



# 石化化工行业 低碳发展报告

石油和化学工业规划院





## 石化化工行业低碳发展概况

### （一）石化化工行业发展概况

#### 1. 石化化工仍是我国重要支柱产业之一

2021年，石油和化工行业规模以上企业实现营业收入14.45万亿元，创历史新高，占全国规模以上工业营业收入的11.3%；实现利润总额1.16万亿元，占全国规模以上工业利润的13.3%；进出口总额8601亿美元，占全国进出口总额的14.2%。石油和化学工业在稳增长、稳投资、稳外贸等方面发挥了重要作用。

2021年我国石油和化学工业主要运行指标

指标	营业收入	利润总额	增加值同比	投资同比	进出口总额
	万亿元	万亿元	%	%	亿美元
全国规上工业	127.92	8.71	9.6	11.4	60570
石油和化学工业	14.45	1.16	5.3	-	8601
其中：炼油	4.68	0.19	2.0	8.0	
化工	8.66	0.79	7.5	15.7	
全行业 / 全国工业	11.3%	13.3%	-	-	14.2%

## 2. 石化化工行业有力支撑经济社会发展

石化化工行业作为主要原材料行业之一，是“工业的基础工业”，为国民经济其他部门及终端消费提供了数以万计种类的产品，为经济和社会发展提供了重要支撑。

2021 年我国石油和化学工业提供的原料支撑

产品类别	产品	支撑部门	效益效果
化肥	氮肥 3590 万吨；磷肥 1130 万吨；钾肥 500 万吨	农业部门	每公斤化肥（有效成分）增产粮食 8～12 公斤，油料作物 4～8 公斤、棉花 3～6 公斤，为我国粮食及其他农产品保供做出巨大贡献
成品油	35738 万吨	交通运输	支持国内物流、客流正常运行
合成树脂	11039 万吨	广泛用于建材、电子电器、包装等	每公斤塑料可替代 2-3 公斤钢铝等金属材料
合成橡胶	812 万吨	装备制造、汽车等	有效补充我国天然橡胶资源的不足
合成纤维	6152 万吨	纺织服装	约占纺织原料的 60% 以上，是我国纺织服装优势产业的重要基础
合成洗涤剂	1000 万吨	工业、日用	

## 3. 我国石化化工行业整体规模世界领先

我国石化工业整体规模世界领先。2021 年，我国炼油产能与美国接近，预计将在 2022 年超过美国，成为炼油产能第一大国；乙烯产能和产量世界第一；芳烃及下游的聚酯化纤产业链规模优势进一步巩固。主要大宗有机原料、合成树脂、合成橡胶产能居世界第一位，占世界总产能的比重均在 30% 以上。

2021 年我国石化化工行业代表性产品产能及其世界位次

项目	产能（万吨/年）	占世界的比例（%）	居世界位次
炼油	88630	17.5	2
乙烯	4169	20.1	1
丙烯	4830	31.9	1
对二甲苯	3127	46.8	1
PTA	6387	66.6	1
乙二醇	2091	43.5	1
PET	6536	58.8	1

项目	产能（万吨 / 年）	占世界的比例（%）	居世界位次
苯乙烯	1504	38.7	1
环氧丙烷	370	30.7	1
丙烯腈	294	38.2	1
合成树脂	10504	35.3	1
合成橡胶	696.2	32.0	1
合成氨	6488	35.4	1
甲醇	9744	60.9	1
磷酸	2303	32.9	1

## （二）石化化工行业碳排放概况

2021 年石化化工重点子行业碳排放概况（万吨二氧化碳）

序号	行业 / 产品	产量	直接排放	间接排放	合计
1	炼油	70355	17659	5206	22865
2	乙烯	3817	3365	2528	5893
3	对二甲苯（PX）	2193	0	3060	3060
4	甲醇	7766	19635	1510	21144
5	氮肥（合成氨）	5909	16976	2792	19767
6	磷肥（折纯）	1581	0	1039	1039
7	电石	2810	3653	7306	10959
8	烧碱	3891	0	3200	3200
9	煤制乙二醇	360	792	1200	1992
10	煤制油	680	4454	109	4563
11	煤制天然气（亿方）	44.53	2115	0	2115
12	轮胎（亿条）	6.68	0	2304	2304
	重点子行业合计		68649	30253	98902



### (一) 政策要求

#### 1. 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》

2021年10月24日，《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》（以下简称“意见”）正式发布。《意见》是党中央对碳达峰碳中和工作进行的系统谋划和总体部署，覆盖碳达峰、碳中和两个阶段，是管总长远的顶层设计。在碳达峰、碳中和政策体系中发挥统领作用，是“1+N”中的“1”。《意见》明确了我国实现碳达峰碳中和的时间表、路线图，明确提出总目标：到2025年，单位国内生产总值能耗比2020年下降13.5%；单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%；非化石能源消费比重达到20%左右。到2030年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上；非化石能源消费比重达到25%左右，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上。到2060年，非化石能源消费比重达到80%以上，碳中和目标顺利实现。

#### 2. 国务院《2030年前碳达峰行动方案》

2021年10月26日，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》（国发〔2021〕23号）（以下简称《方案》）。《方案》在“1+N”政策体系中，是“N”中为首的政策文件。《方案》是碳达峰阶段的总体部署，在目标、原则、方向等方面与意见保持有机衔接的同时，更加聚焦2030年前碳达峰目标，相关指标和任务更加细化、实化、具体化。《方案》聚焦“十四五”和“十五五”两个碳达峰关键期，提出了提高非化石能源消费比重、提升能源利用效率、降低二氧化碳排放水平等方面主要目标。目标与《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》相同。《方案》提出，将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，重点实施“碳达峰十大行动”。

#### 3. 《工业领域碳达峰实施方案》（工信部联节〔2022〕88号）

#### 4. 其他相关（部分）

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》（国发〔2021〕4号）

国务院《“十四五”节能减排综合工作方案》（国发〔2021〕33号）

国家发改委《完善能源消费强度和总量双控制度方案》（发改环资〔2021〕1310号）

国家发改委等五部委《关于严格能效约束推动重点领域节能降碳的若干意见》（发改产业〔2021〕1464号）

国家发改委等五部委《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2021年版）》（发改产业〔2021〕1609号）

工业和信息化部、国家发展改革委等六部委《工业能效提升行动计划》（工信部联节〔2022〕76号）

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》（环综合〔2021〕4号）

财政部《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》（财资环〔2022〕53号）

中国人民银行等三部委《绿色债券支持项目目录（2021年版）》（银发〔2021〕96号）

### (二) 能源供给形势

我国能源安全保障进入关键攻坚期。能源供应保障基础不断夯实，资源配置能力明显提升，连续多年保持供需总体平衡有余。“十三五”以来，国内原油产量稳步回升，天然气产量较快增长，年均增量超过100亿立方米，

油气管道总里程达到 17.5 万公里，发电装机容量达到 22 亿千瓦，西电东送能力达到 2.7 亿千瓦，有力保障了经济社会发展和民生用能需求。但同时，能源安全新旧风险交织，“十四五”时期能源安全保障将进入固根基、扬优势、补短板、强弱项的新阶段。

能源低碳转型进入重要窗口期。“十三五”时期，我国能源结构持续优化，低碳转型成效显著，非化石能源消费比重达到 15.9%，煤炭消费比重下降至 56.8%，常规水电、风电、太阳能发电、核电装机容量分别达到 3.4 亿千瓦、2.8 亿千瓦、2.5 亿千瓦、0.5 亿千瓦，非化石能源发电装机容量稳居世界第一。

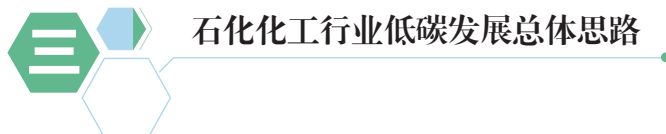
《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》提出：到 2025 年，单位国内生产总值能耗比 2020 年下降 13.5%；单位国内生产总值二氧化碳排放比 2020 年下降 18%；非化石能源消费比重达到 20% 左右；到 2030 年，单位国内生产总值能耗大幅下降；单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 65% 以上；非化石能源消费比重达到 25% 左右，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上；到 2060 年，能源利用效率达到国际先进水平，非化石能源消费比重达到 80% 以上，碳中和目标顺利实现。

总体看，近期我国能源安全问题较为突出，油气资源不足、依赖进口的特征仍将在相当长的时间内存在；中长期能源转型已成为确定趋势，化石能源消费占比大幅下降，可再生能源利用将逐步占据主导地位。

### （三）技术创新形势

面对碳中和需求，我国将实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大前沿科技项目，推动低碳零碳负碳技术装备研发取得突破性进展。聚焦化石能源绿色智能开发和清洁低碳利用、可再生能源大规模利用、新型电力系统、节能、氢能、储能、动力电池、二氧化碳捕集利用与封存等重点，深化应用基础研究。积极研发先进核电技术，加强可控核聚变等前沿颠覆性技术研究。

总体看，面向碳中和的相当一部分技术仍处于研究阶段，未形成成熟的工业应用。石化化工行业未来需要在适应可再生能源为主的电网、氢能、储能、二氧化碳捕集利用封存等方面加强新技术研究开发。



### （一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，深入贯彻习近平生态文明思想，按照党中央、国务院决策部署，坚持稳中求进工作总基调，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，加快建设石化化工强国，锚定碳达峰碳中和目标愿景，坚持系统观念，统筹处理好行业发展和减排、整体和局部、长远目标和短期目标、政府和市场的关系，以深化供给侧结构性改革为主线，以重点子行业达峰为突破，着力构建绿色制造体系，提高资源能源利用效率，推动数字化智能化绿色化融合，扩大绿色低碳产品供给，加快石化化工行业绿色低碳转型和高质量发展。

### （二）总体原则

统筹谋划，系统推进。坚持在保持制造业比重基本稳定、确保产业链供应链安全、满足合理消费需求的同时，将碳达峰碳中和目标愿景贯穿石化化工生产各方面和全过程，积极稳妥推进碳达峰各项任务，统筹推动各子行业绿色低碳转型。

效率优先，源头减碳。坚持把节约能源资源放在首位，提升利用效率，优化用能和原料结构，推动企业循

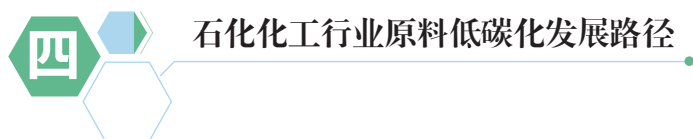
环式生产，加强产业间耦合链接，推进减污降碳协同增效，持续降低单位产出能源资源消耗，从源头减少二氧化碳排放。优先选择以降碳效率高、经济效益好的降碳路径有序实施。

创新驱动，数字赋能。坚持把创新作为第一驱动力，强化技术创新和制度创新，推进重大低碳技术工艺装备攻关，强化新一代信息技术在绿色低碳领域的创新应用，以数字化智能化赋能绿色化。

政策引领，市场主导。坚持双轮驱动，发挥市场在资源配置中的决定性作用，更好发挥政府作用，健全以碳减排为导向的激励约束机制，充分调动企业积极性，激发市场主体低碳转型发展的内生动力。

### (三) 主要路径

石化化工行业低碳发展，要在原料低碳化、过程低碳化、产品低碳化、二氧化碳捕集利用等主要方向上发力。



### (一) 石化化工行业原料分析

石化化工行业原料主要有两类，一类是石油、煤炭、天然气等化石能源矿产，一类是磷矿石、硫铁矿、原盐矿、钾盐矿、硅矿、萤石矿、钛矿、石灰矿、锂矿、硼矿等非能源矿产。这两类原料对碳排放的影响主要是：

#### (1) 石油、煤炭、天然气等化石能源矿产

这类原料生产的产品包括成品油、三烯、三苯、乙炔、合成氨、甲醇、乙二醇等大宗产品。其生产过程主要包括三部分碳排放：一是由于原料氢碳比小于产品氢碳比，从元素平衡角度需要脱碳（或加氢），产生直接碳排放；二是为提供高温反应热，生产过程部分原料或次级原料燃烧反应供热，产生直接碳排放；三是生产过程动力设备消耗的电力、蒸汽产生间接碳排放。

#### (2) 非能源矿产

这类原料生产的产品是对应元素相关化工产品，包括磷硫化学品、盐化学品、硅氟化学品、钛化学品、电石等含钙化学品、锂化学品、硼化学品等。其生产过程主要包括两类碳排放：一是碳酸盐型矿分解加工过程产生直接碳排放，如石灰分解、碳酸锂分解等；二是生产过程耦合的化石能源反应产生直接碳排放；三是生产过程电解反应、动力设备等消耗的电力、蒸汽产生间接碳排放。

我国石化化工行业利用的能源矿产原料的情况如下所示。

我国石化化工行业利用的能源矿产原料

序号	原料种类	2021年用量	主要产品
1	石油	约 9400 万吨	三烯、三苯
2	煤炭	约 2.5 亿吨原煤	合成氨、甲醇、电石、烯烃、乙二醇、合成油气
3	天然气	约 390 亿立方米	合成氨、甲醇、乙炔

序号	原料种类	2021 年用量	主要产品
4	轻烃	约 3500 万吨	烯烃

## (二) 原料低碳化分析

总体而言，非能源矿山的品位会对相应元素化工产品的生产过程能耗造成较大影响，从而影响单位产品的碳排放量，这部分原料低碳化的主要任务是加强进入化工过程的矿山的品位管理，加强相关选矿适用技术研发和应用。

石化化工原料中化石能源矿山的低碳化是原料低碳化的重点。其核心进程与我国能源转型的宏观进程是一致的，即低碳能源替代高碳能源，可再生能源替代化石能源。石化化工原料低碳化的主要路径如下。

### 石化化工原料低碳化的主要路径

序号	行业	路径
1	炼油	制氢原料调整，以天然气制氢、绿电制氢代替煤制氢
2	乙烯（石化）	烯烃原料轻质化、多元化，以乙烷、丙烷、丁烷等代替石脑油原料
3	煤化工（含合成氨，甲醇，煤制烯烃、乙二醇）	合成气原料调整，以天然气转化制合成气、绿电制氢补充调和部分替代煤气化合成气
4	聚氯乙烯	乙烯法 PVC 代替电石乙炔法 PVC

原料低碳化的碳减排效益如下表所示。

### 原料低碳化的碳减排效果比较（吨二氧化碳 / 吨产品）

序号	产品	原料路线 1		原料路线 2		原料路线 3	
		原料	吨产品碳排放	原料	吨产品碳排放	原料	吨产品碳排放
1	炼厂氢气	煤	20	天然气	10	绿电	0
2	烯烃	石脑油	1.0	轻烃	0.8		
3	煤化工						
(1)	甲醇	煤	3.1	天然气	0.5	绿电	-1.4



序号	产品	原料路线 1		原料路线 2		原料路线 3	
		原料	吨产品碳排放	原料	吨产品碳排放	原料	吨产品碳排放
(2)	合成氨	煤	4.5	天然气	2.0	绿电	0
(3)	烯烃	煤	10	石油	2.0	天然气	2.5
(4)	成品油	煤	6.7	石油	0.3		
(5)	天然气	煤	4.7 t/kNm <sup>3</sup>	天然气	0		
(6)	乙二醇	煤	6.1	石油	1.2	天然气	2.4
4	聚氯乙烯	乙烯	2.3	乙炔	7.4		

## 石化化工行业过程低碳化发展路径

### （一）过程碳排放及其分析

过程碳排放主要是消耗的蒸汽、电力产生的间接碳排放；对于自备热电的化工生产装置，蒸汽和部分电力的间接碳排放转化为自备热电装置的直接碳排放。

### （二）过程低碳化主要途径

过程低碳化要通过“流程再造”，实现低碳甚至零碳排放，主要途径包括：

#### 1. 装置节能

装置节能的直接效果是生产吨产品消耗的蒸汽、电力数量下降，从而减少相关碳排放。主要措施包括：优化装置的工艺技术方案、优化设备配置及选型、优化能量系统集成、优化控制系统。

#### 2. 自备热电节能

自备热电节能的直接效果是降低蒸汽、电力的碳排放因子，从而减少相关碳排放。主要措施包括：优化锅炉运行，使用低碳燃料替代高碳燃料等。

#### 3. 外购电低碳化

外购电低碳化的直接效果是降低外购电力的碳排放因子，从而减少相关碳排放。主要措施包括：自建源网荷储一体化配套绿电，购买绿色认证电力，跟随电网整体排放因子下降而下降等。

### （三）装置节能主要方向

#### 1. 优化反应过程

催化剂是工业节能中的关键点，新型催化剂可形成更有效的工艺过程。部分可采用较低温度和压力的条件下实现反应，节省加热和压缩所需能量；部分可提高选择性，减少副产物，可节省单位产品的原料和动力消耗，

并降低后续分离和精制过程的负荷和能耗；部分可提高反应活性，降低反应过程的推动力，减少反应过程能耗。吸热和放热反应需优化反应器型式，解决合理低碳供热或反应热合理利用问题。

## 2. 优化分离过程

分离过程的能耗在化工、炼油工业中占 40% ~ 70%，分离过程的节能取决于分离的工艺、所采用的化工单元操作和其系统的能量集成。分离工艺决定了分离的效果和所需消耗的能量。分离单元操作包括精馏、吸收、萃取、吸附、蒸发、结晶、干燥、浸取、膜分离、过滤、离心分离等，此外为实现分离过程的工艺物料必需的温度、压力等，还需有加热、冷却、流体流动与压缩、搅拌与混合等辅助操作。上述单元操作能耗共同构成了分离过程能耗。分离过程应尽可能采用适用且高效的操作单元。

## 3. 优化设备配置及选型

化工单元操作设备包括塔设备（精馏、吸收、萃取等），流体输送、压缩设备（泵、压缩机等），换热设备（锅炉、加热炉、换热器、加热器、冷却器等），以及其他设备（吸附、蒸压、结晶、干燥等），各自有其特有的节能方式。

### 优化设备的主要路径

设备	措施
塔设备	采用高效、低阻力降的新型塔板以及新型填料。
流体输送和压缩设备	选用合适的液体机械，避免“大马拉小车”的情况，避免造成能量浪费。选择合适的流量调节方式，对可变负荷的设备，采用调速控制。合理选择经济流速，求取最佳管径。
换热设备	加强设备保温、防止结垢，保持合理的传热温差，强化传热。采用高热效率的锅炉和加热炉，控制过量空气，提高燃烧特性。
设备保温	应用新型保温材料，降低设备热量散失引起的能量浪费

## 4. 优化能量系统集成

优化工艺流程，避免不必要的反复加热冷却、加压卸压过程。技术经济条件适合时，用气体膨胀机或液力透平代替节流回收余压能量。对装置中不同等级、品位的热能，用夹点技术进行换热网络优化，驱动蒸汽和加热蒸汽优化配置。对低位热能，采用热泵、膨胀透平发电、吸收制冷等方式加以利用。通过串联设备设定梯级操作条件，形成多效精馏、多效蒸发等方式达到节能效果。

## 5. 优化控制系统

加强仪表计量工作，做好装置的能量衡算、用能分析及能量调度。通过精确控制，适应物流、能流高度耦合的高水平生产操作需求。对关键工艺参数实现卡边控制，避免品质冗余带来的能量浪费。深化对装置的理解，探索装置运行的智能动态调整，实现自感知、自学习、自决策、自执行、自适应控制模式，为未来石化化工装置适应波动性电网提供必要的准备。





### (一) 传统产品减量低碳化

等效减量。加大科技创新力度，优化改性手段、改进复合材料、提升材料性能。深化对材料结构 - 性质 - 性能关系的理解，实现材料性能与应用场景的更优匹配。优化石化化工产品终端形式，提升终端产品的有效利用率。通过性能提升、匹配优化及有效利用，实现在保持同等终端使用性能的前提下减少石化化工产品的用量。

延寿工程。以降低全生命周期碳排放为目标开发绿色低碳产品，提升产品性能及在使用环境中的耐候性，延长产品使用寿命，提高产品使用效率，一定程度上降低产品消费量。

### (二) 新兴产品支撑社会低碳化转型

石化化工材料在支撑电力、工业、交通、建筑等行业节能减排过程中发挥物质基础和先导性作用，随着社会的发展，对化工材料在增加品种、提高质量、满足各领域需求、有效利用资源、减少环境的污染等方面提出更高要求，未来石化化工行业需要不断突破高性能产品的自主产业化能力，以支撑我国社会的低碳转型发展。

石化化工行业为社会低碳转型提供的材料支撑（单位：万吨）

类别	产品名称	2021年	2025年	2030年	备注
锂电池材料	正极材料	150	630	1650	全球市场
	负极材料	84	294	770	全球市场
	隔膜 (亿 m <sup>2</sup> )	108	420	1100	全球市场
	电解液	61	315	825	全球市场
风电材料	碳纤维	2.25	4.9	6.8	
	环氧树脂	20.0	35	42	
	聚醚胺	3.8	6	7.5	
	结构泡沫 (万 m <sup>3</sup> )	46	80	100	
	涂层	5.6	9.8	10.5	
光伏材料	PVDF 背板膜 (亿 m <sup>2</sup> )	10.8	13.6	16.2	
	EVA 胶膜 (亿 m <sup>2</sup> )	18.2	17.4	18.3	
	POE 胶膜 (亿 m <sup>2</sup> )	0.3	4.4	7.8	
轻量化材料	车用塑料	313	540	825	
	碳纤维复合材料	0.25	0.4	1	
绿色轮胎	半钢胎	半钢胎绿色比例约为 68%	4.8 亿条, 绿色化率 82%	5 亿条, 绿色化率 90%	产量
	全钢胎	全钢胎绿色比例约为 33%	1.7 亿条, 绿色化率 37%	1.1 亿条, 绿色化率 55%	产量

类别	产品名称	2021年	2025年	2030年	备注
建筑保温材料	绝热材料	/	/	/	千吨级
低 GWP 值含氟 ODS 替代品		0.4	2.8	10.5	

综合分析，在低碳化工材料的支撑作用下，到 2025 年对相关行业直接或间接的降碳潜力超过 14 亿吨。

### 石化化工行业支撑的间接降碳绩效（预计）

材料类别	间接降碳绩效
锂电池材料	到 2025 年，汽车行业新增新能源汽车的使用周期内二氧化碳排放量可以削减约 1.8-2.3 亿吨；2030 年可以削减约 3.5-4.1 亿吨。到 2060 年，纯电动车全生命周期碳排放可达每公里 23 克，碳减排潜力巨大。
风电材料	预计 2025 年我国风电发电量 1.5 万亿千瓦时，若按全部替代火电折算（火电排放系数取 581 tCO <sub>2</sub> /GWh），则 2025 年因发展风电降低的二氧化碳排放量为 8.7 亿吨。
光伏材料	预计 2025 年光伏发电量将达到 3700 亿 kWh，根据我国发电行业平均碳排放系数 581 tCO <sub>2</sub> /GWh 计算，2025 年时我国光伏发电对传统发电的替代可减少二氧化碳排放约为 2.15 亿吨。
汽车轻量化材料	以塑料及复合材料轻量化率按 40%、碳排放降低效果取中间值测算，2025 年汽车行业新增车辆的使用周期内二氧化碳排放量可以削减约 2000 万吨；2030 年可以削减约 2300 万吨。
绿色轮胎	预计到 2025 年，全国汽车保有量达 3.8 亿辆。使用绿色轮胎后，按汽车每百公里油耗减少 0.15 升计，汽车每年行驶按 3 万公里计，绿色轮胎市场化率按 70% 计，则使用绿色轮胎每年可减少排放 2698 万吨二氧化碳。到 2030 年，全国汽车保有量达 4.2 亿辆。绿色轮胎市场化率按 80% 计，则每年可减少排放 3408 万吨二氧化碳。
建筑保温材料	建筑运营过程：2025 年时，全面使用保暖材料对建筑行业间接二氧化碳减排的潜力约为 475 万吨。2030 年时，全面使用保暖材料对建筑行业间接二氧化碳减排的潜力约为 550 万吨。
低 GWP 值含氟 ODS 替代品	2021 年，我国含氟 ODS 替代品消费量约为 10.3 亿吨二氧化碳当量。随着我国履行《基加利修正案》和开展 ODS 淘汰工作，预计到 2025 年，我国含氟 ODS 替代品消费量可以削减到约 9 亿吨二氧化碳当量；预计到 2030 年，我国含氟 ODS 替代品消费量可以削减到约 3 亿吨二氧化碳当量；预计到 2060 年，我国含氟 ODS 替代品消费量可以削减到约 1 亿吨二氧化碳当量。

### （三）产品废弃及回收

积极发展循环经济，以资源高效、循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，对“大量生产、大量消费、大量废弃”增长模式进行的变革。对使用后废弃的机油、塑料、橡胶等进行回收、加工和再利用，实现相关产品的减量消费。下游玻璃等产品的回收再利用，也将间接减少纯碱产品的消费。对石化化工生产过程的废弃物如电石渣、磷石膏等进行综合利用，提升资源循环利用水平。

以塑料为例，2021 年，我国塑料消费量超过 1 亿吨，当年废弃塑料产量约 6000 万吨，总体回收率为 27%。若将回收率提高 20 个百分点，即可替代约 1200 万吨新塑料生产，降低约 3000 万吨二氧化碳排放量。



## 二氧化碳捕集利用

总体来看，我国 CCUS 项目的捕集技术已趋于成熟，地质利用和封存部分核心技术也取得了重大突破。二氧化碳驱油提高石油采收率等已进入商业化应用初期阶段，但经济成本仍是制约我国 CCUS 规模化发展的关键。

目前 CCUS 示范工程投资额都在数亿元人民币的规模，全流程初始投资及维护成本之和每吨二氧化碳超千元，其中捕集过程成本约 200-300 元 / 吨 CO<sub>2</sub>，低浓度二氧化碳捕集成本更高达近 900 元 / 吨。罐车运输成本约 0.9-1.4 元 / 吨·公里。驱油封存技术成本差异较大，但因驱油封存可以提高石油采收率，补偿 CCUS 成本。据测算，当原油价格 70 美元 / 桶时，可基本平衡 CCUS 驱油封存成本。

CCUS 技术作为二氧化碳减排重要措施之一，其发展潜力可期。从驱油封存角度考虑，我国约有 100 亿吨石油地质储量适宜于二氧化碳驱油，预期可增采 7 亿~14 亿 t，全国的枯竭油气田、无商业价值的煤层和深部咸水层的二氧化碳封存潜力超过 2300 亿吨，其中咸水层封存潜力最大。我国当前需要进一步积累经验逐步促进 CCUS 成本下降和技术水平提升，为实现 CCUS 的长期商业化应用做好准备。

石化化工行业需要发挥特长，研究、开发和试验二氧化碳高值化利用技术，为远景碳中和目标建立必要的技术储备，如低成本空气捕集二氧化碳，二氧化碳低成本微藻转化，合成甲醇、碳酸二甲酯、聚酯等。

2030 年前是我国石化化工行业由大到强的发展时期，也是全行业低碳转型发展的关键时期，通过在原料、工艺过程、低碳产品、公用设施等方面的改造提升和技术突破，石化化工行业必将迎来绿色低碳、高质量发展的新局面。

