

# The Implementation Path of China's New Power System: Strategic Analysis Based on the Current Power Supply and Demand Situation and Future Challenges

Sen Duan

National Energy Group Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

## Abstract

The paper comprehensively analyzes the key issues of China's power system transformation, focusing on the current situation and future trends of electricity supply and demand in 2023-2024. Through a detailed analysis of national electricity consumption and production, it reveals the characteristics of electricity consumption in various industries, changes in residential electricity consumption patterns, as well as the growth of installed power capacity and the increase in the proportion of non fossil energy generation. It points out the challenges posed by seasonal supply-demand contradictions and extreme weather to power supply guarantee. Subsequently, the paper deeply discusses the sustainable development problems encountered in the process of constructing the new power system, especially the economic and technical barriers of renewable energy grid connection, the urgency of coal power transformation and the need for system flexibility, and puts forward the use of digital intelligence technology to improve the power grid absorption capacity and demand side response strategies.

## Keywords

power supply and demand analysis; new power system; renewable energy; coal power transformation; power grid consumption; demand side response

## 中国新型电力系统实现路径：基于当前电力供需形势与未来挑战的策略分析

段森

国家能源集团科学技术研究院有限公司，中国·江苏·南京 210000

## 摘要

论文针对中国电力系统转型的关键议题进行了全面分析，聚焦于2023—2024年度的电力供需现状与未来趋势，通过对全国电力消费与生产的详尽分析，揭示了各产业用电特性、居民生活用电模式的变化，以及电力装机容量的增长与非化石能源发电比例的提升，指出季节性供需矛盾与极端天气对电力保供构成的挑战。随后，论文深入探讨构建新型电力系统过程中遇到的可持续发展难题，特别是可再生能源并网的经济性和技术障碍，煤电转型的迫切性与系统灵活性的需求，并提出利用数智技术提升电网消纳能力和需求侧响应策略。

## 关键词

电力供需分析；新型电力系统；可再生能源；煤电转型；电网消纳；需求侧响应

## 1 中国电力供需现状与趋势分析

### 1.1 电力消费需求情况

2023年，中国全社会用电量达到9.22万亿千瓦时，人均用电量为6539千瓦时，同比增长6.7%，增速较2022年显著提升，体现了国民经济回升向好的积极态势。全年各季度用电量均呈增长态势，尤其是四季度，受低基数效应和经

济回暖影响，同比增速达到10.0%。这表明，随着疫情防控政策的优化和经济活动的恢复，电力消费市场正逐步回暖<sup>[1]</sup>。

从产业结构来看，第一产业用电量增长迅速，达到1278亿千瓦时，同比增长11.5%，农业、渔业和畜牧业用电量分别增长7.8%、9.2%和18.3%，反映出乡村振兴和农业电气化进程的加速。第二产业用电量占比较大，为6.07万亿千瓦时，同比增长6.5%，其中制造业用电量增长7.4%，高技术装备制造业增长尤其显著，反映了产业结构的持续优化升级。第三产业用电量增长12.2%，显示出服务业的强劲复苏，特别是批发零售、住宿餐饮、交通运输等行业用电量增长显著。相比之下，城乡居民生活用电量增长放缓，同

【作者简介】段森（1995-），男，中国山西浑源人，硕士，助理工程师，从事新型电力系统安全防护与恢复控制、电气继电保护研究。

比增长 0.9%，反映出了高基数效应的影响。

## 1.2 电力生产供应情况

近年来，中国电力生产供应情况呈现出显著的转型与升级趋势。2023 年，中国电力装机容量实现了显著增长，全国全口径发电装机容量达到了 29.2 亿千瓦，同比增长 13.9%，其中非化石能源发电装机首次超过火电装机规模，占总装机容量的比重突破 50%，这一里程碑式的转变标志着中国电力系统正朝着更加绿色低碳的方向迈进<sup>[2]</sup>。非化石能源发电装机的快速增长，尤其是太阳能和风电的迅猛发展，预示着可再生能源在电力供应中的角色日益重要。2023 年，新增并网太阳能发电装机规模超过 2 亿千瓦，与并网风电一起，使得全国并网风电和太阳能发电总装机规模突破 10 亿千瓦大关，占总装机比重达到 36%，显示出中国在新能源发电领域的巨大成就。

在增强调峰能力方面，火电、核电、风电的发电设备利用小时数均有所提高，显示了系统在应对可再生能源波动性方面的增强。特别是火电作为当前电力供应的主力电源，通过提高设备利用效率和灵活性改造，发挥了兜底保供的关键作用。同时，政策层面推动了辅助服务市场的完善，包括频率稳定和电压稳定相关的辅助服务价格机制的建立，为电力系统安全稳定运行提供了重要保障。

## 1.3 供需形势与挑战

中国电力供需现状呈现出总体平衡态势，但随着经济的持续增长和社会发展的多元化需求，电力系统正面临前所未有的挑战与变革。2023 年，全国用电量达到 9.22 万亿千瓦时，同比增长 6.7%，显示出经济回升对电力消费的正向拉动作用。分季度来看，用电量增速逐季上升，反映了经济活动的回暖和终端消费市场的逐步复苏。然而，电力供需平衡并非没有隐忧，尤其是在特定时段和地区，供需矛盾仍然突出。

季节性供需矛盾是当前电力保供的一个重要压力点。夏季高温期间，空调等制冷设备的大量使用使得电力需求激增，考验着电力系统的峰值供应能力。而冬季，大范围的极端严寒天气同样导致用电负荷显著增加，部分省级电网在极端条件下供需形势较为紧张。例如，2023 年冬季，全国近十省级电网遭遇强寒潮、强雨雪天气，电力行业通过需求侧响应等措施才得以保障系统安全稳定运行。此外，可再生能源的大规模并网与消纳对电力系统提出了新的挑战。随着非化石能源发电装机规模的持续增长，尤其是风电和太阳能发电的快速发展，其固有的间歇性和不确定性对电力系统的灵活性和调度能力提出了更高要求。虽然 2023 年中国电力系统经受住了上半年来水偏枯、夏季高温、冬季严寒等自然条件的考验，但未来如何有效管理这些季节性因素对电力供需的影响，以及如何确保在极端天气事件频发的背景下电力系统的韧性，将是亟待解决的关键问题<sup>[3]</sup>。

# 2 构建新型电力系统面临的挑战与策略

## 2.1 可持续发展难题

在向低碳能源体系转型的过程中，构建新型电力系统

是一项复杂而艰巨的任务，面临诸多挑战，其中可持续发展难题尤为突出。首先，可再生能源，尤其是风能和太阳能，虽然边际成本较低，但初始投资成本高昂，且其发电量受自然条件影响，具有波动性和不确定性。这种不稳定性导致投资回报率难以准确预测，增加了投资者的风险感知，影响了可再生能源项目的长期融资与可持续发展。因此，如何设计稳定且具有吸引力的政策机制，如长周期电力购买协议和绿色证书制度，以确保可再生能源投资的长期稳定回报，是当前亟待解决的问题。其次，中国可再生能源资源与电力负荷中心的地理逆向分布特性，要求大规模长距离输电，这不仅推高了输电系统的建设和运营成本，也对电网的安全稳定运行构成了挑战。输电距离的增加导致输电损耗增大，且在高比例可再生能源接入的情况下，电网的动态平衡与稳定控制变得更加复杂。因此，发展高效、可靠的特高压输电技术，以及构建包含先进电力电子设备的灵活、智能电网，对于优化资源配置、降低输电成本、提升电网稳定性至关重要。最后，电力电子设备的大规模应用虽然增强了电力系统的灵活性，但也降低了系统的转动惯量，影响了电网的频率稳定性和电压控制。因此，必须探索新型技术与策略，如虚拟同步机、电力电子型惯量模拟技术等，以模拟传统同步发电机的功能，保障电网的频率稳定性和电压质量。

针对上述挑战，策略上需多管齐下：一是建立长期稳定的政策环境，如通过长周期电力交易机制，为可再生能源项目提供稳定的投资回报预期；二是加大电网基础设施投资，特别是发展特高压输电技术与智能电网技术，提高电网的远距离输电能力和灵活性；三是创新电力市场机制，如引入辅助服务市场，激励储能、需求侧响应等灵活性资源的发展，以平衡供需波动；四是推动关键技术的研发与应用，如先进的储能技术、数字孪生技术、人工智能在电网调度中的应用，以增强系统的调节能力和应对突发事件的能力。通过这些策略的综合运用，可望有效应对构建新型电力系统过程中面临的可持续发展难题。

## 2.2 系统灵活性与煤电转型

当前，为了实现碳中和目标，中国正大幅度提高非化石能源在能源结构中的比例，导致煤电占比逐年下降。这一转变虽然有助于减少温室气体排放，但也引发了系统灵活性需求激增的新问题。煤电机组作为传统基荷电源，具有较强的调节能力和备用容量，其占比的下降直接影响了电力系统的稳定性和应对供需波动的能力。面对这一挑战，开发和利用辅助服务市场成为增强系统灵活性的关键策略。辅助服务市场能够激励各类电源和负荷资源参与到电网的频率、电压控制以及备用容量提供中，有效弥补煤电转型带来的灵活性缺口。通过市场机制，诸如快速响应的储能设施、需求侧管理资源以及灵活调节的天然气发电等，能够获得合理的经济补偿，从而激发其参与系统调节的积极性，提高整个电力系统的灵活性和可靠性。

此外，氢能技术作为新兴的清洁能源载体，也为电力

系统转型提供了新的解决方案。氢能不仅可以作为存储介质，解决可再生能源发电的间歇性和波动性问题，还能通过氢燃料电池发电，在电力需求高峰时段提供灵活的调峰能力，补充煤电转型后的系统调节能力不足。同时，利用过剩可再生能源电解制氢，能够实现电力与氢能的耦合，构建更加多元化的能源供应体系，进一步增强系统的灵活性和能源利用效率。

### 2.3 电网消纳能力提升

构建以高比例可再生能源为基础的新型电力系统成为必然趋势，而电网消纳能力的提升则是实现这一目标的关键。传统电力系统设计主要围绕稳定可靠的化石能源发电，而可再生能源如风能和太阳能的随机性和间歇性对电网调度与市场机制提出了全新挑战。电网必须在保持稳定运行的同时，高效接纳这些波动性强的电源，确保电力供应的安全、可靠和经济。

首先，电网调度需要从传统的集中式、单向调度模式转变为更加灵活、智能的双向互动模式。这要求电网调度中心能够实时处理大量可再生能源发电数据，精确预测其出力变化，并快速做出反应，优化发电与负荷的匹配。此外，电网需要在更大范围内进行资源调配，通过跨区域的电力市场和调度机制，实现可再生能源的优化配置和余缺互济，减轻局部电网因可再生能源出力波动带来的压力。其次，市场机制的创新是提升电网消纳能力不可或缺的一环。建立完善的中长期交易和短期现货市场，特别是引入绿色电力证书交易、辅助服务市场等机制，可以激励可再生能源投资，保障可再生能源发电项目的经济性，同时调动各类资源参与系统调节，提升电网整体的灵活性和响应速度。通过市场机制设计，确保各类资源根据边际成本原则高效参与电力平衡，是应对可再生能源波动性的重要途径。

数智技术，包括大数据分析、人工智能、云计算等，在新型电力系统的构建中扮演着核心角色。一方面，它们可以增强电网的感知与预测能力，通过数字孪生技术等手段，实时监控电网运行状态，预测可再生能源发电潜力和负荷需求，优化发电计划与调度策略。另一方面，智能电网的建设将电力电子技术与信息技术深度融合，提高电网对电力电子设备密集接入的适应性，实现故障的快速隔离与自我修复，增强系统的韧性。

构建新型电力系统，提升电网对高比例可再生能源的消纳能力，需要电网调度与市场机制的深刻变革，以及数智技术的广泛应用。通过跨学科、跨领域的技术创新与机制创新，确保电力系统在高比例可再生能源接入的背景下，依然能够保持高效、安全、经济运行，是当前电力系统转型的重要课题。

### 2.4 需求侧弹性与市场参与

首先，政策层面应着眼于构建一个能够激励需求侧参与电力市场的环境。这包括推行分时电价、尖峰电价等机制，使用户能够根据实时电价调整用电行为，从而直接响应电力

系统的供需变化。通过这样的价格信号传导机制，用户可以了解电力成本的实时变动，促使他们在高峰时段减少用电或在低谷时段增加用电，有效平抑电网负荷峰谷差。其次，市场机制的创新是提升需求侧响应能力的关键。构建完善的辅助服务市场，将需求侧资源纳入辅助服务范畴，如提供调频、备用等服务，是实现电力系统灵活性提升的有效方式。这不仅要求建立合理的辅助服务价格体系，还需要通过市场设计确保需求侧资源可以公平参与，获得相应的经济补偿，进而激发用户参与市场交易的积极性。最后，培育用户侧的市场参与能力是提升需求侧弹性的另一重要方面。这涉及提高用户对电力市场运作机制的理解、提升其技术认知，以及增强负荷聚集商的专业运营能力。通过政府、电网公司、电力交易中心等多方面的共同努力，推广普及需求侧响应技术，如智能电表、能源管理系统等，使用户能够实时监控和管理自己的电力消耗，提高其响应电力系统需求的能力。

还需注意的是，为需求侧提供全方位成为市场主体的机会至关重要。这要求全面放开市场准入，允许用户、售电公司、负荷集成商等多类型主体参与电力市场，从电能量交易扩展到辅助服务、容量市场等多个层面。通过这样的市场设计，可以充分调动需求侧的主动性，使之在电力系统运行中扮演更加积极的角色。

## 3 结论与展望

构建新型电力系统是一项复杂的系统工程，需遵循电力系统运行的物理规律与市场规律，兼顾安全、可靠、经济与绿色低碳的多维目标。研究发现，新型电力系统的成功构建与运行，需在政策、市场、技术三方面综合施策。政策层面，应持续优化电力市场体系，通过长周期交易机制保障可再生能源投资，建立完善的辅助服务市场，以及推出差异化、精细化的政策激励措施，如对氢能、储能等关键技术的支持。市场层面，推动电力市场机制的完善与创新，提升用户参与度，促进电力资源的优化配置。技术方面，加强数智技术与电网的深度融合，提升电网智能化水平，增强系统对可再生能源的接纳与调节能力。

针对中国电力系统转型面临的问题，应进一步完善省级乃至区域电力市场，加快辅助服务市场的建设和运行，确保各类市场主体公平参与；促进技术创新与产业升级，特别是在大规模储能、氢能、电力电子技术等领域；深化国际合作，分享中国经验，学习国际先进实践，共同推进全球能源转型。

### 参考文献

- [1] 林楚. 2023年全社会电力需求稳步增长 非化石能源发电领航电力行业新时代[N]. 机电商报, 2024-02-26(A06).
- [2] 王文嫣. 中电联预测2024年全社会用电量增速6%[N]. 上海证券报, 2024-01-31(008).
- [3] 祝嫣然. 中电联预计今年用电量增长6% 新能源总装机将超煤电[N]. 第一财经日报, 2024-02-02(A10).