

江苏省不同产业碳排放脱钩及影响因素研究^{*1}

卢娜¹ 冯淑怡² 孙华平¹

(1. 江苏大学 财经学院, 江苏 镇江 212013;

2. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095)

【摘要】: 利用 Tapio 弹性脱钩指数分析不同产业碳排放与经济增长之间的关系, 并采用 LMDI 分解法分析不同产业碳排放影响因素。结果表明: (1) 不同产业所处脱钩状态不同: 贸易餐饮业为强脱钩; 农业为弱脱钩; 生活消费处于增长连接; 工业与建筑业均为扩张负脱钩; 交通邮政业为强负脱钩。(2) 能源强度和产业规模是促进碳排放变化的主要影响效应类型。能源强度是工业、交通邮政业的主要影响因素, 且具有促进作用; 该效应也是贸易餐饮业的主要影响因素, 但起抑制作用。产业规模则是农业、建筑业和生活消费的主要影响因素, 且均具有促进作用。碳强度和能源结构由于能源消费品种单一而作用微弱。最后提出产业低碳化发展的建议。

【关键词】: 碳排放; 脱钩; 影响因素; 江苏省

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2017)03-071-05

1 引言

2015 年 12 月在巴黎召开的世界气候大会达成了举世瞩目的《巴黎协定》, 此次协定能够达成很重要的一个原因是我国在气候变化问题上表现出愈发积极的姿态。自 2000 年起, 地方政府逐渐取代国家部委成为节能减排政策的主要实施者^[1]。“十三五”期间是完成我国政府 2020 年减排承诺的关键五年, 因此, 关于区域碳减排的研究成为关注的焦点与热点。此外, 我国目前经济新常态增速的“换挡期”也为协调经济增长与碳排放之间的关系提供了机遇。能源消耗量大、资源自给率低、环境承载力弱、单位国土污染物排放强度高是江苏省的基本省情。虽然截至 2015 年年底江苏省已完成了国家下达的“十二五”期间单位 GDP 能耗下降 18% 的目标, 但是基本省情决定其今后节能减排之路仍将面临巨大的压力和严峻的挑战。因此在新常态背景下深入研究江苏省经济增长和碳排放之间关系对节能减排是非常必要和迫切的。

目前关于经济增长与碳排放之间关系的研究主要围绕两个方面展开, 一是考察两者之间的脱钩关系, 一是考察经济增长对碳排放的影响。脱钩关系分析主要采用指数法与计量分析法。指数法包括 OECD 的脱钩指数法^[2]与 Tapio 弹性脱钩指数法^[3]; 计量分析法如采用统计数据检验 EKC 和 STIRPAT 模型^[4]。脱钩关系分析的对象较为多元化, 一些学者以行政区域为对象进行总

¹ **基金项目:** 江苏省高校哲学社会科学研究一般项目“基于脱钩理论的江苏省碳排放情景分析”(2016SJB790036); 国家自然科学基金项目“农村土地制度与资源配置”(71322301); 国家统计局项目“碳排放空间转移对区域协同发展的影响效应研究”(2014LY036)

第一作者简介: 卢娜(1982-), 女, 河北正定人, 博士, 讲师, 研究方向为低碳经济。E-mail: luna@ujs.edu.cn

通讯作者简介: 冯淑怡(1973-), 女, 江苏东台人, 博士, 教授, 研究方向为资源经济与可持续发展。E-mail: shuyifeng@njau.edu.cn

量研究，大到国家层面^[5]，小到区域^[6]或省际层面及以下^[7-8]；也有学者细化到以某个具体产业为对象，如建筑业^[9]、化学工业^[10]和畜牧业^[11]等。经济增长对碳排放的影响分析主要采用指数分解法和结构分解法。相较于结构分解法，指数分解法较简单且易操作，便于进行时间序列和地区间的比较，故采用较多。如宋德勇等^[12]采用两阶段 LMDI 方法对我国能源消费碳排放的相关因素进行较完整的分解；赵涛等采用 LMDI-Attribution 分析法对天津市工业部门的碳排放强度影响因素进行了归因分析^[13]。在分解法之外，张友国^[14]、申笑颜^[15]分别采用投入产出结构分解法、灰色关联分析法分析了我国碳排放的影响因素；何小钢和张耀辉采用 STIRPAT 扩展模型对我国工业碳排放影响因素进行了实证检验^[16]。也有学者对江苏省碳排放影响因素进行了研究。如赵欣等^[17]、吴梅^[18]采用 LMDI 分解法对江苏省碳排放的驱动因素进行了分析；杜运伟等运用 STIRPAT 模型分析了人口规模、结构对江苏省碳排放的影响^[19]；刘晓燕等采用协整分析法分析了江苏省碳排放强度影响因素^[20]。

综上所述，当前对碳排放脱钩及影响因素的研究方法非常多样，但是从研究层面来看，多以国家层面、区域层面或整个工业行业为主，对产业结构细化度不够。虽然已有部分学者测算了不同产业的碳排放强度，但是并未进一步探讨影响碳排放强度的因素^[21-22]。本文将江苏省三大基础产业依据能源消耗种类细化整理为六种产业类型，在测算不同产业碳排放量的基础上，首先分析各个产业能源消耗碳排放与经济增长之间的脱钩关系，然后采用 LMDI 分解法深入分析不同产业碳排放的影响因素并进行对比分析。研究结论可以为江苏省针对具体产业制定差异化低碳发展政策提供借鉴，而且可以为江苏省探寻实现经济增长和节能减排双赢目标的路径提供有意义的参考。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

(1) 脱钩分析。

脱钩分析是目前研究经济增长和环境压力之间关系常用的一种分析方法。Tapio 弹性脱钩指数法较 OECD 脱钩指数法基期选择更灵活，结果更加稳定。因此本文将采用 Tapio 弹性脱钩指数法分析不同产业碳排放与经济增长之间的关系，模型设定如式 (1) 所示：

$$e_{i(e,GDP)} = \frac{\Delta C_i / C_i}{\Delta GDP_i / GDP_i} \tag{1}$$

式中： e_i 指 i 产业碳排放与 i 产业产值之间的脱钩指数， C_i 指 i 产业碳排放量（万吨）， GDP_i 指 i 产业总产值（亿元）， $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ，分别代表农林牧渔水利业（简称农业）；工业；建筑业；交通运输、仓储及邮电通信业（简称交通邮政业）；批发和零售贸易业、餐饮业（简称贸易餐饮业）生活消费和其他（简称生活消费）。根据 e 值的大小划分为 8 种脱钩状态^[23]，如表 1 所示。

表1 Tapio弹性脱钩状态表				
脱钩状态		脱钩弹性值范围	ΔC	ΔGDP
负脱钩	扩张负脱钩	$e > 1.2$	> 0	> 0
	弱负脱钩	$0 < e < 0.8$	< 0	< 0
	强负脱钩	$e < 0$	> 0	< 0
脱钩	衰退脱钩	$e > 1.2$	< 0	< 0
	弱脱钩	$0 < e < 0.8$	> 0	> 0
	强脱钩	$e < 0$	< 0	> 0
连接	增长连接	$0.8 < e < 1.2$	> 0	> 0
	衰退连接	$0.8 < e < 1.2$	< 0	< 0

(2) LMDI 指数分解法。

本文将 Kaya 恒等式进行扩展，采用 Ang 提出的 Divisia 分解法 (Logarithmic Mean Divisia Index Method, 以下简称 LMDI)^[24] 分析影响不同产业碳排放的因素。构建的分解模型如式 (2) 所示。

$$C_i = \sum_{j=1}^3 \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \cdot \frac{E_{ij}}{E_i} \cdot \frac{E_i}{GDP_i} \cdot GDP_i = \sum_{j=1}^3 (f_{ij} \times I_{ij} \times m_i \times k_i) \quad (2)$$

式中： C_{ij} 表示 i 产业 j 种能源消耗碳排放量 (万吨)， E_{ij} 表示 i 产业 j 种能源消耗量 (万吨标煤)， E_i 表示 i 产业能源消费总量 (万吨标煤)， $j=1, 2, 3$ ，分别表示煤炭、石油、天然气，其他同式 (1)。另外， $f_{ij}=C_{ij}/E_{ij}$ ，表示 i 产业 j 能源碳排放强度效应， $I_{ij}=E_{ij}/E_i$ 表示 i 产业能源结构效应 (%)， $m_i=E_i/GDP_i$ 表示 i 产业能源强度效应 (吨标煤/万元)， $k_i=GDP_i$ 表示 i 产业经济增长规模效应 (亿元)。

从基期年到报告期， i 产业碳排放差值称为总效应 $\Delta C_{i, tot}$ ，则式 (2) 采用加法模式可以表示为：

$$\Delta C_{i, tot} = C_i^t - C_i^0 = \Delta C_{i, f} + \Delta C_{i, I} + \Delta C_{i, m} + \Delta C_{i, k} \quad (3)$$

因此， i 产业碳排放的变化可以看作是碳排放强度效应 (f_{ij})、能源结构效应 (I_{ij})、能源强度效应 (m_i) 和产业规模效应 (k_i) 的综合影响。其中碳排放强度效应指的是碳排放因子，在技术水平稳定的情况下，单位能源投入碳排放也较稳定；能源结构效应反映了不同产业对三种一次能源消费的变化对碳排放的影响；能源强度效应反映了不同产业能源消费占产业产值的比率变化对碳排放的影响；产业规模效应指不同产业经济发展的规模和速度，反映了各方面的投入变化对碳排放的影响。

LMDI 分解法权重的确定采用 Ang 等^[25] 研究确定，各效应贡献值的表达式分别为：

碳排放强度效应：

$$\Delta C_{i, f} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{C_{ij}^t - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0} \cdot \ln \frac{f_{ij}^t}{f_{ij}^0} \right) \quad (4)$$

能源结构效应：

$$\Delta C_{i, I} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{C_{ij}^t - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0} \cdot \ln \frac{I_{ij}^t}{I_{ij}^0} \right) \quad (5)$$

能源强度效应：

$$\Delta C_{i, m} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{C_{ij}^t - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0} \cdot \ln \frac{m_i^t}{m_i^0} \right) \quad (6)$$

产业规模效应：

$$\Delta C_{i, k} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{C_{ij}^t - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0} \cdot \ln \frac{k_i^t}{k_i^0} \right) \quad (7)$$

2.2 数据来源与处理

文中不同产业碳排放量数据通过参考 IPCC (2006) 介绍的“方法 1”测算获得，具体测算公式及参数值的确定可参考文献^[26]。

不同产业终端能源消费量来自于历年《中国能源统计年鉴》中的江苏能源平衡表。不同能源类型（煤炭、石油、天然气）消费总量依据不同的折标准煤系数将实物量折算为标准量（标准煤）的形式，其中折标准煤系数参考《中国能源统计年鉴 2012》附录。不同产业的产值数据均来自历年《江苏省统计年鉴》，并以 2000 年为基期做了不变价处理以消除价格波动影响。

3 结果与分析

3.1 江苏省不同产业碳排放变化情况分析

由图 1 可以看出，2000-2013 年江苏省终端能源消费碳排放产业主要是工业，占碳排放总量比重维持在 80%左右，由 2550 万吨增加到 6158 万吨；其次是交通邮政业，碳排放由 192 万吨增加到 975 万吨，占碳排放总量增加到 12.4%；排在第三位的是生活消费，总体呈波动增加趋势，2013 年碳排放 466 万吨，占碳排放总量为 5.9%；剩余三种产业：农业、建筑业和贸易餐饮业碳排放总量较小，2013 年分别是 187 万吨、43 万吨、42 万吨，占总排放量的比重微弱，分别为 2.4%、0.5%、0.5%，且变化幅度不大。



3.2 江苏省不同产业碳排放脱钩分析

在获取相关数据测算碳排放量后，依据式（1）对江苏省 2000-2013 年不同产业能源消耗碳排放脱钩系数进行计算，结果如表 2 所示。

表2 2000-2013年江苏省不同产业碳排放及脱钩状态表				
产业	$\Delta C/C$	$\Delta GDP/GDP$	脱钩系数 e	脱钩状态
农业	0.62	1.22	0.51	弱脱钩
工业	1.41	0.19	7.32	扩张负脱钩
建筑业	4.70	0.72	6.52	扩张负脱钩
交通邮政业	4.06	-0.09	-45.07	强负脱钩
贸易餐饮业	-0.20	0.49	-0.41	强脱钩
生活消费	1.38	1.27	1.09	增长连接

由表 2 可以看出，2000-2013 年江苏省产业碳排放除贸易餐饮业减少外，其他五种产业均呈增长趋势。不同产业碳排放增长幅度差异较大，其中建筑业和交通邮政业碳排放增长最为迅速，增长量达到基期年（2000 年）的 4 倍以上；其次为工业和生活消费；农业增长幅度较小，仅为基期年的 62%。不同产业经济增长规模除交通邮政业略有减少（-9%）以外，其他五种产业产值都有不同程度的增加，其中农业、生活消费产值增加幅度较大，分别为基期年的 1.22 倍、1.27 倍；另外三种产业增长幅度较小。

2000-2013 年江苏省不同产业碳排放脱钩指数差异较大，数值分布范围较广，其中交通邮政业弹性值最大，绝对值达到 45.07；贸易餐饮业弹性最小，绝对值仅为 0.41。不同产业所处脱钩状态不尽相同，其中仅有生活消费处于增长连接状态，即碳排放随着经济增长以大致相同的比例上升；其他五种产业均处于不同的脱钩状态。依据理想程度划分，最优的为贸易餐饮业，处于强脱钩状态，即相对于经济的持续增长（49%），碳排放量反而下降（20%），环境压力弹性值为负；其次为农业，处于弱脱钩状态，即碳排放随着经济增长也增加，但是其增长幅度（62%）小于经济增长幅度（122%）；再次为工业、建筑业，均处于扩张负脱钩状态，即碳排放随着经济增长也增加，且增长幅度大于经济增长幅度；最不理想的为交通邮政业，虽然经济规模减少（9%），但是碳排放却增加了 4.06 倍。总体来看，江苏省不同产业的经济增长对碳排放的依赖程度较强。

为合理指导产业结构优化和实现产业低碳化发展，仅分析不同产业的碳排放与经济增长之间的关系是不够的。本文接下来采用 LMDI 分解法深入分析不同产业碳排放的影响因素，以期对不同产业低碳发展提供更具有针对性的指导建议。

3.3 江苏省不同产业碳排放影响因素分析

在不同产业碳排放核算基础上，依据式（2）- 式（7）将产业碳排放因素分解为碳排放强度效应、能源结构效应、能源强度效应和产业规模效应，结果如表 3 所示。

表3 2000-2013年江苏省不同产业累积碳排放影响因素分解表
单位：万吨

产业类型	ΔC_I	ΔC_E	ΔC_S	ΔC_A	ΔC_{tot}
农业	0.22 (0.00)	-4.53 (-0.06)	-58.47 (-0.82)	134.28 (1.88)	71.50 (1.00)
工业	401.36 (0.11)	-4.70 (0.00)	2672.92 (0.74)	538.22 (0.15)	3607.80 (1.00)
建筑业	-3.80 (-0.11)	-0.03 (0.00)	5.70 (0.16)	33.05 (0.95)	34.91 (1.00)
交通邮政业	-0.40 (0.00)	-14.22 (-0.02)	916.70 (1.17)	-120.45 (-0.15)	781.62 (1.00)
贸易餐饮业	1.14 (-0.10)	-7.62 (0.64)	-17.12 (1.45)	11.78 (-1.00)	-11.83 (1.00)
生活消费	10.61 (0.04)	-42.49 (-0.16)	32.40 (0.12)	269.32 (1.00)	269.84 (1.00)

注：(1) ΔC_I ：碳排放强度效应； ΔC_E ：能源结构效应； ΔC_S ：能源强度效应； ΔC_A ：产业规模效应； ΔC_{tot} ：总效应。(2)括号内数值为不同效应占总效应比重，无单位。

从表 3 可以看出，2000-2013 年江苏省大部分产业碳排放均实现不同程度的增长，能源强度效应和产业规模效应是促进碳排放变化的主要影响效应类型。能源强度效应是工业、交通邮政业和贸易餐饮业的主要影响效应类型，对总效应的贡献度分别为 0.74、1.17 和 1.45；而产业规模效应则是农业、建筑业和生活消费的主要影响效应类型，对总效应贡献度分别为 1.88、0.95 和 1.00。下面详细分析不同效应类型对不同产业的作用方向和程度，具体见图 2 所示。

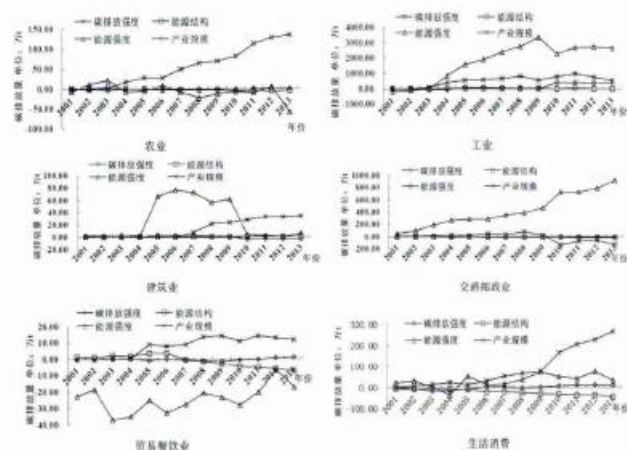


图2 2000-2013年江苏省不同产业累积碳排放影响因素分解图

从图2可以看出,农业累积增加碳排放71.50万吨。产业规模效应是农业碳排放的首要贡献效应类型,且作用程度远远大于其他抑制效应。江苏省农业产值由2000年的1031.17亿元增加到2013年的2290.21亿元,同时贡献了134.28万吨碳排放,占总效应的比重达到1.88。其次是能源强度效应。2013年江苏省农业能耗强度波动下降到0.13吨标煤/万元,累积减少了58.47万吨碳排放,占总效应比重为-0.82。第三是能源结构效应。江苏省农业能源消费结构不断优化,石油消费所占比重从2000年的76.88%增加到2013年的88.13%,抑制了碳排放,占总效应比重为-0.06。由于能源消费类型单一且石油消费占据主导,碳排放强度效应作用微弱。

工业累积增加碳排放3607.80万吨。影响工业碳排放排在第一位的是能源强度效应,增加碳排放2672.92万吨,占总效应比重0.74。2008年金融危机引起的投资盲目扩张导致能源强度在2009年达到2.06吨标煤/万元极大值,后由于节能减排政策的实施使能源强度波动减少到2013年的1.84吨标煤/万元,但总体还未起到抑制碳排放增加的作用,说明能源强度还需进一步降低。第二位是产业规模效应,累积增加碳排放538.22万吨,占总效应的0.15。该效应2003年曾为主要贡献因素(1.31),随后贡献度波动减少,原因是2004年开始江苏省工业经济出现“新常态”特征,即增速下降、工业投资增势下行等导致规模效应作用弱化。第三位是碳排放强度效应,累积贡献碳排放401.36万吨,占总效应的0.11。江苏省工业碳排放强度由0.66吨/万元增长到1.34吨/万元,增长的原因是工业能源消费类型中,含碳量较高的煤炭所占比重不断增加。唯一起到抑制作用的是能源结构效应,累积减少碳排放4.70万吨。这主要是因为低碳能源天然气消费比重的增加抑制了碳排放的增加,但由于天然气消费比重较小所以作用微弱。

建筑业累积增加碳排放34.91万吨。产业规模效应作用不断增强,至2010年取代能源强度效应成为碳排放增加的最主要促进因素,累积增加碳排放33.05万吨。江苏省是我国建筑业市场规模较大的省份,特别是2008年国家实施的“四万亿”投资计划使建筑业规模迅速增加,从而导致碳排放的增加。作用程度排在第二位的能源强度效应作用呈倒“U”型,2006年累积碳排放达到极大值(77.05万吨)后缓慢减少至2010年的4.71万吨后趋于平稳,累积增加碳排放5.70万吨,占总效应比重为0.16。能源强度效应阶段性变化明显,说明受政策作用影响较大^[27]。第三位碳排放强度效应由于能源消费类型单一故抑制作用不明显。此外,虽然2012年起江苏省建筑业开始消费部分天然气,但是比重较小,能源消费结构优化不明显,从而导致能源结构效应作用微弱。

交通邮政业累积增加碳排放781.62万吨。能源强度效应增加碳排放916.70万吨,为最主要贡献效应类型(1.17)。2000-2013年江苏省交通邮政业能源强度扩大5.69倍,并且未来仍有继续上涨的趋势。其主要原因可能与江苏省私人车辆拥有量迅猛增加1.89倍相关。排在第二位的产业规模效应由于产业产值减少9.01%而累积减少碳排放120.45万吨,占总效应比重为0.15。第三位能源结构效应累积减少碳排放14.22万吨,这与江苏省交通邮政业煤炭消费比重不断下降、天然气消费比重不断增加是有关的。碳排放强度效应累积减少碳排放0.40万吨,作用微弱。

贸易餐饮业是江苏省唯一实现强脱钩的产业类型。2000-2013 年累积减少碳排放 11.83 万吨。能源强度效应是首要贡献因素，且作用方向一直为负，累积减少碳排放 17.12 万吨，这主要是由于江苏省贸易餐饮业能源消费减少了 40.85%。第二位的产业规模效应累积增加碳排放 11.78 万吨。江苏省贸易餐饮业 2013 年实现产值 1280.46 亿元，增长 49.31%，促进了碳排放的增加。在大力发展第三产业的背景下，该效应对碳排放的促进作用还将继续。第三位的能源结构效应累积减少碳排放 7.62 万吨，占总效应比重为 0.64，其主要原因是低碳能源天然气消费迅速增加，2013 年占能源消费比重达到 34.4%。碳强度效应累积增加碳排放 1.14 万吨，但作用微弱（-0.10）。

生活消费处于增长连接状态，即碳排放和产业经济增长幅度一致，分别为 138% 和 127.03%。对碳排放增加贡献排在第一位的是产业规模效应，累积增加碳排放 269.32 万吨，占总效应比重为 1.00。随着国民经济和人民收入水平的提高，该效应对碳排放的促进作用还将继续。第二位是能源结构效应，累积减少碳排放 42.49 万吨，贡献度为-0.16，这主要是由于高碳能源煤炭消费比重不断下降、低碳能源石油和天然气消费比重不断上升所致。第三位的能源强度效应累积增加碳排放 32.40 万吨，2000-2013 年该效应呈波动变化但变化幅度不大，除 2004 年外均为正值，促进了碳排放的增加。碳排放强度效应贡献最小，累积增加碳排放 10.61 万吨，贡献微弱（0.04）值，促进了碳排放的增加。碳排放强度效应贡献最小，累积增加碳排放 10.61 万吨，贡献微弱（0.04）。

4 结论与建议

4.1 结论

本文利用江苏省 2000-2013 年的终端能源消费及经济数据，在测算不同产业碳排放变化的基础上，采用 Tapio 弹性脱钩指数分析了不同产业碳排放脱钩状态，应用 LMDI 分解法从产业规模效应、能源强度效应、能源结构效应和碳排放强度效应四个方面分解了不同产业的碳排放变化，结论如下。

（1）2000-2013 年江苏省不同产业碳排放量差距较大。工业始终处于主导地位，占碳排放总量比重维持在 80%左右；随后是交通邮政业、生活消费，均呈波动增加趋势；剩余的农业、贸易餐饮业和建筑业碳排放总量较小，且变化幅度不大。

（2）2000-2013 年江苏省不同产业碳排放所处脱钩状态不同。依据产业低碳化发展理想程度划分依次为：贸易餐饮业（强脱钩）、农业（弱脱钩）、生活消费（增长连接）、工业及建筑业（扩张负脱钩）、交通邮政业（强负脱钩）。

（3）不同效应类型对不同产业的作用程度和方向存在差异。碳排放强度效应由于各产业能源消费品种单一，故累积贡献作用微弱。能源结构效应对不同产业碳排放均起到抑制作用，但作用程度不等，其中对贸易餐饮业碳排放减少贡献最为显著，对工业、建筑业贡献微弱。能源强度效应是工业、交通邮政业和贸易餐饮业碳排放的主要贡献效应类型，对其他产业作用也较强；该效应对农业和贸易餐饮业的碳排放起抑制作用，而对其他四种产业的碳排放具有促进作用。产业规模效应是农业、建筑业和生活消费的主要贡献效应类型；除交通邮政业外，其对产业碳排放均具有促进作用。

4.2 建议

未来一段时期，江苏省不同产业经济仍将保持平稳增长。结合以上研究结论，为实现产业低碳化发展，实现节能减排目标，建议如下。

（1）结合不同产业的碳排放总量和所处的脱钩状态，工业、交通邮政业碳排放总量较大，且脱钩状态较严峻，是未来减排工作的重点产业类型。相关部门应该根据不同产业所处的脱钩状态，有针对性的制定切实可行的减排目标，并出台差异化的产业发展政策。

(2) 产业规模和能源强度是不同产业最主要的两种影响因素, 能源结构其次。产业规模增大定会带来碳排放的不断增加, 因此减少能源强度成为实现产业低碳化发展最为关键的措施。今后应通过加大节能技术的研发以及高效节能设备的推广和应用来提高能源利用效率, 从而降低能源强度。另外辅以能源消费结构的优化, 如加大清洁能源(天然气、水电、太阳能、风能等)的利用, 也可有效的抑制产业规模效应对碳排放的促进作用。

参考文献:

- [1] Zhao X F, Li H M, Wu L, et al. Implementation of energy-saving policies in China: How local governments assisted industrial enterprises in achieving energy-saving targets [J]. *Energy Policy*, 2014, 66(10): 170-184.
- [2] OECD. Environmental indicators-development, measurement and use [R]. Paris: OECD, 2003.
- [3] Tapio P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. *Journal of Transport Policy*, 2005, 12(2): 137-151.
- [4] Marin G, Mazzanti M. Emissions trends, labour productivity dynamics and time-related events-sector heterogeneous analyses of decoupling/recoupling on a 1990-2005 Namea [EB/OL]. (2009-06-24).
https://www.researchgate.net/publication/46446035_Emissions_Trends_Labour_Productivity_Dynamics_and_Time-Related_Events_-_Sector_Heterogeneous_Analyses_of_DecouplingRecoupling_on_a_1990-2006_NAMEA.
- [5] 杜祥琬, 杨波, 刘晓龙, 等. 中国经济发展与能源消费及碳排放解耦分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015 (12): 1-7.
- [6] 齐绍洲, 林岫, 王班班. 中部六省经济增长方式对区域碳排放的影响——基于 Tapio 脱钩模型、面板数据的滞后期工具变量法的研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015 (5): 59-66.
- [7] 穆明娟. 江苏省经济增长与能源消耗脱钩研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2011.
- [8] 盖美, 曹桂艳, 田成诗, 等. 辽宁沿海经济带能源消费碳排放与区域经济增长脱钩分析[J]. *资源科学*, 2014 (6): 1267-1277.
- [9] 冯博, 王雪青. 中国各省建筑业碳排放脱钩及影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015 (4): 28-34.
- [10] 梁日忠, 张林浩. 1990-2008 年中国化学工业碳排放脱钩和反弹效应研究[J]. *资源科学*, 2013 (2): 268-274.
- [11] 陈瑶, 尚杰. 中国畜牧业脱钩分析及影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014 (3): 101-107.
- [12] 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 (3): 18-24.
- [13] 赵涛, 田莉, 许宪硕. 天津市工业部门碳排放强度研究: 基于 LMDI-Attribution 分析方法[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015 (7): 40-47.

-
- [14] 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.
- [15] 申笑颜. 中国碳排放影响因素的分析与预测[J]. 统计与决策, 2010 (19): 90-92.
- [16] 何小钢, 张耀辉. 中国工业碳排放影响因素与 CKC 重组效应——基于 STIRPAT 模型的分行业动态面板数据实证研究[J]. 中国工业经济, 2012 (1): 26-35.
- [17] 赵欣, 龙如银. 江苏省碳排放现状及因素分解实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010 (7): 25-30.
- [18] 吴梅. 江苏省碳排放驱动因素的动态特征研究——基于预测和 LMDI 模型[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2015.
- [19] 杜运伟, 黄涛珍. 江苏省人口规模、结构对碳排放的影响分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013 (4): 399-404.
- [20] 刘晓燕, 董锋. 基于协整检验的江苏省碳排放强度影响因素分析[J]. 华东经济管理, 2012 (9): 16-19.
- [21] 曹俊文. 江西省产业部门碳排放特征及减排途径——基于 1992-2007 年投入产出分析[J]. 经济地理, 2011 (12): 2111-2115.
- [22] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析[J]. 地理学报, 2010 (9): 1048-1057.
- [23] 钟太洋, 黄贤金, 韩立, 等. 资源环境领域脱钩分析研究进展[J]. 自然资源学报, 2010 (8): 1400-1412.
- [24] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition [J]. Energy, 1998 (6): 489-495.
- [25] Ang B W, Choi K H. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method [J]. Energy Journal, 1997, 18(3): 59-73.
- [26] 卢娜, 冯淑怡, 曲福田. 经济发展对我国土地利用碳排放的影响[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2013 (2): 108-115.
- [27] 祁神军, 张云波. 中国建筑业碳排放的影响因素分解及减排策略研究[J]. 软科学, 2013 (6): 39-43.