

“十四五”时期国家重点出版物出版专项规划项目

碳中和负碳技术·二氧化碳地质利用与封存丛书

总主编 庞忠和 李小春

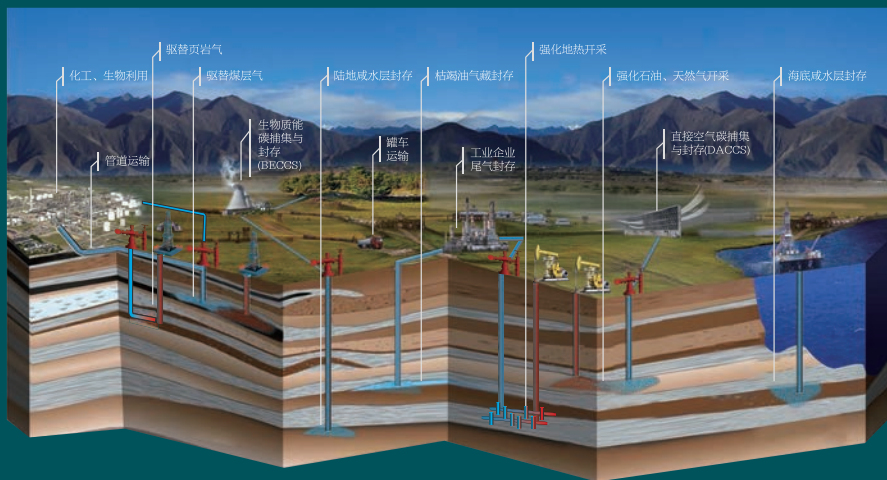
CCUS全链条技术知识产权评估分析

The Global Intellectual Property Rights Evaluation
of the Whole CCUS Technological Chain

主 编 魏 凤

副主编 周 洪 郑启斌

高国庆 张 妍



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

“十四五”时期国家重点出版物出版专项规划项目
碳中和负碳技术·二氧化碳地质利用与封存丛书
总主编 庞忠和 李小春

CCUS 全链条技术 知识产权评估分析

The Global Intellectual Property Rights Evaluation
of the Whole CCUS Technological Chain

主 编 魏 凤
副主编 周 洪 郑启斌 高国庆 张 妍



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

CCUS 全链条技术知识产权评估分析/魏凤主编;周洪等副主编. —上海:华东理工大学出版社,2023.11

ISBN 978-7-5628-7283-2

I. ①C… II. ①魏… ②周… III. ①二氧化碳-收集-知识产权-研究-世界 IV. ①D913.04

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 197490 号

内 容 提 要

本书从全球视角出发,探究了国内外 CCUS 全链条技术知识产权整体发展态势,揭示了 CCUS 在电力、钢铁冶金和水泥建材三大碳密集型行业应用的知识产权研发布局和发展态势,分别围绕 CO₂捕集、利用和封存各个阶段及其关键技术开展知识产权发展布局的分析和探讨,同时介绍了 2020 年以来的技术专利创新情况。

本书可以作为从事 CCUS 研发创新工作的机构和科研人员的参考用书。

项目统筹 / 马夫娇 宋佳茗

责任编辑 / 赵子艳

责任校对 / 张 波

装帧设计 / 徐 蓉

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:021-64250306

网址:www.ecustpress.cn

邮箱:zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 上海新华印刷有限公司

开 本 / 710 mm × 1000 mm 1/16

印 张 / 15

字 数 / 220 千字

版 次 / 2023 年 11 月第 1 版

印 次 / 2023 年 11 月第 1 次

定 价 / 128.00 元

版权所有 侵权必究

CCUS 全链条技术知识产权评估分析

编写组

主 编：魏 凤

副主编：周 洪 郑启斌 高国庆 张 妍

编 委：魏 凤 周 洪 郑启斌 高国庆 张 妍

邓阿妹 周超峰 付 豪 辛竹琳

前言 | Foreword

实现碳中和将给经济社会带来一场广泛而深远的系统性变革,相关领域的研究已成为未来三十年国际社会的焦点。碳中和即 CO₂ 净零排放,是指在特定时期内,人为 CO₂ 排放量与人为 CO₂ 去除量在全球范围内达到平衡。目前,含碳气体的净排放导致了全球持续变暖,气候变化威胁不断升级,极端气候灾害带来的挑战更趋严峻,气候问题给人类生存发展拉响了“红色警报”。在 2050 年前后实现碳中和,减缓气候变化,是全球应对气候变化的共识。目前,全球超过 2/3 的经济体作出将努力实现碳中和目标的承诺,日本、美国、中国等国家及欧盟制定了明确的碳中和实施方案,部署清洁能源、绿色低碳工业、绿色建筑、绿色交通等多产业、多领域发展,越来越多的国家正在迈入绿色低碳转型新阶段,全球发展新格局正在形成。

我国已将碳达峰、碳中和纳入国家重大战略和生态文明建设的整体布局,并积极投入到新一轮全球科技革命、产业变革和社会变革中。在当前的国际经济社会发展趋势和政治格局背景下,实现碳达峰、碳中和是我国向世界作出的庄严承诺,是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局和经济社会发展全局,推动生态文明建设和经济高质量发展,全面建成社会主义现代化强国作出的重大战略决策。碳达峰、碳中和目标彰显了大国责任和担当,也为我国应对气候变化和促进绿色低碳发展明确了目标与方向。

二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)技术是目前唯一实现化石能源大规模利用和减排的技术。CCUS 是指将 CO₂ 从工业或其他排放源中分离出来,并运输到特定地点加以利用或封存,以实现被捕集 CO₂ 与大气的长期

隔离。在众多温室气体减排技术方案中,CCUS 技术是一项可实现化石能源大规模低碳利用的技术。除了节能与提高能源效率、发展新能源与可再生能源、增加碳汇外,CCUS 技术将是未来减缓 CO₂ 排放的重要技术选择。但是,当前 CCUS 技术总体上仍处于研发和示范阶段,仍存在许多制约其发展的突出问题,包括能耗和成本过高、长期封存的安全性和可靠性有待验证等。

一直以来,我国对 CCUS 技术的发展给予了高度关注,在相关政策、研发示范、能力建设、国际合作等方面开展了一系列工作推动该技术的发展。尽管起步较晚,但我国的 CCUS 技术发展在近近年来取得了长足进步,在政府的指导下,企业、科研单位和高等院校共同参与,围绕 CCUS 相关理论、关键技术和配套政策的研究开展了很多工作,建立了一批专业研究队伍,取得了一些有自主知识产权的技术成果,成功开展了工业级技术示范。在捕集方面,围绕低能耗吸收剂、不同技术路线捕集工艺等关键技术环节开展了一系列研究,已开发出可商业化应用的胺吸收剂,建成了 CO₂ 捕集规模达每年 10 万吨级的燃煤电厂工业示范项目,完成了 100 万吨级的预可行性研究;建成了 10 万吨级的富氧燃烧捕集工业示范项目,正在实施 10 万吨级的燃烧前捕集的工业示范项目。运输方面,借鉴油气管输经验,开展了低压 CO₂ 运输工程应用,完成了高压、低温和超临界 CO₂ 运输的可行性研究。利用方面,围绕 CO₂ 驱油、驱煤层气、驱水,CO₂ 生物转化、化工合成、矿化等不同利用途径开展了理论和关键技术研究,已建成 CO₂ 驱油及矿化利用的工业示范项目,以及微藻制备生物柴油中试和小规模的 CO₂ 制备可降解塑料生产线。封存方面,已启动全国 CO₂ 地质储存潜力评价系统,初步结果表明,我国 CO₂ 地质储存主要空间类型为深部咸水层,潜力可观,并已建成工业规模为 10 万吨/年的咸水层封存示范项目。

经过近年来的努力,中国在 CCUS 技术链各环节都已具备一定的研发基础,但是,相比国际先进水平,我国整体上仍存在较大差距,尤其是在 CCUS 全链条在电力、冶金和建材等碳密集型行业的技术应用上,我国缺少有自主知识产权的创新技术及相关示范项目经验。

为此,本书从全球视角出发,探究了国内外 CCUS 全链条技术知识产权

整体发展态势,揭示了 CCUS 在电力、钢铁冶金和水泥建材三大碳密集型行业应用的知识产权研发布局和发展态势,分别围绕 CO₂ 捕集、利用和封存各个阶段及其关键技术开展知识产权发展布局的分析和探讨,同时介绍了 2020 年以来的技术专利创新情况。毫无疑问,本书对从事 CCUS 研发创新工作的机构和科研人员了解和掌握 CCUS 前沿技术方向而言,不失为良师益友。

本书的完成得到了中国科学院地质与地球物理研究所庞忠和研究员,中国科学院武汉岩土力学研究所李小春研究员、李琦研究员、魏宁研究员、张力为研究员,怀柔国家实验室高林研究员,国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司谷山强总工程师,以及众多专家的指导和支持;也得到了国家电网有限公司总部科技项目“‘双碳’目标下电力绿色低碳关键支撑技术评价方法和专利标准化研究”(NO. 1400-202340338A-1-1-ZN)的支持,在此一并表示衷心的感谢。

CCUS 技术涉及的领域、学科、行业众多,部署具有创新性和前瞻性,由于本书作者专业和水平有限,对诸多问题的理解难免有所偏差,如有错误和不妥之处,希望各位专家和读者提出宝贵意见和建议,以便进一步修改和完善。

编 者

2023 年 7 月

目录 | Contents

第 1 章 引言	1
1.1 主要国家 CCUS 的定位和发展	2
1.2 CCUS 将促进多产业实现近零排放	17
1.3 开展 CCUS 知识产权研究的意义	19
第 2 章 CCUS 全链条技术	21
2.1 低碳燃烧技术	21
2.2 CO ₂ 捕集关键技术	24
2.3 CO ₂ 主要利用技术	27
2.4 CO ₂ 封存技术	49
2.5 小结	50
第 3 章 CCUS 全链条技术知识产权发展态势	51
3.1 全球 CCUS 全链条知识产权发展分析	51
3.2 CCUS+发电技术全球知识产权发展	62
3.3 CCUS+钢铁冶金技术全球知识产权发展	73
3.4 CCUS+水泥建材技术全球知识产权发展	83
3.5 小结	94

第 4 章	CO₂ 捕集关键技术知识产权发展	96
4.1	全球 CO ₂ 捕集技术知识产权总体发展态势	96
4.2	绿色低碳高效燃烧方式专利分析	106
4.3	燃烧后主要碳捕集关键技术专利分析	136
4.4	CO ₂ 捕集关键核心技术专利分析	155
4.5	小结	163
第 5 章	CO₂ 利用阶段关键技术知识产权发展	166
5.1	CO ₂ 化工利用关键技术知识产权分析	166
5.2	CO ₂ 生物利用关键技术知识产权分析	189
5.3	CO ₂ 地质利用关键技术知识产权分析	196
5.4	CO ₂ 矿化利用关键技术知识产权分析	203
5.5	小结	207
第 6 章	CCUS 封存阶段关键技术知识产权发展	208
6.1	CO ₂ 封存技术知识产权申请态势	208
6.2	全球 CO ₂ 封存专利技术领域分布及重点方向	209
6.3	主要国家 CO ₂ 封存专利的技术分布与重点领域	211
6.4	CO ₂ 封存排名前 10 位的专利权人及重点方向	216
6.5	2020 年以来的新技术	219
6.6	小结	220
第 7 章	建议和展望	221
7.1	未来重点研发领域	221
7.2	策略建议	223
参考文献		226

第 1 章

引 言

全球气候变暖日益严峻,已经成为威胁人类可持续发展的主要因素之一,削减温室气体排放以减缓气候变化成为当今国际社会的核心议题。2020年9月22日,习近平主席在第七十五届联合国大会上提出“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”,习近平主席关于碳达峰、碳中和作出的一系列重大宣示和重要论述为我国应对气候变化和绿色低碳发展明确了目标与方向,为强化全球气候行动注入了强大的政治推动力。全球其他主要经济体也纷纷提出实现碳中和的目标,日本、美国等发达国家及欧盟已制定明确的碳中和实施路线,部署发展清洁能源、绿色低碳工业、绿色建筑、绿色交通等领域,这场由含碳气体的净排放带来的广泛而深远的科技革命、产业变革、社会变革正在发生,全球竞争发展新格局正在形成。碳达峰、碳中和或将成为未来三十年大国博弈的新焦点。

在“中国碳达峰、碳中和目标”(以下简称“双碳”目标)下,二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)技术是在众多温室气体减排技术方案中的一项可实现化石能源大规模低碳利用的技术。CCUS[国际上常使用二氧化碳捕集与封存(CCS)]是指将 CO_2 从工业或能源排放源中分离出来,封存在地质构造中或加以利用,从而将其长期与大气隔绝的工业过程。CCUS包括 CO_2 捕集、运输、利用和封存四个环节,是众多技术的集群,具有技术种类多、数量多、跨行业的复杂特性。国际能源署(IEA)在《能源技术展望2020》中提到2070年能源部门要实现近零排放,除提高能效及可再生能源比例外,还包

括终端部门广泛电气化,二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS),以及发展氢能及相关燃料和生物能等。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第五次评估报告的决策者摘要中指出,CCS 对于全球温室气体减排具有非常重要的意义。

2022 年 11 月 2 日,全球碳捕集与封存研究院发布的《2022 年 CCS 全球现状》报告显示:截至 2022 年,全球商业 CCS 项目数量再创新高,达到 194 个,其中 30 个项目在运行,11 个在建,153 个项目处于开发阶段,CO₂ 长输管线工程新增 61 个,全球正在开发的 CCS 设施 CO₂ 捕集能力增长到每年 2.44 亿吨,与去年相比增长了 44%。

近年来,在我国政府相关部门的共同推动下,CCUS 相关政策逐步完善,科研技术能力和水平日益提升,试点示范项目规模不断扩大,整体竞争力进一步增强,但是我国还面临着关键核心技术尚未突破等一系列尚待解决的技术难题以及可能引发的知识产权问题,因此掌握国内外 CCUS 关键技术知识产权相关知识及其竞争状况具有重要的现实意义。

1.1 主要国家 CCUS 的定位和发展

CCUS 是目前实现化石能源低碳化利用的唯一技术选择。CCUS 在技术成熟前提下有可能实现油气、燃煤发电、煤化工、钢铁、建材等工业领域近零排放,是全球气候解决方案的重要组成部分,对世界能源供给具有战略意义。出于各自不同的发展目标和需求,不同国家对 CCUS 的认识和定位各不相同,CCUS 在不同国家的成熟性及发展速度也不一样。美国已经出台了一系列 CCS 激励政策和法律,最著名的是《通胀削减法案》(IRA),该政策为 CCS 提供了增强的 45 Q 税收抵免法案,加拿大也将 CCS 列为重要的碳减排技术之一,波兰、保加利亚等国在欧盟创新基金的资助下也相继进入 CCS 市场。

1.1.1 美国重视 CCUS 各阶段关键技术的研发

美国发展 CCUS 具有明确的目标和发展方向,即持续加大对 CCUS 的

支持投入。美国政府不仅加大对 CCUS 基础设施的投入,还从 CO₂ 捕集、利用和封存各个阶段和各个行业持续开展新技术的研发及试点示范,期望通过“负碳攻关项目”的一系列举措使 CO₂ 捕集和封存成本低于 100 美元/t,加快推进 2050 年净零排放目标的实现。

1. 加大投入 CCUS 基础设施的建设

2022 年 9 月,美国能源部宣布拨款 70 亿美元用于支持 CCUS 基础设施建设,这些基础设施项目是根据美国《2020 年能源法》和美国《基础设施投资和就业法案》(2021 年)建立的。其中,有 25.4 亿美元用于 6 个 CCUS 综合示范项目,1 亿美元用于二氧化碳运输管网的设计和规划,22.5 亿美元用于开发新的或扩建大型商业碳封存项目,21 亿美元用于二氧化碳运输基础设施融资与创新。

2. 加大电力、建筑、汽车、新材料等行业 CO₂ 捕集、利用的新技术研发

近年来,美国能源部先后投入 1.15 亿美元支持 CCUS 前沿技术领域研发,包括 CO₂ 在工业企业的捕集技术、CO₂ 微藻利用、CO₂ 建筑利用、利用 CO₂ 生产新材料技术等多个新领域,以助力美国实现近零排放目标。具体研究领域和解决方案如下。

(1) **开发天然气联合循环(NGCC)电厂高效二氧化碳捕集技术。**研究目标是:捕集效率需达到 95%以上,成本较其他电厂需降低 20%以上;NGCC 电厂燃烧后捕集技术工程的目标是在精炼厂、化工生产(氨和石化)、矿物生产(水泥和石灰)、天然气加工和钢铁生产等工业设施中开发 95%或更高捕集效率的碳捕集技术;碳捕集系统前端工程设计研究。期望构建先进的碳捕集系统,以实现在工业设施中每年捕集并分离 10 万吨以上的 CO₂,或在 NGCC 电厂每年捕集并分离 50 万吨 CO₂,且进行封存。

(2) **提高藻类系统二氧化碳利用率。**最终目标是实现碳利用效率超过 70%。碳利用效率指的是在 30 天实验周期内,收获的生物质量(kg)与 CO₂ 供给量(kg)的比值。具体策略包括:改变藻类生长环境中的化学成分以提高 CO₂ 的吸收率;分离新的菌株或改进现有的藻类菌株以适应生长环境的改变;开发新的 CO₂ 输送系统,以及优化藻类生长环境以最大限度地增加碳吸收;利用来自公共事业和工业来源的人为 CO₂ 的藻类技术。开发高效

藻类系统是藻类资源利用的关键途径,藻类原料的多元性和市场终端应用的广泛性使得藻类 CO₂ 转化途径具有更大的商业吸引力。

(3) **利用建筑实现碳封存技术研发。**包括:利用生物燃料生产中的低价值副产品制造高性能负碳混凝土;利用汉麻混凝土 3D 打印建筑,实现可持续性和可恢复性;利用光合途径生产负碳石灰石硅酸盐水泥;生物基绝缘板的模块化设计和增材制造;采用 3D 打印碳吸收缆索系统的高性能建筑结构;用于负碳排放建筑/构造的纤维素-菌丝体复合材料;净负碳排放、可重复使用住宅的开发与示范;用于住宅和商业建筑的纤维素-水泥复合材料;用于定向刨花板和其他工程木材的可再生负碳黏合剂;基于直接空气碳捕集技术的预拌负碳混凝土建筑构造;交叉层压木材-钢复合结构建筑的碳封存技术;能消耗 CO₂ 的坚固“活”木建筑;用于高性能绝缘的木质素碳封存泡沫塑料;为报废拆除/重建/施工而设计的负碳全木地板系统;高性能负碳隔热建筑;新一代负碳排放竹框架材料;将 CO₂、碳纤维废物和生物材料回收到复合板中,以制造低碳建筑材料;负碳生物混凝土单元生产概念。

(4) **支持工业减排和清洁能源制造技术研发。**包括:利用 CO₂ 生产聚氨酯泡沫和纺织品原料,用于制造零碳汽车;丙酮的可持续性供应链;实现高效被动和主动对流干燥的蒸汽选择性膜热交换器循环技术;利用热响应型聚合物对多孔材料进行非蒸发干燥;通过智能干燥剂辅助热泵系统加热的创新技术,实现优质木材的高效干燥过程;利用复合环烯烃树脂通过增材制造实现汽车轻量化;开发逆向设计方法,用于轻型汽车部件制造的低成本敏捷工具;开发改进模具材料的粉末加工技术,用于制造轻型汽车车身板材;丙烯腈的可持续制造;利用可感知、可管理、适应性强、可重复使用的工具,实现轻量化复合材料汽车零部件制造;新一代超高温换热器材料;能源系统中高分辨率碳化硅纤维复合材料构件的增材制造;应用于恶劣环境下的涂层-合金材料的开发;混氢天然气输送/分配和工业终端应用中的耐氢多层复合涂层材料;应用于航空航天领域高疲劳和断裂强度的 Al-Ce 和 Al-Ce-Mg/Zn 合金材料;用于高温航空航天结构的耐用铝钪合金材料固态增材制造工艺;在航空航天中使用节能的混合稀土金属代替铸造铝合金中的钪;使用新型 Al-Ce-Ni 基合金材料通过增材制造生产轻量化航空航

天部件;通过改性处理新型前驱体材料制造高效的碳化硅纤维;适用于恶劣工况的先进轴承材料;用于轴承和齿轮的金属氧化物涂层,可在恶劣环境下快速高效地沉积;通过掺杂氧化物的激光定向能量沉积制备适用于恶劣环境的大规模网状氧化物弥散强化钢组件;通过机器学习改进氢燃气轮机热障涂层耐久性和工艺;开发保护氢燃气轮机发电系统关键部件的高熵合金涂层。

(5) **积极加大 CO₂ 捕集技术的试点示范。**2021 年 2 月 1 日,美国国家能源技术实验室(NETL)支持开发的非水溶剂(NAS)碳捕集技术在挪威蒙斯塔德技术中心(TCM)进行工程规模测试,该技术有望为美国未来燃煤电厂碳减排实现美国能源部设立的成本和性能目标铺平道路。非水溶剂碳捕集技术是在美国能源部化石能源和碳管理办公室(FECM)和 NETL 支持下开发的,与其他基于溶剂的技术[如单乙醇胺(MEA)工艺]相比,它可以大幅降低燃煤电厂进行碳捕集的能耗。与传统 MEA 工艺溶剂相比,RTI 公司开发的 NAS 碳捕集技术可以降低 40%的能耗。美国能源部为美国未来燃煤电厂碳减排设立的目标主要包括到 2030 年每吨 CO₂ 捕集成本降低至 30 美元,此次 NETL 支持的 RTI 研究项目正是朝这一目标迈出的重要一步。之前,非水溶剂碳捕集技术已经在美国国家碳捕集中心(NCCC)和挪威科技工业研究所(SINTEF)进行了现场测试,此次在 TCM 的测试将通过对现有 10 MW 机组的胺法碳捕集装置实施改造,实现 200 t/d 捕集规模的工程示范,为进一步的测试和风险评估做准备。

3. 支持 CO₂ 地质封存项目

2022 年 5 月,美国政府宣布投资超过 23 亿美元资助 3 个 CO₂ 地质封存项目,以减少美国的碳污染。这些项目将由美国能源部化石能源和碳管理办公室统一管理,具体项目包括:

(1) **CO₂ 地质封存验证和测试项目。**政府资助 22.5 亿美元,目的是验证 CO₂ 地质封存项目的可行性,总结 CO₂ 地质封存场地的特征,理顺 CO₂ 地质封存项目建设的许可程序,增加 CO₂ 封存地点的数量,甄别 CO₂ 地质封存项目的建设阶段,鼓励地方社区积极参与,并避免项目建设给地方社区增添额外的负担。

(2) **碳安全项目**。政府资助 4 500 万美元,目的是完善 CO₂ 地质封存程序,以安全、高效、经济的方式,寻求和评估适合商业开发的陆上与海上 CO₂ 储存场所。

(3) **碳管理项目**。政府资助 4 600 万美元,目的是寻求关键的碳管理方法与技术,以清除、捕获、转化或储存来自公共事业和工业来源或大气中的 CO₂。

1.1.2 欧盟创新计划下启动 CCUS 等多个脱碳项目

欧盟非常重视能源密集型行业的脱碳项目。2021 年 11 月,欧盟宣布在“创新基金”自主框架下向芬兰、法国、比利时等欧洲多国大规模的创新项目投入 11 亿欧元,支持将能源密集型行业的 CCUS 等脱碳突破技术推向市场。具体项目包括:

(1) **芬兰“可持续氢与碳的回收”(SHARC)项目**。该项目将示范两种在炼油厂生产低碳氢的方法,即通过电解制“绿氢”(50 MW 规模)和通过化石燃料结合 CCS 制“蓝氢”,同时将捕集的 CO₂ 永久封存在北海。预计投运 10 年将减少超过 400 万吨碳排放。

(2) **法国 K6 项目**。该项目将在现有水泥厂的基础上,最大限度地利用生物基及其他替代燃料,以及利用已脱碳的原材料,大幅减少碳排放。通过将新型工业规模富氧煅烧水泥窑与碳捕集相结合的工艺,取代现有湿法窑,可捕集超过 90% 的碳排放,并通过火车和轮船运输至北海封存地,或用于生产混凝土产品。

(3) **比利时 Kairos@C 项目**。该项目旨在开发完整的 CCS 价值链,投运 10 年可减排 1 420 万吨,具体包括:部署大型碳捕集和净化设施,可处理来自 5 个不同碳源(2 个制氢装置、2 个环氧乙烷装置和 1 个氨装置)的排放;并入 Antwerp@C 项目设施,该项目正开发一种多模式运输基础设施,将 CO₂ 运输至北海周围的多个永久封存库,并部署先进的节能液化技术;设计和建造先进的液态 CO₂ 储罐,用于将 CO₂ 运输至封存地。

1.1.3 英国坚持开展 CCUS 技术竞赛以鼓励创新

2018 年以来,英国坚持持续开展 CCUS 创新项目竞赛,包括技术、融资

和风险等方面。早在2018年,英国商业、能源与产业战略部(BEIS)就发起了一轮CCUS创新竞赛(CCUS innovation programme),通过提供2400万英镑的赠款,旨在推动大幅度降低CCUS项目的成本,以及推动CCUS项目在英国乃至全世界更快速、更广泛地部署。

2021年7月,BEIS再次发布通知,提供高达1950万英镑的奖励,支持CCUS创新2.0竞赛,重点在3个方向:支持CCUS技术的创新,示范并降低下一代CCUS技术的风险,降低CCUS项目的部署成本。此次竞赛,被认为是对英国“绿色工业革命十点计划”(the Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)中“再次明确强调英国未来将推动创新型CCUS技术发展,使英国成为CCUS技术的全球领导者”的回应。

2022年5月,英国商业、能源与产业战略部(BEIS)宣布再次资助超过3100万英镑支持碳捕集和绿色能源技术开发,包括红色柴油替代、工业燃料转换和二氧化碳捕集、利用与封存,以减少英国工业对化石燃料的依赖,帮助工业削减排放和降低能源成本。其中BEIS将提供1200万英镑支持“CCUS创新2.0竞赛”第1阶段的8个项目,并为竞赛的第2阶段资助730万英镑。项目涉及电气化海底CO₂存储系统技术研发、旋转填充床工艺设备技术和非水溶剂碳捕集技术在点源工业碳捕集中的应用、难减排行业部署碳捕集技术可行性研究、废弃CO₂转化为表面活性剂创新方案、地下碳封存层的精确模拟等。

1.1.4 日本大力支持废气CO₂的分离、回收及利用技术

2022年,日本新能源产业技术综合开发机构(NEDO)宣布在“绿色创新基金”框架下,投入超过2500亿日元支持CO₂分离和回收技术、CO₂循环转化利用技术等项目研发,期望在2030年前降低CO₂减排的技术成本,推进发展碳循环产业,助力实现日本碳中和目标。具体项目及技术包括:

(1) 天然气发电烟气CO₂大规模分离回收技术开发与示范。推进天然气燃烧废气低成本CO₂分离/回收工艺的商业化,开发基于固体吸收剂的国产化技术,降低燃气轮机烟气中低浓度CO₂的分离回收成本,并通过技术验证推进商业化。

(2) 中小型工厂废气 CO₂ 分离回收技术开发与示范。包括开发通过施加电压吸收和解吸 CO₂ 的技术,将分布式排放源的 CO₂ 转化为燃料;开发和验证使用创新分离剂的物理吸附从低浓度废气中分离回收 CO₂ 的技术,并验证使用回收的 CO₂ 生产化学品的技术;开发一种膜分离系统,从低浓度工厂废气中分离回收 CO₂,并用于乙醇等化学品生产;使用 Na-Fe 基氧化物开发创新的 CO₂ 分离和捕集技术,包括提高 Na-Fe 基氧化物碳捕集性能并开发制造方法,以及利用废气余热直接加热 Na-Fe 基氧化物以提高效率;示范在液化天然气站回收 CO₂,并利用通过电解制取的氢气合成甲烷等。

(3) 建立 CO₂ 分离材料标准评估方法。包括建立并运营气体测试中心以开发针对实际气体的标准评估方法;开发各种分离材料的标准评估方法;开发分离材料开发的标准评估方法;开发耐久性评估方法;进行数据库建设以推动标准评估方法的传播和国际化。

(4) 研发碳循环技术和 CO₂ 制燃料、制塑料技术。前者在火电厂 CO₂ 分离/回收型吹氧整体煤气化联合循环(IGCC)实证研究基础上,开发利用回收的 CO₂ 生产化学品、燃料和矿物的碳循环技术,包括通过金刚石电极使用燃煤电厂废气中的 CO₂ 生产关键材料;利用常压等离子体开发新的 CO₂ 分解/还原工艺;开发能够高效利用 CO₂ 的藻类生物质生产和利用技术;利用 CO₂ 和工业废弃物合成碳化硅;液化石油气的碳循环制造技术及工艺研发;微藻固定 CO₂ 及生产高值化学品的技术研发。后者包括开发利用 CO₂ 生产合成燃料、可持续航空燃料、甲烷和绿色液化石油气等燃料的制造技术,以及利用 CO₂ 等碳原料生产塑料及高价值化学品的技术。

1.1.5 中国 CCUS 的发展

中国非常关注 CCUS 技术的发展,在多份应对气候变化的政策文件中均提到 CCUS,如《国家应对气候变化规划(2014—2020 年)》《“十三五”控制温室气体排放工作方案》《中国碳捕集利用与封存技术发展路线图(2019 版)》等,这些政策文件旨在推进产业结构和能源结构调整、开展节能减碳和生态建设、加强应对气候变化能力建设,相关政策及主要内容见表 1.1。这

些发展规划不仅涉及国家战略层面,还进一步向具体化、可操作、可执行、可示范、可推广的趋势深度发展,为相关技术的研发、示范、应用指明了方向。

表 1.1 “十二五”“十三五”期间我国发布的 CCUS 相关政策及主要内容

发布时间	发布单位	名 称	主 要 内 容
2014 年 12 月	国家能源局、环境保护部、工业和信息化部	《国家能源局、环境保护部、工业和信息化部关于促进煤炭安全绿色开发和清洁高效利用的意见》	大力推进科技创新;提出“积极开展二氧化碳捕集、利用与封存技术研究和示范”
2015 年 4 月	国家能源局	《煤炭清洁高效利用行动计划(2015—2020 年)》	积极开展二氧化碳捕集、利用与封存技术研究和示范;鼓励现代煤化工企业与石油企业及相关行业合作,开展驱油、微藻吸收、地质封存等示范,为其他行业实施更大范围的碳减排积累经验
2015 年 12 月	国家发展和改革委员会	《国家重点推广的低碳技术目录》(第二批)	涵盖新能源与可再生能源,燃料及原材料替代,工艺过程等非二氧化碳减排,碳捕集、利用与封存,碳汇等领域
2015 年 12 月	环境保护部	《合成氨工业污染防治技术政策》	鼓励研发的新技术中提到“二氧化碳捕集和综合利用技术”
2016 年 3 月		《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	提出坚持减缓与适应并重,主动控制碳排放,落实减排承诺,增强适应气候变化能力,深度参与全球气候治理,为应对全球气候变化作出贡献
2016 年 6 月	环境保护部	《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南(试行)》	包括二氧化碳捕集、利用与封存的术语与定义,环境风险评估工作程序,主要环境风险源,环境风险受体,确定环境本底值,环境风险评估
2016 年 7 月	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	重点加强燃煤二氧化碳捕集利用封存的研发,开展燃烧后二氧化碳捕集实现每年百万吨的规模化示范

续 表

发布时间	发布单位	名 称	主 要 内 容
2016 年 10 月	国务院	《“十三五”控制温室气体排放工作方案》	为加快推进绿色低碳发展,确保完成“十三五”规划纲要确定的低碳发展目标任务,推动我国二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰而制定。提出“在煤基行业和油气开采行业开展碳捕集、利用和封存的规模化产业示范,控制煤化工等行业碳排放”;“推进工业领域碳捕集、利用和封存试点示范,并做好环境风险评价”;研究制定碳捕集利用与封存标准等
2017 年 4 月	科技部、环境保护部、气象局	《“十三五”应对气候变化科技创新专项规划》	推进减缓气候变化技术的研发和应用示范,设立大规模低成本碳捕集、利用与封存关键技术专栏。“继续推进大规模低成本碳捕集、利用与封存(CCUS)技术与低碳减排技术研发与应用示范,同时推进森林、草地、农田、湿地等重要生态系统固碳增汇技术研发与应用示范”
2018 年 9 月	住房和城乡建设部	《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》	适用于新建、扩建或改建的烟气二氧化碳捕集纯化工程设计
2019 年 5 月	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)》	国内外应对气候变化的新形势要求对 CCUS 技术重新定位,以促进生态文明建设和可持续发展战略的实施;CCUS 技术内涵的丰富和外延的拓展,需要进一步明确发展方向,以有序推进第一代捕集技术向第二代捕集技术平稳过渡;亟待加快调整 CCUS 技术的发展目标和研发部署,为相关政策的制定执行和项目的顺利实施提供科技支撑

在国家的主导之下,各省市也根据各自的能源、经济发展情况,纷纷出台政策和发展规划,政策和发展规划涉及火电、煤化工、水泥、石油、食品、钢铁、化工等多个行业,旨在促进低碳技术研究和应用,推进示范项目开展。如湖北省提出了《湖北省应对气候变化和节能“十三五”规划》《湖北省“十三五”节能减排综合工作方案》《湖北省“十三五”控制温室气体排放工作实施方案》等一系列政策措施。

(1) 我国持续开展 CCUS 研发创新

“十二五”“十三五”期间,我国 CCUS 技术研发活动主要由政府指导,科研单位、高等院校和企业作为基础研究、应用研究和试点示范等不同技术层面的实施主体,来推进 CCUS 技术创新和应用发展。具体项目开展情况如表 1.2 所示。

表 1.2 中国开展的部分 CCUS 创新研发项目情况

项 目 名 称	资 助 来 源/渠 道	执 行 时 间	主 要 参 与 单 位
二氧化碳减排、储存与资源化利用的基础研究	973 项目	2011—2015	中国石油集团科学技术研究院有限公司等
中国陆地生态系统碳-氮-水通量的相互关系及其环境影响机制		2010—2014	中国科学院地理科学与资源研究所
超临界二氧化碳强化页岩气高效开发基础研究		2014—2018	武汉大学等
新型 O ₂ /CO ₂ 循环燃烧设备研发与系统优化	863 计划	2009—2011	华中科技大学等
CO ₂ -油藻-生物柴油关键技术研究		2009—2011	新奥集团股份有限公司、暨南大学等
基于 IGCC 的 CO ₂ 捕集、利用与封存技术研究与示范		2011—2013	中国华能集团有限公司、清华大学、中国科学院工程热物理研究所等
百兆瓦级光伏系统设计集成技术研究及关键设备研制		2012—2014	特变电工新疆能源股份有限公司