

闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放测度与驱动因素分析

张静怡,曹德浩,刘华琼*

山东交通学院交通与物流工程学院,山东 济南 250357

摘要:为分析闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的动态特征与驱动机制,基于闽粤琼沿海地区2012—2022年的面板数据,采用自下而上法测算闽粤琼沿海地区公路、铁路、民航、水路4种交通方式的旅游交通碳排放量,并分析其动态演变趋势;将Kaya恒等式与对数平均迪氏指数(logarithmic mean Divisia index, LMDI)分解法相结合,分析旅游者规模、旅游产业贡献度、旅游消费水平、旅游交通运输强度、能源强度、能源结构等6个驱动因素的影响效应及对旅游交通碳排放变化量的贡献率。结果表明:闽粤琼沿海地区2012—2022年旅游交通碳排放量呈先增长后减少的趋势,民航是旅游交通的主要碳排放源,其排放量占旅游交通碳排放量的82.00%;游客人均碳排放量逐年减小,年均增长率为-13.80%,碳排放的增长速度低于游客的增长速度;促进旅游交通碳排放增长的主要影响因素有旅游者规模、旅游产业贡献度、能源强度及能源结构,累积贡献率分别为91.88%、252.63%、356.79%、27.75%,抑制旅游交通碳排放增长的主要影响因素有旅游消费水平、旅游交通运输强度,累积贡献率分别为-87.01%、-542.04%。

关键词:旅游交通;碳排放;LMDI;驱动因素;闽粤琼沿海地区

中图分类号:[U-9];X322;F592.7

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2025)03-0022-10

引用格式:张静怡,曹德浩,刘华琼.闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放测度与驱动因素分析[J].山东交通学院学报,2025,33(3):22-31.

ZHANG Jingyi, CAO Dehao, LIU Huaqiong. Measurement and driving factors analysis of tourism transportation carbon emissions in Fujian-Guangdong-Hainan coastal regions [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2025, 33(3): 22-31.

0 引言

全球气候变暖已成为21世纪人类可持续发展面临的重大挑战,交通领域作为碳排放的主要来源之一,推动交通领域低碳减排至关重要^[1]。旅游业作为推动经济发展和增长的重要支柱产业,其碳排放问题日益突出^[2-3]。旅游交通是旅游业碳排放最主要的来源,世界旅游组织表示到2030年旅游交通碳排放量将达19.98亿t,占交通领域碳排放总量的23.0%和所有人为碳排放总量的5.3%^[4]。探索旅游业绿色低碳转型路径、降低旅游交通碳排放对实现全球气候目标、推动旅游业可持续发展具有重要意义。

部分学者研究我国旅游碳排放的整体时空格局:刘丹丹^[5]基于时间序列分析法、物质流分析法、长期能源替代规划系统(long-range energy alternatives planning system, LEAP)和情景分析法建立旅游能源生命周期全周期的LEAP-Tourism模型,测算2011—2017年我国旅游业温室气体排放量,预测2018—2050年我国旅游业温室气体排放峰值,为优化旅游业节能减排路径提出对策建议;殷雅荣等^[6]采用空间自相关理

收稿日期:2024-06-22

第一作者简介:张静怡(2000—),女,山东滨州人,硕士研究生,主要研究方向为道路交通运输,E-mail:2287723914@qq.com。

***通信作者简介:**刘华琼(1979—),男,安徽巢湖人,教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为物流规划、物流优化与电商物流协同,E-mail:lhq5983442@163.com。

论和时间序列回归分析我国旅游交通碳排放强度的时空演变特征,结果显示城镇化水平和产业结构是聚集区旅游交通碳排放的主要影响因素,产业结构优化逐渐成为降低旅游交通碳排放强度的重要措施;雷婷婷等^[7]采用修正后的空间引力模型发现能源强度和交通运输结构对空间关联网络具有显著的正向影响,空间地理距离、居民消费水平和旅游经济效益对空间网络产生显著的负向影响。

部分学者聚焦我国典型省份的旅游碳排放及其影响因素:张硕^[8]通过测算黑龙江省旅游业碳排放量,分析影响旅游业碳排放的主要因素,发现旅游交通是影响黑龙江省旅游业碳排放的决定因素,碳排放效应是黑龙江省旅游业发展的抑制因素;高源遥等^[9]通过分析四川省旅游业碳排放,发现旅游交通中的民航交通是旅游业碳排放的主要来源。

部分学者以典型景区为研究对象,揭示旅游碳排放的驱动机制:杨曦等^[10]采用分解分析和突变分析方法研究重庆武隆世界自然遗产地旅游交通碳排放,结果表明旅游产业规模和交通结构是碳排放量增大的关键驱动因素;伊胜东^[11]测算2017—2021年黄山风景区地理空间范围内每年的碳排放量和碳汇量,结果表明碳排放主要集中在住宿和餐饮方面,黄山风景区在碳汇量方面具有显著贡献,表明自然类旅游景区在碳交易市场中具有重要的经济潜力。现有研究多聚焦分析单一景区^[10-11]、特定省份^[12-13]或全国范围^[14-15]的旅游交通碳排放,对介于宏观与微观尺度间、旅游资源条件相近区域的碳排放差异的关键影响因素研究较少,不利于分析碳排放的演变机理及驱动因素。闽粤琼沿海地区凭借优越的地理区位和发达的交通基础设施,旅游业发展迅速,伴随旅游业蓬勃发展而产生的能源消耗与碳排放问题日益凸显,亟需推进该地区旅游业的绿色低碳转型进程。

本文通过测算闽粤琼沿海地区的旅游交通碳排放量,探讨碳排放量随时间的变化趋势,采用对数平均迪氏指数(logarithmic mean Divisia index, LMDI)分解法分析旅游者规模、旅游产业贡献度、旅游消费水平、旅游交通运输强度、能源强度、能源结构等6个驱动因素的影响效应及对旅游交通碳排放变化量的贡献率,为闽粤琼沿海地区降低旅游交通碳排放提供政策建议,以期推动旅游业绿色发展,提高生态环境质量。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区域概况

闽粤琼沿海地区包括福建省、海南省、广东省,拥有独特的旅游资源,成为旅游发展的战略高地,其发达的旅游交通网络是连接沿海城市与旅游景点的重要纽带,促进区域经济发展,极大地提高游客出行便捷性和舒适性。但旅游产业蓬勃发展的同时,如何实现旅游发展与生态环境的和谐共存,是闽粤琼沿海地区面临的重要挑战。

1.2 研究方法

主要采用自下而上法测算旅游交通碳排放量,通过分解和加权各碳排放源求和后得到碳排放量^[16]。本文测算的碳排放量均指CO₂排放量。旅游卫星账户和数据监测体系尚处于发展阶段,多采用替代式系数法^[17-18]、生命周期评价法(life cycle assessment, LCA)法^[19]、COPERT IV(computer programme to calculate emissions from road transport)模型^[20]等方法估算旅游交通碳排放量。交通网络的快速发展显著改变游客的出行结构,旅游交通在客运交通中的占比呈明显波动态势,以往研究多采用固定占比系数,本文在不同时间段设置不同占比系数,以提高测算结果与现实情景的匹配度,为制定针对性的减排策略提供可靠的数据基础。目前缺乏专门的旅游交通数据统计标准,本文先估算出闽粤琼沿海地区的客运交通碳排放量,再通过专家评价法确定旅游交通碳排放量与客运交通碳排放量之比,推算得到闽粤琼沿海地区的旅游交通碳排放量^[21]。

1.2.1 客运交通碳排放量

第*i*种交通方式的客运交通碳排放量

$$C_i = Q_i P_i, \quad (1)$$

式中: Q_i 为第*i*种交通方式的旅客周转量; P_i 为第*i*种交通方式的客运交通碳排放系数,根据经济合作与

发展组织、联合国世界旅游组织和联合国环境规划署的规定以及文献[22-24]的研究,取公路、铁路、民航、水路的客运交通碳排放系数分别为 133、27、137、66 g/(km·人)。

1.2.2 旅游交通碳排放量

旅游交通碳排放量

$$C = \sum_{i=1}^4 \alpha_i C_i, \quad (2)$$

式中 α_i 为第 i 种交通方式中旅游交通碳排放量与客运交通碳排放量之比。

通过专家评价法(邀请 12 位专家)确定 4 种交通方式中旅游交通碳排放量与客运交通碳排放量之比,第 i 种交通方式第 j 个时间段旅游交通碳排放量占客运交通碳排放量之比

$$\alpha_{ij} = \sum_{q=1}^{12} S_{qij} W_q,$$

式中: S_{qij} 为第 q 个专家对第 i 种交通方式第 j 个时间段旅游交通碳排放量与客运交通碳排放量之比的评价结果; W_q 为第 q 个专家评价结果的权重,通过熵权法确定^[25]。

4 种交通方式中旅游交通碳排放量与客运交通碳排放量之比如表 1 所示。

表 1 4 种交通方式中旅游交通碳排放量与客运交通碳排放量之比

时间段	$\alpha_{ij}/\%$			
	公路	民航	铁路	水路
2012—2014 年	16.7	60.4	36.9	7.1
2015—2019 年	17.5	59.1	38.7	5.8
2020—2022 年	21.3	50.6	43.9	5.2

1.2.3 Kaya 等式

Yoichi Kaya 提出的 Kaya 恒等式广泛应用于分解碳排放驱动因素,可将碳排放量分解为多个驱动因素的乘积,揭示碳排放的关键影响因素及其相互关系^[26]。采用 Kaya 恒等式和 LMDI 分解法量化各驱动因素对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放变化量的贡献率,选取旅游者规模^[23-29]、旅游产业贡献度^[27-29]、旅游消费水平^[27-29]、旅游交通运输强度^[27-28]、能源强度^[14,27,29]、能源结构^[27-31]作为闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的驱动因素,选取适当的分解因子扩展 Kaya 恒等式^[32-33]。旅游交通碳排放量

$$C = \sum_p P \frac{R}{P} \frac{E_{\text{GDP}}}{R} \frac{T}{E_{\text{GDP}}} \frac{E}{T} \frac{E_p}{E} \frac{C_p}{E_p},$$

式中: P 为闽粤琼沿海地区游客人数, R 为闽粤琼沿海地区旅游总收入, E_{GDP} 为闽粤琼沿海地区生产总值, T 为闽粤琼沿海地区客运周转量, E 为闽粤琼沿海地区交通能源消耗量, E_p 为闽粤琼沿海地区第 p 种能源消耗量, C_p 为第 p 种能源的碳排放量。

以游客人数衡量旅游者规模 $k, k=P$; 以游客人均旅游消费衡量旅游消费水平 $a, a=R/P$; 以单位旅游收入对生产总值的贡献衡量旅游产业贡献度 $r, r=E_{\text{GDP}}/R$; 以单位国内生产总值的客运周转量衡量旅游交通运输强度 $g, g=T/E_{\text{GDP}}$; 以单位客运周转量的能源消耗量衡量能源强度 $q, q=E/T$; 以第 p 种能源消耗量占能源消耗总量之比衡量能源结构 $s_p, s_p=E_p/E$ 。

1.2.4 LMDI 分解法

LMDI 法具有计算便捷、可完全分解因子、无残余项^[34]等优势,广泛用于分解碳排放驱动因素对碳排放变化量的贡献率。采用加法分解模式分解闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放,即碳排放综合效应为各驱动因素效应之和。旅游者规模效应、旅游消费水平效应、旅游产业贡献度效应、旅游交通运输强度效应、能源强度效应、能源结构效应表示在该驱动因素单独作用下碳排放的变化量,分别记为 $\Delta C_k, \Delta C_a, \Delta C_r, \Delta C_g, \Delta C_q, \Delta C_s$, 计算公式分别为:

$$\Delta C_k = \sum_p \frac{C_p^t - C_p^0}{\ln C_p^t - \ln C_p^0} \ln \left(\frac{k^t}{k^0} \right), \quad (3)$$

$$\Delta C_a = \sum_p \frac{C_p^t - C_p^0}{\ln C_p^t - \ln C_p^0} \ln \left(\frac{a^t}{a^0} \right), \quad (4)$$

$$\Delta C_r = \sum_p \frac{C_p^t - C_p^0}{\ln C_p^t - \ln C_p^0} \ln \left(\frac{r^t}{r^0} \right), \quad (5)$$

$$\Delta C_g = \sum_p \frac{C_p^t - C_p^0}{\ln C_p^t - \ln C_p^0} \ln \left(\frac{g^t}{g^0} \right), \quad (6)$$

$$\Delta C_q = \sum_p \frac{C_p^t - C_p^0}{\ln C_p^t - \ln C_p^0} \ln \left(\frac{q^t}{q^0} \right), \quad (7)$$

$$\Delta C_s = \sum_p \frac{C_p^t - C_p^0}{\ln C_p^t - \ln C_p^0} \ln \left(\frac{s_p^t}{s_p^0} \right), \quad (8)$$

式中: C_p^t 为第 t 年第 p 类能源的碳排放量, C_p^0 为基期第 p 类能源的碳排放量, k^t 、 a^t 、 r^t 、 g^t 、 q^t 、 s_p^t 分别为第 t 年的游客人数、旅游消费水平、旅游产业贡献度、旅游交通运输强度、能源强度、第 p 类能源结构, k^0 、 a^0 、 r^0 、 g^0 、 q^0 、 s_p^0 分别为基期的游客人数、旅游消费水平、旅游产业贡献度、旅游交通运输强度、能源强度、第 p 类能源结构。

若驱动因素效应为正,表示该因素对碳排放量增大起促进作用;若驱动因素效应为负,表示该因素对碳排放量增大起减弱或抑制作用^[35]。 t 年内碳排放总变化量

$$\Delta C_{\text{tot}} = C_t - C_0 = \Delta C_k + \Delta C_a + \Delta C_r + \Delta C_g + \Delta C_q + \Delta C_s, \quad (9)$$

式中: C_t 为第 t 年的碳排放量, C_0 为基期的碳排放量。

1.3 数据来源

基于数据可得性,取研究时间段为 2012—2022 年,交通能源消耗量来自《中国能源统计年鉴》中闽粤琼沿海地区交通运输、仓储及邮政的终端消费量;旅游相关数据主要来源于 2013—2023 年《福建统计年鉴》《广东统计年鉴》《海南统计年鉴》的年度汇总数据。闽粤琼沿海地区 2012—2022 年的旅客周转量如表 2 所示。

表 2 闽粤琼沿海地区 2012—2022 年的旅客周转量

年份	旅客周转量/(亿人·km)					年份	旅客周转量/(亿人·km)				
	公路	民航	水路	铁路	合计		公路	民航	水路	铁路	合计
2012	2 986.26	1 920.83	15.88	724.69	5 647.66	2018	1 407.13	3 791.40	17.98	1 394.86	6 611.37
2013	1 942.93	2 129.46	15.21	805.67	4 893.27	2019	1 356.62	4 090.15	16.78	1 475.61	6 939.16
2014	2 053.82	2 376.85	16.87	988.36	5 435.90	2020	682.56	2 083.59	7.74	892.04	3 665.93
2015	1 381.52	2 633.30	16.80	1 086.79	5 118.41	2021	382.97	2 110.85	8.14	955.97	3 457.93
2016	1 407.11	2 972.90	16.50	1 177.67	5 574.18	2022	290.13	1 375.30	5.82	749.36	2 420.62
2017	1 434.87	3 313.81	17.47	1 297.98	6 064.13						

2 结果分析

2.1 闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放量及动态演变

对闽粤琼沿海地区 2012—2022 年的旅游交通碳排放量的动态变化进行时序分析,揭示该地区旅游交通碳排放量的演变趋势,为未来闽粤琼沿海地区转型跨越发展提供参考。根据式(1)(2)计算闽粤琼沿海地区 2012—2022 年不同交通方式的旅游交通碳排放量,并计算游客人均碳排放量,结果如表 3 所示。

表 3 闽粤琼沿海地区 2012—2022 年旅游交通碳排放量及游客人均旅游交通碳排放量

年份	旅游交通碳排放量/万 t					游客人均旅游交通 碳排放量/(kg·人 ⁻¹)
	铁路	公路	水路	民航	合计	
2012	72.20	663.28	0.74	1 589.45	2 325.67	48.57
2013	80.27	431.54	0.71	1 762.08	2 274.61	42.22
2014	98.47	456.17	0.79	1 966.80	2 522.23	41.36
2015	113.56	321.55	0.64	2 132.11	2 567.86	37.61
2016	123.05	327.50	0.63	2 407.07	2 858.26	36.98
2017	135.63	333.96	0.67	2 683.09	3 153.35	35.26
2018	145.75	327.51	0.69	3 069.78	3 543.73	34.52
2019	154.19	315.75	0.64	3 311.67	3 782.25	32.86
2020	105.73	193.36	0.27	1 444.39	1 743.75	26.13
2021	113.31	108.49	0.28	1 463.28	1 685.36	22.61
2022	88.82	82.19	0.20	953.38	1 124.60	17.17

由表 3 可知:1)闽粤琼沿海地区的旅游交通碳排放量在 2012—2019 年整体呈增长态势,在 2020—2022 年呈断崖式下降。2)2012—2019 年铁路碳排放量的年均增长率为 11.45%,铁路碳排放量低于公路,单位旅客周转量产生的碳排放量更少,铁路运输是更符合可持续发展理念的绿色交通选择。3)2012—2019 年民航碳排放量的年均增长率为 11.06%,民航是主要碳排放源,其排放量占旅游交通碳排放量的 82.00%。随经济的发展及人们对出游品质要求的提高,选择乘坐飞机出行的游客人数增多,民航碳排放量在旅游交通碳排放量中的占比逐年增大。4)2012—2019 年公路碳排放量及水路碳排放量均呈下降趋势,年均增长率分别为-10.06%、-2.08%。5)2012—2022 年游客人均碳排放量逐年减少,年均增长率为-13.80%,表明闽粤琼沿海地区游客绿色出游比例增大,碳排放的增长速度低于游客的增长速度,旅游业正向低碳化方向发展。

根据表 3 可将闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放演变过程划分为 3 个阶段:1)转型调整阶段(2012—2015 年),该阶段正值“十二五”规划中期,为实现单位 GDP 能源消耗降低和碳排放降低的目标,国家出台多项政策法规促使旅游业向可持续、环境友好的发展模式转变,旅游交通碳排放量平稳增长。2)稳步发展阶段(2016—2019 年),2018 年旅游交通碳排放量增长率出现首个波峰,增长率为 12.38%,此阶段闽粤琼沿海地区综合交通运输网络逐渐完善,交通基础设施显著改善,为旅游业快速发展提供必要条件,旅游交通碳排放量持续增长,2019 年达到峰值 3 782.25 万 t。3)剧烈下降阶段(2020—2022 年),闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放量大幅减小,增长率最低降至-53.90%。

2.2 闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放量演变机理

闽粤琼沿海地区旅游交通系统的能源消费数据不足,旅游交通碳排放的成因机制与交通系统的碳排放成因机制相似,通过分解交通系统碳排放影响因素探究旅游交通碳排放的驱动机理^[30]。能源数据包括原煤、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气及电力 7 类能源的消耗量,个别省份的部分能源数据缺失,采用软件 SPSS 插补缺失数据,计算结果与实际数据存在一定偏差,所得数据为较合理的估算结果。能源消耗量是各能源实物量与相应折标准煤系数之积,将实际消耗量转化为标准煤消耗量;通过各能源消耗量与相应碳排放系数之积计算得出碳排放量。能源消耗数据以千克标准煤(kgce)计,由《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》获取原煤、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气及电力的碳排放系数分别为 0.755 9、0.553 8、0.571 4、0.592 1、0.618 5、0.448 3、2.213 2 kg/kgce,由《中国能源统计年鉴 2018》获取原煤、汽

油、煤油、柴油、燃料油的折标准煤系数分别为 0.714 3、1.471 4、1.471 4、1.457 1、1.428 6 kgce/kg,天然气及电力的折标准煤系数分别为 1.330 0 kgce/m³、0.122 9 kgce/(kWh)。

第 p 类能源消耗产生的碳排放量

$$C_p = E_p K_p F_p,$$

式中: K_p 为第 p 类能源的折标准煤系数, F_p 为第 p 类能源的碳排放系数。

根据式(3)~(9)计算各驱动因素作用下闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的变化量及旅游交通碳排放总变化量,结果如表4所示。根据表4计算6个驱动因素对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放变化量的贡献率,结果如表5所示。

表4 各驱动因素作用下闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的变化量及旅游交通碳排放总变化量

年份	$\Delta C_k/\text{万 t}$	$\Delta C_a/\text{万 t}$	$\Delta C_r/\text{万 t}$	$\Delta C_g/\text{万 t}$	$\Delta C_q/\text{万 t}$	$\Delta C_s/\text{万 t}$	$\Delta C_{\text{tot}}/\text{万 t}$
2012	0	0	0	0	0	0	0
2013	318.98	42.24	-123.54	-589.51	232.42	28.17	-91.24
2014	329.89	64.32	-168.15	33.84	-147.69	3.12	115.32
2015	306.83	67.12	-149.88	-380.00	275.49	4.43	123.99
2016	350.88	86.01	-174.36	-30.29	-15.74	-70.58	145.92
2017	440.23	64.14	-170.83	-87.79	-109.45	115.72	252.02
2018	443.25	82.23	-216.55	-39.84	-175.64	33.77	127.22
2019	387.52	59.91	-184.08	-105.89	-54.97	50.21	152.68
2020	-1 636.55	-1 002.98	2 734.04	-2 129.15	1 719.69	34.56	-280.40
2021	356.28	-61.50	73.31	-547.08	166.74	51.02	38.76
2022	-417.79	-234.38	798.25	-1 312.71	1 524.39	15.16	372.93

表5 各驱动因素对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放变化量的贡献率

年份	贡献率/%						年份	贡献率/%					
	k	a	r	g	q	s		k	a	r	g	q	s
2013	-349.61	-46.30	135.40	646.11	-254.73	-30.87	2018	348.42	64.64	-170.22	-31.32	-138.06	26.54
2014	286.06	55.78	-145.81	29.34	-128.07	2.71	2019	253.80	39.24	-120.57	-69.35	-36.00	32.89
2015	247.46	54.13	-120.88	-306.48	222.19	3.57	2020	583.66	357.70	-975.05	759.34	-613.30	-12.33
2016	240.46	58.94	-119.49	-20.76	-10.79	-48.37	2021	919.09	-158.64	189.14	-1 411.32	430.19	131.63
2017	174.68	25.45	-67.78	-34.83	-43.43	45.92	2022	-112.03	-62.85	214.05	-352.00	408.76	4.07

由表5可知:6个驱动因素中,旅游者规模对碳排放变化量的贡献率在各年份中均较大,其中2021年最大,达919.09%;2013—2022年各驱动因素对碳排放变化量的平均贡献率从大到小依次为:旅游者规模、旅游产业贡献度、旅游交通运输强度、旅游消费水平、能源强度、能源结构,贡献率依次为259.20%、-118.12%、-79.12%、38.81%、-16.33%、15.57%。

各驱动因素对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放变化的累积贡献率如表6所示。由表6可知:能源强度对碳排放变化的累积贡献率最大,为356.79%,旅游者规模、旅游产业贡献度、能源强度在不同阶段的变动幅度均较大。

结合表5、6分析旅游交通碳排放的演变机理。

表 6 各驱动因素对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放变化量的累积效应及累积贡献率

年份	累积效应/万 t						累积贡献率/%					
	<i>k</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>g</i>	<i>q</i>	<i>s</i>	<i>k</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>g</i>	<i>q</i>	<i>s</i>
2013	318.98	42.24	-123.54	-589.51	232.42	28.17	-349.61	-46.30	135.40	646.11	-254.73	-30.87
2014	648.87	106.56	-291.69	-555.67	84.73	31.29	2 694.64	442.52	-1 211.34	-2 307.60	351.87	129.94
2015	955.70	173.68	-441.57	-935.67	360.22	35.72	645.44	117.30	-298.22	-631.91	243.28	24.12
2016	1 306.58	259.69	-615.93	-965.96	344.48	-34.86	444.43	88.33	-209.51	-328.57	117.17	-11.86
2017	1 746.81	323.83	-786.76	-1 053.75	235.03	80.86	319.92	59.31	-144.09	-192.99	43.04	14.81
2018	2 190.06	406.06	-1 003.31	-1 093.59	59.39	114.63	325.31	60.32	-149.03	-162.44	8.82	17.03
2019	2 577.58	465.97	-1 187.39	-1 199.48	4.42	164.84	312.09	56.42	-143.77	-145.23	0.54	19.96
2020	941.03	-537.01	1 546.65	-3 328.63	1 724.11	199.40	172.50	-98.44	283.52	-610.19	316.05	36.55
2021	1 297.31	-598.51	1 619.96	-3 875.71	1 890.85	250.42	222.04	-102.44	277.26	-663.34	323.63	42.86
2022	879.52	-832.89	2 418.21	-5 188.42	3 415.24	265.58	91.88	-87.01	252.63	-542.04	356.79	27.75

1)从整体阶段来看,旅游者规模对旅游交通碳排放变化量的贡献率最大,峰值为 919.09%。闽粤琼沿海地区游客人数由 2012 年的 4.79 亿人次增至 2022 年的 6.55 亿人次,增长 36.80%,同期旅游交通碳排放总量增加 957.21 万 t,其中旅游者规模效应贡献 879.51 万 t,显著影响旅游交通的碳排放。皮尔逊相关性分析显示,旅游者规模与旅游交通碳排放的相关系数为 0.719,说明旅游者规模是推动旅游交通碳排放量迅速增大的关键因素。各阶段对比显示,旅游者规模的累积贡献率呈递减趋势:2013—2016 年为 444.43%,2016—2019 年降至 312.09%,2019—2022 年降至 91.88%,旅游者规模对旅游交通碳排放的促进作用在阶段式减弱,但整体上旅游者规模仍属于强正向驱动因素。当前旅游需求持续快速增长带来的旅游交通碳排放压力在一定程度上制约了旅游业绿色转型,需通过优化游客的交通选择及行程规划等促进低碳旅游发展。

2)2013—2022 年能源结构对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放增长呈轻微促进作用,对碳排放变化量的累积贡献率为 27.75%。该地区交通运输行业天然气消费占比由 2012 年的 1.76%降至 2022 年的 1.33%,反映能源结构分布不合理,高碳排放的石油能源在交通行业中仍占主导地位。为落实《中华人民共和国节约能源法》和《绿色低碳转型产业指导目录(2024 年版)》的要求,闽粤琼沿海地区需优化能源产业结构,增大天然气、太阳能等清洁能源的比例,推动旅游交通向绿色低碳循环发展方向转型。

3)2013—2022 年旅游消费水平对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的影响呈阶段性特征:2013—2019 年呈持续促增效应,2020 年贡献率达到峰值 357.70%,旅游交通碳排放量随旅游消费的增加而增大,消费是驱动经济前行的主要动力之一,旅游消费的持续增长表明游客对高品质、个性化和多样化的旅游需求;2020—2022 年旅游消费水平对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放增长呈显著抑制效应,使碳排放量减小 832.89 万 t,这种转变源于短途游、生态游的兴起,体现低碳消费理念逐步普及。闽粤琼沿海地区可建立绿色旅游消费激励机制,促进消费升级与旅游交通低碳转型协同发展。

4)能源强度对旅游交通碳排放的影响呈明显的阶段性特征:2013—2019 年(除 2013、2015 年)能源强度对旅游交通碳排放贡献均呈负效应,反映该阶段低碳发展进入全新时期,低碳发展政策体系逐渐完善,产业结构、能源结构持续优化,低碳转型成效显著;2020—2022 年能源强度对旅游交通碳排放贡献转为正效应,随着交通基础设施的完善、经济的快速发展及旅游业的蓬勃发展,交通需求增大,私家车出行比例上升。从累积效应看,能源强度使旅游交通碳排放量增加 3 415.24 万 t,累积贡献率为 356.79%,但随着旅游业绿色转型推进、能源结构的调整,该效应正逐渐减弱。建议通过完善低碳交通设施、推广新能源交通工具及加强绿色出行宣传等措施,进一步降低能源强度对碳排放的促进作用。

5) 旅游交通运输强度对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放增长呈显著抑制效应,使碳排放量减少 5 188.42 万 t,累积贡献率为-542.04%。旅游交通运输强度与旅游交通碳排放的相关系数为-0.744,呈中等程度的负相关性。随现代交通技术的创新应用、公共交通服务的优化完善及运输组织方式的智能化改进,有效降低单位运输活动的能源消耗,在旅游业规模扩大的同时实现碳排放减少,为实现旅游业绿色化、低碳化发展提供重要支撑。

6) 旅游产业贡献度对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的影响呈阶段性变化:2013—2019 年旅游产业贡献度对碳排放增长始终呈负效应,反映旅游产业在 GDP 占比提高带来的结构优化效应;2020—2022 年转为正向驱动,累积贡献率达到峰值 252.63%,至 2022 年累计增排 2 418.21 万 t,说明需要在推进旅游产业的发展中提高旅游产业服务效率,融合创新,坚持生态优先,减少旅游业对能源、资源、环境的依赖,推进区域旅游向绿色化、低碳化方向发展。

3 结论与建议

3.1 结论

通过测算闽粤琼沿海地区 2012—2022 年旅游交通碳排放量,分析旅游交通碳排放量的时序演变趋势及旅游者规模、旅游产业贡献度、旅游消费水平、旅游交通运输强度、能源强度、能源结构等 6 个驱动因素对闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放的影响程度。

1) 闽粤琼沿海地区 2012—2019 年的旅游交通碳排放量呈增长趋势,2020—2022 年呈断崖式下降;2012—2019 年铁路、民航、公路、水路碳排放量的年均增长率分别为 11.45%、11.06%、-10.06%、-2.08%;民航是旅游交通的主要碳排放源,其排放量占旅游交通碳排放量的 82.00%;闽粤琼沿海地区 2012—2022 年游客人均碳排放量逐年减少,年均增长率为-13.80%,游客绿色出游比例增大,碳排放的增长速度低于游客的增长速度。

2) 从时序演变趋势角度分析,2012—2022 年闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放变化趋势分为 3 个阶段:转型调整阶段(2012—2015 年),国家出台多项政策法规促使旅游业向可持续、环境友好的模式转变;稳步发展阶段(2016—2019 年),随着经济水平的提高以及综合交通运输网络的完善,旅游交通碳排放量趋于高峰;剧烈下降阶段(2020—2022 年),出行需求骤减,旅游交通碳排放量大幅减少。

3) 从驱动因素角度分析,旅游者规模、旅游产业贡献度、能源结构及能源强度是促进旅游交通碳排放量增大的因素,旅游消费水平、旅游交通运输强度是抑制旅游交通碳排放量增大的因素,其中能源强度是导致闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放增长的关键性因素。

3.2 建议

旅游交通涵盖游客在出发地与旅游目的地间及在旅游目的地期间所使用的一切交通设施和服务^[36],节能减碳应存在于每个环节。旅游业的绿色高质量发展亟需解决的关键问题之一就是如何有效控制和减少碳排放。为降低闽粤琼沿海地区旅游交通碳排放,推动闽粤琼沿海地区绿色低碳发展,提出以下针对性对策建议。

1) 推动旅游业绿色低碳转型顶层设计。在政策管控方面,完善旅游低碳数据的管理体系和制度,建立有效及时、覆盖全面的碳排放监测系统;在景区管理方面,构建并优化低碳景区评价系统及促减排机制,切实做到低碳宣传、低碳技术、低碳管控、低碳设施,推动景区向绿色、低碳的发展方向转型。

2) 强化科技赋能旅游业绿色低碳转型。采用大数据平台跟踪检测并合理评估旅游过程中的能源消耗及碳排放情况,精准把控碳排放量,从碳排放源上做到实现经济效益的同时兼顾生态环境效益;支持低碳旅游创新,营造新型旅游体验,如推广电子门票、网上预约等智能化手段,以期打造智慧绿色旅游城市和景区。

3) 引领全民消费绿色转型。积极宣传低碳旅游,倡导绿色消费,推广碳普惠机制;倡导文明环保生态的旅游行为及消费方式,助力绿色低碳景区建设。如提倡游客通过选择载客量大、碳排放相对较低的交

通工具等措施助力旅游行业绿色低碳转型发展路径的实现。

4) 加快推进交通与能源融合发展。优化旅游交通能源结构,降低旅游业能源强度,提高各能源的利用效率,如推动零碳景区、低碳酒店、低碳旅游供应商及绿色旅游交通线等低碳环保发展项目的开发与建设等。推动清洁能源在交通领域的使用,着力提高纯电动汽车、混合动力汽车等环保型交通工具的应用,达到节能效应强、盈利可循环的目的。

5) 积极推进旅游产业结构调整。合理布局旅游产业,推动旅游企业绿色运营,促进能源的清洁转型、旅游产品的环保升级、旅游服务的低碳优化,以及旅游出行活动的零排放实践,积极促进生态与旅游融合,发掘旅游产业绿色转型的潜力,深入推动旅游业的绿色低碳转型。

参考文献:

- [1] 吕雁琴,范天正,张晋宁.中国交通运输碳排放效率的时空异质性及影响因素研究[J].生态经济,2023,39(3):13-22.
- [2] TIAN Y. Study on the impact of carbon emission pollution on urban tourism environment[J]. Engineering Reports, 2023, 5(8):e12641.
- [3] WEAVER D. Can sustainable tourism survive climate change? [J]. Journal of Sustainable Tourism, 2011, 19(1):5-15.
- [4] 世界旅游组织.2030年全球旅游交通碳排放可达19.98亿吨[EB/OL].(2019-12-04)[2022-04-11].<https://news.un.org/zh/story/2019/12/1046761>.
- [5] 刘丹丹.基于LEAP模型的旅游业碳排放测度与达峰路径研究[D].泉州:华侨大学,2021.
- [6] 殷雅荣,李援.中国旅游交通碳排放强度的时空演变特征[J].科技和产业,2023,23(23):208-215.
- [7] 雷婷,王奕淇,王超.中国省际旅游交通碳排放空间关联网络及影响因素[J].环境科学,2025,46(1):53-65.
- [8] 张硕.黑龙江省旅游业碳排放测算及其影响因素分析[J].西部旅游,2024(9):31-33.
- [9] 高源遥,沈西林,梁文灏,等.基于STIRPAT模型的四川省旅游业碳排放量影响因素分析[J].环境污染与防治,2023,45(12):1737-1742.
- [10] 杨曦,李云云,林楚.武隆世界自然遗产地旅游交通碳排放研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2017,34(1):131-137.
- [11] 伊胜东.“双碳”时代我国旅游景区净碳排放测算与旅游碳票发展路径研究:以黄山风景区为例[D].北京:中国社会科学院大学,2023.
- [12] 左大杰,戴文涛.基于通径分析的四川省交通碳排放驱动机理研究[J].交通运输系统工程与信息,2018,18(2):230-235.
- [13] WANG Z J, CHEN F, FUJIYAMA T. Carbon emission from urban passenger transportation in Beijing[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2015, 41: 217-227.
- [14] 郭向阳,穆学青,明庆忠,等.中国旅游交通碳排放格局及影响因素解析[J].地理与地理信息科学,2022,38(2):129-136.
- [15] 冯达.中国入境旅游业碳排放测算及影响因素分析[D].沈阳:辽宁大学,2023.
- [16] 厉建梅,李曼,元敏丽,等.大运河文化带沿线省份旅游交通碳排放的时空演变及影响因素研究[J].生态经济,2024,40(7):145-152.
- [17] 魏艳旭,孙根年,马丽君,等.中国旅游交通碳排放及地区差异的初步估算[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2012,40(2):76-84.
- [18] 陶玉国,黄震方,史春云.基于替代式自下而上法的区域旅游交通碳排放测度[J].生态学报,2015,35(12):4224-4233.
- [19] FILIMONAU V, DICKINSON J, ROBBINS D. The carbon impact of short-haul tourism: a case study of UK travel to Southern France using life cycle analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 64: 628-638.
- [20] 周可为,汤峻.南京市机动车尾气排放特征研究[J].环境科学与管理,2022,47(8):51-55.
- [21] UNWTO. Climate change and tourism: responding to global challenges[M]. Madrid, Spain: World Tourism Organization, 2008.
- [22] KUO N W, CHEN P H. Quantifying energy use, carbon dioxide emission, and other environmental loads from island tourism based on a life cycle assessment approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(15):1324-1330.

- [23] PEETERS P, DUBOIS G. Tourism travel under climate change mitigation constraints[J]. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(3):447-457.
- [24] PEETERS P, SZIMBA E, DUIJNISVELD M. Major environmental impacts of European tourist transport[J]. *Journal of Transport Geography*, 2007, 15(2):83-93.
- [25] 鞠小玉, 刘俊豪, 马春爱. 基于熵权-TOPSIS模型的克拉玛依市脆弱性评价[J]. *城市学刊*, 2022, 43(5):25-32.
- [26] 刘云龙, 田可. 长江经济带旅游交通碳排放测算与影响因素[J/OL]. *重庆交通大学学报(社会科学版)*. (2025-04-18)[2025-05-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1191.C.20250417.1709.002.html>.
- [27] 胡程, 丁正山, 穆学青, 等. 长江经济带旅游交通碳排放时空演变及驱动因素[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2022, 45(1):40-48.
- [28] 赵先超, 滕洁. 基于LMDI的湖南省旅游业碳排放影响因素分解[J]. *环境科学与技术*, 2018, 41(9):192-199.
- [29] 马慧强, 刘嘉乐, 弓志刚. 山西省旅游交通碳排放测度及其演变机理[J]. *经济地理*, 2019, 39(4):223-231.
- [30] 王佳, 薛景洁. 旅游交通碳排放测算及影响因素分析[J]. *统计与决策*, 2016, 32(13):61-64.
- [31] 李江元, 丁涛. 我国碳排放增长的驱动因素分解: 基于LMDI模型[J]. *煤炭经济研究*, 2020, 40(6):47-56.
- [32] 李颖. 安徽省旅游交通碳排放测算及影响因素分析[J]. *中国环境管理干部学院学报*, 2018, 28(1):50-53.
- [33] 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.
- [34] ANG B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? [J]. *Energy Policy*, 2004, 32(9):1131-1139.
- [35] 汪宏韬. 基于LMDI的上海市能源消费碳排放实证分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(增刊2):143-146.
- [36] 王兴中. *中国旅游地理*[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

Measurement and driving factors analysis of tourism transportation carbon emissions in Fujian-Guangdong-Hainan coastal regions

ZHANG Jingyi, CAO Dehao, LIU Huaqiong*

School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China

Abstract: To analyze the dynamic characteristics and driving mechanisms of tourism transportation carbon emissions in Fujian-Guangdong-Hainan coastal regions, based on the panel data of Fujian-Guangdong-Hainan coastal regions from 2012 to 2022, the carbon emissions of tourism transportation by four modes of transportation, namely road, railway, civil aviation and waterway, are calculated using the bottom-up approach, and their dynamic evolution trends are examined. Combining the Kaya identity and the logarithmic mean Divisia index (LMDI) decomposition method, evaluates the impact and contribution rates of six driving factors: tourist scale, tourism industry contribution, tourism consumption level, tourism transportation intensity, energy intensity, and energy structure. The results show that from 2012 to 2022, tourism transportation carbon emissions in Fujian-Guangdong-Hainan coastal regions initially increased and then decreased overall. Aviation is the primary source of tourism transportation carbon emissions, accounting for 82.00% of the total. Per capita carbon emissions from tourists decline annually, with an average annual growth rate of -13.80%, indicating that carbon emissions grow at a slower rate than tourist numbers. The main factors promoting tourism transportation carbon emissions are tourist scale, tourism industry contribution, energy intensity, and energy structure, with cumulative contribution rates of 91.88%, 252.63%, 356.79%, and 27.75%, respectively. The key factors inhibiting carbon emissions growth are tourism consumption level and tourism transportation intensity, with cumulative contribution rates of -87.01% and -542.04%, respectively.

Keywords: tourism transportation; carbon emissions; LMDI; driving factors; Fujian-Guangdong-Hainan coastal regions

(责任编辑:赵玉真)