

引用格式: 龚家, 吴振磊. 特高压输电对城市绿色发展的赋能效应[J]. 资源科学, 2024, 46(9): 1669-1684. [Gong J, Wu Z L. Empowering effect of ultra-high voltage transmission on urban green development[J]. Resources Science, 2024, 46(9): 1669-1684.] DOI: 10.18402/resci.2024.09.01

特高压输电对城市绿色发展的赋能效应

龚家, 吴振磊

(西北大学经济管理学院, 西安 710127)

摘要:【目的】特高压“新基建”优化了中国电能结构和电力资源的合理配置, 为经济的绿色转型注入持续动力。本文旨在探究特高压工程带来的绿色发展效应, 为推动能源消费结构优化, 助力构建新型能源体系提供理论依据与政策建议。【方法】本文将特高压工程作为准自然实验, 基于2003—2019年中国278个地级及以上城市的面板数据, 采用双重差分模型考察电能跨区输送对城市经济发展和污染减排的影响与作用机制。【结果】①特高压工程显著推动了区域经济发展, 并且降低污染排放。②机制检验表明, 特高压工程能够通过提高区域创新水平、优化产业结构以及对煤炭和火电产生替代效应实现经济发展与污染减排。③异质性分析表明, 特高压工程对东部区域和电能输入区的经济发展与污染减排都有积极作用, 但是在中西部区域和电能输出区只产生了减排效益; 相比于火电输送, 特高压工程对清洁电能输送更有利于推动经济发展与污染减排; 特高压直流工程对经济发展与污染减排的促进作用要强于特高压交流工程。④空间溢出效应表明, 特高压输电能够带动邻近城市经济发展, 并降低污染排放。【结论】因此应综合考虑特高压输电技术发展, 以及地区能源资源禀赋和经济社会发展状况等问题, 持续推进特高压工程建设; 同时加强局部区域电网建设, 提升绿色电能的使用价值。

关键词: 特高压工程; 能源结构; 绿色发展; 污染排放; 新型基础设施; 双重差分模型; 中国

DOI: 10.18402/resci.2024.09.01

1 引言

能源清洁化、低碳化已成为世界发展趋势, 推动能源绿色转型是中国经济高质量发展的重要动力。党的二十大报告就明确指出“要立足国家能源资源禀赋, 加快规划建设新型能源体系, 完善能源消耗总量和强度调控, 推动能源清洁低碳高效利用”。能源经济是国民经济的重要组成部分, 然而中国能源的空间生产状况和能源需求呈现出逆向分布格局, 在客观上要求进行全国层面上的优化能源资源配置, 进而也决定了中国能源资源跨区域调度的必要性^[1]。伴随经济的快速增长, 东部发达地

区的电能需求量与日俱增, 电力供给和需求的杠杆越加倾斜, 此时急需新型的安全、高效、长距离以及大容量电能传输基础设施, 至此, 被称为电能“高速公路”的特高压应运而生^①。在“新基建”^②的背景下, 特高压输电成为中国电能跨区输送的关键技术, 是促进区域经济协调可持续发展的重要保障。中国在2004年首次提出发展特高压的战略构想, 2006年正式开始工程实践, 并将建设特高压纳入《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》, 2009年“晋东南—南阳—荆门”首个特高压输电工程建成投运, 截至2023年11月底, 中

收稿日期: 2024-02-02; 修订日期: 2024-07-14

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(21ZDA063)。

作者简介: 龚家, 男, 重庆人, 博士生, 研究方向为区域经济与可持续发展。E-mail: 1090858071@qq.com

通讯作者: 吴振磊, 男, 山东临清人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为发展经济学。E-mail: xdwzl@126.com

① 电能电压等级分为低压、高压、超高压和特高压。特高压是指直流 ± 800 kV及以上和交流1000 kV及以上的电压等级。

② 新基建是指新型基础设施建设, 包括5G基站、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网七大领域。

国已建成“18交20直”、在建“3交4直”共45项特高压输电工程^{[2]③}。特高压工程有利于加强能源的跨区域调度,提高了西电东送的输电效率,对中国电力结构调整和电力资源的合理配置,以及推动能源消费结构优化,加快构建新型能源体系具有重要的现实意义。

电能的跨区域调度对经济发展和生态环境改善有着重要的促进作用,但是电能的输送需要依赖于电力基础设施。Lewis等^[3]、Xu等^[4]研究表明,电力基础设施建设有利于提高就业率,同时推动区域经济发展。Fisher等^[5]、Cole等^[6]基于微观层次数据研究发现,电力基础设施落后导致的区域电能供给不足会对企业发展产生不利影响。特高压输电作为新型基础设施的七大领域之一,也是构建新型电力系统的骨架和主要通道^[2]。目前已有少数学者对特高压工程的政策效应进行了评估,在区域层面上,特高压工程能够促进区域经济发展^[7],降低城市碳排放^[8,9]。在微观企业层面上,特高压工程提高了企业生产绩效^[10],有利于企业节能降耗^[11]。但遗憾的是,目前还未有文献将特高压工程所产生的经济效应与污染减排效应纳入统一研究框架。特高压新基建作为电能输送与消纳的“高速公路”,是否在调整优化能源结构的基础上,既能促进区域经济发展,又能降低污染排放,值得进一步探究。

加快开发中西部丰富的能源资源,不仅可以将中西部地区的资源优势转化为经济效益,而且可以带来环境效益,解决东部地区能源短缺和环境污染等迫切问题,有利于形成经济发展与环境保护双赢的局面^[12]。目前学术界主要对“气”与“电”2种能源资源的跨区转移进行了一定的研究。关于西气东输工程,Gao等^[13]、Xu等^[14]认为西气东输工程主要是通过减少煤炭的消费,增加天然气的使用强度来降低污染排放水平。在微观企业层面的研究上,西气东输工程能够转变能源消费结构,提升能源效率,

进而促进企业减排^[15]。中国地区电力资源的禀赋程度和地区电力消费强度不匹配,决定了跨区域电力调度的必要性^④。关于西电东送工程,已有文献研究了西电东送的环境减排效应^[16]、经济增长效应^[1]和生态补偿机制等^[17,18]。通过上述文献梳理可知,现有文献大多是从国家能源工程的角度研究能源跨区调度所产生的经济效益和环境效益,但是能源的输送转移离不开能源基础设施,西电东送工程需要依赖于电能传输基础设施,而特高压新基建就是服务于西电东送工程,特高压输电技术显著提升了西电东送效率。西电东送工程为特高压输电技术的发展奠定了重要基础,本文创新性地从特高压新型能源基础设施角度研究电能跨区输送对经济发展与污染减排的影响。

与现有研究相比,本文的边际贡献主要体现在以下方面:①在研究内容上,本文人工收集整理特高压项目名称、投运时间、变电站和换流站建设等数据,使用严格的经济学方法对特高压工程的经济效益和环境效益进行评估,考察了特高压输电在电能输出区、输入区和电能输送方式等多个维度的异质性特征,并检验特高压工程对区域经济发展和污染减排的作用机制,同时也探究了特高压工程建设空间溢出性,本文研究为明晰能源基础设施建设如何实现经济和环境的双赢路径提供了理论基础与实践支撑。②在研究意义上,本文验证了中国特高压工程建设的重要历史意义和实践价值,同时也间接证实了中国西电东送工程的客观有效性,为今后中国特高压工程建设的调整与优化提供了经验证据。

2 理论分析与研究假设

特高压工程建设在国际上没有经验可借鉴,中国无论是从基础研发和设备制造,还是到工程建设与运维,全产业链都存在着技术攻关难度大、工程优化平衡要求高、设备自主研制挑战大等特点^[19]。

③ 电能输送分为直流输电和交流输电两种形式。直流输电是“点对点”的传输,交流输电主要用于构建区域输电网络,中途可以“落点”。

④ 从能源分布情况来看,全国86%以上的煤炭资源集中在山西、内蒙古、新疆、陕西等北部地区,82%以上的水能资源集中在西藏、四川、云南、青海等西部地区,东中部地区能源资源比较匮乏(https://www.sohu.com/a/581687832_121320079)。从能源消费情况来看,受能源资源禀赋影响,中国能源生产消费逆向分布特征明显。以“胡焕庸线”为近似分界线,中国中东部地区能源消费量占全国比重超过70%,生产量占比不足30%,重要的能源基地主要分布在西部地区。长期以来,形成了“西电东送、北煤南运、西气东输”的能源流向格局(https://www.nea.gov.cn/2022-03/22/c_1310525569.htm)。

2024年9月

现如今特高压工程的成功建设与投运,表明中国已走上特高压电能领域设施自主开发研制和国产化的发展道路。特高压工程建设能够聚集大量的创新资源要素,提升区域创新水平,并且通过产业的前后关联,以此带动整个产业链上的行业发展。特高压工程建设兼顾了中西部地区的资源优势与东部地区的市场优势,对实现区域经济协调发展具有重要意义^[15]。作为跨区电能输送的核心技术,特高压输电为中国经济绿色低碳转型带来了契机,安全、高效、快捷地将中西部地区的水电、光电和风电等清洁电能输送到东部发达地区,有利于缓和能源供需错位的矛盾,优化能源结构体系。新型电力系统^⑤能够通过创新技术和系统优化,提高能源利用效率和能源可持续发展,而源网荷储一体化^⑥能够将分布式能源资源、电网和能量储存设备进行有效整合,以实现能源的高效利用和稳定供应。特高压输电作为新型电力系统中的重要一环,也是源网荷储中“网”的重要实现形式,有效推动了源网荷储一体化的创新和应用,促进了能源的跨区域调度。总体而言,特高压工程建设主要是通过增加电能输出区绿色电力的供给和减少电能输入区煤炭发电污染物的产生来促进经济发展和污染减排。

从电能的输出区来看,特高压工程可以将电能输出区的能源优势转化为经济优势,推动电能输出区的经济发展。电能输出区汇聚着大量的风能、太阳能、水能等绿色能源,通过具备高效率 and 远距离输送特点的特高压基础设施,有助于输出区清洁能源的消纳,也便于将多余的清洁电能“售卖”出去,推动电能输出区的经济发展。此外,由于能源禀赋差异,中国电价存在“东高西低”的特点,中西部地区的平均电价一般低于东部地区的平均电价,特高压输电技术提高了西电东送效率,电能输出区可通过价差收益增加售电收入水平^[12]。同时,特高压工程建设也吸引了大量的资金与人才等创新资源聚集,有利于改善电能输出区的投资环境,增加就业机会,推动当地制造业和服务业的发展,即通过优化产业结构提高电能输出区的经济发展水平。但

是能源的开发利用不仅是经济发展的基本要素,同样是污染排放的重要来源^[20]。目前西电东送工程的产能还是以煤炭为主,煤炭资源的大量采掘会破坏当地的地质结构,同时煤炭火力发电也极易造成大气污染。即使是绿色清洁的水电产能也会对生态环境带来不利影响,过度的水资源开发会破坏当地的生态平衡。但值得一提的是,能源清洁化已成为世界发展趋势,在“绿水青山就是金山银山”的时代背景下,电能输出区肯定会注重能源的清洁开发和使用,积极主动提升污染处理能力,进而增加大气污染、水污染、土地污染等环境治理成本。因此对于电能输出区来说,特高压基础设施的跨区域输电对当地的经济发展和污染减排可能是相互对立的,是否电能输出区通过特高压输电技术将清洁能源输送到输入区的同时,也加剧了输出区的环境污染与环境治理额,还有待检验。

从电能的输入区来看,特高压工程源源不断地为电能输入区带来清洁电能,有效缓解了能源匮乏的现状。能源作为生活与生产的必需品,是国民经济发展的重大引擎。特高压工程解除了东部地区的电能边界约束,激发了当地的生产潜力,促使劳动力、资本等其他要素达到充分优化状态,推动地区经济发展^[1]。另外,充足的电能供给能够减少当地燃煤电厂的使用,以此解放耕地占用,释放的土地资源为其他的生产形式提供了机会。同时,当地燃煤电厂的关闭,也能减少煤炭发电所产生的污染治理成本,从电力产能上优化能源结构,进而推动经济发展。从电能的输入区来看,特高压工程建设主要是对煤炭发电产生替代效应,以此减少污染物排放。由于目前中国的能源消费以煤炭为主,特别是能源禀赋较差的东部地区,能源利用效率较为低下,造成了严重的环境污染^[21]。但是随着特高压工程的建设投运,为东部地区提供了丰富的绿色电能,电能的输入区通过关闭当地的煤炭火电机组以实现污染减排。对于电能的输入区来说,特高压工程建设投运既能促进当地经济发展,又能实现污染减排,获得了“双重红利”的理想效果。基于上述分

⑤ 传统的电力系统过于依赖传统化石燃料发电,存在能源利用效率低、环境污染严重等问题。新型电力系统通过引入可再生能源、能源互联网等技术,在能源供应方式上实现了转型升级。

⑥ 源网荷储一体化是指将可再生能源、电力系统、负荷和储能系统相互结合的智慧技术。它的目标是解决可再生能源波动性和电力系统负荷需求不匹配的问题。

析,本文提出以下两个假设:

H1:特高压工程能够促进经济发展和污染减排。

H2:特高压工程能够通过提高技术创新水平、优化产业结构以及在电能输入区对煤炭和火电产生“替代效应”促进经济发展和污染减排。

由于经济发展和环境污染的外部性特点^[15],特高压工程不仅会影响电能输出区和输入区的经济发展与污染减排,也会对周边区域产生溢出效应。电能具有无形性、瞬时消费性和不可储存性等特征^[22],其带来的经济效益和环境效益主要是通过“发电厂的点”,构建“输电线路的线”,描绘“区域的面”,特高压输电所产生的影响必然存在一定的空间性与区域溢出边界。具体来看,特高压输电的空间溢出性主要体现在特高压工程建设的技术溢出和特高压电网的电能溢出两个维度。首先,特高压工程的建设要横跨多个省份,特高压电线、电缆和电塔等设施的修建会为本地聚集高端的生产要素,提升当地的经济发展水平。同时,特高压建设的先进技术和科技创新存在溢出效应,途经区域与邻近区域具备低成本的沟通优势,能够通过学习先进的知识和技术,推动当地经济绿色发展^[23,24]。其次,中国电网结构呈现出网络形态,电能输出区通过特高压工程持续不断地向输入区输送绿色电能,电能输入区也可通过区域电网将多余的清洁电能输送给周边地区,为邻近城市带来经济发展和污染减排的双重红利。特别是随着源网荷储一体化的推进,各地区借助先进的数字化和信息化技术,推动智能电网的建设和发展,提高了电网的智能化程度和运行效率,灵活地调整输出区的绿电于其他城市,惠泽周边地区。基于上述分析,本文提出以下假设:

H3:特高压工程具有空间溢出效应,能够促进周边地区的经济发展和污染减排。

3 样本选择、变量定义与模型设定

3.1 样本选择和数据来源

特高压输电分为直流和交流两种形式,特高压直流输电技术的核心设备为特高压换流站,电能的

输出区和输入区都建有特高压换流站;特高压交流输电技术的核心设备为特高压变电站,电能的输出区、输入区和落点城市都建有特高压变电站。因此本文将具有特高压换流站或特高压变电站的城市作为处理组,将余下城市作为对照组^⑦。经过对特高压换流站、变电站同城市的人工匹配,发现截至2019年底已有35个城市建有特高压换流站或变电站,因此本文将涉及到的35个城市当作处理组,并以另外243个城市当作对照组。

在数据的处理上,本文对数据缺失严重的城市采取删除,对少量缺失的数据通过线性插值法补充,最终使用中国2003—2019年278个地级及以上的城市面板数据作为研究样本。其中城市特征数据来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》与各省统计年鉴。特高压工程建设投运时间、变电站和换流站等数据信息通过国家电网、南方电网、国务院、国家发改委、国家能源局和省政府官网等途径收集整理。

3.2 变量定义与测度

3.2.1 被解释变量

经济发展(*GDP*)和污染排放(*POT*)(表1)。经济增长是经济发展的最直观表现,参考刘瑞明等^[25]、范子英等^[26]的研究,用地区生产总值衡量经济发展水平。目前为止,煤炭依然是中国产电的主要原材料,同时也决定了中国能源消费结构^[27]。大气污染是中国环境污染的主要形式,而煤炭发电的主要排放物二氧化硫就是大气污染的重要衡量指标^[28]。因此,本文参考张可等^[29]、严楷等^[30]的研究,选取工业二氧化硫排放量测度污染排放水平。此外,本文还采用三大产业增加值和综合测度的污染排放值进行稳健性检验。

3.2.2 核心解释变量

特高压工程(*UHV*)。若城市*i*在*t*年特高压工程正式投运,取值为1,否则取值为0。考虑到一个城市可能运行多个特高压工程,因此以最先投运的特高压工程为准,同时本文将上半年投运的特高压工程视为当年投运,将下半年投运的特高压工程视

⑦之所以可用是否具有特高压变电站或换流站作为处理组的选取依据,是因为特高压变电站的主要作用是在特高压交流输电系统中,完成电能的升压和降压。特高压换流站是指在特高压直流输电系统中,为了完成将交流电变换为直流电或者将直流电变换为交流电的转换,达到电力系统对于安全稳定及电能质量的要求。只有设立了特高压变电站或换流站,才能实现特高压正常输出和输入。

表1 描述性统计
Table 1 Descriptive statistics

变量名称	符号		均值	标准差	最小值	最大值
经济发展	<i>GDP</i>	地区生产总值/万亿元	0.181	0.286	0.003	3.816
污染排放	<i>POT</i>	工业二氧化硫排放量/万t	0.513	0.567	0.000	6.832
特高压工程	<i>UHV</i>	虚拟变量	0.037	0.189	0.000	1.000
政府干预	<i>Fiscal</i>	地方财政一般预算内支出/万元,取自然对数	14.160	1.123	10.406	18.241
对外开放	<i>Trade</i>	当年实际使用外资金额与地区GDP比值/%	0.282	0.310	0.000	4.540
科技支出	<i>Science</i>	科学技术支出/万元,取自然对数	9.294	1.929	0.000	15.529
科教重视度	<i>Edu</i>	教育支出/万元,取自然对数	12.433	1.115	6.726	16.246
金融发展	<i>Finance</i>	年末金融机构各项贷款余额/万元,取自然对数	15.817	1.336	12.548	20.420
消费水平	<i>Con</i>	社会消费品零售总额/万元,取自然对数	15.017	1.219	5.472	18.881
数字化转型	<i>Digit</i>	电信业务总量/万元,取自然对数	12.205	1.083	8.686	16.452

为下一年投运。

3.2.3 控制变量

参考张可等^[29]、范子英等^[26]的研究,综合考虑其他影响经济发展和污染排放的因素,选取政府干预(*Fiscal*)、对外开放(*Trade*)、科技支出(*Science*)、科教重视程度(*Edu*)、金融发展(*Finance*)、消费水平(*Con*)和数字化转型(*Digit*)7个变量进行控制。其中,政府干预使用地方财政一般预算内支出的自然对数衡量,对外开放使用当年实际使用外资金额与地区GDP比值表示,科技支出使用科学技术支出的自然对数衡量,科教重视程度使用教育支出的自然对数衡量,金融发展使用年末金融机构各项贷款余额的自然对数衡量,消费水平使用社会消费品零售总额的自然对数衡量,数字化转型使用电信业务总量的自然对数表示。数据描述性统计如表1所示。

3.3 模型设定

3.3.1 基准模型

本文将建设投运的特高压工程作为外生冲击事件,利用多期双重差分模型考察特高压输电带来的经济发展和减排效应。构建基准模型如下:

$$Y_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 UHV_{it} + \varphi_2 X_{it} + u_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: i 、 t 分别表示城市、年份; Y_{it} 为被解释变量,表示经济发展水平(GDP_{it})和污染排放水平(POT_{it}); UHV_{it} 为核心解释变量,表示特高压工程的建设投运; X_{it} 表示其他控制变量; φ_0 表示常数项;待估系数 φ_1 测度了特高压输电对城市经济发展与污染减排的影响,是本文重点关注对象; φ_2 表示控制变量系数; u_i 与 γ_t 分别表示城市与年份固定效应; ε_{it} 为随机扰动项;

且模型估计在城市层面对标准误进行聚类调整。

3.3.2 平行趋势检验与动态效应分析

双重差分模型有效性的一个重要前提是平行趋势假设。对本文来说,即检验特高压工程投运之前,处理组和对照组的经济发展水平和污染排放水平不应随时间推移而发生显著变化。构建如下模型进行检验:

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=-4}^6 \beta_k UHV_{it}^k + \omega X_{it} + u_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: k 代表特高压工程投运第 k 年,取值为 $-4 \leq k \leq 6$; UHV_{it}^k 是特高压工程投运当年的虚拟变量,若为投运当年,则取值为1,否则取值为0;系数 β_k 是特高压工程对经济发展和污染减排的平行趋势和动态效应检验; β_0 为常数项; ω 为控制变量系数。

3.3.3 空间溢出效应模型

对于本文研究来说,经济发展水平和污染排放水平存在一定的空间关联性,同时特高压输电线路呈现出网络结构,电能输入区可通过区域电网将清洁能源输送到周边地区。普通的双重差分法并未考虑到特高压工程、经济发展和减排效应的空间特征,因此本文进一步采用空间双重差分法检验特高压工程对经济发展和污染减排的空间溢出效应。模型构建如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \rho WY_{it} + \alpha_1 UHV_{it} + \alpha_2 WUHV_{it} + \alpha_3 X_{it} + \alpha_4 WX_{it} + u_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{it} = \lambda W\varepsilon_{it} + v_{it} \quad (4)$$

式中: ρ 为空间自相关系数; λ 为空间误差项系数; W 为空间权重矩阵,本文选取反距离矩阵考察特高压

工程的空间溢出效应; v_{it} 为随机扰动项; α_0 为常数项; α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 均为待估系数。

4 结果与分析

4.1 基准回归结果分析

表2为基准模型的估计结果,其中列(1)、(3)只控制了城市固定效应与年份固定效应,列(2)、(4)进一步纳入控制变量。研究发现,列(1)、(2)的核心解释变量UHV系数显著为正,表明特高压工程促进了经济发展,列(3)、(4)的核心解释变量UHV系数显著为负,表明特高压工程有利于降低污染排放。从系数大小来看,相比于未受到特高压输电影响的地区,受到特高压输电影响的地区的发展水平上升18.1%,城市污染排放水平下降24.0%。因此,特高压输电产生了显著的经济效益和减排效益,能够实现经济发展和环境保护双赢的目标。

4.2 平行趋势检验与动态效应分析

本文采用事件分析法进行平行趋势检验,同时

表2 特高压工程对经济发展和污染减排的影响

Table 2 Influence of ultra-high voltage (UHV) project on economic development and pollution reduction

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GDP	GDP	POT	POT
UHV	0.206*** (0.071)	0.181*** (0.066)	-0.262*** (0.093)	-0.240*** (0.086)
Fiscal		-0.175*** (0.043)		0.345*** (0.079)
Trade		-0.060** (0.025)		-0.025 (0.039)
Science		0.050*** (0.009)		-0.029* (0.015)
Edu		0.113*** (0.039)		-0.108 (0.067)
Finance		-0.027 (0.022)		0.094* (0.049)
Con		0.012 (0.012)		-0.002 (0.033)
Digit		-0.022*** (0.008)		0.037** (0.015)
Constant	0.048*** (0.010)	1.201 (0.762)	0.543*** (0.015)	-4.182*** (1.202)
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
N	4726	4726	4726	4726
R ²	0.378	0.430	0.365	0.390

注:表中括号内为聚类到城市的稳健标准误,*、**和***分别表示回归结果在10%、5%和1%水平下显著。下同。

也能考察特高压工程对经济发展和污染减排的动态效应^[31,32]。图1、2分别报告了被解释变量为经济发展和污染排放的平行趋势检验结果。特高压工程投运之前的虚拟变量系数都未通过显著性检验,表明特高压工程投运之前,处理组和对照组的经济发展水平和污染排放水平未随时间推移而发生显著变化,满足平行趋势假设。从动态效应来看,特高压工程投运之后带来的经济效益显著为正,且表现出持续递增的趋势;特高压工程投运之后对污染排放的影响显著为负,且具有一定的滞后性。

4.3 稳健性检验

4.3.1 工具变量法

为了解决可能存在的内生性问题,本文采用工具变量法对特高压工程的经济效益和减排效益进行再次检验。本文选取地理平均坡度(IV)作为工具

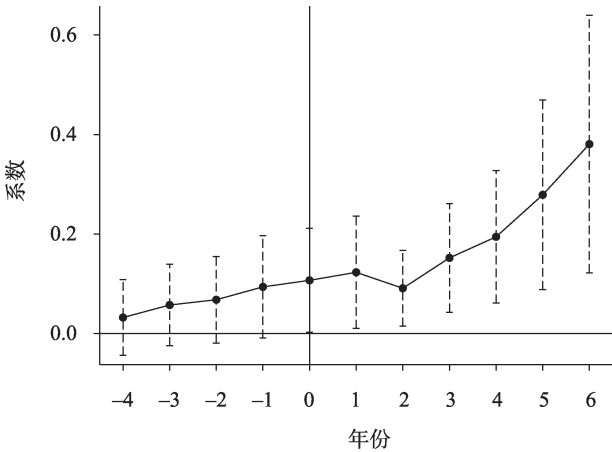


图1 GDP的平行趋势检验

Figure 1 GDP Parallel trend test

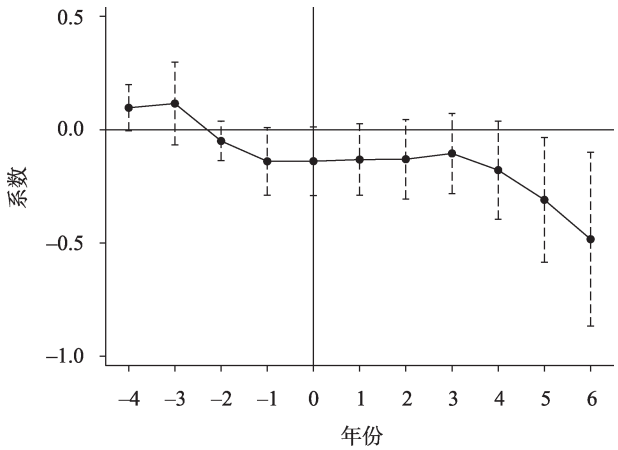


图2 POT的平行趋势检验

Figure 2 Pollution emission (POT) parallel trend test

2024年9月

变量^[33,34],依据在于:一方面,特高压工程建设都处于地理位置较高的地方,因为水能、风能和太阳能等产电都需要在较高的地理位置才能获得更多的能源。因此特高压工程建设与地理坡度会存在一定的相关性,预计为正相关。另一方面,地理坡度是一种天然地理条件,为一个历史值,在时间效应上不会直接对城市经济和环境产生影响,满足工具变量外生性要求。具体上,本文将地理平均坡度与特高压工程投运年份的哑变量相乘($IV \times Year$)作为工具变量,采用两阶段最小二乘法估计特高压工程建设对城市经济发展和污染排放的影响。

表3列(1)是第一阶段的回归结果,工具变量的系数显著为正,表明地理坡度与特高压工程建设的概率为正相关,与预期相符。第一阶段的 F 值大于10,且Cragg-Donald Wald F 统计量也大于10%偏误临界值,工具变量是有效的。Kleibergen-Paap rk LM统计量通过了显著性检验,表明工具变量是可识别的。表3列(2)、(3)是第二阶段的回归结果, UHV 系数都至少在10%的水平下显著,因此在考虑

内生性问题后,特高压工程依然能够促进经济发展,并降低污染排放。

4.3.2 PSM-DID 法

为进一步排除经济特征差异对估计结果造成偏误,本文利用半径匹配法和核匹配法两种方式对处理组每一个个体匹配最相近的对照组个体^⑧。首先利用基准模型中所有控制变量作为配比的协变量,然后通过Logit模型计算倾向得分寻找最优配对,最后对匹配后的样本重新进行基准回归检验。平衡性检验结果显示协变量匹配后的标准化偏差都显著缩小,匹配效果较好。样本匹配后的基准回归结果依然表明,特高压工程能够促进经济发展,降低污染排放,结论是稳健的。

4.3.3 替换变量

本文利用三大产业增加值作为经济发展的衡量指标,进行再次检验。发现特高压工程建设显著增加了第二和第三产业增加值,但对第一产业增加值的影响不显著,整体表明特高压工程建设推动了经济发展。同时本文对污染排放水平进行重新测度,借鉴王群勇等^[35]、吕越等^[36]的研究,对工业二氧化硫排放量、工业烟粉尘排放量和工业废水排放量3种指标采用主成分分析法构建综合污染排放指数。检验结果表明,特高压工程显著降低了污染排放水平,结论是稳健的。

4.3.4 考虑西电东送工程的影响

与本文研究最为紧密的是西电东送工程的相关文献,同时对特高压工程政策效应评估影响最大的也是西电东送工程。西电东送工程作为一项国家战略,为特高压输电技术的发展奠定了重要基础,特高压作为一种先进的输电技术,对提高电能跨区输送效率具有重要意义。因此,电能跨区输送所产生的经济效益和减排效益是否真正来自于特高压工程,又是否受到西电东送工程的干扰,还应进一步验证。鉴于此,本文参考杨先明等^[1]的研究,构造西电东送工程的政策虚拟变量^⑨,将其作为控制变量代入基准模型重新回归。检验发现,在控制

表3 工具变量法

Table 3 Instrumental variable method

变量	(1) 第一阶段: UHV	(2) 第二阶段: GDP	(3) 第二阶段: POT
$IV \times Year$	0.085*** (0.009)		
UHV		0.102** (0.051)	-0.108* (0.063)
F 值	85.060 [0.000]		
Kleibergen-Paap rk LM 统计量	25.968 [0.000]		
Cragg-Donald Wald F 统计量	11412.240 {16.380}		
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
N	4726	4726	4726

注:()中是聚类到城市的稳健标准误,[]内是 P 值,{ }内是Stock-Yogo弱识别检验10%水平上的临界值。

⑧ 限于篇幅,PSM-DID检验,替换变量、考虑西电东送工程影响、样本典型特征等的稳健性检验结果未列示,留存备索。

⑨ 具体而言,是将电力输出地区内蒙古、陕西、山西、湖北、云南、贵州、四川、重庆、广西、宁夏、青海、甘肃,以及电力输入地区辽宁、北京、天津、河北、山东、上海、福建、江苏、浙江、广东和海南23个省份作为实验组,将基本不受西电东送工程影响的其余7个省份作为对照组,再根据各工程建设的基准年份构造西电东送工程的政策虚拟变量。

了西电东送工程的影响后,特高压工程依然能够显著促进经济发展,并降低污染排放,表明西电东送工程并未对本文的估计结果造成重大偏误,特高压工程能够实现经济发展和减排双赢的结论是稳健的。

4.3.5 安慰剂检验

为避免本文结果受到遗漏变量的影响,本文参考Chetty等^[37]、Laferrara等^[38]学者采用非参置换检验的方法进行安慰剂测试。具体上,本文首先对全样本随机设置处理组和特高压工程投运年份,进行1000次随机抽样操作,然后构建“假的”虚拟政策变量并用基准模型回归,最后绘制系数核密度分布图。图3、4显示,1000个“假的”系数值大多分布在0附近,同时基准回归结果显著异于“假的”系数值(垂直虚线),在图中表现为小概率事件,表明特高压工程建设对经济发展和减排效应并未受到其他随机因素的影响,结论是稳健的。

4.3.6 考虑样本典型特征

考虑到北京、天津、上海和重庆4个直辖市同其

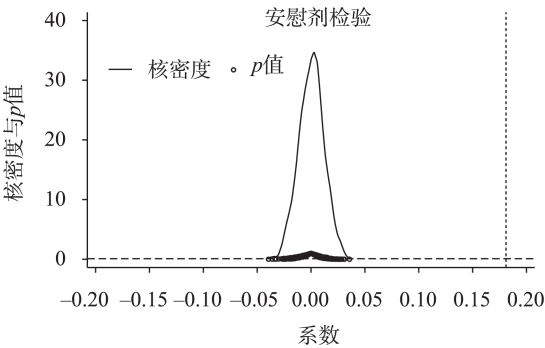


图3 GDP的安慰剂检验

Figure 3 Placebo test for GDP

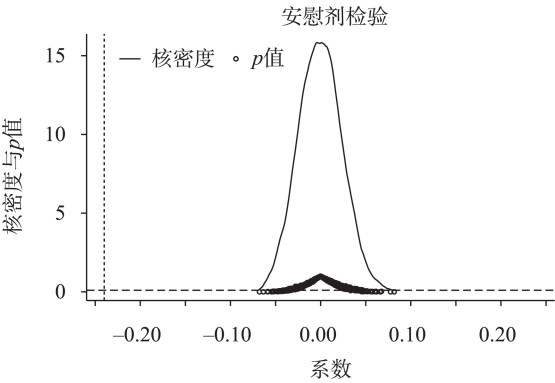


图4 POT的安慰剂检验

Figure 4 Placebo test for POT

他城市的经济特征差异,以及数据中的异常值影响,本文分别剔除直辖市样本和对连续型变量上下1%的缩尾处理,并利用基准模型重新估计。结果表明,特高压工程对经济发展的影响依然显著为正,对污染排放的影响依然显著为负,本文结论是稳健的。

4.4 异质性分析

4.4.1 地理区域

由于中西部区域和东部区域的能源禀赋和经济社会发展都存在一定差异,本文进一步分区域研究特高压工程带来的经济效益和减排效益。表4中列(1)、(2)是特高压工程对中西部区域经济发展和污染减排的影响,发现特高压工程只能显著降低中西部区域的污染排放,对经济发展的影响不显著。列(3)、(4)是特高压工程对东部区域经济发展和污染减排的影响,发现特高压工程对东部区域的经济发展和减排都有显著的促进作用。从系数大小来看,特高压工程对东部区域的经济发展和减排效应都要强于中西部区域。其可能原因是,从经济发展的角度来看,中西部区域可能由于发电成本、电能输送成本和治污成本的过高,抵消了电能跨区域输送的经济红利,东部区域本身就具备较高的发展潜力,清洁电能通过特高压工程源源不断地传输到东部区域,为东部区域经济发展起到了锦上添花的效果。从污染排放的角度来看,特高压工程输送的大多是清洁电能,电力的生产、传输和使用都具备绿色效应,促进了中西部区域与东部区域的污染

表4 基于地理区域的异质性分析

Table 4 Heterogeneity analysis based on geographic region

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GDP (中西部)	POT (中西部)	GDP (东部)	POT (东部)
UHV	0.026 (0.039)	-0.184* (0.095)	0.260*** (0.094)	-0.276** (0.129)
Constant	-1.104*** (0.389)	-2.832 (1.294)	2.474 (1.637)	-6.249 (2.151)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
N	3026	3026	1700	1700
R ²	0.434	0.332	0.519	0.499

2024年9月

减排。

4.4.2 电能输出区和输入区

本文进一步分别从电能输出区和输入区两个角度检验特高压工程对经济发展和减排的影响,结果如表5所示。从电能输出区来看,特高压工程能够促进电能输出区污染减排,但对输出区的经济发展影响不显著,从电能输入区来看,特高压工程既能促进经济发展,也能促进污染减排。同时本文发现电能输出区和输入区的异质性检验结果同前文区域异质性检验结果相似,原因在于电能输出区大多处于能源丰富的中西部地区,电能输入区大多处于经济发达的东部地区,所以特高压工程在地理区域和电能输出区、输入区分别产生的经济效益和减排效益表现出一致性。

4.4.3 电能输送方式

电能输送分为直流和交流两种形式,本文进一步分别从直流输电和交流输电两个角度检验特高压工程带来的经济效益和减排效益,结果如表6所示。无论是特高压直流输电,还是特高压交流输电,都能够显著促进经济发展,并且降低污染排放。从系数大小来看,特高压直流输电所带来的经济效益和减排效益都要强于特高压交流输电。一方面,直流输电作为一种“点对点”的电能输送方式,在超远距离的输送上更具优势。另一方面,直流输电所用导线少于交流输电,直流输电线路的成本比交流输电线路的成本更低。并且直流输电的电阻损耗较小,传输效率更高。

表5 基于电能输出区和输入区的异质性分析

Table 5 Heterogeneity analysis based on power sending and receiving ends

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GDP (输出区)	POT (输出区)	GDP (输入区)	POT (输入区)
UHV	-0.003 (0.021)	-0.238* (0.137)	0.231*** (0.078)	-0.225** (0.101)
Constant	-1.069** (0.415)	-4.059** (1.742)	1.800 (1.831)	-7.736*** (2.674)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
N	1428	1428	2108	2108
R ²	0.474	0.352	0.570	0.515

表6 基于电能输送方式的异质性分析

Table 6 Heterogeneity analysis based on electrical energy delivery modes

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GDP(直流)	POT(直流)	GDP(交流)	POT(交流)
UHV	0.209** (0.082)	-0.226** (0.105)	0.139** (0.067)	-0.212** (0.095)
Constant	1.039 (1.114)	-5.796*** (1.672)	1.066 (1.438)	-7.733*** (2.832)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
N	2584	2584	2295	2295
R ²	0.511	0.448	0.554	0.508

4.4.4 电能产生来源

电能主要由化石燃料、风能、水能、太阳能和核能5种能源产生,化石燃料是火电的重要电力来源,也是污染排放的主要来源,其他4种能源属于清洁能源。本文收集整理各个特高压工程所输送电能的主要来源,分别从电能的清洁程度检验特高压工程对经济发展和污染减排的影响,结果如表7所示。特高压工程所输送的电能无论是来自清洁能源还是化石能源,都能够显著促进经济发展,并且降低污染排放。从系数大小来看,清洁能源产电所带来的经济效益和减排效益都强于化石能源产电。因为水能、风能、太阳能和核能4种形式发电具有绿色、清洁与可持续等特征,所以特高压工程对清洁电能输送在经济效益和减排效益的表现上更加突出。

4.5 影响机制检验

4.5.1 技术创新效应

对于特高压工程,无论是产业链开端的基础研

表7 基于电能产生来源的异质性分析

Table 7 Heterogeneity analysis based on power generation sources

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GDP (清洁能源)	POT (清洁能源)	GDP (化石能源)	POT (化石能源)
UHV	0.264*** (0.101)	-0.245* (0.127)	0.137** (0.066)	-0.207** (0.093)
Constant	2.129 (1.581)	-4.910** (2.333)	0.933 (1.385)	-7.807*** (2.626)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
N	1921	1921	2363	2363
R ²	0.519	0.391	0.547	0.504

发,还是中端的设备制造,或者是末端的设施建设都离不开科技创新,因此本文检验特高压工程能否通过提高技术创新水平促进经济发展和污染减排。参考黎文靖等^[39]、胡江峰等^[40]的研究,以发明专利、实用新型专利和外观设计专利申请数之和衡量创新数量(*Innvo*),以发明专利申请数(*Inva*)和实用新型专利申请数(*Uma*)衡量创新质量,以绿色发明专利申请数(*Ginva*)和绿色实用新型专利申请数(*Guma*)衡量可持续创新。表8中列(1)–(5)显示,特高压工程显著提升了创新数量、创新质量和可持续创新水平,表明特高压工程能够通过提高技术创新水平促进经济发展和污染减排。

4.5.2 产业结构升级效应

特高压工程建设对产业结构升级有着重要的推动作用。本文分别从产业结构合理化和高级化两个角度检验特高压工程对产业结构的影响。参考于春晖等^[41]、韩永辉等^[42]的研究,利用第三产业和第二产业的比值测量产业结构高级化(*Adv*),利用要素投入结构和产出结构的耦合度测量产业结构合理化(*Rat*)。表9中列(1)、(2)表明,特高压工程显著提升了产业结构合理化水平和高级化水平,表明特高压工程能够通过优化产业结构促进经济发展和污染减排。

由于特高压工程建设能够增加当地就业机会,激发市场活力,带动服务业发展。因此本文进一步检验特高压工程能否推动服务业结构升级。参考余泳泽等^[43]的研究,利用高端服务业就业人数占据

服务业总就业人数比重(*Hig*)和生产性服务业就业人数占据服务业总就业人数比重(*Pro*)测量服务业结构升级。表9中列(3)、(4)表明,特高压工程建设显著提升了服务业结构水平,表明特高压工程能够通过推动服务业升级促进经济发展和污染减排。

4.5.3 煤炭和火电的替代效应

目前中国的能源消费结构以煤炭为主,电能结构以火电为主,同时煤炭的消费用途也集中在火力发电,在能源禀赋较差的电能输入区,煤炭利用效率较为低下,容易带来环境污染。因此本文从电能输入区的能源消费结构和电能结构两个角度检验特高压工程是否通过产生煤炭和火电的替代效应促进经济发展与污染减排。本文利用煤炭消费量(*Meicon*)测度能源消费结构^[44],利用火力发电量(*Fire*)测度电能结构^[45],表10中列(1)、(2)表明,特高压工程显著降低了电能输入区的煤炭使用量和火力发电量,对电能输入区产生了煤炭使用和火电消费的替代效应。进一步,本文也检验了特高压输电对电能输入区水力发电量(*Water*)和总发电量(*Sum*)的影响,结果如表10中列(3)、(4)所示。特高压输电同样减少了电能输入区的总发电量,但是未对水力发电产生显著影响。

4.6 进一步讨论:空间溢出效应

在空间计量分析前,首先要进行空间自相关检验,莫兰指数检验结果发现,经济发展水平和污染排放水平每年的莫兰指数值都显著大于0,初步表

表8 技术创新效应

Table 8 Technical innovation effecte

变量	(1) <i>Uma</i>	(2) <i>Inva</i>	(3) <i>Innvo</i>	(4) <i>Guma</i>	(5) <i>Ginva</i>
<i>UHV</i>	0.687*** (0.211)	0.534*** (0.183)	0.130*** (0.041)	0.578*** (0.180)	0.157** (0.067)
<i>Constant</i>	4.708** (1.913)	4.273** (2.166)	1.038** (0.447)	4.655** (1.860)	2.146** (1.027)
控制变量	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
<i>N</i>	4726	4726	4726	4726	4726
<i>R</i> ²	0.311	0.227	0.283	0.274	0.127

表9 产业结构升级效应

Table 9 Industrial structure upgrading effect				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Rat</i>	<i>Adv</i>	<i>Hig</i>	<i>Pro</i>
<i>UHV</i>	0.154*** (0.044)	0.073* (0.042)	0.136** (0.054)	0.164*** (0.054)
<i>Constant</i>	-2.055 (1.400)	4.791*** (1.359)	3.685*** (0.872)	2.923*** (0.765)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
<i>N</i>	4726	4726	4726	4726
<i>R</i> ²	0.067	0.457	0.152	0.301

明了本文两个被解释变量存在空间关联性,满足空间双重差分模型使用的前提条件^⑩。

为了选择合适的空间计量模型,本文首先对回归结果进行LM检验,表11中LM和Robust LM统计量值都在1%的水平下通过显著性检验,因此空间滞后模型(SAR)与空间误差模型(SEM)适用于本文的研究。考虑到现有研究中空间杜宾模型(SDM)的优越性,进一步采用LR检验与Wald检验对模型进行选择,考察空间杜宾模型(SDM)是否会退化为空间滞后模型(SAR)或空间误差模型(SEM)。表11中LR和Wald统计量值都至少在5%的水平下拒绝原假设,表明空间杜宾模型(SDM)不会退化为空间滞后模型(SAR)或空间误差模型(SEM)。因此,本文选取空间杜宾模型(SDM)来检验特高压工程的空间溢出效应,为保证结果的稳健性,同时也运用空间滞后模型(SAR)与空间误差模型(SEM)

表10 煤炭和火电的替代效应

Table 10 Substitution effects of coal and thermal power				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Meicon</i>	<i>Fire</i>	<i>Water</i>	<i>Sum</i>
<i>UHV</i>	-0.268** (0.135)	-0.722** (0.290)	-0.033 (0.076)	-0.934** (0.361)
<i>Constant</i>	4.930 (5.078)	27.337*** (9.127)	-4.457 (2.713)	27.015** (10.401)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
<i>N</i>	2108	2108	2108	2108
<i>R</i> ²	0.583	0.599	0.267	0.645

作为对比研究。

表12为空间效应模型估计结果, ρ 值或 λ 值都在1%的水平下显著为正,表明本文的研究对象经济发展水平和污染排放水平都具有显著的空间溢出效应,周边城市的经济发展和污染排放同本地区存在一定的空间依赖性。从分解的直接效应结果来看,在考虑了空间关联性后,特高压工程能够显著促进本区域的经济发展,同时降低污染排放。间接效应结果表明,特高压工程既能推动周边区域的经济发展,也能降低周边区域的污染排放。一方面,特高压输电线路要途经多个省份,特高压工程建设的技术创新存在溢出效应,特高压线路途经区域与周边区域通过学习先进的知识技术推动经济发展与污染减排。另一方面,中国输电线路呈现出网络结构,电能输入区可通过区域电网将多余的清洁能源输送到周边城市,也为邻近城市带来经济发

表11 空间计量模型适用性检验

Table 11 Applicability test of spatial econometric models					
检验方法	检验指标	<i>GDP</i>		<i>POT</i>	
		统计量值	<i>P</i> 值	统计量值	<i>P</i> 值
LM 检验	LM-lag	190.091	0.000	3449.271	0.000
	LM-error	2047.718	0.000	4406.113	0.000
Robust LM 检验	R-LM-lag	16.708	0.000	27.232	0.000
	R-LM-error	1874.335	0.000	984.075	0.000
LR 检验	LR-lag	91.900	0.000	50.670	0.000
	LR-error	133.990	0.000	48.790	0.000
Wald 检验	Wald-lag	18.880	0.016	16.700	0.033
	Wald-error	21.300	0.006	15.820	0.045

⑩ 限于篇幅,莫兰指数检验结果未列示,留存备索。

表 12 空间效应模型估计结果
Table 12 Spatial effect model estimation results

变量	(1) SDM <i>GDP</i>	(2) SAR <i>GDP</i>	(3) SEM <i>GDP</i>	(4) SDM <i>POT</i>	(5) SAR <i>POT</i>	(6) SEM <i>POT</i>
<i>UHV</i>	0.161*** (0.012)	0.168*** (0.012)	0.165*** (0.012)	-0.225*** (0.026)	-0.224*** (0.026)	-0.219*** (0.026)
<i>W</i> × <i>UHV</i>	0.777*** (0.122)			-1.335*** (0.260)		
直接效应	0.170*** (0.013)	0.171*** (0.012)		-0.241*** (0.027)	-0.226*** (0.027)	
间接效应	2.246*** (0.536)	0.641*** (0.224)		-4.489*** (1.254)	-0.604*** (0.225)	
总效应	2.416*** (0.539)	0.812*** (0.227)		-4.730*** (1.259)	-0.830*** (0.234)	
ρ 或 λ	0.589*** (0.076)	0.778*** (0.047)	0.746*** (0.054)	0.654*** (0.067)	0.712*** (0.058)	0.718*** (0.057)
控制变量	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	4726	4726	4726	4726	4726	4726
<i>R</i> ²	0.377	0.301	0.284	0.326	0.170	0.136

展和减排的双重红利。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文将特高压输电工程作为准自然实验,基于2003—2019年中国278个地级及以上城市的面板数据,采用双重差分模型考察特高压输电工程对城市经济发展和污染减排的影响与作用机制。主要结论如下:

(1)特高压工程对区域经济发展和污染减排具有显著的促进作用,该结论通过一系列稳健性检验后依然成立。并且动态效应检验结果表明,特高压工程对经济增长的影响表现出持续递增的趋势,对污染减排的影响具有一定的滞后性。

(2)异质性分析表明,特高压工程为东部区域和电能输入区带来的经济效益和减排效益都显著强于中西部区域和电能输出区;从电能输送方式来看,特高压直流输电对经济发展的促进作用和污染排放的抑制作用都显著强于特高压交流输电;从电能来源来看,水电、风电、太阳能和核能等清洁能源产电带来的经济效益和减排效益都要强于化石能源产电。

(3)机制检验表明,特高压工程能够通过提高

技术创新水平、优化产业结构与服务业结构升级促进经济发展,并降低污染排放。此外,特高压工程也能通过减少电能输入区的煤炭使用和火电使用,进而对煤炭和火电产生替代效应推动经济发展和污染减排。

(4)空间溢出效应表明,特高压工程具有显著的空间溢出效应,既促进了周边区域的经济的发展,也能够降低周边区域的污染排放,原因在于,特高压工程建设的技术溢出和特高压电网的电能溢出为周边区域带来了经济发展和减排的双重红利。

5.2 政策建议

基于上述结论,本文提出如下政策建议:

(1)持续推进开展特高压工程建设。由于目前中国能源地理空间分布和能源需求还呈现出较为严重的逆向分布格局,因要加强规划并建设特高压输电线路,提高能源跨区域转移的输送效率,为电能输出区和输入区的经济发展和环境保护带来绿色动力。同时加强自主创新能力,进一步推进特高压输电技术升级,通过能源消费结构优化和区域产业结构升级,推动经济绿色可持续发展。

(2)综合考虑特高压输电技术发展,以及地区能源资源禀赋和经济社会发展状况等问题,稳中推

2024年9月

进特高压工程建设。未来特高压工程规划可重点偏向于特高压直流输电,因为其产生的经济效益和减排效益都要强于特高压交流输电。考虑到清洁能源产电对经济发展和污染减排的优越性,无论对于电能输出区还是电能输入区,都要加强对水电、风电、太阳能和核能等绿色能源的开发使用,保证跨区域电能输送的清洁性。同时还要提高电能输出区的生产供给和储存调节能力,确保电能跨区域输送和区域自主平衡并重。保证经济发展和资源利用的协调性,避免为了发展东部地区经济而过度牺牲中西部的资源环境,也不要为东部提供能源支撑而放弃西部自身的发展机会。

(3)加强局部区域电网建设,提升绿色电能的使用价值。要加强构建城市之间的输电网络,完善区域电网,推进新型电力系统建设,通过特高压输电技术为建设新型能源体系注入持续动力。此外,要加快推进源网荷储一体化发展,实现新能源资源的本地规模化开发,促进能源最大程度就地利用,引导能源消费习惯和结构优化,推动区域经济绿色可持续发展。

(4)随着新型电力系统的不断建设与完善,未来可再生能源发电比例越来越高,以光伏、风电、水电为核心的新能源在一定程度上能够缓解中国电力区域的不平衡,东部地区会逐渐实现电从远方来和电从身边来的结合。但是电能的跨区输送仍是不可或缺的,即使在未来新能源占主导的时代特高压输电也必然存在。因为可再生能源具有显著的波动性和随机性等特征,特高压可以解决新能源稳定性问题,解决光伏、风电等新能源的周期性和间歇性问题,提升电网整体及局部的稳定性。在新型电力系统建设目标下,特高压不仅要发挥电力的长距离传输作用,其灵活调度也将提出更高要求,短距离、高效率、灵活性将同样是特高压技术的发展趋势。特高压能够将各大区域性的电力市场联成统一的电力市场,未来可对特高压在构建全国统一电力市场体系,进而加快建设全国统一大市场方面进行研究。

参考文献(References):

[1] 杨先明,袁欣悦.西电东送的区域经济增长效应[J].财经科学,

2022, (5): 77-89. [Yang X M, Yuan X Y. The regional economic growth effect of west-to-east electricity transmission project[J]. Financial Science, 2022, (5): 77-89.]

[2] 陈晓红,付益鹏,黄骋东,等.特高压工程建设碳排放测算方法与应用[J].资源科学,2023,45(12):2291-2310. [Chen X H, Fu Y P, Huang C D, et al. Method and application of carbon emission calculation for ultra-high voltage (UHV) project construction[J]. Resources Science, 2023, 45(12): 2291-2310.]

[3] Lewis J, Severini E. Short-and long-run impacts of rural electrification: Evidence from the historical rollout of the US power grid [J]. Journal of Development Economics, 2020, DOI: 10.1016/j.jdevec.2019.102412.

[4] Xu Z, Das D K, Guo W, et al. Does power grid infrastructure stimulate regional economic growth? [J]. Energy Policy, 2021, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112296.

[5] Fisher V K, Mansur E T, Wang Q J. Electricity shortages and firm productivity: Evidence from China's industrial firms[J]. Journal of Development Economics, 2015, 114: 172-188.

[6] Cole M A, Elliott R J R, Occhiali G, et al. Power outages and firm performance in Sub-Saharan Africa[J]. Journal of Development Economics, 2018, 134: 150-159.

[7] 余长林,马青山.特高压输电与区域经济发展:来自特高压工程的经验证据[J].数量经济技术经济研究,2023,40(10):202-224. [Yu C L, Ma Q S. Ultra-high voltage transmission and regional economic development: Empirical evidence from UHV projects [J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2023, 40 (10): 202-224.]

[8] Wang H, Zhang Y Y, Lin W F, et al. Transregional electricity transmission and carbon emissions: Evidence from ultra-high voltage transmission projects in China[J]. Energy Economics, 2023, DOI: 10.1016/j.eneco.2023.106751.

[9] Chi Y, Qiao Z, Zhou W, et al. The impact of ultra-high voltage projects on carbon emissions in China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30: 92135-92145.

[10] 王辉,胡耀,袁礼,等.能源供给与企业生产绩效:来自特高压输电工程的证据[J].世界经济,2023,46(12):141-166. [Wang H, Hu Y, Yuan L, et al. Energy supply and enterprise production performance: Evidence from UHV transmission projects[J]. The Journal of World Economy, 2023, 46(12): 141-166.]

[11] 任胜钢,潘也,汪阳洁,等.新型基础设施的节能降耗效应:来自特高压工程建设的微观证据[J].经济学(季刊),2024,24(3):978-994. [Ren S G, Pan Y, Wang Y J, et al. New infrastructure Effect on energy saving: Microscopic evidence from the UHV transmission projects construction[J]. China Economic Quarterly, 2024, 24(5): 978-994.]

[12] 李飏,周永章.珠江流域“西电东送”能源空间配置的综合效益

- 分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, (3): 147-151. [Li Y, Zhou Y Z. Integrated benefits of the "West-to-east Electricity Transmission Project" in the Pearl River Valley based on energy configuration[J]. China Population, Resources and Environment, 2008, (3): 147-151.]
- [13] Gao Y Y, Zheng J H. Clearing the air through pipes? An evaluation of the air pollution reduction effect of China's natural gas pipeline projects[J]. Energy Policy, 2022, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112649.
- [14] Xu S, Allen Klaiber H. The impact of new natural gas pipelines on emissions and fuel consumption in China[J]. Resource and Energy Economics, 2019, 55: 49-62.
- [15] 李慧, 佟孟华, 张国建, 等. 跨区域能源调度促进企业减排效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(7): 156-178. [Li H, Tong M H, Zhang G J, et al. Study on the effect of trans-regional energy dispatching promoting enterprise emission reduction[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2023, 40(7): 156-178.]
- [16] 李颀. "西电东送"环境减排效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(9): 36-41. [Li Y. Study on environmental effects of emission reduction in west-to-east electricity transmission[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(9): 36-41.]
- [17] 金艳鸣, 黄涛, 雷明. "西电东送"中的生态补偿机制研究: 基于三区域可计算一般均衡模型分析[J]. 中国工业经济, 2007, (10): 21-28. [Jin Y M, Huang T, Lei M. Study of ecological compensation mechanism in the process of western electricity sending-off east: Application of three-regional CGE Model[J]. China Industrial Economy, 2007, (10): 21-28.]
- [18] 徐瑛. 西电东送生态补偿标准初探[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 129-135. [Xu Y. An analysis of eco-compensation standard in west-to-east electricity transmission[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(3): 129-135.]
- [19] 赵晶, 刘玉洁, 付珂语, 等. 大型国企发挥产业链链长职能的路径与机制: 基于特高压输电工程的案例研究[J]. 管理世界, 2022, 38(5): 221-240. [Zhao J, Liu Y J, Fu K Y, et al. The path and mechanism for large state-owned enterprises to play the function of industrial chain leader: A case study based on UHV transmission project[J]. Journal of Management World, 2022, 38(5): 221-240.]
- [20] Fan M, Li M G, Liu J H, et al. Is high natural resource dependence doomed to low carbon emission efficiency? Evidence from 283 cities in China[J]. Energy Economics, 2022, DOI: 10.1016/j.eneco.2022.106328.
- [21] 盛丹, 卜文超. 机器人使用与中国企业的污染排放[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(9): 157-176. [Sheng D, Bu W C. The usage of robots and enterprises' pollution emissions in China[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2022, 39(9): 157-176.]
- [22] 韩峰, 谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗? 对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(3): 40-58. [Han F, Xie R. Does the agglomeration of producer services reduce carbon emissions? Spatial econometric analysis of panel data for prefecture level and above cities in China[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2017, 34(3): 40-58.]
- [23] Fan Y, Bai B, Qiao Q, et al. Study on eco-efficiency of industrial parks in China based on data envelopment analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2017, 192: 107-115.
- [24] 张丽华, 甘甜, 许政. 开发区的环境溢出效应: 基于中国企业的研究[J]. 世界经济, 2021, 44(12): 76-103. [Zhang L H, Gan T, Xu Z. The environmental spillover effects of special economic zones: A study based on Chinese firm-level data[J]. The Journal of World Economy, 2021, 44(12): 76-103.]
- [25] 刘瑞明, 赵仁杰. 国家高新区推动了地区经济发展吗? 基于双重差分方法的验证[J]. 管理世界, 2015, (8): 30-38. [Liu R M, Zhao R J. Has the national high tech zone promoted regional economic development? Verification based on double difference method[J]. Journal of Management World, 2015, (8): 30-38.]
- [26] 范子英, 赵仁杰. 法治强化能够促进污染治理吗? 来自环保法庭设立的证据[J]. 经济研究, 2019, 54(3): 21-37. [Fan Z Y, Zhao R J. Does rule of law promote pollution control? Evidence from the establishment of the environmental court[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(3): 21-37.]
- [27] 邵朝对. 进口竞争如何影响企业环境绩效? 来自中国加入WTO的准自然实验[J]. 经济学(季刊), 2021, 21(5): 1615-1638. [Shao C D. How import competition affects firm environmental performance? A quasi-natural experiment from China's entry into WTO[J]. China Economic Quarterly, 2021, 21(5): 1615-1638.]
- [28] 苏丹妮, 盛斌. 服务业外资开放如何影响企业环境绩效? 来自中国的经验[J]. 中国工业经济, 2021, (6): 61-79. [Su D N, Sheng B. How services FDI opening affects firm environmental performance? Evidence from China[J]. China Industrial Economics, 2021, (6): 61-79.]
- [29] 张可, 汪东芳, 周海燕. 地区间环保投入与污染排放的内生策略互动[J]. 中国工业经济, 2016, (2): 68-82. [Zhang K, Wang D F, Zhou H Y. Regional endogenous strategic interaction of environmental protection investment and emission[J]. China Industrial Economics, 2016, (2): 68-82.]
- [30] 严楷, 郭逸婷, 王红建, 等. 旅游业发展的工业污染减排效应与空间效应: 基于"两山"理论的实证研究[J]. 统计研究, 2023, 40(6): 105-117. [Yan K, Guo Y T, Wang H J, et al. Industrial pollution reduction effect and spatial effect of tourism development: An empirical study based on "Two Mountains" Theory[J]. Statistical

2024年9月

- Research, 2023, 40(6): 105–117.]
- [31] Beck T, Levine R, Levkov A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the united states[J]. Journal of Finance, 2010, 65(5): 1637–1667.
- [32] Jacobson L S, Lalonde R J, Sullivan D G. Earnings losses of displaced workers[J]. American Economic Review, 1993, 83(4): 685–709.
- [33] 卞元超, 吴利华, 白俊红. 高铁开通是否促进了区域创新?[J]. 金融研究, 2019, (6): 132–149. [Bian Y C, Wu L H, Bai J H. Does high-speed rail improve regional innovation in China?[J]. Journal of Financial Research, 2019, (6): 132–149.]
- [34] 吉赞, 杨青. 高铁开通能否促进企业创新? 基于准自然实验的研究[J]. 世界经济, 2020, 43(2): 147–166. [Ji Y, Yang Q. Can the high-speed rail service promote enterprise innovation? A study based on quasi-natural experiments[J]. The Journal of World Economy, 2020, 43(2): 147–166.]
- [35] 王群勇, 陆凤芝. 高铁开通的经济效应: “减排”与“增效”[J]. 统计研究, 2021, 38(2): 29–44. [Wang Q Y, Lu F Z. Economic effects of high-speed rail: Emission reduction and efficiency enhancement[J]. Statistical Research, 2021, 38(2): 29–44.]
- [36] 吕越, 张昊天, 薛进军, 等. 税收激励会促进企业污染减排吗? 来自增值税转型改革的经验证据[J]. 中国工业经济, 2023, (2): 112–130. [Lv Y, Zhang H T, Xue J J, et al. Do tax incentives promote emission abatement of firms? Evidence from China's value-added tax transformation reform[J]. China Industrial Economics, 2023, (2): 112–130.]
- [37] Chetty R, Looney A, Kroft K. Salience and taxation: Theory and evidence[J]. American Economic Review, 2009, 99(4): 1145–1177.
- [38] Laferrara E, Chong A, Duryea S. Soap operas and fertility: Evidence from Brazil[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2012, 4(4): 1–31.
- [39] 黎文靖, 郑曼妮. 实质性创新还是策略性创新? 宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. 经济研究, 2016, 51(4): 60–73. [Li W J, Zheng M N. Is it substantive innovation or strategic innovation? Impact of macroeconomic policies on micro-enterprises' innovation[J]. Economic Research Journal, 2016, 51(4): 60–73.]
- [40] 胡江峰, 黄庆华, 潘欣欣. 碳排放交易制度与企业创新质量: 抑制还是促进[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(2): 49–59. [Hu J F, Huang Q H, Pan X X. Carbon emission trading system and firms' innovation quality: Suppression or promotion[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(2): 49–59.]
- [41] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46(5): 4–16. [Gan C H, Zheng R G, Yu D F. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in the case of China[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(5): 4–16.]
- [42] 韩永辉, 黄亮雄, 王贤彬. 产业政策推动地方产业结构升级了吗? 基于发展型地方政府的理论解释与实证检验[J]. 经济研究, 2017, 52(8): 33–48. [Han Y H, Huang L X, Wang X B. Do industrial policies promote industrial structure upgrading? Theory and evidence from China's development-oriented local government[J]. Economic Research Journal, 2017, 52(8): 33–48.]
- [43] 余泳泽, 潘妍. 中国经济高速增长与服务业结构升级滞后并存之谜: 基于地方经济增长目标约束视角的解释[J]. 经济研究, 2019, 54(3): 150–165. [Yu Y Z, Pan Y. The mysterious coexistence of rapid economic growth and a lag in the service industry's upgrade in China: An interpretation based on the economic growth target constraints perspective[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(3): 150–165.]
- [44] 陈登科. 贸易壁垒下降与环境污染改善: 来自中国企业污染数据的新证据[J]. 经济研究, 2020, 55(12): 98–114. [Chen D K. Trade barrier reduction and environmental pollution improvement: New evidence from firm-level pollution data in China[J]. Economic Research Journal, 2020, 55(12): 98–114.]
- [45] 吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究: 基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021, (8): 114–132. [Wu Y Y, Qi J, Xian Q, et al. The carbon emission reduction effect of China's carbon market: From the perspective of the coordination between market mechanism and administrative intervention[J]. China Industrial Economics, 2021, (8): 114–132.]

Empowering effect of ultra-high voltage transmission on urban green development

GONG Jia, WU Zhenlei

(School of Economics and Management, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: [Objective] The ultra-high voltage (UHV) “new infrastructure development” optimizes the power structure and rational allocation of power resources in China, and injects sustainable impetus into the green transformation of the economy. This study aimed to explore the green development effect brought by UHV projects, and provide a theoretical basis and policy suggestions for promoting the optimization of energy consumption structure and helping to build a new energy system. [Methods] Based on the panel data of 278 prefecture-level cities in China from 2003 to 2019, this study used the difference-in-differences model to investigate the effect and mechanism of trans-regional electric power transmission on urban economic development and pollution reduction. [Results] (1) Ultra-high voltage projects significantly promoted regional economic development and reduced pollution emissions. (2) Mechanism test showed that UHV projects can achieve economic development and pollution reduction by improving regional innovation levels, optimizing industrial structure, and generating substitution effects on coal and thermal power. (3) Heterogeneity analyses showed that UHV projects had positive effects on economic development and pollution reduction in the eastern region and the power input region, but only produced emission reduction benefits in the central and western regions and the power output regions. Compared with thermal power transmission, UHV projects are more conducive to promoting economic development and pollution reduction for clean energy transmission. Ultra-high voltage DC projects had a stronger role in promoting economic development and pollution reduction than UHV AC projects. (4) Spatial spillover effect analysis showed that UHV transmission can promote the economic development of neighboring cities and reduce pollution emissions. [Conclusion] Therefore, the development of UHV transmission technology, regional energy resource endowment, and economic and social development should be comprehensively considered to continuously promote the construction of UHV projects. At the same time, China should strengthen the construction of regional power grids and enhance the use value of green energy.

Key words: ultra-high voltage projects; energy structure; green development; pollution emissions; new infrastructure; difference-in-differences model; China