



移动扫码阅读

马建中,王琨,朱虹,等. 浅析安徽省工业能源消费对二氧化碳排放的影响[J].能源环境保护,2021,35(1): 104-108.

MA Jianzhong, WANG Kun, ZHU Hong, et al. Discussion on the influence of energy consumption of industry on CO₂ emission in Anhui Province[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(1): 104-108.

浅析安徽省工业能源消费对二氧化碳排放的影响

马建中¹,王 琨^{1,2},朱 虹^{1,2},黄 和¹,胡槐生^{1,2},
徐 波^{1,2},温 泉^{1,2},贾 利¹,朱宇军¹

(1.中国能源建设集团安徽省电力设计院有限公司,安徽 合肥 230601;

2.安徽省能源研究院,安徽 合肥 230601)

摘要:基于安徽省2004~2018年工业能源消费及经济社会指标,采用环境库兹涅茨曲线和因素分解法分析了CO₂排放量变化趋势。结果表明:安徽省工业能源消费导致CO₂排放量逐年增加,CO₂排放贡献由2004年的66.2%增加至2013年的77.8%,而后缓慢下降至2018年的77.3%;能源结构碳强度是安徽省CO₂排放量的主要因素;CO₂排放拐点在人均GDP产值为3.25~3.59万元之间;规模效应-人均GDP、结构效应和技术效应是影响安徽省工业碳排放的主要因素。预测结果表明:2022年安徽省二氧化碳排放强度将下降至0.283 tCO₂/万元。

关键词:碳排放;能源消费;安徽省;预测

中图分类号:X32

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)01-0104-05

Discussion on the influence of energy consumption of industry on CO₂ emission in Anhui Province

MA Jianzhong¹, WANG Kun^{1,2}, ZHU Hong^{1,2}, HANG He¹, HU Huaisheng^{1,2},
XU Bo^{1,2}, WEN Quan^{1,2}, JIA Li¹, ZHU Yujun¹

(1. China Energy Engineering Group Anhui Electric Power Design Institute Co., Ltd., Hefei 230601, China;

2. Anhui Energy Research Institute, Hefei 230601, China)

Abstract: Based on the industrial energy consumption and economic and social index of Anhui Province from 2004 to 2018, the trend of CO₂ emission was analyzed by Environmental Kuznets Curve and factor decomposition method. The results show that industrial energy consumption in Anhui leads to an increase in CO₂ emission year by year. The contribution of CO₂ emission increases from 66.2% in 2004 to 77.8% in 2013, and then slowly decreases to 77.3% in 2018. The carbon intensity of energy structure is the main factor of CO₂ emission. The inflection point of CO₂ emission is between RMB 32,500~35,900 per capita GDP. Scale effect-GDP per capita, structural effect and technological effect are the main factors affecting industrial carbon emission in Anhui. The prediction result shows that the carbon dioxide emission intensity of Anhui will drop to 0.283 t CO₂/10,000 yuan in 2022.

Key Words: CO₂ emission; Energy consumption; Anhui province; Prediction

0 引言

近几十年来我国经济快速发展,能源消费总

量呈逐年增加的趋势,造成了相关环境污染等一系列问题。在第七十五届联合国大会上,习近平总书记也表示中国将在2030年二氧化碳排放达

到峰值,这意味着我国在为减缓气候变暖影响的贡献上,加快了“减碳”的快进键。随着我国 82 个省市开展低碳建设,制定各省市的行业碳排放清单和企业碳排放核查成为当前“减碳”工作的重点。现有研究认为 90% 的二氧化碳排放来自于工业活动化石燃料的燃烧,工业能源消费是当前温室气体排放的主要来源。

安徽省作为我国中部能源消费大省自 2004 年以来工业能源消费快速增长。根据安徽省统计年鉴显示,全省能源总消费从 2004 年的 6 209 万吨标准煤增加到 2018 年的 13 228 万吨,平均增长率约为 6%。截止 2018 年,工业能源消费占比为 63%。安徽省《温室气体排放控制方案》提出,2020 年安徽省碳排放单位总值需比 2015 年下降 18%。在此背景下,建立适合安徽省地区尺度的工业能源消费与碳排放的关联模型对于制定能源政策和“十四五”规划十分重要。

目前影响碳排放的因素主要研究方法为因素分解和计量经济学方法。本文通过环境库茨曲线及因素分解法(Logarithmic Mean Weight Divisia Index, LMDI)对不同产业和经济指标与安徽省工业碳排放强度关联进行了分析。发现碳排放量与人均产值(GDP)、产业结构、能源消费结构及基础研发投入存在较强的关联,且安徽省接近人均二氧化碳排放拐点。本文的研究结果对实现安徽省低碳绿色发展的政策制定具有一定的指导意义。

1 研究方法和数据来源

1.1 环境库兹涅茨曲线

环境库兹涅茨曲线是美国经济学家 G. Grossman 和 A. Kureger 通过研究经济增长和环境污染之间的倒 U 型的关系提出的函数方法。本文中为环境质量随着经济增长的积累呈现的变化趋势,其表达式如下所示:

$$\text{污染物} = \alpha_1 + \alpha_2 \text{GDP} + \alpha_3 \text{GDP}^2 + \beta \quad (1)$$

1.2 因素分解法

根据 Grossman 和 Krueger 对污染物排放因素的公式分解,二氧化碳的排放可以分解为规模效应、结构效应和技术效应,如下式(2)表示:

$$\text{CO}_2 = Y \times S \times T \quad (2)$$

本文沿袭 Grossman 和 Kureger 研究思路将经济社会发展对 CO₂ 的排放拆分为若干因素且遵循上述模型。

1.3 CO₂排放量估算

工业能源消耗造成的二氧化碳排放由两部分组成。一类是化石燃料的燃烧和消耗的逸散过程,本文中统计的为化石燃料:煤炭、石油和天然气类。另一方面为热力和电力供应企业消耗隐含的电力生产时二氧化碳排放。公式 3 可估算出安徽省工业年二氧化碳排放量:

$$\text{CFEC} = \sum EF_i \times \text{CEF}_i \quad (3)$$

式中,CFEC 为工业能源消耗的 CO₂ 排放量,单位 tCO₂;EF_i 为碳排放系数,tCO₂/t;CEF 为工业能源消费量。根据《省级温室气体清单编制指南》,能源消费的 CO₂ 排放系数如表 1 所示。

表 1 主要能源二氧化碳排放系数

Table 1 CO₂ emission coefficient of major energy sources

种类	原煤	洗精煤	其它洗煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化气	天然气
系数	1.900 7	2.209 5	0.701 4	2.853 0	3.017 0	2.925 7	3.152 4	3.096 0	3.1712	3.102 0	21.655 1

注:化石能源单位为 tCO₂/t;天然气为 tCO₂/万 Nm³;电力为 tCO₂/MWh;热力为 tCO₂/GJ。

1.4 数据来源

本文 2004~2018 年安徽省工业能源消费及经济社会指标(GDP 等)相关数据来源于《安徽统计年鉴》。在核算过程中采用煤炭、原油等 13 类能源消费。碳排放系数来源于省级温室气体清单编制指南。

2 结果与分析

2.1 安徽省能源消费及 CO₂排放量分析

通过安徽省 2004~2018 年能源消费相关数据

估算出安徽省历年来工业二氧化碳排放量变化情况,结果如图 1 所示。安徽省能源消费二氧化碳排放量从 2004 年的 2.26 亿吨增加到 2018 年的 5.35 亿吨。从图中可以看出,2004 至 2013 年间,安徽省能源消费二氧化碳排放量快速增加,年平均增长率约为 10%。这阶段安徽省工业 GDP 也从 2004 年的 1 736 亿元增长到 2013 年 8 928 亿元,工业产值占比也从 31.3% 大幅增长到 46.2%。可以得出,安徽省在 2004~2013 年间的能源消费二氧化碳排放快速增加是由于工业产值的急速增长引起的。

能源消费引起的二氧化碳排在 2013 年出现拐点。此后五年内,CO₂排放量的平均增长率下降至 1%。此阶段,安徽省工业产值占比 46.2% 下降至 38.9%。通过对化石能源种类的贡献分析,煤炭类能源 CO₂排放贡献从 2004 年的 66.2% 增加至 2013 年的 77.8% 后又缓慢下降至 2018 年的 77.3%。

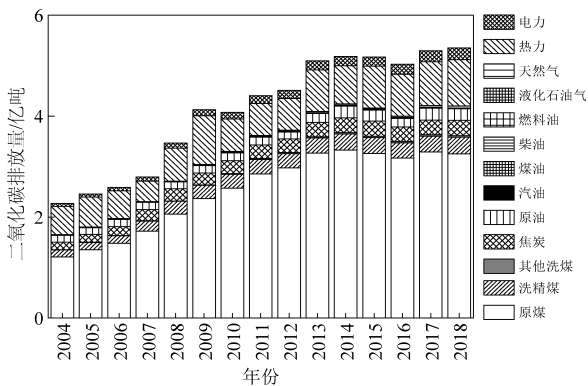


图 1 安徽省 2004~2018 年度不同能源消费对二氧化碳排放量的贡献

Fig.1 Contribution of different energy consumption to carbon dioxide emission in Anhui Province from 2004 to 2018

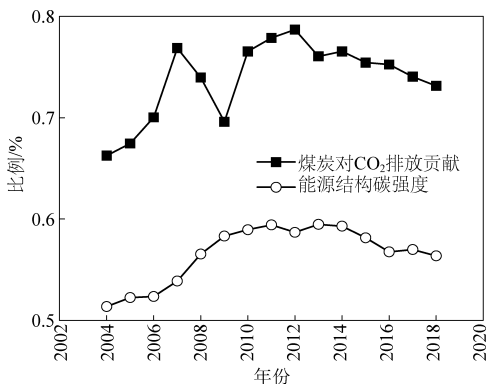


图 2 2004~2018 年度安徽省煤炭类消费对二氧化碳排放的贡献及能源结构碳强度

Fig.2 Contribution of coal consumption to carbon dioxide emission and carbon intensity of energy structure in Anhui Province from 2004 to 2018

上述结果过可以得出安徽省 CO₂排放主要来源于煤炭类能源的消费。如图 2 所示,能源结构中碳强度(即碳消费量能源占比)与煤炭对 CO₂排放的贡献的比例走势基本一致,煤炭消费比例上升带动了能源结构碳强度从而导致了 CO₂的大量排放。

2.2 CO₂排放环境库兹涅茨曲线分析

通过环境库兹涅茨曲线进一步分析安徽省碳排放与产业增长之间的关联。环境库兹涅茨曲线描述了人均 GDP 与二氧化碳排放之间的关联,其模型表达如下所述:

$$CO_2 = a + b \times GDP + c \times GDP^2 \quad (4)$$

$$CO_2 = b \times GDP + c \times GDP^2 \quad (5)$$

式中,GDP 为人均 GDP,单位为万元,CO₂为人均二氧化碳年排放量,单位为吨。根据库兹涅茨模型,上述方程中系数项 $c < 0$,此时库兹涅茨曲线形状为倒“U”型,出现人均二氧化碳排放拐点,如图 3 所示。我省人均 CO₂排放量拐点(ε)可由式 6 计算而得:

$$\varepsilon = -b/2c \quad (6)$$

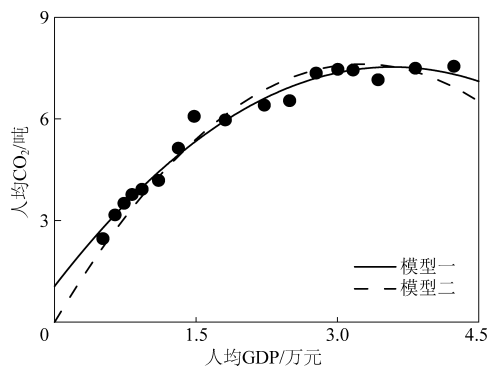


图 3 安徽省二氧化碳排放库兹涅茨曲线

Fig.3 Kuznets curve of carbon dioxide emission in Anhui Province

由式 6 分别计算出两种模型下的库兹涅茨曲线的拐点为 3.25 和 3.59 万元。上述结果表明,当人均产值小于 3.6 万元,人均 CO₂排放随着人均收入的增加而增加;当人均产值大于 3.6 万元时,人均 CO₂排放会随着人均收入的增加而开始降低。截止 2018 年我省人均 GDP 为 4.23 万元,已处于环境库兹涅茨曲线拐点右侧,未来随着经济的持续发展,人均 CO₂排放量会进一步走低。这一结果对于认识和了解安徽省碳排放情况十分重要。但是随着近年新冠疫情造成的经济影响及中央对未来几年我国经济将处于低速增长的判断,3.6 万元的人均 GDP 二氧化碳排放拐点需要进一步验证,下文将从多个分解因素来分析安徽省二氧化碳排放趋势与关联。

2.3 研发投入对 CO₂排放量的影响

图 4 展示了安徽省 2004~2018 年碳排放量与碳排放强度的变化趋势。从图中可以看出,安徽省的碳排放量逐年增加从 2.26 亿吨增加到 5.35 亿吨,同时碳排放强度持续走低,从 2004 年的 4.76 吨 CO₂/万元降低至 2018 年的 1.78 吨 CO₂/万元。

这一结果表明随着产业的快速发展,单位 GDP 二氧化碳排放量会逐渐降低,其原因是由于产业经济的发展,工业技术得到提高,在投入相同数量的原材料下,工业经济提升的同时碳排放量有所下降。为了进一步考察这一关联,图 5 展示

了研发投入(R&D)与单位能耗与碳排放强度的负相关性,其表达式如下方程:

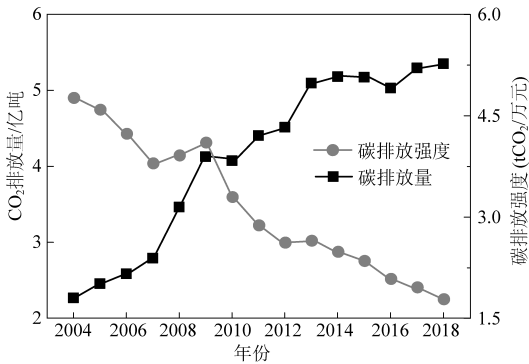


图4 安徽省2004~2018年度碳排放量与碳排放强度变化

Fig.4 Change of carbon emission and carbon emission intensity in Anhui Province from 2004 to 2018

$$\text{碳排放强度} = -200.6 \times \text{R\&D} + 6.15 \quad (7)$$

$$\text{单位能耗} = -66.7 \times \text{R\&D} + 1.63 \quad (8)$$

由图可得,R&D投入每增加1亿元单位能耗和CO₂排放强度将分别下降66.7吨标准煤/万元和200.6吨CO₂/万元。试验研发投入显著影响碳排放和碳排放强度,因此加大研发投入促进技术升级和产业转型有利于降低碳排放量实现低碳经济。

2.4 CO₂排放量因素模型分析

根据本文的上述研究成果,在规模方面考察了人

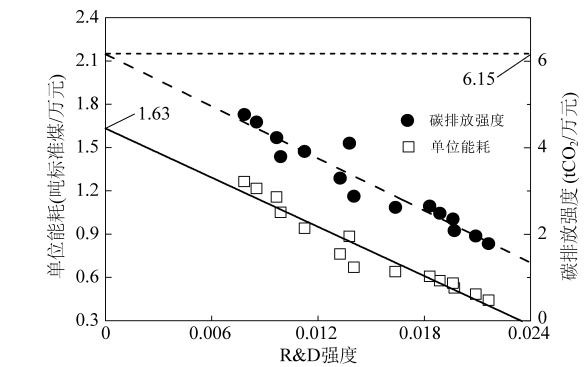
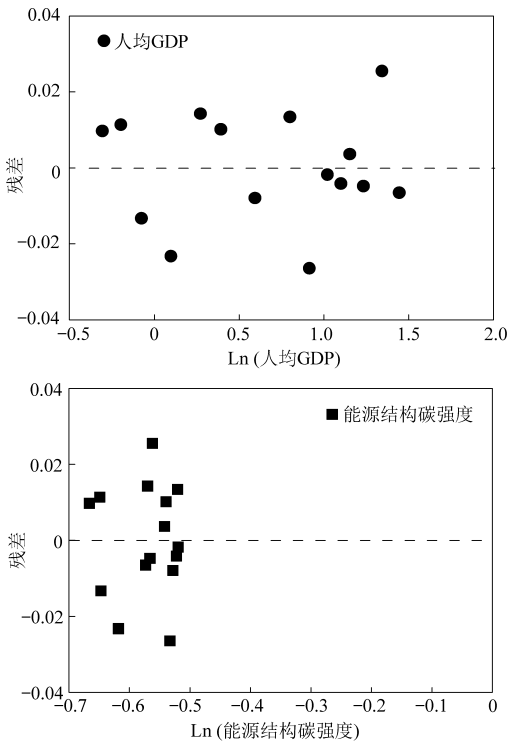


图5 2004~2018年度安徽省研究与试验发展经费支出强度与碳排放强度和单位能耗之间的线性拟合

Fig.5 Linear fitting between R&D expenditure intensity, carbon emission intensity and unit energy consumption in Anhui Province from 2004 to 2018

均GDP,将结构因素分解为工业产值占比和能源结构碳强度,而技术要素考察了研发投入(R&D)的关联。因此,本文中关于碳排放强度与规模、结构及结构效应的函数为:

$$\ln \text{CO}_2 = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_i + \alpha_2 \ln S_i + \alpha_3 \ln S_i + \alpha_4 \ln T_i + \varepsilon \quad (9)$$

式中,CO₂表示二氧化碳排放强度, α_0 是截距项, ε 是随机项, Y 是安徽省人均GDP表示规模效应, S 是产业结构分别由工业产值占比(S_i)和能源结构碳强度(S_i), T 表示我省R&D投入强度。 X 变化量的残差范围见图6。

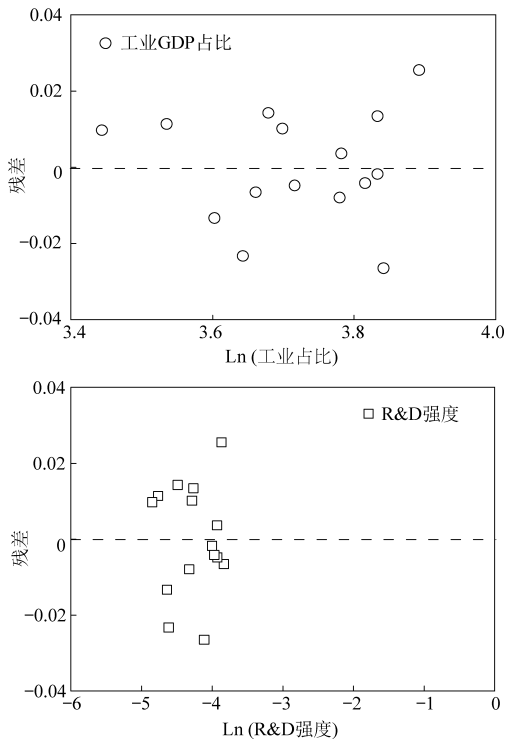


图6 多元线性回归变量(人均GDP、工业产值占比、能源结构碳强度、R&D强度)残差图

Fig.6 Residual diagram of multiple linear regression variables (per capita GDP, industrial output value ratio, carbon intensity of energy structure, R&D intensity)

对上述变化量做偏最小二乘回归模型预测法(线性回归预测)。根据表 2 协整检验结果,本文所选取的变量在 1% 的显著性水平下通过了面板协整实验,可以选择线性回归进行预测分析。

表 2 协整检验结果

Table 2 Co-integration test results

	t 统计值	P 值
截距	10.30	<0.000 1
人均 GDP	-17.15	<0.000 1
工业产值占比	-1.91	0.08
能源结构碳强度	9.81	<0.000 1
R&D 强度	5.52	<0.000 1

图 6 展示了 X 变化量的残差范围,可以发现预测范围较好,误差较小。结合偏最小二乘回归模型预测法,得出 2019~2022 年碳排放强度变化趋势,如表 3 所示。2019 年碳排放强度为 0.497 tCO₂/万元,比 2018 年下降 14.9%。而到 2022 年我省二氧化碳排放强度下降至 0.283 tCO₂/万元,比 2018 年下降 51.5%。安徽省在未来 4 年中由于加大技术研发投入和改变能源结构碳强度将会有效降低工业能源消费碳排放。虽然总体上碳排放强度降低,但是由于产业经济的发展,GDP 会继续增加这使得安徽省在工业碳排放总量控制上依然需要加大碳减排力度,争取实现“十四五”减碳目标。

表 3 2019~2022 年安徽省碳排放强度预测结果

Table 3 Forecast results of carbon emission intensity of Anhui Province in 2019-2022

	tCO ₂ /万元		
年份	2019	2020	2021
预测结果	0.497	0.426	0.354

3 结论

本文按不同工业化石能源种类的消费量计算了安徽省 2004~2018 年间二氧化碳排放量并分析了其变化趋势。根据本文研究结果可以得出安徽省工业能源消费导致二氧化碳排放量逐年增加,但在 2013 年出现拐点后增长趋势显著下降。这一现象是安徽省在 2013 年后煤炭类占能源消费总量比例下降引起,能源结构碳强度是安徽省二氧化碳排放量的主要因素。环境库尔涅茨曲线简单模型分析得出安徽省二氧化碳排放拐点在人均 GDP 产值 3.25~3.59 万元之间。碳排放因素分解结果表明,规模效应-人均 GDP、结构效应(能源结构碳强度及工业产值占比)和技术效应(R&D 投入)是影响安徽省工业碳排放的主要因素。预测结果表明安徽省的碳排放强度在未来 4 年内会进

一步降低。根据以上结论,为实现安徽省的低碳经济发展和实现碳中和远景目标提出如下建议:

(1) 产业结构方面,工业能源消费碳排放量与工业产值占比存在紧密的关联,虽然截止 2018 年,工业产值比重已经降到 38.9%,但是依然高于第三产业。因此需要发挥政府主导作用,利用经济结构转型机遇提高科技型制造业和第三产业比例,降低传统高能耗产业比重,从而在总量上控制碳排放。

(2) 根据本文研究结果可知,煤炭类消费比例在安徽省能源消费结构中依然过高,2018 年能源结构碳强度为 56.3%,未来我省在能源结构方面可以通过政策引导,因地制宜提高新能源(如风能、太阳能)比例。尤其是继续加大基础试验投入,改进工艺技术,提高化石能源利用效率,促进低碳经济发展。

(3) 环境经济学分析结果表明安徽省经济增长存在碳排放和能源消费的刚性需求,强制化的碳减排工作必然会以阻碍经济发展和城市化进程为代价。因此在保持人均 GDP 增长的同时,减缓二氧化碳的排放可以通过降低能源强度和煤炭消费比例而实现的。由于安徽省重工业对煤炭的依赖性使得技术改进尤其是提高化石燃料效率应该是未来我省科技发展规划的重要方向。

参考文献

- [1] 张丹,刘建文,高一茹. 四川省工业碳排放量影响因素与预测[J]. 重庆交通大学学报(社会科学版), 2019, 19(4): 90-96.
- [2] 周洪源,汪家权,胡淑恒,等. 安徽省工业化石能源消费碳排放研究[J]. 工业安全与环保, 2016, 42(11): 94-97.
- [3] Grossman. M., Krueger A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement [J]. NBER Working Paper, 1992, 8(2): 223-250.
- [4] 蒋桂莉. 省际 R&D 技术溢出及其对碳排放的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018: 62-64.
- [5] 林伯强. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009, 187(4): 27-36.
- [6] 李珍珍. 湖南省化石能源消费碳排放影响因素分析[J]. 合作经济与科技, 2020(6): 56-58.
- [7] 任晓航,王震,张雨濛. 中国碳排放、清洁能源与经济增长的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 183(S2): 6-9.
- [8] 项鹏程. 山东省能源消费碳排放驱动因子分析及趋势预测[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016: 4-30.
- [9] 王帅. 中国能源使用绿色化、碳排放与经济增长的关系研究[J]. 软科学, 2020, 34(10): 7-11+24.
- [10] Creutzg, Goldschmidt, Lehmann P, et al., Catching two European birds with one renewable stone: Mitigating climate change and Eurozone crisis by an energy transition [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 38(5): 1015-1028.