

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.05.020

长株潭城市群产业碳排放预测与情景分析

张陶新, 曾熬志

(湖南工业大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 以2005—2010年长株潭城市群产业碳排放的有关数据为基础, 基于灰色系统理论, 对长株潭城市群2005—2030年的产业碳排放进行了模拟和预测, 并设定4种情景, 对长株潭城市群2011—2030年产业碳排放进行了情景分析。研究表明: 2010—2030年, 长株潭城市群如果保持2010年以前的产业结构、能源结构不变, 其产业碳排放量将以年均15.99%的增长速度快速上升; 在1%的显著性水平上, 碳排放、人均GDP、人口、单位GDP能耗强度、碳排放强度之间存在着双向因果关系; 长株潭城市群产业碳排放与体现经济增长的人均GDP之间具有长期均衡关系; BAU、节能、低碳和强化低碳情景下, 长株潭城市群产业碳排放、人均GDP均呈上升趋势。

关键词: 长株潭城市群; 碳排放; 灰色计量经济学模型; 情景分析

中图分类号: F290; F224.0

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)05-0098-07

Scenario Analysis and Forecast of Industrial Carbon Emissions in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomerations

Zhang Taoxin, Zeng Aozhi

(School of Building and Urban & Rural Planning, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Based on the data of industrial carbon emissions in Chang-Zhu-Tan urban agglomerations during 2005 to 2010, simulates and forecasts industrial carbon emissions in Chang-Zhu-Tan urban agglomerations from 2005 to 2030 by grey system theory, and analyzes the industrial carbon emissions under four set scenarios from 2011 to 2030. The results indicate that: if the city group keeps the industrial structure before 2010 and the energy structure maintains unchanged from 2010 to 2030, the industrial carbon emissions will increase at an annual growth rate of 15.99%. On the significant level of 1%, there exists a bidirectional cause-effect relationship between carbon emission, GDP per capita, population, per unit GDP energy intensity and the carbon emission intensity; There is a long-term equilibrium relationship between Chang-Zhu-Tan industrial carbon emission and economic growth-indicated per capita GDP. Under the situation of BAU, energy saving, low-carbon and stressed low-carbon, both the industrial carbon emissions and GDP per capita of Chang-Zhu-Tan urban agglomerations are increasing.

Keywords: Chang-Zhu-Tan urban agglomerations; carbon emissions; gray econometric model; scenario analysis

收稿日期: 2014-07-19

基金项目: 中国清洁发展机制基金资助项目(10C0612)

作者简介: 张陶新(1964-), 男, 湖南华容人, 湖南工业大学研究员, 主要从事低碳经济, 绿色低碳交通及可持续发展方面的教学与研究, E-mail: Taoxinzhang108@sina.com

0 引言

城市低碳发展是应对资源环境压力、提高能源供应、保障安全和减少碳排放的基本前提和必要条件。城市产业低碳转型已成为国际社会现代化发展的主旋律,同时也是中国现代化的重要主题之一。自2010年国家发展与改革委员会确定首先在天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定8市开展低碳城市试点工作以来,中国许多城市纷纷提出发展低碳产业、建设低碳城市。长株潭城市群作为湖南的“金三角”及国家“两型社会”建设综合配套改革试验区,是湖南省经济发展的核心增长极,也是中国典型的城市群之一。在进行“两型社会”建设过程中,长株潭城市群经过几年的建设试验,现已进入攻坚克难的阶段,面临着产业转型、节能减排与环境改造任务繁重的严峻现实。为破解发展难题,长株潭城市群必须彻底摒弃传统粗放型的城市发展模式,实现低碳发展。本文基于灰色系统理论,对长株潭城市群产业2011—2030年的碳排放进行预测,并采用情景分析方法,对不同情景下长株潭城市群产业发展的碳排放进行分析,为长株潭城市群编制科学合理的产业低碳发展规划提供依据,也为中国其他城市群产业低碳发展提供参考。

计量经济学模型是一种综合考虑了系统各种影响因素、较为成熟的中长期预测方法,但是使用计量经济学模型需要有较长的历史数据资料。灰色系统理论处理样本量小和信息贫乏的不确定性系统具有明显的优越性^[1]。GM(1,1)灰色预测模型是灰色系统理论中常用的对系统未来发展变化趋势进行预测的模型,其对数据资料要求较低。通过灰色预测模型所得到的预测数据,能够解决计量经济学模型需要大样本的问题。将灰色预测模型和计量经济学模型进行结合,能有效改善传统计量经济学模型的缺陷,其主要通过对部分已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,以实现了对系统运行行为的正确认识和有效控制^[2]。综合运用灰色预测模型和计量经济学模型,可以很好地实现对长株潭城市群产业碳排放的影响因素分析及其中长期预测。

情景分析法最初出现于20世纪40年代末的军事应用上,1972年逐渐成形^[3],随后开始受到欧美政府与跨国企业的重视。情景分析法通过描绘未来多种可能的情景,为制定规划和政策提供科学支撑,现已在许多领域得到了广泛的应用^[4],如已应用于中国能源需求与碳排放^[5]、能源科技发展^[6]、碳排放情景预测^[7]、交通碳排放^[8]、城市低碳发展^[9]等方面的

研究中。

迄今为止,有关长株潭城市群碳排放的研究主要集中在交通碳排放^[10]、工业碳排放^[11]和建筑碳排放^[13]等现状研究方面,缺乏对长株潭城市群未来一个时期产业碳排放的预测和情景分析,本文的研究正可弥补这一欠缺。

1 基本模型

1.1 GM(1,1)模型

1.1.1 GM(1,1)模型的基本形式

GM(1,1)模型的基本形式为:

$$x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b. \quad (1)$$

其中, $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ 为原始数据序列, $Z^{(1)} = (z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n))$ 为 $X^{(0)}$ 的1-AGO序列 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列。

1.1.2 模型检验

1) 相对误差 Δ 检验

给定 α , 若 $\Delta(k) < \alpha$ 且 $\bar{\Delta} < \alpha$ 成立, 则模型(1)在 α 水平上通过相对误差检验。

其中, $\Delta(k) = \frac{|\varepsilon(k)|}{x^{(0)}(k)}$, $\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta(k)$, $\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$ 为残差, $k=1, 2, \dots, n$ 。

2) 均方差比 C 检验

$$C = \frac{S_2}{S_1}$$

给定 $C_0 > 0$, 若 $C < C_0$ 成立, 则模型(1)在 C_0 水平上通过均方差比检验。

3) 小误差概率 P 检验

$$p = P(|\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745 S_1)$$

给定 $p_0 > 0$, 若 $p > p_0$ 成立, 则模型(1)以概率 p_0 通过小误差概率检验。

给定 α, C_0, p_0 的一组值, 就确定了检验模型模拟精度的一个等级, 模型的模拟精度分级参考标准如表1所示。

表1 灰色预测模型(1)精度等级

Table 1 Precision level of grey prediction model(1)

精度等级	相对误差 α	均方差比 C_0	小误差概率 p_0
一级	0.01	0.35	0.95
二级	0.05	0.50	0.80
三级	0.10	0.65	0.70
四级	0.20	0.80	0.60

1.2 灰色计量经济学模型

1) 多元线性回归模型

本文主要考虑长株潭城市群产业能源消费碳排放的有关问题。根据 Kaya 恒等式^[12], 产业能源消费

碳排放量可以分解为人均GDP、人口、单位GDP能耗强度、碳排放强度（即每吨标准煤所产生的二氧化碳排放量）4个要素，以解释人类活动与碳排放的关系。本文借助于Kaya恒等式，建立式（2）所示碳排放模型：

$$LT = LG + LP + LN + LC, \quad (2)$$

式中， LT 、 LG 、 LP 、 LN 、 LC 分别表示碳排放量、人均GDP、人口、单位GDP能耗强度、碳排放强度的自然对数。

2) 灰色计量经济学模型

灰色GM(1,1)模型(1)与线性回归模型(2)的有机耦合，即为灰色多元线性计量经济模型。根据灰色系统理论^[1]，建立灰色多元线性计量经济模型，其步骤如下：

第一步，设计理论模型。进行长株潭城市群产业碳排放研究，需要确定模型所包含的变量及函数形式，如式(2)，然后收集和整理统计数据。

第二步，建立灰色GM(1,1)模型(1)并获得模拟值。为了消除模型各变量原始统计数据的随机波动或误差，采用各变量的原始统计数据，分别建立GM(1,1)模型(1)，然后运用各变量的GM(1,1)模拟值作为建立灰色多元线性计量经济模型的基础序列。多元线性回归模型(2)中，2005—2011年的值为原始统计数据，2012—2030年的数据值来源于GM(1,1)模型(1)的预测值。

第三步，参数估计。根据由灰色GM(1,1)模型(1)模拟得到的模拟序列，选择适当的方法（本文采用最小二乘法），求出灰色多元线性计量经济模型参数的估计值。

第四步，模型检验。参数估计出来之后，模型虽已确定，但还需通过经济意义检验和统计检验。本文对各变量2005—2030年的值进行计量经济学分析之后，建立 LT 与 LG 、 LP 、 LN 、 LC 之间的长期协整关系，并且以此进行长株潭城市群产业碳排放的情景分析。

第五步，应用模型。

2 碳排放及其影响因素的模拟和预测

2.1 数据时期、数据来源与碳排放量的计算方法

本文所使用的碳排放及人均GDP、人口、万元GDP能耗和碳排放强度各变量数据的时期为2005—2010年。

能源数据来源于长沙市、株洲市、湘潭市历年统计年鉴和《2005—2010湖南能源统计年鉴》；人均地区生产总值（人均GDP）和地区生产总值（GDP）数据来源于2006—2012年《湖南统计年鉴》，经过折算

后，以2005年不变价表示；2005—2008年的万元GDP能耗数据来源于湖南省根据第二次经济普查结果修订的《2005—2008年各市州单位GDP能耗》湘统[2010]58号文件，2009年与2010年的万元GDP能耗数据来源于2010年与2011年《湖南统计年鉴》。由于人口有户籍人口和常住人口之分，从已有的统计数据来看，各地的人口数据较为混乱，长株潭也不例外。为了与有关GDP的数据保持统一的统计口径，本文所使用的长株潭人口数是根据长株潭人均地区生产总值（现价）和地区生产总值（现价）折算得出的。

本文对2005—2010年碳排放相关数据的计算方法为：

首先，根据长沙市、株洲市、湘潭市的产业所消费的煤炭、石油、天然气占一次能源消费的比例，按式(3)分别估算出长沙市、株洲市、湘潭市的单位能耗二氧化碳排放（即碳排放强度）：

$$r = (2.7412a + 2.146b + 1.6423c) / (a + b + c), \quad (3)$$

式中， a 、 b 、 c 分别为煤炭、石油、天然气占一次能源消费的比例。个别缺失的碳排放强度数据采用灰色系统理论中的级比生成法补齐。

然后，分别估算出长沙市、株洲市、湘潭市产业碳排放 T ：

$$T = r \times E, \quad (4)$$

式中， E 表示长沙市或株洲市或湘潭市产业的一次能源消费总量。

长沙市、株洲市、湘潭市产业碳排放之和即为长株潭城市群碳排放量。

2.2 碳排放及其影响因素的模拟和预测

根据GM(1,1)模型的基本形式与应用步骤，利用Matlab软件，编程实现GM(1,1)模型的求解与应用，从而得到如表2所示的预测结果，其预测模型的检验结果见表3。

由表3分析可知：

1) 从碳排放的相对误差值小于0.05来看，碳排放预测模型的预测精度为二级；从碳排放均方差比 C 值（为0.0644）小于0.35，以及小误差概率 P 值（为1）大于0.95来看，碳排放预测模型的预测精度为一级。因此，总体来看，长株潭城市群产业部门碳排放模型的预测精度较好。

2) 人均GDP、人口、碳排放强度的相对误差值都小于0.01，其均方差比 C 值都小于0.35，而且小误差概率 P 值都大于0.95。因此，人均GDP、人口、碳排放强度预测模型的预测精度为一级。因此，长株潭城市群人均GDP、人口、碳排放强度预测模型的预测精度非常好。

3) 万元GDP能耗的相对误差值小于0.1,其均方差比C值小于0.35,而且小误差概率P值大于0.95。因此,万元GDP能耗预测模型的预测精度好。

从预测结果可以看出,如果保持原有产业结构、能源结构不变的话,长株潭城市群未来20a内的产业部门碳排放量将呈快速上升的趋势,以年均15.99%的增长速度,从2010年的约17.4亿t上升到2030年的约291.0亿t,这对于长株潭城市群的碳减排来说将是严峻的挑战。

表2 产业碳排放及其影响因素的模拟预测结果

Table 2 Simulating and forecasting results of industrial carbon emissions and its influencing factors

年份	碳排放/ 万吨	人均GDP/ 元	人口/ 万人	万元GDP能 耗/吨标准煤	碳排放 强度
2005	8 756.95	18 959.28	1 352.339	1.335 300	2.557 866
2006	9 928.31	21 344.57	1 363.040	1.315 015	2.555 164
2007	11 428.77	24 293.02	1 372.257	1.213 724	2.523 496
2008	13 156.00	27 648.76	1 381.537	1.120 235	2.492 221
2009	15 144.26	31 468.04	1 390.880	1.033 947	2.461 333
2010	17 433.01	35 814.90	1 400.285	0.954 305	2.430 829
2011	20 067.66	40 762.22	1 409.754	0.880 798	2.400 702
2012	23 100.48	46 392.94	1 419.288	0.812 953	2.370 948
2013	26 591.65	52 801.47	1 428.885	0.750 334	2.341 564
2014	30 610.44	60 095.24	1 438.548	0.692 538	2.312 543
2015	35 236.59	68 396.54	1 448.276	0.639 194	2.283 883
2016	40 561.89	77 844.55	1 458.070	0.589 959	2.255 577
2017	46 692.00	88 597.67	1 467.930	0.544 517	2.227 622
2018	53 748.55	100 836.20	1 477.856	0.502 574	2.200 014
2019	61 871.55	114 765.30	1 487.850	0.463 863	2.172 748
2020	71 222.19	130 618.50	1 497.912	0.428 133	2.145 820
2021	81 985.98	148 661.50	1 508.041	0.395 155	2.119 225
2022	94 376.51	169 197.00	1 518.239	0.364 718	2.092 960
2023	108 639.60	192 569.20	1 528.506	0.336 625	2.067 021
2024	125 058.30	219 169.90	1 538.842	0.310 696	2.041 403
2025	143 958.30	249 445.10	1 549.248	0.286 764	2.016 103
2026	165 714.70	283 902.40	1 559.725	0.264 675	1.991 116
2027	190 759.10	323 119.40	1 570.272	0.244 288	1.966 439
2028	219 588.50	367 753.80	1 580.891	0.225 472	1.942 068
2029	252 774.90	418 553.80	1 591.582	0.208 104	1.917 998
2030	290 976.70	476 371.00	1 602.344	0.192 075	1.894 227

表3 产业碳排放及其影响因素预测模型检验结果

Table 3 Test results of forecasting models of industrial carbon emissions and its influencing factors

相关参数	相对误差 α	均方差比C	小误差概率P
碳排放	0.05	0.064 4	1
人均GDP	0.01	0.009 2	1
人口	0.01	0.340 2	1
万元GDP能耗	0.10	0.270 4	1
碳排放强度	0.01	0.225 7	1

3 灰色计量经济模型估计

运用Eviews6.0软件进行Granger因果关系检验,

检验结果见表4。由表4分析可知,在1%的显著性水平上,碳排放、人均GDP、人口、单位GDP能耗强度、碳排放强度之间存在着双向因果关系。

表4 Granger因果关系检验结果(滞后阶数为3)

Table 4 Results of Granger causality tests (lags: 3)

检验的原假设	F-统计值	Prob	对原假设的 判断
LG does not Granger Cause LC	52.867 1	0.0000	拒绝原假设
LC does not Granger Cause LG	16.901 7	0.0000	拒绝原假设
LN does not Granger Cause LC	27.830 3	0.0000	拒绝原假设
LC does not Granger Cause LN	367.457 0	0.0000	拒绝原假设
LP does not Granger Cause LC	539.723 0	0.0000	拒绝原假设
LC does not Granger Cause LP	233.144 0	0.0000	拒绝原假设
LT does not Granger Cause LC	64.849 6	0.0000	拒绝原假设
LC does not Granger Cause LT	14.559 5	0.0001	拒绝原假设
LN does not Granger Cause LG	428.837 0	0.0000	拒绝原假设
LG does not Granger Cause LN	13.235 6	0.0001	拒绝原假设
LP does not Granger Cause LG	14.691 5	0.0001	拒绝原假设
LG does not Granger Cause LP	22.743 3	0.0000	拒绝原假设
LT does not Granger Cause LG	272.900 0	0.0000	拒绝原假设
LG does not Granger Cause LT	2 028.940 0	0.0000	拒绝原假设

利用Eviews6.0软件,采用单位根检验法,对LT, LG, LP, LN, LC各变量进行一阶平稳性检验,检验结果见表5。由表5分析可知,在1%的显著水平下,LT, LG, LP, LN, LC都是一阶单整的。

表5 各变量一阶差分的单位根检验结果

Table 5 Results of unit root test for variables 1st difference

变量	ADF 检验统计量 相应的t-统计值	1%下的t-统计量 的临界值	Prob	结论
LC	-17.932 1	-3.831 5	0.0000	平稳
LG	-1 105.414 0	-3.831 5	0.0000	平稳
LN	-14.922 9	-3.831 5	0.0000	平稳
LP	-28.086 3	-3.831 5	0.0000	平稳
LY	-7.977 8	-3.737 9	0.0000	平稳

使用SPSS19.0统计软件,对自变量LT, LG, LP, LN, LC进行共线性诊断,诊断结果见表6。由表6分析可知,自变量存在严重的共线性(条件指数为10 349.16),常数项与LP的VP值都很大(都是0.99)。因此,自变量LP与常数项是极度相关的。

表6 共线性诊断结果

Table 6 Collinearity diagnosis results

特征值	条件指数	VP值				
		常数	LG	LP	LN	LC
0.000	10 349.16	0.99	0.01	0.99	0.04	0.14

为了解决变量之间共线性问题,采用Eviews6.0软件,通过逐步回归消除多重共线性,得到式(5)所示结果:

$$LT = -1.636 2 + 1.087 4 LG + u \quad (5)$$

$$(-90.731 6) (693.318 4)$$

$R^2=0.999\ 95$, 调整的 $R^2=0.999\ 95$, $F=480\ 690.4$, 方差分析 $P=0.000\ 0$, $D.W.=2.264\ 8$ 。

因此, 式(5)整体拟合很好, 不存在自相关, 具有统计学意义, 其中 u 为扰动项。对序列 LG 和 LN 以及式(5)的残差用Eniews6.0进行单位根检验, 检验结果见表7。由表7分析可知, 在1%的检验水平下, 序列 LG 和 LN 以及式(5)的残差是平稳的, 模拟结果很好。

表7 模型参数估计及其假设检验结果

Table 7 The model parameter estimation and its hypothesis test results

变量	估计值	标准误差	t -统计值	Prob
LG	1.087 4	0.001 6	693.318 4	0.000 0
常数	-1.636 2	0.018 0	-90.731 6	0.000 0
R^2	0.999 95			
调整的 R^2	0.999 95			
F -统计量	480 690.4			0.000 0
$D.W.$	2.264 8			
AIC	-6.807 0			
SC	-6.710 2			

综上所述, 式(5)中各自变量回归系数均通过了统计检验经济学检验, 能够比较客观地反映长株潭城市群产业部门碳排放与人均GDP之间的长期均衡关系。

4 情景分析

通过对长株潭城市群产业未来各种发展情景的分析, 以期发现未来长株潭城市群产业部门碳排放的某些变化趋势, 避免过高或者过低地估计未来事物相关参数及其本身的变化, 以及这些变化将带来的影响。

4.1 情景定义

本文将长株潭城市群产业发展情景设为BAU、节能、低碳、强化低碳4种情景。

BAU情景: 经济结构、能效水平、能源结构均保持现状不变, 该情景反映的是不作任何努力下, 经济、人口增长的二氧化碳排放增长趋势, 是一种冻结的产业发展情景。在BAU情景下, 长株潭如果继续延续2010年以前的经济社会发展模式, 不充分考虑节能减排对经济社会发展的作用, 缺乏针对气候变化的政策措施, 产业结构、能效水平、能源结构均保持现状不变, 第一产业和第三产业发展缓慢, 第二产业发展快速, 长株潭的经济将主要由工业, 特别是高能耗工业发展来带动, 而技术水平与清洁能源没有得到进一步的发展, 那么未来的一次能源需求和碳排放量如前面所预测的将随着产业发展而

迅速增长, 将使长株潭城市群的发展面临严峻的能源供给与碳减排挑战, 显然, 这将使得长株潭城市群的发展不可持续。

节能情景: 当前节能减排政策继续实施, 经济社会稳步发展。考虑长株潭资源环境承载能力、能源安全、社会经济发展、环境保护等需求, 且在提高能效、改善产业结构和能源结构的基础上, 假定宏观调控和推动可持续发展的政策效果较为明显, 但无应对气候变化的特别政策措施, 此时, 经济发展方式转型受到重视, 技术特别是能源开发利用技术得到发展, 技术的推广速度较为理想, 能源结构将得到一定优化。

低碳情景: 当前的节能减排政策继续延续下去, 进一步考虑全球减缓温室气体排放的努力, 长株潭城市群充分利用国际国内两个市场, 增加对发展低碳经济的投入; 技术进步发展较快, 推动低碳与环保技术进步方面有重大举措。低碳情景代表了低碳发展未来的一种趋势。

强化低碳情景: 反映了以内涵式增长为主的发展方式, 科技进步进一步强化, 低碳政策实施的内外环境理想, 地区生产总值增长较缓, 其代表了长株潭城市群应对气候变化为国家和全球碳减排所作出的贡献。

4.2 参数设定

发展经济学理论表明, 经济发展速度与工业化程度是基本同步的。我国正处于工业化加速发展的进程中, 中国经济发展速度保持在一个较高水平上, 符合经济发展规律。中国人均GDP虽然在2010年已经达到2 870美元(2005年不变价美元), 株洲市、湘潭市人均GDP也分别达到了3 216美元、3 091美元, 但仍不及美国、英国、法国、德国等国家2010年人均GDP的10%。长沙市2010年人均GDP虽然达到了6 360美元, 但与发达国家相比相距甚远。因此, 未来若干年仍然需要大力发展经济。

根据国家新型城镇化规划(2014—2020年)、《国家重点节能技术推广目录》《可再生能源中长期发展规划》等相关文件报告中对城市发展和低碳技术的应用研究情况, 结合《湖南省天然气利用中长期规划》《湖南省新能源产业振兴实施规划(2010—2020年)》《湖南省推进新型城镇化实施纲要(2012—2020)》《长株潭城市群区域规划》《湘潭市建设国家新能源示范城市规划》等相关长株潭政策文件中拟定的目标, 参考文献[10], 设定BAU、节能、低碳、强化低碳4种情景下的技术参数, 4种情景下的技术参数如表8所示。

表8 BAU、节能、低碳、强化低碳情景下的技术参数
Table 8 The technical parameters for BAU, energy saving, low carbon and enhanced low-carbon scenario

情景	年份	人均GDP年均增长率/%
BAU	2011—2020	13.8
	2021—2030	13.8
节能	2011—2020	11.0
	2021—2030	8.8
低碳	2011—2020	9.0
	2021—2030	7.0
强化低碳	2011—2020	8.0
	2021—2030	6.0

4.3 各情景下的碳排放

根据表8所示的技术参数设定,以及公式(5),运用Matlab数学计算软件,编写相应的程序,计算得到4种情景下的二氧化碳排放量。2011—2030年,长株潭城市群产业二氧化碳排放量见图1。

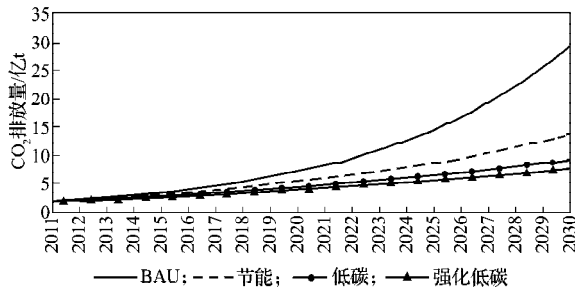


图1 4种情景下的二氧化碳排放量

Fig. 1 Carbon dioxide emissions in four scenario

由图1可看出,2011—2030年,BAU、节能、低碳和强化低碳情景下长株潭城市群产业碳排放都呈上升趋势。在BAU、节能、低碳和强化低碳情景下,2011—2030年,长株潭城市群产业部门碳排放量整体上分别增加14.50,6.95,4.85,4.00倍,年均增长率分别为15.11%,10.74%,8.67%,7.57%。在BAU、节能、低碳和强化低碳情景下,2030年碳排放量分别达到约29.0,13.6,9.3,7.6亿t。2030年,与BAU情景相比,节能、低碳和强化低碳情景下的碳排放量分别减少53.36%,68.07%,73.92%。

2010—2030年,4种情景下的人均GDP如图2所示。由图2可看出,2010—2030年,BAU、节能、低碳和强化低碳情景下长株潭城市群人均GDP都呈上升趋势。虽然节能、低碳和强化低碳情景下,长株潭城市群人均GDP增长速度比BAU情景要慢,但到2030年,节能、低碳和强化低碳情景下的长株潭城市群人均GDP分别将达到236 365,166 789,138 471元人民币(2005年不变价),分别是2010年的6.7,4.7,3.9倍,并且分别折合288 22,203 37,168 84美元(2005年不变价美元),与2010年世界各个国家和地区的人均GDP相比较,节能、低碳和强化低碳情景下的长

株潭城市群人均GDP将分别达到世界第24,35,37位的水平。

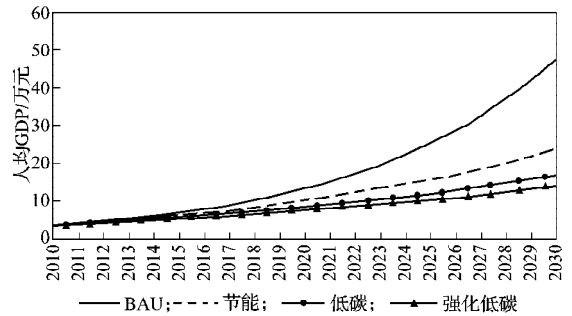


图2 4种情景下的人均GDP

Fig. 2 Per capita GDP in four scenarios

5 结论

本文基于2005—2010年长株潭城市群产业二氧化碳排放量,及其影响因素人均GDP、总人口、万元GDP能耗和碳排放强度的数据,运用灰色系统理论,对2005—2030年长株潭城市群产业部门碳排放以及人均GDP、人口、万元GDP能耗和碳排放强度进行了模拟和预测,并运用灰色计量经济学方法,得出了长株潭城市群产业碳排放及其影响因素之间的长期均衡关系,最后设定BAU、节能、低碳和强化低碳4种情景,对长株潭城市群2011—2030年产业部门的碳排放进行了情景分析,得出如下结论:

1) 长株潭城市群如果保持2010年以前的产业结构、能源结构不变,那么,未来20 a内,其产业碳排放量将呈快速上升的趋势,以年均15.99%的增长速度,从2010年的约17 400万t上升到2030年的约291 000万t,这对于长株潭城市群的碳减排来说将是严峻的挑战。

2) Granger因果关系检验结果表明,在1%的显著性水平上,碳排放、人均GDP、人口、单位GDP能耗强度、碳排放强度之间存在着双向因果关系。

3) 长株潭城市群产业碳排放最重要的影响因素是经济增长,长株潭城市群产业碳排放与体现经济增长的人均GDP之间具有长期均衡关系,人均GDP每变动1%,长株潭城市群产业碳排放将增加约1.1%。

4) 2011—2030年,BAU、节能、低碳和强化低碳情景下长株潭城市群产业碳排放都呈上升趋势。但节能、低碳和强化低碳情景下,长株潭城市群产业部门碳排放量的年均增长速度将比BAU情景分别降低4.4,6.4,7.5个百分点,与BAU情景相比,节能、低碳和强化低碳情景下2030年的碳排放量分别减少53.36%,68.07%,73.92%。

5) 2011—2030年,BAU、节能、低碳和强化低

碳情景下长株潭城市群人均GDP都呈上升趋势。虽然节能、低碳和强化低碳情景下,长株潭城市群人均GDP增长速度比BAU情景要慢一些,但到2030年,节能、低碳和强化低碳情景下长株潭城市群人均GDP分别将达236 365, 166 789, 138 471元人民币(2005年不变价),分别是2010年的6.7, 4.7, 3.9倍,且分别折合28 822, 20 337, 16 884美元(2005年不变价美元),与2010年世界各个国家和地区的人均GDP相比,节能、低碳和强化低碳情景下的长株潭城市群人均GDP将分别达世界第24, 35, 37位的水平,可实现长株潭城市群产业低碳发展和经济发展的双赢。

参考文献:

- [1] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 4版. 北京: 科学出版社, 2008: 1-5.
Liu Sifeng, Xi Naiming. Grey Systems Theory and Applications[M]. 4th ed. Beijing: Science Press, 2008: 1-5.
- [2] 王文静, 马军海. 基于灰色经济计量模型的我国股市波动率实证研究[J]. 统计与决策, 2009(18): 135-136.
Wang Wenjing, Ma Junhai. Empirical Study on the Volatility of China's Stock Market Based on the Grey Econometric Model[J]. Statistics and Decision, 2009(18): 135-136.
- [3] 娄伟. 情景分析理论研究[J]. 未来与发展, 2013(8): 30-37.
Lou Wei. The Study on Scenario Analysis Theory[J]. Future and Development, 2013(8): 30-37.
- [4] Celeste Amorim Varum, Carla Melo. Directions in Scenario Planning Literature: A Review of the Past Decades[J]. Futures, 2010, 42(4): 3556-3699.
- [5] 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: 35-88.
Energy Research Institute of National Development and Reform Commission. China's Low Carbon Development Road by 2050: Scenario Analysis of Energy Demand and Carbon Emissions[M]. Beijing: Science Press, 2009: 35-88.
- [6] 中国科学院能源领域战略研究组. 中国至2050年能源科技发展路线图[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-120.
Energy Strategy Research Group of China Academy of Sciences. China's Energy Technology Development Road Map by 2050[M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-120.
- [7] 岳超, 王少鹏, 朱江玲, 等. 2050年中国碳排放量的情景预测: 碳排放与社会发展[IV][J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(4): 517-524.
Yue Chao, Wang Shaopeng, Zhu Jiangling, et al. 2050 Carbon Emissions Projection for China: Carbon Emissions and Social Development, IV[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 46(4): 517-524.
- [8] 张陶新. 中国城市化进程中的城市道路交通碳排放研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(8): 3-9.
Zhang Taoxin. Research on China's Urban Road Transport Carbon Emissions Under Urbanization Process[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(8): 3-9.
- [9] 黄宇, 吴晓煦, 朱志超. 武汉市低碳化发展的情景分析[J]. 环境科学与技术, 2014(1): 195-200.
Huang Yu, Wu Xiaoxu, Zhu Zhichao. Scenario Analysis of Low Carbon Development in Wuhan[J]. Environmental Science & Technology, 2014(1): 195-200.
- [10] 张陶新, 邹毓, 谢世雄. 长株潭城市群低碳交通建设现状与对策分析[J]. 湖南工业大学学报: 社会科学版, 2013, 18(1): 12-17.
Zhang Taoxin, Zou Yu, Xie Shixiong. Analysis on the Status and Countermeasures of Low-Carbon Transport on the Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration[J]. Journal of Hunan University of Technology: Social Science Edition, 2013, 18(1): 12-17.
- [11] 张陶新. 科技投入与碳排放的灰色关联度分析: 以株洲市工业企业为例[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(5): 42-46.
Zhang Taoxin. Analysis on the Degree of Grey Incidence Between Science & Technology Input and Carbon Emissions: A Case Study of Industrial Enterprises in Zhuzhou City[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(5): 42-46.
- [12] Kaya Y. Impact of Carbon Dioxide L. Mission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios[R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.
- [13] 张陶新, 周跃云, 芦鹏. 中国城市低碳建筑的内涵与碳排放量的估算模型[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(1): 77-80.
Zhang Taoxin, Zhou Yueyun, Lu Peng. Estimation Model of Carbon Emission and Connotation of China's Urban Low-Carbon Building[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(1): 77-80.

(责任编辑: 徐海燕)