

# 1990—2007 年中国能源碳排放的省域聚类分析

岳瑞锋<sup>1,2</sup>, 朱永杰<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 理学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学 经管学院, 北京 100083)

**摘要:** 本文以能源碳排放的总量和份额为排放数量指标, 以排放强度和人均排放为排放效率指标, 利用聚类分析方法, 对我国各省域的能源碳排放类型进行划分。结果表明, GDP 标准下的经济强省大多属于“高排放”类型, 其中部分省甚至属于“高排放 - 低效率”类别。因此, 我国较大比重的 GDP 和人口处在相对“高排放”的发展模式下。这对于我国实现到 2020 年碳排放强度降低 40% ~ 45% 的战略目标是一个严峻的挑战。

**关键词:** 能源碳排放; 碳排放强度; 聚类分析; 排放效率

**中图分类号:** 0436 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)03-0040-06

## 1 问题提出

降低二氧化碳等温室气体排放、减缓大气变暖进程是当今时代全球面临的共同课题。据 IPCC (intergovernmental panel on climate change) 估算, 化石能源消费所引致的二氧化碳排放占排放总量的 3/4 左右, 所以客观衡量化石能源碳排放总量以及排放结构对于如何采取措施, 减少碳排放具有重要的意义。20 世纪 90 年代初期, 中国化石能源消费总量超过俄罗斯而成为据美国之后的第二消费国。2008 年, 中国的能源碳排放又首次超过了美国, 这使得中国在“后京都”时代的全球气候谈判中必将面临越来越大的国际压力。

从现有文献看, 国内外能源碳排放研究主要集中在 3 个方面。其一, 能源碳排放的机理研究。即在各种生产过程中, 由化石能源不同的使用目的和消费过程所引致的碳排放量的变化规律<sup>[1]</sup>。其二, 能源碳排放的动力系统研究。主要将 LMDI (logarithmic mean division index)<sup>[2-3]</sup>、GFI (generalized fisher index)、KI (Kaya index) 等因素分析模型用于讨论能源碳排放的影响因素以及影响程度<sup>[4-8]</sup>。其三, 能源碳排放的点源研究。即从能源消费主体(工

厂、企业等) 出发, 分析其能源碳排放的点源分布特征<sup>[9-13]</sup>。国内文献中, 能源碳排放的研究主要集中在排放的总量和行业特征<sup>[5, 10-13]</sup>, 但较少进行省(自治区、直辖市)之间的对比分析。因此, 客观评估我国的区域能源碳排放状况, 有助于我们更清晰地认识二氧化碳的排放特征, 也有助于对节能减排做出科学决策。

本文利用 1990—2007 年间各省域的化石能源消费数据, 以能源碳排放的总量和份额为排放的数量指标, 以能源碳排放强度和人均排放为效率指标, 利用聚类分析法, 对我国各省域的相对“排放 - 效率”类型进行了划分, 并在此基础上, 对各省域的类型迁移规律进行了初步的分析。

## 2 数据与方法

本文数据主要来自于以下几种资料: 1991—2008 年的《中国统计年鉴》、1991—2008 年的《中国能源统计年鉴》、BP 能源集团的《BP statistical review of world energy full report 2009》等。时间区间为 1990 年、1995 年、2000—2007 年。能源碳排放计算依据 2006 年 IPCC 在《Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories》中发布的方法 1。本

收稿日期: 2010-01-25

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项经费项目(2008)“中国森林对气候变化的响应与林业适应对策研究”

作者简介: 岳瑞锋(1971—), 男, 河北邯郸人, 北京林业大学理学院讲师, 博士研究生, 研究方向: 林业碳汇; 朱永杰(1964—), 男, 河北张家口人, 北京林业大学经管学院工商系主任, 教授, 博士生导师, 研究方向: 企业管理、林业经济管理。

其余部分主要来自于包括森林砍伐在内的土地利用变化。此数据来源于《IPCC 气候综合报告 2001》, 基于 20 世纪 90 年代测算得到。数据来源: BP 集团统计数据《BP statistical review of world energy full report 2009》。

《2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories》推介了 3 种方法, 本文计算依据方法 1, 其方法 2 和方法 3 需要更详尽的数据和资源, 并且指出如果数据和资源符合要求, 则方法 2 和方法 3 可能更为精确。

文采用“从上至下”的方法,即从各省的化石能源消费总量出发计算其排放总量,从而使得各省域之间具有可比性。

### 3 计算结果与分析

#### 3.1 能源碳排放总量与份额

本部分对我国各省域的能源碳排放总量和份额进行了估算。图1列举了1990年、2000年和2007年我国各省域能源碳排放总量排名的前5和后5的省域。结果显示,山西、辽宁、河北、山东等省的能源碳排放总量一直居于全国前列,而宁夏、青海、海南则居于全国最低水平。图2表示的是1990

年、1995年以及2000—2007年10年间各省域能源碳排放份额均值。由于山西省不仅是煤炭生产大省,同时也是我国煤炭消费占能源总消费比重最大的省份,因此使得山西省成为我国能源碳排放的集中源,其平均排放份额占到了全国能源碳排放的9.1%。从排放份额的均值来看,能源碳排放总量和经济以及工业总量有明显的关联关系。比如河北、山东和辽宁作为传统的重工业基地,其能源碳排放份额一直居于全国的前列,其排放份额均值分别为7.9%、7.6%和6.0%。相对而言,工业发展水平较为落后的省域,如桂、宁、青、琼等能源碳排放则一直较低。

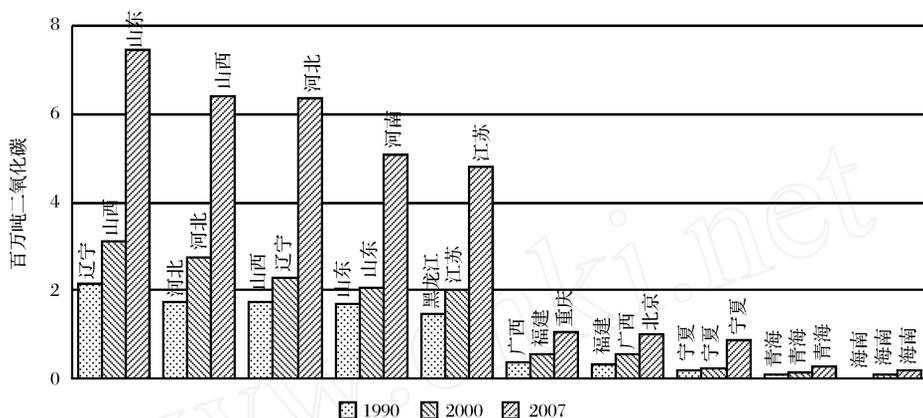


图1 1990年、2000年和2007年能源碳排放份额排名前5和后5的省域

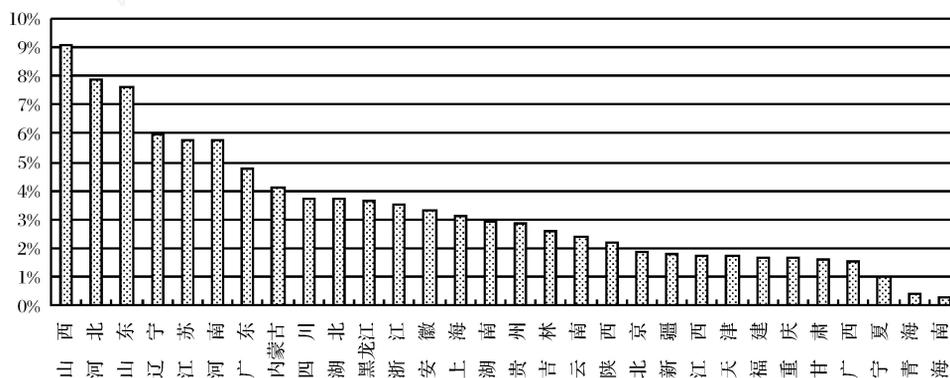


图2 1990年、1995年以及2000—2007年10年间各省域能源碳排放份额平均值

#### 3.2 能源碳排放强度和人均分析

能源碳排放只是排放量的绝对数指标,只有和GDP以及人口因素相关联,才具有横向比较的意义。一般称单位GDP的能源碳排放量为能源碳排放强度(energy carbon emission intensity, ECEI)。用GDP和人口水平对能源碳排放总量进行修正,得

到能源碳排放强度和人均能源碳排放两个指标。10年间的能源碳排放强度平均值结果如图3。数据显示,山西省的碳排放强度居于全国前列,其均值达到19.5吨/万元GDP,是排名最后的海南省的9.8倍(海南为1.99吨/万元GDP)。这意味着,就平均

由于缺乏能源消费数据,因此省域分析不包含西藏和港澳台地区。重庆直辖市成立前的数据根据外推法估计得到,并从四川省的能源消费数据中做了扣减。

GDP数据采用的是当年价格,下同。

而言,为产生同样的国民生产总值,山西省的碳排放量是海南省的 9.8 倍。图 3 中还可以看出,虽然宁夏、贵州等省份经济总量较小,但其能源碳排放强度居于全国前列,而浙江、福建、广东等省份经济总量较大,能源碳强度反而较低。这表明虽然能源碳排放总量和经济以及工业总量相关(见图 2),但能源碳排放强度和总量无必然关系,而和经济发展阶段以及工业发展水平相关。在经济和工业发展的初级

阶段,能源消费一般呈现高能耗、低产出的特征,随着经济结构的逐步优化以及能源使用效率的提高,能源消费逐步呈现低能耗、高产出特点。对比图 2 和图 3 还可以发现,山西、河北、辽宁等省的能源碳排放总量和能源碳强度均在全国前列,这说明,这些省份的能源消费结构和能源效率都有待于进一步提高。

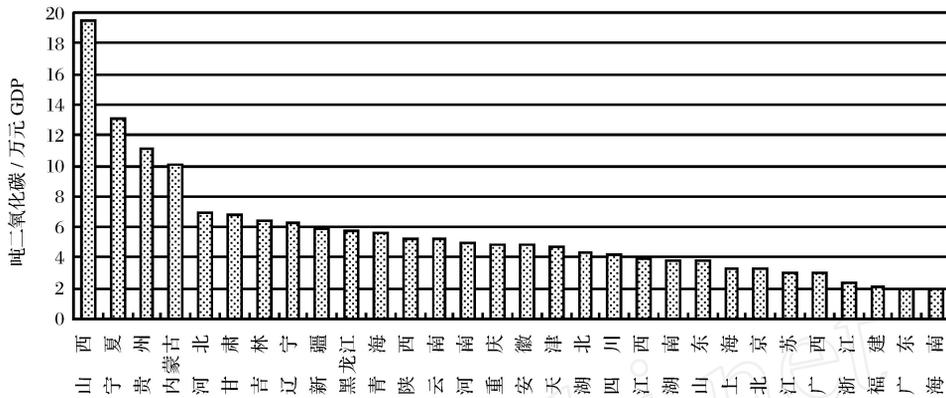


图 3 1990 年、1995 年以及 2000—2007 年 10 年间各省域能源碳排放强度平均值

如果进一步将能源碳排放与人口水平结合,则各省域二氧化碳排放呈现出不同的特征。图 4 表示 10 年间各省域人均能源碳排放的平均值。结果表明,除了山西省仍然居于全国前列之外(山西省的人均排放是广西的 8.5 倍),其他各省域的排序发生了较大变化。上海、天津和北京 3 个直辖市虽然人口密度远远高于其他各省域,但其人均能源碳排放仍

然居于全国前列。这在一定程度上表明了,城市作为人口集聚地,其能源消耗和碳排放也呈现更为明显的集聚性特征。为降低二氧化碳的排放总量,各大中城市具有更大的减排潜力。值得注意的是,以旅游等第三产业为主的海南省,其各项指标均处于全国较低水平。

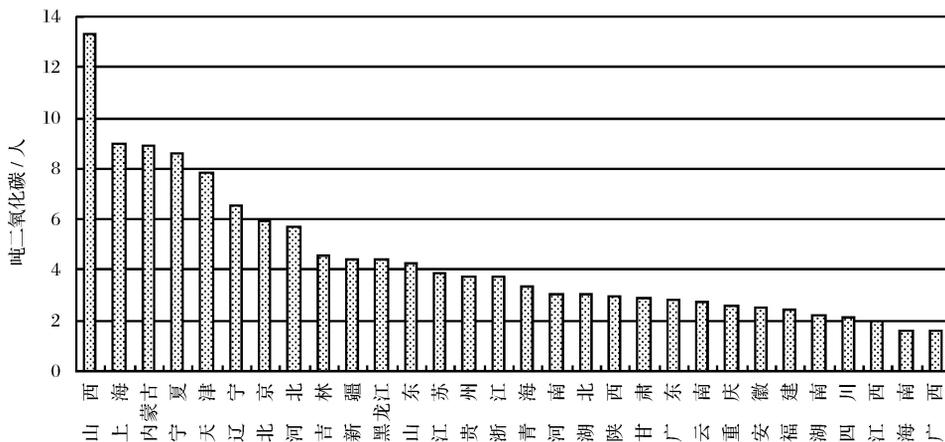


图 4 1990 年、1995 年以及 2000—2007 年 10 年间各省域人均能源碳排放平均值

### 3.3 聚类分析

能源碳排放总量和份额是碳排放的正向数量指

标,而碳排放强度和人均碳排放实质上是碳排放的负向效率指标。为进一步认清各省之间的排放量和

通过对石家庄、太原、广州、贵阳等城市的测算表明,这些城市的人均能源碳排放同样高于各省域的人均能源碳排放。

排放效率特征,我们将能源碳排放的总量和份额作为相对排放量指标,以能源强度和人均排放为相对排放效率指标,将各省域划分为4个不同类型,即高排放-高效率(high emission-high efficiency, HE-HE)、高排放-低效率(high emission-low efficiency, HE-LE)、低排放-高效率(LE-HE)和低排放-低效率(LE-LE)。

为避免某些奇异点对分类的干扰(比如山西),我们利用打分的方法来确定每种类型的初始凝聚点。首先,按照由高到低的顺序,各省域的排放总量和排放份额得分依次为30到1,并将两种排放指标相加,得到各省域的排放总分;排放强度和人均排放按照从高到低依次得分为1到30(因其负向特征),将两种效率指标得分相加,得到各省域的效率总分。以排放和效率得分为横、纵坐标作直方图,如图5,其中横坐标表示排放量得分,纵坐标表示效率得分。明显可得,各点到方图顶点的距离表示“排放-效率”的组合特征。比如,某省域到左下角的距离越近,表示该省域相对于其他省域具有更明显的“LE-LE”特征。因此,聚类分析的初始凝聚点分别选择到方图四顶点距离最近的广东(HE-HE)、山西(HE-LE)、海南(LE-HE)和宁夏(LE-LE)。

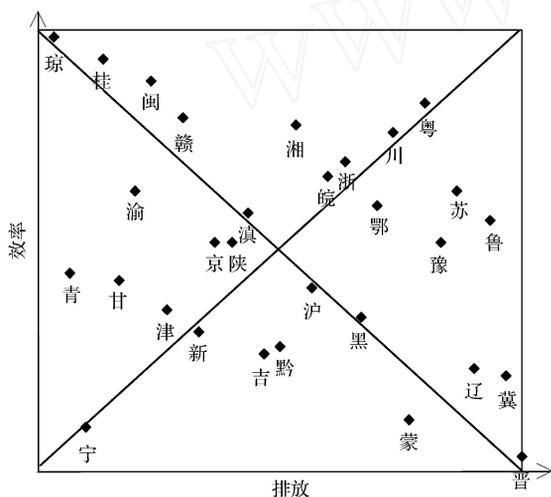


图5 排放量和效率直方图

以上述4个省域为初始凝聚点,利用欧氏距离进行聚类分析的结果如图6。在图6中,不同省域被归结为不同的“排放-效率”类型。其中圆心位置表示本类型的重心,代表了本类型的平均“排放-效率”的组合优度;圆的大小表示了本类型在统计区间内的GDP均值,代表了处于本类型的GDP的比重。柱状图表示本类型2007年的人口份额,代表了处于

本类型中的人口比重。从图6中可以看出,1990—2007年,我国的GDP和人口绝大部分处于相对“高排放”状态(处于“高排放”状态的GDP平均占79.2%的比重,2007年的人口比重为75.7%)。其中,“HE-LE”状态的GDP和2007年人口比重分别为16.1%和16.2%。这表明,就总体而言,我国的经济增长中的大部分处于环境非友好的相对高排放状态。而以海南省为代表的环境友好型发展模式的GDP和人口数量分别只占全国总量的9.7%和12.96%。从图6的分类中,我们注意到,北京、天津两地被归结为“LE-LE”模式,这对两地的未来经济发展模式和方向的选择具有一定的警示意义。

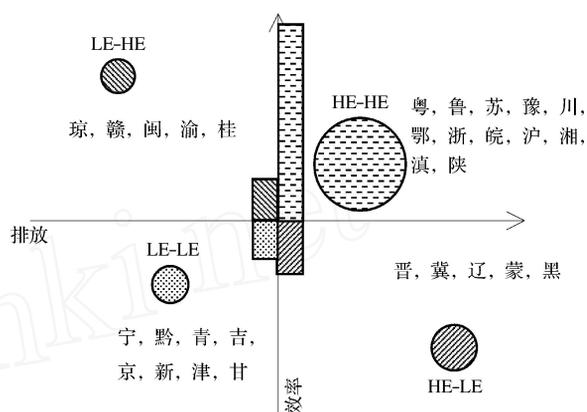


图6 各省域的“排放-效率”类型及GDP和人口比重

以上分类结果是以1990—2007年十年的平均数据为依据。如果按照不同年份的数据进行分类,可以发现各个省域的“排放-效率”类型的迁移规律。表1中计算了在1990年、2000年以及2007年3个年份中各省域的相对“排放-效率”类型划分结果。在表1中,我们注意到,随着时间的变化,处于“LE-LE”模式的区域具有向“LE-HE”模式的迁移倾向。比如2000年,北京和重庆都属于“LE-LE”类型,而在2007年迁移为“LE-HE”类型。这使得处于低排放、低效率状态的GDP总量与人口总量的比重呈明显的下降趋势(见表2,2000—2007年GDP比重由12%下降为5%,人口比重由14%下降为7%)。与此同时,“HE-HE”与“HE-LE”两种类型之间互有迁移,比如山东由2000年的高排放、高效率类型迁移为2007年的高排放、低效率类型,而陕西由2000年的低排放、高效率类型迁移为2007年的高排放、高效率类型,这导致在统计区间内的10年中,处于“高排”类型的总GDP比重呈现不规则的变化,但是由于山东省的类型迁移,因此导致2007年

山西省的数据奇异性必将导致本类型的重心过度偏移,而打分的方法可以适度避免这种偏移。

处于“ HE-LE ”模式下的总人口比重比 2000 年大幅 增加(由 16 %增加至 23 % ,见表 2)。

表 1 1990 年、2000 年以及 2007 年各省域排放类型

分类	1990 年	2000 年	2007 年
HE-HE	粤、鲁、苏、豫、川、湘、鄂、皖、浙、滇	粤、鲁、苏、豫、川、湘、鄂、皖、浙、滇、沪	粤、苏、豫、浙、鄂、川、湘、黑、皖、滇、陕、沪
HE-LE	晋、辽、冀、黑、吉、蒙、沪	晋、辽、冀、黑、蒙	晋、鲁、冀、辽、蒙、黔
LE-HE	琼、赣、闽、桂	琼、赣、闽、桂、陕	琼、赣、闽、桂、渝、京
LE-LE	宁、京、黔、陕、渝、津、新、甘、青	宁、黔、吉、京、渝、新、津、甘、青	宁、吉、新、津、甘、青

表 2 4 种“ 排放 - 效率 ”类型的 GDP 和人口比重

分类	1990 年		2000 年		2007 年	
	GDP 比重	人口比重	GDP 比重	人口比重	GDP 比重	人口比重
HE-HE	0.54	0.56	0.61	0.57	0.57	0.55
HE-LE	0.25	0.20	0.17	0.16	0.18	0.23
LE-HE	0.08	0.10	0.10	0.13	0.11	0.14
LE-LE	0.13	0.14	0.12	0.14	0.05	0.07

将 3 年的聚类分析结果汇总得图 7 (图例同图 6)。对比 3 年的迁移特点我们看出,就平均而言,“ 低排 - 高效 ”模式的重心有向坐标原点迁移的倾向,表明处于这种发展模式下的 GDP 和人口比重其环境友好的相对程度呈逐年下降的趋势;“ 高排 - 高效 ”的发展模式向原点迁移倾向则表明伴随着排放比重的下降,其相对效率也呈逐年下降的趋势;从图 7 中明显可以看出,处于“ 低排 - 低效 ”模式下的 GDP 和人口比重逐年下降。而且,相对于 2000 年,2007 年的“ 排放 - 效率 ”组合模式向左迁移。这说明,在没有明显损失其相对排放效率的情况下,其排放量指标下降明显,这主要是由近些年北京等城市大规模的节能减排和高能耗产业外迁 所致。

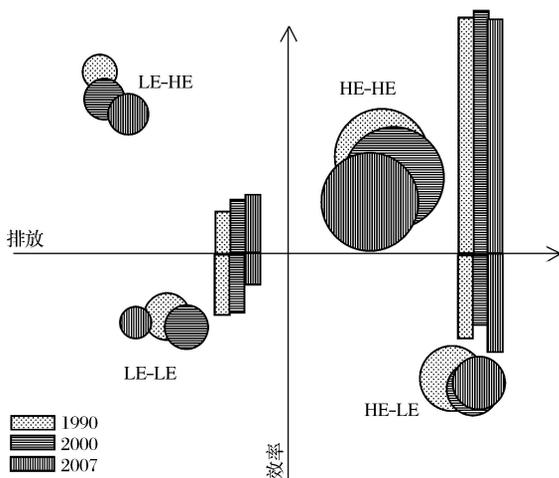


图 7 1990 年、2000 年和 2007 年 4 种“ 排放 - 效率 ”类型的 GDP 和人口比重对比

## 4 讨论与建议

经济的发展绝不仅仅是数量的扩张,重视发展的质量和内涵才是可持续发展的根本要求。本文的研究表明,以传统的 GDP 标准来衡量不同省域的经济水平具有明显的缺陷。如果将化石能源消耗和二氧化碳排放等环境因素考虑在内的话,传统的经济强省通常是环境破坏大省。这些省域是环境非友好型的发展模式的代表,因为随着经济总量的扩张,这些省域的能源消耗和碳排放量也呈现加速上涨的趋势,意味着其经济发展以过度消耗环境资源为代价。碳排放的外部性特征导致环境非友好型发展模式的省域,其环境成本相当一部分被转移到其他省域,而其人口却并未分享经济发展的成果。

省域分类结果还表明,GDP 标准下的弱省也未必就更符合环境友好的发展要求。虽然以“ 高排 ”为特征的发展模式不符合可持续发展的要求,但不能由此表明“ 低排 ”的发展模式就一定是可持续的。因为“ 低排 ”模式下的“ 低效 ”可能意味着经济发展的缓慢,这同样不符合可持续发展的要求。这对于处于“ 低排 - 低效 ”模式的省域的启示意义在于,在促进经济发展的同时,应该切实采取措施,提高能源使用效率,降低二氧化碳排放。只有这样,才不至于落入“ 高排 - 高效 ”的发展悖论。

最后,从省域分类结果中还看到,截止到 2007 年,我国主要的 GDP 份额和大部分人口仍然处于“ 高排 ”的发展模式。这表明,就总体而言,我国的经济模式有待于进一步向环境友好、资源节约的模式转化。为实现“ 2020 年单位 GDP 的二氧化碳排放比 2005 年降低 40 % ~ 45 % ”的历史任务,我们应该采取有力的政策措施,促使 GDP 和人口比重由相对的“ 高排 ”模式向“ 低排 - 高效 ”模式的迁移。

## 参考文献

- [1] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Japan:IGES,2006:2.9-2.12.
- [2] ANGB W. The LMDI approach to decomposition analy-

2005 年国家发改委正式批复首钢整体搬迁至河北唐山曹妃甸的方案。  
2009 年 11 月 26 日,国务院常务会议决定。

- sis:a practical guide[J]. Energy Policy,2005,33(9):867-871.
- [3] ANG B W. Decomposition analysis for policy-making in energy:which is the preferred method? [J]. Energy Policy,2004,32(9):1131-1139.
- [4] 宋德勇,卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口、资源与环境,2009,19(13):18-24.
- [5] 魏一鸣,刘兰翠,范英,等. 中国能源报告(2008):碳排放研究[M]. 北京:科学出版社,2008:21-40.
- [6] 查冬兰,周德群. 地区能源效率与二氧化碳排放的差异性——基于 Kaya 因素分解[J]. 系统工程,2007,25(11):65-71.
- [7] 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.
- [8] 胡初枝,黄贤金. 中国碳排放特征及其动态演进分析[J]. 中国人口、资源与环境,2008,18(3):38-42.
- [9] 韦保仁. 中国能源需求与二氧化碳排放的情景分析[M]. 北京:中国环境科学出版社,2007:83-108.
- [10] 查冬兰,周德群. 中国工业能源消耗与 CO<sub>2</sub> 排放影响效应研究[J]. 中国管理科学,2007,15(10):621-626.
- [11] 杨晓东,张玲. 钢铁工业温室气体排放与减排[J]. 钢铁,2003,38(7):65-69.
- [12] 白冰,李小春,刘延锋,等. 中国 CO<sub>2</sub> 集中排放源调查及其分布特征[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(增1):2918-2923.
- [13] 张仁健,王明星,郑循华,等. 中国二氧化碳排放源现状分析[J]. 气候与环境研究,2001,6(3):321-327.

## Provincial Cluster Analysis on China's Energy Carbon Emission from 1990 to 2007

Yue Ruifeng<sup>1,2</sup>, Zhu Yongjie<sup>2</sup>

(1 School of Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Taking the total amount and the share of energy carbon emission (ECE) for the quantity index, and taking the intensity and per capita of ECE as the efficiency index, this paper classifies provinces according to their ECE type by the cluster analysis method. The results indicate that most of developed provinces in GDP criterion belong to the high-emission type, many of which even belong to the class of high-emission and low-efficiency, which is a serious challenge for China's strategic aim that the carbon emission intensity will decrease by 40%~45% in 2020.

**Key words:** energy carbon emission; carbon emission intensity; cluster analysis; emission efficiency

(上接第 4 页)

- [7] 潘文卿. 外商直接投资对中国工业部门的外溢效应:基于面板数据的分析[J]. 世界经济,2003(6):3-7.
- [8] 何洁. 外国直接投资对中国工业部门外溢效应的进一步精确量化[J]. 世界经济,2000(12):29-36.
- [9] GRILIEHES Z. Issues on assessing the contribution of R & D to productivity growth[J]. Bell Journal of Economics,1979(10):92-116.
- [10] JAFFE A B. Real effects of academic research[J]. American Economic Review,1989,79(5):957-970.
- [11] 张晓峒. 应用数量经济学[M]. 北京:机械工业出版社,2009:313-316.
- [12] NONAKA I, TAKEUCHI H. The Knowledge-Creating Company[M]. Oxford:Oxford University Press,1995:145-146.
- [13] KAFOUROS M I. The impact of the Internet on R & D-efficiency: Theory and Evidence[J]. Technovation,2006,26(7):827-835.

## Empirical Analysis on Influence of Internationalization on Innovation Output of Enterprise

Fan Ruguo, Cai Haixia

(School of Economics & Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** This paper uses the dependence degree of foreign trade to represent the internationalization degree, and sets up the Cobb-Douglas knowledge production function of regional technology innovation output, and makes a econometric analysis on how internationalization influences the regional technology innovation output by using the panel data about 30 provinces and autonomous in China. The empirical results show that: the internationalization is an important factor influencing regional technology innovation output, however, not all of provinces can benefit from the internationalization; the internationalization has great impacts on the technology innovation output of enterprises in eastern region of China, and has few impacts on those in western region of China.

**Key words:** internationalization; innovation output; knowledge production function; panel data