

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第10期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.10.022

论文标题： 旅游业碳排放的驱动机制与达峰路径模拟——基于STIRPAT模型的湖南例证

作　　者： 王 晶，马思熠，朱潇婷

收稿日期： 2025-11-15

引文格式： 王晶,马思熠,朱潇婷.旅游业碳排放的驱动机制与达峰路径模拟——基于STIRPAT模型的湖南例证[J].中南林业科技大学学报,2026,46(10):244-256.

Wang J, Ma S Y, Zhu X T. Driving mechanisms and peak pathways of tourism carbon emissions: a case study of Hunan based on the STIRPAT model[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(10):244-256.

相关论文推荐

Recommended articles

基于净碳排放估算的旅游型传统村落低碳景观更新策略——以昆明市乐居村为例

Low-carbon landscape renewal strategies for tourist traditional village based on net carbon emission estimation: a case study of Leju village in Kunming

环境规制对国家级城市群生态旅游产业碳排放效率的时空动态影响

Spatial-temporal dynamic impact of environmental regulation on the carbon emission efficiency of ecotourism industry in national urban agglomeration

长三角城市群旅游业碳排放脱钩效应测度与空间分异

Measurement and spatial differentiation of decoupling effect of tourism carbon emissions in Yangtze River Delta urban agglomeration

信息披露、激励约束与旅游碳排放监管——基于贝叶斯法则的博弈分析

Information disclosure, incentive restriction and tourism carbon emission supervision: based on the game analysis of bias rule

碳排放权交易试点对旅游业碳排放强度的影响机制研究

Research on the impact mechanism of carbon emission trading pilots on the carbon emission intensity of the tourism industry

数字经济与旅游业碳排放:空间格局及溢出效应

Digital economy and carbon emission of tourism industry: the spatial pattern and spillover effect

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.10.022
http: //qks.csuft.edu.cn

旅游业碳排放的驱动机制与达峰路径模拟

——基于 STIRPAT 模型的湖南例证

王　晶[1]，马思熠[1]，朱潇婷[2]

（1. 湖南师范大学 旅游学院，湖南 长沙 410000；2. 杭州市文化创意产业发展中心，浙江 杭州 311500）

摘　要：【目的】在全球应对气候变化与推进“双碳”目标的背景下，科学评估省域尺度旅游业碳排放的动态演变、驱动机制及未来演化路径，是制定差异化减排策略的关键。【方法】以湖南省为案例，构建“自上而下”与“自下而上”相结合的混合核算框架，系统测度 2006—2025 年旅游业碳排放规模与结构；引入拓展的 STIRPAT 模型，结合岭回归分析解析其关键驱动因素；进而耦合 Tapio 脱钩模型与多情景模拟分析，研判其达峰路径。【结果】1）从排放规模看，湖南省旅游碳排放于 2019 年达到阶段性历史峰值 1 781.43 万吨，2023—2025 年强势反弹至 1 688.97 万吨，交通和游览碳排放占比达 74% ～ 84%；2）从驱动因素看，游客规模是首要正向驱动因素（弹性系数 0.648 7），能耗强度贡献相对滞后（弹性系数 0.106 6），表明当前增长仍以规模扩张为主导，技术减排效应尚未充分显现；3）从脱钩态势看，2006—2025 年脱钩状态以弱脱钩为主（9 次），强脱钩仅于 2008 年出现一次，系外部冲击所致，2022 年的脱钩指数异常升高属特殊时期表现，低碳转型的稳定性仍有待巩固；4）多情景预测表明，在强化政策约束的强低碳情景下，碳排放于 2030 年达到峰值 1 984.9 万吨，之后缓慢下降，早于基准情景与低碳情景的持续增长态势。【结论】游客规模与能耗强度的相对变化速率是决定达峰能否实现的关键，唯有在控制游客规模增速与降低能耗强度两个维度上同步推进，方可实现趋势性转折。本研究构建了由总量核算、驱动分解、情景模拟构成的系统性分析框架，可为省域旅游低碳发展政策的制定提供定量决策参考。

关键词：旅游碳排放；STIRPAT 模型；Tapio 脱钩模型；情景预测；湖南省

中图分类号：S788.2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-923X(2026)10-0244-13

Driving mechanisms and peak pathways of tourism carbon emissions: a case study of Hunan based on the STIRPAT model

Wang Jing[1], Ma Siyi[1], Zhu Xiaoting[2]

(1. College of Tourism, Hunan Normal University, Changsha 410000, Hunan, China;
2. Hangzhou Cultural and Creative Industry Development Center, Hangzhou 311500, Zhejiang, China)

Abstract:【Objective】Under the global context of climate change and the pursuit of carbon peaking and neutrality goals, scientifically assessing the dynamic evolution, driving mechanisms, and future evolution pathways of tourism-related carbon emissions at the provincial scale is critical for formulating differentiated emission reduction strategies.【Method】Taking Hunan Province as a case study, this paper develops a hybrid accounting framework that integrates top-down and bottom-up approaches to systematically measure the magnitude and structure of tourism carbon emissions from 2006 to 2025. An extended STIRPAT model combined with ridge regression is employed to identify key driving factors, while the Tapio decoupling model and multi-scenario simulation are coupled to project peak emission pathways.【Result】1) In terms of emission scale, tourism carbon emissions in Hunan reached a staged historical peak of 17.814 3 million tons in 2019, rebounding strongly to 16.889 7 million tons from 2023 to 2025, with transportation and sightseeing activities accounting for 74%-84% of total emissions; 2) Regarding driving factors, tourist volume is the primary positive driving factor (elasticity coefficient 0.648 7), while energy intensity shows a relatively marginal contribution (elasticity coefficient 0.106 6), indicating that current growth remains dominated by scale expansion, with technological mitigation effects not yet fully materialized;

收稿日期（Received）：2025-11-15　　**修订日期**（Revised）：2026-02-09

基金项目：国家社会科学基金项目（25BGL155）；国家级大学生创新创业项目（S202410542050）。

第一作者：王晶（wangjing@hunnu.edu.cn），教授，博士，硕士研究生导师。　**通信作者：**马思熠（13583706883@163.com）。

引文格式：王晶 , 马思熠 , 朱潇婷 . 旅游业碳排放的驱动机制与达峰路径模拟——基于 STIRPAT 模型的湖南例证 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(10):244-256.

Wang J, Ma S Y, Zhu X T. Driving mechanisms and peak pathways of tourism carbon emissions: a case study of Hunan based on the STIRPAT model[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(10):244-256.

3) In terms of decoupling trends, the dominant decoupling state from 2006 to 2025 is weak decoupling (9 occurrences), with strong decoupling occurring only once in 2008 due to external shocks; the abnormally high decoupling index in 2022 reflects exceptional circumstances, suggesting that low-carbon transition stability still requires consolidation; 4) Multi-scenario prediction indicate that under the stringent low-carbon scenario with enhanced policy constraints, emissions will peak at 19.849 million tons in 2030 and then decline gradually, contrasting with the persistent growth trajectories under the baseline and moderate low-carbon scenarios.【Conclusion】The relative rate of change between tourist volume and energy intensity is the decisive factor for achieving the peak; only by simultaneously curbing tourist growth and reducing energy intensity can a trend reversal be realized. This study establishes a systematic analytical framework encompassing aggregate accounting, driver decomposition, and scenario simulation, providing quantitative decision-making references for the formulation of low-carbon tourism development policies at the provincial level.

Keywords: tourism carbon emissions; STIRPAT model; Tapio decoupling model; scenario prediction; Hunan Province

在全球积极应对气候变化和持续推进低碳转型的时代背景下，旅游业碳排放问题逐渐成为实现“双碳”目标进程中的重要议题[1]。研究表明，旅游业产生的碳排放量占全球总 CO_2 排放量的 8%，预计到 2030 年将比 2016 年水平增长 25%[2]。科学测度、精确归因并前瞻性预判旅游业碳排放的演化路径，是推动其高质量发展、支撑“双碳”目标实现的基础性科学问题。

湖南省作为我国中部旅游经济大省，2025 年全省旅游总收入达 11 576 亿元，游客接待量达 8.19 亿人次，人均旅游消费水平位居全国前列。伴随产业规模的急剧扩张，旅游活动引致的能源消耗与环境负荷同步攀升。若继续沿袭以规模扩张为导向的传统发展模式，区域资源环境的刚性约束将进一步加剧。近年来，湖南省高度重视旅游业绿色转型，在省级层面密集出台了一系列纲领性文件，如《湖南省“十四五”文化和旅游发展规划》（湘文旅政法〔2021〕86 号）明确提出推动文旅绿色低碳发展；《湖南省碳达峰实施方案》（湘政发〔2022〕19 号）则明确将交通运输、城乡建设等领域列为碳达峰重点，并配套出台了《湖南省深入推进以人为本的新型城镇化战略五年行动计划实施方案》（湘政发〔2024〕15 号）等具体实施政策。在政策与资源的双重约束下，系统评估湖南省旅游业碳排放特征、演变趋势与深层动因，兼具突出的现实紧迫性与科学价值。

围绕旅游碳排放问题，国内外学者已开展了多维度研究，研究脉络沿核算方法创新、驱动因素解析、脱钩效应评估、情景模拟预测的主线展开。早期核算方法以“自上而下”和“自下而上”两种思路为主，“自上而下”法将旅游业视为国民经济体系的部门之一，依托全行业整体数据，通过投入产出法、旅游剥离系数法等从上向下对旅游业碳排放量进行核算[3-4]。“自下而上”法是对旅游活动进行分解加总，分类估算旅游业碳排放总量，在省域旅游碳排放测算中，大多数学者将旅游碳排放分为旅游交通、旅游住宿、旅游活动三部分进行测算[5-6]。此外，测算方法还有融合生命周期评价（LCA）、旅游卫星账户的混合核算框架[7]。然而，现有体系仍面临核算方法、数据来源不一致的挑战，影响了核算结果的可比性与精确性。

在驱动机制层面，既有研究多采用指数分解法（IDA）或结构分解法（SDA），从因素分解视角探讨能源结构、经济规模等的作用[8-9]，并进一步拓展至旅游生态效率评估[10]、交通关联效应分析[11]以及旅游经济与碳排放耦合关系等研究领域[12]。然而，此类方法较难剥离游客行为、城镇化水平等社会经济变量的内生影响。随着“双碳”目标的提出，旅游碳排放研究逐渐由静态测算转向动态预测与情景分析[13-14]。一些学者基于不同碳排放情景，对旅游业碳达峰路径进行预测，利用 Super-SBM 模型分析区域旅游碳减排潜力[15]，探究旅游产业发展规模与旅游碳排放异速关系的空间分异特征[16]，以及产业结构等因素对碳排放时空格局的影响[17]。在脱钩与预测层面上，Tapio 模型与情景分析法已成为研判低碳趋势的重要工具[18-19]，但多数预测情景设定或囿于国家宏观规划，或依赖主观外推，对地方实际政策文件中量化指标的系统整合尚不充分，制约了预测结果的政策指导价值。近年来，以 STIRPAT 模型为代表的随机环境影响评估模型在旅游业碳排放研究中得到广泛应用，并与面板数据、空间计量及情景分析等方法深度结合。然而，现有研究在预测情景的构建中对地方实际政策文件中量化指标的有效转化仍显不足，导致情景参数设定的政策锚点不够扎实。

综上，现有研究在以下方面亟待深化：首先，预测情景的构建尚未充分融合地方实际旅游产业发展与城镇化推进中的具体政策目标，导致情景参数的设定缺乏扎实的政策锚点；其次，对旅游业碳排放阶段性历史峰值与未来情景达峰之间的

逻辑关系尚未清晰辨析。为此，本研究以湖南省为对象，采用“自上而下”与“自下而上”相结合的碳排放核算方法，对近 20 年来湖南省旅游碳排放规模及其演变特征进行系统测度。在此基础上，引入拓展的 STIRPAT 模型，从游客规模、富裕程度、城镇化水平及能源强度等视角识别影响碳排放变化的关键驱动因素，并将地方旅游倍增计划、新型城镇化规划中的量化约束指标科学嵌入多情景预测框架，以提升模拟预测的现实针对性与政策参考价值。同时，结合 Tapio 脱钩模型，研判旅游经济增长与碳排放之间的脱钩状态，并严格区分历史自然增长峰值与政策干预下的达峰路径，以厘清二者间的逻辑关联。本研究旨在从碳排放核算、机理分析与情景预测三个层面深化对省域旅游碳排放演变规律的认识，为湖南省旅游业低碳转型与相关政策制定提供实证依据。

1　研究方法

1.1　“自上而下”旅游碳排放核算方法

根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》推荐的碳排放系数法，旅游碳排放量的计算公式如下：

$$I_t=\sum_{i=1}^{n}E_{it}\times EF_i=\sum_{i=1}^{n}O_i\times NCV_i\times CC_i\times\frac{44}{12}\times E_{it} \quad (1)$$

式中：I_t 表示第 t 年旅游业二氧化碳排放总量，i 表示能源类型；E_{it} 为第 t 年第 i 种能源的消费量；EF_i 为对应能源的碳排放系数；O_i、NCV_i、CC_i 分别为第 i 种能源的碳氧化率、平均低位发热量、单位热值含碳量，$\frac{44}{12}$ 为碳折算为二氧化碳的转换系数。核算过程中综合考虑煤炭、石油制品、天然气及其他主要能源类型，不同能源的相关参数设置如表 1 所示。

液化天然气、煤制品、其他石油制品平均低位发热量参考国家气候战略中心发布的《低碳发展及省级温室气体清单编制》；型煤数据来源于《大气污染物与温室气体融合排放清单编制技术指南（试行）》；其他燃料的平均低位发热量主要依据《中国能源统计年鉴 2023》公布的数据；单位热值含碳量、碳氧化率取自《省级温室气体清单编制指南（试行）》。上述数据来源在国内相关研究中被广泛采用，具有较高的权威性与可靠性。

为系统核算湖南省旅游业历史碳排放，本研究采用“自上而下”的核算方法，将旅游业碳排放测算对象划分为餐饮（食）、住宿（住）、交通（行）、游览（游）、购物（购）、娱乐（娱）六个部分。按照《中国能源统计年鉴》中非工业主要耗能单位综合能源消费的划分标准，将上述旅游部门归并至对应的宏观经济统计门类：餐饮、住宿、购物和娱乐归为“批发和零售业、住宿和餐饮业”、交通和游览归为“交通运输仓储和邮政业”。根据 2007—2023 年《中国能源统计年鉴》中湖南省的能源平衡表数据和式（1），逐年计算出湖南省第三产业碳排放总量。

1.2　旅游消费剥离系数法

旅游消费剥离系数法是一种将“自上而下”与“自下而上”法相结合的旅游碳排放核算方法[11]，其核心在于将旅游活动从相关产业部门中剥离出来，进而估算旅游业在关联产业碳排放总量中的

表 1　不同能源平均低位发热量、单位热值含碳量、碳氧化率及碳排放系数

Table 1　Average NCV, carbon content, oxidation rate, and emission factor of different energy sources

能源名称 Energy source	平均低位发热量 Average NCV	单位热值含碳量 Carbon content per unit of calorific value /(10^{-3}tC/GJ)	碳氧化率 Carbon oxidation rate /%	碳排放系数 Emission factor /(tCO_2/t)
原煤 Raw coal	20.908 /(10MJ·kg^{-1})	26.37	90	1.819 4
煤制品 Coal products	20.908 /(10MJ·kg^{-1})	33.60	90	1.936 0
型煤 Briquette	17.460 /(10MJ·kg^{-1})	33.60	90	1.936 0
汽油 Gasoline	43.070 /(10MJ·kg^{-1})	18.90	98	2.686 3
煤油 Kerosene	43.070 /(10MJ·kg^{-1})	19.60	98	2.785 8
柴油 Diesel	42.652 /(10MJ·kg^{-1})	20.20	98	2.843 2
燃料油 Fuel oil	41.816 /(10MJ·kg^{-1})	21.10	98	2.911 6
液化石油气 Liquefied petroleum gas	50.179 /(10MJ·kg^{-1})	17.20	99	3.133 0
其他石油制品 Other petroleum products	45.010 /(10MJ·kg^{-1})	20.00	99	2.970 7
天然气 Natural gas	38.931 /(10MJ·m^{-3})	15.32	99	1.968 2
液化天然气 Liquefied natural gas	51.434 /(10MJ·kg^{-1})	17.20	98	3.178 9
洗精煤 Washed coal	26.344 /(10MJ·kg^{-1})	25.41	90	2.209 0

占比。该方法能够在宏观统计数据基础上测算旅游业的碳排放量，有效弥补单一测算方法的不足。

现有研究表明，旅游消费剥离系数法在区域尺度旅游碳排放测算中具有较强的适用性。基于旅游消费剥离系数法，韩元军等 [20] 测算了京津冀地区旅游业碳排放规模；王景波等 [21] 测算出山东省 17 个地市旅游业碳排放强度，论证了该方法的可行性与科学性。借鉴上述研究思路，本研究构建了旅游发展系数，以表征旅游业在第三产业中的相对比重。基于该系数，可对第三产业碳排放进行合理分解，从而测算旅游业碳排放。

旅游发展系数通过地区旅游总收入占第三产业生产总值的比重来界定，具体的计算公式如下：

$$R_i = \frac{T_i}{G_i} \tag{2}$$

式中：R_i 表示第 i 年的地区旅游发展系数；T_i 表示第 i 年地区旅游总收入，G_i 为第 i 年的地区第三产业生产总值。相关基础数据均来源于《湖南统计年鉴》。

考虑到住宿和餐饮业、交通运输仓储和邮政业、批发和零售业与旅游活动关联紧密，本研究将上述 3 个行业界定为旅游相关产业，并将其作为碳排放的核算边界。在此基础上，首先核算该三大行业的碳排放总量，然后将旅游发展系数 R_i 与碳排放总量相乘，最终得到湖南省旅游业的碳排放量。

1.3　STIRPAT 模型

STIRPAT（Stochastic impacts by regression on population, affluence and technology）模型是一种用于分析人类活动对环境影响的统计模型 [22]，是对经典 IPAT 模型的扩展。该模型通过引入随机扰动项，将环境影响表示为人口规模、富裕程度和技术水平等因素的非线性回归函数，能够克服 IPAT 模型中变量关系固定、缺乏统计检验能力的局限性，基本形式如下：

$$I = \alpha P^b A^c T^d e \tag{3}$$

式中：I、P、A、T 分别表示环境压力、人口数量、富裕程度和技术水平；α 为常数项，b、c、d 为待估计参数，e 为误差项。

结合旅游业发展特征及既有研究结论，本研究选取游客规模、人均旅游消费支出、旅游业能耗强度、旅游业占第三产业收入比例、城镇化率作为关键解释变量构建 STIRPAT 模型。具体而言，游客规模用于表征旅游活动规模，其对旅游碳排放的正向线性影响已在大量研究中得到验证 [23]；人均旅游消费水平的提升会加剧碳排放压力 [24]，体现富裕程度提升所带来的环境压力；能耗强度作为衡量旅游业技术水平的核心指标，其变化趋势直接反映技术进步对碳排放的抑制或加剧作用 [25]；旅游业占第三产业收入比例主要表征旅游业发展水平；城镇化率则用于衡量人口集聚与基础设施完善程度，其对旅游碳排放效率具有重要影响 [26]。

在此基础上，构建湖南省旅游碳排放的扩展 STIRPAT 模型如下：

$$I = \alpha P^b A^c T^d S^e R^f \varepsilon \tag{4}$$

在公式两侧取对数得到：

$$\ln I = \ln\alpha + b\ln P + c\ln A + d\ln T + e\ln S + f\ln R + \ln\varepsilon \tag{5}$$

式中：α 为常数项，I、P、A、T、S、R 分别指旅游业碳排放量、游客规模、人均旅游消费支出、旅游能耗强度、旅游业占第三产业收入比例和城镇化率，ε 为模型误差。

1.4　Tapio 模型

Tapio 脱钩模型是一种用于分析经济增长与环境压力之间关系的模型，能够通过脱钩弹性系数来衡量经济增长是否伴随资源消耗和环境压力的同步上升。本研究基于 Tapio 脱钩模型，对湖南省旅游业碳排放与旅游经济增长的脱钩状态进行分析，其计算公式如下：

$$\mu = \frac{\Delta E / E}{\Delta M / M} \tag{6}$$

式中：μ 为脱钩指数；ΔE 与 ΔM 分别为研究期内旅游业碳排放量和旅游业总收入的变化量；E 与 M 分别为基期旅游业碳排放量和旅游业总收入。

根据脱钩指数的取值范围及其变化方向，Tapio 将经济 - 环境关系划分为强脱钩、弱脱钩、衰弱负脱钩等 8 种状态类型（表 2）。通过识别不同阶段旅游业碳排放与旅游经济增长的脱钩类型，可进一步评估湖南省旅游业低碳转型的实际成效。

1.5　情景设置

为系统模拟与预测湖南省旅游业碳排放的未来演化路径，本研究基于 STIRPAT 模型，综合考虑国家及地方“双碳”目标与旅游业自身的历史发展轨迹，构建多情景预测框架。依据旅游业发展的阶段性特征，将预测期划分为两个阶段：第一阶段（2026—2030 年）、第二阶段（2031—2035 年）。针对每个阶段，分别对游客规模、人

均旅游消费支出、旅游业能耗强度、旅游业占第三产业收入比例和城镇化率的变化速率设定低增长、中增长和高增长三种假设，由此形成强低碳情景、低碳情景与基准情景三类具有差异化政策内涵与发展特征的情景。不同情景下各变量的年均增长率设定如表 3 所示。

表 2 旅游碳排放与旅游经济脱钩类型标准

Table 2 Criteria for decoupling types between tourism carbon emissions and tourism economy

脱钩效应 Decoupling effect	脱钩程度 Degree of decoupling	$\Delta E/E$	$\Delta M/M$	μ	意义 Meaning
脱钩 Decoupling	强脱钩	$\Delta E/E<0$	$\Delta M/M>0$	$\mu<0$	理想状态
	弱脱钩	$\Delta E/E>0$	$\Delta M/M>0$	$0<\mu<0.8$	较理想状态
	衰弱脱钩	$\Delta E/E<0$	$\Delta M/M<0$	$\mu>1.2$	可允许状态
负脱钩 Negative decoupling	弱负脱钩	$\Delta E/E<0$	$\Delta M/M<0$	$0<\mu<0.8$	不可取状态
	强负脱钩	$\Delta E/E>0$	$\Delta M/M<0$	$\mu<0$	最不理想状态
	增长负脱钩	$\Delta E/E>0$	$\Delta M/M>0$	$\mu>1.2$	不可取状态
连接 Coupling	增长连接	$\Delta E/E>0$	$\Delta M/M>0$	$0.8<\mu<1.2$	不可取状态
	衰弱连接	$\Delta E/E<0$	$\Delta M/M<0$	$0.8<\mu<1.2$	可允许状态

表 3 不同情景下模型变量年均增长率的设定

Table 3 Settings of average annual growth rates of model variables under different scenarios

情景 Scenario	年份 Year	*P*（游客规模）Tourist scale	*A*（人均旅游消费支出）Per capita tourism expenditure	*R*（城镇化率）Urbanization rate	*S*（旅游业占第三产业收入比例）Proportion of tourism in tertiary industry income	*T*（能耗强度）Energy consumption intensity
强低碳情景 Deep decarbonization scenario	2026—2030	5.0%	1.3%	0.8%	3.0%	-7.0%
	2031—2035	1.0%	0.5%	0.2%	1.0%	-10.0%
低碳情景 Mitigation scenario	2026—2030	7.0%	1.8%	1.0%	4.0%	-4.5%
	2031—2035	3.0%	1.0%	0.4%	2.0%	-6.5%
基准情景 Baseline scenario	2026—2030	9.0%	2.3%	1.2%	5.0%	-2.0%
	2031—2035	5.0%	1.5%	0.6%	3.0%	-3.5%

游客规模方面，预测期内将其划分为快速扩张与增速趋缓两个阶段，主要依据相关规划目标并参考旅游业一般发展规律进行参数设定。依据《湖南省推进文化创意旅游产业倍增计划实施方案》，到 2029 年全省旅游接待人数达到 11.6 亿人次，2024—2029 年旅游接待人数年均增长约 10%。因此，考虑规划实施期仍处于快速增长阶段，设定 2026—2030 年游客规模年均增长率分别为：基准情景 9%、低碳情景 7%、强低碳情景 5%；考虑 2030 年后旅游市场逐渐趋于成熟，游客规模增速自然放缓，2031—2035 年分别设定为：基准情景 5%、低碳情景 3%、强低碳情景 1%。

人均旅游消费支出方面，根据《湖南省推进文化创意旅游产业倍增计划实施方案》，2029 年旅游总收入达到 1.64 万亿元、游客规模达到 11.6 亿人次，由此测算 2025—2029 年人均旅游消费水平基本持平，年均增长率趋近于零，表明当前阶段旅游总收入增长主要依赖游客规模扩张。进入“十五五”时期，参考《湖南省“十五五”规划纲要》提出的 2035 年人均 GDP 达到中等发达国家水平远景目标，以及“十五五”期间 GDP 年均增长 5.0% ～ 5.5% 的目标，综合人均旅游消费与人均 GDP 之间约 0.5 的长期弹性系数 [27]，确定各情景下人均消费年均增长率如下：2026—2030 年，基准情景为 2.3%，低碳情景为 1.8%，强低碳情景为 1.3%；2031—2035 年，基准情景为 1.5%，低碳情景为 1.0%，强低碳情景为 0.5%。

城镇化率方面，根据《湖南省深入推进以人为本的新型城镇化战略五年行动计划实施方案》，到 2030 年前后全省常住人口城镇化率将提升至 66% 左右。2025 年湖南省常住人口城镇化率为 63.00%。结合我国城镇化进入中后期的发展规律，未来城镇化仍将持续推进但增速逐步放缓。因此设定城镇化率增长率为：2026—2030 年，基准情景 1.2%，低碳情景 1.0%，强低碳情景 0.8%；2031—2035 年，基准情景 0.6%，低碳情景 0.4%，强低碳情景 0.2%。

旅游业占第三产业收入比例方面，《湖南省推进文化创意旅游产业倍增计划实施方案》提出到 2029 年旅游总收入达到 1.64 万亿元，旅游产业

将继续保持高于第三产业平均水平的发展速度。考虑旅游产业由高速增长向高质量发展转变，设定 2026—2030 年增长率为：基准情景 5%，低碳情景 4%，强低碳情景 3%；2031—2035 年，基准情景 3%，低碳情景 2%，强低碳情景 1%。

旅游能耗强度方面，该参数的变化率直接反映旅游业的技术进步与能源效率改善。从用能结构视角来看，旅游业能耗强度的变化主要取决于两大驱动力：一是终端用能电气化水平提升，二是电力供给侧的清洁化程度提高，两者的叠加效应决定了旅游业能耗强度将加速下降。参数设定以《湖南省碳达峰实施方案》提出的“到 2030 年非化石能源消费比重达到 25% 左右”以及我国新一轮自主贡献目标“2035 年非化石能源占比超 30%、风光总装机力争达 36 亿千瓦”为政策锚点，结合方涵潇等 [28] 对湖南省交通运输领域能耗的研究和朱海等 [29] 对中国省域旅游业碳排放的情景预测，并考虑旅游业交通运输部门、住宿餐饮等核心能耗部门的电气化替代正在快速推进，由此设定各情景下能源消耗强度年均变化率如下：2026—2030 年，基准情景为 -2.0%，低碳情景为 -4.5%，强低碳情景为 -7.0%；2031—2035 年，基准情景为 -3.5%，低碳情景为 -6.5%，强低碳情景为 -10.0%。

2　结果与讨论

2.1　基于“自上而下”核算的碳排放测算

经测算得到湖南旅游业各分项及总碳排放变化趋势如图 1 所示。2006—2025 年，湖南省旅游业碳排放总量与产业构成均呈现出长期增长、短期波动、结构稳定的显著特征。

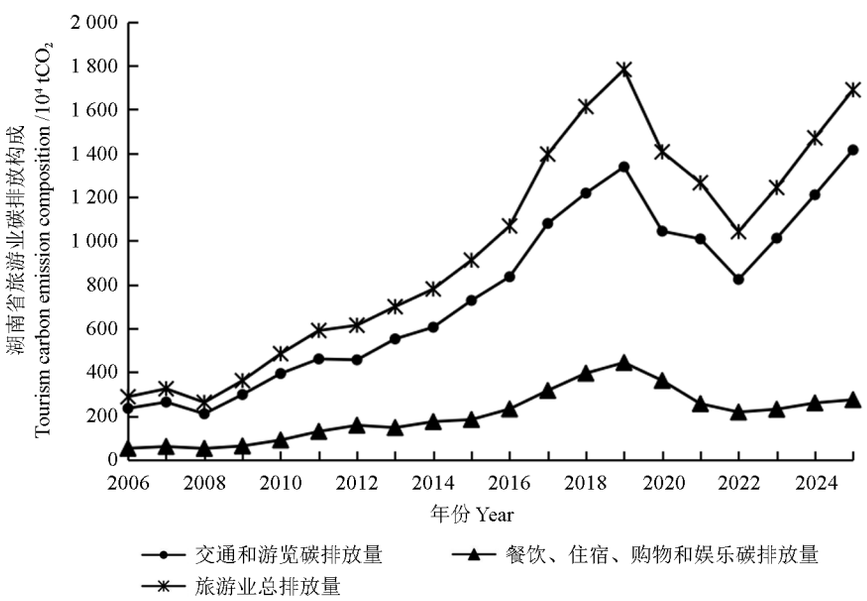


图 1　2006—2025 年湖南省旅游业碳排放变化趋势
Fig. 1　Carbon emission trends of Hunan’s tourism industry from 2006 to 2025

从碳排放总量变化趋势来看，湖南省旅游业碳排放经历了从持续增长到短期回落，再到强势反弹的三个阶段。第一阶段（2006—2019 年）为持续增长期，碳排放总量从 287.85 万吨 CO_2 攀升至 1 781.43 万吨 CO_2，年均增速约 15.0%。这一高速增长与同期湖南省高铁网络扩张及旅游人次高速增长密切相关。其中，2009 年和 2017 年出现 2 个增速峰值，分别对应湖南旅游市场在高铁时代初期和全域旅游战略推进下的快速扩张，该时期旅游接待人次、旅游收入持续提升，直接带动交通、住宿、餐饮等旅游关联产业碳排放增加。第二阶段（2020—2022 年）为短期回落期，受出行限制影响，碳排放大幅回落至 2022 年的 1 041.82 万吨 CO_2。第三阶段（2023—2025 年）为强势反弹期，疫情防控政策优化后，积压的旅游需求集中释放，2025 年碳排放量达 1 688.97 万吨 CO_2，接近 2019 年的历史峰值，反映出旅游消费对政策变化的高度敏感性。

如表 4 所示，从产业构成来看，湖南省旅游业碳排放长期呈现交通占绝对主导、消费服务次之的双部门结构。交通和游览活动始终是第一大排放源，其碳排放占比稳定在 74% ～ 84%，一方面体现了湖南作为中部交通枢纽的区位特征，另一方面也反映出旅游业对高碳交通方式的深度依

赖。这一结构特征在国内省域比较中也具有显著性。蔡国琴等 [30] 对海南省的研究表明，旅游交通运输碳排放占比高达 84.09%；高源遥等 [31] 对四川省的测算结果显示，旅游交通碳排放年均占比达 87.76%。湖南省 74% ～ 84% 的交通排放占比虽略低于上述旅游交通依赖型省份，但从区域比较来看，中部省份交通运输碳排放效率普遍低于东部沿海省份 [32]，表明湖南交通碳排放的相对比重仍处于较高水平。这一差异的根源在于湖南省高品质旅游资源的空间分布呈多点分散格局，张家界武陵源、湘西凤凰古城、南岳衡山、长沙岳麓山等核心景区分处湘西北、湘西及湘中地区，而跨区域游览上述景区必然产生较高的交通周转需求，因此形成对航空和高速公路等中、长途高碳交通方式的深度依赖，进而导致交通部门碳排放长期占据绝对主导地位。

2.2　基于 STIRPAT 模型的影响因素分析

2.2.1　多重共线性检验

为量化相关社会经济因素对湖南省旅游碳排放的影响，本研究基于扩展的 STIRPAT 模型展开实证分析。以游客规模、人均旅游消费支出、旅游能源消耗量、旅游业占第三产业收入比例、城镇化率为自变量，对湖南省碳排放进行测算，计算公式见式（5）。

在回归分析前，为避免自变量间高度相关导致参数失真，首先对上述变量进行多重共线性诊断。利用 SPSS 27.0 软件计算各变量的方差膨胀因子（VIF），拟合结果如表 5 所示，5 项驱动因素中，有 4 项的 VIF 值大于 10，这表明所选解释变量之间存在严重的多重共线性，若直接进行回归，会导致拟合结果存在较大偏差，影响分析结果的可靠性。

2.2.2　岭回归分析

为了克服多重共线性问题，本研究采用岭回归方法对 STIRPAT 模型进行拟合。岭回归方法通过在改进普通最小二乘法（OLS）的目标函数中引入一个正则化参数（岭参数，K），以轻微的有偏估计为代价，有效压缩回归系数方差，从而获得更为稳定的解。本研究采用 SPSS 27.0 软件进行编程，实现岭回归的迭代计算。

表 4　2006—2025 年湖南省旅游业碳排放构成及总量
Table 4　Composition and total volume of tourism carbon emissions in Hunan Province from 2006 to 2025

年份 Year	交通和游览碳排放占比 Proportion of carbon emissions from transportation and sightseeing /%	餐饮、住宿、购物和娱乐碳排放占比 Carbon emission share of catering, accommodation, shopping and entertainment /%
2006	81.68	18.32
2007	81.26	18.74
2008	80.16	19.84
2009	82.46	17.54
2010	81.32	18.68
2011	78.02	21.98
2012	74.31	25.69
2013	78.95	21.05
2014	77.63	22.37
2015	79.84	20.16
2016	78.25	21.75
2017	77.33	22.67
2018	75.49	24.51
2019	75.07	24.93
2020	74.25	25.75
2021	79.74	20.26
2022	79.07	20.93
2023	77.74	22.26
2024	77.70	22.30
2025	77.70	22.30

模型中各变量的定义如下：P 表示游客规模，A 表示人均旅游消费支出，T 表示旅游业能耗强度，S 表示旅游业占第三产业收入比例，R 表示城镇化率。以岭迹图表示各变量标准化回归系数随 K 值

表 5　STIRPAT 模型多重共线性检验
Table 5　Multicollinearity test of the STIRPAT model

模型 Model	未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients	t	Sig.	共线性统计 Collinearity statistics	
	B	标准误差 Std. error	Beta			容差 Tolerance	VIF
常量 Constant	-7.228	3.891	-	-1.857	0.084	-	-
ln$P$	1.221	0.182	1.404	6.707	0.000	0.023	44.290
ln$A$	1.161	0.369	0.595	3.148	0.007	0.028	36.111
ln$T$	0.207	0.270	0.121	0.768	0.455	0.040	25.030
ln$S$	-0.200	0.180	-0.110	-1.113	0.285	0.101	9.950
ln$R$	-2.851	1.412	-0.728	-2.019	0.063	0.008	131.300

增大的变化趋势，K 值与岭回归系数的关系如图 2 所示。

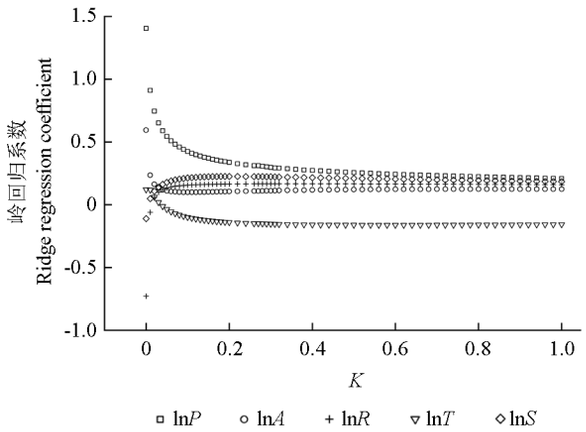


图 2　各变量岭回归结果

Fig. 2　Ridge regression results for each variable

观察岭迹图可知，当 K 值趋近于 0.02 时，各变量的标准化回归系数由初始阶段的剧烈波动逐渐趋于稳定，并进入相对平稳的平台区。依据在保证系数稳定的前提下岭参数 K 尽量取小的原则，综合考虑模型稳定性与拟合效果，最终确定 K=0.02 为最优岭参数。此时模型拟合优度 R^2 为 0.976 2，调整后 R^2 为 0.967 7，表明模型能够较好地表示湖南省旅游碳排放与各影响因素之间的关系，具有较高的拟合精度。各变量的岭回归参数如表 6 所示。

从而，湖南省旅游碳排放预测模型如下：

$$\ln I = 4.455\ 9 + 0.648\ 7\ln P + 0.318\ 0\ln A + 0.221\ 9\ln R + 0.106\ 6\ln T + 0.194\ 9\ln S \quad (7)$$

碳排放计算公式如下：

$$I = e^{(4.455\ 9+0.648\ 7\ln P+0.318\ 0\ln A+0.221\ 9\ln R+0.106\ 6\ln T+0.194\ 9\ln S)} \quad (8)$$

将本研究的弹性系数与已有省域研究结果进行比较，可更清晰地揭示湖南省旅游业碳排放驱动机制的区域特征。高源遥等 [31] 对四川的研究表明，城镇化率、旅游人数、人均旅游消费支出的弹性系数分别为 0.472、0.448、0.123；蔡国琴等 [30] 对海南的研究显示，各因素的影响程度按降序排列为城市化水平（1.385）、旅游能源强度（0.419）、经济发展水平（0.258）、游客规模（0.190）、产业结构（0.172）；汤姿等 [33] 对黑龙江的研究发现，旅游者总数、旅游业总收入、城市化水平的弹性系数分别为 0.208 5、0.229 7、0.201 1。相比之下，湖南省游客规模弹性系数（0.648 7）显著高于上述省份，而城镇化率弹性系数（0.221 9）则明显低于四川与海南。这一差异结构折射出各省旅游业发展阶段与驱动逻辑的本质不同。

从回归系数来看，游客规模、人均旅游消费支出、城镇化率、能耗强度与旅游业占第三产业收入比例均对湖南省旅游碳排放呈现正向影响，游客规模的弹性系数（0.648 7）居首，远高于四川和海南，这一差异反映了各省旅游业发展阶段的根本不同。四川省旅游业已进入存量优化阶段，旅游人次增长对碳排放的边际拉动效应有所减弱；海南省则受岛屿地理条件限制，游客规模增长的碳排放效应被交通承载力瓶颈所抑制。而湖南省正处于高铁网络持续加密与全域旅游战略纵深推进的叠加期，客流量的持续扩张直接转化为交通周转量、住宿间夜数等关键活动量的增加，从而驱动碳排放同步攀升。这一结果提示，湖南省的减排政策设计应更加注重控制游客规模增速与提升能效水平的双轨并行。

人均旅游消费支出的弹性系数（0.318 0）位列第 2，却显著低于游客规模。数据显示，2023—2025 年湖南省人均旅游消费支出连续三年下降。在此结构下，消费升级的碳效应尚未充分显现，人均消费的边际碳排放贡献较为有限。

城镇化率的弹性系数（0.221 9）显著低于四川和海南，原因在于海南与四川的旅游业已进入相对成熟阶段，城镇化对旅游基础设施的边际碳排放拉动效应更强，而湖南省旅游业碳排放增长

表 6　各变量岭回归分析结果 (K=0.02)

Table 6　Ridge regression analysis results for each variable (K=0.02)

参数 Parameter	非标准化系数 Unstandardized coefficients(B)	标准误差 Std.error	标准化系数 Standardized coefficients (Beta)	t 值 t-value	R^2	调整 R^2 Adjusted R^2	F 值 F-value
ln$P$	0.648 7	0.099 1	0.745 6	6.544 1			
ln$A$	0.318 0	0.167 0	0.163 0	1.904 6			
ln$R$	0.221 9	0.403 5	0.056 7	0.550 0	0.976 2	0.967 7	114.89
ln$T$	0.106 6	0.200 6	0.062 1	0.531 2			
ln$S$	0.194 9	0.161 0	0.107 3	1.210 6			
lnα	4.455 9	2.072 3	0.000 0	2.150 2			

仍以游客规模的直接驱动为主。然而，随着城镇化率的进一步提升，城镇化对旅游碳排放的拉动作用可能进一步增强，需在城镇化规划中前置性地嵌入旅游基础设施的低碳标准。

能耗强度的弹性系数（0.106 6）在 5 项驱动因素中最低，这反映出当前湖南省旅游业仍处于规模扩张主导阶段，技术进步的减排效应尚未充分显现，单位游客能耗的改善难以对冲游客总量增长带来的总排放增加。事实上，碳减排的成效不仅取决于技术进步的速度，更取决于经济规模扩张与技术进步之间的相对速率。对于正处于旅游市场快速扩张期的湖南省而言，单纯依靠终端能效提升难以实现绝对减排，亟待从能源供给侧推动清洁化替代。

旅游业占第三产业收入比例的弹性系数（0.194 9）在 5 项因素中位列第 4，这一结果与已有研究具有一致性。产业结构因素在多项省域研究中均呈现较低的弹性值，原因在于旅游业占第三产业收入的比例变化是一个相对缓慢的结构性调整过程，在短期内不应作为减排政策的主要着力点。

综合上述分析，旅游业碳排放驱动因素呈现清晰的层级结构：游客规模弹性系数远高于能耗强度，表明规模效应在当前阶段占据绝对主导，强度效应严重滞后。由此可以推断，旅游业碳排放达峰的关键在于规模效应与强度效应的竞争，当规模效应远超强度效应时，碳排放持续增长，而当强度效应开始超越规模效应时，碳排放才可能出现趋势性转折。因此，湖南省旅游业碳减排政策不应孤立地追求能效提升，而应同时建立游客规模增长的合理调控机制，使二者形成合力，共同推动碳达峰目标的实现。

为验证模型的可靠性与预测效能，本研究利用该模型对湖南省 2006—2025 年的旅游碳排放进行了回溯模拟，并与实际值进行比较。结果显示，样本期内模型预测值与实际值之间的平均绝对百分比误差在 6.8% 以内，处于合理范围，表明模型具备良好的拟合精度与预测能力，适用于后续多情景下的碳排放预测分析。

2.3　基于 Tapio 模型的脱钩效应分析

根据式（6）计算湖南省 2006—2025 年旅游业碳排放脱钩指数，各年份的脱钩强度如表 7 所示。

分析结果显示，2006—2025 年期间，湖南省旅游业碳排放与旅游经济的脱钩关系以弱脱钩为主（共 9 次），其次为增长连接（5 次）和增长负脱钩（5 次），强脱钩仅出现 1 次（2008 年）。总体来看，脱钩强度呈现显著的阶段性波动特征，碳排放控制效果随着外部冲击与政策调控而频繁切换，表明该阶段旅游业低碳发展尚未形成稳定路径。

表 7　2006—2025 年碳排放脱钩强度
Table 7　Decoupling status of carbon emissions from 2006 to 2025

年份 Year	$\Delta E/E$	$\Delta M/M$	μ	脱钩强度 Degree of decoupling
2006	0.27	0.30	0.91	增长连接
2007	0.13	0.25	0.52	弱脱钩
2008	-0.19	0.16	-1.18	强脱钩
2009	0.38	0.29	1.30	增长负脱钩
2010	0.34	0.30	1.15	增长连接
2011	0.22	0.25	0.87	增长连接
2012	0.04	0.25	0.16	弱脱钩
2013	0.14	0.20	0.69	弱脱钩
2014	0.12	0.14	0.84	增长连接
2015	0.17	0.22	0.78	弱脱钩
2016	0.17	0.27	0.64	弱脱钩
2017	0.31	0.52	0.59	弱脱钩
2018	0.16	0.16	0.94	增长连接
2019	0.10	0.17	0.62	弱脱钩
2020	-0.21	-0.15	1.37	增长负脱钩
2021	-0.10	-0.14	0.70	弱脱钩
2022	-0.18	-0.08	2.10	增长负脱钩
2023	0.19	0.47	0.41	弱脱钩
2024	0.18	0.11	1.60	增长负脱钩
2025	0.15	0.09	1.72	增长负脱钩

具体而言，研究期内仅出现一次强脱钩，即 2008 年（-1.18）。受南方雪灾与国际金融危机的叠加冲击，旅游业短期遇冷，碳排放降幅（-19%）远超经济降速，形成被动式环境冲击型脱钩，属于非政策驱动的外生性减排。此后，随着旅游业快速复苏，脱钩强度在弱脱钩与增长连接之间反复交替，表明经济扩张期减排压力持续存在。

值得关注的是，2020 年（1.37）与 2022 年（2.10）均出现增长负脱钩，但其成因截然不同：2020 年因疫情冲击导致旅游经济与碳排放同步大幅下滑（$\Delta E/E$=-0.21%，$\Delta M/M$=-0.15%），脱钩指数异常升高属统计失真；而 2022 年则以碳排放降速（-0.18%）明显快于经济降速（-0.08%）为特征，μ 值高达 2.10，反映出减排政策的累积效应开始释放，但这一状态并非经济增长与碳排放同步扩张背景下的主动脱钩，仍属特殊时期表现。

2023—2025 年进入疫后恢复阶段，旅游经济增速逐年放缓，碳排放增速同步下降，但脱钩指

数却持续攀升，连续两年处于增长负脱钩区间。这表明旅游经济增长对碳排放的依赖程度不减反增，低碳转型的内生动力与长效机制尚不稳固，绿色发展的结构性矛盾依然突出。

2.4　多情景碳排放预测分析

将表 3 中设定的变量增长速率代入经岭回归校正的扩展 STIRPAT 模型，得到 2026—2035 年在基准、低碳和强低碳这 3 种发展情景下的碳排放演变趋势，结果如图 3 所示。

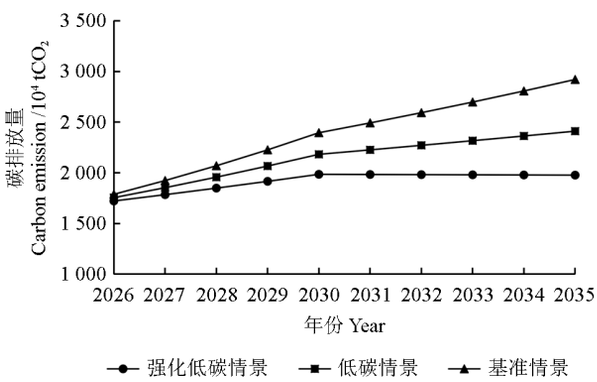


图 3　2026—2035 年湖南省不同情景下旅游碳排放预测量
Fig. 3　Projected tourism-related carbon emissions in Hunan Province under different scenarios from 2026 to 2035

在基准情景下，旅游业碳排放从 2026 年的 1 787.7 万吨持续增长至 2035 年的 2 920.8 万吨，年均增长率约为 5.6%，在整个预测期内均保持上升趋势。这一结果与相关全国性研究的基准情景结论一致，即在该情景下多数省份的旅游业碳排放难以在 2030 年前达峰，且中部地区被识别为达峰时间相对较晚的区域之一 [29]，湖南省在基准情景下的持续增长态势印证了这一区域特征。

在低碳情景下，碳排放量从 2026 年的 1 754.7 万吨增至 2035 年的 2 410.7 万吨，年均增长率约为 3.6%，增速显著低于基准情景，表明常规的节能增效与结构优化措施能够在一定程度上抑制碳排放增长。然而，排放总量在预测期内仍未达峰。相关研究指出，在低碳情景下全国仅有部分省份可在 2030 年前实现达峰 [29]，湖南省在此情景下未能达峰，反映出其旅游业碳排放的存量规模与增长惯性较大，常规措施的减排速率尚不足以对冲游客规模持续扩张带来的增排效应。

在强低碳情景下，碳排放量于 2030 年达到峰值 1 984.9 万吨，此后缓慢下降至 2035 年的 1 976.9 万吨，年均降幅约为 0.08%。这一达峰时间与相关研究所识别的中部省份普遍达峰窗口期基本吻合。研究指出，新冠疫情导致的排放基数降低可能使部分省份的达峰年份提前 [29]；本研究以 2025 年为预测基期，排除了这一基数的扭曲效应。然而，碳达峰后年均降幅仅为 0.08%，这一速率相对较低。

综合 3 种情景的预测结果，旅游业碳排放达峰的核心在于能耗强度下降速率与游客规模增速之间的对比，湖南省旅游业碳达峰需要在控制游客规模增速与降低能耗强度两个维度上同步推进，单一维度的努力难以抵消另一维度的增长惯性。

3　结论与讨论

3.1　结　论

本研究通过构建“自上而下”与“自下而上”相结合的混合核算框架，系统测度了湖南省 2006—2025 年的旅游碳排放，并借助拓展的 STIRPAT 模型、Tapio 脱钩模型及多情景预测方法，深入探讨了其驱动机制、演进规律与演化路径。主要结论如下：

1）湖南省旅游碳排放呈现显著的阶段性增长特征，且部门结构高度集中。2006—2019 年碳排放从 287.85 万吨持续攀升至 1 781.43 万吨，年均增速约 15%；2020—2022 年因疫情冲击回落至 1 041.82 万吨；2023—2025 年强势反弹至 1 688.97 万吨，接近历史峰值。从排放结构看，交通和游览碳排放占比稳定在 74% ～ 84% 之间，反映出旅游活动的碳足迹与交通出行深度绑定。

2）游客规模是碳排放增长的首要驱动因素，能耗强度的贡献相对滞后。岭回归结果显示，游客规模、人均旅游消费支出、城镇化率、能耗强度以及旅游业占第三产业收入比例的弹性系数分别为 0.648 7、0.318 0、0.221 9、0.106 6 与 0.194 9。游客规模弹性系数远高于其他因素，表明当前湖南省旅游业仍处于规模扩张的主导阶段，客流量的持续增长直接转化为交通周转量、住宿间夜数等关键活动量的增加，从而驱动碳排放同步攀升。与已有研究的省域相比，湖南省游客规模弹性系数显著高于四川和海南，而城镇化率弹性系数则明显低于上述省份，这一差异折射出各省旅游业发展阶段与驱动逻辑的本质不同。

3）旅游业低碳转型尚处于波动调整期，尚未形成稳定的脱钩路径。2006—2025 年脱钩状态以弱脱钩为主（9 次），增长连接（5 次）与增长负脱钩（5 次）频繁交替，强脱钩仅出现 1 次（2008 年）。2008 年的强脱钩系南方雪灾与全球金融危

机叠加导致的外生性冲击，非政策驱动的主动减排；2022 年虽在“双碳”目标驱动下碳排放降速快于经济降速，但 μ 值达 2.10，属增长负脱钩而非强脱钩；2023—2025 年疫后恢复期连续处于增长负脱钩区间，表明低碳转型的内生动力与长效机制尚不稳固。

4）不同发展情景下的碳达峰路径差异显著，强低碳情景是唯一可实现 2030 年前达峰的路径。基准情景下碳排放从 2026 年的 1 787.7 万吨持续增长至 2035 年的 2 920.8 万吨，难以在 2030 年前达峰；低碳情景下增速放缓但 2035 年仍达 2 410.7 万吨，未实现趋势性转折；强低碳情景下碳排放于 2030 年达到峰值 1 984.9 万吨，此后缓慢下降至 2035 年的 1 976.9 万吨。3 种情景的核心差异在于能耗强度下降速率与游客规模增速之间的对比，二者同步发力方可实现趋势性转折。

3.2 建 议

基于以上结论，为实现湖南省旅游业高质量发展与“双碳”目标的协同，本研究提出以下政策建议：

1）聚焦关键领域，实施精准减排。交通运输是旅游业碳排放的第一大来源（占比 74% ～ 84%），其清洁化与能效提升应作为减排工作的优先方向。建议在张家界、凤凰古城等重点旅游目的地加速推进景区内部接驳车辆全面电动化进程，并在主要旅游城市持续优化连接交通枢纽与核心景区的低碳旅游公交专线网络；在景区停车场增设新能源充电设施的基础上，进一步构建全域旅游碳普惠平台，将游客低碳行为量化为可通兑的碳积分，并探索旅途中的碳排放自愿认购机制，同时依托智能调度提供实时低碳出行引导，将绿色出行从硬件配套升级为涵盖行为激励、生态反哺和智慧服务的综合体系，引导自驾游客主动向低碳出行方式转变。

2）强化顶层设计，前置嵌入低碳理念。城镇化率对碳排放具有显著正向影响（弹性系数为 0.221 9），建议在新建或改扩建旅游项目的立项审批环节严格落实碳排放前置评估要求，并将旅游类项目纳入重点监管范围；同时依托各级碳达峰碳中和及绿色发展工作领导小组现有架构，由省级文旅部门牵头，联合交通、能源、生态环境等部门建立跨部门协同工作机制，统筹制定年度减排目标。在基础能力建设方面，应整合交通、住宿、餐饮等部门的能源消耗数据，打通行业壁垒，搭建全省统一的旅游业碳排放智慧管理平台，同步深化旅游场景碳汇核算方法研究，为旅游业的精细化碳管理提供数据支撑。

3）完善制度体系，构建跨部门协同与市场化机制。脱钩分析结果显示，湖南省旅游经济与碳排放尚未进入脱钩状态，反映出制度约束与激励机制仍有较大完善空间。在要素保障方面，设立旅游业低碳转型专项资金，资金来源可从旅游发展基金及省级文化旅游发展专项资金等现有渠道统筹安排，重点用于节能改造、零碳景区认证及低碳技术研发；同时深化与主要客源地省份已启动的碳普惠平台战略合作，打通跨区域碳积分互认与消费权益兑换通道。

4）构建多元共治格局，促进全社会协同发力。情景预测结果表明，强低碳情景是实现碳达峰目标的最优路径，其实现有赖于政府引导、企业主体、公众参与及科技支撑的协同推进。在主体行为引导方面，完善将低碳表现纳入星级酒店、A 级景区评定与复核的指标体系，对主动开展碳信息披露、获得低碳认证的企业在市场推介和评优评先中给予政策倾斜；在需求端依托省级智慧旅游平台及已上线的碳普惠应用场景，上线碳足迹计算与积分兑换功能，将公共交通使用、绿色酒店消费、一次性用品减量等行为纳入激励。此外，依托省内已设立的双碳研究机构及开设旅游管理专业的高校，建立旅游业低碳发展研究基地，定期编制发布省级旅游业碳排放评估报告，为政策动态调整提供持续性的数据支撑与决策参考。

参考文献：

[1] 袁家德 , 张杰 , 苗升翼 , 等 . 低碳城市试点政策能否促进旅游生态效率提升？——来自中国 280 个地级市的准自然实验证据 [J]. 旅游科学 ,2025,39(11):1-19.
Yuan J D, Zhang J, Miao S Y, et al. Can low-carbon city pilot policies promote the improvement of tourism eco-efficiency? A quasi-natural experimental evidence from 280 prefecture-level cities in China[J]. Tourism Science,2025,39(11):1-19.

[2] Jia J S, Chen D L, Ju M, et al. China’s CO_2 emissions: an innovative framework for analyzing carbon reduction in sustainable tourism under the guidance of the United Nations’ sustainable development goals[J]. Journal of Cleaner Production, 2023,430:139752.

[3] 郭丽佳 , 李畅 , 彭红松 , 等 . 节能减排约束下中国省域旅游生态效率评估及空间格局研究 [J]. 地理科学进展 ,2021,40(8): 1284-1297.
Guo L J, Li C, Peng H S, et al. Tourism eco-efficiency at the provincial level in China in the context of energy conservation

and emission reduction[J]. Progress in Geography,2021,40(8): 1284-1297.

[4] 赵秋平 . 旅游业碳排放国内研究 : 文献综述与建议 [J]. 产业创新研究 ,2023(11):107-109.
Zhao Q P. Domestic research on tourism carbon emissions: a literature review and suggestions[J]. Industry Innovation Research,2023(11):107-109.

[5] 陈娟 , 薛高洁 , 汪琦 , 等 . 基于净碳排放估算的旅游型传统村落低碳景观更新策略——以昆明市乐居村为例 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(3):217-230.
Chen J, Xue G J, Wang Q, et al. Low-carbon landscape renewal strategies for tourist traditional village based on net carbon emission estimation: a case study of Leju village in Kunming[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(3):217-230.

[6] Liu Z, Sun T C, Yu Y, et al. Near-real-time carbon emission accounting technology toward carbon neutrality[J]. Engineering, 2022,14:44-51.

[7] 杜镜刚 , 王金丽 , 朱勋程 . 基于 STIRPAT 的云南碳排放预测及多情景优化 [J]. 环境科学 ,2026,47(4):2100-2111.
Du J G, Wang J L, Zhu X C. STIRPAT-based prediction and multi-scenario optimization of carbon emissions in Yunnan[J]. Environmental Science,2026,47(4):2100-2111.

[8] Feng D N, Li C, Li Y Z. Study on spatial-temporal evolution, decoupling effect and influencing factors of tourism transportation carbon emissions: taking north China as an example[J]. Atmosphere,2024,15:720.

[9] Mou D. Tourism energy consumption estimation and driving factors of carbon emissions based on LMDI and panel data models[J]. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, 2024,24:1839-1849.

[10] 赵先超 , 滕洁 , 谭书佳 . 基于投入产出法的湖南省旅游业碳排放测算及 GRA 关联度分析 [J]. 世界地理研究 ,2018,27(3): 164-174.
Zhao X C, Teng J, Tan S J. Estimation of tourism carbon emissions and correlation analysis of GRA in Hunan Province based on input-output method[J]. World Regional Studies,2018,27(3): 164-174.

[11] 樊建强 , 朱茵 . 旅游交通碳排放测度与旅游经济脱钩分析——以西北五省 (区) 为例 [J]. 国土资源科技管理 ,2024,41(5): 1-14.
Fan J Q, Zhu Y. On decoupling analysis of tourism economy and measurement of carbon emissions from tourism transportation: a case study of five provinces (regions) in northwestern China[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources,2024,41(5):1-14.

[12] 沈东生 , 王乃举 . 安徽省旅游碳排放与旅游经济增长脱钩关系研究 [J]. 南宁师范大学学报 (自然科学版),2025,42(3):74-80.
Shen D S, Wang N J. Research on the decoupling relationship between tourism carbon emissions and tourism economic growth of Anhui Province[J]. Journal of Nanning Normal University (Natural Science Edition),2025,42(3):74-80.

[13] 张丽君 , 张祖述 , 巩蓉蓉 .“ 双碳 ” 目标下民族地区旅游业碳排放测度及时空演化分析 [J]. 中央民族大学学报 (哲学社会科学版),2025,52(3):146-158.
Zhang L J, Zhang Z S, Gong R R. Carbon emission measurement and carrying capacity of tourism industry in ethnic regions under the “dual carbon” goal[J]. Journal of Minzu University of China (Philosophy and Social Sciences),2025,52(3):146-158.

[14] 万紫微 , 唐承财 , 徐虹 . 旅游目的地实现 “ 双碳 ” 目标研究评述与展望 [J]. 旅游学刊 ,2025,40(7):141-157.
Wan Z W, Tang C C, Xu H. Research progress and prospects on achieving “dual-carbon” goals in tourist destinations[J]. Tourism Tribune,2025,40(7):141-157.

[15] 王凯 , 余芳芳 , 胡奕 , 等 . 中国旅游业碳减排潜力的空间关联网络结构及其影响因素 [J]. 地理科学 ,2022,42(6):1034-1043.
Wang K, Yu F F, Hu Y, et al. Spatial correlation network structure of tourism carbon emission reduction potential and the determinants in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022,42(6):1034-1043.

[16] 陈文灏 , 贺小荣 . 旅游产业发展规模与碳排放异速关系演化及影响机制 [J]. 地理与地理信息科学 ,2025,41(6):128-137,147.
Chen W H, He X R. Evolution and influencing mechanism of the allometric relationship between development scale of tourism industry and tourism carbon emissions[J]. Geography and Geo-Information Science,2025,41(6):128-137,147.

[17] 杨雪 , 姜乃文 , 刘宇杰 , 等 . 中国省域碳排放效率的时空演变及驱动因素分析 [J]. 数量经济研究 ,2025,16(4):161-181.
Yang X, Jiang N W, Liu Y J, et al. Analysis of the spatial and temporal evolution and driving factors of provincial carbon emission efficiency in China[J]. The Journal of Quantitative Economics,2025,16(4):161-181.

[18] He Y, Wang L G, Zhu H, et al. Tourism carbon emission forecasting, the decoupling effect and its driving factors in the Yangtze River economic belt under the “double carbon” target[J]. Journal of Resources & Ecology,2023,14(6):1329-1343.

[19] 张爱宁 , 李滋婷 , 李宗省 . 基于 LMDI 和 Tapio 脱钩模型的甘肃省碳排放研究 [J]. 西北师范大学学报 (自然科学版), 2024,60(3):55-63.
Zhang A N, Li Z T, Li Z X. Research on carbon emissions in Gansu Province based on LMDI and Tapio decoupling model[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science),

2024,60(3):55-63.

[20] 韩元军 , 吴普 . 京津冀地区旅游业的碳排放测算与比较研究 [J]. 人文地理 ,2016,31(4):127-134.
Han Y J, Wu P. The measurement and comparative study of carbon dioxide emissions from tourism industry of Beijing-Tianjin-Hebei[J]. Human Geography,2016,31(4):127-134.

[21] 王景波 , 安伯超 , 马国超 , 等 . 省域旅游业碳排放强度测算及影响因素研究 [J]. 统计与决策 ,2019,35(18):99-102.
Wang J B, An B C, Ma G C, et al. Measurement of provincial tourism carbon emission intensity and its influencing factors[J]. Statistics & Decision,2019,35(18):99-102.

[22] 祁慧博 , 季鹏 , 郑巧儿 , 等 . 中国农村居民食物消费碳足迹的时空格局与驱动因素 [J]. 浙江农业学报 ,2025,37(9):1991-2002.
Qi H B, Ji P, Zheng Q E, et al. Carbon footprint of food consumption by rural residents in China: spatial-temporal pattern and driving factors[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis,2025,37(9):1991-2002.

[23] 汪清蓉 . 城市旅游业 CO_2 排放量估算研究——以深圳市为例 [J]. 地理与地理信息科学 ,2012,28(5):104-109.
Wang Q R. An empirical research on measuring carbon dioxide emissions from urban tourism: a case study of Shenzhen[J]. Geography and Geo-Information Science,2012,28(5):104-109.

[24] 彭希哲 , 朱勤 . 我国人口态势与消费模式对碳排放的影响分析 [J]. 人口研究 ,2010,34(1):48-58.
Peng X Z, Zhu Q. Impacts of population dynamics and consumption pattern on carbon emission in China[J]. Population Research,2010,34(1):48-58.

[25] 吕娟 , 吕雁琴 , 陈静 , 等 . 向新质生产力要效率：数字技术创新对旅游碳排放效率的影响 [J]. 生态经济 ,2025,41(9):137-150.
Lyu J, Lyu Y Q, Chen J, et al. Efficiency to new quality productive forces: the impact of digital technology innovations on carbon emission efficiency in tourism[J]. Ecological Economy,2025,41(9):137-150.

[26] 查建平 , 谭庭 , 钱醒豹 , 等 . 中国旅游业碳排放及其驱动因素分解 [J]. 系统工程 ,2018,36(5):23-36.
Zha J P, Tan T, Qian X B, et al. China's tourism carbon emission and its driving factors[J]. Systems Engineering,2018,36(5):23-36.

[27] Ma W L, Vatsa P, Zhou X S, et al. Household income and tourism expenditure: an unconditional quantile regression approach[J]. Applied Economics,2024,56(50):6144-6157.

[28] 方涵潇 , 刘灿 , 蒋康 , 等 . 湖南省交通运输领域碳排放达峰路径研究 [J]. 交通运输系统工程与信息 ,2023,23(4):61-69.
Fang H X, Liu C, Jiang K, et al. Pathway towards carbon peak in transportation sector of Hunan Province[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2023,23(4):61-69.

[29] 朱海 , 王立国 , 贺焱 , 等 . 多情景下中国省域旅游业碳达峰的时空特征研究 [J]. 干旱区资源与环境 ,2023,37(1):169-176.
Zhu H, Wang L G, He Y, et al. Spatial and temporal characteristics of carbon peak of provincial tourism in China under multiple scenarios[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2023,37(1):169-176.

[30] 蔡国琴 , 李敏纳 . 基于 STIRPAT 模型的海南省旅游业碳排放影响因素分析 [J]. 绿色科技 ,2023,25(5):254-258,264.
Cai G Q, Li M N. Analysis of the influential factors of tourism carbon emission based on STIRPAT model in Hainan Province[J]. Journal of Green Science and Technology,2023,25(5):254-258,264.

[31] 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.
Gao Y Y, Shen X L, Liang W H, et al. Analysis of the factors influencing carbon emissions from tourism in Sichuan Province based on the STIRPAT model[J]. Environmental Pollution & Control,2023,45(12):1737-1742.

[32] 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.

[33] 汤姿 , 李晓红 . 基于 STIRPAT 模型的黑龙江省旅游业二氧化碳排放影响因素分析 [J]. 生态经济 ,2019,35(8):141-145.
Tang Z, Li X H. Analysis of the influencing factors of tourism-related CO_2 emissions based on STIRPAT model in Heilongjiang Province[J]. Ecological Economy,2019,35(8):141-145.

[本文编校：吴 彬]