DOI 10.15302/J-SSCAE-2026.06.008

我国新型能源产业体系安全发展战略框架研究

孙旭东[1*]，焦雅琦[1]，崔鑫颖[1]，张博[2]，彭苏萍[3]

（1. 中国矿业大学（北京）管理学院，北京 100083；2. 厦门大学管理学院，福建厦门 361005；
3. 煤炭精细勘探与智能开发全国重点实验室，北京 100083）

摘要：在能源转型与“双碳”目标驱动下，我国以风、光发展为主的新型能源产业体系建设方向已基本形成。开展我国新型能源产业体系安全发展研究，可系统性应对高比例新能源接入带来的多维度复合风险，对推进我国新型能源体系建设具有重要支撑作用。本文系统分析了我国新型能源产业体系的发展特征与安全形势，辨识了我国新型能源产业体系安全建设在供应链韧性、核心技术自主性、标准体系建设、治理机制等方面存在的问题；在此基础上构建了以“柔韧协同”为核心的新型能源产业体系安全发展战略框架，明确了分阶段推进的战略目标，部署了产业链安全、技术自主、电力系统韧性、数智化监管等重点任务以及中长期工程科技支撑项目，并从战略统筹、“四链”融合、数智赋能等维度提出对策建议，可为构建安全、韧性、高效的新型能源体系提供理论参考与决策支撑。

关键词：新型能源体系；产业体系；能源安全；新型电力系统

中图分类号：F426.2　　**文献标识码：**A

Strategic Framework for Secure Development of China’s New Energy Industry System

Sun Xudong[1*], Jiao Yaqi[1], Cui Xinying[1], Zhang Bo[2], Peng Suping[3]

(1. School of Management, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 2. School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; 3. State Key Laboratory for Fine Exploration and Intelligent Development of Coal Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Driven by energy transition as well as the carbon peaking and carbon neutralization goals, China has basically established the pathway for developing a new energy industry system dominated by wind and solar power. Conducting research on the secure development of China’s new energy industry system can help address the multidimensional and complex risks posed by the integration of a high proportion of renewable energy sources, thus providing crucial support for advancing the construction of this new energy system. This study analyzes the development characteristics and security landscape of China’s new energy industry system, and identifies challenges it faces in areas such as supply chain resilience, core technology independence, standardization systems, and governance mechanisms. Based on this, a strategic framework for the secure development of the new energy industry system, centered around resilience–flexibility synergy, is proposed. The study then clarifies strategic objectives for phased implementation, and outlines key tasks regarding industrial chain security, technological self-reliance, power system resilience, and digital-intelligent regulation, along with mid- to long-term engineering and technological support projects. Furthermore, the study offers policy recommendations from perspectives such as strategic coordination, deep integration of four chains (i.e., innovation, industry, capital, and talent chains), and digital-intelligent empowerment, thereby providing theoretical insights and decision-making support for building a secure, resilient, and efficient new energy system.

Keywords: new energy system; industrial system; energy security; new power system

收稿日期：2026-06-04；**修回日期：**2026-07-01

通讯作者：*孙旭东，中国矿业大学（北京）管理学院副教授，研究方向为能源经济与战略管理；E-mail: sunxudong@cumtb.edu.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“提升新兴产业体系安全的若干重大问题研究”(2025-PP-11)

本刊网址：sscae.engineering.org.cn

一、前言

能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题。当前，地区冲突加剧全球能源格局深度调整，清洁低碳转型加速推进，绿色低碳能源已成为大国博弈的重要领域[1-2]。随着风电、光伏等新能源的大规模应用，我国电力装机结构正发生根本性转变。2025年，我国可再生能源发电装机占总装机的比重已接近60%[3]。当前，“能耗双控”向“碳排放双控”转变，同时全国能源工作会议明确将强化能源安全风险防控列为重点任务，标志着我国能源产业迈入绿色低碳规模化发展[4]与安全风险防控并重的新阶段。

能源产业体系是支撑能源产业发展的基础与运行载体。在当前新的国际形势下，保障能源产业体系安全已成为首要原则，加快构建清洁低碳、安全高效的新型能源体系，是现阶段我国能源发展的核心方向。本文所研究的新型能源产业体系，以风电、光伏、氢能、新型储能等能源新技术为核心支撑，以新型电力系统与新兴能源利用模式为发展方向，通过融合人工智能（AI）与数字化技术发展形成，是推动我国能源实现高质量发展的全新产业形态[5]。这一产业形态诞生于新能源高比例发展的时代背景，其完整产业体系涵盖从规模化开发到稳定消纳、从能源供给到终端利用、从产业规模扩张到安全稳定运行的全链条，是支撑我国新型能源体系建设的重要基础。

在能源结构发生根本性转变的背景下，我国能源体系由以化石能源为主导的确定性供给，逐步转向以风电、光伏等不确定性电源为主体的复杂系统运行模式，这导致我国新型能源产业体系面临前所未有的现实安全挑战。一方面，高比例新能源并网导致电力系统出力波动性显著提升、系统调节压力增大，同时面临关键资源约束凸显、新型基础设施适配性不足等问题；另一方面，储能电站热失控、能源网络遭受网络攻击等新型安全风险事件频发，且关键核心技术与产业链供应链易受国际地缘政治博弈的外部制约[6]。各类新型风险相互交织与传导，使传统能源安全治理模式面临显著的适应性挑战。从现有研究进展来看，能源安全的概念已从传统单一的资源供给保障，逐步拓展为覆盖可获得性、可负担性、可接受性与系统稳定性4个维度的综合性概念[7]。在全球能源转型的宏观背景下，相关韧性与复杂系统理论为理解高比例新能源接入下的风险传导、动态适应与协同治理提供了重要启示[8-9]。与此同时，高比例新能源的大规模接入使能源安全的保障愈发依赖于源、网、荷、储各环节，以及产业链、基础设施与政策体系之间的协同适配[10-12]。因此，新型能源产业体系安全已不再局限于单一环节的供给安全问题，而是由能源技术体系、供给体系与治理体系共同作用形成的复合型系统安全问题。得益于“四个革命、一个合作”能源安全新战略的深入实施与碳达峰、碳中和目标的驱动，新型能源产业体系安全的学术研究热度持续攀升[13]。在产业安全宏观研究方面，围绕传统能源安全、能源强国建设、新型能源体系构建、关键矿产资源供应链韧性等方面的研究较为丰富[14-15]；在技术与装备层面，现有研究较多关注电化学储能设施、氢能“制储运”装备、智能微电网等具体产品或装备的安全规范标准与故障诊断机制[16-17]。现有研究已为新型能源产业体系发展提供了前瞻性判断与技术支撑，但在应对系统性风险的战略目标、任务与实施路径方面，研究仍不够系统充分，尤其是针对高比例新能源并网运行、全球能源格局变动等背景下新型能源产业体系的风险防范问题，仍亟待开展系统性研究。

本文立足于以风光为主的新能源装机已成为我国第一大电源的新格局，聚焦新能源比例提升背景下的新型能源产业体系安全，以新型能源产业体系发展现状与安全形势为切入点，系统分析我国新型能源产业体系建设面临的安全问题，进而提出我国新型能源产业体系安全发展的战略框架、阶段目标与重点任务，并给出针对性发展建议，旨在为构建安全高效的新型能源体系提供理论参考与决策依据。

二、新能源比例提升形势下我国新型能源产业体系的发展特征与安全形势

（一）我国新型能源产业体系的发展特征

1. 多能协同的能源供给体系正加速构建

我国正在加快构建以风光为主的多能协同供给体系，单一能源开发模式逐步向多源互补转型。2024年，全国新能源累计装机达到1.41×10^{9} kW，

占总装机的比重超过42%，历史性取代煤电成为第一大电源。风光大基地建设进入“快车道”，库布其、松辽等大型基地实现跨省区调配，2025年累计并网规模超4×10^8 kW。同时，“源网荷储”一体化项目在20余个省份规模化落地，如青海柴达木盆地建成的千万千瓦级“风光储”一体化基地，通过储能平抑波动，使风光出力稳定性提升30%以上[18-19]。分布式光伏在用户侧快速发展，2025年，全国分布式光伏新增1.53×10^8 kW，约占当年光伏新增装机的48.3%；截至2025年12月，全国分布式光伏装机容量达到5.3×10^8 kW，约占光伏累计装机的44.2%，推动新能源供给形成集中式与分布式并举的格局。“十四五”时期，新能源新增装机占比达80%，多能互补的供给网络体系已初具规模。

2. 产业链全环节核心技术与装备自主可控能力显著增强

面对全球新能源技术的加速迭代，我国全面提升了“供–储–输–用”全产业链条的自主创新与安全保障能力，多项新能源技术和装备制造水平“领跑”全球，相关专利数量占全球40%以上[20]。在供给环节，截至2025年，风电并网装机容量连续15年保持世界第一，海上风电装备由规模扩张迈向高端化与深远海开发，新一代大容量机组和漂浮式基础技术实现全球领先；光伏领域的晶硅电池转换效率不断逼近理论极限，N型隧穿氧化层钝化接触电池（TOPCon）、钙钛矿/晶硅叠层电池效率屡破世界纪录，发电成本大幅下降，柔性薄膜技术“领跑”全球，推动光伏产业打破传统低端技术竞争的困局。在储能环节，新型储能实现爆发式增长，规模跃居世界第一，为电网安全稳定运行提供了关键支撑[21]。在输送环节，我国依托特高压直流与柔性输电技术突破，持续提升远距离、大容量输电和灵活组网能力，逐步实现从技术“跟跑”到标准引领的跨越，推动能源基础设施安全韧性显著增强。

3. 新能源终端消费市场拓展与消纳机制日趋完善

我国新能源消费市场正在加速培育，终端应用场景多元化与消纳机制市场化同步推进。工业、建筑及交通领域的电能替代成效显著，新能源汽车产销量与渗透率持续“领跑”全球，并在钢铁、化工行业衍生出绿电制氢、绿电制氨等新型消纳形态。全国统一电力市场体系与绿电绿证交易网络逐步成型，2024年以来我国实现绿证对可再生能源项目的全面覆盖，绿电交易规模实现跨越式增长，有效兑现了绿色环境溢价[22-23]。此外，为适应高比例新能源消纳的微电网、虚拟电厂（VPP）及需求侧响应等新型商业模式，已在上海、广东、江苏、浙江及山西等多个省份开展商业化示范运营，如深圳市建成国内首个“网地一体”VPP管理中心并接入规模化可调节负荷。“源荷互动”的弹性消费市场正在成为破解新能源消纳难题的重要引擎。

4. 新能源产业发展的体制机制不断完善

我国新能源产业发展的体制机制正围绕安全、高效、绿色低碳目标持续完善，政策支撑重点已从单纯鼓励新能源规模扩张，逐步转向促进高比例新能源消纳、新型电力系统建设及绿色价值实现。2025年，《中华人民共和国能源法》正式实施后，绿色能源消费促进制度、可再生能源绿色电力证书制度等逐步纳入法治化轨道，为新能源产业发展提供了基础制度保障[24]。围绕新型电力系统建设，《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》等政策持续推进，不断强化新能源并网消纳能力、“源网荷储”协同水平及电力系统稳定支撑能力。与此同时，国家先后出台新能源消纳、分布式光伏开发建设等专项政策，推动配套电网建设提速、并网接入流程简化及分布式新能源规范发展。在市场机制层面，新能源上网电价市场化改革正加速推进，绿电交易、绿证核发与交易机制及辅助服务市场持续完善，有效促进了新能源电量消纳、绿色价值实现与灵活调节资源的优化配置。总体来看，我国新能源产业的体制机制正从政策扶持逐步转向法治保障、市场驱动与协同监管相结合的模式，为新型能源产业体系的高质量安全发展筑牢了制度根基。

5. 新能源产业国际合作与全球治理参与度全面提升

我国新能源产业国际化布局正经历从“产品出海”向“产业链共建与标准引领”的深度转型。2025年，我国光伏组件出口量约为267.6 GW，风电机组产量占全球2/3以上，铸锻件及关键零部件产量占全球70%以上；相关企业在中东、东南亚等地区相继建成多个海外生产与研发基地，大幅降低了全球新能源应用成本[25]。在规则制定层面，我国绿证体系的国际认可度不断提升，由国家电网有限

公司等中方机构牵头立项的IEC国际标准已超过100项。通过在G20、联合国等多边机制中深度参与全球能源治理，我国正逐渐从全球能源贸易的参与者，转变为全球能源转型规则的制定者与产业链供应链安全的稳定器。

（二）我国新型能源产业体系面临的安全形势

1. 资源供给外部风险向产业链供应链传导

从全球能源资源格局看，国际能源资源竞争的加剧与地缘政治格局的变化，导致我国能源供给来源的不确定性有所上升。传统油气资源进口受国际市场波动、区域冲突及资源国政策调整等因素影响，能源供给稳定性面临外部冲击。与此同时，新能源产业的快速发展进一步推高了对锂、钴、镍、稀土等关键矿产资源的需求，而相关资源在全球分布、加工能力和贸易流向方面具有较强集中性，易受出口管制、贸易摩擦与国际价格波动的影响。与传统能源安全相比，当前的资源供给安全已不再局限于一次能源本身，而是进一步延伸至储能电池、光伏组件、风电装备、氢能装备等新能源产业链的关键环节。一旦资源供给来源发生波动，其影响可能通过原材料价格、关键部件供应及装备制造成本等渠道传导至产业链与供应链，进而影响新型能源产业体系的稳定运行。

2. 跨境通道与贸易环境外部扰动增强

从运输通道与国际贸易环境视角来看，能源安全不仅取决于资源供给是否充足，更取决于资源能否稳定、安全且低成本地进入国内产业体系。我国部分油气资源及关键矿产资源仍需依赖国际市场，海上运输通道安全、跨境运输稳定性以及国际贸易规则变动，均会对能源供应安全产生显著影响。当前，地区冲突、贸易保护主义、绿色贸易壁垒与关键资源出口限制等外部因素相互交织，进一步加剧了能源运输与资源贸易面临的不确定性。例如，2026年美伊冲突升级引发霍尔木兹海峡通航风险上升，愈发凸显出关键海上通道安全对国际油气供应及全球能源价格稳定的重要性。对于能源产业而言，运输通道风险不仅会影响传统油气供应，还可能干扰关键矿产、基础材料及核心零部件的跨境流动，进而推高新能源项目建设、装备制造及系统运行成本。由此可见，在新能源占比持续提升的背景下，运输通道与国际贸易环境风险已成为影响我国能源稳定供应及产业链安全的重要外部变量。

3. 极端气候扰动对能源基础设施冲击增强

新能源“看天吃饭”的特性加剧了电力保供的脆弱性[26]。在气候变化背景下，高温、干旱、台风、雨雪冰冻、沙尘暴等灾害事件呈现频率上升、强度增强、影响范围扩大的趋势，持续冲击新型能源基础设施运行与电力系统安全保供。风电、光伏等新能源出力对天气具有较强依赖性，当极端天气与新能源出力波动、用电负荷攀升等因素叠加时，易放大区域电力供需矛盾[27]。例如，2024年年初，我国中东部遭遇大范围雨雪冰冻天气，多地风机覆冰停机、光伏组件被积雪覆盖，致使新能源出力下降叠加取暖负荷增加，对区域电网保供形成较大压力。此外，“沙戈荒”风光基地常年受强沙尘与极端温差侵袭，电气设备故障率较高[28]；海上风电设施则频繁面临台风、盐雾与海洋腐蚀的威胁。随着新能源逐步从补充电源向主体电源转变，极端气象与高比例新能源的耦合风险将持续放大，对能源基础设施运行安全和电力系统保供能力提出了更高要求。

4. 数智化运行风险向能源物理系统传导

2024年以来，国家密集出台“AI+”行动及能源数智化转型指导意见，推动AI智能调度、VPP等技术加速规模化应用，但也使安全威胁向物理与信息系统深度交织蔓延。AI算法“黑箱”、数据污染等新型数字风险尚未纳入传统防御框架，暴露出海量智能终端并网的网络脆弱性。近年来，全球多地网络攻击事件频发，如2021年，美国“Colonial Pipeline”输油管道遭遇网络攻击，导致美国东海岸燃油供应一度中断；2025年，欧洲多国能源网络面临持续性网络攻击威胁；2025年年底，波兰电网约30个能源设施的通信与控制系统遭入侵。对于新能源高比例发展背景下的新型能源产业体系而言，数智化运行风险的影响更加复杂。一方面，分布式光伏、VPP、用户侧储能等资源大量接入，使能源系统运行主体更加多元，调度控制链条更加复杂；另一方面，AI大模型深度参与能源调度、亿级泛在节点接入能源系统[29-30]，使数据安全、算法安全和控制安全对电力系统稳定运行的影响更加突出。一旦网络攻击或数据异常影响VPP聚合控制、储能充放电行为、分布式能源并网运行和电网调度决策，就可能会对能源电力系统的安全稳定造成连锁冲击。

三、我国新型能源产业体系安全建设面临的问题

（一）产业链供应链抗风险韧性亟待系统性提升

新型能源产业体系链条长、环节多，覆盖上游资源供给与技术研发、中游装备制造与系统集成、下游并网消纳、市场应用及回收利用等全流程环节。当前，我国能源产业链、供应链虽已形成显著规模优势，但上下游协同仍显不足，抗风险韧性有待进一步提升。在上游环节，我国能源产业仍面临传统油气资源对外依存度较高与新能源关键矿产供应集中并存的双重约束，锂资源的对外依存度达60%，钴资源的对外依存度超90%，镍资源的对外依存度达91%[31]；资源提炼加工环节的全球布局易受地缘政治冲突与贸易管制措施的冲击。在中游环节，光伏、风电、储能、氢能等装备制造能力持续增强，但产业链高端化水平、成套化能力及自主配套程度仍不均衡，部分关键工艺、控制系统与工程化适配能力存在短板，可能影响复杂装备制造的连续性与系统集成的稳定性。在下游环节，新能源并网消纳、跨区域输送、储能配置、终端应用及退役回收等方面协同不足，“三北”地区新能源富集与负荷中心需求间的空间错配问题依然突出[32]。总体而言，上游资源约束及对外依存度高、中游配套能力不均衡以及下游消纳应用压力相互叠加，削弱了新型能源体系产业链供应链的整体抗风险能力。

（二）新能源应用关键技术自主支撑能力仍有待提升

我国新型能源基础设施加速演进，但基础支撑技术的自主可控体系尚不成熟。新能源应用并非简单的传统基础设施升级，当前我国针对新能源基础装备及其能源应用领域安全风险机理、应急保障管理等基础共性研究方向的投入仍存在不足。例如，设备全生命周期的安全预测与故障演化机理认识不清；高精度传感器、质子交换膜及底层能源工业软件等关键零部件与基础材料研究仍存在短板。此外，各类单一技术的安全研发力量较为分散，缺乏跨领域的长期联合攻关；同时，实验室基础理论研究向规模化产业应用的转化链路存在不通畅问题，导致重大技术创新成果尚不足以满足系统性安全风险防控需求。

（三）安全防护与基础设施标准体系建设滞后

储能站、加氢站、综合能源站等新型基础设施的安全标准体系建设滞后于技术迭代速度。随着相关能源领域的新技术、新产品的大量涌现，相关设备的检测认证评价、建站验收以及后期运维等涉及的标准研究制定仍处于起步阶段。例如，大容量固态储氢、液流电池等新型储能技术的安全阈值与退役回收规范存在明显的监管空白。同时，“沙戈荒”大型风光基地面临极端环境、电网末端、专业应急救援队伍匮乏等多重客观限制，高比例新能源并网对系统抗灾韧性的要求与现有基础设施的防护标准不匹配，致使潜在的安全隐患更显多维度、多场景。

（四）市场机制衔接与区域资源配置能力不足

当前，绿证、碳市场与全国统一电力市场建设虽已取得积极进展，但其对能源安全的支撑作用仍受制度衔接不足的制约。省间交易壁垒、地方消纳责任差异及跨区输电成本分摊机制不完善，导致资源富集地区新能源外送受限、负荷中心绿色电力获取成本偏高，进而影响电力系统整体保供效率。另外，新能源上网电价、辅助服务补偿、容量保障与绿证收益之间尚未形成稳定联动机制，特别是现有电力系统对灵活调节资源成本回收能力不足，储能、VPP、需求响应等安全支撑资源难以获得长期稳定收益。绿证、碳市场与电力市场的协同管理缺失，将导致绿色价值难以有效转化为电力系统调节能力与安全保障能力，长期来看会对高比例新能源发展场景下的能源安全形成实质性制约。

（五）安全监管制度与跨主体协同治理机制滞后

新型能源业态参与主体多元，安全风险正从单一设备或场站向跨主体、跨环节、跨系统传导。传统能源项目的建设、运行、交易与调度边界相对清晰，而在新型能源产业体系中，投资主体、运营主体、设备供应商、聚合商、电网企业及用户侧主体共同参与系统运行，安全责任关系更为复杂。现行监管体系仍以部门分工和单项业务管理为主，在项目审批、并网接入、运行监测、事故处置及责任追溯等环节存在协同不足问题，部分领域执行尺度与监管要求尚不统一。与此同时，海量分布式终端接入、能源数据高频交互及AI参与调度，使传统现

场监管方式难以全面适配新型能源系统的运行安全需求。当前，亟需建立面向分布式能源与综合能源服务的动态监管机制，完善跨部门、跨主体、跨区域的安全风险协同防控，并进一步明确社会资本参与分布式能源开发运营的全生命周期责任边界、数据安全要求及规范退出机制。

四、我国新型能源产业体系安全发展战略框架构建

（一）总体框架

为适配未来高比例新能源跨越式发展的现实需求，应对极端气象条件与复杂系统演化叠加产生的不确定性风险，提升新型能源产业体系全生命周期的安全健康发展水平，本研究构建了新型能源产业体系安全发展战略框架（见图1）。该战略框架构建的总体思路为，以“柔韧协同”为核心发展主线，一方面，强化基础供给能力与关键环节的安全保障水平，筑牢能源系统稳定运行的物理基础，打造能源供给的韧性安全；另一方面，提升产业体系各类要素的协同调节能力，增强能源链条各主体对能源输出波动性与外部环境不确定性的适应能力，形成灵活响应、快速恢复的弹性机制。本研究提出的战略框架旨在推动构建“高韧性安全底座、高柔性敏捷生态”协同运行的新型能源产业体系，实现新型能源产业体系发展安全性与运行效率的动态平衡优化。

新型能源产业体系安全战略框架需重点构建韧性与柔性两类核心能力。一方面，提升新型能源产业体系的韧性安全，强化新型能源产业体系的安全承载能力，重点围绕供应链资源保障、产业链稳定性提升、关键技术自主可控、电力系统安全运行及基础设施防护强化等维度，筑牢产业安全底座。另一方面，新型能源产业体系的柔性安全聚焦体系的动态适应能力，其核心是依托多能互补、“源网荷储”协同、灵活调节机制、市场联动模式及数智化调度手段，强化产业体系对新能源出力波动、负荷变化及区域供需错配的响应

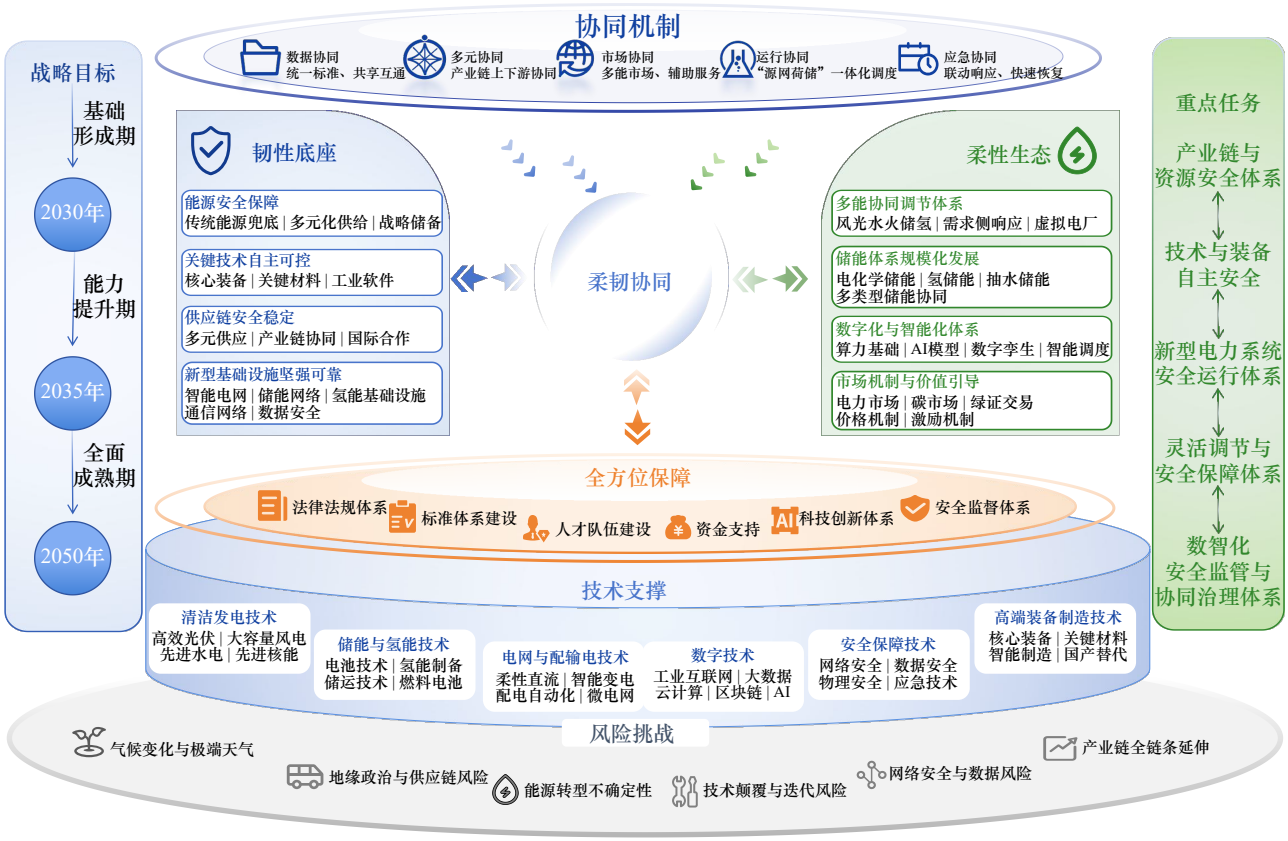

图1　新型能源产业体系安全发展战略框架

效能，提升产业治理的精准化与数智化水平。同时，二者具有相互支撑的内在关联：若缺乏韧性支撑，柔性调节易突破安全边界；若缺少柔性治理，韧性建设的及时响应效能与阈值边界将受到约束限制。因此，“柔韧协同”的本质是在稳固安全底座的基础上，提升系统适应性。在提升供应链资源安全韧性的同时，可为全链条资源要素调配提供基础条件；高比例新能源接入下，新型电力系统的韧性保障需要依托多能源系统的弹性协同来实现。数智化安全敏捷管理也将持续赋能产业安全韧性建设。综上，依托“柔韧协同”的动态调节机制，可有效强化新型能源产业体系对各类安全风险的抵御与应对能力，推动我国新型能源产业体系安全范式向覆盖全链条、统筹多元主体、衔接跨区域的系统安全转型。

（二）战略目标

1.“十五五”时期：新型能源产业体系安全基础能力形成阶段

到2030年，传统能源清洁低碳转型稳妥推进，全国非化石能源消费比重达到25%左右，非化石能源发电占比达到50%左右。重点优化晋陕蒙新煤炭主产区产能布局，统筹推进化石能源生产基地开发建设。加快推进煤炭产能储备、煤炭资源储备制度建设与油气战略保障基地建设，力争形成规模约1×10^8 t/a的煤炭产能储备。存量煤电机组灵活性改造基本完成，发挥其在新能源大规模接入初期的基础供应与兜底保障作用。

新能源装备及关键产业链技术装备基本实现自主可控，能源科技创新水平进入国际先进行列，能源领域首台（套）重大技术装备工程示范落地成果超过100个。关键矿产资源保障能力显著提升，实现国内锂资源自给率突破50%、废旧动力电池规范化回收利用体系基本建成，建立覆盖全链条的供应链风险分级预警机制。

新型电力系统与综合调节能力初步具备协同基础。区域级新能源系统故障隔离与恢复时间缩短至秒级。需求侧响应能力明显增强，省级电网基本具备5%以上的尖峰负荷响应能力，电源和储能调节能力较2025年增长40%以上，初步形成标准统一、“源网荷储”互联互通的综合能源协同管控平台。

2. 2031—2035年：新型能源产业体系安全能力提升阶段

到2035年，全面支撑风电和太阳能发电总装机容量跃升至3.6×10^9 kW左右，非化石能源消费比重达到30%以上。煤炭与火电产业基本完成由电量供应向电力支撑、容量保障及应急备用功能的转变。

新能源产业链、供应链实现高水平安全与国际领先，战略性矿产资源储备体系更加完善，重点矿种储备调节和应急保障能力显著增强；资源总循环利用率达到60%，形成原生资源与再生资源并重的供应格局。下一代光伏、固态电池、氢能储运等前沿技术实现产业化突破，建成自主可控的能源工业软件体系，能源技术装备出口占全球市场份额持续提升，主导制定国际标准数量进入全球前列，掌握核心关键领域国际标准制定话语权。

能源系统调度与治理水平全面提升。全面应用数字孪生与AI协同调度技术，使复杂业态下安全风险动态预警准确率超过98%。建成并应用智慧化、多能融合“物理–信息–管理”一体化的全景决策大模型平台，广泛推广长时储能与车网互动（V2G）等新型调节技术，实现海量新能源并网下的敏捷响应与可靠运行。

3. 2036—2050年：新型能源产业体系安全发展全面成熟阶段

到2050年，非化石能源将成为我国能源消费主体，高水平安全的新型能源产业体系全面建成。传统化石能源消费比重显著下降，煤炭、石油、天然气产能储备与资源储备协同支撑的战略兜底能力基本形成；化石能源消费环节的碳捕集、利用与封存（CCUS）应用规模稳步扩大。风电、光伏等新能源全面成为电力系统主体电源，新能源发电产业进入成熟应用阶段，关键资源实现全链条循环闭环，产业链与供应链应对外部冲击的风险显著降低。

新型电力系统与能源网络实现高度智能化、自主化及韧性化运行。依托数字孪生、AI、能源互联网及新型调度控制技术，系统对传统转动惯量的依赖显著降低，海量异构能源资产具备快速感知、主动预警、协同调度及故障自恢复能力，能够以合理经济成本有效应对极端自然灾害、国际资源扰动、网络攻击及突发公共事件等多重风险。

（三）重点任务

1. 构建安全可控的产业链与资源供应体系

围绕能源产业链上游资源约束与供应链脆弱性问题，构建多元化、可替代的资源保障体系。完善锂、钴、镍等关键矿产资源的战略储备与全球供应网络布局，提升资源获取的稳定性与抗地缘风险能力。加快推进废旧动力电池、光伏组件及风电设备的循环利用体系建设，推动关键资源回收利用向规模化、规范化方向发展，提升资源循环利用效率和产业绿色低碳发展水平，降低对外依赖风险。强化产业链关键环节的风险监测与预警机制，提升供应链在极端冲击下的恢复能力与自适应能力，夯实新型能源产业体系的安全运行基础。

2. 提升能源全产业链核心技术与关键装备的自主安全能力

针对能源产业关键核心技术“卡脖子”问题，系统提升关键装备与基础共性技术的自主可控水平。重点突破高端功率半导体、能源工业软件、高精度传感器及储能安全关键技术，构建安全可靠的技术支撑体系。依托国家级科研平台与行业领军企业，集中开展大容量储能热失控机理、氢能安全控制及新型电力系统稳定运行等基础研究，提升对复杂系统风险的认知与预测能力。完善技术从研发到工程化应用的安全验证体系，强化全生命周期安全评估，推动技术创新与安全防控协同发展。此外，注重前瞻布局推进下一代能源技术及底层软硬件领域的研发攻关。在此基础上，本研究进一步从系统演进视角，统筹关键技术发展路径与能源安全能力提升之间的内在关系，提出了面向2030年、2035年和2050年3个阶段的能源技术发展路线图（见图2）。

3. 构建适应高比例新能源的绿色新型电力系统安全运行体系

围绕高比例新能源接入带来的系统性风险，构建“源网荷储”协同运行的新型电力系统安全体系。优化电源结构与调节资源配置，强化输电通道与负荷中心之间的安全匹配，提升系统整体抗扰动能力。加快智能电网、微电网及VPP建设，推动多

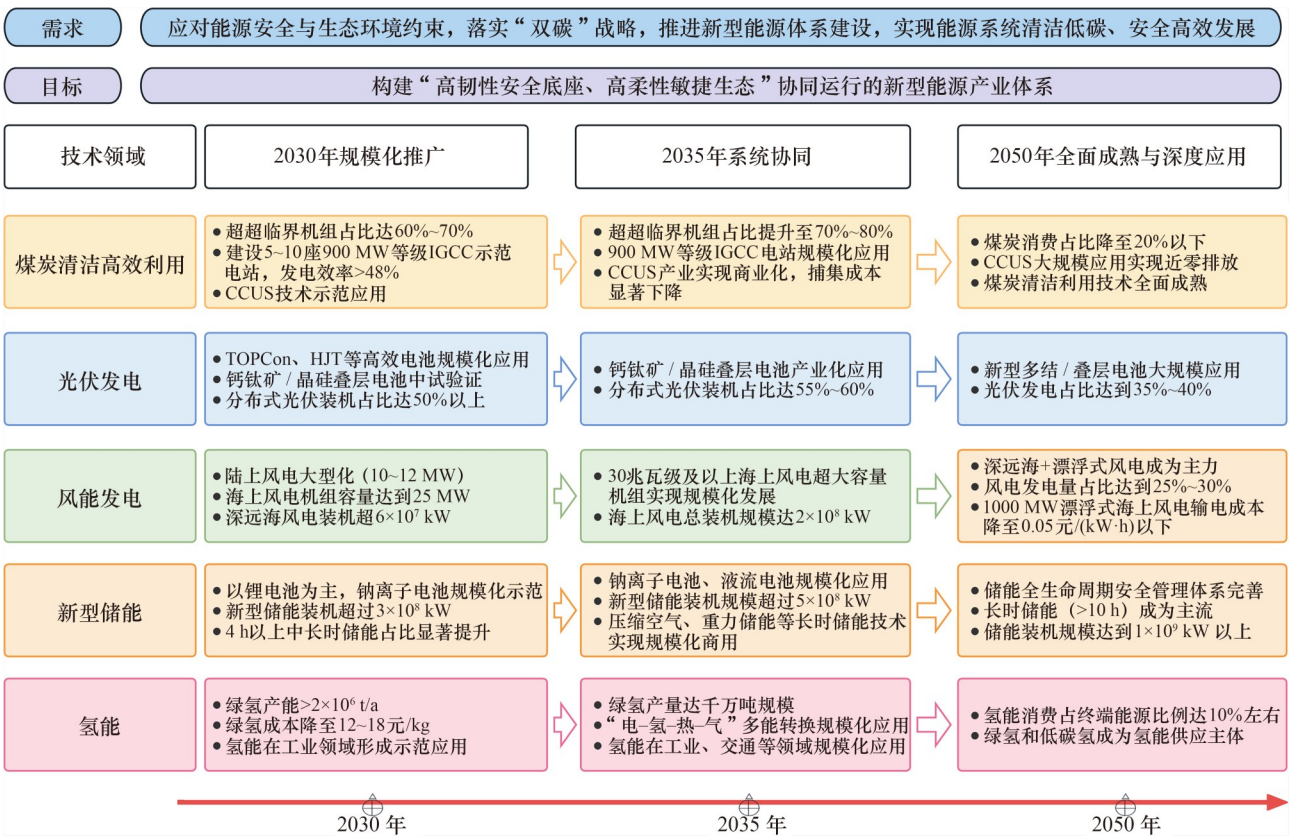

图2　面向2050年的能源技术发展路线图

注：IGCC表示整体煤气化联合循环发电技术；HJT表示异质结电池技术。

层级电网协同运行，增强对分布式新能源的接纳与调控能力。统筹发展抽水蓄能与新型储能，提升系统调峰、调频与应急支撑能力。推动新能源基地开发与调节性电源、跨区输电通道协同布局，促进新能源就地消纳与远距离外送能力同步提升。针对极端气象与突发事件，完善电网抗灾设防标准与应急响应机制，提高系统在极端工况下的恢复能力与韧性水平。

4. 构建能源系统灵活调节与安全保障机制

推动韧性安全保障体系与柔性调节体系的深度融合，在传统能源体系中引入灵活调节能力，全面实施煤电机组灵活性及智能化升级改造，提升煤电等火电电源的快速响应与深度调峰能力，强化极端情景下的安全兜底功能。在新能源主导的柔性调节体系中嵌入安全约束机制，强化“源网荷储”协同运行过程中的安全边界控制，防范系统失稳与连锁故障风险。推动多能互补与跨系统协同运行，提升能源系统在不确定条件下的动态平衡能力，实现安全性与效率的协同优化。

5. 健全跨域融合的数智化安全监管与协同治理体系

适应能源系统数智化与多主体协同发展趋势，构建跨部门、跨领域的综合安全监管体系。推动数字孪生、AI与区块链技术在能源安全领域的应用，实现对系统运行状态的实时感知与风险预警。强化网络安全与数据安全防护能力，防范智能调度系统与分布式终端面临的网络攻击风险。建立覆盖设备全生命周期的安全追溯与责任界定机制，提升监管的协同效率。理顺市场机制与安全调控体系的协同关系，构建极端情景下可快速响应的应急调节机制，完善分层级、分领域的应急预案，全面提升能源系统的整体安全治理能力。

（四）中长期工程科技支撑项目

面向我国新型能源产业体系安全的现实基础与中长期战略需求，依据行业专家学者的综合研判，提出了中长期新型能源产业体系安全工程科技支撑项目（见表1）。实施该系列工程科技项目，旨在深化能源新技术应用与安全保障研究，攻关关键材料替代、柔性调度控制、安全监测预警及网络防御等方向的瓶颈技术，为全面构建具备“柔韧协同”特征的新型能源产业体系提供技术支撑和战略保障。

五、推动我国新型能源产业体系安全发展的对策建议

（一）规划引领，完善新型能源产业体系安全协同发展的战略框架

依托科学规划、合理布局与政策引导，以构建清洁低碳、安全高效的新型能源体系为导向，形成以风光能源为主导、电能为核心的多能互补能源发展格局，持续推进煤炭清洁高效转化利用，全面落实清洁替代与电能替代，适应新型电力系统建设需求，为碳达峰、碳中和目标的实现提供坚实支撑。充分发挥各级战略规划的引领作用，在保障能源安全的基础上推进新型能源产业体系发展，激活不同能源品种的优势互补效应，实现能源结构的优化配置与安全高效利用。破除传统能源市场壁垒，推动化石能源与可再生能源、风光能源与其他新能源深度融合，构建优势互补、错位发展、多元协同的能源供应体系，推进其与精细化、数字化能源消费场景协同衔接，稳步建成全国统一电力市场，充分发挥绿证、碳排放配额、国家核证自愿减排量（CCER）等绿色价值和碳市场工具的市场调节功能。

进一步强化安全在能源发展中的基础性地位，建立健全覆盖规划编制、运行监管、技术标准与应急处置的综合性能源安全治理框架。编制多维度安全韧性能源体系建设专项规划，明确关键基础设施保护、供应链风险预警、网络安全防护等跨领域战略目标；完善能源安全监管体系，推动建立跨部门协同机制，统一安全技术标准与应急响应流程，提升系统性风险防范能力；构建支撑能源安全技术研发与推广应用的政策体系，全面提升新型能源产业体系的韧性与安全水平。

建立健全社会资本参与能源开发的安全责任制度，加快规范社会资本的准入资质管理与开发全流程监管，建立优质社会资本名录库制度，实现动态安全评估与全国统一电力大市场的实时协同管理，建议建立风险保证金与安全责任清单双重保障机制，覆盖“准入–建设–并网–运行–退出”全流程，明确投资主体、设备供应商、运维单位、电网企业及各参与主体责任的全生命周期责任制度。

表1　中长期新型能源产业体系安全工程科技支撑项目

项目名称	核心内容
煤炭保供与高效清洁利用技术研究	智能无人开采技术（综采设备的精准定位与导航技术）、煤矿智能快速掘进关键技术
	生物质掺烧、掺氨燃烧、富氧燃烧技术
	燃煤发电与光热发电耦合技术
	煤炭绿色开采与生态修复技术
风能资源开发与安全运行技术研究	高空风能监测、预测与开发利用技术
	海上风电基础结构与施工安装技术
太阳能光伏高效利用与系统集成技术研究	TOPCon、HJT、叉指背接触（IBC）电池、钙钛矿等高效光伏电池技术
	光伏组件高效封装与系统集成技术（分布式光伏、集中式光伏和海上光伏系统集成技术）
	光热转换发电技术、超临界CO_2布雷顿循环光热发电技术
	熔盐储热技术
	海上光伏施工与基础技术
新型储能规模化应用与全生命周期安全技术研究	锂离子电池、钠离子电池、液流电池、压缩空气储能等规模化应用技术
	长时储能系统（≥8 h）集成与容量配置方法
	储能电站热管理、消防与安全防护技术
	电池状态估计、健康评估与故障预警技术
	储能电站数字化运维平台
	退役电池梯次利用与回收处理技术
氢能及燃料电池发电技术研究	氢制燃料、氢／煤共燃、纯氢燃烧技术
	燃料电池与光伏／储能耦合技术
	氢能储运及分布式应用关键技术
高比例新能源接入下“源网荷储”协同支撑技术研究	需求侧响应与负荷管理技术
	VPP技术
	电力电子化与特高压柔性输电技术（电力电子变压器、高压直流输电、柔性交流输电系统）
	日前、日内、实时多时间尺度调度框架
能源系统数字化感知与智能运维技术研究	新能源场站多源数据采集技术
	设备状态感知、图像识别和故障诊断技术
	无人机智能巡检和智能传感监测等能源领域低空感知技术
	发电侧、电网侧、储能侧、负荷侧数据融合平台
	智能检修、备品备件管理与运维决策技术
极端环境下新能源基地安全运行技术研究	沙漠、戈壁、荒漠地区新能源基地建设技术
	海上、高寒、高海拔新能源装备运行技术
	风沙、盐雾、覆冰、低温、强腐蚀环境适应性技术
	大型新能源基地在线监测与智能运维技术
	极端天气灾害预警与应急恢复技术
新型能源产业体系安全评价与标准认证技术研究	能源产业链、供应链、技术链和数据链安全评价方法
	储能系统、氢能设施、电力电子装备和新能源场站检测认证技术
	新能源产业项目建设、运行、退役全过程安全监管与评价标准体系

（二）“四链”融合，筑牢新型能源产业体系安全发展的基础支撑

以创新链、产业链、人才链、资金链的深度融合为核心依托，紧扣新型能源产业体系安全发展的核心需求，从技术自主可控、供应链稳定、应急能力提升等关键维度发力构建能源安全保障体系。围绕能源产业安全短板，以创新链定向突破带动产业链安全升级，聚焦新型电力系统稳定性等方向，依托国家级科研平台设立专项攻关项目，联合产业链龙头企业、高校、科研院所组建创新联合体，重点突破电化学储能热失控防控、氢能储运安全保障等关键核心技术。针对矿产资源、高端装备进口依赖

问题，建立安全评估体系与产业风险预警机制，有效防控关键核心技术“卡脖子”风险，保障产业链供应链韧性与稳定性，强化技术研发，搭建从技术验证到规模化生产的全流程产业支撑体系，推动装备国产化，从源头化解产业链安全风险。

以人才链为创新链与产业链协同联动的重要纽带，围绕能源安全领域技术研发、风险管控、应急处置等需求，构建体系化的人才培养与保障机制。推动高校与能源企业深化产教融合，联合设置新型能源产业体系安全相关特色方向学科，完善理论教学、实验实训与现场实践相衔接的人才培养体系，依托企业资源建设专业化能源安全实训基地，定向培育具备跨领域能力的复合型安全技术人才。

进一步完善支持新型能源产业体系高质量发展的财税金融体系，优化资金投向与管理机制，构建适配新型能源产业体系的绿色金融支持机制。加大对新型能源产业体系领域的财税政策倾斜，完善针对关键矿产资源储备、安全技术研发、应急基础设施建设的专项补贴与税收优惠政策。设立专项研发基金，鼓励企业与科研院所联合攻关技术断点、堵点、卡点，推动技术国产化替代。

在国际合作方面，以“一带一路”为契机，深化与沿线国家在能源资源开发、加工、运输等领域的合作，共建能源供应链安全合作机制，降低地缘政治等因素对供应链的影响。在关键矿产资源上，要与南美、非洲资源国建立长期稳定的供应关系，同时加快新能源汽车电池回收利用技术研发，构建资源循环利用体系，保障资源供应链安全。

（三）数智赋能，提升新兴能源场景的全链条安全治理能力

明确将 AI 定位为构建新型能源产业体系、培育新质生产力的核心引擎，通过能源产业与数字技术融合发展推动我国能源产业基础高级化、产业链现代化。针对新型能源基础设施全链条安全监管滞后的问题，以数智技术为核心驱动力，加快构建覆盖应用基础设施与数字系统的现代化监管体系。建设新型能源应用基础设施安全标准化管理体系，从运营、产品质量及设备本质安全方面加强风险评估和安全管理的标准与认证体系建设。建成国家级新型能源应用基础设施大数据中心，依托数字孪生等技术规划建设安全监控与运行保障平台，构建大数据分析与决策能力支撑体系，形成全方位管控体系，定期开展数智化安全演练，提升应急处置的智能化水平。

同步深化新型能源产业体系的数据治理与算法监管。推动建立统一规范的能源数智化数据标准与交互协议，打破数据壁垒，支撑多主体协同安全预警。加快推进分布式能源项目数智监管能力建设，推动研发国产化、自主可控的数智化监管平台，将分布式能源项目的运行数据、主体责任、风险预警与事故处置信息纳入统一监管体系，构建可监测、可追溯、可问责的政府监管技术支撑体系。加强对电网调度、故障诊断等核心算法的合规性审查与透明度管理，建立算法备案与追溯的数智机制，防范因算法偏差引发的决策风险。

此外，创新数智化监管工具与手段，推广基于大数据的风险监测预警数智系统，建立覆盖全链条的安全绩效数智评估体系。健全安全事故数智化报告与调查制度，引入先进的数字化、智能化技术手段，实现事故信息的自动采集、智能分析、实时上报与全过程可追溯，构建典型事故案例知识图谱，建立案例数据间的语义关联与智能推理能力，推动 AI 技术在事故预防、应急响应、安全培训等场景的融合应用升级。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: June 4, 2026; **Revised date:** July 1, 2026

Corresponding author: Sun Xudong is an associate professor from School of Management, China University of Mining and Technology-Beijing. His major research fields include energy economics and strategic management. E-mail: sunxudong@cumtb.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on Several Major Issues for Enhancing the Security of Emerging Industrial Systems” (2025-PP-11)

参考文献

[1] 石勇，李尚华，吴菲，等. 大国博弈下中国能源领域科技竞争风险态势与应对策略[J]. 中国科学院院刊，2026，41（1）：31-40.
Shi Y，Li S H，Wu F，et al. Technology competition risk situation and response strategies in China’s energy sector under great power competition[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2026，41（1）：31-40.

[2] 李昕蕾，王洪超. 全球能源转型下氢能地缘政治博弈与中国应对[J]. 亚太经济，2025（5）：17-35.
Li X L，Wang H C. Geopolitical game of hydrogen under global energy transition and China’s response[J]. Asia-pacific Eco-

nomic Review，2025(5)：17-35.

[3] 王永中，万军，陈震. 能源转型背景下关键矿产博弈与中国供应安全[J]. 国际经济评论，2023(6)：147-176.
Wang Y Z，Wan J，Chen Z. Geopolitical game and China's supply security in critical minerals amid energy restructuring[J]. International Economic Review，2023(6)：147-176.

[4] 丁怡婷. 我国建成全球最大的可再生能源体系：每用10度电就有近4度是绿电[N]. 人民日报，2026-03-02(1).
Ding Y T. China has built the world's largest renewable energy system：Nearly four out of every ten kilowatt-hours of electricity consumed come from green power[N]. People's Daily，2026-03-02(1).

[5] 张博，孙旭东，刘颖，等. 能源新技术新兴产业发展动态与2035战略对策[J]. 中国工程科学，2020，22(2)：38-46.
Zhang B，Sun X D，Liu Y，et al. Development trends and strategic countermeasures of China's emerging energy technology industry toward 2035[J]. Strategic Study of CAE，2020，22(2)：38-46.

[6] 孙雪松，李睦濡. 能源转型中的能源安全风险及治理路径探析[J]. 天津师范大学学报(社会科学版)，2025(6)：73-84.
Sun X S，Li M R. Analysis of energy security risks and governance logic under China's energy transition：A perspective of system resilience[J]. Journal of Tianjin Normal University (Social Science)，2025(6)：73-84.

[7] 姬强，孙晓蕾，马嫣然. 新时代中国能源安全体系构建[J]. 世界社会科学，2024(4)：80-98，244.
Ji Q，Sun X L，Ma Y R. Construction of China's energy security system in the new era[J]. Social Sciences International，2024(4)：80-98，244.

[8] 武汉大学全球发展与能源治理研究课题组. 全球能源转型和能源治理中的中国引领地位：兼谈能源国际组织的研究发现[J]. 中国软科学，2026(4)：194-201.
Research Group on Global Development and Energy Governance at Wuhan University. China's leading position in global energy transition and energy governance：A discussion on research findings from international energy organizations[J]. China Soft Science，2026(4)：194-201.

[9] 王守文，郭蕊，王树斌. 中国能源韧性与科技创新的协调演化及影响因素研究[J]. 中国软科学，2025(1)：208-224.
Wang S W，Guo R，Wang S B. Research on the coordinated evolution and influencing factors of energy resilience and scientific and technological innovation in China[J]. China Soft Science，2025(1)：208-224.

[10] 钟海旺，张宁，杜尔顺，等. 新型电力系统中的规划运营与电力市场：研究进展与科研实践[J]. 中国电机工程学报，2024，44(18)：7084-7103.
Zhong H W，Zhang N，Du E S，et al. Planning，operation and market of new power system：Research progress and practice[J]. Proceedings of the CSEE，2024，44(18)：7084-7103.

[11] 张景明，仇成，王骏，等. 考虑碳交易和绿证交易的主动配电网源网荷储协同优化调度[J/OL]. 现代电力，2026-03-24. https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.20260324.001.
Zhang J M，Qiu C，Wang J，et al. Coordinated day-ahead optimization of active distribution networks considering carbon trading and green certificate mechanisms[J/OL]. Modern Electric Power，2026-03-24. https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.20260324.001.

[12] 顾大钊，李阳，李根生，等. 面向2040年我国碳中和重点领域工程科技发展战略研究[J]. 中国工程科学，2024，26(5)：80-90.
Gu D Z，Li Y，Li G S，et al. Development strategy of engineering science and technology in key fields of carbon neutrality in China toward 2040[J]. Strategic Study of CAE，2024，26(5)：80-90.

[13] 张辉. 中国经济实现“稳”与“进”的策略选择[J]. 人民论坛·学术前沿，2024(3)：23-31.
Zhang H. The strategic choices for China's economy to achieve “stability” and “progress”[J]. Frontiers，2024(3)：23-31.

[14] 岳芳，王雪珍，姜山. 智能电网的网络安全风险及应对策略[J]. 科技导报，2024，42(9)：6-16.
Yue F，Wang X Z，Jiang S. Network security risks and new countermeasures under the smart grid environment[J]. Science & Technology Review，2024，42(9)：6-16.

[15] 孙旭东，张博，彭苏萍. 我国洁净煤技术2035发展趋势与战略对策研究[J]. 中国工程科学，2020，22(3)：132-140.
Sun X D，Zhang B，Peng S P. Development trend and strategic countermeasures of clean coal technology in China toward 2035[J]. Strategic Study of CAE，2020，22(3)：132-140.

[16] 谢克昌. 新型能源体系发展思考与建议[J]. 中国工程科学，2024，26(4)：1-8.
Xie K C. Strategic thinking and suggestions on new energy system[J]. Strategic Study of CAE，2024，26(4)：1-8.

[17] 白光裕，梁明，齐冠钧. 中国清洁能源关键矿产资源进口依赖性风险与应对策略[J]. 亚太经济，2024(3)：141-152.
Bai G Y，Liang M，Qi G J. Dependency risk and countermeasures of China's clean energy critical minerals' import[J]. Asia-Pacific Economic Review，2024(3)：141-152.

[18] 侯梅芳，李力民，杨义轩，等. 中国能源安全新战略实践成效与能源革命对策[J]. 天然气工业，2025，45(8)：150-161.
Hou M F，Li L M，Yang Y X，et al. Practical achievements and energy revolution countermeasures of new energy security strategy in China[J]. Natural Gas Industry，2025，45(8)：150-161.

[19] 朱彤. 能源安全新风险与新逻辑：系统韧性的视角——兼论新逻辑下我国能源安全问题与战略思路[J]. 技术经济，2023，42(2)：1-10.
Zhu T. New risks and new logics of energy security：From the perspective of system resilience concurrently discussing problem of energy security and strategic thinking under the new logic in China[J]. Journal of Technology Economics，2023，42(2)：1-10.

[20] 李婧. “十五五”时期新能源高质量发展的挑战与应对[J]. 新视野，2025 (5)：36-45.
Li J. Challenges and responses of high-quality development of new energy in the 15th Five-Year Plan period[J]. Expanding Horizons，2025 (5)：36-45.

[21] 王平. 新型能源体系中储热经济的全产业链价值分配机制研究[J]. 储能科学与技术，2026，15(3)：1087-1089.
Wang P. Value allocation mechanism across the full industry chain of thermal energy storage economy in new energy systems[J]. Energy Storage Science and Technology，2026，15(3)：1087-1089.

[22] 刘利利，冯天天，崔茗莉，等. 绿色电力交易对电力市场的影响机理及效果[J]. 中国人口·资源与环境，2024，34(4)：76-90.
Liu L L，Feng T T，Cui M L，et al. Influence mechanism and effect of green power trading on the electricity market[J]. China

Population Resources and Environment，2024，34（4）：76-90.

[23] 方德斌，杨培文，吴菲. 电碳市场协同机制下多电力产消者交易均衡策略研究[J]. 系统工程理论与实践，2024，44（10）：3309-3329.
Fang D B，Yang P W，Wu F. Research on equilibrium strategies of multiple electricity prosumers under the coordinated mechanism of electricity and carbon markets[J]. Systems Engineering — Theory & Practice，2024，44（10）：3309-3329.

[24] 中华人民共和国能源法[EB/OL]. （2024-11-08）[2026-06-23]. https：//www.nea.gov.cn/2024-11/09/c_1310787187.htm.
Energy law of the People's Republic of China[EB/OL]. （2024-11-08）[2026-06-23]. https：//www. nea. gov. cn/2024-11/09/c_1310787187.htm.

[25] 苗渝舒. 国际贸易视角下的中国新能源产业发展策略探讨[J]. 太阳能学报，2023，44（4）：549.
Miao Y S. Discussion on China's New energy industry development strategy from the perspective of international trade[J]. Acta Energiae Solaris Sinica，2023，44（4）：549.

[26] 汤广福，周静，庞辉，等. 能源安全格局下新型电力系统发展战略框架[J]. 中国工程科学，2023，25（2）：79-88.
Tang G F，Zhou J，Pang H，et al. Strategic framework for new electric power system development under the energy security pattern[J]. Strategic Study of CAE，2023，25（2）：79-88.

[27] 孙旭东，徐小宇，罗魁，等. 新能源应用安全风险防控战略框架研究[J]. 中国工程科学，2023，25（6）：179-190.
Sun X D，Xu X Y，Luo K，et al. Strategic framework for safety risk prevention and control for new energy application[J]. Strategic Study of CAE，2023，25（6）：179-190.

[28] 贾超，周翠颖，葛泉波，等. 沙戈荒新能源基地沙尘暴致灾风险预警评估综述[J/OL]. 中国电机工程学报，2026-03-30. https：//link.cnki.net/urlid/11.2107.TM.20260328.1412.002.
Jia C，Zhou C Y，Ge Q B，et al. Summary of risk early warning assessment of sandstorm in Shagehuang new energy base[J/OL]. Proceedings of the CSEE，2026-03-30. https：//link.cnki.net/urlid/11.2107.TM.20260328.1412.002.

[29] 王蕾，王振霞. "十五五"时期构建新型能源体系的体制机制困境及突破路径[J]. 湖湘论坛，2025，38（5）：65-73.
Wang L，Wang Z X. Institutional dilemmas and breakthrough pathways for constructing a new energy system during the 15th Five-Year Plan period[J]. Huxiang Forum，2025，38（5）：65-73.

[30] 梁爽，谭清美，谭秀坤. 数字经济赋能国防科技工业转型升级：基本逻辑、现实困境及路径选择[J]. 科学管理研究，2025，43（2）：71-81.
Liang S，Tan Q M，Tan X K. Digital economy enabling the transformation and upgrading of national defence science and technology industry：Basic logic，realistic dilemma and path choice[J]. Scientific Management Research，2025，43（2）：71-81.

[31] 沈政昌，王海北，王华，等. 我国镍钴锂钒产业链发展现状、问题与对策研究[J]. 中国工程科学，2025，27（6）：165-179.
Shen Z C，Wang H B，Wang H，et al. A review of China's nickel，cobalt，lithium，and vanadium industry chain：Current status，challenges，and prospects[J]. Strategic Study of CAE，2025，27（6）：165-179.

[32] 张焕波，宁留甫. 推动"三北"地区生态保护和绿色低碳发展[J]. 宏观经济管理，2023（7）：49-55.
Zhang H B，Ning L F. Promote ecological protection and green and low-carbon development in northeast，north and northwest China[J]. Macroeconomic Management，2023（7）：49-55.