



新能源高质量发展专题

绿色转型驱动中国风光发电 高质量发展展望

电力圆桌项目课题组

2025年8月

电力圆桌项目

电力圆桌（全称电力可持续发展高级圆桌会议）项目于 2015 年 9 月启动，旨在紧扣应对气候变化、调整能源结构的国家战略，邀请业内专家和各利益方参与，共同探讨中国电力部门低碳转型的路径和策略。通过建立一个广泛听取各方意见的平台机制，电力圆桌将各方关心的、有争议的、目前决策困难的关键问题提交到平台讨论，选出核心问题委托智库开展高质量研究，并将研究成果和政策建议提交到平台征求意见，从而支持相关政策的制定和落地，推动中国电力行业的改革和可持续发展，提高电力行业节能减排、应对气候变化的能力。

项目课题组



中国电力企业联合会 CHINA ELECTRICITY COUNCIL

中国电力企业联合会于 1988 年由国务院批准成立，是全国电力行业企事业单位的联合组织、非营利的社会团体法人，至今已历经七届理事会。2021 年 4 月中国电力企业联合会第七届理事会成立，截至目前，共有 1595 个会员单位，其中 366 个理事单位（其中：常务理事单位 70 个，包括 1 个理事长单位，30 个副理事长单位），1229 个普通会员单位，设立 19 个专业分会，4 个专业委员会，1 个工作委员会，代管 11 个全国性专业协会，基本形成了功能齐全、分工协作、优势互补、规范有序、覆盖全行业的服务网络。2021 年，中电联被评为 5A 级全国性社会团体，同年获得民政部授予的“全国先进社会组织”称号。中国电力企业联合会围绕建设会员信赖、政府支持、社会认同的“国内领先、国际一流”行业协会的战略目标，坚持“立足行业、服务企业、联系政府、沟通社会”的功能定位，积极服务经济社会发展全局，充分发挥桥梁纽带和导向作用，不断提升行业服务能力，成为推动电力行业持续高质量发展的重要力量。



中电联电力发展研究院有限公司 CEC Electric Power Development Research Institute Co., Ltd

中电联电力发展研究院有限公司（电力建设技术经济咨询中心、电力工程造价与定额管理总站）源于 1986 年成立的水利电力部直属中央级事业单位，历经近 40 年的发展，已成为我国具有影响力的专业咨询机构和能源高端智库，致力于为政府和行业提供“研、投、管、服”一体化、全过程工程咨询服务，具有工程咨询单位甲级专业资信、电力企业 AAA 信用等级、工程造价咨询企业 AAA 信用等级。



自然资源保护协会 NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 700 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 40 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC 在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。

感谢自然资源保护协会专家为本报告提供的宝贵建议。

封面图片 @Freepik

所使用的方正字体由方正电子免费公益授权

绿色转型驱动中国风光发电 高质量发展展望

2025年8月

目录

前言	1
1. 风电光伏高质量发展基础和面临的挑战	2
1.1 发展基础	2
1.2 面临的挑战.....	5
2. 风电光伏高质量发展目标.....	7
2.1 开发规模	7
2.2 未来五年发展布局.....	8
2.3 未来五年消纳形势.....	9
3. 风电光伏高质量发展路径.....	10
3.1 “沙戈荒” 新能源基地	10
3.2 水风光基地.....	12
3.3 海上风电	13
3.4 分布式新能源	14
3.5 新能源发展新业态.....	16
4. 电力系统调节能力提升路径	19
4.1 电源侧	19
4.2 电网侧	20
4.3 负荷侧	23
4.4 储能侧	24

5. 风电光伏技术创新与市场建设	27
5.1 先进技术应用	27
5.2 多元市场协同	29
6. 促进风电光伏高质量发展建议	30
6.1 风电光伏大规模开发和消纳协同机制	30
6.2 风电光伏与关联产业协调发展机制	31
6.3 要素保障和财税投融资政策机制	31
参考文献	32

前言

在全球应对气候变化、推动能源绿色转型背景下，以风电、光伏发电为代表的新能源已成为重塑能源格局、推动经济可持续发展的核心力量。我国作为全球能源消费与生产大国，新能源高质量发展不仅关乎能源安全与可持续发展，更是实现产业焕新升级的关键所在。

开展推动风电光伏高质量发展的关键问题研究，分析制约产业发展的核心因素，提出行之有效的发展路径和行业建议，对加快构建新型电力系统、助力电力行业低碳转型、支撑全社会如期实现碳达峰目标具有重要意义。此类研究也有利于为相关电力企业营造良好发展环境，激发创新活力，促进各类主体在碳达峰关键时期发挥重要作用。为助力风电光伏发电高质量发展，在自然资源保护协会的支持下，中电联电力发展研究院结合当前发展形势，展望风电光伏发电高质量发展路径，编制形成了本报告。

报告立足加快构建新型电力系统，支撑加快规划建设新型能源体系，分析当前风电光伏发展基础和面临的形势，研究提出近中期我国风电光伏发展目标，围绕“沙戈荒”新能源基地、水风光基地、分布式新能源、海上风电、新能源发展新业态等场景研究风光发电高质量发展路径，以及源网荷储各环节灵活调节能力提升方向。报告还提出促进风光发电高质量发展建议，为我国推进电力低碳转型和加快构建新型电力系统提供参考。

风电光伏高质量发展基础和面临的挑战

1.1 发展基础

促进新能源高质量发展的政策导向清晰。近年来，我国以“双碳”目标为引领，密集出台了《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》（国办函〔2022〕39号）、《关于大力实施可再生能源替代行动的指导意见》（发改能源〔2024〕1537号）、《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》（发改能源〔2025〕650号）、《关于深化新能源上网电价市场化改革 促进新能源高质量发展的通知》（发改价格〔2025〕136号）等一系列政策，从规划、开发、运行、消纳、市场诸多方面，创新新能源发展模式，推动新能源在能源保供增供、助力经济社会绿色发展等方面更好发挥作用。《中华人民共和国能源法》明确提出，国家推进风电、太阳能开发利用，坚持集中式与分布式并举，加快风电和光伏发电基地建设，支持分布式风电和光伏发电就近开发利用，合理有序开发海上风电，为我国新能源发展提供了有力的政策保障。

风电和光伏发电发展明显提速。根据中电联历年《中国电力行业年度发展报告》，2021年-2024年，全国风光发电合计装机年均新增2.6亿千瓦，为2015-2020年均新增风光发电装机的3.6倍。2023年和2024年，全国风光发电合计新增装机分别达到2.94亿、3.60亿千瓦，完成多项历史性成就。2024年6月，我国风电、太阳能发电累计装

机容量合计达到 11.8 亿千瓦，首次超过煤电装机容量；次月，风电、太阳能发电累计装机容量突破 12 亿千瓦，提前 6 年完成对外承诺装机目标；2025 年 3 月，我国风电、太阳能发电累计装机容量达到 14.82 亿千瓦，首次超过火电装机容量（14.51 亿千瓦）。截至 2025 年 6 月底，我国风电、太阳能发电累计装机容量合计达到 16.73 亿千瓦。



图 1-1 2016-2024 年我国新能源发电装机容量及其增速

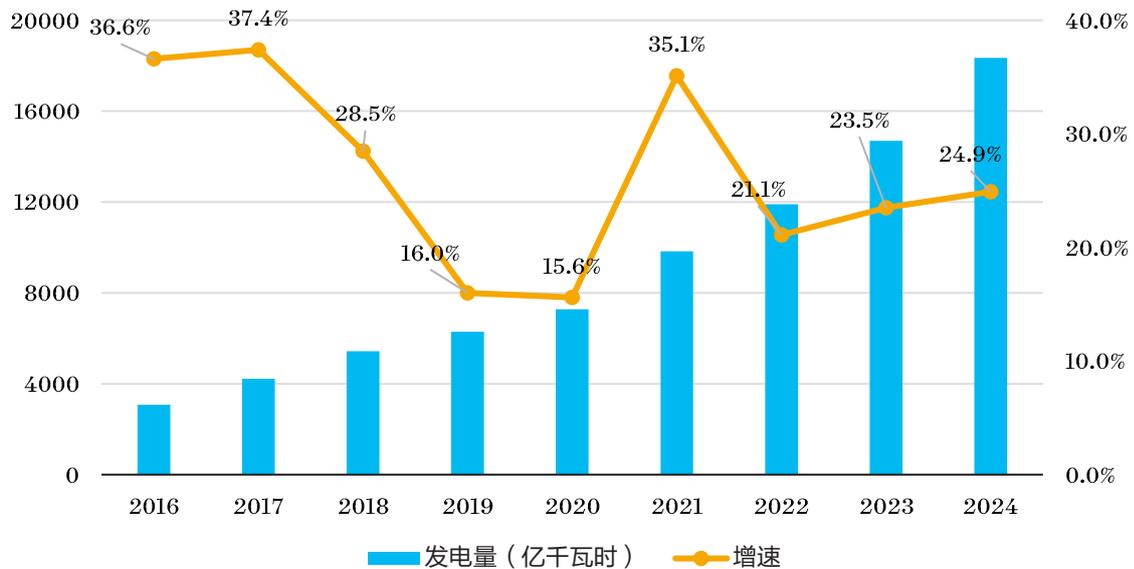


图 1-2 2016-2024 年我国新能源发电量及其增速

陆上风电、集中式光伏占据主体地位，分布式光伏发展势头强劲。截至 2024 年底，我国陆上、海上风电装机容量分别为 4.8 亿、4127 万千瓦，同比上年分别增长 7982 万、404 万千瓦，分别约占我国风电装机总容量的 92.1%、7.9%。集中式、分布式光伏发电装机容量分别达到 5.1 亿、3.7 亿千瓦，分别约占我国光伏发电装机总容量的 57.7%、42.3%，二者之间差距逐步缩小。

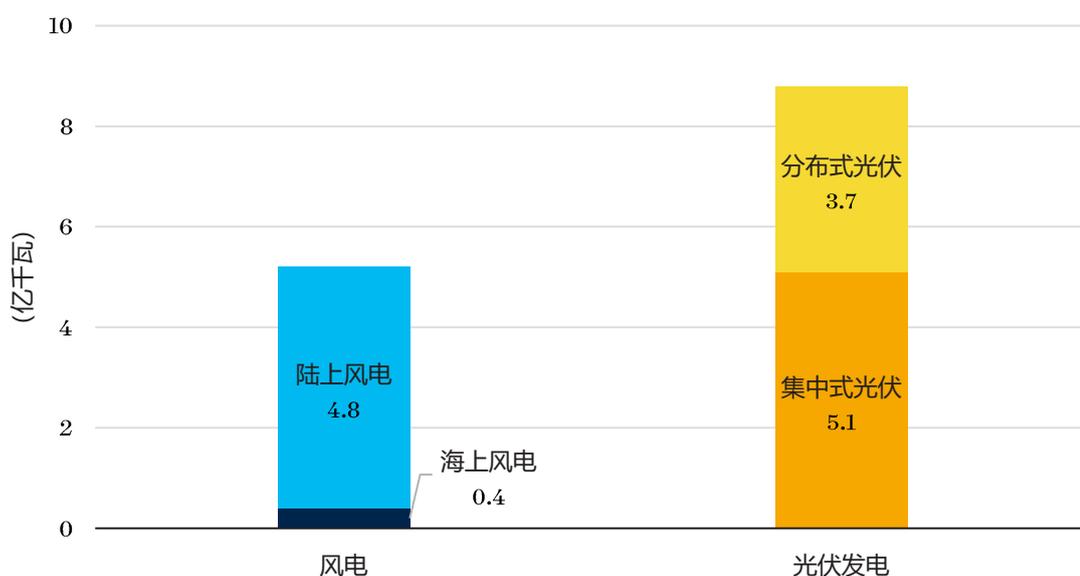


图 1-3 2024 年我国风电、光伏结构

新能源成为驱动我国经济增长的重要引擎。风电光伏投资保持强劲增势，有力支撑了我国经济社会平稳健康发展。2020-2024 年，风电光伏合计投资占电源总投资超过 65%，对电力领域、能源领域投资增长贡献率分别达到 50% 以上、45% 以上。同时，风电光伏大规模投资带动电网、储能、氢能等相关领域发展提速，协同推动电力行业扩大有效投资。2024 年，我国电力投资同比增长 13%，远超同期制造业、基础设施投资¹增速。另一方面，依托我国完整的供应链产业链，光伏产品已覆盖全球 200 多个国家和地区。

¹ 此处基础设施投资不含电力、热力、燃气及水生产和供应业。

1.2 面临的挑战

新能源发电大幅波动加剧系统实时平衡难度。近年来，全网系统中新能源日最大波动幅度明显加大，极端条件下，部分区域新能源波动速率将接近系统最大调节能力，加剧电力系统频率控制难度。2026-2030年，灵活性煤电、抽水蓄能、气电等常规调节性资源建设规模预计将保持增长，但可能仍难以匹配新能源的增长需求，需要协同规划部署新能源置信容量提升、传统非化石支撑性电源达产、火电有效容量兜底、跨省跨区新增电力流和电力互济布局、需求侧响应能力提升等多元路径，多措并举确保系统有效容量裕度，做好生产生活供电保障。

电力电子化衍生系统安全稳定运行新风险。新能源、跨区直流等大量替代常规发电机，电力系统呈现高比例可再生能源、高比例电力电子设备的“双高”特征。近年来，各区域电网新能源、电力电子设备出力占同一时刻总负荷比重持续提高，高比例电力电子化将促使新型电力系统呈现低转动惯量、宽频域振荡等新的动态特征，系统功角稳定、频率稳定、电压稳定问题更加复杂，运行控制难度加大，需要聚焦新能源主动支撑控制技术创新，加快发展构网技术设备应用，保障电力系统运行安全。

新能源大规模接入电网致使系统消纳压力不断加大。源荷时空不匹配引发系统调峰困难，尤其是分布式光伏规模化接入后，发电出力午间最大，用电负荷晚间最高，造成电网午间保消纳和晚峰保供应的矛盾。2024年以来，部分新能源资源富集地区风光发电利用率呈现下降态势。

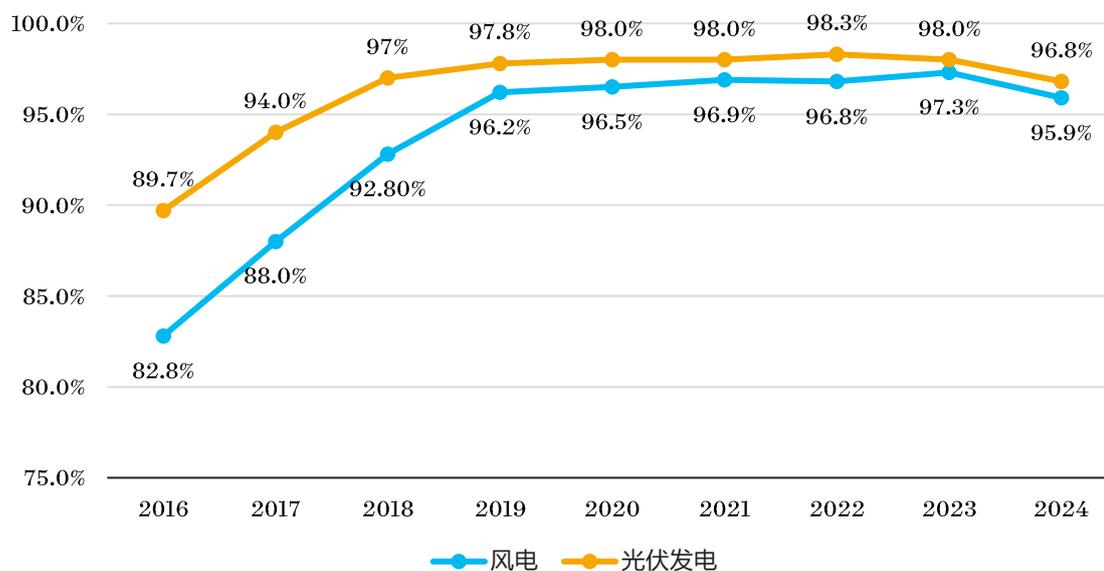


图 1-4 2016-2024 年中国风光发电利用率

绿色转型推高电力供应成本。相比于部分发达国家近年来推动能源低转型带动用电成本显著上涨，我国电价水平在全球范围内处于低位。依据国际能源署（IEA）相关数据计算，2023年，我国综合销售电价水平分别为英国、德国、法国、美国同期综合电价的25.1%、32.7%、39.3%、72.4%。从电价结构来看，我国电力辅助服务费用占全社会总电费比重偏低，且长期在发电侧内部平衡，未向终端疏导。2026-2030年，预计我国风电光伏投资将保持较快增长势头，系统调节成本相应增长，需要统筹设计电力绿色转型成本多元协同疏导机制，推动源网荷储全环节共同承担电力绿色低碳安全转型责任和附加成本。

2 风电光伏高质量发展目标

2.1 开发规模

2030 年绿色转型目标引领新能源近中期发展。国务院印发的《2030 年前碳达峰行动方案》（国发〔2021〕23 号）明确提出，到 2030 年，非化石能源消费比重达到 25% 左右。2025 年 2 月 9 日，国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的通知》（发改价格〔2025〕136 号），重塑新能源盈利模式，对新能源近中期发展节奏预期产生阶段性影响；但中长期看，新能源全面入市有利于形成真实的市场价格，促进电力资源高效配置，引导新能源行业健康有序发展，大力发展新能源仍是大势所趋。为顺利实现转型目标，2026-2030 年全国年均新增风光发电装机需达到 2 亿千瓦以上。

支撑全社会碳达峰需要加力发展新能源。全国力争 2030 年实现碳达峰，考虑其他行业用能排放通过电能替代向电力行业转移，电力行业在 2030 年实现碳达峰存在不确定因素。碳达峰后满足新增刚性用电需求，在确保新建流域水电和沿海核电按期建成投产、提供稳定零碳电量的基础上，加力开发建设新能源是重要抓手。从实现碳达峰前后两个阶段的新能源发展路径来看，2026-2030 年新能源开发节奏影响电力碳排放峰值规模，2031-2035 年新能源开发节奏决定了电力碳排放达峰的时间拐点。课题组认为，如

果 2030 年全国新能源发电装机达到 28 亿千瓦以上，同时实现碳达峰后控制电力碳排放不反弹，2031-2035 年均新增风光发电装机规模需进一步扩大。

长期大力发展新能源是我国加快形成新质生产力的必然选择。我国新能源行业始终坚持走技术创新的道路，以技术产品的加速迭代满足不断变化的市场需求，培育了一批世界级龙头企业。随着世界进入新的动荡变革期，我国需要新的国际形势下巩固新能源领域优势，加快培育新质生产力，为我国创新应对气候变化路径、参与全球能源治理提供支撑。

2.2 未来五年发展布局

2026-2030 年，预计全国新增风光发电近半数将布局在西北、华北区域。根据各省（区、市）相关装机规模规划目标要求，同时结合各地摸排调研，确定各区域风光发电装机规模。到 2030 年，分区域看，华北、西北区域风光发电装机占全国总风光发电装机规模均将达到 20% 以上，南方、华东、华中（东四省）区域风光发电装机占全国总风光发电装机规模均达到 10% 以上，东北、川渝藏地区风光发电装机占全国总风光发电装机均不足 10%。分结构看，全国新增陆上风电约五成布局在西北、华北区域；全国新增海上风电主要布局在华东、南方、华北区域；全国新增集中式光伏约七成布局在西北、华北区域；全国新增分布式光伏近七成布局在华东、南方、华北区域。

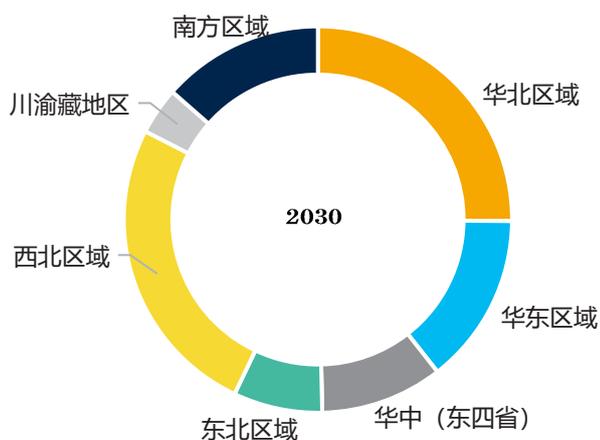


图 2-1 2030 年中国风光发电装机布局预测

2.3 未来五年消纳形势

2026-2030年，随着新能源电量渗透率逐步提高，预计新能源消纳压力将持续加剧。光伏发电快速发展将致使系统等效负荷峰谷差持续拉大，持续保持较高新能源利用率的难度明显增加。新能源结构相对稳定，到2030年风光发电装机占比超过50%。考虑各类既有成熟系统调节技术应用尽用，即煤电灵活性改造应改尽改、调峰气电因地制宜发展、需求响应负荷占比达到5%~7.5%²、虚拟电厂调节能力达到5000万千瓦情况下，新能源弃电率客观受到新能源渗透率影响，会呈现新能源利用率下降趋势，新能源电量高渗透率地区的消纳形势更趋严峻。预计2030年，全国新能源利用率将较2025年呈现稳步下降态势。新能源弃电时空分布“聚集”特征明显，从区域看，弃电持续向“三北”地区聚集；从季节看，弃电向春秋季节聚焦；从日内时段看，弃电向午间光伏大发时段聚焦。需要因地制宜、多措并举促进可再生能源消纳，统筹好规模化外送和就近消纳的关系，推动调节性电源高质量发展，引导风光发电积极主动参与系统调节。

² 结合未来需求响应技术的发展趋势，具备条件的典型区域有望实现需求侧响应能力达到最大用电负荷的10%左右。同时考虑未来省级现货市场建设对原本纳入负荷管理的需求响应资源形成一定转移，本报告认为2030年电力需求响应能力总体达到最大负荷的5%~7.5%。

3 风电光伏高质量发展路径

3.1 “沙戈荒”新能源基地

“沙戈荒”新能源基地是未来五年新能源发展的重要模式。近年来，国家提出加快推进沙漠、戈壁、荒漠地区的大型风电光伏基地的建设。在政策支持下，作为国家推动“双碳”目标落地的关键抓手，以“沙戈荒”为重点的大型风电光伏基地成为新能源装机增长的基本盘。依托良好的新能源资源禀赋及发展优势，各批次“沙戈荒”基地有序推进建设。截至2024年底，首批大型风电光伏基地项目基本建成，第二批、第三批正在陆续开工建设。2026-2030年，统筹推进库布齐沙漠、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和采煤沉陷区规划大型风电光伏基地的开发，稳步推动基地建设布局向甘肃西部、青海西部、新疆南疆地区延伸。

在统筹地区电力系统调节能力优化的基础上，提高“沙戈荒”新能源基地就地消纳水平。2026-2030年，新投产特高压直流通道预计可汇集消纳沙戈荒新能源2亿千瓦以上，新增跨区输电规模将达到历史新高，需要进一步加强衔接大基地和国土空间规划，提升送电电源配置方案与受端需求匹配性，科学制定“沙戈荒”通道外送电价格机制，加快推动“沙戈荒”基地新能源发电主动支撑、大容量柔直、构网型储能等技术装备创新试验示范。同时，大部分新增新能源发电装机需就地就近利用消纳，因而需要加快拓展以

配套产业为消纳载体的新模式，创新新能源基地 + 数据中心、绿氢生产、零碳园区、传统高载能等应用场景示范，提速推进清洁能源集中开发、战略性新兴产业优化布局和配套支撑电源电网一体化规划、建设和运行，构建大型清洁能源基地和战略性新兴产业协同发展的新体系。

专栏 3-1 内蒙古库布齐沙漠鄂尔多斯中北部新能源基地

2022 年 12 月库布齐沙漠鄂尔多斯中北部新能源基地项目（以下简称“库布齐基地项目”）开工，2024 年 1 月项目进入实施阶段，总装机规模 1600 万千瓦，包含光伏 800 万千瓦、风电 400 万千瓦，配套煤电 400 万千瓦及储能设施，是全球最大规模“沙戈荒”风电光伏基地、国家首个千万千瓦级新能源大基地项目。建成后每年可向京津冀地区送电 400 亿千瓦时，其中清洁能源占 50% 以上，相当于节约标准煤约 600 万吨，减排二氧化碳约 1600 万吨。



图片来源：三峡新能源公开发布信息

3.2 水风光基地

水风光基地是国家重要清洁能源基地实现多能互补开发的重要组成形式。2020年以来，我国陆续启动了多个流域的水风光基地论证、建设工作。2023年国家能源局印发的《2023年能源工作指导意见》（国能发规划〔2023〕30号）提出，推动主要流域水风光一体化规划，建设雅砻江、金沙江上游等流域水风光一体化示范基地。目前，金沙江上游国家水风光一体化示范基地已初具规模，黄河流域、长江流域等主要流域的水风光一体化建设加速推进。2026-2030年，雅砻江、黄河上游、金沙江上游、金沙江中游、金沙江下游、澜沧江、藏东南、大渡河等主要流域水风光一体化基地建设稳步有序推进。

专栏 3-2 雅砻江流域水风光一体化基地

雅砻江流域水风光一体化基地是国家“十四五”规划纲要明确的我国九大清洁能源基地之一，是国家首个水风光一体化示范基地。在调节电源周边配套一定规模风电、光伏电站，形成水风光一体化项目群，可平抑风光发电不稳定，将风光新能源转化为优质电能，实现水电与风光规模化、集约化开发，进一步提高可再生能源开发利用的效率和质量。截至2025年3月，基地已建成7座大型水电站、3大控制性水库和多个风光新能源项目，已投产清洁能源装机近2100万千瓦，在建装机约1400万千瓦，年发电量约1000亿千瓦时，已累计贡献绿色电力超1.1万亿千瓦时。



图片来源：国投电力公开发布信息

加快建立开发主体利益协调与共享机制，创新清洁能源多能互补开发运营新范式。目前水风光一体化项目尚无成熟的模式可借鉴，大多数流域水电站及风光资源呈现多元业主开发局面，开发关联主体多，接入、调度、消纳、电价等未形成统一意见。需要进一步推进基地总体规划，科学提出建设的目标、规模和布局；超前谋划不同开发主体利益协调共享机制，开展一体化运营等核心关键技术研究；建立和完善电力市场交易机制，激励多类型能源参与市场竞争，以机制完善和市场动能促进水风光一体化项目高质量发展。

3.3 海上风电

海上风电发展将对中长期东部地区产业绿色用能、电力保供和全国电力流规划布局产生深刻影响。我国海域风能资源丰富，风电产业链较为成熟，大规模发展海上风电，有利于保障沿海省份电力供应，如考虑 2026-2030 年新增 1 亿千瓦海上风电，对东部沿海省份新增用电需求的贡献度超过 20%、可减少西部地区跨区通道约 8 回，对优化我国能源生产力布局、保障东部地区电力供应全局安全意义重大。从要素保障看，用海需求与交通、海事、渔业、环境保护等相互交织，海域及陆地的走廊通道资源较为稀缺。从送出模式看，传统方案下海上风电分散单独送出通道利用效率不足，汇集输送技术施工量和复杂度大幅提升，技术仍有待突破。从技术经济性看来，海上风电造价成本较陆上风电仍有一定差距，清洁能源岛和制氢等新型场景商业模式和盈利模式仍待突破。面对建设条件复杂化、技术难度提升等挑战，需从战略层面予以高度重视和科学谋划。

面对深远海化开发加速、技术持续升级、多产业融合发展趋势，需以“三个坚持”开拓海上风电发展空间。坚持要素协同保障，加强顶层设计，完善跨部门协同机制，健全完善国管海域审批立项管理机制，科学确定海上风电发展规模、布局和时序，做好陆海输电走廊资源统筹，在国土空间布局规划中予以预留和保障。坚持源网协同发展，加强海上风电规划与电网规划统筹协调，以集约化、规模化、连片化方式推动海上风电近远海协同开发，推动汇集接网集中送出模式应用，优化海上风电登陆点位置，为接网送出工程方案制定及时序安排提供扎实边界。坚持产业融合发展，积极探索多能综合利用，探索海上风电与海洋牧场、化学工业等业态的空间集约利用，提升海洋经济综合价值，提高海上风电场区海域资源利用效率。依托自然岛屿或人工岛屿，构建海上能源岛作为能源枢纽，实现海

洋能、储能、制氢、海水淡化等多种能源资源综合开发、转换、储运和利用，在为沿海城市提供高质量、低成本、无污染的电力、氢气等能源，增强项目收益水平。

专栏 3-3 中广核汕尾“伏羲一号”风渔融合项目

“伏羲一号”位于汕尾中广核后湖 50 万千瓦海上风电场中心场区，距离汕尾海岸约 11 公里。2024 年 9 月，中广核汕尾“伏羲一号”风渔融合项目正式投运，并完成首批养殖鱼苗投放，对我国“海上风电 + 海洋牧场”产业融合发展具有重要意义。项目网箱主体结构长 70 米，宽 35 米，水深约 25.7 米，养殖水体达到 6.3 万立方米。该项目总投资 2 亿元，全部依靠绿色能源供能。“伏羲一号”投运后年产优质海水鱼类约 900 吨，年产值达到 5400 万元，为当地创造就业岗位约 200 个。



图片来源：中国广核集团公开发布信息

3.4 分布式新能源

发展分布式新能源对保障中东部地区电力供应安全具有重要意义。我国分布式新能源主要以分布式光伏为主，截至 2024 年底，全国光伏发电装机容量达 8.86 亿千瓦，其中分布式光伏 3.75 亿千瓦。2024 全年新增分布式光伏 1.18 亿千瓦，占当年新增光伏发电装机的 43%。我国分布式光伏发展集中在中东部电力需求大省，山东、河南、浙江、江苏、

河北五省份排名前五位，其分布式光伏装机合计占全国装机总量比重已超过 60%，一定程度上有效补充了本地电力供应。2026-2030 年，随着中东部地区分布式光伏的稳步发展，分布式新能源发展提速。

专栏 3-4 广东顺德川崎汽车产业园区近零碳示范区

2024 年 12 月，广东顺德川崎汽车产业园区近零碳示范区项目完成验收。广东顺德川崎汽车产业园区充分开发屋顶资源，在 6 栋厂房超 1.5 万平方米的屋顶上建设分布式光伏系统，建设规模为 1.91 兆瓦，每年可供应 195.17 万千瓦时绿色电力，并通过峰谷电价差套利模式，每年提供 95 万千瓦时调峰电量。项目投产后，园区度电成本下降 28%，节约标准煤 240 吨，减少二氧化碳排放约 920 吨。该项目构建了清晰、可复制的产业园区绿色低碳高质量发展路径，验证了基于“源网荷储用”的五位一体新型能源资产运营创新模式，为企业、产业园区带来了显著的降本降耗效益。



图片来源：广东顺德电力设计院公开发布信息

持续推动分布式能源就近利用模式创新。目前，我国存量分布式光伏多采取“应接尽接”方式，导致部分电站“倒送”现象明显，电网承载力空间逐步吃紧，“重开发、轻消纳”的隐患加剧。需要推动分布式新能源回归就地消纳的本质属性，加快提升可观、可控、可测、可调能力，大力推进“光伏+”综合利用，优先利用工矿等废弃土地建设光伏电站，

鼓励农光互补、渔光互补等复合开发模式，引导推进光伏在建筑和交通领域融合应用。探索分布式新能源绿电直供发展模式，鼓励分布式新能源就近聚合参与绿色电力交易，多措并举促进就近就地消纳。

3.5 新能源发展新业态

绿电直连有望释放新能源绿色价值。绿电直连是一种创新的能源供应模式，指建立新能源直连专线，将风电场、光伏电站等新能源项目与大型用户（如工业企业、工业园区等）直接连接起来，实现能源生产与消费的直接对接，为用户提供绿色、低碳的电力供应。2025年2月，江苏省发展改革委发布《关于创新开展绿电直连供电试点项目建设工作的通知》（苏发改能源发〔2025〕115号），在全国率先启动绿电直连供电试点，通过电网企业统一规划建设连接动力电池产业链企业与绿电电源的专用线路，实现绿电“点对点”直供。5月21日，国家发展改革委、国家能源局联合印发了《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》（发改能源〔2025〕650号），正式从国家层面确立推动绿电直连，并首次在国家层面明确定义了“绿电直连”模式及相关概念，可分为并网型和离网型两类。并网型项目整体接入公共电网但电源接入在用户侧，与大电网有明确边界；离网型则完全独立于公共电网运行。此外，政策明确项目新能源年发电量的自发自用率不低于60%，且自发自用电量占用户总用电量比例2025年须达30%以上，并逐年提高到2030年的35%以上。同时，限制上网电量比例一般不超过20%，要求不断提高项目就地消纳水平。该文件还明确了绿电直连应用的场景。一是新增负荷可配套建设新能源项目；二是存量负荷在已有燃煤燃气自备电厂足额清缴可再生能源发展基金的前提下开展绿电直连，通过压减自备电厂出力，实现清洁能源替代；三是有降碳刚性需求的出口外向型企业利用周边新能源资源探索开展存量负荷绿电直连；四是支持尚未开展电网接入工程建设或因新能源消纳受限等原因无法并网的新能源项目，在履行相应变更手续后开展绿电直连。

专栏 3-5 国家电投铝电公司降碳增绿项目

2025 年 7 月，内蒙古、宁夏合作的首个新能源合作重点项目——“国家电投铝电公司降碳增绿项目”获批实施，该项目新能源场址位于内蒙古阿拉善境内，建设新能源装机 300 万千瓦，通过专线接入宁夏宁东铝业和青铜峡铝业，专线直连通道距离约 200 公里，是全国首个跨省绿电直连项目。

该项目创新推出短距离跨省区新能源“点对点”直供模式，通过内蒙古新能源与宁夏负荷匹配，实现两个自治区资源优势互补，进一步丰富了国内跨省区新能源外送模式，为省区间电力互补互济、拓宽新能源消纳渠道提供新的思路和样本。省界两侧 30 公里内完成“发电 - 用电”闭环，可充分利用电解铝 24 小时连续生产特性来消纳波动性绿电。



图片来源：国家电投公开发布信息

智能微电网有望成为大电网的有益补充。2025 年 6 月，我国在“双碳”目标和能源安全战略的宏大背景下，启动了新型电力系统建设首批试点工作。智能微电网试点正是在这一背景下应运而生，《国家能源局关于组织开展新型电力系统建设第一批试点工作的通知》（国能发电力〔2025〕53 号）对智能微电网试点的目标做出了精确表述，“提高智能微电网自调峰、自平衡能力，提升新能源自发自用比例，缓解大电网消纳压力”。智能微电网通过在局部吸收波动，减少尖峰功率注入主网，进而降低主网峰谷差和调节难度。

总的来说，智能微电网让过去集中于主网的压力分散到众多“小网”上，形成“大网带小网、小网优先调、自下而上减压”的新型调控格局。这将深刻改变传统电网的潮流和规划模式，未来的电力规划不再仅仅围绕集中电源和输电，而需要统筹考虑分布式微网集群的调控贡献——每个微电网既是负荷又是电源，灵活响应，从而整体上提升大电网对高比例新能源的承载力。典型应用场景包括高新科技产业园区、偏远地区/海岛、未来智慧城市/社区等。

专栏 3-6 福建厦门 ABB 工业中心绿色微电网项目

2022年10月，福建厦门 ABB 工业中心绿色微电网项目并网发电。项目采用“自发自用，余电上网”模式，将光储充、暖通空调、气象预报、生产管理等系统接入 ABB 智慧能源管理平台，实现了对“源-网-荷-储”柔性精准调控，同时具备需求响应等功能。架构了“光、储、充、配电、升压、并网”全要素直流微电网系统，并设计离网运行的模式，当外网停电时，系统自动切换到离网运行模式，由储能系统保障 750V 直流母线重要负荷供电。

项目实施后，园区可实现 50% 电力的清洁能源替代，可提供高达 20% 容量的负荷需求侧响应。通过合同能源管理中约定的光伏发电折扣优惠及智慧能源管理平台能效优化，ABB 用电成本整体下降约 22.98%。在产能水平稳定的前提下，平均减少外购电量 45% 以上，在 ABB 厂区用能以电为主的情况下，相应碳排强度下降也达 45% 以上。



图片来源：火炬新源公司公开发布信息

4 电力系统调节能力提升路径

4.1 电源侧

持续推进煤电灵活性改造技术迭代。围绕热电解耦、低负荷稳燃、低负荷脱硝、锅炉燃烧优化控制、调峰控制策略优化等领域深化高效灵活型改造技术应用，部署小型模块化超超临界等高效灵活性改造技术。

因地制宜发展天然气调峰电站。将调峰电源作为气电发展的主要方向，在气价、电价承受能力较高的京津冀、长三角、粤港澳大湾区等地区，以及气源有保障、调峰需求突出、煤电建设受控的地区，加快建设天然气调峰电站，在新能源快速发展的西北地区合理布局天然气调峰发电项目，发挥天然气发电效率高、排放小、灵活性强的特点。

推动抽水蓄能在不同区域发挥差异化功能。在京津冀区域、长三角区域、粤港澳大湾区等用电负荷中心地区，引导抽水蓄能参与移峰填谷、调频调相，支撑系统安全稳定运行；在新能源开发潜力大、消纳压力集聚的“三北”地区，适度加快抽水蓄能规划建设，支撑新能源大规模发展；在新增系统调节需求有限、且抽水蓄能项目大量上马的地区，从严开展新建项目论证，按需有序推进新建项目前期工作。

专栏 4-1 天津国投北疆电厂“三改联动”

2024年12月，国投北疆电厂利用1号机组A级检修契机，顺利完成最后一台机组灵活性、DCS国产化和节能环保提效等一系列重大技改项目。至此，4台机组已陆续完成深度调峰改造，均具备了20%额定负荷深度调峰能力，能够更加灵活地应对电力需求的波动，促进新能源消纳，提高能源利用效率。在1号机组深调峰试验过程中，机组最低深调负荷由400兆瓦下探到200兆瓦。



图片来源：国投北疆公开发布信息

4.2 电网侧

统筹优化全国电力流布局。坚持能源格局决定电力格局，按照绿色低碳、稳定高效、经济可承受的优化思路，优先推动存量输电通道可再生能源电量占比和通道利用效率同步提升，加快构建全国电力接续配置新格局。

促进配电网与分布式新能源协调融合发展。健全配电网承载力分析及发布机制，研究并规范配电网分布式光伏可开放容量计算规则和方法。建立分省可开放容量定期发布机制，结合分布式新能源滚动规划实施方案及电网规划、负荷发展水平、资源开发潜力、项目储备等情况，定期开展可承载新能源规模评估，支持分布式新能源“应并尽并”。

专栏 4-2 宁夏 - 湖南 ±800 千伏特高压直流输电工程

宁夏 - 湖南 ±800 千伏特高压直流输电工程是我国首条获批的以输送“沙戈荒”风电光伏大基地新能源为主的特高压输电通道。工程额定电压 ±800 千伏、额定容量 800 万千瓦，起于宁夏回族自治区中卫市中宁换流站，途经甘肃、陕西、重庆、湖北，止于湖南省衡阳市衡阳换流站，线路全长 1616 千米，总投资 281 亿元。宁夏 - 湖南输电工程将新能源作为外送电力的绝对主力进行规划和建设，新能源装机占比超过 70%，创下同类工程新高，构建了大型风光电基地、支撑煤电、特高压线路“三位一体”的新能源供给消纳体系样板，推动“沙戈荒”基地大规模开发。

工程预计 2025 年 9 月整体竣工投产，投产后每年可向湖南输送电量超 360 亿千瓦时，其中新能源电量占比不低于 50%，在保障湖南电力供应、优化能源结构的同时，满足宁夏清洁能源多元开发和外送需要，实现清洁能源更高质量就地消纳和更大范围优化配置。



图片来源：国家电网公开发布信息

加快建设智慧化调度体系。强化电力保供调度统筹和多级协调。拓展能源电力供需平衡维度，综合考虑一次能源供给和气候变化对电能供需的影响，建立电力供应平衡裕度分析、省间互济和优化配置机制，推动传统“分层分区”“源随荷动”单一静态平衡模式，逐步向考虑源荷双端不确定性和系统调节能力的综合动态平衡模式转化，适应高比例新能源运行要求，构建源网荷储多元协同调度体系。

推动城镇配电网发展提质升级。加快城镇老旧小区、城中村配电网升级改造。结合老旧小区、城中村市政改造工作同步落实供电设施，合理增加供电薄弱区域变电站、配变布点，加快形成以链式、环式为主的典型网架结构。着力解决超容用电、电能质量等供用电问题，实施高层小区一级负荷双电源改造，消除运行安全隐患。

深入实施农村电网巩固提升。“一乡一策”加快补齐农村电网结构短板，着力解决县域电网与主网联系薄弱问题，优先加强单方向、单通道、单线路县域电网，降低大面积停电风险。统筹用电负荷增长、分布式电源发展、新能源汽车下乡等需求，差异化提升配变容量、入户线截面等，加快解决正反向重过载问题，强化农村电网综合承载能力，保障充电基础设施接入和分布式光伏友好发展。

专栏 4-3 内蒙古锡林郭勒农网改造工程

随着内蒙古农村牧区生产生活电气化程度的持续提高，智慧农牧业设施 24 小时用电需求常态化，农牧区用电需求不断增长。锡林郭勒持续聚焦建设国家重要农畜产品生产基地，锡林郭勒供电公司赋能乡村振兴与产业振兴，为家庭牧场、奶制品加工、冷库建设等提供电力支撑。

2025 年，锡林郭勒供电公司农网改造工程总投资 5.8 亿元，涉及 13 个旗县、市、区共 30 项工程；新能源转网电工程总投资 2.56 亿元，涉及 11 个旗县、市、区共 13 项工程；行政村（嘎查）村委会（队部）沿线牧户通网电工程总投资 0.21 亿元，涉及 4 个旗县、市共 4 项工程。



图片来源：内蒙古电力集团公开发布信息

4.3 负荷侧

着力推进需求侧响应能力建设。提升负荷管理精益化能力，完善区域、省域两级新型电力负荷管理系统，持续提升负荷控制能力。深入挖掘弹性负荷等灵活调节资源，建立健全电力需求响应机制，引导非生产性空调负荷、工业负荷、充电设施、用户侧储能等柔性负荷主动参与需求侧响应。随着省级现货市场建设，未来一定程度上对原本纳入负荷管理的需求响应资源存在一定转移，2030年典型地区电力需求响应能力有望达到最大用电负荷的10%。

积极推动虚拟电厂建设。开展区域级工业可调节负荷、楼宇空调负荷、大数据中心负荷、用户侧储能等各类资源聚合的虚拟电厂示范，支持负荷聚合商、虚拟电厂运营商作为独立市场主体参与电力市场交易和系统运行调节。2030年虚拟电厂实现商业化运作、规模化发展、差异化运营，虚拟电厂调节能力有望达到5000万千瓦以上。

稳步推动车网互动规模化发展。依托车网互动规模化应用试点，全面丰富应用场景，加快形成以市场化机制为引导、技术先进、模式清晰、可复制推广的商业模式。释放新能源汽车充电负荷的时间和空间转移能力，强化充电服务商聚合管理，充分调动充电负荷参与电网调节能力，待市场成熟后逐步向虚拟电厂转型。

培育氢电协同新模式。实施工业、储能、发电和交通领域绿氢替代，提升能源供应安全，促进新能源消纳，推动用能终端绿色低碳转型。在“三北”地区部署可再生能源电力制氢一体化项目，围绕纯氢和掺氢（氨）燃烧发电、氢燃料电池发电、长周期和大容量储能、工业领域替代等关键环节部署示范，积极探索氢电协同在化工、交通、冶金、电力、热电联供等领域的多元应用。部署煤电掺氨示范应用项目，统筹推进煤电低碳化改造建设，降低燃煤消耗和碳排放水平。

专栏 4-4 中广核宁波东方电缆园区虚拟电厂

2024年7月，中广核宁波东方电缆园区虚拟电厂正式投入运行，是国内首个可溯源绿电供应虚拟电厂项目，在园区内建设分布式光伏12.012兆瓦，并配备5兆瓦/11.2兆瓦时储能系统，以及2台120千瓦双枪直流分布式充电桩和10台14千瓦双枪交流充电桩。通过整合光伏、储能、充电桩等灵活性资源，可解决园区80%的日常用电需求，剩余20%电量缺口通过中广核浙江涂茨海上风电场绿电补充。依托中广核虚拟电厂示范平台，该项目构建了源、荷、储、充多能源分布式资源集成管理模式，实现全天24小时可溯源绿电供应，为用户提供清洁、可靠的电力服务。



图片来源：中国广核集团公开发布信息

4.4 储能侧

积极推动新型储能多场景优化布局。促进独立储能、新能源配储、用户侧配储、电网功能替代型储能、火储联调等多元新型储能应用场景协同发展。根据负荷中心地区电力保供需要，适时建设一批可集中调用的大容量电化学储能项目，给予顶峰放电激励政策。支持新建独立/共享储能项目采用4小时及以上储能技术。

促进新能源与新型储能协调发展。充分结合各地区系统调峰调频需求，统筹煤电灵活

性改造、抽水蓄能建设、电网调节能力提升等实际情况，按照各省新能源项目建设规模、时序及利用率指标，合理确定新能源配置储能的规模和形式。在大型新能源基地项目和分布式新能源聚集区逐步扩大独立储能 / 共享储能比例，新能源项目共享储能容量、分摊储能费用。

专栏 4-5 山东肥城 300 兆瓦 /1800 兆瓦时先进压缩空气储能国家示范电站

2024 年 4 月 30 日，山东肥城国际首套 300 兆瓦 /1800 兆瓦时先进压缩空气储能国家示范电站首次并网发电一次性成功。项目总投资 14.96 亿元，系统额定设计效率 72.1%。可实现连续放电 6 小时，年发电约 6 亿度，在用电高峰为约 20-30 万户居民提供电力保障，每年可节约标准煤约 18.9 万吨，减少二氧化碳排放约 49 万吨。

山东肥城 300 兆瓦 /1800 兆瓦时先进压缩空气储能国家示范项目在系统设计、装备研制、工程实施等诸多领域，实现了十余项关键技术突破，创造了六项国际之最。系统单位成本较 100 兆瓦下降 30% 以上，系统装备自主化率达 100%，实现了完全自主可控。



图片来源：中储国能公开发布信息

大力推动长周期储能技术革新。加快推动抽水蓄能、压缩空气储能、储氢、储热等长时间尺度储能技术进步，尽早实现多元技术路线商业化、规模化应用，积极探索支撑数日、数周充放电循环适配技术，与先进电网技术融合应用，逐步实现源荷在时间层面上解耦的“源 - 储 - 荷”平衡模式。

完善新型储能价格形成机制。推动新型储能参与电力市场，结合新型储能特点完善电力现货市场、辅助服务市场和容量市场机制，明确不同类型、不同功能新型储能参与市场的方式、充放电价格机制、成本分摊及疏导机制，形成健康可持续的盈利模式，促进新型储能多元化、产业化、市场化发展。

5 风电光伏技术创新与市场建设

5.1 先进技术应用

大力发展新能源高效发电技术。加快研发低成本钙钛矿电池，钙钛矿叠层电池等新兴技术，若该技术实现突破，预计可大幅提升光伏发电效率，有效缓解系统调峰压力，节省硅料成本、节约建设用地；强化深远海浮式风电平台关键技术创新及应用，推动海上低频输电技术、新一代超大型直驱和半直驱机型海上风电机组等国重技术的攻关、应用，更好满足东部地区新增绿电消费需求。



图 5-1 深远海浮式风电平台

加强新能源主动支撑和电力电子构网化技术应用。大力发展新能源可靠替代技术，面向新能源资源富集的弱送端电网，破解新能源主动支撑能力不足造成的消纳受限问题，提升新能源电站系统友好性能，保障“沙戈荒”地区大型新能源基地稳定高效外送；选取新能源高比例接入，同步支撑能力不足，因稳定约束存在弃风、弃光现象的局部电网作为示范点，部署自同步电压源型新能源发电设备及组网运行控制、复杂网源工况下新能源发电系统主动感知与自适应控制等关键技术，显著提升系统电压频率协调控制能力，协同保障系统安全稳定运行和新能源高效利用。



图 5-2 内蒙古乌兰察布电网友好型绿色电站

图片来源：中国三峡新能源公开发布信息

完善分布式新能源新一代调控技术。依托新一代电力调度自动化系统，构建信息系统与物理系统相融合的智慧调控支撑体系，推动电网调度运行各环节及参与者实现在线互联、实时交互，推进能源与生产、生活智能化协同，实现电源、电网与用户之间的资源优化配置，提升源网荷储安全稳定协调运行能力。全面提升可观可测、可调可控能力，加快实现配网侧海量资源的精准感知，构建主配微协同调控机制，制定分类分层调度策略。



图 5-3 分布式新能源调控技术示意

图片来源：项目课题组制图

5.2 多元市场协同

进一步打通价格与市场机制难点堵点。提升电价机制灵活性，以更好引导新能源发电资源跨省跨区优化配置和就地就近消纳利用。积极探索建立系统容量资源市场化机制，有序衔接煤电容量电价机制，推动向独立储能等覆盖。按“谁受益、谁承担”原则，健全电力绿色转型成本分阶段多机制协同疏导路径，促进容量成本回收机制、新能源综合价值成本疏导机制、分时电价机制协调互动，实现系统转型成本在源网荷储全环节合理分摊。建立健全辅助服务市场体系。鼓励各地区因地制宜设置备用、爬坡、转动惯量等辅助服务品种，基于响应时间、响应容量、响应持续性等细分性能，建立以调节效果为导向的竞价机制，有利于推动调节资源发挥各自价值获取合理收益，提高系统运行效率。

加强电 - 碳 - 绿市场协同发展。健全可再生能源超额消纳量、绿证、碳排放权、CCER 等环境权益产品的流通规则和核算体系，完善价格传导机制，促进碳市场与电力市场有机衔接。推动绿电生产、传输、消费全链条溯源体系建设，实现绿色电力环境权益的精准计量和确权。优化绿电绿证市场与差价合约机制的协同运作，提升市场运行效率。立足国内实际，完善绿色电力环境权益价格形成机制，推动建立与国际接轨的绿色电力认证标准体系。积极参与国际绿色电力标准制定，提升我国环境权益市场的国际影响力。通过“绿电 - 绿证 - 碳配额”市场协同，探索新能源价值实现路径，促进可再生能源可持续发展。

6 促进风电光伏高质量发展建议

6.1 风电光伏大规模开发和消纳协同机制

协同风电光伏开发规模和消纳能力，按照源网协同、源荷匹配的原则，统筹增强风电光伏开发规划、电网规划、调节能力规划与新增负荷的匹配性。强化各级各类规划有序衔接，统筹不同地区资源条件、电网消纳能力、用电水平差异等因素，科学制定风电光伏开发规模，统筹调节资源存量挖潜与增量优配，科学评估合理利用率水平，优化风电光伏的规划布局、开发节奏和建设时序，保障高水平能源安全与风电光伏高质量发展。在合理规划风电光伏发展规模的基础上，一体推进、加快建设主配微协同的新型电网平台，推进常规电源调节能力建设，着力增强抽水蓄能调节能力，深入挖掘负荷侧资源调节潜力，协同支撑年均新增 2 亿千瓦以上风电光伏的合理消纳利用。统筹电力外送和就近消纳，通过将西北等地区风电、光伏发电跨省区进行外送，提升全国范围内新能源消纳能力。在远距离输送的同时，充分挖掘就近就地消纳需求，积极探索新能源和产业发展相融合的新模式。

6.2 风电光伏与关联产业协调发展机制

促进风电光伏与产业协调发展能够将能源资源优势转化为产业经济优势，促进风电光伏与产业协调发展也是保障绿色电力供应和满足绿电溯源要求的重要途径。风电光伏资源开发规模不断扩大，上游关键原材料和设备制造、中游技术集成与系统建设、下游应用和服务等产业链全链条快速发展。建立能源与产业跨部门协调机制，推动风电光伏与多产业耦合联动应用，包括与零碳园区、绿色交通、与数据中心的绿色算力场景等的深度融合。因地制宜制定产业低碳转型的目标考核与激励机制，引导传统高载能产业向西部地区有序转移，推动以电力为主要供能形式的新兴产业按照用电强度和所处产业链上下游位置在东中西部合理布局，提升新增用电负荷与绿色电力供应保障能力的匹配度，积极打造绿电直供与智能微电网示范，加强产业链与能源链的物理耦合，降低物流与用能成本。

6.3 要素保障和财税投融资政策机制

统筹安排用地用海资源，建立健全用地用海计划指标动态调整机制，优化国土空间规划和能源设施布局，划定项目用地用海范围。在保证经济社会与生态环境和谐发展的前提下，用地用海政策上给风电光伏项目适当倾斜，优化调整风电光伏开发建设有关的生态红线、林地、草地等限制性因素边界，鼓励风电光伏综合开发利用，推动绿色能源与生态环保深度融合。中央财政资金投向风电光伏领域，“两重”建设项目在重点领域加快推出一批改革创新举措，下达资金探索“风电光伏+治沙”新模式，将风电光伏开发与生态治理有机结合，在实现荒漠化治理的同时推动可再生能源发展，为“双碳”目标实现提供创新路径。协调财政、税收、金融、投资等保障政策，完善绿色财政制度，推进绿色税收改革，引导金融机构加大对风电光伏示范项目的信贷支持力度，加快发展绿色信贷、绿色债券、绿色保险等绿色金融支持工具创新金融产品和服务，拓宽企业融资渠道，降低融资成本，为产业链各环节的发展提供保障。加强对中小企业创新支持力度，鼓励各类社会资本参与电力科技创新，支持依托企业建设特色技术研发中心，推动电力产学研用深度融合。加大对新能源基础研究、技术研发的资金投入，设立专项科研基金，支持企业、科研机构开展关键技术攻关。对研发投入给予税收抵扣、财政补贴等优惠，鼓励企业增加研发投入，提高自主创新能力，突破核心技术瓶颈。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2024[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
- [2] 国家统计局. 中国能源统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
- [3] 国家能源局. 2023 年全国可再生能源电力发展监测评价报告 [R]. 2023.
- [4] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告 2025[M]. 北京: 中国电力出版社, 2025.
- [5] 全国新能源消纳监测预警中心. 2024 年全国新能源并网消纳情况 [EB/OL]. (2025-02-06) [2025-03-11]. <https://mp.weixin.qq.com/s/2SJA4s8afIDoe0g3AWSuNw>.
- [6] 国家能源局. 国家能源局发布能源绿色低碳转型典型案例 [EB/OL]. (2024-05-19) [2024-06-03]. https://www.nea.gov.cn/2024-02/28/c_1310765731.htm.
- [7] 国家能源局. 国际大坝委员会代表调研雅砻江流域水风光一体化开发 [EB/OL]. (2025-05-30) [2025-06-30]. <https://mp.weixin.qq.com/s/T80T9kCUkzeCrW0DB1Cb3Q>.
- [8] 国务院国有资产监督管理委员会. 内蒙古电网助力乡村振兴大有新作为 [EB/OL]. (2025-03-20) [2025-06-30]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588129/c33078821/content.html>.
- [9] 中国南方电网有限责任公司. 南方电网公司发布 2024 年近零碳示范区典型案例为推进碳达峰碳中和提供“南网样板” [EB/OL]. (2025-05-09) [2025-06-04]. https://www.csg.cn/xwzx/2025/2025gsyw/202505/t20250509_347310.html.
- [10] 中国南方电网有限责任公司. “零碳”背后——记者探访广东顺德近零碳示范区 [EB/OL]. (2025-04-08) [2025-06-30]. https://www.csg.cn/xwzx/2025/2025gsyw/202505/t20250509_347310.html.
- [11] 中国广核集团有限公司. 海上风电+海洋牧场! 中广核汕尾“伏羲一号”风渔融合项目正式投运 [EB/OL]. (2024-09-04) [2024-11-24]. https://www.cgnpc.com.cn/cgn/c100944/2024-09/06/content_6c6d10bb1f4542988d1297873a2aa41a.shtml.

- [12] 中国能源新闻网. 全国首个跨省绿电直连项目获批 [EB/OL]. (2025-07-21) [2025-07-22]. https://cpnn.com.cn/news/dianli2023/202507/t20250718_1817509.html.
- [13] 天津国投津能发电有限公司. “节”尽所“能”国投北疆“三改联动”工作完成 [EB/OL]. (2025-01-08) [2025-06-30]. <https://mp.weixin.qq.com/s/J7nPS8qaHPA7rn3tKP-gJ6A>.
- [14] 国网宁夏电力有限公司. 宁夏 - 湖南 ±800 千伏特高压直流输电工程双极低端送电 [EB/OL]. (2025-07-02) [2025-07-11]. http://www.nx.sgcc.com.cn/html/main/col9/2025-07/02/20250702152244851495286_1.html#here.
- [15] 中国广核集团有限公司. 低碳又经济! 国内首个全绿电供应虚拟电厂正式投运 [EB/OL]. (2024-07-19) [2024-11-24]. https://www.cgnpc.com.cn/cgn/c100944/2024-07/26/content_67990cdec319420f85bcf42306e71eb5.shtml.
- [16] 山东省人民政府. 全球最大压缩空气储能电站并网发电 [EB/OL]. (2024-05-01) [2024-11-24]. http://www.shandong.gov.cn/art/2024/5/1/art_97560_637098.html.
- [17] 中国海洋石油集团有限公司. 海上风电源源来 [EB/OL]. (2025-01-15) [2025-06-04]. https://www.cnooc.com.cn/zwsycstp/202501/t20250115_110983.html.
- [18] 中国三峡新能源(集团)股份有限公司. 三峡乌兰察布新一代电网友好型绿色电站成功收录为能源绿色低碳转型典型案例 [EB/OL]. (2024-02-26) [2024-11-24]. <https://mp.weixin.qq.com/s/ask4z89xArMeitbbRyexjw>.
- [19] 中国三峡新能源. 点赞! 库布齐中北部新能源基地“光伏+荒漠化治理”创新模式成全国典范 [EB/OL]. (2025-06-17) [2025-07-11]. <https://mp.weixin.qq.com/s/dk0n0OIFYGilMHcyUrhIkQ>.
- [20] 厦门火炬新源电力科技有限公司. 上榜! 数字能源优秀案例 [EB/OL]. (2025-04-19) [2025-07-11]. <https://mp.weixin.qq.com/s/w-snnWilrtKOUJYy5D52pg>.



自然资源保护协会 (NRDC)
中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706
邮编: 100026
电话: 010-5332-1910
www.nrdc.cn