

电力系统新业态的思考与展望

薛嘉辰, 王锋, 杜永腾, 孟超, 迟立洋
山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013
DOI:10.61369/EPTSM.2026010004

摘 要 : 本文从能源安全新战略、能源体系转型趋势、电力系统新业态发展阶段与技术逻辑出发, 系统梳理我国电力新业态的形成机制与发展脉络, 分析其面临的体制机制障碍与改革方向, 提出加快建设新型能源体系的政策建议, 以期为我国电力行业高质量转型提供参考。

关 键 词 : 新型电力系统; 源网荷储一体化; 虚拟电厂; 绿电直连; 零碳园区; 体制机制改革

Insights and Prospects for Emerging Paradigms in Power Systems

Xue Jiachen, Wang Feng, Du Yongteng, Meng Chao, Chi Liyang

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp., LTD, Jinan, Shandong 250013

Abstract : Drawing on the new strategy for energy security, trends in energy system transformation, and the developmental stages and technical logic of emerging power-system models, this paper systematically reviews the formation mechanisms and evolution pathways of China's new power-system business models. It further analyzes the institutional barriers, and reform needs they face and proposes policy recommendations for accelerating the construction of a new energy system, with the aim of providing insights for the high-quality transformation of China's power industry.

Keywords : new-type power system; source-grid-load-storage integration; virtual power plant; green power direct supply; zero-carbon industrial park; institutional and mechanism reform

一、我国能源发展宏观趋势

(一) 我国能源发展基本逻辑

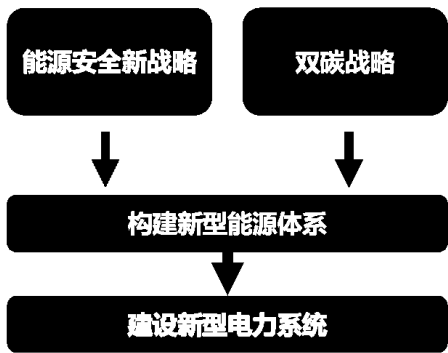


图1 我国能源发展基本逻辑

能源安全与战略格局: 能源是国民经济发展的命脉, 能源安全是国家安全的根基。当前, 世界百年未有之大变局加速演进, 能源问题政治化、工具化、武器化趋势明显。我国“富煤、贫油、少气”的资源禀赋决定了能源供应体系的复杂性和安全性挑战。截至2024年底, 我国原油、天然气对外依存度分别高达72%和42%, 能源供应安全面临长期压力。为应对复杂国际格局和国内高质量发展要求, 我国提出能源安全新战略——“四个革命、一个合作”, 即推进能源消费革命、能源供给革命、能源技术革

命、能源体制革命, 加强国际合作, 实现能源安全与绿色转型的有机统一。

双碳战略与转型压力: “力争2030年前碳达峰, 努力争取2060年前实现碳中和”是我国对世界的庄严承诺。当前我国碳排放总量大、转型窗口期短, 能源结构优化任务艰巨。非化石能源消费比重需从2024年的19.8%提升至2060年的80%以上。

两方共同作用, 迫使我国亟需构建新型能源体系, 建设新型电力系统。其核心是提升能源产业链供应链韧性和安全水平, 夯实能源安全根基, 任务是实现从以化石能源为主体向以新能源为主体的转变。

未来能源系统的演进方向包括: 非化石能源占比持续提升, 支撑碳中和目标实现; 电能替代与电力衍生替代加快推进, 降低油气依存; 电力系统深度低碳化、智能化、互动化发展, 助力全社会降碳脱碳。

(二) 我国能源发展未来趋势

我国一次能源消费总量稳步提升, 远期将进入饱和阶段, 2035年达到72亿吨左右; 然而要实现2060年碳中和, 还必须大幅提升非化石能源消费比例, 将非化石能源消费比例由目前20%提升到2060年的80%以上, 外加通过其他碳消除技术实现碳中和目标。

提高非化石能源消费比例, 必须持续优化调整能源供给和消费结构。一要继续快速提高非化石能源尤其风光的开发利用规模, 二要大幅提高电能终端能源消费中的比例。到2060年, 风

新一代清洁煤电为代表的化石能源将由基础保障性电源转为支撑调节性电源。

(一) 系统构成与演进特征

“源—网—荷—储”构成了新型电力系统的基本物理架构。源端以风电、光伏等新能源为主体，网端依托特高压、智能调度与柔性互联技术实现跨区优化，荷端包括可调负荷、电动汽车、工业负荷侧响应，储端涵盖电化学储能、抽水蓄能、压缩空气储能及热储能等多元形态。

4. 市场机制与价格信号不完善：电力辅助服务市场尚处试点阶段，新能源调节价值未被合理体现。

一年来从中央到地方密集出台的一系列政策举措，均指向通过零碳园区、虚拟电厂、微电网、绿电直连等新兴业态更多释放需求侧资源的潜力。同时应通过多维度协同推进：以数字化支撑系统感知、预测与优化；以储能与需求侧响应构建系统调节“第二曲线”；以体制机制创新形成市场激励约束机制。



（一）新业态演进总体脉络

技术突破：数字孪生、电力物联网、AI调度算法成熟；储能

系统成本下降至每千瓦时1元人民币左右；5G+智能配电系统使得秒级调控成为现实。

市场生态：绿电交易、绿证交易、辅助服务市场形成联动；聚合商成为市场新角色，开始承担调峰、调频与交易功能。

典型项目：北京延庆零碳冬奥区；江苏、山东、浙江虚拟电厂示范群；新疆、甘肃“绿电直供”跨省交易试点；威海源网荷储一体化试点项目。

此阶段的新业态呈现出三个“融合”特征：技术融合，源网荷储+云大物智；市场融合，绿电、碳、电力多市场协同；机制融合，政府调控与市场调节并行。

4. 高度智能自治期 (2026 - 2035 展望)

该阶段标志着电力新业态从“电网辅助工具”向“系统自治单元”的转型。

核心特征：形成区域级虚拟电厂、城市级能源互联网；聚合资源数量达百万级；市场交易全面数字化，价格信号实时传导。

新业态格局：新业态的未来方向是统一为高度自治型虚拟电厂。聚合资源的种类越来越多、数量越来越大、空间越来越广；聚合资源既包含广散各地的分布式能源、储能和可调负荷等，也囊括由这些基础资源进一步组合而成的微网、局域能源互联网；虚拟电厂实质已成长为“虚拟综合电力系统”；可以灵活制定运行策略，在实现内部发用电自平衡持续优化、能效管理更具操作性的基础上，还可参与电力市场交易获得额外收益。

国际趋势：欧洲 ENTSO-E 区域已实现跨国能量自治调度；日本虚拟电厂市场全面放开，聚合商参与实时市场；我国有望在 2035 年前形成统一“虚拟电力系统”。^[6-10]

其终极目标是通过数字能源技术实现“能源系统的自适应、自组织、自优化”，使电力系统真正成为“低碳、智能、安全、高效”的现代能源体系中枢。

(三) 新业态核心特征与体系逻辑

电力系统新业态不同于传统电力业务，其核心特征可以概括为以下几点：

跨环节融合：新业态打破传统的“发电-输电-配电-用电”边界，实现源、网、荷、储的跨环节协同。源端：新能源、分布式光伏、风电及氢能等；网端：智能配电网、微网、输配电数字化系统；荷端：工业园区负荷、电动汽车、可调负荷；储端：电化学储能、抽水蓄能、热储能等。

数字化赋能：数字能源技术是新业态高效运行的核心支撑，包括能源物联网与边缘计算、数字孪生与智能调度、AI 优化算法用于负荷预测及储能调度及市场交易策略制定。

灵活市场化：新业态能够通过市场机制进行调节，体现多元主体参与与收益共享。用户侧可通过需求响应获得收入；虚拟电厂参与辅助服务市场、容量市场、电力现货市场；可实现绿电、碳交易和电力交易的联动。

自主可控与系统韧性：高度自治的新业态可以实现区域能量自平衡和供需优化，提升系统韧性。微电网可独立运行，减轻对主网依赖；虚拟电厂在异常状态下可以快速调整输出，实现应急调控。

从宏观来看，新业态形成了“政策—技术—市场—生态”的系统逻辑：

政策驱动：国家“双碳”战略、能源法修订、零碳园区与绿电直连政策形成顶层设计；

技术支撑：源网荷储数字化平台、储能、智能调度算法、数据中台提供技术可行性；

市场机制：辅助服务市场、容量市场、绿电交易与碳市场形成激励约束体系；

生态建设：园区、城市、区域能源互联网实现产业、能源、环境的协同发展。

四、当前主要业态热点与政策分析

(一) 绿电直连

政策背景：国家能源局及发改委多次出台文件推动工业园区、企业直接购用绿电，解决新能源“就近消纳”问题。绿电直连承载了“打破垄断、赋权用户、稳定成本、绿色发展”的多重期望。

技术与市场问题：物理专线成本高，长期投资回收周期长；法律许可模糊，跨省购电存在政策障碍；电网层面定位不清晰，利益分配复杂。

政策优化建议：引入虚拟直连机制，利用区块链或溯源技术实现绿电计量与结算；善跨区域绿电交易机制，强化绿证和碳资产的市场化流通；建立统一标准体系，规范企业使用、市场认证和碳减排计量。

(二) 零碳园区

发展理念：零碳园区不仅是“绿电园区”，更是能源与产业协同革命的实践。其核心目标是通过绿色能源和产业升级，实现“能源系统+产业系统+数字系统”的深度融合。

建设原则：能源供应清洁化与多元化；用电电气化与智能化；产业结构低碳化与资源优化配置；数据驱动的能源运行优化与碳管理。

典型案例：山东威海碳纤维产业园：构建风光储一体化+智能管控平台，实现园区碳闭环；北京延庆零碳冬奥区：通过数字化调度实现能源系统自治，辅助冬奥活动绿色运行。

(三) 虚拟电厂与智能微电网

虚拟电厂通过数字平台整合分布式能源、储能及可调负荷，实现集中调度和市场化参与，智能微电网则强调局域自治和能源自平衡。两者互为补充：

虚拟电厂：侧重系统级调节和市场参与；

智能微电网：侧重区域稳定性和能源安全；

未来发展：二者融合形成高度自治型虚拟电厂，参与全社会能源调节和市场交易。

五、关键堵点与体制机制约束

(一) 思想认知差异

对于国家层面：强调绿色低碳发展与市场化改革；对于地方

政府：主要关注降低电价、吸引投资、建设政策洼地；对于投资方：利用新业态名义进行局部低电价套利，导致“名不符实”。

(二) 惯性思维与传统体制

传统电力系统高度中心化，而新业态强调去中心化和自治化；新技术、数字平台及市场机制与旧体制嫁接困难，制约规模化发展。

(三) 电网公司身份错位

电网公司兼具调度者、市场主体和公共服务商身份，存在利益冲突；输配分开改革势在必行，需明确输电公共事业属性和收入来源。

六、改革方向与政策建议

1. 建立统一电力市场：推进全国统一电力市场建设，实现容量、现货、辅助服务市场联动；规范虚拟电厂、微电网及绿电直连参与市场规则。
2. 技术与数据驱动改革：构建数字能源平台，实现实时数据采集、预测与优化；推广智能调度、储能协同、AI优化算法。
3. 增强绿色电力刚性需求：通过政策约束与激励并行，提升绿电使用刚性；完善碳交易、绿电交易和绿色金融支持体系。
4. 体制机制重构：输配分开、调度独立化、市场化改革同步推进；电网公司定位清晰，明确公共事业属性，消除利益羁绊；政府负责顶层设计与监管，企业参与运营和市场竞争。

5. 区域协同与国际经验：借鉴欧盟 ENTSO-E、美国 ISO/RTO 模式，实现跨区域协调与资源共享；推动跨境绿电交易和碳市场合作，提升能源安全与绿色竞争力。

七、结语与展望

建设新型能源体系不仅是能源领域的技术革命，更是制度、市场与产业的系统性重塑。电力系统新业态作为该体系的重要底座，体现了数字化、市场化、绿色化和自治化的趋势，对我国能源安全、产业升级和碳中和战略具有深远意义。

未来十年，随着虚拟电厂、零碳园区和绿电直连等新业态的成熟与规模化应用，我国电力系统将逐步实现：

- 数字化自治化：能源生产、传输、消费与交易数字化、智能化、自适应运行；
 - 市场化高效化：形成全社会多主体参与的绿色电力市场，合理激励新能源消纳；
 - 绿色低碳化：电力系统成为支撑全社会碳减排与能源转型的核心引擎；
 - 产业与生态融合化：能源系统与产业、环境、城市发展深度融合，实现系统最优与社会最大化效益。
- 新业态的健康发展，是国家能源治理体系现代化的重要体现，也是中国在全球能源转型浪潮中占据战略主动的重要保障。

参考文献

[1] 国家发展改革委, 国家能源局. 加快构建新型电力系统行动方案 (2024—2027 年) [EB/OL]. 2024. (官方来源: 国家发改委网站).

[2] 国家发展改革委, 国家能源局. 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) [EB/OL]. 2025. (官方来源: 国家能源局网站).

[3] 国家能源局. 政策解读 | 绿电直连试点政策三大亮点值得关注 [EB/OL]. 2025. (来源: 能源局政策解读版块).

[4] 国家发展改革委, 国家能源局. 电力辅助服务市场基本规则 [EB/OL]. 2025. (官方 PDF 来源: 国家能源局).

[5] 国家发展改革委. 电力市场运行基本规则 (2024 年版) [EB/OL]. 2024. (来源: 发改委电力司文件).

[6] 中华人民共和国国务院办公厅. 新时代的中国能源发展 (白皮书) [R]. 北京: 国务院新闻办, 2020. (官方来源: 国新办).

[7] 2025 年全球能源互联网大会. 新型能源体系发展白皮书 [EB/OL]. 2025. (来源: 中国报告大厅).

[8] International Energy Agency (IEA). Global Energy Review 2024 [R]. Paris: IEA, 2024. (全球能源系统趋势分析报告).

[9] Chai S, Hu J, Wang X, et al. Towards next generation virtual power plant: Technology review and framework [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023, 175: 113–145. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113145.

[10] 张伟, 刘强. 100% 新能源场景下考虑频率稳定约束的源网荷储一体化系统储能优化研究 [J]. 电力系统自动化, 2024, 48(10): 55–66.

[11] 中国电机工程学会, 国家电网能源院. 虚拟电厂技术白皮书 (2024) [R]. 北京: 中国电机工程学会, 2024.