



基于灰色关联模型的南京市碳排放驱动因素研究

摘要

全球气候变暖已经成为不争的事实,人们逐渐认识到依靠大量能源消费的生产方式、不惜牺牲环境的经济增长模式、无节制大量消费的生活方式应该从根本上得到改变.城市作为工业、建筑、交通的载体,也是高能耗、高碳排放的主要源头,需要改变传统城市发展的模式来应对全球变暖的挑战,发展低碳城市被认为是未来最有希望的经济动力.首先采用 IPCC 能源转换模型对南京市碳排放量进行测算,选取南京的人口数量、GDP、人均 GDP、人口城市化率、产业结构多元化系数(ESD)、能源消费结构多元化系数(ESCD)和能源强度作为对比数列,以南京 CO₂ 排放总量作为参考数列,运用灰色系统关联模型进行关联度计算并排序.结果显示,南京市碳排放量关联度从大到小依次为 ESD、人口数量、城市化率、ESCD、能源强度、人均 GDP、GDP,这与南京工业生产因化石能源的大量使用对城市碳排放量贡献占总排量一半以上的分析结果相吻合.最后详细分析各指标对南京建设低碳城市的影响,并提出对策建议.

关键词

碳排放;低碳城市;驱动因素;灰色关联;南京

中图分类号 F120

文献标志码 A

收稿日期 2013-12-01

资助项目 江苏省高校哲学社会科学重点研究基地(气候变化与公共政策研究院)重大项目(S7910006001);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106032-03)

作者简介

李长顺,男,硕士,研究方向为专业气象预报服务和气象经济学.lchangshun@163.com

唐德才(通信作者),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为气候变化与公共气象以及产业经济.tangdecai2003@163.com

1 福建省气象局 气象服务中心,福州,350001

2 南京信息工程大学 经济管理学院,南京,210044

0 引言

全球气候变化和持续升温导致海平面不断上升,生态环境恶化,给人类带来严峻考验^[1].当前,城市消耗了全球 85% 的资源和能源,创造了 80% 以上的 GDP,也使城市成为高能耗、高碳排放的主要源头^[2].许多学者对城市碳排放的因素进行讨论研究.习蓉等^[3]运用 LMDI 的加和方法分析中国城市 1994—2009 年间的各个碳排放因素对碳排放的深层影响,指出城市经济规模对碳排放起到显著正向促进作用,而能源强度起到显著负向作用,其他因素作用较微弱.温景光^[4]在运用碳排放量基本等式计算江苏省城市碳排放量的基础上,采用对数平均权重 Divisia 分解法,对 1996—2007 年间经济发展、能源结构和能源效率 3 个主要因素对江苏城市人均碳排放的影响进行定量分析,得出经济发展对促进江苏城市人均碳排放的贡献率呈指数增长,然而能源结构和能源效率对抑制江苏人均碳排放的贡献率并不显著.这些研究基本上都集中于对某些碳排放的因素进行分解分析,仅仅说明驱动因素显著或者不显著,对驱动因素的影响程度进行量化及全面的分析较少.本文通过灰色关联模型,对 7 个驱动因素关联度进行分析并排序,找出低碳城市建设中的优势和不足,为更好地进行南京低碳城市建设提供数据支持和理论依据.

1 南京市碳排放来源

南京低碳城市建设以城市的建筑、交通、生产和生活为主要因素.目前,南京的能源消费主要还是以煤炭为主,石油类为辅,工业能耗依然占南京能源消费的主导地位^[5].近年来南京市在加快产业结构调整、低碳技术创新的同时,也对城区进行规划和改造,如总投资约 300 亿元的南京地铁 3 号线的建设,除可以缓解长江南北交通压力外,也可大大减少城市交通碳排放.在建筑方面,在绕越高速公路东南段通车后,南京主城发展区域面积将至少增加 500 km²,增加的面积主要集中在江宁区,这也会引起房地产市场又一次楼盘开发热潮,更多的城市建筑群也是城市排放总量增加的重要因素^[6].在生活方面,虽然低碳理念逐步深入人心,但是随着南京市民生活水平的提高,个人消费类碳排放也有逐渐增加的趋势.总的来说,南京市碳排放的源头主要集中在建筑、交通、工业 3 大领域^[7].

2 城市 CO₂ 排放量的测算方法

在城市低碳化建设进程中,最基本的评价指标为 CO₂ 排放量. IPCC 对化石能源与 CO₂ 排放之间关系的能源转换模型定义为

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量} = \sum_{i=1}^n A_i K_i.$$

其中 A_i 为 i 能源的使用量(可根据能源折标煤参考系数折算成标准煤,单位:万 t), K_i 为 i 能源的碳排放系数,能源不同, K 值也不同^[8]. 根据 IPCC 碳排放指南,整理出主要能源种类碳排放系数如表 1 所示.

表 1 主要能源种类碳排放系数

Table 1 Carbon emission coefficients of main types of energy

能源种类	碳排放系数	能源种类	碳排放系数
原煤	0.755 9	柴油	0.592 1
洗精煤	0.755 9	燃料油	0.618 5
焦炭	0.855 0	液化石油气	0.504 2
原油	0.585 7	天然气	0.448 3
汽油	0.553 8	焦炉煤气	0.354 8
煤油	0.571 4	炼厂干气	0.460 2

由于不同国家的技术条件和能源结构的不同, K 值也不同. 英国、美国、日本等发达国家能源结构合理且利用效率高, 所以其 K 值较低. 中国是一个以煤炭为主要能源的国家, 其能源结构的不合理导致碳排放系数偏高. 根据国内相关学者的研究成果, 中国 K 值约为 0.785^[9]. 本文根据《中国能源统计年鉴(2012)》中公布的能源折标煤转换系数, 对城市中不同能源使用后的 CO₂ 排量进行统计计算.

3 驱动因素灰色关联度计算

目前,灰色关联理论已经广泛运用到预测、聚类分析、决策等领域,其基本思想是比较若干数列所构成的曲线列与标准数列所构成的曲线几何形状的接近程度,几何形状越接近,其关联度越大^[10]. 灰色系统本身是贫信息系统,灰色系统理论能够处理多因素、非线性问题,且不受样本多少的限制,不要求服从任何分布^[11]. 因此本文采用灰色关联分析对南京碳排放驱动因素进行分析,并对各因素对南京市碳排放影响进行排序.

3.1 灰色系统关联模型简介

设 $X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$ 为系统特征数列, $X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(m)\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ 为系统比较数列,则关联系数 $\xi_i(k)$ 为

$$\xi_i(k) = \left[\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \right] \left[|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \right]^{-1}, \quad (1)$$

其中, ξ 取较小值时,可以提高关联系数间差异的显著性,因此也称 ξ 为分辨系数, $\xi \in (0, 1)$, ξ 的引入可以减少极值对计算的影响^[12-13]. 根据序列间的关联程度选择分辨系数,一般取 $\xi \leq 0.5$, 本文取 $\xi = 0.5$.

在关联系数的处理过程中,会发现关联系数不仅多,而且给出的信息较为分散,不便于关联程度结论的得出. 一般利用求平均值法将关联度清晰地表达,灰色关联度的一般表达式为

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k). \quad (2)$$

3.2 指标构建

本文根据已有的相关理论成果,选取一组能够反映对南京市碳排放量具有重要影响的因素作为比较数列,运用灰色关联模型来测算南京市碳排放量与相关指标的关联度,进而提出南京市在控制碳排放方面的工作重心,为南京建设低碳城市提供依据. 具体指标为人口数量、GDP、人均 GDP、人口城市化率、产业结构多元化系数(ESD)、能源消费结构多元化系数(ESCD)和能源强度(万元 GDP 能耗). 其中 $I_{ESD} = \sum (P/P + S/P + T/P)$, P 为第一产业产出, S 为第二产业产出, T 为第三产业产出; $I_{ESCD} = \frac{C + G + O + E}{C}$, C 为煤炭消费量, G 为天然气消费量, O 为石油消费量, E 为水电、核电消费量.

3.3 数据来源

南京市 2003—2011 年碳排放量是根据南京能源消费量(表 2)整理计算所得,其中能源消费量主要以规模以上工业企业主要能源消费量为参考. 各能源的标煤折算系数以《中国能源统计年鉴(2012)》中给出的数据作为标准,碳排放系数取均值 0.785.

由表 2 整理所得数据,根据标煤折算参考系数及表 1 碳排放系数,计算出规模以上工业企业主要能源消费的标煤量及南京市碳排放量,结果如表 3 所示.

在上文提到的 7 项指标中,人口数量、GDP、人均 GDP 采用《南京统计年鉴》(2003—2012)中的原始数据. 数据处理中需要消除价格变动带来的影响,故对数据做无量纲化处理. GDP 和人均 GDP 均采用

表 2 2003—2011 年规模以上工业企业主要能源消费量

Table 2 Primary energy consumption in Nanjing's industrial enterprises during 2003-2011

能源消耗	2011 年	2010 年	2009 年	2008 年	2007 年	2006 年	2005 年	2004 年	2003 年
原煤/亿 t	0.28	0.22	0.15	0.15	0.16	0.16	0.15	0.13	0.12
洗精煤/万 t	586.06	565.40	644.34	590.99	632.36	574.47	467.13	343.68	259.85
其他洗煤/万 t	12.12	13.88	73.30	64.54	67.23	21.22	20.62	54.21	53.76
焦炭/万 t	529.23	474.95	425.66	412.38	419.29	382.16	366.39	317.81	232.87
焦炉煤气/亿 m ³	9.21	9.14	6.18	6.01	7.09	12.20	9.18	6.84	5.80
高炉煤气/亿 m ³	162.09	147.73	136.54	120.76	126.69	127.17	108.67	84.00	69.44
其他煤气/亿 m ³	7.24	6.44	5.05	4.10	4.45	0.03	2.18	0.08	0.09
天然气/亿 m ³	22.58	16.30	15.51	13.84	11.11	6.61	4.91	0.23	0
原油/亿 t	0.22	0.21	0.20	0.19	0.20	0.19	0.19	0.15	0.13
汽油/万 t	3.37	3.60	3.38	3.68	4.10	3.56	3.92	3.81	6.13
煤油/万 t	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.14	1.01	2.55	3.00
柴油/万 t	10.52	11.63	12.32	14.15	13.87	11.28	11.85	17.24	15.25
燃料油/万 t	19.19	23.39	23.66	25.15	44.31	47.79	65.20	61.88	61.08
液化石油气/万 t	26.62	19.17	24.58	25.85	22.77	21.34	25.09	20.58	20.58
炼厂干气/万 t	88.56	78.93	67.32	52.97	51.72	58.88	64.15	48.60	43.38

表 3 规模以上工业企业主要能源消费折算标煤及碳排放量

Table 3 Primary energy consumption and conversion results into standard fuel and carbon emissions from Nanjing's industrial enterprises

折算标煤及碳排放量	2011 年	2010 年	2009 年	2008 年	2007 年	2006 年	2005 年	2004 年	2003 年
原煤/亿 t	0.20	0.16	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10	0.20
洗精煤/万 t	527.45	508.86	579.90	531.89	569.12	517.03	420.41	309.32	527.45
其他洗煤/万 t	3.46	3.97	20.94	18.44	19.21	6.06	5.89	15.49	3.46
焦炭/万 t	514.09	461.36	413.49	400.59	407.30	371.23	355.91	308.72	514.09
焦炉煤气/万 t	52.63	52.24	35.34	34.35	40.55	69.73	52.48	39.10	52.63
高炉煤气/万 t	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.09
其他煤气/万 t	42.00	37.33	29.25	23.79	25.80	0.16	12.65	0.45	42.00
天然气/万 t	300.31	216.77	206.24	184.03	147.72	87.96	65.25	3.09	300.31
原油/亿 t	0.31	0.30	0.29	0.27	0.28	0.26	0.27	0.21	0.31
汽油/万 t	4.96	5.30	4.97	5.42	6.03	5.23	5.77	5.61	4.96
煤油/万 t	0.13	0.16	0.21	0.24	0.27	0.21	1.49	3.75	0.13
柴油/万 t	15.32	16.95	17.95	20.62	20.21	16.44	17.26	25.12	15.32
燃料油/万 t	27.42	33.41	33.81	35.93	63.30	68.28	93.15	88.40	27.42
液化石油气/万 t	45.63	32.86	42.13	44.32	39.04	36.58	43.01	35.28	45.63
炼厂干气/万 t	139.17	124.03	105.79	83.23	81.27	92.52	100.81	76.37	139.17
标煤总计/亿 t	0.77	0.70	0.62	0.58	0.61	0.58	0.55	0.44	0.77
碳排放量总计/亿 t	0.61	0.55	0.49	0.46	0.48	0.45	0.43	0.35	0.61

当年价;人口城市化率、能源强度和 ESD 根据《南京统计年鉴》(2003—2012) 计算得出;能源消费多元化系数中煤、石油、天然气等数据来源于《中国能源统计年鉴》(2003—2012)、《江苏统计年鉴》(2003—2012)。下面仅以 ESD 计算为例,结果如表 4 所示。

3.4 模型的应用

1) 确定分析序列.令因变量数据列构成参考序列,自变量数据列构成比较序列.本文将南京 CO₂ 排放量作为参考序列,记为 $x_0(k)$.人口数量、GDP、人均 GDP、人口城市化率、能源强度、ESD 和 ESCD 作

表 4 产业结构多元化系数(ESD)计算

Table 4 Calculation of diversified industrial structure coefficient

年份	第一产业/亿元	第二产业/亿元	第三产业/亿元	ESD
2003	2 115.88	28 971.95	7 641.42	18.30
2004	2 417.63	35 900.90	8 653.60	19.43
2005	2 577.02	43 289.06	10 888.18	21.69
2006	2 707.13	51 931.76	13 091.92	24.97
2007	3 064.84	64 753.63	16 043.28	27.11
2008	3 590.64	76 269.91	19 718.58	27.73
2009	3 772.77	82 149.29	21 927.14	28.58
2010	4 257.14	95 967.85	27 751.45	30.06
2011	5 237.45	116 098.70	36 084.95	30.06

为比较序列,记为 $x_i(k) (i=1,2,\dots,7)$,如表 5 所示.

2) 无量纲化处理.原始数据列一般具有不同的数量级和量纲,为了增加可比性和保证分析结构的可靠性,首先对原始数量序列进行无量纲化处理.本文采用均值化法,得出各组发展速度序列.

3) 求绝对差序列、最大值和最小值.序列间变化的态势表现在其对应点的间距上.对应点间距越小,

序列间变化态势的一致性越强,间距越大,一致性越弱^[14].通过计算得出参考数列与比较数列的绝对差,从而找出绝对差中的最大值 Δ_{\max} 和最小值 Δ_{\min} .

4) 关联度计算并排序.根据式(1)计算 2003—2011 南京 CO₂ 排放与其他 7 个指标的灰色关联系数.根据式(2)计算出灰色关联度.

根据表 5 数据,求各序列的平均值,无量纲化各序列,结果如表 6 和图 1 所示.

将表 6 中各序列无量纲化后的数据带入公式 $\Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$,得出各指标与南京市 CO₂ 排放量在对应期的绝对差值.由于结果中最小差值 $\Delta_{\min} = 0.00$,最大差值为 $\Delta_{\max} = 0.44$,各序列间均存在较大的数量级差异,因此不能直接进行综合,需要进行规范化处理.规范化后的绝对差值如表 7 所示.

由表 7 求出的绝对差值,根据式(2) $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$,求出南京市 CO₂ 排放量与其他 7 个指标的灰色关联度,结果如表 8 所示.

表 5 南京市碳排放量与相关指标数据(2003—2011 年)

Table 5 Carbon emissions and related indicator data in Nanjing during 2003—2011

年份	碳排放量/万 t	人口/万人	GDP/亿元	人均 GDP/元	城市化率/%	ESD	ECSD	能源强度
2003	3 066.10	572.23	1 576.33	27 307	74.20	18.30	1.52	1.36
2004	3 487.62	583.60	2 067.18	35 769	75.00	19.43	1.49	1.34
2005	4 322.72	595.80	2 411.11	40 887	76.32	21.69	1.52	1.31
2006	4 540.15	607.23	2 773.78	46 113	77.63	24.97	1.52	1.28
2007	4 780.09	617.17	3 283.73	53 500	77.99	27.11	1.54	1.25
2008	4 564.31	624.46	3 814.62	61 445	78.21	27.73	1.54	1.18
2009	4 903.77	629.77	4 230.26	67 455	78.43	28.58	1.55	1.15
2010	5 456.34	632.42	5 012.64	79 427	78.50	30.06	1.56	1.13
2011	6 053.36	636.36	6 145.52	96 872	79.73	30.06	1.58	1.11

表 6 无量纲化序列

Table 6 Each sequence's dimensionless result

年份	碳排放量	人口	GDP	人均 GDP	城市化率	ESD	ECSD	能源强度
2003	0.67	0.94	0.45	0.48	0.96	0.72	0.99	1.10
2004	0.76	0.96	0.59	0.63	0.97	0.77	0.97	1.09
2005	0.94	0.98	0.69	0.72	0.99	0.86	0.99	1.06
2006	0.99	0.99	0.80	0.82	1.00	0.99	0.99	1.04
2007	1.04	1.01	0.94	0.95	1.01	1.07	1.00	1.01
2008	1.00	1.02	1.10	1.09	1.01	1.09	1.00	0.95
2009	1.07	1.03	1.22	1.19	1.01	1.13	1.01	0.93
2010	1.19	1.04	1.44	1.41	1.02	1.19	1.02	0.92
2011	1.32	1.04	1.77	1.71	1.03	1.19	1.03	0.90

表 7 规范化后的绝对差值

Table 7 The absolute difference value after normalization

年份	$\Delta_{01}(k)$	$\Delta_{02}(k)$	$\Delta_{03}(k)$	$\Delta_{04}(k)$	$\Delta_{05}(k)$	$\Delta_{06}(k)$	$\Delta_{07}(k)$
2003	0.34	0.73	0.74	0.36	0.58	0.33	1.48
2004	0.42	0.82	0.88	0.44	1.00	0.43	1.67
2005	0.82	0.68	0.69	0.84	0.44	0.76	2.16
2006	1.00	0.76	0.76	1.00	0.88	1.00	2.46
2007	0.82	1.00	0.97	0.84	0.70	0.80	2.50
2008	0.88	1.00	1.00	1.00	0.41	0.94	2.46
2009	0.78	0.89	0.90	0.76	0.54	0.73	2.10
2010	0.47	0.68	0.70	0.48	0.88	0.47	1.75
2011	0.33	0.48	0.49	0.36	0.33	0.36	1.49

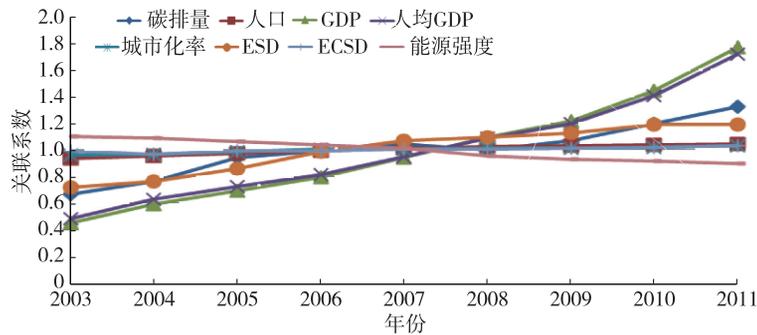


图 1 2003—2011 年无量纲化后南京市碳排放量与其他 7 项指标比较

Fig. 1 Comparison between Nanjing's carbon emissions after dimensionless and other 7 indicators during 2003–2011

4 灰色关联度结果分析

根据表 8 南京市 CO₂ 排放量与其他 7 个驱动因素的关联度分析结果可知,与碳排放量的关系最强的为产业结构多元化系数(ESD),其次为南京市人口总量,能源消费多元化系数(ECSD)和城市化率并列第三位,其他依次为能源强度、人均 GDP 和 GDP。

表 8 南京市 CO₂ 排放量与不同指标的灰色关联度排序

Table 8 Sort of grey correlation degree between Nanjing's CO₂ emissions and different indicators

	ESD	人口	城市化率	ECSD	能源强度	人均 GDP	GDP
灰色关联度	0.83	0.73	0.71	0.71	0.60	0.58	0.54

4.1 南京市产业结构对南京碳排放的影响

不同产业对碳排放量的影响具有很大差异,由于第三产业对于碳排放量的影响很小,所以南京第一、二产业在 3 个产业中的比重直接影响着南京碳排放量的多少.因此产业结构是否合理对南京碳排放具有重要意义^[15].

根据表 8 的灰色关联度得出,产业结构多元化系

数与南京市碳排放量关联度最大.由图 1 南京市碳排放量与 7 项指标走势可知,产业结构多元化系数分别在 2004、2006 和 2010 年与南京碳排放量有 3 次相交,达到关联最大值,并且整体呈正相关关系,也就是说,南京产业结构的演进促使着碳排放量的增加。

究其原因,自 1978 年改革开放以后,南京产业结构调整走向了重要的转折点.在市场体制的引导下,一部分资源开始向第三产业部门转移,改革开放后的 30 年,南京第三产业的产值比重增加了近 20%,第一产业的产值比重大幅下降.第一、二产业向第三产业的转移有力促进了经济的增长,在一定程度上也减少了南京 CO₂ 的排放量^[16].但是由于南京市是以工业化结构为主的工业城市,特别以扬子石化、扬子巴斯夫、南钢集团等对煤、原油等高碳能源大量需求的行业,其工业能源消费是南京 CO₂ 排放的重要来源.根据《南京统计年鉴(2012)》统计,截至 2011 年底,南京地区工业产值为 2 390.5 亿元,占南京第二产业的 86.6%,占南京地区总产值的 38.9%^[17].以上因素导致了南京碳排放量始终处于增长态势,南京产业结构调整不仅没能控制 CO₂ 排

放,相反,产业结构调整拉动了经济的快速增长,进而成为南京 CO₂ 增长关联度最大的因素。

4.2 人口以及城市化率对南京碳排放的影响

城市 CO₂ 的排放主要由生活在城市里人的活动产生的.表 8 的关联度排序说明了人口数量对南京市碳排放的影响比城市化率要大。

如表 5 所示,南京市 2003 年总人口为 572.23 万,城市化率为 74.20%,至 2011 年底,南京市总人口为 636.36 万,城市化率为 79.73%.9 年间,南京总人口增长 64.13 万,城市化率增长 5.53 个百分点,即南京 9 年增长了 82.78 万城市人口.正是由于总人口基数的增加,一定程度上拉动了城市人口的增加,使得城市 CO₂ 排放增加。

由图 1 可以看出,人口与碳排放分别在 2006、2007 和 2008 年有 3 次相交,即关联度达到最大.城市化率与碳排放分别在 2006 和 2008 年有 2 次相交.从 2006 年上半年开始,人口和城市化率的曲线都在标准值 1.0 的上方,人口和城市化率在 2006 年下半年有 1 次相交,此时便是人口与城市化率关联最大的一年.这也说明随着人口基数的增多,城市化率的增加,均对南京 CO₂ 排放具有增量效应。

4.3 能源消费结构对南京碳排放的影响

能源结构一直以来都是直接影响碳排放的重要因素.南京作为典型的工业城市,其能源消费结构主要以化石能源为主.其中煤炭的使用量最大,且逐年增长^[18].如表 9 所示,南京 2003 原煤的使用量为 1 183.35 万 t,2010 年首次突破 2 000 万 t,达到 2 213.67 万 t.尤其是 2011 年的增幅最大,相比 2010 年增加 25.45%,达到 2 777.04 万 t.在煤、石油、天然气 3 种高碳能源中,煤炭的含碳量最高,为 25.5 kg/GJ,其次是石油和天然气。

南京近年来进行了一系列的产业结构调整,一定程度上抑制了 CO₂ 的排量.如图 1 中的能源消费多元化系数走势,其分别在 2006 和 2008 年与碳排放量出现相交,且沿标准值 1.0 上下波动幅度很小.由表 9 可以明显看出,2007—2009 年,原煤逐年减少,

2007—2008 年,原油的使用量也有所降低。

尽管产业结构的调整能够降低 CO₂ 排量,但是在化石能源总量不断增加的情况下,其作用很有限.南京市碳排放的总体形势是逐年增加的。

4.4 能源强度对南京碳排放的影响

能源强度是直接反应能源利用率高低的物理量,也是减缓 CO₂ 排放的重要因素.由图 1 可知,南京市能源强度呈逐年下降趋势,在 2006 年,能源强度和碳排放量曲线有一个交叉点,在 2007 年之后,均低于标准值 1.0,这也说明南京能源强度的降低抑制了南京市 CO₂ 的排放。

能源利用率的提高是以技术进步作为支撑的.目前南京低碳技术的来源主要有 2 种:

1) 通过学习与模仿,并在技术使用中加以创新,使之更加适用于目前南京低碳城市的建设.这种技术的获取方式已经从别的城市借鉴,如保定、上海.另外,南京也从发达国家或发展中国家引进低碳技术,其优点是学习实践时间短,有利于迅速获得技术,从而缩短减缓碳排放的周期,缺点是引进技术成本高昂,有时还受限于政治因素。

2) 自主研发.这方面虽取得了一些成绩,但是由于技术研发有着成本高、周期长以及不确定性等特点,成果转化的成本也很高^[19-20]。

由表 5 可知,南京能源强度由 2007 年的 1.25 下降到 2008 年的 1.18,呈快速下降趋势,这与近年来南京能源效率的提高密不可分.但是由于南京城区的扩大以及大量投资的引入到高能耗、重排放的领域,致使总体排量仍持续走高,这也使得整体减排效果不明显。

4.5 南京经济的发展对碳排放的影响

本文的 GDP 和人均 GDP 代表着南京经济发展的水平.根据已有的研究,江苏省经济发展水平的提高对 CO₂ 排量的增加起着举足轻重的作用^[21].而根据关联度分析,南京 GDP 和人均 GDP 对南京 CO₂ 排量的关联度仅分别为 0.54 和 0.58,其原因可通过图 1 和图 2 分析得出。

表 9 2003—2011 年南京规模以上工业企业原煤、原油消费量

Table 9 Raw coal, crude oil consumption in Nanjing's industrial enterprises during 2003-2011

万 t

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
原煤	1 183.35	1 333.02	1 460.54	1 580.06	1 553.22	1 466.94	1 460.72	2 213.67	2 777.04
原油	1 345.77	1 465.07	1 861.50	1 852.41	1 977.86	1 878.75	2 045.29	2 113.89	2 180.75

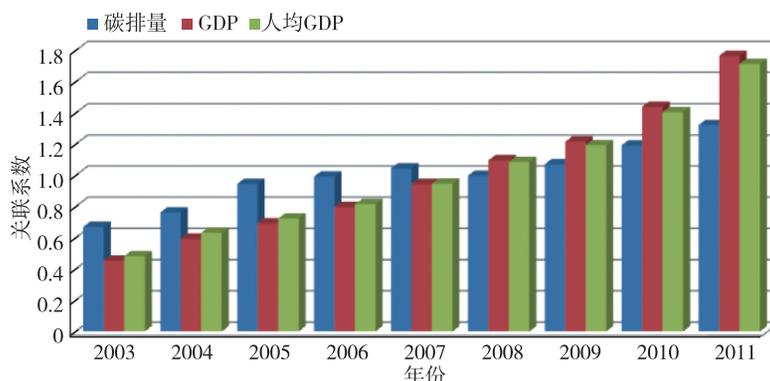


图2 GDP和人均GDP对南京碳排量影响

Fig. 2 Influence of GDP and per capita GDP on Nanjing's carbon emissions

在图1中,GDP和人均GDP曲线近乎平行增长,并与碳排量曲线在2007相交于标准值1.0.由图2可知,虽然2003—2007年经济发展迅速,但关联系数始终位于标准值1.0下方,并且在2007—2008年碳排量有明显的下降.上文中也分析出此次下降是南京能源效率提高所导致的.在2008年以后,GDP和人均GDP曲线始终位于标准值的上方,可以说明此时经济的增长对南京市CO₂排量具有促进效应.

综上所述,7个驱动因素均为影响南京碳排放的重要因素,关联度分析仅表明在南京这样一个特定城市下,表现出的对碳排放影响的关系.通过驱动因素关联度分析,可以对南京建设低碳城市的影响因素做出大致了解,也为之后低碳城市建设提供参考.

5 结论与建议

本文选取2003—2011年南京人口数量、GDP、城市化率等7个指标作为比较数列,南京CO₂排放量作为参考数列,运用灰色系统关联度模型分析各指标与南京CO₂排放的关联系数并排序.研究发现产业结构多元化系数是影响南京市碳排放的最主要因素,即ESD>人口数量>城市化率>ECSD>能源强度>人均GDP>GDP,并详细分析驱动因素对南京碳排放的影响.

通过分析影响南京碳排放7个驱动因素,对南京的低碳城市建设提出以下建议:

1) 优化产业结构,加大调整力度.优化产业结构调整,首先要从本质上淘汰掉高能耗、高排放、低效益的企业.对于产品在全国已失去竞争力的企业及早转型或者关闭.其次,要建立工业各行业的排放标准,并对其进行不定期检查,实行绩效制,对于表现良好的

企业进行政策上的倾斜扶持和财政支持,对于绩效长期较低的企业,予以停产改造,做到不达标不解封.再者从企业内部的产业结构上对技术进行优化,鼓励技术创新、校企联合以及企业之间的联合.

2) 以技术创新提高能源效率.提高能源效率就是在能源结构和能源总量不变的情况下提高能源的使用效率.南京是工业主导型城市,以华能热电厂、南钢集团、扬子石化为代表的行业是典型的高能耗高排放行业,其CO₂排放占南京碳排放的一半以上,同时也是减排潜力最大的行业.这些企业在各自领域都具备相当好的技术实力和丰富的经验,加上目前国家大力倡导并提供一切有利政策支持企业节能减排,工业企业应该抓住时机,大力研发与创新工业节能技术.

3) 开发清洁能源,优化能源结构.所谓能源结构调整就是在能源供应总量不变的情况下,增加如清洁能源中低碳或者无碳能源的比例.中国政府一直致力于新能源的开发和利用,目前,在生物能方面,中国已经走过了生物质液体燃料发展的阶段.中国具有丰富的富含纤维素的废弃物达到6000万t,发展第二代生物燃料技术即发展纤维素乙醇已是大势所趋,一旦技术难关被攻破,生物能将有更大的发展空间.在新能源不断发展的前提下,产业结构的调整会给城市的发展乃至整个社会的发展带来新的动力.南京应根据自身的条件进一步加快产业结构调整的步伐,尤其在工业化石能源的利用方面,要逐步降低化石能源的使用比例,加大清洁能源的使用.

4) 低碳生活促进低碳城市建设.低碳生活的方式是以生态价值为导向,以节约资源、保护环境为手段,尽量减少碳排放的一种简单、健康的生活模式^[22].低碳意识的存在会引导人们在生活的方方面面

面注重低碳.比如在消费方面拒绝高碳商品、选择符合低碳标准的产品或服务、最大限度减少浪费等.低碳消费强调消费的可持续性,强调环境的保护性,使消费具有科学性和充分的理性,拒绝浪费,杜绝奢侈性消费,减少高能耗高污染产品的使用,同时防止消费过度情况的出现.低碳消费就是将非生活必须的部分去掉,回归本质生活.

参考文献

References

- [1] Ross G. The Garnaut climate change review [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2008
- [2] 仇保兴. 兼顾理想与现实: 中国低碳生态城市指标体系构建与实践示范初探 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 2-6
QIU Baoxing. Coordinated between ideal and reality: Index system of China ecological & low-carbon city construction and practical demonstration [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 2-6
- [3] 习蓉, 许士春. 我国碳排放的因素分解及减排政策研究 [J]. 江苏商论, 2011 (12): 157-160
XI Rong, XU Shichun. Research on the effective policies to reduce carbon emission in China [J]. Jiangsu Commercial Forum, 2011 (12): 157-160
- [4] 温景光. 江苏省碳排放的因素分解模型及实证分析 [J]. 华东经济管理, 2010, 24 (2): 29-32
WEN Jingguang. Decomposition model and empirical study of carbon emissions for Jiangsu province [J]. East China Economic Management, 2010, 24 (2): 29-32
- [5] 谈琦. 低碳城市评价指标体系构建及实证研究: 以南京、上海动态对比为例 [J]. 生态经济, 2011 (12): 81-96
TAN Qi. The evaluating indicator system and empirical analysis of low-carbon cities taking Nanjing and Shanghai dynamic contrast as an example [J]. Ecological Economy, 2011 (12): 81-96
- [6] 黎孔清, 陈银蓉. 低碳理念下的南京市土地集约利用评价 [J]. 中国土地科学, 2013, 27 (1): 61-66
LI Kongqing, CHEN Yinrong. Evaluation on the intensity of urban land use based on low-carbon concept: A case study of Nanjing city [J]. China Land Sciences, 2013, 27 (1): 61-66
- [7] 顾朝林, 谭纵波, 刘宛, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展 [J]. 城市规划学刊, 2009 (3): 38-45
GU Chaolin, TAN Zongbo, LIU Wan, et al. A study on climate change, carbon emission and low-carbon city planning [J]. Urban Planning Forum, 2009 (3): 38-45
- [8] 赵敏, 张卫国, 俞立中. 上海市能源消费碳排放分析 [J]. 环境科学研究, 2009, 22 (8): 984-989
ZHAO Min, ZHANG Weiguo, YU Lizhong. Carbon emissions from energy consumption in Shanghai city [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22 (8): 984-989
- [9] 陈飞. 低碳城市发展对策措施研究: 上海实证分析 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 32-34
CHEN Fei. Research on strategy of low-carbon city: Shanghai empirical analysis [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010: 32-34
- [10] 赵晓慧. 城市生态规划中生态适宜度分析的灰色关联投影模型研究: 以浙江省地级城市为例 [D]. 杭州: 浙江大学生命科学院, 2005: 33-39
ZHAO Xiaohui. Grey relation projection model for the ecological suitability of regional ecological planning: By the example of cities in Zhejiang province [M]. Hangzhou: College of Life Science, Zhejiang University, 2005: 33-39
- [11] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选 [M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2008: 112-115
DU Dong, PANG Qinghua, WU Yan. Modern comprehensive evaluation method and case selection [M]. 2nd Ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 112-115
- [12] 王卉彤, 王妙平. 中国 30 省区碳排放时空格局及其影响因素的灰色关联分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21 (7): 140-145
WANG Huitong, WANG Miaoping. Analysis of carbon emission spatiotemporal patterns and grey incidence of factors influencing carbon emission in 30 provinces in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21 (7): 140-145
- [13] 熊强, 郭贵成. 中国能源消耗及利用效率、碳排放与产业投资结构的灰色关联分析 [J]. 科技与经济, 2013, 26 (2): 100-104
XIONG Qiang, GUO Guancheng. Gray correlation analysis of energy consumption and utilization rate, carbon emission and industrial investment structure in China [J]. Science & Technology and Economy, 2013, 26 (2): 100-104
- [14] 周子英, 段建南, 向昌盛, 等. 基于低碳经济视角的中国能源结构灰色关联度分析 [J]. 生态经济, 2011 (3): 57-60
ZHOU Ziyang, DUAN Jiannan, XIANG Changsheng, et al. Application of the grey related theory to China's energy structure based on the perspective low carbon economy [J]. Ecological Economy, 2011 (3): 57-60
- [15] 黄南. 南京产业结构调整绩效评价及提升对策研究 [J]. 南京社会科学, 2013 (3): 154-160
HUANG Nan. A study on city industrial structure adjustment performance evaluation and promotion measures [J]. Social Sciences in Nanjing, 2013 (3): 154-160
- [16] 周彬, 李震. 南京城市化与产业结构变动关系研究 [J]. 科技与管理, 2012, 14 (4): 78-82
ZHOU Bin, LI Zhen. Study on relation of urbanization and the changes of industrial structure in Nanjing city [J]. Science-Technology and Management, 2012, 14 (4): 78-82
- [17] 张华见. 南京工业发展的时空二维分析与工业产业结构优化研究 [D]. 南京: 南京林业大学经济管理学院, 2012: 24-37
ZHANG Huajian. The two-dimensional spatiotemporal analysis and industrial structure optimization research about the industry development in Nanjing [D]. Nanjing: College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, 2012: 24-37

- [18] 刘慧,仇方道.南京市工业能源碳排放及影响因素分析[J].国土与自然资源研究,2012(5):55-57
LIU Hui, QIU Fangdao. Analysis on industrial energy carbon emissions and influencing factors in Nanjing[J]. Territory & Natural Resources Study, 2012(5): 55-57
- [19] 张永军.技术选择、低碳经济与可持续发展[J].当代经济管理,2011,33(3):5-8
ZHANG Yongjun. Technological choice, low carbon economy and sustainable development [J]. Contemporary Economy & Management, 2011, 33(3): 5-8
- [20] 唐德才,李长顺,华兴夏.我国传统制造业低碳化驱动因素研究[J].华东经济管理,2012,26(9):86-91
TANG Decai, LI Changshun, HUA Xingxia. Research on low-carbon driving factors of China's traditional manufacturing [J]. East China Economic Management, 2012, 26(9): 86-91
- [21] 杨浏.江苏省发展低碳经济的影响因素及对策研究[D].镇江:江苏大学财经学院,2012:30-38
YANG Liu. The Research on the countermeasures and affecting factors of developing low-carbon economy in Jiangsu province [D]. Zhenjiang: College of Finance and Economics, Jiangsu University, 2012: 30-38
- [22] 陶曼,王友良.试论低碳生活方式的实现路径[J].南华大学学报,2011,12(2):22-25
TAO Man, WANG Youliang. Discussion on how to achieve low-carbon lifestyle [J]. Journal of University of South China: Social Science Edition, 2011, 12(2): 22-25

Research on carbon emissions driving factors of Nanjing based on grey correlation model

LI Changshun¹ TANG Decai² CHANG Fenhua¹

¹ Meteorological Service Center, Weather Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350001

² School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Global warming has become an indisputable fact. People get to know that the mode of production relying on over consuming energy, the mode of economic development at the expense of the environment and the excessive spending life style should be fundamentally changed. Cities are not only the carrier of industry, construction, transportation, but also the main source of high energy consumption and high carbon emissions. In order to deal with the challenge of global warming, we need to change the traditional pattern of urban development. The paper first adopts IPCC energy conversion model to test the carbon emissions in Nanjing, then chooses indexes including population, GDP, per capita GDP, population urbanization rate, coefficient of diversified industrial structure (ESD), coefficient of diversified energy consumption structure (ESCSD) and energy intensity of Nanjing as the comparison sequences, specifies Nanjing's CO₂ emissions as a reference sequence, then calculates and sorts the association degree of the comparison sequences with the reference sequence using grey correlation model. The result shows that according to the correlation with carbon emissions in Nanjing, the descending order should be ESD, population, urbanization rate, ECSD, energy intensity, per capita GDP, and GDP. It's in line with the data provided by the research that industrial emission for production holds over 50% because of the wide use of fossil energy. The potential contribution of related indexes to Nanjing's building of low-carbon city are elaborated, hence some suggestions are put forward for policy makers.

Key words carbon emissions; low-carbon city; driving factors; grey correlation; Nanjing