

# 总 报 告

## B.1 中国碳达峰碳中和最新进展、面临挑战及建议

国家电力投资集团有限公司课题组 中国国际经济交流中心课题组

**摘 要:** 在国内疫情多点散发、经济增长压力持续加大，乌克兰危机、要素价格暴涨与大国博弈等内外部因素作用下，我国碳达峰碳中和工作稳步推进，取得积极进展。展望未来，“双碳”支持政策体系将更加完善，新模式、新业态加速涌现，不同地区和行业碳达峰路径进一步差异化、明细化，工作推进将更加务实。下一步，需把握先立后破、有序推进的总体要求，筑牢保障能源安全和保持经济持续增长的底线，加快规划建设新型能源体系，积极稳妥推进“双碳”工作。大力推进煤炭资源清洁高效利用，有序发展现代煤化工等原料用煤产业。着力推动煤炭与新能源优化组合，实现新能源大规模发展。



加快产业结构转型步伐，有序发展高载能新兴产业和绿色低碳产业。全面加强能源资源节约与循环利用，加大需求侧管理力度。健全“双碳”基础性制度和政策体系，夯实工作基础。差异化推进国际合作，为实现“双碳”目标构建良好外部环境。

**关键词：**碳达峰 碳中和 低碳转型 化石能源消费

2022年以来，国内外形势出现复杂变化。乌克兰危机持续演进，迫使欧洲深陷能源供应紧张泥潭，碳中和进程出现暂时性回摆。全球能源供需结构随之变动，大国博弈阻滞全球应对气候变化工作推进。国内疫情多点散发，经济增长面临前所未有的压力，先立后破，保障能源安全的重要性凸显。长远来看，我国推进“双碳”目标实现的决心和信心不会变，碳达峰行动方案将加速落地，各地区、各行业实现碳达峰的路径和举措将更加明确，“双碳”工作体制机制也将进一步完善，确保“双碳”目标如期实现。

## 一 国际碳中和进展及动向

### （一）总体进展

#### 1. 能源相关二氧化碳排放量创下历史新高

受新冠肺炎疫情影响，2020年能源需求大幅下降，全球能源燃烧和工业过程产生的二氧化碳排放量降低18.6亿吨。伴随各国经济逐步恢复，2021年全球二氧化碳排放量出现强劲反弹，同比增长6%，达到363亿吨（见表1），较2019年疫情前水平还高出约1.8亿吨，是有史以来年度最高水平。

分能源品种看，煤炭使用产生的二氧化碳排放量创历史新高，达到 153 亿吨，占全球二氧化碳排放量超过四成。天然气消费需求明显增加，产生的二氧化碳排放量约 75 亿吨。石油使用产生的二氧化碳排放量约 107 亿吨，仍低于疫情前水平。2021 年，电力和供热部门的二氧化碳排放量最多且增长最快，占全球排放增量的 46%，其次是工业、交通、建筑等领域。

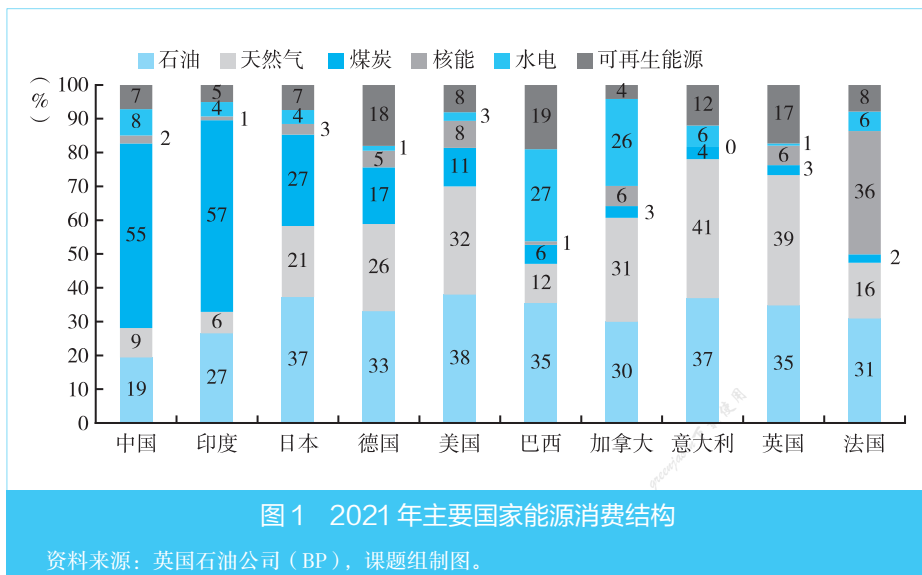
表 1 2019~2021 年能源相关二氧化碳排放情况

单位：百万吨，%

	二氧化碳排放量			增长率	
	2019 年	2020 年	2021 年	2019~2020 年	2020~2021 年
总计	36077	34221	36257	-5.1	6.0
其中：煤炭	14768	14409	15268	-2.4	6.0
石油	11344	9940	10693	-12.4	7.6
天然气	7270	7164	7489	-1.5	4.5
生物质能燃料和浪费	231	242	269	4.7	11.2
工业过程	2464	2465	2540	0	3.0

资料来源：国际能源署（IEA），课题组制表。

截至 2022 年 6 月，已有超过 130 个国家和地区宣布碳中和目标或计划，这些国家和地区约占全球二氧化碳排放总量的 83%、全球经济总量的 91%、全球人口总数的 80%。全球已有 54 个国家实现碳达峰，其中大部分属于发达国家，这些国家占全球碳排放总量的 40%。中国、新加坡、墨西哥等国家承诺在 2030 年前实现碳达峰，届时实现碳达峰国家将占全球碳排放量的 60%，到 2050 年大部分国家和地区将实现碳中和。碳达峰碳中和目标的如期实现与能源消费结构紧密相关，能源结构相对清洁的国家压力较小，而中国、印度等以煤炭为主的国家任重道远（见图 1）。



## 2. 能源短缺背景下化石能源消费出现“回摆”

世界各国虽然积极推进能源结构改革，但为保障能源安全，仍难以摆脱对化石燃料的依赖。2021年，全球化石燃料占一次能源使用量的82%，其中石油、煤炭、天然气消费分别占31%、27%、24%。一方面，为减少能源价格飙升带来的不利影响，政府补贴大幅提高。包括经济合作与发展组织（OECD）、二十国集团（G20）等在内的51个国家政府对化石燃料的消费补贴由2020年的3624亿美元增至2021年的6972亿美元，支持金额增加将近1倍，并将在2022年进一步增加。另一方面，全球经济从新冠肺炎疫情冲击中开始复苏，天然气价格上涨导致燃煤发电量增加。2021年全球煤炭消费量显著上升，达到160.10艾焦耳，较上一年增长6.3%，其中欧盟地区增长13.2%，德国增长17.5%，法国增长20.5%（见表2）。欧洲煤炭消费量自2013年起逐年下降，由15.80艾焦耳降至2020年的9.48艾焦耳，但在2021年升至10.01艾焦耳，同比增长5.9%。同时，2021年，美国煤炭消费量也出现2013年以来的首次增长，由2020年的9.20艾焦耳上升至10.57艾焦耳，增长15.2%。



表 2 全球主要国家和地区的煤炭消费量情况

单位：艾焦耳，%

国家或地区	煤炭消费量			年增长率	
	2011年	2020年	2021年	2021年	2011~2021年
北美地区	21.25	9.97	11.28	13.5	-6.1
其中：美国	19.70	9.20	10.57	15.2	-6.0
中美和南美地区	1.25	1.31	1.46	11.4	1.6
欧洲地区	15.98	9.48	10.01	5.9	-4.6
其中：欧盟	10.75	5.97	6.74	13.2	-4.6
法国	0.41	0.19	0.23	20.5	-5.5
德国	3.28	1.81	2.12	17.5	-4.3
意大利	0.64	0.21	0.23	8.1	-9.8
英国	1.32	0.20	0.21	3.2	-16.8
独立国家联合体	5.57	5.08	5.17	2.2	-0.7
其中：俄罗斯	3.94	3.29	3.41	4.0	-1.4
中东地区	0.43	0.36	0.34	-6.6	-2.3
非洲地区	4.13	4.17	4.21	1.2	0.2
亚太地区	109.85	120.70	127.63	6.0	1.5
其中：中国大陆	79.71	82.38	86.17	4.9	0.8
印度	12.76	17.40	20.09	15.8	4.6
日本	4.62	4.57	4.80	5.2	0.4
韩国	3.50	3.02	3.04	0.7	-1.4
越南	0.73	2.10	2.15	2.5	11.4
全球总计	158.46	151.07	160.10	6.3	0.1

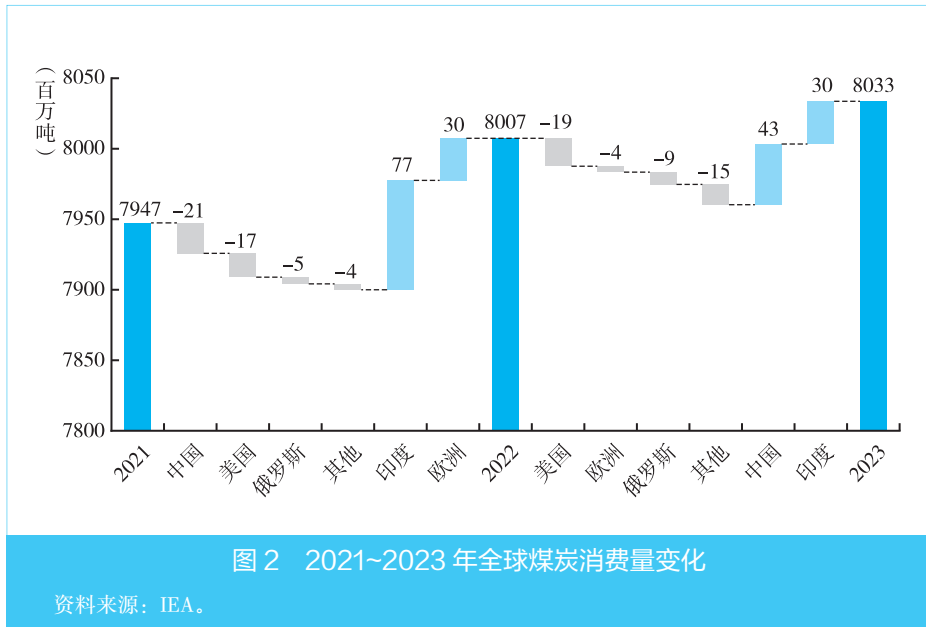
资料来源：BP，课题组制表。

2022年，在异常天气、地缘政治等因素影响下，部分国家和地区陷入能源短缺困境，不得不通过增加煤炭等化石能源用量来应对危

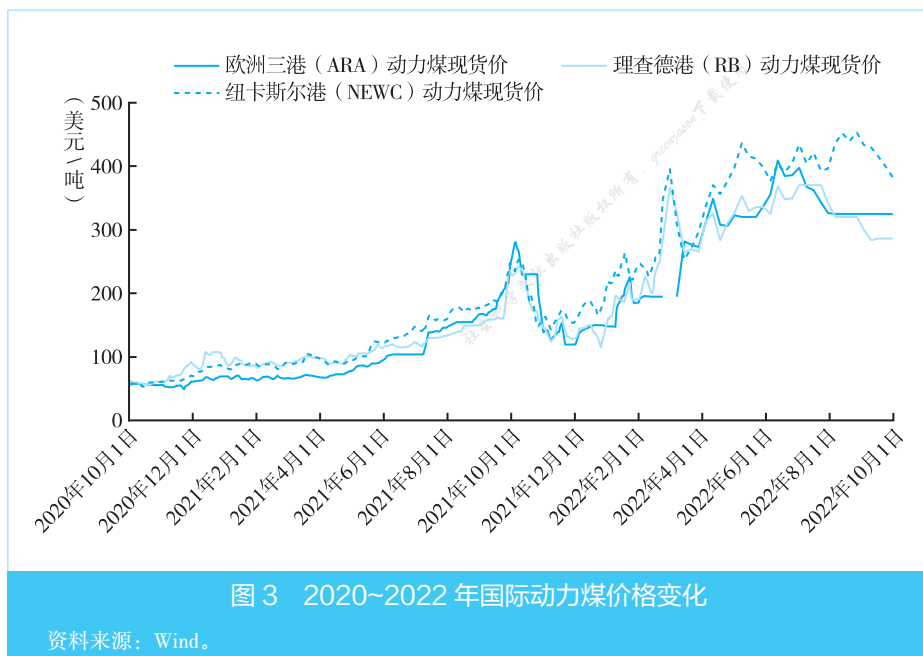


机，全球煤炭消费量进一步升高。由于天然气严重短缺，德国、法国、波兰、英国等欧洲多国开始推进煤炭发电、取暖计划，部分燃煤发电站和核电厂被推迟关闭，多座已关停的煤电或石油发电厂被重启。美国能源信息署（EIA）近期发布的《短期能源展望报告》显示，当前美国电力需求正以每年 2.5% 的速度快速增长，远超燃烧效率的提高以及天然气和可再生能源替代速度，预计 2022 年美国煤炭产量将增加 2000 万短吨，总量达到 5.98 亿短吨。受 2021 年秋季超长季风气候影响，印度煤矿被淹，出现燃煤危机。2022 年以来，印度高温天气导致电力需求加大，遭受近六年来最严重的断电事故，印度在增加煤炭进口的同时，计划于 2022 年底前新开 12 座煤矿。

2022 年全球煤炭需求将重回历史高位，量价齐升。全年消费量可能达到 80 亿吨，为近十年最高水平（见图 2）。



与此同时，国际煤炭价格连创新高，与2020年10月均价不足60美元/吨相比，2021年10月澳大利亚纽卡斯尔港（NEWC）、欧洲三港（ARA）、南非理查德港（RB）动力煤价格分别达到253美元/吨、280美元/吨和242美元/吨，到2022年7月分别上涨至433美元/吨、397美元/吨、370美元/吨，较2020年平均涨幅超过6倍，虽近期略有回落，但仍保持高位（见图3）。



### 3. 低碳能源技术创新加速

为实现碳中和目标，能源技术创新迫在眉睫。研究显示，在过去20年，低碳能源技术的全球专利数量不断增长，尤其是2015年以来，化石燃料技术专利数量呈现下降趋势，与低碳能源技术的快速发展形成鲜明对比（见图4）。

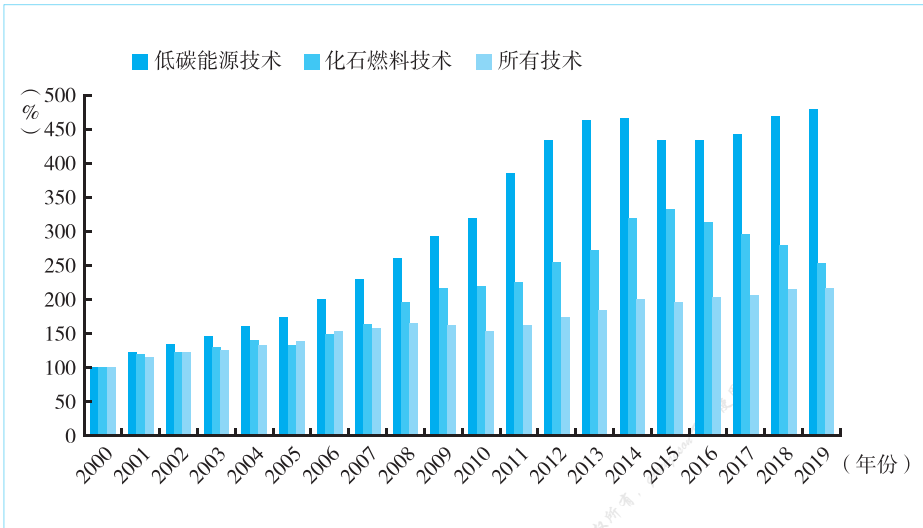


图4 2000~2019年全球能源技术国际专利增长情况

资料来源：欧洲专利局（EPO）；IEA, Patents and the energy transition。

整体来看，2010~2019年，欧洲地区研究机构和企业 在低碳能源技术创新方面处于领先地位，相关技术专利数量占全球低碳能源技术专利总量的28%，其次是日本（25%）、美国（20%）、韩国（10%）和中国（8%），各个国家和地区在不同低碳能源技术领域有所专长（见表3）。从发展趋势看，能源供应技术（Energy supply technologies）创新减少，使能技术（Enabling technologies）和终端应用技术（End-use technologies）加速创新。2019年，终端应用领域技术专利数量占低碳能源技术专利总量的60%，而能源供应领域技术专利数量仅占17%。同时，电池储存、智能电网等使能技术不断创新，推动市场应用成本不断下降。与2010年相比，锂电池价格已下降90%，电网管理成本也降低2/3，加快低碳能源的规模化应用。





表 3 低碳能源技术发展情况

类别	典型技术领域	技术专利领先的国家和地区
能源供应技术	风能	欧洲
	太阳能（包括太阳能光伏、太阳能热、其他太阳能等）	欧洲（太阳能热）、韩国（太阳能光伏）
	其他可再生能源（包括地热能源、水电、海洋能源等）	欧洲（海洋能源）
	非化石来源的燃料（包括生物能源、回收再利用的能源等）	美国（生物能源）
	核能（发电）	美国
使能技术	碳捕集、利用与封存（CCUS）	美国
	电池储能	日本、韩国
	氢能和燃料电池	日本
	智慧电网	—
终端应用技术	建筑	—
	生产（包括化工和炼油、金属和矿物加工、农业、消费产品等）	韩国（消费产品）
	交通（包括电动汽车及相关基础设施、车用燃料电池、航空、水运、铁路相关技术等）	欧洲（铁路）、日本（电动汽车、其他道路车辆）、美国（航空）、中国（铁路）
	计算和通信	韩国、中国

资料来源：EPO，IEA，课题组制表。

#### 4. 地缘政治和极端天气成为新的挑战

全球政治合作是实现碳中和的关键，国际政治冲突将直接影响全球能源合作。以乌克兰危机为例，美国带头拱火俄乌矛盾，于2022年初推动欧盟对俄进行能源领域制裁，“去俄化”措施对欧能源体系造成较大冲击，加之9月北溪天然气管道泄漏，让欧洲深陷能源危机。多国学者表示欧洲国家已“上当”，美国此举不仅离间国际关系，加剧地缘政治矛盾，还趁火打劫向欧洲高价出售能源赚取利益。虽然欧洲国家一直是能源绿色转型的急先锋，但新能源尚不能满足发展需要，多国重启火电致使碳排放量增加，碳中和进程受阻。



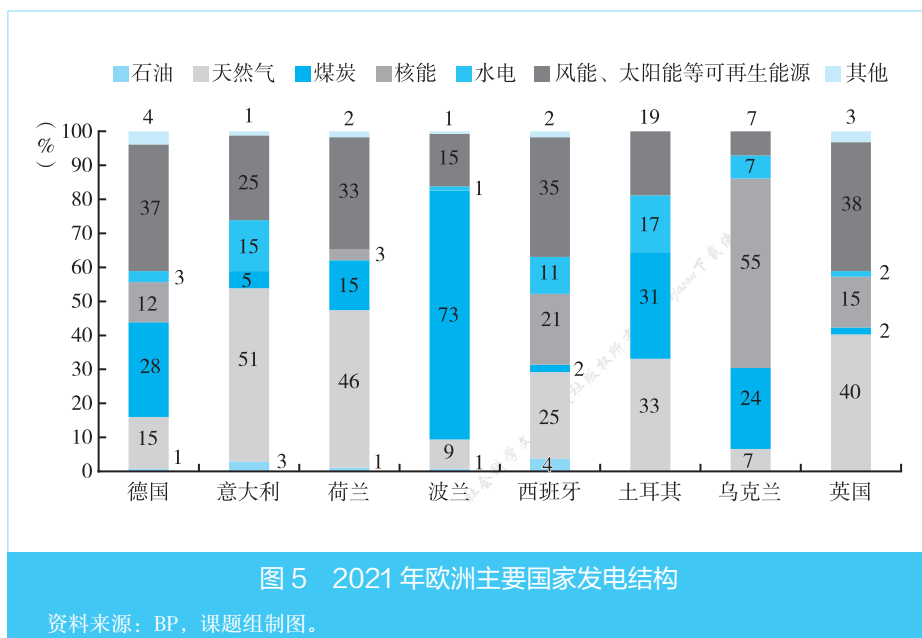
极端天气使传统能源需求增加。世界气象组织（WMO）的报告显示，2015~2021年是有记录以来最热的七年，即使拉尼娜现象带来降温，2021年全球平均气温仍比1850~1900年工业化前的平均气温高出约1.11摄氏度。由于风力异常减弱，2021年欧洲不少地区风电产量较2016~2020年五年的平均水平降低45%。2022年7月是有气象记录以来全球最热的三个7月之一，罕见的高温干旱导致水库河流水量不足、水电能力断崖式下降，西班牙水力发电量处于近20年来的第二低水平，我国四川水电日发电量降幅达50%。用电需求增加，但电力生产能力下降，多地能源严重短缺，不少国家和地区增加传统化石能源消费，增加二氧化碳排放，进一步加大应对气候变化压力。

## （二）典型国家做法

### 1. 重启煤电和核电以解燃眉之急

为摆脱对俄罗斯的油气依赖，欧洲多国不得不重启煤电和核电应对能源短缺困境。2021年，欧洲电力系统中天然气发电的占比为27.7%，其中，意大利、荷兰、英国占比分别达到51%、46%和40%（见图5）。在“去俄化”制裁下，欧洲多国多措并举保障能源安全。2022年6月，德国通过紧急法令重新启用被封存的燃煤电厂，将增加约1/3的煤炭发电量；8月初，米尔海姆火力发电厂率先重启；8月下旬，欧洲单机容量最大的燃煤发电站海登煤电厂也重新启用，初步预计将运营到2023年4月底，以帮助缓解德国冬季能源短缺的状况；10月，联邦内阁通过法案，将尚在运行的三座核电站运营时间由2022年底延长至2023年4月15日，并考虑必要时重启已关闭的核电站。6月，奥地利政府决定重启境内最后一座煤电厂——梅拉赫煤电厂，该煤电厂此前已于2020年春季关停。英国政府推迟燃煤电厂的关闭计划，保障冬季电力供应。9月，法国被迫重启已于3月关停的圣阿沃尔德煤电厂，获准自10月起的未来半年内运行2500小时，满足法国大东区约1/3家

庭的用电需求；要求法国电力公司（EDF）在冬季前重启 32 座核反应堆。此外，欧洲议会将核能列为绿色能源，释放重启或加快核电发展的积极信号。



## 2. 实施更为积极的可再生能源发展战略

2021 年全球可再生能源装机容量达到 3064 GW，同比增长 9.1%，其中水电、太阳能和风能分别占 40%、28% 和 27%。可再生能源新增装机容量的 88% 由太阳能和风能提供。我国是可再生能源增量大国，可再生能源装机规模已突破 11 亿千瓦，稳居世界第一。美国拜登政府鼓励清洁能源发展以应对气候变化，《2022 年通胀削减法案》在光伏、风电、氢能等新能源领域给予高达 3690 亿美元的财政补贴支持，这是美国历史上最大的一项气候支持计划。

欧洲一直是全球可再生能源发展的引领者。受乌克兰危机影响，欧洲国家坚定谋求能源独立，加速推进化石能源替代进程。2022 年 3



月，欧盟“欧洲廉价、安全、可持续能源联合行动方案”（RePowerEU）将提速 2030 年 1000GW 太阳能装机目标，并计划快速推进“减碳 55”（Fit for 55）。7 月，欧洲议会根据“可再生能源指令”（RED），决定到 2030 年可再生能源占欧盟能源的比重提高到 45%。同时，欧盟委员会批准了由德国、法国、西班牙等 15 个成员国联合发起的氢能项目（IPCEI Hy2Tech），将氢能作为能源转型的重要选择。

各国也加速推进可再生能源计划，2022 年 3 月，法国制定面向 2050 年的“法国能源计划”，加快清洁能源替代化石燃料以应对气候变化和电力需求，确保碳中和目标实现。4 月，英国发布《能源安全战略》，加大对核能、海上风电、氢能等领域投资，力争到 2030 年实现 95% 的电力来自低碳能源；9 月，英国工党表示换届当选后将成立国有能源集团 Great British Energy，投资可再生能源项目，助力英国能源独立。7 月，德国通过《可再生能源法》（EEG2023）修正案、“复活节一揽子”（Osterpaket）计划等能源政策，目标是到 2030 年可再生能源发电量占总电力需求的至少 80%，到 2035 年电力供应“基本实现碳中和”；8 月与加拿大签订建立“跨大西洋的加拿大—德国供应走廊”的氢能合作意向书，表示氢能将在德国未来的能源供应中发挥重要作用。

此外，为加快交通领域降碳，欧洲国家纷纷出台新能源汽车鼓励政策。欧洲汽车制造商协会（ACEA）数据显示，2021 年欧洲新能源汽车销量 227 万辆，是全球第二大新能源汽车市场，新能源汽车渗透率约为 19%。根据高工产业研究院（GGII）数据，2022 年 1~8 月，欧洲新能源汽车累计销售 137.6 万辆，同比增长 5%，新能源汽车渗透率为 16.8%。需求扩张带动动力电池销量增长。韩国市场研究公司 SNE Research 统计数据显示，2022 年 1~8 月，全球动力电池装机总量为 287.6 GWh，同比增长 78.7%，连续 26 个月呈增长态势。其中，中国动力电池装机量达到 168.1GWh，同比增长 112%。

### 3. 加快碳市场建设和改革进程

碳市场在全球范围迅猛发展，覆盖范围不断扩大。国际碳行动伙伴组织（ICAP）发布的《2022 年度全球碳市场进展报告》显示，目前全球已有 25 个碳排放交易系统正式运行，覆盖全球 17% 的温室气体排放，涉及区域的 GDP 占全球 GDP 的 55%，另有 22 个碳市场计划近期投入运行。2021 年，欧盟出台“Fit for 55”一揽子计划对碳市场实施方案进行全面改革，包括逐年降低碳排放上限、减少免费配额、扩大碳市场覆盖范围等。2022 年，欧洲议会通过碳边境调节机制（CBAM）修正提案，将在钢铁、铝、电力、水泥、化肥、有机化学品、塑料、氢和氨等高能耗产品领域，对碳排放限制政策相对宽松的国家或地区的企业征税，与欧盟碳排放交易体系并行，互为补充。作为美国首个强制性碳排放权交易体系，区域温室气体减排行动（RGGI）于 2021 年倡议成员州启动碳市场体系审查，审议 2030 年后进一步削减排放上限，实施更严格的排放要求。韩国积极改革碳排放交易体系规则，取消区分国内国际的碳抵消，实施更严格的碳排放上限，扩大碳排放交易体系覆盖范围到总排放量的 73% 以上。此外，俄罗斯库页岛、印度尼西亚、马来西亚、菲律宾等国家和地区也开启碳市场试点和建设工作。

### 4. 加强国家层面气候领域合作

携手应对气候变化已成为各国共识。2021 年 11 月，第 26 届联合国气候变化大会（COP26）在落实《巴黎协定》与应对全球气候变化的国际治理谈判中取得重要进展，印度、泰国、尼泊尔等国家做出新的净零承诺，巴西调整其消极的气候政策并加入《关于森林和土地利用的格拉斯哥领导人宣言》，各国承诺和行动的落实将助力全球气候治理工作。中美两国于 2021 年 4 月达成《中美应对气候危机联合声明》，并在 COP26 发布《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》。2022 年 8 月，受美国国会众议长佩洛西窜



访台湾事件的严重影响，中美双边气候变化商谈被迫暂停。作为应对气候问题的重要参与者，中美两国在气候领域有长期合作基础，拜登政府也致力于碳减排应对气候变化，气候问题特使约翰·克里多次呼吁中美恢复双边气候谈判，未来中美两国仍有望进一步深化气候变化合作。

### （三）主要跨国公司做法

#### 1. 调整发展战略加速绿色转型

随着各国提出碳中和目标和路径，企业也加速绿色转型。美国通用汽车以打造可持续的未来出行为目标，推动脱碳减排，将电气化、氢燃料电池、自动驾驶及车辆互联作为重点发展领域，预计 2020~2025 年投入 350 亿美元加速电动汽车业务发展。传统油气企业积极布局新能源业务，马来西亚国家石油公司于 2022 年 6 月设立全资控股子公司 GENTARI，为商用、工业及零售客户提供可再生能源、氢能及绿色出行解决方案，通过综合业务模式实现企业脱碳。公司在全球拥有 1.1 GW 的可再生能源运营和开发能力，已签署 12 份氢能项目开发谅解备忘录，在印度和马来西亚市场安装 190 多个充电桩，交付超过 250 辆电动车。

#### 2. 构建低碳环保生产体系

企业生产经营活动过程中存在大量碳排放，不少企业通过建设绿色制造体系，实现内部节能减排。松下电器提出力争到 2050 年实现 3 亿吨以上的二氧化碳减排目标，相当于目前全球二氧化碳总排放量的 1%，具体措施包括加速节能技术创新，促进车载电池、供应链管理、制冷制热等领域创新，研发和利用新能源设备等。苹果公司于 2020 年实现运营过程 100% 碳中和，并将在低碳产品设计、提高效能、推进可再生能源利用以及工艺、产品创新等方面投入更多资源降碳。苹果公司在全球有超过 110 个制造合作伙伴承诺在生产其产品时 100% 使用

可再生能源，苹果公司预计将在 2030 年实现所有产品在制造、使用等全环节的碳中和。

### 3. 加快减排固碳技术应用

各行业加快开展碳中和相关业务，着重培育减排固碳技术，适度借助碳抵消手段。英国石油公司（BP）积极开拓碳捕获、利用与封存（CCUS）业务，2019 年投资碳捕获公司 C-Capture 开展 CCUS 技术研发，2020 年参与英国北海关于碳运输和存储基础设施的项目，将提赛德和亨伯赛德地区工业排放二氧化碳封存至海底，预计 2026 年建成运营可减少英国工业碳排放的 50%。BP 还开展碳抵消业务，2020 年购买美国最大植树公司 Finite Carbon 股权，抵消超过 8000 万吨碳排放量。壳牌公司在中国陕西榆林、广东大亚湾等地开展碳捕集与封存（CCS）技术项目，建设碳捕集量达 1000 万吨的海上 CCS 集群。宝马集团对动力电池进行回收再利用的闭环管理，2022 年与浙江华友循环科技有限公司合作，通过拆解动力电池，高比例提炼镍、钴、锂等核心原材料，100% 用于宝马新能源汽车动力电池的再生产，减少矿产资源开采碳排放的 70%，显著降低动力电池全生命周期的碳足迹。

### 4. 开发和推广绿色低碳产品

通过技术创新打造绿色产品已成为企业发展的重要方向。日立能源在实现自身运营使用 100% 非化石能源电力的同时，结合客户在可持续发展领域需求及日立的技术专长，推出 EconiQ™ 环保型变压器，助力国家电网打造我国首个“零碳”变电站。梅赛德斯-奔驰提出力争 2030 年前能够实现乘用车碳排放减半的目标，并大力发展电动汽车，2022 年推出的纯电车型 EQE 的部分车身结构采用 100% 可回收钢材，有效降低 60% 的能耗。此外，公司还在欧洲市场 30 万个公共充电站推出“绿色充电”功能，确保将与车辆充电等量的可再生能源电力输入电网。



#### （四）未来趋势

近两年，受地缘政治、恶劣气候、乌克兰危机等因素影响，全球碳中和进程受到阻滞，但长期来看，全球坚定推进绿色可持续发展的方向不会改变，发展清洁能源、实现绿色低碳转型仍是各国共同追求。

##### 1. 如期实现碳中和目标的难度加大，但低碳转型发展方向不会改变

各国实现碳中和目标的主要路径都是从电力系统出发，降低化石能源尤其是减少煤炭的发电占比，提高风电、水电、光伏、生物质能等清洁能源比重，同时改善整体能源结构，增加电力使用以减少甚至淘汰煤炭和石油的使用，加快氢能应用等。受地缘政治、技术发展等多重因素影响，部分国家和地区的碳中和目标有所变动，例如丹麦首都哥本哈根已放弃 2025 年前实现碳中和目标，另外还有一些国家虽作出净零排放承诺但尚未出台针对性减排措施，或将影响碳中和目标的如期实现。但从长远来看，各国追求碳中和、加快能源转型、共同应对气候变化的方向没有改变。

##### 2. 能源安全在一段时间内成为关注重点，加快推进化石燃料从主体能源向保障性能源转变

2022 年初以来，欧洲较为激进的能源政策在乌克兰危机中暴露出严重的能源安全问题，缺油少气、电价高涨的严峻挑战为世界各国能源安全敲响警钟。面对错综复杂的国际局势，能源市场贸易风险逐步加剧，各国寻求能源独立的愿望不断加深，推动可及性更强且清洁低碳的可再生能源快速发展是共同追求。未来，可再生能源将逐步替代化石能源作为主体能源使用，而作为调节和补偿风能、太阳能等资源波动性的手段，化石燃料储备在能源结构中承担更多保障性作用。

##### 3. 全球加大清洁能源投资力度，我国将在能源转型中发挥重要作用

2021 年，全球一次能源消费量为 595.15 艾焦耳，我国能源消费量占全球的 26%，且能源结构以煤为主，绿色低碳转型空间巨大。2022



年上半年，全球可再生能源投资额达2660亿美元，创下最高投资纪录，我国可再生能源投资额占全球总量的43%，成为全球清洁能源发展的“领头羊”。其中，大型太阳能项目投资较上年增长173%，风电项目投资同比增长107%，远超世界平均水平。我国海上风电装机容量已超过英国和德国，达到全球风电总装机容量的40%，沙漠地区大型太阳能和风力发电厂建设项目也已开始。据IEA预测，2022年全球可再生能源发电量将增长10%，成为增长最快的电力供应来源，中国将贡献全球增量的45%。此外，我国能源领域制造企业也位于世界前列，全球十大风力涡轮机制造商和太阳能组件制造商中，分别有6家和8家来自中国。

## 二 中国碳达峰碳中和最新进展

目前，我国碳达峰碳中和“1+N”政策体系已经建立，“双碳”顶层设计已正式出台，分领域、分行业实施方案和支撑保障措施正在加速完善，各省（区、市）先后制定了本地区碳达峰实施方案，企业积极加入碳达峰碳中和行动，“双碳”工作取得积极进展。

### （一）“双碳”总体进展

我国能源绿色低碳转型正在稳步有序推进，清洁能源消费量在能源消费量中的比重快速攀升，产业结构持续优化升级，能源效率水平不断提升。

#### 1. 单位GDP碳排放明显下降

当前，我国经济发展任务依然很重，能源消耗量及碳排放总量仍处在上升期。与此同时，我国加快绿色低碳转型，节能减排效果突出。根据国家统计局数据，2021年我国以5.2%一次能源消费总量增长支撑了8.1%的国内生产总值增速。二氧化碳排放也得到较



好控制，BP 数据显示，2021 年我国能源活动产生的二氧化碳排放量增速控制在约 5.5%，达到 105 亿吨。以此测算，我国能源活动产生的二氧化碳排放量与 GDP 的比值保持下降趋势，由 2010 年的 2.54 吨二氧化碳 / 万元 GDP 下降至 2021 年的 0.96 吨二氧化碳 / 万元 GDP。

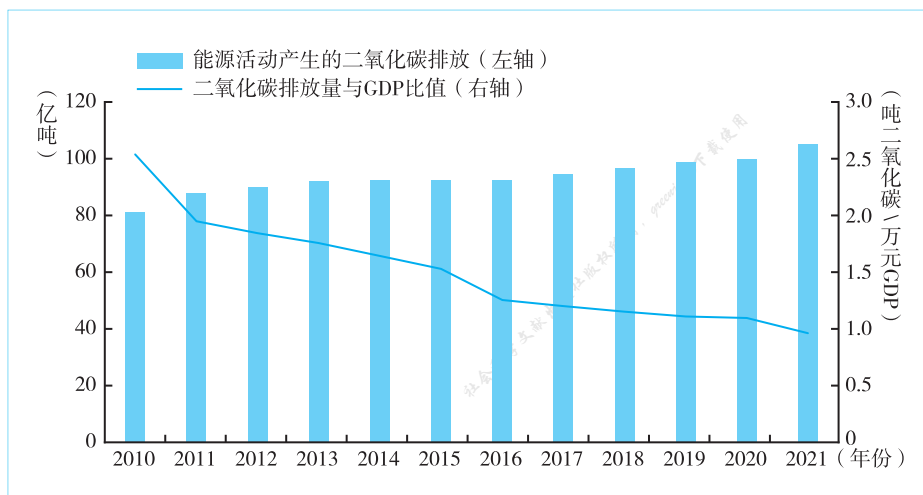


图 6 2010~2021 年我国二氧化碳排放趋势

资料来源：二氧化碳排放数据来自 BP，GDP（不变价）数据来自国家统计局。

## 2. 能源结构向绿色低碳转型

我国能源消费总量稳步提升，清洁能源占比快速提高。2021 年，我国一次能源消费总量 52.4 亿吨标准煤，同比增长 5.2%。其中，煤炭消费量升至 29.3 亿吨标准煤，同比增长 4.6%，但消费占比降至 56.0%，同比下降 0.9 个百分点，较 2012 年下降 12.5 个百分点。天然气和水电、核电、风电等清洁能源消费量逐年升高，2021 年合计占比升至 25.5%，较 2012 年提高 11 个百分点（见表 4），能源结构绿色低碳转型成效显著。

表 4 2012~2021 年我国一次能源消费情况

单位：万吨标准煤，%

年份	能源消费总量	占能源消费总量比重			
		原煤	原油	天然气	水电、核电、风电
2021	524000	56.0	18.5	8.9	16.6
2020	498314	56.9	18.8	8.4	15.9
2019	487488	57.7	19.0	8.0	15.3
2018	471925	59.0	18.9	7.6	14.5
2017	455827	60.6	18.9	6.9	13.6
2016	441492	62.2	18.7	6.1	13.0
2015	434113	63.8	18.4	5.8	12.0
2014	428334	65.8	17.3	5.6	11.3
2013	416913	67.4	17.1	5.3	10.2
2012	402138	68.5	17.0	4.8	9.7

资料来源：国家统计局。

### 3. 电力结构不断优化

我国电力装机总量稳步增长，2021 年我国电力总装机容量达到 23.77 亿千瓦。电力装机结构不断优化，火电装机占比逐步下降，风光等新能源装机占比逐年提高。2021 年，火电装机 12.97 亿千瓦，占比由 2012 年的 71.5% 下降到 2021 年的 54.6%；风电装机 3.28 亿千瓦，占比由 2012 年的 5.4% 上升到 2021 年的 13.8%；太阳能发电装机 3.07 亿千瓦，占比由 2012 年的 0.3% 上升到 2021 年的 12.9%；水电装机 3.91 亿千瓦，占比 16.5%；核电装机 5300 万千瓦，占比 2.2%（见图 7）。根据国家发展改革委数据，截至 2022 年上半年，我国可再生能源装机规模已突破 11 亿千瓦，水电、风电、太阳能发电、生物质发电装机均居世界第一。

从发电量来看，我国发电量规模逐年上升，2021 年达到 8.38 万亿千瓦时，较上年的 7.63 万亿千瓦时增长 9.83%。电量结构不断优化，



火电虽然仍是我国主力电源，但所占比重已从2012年的78.6%降至2021年的67.4%。风电、太阳能发电量合计占比由2012年的2.1%升到2021年的11.7%（见图8），增长明显。

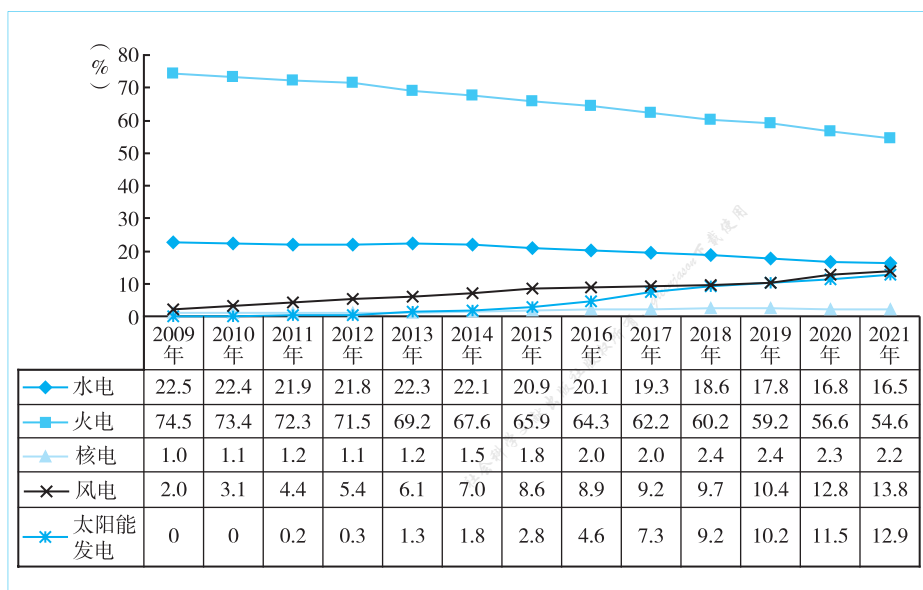


图7 2009~2021年我国各类型电源装机容量占比变化

资料来源：Wind 数据库。

#### 4. 产业结构持续升级

近年来，我国深入推进供给侧结构性改革，化解落后产能取得积极成效。以钢铁行业为例，根据国家发展改革委数据，2012~2021年合计退出过剩钢铁产能1.5亿吨以上，取缔地条钢1.4亿吨。同时，大力发展战略性新兴产业。近几年高技术制造业增加值保持10%左右高速增长，持续快于工业增加值总体增速（见图9），2021年高技术制造业增加值占规模以上工业增加值比重达到15.1%，比2012年增加5.7个百分点，新产业、新业态、新模式等“三新”产业增加值占GDP的比重达到17.25%。

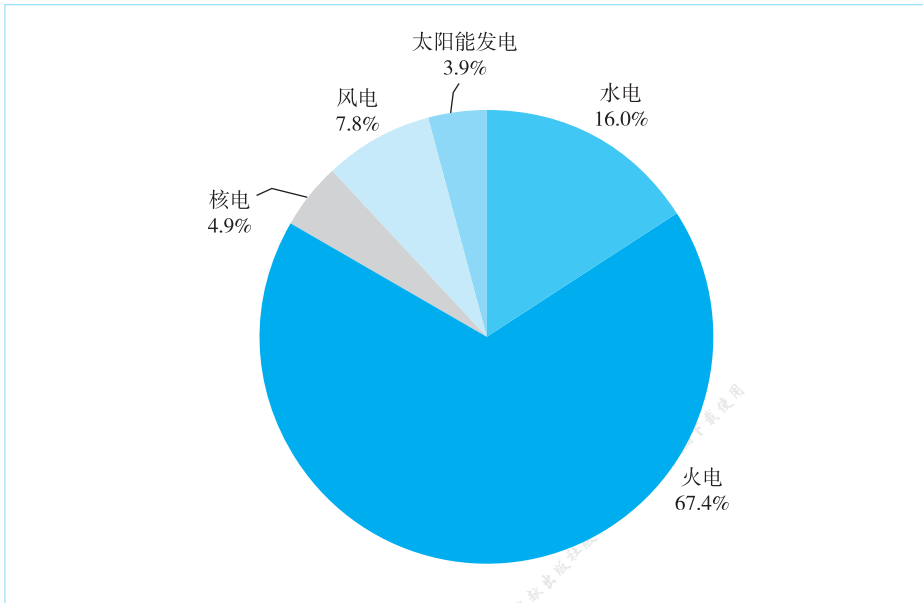


图8 2021年我国发电量结构

资料来源：Wind 数据库。

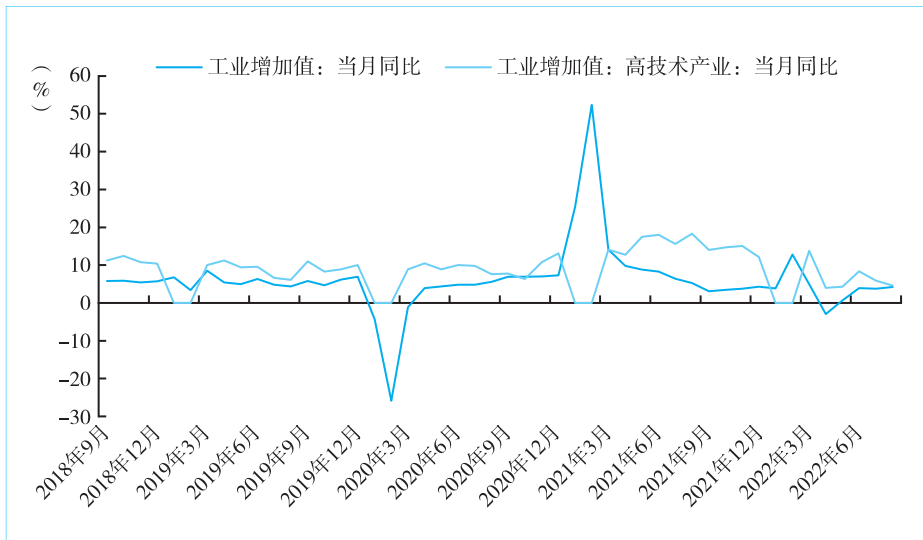


图9 我国工业总增加值与高技术产业工业增加值同比增速

资料来源：Wind 数据库。



作为国家战略性新兴产业，新能源汽车近年来发展迅速。2022年前8个月，我国新能源汽车销量达到386万辆，比上年同期增长1.1倍；保有量达到1099万辆，约占全球一半。与此同时，我国动力电池出货规模快速增加。根据中国汽车动力电池产业创新联盟数据，2022年1~9月，我国动力电池产量累计达到372.1GWh，同比增长176.2%。需求扩张带动锂价大涨，Wind数据显示，2022年9月底碳酸锂价格涨至51.3万元/吨，较2021年初的5.3万元/吨上涨近9倍。

### 5. 能源资源使用效率提升

近年来，我国大力推动节能减排和资源节约集约循环利用，引导重点用能行业企业节能改造，能源资源利用效率大幅提升。单位GDP能耗保持下降趋势，2021年降至0.56吨标准煤/万元（见图10），较2012年下降了26.4%，单位GDP水耗下降了45%，主要资源产出率提高58%。

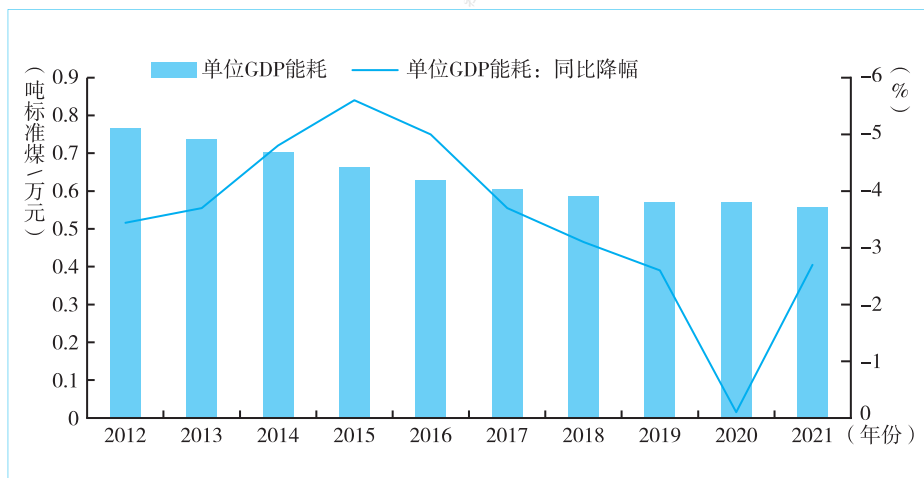


图10 我国单位GDP能耗变化趋势

资料来源：Wind 数据库。

### 6. 全国碳市场加速建设

建设全国碳市场是利用市场机制控制和减少碳排放的重要政策工

具。2021年7月11日，全国碳排放权交易市场上线交易。一年多来，市场制度体系初步建立，市场运行总体平稳，促进企业减排和碳定价方面的作用初步显现。截至2022年7月11日，全国碳市场累计成交额超过84.90亿元，成为世界上运行规模最大的碳市场，共纳入发电行业重点排放单位2162家，年覆盖温室气体排放量45亿吨二氧化碳。根据生态环境部的部署，下一步将按照“成熟一个行业批准发布一个行业”的原则扩大碳市场覆盖行业范围，逐步纳入石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、航空等行业重点排放单位，碳市场规模将进一步扩大。

## （二）“双碳”主要工作动态

### 1. 碳达峰碳中和“N”政策体系快速完善

我国碳达峰碳中和“1+N”政策体系已经建立。2021年10月，我国“双碳”工作的顶层设计《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》和《2030年前碳达峰行动方案》（以下简称《行动方案》）发布。2022年以来，各部门围绕《行动方案》提出的“碳达峰十大行动”工作部署，在所涉及的能源、节能、交通、城市建设等重点领域出台40多项政策，“双碳”政策体系中的“N”正在快速建立和完善，对相关行业的定位和发展方向作出了重要的部署，为下一步我国“双碳”行动指明了方向。

表5 一年来“碳达峰十大行动”相关政策及保障措施

十大行动及保障措施	政策名称	公布时间
能源绿色低碳转型	国家发展改革委、能源局《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》	2022年1月
	国家发展改革委、能源局《“十四五”现代能源体系规划》	2022年3月
	国家发展改革委、能源局《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》	2022年3月
	国家发展改革委等六部门《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平（2022年版）》	2022年5月



续表		
十大行动及保障措施	政策名称	公布时间
能源绿色低碳转型	国家发展改革委、能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》	2022年5月
	国家发展改革委等九部门《“十四五”可再生能源发展规划》	2022年6月
节能降碳增效	国务院《“十四五”节能减排综合工作方案》	2022年1月
	国家发展改革委等四部门《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》	2022年2月
	生态环境部等七部门《减污降碳协同增效实施方案》	2022年6月
工业领域碳达峰	工业和信息化部《“十四五”工业绿色发展规划》	2021年12月
	工业和信息化部、国家发展改革委、生态环境部《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》	2022年2月
	工业和信息化部等六部门《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》	2022年4月
	工业和信息化部、国家发展和改革委员会《关于化纤工业高质量发展的指导意见》	2022年4月
	工业和信息化部、国家发展和改革委员会《关于产业用纺织品行业高质量发展的指导意见》	2022年4月
	工业和信息化部等五部门《关于推动轻工业高质量发展的指导意见》	2022年6月
	工业和信息化部等六部门《关于印发工业水效提升行动计划》的通知	2022年6月
	工业和信息化部等六部门《关于印发工业能效提升行动计划》的通知	2022年6月
	工业和信息化部、国家发展改革委、生态环境部《关于印发工业领域碳达峰实施方案》的通知	2022年8月
城乡建设碳达峰	中共中央办公厅、国务院办公厅《关于推动城乡建设绿色发展的意见》	2021年10月
	住房和城乡建设部《“十四五”建筑业发展规划》	2022年1月
	国务院《“十四五”推进农业农村现代化规划》	2022年2月
	住建部《“十四五”住房和城乡建设科技发展规划》	2022年3月
	住房和城乡建设部《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》	2022年3月
	农业农村部、国家发展改革委《农业农村减排固碳实施方案》	2022年6月
	住房和城乡建设部、国家发展改革委《城乡建设领域碳达峰实施方案》	2022年7月





续表		
十大行动及保障措施	政策名称	公布时间
交通运输绿色低碳	国务院《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》	2022年1月
	交通运输部《绿色交通“十四五”发展规划》	2022年1月
	交通运输部、国家铁路局、中国民用航空局、国家邮政局《贯彻落实〈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〉的实施意见》	2022年6月
循环经济助力降碳	国家发展改革委《“十四五”循环经济发展规划》	2021年7月
	工业和信息化部等八部门《加快推动工业资源综合利用实施方案》	2022年2月
绿色低碳科技创新	国家能源局、科技部《“十四五”能源领域科技创新规划》	2022年4月
	科技部等九部门《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》	2022年8月
碳汇能力巩固提升	国家市场监督管理总局、中国国家标准化管理委员会《林业碳汇项目审定和核证指南》	2021年12月
	自然资源部《海洋碳汇经济价值核算方法》	2022年2月
绿色低碳全民行动	教育部《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》	2022年5月
各地区梯次有序碳达峰	各地区根据自身发展定位、经济社会发展实际和资源环境禀赋出台的碳达峰碳中和政策	
保障措施	国家开发银行《实施绿色低碳金融战略支持碳达峰碳中和行动方案》	2021年12月
	生态环境部《做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作》	2022年3月
	中国银保监会《银行业保险业绿色金融指引》	2022年5月
	国家税务总局《支持绿色发展税费优惠政策指引》	2022年5月
	财政部《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》	2022年5月
	国家发展改革委、国家统计局、生态环境部《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》	2022年8月

## 2. 煤炭作为兜底保障能源的定位进一步确立

我国富煤贫油少气的资源禀赋决定了未来一段时间内煤炭在能源体系中仍将发挥重要作用。2021年下半年的“拉闸限电”等问题，提醒我们能源低碳转型非一日之功，“运动式”去煤既不科学也不现实。2022年3月，国务院副总理韩正在煤炭清洁高效利用工作专题座谈会



上表示，要切实发挥煤炭的兜底保障作用，确保国家能源电力安全保障。2022年5月，国家发展改革委、国家能源局发布的《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》指出，大型风电光伏发电基地建设，要以其周边清洁高效先进节能的煤电为支撑，煤电的“兜底”作用进一步确立。短时期内，煤炭消费总量仍有上升空间，煤炭供应依然趋紧，产能还将进一步扩大。2022年4月20日，国务院常务会议指出，要发挥煤炭的主体能源作用，2022年新增煤炭产能3亿吨。

### 3. 新能源大基地建设提速

推动可再生能源对化石能源的有序替代，是实现“双碳”目标的必然选择。目前，整体规模达4.55亿千瓦的沙漠、戈壁、荒漠大型风电光伏基地项目正在加快推进，项目清单已经印发，纳入国务院印发的扎实稳住经济一揽子政策措施当中（见表6）。项目主要布局在内蒙古、宁夏、新疆、青海、甘肃等地区，这些地区正积极推进项目建设。根据《“十四五”可再生能源发展规划》，“十四五”期间，可再生能源消费量在一次能源消费增量中占比将超过50%，发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过50%，风电和太阳能发电量实现翻倍。

表6 4.55亿千瓦风光大基地规划布局方案

基地类型	基地名称	到2030年规划建设装机	“十四五”已规划新能源装机规模
沙漠基地	库布齐（内蒙古）	2.84亿千瓦	3900万千瓦
	乌兰布和（内蒙古）		2100万千瓦
	腾格里（内蒙古）		4500万千瓦
	巴丹吉林沙漠基地（内蒙古）		2300万千瓦
采矿论陷区	陕北	0.37亿千瓦	1900万千瓦
	宁夏		600万千瓦
	蒙西		400万千瓦
	晋北		800万千瓦
其他沙漠和戈壁地区		1.34亿千瓦	

资料来源：国家发展改革委、国家能源局《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》。

#### 4. 加快推动新能源全面参与市场交易

随着新能源装机量和发电量的不断提升，新能源参与电力市场交易的重要性、紧迫性愈加凸显。2022年1月，国家发改委、国家能源局发布《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》，目标到2030年基本建成全国统一电力市场体系，国家市场与省（区、市）/区域市场联合运行，新能源全面参与市场交易。两部门发布的《关于加快推进电力现货市场建设工作的通知》中指出，有序推动新能源参与市场交易，统筹推动绿电交易、绿证交易工作。支持具备条件的新能源电力现货试点不间断运行，尽快形成长期稳定运行的电力现货市场。目前，两批电力现货市场试点省份中已有多地开展了新能源现货市场化交易，陕西、青海、新疆等省份也已发布新能源发电企业参与市场化交易实施方案，新能源电力市场建设未来还将进一步加快。绿电交易、绿证交易市场也在加速建设，根据国家发展改革委数据，截至2022年9月底，我国绿电交易成交电量已超200亿千瓦时，核发绿证超5000万张，折合电量超500亿千瓦时。

#### 5. 能耗“双控”向碳排放“双控”转变

能耗“双控”制度是我国推动能源转型、提高能效的重要手段。但随着新能源比例的不断提高，未区分清洁能源和非清洁能源，单纯对能耗进行控制的弊端逐步显现。2021年12月，国务院印发的《“十四五”节能减排综合工作方案》提出，“十四五”新增可再生能源电力消费量，不纳入能源消费总量的考核当中。2022年1月，习近平总书记在中共中央政治局第三十六次集体学习时提出，要进一步完善能耗“双控”制度，健全“双碳”标准，构建统一规范的碳排放统计核算体系，推动能源“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变。“双控”对象的转变，强化了我国碳减排措施的精准性，有利于统筹发展和减排，突出了控制化石能源消费的政策导向，为清洁能源发展进一步松绑。



### (三) 企业主要实践

#### 1. 中央企业和龙头民营企业先行

近一年来，各行业中央企业、龙头民营企业“双碳”行动不断加快，有效带动全产业绿色低碳转型。“双碳”目标发布后，能源、钢铁、电力等各行业中央企业积极响应，制定碳达峰碳中和行动方案，推动企业绿色低碳发展。目前，已有近 20 家中央企业发布了“双碳”行动方案。2022 年 8 月，《中央企业节约能源与生态环境保护监督管理办法》正式实施，要求中央企业积极稳妥推进碳达峰碳中和工作，企业碳排放将与负责人考核挂钩。在推动自身减碳行动的同时，更好地发挥中央企业示范与带头作用，加快产业链落后产能退出与绿色低碳发展步伐，提升市场对相关产业发展前景和潜力的信心，带动更多企业加入绿色低碳发展行列。

表 7 各行业中央企业“双碳”行动方案发布情况

行业	企业名称	行动方案及主要目标
能源	中国石油天然气集团有限公司	《中国石油绿色低碳发展行动计划 3.0》(2022 年 6 月): 按照“清洁替代、战略接替、绿色转型”三步走总体战略, 力争 2025 年左右实现“碳达峰”, 2035 年外供绿色零碳能源超过自身消耗的化石能源, 2050 年左右实现“近零”排放
	中国海洋石油集团有限公司	《中国海油“碳达峰、碳中和”行动方案》(2022 年 6 月): “十四五”期间, 中国海油碳排放强度力争下降 10%~18%, 新能源等战略性新兴产业投资占全部资本性支出之比达到 5%~10%。力争 2028 年实现碳达峰, 2050 年实现碳中和, 非化石能源产量占比超过传统油气产量占比
	中国核工业集团有限公司	《中核集团碳达峰碳中和工作行动纲要》(2022 年 1 月): 集团在 2025 年力争当年核风光水等各类清洁能源发电量等效减排二氧化碳超过 2.5 亿吨, 万元产值综合能耗比 2020 年下降超过 13.5%, 万元产值二氧化碳排放比 2020 年下降超过 18%, 鼓励有条件的重点单位率先实现碳达峰; 2030 年力争当年核风光水等各类清洁能源发电量等效减排二氧化碳超过 5 亿吨, 万元产值二氧化碳排放比 2005 年下降 65% 以上; 2060 年推动核能成为我国的主力能源



续表

行业	企业名称	行动方案及主要目标
电力	国家电网有限公司	《国家电网“碳达峰、碳中和”行动方案》(2021年3月):“十四五”期间,国家电网规划建设7回特高压直流,新增输电能力5600万千瓦。到2025年,公司经营区跨省跨区输电能力达到3.0亿千瓦,输送清洁能源占比达到50%
	中国南方电网公司	《南方电网公司碳达峰行动方案》(2022年3月):到2030年,南方五省区和港澳地区的能源电力行业和公司自身碳排放率先达峰,服务支撑南方五省区非化石能源消费占一次能源消费比重超过42%;风电、太阳能发电新能源装机达到2.5亿千瓦以上,非化石能源装机占比达到65%,非化石能源发电量占比达到61%;电能占终端能源消费比重达到38%以上
	中国大唐集团有限公司	《中国大唐集团有限公司碳达峰与碳中和行动纲要》(2021年6月):2021~2030年为达峰阶段,非化石能源装机占比升至60%左右,每度电二氧化碳排放减少20%左右。2030~2060年为减排阶段。非化石能源装机升至90%以上,确保2060年前实现碳中和并力争提前碳中和
通信	中国联合网络通信集团有限公司	《中国联通“碳达峰、碳中和”十四五行动计划》(2021年6月):实施“3+5+1+1”行动计划,建立3大碳管理体系——碳数据管理体系、碳足迹管理体系、能源交易管理体系,聚焦5大绿色发展方向,深化拓展共建共享,数字赋能行业应用
	中国移动通信集团有限公司	《中国移动碳达峰碳中和白皮书》(2021年7月):到“十四五”期末,在公司电信业务总量增加1.6倍的情况下,碳排放总量控制在5600万吨以内
	中国电信集团有限公司	《中国电信碳达峰、碳中和行动计划》(2021年8月):“十四五”期间,实现4G/5G网络共建共享节电量超过450亿千瓦时,新建5G基站节电比例不低于20%。大型、超大型绿色数据中心占比超过80%,新建数据中心PUE低于1.3。到“十四五”期末,实现单位电信业务总量综合能耗和单位电信业务总量碳排放下降23%以上
航空	中国南方航空集团有限公司	《南方航空碳达峰碳中和行动方案》(2021年11月):大力推进先进生物液体燃料、可持续航空燃料等替代传统燃油,提升终端燃油产品能效。到2030年,民用运输机场场内车辆装备等力争全面实现电动化

资料来源:课题组整理。

民营企业数量庞大,资源型和劳动密集型企业较多,是我国绿色低碳发展的重要群体。近一年来,民营企业“双碳”行动明显加快,



特别是一些龙头企业，在践行绿色低碳发展的同时，推动产业链整体绿色低碳转型。比如，华为推动生产经营及产品服务过程中的绿色低碳转型，2021年使用可再生能源电量超3亿千瓦时，较上一年增长42.3%，主力产品平均能效提升至2019年的1.9倍，并对重点产品检测整体碳足迹，推动上游供应商设定碳减排目标。腾讯宣布实施“净零行动”，承诺不晚于2030年实现自身运营及供应链的全面碳中和，不晚于2030年100%使用绿色电力。

### 2. 新能源领域布局加速

在“双碳”政策推动下，新能源产业迎来新一轮爆发，企业布局明显加快。国家能源、华能、华电、三峡等企业“十四五”期间新增新能源装机目标均超过70GW。光伏领域，装机快速增长带动中上游企业产能提升。根据中国光伏行业协会数据，2021年初至2022年6月，我国企业光伏扩产项目超过300个。2022年上半年，多晶硅、硅片、电池、组件产量同比增长均在45%以上。分布式光伏项目发展迅速，据《中国电力报》数据，2021年新增分布式光伏装机约占全部新增光伏装机量的55%，首次超过集中式光伏新增装机。国家电投《建设世界一流光伏产业宣言（2022）》提出，将以分布式光伏和户用储能为基础，探索新能源保供新模式。中国石化拟计划在“十四五”期间建设7000座分布式光伏发电站点。风电领域，根据国信证券数据，2022年1~8月全国风电招标容量规模达到65.3GW，已打破2019年创造的全年纪录，招标方主要为华能、国家能源、华电、华润、国家电投等中央企业、国有企业。其中海上风电招标规模达到13.2GW，同比增速快于陆上风电。

### 3. 现代煤化工加速发展

在“双碳”目标下，煤制油、煤制气、煤制烯烃等现代煤化工产业已成为煤炭清洁高效利用的重要方向。煤制油气方面，2022年8月，全球单体规模最大煤炭间接液化项目——国家能源集团400万吨/年煤

炭间接液化示范项目通过竣工验收。煤制油气行业呈现良好发展态势。根据石化联合会数据，2022年上半年，8家煤制油项目的产能利用率为86.8%，较上年同期提高9.2个百分点，产量、销量、主营业务收入分别同比增长11.8%、16.7%和64.8%；4家煤制气项目的产能利用率高达104.5%，同比提高16.7个百分点，产量、销量、主营业务收入分别同比增长42.9%、47.4%和138.3%。煤制化工品方面，2022年9月，全球最大的在建煤化工项目——陕煤集团煤炭分质利用制化工新材料示范项目一阶段（180万吨/年乙二醇）工程正式建成投产；同月，世界首套煤制聚乙醇酸可降解材料示范项目由国家能源集团实现工业化生产。我国煤化工产业正向高端化、多元化、低碳化快速发展。

#### 4. CCUS、氢能等技术研发和项目试点加快

“双碳”目标的实现需要关键技术重大突破做支撑。近年来，企业纷纷加大CCUS和氢能等领域的技术研发投入和项目试点。2022年8月，中石化齐鲁石化-胜利油田CCUS项目正式注气运营，是国内建成的首个百万吨级CCUS项目。6月，中海油与壳牌（中国）、埃克森美孚（中国）公司签署了大亚湾区CCUS集群研究项目谅解备忘录，拟共同建设中国首个海上规模化碳捕集与封存集群，储存规模可最高达1000万吨/年。氢能方面，可再生能源制氢项目进展迅速，目前全国项目已超过40个。其中，新疆库车绿氢示范项目全部采用光伏、风电等可再生能源发电制氢，制氢规模将达到每年2万吨，是目前全球最大的绿氢项目。输氢环节，2022年7月，中石油玉门中长距离输氢管道全线贯通。掺氢管道也在开展研究和项目示范，其中国家电投在辽宁朝阳10%比例的天然气管道掺氢示范项目安全运行一年有余。终端应用方面，我国氢燃料电池汽车增速较快，截至2021年底氢燃料汽车保有量达到近9000辆。2022年上半年销量1803辆，同比增长192%。国家电投氢能公司自主研发的“氢腾”燃料电池汽车，在2022年北京冬奥会期间累计接驳人数超16万人次，实现“零失误、零故障”。在钢铁



行业，宝武集团、河钢集团、鞍钢集团等钢铁企业近两年也纷纷开展氢冶金示范工程。2022年9月，全球首套绿氢零碳流化床高效炼铁新技术示范项目——鞍钢集团氢冶金项目开工，预计2023年投入运行。

### 5. 企业碳资产管理关注度提升

碳资产是指在碳交易体系下，政府分配给企业的碳排放量配额，以及企业投资开发的零排放项目或者减排项目所产生的可在碳市场交易的减排信用额。随着碳市场覆盖企业规模不断扩大，如何做好碳资产管理逐渐引起企业关注。目前，中石油、中核集团、宝武集团、河钢集团等企业先后成立碳资产管理公司，中石化、中海油也设立专门碳资产管理部门，主要负责企业碳数据、碳交易、碳资产运营等业务。未来，碳资产管理还将有很大的发展空间，并与碳金融业务深度融合，为企业低碳转型提供更大助力。

## 三 面临的挑战

当前，我国产业转型面临经济增长约束及成本和技术等制约，能源结构调整还需把握好转型与安全的关系，新能源大规模发展体制机制仍不顺畅，“双碳”目标推进与地区间差异有待更好协调，金融工具应用、市场体系建设等方面还不够完善，“双碳”国际合作外部冲击因素增多。未来仍需统筹考虑，妥善应对挑战，促进“双碳”工作行稳致远。

### （一）产业低碳转型面临稳增长、降成本、促创新等多重约束

一是经济增长内在需求与“双碳”目标约束矛盾凸显。我国正处于高质量发展和建设社会主义现代化强国的阶段，经济增长对能源消费的需求仍将稳步提升。我国城镇化率稳步增长，近十年平均增速为1.39%，2021年为64.72%，要达到西方发达国家水平（80%左右）大



约还需十年，与碳达峰进程整体一致。同时，我国碳排放总量仍不断增加，2021 为 119 亿吨，占世界碳排放总量的 33%，其中能源行业碳排放量占总排放量的 88%。此外，我国万元 GDP 能耗为 0.46 吨标准煤，远高于大部分发达国家（美、日、德分别为 0.21 吨标准煤、0.19 吨标准煤、0.16 吨标准煤）。既要确保经济增长需要，又要在较短时间内实现“双碳”目标，任务紧迫而艰巨。

二是传统行业转型升级承压。在“双碳”目标背景下，我国传统行业普遍面临绿色低碳转型压力，但转型成本高、技术路径不一，需要长时间摸索和试验。以炼化行业为例，部分传统炼化产能面临关停并转、优胜劣汰局面，行业生产重心正逐步转向更清洁的交通运输能源、炼油特色产品等，国内大型钢铁企业也纷纷参与布局氢冶金等低碳项目。然而，“绿电—电解水制氢”在成本上短期内难以和“高炉—转炉”长流程开展竞争，在工艺上仍需重点解决可再生能源制绿氢与冶金流程的耦合等问题。

三是新兴低碳产业受技术、材料、能耗指标等因素制约。IEA 分析指出，全球 2050 年实现净零排放的关键技术中，目前有 50% 的技术尚未成熟。同时，可再生能源电力还面临稀有材料严重短缺问题，包括光伏的度电材料镍、钢、镓、锗、碲等稀有金属，以及风电的钕、镨、镱等稀土元素。2022 年以来，电池级碳酸锂价格持续高位，压缩动力电池环节利润空间，电池成本上涨对新能源汽车产业形成较大压力。此外，在能耗“双控”制度下，部分新兴产业和大数据中心的发展受能耗指标限制，平衡能耗、碳减排和经济发展之间的关系，是“双碳”目标面临的突出挑战之一。

## （二）能源结构调整需解决好保安全、顺机制、强技术等问题

一是能源低碳转型与能源安全保供处于两难困境。我国是世界上最大的能源消费国，目前经济发展仍以高化石能源为基础，煤炭依



然是保障我国能源安全的“压舱石”。2021年，我国煤炭产量和消费量分别占全球总量的50.5%和53.8%，同比增长分别为6.0%和4.9%。同时，乌克兰危机导致欧洲能源危机以及全球大宗商品价格持续走高，我国能源保供稳价间接承压。此外，我国去产能及“双碳”目标约束，叠加冬季采暖负荷大，导致缺煤、高煤价并衍生出“煤荒式电荒”，煤电企业生存困难，煤电角色转变困难。

二是新能源大规模发展机制体制不顺。当前我国新能源电力并网仍面临外送通道不畅、电力电量平衡不够、市场机制不顺等难题，电力系统的消纳能力和经济性问题较突出。此外，新能源发展缺乏合适的电力辅助服务费用补偿与分摊机制，平价新能源难以承受辅助服务市场对资金的需求。

三是储能、氢能、CCUS等“双碳”领域技术突破和商业化应用仍需时日。新型储能参与电力市场交易是系统性工程，仍需完善规划建设、调度运行、电力市场、安全管理等方面措施。氢能产业发展仍面临氢源不绿、技术不强、成本不菲（绿氢成本高）、场景不多、标准不全等瓶颈，产业同质化问题较为突出。CCUS项目普遍面临产业流程长、能耗损失大、成本负担重等难题。如煤电示范项目捕集每吨二氧化碳将额外增加140~600元的成本，短期内难以大规模应用。

### （三）区域发展不均衡加大“双碳”工作统筹协调难度

一方面，受地理位置、资源禀赋、产业分工等因素影响，我国碳排放分布存在明显的区域不均衡。一是碳排放总量差别较大。2019年我国排放量最高的6个省份（山西、山东、内蒙古、江苏、辽宁、陕西），其排放总量占全国排放量的比例高达47%，而排放量最少的15个省份，排放总量仅占全国排放量的21%。二是所处碳排放阶段不同。例如，山西、山东、内蒙古、广东等省份碳排放总量仍保持增长趋势，北京、吉林、河南、重庆和青海等省市近年则出现了碳排放量持续下

降的趋势，部分省份碳排放增速逐渐放缓，正处于碳排放平台期。因此，“双碳”工作需要统筹好整体和局部的关系，不能搞齐步走、“一刀切”式减碳。

另一方面，碳数据统计制度仍不够完善。目前联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）指南的计算方法是基于国家地域内所有部门的排放，未涉及省、市、县区域间的跨界和交叉性问题。我国能源供需存在逆向分布格局，如晋蒙陕新等煤炭资源富集的省份煤电外送多用于支撑东部发达地区，但与电力相关的碳排放有一部分计在供给地，难以有效发挥减排激励机制的作用。

#### （四）“双碳”推进仍缺乏足够资金和金融工具支持

一是实现“双碳”目标所需资金缺口较大。据国家气候战略中心预测，为实现碳中和目标，到2060年我国新增气候变化领域投资需求规模139万亿元，2021~2060年年均增加3.48万亿元。自2018年以来，我国年均新增气候投融资贷款1.7万亿元，与每年超3万亿元的新增投资需求相比仍有较大缺口。此外，气候投融资领域涉及低碳绿色产业和碳汇、碳捕集等负碳产业，投融资活动具有周期长、收益低、投资大等特征。对于金融机构和投资者而言，提高自身对绿色项目的识别能力和风险把控能力尤为重要。

二是参与投资主体较为单一。当前“双碳”目标所需的资金缺口仍以绿色信贷、绿色债券、绿色保险等传统的绿色金融业务为主，且参与主体多为国内政策性金融机构及大型中资商业银行。对多边和双边国际组织绿色项目资金的利用还远远不够，国内民营资本等市场化手段潜力也有待挖掘，需调动更多的国际资本、社会资本及公共资金参与。

三是碳金融产品及衍生品较为欠缺。近年来，我国陆续推出碳中和债券、绿色债券、碳远期交易、碳排放权抵质押融资等创新型碳金



融产品。由于碳排放权交易市场规模有限，金融机构对接受以碳排放权为担保品的融资方式仍处于探索阶段，绝大多数交易属于金融机构的“首单”“首笔”试点实践。我国绿色信贷规模仍占整体绿色金融资金总额的 90% 以上，且相关金融业务过于集中在银行端口，碳金融产业及衍生品尚未形成真正具有竞争优势的市场规模。

### （五）“双碳”市场体系和运行机制尚不健全

一是我国碳排放权交易市场刚刚起步，覆盖行业和参与主体还不够丰富，市场流动性仍不够充分，尚未真正形成企业自主减排的倒逼机制及参与市场交易的激励机制。二是我国电力市场改革依然面临电源结构优化、价格机制改革、竞争效率提升等多重挑战，加之各地电力现货市场建设进展和交易规则存在较大差异，增加了建设全国统一电力市场的难度。三是我国绿电交易还处于试点阶段，尚未完全展开，且绿证与国家核证自愿减排量（CCER）仍处于并行的状态。四是碳市场与电力市场的协同发展和价格衔接机制有待完善，尤其需要进一步打通电力市场价格传导的堵点，使电价更好地反映市场供需及碳减排成本。

### （六）“双碳”国际合作面临绿色壁垒、地缘政治、大国博弈等冲击

一是面临欧盟碳关税等绿色贸易壁垒。近年来，以欧盟为代表的西方发达国家利用其在绿色减排政策、技术、标准等方面的既有优势，通过设置绿色壁垒、征收碳关税等手段，不断强化在全球气候变化领域的领导权和话语权。例如，2022 年 6 月，欧洲议会通过了关于建立碳边境调节机制（CBAM，“碳关税”）草案的修正方案，美国参议院金融委员会已收到《清洁竞争法案》的“碳关税”立法提案，英国提出要推动欧盟和 G7 国家共同创建“碳关税”联盟。二是地缘政治冲突恶

化了国际气候合作环境。乌克兰危机使国际环境更为复杂，全球大宗商品供应遭遇剧烈冲击，欧洲能源价格飙升，其溢出效应迅速蔓延到其他国家，导致各国经济危机和通胀压力加剧，我国也不同程度承压。三是中美博弈的持续为“双碳”国际合作增加了不确定性。欧洲能源供应体系和战略规划的调整为中欧清洁能源合作带来新机遇，但同时面临美国等大国博弈的挑战。

## 四 展望与建议

### （一）未来展望

2022年，国际形势错综复杂，新冠肺炎疫情影响持续，逆全球化之势不减，在地缘政治、乌克兰危机、大宗商品价格上涨等因素作用下，能源安全问题更加突出，国际碳中和步伐暂时放缓。国内疫情多点散发，经济增长压力加大，“碳冲锋”、“一刀切”、拉闸限电、煤电矛盾等问题显现，能源安全重要性更为突出，“双碳”目标实现面临更多挑战。长期来看，我国实现“双碳”目标的方向不会改变；短期内，在复杂多变的国际形势和能源资源供给压力作用下，仍需遵循以煤为主的基本国情，做好“先立后破”大文章。

#### 1. “1+N”政策体系将进一步完善

2022年以来，有关部门先后出台40余项政策文件，内容覆盖能源绿色低碳转型、节能降碳增效、工业领域碳达峰、城乡建设碳达峰、交通运输绿色低碳等专项行动，推动碳达峰碳中和“1+N”政策体系不断完善。下一步，将进一步制定出台钢铁、石化化工、有色金属、建材、电力、石油天然气等重点行业实施方案。同时，有关碳排放统计核算、考核评价等数据标准、工作规范及制度体系将进一步明确，加快推动能耗“双控”向碳排放“双控”转变，为“双碳”工作推进奠定坚实基础。此外，有关部门将进一步细化出台保障政策，助力“双



碳”工作取得实效。

## 2. 新模式、新业态将不断涌现

一是新能源相关新业态、新模式大发展。中国作为风电、光伏装备供给和消费大国，在全球新能源发展中具有重要地位，将为新产业兴起、新模式拓展提供重要市场空间。在新型电力系统建设过程中，智慧电网、智能微网、分布式电源、新型储能、虚拟电厂、用户等多主体交织互动，将逐步改变电网角色，催生出更多新业务和应用场景，促进新能源更大规模、更高比例使用，推动能源绿色低碳转型。

二是碳吸收控制等领域技术不断进步。在能源安全压力下，妥善用好煤炭资源、准确定位化石能源成为理性选择。解决集中使用化石能源带来的碳排放问题将受到更多关注，以CCUS为代表的碳吸收控制等技术将得到快速发展，碳捕捉成本将进一步降低，下游应用更为多元丰富。

三是数字技术与“双碳”融合，平台经济空间广阔。“双碳”目标实现是一项跨行业、跨领域、跨地区、全流程的系统工程，客观上需要全面推进数字技术应用，以实现碳的全程实时追踪与控制，应用新技术、新手段达到减碳控碳的效果。以综合能源服务商、碳管理数字化平台服务商等为代表的新平台经济将蓬勃发展，从企业、行业、区域、全国等层面，构建全方位的数字化碳管理体系，促进碳源可溯、碳量可查、碳可捕捉、碳品可用，切实推进“双碳”目标实现。

四是绿色消费、循环经济等新模式更受追捧。在“双碳”目标约束下，绿色消费、循环经济、节能增效等需求侧管理新模式将更受关注。特别是在海外能源供给、矿产资源（包括新兴矿产品种）供给不确定性增加的情况下，转变生产生活方式、降低能源资源消耗、提高资源利用效率、回收再利用等空间很大，绿色建筑、新型材料、绿色生活、绿色金融等规模将不断扩大。如首批新能源电动车即将迎来电池“退役潮”，将带动相关产业和技术大发展。

### 3. 不同地区和行业碳达峰路径呈现差异化

随着“双碳”工作持续推进，各地区各行业碳达峰行动方案逐步完善，达峰时间上有先后、路径上有差异，这与不同地区经济社会实际直接相关，也与地区在国家能源资源保供和经济产业发展中的定位不同有关。东部发达地区碳达峰时间较早，中西部地区特别是煤炭资源富集地区在能源保供稳价中发挥重要作用，碳排放总量和强度很难在短期内降低，在保障国家能源安全、保持地方经济增长和落实“双碳”目标要求之间仍难实现较好的平衡。如上海、深圳等市表示力争碳排放总量在2025年达峰。宁夏、四川等地争取在2029年达峰。下一步，仍需在确保总量达峰的前提下，按照“共同但有区别的责任”原则，充分尊重地方实际和经济发展需要，推动碳达峰路径差异化，切实发挥市场手段作用，弱化行政干预。要区别对待传统的高耗能、高排放产业与新兴高载能产业，实现新旧动能平稳转换，促进经济稳定增长。

### 4. “双碳”推进策略将更加务实

一是能源转型更加重视能源安全。在国内外因素作用下，能源安全重要性进一步凸显，特别是在我国油气资源对外依存度较高、中美摩擦长期存在的大背景下，“双碳”推进将更加重视能源安全因素。二是煤炭主体能源地位在一段时间内仍不会改变。以煤为主的国情要求我们用好煤炭资源，千方百计促进煤炭清洁高效利用。我国煤炭优质产能将进一步释放，自产煤炭规模将进一步扩大。同时，为促进间歇性、波动性风光电大规模、高比例并网，主做调峰的先进煤电规模也将稳步提升。三是国际合作更加追求实效。在当前国际环境变化和地缘政治因素作用下，应对气候变化国际合作将更突出国别差异，大国博弈更为激烈，竞争与合作关系同时存在。我国与俄罗斯油气资源合作将进一步扩大，对欧新能源产业与技术交流也将更加深入，对美合作虽遇阻滞但未来潜力较大，与新兴国家能源资源合作也将更加细致深入。



## （二）政策建议

面对复杂的内外部环境，应立足高质量发展和建设社会主义现代化强国需要，在坚定降碳的同时保障能源安全，把握好降碳控碳节奏，稳步推进能源结构调整和产业绿色低碳转型，加快规划建设新型能源体系，加强需求侧节能降碳提质增效，发展绿色低碳、节能环保和循环经济，夯实“双碳”政策基础，务实开展国际合作，积极稳妥推进“双碳”目标实现。

### 1. 积极稳妥推进“双碳”工作

把握先立后破、有序推进总体要求，立足以煤为主的基本国情，控制煤炭消费总量，兜住能源安全和经济发展的底线，有序减量替代，推进煤炭消费转型升级。稳步推进煤炭和新能源优化组合，促进煤电由“主力电源”向“主力电源与服务电源并重”转变，构建适应新能源大规模发展的体制机制，加速能源结构向绿色低碳转型。加大力度推进能源保供稳价，强化能源产供储销全链条建设，增强电力系统安全性和稳定性。加强需求侧管理，实施节约优先战略，加快发展绿色低碳与循环经济，发展现代煤化工等高端产业。提升绿色低碳技术水平，加快关键核心技术攻关。

### 2. 促进煤炭资源清洁高效利用

准确定位煤炭资源，发挥煤炭保能源安全和促进新能源发展“双轮驱动”作用，推进煤炭清洁高效利用。夯实煤电作为电力安全保障的基本定位，促进煤电向可靠性和可控性等服务电源角色转变。推动煤电节能降耗改造、供热改造和灵活性改造“三改联动”。探索煤电与风光电融合发展新路径，促进“风光火储”一体化发展。优化煤电参与市场的机制，探索建立容量市场，逐步降低煤电发电量，保留必要装机容量。促进煤化工产业转型升级与高质量发展，支持煤制油气、甲醇、烯烃等先进技术应用，促进精细化工、化工新材料产业发展，



开发高端燃料、材料产品。加快推进传统煤化工产业升级改造。加快突破煤气化技术，发展有自主技术的煤气化技术装备。加快钢铁、建材等绿色化转型步伐，发展精深加工产业，着力推行产品绿色设计，建立健全绿色制造体系。

### 3. 支持新能源平稳健康发展

大力发展“风光火储氢”源网荷储一体化配电网，创新微电网、智慧能源、虚拟电厂等模式，提升就近消纳风光电能力。积极发展固态电池、钠离子电池、氢储能等新型储能技术，促进“风光火储”互补联动。大力发展可再生能源制氢产业，探索谷电制氢、离网制氢、网电制氢等多种模式，开展“氢一电”融合试点，实现低成本、规模化绿氢供应。统筹解决新能源大基地电力外送问题，同步规划电力送出通道，统筹下游消纳，推动建成投产一批、开工建设一批、研究论证一批多能互补输电通道。进一步完善新能源电力跨区消纳机制。完善新能源电力参与市场的机制，推动新能源电力全部进入电力现货市场，探索实施“强制配额制+绿证交易”方式。完善跨区域电力交易市场，建立容量交易市场，鼓励“风光火储氢”一体化分布式电源参与市场交易。理顺绿电、绿证和碳市场等之间关系，促进“证电分离”交易，提升绿证交易活跃度。探索绿证市场与碳排放市场衔接。

### 4. 推进产业结构绿色低碳转型

实施节能降碳行动，促进高排放产业燃料、原料替代，加快提升绿氢等应用规模，切实降低碳排放量。适度有序发展新兴高载能产业。在电气化率不断提高、能源消费总量不断扩大的过程中，应调整“一刀切”限制高载能产业的思路，鼓励采用绿色新技术、科技含量高、附加值高的用能大产业加快发展。利用碳排放市场、绿证市场等平台，促进高载能产业减碳降碳，实现零碳发展。大力发展现代新材料、清洁能源装备、工业节能设备、智能监测设备等产业，壮大碳排放管理、综合能源服务、统计监测服务等产业。加快实施钢铁、建材、石化、



化工等行业绿色化改造工程，推广绿色先进工艺流程，提升产业绿色化发展水平。

### 5. 全面加强能源资源节约利用

把能源资源节约利用作为需求侧管理、实现“双碳”目标的重要手段，推动节能降耗提高能效。一是全链条推进生产端节能提效改造，推广节能生产方式。将节能理念贯穿到各行业产品和服务供给各环节，推广应用先进节能技术、现代节能材料、节能工艺与流程。探索将节能、绿色生产等作为强制性标准贯标实施。二是倡导节能生活方式，营造资源循环使用良好环境。加强水电气等能源资源综合循环利用，支持多能互补、多式联产发展。加强能源需求侧管理，建设绿色低碳城市、数字智慧城市，鼓励发展虚拟电厂等新兴主体，提升综合能效管理水平。三是发展循环经济，提高能源资源利用效率。在电动汽车电池大批退役背景下，积极发展电池回收、拆解、再利用相关产业。支持发展废钢回收及加工产业。促进产品全生产周期无害化处理，推进原料减量化、材料轻型化、利用循环化，构建覆盖全国、渗透各地区各行业的循环经济体系。

### 6. 加快健全“双碳”支持政策体系

尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变。区分能源消费总量与碳排放总量，调整能耗“双控”与碳排放“双控”不匹配的统计考核机制。妥善解决能源外送地区在保障全国能源供应的同时将碳排放留在本地的问题，探索建立适宜的补偿机制，在碳排放总量和强度考核中予以考虑。健全碳排放标准、统计、监测、考评等数据体系和工作基础。统筹全国能源供需统计与各地区能源消费数据，建立准确的能源与碳排放数据库，实时监测碳排放情况。统一规范碳排放计量分析与考核评价机制，综合判断各地“双碳”工作推进程度，把握好全国总量达峰与各地差异化达峰节奏。健全支撑“双碳”目标实现的市场体系与体制机制，扩大碳排放市场参与主体范围，纳入钢

铁、化工等“两高”产业，探索清洁能源主体及用户参与机制。探索碳定价机制，突破市场范围、主体类别、行业和地区限制，以用能规模、碳排放量为基础评估碳价格，引导企业降低高碳能源消费，提高清洁能源消费比重。

### 7. 差异化推进“双碳”国际合作

一是加强与欧洲国家绿色低碳技术交流合作。发挥我国风电光伏产业链优势，加大与欧洲可再生能源项目合作。引进欧洲先进技术，共同开发第三方国家市场。加强与欧盟碳边境调节机制协调，系统分析CBAM运行机制及对我国的影响，提出应对举措，保障我国公平竞争与发展的合理权利。二是加强与美国应对气候变化领域合作。利用美国重启气候变化合作契机，弱化其对我国光伏等新能源产业威胁，把握主动权。加强全球能源治理体系建设方面沟通，争取有利位置。三是加强与俄罗斯在能源保障、通道建设、支付结算体系建设等方面的合作。加强与俄罗斯油气等资源合作，适度加大进口规模，争取有利条件，开辟新的能源供应通道，降低马六甲等通道依赖度。与俄罗斯开展能源贸易支付结算体系建设方面合作，扩大人民币国际影响力。四是扎实推进共建绿色“一带一路”。加强绿色低碳技术共享与联合攻关，帮助落后国家实施煤电改造项目，提升清洁发电水平。促进绿色低碳设备装备进入共建“一带一路”国家市场，完善绿色低碳合作机制。五是积极参与全球气候变化治理体系变革。参与制定全球碳排放核算、国际碳定价、清洁能源合作等规则，推动构建体现中国声音和全球共同利益的气候变化治理体系。