

# 碳达峰目标下能源结构转型的环境协同效益分析

马万瑶

中国南水北调集团中线有限公司 北京 100038

**摘要:** 实现“2030年前碳达峰”是中国基于新发展理念和构建人类命运共同体责任担当作出的重大战略决策。能源结构转型作为实现碳达峰目标的核心路径,其带来的不仅是碳减排效应,更蕴含着广泛的环境协同效益。本文旨在系统分析在碳达峰目标引领下,以可再生能源替代化石能源为核心的能源结构转型所产生的多维环境协同效益,并以中国南水北调集团中线有限公司(以下简称“中线公司”)为典型案例,深入剖析大型水利工程运营主体如何通过“水能融合”模式,将能源结构优化与工程绿色低碳运行有机结合,从而分析其综合效益。中线公司的实践表明,依托其庞大的工程体系和独特的空间资源,发展分布式光伏、小水电等清洁能源,不仅能有效降低自身运营碳足迹,更能为区域乃至国家的绿色低碳转型提供可复制、可推广的范式。最后,本文就如何进一步释放能源结构转型的环境协同效益提出了政策建议。

**关键词:** 碳达峰; 能源结构转型; 环境协同效益; 南水北调中线

## 引言

全球气候变化严峻,中国提出“双碳”目标,推动经济社会发展全面绿色转型,其中能源领域绿色低碳革命是核心。《2030年前碳达峰行动方案》强调构建清洁低碳安全高效的能源体系,并将“能源绿色低碳转型行动”列为重点任务之首。随着对可持续发展认识的深化,“减污降碳协同增效”成为新时代生态文明建设的总抓手,能源结构转型能减少温室气体排放,同时削减常规大气污染物,带来环境协同效益。然而,现有研究多聚焦宏观能源转型路径或特定工业部门减排潜力,对大型基础设施运营企业,尤其是兼具多重功能的国家战略性工程,如南水北调,在能源结构转型中的角色、实践及环境协同效益缺乏系统性剖析。南水北调中线工程是“绿色大动脉”,其绿色低碳运行意义重大<sup>[1]</sup>。中线公司响应“双碳”目标,探索“水能融合”模式,为研究提供绝佳样本。本文将理论分析与案例研究结合,构建分析框架,剖析中线公司能源结构优化举措,量化评估与定性分析其环境协同效益,为政策制定和企业实践提供参考。

## 1 能源结构转型与环境协同效益的理论基础

### 1.1 碳达峰目标的战略内涵与能源转型的核心地位

碳达峰并非一个孤立的环境目标,而是中国经济社会发展方式深刻变革的集中体现。它要求我们从根本上改变依赖高能耗、高排放的增长模式,转向创新驱动、绿色低碳的高质量发展轨道。在这一宏大叙事中,能源系统扮演着决定性角色。根据相关统计,能源活动产生的二氧化碳排放占我国总排放量的80%以上。因此,要实现碳达峰,就必须从源头上重塑能源生产与消费体系。能源结

构转型的核心在于“一增一减”：“增”即大幅提升非化石能源（主要是风、光、水、核、生物质等）在一次能源消费中的比重；“减”即严格控制煤炭等化石能源的消费总量，推动其清洁高效利用。这一转型过程，通过改变能源载体的物理和化学属性，从根源上切断了碳排放与常规污染物排放的同源性，为环境协同效益的产生奠定了物质基础。

### 1.2 环境协同效益的内涵与维度

环境协同效益是指在实施某项旨在解决特定环境问题（如气候变化）的政策或措施时，附带产生的对其他环境介质（如大气、水、土壤）或生态系统产生积极影响的效果。在能源结构转型背景下，其主要维度包括：

#### 1.2.1 大气环境协同效益

这是最直接、最显著的协同效益。燃煤、燃油等化石能源燃烧是SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub>等主要大气污染物的首要来源。用零排放的可再生能源替代它们，可以在减少CO<sub>2</sub>的同时，同步、同比例地削减这些有害污染物，从而有效改善区域空气质量，降低雾霾发生频率，保护公众健康。

#### 1.2.2 水资源协同效益

传统火电（尤其是煤电）是耗水大户，其冷却、除尘等环节需要消耗大量水资源。相比之下，风电、光伏发电几乎不消耗水资源<sup>[2]</sup>。因此，能源结构向风光等可再生能源倾斜，能够显著降低能源系统的取水和耗水强度，缓解水资源紧张地区的压力，这对于我国北方等缺水地区尤为重要。

#### 1.2.3 土地与生态协同效益

虽然大型风电、光伏电站需要占用一定土地，但通过“光伏+”等复合利用模式（如农光互补、渔光互补、水光互补），可以实现土地的立体、高效利用，甚至在一定程度上修复退化土地。此外，减少化石能源开采（如煤炭开采）可以避免对地表植被、水土保持和生物多样性的破坏，有助于生态系统的自然恢复。

#### 1.2.4 固废与循环经济协同效益

减少煤炭使用，也意味着减少了粉煤灰、脱硫石膏等大宗工业固体废物的产生，减轻了固废处置的环境压力。同时，推动可再生能源装备制造、退役设备回收利用等环节的发展，也有助于构建绿色循环产业链。

### 2 南水北调中线公司的能源结构转型实践

南水北调中线工程自通水以来，已成为京津冀豫等受水区的生命线。作为工程的运营管理主体，中线公司深刻认识到自身在国家绿色低碳发展格局中的责任与使命。“十四五”以来，公司明确提出打造“绿色调水标杆企业”的目标，将节能降碳工作系统性纳入公司治理体系。

#### 2.1 战略引领与体系建设

中线公司成立了由主要领导挂帅的节约能源与生态环境保护工作领导小组，将碳排放管理正式纳入公司制度管理体系。公司制定了详细的节能降碳行动方案，明确了阶段性目标和重点任务，形成了“顶层设计-制度保障-项目落地-考核评价”的闭环管理机制。这种自上而下的战略部署，为能源结构转型提供了坚实的组织和制度保障。

#### 2.2 “水能融合”模式的创新探索

中线公司最具特色的实践在于其开创性地提出了“水能融合”发展模式。该模式充分利用南水北调工程自身禀赋，将水利工程的空间资源、水资源优势与新能源开发有机结合，具体体现在以下两个方面：

##### 2.2.1 分布式光伏的规模化应用

中线工程拥有长达1400多公里的专用渠道和众多管理处、泵站、闸室等设施，其屋顶、边坡、倒虹吸进出口平台等形成了大量可利用的闲置空间。中线公司敏锐地抓住这一机遇，在沿线大规模布局分布式光伏项目。首批试点项目早在2023年初，惠南庄、卫辉、辉县、邳州等地的首批分布式光伏试点项目成功并网。这些项目采用“自发自用、余电上网”模式，年发电量约275万千瓦时，相当于节约标准煤842吨，减少二氧化碳排放2304吨。2025年4月，温博管理处勒马河分布式光伏发电项目并网发电。该项目利用倒虹吸进出口平台约5.5万平方米的土地，不仅为工程提供绿色电力，还预留了应急电源

接口，增强了工程防汛应急保障能力。作为“光伏+水利”的典范，北拒马河绿色光伏发电示范项目利用渠道边坡和闲置土地，年发电量可达5000万千瓦时，年减排二氧化碳高达3.8万吨。

#### 2.3 小水电与抽水蓄能的潜力挖掘

除了光伏，中线公司也在积极探索水能的梯级利用。2024年3月开工并于同年8月并网的西黑山水电站，是中线工程在清洁能源开发上的又一重要突破。该电站利用南水北调干渠的落差进行发电，投产后多年平均年发电量达5622.57万千瓦时，年减碳量高达5.5万吨，其固碳能力相当于3000亩森林。这不仅创造了清洁能源，还提升了工程的综合效益。

通过上述实践，中线公司成功地将一条单纯的“调水廊道”升级为叠加了“清洁能源廊道”功能的复合型基础设施，生动诠释了“绿水青山就是金山银山”的理念。

### 3 中线公司能源转型的环境协同效益评估

中线公司的能源结构转型举措，产生了显著且多维的环境协同效益，远超单纯的碳减排范畴。

#### 3.1 生态保护与修复

在生态保护维度，分布式光伏设施的建设对渠道沿线生态系统形成了积极干预。光伏阵列沿渠道边坡或管理区空地布设，客观上构筑了一道物理隔离带，有效阻隔了周边农业面源污染、生活垃圾及人为活动对输水水质的潜在威胁，提升了水源地的封闭性与洁净度。同时，光伏板下方的土地并未被完全硬化，而是通过科学规划实施植被恢复或种植耐阴低矮作物（如苜蓿、中药材等），形成了“板上发电、板下复绿”的复合生态空间<sup>[3]</sup>。这种模式不仅抑制了扬尘、固持了土壤，还为小型昆虫和鸟类提供了新的栖息微环境，局部生物多样性得以维持甚至提升。此外，减少化石能源依赖也间接降低了因煤炭运输、储存可能引发的粉尘与渗漏风险，从源头上减轻了对沿线土壤和地下水的潜在污染压力。

#### 3.2 工程安全保障

在工程安全保障维度，清洁能源项目与水利工程功能实现了深度融合与互促。以勒马河项目为例，其设计不仅满足日常绿色供电需求，更关键的是集成了应急备用电源系统。在遭遇极端暴雨、洪涝或电网故障等突发事件时，该分布式光伏+储能系统可迅速切换为独立供电模式，确保闸门启闭、泵站运行、监控通信等核心防汛调度设施的电力供应不间断。这种“平战结合”的设计理念，极大增强了南水北调这一国家水网主骨架在气候变化背景下的韧性与可靠性，将能源安全与水安全紧密捆绑，形成了独特的双重安全保障机制。

### 3.3 示范引领效应

在社会示范与区域协同发展维度,中线公司的“水能融合”实践具有强大的引领效应。它向全社会展示了大型国有基础设施如何从“能耗者”转变为“产能者”,如何将沉睡的空间资源转化为绿色动能。这种模式不仅优化了企业自身的运营成本结构,也为沿线地方政府提供了盘活存量资产、发展绿色经济的新思路,有望带动地方光伏运维、生态农业等相关产业链的发展,促进区域经济绿色转型。因此,其效益已超越单一工程边界,成为推动流域乃至更大范围生态文明建设的重要催化剂。

## 4 进一步建议

为进一步释放能源结构转型的巨大潜力,放大其环境协同效益,本文提出以下建议:

### 4.1 强化顶层设计与政策协同

国家层面需进一步完善“减污降碳协同增效”的政策体系,以系统思维统筹能源与环境发展。打破生态环境、能源、水利等部门间的行政壁垒,建立跨部门的协调机制,定期召开联席会议,共同商讨能源结构转型中的重大问题,形成政策合力。对于南水北调这类国家战略工程,出台专项支持政策,鼓励其在保障核心功能的前提下,充分挖掘其绿色能源开发潜力,在水库、渠道等区域合理布局光伏发电设施,实现水资源与能源的协同利用。

### 4.2 完善市场机制与激励机制

深化电力体制改革,完善绿电交易、碳交易等市场机制,让清洁能源项目在市场上获得合理收益,激发市场主体参与能源结构转型的积极性。对于中线公司这类承担公共职能的企业,给予一定的财政补贴、税收优惠或绿色金融支持,补偿其在初期投入和模式创新上的成本<sup>[4]</sup>。同时,建立绿色能源消费激励机制,对使用清洁能源的企业和个人给予一定的奖励或优惠,引导全社会形成绿色消费观念。

### 4.3 加强技术创新与标准制定

鼓励科研机构和企业研发适用于水利工程场景的新型光伏组件、智能运维系统和水光互补技术,提高能源利用效率和系统稳定性。加大对储能技术的研发投入,解决清洁能源间歇性问题,保障能源供应的可靠性。同时,加快制定“水利+新能源”复合开发的技术规范和安全标准,明确开发过程中的技术要求、安全指标和环

保标准,为大规模推广应用扫清障碍。

## 4.4 推广“中线模式”

总结提炼中线公司在“水能融合”方面的成功经验和模式,形成一套可复制、可推广的标准化解决方案。通过举办经验交流会、现场观摩会等形式,向全国其他大型水利工程、交通基础设施乃至工业园区进行推广,让点上的创新转化为面上的效益。同时,建立跟踪评估机制,及时了解推广过程中出现的问题,不断优化完善“中线模式”,推动能源结构转型在全国范围内取得更大成效。

## 5 结语

研究表明,碳达峰目标下能源结构转型是应对气候变化、实现多维环境协同效益的必由之路。中国南水北调集团中线有限公司以“水能融合”创新模式,成为绿色低碳转型标杆,其分布式光伏和小水电项目成效显著,在降低碳足迹的同时,在大气污染防治、水资源节约等方面带来协同正效益。为进一步释放转型潜力、放大协同效益,建议强化顶层设计与政策协同,国家完善“减污降碳协同增效”政策,打破部门壁垒,对南水北调等战略工程出台专项支持政策;完善市场与激励机制,深化电力体制改革,保障清洁能源收益,给予承担公共职能企业财政补贴等支持;加强技术创新与标准制定,研发适用于水利工程的新技术,加快制定复合开发规范标准;推广“中线模式”,总结提炼其经验形成标准化方案并在全国推广。以碳达峰为契机推动能源结构深度转型,为南水北调中线公司实践提供了可行路径,未来应持续挖掘效益,助力美丽中国建设。

## 参考文献

- [1]金都,刘新平.中国能源结构转型:碳减排效应、驱动因素及碳达峰探索[J].安全与环境学报,2024,24(12):4908-4916.
- [2]李冰.碳达峰目标下我国能源结构转型路径研究[J].泰山学院学报,2023,45(02):58-66.
- [3]方文君,邓峰,张战仁,等.环境目标约束对能源结构低碳转型的影响[J].中国人口·资源与环境,2024,34(01):84-96.
- [4]阚丽萍,崔莉,毛鹏鹏.“双碳”目标下区域能源结构转型与生态系统服务优化[J].中国资源综合利用,2025,43(12):234-236.