

2021年03月20日

环保及公用事业

# 碳中和系列报告三：从负排放技术中把握碳中和投资机会，CCUS 或成可持续发展重要手段

■ **碳中和成两会热点议题，长期聚焦相关领域。**2020年9月，中国宣布了“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”的目标。2021年2月22日，国务院发布了《国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，其中提到了以节能环保、清洁生产、清洁能源等为重点率先突破，做好与农业、制造业、服务业和信息技术的融合发展，全面带动一二三产业和基础设施绿色升级。于3月5日召开的第十三届全国人民代表大会第四次会议中，国务院总理李克强提到去年坚决打好三大攻坚战，主要目标任务如期完成，同时提出“十四五”期间加强污染防治和生态建设，持续改善环境质量，巩固蓝天、碧水、净土保卫战成果，促进生产生活方式绿色转型等目标。碳达峰、碳中和成为两会热点议题，较长时间获得广泛关注。

■ **碳中和目标是整体经济的挑战，只有通过大规模减少各经济部门（包括建筑、工业、交通、电力、炼油、农业、林业）的排放量，才可能将中国的二氧化碳排放量降至为零。**每个部门都将面临自己的挑战和机遇，都需减少碳排放和碳足迹，以尽可能提前实现碳中和。我国碳中和目标的实现，意味着需要快速大规模地推广低碳能源，根据能源基金会中国碳中和综合报告中研究发现，要达到1.5℃的温控目标，低碳能源在一次能源消费总量中的占比，应从2015年约6%增加到2035年的35-65%，以及2050年的70-85%。这些脱碳战略的实施还将导致建筑、工业和交通领域使用的能源载体发生变化。所有脱碳战略的根本在于各部门逐步淘汰未采用CCUS技术的煤炭使用。这表示电力和工业部门将首当其冲，因为目前煤炭占据了这些部门燃料供给的很大比例。

■ **负排放技术不可或缺，这些负排放技术也是实现碳中和的关键**

**八种负排放技术：**根据The Conservation网站整理出现有造林/再造林、生物炭、生物质能源+CO<sub>2</sub>捕获和储存、直接从空气中捕捉、强化风化（矿物碳化）、改良农业种植方式、海洋（铁）施肥和海洋碱性共计8类负排放技术。

**碳汇造林：**林业碳汇是重要的碳汇吸收方式。我国的碳汇能力逐步提升，根据《自然》期刊，2010-2016年我国陆地生态系统年均吸收约11.1亿吨碳，吸收了同时期人为碳排放的45%，林业碳汇在碳中和愿景中扮演重要角色，将助力我国实现碳中和目标。

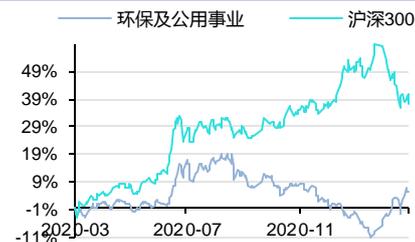
## 行业深度分析

证券研究报告

投资评级 **领先大市-A**  
维持评级

首选股票 目标价 评级

### 行业表现



资料来源：Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	2.18	10.60	-6.22
绝对收益	-11.17	10.75	30.84

邵琳琳

分析师

SAC 执业证书编号：S1450513080002  
shaoll@essence.com.cn  
021-35082107

汪磊

报告联系人

wanglei4@essence.com.cn

### 相关报告

- 碳中和深度之二：CCER，从方法学上把握碳交易市场机会 2021-03-15
- 十四五规划远景目标纲新鲜出炉，绿色发展加大力度 2021-03-14
- 碳中和成两会热点议题，各地制定行动方案 2021-03-14
- 碳中和大趋势下，环保公用板块再迎良机 2021-03-08
- 环保治理力度加强，碳中和热度持续 2021-03-07

**生物质能源：**储量丰富，装机容量持续增长。生物质能源是唯一一种可以以气态、液态或者是固态使用的可再生能源，而且在全球呈现普遍性、能源价值高、可获取性强等特性。生物质主要包括木质素、农林废弃物、畜禽粪便、生活垃圾等，有发电、供热、制气、制油、制生物质碳等综合利用模式，非常多元可实现。生物质能多元化产业都取得了长足发展，尤其是以热电联产为主要供能模式的生物质发电，已经形成了非常完整且成熟的产业链。根据《我国生物质经济发展战略研究》，我国作为农业大国，生物质资源丰富，每年可产生农林生物质资源约 39.79 亿吨，其中可能源化利用部分达 3.26 亿吨，占比约 8.2%。

**CCUS：**作为新兴技术引起重视，将成可持续发展重要手段。二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）是指将二氧化碳从排放源中分离后或直接加以利用或封存，以实现二氧化碳减排的工业过程。作为一项有望实现化石能源大规模低碳利用的新兴技术，CCUS 是未来减少二氧化碳排放、保障能源安全和实现可持续发展的重要手段。根据 Global CCS Institute，2019 年全球大型 CCUS 项目数量增加到 51 个，其中 19 个项目已经运行，4 个项目在建，其他 28 个项目还处于设计或开发阶段。过去的十年，全球 CCUS 运营的数量在不断增加。2019 年全球 CO<sub>2</sub> 捕集和封存量已经接近 100Mtpa。根据中国二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）报告（2019），国内共开展了 9 个纯捕集示范项目、12 个地质利用与封存项目，其中包含 10 个全流程示范项目。除此之外，国内还开展了数十个化工、生物利用项目。2019 年我国共有 18 个捕集项目在运行，二氧化碳捕集量约 170 万吨；12 个地质利用项目运行中，地质利用量约 100 万吨；化工利用量约 25 万吨、生物利用量约 6 万吨。

■**投资建议：**碳中和将带来各行业产业和基础设施绿色升级，节能环保、清洁生产、清洁能源是大势所趋，负排放技术不可或缺，建议重点关注林业碳汇、园林生态优质标的【绿茵生态】；生物质能源发电领域的【维尔利】；垃圾焚烧领域建议关注【瀚蓝环境】【上海环境】；CCUS 相关领域的监测设备公司【雪迪龙】【先河环保】；清洁能源中风电领域优质的风电运营企业标的【节能风电】和光伏领域中主营光伏电站运营的标的【太阳能】。

■**风险提示：**绿色经济领域的相关技术发展不及预期，项目推进进度不及预期，竞争加剧，碳交易收益不及预期

## 内容目录

1. 碳中和是高质量增长与发展基础，绿色、低碳、循环势必加大力度.....	5
1.1. 碳中和成两会热点议题，长期聚焦相关领域.....	5
1.2. 各部门脱碳战略展望.....	6
2. 负排放技术不可或缺，CCUS 引发广泛关注.....	8
2.1. 技术创新是实现碳中和关键.....	8
2.2. 碳汇造林传统手段潜力巨大，看好碳汇项目交易.....	10
2.3. 生物质能源储量丰富，利用模式多元化，开启可替代空间.....	11
2.4. CCUS 作为新兴技术引起重视，将成可持续发展重要手段.....	14
2.4.1. CCUS 将成为可持续发展重要途径.....	14
2.4.2. CCUS 发展现状.....	14
2.4.3. 我国 CCUS 发展及机遇.....	17
3. 投资机会.....	20
3.1. 林业碳汇：绿茵生态.....	20
3.2. 湿垃圾龙头：维尔利.....	21
3.3. 垃圾焚烧：瀚蓝环境.....	21
3.4. 垃圾焚烧：上海环境.....	22
3.5. 排放监测：雪迪龙.....	22
3.6. 排放监测：先河环保.....	22
3.7. 风电运营：节能风电.....	23
3.8. 光伏运营：太阳能.....	23

## 图表目录

图 1：我国的新增长战略与碳中和愿景.....	5
图 2：2018 年我国各部门二氧化碳排放量.....	6
图 3：2019 年我国发电能源耗用结构.....	6
图 4：1.5°C 情景下的一次能源.....	7
图 5：2011-2019 年森林储积量和森林覆盖率（亿立方米，%）.....	10
图 6：生态修复分类.....	11
图 7：生态修复行业市场规模.....	11
图 8：2008~2017 全球生物质发电装机容量.....	12
图 9：生物质发电产业全景图谱.....	12
图 10：我国生物质发电投资及项目情况.....	13
图 11：截至 2020 年 9 月底各生物质发电新增/累计装机及占比（单位：万千瓦，%）.....	13
图 12：2020 年前三季度各生物质发电量及占比（单位：万千瓦，%）.....	13
图 13：各方式在 CO <sub>2</sub> 减排中占比.....	14
图 14：CCUS 技术流程及分类示意.....	15
图 15：CCUS 全球项目分部.....	16
图 16：2010 年-2019 年全球 CO <sub>2</sub> 捕捉和储存情况.....	17
图 17：我国 CCUS 项目分布.....	17
图 18：2019 年我国 CCUS 项目统计.....	17
图 19：我国二氧化碳捕集示范项目主要分布.....	18
图 20：我国二氧化碳捕集项目数量的工业分布.....	18
图 21：我国二氧化碳地质利用和封存工程项目分布.....	18

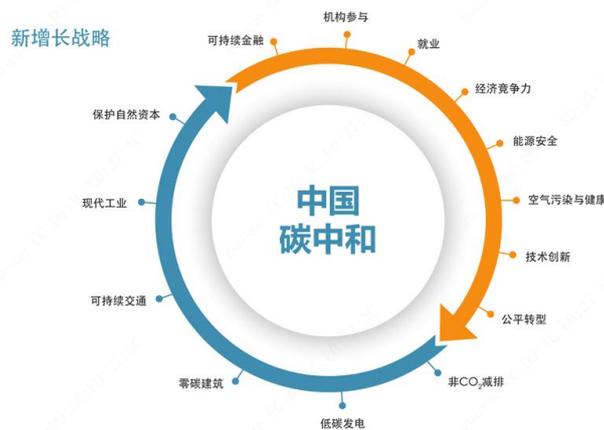
图 22: 二氧化碳年注入量与石油年产量.....	18
图 23: 我国 ECBM 先导/示范试验.....	19
图 24: 国家能源集团(神华)咸水层封存全流程示意图.....	19
图 25: 我国典型 CCUS 项目成本.....	19
图 26: 我国 CCUS 技术发展阶段示意图.....	20
表 1: 国内近期碳中和重大事件.....	5
表 2: 相对于 2015 年不同模型下各部门二氧化碳减排量.....	7
表 3: 我国实现碳中和的减排措施.....	7
表 4: 各部门实现碳中和路径.....	7
表 5: 负排放技术汇总.....	8
表 6: 美国负排放技术的研究计划和预算.....	9
表 7: 我国生物质资源量汇总表.....	14
表 8: CCUS 主要过程和技术环节.....	15
表 9: CCUS 捕集方式比较.....	15
表 10: CCUS 运输方式比较.....	16
表 11: CCUS 封存方式比较.....	16
表 12: 2019 年全球主要国家 CCUS 项目与封存量.....	17
表 13: 我国 CO <sub>2</sub> 捕集技术现状.....	18

## 1. 碳中和是高质量增长与发展基础，绿色、低碳、循环势必加大力度

### 1.1. 碳中和成两会热点议题，长期聚焦相关领域

大力发展绿色生产生活方式，全方位改善生态环境。我国提出在 2060 年前实现碳中和的愿景，不仅展现我国在全球气候治理领域发挥领导作用的决心，也将为我国在瞬息万变的全球背景下实现经济增长和普惠繁荣奠定基础。由 2060 年碳中和愿景所引领的一系列转型工作，将提升中国在新兴的绿色经济领域的领导地位和竞争力，为结构性工业改革提供支持，逐步淘汰高污染能源与行业，加强能源安全，在持续显著提升人民健康和福祉的同时，全方位改善生态环境。

图 1：我国的新增长战略与碳中和愿景



资料来源：能源基金会，安信证券研究中心

“碳中和”成两会热点议题，较长时间获得广泛关注。2020 年 9 月，中国宣布了“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”的目标。2021 年 2 月 22 日，国务院发布了《国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，其中提到了以节能环保、清洁生产、清洁能源等为重点率先突破，做好与农业、制造业、服务业和信息技术的融合发展，全面带动一二三产业和基础设施绿色升级。于 3 月 5 日召开的第十三届全国人民代表大会第四次会议中，国务院总理李克强提到去年坚决打好三大攻坚战，主要目标任务如期完成，同时提出“十四五”期间加强污染防治和生态建设，持续改善环境质量，巩固蓝天、碧水、净土保卫战成果，促进生产生活方式绿色转型等目标。碳达峰、碳中和成为两会热点议题，较长时间获得广泛关注。

表 1：国内近期碳中和重大事件

时间	事件	主要内容
2020/9/22	第 75 届联合国大会一般性辩论	中国力争二氧化碳排放 2030 年前达到峰值、2060 年前实现碳中和，向国际社会作出庄严承诺
2020/9/29	生态环境部召开部常务会议：抓紧编制《二氧化碳排放达峰行动计划》	明确地方和重点行业的达峰目标路线图、行动方案和配套措施
2020/9/30	生态环境部编制实施《“十四五”应对气候变化专项规划》	提出与新达峰目标相衔接的二氧化碳排放降低目标，推送经济绿色低碳高质量发展，加快能源结构绿色低碳转型
2020/10/13	生态环境部与《联合国气候变化框架公约》秘书处执行秘书进行视频会谈	将设计与中长期目标和愿景相衔接、有力度的气候目标，并纳入“十四五”规划予以落实，编制本世纪中叶长期温室气体低排放发展战略，并结合全国碳市场建设、低碳试点示范、气候投融资试点、国家适应气候变化战略等工作重点
2020/11/17	金砖国家领导人第十二次会晤	中国愿承担与自身发展水平相称的国际责任，继续为对应气候变化付出艰苦努力。重申二氧化碳力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和，并表示中国说到做到
2020/12/30	生态环境部印发《2019-2020 年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案（发电行业）》（征求意见稿）	根据排放单位 2019-2020 年实际产出量、配额分配方法、碳排放基准值核定配额数量，加总确定全国配额总量；2013-2018 年任一年排放达到 2.6 万吨二氧化碳当量及以上的企业或组织筛选纳入 2019-2020 年配额管理重点排放单位名单，实行名录管理

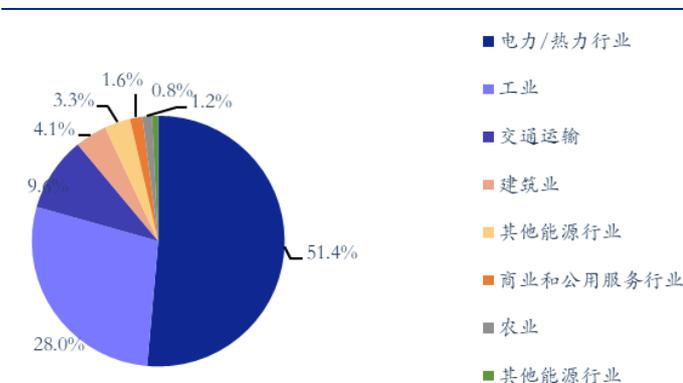
	意见稿)	
2020/12/30	生态环境部印发《纳入 2019-2020 年全国碳排放权交易配额管理的重点排放名单》	2019-2020 年全国碳市场纳入发电行业重点排放单位共计 2267 家
2021/1/5	生态环境部发布《碳排放权交易管理办法（试行）》	明确将建设全国碳排放权交易市场，并对于碳排放交易中配额分配及交易等内容做出详细规定；明确可再生能源属于 CCER（国家核证自愿减排量），可对其“温室气体减排效果进行量化核证”后，用于重点排放单位“抵销碳排放配额的清缴”
2021/1/9	生态环境部印发《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》	指出实施二氧化碳排放强度和总量“双控”，确定和分解达峰、中和目标、制定达峰实施方案和配套措施将成为地方首要任务
2021/1/26	首届气候适应峰会	中国正在编制《国家适应气候变化战略 2035》，将进一步强化国内适应气候变化工作，全面提高气候风险抵御能力
2021/2/22	国务院发布《国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	到 2025 年，产业结构、能源结构、运输结构明显优化，绿色产业比重显著提升，基础设施绿色化水平不断提高，清洁生产水平持续提高，生产生活方式绿色转型成效显著，能源资源配置更加合理、利用效率大幅提高，主要污染物排放总量持续减少，碳排放强度明显降低，生态环境持续改善，市场导向的绿色技术创新体系更加完善，法律法规政策体系更加有效，绿色低碳循环发展的生产体系、流通体系、消费体系初步形成。到 2035 年，绿色发展内生动力显著增强，绿色产业规模迈上新台阶，重点行业、重点产品能源资源利用效率达到国际先进水平，广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现。
2021/3/5	第十三届全国人民代表大会第四次会议	国务院总理李克强作 2021 年政府工作报告，其中提到去年坚决打好三大攻坚战，主要目标任务如期完成，同时提出“十四五”期间加强污染防治和生态建设，持续改善环境质量，巩固蓝天、碧水、净土保卫战成果，促进生产生活方式绿色转型等目标
2021/3/12	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》对外发布	第十一篇重点提出推动绿色发展、促进人与自然和谐共生，明确要提升生态系统质量和稳定性、持续改善环境质量、加快发展方式绿色转型等内容

资料来源：公开资料整理，安信证券研究中心

## 1.2. 各部门脱碳战略展望

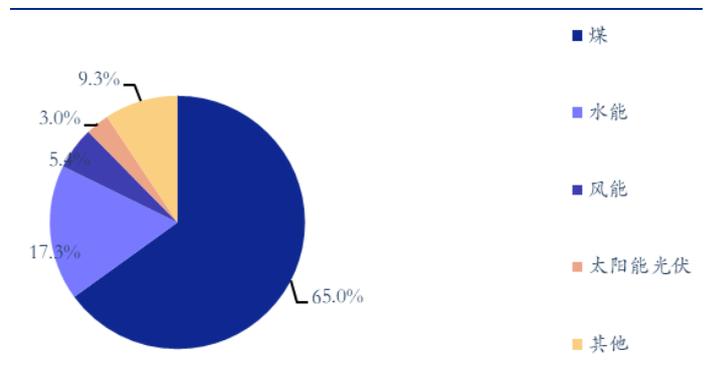
根据 IEA 数据，从行业结构上看，2018 年我国二氧化碳排放主要源自于电力/热力生产业（占比 51%）、工业（占比 28%）和交通运输业（占比 10%），三者合计占比 89%；目前我国发电仍主要以燃煤为主（2019 年占比 65%）；交通运输业则主要依靠汽油/柴油燃烧提供动力，新能源车渗透率不足 5%；而工业高能耗产品的制造过程中，煤、原油、天然气仍是主要动力来源。所以 2060 年我国碳中和愿景的实现颇具挑战，需要我国在制定强劲的长期战略的同时，有效识别电力、工业、交通、建筑、农业、林业等关键领域的碳减排和碳足迹，从政策、金融和技术等多角度实现跨行业合作。

图 2：2018 年我国各部门二氧化碳排放量



资料来源：国际能源署，安信证券研究中心

图 3：2019 年我国发电能源耗用结构



资料来源：国际能源署，安信证券研究中心

碳中和目标是整体经济的挑战，只有通过大规模减少各经济部门（包括建筑、工业、交通、电力、炼油、农业、林业）的排放量，才可能将中国的二氧化碳排放量降至为零。根据

能源基金会中国碳中和综合报告中，相对于 2015 年不同模型下各部门二氧化碳减排量如表 2 所示。每个部门都将面临自己的挑战和机遇，都需减少碳排放和碳足迹，以尽可能提前实现碳中和。但减排技术发展日新月异，几十年后的减排机会可能与今天截然不同。

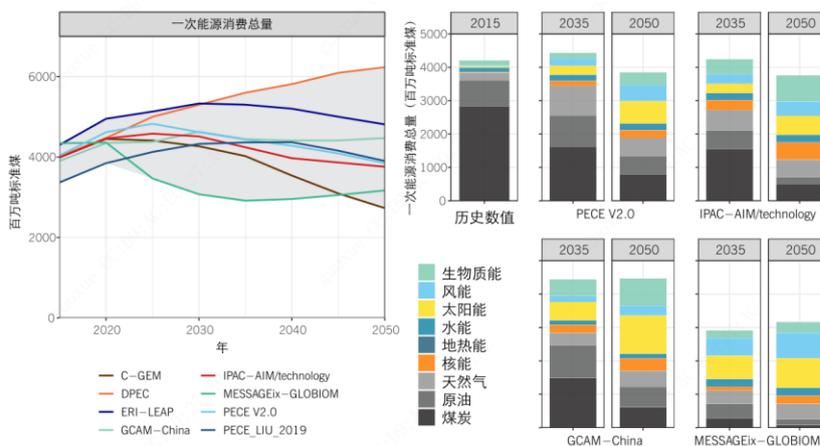
表 2：相对于 2015 年不同模型下各部门二氧化碳减排量

部门	2035 年		2050 年	
	1.5°C	2°C	1.5°C	2°C
电力	20%-60%	0%-45%	100%-120%	80%-100%
建筑	0%-70%	0%-50%	50%-95%	20%-80%
工业	30%-70%	20%-35%	75%-95%	50%-80%
交通	-45%-25%	-60%-5%	40%-90%	25%-65%

资料来源：能源基金会，安信证券研究中心

我国碳中和目标的实现，意味着需要快速大规模地推广低碳能源，根据能源基金会中国碳中和综合报告中研究发现，要达到 1.5°C 的温控目标，低碳能源在一次能源消费总量中的占比，应从 2015 年约 6% 增加到 2035 年的 35-65%，以及 2050 年的 70-85%。这些脱碳战略的实施还将导致建筑、工业和交通领域使用的能源载体发生变化。所有脱碳战略的根本在于各部门逐步淘汰未采用 CCUS 技术的煤炭使用。这表示电力和工业部门将首当其冲，因为目前煤炭占据了这些部门燃料供给的很大比例。同时能源基金会还设定了各部门不同的侧重点。

图 4：1.5°C 情景下的一次能源



资料来源：能源基金会，安信证券研究中心

表 3：我国实现碳中和的减排措施

部门	可持续需求	低碳发电	电气化	燃料转换	碳封存
电力		✓		✓	✓
建筑	✓	✓	✓	✓	
工业	✓	✓	✓	✓	✓
交通	✓		✓	✓	
农业、林业及其他土地利用	✓				✓

资料来源：能源基金会，安信证券研究中心

表 4：各部门实现碳中和路径

部门	目标	路径
电力	排放量达到峰值并开始快速下降；到 2050 年实现零排放或负排放	所有终端部门快速电气化；到 2040 年或 2045 年，基本淘汰常规燃煤电厂；到 2050 年，可再生能源发电占总发电量的 70%；保留碳捕获、利用与封存 (CCUS) 技

建筑	排放量快速达到峰值,到 2050 年排放比 2015 年减少约 90%	到 2050 年,约 75% 的建筑用能通过电力供应;到 2050 年,中国北方城市的大多数区域供暖系统实现脱碳;通过翻新和/或使用高质量的建筑材料延长建筑使用寿命,降低建筑的隐含能耗;在持续提高生活水平的时候,控制建筑存量的规模
工业	排放量尽快达到峰值,到 2050 年实现在 2015 年基础上减少约 90% 的排放量	限制工业能源需求的总体规模,并降低碳强度;通过能效提高、材料替代和循环经济途径降低能源需求;通过数字化转型以及从化石燃料转向电力,持续提高工业电气化水平;对于难以实现电气化的设施,以绿氢或生物质能替代化石燃料;在产生高浓度 CO <sub>2</sub> 的设施中应用 CCUS
交通	排放量在 2025-2035 年间达到峰值。到 2050 年,排放量相对于 2015 年减少 80%	向低碳能源转型,包括电力、可持续生物燃料和氢能;交通规划实现综合管理,以促进能效提升及低碳交通工具的使用;在基础设施和交通工具中广泛应用大数据、5G、人工智能、区块链和超级计算机等创新技术,推动构建电气化、智能化和共享的交通系统
农业、林业及其他土地利用	非 CO <sub>2</sub> 排放量急剧下降,AFOLU 以碳汇方式抵消排放量	广泛应用技术性(例如:厌氧发酵)和结构性(例如:改进肥料管理)减排方案;转向更健康和对环境影响更小的可持续的饮食习惯;通过持续造林和再造林工作,保持并提高中国的森林碳汇;到 2050 年,中国将在 2015 年基础上增加 3500 万公顷的森林面积

资料来源:能源基金会,安信证券研究中心

## 2. 负排放技术不可或缺, CCUS 引发广泛关注

### 2.1. 技术创新是实现碳中和关键

根据最新发表 IPCC 报告,如果要实现巴黎协定的 1.5°C 温升愿景,负排放技术(Negative emissions technologies)不可或缺,这些负排放技术也是实现碳中和的关键,The Conservation 网站将现有的负排放技术汇总为 8 类。

表 5: 负排放技术汇总

技术	描述	去除 CO <sub>2</sub> 机理	CO <sub>2</sub> 储存媒介
造林/再造林	种树将大气中的碳固定在生物和土壤中	生物	土壤/植物
生物炭	将生物质转化为生物炭并使用生物炭作为土壤改良剂	生物	土壤
生物质能源+CO <sub>2</sub> 捕获和储存	通过植物将空气中的二氧化碳吸收,捕获并贮存生物质能源燃烧产生的二氧化碳	生物	深层地质构造
直接从空气中捕捉	通过工程系统从环境空气中去除 CO <sub>2</sub>	地球化学	岩石
强化风化(矿物碳化)	增强矿物的风化,大气中的 CO <sub>2</sub> 与硅酸盐矿物反应形成碳酸盐岩		
改良农业种植方式	采用免耕农业等方式来增加土壤中的碳储量	生物	土壤
海洋(铁)施肥	施肥海洋以增加生物活动,将碳从大气中吸入海洋	生物	海洋
海洋碱性	通过化学反应向海洋中添加碱度以从大气中吸收碳	化学	海洋

资料来源: The Conservation 网站,碳排放交易网,安信证券研究中心

根据美国国家科学院《负排放技术和可靠的封存:研究议程》报告,为了实现气候和经济增长的目标,从大气中去除和封存二氧化碳的负排放技术将发挥重要作用。目前其中一些负排放技术可以使用,但还需要更多的技术来实现气候目标。其中造林/再造林、森林管理的变化、农业土壤的吸收和储存以及生物能源与碳捕获和封存(BECCS)这 4 种负排放技术已准备好进行大规模部署。这些负排放技术具有中低成本(100 美元/吨 CO<sub>2</sub> 或更低),从目

前的部署来看具有安全扩大的巨大潜力，并提供共同效益。

美国国家科学院发布的《负排放技术和可靠的封存：研究议程》报告表明目前直接成本不超过 100 美元/吨 CO<sub>2</sub> 的负排放技术可以安全地扩大规模以捕集和封存大量的碳，但这些技术每年在美国捕集和封存的碳不到 1Gt CO<sub>2</sub>，在全球低于 10 Gt CO<sub>2</sub>。虽然这些技术捕集和封存的碳水平在美国排放总量（6.5 Gt CO<sub>2</sub> 当量）和全球排放总量（50 Gt CO<sub>2</sub> 当量）中占相当大的比例，但它们可能难以实现，因为这需要采用前所未有的农业土壤保护措施，森林管理实践和废物生物量捕获。如果要实现气候和经济增长目标，负排放技术可能需要在减缓气候变化方面发挥重要作用，到 21 世纪中叶在全球范围内每年去除 10 Gt CO<sub>2</sub>，到 21 世纪末在全球范围内每年去除 20 Gt CO<sub>2</sub>。

同时该报告建议美国应该尽快启动一项实质性的研究计划，以推进负排放技术。大量投资将：①改善现有的负排放技术（即沿海蓝碳、造林/再造林、森林管理的变化、农业土壤的吸收和储存，以及 BECCS），以提高能力并减少其负面影响和成本；②在直接空气捕获和碳矿化技术方面取得迅速进展，这些技术尚未得到充分研究，但如果能够克服高成本和许多未知因素，其能力基本上将无限制；③推进有关生物燃料和碳封存的研究，该研究应作为减排研究组合的一部分进行。

表 6：美国负排放技术的研究计划和预算

负排放技术	研究题目	成本（万美元/年）	时间（年）
沿海	理解和利用海岸生态系统作为负排放技术的基础研究	600	5-10
	绘制当前及未来（即海平面上升后）沿海湿地图	200	20
	用于碳去除和封存的科学和实验工作的沿海站点综合网络	4000	20
	国家海滨湿地数据中心，包括所有恢复和碳去除项目的数据库	200	20
	富碳负排放技术示范项目和现场实验网络	1000	20
	沿海蓝碳项目部署	500	10
造林/再造林、森林管理	监测森林蓄积增加项目	500	≥3
	森林示范项目：增加采伐木材的收集、处置和保存；森林恢复	450	3
造林/再造林、森林管理、BECCS	BECCS 减缓潜力及二次影响的综合评估建模和区域生命周期评估	370-1400	10
森林管理	采伐木材的保存	240	3
	减少传统生物燃料使用的温室气体与社会影响研究	100	3
	关于改善土地所有者对激励和公平响应的社会科学研究	100	3
农业土壤	国家农业土壤监测系统	500	进行中
	改良农业土壤碳过程的实验网络	600-900	≥12
	预测和量化农业土壤碳去除和封存的数据模型平台	500	5
	扩大农业土壤封存活动	200	3
	高碳输入作物表型	4000-5000	20
农业土壤、BECCS	深层土壤碳动态	300-400	5
农业土壤、BECCS	生物炭研究	300	5-10
农业土壤、碳矿化	添加到土壤中的活性矿物	300	10
BECCS	生物质燃料与生物炭	3940-10250	10
直接空气捕获	基础研究与早期技术开发	2000-3000	10
	独立的技术经济分析，第三方材料测试与评估，公共材料数据库	300-500	10
	扩大和测试空气捕获材料和组件	1000-1500	10
	第三方专业工程设计公司协助上述工作，包括独立测试和公共数据库	300-1000	10
	设计、建造和测试先导空气捕获系统（>1000t CO <sub>2</sub> /年）	2000-4000	10
	国家空气捕获试验中心飞行员支持	1000-2000	10
	设计、建造和测试先导空气捕获系统（>10000t CO <sub>2</sub> /年）	10000	10
	国家空气捕获试验中心示范活动	1500-2000	10
	矿化动力学基础研究	550	10
	岩石力学、数值建模和实地研究的基础研究	1700	10

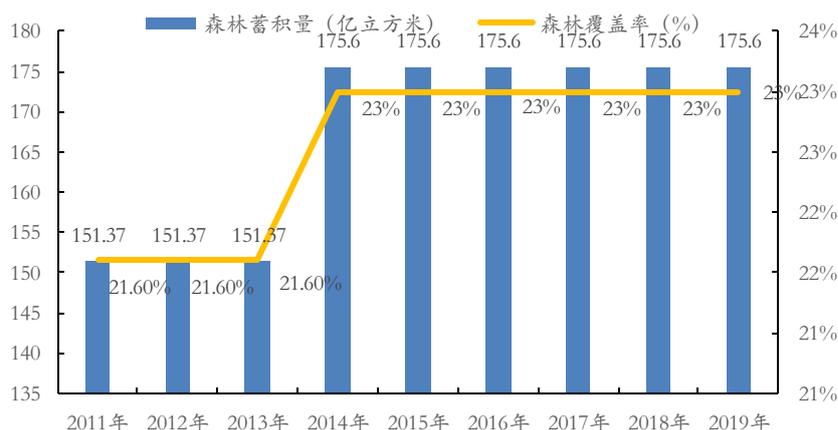
碳矿化	绘制活性矿床和现存尾矿图（试点研究范围）	750	5
	表面（非原位）碳去除试点研究	350	10
	橄榄岩中尺度原位现场试验	1000	10
	开发碳矿化资源数据库	200	5
	研究矿物添加对陆地、沿海和海洋环境以为的环境影响	1000	10
	扩大以二氧化碳去除为目的的开采行业对社会和环境的影响	500	10

资料来源：美国国家科学院《负排放技术和可靠的封存：研究议程》报告，安信证券研究中心

## 2.2. 碳汇造林传统手段潜力巨大，看好碳汇项目交易

碳汇造林有效助力碳减排。碳汇指通过森林、草原、湿地等保护修复措施增加对温室气体的吸收，减缓气候变化。我国大规模国土绿化行动成效显著。据国家林草局，“十三五”期间，我国完成造林 5.29 亿亩，森林抚育 6.38 亿亩，全民义务植树累计达 28 亿人次，义务植树 116 亿株。我国的森林覆盖率已经提高到 23.04%，森林蓄积量超过 175 亿立方米。目前我国碳汇造林项目已具备从育苗、栽种、设计到养育、监测的全产业链实施能力，有效减少温室气体排放。根据《自然》期刊，我国的碳汇能力逐步提升，通过大力培育和保护人工林，2010-2016 年我国陆地生态系统年均吸收约 11.1 亿吨碳，吸收了同时期人为碳排放的 45%，可见林业碳汇在碳中和愿景中扮演重要角色，碳汇项目将助力我国实现碳中和目标。

图 5：2011-2019 年森林蓄积量和森林覆盖率（亿立方米，%）



资料来源：国家统计局，安信证券研究中心

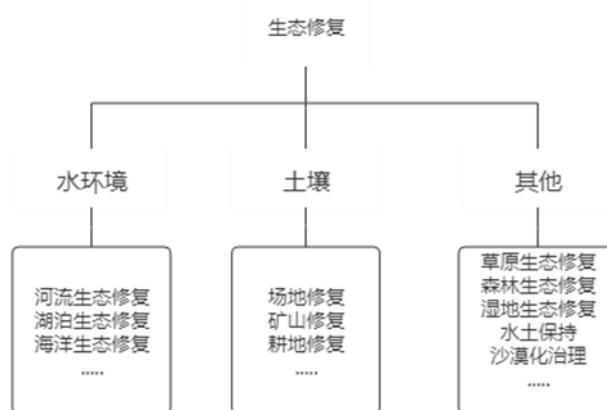
**积极联动林业碳汇交易和碳排放权交易。**2014 年国家林业局出台的《关于推进林业碳汇交易工作的指导意见》中指出要找到林业碳汇交易与碳排放权交易之间的联系，通过鼓励林业碳汇自愿交易项目作为抵消项目以及推进排放配额管理，参与碳排放权交易。全国多地积极响应号召，完善清洁发展机制（CDM）林业碳汇项目交易，推进林业碳汇自愿交易。以湖北省为例，2015 年湖北省通山县竹子造林碳汇项目是全国首个可进入国内碳市场交易的 CCER 竹子造林碳汇项目，预计 20 年的计入期内将产生 13.11 万吨减排量，年均减排量约 0.66 万吨。若未来 CCER 项目审批重启，碳汇造林项目有望为企业带来额外收益。

**十四五规划助力，绿色发展提升林业碳汇前景。**十四五规划纲要提出我国森林覆盖率要从 2019 年的 23.2% 提升到 2025 年的 24.1%。《纲要》提出要着力提高生态系统自我修复能力和稳定性，守住自然生态安全边界，加快推进东北森林带、北方防沙带等生态屏障建设健全生态保护补偿机制，完善市场化多元生态补偿，鼓励各类社会资本参与生态保护修复，完善森林、草原和湿地生态补偿制度。鼓励受益地区和保护地区、流域上下游通过资金补偿、产业扶持等多种形式开展横向生态补偿。在列出的八项重要生态系统保护和修复工程中提到，在黄河重点生态区将保护修复林草植被 80 万公顷，在长江生态区完成营造林 110 万公顷，在东北森林带培育天然林后备资源 70 万公顷等。造林碳汇项目将有望在政策支持下获得批准 CCER 并从中参与碳市场获得额外收益。

**生态修复重视程度加深，企业迎来新机遇。**“十三五”期间，国家林业局生态湿地规划明确表明至 2020 年湿地面积不低于 8 亿亩，重点指出黄河流域生态保护，长江生态保护等国家级重点生态保护区。据自然资源部，“十三五”期间，全国整治修复岸线 1200 公里、滨海湿地 2.3 万公顷；开展了包括云南抚仙湖在内的 25 个山水林田湖草生态保护修复工程试点；开展长江干流和主要支流两侧、京津冀周边和汾渭平原重点城市等重点区域历史遗留矿山生态修复，治理修复废弃矿点近 9000 个、面积达 2.5 万公顷，生态修复成效显著，生态环境得到很大改善。

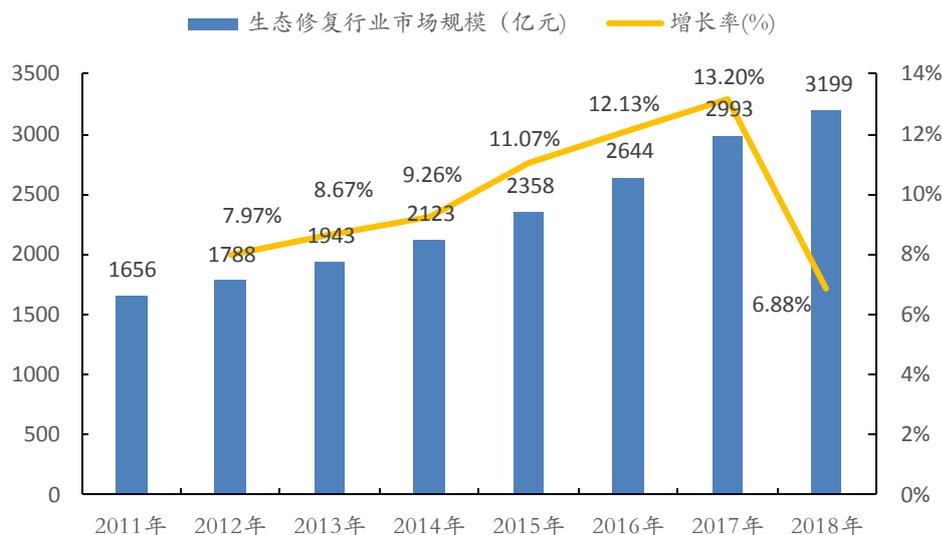
近年来我国生态修复行业规模不断扩大，北极星环保网统计数据显示，2011 年起中国生态修复行业市场规模持续增加，从 2011 年的 1656 亿元增长到 2018 年的 3199 亿元，除 2018 年外，生态修复行业市场规模增速持续加大，2012 年增速仅为 7.97%，到 2017 年增速已达到 13.2%，2018 年增速回落到 6.88%。

图 6：生态修复分类



资料来源：北极星环保网，安信证券研究中心

图 7：生态修复行业市场规模



资料来源：北极星环保网，安信证券研究中心

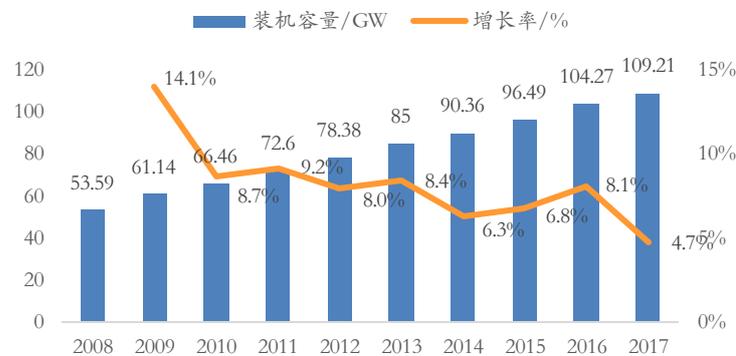
### 2.3. 生物质能源储量丰富，利用模式多元化，开启可替代空间

生物质能源储量丰富，装机容量持续增长。生物质能源是唯一一种可以以气态、液态或者是固态使用的可再生能源，而且在全球呈现普遍性、能源价值高、可获取性强等特性。生

物质主要包括木质素、农林废弃物、畜禽粪便、生活垃圾等。

生物质能综合利用模式非常多元可实现：发电、供热、制气、制油、制生物质碳，工业文明所需的所有能源商品，生物质能均可提供。生物质能多元化产业都取得了长足发展，尤其是以热电联产为主要供能模式的生物质发电，已经形成了非常完整且成熟的产业链。在煤电被逐步去产能的今天，由于煤改气、煤改电陷入成本瓶颈，而风电和光伏不能实现稳定供能，生物质能发电正成为工业生产用能最佳替代角色。生物质能发电即指利用生物质发电，目前的发电方式主要包括农林废弃物直接燃烧发电、农林废弃物气化发电、生物质与煤混合发电、垃圾焚烧发电、垃圾填埋气发电、沼气发电等等。根据 2018 年美国能源资料协会对全球生物质能产量与消费量的预测结果，2020 年全球生物质能产量将达到 4.38 万亿英热单位，相当于约 12.8 亿千瓦时。发展生物质能发电已成为国际共识，2008 至 2017 年间，全球生物质能装机容量从 53.59GW 增长至 109.21GW，年复合增长率 8.23%。

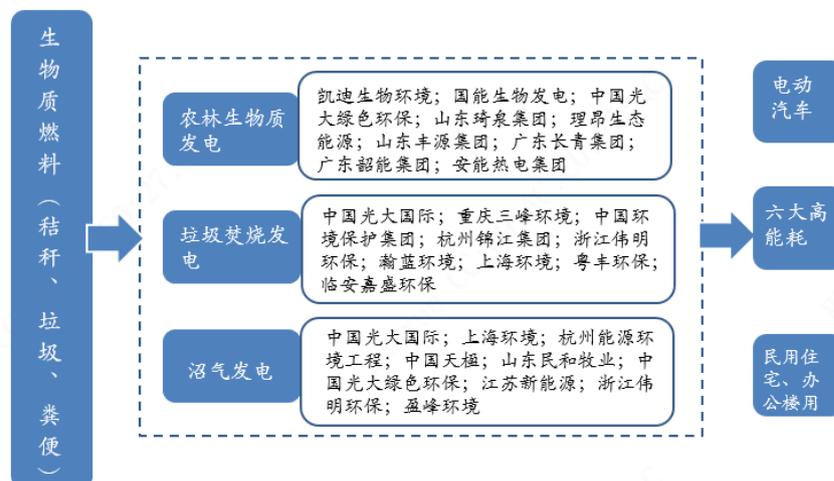
图 8：2008~2017 全球生物质发电装机容量



资料来源：陈瑞等《生物质能发电行业现状及市场化前景》，安信证券研究中心

根据国际能源署发布的《2020 年可再生能源报告》，2019 年全球生物质发电产能增加了 8.5GW，中国在 2019 年全球新增的生物质发电装机容量中占了 60%，其中大部分来自垃圾焚烧发电项目。全球第二大市场日本的规模仅为中国市场的十分之一。在工业方面，国际能源署表示，2019 年生物能源占可再生热消耗的近 90%。

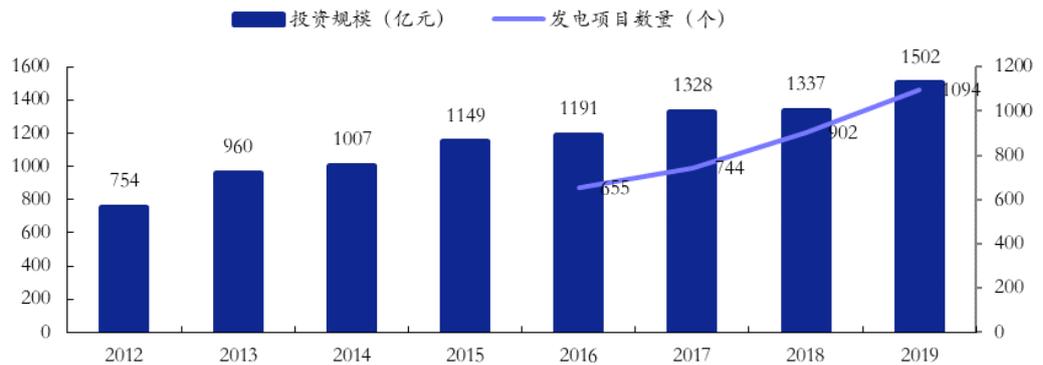
图 9：生物质发电产业全景图谱



资料来源：前瞻产业研究院，安信证券研究中心

生物质能发电是生物质能的主要利用形式，近年来，为推动生物质能发电，国家式发布了一系列生物质能利用政策，包括《生物质能发展“十三五”规划》、《全国林业生物质能发展规划(2011-2020年)》等，并通过财政直接补贴的形式加快其发展。数据显示，2019年国家可再生能源电价补贴资金预算安排情况，生物质能发电补贴预算达42亿元;2020年可再生能源电价附加收入安排的支出中，生物质能发电补助为53.41亿元。

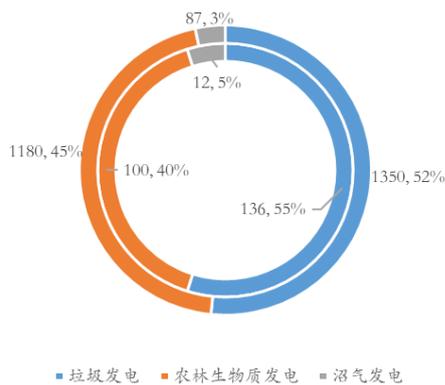
图 10：我国生物质发电投资及项目情况



资料来源：前瞻产业研究院，安信证券研究中心

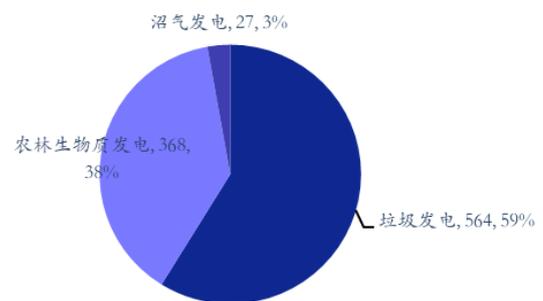
我国以生物质直燃发电为主，垃圾焚烧和农林生物质发电占主导。常见的生物质发电技术有直燃发电、甲醇发电、生物质燃气发电技术等，目前我国的生物质发电以直燃发电为主，技术起步较晚但发展非常迅速，主要包括农林生物质发电，垃圾焚烧发电和沼气发电。

图 11：截至 2020 年 9 月底各生物质发电新增/累计装机及占比（单位：万千瓦，%）



资料来源：国家能源局，前瞻产业研究院，安信证券研究中心

图 12：2020 年前三季度各生物质发电量及占比（单位：万千瓦，%）



资料来源：国家能源局，前瞻产业研究院，安信证券研究中心

我国生物质资源总量丰富，规模化欠缺限制当前发展。根据田宜水等《我国生物质经济发展战略研究》，我国作为农业大国，生物质资源丰富，每年可产生农业生物质资源约 35.39 亿吨，林业生物质资源约 1.95 亿吨，城市生物质资源约 2.45 亿吨，总计 39.79 亿吨。其中可能资源化利用部分达 3.26 亿吨，占比约 8.2%。我国广大农村地区和林区是开发生物质能发电的重点地区，但由于我国农业生产以家庭承包为主，秸秆等农林废弃物分散，储运困难且成本高，较难实现规模化，这是当前国内在生物质能发电发展中面临的主要问题之一。生物质能源不但可再生，而且可实现人工种植能源。革新了工业革命以来的人类能源获取方式，

让能源从采掘时代，进入到种植时代。

表 7：我国生物质资源量汇总表

来源	资源种类	产生量/亿吨	可能源化利用量/万吨 碳当量 (tce)
农业	农作物秸秆	8.05	7250
	农产品初加工剩余物	1.24	3100
	畜禽养殖剩余物	26.1	9301
林业	林业生物质资源	1.95	9754
城市	城市固体废物	2.42	2764
	废弃油脂	0.034	415
合计		39.79	32584

资料来源：田宜水等《我国生物质经济发展战略研究》，安信证券研究中心

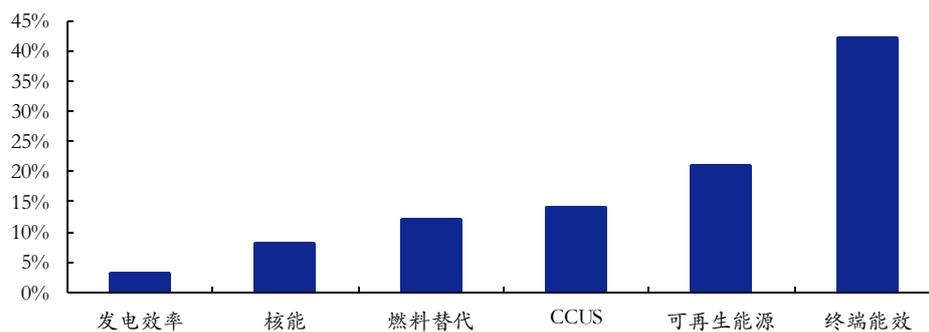
## 2.4. CCUS 作为新兴技术引起重视，将成可持续发展重要手段

### 2.4.1. CCUS 将成为可持续发展重要途径

二氧化碳捕集、利用与封存 (CCUS) 是指将二氧化碳从排放源中分离后或直接加以利用或封存，以实现二氧化碳减排的工业过程。作为一项有望实现化石能源大规模低碳利用的新兴技术，CCUS 是未来减少二氧化碳排放、保障能源安全和实现可持续发展的重要手段。

IEA (国际能源署) 在《通过 CCUS 改造工业》(Transforming Industry through CCUS) (2019 年) 提出，在清洁技术情景 (与《巴黎协定》路径一致) 下，2060 年工业部门的 CCUS 累计量将达到 280 亿吨，能源加工和转换部门 CCUS 累计量为 310 亿吨，电力部门 CCUS 累计量为 560 亿吨。CCUS 将实现 38% 的化工行业减排，15% 的水泥和钢铁行业减排。国际上很多政府、组织、企业等积极推动 CCUS 在全球的发展与布局，为 CCUS 发展提供了强有力的政策支持。当前，控制 CO<sub>2</sub> 排放有若干途径，根据 IEA 数据，预计到 2050 年，CCS 将贡献约 14% 的 CO<sub>2</sub> 减排量。

图 13：各方式在 CO<sub>2</sub> 减排中占比

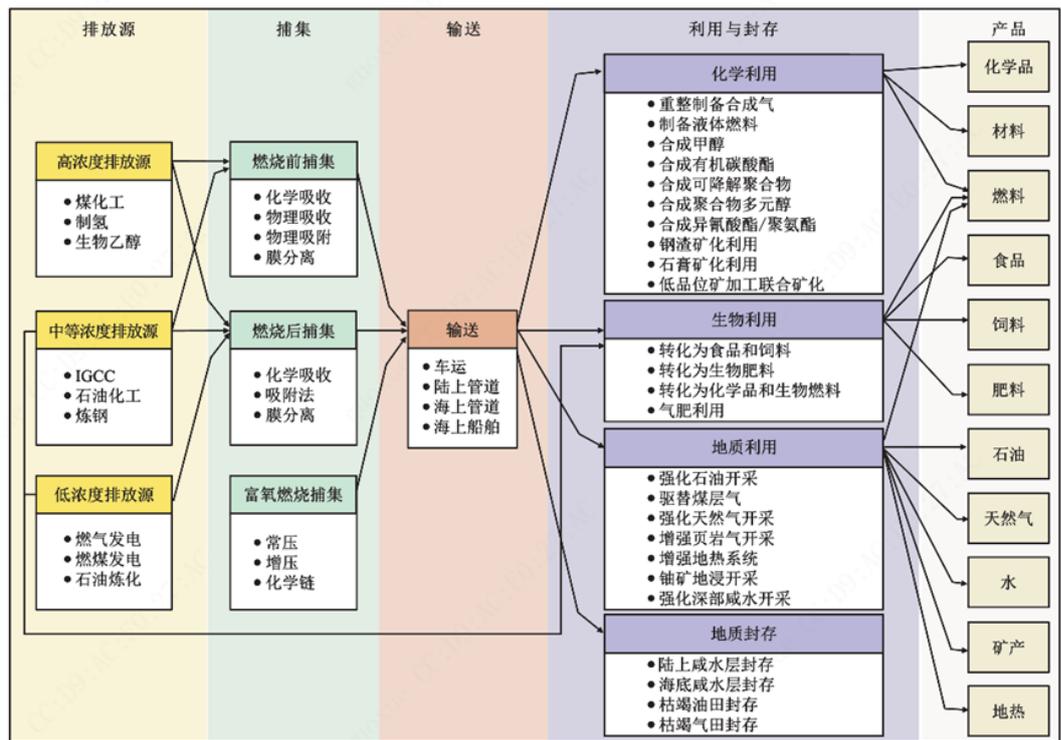


资料来源：IEA，安信证券研究中心

### 2.4.2. CCUS 发展现状

CCUS 项目建设加快步伐，模式仍待成熟。近十余年来，CCUS 技术的进步主要体现在从捕集到利用再到封存各个产业链条的新技术不断涌现，技术种类亦不断增多并日趋完善。CCUS 整个过程可以分为三步：碳捕集、运输、利用与储存。

图 14: CCUS 技术流程及分类示意



资料来源: CCUS 全球进展与中国对策建议, 安信证券研究中心

表 8: CCUS 主要过程和技术环节

环节	内容	
捕集	将化工、电力、钢铁、水泥等行业利用化石能源过程中产生的二氧化碳进行分离和富集的过程; 可分为燃烧后捕集、燃烧前捕集和富氧燃烧捕集	
运输	将捕集的二氧化碳运送到利用或封存地的过程, 包括陆地或海底管道、船舶、铁路和公路等输送方式	
利用与封存	地质利用	将二氧化碳注入地下, 生产或强化能源、资源开采的过程, 主要用于提高石油、地热、地层深部咸水、铀矿等资源采收率
	化工利用	以化学转化为主要手段, 将二氧化碳和共反应物转化成目标产物, 实现二氧化碳资源化利用的过程, 不包括传统利用二氧化碳生成产品、产品在使用过程中重新释放二氧化碳的化学工业, 例如尿素生产等
	生物利用	以生物转化为主要手段, 将二氧化碳用于生物质合成, 主要产品有食品和饲料、生物肥料、化学品与生物燃料和气肥等
	地质封存	通过工程技术手段将捕集的二氧化碳储存于地质构造中, 实现与大气长期隔绝的过程。主要划分为陆上咸水层封存、海底咸水层封存、枯竭油气田封存等

资料来源: 中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019), 安信证券研究中心

表 9: CCUS 捕集方式比较

捕集类型	优点	缺点	应用领域
燃烧后捕集	技术成熟, 很容易对现有电厂进行改造	低浓度 CO <sub>2</sub> 会影响捕集效率	燃煤或燃气发电厂
燃烧前捕集	高浓度 CO <sub>2</sub> 会提高吸附效率, 技术发展完善, 可以在部分工业实现所需规模商业应用, 有改造现有电厂的可能性	温度相关的传热问题, 与使用富氢燃气轮机燃料相关的效率衰减问题; 吸附剂再生的高寄生功率; 由于市场上运行的煤炭气化厂少而导致的经验不足问题; 现有吸附系统的高投资和运行成本	煤炭气化厂
富氧燃烧捕集	非常高的 CO <sub>2</sub> 浓度可以提高吸收效率; 空气分离技术成熟可行; 减少需要处理的气体体积	效率下降大, 能量损失高, 低温 O <sub>2</sub> 生产成本昂贵; 可能出现腐蚀问题	国际上大多还处于研发当中
化学链燃烧	CO <sub>2</sub> 是主要的燃烧产物, 未混合 N <sub>2</sub> , 因而避免了高能耗的空分		国际上大多还处于研发当中

资料来源: Global CCS Institute, 公开资料整理, 安信证券研究中心

表 10: CCUS 运输方式比较

运输方式	优点	缺点	适用范围
管道运输	最广泛大规模运输	长距离的管道造价成本高	大规模、长距离, 稳定定向的 CO <sub>2</sub> 输送
船舶运输	大规模运输方式	技术复杂, 需专用设备	适用于远距离海上封存
公路罐车运输	适合小规模运输	运输量小	适用小规模、近距离、目的地分散
铁路罐车运输	运输量大、距离较远、安全性高	运输调度和管理复杂、受线路限制	量大、距离远且管道运输还未建成时

资料来源: Global CCS Institute, 安信证券研究中心

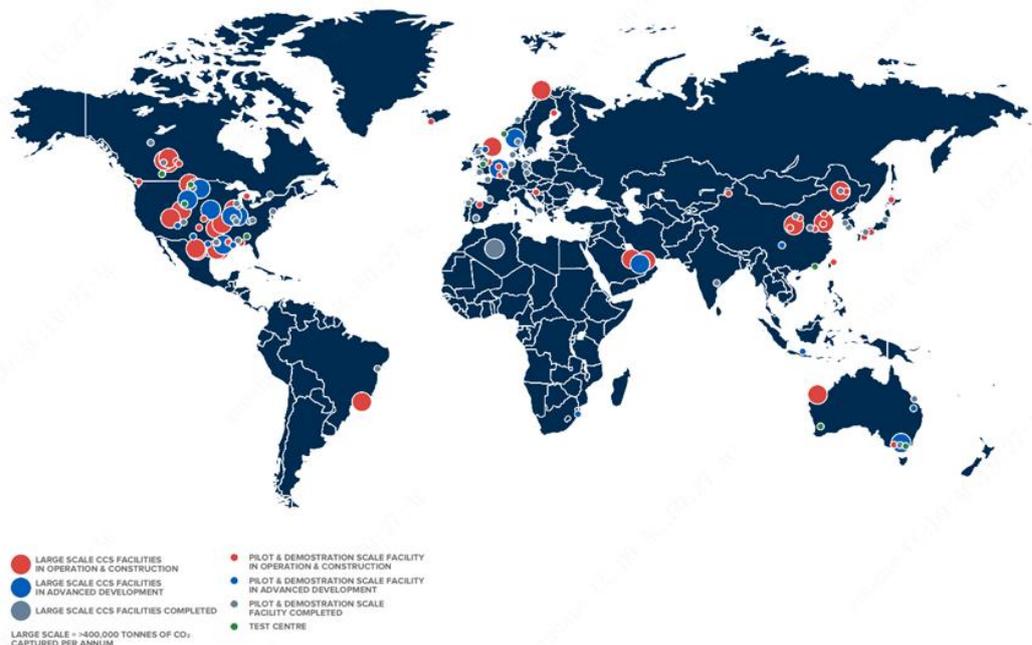
表 11: CCUS 封存方式比较

封存方式	封存介质	缺点	优点	固碳机理	风险评估	工程实例
CO <sub>2</sub> -EOR	枯竭油田	采油井可能成为潜在泄露途径; 增产的石油会释放更多 CO <sub>2</sub> , 不能大规模减排	各方面技术较成熟, 原油的增产价值可抵消部分封存成本	物理作用; 化学作用	低	Weyburn, Canada; Zama, Canada
深部咸水层	砂岩/冠岩/页岩/泥岩	地址数据缺乏, 选址标准、冠延长期完整性以及容量评价标准缺乏, 无经济刺激	分布广泛, 封存能力大, 技术成熟, 安全性高, 成本低	物理作用; 化学作用	中	Sleipner, Norway; Gorgon, Australia
枯竭的油(气)田	油(气)田	采油(气)井可能成为潜在的泄露途径	技术成熟, 原有的油气田地址资料丰富, 适用于封存 CO <sub>2</sub>	物理作用; 化学作用	低	Total Laca, France
CO <sub>2</sub> -ECBM	深部不可采煤层	受煤层渗透系数影响较大, 需较多的钻井数; 有可能造成资源浪费	可以在相对较浅的深度进行注入, 通常小于 1 千米	物理作用	中	Fenn, Canada; Qinshui, China
玄武岩	玄武岩含水层	未获足够重视, 研究起步较晚, 技术还不够成熟	其独特的化学俘获机理可确保 CO <sub>2</sub> 永久安全高效的封存	化学作用	低	Carb-fix, Iceland

资料来源: Global CCS Institute, 公开资料整理, 安信证券研究中心

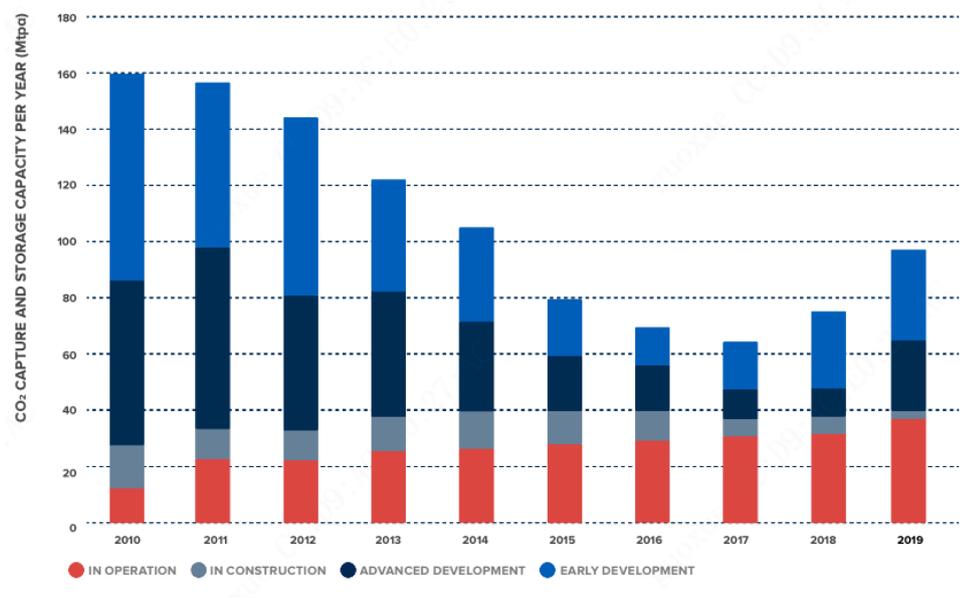
**CCUS 的全球发展和部署继续加快步伐。**根据 Global CCS Institute, 2019 年大型 CCUS 项目数量增加到 51 个, 其中 19 个项目已经运行, 4 个项目在建, 其他 28 个项目还处于设计或开发阶段。过去的十年, 全球 CCUS 运营的数量在不断增加, 但是在 2010 年至 2017 年期间在建项目却有所减少。自 2017 年以来, CCUS 行业一直保持增长势头。2019 年全球 CO<sub>2</sub> 捕集和封存量已经接近 100Mtpa。

图 15: CCUS 全球项目分部



资料来源: Global CCS Institute, 安信证券研究中心

图 16: 2010 年-2019 年全球 CO<sub>2</sub> 捕捉和储存情况



资料来源: Global CCS Institute, 安信证券研究中心

表 12: 2019 年全球主要国家 CCUS 项目与封存量

国家	累计封存量 (万吨)	CCUS 年封存量 (万吨)	CO <sub>2</sub> 年排放量 (万吨)	项目数量 (个)
美国	>5800 (1972-2019 年)	~2100	514520	9
中国	~200 (2007-2019 年)	10~100	942870	10
挪威	~2200 (1996-2019 年)	170	3550	2
加拿大	~4425 (2000-2019 年)	~300	55030	4

资料来源: 中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019), 安信证券研究中心

### 2.4.3. 我国 CCUS 发展及机遇

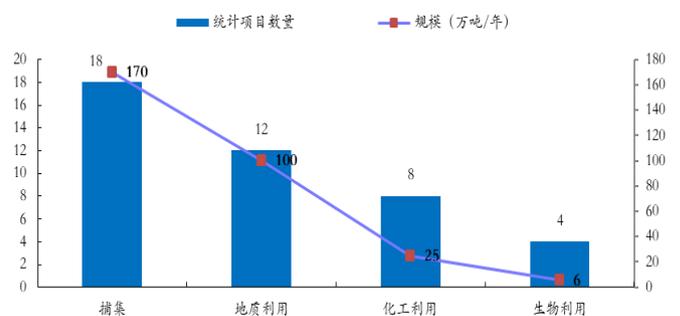
根据中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019), 国内共开展了 9 个纯捕集示范项目、12 个地质利用与封存项目, 其中包含 10 个全流程示范项目。除此之外, 国内还开展了数十个化工、生物利用项目。2019 年我国共有 18 个捕集项目在运行, 二氧化碳捕集量约 170 万吨; 12 个地质利用项目运行中, 地质利用量约 100 万吨; 化工利用量约 25 万吨、生物利用量约 6 万吨。

图 17: 我国 CCUS 项目分布



资料来源: 中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019), 安信证券研究中心

图 18: 2019 年我国 CCUS 项目统计



资料来源: 中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019), 安信证券研究中心

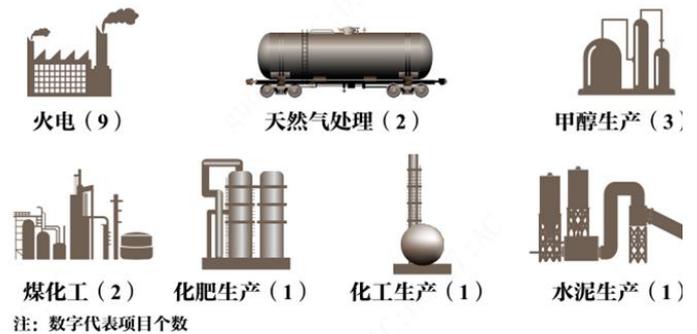
**我国二氧化碳捕集示范项目：**主要分布在华东、华北地区。项目类型包括燃烧后捕集、燃烧前捕集和富氧燃烧捕集。我国二氧化碳捕集主要在煤化工行业开展，其次为火电行业、天然气厂以及甲醇、水泥、化肥等工厂。烟气浓度的高低常常与成本息息相关。

图 19：我国二氧化碳捕集示范项目主要分布



资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

图 20：我国二氧化碳捕集项目数量的工业分布



资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

表 13：我国 CO<sub>2</sub> 捕集技术现状

捕集	燃烧后捕集技术	在燃煤电厂采用化学吸收法对烟道气中二氧化碳进行捕集
	燃烧前捕集	IGCC（整体煤气化联合循环发电）和工业分离（煤制油、煤制气、天然气处理、水泥生产、甲醇生产、化肥生产）两大类
	富氧燃烧捕集	国际上大多还处于研发当中

资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

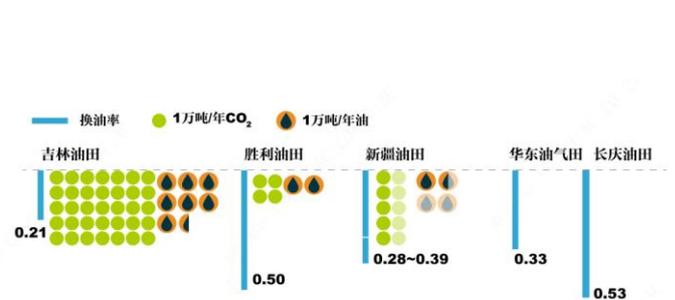
**我国地质利用和封存项目：**提高石油采收率为主，主要围绕几个油气盆地开展，包括东北松辽盆地、华北渤海湾盆地、西北鄂尔多斯盆地和准噶尔盆地。项目类型主要包括二氧化碳驱提高石油采收率（CO<sub>2</sub>-EOR）、二氧化碳驱替煤层气（CO<sub>2</sub>-ECBM）和咸水层封存三种。驱替煤层气项目目前处于先导试验阶段，由中联煤在沁水-临汾盆地的柳林和柿庄开展。二氧化碳铀矿地浸开采技术已成熟，中国核工业集团在通辽进行了工业应用。二氧化碳驱提高石油采收率项目在国内三大石油公司中石化、中石油以及延长石油的油田开展，包括中石化胜利油田、中原油田以及中石油大庆、吉林、新疆油田和长庆油田。

图 21：我国二氧化碳地质利用和封存工程项目分布



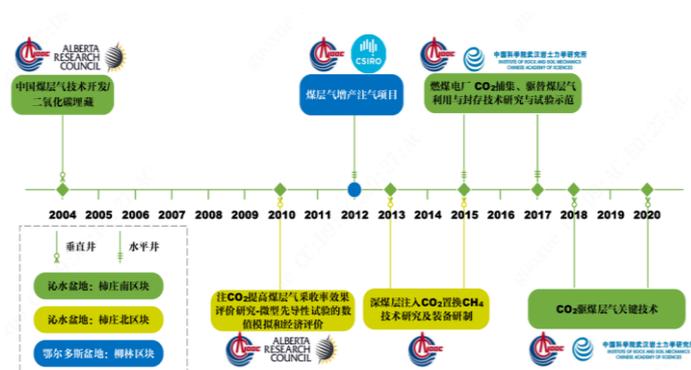
资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

图 22：二氧化碳年注入量与石油年产量



资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

图 23：我国 ECBM 先导/示范试验



资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

图 24：国家能源集团（神华）咸水层封存全流程示意图



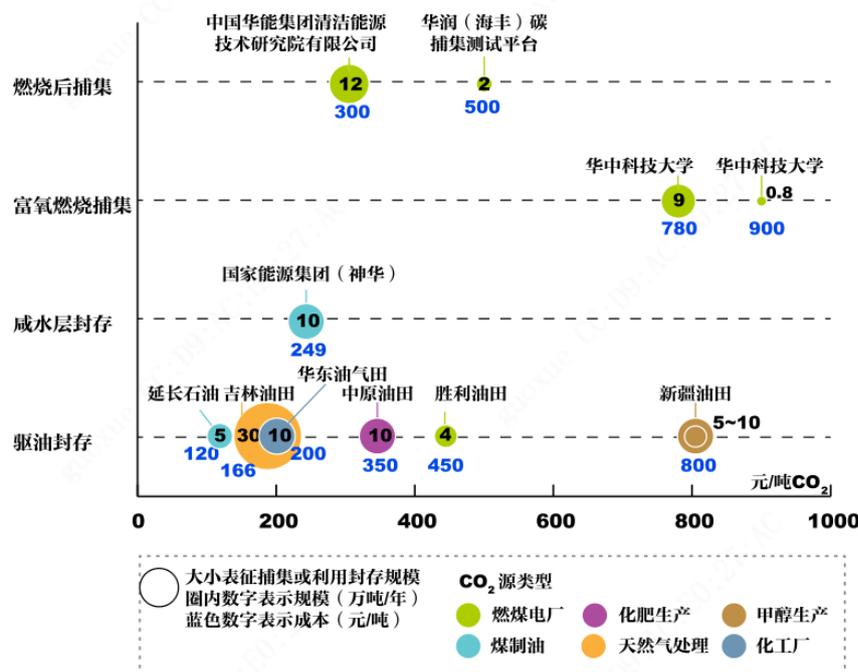
资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

**化工利用与生物利用项目：**越来越多的技术被纳入 CCUS 体系中，包括化工利用、生物利用、物理利用等。化工利用的产品包括材料、燃料、化学品等；生物利用的产品包括燃料、化学品、食品、饲料、肥料等。整体上，化工利用和生物利用的二氧化碳利用量较少。

**成本：**在 CCUS 捕集、输送、利用与封存环节中，捕集是能耗和成本最高的环节。二氧化碳排放源可以划分为两类：一类是高浓度源（如煤化工、炼化厂、天然气净化厂等），另一类是低浓度源（如燃煤电厂、钢铁厂、水泥厂等）。高浓度源的捕集成本大大低于低浓度源。

根据中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，我国当前的低浓度二氧化碳捕集成本为 300-900 元/吨；罐车运输成本约为 0.9-1.4 元/吨·公里；驱油封存技术因技术水平、油藏条件、气源来源、源汇距离等不同，成本差异较大，全流程成本在 120-800 元之间，驱油封存项目实现封存二氧化碳的同时提高石油采收率，额外采出的原油，可以对 CCUS 项目提供一定的经济回报，具体回报率与油价相关；咸水层封存全流程的成本约为 249 元/吨。

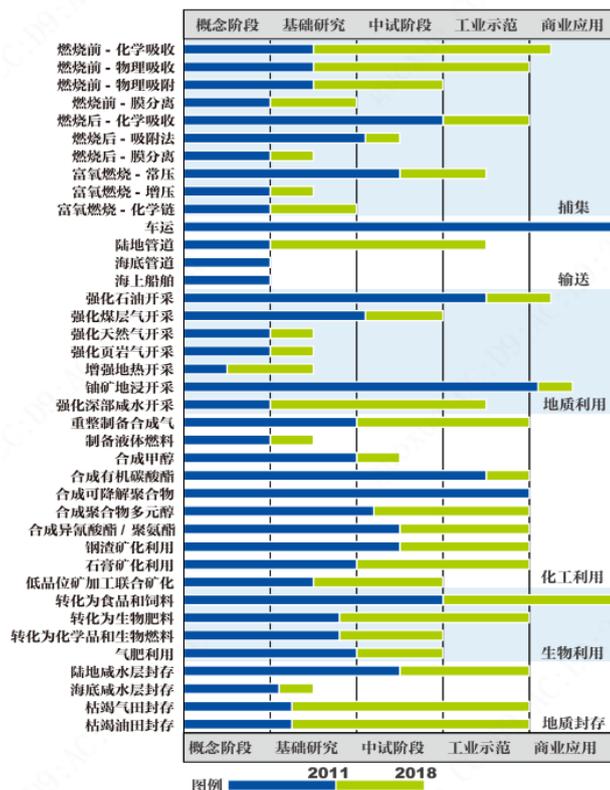
图 25：我国典型 CCUS 项目成本



资料来源：中国二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)报告(2019)，安信证券研究中心

整体来说国内 CCUS 技术发展仍处于起步阶段，因此整体的碳捕集成本也还处于较高水平。目前国内已开展的 CCUS 项目中大多数都为企业自发投资建设。

图 26：我国 CCUS 技术发展阶段示意图



资料来源：中国碳捕集利用与封存技术发展路线图（2019），安信证券研究中心

综合来看，CCUS 的发展离不开资金的支持，由于其技术的不确定性，而且目前缺乏政策指引和激励机制，缺乏有效的跨企业协调合作等问题，导致 CCUS 目前面临较强的商业模式的制约。但未来随着碳中和的推动，以及国家科学技术部、国家发展和改革委员会及地方政府多次呼吁企业、研究机构 and 高校积极开展 CCUS，国家激励政策的进一步完善、碳市场的成熟等，都将有利于 CCUS 的产业发展。

### 3. 投资机会

碳中和将带来各行业产业和基础设施绿色升级，节能环保、清洁生产、清洁能源是大势所趋，负排放技术不可或缺，建议重点关注林业碳汇的绿茵生态；生物质能源发电的维尔利；垃圾焚烧发电的瀚蓝环境和上海环境；CCUS 相关领域的监测设备公司雪迪龙、先河环保；清洁能源中风电领域优质的风电运营企业标的节能风电和光伏领域中主营光伏电站运营的标的太阳能。

#### 3.1. 林业碳汇：绿茵生态

区域生态园林龙头，订单放量助力业绩增长。公司作为天津地区生态园林龙头，主营生态修复和园林绿化等业务，旨在为客户提供一体化的生态环境建设整体解决方案。公司作为国家级高新技术企业，2017 年上市以来，立足京津冀地区，相继在全国核心城市进行战略布局。公司 2020 年营收增长 32.95%，归母净利润增长 34.66%，展现较强的增长态势。同时，公司订单持续放量，为业绩高增奠定坚实基础。

财务稳健负债率低，盈利能力居行业前列。从资产端看，截至 2020 年底，公司货币资

金 10.13 亿元，占公司总资产的 27.94%。公司盈利能力强，净利率维持高位创新高，2017 年至 2020，公司销售净利率分别为 25.7%、30.4%、29.02%、30.07%，远超行业平均值。

**货币资金充足，可用财务杠杆空间较大，增强业绩弹性。**资产负债率较低，货币资金充足，可用财务杠杆空间较大。截至 2020 年底，公司资产负债率 39.4%，公司业务聚焦生态修复工程和市政绿化等，项目现金流较好，预计未来公司仍将保持较高的经营性现金净流入，暂时不会因为市场开拓力度加大，招投标保证金激增带来经营性现金流压力。后续可用财务杠杆空间巨大，业绩释放弹性或可增强。

### 3.2. 湿垃圾龙头：维尔利

**公司经营持续改善，业绩稳定向好。**根据公司 2020 年三季度报，在 2020 年疫情影响下公司前三季度仍实现营收 20.1 亿元，同比增长 14.8%，实现归母净利润 2.98 亿元，同比增长 31.08%。同时，公司毛利率始终稳定在 30% 稳定，净利率大幅提升，公司前三季度净利率达到 14.9%，同比增长 2.25pct。同时，重组订单主力公司未来发展，根据公告，截至 2020 年 H1，公司新中标城乡有机物废弃物资源化项目订单 16.3 亿元，新中标工业节能环保订单 2.3 亿元，在疫情背景下保持较好拿单水准。公司近几年业绩增长良好，盈利能力持续提升。公司以“有机废弃物的资源化、无害化”为战略发展方向，依托自身渗滤液处置优势，13 年布局湿垃圾处置，14 年切入沼气工程领域，已经形成了全工艺链下的湿垃圾整体处置方案。

**加大央企战略合作，深度牵手国投订单可期。**公司与国投生态环境投资发展有限公司签订了《战略合作框架协议》，拟通过成立合资公司的形式，重点在有机废弃物、建筑垃圾资源化等领域进行深度合作，并适时探索在医废及工业固废、再生资源利用、环卫等新业务领域的合作。协议指出，未来双方将在资本市场寻求进一步深度合作的机会，商讨国投参与公司股权多元化或双方共同打造固体废弃物处理上市公司相关事项。国投生态在资金、社会资源等方面具有较强的综合实力，公司是城乡有机废弃物资源化利用等领域龙头企业，本次合作有利于双方整合资源，充分发挥各方在资金、建设、技术、人才等领域的优势，全面开展在固废处理领域的探索合作，将有望推动订单加速获取。

**公司持续探索碳减排项目。**根据 CCER 备案信息，公司的杭能环境建设山东民和 3MW 沼气发电项目与北京德青源 2MW 沼气发电项目分别于 2009 和 2010 年成功注册 CDM，年减排量分别达到 6.6 万吨和 5.7 万吨。同时，公司也在餐厨废弃物领域探索碳减排，例如公司在杭州萧山的餐厨垃圾项目每年可处理餐厨垃圾 7.3 万吨以上，产生清洁能源 480 万立方米，年减排温室气体可达 3 万吨二氧化碳以上。

### 3.3. 垃圾焚烧：瀚蓝环境

**公司业绩稳定持续扩张。**公司的净利润保持较好增长水平，在 2020 年疫情下前三季度仍实现营业收入 51.4 亿元，同比增长 20.5%，实现归母净利润 7.69 亿元，同比增长 4.4% 在对外收购扩张的同时，维持毛利率水平基本维持，期间费用管控良好。公司以运营优势见长，尤其在固废垃圾发电项目上，ROE、吨上网电量、经营性现金流等关键指标上保持行业领先，管理层的长期稳定经营保证了公司战略的贯彻始终。在此之上背靠佛山大本营，人口密度和经济发展优势成为公司业绩增长的基石。

**赋能“无废城市”建设，“瀚蓝模式”成为样板。**“无废城市”建设试点工作如火如荼展开，“瀚蓝模式”正是典型的可复制代表，实现固废处理从源头到终端的无缝链接和管控。得益于一体化“瀚蓝模式”，根据公司公告，2020 年前三季度公司在垃圾焚烧、环卫、餐厨等领域均收获新项目，例如 1100 吨/天和垃圾焚烧项目、300 吨/天晋江餐厨项目、500 吨/天饶平垃圾转运项目等。同时，垃圾焚烧发电行业国补退坡对垃圾发电企业提出更高要求，对一些运营能力较弱的小型垃圾焚烧企业具有较大冲击，在国补下降大背景下，公司作为运营能力强的垃圾发电企业更有望脱颖而出，且公司在环卫、危废等领域的发展将进一步推动未来发展。此外，公司和阿里云合作的智慧化项目也备受期待，有望通过智慧化进一步赋能

项目运营。

### 3.4. 垃圾焚烧：上海环境

**国资委背景支撑，独占上海垃圾焚烧之首。**公司大股东为上海城投国资，资金雄厚，在上海及东部沿海积累了丰富的项目经验。作为一线城市代表，上海财政支付能力强，垃圾处理费高，公司目前位于上海的在运垃圾焚烧项目平均垃圾处理费远高于全国水平。公司 2019 年收入 76.33% 来自上海本地。根据《2019 年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》，公司生活垃圾处置能力占上海市总处置能力的近 80%，地域龙头优势显著。

**布局“2+4”战略，固废一体化体系基本建成。**公司目前确立了以生活垃圾处置和市政污水处理为核心业务，以危废医废、土壤修复、市政污泥、固废资源化（餐厨垃圾和建筑垃圾）为新兴拓展点的“2+4”业务经营战略。从收入构成看，公司的主要收入来源于固废处理业务、承包及设计规划收入、污水处理三大项目，2019 年分别贡献收入 18.01 亿元、10.91 亿元、4.15 亿元，占比为 54.5%、33.0%、12.5%。公司近两年布局危废医废、餐厨垃圾及建筑垃圾的综合固废处理，并且取得上海嘉定及松江的餐厨垃圾、建筑垃圾项目的特许经营权，已逐渐拼齐大固废板块，形成了垃圾焚烧、填埋、垃圾中转、危废医废处置以及固废资源化的一体化固废处置体系。

### 3.5. 排放监测：雪迪龙

**专业从事环境监测、工业过程分析、智慧环保及相关服务的环境质量改善解决方案专家。**主营业务包括环境监测、环境大数据服务、污染治理与节能、环境综合服务和工业过程分析，其中环境监测系统占公司总营收的近 50%，在监测系统销售方面具有较大优势。同时，公司作为高新技术企业，在研发方面同样具有较大优势。根据公司年报，2019 年公司投入研发资金约 1 亿元，研发费用率达到 8.04%，且研发人员数量已占总员工数量的 17.42%，且 2019 年度公司及下属子公司取得专利技术 24 项，计算机软件著作权 42 项，截至 2019 年底公司及下属子公司累计取得专利技术 195 项，计算机软件著作权 205 项。

公司在监测方面具有经验优势，碳排放监测有望成为公司未来业绩增长点。公司在环境监测领域业务中主要涵盖污染源监测，公司所研发的 AQMS-1000 小型空气站也可对大气环境污染物进行精确、稳定的连续监测，监测范围包括 O<sub>3</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、TVOC 等。此外，其 SCS-900C 烟气排放连续监测系统已应用于电力、钢铁、锅炉、水泥、化工等行业。SCS-900C 烟气排放连续监测系统采用世界先进在线分析技术与中国环保监测技术相结合，采用冷干抽取法对烟气进行处理，并采用 NDIR 检测技术对气态污染物进行分析，同时监测氧、温度、压力、流量、湿度等其它参数，并通过数据采集处理系统生成图表，传至各级环保部门。此外，公司选用 MODEL1080 分析仪，采用激光散射法对气体颗粒物进行监测。虽然 SCS-900C 系统检测成分中未包含二氧化碳，但未来随着碳减排政策的持续大力推进，公司有望在碳排放监测方面进一步进行研发，该板块的市场放量有望成为公司未来业绩增长点。

### 3.6. 排放监测：先河环保

**集环境监测、环境管理、环境治理为一体的综合服务商。**公司业务涵盖生态环境监测装备、运维服务、社会化检测、环境大数据分析及决策支持服务、VOCs 治理、农村分散污水治理等领域，具有监测、治理全产业链，其中，根据 2020 年中报，环境监测系统板块和运营及咨询服务板块分别占公司总营收的 41.5% 和 58.5%。公司研发优势突出，截至 2020 年中，公司拥有有效专利 131 项，拥有软件著作权 164 项，同时，根据物联网和大数据技术，公司创新了集感知、预警、监测、监管、分析、决策于一体的智慧生态环境精准管理信息化平台，助力我国环境监测领域进入物联网时代。2020 年虽受疫情影响整体业绩有所下滑，但作为国内环境监测领域专家，公司有望乘碳减排东风，发展其碳排放监测领域，扩大其销

售规模。

**积极响应碳中和，投入研发碳排放检测系统。**根据河北省生态环境厅冀环要闻，2021年1月，河北省启动温室气体排放在线监测试点，委托先河环保将石家庄诚峰热电公司定为试点企业并安装了“大气碳排放监测系统”，该系统包括1套智慧管控平台、3套固定污染源排口二氧化碳监测仪、4套厂界二氧化碳监测仪，目前该系统已成功线上运营。通过对诚峰热电厂的碳排放数据进行监测，研究并开发针对发电行业的基于监测数据的碳排放计算方法和软硬件系统。目前公司已储备温室气体监测设备，充分利用其生态环境监测与大数据分析优势，提升公司碳排放监测能力。借助其在环境监测研发领域的经验优势，公司有望在“十四五”及“十五五”期间持续受益碳排放监测市场规模增长。

### 3.7. 风电运营：节能风电

目前，我国风电市场已进入快速发展阶段并逐步规模化，市场中总体包括三种风电场运营商：1) 大型中央电力集团，包括国电、大唐发电、华能国际等，风电市场中中央电力集团市场份额占比较高；2) 大型国有能源企业，例如中广核、节能风电等，同样在风电市场中占据一定市场份额；3) 中小型风电运营企业和民营风电运营企业。

**大型风电开发运营平台，项目开发运营优势领先。**公司是中国节能旗下唯一的风电开发运营平台，持续专注风电项目开发、建设与运营。在过去几年先后中标并建设了国内第一个百万千瓦风电基地启动项目——河北张北单晶河200MW特许权项目和第一个千万千瓦风电基地启动项目——甘肃昌马200MW特许权项目。根据公司公告，截至2020上半年，公司风电累计装机容量达到3229MW，占市场总份额的1.49%，同时公司将在中东部及南方地区加大市场开发力度，扩大资源储备。同时，公司持续推进海外风电项目开发，截至2018年公司在澳大利亚的17.5万千瓦项目全部投产运营，持续推进海外战略布局。

**“碳中和”驱动下风电需求提升，未来发展空间大。**根据国家能源局数据，我国截至2020年底风电总装机仅为2.8亿千瓦，风力发电板块仍有较大提升空间。在市场推动下公司业绩有望突破，根据公司公告，2020年上半年公司在湖北、湖南、广西、广东、浙江等非限电区域已有在建项目142.4万千瓦，以及核准、储备项目119万千瓦。同时，公司于2020年底发布股权激励计划，对6名高级管理人员、11名中层管理人员、27名业务骨干、19名科技骨干和73名技术人员授予限制性股票，结合专业和业务管理逐级分解企业战略目标和年度重点工作任务作为考核。通过股权激励制度，使公司管理层与股东利益相互绑定，一方面提升管理层薪酬水平，另一方面激励管理层提升业绩，推动未来可持续发展，有助于进一步巩固公司在风电运营板块地位。

### 3.8. 光伏运营：太阳能

公司业绩持续增长，股权激励调动员工积极性。公司专注于新能源发电，持续推进太阳能光伏电站投资运营业务和高效电池组件技术研发。随着我国能源结构调整目标的明确，公司发展迎来机遇。2020年上半年报数据显示，报告期内公司实现营业收入23.55亿元，同比增长15.27%，其中公司电站板块销售电量26.03亿千瓦时，发电销售收入20.32亿元，占公司总收入的86.31%，较去年同期增长16.40%；太阳能产品板块销售组件350.29兆瓦，销售电池片109.88兆瓦，收入3.13亿元，占公司总收入的13.31%，较去年同期增长8.23%。此外公司发布2020年限制性股票激励计划，拟授予领导班子成员及高级管理人员、中层、核心管理干部等133人限制性股票3006.32万股，占本计划公告时公司股本总额的1.0%。股权激励充分调动公司人员的积极性，助力公司可持续发展。

项目储备充足，增长潜力巨大。根据公告，截至2020年6月底，公司光伏电站规模约5.03吉瓦。此外，利用与地方政府建立的良好合作关系，公司在光资源较好、上网条件好、政策条件好的地区已累计锁定了约12吉瓦的优质自建太阳能光伏发电的项目和收购项目规模，为可持续发展提供了有力的保证。此外公司已在甘肃、青海、宁夏、新疆等十多个省市，

建有光伏电站项目，公司运营电站、在建拟建电站和预收购电站合计 5.03 吉瓦。充足的项目为公司未来经营发展提供保障，有利于公司加大研发投入和推进太阳能大数据中心业务和效能服务业务。

背靠央企实现资源整合，创新优势汇聚科技人才。公司的控股股东中国节能是以节能环保为主业的中央企业。公司作为中国节能太阳能业务的唯一平台，积极承担国有企业责任，凭借丰富的专业经验和资源整合能力，利用央企优势快速推进业务发展，为我国生态文明建设作出贡献，提升经营业绩。同时公司技术优势突出，根据公告，2020 年上半年，公司开展了 38 项科技创新项目，已申请专利 390 项，获得专利授权 283 项，公司汇聚了发电及新能源、节能环保等各专业人才，累计获得省部级人才培养计划 2 项，太阳能公司拥有科技人员 385 人，为公司日后科技创新奠定基础。

**风险提示：绿色经济领域的相关技术发展不及预期，项目推进进度不及预期，竞争加剧，碳交易收益假设不及预期**

## ■ 行业评级体系

### 收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

### 风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

## ■ 分析师声明

邵琳琳声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

## ■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

## ■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写, 但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断, 本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期, 本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态, 本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料, 但不保证及时公开发布。同时, 本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改, 投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点, 一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准, 如有需要, 客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下, 本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易, 也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务, 提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素, 亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下, 本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议, 无论是否已经明示或暗示, 本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下, 本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有, 未经事先书面许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的, 需在允许的范围内使用, 并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”, 且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设, 并采用适当的估值方法和模型得出的, 由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性, 估值结果和分析结论也存在局限性, 请谨慎使用。

**■ 销售联系人**

上海联系人	潘艳	上海区域销售负责人	18930060852	panyan@essence.com.cn
	侯海霞	上海区域销售总监	13391113930	houhx@essence.com.cn
	朱贤	上海区域销售总监	13901836709	zhuxian@essence.com.cn
	李栋	上海区域高级销售副总监	13917882257	lidong1@essence.com.cn
	刘恭懿	上海区域销售副总监	13916816630	liugy@essence.com.cn
	苏梦	上海区域销售经理	13162829753	sumeng@essence.com.cn
	秦紫涵	上海区域销售经理	15801869965	qinzh1@essence.com.cn
	陈盈怡	上海区域销售经理	13817674050	chenyy6@essence.com.cn
	徐逸岑	上海区域销售经理	18019221980	xuyc@essence.com.cn
北京联系人	张莹	北京区域销售负责人	13901255777	zhangying1@essence.com.cn
	张杨	北京区域销售副总监	15801879050	zhangyang4@essence.com.cn
	温鹏	北京区域销售副总监	13811978042	wenpeng@essence.com.cn
	刘晓莹	北京区域销售副总监	18511841987	liuxx1@essence.com.cn
	王帅	北京区域销售经理	13581778515	wangshuai1@essence.com.cn
	游倬源	北京区域销售经理	010-83321501	youzy1@essence.com.cn
	侯宇彤	北京区域销售经理	18210869281	houyt1@essence.com.cn
	张秀红	深圳基金组销售负责人	0755-82798036	zhangxh1@essence.com.cn
深圳联系人	胡珍	深圳基金组高级销售副总监	13631620111	huzhen@essence.com.cn
	范洪群	深圳基金组销售副总监	18926033448	fanhq@essence.com.cn
	聂欣	深圳基金组销售经理	13540211209	niexin1@essence.com.cn
	杨萍	深圳基金组销售经理	0755-82544825	yangping1@essence.com.cn
	黄秋琪	深圳基金组销售经理	13699750501	huangqq@essence.com.cn
	喻聪	深圳基金组销售经理	18503038620	yucong@essence.com.cn
	马田田	深圳基金组销售经理	18318054097	matt@essence.com.cn

**安信证券研究中心**

深圳市

地址：深圳市福田区深南大道 2008 号中国凤凰大厦 1 栋 7 层

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路 638 号国投大厦 3 层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街 2 号楼国投金融大厦 15 层

邮编：100034