

长江经济带碳排放脱钩状态及其驱动因素研究

宁亚东*, 章博雅, 丁 涛

(大连理工大学 海洋能源利用与节能教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: CO₂ 排放量与经济发展之间的动态关系是低碳经济建设中的重要指标. 长江经济带是我国“三大支撑带”之一, 对长江经济带 CO₂ 排放与经济发展之间的动态关系进行研究非常必要. 基于 Tapio 脱钩模型和改进的加权因素分解模型, 对长江经济带 1995~2013 年经济发展与能源消费起源 CO₂ 排放之间的脱钩关系及其驱动因素进行了研究, 得到以下结论: 长江经济带三次产业能源消费起源 CO₂ 排放量约占全国排放总量的三分之一, 1995~2012 年间 CO₂ 排放总量逐年增加, 2013 年稍有下降, 第二产业是 CO₂ 主要排放源, 占三次产业 CO₂ 排放总量的 80% 左右; 1996~2013 年, 长江经济带 CO₂ 排放与经济发展之间动态关系在大多数年份处于弱脱钩状态, 少数年份出现了强脱钩和扩张性负脱钩状态; 经济因素是阻碍 CO₂ 排放脱钩的最主要因素, 能源强度因素是促进 CO₂ 脱钩的最主要因素, 结构因素对 CO₂ 脱钩也起阻碍作用, 碳排放系数因素影响不稳定.

关键词: 长江经济带; CO₂ 排放; Tapio 脱钩模型; 加权因素分解模型

中图分类号: X22

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201705004

0 引 言

随着全球气候变暖, CO₂ 减排问题已成为世界各国关注的热点问题. 中国是 CO₂ 排放大国, 经济增长对化石能源的依赖使中国 2007 年超过美国成为全球最大的 CO₂ 排放国, CO₂ 减排任务十分艰巨. 经济增长与碳排放两者之间的动态关系近年来成为了能源经济领域研究关注的热点. 2015 年我国政府首次把“一带一路”、长江经济带和京津冀协同发展明确为“三个支撑带”. 长江经济带是我国除沿海开放地区外经济密度最大的经济地带, 人口和生产总值均超过全国的 40%, 对长江经济带的经济发展与碳排放之间的关系问题进行定量研究十分必要.

脱钩理论是研究经济发展与碳排放之间动态关系的一种有效方法. “脱钩”概念最早应用于物理领域, 表示具有响应关系的两个或多个物理量之间的相互关系不再存在的状态. 2002 年, 经济合作与发展组织(OECD)将其引入资源环境领

域, 用“脱钩”这一概念描述经济发展与资源消耗或环境压力不同步变化的现象, 提出了 OECD 脱钩模型, 将脱钩划分为“绝对脱钩”和“相对脱钩”两种状态^[1]. Yu 等用 OECD 脱钩模型研究了 1978~2010 年中国 CO₂、SO₂、粉尘及污水排放与经济发展之间的脱钩关系^[2], De Freitas 等和 Muangthai 等分别采用该模型研究了巴西经济发展与 CO₂ 排放之间的脱钩关系及泰国火电部门总产出与 CO₂ 排放之间的脱钩问题^[3-4]. 2005 年, Tapio 将弹性方法引入脱钩研究, 对 15 个欧盟国家的交通部门能源消费脱钩状态进行了对比分析, 推动了脱钩理论的进一步发展^[5], 此后, 这一方法在经济发展与资源消费或污染物排放的脱钩研究中得到了广泛应用. Nufar 等基于 Tapio 脱钩模型, 比较了全球范围内 114 个国家和地区的经济发展与交通部门 CO₂ 排放之间的脱钩关系^[6]. 彭佳雯等也采用该模型研究了 1980~2008 年我国能源消费起源 CO₂ 排放的脱钩情况^[7].

收稿日期: 2016-12-10; 修回日期: 2017-07-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71573029).

作者简介: 宁亚东*(1966-), 男, 教授, E-mail: ningyd@dlut.edu.cn; 章博雅(1992-), 女, 硕士生, E-mail: boyazhang1992@163.com; 丁 涛(1986-), 男, 博士生, E-mail: dingtao.129@hotmail.com.

Zhang 等采用 Tapio 脱钩模型研究了“十五”和“十一五”期间我国 30 省区的 GDP 与资源消耗(水资源、能源)和污染物排放(CO₂、SO₂ 和废水)之间的脱钩关系^[8],刘怡君等则采用 Tapio 脱钩模型研究了 2006 年我国经济发展百强城市的 GDP 与能源消费之间的脱钩关系^[9].冯博和梁日忠等分别采用 Tapio 脱钩模型研究了我国各省建筑行业 and 化工行业的 CO₂ 排放的脱钩情况^[10-11].文献[12]、[13]、[14]分别采用 Tapio 脱钩模型研究了天津市、江苏省和京津冀地区的经济发展与 CO₂ 为主的污染物排放之间的脱钩关系.

国内外关于经济发展与 CO₂ 排放脱钩关系的研究很多,但对于脱钩驱动因素的研究较少,而在资源环境领域中,关于能源消费和 CO₂ 排放的驱动因素研究通常采用指数分解分析(IDA).指数分解模型可以分为拉氏指数分解(Laspeyres index)和迪氏指数分解(Divisa index)模型,但是其均忽略了剩余项 Δr ,使得结果存在残差,大大地影响了模型的精度.1998 年 Ang 等在迪氏指数分解模型的基础上提出了 LMDI(logarithmic mean Divisa index),并通过取对数平均对剩余项 Δr 进行分配,得到了可消除残差的完全分解模型^[15].Sun 则在拉氏指数分解模型基础上提出了 RLDM (redefined Laspeyres decomposition model),根据“联合生产,平均分配”的原则,将剩余项平均分配到各因素中,同样也得到了可消除残差的完全分解模型^[16].在此后关于能源消费与 CO₂ 排放驱动因素的研究中,LMDI 分解模型和 RLDM 分解模型得到了广泛的应用.2007 年,Diakoulaki 等定义了新的脱钩指数,用政府通过各种手段实现的 CO₂ 减排量和经济增长所导致的 CO₂ 排放增加量的比值来表示,并将 RLDM 分解模型应用到脱钩驱动因素的研究中,对欧盟制造业的碳排放脱钩驱动因素进行了研究^[17].徐盈之等也采用这种分析方法研究了中国制造业碳排放的脱钩情况及其驱动因素^[18].Zhao 和 Zhang 等也采用 LMDI 分解模型,分别研究了广东省交通部门 CO₂ 排放的脱钩情况及其驱动因素和我国经济增长与城镇居民商品能源消费之间的脱钩关系及其驱动因素^[19-20].Wang 等将经典的 Tapio 脱钩模型与 LMDI 分解模型相结合,分析了中国

经济增长与能源消费之间的脱钩情况并研究了其驱动因素^[21].文献[22]也采用相同的分析方法,研究了广东省经济发展与能源碳排放之间的脱钩关系及影响因素.赵爱文等研究了我国经济增长与碳排放之间的脱钩关系及驱动因素^[23].

以上 RLDM 因素分解模型和 LMDI 因素分解模型虽然都能消除残差,提高模型的精度,但这两种分解模型在对剩余项 Δr 进行分配时均采用了算术平均的方法,然而各影响因素的作用并不是均等的,这种平均分配的方法不尽合理.因此,本文基于 Tapio 脱钩模型和扩展的 Kaya 模型,引入权重的概念,提出一种改进的因素分解模型,对长江经济带 1995~2013 年经济发展与 CO₂ 排放之间的脱钩关系及其驱动因素进行研究.

1 研究方法

1.1 碳排放量的计算

本文研究对象为长江经济带,包括上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南 9 省 2 市.本文旨在研究长江经济带的经济发展与 CO₂ 排放之间的脱钩关系,经济发展衡量指标为 GDP,CO₂ 排放量则根据《中国温室气体清单研究》^[24]所给出的方法进行推算,如下式所示:

$$C = \sum_i \sum_j C_{i,j} = \sum_i \sum_j E_{i,j} f_j \quad (1)$$

式中: C 为产业部门能源消费引起的 CO₂ 排放量; i 代表三次产业, j 表示能源品种, $C_{i,j}$ 为第 i 产业的 j 种能源消费所引起的 CO₂ 排放量; $E_{i,j}$ 表示第 i 产业中 j 种能源的消费量; f_j 表示 j 种能源的碳排放系数.能源消费品种中,火电和热力的 CO₂ 排放量计算方法如下式所示:

$$C_t = \sum_j E_{t,j} f_j; \quad C_h = \sum_j E_{h,j} f_j \quad (2)$$

式中: C_t 和 C_h 分别表示火电生产部门和热力生产部门的 CO₂ 排放量. $E_{t,j}$ 和 $E_{h,j}$ 分别表示火电生产部门和热力生产部门 j 种能源的消费量.单位电力和热力消费所排放 CO₂ 量,即电力与热力部门的综合 CO₂ 排放系数可用电力和热力生产过程中所产生的 CO₂ 排放量除以终端能源消费中的电力和热力消费量表示:

$$f_e = C_t / E_e; \quad f_h = C_h / E_h \quad (3)$$

式中： f_e 和 f_h 分别为电力和热力的综合 CO_2 排放系数， E_e 和 E_h 分别表示电力和热力的终端消费总量。将所得的电力和热力消费的 CO_2 排放系数代入式(1)中，可以将能源转换过程（火电和热力生产）中产生的 CO_2 排放量折算到终端消费中。

1.2 脱钩指数的计算及其划分

根据 Tapio 脱钩模型的定义，GDP 与 CO_2 的脱钩指数可以表示为

$$D^t = \frac{\Delta C/C^t}{\Delta G/G^t} = \frac{G^t}{C^t \times \Delta G} \times \Delta C \tag{4}$$

式中： G^t 为目标年份 GDP， C^t 为目标年份的 CO_2 排放量， Δ 表示目标年份与基准年的差值。本文脱钩指数的计算均以上一年为基准年。

本文将脱钩指数划分为 6 个脱钩状态，如表 1 所示。其中，强脱钩(SD)表示 GDP 增长的情况下， CO_2 排放量反而出现了下降；弱脱钩(WD)表示随着 GDP 增长， CO_2 排放量也增长，但其增长速度比 GDP 增速慢；衰退性脱钩(RD)表示 GDP 出现负增长的情况下， CO_2 排放量以更快的速度减少；强负脱钩(SND)表示 GDP 出现下降的情况下， CO_2 排放量反而上升；弱负脱钩(WND)表示 GDP 下降， CO_2 排放量减少，但是其减速慢于 GDP 下降速度；扩张性负脱钩(END)则表示随着 GDP 增加， CO_2 排放量以更快的速度增加。

表 1 脱钩指数及脱钩状态划分

Tab. 1 Decoupling indicators and its criteria

脱钩状态	$\Delta C/C$	$\Delta G/G$	D
强脱钩(SD)	<0	≥ 0	≤ 0
弱脱钩(WD)	>0	>0	$>0, <1$
衰退性脱钩(RD)	≤ 0	<0	≥ 1
强负脱钩(SND)	≥ 0	<0	≤ 0
弱负脱钩(WND)	<0	<0	$>0, <1$
扩张性负脱钩(END)	>0	>0	≥ 1

1.3 脱钩驱动因素的分解模型

根据扩展的 Kaya 恒等式，影响 CO_2 排放的因素可分解到经济因素（经济规模）、结构因素（产业结构）、能源强度因素（单位 GDP 能耗）和碳排放系数（单位能耗 CO_2 排放量）4 个因素上，如下式所示：

$$C = \sum_{i=1}^3 \left(G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} \right); i = 1, 2, 3 \tag{5}$$

式中： G_i 、 E_i 和 C_i 分别为第 i 产业的 GDP、能源

消费量和 CO_2 排放量， G 为 GDP 总量。则 CO_2 排放量的增量 ΔC 可进行如下分解：

$$\begin{aligned} \Delta C = & \sum_{i=1}^3 \left(\Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} \right) + \\ & \sum_{i=1}^3 \left(G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} \right) + \\ & \sum_{i=1}^3 \left(G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} \right) + \\ & \sum_{i=1}^3 \left(G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} \right) + \Delta r \tag{6} \end{aligned}$$

CO_2 排放量的增量 ΔC 可以分解到经济因素、结构因素、能源强度因素和碳排放系数因素 4 个因素上，但分解结果存在剩余项 Δr ，它是影响分解模型精度的主要因素。本研究提出了剩余项的权重分配法，按照各因素的权重将剩余项 Δr 分配到各因素中，如下式所示：

$$\begin{aligned} w_i^j &= \frac{|C_i|}{|C_i| + |C_j|} \\ w_i^{j,k} &= \frac{|C_i|}{|C_i| + |C_j| + |C_k|} \\ w_i^{j,k,l} &= \frac{|C_i|}{|C_i| + |C_j| + |C_k| + |C_l|} \end{aligned} \tag{7}$$

式中： w 为权重， $i, j, k, l \in \{G, S, I, M\}$ ，且互不相等。 w_i^j 、 $w_i^{j,k}$ 和 $w_i^{j,k,l}$ 分别为二、三、四个因素共同作用下的权重，且有

$$\begin{aligned} w_i^j + w_j^i &= 1 \\ w_i^{j,k} + w_j^{i,k} + w_k^{i,j} &= 1 \\ w_i^{j,k,l} + w_j^{i,k,l} + w_k^{i,j,l} + w_l^{i,j,k} &= 1 \end{aligned} \tag{8}$$

则经济因素导致的 CO_2 排放变化量可以表示为

$$\begin{aligned} G_e = & \sum_{i=1}^3 \left(\Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \right. \\ & w_G^S \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ & w_G^I \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ & w_G^M \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ & w_G^{S,I} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ & w_G^{S,M} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ & w_G^{I,M} \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ & \left. w_G^{S,I,M} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} \right) \tag{9} \end{aligned}$$

结构因素导致的 CO₂ 排放的变化量可以表示为

$$S_e = \sum_{i=1}^3 \left(G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \right. \\ w_S^G \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ w_S^I \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ w_S^M \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_S^{G,I} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ w_S^{G,M} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_S^{I,M} \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ \left. w_S^{G,I,M} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} \right) \quad (10)$$

能源强度因素导致的 CO₂ 排放的变化量可以表示为

$$I_e = \sum_{i=1}^3 \left(G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \right. \\ w_I^G \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ w_I^S \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ w_I^M \times G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_I^{G,S} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \frac{C_i}{E_i} + \\ w_I^{G,M} \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_I^{S,M} \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ \left. w_I^{G,S,M} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} \right) \quad (11)$$

碳排放系数因素导致的 CO₂ 排放的变化量可以表示为

$$M_e = \sum_{i=1}^3 \left(G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \right. \\ w_M^G \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_M^S \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_M^I \times G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ \left. w_M^{G,S} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \right.$$

$$w_M^{G,I} \times \Delta G \times \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ w_M^{S,I} \times G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} + \\ \left. w_M^{G,S,I} \times \Delta G \times \Delta \frac{G_i}{G} \times \Delta \frac{E_i}{G_i} \times \Delta \frac{C_i}{E_i} \right) \quad (12)$$

将式(9)~(12)代入式(4),可得

$$D' = \frac{G'}{\Delta G \times C'} \times \Delta C = \\ \frac{G'}{\Delta G \times C'} \times (G_e + S_e + I_e + M_e) = \\ \frac{G' \times G_e}{\Delta G \times C'} + \frac{G' \times S_e}{\Delta G \times C'} + \frac{G' \times I_e}{\Delta G \times C'} + \frac{G' \times M_e}{\Delta G \times C'} = \\ D_G^t + D_S^t + D_I^t + D_M^t \quad (13)$$

则目标年份的脱钩状态是由经济因素(D_G^t)、结构因素(D_S^t)、能源强度因素(D_I^t)和碳排放系数因素(D_M^t)4 个因素共同作用的结果。

2 数据来源

本文研究时间范围为 1995~2013 年,GDP、能源消费量和 CO₂ 排放量为长江经济带 9 省 2 市的数据之和.各省、市 GDP 数据来源于《中国统计年鉴》(1996~2014 年),为了消除价格因素的影响,GDP 数据按 2005 年的可比价格折算.各省、市能源消费数据取自《中国能源统计年鉴》(1996~2014 年)中的分地区能源平衡表.各种能源的 CO₂ 排放系数参考 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II^[25].

3 研究结果与分析

3.1 碳排放量推算结果与分析

根据式(1)~(3),可推算长江经济带 1995~2013 年碳排放情况,结果如图 1 所示.从图中可以看出,长江经济带三次产业碳排放量基本呈逐年增长趋势,从 1995 年的 7.50×10^8 t 增加到 2012 年的 26.28×10^8 t,尤其是自 2001 年我国加入 WTO 以后,增长速度明显加快.进入“十二五”以后,CO₂ 排放量增长趋势减缓,在 2013 年 CO₂ 排放量还出现了下降,降为 26.07×10^8 t.从产业角度来看,第二产业是 CO₂ 排放的主要来源,占 CO₂ 排放量的 80%左右.此外,第二产业 CO₂ 排放量的占比呈下降趋势,从 1995 年的 83.88%下降到 2013 年的 77.59%,并且自 2000 年开始,第二产业 CO₂ 排放量的占比均低于全国同期水平.

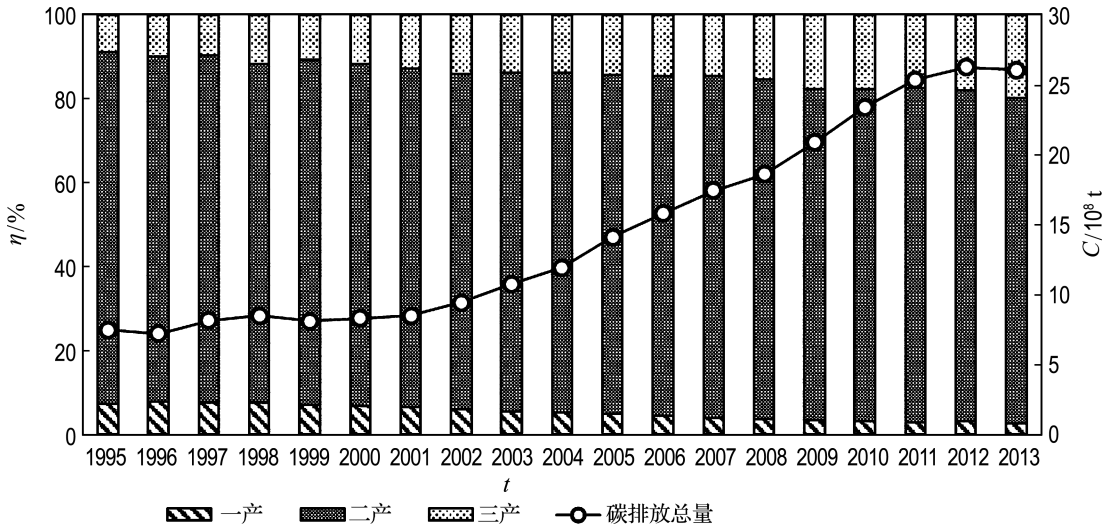


图 1 1995~2013 年长江经济带三次产业 CO₂ 排放情况

Fig. 1 Three industrial CO₂ emissions in Yangtze River economic belt in 1995-2013

第三产业 CO₂ 排放量的占比呈增长趋势,从 1995 年的 8.74% 上升到 2013 年的 19.72%。第一产业 CO₂ 排放量占比最少,且总体呈下降趋势,从 1995 年的 7.38% 下降到 2013 年的 2.69%。

3.2 碳排放脱钩状态分析

根据式 (4) 对 1996~2013 年长江经济带 GDP 与 CO₂ 排放的脱钩情况进行了计算,结果如表 2 所示。从表中可以看出,长江经济带 GDP 与 CO₂ 排放的脱钩关系多数年份表现为弱脱钩状态,部分年份出现强脱钩状态(1996、1999、2013 年)和扩张性负脱钩状态(1997、2002、2005、2008、2009 年)。总体趋势上可分为 3 个阶段。(1)1996~2001 年,这一阶段经济发展较为平稳,GDP 平均增速为 10.17%,除 1997 年外,所有年份均处于弱脱钩甚至强脱钩状态。(2)2002~2009 年,经济迅速发展,GDP 年均增长率高达 12.67%,期间第二产业比重增加,第一产业比重迅速下降,CO₂ 排放量快速增加。这一阶段 CO₂ 排放与 GDP 之间的脱钩指数居高不下,多年出现了扩张性负脱钩状态。(3)2010~2013 年,进入“十二五”以后,碳排放增长趋势减缓,脱钩指数持续下降,2013 年降至负值,出现强脱钩状态,说明这一阶段长江经济带低碳发展取得了一定成果。

3.3 脱钩的驱动因素分析

由式 (9)~(13),可对长江经济带 1996~2013 年 GDP 与 CO₂ 排放之间的脱钩指数进行分解,分解结果如图 2 所示。图中各因素的脱钩指数

表 2 1996~2013 年长江经济带 CO₂ 排放与 GDP 脱钩情况

Tab. 2 Variation of decoupling between CO₂ emission and GDP in Yangtze River economic belt in 1996-2013

年份	$\Delta C/C$	$\Delta G/G$	脱钩指数	脱钩状态
1996	-0.04	0.11	-0.36	SD
1997	0.12	0.10	1.09	END
1998	0.04	0.09	0.61	WD
1999	-0.05	0.08	-0.37	SD
2000	0.02	0.09	0.46	WD
2001	0.02	0.09	0.36	WD
2002	0.10	0.10	1.17	END
2003	0.12	0.11	0.69	WD
2004	0.10	0.12	0.64	WD
2005	0.16	0.11	1.24	END
2006	0.11	0.12	0.92	WD
2007	0.09	0.13	0.79	WD
2008	0.06	0.11	1.11	END
2009	0.11	0.11	1.03	END
2010	0.11	0.12	0.79	WD
2011	0.08	0.11	0.84	WD
2012	0.03	0.10	0.48	WD
2013	-0.01	0.09	-0.50	SD

大于 0 时,说明该因素导致总脱钩指数增加,脱钩状态向负脱钩方向发展,则该因素对脱钩起阻碍作用;当脱钩指数小于 0 时,说明该因素导致总脱钩指数减小,使脱钩状态向脱钩方向发展,则该因素对脱钩起促进作用。由图可知,1996~2013 年,

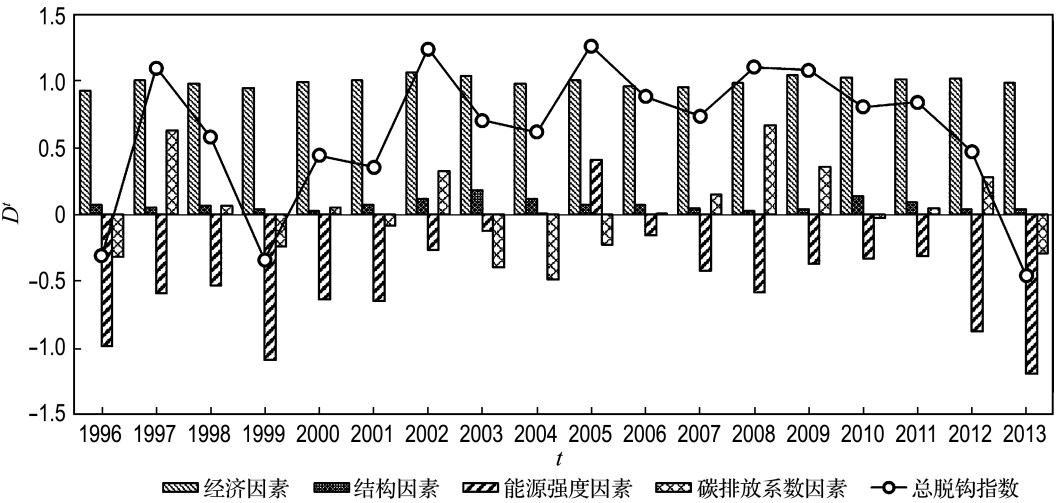


图 2 1996~2013 年长江经济带脱钩指数的因素分解

Fig. 2 Decomposition of decoupling indicator in Yangtze River economic belt in 1996-2013

经济因素对 GDP 与 CO₂ 排放的脱钩一直起稳定的阻碍作用. 另一个对脱钩起阻碍作用的是结构因素, 在研究期间内其脱钩指数一直为正值. 主要原因是在 1995~2013 年间, CO₂ 排放强度最大的第二产业的 GDP 比重呈较快上升状态, 由 1995 年的 41.35% 上升到 2013 年的 53.45%, 而 CO₂ 排放强度较低的第三产业 GDP 比重上升趋势不明显, 由 1995 年的 36.52% 上升到 2013 年的 40.15%, 说明这些年来长江经济带的产业结构调整并不利于其 GDP 与 CO₂ 排放的脱钩. 能源强度因素是长江经济带 GDP 与 CO₂ 排放脱钩的主要促进因素, 在研究期间内, 除 2004 和 2005 年, 绝大多数年份的能源强度因素均为负值, 即使 GDP 与 CO₂ 排放之间的关系向脱钩方向发展. 碳排放系数因素主要受能源结构的影响, “低碳”化的能源结构将促使碳排放系数因素对脱钩起促进作用. 然而在本文研究范围内, 碳排放系数因素对脱钩的影响并不稳定, 而且很多年份为正值, 即对 CO₂ 排放的脱钩起阻碍作用, 尤其是 2005 年以后, 只有 2010 年和 2013 年对脱钩起促进作用, 说明近年来长江经济带的能源结构变化总体上并不利于 CO₂ 排放的脱钩.

4 结 语

(1) 1995~2012 年, 长江经济带三次产业能源消费起源的 CO₂ 排放总量逐年增加, 2013 年稍有下降. 第二产业 CO₂ 排放量占三次产业 CO₂ 排

放总量的 80% 左右, 第三产业次之, 第一产业最少.

(2) 1996~2013 年, 长江经济带经济发展与 CO₂ 排放之间的脱钩关系在大部分年份处于弱脱钩状态, 部分年份出现强脱钩和扩张性负脱钩状态. 进入“十二五”后脱钩指数持续下降, 脱钩状态较好.

(3) 在影响脱钩的 4 个因素中, 经济因素是阻碍长江经济带 CO₂ 排放向脱钩方向发展的最主要因素, 结构因素也对 CO₂ 脱钩起阻碍作用. 能源强度因素是促进 CO₂ 脱钩的最主要因素, 碳排放系数因素影响不稳定.

基于以上研究结果, 适当减缓经济发展速度, 推进产业结构调整, 积极转变经济增长方式, 推动产业转型与升级, 提高能源利用效率, 加快能源的清洁化和低碳化建设, 走绿色低碳的发展道路, 可有效推进长江经济带的碳排放实现脱钩.

参考文献:

[1] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth [R]. Paris: OECD, 2002.

[2] YU Yadong, CHEN Dingjiang, ZHU Bing, *et al.* Eco-efficiency trends in China, 1978-2010: Decoupling environmental pressure from economic growth [J]. *Ecological Indicators*, 2013, **24**(1): 177-184.

[3] 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.
- [4] MUANGTHAI I, LEWIS C, LIN S J. Decoupling effects and decomposition analysis of CO₂ emissions from Thailand's thermal power sector [J]. **Aerosol and Air Quality Research**, 2014, **14**(7):1929-1938.
- [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] NUFAR F, TAPIO P. **Decoupling Transport CO₂ from GDP** [M/OL]. [2012-01-01]. http://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/e-tutu/Documents/eBook_2012-1.pdf.
- [7] 彭佳雯,黄贤金,钟大洋,等. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J]. 资源科学, 2011, **33**(4): 626-633.
- PENG Jiawen, HUANG Xianjin, ZHONG Taiyang, *et al.* Decoupling analysis of economic growth and energy carbon emissions in China [J]. **Resources Science**, 2011, **33** (4): 626-633. (in Chinese)
- [8] ZHANG Zilong, XUE Bing, PANG Jiaxing, *et al.* The decoupling of resource consumption and environmental impact from economic growth in China: spatial pattern and temporal trend [J]. **Sustainability**, 2016, **8**(3):su8030222.
- [9] 刘怡君,王丽,牛文元. 中国城市经济发展与能源消耗的脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, **21**(1):70-77.
- LIU Yijun, WANG Li, NIU Wenyuan. Decoupling research between economic development and energy consumption of China's cities [J]. **China Population Resources and Environment**, 2011, **21** (1): 70-77. (in Chinese)
- [10] 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, **25**(4):28-34.
- FENG Bo, WANG Xueqing. Research on carbon decoupling effect and influence factors of provincial construction industry in China [J]. **China Population Resources and Environment**, 2015, **25**(4):28-34. (in Chinese)
- [11] 梁日忠,张林浩. 1990年-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, **35**(2):268-274.
- LIANG Rizhong, ZHANG Linhao. Decoupling effects and rebound effects in the Chinese chemical sector from 1990-2008 [J]. **Resources Science**, 2013, **35**(2):268-274. (in Chinese)
- [12] WANG Zhe, ZHAO Lin, MAO Guozhu, *et al.* Eco-efficiency trends and decoupling analysis of environmental pressures in Tianjin, China [J]. **Sustainability**, 2015, **7**(11):15407-15422.
- [13] ZHANG Ming, WANG Wenwen. Decouple indicators on the CO₂ emission-economic growth linkage:The Jiangsu province case [J]. **Ecological Indicators**, 2013, **32**:239-244.
- [14] WANG Zhaohua, YANG Lin. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case [J]. **Ecological Indicators**, 2015, **48**:41-48.
- [15] ANG B W, ZHANG F Q, CHOI K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition [J]. **Energy**, 1998, **23**(6): 489-495.
- [16] SUN J W. Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model [J]. **Energy Economics**, 1998, **20** (1): 85-100.
- [17] DIAKOULAKI D, MANDARAKA M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector [J]. **Energy Economics**, 2007, **29**(4):636-664.
- [18] 徐盈之,徐康宁,胡永舜. 中国制造业碳排放的驱动因素及脱钩效应[J]. 统计研究, 2011, **28**(7):55-61.
- XU Yingzhi, XU Kangning, HU Yongshun. Driving factors and decoupling effect of carbon emissions: evidence from China's manufacturing sector [J]. **Statistical Research**, 2011, **28** (7): 55-61. (in Chinese)
- [19] ZHAO Yalan, KUANG Yaoqiu, HUANG Ningsheng. Decomposition analysis in decoupling transport output from carbon emissions in Guangdong province, China [J]. **Energies**, 2016, **9**(4):295.
- [20] ZHANG Ming, GUO Fangyan. Analysis of rural residential commercial energy consumption in China [J]. **Energy**, 2013, **52**:222-229.

[21] WANG Wenwen, LIU Xiao, ZHANG Ming, *et al.* Using a new generalized LMDI (logarithmic mean Divisia index) method to analyze China's energy consumption [J]. **Energy**, 2014, **67**:617-622.

[22] WANG Wenxiu, KUANG Yaoqiu, HUANG Ningsheng, *et al.* Empirical research on decoupling relationship between energy-related carbon emission and economic growth in Guangdong province based on extended Kaya identity [J]. **The Scientific World Journal**, 2014(5):782750.

[23] 赵爱文,李 东. 中国碳排放与经济增长间脱钩关系的实证分析[J]. 技术经济, 2013, **32**(1):106-111.
ZHAO Aiwen, LI Dong. Empirical analysis on decoupling relationship between carbon emission and economic growth in China [J]. **Technology Economics**, 2013, **32**(1):106-111. (in Chinese)

[24] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 中国温室气体清单研究[M]. 北京: 中国环境出版社, 2005.
Department for Climate Change, National Development and Reform Commission. **The People's Republic of China National Greenhouse Gas Inventory** [M]. Beijing: China Environmental Press, 2005. (in Chinese)

[25] IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II** [M]. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2008.

Study of decoupling states of CO₂ emission and its driving factors
in Yangtze River economic belt

NING Yadong*, ZHANG Boya, DING Tao

(Key Laboratory of Ocean Energy Utilization and Energy Conservation of Ministry of Education,
Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The relationship between economic growth and CO₂ emission is an important indicator in the construction of low-carbon economy. Yangtze River economic belt (YREB) is one of China's "three supporting belts". Thus, it is of great importance to study the relationship between economic growth and CO₂ emission in YREB. Tapio decoupling model and improved WCDM (weighting complete decomposition model) are applied to study the decoupling relationship between economic growth and CO₂ emission and its driving factors in 1995-2013 in YREB. The results show that; the three industrial CO₂ emission amount in YREB roughly increases year by year in 1995-2012 and decreases slightly in 2013 while taking one third of the total CO₂ emission amount of the whole country. The second industry is main resource of CO₂ emission accounting for about 80% of total amount. The relationship between economic growth and CO₂ emission shows weak decoupling state in most years of the study period, strong decoupling state and expansive negative decoupling state exist in the other years. The economic factor is the main factor leading to the negative decoupling state and the energy intensity factor is the most crucial factor facilitating the decoupling process. The economic structural factor prevents the economic growth decoupling from CO₂ emission and the effect of CO₂ emission factor is unstable.

Key words: Yangtze River economic belt; CO₂ emission; Tapio decoupling model; weighting complete decomposition model