

基于多智能体建模的旅游交通方式 跃迁现象仿真研究

石晓腾¹ 吴晋峰^{1, 21}

(1. 陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 中国陕西 西安 710119;

2. 陕西省旅游信息科学重点实验室, 中国陕西 西安 710119)

【摘要】: 旅游交通方式跃迁现象的客观性和跃迁带位置的移动规律是值得研究的科学问题。采用多智能体建模技术对旅游交通方式跃迁现象进行仿真研究。发现: ①旅游者根据广义交通费用最小原则进行交通方式选择是产生旅游交通方式跃迁现象的原因。②客源城市的人均居民收入、居民自驾车可获得率、对外交通方式的发达程度等是影响跃迁带位置的决定性因素。③不同收入群体对交通条件变化的敏感程度不同导致跃迁带位置移动幅度也不同, 新高铁线路开通对中低收入和中收入群体旅游交通方式选择行为影响最大, 新自驾游线路开发对中收入和中高收入群体影响最大。④在理想交通条件下, 不同收入群体的主交通方式及其跃迁规律不同。

【关键词】: 旅游交通方式 跃迁现象 多智能体建模 仿真 高速铁路 自驾游 居民收入

【中图分类号】: F592 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2022) 05-0193-11

改革开放 40 多年来我国交通基础设施建设的成就, 使居民旅游进入多种交通方式可供选择的时代, 旅游者的交通方式选择行为也变得更加复杂、难以捉摸^[1-2], 对旅游者交通方式选择行为的研究逐渐受到学界和业界的重视。石晓腾等研究发现, 旅游者选择比例最高的交通方式会随着出游距离的变化而变化, 产生旅游交通方式跃迁现象和跃迁带, 且不同客源城市周围的旅游交通方式跃迁带位置不同^[3]。石晓腾等虽然提出了交通通达性和客源地周围目标景区的类型与空间分布是跃迁带位置的影响因素, 但并未深入揭示各影响因素的作用机制, 旅游交通方式跃迁现象的客观性和跃迁带位置的移动规律还有待研究。旅游交通方式跃迁现象是旅游者交通方式选择行为在空间上的宏观表现, 旅游交通方式跃迁带可将客源地出游空间划分为自驾游空间、火车出游空间和飞机出游空间, 对目的地管理组织开展基于出游交通方式的旅游市场细分和营销具有重要的实践指导价值。揭示旅游交通方式跃迁带位置的影响因素和移动规律具有重要的理论意义。

旅游交通是旅游学研究的重要领域^[4-8], 旅游交通行为是旅游者行为的重要组成部分^[9-11]。国内外学者对旅游者交通方式选择行为及其影响因素的研究已取得一些成果。国际上, Concepción Román 以巴塞罗那为案例目的地分析了各旅游交通方式中高铁与航空之间的竞争关系^[12]。Hensher 和 Buliung 基于出行链建立了个体出行交通方式选择模型^[13-14]。Masiero、Hough 等发现旅游者的交通方式选择受旅游线路模式以及是否跟团旅游等因素的影响^[15-16]。Christer Thrane 运用多项式 Logit 回归模型, 研究了挪威旅游者在长距离旅游中交通方式的选择, 提出旅行距离、旅行相关特质 (旅游时长、旅游目的等) 和人口统计学特征

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41671135); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2020TS097); 陕西师范大学基础研究重点项目培育专项 (1301032239)

作者简介: 石晓腾 (1995—), 男, 河北衡水人, 博士研究生, 研究方向为旅游开发与规划。E-mail: 2870123858@qq.com
吴晋峰 (1969—), 女, 山西文水人, 教授, 博士生导师, 研究方向为旅游开发与规划。E-mail: jfwu@snnu.edu.cn

(年龄、收入等)是影响旅游者长途交通方式选择的重要因素^[17]。在国内,保继刚、邵春福、宋薇等人发现闲暇时间、经济能力、个人偏好等是影响旅游者交通方式选择的主要因素^[18-20]。梁雪松基于高铁与航空的竞争视角,利用实际调查问卷数据分析了不同出游距离时旅游者对各种交通方式的选择情况,发现700km是游客选择高铁还是飞机作为出游交通工具的竞争点^[21]。王姣娥、丁金学等利用GIS、RS等空间分析工具,分析各种交通方式的可达性,描述高铁与其他交通工具服务空间的叠合现象,探索不同交通系统服务市场的竞争与合作情况^[22-23]。综上,国内外学者虽已发现了诸多旅游者交通方式选择行为影响因素^[15-20],但对影响旅游者交通方式选择行为的决定性因素及其作用机制还未形成共识。石晓腾等人虽然已发现了旅游交通方式的跃迁现象^[3],但是该研究是基于少数客源城市的案例研究,旅游交通方式跃迁现象的客观性有待证实,旅游交通方式跃迁带位置的移动规律也有待研究。

本文拟在众多旅游交通方式选择行为影响因素中筛选决定性因素,探究其作用机制,并在此基础上利用多智能体建模仿真法(Multi-agent Modeling)对旅游交通方式跃迁现象进行仿真研究。多智能体建模仿真法是在复杂适应系统(Complex Adaptive System)理论指导下,结合自动机网络模型和计算机仿真技术研究复杂系统的一种有效方法。这种方法的核心思想是用程序展示行为。通过将不同个体链接到程序上,就有可能模拟一个充满相互作用过程的虚拟世界^[24]。与传统方法相比,基于多智能体建模能够充分考虑个体间的异质性和行为的适应性,展现智能体间的交互性^[25-26]。早在1990年代,基于多智能体的仿真法开始在国际上被应用于旅游现象的仿真研究,而后在模拟景区内客流分布^[27]、旅游地保护决策^[28]、旅游危机事件管理^[29]等旅游研究领域,均体现了很强的适用性。本文如能利用多智能体建模仿真法实现对旅游交通方式选择行为的仿真,那么不仅证明了旅游交通方式跃迁现象的客观性和普适性,而且也能确定旅游者交通方式选择行为的决定性影响因素及其作用机制,明晰旅游交通方式跃迁带位置的移动规律,具有重要的实践价值和理论意义。

1 仿真模型构建

1.1 智能体定义

智能体是仿真模型中的基本单位,是指系统内的任何能产生影响自身和其他智能体的事物的实体。智能体可以代表现实世界中的人,也可以代表现实世界中的物。本文以出游系统为理论模型^[30-31]构建客源地旅游者交通方式选择行为仿真系统(图1)。智能体包括客源地智能体、目的地智能体和旅游者智能体三种类型。

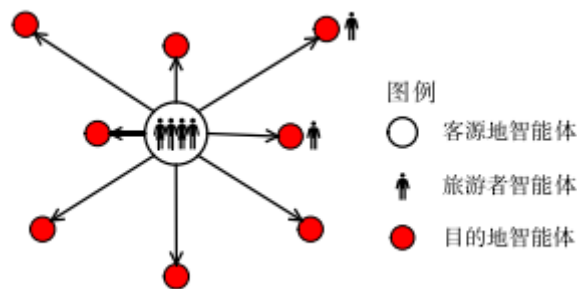


图1 旅游者交通方式选择行为仿真系统

1.1.1 客源地智能体

在仿真系统中,客源地智能体负责旅游者智能体的输出。本文根据已有研究筛选了客源地与目的地之间各种交通方式通达性的均衡程度、客源地经济发展水平、周围自驾游热点目的地数量、居民自驾车可获得率4个旅游交通方式选择行为的影响因素^[32]。为客源地智能体设置了6个属性:①火车可达率:从客源地出发可乘坐火车到达的目的地占出游系统中所有目的地的比例;

②高铁可达率：从客源地出发可乘坐高铁到达的目的地占出游系统中所有目的地的比例；③航空可达率：从客源地出发可乘坐飞机到达的目的地占出游系统中所有目的地的比例；④周围自驾游热点目的地丰富程度：出游系统中自驾游热点目的地占所有目的地的比例；⑤居民自驾车可获得率：城市中居民自身拥有自驾车或能够租、借到自驾车的概率，在实际操作中用有过自驾车出游经历的居民占有所有居民的比例表示；⑥城市居民人均收入：客源地居民人均每小时收入。

1.1.2 目的地智能体

根据与客源地智能体之间的对应关系，为目的地智能体设置了5个属性：①与客源地之间的球面距离；②是否火车可达；③是否高铁可达；④是否航空可达；⑤是否为自驾游热点目的地。②~⑤四个属性的取值分别根据出游系统中客源地智能体的火车可达率、高铁可达率、航空可达率和周围自驾游热点目的地丰富程度4个属性值确定。如某一出游系统中客源地智能体的火车可达率为0.6，则该系统中任何一个目的地智能体的是否火车可达这一属性的值有0.6的概率为“是”，有0.4的概率为“否”。

1.1.3 旅游者智能体

旅游者智能体可模拟现实世界中旅游者的行为。已有研究发现，收入是旅游者交通方式选择行为的重要影响因素^[32]。此外，随着私家车和汽车租赁行业的普及和高速公路的快速发展，自驾游已成为国人非常重要的一种旅游方式^[3]，是否可轻易获得自驾车也是影响旅游者交通方式选择的重要因素。本文为旅游者智能体设置了“收入”和“是否可获得自驾车”两个属性。旅游者智能体的收入根据所属客源地智能体的人均每小时收入获得。具体算法为以客源地居民人均小时收入为期望值，选择合适的方差值，利用正态分布函数随机生成。旅游者智能体是否可获得自驾车根据所属客源地智能体的居民自驾车可获得率确定。

1.2 旅游者智能体交通方式选择规则

旅游者智能体的交通方式选择规则是仿真模型的核心。已有研究表明，旅游者的出游行为多遵循效益最大化原则^[33]。效益最大化体现在交通方式选择上则是成本最小化，但基于常规的票价、油费等显性支出的成本最小原则很难对旅游者的实际交通方式选择行为进行合理解释，如为什么有人会选择昂贵的飞机而不是火车。因此本文引入广义交通费用的概念，并假设游客在选择旅游交通方式时遵循广义交通费用最小原则。

广义交通费用是指旅游者在借助交通工具实现空间转移的过程中所需付出的票价、油费等显性金钱成本和因花费时间所造成的收入缺失等隐性金钱成本的总和^[34]。计算公式为：

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (1)$$

式中：M表示广义交通费用；M₁表示狭义交通费用，是指旅游者乘坐火车、飞机等交通工具支付的票价、自驾出游时支付的油费、路桥费等显性开支；M₂表示在途时间缺失收入，是指旅游者在实现客源地与目的地之间位移所需的时间内所产生的收入缺失；M₃表示疲惫恢复时间缺失收入，是指旅游者在乘坐交通工具实现客源地到目的地的位移后，在消除体感疲惫所需的时间内产生的收入缺失。之所以将旅游者在途时间和疲惫恢复时间段内的缺失收入定义为广义交通费用的一部分，一方面是因为旅游者在该过程中既没有进行生产活动，也没有进行旅游活动；另一方面是因为同样的时间对于不同收入旅游者而言意义是不同的^[35-36]，将在途时间收入缺失和疲惫恢复时间收入缺失作为成本的一部分能够有效地解释为什么有的旅游者会选择“昂贵但是快速”的飞机，而有的旅游者却会选择“经济但是缓慢”的火车。

①狭义交通成本。狭义交通成本M₁的计算公式为：

$$M_1 = d \times \beta_i \times p_i \quad (2)$$

式中：d 表示客源地与目的地之间的球面距离； β_i 表示第 i 种交通方式交通距离与球面距离的换算比例，其中自驾车、火车/高铁、飞机交通距离分别是球面距离的 1.3、1.4、1.1 倍^①； p_i 是指第 i 种交通方式的单位里程票价。根据《铁路客运组织》，将火车硬座单位票价定为 0.145 元/人·km，硬卧单位票价定为 0.2505 元/人·km。高铁的单位票价取二等座单位票价 0.45 元/人·km。航空票价按国务院颁布的《民航国内运价改革方案》中的基准价取 0.75 元/人·km。自驾车的单位里程票价比较复杂，计算公式如下：

$$P_{car} = \frac{AC + O \times R}{3} \quad (3)$$

式中：AC 表示路桥费，取值为 0.4105 元/km^②；O 表示单位公里油耗，取值为 0.1276L/km；R 为汽油价格，取 2019 年 12 月 26 日全国 93 号汽油平均油价 7.16 元/L。考虑到自驾游多为家庭出游或结伴出游，按平均每车 3 人计算人均费用^[37-38]，最终算得花费 0.4414 元/人·km。

②在途时间缺失收入。在途时间缺失收入 M_2 计算公式为：

$$M_2 = \left(\frac{d \times \beta_i}{v_i} + t_i \right) \times T \times r_i \quad (4)$$

式中：d、 β_i 的内涵同式 (2)； v_i 表示第 i 种交通方式的运行速度，其中自驾车、火车、高铁和飞机的速度分别取 100km/h、120km/h、250km/h 和 750km/h^[34]； t_i 表示第 i 种交通方式的在途非运行时间，即除交通时间之外的等待时间，包括从居住地到飞机场/火车站/高铁站的时间和候车时间两部分，根据已有研究，飞机、火车、高铁的候车时间分别取 1.00h、0.75h、0.75h^[34]，居民从居住地到所在城市飞机场、火车站和高铁站时间取客源地城市各区政府到飞机场、火车站和高铁站公共交通时间的平均值，自驾车没有在途非运行时间；T 表示旅游者每小时收入； r_i 表示第 i 种交通方式的在途缺失收入系数，火车、高铁、飞机的在途缺失收入系数为 1，自驾车的在途缺失收入系数设定为 0.5 和 0.8 两种，当目的地为自驾游热点目的地时，在途缺失收入系数为 0.5，当目的地为非自驾游热点目的地时，在途缺失收入系数为 0.8。自驾车的在途缺失收入系数小于 1，是考虑到旅游者进行自驾与乘坐其他交通方式不同，自驾会给旅游者带来驾驶的乐趣^[39-40]，这种乐趣在一定程度上可以抵消部分在途缺失收入。如果目的地是自驾游热点目的地（本文假设客源地与自驾游热点目的地之间开发良好的自驾游线路可给自驾者带来更多的正向体验^[41-42]），则这种乐趣更大，在途缺失收入系数更小。

③疲惫恢复时间缺失收入。疲惫恢复时间缺失收入 M_3 计算公式为：

$$M_3 = \frac{J \times T}{1 + a \times e^{-b \times \frac{d \times \beta_i}{v_i}}} \quad (5)$$

式中：d、 β_i 、T、 v_i 等符号的内涵同式 (3)；J 表示极限疲劳恢复时间；a 为常数；b 为疲劳恢复时间系数。J、a、b 三者分别取值 16、69 和 0.25^[43]。

1.3 仿真模型运行过程

仿真模型运行过程如图 2 所示。

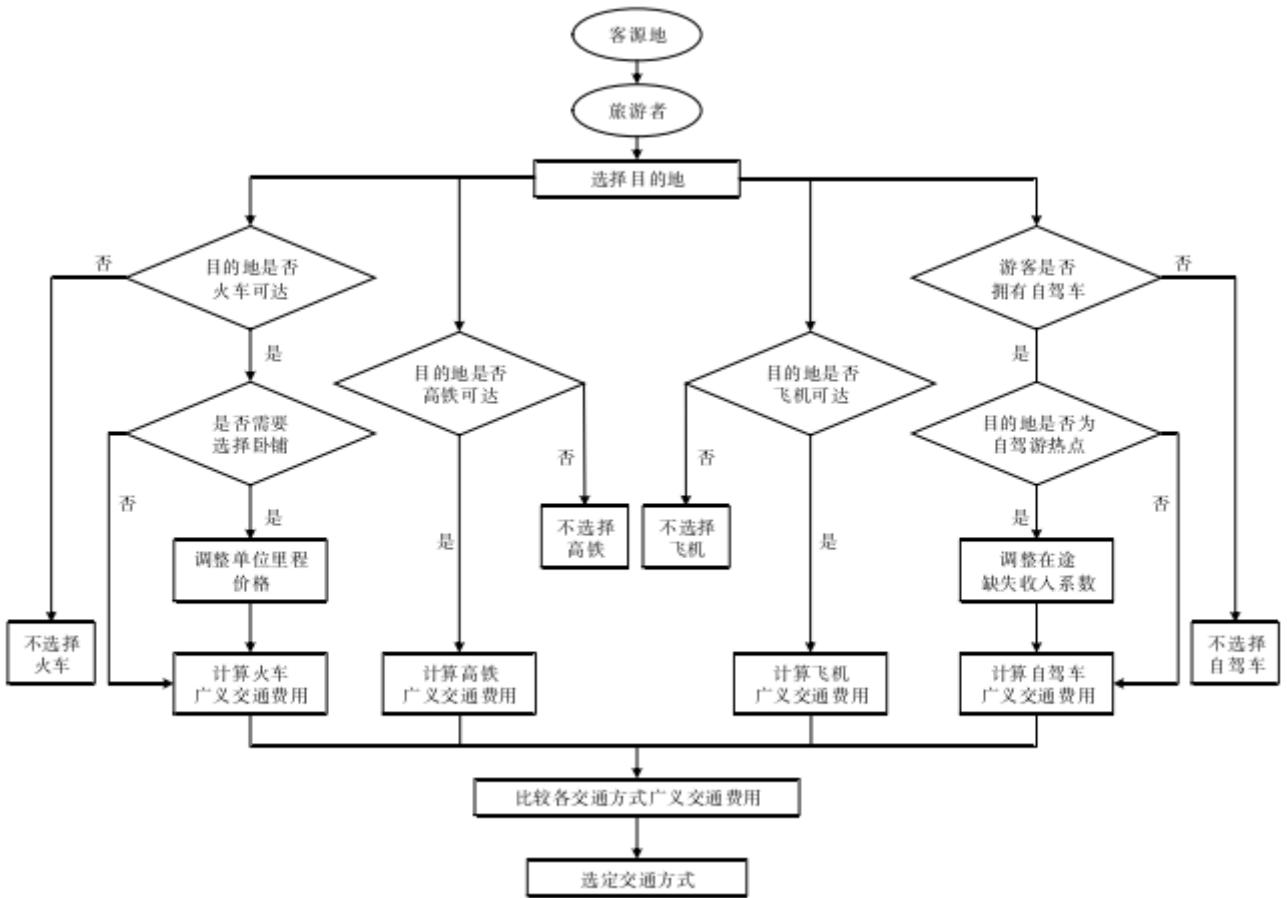


图 2 旅游者交通方式选择过程

仿真模型运行步骤为：

第一步，客源地智能体产生旅游者智能体。旅游者智能体的每小时收入与是否可获得自驾车两个属性值分别根据客源地的居民人均时收入和居民自驾车可获得率两个属性计算获得。

第二步，旅游者智能体选择目的地。旅游者智能体随机选择一个目的地智能体准备访问，与此同时获得该目的地智能体的 5 个属性值。

第三步，计算选择火车出游时的广义交通成本。如该目的地智能体火车不可达，则火车广义交通费用不参与后续对比，如可达，则根据客源地与目的地之间的交通时间判定旅游者选择卧铺的概率，然后计算其相应的费用。本研究中旅游者选择卧铺的概率与火车交通时间的关系根据问卷数据获得。

第四步，计算自驾车广义交通成本。首先对旅游者是否可获得自驾车进行判断，如果没有，则自驾车不参与后续对比；如果有，继续判断旅游者选定的目的地是否为自驾游热点目的地并根据判断结果调整在途时间缺失收入系数，计算自驾车广义交通成本。

第五步，计算选择高铁/飞机出游时的广义交通成本。如该目的地高铁/飞机不可达，则高铁/飞机广义交通费用不参与后续对比；如可达，则根据公式计算高铁/飞机广义交通成本。

第六步，对比各种交通方式广义交通成本大小，选定广义交通成本最小的交通方式。

2 模型验证

2.1 验证数据

2.1.1 案例城市选择

本文选择北京、西安、武汉 3 个城市为案例客源地，主要基于以下考虑：北京是我国首都，其综合交通条件全国最好；西安靠近中国大地原点，到全国各地球面距离较为均衡；武汉位于中国铁路大动脉——京广线的中心位置，铁路通达性优势突出。3 个城市在经济发展水平、对外交通通达程度、周围旅游目的地的数量、类型和空间分布格局等方面均有一定差异，有利于更加深入地验证模型的有效性。

2.1.2 数据获取

本文的验证数据为案例客源地居民在出游过程中的实际交通方式选择数据，利用大样本问卷调查法获得。在问卷中，课题组筛选全国范围内近百个在空间上分布比较均匀的 5A 或 4A 级景点作为目标景区，由被调查者填写是否到访过和到访时采用的交通方式（交通方式包括自驾车、火车、飞机和其他 4 个选项。其中，火车包括动车及高铁）。问卷调查时间为 2017 年 10 月至 2018 年 8 月，调查地点为案例客源地城市的商场、社区等普通市民活动区域。样本规模为城市人口数量的万分之一，抽样方法为便利抽样。北京、西安、武汉分别回收有效问卷 2077、886 和 1039 份，共计 4002 份。

2.2 模型参数设置

使用 NetLogo6.1.1 软件对旅游者交通方式跃迁现象进行仿真。分别建立北京、西安、武汉 3 个客源地城市的仿真系统，并录入相关参数。每个仿真系统内设置 1 个客源地智能体、1000 个旅游者智能体以及 360 个不同距离的目的地智能体（距离客源地每 100km 内分布 10 个目的地智能体）。根据已有研究，将北京、西安、武汉 3 个客源地智能体的火车可达率分别设置为 1.00、0.64、0.90，航空可达率分别设置为 1.00、0.82、0.65^[44-46]。鉴于现有研究中对各个城市高铁通达性的定量研究成果较少，本文基于 2017 年北京、西安、武汉 3 个城市的高铁时刻表对 3 个城市的高铁可达率进行赋值。发现在全国 333 个地级行政区中，从北京、西安、武汉 3 个城市乘坐高铁可直达并且每日班次大于 3 的地级行政区数量分别是 99、64、95，因此将北京、西安、武汉 3 个城市的高铁可达率设置为 0.30、0.19、0.29。城市周围自驾游热点目的地的丰富程度根据北京、西安和武汉 3 个城市 500km 球面距离范围内自驾游热点目的地所占的比例设置，分别为 0.15、0.40、0.10（全国自驾游热点目的地目录由课题组根据在“汽车之家”“爱卡汽车网”“太平洋汽车网”3 个网站所收集的 1597 篇旅游者自驾游游记、499 条不重复的自驾游线路提取获得）。居民人均收入利用问卷调查数据加权平均获得，北京、西安、武汉的居民月收入分别为 6778、5648、6327 元，按每人每月工作时间 160h 计算，人均每小时收入分别为 42、35、39 元。案例客源地城市居民自驾车可获得率为 3 个城市所有被调查者中有过自驾车出游经历的被调查者的比例，北京、西安和武汉 3 个城市的居民自驾车拥有率分别为 0.72、0.77 和 0.56。此外，根据百度地图数据，收集了北京、西安和武汉城市内不同区政府到火车站、高铁站和飞机场的具体时间并计算其平均值，最后将北京居民到火车站、高铁站和飞机场的时间分别确定为 1.38、1.48 和 1.96h；西安居民到火车站、高铁站和飞机场的时间分别为 1.44、1.60 和 2.39h；武汉居民到火车站、高铁站和飞机场的时间分别为 1.36、1.26 和 1.88h。

2.3 模型有效性验证

仿真系统开始运行之后,1000 个旅游者智能体依次到访不同距离下的目的地智能体,并进行交通方式的选择。访问结束后,系统自动导出 3 个客源城市旅游者在不同出游距离下选择各种交通方式的比例数据。需要说明的是,因为 2017 年 3 个客源城市的高铁可达率均较低,且在实际调查问卷中,将高铁包含在了火车的范畴之内,因此在仿真过程中将选择高铁的旅游者算在选择火车一类。取 3 次运行结果的平均值消除仿真输出不确定性的影响,并将其与 3 个城市实际调研数据进行对比(图 3)。

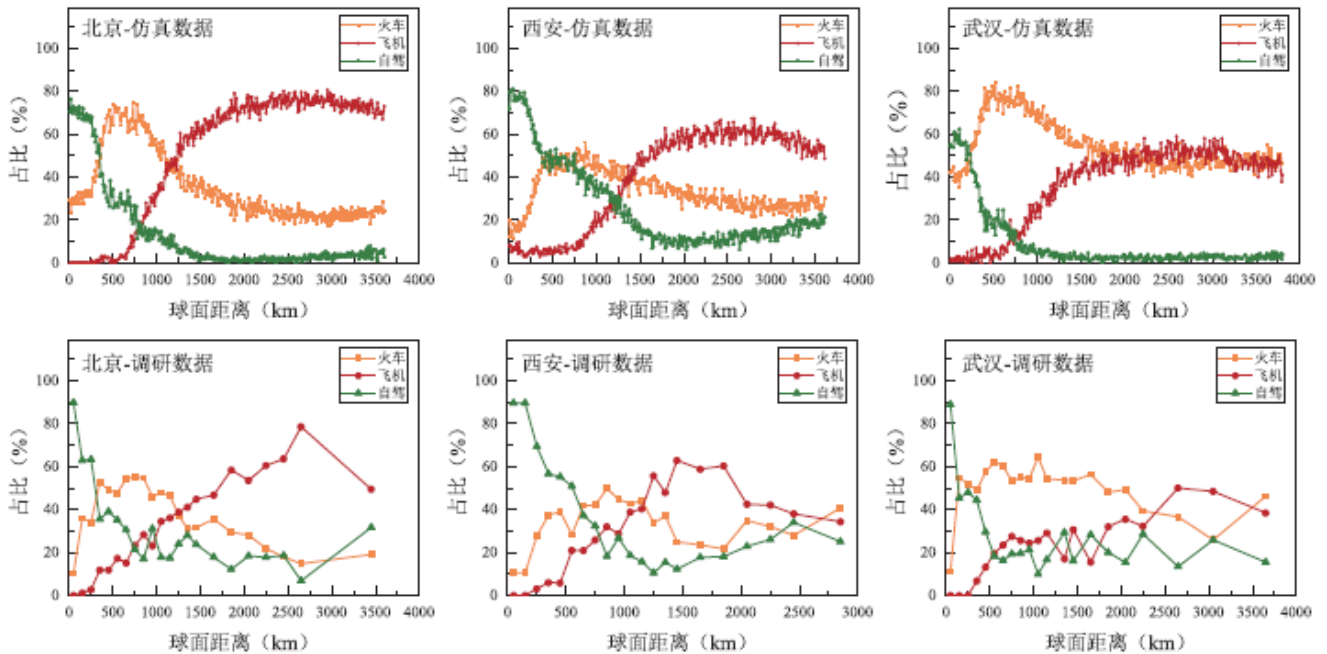


图 3 基于仿真数据与调研数据的旅游交通方式跃迁现象对比

由图 3 可见,仿真数据显示,北京周围第一和第二主跃迁带分别出现在距离客源城市 300~400km 和 1100~1200km 范围内。实际调研数据显示,北京周围第一和第二主跃迁带分别出现在距离客源城市 300~400km 和 1200~1300km 范围内。对于北京而言,由仿真数据所得的第一主跃迁带位置与实际数据吻合,第二主跃迁带位置与实际数据相差 100km。仿真数据显示,西安周围第一和第二主跃迁带分别在距离客源城市 600~700km 和 1200~1300km 范围内。实际调研数据显示,西安周围第一和第二主跃迁带分别在距离客源城市 600~700km 和 1200~1300km 范围内。对于西安而言,仿真结果与实际结果完全重合。仿真数据显示,武汉周围第一、第二和第三主跃迁带分别在距离客源城市 200~300km、2300~2400km 范围内和 3200km 以外。实际调研数据显示,武汉周围第一、第二和第三主跃迁带分别在距离客源城市 100~200km、2300~2700km 范围内和 3100km 以外。对于武汉而言,由仿真数据所得第一主跃迁带与实际数据相差 100km,第二主跃迁带与实际数值重合,第三主跃迁带与实际数值相差 100km。

综上所述,仿真数据与实际调研数据虽然在具体数值上有所差异,但是仿真数据所体现的旅游者对各种交通方式的选择比例随 O-D 距离增长而呈现的变化规律与实际情况相符,且对于旅游交通方式跃迁带位置的仿真结果与实际数值十分接近。说明广义交通费用最小是旅游者出游选择交通方式时所遵循的基础原则。随着 O-D 距离的增加,旅游者对交通方式的选择必会发生转变,且不同收入的旅游者转变交通方式的距离不同,因此产生了旅游交通方式跃迁现象。

3 旅游交通方式跃迁现象变化预测

3.1 交通线路变化对跃迁带位置的影响

高速铁路（以下简称高铁）是世界“交通革命”的一个重要标志。其最大特点是快速、安全和高效，可以产生明显“时空压缩”效应^[46]。在 2017 年课题组进行原始问卷调查时，因为案例客源城市高铁所能便捷的直达的城市数量较少，因此将“高铁”这一选项包含于“火车”之中，然而近几年我国在高速铁路建设方面进展飞速，高铁与其他交通方式的竞争与合作发展成为学界关注的焦点。因此将高铁作为一种独立的交通方式，研究新高铁线路开通前后旅游交通跃迁现象的差异具有重要的理论价值和实践意义。此外，目前自驾游市场已成为国内旅游市场的重要组成部分，但我国自驾游的发展还处在休闲观光阶段，自驾游线路的开发与建设也未得到充分重视^[42, 47]，因此探讨新自驾游线路的开发对旅游者交通方式跃迁现象的影响也具有的实践指导意义。

本文基于构建的出游交通方式仿真模型，定义了五类不同收入的旅游者智能体，分别为低收入旅游者（时收入 15~25 元）、中低收入旅游者（时收入 25~35 元）、中收入旅游者（时收入 35~45 元）、中高收入旅游者（时收入 45~55 元）和高收入旅游者（时收入 55~65 元）。通过调整客源地理智能体的属性参数，模拟高铁开通和自驾游线路开发前后不同收入旅游者所产生的旅游交通方式跃迁现象的差异，如图 4 所示。左侧一列为初始状态下不同收入旅游者的交通方式跃迁现象，在该状态下客源地的火车可达率和航空可达率属性值均为 1，高铁可达率和周围自驾游热点目的地丰富程度均为 0。中间一列，假设客源地在某一方向上新开通高铁线路，使得客源地在该方向上高铁可达率为 1。右侧一列，假设客源地在某一方向上开发新的自驾游线路，使得客源地在某一方向上自驾游热点目的地丰富程度变为 0.4（鉴于自驾游热点目的地的特殊性，自驾游线路的开发并不能使该线路上所有的目的地均变为自驾游热点目的地）。因本部分仿真不涉及具体客源城市，所以根据已有研究将客源地居民到火车站、高铁站和飞机场的时间定为 1.5、1.5 和 2.0h^[34]。

如图 4 所示，原始状态下，低收入旅游者群体在距客源地 0~160km 范围内主交通方式为自驾车，160km 以外主交通方式变为火车。新的高铁线路开通并未使其产生跃迁现象的位置发生改变。新自驾游线路开通后，产生跃迁现象的位置变为距客源城市 180km 处。

对于中低收入旅游者群体而言，原始状态下距客源城市 0~240km 范围内自驾车为旅游主交通方式，240~1750km 范围内火车为旅游主交通方式，1750~2400km 范围内飞机为旅游主交通方式，2400km 以外火车再次变为旅游主交通方式。高铁开通后 240~1200km 范围内火车为旅游主交通方式，1200~2750km 范围内高铁成为旅游主交通方式，2750km 以外火车再次成为旅游主交通方式。自驾游线路开通后，距离客源城市 0~280km 范围内自驾车为旅游主交通方式，280~1650km 范围内火车为旅游主交通方式，1650~2500km 范围内飞机为主交通方式，2500km 以外火车再次成为旅游主交通方式。

对于中收入旅游者群体而言，原始状态下距离客源城市 0~350km 范围内自驾车为旅游主交通方式，350~1180km 范围内火车为旅游主交通方式，1180km 以外飞机为旅游主交通方式。高铁开通后 350~720km 范围内火车为旅游主交通方式，720~1800km 范围内高铁成为旅游主交通方式，1800km 以外飞机成为旅游主交通方式。自驾游线路开通后，距离客源城市 0~800km 范围内，自驾车为主交通方式，800~950km 范围内火车为旅游主交通方式，950km 以外飞机为旅游主交通方式。对于中高收入旅游者群体而言，原始状态下，距离客源城市 0~480km 范围内自驾车为旅游主交通方式，480~760km 范围内火车为旅游主交通方式，760km 以外飞机为旅游主交通方式。高铁开通后 480~680km 范围内火车为旅游主交通方式，680~960km 范围内高铁成为旅游主交通方式，960km 以外飞机成为旅游主交通方式。自驾游线路开通后，距离客源城市 0~800km 范围内自驾车为旅游主交通方式，800km 以外飞机为旅游主交通方式。

对于高收入旅游者群体而言，原始状态下，距离客源城市 0~580km 范围内自驾车为旅游主交通方式，580km 以外飞机为旅游主交通方式。高铁开通和自驾游线路开通均并未使其产生的跃迁现象的位置发生改变。

综上所述，高铁开通和自驾游线路开通对不同收入旅游者群体的影响不同。高铁开通对中低收入和中收入旅游者群体交通方式选择行为影响最大，自驾游线路开通对中收入和中高收入旅游者群体交通方式选择行为影响最大。高铁开通和自驾游线路开通对低收入和高收入旅游者群体的交通方式选择行为均几乎没有影响。

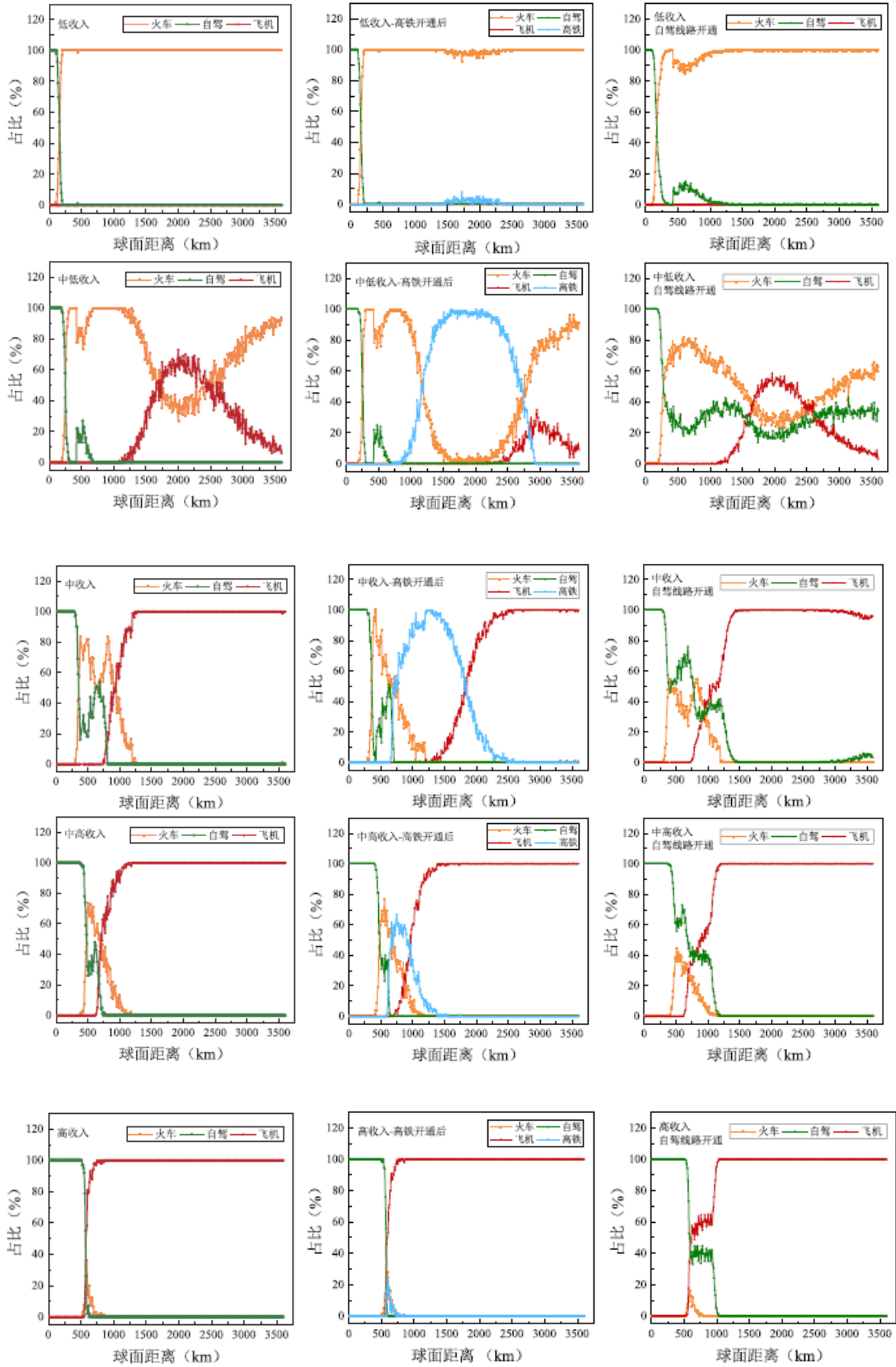


图 4 交通线路变化对旅游交通方式跃迁现象的影响

3.2 收入水平对交通方式跃迁现象的影响

基于构建的出游交通方式仿真模型，将其中客源地智能体的火车可达率、航空可达率和高铁可达率属性值均设置为 1，将客源地周围自驾游热点目的地丰富程度设置为 0.4。同样构建五类收入水平的旅游者智能体，对理想交通条件下不同收入旅游者交通方式选择行为及其产生的跃迁现象进行仿真（图 5）。

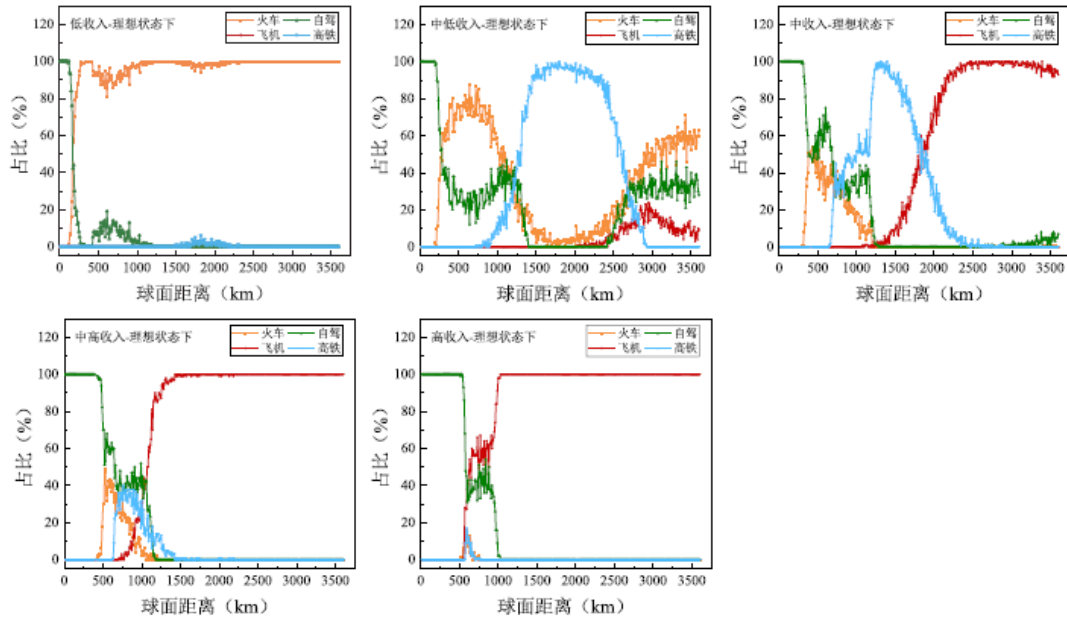


图 5 收入水平对旅游交通方式跃迁现象的影响

如图 5 所示，在理想交通条件下，低收入旅游者群体在距离客源城市 0~160km 范围内以自驾车为旅游主交通方式，160km 以外以火车为旅游主交通方式。中低收入旅游者群体在距离客源城市 0~280km 范围内以自驾车为旅游主交通方式，280~1200km 范围内火车为旅游主交通方式，在 1200~2700km 范围内以高铁为旅游主交通方式，2700km 以外火车再次成为旅游主交通方式。中收入旅游者群体在距离客源城市 0~750km 范围内自驾车是旅游主交通方式，750~1800km 范围内高铁为旅游主交通方式，1800km 以外飞机为旅游主交通方式。中高收入旅游者群体在距离客源城市 0~1150km 范围内以自驾车为旅游主交通方式，1150km 以外以飞机为旅游主交通方式。高收入旅游者群体在距离客源城市 0~610km 范围内以自驾车为旅游主交通方式，610km 以外以飞机为旅游主交通方式。

在理想交通条件下，不同收入旅游者群体的交通方式选择行为不同，在客源城市周围产生旅游交通方式跃迁现象的次数也不同。低收入旅游者群体在客源城市周围仅产生 1 次旅游交通方式跃迁现象，旅游主交通方式由自驾车转变为火车，高铁与飞机均没有以旅游主交通方式的形式出现；中低收入旅游者群体在客源城市周围产生 3 次旅游交通方式跃迁现象，分别是旅游主交通方式由自驾车变为火车、由火车变为高铁和由高铁再次变为火车，飞机未以旅游主交通方式的形式出现。中收入旅游者群体在客源城市产生 2 次旅游交通方式跃迁现象，分别是旅游主交通方式由自驾车变为高铁和由高铁变为飞机，火车未以旅游主交通方式的形式出现。中高收入和高收入旅游者群体在客源城市周围仅产生 1 次旅游交通方式跃迁现象，旅游主交通方式由自驾车变为飞机。总体来看，收入越高的旅游者越倾向于选择飞机和自驾车作为旅游的主交通方式，收入越低的旅游者越倾向于选择火车和高铁作为旅游的主交通方式。

4 结论与讨论

本文利用多智能体建模仿真法,基于效益最大化理论,构建了旅游者交通方式选择行为仿真模型,较好地模拟了不同城市居民出游时的交通方式选择行为。在证实了仿真模型有效性的基础上,本文进一步预测了高铁开通和自驾游线路开发对不同收入旅游者交通方式选择行为的影响。主要结论如下:

①广义交通费用最小是旅游者交通方式选择行为的基本原则。旅游者会基于自身的收入水平、是否可获得自驾车,通过衡量客源城市与目的地之间各种交通方式所产生的广义交通费用,选择费用最小的交通方式出行。广义交通费用在后续的旅游研究中可成为一种新的衡量客源地与目的地距离的指标。

②旅游交通方式跃迁现象是可被预测的客观现象。通过多智能体建模仿真法,模拟出了案例城市旅游者的旅游交通方式跃迁现象,说明跃迁现象是客观现象,具有普遍性。进一步确定了客源城市的人均收入、自驾车可获得率、客源城市对外各种交通方式的发达程度以及客源城市周围旅游目的地的类型与分布是影响跃迁带位置的的决定性因素。

③不同收入旅游者的交通方式选择行为不同,对交通条件的敏感程度也存在差异。低收入旅游者出游时仅以自驾车和火车为交通方式,高收入旅游者出游时仅以自驾车和飞机为交通方式,两个群体的交通方式选择行为几乎不受高铁开通和自驾游线路开发的影响。中低收入、中收入、中高收入旅游者的交通方式选择行为相对复杂,涉及了多种交通方式的转变,中低收入和中收入的旅游者交通方式选择行为容易受到高铁开通的影响,中收入和中高收入旅游者的交通方式选择行为容易受到自驾游线路开发的影响。本结论并不仅仅适用于旅游交通方式的选择,对居民长距离出行时交通方式的选择也有一定的适用性,可为客源城市的旅游规划提供参考依据。经济发达水平较低的城市,交通建设仍应该以火车为主,随着城市经济发达水平的提高,依次进行高铁线路开通、自驾游线路开发和飞机航线的增加更为合理。

本文不足之处在于在构建旅游者智能体时,只将个人收入和是否可获得自驾车作为影响旅游者交通方式选择的个人因素,仿真结果虽能对旅游者交通方式选择行为的宏观规律进行把握,但在具体数值上与实际情况有所差异。此外,后疫情时代,旅游者的交通方式选择行为会在一定程度上发生转变,如更加偏好自驾游,有意远离人口密集型交通工具等。这些虽不一定会使旅游者交通方式选择行为的根本原则产生动摇,但也一定会对旅游者交通方式选择行为产生影响。因此,在后续的研究中,应该增加更多的影响因素,使仿真结果更加接近于实际情况。

参考文献:

- [1]胡希捷,赵旭峰.浅谈改革开放40年中国交通发展[N].现代物流报,2018-07-09(A05).
- [2]魏小安.第四次旅游革命[J].旅游学刊,2018,33(2):11-14.
- [3]石晓腾,吴晋峰,吴宝清,等.旅游交通方式比例结构跃迁现象与跃迁带模型——以国内旅游为例[J].经济地理,2020,40(2):189-199.
- [4]黄柯,祝建军,蒲素.我国旅游交通发展现状及研究述评[J].人文地理,2007(1):23-27.
- [5]卢松.旅游交通研究进展及启示[J].热带地理,2009,29(4):394-399.
- [6]Peeters P,Szimba E,Duijnsveld M.Major environmental impacts of European tourist transport[J].Journal of Transport Geography,2007,15(2):83-93.

-
- [7]王欣,邹统钎.高速铁路网对我国区域旅游产业发展与布局的影响[J].经济地理,2010,30(7):1189-1194.
- [8]黄泰,查爰欢,应南茜,等.高铁对都市圈城市旅游服务力格局演变的影响——以长三角都市圈为例[J].经济地理,2014,34(11):158-165.
- [9]保继刚.旅游者行为研究[J].社会科学家,1987(6):19-22.
- [10]陈健昌,保继刚.旅游者的行为研究及其实践意义[J].地理研究,1988(3):44-51.
- [11]白凯.旅游者行为学[M].北京:科学出版社,2013.
- [12]Concepción Román,Raquel Espino,Juan Carlos Martín.Competition of high-speed train with air transport:The case of Ma-drid-Barcelona[J].Journal of Air Transport Management,2007,13(5):277-284.
- [13]D A Hensher,A J Reyes.Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport[J].Transportation,2000,27(4):341-361.
- [14]R N Buliung,P S Kanaroglou.Activity Travel Behaviour Research:Conceptual Issues,State of the Art,and Emerging Perspectives on Behavioural Analysis and Simulation Modelling[J].Transport Reviews,2007,27(2):151-187.
- [15]Masiero L,Zoltan J.Tourists intra-destination visits and transportation mode:a bivariate model[J].Annals of Tourism Research,2013,43(Complete):529-546.
- [16]Hough Gary,Hassnien Ahmed.Transport choice behavior of Chinese and Australian tourists in Scotland[J].Research in Transportation Economics,2010,26(1):54-65.
- [17]Christer Thrane.Examining tourists' long-distance transportation mode choices using a Multinomial Logit regression model[J].Tourism Management Perspectives,2015(15):115-121.
- [18]保继刚,楚义芳.旅游地理学(修订版)[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [19]邵春福.交通规划原理[M].北京:中国铁道出版社,2004.
- [20]宋薇.旅游者选择外部旅游交通方式的影响因素研究[J].中国科技信息,2013(21):171-173.
- [21]梁雪松.基于双重区位空间的湖南旅游业发展机遇探讨——“武广高铁”开通视阈[J].经济地理,2010,30(5):859-864.
- [22]王姣娥,胡浩.中国高铁与民航的空间服务市场竞合分析与模拟[J].地理学报,2013,68(2):175-185.
- [23]丁金学,金凤君,王姣娥,等.高铁与民航的竞争博弈及其空间效应——以京沪高铁为例[J].经济地理,2013,33(5):104-110.
- [24]邓宏钟,谭跃进,迟妍.一种复杂系统研究方法——基于多智能体的整体建模仿真方法[J].系统工程,2000(4):73-78.

-
- [25] 翟瑞雪, 戴尔卓. 基于主体模型的人地系统复杂性研究[J]. 地理研究, 2017, 36(10):1925-1935.
- [26] Dominique G, Roger S. Can agent-based models assist decisions on large-scale practical problems? A philosophical analysis[J]. Complexity, 2000, 5(6):26-33.
- [27] 黎巛. 基于 Agent 的景区游客行为仿真建模与应用——以颐和园为例[J]. 旅游学刊, 2014, 29(11):62-72.
- [28] 傅丽华, 谢炳庚, 李晓青, 等. 基于多智能体模拟的旅游地保护行为决策[J]. 地理研究, 2012, 31(3):555-564.
- [29] 范春梅, 武晓潇, 袁韵. 基于多智能体建模的旅游危机管理策略研究——以宰客事件后市场恢复为例[J]. 旅游学刊, 2020, 35(8):48-60.
- [30] 吴晋峰, 包浩生. 旅游系统的空间结构模式研究[J]. 地理科学, 2002, 22(1):96-101.
- [31] Wu Baoqing, Wu Jinfeng, Shi Xiaoteng, et al. Visiting probability model: a new method for tourist volume forecasting[J]. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 2019, 24(12):1155-1168.
- [32] 石晓腾. 旅游交通方式跃迁现象及其仿真研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2020.
- [33] D J Keeling. Transportation geography—new regional mobilities[J]. Progress in Human Geography, 2008, 32(2):275-283.
- [34] 孙枫, 汪德根, 牛玉. 高速铁路与汽车和航空的竞争格局分析[J]. 地理研究, 2017, 36(1):171-187.
- [35] 孙启鹏, 朱磊, 陈波. 基于动态广义费用的客运通道交通方式选择 Logit 模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(4):15-22.
- [36] 胡晓伟, 王健, 孙广林. 有限理性下出行者方式选择行为[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(12):114-118.
- [37] 张高军, 吴晋峰, 曹晓仪, 等. 基于等时/费线的旅游客源市场空间分异研究[J]. 旅游学刊, 2015, 30(10):89-98.
- [38] 汪德根, 陈田, 刘昌雪. 基于出游半径的自驾车旅游市场特征差异分析——以苏州市为例[J]. 旅游学刊, 2010, 25(1):42-47.
- [39] J C Hallo, R E Manning. Transportation and recreation: a case study of visitors driving for pleasure at Acadia National Park[J]. Journal of Transport Geography, 2009, 17(6):491-499.
- [40] 娄思元, 明庆忠, 陈颖, 等. 自驾旅游线路分类空间功能分析——以保山、德宏两地为例[J]. 经济地理, 2018, 38(3):217-224.
- [41] 史春云, 孙勇, 张宏磊, 等. 基于结构方程模型的自驾游客满意度研究[J]. 地理研究, 2014, 33(4):751-761.
- [42] 戢晓峰, 张力丹, 陈方, 等. 云南省自驾游发展水平与旅游交通可达性的空间分异及耦合[J]. 经济地理, 2016, 36(5):195-

[43]卢婉婉. 高速铁路与民航的竞争博弈研究[D]. 北京:北京交通大学, 2015.

[44]周芳如, 吴晋峰, 吴潘, 等. 中国主要入境旅游城市交通通达性对比研究[J]. 旅游学刊, 2016, 31(2):12-22.

[45]杨春华, 吴晋峰, 周芳如. 中国旅游城市交通通达性对比研究[J]. 四川师范大学学报:社会科学版, 2016, 43(4):67-73.

[46]李磊, 陆林, 穆成林, 等. 高铁网络化时代典型旅游城市旅游流空间结构演化——以黄山市为例[J]. 经济地理, 2019, 39(5):207-216, 225.

[47]张辉. 全域旅游助推自驾旅游[J]. 旅游研究, 2017, 9(4):2-5.

注释:

1 此数据为经验参数。参数获得过程如下：以北京、西安、武汉为案例客源地，筛选全国近百个不同距离的优质景区为案例目的地，分别利用高德地图 App、智行火车票 App 和航旅纵横网站搜索从 3 个案例客源地到各目的地的自驾距离、火车/高铁行驶距离和飞机飞行距离，然后将其与对应的球面距离进行拟合分析。

2 此数据为经验参数。参数获得过程如下：以北京、西安、武汉为案例客源地，筛选全国近百个不同距离的优质景区为案例目的地，利用高德地图 App 搜索从 3 个案例客源地到各目的地的路桥费，然后将其与对应的球面距离进行拟合分析。