

我国旅游交通碳足迹的测度与影响因素研究

伍卓,齐涛^①

(南华大学经济与法学院,湖南衡阳 421001)

[摘要] 旅游交通是旅游过程的重要环节,也是旅游碳足迹总量占比最大的一部分,因此,旅游交通碳足迹的科学计算和影响因素研究有利于实现低碳旅游。文章基于终端消费理论,采用旅游交通碳足迹估算模型作为研究工具,研究表明,2017年我国旅游交通碳足迹总量为5832.08万吨。运用STIRPAT模型和协整检验分析旅游交通碳足迹的影响因素,研究表明,游客周转量和人均旅游消费与旅游交通碳足迹呈正相关关系,提高能源效率能有效地减少旅游交通碳足迹。最后,根据研究结论,提出减少旅游交通碳足迹四点对策与建议。

[关键词] 旅游交通碳足迹; 终端消费; STIRPAT模型; 协整检验

[中图分类号] F592 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2018)03-0078-08

全球气候变化是人类面临的重大问题之一。旅游逐渐成为人们休闲度假的重要活动,人们清楚地认识到旅游需要优质良好的自然环境,同时自身活动也是导致气候变化的原因之一。2017年我国国内旅游人数为50亿人次,比2016年增长12.8%。50亿游客的吃、住、行、游、购、娱等活动产生的碳排放量不可小觑。近些年来,国内外众多学者对旅游碳足迹进行了定性和定量研究。早在1997年Natalia采用了“投入-产出”方法对夏威夷游客的能源需求进行计算,探讨能源利用效率和旅游目的地之间的关系^[1]。Diek(2007)等人详细地研究了旅游目的地的碳足迹,研究表明,航空在所有交通方式中碳排放量最多^[2]。伍卓(2015)运用生命周期评价理论与投入-产出理论,测算旅游者整个旅游活动产生的碳足迹,结果表明,交通产生的碳足迹占56.1%,并基于问卷调查结果验证了测算结果的合理性^[3]。丰霞、智瑞芝(2018)等人在对浙江省居民消费碳足迹进行研究判断时,采用LMDI模型对浙江省居民消费间接碳足迹进行分析,结果说明经济发展水平效应是居民消费间接碳足迹增加的主要因素,居民消费结构优化对居民消费间接碳足迹增长起到一定的延缓作用^[4]。宋权礼、陈玲玲(2018)采用“自下而上”方法估算了2001—2015年江苏省旅游业及主要部门的能源消费与CO₂排放量的序时性变化。研究结果显示旅游交通能源消费量和CO₂

排放量最高,旅游消费水平是主要促进因素,能源强度则是抑制因素^[5]。本文基于终端消费理论,采用旅游交通碳足迹估算模型作为研究工具,不考虑出境和入境旅游情况,估算我国国内旅游交通碳足迹。运用STIRPAT模型和协整检验分析旅游交通碳足迹的影响因素。本文采用的研究方法和计算旅游碳足迹的模型可作为相关部门和行业提供碳足迹测度理论依据,相关结论可作为政府或相关部门提供相关决策的依据。

一 碳足迹的内涵与基本假设

碳足迹是某产品在整个生命周期(包括生产、仓储、使用、报废和管理阶段)中产生CO₂及其他温室气体的总量^[6],用来衡量人类各项能源活动引起的温室气体。旅游碳足迹包括旅游产品(有形产品)和旅游服务(无形产品)两大类,不能以单一旅游产品衡量旅游碳足迹。生产产品、提供服务最终是为了消费,生产和服务过程中产生的碳排放最终由消费者承担。因此,终端消费理论下旅游交通碳足迹内涵为:(1)旅游产品和服务的最终消费者是游客,因此,旅客是碳排放的主要承担者。(2)旅游交通碳足迹包括从“客源地—旅游目的地—客源地”整个过程中,交通运输工具消耗能源产生的碳排放,也包括交通运输过程中提供的产品和服务在生产、使用、维护管理等环节产生的碳排放。

[收稿日期] 2018-04-12

[作者简介] 伍卓(1963-),女,湖南衡阳人,南华大学经济与法学院教授,博士。

^①南华大学经济与法学院硕士研究生。

为简化旅游交通碳足迹估算过程中的复杂问题,作出如下假设:(1)旅游交通环节产生碳排放计算指标很多,本文采用游客在出行过程中选择不同交通方式产生的CO₂排放量为指标,单位是万吨。(2)游客在整个旅游交通环节产生的碳排放量都能以产品和服务成本通过终端消费形式表现出来。(3)不同类型游客消费能力不同,终端消费水平最终通过旅游收入体现出来。

二 旅游交通特点概述

旅游交通是为旅游者从旅客出发地到旅游目的地以及目的地之间提供的交通设施、设备和交通服务^[7]。旅游业和交通运输业紧密联系,便捷的交通方式,不断完善的交通管理系统吸引越来越多的游客,同时,促进了交通进一步发展和改善。旅游交通方式中铁路运输、公路运输、水路运输和航空等公共交通运输载客规模巨大,成为我国常用的旅游交通方式,且统计数据完整、可靠,容易获取。这些交通方式产生的碳排放是旅游交通碳足迹的主要组成部分,亦是本文的研究对象。

(一) 铁路运输

铁路运输是我国交通运输系统的重要组成部分,在运输领域中占据不可或缺的地位,每年客运周转量稳居第二,仅次于公路客运周转量。铁路运输具有运输成本低,运行过程平稳,且受气候和自然条件影响小、运行速度快等优点,但铁路机动性的优势不及公路运输。随着我国近些年高铁技术飞速发展,高铁覆盖范围不断扩大,管理服务水平不断提高,铁路旅游越来越受欢迎,而且是一种低碳旅游的交通方式。

(二) 公路运输

公路运输机动性强,价格适中,每年客运总量稳居首位,是旅客喜爱的旅游交通方式。公路交通方式所用运输工具主要是汽车。随着私家车普及,越来越多旅客选择自驾游,这对公路运输管理和高级公路建设增加了压力。公路运输的使用不仅仅是在游客出发地和目的地之间,而且在景区内部短距离景点间使用,是旅游交通碳足迹的主要来源。

(三) 水运运输

国内水路运输主要以船舶为交通工具,以港口为运输基地,河流和湖泊为范围的一种历史悠久的传统运输方式。运载力大、成本低,但机动性差,受气候条件制约较大。在我国客运总量中,水运排第4,次于航空、公路和铁路运输。随着旅游产品市场的创新发展,观光游览、休闲度假式的水运旅游方式

正在不断发展创新。它也是我国旅游交通碳足迹的重要组成部分。

(四) 航空运输

航空运输是交通运输中速度最快,且舒适度高的交通方式,是游客长距离旅行节约时间的最佳选择,但航空费用高,过分依赖于机场等基础设施建设,容易受天气变化制约,影响游客旅游体验,有一定局限性。研究表明,航空碳排放系数在各种公共交通方式中最高^[8],是研究旅游交通碳足迹不可忽略的因素。

本文研究的旅游交通不同于客运交通,它们间既有联系又有区别。因此,旅游客运量不等于客运总量,现有数据未对客运总量进行细致分类。如何将旅游客运量从交通客运总量中提取出来是研究中的重难点。石培华(2011)、魏艳旭(2012)等人的研究使用网络调查报告或专家主观预测的方法^[9-10],然而,其权威性和科学性并不理想。本文通过计算旅游交通比例系数,从客运总量中提取旅游客运量,公式(1)中, R_i 为旅游交通比例系数, $G_{toutsim}$ 为旅游总人次, $G_{transport}$ 为客运总量。旅游交通客运量可由公式(2)表达,其中 TR_{jtotal} 为j类交通方式游客周转量,为类交通方式客运周转量。

$$R_i = G_{toutsim} / G_{transport} \quad (1)$$

$$TR_j = R_i \times TR_{jtotal} \quad (2)$$

《中国2017年国民经济和社会发展统计公报》数据显示,我国2017年旅游总人次为50亿人次,客运总量为185.1亿人次。通过上述计算公式,可计算得出2017年旅游交通比例系数为27.01%;进一步细化,计算出铁路为 3634.71×10^8 p·km,公路 2637.55×10^8 p·km,水运 21.04×10^8 p·km,航空 2569.41×10^8 p·km。

三 旅游交通碳足迹的估算与分析

众多学者和机构对旅游交通碳足迹的测算做了系统研究,伍卓(2015)、王立国(2011)等人采用积和组合的方式建立旅游交通碳足迹模型测度旅游6要素产生的碳足迹^[5,11];高丽敏(2014)对旅游交通重点领域进行能耗和碳排放量统计,采用先分解后加总方法构建交通碳排放模型,测度北京旅游者碳足迹^[12]。本文在整理现有文献和碳排放部门研究结果基础上,建立如下模型:

$$CF_1 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^4 TR_{ij} \beta_j \quad (3)$$

公式(3)中, TR_{ij} 为第i年j种旅游交通方式的年旅游客运量(p·km), β_j 为第j种旅游交通工具

CO₂ 排放系数(kg/p·km),即第j中旅游交通工具平均运送1名游客1km排放的CO₂量。不同旅游交通工具 β_j 取值不同,目前还没有统一的参考值。由模型可看出, β_j 取值直接影响旅游碳足迹的估算。

计算我国旅游碳足迹需要的数据包含以下几类:(1)基础数据。我国不同旅游交通方式的旅客周转量,旅游人数等。这些数据来自《中国统计年鉴》(2003—2017)、2017年我国国民经济与社会发展统计公报和各年旅游业统计公报,中国经济与发展数据库等。(2)参考数据。一类是直接引用国内外有关研究文献成果,如不同旅游交通方式CO₂排放系数等。另一类是通过基础数据和已研究的计算方法和成果计算得到的新系数,如旅游交通比例系数。

从模型中可看出, β_j 取值直接影响旅游碳足迹估算,本文旨在测算我国旅游碳足迹。根据我国经济技术等发展现状,查阅国内外文献研究,采用的数据是以我国案例研究得出的数据,和采用世界权威组织或机构以全球为研究范围研究得出的数据,归纳整理如表1:

表1 旅游交通工具的碳排放系数

交通方式	主要交通工具	碳排放系数	资料来源
铁路	火车	0.027	UNWTO(世界旅游组织) ^[13]
公路	汽车	0.047	石培华,Gossling S,Becken S ^[9,14,15]
水运	轮船	0.066	UNWTO,UNEP等 ^[13]
航空	飞机	0.140	石培华,Gossling S,Becken S ^[9,14,15]

根据旅游交通碳足迹计算模型,计算我国各年旅游交通碳足迹,结果如表2:

表2和图1表明,我国旅游交通碳足迹呈逐年增长趋势,2002—2012年我国旅游碳足迹增长比较平缓,我国旅游业处于初步发展阶段,旅游规模和人均国内生产总值处于较低水平,用于旅游消费支出较少,导致旅游碳足迹增长缓慢。2013—2017年我国旅游交通碳足迹增长较快,此现象的出现是由于2010年以来我国高速铁路快速发展和经济水平提高,游客选择航空交通的人数增加导致铁路和航空碳足迹增加。由于水路运输自身特点,水运碳足迹在我国旅游交通碳足迹总量中占比极小,约为0.2%~0.7%,可忽略不计。且近十六年中基本没变化,说明游客选择交通方式更偏好于另外三种交通工具。

图2显示,2002—2012年我国公路碳足迹占旅游交通碳足迹总量比例平稳,2012年呈下降趋势,结合水路碳足迹和公路碳足迹占旅游交通碳足迹总

量比例,2012—2017年公路碳足迹下降和航空碳足迹上升,直接原因是航空碳排放系数最高和游客选择航空交通方式出行人数增加,人均国内生产总值提高使人们有经济能力选择航空这种快捷、舒适的交通方式。2002—2017年我国铁路建设、高铁技术进步和交通管理水平提升,铁路运输游客周转量大、碳排放系数相对较低等自身优势,碳足迹稳中有进。

表2 2002—2017年我国旅游交通碳足迹(单位:万吨)

年份	铁路	公路	水运	航空	交通碳足迹总量
2002	73.25	200.30	2.95	96.97	373.48
2003	70.86	198.22	2.28	96.92	368.28
2004	96.16	256.37	2.73	155.58	510.83
2005	107.40	286.58	2.94	187.86	584.78
2006	123.13	327.92	3.34	228.57	682.96
2007	140.81	390.85	3.71	282.46	817.83
2008	125.37	350.04	2.33	240.93	718.67
2009	135.92	405.74	2.93	301.91	846.49
2010	152.17	454.10	3.07	363.71	973.05
2011	194.37	589.96	3.68	475.71	1263.73
2012	205.94	674.70	3.98	546.93	1431.55
2013	439.57	812.50	6.93	1216.84	2475.83
2014	539.34	918.38	8.71	1575.71	3042.14
2015	664.73	1039.29	9.93	2098.66	3812.61
2016	793.60	1233.14	11.15	2740.67	4778.56
2017	981.37	1239.65	13.89	3597.17	5832.08

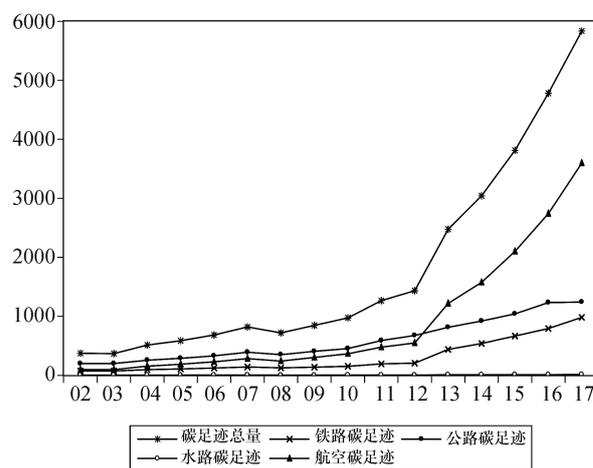


图1 不同交通方式碳足迹折线图

表3可看出,铁路运输产生的碳排放系数较低,承担约41.01%游客周转量,仅产生约16.83%的碳足迹。我国公路交通运输承担了29.76%的旅游周

转量,碳足迹占比约 21.26%;相对于上述两种交通工具,由于航空交通方式碳排放系数最高,其碳足迹占比相应较高,在承担 28.99% 游客周转量的同时,产生了 61.67% 交通碳足迹;水运交通碳足迹总量极小,且占旅游交通碳足迹的比重极小,约 0.24%。

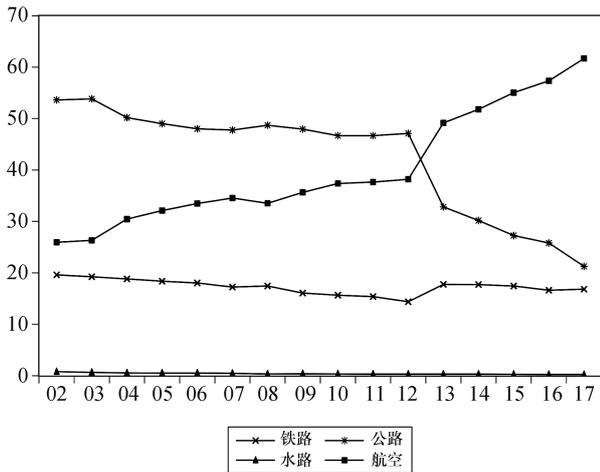


图 2 不同交通方式碳足迹百分比

表 3 2017 年旅游交通碳足迹一览表

交通方式	游客周转量 (10 ⁸ p · km)	总周转量 (10 ⁸ p · km)	碳足迹 (万吨)	百分比
铁路	3634.71	13456.9	981.37	16.83%
公路	2637.55	9765.1	1239.65	21.26%
水运	21.04	77.9	13.89	0.24%
航空	2569.41	9512.8	3597.17	61.67%
合计	8862.71	32812.7	5832.08	100%

四 旅游交通碳足迹的影响因素

上述结果表明我国旅游交通碳足迹 2013—2017 年上升速度加快,有继续增长趋势,不利于旅游业可持续发展。因此,需要分析旅游交通碳足迹增加的关键因素。胡林林(2013)采用 IPAT 模型分析了江西省旅游碳足迹水平的人文方面的因素,以专利授权量作为该区域的科技发展水平,与碳排放呈负相关关系^[16]。孙艳伟、李加林(2018)等人测算 2001—2015 年间舟山市各部门的碳排放量,并运用 STIRPAT 扩展模型,定量分析能源强度、人均 GDP 以及城市化率等关键驱动因子对海岛城市碳排放的影响,结论表明碳排放强度遵从先降后增的“U 型”变化规律,舟山市经济增长与碳排放之间存在 Kuznets 曲线假说^[17]。本文参考胡林林的研究工具,构建多元线性回归模型分析我国旅游交通碳足

迹的影响因素。

20 世纪 70 年代 Ehrlich (1972) 和 Holden (1971) 提出 IPAT 模型,即 $I = PAT$ 研究人类活动对环境的影响,以此发现影响环境的主要人类活动因素^[18-19]。归纳总结出三大类影响因素: P 代表人口规模因素, A 代表财富因素, T 代表除上述人口规模和财富影响因素以外的所有其他影响因素,定义为技术因素。

由模型可看出三种因素对环境的影响是单调的,即 P 、 A 或者 T 变化 1%, I 随之变化 1%,且模型无法进行假设检验,同时不能看出三大影响因素中影响环境最大的影响因素。由于模型存在缺陷,Rosa (1994) 和 Dietz (1997) 提出了 IPAT 的改进模型——STIRPAT 模型^[20-21](4),假设 $a = b = c = d = e = 1$,STIRPAT 模型即为 IPAT 模型,也就是说,IPAT 模型是 STIRPAT 模型的一种特殊形式:

$$I_{it} = aP_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d e \quad (4)$$

公式(4)中 I 代表对环境的影响, a 为常数, P 代表人口规模因素,主要体现人口数量的特点, A 代表财富因素,主要体现个人财富水平或者经济水平等特点, T 代表技术因素,其影响因素较为复杂,根据具体情况分析, e 为随机误差项, b, c, d 分别为 P, A, T 的弹性系数, i 和 t 分别代表样本个体和时间。

由于 STIRPAT 模型是非线性模型,对模型(4)进行对数处理,既不改变原时间序列的协整关系,同时消除了原时间序列可能存在的异方差现象。将模型(4)转化为线性方程:

$$\ln I_{it} = \ln a + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + \ln e \quad (5)$$

模型(5)以 $\ln I$ 为被解释变量, $\ln P_{it}, \ln A_{it}, \ln T_{it}$ 作为解释变量, $\ln a$ 作为常数项, $\ln e$ 作为随机误差项。模型可解释为在其他影响因素保持不变的情况下,影响因素 (P, A 或 T) 每变化 1%,对环境 I 的影响分别变化 $b\%$ 、 $c\%$ 或 $d\%$ 。STIRPAT 模型还可以对模型扩展,以满足解决问题的需要,通过增加因素、减少因素或分解因素,以提高模型对实际问题的解释能力。

(一) 指标选取和数据处理

本文数据来源于《中国统计年鉴》(2003—2017 年)、《中国旅游统计年鉴》(2003—2017 年)、2017 年的数据来源于国民经济与社会发展统计公报和各年的旅游统计公报以及中国经济与发展数据库。指标分析如下:(1) 选择我国旅游交通碳足迹总量为被解释变量,记为 I 。(2) 选取旅客周转量为解释变量(人口因素) P ,交通碳足迹测算的是区域内旅游

交通环节产生的碳排放量。(3)选取国内人均旅游消费为解释变量(财富因素) A ,国内人均旅游消费在一定程度上反映我国游客在旅游交通中的消费水平,旅游交通碳足迹依赖于不同旅游交通方式的选择,所以人均旅游消费与旅游交通碳足迹存在着一定关系。(4)由于我国没有分类统计旅游交通相关数据,故选取交通运输、仓储和邮政业的能源强度为技术因素 T ,一定程度上能反映我国旅游交通运输业的能源消费量,体现旅游交通运输业能源利用效率,是导致旅游交通碳足迹变化的重要原因之一,计算公式为:

交通运输、仓储和邮政业的能源强度 = 交通运输、仓储和邮政业能源消耗量(标准煤)/交通运输、仓储和邮政业增加值

交通运输、仓储和邮政业能源强度反映该行业每单位增加值的能耗(标准煤),交通运输、仓储和邮政业相关科学技术进步和管理服务完善必然能够降低单位产值的能源消耗,因此,一定程度上反映该行业的技术和管理水平。

考虑到年鉴中人均GDP统计值均为名义值,没有剔除价格变动带来的影响,不能真实反映经济情况。为此,本文利用居民消费价格指数分别求出实际值。

(二)实证检验

首先,需要对取对数的时间序列值进行平稳性检验,以确定时间序列是否具有平稳性,检验方法主要有6种:Dickey-Fuller(DF)检验、Augmented Dickey-Fuller(ADF)检验、Phillips-Perron(PP)检验、ERS检验(Elliot, Rothenberg and Stock Point Optimal Test)、KPSS检验(Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shin Test)和NP检验(Ng and Perron Tests)。其中ADF检验最常见。其次,对平稳的时间序列进行协整检验,确定变量之间是否存在长期的稳定关系。如果协整关系存在,则进一步使用误差修正模型,观察变量间的短期动态调整机制。

1.ADF检验(平稳性检验)

本文采用最常见的单位根检验法——ADF检验,对数据的平稳性进行检验。借助Eviews 8.0变量时间序列进行检验,检验结果见表4。从表4中可以看出,在1%显著水平下, LnI 、 LnP 、 LnA 和 LnT 时间序列不平稳,因此,使用这些变量进行回归会出现“伪回归”。但是 LnI 、 LnP 、 LnA 和 LnT 这些变量的时间相应的一阶差分 $DLnI$ 、 $DLnP$ 、 $DLnA$ 和 $DLnT$ 为平稳时间序列。在此前提条件下,需要进行下一步检验,以验证平稳序列之间的长期协整关系。

表4 ADF检验结果

Variable	(C,T,L)	Augmented Dickey-Fuller test statistic	1% level	5% level	10% level
LnI	(C,T,0)	-1.313419	-4.800080	-3.791172	-3.342253
LnP	(C,T,0)	-1.399770	-4.800080	-3.791172	-3.342253
LnA	(C,T,2)	-2.424622	-4.992279	-3.875302	-3.388330
LnT	(C,T,0)	-1.398361	-4.800080	-3.791172	-3.342253
$DLnI$	(C,T,0)	-4.239195	-4.886426	-3.828975	-3.362984
$DLnP$	(C,T,0)	-4.216258	-4.886426	-3.828975	-3.362984
$DLnA$	(C,0,0)	-4.335895	-4.057910	-3.119910	-2.701103
$DLnT$	(C,T,0)	-4.217352	-4.886426	-3.828975	-3.342253

2.协整检验

以上的ADF检验结果中, $DLnI$ 、 $DLnP$ 、 $DLnA$ 和 $DLnT$ 均在5%的显著水平下显著,且均为一阶单整序列,即时间序列经过一次差分具有平稳性的时间序列,满足四个变量进一步协整分析的条件。协整检验有两种方法,本文使用两步检验法(E-G检验)检验,均显示出一阶单整的变量之间是否存在协整关系。第一步,利用Eviews8.0求出协整回归方程。括号内数值为其对应的标准误差(下同)。

$$LnI_t = 1.113730LnP_t - 1.477423 + e_{t_1} \quad (6)$$

(0.003376) (0.025770)

$$LnI_t = 5.502573LnA_t - 18.39266 + e_{t_2} \quad (7)$$

(0.50381) (2.424646)

$$LnI_t = -1.116934LnT_t + 1.849232 + e_{t_3} \quad (8)$$

(0.003372) (0.015693)

由协整回归方程(6)可看出,旅客交通周转量每增加1%,旅游交通碳足迹增加约1.114%;由协整回归方程(7)可看出,我国人均旅游消费每增加1%,旅游交通碳足迹增加约5.503%;由协整回归方程(8)可看出,交通业能源利用水平每增加1%,旅游交通碳足迹减少约1.117%。以上说明三个因素对旅游碳足迹变化具有显著驱动作用,且人均旅游消费对旅游交通碳足迹的驱动作用更强。

第二步, 检验残差的单整性。同样, 利用 ADF 检验方法进行残差平稳性检验, 检验结果如表 5, 经过残差的 ADF 检验结果, 可得到: 残差 e_{t_1} 的 ADF 检验值小于其在 10% 的显著性水平下的临界值, 故残差 e_{t_1} 在 10% 的显著水平下为平稳的时间序列; 残差 e_{t_2} 的 ADF 检验值小于其在 10% 的显著性水平下的

临界值, 故残差 e_{t_2} 在 10% 的显著水平下为平稳的时间序列; 残差 e_{t_3} 的 ADF 检验值小于其在 10% 的显著性水平下的临界值, 故残差 e_{t_3} 在 10% 的显著水平下为平稳的时间序列, 所以可以认为在 10% 的显著水平下, LnI_t 与 LnP_t 之间、 LnI_t 与 LnA_t 之间和 LnI_t 与 LnT_t 之间均具有长期的协整关系。

表 5 残差的 ADF 检验

Variable	(C, T, L)	Augmented Dickey-Fuller test statistic	1% level	5% level	10% level
e_{t_1}	(C, 0, 0)	-2.90915	-4.200056	-3.175352	-2.728985
e_{t_2}	(C, 0, 0)	-2.714951	-4.057910	-3.119910	-2.701103
e_{t_3}	(C, 0, 0)	-2.740588	-4.057910	-3.119910	-2.701103

3. 误差修正模型

根据上述分析得出变量之间具有长期的协整关系, 建立 ECM 模型, 进一步考察短期关系, 建立误差修正模型如下:

$$DLnI = \underset{(0.003755)}{0.003682} + \underset{(0.017843)}{1.095666}DLnP - \underset{0.326151}{0.603696}ECM_{t-1}^1 \quad (9)$$

$$(ECM^1 = LnI - 1.113730LnP + 1.477423)$$

$$DLnI = \underset{(0.041783)}{-0.139433} + \underset{(0.724935)}{1.466047}DLnA - \underset{(0.326151)}{0.210095}ECM_{t-1}^2 \quad (10)$$

$$(ECM^2 = LnI - 5.502573LnA + 18.39266)$$

$$DLnI = \underset{(0.0036951)}{0.004020} - \underset{(0.017541)}{1.096904}DLnT - \underset{(0.316375)}{0.607053}ECM_{t-1}^3 \quad (11)$$

$$(ECM^3 = LnI + 1.116934LnT - 1.849232)$$

从误差修正模型可看出, 无论是游客周转量、人均旅游消费, 还是能源利用率上看, 其变化程度均对旅游碳排放总量产生影响, 而且从 1.096、1.466 和 -1.097 这三个数值上看, 游客周转量, 人均旅游消费和能源利用率对旅游交通碳足迹的影响较大, 且在 10% 的显著水平下显著。

误差修正项系数反映了调节机制, 而误差修正项大小反映当短期波动偏离长期均衡时系统调节力度的大小。在误差修正模型(9)中, 误差修正项系数为 -0.603696, 这符合反向修正机制。即对于 LnI 与 LnP , 当其短期波动偏离长期均衡时, 系统以 0.603696 的调节力度使其恢复到均衡状态。在误差修正模型(10)中, 误差修正系数为 -0.210095, 同样符合反向修正机制, 即对于 LnI 与 LnA 当其短期波动偏离长期均衡时, 系统将以 0.210095 的调节力度使其恢复到均衡状态。在误差修正模型(11)中, 误差修正系数为 -0.607053, 同样符合反向修正机制,

即对于 LnI 与 LnT , 当其短期波动偏离长期均衡时, 系统将以 0.607053 的调节力度使其恢复到均衡状态。

五 结论与建议

(一) 结论

第一, 我国旅游交通碳足估算结果, 表明旅游交通碳足迹快速增长, 回归分析结果表明: 我国旅游交通碳足迹与时间呈指数型函数关系, 回归方程为: $y = 5.18576 \ln x + 1972.713$, ($R^2 = 0.954$, x, y 分别表示旅游交通碳足迹和时间)。其中航空碳足迹与时间呈指数型函数关系, 回归方程为: $y = 3.983712 \ln x + 1985.029$, ($R^2 = 0.952$, x, y 分别表示航空碳足迹是时间)。其他交通运输方式碳足迹与时间变化规律不明显。航空碳足迹占旅游交通碳足迹约 60% (表 3), 是旅游交通碳足迹最重要部分, 这与 Dick (2007) 等人研究结果一致。航空碳排放系数相对于铁路、公路和水路最大, 是导致航空碳足迹重要原因, 如何提高航空运输能源利用效率是旅游交通环节减排的重点。

第二, 协整检验可以看出, 旅客周转量, 人均旅游消费, 能源利用效率与旅游交通碳足迹之间均存在长期协整关系。旅客交通周转量每增加 1%, 旅游交通碳足迹增加约 1.114%; 我国人均旅游消费每增加 1%, 旅游交通碳足迹增加约 5.503%; 交通、仓储和邮政业能源强度综合反映了该行业能源利用率, 旅游业离不开交通运输业, 故在一定程度上体现旅游交通业能源利用水平。能源利用率提高 1%, 旅游交通碳足迹减少约 1.117%; 说明旅游规模, 人均旅游消费对旅游碳足迹的影响明显, 游客在交通

上的消费占旅游总花费上的比例较多,反映游客偏好长途旅游,即喜欢去离居住地较远地方旅行。提高能源利用效率,降低旅游交通环节产生的碳足迹,开发新能源交通工具以降低能耗,例如近年来高铁技术走在世界前列也进一步解释了我国交通行业技术上的优势与发展态势。

第三,三个误差修正模型可得出,对于 LnI 与 LnT 来说,当其偏离长期均衡时,系统调节力度大, LnI 与 LnP 次之, LnI 与 LnA 调节力度最小。这说明相对于人口规模和技术进步而言,人均旅游消费外部影响因素比较复杂,这是受到人们可支配收入中用在其他方面的支出影响。比较方程(6)和方程(9),方程(7)和方程(10),方程(8)和方程(11), LnP 、 LnA 、 LnT 系数,旅客周转量、人均旅游消费和能源利用率与旅游交通碳足迹主要受长期影响,短期动态变化较弱。无论从短期还是长期角度看,旅游周转量,人均旅游消费和能源利用水平变化直接影响相应时期旅游交通碳足迹变化。

(二)建议

根据以上研究结论,提出以下4点建议。

第一,研究结果显示,人均旅游花费每增加1%,旅游交通碳足迹增加约5.503%,且影响显著。低碳旅游的内涵就是要求旅游者旅游过程中始终保持理性消费,不形成铺张浪费的消费观,并将这种消费观融入到游客的行为习惯中。游客应该尽量选择乘坐火车旅游,就餐尽量选择自带食物,减少在火车上就餐;乘坐飞机的旅客尽量选择经济舱。游客可以发微博、微信朋友圈等方式展示自己的低碳出行和行程经验,用自身经历影响朋友的低碳意识。旅游景区可通过搭建宣传栏目,以幽默的图画,短片或者公益广告的形式积极宣传低碳旅游观念和意识,旅游企业还可以开发旅游类的APP,内容主要是分享一些去某地旅游的经验,如怎样的旅游路线可以节约时间或者节约旅游交通花费等。

第二,旅客交通周转量每增加1%,旅游交通碳足迹增加约1.114%,说明我国旅客交通周转量与旅游花费相比对碳足迹影响较小,但也不容忽视。为此,我国交通运输部应积极优化交通管理,建设高效合理的交通网络,便于游客到达旅游目的地,减少旅客周转量。旅行社作为团体旅行的推动者和实践者,给旅客规划旅游路线时要充分考虑旅游交通碳排放,如旅游交通工具选择。游客可以在旅游之前根据已有的旅游经验规划出行路线,合理安排时间、节约旅游交通成本、减少自己的行程路程,这也大大减少了旅客周转量。对于旅游资源丰富的省市,政

府还可投资兴建高速公路、景区道路等交通基础设施和管理系统,提供旅游专线专车,缓解旅游过程中的交通压力,提升旅游体验。

第三,我国能源消费包括煤炭、石油、天然气和电能等其他能源,其中煤炭占能源消费总量的62%,能源结构存在不合理。能源利用效率提高和新能源的使用可大大降低碳排放,本研究结果也论证了这点:交通运输业能源(煤炭)利用水平每提高1%,旅游交通碳足迹减少约1.117%。因此,相关部门正积极研发新型能源,如电能、风能、太阳能。优化旅游业能源消费结构,减少旅游碳排放。

对于离客源地比较近的旅游景点可以采用地铁、公共自行车、电动车等节能环保交通工具。对于喜欢运动、健身的年轻人可以选择步行,这样不仅可以游玩,还达到了锻炼身体的效果。远距离旅游尽量不选择飞机这种高能耗高排放的交通方式,优先考虑乘坐火车或客车出行。旅游企业或景区应积极购置并使用新能源交通工具,技术部门对老式交通工具进行技术升级改造,降低能源消耗。旅客在景区内采用步行、共享单车、电动摩托车、电动汽车等交通方式观光游览,旅游景区相关部门可以给低碳旅游游客一些奖励措施,例如通过支付宝的“蚂蚁森林”计算,得到节约碳排放较高者,奖励旅游纪念品,同时公益组织、环保企业相应地给用户在某个地域种植实体树,这样中和了旅游交通碳排放量。

第四,国家应推出相关旅游政策,引导低碳旅游时应从长远角度出发,制定长期旅游发展政策,如财政、税收和法律政策。对高排放、高污染的交通运输工具征收碳税,给新能源运输工具提供税收优惠。这样一来,游客会因为成本原因,积极考虑选择新能源汽车、公交等低碳交通方式,减少乘坐飞机这种高排放高污染的出行方式。引导旅游企业购置节能环保的运输车,并提供财政补贴。对一些积极开发新技术,节能环保的旅游新产品和管理系统等自主创新的旅游企业和部门,应积极给予法律保护、知识产权保护,才能更好的调动人们的积极性,形成万众创新的新局面。

[参考文献]

- [1] NATALIA TABATCHNAI-TAMIRISA, MATHEW K. LOKE, PING SUN LEUNG, KEN A. TUCKER. Energy and Tourism in Hawaii [J]. Annals of Tourism Research, 1997, 24(2): 390-401.
- [2] DICK SISMAN, ASSOCIATE. Tourism Destinations Carbon Footprints [R]. UK, Cambridge, 2007: 3.
- [3] 伍卓. 区域旅游碳足迹测度——以南岳风景区为例 [J].

- 系统工程,2015,33(12):107-114.
- [4] 丰霞,智瑞芝,董雪旺.浙江省居民消费间接碳足迹测算及影响因素研究[J].生态经济,2018,34(03):23-30.
- [5] 宋权礼,陈玲玲.区域旅游产业碳排放动态及驱动因素研究——以江苏省旅游业为例[J].生态经济,2018,34(5):44-49.
- [6] 犯旭.《达沃斯宣言》——气候变化与旅游:应对全球性的挑战[J].旅游研究与信息,2007(5):2.
- [7] 黄玉竹.国外旅游交通碳足迹的影响因素与减排措施[J].旅游发展与研究,2013(4):216-218
- [8] BECKEN S. Towards Sustainable Tourism Transport: An Analysis of Coach Tourism in New Zealand [J]. Tourism Geographies, 2005,7(1): 23-42.
- [9] 石培华,吴普.中国旅游业能源消耗与CO₂排放量的初步估算[J].地理学报,2011,66(2):235-243.
- [10] 魏艳旭,孙根年,马丽君,李静.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.
- [11] 王立国,廖为明,黄敏,邓荣根.基于终端消费的旅游碳足迹测算——以江西省为例[J].生态经济,2011(5):121-124;168.
- [12] 高丽敏.北京旅游者碳足迹研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(S2):88-91.
- [13] UNWTO-UNFP-WMO. Climate change and tourism; responding to global challenges[M]. Madrid:UNWTO, 2008.
- [14] GÖSSLING S, PEETERS P, CERON J P, et al. The eco-efficiency of tourism [J]. Ecological economics, 2005, 54(4): 417-434.
- [15] BECKEN S. Towards Sustainable Tourism Transport: An Analysis of Coach Tourism in New Zealand [J]. Tourism Geographies, 2005,7(1): 23-42.
- [16] 胡林林,贾俊松,毛端谦,刘春燕.基于IPAT模型的江西旅游业碳排放分析[J].广东农业科学,2013,40(20):168-170;177.
- [17] 孙艳伟,李加林,李伟芳,马仁锋.海岛城市碳排放测度及其影响因素分析——以浙江省舟山市为例[J].地理研究,2018(5):1023-1033.
- [18] EHRlich P, HOLDEN J. One-dimensional economy[J]. The Bulletin of the Atomic Scientists, 1972, 28(5): 16-27.
- [19] EHRlich P, HOLDEN J. Impact of population growth [J]. Science, 1971(171):1212-1217.
- [20] DIETZ T, ROSA E. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology [J]. Human Ecology Review, 1994(1):277-300.
- [21] DIETZ T, ROSA E A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions [J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1997(94):175-179.

Measurement and Influence Factors of Tourism Carbon Footprint in China

WU Zhuo, QI Tao

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Tourism transportation is an important part in tourism process and also the largest part of the total carbon footprint in tourism. Therefore, scientific calculation and influencing factors of the tourism transportation carbon footprint are conducive to realization of low-carbon tourism. Based on the theory of terminal consumption, this paper adopts a carbon footprint estimation model for tourism transportation as a research tool. The research shows that the total carbon footprint of China's tourism transportation in 2017 is 58.832 million tons. STIRPAT model and co-integration test are adopted to analyze influencing factors of tourist traffic carbon footprint. The result shows that there is a positive correlation between tourist turnover and per capita tourism consumption and tourism transport carbon footprint. Increasing energy efficiency can greatly reduce the carbon footprint of tourism transportation. Finally, in view of the research conclusions, four counter-measures and suggestions are proposed to reduce the carbon footprint of tourism transport.

Key words: tourism transport carbon footprint; terminal consumption; STIRPAT model; co-integration test