

长江经济带交通能源碳排放脱钩 效应及驱动因素研究

胡怀敏^{1,2} 左薇¹ 徐士元³¹

(1. 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 湖北 武汉 430074;

2. 湖北省区域创新能力监测与分析软科学研究基地, 湖北 武汉 430074;

3. 浙江海洋大学 经济管理学院, 浙江 舟山 316022)

【摘要】: 为推进长江经济带交通运输业的绿色转型, 实现交通运输业发展与碳减排的协调共进, 将 Tapio 脱钩模型和 LMDI 因素分解法相结合, 分析了长江经济带 2004~2018 年交通运输业经济发展与交通能源碳排放之间的脱钩情况以及脱钩的驱动因素。结果表明: (1) 2004~2018 年, 长江经济带交通碳排放总量与人均碳排放量均呈上升趋势, 石油类能源消费碳排放占交通碳排放总量的比例高达 95.51%; (2) 长江经济带交通碳排放脱钩以“弱脱钩”为主, 部分年份出现“连接增长”和“扩张负脱钩”, 脱钩状态稳定性不高, 长江经济带交通业经济发展整体上仍未摆脱对交通能源碳排放的依赖; (3) 交通行业规模、经济增长和人口规模对长江经济带交通能源碳排放脱钩起抑制作用, 交通能源强度与能源结构对交通碳排放脱钩起促进作用, 其中经济增长效应是阻碍交通能源碳排放脱钩的主要因素, 能源强度效应是促进交通能源碳排放脱钩的主要因素。基于此, 提出推进经济结构调整、优化交通能源消耗结构、推动科技创新以及加强交通需求管理等相关建议。

【关键词】: 交通能源碳排放 Tapio 脱钩模型 LMDI 分析 长江经济带

【中图分类号】: X321 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)04-0862-16

交通运输业是支撑国民经济和社会发展的重要行业, 也是能源消耗最多和碳排放增速最快的行业之一, 已成为全球的第二大碳排放源^[1,2]。长江经济带发展战略作为中国新一轮的区域开放开发战略, 将进一步推动长江经济带的整体开发, 实现长江流域的共同发展。然而, 随着经济水平的提升与城市化进程的推进, 在不断释放大量交通运输需求, 促进交通运输业快速发展的同时, 势必导致能源消耗持续上升, 加剧能源碳排放, 制约区域生态环境效益和经济高质量发展。作为生态文明建设的先行示范带, 推动长江经济带的可持续高质量发展, 缓和区域经济增长与环境保护之间的矛盾, 实现长江经济带交通运输业与碳排放的协调发展, 已成为不容忽视的紧迫性问题。因此, 分析长江经济带交通运输业经济发展与能源碳排放之间的脱钩情况, 探讨影响交通能源碳排放脱钩的驱动因素及其对脱钩指数的贡献值, 对推进长江经济带交通运输业绿色发展转型, 实现低碳交通具有重要意义。

作者简介: 胡怀敏(1974~), 女, 副教授, 主要研究方向为区域经济与绿色发展. E-mail: huaimin_hu@cug.edu.cn; 徐士元, E-mail: 710734555@qq.com

基金项目: 国家社会科学基金项目(17BJL083)

的现实意义。

1 文献综述

发展低碳经济一直是近些年学术界关注的热点话题，其中低碳交通不仅是低碳经济的重要组成部分，也是经济可持续发展的必然要求。周银香指出交通行业在为国民经济发展作出巨大贡献的同时，又产生了大量的能源消耗与碳排放，使得促进经济持续稳定增长与发展低碳交通两项任务的协调共进面临着严峻挑战，成为当前社会急需应对的难题^[3]。

目前已有文献中，关于交通能源碳排放与经济增长之间关系的实证研究，大多聚焦于对经济增长与交通能源碳排放间的耦合协调、互动机理和环境库兹涅茨曲线(EKC)形态^[4]等总体关系的探讨，但随着经济的快速发展以及对环境问题的日益重视，学术界也开始关注交通碳排放与经济发展之间的脱钩状态。脱钩理论最先由经济合作与发展组织提出，脱钩表示经济发展与环境压力之间是否同步变化的关联度。Tapio^[5]将弹性法引入脱钩理论，研究欧洲交通行业经济增长与碳排放之间的脱钩状况，在该研究中首次将脱钩指标按照数值大小细分为弱脱钩、扩张负脱钩、扩张连接等 8 种类型。Dinda 等^[6]用脱钩模型验证了北美地区经济增长与交通碳排放之间具有因果关系，并且两者之间存在脱钩。还有国外学者运用脱钩理论分别探究了奥地利、苏格兰以及欧盟 14 国等交通运输业碳排放和经济增长的关系，结果表明大多欧洲国家为实现两者之间的脱钩做出了很大努力，但并不足够实现完全脱钩^[7,8,9]。谢守红等^[10]运用脱钩模型和 EKC 研究中国交通碳排放量与交通运输业经济增长的关系，发现交通碳排放与行业经济增长之间呈增长连接状态，且脱钩指数有增大趋势，EKC 曲线呈倒“U”型。高标等^[11]对吉林省交通行业碳排放的 EKC 进行分析，发现大体呈倒“U”型，在 2011 年达到转折点，交通碳排放随经济增长而减小。杨良杰等^[12]探究江苏省交通碳排放与行业经济增长之间的脱钩关系，结果表明脱钩状态呈现出由强脱钩向弱脱钩转变的趋势。蔡婉华等^[13]通过面板协整检验和 PVAR 模型研究发现，交通运输、经济增长与碳排放两两之间呈现出长期的倒 U 型互动效应。赵小曼等^[14]在引入空间效应的基础上，实证检验了中国交通行业的 EKC，发现交通碳排放与行业经济增长间长期存在倒“N”型，但在可预期时间内碳排放总量仍呈增加趋势。周银香^[15]运用 Tapio 脱钩模型研究中国交通碳排放与行业经济增长的脱钩关系，发现两者的脱钩状况并不理想，长期看两者存在稳定的耦合关系。可见，在目前不同地区的交通行业经济增长与交通碳排放的总体关系尤其是脱钩状态，还存在着较大的差异。

厘清交通碳排放的影响因素有利于为碳减排政策的制定提供依据，促进交通碳排放与行业经济发展的脱钩。从方法论角度看，学者对交通能源碳排放影响因素的研究，大多是对 IPAT 模型进行扩展，提出 STIRPAT 模型^[16,17,18]，又或者对 Kaya 恒等式进行扩展，构造对数平均权重分解法(LMDI)模型进行分析^[19,20,21,22]。交通运输业能源碳排放的影响因素主要包括人均 GDP、人口规模、城市化率、能源强度和能源结构等方面，但基于研究区域的不同，交通能源碳排放受到各类效应的影响程度和作用方向，可能会有所差别。Timilsina 等^[23]对部分亚洲国家交通碳排放驱动因素进行研究，发现人均 GDP、人口和能源强度是交通碳排放增加的主要因素，而财政政策、节能环保政策以及燃油的经济性能起到抑制碳排放的作用。Lu 等^[24]研究德日韩和台湾地区交通碳排放增长的驱动因素发现机动车保有量、燃料强度、碳排放效率、人口密度以及经济发展是引起碳排放增加的因素。Freitas 等^[25]研究巴西交通碳排放与经济增长之间的脱钩情况，发现能源结构和碳排放强度是影响碳排放脱钩的主要因素。Talbi^[26]研究表明交通能源强度、城市化进程、经济增长以及燃料消耗对突尼斯交通碳排放增加起到正向作用。吴继贵等^[27]运用 VAR 模型研究中国交通运输、经济增长和碳排放三者间的动态关系，发现经济增长和交通运输对碳排放的影响存在“拐点效应”，且该影响在短期内将明显带来碳排放量的增加，从长期看影响将逐渐减弱。张国兴等^[28]研究发现，人均 GDP 和人口规模会引起黄河流域交通碳排放的增加，而交通运输强度、单位周转量能耗和交通能源强度对交通运输业的碳排放增长有抑制作用。孙岩等^[29]基于城市发展视角，研究发现城市化进程对北京市交通碳排放的正向驱动作用最显著，经济规模效应对碳排放的贡献值最大，能源技术进步对交通碳排放增长起阻碍作用。李想等^[30]研究表明，经济产出效应对三江源地区交通碳排放的贡献最显著，而能源结构效应是影响三江源地区交通碳排放变化的主要因素。吴开亚等^[19]研究表明，人均 GDP 和人口规模对上海市交通碳排放起促进作用，能源强度和能源结构对交通碳排放起抑制作用。李健等^[20]对京津冀区域的交通碳排放量影响因素进行研究，发现人均 GDP 对该区域交通碳排放的驱动作用最大，能源强度的抑制效应最明显。周银香^[31]研究发现，交通行业发展规模效应是驱动交通碳排放复钩的最大因子，其影响效应远大于技术进步带来推动的交通业节能及减排效应。

上述现有研究成果对本研究具有重大的借鉴意义。在交通碳排放影响因素的研究方法上，现在更多学者倾向于运用因素分解法，其中指数分解中的 LMDI 因素分解法能将各影响因素精确分解，既能解决残差和零值的问题，还满足“完美分解方法”的其他条件^[32]，在学界中获得广泛认可。同时，脱钩理论的引入为分析经济增长与碳排放之间的不同步变化提供了新的研究视角，但当前对交通能源碳排放的脱钩研究多集中于国家、省域以及部分发达地区，针对横贯中国东、中、西部三大区域的长江经济带的研究仍较为缺乏。另外，现有研究较多仅采用 LMDI 法对交通能源碳排放驱动因素进行分解，缺少将其与脱钩模型相结合，对各驱动因素的脱钩指数贡献值进行测算与分析。为此，本文在以往学者研究基础上，利用 2004~2018 年的地区能源平衡表，测算长江经济带煤炭、燃油、汽油、煤油、柴油、天然气和电力等 7 种交通能源消费的碳排放量，基于 Tapio 脱钩理论分析长江经济带交通运输业经济发展与碳排放之间的脱钩情况，并将 LMDI 因素分解法与 Tapio 脱钩模型相结合，构建脱钩因素分解模型，量化各影响因素对交通碳排放总量以及碳排放脱钩指数的贡献值，最后提出相关政策建议，以期为调控长江经济带交通能源碳排放提供参考。

2 研究方法数据来源

2.1 交通能源碳排放的核算

交通能源碳排放的测算包括宏观和微观两种方法^[33]，即“自上而下”的计算方法：某区域范围内交通能源消费量乘以各类能源的碳排放系数得到碳排放总量；“自下而上”的计算方法：用不同交通方式行驶里程乘以单位行驶能源消耗量得到的能源消费总量，再乘以各类能源的碳排放系数从而得到碳排放总量。本文采用“自上而下”的方法测算长江经济带交通能源碳排放量：

$$C = \sum E_i \times F_i \times K_i \tag{1}$$

式中：C 表示交通能源消费的碳排放总量； E_i 表示第 i 类能源的消费量(实物量)； F_i 表示第 i 类能源折算标准煤系数； K_i 为第 i 类能源碳排放系数； $i=1, 2, \dots, 7$ 。其中，各种能源折算标准煤系数参考《中国能源统计年鉴》，见表 1。各种能源碳排放系数借鉴吴开亚等^[14]的研究结论，见表 2。

表 1 各种能源折标准煤系数

能源	F_i (吨标准煤/t)	能源	F_i (吨标准煤/t)
原煤	0.7143	柴油	1.4571
燃油	1.4286	天然气	1.3300
汽油	1.4714	电力	0.1229
煤油	1.4714		

表 2 各类能源的碳排放系数

能源	K_i (t 碳/吨标准煤)	能源	K_i (t 碳/吨标准煤)
原煤	0.7329	柴油	0.5574

燃油	0.5574	天然气	0.4226
汽油	0.5574	电力	2.2132
煤油	0.5574		

2.2 碳排放与经济增长脱钩模型

由经济合作与发展组织(OECD)提出的脱钩理论,是用来反映经济增长与环境之间联系的破裂,即资源消耗或环境污染不随经济增长而增加^[34]。本文借鉴 Tapio 脱钩模型^[5]研究经济发展与碳排放之间的关系,脱钩弹性的表达式如下:

$$t(C, G) = \frac{\% \Delta C}{\% \Delta G} = \frac{\Delta C / C}{\Delta G / G} = \frac{(C_{\text{末}} - C_{\text{基}}) / C_{\text{基}}}{(G_{\text{末}} - G_{\text{基}}) / G_{\text{基}}} \quad (2)$$

式中: $t(C, G)$ 表示 GDP 与碳排放的脱钩弹性指数; $\% \Delta C$ 表示碳排放的变化率; $\% \Delta G$ 表示 GDP 的变化率; $C_{\text{末}}$ 和 $G_{\text{末}}$ 分别表示末期的碳排放量和 GDP; $C_{\text{基}}$ 和 $G_{\text{基}}$ 分别表示基期的碳排放量和 GDP。Tapio 模型依据脱钩弹性指数值,将脱钩程度划分为脱钩、连接和负脱钩 3 种类型,进一步又细分为 8 种脱钩状态。

由表 3 可知,脱钩状态是碳排放污染开始好转的状态,负脱钩状态是碳排放污染逐渐严重的状态,而连接状态是碳排放和经济增长同时增加或者减少的状态。本文结合交通运输业发展情况,可将强脱钩考虑为交通运输业经济增长时期,交通能源碳排放减少,是交通行业低碳转型发展最理想的状态;强负脱钩则表示交通运输业经济下降的同时,交通能源碳排放增加,是交通行业低碳转型发展的最差状态。弱脱钩表现为交通能源碳排放增加的速度小于交通行业经济增长的速度,衰退脱钩是交通能源碳减排的速度大于交通行业经济衰退速度的状态;弱负脱钩体现为交通能源碳减排的速度小于交通行业经济衰退速度,扩张负脱钩则体现为交通能源碳排放增加速度快于交通行业经济增长速度。连接状态则考虑为交通运输业能源碳排放量和经济增长同时增加或者减少。

2.3 碳排放脱钩因素分解模型

Kaya 恒等式是由日本学者 Yoichi Kaya^[35]为分析影响二氧化碳排放量的因素而提出,表达式为:

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{G} \times \frac{G}{P} \times P \quad (3)$$

式中: C 表示碳排放量; E 表示能源消耗总量; G 表示国内生产总值; P 表示人口总数。从而得到 C/E 、 E/G 和 G/P 分别为能源碳排放强度、能源强度和人均 GDP。

本文根据交通运输行业碳排放的特征,在借鉴前人研究成果的基础上^[19, 21, 22, 29, 30],对 Kaya 恒等式进行扩展,将影响交通碳排放的因素分解为能源碳排放强度、能源结构、能源强度、交通行业规模、经济增长和人口规模 6 个因素,构建如下关系式:

$$C = \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times \frac{G}{P} \times P; \\ i = 1, 2 \dots 7 \quad (4)$$

式中：C_i、E_i 分别表示交通行业中第 i 类能源的碳排放量和第 i 类能源消耗量；E、G_i、G 和 P 分别表示交通行业能源消耗总量、交通行业总产值、地区生产总值、人口数量。

将上式进一步表示成：

$$C = \sum_{i=1}^6 F_i \times S_i \times I \times U \times A \times P; \\ i = 1, 2 \dots 7 \quad (5)$$

表 4 交通碳排放影响因素变量

变量	指标与说明	符号
能源碳排放强度	各类能源的碳排放系数	F
能源结构	各类能源消耗在交通能源总消耗中占比	S
能源强度	交通运输行业单位 GDP 能耗	I
行业规模	交通运输业产值占地区 GDP 的比重	U
经济增长	人均 GDP	A
人口规模	地区年末常住人口	P

采用 B. W. Ang^[36]提出的 LMDI 分解法中的加法模型，得到 t 时期相对于基期而言，交通碳排放量变化的表达式：

$$\Delta C = C^t - C^0 = \sum_{i=1}^6 F_i^t \times S_i^t \times I^t \times U^t \times A^t \times P^t - \sum_{i=1}^6 F_i^0 \times S_i^0 \times I^0 \times U^0 \times A^0 \times P^0 \\ P^0 = \Delta C_F + \Delta C_S + \Delta C_I + \Delta C_U + \Delta C_A + \Delta C_P \quad (6)$$

对式(6)进行对数、加减以及分解等处理，进而得到交通运输业能源碳排放各分解因素的贡献值，其表达式分别如下：

$$\begin{aligned}
\Delta C_F &= \sum_{i=1}^6 \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{F_i^t}{F_i^0}; \\
\Delta C_S &= \sum_{i=1}^6 \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{S_i^t}{S_i^0}; \\
\Delta C_I &= \sum_{i=1}^6 \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{I^t}{I^0}; \\
\Delta C_U &= \sum_{i=1}^6 \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{U^t}{U^0}; \\
\Delta C_A &= \sum_{i=1}^6 \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{A^t}{A^0};
\end{aligned}$$

$$\Delta C_P = \sum_{i=1}^6 \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{P^t}{P^0} \quad (7)$$

(6)、(7)式中： ΔC 表示交通能源碳排放变化量； C^t 和 C^0 表示 t 期和基期的碳排放量； ΔC_F 、 ΔC_S 、 ΔC_I 、 ΔC_U 、 ΔC_A 和 ΔC_P 分别表示交通能源碳排放强度因素、交通能源结构因素、交通能源强度因素、交通行业规模因素引起的碳排放变化量、经济增长因素引起的碳排放变化量以及人口规模因素引起的碳排放变化量。若各因素效应的贡献值大于0时，说明该因素会造成交通能源碳排放量的增加；反之，说明该因素会抑制交通能源碳排放。由于各类能源碳排放系数在研究中取固定值，所以 Fit 和 $Fi0$ 均相同，则 $\Delta C_P=0$ 。

为进一步了解各驱动因素对交通能源碳排放与行业经济发展之间脱钩弹性指数的贡献值，将式(6)带入式(2)中，得到扩展的交通能源消费碳排放与行业经济增长的脱钩模型，推导式如下：

$$\begin{aligned}
\varepsilon(C, G) &= \frac{\frac{\Delta C}{C^0}}{\frac{\Delta G}{G^0}} = \Delta C \frac{G^0}{C^0 \Delta G} = \frac{\Delta C_S}{\frac{\Delta G}{G^0}} + \\
&\quad \frac{\Delta C_I}{\frac{\Delta G}{G^0}} + \frac{\Delta C_U}{\frac{\Delta G}{G^0}} + \frac{\Delta C_A}{\frac{\Delta G}{G^0}} + \frac{\Delta C_P}{\frac{\Delta G}{G^0}} \\
&= t_S + t_I + t_U + t_A + t_P \quad (8)
\end{aligned}$$

式中： t_S 表示能源结构效应对脱钩弹性指数的贡献值； t_I 表示能源强度效应对脱钩弹性指数的贡献值； t_U 表示行业规模效应对脱钩弹性指数的贡献值； t_A 表示经济增长效应对脱钩弹性指数的贡献值； t_P 表示人口规模效应对脱钩弹性指数的贡献值。若各效应的贡献值大于0时，说明该因素对脱钩起阻碍作用；反之，说明该因素对脱钩起到促进作用，推动脱钩状态向脱钩方向发展。

2.4 数据来源

本文主要研究长江经济带交通能源碳排放与经济增长的脱钩关系, 研究时间范围为 2004~2018 年, 交通能源消费量、交通 GDP 和交通能源碳排放量均为长江经济带 11 个省市之和。交通能源消费包括交通运输、仓储及邮政业等能源消费, 本文长江经济带的交通能源消耗数据取自 2004~2018 年《中国能源统计年鉴》, 经济数据来源于 2004~2018 年《中国统计年鉴》。另外, 为剔除价格波动对 GDP 的影响, 本文依据相应年份的生产指数, 对实际 GDP 与交通行业生产总值以 2004 年为基期进行调整。

3 实证分析

3.1 长江经济带交通碳排放变化情况

由式(1) 计算得出 2004~2018 年长江经济带交通能源碳排放变化相关结果。

由表 5 可以看出, 2004~2018 年长江经济带交通能源碳排放总量和人均交通碳排放量均显著呈逐年增长趋势。如图 1 所示, 交通能源碳排放总量从 2004 年的 3093.96 万 t 碳增加到 2018 年的 8427.06 万 t 碳, 15 年时间增长了 2.72 倍, 年均增长率为 7.4%。其中, 2004~2014 年, 长江经济带交通能源碳排放增速明显呈现波动放缓的趋势, 在 2014 年到达研究期间内的增速最低点, 但从 2015 年开始, 长江经济带的交通能源碳排放增长率又出现较大幅度的回升。分析研究期内长江经济带交通能源碳排放的变化情况, 主要可能有以下几个方面的原因: 首先, 随着经济水平的不断提高和城市化进程的深入推进, 交通运输的刚性需求持续增加, 中国交通运输业将保持快速发展, 同时交通运输作为长江经济带的重要职能以及长久发展的关键保障, 其举足轻重的地位将会为行业带来巨大的能源消耗需求, 进而不可避免的引发长江经济带交通运输业碳排放总量的不断增长。其次, 政府部门对节能减排的重视程度越来越大, 先后颁布了一系列节能环保相关的政策文件, 例如在“十一五”“十二五”等时期的发展规划中明确规定了降低单位能耗、减少污染物排放总量等约束性目标, 以及出台的《交通行业实施节能法细则》《能源中长期发展规划纲要》等政策法规, 都有利于推动交通运输业能源结构的优化调整, 可再生能源与清洁能源的推广以及能源生产、运输与消费的合理配置, 在一定程度上起到缓和长江经济带交通能源碳排放增速的效果。另外, 长江通道在我国国土空间开发以及区域发展总体格局中的地位不言而喻, 2014 年开始, 《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》将长江经济带发展正式上升为国家战略, 这项重大战略决策为长江经济带的区域经济发展迎来了良好的历史性机遇, 但也会给长江经济带的交通节能减排工作造成了一定压力, 从而为控制长江经济带交通能源碳排放的增速与总量带来了挑战。

表 5 2004~2018 年长江经济带交通能源碳排放情况(万 t)

年份	交通碳排放总量	人均碳排放(kg)	原煤	石油能源消费				天然气	电力
				燃油	汽油	煤油	柴油		
2004	3093.96	54.86	123.81	413.63	1055.03	255.64	1210.18	0.1	35.57
2005	3664	65.28	149.88	506.93	1172.32	331.03	1463.86	0.11	39.87
2006	4099.82	72.79	139.18	554.38	1231.37	435.29	1698.51	1.22	39.87
2007	4442.51	78.53	150.24	662.68	1296.52	474.99	1809.73	1.48	46.87
2008	4950.26	87.07	183.34	658.41	1398.49	528.9	2122.77	2.86	55.49
2009	5134.86	89.87	185.96	658.58	1380.83	581.26	2270.06	3.9	54.27

2010	5582.65	97.35	260.27	684.39	1428.58	660.55	2473.62	8.31	66.93
2011	5908.77	102.6	348.35	644.62	1492.66	711	2620.78	12.04	79.32
2012	6249.78	108.03	275.73	675.17	1646.85	744.99	2806.52	14.82	85.7
2013	6364.01	109.42	191.12	680.38	1639.42	753.46	2992.46	14.86	92.31
2014	6452.84	110.45	174.7	689.64	1467.44	868.2	3133.01	20.68	99.17
2015	7158.88	121.82	146.4	716.85	1967.06	976.88	3221.01	22.3	108.38
2016	7868.29	133.05	151.52	757.02	2174.31	1176.46	3463.03	22.54	123.41
2017	8187.74	137.61	210.32	824.12	2279.1	1292.94	3416.99	24.39	139.88
2018	8427.06	140.75	195.21	813.02	2409.6	1339.52	3487.27	25.38	157.06

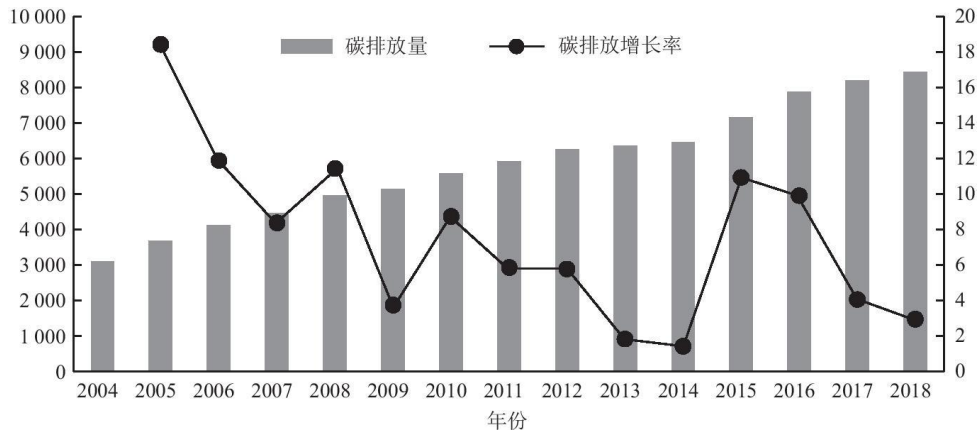


图 1 2004~2018 长江经济带交通能源碳排放量及增长率

根据表 5 各类交通能源碳排放量变化趋势可以得知，2004~2018 年长江经济带各类交通能源消费类型中，煤炭、天然气、电力等交通能源碳排在交通能源碳排放总量中占比均不到 10%，其中天然气产生的碳排放占比最低，煤炭能源消费碳排放的增幅最小，年均涨幅仅 3.31%。石油类能源消费对交通能源碳排放的贡献量最大，在 2018 年，石油类能源消费占交通碳排放总量的比例高达 95.51%，在很大程度上决定了长江经济带交通能源碳排放的变化趋势。其中汽油和柴油能源消费碳排放一直保持着较大的涨幅，反映出了城市道路运输需求与机动车保有量的激增状况，同时燃油和煤油能源消费碳排放呈现较快的增长速度，也凸显了长江经济带航运航空运输规模的不断扩大与快速发展。

3.2 长江经济带交通运输业经济发展与碳排放脱钩情况分析

根据式 (2)，本文测算了 2004~2018 年长江经济带交通能源碳排放与交通运输业经济发展之间的脱钩情况，计算结果如表 6 所示。从表中可知，在研究期内，长江经济带交通能源碳排放与交通运输业经济发展的脱钩状态有 3 种，即弱脱钩、扩张负脱钩和扩张连接，脱钩指数呈现“W”曲线的波动轨迹，其中脱钩状态多以弱脱钩为主，表明较长时期内交通运输业产值保持着正增长且其增速要快于交通能源碳排放增速。总体来看，研究期间长江经济带交通能源碳排放与交通运输业经济发展的脱钩关系特征主要分为 3 个阶段：

表 6 2004~2018 年长江经济带交通运输业经济发展与碳排放脱钩状态

年份	$\Delta C/C$	$\Delta G/G$	脱钩指数	脱钩状态
2004~2005	0.184	0.122	1.51	扩张负脱钩
2005~2006	0.119	0.129	0.92	增长连接
2006~2007	0.084	0.146	0.57	弱脱钩
2007~2008	0.114	0.120	0.95	增长连接
2008~2009	0.037	0.121	0.31	弱脱钩
2009~2010	0.087	0.134	0.65	弱脱钩
2010~2011	0.058	0.122	0.48	弱脱钩
2011~2012	0.058	0.108	0.54	弱脱钩
2012~2013	0.018	0.099	0.19	弱脱钩
2013~2014	0.014	0.088	0.16	弱脱钩
2014~2015	0.109	0.086	1.28	扩张负脱钩
2015~2016	0.099	0.082	1.20	扩张负脱钩
2016~2017	0.041	0.081	0.50	弱脱钩
2017~2018	0.029	0.075	0.39	弱脱钩

(1) 2004~2008 年, 长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长呈现出扩张负脱钩、增长连接和弱脱钩的特征, 且只在 2007 年出现弱脱钩, 可见这一阶段脱钩状态并不理想。其原因可能是在重工业化特征明显的“十五”期间, 长江经济带大力发展经济, 各行业发展提速, 以工业为中心的发展模式更是导致“高投入、高能耗、高排放”行业规模的迅速扩大, 在其带来了刚性交通物流运输需求的增加同时, 又由于当时交通基础设施建设不完善以及有效的减排措施缺乏, 交通能源消耗难以得到有效控制, 进而加剧了经济带交通能源碳排放。

(2) 2008~2014 年, 这一阶段交通能源碳排放的脱钩特征集中为弱脱钩类型, 相较于第一阶段脱钩状态略有改善。究其原因可能在于, 该期间在国家节能减排的大环境下, 长江经济带开始重视低碳发展, 倡导发展低碳经济, 加强交通运输领域节能降耗、节能技术的推广应用和清洁、可再生能源的开发利用工作, 再加上经济带内整体产业结构的不断优化, 在相关产业转型升级的过程中带来了单位产值能耗水平的下降。同时产业结构的高级化往往使产业具备高附加值与低运输密度特征^[37], 从而也将促进运输结构的更加合理化, 对交通能源碳排放量的增加起到一定程度的抑制作用, 利于降低交通碳排放的增速, 改善交通能源碳排放与行业发展的脱钩状态。

(3) 2014~2018 年, 这阶段的交通能源碳排放脱钩特征为扩张负脱钩和弱脱钩类型, 其中 2014、2015 两年呈现出交通能源碳排放增速快于行业经济发展增速, 低碳发展较不理想的扩张负脱钩状态, 可见交通能源碳排放脱钩状态仍不稳定。其原因可能在于, 近些年长江经济带虽然经济保持着持续健康发展, 生态环境存在明显改善, 但同时又面临着城市机动车保有量的急剧增

加，客运量与货运量的快速增长，电子商务和物流运输业的指数级增长以及综合交通体系建设滞后等现实情况，为碳减排工作带来巨大压力，可见交通减排形势依旧不容乐观。

通过上述分析可知，2004~2018 年，长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长的脱钩状态中强脱钩效应一直未显现，两者之间的关系并未达到最理想的状态。研究期间，长江经济带交通行业经济发展整体上仍未摆脱对交通能源碳排放的依赖，促进行业经济增长与减少环境污染互为掣肘一直是长江经济带交通运输业发展过程中面临的难题。目前，长江经济带的交通碳减排形势依然严峻，走低碳交通、绿色可持续发展道路依旧任重道远。

3.3 长江经济带交通碳排放脱钩驱动因素分析

脱钩弹性指数只限于研究交通运输业经济发展与交通能源碳排放两者之间的同步关系，但无法解释碳排放量变化的机理，因此，基于 Kaya-LMDI 模型对长江经济带 2004~2018 年的交通能源碳排放驱动因素进行分解，得到交通能源结构、能源强度、行业规模、经济增长和人口规模等驱动因素对长江经济带交通能源碳排放的贡献值以及贡献率，相关结果如表 7、图 2 所示。

表 7 2004~2018 年长江经济带交通碳排放驱动因素分解

年份	ΔC_s		ΔC_t		ΔC_u		ΔC_A		ΔC_p		总效应
	年度效应	贡献率 (%)	年度效应	贡献率 (%)	年度效应	贡献率 (%)	年度效应	贡献率 (%)	年度效应	贡献率 (%)	年度效应
2004~2005	3.92	3.92	177.22	177.22	-6.32	-6.32	411.22	411.22	-15.99	-15.99	570.04
2005~2006	0.17	0.04	-35.60	-8.17	-6.67	-1.53	464.14	106.50	13.79	3.16	435.82
2006~2007	-5.38	-1.57	-232.68	-67.90	-2.18	-0.64	564.40	164.70	18.53	5.41	342.69
2007~2008	-1.22	-0.24	-23.33	-4.59	5.60	1.10	503.04	99.07	23.65	4.66	507.75
2008~2009	3.56	1.93	-392.69	-212.72	8.14	4.41	540.83	292.97	24.77	13.42	184.60
2009~2010	0.85	0.19	-228.28	-50.98	8.55	1.91	647.03	144.49	19.64	4.39	447.79
2010~2011	3.69	1.13	-336.86	-103.29	14.67	4.50	620.54	190.28	24.08	7.38	326.12
2011~2012	-24.50	-7.18	-255.78	-75.01	12.75	3.74	580.86	170.34	27.68	8.12	341.01
2012~2013	-28.25	-24.73	-450.34	-394.24	7.62	6.67	551.62	482.90	33.58	29.40	114.23

2013~ 2014	-14.32	-16.12	-439.81	-495.11	6.75	7.60	507.10	570.87	29.12	32.78	88.83
2014~ 2015	-7.27	-1.03	155.97	22.09	3.83	0.54	513.76	72.77	39.76	5.63	706.04
2015~ 2016	-7.44	-1.05	122.59	17.28	7.30	1.03	539.59	76.06	47.37	6.68	709.41
2016~ 2017	-4.59	-1.44	-298.20	-93.35	7.53	2.36	565.88	177.14	48.83	15.29	319.45
2017~ 2018	-23.93	-10.00	-339.63	-141.91	8.02	3.35	543.09	226.93	51.77	21.63	239.32
累计	-104.72	-1.96	-2577.42	-48.33	75.59	1.42	7553.10	141.63	386.55	7.25	5333.1

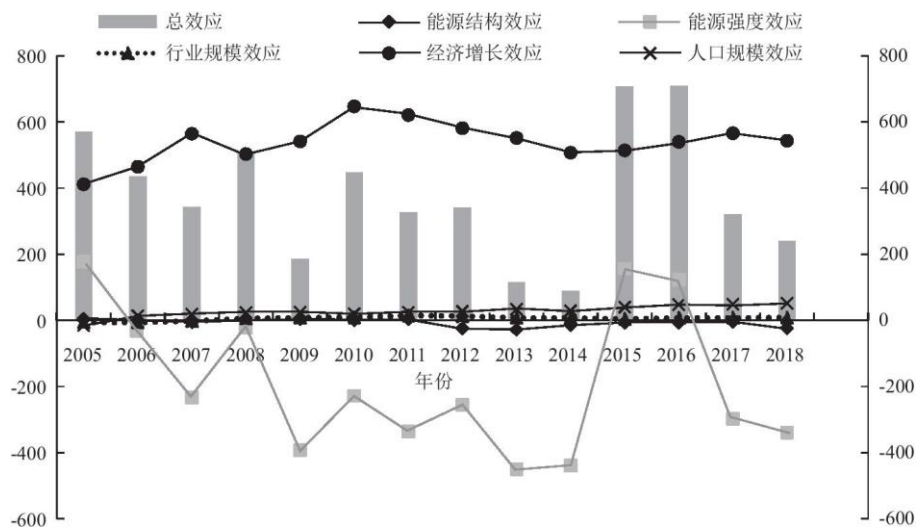


图 2 2004~2018 年长江经济带交通碳排放各驱动因素的贡献值情况

整体上来看，各驱动因素对长江经济带交通能源碳排放总量变动的影响效应存在显著差异，将其按照影响程度(各分解因素对交通能源碳排放累积贡献率的绝对值)进行降序排列，依次是经济增长效应，其贡献率为 141.63%、能源强度效应，其贡献率为-48.33%、人口规模效应，其贡献率为 7.25%、能源结构效应，其贡献率为-1.96%、行业规模效应，其贡献率为 1.42%。具体来看，经济增长效应、人口规模效应和行业规模效应绝大多数年份为正值，表明经济增长效应、人口规模效应以及行业规模效应对交通能源碳排放的变化总体起着正向驱动作用，表明经济的增长、人口规模的扩大与交通行业产值占比的增加将引起交通能源碳排放的增加；而能源强度效应和能源结构效应大多年份为负值，这意味着能源强度效应与能源结构效应对交通能源碳排放的变化总体起着负向驱动作用，降低能源强度、优化能源结构将抑制交通能源碳排放的增加。

按照公式(8)可以进一步得出上述各类影响效应的脱钩指数，即各驱动因素对长江经济带交通能源碳排放与行业经济发展之间脱钩弹性的贡献值，结果见表 8。总体来看，交通能源结构效应脱钩指数和能源强度效应脱钩指数多数年份为负值，可以促

进交通能源碳排放和行业经济增长的脱钩；而经济增长效应、人口规模效应和行业规模效应基本以正值为主，尤其经济增长效应的脱钩指数均值高达 0.931, 对交通能源碳排放和行业经济增长脱钩具有阻碍作用。

表 8 2004~2018 年长江经济带交通碳排放各驱动因素脱钩指数

年份	t_s	t_I	t_u	t_A	t_P	$t_{(C,G)}$
2004~2005	0.010	0.468	-0.017	1.087	-0.042	1.51
2005~2006	0.000	-0.075	-0.014	0.980	0.029	0.92
2006~2007	-0.009	-0.389	-0.004	0.945	0.031	0.57
2007~2008	-0.002	-0.044	0.010	0.942	0.044	0.95
2008~2009	0.006	-0.658	0.014	0.906	0.042	0.31
2009~2010	0.001	-0.331	0.012	0.937	0.028	0.65
2010~2011	0.005	-0.496	0.022	0.914	0.035	0.48
2011~2012	-0.039	-0.402	0.020	0.913	0.044	0.54
2012~2013	-0.046	-0.731	0.012	0.895	0.054	0.19
2013~2014	-0.025	-0.781	0.012	0.901	0.052	0.16
2014~2015	-0.013	0.283	0.007	0.931	0.072	1.28
2015~2016	-0.013	0.208	0.012	0.915	0.080	1.20
2016~2017	-0.007	-0.470	0.012	0.892	0.077	0.50
2017~2018	-0.039	-0.551	0.013	0.881	0.084	0.39

3.3.1 能源结构效应分析

能源结构效应是促进长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长之间脱钩的因素之一。研究期间，能源结构效应对长江经济带交通能源碳排放的贡献值正负相间，累计贡献份额为负，表明能源结构效应整体上对经济带交通能源碳排放的增加具有抑制作用，但累计贡献率仅-1.96%, 影响程度非常有限。根据表 9 可以看出，2004~2018 年虽然高碳能源消费量处于绝对优势地位，而且清洁能源的能耗百分比比较低，但从各年份的变化趋势来看，在 2008~2018 年，除煤油外，长江经济带交通运输业中原煤、燃油、汽油以及柴油等高碳能源的消耗比例总体上均呈现出波动下降的态势，其中柴油的消耗量占比始终保持最大，均值达到 42.78%。另外，清洁能源消费占比都有所提升，电力消耗从 2004 年占比 2.85%波动上升至 2018 年占比 4.55%, 天然气消费则是从 2004 年占比 0%稳定升至 2018 年占比 0.39%。由此，揭示了能源结构效应对长江经济带交通能源碳排放的增加具有一定抑制作用的原因，也反映了长江经济带交通运输业能源结构优化初显成效，但又因为能源结构仍以汽油、柴油等化石燃料为主，清洁能源占比非常有限，交通运输业能源消耗的单一结构并未得到真正改变，优化长江经济带交通能源消费结构之路依然任重道远。目前，长江经济带中的地区仍需不断推进交通业的低碳化发展，加大力度提升交通新能源以及清洁能源的使用比重，努力打破交通运输业的发展对化石能源过度依赖的格局，通过能源结构的调整增强能源结构效应推动交通能源碳排放与经济增长脱钩的促

进作用。

表 9 2004~2018 年长江经济带交通运输业各类能源终端消费量占比变化趋势

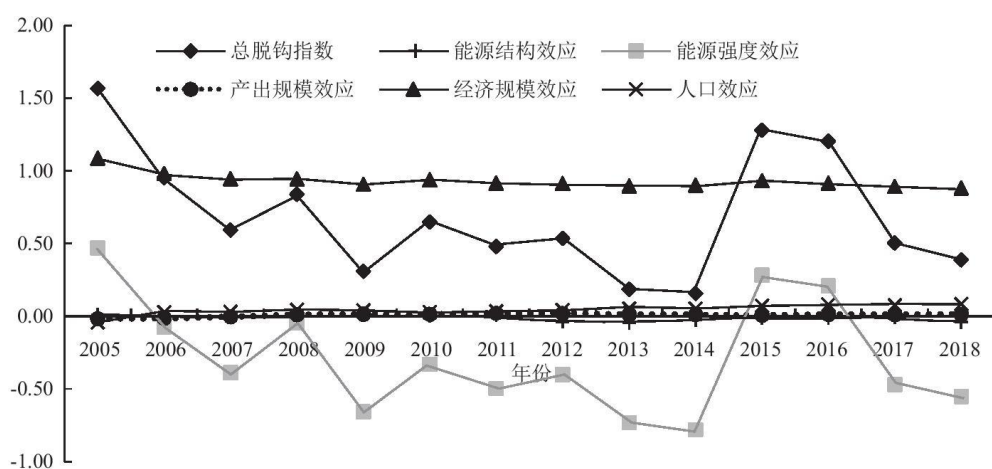
年份	原煤 (%)	燃油 (%)	汽油 (%)	煤油 (%)	柴油 (%)	天然气 (%)	电力 (%)
2004	3.02	13.27	33.84	8.20	38.82	0.00	2.85
2005	3.09	13.75	31.79	8.98	39.69	0.00	2.70
2006	2.57	13.43	29.84	10.55	41.16	0.04	2.42
2007	2.55	14.80	28.96	10.61	40.42	0.04	2.62
2008	2.79	13.19	28.02	10.60	42.54	0.08	2.78
2009	2.73	12.73	26.69	11.24	43.88	0.10	2.62
2010	3.52	12.17	25.40	11.75	43.99	0.19	2.98
2011	4.45	10.84	25.09	11.95	44.06	0.27	3.33
2012	3.32	10.69	26.07	11.79	44.43	0.31	3.39
2013	2.25	10.53	25.37	11.66	46.31	0.30	3.57
2014	2.02	10.50	22.35	13.22	47.71	0.42	3.78
2015	1.53	9.83	26.97	13.39	44.16	0.40	3.72
2016	1.44	9.43	27.10	14.66	43.16	0.37	3.85
2017	1.91	9.86	27.28	15.47	40.90	0.39	4.19
2018	1.72	9.43	27.94	15.53	40.44	0.39	4.55

3.3.2 能源强度效应分析

能源强度效应是促进长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长之间脱钩的最主要因素。从表 10 可以看出, 尽管 2004~2018 年长江经济带交通运输业能源消耗量从 5593.33 万 t/标煤增加到 15472.02 万 t/标煤, 整体上呈现不断攀升态势, 但长江经济带交通运输业单位 GDP 能耗从 1.51t 标煤/万元下降到 1.00t 标煤/万元, 总体表现为下降趋势, 降幅达 33.77%。进一步从图 2 中发现, 能源强度效应对长江经济带地区交通碳排放的贡献有正有负, 呈现一定的阶段性: 2004~2008 年能源强度效应的碳排放贡献值由正变负, 但能源强度变化对减少碳排放的作用尚不明显, 这说明“十五”期间长江经济带地区的交通能源利用效率在一定程度上有所提高, 交通运输业开始向低能耗、高效率的运作模式转变; 2009~2014 年能源强度效应持续为负, 且对促进交通碳减排的贡献程度整体上呈现增大趋势, 同时其对碳排放增加的抑制效果与经济增长效应的拉动效果之间的差距有逐渐缩小的趋势, 再结合图 1, 该期间内长江经济带交通能源碳排放虽然总量在增加, 但碳排放增速明显有所减缓, 这体现了长江经济带地区落实国家“十一五”、“十二五”规划刚要中确定的能源强度下降、碳排放强度下降等目标效果显著; 2015~2018 年能源强度效应对交通碳排放的贡献值又呈现正负交替, 这可能是由于当时交通运输业能源技术发展水平的局限性, 能源强度效应对交通碳排放增加的抑制作用进入瓶颈阶段。

表 10 2004~2018 年长江经济带终端能源消费及交通行业终端能源消费与单位 GDP 能耗

年份	长江经济带交通行业增加值(亿元)	长江经济带交通运输业终端能源消耗(万 t/标准煤)	长江经济带交通行业单位 GDP 能耗(t 标准煤/万元)	长江经济带 GDP(亿元)	长江经济带终端能源消耗(万 t/标准煤)	长江经济带单位 GDP 能耗(t 标准煤/万元)
2004	3695.60	5593.33	1.51	68172.7	31874.09	0.47
2005	4147.62	6616.39	1.60	76654.83	37258.70	0.49
2006	4683.87	7403.50	1.58	86714.73	39032.91	0.45
2007	5366.56	8032.55	1.50	99404.42	41803.77	0.42
2008	6011.51	8953.25	1.49	111217.75	45011.76	0.40
2009	6736.11	9280.62	1.38	124422.44	47776.90	0.38
2010	7641.59	10088.66	1.32	140922.34	49519.71	0.35
2011	8571.36	10671.38	1.25	157665.49	54480.16	0.35
2012	9494.33	11333.13	1.19	174276.77	56921.36	0.33
2013	10430.61	11592.23	1.11	191231.71	52854.62	0.28
2014	11353.46	11780.45	1.04	207931.61	53144.09	0.26
2015	12324.43	13085.00	1.06	225587.27	56038.67	0.25
2016	13339.70	14396.12	1.08	243933.45	159929.85	0.66
2017	14415.28	14989.36	1.04	263354.38	57382.00	0.22
2018	15500.47	15472.02	1.00	282906.54	54578.89	0.19



还值得注意的是,从2004~2018年长江经济带能源消耗的整体情况来看,交通运输业单位GDP的能耗要明显高于长江经济带单位GDP能耗,能源强度作为衡量能源利用效率的重要指标,这说明在短期内,能源利用效率问题依然是制约长江经济带低碳交通发展的一个突出问题,长江经济带中各省市仍需在交通行业能源利用率方面进行努力。另外,从图3中可以发现,在研究期内,由于经济规模效应脱钩指数的变化一直较为稳定,能源强度效应脱钩指数的波动幅度最大,并且能源强度效应对脱钩指数的贡献值与交通碳排放脱钩指数的变化趋势吻合程度较高,这进一步说明了交通能源碳排放的脱钩状况主要受到能源强度效应的影响,长江经济带未来的重点需要放在通过降低交通运输业能源强度上,不断提升交通减排技术水平,提高交通能源利用效率,推动交通运输业经济增长与交通能源碳排放的脱钩。

3.3.3 行业规模效应分析

行业规模效应是阻碍长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长之间脱钩的因素之一。行业规模效应对长江经济带交通能源碳排放的增长具有拉动作用,但作用效果极为微弱。从表10可以看出,2004~2018年,行业规模因素累计碳增排效应约75.59万t,年均碳增排效应约5.04万t,该因素的碳增排贡献率整体上较低且保持较平稳变化趋势,碳增排效应不是特别明显。另外,尽管长江经济带交通业增加值从2004年的3695.6亿元增加到2018年的15500.5亿元,增长了3.56倍,但2004~2018年长江经济带交通行业产值占地区生产总值的比重从5.42%增加到5.48%,增长幅度仅0.06%,由此表明,近十几年来长江经济带交通行业规模占比基本保持稳定,若要通过大幅度调整交通行业规模以降低长江经济带交通能源碳排放,促进交通碳排放脱钩的难度较大。加之,行业规模的调整是一个长期动态的过程,具有滞后效应^[12],并且在经济增长效应对交通碳排放的影响中,部分上可能是由于受到交通行业规模因素的影响所引起的,这在一定程度上可能会掩盖行业规模因素对交通碳排放增加的贡献度,进而长江经济带行业规模的变动对交通碳排放的驱动效应并不明显。

3.3.4 经济增长效应分析

经济增长是阻碍长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长之间脱钩的最主要因素。如表7所示,2004年以来,经济增长效应对长江经济带交通能源碳排放的增加一直表现为正向驱动作用,累计交通碳排放贡献份额高达7553.1万t,且贡献程度远大于抑制因素贡献值的总和,可见经济增长效应是拉动长江经济带交通能源碳排放增长的主导因素。在研究期内,长江经济带地区人均GDP由2004年的12089.86元增长到2018年的47251.1元,增加了3.9倍,相应的交通能源碳排放量由3093.96万t增长到8427.06万t,增加了2.72倍。经济产出增长是满足国民发展与基本需求的必要条件,碳排放作为能源消费的直接产物则反映了国家经济活动的强度^[19]。经济发展水平的提升在一定程度上带来居民生活水平的提高,从而推动了网络购物、旅游等享受型消费需求的增加以及私家车保有量的快速增长,交通运输需求的扩大在促进交通运输业基础与服务设施建设、行业经济蓬勃发展等的同时,也将引起交通能源消费的大幅增加,使交通碳排放的压力难以得到缓解。

另外,根据图2和表8可以看出,2010~2018年经济增长效应的交通碳排放贡献值和脱钩指数总体呈波动式缓慢下降的趋势,这可能是由于2010年中国经济进入增速换挡期,经济逐步向高质量发展转型,重视发展低碳经济以及调整优化产业结构。目前,我国经济发展已经进入由新发展理念引领的高质量发展阶段,经济发展更加注重质量、效率以及可持续性,未来经济增长效应对交通碳排放脱钩的抑制作用可能会进一步减弱,但结合环境库兹涅茨曲线^[4],即环境压力与经济增长之间呈倒“U”型曲线的关系,可以看出现阶段长江经济带交通碳排放与经济增长的关系点仍处在EKC的左端,“拐点”尚未出现。

3.3.5 人口规模效应分析

人口规模是阻碍长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长之间脱钩的因素之一。人口规模效应对长江经济带交通能源碳排放的增长具有拉动作用,但贡献份额不高,贡献总量为386.55万t,这表明长江经济带人口数量的增加不会导致交通能源碳排放的大幅度上升,其影响效果趋于平缓。该原因可能在于虽然长江经济带地区的人口基数较大,但近十多年来区域内各省份的常住人口始终稳定保持着较小的增幅^[38],因此,人口规模效应对交通运输业能源碳排放量的贡献较为稳定。另外,2004~2018年人

口规模效应的脱钩指数均值仅为 0.045,对交通能源碳排放脱钩的抑制作用也略显薄弱,这主要是由于随着长江经济带地区总人口数的增加,长江经济带地区交通运输业的需求规模在不断扩大,交通运输业的快速发展持续推动交通行业生产总值的增长,同时在交通运输业基础设施建设、维护以及业务活动运行等环节所产生的碳排放往往要远大于人口规模小幅度增加所贡献的碳排放量,从而可能造成估算得到的人口规模效应脱钩指数值较小,人口规模增加对交通碳排放脱钩的抑制效果不明显。然而,随着近些年中国计划生育政策条件的逐渐放宽,人口规模可能进一步扩大,因此仍需重视人口增长所导致交通运输业碳排放量增加给生态环境带来的影响和压力,合理控制人口增长在一定程度上有利于抑制交通能源碳排放的增长,从而促进长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长的脱钩。

4 结论及政策建议

本文利用 Tapio 脱钩模型和 LMDI 因素分解法,分析了长江经济带 2004~2018 年交通能源碳排放与经济增长的脱钩状况以及脱钩的驱动因素,具体结论如下:

(1)2004~2018 年,长江经济带交通能源碳排放总量及人均碳排放量均呈持续上升趋势,交通能源碳排放增长率在 2015 年以前总体呈波动放缓的态势,但 2015 年开始呈现出较大幅度的回升趋势。汽油和柴油能源消费碳排放一直保持着较大的涨幅,石油类能源消费碳排放占交通碳排放总量的比例高达 95.51%,不利于加快推进交通运输业的绿色低碳发展转型。

(2)2004~2018 年,长江经济带交通能源碳排放与交通运输业经济发展的脱钩状态总体不稳定,大致分为 3 个阶段:第一阶段 2004~2008 年,脱钩弹性指数总体较高,脱钩特征以增长连接和扩张负脱钩为主,脱钩状态并不理想;第二阶段 2008~2014 年,脱钩弹性指数波动下降,脱钩状态不断改善,表现为交通运输业产值增速快于交通能源碳排放增速的较为理想的弱脱钩状态;第三阶段 2014~2018 年,脱钩指数出现波动上升趋势,脱钩状态出现恶化,交替呈现出扩张负脱钩和弱脱钩的特征。研究期内脱钩指数呈现“W”曲线的波动轨迹,强脱钩效应一直未显现,长江经济带交通行业经济发展整体上仍未摆脱对交通能源碳排放的依赖。

(3)整体上看,交通能源结构效应和能源强度效应可以促进长江经济带交通能源碳排放与行业经济增长之间的脱钩,行业规模效应、经济增长效应和人口规模效应则对经济带交通能源碳排放与行业经济增长脱钩有抑制作用。研究期内,能源强度是长江经济带交通能源碳排放的最主要抑制因素,为促进交通能源碳排放脱钩作出了最主要的贡献;经济增长是促进经济带交通能源碳排放增加的主导因素,且其脱钩指数贡献值最大且波动幅度较小,未来较长一段时间经济效应仍将是阻碍交通能源碳排放脱钩的最主要因素;能源结构为交通碳减排作出了贡献,但其影响影响效应较为有限;行业规模产生了碳增排效应,但其对交通碳排放脱钩的抑制作用不明显,且长久保持平稳态势;人口规模对交通碳排放脱钩的抑制效果较小,但未来其对碳排放脱钩的抑制效应有进一步增强趋势。

基于本文以上的研究结论,本文为促进长江经济带交通运输业经济发展与碳排放的脱钩,提出以下政策建议:

(1)经济产出增长是满足国民发展与基本需求的必要条件,通过放弃经济增长、限制行业规模产出的方式,来实现交通能源碳排放脱钩,明显不符合经济发展现实,但可以尝试以低碳改造为目标,推进经济结构调整,使其向能源节约的方向转型发展。长江经济带地区应持续推进传统产业结构优化升级,加快高耗能高污染行业的改革,严格执行节能环保准入标准,淘汰落后产能;加大战略新兴产业和高新技术产业的资金、人才投入,同时高度注重低碳交通物流专业人才的挖掘与培养;积极培养新经济,推动新一代互联网技术与传统产业的深度融合,促进传统低端产业向中高端产业的转型,实现新旧动能转换,努力实现碳减排和经济社会发展的协调共进。

(2)优化交通运输能源消耗结构,增加交通清洁能源比重,进一步挖掘能源结构效应的减排潜力。通过借助经济杠杆作用,提高价格标识等手段控制和缓解交通化石能源消耗;采用倾斜性投资、财政补贴和完善新能源基础设施建设等方式,加快对新型

源汽车等高效节能交通工具的研发和推广；制定激励可再生能源发展的相关政策，加强国际能源合作，引进国外先进清洁能源技术，实现多元化能源供应，降低对传统高碳能源的依赖；加强能源需求结构的改善，对化石燃料进行充分利用，注重非化石能源规模化发展，扩大天然气、电力、乙醇等清洁能源消费市场，以及以清洁能源为运输动力的机动车使用率，充分发挥能源结构的交通碳减排效应。

(3)以技术创新支撑低碳交通发展，加快实现技术减排，充分发挥能源强度对交通碳排放增加的抑制作用。在推动能源结构调整的同时，提高能源利用效率，增加技术创新投入，依靠科技创新、技术进步推动能源利用效率的提升；完善交通行业碳排放税费机制、碳减排奖励机制、能源交易和碳交易制度等体系，推动能源技术创新与高效开发利用；调整交通运输结构，大力推广公共交通，加强交通资源合理配置，鼓励多式联运发展，持续推动大宗货物运输“公转铁”“公转水”，促进各种运输方式协调可持续发展，完善综合运输网络，减轻传统运输网络的压力，提高运输效率，降低运输能耗与碳排放量。

(4)长期以来，人口规模较大是我国的一项基本国情，加上计划生育政策的进一步放开，将对交通碳减排工作带来更大的压力。因此，应从加强交通需求管理方面入手，倡导低碳交通理念，大力推广全民绿色低碳出行，从而削弱人口规模效应对交通碳排放脱钩的阻碍作用。通过扩大绿色出行的宣传教育，提高车辆购置税以及燃油附加税，推行公共交通先行政策，提升公共交通服务质量等措施，引导公众选择新能源节能车、共享单车等低碳方式出行，推动交通运输需求从高能耗、高污染的道路与航空运输向铁路、水路运以及城市公共交通等环保运输方式转移；交通运输相关部门加强交通组织管理，减少非必须的交通运输需求，利用通信、网络等高新技术手段，降低出行距离与频次。

参考文献:

- [1]中国科学院可持续发展战略研究组.中国可持续发展报告：探索中国特色的低碳道路[M].北京：科学出版社，2009.
- [2]IPCC.Climate Change 2013:The Physical Science Basis.Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M].Cambridge:Cambridge University Press,2013.
- [3]周银香.交通业碳排放与行业经济增长的响应关系——基于“脱钩”与“复钩”理论和LMDI分解的实证分析[J].财经论丛，2014(12):9-16.
- [4]YORK R,ROSA E A,DIETZ T.STIRPAT,IPAT and IMPACT:Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J].Ecological Economics,2003,46(3):351.
- [5]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].Transport Policy,2005,12(2):137-151.
- [6]DINDA S,COONDOO D.Income and emission:A panel data-based cointegration analysis[J].Ecological Economics,2006,57(2):167-181
- [7]GMBH H C,HERRY M,SEDLACEK N.Decoupling economic growth and transport demand:Case study Austria[R].OECD,2003.
- [8]GRAY D,ANABLE J,ILLINGWORTH L,et al.Decoupling the link between economic growth,transport growth and carbon emissions in Scotland[R].The Centre for Transport Policy,The Robert Gordon University,2006.

-
- [9]DIAKOULAKI D M.Decomposition analysis for assessing the progression decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector[J].Energy Economics,2007,29(4):636-664.
- [10]谢守红,蔡海亚,夏刚祥.中国交通运输业碳排放的测算及影响因素[J].干旱区资源与环境,2016,30(5):13-18.
- [11]高标,许清涛,李玉波,等.吉林省交通运输能源消费碳排放测算与驱动因子分析[J].经济地理,2013,(9):25-30.
- [12]杨良杰,吴威,苏勤,等.江苏省交通运输业能源消费碳排放及脱钩效应[J].长江流域资源与环境,2014,(10):1383-1390.
- [13]蔡婉华,叶阿忠.交通运输、经济增长与碳排放之间的互动关系研究——基于 PVAR 模型[J].交通运输系统工程与信息,2017,17(3):26-31.
- [14]赵小曼,张帅,袁长伟.中国交通运输碳排放环境库兹涅茨曲线的空间计量检验[J].统计与决策,2021,37(4):23-26.
- [15]周银香.交通碳排放与行业经济增长脱钩及耦合关系研究——基于 Tapio 脱钩模型和协整理论[J].经济问题探索,2016(6):41-48.
- [16]范育洁,曲建升,张洪芬,等.西北五省区交通碳排放现状及影响因素研究[J].生态经济,2019,35(9):32-37,67.
- [17]周岸,吴开亚.上海市交通碳排放驱动因素分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2020,43(2):264-269.
- [18]吕倩,高俊莲.京津冀地区交通运输碳排放模型及驱动因素分析[J].生态经济,2018,34(1):31-36.
- [19]吴开亚,何彩虹,王桂新,等.上海市交通能源消费碳排放的测算与分解分析[J].经济地理,2012,32(11):45-51.
- [20]李健,景美婷,苑清敏.绿色发展下区域交通碳排放测算及驱动因子研究——以京津冀为例[J].干旱区资源与环境,2018,32(7):36-42.
- [21]林涛,赵涛,康纪东,等.中国区域工业碳排放测算与影响因素分析——以天津市为例[J].西安电子科技大学学报(社会科学版),2013,23(1):36-42.
- [22]庄颖,夏斌.广东省交通碳排放核算及影响因素分析[J].环境科学研究,2017,30(7):1154-1162.
- [23]TIMILSINA G R,SHRESTHA A.Factors affecting transport sector CO₂ emissions growth in Latin American and Caribbean Countries:An LMDI decomposition analysis[J].International Journal of Energy Research,2009:396-414.
- [24]LU I J,LIN SUE J,LEWIS C.Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan,Germany,Japan and South Korea[J].Energy Policy,2007,35(6):3226-3235.
- [25]DE FREITAS L C,KANEKO S.Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil[J].Ecological Economics,2011,70(8):1459-1469.

-
- [26] TALBI B. CO₂ emissions reduction in road transport sector in Tunisia [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2017, 69:232-238.
- [27] 吴继贵, 叶阿忠. 交通运输、经济增长和碳排放的动态关系研究——基于 1949~2012 年数据的实证分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(4):10-17.
- [28] 张国兴, 苏钊贤. 黄河流域交通运输碳排放的影响因素分解与情景预测[J]. 管理评论, 2020, 32(12):283-294.
- [29] 孙岩, 张昱, 刘学敏. 北京市交通碳排放的驱动因素分析——基于城市发展视角[J]. 城市与环境研究, 2020(1):81-95.
- [30] 李想, 吉敏全. 基于 LMDI 模型的三江源地区交通碳排放影响因素分析[J]. 科技管理研究, 2019, 39(20):246-250.
- [31] 周银香. 交通业碳排放与行业经济增长的响应关系——基于“脱钩”与“复钩”理论和 LMDI 分解的实证分析[J]. 财经论丛, 2014(12):9-16.
- [32] 徐雅楠, 杜志平. 我国交通运输业的碳排放测度及因素分解[J]. 物流技术, 2011, 30(11):16-18, 45.
- [33] 赵敏, 张卫国, 俞立中. 上海市居民出行方式与城市交通排放及 CO₂ 减排对策[J]. 环境科学研究, 2009, 22(6):747-752.
- [34] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressures from economic growth [R]. Paris:OECD, 2002.
- [35] KAYA Y. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios [R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.
- [36] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(7):867-871.
- [37] 吴威, 曹有挥, 梁双波, 等. 20 世纪 80 年代中期以来长三角地区货运量动态研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7):843-847.
- [38] 周海旺, 欧阳才宇. 长江经济带社会发展报告 (2019-2020) [EB/OL]. <http://cyrdebr.sass.org.cn/2020/1223/c5775a100922/page>.