



可再生能源发展影响因素区域异质性研究

王兵 吴英东 刘朋帅 陈思卿

Regional Heterogeneity Governing Renewable Energy Development

WANG Bing WU Yingdong LIU Pengshuai CHEN Siqing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.5679>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于异质性视角的创意阶层区域分布的影响因素

The Determinants of Regional Distribution of the Heterogeneity Creative Class in China

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(4): 64 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.1422>

政务大厅服务效能影响因素实证分析

Empirical Research on Factors of Government Service Centers Affecting Service Efficiency

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(4): 104 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.2155>

进口贸易技术溢出的地区差异及影响因素分析

Technology Spillover of Import Trade Regional Difference and Influencing Factors

北京理工大学学报(社会科学版). 2017(1): 56 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2017.0108>

中国省际能源效率指数(2010—2018)

Regional Energy Efficiency Index in China (2010—2018)

北京理工大学学报(社会科学版). 2021, 23(3): 9 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.7426>

中国经济增长方式转变的影响因素及路径选择

Affecting Factors and Path Selection of Transformation of Economic Growth Pattern in China

北京理工大学学报(社会科学版). 2018(6): 104 <https://doi.org/>

中国区域碳排放驱动因素、减排贡献及潜力探究

Study on China's Regional Driving Factors of Carbon Emission, Emission Reduction Contribution and Potential

北京理工大学学报(社会科学版). 2019(4): 13 <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2019.2529>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.15918/j.jbitss1009-3370.2022.5679

可再生能源发展影响因素区域异质性研究

——基于生产—输送—消费全产业链视角

王 兵, 吴英东, 刘朋帅, 陈思卿

(中国矿业大学(北京) 能源与矿业学院, 北京 100083)

摘 要: 发展可再生能源已成为全球应对气候变化、保障能源安全、保护生态环境的重要手段, 对其驱动因素区域异质性的研究有利于决策者做出合理判断, 从而制定差异化的对策。使用 2007—2017 年中国 30 个省、市、自治区的数据, 从可再生能源的生产、运输、消费的全产业链及气候因素着手, 建立动态面板模型研究可再生能源发展的影响因素, 采用差分 GMM、系统 GMM 和偏差校正 LSDV 方法分别对全国和地区的模型进行估计。结果显示: 消纳目标、经济和人口因素、城市化、基础设施建设、文化程度、人均可支配收入、电力调出量及气候因素在全国模型中都表现出对可再生能源发展的促进作用, 而化石能源的使用、火电占比、环保支出和电力调入量与可再生能源发展呈负相关。地区模型中, 化石能源的使用及气候因素对不同地区的影响不同, 对化石能源依赖较高的省份, 化石能源的使用会促进当地可再生能源发展; 气候因素中降雨量会促进水电大省的发展, 而日照时长则阻碍其发展; 对于光电大省, 日照时长则表现出促进作用。

关键词: 可再生能源; 影响因素; 全产业链; 区域异质性; 动态面板

中图分类号: C93; F062.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-3307(2022)01-0039-12

随着全球人口数量的增加和化石能源的枯竭, 能源短缺问题日益凸显, 而可再生能源的发展有力缓解了这一问题。可再生能源以其开发潜力巨大、清洁低碳、相对无污染等优点受到各个国家的广泛关注。根据世界经济论坛报告数据, 随着可再生能源技术进步, 可再生能源生产成本明显下降, 以光电和风电为例, 每兆瓦光伏发电和风力发电成本分别从 2009 年 359 美元和 135 美元下降到 2019 年的 40 美元和 41 美元, 其成本分别下降了 89% 和 70%, 因此世界各国都在积极推进可再生能源的发展, 大力发展可再生能源已成为全球能源转型及实现应对气候变化目标的重大战略举措^[1]。中国对可再生能源发展极其重视, 在“十三五”规划中提出到 2020 年非化石能源占能源消费总量比例达到 15%、2030 年达到 20% 的宏伟目标^[2]。中国在第七十五届联合国大会一般性辩论上承诺: 力争于 2030 年前碳排放达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和。这意味着在未来 40 年里, 中国碳排放量将逐步降低至较低水平, 目前中国仍然以碳基能源为主, 化石能源使用比重较高, 因此实现这一目标存在诸多困难。而从近几年的发展来看, 中国经济发展与碳排放的脱钩趋势已经显现, 其中可再生能源的快速发展功不可没, 《中国可再生能源发展报告 2019》显示中国可再生能源生产和消费量都具有明显增长, 可再生能源的发电量和装机量也稳步增加, 水电、风电、太阳能发电、生物质发电等可再生能源装机容量连续居世界第一, 因此中国有信心也有能力实现这一目标^[3]。

但目前仍存在一些制约着中国可再生能源的发展, 一是中国不同区域的资源禀赋存在差异, 例如中国水资源从东南沿海向西北内陆逐渐递减, 形成南多北少、东多西少的分布特点; 风能资源则主要集中于东南沿海、内蒙古及甘肃北部、青藏高原和西北华北地区; 太阳能也因辐射水平不一而存在较大的区域差异。这些因素都导致地区间可再生能源利用的异质性问题, 且资源禀赋丰富地区与电力负荷中心呈逆向分布也造成可再生能源消纳困难。二是可再生能源未得到有效利用, “重建设、轻利用”的情况

收稿日期: 2020-12-08

基金项目: 国家自然科学基金项目“可再生能源系统风险评估方法及其应用研究”(71704178); 中央高校基本科研业务费专项资金(2021YQNY01)

作者简介: 王兵(1987—), 男, 博士, 副教授, E-mail: bingwang_bit@163.com

依然突出,造成了一定的资源浪费,局部性弃风弃光问题较为严重,全局性风光消纳问题反弹趋势不减,因此亟需加快储能电站的建设及储能技术创新,保障可再生能源电力消纳。三是对能源政策依赖性较高,风电、光电及生物质发电相对化石能源成本仍然偏高,产业政策依赖度较高,一旦政策有所调整,难以保证其能稳定发展^[4]。

中国作为能源消费大国,对全球的气候变化有着至关重要的作用,随着“碳中和”目标的提出,未来中国可再生能源产业必然迎来大规模发展,因此可再生能源发展驱动因素的研究对持续推动可再生能源的发展以及实现“碳中和”目标具有重要的意义。基于此背景,本文拟解决如下问题:(1)如何从可再生能源发展的全产业链(生产—输送—消费)角度出发对各驱动因素进行建模分析;(2)如何识别不同驱动因素在不同区域的显著程度与影响差异;(3)采用什么方法对不同类型动态面板模型进行有效的参数估计,提高结果的可靠度。通过研究结果分析出影响中国可再生能源发展的主要因素及其显著程度,为决策者提供可靠的理论依据。

一、文献综述

关于对可再生能源发展影响因素的分析,众多学者做了大量的研究,其中经济发展因素在众多研究中涉及最多,如 Eren 等^[5]采用动态最小二乘法(DOLS)估计了印度金融发展和经济增长对可再生能源消费的影响,结果表明二者对可再生能源的消费都具有积极影响,另外格兰杰因果关系检验也表明可再生能源消费与经济增长之间存在双向因果关系; Saidi 和 Omri^[6]则采用完全修正的普通最小二乘法(FMOLS)和向量误差修正法模型(VECM)验证了可再生能源在促进经济增长和碳减排方面的积极作用,采用格兰杰因果检验验证了经济增长与可再生能源之间存在短期和长期的双向因果关系,这与 Baris 的研究结论相同,大多数的研究也都证明了经济增长会促进可再生能源的发展。

越来越多的研究表明,金融市场可从融资的视角影响可再生能源发展。Anton 和 Nucu^[7]利用欧盟 28 个国家 1990—2015 年的面板数据,研究了金融市场对可再生能源消费的影响。实证分析结果显示,金融市场的三个不同维度(银行业、债券市场和资本市场)对可再生能源消费份额都有正向影响; Khan 等^[8]则研究了金融市场、可再生能源消费和二氧化碳排放三者之间的关系,以全球 192 个国家的面板数据开展面板分位数回归,结果表明金融市场对可再生能源消费有积极影响,碳排放则与可再生能源消费呈现负相关; Qamruzzaman 等^[9]以低等收入国家、中等收入国家和中上收入国家为样本,采用面板数据分析了金融市场、贸易开放和外资对可再生能源消费的影响,发现在短期内,除了低收入国家,其他国家的金融市场、贸易开放、资本流动与可再生能源消费之间的关系是不对称的。

技术进步对可再生能源的发展同样具有重要作用, Bamati 等^[10]研究了技术、经济和环境因素对发达国家和发展中国家可再生能源发展的影响,利用广义最小二乘(GLS)面板数据估计方法,发现发达国家的可再生能源生产主要取决于高技术出口,而高技术出口在解释发展中国家可再生能源利用的统计意义上并不显著,这与 Adedoyin 等^[11]研究欧盟国家能源消费、研发支出与经济增长之间的关系结果相近,并建议欧盟国家必须增加可再生能源的研发支出,以维持可持续能源和经济发展的长期推进计划。

化石能源作为可再生能源的竞争者,其对可再生能源发展的作用也不可忽视,多数研究中化石能源消费是阻碍可再生能源发展的重要因素, Xia 等^[12]研究不同化石能源价格变化对可再生能源股票收益率的影响,动态结果表明,化石能源价格变化对可再生能源收益的贡献具有很强的时变特性,且随时间的变化具有很高的波动性; Ankrah 等^[13]对加纳可再生能源发电的影响因素进行了研究,采用基于向量误差修正模型和协整技术考察了人均国内生产总值、金融市场、外商投资及化石燃料消费等因素,发现加纳可再生能源电力主要受外国直接投资和贸易开放的驱动,人均国内生产总值并不重要,而金融市场和化石燃料消费均破坏了加纳的可再生能源发展。

政策支持、人口增长、社会接受度等多种因素都会一定程度上影响可再生能源的发展^[14]。Ding 等^[15]通过建立动态规划模型分析政策支持在推动可再生能源技术快速发展方面发挥的作用,结果表明政策支持可能是农村剩余劳动力开发初期的主要力量。Xu 等^[16]通过文献回顾从经济、技术、政治和社会因素几

个方面分析了全球可再生能源的发展情况,并建立了一种综合预测模型预测可再生能源的发展前景,结果表明经济、技术及政策因素对可再生能源的发展都具有明显的促进作用;Yang等^[17]以2007—2016年中国92家可再生能源上市企业为样本,研究绿色制度环境对可再生能源投资的影响,并进一步探讨其作用机理,发现绿色制度环境指数与可再生能源投资之间存在非线性的“U形”关系。

通过上述研究不难发现,目前对可再生能源发展影响因素的分析已经较为全面,但研究大多集中于对可再生能源消费的影响,没有从宏观的视角对可再生能源全产业链的影响因素进行一个详细的评价,而电力系统运行中可再生能源的生产、输送和消费是同时发生的,缺少某一环节都会影响到可再生能源应用的全过程,因此单从某个方面对再生电力系统进行分析具有一定的局限性,可能会对某些因素的估计出现偏差,为减少可能出现的偏差,且对于中国不同区域间可再生能源发展的差异性研究较少,本文从可再生能源发展的全产业链的角度分析各影响因素的显著程度,并对中国不同区域间影响因素的差异性进行分析,研究结果对可再生能源产业协同政策的制定具有一定的借鉴意义。

二、研究框架及模型设定

(一) 研究框架

本文选择中国30个省、市、自治区为研究对象,从生产—输送—消费全产业链视角选取产业链各个环节的可再生能源发展影响因素,运用动态面板数据技术,探讨可再生能源发展影响因素的区域差异性。并运用差分广义矩估计(DIF GMM)和系统广义矩估计(System GMM)的方法,探讨中国可再生能源发展的影响因素,采用偏差校正LSDV法对中国不同区域的影响因素进行分析。研究框架如图1所示,从全产业链的角度对可再生能源发展的影响因素进行分析,并将数据分为全国层面和区域层面,探讨各种影响因素的显著程度及在不同区域间表现出的影响异质性,从而对可再生能源行业可持续发展提出针对性意见。

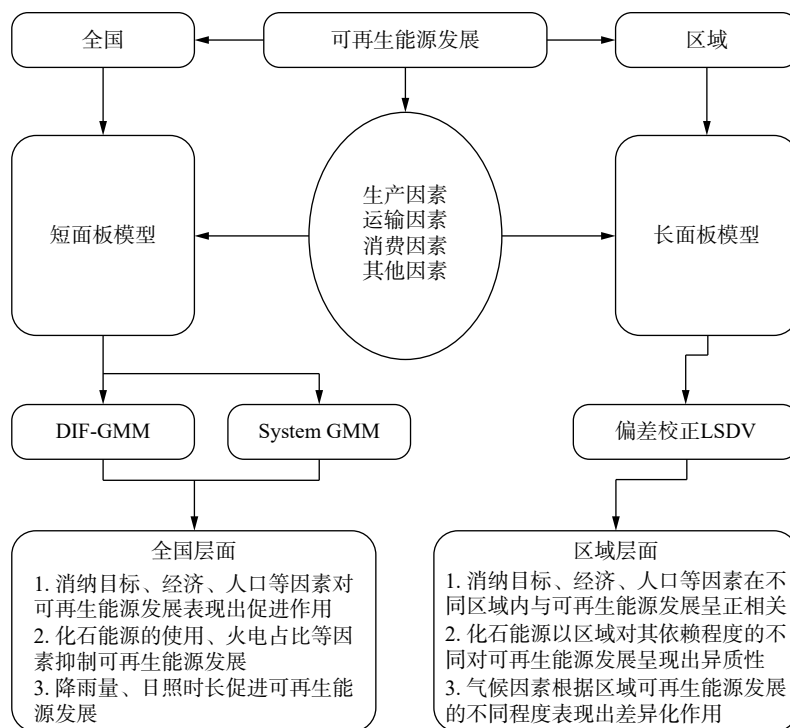


图1 研究框架图

(二) 模型建立

面板数据以其数据量庞大、参数估计更为精确等优点被广大学者所采用,是目前常用的一种计量经济学建模方法,可分为静态面板和动态面板。经济学理论认为,由于惯性原因,个体的当前行为取决于过去的行为,因此在面板模型的解释变量中就可以包含被解释变量的滞后值,这类数据被称为动态面

板。本文采用动态面板来研究中国可再生能源发展的驱动因素。

动态面板的参数估计方法最常用的是差分 GMM 和系统 GMM。差分 GMM 最早是由 Arellano 和 Bond^[18] 于 1991 年提出的参数估计方法, 通过差分, 消除由于未观测到的截面个体效应造成的遗漏变量偏误。考虑以下动态面板模型

$$y_{it} = \alpha + \rho y_{i,t-1} + x_{it}\beta + Z_i\delta + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad t = 2, 3, \dots, T \quad (1)$$

先做一阶差分以消去个体效应 μ_i

$$\Delta y_{it} = \rho \Delta y_{i,t-1} + \Delta x_{it}\beta + \Delta \varepsilon_{it} \quad (2)$$

但 $\Delta y_{i,t-1} = y_{i,t-1} - y_{i,t-2}$ 依然与 $\Delta \varepsilon_{it} = \varepsilon_{it} - \varepsilon_{i,t-1}$ 相关; 因为 $y_{i,t-1}$ 与 $\varepsilon_{i,t-1}$ 相关, 故 $\Delta y_{i,t-1}$ 为内生变量。根据同样的逻辑, 更高阶的滞后变量 $\{y_{i,t-3}, y_{i,t-4}, \dots\}$ 也是有效工具变量。Arellano 和 Bond^[18] 使用所有可能的滞后变量作为工具变量, 进行 GMM 估计, 称为“差分 GMM”(DIF-GMM)。但 DIF-GMM 也存在着一些缺陷。比如差分时, 不仅消除了非观截面个体效应, 而且也消除了不随时间变化的其他变量。此外, DIF-GMM 估计量很多时候并非有效估计量(方差最小)。

Blundell 和 Bond^[19] 将差分 GMM 与水平 GMM 结合在一起, 将差分方程和水平方程作为一个方程系统进行 GMM 估计, 称为系统 GMM (System GMM), 其优点是因小样本性质更好而可提高估计的效率, 并可估计不随时间变化的 Z_i 的系数。

差分 GMM 与系统 GMM 主要适用于短动态面板。这是因为虽然基于工具变量或 GMM 的估计方法是一致估计量, 但对于 n 较小而 T 较大的长面板则可能存在较严重的偏差。经过蒙特卡罗模拟, 结果显示, 对于 n 较小的长面板, 无论偏差大小还是均方误差方面, LSDV 法都明显优于差分 GMM 或系统 GMM。LSDV 法的基本思路是, 首先使用 LSDV 法估计动态面板模型, 记估计系数为 β ; 其次估计 LSDV 法的偏差, 记为 Bias; 最后将 LSDV 系数估计值减去此偏差, 即得到偏差校正后的一致估计。

本文由于消纳目标采用上一年可再生能源发电量来表示, 所以包含了被解释变量滞后一阶数据, 因此考虑采用一阶滞后的动态面板模型 (Dynamic Panel Model)。由于本文分别从全国和地区两方面研究, 全国的面板数据属于短面板, 所以采用差分 GMM 和系统 GMM 分别进行参数估计, 而地区面板数据属于长面板, 考虑到差分 GMM 和系统 GMM 存在的偏差, 采用偏差校正 LSDV 法。

根据数据有效性选择变量, 模型如下

$$RE_{it} = \alpha + \beta_1 \times RE_{i,t-1} + \sum_{k=1}^K \gamma_k \times X_{kit} + \sum_{m=1}^M \delta_m \times Y_{mit} + \sum_{n=1}^N \omega_n \times Z_{nit} + \sum_{s=1}^S \rho_s \times V_{sit} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, $i=1, 2, \dots, 30$ 表示省份; $t=2007, 2008, \dots, 2017$ 表示时间段; RE_{it} 表示第 i 地区第 t 年可再生能源发电量; X_{kit} 表示可再生能源发电生产影响因素集合; Y_{mit} 表示可再生能源发电运输影响因素集合; Z_{nit} 表示可再生能源发电消费影响因素集合; V_{sit} 表示可再生能源发电其他影响因素集合 (气候因素); ε_{it} 是随机扰动项。

(三) 数据、变量和描述性统计

本文使用 2007—2017 年中国 30 个省、市、自治区的各项数据。可再生能源发展用可再生能源发电量表示 (包括水电、风电和太阳能发电), 消纳目标采用上一年可再生能源发电量来表示, 数据来自国家统计局、《中国能源统计年鉴》和《中国电力年鉴》。可再生能源发电的生产影响因素包括经济、人口、政策、城市化、化石能源、政府历史责任等因素; 对于经济因素本文采用人均国内生产总值来反映经济发展, 人口和城市化因素采用年末常住人口和城镇人口比例来代表, 大多数模型都考虑了经济、人口、城市化因素在可再生能源发展中的作用, 例如 Akintande 等^[20] 利用 1996—2016 年非洲人口最多的五个国家的年度数据, 开发了一个可再生能源消费模型, 结果表明, 人口增长、城市人口、能源使用、电力消耗是部分国家可再生能源消费的主要决定因素; 化石能源对可再生能源发展的影响主要通过原煤产量及火电发电量来描述, 目前中国能源利用煤炭仍然占据主要地位, 煤电的作用不可忽视, 因此这里采用原煤产量及火电发电量来表示化石能源对可再生能源发展的影响; 政府历史责任以火电占比和环保支出来表示, 这是考虑到火电造成的环境问题可能会影响当地可再生能源的使用, 政府对环保的支出也一定程度反映出对可再生能源使用的态度; 运输方面由基础设施的发展作为主要影响因素, 这里采用单位面积 35 千伏及以上输电线路回路长度来表示; 消费方面采用社会接受度、进出口量来描述, 居民对可再

生能源的态度是可再生能源消费的重要参考标准。Fang等^[21]采用Bivariate-Probit模型研究了居民态度对可再生能源使用的影响,其中居民的收入、教育、对环境问题和碳排放的认知对其使用可再生能源影响较大。因此本文采用受教育人群中大专及以上学历人数占比和人均可支配收入来代表社会接受度;其他因素主要采用气候因素来表示可再生能源全产业链所面临的气候风险。变量定义如表1所示。

表1 变量定义

解释变量	描述	单位	来源
经济因素	人均GDP (x_1)	元	国家统计局
人口因素	年末常住人口 (x_2)	万人	国家统计局
城市化	城镇人口比例 (x_3)	%	中国统计年鉴
政策因素	单位面积可再生能源装机容量 (x_4)	万千瓦/万平方千米	中国电力年鉴
化石能源	火电电量 (x_5)	亿千瓦时	中国电力年鉴
	原煤产量 (x_6)	万吨	中国能源统计年鉴
历史责任	火电占比 (x_7)	%	中国电力年鉴
	环保支出 (x_8)	亿元	国家统计局
基础设施建设	单位面积35千伏及以上输电线路回路长度 (y_1)	千米/万平方千米	中国电力年鉴
社会接受度	受教育人群中大专及以上学历人数占比 (z_1)	%	中国统计年鉴
	城市人均可支配收入 (z_2)	元	中国统计年鉴
进出口	从省内调出电量 (z_3)	亿千瓦时	中国能源统计年鉴
	从省外调入电量 (z_4)	亿千瓦时	中国能源统计年鉴
其他因素	主要城市年平均气温 (v_1)	℃	中国统计年鉴
	主要城市降水量 (v_2)	毫米	中国统计年鉴
	主要城市日照时数 (v_3)	小时	中国统计年鉴

各省市各类可再生能源发电量如图2所示。地区模型中本文分别选取2017年水力、风力和太阳能发电排名前十的省份作为样本,其发电量历年来都占各类可再生能源发电量的70%以上,具有一定的代表性,具体情况如图3所示。

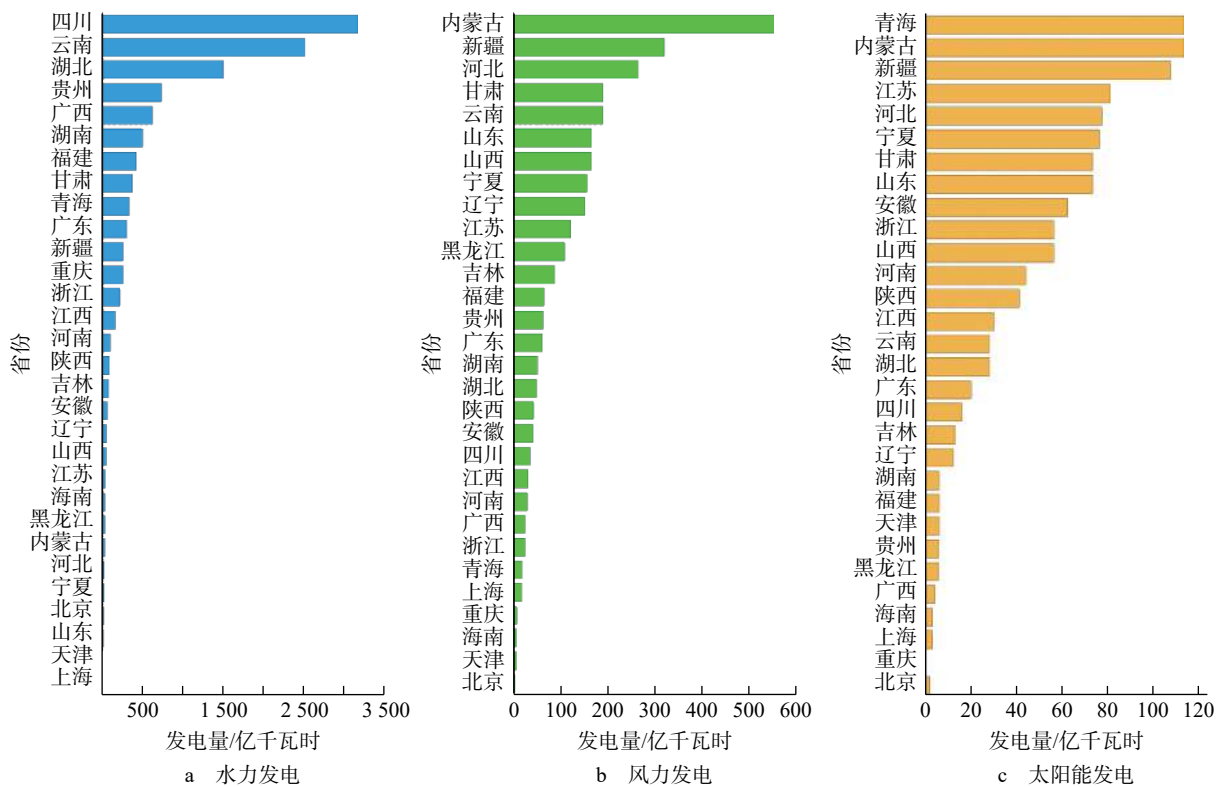


图2 2017年中国各省市各类可再生能源发电量

三、结果与讨论

(一) 相关性分析及单位根检验

通过对数据进行相关性分析可以得到人均GDP(x_1)、城镇人口比例(x_3)和学历水平(z_1)之间均存在较高的相关性,其两两相关性分别达到0.883、0.833和0.835,为避免多重共线性对估计结果产生的影响,本文将三个因素分别置于不同模型中,分别研究其对可再生能源发展的影响。此外,本文采用LLC与ADF检验对变量进行单位根检验,由表2可以看出,各变量的LLC检验与ADF检验的概率均小于5%,说明数据均平稳,可以进行回归分析。

(二) 全国可再生能源发展影响因素模型结果及分析

全国模型的参数估计结果如表3所示,为验证结果的可靠性,采用Arellano-Bond检验与Sargan检验,结果如表4所示。从表4的检验结果中可以看出,AR(2)检验中P值都大于0.05,说明扰动项不存在序列自相关,Sargan检验的P值也都大于0.05,可以在5%水平上接受所有工具变量都有效的原假设,综上可以得出本文所设定的动态面板模型是合理的。

从表3结果中可以看出,上一年的可再生能源发电量即消纳目标对可再生能源的发展具有正向作用,且在六个模型中,正向作用十分显著。自2012年以来,中国水电发展平稳,风电、光伏发电发展迅速,在可再生能源发电快速增长的同时,电力的消纳问题也日渐凸显,弃水弃风弃光问题始终困扰着可再生能源的发展。一方面原因在于可再生能源的生产与负荷中心不匹配,电力部门未能合理布局,使可再生能源电站的建设过于集中,加之中国目前的电力运行机制还未完全适应可再生能源的迅速发展,导致了资源的浪费;另一方面在于可再生能源规划没有配备灵活的输电通道,导致电力输送困难,模型6中35千伏及以上输电线路回路长度与可再生能源的发展呈显著正相关就可以证明这一点。目前中国可再生能源发电在长距离输电线路中的占比仍然较低,在推进特高压输电线路建设的同时也要关注可再生能源电力的输送占比,通过提高可再生能源的输送占比,弃水弃风弃光问题将得到极大缓解,同时根据可再生能源电力消纳保障机制明确各省各区域可再生能源电力在电力消费中的占比,并对消纳责任权重完成情况进行监测评价和考核,这有利于推动中国可再生能源产业可持续发展,促进清洁、低碳、安全、高效的能源体系建设^[2]。

从模型1和模型2中可以看出,人均GDP对可再生能源的发展起到显著的促进作用,年末常住人口在六个模型中虽然显著性不同,但都表现出对可再生能源发展的促进作用,且多数结果显著。在其他相关研究中,不同的国家地区其结果不尽相同,印度经济增长对可再生能源消费有积极的影响^[5],这与本文研究结果类似;而加纳可再生能源发电影响因素研究表明,实际人均国内生产总值并不重要^[13],因此要结合各国经济发展情况合理推动可再生能源发展。从中国经济发展状况来看,中国经济发展逐步进入新常态,低碳发展的理念也逐渐深入,可再生能源在未来能源使用中的比例必然会快速增长,因此在未

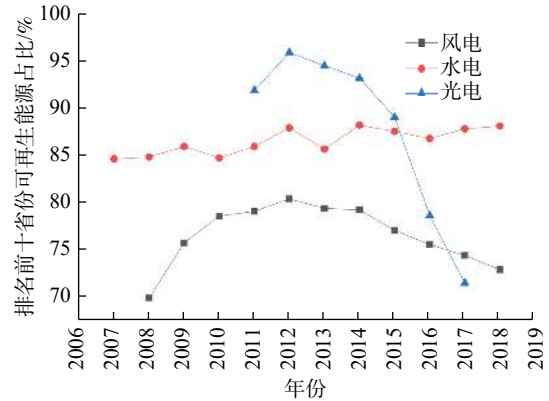


图3 水电、风电、光电大省可再生能源年发电量占比

表2 单位根检验

变量	LLC检验		ADF检验	
	统计值	P值	统计值	P值
x_1	-8.180 2	0.000 0	104.087 7	0.000 4
x_2	-20.301 2	0.000 0	134.721 3	0.000 0
x_3	-4.416 7	0.000 0	91.750 5	0.005 2
x_4	-9.945 1	0.000 0	186.612 4	0.000 0
x_5	-3.045 6	0.001 2	146.253 9	0.000 0
x_6	-4.119 1	0.000 0	241.249 7	0.000 0
x_7	-2.305 3	0.010 6	136.438 7	0.000 0
x_8	-5.296 1	0.000 0	175.688 8	0.000 0
y_1	-5.993 4	0.000 0	110.543 9	0.000 1
z_1	-8.461 7	0.000 0	87.244 6	0.012 4
z_2	-7.506 8	0.000 0	300.534 6	0.000 0
z_3	-59.525 6	0.000 0	170.539 3	0.000 0
z_4	-2.823 8	0.002 4	119.536 8	0.000 0
v_1	-8.800 7	0.000 0	160.561 4	0.000 0
v_2	-16.894 8	0.000 0	356.935 3	0.000 0
v_3	-11.401 1	0.000 0	192.463 2	0.000 0

表3 全国模型估计结果

变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
	差分GMM	系统GMM	差分GMM	系统GMM	差分GMM	系统GMM
L.RE	0.578*** (0.022)	0.524*** (0.024)	0.493*** (0.019)	0.529*** (0.019)	0.620*** (0.024)	0.583*** (0.030)
x_1	0.434*** (0.069)	0.488*** (0.093)				
x_2	0.613* (0.348)	1.322*** (0.145)	0.572 (0.733)	1.117*** (0.123)	0.840 (0.905)	1.166*** (0.161)
x_3			13.626*** (4.764)	6.253*** (1.806)		
x_4	-42.955** (21.856)	-49.362** (25.060)	13.488 (33.849)	21.663 (23.888)	-10.417 (40.538)	13.310 (24.605)
x_5	0.170 (0.173)	-0.098 (0.718)	-0.364 (0.452)	0.072 (0.538)	0.387 (0.264)	-0.781 (0.576)
x_6	-0.329*** (0.084)	-0.431*** (0.137)	-0.336*** (0.079)	-0.360*** (0.110)	-0.254*** (0.073)	-0.205* (0.112)
x_7	-6.620*** (0.910)	-7.110*** (2.005)	-6.131*** (1.390)	-7.552*** (1.465)	-7.340*** (0.679)	-5.761*** (1.376)
x_8	-0.396*** (0.061)	-0.429*** (0.077)	-0.151 (0.114)	-0.202*** (0.070)	-0.152** (0.073)	-0.152** (0.066)
y_1	1.408 (1.554)	2.924* (1.571)	-1.938 (12.344)	2.090 (1.734)	3.082 (3.017)	4.816*** (1.520)
z_1					3.023* (1.687)	8.442*** (3.159)
z_2	0.029*** (0.007)	0.015*** (0.004)	0.030*** (0.010)	0.021** (0.008)	0.038*** (0.013)	0.028*** (0.009)
z_3	0.439*** (0.046)	0.527*** (0.035)	0.422*** (0.076)	0.456*** (0.026)	0.378*** (0.045)	0.423*** (0.032)
z_4	-0.380*** (0.055)	-0.515*** (0.032)	-0.328*** (0.090)	-0.429*** (0.031)	-0.305*** (0.048)	-0.377*** (0.035)
v_1	-15.257*** (4.615)	-27.581*** (4.112)	-16.998*** (6.106)	-31.126*** (4.394)	-20.619*** (4.877)	-23.813*** (5.301)
v_2	0.058*** (0.014)	0.084*** (0.020)	0.074*** (0.011)	0.095*** (0.021)	0.065*** (0.023)	0.084*** (0.030)
v_3	0.063*** (0.013)	0.072*** (0.017)	0.049** (0.022)	0.074*** (0.015)	0.064*** (0.016)	0.078*** (0.018)
cons	362.182* (199.848)	260.492 (184.096)	-198.000 (237.090)	-4.829 (147.242)	298.910 (266.095)	-26.436 (176.134)
N	270	300	270	300	270	300
VIF	4.66	4.66	4.13	4.13	4.47	4.47

注: L.RE表示被解释变量RE的滞后项; 括号中的数字为稳健标准误; ***表示在1%的水平下显著, **表示在5%的水平下显著, *表示在10%的水平下显著。

表4 结果检验

检验方法		模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
Arellano-Bond 检验	AR(1)	0.007 9	0.011 8	0.008 7	0.014 3	0.005 0	0.011 3
	AR(2)	0.890 6	0.589 9	0.643 1	0.505 1	0.890 2	0.820 5
Sargan 检验		0.998 3	0.999 0	0.996 9	0.999 6	0.997 0	0.999 9

来中国经济发展中,可再生能源具有不可忽视的作用;人口因素对可再生能源发展具有促进作用,随着化石能源的枯竭和人口的增加,发展可再生能源能极大地解决能源危机,缓解居民用电困扰,随着中国人口生育政策的开放,未来人口可能会有所增长,对能源的需求也会增加,可再生能源作为传统能源的补充将会发挥巨大作用;城市化在模型3和模型4中表现出了对可再生能源发展的促进作用,且效果显著。Yang等^[23]的研究也表明,城市化对可再生能源消费具有很大贡献,城市化会增加能源消费总量,根据国家统计局数据,中国2019年城镇化率已经突破60%,预计2025年将达到65.5%,所以发展可再生能源有望与中国城市化进程协调统筹起来。

城镇居民人均可支配收入对可再生能源的发展起到显著的促进作用;学历水平在模型5和模型6中都表现出对可再生能源发展的促进作用,且采用系统GMM的效果更为显著。社会对可再生能源的认可和接受程度对其发展具有重要作用。这与Fang等^[21]研究中国居民在支持可再生能源发展的意愿与行为中所得结果一致,可再生能源的发展最终需要用之于民,居民对可再生能源的态度很可能影响可再生能源在当地的发展,例如英国生物质能源开发项目曾因公众的强烈反对而叫停^[24]。可再生能源的发展从来都不是国家和政府单独决策的问题,它需要社会民众的广泛参与,因此民众对可再生能源的了解及其经济能力必然影响居民对可再生能源的态度。政府通过加大可再生能源的宣传力度,普及节能减排知识来提高公众对可再生能源的接受程度,特别要加强对农村地区现代可再生能源利用的宣传普及,加强公众使用意愿^[25]。

原煤产量对可再生能源的发展具有阻碍作用,且效果显著。火力发电量对可再生能源发电的效果并不显著。化石燃料的使用在一定程度上抑制了可再生能源的发展,这与多数研究结果相同。中国石油、天然气资源贫乏,目前煤炭仍是中国能源供应的主要来源,而能源结构调整还需减少对化石能源的依赖,大力发展可再生能源,降低煤电比重。自“十三五”以来,中国能源结构持续优化,2020年中国煤炭消费量占能源消费总量的比重下降至56.8%,非化石能源消费比重达到15.9%,可再生能源的发电装机容量也稳步增长。Paolo等^[26]在其研究中发现石油峰值促使能源消费转向煤炭而非可再生能源,因此在推进可再生能源发展的同时,煤炭的清洁利用也不能忽视,这既有利于发挥中国煤炭资源丰富的优势,也为化解煤炭产能过剩和减少温室气体排放提供新思路。总体来看,煤炭在未来很长一段时间仍是中国主体能源,发展可再生能源并不意味着完全否定化石能源,而是要逐步淘汰落后产能,开发出清洁高效的化石能源利用技术。随着未来可再生能源技术的进步,化石能源也终将会被大规模取代。因此,平衡当前可再生能源和化石能源的消费占比,对促进中国能源结构调整、保障能源安全具有重要意义。

火电占比、环保支出对可再生能源的发展具有阻碍作用且效果显著。说明火力发电占比越多,可再生能源的利用就越少,而大量的火力发电必然会对环境造成破坏,政府的环保支出也会增加,形成恶性循环。因此要从根源上解决此问题,就应提高可再生能源的发电占比,减少火电占比来缓解环境问题带来的压力。而赵新刚等^[27]在对可再生能源发电代替火力发电的研究中表明,火力发电技术与可再生能源发电技术具有相互促进作用,现阶段火力发电仍占据主导地位,可再生能源发电并不能一蹴而就,要循序渐进稳步发展,同时中国不同地区间可再生资源量并不相同,不能一味地要求提高可再生能源发电占比,而应使可再生资源量丰富地区的电力支援可再生能源匮乏的地区,例如中国西南地区丰富的水力资源就可以支援东部缺乏能源的地区,“西电东送”工程的提出可以有效解决可再生能源利用问题,同时清洁能源的开发也有利于中国生态环境的改善,是践行绿色发展理念的有效措施^[28]。

本省电力调出量与外省电力调入量对可再生能源的发展具有相反的作用,电力调出会显著促进可再生能源的发展,而电力调入会对可再生能源的发展起到明显的阻碍作用。受中国不同地区资源禀赋差异的影响,各省可再生能源发展状况并不相同,东西部对电力的需求差别较大,西电东输促进东部电力平衡,同时西部对可再生能源的开发也会帮助西部地区经济的发展,因此电力的输出一定程度上促进了可再生能源的开发利用,同时电力输入的省份由于有了外省电力资源的支持,本省电力压力得到缓解,这对于本地区可再生能源的开发利用造成一定的阻碍作用。为使可再生能源发电得到长足的发展,需要政府协调好电力的调入调出,其中技术发展和电价调整等问题需要深入考虑,单一国家激励政策推动技术

发展是不够的,地方政府也应出台相关政策,加速可再生能源发展进度。

气候因素中降水量和日照时长在6个模型中都表现出对可再生能源发电量的显著促进作用。Richmond^[29]的研究表明,气候因素对于改善地区水电有着重要作用,同时适宜的气候对生物质能消耗作用最大。水电作为可再生能源发电中占比最高和发电量最大的电能生产方式,降雨量对其影响至关重要,Kepa等^[30]研究表明,降雨量是水电最主要的影响因素,降雨量对于河流流量、水位、温度等的作用直接影响水电生产,并且侵蚀造成的泥沙淤积会影响土壤并降低电力输出。日照时长则有利于太阳能发电,日照时长的增加会产生更多的光能,但大气的污染及空气中大颗粒物及灰尘会减少太阳辐射,因此降雨在一定程度上会清除空气中的灰尘,提高太阳辐射效率。随着光伏发电技术的发展,未来太阳能发电占比也会逐渐提高,充足的日照是太阳能发电不可缺少的条件。

以上分析结果表明:根据本文所选取的影响因素,从生产—输送—消费全产业链视角来看,输送与消费环节中促进可再生能源发展的影响因素占绝大多数,除外省调入电量一个因素外其余变量都呈现出积极的促进作用,而生产因素中抑制可再生能源发展的因素较多,重点表现在化石能源使用方面的抑制作用。因此,可再生能源产业管理政策要有的放矢,加大对可再生电力的输送与消费渠道的建设,促进可再生能源产业链各个环节的协同发展,从而促进该产业链的可持续发展。

(三)可再生能源发展影响因素区域异质性分析

通过对不同地区样本进行相关性分析,剔除相关性较强的影响因素,可再生能源发展影响因素区域异质性结果如表5所示。表5结果显示,消纳目标对不同地区的影响与全国结果一致,都表现出对可再生能源发展的促进作用,风电与太阳能发电的系数相比水电较大,原因可能在于风电和太阳能发电近几年的发展速度较快,水电的发展则较为平稳,水电输送通道建设较为完善。

人均GDP对水电和风电大省表现出促进作用,对光电大省表现出抑制作用,人口因素对风电和光电大省的可再生能源发展表现出显著的促进作用,对水电大省效果并不显著。总体来看,经济发展和人口数量仍然对可再生能源的发展起到促进作用,各省政府仍需积极引进清洁能源相关人才,促进当地经济和可再生能源协同发展。装机容量对水电的发展效果更为显著,水电目前仍是中国发电量最大的可再生能源,其开发潜力、开发经验和成熟度都远高于其他可再生能源,因此要继续坚持优先发展水电的能源发展方针,提高水电的开发利用率。

火力发电量对水电风电大省表现出抑制作用,对光电大省则表现出显著的促进作用,原因可能在于光电排名前十的省份中,内蒙古、新疆、江苏、山东、山西和河北同样属于火力发电的大省,可再生能源的发展需要火力发电为其提供经济基础,因此火力发电在一定程度上会促进可再生能源的发

表5 地区模型的LSDVC估计结果

变量	水电大省	风电大省	光电大省
L.RE	0.272*** (0.059)	0.725*** (0.066)	0.881*** (0.041)
x_1	0.004* (0.002)	0.303 (0.206)	-0.001* (0.001)
x_2	-0.148 (0.120)	0.380** (0.153)	0.122* (0.063)
x_4	1.814** (0.891)	-0.282 (0.328)	0.050 (0.102)
x_5	-0.021 (0.051)	-0.010 (0.039)	0.062*** (0.015)
x_6	0.001 (0.005)	-0.270** (0.123)	-0.001 (0.000)
x_7	-4.752*** (1.427)	-6.215** (2.613)	-4.810*** (1.054)
x_8	-0.312 (0.649)	-0.491 (0.303)	-0.238* (0.136)
z_1	1.251 (6.551)	-2.754 (4.220)	1.373 (1.467)
z_3	0.838*** (0.080)	0.255*** (0.088)	— —
z_4	-0.486*** (0.148)	-0.172 (0.112)	0.017 (0.043)
v_1	-13.491 (13.849)	-21.427* (12.613)	— —
v_2	0.082* (0.043)	0.064 (0.042)	0.035* (0.021)
v_3	-0.013 (0.055)	0.078* (0.042)	0.025 (0.019)
N	100	100	100

注:L.RE表示被解释变量RE的滞后项;括号中的数字为稳健标准误;***表示在1%的水平下显著,**表示在5%的水平下显著,*表示在10%的水平下显著。

展。原煤产量对风电和光电大省具有抑制作用,对水电大省则表现出正向作用,但效果并不显著,对于水电大省,以2017年原煤产量来看,除贵州外,其余省份原煤产量之和不到全国产量的6%,因此原煤产量对于水电大省的影响并不显著。中国目前水电政策集中于对抽水蓄能电站的建设和水电的消纳问题,抽水蓄能电站相比常规水电站具有灵活调节的作用,促进电力系统运行的稳定,因此应在现有政策基础上加大对抽水蓄能电站的支持,另外水资源缺乏地区也可利用废弃矿井等建设抽水蓄能电站。火电占比及环保支出对不同地区的可再生能源发展都呈现负相关,本省电力调出量与可再生能源发展呈正相关,外省电力调入量呈负相关,这些结果与全国结果表现一致。

降雨量对可再生能源的发展都具有促进作用,并且对水电大省的促进作用更为明显,Wang等^[31]在其研究中也表明,气候变化对各省水力发电的影响不同,西南地区的脆弱性高于全国平均水平,主要水电发电省份对气候变化的水电脆弱性日益增强,降雨量作为气候变化的重要表征因素,对于水电大省更要加强监测,避免洪涝旱灾等极端天气对水电的影响;日照时长则对水电大省表现出抑制作用,对风电和光电大省表现出促进作用,长时间的日照会增加河流的蒸发量,减少流量,对水力发电造成影响,这与Fan等^[32]的研究结论相似。而对于光电大省,充足的光照为光伏发电提供更多的能量,继而生产更多电能,促进光伏产业的稳步发展。

四、结论与政策建议

本文基于动态面板模型,采用差分GMM、系统GMM和偏差校正LSDV法从全国和地区两个视角分析了可再生能源发展影响因素,并讨论了不同区域影响可再生能源发展因素的异质性问题,结论如下:

一是从全国角度来看,上一年的可再生能源发电量即消纳目标对可再生能源的发展具有正向作用,且在所有模型中都表现出显著效果,因此合理制定消纳目标一定程度上能刺激可再生能源电力的发展;生产因素中经济、人口、城市化等因素都对可再生能源的发展起到显著促进作用,而原煤产量、火电占比及环保支出对可再生能源的发展表现出抑制作用,所以可再生能源的发展仍要以经济建设为依托,并逐步降低化石燃料的比重。

二是运输因素中输电线路回路长度显著促进可再生能源的发展;消费因素中人均可支配收入、学历水平及本省电力调出量都促进可再生能源的发展,外省电力调入量则抑制了可再生能源发展,在推进可再生能源电力基础设施建设的同时,也要加大对清洁能源的宣传力度,加强民众节能环保的意识。

三是地区差异性结果重点体现在化石能源和气候因素上,由于不同省份的煤炭资源不同,对煤炭依赖程度高的地区化石能源的使用反而会促进可再生能源的发展,这与多数研究结果相悖,不同的气候条件对不同类型的可再生能源也表现出不同的作用,如降雨量对水电大省的促进作用更显著,而日照时长则阻碍其发展。因此决策者在制定相应政策规划时要充分考虑地区间的差异性,制定符合地区发展的措施。

四是从生产—输送—消费全产业链视角来看,本文考虑的输送与消费环节因素大部分(除外省调入电量因素外)都表现为积极地促进可再生能源发展的作用,而生产因素中抑制可再生能源发展的因素较多,重点表现在传统化石能源的消极作用。由于每个环节不同的影响因素对可再生能源发展表现出不同的作用,可再生能源发展既不能只注重某一环节,而要聚焦产业链各个环节重点突破、统筹兼顾,加大对可再生电力的输送与消费渠道的建设力度,破除生产环节中的不利因素,实现可再生能源产业链的可持续发展。

鉴于数据的可获得性,本文所选取的影响因素并不能涵盖所有相关的变量,气候因素中变量的选择以各省主要城市来代表,不能完全表现出各地气候的差异,对结果可能存在一定的影响。基于以上结论,本文提出以下建议:

一是加强储能电站及其他基础设施的建设,推进可再生能源电力在特高压输电中的占比。可再生能源电力的及时消纳需要依赖电力部门的合理规划及完善的电力输送设施,合理的布局规划能有效解决可再生能源电力生产与负荷中心不匹配的问题,使可再生能源的利用达到最大化,而完善的电力输送设施则是实现这一规划的有效手段。随着可再生能源的快速发展,电力部门就需要对电力运行机制进行适当

优化, 以使其能适应可再生能源电力带来的变化, 将可再生能源电力并入电网的同时保障电网正常运转。此外要加大对电力输送设备的投入, 制定高效灵活的可再生能源电力输送方案, 提高可再生能源电力在电网输送中的占比, 促进可再生能源的利用和发展。

二是结合地区能源利用的异质性, 合理优化能源结构, 提高可再生能源占比。对火电大省应制定灵活的政策, 推动清洁利用技术的发展, 不能对火电进行“一刀切”, 应循序渐进, 逐步提高可再生能源占比。对于可再生能源发电大省, 要继续加强对可再生能源的支持力度, 积极推进可再生电力参与市场交易, 制定合理的电价补贴政策, 激发居民使用可再生能源电力的积极性, 促进可再生能源的稳步发展。

三是重视气候变化对可再生能源发展的影响, 因地制宜, 科学预防极端天气对中国气候系统造成破坏而影响可再生能源发展。例如, 中国水力发电受降雨量影响显著, 一旦出现洪涝、干旱等自然灾害影响, 势必会对水电发展产生影响, 随着全球气候变暖, 极端天气的出现也会越发频繁, 因此政府及电力企业要积极制定相应的对策措施, 做到未雨绸缪, 加强对气候变化的应对能力。同时对适宜发展可再生能源的地区要科学规划、合理利用, 为解决全球气候问题贡献中国力量。

参考文献:

- [1] 李洪言, 赵朔, 刘飞, 等. 2040年世界能源供需展望: 基于《BP世界能源展望(2019年版)》[J]. *天然气与石油*, 2019, 37(6): 1-8.
- [2] 郝宇, 张宗勇, 廖华. 中国能源“新常态”: “十三五”及2030年能源经济展望[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2016(2): 1-7.
- [3] 于倩倩. 关于“十三五”中期中国水电发展的几点思考[J]. *水力发电*, 2019, 45(11): 112-116.
- [4] WANG Q, CHEN Y. Barriers and opportunities of using the clean development mechanism to advance renewable energy development in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, 14(7): 1989-1998.
- [5] EREN B M, TASPINAR N, GOKMENOGLU K K. The impact of financial development and economic growth on renewable energy consumption: empirical analysis of India[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 663: 189-197.
- [6] SAIDI K, OMRI A. The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries[J/OL]. *Environmental Research*, (2020-06). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109567>.
- [7] ANTON S G, NUCU A E A. The effect of financial development on renewable energy consumption. a panel data approach[J]. *Renewable Energy*, 2019, 147: 330-338.
- [8] KHAN H, KHAN I, BINH T T. The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: a panel quantile regression approach[J]. *Energy Reports*, 2020, 6: 859-867.
- [9] QAMRUZZAMAN M, WEI J G. The asymmetric relationship between financial development, trade openness, foreign capital flows, and renewable energy consumption: fresh evidence from panel NARDL investigation[J]. *Renewable Energy*, 2020, 159: 827-842.
- [10] BAMATI N, RAOOFI A. Development level and the impact of technological factor on renewable energy production[J]. *Renewable Energy*, 2020, 151: 946-955.
- [11] ADEDOYIN F F, BEKUN F V, ALOLA A. Growth impact of transition from non-renewable to renewable energy in the EU: the role of research and development expenditure[J]. *Renewable Energy*, 2020, 159: 1139-1145.
- [12] XIA T, JI Q, ZHANG D, et al. Asymmetric and extreme influence of energy price changes on renewable energy stock performance[J/OL]. *Journal of Cleaner Production*, (2019-09). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118338>.
- [13] ANKRAH I, LIN B. Renewable energy development in Ghana: Beyond potentials and commitment[J/OL]. *Energy*, (2020-05). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117356>.
- [14] 夏晨霞, 王子龙. 基于BP结构突变的中國能源强度及因素分解研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(2): 28-35.
- [15] DING H, ZHOU D, ZHOU P. Optimal policy supports for renewable energy technology development: a dynamic programming model[J/OL]. *Energy Economics*, (2020-10). <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104765>.
- [16] XU X F, WEI Z F, JI Q, et al. Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures[J/OL]. *Resources Policy*, (2019-10). <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>.
- [17] YANG F, CHENG Y Y, YAO X. Influencing factors of energy technical innovation in China: evidence from fossil energy and renewable energy[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 232: 57-66.
- [18] ARELLANO M, BOND S. Some test of specification for panel data: monte carlo evidence and an application to employment equations[J]. *Review of Economic Studies*, 1991, 1: 277-297.

- [19] BLUNDELL R, BOND S. GMM estimation with persistent panel data: an application to production functions[J]. *Journal of Econometrics*, 1998, 87: 115–143.
- [20] AKINTANDE O J, OLUBUSOVE O E, ADENIKINI A F, et al. Modeling the determinants of renewable energy consumption: Evidence from the five most populous nations in Africa[J/OL]. *Energy*, (2020-09).<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117992>.
- [21] FANG X M, WANG L, SUN C W, et al. Gap between words and actions: empirical study on consistency of residents supporting renewable energy development in China[J/OL]. *Energy Policy*, (2021-01).<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111945>.
- [22] 黄龙, 陈皓勇, 钟佳宇, 等. 促进可再生能源消纳的电力市场体系 [J]. *广东电力*, 2020, 33 (2): 42–49.
- [23] YANG J, ZHANG W, ZHANG Z Y. Impacts of urbanization on renewable energy consumption in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 114: 443–451.
- [24] BISHNU R U, DAN H. National renewable energy policy and local opposition in the UK: the failed development of a biomass electricity plant[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 26(1): 61–69.
- [25] 申俊, 孙涵, 成金华. 中国城镇居民能源消费及其影响因素 [J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2016 (1): 45–53.
- [26] PAOLO Z, JEROEN C J M. VAN D B. Global competition dynamics of fossil fuels and renewable energy under climate policies and peak oil: a behavioural model[J/OL]. *Energy Policy*, (2019). <https://ideas.repec.org/p/hal/journal/hal-02394882.html>.
- [27] 赵新刚, 刘平阔, 刘璐, 等. 中国可再生能源发电对火力发电技术替代的实证研究: 基于LVC模型 [J]. *技术经济*, 2011, 30 (10): 40–44.
- [28] YANG Y, ZHANG H, XIONG W, et al. Regional power system modeling for evaluating renewable energy development and CO₂ emissions reduction in China[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2018, 73: 142–151.
- [29] RICHMOND S B, ALLESANDRO O, ALBERT A, et al. Renewable energy consumption in Africa: evidence from a bias corrected dynamic panel[J/OL]. *Science of The Total Environment*, (2021-09-04).https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3730908.
- [30] KEPA S, EMILIO C. Climate change impacts on renewable energy generation. a review of quantitative projections[J/OL]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2019-12). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109415>.
- [31] WANG B, LIANG X J, ZHANG H, et al. Vulnerability of hydropower generation to climate change in China: results based on Grey forecasting model[J]. *Energy Policy*, 2014, 65: 701–707.
- [32] FAN J L, HU J W, ZHANG X, et al. Impacts of climate change on hydropower generation in China[J]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2020, 167: 4–18.

Regional Heterogeneity Governing Renewable Energy Development —From the Perspective of Industrial Chain of Production, Transportation and Consumption

WANG Bing, WU Yingdong, LIU Pengshuai, CHEN Siqing

(Center for Sustainable Development and Energy Policy, School of Energy and Mining Engineering,
China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The development of renewable energy has become an important means to deal with climate change, ensure energy security and protect the earth's environment. The study of its driving factors can help decision-makers to make a reasonable judgment, so as to formulate corresponding policy measures. Based on the data of 30 provinces, cities and autonomous regions in China from 2007 to 2017, this paper established a dynamic panel model to study the influencing factors of renewable energy development from the whole life cycle process of renewable energy production, transportation and consumption, and climate factors. The national and regional models were estimated by using differential GMM, System GMM and LSDVC methods. The results show that: consumption goals, economic and demographic factors, urbanization, infrastructure construction, education level, disposable income per capita, electricity output and climate factors all play a positive role in promoting the development of renewable energy in the national model, while the use of fossil energy, the proportion of thermal power, environmental protection expenditure and the amount of electricity transfer are negatively correlated with the development of renewable energy. In the regional model, the use of fossil energy and climate factors have different impacts on different regions. In provinces with high dependence on fossil energy, the use of fossil energy will promote the development of local renewable energy. Among climate factors, rainfall promotes the development of hydropower provinces, while sunshine duration hinders their development, and sunshine duration promotes the development of photovoltaic provinces.

Keywords: renewable energy; influencing factor; whole industry chain; regional differences; dynamic panel

[责任编辑:孟青]