

# 安徽制造业碳排放驱动因素、锁定状态与解锁路径研究<sup>\*1</sup>

沈友娣<sup>1, 2</sup> 章庆<sup>2</sup> 严霜<sup>1</sup>

(1. 盐城工学院经济与管理学院, 江苏盐城 224051;

2. 江苏大学管理学院, 江苏镇江 212013)

**【摘要】**: 文章基于 STIRPAT 模型和岭估计法, 分析安徽制造业碳排放的驱动因素。结果显示, 能源消费结构、人均制造业增加值、从业人数对碳排放存在正向作用, 弹性系数分别为 0.255、0.235 和 0.222; 技术因素呈负向作用, 弹性系数为-0.175。并且, 安徽制造业碳排放集中于 4 个细分行业, 总体上处于总量上升、强度下降的“相对解锁”状态, 迫切需要提升能源利用率, 调整细分行业结构, 培育低碳制造园区。

**【关键词】**: 碳排放, 驱动因素, 锁定效应, 解锁路径

**【中图分类号】**: F061.5; F407 **【文献标志码】**: A **【文章编号】**: 1007-5097 (2014) 05-0027-04

## 一、文献概述及研究思路

作为国家中部崛起战略实施省份, 安徽经济发展迅速, 其制造业 2011 年国内生产总值达 22 402.8 亿元, 是 2000 年的 15.4 倍; 排放二氧化碳(简称“碳排放”, 下同)4 108.7 万吨, 比 2000 年增加 1.9 倍。全国《“十二五”控制温室气体排放工作方案》要求安徽 2015 年单位国内生产总值碳排放比 2010 年下降 17%, 成为环境约束条件。在安徽一次能源引起的碳排放中, 制造业占比在 40%以上, 且呈上升趋势。由此, 以安徽为例, 研究碳排放的影响因素及其程度, 有利于判断和把握节能减排的着力点。

### (一) 相关研究概述

(1) 制造业能源消费引起的碳排放及其“锁定”问题。Ernst Worrell(2001)<sup>[1]</sup>发现, 1958-1994 年美国钢铁行业能源强度降低了 27%, 碳排放强度降低了 39%。Leticia Ozawa(2002)<sup>[2]</sup>认为, 1970-1996 年墨西哥钢铁制造业的发展, 使一次能源使用量增长了 2.11 倍, 并且, 碳排放量还将按年 9%的速度增长。研究显示, 部分发达国家制造业能源消费所引起的碳排放强度已呈下降趋势, 碳排放量增幅降低, 甚至开始下降; 然而, 发展中国家的能源消耗强度虽有所下降, 但碳排放量仍在持续增加, 并陷入“锁定”状态, 尤其是锁定在碳密集的化石燃料能源系统。并且, 目前实现的碳“解锁”, 大多还是属于赵一平(2006)<sup>[3]</sup>认为的“相对解锁”状态, 即环境压力增速虽低于经济发展增速, 碳排放量仍在增加。

<sup>1</sup> **基金项目**: 国家自然科学基金项目(71303205); 国家级大学生实践创新训练计划项目(201310305021)

**作者简介**: 沈友娣(1967-), 女, 江苏盐城人, 教授, 江苏大学硕士生导师, 研究方向: 区域经济; 章庆(1989-), 男, 安徽马鞍山人, 硕士研究生, 研究方向: 工商管理; 严霜(1991-), 女, 江苏南通人, 经济与管理学院学生, 研究方向: 经济数据统计分析。

(2)碳排放驱动因素分解问题。许多学者运用迪氏分解法等,研究制造业碳排放驱动因素。如 Diakoulaki (2007)<sup>[4]</sup>将 14 个欧盟国家 1990–2003 年制造业碳排放的驱动因素分解为产出效应和能源强度;唐德才(2012)<sup>[5]</sup>等人将传统制造业低碳化驱动因素分解为自然资源与能源资源约束、高能耗与碳减排压力、国际低碳壁垒以及政府的外部强制性。

(3)人口与碳排放之间的关系问题。Birdsall (1992)<sup>[6]</sup>研究发现,较多的人口加大了对能源的需求,导致碳排放量增加;Knapp, Mookerjee (1996)<sup>[7]</sup>认为,全球碳排放与总人口之间不存在长期协整关系,但是人口增长是碳排放量增加的原因;彭希哲 (2010)<sup>[8]</sup>则认为,中国近 30 年碳排放对人口数量变化的弹性系数在 1.05~1.26 之间。这些研究涉及多个处于不同发展阶段的国家,碳排放因素包括人口、富裕程度和技术水平,但驱动程度却均不相同。

综上所述,现有研究主要以某一国家或多个国家为研究对象,研究国际贸易、能源技术水平等要素对碳排放的影响,缺少对具体地区制造业碳排放的具体分析。

## (二) 研究思路

本文采用可拓展的随机性的环境影响评估模型(Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology,简称 STIRPAT)、岭估计法,引入环境库兹涅茨曲线,对能源结构、从业人数、人均制造业增加值、技术因素对 2000–2011 年安徽制造业碳排放的影响及其程度进行实证分析,主要从以下三个方面进行探索:

(1)在研究范围方面,以安徽省制造业为研究对象,不是传统的基于消费者的国家碳排放面板数据的宏观分析,而是从生产侧出发,运用 STIRPAT 模型,研究从业人数、人均制造业增加值、能源结构、技术水平等因素对安徽制造业碳排放的影响及其程度。

(2)采用环境库兹涅茨曲线研究制造业活动引起的碳排放问题,探讨碳排放轨迹是否出现环境库兹涅茨倒 U 型曲线,短期内是否会出现拐点;运用脱钩理论分析安徽制造业产出、碳排放量及其强度,描述其碳“锁定”状态。

(3)针对安徽制造业的具体细分行业,开展进一步分析,研究各细分行业的碳排放量、工业增加值和从业人员,指出碳排放所集中的领域,为明确减排着力点提供依据。

# 二、安徽制造业碳排放状况

## (一) 安徽制造业发展概况

自国家实施中部崛起战略以来,安徽制造业迅速发展。2000–2011 年,安徽省制造业产值从 1451.12 亿元增至 22402.82 亿元,年均增长率超过 28%(见图 1);同期,其从业人数从 336.7 万人增至 547.4 万人。

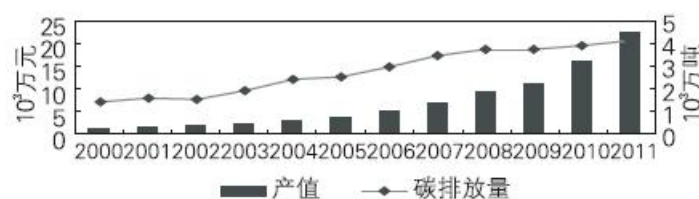


图 1 2000–2011 年安徽制造业产值和碳排放量

## (二) 安徽制造业碳排放量

根据 2007 年政府间气候变化专门委员会(简称为 IPCC)第四次评估报告,温室气体增加的主要来源是化石燃料燃烧。本文采用 IPCC 规定的方法,根据 2000–2011 年《中国能源统计年鉴》、《安徽统计年鉴》,计算安徽制造业化石燃料燃烧导致的碳排放(见图 1),并将其作为该省制造业碳排放量总体水平的代用指标。其中,煤炭、石油、天然气的碳氧化率,分别取 0.9、0.98 和 0.99。

为了便于比较,计算安徽制造业碳排放量占全省碳排放总量的比重以及全国制造业碳排放量占比。数据显示,一次能源碳排放量中,安徽制造业占比一直高于全国水平,2008 年达 52%,近年来维持在 45%~46%(见图 2)。

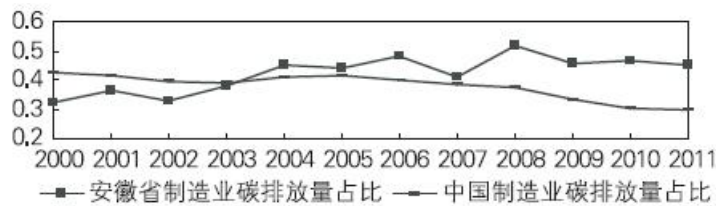


图2 2000–2011年安徽制造业与全国制造业碳排放量占各相关地域碳排放量的比重

## 三、安徽制造业碳排放驱动因素

### (一) STIRPAT 模型

考虑国内生产总值的重复计算缺陷以及规模以上企业(国家统计局规定口径)的骨干作用,本文采用其工业增加值作为制造业产出的替代值。记  $I$  为安徽制造业碳排放量;  $P$  为规模以上制造业从业人员年平均数;  $A$  为制造业人均增加值;  $T$  为能源消耗强度,即制造业单位工业增加值的能源消耗量;  $S$  为能源结构,以煤炭消费在总能源消费中比例表示。

为减少数据的异方差性,各序列数据均取对数值,分别记为  $\ln I$ 、 $\ln P$ 、 $\ln A$ 、 $\ln T$ 、 $\ln S$ ; 记  $\varepsilon$  为常数。则:

$$\ln I = b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln S + \varepsilon$$

### (二) 驱动因素分析

相关数据采自历年《中国能源统计年鉴》、《安徽统计年鉴》,时间跨度为 2000–2011 年,人均工业增加值的数据以 2000 年为基年,按工业品出厂价格定基指数作价格平减处理。

首先,采用普通最小二乘法(Ordinary Least Square,简称 OLS)直接进行回归。结果(见表 1)显示,虽然模型的校正拟合优度值为 0.988,但是  $\ln P$ 、 $\ln A$ 、 $\ln T$  的 VIF 值大于 10,表明数据存在多重共线性,回归结果不可信。由于岭估计法允许回归系数的有偏估计量存在而补救多重共线性,其估计结果更能接近真实值,本文采用岭回归法开展分析。

表1 普通OLS回归结果

| 变量            | 标准系数   | T值    | 显著性   | VIF值   |
|---------------|--------|-------|-------|--------|
| $\varepsilon$ | 0.000  | -1.92 | 0.091 |        |
| $\ln P$       | 2.209  | 6.175 | 0.000 | 12.994 |
| $\ln A$       | -0.036 | -0.13 | 0.900 | 66.494 |
| $\ln T$       | 1.245  | 7.634 | 0.000 | 23.494 |
| $\ln S$       | 1.767  | 8.644 | 0.000 | 7.865  |

注：校正的  $R^2=0.988$ ， $F=291.613$  (sig=0.000)

研究发现，当  $k$  为 0.55 时变量的标准系数趋于稳定。依据此岭参数，使用 SPSS16.0 软件进行岭回归分析，结果(见表 2)表明，拟合优度超过 0.9；能源结构、从业人数、人均制造业增加值是碳排放增加的主要驱动因素，能源消耗强度对碳排放呈现递减作用，效果显著。

### (三) 驱动弹性分析

回归系数(见表 2)反映自变量改变而引起的制造业碳排放改变的倍数，即弹性系数。能源消费结构、人均制造业增加值、制造业从业人数和能源消耗强度的弹性系数分别为 0.255、0.235、0.222 和-0.175。

表2 岭回归结果

| 变量            | 标准系数   | T值     | 显著性   |
|---------------|--------|--------|-------|
| $\varepsilon$ | 0.000  | 8.867  | 0.000 |
| $\ln P$       | 0.222  | 7.679  | 0.000 |
| $\ln A$       | 0.235  | 9.300  | 0.000 |
| $\ln T$       | -0.175 | -5.230 | 0.001 |
| $\ln S$       | 0.255  | 5.015  | 0.001 |

注：校正的  $R^2=0.917$ ， $F=31.227$  (sig=0.000)。

(1)制造业能源消费结构对碳排放的驱动力最大，弹性系数达到 0.255。安徽制造业能源消费主要以煤炭为主。数据显示，安徽省制造业能源消费中，煤炭消费量占比一直超过 40%，2007 年一度达 50%，制造业高煤特征明显，导致碳排放量上升。

(2)人均制造业增加值对碳排放的驱动力较大，弹性系数达到 0.235。从 2000-2011 年，安徽制造业一直稳步增长，导致能源需求的增长，从而使制造业碳排放增加。

(3)制造业从业人数对碳排放的影响较大，弹性系数达到 0.222。近年来安徽制造业从业人数迅速增长，从 2005 年的不足 400 万人迅速上升到 2011 年的 547.4 万人，表明其新增力量仍以劳动密集型为主。

(4)制造业能源消耗强度对碳排放呈现负向作用，弹性系数为-0.175。这与安徽制造业的能源消耗强度持续下降是分不开的，2000 年安徽制造业每万元产值碳排放为 0.97 吨，2011 年下降到 0.18 吨，降幅很大。

## 四、安徽制造业碳排放的发展趋势与锁定状态

### (一) 碳排放发展趋势分析

既然能源消耗强度对碳排放存在负向作用，即呈现碳减排效应，那么，安徽制造业碳排放是否可能在未来出现拐点？于是，引入变量的二次方项，开展进一步探索。

为解决多重共线性问题，按岭回归法求解。取岭参数  $k$  值 0.60，岭回归(见表 3)显示，拟合优度接近 0.9；二次方项系数为正，表明安徽制造业在目前的能源结构、从业人数、人均工业增加值和能源消耗强度下，碳排放轨迹没有呈现环境库兹涅茨倒 U 型曲线，碳排放量将继续增长，短期内不会出现拐点。

表 3 碳排放趋势岭回归结果

| 变量            | 标准回归系数 | T值     | 显著性   |
|---------------|--------|--------|-------|
| $\varepsilon$ | 0.000  | 7.437  | 0.000 |
| $\ln P$       | 0.147  | 6.367  | 0.001 |
| $(\ln P)^2$   | 0.144  | 6.160  | 0.002 |
| $\ln A$       | 0.161  | 7.885  | 0.000 |
| $(\ln A)^2$   | 0.154  | 7.503  | 0.000 |
| $\ln T$       | -0.102 | -3.474 | 0.020 |
| $\ln S$       | 0.204  | 3.768  | 0.013 |

注：校正的  $R^2=0.897$ ， $F=17.027$ （sig=0.003）。

(二)碳锁定类型

借鉴脱钩理论，用  $C$  和  $Y$  以及  $C/Y$  分别表示安徽制造业二氧化碳排放量、产出和碳排放强度，将三个变量的增量表示为：

$$\Delta C_{t, \ t+1}=C_{t+1}-C_t$$

$$\Delta Y_{t, \ t+1}=Y_{t+1}-Y_t$$

$$\Delta (C/Y)_{t, \ t+1}=(C/Y)_{t+1}-(C/Y)_t$$

三个变量反映 6 种状态(见表 4)。其中，“绝对锁定”最为不利，产出下降时，碳排放量及其强度反而上升；“绝对解锁”最为理想，伴随着产出的增长，碳排放量及其强度均下降。“相对锁定”是指产出下降时，虽然碳排放量下降，但碳排放强度上升；“相对解锁”是指产出与碳排放均上升的同时，碳排放强度下降。“增长锁定”是指产出、碳排放量以及碳排放强度均上升；若这三项指标同时下降，则为“衰退解锁”。

表 4 碳排放锁定类型

| 序号 | 状态   | $\Delta C_{t, \ t+1}$ | $\Delta Y_{t, \ t+1}$ | $\Delta (C/Y)_{t, \ t+1}$ |
|----|------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1  | 绝对锁定 | >0                    | <0                    | >0                        |
| 2  | 相对锁定 | <0                    | <0                    | >0                        |
| 3  | 增长锁定 | >0                    | >0                    | >0                        |
| 4  | 绝对解锁 | <0                    | >0                    | <0                        |
| 5  | 相对解锁 | >0                    | >0                    | <0                        |
| 6  | 衰退解锁 | <0                    | <0                    | <0                        |

(三)碳锁定状态

计算结果(见表 5)表明,在 2001-2002 年、2008-2009 年两个时段,安徽制造业碳排放曾出现“绝对解锁”现象;其他时段则处于“相对解锁”状态,即制造业增加值、碳排放量逐年增长,而碳排放强度呈下降趋势,表明碳排放的增加源于产出的增加。

表 5 安徽制造业碳排放锁定状态

| 序号 | 时期          | $\Delta C_{t, t+1}$ | $\Delta Y_{t, t+1}$ | $\Delta(C/Y)_{t, t+1}$ | 状态   |
|----|-------------|---------------------|---------------------|------------------------|------|
| 1  | 2000-2001 年 | 180.748             | 111.156             | -0.025                 | 相对解锁 |
| 2  | 2001-2002 年 | -68.284             | 248.752             | -0.553                 | 绝对解锁 |
| 3  | 2002-2003 年 | 420.564             | 447.557             | -0.001                 | 相对解锁 |
| 4  | 2003-2004 年 | 496.175             | 818.353             | -0.156                 |      |
| 5  | 2004-2005 年 | 92.372              | 727.179             | -0.343                 |      |
| 6  | 2005-2006 年 | 443.530             | 1 190.613           | -0.129                 |      |
| 7  | 2006-2007 年 | 491.300             | 1 848.721           | -0.226                 |      |
| 8  | 2007-2008 年 | 263.550             | 2 369.276           | -0.209                 | 绝对解锁 |
| 9  | 2008-2009 年 | -2.758              | 1 877.580           | -0.208                 |      |
| 10 | 2009-2010 年 | 196.488             | 4 838.130           | -0.195                 | 相对解锁 |
| 11 | 2010-2011 年 | 181.193             | 6 474.380           | -0.136                 |      |

## 五、安徽制造业细分行业的碳排放分析

为了进一步区分制造业内部各细分行业的碳排放特征,探索节能减排路径,本文利用 2010 年和 2011 年数据,计算安徽制造业各细分行业的碳排放量和工业增加值。

### (一)主要高碳领域

安徽制造业中,碳排放主要来源于 4 个细分行业(见表 6),包括黑色金属冶炼及压延加工业(占 37.4%~37.9%)、非金属矿物制品业(占 28.9%~29.8%)、化学原料及制品制造业(占 14.3%~14.5%)、石油加工和炼焦及核燃料加工业(占 9.8%~10%)。这 4 个细分行业的工业增加值共约占制造业工业增加值总量的 23%~24.5%,从业人员占比不到 18%,但碳排放量却超过 90%,应当列为重点减排领域。

### (二)主要低碳领域

安徽制造业中,碳排放强度远低于制造业平均强度的主要有电气机械及器材制造业、交通运输设备制造业等 6 个细分行业(见表 6)。这 6 个细分行业的工业增加值共约占制造业的 43.4%,从业人员占比达 51.5%~53.5%,但碳排放量占比不到 3%,应当鼓励发展。

表6 2010-2011年安徽制造业主要高碳与低碳细分行业的碳排放量及其比重（规模以上企业）

| 细分行业  |                | 碳排放（万吨） |       |         |       | 工业增加值（亿元） |       |         |       |
|-------|----------------|---------|-------|---------|-------|-----------|-------|---------|-------|
|       |                | 2010年   | 占比（%） | 2011年   | 占比（%） | 2010年     | 占比（%） | 2011年   | 占比（%） |
| 高碳领域  | 黑色金属冶炼及压延加工业   | 1 492.2 | 37.9  | 1 538.1 | 37.4  | 372.9     | 8.9   | 378.8   | 7.0   |
|       | 非金属矿物制品业       | 1 137.6 | 28.9  | 1 225.8 | 29.8  | 280.9     | 6.7   | 448.3   | 8.2   |
|       | 化学原料及制品制造业     | 561.6   | 14.3  | 594.2   | 14.5  | 299.4     | 7.2   | 379.5   | 7.0   |
|       | 石油加工、炼焦及核燃料加工业 | 385.1   | 10.0  | 401.5   | 9.8   | 69.0      | 1.7   | 45.1    | 0.8   |
|       | 小计             | 3 576.5 | 90.9  | 3 759.6 | 91.5  | 1 022.2   | 24.5  | 1 251.7 | 23.0  |
| 低碳领域  | 通用设备制造业        | 38.9    | 0.99  | 49.9    | 1.21  | 261.4     | 6.3   | 345.0   | 6.3   |
|       | 农副食品加工业        | 23.8    | 0.61  | 21.8    | 0.53  | 237.7     | 5.7   | 290.8   | 5.3   |
|       | 交通运输设备制造业      | 16.6    | 0.42  | 12.4    | 0.3   | 398.6     | 9.5   | 464.8   | 8.5   |
|       | 有色金属冶炼及压延加工业   | 14.9    | 0.38  | 18.2    | 0.44  | 269.9     | 6.5   | 333.4   | 6.1   |
|       | 电气机械及器材制造业     | 5.0     | 0.13  | 6.1     | 0.15  | 494.1     | 11.8  | 737.3   | 13.5  |
|       | 专用设备制造业        | 1.7     | 0.04  | 2.1     | 0.05  | 151.7     | 3.6   | 201.4   | 3.7   |
|       | 小计             | 100.9   | 2.57  | 110.5   | 2.68  | 1 813.4   | 43.4  | 2 372.7 | 43.4  |
| 制造业总计 |                | 3 934.4 | 100   | 4 108.7 | 100   | 4 176.4   | 100   | 5 450.4 | 100   |

注：合计数尾差由于四舍五入形成。

## 六、结论与建议

### （一）结论

（1）能源结构对安徽制造业碳排放的驱动作用最大，且高碳排放领域较为集中。安徽制造业以煤炭为主的能源消费结构特征明显，大量煤炭的使用导致碳排放的快速增加。黑色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业等4个细分行业的碳排放达制造业排放量的90%以上，而产出和从业人员不到总量的25%和18%，当属减排的重点领域。

（2）人均制造业增加值和从业人员数量对安徽制造业碳排放的驱动作用较大。这表明安徽省制造业发展过程中，高能耗和劳动密集型制造业的增长是导致其碳排放增加的主要因素。

（3）安徽制造业碳排放“相对解锁”现象将会持续。近年来，能源消耗强度的持续下降，有效促进了碳减排工作；然而，这种减排效应已被从业人员和人均产值的增长效应抵消。在目前能源消费结构下，安徽制造业碳排放轨迹没有呈现环境库兹涅茨倒U型曲线，碳排放将持续增长，总体呈“相对解锁”趋势，为安徽碳减排工作敲响警钟。

### （二）解锁路径建议

（1）提升高碳排放领域的能源利用效率，是安徽制造业实现碳排放“绝对解锁”的直接路径。由于90%以上的碳排放集中于黑色金属冶炼及压延加工业等4个细分行业，而这些行业由于存在能源消耗技术路径依赖，以煤为主的能源结构在短期内难以发生根本性逆转，提高能源利用效率是当务之急。安徽可在控制高碳细分行业新增规模的同时，出台相关鼓励政策，迅速推进节能技术的应用，提高能源利用效率；并且开展合同能源管理，减少能耗。

（2）调整细分行业结构，推进低碳领域发展，是安徽制造业实现碳排放“绝对解锁”的行业路径。安徽制造业的细分行业中，电气机械及器材制造业、交通运输设备制造业等6个细分行业的工业增加值占比超过40%，从业人员占比过半，但碳排放占比不到3%，应当鼓励发展，进而推动安徽低碳化进程。

---

(3)培育和发展低碳示范园区，是安徽制造业实现碳排放“绝对解锁”的区域路径。例如，以新型显示产业和机器人产业的区域集聚发展成为国家试点为契机，加大对电子通讯设备制造业、仪器仪表制造业等技术密集型产业的支持力度，集聚战略性新兴产业，培育、发展低碳示范园区，逐步稀释现有高碳领域发展过程中导致的碳排放。

#### 参考文献:

- [1] Ernst Worrell, Lynn Price, Nathan Martin. Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the US iron and steel sector[J].Energy, 2001,26(5):513-536.
- [2] Leticia Ozawa, Claudia Sheinbaum. Energy use and CO<sub>2</sub> emissions in Mexico's iron and steel industry[J]. Energy, 2002, 27(3):225-239.
- [3] 赵一平, 孙启宏, 段宁. 中国经济发展与能源消费响应关系研究: 基于相对“脱钩”与“复钩”理论的实证研究[J]. 科研管理, 2006, 27(3): 128-134.
- [4] Diakoulaki D, Mandaraka M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO<sub>2</sub>emissions in the EU manufacturing sector[J].Energy Economics, 2007, 29(4):636-664.
- [5] 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.
- [6] Birdsall N. Another look at Population and Global Warming: Population, Health and Nutrition Policy Research[R].Washington DC: World Bank, 1992.
- [7] Knapp T, Mookerjee R. Population Growth and Global CO<sub>2</sub> Emissions[J].Energy Policy, 1996, 24(1):31-37.
- [8] 彭希哲, 朱勤. 我国人口态势与消费模式对碳排放的影响分析[J]. 人口研究, 2010, 34(1): 48-58.