

新疆能耗双控向碳排放双控转变分析和预测

李昌陵^{1,2}, 常喜强³, 卢浩^{1*}

- (1. 新疆大学电气工程学院, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐市 830000;
2. 国网新疆电力有限公司经济技术研究院, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐市 830000;
3. 国网新疆电力有限公司电力调度控制中心, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐市 830000)

Analysis and Forecast of the Shift From Double Control of Energy Consumption to Double Control of Carbon Emissions in Xinjiang

LI Changling^{1,2}, CHANG Xiqiang³, LU Hao^{1*}

- (1. School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China;
2. Research Institute of Economics and Technology, State Grid Xinjiang Power Company Limited, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 3. Power Dispatch Control Center, State Grid Xinjiang Power Company Limited, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

摘要:【目的】新疆作为国家的能源基地,其能源政策的转变对实现国家能源战略目标具有重大意义。为此,研究了新疆从控制能源消费总量和强度向控制碳排放总量和强度的转变。【方法】提出碳排放的经济弹性和能源消费弹性2个脱钩弹性指数,并对新疆能源消费与碳排放的脱钩关系进行了预测。【结果】新疆已初步实现能源消费与碳排放的相对脱钩,预计将于2032年实现能源消费与碳排放的绝对脱钩;双控指标的转变有助于提升新疆终端能源消费电气化水平,但电力保供的压力增大。【结论】研究成果对新疆乃至全国的能源政策制定具有指导意义,为实现碳中和目标提供了实证依据,也为其他能源基地的转型路径提供了参考。

关键词: 碳达峰; 碳中和; 能源消费; 碳排放; 能耗双控; 碳排放双控; 新疆能源政策

ABSTRACT: [Objectives] As a national energy base, the shift in energy policy in Xinjiang is of great significance to the realization of national energy strategy goals. The shift from controlling total amount and intensity of energy consumption to controlling total amount and intensity of carbon emissions in Xinjiang was investigated. [Methods]

Two decoupling elasticity indexes of economic elasticity and energy consumption elasticity of carbon emissions were proposed, and the decoupling relationship between energy consumption and carbon emissions in Xinjiang was predicted. [Results] It is found that Xinjiang has initially realized the relative decoupling of energy consumption and carbon emissions, and is expected to realize the absolute decoupling of energy consumption and carbon emissions in 2032. The shift in the dual-control index helps to improve the electrification level of end-use energy consumption in Xinjiang, but the pressure to maintain electricity supply increases. [Conclusions] The research results have guiding significance for energy policy making in Xinjiang and even the whole country, provide an empirical basis for realizing the goal of carbon neutrality, and also provide a reference for the transition path of other energy bases.

KEY WORDS: carbon peak; carbon neutrality; energy consumption; carbon emissions; dual control of energy consumption; dual control of carbon emissions; Xinjiang energy policy

0 引言

实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和(简称“双碳”目标)是国家的重大战略部署,也是中国在当前气候变化环境下的庄严承诺^[1-4]。在“双碳”目标背景下,新疆作为国家的“三基地一通道”,在保障国家能源安全、促进能源绿色低碳发展方

基金项目: 国家社科基金重大项目(21&ZD133); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01C044); 新疆维吾尔自治区2022年重点研发专项项目(2022B01019)。

Project Supported by National Social Science Foundation of China (21&ZD133); Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2021D01C044); Key R&D Special Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region in 2022 (2022B01019).

面具有重要意义^[5]。新疆的能源产业要素齐全,具有油气和可再生能源开发利用的优势,但在未来实现能源低碳转型上还面临着技术和产业发展等方面的巨大挑战^[6-7]。

胡珺等^[8]对碳排放权的交易机制进行了研究,发现交易机制的实施有助于企业的技术创新,但企业可能为实现目标而不严格遵守环境法规。刘传明等^[9]对碳减排政策效应进行了研究,发现碳排放权交易试点的实施有助于碳减排,但不同地区存在差异,因此提出政策的实施应因地制宜。沈洪涛等^[10]研究指出,企业主要是通过减少产量来减排,而不是清洁生产。余碧莹等^[11]通过模型研究得出全国最早于2025年实现碳达峰,碳排放量峰值约108亿t,碳达峰后与能源相关的碳排放量有3亿~31亿t。影响碳排放的因素包括人口数量^[12]、清洁生产^[13]、投资规模^[14]、经济集聚度^[15]和建筑能耗^[16]等。人口的集聚效应、技术水平的提升、对外开放度和公路运输强度的增长有助于降低碳排放^[17]。李金铠等^[18]研究发现,产业结构、能源结构、政府规制、科技创新水平及对外开放程度对能源碳排放效率有显著影响。

然而,作为中国能源的重要基地,针对新疆的碳排放研究较少。本文从碳市场发展方向出发,研究新疆的能耗双控向碳排放双控的转变和影响。新疆能源资源开发难度和复杂程度高、应用场景多元、跨领域多学科交叉、技术关联性和耦合度强,在能源技术创新上具有典型性、代表性,是建设新型低碳能源体系的理想应用场景。

1 碳市场发展趋势分析

1.1 全国碳市场总体建设情况

1) “双碳”目标促进全国碳市场建设进度加快。自2020年9月“双碳”目标提出至今,全国碳市场建设呈现加速态势,国家生态环境部密集颁布了配额管理、登记结算、核查指南、管理办法等多项关于全国碳市场建设的规章草案,我国碳市场由区域试点走向全国统一市场建设。

2) 碳市场为实现“双碳”目标提供市场化解决路径。作为控制温室气体排放的有效市场手段,碳市场可引导社会资本投向低碳项目。企业受竞

争环境和利润驱动的双重影响,将不断更新减碳技术、优化生产工艺流程。全社会减碳共识将逐步凝聚,激励全民主动参与低碳减排行动,筑牢绿色发展根基。

3) 碳市场覆盖范围与交易规模有望持续扩大。首批纳入全国碳市场的发电行业同质化程度较高且减排成本差异不大,因此,“十四五”期间,碳市场将引入石化、建材等更多减排成本有差异的行业排放主体,市场配置要素作用将得到更好发挥,覆盖行业的年碳排放总量预计在80亿~100亿t,交易规模可达300亿元。

4) 全国碳市场金融产品及业态有望不断丰富。全国碳市场将大幅提升碳交易的规模和流动性,交易主体和需求种类也将更趋多元化。碳金融市场将应运而生,衍生出碳交易相关的债券、保险、期货等基础产品,提供与股票、基金各类市场联动的置换、回购等交易模式,以金融工具服务绿色低碳循环经济发展。

1.2 新疆碳市场建设情况

近些年来,新疆碳排放量整体呈上升趋势,但不同时期有不同的趋势。2013年,碳排放量增长趋势首次下降,之后增长较慢。2019年,新疆碳排放量达519.31 Mt,位列全国第九,约占全国总碳排放量的4.23%。

目前,新疆碳市场面临的问题包括:一是工业产业结构偏重,煤炭为能源的主要消费产业。虽然可再生能源比例逐渐上升,但煤的消费量依然较大。二是市场参与度较低。在拟纳入全国碳排放权交易的第一批企业中,新疆有180家,参与企业仍较少。三是缺乏相关的机构和本土专业技术人才。

新疆碳市场有较为广阔的发展前景,有能源资源、CO₂捕集及地质封存、天然碳汇发展等优势。新疆煤炭资源丰富,全区预测2 000 m以浅煤炭资源量2.19万亿t,占全国39.3%,是我国五大煤炭供应保障基地之一,“十四五”期间每年新增产能1.6亿t。新疆有广袤的内陆盆地、大量的地下咸水层、油藏、气藏和不可开采的煤层等,此种地质环境的二氧化碳储存能力非常可观。另外,新疆拥有丰富的森林资源,全疆林地面积 2.029×10^5 km²,而森林碳汇对新疆参与全国碳市场具有重要的意义。

2 能耗双控与碳排放双控的关系

能耗双控是指对能源消费总量和强度进行控制，而碳排放双控是指对碳排放总量和强度进行控制。能耗双控与碳排放双控突出不同约束导向：能耗双控旨在约束用能总量与强度，不区分能源类型；碳排放双控重点约束化石能源消费的总量与强度^[9]。2021年我国化石能源消费占比仍有80%以上，因此现阶段能耗双控与碳排放双控考核指标具有高度一致性。伴随能源清洁低碳转型推进，可再生能源将成为能源消费主体^[20-22]，因此，需区分能源类型进行约束以实现经济与生态的协同发展，能耗双控将逐步过渡至碳排放双控。

参考2020年新疆用能和碳排放水平，每100亿kW·h煤电电量被新能源电量替代，可使能耗双控指标均下降约1%，碳排放双控指标均下降约1.9%。因此，需结合能耗、碳排放双控与新能源消纳权重等指标约束，科学合理规划电源与电网发展，推进能源转型的同时保障能源供应，为能耗双控向碳排放双控转变做好规划衔接。

3 新疆能耗双控与碳排放双控指标脱钩预测

3.1 新疆能耗双控与碳排放双控指标分析

2020年新疆能耗强度为1.376 t标准煤/万元，远高于0.55 t标准煤/万元的全国平均水平，碳排放强度为3.35 t CO₂/万元，超过全国平均水平3倍。新疆能耗、碳排放“双高”的原因如下：一是能源结构以碳基能源为主，2020年新疆能源和工业碳排放占排放总量的88%，能源消费构成中化石能源占比86.3%，其中煤炭占能源消费比重为68.9%，远高于56.8%的全国平均水平；二是产业结构以高耗能产业为主，2020年新疆工业增加值占生产总值的26.3%，工业能源消费占能源消费总量的74.9%，而同期六大高耗能行业产值占工业总产值的50.5%，其能耗占工业总能耗的81.8%。

3.2 新疆能耗双控与碳排放双控的计算方法

根据环境压力增长率与经济驱动增长率的关系，经合组织将脱钩划分为相对脱钩和绝对脱钩。其中：相对脱钩为碳排放总量变化量>0，能源消费总量变化量>0，0<碳排放总量变化量/能源消费总量变化量<1，即碳排放总量、能源消费总量增长，碳排放增长率低于能源消费增长率；绝对脱钩为碳排放总量变化量<0，能源消费总量变化量>0，碳排放总量变化量/能源消费总量变化量<0，即碳排放总量降低、能源消费总量增长。

3.3 2024—2035年新疆能源消费与碳排放脱钩关系预测

依据脱钩理论和方法，提出碳排放的经济弹性和能源消费弹性2个脱钩弹性指数，以此预测2024—2035年新疆能源消费与碳排放的脱钩关系，如图1所示。2个脱钩弹性指数表达式分别如下：碳排放的经济弹性=碳排放增长率/经济增长率；碳排放的能源消费弹性=碳排放增长率/能源消费增长率。

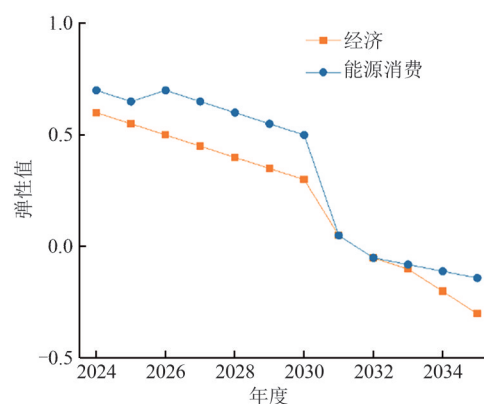


图1 新疆2024—2035年碳排放的经济弹性和能源消费弹性变化图

Fig. 1 Changes in economic elasticity and energy consumption elasticity of carbon emissions in Xinjiang from 2024 to 2035

新疆已于2020年实现能源消费与碳排放的相对脱钩，预计将于2032年实现能源消费与碳排放的绝对脱钩。2020年起，碳排放的经济弹性、能源消费弹性值均稳定在0~1，表明新疆碳排放绝对量增长的速率低于经济和能源消费的增长速率，已实现能源消费与碳排放的相对脱钩；2032年起，碳排放的能源消费与经济弹性均为负值，表

明新疆在经济和能源消费增长的同时实现了碳排放量下降, 能耗指标与碳排放指标绝对脱钩, 实现了能耗双控向碳排放双控的转化。

4 “双控”指标转变对新疆电力经营的影响分析

1) 新疆终端能源消费电气化水平显著提升, 促进售电市场规模持续扩大。电力脱碳与电气化水平提升是实现能源低碳转型、提升能效的重要路径。未来新疆电力消费仍将保持高速上升趋势, 预计 2032 年新疆终端能源消费电气化水平可提升至 34% 左右, 新疆用电量有望超过 6 000 亿 kW·h, 是 2021 年的 1.7 倍, 售电市场增长空间大。

2) 新疆电力服务新能源接网的投资需求将加重电网投资压力。预计 2032 年新疆新能源装机规模约 1.06 亿 kW, 较 2021 年底增长 6 915 万 kW, 折合新能源接网投资约 288 亿元, 年均投资需求是“十三五”时期的 2.5 倍。考虑到新能源开发“先易后难”原则, 远期新能源并网工程的单位投资将高于现行水平, 未来新疆电力服务新能源接网成本将进一步增大。

3) 电动汽车充换电量纳入低价保障电量将对新疆电力做好保障性供电带来较大压力。预计 2030 年新疆电动汽车保有量约为 120 万辆, 年充换电量可达 42 亿 kW·h, 约占城乡居民生活用电量的 13.4%。按 2021 年新疆民用汽车保有量统计, 居民用车占比超过 80%, 未来将成为电动汽车主力用户, 按现行以场所定用电类型的规则, 电动汽车用电量也将大部分计入居民用电。随着可再生能源逐步进入市场化交易, 低价电源保障存在困难, 新疆电力兜底保障供电的经营压力进一步加大。

4) 新疆电价承载能力随行业需求改变。2019 年新疆工业领域电费成本占比平均水平为 6.17%, 木材加工、有色金属冶炼及压延加工业等行业电费成本占比超过 10%, 对电价变化敏感性较强; 农副食品加工、汽车制造等企业电费成本占比低于 2%, 对电价变化敏感性较弱。具体来看, 钢铁、电解铝、多晶硅行业最大可承受电价分别为 0.415、0.350、0.352 元/(kW·h); 煤制烯烃行业最大可承受电价为 0.550 元/(kW·h); 再生铝行业最大可承受电价为 0.686 元/(kW·h)。因此, 工业电价调整及优惠政策的制定应根据企业电价承载能力强弱差异化实施。新疆工业行业电费占成本比重如图 2 所示, 重点行业电价承载能力见表 1。

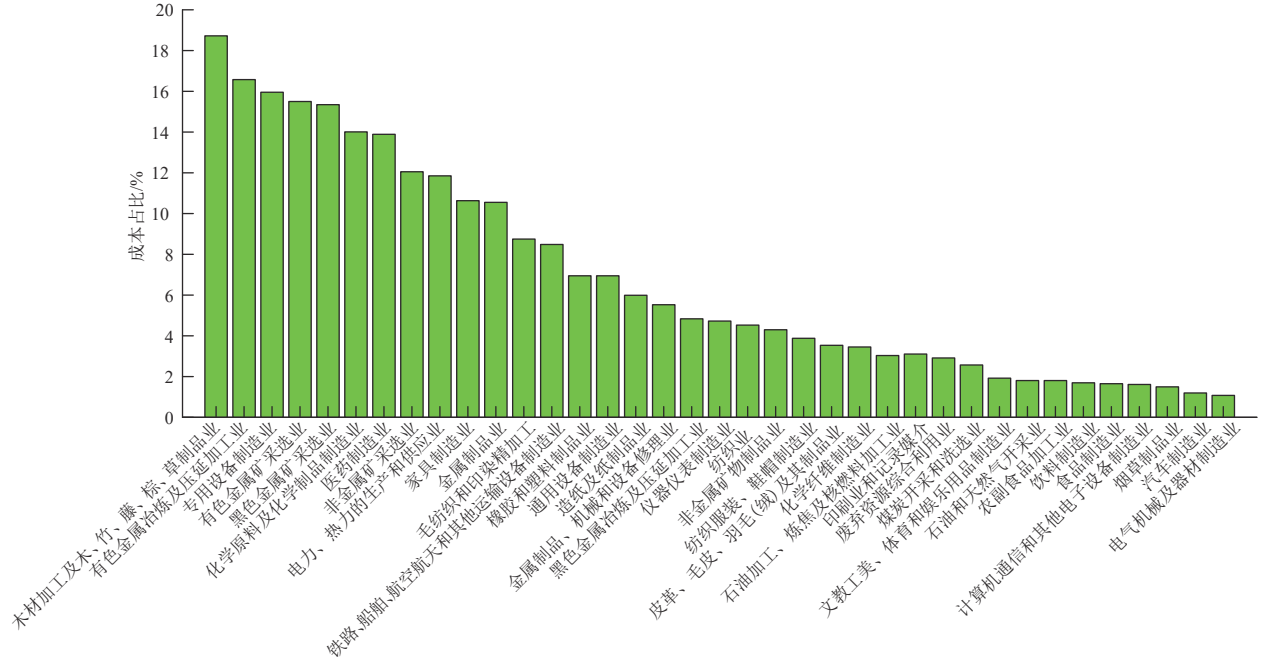


图2 2019年新疆工业行业电费占成本比重排序图

Fig. 2 Sorting of electricity costs as a share of costs in the industrial sector in Xinjiang in 2019

表1 重点行业电价承载能力

Tab. 1 Carrying capacity of electricity prices in key sectors

类别	电解铝	钢铁	多晶硅	煤制烯烃	再生铝	番茄加工
产品终端价格/(元/t)	14 450	3 677	55 000	8 200	19 000	6 000
产品原料成本/(元/t)	5 495	2 015	22 000	1 604.7	10 000	500
产品用电成本/(元/t)	4 495.5	500.0	21 645.0	432.9	216.0	60.0
产品总成本/(元/t)	11 700	2 792	44 300	6 210	15 000	4 800
税金及附加比重/%	10	10	10	10	10	10
各项期间费用比重/%	40	40	40	40	40	40
最低利润率/%	8	8	8	8	8	8
产品价格涨幅/%	-1	-1	-1	-1	-1	-1
原材料价格涨幅/%	1	1	1	1	1	1
电价/[元/(kW·h)]	0.347 9	0.347 9	0.347 9	0.347 9	0.347 9	0.347 9
产品利润率/%	9.52	12.03	9.73	12.13	10.53	10.00
利润率对售价敏感度	0.626 2	0.000 2	0.164 1	0.000 1	0.470 9	0.000 2
利润率对原料敏感度	-0.380	-0.548	-0.400	-0.196	-0.526	-0.083
利润率对电价敏感度	-0.311 1	-0.136 0	-0.393 5	-0.052 8	-0.011 4	-0.010 0
电价承受力/%	0.74	19.17	1.08	57.96	97.22	101.67
最高电价/[元/(kW·h)]	0.350	0.415	0.352	0.550	0.686	0.702

5 结论

对新疆控制能源消费总量和强度向控制碳排放总量和强度的转变进行了研究，提出了碳排放的经济弹性和能源消费弹性2个脱钩弹性指数。为使能耗双控向碳排放双控转变做好规划衔接，逐步实现能源消费与碳排放脱钩，并提升电网保供能力，根据研究结果，给出了新疆能源碳排放控制的相关建议，具体如下：

1) 支撑新型电力系统示范区建设。以“电力+算力”支撑新疆构建控排目标及指标体系，明确电力低碳转型路径并做好新型电力系统规划。围绕用电数据测算区域、行业碳排放变化趋势、结构特征和增减贡献，评估新疆电力碳排放预算，协助主管部门构建新疆能源电力领域降碳指标体系和政策措施，以此为边界条件分析电源结构、电力碳排放、电力供应成本在内的新疆电力低碳转型路径，同步做好电网规划方案。

2) 将电动汽车充换电纳入绿电交易，缓解电网企业供电保障压力和经营压力。优先发展商业化充换电设施，提升充换电设施使用频率与投资回报率，例如可在多个老旧小区附近集中开发商用充换电站，降低老旧小区配电系统改造成本和安全风险。

3) 争取碳排放交易基金补贴，将其作为新能源接网成本回收的补充。若自治区政府设立碳排放交易基金，对政府配额有偿分配的收入进行管理，则可推动新能源接网投资纳入碳排放交易基金补贴范围，对于输配电价不能疏导部分，由碳排放交易基金进行补贴，作为新能源接网成本回收的补充。

4) 完善碳市场配额机制和自愿减排凭证抵消机制设计，畅通绿证兑换渠道。探索抽水蓄能参与碳市场的模式，发挥电价与碳价机制联动作用。

参考文献

[1] 董瑞, 高林, 何松, 等. CCUS技术对我国电力行业低碳转型的意义与挑战[J]. 发电技术, 2022, 43(4): 523-532.
DONG R, GAO L, HE S, et al. Significance and challenges of CCUS technology for low-carbon transformation of China's power industry[J]. Power Generation Technology, 2022, 43(4): 523-532.

[2] 李汪繁, 吴何来. 双碳目标下我国碳市场发展分析及建议[J]. 南方能源建设, 2022, 9(4): 118-126.
LI W F, WU H L. Analysis and suggestions for the development of carbon emissions trading markets in China under carbon peak and neutrality goals[J]. Southern Energy Construction, 2022, 9(4): 118-126.

[3] 单思珂, 刘含笑, 刘美玲, 等. 我国火电行业碳足迹评估综述[J/OL]. 发电技术, 2023: 1-14. (2023-11-17).
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1405.TK.20231116.1057>.

- 002.html.
- SHAN S K, LIU H X, LIU M L, et al. Carbon footprint for thermal power industry in China: a review[J/OL]. Power Generation Technology, 2023: 1-14. (2023-11-17). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1405.TK.20231116.1057.002.html>.
- [4] 吴晓刚, 唐家俊, 吴新华, 等. “双碳”目标下虚拟电厂关键技术与建设现状[J]. 浙江电力, 2022, 41(10): 64-71.
- WU X G, TANG J J, WU X H, et al. Key technologies and present situation of virtual power plant under “dual-carbon” goals[J]. Zhejiang Electric Power, 2022, 41(10): 64-71.
- [5] 傅旭, 王莹玉, 张雨津. 新疆电网调峰需求及储能电源配置[J]. 分布式能源, 2022, 7(5): 63-68.
- FU X, WANG Y Y, ZHANG Y J. Peak regulating demand and energy storage power supply configuration of Xinjiang power grid[J]. Distributed Energy, 2022, 7(5): 63-68.
- [6] 亢朋朋, 王啸天, 陈铨艺, 等. 考虑碳交易的综合能源系统在不同配置情景下的运行分析[J]. 智慧电力, 2023, 51(4): 16-22.
- KANG P P, WANG X T, CHEN Q Y, et al. Operation analysis of integrated energy system considering carbon trading under different configuration scenarios[J]. Smart Power, 2023, 51(4): 16-22.
- [7] 许洪华, 邵桂萍, 鄂春良, 等. 我国未来能源系统及能源转型现实路径研究[J]. 发电技术, 2023, 44(4): 484-491.
- XU H H, SHAO G P, E C L, et al. Research on China's future energy system and the realistic path of energy transformation[J]. Power Generation Technology, 2023, 44(4): 484-491.
- [8] 胡珺, 黄楠, 沈洪涛. 市场激励型环境规制可以推动企业技术创新吗? 基于中国碳排放权交易机制的自然实验[J]. 金融研究, 2020(1): 171-189.
- HU J, HUANG N, SHEN H T. Can market-incentive environmental regulation promote corporate innovation? A natural experiment based on China's carbon emissions trading mechanism[J]. Journal of Financial Research, 2020(1): 171-189.
- [9] 刘传明, 孙喆, 张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 49-58.
- LIU C M, SUN Z, ZHANG J. Research on the effect of carbon emission reduction policy in China's carbon emissions trading pilot[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(11): 49-58.
- [10] 沈洪涛, 黄楠, 刘浪. 碳排放权交易的微观效果及机制研究[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2017(1): 13-22.
- SHEN H T, HUANG N, LIU L. A study of the micro-effect and mechanism of the carbon emission trading scheme[J]. Journal of Xiamen University (Arts & Social Sciences), 2017(1): 13-22.
- [11] 余碧莹, 赵光普, 安润颖, 等. 碳中和目标下中国碳排放路径研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(2): 17-24.
- YU B Y, ZHAO G P, AN R Y, et al. Research on China's CO₂ emission pathway under carbon neutral target[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2021, 23(2): 17-24.
- [12] 黄蕊, 王铮, 丁冠群, 等. 基于STIRPAT模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 地理研究, 2016, 35(4): 781-789.
- HUANG R, WANG Z, DING G Q, et al. Trend prediction and analysis of influencing factors of carbon emissions from energy consumption in Jiangsu Province based on STIRPAT model[J]. Geographical Research, 2016, 35(4): 781-789.
- [13] 张腾飞, 杨俊, 盛鹏飞. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 47-57.
- ZHANG T F, YANG J, SHENG P F. The impacts and channels of urbanization on carbon dioxide emissions in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(2): 47-57.
- [14] 邵帅, 张曦, 赵兴荣. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径: 广义迪氏指数分解和动态情景分析[J]. 中国工业经济, 2017(3): 44-63.
- SHAO S, ZHANG X, ZHAO X R. Empirical decomposition and peaking pathway of carbon dioxide emissions of China's manufacturing sector: generalized dividia index method and dynamic scenario analysis[J]. China Industrial Economics, 2017(3): 44-63.
- [15] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(4): 95-106.
- REN X S, LIU Y J, ZHAO G H. The impact and transmission mechanism of economic agglomeration on carbon intensity[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(4): 95-106.
- [16] 中国建筑节能协会, 重庆大学城乡建设与发展研究院. 中国建筑能耗与碳排放研究报告(2022年)[J]. 建筑, 2023(2): 57-69.
- China Association of Building Energy Efficiency, Institute of Urbanrural Construction and Development of Chongqing

- University. Research report on building energy consumption and carbon emissions in China (2022)[J]. Construction and Architecture, 2023(2): 57-69.
- [17] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素[J]. 地理学报, 2018, 73(3): 414-428.
- WANG S J, SU Y X, ZHAO Y B. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 414-428.
- [18] 李金铠, 马静静, 魏伟. 中国八大综合经济区能源碳排放效率的区域差异研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(6): 109-129.
- LI J K, MA J J, WEI W. Study on regional differences of energy carbon emission efficiency in eight economic areas of China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2020, 37(6): 109-129.
- [19] 汤芳, 代红才, 张宁, 等. 能耗双控向碳排放双控转变影响分析及推进路径设计[J]. 中国电力, 2023, 56(12): 255-261.
- TANG F, DAI H C, ZHANG N, et al. Effect analysis and promotion path design for transformation from energy consumption "dual control" to carbon "dual control"[J]. Electric Power, 2023, 56(12): 255-261.
- [20] 粟世玮, 张谦, 熊炜, 等. 含高渗透可再生能源的动态网络重构与无功电压调整协同优化[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(1): 100-110.
- SU S W, ZHANG Q, XIONG W, et al. Coordination optimization of dynamic network reconfiguration and reactive power voltage regulation with high penetration renewable energy generation[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(1): 100-110.
- [21] 丁峰, 李晓刚, 梁泽琪, 等. 国外可再生能源发展经验及其对我国相关扶持政策的启示[J]. 电力建设, 2022, 43(9): 1-11.
- DING F, LI X G, LIANG Z Q, et al. Review of foreign experience in promoting renewable energy development and inspiration to China[J]. Electric Power Construction, 2022, 43(9): 1-11.
- [22] 黎立丰, 刘春晓, 朱浩骏, 等. 考虑网络安全约束的可再生能源消纳能力评估方法[J]. 电力科学与技术学报, 2023, 38(4): 162-168.
- LI L F, LIU C X, ZHU H J, et al. Absorptive capability evaluation method of renewable energy considering security constraints of power grid[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2023, 38(4): 162-168.
-
- 收稿日期: 2023-12-19.
修回日期: 2024-01-12.
作者简介:
-
- 李昌陵(1986), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力市场及电价机制, 945929951@qq.com;
-
- 卢浩(1989), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为新能源发电与储能技术、能源多相流与传热传质研究、多能互补综合能源系统及建筑节能、能源转型关键技术及实现路径, 本文通信作者, luhao@xju.edu.cn.
- (责任编辑 苗雪连)