

科技对我国区域碳排放的影响分析

宋 佳, 杨朝峰

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘 要: 通过测算全国 30 个省/市 2002—2011 年的碳排放量, 并进行碳排放区域划分, 将 30 个省/市按照碳集中度划分为重度、中度和轻度碳排放区域。利用 STIRPAT 扩展模型, 并采用 SPSS 岭回归方法对 3 个碳排放区域的碳排放进行了影响因素分析。分析表明: 经济增长仍是影响碳排放的主要因素; 我国在低碳技术的投入和发展上还比较落后, 使得整体科技进步所带来的碳排放的增加量比利用科技手段减排的 CO₂ 要多。

关键词: 科技; 碳排放; STIRPAT 模型; 岭回归方法

中图分类号: X 502; O 212.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.06.009

中国作为世界上最大的发展中国家, 目前处于工业化、信息化、城镇化加快发展时期, 伴随着工业增长所带来的能源和资源消耗大幅度增加, 我国碳排放量会持续增长。碳排放的增长将直接导致全球气候变暖, 这对人类的生存安全构成了一定的威胁, 也给经济的可持续发展带来了严峻的挑战。根据国际能源署 (IEA) 2009 年统计数据, 中国已经成为全球 CO₂ 排放量最大的国家。2012 年, 我国一次能源消耗折 36.2 亿 t 标准煤, 约占全球的 21.3%, 单位 GDP 能耗是全球平均水平的两倍, 发达国家的四倍^[1], 中国生态环境恶化的状况并未得到有效的遏制。在面对越来越严峻的国际减排新形势下, 中国碳排放量的增加将会受到全球的重点关注。面对高碳排放的现状和国际减排的压力, 在 2009 年哥本哈根气候变化大会上, 中国政府作出相关承诺: 以 2005 年为基期, 到 2020 年, 中国要实现单位 GDP 碳排放下降 40%~45% 的目标。^[2]我国地域辽阔, 各区域的经济、社会发展和能源消费结构都有很大不同, 科学准确地测算并分析不同区域的碳排放量, 有利于我国政府相关部门制定减排具体目标和规划。

在碳排放的测度和影响因素的研究方面, 国内外已有很多专家和学者作出了有益的探讨。Ehrlich 和 Holden^[3]建立了 IPAT 方程, 第一次将人口规模、人均财富和对环境破坏的技术水平与环境影响联系起来; York 等^[4]建立了 STIRPAT 模型, 将人口、人均财富和技术水平作为影响碳排放的 3 个决定性因素; 陈劭锋等^[5]指出, 科技进步是应对气候变化的核心和关键, 在揭示了科技进步和应对气候变化的国企发展趋势的基础上, 探讨了科技进步与碳排放演变之间的关系; 臧庆玉^[6]利用 R&D 经费反映科技创新, 建立了基于 STIRPAT 的扩展模型, 并运用岭回归方法分析了我国碳排放的影响因素, 得出 R&D 活动影响程度紧随人口总量和人均 GDP 之后; 朱勤等^[7]采用 STIRPAT 模型, 应用岭回归方法计量分析人口、消费及技术因素对碳排放的影响, 研究结果表明, 与人口规模相比, 人口结构和居民消费水平的变化对碳排放的影响程度较高, 并且, 在很大程度上, 居民消费水平和模式等人文因素也可能成为影响我国碳排放的新因素, 但在此模型中, 技术因素对我国现阶段的碳排放影响不是很大。

第一作者简介: 宋佳 (1989—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为科技政策与管理。

收稿日期: 2014-02-12

虽然学者们对碳排放的影响因素进行了很多研究,但主要是研究了人口、经济和能源消费结构对碳排放的影响,很少研究科技对碳排放的影响。科技进步和能源利用技术效率的提高有利于降低碳排放,这是降低碳排放的重要途径。本文在前人研究的基础上,将我国按照碳排放量的大小重新划分区域,并将增加科技作为影响碳排放的因素,分析不同因素对我国区域碳排放的影响。

1 碳排放的区域划分

1.1 划分标准

目前,研究我国区域碳排放的文献中,多数是根据地理区域和碳聚集区域的划分标准对我国碳排放区域进行划分,其碳聚集区域划分标准是根据碳排放量的多少将区域划分为重度、中度和轻度碳排放区域。利用碳聚集区域划分我国碳排放区域,有利于有针对性地对碳排放区域的差异性作出分析。

本文根据年均碳排放量将我国划分为重度、中度和轻度等3类碳排放区域,其划分标准定为:年均碳排放量超过7000万tC,为重度碳排放区;年均碳排放量介于4000万~7000万tC,为中度碳排放区;年均碳排放量低于4000万tC,为轻度碳排放区。采用这种划分标准,能够有针对性地分析区域碳排放的影响因素。

1.2 测算方法

相关文献表明,每年化石燃料的燃烧会向大气中排放约60亿tCO₂,占到大气中碳排放总量的70%以上。而碳排放量最大的化石能源主要是煤炭、石油和天然气。因而,本文主要考察以煤炭、石油和天然气为主的化石能源碳排放量,以此来代表各区域的碳排放量。

能源消费数据来源于《中国统计年鉴》(2003—2012年),考虑到数据的可得性和可比性,获取了2002—2011年各省/市的数据,由于缺少西藏、台湾、香港和澳门的统计资料,共得到30个省/市的相应数据。尽管统计年鉴中有个别数据有缺失,但缺失数据所占比例比较小,本文均采用统计方法对其进行了补齐处理。

由于从《中国统计年鉴》(2003—2012年)获得的能源消费数据代表的是能源消费的实物量,对此,将实物量换算成标准煤,并对单位进行统一换

算,其折算公式见表1所示。

表1 能源消费实物量折算成标准煤系数

能源名称	折标准煤系数
煤 炭	0.714 3 万 t ce/万 t
石 油	1.428 6 万 t ce/万 t
天然气	12.14 3 万 t ce/亿 m ³

数据来源:《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008)。

碳排放量的计算公式为

$$C = \sum_{i=1}^n A_i \times b_i \quad (1)$$

式中,C为碳排放量,万t;A_i为能源i的消费量,万tce; b_i为能源i的碳排放系数。

国内外很多研究机构都对各能源的碳排放系数进行了测算,著名的研究机构主要有美国能源部(AED)、日本能源研究所(EI)、中国工程院(CAE)等。中国工程院是我国工程技术界最高荣誉性和咨询性的学术机构,具有很高的权威性。由于本文研究的是中国各省/市的碳排放量,所以,碳排放系数数据选择了中国工程院测定出来的数据,其各类能源碳排放系数^[8]见表2所示。

表2 各类能源碳排放系数

数据来源	碳排放系数/[t(C)·tce ⁻¹]		
	煤炭	石油	天然气
中国工程院	0.68	0.54	0.41

1.3 区域划分结果

对《中国统计年鉴》(2003—2012年)中各省/市能源消费数据利用表1所示的折算方法进行折算,再利用表2的碳排放系数,根据公式(1)计算即可得出2002—2011年全国30个省/市的碳排放数据,并按照年均碳排放量的大小次序排列,其结果见图1所示。

从图1可以看出,有10个省/市处在重度碳排放区,分别是山东、山西、河北、辽宁、江苏、河南、内蒙古、广东、北京和浙江,其中,山东省的年均碳排放量居全国第一,达到16668万tC,山西省的年均碳排放量紧随其后,达到12860万tC;有10个省/市处于中度碳排放区,分别为黑龙江、

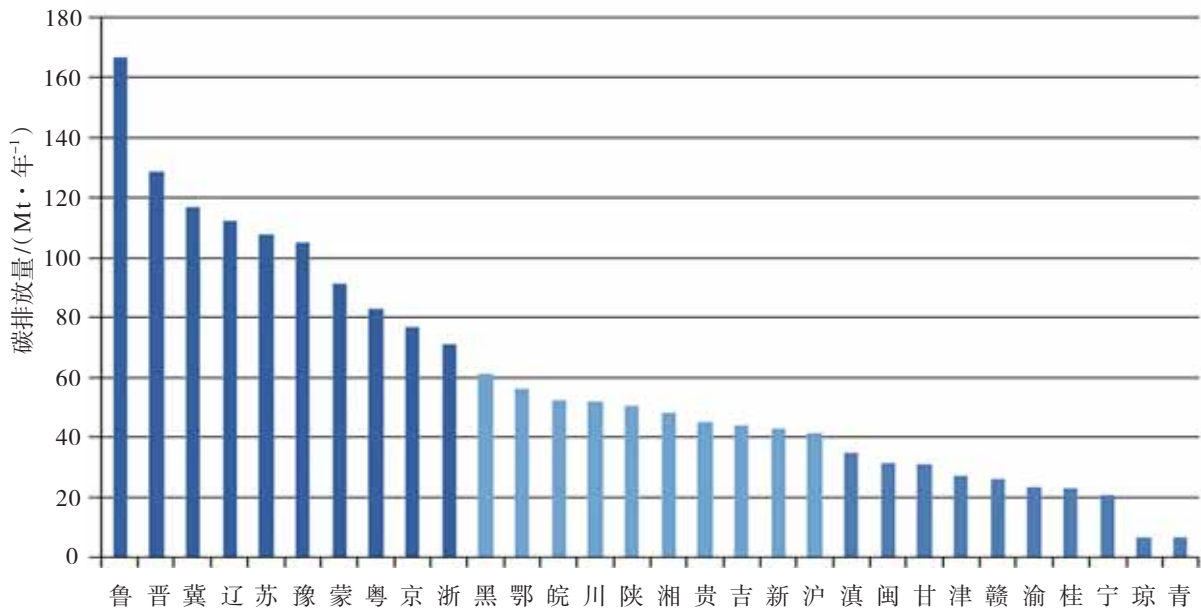


图 1 全国 2002—2011 年各省市年均碳排放量

湖北、安徽、四川、陕西、湖南、贵州、吉林、新疆和上海；划分到轻度碳排放区的有 10 个省/市，分别是云南、福建、甘肃、天津、江西、重庆、广西、宁夏、海南和青海，其中，海南省和青海省的年均碳排放量不到 1 000 万 t C，分别为 809 万 t C 和 746 万 t C。

2 科技对区域碳排放的影响分析

2.1 因素选取

STIRPAT 模型是一种可拓展的随机性的环境影响评估模型，已被广泛应用于解决能源消费、生态足迹和 CO₂ 排放量等因素分解问题中^[9]，其中的技术水平变量反映的是对节能减排有贡献的科技。但在实际中，不是所有的科技进步都有利于碳排放的减少。纵观发达国家的发展历程，其碳排放的增加恰恰是由于某些科技进步导致人类活动产生的碳排放的增加，如，汽车、空调和冰箱的发明，一方面提高了人们的生活水平，另一方面也导致了碳排放的急剧增加。

本文在 STIRPAT 模型的基础上，通过引入代表整体科技进步的因素变量——R&D 经费内部支出，研究人口、经济和科技对我国区域碳排放的影响。R&D 经费内部支出是指调查单位用于内部开展 R&D 活动，包括基础研究、应用研究和试验发展的实际支出。

2.2 STIRPAT 模型

STIRPAT 模型是在 IPAT 模型的基础上建立的。IPAT 模型是一个用来评估环境压力的模型，其表达式为

$$I = PAT \quad (2)$$

式中， I 代表环境压力； P 代表人口规模； A 代表经济发展水平； T 代表技术水平。

IPAT 模型将环境压力与各驱动因素之间的关系简单地处理为同比例的线性关系，但由于其固定的系数、固定的解释变量，只能得出固定的碳排放量，不能很好地反映出驱动因素变化时对环境的影响的变化程度，因此，该模型存在较大的局限性。也正因此，衍生了 STIRPAT 模型。

STIRPAT 模型的表达方式为

$$I = aP^bA^cT^de \quad (3)$$

式中， a 为系数， b 、 c 、 d 为各影响因素变量的指数； e 为模型误差项。STIRPAT 模型可以通过回归方法对参数进行估计，因而，比 IPAT 模型的应用性更广泛。

对模型 (3) 取自然对数使其线性化，得到方程

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (4)$$

为分析科技对我国区域碳排放的影响，在方程 (4) 的基础上，添加反映整体科技的变量，即 R&D 经费内部支出，构建本文的 STIRPAT 扩展方程为

$$\ln I' = \ln a + b \ln P' + c \ln A' + d \ln T' + f \ln R + \ln e \quad (5)$$

式中, I' 为 CO_2 排放量, 万 t; P' 为人口总量 (代表人口规模), 万人; A' 为人均 GDP, 万元/人; T' 为 CO_2 排放强度 (单位 GDP 碳排放量), t C/万元; R 为 R&D 经费内部支出, 万元。

2.3 STIRPAT 模型的岭回归拟合

为了克服变量间多重共线性的影响, 采用有偏估计的岭回归分析进行模型拟合^[9]。岭回归分析是一种专门用于共线性数据分析的有偏估计的回归方法, 它实质上是一种改良的最小二乘法估计法。岭回归分析是通过放弃最小二乘法的无偏性, 以损失部分信息、降低精度为代价, 获得回归系数更为符合实际、更可靠的回归方法, 对病态数据的耐受性远远强于最小二乘法^[10]。岭回归分析可以在 eviews、SPSS、SAS、R 语言和 matlab 语言中

编程实现。本文采用 SPSS 进行岭回归分析。

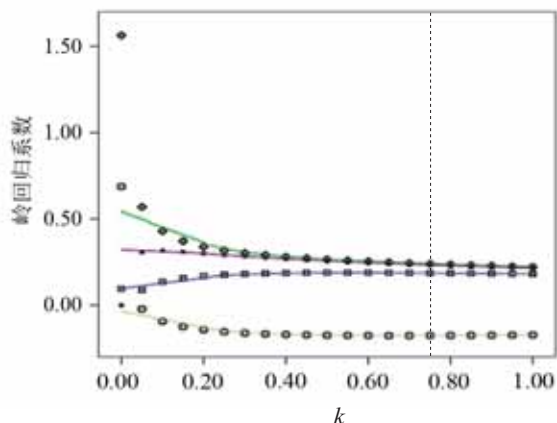
利用 SPSS 岭回归程序对模型 (5) 进行岭回归估计, 其各碳排放区域各因素的岭迹图及决定系数 R 与岭参数 k 的关系图分别见图 2、图 3 和图 4 所示。当岭迹图趋于平稳, 并且 R 和 k 的关系图中曲线的斜率基本不变时, 即可确定 k 值并相应得到各因素的岭回归拟合系数, 进而得到各区域的岭回归方程。

根据图 2, 取 $k=0.75$, 则重度 (下标 Z) 碳排放区域的岭回归拟合方程为

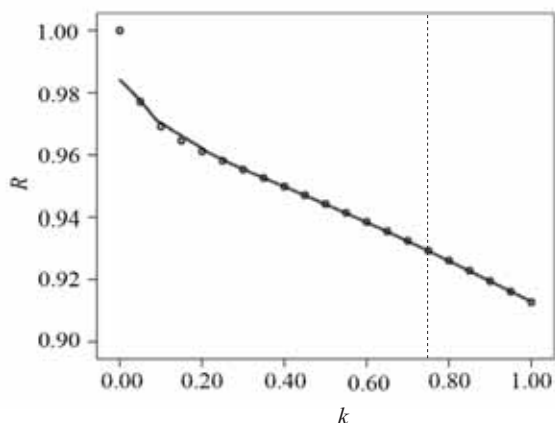
$$\ln I'_Z = 0.186\,329 \ln P'_Z + 0.239\,741 \ln A'_Z - 0.175\,718 \ln T'_Z + 0.233\,306 \ln R_Z$$

根据图 3, 取 $k=0.75$, 则中度 (下标 z) 碳排放区域的岭回归拟合方程为

$$\ln I'_z = 0.064\,097 \ln P'_z + 0.265\,942 \ln A'_z - 0.234\,882 \ln T'_z + 0.268\,387 \ln R_z$$

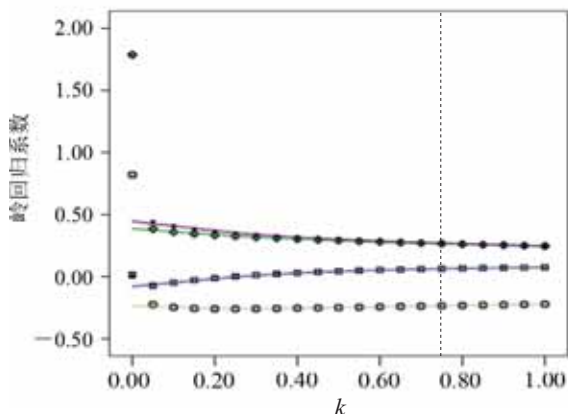


a 岭迹图

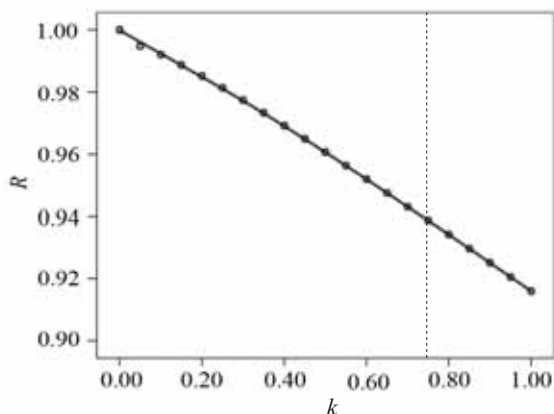


b R 与 k 关系图

图 2 重度碳排放区域岭迹图及决定系数 R 与岭参数 k 的关系图

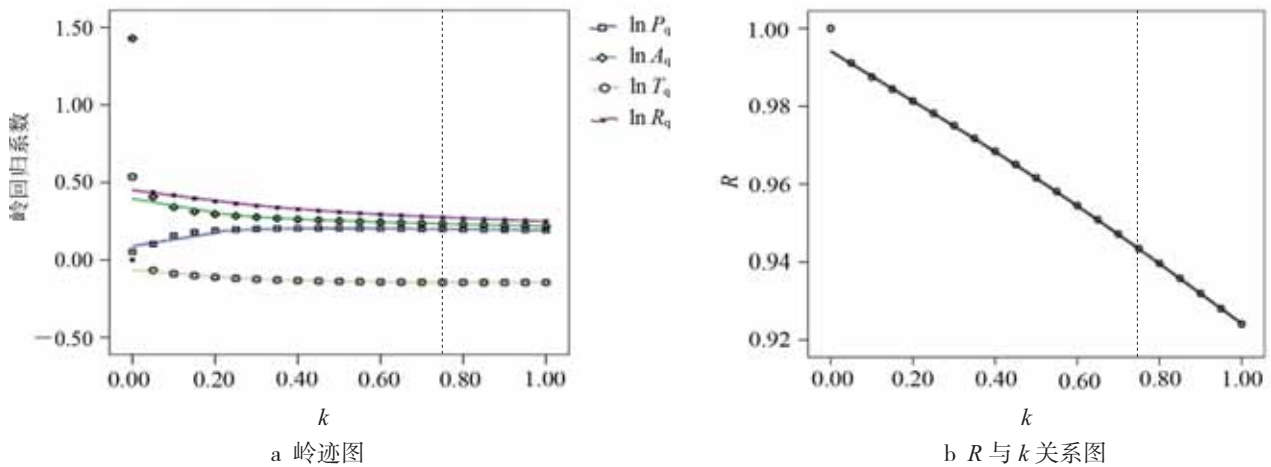


a 岭迹图



b R 与 k 关系图

图 3 中度碳排放区域岭迹图及决定系数 R 与岭参数 k 的关系图

图 4 轻度碳排放区域岭迹图及决定系数 R 与岭参数 k 的关系图

根据图 4，取 $k=0.75$ ，则轻度（下标 q ）碳排放区域的岭回归拟合方程为

$$\ln I'_q = 0.198\ 836 \ln P'_q + 0.232\ 738 \ln A'_q - 0.145\ 108 \ln T'_q + 0.273\ 787 \ln R_q$$

拟合方程中，各自变量因素前面的拟合系数代表各因素影响程度的大小，正数代表影响是正向的，即碳排放量随着该因素量的增长而增大；负数代表影响是负向的，即碳排放量随着该因素量的增长而减少。

2.4 结果分析

从各拟合方程可以看出，对三类区域的影响因素，人均 GDP 和 R&D 经费内部支出均占据前两位，人口规模和碳排放强度对三类区域的影响都不大。这说明经济增长仍是影响碳排放的主要因素。目前，我国正处于工业化的进程当中，经济的快速增长促使人均 GDP 不断增长，随之增长的还有碳排放量。科技进步所带来的碳排放的增加量要比利用科技手段减少的 CO_2 要多，这也说明我国的低碳技术水平还比较低。碳排放强度对三类区域的碳排放影响都成负相关，尽管碳排放强度下降了，但能源消费的增幅远大于碳排放强度的降幅，导致碳排放量持续增加。

与此同时，各因素对三类区域的碳排放影响程度各不相同。对于重度碳排放区，人均 GDP 的影响程度最大，其次为 R&D 经费内部支出和人口规模，符合重度碳排放区多为经济、科技发达地区或人口数量较大地区的事实；对于中度碳排放区，碳排放影响最大的因素是 R&D 经费内部支出，其

次为人均 GDP 和碳排放强度，人口规模对中度碳排放区的影响程度最小，这说明中度碳排放区更加关注的是能够促进经济发展的科技，而对节能减排科技的关注程度则不如重度排放地区；对于轻度碳排放区，R&D 经费内部支出的影响程度也是最大的，其次为人均 GDP 和人口规模，碳排放强度的影响程度最小，轻度碳排放区多数为科技水平较低、人口数量较少的地区，这些地区和中度排放地区一样，更加关注的是能推动经济发展的科技，而非低碳技术。此外，这些地区人口的正处在消费升级换代的时期，导致人口规模的影响程度较大。

3 结论和建议

本文利用 STIRPAT 扩展模型和岭回归方法，研究分析了我国区域碳排放的影响因素，这些影响因素有人口规模、人均 GDP、能源强度和反映整体科技的 R&D 经费内部支出。结果表明，不同碳排放区影响因素的影响程度是不同的。对于重度碳排放区，人均 GDP 对碳排放的影响程度是最大的，其次为 R&D 经费内部支出，同时，R&D 经费内部支出对中度碳排放区和轻度碳排放区的影响也是最大的，表明科技对碳排放的影响是不可忽略。科技促进经济的同时，也带来了 CO_2 的大量排放。由上述结果可知，为了降低碳排放，应大力发展节能减排技术，包括清洁能源替代技术、可再生能源技术、新能源技术、碳埋存及生物碳汇技术，增加在减碳技术方面 R&D 经费的投入，使得科技不仅能促进经济的发展，提高人民的生活水平，而且还

能最大限度地减少碳排放。■

参考文献:

- [1] 李毅中. 我国生态环境恶化状况并未得到有效遏制[EB/OL].[2013-12-12]. http://news.xinhuanet.com/politics/2013-07/30/c_116743603.htm.
- [2] 联合国. 联合国气候变化框架公约(哥本哈根世界气候大会缔约方第15次会议)[R]. 纽约: 联合国, 2009.
- [3] Ehrlich P R, Holdren J P. The Impact of Population Growth[J]. Science, 1971, 171(3977): 1212-1217.
- [4] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and Impact: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts[J]. Ecological Economics, 2003, 46(3): 351-365.
- [5] 陈劭锋, 李志红. 科技进步、碳排放的演变与中国应对气候变化之策[J]. 科学技术哲学研究, 2009, 26(6): 102-107.
- [6] 臧庆玉. 科技创新与碳排放[J]. 技术与创新管理, 2012, 33(3): 256-258.
- [7] 朱勤, 彭希哲, 陆志明, 等. 人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证[J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(2): 98-102.
- [8] 彭家雯, 黄贤金, 钟太洋, 等. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 626-633.
- [9] 李洁, 李卫东. 河北省二氧化碳驱动因素研究——基于STIRPAT模型[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(20): 8660-8663.
- [10] 百度百科. 岭回归[EB/OL].[2014-01-17]. http://baike.baidu.com/link?url=LiDFVQL1UB06OVYTY_iiBot0Z-pq83DG9s-rO_xyux3Al3euEwyDBZwnXXRPiQw0kp47O2oRzbgTBlkSlcgt5K.

Impact of Science and Technology Development on the Domestic Regional Carbon Emissions in China

SONG Jia, YANG Chao-feng

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: This paper estimated the carbon emissions of 30 Chinese domestic provinces/cities from 2002 to 2011, and divided 30 provinces/cities into heavy carbon, medium carbon and mild carbon regions according to the carbon concentration. This paper analyses factors affecting carbon emissions of three regions using STIRPAT extension model and SPSS ridge regression method. The result shows that economic growth is the main factor affecting carbon emissions, and China's low-carbon technology still lags behind the developed countries, resulting in more carbon emissions caused by the whole technology advance than carbon emission reductions caused by low-carbon technology advance.

Key words: science and technology; carbon emissions; STIRPAT model; ridge regression method