

# 我国地区分布式能源驱动因素的空间分位数面板模型研究

林泽融

福建师范大学数学与统计学院, 福建 福州

收稿日期: 2023年9月19日; 录用日期: 2023年10月12日; 发布日期: 2023年10月19日

## 摘要

大力推广分布式能源能够有效促进我国能源结构转型, 推动经济发展绿色化、低碳化。基于2005~2019年的省级面板数据, 本文采用空间分位数面板模型实证分析了我国地区分布式能源处于不同发展水平下, 各影响因素对分布式能源发展的驱动效应。研究结果表明: 1) 我国地区分布式能源存在显著的正向空间关联性。2) 我国各地区分布式能源处于不同发展水平时其影响因素的效应不尽相同。基础设施投资和城镇化在分布式能源各分位点下都有着显著的促进作用; 分布式能源发展水平较低的省份, 技术进步具有显著的正向影响, 而对外石油依存和能源消费结构则表现为负向影响; 分布式能源发展水平较高的省份, 化石燃料价格上涨对分布式能源的推广具有正向影响。据此, 本文提出了相应的政策建议。

## 关键词

分布式能源, 空间关联性, 驱动因素, 空间分位数面板模型

## Study on the Driving Factors of Distributed Energy in China Based on Spatial Quantile Panel Model

Zerong Lin

School of Mathematics and Statistics, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: Sep. 19<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 19<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The development of distributed energy can effectively promote the transformation of China's

energy structure, and promote the greening and decarbonization of economic development. Based on provincial panel data from 2005~2019, this paper empirically analyzes the driving effect of each influencing factor on the development of distributed energy in China's regions where distributed energy is at different levels of development using a spatial quantile panel model. The results of the study show that 1) There is a significant positive spatial correlation of regional distributed energy in China. 2) The effects of the influencing factors are not the same when distributed energy is at different levels of development in each region of China. Infrastructure investment and urbanization have significant promotion effects under each quartile of distributed energy; in provinces with a lower level of distributed energy development, technological progress has a significant positive effect, while foreign oil dependence and energy consumption structure show a negative effect; in provinces with a higher level of distributed energy development, the rise in fossil fuel prices has a positive effect on the promotion of distributed energy. Accordingly, this paper puts forward corresponding policy recommendations.

## Keywords

Distributed Energy, Spatial Correlation, Driving Factor, Spatial Quantile Panel Model

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国经济仍处于快速发展阶段，对能源的需求不断增大，传统的集中式能源系统给我国带来了一系列严重的能源安全和环境问题。分布式能源作为一种可持续、高效和环保的能源系统，供给侧以清洁能源为主，其技术进步和应用推广将有效促进我国能源结构转型，推动经济发展绿色化、低碳化[1]。分布式能源主要由天然气和可再生能源组成，它将能源产生、储存和使用的过程分散到不同的地点，通过利用如太阳能电池板、风力发电机等可再生能源设备，及电池和储能系统等能源储存设备，实现能源的自给自足。这种供能模式相比集中式能源系统具有诸多优势，首先，它减少了对传输和配电系统的依赖，降低了能源损耗和供应中断的风险，提高了能源供应的稳定性；其次，分布式能源属于环境友好型能源，其推广不仅有效缓解了能源供应短缺，还减少了使用化石能源造成的碳排放，推动了经济结构绿色转型。

随着全球能源需求的不断增长和人们对气候变化的日益关注，分布式能源作为一种新兴的能源供应模式，引起了学者们广泛的关注，取得了丰硕的研究成果。按照研究方法的不同，可将其划分为三类：1) 分解法。Wang 等(2017) [2]利用 Divisia 指数法对中国低碳能源进行了研究，结果发现能源进口是影响中国低碳能源的重要因素；Dong 和 Pan (2020) [3]对“一带一路”沿线国家低碳能源的分解结果表明，能源结构效应、低碳经济效应和碳排放效应均具有正向影响，而能源强度效应具有负向影响。2) 线性规划法。董福贵(2016) [4]对分布式能源构建了包含经济、能耗、环境因素的指标体系，采用 AHP——熵权赋权法确定指标权重，为综合评价分布式能源系统提供了可行性方案；Somma 等(2018) [5]利用多目标线性规划模型考察了分布式能源与经济增长的关系，结论指出经济增长的低碳化是分布式能源发展的主要驱动力；Bohlayer 和 Zott (2018) [6]采用混合整数线性规划模型对分布式能源系统进行了整体研究，结果表明技术进步可以提高工业余热再利用的效率，扩大分布式能源的供应；Wang 等(2018) [7]的研究支持了上述结论。3) 统计分析方法。付丽苹(2012) [8]采用多元回归分析研究了中国清洁能源的驱动因素，并基于因子分析得出各因素的能源贡献率；Aneja 等(2017) [9]利用 Pedroni 面板协整检验对金砖国家低碳能源

进行研究,发现经济增长与低碳能源之间存在显著的因果关系; Xu 等(2021) [10]运用半参数可加回归模型研究了中国分布式能源,结果表明分布式能源具有显著的地理差异,技术进步是西部地区能源发展的关键因素,而在中西部地区能源补贴的影响则更为显著。

通过综述上述研究文献,可以发现目前对分布式能源的研究具有两个显著特点:1) 现有研究多忽略了地理位置对经济现象的影响,而现实中经济变量处于不同空间单元下往往存在空间关联性,忽略地理位置的影响往往会导致模型估计结果失真。2) 现有研究多采用普通最小二乘法估计模型参数。只有当经济变量序列满足正态分布等计量经济学假设且不存在自相关时,最小二乘法的估计结果才是最佳无偏估计,而实际上经济变量序列往往并不服从正态分布,还可能不存在自相关问题。为此,本文采用能弥补上述缺陷的空间分位数面板模型对我国地区分布式能源的影响因素进行研究,该模型不仅将地理空间相关性纳入考量,且模型无需假设同方差和正态性,估计量相比最小二乘估计更加稳健。本文的实证结果可以为我国地区分布式能源的快速发展提供实证支撑。

## 2. 方法介绍和模型构建

### 2.1. 模型介绍

分位数回归模型方法不同于经典线性回归模型的估计方法,它可以得到被解释变量不同分位点下的参数估计,而这种参数估计在不同分位点下往往是不同的。与传统的线性回归模型只得到均值方程相比,它可以更加详细地描述变量的统计分布。此外,分位数回归的参数估计值是通过加权残差绝对值之和计算得出,这使得其对极端值的处理更具优势,其参数估计值更具有稳健性。而空间分位数模型在分位数模型的解释变量中加入了空间权重矩阵与被解释变量乘积所构成的空间滞后项,由于空间滞后项和误差项相关,导致了内生性问题,但这也使得模型得以对存在空间相关性的经济现象进行更为准确的刻画,空间分位数面板模型的数学形式如下:

$$Y = \rho(\tau)WY + X\beta(\tau) + \alpha + \gamma + \varepsilon \quad (1)$$

其中,  $Y$  代表被解释变量,  $X$  代表解释变量,  $\tau$  为分位点,  $W$  为空间权重矩阵,  $\varepsilon$  为随机扰动项,  $\rho(\tau)$  为  $\tau$  分位点下的空间滞后项系数,  $\beta(\tau)$  为  $\tau$  分位点下的解释变量系数,  $\alpha$  为个体固定效应向量,  $\gamma$  为时间固定效应向量。

处理空间分位数面板模型内生性的方法主要是将 Chernozhukov 和 Hansen (2006) [11]所提出的工具变量法应用于 Koenker (2004) [12]所提出的两阶段分位数回归估计中,将外生解释变量的空间滞后项作为内生空间滞后项变量的工具变量对模型进行估计。具体估计方法见 Ziets 等人(2008) [13]。

### 2.2. 模型构建

参考现有分布式能源的相关研究文献,本文选取了 6 个变量作为分布式能源的主要驱动因素,各变量的具体解释如下:

#### 1、被解释变量

分布式能源(DER)。按照国际能源署的定义,分布式能源主要由天然气和可再生能源组成,其中天然气包括天然气和液化石油气,可再生能源主要包括太阳能、风能、生物质能和地热能等。参考 Xu (2022) [14]的研究,采用天然气、液化石油气、风能和太阳能的能源生产量之和来表示分布式能源。

#### 2、解释变量

基础设施投资(INV)。基础设施是基础性、先导性和战略性产业,是现代经济体系不可缺少的重要组成部分。分布式能源的开发应用需要建设大量的基础设施,如天然气管道、储能电网和高压输电线路等,

基础设施投资将推动分布式能源的发展。本文以政府用于能源领域的固定资产投资来衡量基础设施投资(亿元)。

技术进步(TEC)。技术进步与分布式能源的关系一直是能源领域的热点问题之一。目前在太阳能、生物质能和风能生产方面仍然存在诸多技术瓶颈。加大技术研发投入将提升分布式能源的市场竞争力,本文采用技术研发投入占 GDP 的比重来衡量技术进步(%)。

对外石油依存(DEP)。中国拥有丰富的分布式能源资源。分布式能源的增长将有助于减少化石燃料的消耗,减轻对外国石油的过度依赖。本文用石油进口占国内石油生产和石油进口之和的比例来衡量石油对外依存度(%)。

化石燃料价格(PRI)。如果化石燃料价格上涨,市场将扩大对分布式能源的需求,促进分布式能源的增长。本文以汽油价格代表化石燃料价格(元/升),考察化石燃料对分布式能源的影响。

城镇化(URB)。中国城镇化进程不断推动低碳城市的发展。城镇化增加了居民的收入,居民对更好的生态环境的需求增加,越来越多的居民倾向于使用清洁的分布式能源。本文采用城镇人口在年末常住人口中的占比来表示城镇化(%)。

能源消费结构(ENS)。中国煤炭资源丰富,而石油和天然气的储量稀缺,这导致能源消费结构长期以煤炭为主。对能源消费结构的优化将扩大分布式能源生产和消费。本文采用煤炭消费在能源消费中的占比表示能源消费结构(%)。

根据上述理论分析,本文选取了影响中国分布式能源发展的 6 个主要影响因素,所构建的参数面板模型如下:

$$LDER_{it} = c + \beta_1 LINV_{it} + \beta_2 LTEC_{it} + \beta_3 LDEP_{it} + \beta_4 LPRI_{it} + \beta_5 LURB_{it} + \beta_6 LENS_{it} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,  $i$  和  $t$  分别表示省份和年份,  $DER$  表示分布式能源,  $TEC$  表示技术进步,  $DEP$  表示对外石油依存,  $PRI$  表示化石燃料价格,  $URB$  表示城镇化,  $ENS$  表示能源消费结构,  $c$  表示常数,  $L$  表示对数化处理,目的是为了消除可能存在的异方差。

参数面板模型的估计往往要求误差服从正态分布。由于各省份分布式能源的发展状况存在差异,不同地区分布式能源的驱动因素对其作用效果不一,分位数回归以残差绝对值的加权平均作为最小化的目标函数,对极端值的处理对比传统回归具有显著优势。因此,可采用分位数面板模型,以考察分布式能源不同发展水平下各解释变量对其的影响。

在地区经济、社会和环境的发展过程中,各地区间的交流合作也在不断增加,例如长三角、珠三角、京津冀等地区。各地区之间分布式能源的发展同样并非孤立存在,为此,本文在分位数面板模型的基础上再引入了空间因素,最后构建的实证模型如下:

$$LDER_{it}(\tau) = c + \rho(\tau)WLDER_{it} + X_{it}\beta(\tau) + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中,  $X_{it} = (LINV_{it}, LTEC_{it}, LDEP_{it}, LPRI_{it}, LURB_{it}, LENS_{it})'$  表示解释变量,  $\rho$  表示空间滞后项系数,它代表相邻省分布式能源对观测省份的影响,  $W$  表示空间权重矩阵,区域性资源的分布具有明显的地域性,因此距离相近的省市分布式能源的空间相关性也越显著,本文采用 Rook 邻近型空间权重矩阵对各地区分布式能源的空间相关性进行衡量。

### 2.3. 数据来源

本文样本期间为 2005~2019 年,样本包括我国除港、澳、台地区和西藏自治区以外的其他 30 个省、直辖市和自治区。分布式能源和能源消费结构的原始数据来自于《中国能源统计年鉴》,基础设施投资、

技术进步和城镇化数据来源于《中国统计年鉴》，对外石油依存、化石燃料价格等原始数据均来自 Wind 数据库。各变量的描述性统计结果见表 1。

**Table 1.** Descriptive statistics of variables  
**表 1.** 各变量的描述性统计结果

变量	单位	均值	标准误	最大值	最小值
分布式能源	亿/千瓦时	428.12	675.13	3956.61	18.26
基础设施投资	亿元	689.13	567.41	3143.21	9.56
技术进步	%	1.33	1.71	5.83	0.19
对外石油依存	%	26.44	22.01	99.56	0.02
化石燃料价格	元/升	5.28	1.20	7.70	2.60
城镇化	%	51.32	11.41	79.62	25.61
能源消费结构	%	61.22	44.21	95.31	2.12

### 3. 实证分析

#### 3.1. 面板单位根检验

现实中大多数经济序列是非平稳的，用于建模可能导致伪回归问题，其回归方程具有较高的拟合度，实证结果却并不可信。因此，在建立回归方程之前，有必要对经济序列的平稳性进行检验，IPS、Fisher-PP 和 Fisher-ADF 检验广泛应用于面板数据的单位根检验。因此，下面采用这三种单位根检验方法对各变量数据进行平稳性检验。表 2 的检验结果表明，技术进步未通过这三个检验，属于非平稳序列，需要对变量进一步进行协整检验。

**Table 2.** Results of panel unit root tests  
**表 2.** 面板单位根检验结果

变量	IPS	Fisher-PP	Fisher-ADF
<i>LDER</i>	-10.62***	79.15**	32.66
<i>LINV</i>	-5.35***	110.27*	88.65***
<i>LTEC</i>	-3.56	35.61	32.21
<i>LENS</i>	-4.92***	115.63***	128.36***
<i>LDEP</i>	-7.53***	122.75***	132.67***
<i>LURB</i>	-5.57***	133.34***	145.83***
<i>LPRI</i>	-4.62***	115.34***	129.52***
<i>LPRI</i>	-4.62***	115.34***	129.52***

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示在 1%、5%和 10%水平下通过显著性检验，下同。

#### 3.2. 面板协整检验

协整理论是为了解决构造非平稳变量模型的问题而产生的，协整理论认为，如果所有解释变量与因变量之间总体上存在协整关系，则可以利用这些变量建立回归模型。目前常见的协整检验方法有 Pedroni 检验、Kao 检验和 Westerlund 检验等，而 Pedroni 检验中的 Panel-ADF 和 Group-ADF 对于短面板数据的检验更加

精确[15]。因此，下面采用 Pedroni 检验对分布式能源进行协整检验。表 3 的检验结果显示，分布式能源与其各解释变量都通过了显著性检验，即在式(3)中，分布式能源与其影响因素之间存在协整关系。

**Table 3.** Results of panel cointegration tests

**表 3.** 面板协整检验结果

变量	Panel-ADF	Group-ADF
<i>LINF</i>	-2.51***	-3.56***
<i>LTEC</i>	-2.88***	-2.78***
<i>LPRI</i>	-6.62***	-4.79***
<i>LDEP</i>	-3.22***	-7.57***
<i>LURB</i>	-3.46***	-3.84***
<i>LENS</i>	-4.00***	-3.05***

### 3.3. 空间相关性检验

Moran 指数是最常用的测量空间自相关的指标，它衡量了经济变量在不同空间单元下的空间依赖性，在建立空间计量模型之前需要保证变量通过空间相关性检验。因此，本文基于我国 30 个省、直辖市和自治区的分布式能源数据，计算了 2005 年至 2019 年其对应的全局 Moran 指数，计算结果见表 4。从表 4 中可以发现，各年份分布式能源观测数据的全局 Moran 指数均通过了显著性检验，这表明各年份的分布式能源存在显著的空间关联性。

**Table 4.** Global Moran test results for distributed energy sources

**表 4.** 分布式能源的全局 Moran 检验结果

年份	Moran 指数	年份	Moran 指数
2005	0.2051 (0.1114)**	2013	0.2501 (0.1152)**
2006	0.1613 (0.1104)*	2014	0.2667 (0.1193)**
2007	0.1539 (0.1122)**	2015	0.2479 (0.1136)**
2008	0.1402 (0.1118)*	2016	0.1881 (0.1100)*
2009	0.1558 (0.1136)*	2017	0.1545 (0.1095)*
2010	0.1482 (0.1144)*	2018	0.2066 (0.1167)**
2011	0.2056 (0.1092)**	2019	0.2782 (0.1183)**
2012	0.2592 (0.1102)**		

为进一步考察分布式能源的局部空间相关性，我们在图 1 中绘制了 2005 年、2012 年和 2019 年中国各省份分布式能源的局部 Moran 散点图，它可以直观地反映出中国分布式能源的空间聚类 and 空间异质性特征。从图 1 可以看出，散点图中大部分点落在第一象限和第三象限，说明在 2005 年、2012 年和 2019 年中“高-高”聚类和“低-低”聚类的空间分布格局占主导地位，分布式能源发展情况相似的省份在空间上趋于集聚。

### 3.4. 实证结果分析

表 5 报告了中国 30 个省、直辖市和自治区的分布式能源空间分位数面板模型的分析结果。模型考虑

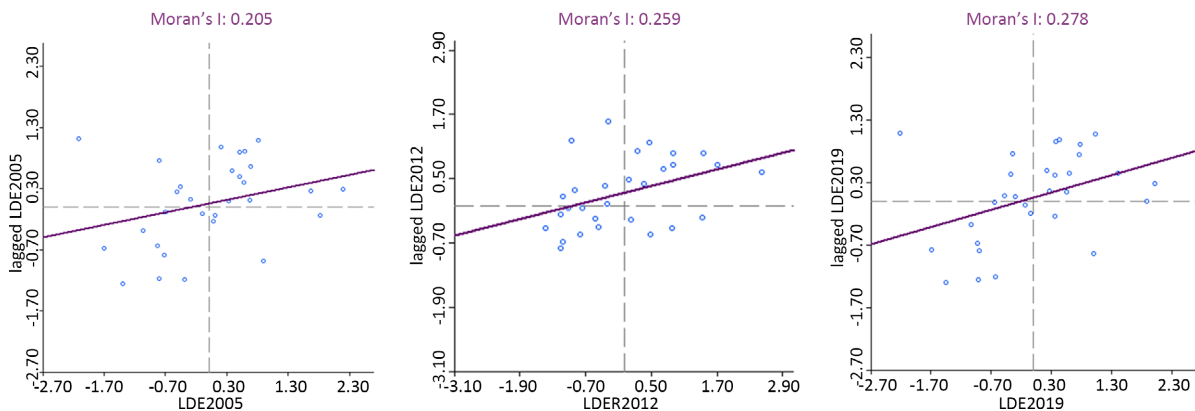


Figure 1. Moran scatterplot of distributed energy in 2005, 2012 and 2019 from left to right

图 1. 从左到右依次为 2005、2012 和 2019 年分布式能源的 Moran 散点图

Table 5. Estimation results of the spatial quantile panel model

表 5. 空间分位数面板模型的估计结果

变量	10%	25%	50%	75%	90%
$\rho$	0.4981**	0.4289***	0.3732*	0.3951	0.4722**
INV	0.8511*	0.8892*	1.2625***	1.3748***	1.8322***
TEC	0.0042	0.7693*	-0.7612	0.1041	0.3041
DEP	-0.5031**	-0.3761**	-0.1034	0.5157	0.0185
PRI	0.7021	-0.4015	0.0316	0.9014*	0.5896**
URB	0.8326***	0.2537*	0.5614**	0.7932***	0.4315**
ENS	-0.8514**	0.0715	1.2563	0.7421	0.0815
Cons	-3.614	2.6162*	1.5163	-2.3142**	1.5024

了双向固定效应，并选取 10%、25%、50%、75%和 90%五个分位点进行估计。

由表 5 可以发现，在考虑空间相关性时，不同分位点下各驱动因素对分布式能源发展的影响存在显著差异，影响系数在不同分位点下各不相同。各地区分布式能源的发展水平受到相邻省份的影响，周边邻省分布式能源发展水平越高，当地的分布式能源发展水平也越高，而相邻省的分布式能源发展对当地的影响随着分位数的不同，呈现出先降后升的“U”形发展趋势。当分布式能源发展处于较高或较低水平时(即位于 10%和 90%分位点)，相邻省份的分布式能源影响最高，位于 25%~75%分位点时，相邻地区的影响呈现“U”形发展趋势，在位于 50%分位点时，产生的影响最低，表明分布式能源的发展水平相似的地区在空间上存在集聚。可能的原因在于分布式能源发展水平较低的地区由于区域性分布式能源的资源匮乏，导致了其发展缓慢的局面；而分布式能源发展水平较高的地区，往往拥有更先进的技术水平和经济实力，通过技术交流和经济合作与周边省份实现优势互补，形成了分布式能源协同发展的局面。

基础设施投资的系数在所有分位点上均显著为正，且随着分位点的增加，其对分布式能源发展的正向影响进一步增加。分布式能源的推广和使用需要建设大量能源基础设施，如电网基础设施、天然气输送管道和太阳能发电设备等，这都需要大量基础设施投资。在分布式能源发展水平更高的地区，当地拥有更丰富的分布式能源资源，其相关能源配套设施的建设及生产相关设备的更新都使得其对基础设施投资的需求更加迫切。因此，基础设施投资对当地分布式能源发展的影响产生的效用遵循边际递增规律，当地政府应不断的增加对能源基础设施的投资，才能更好的支撑地区分布式能源的发展。

技术进步的系数处于 25%分位点上时显著为正,其对分布式能源发展水平较低的地区具有显著的促进作用。发达国家科技发展的实践证明,充足的研究开发资金是获得更先进技术和设备的关键条件之一。政府部门利用财政资金支持技术研发,有利于重大技术创新,这将有助于出现更多的新技术和新设备。分布式能源配套设备的核心技术目前仍存在诸多瓶颈,这导致了分布式能源昂贵的供能成本,经济发展相对落后的地区分布式能源也发展缓慢。而通过增大技术研发投入,将有助于分布式能源突破技术壁垒,降低使用成本,提升市场竞争力,使分布式能源企业在激烈的市场竞争中占据更加有利的优势位置,从而推广分布式能源的普及。因此,技术进步对于分布式能源发展水平较低地区具有显著的推动作用。

当分布式能源发展水平处于 10%和 25%分位点上时,对外石油依存在分布式能源发展具有显著的负向影响。中国经过 30 多年的经济快速增长,城乡居民收入显著提高,收入增长带动居民消费结构升级,越来越多的居民购买和使用汽车。而在分布式能源发展水平较低的地区,充电桩、换电站等基础设施尚未完善,新能源汽车使用成本高,当地居民更倾向使用传统汽车。传统机动车的大规模使用将不可避免地需要大量的柴油、汽油等化石燃料,而当地的石油产量远远不能满足市场需求,这导致了石油进口的进一步增加。石油和分布式能源之间本质属于一种替代关系,大量的石油进口使得当地生产企业和居民更愿意使用化石能源,这也导致了分布式能源的发展进一步受到限制。

化石燃料价格的系数在分布式能源发展水平处于 75%和 90%分位点上时显著为正,化石燃料的价格波动在分布式能源发展相对完善的省份对其具有显著的促进作用。现阶段化石燃料仍是机动车燃料消费的主要来源,随着技术的不断进步和绿色发展观念的普及,新能源汽车在未来取代传统燃料汽车已成为大势所趋。新能源汽车通过光伏和风能等清洁能源作为源头进行电能驱动,可形成二氧化碳减排的系统性闭环,符合绿色可持续的发展理念。在分布式能源发展水平较高的省份,充电设施建设相对完善,新能源汽车在市场上成为传统化石燃料汽车的有力竞争,而化石燃料价格上涨将使消费者倾向于选择通过分布式能源作为燃料的新能源汽车,从而有力地推动当地分布式能源的发展。

城镇化的系数在所有分位点上均显著为正,当分布式能源的发展水平处于 10%分位点上时其促进作用最为显著。城镇化使得大量人口聚集进入城市,城市发展规模进一步扩大,同时,由于城市地区拥有更为完善的供应链和产业链,越来越多的工业企业选择在城市周边投资建厂。大量人口和工业企业向城市聚集,这都导致了城市的能源需求激增。随着环保意识和科技水平的提升,越来越多的居民使用天然气作为煤和木材等传统能源燃料的替代;而冶金工业、陶瓷生产和水泥生产企业也选择天然气作为生产的能源消耗来源,而非煤或者火电。天然气消费的普及将有力地推动分布式能源的发展,因此,城镇化对处在各个分位点下的分布式能源均有显著的促进作用。

能源消费结构的系数在分布式能源发展水平处于 10%分位点上时显著为负,其对当地分布式的发展具有抑制作用。在分布式能源发展水平较低的省份往往技术受限且分布式能源的资源匮乏,而作为替代品的煤炭资源丰富且价格低廉,分布式能源无力在市场上与其竞争,因此煤炭仍是当地居民和企业主要的能源来源。使用成本相对低廉的能源满足了当地经济发展的需求,但与此同时也挤压了清洁能源的生存空间,不利于可再生能源的消费的推广,使分布式能源在当地的发展受到限制。因此,以煤炭为主导的能源消费结构对分布式能源发展水平较低的省份具有显著的消极影响。

#### 4. 结论与建议

本文基于我国 2005~2019 年的省级面板数据,采用空间分位数面板模型实证分析了分布式能源处于不同发展水平下各影响因素对当地分布式能源发展的驱动效应。结果发现:1) 中国的分布式能源在空间上呈现出正向的空间相关性,随着分布式能源发展水平的提升,各省受邻近省份的空间影响表现为先降后增的“U”型特性,地区分布式能源的发展水平相似的省份往往在空间上趋于集聚。2) 当分布式能源



处于不同发展阶段时其驱动因素的作用存在差异。基础设施投资和城镇化在各个分位点下对分布式能源都有着显著的促进作用；在分布式能源发展水平较低的省份，技术进步具有显著的正向影响，而对外石油依存和能源消费结构则表现为负向影响；在分布式能源发展水平较高的省份，化石燃料价格上涨对分布式能源的推广具有积极影响。

基于上述结论，提出如下政策建议：1) 强化空间联动性，充分发挥各省之间的能源发展协作关系，推动新兴分布式能源技术的转移，为分布式能源发展水平较低省份引入更多先进技术，改善当地落后产能，促进分布式能源的推广普及。2) 各省应结合当地能源发展实际，制定针对性的分布式能源政策。分布式能源发展水平较低的省份，应注重吸收和引入先进的能源技术，降低分布式能源的使用成本，同时为可再生能源、清洁能源提供能源补贴，增加分布式能源的市场竞争力，减少对煤炭、石油等传统化石燃料的依赖，优化不合理的能源结构；分布式能源发展水平较高的省份，应进一步增加对能源基础设施的投入，完善充电桩、换电站和智能电网等相关设施的普及，推广可再生能源的消费，同时适当调控化石燃料价格，对新能源汽车予以政策扶持和市场倾斜。

## 参考文献

- [1] 林伯强. 碳中和进程中的中国经济高质量增长[J]. 经济研究, 2022, 57(1): 56-71.
- [2] Wang, D., Luo, H., Grunder, O., et al. (2017) Multi-Step Ahead Wind Speed Forecasting Using an Improved Wavelet Neural Network Combining Variational Mode Decomposition and Phase Space Reconstruction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **113**, 1345-1358. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.095>
- [3] Dong, F. and Pan, Y. (2020) Evolution of Renewable Energy in BRI Countries: A Combined Econometric and Decomposition Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, Article No. 8668. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228668>
- [4] 董福贵, 张也, 尚美美. 分布式能源系统多指标综合评价研究[J]. 中国电机工程报, 2016, 36(12): 3214-3223.
- [5] Di Somma, M., Graditi, G., Heydarian-Forushani, E., et al. (2018) Stochastic Optimal Scheduling of Distributed Energy Resources with Renewables Considering Economic and Environmental Aspects. *Renewable Energy*, **116**, 272-287. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.074>
- [6] Bohlayer, M. and Zottl, G. (2018) Low-Grade Waste Heat Integration in Distributed Energy Generation Systems—An Economic Optimization Approach. *Energy*, **159**, 327-343. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.095>
- [7] Wang, X., Jin, M., Feng, W., et al. (2018) Cascade Energy Optimization for Waste Heat Recovery in Distributed Energy Systems. *Applied Energy*, **230**, 679-695. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.124>
- [8] 付丽苹, 刘爱东. 我国清洁能源发展驱动因素及测度研究[J]. 科技进步与对策, 2012, 29(18): 132-136.
- [9] Aneja, R., Banday, U.J., Hasnat, T., et al. (2017) Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Economic Growth: Empirical Evidence from Panel Error Correction Model. *Jindal Journal of Business Research*, **6**, 76-85. <https://doi.org/10.1177/2278682117713577>
- [10] Xu, B., Luo, Y. and Xu, R. (2021) Exploring the Driving Forces of Distributed Energy Resources in China: Using a Semiparametric Regression Model. *Energy*, **236**, Article ID: 121452. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121452>
- [11] Chernozhukov, V. and Hansen, C. (2006) Instrumental Quantile Regression Inference for Structural and Treatment Effects Models. *Journal of Econometrics*, **132**, 491-525. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.02.009>
- [12] Koenker, R. (2004) Quantile Regression for Longitudinal Data. *Journal of Multivariate Analysis*, **91**, 74-89. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2004.05.006>
- [13] Zietz, J., Zietz, E.N. and Sirmans, G.S. (2008) Determinants of House Prices: A Quantile Regression Approach. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, **37**, 317-333. <https://doi.org/10.1007/s11146-007-9053-7>
- [14] Xu, B. and Lin, B. (2022) Exploring the Spatial Distribution of Distributed Energy in China. *Energy Economics*, **107**, Article ID: 105828. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105828>
- [15] 陶长琪, 彭永樟, 琚泽霞. 经济增长、产业结构与碳排放关系的实证分析——基于 PVAR 模型[J]. 经济经纬, 2015(4): 126-131.