

引用格式: 马雪菲, 杨华龙, 邢玉伟. 中国国际贸易海运 CO₂ 排放特征及驱动因素研究[J]. 资源科学, 2018, 40(10): 2132–2142.
[Ma X F, Yang H L, Xing Y W. Study on characteristics and driving factors of CO₂ emissions from China's international maritime transportation sector[J]. *Resources Science*, 2018, 40(10): 2132–2142.] DOI :10.18402/resci.2018.10.20

中国国际贸易海运 CO₂ 排放特征及驱动因素研究

马雪菲¹, 杨华龙^{1,2}, 邢玉伟¹

(1. 大连海事大学交通运输工程学院, 大连 116026;

2. 大连海事大学综合交通运输协同创新中心, 大连 116026)

摘要:近年来中国国际贸易海运量持续增长, 海运 CO₂ 排放量显著增加, 海运业碳减排问题受到社会各界的广泛关注。本文基于 2001—2016 年的中国海运量数据, 运用 IPCC 清单中“自下而上”的方法, 按照实际货物运输类别将海运细分成液体散货运输、干散货运输、集装箱运输三种方式, 分别按船型核算以中国为始发地或目的地的国际贸易海运产生的 CO₂ 排放, 并对 CO₂ 排放总量进行时序特征分析; 应用 LMDI 模型对中国国际贸易海运 CO₂ 排放的驱动因素进行分解分析。研究结果表明: ① 2001—2016 年间, 中国国际贸易海运 CO₂ 排放的演进经历了三个阶段, 总体呈显著增加趋势; ② 人均 GDP 和人口始终是加剧 CO₂ 排放的因素, 其中人均 GDP 是 CO₂ 排放增加的最大拉动因素, 反映出中国国际贸易海运 CO₂ 排放与经济发展密切相关; ③ 能源强度因素抑制了海运 CO₂ 排放增加, 成为海运业未来强有力的碳减排驱动因素; 降低海运强度有助于降低 CO₂ 排放; ④ 基于目前的经济社会发展态势, 在没有出台新的针对性政策的情景下, 未来一段时间内中国国际贸易海运 CO₂ 将会保持增长。研究结果可对中国制定海运领域碳减排政策提供参考。

关键词: 国际贸易; 海运; LMDI 法; CO₂ 减排; 政策建议; 中国

DOI :10.18402/resci.2018.10.20

1 引言

中国是世界第一大贸易国, 总贸易量的 90% 都是通过海运完成的^[1]。中国国际贸易海运的货物类型以原油、化学品、成品油、干散货、集装箱为主, 据克拉克森数据库^[2]统计, 其贸易海运量已经从 2001 年的 5.73 亿 t 增长到 2016 年的 28.36 亿 t, 占世界海运贸易量的比例相应地从 8.9% 上升至 25.5%。中国国际贸易海运量的持续增长必然伴随着更多的燃油消耗, 进而导致中国领海内温室气体大幅度增加^[3]。中国已于 2009 年超越美国, 成为世界第一大碳排放国^[4]。作为一个负责任的发展中大国, 中国政府在 2016 年加入旨在减缓全球气候变暖的《巴黎协定》^[5], 根据协定, 中国有义务加快温室气体减排的脚步, 并在减排政策及制度等方面推动相应改

革。同时, 国际海运组织(IMO)在 2016 年发布了海运业温室气体减排路线图, 路线图分为三个阶段, 初步拟于 2018 年制定海运业 CO₂ 减排目标, 最后将于 2023 年实施全球统一的海运碳减排政策^[6]。由此可见, 中国所面临的国际贸易海运 CO₂ 减排形势十分严峻, 测算由中国国际贸易海运产生的 CO₂ 排放量研究, 探讨中国国际贸易海运 CO₂ 排放特征, 分析 CO₂ 排放变化的驱动因素, 对中国政府有关部门制定可行的海运业碳排放政策, 推进碳减排具有重要意义。

国内外学者对交通行业 CO₂ 排放问题做了大量研究。在 CO₂ 排放测算方面, 许多学者针对中国交通业整体运输层面产生的 CO₂ 排放进行了测算^[7,8]。对于具体运输方式的测算研究, 主要集中在公路和

收稿日期: 2018-01-04; 修订日期: 2018-02-09

基金项目: 国家自然科学基金(71372088); 辽宁省高等教育内涵发展专项资金(协同创新中心)项目(201101116102)。

作者简介: 马雪菲, 女, 辽宁鞍山人, 博士生, 主要研究方向为航运碳排放问题研究。E-mail: mxfdlmu@163.com

通讯作者: 杨华龙, E-mail: hlyang@dlnu.edu.cn

2018年10月

铁路上^[9,10],这与这两种运输方式与居民生活联系紧密有关。在水路运输方面,CO₂排放问题的研究相对较少。典型研究包括:周玲玲等^[1]和顾伟红等^[11]对近年来中国船公司经营的国际航行船舶CO₂排放进行测算;邢辉等^[12]建立了中国水路运输能源消耗和废气排放测算模型,并基于经济增长预测估算至2030年中国水路运输产生的废气排放;Hao等^[13]运用了三种方法,测算了2006—2012年中国内河、沿海、远洋运输产生的CO₂排放量。

在CO₂排放的驱动因素研究方面,指数分解法中的对数平均权重分解(LMDI)法是国内外学者运用的主要研究工具^[14-15]。LMDI法自2009年以后逐步被应用到中国的交通运输行业CO₂排放问题研究中^[16]。如喻洁等^[17]运用LMDI法定量分析了2005—2011年间交通运输行业CO₂排放变化的主要影响因素,结果表明交通运输能源强度和交通运输强度的下降显著抑制了CO₂排放的增加。吴开亚等^[18]和卢升荣等^[19]采用LMDI法分别对上海及长江经济带的交通运输业CO₂排放变化进行影响因素研究,分析出各自的促进因素和抑制因素,并根据研究结果提出政策建议。

综上,已有研究主要探索了整个交通行业CO₂排放规律,有关海运CO₂排放问题的研究从视角和方法上看仍存在以下不足:一是其研究对象主要局限于中国船公司营运的船舶或悬挂中国旗的船舶。随着中国国际进出口海运贸易需求不断增长,由中国国际贸易引发的,即以中国为起始地或目的地的国际贸易海运CO₂排放不容忽视。二是其研究内容主要以测算CO₂排放量为主,未能对驱动海运业CO₂排放变化的因素进行探索,只有科学地研究各驱动因素对贸易海运CO₂排放的作用才能更有针对性地提出减排措施。三是在其研究方法中均未对运输的货物类型及采用的相应船型进行细分。实际上,不同船型单位周转量能耗存在明显差异,忽略船型因素会导致研究结果存在一定偏差。

基于此,本文采用“自下向上”的CO₂排放测算方法,根据2001—2016年中国国际贸易海运量数据,将实际运输的货物类别按船型进行归类,分别测算液体散货、干散货、集装箱三大船型的中国国际贸易海运CO₂排放量,从而更准确地核算出CO₂

排放总量并分析其演进特征;在此基础上,引入货类结构、海运强度等有针对性的驱动因素,建立LMDI模型,探讨各因素对中国国际贸易海运CO₂排放变化的影响,为国家制定有针对性的海运碳减排政策提供决策依据。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 中国国际贸易海运CO₂排放的核算方法

根据IPCC(政府间气候变化专门委员会)推荐,CO₂排放的估算方法有两种:“自上向下”方法(top-down approach)和“自下向上”方法(bottom-up approach)^[20]。

在海运CO₂排放测算中,采用“自上向下”方法,就是将船舶燃油消耗量与燃油的CO₂排放因子相乘,即可得到海运CO₂排放量。该方法主要基于船用燃料消耗统计数据,数据来源是燃油供应商或燃油监控系统。由于该方法根据直接获得的燃油数据估算CO₂排放量,计算结果应该会更准确。然而,燃油数据中的差异在实际问题研究时可能会对结果造成影响;而且根据中国的国情,从燃油供应商处无法得到燃油消耗的实际数据,也不具备燃油监控系统。目前,世界上只有29个国家或地区的国际海运燃油销售数据可供收集并查询,其中并不包括中国^[21]。

采用“自下向上”方法,就是基于船舶活动数据进行测算,估算由这些活动导致的燃油消耗量,进而估算CO₂排放量。与“自上而下”方法相比,“自下向上”方法更加灵活,即可以根据设定的变量以及模型假设条件,建立更为符合实际的CO₂排放测算模型^[22]。结合不同船型之间单位周转量能耗差异很大的海运实际情况,采用“自下向上”方法,基于船舶实际周转量数据,将货物类型按船型进行归类,分具体船型估算CO₂排放量,并最终获得海运CO₂排放总量,可更准确地定量测算出海运CO₂排放量。

为此,本文采用“自下向上”方法,根据中国国际贸易海运周转量数据,结合海运船舶能耗差异的实际情况,建立中国国际贸易海运CO₂排放测算模型。具体测算方法如下:

$$\begin{aligned} C' &= \sum_i^n C'_i = \sum_i^n E'_i \times CF' = \sum_i^n T'_i \times R'_i \times CF' \\ &= \sum_i^n V'_i \times D'_i \times R'_i \times CF' \end{aligned} \quad (1)$$

式中 C^t 表示 t 年的 CO_2 排放总量; C_i^t 表示 t 年第 i 种船型燃油消耗所产生的 CO_2 排放量, 其中 i 代表船型种类, 包括液体散货船运输、干散货船运输、集装箱船运输; E_i^t 表示 t 年第 i 种船型的能源消耗量; CF^t 表示 t 年燃油的 CO_2 排放因子; T_i^t 表示 t 年第 i 种船型的货物周转量; R_i^t 表示 t 年第 i 种船型的单位运输周转量能耗; V_i^t 表示 t 年第 i 种船型的海运量; D_i^t 表示 t 年第 i 种船型的货物运输距离。

近年来, 远洋船舶通常都使用重油作为燃料^[21], 故本文涉及的三种船型所使用的燃料均为重油。这里需要说明的是, 根据中国国际贸易海运量实际数据, 原油、液体化学品、成品油的贸易海运量较小, 无法进行单独分类, 故将这三种货物运输统一归类为液体散货船运输。

2.2 中国国际贸易海运 CO_2 排放变化因素分解模型

为揭示中国国际贸易海运 CO_2 排放变化的影响机理, 本文采用LMDI分解分析法选取相关因素, 构建分解模型。对于中国国际贸易海运 CO_2 排放变化驱动因素的确定, 本文首先对已有文献中, 交通运输行业 CO_2 变化分解选取的驱动因素进行逐一分析, 结果表明 CO_2 排放因子、能源结构、经济因素、人口因素是研究中共同选取的4个因素^[16,17,19]。除以上普遍选取的因素外, 对其余因素的选取, 基于研究对象的特点及性质, 不同文献略有不同。除选取了 CO_2 排放因子、能源结构、经济因素、人口因素外, Wang等^[16]在交通业 CO_2 排放的因素分解时还采用了交通运输结构、交通运输强度2个因素, 喻洁等^[17]加入了能源强度、交通运输结构、交通运输强度3个因素, 卢升荣等^[19]则选取了能源强度、单位换算周转量增加值、交通运输强度3个因素。综合已有研究, 结合中国国际贸易海运业的实际情况, 基于指标选取数据可得原则, 本文主要选取了 CO_2 排放因子、能源强度、货类结构、海运强度、经济因素和人口因素6个驱动因素, 对中国国际贸易海运 CO_2 排放驱动因素进行研究。其中, 货类结构因素的确定基于交通运输行业 CO_2 排放变化分解研究中的交通运输结构因素, 海运强度因素的确定则基于交通运输强度因素。

基于LMDI法及确定的6个影响因素, 对中国

国际贸易海运 CO_2 排放分解可用如下公式表示:

$$C^t = \sum_i \frac{C_i^t}{E_i^t} \times \frac{E_i^t}{T_i^t} \times \frac{T_i^t}{T^t} \times \frac{T^t}{GDP^t} \times \frac{GDP^t}{P^t} \times P^t \quad (2)$$

式中 E_i^t 表示 t 年第 i 种船型的能源消耗量; T_i^t 表示 t 年第 i 种船型的货物周转量; T^t 表示 t 年三种船型的总货物周转量; GDP^t 表示 t 年中国的GDP(2000年不变价); P^t 表示 t 年中国的总人口。

公式(2)可进一步表示为:

$$C^t = \sum_i EC^t \times EI_i^t \times TS_i^t \times TI^t \times RG^t \times P^t \quad (3)$$

式中 EC^t 表示重油的 CO_2 排放因子; EI_i^t 表示 t 年第 i 种船型的单位周转量的能源消耗, 描述船舶能源强度作用; TS_i^t 表示 t 年不同船型运输的货物在海运运输中所占比例, 起到描述货类结构作用; TI^t 表示 t 年中国经济发展对海运贸易活动的依赖, 传达的是海运贸易活动与经济发展的关系^[17], 用来描述中国国际贸易海运强度; RG^t 表示 t 年的人均GDP, 描述经济发展因素; P^t 为人口因素。

能源的 CO_2 排放系数通常保持不变^[21]。由于本文研究区间为2001—2016年, 时间跨度不大, 故燃料 CO_2 排放因子在研究区间内可视为常数^[17], 因此 $\Delta C_{ec} = 0$ 。设中国国际贸易 CO_2 排放量由基年的 C^0 变化成目标 t 年的 C^t , 由于LMDI的“乘积分解”和“加和分解”最终结果一致, 而后者能较为清晰地分解出影响因素^[23], 根据Ang等^[24]提出的LMDI加和求解方法, 结合公式(3)的分解方式, 可以得到:

$$\Delta C_{tot} = C^t - C^0 = \Delta C_{ec} + \Delta C_{ei} + \Delta C_{ts} + \Delta C_{ti} + \Delta C_{rg} + \Delta C_p \quad (4)$$

$$\Delta C_{ei} = \sum_i L(C_i^t, C_i^0) \ln \left(\frac{EI_i^t}{EI_i^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{ts} = \sum_i L(C_i^t, C_i^0) \ln \left(\frac{TS_i^t}{TS_i^0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{ti} = \sum_i L(C_i^t, C_i^0) \ln \left(\frac{TI^t}{TI^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_{rg} = \sum_i L(C_i^t, C_i^0) \ln \left(\frac{RG^t}{RG^0} \right) \quad (8)$$

$$\Delta C_p = \sum_i L(C_i^t, C_i^0) \ln \left(\frac{P^t}{P^0} \right) \quad (9)$$

$$L(C_i^t, C_i^0) = \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln(C_i^t) - \ln(C_i^0)} \quad (10)$$

2018年10月

式中 ΔC_{tot} 表示基年与 t 年之间 CO₂ 排放量的变化; ΔC_{ec} 、 ΔC_{ei} 、 ΔC_{ts} 、 ΔC_{ti} 、 ΔC_{rg} 、 ΔC_p 分别表示 CO₂ 排放因子、能源强度、货类结构、海运强度、人均 GDP、人口对中国国际贸易海运 CO₂ 排放变化的影响。

须特别指出的是,假设第 i 种船型的单位周转量能源消耗为 0,即 $EI_i^0 \times EI_i^t = 0$,此时应考虑货类结构是否也包含零值,故有两种可能的情形,如表 1 所示。根据 Ang 等^[25]给出的 LMDI 模型中零值的处理方法,本文将出现的零值全部用 10^{-20} 代替,这样一来,两种可能包含零值的情形都可以用 LMDI 分解处理,对应的分解结果见表 1。

表 1 LMDI 分解的两种特殊情形

Table 1 Two exceptional cases in LMDI decomposition

	$TS_i^t TS_i^0$	$\Delta C_{ti,i}$	$\Delta C_{rg,i}$	$\Delta C_{p,i}$	$\Delta C_{ts,i}$	$\Delta C_{ei,i}$
情形 1	0	0	0	0	$(C_i^t - C_i^0)/2$	$(C_i^t - C_i^0)/2$
情形 2	+	0	0	0	0	$C_i^t - C_i^0$

注:“+”表示数值大于 0。

2.3 数据来源及处理

本文所定义的中国国际贸易海运与联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)及 IMO 给出的定义相符,指以中国为始发国或目的地的国际海运贸易,覆盖的船舶不仅仅是中国船公司的船舶,船舶不限船旗国及船舶所属国。本文基于 2001—2016 年中国国际贸易海运周转量测算中国国际贸易海运 CO₂ 排放,周转量的数据由中国国际贸易海运量与运输距离的乘积得到,中国国际贸易海运量来源于克拉克森全球海运量及货种分布数据库(Shipping Intelligence Network)^[26]。货种分布数据库中将中国国际贸易海运运输货物类型细分成包括原油在内共 17 类货物,其中每年液化气、其他液体散货、非集装箱货物、冷藏货物这 4 类货物海运量之和只占当年海运量总量的 0.8%,可忽略不计,故不列入统计。由于从事中国国际贸易海运货物的运输距离无法获取,因此,本文取当年 13 类货物在世界海运贸易中的平均运距作为估算依据。依据 13 类货物的类别及实际运输所采用的船型,将货物运输归类为液体散货船运输、干散货船运输、集装箱船运输。

不同船型的单位运输周转量能耗平均值来自《2009 年国际海事组织第二次温室气体研究报告》^[27]及文献[28]。2001—2016 年中国 GDP 和人口的数

据来自于《中国统计年鉴》^[29],其中 GDP 以 2000 年不变价进行计算。本文还假设重油燃料 CO₂ 排放因子在研究区间内保持不变,采用《2014 年国际海事组织第三次温室气体研究报告》^[21]给出的数据进行研究。

3 结果分析和讨论

3.1 中国国际贸易海运 CO₂ 排放演进特征

根据公式(1),基于货物及船舶类型,分别测算液体散货船、干散货船、集装箱船三种船型由中国国际贸易海运产生的 CO₂ 排放量,进而得到中国国际贸易海运 CO₂ 排放总量,具体结果见图 1。

由图 1 可知,中国国际贸易海运活动产生的 CO₂ 排放从 2001 年的 0.37 亿 t,增长到 2016 年的 1.49 亿 t,年平均增长率为 9.1%。图 2 汇报了 2001—2015 年中国国际贸易海运 CO₂ 排放变化的短期和长期演进趋势。本文将 2001 年设定为基期,依据环比法和定基法分别绘制 CO₂ 变化的短期和长期变动曲线,前者反映的是当年 CO₂ 排放与上一年 CO₂ 排放相比的变化情况,后者反映的是当年 CO₂ 排放与 2001 年 CO₂ 排放相比的变化情况。

从短期来看,中国国际贸易海运 CO₂ 排放的变化大致经历了三个阶段。第一个阶段(2001—2007 年),CO₂ 排放的增加量主要呈持续扩张趋势。之所以呈现这一趋势,主要是因为研究区间内中国融入经济全球化的步伐加快,国际海运需求随之增长。第二个阶段(2007—2014 年),各年份 CO₂ 排放的增

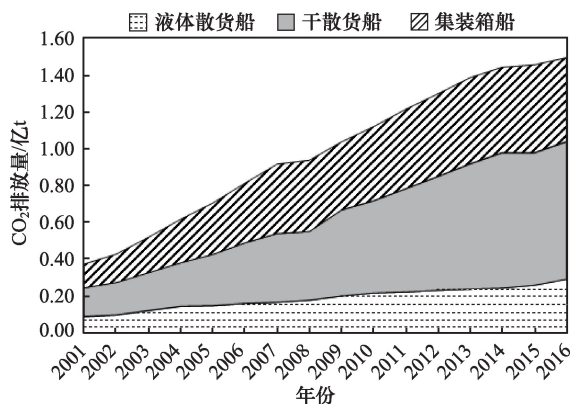


图 1 2001—2016 年中国国际贸易海运活动产生的 CO₂ 排放变化趋势

Figure 1 CO₂ emissions from international marine trade in China from 2001 to 2016

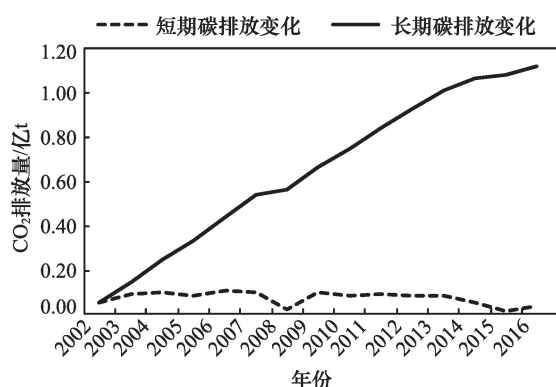


图2 2001—2016年中国国际贸易海运CO₂排放变化的演进特征

Figure 2 Evolution trend of changes of CO₂ emissions in short and long terms in China from 2001 to 2016

加量持续波动,与第一阶段相比略微下降。需要说明的是,由于2007—2008年两年间全球出现金融危机,国际海运业也受到严重影响,因此这两年间中国国际贸易海运CO₂排放几乎没有变化。第三个阶段(2014—2016年),CO₂排放增加量小规模扩张,这可能与国际与中国国内对资源环境的约束加强有关。其中,2014—2015年CO₂排放量增幅很不显著,一方面可能由于中国国内基础建设投资减速,钢铁行业需求降低,铁矿石海运需求量大幅降低;另一方面,中国政府自2014年底对进口煤加征关税,并抑制国内煤价上涨,因此煤炭海运量在2015年出现了萎缩。以上两个因素可能与这两年间CO₂排放量未出现显著增幅有关^[30]。从长期来看,中国国际贸易海运CO₂量规模扩张趋势较为明显。中国国际贸易海运CO₂排放以2014年为分界点,在此之前,CO₂排放一直处于快速增加的状态,在此之后,CO₂排放增加速度逐渐下降,但CO₂排放总量仍逐年上升。事实上,图2中CO₂变化长期变化曲线的走势主要受短期变化曲线走势影响,前者是后者累计的结果。

图3汇报了2001—2016年液体散货船、干散货船、集装箱船三种船型各自的CO₂排放占总CO₂排放百分比。由图3可知,2001年3种船型的CO₂排放量差距并不大,干散货船的CO₂排放占总量的43.0%,集装箱船的CO₂排放占35.3%,液体散货船的CO₂排放所占比例最低,占总量的21.7%。2001—2008年间,干散货船的CO₂排放所占总量的

比例几乎保持不变,维持在40%左右;集装箱船的CO₂排放增速加快,所占比例由2001年的35.3%增长到2008年的41.6%,与干散货船的CO₂排放量几乎相同。2009—2016年,干散货船的CO₂排放量快速增长,增幅反超集装箱船。总体来看,2016年干散货船是中国国际海运贸易最大的CO₂排放源,约占整个行业CO₂排放的一半,集装箱船和液体散货船的CO₂排放比例分别为30.6%和19.0%。2001—2016年,三种船型的CO₂排放均整体呈上升的趋势,其中干散货船的CO₂排放增幅最大,在16年间增长了接近5倍,这可能与近年来中国不断的加快城镇化建设步伐有关。

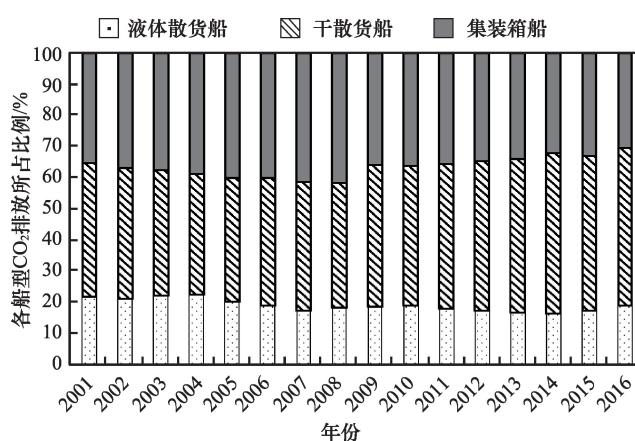


图3 2001—2016年中国干散货船、集装箱船、液体散货船CO₂排放量所占百分比变化

Figure 3 Proportions of CO₂ emissions of dry bulkers, container ships and liquid bulkers in China from 2001 to 2016

3.2 中国国际贸易海运CO₂排放变化分解

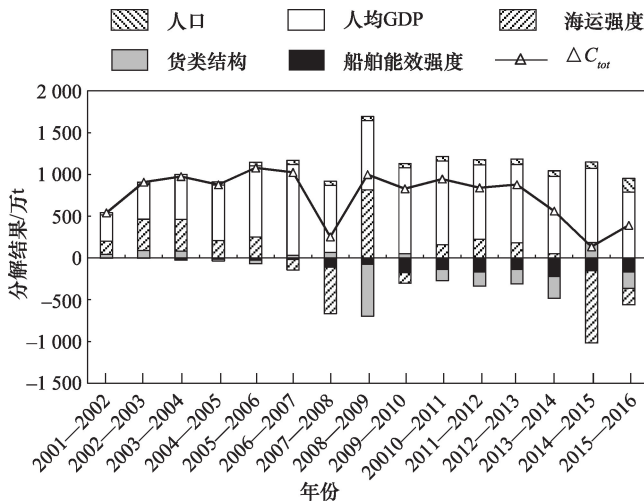
根据LMDI模型,对中国国际海运贸易活动产生的CO₂排放进行因素分解,得到2001—2016年船舶能源强度、货类结构、海运强度、人均GDP、人口五个因素对CO₂变化的累计效应及贡献率,结果如表2所示。由表2可知,2001—2016年,中国国际贸易海运船舶的CO₂排放累计增长了11 235.64万t,而5种因素对海运CO₂排放变化影响各不相同。从累计作用来看,人均GDP、人口、海运强度三种因素加剧了CO₂排放增长,能源强度、货类结构变化抑制了CO₂排放。

同时,可以得到2001—2016年各因素对海运CO₂排放变化作用的逐年分解结果,见图4。由图4可知,2001—2016年,人均GDP和人口因素始终加

2018年10月

表2 2001—2016年各因素对CO₂变化的累计效应及贡献率Table 2 The cumulative effects and contributions of five driving forces on CO₂ emissions changes from 2001 to 2016

	ΔC_{ei}	ΔC_{ts}	ΔC_{ti}	ΔC_{rg}	ΔC_p	ΔC_{tot}
CO ₂ 累计变化/万t	-1 408.21	-1 065.08	938.97	11 914.70	855.25	11 235.64
CO ₂ 累计变化贡献率/%	-12.6	-9.4	8.4	106	7.6	100

图4 2001—2016年中国国际贸易海运船舶CO₂排放变化逐年分解结果Figure 4 Decomposition of CO₂ emissions changes for international marine trade of China from 2001 to 2016

剧中国国际贸易海运的CO₂排放,船舶能源强度始终抑制中国国际贸易海运的CO₂排放,其余各因素对CO₂排放变化作用在不同年份有正有负。结合表2和图4,各因素对CO₂排放变化影响具体分析如下。

3.2.1 船舶能源强度

2001—2016年船舶能源强度,即单耗水平对中国国际贸易海运产生的CO₂排放始终起抑制作用,累计减少CO₂排放-1408.21万t,占中国国际贸易海运CO₂排放变化绝对值的12.6%,是抑制中国国际贸易海运CO₂排放最主要的因素。液体散货船、干散货船、集装箱船三种船型能源强度变化趋势见图5。

由图5可知,各船型之间的能源单耗水平有很大差异,其中集装箱船的单耗水平最高,其单耗水平约为液体散货船的2倍、干散货船的3倍;2001—2016年,液体散货船、干散货船、集装箱船的船舶能源强度均呈缓慢下降趋势,因此,船舶单位周转量能源消耗水平的下降抑制了CO₂排放的增长,即船舶能效效率的提升有利于抑制CO₂排放的增长。根据定量测算结果,船舶能源强度是减少CO₂排放最

显著的因素,表明降低船舶能源强度是抑制CO₂排放的有效途径。

3.2.2 货类结构

货类结构因素在2001—2016年之间对CO₂排放的影响正负不断波动,总体呈抑制作用,累计减少CO₂排放-1065.08万t,占CO₂排放变化绝对值的9.4%,是除船舶能源强度外另一个抑制CO₂排放的因素。货类结构在2001—2016年各年度对中国国际贸易海运CO₂排放变化的贡献如表3所示。

由表3可知,2001—2016年,干散货船海运周转量变化使CO₂排放增加了386.89万t,液体散货船和集装箱船则分别减缓CO₂排放-45.65万t和-1406.32万t。尽管干散货船本身能源强度比其他两种船型低,但由于货物周转量所占比例逐年上升,由2001年的68.2%上升至2016年的72.6%,干散货海运周转量的变化仍加剧了中国国际贸易海运的CO₂排放。液体散货船和集装箱船占总体周转量的比例总体都呈下降趋势,分别由2001年的16.8%和15.0%降至2016年的15.6%和11.8%,两种船型均减缓了CO₂排放。总体而言,液体散货船和集装箱船周转量所占比下降所带来的CO₂排放的减少作用要远远大于干散货船周转量所占比上升所带来的CO₂排放增加作用,因此货类结构变化对CO₂排放变化

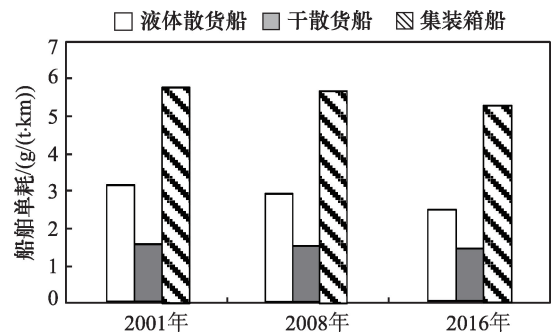


图5 2001—2016年三种船型能源强度变化趋势

Figure 5 Trend of energy intensities of three categories vessels from 2001 to 2016

注:数据依据文献[27,28]整理计算。

表3 2001—2016年货类结构变化对CO₂排放的贡献Table 3 Effect of commodity structure on CO₂ emissions

from 2001 to 2016 (万 t)				
年份	ΔC_{n1}	ΔC_{n2}	ΔC_{n3}	ΔC_{n4}
2001—2002	44.41	-14.65	-11.82	70.88
2002—2003	91.92	65.95	-49.06	75.03
2003—2004	84.03	50.30	-51.21	84.94
2004—2005	-23.43	-143.37	54.20	65.74
2005—2006	-44.45	-80.41	42.51	-6.55
2006—2007	33.68	-99.84	21.23	112.29
2007—2008	67.92	97.12	-58.09	28.89
2008—2009	-620.42	-89.60	258.61	-789.43
2009—2010	51.87	73.56	-44.61	22.92
2010—2011	-134.70	-120.04	93.01	-107.67
2011—2012	-170.43	-57.59	83.91	-196.74
2012—2013	-171.58	-105.62	103.07	-169.03
2013—2014	-262.32	-18.84	103.42	-346.90
2014—2015	186.00	164.33	-135.08	156.74
2015—2016	-197.84	233.05	-23.45	-407.44
2001—2016	-1 065.08	-45.65	386.89	-1 406.32

整体表现出抑制作用。

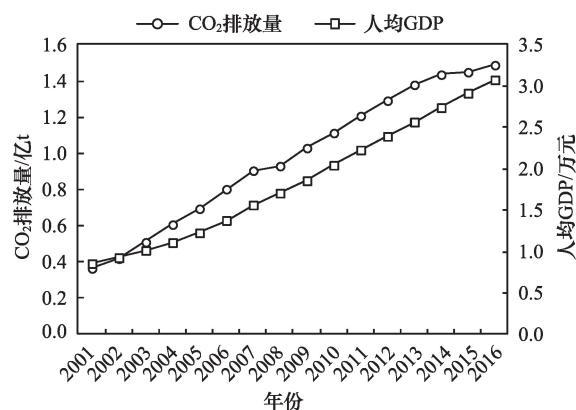
3.2.3 海运强度

2001—2016年间,中国国际贸易海运强度对CO₂排放影响呈波动走势,总体起促进作用,累计增加CO₂排放938.97万t,占中国国际贸易海运船舶CO₂排放变化绝对值的8.4%。交通运输强度可以解释为,经济发展对交通运输的依赖性越大,交通运输强度的值就越大,经济发展所带动的行业能源消耗和CO₂排放也就越多^[17]。交通运输强度对CO₂排放产生的影响是促进还是抑制,会依照实际情况不同而产生差异,因而在已有文献中,该因素对CO₂排放的影响并不确定^[17,19,31]。根据本文的计算结果,中国的经济发展对中国的国际海运贸易活动依赖性主要呈增加趋势。这种趋势可能与中国加入世贸组织后,与各国进出口海运贸易活动来往日渐频繁、联系日渐紧密有关。此外,在一些年份,海运强度对CO₂排放的变化起抑制作用,这表明在这些年份,经济发展对其他交通运输方式的依赖度更高。虽然海运相较于公路和航空,能源消耗强度相对较低,但若优化交通运输方式,推进管道运输及跨境高速铁路运输方式的发展,则可降低海运强度,从而减少中国国际贸易海运CO₂排放量。因而,未

来国际贸易海运碳减排的一个重要方向将是优化低碳交通运输方式结构。

3.2.4 人均GDP

在研究区间内,中国的人均GDP始终对国际贸易海运产生的CO₂排放起促进作用,是加剧CO₂排放增长最重要的因素,这个结论在很多交通运输行业CO₂排放影响因素的研究中得到了证实^[32]。人均GDP这一因素累计增加CO₂排放达1.19亿t,对中国国际海运CO₂排放变化绝对值累计贡献率高达106%,是对CO₂排放影响最显著的因素。2001—2016年中国国际贸易海运产生的CO₂与中国人均GDP之间关系如图6。

图6 2001—2016年中国CO₂排放和人均GDPFigure 6 CO₂ emissions and per capita GDP in China from 2001 to 2016

由图6可以看出,自2001年来,中国人均GDP逐年增长,由0.86万元增长到至2016年3.08万元,增长率为259.2%。中国国际贸易海运产生的CO₂排放变化趋势与人均GDP相一致,由0.37亿t增至1.49亿t,增长率为307.6%。在研究区间内,中国的经济增长同经济全球化进程一齐推动了中国国际贸易海运需求的增加。一方面,中国人均GDP增长促使了人们对个人生活质量、城镇基础设施等要求不断提高,这加剧了对铁矿石、煤炭等大宗商品的进口需求;另一方面,中国的炼油能力和石油储备需求逐年增加,也促使中国的进出口贸易量不断增长^[33]。这些都对海运进出口贸易的能源消耗和CO₂排放起到了较大的促进作用。

目前,中国的经济发展已经进入新常态,今后5年中国经济仍将保持中高速增长,预计年平均增长

2018年10月

仍达6.5%以上^[34],因此经济总量增长使得经济因素在未来一段时间内仍会对中国国际贸易海运CO₂排放增加起拉动作用。除此以外,国家战略新布局“一带一路”政策地出台,强化“海上丝绸之路”点轴建设,促进“一带一路”沿线国家与中国的海运贸易往来^[35],也会对中国国际贸易海运发展起到很大地推动作用。若按照BAU(Business-As-Usual)情景,即基于目前的经济社会发展态势,在没有任何针对性政策的情景下,未来一段时间内中国国际贸易海运CO₂排放将会继续增加。

3.2.5 人口

人口因素始终对中国国际贸易海运CO₂排放起促进作用,但与其他促进因素相比,人口对CO₂排放的促进效果并不那么显著,在研究区间内总计拉动CO₂排放855.25万t,约占CO₂排放变化绝对值的7.6%。中国的人口由2001年的12.67亿人增长至2016年的13.83亿,在16年内增长了超过1亿人。虽然增长的人口数量较多,但由于中国本身人口基数庞大,所以16年间人口因素促使CO₂排放变化并不如其他两个促进因素那么明显。根据中国国家人口规划,中国人口的总规模未来将继续扩大,在“十三五”时期及“十四五”时期仍会增长,预计在2030年前后达到峰值^[36],故人口因素未来仍对CO₂排放变化起促进作用。

4 结论与政策启示

4.1 结论

本文基于IPCC的CO₂排放测算方法,对2001—2016年中国国际贸易海运CO₂排放量进行了核算,并分析了CO₂排放的演进趋势。在此基础上构建LMDI模型,将CO₂排放变化分解为船舶能源强度、货类结构、海运强度、人均GDP和人口等因素,研究不同因素对CO₂变动的贡献和作用。主要结论如下:

(1)在研究区间内,中国国际贸易海运CO₂排放演进大体经历三个阶段,CO₂排放增量持续扩张阶段(2001—2007年)、CO₂排放增量波动下降阶段(2007—2014年)以及CO₂排放增量小规模增加阶段(2014—2016年),研究区间内中国国际贸易海运CO₂排放年平均增长率为9.1%。

(2)经济因素是中国国际贸易海运CO₂排放增长最重要贡献因素,人口因素对CO₂排放增长的贡

献比经济因素微弱,两者均始终对中国国际贸易海运CO₂排放的增长起促进作用。

(3)船舶能源强度的降低是最主要减少CO₂排放的驱动因素,因此,降低船舶的能源强度是减少中国国际贸易海运CO₂排放的有效途径;在不同年份,海运强度对海运CO₂排放变化作用有正有负,降低海运强度、缓解贸易海运运输压力有助于降低海运CO₂排放。

(4)中国经济发展已经进入“新常态”,未来一段时间内将保持中高速增长,国家战略新布局“一带一路”政策的出台和实施也推动着中国国际贸易海运继续发展,在BAU情景下,未来中国国际贸易海运活动产生的CO₂将会继续增长。

4.2 政策启示

(1)研究显示,中国国际贸易海运产生的CO₂排放逐年增长,研究区间内年增长率为9.1%。实际上,中国国际贸易海运所产生的CO₂排放由在中国领海内、国际海域内、贸易目的地国/起始国内三部分CO₂排放量构成。中国国际贸易海运产生的CO₂排放量的增加势必伴随着中国领海内CO₂排放量的增加,给中国带来相应的环境污染,但由于目前缺乏航运监控系统,无法计量船舶在中国领海内的CO₂排放量。因此,中国应建立航运监控系统来监测驶出、驶入中国港口的船只的活动信息,例如船舶行驶路线、燃油消耗等。在这一方面,欧盟的航运监控、报告、核查(MRV)系统可为中国建立航运监控系统提供参考,根据欧盟的规定,所有使用欧盟港口的大型船舶,都需要上报详细的航行信息^[37]。中国可以通过建立航运MRV系统,对使用中国港口的船舶进行数据收集,获得中国领海内CO₂排放的准确数据。掌握中国领海内船舶CO₂排放量是制定航运碳减排政策的前提。

(2)研究结果表明,在BAU情景下,未来一段时间内海运业CO₂排放量仍将保持增长,这体现了新的调控政策介入的必要性。目前,各国主要实施的碳减排政策有碳税和CO₂排放交易系统两种^[38]。中国统一的碳交易市场已经于2017年底启动,初期只纳入了电力行业,碳交易体系地启动对于推进中国生态文明建设是一个积极的信号。但从目标群体考虑,中国统一的碳交易市场针对的群体是中国国

内企业,从事中国国际海运贸易活动的船舶并不限于中国船公司船舶,考虑到受众群体,航运碳税政策使用起来可能更灵活,因为其规避了CO₂排放基线设计及各国CO₂排放配额分配问题^[39]。欧盟正在考虑将航运业纳入到碳交易系统中,这个提议目前正处于欧洲议会、欧盟委员会、欧洲理事会三方共同讨论中。由此可见,欧盟制定航运业减排政策时十分谨慎。中国在制定相应政策时,应密切关注欧盟的决定与政策的实施情况,同时也应确保相关政策条款符合国际有关法律规定。

(3)研究显示,单位周转量能耗的下降是减少中国国际贸易海运CO₂排放的最主要驱动因素,而能效强度的降低主要由技术进步来实现。因此,船舶低碳技术的开发与应用是促进航运业节能减排的根本途径。中国政府可出台相应制度,鼓励船舶采用低碳设计,不断提高能源利用效率。此外,应优化交通运输结构,大力发展管道运输、国际高速铁路货运,大力推动其他低碳环保交通方式,推进中国低碳交通运输体系建设。本文的研究结果是在假设船舶均使用重油作为燃料前提下得出的,但随着船舶低碳能源技术的不断发展,船用液化天然气(LNG)正作为清洁能源被逐步推广,成为传统的重油、轻油的有效替代品。与传统船用燃料相比,LNG燃料会使船舶CO₂排放降低至少25%^[40],由此可见,中国政府还应积极推进LNG等清洁能源在航运行业的应用,加大资金补贴力度,在政策上引导扶持清洁能源动力船舶(如LNG动力船或混合动力船)的发展,推动航运业绿色低碳可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 周玲玲,顾阿伦,叶薇倩,等. 中国未来国际海运CO₂排放量预测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012, 52(8): 1125-1129. [Zhou L L, Gu A L, Ye W Q, et al. Prediction of China's international shipping CO₂ emissions[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2012, 52(8): 1125-1129.]
- [2] Clarksons Research. Global Trade Information Services [EB/OL]. (2017-01-20)[2018-09-03]. <http://www.clarksons.com/services/research/>.
- [3] Guo B, Geng Y, Franke B, et al. Uncovering China's transport CO₂ emission patterns at the regional level [J]. *Energy Policy*, 2014, 74: 134-146.
- [4] 许士春, 习蓉, 何正霞. 中国能源消耗碳排放的影响因素分析及政策启示[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 2-12. [Xu S C, Xi R, He Z X. Influential factors and policy implications of carbon emissions for energy consumption in China[J]. *Resources Science*, 2012, 34(1): 2-12.]
- [5] Zhao X., Zhang X., Li N, et al. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: a sectoral factor decomposition analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 3500-3516.
- [6] Psaraftis H N. Decarbonization of maritime transport: to be or not to be [J]. *Maritime Economics & Logistics*, 2018, (1): 1-19.
- [7] 谢守红, 蔡海亚, 夏刚祥. 中国交通运输业CO₂排放的测算及影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 13-18. [Xie S H, Cai H Y, Xia G X. Calculation of the carbon emissions of Chinese transportation industry and the driving factors[J]. *Journal of Arid Land Resources & Environment*, 2016, 30(5): 13-18.]
- [8] 刘爽, 赵明亮, 包姹娜, 等. 基于交通结构发展情景分析的城市交通CO₂排放测算研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(3): 222-227. [Liu S, Zhao M L, Bao C N, et al. Carbon emission calculation for urban transport based on scenario analysis of traffic structure[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering & Information Technology*, 2015, 15(3): 222-227.]
- [9] 谢汉生, 周新军, 黄茵, 等. 铁路运营CO₂排放测算及低碳效应评价研究[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(3): 117-122. [Xie H S, Zhou X J, Huang Y, et al. Research on the measurement of carbon emission from railway operation and evaluation of low-carbon effect[J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2014, 31(3): 117-122.]
- [10] Hao H, Liu Z, Zhao F, et al. Scenario analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions from China's passenger vehicles[J]. *Energy*, 2015, 91: 151-159.
- [11] 顾伟红, 徐瑞华. 中国国际海运温室气体排放预测[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(1): 97-101. [Gu W H, Xu R H. Forecast greenhouse gas emissions from China's international shipping[J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2013, 37(1): 97-101]
- [12] 邢辉, 段树林, 黄连忠, 等. 中国水路运输业能源消耗与废气排放测算[J]. 中国环境科学, 2016, 36(6): 1913-1920. [Xing H, Duan S L, Huang L Z, et al. Estimation of energy consumption and exhaust emissions for water-borne transportation sector in China [J]. *China Environmental Science*, 2016, 36(6): 1913-1920.]
- [13] Hao H, Geng Y, Ou X. Estimating CO₂ emissions from water transportation of freight in China[J]. *International Journal of Shipping & Transport Logistics*, 2015, 7(6): 676-694.
- [14] 董军, 张旭. 中国工业部门能耗碳排放分解与低碳策略研究[J]. 资源科学, 2010, 32(10): 1856-1862. [Dong J, Zhang X. Decomposition of carbon emissions and low carbon strategies for industrial sector energy consumption in China[J]. *Resources Science*, 2010, 32(10): 1856-1862.]

2018年10月

- [15] 蒋金荷. 中国碳排放量测算及影响因素分析[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 597–604. [Jiang J H. An evaluation and decomposition analysis of carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2011, 33(4): 597–604.]
- [16] Wang W W, Zhang M, Zhou M. Using LMDI method to analyze transport sector CO₂ emissions in China [J]. *Energy*, 2011, 36(10): 5909–5915.
- [17] 喻洁, 达亚彬, 欧阳斌. 基于LMDI分解方法的中国交通运输行业碳排放变化分析[J]. 中国公路学报, 2015, 28(10): 112–119. [Yu J, Da Y B, Ouyang B. Analysis of carbon emission changes in China's transportation industry based on LMDI decomposition method[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2015, 28(10): 112–119.]
- [18] 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. [Wu K Y, He C H, Wang G X, *et al.* Measurement and decomposition analysis on carbon emissions of transportation industry in Shanghai[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(11): 45–51.]
- [19] 卢升荣, 蒋惠园, 刘瑶. 交通运输业CO₂排放区域差异及影响因素[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(1): 32–39. [Lu S R, Jiang H Y, Liu Y. Regional disparities and influencing factors of CO₂ emission in transportation industry[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2017, 17(1): 32–39.]
- [20] IPCC. Climate Change 2007 Synthesis Report [EB/OL]. (2017–01–05) [2018–09–03]. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf.
- [21] International Maritime Organization. Third IMO GHG Study 2014 [EB/OL]. (2014–07–25) [2018–01–04]. <http://www.iadc.org/wp-content/uploads/2014/02/MEPC-67-6-INF3-2014-Final-Report-complete.pdf>.
- [22] Psaraftis H N, Kontovas C A. CO₂ emission statistics for the world commercial fleet[J]. *Wmu Journal of Maritime Affairs*, 2009, 8(1): 1–25.
- [23] 陈苏, 胡浩. 中国畜禽温室气体排放时空变化及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 93–100. [Chen S, Hu H. Study on the spatial-temporal changes and influence factors of greenhouse gases emission from livestock and poultry in China[J]. *China Population Resources & Environment*, 2016, 26(7): 93–100.]
- [24] Ang B W. Decomposition analysis for policy making in energy: which is the preferred method?[J]. *Energy Policy*, 2004, 32(9): 1131–1139.
- [25] Ang B W, Liu N. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(1): 238–246.
- [26] Clarksons Research. Shipping Intelligence Network [EB/OL]. [2017–08–24]. <http://www.clarksons.com/services/research/>.
- [27] International Maritime Organization. Second IMO GHG Study 2009 [EB/OL]. (2010–03–11) [2018–09–03]. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>.
- [28] Lee T C, Lam J S L, Lee P T W. Asian economic integration and maritime CO₂ emissions[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016, 43: 226–237.
- [29] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.]
- [30] Clarksons Research. December 2016 China Intelligence Monthly [EB/OL]. [2018–01–09]. <http://www.clarksons.com/services/research/>.
- [31] Liang Y, Niu D, Wang H, *et al.* Factors affecting transportation sector CO₂ emissions growth in China: an LMDI decomposition analysis[J]. *Sustainability*, 2017, 9(10): 1730.
- [32] Andreoni V, Galmarini S. European CO₂ emission trends: a decomposition analysis for water and aviation transport sectors[J]. *Energy*, 2012, 45(1): 595–602.
- [33] UNCTAD. Review of Maritime Transport 2016 [EB/OL]. (2016–11–07) [2018–09–03]. http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016_en.pdf.
- [34] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要 [EB/OL]. (2016–03–17) [2017–09–24]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm. [Xinhua Net. The 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People's Republic of China [EB/OL]. (2016–03–17) [2017–09–24]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm.]
- [35] 董锁成, 程昊, 郭鹏, 等. “一带一路”交通运输业格局及对策[J]. 中国科学院院刊, 2016, (6): 663–670. [Dong S C, Cheng H, Guo P, *et al.* Transportation industry patterns and strategy of the belt and road[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2016, (6): 663–670.]
- [36] 国务院. 国务院关于印发国家人口发展规划(2016–2030年)的通知 [EB/OL]. (2016–12–30) [2017–12–08]. <http://www.nhfp.gov.cn/bgt/gwywj2/201701/a6dd45cf1660432c91a9ada5e758a4a2.shtml>. [The State Council. The State Council on the Development of the National Population Development Plan(2016–2030) [EB/OL]. (2016–12–30) [2017–12–08]. <http://www.nhfp.gov.cn/bgt/gwywj2/201701/a6dd45cf1660432c91a9ada5e758a4a2.shtml>.]
- [37] Nelissen D, Faber J F. Economic Impacts of MRV of Fuel and Emissions in Maritime Transport [M]. Delft: CE Delft, 2014.
- [38] Fedor D. Tracking global carbon revenues: a survey of carbon taxes versus cap-and-trade in the real world[J]. *Energy Policy*, 2016, 96: 50–77.

- [39] Stochniol A. A New Market- Based CO₂ Emission Reduction Scheme[R]. London: Supporting document for discussion of MEPC, 2007.
- [40] Burel F, Taccani R, Zuliani N. Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion [J]. *Energy*, 2013, 57: 412–420.

Study on characteristics and driving factors of CO₂ emissions from China's international maritime transportation sector

MA Xuefei¹, YANG Hualong^{1,2}, XING Yuwei¹

(1. *Transportation Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;*

2. *Collaborative Innovation Center for Transport Studies, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)*

Abstract: A bottom- up approach provided by IPCC was developed for calculating the CO₂ emissions from China's international seaborne trade sector during the period of 2001—2016. Based on the freight transport volume and considering the various commodities, shipping modes can be categorized into liquid bulk shipping, dry bulk shipping, and containers. The specified CO₂ emissions were estimated referring to the considered shipping modes. The aggregated CO₂ emissions were characterized to figure out the features during the study period. The decomposition analysis adopting Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) method was introduced to investigate the key influencing factors that initiated an impact on the CO₂ emission changes in the China's international maritime activities. The results demonstrated that ①. The CO₂ emissions from China's international seaborne trade witnessed a significant increase between 2001 and 2016. The short-term evolution trend did exhibit three different stages. ② The factors of per capita GDP and population size were proved to be the positive contributors all the time. The per capita GDP was served as the major force, which reflected the close correlation between the CO₂ emissions and the economic development. ③ Energy intensity of vessels generated CO₂ emissions during the study period and it had become the most powerful driving factor for the future CO₂ emissions reduction in maritime transportation sector. The reduction of the marine transportation intensity appeared to be another inhibiting factor that contributed to the mitigation of the CO₂ emissions. And ④ Under the business- as- usual (BAU) scenario without launching the new policies, CO₂ emissions from China's international maritime transportation will keep on as an increase trend in the future. It is desirable for policy makers to develop future mitigation policies according to this work.

Key words: international trade; maritime transportation; LMDI; CO₂ emissions mitigation; policy implications; China