

可再生能源对中国经济发展和全球气候治理的贡献与展望

王 灿^{1,2,*}, 郑馨竺³

1. 清华大学 环境学院, 北京 100084;
2. 清华大学 碳中和研究院, 北京 100084;
3. 中国石油大学(北京) 经济管理学院, 北京 102249



摘 要 : 迅速崛起的可再生能源产业已成为全球瞩目的经济社会发展新动能。尤其是在中国, 以风电、光伏为典型代表的可再生能源产业规模快速扩张, 技术成本大幅下降, 整体发展处于全球领先地位, 对促进经济社会可持续发展和全球积极应对气候变化发挥了重要作用。通过分析中国可再生能源发展的战略意义, 提出以下三方面思考: ①高比例可再生能源的长期布局已成必然趋势, 但中短期发展动态仍面临较大不确定性; ②可再生能源发电的近零边际成本将推动能源经济系统性变革; ③数字技术是可再生能源大规模发展的关键支撑, 能源管理策略正逐步由资源导向转为科技导向。据此, 建议: ①加强社会-经济-环境-技术复杂系统非线性反馈关系研究, 提升对可再生能源中短期发展动态的预测能力; ②加快改革电价体系, 以适应可再生能源电力系统近零边际成本特性, 激励供给侧投资及需求侧灵活响应; ③促进数字技术与可再生能源系统深度融合, 完善相关法规标准, 推动能源系统低碳化和数字化双升级。

关 键 词 : 可再生能源; 社会经济影响; 全球气候治理; 前景展望

中图分类号 : X24; F206 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-4981(2025)01-0069-07
DOI: 10.3724/j.issn.2097-4981.JECC-2024-0024

Contribution and Prospects of Renewable Energy to China's Economic Development and Global Climate Governance

WANG Can^{1,2,*}, ZHENG Xinzhu³

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Institute for Carbon Neutrality, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
3. School of Economics and Management, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

Abstract : The rapidly growing renewable energy industry has emerged as a key driver of global socioeconomic development. In China, the renewable energy sector, led by wind and solar power, has experienced rapid expansion and significant cost reductions, placing the country at the forefront of global renewable energy advancements. This growth has contributed significantly to China's sustainable development goals and has played a critical role in global efforts to combat climate change. This paper highlights three key aspects of China's renewable energy development: First, the transition to a high share of renewable energy in the long term is inevitable, though short- and medium-term development trends remain uncertain. Second, the near-zero marginal cost of renewable energy generation is expected to drive transformative changes in the energy economy. Third, digital technologies are crucial for enabling the large-scale deployment of renewable energy, with energy management strategies shifting from resource-based to technology-driven approaches. To

收稿日期: 2024-11-04; **接受日期:** 2024-11-14

基金项目: 国家自然科学基金委专项项目 (72348001)

作者简介: 郑馨竺 (1991—), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为能源-经济-环境系统分析。E-mail: xinzhu Zheng@cup.edu.cn

通讯作者: 王 灿 (1974—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为气候变化经济学与政策、能源环境经济系统模拟与分析。
E-mail: canwang@tsinghua.edu.cn

address these challenges, we propose the following recommendations. First, strengthen research into the non-linear feedback loops within socio-economic, environmental, and technological systems to improve short- and medium-term forecasting of renewable energy trends. Second, accelerate reforms to the electricity pricing system to reflect the near-zero marginal costs of renewable energy, encouraging investment on the supply side and flexibility on the demand side. Third, promote the integration of digital technologies with renewable energy systems, enhancing regulatory frameworks and standards to support the dual transition toward decarbonization and digitalization in the energy sector.

Key Words : renewable energy; socioeconomic impact; global climate governance; future prospects

0 引言

近年来,发展可再生能源已成为全球经济与技术竞争的新赛道。可再生能源能够在短期内通过自然过程不断补充和再生的特性^[1],打破了化石能源资源有限和不可再生的束缚,改变了传统化石能源依赖的经济模式,为全球能源系统重塑和生产生活方式深刻变革带来了全新机遇。在全球资源环境压力持续上升、经济发展亟待破局的当下,可再生能源正逐步从边缘选择转变为主流能源,成为世界各国应对全球环境挑战、推动经济社会可持续发展的关键路径。基于这一广泛共识,《联合国气候变化框架公约》第28次缔约方大会(COP28)提出,到2030年将全球可再生能源装机容量增至三倍,达到至少11000GW。作为实现此目标的中坚力量,中国在可再生能源发展历程中扮演了重要角色,并以实际行动积极引领全球可再生能源发展方向。中国可再生能源的发展带来了哪些经济社会影响?其发展现状与未来前景如何?围绕以上问题,本文探讨了中国可再生能源发展的战略意义,并对其未来发展趋势提出了几点思考。

1 中国可再生能源发展现状

1.1 部署规模迅速扩张,成为能源供应新支柱

过去十余年,中国持续推进清洁能源替代进程,大力建设大型风光发电基地与分布式能源系统,积极探索光伏治沙、农光互补、水风光一体化、海上风电、绿电制氢以及“源网荷储”一体化等新模式、新业态,在可再生能源电力规模化发展方面取得显著成效。2013—2023年间,中国可再生能源发电装机容量增长近三倍,年均增速接近15%。强劲增长势头下,2023年中国可再生能源发电累计装机规模突破15亿千瓦,占全国发电总装机的比重首次超过火电,达到52%(图1)。其中,光伏和风电装机分别达到6.1亿千瓦和4.4亿千瓦,跃升为中国第二、第三大电源^[3]。与此同时,中国可再生能源电力利用水平也逐步提升。自2019年以来,风电和光伏发电的利用率始终维持在95%以上,2023年更是分别达到97.3%和98%^[4]。

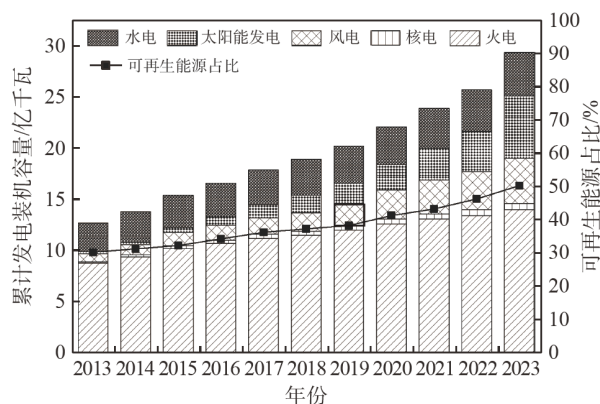


图1 2013—2023年中国发电装机容量

Fig.1 Installed power generation capacity in China from 2013 to 2023

注:根据《电力工业统计资料汇编》^[2]及国家能源局^[3]数据整理。

规模增长和高效利用双驱动下,可再生能源发电已成为中国能源供应体系的重要支柱。

1.2 技术成本快速下降,竞争优势超过化石能源

可再生能源装机容量迅速扩张带来的规模效应,驱动着技术成本快速下降。2010—2023年间,中国光伏发电的平准化电力成本(Levelized Cost of Energy, LCOE)从每千瓦时0.340美元降至0.041美元,降幅近90%,较化石燃料的加权平均成本低50%以上;陆上风电的LCOE从每千瓦时0.090美元降至0.026美元,下降幅度超过70%,较化石燃料的加权平均成本低70%(图2)^[5]。风光可再生能源发电相较于传统化石能源发电的成本竞争力日益增强。

1.3 国际影响力日益增强,引领全球能源转型

依托产业规模和供应链体系方面的优势,中国可再生能源产业发展已位居全球前列。在发展规模方面,中国光伏和风电累计装机容量自2015年起保持全球第一。2023年,中国可再生能源新增装机容量达305GW^[6],占全球新增装机(507GW)的60%^[7];其中,太阳能光伏新增装机容量几乎相当于2022年全球总量。伴随规模效应的显现,中国可再生能源发电成本也成为全球市场竞争力的标杆。2010—2022年间,

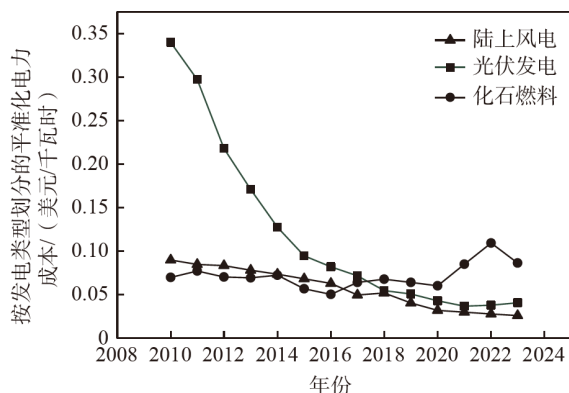


图2 2010—2023年中国光伏发电、陆上风电与化石燃料发电的平准化电力成本

Fig.2 LCOE for photovoltaic power generation, onshore wind power, and fossil fuel power generation in China from 2010 to 2023
注：根据国际可再生能源署（IRENA）^[5]数据整理。

中国光伏和风电的单位发电成本始终处于全球最低水平。

除了规模和成本优势，中国可再生能源装备制造也在全球供应链中发挥着关键作用。得益于完备的产业链布局和领先的技术研发，中国已成为全球风电和光伏产品的主要供应国，产品出口至200多个国家和地区，累计出口额分别超过334亿美元和2453亿美元^[8]。其中，中国制造的多晶硅、硅片、光伏电池和组件占据全球市场份额80%以上^[9]；所产风电机组铸件及关键零部件占全球市场70%以上^[10]。

2 可再生能源发展的经济社会环境新贡献

2.1 可再生能源产业成为中国经济增长新动能

可再生能源及相关产业的快速发展，已成为推动中国经济增长的重要引擎，通过促进投资、优化贸易格局、推动产业升级和技术创新，为中国经济注入强劲动力。

投资方面，中国在可再生能源发电领域的产能部署及配套设施建设成为国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP）的新增长点。2023年，中国可再生能源电源工程建设完成投资8098亿元（水电投资1029亿元，风电投资2753亿元，太阳能发电完成投资4316亿元），电网工程完成投资5277亿元^[11]，合计投资额相当于当年1%的GDP，20%左右的GDP增量。其中，太阳能发电的电源工程建设投资在过去十年间增长最快，2013—2023年间年均增速达30%（图3）。除了直接贡献GDP增长，可再生能源电力相关投资的经济影响还通过产业链拉动效应进一步放大，带动材料供应、电力传输、信息通信和设备安装等上下游产业蓬勃发展，形成明显乘数效应。根据国

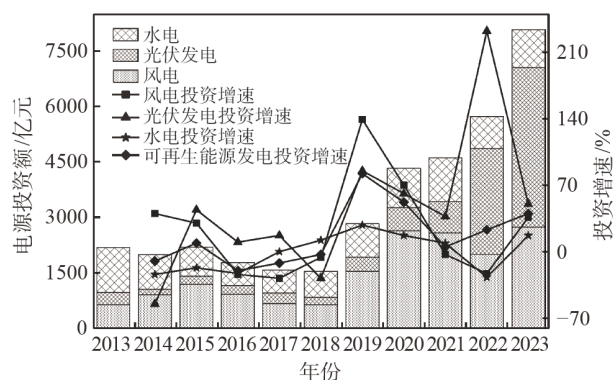


图3 中国可再生能源发电投资总额及年度增速

Fig.3 Total investment and annual growth rate of renewable energy generation in China

注：根据《中国电力年鉴》^[12]和《中国电力行业年度发展报告》^[11,13]数据整理。

际货币基金组织的研究^[14]，可再生能源投资对GDP影响的乘数效应（1.1~1.7）系统性地高于化石能源投资（0.4~0.7）。

贸易方面，风电、光伏等可再生能源电力快速发展不仅通过相关产品的贸易顺差直接增加了中国的外汇收入，还可通过提升国内能源自给率、减少对化石能源的进口依赖，带来间接经济效益。2023年，包含光伏产品在内的“外贸新三样”出口总额首次突破万亿元，对贸易顺差增长发挥了积极作用。与此同时，中国花费约3.4万亿元进口煤炭、原油、成品油、天然气等化石能源^[15]。可以预见，随着可再生能源发电部署规模的进一步扩大，中国能源自给能力将持续增强，化石能源进口依赖有望逐步减少，从而减轻能源采购支出压力，缩小该领域的贸易逆差，产生隐性经济效益。

产业升级和创新激励方面，可再生能源产业与人工智能、大数据等新一代信息技术深度融合，推动了高新技术产业协同升级与创新。一方面，可再生能源电力系统在智能规划、实时监测和优化调度方面的迫切需求，带动了人工智能和大数据技术在电力系统的创新应用，提升发电系统效率和智能化管理水平的同时，也促进了人工智能算法优化、传感技术升级以及大数据分析能力的提升，进而推动相关产业的技术迭代与突破。另一方面，清洁能源的广泛应用为人工智能、大数据等高能耗产业提供了绿色电力支持，有效降低了数据中心的碳排放，助力“绿色算力”和数字化产业的可持续发展。

2.2 可再生能源建设成为推动社会进步新抓手

除了显著的经济拉动效益，可再生能源的发展还通过带

动就业增长、赋能乡村振兴、促进区域协调发展、减污降碳和改善公众健康等方式，在推动社会进步、改善民生福祉方面发挥重要作用。

就业影响方面，可再生能源投资的就业促进效应显著高于传统化石能源。研究表明，每百万美元的化石燃料投资创造2.65个全职当量（Full Time Equivalent, FTE，指按照标准工作时间开展全职工作）工作岗位，而同等投资在可再生能源领域可创造7.49个岗位^[6]。尽管低碳转型进程下，化石能源行业就业岗位减少不可避免，但可再生能源的快速发展将带来更多就业机会^[17]。根据一项综合评估模型的预测^[18]，若全球温升控制在2℃以内，至2050年全球能源部门就业岗位将由1800万个增至2100万个；若更严格控温至远低于2℃，就业岗位将增至2600万个，其中，84%的新岗位来自风能和太阳能领域，涵盖制造、运维及建筑等多个环节。

乡村振兴方面，可再生能源的开发利用能够催生劳动力、资本、资源和技术等要素在城市与乡村之间流动模式的变革，打破乡村资源向城市单向输出的困局，带动乡村地区发展，促进城乡融合。具体而言，可再生能源项目建设驱动更多资本和资源流向乡村基础设施建设，通过铺设道路、优化输配电系统、增加能源供应，改善乡村地区生活条件和发展潜力。截至2019年底，全面建设完成的中国光伏扶贫项目共惠及415万户家庭，使家庭能源贫困减少6%^[19]，人均可支配收入增加3%~8%^[20-21]。此外，“农光互补”、“渔光一体”等新模式、新业态的涌现，进一步拓展了乡村振兴的路径。如，安徽雷江村的“农光互补”项目累计发电量约126万千瓦时，为村集体带来了106.92万元的总收益，拉动38人就业^[22]；河南谢寨村建设的6处“渔光一体”项目每年发电量288万千瓦时，使村集体收入每年增加6万元^[23]。

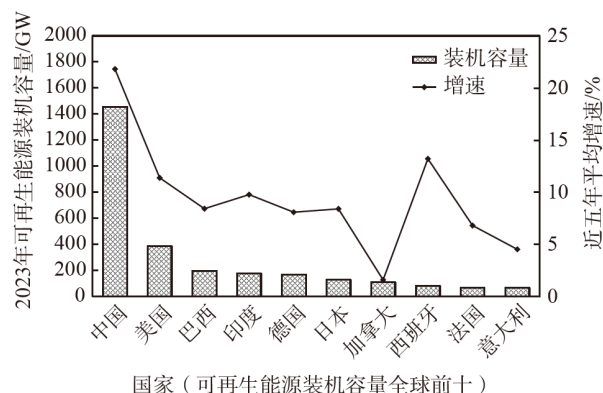
区域层面，由于资源禀赋和政策力度差异，不同地区可再生能源具有不均衡性，这为加速西部大开发战略实施提供了契机。中国西部地区凭借丰富的可再生能源资源禀赋，依托大型风电光伏基地规模化开发、“西电东送”等项目，在实现将能源资源优势转化为发展优势、显著提升能源供应自给能力的同时，也为东部地区的经济发展提供了可靠的绿色能源支持。2023年，我国“西电东送”输电能力约3亿千瓦^[24]；2013—2023年，“西电东送”累计输送电量超过9万亿千瓦时。此外，凭借绿色电力供应优势，西部地区也成功吸引了大数据中心和人工智能等高耗能产业入驻，推动“东产西移”政策落地，提升当地产业竞争力的同时，加速了经济结构的转型升级。以内蒙古为例，作为八大算力枢纽节点之一，其拥有的和林格尔数据中心集群正在吸引以绿色算力为核心的上

下游配套产业向西部集聚，成为国家“东数西算”工程的重要支点，带动了当地高新技术产业的发展。

此外，可再生能源利用还在减污降碳及改善公众健康方面发挥着积极作用。研究显示，可再生能源使用占比每增加1%，二氧化碳排放量可下降0.1%~0.6%^[25-27]，由环境污染减少带来的身体健康改善幅度约0.3%，心理健康改善幅度约0.2%^[28]。若遵循以发展可再生能源为主导的碳中和路径，到2060年中国所有省份的空气质量均可达到世界卫生组织的指导标准，人均预期寿命将在基准情景基础上延长0.88~2.80岁，避免累计2200万~5000万人过早死亡^[29]。

2.3 可再生能源发展成为参与全球气候治理新名片

中国是全球可再生能源发展的核心力量。就总量而言，2023年中国可再生能源装机规模位列全球第一，接近1500吉瓦，超过全球第二名至第十名总和（图4）。从增速上看，中国可再生能源装机量在2018—2023年间平均增速高达21.8%。尤其是2023年，中国可再生能源装机容量增量较2022年翻倍；若继续保持这一增长速率，中国可再生能源装机规模将远超2030年三倍增长目标的要求，而其他国家需将年均增长率提升36%方能助力全球三倍目标的实现^[31]。在当前发展趋势下，预计到2030年中国新增可再生能源装机容量将占全球增量的60%以上，累计装机容量也将超过全球总量的一半^[32]。



国家（可再生能源装机容量全球前十）

图4 2023年全球可再生能源装机容量排名前十国家装机容量增速

Fig.4 The growth rate of installed capacity in the top ten countries in the global renewable energy installed capacity ranking in 2023
注：根据IRENA^[30]数据整理。

此外，中国可再生能源发电的规模效应显著降低了全球装机成本。在国际贸易和技术溢出效益推动下，中国为全球光伏和风电装机分别平均节省170~223美元/kW和206~304美元/kW，截至2023年已累计节约了2202~3511亿美元和1123~

2174亿美元。就节约成本的资金规模而言,美国获益最多,其次是巴西、印度、日本、德国和澳大利亚。预计到2030年,中国将为全球节约5244~8289亿美元的光伏装机成本和4589~6709亿美元的风电装机成本,可填补全球实现可再生能源三倍目标投资缺口的10%~14%(图5)。相较于与中国脱钩情景,有中国参与可使全球实现可再生能源三倍增长目标的概率显著提升,同时发展中国家能源转型的经济负担显著降低,全球区域发展公平性得以改善^[33]。

3 关于可再生能源发展前景的几点思考

3.1 长期尺度下高比例可再生能源电力部署是大势所趋,但中短期发展面临较大不确定性

加快能源绿色低碳转型、部署高比例可再生能源电力系统,已是全球应对气候变化和可持续发展的广泛共识。大部分研究表明^[34-39],按照碳中和路径,到2050年中国发电量将达11~16万亿千瓦时,其中非化石能源发电占比预计为80%~90%,煤电占比降至10%以下。

尽管长期尺度下高比例可再生能源电力部署是必然趋势,但社会-经济-环境-技术系统之间关系错综复杂且存在非线性

反馈^[40-41],受市场需求、政策支持、社会参与、经济发展形势、国际政治格局以及资源环境等多重因素影响,可再生能源发电的中短期发展路径具有高度不确定性。例如,随着规模效益递增和“边做边学”带来的成本下降,技术突破可能触发发展临界点,呈现突变式变化,难以依靠历史数据进行线性预测^[42]。再如,光伏和风电等可再生能源技术高度依赖关键矿产资源,而这些资源供应具有显著的区域集中性^[43-44];地缘政治格局演变和贸易政策调整,都可能通过影响关键矿产资源供应加剧可再生能源产业在中短期内的不确定性。

从历史发展趋势来看,风电和光伏发电等可再生能源电力的装机容量和发电量在短期内的增长屡次超出预期。以2002—2016年间IEA发布的《世界能源展望》为例,尽管其每一次都接受了过去光伏快速发展的事实(情景起点随时间推移不断升高),但对新增光伏装机规模的模型预测仍多次低于实际值^[45]。清华大学碳中和研究院发布的《2024全球碳中和年度进展报告》指出了可再生能源电力中短期发展趋势的不确定性^[33]。报告显示,若各国延续2000—2023年的历史增长趋势,全球2030年装机容量仅能达到2022年水平的1.7~2.7倍;然而,2023年全球可再生能源发电成本的急剧下降和规模快速扩张,使未来增长潜力更趋乐观。

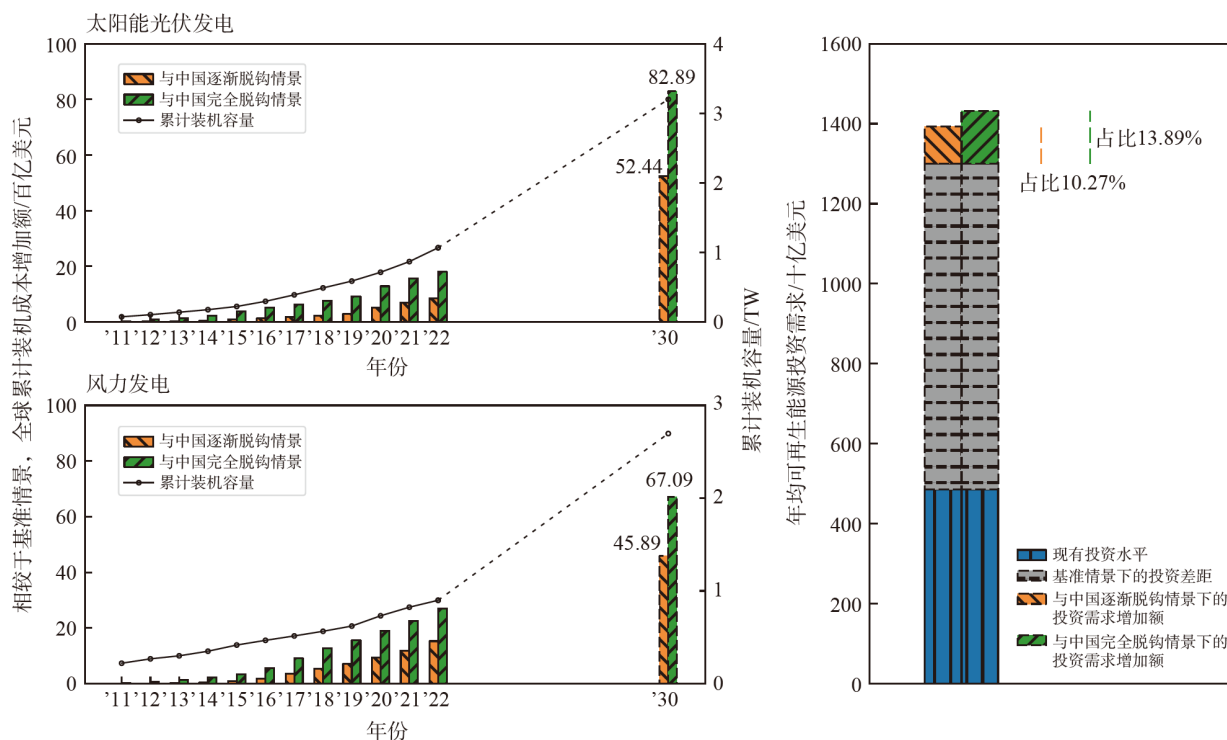


图5 不同情景下全球实现可再生能源三倍目标的累计装机成本变化

Fig.5 Cumulative installed cost changes for achieving triple renewable energy targets globally under different scenarios

注:作者课题组测算结果,详见清华大学碳中和研究院《2024全球碳中和年度进展报告》^[33]。

据此，本研究提出以下建议：深入研究和模拟社会、经济、环境、技术等系统间的非线性反馈关系，提升对可再生能源中短期发展趋势的预测能力。采取更具弹性和灵活性的方法进行能源系统规划和政策制定，建立逐步调整和滚动评估机制，通过分阶段评估确保政策目标与实际情况的动态匹配，降低对单一发展情景的依赖风险。增强政策支持的适应性，根据市场需求、技术进展、贸易形势、地缘政治格局等灵活调整政策机制，快速响应可再生能源发电成本下降和市场变化，同时鼓励加快储能、智能电网等配套设施投资，推动关键矿产资源回收和替代材料研发，提升系统整体适应性和风险应对能力。加强多方协同，构建跨部门、跨区域的合作机制，推动国际合作和技术共享，充分发挥全球资源和经验优势，促进政策、技术、市场需求的协同创新，加速全球能源系统的绿色转型。

3.2 可再生能源发电近零边际运营成本催生能源经济系统性变革

风电、光伏发电等可再生能源发电具有高初始投资、近零边际运营成本的特点。研发、开发和部署完成后，可再生能源电力系统每多发一度电的资源成本几乎为零。类似于零边际成本的互联网技术在社会经济系统所引发的全新变革，近零边际成本的可再生能源发电也将深刻重塑能源系统和生产生活方式，催生去中心化能源管理模式、颠覆性技术创新、工艺流程创新以及能源经济新业态。例如，低成本的大规模可再生能源发电将推动绿氢在钢铁、航空等难脱碳行业中的广泛应用，驱动生产方式变革；为人工智能及大数据等高能耗计算系统提供清洁电力保障，支持新一代技术在碳中和目标下的发展；推动智能微电网建设，实现家庭或社区在能源投资、供应和消费方面的自我管理，形成分布式能源自给体系；促进可持续农业和智慧城市的发展，为农业灌溉、交通电动化和建筑零碳化等领域带来稳定的绿色能源供给，创造出广泛的创新需求和全新的市场应用场景。

这种高投资、低边际运营成本的特性意味着，当前广泛采用的电力现货市场边际定价模式或许不再适用。一方面，可再生能源发电的成本主要集中在建设期而非运营期，“按边际成本出清”的定价模式在此情境下可能频繁导致“零电价”或“负电价”，从而限制新项目的投资回报，削弱投资者的积极性。另一方面，以可再生能源为主的能源体系需要需求侧灵活响应来应对电力供应波动，但传统电价机制在激励需求侧响应方面效果有限，难以推动消费者根据电力供应波动及时调整用电需求，这将增加峰值发电厂或电池等备用技

术的投资需求，推高整体发电成本。

为适应可再生能源发电的近零边际成本特点和大规模发展需求，亟需对电价体系进行结构性改革。可参考的具体措施包括：通过容量市场或长期固定合约保障投资回报，增强对可再生能源发电及输配电系统投资的吸引力。联动电力市场和碳市场，创新电碳资产管理模式，将可再生能源的减碳效益直接转化为投资回报。通过尖峰电价、拉大现货市场限价区间等方式，激励需求侧积极响应，引导用户合理调节用电行为。实施面向颠覆性碳中和技术创新的电价优惠政策，激励新兴低碳技术的研发和应用，持续推动能源系统的可持续发展与创新转型。

3.3 可再生能源大规模发展离不开数字技术支撑，能源管理策略正由资源导向转向科技导向

大规模可再生能源发展对能源系统的数字化、智能化提出了更高要求，需要依托云计算、物联网、人工智能和区块链等新一代信息技术，实现电力系统实时管理、精准供需调控、基础设施布局优化和预测性维护等功能。具体而言，为了提升可再生能源电力系统的稳定性和安全性，需借助数字技术实现电力供需动态平衡和“荷网源储”深度协同。例如，通过大数据和人工智能技术的深度融合，对太阳辐射和风速进行精准预测，动态预估可再生能源发电量；依托物联网技术，实时采集和分析电力设备与传输线路数据，使电力系统具备全域感知能力，增强去中心化能源系统中的各方实时互动，从而实现供电方和用户之间的即时协同与多主体交易；通过智能优化电池储能系统，计算最佳电力存储和释放时机，以更好地平衡电力供需波动。这些技术的应用催生了能源互联网、智能电网、虚拟电厂、微电网和车网协同等新型业态，有利于提升能源管理的精准性与灵活性。

此外，数字技术也在支持可再生能源电力系统基础设施布局优化和预测性维护方面发挥重要作用。借助地理信息系统、大数据分析和遥感技术，可综合地理条件、气候模式、能源需求分布和环境影响等因素，帮助确定风电场和光伏电站的最佳选址和规模，从而最大化发电效率并降低输电成本。采用物联网和人工智能技术，可实时监测风力涡轮机和太阳能电池板等设备的运行状况，提前识别磨损或故障风险，确保设备的持续高效运行，将停机时间和维修成本降到最低，提高电力系统的可靠性和稳定性。

由此可见，以可再生能源为主体的能源系统正从资源依赖转向科技依赖，管理模式也将从资源调度走向数字化决策优化。为进一步推进可再生能源与信息技术的深度融合，可

借鉴欧盟委员会的“能源系统数字化行动计划”，从以下三方面重点推进：一是全面推进能源系统的数字化和基础设施建设。统筹建设物联网、人工智能和5G等基础设施，使之与能源系统深度融合，构建全网设备和终端数据实时采集、分析和监控体系，确保电力系统对供需变化高效响应与自我优化。二是完善能源系统数据共享和网络安全制度框架。制定能源系统数据共享和传输标准化规范，健全相关法律法规，加强能源系统网络安全防护，确保能源数据在传输及存储过程中的安全性与隐私性，为可再生能源电力系统的多方协作提供有力制度支持和合规保障。三是创新和强化数字化转型的融资机制。鼓励公共和私人资本参与可再生能源与数字技术融合项目投资，开发绿色债券、碳市场激励等多元化融资工具，支持智能电网、微电网、虚拟电厂、车网协同等新型业态加速发展，推动能源系统绿色低碳与数字化转型双向升级。

致谢 感谢李高、何东全、孙小兵、梁希、张九天、田智宇、熊小平、邹乐乐、鲁玺等专家提供的真知灼见，高艺荧、关钰生、叶文鑫等提供的数据和制图支持。

参考文献

- [1] 新华社. 中华人民共和国能源法[EB/OL]. 2024. (2024-11-09)[2024-11-04]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202411/content_6985761.htm.
- [2] 中国电力企业联合会. 电力工业统计资料汇编[EB/OL]. 2022. [2024-11-04]. <https://data.cnki.net/yearBook/single?id=N2023040054&pinyinCode=YDLGT>
- [3] 国家能源局. 国家能源局发布2023年全国电力工业统计数据[EB/OL]. 2024. (2024-01-26)[2024-11-04]. https://www.nea.gov.cn/2024-01/26/c_1310762246.htm.
- [4] 王轶辰. 可再生能源装机实现两大突破[N]. 经济日报, 2024.
- [5] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable power generation costs in 2023[R]. 2024.
- [6] 国家能源局. 2023年度全国可再生能源电力发展监测评价报告[EB/OL]. 2024. (2024-10-10)[2024-12-21]. https://zfxgk.nea.gov.cn/2024-10/10/c_1310787115.htm.
- [7] International Energy Agency (IEA). Renewables 2023[R]. 2024.
- [8] 国家能源局. 潘慧敏: 2023年全球可再生能源新增装机5.1亿千瓦, 中国贡献超过50%[EB/OL]. 2024. (2024-01-25)[2024-11-04]. https://www.nea.gov.cn/2024-01/25/c_1310761971.htm.
- [9] International Energy Agency (IEA). Special report on solar PV global supply chains[R]. 2022.
- [10] 丁怡婷. 我国海上风电累计装机连续两年位居全球首位[N]. 人民日报, 2023.
- [11] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告2024[R]. 2024.
- [12] 中国电力发展促进会. 中国电力年鉴[M]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
- [13] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告2023[R]. 2023.
- [14] Batini N, Di Serio M, Fragetta M, et al. Building back better: How big are green spending multipliers?[J]. Ecological Economics, 2022, 193: 107305.
- [15] 国家统计局. 中华人民共和国2023年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2024. (2024-02-29)[2024-11-02]. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202402/t20240228_1947915.html.
- [16] Garrett-Peltier H. Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model[J]. Economic Modelling, 2017, 61: 439–447.
- [17] Hanna R, Heptonstall P, Gross R. Job creation in a low carbon transition to renewables and energy efficiency: A review of international evidence[J]. Sustainability Science, 2024, 19(1): 125–150.
- [18] Pai S, Emmerling J, Drouet L, et al. Meeting well-below 2°C target would increase energy sector jobs globally[J]. One Earth, 2021, 4(7): 1026–1036.
- [19] Li Y W, Chen K, Ding R X, et al. How do photovoltaic poverty alleviation projects relieve household energy poverty? Evidence from China[J]. Energy Economics, 2023, 118: 106514.
- [20] Xu S Q, Zhang Q Y, Yang L Y. Policy evaluation and optimization for photovoltaic poverty alleviation projects in Anhui Province of China[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 22402.
- [21] Zhang H M, Wu K, Qiu Y M, et al. Solar photovoltaic interventions have reduced rural poverty in China[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 1969.
- [22] 王秋雨, 陶善美. 雷池镇“农光互补”探索绿色发展新路径[EB/OL]. 2024. (2024-07-30)[2024-11-11]. <https://www.wangjiang.gov.cn/xwzx/xzgj/2029264881.html>.
- [23] 谢艳霞. 郸城: “渔光互补”项目绘就乡村发展新画卷[EB/OL]. 2022. (2022-06-24)[2024-11-11]. <https://www.huanqiu.com/article/48YG0zApoGa>
- [24] 国家能源局. 中国的能源转型[M]. 北京: 人民出版社, 2024.
- [25] Saidi K, Omri A. Reducing CO₂ emissions in OECD countries: Do renewable and nuclear energy matter?[J]. Progress in Nuclear Energy, 2020, 126: 103425.
- [26] Cheng C, Ren X H, Wang Z, et al. Heterogeneous impacts of renewable energy and environmental patents on CO₂ emission—Evidence from the BRIICS[J]. Science of the Total Environment, 2019, 668: 1328–1338.
- [27] Jamil K, Liu D N, Gul R F, et al. Do remittance and renewable energy affect CO₂ emissions? An empirical evidence from selected G-20 countries [J]. Energy & Environment, 2022, 33(5): 916–932.
- [28] Li C G, Fan X B, Wang Y T, et al. Can the development of renewable energy in China compensate for the damage caused by environmental pollution to residents' health?[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(40): 92636–92650.
- [29] Zhang S H, An K X, Li J, et al. Incorporating health co-benefits into technology pathways to achieve China's 2060 carbon neutrality goal: A modelling study[J]. The Lancet Planetary Health, 2021, 5(11): e808–e817.
- [30] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable capacity statistics 2024[R]. 2024.
- [31] International Energy Agency (IEA). COP28 tripling renewable capacity pledge[R]. 2024.
- [32] International Energy Agency (IEA). Renewables 2024[R]. 2024.
- [33] 王灿, 蔡闻佳, 张诗卉, 等. 2024全球碳中和年度进展报告[R]. 2024.
- [34] 清华大学气候变化与可持续发展研究院. 中国长期低碳发展战略与转型路径研究综合报告[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2020.
- [35] 能源转型委员会, 落基山研究所. 中国2050: 一个全面实现现代化国家的零碳图景[R]. 2019.
- [36] 凤振华, 王雪成, 陈灵艳, 等. 中国碳中和综合报告2020[R]. 2020.
- [37] 世界资源研究所. 零碳之路: “十四五”开启中国绿色发展新篇章[R]. 2020.
- [38] 中国石油经济技术研究院. 2050年世界与中国能源展望(2020版)[R]. 2020.
- [39] 全球能源互联网发展合作组织. 中国2060年前碳中和研究报告[R]. 2021.
- [40] Moore F C, Lacasse K, Mach K J, et al. Determinants of emissions pathways in the coupled climate-social system[J]. Nature, 2022, 603(7899): 103–111.
- [41] 王灿, 蔡闻佳, 郑馨竺, 等. 碳中和目标下气候政策研究的前沿问题[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2022, 24(4): 74–80.
- [42] Strauch Y. Beyond the low-carbon niche: Global tipping points in the rise of wind, solar, and electric vehicles to regime scale systems[J]. Energy Research and Social Science, 2020, 62: 101364.
- [43] Richard H. Mining our green future[J]. Nature Reviews Materials, 2021, 6(6): 456–458.
- [44] Calvo G, Valero A. Strategic mineral resources: Availability and future estimations for the renewable energy sector[J]. Environmental Development, 2022, 41: 100640.
- [45] Hoekstra A, Steinbuch M, Verbong G. Creating agent-based energy transition management models that can uncover profitable pathways to climate change mitigation[J]. Complexity, 2017, 2017: 1967645.