

“双碳”目标下中国电力系统低碳转型的技术路径与政策协同机制研究

杨昊瞳

东北电力科技咨询中心有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

DOI:10.61369/EPTSM.2025030023

摘 要： 本文以“双碳”为背景，以中国电力系统为研究对象，对我国电网的碳排放现状和实现目标所面临的挑战进行深入分析，对可再生能源规模化应用、火电清洁化及灵活性改造、储能及智能电网技术支持的低碳转型技术路径进行系统性梳理。由此建立“政策制定协调－实施监督－效果评价”四个方面的政策协同机制，对我国电力系统的低碳转型进行实证研究，为推动中国电力系统低碳转型提供理论与实践参考。

关 键 词： 双碳目标；电力系统；低碳转型；技术路径；政策协同机制

Research on Technical Path and Policy Coordination Mechanism of Low-Carbon Transformation of China's Power System under the “Double Carbon” Target

Yang Haotong

Northeast Electric Power Science and Technology Consulting Center Co., LTD., Shenyang, Liaoning 110000

Abstract： This paper, set against the backdrop of the 'dual carbon' goals, focuses on China's power system. It provides an in-depth analysis of the current status of carbon emissions in China's power grid and the challenges faced in achieving these goals. The paper systematically reviews the technical pathways for low-carbon transformation, including the large-scale application of renewable energy, the clean and flexible transformation of thermal power, and the support from energy storage and smart grid technologies. A policy coordination mechanism is established, encompassing four key areas: policy formulation, implementation supervision, and effect evaluation. This mechanism aims to conduct empirical research on the low-carbon transformation of China's power system, providing both theoretical and practical references for promoting this transformation.

Keywords： dual carbon target; power system; low-carbon transformation; technical path; policy coordination mechanism

引言

在全球气候变化背景下，冰川消融和海平面上升等环境问题对人类的生存和发展构成了严峻的挑战，因此减排已成为当今世界各国的共识。中国是世界上第一个最大的发展中国家，也是最大的碳排放国，在2020年就已经明确提出“双碳”的目标，即要在2030年之前碳达峰，到2060年达到碳中和。作为碳排放的“主力军”，电力企业在2022年的碳排放量中所占比例超过40%，其低碳转型是“双碳”目标的关键。本文以我国为例，通过对我国电网低碳化发展过程中的关键技术和政策协同机理的深入研究，可为我国能源经济和环境学科的发展提供新的思路，填补相关研究在两者深度融合方面的空白。在实践方面，可以为电力企业降低转型成本，提高竞争能力，提出可行的转型方向和技术方案。在此基础上，本文还将为政府部门优化相关政策的制定和实施，推动各政策之间的协同协作，提升政策执行效率，进而加快我国电网的低碳转型。

一、中国电力系统碳排放现状与挑战

（一）中国电力系统碳排放现状分析

在未来几年内，火电将在全国范围内保持52%的装机容量，

而燃煤发电在火电装机中所占比重将超过80%。以煤为主体的能源结构决定了我国电网的高碳排放强度。在碳排放量方面，2010–2020年间，电力工业的碳排放量继续增加，至2020年约为46亿吨，近几年在新能源的大力开发下，这一增长势头得到缓和，但

作者简介：杨昊瞳（1996.03–），男，满族，辽宁锦州人，学历：本科，职称：助理工程师，建筑电气与智能化专业，从事的研究方向或工作领域：电力。

是其总量仍然很高。在此基础上，提出一种新的节能减排模式，以发电单位的碳排放量计算，目前国内燃煤电厂的碳排放量在800克/度左右，而德国燃煤电厂的二氧化碳排放量可以达到600克/度。这反映出我国电力系统在能源利用效率、清洁技术应用等方面仍有较大提升空间^[1]。

（二）实现“双碳”目标面临的挑战

能源重组困难重重，一方面，由于我国具有丰富的煤炭资源和巨大的煤电行业，煤电的退出关系到大量的固定资产和就业机会，如果大规模关闭燃煤电厂，经济损失将达几千亿，几十万人的工作岗位也将受到影响。而新能源发电具有间歇性和波动性的特点。另一方面，对于风力发电来说，由于风力发电的不稳定性，其大规模地并网将给电网带来巨大的冲击。“三北”地区风电、光伏资源丰富，但当地消纳容量受限，跨区传输走廊建设滞后导致弃风弃光问题突出。

在技术层面，储能技术是制约可再生能源大规模发展的关键瓶颈，目前锂离子电池储能存在成本高、寿命短问题，每千瓦时储能成本约为0.5–0.8元，且循环充放电次数有限；抽水蓄能受地理条件限制，建设周期长，智能电网技术在电力系统中的应用也不够深入，电力需求侧响应机制不完善，无法充分发挥用户侧调节作用。

另外，缺乏政策的协同性是制约我国电网低碳转型的重要因素，国家发改委、能源局和生态环境部等多个部门共同参与电力行业的低碳转型，各个部门的政策目标和重点也不尽相同。比如国家能源局主要负责能源重组和新能源的开发。目前我国的环保部门主要侧重于污染物的减排和控制，缺少有效的政策交流和协调，造成政策实施的低效。而且，由于新能源补贴政策和电价政策的差异，各区域之间缺少有效的协作，使得我国电力系统的低碳经济发展面临严峻挑战^[2]。

二、“双碳”目标下电力系统低碳转型的技术路径

（一）可再生能源发电技术规模化应用

近几年来，风力发电技术得到了快速的发展，陆地风力发电系统的单机容量也在逐渐增加，从最初的1.5MW到6MW,8MW，乃至更多。增大叶片的长度可使风力发电的效率得到改善。目前，海洋风力发电已经成为一个热门的研究方向，而我国已经具备了适合深海开发的浮式风力发电技术，但是由于电网的落后，一些地方的风力发电系统的失水率已经达到15%。因此在今后的工作中，还需要进一步加强对风力发电的预报技术的研究，以提高其预报的准确性，加快电网扩容并且提高风力发电容量。

在光电领域取得重大的革新，晶硅太阳能电池的光电转化效率已经取得了突破性的进展，目前实验室的光电转化效率已经达到26.8%和23%；钙钛矿型太阳能电池是近年来发展最快的一项技术，具有广阔发展前景^[3]。在工业园区和住宅屋顶，分布式光伏发电将得到广泛的推广，截至2023年，太阳能发电将超过一亿千瓦。但目前光伏发电成本仍然偏高，需要通过“光伏+”的方式，如光伏农业、光伏建筑等，进一步降低组件成本，提升系统集成效率并且扩大其应用范围。

同时，水电是我国可再生能源中最主要的一种可再生能源，例如以金沙江和雅砻江为主的大水电基地为重点，加大对老水电站的技改力度，提高水电的利用效率。自行研制的“华龙一号”已经并网发电，其安全性能已经达到了世界领先水平，将在保障能源安全、降低碳排放方面发挥重要作用。另外，生物质发电对农林废弃物的处理，供热和供电都有一定的优越性，部分地方已经实现了地热发电的商业利用，并具有很大的开发潜力^[4]。

（二）火电清洁化与灵活性改造技术

随着燃煤洁净化技术的发展，超超临界机组在我国得到越来越多的应用，其具有更高的蒸汽参数，发电效率可以达到45%，燃煤消耗可以达到10%–15%，同时还可以显著降低二氧化碳的排放量。联合处理污染物的工艺已经比较成熟，利用脱硫、脱硝和除尘装置，可以有效地降低SO₂、NO_x和粉尘的排放。国内已开展了CCUS技术的试验研究，例如鄂尔多斯地区的CCUS工程，已成功地将CO₂捕获、封存和利用，但由于其昂贵的价格，使得其规模化应用存在一定的经济和技术难题。

煤炭电力系统的适应性改造是一个迫切需要解决的问题，通过对锅炉和汽轮机等设备进行改造，可以将传统火电机组的调峰能力由原来的50–60%提高到30–40%。如通过旁通系统的改造，实现小负荷下的锅炉稳定燃烧，对机组的调整进行优化并且改善机组的响应能力。新建的燃煤机组具有较强的可再生能源消纳能力，提高电网的柔性，但其改造投资巨大，对机组的使用寿命也有一定的影响。

此外，天然气发电是一种清洁、高效和柔性的发电方式，其发电效率超过60%，而二氧化碳排放量只有燃煤发电的一半。在我国，天然气生产的区域和东部的电网负荷集中，是天然气的重要组成部分，因此要加大供气保障力度，加大管道气和液化石油气进口的力度^[5]。

（三）储能与智能电网技术支撑

能量存储是解决新能源发电系统间歇性问题的重要途径，目前使用最多的是锂离子电池，随着科技的发展，其能量密度已从100Wh/kg增长到300Wh/kg，成本不断降低，在过去的10年里，已经减少80%。而抽水蓄能电站作为一种最为成熟的大型储能方式，其装机规模已经突破4000多万千瓦，对调节电网峰谷、保障电网稳定具有重大意义。近年来，一些新的储能技术如压缩空气储能和飞轮储能得到了迅速的发展，并有望在不久的将来实现商业应用。

智能电网是实现电力系统低碳化的重要手段，工作人员采用智能电表和分布式电源监控等先进的检测和测试技术，可以实现对电网运行状态的实时监测，利用通讯技术，可以迅速地传递信息，建立电力物联网^[6]。而基于新能源发电预测和负荷变化的智能调度与控制技术能够对新能源发电方案进行优化，以达到精确的电能分配。通过电价激励和合同管理等手段，对用户进行优化。

三、“双碳”目标下电力系统低碳转型的政策协同机制

（一）政策体系现状与问题分析

目前，我国已经建立了一套覆盖多个领域的、以电网为核心

的并且面向社会的低碳转型的政策体系。《“十四五”现代能源体系规划》指出，截至2025年，我国非化石能源消耗比例将超过20%，风能和风能装机分别超过12亿千瓦，为新能源的发展指明明确的发展方向。随着我国节能减排力度的加大，国家能源局也在逐步提高燃煤发电系统的能效水平，新的燃煤机组的供电煤耗要控制在270克/千瓦时以内，并对污染物的排放进行严格的控制。在可再生能源的补贴政策中，风力发电和光伏发电行业的发展受到一定程度的大力推动，包括固定电价和度电补贴等^[7]。太阳能和风能的装机分别以300多倍和10多倍的速度增长，2021年，国家碳交易市场正式启动，第一批有2162个主要排放主体参与，涵盖45亿吨左右的CO₂排放，为发电企业的减排提供了市场激励。

但是目前的政策制度在协同方面存在着明显的缺陷，通过对新能源补贴的实证分析，发现在实施过程中存在着跨部门协作不足的问题。补贴资金的编制和分配由财政部和国家能源局负责，但因缺少有效的信息交流和交流机制，造成补助资金的发放滞后。由于各部门之间的责任界限不清，导致部分工程的重复申报，浪费了大量的资金，在区域政策协调上，东部发达地区为了引进新能源，纷纷推出较大的优惠政策。

（二）政策协同机制构建原则与框架

在构建政策协同机制时必须坚持三项核心原则。其中，系统性是指突破政策的行业壁垒和部门间的割裂，从全产业链的角度，将发电侧的能源结构调整政策、输电侧电网升级规划、配电网分布式电源接入、用电侧需求响应等政策有机结合起来，形成一个环环相扣、相互协同的政策体系，防止政策“各自为政”。

动态适应是指企业的政策要随着技术创新和市场的发展而变化，在未来10年内，光伏组件价格降幅超过80%、风力发电电价降幅超过40%的情况下，需要对补贴政策进行适时调整，由“输血式”补贴转向“引导式”补贴，使市场起到更好的配置资源的作用^[8]。

利益均衡是指通过制定阶梯电价和峰谷电价等制度，在保证发电企业收益的前提下，减少高能耗企业的用电费用，提升用户的节能热情，达到政府、企业和用户多方共赢的目的。

在此基础上建立“三个层次”的政策协同机制框架，由发改委、能源局、生态环境部和财政部等部门构成的多部门联合政策

制定小组为中心，采用定期召开联席会议和建立联合调研机制，对电力行业的低碳转型政策进行研究和制定，保证政策目标一致、措施互补。通过大数据和区块链等技术，建立政策实施的实时监测平台，跟踪项目审批进度、资金流向、企业减排效果等重要信息，并对实施中出现的偏差进行及时发现和纠正^[9]。

（三）政策协同机制的具体措施

建立常态化和制度化的交流机制，以增强决策部门之间的协调，成立能源低碳转型政策协调小组，以协调各部门间的交流对重要议题进行统筹协调。对各个部门的责任进行划分：

国家发改委负责制订宏观政策指导和产业规划，站在国民经济发展的全局上，为电力工业的低碳转型制定战略目标。能源局负责能源技术开发和产业管理工作，负责制订技术标准和项目审批细则。生态环境部侧重于对政策执行过程中的环境影响进行控制，建立严格的污染物排放标准和碳排放核算制度^[10]。

通过组建区域电网低碳转型协作联盟，可以加强区域之间的政策协同，“三北”地区与东部负荷核心区之间的协作，依托丰富的风能、风能等优势，打造一批规模较大的新能源基地；而东部则充分发挥技术和资金的优势，大力发展分布式能源，先进储能技术。在此基础上，通过签署区域能源合作规划，明晰两国在电力低碳转型过程中的职能定位和协作机制，协同推动特高压输电走廊的建设，促进“三北”新能源向东的高效输电。进而构建各地区之间的政策相互认可和协调机制，统一新能源项目的审批标准和补贴计算方法，形成全国电力系统低碳转型“一盘棋”格局。

四、结语

综上所述，实现“双碳”战略，重点在于电网的低碳化，本文从技术路径和政策协同机理两个层面，结合可再生能源开发、火电改造、储能和智能电网等技术发展方向，提出政策协调、实施监管和区域协同等政策协同对策。但是电网的低碳化是一项复杂的系统工程，今后仍需要继续关注新技术的发展对这一转变的驱动效应，完善政策协同机制，加强各地区、各利益主体之间的协作，为“双碳”目标的早日完成奠定基础。

参考文献

- [1] 韦东明, 顾乃华. 城市低碳治理与绿色经济增长——基于低碳城市试点政策的准自然实验 [J]. 当代经济科学, 2021, 43(04): 90–103.
- [2] 劳卫伦, 蒋亚曼. 数碳融合助力企业绿色低碳转型发展 [J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(11): 236–239.
- [3] 陈诗一, 许璐, 吴海鹏. “双碳”目标下中国产业链绿色低碳转型的理论阐释与实现路径 [J]. 广东社会科学, 2024, (05): 63–74+286.
- [4] 李靖云, 周婧瑜, 陈海涛, 等. 双碳目标下新型电力系统规划与省域减排路径——以中国南方某省为例 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2024, 26(04): 68–75.
- [5] 曹晓路. “双碳”目标下激励我国低碳技术创新的法律机制研究 [J]. 科技进步与对策, 2024, 41(05): 80–89.
- [6] 赵玉荣, 刘含昉, 李伟, 等. “双碳”目标下我国电力部门低碳转型政策研究 [J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(05): 634–644.
- [7] 县祥. “双碳”目标下中国对外贸易绿色低碳发展路径及政策优化研究 [J]. 价格月刊, 2023, (09): 45–54.
- [8] 任大伟, 肖晋宇, 侯金鸣, 等. 双碳目标下我国新型电力系统的构建与演变研究 [J]. 电网技术, 2022, 46(10): 3831–3839.
- [9] 阮文超. 建筑暖通空调工程节能技术的创新与应用研究 [J]. 新城建科技, 2024, 33(10): 33–35.
- [10] 范斌, 徐存良, 苏均生, 等. 制造业绿色转型支撑体系研究 [J]. 邮电设计技术, 2024, (11): 7–11.