环 (IGCC) 燃烧前捕集技术的成熟度则相对较低，TRL 为 7，MRL 为 9。位于天津的华能 250 兆瓦绿色煤电 IGCC 电厂是一个重要的里程碑，其年碳捕集能力达到 10 万吨。

富氧燃烧是通过使用纯氧代替空气作为燃烧介质，使燃料在燃烧过程中直接产生高浓度的 CO₂，从而简化了后续的碳捕集过程。在中国，富氧燃烧煤电厂目前处于技术示范的阶段，TRL 为 7，MRL 为 8-9。华中科技大学已开展 400 千瓦试点项目和 35 兆瓦示范项目，以探索其可行性和效率。

燃烧后捕集是在燃烧过程后从烟气中捕集 CO₂，包括吸收和吸附技术。在中国，胺溶剂吸收技术已发展成熟，

并得到广泛应用，TRL 为 9，MRL 为 10。该技术已应用于中国的几个大型碳捕集项目，例如，陕西锦界电厂的 CO₂ 捕集项目，捕集量 15 万吨 / 年；江苏泰州电厂的 CO₂ 捕集项目，捕集量 50 万吨 / 年。然而，其他燃烧后碳捕集技术，例如相变溶剂和下一代吸附剂（离子液体、贫水溶剂、氨基酸）仍不成熟，TRL 在 3 到 6 之间。膜分离技术利用选择性膜来捕集 CO₂，膜分离技术在天然气处理方面已经得到广泛应用 (TRL 9，MRL 10)，但主要应用于天然气工业。聚合物膜 - 溶剂混合物的开发程度较低，TRL 为 7，MRL 为 8。

化学链燃烧碳捕集在中国尚不成熟，TRL 为 7，MRL 为 7-8 (表 4-3)。中国东方锅炉公司和道达尔在四川德阳设立的 4 兆瓦试点项目是一个具有代表性的示范项目。

胺液化学吸收法是中国常用的燃烧后碳捕集方法，具有广阔的应用前景。表 A1 列出了中国提供胺基碳捕获设备的供应商。中国的化学工业为这项技术提供了完整的供应链，所有必要的设备都有多家本土制造商。外国公司可以通过提供比国内同类产品更耐用或更节能的产品来进入这个市场。

4.2 碳运输供应链

在 CO₂ 运输方面，中国的基础设施制造能力已经成熟，但仍缺乏一些工程设计经验 (表 4-4)：

- CO₂ 罐车运输供应体系已经成熟并能够满足市场需求。
- 小型运输船舶 (最高容量 10,000 m³)，足以满足食品和饮料行业的食品级二氧化碳运输需求。不过，针对 CCUS 项目所需的大型二氧化碳运输船舶，其设计能力尚待进一步验证²⁶。
- 管道技术已经成熟，但对于大规模的 CCUS 项目

仍存在挑战，尤其是海上 CCUS 项目需要的特殊材料和耐腐蚀涂层。

- CO₂ 气体压缩设备作为运输过程中的关键设备，已在各类工业和商业场合得到广泛应用，供应链完备。
- 二氧化碳气化设备，作为 CCUS 产业链的另一个关键组件，在气体行业中普遍使用，并有现成的供应链。

表 4-3 中国碳捕集供应链就绪度情况评估

技术	TRL	MRL	成熟程度	备注	
燃烧前					
天然气处理	9	10	成熟	广泛应用于天然气开采行业	
IGCC 燃烧前捕集技术	7	9	不太成熟	中国华能集团在天津建设 250MW IGCC 示范电站，捕集能力为 10 万吨 / 年	
吸附增强型水煤气变换	5	—	—	—	
富氧燃烧					
富氧燃烧燃煤发电	7	8-9	不太成熟	华中科技大学的试点和示范项目	
富氧燃烧燃气发电	4	—	—	—	
燃烧后					
吸收	胺溶剂	9	10	成熟	广泛应用于大型碳捕集项目。几个试点示范项目正在运行。
	相变溶剂	6	—	—	—
	新一代吸收剂，例如离子液体、贫水溶剂、氨基酸	3	—	—	—
吸附	市面上可购得的吸附剂	7	7-8	不太成熟	中试规模示范
	下一代吸附剂，例如 MOFs	3	—	—	—
膜分离	天然气处理用膜	9	10	成熟	广泛应用于天然气行业
	聚合物膜 / 溶剂混合	7	8	不太成熟	天津大学有 50000 m ³ /d 的中试示范项目
	致密无机膜	3	—	—	—
化学循环					
化学链燃烧碳捕集	7	7-8	不太成熟	四川省德阳市正运行一个 4 兆瓦的试点项目	

26. Bui M, Danaci D. Supply chain readiness for widespread deployment of carbon capture and storage[J]. 2022.

表 4-4 中国碳运输供应链就绪度情况评估

主要评价部分	TRL	MRL
CO ₂ 储罐容器	9	10
CO ₂ 运输船舶	7	10
CO ₂ 陆上管道	9	10
CO ₂ 海上管道	7	10
CO ₂ 压缩机	9	10
CO ₂ 气化器	9	10

中国二氧化碳运输设备相关厂商的名单见表 A2。

4.3 碳利用供应链

中国的二氧化碳利用技术涉及复杂的供应链。本章简要概述了中国先进碳利用技术的技术成熟度（TRL）和主要供应商（表 4-5）。

在二氧化碳地质利用方面，CO₂ 强化采油的 TRL 为 9。中国石油和中国石化已在中国多个陆上油田实施 CO₂ 强化采油。2002 年至 2007 年，山西省已开展二氧化碳强化煤层气开采试点项目，相关技术达到 TRL 6；而 CO₂ 强化采气技术目前仍处于实验室研究，TRL 为 3。

二氧化碳合成燃料技术正在迅速发展。CO₂ 加氢制甲醇已达到 TRL 为 9，在内蒙古鄂尔多斯、海南省东方市、河南省安阳市和甘肃省兰州市的试点项目中均取得了成功。CO₂ 加氢制汽油的 TRL 为 8，在山东省济宁市、黑龙江省七台河市设有示范装置。CO₂ 加氢制

甲烷或 CO 的 TRL 为 3，目前仅限于实验室研究阶段。位于山西省长治市的 CO₂ 重整制合成气装置已建成，相关技术的 TRL 为 8。

在二氧化碳合成化学品方面，CO₂ 合成乙醇、醋酸和乙烯等技术仍主要处于实验阶段（TRL 3-4）。然而，CO₂ 转化为碳酸二甲酯（TRL 9）和其他产品的技术正取得进展（TRL7-8），并有一些商业应用（表 4-5）。

二氧化碳还可以通过与部分工业废渣发生化学应用，如钢渣和电石渣等，生成有价值的产品，其 TRL 为 8-9。山西省、山东省和内蒙古等地正在进行此类项目。在二氧化碳的生物利用方面，多个中国省份已经实践了利用二氧化碳培养微藻的技术，而内蒙古自治区鄂尔多斯和包头则使用二氧化碳气体作为农业肥料。

表 4-5 二氧化碳利用技术的技术成熟度和主要供应方

二氧化碳利用方式	TRL	技术供应方
地质利用	强化采油	<ul style="list-style-type: none"> • 中国石油 • 中国石化 • 延长石油
	提高煤层气采收率	<ul style="list-style-type: none"> • 中联煤层气有限责任公司
	强化采气	<ul style="list-style-type: none"> • 中国石油

	二氧化碳利用方式	TRL	技术供应方
化学利用	CO ₂ 加氢制甲醇	9	• 中国科学院大连化学物理研究所
	CO ₂ 加氢制汽油	8	• 中国科学院大连化学物理研究所 • 珠海市福油能源科技有限公司 • 中国能源建设集团广东省电力设计研究院
	CO ₂ 加氢制甲烷	3	—
	CO ₂ 热解制 CO	3	• 天津费曼动力科技有限公司 • 中国科学院大连化学物理研究所 • 中国科学院上海高等研究院
	CO ₂ 重整制合成气	8	• 中国科学院上海高等研究院
	CO ₂ 合成乙醇	3	• 江南大学 • 中国科学院大连化学物理研究所
	CO ₂ 合成乙酸	3	• 武汉理工大学
	CO ₂ 合成乙烯	3	—
	CO ₂ 合成碳酸二甲酯	9	• 浙江石油化工有限公司 • 山东石大胜华化工集团 • 中国科学院煤炭化学研究所
	CO ₂ 合成异氰酸酯 / 聚氨酯	7	• 中国科学院过程工程研究所
	CO ₂ 合成聚碳酸酯 / 聚酯材料	8	• 中国科学院成都有机化学有限公司 • 海南华盛集团
	CO ₂ 合成碳酸氢钠	9	—
	CO ₂ 合成二甲基甲酰胺	8	• 中国科学院上海有机化学研究所 • 潍焦控股集团
	CO ₂ 合成四甲苯	8	• 清华大学
	CO ₂ 合成丁二酸	8	• 中国科学院天津工业生物技术研究所 • 山东兰典生物科技股份有限公司
	CO ₂ 合成苹果酸	7	• 中国科学院天津工业生物技术研究所 • 安徽丰原发酵技术工程研究有限公司
	CO ₂ 合成可降解塑料	8	• 中国科学院长春应用化学研究所
	钢渣 / 镁渣 / 电石渣矿化利用 CO ₂	9	• 山东京韵泰博负碳科技有限公司 • 原初科技（北京）有限公司 • 中国科学院过程工程研究所
	磷石膏矿化利用 CO ₂	8	• 四川大学 • 中国科学院过程工程研究所
	钾长石加工联合 CO ₂ 矿化	7	• 四川大学
	混凝土养护吸收 CO ₂	8	• 清捕零碳（北京）科技有限公司 • 浙江大学 • 湖南大学
	CO ₂ 电解制碳纳米管	7	• 江阴市珞珈绿碳科技有限公司 • 江苏绿碳纳米科技有限公司
	CO ₂ 合成尿素	9	—
CO ₂ 合成碳酸氢铵	9	—	
生物利用	CO ₂ 农业气肥	9	—
	CO ₂ 培养微藻	9	• 浙江大学 • 福清市新大泽螺旋藻有限公司
	淀粉的合成	3	• 中国科学院天津工业生物技术研究所

4.4 碳封存供应链

中国各类二氧化碳封存技术的进展如下（表 4-6）：

- 二氧化碳地浸采铀技术已经实现商业化应用。
- 二氧化碳强化采油（CO₂-EOR）正在陆上油田进行示范应用。
- 二氧化碳地下深部咸水层封存已实现示范应用。
- 二氧化碳强化煤层气开采（ECBM）处于先导试验阶段。
- 二氧化碳在玄武岩中矿化封存处于先导试验阶段。

与发达国家相比，中国在以下 CO₂ 注入、封存和监测方面的关键技术发展仍显不足²⁷：

- a) 长期安全和环境风险分析与评估
- b) 场地特性和评价技术集成
- c) 大规模场地监测
- d) 多层注入和监测
- e) 近表面、浅层土壤气体和水质监测
- f) 深层流动取样和监测
- g) 二氧化碳泄漏风险管理（综合监测技术）
- h) 亚临界液化 / 大规模注入泵的压缩 / 泵送
- i) 技术集成与管理的咨询服务
- j) 耐 CO₂ 腐蚀的固井水泥

二氧化碳地质封存所需的设备与石油工业相似。专用设备包括二氧化碳增压设备，以及封存和监测设备。表 A3 中列出了中国设备供应商的名单。

表 4-6 中国二氧化碳封存供应链就绪度情况评估

CO ₂ 地质封存	就绪度评价体系	
	TRL	MRL
咸水层封存	9	9
强化采油	9	9
强化煤层气开采	6	7
矿化封存	6	9

4.5 英国 CCUS 企业的商业机会

1. 碳捕集市场

英国在碳捕集工程设计方面表现卓越，可以聚焦热交换设备、塔内件、烟气鼓风机和过滤器市场机会。英国企业还可以探索碳捕集胺溶液、吸附材料和膜技术。直接空气捕集技术是英国企业在创新和合作方面的另一个有前景的领域。

2. 碳运输市场

英国在管道设计和耐腐蚀解决方案方面具有优势，特别是针对海上环境。英国公司可以提供有关管道设计、运营和维护的咨询服务。

27. Wuhan Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences

3. 碳利用市场

中国市场正在寻找创新型的碳利用途径，特别是在 CO₂ 合成航空燃料、甲烷、合成气和可降解塑料等方面。具有高效解决方案的英国技术可以在该领域寻找商机。

4. 碳封存市场

对于陆上沉积盆地，英国公司可以提供高质量的 CO₂ 注入泵以及第 4.4 节中列出的技术。在新兴的海上

CO₂ 封存领域，地下和油藏工程设计，以及海洋和水下作业方面存在合作机会。

5. CCUS 行业的能力建设

随着 CCUS 行业的不断发展，对熟练劳动力和软件支持的需求也在增加。提供 CCUS 培训和教育以及项目设计、二氧化碳注入模拟、封存监测和减排 MRV 的软件服务，可带来商业机遇。

4.6 外国公司准入

自 2020 年 1 月 1 日起生效的中国《外商投资法》(FIL) 为外国企业营造了一个更有利的环境。它强调国内外投资者应享受平等待遇，并提供更好的法律保障，包括技术转让、知识产权和外商投资企业成立等方面的规定。

对于希望进入中国市场的外国公司来说，有两个问题可能构成潜在的市场进入壁垒。首先，根据中国《外商投资负面清单》(FINL) 的规定，国内水运公司必须由中国实体持有多数股权。这意味着外国公司不能在二氧化碳船舶运输公司中拥有控股权。

第二个障碍与进入碳封存行业有关。这主要是由于包括中石油、中石化和中海油在内的国有石油公司拥有勘探权和大量的地质数据。地质数据采集是一个昂贵且受监管的过程，这为国有石油公司在碳封存行业提供了明显的先发优势。外国公司的机会可能是与当地石油公司建立合资企业以获取市场准入。例如，壳牌、巴斯夫与中石化合作计划在中国东部建立了 CCUS 集群（详见第 5.1 节）；壳牌、埃克森美孚计与中海油合

作计划在广东省建立 CCUS 集群；英国石油 (bp) 计划与中石油在海南省合作建立 CCUS 集群。

然而，除了 FINL 外，中国还发布了《鼓励外商投资产业目录 (2022)》²⁸，为外国投资者在多个领域亮起绿灯，其中包括与 CCUS 相关的以下领域：

- (1) 地质勘查开发新技术的开发和应用，包括物探、钻探、测井等（目录第 26 条）
- (2) 碳捕集、利用与封存项目的建设和运营（目录第 73 条）
- (3) 将 CO₂ 和轻烃转化为 CO（目录第 83 条）
- (4) 物探、测井等设备的制造（目录第 173 条）
- (5) 环境监测仪器的制造（目录第 382 条）
- (6) 碳捕集、利用与封存技术相关的研究和服务（目录第 474 条）

该目录为整个 CCUS 价值链提供了广泛的机会，邀请包括英国企业在内的外国公司探索和投资这一快速发展的重要领域。

28. China National Development and Reform Commission, Ministry of Commerce, Catalogue of Industries for Encouraging Foreign Investment (2022 Version), 2022. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-10/28/5722417/files/cc050615b11b40fc8f2d55fd1daf3c57.pdf>

第 5 章

加强中英合作与 英国 CCUS 企业 在中国的发展



5.1 英国 CCUS 企业在中国的发展情况

英国企业在中国工业领域中发挥着重要作用，为各个行业提供先进的产品和服务。奥雅纳 (Arup)、贝克休斯 (Baker Hughes)、英国石油公司 (bp)、豪顿 (Howden)、壳牌 (Shell) 和伍德 (Wood) 为本报告分享了他们在中国 CCUS 行业的参与情况和见解，突显了中英两国的商业合作。

壳牌是中国 CCUS 行业的重要参与者，在不同地区展开合作。在华东地区，壳牌与中石化、宝钢和巴斯夫合作，在上海和江苏探索一个开源 CCUS 集群。在华南地区，壳牌与中海油和埃克森美孚合作，在广东惠州布局一个规模为 1000 万吨的 CCUS 集群。壳牌还为华润海丰电厂的技术测试平台提供了其 Cansolv 碳捕集胺溶液。在中国西北地区，壳牌与陕西省榆林市政府签署了一项研究协议，以评估榆神工业园区的 CCUS 可行性。

英国石油公司则与中国石油在 CCUS 领域展开合作，包括签署“海南低碳合作备忘录”。中石油在海南省完成了全方位的 CCUS 系统项目，并制定了封存能力战略规划。英国石油将分享其在英国 CCUS 项目中的专业知识，为中国的 CCUS 技术发展做出贡献。

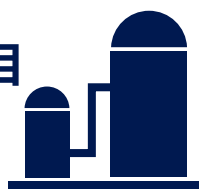
豪顿为中国的 CCUS 项目提供关键设备，包括鼓风机、换热器、压缩机和旋转加热器。他们支持了华能集团在庆阳的 150 万吨 CCUS 项目以及包头钢铁在内蒙古的 50 万吨 CCUS 项目等。

伍德在 CCUS 领域拥有 30 多年的经验，可提供全面的 CCUS 解决方案。在陕西省，伍德帮助榆林的能源和化工行业制定了碳减排路径和有效策略。

奥雅纳和贝克休斯在全球 CCUS 领域拥有丰富的经验。奥雅纳参与的项目包括 Kingsnorth 碳捕集示范项目、Ferrybridge 碳捕集项目等。贝克休斯参与了全球多个项目，并表达了在中国探索 CCUS 机会的浓厚兴趣。

除了这些公司，其他英国公司也与中国的 CCUS 行业有密切联系。庄信万丰 (Johnson Matthey) 在上海设有工厂，并提供碳捕集解决方案。Oliver Valvetek 和 BEL Valves 为中国海上油气行业供应阀门，在海上 CO₂ 封存领域具有市场潜力。

千万吨级 CCUS 项目



壳牌、中海油以及埃克森美孚将在广东惠州合作建立千万吨级 CCUS 集群

合作



英国石油公司与中国石油签署合作备忘录

5.2 关于加强中英在 CCUS 领域合作的建议

在与英国企业的交流和市场调研过程中，英国企业表达了对中国 CCUS 市场的持续关注，并为加强中英两国在 CCUS 领域的合作提供了宝贵建议。基于这些建议和中英（广东）CCUS 中心过往 10 年的行业经验，提出以下建议：

1. 对于政府部门的建议

(1) 促进双边交流：英国政府应推动与中国双边交流 CCUS 的最佳实践和技术知识。利用中英（广东）CCUS 中心作为行业交流的平台；组织商务代表团、贸易代表团和以 CCUS 为重点的社交活动，以促进中英 CCUS 部门之间的合作。与中国国家发展和改革委员会、生态环境部、科学技术部、工业和信息化部以及商务部等负责监督 CCUS 的主要部门保持沟通与合作。

(2) 支持市场情报与研究：投资市场研究，为英国企业提供对中国 CCUS 市场的洞察，分析市场趋势、竞争格局、法律法规和技术需求，协助英国公司做出明智的决策和战略。

(3) 推广英国教育和培训：通过市场营销活动、行业参与和成功案例研究，推广英国的 CCUS 专业知识。与中国的教育机构合作，为中国工程师提供培训计划。

(4) 联合开展 CCUS 项目：与中国政府合作，在中国建立一个联合的 CCUS 项目，可以利用英国企业的在华工厂作为碳捕集地点。该项目将展示英国 CCUS 技术在中国背景下的有效性和可行性，并可能得到英国政府的支持。

2. 对于英国 CCUS 相关企业的建议

(1) 与英国驻华使领馆保持联系：与英国驻华大使馆和

各地英国驻华领事馆保持联系，以获取政策更新、市场机遇及合作机会。定期沟通可使企业战略与政府优先事项保持一致。

(2) 战略性关注特定区域：重点关注中国境内有望发展 CCUS 集群并成为重要市场的区域，包括中国能源化工金三角（宁东 - 鄂尔多斯 - 榆林）、渤海湾、上海 - 江苏、珠江三角洲等地区。探索香港在碳捕集和海上封存方面的机会。

(3) 与外资工厂合作：寻求与在中国运营且需要通过 CCUS 实现脱碳的外资公司合作。这包括壳牌、埃克森美孚、巴斯夫、沙特阿美、沙特基础工业公司和海德堡等公司的炼油厂和水泥厂。

(4) 设备生产本地化：考虑在中国建立 CCUS 设备生产设施，以降低成本并增强竞争力。

(5) 参与标准制定：参与 CCUS 关键标准的制定，特别是在基于胺的碳捕集、CO₂ 管道运输和 CO₂ 地质封存方面，与中国国有企业合作或通过中国国家标准化管理委员会独立发布标准。

(6) 保持耐心和乐观：应认识到，当前中国的 CCUS 市场尚处于不断发展的过程中，且这一进程主要由国有能源企业巨头所引领。尽管 CCUS 项目可能无法立即实现盈利，但要看到，随着中国持续向碳中和的宏大目标推进，该领域内的市场机遇将会持续增加。未来，随着中国碳市场的日趋成熟，私营和外资企业必将发掘出更多的商业机会。从长远的角度看，CCUS 技术的性能及其能效表现将越来越受到业界的重视。



图 5-1 中国与英国参与 CCUS 各环节的公司。需注意的是，上图列举的公司并不详尽无遗。

5.3 市场风险及应对策略

进入中国的 CCUS 领域为英国企业提供了一个激动人心的参与全球重要经济体努力应对气候变化的机会。然而，国际投资总是伴随着风险。一个关键的风险是中国市场的激烈竞争，这是由于国内外企业对 CCUS 的兴趣日益浓厚。英国企业可以通过利用其专业知识并与本地企业或机构形成战略合作伙伴关系来缓解这一风险。

另一个风险与技术转让和知识产权保护有关。随着中国推进 CCUS 技术的进步，对于专利信息的保护可能会引发担忧。英国企业可以通过精心策划、建立牢固的合作关系以及健全的合同协议来解决这个问题，以保护知识产权。

第三个风险是中国不断变化的环境法规导致的监管不确定性。获取 CCUS 项目的许可和合规方面可能存在挑战，但中国政府对减排和可持续实践的承诺提供了一个稳定的政策环境。英国企业可以与相关部门加强沟通，以降低政策环境的不确定性。

综上，尽快进入中国 CCUS 市场存在风险，但可以通过尽职调查以及与当地合作伙伴和政府部门的合作，这些风险是可以管理的。巨大的市场潜力、政府的支持态度以及中国对可持续发展的承诺，使中国 CCUS 市场成为英国企业为应对全球气候变化做出贡献并引领绿色革命的沃土。

附件

表 A-1 中国胺基化学吸收法碳捕集供应链中的设备和技术提供商（不详尽）

	设备	用途	中国供应商
预处理环节	直接接触式冷却器（燃气冷却器 / 预洗涤器）	将入口烟气冷却到吸收塔所需的温度，通常在 40-50°C 左右	<ul style="list-style-type: none"> • 双盾环境科技有限公司
	鼓风机	系统中应包含离心式烟气风扇，以确保提取所需量的烟气并提供足够的压头，以克服沿烟气管道、捕获过程设备和将清洁烟气返回主烟囱的压降	<ul style="list-style-type: none"> • 沈阳鼓风机集团股份有限公司 • 西安陕鼓动力股份有限公司 • 沈阳透平机械股份有限公司 • 上海鼓风机厂有限公司 （请注意，这些公司也生产压缩机和冷凝器）
二氧化碳吸收与解吸环节	胺溶液	从排放烟气排放中捕获二氧化碳	<ul style="list-style-type: none"> • 华能清能院 • 国家能源集团北京低碳清洁能源研究院 • 中石化南化院 • 大连理工大学 • 润碳科技 • 摩洁科技
	吸收塔 / 解吸塔	吸收塔和解吸塔的外壳，通常为钢制的圆柱形或矩形压力容器	<ul style="list-style-type: none"> • 张家港利柏特钢制品有限公司 • 南通中集能源装备有限公司 • 永胜机械工业（昆山）有限公司
	换热器	1. 从过程中移除热量并将温度控制在所需的设定点 2. 将胺基吸收溶剂加热到接近再生的温度。	<ul style="list-style-type: none"> • 阿法拉伐（上海）技术有限公司 • 四平市巨元瀚洋板式换热器有限公司 • 斯必克（中国）投资有限公司 • 凯络文换热器（中国）有限公司 • 四平维克斯换热设备有限公司 • 传热板式换热器（北京）有限公司 • 江苏中圣压力容器装备制造有限公司 • 桑德斯热交换器（太仓）有限公司 • 艾普尔换热器（苏州）有限公司
	再沸器	加热并部分汽化从汽提塔流出的负载吸收剂	（供应厂商参考换热器）
	塔内件	包括填料、气体 / 液体分配器、托盘、除雾器等	<ul style="list-style-type: none"> • 上海苏尔寿工程机械制造有限公司 • 萍乡市金丰化工填料有限公司 • 北京泽华化学工程有限公司 • 天津天大天久科技股份有限公司 • 北洋国家精馏技术工程发展有限公司

压缩环节	冷凝器	冷却二氧化碳气体并冷凝残留的水分和胺	(供应厂商参考压缩机)
	分离器	分离冷凝物和二氧化碳	<ul style="list-style-type: none"> • 苏尔寿化工技术公司 • 阿法拉伐公司 • 沃利公司 • Frames 集团
	脱水	进一步去除二氧化碳气体中的水（三乙二醇（TEG）或分子筛）	<ul style="list-style-type: none"> • 杭州力诺机械设备有限公司 • 杭州富程气体设备有限公司 • 杭州快凯高效节能新技术有限公司
	压缩机	将二氧化碳压缩至超临界状态	<ul style="list-style-type: none"> • 中石化石油机械股份有限公司 • 重庆气体压缩机厂 • 成都展望能源机械有限公司 • 中国石油集团济柴动力成都压缩机分公司 • 沈阳远大压缩机制造有限公司 • 冰轮环境技术股份有限公司 • 冰山冷热科技股份有限公司 • 杭氧集团有限公司
	制冷	降低压缩二氧化碳的温度	(供应厂商参考压缩机)
	CO ₂ 储罐	储存 CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • 珠海共同低碳科技有限公司 • 杭州快凯高效节能新技术有限公司
	通用设备	容器	用于储存胺溶液或水
泵		—	<ul style="list-style-type: none"> • 大连双龙泵业集团有限公司 • 山东创佳新能源科技有限公司 • 嘉利特荏原泵业有限公司 • 湖南耐普泵业股份有限公司 • 大连海密梯克泵业有限公司 • 杭州碱泵有限公司
阀门		—	<ul style="list-style-type: none"> • 江苏苏盐阀门机械有限公司 • 中核苏阀科技实业股份有限公司 • 盐城市精工阀门有限公司 • 上海凯工阀门股份有限公司
过滤器		在烟气进入吸收塔之前，去除其中的固体杂质，如灰尘和烟灰	<ul style="list-style-type: none"> • 无锡伊诺特石化机械设备有限公司 • 温州东欧微孔过滤有限公司
仪表		—	<ul style="list-style-type: none"> • 江苏万兴石油装备有限公司 • 山东华瑞达精密仪器有限公司 • 无锡智能自控工程股份有限公司
实验室分析设备		—	<ul style="list-style-type: none"> • 梅特勒 (Mettler) • 戴安 (Dionex) • 万通 (Metrohm)
其他		溶剂净化	在贫溶剂返回吸收塔之前，去除其中的固体污染物
	工程施工	—	<ul style="list-style-type: none"> • 中国能源建设集团广东电力设计院有限公司 • 中石油石油工程设计公司 • 中国石化扬子石化有限公司 • 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司 • 中国石化南京化学工业有限公司 • 国家电投集团远达环保工程有限公司

表 A-2 中国碳运输供应链相关企业（不详尽）

	设备	供应商
管道	无缝钢管	<ul style="list-style-type: none"> • 江阴市长江钢管有限公司 • 烟台宝峰金属材料有限公司 • 江阴市创正金属材料有限公司 • 上海海泰钢管（集团）有限公司
	管道防腐和保温	<ul style="list-style-type: none"> • 宝鸡石油钢管有限责任公司 • 中石油渤海石油装备制造有限公司
	膨胀器	<ul style="list-style-type: none"> • 杭州杭氧膨胀机有限公司
	工程设计与施工	<ul style="list-style-type: none"> • 中国海洋工程装备技术发展有限公司 • 中国石化油田服务总公司 • 中石油海洋工程有限公司
运输	船舶	<ul style="list-style-type: none"> • 大连船舶重工集团有限公司 • 江南造船厂（集团）有限公司
公路和铁路罐车	罐车	<ul style="list-style-type: none"> • 东营市瑞德机电设备有限公司 • 扬州扬铭汽车服务有限公司 • 河北昌骅专用汽车有限公司 • 河北宏泰专用汽车有限公司
通用设备	阀门	<ul style="list-style-type: none"> • 中石油渤海装备制造有限公司 • 杭州杭氧工装泵阀有限公司 • 四川空分设备集团公司
	压缩机 / 泵	<ul style="list-style-type: none"> • 杭氧集团股份有限公司； • 冰轮环境技术股份有限公司 • 上海洛集泵业有限公司 • 四川空分设备集团公司 • 神钢无锡压缩机有限公司
	换热器	<ul style="list-style-type: none"> • 四川空分设备集团公司 • 杭氧集团股份有限公司
	气化器	<ul style="list-style-type: none"> • 杭州川空通用设备有限公司 • 杭州杭氧低温容器有限公司
	CO ₂ 储罐	<ul style="list-style-type: none"> • 杭州川空通用设备有限公司 • 杭州杭氧低温容器有限公司 • 珠海共同低碳科技股份有限公司

表 A-3 中国碳封存供应链相关企业（不详尽）

过程	设备	供应商	价格范围
钻井 & 完井	钻头 and 工具	<ul style="list-style-type: none"> 宝鸡油田机械有限公司 中石油渤海石油装备制造有限公司 宏华集团有限公司 河间市德瑞斯石油钻井设备有限公司 沧州洛克希德石油机械有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 311mm 齿钻头售价 18000 元起； API 12 1/4 三牙轮钻头：US \$999-2199； 8 1/2 PDC 钻头 ~1,800 美元
	井下油管 and 套管	<ul style="list-style-type: none"> 中石油宝鸡石油钢管有限公司 宝鸡石油机械有限公司 中石油渤海石油装备制造有限公司 宏华集团有限公司 河北渤海石油管道集团有限公司 沧州北港输油管道有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 139mm*7.72mm 油套价格 3800 元 / 吨起
	分隔器	<ul style="list-style-type: none"> 中石油宝鸡石油钢管有限公司 中石油渤海石油机械有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 油田分隔器价格每台 1200 元起
	井口防喷器	<ul style="list-style-type: none"> 宝鸡市鑫瑞石油设备有限公司 烟台杰瑞石油装备技术有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 手动单闸防喷器价格每台 18000 元起
注入	油气管道	<ul style="list-style-type: none"> 河北渤海管道装备集团有限公司 中石油渤海石油机械有限公司 烟台杰瑞石油装备技术有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 325*12mm3PE 防腐钢管价格为每米 100-200 元
	CO ₂ 注入泵	<ul style="list-style-type: none"> 宝鸡石油机械有限责任公司 中石油渤海石油机械有限公司 烟台杰瑞石油装备技术有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 注入泵价格从 35,000 元起 价格因规格而异
	CO ₂ 压缩机及配套设施	<ul style="list-style-type: none"> 中国石油集团济柴动力有限公司 烟台杰瑞石油装备技术有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 增压泵成套设备价格 100 万元起
	CO ₂ 储罐	<ul style="list-style-type: none"> 兰州兰石重型装备股份有限公司 北京云腾新能源有限公司 河北润丰低温设备有限公司 宏华海洋油气装备（江苏）有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 20 立方 1.6MPa 适用于液氧、液氮、液氩储罐，价格为 21.5 万元 / 台
监测	示踪剂监测	<ul style="list-style-type: none"> 洛阳特来化工科技有限公司 湖南远创气体有限公司 洛阳菲尔特种气体有限公司 福建德尔科技股份有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 8LSF₆ 气体价格 1180 元 /L 起
	微震井	<ul style="list-style-type: none"> 北京双杰电气股份有限公司 湖南奥成科技有限公司 徐州 MTOS 科技有限公司 长沙迪迈智能制造研究中心 	<ul style="list-style-type: none"> ESG 微震监测系统价格从 10 万元起



GREAT
英国

法律免责声明

鉴于我们已经尽力确保本文件中的信息的准确性，英国商业贸易部不对任何错误、遗漏或误导性陈述承担责任，并且不对提及的任何个人、公司或其他机构的立场给予保证或承担责任。

版权 © Crown copyright 2024

您可以在英国政府公布的官方版权许可（Open Government Licence）范畴内以任何形式或使用任何媒介免费再利用这份出版物（标识除外）。如欲了解官方版权许可详情，请登录网站：www.nationalarchives.gov.uk/doc/opengovernment-licence/version/3

如需使用资料中标明受第三方版权保护的信息，须获得相关版权持有者的允许。

英国商业贸易部 2024 年 2 月出版

报告编写机构



中英（广东）CCUS中心
UK-China (Guangdong) CCUS Centre



中国21世纪议程管理中心
The Administrative Center for China's Agenda 21



UK Government
英国政府