

# 湖南省碳排放影响因素的灰色关联分析与预测

欧阳强, 李 奇

(长沙理工大学 经管学院, 湖南 长沙 410114)

[摘要]采用灰色关联分析法分析了 2000 年—2005 年湖南碳排放量与经济增长、人口规模、产业结构以及城市化水平四影响因素的关联度,得出城市化水平与碳排放量的关系最为显著的结论,同时运用 GM(1,1)灰色预测模型对湖南未来几年碳排放量做出预测(2010 年—2012 年),结果表明:如果保持目前的经济增长速度、人口规模、产业结构以及城市化水平,碳排放量仍将保持较高的增长速度。最后提出关于湖南减少碳排放的政策建议。

[关键词]湖南省;碳排放量;灰色关联;灰色预测;城市化水平

[中图分类号]F061.3 [文献标识码]A [文章编号]1672-934X(2012)01-0065-05

## Grey Relational Analysis and Forecast of Hunan Carbon Emissions Influencing Factors

OUYANG Qiang, LI Qi

(School of Economics & Management, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**Abstract:** This paper analyzes the correlation of carbon emissions in Hunan 2000—2005 and economic growth, population size, industrial structure, level of urbanization by using the Grey correlation method, and draws a conclusion that the relationship between carbon emissions and the level of urbanization is the most significant. Meanwhile, GM (1,1) Grey forecasting model has been used to forecast carbon emissions from 2010 to 2012 in Hunan, and the results show that if the current economic growth, population size, industrial structure and level of urbanization of China remains at the current rate of development, the carbon emissions will continue to maintain high growth rate. In the end suggestions have been made on the policy to reduce carbon emissions in Hunan.

**Key words:** Hunan; Carbon Emissions; Grey Correlation; Grey Forecast; Level of Urbanization

随着世界经济的快速发展,温室气体的大量排放,全球气候发生了巨大变化,据 IPCC 第三次评估报告中显示,1901—2000 年全球平均地面温度上升 0.6℃,而 IPCC 第四次评估报告中 1906—2005 年全球平均地面温度上升 0.74℃,特别是 1995—2006 年间全球平均气温是自 1985 年以来上升速度最快

的,<sup>[1]</sup>温室效应的明显加快使气候问题越来越引起国际社会的广泛关注。中国自改革开放以来经济上取得了举世瞩目的成就,已成为全球第二大经济体和第二大出口国,但经济增长很大程度上也是建立在“高碳”基础上的,造成资源环境代价太大,目前已经成为世界第一大碳排放国和能源消费国。为顺应

收稿日期:2011-11-05

基金项目:2011 年度教育部人文社会科学研究一般项目“我国出口贸易低碳化发展路径与政策研究”(11YJA790108);湖南省哲学社会科学基金委托项目“湖南低碳经济发展路径与政策研究”(2010JD20);湖南省哲学社会科学基金“湖南省城镇居民可持续消费模式及政策研究”(08YBB358);湖南省哲学社会科学成果评审委员会立项课题“湖南省发展低碳经济的路径与对策研究”(1011006A);湖南省教育厅高等学校科学研究青年项目“低碳经济背景下对外贸易结构调整与优化研究”(10B007)的阶段性研究成果。

作者简介:欧阳强(1971—),男,湖南岳阳人,长沙理工大学经济与管理学院教授,硕士生导师,主要从事低碳经济理论与政策研究;李奇(1985—),男,山东莱阳人,长沙理工大学经济与管理学院硕士研究生,主要从事可持续发展理论与政策研究。

世界低碳经济潮流、改善国内日益恶化的环境,国务院总理温家宝在 2011 年度大连夏季达沃斯年会上提出了在“十二五”期间把我国非化石能源占一次能源消费比重提高到 11.4%,单位 GDP 能耗和二氧化碳排放分别降低 16%和 17%的战略目标。

在国家极力倡导低碳经济的前提下,湖南同样面临着巨大的节能减排压力。华中区域气象中心曾对河南、湖北、湖南的气候进行评估,结果显示 1961~2005 年 45 年来,湖南年平均气温上升了 0.54 度,已成为中部 6 省气温上升明显的省份。湖南必须改变原有的高能耗的发展模式,实施节能减排举措,减少化石能源消费,提高能源利用效率,因此对碳排放量增长的驱动因素进行分析就显得意义重大。

目前国内外学者对影响碳排放量的因素进行了广泛的研究,Wang can、Chen Jining、Zou Ji 采用 LMDI 分解法对我国 1957—2007 年碳排放进行了分解,认为能源强度以及能源结构均可以对碳排放起到抑制作用,其中能源强度对减少碳排放的效果更为明显,而经济增长能够驱动碳排放的增长,产生正的驱动效应。徐国泉、刘则渊、姜照华则采用对数平均权重 Divisia 分解法,建立中国人均碳排放的因素分解模型分析了能源结构、能源效率和经济发展等因素的变化对中国人均碳排放的影响,发现经济发展对拉动中国人均碳排放的贡献率呈指数增长,而能源效率和能源结构对抑制中国人均碳排放的贡献率都呈倒“U”型趋势,并且经济发展对中国人均碳排放贡献率大于抑制因素能源结构和能源效率对中国人均碳排放的贡献率。朱勤、彭希哲等人利用扩展的 Kaya 恒等式以及 LMDI 分解方法对我国 1980—2007 年数据分析,得出经济规模、人口规模驱动我国碳排放的增长,而产业结构中第一产业和第三产业对碳排放增长存在负效应,第二产业则呈现正的刺激效应。上述研究中对于碳排放影响因素的分析涵盖了经济规模、人口总量、能源结构、能源效率、产业结构等因子,范围较广,但主要是基于整个国家层面的,目前国内针对省域范围,特别是针对湖南省的碳排放量影响因素的研究还不多见,其中刘晓、熊文、朱永斌、王铮、滕玉香利用朱永斌、王铮的碳排放动力学模型中经济平稳增长率与能源强度之间的数量关系以及指数拟合的能源强度的下降速

率,测算出未来 GDP、能源强度、能源的消费量,最终通过能源消费结构比例得到未来湖南省碳排放的变化趋势呈倒 U 型、能源消费结构中煤炭是影响湖南碳排放的主要驱动因子的结论。尹向飞利用 STIRPAT 模型对 1985—2007 年湖南数据进行分析,认为人口老龄化、居民消费水平、城市化水平和人口规模能驱动碳排在量上的增长,产业结构中第三产业占比对碳排放起抑制作用。关于湖南碳排放的研究上刘晓、熊文、朱永斌、王铮、滕玉香与尹向飞的研究均不乏亮点,前者的分析中虽然是涵盖了经济增长和能源的消费量两大因子,但更倾向于利用经济增长的变化情况预测未来湖南碳排放量的变化趋势,并未细致地分析各因子对碳排放的影响状况。而后者将人口老龄化、居民消费水平、城市化水平、人口规模以及产业结构状况纳入到分析框架中,认为人口老龄化对碳排放的影响更大。本文综合上述研究成果,对碳排放的驱动因子的分析从内容和方法上加以丰富,重点分析经济增长、产业结构、人口规模、城市化水平四大因素对碳排放的影响程度。

## 二、湖南碳排放影响因素的灰色关联实证分析

### (一)数据的选择

本文的碳排放量是引用何介南、唐文星核算的 2000~2005 年湖南的碳排放量。另外通过查阅 2001—2006 年湖南统计年鉴得到 GDP、第二产业产值、人口总量以及城镇人口比例的相关数据,用历年 GDP 表示经济增长,第二产业的产值在全省生产总值中所占比重表示产业结构,而城市化水平是以城镇人口占总人口的比率衡量。综合碳排放量数据后在表 1 所示。

表 1 湖南省 2000~2005 年的碳排放量、产业结构、GDP、人口规模、城市化水平

年份	碳排放量 (万吨)	GDP (亿元)	产业 结构/%	人口规模 (万人)	城市化 水平/%
2000	2496.63	3551.49	39.6	6562.05	29.75
2001	3079.28	3831.90	39.5	6595.85	30.8
2002	3419.25	4151.54	40	6628.50	32
2003	3744.75	4659.99	38.7	6662.80	33.5
2004	4500.22	5641.94	39.5	6697.70	35.5
2005	6111.84	6596.10	39.9	6732.10	37.0

(二)碳排放量与影响因素灰色关联模型的建立

灰色关联分析方法是衡量因素间关联程度的一种方法。若两个因素同步变化程度较高,即可谓二者关联程度较高;反之,则较低。其对样本量的多少和样本有无规律同样适用。基于目前湖南省能源统计数据量有限,灰色关联分析在一定程度上可以弥补统计及计量分析方法的欠缺。灰色系统关联分析的具体计算步骤如下:

第一步,将历年碳排放量作为参考数列,各影响因素作为比较数列。

第二步,分别将参考数列和对比数列进行无量纲化处理。即各数列除以各自的列平均数: $X_i(k) = X_i(1)/\bar{X}_i, X_i(2)/\bar{X}_i, X_i(3)/\bar{X}_i \dots$ 将碳排放量通过无量纲化处理得到一个参考数列: $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(6)\}$ ,数列长度为 6。另将经济增长、工业化比率、人口总量、城市化水平也经过无量纲化处理,构成比较数列集: $X_i = \{X_i(1), X_i(2) \dots X_i(6)\}, X = \{X_i | i = 1, 2, 3, 4\}$ ,如表 2 所示。

表 2 无量纲化处理

碳排放量	经济增长	产业结构	人口规模	城市化水平
$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
0.641478	0.749445	1.001686	0.987294	0.899018
0.791183	0.808618	0.999157	0.992379	0.930748
0.878534	0.876069	1.011804	0.997292	0.967011
0.962167	0.983364	0.978921	1.002452	1.012339
1.156276	1.190577	0.999157	1.007703	1.072778
1.570362	1.391927	1.009275	1.012879	1.118106

第三步,各比较数列与参考数列的绝对差序列。 $\Delta_i = |X_i(k) - X_0(k)|, k = 1, 2, 3 \dots 6; i = 1, 2, 3, 4。$

第四步,求关联度,依据关联系数公式:

$$\eta_i(k) = \frac{\min \min |X_i(k) - X_0(k)| + \rho \max \max |X_i(k) - X_0(k)|}{|X_i(k) - X_0(k)| + \rho \max \max |X_i(k) - X_0(k)|}$$

其中  $\rho$  为分辨系数,  $\rho$  越小分辨率越大。一般  $\rho$  的取值区间为  $(0, 1)$ , 本文中运用取  $\rho = 0.6$ 。根据关联度的数量关系表达式:  $P_i = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 \eta_i(k), i = 1, 2, 3, 4$  ( $P$  越接近 1 关联度越大), 求出经济增长、产业结构、人口增长、城市化水平四个影响因素与碳排放量的关联度如表 3 所示。

表 3 各影响因素与碳排放量的关联度

关联度	经济增长	产业结构	人口规模	城市化水平
	0.733582	0.66958	0.712228	0.772389

三、碳排放的灰色预测

(一)GM(1,1)灰色预测模型的建立

第一步,假设原始数列  $x^{(0)}(k) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ , 既然要对碳排放进行预测,那么原始数列就是 2000 - 2009 年核算的碳排放量。 $x^{(0)}$  累加后生成新数列为  $x^{(1)}(k) = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ , 其中  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) (k = 1, 2, \dots, n)。$

第二步,利用生成数列  $x^{(1)}(k)$  建立灰色预测模型 GM(1,1) 的一般形式:  $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$  (式 1), 积分后得到预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} + \frac{b}{a} \text{ (式 2)}$$

其中  $a$  为发展灰数,  $b$  为内生控制灰数。另外设待估参数向量  $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ , 利用最小二乘法得出  $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ , 其中

$$B = \begin{bmatrix} -1/2(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -1/2(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \dots & \dots \\ -1/2(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]$$

然后通过 Matlab 数理统计分析软件求出:  $a = -0.18239, b = 2074.42898$ , 发展系数  $a \in (-2, 2)$  且  $a \geq -0.3$ , 因此所建 GM(1,1) 灰色模型适用于中长期预测。

第三步,将  $a, b$  值代入式(2)得到  $\hat{x}^{(1)}(k+1) = 13869.43e^{0.18239k} - 11373.313$

第四步,再根据  $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k)$  求出还原值。如表 4 所示。

(二)模型检验与预测结果

(1)残差检验,根据预测模型求出  $\hat{x}^{(1)}(k)$ , 累减后生成数列  $\hat{x}^{(0)}(k)$ , 然后计算原始数列  $x^{(0)}(k)$  与  $\hat{x}^{(0)}(k)$  的绝对误差序列和相对误差序列。

$$\Delta^{(0)}(k) = |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|,$$

$$e(k) = \frac{\Delta^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \times 100\%.$$

表 4 2000—2005 年湖南碳排放的实际值与还原值

年份	实际值	还原值
2000	2496.63	2496.63
2001	3079.28	2775.2047
2002	3419.25	3330.4847
2003	3744.75	3996.8730
2004	4500.22	4796.5971
2005	6111.84	5756.3361

表 5 相对误差序列

序号	相对误差
1	0
2	0.098749
3	0.02596
4	0.067327
5	0.065858
6	0.058166

(2) 后验差检验, 根据公式

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}]^2},$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [\Delta^{(0)}(k) - \overline{\Delta^{(0)}(k)}]^2},$$

$$C = s_2/s_1,$$

$P = p\{|\Delta^{(0)}(k) - \overline{\Delta^{(0)}(k)}| < 0.6745s_1\}$ , 求出及原始数据标准差  $s_1 = 1165.501863$ , 残差标准差  $s_2 = 91.3984$  和小误差概率  $P = 1 > 0.95$ ,  $C = 0.078 < 0.35$ 。

(3) 关联度检验, 根据上面提到的求关联系数的公式求出数列  $\hat{x}^{(0)}(k)$  与数列  $x^{(0)}(k)$  的关联系数为 0.605。

参照灰色系统理论精度检验等级参照表(表 6)可知相对误差、均值方差比值越小, 关联度、小误差概率值越大, 模型精度越高。从上述检验过程中可以看到该预测模型通过检验, 可以用来进行对未来湖南碳排放量进行预测, 如表 7 所示, 从预测值可以看出, 如果仍然保持目前的经济增长速度、人口规模、产业结构以及城市化水平, 湖南的碳排放量仍将

保持较高的增长速度。

表 6 精度检验等级参照表

精度	指标			
	相对误差	关联度	均方差比值	小误差概率
1 级	0.01	0.90	0.35	0.95
2 级	0.05	0.80	0.50	0.80
3 级	0.10	0.70	0.65	0.70
4 级	0.20	0.60	0.80	0.60

表 7 湖南碳排放预测

预测年份	2010	2011	2012
预测产量(万吨)	14328.826	17195.845	20636.518

#### 四、结论与建议

本文将人口规模、经济增长、产业结构、城市化水平作为影响湖南碳排放的四大因子进行了灰色关联性分析, 结果表明湖南省的碳排放量与人口数量、经济增长、产业结构、城市化水平关系均显著, 城市化水平对湖南省的碳排放量影响最为明显, 其次是经济增长和人口规模, 最后是产业结构即工业化水平, 但各自的影响程度相差不是很大。实际上城市化是衡量人口向城市的转移的指标, 意味着居民原有的生产、消费方式的转变, 对能耗的要求也会越来越高, 从而导致能源消费和碳排放的增加。据统计, 全世界城市消耗的能源占全球的 75%, 温室气体排放量占全球的 80%<sup>[6]</sup>; 人口的增长会促进消费、交通等需求以及经济生产活动的增加, 就需要消耗更多的能源来满足这些需求, 最终也会驱动碳排放量的增长。另外, 我国经济增长对能源消费的依赖程度很高, 经济的高速运转是以高能耗和牺牲环境为代价的, 必然会带来碳排放量的增长。我们在寻求经济增长的同时也会与降低碳排放的目的之间呈现出矛盾的一面, 因此降低碳排放量时需考虑到其对经济增长的抑制作用。而工业部门作为湖南省能源消费的大户, 其能源消费占湖南全省能源消费总量的比重一直保持在 75% 左右, 特别是最近几年工业消费能源的比重逐步提高, 其对碳排放的影响也是不容忽视的。

综合以上分析, 经济增长、产业结构、人口规模以及城市化水平对湖南省碳排放均具有驱动作用, 并且如果保持当前状况不变, 未来几年湖南碳排放

量将保持持续高速的增长,因此实施节能减排政策就显得更加迫切,在分析了影响湖南碳排放的影响因素之后,提出建议如下:

(1)首先城市化是我国经济发展的必然趋势,不可能通过降低城市化水平来减少湖南的碳排放量,介于人口城市化对湖南碳排放的影响,可以对城市居民在能源消费方面的行为进行引导,提高居民环保和节能意识,推进两型社会建设,争取在城市化发展进程中能够降低碳排放量。

(2)继续落实省内计划生育政策的落实,特别是湘西等欠发达地区的计划生育政策的普及工作需要加强,从而达到降低人口增长速度、缓解碳排放量的增长的目的。另外通过教育的普及提高人口素质、优化人口结构,为绿色低碳消费观念的普及做准备。

(3)优化产业结构,发展低能耗产业,特别是可以从提高第三产业的比重的方向上来降低碳排放量。同时把发展低碳经济的重大项目和技术研发纳入政府投资计划和财政预算,对可再生资源开发项目

给予资金补助,推动低能耗和节能环保产业的发展,从而促进发展新能源技术、提高能源的使用效率。

#### [参考文献]

- [1] 魏一鸣,刘兰翠,等.中国能源报告(2008):碳排放研究[R].北京:科学出版社,2008.
- [2] Wang can, Chen Jining, Zou Ji. Decomposition of Energy-related CO<sub>2</sub> Emission in China: 1957—2000[J]. Energy, 2005(30).
- [3] 徐国泉,刘则渊,等.中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995—2004[J]. 中国人口·资源与环境, 2006(6).
- [4] 朱勤,彭希哲,等.中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 资源科学, 2009(12).
- [5] 刘晓,熊文,等.经济平稳增长下的湖南省能源消费量及碳排放量预测[J]. 热带地理, 2011(3).
- [6] 申笑颜.中国碳排放影响因素的分析与预测[J]. 统计与决策, 2010(9).
- [7] 毛果平,吴超.湖南省工业能源消耗及污染物排放与产业结构关系[J]. 价值工程, 2009(4).

[责任编辑 谢明子]

(上接第64页)

对于“莽汉”来说,就像杨黎所言,乃是一种自由与奔放的“气质”,就如80年代初穿牛仔裤的人。新世纪复出后的李亚伟,诗歌的豪放中多了几分深沉,也带着岁月的沧桑感了,但其自由意识仍不时地从其创作中渗透出来。诗评家沈奇将李亚伟分成了前后两个莽汉,“‘前莽汉’属于历史,‘后莽汉’属于诗人自己,合起来成就了一个完整且更为真实的李亚伟。”<sup>⑩</sup>“第三代”诗人虽然在新世纪复出,但他们很快就将成为过去,成为传统的一部分。

在新世纪陆续归来的那些“第三代”诗人中,他们的创作呈现出各自不同的风格与转变,可谓多元而异彩纷呈。而 they 与“中间代”诗人,以及更为年轻的70后、80后诗人一道,丰富了逐渐走向平静的先锋诗歌现场。虽然他们的写作大多早已定型,但其持续性写作,正是先锋诗歌精神对诗人所要求的最佳状态,只要还在不断地坚持写,就会有无限的可能性。

#### [注释]

- ①周瓚.透过诗歌写作的潜望镜[M].北京:中国社会科学文献出版社,2007,1.
- ②陈旭光,谭五昌.秩序的生长——“后朦胧诗”文化诗学研究[M].西安:陕西人民出版社,2002,116.
- ③西川.诗歌炼金术[A].水渍[C].百花文艺出版社,2001,223.
- ④于坚.抱着一块石头沉到底——答陶乃侃问[A].拒绝隐喻[C].昆明:云南人民出版社,2004,220—221.
- ⑤李亚伟.天上,人间[A].豪猪的诗篇[C].广州:花城出版社,2006,231—232.
- ⑥周瓚.当代中国先锋诗歌论纲[A].透过诗歌写作的潜望镜[C].北京:社会科学文献出版社,2007,29—30.
- ⑦翟永明.再谈“黑夜意识”与“女性诗歌”[J].诗探索,1995,1.
- ⑧于坚.拒绝隐喻[M].昆明:云南人民出版社,2003,64.
- ⑨于坚.世界在上面貌 诗歌在下面——答诗人朵渔问[A].诗集与图像[C].西宁:青海人民出版社,2003,274.
- ⑩李亚伟.从诗歌的历史理解诗歌的现实——答马铃薯兄弟问[J].上海文学,2009,5.
- ⑪沈奇.两个“莽汉”与一个“撒娇”[A]沈奇诗学论集(II)[C].北京:中国社会科学出版社,2005,154.

[责任编辑 谢明子]