

# 长江经济带低碳技术创新对能源碳排放的影响研究

史安娜 唐琴娜

**【摘要】**：长江经济带在我国经济社会发展中具有极其重要的战略地位，建成生态优美的绿色经济示范带是新时期的重要任务，而低碳技术创新是推动绿色高质量发展的关键核心。通过构建低碳技术创新指数，综合运用碳排放分解方法，利用面板数据模型，研究低碳技术创新对碳排放的影响及能源消耗对低碳技术的响应。研究表明：长江经济带的低碳技术创新能够抑制碳排放的增加，碳排放与经济的增长相对脱钩；能源结构对低碳技术创新呈现负效应，加大新能源技术的应用，将大大抑制碳排放；能源强度是长江经济带工业经济碳排放增长的主要抑制因素，低碳技术创新对能源强度效应的影响逐渐提升。

**【关键词】**：低碳技术创新 长江经济带 碳排放分解

## 一、引言

低碳经济是以低能耗、低排放、低污染为基础的经济模式。低碳经济的核心是低碳技术创新，低碳技术进步是各界关注的焦点。长江经济带横跨我国东中西三大区域，覆盖 11 个省市，约占 1/5 国土面积，人口和生产总值均超过全国的 40%，是我国人口最密集、产业规模最大、经济水平最发达、城市体系最完整的地区，承担着促进中国崛起、实现中华民族伟大复兴的历史重任，发挥着保障全国总体生态功能格局安全稳定的全局性作用。长期以来，传统高能耗的经济发展方式和高速的经济增长使长江经济带面临巨大的生态环境问题，推进绿色发展低碳模式，用创新引领长江经济带发展动力转换，是长江经济带高质量发展的必然选择。2014 年，国务院出台《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》，明确提出将长江经济带建设为经济高效、生态良好的生态文明建设的先行示范带，实现经济向绿色循环低碳发展。因此，本文将分析长江经济带低碳技术水平，以及工业能源消费碳排放现状与特征，从碳排放的结构视角，研究低碳技术创新对碳排放的影响。

关于低碳技术创新，国内外研究主要集中在以下两方面：（一）低碳技术创新的应用。Olson<sup>[1]</sup>是开开发减少温室气体排放的绿色产品，并对丰田的 Prius 混合动力汽车进行案例分析；秦书生（2012）<sup>[2]</sup>分析了我国发展低碳技术过程中遇到的困境；王文军（2011）<sup>[3]</sup>对我国低碳技术进行了分类，总结了低碳技术发展中存在的问题。（二）低碳技术仓断的评价，主要分为单一指标评价和综合指标评价。鄢哲明，杨志明（2017）<sup>[4]</sup>通过筛选低碳技术发明专利数据来度量低碳技术创新水平；王为东，卢娜（2018）<sup>[5]</sup>侧以低碳技术专利申请数作为低碳技术仓断的度量指标，分析中国的低碳技术创新对气候变化的响应；张玉明（2012）<sup>[6]</sup>从要素、功能和运作机制三个方面构建了低碳技术创新的投入、支撑、配置、产出四个层面的评价指标。

关于碳排放的影响因素研究，国内外学者已有许多研究成果，主要分为以下两个视角：（一）能源消耗角度，通过对能源消耗进行分解，分离各种分解因素对总指标变化的贡献量，找出影响总指标的主要因素，其中迪氏分解法被众多国内夕卜学者广泛采用。ClaudiaSheiba<sup>[7]</sup>研究了 1970–2006 年间墨西哥钢铁工业部门的能耗和碳排放情况；朱勤（2009）<sup>[8]</sup>研究我国 1980 年一 2007 年间第一、二、三种能源排放情况；郭朝先（2010）<sup>[9]</sup>从产业层面和地区层面分析碳转嗽的影响因素。（二）从社会经济角度，运用计量分析法研究社会经济因素对碳排放的影响。Fan（2006）<sup>[10]</sup>分析了技术对不同收入水平国家碳排放的影响；Shi（2003）<sup>[11]</sup>采用 STIRPAT 模型分析了多个国家人口对二氧化碳排放的影响；王立猛（2006）<sup>[12]</sup>利用 STIRPAT 模型，分析了中国大陆 30 个省份能源消费量的影响因素。

目前，国内外关于技术创新对碳排放影响的研究主要包括两类：（一）经济增长与碳排放的关系，Nordhaus（1991）<sup>[13]</sup>将气候变化因素纳入新古典增长模型，开创了分析气候变化的动态综合模型；Jaffe（2002）<sup>[14]</sup>认为技术进步既可通过规模效应增加碳排放，也可通过技术效应减少碳排放；Gerlagh（2007）<sup>[15]</sup>认为技术创新能够缓解强限制性减排的负担；申萌（2012）<sup>[16]</sup>运用省级面板数据分析技术进步对全国及东、中、西部地区的碳排放影响。（二）碳排放对技术创新的响应，Ang（2009）<sup>[17]</sup>等认为，技术仓断能够抑制碳排放；朱勤（2010）<sup>[18]</sup>等则认为技术进步对碳排放的作用不明显。

综合上述研究，鲜有学者研究能源消耗对低碳技术的响应以及对碳排放的影响。为此本文综合运用碳排放的能源

**作者简介**：史安娜，河海大学商学院教授 210098

唐琴娜，河海大学商学院硕士研究生 211100

**基金项目**：国家社科院“长江经济带创新空间分异及创新驱动模式”（15AGL011）阶段性成果。

消耗分解法和社会经济分解法，在测度长江经济带低碳技术水平基础上，对长江经济带的碳排放进行分解，分析长江经济带低碳技术创新对碳排放的影响，提出长江经济带绿色高质量发展相关对策建议。

二、研究方法与数据来源

1. 低碳技术创新指数计算

(1) 低碳技术创新指标构建

低碳技术是指降低人类活动排放的温室气体的技术，包括控制、减少温室气体和除去、吸收温室气体的各类技术。一般可将低碳技术分为三种类型，减碳技术、零碳技术和去碳技术。低碳技术涉及农业、林业、工业、能源各个领域，但在工业领域的应用最为广泛。本文借鉴前人的研究成果，从低碳技术创新投入、产出和支撑三方面，构建低碳技术创新评价指标体系，计算创新指数，综合度量低碳技术创新水平，具体指标见表 1。

表 1 低碳技术创新水平评价指标

| 目标层      | 一级指标       | 二级指标            | 单位      |
|----------|------------|-----------------|---------|
| 低碳技术创新水平 | 低碳技术创新投入指标 | 低碳行业 R&D 经费支出   | 万元      |
|          |            | 低碳行业 R&D 人员全时当量 | 人年      |
|          |            | 低碳行业新产品开发经费支出   | 万元      |
|          |            | 低碳行业 R&D 经费投入强度 | %       |
|          |            | 低碳行业新产品开发项目数    | 项       |
|          | 低碳技术创新产出指标 | 低碳专利申请数         | 个       |
|          |            | 低碳发明专利申请数       | 个       |
|          |            | 单位 GDP 能耗       | 千克标准煤/元 |
|          |            | 低碳行业新产品销售收入     | 万元      |
|          |            | 技术成交额           | 万元      |
|          | 低碳技术创新支撑指标 | 环境政策数量          | 个       |
|          |            | 科技经费财政补贴        | 万元      |
|          |            | 每万人研究开发机构数      | 个/万人    |
|          |            | 每万人高等学校数        | 所/万人    |
|          |            | 每万人公共图书馆        | 座/万人    |

(2) 低碳技术创新指数

低碳技术创新指数的计算采用基尼系数赋权法。具体计算过程为:①采取隶属度标准化方法对低碳技术创新指标进行标准化处理;②低碳技术创新指标的基尼系数计算，即：

$$G_k = \sum_{a=1}^n \sum_{b=1}^n |Z_{bk} - Z_{ak}| / 2n^2 \mu_k \tag{1}$$

其中， $G_k$  为第  $k$  个指标的基尼系数值， $Z_{bk}$  为第  $b$  个评价对象第  $k$  个指标的数据， $Z_{ak}$  为第  $a$  个评价对象第  $k$  个指标的数据， $n$  为指标的数据个数， $\mu_k$  为第  $k$  个指标所有数据的期望值;③对各指标的基尼系数值进行归一化得到第  $k$  个指标的基尼系数权重④低碳技术创新指数为：

$$T_a = \sum_{k=1}^e Z_{ak} G_k \tag{2}$$

其中， $T_a$  为第  $a$  个评价对象的低碳技术创新指数， $e$  为指标个数。

2. 碳排放能源消耗分解为研究低碳技术创新对碳排放的具体作用途径，本文利用对数平均迪氏指数法(LMDI)将碳排放增量效应分解为碳排放系数效应、能源结构效应、能源强度效应和经济规模效应，并在此基础上计算出各分解效应的碳排放量。具体分解模型如下：

$$C_a = \sum_{j=1}^m C_{aj} = \sum_{j=1}^m E_{aj} \times K_j = \sum_{j=1}^m \frac{C_{aj}}{E_{aj}} \times \frac{E_{aj}}{E_a} \times \frac{E_a}{Q_a} \times Q_a \tag{3}$$

其中， $j$  表示第  $j$  种能源; $m$  表示能源种类总数; $t$  表示第  $t$  年; $i$  表示各省份; $C_{it}$  表示  $i$  省份碳排放量; $G_{ijt}$  表示  $i$  省份第  $j$  种能源在第  $t$  年的碳排放量; $E_{ijt}$  表示  $i$  省份第  $j$  种能源第  $t$  年的消费量; $K_j$  为第  $j$  种能源碳排放系数; $E_{it}$  表示  $i$  省份所有能源在第  $t$  年的消费量; $Q_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年的工业总产值。

令  $\beta_{it} = \frac{C_{it}}{E_{it}}$ ,  $\gamma_{it} = \frac{E_{it}}{E_u}$ ,  $\delta_{it} = \frac{E_{it}}{Q_{it}}$ ,  $\theta_{it} = Q_{it}$  将其分别代入(3)式得:

$$C_{it} = \sum_{j=1}^n \beta_{it} \times \gamma_{it} \times \delta_{it} \times \theta_{it} \quad (4)$$

令基期 t 碳排放量为  $C_t$ , t+1 期碳排放量为  $C_{t+1}$ , 则差分可分为:

$$\Delta C = C_{t+1} - C_t = \Delta C_{\beta} + \Delta C_{\gamma} + \Delta C_{\delta} + \Delta C_{\theta} \quad (5)$$

利用加法分解法得到各分解因子的 LMDI 效应公式为:

$$\Delta C_{\beta it} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{it}^{j+1} - C_{it}^j}{\ln C_{it}^{j+1} - \ln C_{it}^j} \times \ln \frac{\beta_{it}^{j+1}}{\beta_{it}^j} \quad (6)$$

$$\Delta C_{\gamma it} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{it}^{j+1} - C_{it}^j}{\ln C_{it}^{j+1} - \ln C_{it}^j} \times \ln \frac{\gamma_{it}^{j+1}}{\gamma_{it}^j} \quad (7)$$

$$\Delta C_{\delta it} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{it}^{j+1} - C_{it}^j}{\ln C_{it}^{j+1} - \ln C_{it}^j} \times \ln \frac{\delta_{it}^{j+1}}{\delta_{it}^j} \quad (8)$$

$$\Delta C_{\theta it} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{it}^{j+1} - C_{it}^j}{\ln C_{it}^{j+1} - \ln C_{it}^j} \times \ln \frac{\theta_{it}^{j+1}}{\theta_{it}^j} \quad (9)$$

$\Delta C_{\beta it}$  表示碳排放系数效应, 根据 IPCC 的假定, 一般假定某种能源的碳排放系数在一定时期内是不变的, 因此  $\Delta C_{\beta it} = 0$ , 则  $\Delta C_{it} = \Delta C_{\gamma it} + \Delta C_{\delta it} + \Delta C_{\theta it}$ 。以 i 省 1997 年碳排放量  $C_{i1997}$  为基期碳排放量, 加入能源结构效应、能源强度效应和经济规模效应后的碳排放量为:

$$C_{\gamma it} = C_{i1997} + \Delta C_{\gamma it} \quad (10)$$

$$C_{\delta it} = C_{i1997} + \Delta C_{\delta it} \quad (11)$$

$$C_{\theta it} = C_{i1997} + \Delta C_{\theta it} \quad (12)$$

### 3. 碳排放社会经济因素分解

借鉴 STIRPAT 模型的关系式  $I = \alpha P^{\alpha_1} A^{\alpha_2} T^{\alpha_3} f$ , 用碳排放量来衡量所产生的环境影响, 用低碳技术创新来代替技术水平, 用人均 GDP 表示富裕程度, 用总人口来表示人口因素, 则碳排放的社会经济因素表达为:

$$C = \alpha P^{\alpha_1} A^{\alpha_2} T^{\alpha_3} f \quad (13)$$

将(13)式两边取对数后, 可以得到:

$$\ln C_{it} = \alpha + \alpha_1 \ln P_{it} + \alpha_2 \ln A_{it} + \alpha_3 \ln T_{it} + \mu_{it} \quad (14)$$

其中,  $\alpha$  是模型系数,  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$  是需要估计的指数, 分别为人口生态弹性、财富生态弹性和低碳技术生态弹性;  $f$  是误差项;  $i$  代表省份,  $t$  代表年份;  $G_{it}$  代表  $i$  省份碳排放量  $T_{it}$  代表  $i$  省份低碳技术创新指数,  $P_{it}$  为  $i$  省份人口数,  $A_{it}$  为  $i$  省份人均 GDP,  $\mu_{it}$  随机误差项。

### 4. 数据来源与处理

本文以长江经济带 11 省市为研究对象, 选取 1997—2016 年相关指标数据。根据长江经济带能源消耗特征, 选取煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力等 9 种主要消耗能源品种, 能源消费量和各种能源的折标准煤转换系数来自于《中国能源统计年鉴》。能源的碳排放系数来源于联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 的《国家温室气体排放清单指南》。有关低碳技术创新投入产出指标的相关数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》, 其中低碳专利的相关数据来源于专利检索及分析数据库 CPC (合作专利分类法) 中的 Y02 分类, 包括: Y02B—与建筑有关的气候变化缓解技术; Y02C—对温室气体进行捕捉、存储、封存或处置的技术; Y02E—与能源发电、输电和配电相关的, 减少温室气体排放的技术; Y02T—与运输有关的气候缓解技术。低碳技术仓嘶支撑指标中的环境政策和科技财政补贴类数据来源于《中国环境统计年鉴》。

为使变量指标具有可比性, 采用归一化方法消除量纲。为了消除价格波动影响, 以 1997 年为基期, 对经济变量做了不变价处理。由于篇幅有限, 各种能源消费量的原始数据以及低碳技术创新指标的原始数据不在文中列示。模型参数估计采用面板数据, 运用 Hausman 检验, 根据 F 值和 P 值的检验结果, 确定采用随机效应模型。

## 三、长江经济带低碳技术创新指数与碳排放分解测算

1. 低碳技术创新指数测算

根据式(1)–(2)计算长江经济带 11 省市 1997—2016 年的低碳技术创新指数(见表 2),并据此作出长江经济带中、下游地区的低碳技术创新指数趋势图(见图 1)。结果显示:长江经济带各省份的低碳技术创新水平平均呈现出波动上升的趋势,长江经济带下游地区的低碳技术创新指数最高,上游地区最小;从低碳技术发展速度看,整个长江经济带的低碳技术创新指数增速在 2008 年左右明显加快,说明全球经济深化加快推进了以绿色和低碳技术为标志的新能源技术革命;从各省的发展速度来看,上海的低碳技术创新指数增速趋于稳定,安徽、江西等中游省份的低碳技术创新指数增速趋缓,而江苏、浙江、贵州、云南、重庆等省市的低碳技术仓嘶指数增速不断加大,说明长江经济带大多数省市的低碳技术发展还处于上升期,减排潜力还有较大提升空间。

表 2 长江经济带 11 省市低碳技术创新指数测算结果

| 年   | 上   | 江   | 浙   | 安   | 江   | 湖   | 湖   | 重   | 四   | 贵   | 云   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 199 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 199 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 199 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| 200 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| 200 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 200 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 200 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 200 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.1 |
| 200 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 200 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 200 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 200 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| 200 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| 201 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.2 |
| 201 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 |
| 201 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.4 |
| 201 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.4 |
| 201 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.4 |
| 201 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| 201 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 |

2. 碳排放能耗分解测算

(1)碳排放量变化趋势分析

根据式(3)计算长江经济带 11 省市能源消耗产生的碳排放量,五年累计结果见表 3。1997—2016 年长江经济带 11 省市的碳排放总量处于上升状态,碳排放总量已经达到 172 亿 t,但碳排放增长速度下降明显。分地区来看,下游地区碳排放量所占比例最高,占整个长江经济带的 40%左右,江苏和浙江的碳排放二十年年均增长率明显高于其它省市,但近五年江苏、浙江碳排放增长率分别为 2.66%和 0.28%,碳排放增长速度下降显著;中游地区碳排放量占 32%左右,安徽和江西的碳排放年均增长率高于长江经济带的平均水平,近五年碳排放增长率分别为 3.64%和 3.49%,碳排放增速趋缓;上游地区碳排放量占 28%左右,重庆、贵州和云南的碳排放年均增长率高于平均水平。

图 1 长江经济带 11 省市低碳技术创新指数趋势图

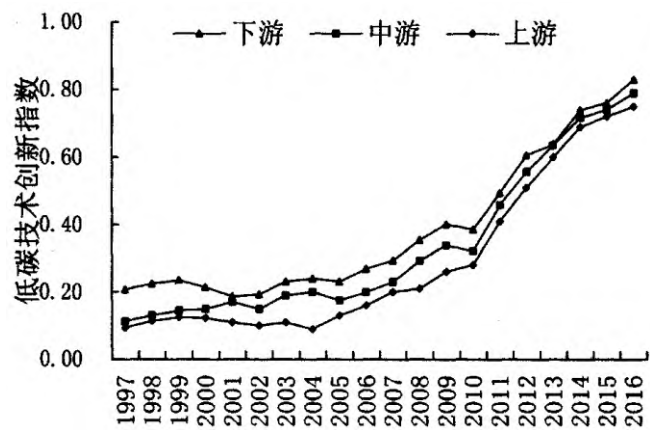


表 3 长江经济带碳排放量（单位：万 t）

| 地     | 省  | 1997-20    | 2002-20    | 2007-20    | 2012-20    | 累计排放        | 年均增长率 | 占比  |
|-------|----|------------|------------|------------|------------|-------------|-------|-----|
| 上游    | 重庆 | 10899.780  | 13810.334  | 23264.027  | 26746.494  | 74720.635   | 6.05  | 28  |
|       | 四川 | 21495.989  | 32999.339  | 51684.620  | 60137.786  | 166317.734  | 3.40  |     |
|       | 贵州 | 16829.153  | 24293.338  | 35488.569  | 45398.795  | 122009.855  | 6.06  |     |
|       | 云南 | 12274.694  | 23078.909  | 35932.780  | 38273.070  | 109559.454  | 6.00  |     |
| 中游    | 安徽 | 21132.010  | 28667.284  | 45287.766  | 60757.967  | 155845.027  | 6.06  | 32  |
|       | 江西 | 10351.494  | 16052.977  | 25215.415  | 33894.820  | 85514.706   | 6.62  |     |
|       | 湖北 | 25281.116  | 34218.403  | 52787.382  | 59536.628  | 171823.528  | 4.77  |     |
|       | 湖南 | 17044.749  | 27134.121  | 45668.452  | 50987.942  | 140835.264  | 5.17  |     |
| 下游    | 上海 | 25168.540  | 33425.735  | 40867.742  | 43924.976  | 143386.994  | 3.45  | 40  |
|       | 江苏 | 36840.948  | 62713.158  | 105042.939 | 137102.811 | 341699.856  | 7.56  |     |
|       | 浙江 | 23557.343  | 42917.723  | 68561.116  | 76949.823  | 211986.005  | 7.25  |     |
| 长江经济带 |    | 220875.816 | 339311.322 | 529800.808 | 633711.112 | 1723699.057 | 5.59  | 100 |

(2) 碳排放能耗分解效应分析

根据能源消费量计算 1997—2016 年长江经济带能源结构和能源强度（见图 2）。从图 2 中可看出，长江经济带的清洁能源消费占能源消费总量的比重增大趋势明显，表明近年来，长江经济带的能源结构不断优化；长江经济带能源强度逐渐降低，说明该地区的能源利用效率不断提高，经济发展对传统能源的依赖性不断减弱。

根据长江经济带 1997—2016 年的碳排放增量，计算得到能源结构效应、能源强度效应和经济规模效应的数据（见表 4）。从作用方向看，经济规模对碳排放表现为正效应，而能源强度和能源结构则表现为负效应，表明长江经济带能源结构优化和能源利用效率的提高有利于降低碳排放。从贡献率来看，长江经济带的碳排放增量主要来源于经济规模 and 能源强度，与之相比，能源结构的贡献率还较小。1997—2016 年经济规模对碳排放增量的累积贡献率为 260.30%，是导致长江经济带碳排放增加的主要根源，说明长江经济带的生产发展方式转变迫在眉睫；能源强度对碳排放增量的累积贡献率为 -155.98%，是长江经济带碳排放减少的主要作用，说明长江经济带能源利用效率提升带来的减排效果显著；能源结构对碳排放增量的累积贡献率为 -4.32%，远小于能源强度效应对碳排放增量的累积贡献率，说明长江经济带能源结构优化带来的减排效果较小，清洁能源的推广还有待加强，这将是长江经济带推动绿色发展，实现低碳经济目标的重要突破口。

长江经济带 1997—2016 年工业总产值与碳排放量的变化趋势（见图 3）。从图 3 看出，长江经济带的工业总产值增长速度从 2003 年开始超过碳排放的增长速度，“相对脱钩”效应明显，2008 年以后，长江经济带的碳排放增长趋势减缓，工业总产值增长速度继续加快，呈现出更强的脱钩状态，说明通过低碳技术创新，一方面可以调整能源结构，推广新能源使用；另一方面不断提高了能源利用效率，长江经济带绿色发展取得一定成效。

图 1 长江经济带 11 省市低碳技术创新指数趋势图

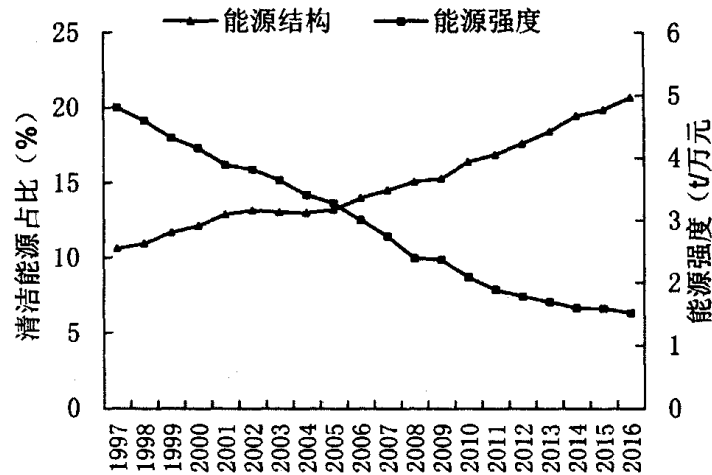
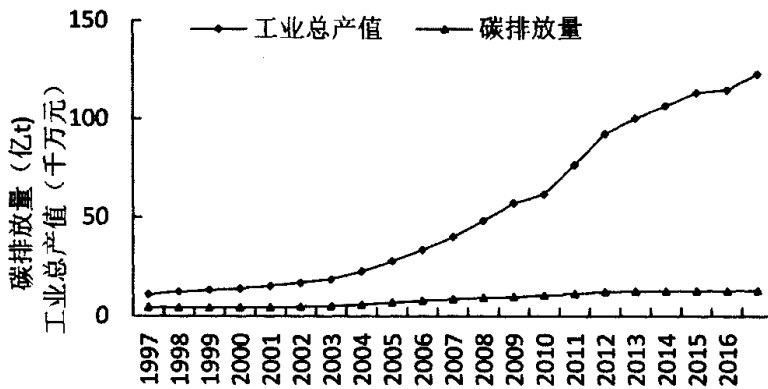


表 4 长江经济带碳排放能源消耗分解（单位：万 t）

| 年份   | 碳排放量 (C)  | 碳排放增量 ( $\Delta C$ ) | 能源结构效应 ( $\Delta C_s$ ) | 能源强度效应 ( $\Delta C_e$ ) | 经济规模效应 ( $\Delta C_o$ ) |
|------|-----------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1997 | 44684.040 | —                    | —                       | —                       | —                       |
| 1998 | 42580.052 | -2103.988            | -123.150                | -7255.934               | 5275.096                |

|     |           |           |          |            |           |
|-----|-----------|-----------|----------|------------|-----------|
| 199 | 43229.768 | 649.716   | -31.170  | -2472.688  | 3153.574  |
| 199 | 42592.455 | -637.313  | -277.042 | -2776.196  | 2415.924  |
| 200 | 44666.691 | 2074.236  | -198.920 | -1829.879  | 4103.034  |
| 200 | 45864.291 | 1197.600  | 26.815   | -2406.156  | 3576.942  |
| 200 | 50099.428 | 4235.137  | -27.277  | -888.429   | 5150.843  |
| 200 | 57623.136 | 7523.708  | 2.167    | -349.179   | 7870.721  |
| 200 | 66687.152 | 9064.016  | 57.470   | -2557.344  | 11563.891 |
| 200 | 77229.523 | 10542.371 | 32.276   | -1361.565  | 11871.660 |
| 200 | 84808.296 | 7578.772  | 44.278   | -4723.636  | 12258.131 |
| 200 | 93252.095 | 8443.800  | 30.755   | -8100.747  | 16513.792 |
| 200 | 96260.983 | 3008.887  | -146.249 | -13044.214 | 16199.350 |
| 200 | 102539.74 | 6278.761  | -99.470  | -3728.291  | 10106.522 |
| 201 | 111521.99 | 8982.248  | -341.969 | -10745.788 | 20070.005 |
| 201 | 122409.01 | 10887.021 | 69.327   | -10722.137 | 21539.830 |
| 201 | 124508.22 | 2099.215  | -279.557 | -10605.158 | 12983.930 |
| 201 | 128525.33 | 4017.112  | -696.604 | -8258.377  | 12972.093 |
| 201 | 127499.12 | -1026.211 | -565.234 | -11198.382 | 10737.404 |
| 201 | 129981.11 | 2481.989  | -691.758 | -9171.253  | 12345.000 |
| 201 | 131869.05 | 1887.935  | -268.592 | -10569.980 | 12726.507 |

图3 长江经济带1997—2016年碳排放量与工业总产值变化



#### 四、长江经济带碳排放对低碳技术创新的响应分析

##### 1. 长江经济带碳排放对低碳技术创新的总体响应分析

长江经济带碳排放影响的分解结果见表5。借鉴阳卫峰<sup>[1]</sup>判断碳排放水平的研究结论,财富生态弹性介于0.65~1.1之间的地区碳排放量较高。表5显示,碳排放总量的人口生态弹性为0.528,财富生态弹性为0.652,反映出长江经济带的碳排放处于较高水平,提高人们低碳意识、推动经济绿色发展刻不容缓。从总效应来看,长江经济带碳排放总量的低碳技术生态弹性为-0.180,表明长江经济带低碳技术创新对碳排放存在抑制作用,显现出较强的减排能力。

表5 长江经济带碳排放综合分解

| 变量             | 碳排放量(C)          | 能源结构效应(C <sub>r</sub> ) | 能源强度效应(C <sub>s</sub> ) | 经济规模效应(C <sub>e</sub> ) |
|----------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 低碳技术创新(r)      | -0.180**(0.087)  | -0.118*(0.086)          | -0.076(0.079)           | -0.203**(0.089)         |
| 富裕程度(4)        | 0.652*** (0.084) | 0.611*** (0.078)        | 0.557*** (0.073)        | 0.689*** (0.085)        |
| 人口(P)          | 0.528** (0.226)  | 0.586** (0.267)         | 0.602** (0.281)         | 0.526** (0.215)         |
| _cons          | -2.221 (2.069)   | -2.301 (2.380)          | -1.931 (2.419)          | -2.538 (2.042)          |
| P 值            | 0.000            | 0.000                   | 0.000                   | 0.000                   |
| R <sup>2</sup> | 0.920            | 0.930                   | 0.931                   | 0.917                   |
| N              | 220              | 220                     | 220                     | 220                     |

注:\*,\*\*和\*\*\*分别为在10%、5%和1%水平条件下显著,括号内数据为稳健标准误差值。

从能源消耗分解效应来看,能源结构效应的低碳技术生态弹性为-0.118,说明长江经济带的低碳技术创新有利于改善能源结构,从而抑制能源结构引起的碳排放;能源强度效应的低碳技术生态弹性为-0.076,表明目前的低碳技术创新在提高能源利用效率方面有待加强。经济规模效应的低碳技术生态弹性为-0.203,远大于其它两个分解效应的

弹性系数，说明低碳技术创新对经济发展方式转变的影响最大，即经济规模效应是低碳技术创新抑制碳排放的主要作用途径。

从社会经济分解效应看，能源结构效应的人口生态弹性为 0.586，财富生态弹性为 0.611，这说明人们对清洁能源的消费意识有待增强，经济发展中清洁能源所占比重还有待提高；能源强度效应的人口生态弹性为 0.602，财富生态弹性为 0.557，能源强度受人口的影响大于富裕程度，表明能源的使用效率还不高，必须加强节能产品、新能源产品的推广；经济规模效应的人口生态弹性最小，财富生态弹性最大，说明经济发展对能源的消耗最大，必须大力推广低碳技术在生产中的应用，加快发展新能源产业，实现产能升级。

2. 长江经济带碳排放对低碳技术创新的区域响应分析

为进一步分析长江经济带各区域低碳技术仓嘶的作用机制，对长江经济带分别按上游、中游、下游进行碳排放分解(见表 6)。

表 6 长江经济带区域碳排放综合分解

| 变量             | 上游                 |                     |                    |                                | 中游                  |                     |                      |                                | 下游                             |                     |                                 |                     |
|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
|                | C                  | C <sub>γ</sub>      | C <sub>δ</sub>     | C <sub>θ</sub>                 | C                   | C <sub>γ</sub>      | C <sub>δ</sub>       | C <sub>θ</sub>                 | C                              | C <sub>γ</sub>      | C <sub>δ</sub>                  | C <sub>θ</sub>      |
| 低碳技术创新(T)      | -0.221<br>(0.190)  | -0.234*<br>(0.095)  | -0.140<br>(0.179)  | -0.293*<br>(0.108)             | -0.33f<br>(0.143)   | -0.231 “<br>(0.103) | -0.152…<br>(0.098)   | -0.37,<br>(0.111)              | -0.336…<br>(0.094)             | -0.149*<br>(0.097)  | -0.147*<br>(0.092)              | -0.316**<br>(0.099) |
| 富裕程度(A)        | 0.626**<br>(0.138) | 0.644. ”<br>(0.090) | 0.553**<br>(0.121) | 0.70 广 <sup>+</sup><br>(0.105) | 0.792***<br>(0.115) | 0.516***<br>(0.142) | 0.598…<br>(0.082)    | 0.723***<br>(0.153)            | 0.819***<br>(0.080)            | 0.689…<br>(0.083)   | 0.674***<br>(0.079)             | 0.817***<br>(0.084) |
| 人口(P)          | 0.724<br>(0.813)   | 1.128<br>(0.885)    | 1.193<br>(0.513)   | 0.770<br>(1.103)               | 0.802…<br>(0.462)   | 1.116…<br>(0.465)   | 1.121 • “<br>(0.131) | 0.82 广 <sup>+</sup><br>(0.444) | 0.883…<br>(0.043)              | 0.810” *<br>(0.044) | 0.818…<br>(0.042)               | 0.865***<br>(0.045) |
| _cons          | -3.609<br>(3.984)  | -7.227<br>(7.726)   | -6.897<br>(4.826)  | -4.695<br>(9.599)              | -6.932…<br>(2.667)  | -8020***<br>(1.062) | -7.220**<br>(1.007)  | -8.523**<br>(1.144)            | -7.177 <sup>u</sup><br>(1.230) | -5.049”<br>(1.269)  | -5.02 广 <sup>+</sup><br>(1.207) | -6.925**<br>(1.289) |
| P 值            | 0005               | 0.000               | 0.003              | 0.001                          | 0.000               | 0.000               | 0.000                | 0.00                           | 0.000                          | 0.000               | 0.000                           | 0.000               |
| R <sup>2</sup> | 0.894              | 0.917               | 0.918              | 0.897                          | 0.936               | 0.937               | 0.944                | 0.921                          | 0.930                          | 0.932               | 0.935                           | 0.927               |
| N              | 80                 | 80                  | 80                 | 80                             | 80                  | 80                  | 80                   | 80                             | 60                             | 60                  | 60                              | 60                  |

注：\*、\*\*和\*\*\*分别为在 10%、5%和 1%水平条件下显著，括号内数据为稳健标准误差值。

从总效应看，上游地区碳排放对低碳技术创新的响应很小，低碳技术减排效果不明显；碳排放量的财富生态弹性为 0.626(<0.65)，碳排放水平虽达到高位，但经济增长会刺激碳排放增加，在发展经济的同时要注重保护生态环境。中游地区碳排放的低碳技术生态弹性为-0.331，表明该地区碳排放对低碳技术创新存在负向响应，即低碳技术创新抑制了该地区的碳排放；中游地区碳排放量的人口生态弹性为 0.802，财富生态弹性为 0.792，反映出长江经济带中游地区的碳排放水平较高，人口因素和经济发展均对碳排放存在较大的正向影响，必须将低碳发展理念渗透到生活和生产中。下游地区碳排放的低碳技术生态弹性为-0.336，该地区碳排放对低碳技术创新的负向响应最强，说明下游地区低碳技术创新对碳排放的抑制效果最显著；下游地区碳排放量的人口生态弹性为 0.883，财富生态弹性为 0.819，这说明在下游地区推进低碳消费、转变经济增长方式显得尤为重要。

从分解效应看，上游地区能源结构效应的低碳技术生态弹性为-0.234，能源结构效应对低碳技术创新的响应最大。中游地区能源结构效应的低碳技术生态弹性为-0.231，该地区低碳技术创新有效抑制了能源结构引起的碳排放。下游地区能源结构效应的低碳技术生态弹性为-0.149，能源结构效应对低碳技术创新的负向响应最小；下游地区能源强度效应的低碳技术生态弹性为-0.147，表明下游地区的低碳技术更利于提高能源利用效率，从而抑制由于能源强度效应引致的碳排放。

五、结论及建议

本文以长江经济带 11 省市为研究对象，通过构建低碳技术创新指数，综合运用碳排改的能源消耗分解法和社会经济因素分解法，分析低碳技术创新对碳排放的影响，以及能源消耗对低碳技术的响应。研究表明：长江经济带的碳排放水平仍处于较高水平，1998—2007 年随着长江经济带的石化、钢铁、建材、电力等产业不断发展，能源耗费大量增加，致使碳排放量不断增加，碳排放的增长与工业总产值的增长呈高度相关；但 2007 年以后，碳排放的增长速度明显低于经济的增长速度，两者呈现出明显脱钩效应。能源结构对低碳技术呈现负效应，加大新能源技术的应用，将大大抑制碳排放；能源强度是长江经济带工业经济碳排放增长的主要抑制因素，但目前能源强度效应对低碳技术创新的响应不大，说明加大对能源效率方面的低碳技术创新与投入，将会显著提高减招巢果；低碳技术创新能有效抑制经济规模增长的碳排放，因此应加快生产方式的转变，发展新型绿色业态。

综合以上分析，本文认为长江经济带绿色发展必须要大力推进低碳技术创新，才能提高能效，降低能耗，减少碳排放，实现经济发展模式向“低碳”方向的转变。（一伽大新能源技术和清洁能源技术的开发利用，发展低碳能

源和可再生能源。不断优化调整长江经济带工业经济能源结构,减少煤炭、石油等碳排放量较大的能源的使用,进一步加大对清洁能源利用的投入,通过加快技术创新,大幅度提高新能源利用成本,提高传统能源的利用效率,提高低碳技术的减排边际效应。(二)推进长江经济带产业结构优化升级,推进低碳技术进步。针对长江经济带石化、钢铁、建材等重工业耗能高、碳排放量大的工业经济特点,加大先进节能技术的投入,使新技术、新工艺、新方法及时有效地运用到生产中,减少单位碳排放量,降低能耗水平;充分利用高新技术和先进环保技术改造提升传统产业,实现传统产业优化升级和产品更新换代,降低高耗能和高碳行业比重,形成产业结构优化升级与经济增长的良性循环。(三)转变消费观念,推广低碳社会消费模式。加大对公众进行节能、低碳消费的宣传、教育和引导,提高公众的低碳意识,提倡简约、适度、绿色低碳的生活方式,不断改变社会文化习惯和居民消费方式,让低碳生活深入人心;提高公众参与的自觉性和主动性,以实际行动减少二氧化碳排放,推进低碳经济发展,创造良好的社会环境。

## 参考文献

- [1] Olson E L., “Perspective: The Green Innovation Value Chain: A Tool for Evaluating the Diffusion Prospects of Green Products”, *Journal of Product Innovation Management*, 2013, 30(4), pp. 782-793.
- [2] 秦书生、周彦霞:《我国发展低碳技术的困境与对策》,〔兰州〕《科学·经济·社会》2012年第3期。
- [3] 王文军、赵黛青、陈勇:《我国低碳技术的现状,问题与发展模式研究》,〔北京〕《中国软科学》2011年第12期。
- [4] 鄢哲明、杨志明、杜克锐:《低碳技术创新的测算及其对碳强度影响研究》,〔北京〕《财贸经济》2017年第8期。
- [5] 王为东、卢娜、张财经:《空间溢出效应视角下低碳技术创新对气候变化的响应》,〔北京〕《中国人口·资源与环境》2018年第8期。
- [6] 张玉明、段升森:《区域低碳技术仓禀能力评价模型研究》,〔西安〕《统计与信息论坛》2012年第9期。
- [7] Claudia Sheinbaum, Leticia Ozawa, et al., “Using Logarithmic Mean Divisia Index to Analyze Changes in Energy Use and Carbon Dioxide Emissions in Mexico’s Iron and Steel Industry”, *Energy Economics*, 2010, (32), pp. 1337-1344.
- [8] 朱勤、彭希哲、陆志明:《中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析》,〔北京〕《资源科学》2009年第12期。
- [9] 郭朝先:《中国碳排放因素分解:基于LMDI分解技术》,〔济南〕《中国人口·资源与环境》2010年第12期。
- [10] Fan Ying, Lan-Cui Liu, Gang Wu, et al., “Analyzing Impact Factors of CO<sub>2</sub> Emissions Using the STIRPAT Model”, *Environmental Impact Assessment Review*, 2006, (26), pp. 377-395.
- [11] Shi A., “The Impact of Population Pressure on Global Carbon Dioxide Emissions, 1975—1996: Evidence from Pooled Cross Country Data”, *Ecological Economics*, 2003, 44(1), pp. 24-42.
- [12] 王立猛、何康林:《基于STIRPAT模型分析中国环境压力的时间差异:以1952-2003年能源消费为例》,〔北京〕《自然资源学报》2006年第6期。
- [13] Nordhaus W. D., “To Slow or Not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect”, *Economic Journal*, 1991, 101 (407), pp. 920-937.
- [14] Jaffe A. B., Newell R. G., Stavins R. N., “Environmental Policy and Technological Change”, *Environmental and Resource Economics*, 2002, 22(2), pp. 41 -47.
- [15] Gerlagh R., “Measuring The Value of Induced Technological Change”, *Energy Policy*, 2007, 35(11), pp. 5287-5297.
- [16] 坤萌、李凯杰、曲如晓:《技术进步、经济增长与二氧化碳再瞰:理论与经验研究》,〔北京〕《世界经济》2012年第7期。
- [17] Ang B” Emission, “Research and Technology Transfer in China’ *Ecological Economics*, 2009, 68( 10),

pp. 2658-2665.

[18] 朱勤、彭希哲、陆志明:《人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证》, (济南)《中国人口·资源与环境》2010年第2期。

[19] 阳卫锋、易伟义、余博:《碳排放与其影响因素之间关系的变化》, (北京)《低碳经济》2016年第3期。