

能源央企 服务国家碳达峰 碳中和行动指南



清华三峡气候与低碳中心
Tsinghua-CTG Joint Center for Climate
Governance and Low-carbon Transformation

能源央企服务国家碳达峰碳中和行动指南

清华三峡气候与低碳中心

能源央企服务国家碳达峰碳中和行动方案理论研究课题组

课题承担单位

清华三峡气候与低碳中心

报告作者

常世彦 曲 洋 李岱巍 黄俊灵 张 达

罗小虎 马诗萍 姚万坤 刘 梦

咨询专家

张希良 芦 红

摘要

2020年9月，习近平总书记在联合国大会一般性辩论上向全世界宣布，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。当前，我国已构建碳达峰、碳中和“1+N”政策体系，明确了碳达峰、碳中和工作的时间表和路线图，提出了重点领域和重点行业实施方案及相关支撑保障措施。2021年11月，国务院国资委发布《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》，对中央企业做好碳达峰、碳中和工作提出明确要求。

中央企业是我国能源行业的主力军，能源央企在落实国家碳达峰、碳中和目标过程中承担着重要责任。基于国家政策相关要求、参考国际能源企业实践，本研究提出能源央企服务国家碳达峰、碳中和目标的十项战略行动。这些行动包括：

- (1) 建立完善碳排放管理机制
- (2) 强化绿色低碳技术创新
- (3) 强化国有资本绿色低碳布局
- (4) 保障能源供应链战略安全
- (5) 提升能源产业数字化智能化
- (6) 积极参与碳中和治理和能源治理
- (7) 加强与区域战略的衔接协调
- (8) 加强气候变化对能源系统影响的评估与应对
- (9) 强化降碳减污协同增效
- (10) 深度参与国际气候合作

本研究以“是什么”、“为什么”以及“怎么做”的思路，逐项分析战略行动的理论依据，并围绕具体的着力方向提出了行动建议。

目 录

摘 要	I
目 录	II
插图和附表清单	III
专栏目录	IV
一、能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架	1
二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动	5
(一) 建立完善碳排放管理机制	5
(二) 强化绿色低碳技术创新	11
(三) 强化国有资本绿色低碳布局	17
(四) 保障能源供应链战略安全	22
(五) 提升能源产业数字化智能化	25
(六) 积极参与碳中和治理和能源治理	32
(七) 加强与区域战略的衔接协调	35
(八) 加强气候变化对能源系统影响的评估与应对	37
(九) 强化降碳减污协同增效	42
(十) 深度参与国际气候合作	44
附录 1 国际大型能源集团减排目标与主要行动	47
参考文献	51

插图和附表清单

图 1 能源央企服务国家碳达峰碳中和的主要目标和重点任务	1
图 2 能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架	3
图 3 净零排放情景下，2022-2050 年不同减排措施贡献的减排量	12
图 4 碳中和技术体系	12
图 5 能源央企强化绿色低碳技术创新	15
图 6 创新链产业链融合发展框架	17
图 7 强化国有资本绿色低碳布局	18
图 8 清洁能源潜在供应中断影响的可能性和程度	22
图 9 能源供应链构成框架	24
图 10 中国华能碳资产管理信息平台界面	27
图 11 国网英大碳资产管理平台界面	28
图 12 中国三峡流域梯级调度系统界面	29
图 13 中石化 ProMACE 平台界面	30
图 14 评估气候变化对能源系统影响的概念框架	38
图 15 卡洛特水电站平面示意图	45
表 1 能源央企碳达峰碳中和工作主要目标与行动	2
表 2 企业战略规划与制度建设的主要措施	4
表 3 温室气体排放核算标准对比	8
表 4 气候变化和极端天气事件对能源供应的影响	39

专栏目录

专栏 1 能源央企碳排放管理机构建设案例	6
专栏 2 温室气体议定书	8
专栏 3 CDP 全球环境信息研究中心	9
专栏 4 企业内部碳定价	10
专栏 5 中国华电碳排放在线检测实验平台	11
专栏 6 能源央企近年重大科技创新案例	13
专栏 7 能源科技创新的相关规划文件	15
专栏 8 校企共建研发机构实例	16
专栏 9 能源央企战略性重组实例	18
专栏 10 对几种绿色低碳投资需求估算结果对比	19
专栏 11 能源央企使用碳排放权抵押进行绿色信贷案例	20
专栏 12 能源央企绿色债券发行情况	20
专栏 13 能源央企发行绿色基金的案例	21
专栏 14 能源央企清洁低碳能源供应链构建案例	24
专栏 15 欧盟《能源系统数字化行动计划》	26
专栏 16 能源央企数字化碳管理平台构建案例	27
专栏 17 能源央企业务范围内数字、智能技术应用案例	28
专栏 18 各类能源与碳中和治理机制特征比较总结	33
专栏 19 “十四五”区域能源发展重点及基础设施工程	36
专栏 20 工业和信息化领域区域布局战略	37
专栏 21 四川高温限电	38
专栏 22 降碳减污协同效应的相关研究	42
专栏 23 能源央企降碳减污协同增效案例	44
专栏 24 能源央企国际合作先进案例	45

中央企业在关系国家安全与国民经济命脉的主要行业和关键领域占据重要地位，同时也是我国碳排放的重点单位，在推进国家碳达峰、碳中和目标中应当发挥示范引领作用。中央企业能源消耗强度和碳排放强度近年大幅下降，2020年单位产值综合能耗比“十二五”末下降逾20%，单位产值二氧化碳排放量下降18%^[1]。

化石能源燃烧二氧化碳排放占我国碳排放总量的80%以上，解决能源生产和消费的低碳化，也就基本可以实现碳达峰、碳中和目标。中央企业是我国能源行业的主力军，2020年非化石能源发电装机容量占比超过42%，其中水电、风电、太阳能发电装机容量分别约占全国同类装机容量的54%、67%、28%^[1]。能源央企在落实国家碳达峰、碳中和目标中承担重要责任。

一、能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架

2021年9月，中共中央、国务院发布《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》^[2]，随后国务院发布《2030年前碳达峰行动方案》^[3]，这两个顶层设计文件对我国碳达峰、碳中和工作进行了系统谋划，明确了总体要求。2021年11月，国务院国资委发布《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》^[4]，进一步对中央企业做好碳达峰、碳中和工作进行了详细部署，把碳达峰碳中和工作纳入到国资央企发展全局^[5]。

构建清洁低碳安全高效能源体系是实现碳达峰、碳中和的主要目标和重点任务。能源央企要深刻认识做好碳达峰、碳中和工作的重大意义，准确把握做好碳达峰、碳中和工作的基本要求，扎实推进碳达峰、碳中和相关工作，以此为契机，打开事业发展新天地。结合自身行业特点，能源央企在提升能源利用效率、提高非化石能源消费比重、降低二氧化碳排放水平等方面应当发挥主力军作用（图1）。

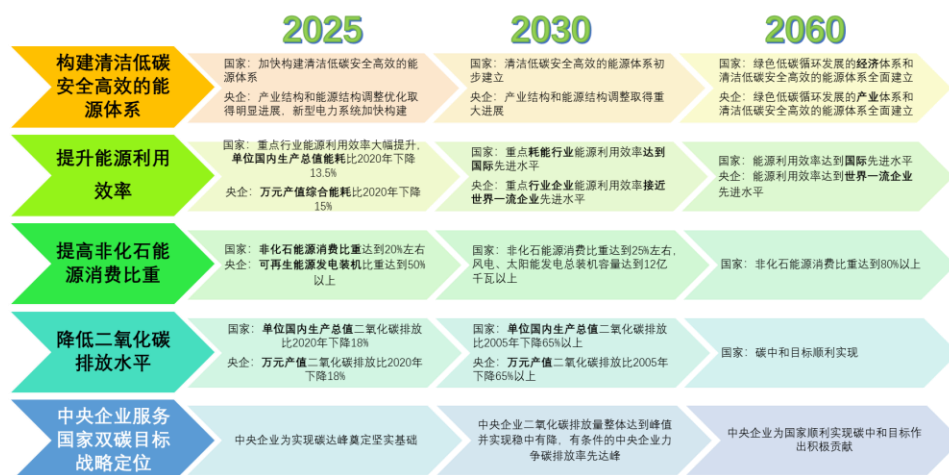


图1 能源央企服务国家碳达峰碳中和的主要目标和重点任务

一、能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架

注：国家目标引自中共中央、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的意见》和国务院《2030年前碳达峰行动方案》；企业目标引自国务院国资委《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》。

能源央企积极响应国家碳达峰、碳中和战略，很多已提出了企业自身的碳减排目标和行动方案（表 1）。但是整体而言，行动方案尚缺乏适宜的通用框架和理论支撑^[6]。基于国家推进碳达峰、碳中和工作的相关要求以及对国际能源企业的调研（附录 1），本研究提出能源央企服务国家碳达峰、碳中和目标的行动框架（图 2）。企业在做好碳达峰、碳中和战略规划与制度建设的基础上，需要基于自身行业特点开展具体战略行动，包括建立完善碳排放管理机制、强化绿色低碳技术创新、强化国有资本绿色布局等。

表 1 能源央企碳达峰碳中和工作主要目标与行动

企业	主要目标与行动
中国华能集团有限公司 (中国华能)	力争“十四五”期间新增新能源装机 8000 万千瓦以上，确保清洁能源装机占比 50% 以上，到 2035 年，清洁能源装机占比 75% 以上；碳排放量尽快达到峰值 ^[7] 。
中国大唐集团有限公司 (中国大唐)	发布《中国大唐集团有限公司碳达峰碳中和行动纲要》，提出在达峰阶段，集团非化石能源装机占比要升至 60% 左右，度电二氧化碳排放减少 20% 左右，确保 2030 年前实现碳达峰并力争提前碳达峰。在碳减排阶段，非化石能源装机占比要升至 90% 以上，确保 2060 年前实现碳中和并力争提前碳中和 ^[8] 。
中国华电集团有限公司 (中国华电)	发布集团公司碳达峰行动方案，提出力争 2025 年实现碳达峰，新能源装机容量新增 7500 万千瓦，非化石能源的装机容量将达到 50% 以上；到 2030 年，力争非化石能源装机占比达到 65%，全口径碳排放强度较“十三五”末下降 37% ^[9] 。
国家电力投资集团有限公司 (国家电投)	制定集团公司碳达峰、碳中和路线图，提出在建及核准火电机组于 2023 年前投产，实现碳达峰；2023 年后严控火电装机规模，坚持提高清洁能源占比，积极推进低碳技术研发与应用，在巩固碳达峰成果基础上持续降低碳排放量 ^[10] 。
国家能源投资集团有限责任公司 (国家能源集团)	制定集团公司 2025 年碳排放达峰行动方案，提出“十四五”期间，实现新增新能源装机容量 7000-8000 万千瓦，占比达到 40% ^[11] 。
国家电网有限公司 (国家电网)	发布《国家电网公司“碳达峰、碳中和”行动方案》，提出到 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%，分布式光伏达到 1.8 亿千瓦，抽水蓄能装机超过 5000 万千瓦；到 2030 年，公司经营区风电、太阳

一、能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架

	能发电总装机容量将达到 10 亿千瓦以上，水电装机达到 2.8 亿千瓦，核电装机达到 8000 万千瓦 ^[12] 。
中国南方电网有限责任公司 (南方电网)	发布集团公司碳达峰、碳中和工作方案，提出到 2025 年，南方电网公司将推动南方五省区新能源新增装机 1 亿千瓦左右，达到 1.5 亿千瓦。到 2030 年，推动南方五省区新能源再新增装机 1 亿千瓦左右；非化石能源装机占比提升至 65%，发电量占比提升至 61% ^[13] 。
中国石油天然气集团有限公司 (中国石油)	2025 年左右实现碳达峰，2050 年实现“近零”排放 ^[14] 。
中国石油化工集团有限公司 (中国石化)	确保在国家碳达峰目标前实现二氧化碳达峰，力争比国家目标提前 10 年实现碳中和 ^[15] 。
中国海洋石油集团有限公司 (中国海油)	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 ^[16] 。



图 2 能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架

在战略规划与制度建设层面，能源央企需要根据国务院国资委的要求，强化绿色低碳发展规划引领，从目标设定、行动方案制定、机构和管理制度框架设计、人才队伍建设等方面采取措施，具体见表 2。

一、能源央企服务国家碳达峰碳中和行动框架

表 2 企业战略规划与制度建设的主要措施

序号	措施	内容
1	设置碳排放总量/强度控制目标	根据自身情况制定，提出符合实际、切实可行的碳排放总量/强度控制目标。
2	制定碳达峰碳中和行动方案	制订提出符合实际、切实可行的碳达峰碳中和行动方案。
3	建立碳达峰碳中和工作领导小组	成立以企业主要负责人为组长的碳达峰碳中和工作领导小组，并报有关部门备案，碳达峰碳中和工作领导小组定期举行会议研究部署相关工作。
4	搭建碳达峰碳中和管理制度框架	搭建碳达峰碳中和工作管理制度框架并明确各部门相关职责；指定部门设立专门的碳达峰碳中和管理岗位。
5	建设碳达峰碳中和专业人才梯队	制定企业碳达峰碳中和专业人才发展规划，明确对各部门及下属公司的碳达峰碳中和专业人才要求；聘任具有碳达峰碳中和管理知识、实际经验的专业人员，形成由不同职级或专业的人员构成的人才梯队；定期组织开展碳达峰、碳中和相关政策、知识、技术培训。
6	碳达峰碳中和工作纳入企业发展规划	在企业愿景或战略规划中，明确预计实现碳达峰和碳中和的实现路径。
7	分解碳减排目标	将碳排放总量/强度控制目标分解到年度；将集团碳排放总量/强度控制目标分解到各部门及直接管理的下属企业。
8	建立并落实碳达峰碳中和考核奖惩制度	建立对各部门及下属企业的碳达峰碳中和工作内部考评体系；定期开展碳达峰、碳中和工作考核；将碳达峰、碳中和工作完成情况纳入下属部门或公司的绩效考核范围，并落实奖惩措施。

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

结合国家相关要求与行业特点，本研究提出能源央企服务国家碳达峰、碳中和的十项战略行动。对每一项战略行动，本研究以“是什么（What）”、“为什么（Why）”以及“怎么做（How）”的思路，分析战略行动的理论依据，并围绕具体的着力方向提出行动建议。

（一）建立完善碳排放管理机制

碳排放管理机制的构建是企业践行国家碳达峰、碳中和目标的基础性工作，是有效开展各项温室气体减排工作的基本前提。中央企业的碳排放管理机制包括企业碳排放数据管理、碳交易管理和碳资产管理等内容。

能源央企普遍已初步构建碳排放管理机制。“十二五”时期，国家发展改革委发布了系列《企业温室气体排放核算方法与报告指南》^[17-19]，对发电、电网、石油天然气生产等 24 个重点行业企业温室气体排放数据管理提出了基本要求，涉及能源央企的重要业务。根据国家碳排放报告与核查相关政策要求，能源央企已持续推进碳排放数据报送工作^[20]。自 2021 年全国碳排放权交易市场正式运行以来，纳入碳排放权交易市场的能源央企所属重点排放单位均顺利完成排放数据报送与配额清缴工作^[21]。同时，很多能源央企已成立碳排放管理机构，采用碳交易公司、碳资产管理公司或集团公司直属专管部门等多种形式，进行碳排放数据管理、碳排放权配额交易、国家核证自愿碳减排量（China Certified Emission Reduction, CCER）交易与碳资产的专业化管理运营（专栏 1）。

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

专栏 1 能源央企碳排放管理机构建设案例

企业及其碳排放管理机构	管理运营业务	管理运营历史情况
中国华能： 华能碳资产经营有限公司	碳排放核算及碳交易咨询服务；具有河北、四川、海南等地区碳排放权核查第三方机构资质	截至目前，华能碳资产公司开发备案数及减排量备案数占全国总量近 10%。发起设立国内第一只商业化运作、第一只经证监会正式备案的碳交易基金——诺安资管-创赢 1 号碳减排专项资产管理计划。
中国大唐： 中国大唐集团绿色低碳发展有限公司	绿色咨询服务、低碳资产运营、绿色金融、低碳投资	截至目前，大唐碳资产公司累计注册成功 CDM 项目 163 个，开发 CCER 项目近 50 个，为中国大唐系统企业开发绿色电力证书百万余张。
中国华电： 中国华电集团碳资产运营有限公司	碳资产运营服务、碳交易账户管理服务、碳交易运营服务、减排信用类产品交易服务、碳排放管理信息系统完善与运维、碳资产金融服务等其他延伸服务	公司设立碳资产集约管理和碳减排技术研究两个专业平台，构建完善集团公司碳排放管理架构，积极参与中国华电碳资产管理管理体系、制度体系建设。在碳资产管理方面，按照“核实一个、履约一个”的原则，2021 年 12 月 14 日完成全部重点排放单位配额清缴工作，提前实现中国华电全国碳市场首个履约期的碳配额清缴，实现全国首笔 CCER 抵销配额清缴，实现 100% 履约。在碳排放数据管理方面，及时启动 2022 年度碳盘查工作，完成中国华电全部重点排放单位碳排放数据核算，并协助重点排放单位完成《数据质量控制计划》《温室气体排放报告》编制及报送 ^[22] 。
国家电投： 国家电投碳资产管理有限公司	集团公司碳减排与碳资产统一管理的技术支撑单位；碳减排与碳资产管理服务	在联合国 CDMEB 成功注册 CDM 项目 53 个，共实现核证减排量约 600 万吨，为项目单位实现销售收入近四亿人民币；为集团 90 个火电、铝业、煤炭、水泥、化工等项目完成数次碳核算工作；为 30 个 CCER 项目提供全面咨询服务，已有 10 多个项目在国家发改委顺利备案。
国家能源集团： 龙源碳资产公司	统一管理集团碳资产业务，制定厂级管理制度	完成我国第一个 CCER 项目备案、第一笔 CCER 减排量签发、第一笔 CCER 线上交易

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

企业及其碳排放管理机构	管理运营业务	管理运营历史情况
国家电网： 国网英大碳资产管理（上海）有限公司 ^[23]	碳审核、碳资产开发、碳交易、企业 ESG 信息披露、低碳能力培训、绿色供应链管理、碳金融、碳政策研究	自 2014 年起，英大碳资产已开发风电、光伏、电动汽车充电等 CCER 项目近 50 个，持有全国约 10% 的已签发 CCER 资产，自主开发能源互联网相关碳减排方法学 8 个。
中国石油： 中油资产管理有限公司	碳资产管理、运营	2021 年，中油资产公司通过天津排放权环境能源交易平台顺利完成中国石油赞助北京冬奥组委 20 万吨碳中和减排量配额交易 ^[24] 。
中国石化： 能源管理与环境保护部	制定企业碳交易制度、碳盘查和碳核查、碳交易	建立包括《中石化碳资产管理办法》、《中石化碳排放权交易管理办法》、《中石化碳排放信息披露管理办法》等相关规范；针对下属油田及炼化企业展开碳盘查和碳核查；引导中油电能等下属企业完成碳交易 ^[25] 。
中广核： 中广核碳资产管理（北京）有限公司	与集团 CDM 办公室以“一套机构，两块牌子”方式运作；碳资产管理和交易平台	中广核碳资产管理（北京）有限公司开发的核证自愿减排量 21000 吨被用于 2018 年第 23 届冬季奥林匹克运动会的碳中和计划。

资料来源：基于黄俊灵（2021）^[26]进行调整

在碳排放管理机制上能源央企普遍面临三个主要问题。

第一，我国现行企业温室气体排放核算标准以满足碳排放权交易工作需要为主，不完全适用于能源央企集团层面的碳排放核算工作。国家发改委先前发布的24个行业指南^[17-19]以及生态环境部陆续修订的《企业温室气体排放核算方法与报告指南》^[27]均以独立法人为核算单位，支持主要行业重点排放单位的碳排放核算与报告¹，以满足碳排放权交易工作需要为主。国际上目前通行的企业温室气体排放核算标准主要是《温室气体议定书（GHG Protocol）》（专栏2）^[28,29]，在涵盖温室气体种类和组织边界等方面与我国现行标准具有一定差异（如表3所示）。因此，能源央企集团层面碳排放核算与管理相关标准还有待完善。

专栏2 温室气体议定书

温室气体议定书（GHG Protocol）由世界资源研究所（WRI）和世界可持续发展工商理事会（WBCSD）于2002年联合开发。议定书包括企业核算与报告准则和项目量化准则两个标准化文件，提出温室气体核算标准应遵循的原则，即相关性、完整性、一致性、透明性和准确性。作为全球第一个企业温室气体核算标准体系，温室气体议定书在全球得到了广泛的应用。

表3 温室气体排放核算标准对比

指标	我国现行企业温室气体排放核算方法与报告指南	国际通行企业温室气体排放核算标准
涵盖温室气体种类	绝大多数仅涉及二氧化碳（CO ₂ ）；少量行业考虑其他温室气体种类，如电网企业温室气体排放核算方法与报告指南考虑六氟化硫（SF ₆ ） ^[30] 。	《京都议定书》中所规定的六种温室气体，包括二氧化碳（CO ₂ ）、甲烷（CH ₄ ）、氧化亚氮（N ₂ O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（SF ₆ ）。
核算边界	独立法人或视同法人的独立核算单位 ^[31] 。	采用组织边界的概念，企业可选择使用股权比例法或控制权法中的一种方法实现多级合并。同时，由于考虑了企业运营边界，可将排放划分为：直接温室气体排放（范围一）、电力产生的间接温室气体排放（范围二）、其他间接温室气体排放（范围三）。
其他间接温室气体排放核算	尚未明确考虑。	作为可选项进行考虑。

1 属于全国碳排放权交易市场覆盖行业，且年度温室气体排放量达到2.6万吨二氧化碳当量（综合能源消费量约1万吨标准煤）及以上的温室气体排放单位

第二，我国企业碳信息披露制度相对薄弱，能源央企碳信息披露水平有待提升。碳信息披露是监管部门、投资者和公众了解企业碳排放现状、督促企业绿色低碳转型的重要途径，也是企业践行社会责任的关键内容。2016年，国务院印发《“十三五”控制温室气体排放工作方案》，提出要推动建立企业碳信息披露要求与标准规范^[32]，但在“十三五”期间并没有出台具体政策。在缺乏强制性要求的政策环境下，包括能源央企在内的我国企业普遍缺乏碳信息披露的主动性，且存在披露内容不充分、格式不规范等问题^[33]。近年来，政府部门加强了企业碳信息披露管理。生态环境部在2021年12月发布《企业环境信息依法披露管理办法》和《企业环境信息依法披露格式准则》，要求企业按照准则编制年度环境信息依法披露报告和临时环境信息依法披露报告，并上传至企业环境信息依法披露系统。根据要求，纳入碳排放权交易市场的温室气体重点排放单位应当披露其碳排放量与配额清缴情况、相关核算方法等信息。国资委在2022年6月发布了《中央企业节约能源与生态环境保护监督管理办法》，进一步明确能源央企在内的中央企业需要建立完善二氧化碳排放统计核算、信息披露体系^[34]。在建立完善碳信息披露体系的过程中，CDP（全球环境信息研究中心）等国际环境信息披露平台具有一定参考价值。专栏3对该平台进行了介绍。

专栏3 CDP全球环境信息研究中心

CDP（全球环境信息研究中心）是全球著名的环境信息披露平台，其数据被道琼斯可持续发展指数（DJSI）、彭博（Bloomberg）、明晟（MSCI）等指数和智库及研究机构广泛采用。CDP成立于2000年，总部位于伦敦，在北京、纽约、柏林、巴黎、圣保罗、斯德哥尔摩和东京等地均设有办事处。其前身为碳披露项目（Carbon Disclosure Project）。CDP致力于为决策者、投资者、采购企业提供全球统一标准的环境影响信息，通过投资者和买家的力量，激励企业披露和管理其环境影响，致力于推动企业和政府减少温室气体排放，保护水和森林资源^[35]。

通过标准化的问卷系统，CDP激励企业提高环境行动的透明度、力度及问责度。目前CDP的问卷分为三大主题，分别是关注企业应对气候变化风险并执行减排行动的气候变化问卷，关注企业管理毁林风险并提升大宗农产品可追溯性的森林问卷，以及关注企业运营的水安全保障风险及提升水资源使用效率的水问卷。2021年，全球超过13000家企业（占全球资本市场总市值的64%）通过CDP平台披露了其环境影响信息，相较2020年提升37%。目前CDP平台共支持企业通过三种模式完成碳排放等环境信息披露，包括自主披露、应客户邀请（作为供应商企业）披露和应投资者邀请披露。

2021年，我国（包含港澳台地区）共有1818家供应商企业回复了CDP气候变化问卷，较2020年增加32%，其中包括76%来自制造业、7%来自材料行业、6%来自服务业、4%来自服装业。我国企业主要关注企业自身直接（范围一）与间接（范围二）排放，仅有少数披露了范围三排放。同年，我国有151家企业应投资者邀请回复了CDP气候变化问卷。其中包含7家发电企业和2家化石燃料企业，这些企业主要位于香港。披露的碳排放数据显示，7家发电企业2021年范围一碳排放量约为2.09亿吨二氧化碳。

第三，我国企业碳排放管理机制有待创新。在参与政府统一组织、具有强制性的碳排放权交易市场外，很多国际企业往往还会自发采取一些企业内部碳减排机制来控制自身碳排放。例如，很多企业会采取内部碳定价（Internal Carbon Pricing）方式实现碳减排（专栏4）。

专栏4 企业内部碳定价

企业内部碳定价是企业根据自身碳排放量及特征制定内部碳价，纳入财务成本估算，以改变员工行为及开展投资方案评估的减排措施。内部碳定价被认为是目前应对气候变化中较为灵活且具有高成本效益的碳管理机制^[36]。CDP数据显示，截至2021年，1077家公司披露已使用内部碳定价，另有1601家企业宣布其将于近两年内采用内部碳定价。水泥生产和IT行业是最常采用内部碳定价机制的行业^[37]。

微软的内部碳定价机制可以追溯到2012年。当时微软公司决定推行碳中和政策，涵盖范围包括了全球的资料中心、办公室、软件研发实验室以及商务旅行。实施之后，微软分布在一百多个国家的机构就将内部碳价纳入预算考量。微软通过该方式从内部募集资金，然后将资金投资于可持续发展领域。例如，升级办公室照明设备、升级建筑能源管理系统、购买可再生能源等。

法国兴业银行在2011年引入内部碳定价，并基于内部碳定价制定了碳减排计划（CRP）。企业内每个核心业务团队或公司部门根据其各自的碳足迹缴纳内部碳税，然后通过CRP将收入以环境效率奖（Environmental Efficiency Awards）的形式进行分配，颁发给环境效益高的部门，激励每个部门减少二氧化碳排放^[38]。

注：微软、法国兴业银行案例引自曹静、林媛.2022.内部碳定价策略框架及案例分析^[39]。

建议能源央企从以下三方面完善集团公司碳排放管理机制。

一是积极参与国家碳排放核算等标准的制定/修订，构建合规统一规范的企业碳排放数据管理体系。2022年4月，国家发改委等三部委发布《加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》，提出要建立统一规范的碳排放统计核算体

系。在完善行业企业碳排放核算机制方面，该方案提到“由生态环境部、市场监管总局会同行业主管部门组织制修订重点行业碳排放核算方法及相关国家标准”，其中重点行业涉及电力、石化等能源央企主营行业。2022年10月，国家市场监督管理总局等九部门联合印发《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》，提出“要完善地区、行业、企业、产品等不同层面碳排放监测、核算、报告、核查标准”，“制定绿色低碳产品、企业、园区、技术等通用评价类标准”。能源央企应积极参与相关碳排放标准的制定与修订工作，在核算方法科学性、技术手段先进性等方面进行探索，为全国碳排放核算体系的构建做出贡献（例如可参见专栏5，中国华电碳排放在线检测实验平台案例）。基于此，进一步构建适用于全集团的，合规、统一、规范的碳排放数据管理体系。

二是高质量完成碳信息披露工作，助力国家建设碳信息披露体系。按照国家政策要求，及时、规范、准确完成碳排放等相关信息披露；借鉴国际环境信息披露做法，规范企业碳信息披露渠道与形式，探索建设适用于能源央企的碳信息披露体系。

三是积极参与全国碳排放权交易市场，并探索适用于企业的内部碳定价机制等。主营业务涉及火力发电的能源央企应当推进下属企业按时完成履约、积极参与碳市场交易；尚未参与全国碳市场交易的其他能源央企可以提前做好碳排放数据管理基础工作，储备人才力量，主动应对碳市场覆盖行业范围扩大。

专栏5 中国华电碳排放在线检测实验平台

中国华电成立华电电力科学研究院，其中所包含的碳排放技术支撑团队搭建了电力行业首个碳排放在线检测实验平台，研究制定出适用于我国火电厂的CO₂排放连续监测技术规范，作为技术牵头单位，在中电联统一牵头下，承担《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》行业标准编制^[40]。经国家能源局批准，该标准已于2021年12月22日公开发布，并于2022年3月22日正式实施^[41]。

（二）强化绿色低碳技术创新

科技创新在碳中和目标的实现中发挥着不可替代的重要作用。根据国际能源署（IEA）的分析^[42]，全球实现2050年净零排放的关键措施包括行为改变、能效提升、电气化、可再生能源、氢和氨基燃料、生物能源以及二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）等。2030年前，能效提升、风能和太阳能将贡献约一半的减排量；2030年到2050年，电气化、CCUS和氢能的贡献将逐渐增加（图3）。这些低碳、零碳和负碳能源技术中50%目前仍处于原型或示范阶段，必须提升创新速度和力度。

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

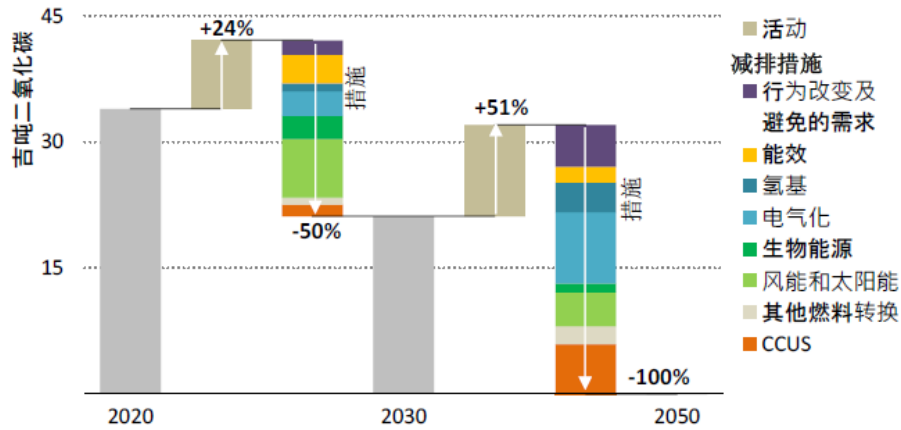


图 3 净零排放情景下，2022-2050 年不同减排措施贡献的减排量

节能与可再生能源发电技术等的应用一直是我国应对气候变化的重要抓手，在实现碳中和过程中将继续发挥作用。但是，仅依靠这些技术还不足以支持碳中和目标的实现。科技部《碳中和技术发展路线图》提出了由八大类技术（图 4）构建的碳中和技术体系，包括节能提效低碳技术，零碳电力能源技术，零碳非电能源技术，工业、建筑和交通终端用能部门的燃料/原料替代技术，CCUS 技术，碳汇技术，集成耦合与优化技术和非二氧化碳温室气体消减技术，都将成为未来我国碳中和技术体系的重点部署方向。根据中国 21 世纪议程管理中心分析，在此技术体系中，实现碳中和目标，处于概念/研发阶段技术的减排贡献约为 30%，处于中试/示范阶段技术的减排贡献约为 36%，而目前已处于商业应用阶段技术的减排贡献仅为 34%^[43]，技术创新的空间还很大。

节能提效低碳	化石能源清洁高效利用、煤气化联合循环发电、超高参数超临界发电技术、工业/农业/建筑/交通等领域的节能减排与提质增效	
零碳电力能源	可再生能源与核电	太阳能发电、风能发电、地热发电、海洋能发电、生物质发电、水力发电、核能发电
	储能	机械能储能、电气储能、电化学储能、热化学储能
	输配电	高比例可再生能源并网、交直流混联电网安全高效运行、先进电力装备
零碳非电能源	氢能	工业富产氢、电解水制氢、化工原料制氢、物理储氢、化学储氢、运氢、燃料利用、原料利用...
	非氢燃料	生物质制备燃料、CO ₂ 制备燃料、新型燃料、氢能燃料利用
	供暖	低品位余热利用、水热同产、热储能、热力与电力协同、其他热利用
燃料/原料替代	电气化应用	工业电气化、建筑电气化、农业电气化、交通电气化
	燃料替代	生物质燃料替代、氢燃料替代
	原料替代	生物质原料替代、绿氢原料替代、捕集CO ₂ 原料替代、低碳建材/冶金/化工原料替代
	工业流程再造	钢铁流程再造、有色流程再造、化工流程再造、建材流程再造
回收与循环利用	回收与循环利用	能量回收利用、物质回收利用
	CCUS	捕集、压缩与运输、地质利用与封存
BECC/DAC	BECC/DAC	生物能源与碳捕获和储存、直接空气捕捉
	碳汇	陆地碳汇、海洋碳汇
集成耦合与优化	能源互联	多能协同发电、多能互补耦合应用
	产业协同	全产业链低碳集成与耦合、跨产业低碳集成与耦合
	节能减排降碳	效率提升、碳减排与大气污染物协同治理、碳减排与水污染物协同治理、碳减排与固体废物协同治理
	管理支撑	碳排放检测核算体系、碳中和决策支撑
非二氧化碳削减	源头减量、过程控制、末端处置、综合利用	

图 4 碳中和技术体系^[44]

能源央企是国家技术创新体系的重要组成部分。能源央企拥有雄厚的技术创新资源，经过长期的技术创新能力积累，在实施国家重大科技攻关、带动前沿技术发展等方面发挥着主导作用。近些年，能源央企持续加强科技创新能力建设、完善科技创新体系、大力提升协同创新水平，取得了一大批科技创新成果（专栏6），如建立全球最大的光伏电站、掌握自主的三代核电技术、突破深海水油气开发能力等，展现了央企作为科技创新国家队的实力与担当，为满足国家能源重大战略需求提供了支撑。

专栏6 能源央企近年重大科技创新案例

中核集团建设的全球第一台“华龙一号”核电机组福建福清核电5号机组于2021年1月30日投入商业运行。机组采用中核集团自主研发的具有完全自主知识产权的三代核电技术“华龙一号”堆型，每台机组6万余台/套设备，设备国产化率达88%，其中核心设备均为国产，具备批量化建设能力。“华龙一号”每台机组每年可以发电近100亿千瓦时，相当于减少标准煤消耗312万吨、减少二氧化碳排放816万吨^[45]。

中国海油建设的世界首座十万吨级深水半潜式生产储油平台“深海一号”能源站于2021年6月25日投入使用。“深海一号”大气田是我国首个1500米深水自营大气田，探明天然气储量超1000亿立方米，“深海一号”能源站用于该大气田的开发，预计每年将向粤港澳大湾区和海南等地稳定供应深海天然气超30亿立方米^[46]。

三峡集团建设的世界第七、中国第四大水电站——乌东德水电站于2021年6月16日正式投产发电，总装机容量1020万千瓦，由12台单机容量85万千瓦水轮发电机组组成，在电站机组满发状态下，一年可发电约389亿度，每年可减少二氧化碳排放约3050万吨^[47]。

国家电投建设的龙羊峡水光互补光伏电站，是吉尼斯世界纪录认证的“最大装机容量的水光互补发电站”，水光互补技术解决光伏发电的弃光和并网问题，并实现了水力发电和光伏发电的快速补偿功能。电站装机量共850兆瓦，年平均发电量14.94亿千瓦时，相当于减少二氧化碳排放约122.66万吨^[48]。

我国能源科技创新与引领能源革命的内在要求相比还存在明显差距。我国企业在技术创新方面主要面临两个问题。一是**企业研发投入规模较大，但强度不高。**根据国家统计局的数据，2021年，我国研究与试验发展（R&D）投入经费总量为世界第二，但经费投入强度（与国内生产总值之比）较低，规模以上工业企业投入强度仅为1.33%^[49]。中央企业的投入强度略高一些，2021年中央企业研发投入强度达到2.49%^[50]，但与科技强国的平均水平相比（如2020年美国达到3.45%，

日本 3.26%^[51]) 仍然存在明显差距, 且与国资委要求的到 2022 年底中央工业企业重点企业研发投入强度平均要达到 5% 以上也存在较大差距。二是**缺乏基础性、原创性的技术创新能力**。我国长期实行引进、消化、吸收、再创新的创新路径^[52], 企业基础研究重视不足, 缺乏重大原创性成果^[53]。一些关键技术依然受制于人, 关键零部件、专用软件、核心材料等大量依赖国外。目前虽然企业在 2021 年底拥有研发机构的数量上达到 5327 个, 但并未真正发挥主导作用, 尤其在承担国家重大科研平台建设和运行中尚未承担创新主体的职责。例如, 截至 2021 年, 企业国家重点实验室 91 个^[54], 相比依托大学和科研院所建设了 253 个国家重点实验室^[55] 仍有差距, 且企业国家重点实验室在数量上与 2018 年科技部财政部发布《关于加强国家重点实验室建设发展的若干意见》中设定的到 2020 年企业国家重点实验室保持在 270 个左右差距较大。

能源央企在支撑碳达峰碳中和技术创新中应打头阵, 勇当碳中和原创技术策源地。2022 年 2 月 28 日, 中央全面深化改革委员会审议通过《关于加快建设世界一流企业的指导意见》, 强调了企业新主体地位, 提出要加快建设一批产品卓越、品牌卓著、创新领先、治理现代的世界一流企业^[56]。当天会议, 中央全面深化改革委员会还审议通过《关于推进国有企业造原创技术策源地的指导意见》, 强调国有企业要加强原创技术供给, 超前布局前沿技术和颠覆性技术, 在集聚创新要素、深化创新协同、促进成果转化、优化创新生态上下功夫^[57]。国务院国资委党委书记、主任郝鹏也曾强调, 中央企业等国有企业要勇挑重担、敢打头阵, 勇当原创技术的“策源地”、现代产业链的“链长”。国资委将进一步加大政策精准供给, 在考核、分配、中长期激励等方面进一步加大支持力度^[58]。能源央企应以此为契机, 努力打造碳中和原创技术策源地, 在提高研发投入强度的基础上, 从以下三个方面加强部署 (图 5)。



图 5 能源央企强化绿色低碳技术创新

一是加强绿色低碳技术布局与攻关。国家对能源科技创新工作已有相关布局规划（专栏 7）。能源央企应从国家碳达峰、碳中和目标需求出发，结合自身行业特点，围绕低碳、零碳和负碳领域，从以下三个方面展开布局与攻关：（1）提前布局前沿技术攻关，包括新型高效光伏电池技术、新型核能发电技术、新型绿色氢能技术、前沿储能技术、电力多元高效转换技术、二氧化碳高值化转化利用技术、空气中二氧化碳直接捕集技术；（2）积极开展关键技术攻关，包括智能电网、抽水蓄能、先进储能、高效光伏、大容量风电、绿色氢能、现代煤化工、二氧化碳捕集利用与封存等技术；（3）加强技术示范和应用，例如绿色氢能示范验证和规模应用、全流程、集成化、规模化的二氧化碳捕集利用与封存示范项目。

专栏 7 能源科技创新的相关规划文件

时间	发文部委	文件名	内容
2022 年 8 月	科技部	《科技支撑碳达峰碳中和实施方案》	涉及能源绿色低碳转型支撑技术，低碳零碳工业流程再造技术，城乡建设与交通低碳零碳技术，CCUS、碳汇与非二氧化碳温室气体减排技术，前沿和颠覆性低碳技术，以及低碳零碳技术的示范应用的一系列科技创新相关内容。
2021 年 12 月	能源局和科技部	《“十四五”能源领域科技创新规划》	围绕先进可再生能源发电、新型电力系统、安全高效核能、绿色高效化石能源开发利用、能源系统数字化智能化等方面，部署了相关示范工程并制定了技术路线图，并强调了突出企业技术创新的主体地位。

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

2021年 12月	国资委 《关于推进中央企业 高质量发展做好碳达峰 碳中和工作的指导 意见》	中央企业要加快绿色低碳技术布局与攻关，积极承担国家绿色低碳重大科技项目，布局前沿技术攻关，深入开展关键技术攻关，加快新型材料研发应用，并提出加强绿色氢能示范验证和规模应用，推动建设二氧化碳捕集利用与封存示范项目，扩大绿色低碳首台（套）装备和首批次新材料应用。
--------------	---	---

二是打造绿色低碳科技创新平台。企业应强化创新主体地位，以产学研用深度融合为基础，牵头组建创新联合体，积极承建或参与绿色低碳技术领域创新平台的建设。企业牵头的科技创新平台，主要有实验室体系、国家技术创新中心和新型研发机构等形式。其中，国家重点实验室偏重基础研究，侧重于超前布局可能引发重大变革的基础研究和应用基础研究^[59]；国家技术创新中心的功能定位为实现从科学到技术的转化，侧重于促进重大基础研究成果产业化^[60]；而新型研发机构则是由多元主体联合构建，主要开展基础研究、应用基础研究、产业共性关键技术研发、科技成果转移转化、研发服务等^[61]。此外，为强化企业的创新主体地位，企业应加强与高校、科研院所的紧密衔接和实质性合作，共建各类研究开发机构和联合实验室（专栏 8），以此加强基础研究、应用基础研究与产业化对接融通，提高企业研发能力^[62]。

专栏 8 校企共建研发机构实例

2021年9月，清华大学与中国长江三峡集团联合成立了“清华大学-中国长江三峡集团有限公司气候变化治理机制与绿色低碳转型战略联合研究中心”。中心是建在清华大学校内的校级非实体科研机构，依托清华大学低碳能源实验室运行。中心结合国家中长期发展战略需求、清华大学科研基础实力和三峡集团长期投资实践经验，围绕“碳达峰、碳中和”目标开展系列综合研究分析，从全球-国家-地区-行业-企业的全方位角度提出政策建议，推动我国绿色低碳转型发展进程中的关键政策制定与技术路线设计。

三是强化绿色低碳技术成果应用。能源央企作为行业领军企业，要发挥引领行业技术进步，实现行业关键核心技术突破的重要作用^[63]。为强化技术成果的应用，企业需要从创新链视角进行通盘谋划、整体布局，加强创新链与产业链的融合。完整的创新链涵盖从科学新发现到产业化的全过程，包括基础研究、应用研究、技术开发、示范、商业化、市场扩散等过程，是一个环环相扣的链式结构。创新链与产业链的融合，是创新主体与生产主体的融合^[64]。既可以从创新链出发布局产业链，由科技创新产生的成果应用引导产生新的产业链，又可以从产业链出发布局对应创新链，由产业链的断点、堵点出发进行技术攻关（图 6）。具体而

言，企业要引领实施重大科技成果产业化示范工程，例如加强绿色低碳首台（套）装备和首批次新材料应用，针对此类产业链需求在创新链开展相关专项技术创新研发。

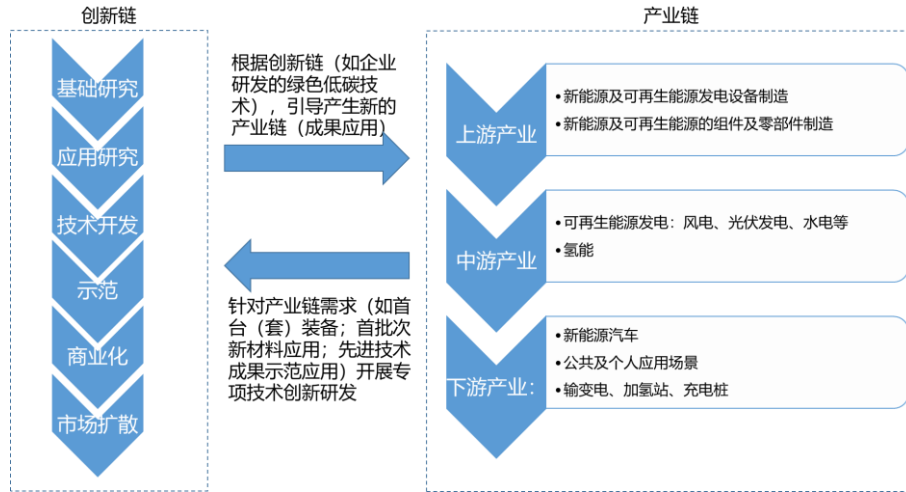


图 6 创新链产业链融合发展框架

（三）强化国有资本绿色低碳布局

国有企业是中国特色社会主义的重要物质基础和政治基础，是党执政兴国的重要支柱和依靠力量^[65]。国有资本越来越成为经济社会健康发展的“稳定器”和改善民生福祉的“压舱石”^[66]。近年来，国有资本规模持续快速增长，截至 2021 年底，中央企业资产总额 75.6 万亿元^[1]。国有企业虽然在很多行业和领域已经形成世界级规模的大企业大集团，但“大而不强、大而不优”的问题仍存在^[65]，大型国有企业面临业务板块繁杂、主业不突出的问题^[67]。一些能源央企，业务范围除能源供应、能源装备制造、能源工程建设之外，还包括金融、园区开发等其他非主营业务，资本分布过宽，集中度不够突出。

国务院国资委近年来持续推进国有资本的优化配置，结合实现碳达峰、碳中和的战略需求，能源央企应将绿色低碳作为资本优化布局的主要方向。根据国资委《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》要求，能源央企应从以下两个方面布局，以构建有利于国家实现碳达峰、碳中和的国有经济布局 and 结构（图 7）。

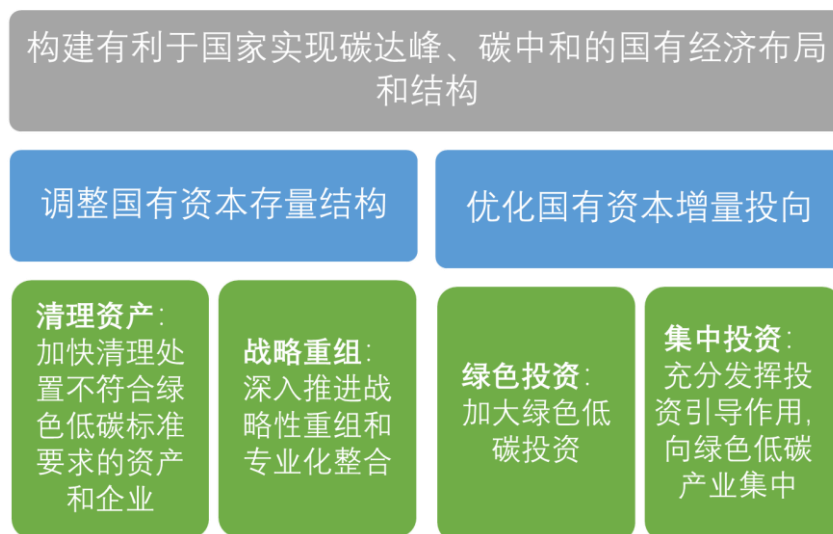


图 7 强化国有资本绿色低碳布局

第一，调整国有资本存量结构。一是盘活存量资产中符合绿色低碳发展方向的基础设施项目资产，包括清洁能源、生态环保、新型基础设施等。国务院办公厅 2022 年 5 月印发的《关于进一步盘活存量资产扩大有效投资的意见》中提到，要通过优化完善存量资产盘活方式和加大盘活存量资产政策支持等方式，有效盘活存量资产，形成存量资产和新增投资的良性循环。对于基础设施存量资产多、建设任务重、负债率较高的国有企业，要引导企业把盘活存量资产作为国有资产保值增值以及防范债务风险、筹集建设资金、优化资产结构的重要手段^[68]。二是加快清理处置不符合绿色低碳标准要求的资产和企业，深入推进战略性重组和专业化整合。

专栏 9 能源央企战略性重组实例

国电与神华合并重组为国家能源投资集团^[69]。2017 年 8 月，中国国电集团公司与神华集团有限责任公司合并重组为国家能源投资集团有限责任公司。其中，神华集团是以煤为基础，电力、铁路、港口、航运、煤制油与煤化工为一体，产运销一条龙经营的特大型能源企业，是世界最大煤炭供应商，国电集团是我国五大发电集团之一，为综合性电力集团，以发电为主，主要从事电源的开发、投资、建设、经营和管理。两家企业的重组整合是在国家的煤电去产能的要求下，发挥煤炭、电力等产业链上下游企业的产业链协同效应，起到稳定煤炭市场价格，实现煤电联营，构建煤电一体化的作用。

第二，优化国有资本增量投向。一是加大绿色低碳投资。碳中和目标实现，需要大量新增投资。根据清华大学气候变化与可持续发展研究院等机构测算，未来 30 年我国新增绿色低碳投资将达百万亿级（专栏 10），规模巨大。投资方向将覆盖新能源供应，工业、交通和建筑部门脱碳，碳移除等众多领域。能源央企可

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

以加大绿色低碳投资，并通过绿色信贷、绿色债券等方式引入资金，进一步加大资本投入、优化投资结构^[70]。能源央企近期运用碳排放权抵押进行绿色信贷的案例见专栏 11，能源央企发行明确界定用于碳中和的绿色债券案例见专栏 12。

专栏 10 对几种绿色低碳投资需求估算结果对比

预测机构	投资规模
国家发改委价格监测中心，2021 ^[71]	实现 2030 年碳达峰，需要每年投入资金 3.1-3.6 万亿人民币，每年资金缺口超过 2.5 万亿人民币，而实现碳中和新增投资将超过 139 万亿人民币
清华大学气候变化与可持续发展研究院，2020 ^[72]	未来 30 年中国需要新增 174 万亿人民币的绿色低碳投资
绿金委课题组，2021 ^[73]	未来三十年的绿色低碳投资累计需求将达 487 万亿人民币
国际可再生能源署，2021 ^[74]	到 2050 年全球总投资规模可达 131 万亿美元，按照我国碳排放占全球约 30% 进行测算，我国需要投资达 255 万亿人民币
高盛研究部，2021 ^[75]	到 2060 年，中国清洁能源基础设施投资规模将达到 16 万亿美元（约合 104 亿元人民币），创造 4000 万个净新增工作岗位并推动经济增长。
中金研究部，2021 ^[76]	到 2060 年，预计绿色低碳投资需求将达 139 万亿人民币

专栏 11 能源央企使用碳排放权抵押进行绿色信贷案例

截至 2021 年末，我国本外币绿色贷款余额 15.9 万亿元，规模全球第一^[77]。

广州大学城华电新能源公司^[78]于 2014 年 12 月以广东省碳排放配额作为抵押品，获得浦发银行 500 万元的碳配额抵押绿色融资，广州碳排放权交易所作为业务支持机构，为该笔融资的抵押品（碳排放配额）提供相关的确权服务。

神华国华九江发电有限责任公司^[78]于 2021 年 8 月以 341.89 万吨碳排放权配额作为质押担保物，获得建设银行 1 亿元的碳配额质押融资。

中国民生银行依托全国碳排放权注册登记结算系统，联合**国家能源集团**龙源（北京）碳资产管理技术有限公司、**中国大唐集团**大唐碳资产有限公司、**国家电投集团**北京电能碳资产管理有限公司，为三家央企集团下属发电企业国电内蒙古东胜热电有限公司、大唐七台河发电有限责任公司和贵州黔西中水发电有限公司成功办理了碳排放权担保贷款^[79]。

专栏 12 能源央企绿色债券发行情况^[80]

截至 2021 年末，我国在境内外市场累计发行绿色债券 2.1 万亿人民币^[81]，仅 2021 年一年发行总额达 7063 亿元，其中碳中和债券¹占中国发行的贴标绿色债券总额的 40%以上。

三峡集团 2021 年 3 月 3 日发行首批碳中和绿色公司债券²10 亿元，期限 3 年，募集资金不低于 70%用于金沙江白鹤滩水电站项目建设。

中国石化 2021 年 4 月 2 日发行权益出资型碳中和债，发行规模 11 亿元，发行期限 3 年，募集资金将用于公司光伏、风电、地热等绿色项目。

国家能源集团发行 2021 年度第一期绿色公司债券（专项用于碳中和），金额不超过 500 亿元，期限 3 年。不低于 70%的募集资金用于具有碳减排效益的绿色项目建设、运营、收购或偿还碳中和项目的贷款，剩余不超过 30%的募集资金将用于补充公司流动资金。

中国华能公开发行 2021 年度第一期绿色公司债券（专项用于碳中和），金额不超过 400 亿元，期限为 2 年。募集资金将用于光伏发电、风电、水电等，以及具有碳减排效益的绿色产业项目建设。

1 碳中和债券：根据中国银行市场交易商协会发布的《关于明确碳中和债相关机制的通知》，碳中和债主要是指募集专项用于具有碳减排效益的绿色项目资金的债务融资工具，并对碳中和债给予专项标识。此外，碳中和债发行企业需聘请独立的第三方专业机构出具相关评估认证报告，需要再发行后持续对项目进展和碳排放功效进行信息披露。此等高标准使得碳中和债比其他绿色债券有更高的投资吸引力。

2 公司债券：是指公司依照法定程序发行、约定在一定期限还本付息的有价证券。

中核集团公开发行 2021 年度第一期绿色公司债券（专项用于碳中和），金额不超过 200 亿，期限为 3 年。募集资金中不低于 70%主要用于徐大堡核电项目前期工程建设的资金需求以及偿还风电和光伏发电绿色低碳项目前期金融机构借款，其余部分用于补充公司运营资金。

国家电投公开发行 2021 年度第一期绿色公司债券（专项用于碳中和），金额不超过 300 亿元，债券期限 2 年。募集资金拟全部用于偿还公司山东海阳核电一期工程项目前期金融机构借款。

南方电网 2021 年 2 月 7 日发行 2021 年度第一期绿色中期票据（碳中和债）。计划募集资金人民币 20 亿元，兼顾碳减排与适应气候变化，全部用于南方电网公司旗下两座抽水蓄能电站建设。

国家电网 2021 年 3 月 24 日发行第一期绿色中期票据^[82]（碳中和债），期限 2 年，募集资金 50 亿元。

国家电投发行 2021 年度第一期绿色中期票据（碳中和债），拟募集资金 6 亿元，用于集团所属吉电股份的光伏、风电等具有碳减排效益的绿色清洁能源项目。

二是充分发挥投资引导作用，带动全行业投资向绿色低碳产业集中。能源央企具有较好的整合资本能力，可以发挥示范与带头作用，带动社会资本共同投资绿色低碳产业。例如，央企可以通过设立绿色基金，带动社会投资跟进（专栏 13）。

专栏 13 能源央企发行绿色基金的案例

截至 2021 年三季度，我国绿色基金规模合计 7900 多亿元^[77]。

国家发改委与三峡集团共同发起设立长江绿色发展投资基金。定位为国家级产业投资基金，首期募集资金 200 亿元，未来计划形成千亿级规模。该基金拟重点投向长江经济带沿江省市水污染治理、水生态修复、水资源保护、绿色环保及能源革命创新技术等领域，全力支持长江经济带绿色发展^[83]。

中国石油集团资本股份有限公司投资 3 亿元于中美绿色基金，该基金的其他投资人包括华能国际电力开发公司、三峡资本控股等国有资本企业、工商银行等金融机构、远景能源等民营企业，投资于绿色能源与节能、绿色制造与环保领域^[84]。

1 中期票据：是在银行间债券市场按计划分期发行的，约定在一定期限内还本付息的债务融资工具，期限长于商业票据，短于企业债券，对于发行企业来说更灵活，不但没有对发行规模的限定，还可以在多次发行时统一注册（于畅. 碳中和债的成本及效益研究[D]. 东北财经大学, 2022.）。

（四）保障能源供应链战略安全

能源是经济和社会发展的基础，牢牢端稳能源安全的饭碗意义重大。全球能源供应链面临重大重塑，需要强化能源供应链的战略安全。

能源战略安全将逐步从保障传统化石能源安全到保障清洁低碳能源供应链安全转变。实现碳中和目标对清洁低碳能源大规模发展的需求，将重新定义能源安全，使其内涵更多体现为对清洁低碳能源的供应安全。与传统化石能源供应链不同，清洁低碳能源供应链需要依赖制造清洁能源所需的关键矿物、材料和组件，而不仅仅是燃料供应本身，因此其有以下两个特点：一是对一些关键矿物资源高度依赖，例如，电池产业链对于锂和钴的依赖，太阳能光伏产业链对于铝、铜、锌的依赖，氢能产业链对于铂和镍的依赖等；二是对清洁低碳能源制造业高度依赖，例如光伏产业对于电池、硅片等加工的依赖等。国际能源署 2022 年发布的《确保清洁能源技术供应链》报告中，基于供应链集中程度、增长速度和规模、风险、转向其他材料或技术的能力等维度，对清洁能源供应链的风险和脆弱性进行了评价。报告发现，供应链集中于少数生产设施、公司、国家或地区，是清洁能源技术面临的一个主要风险。对于电动汽车、太阳能光伏电池和低排放氢能来说，供应中断的风险及其潜在影响尤为明显^[85]。

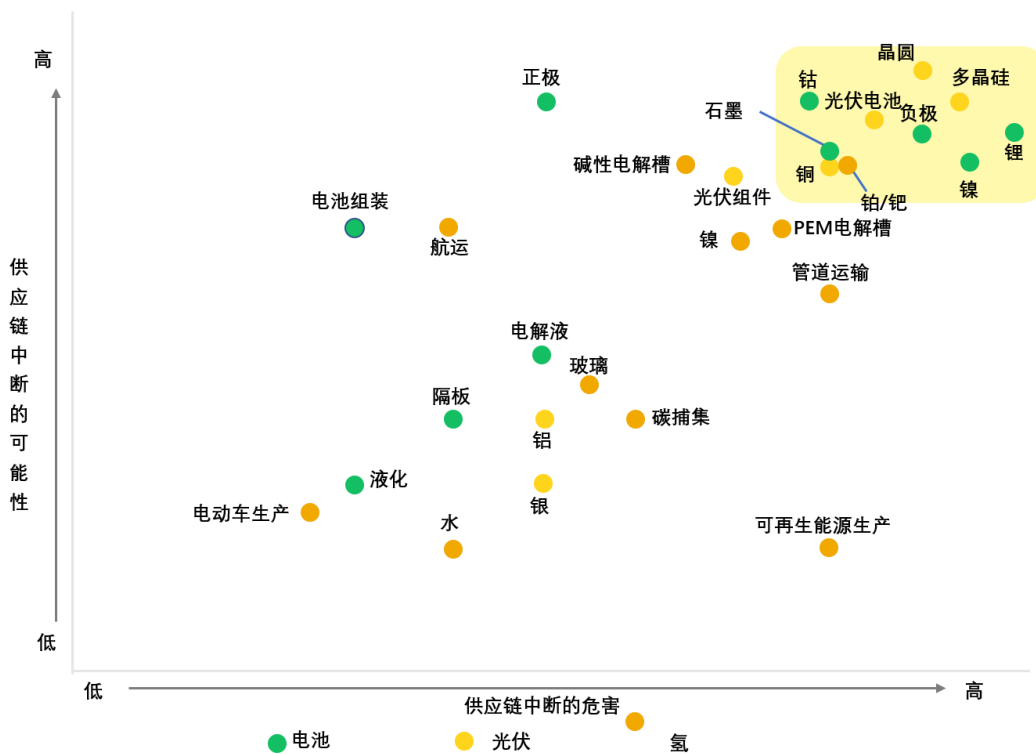


图 8 清洁能源潜在供应中断影响的可能性和程度^[86]

保障清洁能源供应链安全已成为世界主要国家和地区的重要战略目标。美国能源部 2022 年发布《美国实现清洁能源转型的供应链保障战略》，旨在建立安全、弹性和多样化的清洁能源产业基础，确保清洁能源制造和创新的全球领先地位，摆脱对他国（点名我国）的过度依赖，保障国家安全和产业竞争力^[87]。近期，美国已通过《削减通胀法案》，致力于打造独立完整的清洁能源发电产业链和新能源汽车产业链。欧洲对外关系委员会（European Council on Foreign Relations）也在同年发布报告，提出要尽快重塑欧洲清洁能源供应链，实现与我国供应链的脱钩^[88]。可以预见，我国能源产业对外合作将面临很大挑战，能源央企在我国清洁能源供应链安全保障中需要发挥重要作用。

我国清洁低碳能源供应链在全球分工中具有一定优势，但也面临巨大挑战。我国水电产业优势明显，已成为全球水电建设的中坚力量；风电产业链完整，6 家风电整机制造企业位列全球前十；光伏产业占据全球主导地位，多晶硅、硅片、电池片和组件分别占全球产量的 79%、97.3%、87.4%和 82.7%^[89]。根据美国能源部分析，我国控制着全球约 72%的钴精炼，80%的稀土生产和精炼，61%的电池存储和电动汽车锂精炼关键部件以及 100%用于电池阳极的天然石墨的加工。完整的工业体系和完备的基础设施以及超大的市场规模为我国构建畅通的清洁低碳能源供应链奠定了良好的产业基础。但同时，我国在清洁能源供应上也可能面临多重挑战。一是我国稀有金属深加工技术仍然相对落后。例如，我国锂产品主要集中于工业级碳酸锂、氢氧化锂等生产难度小、附加值低的传统锂产品。在高端锂产品加工方面，与国际先进水平还存在较大的差距，供应不足，需要大量进口^[90]。二是我国新能源装备制造方面还有很多“卡脖子”技术，需要加快主轴承、IGBT、控制系统、高压直流海底电缆等核心技术部件研发^[91]。三是关键矿物资源拥有国的资源垄断政策将可能对我国带来重大威胁。例如，近期智利、阿根廷、玻利维亚和澳大利亚四个主要产锂国要建立类似于欧佩克石油输出国组织的“锂佩克”，计划根据全球锂矿的需求量来调节锂矿开采量^[92]，需要密切关注其进展。

能源央企将面临更为复杂的供应链管理形势。实现碳中和进程中，对于多数的能源央企，供应链管理将可能经历三个阶段：一是近中期仍要持续增强油气供应能力以及煤炭安全托底保障能力，保障化石能源供应链稳定，同时在已有供应链体系外，要不断加强清洁低碳能源供应链体系的构建；二是需要同时维持化石能源供应链和清洁低碳能源供应链的高效运营，供应链管理复杂度倍增；三是逐渐退出化石能源供应链，基本切换为清洁低碳能源供应链体系。如何保障不同阶段供应链管理间的统筹协调与平稳过渡，是能源央企需要很好处理的一个问题。同时，**清洁低碳能源供应链运作中权力的布局将更可能是多元共治的，这使得供应链管理将面**

临很多风险。美国能源部在《美国实现清洁能源转型的供应链保障战略》报告中构建了一个能源供应链框架，涵盖了能源行业和相关供应链，包括了从采掘到制造，到能源加工转换，到废弃物管理，到提供数字产品和服务的供应商等所有行业和利益相关者。在这个复杂的清洁低碳能源供应链中，生产关键组件的主体，或者拥有关键矿物的主体，都将可能占据供应链主导位置，具有较高的定价议价能力，影响整个链条的价值分配。如何适应新的清洁低碳能源供应链运作规则，构建高效协同的供应链运作模式，也是能源央企需要面对的重要问题。

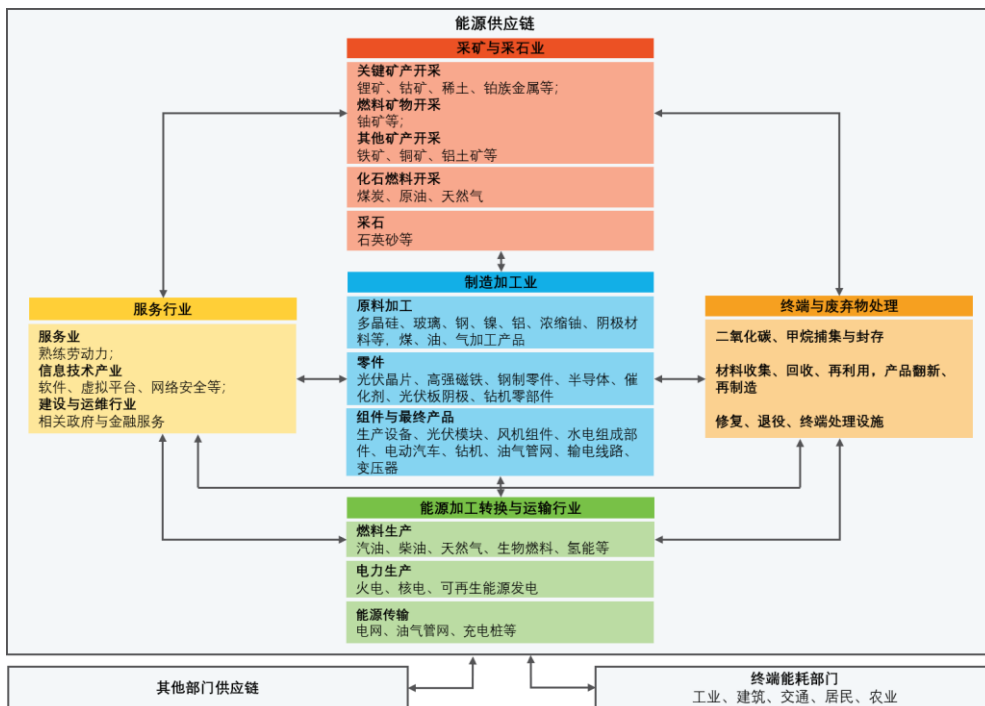


图9 能源供应链构成框架^[87]

能源央企已开始关注清洁低碳能源供应链安全的保障。我国当前能源安全保障重点仍以化石能源为主，但已有一些能源央企通过构建产业联盟等方式开始积极布局清洁低碳能源供应链（专栏14）。

专栏14 能源央企清洁低碳能源供应链构建案例

国家能源集团牵头，联合19家我国能源生产、装备制造、交通运输、基础材料等领域的大型骨干企业、知名高校科研院所、金融机构在2018年共同发起成立了中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟（简称“中国氢能联盟”）。目前，该联盟成员单位已经增加到105家。其中，中央企业及所属单位25家，地方国有企业19家，高校科研院所13家，民营企业32家，外资及在华机构16家。由成员单位所发起的地方联盟9家、省级氢能创新研究中心5家。该联盟

致力于成为推动我国氢能源及燃料电池产业实现跨学科、跨行业、跨部门协同创新、资源整合、推广应用、交流宣传的高端合作平台^[93]。

中国能源建设集团联合电池巨头宁德时代、光伏巨头天合光能在 2022 年共同发起了中国新型储能产业创新联盟。该联盟由 62 家电网企业、发电企业、储能技术与装备企业等共同组建。旨在以新能源为主体的新型电力系统建设，打造中国新型储能产业的新标杆^[94]。

未来能源央企要构建更多元化、更具韧性的供应链。具体建议包括：

一是增强供应链风险识别能力。建立能源供应链风险监测、预测、预警机制，加强供应链风险识别与影响评估，开展风险识别与应对决策支持研究。

二是增强供应链风险应对能力。通过加强关键材料的战略储备、供应链多元化和构建关键材料循环体系等措施，提高对短期风险的应急管理能力和对长期结构性、系统性风险的应对能力。

三是提前布局碳中和技术供应链。在碳捕集封存与利用、绿氢制造、燃料电池和新型储能等碳中和技术领域进行提前布局。

四是加强供应链治理。探索建立全球清洁低碳能源供应链治理规则，加强供应链上不同企业间的信息共享与风险分担，提高供应链整体运作效率。借力我国市场优势与产业基础优势，形成供应链竞争新优势。

（五）提升能源产业数字化智能化

数字化、智能化可有效助力能源产业低碳转型。通过将数字化、智能化技术运用于能源企业生产运营中，有利于企业开展精细化管理、智能化生产，降低生产过程中不必要的物资、能源等损耗，减少碳排放；通过数字化、智能化技术构建的行业公共平台，可以通过促进产业基础设施和物资的共享利用，降低重复建设，从而减少物资、能源消费，降低碳排放^[95]。根据全球电子可持续发展推进协会（GeSI）的研究，数字技术的应用可推动全球碳排放水平的有效控制^[96]。

欧美国家与地区高度重视数字化转型，出台政策支持能源产业数字化、智能化发展。欧盟、美国等世界主要国家与地区发布的《欧洲绿色新政》、《绿色发展战略》等政策中均有提到通过数字化促进绿色低碳转型^[97]，欧盟还就能源部门数字化转型制定了具体政策，提出《能源系统数字化行动计划》（Digitalising the energy system - EU action plan）^[98-100]。专栏 15 对其进行介绍。

2022年10月18日，欧盟委员会发布《能源系统数字化行动计划》（以下简称《行动计划》），作为推动能源系统深度转型并发挥数字化核心作用的纲领性文件。《行动计划》的主要目的是助力欧盟减少对俄罗斯的化石能源依赖、有效应对气候危机、改善能源贫困，提升能源体系的可负担性、可持续性与韧性。

就可负担性而言，《行动计划》提出，能源系统数字化中的智能解决方案将有助于节约能源并降低成本，同时使消费者能够轻松地评估收益，并促进可再生能源投资。就可持续性而言，《行动计划》指出信息和通信技术（ICT）带来的数字解决方案将有助于能源系统提升灵活性、更容易实现供需平衡、整合分布式可再生能源资源。就韧性而言，数字化的能源系统可以更好地预测可再生能源发电技术的波动性，数据交换使能源系统更加智能并加强能源网络的安全性。

欧盟委员会希望通过《行动计划》实现以下六个方面的主要目标，包括：加强能源数据的互联与交换程度；促进和协调数字电力基础设施投资以助力提升能源系统智能化；利用数字技术鼓励大众消费者参与能源转型；确保能源系统网络安全与韧性；有效控制保障信息和通信技术（ICT）部门能源需求增长趋势；设计有效的治理机制以支持能源系统数字化研究和创新。

能源领域是我国数字化、智能化发展的重要领域。2015年，国务院发布《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》，“互联网+”智慧能源是其中的重点行动之一，主要涉及推进能源生产智能化、建设分布式能源网络、探索能源消费新模式和发展基于电网的通信设施和新型业务四项重要工作^[101]。国务院发布《“十四五”数字经济发展规划》^[102]等最新政策文件提出我国未来实现数字化、智能化转型具体要求，也将能源领域作为重要领域。国家发改委、能源局2022年联合发布的《“十四五”现代能源体系规划》中特别提到，通过加快能源产业数字化智能化升级来提升能源产业链现代化水平，并且需要推动能源基础设施数字化，建设智慧能源平台与数据中心和实施智慧能源示范工程以助力实现^[103]。

能源央企已积极推动产业数字化智能化升级，具体表现为：一是能源央企很多已构建了碳排放管理数据平台，将数字化技术应用于企业碳管理中。能源央企下辖子公司、企业数量繁多，需要统筹完成企业碳排放数据管理，支撑碳资产、碳交易管理相关工作。能源央企已经普遍构建了数字化碳管理平台（专栏16）。

中国华能碳资产管理信息平台。中国华能于 2020 年 12 月推出了具有温室气体核算、统计、查询、交易等功能的碳资产管理信息平台。华能碳资产管理信息平台可为集团公司、华能碳资产经营有限公司、二级单位（区域公司）、三级单位（电厂）提供碳排放管理全过程技术支撑和管理。平台包含电厂信息管理、排放信息管理、对标信息管理、配额信息管理、交易履约管理、碳市场交易信息、碳排放报告管理、减排项目信息管理等功能。平台界面如图 10 所示^[104]。



图 10 中国华能碳资产管理信息平台界面

国家电投碳排放管理系统。2022 年 6 月，国家电投启用集团公司碳排放管理系统 2.0 版，达到集团公司碳排放数据统一管理，提升了管理过程的科学性与规范性。管理系统包括碳排放数据质量保障体系，支持对集团下属发电、电解铝、水泥和煤炭四大业务板块的碳排放数据动态监测、实时分析、及时预警；实现了多维度数据统计及对比分析、配额盈亏测算及履约成本动态管理；通过数据价值挖掘，实现碳排放和碳资产的精准对标和决策辅助，构建集团公司统一的碳排放监测和碳达峰支持数据体系^[105]。

中国大唐碳资产管理信息系统。中国大唐搭建了碳资产管理信息系统，实现了对碳排放、碳配额、碳减排和交易等数据的信息化管理和配额盈亏预测等功能，不断提升精细化运营管理效能，为中国大唐在履约交易期内抓住市场机会、降低履约成本、实现碳资产保值增值提供了技术保障^[106]。

国家能源集团“四统一”碳资产管理信息系统。国家能源集团龙源碳资产公司协助集团公司建立了“统一管理、统一核算、统一开发、统一交易”的“四统一”碳资产管理信息系统；并借鉴期货、基金行业做法，结合试点碳交易经验，首创碳资产交易操作平台系统，规范碳配额交易，落实授权管理和实时监控，防范交易风险。平台推动集团公司实现碳资产统一高效管理，控制履约成本，实现国有碳资产保值增值。该平台获得两项实用新型专利授权和两项软件著作权，并荣获中国电力企业联合会 2020 年度电力科技创新奖一等奖。

[107]。

国家电网英大碳资产管理平台。国家电网英大碳资产管理（上海）有限公司搭建的国网英大碳资产管理平台于 2021 年建成上线。平台提供算碳、观碳、管碳、融碳、易碳、降碳六大服务，为各类企业和政府用户提供一揽子“碳管家”服务。平台利用国网集团构架优势，打造“集团式”多级碳管理示范模版；利用国网集团数据优势，通过电碳数据及其他能耗数据为用户提供可信碳分析；根据数据分析结果，向用户展示其碳资产情况、同行业、同地区等对比排名情况，并定制化提供降碳减排建议。平台界面如图 11 所示^[23]。



图 11 国网英大碳资产管理平台界面

二是能源央企已将数字化与智能化技术运用于主营业务范围内，助力能源系统低碳转型。2021 年，五大发电集团、三峡集团、国家电网、南方电网等主要电力央企总计建设投资数字化业务超过 230 亿元^[108]。能源央企在业务范围内推动研发应用能源互联网、大数据、5G 通信技术，建设数字化平台；实践数字孪生、三维建模、区块链技术，建设数字化治理与管理体系，提升生产运营智能水平；促进能源产业绿色、安全、高效发展（专栏 17）。

专栏 17 能源央企业务范围内数字、智能技术应用案例

国家能源集团^[109]从三方面推进数字化、智能化转型。首先，通过编制印发《国家能源集团数字化转型战略》等企业规划，提出建设智慧国家能源、推动企业智慧转型的发展战略。其次，提升全要素生产率，全方位推进智能矿山、智能电站、智能运输和智能化工建设。通过智能基础设施的构建，国家能源集团赋能生产过程控制，降低能耗物耗，推动低碳转型。最后，打造“一体化集中管控、智能化高效协同、可视化高度融合”的协同调度智能化指挥平台和“全流程贯通、全产业链衔接、全场景监控”的工业互联网平台。该工业互联网平台已

覆盖集团总部及 55 家子分公司、229 家三级生产单位^[110]。

中国三峡在主营业务中从四个方面推动数字化、智能化转型。一是深化技术创新，引领工程建设数字化；包括在三峡工程中的工程管理系统、溪洛渡水电站的“数字大坝”建设等。二是深化技术融合，促进电力生产与流域调度数字化；包括使用流域梯级调度系统（图 12）等。三是深化技术赋能，推进长江生态保护数字化；包括构建“源网站厂河”五级全链条监管感知系统，打造“预警-溯源-执法”可视化监管平台、使用数字化技术保护珍稀物种等。四是深化管理融合，提升经营管理数字化；包括建设业务管理信息系统、大数据平台、集团指挥中心等^[111]。

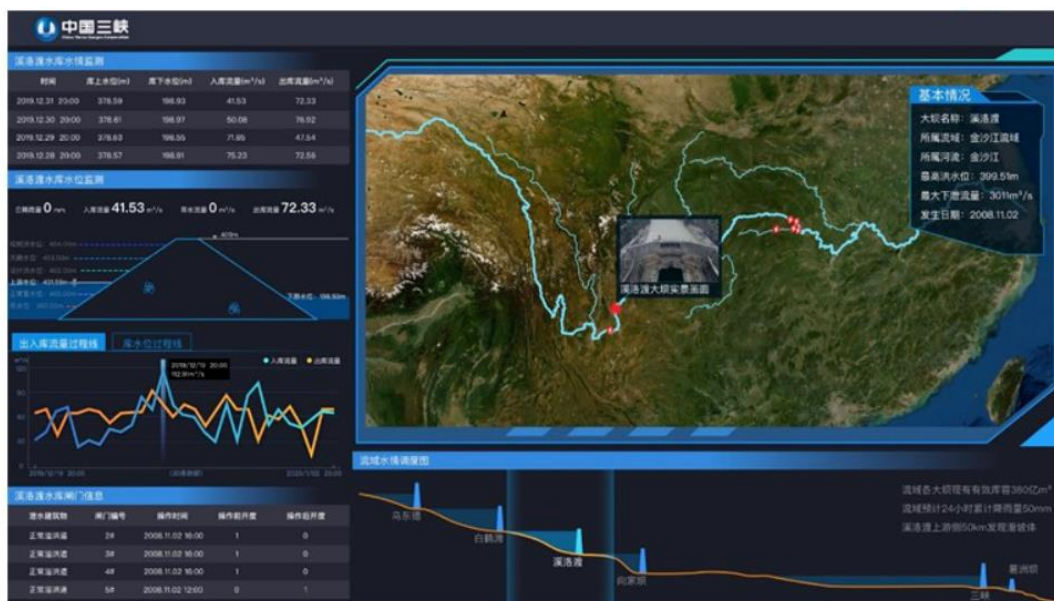


图 12 中国三峡流域梯级调度系统界面

中国石化全面推动集团公司数字化转型实现节能减排，提出涉及油田数字化改造、管道数字化管理、炼厂数字化建设、加油站数字化服务，覆盖集团业务全产业链数字化四个方面的改革战略。在其业务范围内，中国石化推进石油和石化工业互联网平台（ProMACE）研发（平台界面如图 13 所示^[112]）、智能工厂试点升级与智能加油站推广。实现一体化优化、操作报警、设备健康管理、加油综合服务主体应用上线运行。建立了一体化生产调度指挥中心，实现了生产管理扁平化，提高了现场处置效率，操作合格率从 90.7%提升至 99%以上。基于中国石化智能化管线管理系统，中国石化实现油气集输数字化、可视化、智能化管理，全面覆盖其下属油气管线数据，显著提升管道隐患治理、应急响应能力。通过在炼化企业开展操作管理、工艺管理、大机组管理等系统推

广建设，提高协同生产、精细化管理水平^[110]。



图 13 中石化 ProMACE 平台界面

国家电网高度重视数字化工作，将数字化作为电网转型升级和企业创新发展的重要抓手；自“十一五”以来，通过三个五年发展，从无到有建成了央企领先的企业级信息系统，核心业务基本实现线上化，能源与数字融合的新业务、新业态、新模式蓬勃发展。面向“十四五”，国家电网确立了“建设具有中国特色国际领先的能源互联网企业”战略目标和“一体四翼”发展布局，重点是通过数字化推动电网智能化升级和企业数字化转型，运用数字技术，坚持“全要素发力”，推进全业务、全环节数字化转型，实现电网高效率运行、公司高质量发展、服务高品质供应^[110]。

中国华能从四个方面推动数字化工作赋能产业降碳增效。一是生产数字化转型。融入区块链、物联网、人工智能等新兴成熟技术，推进智能生产和产业转型升级，实现电力、煤炭、交通运输、金融等数字化。二是业务管理数字化转型。推进企业资源计划（ERP）、人力资源、财务、营销、风控等业务全面数字化、智能化建设，加快数据治理体系建设，深化各管理系统融合，降低管理成本。三是决策数字化转型。利用业务运营分析洞察和机器学习模型，自动对业务过程提出建议或做出行动，提升公司决策的数字化、智能化能力。四是构建数字化生态。吸纳市场、技术、知识、关系、资金、服务等方面资源，开展广泛的跨界联系，实现资源动态重组，打造生态运营平台，不断推进数字化生态建设^[110]。

南方电网发布《数字电网白皮书》，明确提出“数字南网”建设要求，将数字化作为南方电网发展战略路径之一。通过电网管理、客户服务、调度运行和企业级运营管控四大平台，南方电网积极推动数字电网建设，持续推进传统电网数字化、网络化、智能化，促进可再生能源高效并网。运用电网管理平台和调度运行平台支持智能电网建设、运行和控制；运用电网管理平台、客户服务平台、调度运行平台支持能源价值链整合和能源生态服务；运用电网管理平台和运营管控平台支持公司管理和决策^[110]。

能源央企数字化智能化发展中也面临很多挑战。与很多工业制造业类似，能源央企在数字化智能化转型中会面临很多问题，包括传统设备数字化改造难度大，难以一体化接入；工业技术工艺软件化水平低，推广复用成本高；系统平台接口标准极不统一，互联互通难度大；企业重数据采集、轻数据挖掘等。

建议能源央企从以下六个方面积极推动能源产业数字化、智能化，赋能行业低碳转型：

一是进一步强调数字化与智能化和低碳转型的融合发展，加强碳排放管理平台和数据中心等构建。能源央企可以进一步完善数字化碳管理平台建设，统筹企业全级次碳排放、碳交易与碳资产管理，精准实现具有成本效益的减排策略制定。参与建设各级各类能源数据中心和碳排放管理数据中心，服务支撑行业管理和社会治理。

二是加强能源基础设施数字化。按照《“十四五”现代能源体系》建设要求，能源央企应当加强新一代信息技术、人工智能、云计算、区块链、物联网、大数据等新技术在能源领域的攻关与推广应用，积极开展电厂、电网、油气田、油气管网、油气储备库、煤矿、终端用能等领域设备设施、工艺流程的智能化升级。

三是建设智慧能源示范工程。结合业务板块，积极推进“智慧水电”、“智慧风电”、“智慧光伏”、“智慧电厂”、“智能化煤矿”、“智能油气田”等示范工程项目建设。

四是积极推动制定能源产业数据标准。企业在数字化平台、能源基础设施、智慧能源示范工程等建设过程中，应积极探索建立相应数据标准规范，保障不同来源数据的一致性、准确性、可靠性，并推动企业标准向行业标准、国家标准的提升转化。引领能源数据统一采集与应用标准制定，加强国家能源产业数据资源的集成与共享。

五是保障能源产业数据安全。能源央企应当推进能源数据共享相关的数字安全技术研发与应用，参与制定行业数据安全相关法律法规与标准。

六是维护能源数据设施的低碳化。通过推动老旧设备的升级改造、优化节能模式、利用绿色能源等方式，提升能源数据设施的用能效率。

（六）积极参与碳中和治理和能源治理

加强碳中和治理，需要完善碳排放管理相关法律法规和政策，加快全国碳排放权交易市场建设、完善温室气体自愿减排交易机制，更多发挥市场作用促进节能减排。在加快全国碳排放权交易市场、自愿减排交易机制构建的同时，要增强与能源治理体系中不同市场机制的衔接与协调。

增强能源治理效能是构建清洁低碳安全高效现代能源体系的重要内容。我国能源治理机制繁多、种类复杂。从促进可再生能源消纳视角来看，具体的市场机制包括可再生能源电力消纳责任权重考核（以下简称“消纳保障机制”）、绿色电力证书交易（以下简称“绿证交易”）和绿色电力交易（以下简称“绿电交易”）等。消纳保障机制基于发改委、能源局提出的建立健全可再生能源电力消纳保障机制的政策建立^[113]。由国家对于省级行政区域可再生能源电力消费占总电力消费比重提出要求，主要通过省间超额消纳量交易完成消纳目标^[114]。绿证交易在我国特指发改委、财政部、能源局指导，可再生能源信息管理中心核发的绿色电力证书^[115]，企业可在其中仅交易可再生电力的减排价值，不包含商品价值。绿电交易允许企业基于电力市场交易同时兼有商品价值和减排价值的绿色电力，且两种价值不可拆分交易，即“证电合一”。绿电交易初期只纳入风电和光伏，未来可能纳入符合条件的水电；在欧美跨国企业具有较高的认可度，发展前景较好。

碳中和与能源治理机制将在实现碳达峰、碳中和目标中发挥重要作用，但是两类机制可能存在部分功能重合、排放因子不统一等问题，如果不能理顺机制间的衔接，将可能提高企业参与成本，造成市场失灵。专栏 18 比较了各类治理机制的特点¹。

1 流动性、需求、认可度、覆盖面条目中的*的个数表示程度或范围，个数越多，程度或范围越大

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

专栏 18 各类能源与碳中和治理机制特征比较总结^{[1][6]}

治理机制	主管部门	计量方式	需求来源	使用区域	政策目标	核心特点	流动性	需求	认可度	覆盖面
消纳保障机制	发改委、能源局	电力表计，1个绿证对应1MWh可再生能源电力	相应考核需求 ¹	全国	促进可再生能源开发利用、建立健全消纳保障机制	为配额制提供灵活性的交易标的	* 企业参与有限	*** 配额制	** 企业中知名度较低	** 覆盖全国可再生能源
绿证	发改委、财政部、能源局	电力表计，1个绿证对应1MWh绿色电力	自愿需求和配额制考核需求	全国	引导绿色消费，促进消纳利用，完善补贴机制	“证电分离”的可再生电力凭证	** 可认购，但不可二次交易	* 自愿	** 知名度高，减排价值在部分场景下不被认可	** 覆盖全国可再生能源
绿电凭证	发改委、能源局	电力表计，单位 kWh	自愿需求	全国，但受电力传输容量和电力市场交易机制约束	引导绿色消费，推动绿色能源发展	“证电合一”的可再生电力凭证	* 目前无法交易	* 自愿	*** 知名度高，减排价值受认可	** 覆盖全国可再生能源

1 被考核的市场主体被受让的消纳量计入自身消纳量。

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

治理机制	主管部门	计量方式	需求来源	使用区域	政策目标	核心特点	流动性	需求	认可度	覆盖面
碳配额	生态环境部	碳排放量检测、报告、核查（MRV），单位吨二氧化碳排放当量	碳市场履约需求 ¹	全国	加强温室气体排放控制；调整化石能源发电结构	强制碳市场中的交易标的	*** 有交易所组织交易，但可参与交易的主体受限	*** 碳市场	** 知名度、认可度高，但数据质量存在挑战	** 覆盖全国高排放企业
CCER	生态环境部	基于基线情景的碳减排量检测、报告、核查（MRV），单位吨二氧化碳排放当量	碳市场履约需求（抵消机制，上限5%）和自愿需求	全国，目前交易由各试点交易所组织	加强温室气体排放控制，补充完善碳市场，调动全社会参与减排积极性	自愿碳市场中的交易标的	*** 有交易所组织交易、参与主体广，但发放流程长、成本高	** 碳市场抵消和自愿	** 知名度、认可度高，但数据质量存在挑战	*** 覆盖全国各类减排项目

1 纳入碳市场的重点排放单位方可参与碳配额交易。

相关研究显示，未来能源治理机制与碳市场治理机制内部需要有效衔接，两类治理机制间需要融合发展，才能为企业制定更加具备经济效益的策略提供支持。例如，制定碳配额分配方案和碳排放基准线等政策时，应充分考虑碳成本在电力市场的有效传导；在进行 CCER 等碳减排机制设计时，需要注意与绿电和绿证交易的衔接；在制定碳排放核算办法时，需明确绿证、绿电在重点控排企业的间接排放核算扣减机制等^[114,116]。

建议能源央企围绕碳中和治理与能源治理推进以下工作。

一是积极参与碳市场交易，开发 CCER 项目，促进碳中和治理机制长期健康发展。能源央企应当高质量完成碳市场交易，在 CCER 项目重启后还可以探索一些国家支持但尚无成熟商业模式的减排项目。

二是助力国家增强能源治理效能，推进能源领域市场化改革。目前国家能源治理机制尚在完善过程中，电力中长期交易机制、电力现货市场、电力辅助服务市场等仍在持续建设中；油气管网改革等有待深化。能源央企应当在其中发挥积极作用，深化电力、油气体制机制改革，加快现代能源市场建设，提升能源治理效能。

三是推动我国碳中和治理与能源治理机制融合发展。在碳中和治理机制逐步完善、能源市场与能源治理机制逐步成型的同时，两者的融合发展将推动我国以更低成本实现碳达峰、碳中和目标。能源央企可以加强与相关部委、高等院校合作，梳理国内外相关业务经验、组织参与相关研究，积极推动我国形成切实可行、成本有效、融会贯通的碳中和治理机制与能源治理体系。

（七）加强与区域战略的衔接协调

碳达峰、碳中和目标的实现，依赖各区域、各行业碳达峰、碳中和目标的实现。能源央企体量较大，对区域经济社会和能源系统的影响较大，应加强与区域重大战略以及能源、工业和信息化等领域区域重大布局的衔接协调，协助地方落实国家碳达峰、碳中和战略。主要建议有：

一是加强在大型清洁能源基地与跨区域电力输送方面的部署，提升重要功能性区域的清洁低碳能源保障能力，落实现代能源体系的构建要求（专栏 19）；

二是加强与工业和信息化领域区域布局战略的衔接协调。深度融入中西部和东北地区承接制造业产业转移能力建设；将数据中心等高耗电基础设施纳入能源规划体系进行统筹考虑（专栏 20）。

三是协助地方政府打造央地合作的碳达峰、碳中和试点示范样板，为地方建立碳达峰、碳中和的产业体系、技术体系、标准体系和金融体系提供支撑。

大型清洁能源基地。统筹推进云贵川藏、青海水风光综合开发，重点建设金沙江上下游、雅砻江流域、黄河上游等清洁能源基地，实施雅鲁藏布江下游水电开发等重大工程。依托存量和新增跨省跨区输电通道、火电“点对网”外送通道，推动风光水火储多能互补开发，重点建设黄河“几”字弯、河西走廊、新疆等清洁能源基地。以就地消纳为主，推进松辽、冀北清洁能源基地建设。积极推进东南部沿海地区海上风电集群化开发。

能源低碳转型引领区。**京津冀及周边地区，**大力发展分布式光伏，推动地热能资源绿色开发利用，增加由蒙西、山西等地区送入的清洁电力规模，完善环渤海地区 LNG 储运体系，推进低碳冬奥示范区、雄安智慧能源城市等绿色低碳发展试点示范。**长三角地区，**稳步推进田湾、三澳等核电建设，大力开发陆上分散式风电和分布式光伏发电，积极发展海上风电，推进沿海 LNG 接收站扩大规模，加强浙沪、浙苏、苏皖等天然气管道联通。**粤港澳大湾区及周边地区，**稳步推进惠州核电建设，积极开发海上风电，探索开发海洋能，加快阳江、梅州等抽蓄电站建设，鼓励增加天然气发电规模，完善 LNG 储运和天然气管网体系，积极推动储能电池应用示范。**其他地区，**推动中部地区加大可再生能源开发力度和外部引入规模，开展小水电清理整改，推进绿色小水电改造，因地制宜发展分布式光伏发电，建设黄河中下游绿色能源廊道，支持各地区因地制宜开展绿色低碳转型示范。

能源供应保障重点区域。“两湖一江”地区，优先发展本地可再生能源，有序扩大能源调入规模，建设陕北至湖北（已建成投产）、雅中至江西（已建成投产）、金沙江上游至湖北等输电通道，依托浩吉铁路及其疏运系统合理布局路口煤电，增强能源安全储备能力，建设一批煤炭储备基地。**东北地区，**积极推进非化石能源开发和多元化利用，完善中俄东线配套支线管网，减缓东北三省煤炭产量下降速度，建设蒙东煤炭供应保障基地，提高滨洲线、集通线运煤能力，结合电力、热力需求有序安排煤电项目建设，加强冬季用煤用电保障。**其他地区，**加强能源供需衔接，有效解决区域性、时段性供需紧张等问题。

输电通道。结合清洁能源基地开发和中东部地区电力供需形势，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。

电网主网架。完善华北、华东、华中区域内特高压交流网架结构，为特高压直流送入电力提供支撑，建设川渝特高压主网架，完善南方电网主网架。

天然气管网。建设中俄东线管道南段、川气东送二线、西气东输三线中段、西气东输四线、山东龙口储气库管道等工程。

引自：国家发展改革委、国家能源局. 2022.《“十四五”现代能源体系规划》^[103]

有利于碳减排的产业布局。工业和信息化部 2022 年发布《工业领域碳达峰实施方案》^[117]，明确要构建有利于碳减排的产业布局。贯彻落实产业发展与转移指导目录，推进京津冀、长江经济带、粤港澳大湾区、长三角地区、黄河流域等重点区域产业有序转移和承接。落实石化产业规划布局方案，科学确定东中西部产业定位，合理安排建设时序。引导有色金属等行业产能向可再生能源富集、资源环境可承载地区有序转移。鼓励钢铁、有色金属等行业原生与再生、冶炼与加工产业集群化发展。围绕新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业，打造低碳转型效果明显的先进制造业集群。

“东数西算工程”。2021 年 5 月，国家发展改革委等四部门发布印发《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》^[118]，提出全国一体化大数据中心算力枢纽体系建设方案。该政策提到，统筹围绕国家重大区域发展战略，根据能源结构、产业布局、市场发展、气候环境等，在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝，以及贵州、内蒙古、甘肃、宁夏等地布局建设全国一体化算力网络国家枢纽节点，发展数据中心集群，引导数据中心集约化、规模化、绿色化发展。国家枢纽节点之间进一步打通网络传输通道，加快实施“东数西算”工程，提升跨区域算力调度水平。

（八）加强气候变化对能源系统影响的评估与应对

能源系统转型高度依赖于风能、太阳能等可再生能源的快速发展，而可再生能源的发展本身也受到气候变化与极端事件的影响。2021 年美国得克萨斯州大规模断电、2022 年我国川渝地区高温限电等事件提醒我们（专栏 21），有必要加强气候变化和极端事件对能源系统影响的评估与应对。

能源系统适应气候变化的能力有待提升。学术界围绕极端天气气候事件的监测与预测已开展了广泛研究^[119]，但是关于气候变化与极端事件对能源系统影响的研究相对缺乏^[120]。《自然-能源》(Nature Energy) 2020 年初集中发表了 7 篇文章讨论极端天气事件可能对能源系统造成的影响。总体来看，气候变化与极端事件对能源系统的影响体现为两方面：一是对能源供应系统的影响，例如极端气候事件对电力输配基础设施、风力发电机的破坏等；二是对能源需求的影响，例如，热浪事件带来的异常高温会增加制冷需求，北方地区极寒天气会使供暖需求大幅增加等^[121,122]（图 14）。联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）第五次评估报告（Fifth Assessment Report, AR5）总结了气候变化和极端天气事件对能源供应系统的影响，从资源种类（如水流、

风资源、日照等)、技术过程(如制热或制冷)以及位置(如沿海或平原)等方面进行了系统梳理。IPCC 第六次评估报告(Sixth Assessment Report, AR6)在此基础上进行了更新,补充了对海上风电以及水电的影响的研究进展(见表4)。尽管许多研究已经识别了气候变化对能源系统产生的影响,然而将这些影响纳入能源系统研究与规划仍然非常缺乏^[123]。

专栏 21 四川高温限电^[124]

2022年8月份以来,全国多地遭遇了60年一遇的高温天气,长江流域也出现了60年来最严重的旱情。在此背景下,四川省出现严重电力短缺,单日最大电力缺口超1700万千瓦、电量缺口超3.7亿千瓦时。

为应对上述情况,国家电网、四川省及相关方采取了多项保障供电措施:实施30余次德宝直流反转增送四川,增送电量5.5亿千瓦时;加快新型电力负荷管理系统建设,形成约620万千瓦响应资源库、占最大用电负荷的10.5%;协调减少川电外送、增加水电留川,减少送西北电量2200万千瓦时;额外调拨西北、华中、华北电量8000万千瓦时,跨省区支援四川电量达1.32亿千瓦时,所有电力入川通道已最大化利用;调集国网系统13省市公司50台应急发电车支援四川。

尽管如此,为了保证电力系统的安全稳定运行,四川仍不得不采取了一系列限电措施:四川省8月15日至20日工业企业放高温假六天;四川省21日至26日零时启动“一级应急响应”,采取分区、分时段“轮停轮供”。连续十几天的限电,一方面对人们的日常生活造成一定影响,另一方面也对省内大量半导体、化工原料、新能源等企业造成经济损失,甚至使相关产业链受到了冲击。

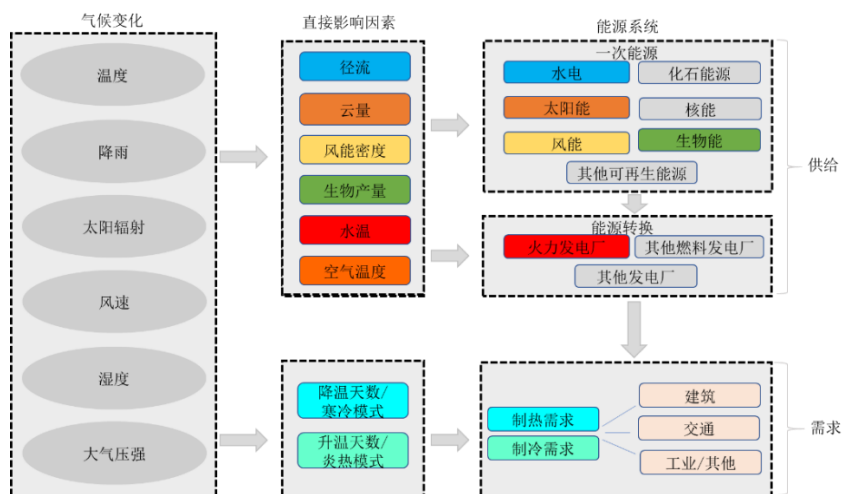


图 14 评估气候变化对能源系统影响的概念框架^[125]

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

表 4 气候变化和极端天气事件对能源供应的影响^[126,127]

能源技术	气候或相关属性的变化	预计影响	应对方案
火电和核电	气温升高	由于冷却效率降低、运行水平降低或停机，会导致发电效率下降，预计在 0.1% 至 0.5%	将机组尽量布置在当地气候凉爽的地方
	降水减少和空气温度升高会减少冷却用水可用量	发电量会减少，减少幅度取决于具体情景	采用非传统水源与替代冷却技术等
	极端高温频率增加	气候变暖影响加剧，包括热效率和冷却效率降低、冷却水可用量更加紧张、建筑物过热和煤炭在储存过程中可能会发生自燃	建筑物冷却和煤库冷却
	平均可用水量变化	发电量增加/减少	合理安排发电
水电	径流可用水量的季节性和年际变化	季节性和年度电力输出会发生变化	调整水管理、增加存储容量
	极端降水导致的洪水	对大坝和涡轮机的直接和间接损坏，由于通过旁路渠道释放水而损失电力输出	调整水管理、增加存储容量
		流入大坝的极高水量预计会增加工厂和附近居民区的洪水风险	
太阳能 光伏 (PV) 光热 (CSP) 太阳能供热 (TH)	平均温度升高	光伏和光热的发电效率会降低，晶体硅和薄膜组件的温度每升高 1℃，光伏效率下降约 0.5%，但性能因组件类型而异，薄膜组件表现更好（长期受热会导致更快的老化速度）；太阳能供热的性能（尤其是在较冷的地区）会提高	
	云量变化	云量变化会导致供能变化	优化安装角度、应用跟踪系统、安装/增加配套储能系统

二、能源央企服务国家碳达峰碳中和十项行动

续表 4 气候变化和极端天气事件对能源供应的影响^[126,127]

能源技术	气候或相关属性的变化	预计影响	应对方案
太阳能 光伏 (PV) 光热 (CSP) 太阳能供热 (TH)	高温天气	光伏系统的材料可能会损坏，发电量减少；光热系统的发电量也可能减少：随着环境温度从 30℃ 升高到 50℃，其发电效率将降低 3% 至 9%，并在最热的 1% 时间内下降 6%（塔式）至 18%（槽式）	通过自然气流被动冷却光伏板，或通过强制空气或液体冷却剂主动冷却光伏板
	冰雹	太阳能供热系统的材料可能会被损坏：真空管集热器比平板集热器更易损坏；玻璃板盖破裂，光敏材料损坏	使用强化玻璃、提高标准
风力发电	陆地风资源（地面风速）可能发生变化		
	海上风资源：有研究表明部分区域（如爱琴海和波罗的海）的大风的概率和持续性增加	风电发电潜力的变化	优化风电场选址
	极端风速、阵风、方向变化、切变	高结构载荷的结构完整性；部件疲劳，涡轮部件损坏；发电出力减少	改进涡轮设计，采用基于激光雷达的保护措施

已有一些研究关注气候变化对中国能源系统的影响。(1) 水电：研究表明^[128]，气候变化对我国水电的影响比较显著，其中降雨量（降雨量增加 1%，水电发电量增加 0.081%）是水电发电量的重要因素，日照时数（蒸发量）对水电发电量的影响并不显著，但会降低水库蓄水量，在一定程度上造成水电发电量下降。此外，温度对水电的需求量影响显著，采暖度日数¹每增加 1%，水电发电量需求减少 0.016%；降温度日数每增加 1%，水电发电量需求增加 0.089%。区域分布式来说，气候变化对南方的影响比北方影响更加显著。总体而言，与 2011 年相比，在 IPCC 设定的 RCP2.6（温度+1.3℃，降水+5%）、RCP4.5（温度+2.6℃，降水+10%）和 RCP8.5（温度+5.0℃，降水+14%）的情景下^[129]，到 2100 年以上情景

¹ 采暖度日数是一年中当某天室外日平均温度低于 18℃ 时，将该日平均温度与 18℃ 的差值度数乘以 1 天，所得出的乘积的累加值。相对应的概念为降温度日数。

我国水力发电量有所增加，增长率分别为 3.161%（220 亿千瓦时）、9.656%（674 亿千瓦时）和 21.932%（1533 亿千瓦时）。另一项研究显示，气候变化还可能导致冰川融化，为雅鲁藏布江下游带来额外的水电潜力，影响我国西南地区的水电供应^[130]。（2）太阳能：一项研究显示，90 年代与 40 年代平均水平相比，我国的太阳辐射整体有下降趋势^[131]，从地理分布来看，西南、华南、华北和华东减少幅度较大，减幅最大的华东地区年平均减少约 6%，西北地区和东北地区减幅较小。另一项研究表明^[132]，受气候变化影响，在 IPCC 设定的 RCP4.5 和 RCP8.5 情景中，对比 1990 年-2019 年平均水平，到 2100 年我国光伏发电潜力将分别下降 2.23%和 4.67%。（3）风能：研究发现^[133]，中国多数地区的地表风速在近十几年来呈现逐渐减弱的趋势，减少速率大于每十年下降 0.1 米/秒。从地理分布来看，除云南西部地区有微弱增加外，其余地区均减少，风资源较好的西北大部分地区和内蒙古均呈现平均风速明显减小趋势。一项针对中国的未来海上风能的预测研究表明^[134]，假设在 IPCC 设定的 RCP8.5 的情景下，对比 1981-2005 年间收集的风速数据，近期（2021-2050 年）和远期（2070-2099 年）中国沿海地区的风能密度和潜在风能供应量总体呈下降趋势，但在夏季中国南海西北部可观察到风能密度的增加（大于 9%）。该研究结果也被另一项研究印证^[135]，预计 21 世纪中国大部分沿海地区的风电密度将下降，下降程度在 21 世纪远期（2075-2099 年）将大于近期（2025-2049 年）。该研究进一步表明，全年风能密度不是均匀变化的，预计中国海的整体风能密度在春季会下降，而南半部的风能密度在秋季和冬季会增加。总体来说，尽管预计风能密度会降低，但海上风能资源总体丰富。

我国能源领域适应气候变化面临诸多挑战。根据生态环境部等部委 2022 年 6 月发布的《国家适应气候变化战略 2035》^[136]，气候变化所带来的长期不利影响和突发极端事件，已经成为我国基本实现社会主义现代化和建设美丽中国进程中面临的重要风险。但是，当前和未来一段时期我国适应气候变化工作仍面临诸多挑战。一是对气候变化影响和风险分析评估不足，对气候变化直接和间接威胁自然生态系统和经济社会系统的复杂性、广域性和深远性的认识亟待提升。二是适应气候变化治理体系有待完善，适应气候变化工作尚未全面纳入相关部门、地方工作重点，也未形成气候系统观测—影响风险评估—采取适应行动—行动效果评估的工作体系。三是现有适应气候变化行动力度仍不足以支撑高质量发展和美丽中国目标实现，重点领域、区域适应气候变化能力仍有待提升。四是适应气候变化基础性工作欠账较多，相关理论研究与技术研发相对薄弱，知识和经验供给仍不充分，全社会适应气候变化意识和能力仍有较大提升空间。同时，我国适应气候变化工作领域长期以来主要集中在跨流域区域水资源调蓄和配置、江河湖泊

治理、防洪减灾体系完善以及推进绿色农业和气候智慧型农业等方面，能源系统适应气候变化能力仍有待提升。

建设具有气候韧性的能源和电力系统。未来一段时间全球变暖的趋势仍将持续，极端天气气候事件发生频次和强度预计将进一步增加，气候变化影响和风险的广度、深度也会进一步扩大^[136]。以往能源和电力系统在考虑极端天气因素时，仅将其作为一种偶发因素处理，没有充足预案。鉴于极端天气发生的频度显著增加，在能源和电力系统规划中，必须考虑极端天气因素，将其纳入能源和电力系统常规规划考虑因素范畴，建设具有气候韧性的能源和电力系统^[124]。主要建议如下：

一是加强气候变化与极端事件对能源供应与需求的影响和风险评估，重点针对高温、冰冻、暴雨等极端天气气候事件，开展气候变化对能源生产、运输、存储和分配的影响及风险评估^[136]。

二是加强能源系统适应气候变化的能力建设。加强极端天气气候事件下能源输配系统保护和应急调度，强化能源设备监测和巡视维护，完善应急预案体系，提高能源基础设施安全风险预测预警、防御应对和快速恢复能力^[136]。

三是加强重大能源工程的风险管理。加强能源重大工程气候变化影响监测和 risk 预警，有效监控薄弱环节和各类风险点，动态评估风险等级与强度。形成“实时监测—信息传递—风险评估—动态调度—效果分析”的全链条风险管理体系^[136]。

（九）强化降碳减污协同增效

降低碳排放的措施可以同时带来污染物减排的效果。已有研究从科学上证明了降碳减污协同增效的可能性，并且对协同效益进行了定量评估。例如，很多研究围绕应对气候变化和控制空气污染展开，研究结论表明减排 CO₂ 与降低大气污染物浓度具有明显的协同效益，可以起到“一石二鸟”的效果（专栏 22）。

专栏 22 降碳减污协同效应的相关研究

研究文献	主要结论
Li et al., 2018 ^[137]	针对中国的碳定价政策的空气质量改善和健康效益研究表明，改善空气质量带来的居民健康效益将部分或全部抵消碳减排政策成本，且随着政策的收紧健康效益会有所增加
Ou et al., 2018 ^[138]	针对美国的空气质量和气候变化的协同效应研究表明，协同治理情况下 CO ₂ 减排 50% 的情景下，NO _x 可减少 23%，SO ₂ 可减少 44%，PM _{2.5} 可减少 27%

研究文献	主要结论
Li et al., 2019 ^[139]	在采用严格二氧化碳减排和大气污染末端协同治理的情境下，对比 2015 年，到 2050 年中国二氧化碳减排量减少 67%，SO ₂ 、NO _x 、PM _{2.5} 排放量将减少 42%、36%、29%，采用政策可以有效缓解中国的空气污染问题
Xing et al., 2020 ^[140]	由空气质量达标驱动的低碳能源政策，引起的改善空气质量所带来的健康效益超过减少二氧化碳排放的额外成本的 8 倍
Wang et al., 2020 ^[141]	采用协同措施可以实现比独立而不协同的情景更低的减排成本，协同措施的总减排成本比二氧化碳排放控制情景和大气污染物排放控制情景二者成本的总和低 25%
Cheng et al., 2021 ^[142]	在履行国家自主贡献承诺和严格的污染控制政策（最佳的末端治理技术）情境下，对比 2015 年，到 2030 年中国二氧化碳排放量下降 15%且污染物排放量将减少 58%至 67%，到 2060 年二氧化碳排放量减少 92%，污染物排放量减少 67%-83%

我国高度重视降碳减污协同增效。2020 年 12 月中央经济工作会议上特别提到“要继续打好污染防治攻坚战，实现减污降碳协同效应”。2022 年 6 月，生态环境部等七部门联合印发《减污降碳协同增效实施方案》，提出到 2025 年减污降碳协同推进的工作格局基本形成，到 2030 年，减污降碳协同能力显著提升，助力实现碳达峰目标。该方案明确，要统筹水、气、土、固废、温室气体等领域减排要求，强化多污染物与温室气体协同控制，增强污染防治与碳排放治理的协调性。

在实现碳达峰、碳中和目标相关工作的推进中，能源央企可以从协同推进环境污染治理的角度进行考虑和评估，发挥降碳减污协同效益。具体建议包括以下三点。

一是加强降碳减污协同主要领域和措施的识别与评估。能源央企在考虑自身能源结构、污染物排放和温室气体排放现状的前提下，识别企业范围内具有显著降碳减污协同效益的领域，可在工艺改进、能源替代、节能提效、综合治理等措施中，评估适用于企业的主要措施。

二是加强降碳减污协同技术的研发应用。探索采用多污染物和温室气体协同控制技术工艺，开展协同创新，实现生产过程中多种污染物和温室气体的协同减排，包括新型电力系统关键技术、碳捕集利用与封存、光储直柔、可再生能源与建筑一体化、烟气超低排放与碳减排等协同技术创新、示范与应用。能源央企可以充分利用国家生态环境科技成果转化综合服务平台，提升降碳减污科技成果转化力度和效率。

三峡集团参与共抓长江大保护。三峡集团开发“长江大保护+清洁能源”项目，利用污水厂水池上方及建筑物屋顶空间开发分布式光伏，每年可向大保护项目提供绿色电能超 2000 万千瓦时，每年可节约标准煤约 0.65 万吨，减少二氧化碳排放约 1.59 万吨，节约用水约 8.53 万吨，减排二氧化硫约 165.50 吨，减排氮氧化物约 142.2 吨，减排烟尘约 69 吨^[143]。

中国海油正在着力打造集节能减排、污水处理、固废处置、环境修复、气体治理完整的节能环保服务于一体的产业链，培养为市场提供“设备+技术服务+运营”的系统性解决方案和一体化服务能力^[144]。

三是积极参与国家降碳减污基础能力提升建设。（1）能源央企可以积极参加降碳减污管理体系建设，促进碳排放与生态环境及大气污染物监测的协同共建^[145]。（2）能源央企可以参与到降碳减污标准与法规建设中，贡献降碳减污协同增效的最佳实践。

（十）深度参与国际气候合作

国际合作是推进全球气候治理和能源治理的关键手段。2014 年 6 月，习近平总书记主持召开中央财经领导小组第六次会议，提出我国未来能源发展应当注重全方位加强国际合作，实现开放条件下能源安全^[146]。

国际能源企业积极推动应对气候变化的全球合作。英国石油（BP）等国际油气企业积极推动行业联盟建立，于 2014 年成立油气行业气候倡议组织（Oil and Gas Climate Initiative，简称 OGCI），现成员包括中国石油、英国石油、道达尔、壳牌、埃克森美孚、沙特阿美、埃尼、雪佛龙、西方石油、雷普索尔、巴西石油和挪威石油等全球有影响力的 12 家油气企业^[147]。2021 年 9 月，OGCI 发布《OGCI 战略改革原则》，承诺在《巴黎协定》规定的时间内，实现所管辖经营活动碳中和，加速推进温控目标实现；更新 2025 年油气业务碳排放和甲烷排放强度目标，提出在 2030 年实现常规火炬零燃放^[148]。法国电力集团（Electricite de France，EDF）等多家国际电力企业在 1992 年联合成立全球可持续电力合作组织（Global Sustainable Electricity Partnership，GSEP），组织成员还包括美国电力公司（AEP）、意大利国家电力公司（Enel）、俄罗斯欧西能源公司（EuroSibEnergO，ESE）、加拿大魁北克水电公司（Hydro-Québec）、摩洛哥国家电力和饮用水办公室（ONEE）、俄罗斯水电公司（RusHydro）、华能集团和国家电网等^[149]。合作组织力图共同应对国际框架下的全球电力问题，促进全球能源可持续发展，并强调电力是低碳发展的方向。

能源央企已积累了大量的国际合作经验。能源央企已基于“一带一路”、“南南合作”等合作渠道，持续推进海外清洁能源项目建设，开展全球低碳技术研发合作，加入并积极牵头建设国际能源企业联盟，推动全球能源与气候治理。例如，三峡集团、国家电投等电力央企积极推动国际清洁能源项目投资建设^[150]；中国石油参与油气行业气候倡议组织（OGCI）等以企业为主体的能源领域合作平台^[151]；国家电网发起成立全球能源互联网发展合作组织（专栏 24）。

专栏 24 能源央企国际合作先进案例

三峡集团投资建设卡洛特水电站。三峡集团投资建设的卡洛特水电站（图 15），位于巴基斯坦旁遮普省卡洛特地区，是中巴经济走廊首个水电投资项目。水电站总装机容量 72 万千瓦，2022 年 6 月 29 日全面投入商业运营后已成为巴基斯坦第五大水电站。水电站每年将提供 32 亿度廉价清洁电能，对应二氧化碳减排量可达 350 万吨^[152]，可满足约 500 万人口用电需求，将有效缓解巴基斯坦电力供需矛盾^[153]。



图 15 卡洛特水电站平面示意图^[154]

国家电投建设莫祖拉风电项目。国家电投与马耳他政府携手共建莫祖拉风电项目，共有 23 台中国制造的 2MW 低风速智能风机，总装机容量 46MW。项目于 2019 年全部风机并网发电并进入黑山政府的法定试运行期；2020 年投入试运营。项目投产后，每年可提供 1.1 亿千瓦时清洁电力，约占黑山全国发电总量的 5%，主要满足巴尔和乌尔齐尼两座城市的用电需求，可供 10 万居民使用，每年可为黑山减少约 3000 吨温室气体排放^[154]。

全球能源互联网发展合作组织。2015年9月26日，习近平主席在联合国发展峰会上提出了“探讨构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求”的中国倡议，得到联合国和国际社会广泛支持^[155]。2016年3月30日，由中国国家电网公司发起，全球能源互联网发展合作组织揭牌成立。合作组织是我国在能源领域发起成立的首个国际组织，联合相关企业、组织、机构等自愿组成的非政府、非营利性的国际组织。宗旨是推动构建全球能源互联网，以清洁和绿色方式满足全球电力需求，推动实现联合国“人人享有可持续能源”和应对气候变化目标，服务人类社会可持续发展。截至2022年9月，合作组织包括会员1302家，遍及五大洲，其中包括200家能源电力企业、263家社会团体、304所研究机构与高等院校^[156]。

国家电网参与能源领域国际标准制定。国家电网充分利用在特高压、智能电网、可再生能源、大电网运行等领域形成的技术优势，建立了涵盖规划、建设、运行、检修、营销等核心业务的标准体系。在推动形成国家标准、行业标准的同时，积极参与国际标准制定，实现了从“跟随者”到“引领者”角色转变。目前，公司已主导立项IEC标准62项、ISO标准3项，累计参与254项国际标准的编制，充分体现了我国利益和企业诉求。公司的国际标准研发成果获得中国标准创新贡献奖一等奖、二等奖各一项，并获得2019年中国电力企业联合会电力创新唯一大奖^[157]。

在进一步深度参与国际能源合作的过程中，能源央企可以通过以下三个方面开展工作。

一是继续拓展绿色低碳贸易与投资合作。能源央企可继续拓展我国在“一带一路”、“南南合作”等合作渠道中清洁能源投资建设的领先优势，助力成员国家打造清洁低碳电力系统。此外，能源央企可以与国际能源企业拓展合作空间，发挥合作潜力，携手开拓第三方市场，共同支持发展中国家能源绿色低碳发展^[158]。

二是主动开展低碳科技创新领域国际合作。低碳、零碳、负碳技术将为我国实现碳中和目标发挥重要作用，能源央企可积极推动相关科技创新合作，探索联合建立碳中和技术联合研究中心和跨国技术转移机构等绿色低碳技术国际合作平台，发起碳中和科技创新国际论坛以及绿色低碳科技合作国际组织等^[159]。

三是加强建设由企业引领的全球气候治理合作平台。国际企业积极成立气候治理合作组织，但我国企业主导建立的全球气候与能源治理合作平台仍然较为有限。在未来，能源央企可进一步积极发挥引领作用、尝试与具有约束力的气候与能源治理领域多边合作机构拓展合作空间，建设以企业为主体的全球气候与能源治理合作平台，助力国家构建全球气候与能源治理新渠道。

附录 1 国际大型能源集团减排目标与主要行动

法国电力集团（EDF, Electricite de France）成立于 1946 年，是负责全法国发、输、配电业务的国有企业；其下辖售电公司业务量占法国全国市场的 95%，剩余 5%的市场份额由其他 300 多家公司竞争^[160]。

企业规模：法国电力集团是世界能源市场上的重要企业，是全球范围内最大的供电服务商之一。2021 年，法国电力集团年度总发电量 523.7 亿千瓦时，全球客户达到 3850 万人^[161]。根据 2022 年《财富》世界 500 强排行榜，其 2021 年利润 60.5 亿美元，全球第 95 位^[162]。

排放现状：法国电力集团能源清洁化程度非常高，集团公司 91%的发电过程没有二氧化碳排放。2015 年，法国电力集团的二氧化碳排放强度为 100 克/千瓦时。至 2021 年，该值下降至 48 克/千瓦时。根据国际能源署数据，2019 年度，与全球平均水平相比集团公司的碳强度是其九分之一；根据欧洲环境局数据，2020 年度，与欧盟国家发电碳排放强度平均水平相比，集团公司水平是其五分之一^[163]。

碳排放目标：2018 年，法国电力集团承诺到 2030 年将其直接二氧化碳排放量比 2017 年减少 40%，即到 2030 年二氧化碳排放将从 2017 年的 5100 万吨减至 3000 万吨。2020 年 2 月，集团承诺到 2050 年实现碳中和，涵盖其直接排放（范围一）和间接排放（范围二和范围三）^[163]。新冠疫情、俄乌冲突等不确定性因素均未动摇其减排的决心。

行动方案：法国电力集团计划采取的主要措施包括多个方面，包括进一步增加其可再生能源的装机容量与继续发挥其在核电领域的优势，专注于推进终端用能电气化替代，推动碳捕集与封存（CCS）等低碳技术的研究等^[164,165]。

德国莱茵集团（RWE）成立于 1898 年，总部位于德国埃森，是德国最大的能源与可再生能源公司，也是欧洲三大能源公司之一^[166]。

企业规模：莱茵集团是德国最大的能源公司^[166]，2021 年度发电量接近 161 亿千瓦时^[167]；当年度利润 8.5 亿美元，2022 年《财富》世界 500 强第 495 位^[162]。

排放现状：2021 年，莱茵集团范围一排放为 8690 万吨二氧化碳，范围二、范围三排放分别为 270 和 2270 万吨。将范围一排放与范围二排放两者合计，其发电排放强度约 499 克/千瓦时^[168]。

碳排放目标：莱茵集团提出，到 2030 年将范围一和范围二的二氧化碳排放量比 2019 年减少 50%，发电碳排放强度达到 296 克二氧化碳/千瓦时；范围三排放降至 1560 万吨^[169]。新冠疫情、俄乌冲突等不确定性因素下，其决定将旗下三家

先前已经关闭的燃煤发电厂重新启用^[170]，但仍然坚持其先前设定的长期减排目标，即 2040 年或之前实现企业碳中和目标^[169]。

行动方案：莱茵集团采取的措施包括淘汰落后产能、结合用能需求和能源危机综合考虑逐步关闭燃煤发电厂、逐步扩大其清洁低碳发电能力，大力发展氢能业务等^[171]。

荷兰皇家壳牌集团（Royal Dutch /Shell Group of Companies）是世界第一大石油公司，由荷兰皇家石油与英国的壳牌两家公司合并组成。

企业规模：壳牌公司是国际上主要的石油、天然气和石油化工的生产商，但近年也将业务板块拓展至可再生能源、电力、低碳技术等，2021 年利润 201 亿美元，2022 年《财富》世界 500 强第 15 位^[162]。近年其年度销售天然气超过 650 亿立方米，每天的石油产量超过 200 万桶，油、气产量分别占世界总产量的 3%和 3.5%。其可再生能源和能源解决方案业务开始于 2016 年，以新型交通和电力业务为核心，是壳牌实现净零排放和能源转型的重要组成部分^[172,173]。

排放现状：2021 年，壳牌的范围一排放为 6000 万吨二氧化碳当量。根据核算方法不同，其范围二排放在 800 至 900 万吨二氧化碳当量左右，其范围三排放包括 1.47 亿吨二氧化碳当量用于其自身采购第三方产品与服务、1.36 亿吨来自产业链第三方用能和 10.1 亿吨来自客户使用其销售的能源^[174]。

碳排放目标：壳牌在 2021 年 10 月设定了到 2030 年将绝对排放量比 2016 年水平减少 50%的减排目标，并提出到 2050 年成为净零排放能源企业^[175]。

行动方案：壳牌提出未来将调整战略重点发展方向，将会从石油公司转型成为可再生能源和新能源的服务商，包括发展可再生电力、推动清洁能源的供给和技术研发，其中一项关键是其力图逐步扩大氢能业务^[176]。

道达尔能源（TotalEnergies SE）是一家全球领先的多元化能源公司，在全球生产和销售包括石油、生物燃料、天然气、绿色燃气、可再生能源和电力在内的能源产品。

企业规模：全球第四大天然气生产公司及第二大液化天然气运营商，业务涵盖整个能源价值链，包括能源的生产、转化、营销与输配，为自有设施和客户开发碳中和解决方案^[177]。2021 年度，其利润为 160 亿美元，2022 年《财富》世界 500 强第 27 位^[162]。

碳排放目标：到 2030 年降低 15%，到 2040 年降低 35%，到 2050 年在生产过程以及客户使用的能源产品方面均实现净零排放，包含范围一、范围二和范围三排放^[178]。

行动方案：道达尔能源从四个方面采取行动，包括针对排放采取行动的减少

公司的温室气体排放，针对产品采取行动的减少公司能源产品组合的平均碳足迹，针对需求采取行动的支持客户完成能源转型，以及发展碳汇（包括投资天然碳汇和碳捕集与封存）^[178]。

伊比德罗拉集团（Iberdrola）于 1992 年成立，是一家大型国际能源公司，最早由西班牙 Hidroeléctrica Española 和 Iberduero 两家公司合并后成立，后并入了 Scottish Power 和 Energy East 等其他国家的发电企业。

企业规模：伊比德罗拉集团目前的业务板块覆盖西班牙、美国、墨西哥、英国、澳大利亚等多个国家，为全球约一亿人提供电力；是西班牙最大的风力发电公司。至 2022 年第一季度，伊比德罗拉集团旗下总发电装机为 59GW（其中 38GW 为可再生能源），同时负责约 2 万公里电力传输线路的运营^[179]。其 2021 年利润约为 45.9 亿美元，2022 年《财富》世界 500 强第 304 位^[162]。

碳排放目标：根据 GHG Protocol 计算，2019 年至 2021 年，伊比德罗拉集团范围一排放均在 1300 万吨左右，主要来自集团公司在西班牙本土和墨西哥的燃气发电机组和热电联产机组；范围二和范围三排放分别在 200 万吨和 5400 万吨左右。结合其集团发电量核算结果显示，2021 年其全集团供电碳排放强度约为 60 克二氧化碳/千瓦时。根据科学碳目标倡议^[180]，伊比德罗拉集团设定了涵盖集团自身运营和整个价值链的减排计划，包括至 2030 年实现范围一零排放、全集团供电碳排放强度下降至约 50 克二氧化碳/千瓦时，和在 2050 年前全集团（含范围三）实现碳中和^[181]。

行动方案：伊比德罗拉集团制定的减排措施主要涉及：进一步增大集团可再生能源发电装机规模（2025 年达到 60GW，2030 年达到 95GW）并提高其设施能效、逐步投资建设电解制氢系统（2025 年达到 600MW）、推动电动汽车和其他低碳交通方式等^[181]。

意昂集团（E.ON）于 2000 年由 Veba（费巴）和 Viag（维尔格）合并成立，是德国最大的综合能源服务公司^[182]。

企业规模：在运营初期，意昂集团主营业务同时涉及传统化石燃料发电与输配电业务。近年来通过与其他企业交易，意昂集团将业务重心调整至能源网络建设运营与综合能源服务。目前意昂集团所建设、运营的能源网络覆盖德国、瑞典、捷克等多个国家，总里程长达 126.4 万千米^[183]。其 2021 年利润约为 55.5 亿美元，2022 年《财富》世界 500 强第 112 位^[162]。

碳排放目标：意昂集团于 2021 年结合科学碳目标倡议设定减排目标，涵盖自身运营以及整个价值链。采用 2019 年为计算基年，意昂集团承诺在 2030 年将集团公司的范围一和范围二排放总量减少 75%，范围三排放减少 50%；2040 年前实

现范围一和范围二零排放；2050 年前全集团价值链（含范围三）实现碳中和^[184]。

行动方案：意昂集团提出从三个方面采取行动：针对范围一排放，意昂集团推动能效提升、可再生能源发电大规模建设、转换公司所有直属汽车为电动汽车、实现氢能等绿色气体燃料（及其基础设施建设）代替天然气；针对范围二排放，意昂集团主要关注能效提升、促进可再生能源并网、零排放建筑应用（提高建筑能效等）；针对范围三，意昂集团主要引导增加线上会议减少通勤、电动汽车等清洁低碳交通方式使用、上下游绿色低碳供运货等行为^[184]。

新时代能源公司（NextEra Energy）是全球市值最大的公共事业公司^[185]，主要业务包括清洁能源发电、储能系统建设等。

企业规模：新时代能源公司下含 Florida Power & Light（FPL）、Gulf Power 和 NextEra Energy Resources（NEER）三家子公司，业务板块覆盖美国佛罗里达、加利福尼亚、新泽西等多个州。旗下具有太阳能、风能、核能等多种清洁能源发电装机，并在多个地区建设储能设施。其 2021 年市值 1000 亿美元^[186]。

碳排放目标：新时代能源公司最初提出碳排放目标为：相较 2005 年水平，2025 年前全企业碳排放量降低三分之二^[187]；随后对其目标进行更新：2045 前实现企业净零排放^[178]。

行动方案：新时代能源公司从多个方面采取行动，围绕其已有的清洁发电业务，新时代能源公司积极参与光伏发电大规模建设与应用、储能系统建设、引导核电高效运营；围绕其希望未来进行开展的绿氢业务，新时代能源公司主张积极建设电解制氢装置，实现绿氢对天然气与其他基于化石能源的气体燃料的替代。新时代能源公司还提出其他促进公司运营减排的策略，包括采用清洁低碳交通工具、减少在输配电设施的六氟化硫（SF₆）使用与其带来的温室气体排放、关注能效提升等^[188]。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国务院国资委: 中央企业扎实推进节能降碳 努力为碳达峰碳中和贡献力量[A/OL]. (2021-08-27)[2022-11-09].
https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/ztl/2021qgjxcz/bmjncx/202108/t20210827_1294916.html?code=&state=123.
- [2] 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 [A/OL]. (2021-10-24)[2022-11-19]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.
- [3] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知: 国发[2021] 23 号[A/OL]. (2021-10-24)[2022-11-19]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.
- [4] 中华人民共和国科技创新局. 关于印发《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》的通知: 国资发科创[2021] 93 号[A/OL]. (2021-12-30)[2022-11-19]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588035/c22499825/content.html>.
- [5] 中华人民共和国国务院国有资产监督管理委员会. 中央企业高质量发展报告 (2022) [R/OL]. (2022-11-17)[2022-11-19].
<http://www.sasac.gov.cn/n2588020/n2877938/n2879671/n2879673/c26508617/content.html>.
- [6] 国资委: 各央企须于 2022 年底前完成碳达峰行动方案编制[EB/OL]. (2022-10-05)[2022-11-09]. https://www.eco.gov.cn/news_info/58931.html.
- [7] 赵丽超. 《中国华能》6 月刊 | 通往莲花秘境的天路[R/OL]. (2021-06-16)[2022-11-23].
https://mp.weixin.qq.com/s/q_lMRxonpOemIRqsEQaMXQ?
- [8] 能源一号. 大唐集团发布“双碳”行动纲要 提出三条路径十大措施 为五大发电集团中首位[EB/OL](2021-06-23)[2022-11-23].
<https://www.163.com/dy/article/GD71PL500519M06G.html>.
- [9] 许盼. 华电集团发布“十四五”碳达峰行动方案[EB/OL](2021-06-21)[2022-11-23].
<https://new.qq.com/rain/a/20210621A0CA2100>.
- [10] 何勇健. 国家电投推进碳达峰碳中和的实践[EB/OL](2021-10-22)[2022-11-23].
<https://www.163.com/dy/article/GMUPU8JF0552LIVZ.html>.
- [11] 王淑娟. 八家电力央企十四五新能源装机规划 468GW! [EB/OL](2021-05-01)[2022-11-23]. https://www.sohu.com/a/464146230_418320.
- [12] 国家电网公司. 国家电网公司发布“碳达峰、碳中和”行动方案 (全文) [EB/OL](2021-03-01)[2022-11-23]. <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20210301/1138926.shtml>.
- [13] 赵艺涵. 南方电网公司发布服务碳达峰、碳中和工作方案[EB/OL](2021-03-19)[2022-11-23]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c17645421/content.html>.
- [14] 中国石油. 戴厚良: 中国石油明确碳中和与绿色转型的三步走战略[EB/OL](2021-04-27)[2022-11-23]. <https://new.qq.com/rain/a/20210427A043G800>.

- [15] 中国石化. 中石化力争比国家承诺提前 10 年实现碳中和[EB/OL](2021-03-29)[2022-11-23]. http://www.chinacpc.com.cn/info/2021-03-29/news_5114.html.
- [16] 中国海油. 中国海油发布“双碳”行动方案[EB/OL](2022-06-29)[2022-11-23]. http://chinacpc.com.cn/info/2022-06-29/news_6455.html.
- [17] 中华人民共和国国家发展改革委办公厅. 国家发展改革委办公厅关于印发首批 10 个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）的通知：发改办气候[2013] 2526 号 [A/OL]. (2013-11-04)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/zwgk/2013-11/04/content_2520743.htm.
- [18] 中华人民共和国国家发展改革委办公厅. 国家发展改革委办公厅关于印发第二批 4 个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）的通知：发改办气候[2014] 2920 号 [A/OL]. (2014-12-03)[2022-11-19]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201502/t20150209_963759.html?code=&state=123.
- [19] 中华人民共和国国家发展改革委办公厅. 国家发展改革委办公厅关于印发第三批 10 个行业企业温室气体核算方法与报告指南（试行）的通知：发改办气候[2015] 1722 号 [A/OL]. (2015-07-06)[2022-11-19]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/t20151111_963496.html?code=&state=123.
- [20] 中华人民共和国生态环境部办公厅. 关于做好 2019 年度碳排放报告与核查及发电行业重点排放单位名单报送相关工作的通知：环办气候函[2019] 943 号[A/OL]. (2019-12-27)[2022-11-09]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/202001/t20200107_757969.html.
- [21] 北极星碳管家网. 关注 | 八大电力集团已完成全国碳市场首年碳配额清缴[EB/OL]. (2021-12-28)[2022-11-09]. <https://new.qq.com/rain/a/20211228A025NW00>.
- [22] 上海环境能源交易所. 聚焦优秀案例，分享优秀成果——厚植绿色根基 助力中国华电绿色低碳发展[EB/OL]. (2022-07-14)[2022-11-09]. <https://www.cneeex.com/c/2022-07-14/492842.shtml>.
- [23] 刘澄彦. 国网英大碳资产管理平台为政企用户提供一揽子“碳管家”服务[EB/OL]. (2021-11-16)[2022-11-09]. http://www.cnenergynews.cn/zhuanti/2021/11/16/detail_20211116110976.html.
- [24] 北极星碳管家网. 碳排放八大行业碳资产管理揭秘！ [EB/OL]. (2022-05-05)[2022-11-09]. <https://www.hxny.com/nd-69759-0-17.html>.
- [25] 上海石油天然气交易中心. 中石油率先拿下这笔大“交易”！ [EB/OL]. (2022-07-24)[2022-11-09]. <http://finance.sina.com.cn/money/future/roll/2022-07-24/doc-imizmscv3327604.shtml>.
- [26] 黄俊灵. 对中央能源集团服务国家“碳达峰、碳中和”目标的初步研究[C]. 2021.
- [27] 中华人民共和国生态环境部办公厅. 关于做好 2022 年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知：环办气候函[2022] 111 号[A/OL]. (2022-03-15)[2022-11-09]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/202203/t20220315_971468.html.
- [28] 刘强, 陈亮, 段茂盛, 等. 中国制定企业温室气体核算指南的对策建议[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(3).

- [29] GREENHOUSE GAS PROTOCOL. GHG Protocol Standards[EB/OL]. (2022)[2022-11-09]. <https://ghgprotocol.org/standards>.
- [30] 中华人民共和国国家发展改革委办公厅. 中国电网企业温室气体排放核算方法与报告指南[R/OL]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201311/W020190905508184105377.pdf>.
- [31] 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心. 全国碳市场百问百答[M/OL]. 北京: 中国环境出版集团, 2022[2022-11-09]. <https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtzk/202209/W020220909604665734153.pdf>.
- [32] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知: 国发[2016] 61号[A/OL]. (2016-10-27)[2022-11-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtzk/201904/t20190419_700360.shtml.
- [33] 宫宁, 段茂盛. 企业碳信息披露的动机与影响因素——基于上证社会责任指数成分股企业的分析[J/OL]. 环境经济研究, 2021, 6(01): 31-52. DOI:10.19511/j.cnki.jee.2021.01.003.
- [34] 中华人民共和国法规局. 中央企业节约能源与生态环境保护监督管理办法[A/OL]. (2022-08-03)[2022-11-09]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588030/n2588939/c25677916/content.html>.
- [35] 全球环境信息研究中心. CDP 2021年中国企业披露情况报告[R/OL]. (2022-06)[2022-11-09]. https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/reports/documents/000/006/397/original/CDP_2021_China_Corporate_Disclosure_Report_CN.pdf?1657682146.
- [36] 朱帮助, 徐陈欣, 王平, 等. 内部碳定价机制是否实现了减排与增收双赢[J]. 会计研究, 2021(04): 178-192.
- [37] 全球环境信息研究中心. WHAT IS INTERNAL CARBON PRICING AND HOW CAN IT HELP ACHIEVE YOUR NET-ZERO GOAL? [R/OL]. [2022-11-11]. https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/reports/documents/000/006/374/original/ICP_White_paper_Final_%281%29.pdf?1653572442.
- [38] ADDICOTT E, BADAHDAH A, ELDER L. Internal Carbon Pricing[J]. Policy Framework and Case Studies, 2019.
- [39] 曹静, 林媛. 内部碳定价策略框架及案例分析[R]. 2022.
- [40] 华电集团项目课题组. 华电集团碳排放管理创新与实践[J]. 中国电力企业管理, 2022, 586(01): 20-24.
- [41] 雪迪龙 SDL. 新标速递 | 电力行业标准《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》公开发布[EB/OL]. (2022-04-02)[2022-11-09]. https://www.antpedia.com/news/wx_article/729565.html.
- [42] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector[R/OL]. (2021-05)[2022-11-09]. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- [43] 贺克斌. 以科技创新支撑“双碳”目标下的高质量发展[C]//清华大学“碳中和经济”论坛. 2022.
- [44] 黄晶. 应对气候变化与碳中和技术体系构建[J]. 可持续发展经济导刊, 2022, No.39(Z2): 26-28.

- [45] 高敬, 张华迎. 全球第一台“华龙一号”核电机组投入商业运行[N/OL]. 2021-01-30[2022-11-09]. http://www.xinhuanet.com/fortune/2021-01/30/c_1127044511.htm.
- [46] 张建松, 陈子薇. “深海一号”能源站 6 月底投产 每年将稳定供气 30 亿立方米[N/OL]. 新华网, 2021-06-09[2022-11-09]. http://www.xinhuanet.com/fortune/2021-06/09/c_1127546872.htm.
- [47] 浦超, 侯雪静. 新华全媒+ | 乌东德水电站全部机组投产发电[N/OL]. 新华网, 2021-06-16[2022-11-09]. http://www.xinhuanet.com/politics/2021-06/16/c_1127567705.htm.
- [48] 刘乐艺. 探访全球装机容量最大的光伏发电园区——青海戈壁荒滩兴起“光伏海”[EB/OL]//人民日报海外版. (2022-07-08)[2022-11-09]. http://www.nea.gov.cn/2022-07/08/c_1310639556.htm.
- [49] 中华人民共和国国家统计局. 2021 年全国科技经费投入统计公报[R/OL]. (2022-08-31)[2022-11-09]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202208/t20220831_1887760.html.
- [50] 温存. 国资委：“科改示范企业”已实现科技成果转化收入 6327.5 亿元[EB/OL]. (2022-06-10)[2022-11-09]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588119/c25006580/content.html>.
- [51] 世界银行. 研发支出（占 GDP 的比例）[EB/OL]. (2022)[2022-11-19]. <https://data.worldbank.org.cn/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>.
- [52] 杜传忠. 国家创新能力持续提升的路径研究[J]. 人民论坛, 2022(07): 86-89.
- [53] 李晓红. 提升企业技术创新能力[J]. 求是, 2021.
- [54] 中华人民共和国国务院国有资产监督管理委员会研究中心. 中央企业高质量发展报告（2021）[M]. 中国经济出版社, 2022.
- [55] 国家重点实验室[EB/OL]. (2019-05-02)[2022-11-19]. <https://www.sciping.com/28638.html>.
- [56] 语谦. 加快建设世界一流企业[EB/OL]//经济日报. (2022-03-02)[2022-11-09]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588134/c23466005/content.html>.
- [57] 朱英. 习近平主持召开中央全面深化改革委员会第二十四次会议强调：加快建设世界一流企业 加强基础学科人才培养[EB/OL]//新华社. (2022-02-28)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-02/28/content_5676110.htm.
- [58] 张思嘉. 央企打头阵 勇当原创技术“策源地”[EB/OL]//科技日报. (2021-06-10)[2022-11-09]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588139/c19042456/content.html>.
- [59] 中华人民共和国科技部, 中华人民共和国财政部. 两部门关于加强国家重点实验室建设发展的若干意见：国科发基[2018] 64 号[A/OL]. (2018-06-27)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/xinwen/2018-06/27/content_5301344.htm.
- [60] 中华人民共和国科技部. 科技部印发《关于推进国家技术创新中心建设的总体方案（暂行）》的通知：国科发区[2020] 70 号[A/OL]. (2020-03-23)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/26/content_5495685.htm.
- [61] 中华人民共和国科技部. 科技部印发《关于促进新型研发机构发展的指导意见》的通知：国科发政[2019] 313 号 [A/OL]. (2019-09-12)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content_5469722.htm.
- [62] 中华人民共和国科技部, 中华人民共和国发展改革委, 中华人民共和国教育部, 等. 科技

- 部 发展改革委 教育部 中科院 自然科学基金委关于印发《加强“从0到1”基础研究工作方案》的通知：国科发基[2020]46号[A/OL]. (2020-01-21)[2022-11-09].
http://www.cac.gov.cn/2020-03/04/c_1584872637385792.htm.
- [63] 邵记友, 盛志云. 领军企业创新链的嵌套式结构与协同机制——基于华为的案例研究[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(18): 67-76.
- [64] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 推动产业链与创新链深度融合[EB/OL]. (2021-12-01)[2022-11-09]. <http://theory.people.com.cn/n1/2021/1201/c40531-32296125.html>.
- [65] 郝鹏. 深入实施国企改革三年行动 推动国资国企高质量发展[J/OL]. 求是, 2021(2): 56-61[2022-11-09]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/16/content_5580396.htm.
- [66] 马语谦. 做强做优做大国有资本[EB/OL]//人民日报. (2021-06-02)[2022-11-09].
<http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588134/c18916273/content.html>.
- [67] 刘现伟, 李红娟, 石颖. 优化国有资本布局的思路与策略[J]. 改革, 2020(06): 71-86.
- [68] 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院办公厅关于进一步盘活存量资产 扩大有效投资的意见：国办发[2022]19号[A/OL]. (2022-05-25)[2022-11-09].
http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-05/25/content_5692190.htm.
- [69] 王希. 国电与神华合并重组为国家能源投资集团[EB/OL]//新华社. (2017-08-28)[2022-11-19]. http://m.xinhuanet.com/2017-08/28/c_1121557808.htm.
- [70] 张思嘉. 国有资本投资公司发挥产业引领作用 加快培育新兴产业[EB/OL]//经济日报. (2021-08-06)[2022-11-09].
<http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588139/c20082475/content.html>.
- [71] 刘满平. 我国实现“碳中和”目标的意义、基础、挑战与政策着力点[J]. 价格理论与实践, 2021(02): 8-13.
- [72] 清华气候变化与可持续发展研究院. 中国长期低碳发展战略与转型路径研究：综合报告[M]. 北京：中国环境出版集团, 2021.
- [73] 中国金融学会绿色金融专业委员会课题组. 碳中和愿景下的绿色金融路线图研究[R]. 2021.
- [74] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. World Energy Transitions Outlook[R/OL]. (2022-03)[2022-11-09].
<https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>.
- [75] GOLDMAN SACHES GROUP. Carbonomics: China Net Zero: The Clean Tech Revolution[R/OL]. (2021-01-22)[2022-11-09].
<https://www.goldmansachs.com/insights/pages/carbonomics-china-net-zero.html>.
- [76] 中金公司研究部, 中金研究院. 碳中和经济学[M]. 北京：中信出版社, 2021.
- [77] 杨虞波罗, 初梓瑞. 助力碳中和、碳达峰“绿色基金”规模创新高[EB/OL]//中国网. (2022-01-09)[2022-11-09]. <http://finance.people.com.cn/n1/2022/0109/c1004-32327135.html>.
- [78] 碳排放权如何质押贷款！操作指引和案例来了！[EB/OL]. (2021-12-09)[2022-11-09].
http://www.thjj.org/sf_DE03E1030CBB4993906D609B5C1FB633_227_8C0B6735583.html.

- [79] 中国清洁发展机制基金. 中国民生银行携手三大央企成功落地全国市场首次碳排放权担保业务[EB/OL]. (2021-08-24)[2022-11-19]. <http://cdmfund.org/29336.html>.
- [80] 北极星太阳能光伏网. “碳中和债”！中石化、国家能源集团、国家电投、华能等 7 大央企发布 182 亿“碳中和债”[EB/OL]. (2021-04-06)[2022-11-09]. <https://news.bjx.com.cn/html/20210406/1145733.shtml>.
- [81] 气候债券倡议组织. 中国绿色债券市场报告 2021[R]. 2021.
- [82] 于畅. 碳中和债的成本及效益研究[D]. 东北财经大学, 2022.
- [83] 长江绿色发展投资基金成立 首期募集资金 200 亿元[EB/OL]//湖北日报. (2019-11-29)[2022-11-19]. http://www.hubei.gov.cn/hbfb/rdgz/201911/t20191129_1676213.shtml.
- [84] 中油资本 3 亿元投资中美绿色基金[EB/OL]//河南省国际产能合作综合信息服务平台. (2019-01-10)[2022-11-19]. <https://hnwz.hndrc.gov.cn/sub/rdmb/50949.shtml>.
- [85] PENN. 环球零碳 | 能源安全的定义变了！能源饭碗如何端在自己手里？[EB/OL]. (2022-07-13)[2022-11-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1738219945908079698>.
- [86] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Securing Clean Energy Technology Supply Chains[EB/OL]. (2022-07)[2022-11-19]. <https://www.iea.org/reports/securing-clean-energy-technology-supply-chains>.
- [87] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. America’s Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition[R/OL]. (2022-02-24)[2022-11-09]. <https://www.energy.gov/policy/articles/americas-strategy-secure-supply-chain-robust-clean-energy-transition>.
- [88] AGATHA KRATZ, JANKA OERTEL, CHARLIE VEST. Circuit breakers: Securing Europe’s green energy supply chains[R/OL]. (2022-05-11)[2022-11-09]. <https://ecfr.eu/publication/circuit-breakers-securing-europes-green-energy-supply-chains/>.
- [89] 水电水利规划设计总院. 中国可再生能源发展报告 2021[R]. 北京, 2021.
- [90] WANG D, SUN Y, DAI H, et al. Characteristics and Exploitation of Rare Earth, Rare Metal and Rare-Scattered Element Minerals in China[J/OL]. Chinese Journal of Engineering Science, 2019, 21(1): 119. DOI:10.15302/J-SSCAE-2019.01.017.
- [91] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于扩大战略性新兴产业投资 培育壮大新增长点增长极的指导意见：发改高技[2020]1409 号[A/OL]. (2020-09-08)[2022-11-09]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202009/t20200925_1239582.html?code=&state=123.
- [92] 王英良. “锂佩克”渐行渐近，中国应该警惕什么？[EB/OL]//新京报. (2022-10-27)[2022-11-09]. <https://news.sina.cn/2022-10-27/detail-imqmmthc2307545.d.html>.
- [93] 中国氢能联盟. 中国氢能联盟概况[EB/OL]. (2022)[2022-11-09]. <http://h2cn.org.cn/about.html>.
- [94] JACKY. 央企+光伏+锂电等三巨头领衔结盟，新型储能 9 千亿市场爆发在即！[EB/OL]. (2022-08-11)[2022-11-09]. <https://solar.ofweek.com/2022-08/ART-260009-8420-30571074.html>.
- [95] 电子信息所. 制造业数字化转型进程中存在的问题及措施[EB/OL]. (2022-04-02)[2022-

- 11-09]. <https://new.qq.com/rain/a/20220402A07RMC00>.
- [96] GLOBAL ENABLING SUSTAINABILITY INITIATIVE. #SMARTER2030 ICT SOLUTIONS FOR 21ST CENTURY CHALLENGES[R/OL]. [2022-11-09]. <https://www.gesi.org/research/smarter2030-ict-solutions-for-21st-century-challenges>.
- [97] 王于鹤, 王娟, 邓良辰. “双碳”目标下,能源行业数字化转型的思考与建议[J]. 中国能源, 2021, 43(10): 47-52.
- [98] EUROPEAN COMMISSION. Digitalising the energy sector – EU action plan[EB/OL]. (2022)[2022-11-09]. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13141-Digitalising-the-energy-sector-EU-action-plan_en.
- [99] EUROPEAN COMMISSION. An EU Action Plan to digitalise the energy system[R/OL]. (2022-10)[2022-11-09]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_22_6230.
- [100] PENN. 欧盟破解能源危机再出大招: 投资万亿搞能源数字化计划[EB/OL]. (2022-10-27)[2022-11-09]. <https://www.163.com/dy/article/HKMMMCOA05539T4L.html>.
- [101] 中华人民共和国国务院. 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见: 国发[2015] 40号[A/OL]. (2015-07-04)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content_10002.htm.
- [102] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知: 国发[2021] 29号[A/OL]. (2022-01-12)[2022-11-09]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/12/content_5667817.htm.
- [103] 中华人民共和国国家发展改革委, 中华人民共和国国家能源局. 国家发展改革委 国家能源局关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知: 发改能源[2022] 210号[A/OL]. (2022-01-29)[2022-11-19]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/23/content_5680759.htm.
- [104] 远光软件助力华能碳资产管理平台项目顺利验收[EB/OL]. (2020-12-30)[2022-11-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1687505107064384974>.
- [105] 上海联合产权交易所有限公司. 国家电投圆满完成全国碳市场首年“碳答卷”[EB/OL]. (2022-06-23)[2022-11-09]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_18705810.
- [106] 索炜. 中国大唐成立绿色低碳发展公司 服务碳达峰碳中和目标[EB/OL]//新华网. (2021-06-25)[2022-11-19]. <http://www.xinhuanet.com/energy/20210625/306ed36b45f1424397cad9543f306797/c.html>.
- [107] 吕立进. 龙源碳资产公司: 深耕碳管理 打造专业化平台[EB/OL]. (2021-02-20)[2022-11-09]. <https://www.chnenergy.com.cn/gjnyjtw/chnjcxw/202102/6ef8852158c34002be11f5cd3a363d0b.shtml>.
- [108] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告 2022[R]. 2022.
- [109] 孙艺新, 王智敏. 能源电力系统数字化转型思考+案例[EB/OL]. (2021-12-09)[2022-11-09]. <https://news.bjx.com.cn/html/20211209/1192552.shtml>.
- [110] 国网能源研究院. 能源数字化转型白皮书 2021[R]. 2021.

- [111] 雷鸣山. 中国三峡集团: 加快数字化转型 推动清洁能源和长江生态环保“两翼齐飞”[EB/OL]. (2022)[2022-11-19].
<http://www.sasac.gov.cn/n4470048/n13461446/n15927611/n15927638/n16135038/c16574524/content.html>.
- [112] 工业互联网产业联盟. 基于数字孪生的石化工业互联网综合应用案例——石油和化工工业互联网平台 ProMACE 创新应用[EB/OL]. (2020-05-06)[2022-11-09]. <http://www.aii-alliance.org/index/c154/n1569.html>.
- [113] 中华人民共和国国家发展改革委, 中华人民共和国国家能源局. 国家发展改革委 国家能源局关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知: 发改能源[2019] 807 号[A/OL]. (2019-05-10)[2022-11-09].
http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201905/t20190515_3662.htm.
- [114] 王宇, 清华大学能源环境经济研究所. 中国碳市场、绿证交易和绿色电力交易的政策梳理和衔接机制浅析[R]. 北京, 2022.
- [115] 中华人民共和国国家发展改革委, 中华人民共和国财政部, 中华人民共和国能源局. 国家发展改革委 财政部 国家能源局关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知: 发改能源[2017] 132 号[A/OL]. (2017-01-18)[2022-11-09].
http://www.nea.gov.cn/2017-02/06/c_136035626.htm.
- [116] 王心昊, 蒋艺璇, 陈启鑫, 等. 可交易减排价值权证比较分析和衔接机制研究[J]. 电网技术, 2022.
- [117] 中华人民共和国工业和信息化部, 中华人民共和国国家发展改革委, 中华人民共和国生态环境部. 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: 工信部联节[2022] 88 号[A/OL]. (2022-07-07)[2022-11-19].
http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/01/content_5703910.htm.
- [118] 中华人民共和国国家发展改革委, 中华人民共和国中央网信办, 中华人民共和国工业和信息化部, 等. 关于印发《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》的通知: 发改高技[2021] 709 号[A/OL]. (2021-05-24)[2022-11-19].
<https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=18126>.
- [119] 任福民, 高辉, 刘绿柳, 等. 极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述[J]. 气象, 2014, 40(07): 860-874.
- [120] MCCOLLUM D L, GAMBHIR A, ROGELJ J, et al. Energy modellers should explore extremes more systematically in scenarios[J/OL]. Nature Energy, 2020, 5(2): 104-107. DOI:10.1038/s41560-020-0555-3.
- [121] THORNTON H E, HOSKINS B J, SCAIFE A A. The role of temperature in the variability and extremes of electricity and gas demand in Great Britain[J/OL]. Environmental Research Letters, 2016, 11(11): 114015. DOI:10.1088/1748-9326/11/11/114015.
- [122] LI Y, PIZER W A, WU L. Climate change and residential electricity consumption in the Yangtze River Delta, China[J/OL]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019, 116(2): 472-477. DOI:10.1073/pnas.1804667115.
- [123] ORLOV A, SILLMANN J, VIGO I. Better seasonal forecasts for the renewable energy

- industry[J/OL]. *Nature Energy*, 2020, 5(2): 108-110. DOI:10.1038/s41560-020-0561-5.
- [124] 鲁宗相, 夏清, 武丹琛. 重磅分析 | 对四川高温限电的深度思考——新型电力系统中如何抗灾保供? [EB/OL]. (2022-09-02)[2022-11-19].
<https://mp.weixin.qq.com/s/8ENJpsFwCsXmhhJRfZA3jA>.
- [125] YALEW S G, VAN VLIET M T H, GERNAAT D E H J, et al. Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios[J/OL]. *Nature Energy*, 2020, 5(10): 794-802. DOI:10.1038/s41560-020-0664-z.
- [126] C.B. FIELD, V.R. BARROS, D.J. DOKKEN, et al. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*[R]. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.
- [127] H.-O. PÖRTNER, D. C. ROBETS, H. ADAMS, et al. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[R]. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2022.
- [128] FAN J L, HU J W, ZHANG X, et al. Impacts of climate change on hydropower generation in China[J/OL]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2020, 167: 4-18. DOI:10.1016/j.matcom.2018.01.002.
- [129] R. K. PACHAURI, M. R. ALLEN, V. R. BARROS, et al. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- [130] FARINOTTI D, ROUND V, HUSS M, et al. Large hydropower and water-storage potential in future glacier-free basins[J/OL]. *Nature*, 2019, 575(7782): 341-344. DOI:10.1038/s41586-019-1740-z.
- [131] 马金玉, 罗勇, 申彦波, 等. 近 50 年中国太阳总辐射长期变化趋势[J]. *中国科学:地球科学*, 2012, 42(10): 1597-1608.
- [132] JI L, WU Y, SUN L, et al. Solar photovoltaics can help China fulfill a net-zero electricity system by 2050 even facing climate change risks[J/OL]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 186: 106596. DOI:10.1016/j.resconrec.2022.106596.
- [133] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. *气象学报*, 2005, 63(6): 942-956.
- [134] LI D, STANEVA J, GRAYEK S, et al. Skill Assessment of an Atmosphere – Wave Regional Coupled Model over the East China Sea with a Focus on Typhoons[J/OL]. *Atmosphere*, 2020, 11(3): 252. DOI:10.3390/atmos11030252.
- [135] COSTOYA X, DECASTRO M, CARVALHO D, et al. Climate change impacts on the future offshore wind energy resource in China[J/OL]. *Renewable Energy*, 2021, 175: 731-747. DOI:10.1016/j.renene.2021.05.001.
- [136] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国财政部, 等. 关于印发《国家适应气候变化战略 2035》的通知: 环气候[2022] 41 号 [A/OL]. (2022-06-07)[2022-11-09].

- https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202206/t20220613_985261.html.
- [137] LI M, ZHANG D, LI C T, et al. Air quality co-benefits of carbon pricing in China[J/OL]. *Nature Climate Change*, 2018, 8(5): 398-403.
https://storm.colorado.edu/~whan/ATOC4800_5000/Materials/CC_policy_china.pdf.
- [138] OU Y, SHI W, SMITH S J, et al. Estimating environmental co-benefits of U.S. low-carbon pathways using an integrated assessment model with state-level resolution[J/OL]. *Applied Energy*, 2018, 216: 482-493. DOI:10.1016/j.apenergy.2018.02.122.
- [139] LI N, CHEN W, RAFAJ P, et al. Air Quality Improvement Co-benefits of Low-Carbon Pathways toward Well Below the 2°C Climate Target in China[J]. *Environmental Science and Technology*, 2019, 53(10): 5576-5584.
- [140] XING J, LU X, WANG S, et al. The quest for improved air quality may push China to continue its CO₂ reduction beyond the Paris Commitment[J/OL]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(47): 29535-29542. DOI:10.1073/pnas.2013297117.
- [141] WANG L, CHEN H, CHEN W. Co-control of carbon dioxide and air pollutant emissions in China from a cost-effective perspective[J/OL]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2020, 25(7): 1177-1197. DOI:10.1007/s11027-019-09872-7.
- [142] CHENG J, TONG D, ZHANG Q, et al. Pathways of China's PM_{2.5} air quality 2015 - 2060 in the context of carbon neutrality[J/OL]. *National Science Review*, 2021, 8(12). DOI:10.1093/nsr/nwab078.
- [143] 长江环保集团. 三峡集团首个“长江大保护+清洁能源”项目完成首批组件敷设 [EB/OL]. (2020-09-01)[2022-11-09]. <https://news.solarbe.com/202009/01/329923.html>.
- [144] 臧红印. 央企绿色产业发展的经验模式与建议[J]. *企业文明*, 2018(09): 27-29.
- [145] 田丹宇, 常纪文. 大气污染物与二氧化碳协同减排制度机制的建构[J]. *法学杂志*, 2021, 42(04): 101-107.
- [146] 习近平主持召开中央财经领导小组会议强调 积极推动我国能源生产和消费革命 加快实施能源领域重点任务重大举措[N/OL]. *人民日报*, 2014-06-14[2022-11-09].
http://data.people.com.cn/rmrb/20140614/1/d83f5bb4081d41ed98441ca7a857dfb6_print.html
- [147] MIKE SCOTT. U.S. Firms Join Oil Industry Climate Group As Pressure Becomes Too Hard To Ignore[EB/OL]. (2018-09-28)[2022-11-09].
<https://www.forbes.com/sites/mikescott/2018/09/28/us-firms-join-oil-industry-climate-group-as-pressure-becomes-too-hard-to-ignore/?sh=78fd4e1df1a5>.
- [148] 陈娜. OGCI 发布最新战略 加速实现碳中和[EB/OL]//中国石油报. (2021-09-21)[2022-11-20]. <http://news.cnpc.com.cn/system/2021/09/21/030045167.shtml>.
- [149] 彭艳娇, 盛纳川. 华能加入全球可持续电力合作组织[EB/OL]. (2021-05-28)[2022-11-19].
https://www.chng.com.cn/detail_jtyw/-/article/ccgb60va5Gwc/v/942913.html.
- [150] “加码”清洁能源 三峡集团扩大在全球能源市场份额! [EB/OL]. (2022-04-25)[2022-11-09]. https://www.sohu.com/a/540979732_418320.
- [151] 毛吉康, 苗中泉, 刘林, 等. 【国际能源趋势观察】跨国公司与全球治理-我国能源央企的实践及政策建议[EB/OL]. (2020-05-30)[2022-11-09].

- https://mp.weixin.qq.com/s/K_loBGTwrOu_yKEs6x6h5g.
- [152] 中国三峡集团. 三峡集团巴基斯坦卡洛特水电站下闸蓄水[EB/OL]. (2021-11-22)[2022-11-09]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_15493454.
- [153] 姜江, 王欢, 邹淑华. 中国企业承建的卡洛特水电站为巴基斯坦绿色发展注入新动力[EB/OL]. (2022-07-11)[2022-11-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1738020216173361823>.
- [154] “一带一路”绿色发展国际联盟. 一带一路”绿色发展案例报告（2020）[M]. 中国环境出版集团, 2021.
- [155] 习近平出席联合国发展峰会并发表重要讲话 强调以 2015 年后发展议程为新起点 努力实现各国共同发展[N/OL]. 人民日报, 2015-09-27[2022-11-09]. http://data.people.com.cn/rmrb/20150927/1/fd680ecae95d4d1b936afac58475fa8e_print.html.
- [156] 全球能源互联网发展合作组织. 全球能源互联网“中国倡议”[EB/OL]. (2022)[2022-11-09]. <https://www.geidco.org.cn/gei/initiative/>.
- [157] 国家电网有限公司科技部. 国家电网：守正出奇，勇攀高峰——以国际标准彰显国际领先硬核实力 [EB/OL]. (2021-08-05)[2022-11-09]. https://www.sohu.com/a/481666773_121117464.
- [158] 程春雨. 国家发改委环资司副司长赵鹏高：中国“双碳”目标带来三大机遇[EB/OL]. (2022-11-02)[2022-11-19]. <https://www.chinanews.com.cn/cj/2022/11-02/9885383.shtml>.
- [159] 中华人民共和国科技部, 中华人民共和国国家发展改革委, 中华人民共和国工业和信息化部, 等. 科技部等九部门关于印发《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030 年）》的通知：国科发社[2022] 157 号[A/OL]. (2022-06-24)[2022-11-19]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/18/content_5705865.htm.
- [160] 苏志鹏. 法国电力向综合能源服务转型的启示[EB/OL]//南方电网报. 2020: 7. http://www.csg.cn/epaper/html/2020-04/08/content_25962.htm?div=-1.
- [161] EDF GROUP. EDF at a glance[EB/OL]//EDF at a glance. (2022). <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/edf-at-a-glance>.
- [162] DECARLO S. 2022 年《财富》世界 500 强排行榜[EB/OL]//《财富》. (2022). https://www.fortunechina.com/fortune500/c/2022-08/03/content_415683.htm.
- [163] EDF GROUP. Doing even more to reduce CO₂ emissions[EB/OL]//Corporate social responsibility. (2022). <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/taking-action-as-a-responsible-company/corporate-social-responsibility/doing-even-more-to-reduce-co2-emissions>.
- [164] EDF GROUP. Plan Solaire[EB/OL]//EDF en bref. (2022). <https://www.edf.fr/plan-solaire>.
- [165] EDF GROUP. Plan Stockage Electrique[EB/OL]//EDF en bref. (2022). <https://www.edf.fr/plan-stockage-electrique>.
- [166] 百度百科. 莱茵集团[EB/OL]. (2022). <https://baike.baidu.com/item/%25E8%258E%25B1%25E8%258C%25B5%25E9%259B%2586%25E5%259B%25A2/6300266>.
- [167] RWE GROUP. 2021 key figures at a glance[EB/OL]//RWE - the Group. (2022). <https://www.rwe.com/en/the-group/profile-and-strategy/key-data>.

- [168] RWE GROUP. Focus on tomorrow.[EB/OL]//RWE Sustainability Report 2021. (2022).
<https://www.rwe.com/-/media/RWE/documents/09-verantwortung-nachhaltigkeit/cr-berichte/EN/cr-report-2021.pdf>.
- [169] RWE GROUP. Corporate Responsibility reporting[R].
- [170] 李泽民. 煤电, “重返”德国! [EB/OL]//中国能源报. (2022).
<https://new.qq.com/rain/a/20221027A01FTW00>.
- [171] 冯迪凡. 弃核之后又弃煤: 德国突然宣布 2038 年永别煤电站, 电价受的了么? [EB/OL]. (2019). <http://news.sina.com.cn/o/2019-01-27/doc-ihrfqzka1474816.shtml>.
- [172] 壳牌石油 (关于壳牌石油的基本情况说明介绍) [EB/OL]. (2022-11-13)[2022-11-20].
<https://www.chengw.com/xxhd/202211/1850921.html>.
- [173] 主营业务 & 业内地位[EB/OL]. (2022)[2022-11-20].
<https://www.yjbys.com/baodian/shell/1-2.html>.
- [174] SHELL. Greenhouse gas and energy data[EB/OL]//Sustainability Report 2021. (2022).
<https://reports.shell.com/sustainability-report/2021/our-performance-data/greenhouse-gas-and-energy-data.html>.
- [175] SHELL. Our climate target[EB/OL]. (2022). https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/our-climate-target/_jcr_content/par/relatedtopics.stream/1660578577521/3e2b80bcac2d053636ad41890ac7eebd33aadf8a/shell-our-climate-target-ax.pdf.
- [176] 一文看懂双碳趋势下国际石油巨头的战略转型[EB/OL]. (2021).
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/407749816>.
- [177] 国际能源网. 全球第四大油气公司道达尔宣布 2050 年实现碳中和! [EB/OL]. (2021)[2022-11-19]. <https://www.163.com/dy/article/G1MRBHO90519BMQA.html>.
- [178] TOTALENERGIES. 道达尔中国 2020[EB/OL]. (2022). https://corporate.totalenergies.cn/zh-hans/system/files/atoms/files/sd2020_chn.pdf.
- [179] IBERDROLA. Iberdrol Annual reports[EB/OL]. (2022)[2022-11-09].
<https://www.iberdrola.com/shareholders-investors/annual-reports>.
- [180] THE SCIENCE BASED TARGETS INITIATIVE. About Us[EB/OL]. (2022)[2022-11-09].
<https://sciencebasedtargets.org/about-us>.
- [181] IBERDROLA. Iberdrola commits to net zero before 2050[R/OL]. [2022-11-09].
<https://www.iberdrola.com/sustainability/committed-sustainable-development-goals/sdg-13-climate-action>.
- [182] THE E.ON GROUP. The E.ON Group: a unique company[EB/OL]. [2022-11-09].
<https://www.eon.com/en/about-us.html>.
- [183] THE E.ON GROUP. E.ON Sustainability Report[EB/OL]. (2022)[2022-11-09].
<https://www.eon.com/en/about-us/sustainability/sustainability-report.html>.
- [184] THE E.ON GROUP. On course for net zero. Supporting paper for E.ON’ s decarbonization strategy and climate-related disclosures. Second edition (March 2022)[R/OL]. (2022-03)[2022-11-09]. <https://www.eon.com/content/dam/eon/eon-com/eon-com->

assets/documents/sustainability/en/climate-related-disclosures/EON_2022_On_course_for_net_zero.pdf.

- [185] NEXTERA ENERGY. NextEra Energy:Our Work[EB/OL]. (2022)[2022-11-09].
<https://www.nexteraenergy.com/company/work.html>.
- [186] LAURA STARKS. 财报前瞻|2022年, NextEra 能否乘着可再生能源顺风而起? [EB/OL].
(2022-01-25)[2022-11-09]. <https://www.eet-china.com/mp/a107261.html>.
- [187] NEXTERA ENERGY. Environmental, Social and Governance[EB/OL]. (2021)[2022-11-09].
<https://www.nexteraenergy.com/content/dam/nee/us/en/pdf/2020%20NEE%20ESG%20Report.pdf>.
- [188] NEXTERA ENERGY. Zero carbon blueprint[EB].

