

基于 STIRPAT 模型的中国电力行业碳排放影响因素分析研究

王秀兰¹ 成常杰²

(1. 国网上海市电力公司信息通信公司 2. 欧冶云商股份有限公司)

摘要：电力行业碳排放量占中国碳排放总量较大比重，研究电力行业碳排放的影响因素并针对性制定减排政策对中国节能减排有着重要意义。本文选取我国 2011~2021 年的电力行业二氧化碳排放数据为样本，采用 STIRPAT 模型全面地对影响中国电力行业二氧化碳排放的驱动因素进行分析。研究结果表明，人口规模和城镇化水平是影响二氧化碳排放的首要因素，经济发展水平，电力结构，能源强度，电力行业燃煤量，产业结构是影响二氧化碳排放的次要因素，能源价格对电力行业二氧化碳排放没有太大影响。

关键词：电力碳排放；影响因素；人口规模；城镇化水平

2025.05.DQGY
99

0 引言

全球碳排放总量在经历新冠疫情导致的暂时下降后，2021 年又有所回升。中国作为世界上最大的碳排放国，面临着经济发展与减缓气候变化的双重挑战^[1]。中国政府已经宣布碳达峰、碳中和目标，即力争于 2030 年前达到碳排放峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。电力行业是中国碳排放的最大单一来源，约占全国总排放量的 40%^[2]。中国电力行业碳达峰、碳中和的实现，需要以节能与掺烧为引领，大力发展风电与太阳能发电，同时以储能与碳捕集为补充，保障电力系统稳定^[3]。

目前对二氧化碳排放量有大量的研究文献。在农业、交通运输业、旅游业、服务业、家庭消费方面都有深入的研究^[4-8]。在电力行业方面，侯建朝等构建了电力生产碳排放变化影响因素模型，利用对数

平均权重法将 CO₂ 排放变化分解为收入效应、电力生产强度效应、电力生产结构效应、人口效应和发电煤耗效应^[9]。霍沫霖等利用 LMDI 模型，研究了厂用电率、发电结构、发电煤耗、线损率等因素变化对电力工业碳排放量变化的影响^[10]。Zhao X 等采用 ARDL 模型分析研究了行业增加值、火电设备平均利用小时数和标准煤耗率三个因素对中国电力工业碳排放的影响^[11]。

以上文献在分析电力碳排放的影响因素时，主要局限于电力工业，从电力生产角度去分析，缺乏对中国电力所处的经济社会宏观背景的考虑；本文从电力行业全过程，引入电力行业燃煤量，电力结构，经济发展水平，人口规模，城镇化水平，能源价格，能源强度与产业结构等因素，采用 STIRPAT 模型全面地对 2011 至 2021 年影响中国电力行业碳排放的因素

进行分析。

1 研究方法与数据来源

1.1 影响因素选取

本文选取电力行业燃煤量，电力结构，能源价格，人口规模，城镇化水平，经济发展水平，产业结构，能源强度 8 个可能影响电力行业二氧化碳排放量的因素。

首先，火力发电在全国发电量中占据重要位置，其中燃煤发电是主要的发电方式，所以选取电力行业燃煤量与电力结构等作为可能影响因素；其次，随着经济发展水平提高，人口增多，城市化进程的加快，也会引起二氧化碳排放量增加，所以选取经济发展水平，人口规模，城镇化水平等几个作为可能影响因素；最后能源的使用与产业结构的变化也可能成为影响二氧化碳排放的因素，在这里选取的是能源价格、能源强度与产业结构。

1.2 模型建立

STIRPAT 模型：

$$I = a \times P^g \times A^c \times T^d \times e \quad (1)$$

式中， a 为模型的比例常数项； g ， c ， d 均为指数项； e 为误差项。构造 STIRPAT 模型的碳排放计量模型：

$$EM = a \times U^b \times A^c \times T^d \times S^e \times E^f \times P^g \times Q^h \times Z^i \quad (2)$$

式中， EM ， U ， A ， T ， S ， E ， P ， Q ， Z 分别为碳排放量，电力行业燃煤量，电力结构，经济发展水平，人口规模，城镇化水平，能源价格，能源强度与产业结构； b ， c ， d ， e ， f ， g ， h ， i 为参数，利用偏最小二乘回归法分析碳排放因素。

1.3 数据来源

本文以 2011~2021 年为研究期。人口数量，人均 GDP，居民消费价格指数，城镇人口数量，第二产业值，第三产业值等数据及电力行业燃煤量，火电发电

量，总发电量，单位发电量的标准煤耗数据均来自历年的《中国统计年鉴》和《中国能源年鉴》。本文的碳排放量和 8 个影响因素指标，数据的统计描述见表 1。

表 1 电力碳排放量及影响因素统计数据

指标	样本	平均值	标准差	最大值	最小值
电力碳排放量/mt	11	3838.61	420.61	4620.41	3318.15
电力行业燃煤量/kt	11	1.96	0.17	2.33	1.76
电力结构/%	11	73.52	4.35	81.34	68.03
经济发展水平/USD	11	8560.91	2087.78	12551.00	5432.00
人口规模	11	13.84	0.24	14.13	13.47
城镇化水平/%	11	57.55	4.41	64.72	51.27
能源价格	11	102.36	1.17	105.40	100.90
能源强度/%	11	11.47	1.80	14.94	8.85
产业结构/%	11	82.56	12.39	104.97	69.36

2 结果分析

2.1 主成分分析

模型（2）变量分析显示变量间存在共线性，采用偏最小二乘回归拟合方程进行主成分分析，结果见表 2。

表 2 主成分分析结果

成分	总计	方差百分比/%	方差累计百分比/%
1	6.924	86.5	86.5
2	0.642	08.0	94.6
3	0.370	04.6	99.2
4	0.032	00.4	99.6
5	0.018	00.2	99.8
6	0.008	00.1	99.9
7	0.006	00.1	100.0
8	0.000	00.0	100.0

这里，将累计贡献率大于 90% 的成分视为主成分，故筛选后提取 2 个主成分并用 F_1 和 F_2 表示。为方便计算，将表 1 数据进行标准化，并用 $X_1 \sim X_8$ 表示 8 项影响因素标准化后的数据，将主成分分别作为因变量，进行最小二乘回归，结果见表 3。

表 3 主成分与 8 个变量的回归结果

指标	F_1	F_2
X_1	0.32446544	0.31827505
X_2	-0.3746976	-0.0260293
X_3	0.37782316	0.0273367
X_4	0.37147056	0.16946171
X_5	0.37342552	0.16151266
X_6	-0.25252	0.91732609
X_7	-0.3772315	0.01074035
X_8	-0.357864	0.01074035

2.2 回归分析

根据主成分的参数表达,对主成分进行回归拟合,结果为:

$$E = 1.4229F_1 + 0.1953F_2 - 0.1887 \quad (3)$$

式中, $E = \ln E_M$ 。模型相关系数 $R^2 = 0.987$, 显示拟合效果非常好, 并且各系数均通过显著性检验。

最终得到:

$$E = 0.5238X_1 - 0.5382X_2 + 0.5429X_3 + 0.5617X_4 + 0.5629X_5 - 0.1801X_6 - 0.5071X_7 - 0.531X_8 - 0.1887 \quad (4)$$

即:

$$EM = 0.828 \times X_1^{0.5238} \times X_2^{-0.5382} \times X_3^{0.5429} \times X_4^{0.5617} \times X_5^{0.5629} \times X_6^{-0.1801} \times X_7^{-0.5071} \times X_8^{-0.531} \quad (5)$$

2.3 结果显示

1) 电力行业燃煤量每变化 1 个单位, 碳排放量上升 0.5238mt。火力发电仍占据我国发电重要位置, 然而火力发电燃烧的煤会释放大量二氧化碳, 由此对电力行业二氧化碳排放量上升具有重要影响; 电力结构每减少 1 个单位, 碳排放量上升 0.5382mt。这项影响因素之所以为负向效应, 源于火力发电在每年全国发电总量中占比越来越低, 但每年碳排放量仍越来越高, 说明除了火力发电, 其他多种因素对电力行业碳排放量有着更多影响。

2) 经济发展水平每变化 1 个单位, 碳排放量上升 0.5429mt。随着人均收入的增加, 工业化和能源消耗随之增加, 碳排放量也会相应增加; 人口规模每变化 1 个单位, 碳排放量增加 0.5617mt。人口规模的增加会增加能源需求, 尤其是能源供应主要依赖化石燃料时, 从而增加碳排放量; 城镇化水平升高 1 个单位, 碳排放量上升 0.5629mt。城镇化可能会推动经济增长, 而经济增长又可能会增加能源消耗和碳排放。

3) 能源价格每变化 1 个单位, 碳排放量下降 0.1801mt。这里, 能源价格用居民消费价格指数衡量, 指数降低, 居民消费能力上升, 能耗上升, 故

碳排放量随之上升; 能源强度每变化 1 个单位, 碳排放量下降 0.5071mt。能源强度用能源消费量与国民生产总值的比值来表示, 当能源消耗量增速小于 GDP 增速时, 碳排放量上升, 这也从侧面说明, 随着社会进步, 科技发展, 单位 GDP 的能耗是不断下降的; 产业结构每变化 1 个单位, 碳排放量下降 0.531mt。产业结构用二、三产业比值表示, 第三产业发展势头强劲, 二、三产业比值下降, 碳排放量上升。

3 结束语

影响电力行业碳排放量两个主要因素是人口规模和城镇化水平, 其次是经济发展水平, 电力结构, 能源强度, 电力行业燃煤量, 产业结构, 最后是能源价格。其中, 具有正向效应的是电力行业燃煤量, 经济发展水平, 人口规模, 城镇化水平, 负向效应的是电力结构, 能源价格, 能源强度与产业结构。

中国电力行业要实现“双碳”的目标, 需要政府、企业和社会各界的共同努力, 在绿色政策的基础上, 还需要通过优化能源结构、提高能源利用效率、发展可再生能源以及引入碳市场机制等措施, 大力发展风能、太阳能等可再生能源, 提高其发电比重, 减少对化石燃料的依赖并通过技术创新和管理优化, 提高煤电和整体电力系统的能效, 同时做好包括储能、智能电网在内的支撑电力行业可持续发展的重大前沿技术的研发和攻关, 为中长期电力行业的颠覆性创新做好准备。

参考文献

- [1] Quan Liu, et al. Spatial network analysis of carbon emissions from the electricity sector in

- China[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 262 (prepublsh) : 121193.
- [2] Liao C, Wang S, Zhang Y, et al. Driving forces and clustering analysis of provincial-level CO₂ emissions from the power sector in China from 2005 to 2015[J]. Journal of Cleaner Production, 2019 (240) : 118026.
- [3] 舒印彪, 张丽英, 张运洲, 等. 我国电力碳达峰, 碳中和路径研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23 (6) : 1-14.
- [4] 胡婉玲, 张金鑫, 王红玲. 中国农业碳排放特征及影响因素研究 [J]. 统计与决策, 2020, 36 (5) : 56-62.
- [5] 陈滨霞, 周东海, 蒋远营. 中国交通运输业对碳排放的时变成因研究——基于 TVP 模型 [J]. 生态经济, 2020, 36 (4) : 19-25.
- [6] 汤姿, 李晓红. 基于 STIRPAT 模型的黑龙江省旅游业二氧化碳排放影响因素分析 [J]. 生态经济, 2019, 35 (8) : 141-145.
- [7] 夏鸣, 勾寂鉴, 李书书. 我国第三产业碳排放的影响因素分析——基于 LMDI-PDA 分解法 [J]. 营销界, 2019 (52) : 54-55.
- [8] 刘燕. 中国家庭消费碳排放及影响因素研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [9] 侯建朝, 谭忠富. 电力生产 CO₂ 排放变化影响因素分解 [J]. 中国电力, 2011, 44 (11) : 39-42.
- [10] 霍沫霖, 韩新阳, 单葆国. 中国电力工业碳排放强度影响因素实证分析 [J]. 中国电力, 2013, 46 (12) : 122-126.
- [11] Zhao X, Ma Q, Yang R. Factors influencing CO₂ emissions in China's power industry : Co-integration analysis[J]. Energy Policy, 2013, 57 (6) : 89-98.

(收稿日期: 2024-09-15)