

基于改进的主成分回归模型的碳排放预测研究

Carbon emission forecast using improved Principal Component Regression (PCR) model

王兵^{1,2} 张贤³ (1. 北京理工大学能源与环境政策研究中心, 北京 100081; 2. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081; 3. 科学技术部中国 21 世纪议程管理中心, 北京 100038)

摘要 为分析影响碳排放的主要因素, 本文引入主成分分析理论, 多元线性回归模型来考察影响碳排放的人文、经济、能源等因素与碳排放之间的相互关系, 进一步对其影响因素进行主成分多元回归建模, 并就未来的碳排放及其强度展开预测。结果表明: 在所考察因素中, 能源消费总量与碳排放的关系最为紧密; 其次是 GDP 和人口总量。在结构指标中, 工业化和化石燃料比重, 这两个因素对碳排放的影响远高于城市化率、城镇居民消费水平。对上述结果分析后, 本文提出了合理控制能源消费总量和经济增速, 提高经济发展质量和服务业比重, 促进新能源产业发展等政策建议。最后, 基于情景设置, 本文运用主成分回归方程对我国 2020 年碳排放总量及其强度进行预测。

关键词 主成分分析; 多元回归模型; 碳排放预测; 经济结构; 新能源发展

免责声明 本文仅代表作者个人观点, 与中国 21 世纪议程管理中心、中国可持续发展研究会及联合国均无关。

Disclaimer: This brief was submitted through the Administrative Centre for China's Agenda 21 (ACCA21), Ministry of Science and Technology, China, and the Chinese Society for Sustainable Development (CSSD). The views and opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily represent the views of, and should not be attributed to, the Secretariat of the United Nations, the ACCA21 or the CSSD. Online publication or dissemination does not imply endorsement by the United Nations. For further information, please contact Mr. Sun Xinzhang (sunxzh@acca21.org.cn)

控制和减少二氧化碳等温室气体排放是世界各国促进环境与经济协调发展和应对气候变化的重要政策导向。21 世纪以来, 中国经济的快速发展推动了能源消费的快速增长, CO₂ 排放增长速度一直居于世界前列。与其他金砖国家相比, 我国从 2003 年以来碳排放增长速度远高于其他金砖国家, 这无疑会影响气候谈判中金砖国家间的协调和合作。在气候谈判面临的压力越来越大的背景下, 如何在保证足够发展空间, 实现 2020 年全面建设小康社会目标的前提下, 走出一条低碳能源发展的清洁道路, 是中国今后相当长时期内面临的巨大挑战[1]。因此, 分析我国碳排放的影响因素, 对未来碳排放总量及其强度进行有效预测具有重要的指导意义。

国内外许多学者用不同方法对这一问题展开了研究。部分学者用定性分析的方法对碳排放影响因素进行分析[2-3]。张志强等从人均碳排放、年排放量的增长趋

势来分析我国碳减排所面临的挑战, 提出了应对气候变化的政策建议[2]。何建坤等对 GDP 增长率、碳排放增长对 GDP 的弹性、能源消费强度、能源消费的碳强度与碳排放强度下降进行了规律性分析, 从而指出了以温室气体排放强度下降率作为减排指标的不合理性[3]。从定量分析的研究角度出发, 因素分解法和多元回归分析是其中主要的研究方法。Ang 和 Pandiyan 对工业部门中的制造业碳排放进行指数分解, 得到部门能源强度是影响碳排放强度的最重要因素[4]。

刘兰翠利用偏最小二乘法建立了 STIRPAT 模型, 分析了人口特征, 人均 GDP, 技术对碳排放的影响, 认为人口、经济、技术对不同发展层次国家的二氧化碳排放量的影响是不同的[5]。Liu 使用适应性加权迪氏指数法, 研究碳排放强度与能源强度之间的关系, 认为两者之间

关系密切，但能源强度对碳排放强度下降的贡献是有限的[6].

上述文献对碳排放影响因素做了积极有益的研究，但也存在有待改进的方面：其一，这些研究大多数采用指数分解法，这就造成可参考的影响因素较少，而且利用这一方法很难进行预测研究；其二，模型从一个视角或两个视角考虑碳排放问题，而较少探索结构变化对碳排放的影响；最后，上述分析较少考虑多重共线性的影响，从而结果具有一定的不确定性。

本文从人口、经济、能源三个方面提取出八个主要考察因素，首先对数据进行 ADF 单位根检验，由检验结果对不平稳时间序列经差分处理后，对数据标准化并进行主成分分析，得到全部主成分，运用多元回归模型将所有主成分对因变量回归，通过检验和整理后得到关于主成分回归结果，经矩阵转换得到关于原变量的标准化回归方程。一方面，模型从三个方面提取了 8 个主要因素，既有总量指标，又有结构指标和技术指标，更加全面地考虑了碳排放影响因素；另一方面主成分分析可以

消除多重共线性的影响，使得多元回归结果具有较高的准确性；最后，为防止出现“伪回归”现象，本文先对数据进行 ADF 单位根检验，差分处理后使得满足多元回归分析的数据要求。

本文结构安排如下：第一部分介绍了论文的研究方法和数据说明。第二部分是模型结果与分析。第三部分通过情景设置，利用模型结果进行碳排放预测与分析。最后一部分总结了本论文的主要研究结论，并提出了相关政策建议，并就模型的改善工作进行了展望。

1 研究方法和数据

1.1 研究框架

本文利用改进的主成分回归方法，考虑影响碳排放的三个方面的 8 个因素，对碳排放进行主成分回归分析，其结果与经典多元回归方法进行比较分析后，利用回归方程进行相关预测。最后根据模型结果和预测结果，提出政策建议。本论文的研究框架如图 1 所示。

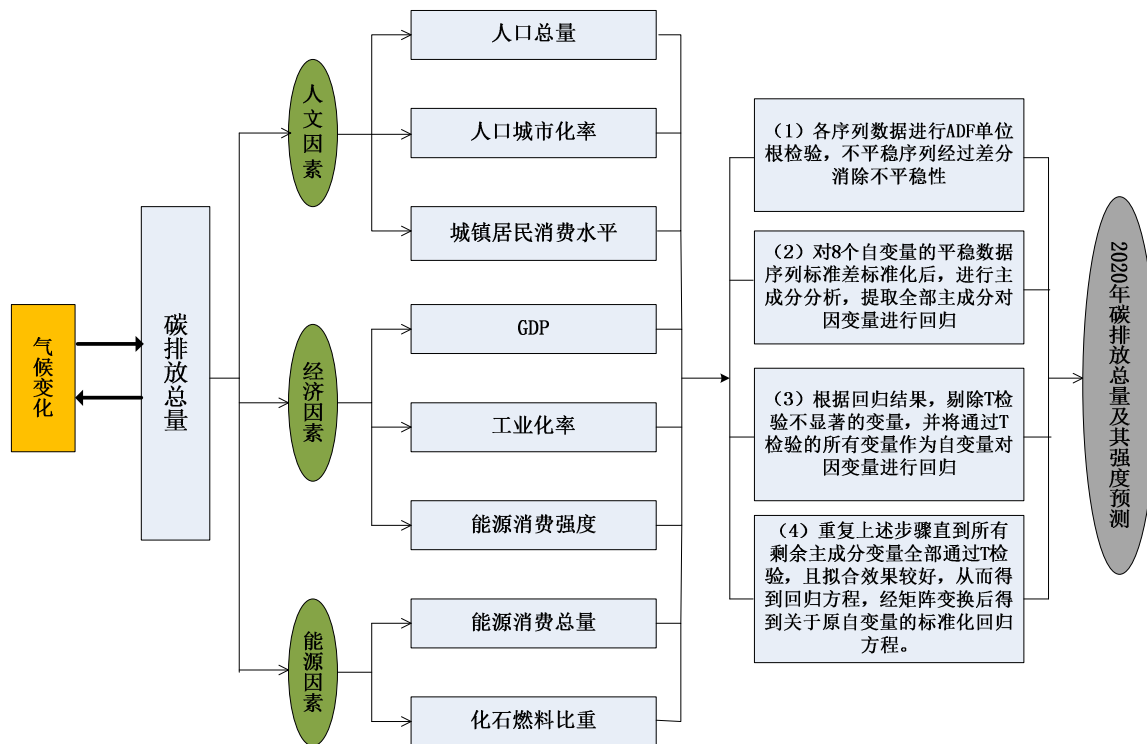


图 1 论文研究框架

1.2 基于改进的主成分回归模型的碳排放影响因素分析

主成分分析理论认为，如果总方差的相当大的部分（如80%-90%）可以被前m个主成分解释（称之为累计贡献率），那么这些成分就可以“取代”原来的p个变量，而且损失信息不多[7]。

然而，上述主成分回归理论有一个不足之处。这种经典的主成分分析在提取主成分时只在所有自变量中进行，没有考虑所提取成分是否与因变量存在相关关系，因此很有可能出现模型选取的前m个主成分对因变量的解释性很差的现象。而后面几个被省略掉的主成分，，…，却有可能与因变量存有较强的关联性。

针对以上情况，本论文对经典PCR进行改进，选取影响碳排放的8个因素：人口总量（）、人口城市化率（）、城镇居民消费水平（）、GDP（）、工业化率（）、能源消耗强度（）、能源消费总量（）、化石燃料比重（）作为自变量，考虑到时间序列的平稳性，本文先对8个自变量的1978-2009年的32组数据进行ADF单位根检验，根据结果进行差分处理，再对所有数据标准化（数据标准差标准化）后进行主成分分析，提取全部主成分作为自变量对因变量进行多元线性回归，逐步回归经T检验后得到较好的模型结果。其回归步骤如下：

(1) 对自变量进行ADF单位根检验，非平稳序列差分处理后进行数据标准化处理，对标准化后的自变量数据表做主成分分析，提取全部主成分，作为自变量，对因变量y做OLS回归。

(2) 根据回归结果，一次性删除所有T检验不显著的变量，并把通过T检验的r个自变量记为，。

(3) 以为自变量对因变量y做OLS回归，再次删除所有T检验不显著的变量。

(4) 重复以上步骤直至模型中所有自变量全都通过T检验，从而得到回归模型，方程如(1)所示。由于主成分是原自变量的线性组合，经矩阵转换后可以得到关于原自变量的回归方程，如式(2)所示。

$$\tilde{Y} = \alpha_1 \tilde{F}_1 + \alpha_2 \tilde{F}_2 + \dots + \alpha_s \tilde{F}_s; \quad s \leq 8 \quad (1)$$

$$\hat{Y} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_8 x_8 \quad (2)$$

在上述步骤中，由于利用时间序列数据进行回归分析时可能存在“伪回归”现象，所以本文先对变量做ADF单位根检验，根据检验结果进行必要的差分处理，这样最后回归得到的方程变量之间的关系其实是变量增加量之间的相互关系。与此同时，任一主成分的回归系数和T检验值均与其余主成分无关，当采用反向删除变量法时，如果有多个成分T检验不显著，则可以将它们同时删除，而无须逐个删除。总体而言，这种新的建模策略更高效地提取对因变量有较强解释作用的成分，实现在自变量多重相关条件下的回归建模，并且允许在模型中包含所有的原始变量。此外，该方法还具有成分筛选过程简便，累计计算误差小于偏最小二乘回归迭代算法等优点。

为了检验上述改进的PCR模型结果的准确性，本文利用原始数据，对其进行单位根检验后，对不平稳数据序列取对数后进行多元回归分析。具体步骤如下所示：

(1) 对所有变量进行ADF单位根检验，针对不平稳序列取对数平稳化处理后得到新的时间序列数据。(2) 用所有自变量对因变量进行回归分析，得到标准化回归方程。

1.3 数据来源与相关说明

本文采用的人口、经济、能源数据大部分来自《中国统计年鉴》2010[8]。1978年至1985年之间的部分数据来自《中国统计年鉴》1996，2001，2006和《中国能源统计年鉴》2009[9]，其中居民消费水平、GDP是以

1978 的不变价计算得到。碳排放数据来自美国能源部的二氧化碳信息分析中心 (CDIAC)。论文选取人口总量、GDP、能源消费总量作为考察要素, 主要原因在于我国是一个人口大国, 碳减排问题面临的人口压力十分巨大, 国内外围绕人口因素的碳排放研究十分广泛; GDP 不仅反映了一个国家的经济表现, 也反映一国的国力与发展状态, GDP 高速增长期也是碳排放总量上升的快速期; 化石燃料燃烧所产生二氧化碳是引起全球气候变暖的主要原因, 所以能源消耗与二氧化碳排放密切相关。综上所述, 人口总量、GDP、能源消费总量是本研究必须考虑的因素。

模型中引入化石燃料比、工业化率、城市化率反映了能源结构、经济结构以及中国目前所处的工业化、城市化的时代特征, 使研究紧密地与现实情况相联系。随着人民生活水平的提高, 人们会越来越追求高质量的生活方式, 纵观发达国家的发展史, 当发达国家的居民生活收入显著提高后, 其人均能源消费量会迅速上升, 这也导致国家碳排放量的增加, 所以本文选取了居民消费水平作为考察因素之一。能源消耗强度代表经济活动的能源效率, 作为技术指标选入模型中。表 1 显示了论文所使用数据的统计特征。

表1 数据统计特征

	单位	最小值	最大值	平均值	标准差
人口	百万人	962.69	1334.74	1173.13	11910.13
人口城市化率	%	17.92	46.59	30.75	8.78
居民消费水平	元	405.00	15025.00	469.11	4317.04
GDP (1970 年)	十亿元	354.82	22285.30	4322.25	60975.19
工业化率	%	36.74	44.09	40.27	1.84
能源消耗强度	吨标准煤/万元	1.38	16.11	7.64	4.51
能源消费总量	百万吨标准煤	571.44	3070.00	1351.20	72479.03
化石燃料比重	%	92.20	96.60	94.34	1.18

2 结果分析与讨论

论文首先对影响碳排放的八个因素进行 ADF 单位根检验, 在 ADF 单位根检验中, 由于检验结果发现不同的方程形式对检验结果的判断没有影响, 本文选取不含常数项和时间趋势的方程形式。根据上述方法对 1978-2009 年人口、城镇居民消费水平、实际 GDP、能源消费总量 (Energy Consumption, EC)、能源消费强度、碳排放总量六个变量的原序列、一阶差分、二阶差分分别进行 ADF 单位根检验, 结果发现人口、GDP、能源消费总量和碳排放总量不满足序列平稳性。

对这些不平稳时间序列数据一阶差分后标准化后进行主成分分析, 分析结果如表 2 所示。从各主成分的解释比重来说, 前四个主成分的贡献率都大于 1%, 累计贡献率超过 99%。进一步分析可以得到, 主成分 C1 与三个变量具有高度的正相关性, 这三个变量是人口、城市化

率和能源消费总量。而主成分 C2 与工业化率、碳排放强度有很高的相关性。如果按照经典主成分回归方法, 选择前四个主成分进行回归分析就可以达到较高预测准确率。

表 2 主成分分析结果

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
C ₁	6.345	79.31	79.31
C ₂	1.197	14.96	94.27
C ₃	0.303	3.79	98.06
C ₄	0.117	1.46	99.52
C ₅	0.026	0.33	99.85
C ₆	0.009	0.11	99.96
C ₇	0.002	0.03	99.99
C ₈	0.001	0.01	100.00

参数说明： X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 是对原变量进行主成分分析得到 8 个主成分中，通过用所有主成分对碳排放进行多元回归，通过 T 检验得到的 5 个主成分。T 值是偏回归系数为 0（常数项为 0）的假设检验的 T 值。

根据主成分分析结果，按照模型采用的改进方法，选取全部主成分用偏最小二乘法进行回归，得到主成分回归结果，其参数如表 3 所示，从结果可以看出，利用改进的 PCR 方法最终得到的回归结果选取了前五个主成分，比经典 PCR 方法多选取了主成分 C_5 ，这也体现了方法改进的必要性。式（3）是模型主成分回归方程。

$$\tilde{Y} = 0.152C_1 + 0.632C_3 - 1.406C_5 + 0.108C_2 + 0.944C_4 \quad (3)$$

其中 $AR^2=0.991$ ，各主成分的 T 检验值如表 3 所示，均通过检验。

上述因变量关于主成分的回归方程经矩阵变换后得到最终关于原变量的标准化回归方程结果，如式（4）所示。

$$\begin{aligned} \Delta Y_t = & 1.9596 \Delta X_{1t} + 0.0333 X_{2t} + 0.2520 X_{3t} + 1.9802 \\ & \Delta X_{4t} + 0.7335 X_{5t} + 0.1470 X_{6t} + 2.5563 \Delta X_{7t} + 0.2689 X_{8t} \end{aligned} \quad (4)$$

表 3 碳排放影响因素分析模型回归参数

模型变量	偏回归系数	标准差	T 值	容许度
常数项	0.000	0.016	0.019	--
C_1	0.152***	0.003	53.825	0.931
C_2	0.108***	0.014	7.796	0.997
C_3	0.632***	0.064	9.935	0.806
C_4	0.944***	0.142	6.670	0.912
C_5	-1.406***	0.141	-9.995	0.725

2.1 人文因素对碳排放的影响分析

本文选取人口总数、城市化率、城镇居民消费水平三个因素作为人文因素，结果发现它们对碳排放增加量的解释比重按其影响系数大小依次为：人口总数（1.9596）、城镇居民消费水平（0.2520）、城市化率（0.0333）。在考察的三个变量当中，人口规模自 1978

年实行计划生育基本国策以来，人口总量得到有效控制，不过未来十年我国人口规模还将扩大，人口总量继续缓慢增长，国家计生委 2009 年表示中国人口高峰将在 2033 年出现，人口规模保持在 15 亿左右。我国计划生育政策的实施对我国历史碳排放的减少起到了重要作用。然而，近年来我国的老龄化现象逐步呈现，人口红利即将结束，这些问题值得我们思考。总的来说，考虑到我国目前实施的相对严格的生育政策，单纯依靠控制人口总量来达到碳减排的目标很难实现，而且也不利于我国未来的人口发展。

从人文角度来说，城镇居民消费水平是影响碳排放的第二大因素。我国正处于人均收入水平亟待提高的时期，人均国民总收入在世界的位置比较靠后。2009 年，我国人均国民总收入为 3650 美元，仅相当于世界平均水平的 41.8%，在世界银行统计的 213 个国家和地区中居第 125 位。考虑到我国目前所处的发展阶段，以及《政府工作报告》中着重强调改善民生，所以说我国未来的居民消费水平还有很大的提升空间，居民消费水平将会持续增长。

2.2 经济因素对碳排放的影响

论文选取 GDP、工业化率、碳排放强度作为经济因素加以考虑，结果表明以上三个因素对碳排放的解释系数由大到小排列为：GDP（1.9802）、工业化率（0.7335）、能源消耗强度（0.1470）。从目前我国所处的形势来看，我国发展的有利条件和长期向好的趋势没有改变，工业化、信息化、城镇化、市场化、国际化深入发展，这一时期需要进行大量的基础设施建设，城市化进程对高耗能产品需求增大，这也将导致化石能源的大量使用，进而促使碳排放的增长。可以预见中国能源消费碳排放总量在今后一定时期内仍将随 GDP 的增长而保持一定增长态势。

从结果来看，在其他条件不变的情况下，GDP 总量的增加量每变动 1 个百分点时，基于能源消费的碳排放增加量会同向变动 1.9802%。此外，工业化率对于碳排放

的解释比重为 0.7335。在除了能源消费总量、GDP、人口总量之外，工业化率是对碳排放影响因素最大的因子。工业部门多属于能源密集型行业，同时也是碳排放密集型行业，对碳排放影响较大。中国是“世界工厂”，出口贸易结构中能源密集性产品的出口较多，这就造成了生产的产品送出去，污染或者排放留给自己的局面。这一情况不利于我国未来碳减排目标的实现，有必要提高产品科技含量，实现创新驱动型经济体系。

2.3 影响碳排放的能源因素分析

本论文选取能源消费总量、化石燃料比重这两个要素作为能源因素的代表，模型结果显示：在其他条件不变的情况下，能源消费总量每变动 1 个百分点时，基于能源消费的碳排放会同向变动 2.5563%。这一结果比牛叔文等（2010）得到中国能耗的碳排放系数（3.76）小 [10]，分析其原因可能在于上述文章是单独考察能源消费与碳排放总量之间一元回归分析，其 t 检验值十分接近临界水平，此外本论文模型所得到的拟合优度为 0.993，故可认为模型结果具备很高的可信度。

作为反映能源结构的因素，化石燃料比重对碳排放的解释比重为 0.2689。化石燃料的燃烧直接导致了温室气体的排放，其在能源使用总量中的比重增加，势必对碳排放产生影响。近年来，新能源发展迅速，其在能源消费总量中的比重不断增加，但新能源消费量的增长速度等于或略低于化石能源的增长速度，这也直接减弱了发展新能源在碳减排行动中的作用。

3. 2020 年我国碳排放及其强度预测分析

3.1 情景设置

从上一部分回归结果可以看出，对碳排放的影响比重按照从大到小排列为：能源消费总量、GDP、人口总量、工业化率、化石燃料比重、城镇居民消费水平、碳排放强度、城市化率。根据“十二五”规划以及北京理工大学能源与环境政策研究中心的研究预测报告，考虑

到我国目前的实际情况，对 2010-2020 年我国人口、经济和能源消费等进行情景假设（见表 4），设定基本情景，由基本情景设定相关高低标准，得到未来发展的三个情景。

表 4 2010-2020 年我国未来发展情景的假设

	情景 1 高排放	情景 2 中等排放	情景 3 低排放
人口年均增长率 (%)	0.5	0.4	0.3
2020 年城市化率 (%)	57	54.5	52
城镇居民消费年增长率 (%)	10	9	8
GDP 年均增长率 (%)	9	8	7
2020 年工业化率 (%)	33.5	31.5	29.5
2020 年能源消费总量 (亿吨)	51.4	48.6	45.8
2020 年化石燃料比 (%)	87	85	83

3.2 2020 年我国碳排放及其强度预测

对上述情景进行模拟计算，代入模型预测方程可以得到各情景下的碳排放总量，结果如图 2 所示。

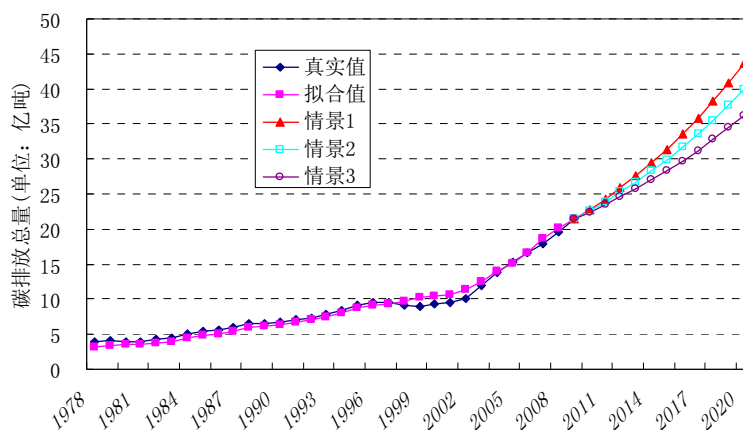


图 2 2011—2020 年我国碳排放情景预测

可以看出，三个情景下，我国未来的碳排放总量都将快速增长，虽然碳排放强度有所下降，但这种总量增长过快趋势可能使我国未来的发展面临气候变化的风险，并对我国经济、社会、环境产生重大影响。

对上述各情景下的情况进行深入分析, 计算得到各情景下我国 2015 年和 2020 年碳排放强度下降(以 2005 年为基期)比例, 如表 5 所示。

表 5 2015 年和 2020 年我国碳排放强度情景预测

	情景 1	情景 2	情景 3
2015 年 (%)	29.78	31.37	33.42
2020 年 (%)	36.58	39.65	42.11

数据说明: 碳排放强度下降的计算是以 2005 年为基期。

从上述碳排放强度情景预测结果来看, 情景 1(高排放)与情景 3(低排放)相比, 2020 年我国所面临的减排压力将十分巨大, 而且也未能完成我国于 2009 年 11 月 26 日国务院常务会议提出的到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%—45% 的目标。从结果来看, 情景 2(基本情景)对应的发展方式和规划更适合我国目前的所指定的目标, 基本实现 2020 年减排 40% 的目标, 工业比重下降, 居民消费水平增长速度高于 GDP 的增速, 切实改善人民生活质量, 城市化进程平稳进行, 基本完成 2020 年我国非化石能源占一次能源消费 15% 的减排目标。

4 结论与政策建议

4.1 主要结论

本文使用改进的主成分回归方法对我国碳排放影响因素进行分析, 选取的主要因素既包括总量因素, 有包括结构因素。结果发现: 碳减排目标的制定既要重视相关因素的总量控制, 也要考虑经济结构等结构因素的调整。

(1) 在影响碳排放的各种因素当中, 能源消费总量、GDP、人口总量的影响比重排在前三位, 这是由于这些总量指标与碳排放总量密切相关, 由此可见合理控制能源消费总量和 GDP 增长速度对于碳减排目标的实现有重要作用。对于人口来说, 我们目前的计划生育政策对于碳排放的增长已经起到了很好的抑制作用, 考虑到我

国目前的人口基数和人口结构等因素, 实行更加严格的人口控制政策并不是最好的选择, 所以未来的减排策略在于怎样在 GDP、能源消费总量和碳排放总量之间找到一个平衡点。

(2) 考虑模型中引入的结构因素, 经济结构对于碳排放的影响比重要高于能源结构。由此可见, 调整经济结构, 发展服务业, 巩固农业的基础地位不仅是国家发展的需要, 对于碳排放的增长也有很好的减缓作用。对于能源结构来说, 发展新能源, 增加能源消费中新能源的比重对于我国节能减排工作有重要的指导意义。此外, 大力发展新能源的同时, 应保证核设施、风电设施的使用安全, 提高有效应对突发事件的能力。

(3) 居民消费水平的提高可推动碳排放的增长。然而, 由于我国目前人均消费水平还比较低, 居民消费水平还有很大的增长空间。如何在提高居民生活水平的时候又能使人民生活低碳化, 既改善民生又让人民过上低碳生活, 是我们国家今后需要考虑的问题。从国家、企业、个人三个层面出发, 积极倡导低碳发展、低碳生产、低碳生活的环保理念, 最大限度地节约能源可以更好地解决我国未来经济发展所面临的资源制约问题。

4.2 政策建议

针对模型回归结果和预测分析, 其结果对我国的未来发展提供了以下重要启示:

(1) 碳排放强度控制是基础, 总量控制为关键。按照情景预测的结果, 高排放的发展方式将导致碳排放总量翻一番, 也未能实现我国提出的减排目标, 故未来几年我们应该开始关注碳排放总量的控制。此外, 我国未来能源发展的基本特点是能源需求大、煤炭比例高。由此产生的大量高污染的碳排放, 对我国的环境保护、长久稳定可持续发展不利, 也将增加我国在国际谈判中的压力。因此, 建立一个适合中国国情的碳配额和碳交易机制对于我国未来碳减排政策的实施具有重要的导向作用。

(2) 把握经济增速, 推动产业结构调整。从模型结果来看, 能源消费、GDP 增长都是碳排放增长的主要因素。此外, 工业化率这一反映产业结构的因素对碳排放产生了重要影响。所以说未来我国应把握好合理的经济增速, 既要保证就业, 也要保护环境, 维持经济可持续发展。产业结构调整中, 应该大力发展服务业, 积极推动科教文卫事业的发展, 扩大教育事业投入在国民经济中比重。此外, 努力提高我国出口产品的自主创新含量, 打造具有自主知识产权的民族企业, 增强国家软实力。

(3) 提高居民消费水平, 倡导节能环保的生活方式 [11], 挖掘公众消费领域的节能潜力 [12]。依据《2013 年国民经济和社会发展统计公报》, 我国农村居民人均纯收入 8896 元, 剔除价格因素, 比上年实际增长 9.3%; 城镇居民人均可支配收入 26955 元, 实际增长 7.0% [13]。从国际上看, 我国人均收入很低, 提高人民的生活水平是我国目前的经济重点, 全面改善人民生活水平也写进了未来的发展规划中。从模型结果来看, 城镇居民消费水平的提高会促进碳排放的增长, 原因可能在于随着生活水平的提高, 追求高品质生活和购买汽车等生活方式促进了高碳产品的消费。人民生活水平提高的趋势是确定的, 但不确定的是人民的生活方式和态度。积极引导和宣传全民节能等工作对未来的节能减排工作至关重要。例如, 提倡使用节能灯、推广太阳能热水器的使用等措施。

(4) 合理控制能源消费总量, 积极推动能源结构清洁化、低碳化, 促进新能源的发展。我国是世界上最大的能源生产国, 已经接近甚至超过美国成为世界第一大能源消费国。21 世纪第一个十年我国的能源消费量翻一番, 这种高耗能的经济增长方式增加了我们的环境负担。因此, “十二五”规划建议中提出合理控制能源消费总量, 非化石能源在一次能源消费中的比重达到 11.4% 的目标。这些目标的实现不仅仅提高了经济发展的清洁度, 也减轻了我国在国际气候谈判中的压力, 也为世界各国的清洁能源生产起到了重要的借鉴作用。

本文所考虑的八个因素只是从有限的几个方面研究影响碳排放的主要因素, 还存在不足。工业化率在一定程度上能够反映了经济结构, 但我国作为“世界工厂”, 出口一些高排放的产品会将其产品碳排放转移到我国, 从这一角度出发, 出口贸易结构更能反映我国经济结构调整的方向。此外, 本文只研究了影响碳排放的因素, 碳排放导致的气候变化问题与社会经济系统的复杂反馈 [14] 将在下一步研究工作中展开。

参考文献

- [1] 魏一鸣, 刘兰翠等. 中国能源报告 (2008): 碳排放研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 张志强, 曾静静, 曲建升. 应对气候变化与温室气体减排问题分析与对策建议 [J]. 科学对社会的影响, 2008, (1): 5-11.
- [3] 何建坤, 刘滨. 作为温室气体排放衡量指标的碳排放强度分析 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44 (6): 740-743.
- [4] Ang B W, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced CO₂ emissions in manufacturing [J]. Energy Economics, 1997, 19 (3): 363-374.
- [5] 刘兰翠. 我国二氧化碳减排问题的政策建模和实证研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006: 25-41.
- [6] Fan Y, Liu L C, Wu G, et al. Changes in carbon intensity in China: empirical findings from 1980-2003 [J]. Ecological Economics, 2007, 62(3-4): 683-691.
- [7] Richard A. Johnson, Dean W Wichem. 实用多元统计分析 (第六版) [M]. 陆璇, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [8] 国家统计局. 中国统计年鉴 2010 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [9] 国家统计局能源司, 国家能源局综合司. 中国能源统计年鉴 2009 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.

[10] 牛叔文, 丁永霞, 李怡欣, 等. 能源消费、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): 12-21.

[11] Feng Z H, Zou L L, Wei Y M. The impact of household consumption on energy use and CO₂ emissions in china [J]. Energy, 2011, 36(1):656-670.

[12] Wei Y M, Liu L C, Fan Y, et al. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: an empirical analysis of China's residents [J]. Energy Policy, 2007, 35(1):247-257.

[13] 国家统计局. 中华人民共和国 2013 年国民经济和社会发展统计公报 [R]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[14] Wang B, Liang X J, Zhang H, et al. Vulnerability of hydropower generation to climate change in China: Results based on Grey forecasting model [J]. Energy Policy, 2014, 65:701-707.

作者简介: 王兵, 博士研究生, 主要研究方向为可再生能源与环境变化。联系地址: 北京市海淀区中关村南大街 5 号, 100081。Email: bingwang_bit@163.com