浙 江 农 林 大 学 学 报，2015，**32**(4)：603–610
Journal of Zhejiang A & F University
doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2015.04.017

能源强度、产业结构及低碳政策选择

许亚斌[1]，李兰英[1]，周子贵[2]，张　勇[2]，黄玉洁[3]

（1. 浙江农林大学 经济管理学院，浙江 临安 311300；2. 浙江省生态工程管理中心，浙江 杭州 310020；3. 浙江省林业科学研究院，浙江 杭州 311323）

摘要：气候变化日益严重，分析碳排放的影响因素，探讨工业碳减排意义重大。运用对数平均权重分解法(LMDI)的加和分解法建立了能源消耗碳排放的因素分解模型，从能源强度、产业结构、能源结构、经济产出和从业人口规模等5个方面对安徽省规模以上工业行业的碳排放进行实证分析。结果显示：能源强度、产业结构对碳排放有着较强的负效应，经济产出、从业人口规模有强的正效应，能源结构表现出不显著的正效应。安徽工业行业中，电力、热力生产和供应业，煤炭开采和洗选业，石油加工、炼焦和核燃料加工业，黑色金属冶炼和压延加工业及非金属矿物制品业这五大高能源强度是影响安徽省工业碳排放的最主要行业。为降低碳排放，有针对性地提出了降低能源强度，调整产业结构及减少五大行业的比重的政策建议。图4表5参14

关键词：碳排放；能源强度；产业结构；对数平均权重分解法(LDMI)；安徽省

中图分类号：S7-05；X24　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**2095-0756(2015)04-0603-08

Energy intensity, industrial structure and selection of low-carbon policy

XU Yabin[1], LI Lanying[1], ZHOU Zigui[2], ZHANG Yong[2], HUANG Yujie[3]

(1. School of Economics and Management, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Center for Forestry Ecological Engineering Management of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: Climate change is increasingly serious, and analysing the determinants of carbon emissions and studying carbon emission reduction is significant. The research used additive decomposition method of LDMI to build a factor decomposition model of carbon emissions from the energy consumption and conducted an empirical analysis of above scale industrial industries from five aspects including energy intensity, industrial structure, energy structure, economic output and the employed population scale. The results revealed that energy intensity and industrial structure had significant negative effects on carbon emissions; while economic output and the employed population scale had strong positive effects; energy structure had no significant negative effect on carbon emissions. Of the industrial industries in Anhui, electricity and heat production and supply industry, coal mining and dressing industry, petroleum processing, coking and nuclear fuel processing industry, ferrous metal smelting and rolling processing industry, non-metallic mineral products industry were the main industries affecting industrial carbon emissions. To reduce carbon emissions, policy suggestions on, reducing energy intensity, adjusting industrial structure and reducing the proportion of five industries were proposed. [Ch, 4 fig. 5 tab. 14 ref.]

Key words: carbon emission; energy intensity; industrial structure; LMDI; Anhui Province

---

收稿日期：2014-11-07；修回日期：2015-03-05

基金项目：国家自然科学基金资助项目(71473230)；浙江省省院合作林业科技项目(2013SY19)；浙江农林大学研究生科研创新基金资助项目(3122013240281)

作者简介：许亚斌，从事林业经济和林业碳汇等研究。E-mail：546445093@qq.com。通信作者：李兰英，副教授，博士，从事森林资源经济和环境管理等研究。E-mail：13362890586@163.com

当前，气候变化日益严重，保护环境、减缓气候变化和提高适应气候变化的能力已刻不容缓。2007年，十七大明确提出了要“加强应对气候变化能力建设，为保护全球气候做出新贡献”的要求。全球减缓气候变化的核心是减少温室气体排放，其中主要是与能源相关的二氧化碳排放。目前，安徽省正从农业大省向工业强省转变，工业生产的能源需求越来越大。在安徽省产业结构中，工业能源消耗比例大，产值偏低，2000–2012 年间工业国内生产总值(GDP)40 760.25 亿元，占安徽省 2000–2012 年全部国内生产总值的 40.40%，而能源消耗总量 76 682.91 万 t 标准煤，占消耗总能源的 79.01%，面临着严峻的节能减排压力。通过研究安徽省工业能源碳排放的影响因素，探讨影响安徽省工业碳排放的重要因素，提出政策促进安徽省工业碳减排，对安徽省完成碳减排目标，促进经济和环境的和谐发展有着重要意义。

1 文献回顾

碳排放问题的研究主要集中在碳排放的区域差异[1–3]、时空特征差异[4–5]及其影响因素等方面。碳排放影响因素的研究主要采用指数分解法，它最早由 Kaya 提出，亦称 Kaya 公式[6]。指数分解法又可分为 Laspeyres 指数法、简单平均分解法(SAD)和自适应权重分解法(AWD)。Laspeyres 指数是以基期的数量指标作为权重的加权综合指数。Zhang[7]应用 Laspeyres 指数法分析了中国 20 世纪 90 年代工业部门能源强度下降的原因[7]。Ebohon 等[8]运用该方法对撒哈拉沙漠以南的非洲国家的碳排放进行分解分析，指出影响二氧化碳排放强度的因素是能源强度、各能源的排放系数和经济结构。Gonzalez 等[9]对墨西哥的工业碳排放进行分析，发现能源强度、工业结构和发电用能源是二氧化碳排放量增加的主要影响因素。涂正革[10]对中国八大行业部门碳排放进行分析，指出能源结构的变动对碳排放的减少不显著，技术进步才是减少碳排放的核心动力。简单平均分解法采用始年和末年相应参数的均值作为因子权重，依据均值计算方法的不同而解法不同，其中，对数平均权重分解法(LMDI)运用最广泛。徐成龙等[11]运用 LMDI 方法对山东省碳排放进行了分析，指出产业结构的调整有助于减少碳排放。邓吉祥等[12]运用该方法分析出经济发展和人口规模对中国碳排放有正影响，能源强度效应对碳排放有负影响，能源结构效应对碳排放影响是波动性的。自适应权重分解法是一个先求微分再求积分的过程，求解各单项积分作为碳排放各因子变化率的权重。Schipper 等[13]对 13 个国际能源署(IEA)国家的二氧化碳排放进行了因素分解，认为能源强度和能源结构对碳排放强度影响较大，产出结构和排放系数的影响较小。运用适应性加权迪氏分解法(AWD)对 1980–2003 年的碳排放强度分析表明：中国碳排放强度下降的主要原因是能源强度的下降，能源结构变化也有较大影响[14]。

目前，无论从内容还是方法上，对碳排放的研究虽已比较成熟，但还存在一些问题。研究中使用的能源种类较少，不能反映真实情况，对碳排放影响因素的分解局限在产出规模、能源结构、能源强度等方面，未能全面地分析碳排放的影响因素。

2 模型和数据来源

将选取工业行业常用的 10 种能源，从能源强度、产业结构、能源结构、经济产出、从业人口规模等因素出发，运用 Kaya 恒等式的变式，实证研究安徽规模以上工业企业碳排放的影响情况。

2.1 碳排放影响因素分解模型

Kaya 恒等式是目前分析碳排放驱动因素的主流分析方法，表达形式如下：

$$g_{GHG}=(g_{GHG}/t_{TOE})\times(t_{TOE}/g_{GDP})\times(g_{GDP}/p_{POP})\times p_{POP}。\quad(1)$$

式(1)中：g_{GHG}，t_{TOE}，g_{GDP}，p_{POP} 分别代表温室气体的排放总量、一次能源的消耗总量、国内生产总值和总人口。

对于碳排放的影响因素，本研究认为：①能源强度体现着技术进步，技术进步影响碳排放，技术进步，能源强度下降，碳排放量降低，解释为能源强度效应。②产业结构的优化可使单位 GDP 碳排放下降，解释为产业结构效应。③能源结构越丰富，碳排放量越少，解释为能源结构效应。④经济产出提升对应着碳排放量的增加，解释为经济产出效应。⑤从业人口数量及其活动与碳排放量间具有正相关性，解释为人口规模效应。基于此，为了分析工业各行业分能源种类的碳排放，将 Kaya 恒等式改进为：

$$C=\sum\sum(C_{ij}/E_{ij})\times(E_{ij}/E_i)\times(E_i/V_{GDPi})\times(V_{GDPi}/V_{GDP})\times(V_{GDP}/P)\times P。\quad(2)$$

式(2)中：C 为碳排放总量；C_{ij} 为第 i 产业第 j 种能源消耗的碳排放；E_{ij} 为第 i 产业消耗第 j 种能源量；E_i 为第 i 产业总能源消耗量；V_{GDPi} 为第 i 产业的生产总值；V_{GDP} 表示安徽省规模以上工业生产总值；P 表示从业人口规模。进一步可将式(2)分解为碳排放因子效应($\Delta C_{Cij/Eij}$)，能源强度效应($\Delta C_{Ei/VGDPi}$)，产业结构效应($\Delta C_{VGDPi/VGDP}$)，能源结构效应($\Delta C_{Eij/Ei}$)，经济产出效应($\Delta C_{VGDP/P}$)和从业人口规模效应(ΔC_P)。文章采用 LMDI 加和分解法，对于式(2)，通过设基期碳排放总量为 C_0，t 期碳排放总量为 C_t，基期至 t 期碳排放变化为 ΔC，将其分解如下：

$$\Delta C_{Cij/Eij}=L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)\times[\ln(\frac{C_{ij}}{E_{ij}})^t-\ln(\frac{C_{ij}}{E_{ij}})^0]; \tag{3}$$

$$\Delta C_{Ei/VGDPi}=L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)\times[\ln(\frac{E_i}{V_{GDPi}})^t-\ln(\frac{E_i}{V_{GDPi}})^0]; \tag{4}$$

$$\Delta C_{VGDPi/GDP}=L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)\times[\ln(\frac{V_{GDPi}}{V_{GDP}})^t-\ln(\frac{V_{GDPi}}{V_{GDP}})^0]; \tag{5}$$

$$\Delta C_{Eij/Ei}=L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)\times[\ln(\frac{E_{ij}}{E_i})^t-\ln(\frac{E_{ij}}{E_i})^0]; \tag{6}$$

$$\Delta C_{VGDP/P}=L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)\times[\ln(\frac{V_{GDP}}{P})^t-\ln(\frac{V_{GDP}}{P})^0]; \tag{7}$$

$$\Delta C_P=L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)\times[\ln P^t-\ln P^0]。 \tag{8}$$

对于式(2)至式(7)中 $L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)$ 有以下定义：

$$L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)=\begin{cases}(C_{ij}^t, C_{ij}^0)/(\ln C_{ij}^t-\ln C_{ij}^0), & C_{ij}^t\neq C_{ij}^0\\ C_{ij}^t, & C_{ij}^t=C_{ij}^0\\ 0, & C_{ij}^t=C_{ij}^0=0\end{cases}。 \tag{9}$$

则碳排放的总效应是：

$$\Delta C_{tot}=C^t-C^0=\sum_i\sum_j(\Delta C_{C_{ij}/E_{ij}}+\Delta C_{E_{ij}/E_i}+\Delta C_{E_i/VGDP_i}+\Delta C_{VGDP_i/VGDP}+\Delta C_{VGDP/P}+\Delta C_P)。 \tag{10}$$

2.2　数据来源

中国工业分为 40 个行业，鉴于《安徽省统计年鉴》年际间统计口径不统一，将塑料制品业和橡胶制品业合为橡胶塑料制品业；把铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业及汽车制造业合为交通运输设备制造业；剔除开采辅助活动行业，因只统计 1 a 且仅消耗 11 t 汽油，最终将安徽省工业划分为 36 个行业。分行业能源消耗量、产值、从业人口数量均来自于 2001–2013 年《安徽省统计年鉴》，其中产值以 2000 年为基期按不变价进行了调整(表 1)。统计年鉴显示：工业消耗的主要能源有原煤、洗精煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石油气和天然气 10 种(表 2)。其中：原煤、洗精煤、焦炭属于煤炭，原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石油气属于石油，故在表 1 中列出了三大能源的消耗比例。为统一口径，将各类能源消耗量数据统一折算为万 t 标准煤。各类能源对标准煤的折算系数和碳排放系数(表 3)。

3　安徽省工业规模以上企业碳排放影响因素的实证分析

通过式(3)~式(9)分别计算出安徽省规模以上 36 个工业行业碳排放的能源强度效应、产业结构效应、能源结构效应、经济产出效应、从业人口规模效应和总效应(表 4)。表 4 中的各效应值的正数表示能源的使用增加、产业结构的调整、能源结构的调整、经济产出的增加、从业人口的增加导致碳排放量的增加；负数反之。

3.1　能源强度效应

安徽省规模以上行业的能源强度效应整体上为负值，除 2001 年和 2003 年因能源强度导致的碳排放比上年增加外，其他年份的碳排放量均减少，这表明了从 2003 年以来，整体上安徽省规模以上工业行业的效率提升了。研究发现：安徽省规模以上工业行业受与电力、热力生产和供应业，煤炭开采和洗选业，石油加工、炼焦和核燃料加工业，黑色金属冶炼和压延加工业以及非金属矿物制品业(表 5)这五大高能源强度行业(以下称五大行业)的影响较大。

表 1 2000–2012 年安徽省规模以上工业能源消耗量、人数、GDP 以及碳排放量

Table 1 Energy consumption, employed population, GDP and carbon emission of the above scale industrial industries in Anhui Province in 2000–2012

年份	煤炭(标准煤)		石油(标准煤)		天然气(标准煤)		从业人数/万人	GDP/亿元	CO_2 排放量(标准煤)/万 t
	数量/万 t	比例/%	数量/万 t	比例/%	数量/万 t	比例/%			
2000	3 017.2	84.81	540.30	15.19	0.00	0.00	162.1	1 658.1	7 786.2
2001	3 593.9	88.44	469.90	11.56	0.00	0.00	149.2	1 825.0	8 808.1
2002	3 522.6	87.74	492.20	12.26	0.00	0.00	148.9	2 152.6	8 667.5
2003	4 465.5	89.12	544.90	10.88	0.00	0.00	149.0	2 540.9	10 715.8
2004	5 615.9	89.34	670.00	10.66	0.00	0.00	155.6	3 561.5	13 475.8
2005	6 187.8	90.37	659.40	9.63	0.00	0.00	155.2	4 706.9	14 549.8
2006	6 773.7	90.59	703.60	9.41	0.00	0.00	164.8	5 927.3	15 894.1
2007	8 031.0	91.95	703.50	8.05	0.00	0.00	178.2	7 635.8	18 528.6
2008	9 596.8	93.41	676.50	6.59	0.00	0.00	210.8	11 067.5	21 598.9
2009	10 769.0	93.76	716.70	6.24	0.00	0.00	232.1	14 266.4	23 955.4
2010	11 665.9	93.93	747.20	6.02	7.30	0.06	264.9	18 005.2	25 998.4
2011	12 790.50	94.36	755.06	5.57	8.83	0.07	268.4	25 263.3	28 235.7
2012	13 252.62	95.13	667.78	4.79	9.96	0.07	298.9	30 154.1	28 886.4

说明：煤炭包含了原煤、洗精煤、焦炭，石油包含了原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气；GDP 以 2000 年的不变价格为基准。

表 2 各种能源消耗所占比例

Table 2 Energy consumption percent of Anhui Province in 2000–2012

年份	能源消耗所占比例/%									
	原煤	洗精煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化石油气	天然气
2000	67.84	10.11	6.87	13.82	0.17	0.00	0.45	0.75	0.00	0.00
2001	69.31	10.34	8.79	10.13	0.18	0.01	0.52	0.72	0.00	0.00
2002	70.71	9.54	7.49	10.97	0.18	0.01	0.43	0.68	0.00	0.00
2003	72.87	8.92	7.33	9.55	0.19	0.03	0.47	0.64	0.00	0.00
2004	72.23	9.03	8.08	9.58	0.12	0.01	0.44	0.50	0.00	0.00
2005	74.29	8.45	7.63	8.65	0.11	0.01	0.45	0.41	0.00	0.00
2006	74.22	8.26	8.10	8.51	0.14	0.01	0.45	0.31	0.00	0.00
2007	73.97	9.29	8.69	7.37	0.10	0.01	0.40	0.18	0.00	0.00
2008	75.34	10.03	8.05	5.93	0.10	0.01	0.39	0.16	0.00	0.00
2009	77.41	9.20	7.15	5.65	0.08	0.01	0.37	0.13	0.00	0.00
2010	77.76	9.11	7.05	5.49	0.09	0.01	0.39	0.00	0.04	0.06
2011	79.15	8.51	6.71	5.10	0.07	0.01	0.36	0.00	0.03	0.07
2012	80.24	8.23	6.66	4.32	0.08	0.00	0.38	0.00	0.01	0.07

表 3 各种能源折标准煤系数及碳排放系数

Table 3 Coefficient of converting into standard coal and carbon emissions of different energy

能源	折算单位	折算系数	碳排放系数	能源	折算单位	折算系数	碳排放系数
原煤	$tce \cdot t^{-1}$	0.714 3	0.755 9	煤油	$tce \cdot t^{-1}$	1.471 4	0.571 4
洗精煤	$tce \cdot t^{-1}$	0.900 0	0.755 9	柴油	$tce \cdot t^{-1}$	1.457 0	0.592 1
焦炭	$tce \cdot t^{-1}$	0.971 4	0.855 0	燃料油	$tce \cdot t^{-1}$	1.428 6	0.618 5
原油	$tce \cdot t^{-1}$	1.428 6	0.585 7	石油气	$tce \cdot t^{-1}$	0.618 5	0.504 2
汽油	$tce \cdot t^{-1}$	1.471 4	0.553 8	天然气	$tce \cdot t^{-3}$	1.330 0	0.448 3

说明：tce 指吨标准煤当量。数据来自《中国能源统计年鉴 2012》和《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》。

在其他因素不变情况下，五大行业的能源强度的变化直接决定安徽省规模以上工业行业能源消耗碳排放的变化。图 1 反映了安徽省规模以上工业行业与五大行业碳排放的能源强度效应非常相似。从图 2

表 4　2000–2012 年安徽省规模以上工业碳排放的因素分解结果

Table 4　Results on factor decomposition of carbon emission of the above scale industrial industries in Anhui Province in 2000–2012

年度	规模工业二氧化碳(CO_2)排放/万 t					
	能源强度效应	产业结构效应	能源结构效应	经济产出效应	从业人口规模效应	总效应
2000–2001	97.76	73.56	682.92	18.70	–8.65	864.07
2001–2002	–1 417.24	–130.50	–0.69	1 455.02	–17.78	–111.19
2002–2003	412.51	45.25	–18.61	1 590.37	5.19	2 034.70
2003–2004	–2 923.35	1 606.50	18.53	3 535.85	520.35	2 757.88
2004–2005	–2 680.93	–122.41	–19.80	3 934.35	–35.81	1 075.41
2005–2006	–886.61	–1 263.35	–4.57	2 586.41	911.19	1 343.08
2006–2007	–539.41	–1 162.55	–140.90	2 992.75	1 335.27	2 485.16
2007–2008	–6 833.73	2 472.90	15.79	4 057.20	3 353.79	3 065.96
2008–2009	–1 407.04	–1 967.12	–12.53	3 582.60	2 180.84	2 376.74
2009–2010	–1 298.14	–2 436.41	–126.31	2 496.13	3 283.85	1 919.11
2010–2011	–4 492.95	–2 411.75	–22.86	8 817.45	354.61	2 244.50
2011–2012	–2 997.41	–1 379.58	–20.47	1 978.48	3 070.53	651.55

说明：根据 2001–2013 年《安徽省统计年鉴》数据经整理、计算而得。

表 5　2000–2012 年间五大行业能源强度

Table 5　Energy intensity of five industries in 2000–2012

规模以上工业行业	能源强度(标准煤)/(t·万元$^{-1}$)	规模以上工业行业	能源强度(标准煤)/(t·万元$^{-1}$)
电力、热力生产和供应业	5.92	黑色金属冶炼和压延加工业	2.61
煤炭开采和洗选业	4.63	非金属矿物制品业	2.73
石油加工、炼焦和核燃料加工业	4.47		

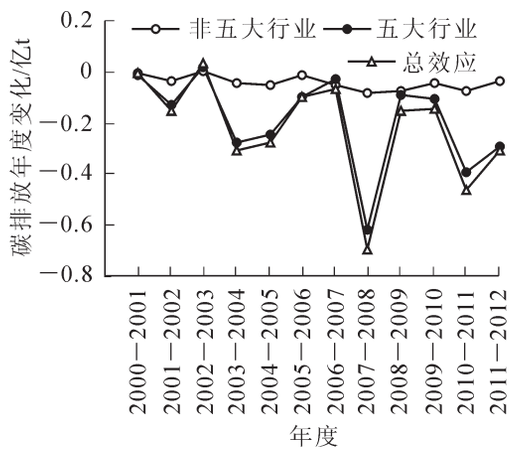

图 1　2000–2012 年安徽省碳排放能源强度效应

Figure 1　Energy intensity of carbon emission of Anhui Province in 2000–2012

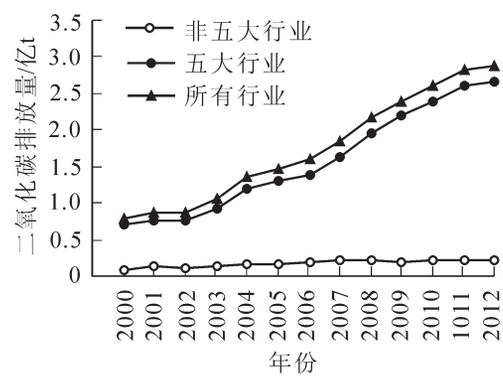

图 2　2000–2012 年安徽省不同行业二氧化碳排放量

Figure 2　Carbon dioxide emission of different industries of Anhui Province in 2000–2012

可看出五大行业的二氧化碳排放量占了所有行业总排放量的极大份额。

这进一步表明，五大行业能源强度决定了安徽省规模以上工业行业碳排放的能源效应，规模以上工业行业能源强度的下降与五大行业能源强度的下降有着密切的关系。五大行业的能源强度从 2000 年开始，整体呈现下降趋势，从 2000 年的 6.99 tce·万元$^{-1}$ 下降到 2012 年的 1.789 tce·万元$^{-1}$，虽下降不少，但还维持在一个较高的水平上，高于国家工业 1.249 tce·万元$^{-1}$ 的平均水准，有待改进。降低五大行业的能源强度，使得工业碳减排有着较大的潜力。

3.2　产业结构效应

从图 3 看出：安徽省规模以上工业行业产业结构效应有正有负，除了 2001 年，2003 年，2004 年和 2008 年因产业结构导致的碳排放量增加外，其他年份均减少，这主要是由于 2000 年开始安徽实施产业

结构的大调整导致碳排放量的迅速下降。通过分析，产业结构效应的变化与五大行业有很强的关系。五大行业在 2000–2012 年间能源消耗总量占 89.57%，其产值只占整个规模以上工业总产值的 27.42%。2012 年五大行业能源消耗量占规模以上工业行业总能源消耗的 91.90%，而产值占比下降到 24.45%。由于五大行业的高消耗低产值，对安徽省工业能源消耗碳排放的变化有着较大的影响。

通过对比分析五大行业和非五大行业的产业结构效应(图 3)可以发现：五大行业碳排放产业结构效应和总体的产业结构效应基本一致。2000–2012 年，五大行业的能源消耗量占工业行业消耗总量的 91.90%左右，整体上呈现出上升的趋势。这更加表明五大行业是促使安徽省规模以上工业碳排放的主要行业，对五大行业的碳排放量进行控制就基本上控制了安徽省规模以上工业碳排放的总量，若要降低安徽省规模以上工业碳排放量的增长，应逐步降低五大行业在工业行业中的比重，大力发展其他低能源强度的行业，有利于保持经济增长且减少碳排放。

3.3 能源结构效应

安徽省规模以上工业碳排放的能源结构效应整体上为负，除 2001 年、2004 年和 2008 年增加外，其他年均减少，另外除 2001 年的效应值较大外，另外两年的值增加量都较小，这表明 2001 年以来，安徽省规模以上工业的能源结构有改善趋势，从 2009 年后停止使用燃料油，用液化石油气代替，碳排放出现下降趋势，尤其是自 2010 年引入天然气后，碳排放下降明显(表 2)。但清洁能源的使用仍然偏低，2012 年天然气仅占总能源的 0.07%。能源结构可调整比例较大，有较大的碳减排空间。

3.4 经济产出效应

能源作为经济生产最基本的要素，对经济的持续发展起着支撑作用。在工业化和城市化的时代，经济的发展带来了大量能源的消耗和碳排放，碳排放量的增长伴随着经济的发展。从表 2 可以看出：2000–2012 年安徽省规模以上工业企业经济产出效应一直为正值，这表明碳排放量的逐年增加与安徽省规模以上工业企业的经济增长有关，安徽省规模以上工业企业经济在这期间一直处于高速的增长状态，经济的高速增长直接导致安徽省规模以上工业碳排放的增加。但不能仅仅追求过快的经济增长数量，还应考虑经济增长的质量，注重环境效益，保持两者同时增长。从能源强度效应和产业结构效应中可知，五大行业都是高能源强度行业，二氧化碳排放量最大，而产值较小。所以，在保持经济增长的前提下，可改进技术以降低能源强度，优化工业行业结构，限制高碳低产值行业发展。

3.5 从业人口规模效应

安徽省规模以上工业从业人口规模效应对碳排放的贡献从 2003 年开始一直是正值，这表明安徽省规模以上工业从业人口规模的增加导致碳排放量的逐年增加。原因在于安徽省规模以上工业劳动力密集型行业较多，这些行业的扩张导致从业人口规模的增加，这促使能源消耗量的增加。此外，随着从业人口的增加，需求呈增长趋势，这会增加对能源的消耗量，进而增加碳排放。因此，应加大技术密集型产业的发展，集约性经营，减少碳排放量。

从总效应来看，除了 2002 年碳排放比上年略微下降，其余年份都较上年均有所增加。2002 年安徽省规模以上工业碳排放之所以较上年下降。主要原因在于：其一，工业能源消耗强度下降；其二，工业产业结构进行了改变；其三，工业能源的消耗结构有一定改善。从图 4 可以看出：该期间产业结构的改善和能源强度的下降对碳排放的抑制作用超过了从业人口规模和工业经济产出对碳排放的驱动作用，其他年份碳排放量增加的主要原因是工业经济产出效应超越了其他效应。

4 结论与政策建议

通过以上的分析发现，能源强度和产业结构对安徽省规模以上工业行业碳排放的贡献率为负值，与碳排放成反比关系，对碳排放具有抑制作用。能源强度对碳排放的整体贡献率为–120.57%，为主要的抑制因素；产业结构的整体贡献率为–32.24%，抑制作用小。经济产出、从业人口的规模和能源结构对碳排放的贡献率为正，与碳排放成正比关系，对碳排放具有驱动作用。其中最主要的驱动因素是经济产出，其对碳排放的整体贡献率为 178.90%；其次是从业人口的规模，整体贡献率为 72.21%；最后是能源结构，整体贡献率为 1.69%。通过深入分析发现，安徽省规模以上工业行业碳排放的主要来源是五大行业。五大行业是安徽省规模以上工业行业中的能源消耗大户，也是安徽省规模以上工业行业碳排放的

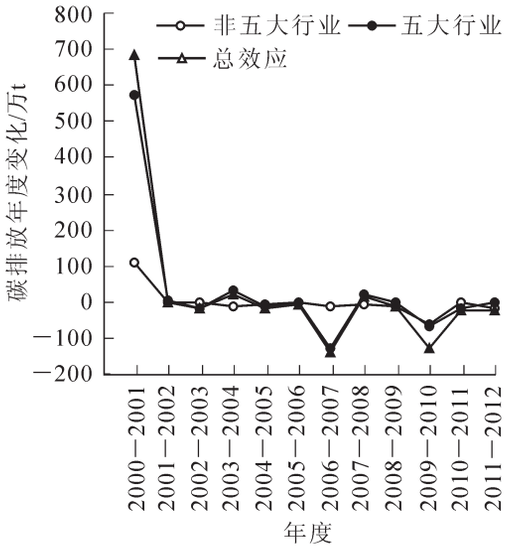

图 3　2000–2012 年安徽省分行业产业结构效应

Figure 3　Industry structure effect of carbon emission of different industries of Anhui Province in 2000–2012

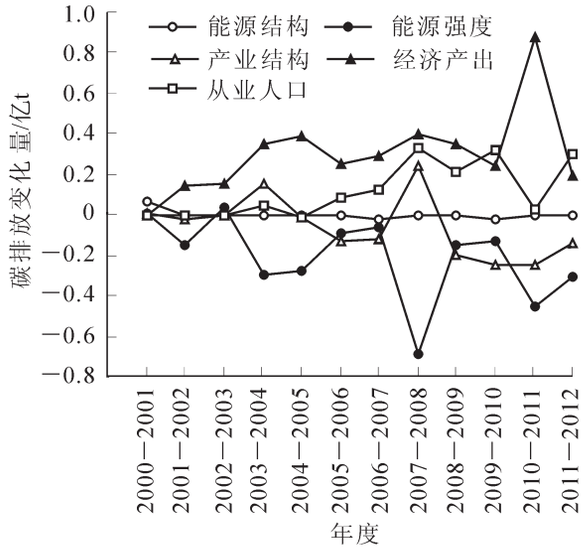

图 4　2000–2012 年安徽省规模以上工业行业碳排放因素分解

Figure 4　Decomposition of carbon emission factors of the above scale industrial industries of Anhui Province in 2000–2012

主要行业，对此提出以下建议。

第一，开发新能源，改善能源结构。目前，安徽省工业化石能源消耗占比较高，清洁能源使用较少。安徽煤矿资源丰富，火力发电较多，风电、核电较少，全省仅有滁州的一处风电站。因此，政府部门可鼓励使用清洁能源的企业，对核电、水电、风电及太阳能项目实行政策引导，积极推进生物质能开发，提高非化石能源的比重。同时加大财政对新能源使用企业的支持力度。

第二，技术创新，降低能源强度。能源强度体现着能源的利用效率，能源利用效率的提高主要来自于技术的进步。政府应鼓励企业对节能技术的研发和推广，通过优惠政策激励企业推动能源转换及利用等环节上的创新，加大投资先进节能技术，降低安徽省规模以上工业行业能源利用率；另外，加快生产技术的改进，更快实现产业升级，提高单位能源产量。同时，这一系列措施需要法律、规章、制度的激励和保障。

第三，淘汰高能耗产业，优化产业结构。五大行业在安徽省规模以上工业行业能源消耗中占的比重较大，2000–2012 年间能源消耗总量占到了 89.57%。鉴于五大行业都是能源密集型产业，一方面政府要降低五大行业的比重；另一方面要加快技术进步，实现五大行业产品转型升级，减少五大行业的能源消耗，降低能源强度。另外，对于其他行业，政府要淘汰一些高能耗，低产值的产业，大力发展高新技术产业和现代服务业，不断提高第三产业的比重。同时政府通过加大财政投入力度，引导节能产业发展，引进五大行业及其他高耗能行业的节能技术和新工艺。

第四，转型升级，注重经济质量产出。鉴于碳排放的主要驱动因素是经济产出，更应对此做出改进。在经济转变中，不仅要重视量的增长，更应重视质的提高。对一些高产出，但碳排放较高的行业进行技术优化，加快这些行业的转型升级；对低产出、高碳排放的五大行业进行碳排放控制，同时进行技术升级，使安徽省工业经济完成从粗放型向集约型转变。

第五，降低劳动密集型行业比例，提倡低碳集约生产。安徽省劳动密集型行业较多，过多的从业人口的能源消耗导致了过多的碳排放。政府一方面引导劳动密集型行业转型成技术密集型行业，同时，引导从业人员转移到第三产业。另一方面要提倡低碳消耗的理念，引导从业人员走低碳、环保的能源消耗路线。

5　参考文献

[1]　谭丹，黄贤金. 我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J]. 中国人口·资源与环境，

2008，**18**(3)：54 – 57.

TAN Dan, HUANG Xianjin. Correlation analysis and comparison of the economic development and carbon emissions in the eastern, central and western part of China [J]. *China Popul Resour Environ*, 2008, **18**(3): 54 – 57.

[2] 徐大丰. 我国碳排放结构的区域差异分析[J]. 江西社会科学，2010(4)：79 – 82.

XU Dafeng. Analysis of the regional differences in the structure of China's carbon emissions [J]. *Jiangxi Soc Sci*, 2010(4): 79 – 82.

[3] 王铮，刘晓，黄蕊，等. 平稳增长条件下中国各省市自治区的排放需求估计[J]. 中国科学院院刊，2013，**28**(1)：85 – 93.

WANG Zheng, LIU Xiao, HUANG Rui, *et al*. Estimation of carbon emission requirements under balance growth in the Chinese provinces [J]. *Bull Chin Acad Sci*, 2013, **28**(1): 85 – 93.

[4] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究，2010(4)：120 – 133.

ZHANG Youguo. Economic development pattern change impact on China's carbon intensity [J]. *Econ Res J*, 2010 (4): 120 – 133.

[5] 舒娱琴. 中国能源消费碳排放的时空特征[J]. 生态学报，2012，**32**(16)：4950 – 4960.

SHU Yuqin. Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(16): 4950 – 4960.

[6] KAYA Y. *Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios* [R]. Paris: Response Strategies Working Group , IPCC Energy and Industry Subgroup, 1990.

[7] ZHANG Zhongxiang. Why did the energy intensity fall in China's industrial sector in the 1990s? The relative importance of structural change and intensity change [J]. *Energy Econ*, 2003, **25**: 625 – 638.

[8] EBOHON O J, IKEME A J. Decomposition analysis of CO_2 emission intensity between oil-producing and non-oil-producing sub-Saharan African countries [J]. *Energy Policy*, 2006, **34**(18): 3599 – 3611.

[9] GONZALEZ D, MARTNEZ M. Decomposition analysis of CO_2 emissions in the Mexican industrial sector [J]. *Energy Sustain Dev*, 2012, **16**(2): 204 – 215.

[10] 涂正革. 中国的碳减排路径与战略选择：基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J]. 中国社会科学，2012，**35**(3)：78 – 94.

TU Zhengge. Strategic measures to reduce China's carbon emissions: based on an index decomposition analysis of carbon emissions in eight industries [J]. *Soc Sci China*, 2012, **35**(3): 78 – 94.

[11] 徐成龙，任建兰，巩灿娟. 产业结构调整对山东省碳排放的影响[J]. 自然资源学报，2014，**29**(2)：201 – 210.

XU Chenglong, REN Jianlan, GONG Canjuan. The influence of adjustment in industrial structures on carbon emissions in Shandong Province [J]. *J Nat Resour*, 2014, **29**(2): 201 – 210.

[12] 邓吉祥，刘晓，王铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J]. 自然资源学报，2014，**29**(2)：189 – 200.

DENG Jixiang, LIU Xiao, WANG Zheng. Characteristics analysis and factor decomposition based on the regional difference changes in China's CO_2 emission [J]. *J Nat Resour*, 2014, **29**(2): 189 – 200.

[13] SCHIPPER L, MURTISHAW S, KHRUSHCH M. Carbon emissions from manufacturing energy use in 13 IEA countries：Long-term trends through 1995 [J]. *Energy Policy*, 2001, **29**(9): 667 – 688.

[14] FAN Ying, LIU Lancui, WU Gang, *et al*. Changes in carbon intensity in China: empirical findings from 1980–2003 [J]. *Ecol Econ*, 2007, **62**: 683 – 691.