

文章编号:1672-058X(2012)12-0025-05

# CO<sub>2</sub> 排放与经济增长及能源消耗的灰色关联分析

熊 俊

(重庆工商大学 数学与统计学院,重庆 400067)

**摘 要:**以重庆市为例,利用灰色关联分析方法,分别从静态、动态和整体的视角研究重庆市经济增长、能源消费结构与碳排放之间的关系;研究结果表明,煤炭消耗是导致重庆市二氧化碳排放增加的主要诱因,其次是第三产业的快速增长,因此要减缓重庆市二氧化碳排放的速度必须首先从改善能源消费结构开始。

**关键词:**碳排放;能源消耗;灰色关联分析

**中图分类号:**X823

**文献标志码:**A

随着产业生产分工不断深化,全球化进程日益加快,世界经济进入了高速发展时期,但与此同时人类的生产活动也产生了大量的温室气体在自然界中不断积累。全球气候变暖与能源安全使得低碳经济开始受到人们的广泛关注。低碳经济的发展也成为了国内外学者研究的热点问题。

首先,人们关注频繁的国际贸易与 CO<sub>2</sub> 排放之间的关系。Yu Huichao 通过建立投入产出分析模型选取中美之间的商品贸易数据作了实证分析,提出中美之间的商品贸易降低了美国的碳排放量;Glen P. Peters 认为隐含在国际贸易中的碳排放量会影响国际减排机制的效率,并给出了降低影响的各种选择政策选择;但李小平<sup>[1]</sup>认为国际贸易并没有让中国成为“污染产业天堂”,发达国家向中国转移的不光是污染产业,还有“干净”产业。也有不少学者研究经济发展与 CO<sub>2</sub> 排放之间的联系。王锋<sup>[2]</sup>分析了中国经济发展中 CO<sub>2</sub> 排放的驱动因素,认为人均 GDP 的增加是中国 CO<sub>2</sub> 排放的增加的主要驱动因素,降低生产部门的能源强度是实现 CO<sub>2</sub> 减排的关键措施;张友国<sup>[3]</sup>提出,虽然中国经济发展带来了碳排放量的增加,但经济增长方式的转变降低了中国的 GDP 碳排放强度;牛叔文<sup>[4]</sup>利用亚太八国的面板数据实证分析后发现,发达国家经济发展付出的单位 GDP 的碳排放较低,因此中国应积极转换能源结构提高能源利用效率;于荣<sup>[5]</sup>也提出中国的碳排放对经济增长的贡献率正在逐年降低,只有逐步控制我国的碳排放量才能有利于中国经济的可持续发展。另外,能源消耗对 CO<sub>2</sub> 排放起着至关重要的影响。Ugur Soytas 通过实证分析发现在土耳其能源消耗是碳排放的格兰杰原因;巴曙松<sup>[6]</sup>利用 VAR 和脉冲响应函数分析了各种主要能源消费的 CO<sub>2</sub> 减排成本的差异性,认为施行燃料转换政策是中国的一个很好的减排政策;陈诗一<sup>[7]</sup>发现中国工业已基本实现了以技术驱动为特征的集约型增长方式的转变,但能源依然是中国工业增长的主要源泉,因此必须进一步提高节能减排技术,最终实现中国工业的可持续发展。上述研究主要是利用以格兰杰因果检验和协整为代表的计量经济方法,从国家层面,采用大样本数据,对很长一段时期内的 CO<sub>2</sub> 排放与经济发展和能源消耗之间的关系进行的研究。由于我国各区域之间的资源分布、经济发展极不平衡,因此试图从区域的角度进行分析。考虑到区域研究统计数据十分有限,而且灰度较大,所以采用灰色关联分析<sup>[8]</sup>来研究重庆市 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长、能源消费结构的关系。

收稿日期:2012-06-14;修回日期:2012-06-22.

作者简介:熊俊(1988-),女,江西南昌人,硕士研究生,从事经济与社会发展统计方法及应用研究。

# 1 分析框架

## 1.1 研究区域概况

重庆市地处较为发达的东部地区和资源丰富的西部地区的结合部,东临湖北、湖南,南靠贵州,西接四川,北连陕西,是长江上游最大的经济中心、西南工商业重镇和水陆交通枢纽。地下、地表资源丰富,组合条件较好,利用价值高,开发潜力大,是我国自然资源富集地区之一,是全国大中城市中矿产资源最富集的地区之一。2010年,全市实现生产总值 7 925.58 亿元,其中,第一产业增加值 685.38 亿元,第二产业增加值 4 359.12 亿元,第三产业增加值 2 881.08 亿元。另一方面,经济快速发展的同时,2010 年规模以上工业企业共消耗煤炭 5 040.40 万 t,原油消耗 32.54 万 t,天然气消耗 41.61 亿 m<sup>3</sup>,污染严重的煤炭消耗量依然占据很大比重。

## 1.2 研究方法

经济统计中常见的回归分析、方差分析、主成分分析等都是用来分析数据的有效方法。但这些方法或者要求有大量样本数据,或者要求样本服从某个典型的概率分布,各因素数据与系统特征数据之间呈线性关系且各因素之间相互独立。灰色关联分析方法弥补了采用计量统计方法作系统分析的不足。因此,采用灰色关联分析的方法首先从静态角度研究重庆市 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长和能源消费结构的关系,建立对应时间序列数据的灰色绝对关联度,然后给出它们的灰色相对关联度,反映重庆市 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长和能源消费结构的动态关联程度,最后计算重庆市 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长和能源消费结构的综合关联度从整体上系统的分析它们的关系。

**定义 1** 设  $X_0$  与  $X_i$  的长度相同,且皆为 1 - 时距序列,而  $X_0^0 = (x_0^0(1), x_0^0(2), \dots, x_0^0(n))$ ,  $X_i^0 = (x_i^0(1), x_i^0(2), \dots, x_i^0(n))$  分别为  $X_0$  与  $X_i$  始点零化像,设:

$$|s_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_0^0(k) + \frac{1}{2}x_0^0(n) \right| \quad (1)$$

$$|s_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x_i^0(k) + \frac{1}{2}x_i^0(n) \right| \quad (2)$$

$$|s_i - s_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (x_i^0(k) - x_0^0(k)) + \frac{1}{2}(x_i^0(n) - x_0^0(n)) \right| \quad (3)$$

则称:

$$\varepsilon_{0i} = \frac{1 + |s_0| + |s_i|}{1 + |s_0| + |s_i| + |s_i - s_0|} \quad (4)$$

为  $X_0$  与  $X_i$  的灰色绝对关联度。它反映了折线  $X_0$  与  $X_i$  的相似程度,可表示 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长、能源消耗之间的近似程度。

**定义 2** 设序列  $X_0$  与  $X_i$  长度相同,且初值皆不等于零,  $X'_0$  与  $X'_i$  分别为  $X_0$  与  $X_i$  的初值像,则称  $X'_0$  与  $X'_i$  的灰色绝对关联度为  $X_0$  与  $X_i$  的灰色相对关联度,记作  $r_{0i}$ 。

计算公式如下:

$$|s'_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x'^0_0(k) + \frac{1}{2}x'^0_0(n) \right| \quad (5)$$

$$|s'_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} x'^0_i(k) + \frac{1}{2}x'^0_i(n) \right| \quad (6)$$

$$|s'_i - s'_0| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (x'^0_i(k) - x'^0_0(k)) + \frac{1}{2}(x'^0_i(n) - x'^0_0(n)) \right| \quad (7)$$

则称

$$r_{0i} = \frac{1 + |s'_0| + |s'_i|}{1 + |s'_0| + |s'_i| + |s'_i - s'_0|} \quad (8)$$

灰色相对关联度是序列  $X_0$  与  $X_i$  相对于始点的变化速率之联系的表征。它去除了初始情况对序列  $X_0$  与  $X_i$  的影响,动态的去分析  $CO_2$  排放与经济增长、能源消耗之间的关联程度,若  $X_0$  与  $X_i$  的变化速率越接近,  $r_{0i}$  越大,相应的变量之间的关系就越密切,反之,对应的关联程度就越低。

**定义 3** 若序列  $X_i$  与  $X_j$  长度相同,且初值皆不等于 0,  $\varepsilon_{ij}$ ,  $r_{ij}$  为  $X_i$  与  $X_j$  的灰色绝对关联度和灰色相对关联度,  $\theta \in [0, 1]$ , 则称式(9)计算的结果为序列  $X_i$  与  $X_j$  的灰色综合关联度。

$$\rho_{ij} = \theta \varepsilon_{ij} + (1 - \theta) r_{ij} \quad (9)$$

灰色综合关联度较为全面地表征了序列之间的联系是否紧密,既体现了折现  $X_0$  与  $X_i$  的相似程度,又反映出  $X_0$  与  $X_i$  相对于始点的变化速率的接近程度,是较为全面的反映  $CO_2$  排放与经济增长、能源消耗之间紧密程度的一个数量指标。一般取  $\theta = 0.5$ 。

$CO_2$  排放量是根据 2006 年 IPCC 为联合国气候变化框架公约及京都协议书所制定的国家温室气体(主要构成物是  $CO_2$ ) 清单指南第二卷(能源)第六章提供的参考方法计算得到。 $CO_2$  排放总量是根据 3 种消耗量较大的一次能源所导致的  $CO_2$  排放估算量相加得到,具体公式为:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^3 CO_{2,i} = \sum_{i=1}^3 (E_i \times NCV_i / 29\ 307) \times CEF_i \times COF_i \times (44/12) \quad (10)$$

其中,  $CO_{2,i}$  代表估算的  $CO_2$  排放量,  $i = 1, 2, 3$  分别代表 3 种一次能源(煤炭、原油、天然气),  $E_i$  代表它们的消耗量,  $NCV_i$  是 3 种一次能源的平均低位发热量, 29 307 为 1 kg 标准煤低位发热量,  $CEF_i$  是 IPCC(2006) 提供的碳排放系数,  $COF_i$  是碳氧化因子, 44 和 12 分别为  $CO_2$  和碳的分子量。即  $E_i \times NCV_i / 29\ 307$  为第  $i$  种一次能源折算成标准煤的量。

### 1.3 数据来源与处理

表 1 重庆市 2001 - 2010 年数据

万吨、亿元或万吨标准煤

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
$CO_2$ 排放总量	5 145.91	5 740.62	6 467.63	7 625.18	9 397.71	10 182.79	11 535.99	12 289.98	13 457.64	14 743.66
第一产业生产总值	294.90	317.87	339.06	428.05	463.40	386.38	482.39	575.40	606.80	685.38
第二产业生产总值	841.95	958.87	1 135.31	1 376.91	1 564.00	1 871.65	2 368.53	3 057.78	3 448.77	4 359.12
第三产业生产总值	840.01	956.12	1 081.35	1 229.62	1 440.32	1 649.20	1 825.21	2 160.48	2 474.44	2 881.08
煤炭消费量	1 700.43	1 928.90	2 206.42	2 505.08	3 151.71	3 381.87	3 832.29	4 048.95	4 499.83	4 857.64
原油消费量	206.20	213.84	220.81	379.97	411.86	469.11	549.12	600.57	619.73	741.20
天然气消费量	322.51	331.87	349.11	403.52	472.15	532.67	578.95	648.38	657.82	750.39

考虑到数据的可获得性,选取 2001 - 2010 年的重庆市相关数据作为研究样本,对 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长、能源消耗结构之间的关系进行探讨。首先选取 2001 - 2010 年重庆市 CO<sub>2</sub> 排放总量作为系统特征序列  $X_0$ ,以第一、第二和第三产业生产总值表示经济增长的相关指标,以煤炭、原油和天然气 3 种主要的一次能源消耗量作为能源消费结构的指标,上述 6 个指标是系统相关因素序列  $X_i, i = 1, 2, \dots, 6$ 。各产业生产总值,3 种主要的一次能源消耗量数据来自《重庆市统计年鉴》,NCV<sub>i</sub>, CEF<sub>i</sub>, COF<sub>i</sub> 数据由《中国能源统计年鉴》提供。经过整理后的 2001 - 2010 年各种数据如表 1 所示。

根据定义 1、定义 2 和定义 3 分别计算 CO<sub>2</sub> 排放与经济增长和能源消费结构的绝对关联度、相对关联度和综合关联度,结果见表 2。

表 2 重庆市 CO<sub>2</sub> 排放量影响因素的灰色关联度

	绝对关联度	相对关联度	综合关联度	紧密程度
第一产业生产总值	0.523 448	0.911 809	0.717 629	6
第二产业生产总值	0.606 827	0.885 588	0.746 207	3
第三产业生产总值	0.584 797	0.981 811	0.783 304	2
煤炭消费量	0.666 435	0.996 467	0.831 451	1
原油消费量	0.522 815	0.940 730	0.731 773	4
天然气消费量	0.525 872	0.915 359	0.720 616	5

由表 2 可以看出,从静态的角度去分析,影响 CO<sub>2</sub> 排放量的产业结构因素中,三次产业灰色绝对关联度都差不多,其中第二产业最高为 0.606 827。从能源消费结构来看,由于我国长期以来一直以污染严重的煤炭为主要燃料,作为长江上游最大的经济中心,重庆市的经济发展也相当依赖煤炭的消耗,煤炭消耗量与 CO<sub>2</sub> 排放量的灰色绝对关联度为 0.666 435,原油消耗量与 CO<sub>2</sub> 排放量的密切程度与实际情况不太符合,究其原因,可能是由于灰色绝对关联度考虑了各时间序列的初始情况的影响,使得对应的变量之间关联度的差距被缩小。

消除初始因素的影响,从相对关联度这一列可以清楚地看到,随着重庆市经济的迅猛发展,第三产业、煤炭消耗与碳排放量的依存度很高,但同时,第二产业、天然气的灰色相对关联度为 0.885 588、0.915 359,表明重庆市第三产业的发展已经具备一定的水平,清洁能源的使用量也在不断提高。

综合来看,灰色关联系统分析的结果与实际情况基本吻合,重庆市 CO<sub>2</sub> 排放量的影响因素中,煤炭消费量的综合关联度最高,其次是第三产业生产总值,第二产业的飞速发展的同时也导致了碳排放量的增加。

## 2 结 论

运用灰色关联分析方法对重庆市经济增长和能源消费结构与 CO<sub>2</sub> 排放量的关系进行实证研究。通过计算各指标间灰色绝对关联度、灰色相对关联度和灰色综合关联度,得到了结论。第一,要降低重庆市 CO<sub>2</sub> 排放,合理的能源消费结构应该放在首要位置,其次是产业结构的调整。第二,重庆市经济增长迅速,其中第三产业的发展占据越来越大的比重,也加大了重庆市 CO<sub>2</sub> 排放总量。因此在发展经济的同时,要减缓 CO<sub>2</sub> 排放量的增长,应该首先从改善能源消费结构开始,提升能源利用效率,改造提升能源密集型产业,同时发挥重庆市沿海沿江的地理优势,加快发展现代服务业,实现现代服务业与先进制造业的深度融合,努力提升服务外包的水平。第三,要加快发展新兴行业,特别是提高新能源、新医药、新材料、环保产业产值,降低与 CO<sub>2</sub> 排放量的灰色综合关联度达 0.831 451 的煤炭消耗量,改善能源消费结构。为此,一方面,要加快传统

产业的技术改造,提高能源利用效率,另一方面,鼓励发展重庆市具有优势的光伏太阳能等新兴产业,增加清洁能源在经济增长中的贡献率。

#### 参考文献:

- [1] 李小平,卢现祥. 国际贸易、污染产业转移和中国工业 CO<sub>2</sub> 排放[J]. 经济研究,2010(1):15-26
- [2] 王锋,吴丽华,杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究,2010(2):123-136
- [3] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究,2010(4):120-133
- [4] 牛叔文,丁永霞. 能源消耗、经济增长和碳排放之间的关联分析—基于亚太八国面板数据的实证研究[J]. 中国软科学,2010(5):12-20
- [5] 于荣,朱喜安. 我国经济增长的碳排放约束机制探微[J]. 统计与决策,2009,13:99-101
- [6] 巴曙松,吴大义. 能源消费、二氧化碳排放与经济增长—基于二氧化碳减排成本视角的实证分析[J]. 经济与管理研究,2010(6):5-12
- [7] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究,2009(4):41-55
- [8] 刘思锋,党耀国,方志耕. 灰色系统理论与应用(第3版)[M]. 北京:科学出版社,2004

## Grey Correlation Analysis of the Relationship among Carbon Dioxide Emission, Economic Growth and Energy Consumption

**XIONG Jun**

(School of Mathematics and Statistics, Chongqing Technology and Business University,  
Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Taking Chongqing as an example, by grey correlation method, this paper studies the relationship among economic growth, energy consumption structure and carbon emission in Chongqing from dynamic, static and overall perspective and the research results show that the main reason for the increase of carbon dioxide emission in Chongqing City is coal consumption and that the second reason is the rapid increase of the tertiary industry. Thus, in order to slowdown the carbon dioxide emission rate of Chongqing, it is necessary to start the improvement of energy consumption structure.

**Key words:** carbon emission; energy consumption; grey correlation analysis

责任编辑:田 静