

# 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

任胜钢 潘也 汪阳洁 张鹏\*

**摘要：**本文以特高压输电工程建设为准自然实验，基于全国税收调查微观数据，考察新基建对企业节能降耗的影响。研究发现特高压建设使当地企业能源消费总量和强度平均分别降低约 5.8% 和 9.0%。本文检验了两个可能的影响渠道，即规模经济效应和结构优化效应。这两种效应在工程输出地和输入地企业中的渠道机制明显不同。进一步研究发现，特高压输电工程能够有效校正能源产业发展中长期存在的“错配”与“短板”问题，促进全国能源统一大市场发展。

**关键词：**新型基础设施建设；节能降耗；特高压输电工程

**DOI：**10.13821/j.cnki.ceq.2024.03.18

## 一、引言

在经济结构调整和动能转换的新形势下，新型基础设施建设（以下简称“新基建”）已经成为支撑中国经济发展的新引擎。作为能源领域最具代表性的新基建之一，特高压输电工程（以下简称“特高压”）在推动能源变革转型和经济高质量发展中的作用日益凸显。特高压指±800 千伏及以上的直流和 1 000 千伏及以上交流的新一代电力传输通道，凭借超远距离、超大容量、超低损耗的传输特性旨在优化我国能源供需空间布局，推动能源资源由就地平衡向大范围配置的根本性转变。目前，随着“双碳”目标的实施，国家能源安全正面临保障供应和可持续发展的双重挑战。如何在经济稳增长的基础上控制能源消耗，实现发展与能源消费脱钩是应对上述挑战的必由之路（张宁和张维洁，2019）。那么，作为支撑能源资源跨区配置的一项工程举措，特高压建设能否有效推动节能降耗，其内在机制是什么，这一问题的解答对于国家能源安全保障及“双碳”目标的实现具有重要的政策含义。

在现有文献中，已有不少研究针对新基建的投资效应展开了系列探讨。一是对新基建经济效益的分析。例如，Czernich et al.（2011）研究发现互联网建设对当地人均 GDP 具有显著提升作用；许启凡等（2022）通过构建 5G 产业与经济增长理论模型，发

\* 任胜钢、潘也、汪阳洁，中南大学商学院；张鹏，香港中文大学（深圳）经管学院。通信作者及地址：潘也，湖南省长沙市岳麓区麓山南路 932 号中南大学新校区江湾楼，410083；电话：13837629526；E-mail: py9526@csu.edu.cn。本文得到国家自然科学基金面上项目（72274220、71974205）、国家自然科学基金青年项目（72203193）以及广东省自然科学基金杰出青年项目（2023B1515020065）的资助。作者感谢匿名评审专家的宝贵意见，文责自负。

现5G发展有利于经济增长；部分学者关注国家“八纵八横”高铁网络建设，发现高铁的垂直分工效应（李超等，2021）、成本优化效应（唐宜红等，2019）及产业结构升级效应（孙伟增等，2022）等对区域格局演变与经济增长具有明显增益。二是聚焦新基建的环境治理效应研究，发现“宽带中国”、地铁及高铁等新基建对地区空气质量、温室气体减排及绿色经济增长具有明显的优化效应（Li et al., 2019; Lin et al., 2021; Ren et al., 2022）。综合上述文献可以发现，从新基建类型来看，现有研究主要聚焦于信息网络及交通领域的新基建，对能源领域新基建的讨论却较为有限。从新基建的影响后果来看，部分学者虽然关注到新基建对经济增长、末端污染物及温室气体排放的影响，但总体上对源头节能降耗的系统性评估较少，尤其是从基础设施建设视角探究微观层面节能降耗的定量分析较为匮乏，且这一影响背后的渠道机制仍缺乏合理的经验证据。

鉴于此，本文聚焦我国新型基础设施——特高压，试图通过记录新的经验证据并实证评估新基建对微观企业的系统影响。更确切地说，本研究基于2007—2015年中国国家税收调查数据库（CNTSD）独特的企业面板数据集，构建了一个包含微观层面能源消费信息的面板数据集，在考虑特高压建设潜在内生性干扰的基础上，运用多时点双重差分模型，实证评估了新基建在微观层面的节能降耗效应及其作用机制。研究发现，特高压建设显著推动了微观企业的节能降耗，这种影响主要来自输出地关联产业集聚引发的规模经济以及发电侧多能互补、用能侧电力替代产生的能源结构转型。进一步分析表明，特高压建设能有效纠正能源发展中长期存在的“规模错配”与“结构错配”问题，并弥补传统能源传输体系下的市场发育“短板”。

本文可能的贡献在于：第一，从微观企业节能降耗视角，补充了发展经济学中基础设施建设驱动经济高质量发展的研究。本文将能源新基建引致的节能降耗效应研究拓展到微观企业层面，为进一步理解宏观基础设施建设的微观效益提供了新证据。第二，基于特高压输出和输入地功能差异，分别从规模经济效应和结构优化效应两方面揭示出新基建驱动节能降耗的背后逻辑，深化了对大型能源基础设施建设影响微观企业行为和能源消费作用机制的认识。第三，聚焦能源产业发展中长期存在的“错配”与“短板”问题，明晰了特高压新基建具有明显的“纠错配”与“补短板”功能，为进一步优化能源新基建布局及新型电力系统建设提供决策支撑。

## 二、制度背景与研究假说

### （一）特高压的建设背景及沿革

电力工业是国民经济发展过程中最重要的基础性产业，是关系国计民生的支柱性产业。纵观中国电力体制改革的变迁史，大致可分为三个阶段：政企合一、垂直垄断的计划管理期（1949—1978），政企分离、省为实体的市场化探索期（1978—2002），厂网分离、竞价上网的市场化加速期（2002年至今）。2002年，国务院印发的《电力体制改革方案》明确提出，将发电和电网两类业务划分，推动厂网分开，并实行竞价上网的电价新机制。2015年，中共中央、国务院颁布的《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（中发〔2015〕9号）标志新一轮电改正式启动，提出“在全国范围内逐步形成竞争充分、开放有序、健康发展的市场体系”。然而，在电力市场化改革进程中始终面临资

源禀赋层面及市场建设层面两大突出难题:

一是电力资源禀赋制约。我国能源资源逆向分布严重,76%的煤炭、80%的水能、80%的风能、90%的太阳能分布在西北、西南部,而70%以上的电力消费集中在东中部地区(刘振亚等,2014)。能源中心距离电力负荷中心相距1 000—4 000公里左右。对此我国主要采取跨区运煤、异地发电的能源供给模式。然而,这种公路、铁路运煤在空间可达性、供给及时性及传输稳定性等方面具有明显劣势,全国性煤电运紧张问题长期存在,严重制约电力供给有效性和企业生产积极性。

二是电力市场建设不健全。我国区域性电力市场分割比较严重,存在跨省跨区市场交易壁垒,阻碍能源资源的最优化配置。在这个时期,我国也相继颁布了一些区域性及全国性电力市场化改革政策,如《节能发电调度办法》(2007年)、《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(2015年)。然而,由于区域间电力基础设施建设不足等原因,我国省际尚未形成大跨度的区域性电网联通,电力资源无法进行大范围传输与调度,制约电力市场化改革。

破解上述两方面难题,关键在于构建跨区域的电力输送网络,打破电力交易的地域界限,突破能源资源逆向分布屏障,实现电力资源由就地平衡向大范围配置的根本性转变。在此背景下,中国开始谋划建设特高压。2005年,国务院印发的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》第一次把特高压技术写入国家文件,特高压被列为国家重点扶持的20项科技发展项目之一。2006年,特高压被纳入《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年第一条特高压输电线路——晋东南-南阳-荆门1 000千伏交流特高压项目正式投入运行,标志着我国自主研发的大型输电工程正式落地。2019年,中央明确提出特高压为“新基建”重点投资的七大领域之一,标志着更具时代特色和创新性的特高压建设上升为国家战略。特高压与传统超高压输电技术相比,在输电容量、距离、损耗、造价等方面具有明显优势,且到网电价比当地煤电标杆上网电价平均低0.06—0.13元/千瓦时(具体如表1)。

表1 常规直流输电与特高压直流输电性能对比

技术性能	常规直流	特高压直流
电压等级	±500千伏	±800千伏
输电容量	300万千瓦	800万千瓦
输电距离	1 000公里	2 000公里
输电损耗	6.94%/百公里	2.79%/百公里
单位造价	2.16元/公里·瓦	1.56元/公里·瓦
单位走廊宽度传输容量	12万千瓦/米	23.5万千瓦/米

注:数据来自国家电网官方网站。

特高压的建立实现了电力负荷中心与能源中心的实时连接,促进了“西电东送、北电南送”规模的日益扩大。截止到2020年,国家电网公司(SGCC)和中国南方电网(CSG)相继建成“十四交十六直”30项特高压工程,在运在建特高压线路总长度4.8万公里,累计送电量超过2.5万亿千瓦时,实现了由“初步连通”向“联结成网”的巨大跨越。那么,以特高压输电线路为骨干的全国性能源联网建立,到底如何影响企业的节能降耗?这正是本文需要回答的问题。

## （二）研究假说

基础设施对经济增长的拉动效应主要来自经济活动的空间转移和资源的优化再配置 (Krugman, 1991; Eaton and Kortum, 2002)。遵循该理论, 本文分别从规模经济和结构转型两条路径分析特高压推动企业节能降耗的作用机制, 具体如图 1 所示。

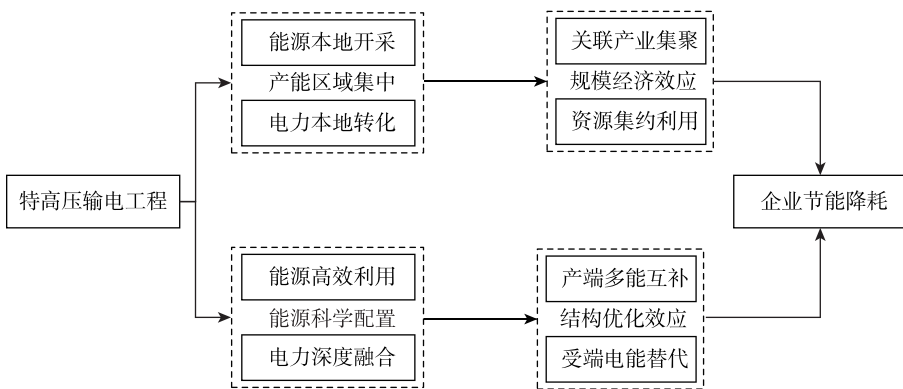


图 1 特高压建设驱动企业节能降耗的逻辑框架

第一, 规模经济效应。特高压由“输煤”变“输电”, 使得传统“本地开采、异地发电”向“本地开采、本地发电、异地传输”的模式转变 (刘振亚等, 2014; Guo et al., 2022)。根据韦伯工业区位论, 影响企业区位选择的最主要因素是原材料运输成本和生产密度 (Weber, 1929)。因此, 特高压在保证高效、稳定电力传输的前提下, 有助于释放能源富集区资源比较优势, 良好的资源禀赋及硬件条件将吸引更多的电力生产及关联产业<sup>①</sup>向一次能源开采及运输成本更低、电力外送更稳定的上游能源富集区转移, 产生规模经济。

上述变化可能对能源企业投资研发行为产生影响。一方面, 关联产业集聚能够推动要素资源、市场网络及技术信息的高度流动与共享 (Marshall, 1890)。企业可以通过专业化合作与分工, 实现要素投入与工艺技术的最优化配置。这将直接促进能源资源集约化利用, 降低资源未充分及过度消费造成的边际损失, 有助于节约能源消费 (邵帅等, 2019)。另一方面, 相较于分散化的生产方式, 规模化生产具有规模报酬递增特征, 企业在这种生产模式下更倾向于采用节能技术 (Hassen et al., 2018), 以更低的能源要素投入创造更多产品产出, 从而降低能源利用强度 (Wang et al., 2022)。

第二, 结构优化效应。特高压推动能源由就地平衡到大范围配置的动态转变, 有助于能源中心向负荷中心电力供给的科学配置 (刘振亚和张启平, 2013)。在这种情况下, 能源中心释放自身资源比较优势, 通过配置不同的一次能源组合发电, 并借助特高压“打捆外送”模式, 显著提升负荷中心电气化水平 (贺元康等, 2021), 优化上下游能源结构并推动节能降耗。

<sup>①</sup> 本文定义电力生产及关联产业主要包括上游原材料开采和洗选业 (煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业) 以及电力生产和供应业。

具体地,对于输出端而言,联通负荷中心产生的电能需求有助于倒逼电力生产企业积极挖掘资源富集区能源生产潜力,形成以火电为补充、高比例接入可再生能源的多能互补模式(刘斌等,2021)。这将逐步打破“以煤为主”的能源单一路径依赖,推动煤炭去产能并减少煤炭的低效消费量,促进节能降耗(史丹,2006)。例如,自2010年投运至2015年,向家坝-上海±800千伏特高压直流输电工程已向上海输送清洁水电累计达939亿千瓦时,相当于节约燃煤4302万吨。<sup>①</sup>

对于输入端而言,特高压能够推动本地电价降低,并有效提高供电可靠性(曾庆禹,2013;段巍等,2022)。根据消费者选择理论,输电效率及输电经济性提升能够释放企业用电需求,企业会使用更多的二次电力替代煤炭等一次能源投入(替代效应);另外,企业对电力的需求增加,将间接推动煤炭等一次能源消费(收入效应)。相关研究数据显示,电能是优质高效的二次能源,终端消费相同热值能源产生的经济价值是等当量煤炭的17.3倍、石油的3.2倍<sup>②</sup>,提高电气化程度是减少能源消费并降低能源强度的关键手段(Lu et al., 2017)。不过,特高压究竟产生替代效应还是收入效应,需要通过实证进行检验。

基于上述分析,本文提出如下假说。

**假说** 特高压能够通过规模经济和结构优化效应推动企业节能降耗。

### 三、研究数据与实证方法

#### (一)数据来源与样本选取

本文微观层面数据来自2007—2015年全国税收调查数据(CNTSD),该数据不仅包含企业财务信息等指标,还囊括了详细的能源消费信息(煤炭、电力、石油等)。区域层面数据来自各年度《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》以及各省统计年鉴。

数据处理过程按以下步骤依次展开:首先,删除能源消费总量、总产值缺失或零值样本,大约55.2%的企业被剔除。其次,删除主要变量及行业分类信息缺失样本,约占3.9%。此外,由于本研究时间跨度为2007—2015年,第一条特高压投运年份为2009年,为了尽可能地在特高压建设前后均获取企业-年份观测样本,保持研究样本平稳性,本文剔除了样本期内小于7年观测值的企业样本,大约34.1%的企业从样本中移除。

需要特别说明的是,本文将样本仅限定在一定时间内开通特高压省份的企业样本,用以缓解工程建设的自选择问题(刘志阔等,2019;周学仁和张越,2021)。具体而言,特高压选址规划与当地能源消费情况密切相关,从而特高压建设的区位选择并不是严格

<sup>①</sup> 数据来源: <http://www.nc.sgcc.com.cn/zxzx/mtjj/2015/7/372745.shtml>, 国家电网, 访问时间: 2024年4月24日。

<sup>②</sup> 数据来源: [http://www.xinhuanet.com/politics/2018lh/2018-03/15/c\\_129830299.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2018lh/2018-03/15/c_129830299.htm), 新华网, 访问时间: 2024年4月24日。

外生的。因此，我们将截至2020年未开通特高压的省份剔除<sup>①</sup>，使得样本内所有省份均开通特高压，保证各省份在影响特高压开通的因素上大致是相似的，缓解截面自选择性，大约1.1%的企业样本被排除在外。经过上述处理，特高压建设可以视为相对外生的政策冲击，且由于工程建设存在时间和空间上的差异，这也为本研究提供了一个作为准自然实验的有利环境。最终，清洗后的数据集包含287 242个企业-年份观测样本。为了消除极端值对实证结果带来的非稳健性，本文对所有连续变量进行1%—99%分位上缩尾处理。同时，本文将货币衡量的变量采用各省份GDP平减指数平减为2007年不变价。样本期内，我国共开通“三交六直”共九条特高压输电线路。<sup>②</sup>

## （二）模型设定

本文建立如下计量模型：

$$Y_{i,t} = \beta_0 UHV_{j,t} + \beta_1 X_{i,t} + \mu_i + \gamma_t + \delta_{j,t} + \varepsilon_{i,t}, \quad (1)$$

其中，下标*i*、*j*、*t*分别为企业、省份和年份。 $Y_{i,t}$ 表示企业*i*在*t*年的能源消费总量或强度。 $UHV_{j,t}$ 为特高压开通虚拟变量，定义为省份*j*在*t*年投运特高压则取值为1，否则取值为0。 $X_{i,t}$ 为一系列控制变量， $\mu_i$ 、 $\gamma_t$ 分别为企业个体和时间固定效应， $\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项。此外，考虑到特定省份的时变不可观测因素对估计结果的干扰，本文还控制了省份时间趋势 $\delta_{j,t}$ 。在该模型中，本文关心的系数 $\beta_0$ 测度了特高压建设对企业节能降耗的边际影响。

## （三）变量说明

### 1. 被解释变量

企业节能降耗。本文分别基于能源消费量（*TC*）和效率（*EI*）两个维度对节能降耗进行刻画。首先，使用煤炭、电力和石油消费量的总和测度企业能源消费总量（Cui et al., 2021）<sup>③</sup>。其次，参照Bu et al.（2019）的研究，使用单位总产值的能耗水平衡量企业能源强度（吨/万元）。对上述指标均取自然对数处理。

### 2. 解释变量

特高压开通变量（*UHV*）。本文用虚拟变量表示，如果企业所在省份当年开通特高压，则当年及以后年份赋值为1，否则为0<sup>④</sup>。需要特别说明的是，对特高压开通地区的划分采取直流和交流输电差别衡量的方式。其一，直流线路中间不能落点，是超远距离的“点对点”电力传输，线路两端省份为直接受益省份。其二，交流输电可根据需要在线路中途设置变电站落点，线路两端省份及中间具有变电站的省份为交流输电的干预省份。样本期内特高压具体情况如表2所示。

① 2020年后进入“十四五”规划周期，国家开始重新定位特高压，在影响线路规划的相关因素上与样本期存在较大差异。截至2020年，我国共有7个省及直辖市未开通特高压，分别为辽宁、黑龙江、吉林、重庆、贵州、江西、海南（由于数据限制，暂不考虑香港、澳门、台湾及西藏地区）。

② 样本期内特高压已经对跨区域的电力传输产生显著影响，具有良好的代表性。例如：向家坝—上海±800千伏特高压2010年投运，截至2015年，已向上海输送电力累计达939亿千瓦时；2014年7月开通的溪洛渡—浙西±800千伏特高压直流工程，在运行前5个多月便实现输电251亿千瓦时，约占同期浙江省全社会用电量的17.2%。

③ 折算系数参照国家标准（GB2589-81）：1万千瓦时电力=1.229吨标准煤；1吨石油=1.4286吨标准煤。

④ 特高压输电工程的建设目的是协调省域之间的电力传输，且电能传输具有明显的不可分割性，省域内电网总体上是一个实时互联的系统。因此，省域内不同地区因特高压开通后产生的差异在一定程度上是可以忽略的。

表2 样本期内特高压交直流情况

开通时间	线路名称	线路分类	覆盖省份
2009.01	晋东南-南阳-荆门 1 000 KV 特高压交流工程	交流	山西、河南、湖北
2010.06	云南-广州±800 KV 特高压直流工程	直流	云南、广东
2010.07	向家坝-上海±800 KV 特高压直流工程	直流	四川、上海
2012.12	锦屏-苏南±800 KV 特高压直流工程	直流	四川、江苏
2013.09	淮南-浙北-上海 1 000 KV 特高压交流工程	交流	安徽、浙江、上海
2013.09	普洱-江门±800 KV 特高压直流工程	直流	云南、广东
2014.01	哈密南-郑州±800 KV 特高压直流工程	直流	新疆、河南
2014.07	溪洛渡-浙西±800 KV 特高压直流工程	直流	四川、浙江
2014.12	浙北-福州 1 000 KV 特高压交流工程	交流	浙江、福建

注：7月1日后开通的特高压，计入下一年。

### 3. 控制变量

本文借鉴 Bu et al. (2019) 以及史丹和李少林 (2021) 的研究, 从企业内部特征和宏观环境两方面选取控制变量。企业特征变量包括企业规模、企业员工数、企业资产负债率、企业盈利能力、人均工资。宏观环境指标包括人均 GDP、人口密度、产业结构、固定资产投资、外商投资。表 3 报告了主要变量的描述性统计结果。

表3 变量描述性统计

变量	变量含义	观测值	均值	最小值	最大值
<i>TC</i>	企业能源消费总量(煤炭、石油、电力消费之和自然对数)	287 242	6.476	0.499	13.946
<i>EI</i>	企业能源消费强度(单位总产值能耗水平自然对数)	287 242	-2.324	-7.667	16.573
<i>Size</i>	企业规模(资产总额自然对数)	287 242	11.314	7.204	15.532
<i>Number</i>	企业员工人数(在职员工人数的自然对数)	287 242	5.377	2.303	8.517
<i>Debt</i>	资产负债率(总负债/总资产)	287 242	0.598	0.009	1.541
<i>ROE</i>	企业盈利能力(净利润占所有者权益比例)	287 242	0.079	-2.172	2.147
<i>Salary</i>	企业人均工资(员工工资/员工总人数的自然对数)	287 242	3.214	0.916	4.894
<i>Pgdp</i>	人均 GDP(地级市生产总值/总人口的自然对数)	287 242	10.633	8.844	11.804
<i>Density</i>	人口密度(地级市人口/行政区域面积的自然对数)	287 242	6.293	3.658	7.719
<i>Is</i>	产业结构(地级市第二产业增加值/地区 GDP)	287 242	0.506	0.227	0.680
<i>Invest</i>	固定资产投资(地级市固定资产投资/地区 GDP)	287 242	0.584	0.179	1.215
<i>Fdi</i>	外商投资(地级市外商投资额/地区 GDP)	287 242	0.027	0.0004	0.112

## 四、实证结果

(一) 平行趋势检验

在使用双重差分模型进行回归分析前，本文采用事件研究法进行平行趋势检验，构建如下计量模型：

$$Y_{i,t} = \sum_{z=-4}^5 \tau_z \times UHV_{j,t+z} + \rho X_{i,t} + \mu_i + \gamma_t + \delta_{j,t} + \epsilon_{i,t}, \quad (2)$$

其中， $z$  表示相对于特高压开通的年份。 $\tau_z$  为 2007—2015 年的一系列系数估计值，它捕获了特高压开通前后企业在该时间段内的变动差异。本文以特高压投运的前一期（记为 -1 期）为基期，其余各变量定义均与模型 (1) 保持一致。图 2 显示了 95% 置信区间下  $\tau_z$  的一系列估计结果。由图 2 可知，政策冲击前每个时期的  $\tau_z$  估计结果与 0 无显著差异，满足平行趋势假设。

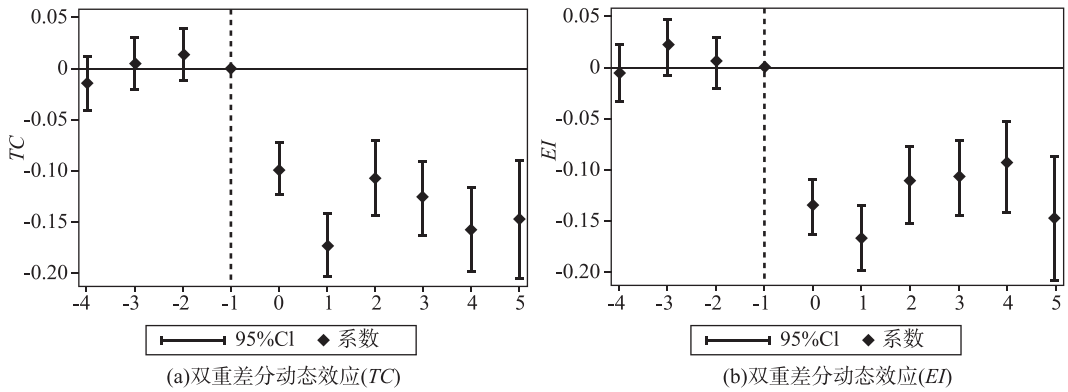


图 2 特高压对企业节能降耗的动态效应

(二) 基准回归结果

表 4 汇报了基准回归结果。第 (1) 列和第 (2) 列未加入控制变量，特高压开通虚拟变量 ( $UHV$ ) 的回归系数在 1% 水平上显著为负，表明特高压的开通能有效降低企业能源消费总量和强度。进一步地，第 (3) 列和第 (4) 列加入相关控制变量，回归结果基本保持一致，表明不论是否考虑企业内部特征和地区宏观环境的影响，特高压均能有效推动当地企业节能降耗。平均而言，特高压使得企业能源消费总量和强度分别平均降低约 5.8% 和 9.0%。

表 4 特高压对企业降耗的影响：基准回归

	<i>TC</i>	<i>EI</i>	<i>TC</i>	<i>EI</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>UHV</i>	-0.049***	-0.101***	-0.058***	-0.090***
	(0.009)	(0.010)	(0.009)	(0.010)
<i>Size</i>			-0.058***	-0.160***
			(0.009)	(0.010)



(续表)

	TC		EI	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Number</i>			0.544*** (0.009)	0.001 (0.009)
<i>Debt</i>			-0.034* (0.019)	0.016 (0.021)
<i>ROE</i>			0.021*** (0.007)	-0.066*** (0.008)
<i>Salary</i>			0.142*** (0.007)	-0.081*** (0.008)
<i>Pgdp</i>			-0.087** (0.040)	0.091** (0.043)
<i>Density</i>			-0.383*** (0.067)	-0.308*** (0.073)
<i>Is</i>			-0.106 (0.136)	0.330*** (0.145)
<i>Invest</i>			0.049 (0.036)	0.094** (0.038)
<i>Fdi</i>			-2.315*** (0.398)	0.552 (0.410)
企业固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
省份时间趋势	是	是	是	是
观测值	287 242	287 242	287 242	287 242
R <sup>2</sup>	0.743	0.597	0.753	0.598

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著,括号内为稳健标准误。下文若无特殊说明均与此设定相同。

### (三) 稳健性检验

本文依次进行如下稳健性检验:首先,排除同期政策干扰。特高压的节能降耗效应可能是样本期内其他区域性电力市场政策及能源环境政策所驱动的,本文进一步排除了样本期内干扰性较大的节能发电调度、碳排放交易试点及京津冀地区重点环境治理论。其次,排除对邻近省份溢出效应的干扰。特高压开通省份可能会对邻近未开通省份的能源资源配置产生影响,本文将样本期内每一年“邻近未开通省份”的企业样本删除。再次,替换变量。为了检验核心指标测度方式的敏感性,本文以特高压变电或换流容量(*Capacity*)替换原分组变量(*UHV*)重新进行回归。此外,控制不可观测因素。本文进一步采取控制行业时间固定效应、城市聚类稳健标准误与平衡样本回归的方法检验识别结果的有效性。最后,考虑多时点双重差分法异质性处理效应。本文参照 De Chaisemartin and D' Haultfoeuille (2020) 的研究,将异质性处理效应引入双向固定效

应模型，检验其是否对估计结果产生影响。所有稳健性检验具体结果报告在附录 I<sup>①</sup>，显示本文的基准回归结果并未受影响。

## 五、影响机制分析

在本部分中，我们将检验特高压影响企业节能降耗背后的潜在机制。由于特高压输出地和输入地功能定位不同<sup>②</sup>，根据前文的理论分析，本文分别从规模经济效应和结构优化效应两方面，并区分输出地和输入地进行检验。

### （一）规模经济效应

在理论部分，我们已经阐明特高压在输出地电力生产及关联产业中产生的规模经济效应。为验证这一传导机制的有效性，本文重点聚焦电力生产及关联产业，从企业空间集中度及规模化生产两个维度进行检验。其中，企业空间集中度使用 Ellison and Galeser (1997) 提出的空间集聚指数，以营业收入为基础，在二分位行业<sup>③</sup>和省份层面进行测算。企业产出规模使用年末总产值的自然对数进行测度。

由表 5 第 (1)、(2) 列可知，特高压建设促进输出地电力生产及关联企业空间集聚与产出规模提升，产生的规模经济效应得到有效验证。这是因为，特高压成功释放上游能源富集区资源禀赋优势，引致电力生产及关联产业集聚，产生规模经济。规模经济驱动的规模化生产能够降低资源分散化管理与传输过程中的无用损耗，有助于减少能源浪费并降低能源强度。

表 5 机制分析：规模经济效应

	输出地电力生产及关联产业		输入地电力生产及关联产业	
	空间集中度	产出规模	空间集中度	产出规模
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>UHV</i>	0.0025** (0.0012)	0.134** (0.059)	-0.0024*** (0.0008)	0.055 (0.039)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
省份时间趋势	是	是	是	是
观测值	4 011	4 011	7 680	7 680
$R^2$	0.891	0.797	0.907	0.851

① 限于篇幅，附录未在正文列示。感兴趣的读者可在《经济学》(季刊) 官网 (<https://ceq.ccer.pku.edu.cn>) 下载。

② 根据实际建设情况，输出地包括：山西、安徽、新疆、四川、云南、内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海；输入地包括：河南、上海、广东、江苏、福建、湖北、浙江、河北、天津、山东、北京、湖南、广西。本文也进一步考虑了特高压对输出地和输入地不同行业企业节能降耗的异质性影响，具体结果见附录 II。

③ 本文将行业代码统一到 2011 版国民经济行业分类 (GB/T 4754-2011)。

## (二) 结构优化效应

根据理论分析,由于特高压上下游功能定位不同,本文重点聚焦输出地发电侧与输入地用电侧,检验是否分别产生多能互补与电能替代,以论证结构优化效应的合理性。具体地,主要探讨输出地发电企业煤炭消费及水力发电<sup>①</sup>,输入地用能企业电力及其他能源类型消费。考虑到用能企业转变能源结构是一项长期性的过程,因此对输入地用能企业相关变量滞后两期处理,结果报告在表6中。基于第(1)~(4)列我们发现,特高压的开通不仅有力推动了输出端发电企业“去煤化”,更带动了清洁水电的规模化开发。这是因为,特高压损耗低、稳定性高的特性,能够将更多的清洁电力向下游负荷中心传递,有效实现了对上游水力发电的传输消纳,实现多能互补。

由第(5)、(6)列可知,特高压建设后,输入地发电企业电力消费量和占比明显提升。这是因为,特高压大容量、高效率、低成本的电力传输特性,一方面有利于推动输入地政府降低用户电价、抑制电价上涨;另一方面能够缓解拉闸限电,保证企业在夏高峰、冬高峰的连续性用能需求。<sup>②</sup>因此,输入地用能企业会因特高压建设而倾向于增加电力消费。此外,我们进一步检验了特高压对输入地用能企业非电力能源消费量的影响。由第(7)、(8)列可知,特高压建设对降低煤炭、石油消费均具有显著影响,这也进一步证实特高压在输入地用能企业中产生了明显的电力替代效应,并排除了收入效应的潜在影响。

表6 机制分析:结构优化效应

	输出地多能互补				输入地电能替代			
	水力发电		发电企业“去煤化”		用能企业“电力化”			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	水力发电占比	水力发电量	煤炭消费占比	煤炭消费量	电力消费占比	电力消费量	煤炭消费量	石油消费量
<i>UHV</i>	0.029** (0.013)	0.237** (0.104)	-0.094** (0.037)	-0.909** (0.354)	0.036*** (0.003)	0.079*** (0.013)	-0.070*** (0.018)	-0.343*** (0.023)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	否	否	是	是	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	否	否	否	否	否	否
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
省份时间趋势	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	90	90	933	933	176 152	176 152	176 152	176 152
$R^2$	0.749	0.703	0.640	0.835	0.626	0.701	0.784	0.525

① 由于数据限制,以省份层面水力发电指标替代。

② 本文验证了特高压能够降低输入地用户电价,并有效提高供电可靠性。由于篇幅限制,上述实证检验结果见附录 III。

## 六、进一步分析

到目前为止，我们识别了特高压对企业节能降耗的具体影响效果，分析了这种关系背后的渠道机制。既然如此，那么特高压这一能源新基建究竟对传统能源运输体系支持下的能源市场产生何种增益？接下来我们进一步考虑能源市场的“错配”与“短板”问题，并明晰这种增益的具体效果。

### （一）特高压工程“纠错配”

正如前文所述，传统能源传输通道在空间可达性和传输稳定性方面存在明显不足，能源资源传递出现一定程度的“流动性错配”：其一，“规模错配”。我国能源资源逆向分布结构性矛盾突出，传统能源传输通道流动性不足加剧了市场的不公平性（魏楚和郑新业，2017）。市场规模占比大的企业可能凭借自身资本优势与政府隐性扶持，抢占能源市场有利资源，逐步压缩中小微型企业生存空间，导致电力资源无法在用能侧公平传递。其二，“结构错配”。传统的电力传输通道在传输容量、传输距离及传输稳定性上的不足，限制了大规模可再生能源发电并网消纳，导致发电侧过度依赖火电。这种基础设施建设缺位引发的发电结构错配导致火电企业长期存在低效及产能落后问题。

针对上述问题，本文进一步解构企业具体特征，从规模属性和行业属性分别考察特高压对缓解“规模错配”和“结构错配”的具体影响，如表7所示。首先，对于“规模错配”问题，本文根据企业资产中位数分为大型企业和中小微型企业。异质性分析结果发现，不论是大型企业还是中小型用能企业，特高压建设均产生显著的节能降耗效应。这表明，特高压的开通，使得电力资源分配优势不再仅仅局限于大型企业中，可以通过跨区域、大范围的电能调配，满足更多中小微型企业用电需求，从而纠正用能侧“规模错配”问题，推动节能降耗。

其次，本文聚焦于探究特高压对火电企业的影响。结果表明，特高压推动火电企业能耗强度降低，能够有效纠正发电侧“结构错配”问题。这可能是因为：特高压容量大、距离远、效率高的传输特性，以及特有的“打捆外送”传输模式有助于拓展可再生能源消纳空间，进而倒逼火电企业淘汰落后产能，降低能源消费强度。

表7 特高压工程“纠错配”：规模错配与结构错配

	“规模错配”（用电侧）				“结构错配”（发电侧）	
	大型企业		中小微型企业		火电企业	
	TC	EI	TC	EI	TC	EI
UHV	-0.048*** (0.013)	-0.092*** (0.015)	-0.073*** (0.014)	-0.084*** (0.015)	-0.170 (0.141)	-0.243* (0.146)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
省份时间趋势	是	是	是	是	是	是

(续表)

	“规模错配”(用电侧)				“结构错配”(发电侧)	
	大型企业		中小微型企业		火电企业	
	TC	EI	TC	EI	TC	EI
观测值	139 457	139 457	143 172	143 172	3 082	3 082
R <sup>2</sup>	0.723	0.630	0.657	0.566	0.438	0.344

## (二) 特高压工程“补短板”

我国能源资源逆向分布现象严重,能源市场始终存在不平衡、不充分的发展短板。对于市场发育较为完全的地区,能源资源获取与销售渠道较为畅通。而对于市场分割和地方保护主义较为严重的地区,市场价格缺位和不灵敏弱化了能源资源最优配置效率,地方政府在扭曲价格和寻租等方面存在较大的空间(魏楚和郑新业,2017),导致资源供给数量和质量均无法满足生产运作的现实需要。然而,特高压作为能源从就地平衡到大范围配置的基础设施支撑,有助于弱化市场交易壁垒、缓解能源市场分割,推动电力资源跨区平稳交易(刘振亚等,2014)。基于上述逻辑,本文认为,在能源市场发育程度较低的地区,特高压建设可能对企业节能降耗产生更大的增益效果。

为检验上述假说,本文在“特高压建设—企业节能降耗”中嵌入市场条件进行分析,从地方市场分割和地方保护主义两条主线进行探讨。其中,地方市场分割参考卿陶和黄先海(2021)的研究,使用相对价格法进行测算;地方保护主义程度借鉴Bai et al.(2004)的研究思路,采用省级规模以上国有控股工业企业工业销售产值占规模以上工业企业工业销售产值的比例进行测度。为此,在模型(1)的基础上,本文构建模型(3)来考察不同市场条件下特高压建设对企业节能降耗的具体影响效果:

$$Y_{i,t} = \beta_0 UHV_{j,t} \times Market_{j,t} + \beta_1 UHV_{j,t} + \beta_2 Market_{j,t} + \beta_3 X_{i,t} + \mu_i + \gamma_t + \delta_{j,t} + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

本文关注的关键解释变量  $UHV_{i,j} \times Market_{j,t}$  为地方市场分割或地方保护主义程度与特高压建设虚拟变量的交互项。由表8可知,在其他条件不变的情况下,交互项系数  $\beta_0$  均显著小于0,表明特高压对节能降耗的推动作用在地方市场分割和地方保护主义程度更高地区的企业中更加明显。这意味着,特高压建设能够有效弥补传统能源市场的发展短板,从而进一步论证了特高压在构建全国能源统一大市场中的必要性。

表8 特高压工程“补短板”:能源市场发展

	“补能源市场短板”			
	市场分割		地方保护主义	
	TC	EI	TC	EI
<i>UHV</i>	-0.261** (0.131)	-0.548*** (0.144)	0.031* (0.017)	0.032* (0.018)
<i>Market_division</i>	-0.040*** (0.011)	-0.050*** (0.013)		

(续表)

	“补能源市场短板”			
	市场分割		地方保护主义	
	TC	EI	TC	EI
<i>Market_protection</i>			-2.100*** (0.126)	-3.132*** (0.137)
<i>UHV</i> × <i>Market_division</i>	-0.023 (0.014)	-0.051*** (0.016)		
<i>UHV</i> × <i>Market_protection</i>			-0.372*** (0.078)	-0.502*** (0.079)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
省份时间趋势	是	是	是	是
观测值	287 242	287 242	287 242	287 242
$R^2$	0.753	0.598	0.753	0.599

## 七、政策含义、研究局限和未来展望

本文通过构造特高压建设的准自然实验情境，实证考察新基建与企业节能降耗之间的关系。研究结论具有如下政策启示：

其一，进一步完善新型基础设施建设，充分发挥特高压等“大国重器”的节能降耗潜力。以“十四五”新基建规划为契机，积极构建以特高压工程为基础的特大型互联电网，有力支撑远距离、跨区域电能消纳，推动“双碳”目标下经济社会的可持续发展。

其二，加快配套基础设施建设及机制规划，保障能源新基建对市场规模重组与能源结构调整的引领作用。本文发现，特高压能够产生明显的规模经济与结构优化效应。因此，一方面，要合理规划能源富集区大型综合能源基地建设，统筹协调电网与电源同步性建设，推进大基地融入大电网的有机衔接；另一方面，大力拓展能源中心可再生能源“增量”、有序降低化石能源积累“存量”，推进负荷中心电力替代。国家应进一步强化能源产业顶层设计，统筹化石能源安全和可再生能源融合，提高特高压电网传输可再生能源占比，为“风、光、水、火”多能互补及提高电气化程度创造有利条件。

其三，提高新基建全局性、统筹性、系统性规划，稳步推进全国能源统一大市场建设。我们的研究表明，特高压建设具有明显的“纠错配”与“补短板”功能。因此，应进一步瞄准市场机制不健全、规则不统一、跨省跨区域交易壁垒的问题，加快传统落后地区新型基础设施建设力度，发挥新基建“纠补”功能，助推构建全国能源统一大市场。

此外，未来的研究可以着重从以下几个方面展开：第一，由于数据的限制，本文仅考虑了石油、电力、煤炭消费。我们无法获取到企业层面其他能源消费量的有效数据，

如新能源消费。在未来进行更全面的分析应克服能源消费数据可用性障碍。第二,考察新基建对企业减排行为及经济行为等方面的影响,并挖掘出工程建设驱动下企业其他应对措施。第三,能源绿色低碳转型是复杂的、多方面的过程,涵盖多方参与者与较长的时间跨度,很难通过单一的方法、技术或政策工具实现转型变革,以后的研究可以从政策组合视角下探究多类型基础设施建设产生的协同及长期效应。第四,考察能源领域其他重大技术、项目、工程对节能降耗的影响,如CCUS碳捕集技术及储能技术等。

## 参考文献

- [1] Bai, C. E., Y. Du, Z. Tao, and S. Y. Tong, "Local Protectionism and Regional Specialization: Evidence from China's Industries", *Journal of International Economics*, 2004, 63 (2), 397-417.
- [2] Bu, M., S. Li, and L. Jiang, "Foreign Direct Investment and Energy Intensity in China: Firm-level Evidence", *Energy Economics*, 2019, 80, 366-376.
- [3] Cui, J., C. Wang, J. Zhang, and Y. Zheng, "The Effectiveness of China's Regional Carbon Market Pilots in Reducing Firm Emissions", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021, 118 (52), e2109912118.
- [4] Czernich, N., O. Falck, T. Kretschmer, L. Woessmann, "Broadband Infrastructure and Economic Growth", *The Economic Journal*, 2011, 121 (552), 505-532.
- [5] De Chaisemartin, C., and X. D' Haultfoeuille, "Two-way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects", *American Economic Review*, 2020, 110 (9), 2964-96.
- [6] 段巍、王明、吴福象, "能源结构、特高压输电与中国产业布局演变", 《中国工业经济》, 2022年第5期, 第62—80页。
- [7] Eaton, J., and S. Kortum, "Technology, Geography, and Trade", *Econometrica*, 2002, 70 (5), 1741-1779.
- [8] Ellison, G., and E. L. Galeser, "Geographic Concentration in US Manufacturing Industries: A Dartboard Approach", *Journal of Political Economy*, 1997, 105 (5), 889-927.
- [9] Guo, F., B. J. van Ruijven, B. Zakeri, S. N. Zhang, X. Chen, C. Y. Liu, F. Yang, V. Krey, K. Riahi, H. Huang, and Y. B. Zhou, "Implications of Intercontinental Renewable Electricity Trade for Energy Systems and Emissions", *Nature Energy*, 2022, 1-13.
- [10] Hassen, S., T. Gebrehiwot, and T. Arega, "Determinants of Enterprises Use of Energy Efficient Technologies: Evidence from Urban Ethiopia", *Energy Policy*, 2018, 119, 388-395.
- [11] 贺元康、刘瑞丰、陈天恩、别朝虹, "全清洁能源特高压青豫直流初期打捆外送模式", 《中国电力》, 2021年第7期, 第83—92页。
- [12] Krugman, P., "Increasing Returns and Economic Geography", *Journal of Political Economy*, 1991, 99 (3), 483-499.
- [13] 李超、李涵、唐丽森, "高速铁路、运输效率与垂直专业化分工", 《经济学》(季刊), 2021年第1期, 第51—70页。
- [14] Li, S., Y. Liu, A. O. Purevjav, and L. Yang, "Does Subway Expansion Improve Air Quality?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019, 96, 213-235.
- [15] Lin, Y., Y. Qin, J. Wu, and M. Xu, "Impact of High-Speed Rail on Road Traffic and Greenhouse Gas Emissions", *Nature Climate Change*, 2021, 11 (11), 952-957.
- [16] 刘斌、张玉琼、麻林巍、李政、赵强、陈思源、孔庚, "西北地区源端基地综合能源系统的技术方案设计及优化研究", 《中国电机工程学报》, 2021年第2期, 第568—581页。
- [17] 刘振亚、张启平, "国家电网发展模式研究", 《中国电机工程学报》, 2013年第7期, 第1—10+25页。
- [18] 刘振亚、张启平、董存、张琳、王智冬, "通过特高压直流实现大型能源基地风、光、火电力大规模高效率安全外送研究", 《中国电机工程学报》, 2014年第16期, 第2513—2522页。
- [19] 刘志阔、陈钊、吴辉航、张瑶, "中国企业的税基侵蚀和利润转移——国际税收治理体系重构下的中国经验", 《经济研究》, 2019年第2期, 第21—35页。

- [20] Lu, Y., Y. Liu, and M. Zhou, "Rebound Effect of Improved Energy Efficiency for Different Energy Types: A General Equilibrium Analysis for China", *Energy Economics*, 2017, 62, 248-256.
- [21] Marshall, A., *Principles of Economics*. London: Macmillan, 1890.
- [22] 卿陶、黄先海, "国内市场分割、双重市场激励与企业创新", 《中国工业经济》, 2021年第12期, 第88—106页。
- [23] Ren, S., L. Li, Y. Han, Y. Hao, and H. Wu, "The Emerging Driving Force of Inclusive Green Growth: Does Digital Economy Agglomeration Work?", *Business Strategy and the Environment*, 2022, 31 (4), 1656-1678.
- [24] 邵帅、张可、豆建民, "经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验", 《管理世界》, 2019年第1期, 第36—60+226页。
- [25] 史丹, "中国能源效率的地区差异与节能潜力分析", 《中国工业经济》, 2006年第10期, 第49—58页。
- [26] 史丹、李少林, "排污权交易制度与能源利用效率——对地级及以上城市的测度与实证", 《中国工业经济》, 2021年第9期, 第5—23页。
- [27] 孙伟增、牛冬晓、万广华, "交通基础设施建设与产业结构升级——以高铁建设为例的实证分析", 《管理世界》, 2022年第3期, 第19—34+58+35—41页。
- [28] 唐宜红、俞峰、林发勤、张梦婷, "中国高铁、贸易成本与企业出口研究", 《经济研究》, 2019年第7期, 第158—173页。
- [29] Wang, J., F. Sun, K. Lv, and L. Wang, "Industrial Agglomeration and Firm Energy Intensity: How Important Is Spatial Proximity?", *Energy Economics*, 2022, 112, 106155.
- [30] Weber, A., *Alfred Weber's Theory of the Location of Industries*. University of Chicago Press, 1929.
- [31] 魏楚、郑新业, "能源效率提升的新视角——基于市场分割的检验", 《中国社会科学》, 2017年第10期, 第90—111+206页。
- [32] 许启凡、邹甘娜、甘行琼, "财政投资、5G产业与经济增长", 《改革》, 2022年第8期, 第123—140页。
- [33] 曾庆禹, "特高压交直流输电系统可靠性分析", 《电网技术》, 2013年第10期, 第2681—2688页。
- [34] 张宁、张维洁, "中国用能权交易可以获得经济红利与节能减排的双赢吗?", 《经济研究》, 2019年第1期, 第165—18页。
- [35] 周学仁、张越, "国际运输通道与中国进出口增长——来自中欧班列的证据", 《管理世界》, 2021年第3期, 第52—63+102+64—67页。

## New Infrastructure Effect on Energy Saving —Microscopic Evidence from the UHV Transmission Projects Construction

REN Shenggang PAN Ye\* WANG Yangjie

(Central South University)

ZHANG Peng

(The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen)

**Abstract:** We investigate the impact of new infrastructure—the ultra high voltage (UHV) power transmission project—on the energy saving of firms. Using the national tax survey data, we find that the

---

\* Corresponding Author: PAN Ye, School of Business, Central South University, 932 Lushan South Road, Yuelu District, Changsha, Hunan 410083, China; Tel: 86-13837629526; E-mail: py9526@csu.edu.cn.



UHV construction reduced the total and intensity of energy consumption by about 5.8% and 9.0%. Two channels are tested, namely the scale economy effect and the structure optimization effect, and they are different in the exporting and importing places. Further analysis shows that the project can effectively correct the problems of “mismatch” and “short board” in the energy industry, promoting the unification of the national energy market.

**Keywords:** new infrastructure construction; energy saving; UHV transmission projects

**JEL Classification:** L94, Q40, Q41