

引用格式:王世进, 蒯乐伊. 中国交通运输业碳排放驱动因素与达峰路径[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2415–2427. [Wang S J, Kuai L Y. Driving factors and peaking path of CO₂ emissions for China's transportation sector[J]. Resources Science, 2022, 44(12): 2415–2427.] DOI: 10.18402/resci.2022.12.03

中国交通运输业碳排放驱动因素与达峰路径

王世进, 蒯乐伊

(江苏师范大学商学院, 徐州 221116)

摘要:交通运输业是中国碳排放来源的主要部门之一, 具有很大的减排潜力。本文首先测算了2001—2020年中国交通运输业的碳排放, 接着运用对数平均迪氏指数(LMDI)法分解碳排放的驱动因素, 最后运用蒙特卡洛模拟, 并设计3种情景(基准情景、技术进步情景和低碳目标情景), 研究不同政策路径对2021—2030年交通运输业碳排放的动态影响及其达峰潜力。研究表明:①中国交通运输业碳排放最主要的驱动因素是经济规模, 其次是人口规模;②促降因素为能源碳集约度、交通能源强度以及行业规模, 其中影响最大的是行业规模;③蒙特卡洛模拟的结果显示, 与基准情景相比, 技术进步情景的减排力度最大可达30.27%, 低碳目标情景的减排力度最大可达51.32%。此外, 3种情景中, 只有在低碳目标情景下有可能实现2030年交通运输业的碳达峰目标, 另外两种情景尚未出现达峰拐点。最后, 根据研究结论, 本文为交通运输业实现2030年碳达峰目标提供了相关政策建议。

关键词:交通运输业; 绿色交通; 碳排放; LMDI分解; 情景分析; 蒙特卡洛模拟; 碳达峰

DOI: 10.18402/resci.2022.12.03

1 引言

交通运输是国民经济中具有基础性、先导性和战略性的产业^[1], 对国民经济发展有着重要推动作用。然而, 经济发展伴随着能源消耗, 交通运输业也是高能耗、高污染行业^[2], 是中国碳排放的主要来源之一, 成为“碳达峰十大行动”关注的重点领域。节能减排是关系交通运输业长期健康发展的战略性问题, 对于中国产业结构优化、顺利实现2030年碳达峰目标具有十分重要的意义。《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》中提出, “到2025年, 中国综合交通运输绿色化水平要实现实质性突破, 要全面推进交通运输业向着绿色低碳方向转型, 交通运输CO₂排放强度预计比2020年下降5%。”

近年来越来越多的研究开始关注碳排放问题, 主要集中在碳排放核算、影响因素分析^[3]、政策效果分析^[4,5]以及排放预测^[6,7]等方面, 并且研究视角大多

集中在制造业^[8-10]。交通运输业作为中国主要的碳排放部门之一, 如何向低碳交通转型成为其未来发展面临的主要挑战。现有研究大多止步于交通运输业碳排放的影响因素分析^[11-13], 较少能够进一步对2030年交通运输业的达峰潜力进行模拟预测。如张国兴等^[14]仅对黄河流域交通运输的碳排放进行预测; 王靖添等^[15]对不同运输方式的减排潜力进行分析。然而, 上述学者仅预测了未来的排放趋势, 并没有进一步分析交通运输业碳达峰的实现情况。“二十大”报告指出, “碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革”, 要以目标为导向, 分阶段制定行动步骤。在《2030年前碳达峰行动方案》的部署下, 交通运输业正在加快形成绿色低碳运输方式, 助力实现达峰目标。因此, 本文可能作出的贡献在于: ①根据中国交通运输业五年规划, 以“十五”计划为起点, 分阶段分解过去交通运输业

收稿日期: 2022-08-17; 修订日期: 2022-11-27

基金项目: 2022年度江苏高校青蓝工程中青年学术带头人项目; 2022年度江苏师范大学双碳专项培育项目; 2021年度江苏师范大学研究生科研与实践创新计划项目(2021XKT0730)。

作者简介: 王世进, 男, 河北衡水人, 教授, 研究方向为资源环境管理。E-mail: wangshijin2008@126.com

通讯作者: 蒯乐伊, 女, 江苏宿迁人, 硕士研究生, 研究方向为产业经济学。E-mail: chloe-k2@outlook.com

碳排放的驱动因素,创新性地考虑了不同驱动因素的阶段性变化;②鉴于目前少有文献对交通运输业的达峰情况进行多情景分析,本文在《2030年前碳达峰行动方案》的指导下,对2030年交通运输业的达峰路径展开模拟研究;③在模拟方法上,采用蒙特卡洛模拟,避免了过去学者采用离散值作为模拟参数的做法,可以让结果更加可靠。

本文首先基于2006年IPCC公布的碳排放核算方法对2001—2020年中国交通运输业的碳排放进行测算。接着,运用LMDI方法对交通运输业碳排放的驱动因素进行分解,主要驱动因素包括能源碳集约度、交通能源强度、行业规模、经济规模以及人口规模。最后,设置基准情景、技术进步情景以及低碳目标情景,运用蒙特卡洛模拟,对2021^①—2030年交通运输业的达峰情况进行多场景的动态分析。

2 文献综述

低碳发展是解决环境污染和能源危机的重要方案,这已经成为全球发展的共识。交通运输业一方面推动了中国的经济增长,另一方面,由于其巨大的能源消耗量,比其他行业更难“脱碳”,成为实现碳达峰最具有挑战性的行业^[16],受到国内外学者的关注。

从影响因素来看,经济规模、人口规模和能源消耗是促进交通运输业碳排放增长的主要因素^[17-20],能源强度则是抑制碳排放的主要因素^[21]。如Isik等^[19]发现土耳其运输部门碳排放的主要促增因素为人口和经济发展,促降因素为运输强度;Wang等^[22]则研究“一带一路”国家交通运输业产值和碳排放的脱钩关系。此外,Chen等^[23]进一步发现环境技术创新能够改善中国运输部门的碳排放情况。随着经济发展水平的提高,人们追求更高质量的生活水平,对交通的需求也更高;而人口数量的增长也在一定程度上导致了交通需求的增加,因此,经济规模和人口规模都表现出明显的促增作用。此外,物流业和旅游业迅速发展,大大增加了货运和客运需求^[24]。能源消耗的促增作用更为明显,因为碳排放主要来自于化石能源的消耗。中国交通运输业的

发展十分依赖化石能源,如果不改变当前能源结构,交通运输业将继续维持高能耗、高排放的特点。目前国内对于碳排放影响因素的研究重点集中在制造业^[8-10]。不过,也有许多学者开始关注交通运输业碳排放的驱动因素。如Wang等^[25]的研究结果显示中国运输部门碳排放的促增因素为运输行业增加值、能源消耗以及人均碳排放,促降因素为能源碳集约度;宋德勇等^[26]将研究重点放在城市化对碳排放的影响,研究发现经济发展和土地城市化对交通碳排放有促进作用,而人口城市化、交通强度以及能源结构对碳排放有抑制作用。对于中国交通运输业碳排放影响因素的研究同样集中在人口规模、经济规模以及能源消耗等方面。其中,中国学者对能源消耗进行了更加详细的研究,从多角度考察能源消耗对交通运输业碳排放的影响,主要因素包括能源碳集约度^[2,25]、能源强度^[14]、能源结构^[26]、能源效率^[27]等。随着技术水平的提升,清洁能源利用比率上升,能源利用效率得到改善,进而能够减少碳排放,因此,这些影响因素在上述研究中都表现出了减排效果。

从研究方法上看,学者们采用了许多不同方法对交通运输业碳排放的驱动因素进行量化研究,如因素分解法^[12,14,28,29]、计量经济学方法^[30]、超效率SBM模型^[11]等。目前,尚不存在一个最佳方法,但因素分解法中的LMDI方法由于其适用性较广、操作灵活以及结果易于解释而受到青睐^[19,24,31]。因此,本文选择LMDI方法对中国交通运输业碳排放的驱动因素进行分解。此外,结合情景分析的仿真模拟在碳排放研究中的应用越来越多。模拟过程虽然无法完全还原现实情形,并且结果可能存在偏差,但提供了一个未来可能出现的情形。通过对多情形结果的分析,可以识别减排路径,实现制度优化。常用的模拟方法包括蒙特卡洛模拟、STIRPAT模型、LEAP模型以及计量回归模型等。蒙特卡洛模拟易于操作,并且不受变量分布特征不同的限制,对于变量的赋值更加灵活,结果也更为精确,因此在预测碳排放的研究中更具优势^[9,32]。如邵帅等^[9]设置了

① 截至2022年12月20日,2022年《中国能源统计年鉴》尚未发布,故部分变量2021年数据不可得,因此仅测算2001—2020年交通运输业的碳排放,并为了保证时间连续性,选择以2021年为起点,模拟其2021—2030年的达峰情况。

2022年12月

基准情景、绿色发展情景和技术突破3种情景,并运用蒙特卡洛模拟预测中国制造业的碳排放,结果发现在技术突破情景下中国制造业可能实现提前达峰。而在针对交通运输业的研究中,往往只模拟单一情景下的碳排放^[33],借助蒙特卡洛模拟进行多情景模拟的研究还较少,因此,本文试图在碳达峰背景下对中国交通运输业碳排放进行多情景模拟,对交通运输业减排潜力及达峰情形进行动态分析,为后续政策制定提供参考。

3 方法、模型与数据

3.1 交通运输业碳排放核算方法

根据中国《国民经济行业分类》标准(GB/T4754-2017),本文所指的交通运输业泛指交通运输、仓储和邮政业,具体又包括铁路运输业、道路运输业、水上运输业、航空运输业、管道运输业、多式联运和运输代理业、装卸搬运和仓储业与邮政业。这与《中国统计年鉴》《中国能源年鉴》中行业分类的统计口径一致,便于后续数据收集。

本文参考2006年IPCC公布的能源消费碳排放核算方法计算中国交通运输业的碳排放,并参考高志刚等^[34]、Zheng等^[35],考虑8种化石燃料的碳排放,具体包括原煤、焦炭、原油、汽油、柴油、煤油、燃料油和天然气;由于电力不直接产生CO₂,为了避免重复计算,因此不考虑电力消耗产生的碳排放^[25]。具体计算公式如下:

$$CE = \sum_{i=1}^8 E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

式中:CE为交通运输业的CO₂排放量;E_i为第i种燃料的消耗量;NCV_i为第i种燃料的平均低位发热量;CEF_i为第i种燃料的碳排放因子;COF_i为第i种燃料的碳氧化因子;44为CO₂的分子量;12为碳的原子量。其中,平均低位发热量来自《中国能源统计年鉴2021》;碳排放因子参考Wang等^[25]、Shan等^[36]和IPCC数据(2006);碳氧化因子参考IPCC数据(2006),通常设置为1。具体的系数见表1。

表2展示了本文估算的2001—2020年中国交通运输业及不同燃料对应的碳排放。自2001年来,交通运输业的碳排放一直维持在较高的水平,年均增长率为9.91%。其中,柴油、汽油消费是碳排放的

表1 碳排放核算系数表

Table 1 Table of CO₂ emission accounting factors

能源	平均低位发热量/(kJ/kg)	碳排放因子
原煤	20908	26.32
焦炭	28435	31.38
原油	41816	20.08
汽油	43070	18.90
煤油	43070	19.60
柴油	42652	20.20
燃料油	41816	21.10
天然气	38931	15.32

主要贡献因素,说明中国交通运输业还是比较依赖于传统化石燃料,能源消费结构存在改善空间。

将本文碳排放核算结果与CEADs公布的数据进行对比(图1),可以发现,整体上差距不大,并且两种来源下碳排放的变化趋势基本一致,因此,可以认为本文测算结果是可信的。2001—2018年,交通运输业的碳排放呈现上升趋势,在2019年实现了负增长。截至2022年12月20日,CEADs尚未公布2020年的碳排放,从本文测算值来看,2020年实现了较大幅度的下降,增速为-7.12%。自“十二五”以来,中国开始调整粗放型的交通运输方式,并将碳排放指标纳入发展规划中。“十三五”期间,在《交通运输节能环保“十三五”发展规划》《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》《关于全面深入推进绿色交通发展的意见》等政策文件的指导下,中国交通运输业进一步转变发展方式,坚持创新驱动,优化运输结构,倡导绿色出行,实现了较大幅度的碳排放下降。此外,由于疫情影响,直接减少了交通运输需求,这也是碳排放下降的原因之一^[15,37]。

3.2 交通运输业碳排放驱动因素分解及预测模型

3.2.1 交通运输业碳排放驱动因素分解模型

许多学者借鉴Kaya恒等式^[32,38]研究碳排放的驱动因素。Kaya恒等式利用等式两边恒等的原理,将碳排放分解成4个因素,具体公式如下:

$$CE = \frac{CE}{TE} \times \frac{TE}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P = CI \times EI \times E \times P \quad (2)$$

式中:CE为碳排放量(百万t);TE为能源消费总量(万t标准煤);Y为GDP(亿元);P为人口数量(万人);CI为能源碳集约度,代表单位能源消费的碳排放量,反映了能源的品质;EI为能源强度,代表

表2 2001—2020年CO₂排放计算结果（百万t）

Table 2 CO₂ emission calculation results, 2001-2020 (million tons)

年份	总排放	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
2001	222.13	16.61	0.38	5.23	46.69	17.36	108.07	27.66	0.14
2002	241.71	16.85	0.37	5.42	49.50	22.19	119.57	27.57	0.25
2003	276.40	19.14	0.35	4.57	58.55	22.96	140.11	30.42	0.30
2004	313.85	16.68	0.06	3.81	69.68	28.47	157.49	37.22	0.44
2005	349.86	16.35	0.04	3.91	72.53	29.48	186.08	40.80	0.67
2006	383.82	14.54	0.03	5.04	77.38	31.28	206.84	47.90	0.83
2007	416.09	13.27	0.02	5.04	78.00	34.98	226.96	56.94	0.88
2008	426.54	12.83	0.01	5.10	92.24	36.36	241.65	36.97	1.38
2009	438.61	12.44	0.00	4.72	86.01	40.68	252.47	40.49	1.78
2010	482.71	12.37	0.00	4.86	97.75	49.56	273.50	42.92	1.74
2011	518.91	12.53	0.00	3.25	106.66	50.96	299.65	43.52	2.35
2012	569.86	11.84	0.00	3.68	112.76	55.32	338.88	44.77	2.61
2013	603.12	11.59	0.07	4.58	130.79	61.85	344.99	46.23	3.02
2014	618.92	10.42	0.09	1.38	139.24	68.59	348.85	46.63	3.72
2015	649.81	9.30	0.10	1.10	158.39	77.53	352.64	46.57	4.17
2016	663.05	7.69	0.11	0.69	164.49	87.13	349.66	48.90	4.38
2017	690.53	6.67	0.20	0.27	170.09	98.22	352.99	57.31	4.80
2018	710.31	6.05	0.01	0.27	181.10	107.18	352.77	58.09	4.84
2019	689.44	5.32	0.01	0.28	186.40	114.19	311.72	65.52	6.01
2020	640.33	4.53	0.00	0.02	166.36	96.29	301.12	66.06	5.95

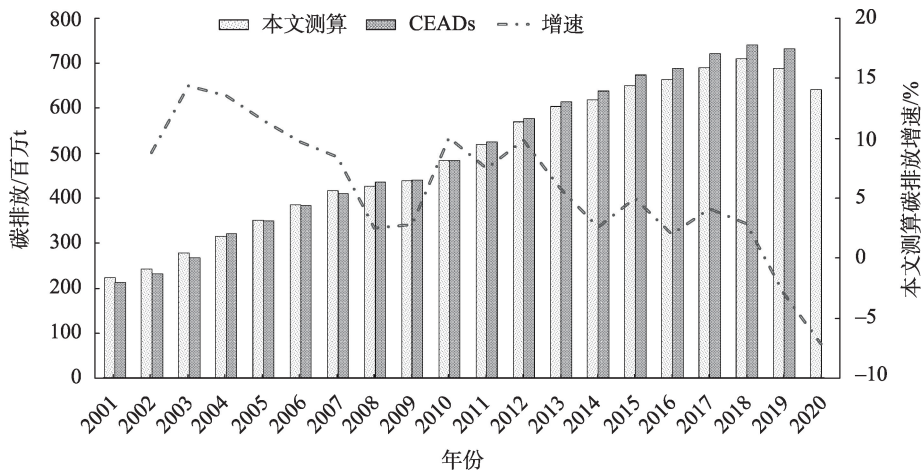


图1 2001—2020年不同来源交通运输业碳排放量比较

Figure 1 Comparison of CO₂ emissions from different sources in the transportation sector, 2001-2020

单位GDP的能源消费量,反映了能源利用效率; E 为人均GDP,反映经济规模效应; P 为人口数量,反映人口规模效应。

本文在 Kaya 等式的基础上,参考邵帅等^[9]、Wang 等^[25],引入行业增加值,将中国交通运输业的碳排放进一步分解为5个因素,具体公式如下:

$$CE = \frac{CE}{TE} \times \frac{TE}{Z} \times \frac{Z}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P \quad (3)$$
$$= CI \times EI^* \times I \times E \times P$$

式中: Z 为交通运输业行业增加值(亿元); EI^* 为交通能源强度,用单位行业增加值的能源消费量表示; I 为行业规模,是行业增加值与GDP的比值,反

2022年12月

映结构效应。

本文采用LMDI方法中的加和效应,对这5个因素进行分解,得到不同因素对交通运输业碳排放的贡献值。从 s 年到 t 年的碳排放变化量可以表示为:

$$\Delta C = C^t - C^s = \Delta CI + \Delta EI^* + \Delta I + \Delta E + \Delta P \quad (4)$$

式中: ΔC 为碳排放的变化量; C^t 、 C^s 分别为 t 、 s 年份的碳排放量($t > s$); ΔCI 、 ΔEI^* 、 ΔI 、 ΔE 、 ΔP 分别为能源碳集约度、交通能源强度、行业规模、经济规模、人口规模的变动对碳排放量的影响。

其中,

$$\Delta CI = \left(\frac{C^t - C^s}{\ln C^t - \ln C^s} \right) \times \ln \frac{CI^t}{CI^s} \quad (5)$$

$$\Delta EI^* = \left(\frac{C^t - C^s}{\ln C^t - \ln C^s} \right) \times \ln \frac{EI^{*t}}{EI^{*s}} \quad (6)$$

$$\Delta I = \left(\frac{C^t - C^s}{\ln C^t - \ln C^s} \right) \times \ln \frac{I^t}{I^s} \quad (7)$$

$$\Delta E = \left(\frac{C^t - C^s}{\ln C^t - \ln C^s} \right) \times \ln \frac{E^t}{E^s} \quad (8)$$

$$\Delta P = \left(\frac{C^t - C^s}{\ln C^t - \ln C^s} \right) \times \ln \frac{P^t}{P^s} \quad (9)$$

3.2.2 交通运输业碳排放预测模型

蒙特卡洛模拟在预测上有其独特的优势。在蒙特卡洛模拟中,可以根据概率分布生成不同变量的随机值,然后将这些变量的随机值组合,生成多种场景^[9]。它的优势在于可以赋予每个变量不同的概率分布。因此,本文选择蒙特卡洛模拟,用各变量的变化率来对2021—2030年中国交通运输业的碳排放进行预测。碳排放的变化率可以表示为:

$$\begin{aligned} r &= \frac{CE_{t+1} - CE_t}{CE_t} = \frac{CI_{t+1} \times EI_{t+1}^* \times I_{t+1} \times E_{t+1} \times P_{t+1}}{CI_t \times EI_t \times I_t \times E_t \times P_t} - 1 \\ &= \frac{(1+\alpha)CI_t \times (1+\beta)EI_t^* \times (1+\gamma)I_t \times (1+\delta)E_t \times (1+\varepsilon)P_t}{CI_t \times EI_t \times I_t \times E_t \times P_t} - 1 \\ &= (1+\alpha)(1+\beta)(1+\gamma)(1+\delta)(1+\varepsilon) - 1 \end{aligned} \quad (10)$$

式中: α 、 β 、 γ 、 δ 和 ε 分别代表能源碳集约度、交通能源强度、行业规模、经济规模和人口规模的变化率。最终,碳排放的变化率可以表示为各变量的变化率。

3.3 数据来源

本文主要变量为交通运输业碳排放量、能源消

费量、行业增加值、全国GDP和人口数量。其中,能源消费量来自《中国能源统计年鉴》,行业增加值、GDP以及人口数量均来自《中国统计年鉴》。此外,为了保证数据的可比性,排除价格因素的影响,行业增加值和GDP均以2001年不变价为基期进行平减折算调整。

4 结果与分析

4.1 碳排放逐年分解结果

采用LMDI方法对交通运输业碳排放的驱动因素进行逐年分解(表3)。由于能源利用效率的提升很大程度上来源于技术进步,因此用能源碳集约度和交通能源强度之和来表示技术效应。可以发现,技术效应(能源碳集约度、交通能源强度)、结构效应(行业规模)整体上表现为减排效果,这说明近年来中国交通运输业的能源利用效率提高,并且逐步改变了原来粗放式的发展方式,开始向绿色转型,因此实现了减排效果。而生产规模(经济规模和人口规模)的扩大有着明显的增排效果,这说明还存在明显的“规模效应”,经济的发展以消耗大量能源为代价,最终导致碳排放增加。

图2是各因素在碳排放变化中所占的份额。规模效应(经济规模、人口规模)对中国交通运输业碳排放的影响显著为正,这与Umar等^[16]、Wang等^[25]学者的研究结果一致。经济和人口规模的扩张是碳排放增长的主要因素。经济产出依赖能源投入,而能源的消耗则会导致碳排放的增加。此外,随着人均可支配收入增多,人们对交通运输的需求也越来越多,这不可避免地会增加碳排放。

结构效应(行业规模)和技术效应(能源碳集约度、交通能源强度)表现为减排作用。其中,行业规模是最大的促降因素。一方面,这与中国交通运输业转变传统粗放型发展方式有关。交通运输强度在一定程度上能够抑制碳排放^[14,24,26],说明近年来中国交通运输效率不断提高,交通运输体系规划效果显著,能够助力交通运输业实现减排目标。另一方面,绿色交通也能够实现促降作用^[39],主要原因在于绿色交通的发展,避免了对化石能源的依赖,加速了技术进步水平,改善了运输结构,最终减少了碳排放。因此,需要持续推动中国交通运输业向着绿

表3 2001—2020年LMDI逐年分解结果

Table 3 Decomposition results of logarithmic mean divisia index (LMDI) by year, 2001-2020

年份	总效应	能源碳集约度	交通能源强度	行业规模	经济规模	人口规模
2002	19.58	6.01	-8.41	-1.54	22.02	1.50
2003	34.69	-0.66	24.31	-17.27	26.75	1.55
2004	37.45	-11.07	12.05	-0.46	35.20	1.73
2005	36.01	2.88	-6.25	-3.18	40.61	1.95
2006	33.97	-1.95	-7.34	-9.26	50.59	1.93
2007	32.26	0.55	-21.93	-10.64	62.22	2.07
2008	10.45	-7.54	-5.87	-22.44	44.16	2.14
2009	12.07	-16.11	21.03	-33.88	38.92	2.11
2010	44.10	-3.11	3.09	-18.12	60.03	2.21
2011	36.21	-9.52	-3.51	-9.03	55.19	3.07
2012	50.95	0.81	18.25	-7.85	35.70	4.04
2013	33.26	-6.05	0.68	-2.70	37.87	3.46
2014	15.80	-10.38	-17.55	5.80	33.83	4.10
2015	30.89	-5.84	2.90	-0.48	31.19	3.13
2016	13.24	-9.76	-15.87	-0.79	35.38	4.29
2017	27.48	-9.77	-31.11	5.56	59.03	3.78
2018	19.78	-4.34	-19.48	-11.66	52.62	2.65
2019	-20.87	-25.54	-11.29	-13.40	27.05	2.32
2020	-49.11	-8.55	5.95	-49.71	2.24	0.96

注:2001年为起始年,总效应为0,2002年一行表示2001—2002年碳排放变化量及各驱动因素变动对碳排放量的影响,以此类推。下同。

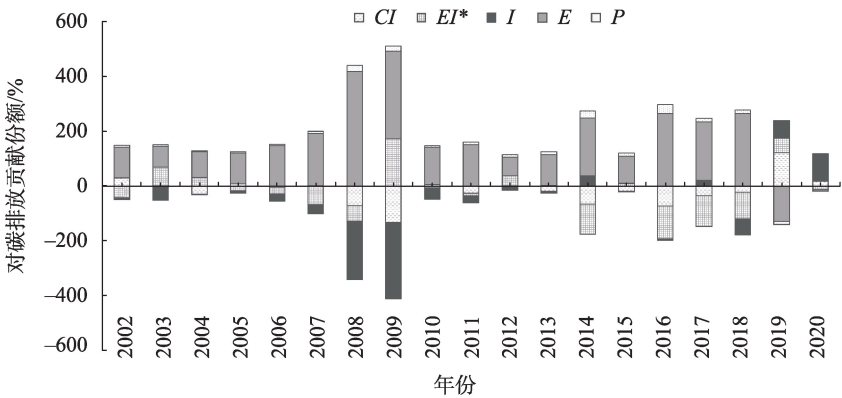


图2 2001—2020年交通运输业碳排放因素分解

Figure 2 Decomposition of CO₂ emission factors in the transportation sector, 2001-2020

色化方向发展,提高绿色低碳运输设备占比,合理规划运输结构与产业布局。

能源碳集约度和交通能源强度对碳排放整体表现为抑制作用,但在个别年份里也表现为促进作用。两者的改善在很大程度上依赖于技术水平。随着节能创新产品和工艺的使用,能够减少化石能源的消费比重,提高能源利用效率,达到减排效果。目前,技术效应的减排效果尚不稳定,说明中

国交通运输业的绿色创新能力还需要加强。

4.2 碳排放驱动因素累积贡献结果

图3展示了2001—2020年交通运输业碳排放5种驱动因素的累积贡献。其中,规模效应(经济规模、人口规模)增排效果显著,要远大于各促降因素对碳减排的贡献。交通能源强度对碳排放的作用并不稳定,自2009年起一直表现为促进作用,但近年来对减排的累积贡献越来越大。能源碳集约度

2022年12月

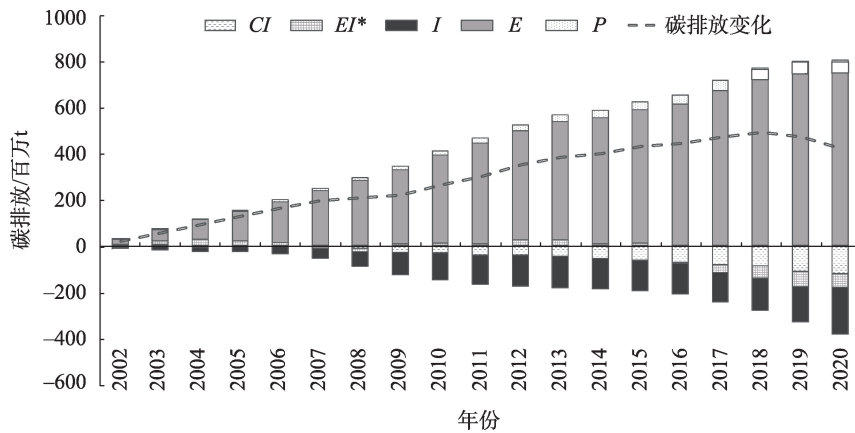


图3 2001—2020年交通运输业碳排放驱动因素累计贡献

Figure 3 Cumulative contribution of CO₂ emission drivers in the transportation sector, 2001-2020

对碳减排的贡献力度自2009年来逐渐增加,发挥着越来越重要的作用。这可能是因为自“十二五”以来,在《“十二五”综合交通运输体系规划》的指导下^[40],中国越来越重视改善交通运输业粗放式的发展方式,并将碳排放作为指标纳入发展规划中,推动节能技术创新研发体系,淘汰高耗能的设备和工艺,提高节能运输设备的应用水平,最终降低了能源碳集约度,实现碳减排。

4.3 碳排放分阶段分解结果

本文根据中国交通运输业的五年发展规划,进一步将2001—2020年分为4个时间段。图4显示了各阶段不同驱动因素对碳排放的贡献值。规模效应(经济规模、人口规模)依然表现为较大的增排作用,自“十五”计划以来,经济规模对碳排放的贡献值一直保持最大,这与Kim^[22]、宋德勇等^[26]的结果一致。经济规模的贡献值在2006—2010年达到最大值,导致了255.43百万t的碳排放。但在此之后,经

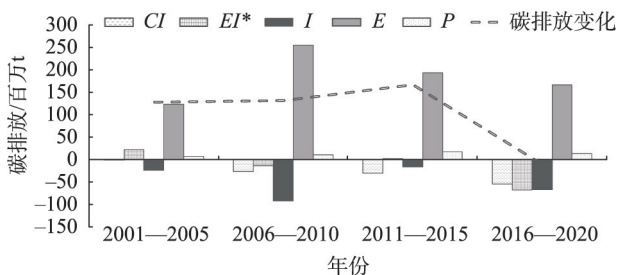


图4 分阶段中国交通运输业碳排放因素分解

Figure 4 Decomposition of CO₂ emission factors in China's transportation sector by stage

济规模的贡献开始下降,2011—2015年的贡献值为193.93百万t,2016—2020年的贡献值为166.60百万t,这也印证了中国经济发展方式正在发生转变,避免以牺牲环境为代价。

从促降因素来看,结构效应(行业规模)是减排最主要的贡献因素。原因在于,随着新能源汽车的推广以及绿色能源在交通运输业中的应用,交通运输业高能耗、高排放的特点得到了一定程度的缓解,对碳排放有明显促降效果。加速新能源汽车的推广应用是交通运输业实现节能减排目标的重要举措之一。中国自2005年开始生产新能源汽车,“十二五”期间,政府明确新能源汽车是未来汽车产业发展的重点,并发布了《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》和《关于加快推进新能源汽车推广应用的指导意见》等多项文件。在此期间,政府实施了慷慨的补贴政策,并通过政府采购增加新能源汽车在公共部门的采用。从结果来看,这确实促进了交通运输业的碳减排。因此,未来还需要继续提高绿色低碳运输方式的占比,发展低碳交通。而Wang等^[25]的结果显示交通运输碳排放的主要促增因素为运输行业增加值,即由于运输路线及运输设备的不断增长,导致了碳排放的增加。但本文研究发现,由于运输体系规划成效显著,新能源汽车占比提升,能够在一定程度上抑制碳排放。与上述结果不同的原因可能在于对分解模型的选择不同。

技术效应(能源碳集约度、交通能源强度)存在

阶段性差异,既表现出增排效果,也表现出减排效果。其中,交通能源强度在2001—2005年和2011—2015年对碳排放表现为促进作用,但贡献值都较小,分别为22.41百万t和2.00百万t。而2006—2010年和2016—2020年表现为减排作用,并且贡献值较大,分别为-13.82百万t和-67.83百万t。从许多学者的研究来看,能源强度对碳排放存在明显抑制作用^[14,25],但他们并没有考虑能源强度效应的阶段性差异。宋德勇等^[26]则证实了能源强度对交通运输碳排放的省际差异。交通能源强度驱动作用的不稳定很有可能与技术水平的不稳定有关,因此,后续还需加强技术研发,提升能源利用效率。

5 碳达峰情景模拟

5.1 情景设置

5.1.1 基准情景

蒙特卡洛模拟的预测结果依赖于概率分布的选择,目前学者们对于分布的选择尚未达成一致。林伯强等^[32]选择离散分布进行取值;Lin等^[41]选择正态分布产生随机数;邵帅等^[9]选择三角分布构建概率分布。目前,离散分布和正态分布的假设具有一定的缺陷,而三角分布更适合用于变量的选取^[9],因此,本文选择三角分布来随机生成各变量。

在基准情景中,本文假设无任何政策介入,因此所有变量的变化率都延续之前的变化趋势。参考邵帅等^[9]的做法,首先分别计算2001—2020年、2006—2010年、2011—2020年、2016—2020年这4个时段各变量的年均变化率,然后选择其中的最大值作为基准情景下三角分布的最大值,最小值作为基准情景下的最小值。基准情景中的众数则选择最近时间段的年均变化率。具体参数值如表4

所示。

5.1.2 技术进步情景

在技术进步情景中,本文假设仅存在由技术创新带来的结果,而不存在其他影响。技术创新水平在很大程度上提高了能源使用效率。因此,在此情景下,能源碳集约度和交通能源强度都会得到改善。本文假设该情景下的能源碳集约度和交通能源强度众数值较基准情景下降2.0%,并参考林伯强等^[32],将能源碳集约度按照0.2%的幅度进行调整,将交通能源强度按照0.4%的幅度进行调整,分别得到它们的最大值和最小值。其他变量与基准情景保持一致。

5.1.3 低碳目标情景

在此情景下,由于双碳目标的提出,交通运输业在2030年实现碳达峰显得十分紧迫,政府会采取一系列的措施来实现交通运输业的碳减排。根据国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》,交通运输业要想实现碳达峰,需要调整能源结构,采用更加清洁的能源,提升能源利用效率。除此之外,还要发挥创新的引领作用,加快绿色低碳科技革命,提高产业技术创新能力,加快转变绿色低碳运输方式与绿色交通基础设施建设,提倡绿色出行方式^[42]。因此,在低碳目标情景下,本文假设所有变量都会受到影响。能源碳集约度的众数较基准情景下降0.2%,其余变量的众数较基准情景下降0.5%,能源碳集约度和人口规模的最大值、最小值按照0.2%的幅度进行调整,交通能源强度的最大值、最小值按照0.4%的幅度进行调整,行业规模和经济规模的最大值、最小值按照1.0%的幅度进行调整。所有变量的概率分布如表4所示。

表4 不同情景下各驱动因素变化率参数设置(%)

Table 4 Parameter settings for the rate of change of each driver under different scenarios (%)

	基准情景			技术进步情景			低碳目标情景		
	最小值	众数	最大值	最小值	众数	最大值	最小值	众数	最大值
CI	-1.69	-1.28	-1.00	-3.48	-3.28	-3.08	-1.68	-1.48	-1.28
EI	-1.94	-0.36	-0.28	-2.76	-2.36	-1.96	-1.26	-0.86	-0.46
I	-2.43	-1.97	-1.20	-2.43	-1.97	-1.20	-3.47	-2.47	-1.47
E	5.67	5.89	22.49	5.67	5.89	22.49	4.39	5.39	6.39
P	0.36	0.42	0.56	0.36	0.42	0.56	-0.28	-0.08	0.12

2022年12月

5.2 模拟结果分析

图5显示了基准情景的模拟结果。由于没有改善,经济规模依然是比重最大的促增因素,2021—2030年交通运输业的碳排放呈现较快增长。2021年碳排放的范围在658.82百万t~671.18百万t,最大可能值为662.95百万t。2025年碳排放的范围在869.01百万t~926.40百万t,最大可能值为900.90百万t。2030年碳排放范围为1165.69百万t~1379.40百万t,最大可能值为1279.67百万t。与2021年相比,2025年碳排放的年均增长率约为7.98%~9.51%,2030年的年均增长率约在8.55%~11.72%。中国交通运输业碳排放自2019年实现了负增长。然而,从基准情景来看,如果没有任何政策干预,这种减排效果是不可持续的。在后疫情时代,随着复工复产有序推进,甚至会造成更大规模的排放,这与王靖添等^[15]、王科等^[37]的预测结果一致。因此,政府政策干预对于达峰目标的实现十分必要。

与基准情景相比,技术进步情景下2021—2030年交通运输业的碳排放有了明显的下降(图6)。2021年碳排放的范围在635.26百万t~645.35百万t,最大可能值为637.78百万t。2025年碳排放的范围在730.29百万t~777.79百万t,最大可能值为751.40百万t。2030年碳排放范围为831.13百万t~961.82百万t,最大可能值为881.39百万t。与2021年相比,2030年的年均增长率约在3.43%~5.45%。

在低碳目标情景下,交通运输业的碳排放实现

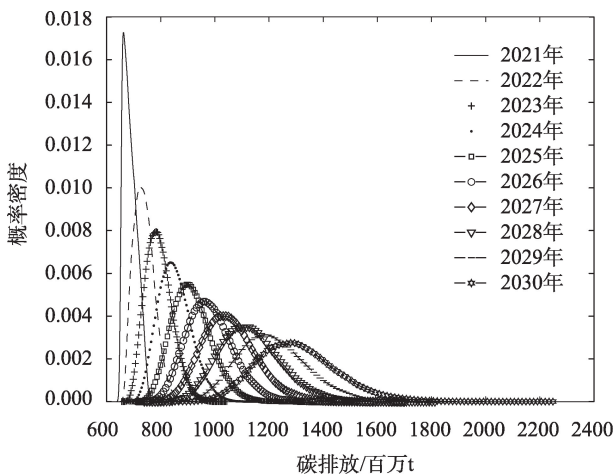


图5 2021—2030年基准情景碳排放模拟结果

Figure 5 CO₂ emission simulation results of the baseline scenario, 2021-2030

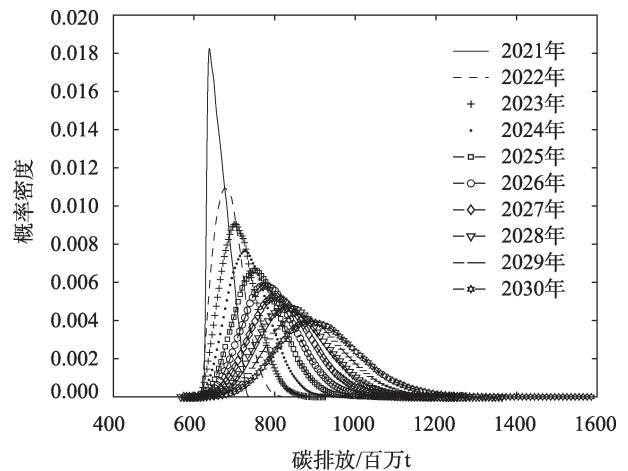


图6 2021—2030年技术进步情景碳排放模拟结果

Figure 6 CO₂ emission simulation results of the technological progress scenario, 2021-2030

了更大程度的降低,减排效果最大(图7)。2021年碳排放的范围在640.54百万t~643.81百万t,最大可能值为642.62百万t。2025年碳排放的范围在646.50百万t~654.51百万t,最大可能值为650.50百万t。2030年碳排放范围为648.45百万t~671.55百万t,最大可能值为660.60百万t。与2021年相比,2025年碳排放的年均增长率约为0.23%~0.42%,2030年的年均增长率约在0.14%~0.48%。

将各情景下2030年交通运输业的碳排放值进行比较(图8),低碳目标情景下的碳排放值最小,并且可能性最大,约为660.60百万t。与基准情景相比,低碳目标情景下的减排量约为517.24百万t~

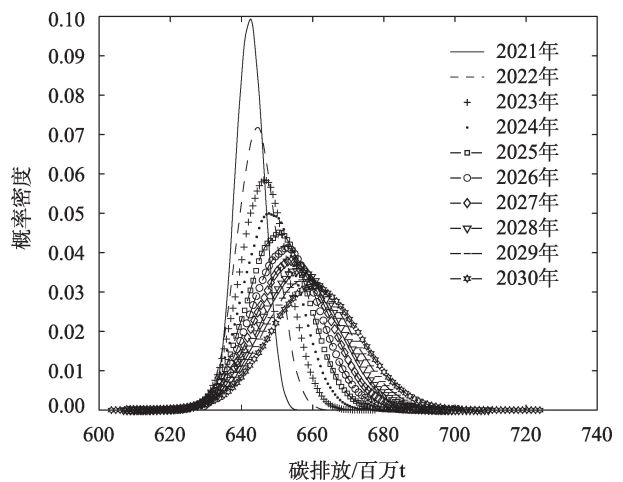


图7 2021—2030年低碳目标情景碳排放模拟结果

Figure 7 CO₂ emissions simulation results of the low carbon target scenario, 2021-2030

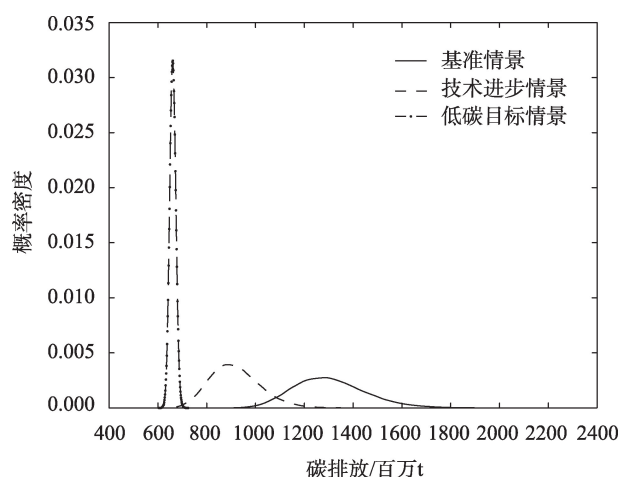


图8 2030年3种情景碳排放预测比较

Figure 8 Comparison of CO₂ emission projections for the three scenarios, 2030

707.85 百万 t,减排力度约为 44.37%~51.32%。与技术进步情景相比,低碳目标情景下的减排量约为 182.68 百万 t~290.27 百万 t,减排力度约为 21.98%~30.18%。并且,在基准情景和技术进步情景下,尚未出现实现碳达峰的拐点;而在低碳目标情景下,交通运输业很有可能实现碳达峰的目标。因此,可以发现仅仅依赖技术进步是不够的,需要在创新驱动下,依赖一系列的节能减排政策,才能够更快实现碳达峰目标。

6 结论与政策建议

6.1 结论

交通运输业作为碳排放的主要部门之一,对中国碳达峰目标的实现有重要影响。本文首先测算了 2001—2020 年中国交通运输业的碳排放值,然后运用 LMDI 方法对碳排放的驱动因素进行分解,最后运用蒙特卡洛模拟,预测 2021—2030 年不同政策情景下交通运输业的达峰情况。主要结论有:

(1) 交通运输业碳排放的促增因素为经济规模和人口规模,其中,经济规模贡献更大。促降因素包括能源碳集约度、交通能源强度以及行业规模,其中,行业规模的减排效果最大,说明自“十一五”以来中国交通运输体系规划和绿色低碳转型取得了较为有效的成果。而交通能源强度对碳排放的效果不太稳定,存在阶段性差异。

(2) 根据蒙特卡洛模拟结果,2030 年基准情景、

技术进步情景以及低碳目标情景下交通运输业的碳排放范围依次为 1165.69 百万 t~1379.4 百万 t、831.13 百万 t~961.82 百万 t 以及 648.45 百万 t~671.55 百万 t,技术进步情景和低碳目标情景存在明显减排效果,其中政策干预下的低碳目标情景能够实现最大程度减排。与基准情景相比,低碳目标情景下的减排力度约为 44.37%~51.32%;与技术进步情景相比,低碳目标情景下的减排力度约为 21.98%~30.18%。

(3) 只有在低碳目标情景下,交通运输业有可能在 2030 年实现碳达峰目标,而其他两种情景下交通运输业的碳排放依然呈现上升趋势,尚未出现碳达峰拐点,因此,未来应充分发挥创新驱动和政策支持的双重作用。

6.2 政策建议

根据上述结论,本文提出如下建议:

(1) 经济规模和人口规模是促进碳排放的主要因素。在经济发展过程中,应深入贯彻“二十大”精神,牢固践行“两山论”,加快发展方式绿色转型。在公民生活中,政府应注重提高公民低碳出行意识,公民应尽可能选择公共交通、新能源汽车等绿色交通运输设备出行。

(2) 继续调整交通运输结构,构建高质量综合立体交通网,大力发展多方式联运,提高运输效率;继续推进交通运输业绿色低碳转型,推动互联网、人工智能、5G 等新兴技术与绿色交通的深度融合,加快推广新能源汽车、绿色智能船舶等在交通运输业的应用。

(3) 交通能源强度的促降作用不稳定,减排效果还有很大提升空间。因此,中国交通运输业在未来发展过程中,应减少对柴油、汽油等化石燃料的依赖,提高太阳能、生物质能、氢能等清洁能源在能源消费中的占比,推进交通运输设备向着电气化方向改造。

(4) 充分发挥创新驱动和政策支持双重作用。本文研究结果显示,仅仅依靠创新驱动作用远远不够,只有将技术创新和政策支持两者相结合,才有可能实现 2030 碳达峰目标。在《交通强国建设纲要》和《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》

2022年12月

的指导下,推动新科技深度赋能,加快物联网、云计算等技术与交通运输的深度融合。

参考文献(References):

- [1] 国务院. 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知[EB/OL]. (2021-10-26) [2022-07-05]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm. [State Council. Notice of the State Council on the Issuance of the Action Plan for Carbon Peaking by 2030[EB/OL]. (2021-10-26) [2022-07-05]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.]
- [2] Lu S R, Jiang H Y, Liu Y, et al. Regional disparities and influencing factors of average CO₂ emissions from transportation industry in Yangtze River Economic Belt[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 57: 112-123.
- [3] 张炎治, 冯颖, 张磊. 中国碳排放增长的多层递进动因: 基于SDA和SPD的实证研究[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1153-1165. [Zhang Y Z, Feng Y, Zhang L. Analysis on the progressive motivation of carbon emissions growth in China using structural decomposition analysis and structural path decomposition methods[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1153-1165.]
- [4] 刘传明, 孙喆, 张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(11): 49-58. [Liu C M, Sun Z, Zhang J. Research on the effect of carbon emission reduction policy in China's carbon emissions trading pilot[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(11): 49-58.]
- [5] 董梅, 李存芳. 低碳省区试点政策的净碳减排效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(11): 63-74. [Dong M, Li C F. Net carbon emission reduction effect of the pilot policies in low-carbon provinces[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(11): 63-74.]
- [6] 蔡博峰, 曹丽斌, 雷宇, 等. 中国碳中和目标下的二氧化碳排放路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(1): 7-14. [Cai B F, Cao L B, Lei Y, et al. China's carbon emission pathway under the carbon neutrality target[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(1): 7-14.]
- [7] 洪竞科, 李沅潮, 蔡伟光. 多情景视角下的中国碳达峰路径模拟: 基于RICE-LEAP模型[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 639-651. [Hong J K, Li Y C, Cai W G. Simulating China's carbon emission peak path under different scenarios based on RICE-LEAP model[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 639-651.]
- [8] 王勇, 毕莹, 王恩东. 中国工业碳排放达峰的情景预测与减排潜力评估[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(10): 131-140. [Wang Y, Bi Y, Wang E D. Scene prediction of carbon emission peak and emission reduction potential estimation in Chinese industry[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(10): 131-140.]
- [9] 邵帅, 张曦, 赵兴荣. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径: 广义迪氏指数分解和动态情景分析[J]. *中国工业经济*, 2017, (3): 44-63. [Shao S, Zhang X, Zhao X R. Empirical decomposition and peaking pathway of carbon dioxide emissions of China's manufacturing sector: Generalized Divisia index method and dynamic scenario analysis[J]. *China Industrial Economics*, 2017, (3): 44-63.]
- [10] 王霞, 张丽君, 秦耀辰, 等. 中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素[J]. *资源科学*, 2020, 42(2): 323-333. [Wang X, Zhang L J, Qin Y C, et al. Spatiotemporal changes of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry in China and driving factors[J]. *Resources Science*, 2020, 42(2): 323-333.]
- [11] 袁长伟, 张帅, 焦萍, 等. 中国省域交通运输全要素碳排放效率时空变化及影响因素研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(4): 687-697. [Yuan C W, Zhang S, Jiao P, et al. Temporal and spatial variation and influencing factors research on total factor efficiency for transportation carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 687-697.]
- [12] 刘好, 吴梦羽, 母睿静. 西藏地区交通运输业碳排放驱动因素分解及脱钩效应研究[J]. *西藏大学学报(社会科学版)*, 2021, 36(1): 126-133. [Liu S, Wu M Y, Mu R J. Carbon emission measurement, factor decomposition and low carbonization strategies of transportation industry in Tibet[J]. *Journal of Tibet University*, 2021, 36(1): 126-133.]
- [13] 闫树熙, 陈璐. 交通碳排放影响因素分析: 以西安市为例[J]. *统计与决策*, 2020, 36(4): 62-66. [Yan S X, Chen L. Analysis of influencing factors of transportation carbon emissions: Taking Xi'an as an example[J]. *Statistics and Decision*, 2020, 36(4): 62-66.]
- [14] 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. [Zhang G X, Su Z X. Analysis of influencing factors and scenario prediction of transportation carbon emissions in the Yellow River Basin[J]. *Management Review*, 2020, 32(12): 283-294.]
- [15] 王靖添, 闫琰, 黄全胜, 等. 中国交通运输减排潜力分析[J]. *科技管理研究*, 2021, 41(2): 200-210. [Wang J T, Yan Y, Huang Q S, et al. Analysis of carbon emission reduction potential of China's transportation[J]. *Resources Science*, 2021, 41(2): 200-210.]
- [16] Umar M, Ji X F, Kirikkaleli D, et al. The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass- fossil energy consumption and growth[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124863.
- [17] Kim S Y. Decomposition analysis of greenhouse gas emissions in Korea's transportation sector[J]. *Sustainability*, 2019, DOI: 10.3390/su11071986.
- [18] Xu X B, Xu H C. The driving factors of carbon emissions in China's transportation sector: A spatial analysis[J]. *Frontiers in Energy Re-*

- search, 2021, DOI: 10.3389/fenrg.2021.664046.
- [19] Isik M, Sarica K, Ari I. Driving forces of Turkey's transportation sector CO₂ emissions: An LMDI approach[J]. *Transport Policy*, 2020, 97: 210–219.
- [20] Liu J G, Li S J, Ji Q. Regional differences and driving factors analysis of carbon emission intensity from transport sector in China[J]. *Energy*, 2021, DOI: 10.1016/j.energy.2021.120178.
- [21] Lian L, Lin J Y, Yao R H, et al. The CO₂ emission changes in China's transportation sector during 1992–2015: A structural decomposition analysis[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(9): 9085–9098.
- [22] Wang C, Wood J, Geng X R, et al. Transportation CO₂ emission decoupling: Empirical evidence from countries along the belt and road[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121450.
- [23] Chen F, Zhao T, Liao Z M. The impact of technology–environmental innovation on CO₂ emissions in China's transportation sector [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(23): 29485–29501.
- [24] 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.
- [25] Wang Y, Zhou Y, Zhu L, et al. Influencing factors and decoupling elasticity of China's transportation carbon emissions[J]. *Energies*, 2018, DOI: 10.3390/en11051157.
- [26] 宋德勇, 宋沁颖, 张麒. 中国交通碳排放驱动因素分析: 基于脱钩理论与GFI分解法[J]. *科技管理研究*, 2022, 42(11): 216–228. [Song D Y, Song Q Y, Zhang Q. An analysis of the driving factors of China's transportation carbon emissions: Based on decoupling theory and generalized fisher index decomposition[J]. *Science and Technology Management Research*, 2022, 42(11): 216–228.]
- [27] 杨文越, 曹小曙. 多尺度交通出行碳排放影响因素研究进展[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(11): 1814–1828. [Yang W Y, Cao X S. Progress of research on influencing factors of CO₂ emissions from multi-scale transport[J]. *Progress in Geography*, 2019, 38(11): 1814–1828.]
- [28] Chen W H, Lei Y L. Path analysis of factors in energy-related CO₂ emissions from Beijing's transportation sector[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, 50: 473–487.
- [29] 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. [Li X, Ji M Q. Analysis of influencing factors of transportation carbon emission in Sanjiangyuan area based on LMDI model[J]. *Science and Technology Management Research*, 2019, 39(20): 246–250.]
- [30] Yang W Y, Wang W L, Ouyang S S. The influencing factors and spatial spillover effects of CO₂ emissions from transportation in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.133900.
- [31] Ang B W. LMDI decomposition approach: A guide for implementation[J]. *Energy Policy*, 2015, 86: 233–238.
- [32] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略[J]. *经济研究*, 2010, 45(8): 66–78. [Lin B Q, Liu X Y. China's carbon dioxide emissions under the urbanization process: Influence factors and abatement policies[J]. *Economic Research Journal*, 2010, 45(8): 66–78.]
- [33] Ağbulut Ü. Forecasting of transportation-related energy demand and CO₂ emissions in Turkey with different machine learning algorithms[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 29: 141–157.
- [34] 高志刚, 克麒. 中国沿边省区经济高质量发展水平比较研究[J]. *经济纵横*, 2020, (2): 23–35. [Gao Z G, Ke H. A comparative study on the high-quality development of economy in the border areas of China[J]. *Economic Review Journal*, 2020, (2): 23–35.]
- [35] Zheng X X, Wang R, Du Q R. How does industrial restructuring influence carbon emissions? City-level evidence from China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111093.
- [36] Shan Y L, Guan D B, Zheng H R, et al. China CO₂ emission accounts 1997–2015[J]. *Scientific Data*, 2018, DOI: 10.1038/sdata.2017.201.
- [37] 王科, 卢梅, 汪青青. 新冠疫情对中国二氧化碳排放的影响[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2020, 22(4): 11–16. [Wang K, Lu M, Wang Q Q. Impact of Covid-19 on China's CO₂ emissions [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2020, 22(4): 11–16.]
- [38] 杨莉莎, 朱俊鹏, 贾智杰. 中国碳减排实现的影响因素和当前挑战: 基于技术进步的视角[J]. *经济研究*, 2019, 54(11): 118–132. [Yang L S, Zhu J P, Jia Z J. Influencing factors and current challenges of CO₂ emission reduction in China: A perspective based on technological progress[J]. *Economic Research Journal*, 2019, 54 (11): 118–132.]
- [39] Shah K J, Pan S Y, Lee I Y, et al. Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129392.
- [40] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. “十二五”综合交通运输体系规划[R/OL]. (2012–07–23) [2022–07–05]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/zcssfz/zcgh/201207/t20120723_1145674.html?code=&state=123. [National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. “Twelfth Five-Year Plan” Comprehensive Transportation System Plan[R/OL]. (2012–07–23) [2022–07–05]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/zcssfz/zcgh/201207/t20120723_1145674.html?code=&state=123.]
- [41] Lin B Q, Xie C P. Reduction potential of CO₂ emissions in China's

transport industry[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 33: 689–700.

[42] 国务院. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[EB/OL]. (2022-01-19) [2022-07-05]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202201/t20220119_3637245.html.

[State Council. State Council on the Issuance of the “14th Five-Year Plan” Modern Comprehensive Transport System Development Plan Notice[EB/OL]. (2022-01-19) [2022-07-05]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202201/t20220119_3637245.html.]

Driving factors and peaking path of CO₂ emissions for China's transportation sector

WANG Shijin, KUAI Leyi

(Business School, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The transportation sector is one of the major sources of CO₂ emissions in China and has a great potential to reduce emissions. This study first measured the CO₂ emissions of China's transportation sector from 2001 to 2020, then decomposed the driving factors of CO₂ emissions using the logarithmic mean divisia index (LMDI) method, and finally used Monte Carlo simulation and designed three scenarios (baseline scenario, technological progress scenario, and low-carbon target scenario) to study the dynamic impact of different policies on CO₂ emissions from 2021 to 2030 and their potential to reach the emission peak. The results show that: (1) The most important driver of CO₂ emissions in China's transportation sector is economic scale, followed by population size; (2) The factors that promote the reduction of CO₂ emissions in the transportation sector are carbon intensity of energy consumption, transportation energy intensity, and industry scale, among which the most influential is industry scale; (3) The results of Monte Carlo simulation show that compared with the baseline scenario, the technological progress scenario has the maximum emission reduction of 30.27% and the low carbon target scenario has the maximum emission reduction of 51.32%. In addition, among the three scenarios, only the low-carbon target scenario has the potential to achieve the 2030 target, while the other two scenarios have not yet reached the peak inflection point. Finally, based on the results, this article provides some policy recommendations for achieving the carbon peak for the transportation sector.

Key words: transportation sector; green transportation; CO₂ emissions; LMDI decomposition; scenario analysis; Monte Carlo simulation; emission peak