

# 2013 ~ 2020 年江苏省碳排放驱动因素趋势预测

唐德才, 吴梅

(南京信息工程大学 经济管理学院, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 根据江苏省历年经济统计数据及能源消费数据进行灰色GM(1, 1)预测和多项式组合预测, 并对预测数据进行LMDI分解分析。结果表明: (1) 2013~2020年江苏省碳排放量仍会持续增加; (2) 人口、产业结构和能源强度的变动都会带动碳排放增长; (3) 经济增长仍是未来碳排放量不断增加的主要推动因素, 而能源效率提升将在很大程度上减缓未来碳排放增长趋势; (4) 产业结构对未来碳排放增长的抑制作用逐渐增强, 而能源消费结构对未来碳排放增长的抑制作用逐渐削弱, 甚至消失。最后, 指出未来江苏省的减排重点是降低第二产业碳排放、提高能源利用率, 同时兼顾第三产业的碳排放等建议, 为江苏省及其他类似省份制定减排政策提供决策参考。

**关键词:** 碳排放; 灰色预测GM(1, 1)模型; LMDI分解模型; 趋势预测

**中图分类号:** F427; F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2016)01-063-05

## Prediction in Driving Factors' Trend of Carbon Emissions in Jiangsu Province during 2013-2020

TANG Decai, WU Mei

(School of Economics & Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210044, China)

**Abstract:** According to the economy and energy consumption statistics in Jiangsu province, we used forecast model GM(1, 1) and polynomial combination to forecast first, then took LMDI decomposition analysis on the prediction data. The results showed that: (1) carbon emissions will continue to increase in Jiangsu province during 2013-2020; (2) the change of population, industrial structure and energy intensity will have positive influence on the growth of carbon emissions; (3) economic growth is still the main reason for carbon emissions' growth in the future, while energy efficiency is the main inhibiting factors of carbon emissions' growth; (4) the inhibiting effect of industrial structure on future carbon emissions will be enhanced gradually, while the inhibiting effect of energy consumption structure on future carbon emissions will be weakened gradually, and even disappeared. Finally, we provided some advice on decision-making for Jiangsu and other provinces. Such as the key to reduce emissions in Jiangsu province is to reduce emissions in the second industry and improve the efficiency of energy utilization. Also the carbon emissions of the tertiary industry should be taking into consideration.

**Key words:** carbon emissions; GM(1, 1); LMDI decomposition analysis model; trend prediction

## 1 引言

近年来气候变化问题受到世界各地政府和相关人士的广泛关注。联合国政府间气候变化专门委员会在1990年、1995年、2001年、2007年、2012年针对气候变化问题发布了五次评估报告, 深入揭示气候变化产生的原因与其对全球产生的影响。有不少文献认为气候变化在很大程度上与碳排放有关, 因此在气候变化背景下研究碳排放问题具有实际意义。江苏省作为我国的经济大省, 每年的化石能源消耗量也位居全国前列。尽管其生产条件、减排技术等方面具有一定的优势, 但伴随着江苏省内城际高铁的加快建设, 全省44个县市, 26个将通高铁, 预计江苏省的城市化、工业化进程将进一步加快, 对能源的需求将有增无减, 经济发展的同时将来更多碳排放。因此, 科学分

析江苏省未来的碳排放趋势, 找到减排方向, 具有指导意义。我们对现有相关文献进行了梳理, 发现对碳排放的研究主要集中在以下几个方面。

(1) 碳排放核算方法。很多文献在涉及碳排放量时都从能源消费量的角度来计算, 当面临的碳排放对象不同时, 其方法稍有差异。王海鲲等在研究城市碳排放核算时, 从工业、交通、居民生活、商业等方面的能源消耗进行计算<sup>[1]</sup>; 张雁飞等以园区内部能源直接燃烧、固体废弃物处理和园区外部热力、电力输入为框架核算了工业园区碳排放<sup>[2]</sup>; 张智慧等将建筑业的碳排放分为直接碳排放与间接碳排放进行计算<sup>[3]</sup>。

(2) 碳排放影响因素。研究碳排放影响因素的方法多种多样, 主要有灰色关联分析、结构分析、多因素计量模

基金项目: 教育部哲学社会科学发展报告项目“中国制造业发展研究报告”(13JBG004); 南京信息工程大学中国制造业发展研究院2014年度开放课题(SK20140090-14); 江苏省“六大人才高峰”第七批高层次人才项目(S7410008001)

作者简介: 唐德才(1966~), 男, 江苏射阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 南京信息工程大学马克思主义学院党总支书记, 研究方向为产业经济、区域经济; 吴梅(1989~), 女, 江苏苏州人, 硕士生, 研究方向为气候变化与低碳经济、产业经济。

型等方法。柴宁等, 谢守红等对碳排放与相关行业能源消耗进行灰色关联分析<sup>[4-5]</sup>; 吴振信、石佳等采用 LMDI 分解方法研究北京市的碳排放影响因素<sup>[6]</sup>; 张勇等, 黄蕊等运用 STIRPAT 模型分别研究了安徽省和天津市的能源消费碳排放因素<sup>[7-8]</sup>; 李湘梅等运用向量自回归模型研究了我国能源消费碳排放的影响因素<sup>[9]</sup>。

(3) 碳排放与经济增长。碳排放问题既是环境问题又是经济问题, 因此碳排放与经济增长之间的关系一直备受关注。吴洋等, 刘竹等的研究主要集中于经济增长与碳排放增长之间是否存在脱钩<sup>[10-11]</sup>; 赵爱文等, 李国志等则重点研究了碳排放与经济增长之间是否存在因果关系<sup>[12-13]</sup>; 张丽峰, 易艳春等试图从环境库兹涅茨曲线的角度揭示经济增长与碳排放之间的关系<sup>[14-15]</sup>。

(4) 碳排放绩效的评价。科学地评估我国各地区的碳排放绩效, 有助于实现我国 2020 年减排目标。华坚等研究发现, 中国不同省份之间碳排放绩效显著不平衡, 东部地区省份减排绩效明显高于西部地区省份, 而中部省份减排绩效较差<sup>[16]</sup>; 李雷鸣等研究发现“十一五”期间, 我国各地区碳排放绩效提升速度不明显<sup>[17]</sup>; 何康研究发现, 加大环境规制力度有助于提高各行业的碳排放绩效<sup>[18]</sup>。

以上对碳排放相关内容的分析涉及不同产业、不同行业, 研究范围涉及全国层面、省级层面、城市区域, 但影响因素、核算方法、排放绩效等很多都只针对过去的情况。我国在 2009 年提出, 到 2020 年单位 GDP 的 CO<sub>2</sub> 排放量至少比 2005 年下降 40% ~ 45%, 并将其作为一项指标归入经济发展的长期规划。本文的不同之处在于, 对碳排放因素的分解分析着眼于江苏省未来的经济发展及能源消费趋势。为适应长期减排目标, 本文将根据历年相关统计数据, 先对其进行合理的灰色预测后进行分解分析, 讨论江苏省未来减排方向, 提供建议为江苏省及其他类似省份减排政策的制定提供意见参考。

## 2 研究方法和数据来源

### 2.1 数据来源

很多学者在研究碳排放时将能源种类、经济水平、技术因素等作为其影响因子, 且这些影响因子都通过各种模型的检验。本文在此基础上, 结合江苏省的实际发展情况以及数据的可得性和完整性, 选取 1997 ~ 2012 年江苏省人口、GDP、能源消费量等原始数据进行研究。人口、GDP 等数据源自《江苏统计年鉴》, 能源消费量数据源自《中国能源统计年鉴》(1998 ~ 2013)。其中:(1)各种能源的消费数量均属于终端消费量, 为了与三大产业的产值相对应, 暂不考虑生活消费的能源数量;(2)选取了 8 种消费量最大且最具有代表性的能源, 包括原煤、柴油等, 为了

方便计算, 将这 8 种能源分为煤炭类、石油类、天然气(3)碳排放量计算基于选取的 8 种能源历年消费量数据, 根据《国家温室气体排放清单指南》中的方法计算, 即碳排放量  $C = \sum_i e_i \times f_i \times k_i$ ,  $e_i$  为第  $i$  类能源的消费量,  $f_i$  为第  $i$  类能源折标准煤的系数,  $k_i$  为第  $i$  类能源的碳排放系数;(4)与能源分类相对应, 煤炭类碳排放系数本文取原煤、洗精煤、焦炭三者的平均数, 石油类碳排放系数取汽油、柴油、燃料油、液化石油气的平均数, 由于组成煤炭类、石油类能源的各种能源之间碳排放系数变化不大, 加上本文主要研究碳排放的增量变化与结构比例变化, 对最后的结论基本不会产生影响。选取的 8 种能源的碳排放系数及重新分类后的碳排放系数如表 1。

表1 各种能源碳排放系数表

项目	系数	项目	系数
原煤	0.7559	汽油	0.5538
洗精煤	0.7559	柴油	0.5921
焦炭	0.8550	燃料油	0.6185
煤炭类	0.7889	液化石油气	0.5042
天然气	0.4483	石油类	0.56715

### 2.2 灰色预测GM(1, 1)模型

灰色预测可以依据现有的数据信息探索系统变动的规律, 对其未来变化做出定量预测。它对数据的要求并不严苛, 且预测精度高, 在很多领域都受到广泛应用。灰色 GM(1, 1) 模型可以通过以下步骤来进行预测:

(1) 对数列  $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$  作一次累加生成, 得到  $X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$ , 其中  $x^{(1)}(n) = \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k)$ ;

(2) 构造累加矩阵  $B$  与常数向量  $Y_n$ , 即:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2)) & \dots & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(0)}(2) + x^{(0)}(3)) & \dots & 1 \\ \vdots & & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(0)}(n-1) + x^{(0)}(n)) & \dots & 1 \end{bmatrix}, Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T;$$

(3) 用最小二乘法解灰参数  $\hat{a} : \hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ ;

(4) 将  $\hat{a}$  带入时间函数:  $\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a}$ ;

(5) 对  $\hat{x}^{(1)}$  求导还原得到:  $\hat{x}^{(0)}(t+1) = -a(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at}$  或  $\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t)$ ;

(6) 计算  $x^{(0)}(t)$  与  $\hat{x}^{(0)}(t)$  与之差  $\varepsilon^{(0)}(t)$  及相对误差  $e(t)$ :

$$\varepsilon^{(0)}(t) = x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t), e(t) = \varepsilon^{(0)}(t) / x^{(0)}(t);$$

(7) 为了保证模型的可靠性, 灰色 GM(1, 1) 预测模型提供了以下方法对其进行验证。通过观察计算数据离差  $S_1 : S_1^2 = \sum_{t=1}^m (x^{(0)}(t) - \bar{x}^{(0)}(t))^2$ , 及残差的离差  $S_2 : S_2^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{t=1}^{m-1} (q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}(t))^2$ , 再计算后验比:  $c = \frac{S_1}{S_2}$ , 及

小误差概率:  $p = \left\{ \left| q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)} \right| < 0.6745S_1 \right\}$ , 根据  $c$  和  $p$  的值对模型进行验证, 当  $p > 0.95$  和  $c < 0.35$  时, 模型精度最优, 当  $p > 0.80$  和  $c < 0.50$  时, 模型精度合格, 这时得到的预测模型有效。

### 2.3 多项式预测模型

多项式预测是指通过多项式方程拟合时间序列数据的走势, 预测未来。可用于能源消耗、生产销售计划的预测。首先根据相关理论, 或观察实际数据随时间变化的趋势, 确定多项式的次数; 其次, 将其转化为线性函数: 如, 对一般多项式:  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$ , 令:  $z_1 = x, z_2 = x^2, \dots, z_m = x^m$ , 则多项式转化成:  $y = a_0 + a_1z_1 + a_2z_2 + \dots + a_mz_m$  的多元线性函数; 然后用最小二乘法估计参数  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ ; 最后得到估计的多元线性函数, 计算预测值。

### 2.4 碳排放因素LMDI分解模型

LMDI 分解方法被广泛的应用于对环境、能源问题的研究。它可以同时将多个相关因素完全分解, 不存在残差, 有较强的说服力。LMDI 分解方法分为加法分解和乘法分解, 两者之间能够相互转化。本文将参考 B. W. Ang 的分析模型<sup>[19]</sup>, 将碳排放总量分解为人口、经济因素(即人均 GDP)、产业结构、能源强度、能源消费结构和碳排放系数六个因素, 用如下计算公式进行分解, 各指标名义见表 2。

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \times \frac{E_{ij}}{E_i} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times \frac{G}{R} \times R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} \times n_{ij} \times e_i \times s_i \times w \times r$$

表2 指标解释

数量指标解释	增量贡献指标解释
$R$ : 人口数量	$r$ : 人口规模
$G$ : GDP	$w$ : 人均 GDP
$G_i$ : 第 $i$ 产业的 GDP	$s_i$ : 第 $i$ 产业的 GDP 比重
$E_i$ : 第 $i$ 产业的能源消费量	$e_i$ : 第 $i$ 产业的能源强度
$E_{ij}$ : 第 $i$ 产业第 $j$ 种能源的消费量	$n_{ij}$ : 第 $i$ 产业第 $j$ 种能源的比重
$C_{ij}$ : 第 $i$ 产业第 $j$ 种能源的碳排放量	$k_{ij}$ : 第 $i$ 产业第 $j$ 种能源的碳排放系数

按加法分解, 可以用  $\Delta C = \Delta C_r + \Delta C_w + \Delta C_s + \Delta C_e + \Delta C_n + \Delta C_k$  来表示每年增加的碳排放量。受到生产条件及减排技术的限制, 各种能源碳排放系数在短期内不会发生变化, 所以令  $\Delta C_k = 0$ , 则  $\Delta C = \Delta C_r + \Delta C_w + \Delta C_s + \Delta C_e + \Delta C_n$ 。其中:  $\Delta C_r$  表示因人口变化引起的碳排放增量变化, 简称人口的增量贡献,  $\Delta C_r = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{C_{ij}^{t+1} - C_{ij}^t}{\ln C_{ij}^{t+1} - \ln C_{ij}^t} \right) \times \ln \left( \frac{r(t+1)}{r(t)} \right)$ ;  $\Delta C_w$  表示因人均 GDP 变化引起的碳排放增量变化, 简称人均 GDP 的增量贡献,  $\Delta C_w = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{C_{ij}^{t+1} - C_{ij}^t}{\ln C_{ij}^{t+1} - \ln C_{ij}^t} \right) \times \ln \left( \frac{w(t+1)}{w(t)} \right)$ ;  $\Delta C_s$  表示因产业结构变化引起的碳排放增量变化, 简称产业结构的增量贡献,  $\Delta C_s = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{C_{ij}^{t+1} - C_{ij}^t}{\ln C_{ij}^{t+1} - \ln C_{ij}^t} \right) \times \ln \left( \frac{s_i(t+1)}{s_i(t)} \right)$ ;  $\Delta C_e$  表示因能源强度变化引起的碳排放增量变化, 简称能源强度的增量贡

献,  $\Delta C_e = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{C_{ij}^{t+1} - C_{ij}^t}{\ln C_{ij}^{t+1} - \ln C_{ij}^t} \right) \times \ln \left( \frac{e_i(t+1)}{e_i(t)} \right)$ ;  $\Delta C_n$  表示因能源消费结构变化引起的碳排放增量变化, 简称能源消费结构的增量贡献,  $\Delta C_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{C_{ij}^{t+1} - C_{ij}^t}{\ln C_{ij}^{t+1} - \ln C_{ij}^t} \right) \times \ln \left( \frac{n_{ij}(t+1)}{n_{ij}(t)} \right)$ ;  $m$  表示产业种类数;  $n$  表示能源种类数;  $t$  表示年份。

## 3 碳排放因素预测

根据 1997 ~ 2012 年江苏省数据特点, 对历年江苏省碳排放影响因素的数据分别进行灰色 GM(1, 1) 预测和多项式预测, 得到结果如表 3。

表3 灰色GM(1, 1)预测模型评价结果

预测项目	C 值	P 值	预测项目	C 值	P 值
人口	0.4171	0.8000	第二产业煤炭类消费量	0.2323	1.0000
第一产业 GDP	0.2197	1.0000	第二产业石油类消费量	0.4272	0.8889
第二产业 GDP	0.0806	1.0000	第二产业天然气消费量	1.4303	0.0000
第三产业 GDP	0.0848	1.0000	第三产业煤炭类消费量	0.4274	0.8750
第一产业煤炭类消费量	0.5009	0.7333	第三产业石油类消费量	0.1495	1.0000
第一产业石油类消费量	0.3209	0.9333	第三产业天然气消费量	10.1578	0.0000
第一产业天然气消费量	GM(1,1) 无法预测				

过去 16 年中第一产业天然气消费量每年都为零, 未来第一产业大规模使用该能源的可能性较小, 因此假设在以下预测期中, 其消费量仍然为零。根据方法介绍中关于  $c$  和  $p$  的最佳取值范围, 第二产业和第三产业天然气消费量的模型评价结果都不理想, 不适合通过灰色 GM(1, 1) 模型预测, 因此尝试采用多项式模型对其进行预测, 得到模型评价结果如表 4。

表4 多项式预测模型评价结果

预测项目	预测模型	拟合优度 $R^2$
第二产业天然气消费量	$y = -0.0029x^3 + 4.3635x^2 - 31.332x + 42.562$	$R^2 = 0.9881$
第三产业天然气消费量	$y = 0.0631x^3 - 0.8493x^2 + 2.9821x - 2.3882$	$R^2 = 0.9455$

上述各指标 2013 ~ 2020 年的预测数据结果如表 5。

为了进一步检验预测数据的可靠性, 我们查阅最新的 2014 年江苏统计年鉴后发现, 2013 年江苏省人口的实际数据为 7939.49 万人, GDP 的实际数据为 59 161.75 亿元, 其中第一产业 36 46.08 亿元、第二产业 29 094.02 亿元、第三产业 26 421.65 亿元, 与上述对应的预测数据相差不大。实际的能源消费数据由于 2014 年的相关年鉴尚未可得, 所以未能在此列出。根据以上分析我们相信, 此次预测的数据具有一定的可信度。

## 4 碳排放LMDI因素分解

将过去 1997 ~ 2012 年的数据及上述预测期间

表5 原始数据预测结果

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
人口	7975.96	8033.70	8091.87	8150.46	8209.47	8268.91	8328.78	8389.08
一产 GDP	3520.14	3918.71	4362.41	4856.35	5406.21	6018.33	6699.77	7458.36
二产 GDP	31 840.3	36 342.1	41 480.3	47 345.0	54 038.8	61 679.1	70 399.6	80 353.1
三产 GDP	26 553.2	31 752.9	37 970.8	45 406.3	54 297.8	64 930.5	77 645.3	92 849.9
一产煤炭类消费量	42.51	42.43	42.36	42.29	42.22	42.14	42.07	42.00
一产石油类消费量	357.73	388.70	422.35	458.91	498.63	541.79	588.69	639.65
一产天然气消费量	0	0	0	0	0	0	0	0
二产煤炭类消费量	8307.94	8966.43	9677.11	10 444.1	11 271.9	12 165.3	13 129.6	14 170.2
二产石油类消费量	446.66	423.45	401.44	380.57	360.80	342.04	324.27	307.41
二产天然气消费量	756.72	875.45	1002.59	1138.12	1282.04	1434.31	1594.93	1763.88
三产煤炭类消费量	24.81	21.44	18.53	16.01	13.83	11.96	10.33	8.93
三产石油类消费量	1736.49	1925.90	2135.97	2368.96	2627.35	2913.94	3231.76	3584.27
三产天然气消费量	112.87	144.12	180.48	222.33	270.06	324.05	384.66	452.28

表6 1997 ~ 2012年碳排放增量贡献因素分解

年份	人口	人均 GDP	产业结构	能源强度	能源结构	综合贡献
1998 ~ 1997	12.45	180.74	-23.97	17.51	-13.46	173.27
1999 ~ 1998	11.12	163.35	11.82	-285.58	-16.86	-116.14
2000 ~ 1999	38.79	221.78	29.92	-439.57	-8.04	-157.11
2001 ~ 2000	9.92	223.88	-0.56	-359.66	-2.18	-128.59
2002 ~ 2001	14.79	251.91	24.11	-166.44	-6.75	117.62
2003 ~ 2002	17.74	385.37	45.40	-144.77	-14.73	289.01
2004 ~ 2003	27.61	565.59	58.64	384.29	25.72	1061.85
2005 ~ 2004	36.07	860.56	15.51	-17.68	36.65	931.11
2006 ~ 2005	43.02	716.47	-9.10	-341.74	-6.18	402.46
2007 ~ 2006	46.82	911.37	-59.52	-348.20	-6.53	543.94
2008 ~ 2007	29.82	994.56	-59.22	-430.08	-17.69	517.38
2009 ~ 2008	38.17	623.03	-79.93	-416.51	12.55	177.31
2010 ~ 2009	48.52	1137.38	-121.90	-789.26	-6.76	267.98
2011 ~ 2010	26.08	1161.68	-113.93	-248.34	4.78	830.27
2012 ~ 2011	19.77	988.84	-118.37	-582.40	-22.06	285.78
累计值	420.70	9386.53	-401.10	-4168.45	-41.53	5196.15

表7 2013 ~ 2020年碳排放增量贡献因素分解

年份	人口	人均 GDP	产业结构	能源强度	能源结构	综合贡献
2014 ~ 2013	63.35	1263.55	-119.97	-500.35	-10.76	695.82
2015 ~ 2014	68.59	1373.97	-134.19	-540.02	-11.00	757.34
2016 ~ 2015	74.28	1494.57	-149.95	-584.29	-11.01	823.61
2017 ~ 2016	80.48	1626.19	-167.39	-633.44	-10.79	895.05
2018 ~ 2017	87.21	1769.73	-186.67	-687.82	-10.34	972.12
2019 ~ 2018	94.52	1926.19	-207.98	-747.78	-9.65	1055.29
2020 ~ 2019	102.45	2096.64	-231.51	-813.74	-8.73	1145.12
累计值	570.89	11 550.85	-1197.66	-4507.44	-72.29	6344.35

2013 ~ 2020 年的数据按照 LMDI 模型进行分解，得到结果如表 6、表 7。

表 6 反映的是对前后年份之间碳排放增量的一个分解，即对年际碳排放变化量的分解，如有的年份综合贡献会出现负值是因为该年份的碳排放量比上年有所减少。从上表来看，除 1999 年、2000 年、2001 年碳排放总量比上年有少量下降之外，其他年份碳排放均有所增加。将每个贡献因素逐年的贡献值累加可以得出，1997 ~ 2012 年江苏省碳排放总量增加了 5196.15 万吨。人口增加、经济增长、产业结构调整、能源效率提升和能源消费结构变化累计引起的碳排放增加量分别为 420.70 万吨、9386.53 万吨、-401.10 万吨、-4168.45 万吨、-41.53 万吨。若观察这些数值的绝对值可以发现，经济因素 GDP 的正向推动作用最为明显，而能源强度的

负向推动作用最为显著，人口和能源消费结构对碳排放的影响程度相对较小。

根据表 7 中预测因素的分解分析，预测期间累积碳排放增加量将达到 6344.35 万吨，相当于过去 1997 ~ 2012 年的碳排放增量总量的 1.1 倍。经济增长仍是未来碳排放增长的主要推动力，能源强度变化仍然是抑制碳排放增长的主要因素，产业结构

将发挥更大的减排作用。

4.1 经济因素分析

逐年来看，1997 ~ 2012 年经济因素的贡献值均为正值，且持续上升，经济增长对江苏省碳排放增长有持续的推动作用。预测期间经济因素的影响也与前期基本一致，累计将导致碳排放量增加 11 550.85 万吨，控制经济快速增长将是抑制碳排放增长最直接的途径。江苏省历年都为国家的经济发展做出巨大贡献，地区 GDP 位居全国各省份前列。尽管如此，江苏省内各个城市的居民生活水平、城市建设等也存在南北差距。在未来的几年内，仍然面临着发展经济、提高人民生活水平的任务，因此预计江苏省的经济增速未来在整体上不会有明显的下降。由此可见，对江苏省而言，减排只依靠控制经济增速是不够的，更需要其他节能减排工作的配合。

4.2 能源强度因素分析

能源强度是能耗与 GDP 的比值，体现了能源的利用效率。如表 6 中显示，1997 ~ 2012 年能源强度对碳排放增量的贡献基本为负，说明能源利用效率明显提升，对减少碳排放起到很大作用。如图 1 所示，三大产业的能源强度贡献基本上为负值，第二产业的负向贡献最大。第一产业能源强度贡献的变化一直比较稳定，且每年的负向贡献数值不是很大，这可能是由于第一产业本身的规模很小。所以，未来应致力于第二产业能源强度的改善。

随着节能减排设备和技术被大力推广，预计江苏省的能源利用效率还会不断提升，能源强度也会继续下降。以节能减排政策为主的宏观调控也将不断深入，早期的减排

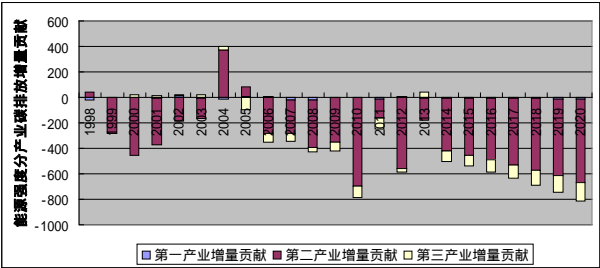


图1 能源强度分产业碳排放增量贡献

政策效果也将慢慢显现。所以如表 7 中显示，在预测数据期间，能源强度仍然是抑制碳排放增长的主要因素。

4.3 产业结构因素分析

根据表 6 中产业结构对碳排放增量贡献值的变化，可以将历史数据期间分为两个阶段。一是 1998 ~ 2005 年，该时期内产业结构对碳排放增量的影响出现上下波动，影响的绝对值也很小，产业结构变化抑制碳排放的作用有限。二是 2006 ~ 2012 年，该时期内产业结构减排贡献的绝对值有所增加，出现明显的抑制碳排放增长的趋势。

预测数据期间，产业结构调整对碳排放增长的抑制作用越来越明显，上表 7 中产业结构贡献因素的绝对值逐年增加。从表 8 中可以发现，未来江苏省第二产业减排潜力最大，第三产业却会引起碳排放增量的增加。经过计算，预测数据期间第二、第三产业占总产出的年平均值分别为 5%、47%，第二、第三产业的能源强度对碳排放增量的年平均贡献分别为 -197.20 万吨、40.26 万吨。因此，第二产业产值比重稍有降低就会带来很好的减排效果，第三产业比重虽然每年都有增加，但对碳排放的促进作用有限。未来江苏省仍将不断削减第二产业比重，增加第三产业比重，产业结构变化将发挥更大的减排作用。

表8 2013 ~ 2020年各产业年碳排放增量贡献因素分解

年份	第一产业增量贡献	第二产业增量贡献	第三产业增量贡献	产业结构增量贡献
2014 ~ 2013	-10.75	-140.08	30.86	-119.97
2015 ~ 2014	-11.71	-156.05	33.57	-134.19
2016 ~ 2015	-12.77	-173.71	36.53	-149.95
2017 ~ 2016	-13.93	-193.19	39.74	-167.39
2018 ~ 2017	-15.21	-214.67	43.21	-186.67
2019 ~ 2018	-16.61	-238.33	46.96	-207.98
2020 ~ 2019	-18.14	-264.36	50.99	-231.51
平均值	-14.16	-197.20	40.26	-171.09

4.4 能源结构因素分析

历史数据期间，能源消费结构对碳排放的影响没有呈现出明显的推动或者抑制的趋势，其对碳排放的影响权重也相对较小。总体而言，能源结构调整对减排的贡献有限且不稳定。逐年来看，从 2003 年开始能源结构对碳排放的贡献出现负值，如图 2 所示，可能是因为这些年份石油类的消费比例有所下降，天然气的消费比重在不断上升，但能源消费总量没有明显减少。石油类的消费比重从 2003 年的 37% 下降到 2012 年的 22%，天然气消费量的比重自西气东输以来，已上升到 7%。预测数据期间，能源结构调整对碳排放增加的抑制作用越来越不明显，甚至逐渐消失，原因是煤炭类的消费比重没有明显的降低，由表 5 中三大产业煤炭类消费量的预测数据显示，煤炭类消费数量与日剧增。由此可见，当江苏省的能源消费种类仍以煤炭类、石油类、天然气等为主时，能源结构的微小变化对碳减排的作用不大。就能源角度而言，江苏省未来减排主要依靠提高能源利用效率。

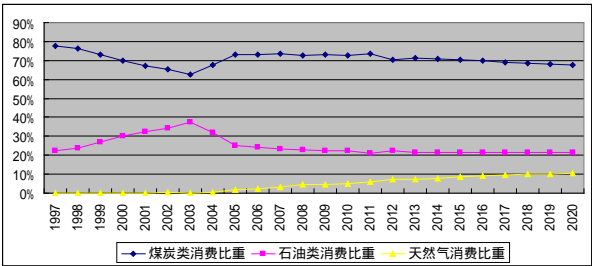


图2 各类能源消费量比重

4.5 人口因素分析

历史数据期间，人口因素对碳排放的影响每年都很稳定，数值变化不明显。近年来江苏省面临着人口规模快速增长的问题，个别城市外来人口已经超过本地人口。城市化建设消耗大量建材和能源，人们的消费习惯也发生着巨大改变，这些因素都会增加能源消耗而引起碳排放量的增加。根据模型分解，发现 2013 ~ 2020 年人口增加将引起更多的碳排放，人口因素引起的碳排放增量的绝对值虽然不大，但仅次于经济因素。如表 6 所示，2013 ~ 2020 年人口因素对碳排放增量的影响累计将达到 570.89 万吨。

5 结论与建议

本文基于灰色预测和 LMDI 分解模型，对江苏省 2013 ~ 2020 年的碳排放驱动因素进行趋势预测，并对预测结果进行分析，得出以下结论：(1) 2013 ~ 2020 年江苏省碳排放量仍会持续增加；(2) 人口、产业结构和能源强度的变动都会带动碳排放增长；(3) 经济增长仍是未来碳排放量不断增加的主要推动因素，而能源效率提升将在很大程度上减缓碳排放的增长趋势；(4) 产业结构对未来碳排放增长的抑制作用逐渐增强，而能源消费结构对未来碳排放增长的抑制作用逐渐削弱，甚至消失。

根据以上分析结论，我们提供如下建议以供江苏省及其他具有类似特点的省份决策参考：(1) 第二产业未来减排潜力较大，应继续坚持产业结构调整升级，利用新型环保技术改造现有工业企业；(2) 在发展重心不断向第三产业转移过程中也应该重视第三产业的碳排放，因为部分第三产业，如餐饮业、交通运输业对能源的需求量也很大。因此，产业结构的调整不应只是重视第二产业比重的下降，也应该考虑到第三产业各行业的特点；(3) 控制原煤消费量和能源消费总量的增长速度，进一步推广使用天然气等清洁能源，降低原煤消费比例，提高能源利用效率；(4) 各城市有必要对原有政策措施进行修订以适应城市长期减排目标，注重发展在生命周期各个阶段都能实现低排放或零排放的产业。

参考文献：  
[1]王海鲲，张荣荣，毕军. 中国城市碳排放核算研究——以无锡

(下转81页)



作为最主要的能源品种,成为城市低碳交通发展的薄弱环节和关键部门。从近年发展趋势上看,公路运输占交通运输行业的比重越来越高,由于城乡运输发展尚不均衡,当前公交出行分担率较低,因此亟待进一步优化综合运输网络布局,发挥综合交通低碳运输体系作用,通过进行不同运输方式间的优化配置和衔接配合,调整优化综合运输结构,提升城市公交分担率,提高综合运输网络整体通行能力和组合效率;

三是由于大多数城市的交通运输行业能源统计和监测分析系统尚未健全,行业数据尚不完整,对于全面正确掌握交通运输行业能耗数据造成一定的影响,不利于全面分析能耗和碳排放实际状况,建立完整的行业用能和碳排放监测平台是制定未来低碳交通运输发展政策、行动决策的基础,在准确掌握对城市交通运输用能及碳排放现状和发展趋势的基础上,才有利于进一步开展城市低碳交通的规划建设。■

#### 参考文献:

- [1]刘丽亚. 走低碳交通之路促城市可持续发展[J]. 综合运输, 2010(1): 29~32.
- [2]徐建闽. 我国低碳交通分析及推进措施[J]. 城市观察, 2010(4): 13~20.
- [3]国家发展和改革委员会能源研究所课题组. 中国2050年低碳发展之路: 能源需求暨碳排放情景分析[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [4]世界自然基金会上海低碳发展路线图课题组. 2050上海低碳发

展路线图报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

- [5]陈飞, 诸大建, 许琨. 城市低碳交通发展模型、现状问题及目标策略——以上海市实证分析为例[J]. 城市规划学刊, 2009(6): 39~46.
- [6]张陶新, 周跃云, 赵先超. 中国城市低碳交通建设的现状与途径分析[J]. 城市发展研究, 2011(1): 68~73, 80.
- [7]宿凤鸣. 低碳交通的概念和实现途径[J]. 综合运输, 2010(5): 13~17.
- [8]石京. 低碳经济与低碳交通发展[J]. 建设科技, 2010(17): 22~25.
- [9]崔冬初, 于悦. 低碳交通的国际经验及对我国的启示[J]. 生态经济, 2014(9): 68~72.
- [10]全丽. 发达国家城市低碳交通的经验与借鉴[J]. 生态经济, 2014(4): 2~5.
- [11]侯纲, 李冰. 城市低碳交通研究[J]. 生态经济, 2011(7): 154~158.
- [12]世界资源研究所. 温室气体核算体系[EB/OL]. <http://www.wri.org.cn/xiangmu/wenshiqitihesuantixi>.
- [13]丛建辉, 朱婧, 陈楠, 等. 中国城市能源消费碳排放核算方法比较及案例分析——基于“排放因子”与“活动水平数据”选取的视角[J]. 城市问题, 2014(3): 5~11.
- [14]娄伟. 情景分析理论与方法[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2012.
- [15]宗蓓华. 战略预测中的情景分析法[J]. 预测, 1994(2): 50~51, 55.
- [16]黄莹, 廖翠萍, 李莉, 等. 广东省低碳交通关键措施选择与分析[J]. 科技管理研究, 2014(5): 40~44.
- [17]吴开亚, 何彩虹, 王桂新, 等. 上海市交通能源消费碳排放的测算与分解分析[J]. 经济地理, 2012, 32(11): 45~51.

(责任编辑: 朱莉丽)

(上接67页)

- 市为例[J]. 中国环境科学, 2011(6): 1029~1038.
- [2]张雁飞, 王晓菲, 于斐, 等. 工业园区碳排放核算方法及实证研究[J]. 生态经济, 2013(9): 155~157.
- [3]张智慧, 刘睿劼. 基于投入产出分析的建筑业碳排放核算[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2013(1): 53~57.
- [4]柴宁, 赵涛, 林涛. 我国各行业能源消耗与碳排放的灰色关联度分析[J]. 生态经济, 2012(9): 105~107.
- [5]谢守红, 邵珠龙, 丁卉. 无锡工业碳排放的行业分解和灰色关联分析[J]. 城市发展研究, 2012(10): 113~117.
- [6]吴振信, 石佳, 王书平. 基于LMDI分解方法的北京地区碳排放驱动因素分析[J]. 中国科技论坛, 2014(2): 85~91.
- [7]张勇, 张乐勤, 包婷婷. 安徽省城市化进程中的碳排放影响因素研究——基于STIRPAT模型[J]. 长江流域资源与环境, 2014(4): 512~517.
- [8]黄蕊, 王铮. 基于STIRPAT模型的重庆市能源消费碳排放影响因素研究[J]. 环境科学学报, 2013(2): 602~608.
- [9]李湘梅, 姚智爽. 基于VAR模型的中国能源消费碳排放影响因素分析[J]. 生态经济, 2014(1): 39~44.
- [10]吴洋, 范如国. 基于弹性脱钩理论的我国碳排放及经济增长研究[J]. 科技管理研究, 2014(20): 221~225.

- [11]刘竹, 耿涌, 薛冰, 等. 中国低碳试点省份经济增长与碳排放关系研究[J]. 资源科学, 2011(4): 620~625.
- [12]赵爱文, 李东. 中国碳排放与经济增长的协整与因果关系分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011(11): 1297~1303.
- [13]李国志, 李宗植, 周明. 碳排放与农业经济增长关系实证分析[J]. 农业经济与管理, 2011(4): 32~39.
- [14]张丽峰. 北京碳排放与经济增长间关系的实证研究——基于EKC和STIRPAT模型[J]. 技术经济, 2013(1): 90~95.
- [15]易艳春, 宋德勇. 经济增长与我国碳排放: 基于环境库兹涅茨曲线的分析[J]. 经济体制改革, 2011(3): 35~38.
- [16]华坚, 任俊, 徐敏, 等. 基于三阶段DEA的中国区域二氧化碳排放绩效评价研究[J]. 资源科学, 2013(7): 1447~1454.
- [17]李雷鸣, 孙梁平, 刘丙泉. 中国区域碳排放绩效评价与差异分析[J]. 中国石油大学学报: 社会科学版, 2013(5): 38~42.
- [18]何康. 环境规制、行业异质性与中国工业全要素碳排放绩效[J]. 中国科技论坛, 2014(4): 62~67.
- [19]Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide[J]. Energy Policy, 2005(33): 867~871.

(责任编辑: 冯胜军)