

Grey Forecasting Model and Its Application in Shanghai's Middle Carbon Intensity Index Analysis

Lei Yan, Jianke Guo

Shanghai TEPIA Technology Co. Ltd., Shanghai
Email: faxilion@gmail.com, guojk@tepa.com.cn

Received: Jan. 14th, 2013; revised: Feb. 26th, 2013; accepted: Mar. 9th, 2013

Copyright © 2013 Lei Yan, Jianke Guo. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The carbon intensity of shanghai from 2012 to 2020 is forecasted based on GM (1,1) model. Also we evaluate the possibility of achieving carbon emission reduction defined by middle carbon intensity index. The relation between primary, secondary, tertiary industry and carbon intensity is discussed by grey incidence degree. Finally, the policy of carbon emission reduction for middle carbon intensity index is given.

Keywords: Middle Carbon Intensity Index; Equal Dimensional Grey GM (1,1) Model; Carbon Emission Reduction

灰色预测模型及其在上海市中碳强度指数分析上的应用

严 磊, 郭建科

上海太比雅环保有限公司, 上海
Email: faxilion@gmail.com, guojk@tepa.com.cn

收稿日期: 2013年1月14日; 修回日期: 2013年2月26日; 录用日期: 2013年3月9日

摘 要: 通过灰色系统理论, 建立 GM (1,1)模型对 2012~2020 年上海市碳强度进行预测, 并研究了达成中碳强度指数减排目标的可行性。并利用灰色关联, 分析了第一、二、三产业的对碳强度的影响大小, 给出了减排措施。

关键词: 中碳强度指数; 等维灰色递补 GM (1,1)模型; 碳减排

1. 引言

全球气候系统变暖所引起的极端天气和灾难(土地干旱、农作物减产、海平面上升)对人类社会的影响是全方位、多尺度和多层次的。IPCC 报告^[1]评估: 自 1750 年后, CO₂ 成为造成全球气候系统变暖最重要的温室气体。为了避免全球气候系统变暖所带来的负面效应, 控制 CO₂ 等温室气体的排放已经成为各国政府的共识。1992 年的《联合国气候变化框架公约》设定的最终目标是: “将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”。

根据《联合国气候变化框架公约》“共同但有区别的责任”原则, 作为发展中国家的中国没有减排任务。国际能源署(IEA)报告中, 在 2007 年中国的温室气体排放就已超过美国成为全球温室气体排放最多的国家。同时 2007 年的人均年度温室气体排放量为 4.6 吨, 高于同年世界人均排放水平 4.4 吨。由环境库兹涅茨倒 U 型曲线, 经济增长和温室气体的排放有一个规律: 随着经济的增长, CO₂ 的排放也在增加; 当经济增长到一定的水平, CO₂ 的排放会出现拐点, CO₂ 的排放会随着经济的增长而持续下降。而作为发展中

国家,中国的CO₂的排放必然随着经济的发展而持续增加。但本着负责任的态度,我国采取了积极的减排措施。一般来而言,人均GDP达到4万到5万美元时,温室气体排放才开始下降,而我国在人均GDP仅有4000美元时就实施减排。

2007年在发展中国家当中,我国第一个制定并实施了应对气候变化国家方案。2009年,向全世界承诺到2020年单位国内生产总值的二氧化碳排放要比2005年下降40%~45%的行动目标。还编制了《国家应对气候变化规划(2011~2020年)》和《国家适应气候变化总体战略》。2013年5月,发改委已经拟好了《碳强度下降指标考核评估办法》,并打算据此建立碳强度下降目标责任制。

为了评估的衡量减排效果,我们预测了2012~2020年的碳强度变化。太比雅将2020年单位国内生产总值的二氧化碳排放要比2005年下降40%~45%的减排目标定义为中碳强度指数^[8]。有了中碳指数,将我国各个省市的单位GDP二氧化碳排放可以直观的表现出来,是我国作为全球最大排放国获得领导权的重要一步。随着碳交易市场的快速发展,中碳指数将可以是国际贸易和国际经济的领先指标之一,它集中反映了中国,甚至是全球对能源,矿产、等初级商品的需求,同时也是有色金属、煤炭等初级商品制造商股价走势的可参考指标之一。本文中,我们用中碳强度指数来衡量上海市的减排策略。

2. 数据的收集和整理

化石燃料使用所排放的CO₂是引发气候变化的主要原因。《中国能源统计》给出了能源消费总量的计算范围:终端能源消费量、能源加工转换损失量(投入量-产生量)、能源损失量(包括运输和输配损失)。本报告计算能源CO₂排放时的假设:考虑在终端能源消费产生的排放;略能源加工转换损失和能源损失的CO₂放;只考虑上海本地火力发电,不计市外来电。

CO₂排放量的测算方法一般分为模型法和指数法。本文根据上海各年份能源消耗的类型,用指数法分项排放因子(原煤、焦炭、燃料油和电力)进行估算^[4]。表1《IPCC 2006》中定义:CO₂排放量 = Σ(排放量 × 分品种单位能耗CO₂排放因子)

$$E_t = \sum_i \left(\sum_j AC_{i,j} CC_i CF_j O_j + AE_i CE_t \right) \quad (1)$$

Table 1. Standard coal coefficient, carbon emission factor and oxidation rate for different types of fuel^[2,3,5,6]
表 1. 各能源的标准煤折算系数、CO₂排放因子和氧化率^[2,3,5,6]

	原煤	焦炭	燃料油
$CC_i (10^4 \text{ tce}/10^4 \text{ t})$	0.7143	0.9714	1.4286
$CF_j (10^4 \text{ t CO}_2/10^4 \text{ tce})$	2.7718	3.1351	2.6782
O_j	0.9000	0.9280	0.9850

式中, E_t 为年份 t 的CO₂排放量,单位为10⁴t, j 表示化石燃料种类,分别为原煤、焦炭和燃料油; $AC_{i,j}$ 为 i 产业中 j 类能源的消耗量,单位为10⁴t; CC_i 为 i 类能源标准煤折算系数,单位为10⁴tce/10⁴t; CF_j 为 j 类能源的CO₂排放因子,单位为10⁴tCO₂/10⁴tce; O_j 为 j 类能源的氧化率了; AE_i 为 i 产业中的用量,单位为MWh; CE_t 为年份 t 的电力排放因子,单位为tCO₂/MWh。

3. 灰色预测模型

灰色预测法是一种对含有不确定因素的系统进行预测的方法^[7]。GM (1,1)模型为灰色预测法在经济预测中最常用的一种。假设有非负数离散函数 $x^{(0)}$, $x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$ 。一次累加后得到 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{k-1} x^{(0)}(i)$ 。由 $\mu = \sum_{i=0}^{n-1} b_i x_{i+1}^{(1)}$ 构成微分方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} = \mu - ax^{(1)} \quad (2)$$

可以解出

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a} \right] e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad (3)$$

其中, $k = 1, 2, \dots, n$ 。对预测所得的累加结果做减法运算得出原始预测值,

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (4)$$

其中, $\hat{x}^{(0)}(1) = \hat{x}^{(0)}(0)$ 。

GM (1,1)模型的预测结果只是预测1、2个数据时结果较好,对中远期的预测仅能反映出一种趋势。因为随着预测时间段的变长,预测值灰区间也越来越大,导致预测值可信度下降。为了提高对中远期的预测精度,我们使用等维灰色递补GM (1,1)模型。首先

对数列 $\bar{x}^{(0)}$ 建立 GM (1,1)模型预测一个值, 然后把其加入到原始数列 $x^{(0)}$ 中并去掉 $x^{(0)}$ (1) 得到新等维数列 $x^{(0)}$, 最后用 $x^{(0)}$ 预测下一个值。

3.1. 模型应用

3.1.1. 能源终端消费量预测

使用 2004~2011 年数据如图 1, 根据建立的模型预测 2012~2020 年上海市能源终端消费量。

表 2 中给出了 GM (1,1)模型预测 2012 年能源终端消费量的预测值、绝对误差和相对误差率。其 C 值为 0.0756, 相对精度为 97.944%, 所以 GM (1,1)模型的预测精度等级为好。用等维灰色递补 GM (1,1)模型预测未来几年能源终端消费量如表 3。

3.1.2. 实际 GDP 预测

依据居民消费价格指数与商品零售价格指数的平均值, 将《上海统计年鉴-2012 年》^[1]图 2 给出的 2004~2011 年名义 GDP 折算成 2005 年的不变价格并预测 2012~2020 年上海的实际 GDP。

表 4 中给出了 GM (1,1)模型预测 2012 年 GDP 的结果。得出的 C 值为 0.0604, 相对精度为 98.057%, 所以 GM (1,1)模型的预测精度等级为好。用等维灰色递补 GM (1,1)模型预测未来几年 GDP 如表 3。

3.1.3. 碳强度计算

根据实际数据计算可知, 2005 年的碳强度为 2.561 吨/元。按照中碳强度指数定义, 取减排上限“2020 比 2005 下降 40%”来算, 则 2020 年中碳强度指数减排目标为 1.408^[8]。而从能源终端消耗量和实际 GDP 预测值的结果可得图 3 中 2012~2020 年上海市碳强度预测值。若保持现状不采取任何措施, 2020 年的

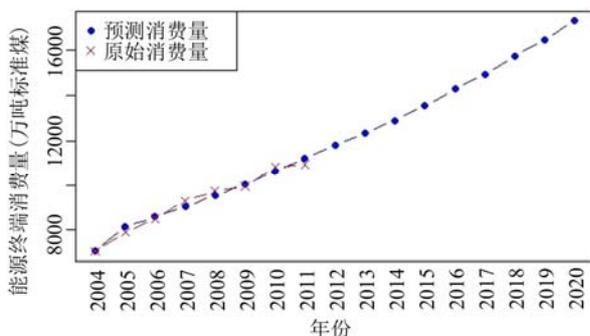


Figure 1. Comparison of true value and predicted value for final consumption of energy in 2004-2020
图 1. 2004~2020 年上海市能源终端消费量预测值和实际值对比

Table 2. Comparison of true value and predicted value for final consumption of energy
表 2. 能源终端消费量实际值和预测值对照表

年份	实际值	预测值	绝对误差	相对误差(%)
2005	7895.17	7055.08	-246.6495	-3.124%
2006	8514.40	8141.82	-71.19659	-0.836%
2007	9314.77	8585.597	261.2079	2.804%
2008	9750.47	10067.4	203.4355	2.086%
2009	9951.81	10616.14	-115.594	-1.162%
2010	10842.33	11194.78	226.1933	2.086%
2011	10943.46	11804.96	-251.3186	-2.297%

Table 3. The predicted value of final consumption of energy and GDP
表 3. 2012~2020 年能源终端消费量和 GDP 的预测值

能源终端消费量		GDP	
年份	预测值	年份	预测值
2012	11804.96	2012	18262.543
2013	12341.06	2013	19818.008
2014	12889.15	2014	21508.287
2015	13546.80	2015	23508.602
2016	14256.70	2016	25651.008
2017	14916.86	2017	27911.060
2018	15720.90	2018	30452.350
2019	16446.61	2019	33115.007
2020	17273.74	2020	36085.739

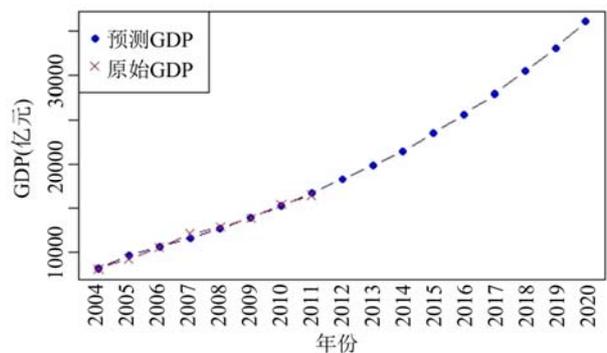


Figure 2. Comparison of true value and predicted value for GDP in 2004-2020
图 2. 2004~2020 年上海市 GDP 预测值和实际值对比

碳强度预测值为 1.403。表明如果保持现状, 按照现有政策即能达成中碳强度指数的减排目标。

根据 2013 年《经济蓝皮书春季号》预测, 2013

Table 4. Standard coal coefficient, carbon emission factor and oxidation rate for different types of fuel
表 4. 上海产业部门 CO₂ 排放强度, 单位(t/10⁴元)

	第一产业 (CO ₂ %/GDP%)	第二产业	第三产业	产业
2004	3.217 (1.54/1.03)	2.762 (61.51/48.21)	1.219 (28.58/50.75)	1.984
2005	1.675 (0.78/0.98)	2.775 (62.57/47.38)	1.159 (28.49/51.65)	1.929
2006	1.555 (0.69/0.89)	2.571 (60.88/47.01)	1.143 (30.01/52.10)	1.818
2007	1.504 (0.65/0.82)	2.512 (59.55/44.59)	1.073 (31.16/54.60)	1.718
2008	1.484 (0.64/0.79)	2.447 (57.80/43.25)	1.058 (32.25/55.95)	1.662
2009	1.431 (0.63/0.76)	2.419 (56.15/39.89)	0.975 (33.68/59.36)	1.554
2010	1.475 (0.59/0.66)	2.190 (54.98/42.05)	0.969 (33.14/57.28)	1.486
2011	1.433 (0.60/0.65)	2.157 (56.85/41.30)	0.887 (32.85/58.05)	1.415

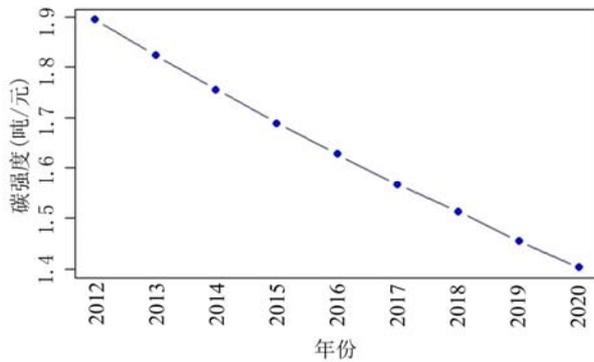


Figure 3. The forecast result of Shanghai's carbon intensity in 2012-2020
图 3. 20012~2020 年上海市碳强度预测

年中国 GDP 增长率为 8% 左右, 增速将放缓。经计算, 若上海市 GDP 增速低于 9.49%, 则无法完成中碳强度指数中的减排下限目标。所以, 政府采取进一步的减排策略才能确保 2020 年碳强度满足中碳强度指数的减排目标。

4. 灰色关联度分析

在影响 CO₂ 排放量的诸多因素中, 不同因素对 CO₂ 排放量的影响大小不同。我们可以对影响大的若干因素进行调整以达到中碳强度指数中的减排目标。因此, 我们用灰色关联度来分析各因素随时间的变化和特征, 以判断影响的高低。灰色关联度越大, 说明了两因素关联较大, 往往用来找出影响大的主导因素。

首先对各序列进行均值变换, 各序列除以各自的序列均值。然后由下式求出相关系数

$$\zeta_i(t) = \frac{\min_{i,t} |x_0(t) - x_i(t)| + \rho \max_{i,t} |x_0(t) - x_i(t)|}{|x_0(t) - x_i(t)| + \rho \max_{i,t} |x_0(t) - x_i(t)|} \quad (5)$$

其中, ρ 为分辨系数, 这里取 $\rho = 0.5$ 。最后, i 因素与 CO₂ 排放量的灰色关联度为

$$r_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \zeta_i(t) \quad (6)$$

分产业的碳强度进行分析, 第一、二、三产业的灰色关联度分别为 0.1532、0.7643、0.5725。说明了第一、二、三产业与碳强度的相关系数为依次为第二、第三和第一产业。

表 4 中, 2011 年, 第二产业和第三产业分别占碳排放量的 50% 以上和 30% 左右。说明了综合碳排放量的减少主要是由第二产业造成的。因工业技术升级和淘汰落后产能(例如, 宝钢的焦炉升级综合改造工程股), 第二产业在 2010 年前碳排发强度显著下降。然而 2010 年和 2011 年的碳排放强度减速趋缓, 说明工业技术升级和淘汰落后产能的提升作用并不是无限的。第三产业的碳排放强度仅仅为第二产业的一半多些。若要进一步降低综合碳排放强度以达到中碳强度指数的减排目标, 只有大力发展第三产业。

5. 结论

1) 因未来几年 GDP 保持高速增长的压力会加大, 上海市目前的减排措施不能达到中碳强度指数的减排目标。因此, 必须采取进一步的减排措施。

2) 利用灰色关联度分析, 发现了第二、第三产业和碳强度的相关度最大。因此, 若要达到 2020 年中碳强度指数要求的减排指标, 需要大力发展第三产业, 并降低煤炭在第二产业中的占比。

参考文献 (References)

- [1] 上海市统计局. 2012 上海统计年鉴[B]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [2] 国家标准. GB/T 2589-2008 《综合能耗计算通则》[S], 2008.
- [3] 郭云功, 林逢春, 白义琴, 吴玫玫. 上海市能源利用碳排放的分解研究[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(9): 68-81.
- [4] 郭云功, 汪冬冬, 林逢春. 上海市能源利用碳排放足迹研究[J]. 中国人口环境与资源, 2010, 20(2): 103-108.
- [5] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas in-

- ventories: Volume II. 2008.
- [6] 廖振良, 史娇蓉, 李怀正, 王晟. 上海市碳排放交易机制及发展战略研究报告[URL], 2012.
<http://unep-iesd.tongji.edu.cn/index.php?classid=186&action=download&id=281>
- [7] 刘思峰等. 灰色系统理论及其应用(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 中碳指数网[URL], 2013.
<http://www.sinocarbonindex.com/zsjs-12-12-23.htm>