

引用格式: 陈晓红, 李俊朋, 刘咏梅. 新型电力系统高质量发展策略研究. 中国科学院院刊, 2025, 40(11): 1993-2004, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250217002.
Chen X H, Li J P, Liu Y M. Research on strategies for high quality development of new power systems. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(11): 1993-2004, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250217002. (in Chinese)

新型电力系统高质量发展策略研究

陈晓红^{1,2,3} 李俊朋^{1,2} 刘咏梅^{1,4*}

1 中南大学 商学院 长沙 410083

2 湘江实验室 长沙 410205

3 湖南工商大学 前沿交叉学院/管理科学与工程学院 长沙 410205

4 中南大学 城市智慧治理实验室 长沙 410083

摘要 新型电力系统正处于从“施工图”向“实景图”转变的关键阶段。在全球能源转型与科技革命加速推进的背景下,实现能源体系由“规模扩张”迈向“质量变革”,是推进我国新型电力系统高质量发展的迫切需求和关键着力点。文章以“科技-要素-产业-绿色”四位一体的分析框架识别当前新型电力系统面临的关键技术受限、要素配置失衡、产业协同困难、电源结构失稳等主要问题,针对性提出举措:(1)以核心技术突破筑牢系统根基,重点攻克储能、智能调控、韧性防护等关键技术瓶颈;(2)以推动全要素生产率提升为目标,优化新型基础设施布局,构建配电网承载力评估与绿色能源价值追溯体系;(3)打造“链式韧性-标准互认-生态共创”的产业融通新范式,健全人才激励机制,推动产业链向高附加值环节延伸;(4)推动煤电多维补偿与分级转型,建立区域资源图谱,实施区域差异化“链式”开发策略。

关键词 新型电力系统, 能源革命, 数智技术, 高质量发展

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20250217002

CSTR 32128.14.CASbulletin.20250217002

新型电力系统作为贯彻我国能源安全新战略、推动经济高质量发展的重大需求,既是适应能源发展新形势、提升电力系统整体效能的内在要求,也是培育能源新质生产力,助推绿色低碳高质量发展的战略部

署^[1]。在全球能源供需格局加速调整的背景下,第四次工业革命驱动的数字化变革、碳中和目标约束下的气候治理要求及地缘政治冲突引发的能源安全风险,暴露出当前电力系统在灵活性、可持续性与经济性等

*通信作者

资助项目: 国家自然科学基金基础科学中心项目(72088101), 湘江实验室重大项目(23XJ01006)

修改稿收到日期: 2025年10月24日

方面的局限^[2]。在此情形下，国家高度重视能源体制机制改革和关键技术攻关。2024年政府工作报告指出“深入推进能源革命，控制化石能源消费，加快建设新型能源体系”，以应对当前全球能源产业链、供应链的动荡冲击。作为实现“双碳”目标与能源结构优化的关键载体，新型电力系统以数字化、智能化和绿色化为发展理念替代传统电力体系，这不仅是能源转型的必然趋势，也是技术进步和创新驱动的必然结果^[3]，在国民经济和社会发展第十五个五年规划（以下简称“十五五”规划）期间乃至更长远的未来，它都将是我国能源发展和科技创新的重要方向。

当前，新型电力系统正处于由理论“施工图”向实践“实景图”转变的关键阶段，其高度复杂的系统结构和深度耦合的技术特性，决定了高质量发展必须突破单一维度的技术攻关路径，需以制度创新牵引技术创新，用市场机制激活要素流动进而构建“技术-制度-生态”协同演进的综合体系^[4]。基于此，本文系统剖析新型电力系统的五大变革，构建“科技-要素-产业-绿色”四位一体协同框架以识别当前新型电力系统建设过程中面临的主要挑战，提出具有针对性的举措

建议，以期新型电力系统的高质量发展提供理论支撑与实践指导。

1 新型电力系统发展的脉络与新变革

1.1 新型电力系统发展的脉络

我国新型电力系统的政策演进脉络可划分为“战略引领、市场建设、深化实施”3个阶段，政策体系沿此有序推进，逐步完成了从顶层设计的方向锚定，到市场改革的机制构建，再到落地实施的实践转化，层次分明、逻辑连贯地为我国新型电力系统的高质量发展提供了全方位的制度保障（图1）。

其中，《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》（以下简称《行动方案》）的出台，标志着我国新型电力系统建设进入从“施工图”向“实景图”转变的新阶段，为新型电力系统的高质量发展提供了明确的路径指引。《行动方案》从技术创新、市场改革、政策支持、基础设施建设等多个维度提出了针对性的行动措施，并从清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能等多个维度构建更全面的发展目标。《行动方案》提出的9项专项行动，囊括了

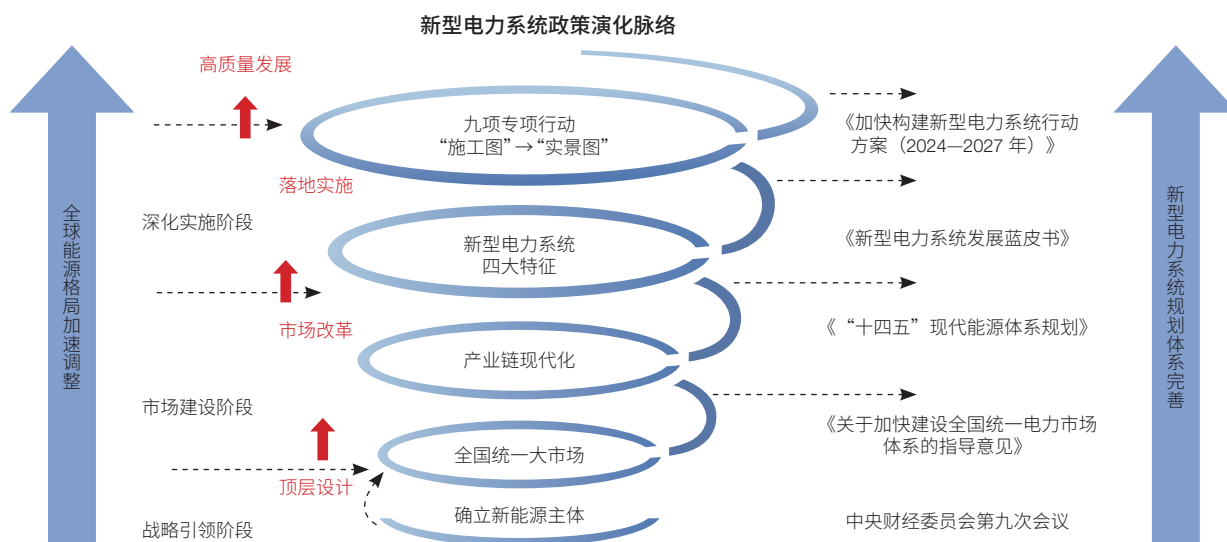


图1 新型电力系统的政策演化脉络

Figure 1 Policy evolution of new power systems

电力系统稳定保障行动、大规模高比例新能源外送攻坚行动、配电网高质量发展行动等多个方面，旨在以“小切口”解决新型电力系统建设中的关键问题，加速电力系统向更加智能、绿色、高效的方向发展。

未来，随着政策体系的持续优化、技术创新的不断突破，我国新型电力系统建设有望迈向更高水平。

1.2 新型电力系统发展的新变革

从最初的概念提出到具体的行动落实，中国不断适应和解决新型电力系统发展中的新问题和新的挑战，追求能源安全、绿色发展和技术创新的全面协调。为加快推进新型电力系统高质量建设，需准确把握其“五大变革”——电源结构、负荷特性、系统形态、产业体系与体制机制的系统性转变，明确新时代下新型电力系统从立足理论阶段到具体实施阶段的关键转折点“新”在何处（图2）。

（1）电源结构：从“煤电主导”到“动态平衡”。中国传统的电力结构主要依赖煤炭发电，在实现“双碳”目标的背景下，新时代新型电力系统以新能源取代传统化石能源，成为减少碳排放的关键举措。截至2024年6月底，全国可再生能源发电装机达到16.53亿

千瓦，约占我国发电总装机的53.8%，首次形成“煤电-新能源”动态平衡新格局。可以说，新型电力系统就是从传统单一能源依赖向多元化、清洁化转型的电力系统。其中，煤电不再是新能源的替代品，而是作为电力供应保障和系统调节的重要力量。《行动方案》中进一步提出“新一代煤电升级行动”，着重强调要加强煤电机组的深度调峰和快速响应能力，以更好地适应新能源的波动性和不确定性，保障电力系统的稳定性和可靠性。

（2）负荷特性：从“单向刚性”到“双向柔性”。新型电力系统相较于传统电力系统，在负荷特性方面由刚性、消费型向柔性、产销型转变。这一转变意味着负荷不仅是电能的消费方，在特定条件下还可向电网反馈电能，从而具备一定的调节能力。随着电能替代战略的推进，电力电子设备的普及使得用户侧与电网侧的互动增强，负荷特性逐渐呈现出多元化和复杂化趋势，释放了需求响应的潜力。同时，电力系统正由单向供电转向双向电能流动，多元化的用电负荷、分布式电源和新型储能的迅速发展，促使电力供需平衡模式从“源随荷动”转向“源荷互动”，使终端能

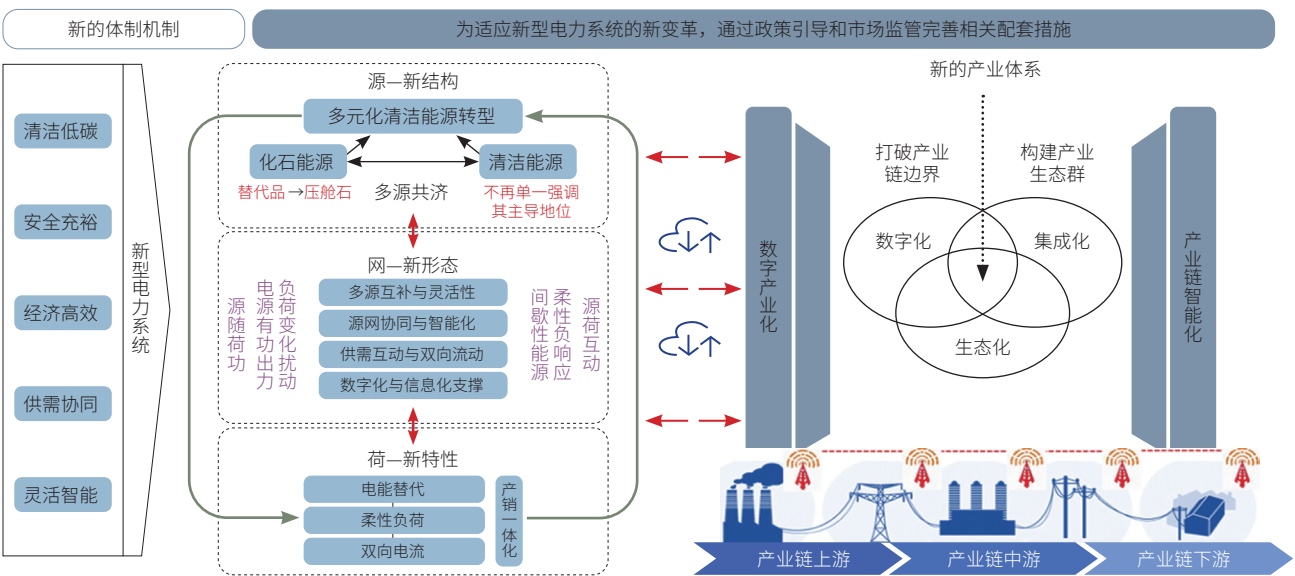


图2 新型电力系统的五大变革

Figure 2 Five major transformations of new power system

源侧同时具有电力生产和消费的双重角色。

(3) 系统形态：从“集中式”到“多层级协同”。新型电力系统正加速向集中式与分布式协同的多层级形态转型，以增强系统韧性和适应新能源高比例接入的需求。信息通信技术（ICT）、物联网（IoT）和人工智能（AI）的深度融合，使电网具备精准监测、实时调控和智能优化能力，显著降低了用户参与需求响应的互动门槛。这种高效互动机制是推动电网向柔性化、智能化和数字化转型的关键，促进了大规模集中式电网与分布式智能电网的深度协同，最终形成多样化、互补性强的新型电网^[5]。

(4) 产业体系：从“线性链条”到“生态网络”。新型电力系统的产业体系正由传统线性供应链向数字化、集成化、生态化的网络协同模式转型。传统电力产业链（涵盖发电、输电、配电、售电等）正在打破环节壁垒，形成上下游深度融合的产业生态。2024年底，中国已建成投运新型储能项目装机规模突破73.76吉瓦^①，同比增长超130%，带动储能制造、智能调度、能源管理等领域协同创新。同时，智能电网市场规模预计到2025年将超过1.3万亿元，推动电力装备制造、氢能、电力电子等新兴产业加速发展。在这一过程中，新型电力系统对铜、锂、钴、镍、稀土等矿产资源的依赖明显增强，新型电力系统建设将推动关键矿产资源需求呈现结构性增长，其供应、价格和技术的应用直接影响了新型电力系统产业链的布局和转型升级，促使产业链上下游发生深刻变化。

(5) 体制机制：从“计划管控”到“市场主导”。新型电力系统的体制机制正从传统的计划管控模式向市场化、灵活化的方向转型。政府通过政策引导与市场监管“双轮驱动”，以“无形的抓手”鼓励社会资本投入电力市场。同时，全国统一电力市场的构建打破了地域限制，使得电力交易更加灵活，鼓励多元主

体参与电力市场，促进了资源的优化配置，推动产业链的垂直整合。此外，为了适应新的电力系统需求，政策法规体系也在不断完善，诸如绿色电力交易、碳排放权交易等市场配套措施的引入，为新型电力系统提供了经济激励，推动了清洁能源的发展。

2 新型电力系统高质量发展面临的挑战

新型电力系统的五大变革标志着电力系统正从传统模式向“技术-制度-生态”一体化的系统性重构迈进。然而，变革是机遇亦是挑战。作为一个高度复杂的人造系统，新型电力系统高质量发展面临多重挑战。

2.1 科技领航中的挑战：新型电力系统稳定运行的技术瓶颈与安全边界重构

(1) 关键技术装备尚存短板。我国电力科技水平已实现从“跟跑”向“并行”“领跑”的战略性转变。但与能源电力强国相比，我国在个别技术领域仍有一定的不足。以新一代煤电升级为例，中国煤电设施老旧、效率不足，而新一代煤电技术如超超临界发电技术和碳捕集、利用与封存（CCUS）技术的推广亟待加快^[6]。尽管这些技术在理论上能够显著提高煤电的发电效率并降低碳排放，但其应用仍受到高成本和技术成熟度的制约^[7]。例如，超超临界发电技术能够将发电效率提高至45%以上，但受高温镍基合金材料及工艺制约，短期内难以实现大规模工程化应用^[8]。同时，长时储能系统面临着“储能时长-循环寿命-能量密度”技术权衡的挑战，现有液流电池、压缩空气储能等技术尚未满足新型电力系统对4—8小时经济储能的基本需求，成为制约高比例新能源消纳的刚性短板。

(2) 智能调控技术有待提升。新型电力系统多时空尺度调控能力不足源于集中式确定性控制理论与高

① 1吉瓦=10⁶千瓦。

维非线性随机动态系统的结构性矛盾。“源网荷储”动态耦合导致系统空间维度呈指数级扩张,使得现有调度算法难以支撑复杂环境下的精准调控^[9]。智能调控决策透明度低,深度学习模型缺乏可解释性,在高可靠性要求下难以提供清晰的调度依据。AI调控模型的训练过程未充分融合电网物理约束,在极端工况下可能突破安全边界,且跨时空动态响应能力仍有待提高。此外,新能源与多种新兴主体间的协同也改变了电力电量的平衡模式,现有调控系统主要依赖固定拓扑结构进行离线训练,难以适应设备变更、随机波动等复杂情境,最终导致模型泛化能力受限^[10]。

(3) “物理-信息”融合下的安全风险。新型电力系统的“物理-信息”融合特性,使得系统架构从传统封闭式拓扑演化为多网互联的开放系统。① **物理层面**,源—网—荷侧高比例电力电子化装备的渗透颠覆了传统同步机主导的电力系统物理基础,导致动态稳定性呈现结构性弱化。在**频率稳定方面**,新能源机组的等效惯性时间常数低于传统机组,导致系统频率偏差与失稳风险呈指数级增长^[11]。在**电压稳定方面**,新能源机组的动态电压支撑能力弱于传统电源,且多级升压接入增加了电气距离,在弱电网条件下易引发电压崩溃和连锁故障。② **信息层面**,智能终端设备和传感器的泛在接入扩大了新型电力系统的攻击面,使得潜在的安全漏洞成为外部攻击的主要目标。5G通信网络和云平台等ICT技术的嵌入提升了电力系统的计算资源弹性和数据处理效率,但其虚拟化的基础设施和分布式架构在一定程度上削弱了安全防护措施的集中控制能力^[12]。

2.2 生产要素配置的挑战:新型电力系统基础设施与制度性壁垒

(1) **基础设施结构性矛盾**。① **新型电力系统的高质量发展受到基础设施发展滞后及布局不均衡的制约**^[13]。根据《中国电力行业年度发展报告2023》数据显示,2022年全国21个省级电网用电负荷创新高,全

国日最大错/错峰负荷超过5 000万千瓦,部分省份电力供需形势较为紧张。但现有主干网架输电裕度对可再生能源接入的支撑能力不足。以西藏为例,其光伏发电弃光率高达34.8%^[14]。② **共享储能电站的建设面临挑战**。根据中国电力企业联合会(简称“中电联”)发布数据,2023年全国共享储能电站的利用率仅为27%,尽管行业扩展积极,但部分储能项目存在“备而不建、建而不用”的问题。③ **充电基础设施的布局问题不容忽视**。截至2023年我国公共充电桩数量已达到272.6万台,但一线城市核心区与城郊接合部的极化分布使得高峰时段充电困难,严重降低电动汽车集群可调度潜力^[15]。

(2) **配电网高质量发展面临的制度性“梗阻”**。配电网作为新型电力系统拓扑重构的核心载体与多能流耦合的关键枢纽,在适应可再生能源接入、提升经济性和稳定性方面仍面临诸多制度性挑战^[16]。当前,电价形成机制、电力市场建设和新能源并网管理等政策尚不完善,导致需求侧响应未能有效激活,影响了配电网的投资决策和运营效率^[17]。此外,体制机制改革滞后,现有市场竞争机制不够成熟,导致“分布式光伏+储能”等新型技术成本过高,缺乏可行的经济支撑。与此同时,绿电、绿色电力证书(简称“绿证”)和碳交易市场的运行尚存问题,尤其是可能出现的重复支付环境费用,且“证电合一”和“证电分离”并行的交易方式未能有效避免新能源发电企业重复售卖环境价值的问题,导致市场衔接不够紧密^[3]。

2.3 产业转型的挑战:跨域融通与数智化集成的协同难题

(1) **产业融通的多重壁垒**。新型电力系统作为多主体、跨层级的复杂适应系统(Complex Adaptive System)面临产业融通的挑战,主要表现在产业链协同、技术标准统一性和跨行业合作的协调等方面。

① **产业链条的局部“梗阻”制约了整体协同效能**。当前风电产业上下游、产供销、大中小企业之间的协同

发展不足，部分地市在叶片、轴承、变流器等环节存在弱链、断链环节，阻碍了产业链整体效率。② 技术标准体系的不统一形成掣肘产业融通的“鸿沟”。尤其在智能电网与新能源接入等关键领域，标准的差异化导致跨行业技术整合和系统优化受到掣肘，极大限制了产业链协同的效率。③ 跨行业合作的复杂性进一步加剧了产业融通的难度。电力产业通常具有较长的投资周期和对政策的高度依赖性，而信息技术和智能制造等行业则呈现快速迭代和灵活商业模式的特点，这种差异性使得各方在合作过程中缺乏共同的目标与动力^[18]。

(2) 数智化集成的协同失灵。数智化赋能在推动电力产业转型过程中面临技术集成不足、数据共享与人才结构不匹配等诸多深层次的挑战。① 技术应用的碎片化态势，削弱了数智赋能的核心价值。AI、大数据与IoT等前沿技术的提出具有跨时代意义，但现有的技术架构和应用场景多呈现局部化、碎片化态势，导致智能调度、实时数据处理等关键环节未能发挥出应有的作用。② 系统集成的低效与数据孤岛，制约了运维效能的全方位提升。新型电力系统对实时数据的高度依赖要求各系统环节间能够实现高效、无缝的数据流动。然而，不同企业、部门及设备之间的集成度较低，数据孤岛现象严重影响系统整体运维效能。③ 人才供给的结构性失衡，成为数智化转型的关键瓶颈。新型电力系统的数智化转型要求具备跨学科能力的复合型人才，但目前电力行业的人才大多集中在传统电力技术领域，缺乏对信息技术、AI等前沿技术的深刻理解和应用能力^[3]，这使得数智化技术的创新和推广面临较大困难。

2.4 绿色低碳发展的挑战：新型电力系统电源结构与资源的可持续发展

(1) 煤电角色被低估，电源结构稳定性受限。在新型电力系统的电源结构中，煤电的作用常被低估，中国电力行业正面临着“增量替代”与“存量锁定”

的复杂局面。截至2023年底，全国风能和太阳能总装机容量突破10亿千瓦大关，但煤电仍以约40%的供应占比承担着系统稳定器的战略功能，尤其在负荷峰谷差持续扩大的运行场景中，其转动惯量与快速调频能力仍是维系电网安全的核心支柱。然而，中国现存煤电项目已出现大规模的亏损现象，经营形势严峻^[19]。可再生能源成本的大幅下降弱化了煤电的价值锚定效应，导致煤电企业陷入“保供责任加重、经济效益恶化、转型能力受限”的恶性循环。这种系统层面的功能依赖与市场层面的价值坍塌形成尖锐对立。

(2) 资源配置和政策协同机制失衡，可再生能源替代比重亟待加强。提升可再生能源替代比重是实现低碳电力系统的关键举措，但这一进程受到资源配置效率低下和政策支持不足等多重因素的制约。中国的资源配置效率受到要素市场扭曲的影响，即生产要素在企业、行业和地区之间存在流动障碍，这种扭曲阻碍了资源在部门与地区之间的自由流动，使得可再生能源资源的开发利用呈现不均衡格局^[20]。尽管可再生能源的装机容量不断增加，但电网基础设施和调度系统的建设未能同步跟进，导致高比例新能源在全国范围内转移传输过程中存在全局统筹能力不足的问题。此外，相关政策的支持是提高能源绿色低碳转型的有效抓手，但现行的电碳协同机制尚不健全，未能形成有效的政策协同来推动可再生能源与碳排放控制目标的耦合。尽管碳市场已逐步建设，但其机制仍显不完善，碳配额分配机制、价格波动幅度及多参与主体的多因素影响，使得碳市场激励可再生能源相关产业投资应用的效能仍有提升空间。

(3) 关键矿产元素供应链安全与韧性挑战。与传统电力系统相比，新型电力系统对关键矿产资源的依赖明显增强。叠加电化学储能和电动汽车的发展需求，铜、锂、钴、镍、稀土等极大可能在2030年以后的不同时期依次出现短缺危机^[21]。以稀土为例，风能、新能源汽车等产业的快速发展带动了稀土需求量

的大幅增长^[22]。研究表明,到2050年,中国风电发展将需要约80.4万—105.6万吨钕和6.6万—8.5万吨镨,占现阶段中国稀土总储量的10%。新能源汽车行业对稀土的需求量预计将达到31.5万吨,占同期全球稀土总产量的22%^[23]。然而,现有矿产资源的开采和加工能力难以匹配需求的增长,这种供需失衡不仅会影响我国新能源产业的可持续发展,还将引发全球稀土供应链的紧张局势。进一步,在资源配置效率方面,中国作为全球最大的矿产资源需求国,在原材料方面并不具备明显优势;在稀土等战略性矿产中,粗放的开采导致高价值元素被优先提取,而伴生的轻稀土元素(如镧、铈等)则大量积压,造成结构性过剩,使得产品价值未能得到充分体现^[22]。具体来说,仅2014年我国淘汰的稀土开采和冶炼产能总量就高达10.371万吨,涉及内蒙古、湖南等省份的28家企业^[24]。在资源回收方面,尽管稀土和分散元素的回收技术已取得一定进展,但尚未形成有效的稀土资源回收利用产业链循环模式,行业规模较小。与此同时,关键矿产元素的供应链高度全球化,在当前国际地缘政治的动荡背景下,战略性矿产资源领域正经历着资源民族主义的影响^[25],对外依存度较高的矿产资源需预防海外政策的不可控性。

3 新型电力系统高质量发展的关键举措

3.1 突破关键领域技术壁垒,锻造能源科技自立自强

以核心技术突破筑牢系统根基,以智能决策体系提升运行效能,以多维安全机制保障可持续发展,协同驱动能源科技范式变革。

(1) **核心领域技术攻坚**。加大新一代煤电升级关键技术研发,建议聚焦超超临界发电与CCUS技术协同攻关,依托大型燃煤机组开展国产镍基合金涂层工程验证。分层布局长时储能优化,优先突破液流电池的循环寿命瓶颈,加速攻关压缩空气储能、重力储能

等新型长时储能工程化应用研发。在示范园区集中推动“煤电-新能源联合项目”,以耦合验证破解单一技术经济性障碍,以市场化收益反哺技术迭代。

(2) **智慧能源中枢系统构建**。高灵活性电力系统的核心在于建立全网协同、数据驱动、主动防御、智能决策的新一代调控体系。构建数据-物理协同调控平台,针对新能源出力及负荷波动等高新鲜度和低延时数据开发弹性优化算法,联动新能源机组与传统机组进行优化互补;建立AI安全校验模块,在调度模型中实时嵌入潮流稳定边界与电压约束;同步联动电力市场出清规则,提升决策可信度。

(3) **电力系统韧性防护体系**。物理层面,加强虚拟惯性技术的研发,引入静态同步补偿器(STATCOM)等电力电子设备,增强电网对电压波动的适应性,提升电网的动态电压支撑能力。信息层面,构建多层次信息安全防护体系,对智能终端采用动态身份认证与微隔离技术,结合区块链实现数据篡改溯源。建立跨行业攻防推演平台,模拟攻击路径并预置弹性防御方案。

3.2 创新要素协同配置机制,助推优质生产要素集聚

以推动全要素生产率提升为目标,系统研究能源电力领域的资本、技术、数据等要素及其优化组合跃升的内在机理,重点强化两大支撑体系。

(1) **新型基础设施支撑体系**。优化加强电网主网架,补齐结构短板,夯实电力系统稳定的物理基础,以及灵活数字电网的信息基础。优选建设一批以“沙戈荒”地区为起点的大基地特高压外送通道,同步建立省级电网输电裕度动态评估标准,在负荷密集区部署柔性输电装置。同时,为提升配电网承载力和灵活性,解决受端电网“空心化”问题,需合理布局充电基础设施,提高充电基础设施与电动汽车发展协同度。

(2) **配电网与新能源融合发展体系**。应率先构建配电网承载力评估及可开放容量预警体系,引导分布

式新能源科学布局与就近消纳。同步加快全国统一电力现货市场建设,允许新能源企业动态调整中长期交易合同条款,提升资源跨时空配置效率。按可再生能源渗透率分级设定配电网过网费标准,激活分布式光伏“隔墙交易”市场化机制。探索碳金融衍生品对冲绿证环境价值重复支付风险,依托区块链技术建立全国统一的新能源环境价值认证平台,实施“证电合一”强制追溯机制,实现绿电生产、交易、消费全流程闭环监管。

3.3 重构现代能源产业体系,引领能源产业转型升级

发挥好政府的“有形抓手”和市场的“无形抓手”共同培育和驱动现代化产业体系建设的作用。根据区域特性差异化完善相关体制机制,构建具有自组织进化能力的现代化能源产业体系,稳中有进助力产业深度转型。

(1) 产业协同创新体系。实现技术“链式”集成。构建“链式韧性-标准互认-生态共创”三位一体的产业融通新范式,助力新型电力系统全要素生产率的提升。① 搭建产业链数字孪生平台,基于区块链智能合约技术建立供应链韧性评估体系,通过产业链图谱识别断链节点,在薄弱环节打造跨企业技术联合体;② 建立智能电网与新能源接入的柔性标准转化机制,允许头部企业标准经第三方验证后转化为行业过渡性标准;③ 设计“基础容量保底+增量收益分成”的阶梯式分配模式,化解电力长周期投资与ICT行业快速迭代的矛盾,以提升产业链全链条创新能力和整体效益。

(2) 能源数字基座建设工程。攻克电力专用芯片、微型传感器、先进电力通信等专用技术,提高能源系统数字技术的可观、可测、可得水平。构建能源云数据共享平台,打破信息数据孤岛,实现能源生产、消费和市场数据的业务数据交互与综合分析,以推动数字化能源管理系统的深化发展。

(3) 人才高地培育计划。依托丰富的生产应用场景,在数字电网、新型电力系统规划和运行控制、分布式智能电网、先进储能、电碳耦合与能源经济等领域形成一批应用型人才队伍。制定合理的人才评价标准,定期进行综合评价,全面细致量化复合型人才的工作业绩及创新成果,持续推进动态调整。设计复合型人才激励机制,有效调动复合型人才工作积极性,激发创新动能。

3.4 重塑绿色低碳转型范式,助力能源绿色可持续发展

立足新型电力系统建设的新阶段,需通过煤电价值重构、区域资源协同、矿产智慧治理三大战略支点,打造兼顾安全保供与绿色转型的能源发展范式。

(1) 煤电价值重构工程。应深刻认识煤电不仅是新能源的替代品,更是作为电力供应保障和系统调节的重要力量。① 建议构建煤电系统多维补偿体系,将转动惯量、调频响应等安全参数纳入辅助服务交易电力市场;② 推行差异化容量电价制度,对承担基荷保障的机组给予容量补偿,对灵活性改造机组实施阶梯式奖励;③ 设立煤电-绿电协同发展基金,通过新能源项目碳减排收益反哺煤电机组调峰能力提升;④ 制定煤电分类转型目录,将20%机组列为应急备用电源并延长运营期,同步绑定碳捕集技术改造要求。通过健全的市场机制和完备的政策手段破解煤电“安全价值难变现,转型资金缺来源”的矛盾。

(2) 因地制宜优化资源协同利用。系统分析区域能源特性,并建立区域资源图谱,基于西北高载能基地、西南水风光互补区和东部负荷中心,实施差异化开发策略,西北优先布局“风光+绿氢”源网协同项目,西南试点流域梯级储能调峰补偿机制,东部推行分布式智能电网与虚拟电厂聚合调度。实施“资源开发权—绿证—碳配额”联动交易机制,同步将跨区绿电占比纳入地方政府碳减排考核指标,形成资源优化配置的强效倒逼效果。

(3) 矿产资源智慧治理与绿色节约发展。构建“需求预测—智慧开采—循环利用—替代材料研发”全链条治理体系：① 建立稀土元素战略价值分级清单，应用AI矿产需求预测模型动态调整战略元素开采配额；② 推动矿产资源智能勘探开发，依托AI等先进技术，集成卫星遥感、地质构造等多源数据，提高关键矿产资源开采、钻探、提纯效率；③ 构建循环经济体系，加强废旧电池回收与电子废弃物分解全流程回收利用能力和二次资源利用产业引导，实现集中收集、科学回收，不断扩大行业规模；④ 设立替代技术攻坚专项，重点突破钠离子电池、铁基永磁体等替代技术的规模化应用。同时，应完善关键元素战略储备和贸易管控体系，对冲地缘风险，提升供应链、产业链一体化自主可控水平。

4 结语

新型电力系统的高质量发展是能源体系全局性、系统性的范式跃迁。在全球能源转型和科技革命的双重驱动下，新型电力系统正处于从概念提出到落地实施的关键变革期，需构建系统化的策略路径，破解“安全保供-低碳转型-经济高效”的协同难题。我国作为全球最大能源消费主体，既面临核心技术装备自主化不足、跨产业协同壁垒固化等结构性挑战，也将迎来能源产业结构重塑、抢占全球治理话语权的战略机遇。因此，本文构建“科技-要素-产业-绿色”四位一体策略框架，以“小切口”解决“大问题”提出新型电力系统高质量发展的关键举措，以期推动我国能源体系实现“规模扩张”向“质量变革”的跨越，构建兼具韧性、包容性与可持续性的现代能源体系，为全球能源可持续发展贡献中国方案。

参考文献

1 孙传旺, 占妍泓, 徐梦洁. 电力需求响应信号与新能源制造企业绩效. 管理世界, 2024, 40(12): 185-203.

Sun C W, Zhan Y H, Xu M J. Electricity demand response signals and the performance of new energy manufacturing enterprises. Journal of Management World, 2024, 40(12): 185-203. (in Chinese)

2 邹乐乐, 王溥, 孙翊. 实现碳中和的市场机制与争取国际话语权重点方向. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 469-478.

Zou L L, Wang P, Sun Y. Market mechanism and focus of international cooperation to achieve carbon neutrality. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(4): 469-478. (in Chinese)

3 林伯强, 滕瑜强. 新质生产力与“双碳”目标的关联和挑战——基于能源低碳转型的视角. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2024, (5): 35-46.

Lin B Q, Teng Y Q. The association of new quality productive forces with carbon peak/neutrality goals and challenges to be resolved: A perspective on low-carbon energy transition. Journal of Sichuan University (Philosophy and Social Science Edition), 2024, (5): 35-46. (in Chinese)

4 米加宁, 吴佳正, 李大宇, 等. 数字政府与新质生产力耦合协同发展的理论构建. 电子政务, 2024, (9): 2-14.

Mi J N, Wu J Z, Li D Y, et al. Theoretical construction of the coupled and coordinated development between digital government and new quality productive forces. E-Government, 2024, (9): 2-14. (in Chinese)

5 赵庆, 许光清. 中国跨区域能源系统优化及碳中和情景分析. 中国环境科学, 2025, 45(1): 557-570.

Zhao Q, Xu G Q. Cross-regional energy system optimization and carbon neutrality scenario analysis in China. China Environmental Science, 2025, 45(1): 557-570. (in Chinese)

6 刘志强, 李建锋, 潘荔, 等. 中国煤电机组改造升级效果分析与展望. 中国电力, 2024, 57(7): 1-11.

Liu Z Q, Li J F, Pan L, et al. Analysis and prospect of transformation and upgrading effects of coal-fired power units in China. Electric Power, 2024, 57(7): 1-11. (in Chinese)

7 樊启祥, 蒋敏华, 许世森, 等. 碳中和目标下新一代超高温参数煤电机组技术体系. 中国电机工程学报, 2024, 44(18): 7167-7178.

Fan Q X, Jiang M H, Xu S S, et al. Technical systems of advanced ultra-supercritical coal-fired power units under the

- carbon neutralization target. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(18): 7167-7178. (in Chinese)
- 8 杨勇平, 陈衡, 郝俊红, 等. “双碳”目标下我国燃煤发电转型升级发展路径. 中国电机工程学报, 2024, 44(17): 6900-6910.
Yang Y P, Chen H, Hao J H, et al. Development pathways for the transformation and upgrading of China's coal-fired power generation under the goals of carbon peak and carbon neutrality. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(17): 6900-6910. (in Chinese)
 - 9 Ma T, Li M J, Xu H, et al. Study on multi-time scale frequency hierarchical control method and dynamic response characteristics of the generation-grid-load-storage type integrated system under double-side randomization conditions. Applied Energy, 2024, 367: 123436.
 - 10 蒲天骄, 赵琦, 王新迎. 电力人工智能技术研究框架、应用现状及展望. 电网技术, 2025, 49(5): 1751-1770.
Pu T J, Zhao Q, Wang X Y. Technology framework, application status and prospects on electric power artificial intelligence. Power System Technology, 2025, 49(5): 1751-1770. (in Chinese)
 - 11 贾焦心, 赵清帅, 邵晨, 等. 基于功率量测的光伏高占比系统频率时空分布特征分析方法. 电力系统自动化, 2025, 49(2): 96-107.
Jia J X, Zhao Q S, Shao C, et al. Analysis method for frequency spatial-temporal distribution characteristics of high-proportion photovoltaic system based on power measurement. Automation of Electric Power Systems, 2025, 49(2): 96-107. (in Chinese)
 - 12 周劭英, 张晓, 邵立嵩, 等. 新型电力系统网络安全防护挑战与展望. 电力系统自动化, 2023, 47(8): 15-24.
Zhou J Y, Zhang X, Shao L S, et al. Challenges and prospects of cyber security protection for new power system. Automation of Electric Power Systems, 2023, 47(8): 15-24. (in Chinese)
 - 13 肖娟霞, 李勇, 韩宇, 等. 计及台风时空特性和灵活性资源协同优化的配电网弹性提升策略. 电工技术学报, 2024, 39(23): 7430-7446.
Xiao J X, Li Y, Han Y, et al. Resilience enhancement strategy for distribution networks considering the spatiotemporal characteristics of typhoon and the collaborative optimization of flexible resources. Transactions of China Electrotechnical Society, 2024, 39(23): 7430-7446. (in Chinese)
 - 14 Wang B, Evergreen S, Forest J. Game Theory in Smart Grids: Strategic decision-making for renewable energy integration. Sustainable Cities and Society, 2024, 108: 105480.
 - 15 Zhou G Y, Zhu Z W, Luo S M. Location optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and genetic algorithm. Energy, 2022, 247: 123437.
 - 16 窦晓波. 新型电力系统建设对配电网的新需求及高质量发展分析. 中国电力企业管理, 2024, (19): 56-59.
Dou X B. Analysis of new requirements and high-quality development for distribution networks in the construction of new power systems. China Power Enterprise Management, 2024, (19): 56-59. (in Chinese)
 - 17 饶宏, 韩丰, 陈政, 等. 我国电力安全供应保障策略研究. 中国工程科学, 2023, 25(2): 100-110.
Rao H, Han F, Chen Z, et al. Strategy for guaranteeing power supply security of China. Strategic Study of CAE, 2023, 25(2): 100-110. (in Chinese)
 - 18 陈星星, 任羽菲. 新质生产力如何助力能源体系变革?——兼论新型能源体系构建. 暨南学报(哲学社会科学版), 2024, 46(6): 130-148.
Chen X X, Ren Y F. How new quality productive forces promote energy system transformation: A study on the construction of the industrial chain of the new energy system. Jinan Journal (Philosophy & Social Sciences), 2024, 46(6): 130-148. (in Chinese)
 - 19 王蕾, 孙轶恺, 王琮. 推进共同富裕目标下的中国电价体系: 理论机制与实现路径. 价格理论与实践, 2024, (4): 88-94.
Wang L, Sun Y K, Wang Q. Promoting China's electricity price system under the goal of common prosperity: Theoretical mechanism and implementation path. Price: Theory & Practice, 2024, (4): 88-94. (in Chinese)
 - 20 崔占峰, 任政存, 王青正. 新质生产力形成之问: 结合马克思科学技术思想的再考量. 经济问题, 2024, (10): 11-21.
Cui Z F, Ren Z C, Wang Q Z. The question of the emergence of new productive force: A reconsideration of Marx's thoughts on science and technology. On Economic Problems,

- 2024, (10): 11-21. (in Chinese)
- 21 苏南. 关键矿产成新型电力系统建设新边界. 中国能源报, 2023-10-30(03).
- Su N. Critical minerals become the new frontier in the construction of new power systems. China Energy News, 2023-10-30(03). (in Chinese)
- 22 吴一丁, 彭子龙, 赖丹, 等. 稀土产业链全球格局现状、趋势预判及应对战略研究. 中国科学院院刊, 2023, 38(2): 255-264.
- Wu Y D, Peng Z L, Lai D, et al. Exploring international rare earth industry landscape changes and China's strategic responses. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(2): 255-264. (in Chinese)
- 23 Wang P, Chen L Y, Ge J P, et al. Incorporating critical material cycles into metal-energy nexus of China's 2050 renewable transition. Applied Energy, 2019, 253: 113612.
- 24 王科唯, 张寅, 刘永团. 新质生产力赋能稀土产业高质量发展的现实困境、内在机理与实践路径. 中国矿业, 2025, 34(2): 149-157.
- Wang K W, Zhang Y, Liu Y T. The realistic dilemma, internal mechanism, and practical path of empowering high-quality development of rare earth industry with new quality productive forces. China Mining Magazine, 2025, 34(2): 149-157. (in Chinese)
- 25 王安建, 王春辉. 国际动荡局势对我国能源资源安全的挑战与应对策略. 中国科学院院刊, 2023, 38(1): 72-80.
- Wang A J, Wang C H. Challenges of international turmoil situation to China's energy resource security and coping strategies. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(1): 72-80. (in Chinese)

Research on strategies for high quality development of new power systems

CHEN Xiaohong^{1,2,3} LI Junpeng^{1,2} LIU Yongmei^{1,4*}

(1 Business School, Central South University, Changsha 410083, China;

2 Xiangjiang Laboratory, Changsha 410205, China;

3 School of Frontier Crossover Studies/College of Management Science and Engineering,
Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China;

4 Urban Smart Governance Laboratory, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract New power systems are at a critical stage of transition from theory to implementation. Against the backdrop of accelerating global energy transformation and technological revolution, shifting the energy system from “scale-oriented” to “quality-driven” is both an urgent need and a key focus for advancing the high-quality development of China’s new power systems. This study employs a four-dimensional analytical framework integrating “technology-elements-industry-green transition” to identify the main challenges existing in the new power systems currently, including constraints in key technologies, imbalances in factor allocation, difficulties in industrial coordination, and instability in power supply structure. Targeted measures are proposed accordingly. (1) Strengthening system foundations through breakthroughs in core technologies, with a focus on overcoming critical bottlenecks such as energy storage, intelligent regulation and control, and resilient protection. (2) With the goal of enhancing total factor productivity, optimizing the layout of new infrastructure, establishing an evaluation system for distribution grid capacity, and tracing the value of green energy. (3) Creating a new industrial integration paradigm characterized by “chain resilience-standard mutual recognition-ecological co-creation”, improving talent incentive mechanisms, and extending the industrial chain toward higher value-added segments. (4) Promoting multi-dimensional compensation and phased transition for coal power, developing regional resource mapping, and implementing differentiated “chain-based” development strategies across regions.

Keywords new power systems, energy revolution, digital intelligence technologies, high quality development

陈晓红 中国工程院院士。湖南工商大学、中南大学教授、博士生导师。主要研究领域：决策理论与决策支持系统、大数据分析、智慧管理、数据智能与智慧社会、两型社会与生态文明等。E-mail: csu_cxh@163.com

CHEN Xiaohong Academician of Chinese Academy of Engineering. Professor and Ph.D. Supervisor of Hunan University of Technology and Business and Central South University. Her main research areas include decision theory and decision support systems, big data analysis and smart management, data intelligence and smart society, resource conserving & environment friendly society and ecological civilization, etc. E-mail: csu_cxh@163.com

刘咏梅 中南大学商学院教授、博士生导师。主要研究领域：大数据与人工智能、资源环境管理等。
E-mail: liuyongmeicn@163.com

LIU Yongmei Professor and Ph.D. Supervisor of Business School, Central South University. Her main research covers big data and artificial intelligence, resource and environmental management, etc. E-mail: liuyongmeicn@163.com

■ 责任编辑：岳凌生

*Corresponding author