报告

中国水泥行业CCUS发展现状与展望

中国建筑材料联合会
China Building Materials Federation

中国建筑材料联合会
China Building Materials Federation

中国建筑材料联合会是我国建材行业唯一的全国性、综合性权威社团组织，是民政部授予的“全国先进社会组织”和“AAAAA 级全国性社会团体”，现有会员 1500 多家，管理着 9 家国家级建材事业单位，领导着 23 家全国性建材产业协会、综合协会 / 学会，联系着 26 家省区市建材行业协会。中国建筑材料联合会以“服务会员、服务行业、服务国家、服务社会”为己任，以“宜业尚品、造福人类”为建材行业发展目标，积极搭建政府与行业、企业之间的桥梁和纽带，推动建材行业绿色低碳安全高质量发展。

课题编写人员：

周丽玮	中国建筑材料联合会	教授级高工
曹元辉	中国建筑材料联合会	高级工程师
王胜杰	中国建筑材料联合会	工程师
刘　宁	中国建筑材料联合会	助理工程师
朱　哲	中国建筑材料联合会	工程师
沈玉露	中国建筑材料联合会	工程师
张瀚文	中国建筑材料联合会	工程师
王欣宇	中国建筑材料联合会	教授级高工
郑云生	中国建筑材料联合会	高级工程师
陈苏芹	中国建筑材料联合会	助理工程师
李　敏	中国建筑材料联合会	工程师

感谢自然资源保护协会专家为报告提供的宝贵建议。

所使用的方正字体由方正电子免费公益授权

目录

摘要 I

第一章 CCUS技术概况 2

1.1 CCUS介绍 2

1.2 CCUS定位 4

1.3 CCUS政策 5

第二章 CCUS项目概况 8

2.1 全球CCUS项目概况 8

2.2 我国水泥行业CCUS项目概况 9

第三章 CCUS标准概况 11

3.1 国际标准 11

3.2 国内标准 13

3.3 我国水泥行业标准体系 16

第四章 水泥行业CCUS技术应用面临的挑战 18

4.1 技术应用影响因素评价 18

4.2 技术成熟度评价 19

第五章 水泥行业CCUS需求预测 21

5.1 原料替代减碳预测 21

5.2 化石燃料替代减碳预测 22

5.3 低碳水泥减碳预测 22

5.4 能效提升减碳预测 23

5.5 CCUS需求预测 24

第六章 水泥行业CCUS技术应用与推广建议 25

附表 28

宜业尚品 造福人类——我国建筑材料行业发展目标诠释 30

参考文献 32

摘要

水泥行业是我国重要基础原材料产业，其产品广泛应用于土木建筑、水利工程等领域，在改善民生、推动国家经济建设方面发挥了重要作用。我国是全球最大的水泥生产和消费国，连续十余年保持世界首位。根据国家统计局数据，2023年全国水泥产量达到20.23亿吨，占全球总产量的49.68%。

水泥生产消耗大量的煤炭、电力及石灰石原材料，是我国能源消耗和碳排放量较高的工业之一，也是建材行业中碳排放量最大的行业。根据《中国建筑材料工业碳排放报告（2020年度）》[1]数据显示，2020年我国建材行业二氧化碳排放总量为14.8亿吨，其中水泥行业的直接二氧化碳排放量为12.3亿吨，占建材行业总碳排放的83.11%，占全国碳排放总量的12.4%。

二氧化碳捕集利用与封存（Carbon Capture, Utilization and Storage，CCUS）作为一项能够实现二氧化碳深度减排并资源化利用的关键技术，在全球范围内备受关注。鉴于我国能源结构以高碳为主，工业制造碳排放量较大，大力推动减污减碳和末端固碳的CCUS技术，将为我国生态文明建设以及实现碳达峰碳中和目标提供有力支撑。

水泥烧成碳排放量大，CCUS既是水泥行业实现碳中和目标的必然选择，也是亟需发展的对象。近年来，在双碳目标的推动下，国家加大了对CCUS的系统性支持，从政策、技术、产业、标准、金融等多个角度推动CCUS发展。水泥行业也积极推进CCUS项目建设并取得了一系列重要进展和成果。但是，由于水泥窑烟气成分复杂、粉尘量大且二氧化碳浓度低等技术特点，导致CCUS在水泥行业的项目应用案例较少，并存在生产运营成本高、技术推广难等问题。

本报告通过调研国内外水泥行业CCUS技术现状，采用环比法对影响技术应用的主要因素进行了权重评价。结果表明，技术成熟度、政策支持和项目利润是目前水泥行业最关心的三个方面。报告参考国外已有的技术成熟度评价体系，建立了我国水泥行业技术成熟度评价体系，并对捕集、运输、利用和封存环节现有的不同技术进行了成熟度评价，分析提出了各环节需要重点攻克的技术难题。报告预测，在2060年碳中和情景下，单位水泥碳排放仍有约270kgCO_2/t需要依靠CCUS实现碳中和，水泥行业CCUS布局需要加快。为了更好地服务技术及产业化发展，报告系统编制了我国水泥行业的标准体系，明确了亟需制定的相关标准，提出了加速推动我国水泥行业CCUS技术产业化发展的建议。

第一章

CCUS技术概况

1.1 CCUS介绍

二氧化碳（CO_2）捕集利用与封存（CCUS）是指将CO_2从工业过程、能源利用或大气中分离出来，直接加以利用或注入地层以实现CO_2永久减排的过程[2]。CCUS是在二氧化碳捕集与封存（Carbon Capture and Storage，CCS）的基础上增加了“利用”（Utilization，U），CCUS按技术流程主要分为捕集、输送、利用与封存环节（见图1-1[3]）。

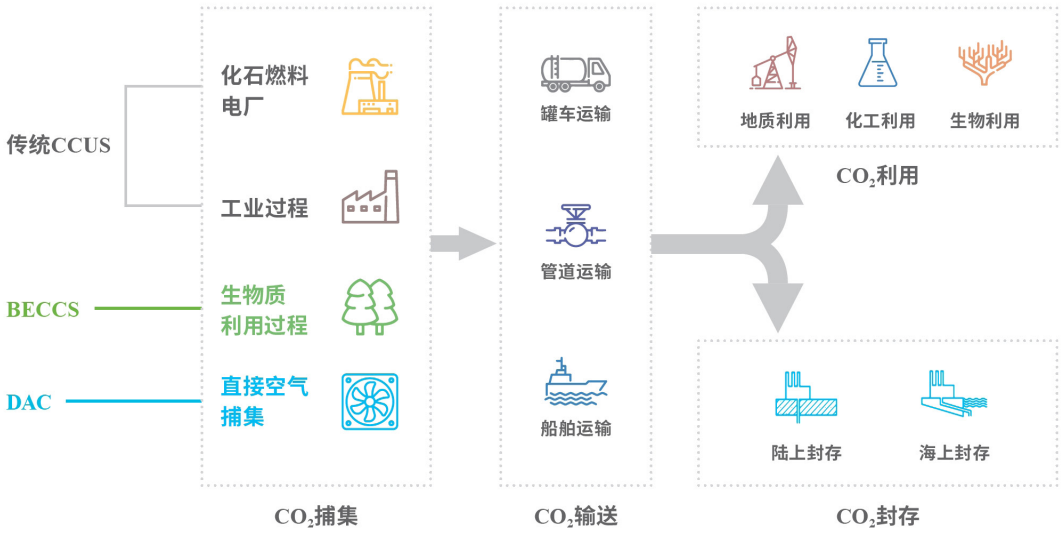


图1-1 CCUS技术环节

——CO_2捕集技术是指将CO_2从工业生产、能源利用或大气中分离出来并捕集的过程，是CCUS技术系统中的关键环节，同时也是耗能和成本较大的部分。碳捕集方式主要包括燃烧前捕集、燃烧中捕集和燃烧后捕集[3][4]。其中，燃烧后捕集的常用方法有化学吸收法、物理吸附法、吸附分离法（变温吸附法和变压吸附法）、膜分离法、钙循环法和低温蒸馏法等[5]。

——CO_2运输是指将捕集或纯化后的CO_2通过公路/铁路、船舶、管道等方式运输到可利用或封存场地等指定地点的过程，是CCUS技术系统的中间环节。鉴于不同运输方式的优缺点，CCUS项目的运输需要从运输容量、运输距离、运输成本、市场因素以及运输沿线交通布局等方面综合考虑。

——CO_2利用是指通过工程技术手段将捕集的CO_2实现资源化利用的过程，利用方式主要包括：

（1）物理利用，主要应用于食品、制冷、发泡材料、焊接等行业。例如，在食品行业中，CO_2被用作碳酸饮料、啤酒的添加剂，以及在食品冷链运输过程中作为制冷剂（干冰）；在发泡材料领域，CO_2被用作发泡剂以生产挤塑板保温材料；在金属加工领域，CO_2被用作惰性气体用于焊接。其特点是利用后的CO_2最终仍会排放到大气中。

（2）化工利用，是指以CO_2为原料，与其他物质发生化学反应，产出附加值较高的化工产品。目前CO_2作为化工原料被广泛应用于多种生产过程中。如通过加氢合成甲烷、醇类（如甲醇、乙醇等）、醚类（如二甲醚）、有机酸（如甲酸）及低碳烷烃等工业合成气。此外，CO_2还用于生产纯碱、小苏打、白炭黑、硼砂及各种金属碳酸盐等大宗无机化工产品。然而，部分化工产品在之后的应用过程中，仍可能因化学反应再次释放CO_2。

（3）矿化利用，是指利用富含钙、镁的大宗固体废弃物（如炼钢废渣、水泥窑灰、粉煤灰、磷石膏等）将CO_2化学吸收转化成稳定的无机碳酸盐的过程，在实现CO_2减排的同时得到具有一定价值的无机建筑材料产品，以提高CO_2和固体废弃物资源化利用的经济性。

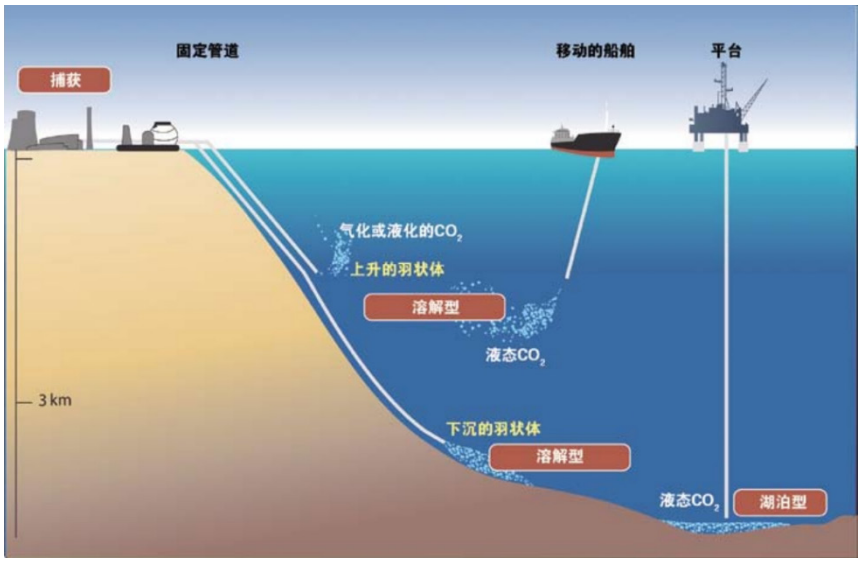
（4）生物利用，主要是指生物固碳，利用生态系统中植物的光合作用吸收CO_2。目前研究主要集中在微藻固碳和农作物CO_2气肥使用上。目前微藻固碳技术主要通过微藻将CO_2固定后转化为液体燃料、化学品、生物肥料、食品和饲料添加剂等，通过微藻的固碳实现人工碳循环。农作物CO_2气肥技术是将来自能源和工业生产过程中捕集的CO_2调节到一定浓度注入温室，来提升作物光合作用速率，以提高作物产量。

（5）地质利用，主要是用CO_2来驱油/气（石油/煤层气、天然气、页岩气等）。CO_2驱油/气是一种把CO_2注入油层（或煤层）中以提高油气采收率的技术，其主要目的是最大限度地提高油气采收率，而不是储存CO_2，虽然在实现驱油/气后有一部分CO_2被永久储存在以前含有碳氢化合物的孔隙空间中，但是CO_2封存量少、封存时间短，且可能会从钻井中泄漏出来。因此，CO_2驱油/气只能看作是部分消纳CO_2的过程。

——CO_2封存，是通过一定技术手段将捕集的CO_2注入深部地质储层，使其与大气长期或永久隔绝，从而实现碳减排的过程，封存方式主要包括地质封存和海洋封存：

（1）地质封存是将捕捉到的CO_2压缩（不小于CO_2的临界压力74bar，通常为100 bar或更高，以提供适当的安全裕度并考虑管道中的压降）储存在至少800m深度的地质构造当中（目前主要有咸水层、油气层、煤层和页岩气层四种），实现与大气长期或永久隔绝。目前主要采用油气层封存方式。

（2）海洋封存主要有两种封存方式：“溶解型”海洋封存和“湖泊型”海洋封存。“溶解型”海洋封存是将CO_2通过固定管道或移动船只注入海洋深层（水深1000米以下较为常见）并使其溶解到水体中；“湖泊型”海洋封存是将CO_2通过固定管道或者安装在海床深度3000米以下的沿海平台注入海底，使其沉降。初始状态下，CO_2以液体形式沉积在海床上，由于其密度高于水，因此会形成一个“湖”，从而延缓CO_2向周围环境的分解和扩散（见图1-2）[6]。



图I-2 海洋封存情景图

I.2 CCUS定位

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）历次评估报告中对CCUS技术定位演变大致可以分为三个阶段（见表1-1）[7]，从最初的“可行方案”到“关键技术”，再到如今的“不可或缺”，逐步明确了CCUS技术在各领域实现碳中和目标进程中的关键性和重要性。

表1-1 IPCC历次报告中对CCUS技术的定位演变

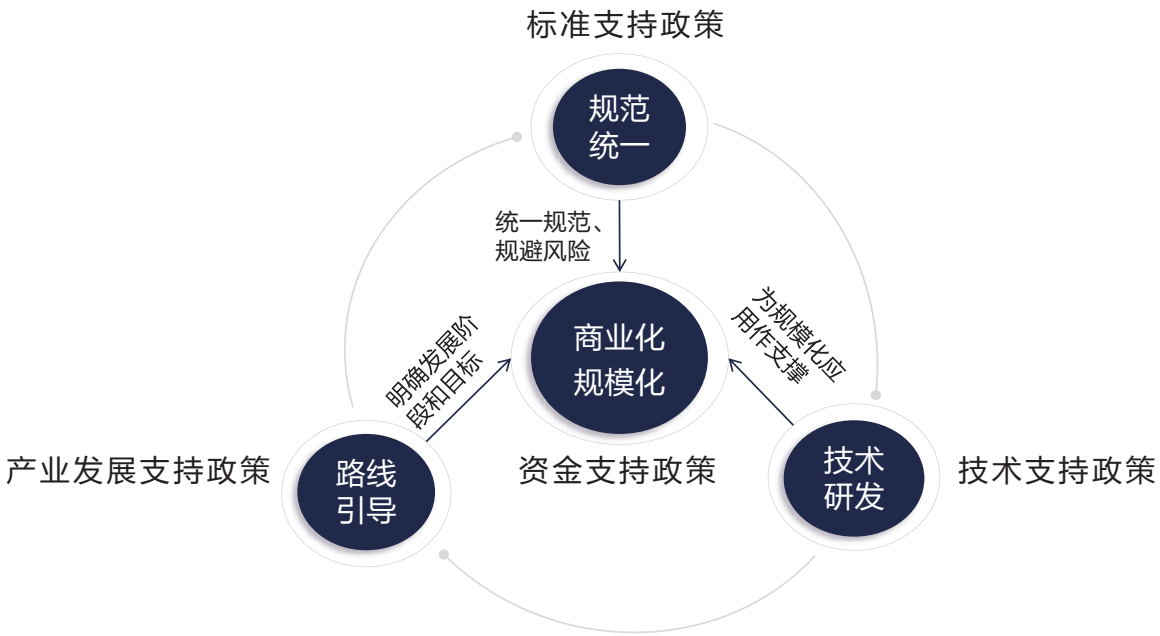
阶段	时间	IPCC报告	评估结论	定位演变
第一阶段	1992年	第一次评估报告（FAR）补充报告	CO_2的分离和地质或海洋处置是一种中长期温室气体减排方案。	可行方案
	1995年	第二次评估报告（SAR）	碳捕集与处置是指将能源转换过程中产生的CO_2还原、收集并隔绝于大气的过程。	
	2001年	第三次评估报告（TAR）	将捕集CO_2并将其长期封存作为一种切实可行的温室气体减排方案，被纳入多个减排情景中。	
第二阶段	2005年	TAR特别报告：《CO_2捕集与封存》	正式提出CCS的定义：是指把CO_2从工业或能源相关的排放源分离出来，输送到适宜封存的地点，并且长期与大气隔绝的过程。	关键技术
	2014年	第五次评估报告（AR5）	如果不考虑生物能源、CCS及其组合BECCS，大多气候模式评估结论显示，21世纪末升温难以控制在2℃以内。	
第三阶段	2018年	特别报告：《全球升温1.5℃》	包括CCS、生物质能碳捕集与封存（BECCS）在内的技术手段将能够实现全球温控1.5℃目标所需要的减排量，正式提出CCUS概念。	不可或缺
	2021—2022年	第六次评估报告（AR6）：第一，第三工作组报告	CCS是化石能源系统和工业部门大规模减排的技术选择。BECCS、直接空气碳捕集与封存（DACCS）等碳移除技术是实现净零排放的重要工具。	
	2023年	第六次评估报告综合报告：《气候变化2023》	CCS在电力部门以及水泥和化学品生产中是一个关键的缓解方案。 深度减少水泥工艺排放将依赖于水泥材料的替代和CCS的可用性。	

随着CCS技术的发展以及认识的不断深化，我国于2006年在北京香山会议首次提出CO_2捕获、利用与封存技术（CCUS），引入了CO_2资源化利用技术。在双碳目标的驱动下，随着新的应用场景不断涌现和深度减排需求的增加，CCUS技术的内涵和外延得到了丰富与拓展，我国对CCUS技术的定位也在不断被重新审视和调整，已经从碳减排储备技术变成了碳中和关键碳减排技术。

1.3 CCUS政策

1.3.1 国际政策

为推动CCUS技术研发和项目建设，美国、欧盟、加拿大在产业发展、技术研发、标准规范以及资金税收等方面建立了“四位一体”的CCUS支持政策体系（见图1-3），有效促进了CCUS技术的研发创新和建设应用。其中，税收抵免、直接资金支持以及碳税等资金支持政策在CCUS项目的前期建设中发挥了重要作用。



图I-3 CCUS政策支持体系

（1）美国

美国在CCUS领域处于全球领先地位，这主要得益于美国在财政和税收方面对CCUS技术研发和应用的大力支持。自2008年起，美国通过《国内税收法》第45Q条款为二氧化碳封存提供税收抵免（45Q税收抵免）。2018年，美国政府加大了对CCUS项目的支持力度，实施了更高的45Q税收抵免，对实施CO_2驱油的项目提供每吨35美元的税收抵免，对咸水层封存的项目提供每吨50美元的税收抵免。2022年8月，美国颁布了《通货膨胀削减法案》（IRA），进一步增强了45Q条款的税收抵免政策：将工业用途CCS的税收抵免从每吨35美元提高到每吨60美元，将用于地质存储CCS的税收抵免从每吨50美元提高到每吨85美元；并为直接空气捕捉（DAC）项目提供高额补贴，将直接从大气中捕获并封存的CCS的税收抵免从每吨50美元提高到每吨180美元。45Q税收抵免政策加速了CCUS项目的部署。

（2）欧盟

欧盟在CCUS制度化和规范化方面走在全球前列。2009年欧盟制定了“二氧化碳捕捉和储存指令”（2009/31/EC），是世界第一部关于CCS的法律，对CO_2的运输、封存场地选址、勘探和封存许可证发放、CO_2监测以及信息公开等方面的要求作出了明确规定。欧盟的碳排放交易体系（EU-ETS）是全球首个区域性、强制性的碳排放交易体系。在第三阶段（2013-2020）期间，欧盟将捕获、

管道输送和CO_2的地质储存项目纳入了该体系，并将其作为联合履行机制（JI）项目的减排量（ERU）来处理。欧盟还通过多项研发资助计划来支持CCUS的研发和部署：一方面，通过“创新基金”为CCUS项目提供资金支持。2022年11月，欧盟委员会将“创新基金”规模提升至30亿欧元。另一方面，通过科研资助计划“地平线欧洲”推进CCUS技术的发展，该计划在2021年和2022年分别为CCUS技术研发提供了3200万欧元和5800万欧元的资金支持。

（3）加拿大

为了鼓励私人投资CCUS项目，加拿大通过碳排放定价、投资税收抵免以及要求降低燃料排放强度的清洁燃料法规（CFR）等措施大力推动CCUS的发展。2020年11月，加拿大政府宣布了一项为期10年、总额约1.5亿美元的低碳和零排放燃料基金，用于支持CCUS等清洁能源技术的发展。此外，加拿大政府还宣布，到2030年CO_2捕集项目设备成本最高可获得50%的税收抵免。2021年，加拿大最高法院通过了《2018年温室气体污染定价法》，将碳税从2021年的每吨40加元提高到2030年的每吨170加元，高昂的碳税和严苛的环保政策驱动企业（尤其是油气企业）积极发展CCUS项目。在碳市场方面，加拿大阿尔伯塔碳市场也是国际上纳入CCUS项目最多的碳市场，CCUS项目可通过阿尔伯塔排放抵消体系（AEOS）进行认证，签发核证减排量，在阿尔伯塔碳市场进行碳排放抵消。

1.3.2 我国政策

在我国“双碳”目标提出后，各部委和地方围绕碳达峰碳中和目标，陆续出台了一系列政策，构建了“1+N”政策体系，从科技研发、示范应用、财政补贴、绿色金融、标准规范等多方面对CCUS技术进行系统性支持（见附表）。虽然全国范围内尚未有税收减免政策，但一些省市率先推出了补贴措施。例如，深圳市对CCUS示范项目可提供最高达1000万元的资助，投产后每吨二氧化碳补贴20元。中国人民银行创设了“碳减排支持工具”，商业银行可以从人民银行获批资金，为符合条件的CCUS示范项目提供绿色金融支持，如中石化齐鲁石化-胜利油田百万吨CCUS项目获得了中国建设银行的绿色贷款服务。

目前，我国相关政策大多集中在CCUS相关技术的研发、试点应用以及加快标准研制方面，在支持CCUS项目基础设施建设方面相对薄弱。这主要是因为我国CCUS产业仍处于起步阶段，与发达国家相比，技术发展时间较短，整体技术水平相对较低。

第二章

CCUS项目概况

2.1 全球CCUS项目概况

在全球层面，截止2024年3月，全球共有564个处于不同阶段的CCS/CCUS项目，其中，已投运项目43个，年捕集能力5039万吨；开工建设中的项目33个，年捕集能力3452万吨；在开发项目488个，年捕集规模3.4亿吨；合计年捕集能力4.2亿吨，较2022年增加75%。从项目碳源看，在运行项目碳源以油气生产等能源行业为主，约占60%；在建与规划的项目碳源以工业、发电为主，约占70%。从项目碳汇看，在运行项目的碳汇主要以采用CO_2提高采收率的油气藏为主，约占70%；在建与规划项目的碳汇以CO_2地质封存为主，接近80%。从地区分布来看，最多的是美洲，其次是欧洲。

在国家层面，美国目前是全球开展CCUS项目最多的国家。CCUS项目涉及水泥制造、燃煤发电、燃气发电、垃圾发电及化学工业等多个行业，总计有154个项目，处于不同发展阶段，其中在运营的项目数量占全球一半。这主要得益于美国对CCUS技术的政策支持，并获得了商界、学术界和政府的广泛支持，形成了一定规模的CCUS产业链。欧盟各成员国大力推动CCS项目产业链的发展，积极建设工业集群和运输设施，推进CCS产业规模化、商业化发展。同时，欧盟在CCUS相关知识产权方面具有显著的领先优势。目前，德国、法国等是全球CCUS专利的主要来源国。CCUS专利申请主要集中在CO_2捕集领域，其次是CO_2转化利用和CO_2地质利用与封存，而CO_2输送领域的专利申请则相对较少。

我国的CCUS项目涵盖电力、油气、化工、水泥和钢铁等多个行业，其中电力行业示范项目数量最多，超过20个。自2022年以来，水泥、钢铁等难减排行业中的CCUS示范项目数量逐步增多。截至2024年8月，我国已投运CCUS项目67个，包括61个投运中项目和6个间歇运行项目。CO_2捕集能力约700万吨/年，驱油封存能力约420万吨/年，碳利用产能约190万吨/年。碳利用或封存方式主要包括提高石油采收率（EOR）、矿化利用、化学品制备等[9]。EOR是最主要、也是技术最成熟的碳利用方式。

2.2 我国水泥行业CCUS项目概况

我国是最早在水泥行业开展CCUS项目示范的国家。在双碳目标的推动下，我国水泥行业的产、学、研各方正围绕一系列CCUS技术加快研发攻关，重点聚焦在碳捕集和碳利用领域，并已取得了积极成效，见表2-1。

表2-1 我国水泥行业CCUS项目建设情况

序号	企业名称	捕集规模	计划投产时间	技术方案	碳利用领域	捕集率
1.	安徽海螺集团有限责任公司	5万吨/年	2018.10	化学吸收法	食品级应用、植物气肥、焊接制造、电催化制合成气等	>90%
2.	青州中联水泥有限公司	20万吨/年	2024.01	全氧燃烧+变温变压吸附+低温精馏	驱油、焊接、化工、冷链等	>90%
3.	北京金隅北水环保科技有限公司	10万吨/年（科技示范项目）	2022年1月-2023年12月	化学溶剂法（非乙醇胺）+吸附精馏法	生产工业级或者食品级二氧化碳产品	/
4.	北京金隅琉水环保科技有限公司	1500吨/年（研究项目）	2019年4月—2020年12月	变压吸附	产品气CO_2用于飞灰水洗液调质	/
5.	台湾水泥股份有限公司花莲和平厂	10万吨/年	2026完工	富氧燃烧+钙循环	工业焊接、化工业、食品加工等	/
6.	华新水泥股份有限公司	1000吨/年	技术研发中	钙循环	/	/

项目专栏

（1）海螺集团白马山水泥厂水泥窑尾烟气碳捕集项目。该项目于2018年投产，是全球水泥行业首个烟气二氧化碳捕集纯化示范项目（见图2-1），采用化学吸收法，设计年产5万吨液态二氧化碳，其中食品级3万吨，工业级2万吨。项目总投资5775万元，在建设过程中获得了400万元的重大科技专项补贴资金。2021年，海螺集团研究开发了新一代水泥窑低耗高效CO_2捕集化学吸收剂，进一步降低了捕集能耗，降低至2.1GJ/t.CO_2。

图2-1 海螺水泥碳捕集示范项目

（2）青州中联水泥二氧化碳全氧燃烧富集提纯示范项目。该项目于2024年投产，年产二氧化碳20万吨，是目前我国水泥行业规模最大的碳捕集利用项目，其中15万吨工业级、4.5万吨食品级和0.5万吨干冰（见图2-2）。项目总投资约2.6亿元，采用“全氧燃烧+变压吸附浓缩+变温变压吸附净化+低温精馏提纯”技术，可大幅提高烟气中二氧化碳的浓度，捕集综合能耗降至1.6GJ/t.CO_2以下，显著降低运行成本。

图2-2 青州中联水泥碳捕集示范项目

（3）金隅北水环保科技二氧化碳捕集示范项目。该项目是国内首个水泥窑协同处置复杂烟气环境下碳捕集及资源化利用研究示范项目，年产二氧化碳10万吨，项目总投资约1.8亿元，其中约10%资金来自政府和科技项目补贴。

第三章

CCUS标准概况

3.1 国际标准

ISO/TC 265国际标准化组织二氧化碳捕集、运输与地质封存技术委员会（Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage）负责制定CCS领域的国际标准，涵盖设计、施工、运营、环境规划与管理、风险管理、量化、监测和验证等相关活动。目前，该委员会已发布13项国际标准（见表3-1）、另有8项在研国际标准（见表3-2）。这些标准主要包括技术指导标准、量化验证标准、安全标准、运行设计标准、监测和事故处理标准、管理和责任标准等。

表3-1 CCUS相关已发布国际标准

序号	标准号	标准名称
1.	ISO/TR 27912：2016	Carbon dioxide capture — Carbon dioxide capture systems, technologies and processes 二氧化碳捕集 二氧化碳捕集系统、技术和工艺
2.	ISO 27913：2024	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Pipeline transportation systems 二氧化碳捕集、运输和地质封存 管道运输系统
3.	ISO 27914：2017	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage 二氧化碳捕集、运输和地质封存 地质封存
4.	ISO/TR 27915：2017	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Quantification and verification 二氧化碳捕集、运输和地质封存 量化和验证
5.	ISO 27916：2019	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Carbon dioxide storage using enhanced oil recovery (CO_2-EOR) 二氧化碳捕集、运输和地质封存 用于提高石油采收率（CO_2-EOR）的二氧化碳封存
6.	ISO 27917：2017	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Vocabulary — Cross cutting terms 二氧化碳捕集、运输和地质封存 词汇 交叉术语
7.	ISO/TR 27918：2018	Life cycle risk management for integrated CCS projects CCS综合项目的生命周期风险管理
8.	ISO 27919-1：2018	Carbon dioxide capture — Part 1: Performance evaluation methods for post-combustion CO_2 capture integrated with a power plant 二氧化碳捕集 第1部分：与发电厂集成的燃烧后二氧化碳捕集的性能评估方法

序号	标准号	标准名称
9.	ISO 27919-2：2021	Carbon dioxide capture — Part 2: Evaluation procedure to assure and maintain stable performance of post-combustion CO_2 capture plant integrated with a power plant 二氧化碳捕集 第2部分：保证和保持与发电厂集成的燃烧后二氧化碳捕集装置稳定性能的评估程序
10.	ISO/TR 27921：2020	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Cross cutting issues — CO_2 stream composition 二氧化碳捕集、运输和地质封存 交叉问题 CO_2流组成
11.	ISO/TR 27922：2021	Carbon dioxide capture — Overview of carbon dioxide capture technologies in the cement industry 二氧化碳捕集 水泥行业二氧化碳捕集技术概述
12.	ISO/TR 27923：2022	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Injection operations, infrastructure and monitoring 二氧化碳捕集、运输和地质封存 注入操作、基础设施和监控
13.	ISO/TR 27925：2023	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Cross cutting issues — Flow assurance 二氧化碳捕集、运输和地质封存 交叉问题 流量保证
14.	ISO/TR 27926：2024	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Carbon dioxide enhanced oil recovery (CO_2-EOR) — Transitioning from EOR to storage 二氧化碳捕集、运输和地质封存 二氧化碳提高石油采收率（CO_2-EOR）从EOR过渡到封存
15.	ISO/TR 27929：2024	Transportation of CO_2 by ship CO_2船舶运输

表3-2 CCUS相关在研国际标准

序号	计划号	标准名称
1.	ISO/DIS 27914	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Geological storage 二氧化碳捕集、运输和地质封存 地质封存
2.	ISO/AWI 27916	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Carbon dioxide storage using enhanced oil recovery (CO_2-EOR) 二氧化碳捕集、运输和地质封存 用于提高石油采收率（CO_2-EOR）的二氧化碳封存
3.	ISO/AWI 27917	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Vocabulary — Cross cutting terms 二氧化碳捕集、运输和地质封存 词汇 跨领域术语
4.	ISO/DIS 27927	Carbon dioxide capture — Key performance parameters and characterization methods of absorption liquids for post-combustion CO_2 capture 二氧化碳捕集 用于燃烧后二氧化碳捕集的吸收液的关键性能参数和表征方法
5.	ISO/DIS 27928	Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Performance evaluation methods for CO_2 capture plants connected with CO_2 intensive plants 二氧化碳捕集、运输和地质封存 与CO_2密集型工厂相连的CO_2捕集工厂的性能评估方法

3.2 国内标准

目前，我国CCUS领域现有国家标准18项（现行3项、在研15项）、行业标准12项（现行8项、在研3项），涵盖项目设计规划、捕集、运输、利用、封存以及碳排放评价等多个方面（见表3-3）。

表3-3 我国CCUS相关的国家标准和行业标准

序号	标准号/计划号	标准名称	标准类型	归口单位	发布部门	备注
1.	GB/T 40543-2021	石油天然气工业高含CO_2环境用套管、油管及井下工具的材料选择	国标	全国石油天然气标准化技术委员会（TC 355）	国家标准化管理委员会	等同采用ISO 17348:2016
2.	GB/T 42797-2023	二氧化碳捕集、输送和地质封存管道输送系统	国标	全国石油天然气标准化技术委员会（TC 355）	国家标准化管理委员会	修改采用ISO 27913:2016
3.	GB/T 51316-2018	烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准	国标	中国石化集团公司	住房城乡建设部	
4.	20232497-T-469	二氧化碳捕集 第1部分：电厂燃烧后CO_2捕集性能评估方法	国标	全国环境管理标准化技术委员会（TC 207）	国家标准化管理委员会	等同采用ISO 27919-1：2018
5.	20232492-T-424	二氧化碳捕集 第2部分：电厂燃烧后CO_2捕集确保和维持稳定性能的评估程序	国标	全国环境管理标准化技术委员会（TC 207）	国家标准化管理委员会	等同采用ISO-27919-2
6.	20232501-T-469	二氧化碳捕集、运输和地质封存 — 地质封存	国标	全国环境管理标准化技术委员会（TC 207）	国家标准化管理委员会	等同采用ISO 27914：2017
7.	20232510-T-469	二氧化碳捕集、运输和地质封存 — 词汇 — 共性术语	国标	全国环境管理标准化技术委员会（TC 207）	国家标准化管理委员会	等同采用ISO 27917：2017
8.	20232500-T-469	二氧化碳捕集、运输和地质封存 — 二氧化碳用于提高原油采收率	国标	全国环境管理标准化技术委员会（TC 207）	国家标准化管理委员会	等同采用ISO 27916：2019
9.	20220841-T-469	碳捕集、利用与封存（CCUS）项目温室气体减排量和核查技术规范	国标	全国环境管理标准化技术委员会（TC 207）	国家标准化管理委员会	
10.	20231944-T-334	咸水层二氧化碳地质封存潜力分类	国标	全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（TC 93）	国家标准化管理委员会	

序号	标准号/计划号	标准名称	标准类型	归口单位	发布部门	备注
11.	20220864-T-334	二氧化碳地质封存场地评价指标体系	国标	全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（TC 93）	国家标准化管理委员会	
12.	20220811-T-524	火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范	国标	中国电力企业联合会（524）	国家标准化管理委员会	
13.	20232493-T-424	烟气二氧化碳捕集压缩装置运行与管理规范	国标	中国标准化研究院（424）	国家标准化管理委员会	
14.	20232494-T-424	海上CO_2咸水层场地封存量评价	国标	中国标准化研究院（424）	国家标准化管理委员会	
15.	20232495-T-424	海上CO_2咸水层封存场地适宜性评价方法	国标	中国标准化研究院（424）	国家标准化管理委员会	
16.	20232496-T-424	二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求	国标	中国标准化研究院（424）	国家标准化管理委员会	
17.	20232498-T-424	火电厂碳封存CO_2检测方法	国标	中国标准化研究院（424）	国家标准化管理委员会	
18.	20232499-T-424	进入二氧化碳管道的介质质量要求	国标	中国标准化研究院（424）	国家标准化管理委员会	
19.	JB/T 12535-2015	燃煤烟气碳捕集装置调试规范	行标	机械工业环境保护机械标准化技术委员会	工业和信息化部	
20.	JB/T 12536-2015	燃煤烟气碳捕集装置运行规范	行标	机械工业环境保护机械标准化技术委员会	工业和信息化部	
21.	JB/T 12909-2016	燃煤烟气二氧化碳捕集装备	行标	机械工业环境保护机械标准化技术委员会	工业和信息化部	
22.	JB/T 13413-2018	燃煤烟气二氧化碳储存装备	行标	机械工业环境保护机械标准化技术委员会	工业和信息化部	
23.	CB/T 4407-2015	液化二氧化碳运输船用储罐	行标	全国船用机械标准化技术委员会	工业和信息化部/国防科技工业局	
24.	SY/T 6565-2018	石油天然气开发注二氧化碳安全规范	行标	石油工业安全专业标准化技术委员会	国家能源局	

序号	标准号/计划号	标准名称	标准类型	归口单位	发布部门	备注
25.	SY/T 7454-2019	砂岩油田二氧化碳驱油藏工程方案编制技术规范	行标	石油工业标准化技术委员会油气田开发专业标准化技术委员会	国家能源局	
26.	SY/T 7678-2023	二氧化碳驱油田站内工艺管道施工技术规范	行标	石油工业标准化技术委员会石油工程建设专业标准化委员会	国家能源局	
27.	SY/T 7679-2023	二氧化碳驱油田集输管道施工技术规范	行标	石油工业标准化技术委员会石油工程建设专业标准化委员会	国家能源局	
28.	2021-1788T-JC	水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化技术规范 第1部分：化学吸收	行标	建材工业综合标准化技术委员会	工业和信息化部	
29.	2021-1775T-JC	基于项目的二氧化碳减排量评估技术规范 水泥窑烟气碳捕集项目	行标	建材工业综合标准化技术委员会	工业和信息化部	
30.	2023-1439T-JC	玻璃工业烟气二氧化碳捕集技术规范	行标	建材工业综合标准化技术委员会	工业和信息化部	

3.3 我国水泥行业标准体系

本报告结合国家碳达峰碳中和标准体系，研究编制了我国水泥行业CCUS的标准体系（见图3-1），主要包括基础通用、捕集、运输、利用、封存、管理与评价等六类标准，并提出了水泥行业拟制定的11项CCUS相关标准（见表3-4）。

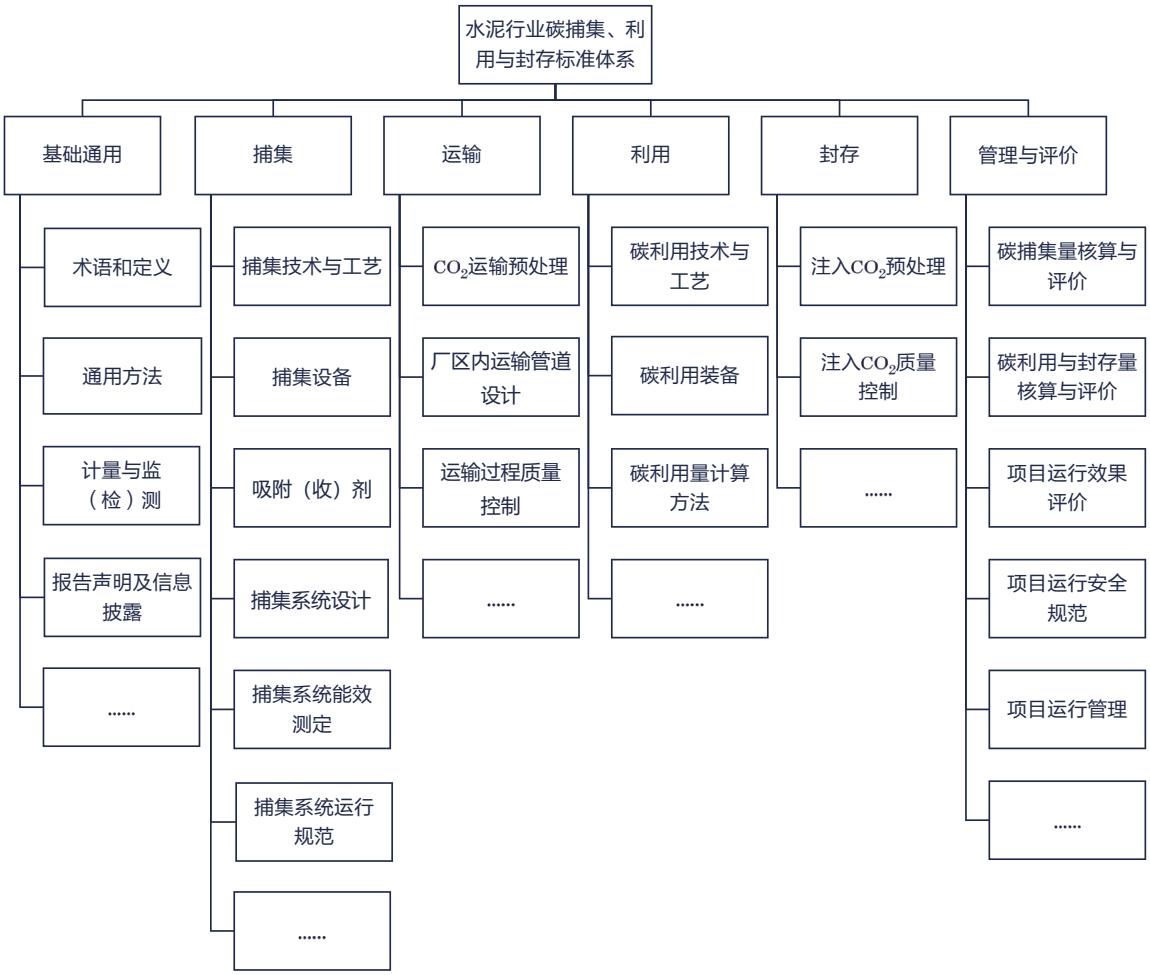


图3-1 我国水泥行业CCUS标准体系

表3-4 水泥行业拟制定的CCUS相关标准

序号	标准类型	拟制定标准名称
1.	捕集	水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化技术规范 第2部分：变压吸附
2.		水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化技术规范 第3部分：钙循环
3.		水泥窑全氧燃烧技术规范
4.		水泥窑二氧化碳捕集设备 废气高效处理装置
5.		水泥窑烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范
6.		水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化工程设计技术规范
7.	利用	二氧化碳矿化利用技术规范
8.		固碳型胶凝材料固定二氧化碳量的测定方法
9.	管理与评价	水泥窑烟气二氧化碳捕集系统能效评价
10.		水泥窑燃烧后CO_2捕集性能评估方法
11.		基于项目的二氧化碳减排量评估技术规范 水泥制品行业养护固碳项目

第四章

水泥行业CCUS技术应用面临的挑战

4.1 技术应用影响因素评价

影响我国水泥行业CCUS技术发展的主要因素有技术成熟度、政策支持、项目建设成本、项目运行利润、下游市场需求以及CCUS产业集群建设等6个因素。目前，由于我国水泥行业上规模且在运行的CCUS项目较少，所以本报告采用环比评分法来确定我国水泥行业CCUS技术应用影响因素权重，并通过调研计算权重系数（见表4-1）。

表4-1 评价指标项目权重系数

评价指标项目	技术成熟度	政策支持	项目建设成本	项目运行利润	下游市场需求	CCUS产业集群建设	合计
环比比率	2.2	0.6	1.28	3	3	1	/
基准值	25.34	15.20	11.52	9	3	1	65.06
权重系数W/%	**38.95**	**23.36**	**17.71**	**13.83**	**4.61**	**1.54**	**100**

评价结果表明，技术成熟度、政策支持和项目建设成本是目前水泥行业最关心的三个方面。尽管下游市场需求、CCUS产业集群建设也对CCUS项目的经济效益产生直接影响，但其评分相对较低，主要是因为目前我国水泥行业的CCUS项目仍处于建设应用的初期阶段，运营模式尚在探索和优化中，因此，水泥企业在捕集碳的利用方面效果不理想，且暂时未优先考虑CCUS产业集群的建设。然而，下游市场需求和CCUS产业集群建设是CCUS项目持续稳定运行的重要动力，未来该两项因素的影响力将会逐渐提升。

4.2 技术成熟度评价

技术成熟度（TRL）用于衡量技术研发的成熟程度。本报告在现有的技术成熟度评价体系[10][11]基础上，结合我国CCUS发展和应用现状，构建了我国水泥行业CCUS技术成熟度（CTR）评价体系（如表4-2所示）并进行了评价（评价结果如图4-1所示）。

表4-2 水泥行业CCUS技术成熟度评价体系

序号	阶段	技术等级	评价要求
1	研究与开发	CTR1：基础理论研究阶段	提出技术理论概念，形成理论研究成果。
2		CTR2：理论分析和实验证明阶段	开展理论分析和实验研究，并开始理论验证工作。
3		CTR3：实验室环境下技术生产测试阶段	开始实际研发和理论验证，包括实验研究和CCUS相关设备器件测试。
4	示范与验证	CTR4：完成小规模试生产并形成实际产品，工艺系统成熟稳定	开展短期小规模（<10000t/年）的示范试验，并在相对接近实际应用环境下测试系统安全性和稳定性。
5		CTR5：相关环境下系统或子系统模块验证阶段	在接近实际应用环境下开展部分系统或子系统的应用测试。
6		CTR6：完整系统完成应用验证阶段	对完整系统开展各类预期应用场景和条件下的应用验证。系统通过要求条件检测阶段。
7	商业化应用	CTR7：技术具备市场准入条件，正在建设过程中	实际系统在要求条件下通过国家规定程度相关检验和认证，满足实际建设应用的资质审定要求，项目在建设过程中。
8		CTR8：在已运行项目中实现生产应用	技术已实现在至少一项已运行项目中的应用。并满足以下要求： a.碳捕集技术的碳捕集率水平≥80%，能耗水平≤3.5GJ/t CO_2； b.碳运输技术已完成关键基础设施的建设； c.下游碳利用/碳封存已匹配各类利用的消纳汇。
9		CTR9：具备大批量产业化生产与服务条件（多次可重复），形成质量控制、监管等体系	技术经过应用被验证安全可行，可在其他项目推广应用，形成技术、管理评价标准等规范文件。并满足以下要求： a.碳捕集技术的碳捕集率水平≥90%，能耗水平≤2 GJ/t CO_2； b.已完成碳运输管道等基础设施的建设； c.下游碳利用/碳封存已匹配长期稳定的消纳汇。
10		CTR10：缩短技术应用的投资回报周期	通过获得长期稳定的资金政策支持，纳入碳市场进行交易等，有相对明确的缩短投资回报周期的方案和路线图。

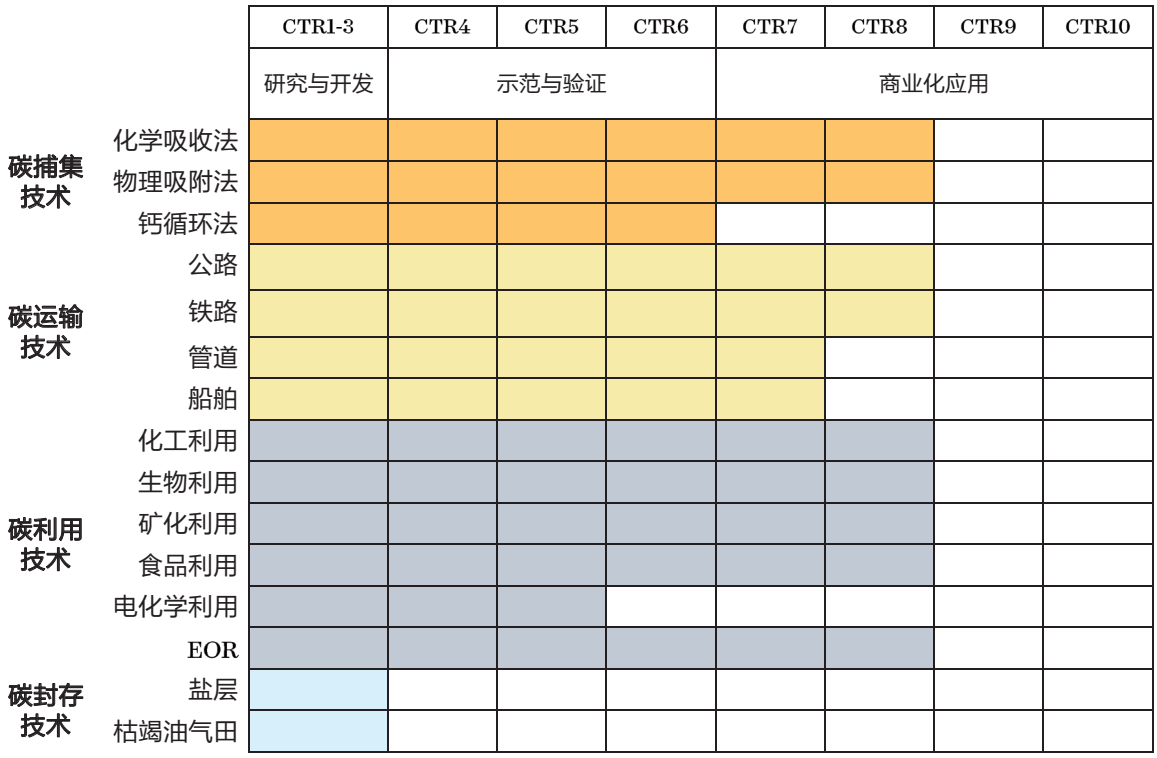


图4-1 我国水泥行业CCUS技术成熟度评价结果

综上分析，我国水泥行业的CCUS捕集、运输、利用技术已初步实现商业化应用。关键问题在于如何降低成本，从而实现技术的大规模推广。针对现有的三种碳捕集技术的应用分析，首先应加快推进物理吸附法的标准化，促进技术的规范应用；其次，应推动化学吸收法标准的外文版翻译，促进我国CCUS技术与国际交流，提高国际间的相互合作；此外，还需加大对钙循环技术的研发力度，争取更多的国际合作，共同推进低碳节能技术的应用。

在碳运输技术方面，由于生产企业布局的原因，公路运输在当前及未来一段时间内仍将是水泥行业的主要运输方式；而在沿海或水运条件比较好的地区，船舶运输将成为重要的补充手段。

在碳利用和封存技术方面，水泥行业仍需密切关注下游企业的市场需求，不仅要解决技术成本问题，还需重点关注产业链的稳定性；在地质封存方面，水泥行业应加强跨行业的交流与合作，在解决技术难点的同时，推进运输等基础设施建设，并重视封存效率和环境安全等问题。

第五章

水泥行业CCUS需求预测

根据水泥生产工艺的特点，本报告在预测过程中仅考虑直接碳排放，不包括电力的间接碳排放。在实现水泥行业碳中和目标的情景下，报告选择2020年中国水泥行业平均直接碳排放517kgCO_2/t[1]作为基准值。参考《水泥行业碳减排技术指南》[12]，分别对未来一段时期内原燃料替代技术、低碳水泥技术、能效提升技术等减排举措的贡献度进行分析与预测，并评估CCUS技术作为支撑技术对行业实现碳中和目标的贡献度。

5.1 原料替代减碳预测

根据《中国水泥行业碳中和路径研究》[13]预测显示，到2060年，我国水泥行业石灰石原料替代率为10%（见表5-1），预计原料替代技术可使水泥行业碳排放强度减少约31kgCO_2/t（见图5-1）。

表5-1 我国水泥行业原料替代率预测

年份	2025	2030	2040	2050	2060
原料石灰石替代率	2%	3%	6%	8%	10%

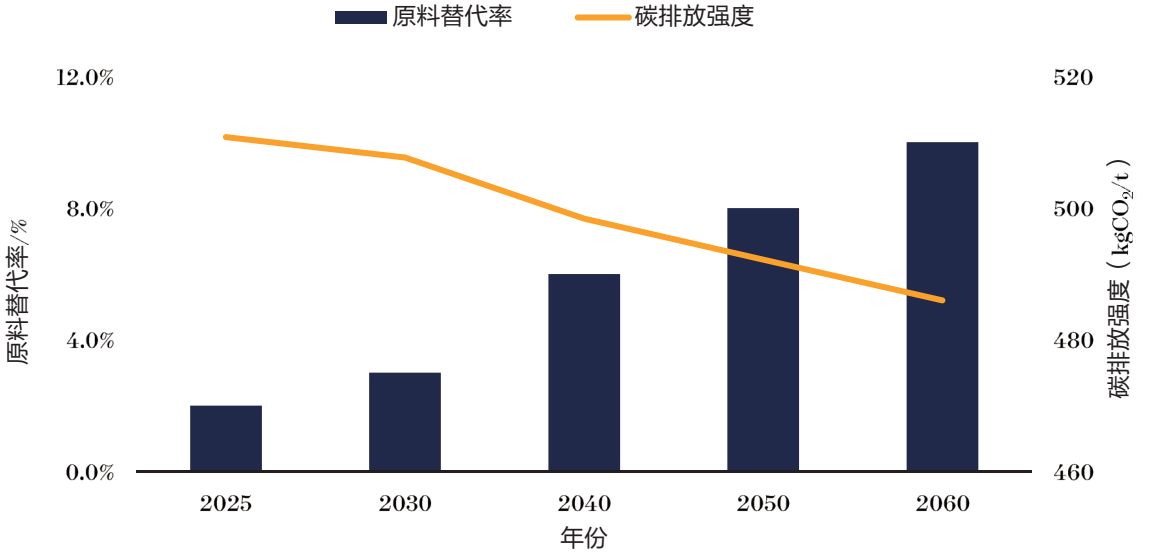


图5-1 水泥行业原料替代技术贡献度预测

5.2 化石燃料替代减碳预测

国际能源署（IEA，2018）预测，全球范围内替代化石燃料的应用会从2006年的3%提高到2050年的37%。考虑到我国水泥产量基数大、替代燃料资源量有限，参考欧盟替代燃料的发展历程，报告预测了2025-2060年我国水泥行业化石燃料热值替代率（见表5-2）（暂不考虑化石燃料替代对水泥熟料产量的影响），预计到2060年，化石燃料替代技术可使水泥行业碳排放强度减少约74kgCO_2/t[1]（见图5-2）。

表5-2 水泥行业化石燃料热值替代率预测

年份	2025	2030	2040	2050	2060
化石燃料热值替代率	5%	9%	17%	37%	45%

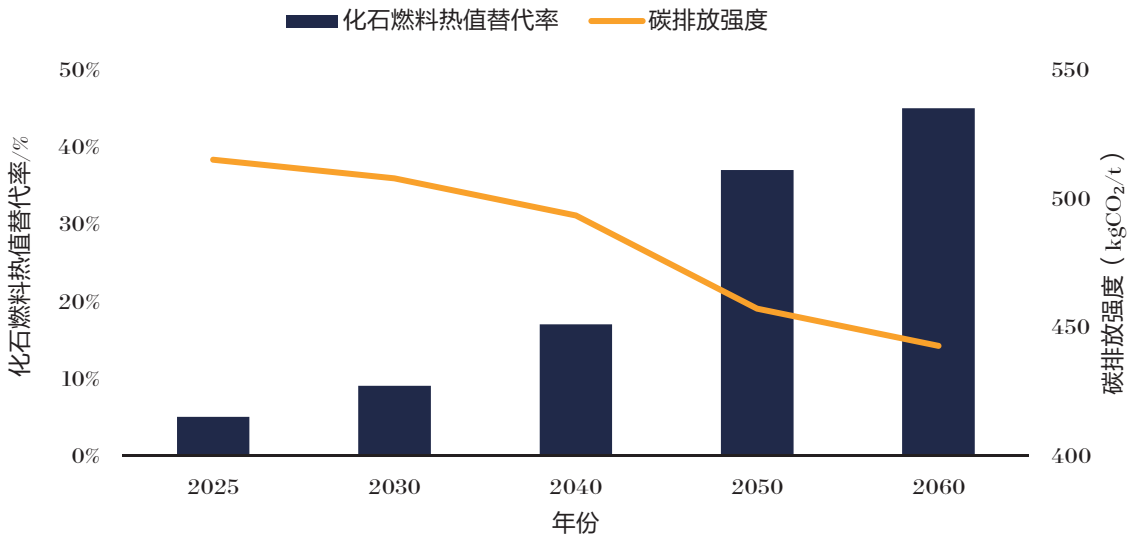


图5-2 水泥行业化石燃料替代技术贡献度预测

5.3 低碳水泥减碳预测

通过减少传统硅酸盐熟料的使用，可显著降低水泥生产过程中的碳排放。本报告低碳水泥指减少传统硅酸盐熟料用量生产的水泥。随着各类低碳水泥的逐渐开发和成熟应用，参考现有研究[14]，报告预测了2025-2060年我国水泥行业因低碳水泥应用而带来硅酸盐水泥熟料使用减少率（见表5-3），预计到2060年，低

1 为鼓励发展替代化石燃料，本报告暂不考虑替代燃料燃烧产生的碳排放，即将替代燃料视为零碳燃料，燃烧产生的碳排放为零。

碳水泥的应用可使水泥行业碳排放强度减少约133kgCO_2/t（见图5-3）。

表5-3 低碳水泥贡献度（硅酸盐水泥熟料使用减少率）预测

年份	2025	2030	2040	2050	2060
低碳水泥贡献度（硅酸盐水泥熟料使用减少率）	2%	5%	10%	25%	30%

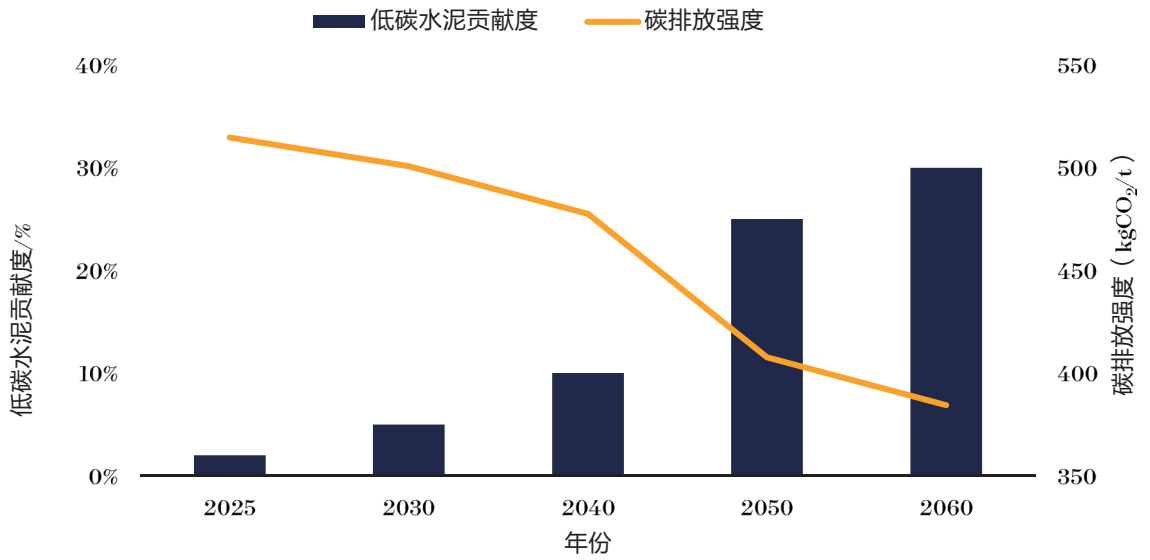


图5-3 水泥行业低碳水泥技术贡献度预测

5.4 能效提升减碳预测

根据国家发展改革委等部门《水泥行业节能降碳专项行动计划》[15]要求，参考麦肯锡《“中国加速迈向碳中和”水泥篇：水泥行业碳减排路径》[16]，本报告预测了2025-2060年我国水泥行业能效提升率（见表5-4），预计2060年，能效提升可使水泥行业碳排放强度减少约10kgCO_2/t（见图5-4）。

表5-4 能效提升率预测					
年份	2025	2030	2040	2050	2060
能效提升率	3.7%	5.0%	10.0%	14%	16.5%

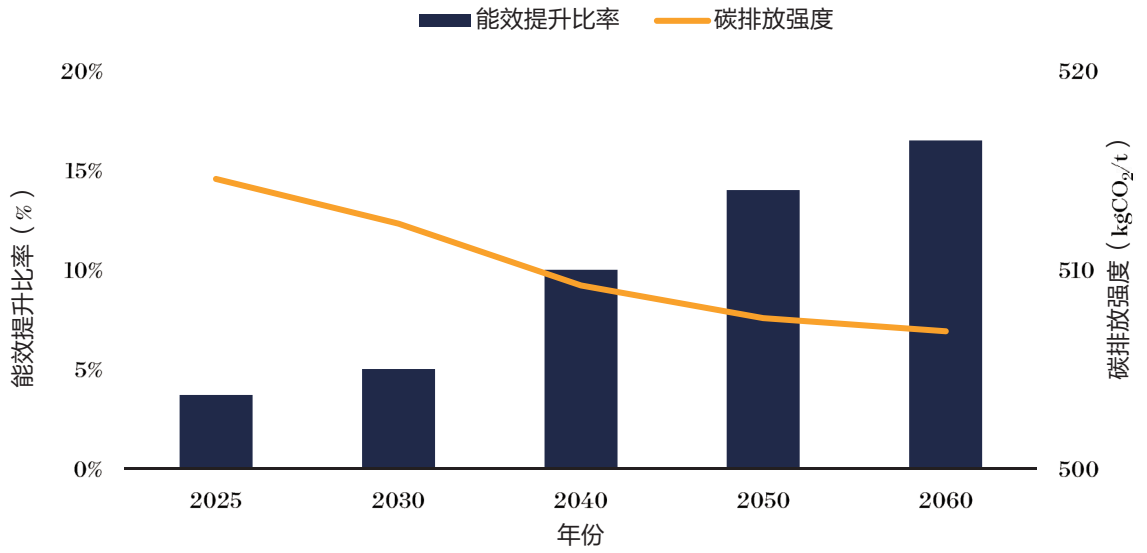


图5-4 水泥行业能效提升技术贡献度预测

5.5 CCUS需求预测

通过上述四种减碳技术措施的综合作用，报告预测了2025-2060年我国水泥行业平均碳排放强度（见图5-5）。预计到2060年水泥碳排放强度将下降至269kgCO_2/t，下降约48%。因此，水泥行业要在2060年实现碳中和，剩余的碳排放量（约占52%）将需要CCUS技术作为兜底技术来实现碳中和。

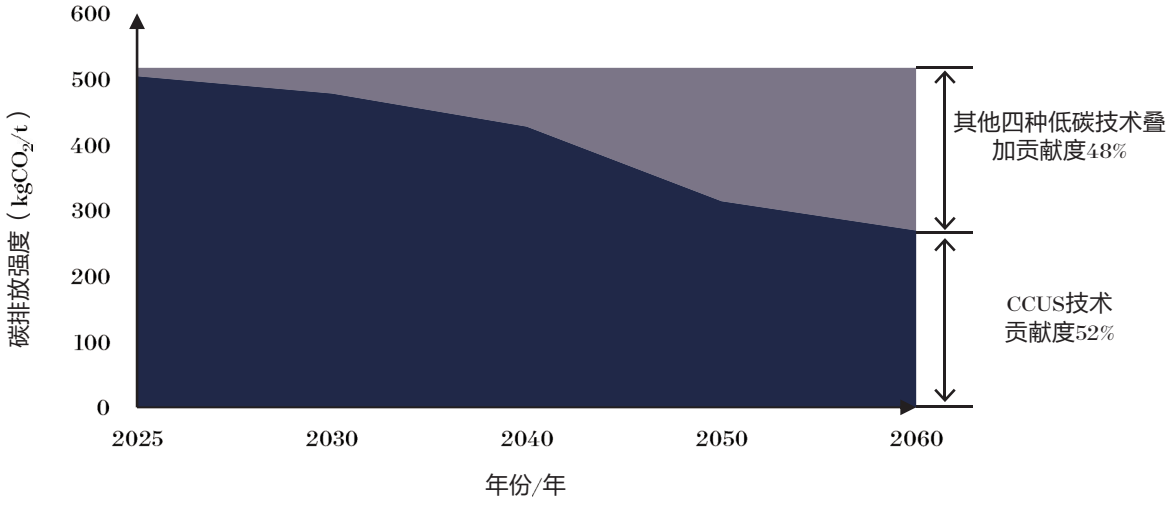


图5-5 CCUS技术对水泥行业实现碳中和目标的贡献度

第六章

水泥行业CCUS技术应用与推广建议

一是制定我国CCUS顶层发展规划。充分考虑碳中和目标下的各行业的碳排放特征和产业布局，全面系统地评估建材、钢铁、有色金属、石化化工等重点碳排放行业对CCUS技术的减排需求，明确面向碳中和目标的CCUS发展方向。结合源汇匹配地理位置，统筹考虑全局最优成本和封存经济性，在国家层面统一规划布局CCUS基础设施建设，加大投资力度与建设规模，建立基础设施的合作共享机制，推动各行业CCUS商业模式的发展。

建议专栏

碳运输管网规划可从封存汇点到碳捕集点源反向思考，统筹考虑全局最优成本和封存经济性。针对碳运输管网问题，以往的研究主要从碳捕集点源到封存汇点的角度进行评估。然而，在碳中和视角下，需要在减排量、运输距离的基础上统筹考虑全局最优成本，因此现在要反向思考，从汇点到点源进行规划。250公里运输距离是不需要对二氧化碳运输再进行中转增压的最长距离，管道建设成本比较低，可作为源汇匹配分析中的最大距离限值。因此在进行管网规划时，应统筹考虑不同点源和汇点之间的封存经济性。

二是建立健全CCUS项目建设管理体系。CCUS涉及的行业范围广泛，项目建设审批通常需要多个政府主管部门的参与。例如，碳捕集涉及不同碳源的工业领域，碳利用则涉及化工、生物、建材、食品等多个行业，碳封存则涉及运输以及地质领域，因此建立全产业链的CCUS项目面临复杂的审批要求和额外的管理难度。未来，在国家层面应建立健全适配的CCUS项目建设管理体系，能够有效解决跨部门、跨行业、跨领域的协调问题，提高CCUS项目建设和运营的效率与质量，推动CCUS项目的快速发展，并促成CCUS产业集群的形成。

建议专栏

对CCUS项目开辟绿色通道。目前CCUS项目在《国民经济行业分类》并没有明确的分类，仅是在“工程和技术研究和试验发展”中提及“碳捕集、利用与封存技术研发”，而且《危险化学品目录》（2022调整版）将二氧化碳（压缩的或液化的）列为危险化学品。在我国，新建、改建、扩建生产、储存危险化学品的建设项目需要符合《危险化学品安全管理条例》，有严格的安全条件审查要求。国务院办公厅《关于印发危险化学品安全综合治理方案的通知》（国办发〔2016〕88号）要求，督促地方严格执行禁止在化工园区外新建或扩建危险化学品生产项目的规定。因此，水泥企业在规划建设碳捕集项目时，在行政审批中存在程序复杂、流程较多、协调困难的情况。为此，建议在《国民经济行业分类》中进一步明确CCUS项目行业类别，并推动落实工信部等六部门《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》（工信部原联〔2022〕34号）关于新建危险化学品生产项目必须进入一般或较低安全风险的化工园区（与其他行业生产装置配套建设的项目除外）的要求，即明确水泥企业规划建设碳捕集项目无需进入化工园区。

三是加强水泥CCUS标准顶层设计。建议组建CCUS标准化技术组织，统筹规范标准的编制，避免重复工作和多头制定现象。进一步研究细化水泥领域的CCUS标准体系。在CCUS关键技术、碳捕集与封存的计量和监测设备、工程建设等领域编制一批重点标准；积极跟踪国际技术发展，参与国际标准化活动，开展标准外文版制定，推进中国标准和中国技术走出去。

四是促进CCUS项目与碳市场的科学衔接。碳市场作为重要的市场化减排机制，通过碳交易可以实现资源的优化配置、引导资金流动和促进环境政策的制定，从而推动CCUS技术的发展。目前，亟需制定科学的水泥行业CCUS碳减排核算方法，明确CCUS产业链中各环节的碳转移责任分配，并在利用和封存环节制定有效的碳减排量计算方法，确保数据的可溯性和可验证性。完善优化相关法律法规，制定科学合理的CCUS建设、运营、监管及终止等管理制度。

研究CCUS的优先领域，分阶段推动不同行业的CCUS项目纳入碳市场。根据不同行业的碳排放特性、减排路径以及CCUS减排的必要性，逐步分阶段分行业引入碳交易市场。由于水泥产品的生产过程中存在不可避免的工艺排放，且替代性较低，相较于其他行业，水泥行业有必要率先纳入碳市场，通过碳市场的驱动，加速CCUS技术的发展和应用。

五是提高CCUS建设各阶段资金支持。进一步细化CCUS项目的资金支持模式和路径：在项目建设阶段，按照项目规模提供启动资金支持，以激发社会资金

对CCUS项目的投资；在运行阶段，探索建立CCUS项目财税支持政策，例如给予每吨CO_2相应的税收抵免；对利用CCUS实现减碳的产品提供相应的税收优惠，或在政府采购层面提高利用CCUS实现减碳的产品采购比例；建立CCUS基础设施建设专项资金，引导上下游企业建设工业集群和运输设施，推动CCUS产业集群化、规模化、商业化发展。

六是提高CCUS项目融资能力。在国家层面建立CCUS绿色金融平台或工作机制，进一步加强和促进金融界对CCUS技术产业界的了解与合作，不断增强各金融机构对CCUS项目投融资的信心，根据CCUS技术和项目特点，为水泥企业提供多元化的投融资支持方式，在贷款融资方面给予支持和优惠。

七是加强国际合作。深化国际交流，积极参与相关议题下的多边机制，分享中国经验与实践，主动搭建多边合作平台，推动技术交流与知识共享，加速CCUS技术的研发和规模化应用。加强资金、技术和人才的协作，通过联合开展试点项目与技术示范，促进创新成果的转化与推广，进一步降低技术应用成本。

附表

我国CCUS主要政策文件

发布部门	文件名称	主要内容	发布时间
生态环境部	《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》	有序推动规模化、全链条二氧化碳捕集、利用和封存示范工程建设。	2021年1月
国务院	《加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	开展二氧化碳捕集、利用和封存试验示范。	2021年2月
中国人民银行、发展改革委与证监会	《绿色债券支持项目目录（2021年版）》	明确了绿色债券支持CCUS工程建设和运营。	2021年4月
中共中央 国务院	《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》	推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用……加大对碳捕集利用与封存等项目的支持力度。	2021年9月
中共中央 国务院	《国家标准化发展纲要》	制定生态碳汇、碳捕集利用与封存标准。	2021年10月
国务院	《2030年前碳达峰行动方案》	聚焦二氧化碳捕集利用与封存等重点，深化应用基础研究。建设全流程、集成化、规模化二氧化碳捕集利用与封存示范项目。	2021年10月
国家标准化管理委员会等十部门	《“十四五”推动高质量发展的国家标准体系建设规划》	完善碳捕集利用与封存、低碳技术评价等标准，发挥标准对低碳前沿技术的引领和规范作用。	2021年12月
工业和信息化部	《“十四五”工业绿色发展规划》	探索低成本二氧化碳捕集、资源化转化利用、封存等主动降碳路径。 发挥中央企业、大型企业集团示范引领作用，在主要碳排放行业以及绿色氢能与可再生能源应用、新型储能、碳捕集利用与封存等领域，实施一批降碳效果突出、带动性强的重大工程。	2021年12月
生态环境部等九部门	《气候投融资试点工作方案》	支持开展碳捕集、利用与封存试点示范。	2021年12月
财政部	《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》	加强对低碳零碳负碳、节能环保等绿色技术研发和推广应用的支持。	2022年5月
科技部、国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部等九部门	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案2022—2030年》	聚焦新能源开发、二氧化碳捕集利用、前沿储能等重点方向基础研究最新突破，加快培育颠覆性技术创新路径。 完善CCUS等前沿低碳零碳负碳技术标准，加快构建低碳零碳负碳技术标准体系。	2022年6月

发布部门	文件名称	主要内容	发布时间
工业和信息化部、国家发展改革委、生态环境部	《工业领域碳达峰实施方案》	突破推广一批碳捕集利用封存等关键核心技术，在建材行业实现窑炉碳捕集利用封存技术产业化示范。	2022年7月
市场监管总局、国家发展改革委、工业和信息化部等九部门	《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》	碳捕集利用与封存（CCUS）等关键技术标准与科技研发、示范推广协同推进；碳清除标准为固碳、碳汇、碳捕集利用与封存等提供支撑。加快生态系统固碳和增汇、碳捕集利用与封存、直接空气碳捕集（DAC）等碳清除技术标准研制。	2022年10月
工业和信息化部、国家发展和改革委员会等四部门	《建材行业碳达峰实施方案》	加快突破建材窑炉碳捕集、利用与封存技术，加强与二氧化碳化学利用、地质利用和生物利用产业链的协同合作，建设一批标杆引领项目；2030年前实现窑炉碳捕集、利用与封存技术的产业化应用。	2022年11月
国家标准化管理委员会等十一部门	《碳达峰碳中和标准体系建设指南》	将碳捕集利用与封存标准和直接空气碳捕集和储存标准作为标准重点建设内容。	2023年4月
工业和信息化部	《工业领域碳达峰碳中和标准体系建设指南》	重点制定工业领域二氧化碳捕集、分离、资源化利用、封存等技术与装备标准。	2024年2月

宜业尚品 造福人类——
我国建筑材料行业发展目标诠释

中国建筑材料联合会

1. “宜业尚品、造福人类”建筑材料行业发展目标是时代进步发展的客观要求（提出背景）

建筑材料行业是一个古老而又不断创新发展的行业，伴随着人类文明的产生而发展，伴随着人类科技的进步而成长，为人类社会的进步发展作出了不可替代的贡献，是人类文明史的重要组成部分。

今天的建筑材料行业正面临新的形势和任务。一方面，具有资源能源依赖型天然属性的建筑材料产业在获得长足发展、取得巨大成就的同时，与人类社会进步、与环境相容的要求也在日益提升；另一方面，伴随着技术创新步伐的不断加快，新材料、新产品、新工艺的不断涌现，产品功能性能的不断优化，建筑材料工业已经并正在改变世人的传统认知，向着科技型和环保型产业方向转型，为更好地服务社会、更好地满足人们对美好生活的向往提供了更多的可能。

因此，无论从深入贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，积极践行“人类命运共同体”理念，落实建筑材料行业提前实现“碳达峰、碳中和”目标，推进安全发展高质量发展的高度出发，还是从成为对人类、对国家、对社会、对职工负责任行业的要求来看，建筑材料行业都必须树立发展新目标、新理念，加快转变发展方式，践行“宜业尚品、造福人类”行业发展目标，以适应时代进步发展的要求，为人类造福，为社会进步作贡献。

2. “宜业尚品、造福人类”发展目标充分体现了建筑材料行业发展价值观和发展理念的新变化（深刻内涵）

“宜业尚品、造福人类”目标，突出了建材人的价值追求，体现了天人合一观念，彰显了使命意识和责任担当，深刻回答了建筑材料行业为什么发展、为谁发展、应该怎么发展的历史之问、时代之问。这一目标植根于“人类命运共同

体”构想，萌生于发展理念的变革，建立在技术进步与创新驱动的基础上，具有动态、发展、创新、人文的特征。

“宜业尚品”是发展要求，“造福人类”是发展目的。

“宜业”，界定的是建筑材料行业发展与环境、员工、社会、国家、时代等五个维度的关系。

宜业，就是指建筑材料行业要成为环境友好的、员工满意的、社会信赖的、国家需要的、与时俱进的行业。

进一步讲，宜业就是行业发展要符合绿色生态要求，符合人本理念要求，符合安全高质量可持续发展要求，符合社会文明要求，符合国家发展大局要求，符合时代进步要求。

“尚品”，界定的是建筑材料产品在技术、质量、环保、市场、文明等五个方面需要具备的特征。

尚品，就是指建筑材料产品要与技术迭代同步，与标准提升吻合，与生态环境相容，与市场需求相配，与文明发展相伴。

进一步讲，尚品就是建筑材料产品要做到技术先进、性能优异，要做到质量上乘、安全可靠，要做到节能环保、绿色低碳，要做到经济合理、市场认可，要不断满足文明发展中人们对舒适、美观、时尚、可靠等的品质需求、不断满足人们对美好生活的向往与追求。

“造福人类”，界定的是建筑材料行业发展的终极目的，体现了建筑材料行业的价值观，确立了我国建筑材料行业服务国内国外两个市场、为人类造福的全球化定位。

“造福人类”要求我国建筑材料行业要站在实现中华民族伟大复兴中国梦的高度，站在构建人类命运共同体的高度，着眼国内国外两个市场，从价值观上衡量行业与企业的发展和贡献，更多地关注行业与企业发展对社会进步的促进作用、对人类文明发展进步的促进作用，更多关注职工、用户、社会和人类未来发展的需要，充分发挥行业科技进步潜力大的优势，充分发挥行业资源综合利用效能高的优势，通过创造、创新为人类社会提供更多、更新、更美、更适用、更安全、更健康的产品，通过新技术、新装备、新产品、新应用、新服务改善人类的生产生活方式，提升人民福祉，为人类文明进步作出开创性的贡献。

参考文献

[1] 中国建筑材料工业碳排放报告（2020年度）[R].中国建筑材料联合会,2021.

[2] 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.

[3] 中国二氧化碳捕集利用与封存年度报告（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.

[4] 2022全球CCUS技术及应用专题报告[R].DeepTech深科技.

[5] 王静等.碳捕获、利用与封存（CCUS）技术发展现状及应用展望[J].中国环境科学研究院.

[6] IPCC特别报告——二氧化碳捕获和封存[R].政府间气候变化专门委员会（IPCC）第三工作组.

[7] 彭雪婷,吕昊东,张贤.IPCC AR6报告解读：全球碳捕集利用与封存（CCUS）技术发展评估[J].气候变化研究进展,2022,18(05):580-590.

[8] 中国区域二氧化碳地质封存经济可行性研究——中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2024）[R]. 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心等,2024.

[9] 2024年全球及中国碳捕集利用与封存（CCUS）行业全景调研及发展趋势分析报告[R].智研咨询,2024.

[10] GB/T 22900-2022《科学技术研究项目评价通则》[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2022.

[11] 金伟晨.技术成熟度模型建立及其海工应用[J].船舶物资与市场,2019,(09):11-16.

[12] 水泥行业碳减排技术指南[R].中国建筑材料联合会,中建材联行发〔2022〕105号,2022.

[13] 何捷等.中国水泥行业碳中和路径研究[R].中国建筑材料科学研究总院有限公司.

[14] 郅晓,安晓鹏,闫浩春,等.建材行业碳减排技术路径研究[C]//中国企业改革与发展研究会,中国企业改革50人论坛.中国企业改革发展优秀成果2021（第五届）下卷.中国建材集团有限公司科技部,2020:20.DOI:10.26914/c.cnkihy.2020.074147.

[15] 中国,《水泥行业节能降碳专项行动计划》,国家发展改革委等部门,2024.

[16] “中国加速迈向碳中和”水泥篇：水泥行业碳减排路径[R].麦肯锡,2021.