

基于修正引力模型的中国省际旅游者流 空间网络结构特征

周慧玲^{1,2}, 王甫园^{3,4}

(1. 桂林理工大学旅游与风景园林学院, 桂林 541004; 2. 广西旅游产业研究院, 桂林 541004;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
4. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要: 高速交通时代旅游者流空间网络结构具有什么特征, 是全国旅游流空间组织和管理需要探索的基础问题。贴近客观实际修正引力模型的相关参数, 测算中国省际旅游者流, 结合复杂网络分析方法, 探索空间网络结构的优势、联系和发育水平。分析发现该网络结构稳定, 旅游者流大量汇聚于中国的东南半壁、流动不对称、邻近型和跳跃型空间联系结构并存、层级性明显。具体表现为: 首先, 从优势水平来看, 旅游流大量汇聚于上海(东)-广东(南)-四川(西)-河北(北)区域范围内。其次, 从联系水平来看, 东部三省江苏、浙江、山东是各地优势流量的主要汇聚之所, 西藏的排名靠末。最后, 从发育水平来看, 旅游流动不对称, 网络有“紧密团块型”和“飞地跨越型”两种空间联系结构且表现出层级性, 不平衡发育状态将在较长时间内保持不变。

关键词: 引力模型; 旅游空间结构; 省际旅游; 旅游者流空间网络; 结构特征

DOI: 10.11821/dlyj020190021

1 引言

旅游者流空间网络结构与旅游者空间移动相伴相生。随着高速交通网络的不断完善, 旅游者出行的时间更短、距离更远、范围更大, 导致旅游空间的相互作用力也愈来愈多向和强烈, 形成更为复杂的旅游者流空间网络。对它进行分析和预测, 是旅游地理学的热点问题, 也是认识当前旅游业发展格局、优化旅游者流空间组织与管理的需要。

旅游流空间网络指的是规模旅游流在旅游空间组织上的响应, 是旅游空间及其关系的集合。它由域面、旅游空间节点、旅游流及连线4个要素组成, 域面是研究中所确定的区域范围, 由多个旅游空间节点组成; 旅游流主要包括旅游者流、旅游物质流、旅游资金流、旅游信息流和旅游知识或技术流等, 其中旅游者流是核心^[1,2], 是其它旅游流产生的源动力; 连线代表的是旅游流向和流量的抽象。

21世纪之前, 由于流数据获取方面的困难和技术条件的限制, 研究者们常以“区位论”为基础, 侧重于旅游空间的属性研究和以单中心、垂直联系为主要表现的“中心

收稿日期: 2019-01-07; 修订日期: 2019-07-23

基金项目: 湖南省社科成果评审委员会重点课题(XSP18ZD1038); 湖南省教育科学“十二五”规划项目(XJK015B-GD031); 中国博士后科学基金资助项目(2018M641457); 湖南省教育厅重点项目(16A085)

作者简介: 周慧玲(1975-), 女, 湖南永州人, 博士, 教授, 研究方向为旅游地理。

E-mail: huiling_zhou@163.com

通讯作者: 王甫园(1988-), 男, 湖南新化人, 博士, 研究方向为旅游地理与生态空间治理。

E-mail: wangfy.15b@igsnr.ac.cn

地”结构体系的探索。进入21世纪后,随着大数据、地理信息系统和社会网络等分析手段和方法的引入,学者们开始关注旅游流空间网络结构。在已有成果中有关网络建构的方法有两种:一是基于流空间原理,通过旅游统计年鉴中的跨区入境旅游流抽样数据,构建省际入境旅游流空间网络^[3];通过游客调查构建泸沽湖跨界旅游者流空间网络^[4];通过搜集网络游记中的游程数据构建湖南景区(点)旅游者流空间网络^[5],经过分析后提出旅游者流空间网络的优化方案。二是根据空间相互作用原理,采用旅游者人次数、旅游收入和4A及以上景区数量等作为旅游空间质量的评价指标,利用两地的经济、时间或费用距离等作为阻尼,用旅游引力模型来构建潜在旅游联系网络,揭示其特征、影响因素、演化规律并提出优化建议^[6,7]。以上文献中,多采用社会网络理论中的中心性、模块性和结构洞等指标来分析旅游者流空间网络结构特征。

作为信息时代下不断被凸显的一种旅游空间关系,旅游者流空间网络研究亟需建构更具人文地理学特色的话语体系,而这又依赖于方法的改进和创新。以往的研究针对建模和分析方法做过一些工作,但还是存在以下一些明显的不足:一是在建模中,多数研究直接使用旅游地的接待人次、旅游收入等旅游经济指标来计算旅游空间之间的相互作用力,这样处理实际测量的是两个旅游目的地之间潜在的旅游经济空间联系,没有体现“客源地”的“推力”和“目的地”的“拉力”两种作用力,难以客观反映旅游者流动规律。二是以往研究多是借用社会网络分析方法,通过二值化处理来揭示空间网络结构特征。这种处理以忽略低值连接为代价,且未能考虑节点的空间属性,使地理空间网络分析被局限在社会学的话语体系中,不利于人文地理学自身方法的探索和学科发展。本文力图克服上述局限,贴近客观实际修正旅游空间引力模型、改进旅游者流空间网络结构的分析方法,辅以加权网络的“权重性”指标,综合考虑节点的地理位置、区域范围以及空间分布等地理特征,重构指标体系,全面地刻画旅游者流空间网络结构特征。成果可应用于全国主要目的地和客源地识别、优化旅游路线、优选区域旅游合作政策等方面的科学决策。

2 研究方法 with 数据

2.1 引力模型的选取和修正

现实世界中,空间之间的相互作用力实际是难以直接获得的,而引力模型是应用最为广泛的测量手段,它的基本原理是引力与物体的质量成正比、距离成反比。在保持基本形式不变的前提下,只需对变量和参数做出适当的改变,就可以用来解释不同的问题。本文借鉴有关引力模型的建构原则及其在旅游产业的适用性等相关思想^[8,9],选择牛顿型基本引力模型,将引力模型中的3类基本变量分别表示如下:用旅游目的地的“吸引力”和客源地“出游力”分别代表目的地的供给情况和客源地的需求情况,用两地的“交通里程”来表示“空间阻尼”^[9],数学表达式如下:

$$T_{ij} = kO_i^\alpha D_j^\beta R_{ij}^{-\gamma} \quad (1)$$

式中: T_{ij} 代表 i 地与 j 地之间的旅游空间相互作用强度,可定义为客源地 i 的旅游者流向目的地 j 的某种量度; O_i 代表客源地的“出游力”; D_j 代表目的地的“吸引力”; R_{ij} 代表空间阻尼; k 、 α 、 β 和 γ 是参数。

2.1.1 “出游力”指标的确定 现有文献中有关客源地的“出游力”指标繁多^[10,11],不适宜都代入到模型中,需对数据进行相关预处理。

步骤1：“出游力”指标的搜集。考虑到统计口径的一致性，选取各省（市区）GDP、年末常住人口、城镇居民可支配收入、城镇职工平均工资、城镇居民人均消费支出、就业人数、城镇单位就业人数、私营和个体企业就业人数、客运总量（铁路、公路、水运客运量总和）、机场客运量、公路客运量、铁路客运量、旅客周转总量（铁路、公路、水路、民航周转量总和）、公路旅客周转量、铁路旅客周转量、互联网上网人数共计16个指标的数据。周转量数据来源《中国统计年鉴》（2012—2016年）和民航官网（2011—2015年）。考虑统计口径及数据的可得性，本研究对象未包括港澳台地区。

步骤2：百度指数搜集。黄先开等使用百度指数预测以故宫为代表的5A级旅游景区游客量^[12]，发现前者对后者具有长期稳定的预测效果。因此，可将百度指数作为因变量，步骤1中所搜集到的16个“出游力”指标数据作为自变量进行回归拟合，目的是优选出合适的指标及确定回归参数，降低指标的数量以减少下一步模型拟合的难度。中国5A级景区的评定要求最严格，跨省旅游者多以5A级景区为游览对象^[5]。通过查询百度指数得到2011—2015年各省（市区）对其它省（市区）5A级景区百度指数的搜索均值，构建一个31×31的矩阵，加和5A景区搜索量，得到5个年度各省（市区）的意愿出游力。

步骤3：“出游力”指标的遴选。为了得到出游力与各经济指标的关系，将以上数据进行标准化处理，并以加法模型与乘法模型相结合的方式构建“出游力”的回归方程式，从而使考虑的自变量尽可能全面，数学表达式如下：

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{16} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

式中： $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$ 为系数； $x_i (i=1, 2, \dots, 16)$ 表示步骤1中搜集到的标准化后的16个“出游力”指标； Y 表示各省（市区）标准化后的出游力。

为了判断是否存在常数项，按数学建模的常用思路，在模型拟合时增加1列全为1的数据。采用Matlab软件进行逐步回归处理，结果显示，只有“城镇居民人均消费支出”和“年末常住人口”两个指标的系数符合非0（或不接近0）的要求，其中拟合度指标 R^2 为0.801， $RMSE$ 为0.090， p 为 9.7478×10^{-54} ， R^2 较大， $RMSE$ 和 p 较小，综合来看，拟合效果比较理想。为了验证这个结果，再用2015年一年的数据进行拟合，软件依然挑选以上2个指标，且拟合优度比用5年数据进行拟合的效果更好，这就说明了这两个指标的选取是合理的。在两次回归中，常数项系数均接近于0，因而可以认为模型不含常数项是最优结果。在拟合中，系统也没有挑选任意两指标相乘的项。综上，“出游力”的数学表达式如下：

$$Y = 1.085x_1 + 0.416x_2 \quad (3)$$

式中： x_1 为城镇居民人均消费支出； x_2 为年末常住人口。以上指标均经标准化处理。

为确保以上回归模型拟合的稳健性，再利用Eviews软件来验证分年度百度指数与两个指标的相关关系，经分析，3组数据均未通过level检验，而又全部通过了一阶差分检验，可以认为3组数据的变化规律有某种相似性。同时，回归拟合支持线性正相关关系显著的结论。之所以要做以上的回归处理，是因为百度指数搜集的工作量大、干扰因素较多，不同的关键词可能会导致不同的结果，数据具有不稳定性。相较而言，年鉴数据可以克服以上缺点。综上，可证明用“城镇居民人均消费支出”、“年末常住人口”2个指标拟合“出游力”最优。

2.1.2 “吸引力”及空间阻尼指标的确定 在中国，A级景区可以代表相对优质的旅游吸引物，考虑数据的精准度和可获得性，用A级景区的游客接待量作为旅游目的地的“吸引力”比较合适（2011—2015年），数据来源于《中国旅游统计年鉴》（2012—2016年）。

距离、时间或费用成本是空间阻尼的指标, 本文选择两省会城市航行的实际里程作为空间阻尼, 数据从航旅纵横软件中得到。这里未选择城市间高铁里程作为空间阻尼的原因如下: ① 中国高铁网络尚不完善, 边远地区如西藏尚未开通高铁, 部分省会城市间(如长沙到呼和浩特等)也不能通过高铁直达, 若使用高铁里程来代表距离阻尼将会人为地使这些区域处于不利地位, 而省会城市之间航空网络明显要比高铁成熟。② 目前高铁和民航是中国居民远距离出行的两种主要交通方式, 2016年, 民航和高铁的旅客周转量占比分别为23%和13%, 航空周转量占比明显高于高铁^[13]。

2.1.3 常系数与参数的估计 为方便估计公式(1)中的参数 k 、 α 、 β 、 γ , 将公式(1)作适当的变换, 得到如下数学表达式:

$$T_{ij} = k O_i^\alpha D_j^\beta B_{ij}^\gamma \quad (4)$$

式中: k 、 α 、 β 、 γ 是4个参数; T_{ij} 表示*i*地游客到*j*地的数量; O_i 表示*i*地的“出游力”; D_j 表示*j*地的“吸引力”; B_{ij} 表示*i*地到*j*地的航空里程的倒数; B 为31×31矩阵。以上数据经标准化处理, 这里不考虑省(市区)内部的情形, 对角线的数值为0。式(5)和式(6)分别代表某个省(市区)的“吸引力”和“出游力”方程:

$$O_i = \sum_{j \neq i, j \in S} T_{ij} = k \left(\sum_{j \neq i, j \in S} D_j^\beta B_{ij}^\gamma \right) O_i^\alpha \quad (5)$$

$$D_j = \sum_{i \neq j, i \in S} T_{ij} = k \left(\sum_{i \neq j, i \in S} O_i^\alpha B_{ij}^\gamma \right) D_j^\beta \quad (6)$$

这里 S 是31个省(市区)序号的集合, 表示为 $S = \{1, 2, \dots, 31\}$, 化简可得:

$$k \left(\sum_{j \neq i, j \in S} D_j^\beta B_{ij}^\gamma \right) O_i^{\alpha-1} = 1 \quad (7)$$

$$k \left(\sum_{i \neq j, i \in S} O_i^\alpha B_{ij}^\gamma \right) D_j^{\beta-1} = 1 \quad (8)$$

利用Matlab软件中的非线性最小二乘参数拟合, 得到4个参数 k 、 α 、 β 、 γ 的最优解分别是0.271, 1.378, 0.550, 1.104, 平均误差平方和为0.022, 由于拟合过程中使用了5年的分区面板数据, 数据量大, 可认为平均误差平方和在可接受范围内。

以经济数据拟合百度指数得出用“城镇居民人均消费支出”、“年末常住人口”来指代客源地“出游力”, 吻合经典文献中选取“人均收入水平”和“人口规模”两个指标来指代“出游力”的判断^[10,11]。参数均为非负, 距离阻尼系数为1.104, 在田志立等认为的引力模型中距离阻尼系数为0.5~3.0范围内^[14], 符合顾朝林等认为阻尼系数取1和2时可以近似地揭示国家尺度和省区尺度的城市体系空间联系状态的结论^[15]。本文阻尼系数小于王成金通过纯距离衰减Pareto模型计算出来的距离阻尼系数1.726^[16], 这是因为后者在建模时并没考虑两地的推力和拉力, 这反映了若综合考虑两地的人口规模和相关旅游经济指标, 旅游距离阻尼会降低的事实。

2.2 旅游者流空间网络结构特征指标

根据两节点之间的作用力有方向, 空间网络可分为有向网和无向网, 又根据两个节点之间的作用力有无强度上的差异, 可将空间网络分为加权网和无权网。有研究表明, 空间网络特征的刻画要依赖于加权网和无权网两者特征的相互补充^[17]。加权网可以通过二值化切分处理转化为无权网, 即当权重大于切分值时赋值为1, 反之赋值为0。加权网更侧重于权重特征, 无权网更侧重于连接特征。

将以上估计的参数代入公式(1)中,运算得到 31×31 的加权有向矩阵,即为省际旅游空间引力矩阵。根据切分值的不同,加权有向网络可被切分成若干个无权有向网络,考虑结论的解释力,应尽可能选取有意义的切分值。

参考入境旅游流空间网络^[18,19]、国际贸易网络^[20]、城市网络^[21-23]、交通网络^[24]等相关文献,在“点线面”的基础上,考虑流空间网络的优势、联系及发育水平三个维度,构建12个指标来考察旅游者流空间网络特征,见表1。在分析过程中考虑了空间网络的地理位置、分布及距离等特征。严格而言,每个指标都有绝对和相对中心性之分,由于本文不牵涉两个及以上域面的网络之间的比较,故特征指标全部采用绝对中心性指标。本文主要采用Matlab软件处理加权有向网络数据,而Ucinet软件主要用于处理无权有向网络数据。

表1 中国省际旅游者流空间网络结构特征的描述指标

Tab. 1 Descriptive index of the inter-provincial tourist flow spatial network structure's characteristics in China

逻辑起点	维度	指标意义及方法
点	空间优势水平: 节点的规模和地位	1.节点数量: 表征空间网络规模的大小 2.点的连接度: 表征空间节点的连接能力,用入(出)中心度来衡量 3.点强度: 表征空间节点的总流出(入)强度,用行(列)和来衡量
线	空间联系水平: 两个点间联系的状态	4.线的数量: 边权不为0的连线数量 5.线的方向: 两空间节点之间的流入和流出 6.权值: 旅游者流动规模
面	网络发育水平: 域面范围内所有或部分节点之间联系的状态	7.有序性: 表征网络系统混乱程度,用标准结构熵来衡量,数值越小,表明网络系统越有序 8.互惠性: 表征两空间节点相互输送客流的均衡程度,数值越小,代表两空间节点之间的流动越不均衡 9.模块性: 表征空间节点的组团程度,用模块度、EI指数和凝聚子群分析等来衡量,模块度越大,代表空间组团越明显,EI指数越小,代表网络中存在组团的现象 10.紧密性: 表征网络联系的紧密程度,用网络密度来衡量,数值越大越紧密 11.集聚性: 表征客源地系统和目的地系统的中心性,用入(出)度中心势来衡量,数值越大集聚性越强 12.层级性: 表征优势流量切分后的网络格局,将原始数据经标准化后,用0.1~1的切分值二值化切分网络,形成I-X级网络,可观察网络的编织状态

注: 限于篇幅, 本文省略了数学公式, 详见相关参考文献[18-24]。

3 旅游者流空间网络结构特征

3.1 空间优势水平特征

网络中“点”的数量为31个省(市区),加权有向网络是一个任意两点均有直接连接关系的连通网络。空间节点的入(出)强度排名如表2所示,可以看出,2015年点入度排名前十的是:江苏、山东、浙江、四川、安徽、广东、北京、湖南、江西、陕西,可认为是中国主要的旅游目的地。点出度排名前十的是:广东、上海、江苏、北京、浙江、山东、河南、四川、湖南、河北,可认为是中国主要的旅游客源地,它们均分布在东至上海、南到广东、西至四川、北到北京的区域范围内。

对矩阵数据进行标准化处理,取值范围在[0,1],分别取等距数值0.1, 0.2, 0.3, ……, 1作为切分值来切分网络,得到10个层级的无权有向网络,将其命名为I到X级。其中,所有的空间节点被保留在I级网络中,除上述主要目的地和客源地省(市区)有较高的入度和出度外,江苏、浙江、山东、广东、北京、四川等省(市)中间中心度相对较高,是流空间网络的关键中介节点。广东、江苏、北京、浙江、山东、湖南

表2 中国省际旅游者流空间网络“点”的特征

Tab. 2 The node feature of inter-provincial tourist flow spatial network in China

省份	入强度排名	出强度排名	点入度	点出度	中间中心度
江苏	1	3	30	19	87.757
山东	2	5	29	19	66.757
浙江	3	6	29	19	66.757
四川	4	8	26	17	37.390
安徽	5	11	20	11	4.700
广东	6	1	21	20	54.957
北京	7	4	16	19	40.771
湖南	8	9	19	13	6.736
江西	9	18	15	8	0.200
陕西	10	19	15	7	0
河南	11	7	14	17	5.474
湖北	12	12	13	11	0.500
福建	13	13	10	12	0
广西	14	21	9	7	0
河北	15	10	8	13	0
辽宁	16	15	7	11	0
云南	17	17	8	7	0
重庆	18	20	8	7	0
贵州	19	23	7	5	0
上海	20	2	4	19	0
甘肃	21	26	0	4	0
黑龙江	22	24	0	4	0
山西	23	22	0	5	0
天津	24	14	1	11	0
内蒙古	25	16	0	7	0
吉林	26	25	0	4	0
新疆	27	27	0	4	0
海南	28	30	1	3	0
青海	29	29	0	3	0
宁夏	30	28	0	1	0
西藏	31	31	0	3	0

6省既是主要的目的地，又是主要的客源地，同时，它们的入（出）强度、入（出）点度和中间中心度相对较大，在网络中的权力非常大。

3.2 空间联系水平特征

原始的加权有向网络任意两节点之间均有连接关系，共有930条（ 31×30 ）邻接关系。I级网络“线”的数量减少到310条，只占原始网络930条连线的33.33%，说明网络中边权超过0.1的“线”的数量比较少，即网络中高流量占比较少。

图1显示，从“线”的方向和权重来看，排名靠前的是：上海→江苏，浙江→江

苏, 广东→江苏, 山东→江苏, 江苏→浙江, 北京→江苏, 上海→浙江, 河南→江苏, 江苏→浙江, 安徽→江苏, 北京→山东。东部沿海三省江苏、浙江和山东是各地优势流量的主要汇聚之处, 其中尤以江苏和浙江为甚。值得一提的是, 在优势流量中, 江苏和浙江属于互惠的双向流动, 这两个空间单元已互为旅游客源地和目的地。在这个网络中, 各地区到西藏的旅游流量位列最末, 尤以海南到西藏的流量为最少。网络中的优势流量有两种联系结构, 一是“紧密团块型”, 如江苏、浙江和上海3个节点已形成相对稳定的联系; 二是“飞地跨越型”, 以不相邻地区江苏和广东等节点相连为代表, 说明网络已有突破地理邻近影响的趋势。

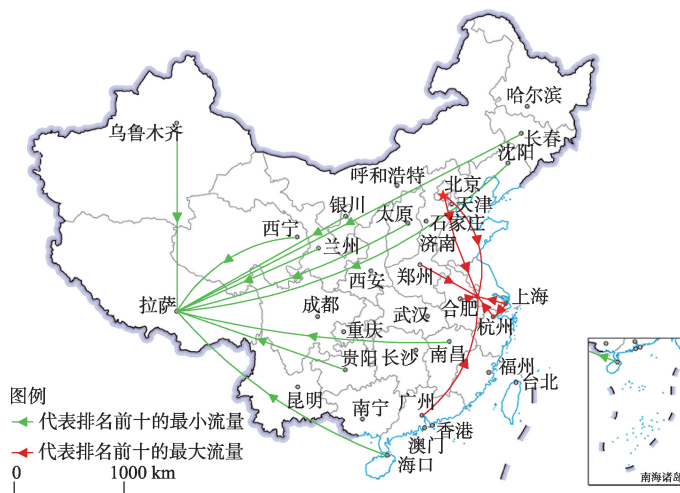


图1 排名前十位的最大和最小流量网络分布

Fig. 1 Top 10 maximum and minimum tourist flows' network

注: 此图根据国家测绘地理信息局标准地图

(审图号: GS(2019)1823号) 绘制, 底图无修改。

3.3 网络发育水平特征

(1) 有序性。加权有向网络的标准出(入)强度为0.998 (0.994), 标准权值结构熵为0.930; I级无权有向网络的标准出(入)强度0.978 (0.965), 标准权值结构熵为0.997, 数值均接近1, 即无论是否加权, 网络的出(入)强度和权值系统结构都处于一个无序的状态, 旅游者流空间网络系统较混乱。

(2) 互惠性。在加权有向网络中的互惠性指数为0.576, 数值不高, 旅游流呈现出一定的非对称性, 经切分后的I级无权有向网络中的互惠指数为0.357, 任意两邻接节点互惠性降低, 旅游流的非对称性表现更为明显。

(3) 模块性。加权有向的原始网络模块度为0.051, 数值相当低, 说明空间节点之间基本无组团的现象。I级无权有向网络的EI指数0.704, 也契合了上述结论。为了探索哪些节点的网络组织能力强, 使用Ucinet软件来探查凝聚子群, 一共探查出了19个凝聚子群(篇幅限制未逐一列出), 数量较多, 符合网络组团现象不明显的结论。其中, 江苏、浙江、山东等省出现在所有的凝聚子群中, 可以认定这些空间节点的网络组织能力很强。

(4) 紧密性。I级无权有向网络密度为0.333, 说明空间节点相互联系度不够。如图2所示, 旅游者流汇聚于上海(东)-广东(南)-四川(西)-河北(北)的区域范围里。

(5) 集聚性。I级无权有向网络的点出度与点入度的中心势为34.44%和68.89%, 点出度中心势处于较低水平, 后者远高于前者, 说明旅游者流入系统要比旅游者流出系统更为集聚。

(6) 层级性。按不同流量水平切分后的无权有向网络存在层级性, 经探查, 当切分值为1时, 网络在X级水平上解体。为了解空间节点的“入网”规律, 对I、III、VI、IX级水平网络进行分析。如图2所示, 省际旅游者流空间汇聚于中国东南半壁, 网络中有明显极核, 层级结构比较明显, 高流量等级网络包含了江苏、上海、浙江和广东4个

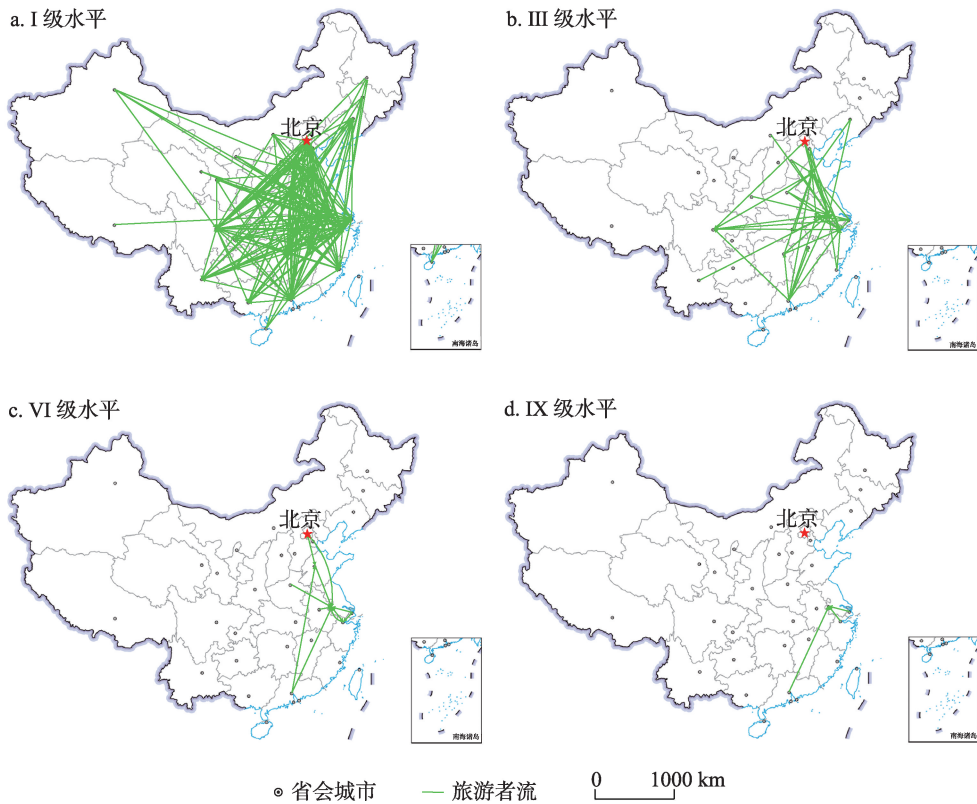


图2 2015年省际旅游流空间网络

Fig. 2 Spatial network of inter-provincial tourist flows in 2015

注：此图根据国家测绘地理信息局标准地图（审图号：GS(2019)1823号）绘制，底图无修改。

空间节点，分布在华东、华南区；中流量等级网络集中于华东、华北、华南、华中区；低流量等级网络集中于华东、东北、华北、华南、华中、西南、西北。

具体而言，网络在 IX 级水平时，只有江苏、上海、浙江和广东 4 个省接入网络。切分值较低的 VI 级水平上，华东地区的江苏、上海、浙江、安徽、山东，华南地区的广东，华北地区的北京，华中地区的河南开始接入网络。在切分值更低的 III 级水平上，华东地区的各省（市区）全部被接入网络，华南地区的广东，华北地区的北京、天津、河北、内蒙古（部分区域属东北），华中地区所有省（市区）；东北地区的辽宁；西南地区的云南、四川、陕西（部分区域属西北）被保留在网络里，其余的空间节点脱离出网络，可以看出，网络的发育大致呈现出东中西梯度编织格局。

4 结论、建议与展望

4.1 结论与讨论

中国省际旅游者流空间网络结构稳定，优势旅游者流汇聚于中国的东南半壁、流动不对称、有邻近型和跳跃型空间联系结构、层级性明显。

(1) 东南半壁的空间网络发育水平明显高于西北半壁。主要目的地和客源地均集中在中国的东南半壁，形成上海（东）-广东（南）-四川（西）-河北（北）的高水平发

育区域,折射了自然地理和经济地理条件对旅游者流空间网络格局的深刻影响,这与中国的人口和旅游接待要素汇集于这个区域有关^[25,26]。研究结论符合胡焕庸线的规律^[27],说明侧重于人口格局分析的胡焕庸线在旅游流空间网络格局中也发挥着影响力。无论是侧重于权重特征的加权网络还是侧重于连接特征的无权网络,它们的熵值都很大,内部的无序能量较多,由于降低熵值需要时间,因而旅游者流空间网络的不平衡发展格局将会在较长一段时间内存在。

(2) 省际旅游者流动的互惠度不高,低水平发育区的空间节点尤其是甘肃、青海、西藏等的优势流量均流向了高水平发育区域内的江苏、浙江和山东等省(市区),但后者的优势流量却未流向前者。与景区游客流空间网络相比^[5],本研究中的点入度中心势相对较高,即旅游目的地系统呈现出较强的空间集聚现象,旅游客源地系统则较为分散。

(3) 省际旅游空间网络的优势流量有两种空间联系结构,一是“紧密团块型”,如相邻的江苏、浙江和上海3个节点已形成相对稳定的联系;二是“飞地跨越型”,以不相邻地区江苏和广东等节点相连为代表,说明网络已有突破地理邻近影响的趋势,契合沈丽珍等提出的流动空间网络概念模型^[28]。此外,赵渺希等发现中国城市群内部流动不对称,I类城市群在东部地区如上海、宁波、杭州等城市呈现出层级结构特征^[29],本文的省际旅游者流空间网络首先产生于上海到江苏,且流动的互惠性指数较低,旅游者流动也存在不对称性,省际旅游者流空间网络 and 城市群网络的成长规律可能近似。旅游者流空间网络中有“飞地跨越型”的空间联系结构类型,与叶磊等所研究的交通信息流空间网络的空间联系已突破地理邻近性影响,在非邻接地区产生联系的结论相吻合^[30]。

(4) 省际旅游者流空间网络结构具有层级性,江苏、上海、浙江和广东是网络的4个空间节点极核,分属于华东和华南地区,随着流量水平从高到低的梯度变化,开始吸收华中、华北地区的部分省(市区),后逐步接纳东北、西南(北)的部分省(市区),最后将31个省(市区)全部接纳进来,网络的发育大致呈现出东中西的梯度编织格局。值得一提的是,四川、云南、陕西、内蒙古等省(市区)在Ⅲ级水平依然还被保留在网络中,说明部分西南(北)部空间节点有一定的网络组织能力,依托它们使网络继续向西编织成为可能。王铮认为,通过网络型空间组织,不搞地区封闭,胡焕庸线有突破的可能^[31],如此,东南和西北半壁的旅游不平衡发展状况有望进一步缩小。

4.2 政策建议

(1) 切实提高西北半壁各省(市区)的网络接入能力,促进网络的良性发展。西北半壁区域生态环境相对脆弱,资源环境承载力较低,旅游业对生态环境的压力较小,是区域发展的战略性支柱产业和富民产业。但西北半壁区域与东南半壁区域间旅游者流空间网络密度低,制约了西北半壁区域旅游业的发展,未来要注意提高西北半壁区域的网络接入能力,促进旅游流动新格局的形成。一方面,西北半壁各省(市区)应要依托西部旅游资源优势,抢抓“一带一路”、长江经济带等重大政策机遇,制订符合省(市区)情况的旅游发展战略,大力发展乡村、休闲、全域旅游,完善旅游设施和服务,提升目的地的可达性。尤其要发挥网络接入能力强的省份如四川等的作用,同时关注一些重要的桥点空间接入能力的提升,如作为丝绸之路经济带所规划的核心区^[32],新疆在低流量水平下就已经脱离出网络,其网络地位有待彰显,可以考虑对其进行重点建设。另一方面,除了加强自身建设以外,西北半壁各省(市区)还应该加强与东南半壁区域的旅游合作。同时,还应要注重协同发展,共同发布旅游信息,共同制订旅游线路等,切实提高区域旅游空间的网络密度。

(2) 进一步释放东南半壁各省(市区)的旅游需求潜力,有序引导区域旅游流动。

福建、重庆和中部不少省(市区)具有较强的经济实力,但跨省出游力却难以匹配,成为网络编织的扰动因素。优化带薪休假政策等将有助于这一问题的解决。省际旅游空间流的互惠程度低,客源地相对分散,东部旅游目的地接纳各地的高流量旅游流,目的地的空间流动指向过于明显,长此以往将会继续加剧旅游业发展不平衡的格局。借助智慧旅游手段打造旅游目的地推荐平台,精准提供旅游目的地的客流信息等策略或可引导区域旅游流的有序流动。

(3) 制订东部反哺西部的激励措施,积极推进区域旅游合作。网络依然未能打破胡焕庸线的限制。由于网络熵值较大,东部与西部不平衡的网络地位将可能长期存在,需要较强的外部力量才能改变。东部地区经济发达,已具备反哺西部的能力,但依靠自发力难以改变现有网络格局,因此需要政府制订强有力的激励措施才能实现。旅游者流空间网络中有“紧密团块式”和“飞地跨越型”两种联结模式,区域旅游合作可以突破地理邻近性的影响,处于网络边缘地位的省份也需主动出击,与中心地位的省份建立良好的关系。

4.3 研究贡献与展望

本文搜集和处理了2011—2015年的16个“出游力”指标、各省(市区)的A级景区接待量、航空里程以及各省(市区)的5A景区百度搜索指数等数据约45000个用于修正引力模型,对5个年度约5000个省际旅游者流数据进行了测算及处理。研究结果的主要贡献在于:

(1) 改良了省际旅游者流空间网络构建的关键技术。一方面,将旅游客源地“出游力”和旅游目的地的“吸引力”纳入到旅游引力模型中,这种设计更符合“旅游者流”的概念。在“出游力”指标选取方面,以百度搜索指数作为拟合的中间变量,将客源地的出游意愿、中国统计年鉴与中国旅游年鉴中涉及的指标均纳入了拟合范围,并检验了连续5年数据的拟合,最终筛选出人均消费支出、年末常住人口两个指标表示各省(市区)的“出游力”,成果具有一定的科学性与创新性。另一方面,本文还修正了旅游空间引力模型参数,就参数的大小而言,相较于目的地吸引力,客源地的出游力对省际的旅游流动的影响作用要大。距离阻尼系数在以往研究所确定的合理范围内,但小于通过纯距离衰减模型拟合得到的数值,反映了考虑两地推力和拉力等经济社会指标会降低对距离阻尼影响的客观事实。处理后得到的旅游空间引力模型,具有较强的针对性和应用价值,可为准确刻画旅游者流空间结构特征奠定基础。

(2) 完善了旅游者流空间网络结构特征评价指标体系。一方面,以往研究侧重于无权网络的“连接”特征,多用均值进行二值化切分,这种处理带有某种主观性,也较少考虑到加权网络的“权重”特点,忽略某些本应该被关注的关系。本文综合考虑网络的“有向”和“无向”、“连接”和“权重”特点,克服了上述不足;另一方面,综合考虑节点的地理位置、区域范围以及空间分布等地理特征,用12个特征评价指标来测算旅游者流空间网络的优势水平、联系水平和发育水平,完善了旅游空间网络特征提取和分析方法,对后续研究具有启示作用。

(3) 研究结论为破除中国旅游空间不平衡不充分发展提供了实证依据。研究发现,中国省际旅游者流空间网络格局依然受到胡焕庸线的限制,东中西部区域旅游网络存在梯度发育的特点,但网络有向西编织的趋势,因此,需要充分发挥四川等网络接入能力较强区域的作用,积极发展甘肃、新疆等新兴网络节点的旅游业,完善东南半壁省(市区)的反哺机制,优化旅游流空间结构,逐步减弱中国旅游空间网络发展不平衡不充分的问题。

本文的研究局限主要表现在, 由于数据搜集与处理工作量大, 又为了对应于社会经济的五年计划, 以方便于后续的比较性研究, 因而本文仅使用了跨度为5年的数据来拟合模型, 历时数据略短可能导致参数估计的稳健性受到一定程度的影响。未来可进一步在以下两个方面予以研究: 一是在空间尺度上, 可关注地市、县区等小尺度空间区域的旅游者流空间网络, 以期全面了解中国国内旅游者流空间网络特征; 二是在研究内容上, 可关注旅游者流空间网络的演化过程、机理和效应, 探查影响因素, 以便有效地对其进行干预。

参考文献(References)

- [1] 王金莹, 吴晋峰, 唐澜, 等. 亚洲入境旅游流地理分布及网络结构特征分析. 资源科学, 2013, 35(8): 1701-1709. [Wang Jinying, Wu Jinfeng, Tang Lan, et al. Distribution of Asian inbound tourist flows and structural characteristics. Resources Science, 2013, 35(8): 1701-1709.]
- [2] 唐顺铁, 郭来喜. 旅游流体系研究. 旅游学刊, 1998, 13(3): 38-41. [Tang Shuntie, Guo Laixi. Study of tourist flow system. Tourism Tribune, 1998, 13(3): 38-41.]
- [3] 刘法建, 张捷, 章锦河, 等. 中国入境旅游流网络省级旅游地角色研究. 地理研究, 2010, 29(6): 1141-1152. [Liu Fajian, Zhang Jie, Zhang Jinhe, et al. Roles and functions of provincial destinations in Chinese inbound tourist flow network. Geographical Research, 2010, 29(6): 1141-1152.]
- [4] 彭红松, 陆林, 路幸福, 等. 基于旅游客流的跨界旅游区空间网络结构优化——以泸沽湖为例. 地理科学进展, 2014, 33(3): 422-431. [Peng Hongsong, Lu Lin, Lu Xingfu, et al. Spatial network structure and optimization of cross-border tourism arebased on tourist flow: A case study in Lugu Lake. Progress in Geography, 2014, 33(3): 422-431.]
- [5] 周慧玲, 许春晓. 基于游记行程的湖南旅游流空间网络结构特征. 经济地理, 2016, 36(10): 201-206. [Zhou Huiling, Xu Chunxiao. Study on spatial network structure of Hunan tourist flow based on travel arrangement. Economic Geography, 2016, 36(10): 201-206.]
- [6] 周慧玲, 许春晓. 湖南旅游经济空间网络结构特征研究. 财经理论与实践, 2015, 36(6): 126-131. [Zhou Huiling, Xu Chunxiao. Research on structural characteristics of spatial network for Hunan's tourism economy. The Theory and Practice of Finance and Economics, 2015, 36(6): 126-131.]
- [7] 王俊, 夏杰长. 中国省域旅游经济空间网络结构及其影响因素研究——基于QAP方法的考察. 旅游学刊, 2018, 33(9): 13-25. [Wang Jun, Xia Jiechang. Study on the spatial network structure of the tourism economy in China and its influencing factors: Investigation of QAP method. Tourism Tribune, 2018, 33(9): 13-25.]
- [8] 陈彦光. 空间相互作用模型的形式、量纲和局域性问题探讨. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(2): 333-338. [Chen Yanguang. On the mathematical form, dimension, and locality of the spatial interaction model. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2009, 45(2): 333-338.]
- [9] 李山, 王铮, 钟章奇. 旅游空间相互作用的引力模型及其应用. 地理学报, 2012, 67(4): 526-544. [Li Shan, Wang Zheng, Zhong Zhangqi. Gravity model for tourism spatial interaction: Basic form, parameter estimation, and applications. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(4): 526-544.]
- [10] 钟士恩, 任黎秀, 蒋志欣, 等. 客源地出游力的社会经济现象假说——基于中国国内旅游出游力研究. 旅游学刊, 2008, 23(6): 18-23. [Zhong Shien, Ren Lixiu, Jiang Zhixin, et al. A hypothesis of socio-economic phenomenon about travel capability in tourism-generating regions: A case study on domestic travel in China. Tourism Tribune, 2008, 23(6): 18-23.]
- [11] 范红艳. 中原经济区居民国内出游力综合评价及时空演变. 经济地理, 2015, 35(1): 195-201. [Fan Hongyan. Evolution of temporal-spatial pattern of latent domestic emissive ness(LDE) in central plains economic region(CPER). Economic Geography, 2015, 35(1): 195-201.]
- [12] 黄先开, 张丽峰, 丁于思. 百度指数与旅游景区游客量的关系及预测研究——以北京故宫为例. 旅游学刊, 2013, 28(11): 93-100. [Huang Xiankai, Zhang Lifeng, Ding Yusi. Study on the predictive and relationship between tourist attractions and the Baidu Index: A case study of the Forbidden City. Tourism Tribune, 2013, 28(11): 93-100.]
- [13] 中国产业信息网. 2017年中国铁路与民航行业发展概况分析. <http://www.chyxx.com/industry/201803/616547.html>, 2018-3-7. [China Industrial Information Network. Analysis on the development of China railway and civil aviation industry in 2017. <http://www.chyxx.com/industry/201803/616547.html>, 2018-3-7.]
- [14] 田志立, 周海涛. 引力模型中系数K的变化. 公路交通科技, 1995, 12(2): 35-38. [Tian Zhili, Zhou Haitao. The varia-

- tion of coefficient K in the Gravity Model. *Journal of High way and Transportation Research and Development*, 1995, 12(2): 35-38.]
- [15] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层次划分. *地理研究*, 2008, 27(1): 1-12. [Gu Chaolin, Pang Haifeng. Study on spatial relations of Chinese urban system: Gravity model approach. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 1-12.]
- [16] 王成金. 中国交通流的衰减函数模拟及特征. *地理科学进展*, 2009, 28(5): 690-696. [Wang Chengjin. Function simulation and regularity of distance decay of inter-urban traffic flow in China. *Progress in Geography*, 2009, 28(5): 690-696.]
- [17] Fagiolo G, Reyes J, Schiavo S. On the topological properties of the world trade web: A weighted network analysis. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2007, 387(15): 3868-3873.
- [18] 刘法建, 张捷, 陈冬冬. 中国入境旅游流网络结构特征及动因研究. *地理学报*, 2010, 65(8): 1013-1024. [Liu Fajian, Zhang Jie, Chen Dongdong. The characteristics and dynamical factors of Chinese inbound tourist flow network. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(8): 1013-1024.]
- [19] 吴晋峰. 入境外国旅游流网络分布、性质和结构特征研究. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(7): 177-182. [Wu Jinfeng. Distribution of inbound foreigner tourist flows and its property and structure characters in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, 28(7): 177-182.]
- [20] 蒋小荣, 杨永春, 汪胜兰. 1985-2015年全球贸易网络格局的时空演化及对中国地缘战略的启示. *地理研究*, 2018, 37(3): 495-511. [Jiang Xiaorong, Yang Yongchun, Wang Shenglan. Spatial and temporal patterns of evolution of global trade networks during 1985-2015 and its enlightenment to China's geostrategy. *Geographical Research*, 2018, 37(3): 495-511.]
- [21] Carrol W K. Global Cities in the Global Corporate Network. *Environment & Planning A*, 2007, 39(10): 2297-2323.
- [22] 王姣娥, 景悦. 中国城市网络等级结构特征及组织模式——基于铁路和航空流的比较. *地理学报*, 2017, 72(8): 1508-1519. [Wang Jiaoe, Jing Yue. Comparison of spatial structure and organization mode of inter-city networks from the perspective of railway and air passenger flow. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(8): 1508-1519.]
- [23] 吴康, 方创琳, 赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征. *地理研究*, 2015, 34(4): 711-728. [Wu Kang, Fang Chuanglin, Zhao Miaoxi. The spatial organization and structure complexity of Chinese intercity networks. *Geographical Research*, 2015, 34(4): 711-728.]
- [24] 刘宏鲲, 周涛. 中国城市航空网络的实证研究与分析. *物理学报*, 2007, 56(1): 106-112. [Liu Hongkun, Zhou Tao. Empirical study of Chinese city airline network. *Acta Physica Sinica*, 2007, 56(1): 106-112.]
- [25] 胡宇娜, 梅林, 陈妍. 中国5A级旅游景区网站质量测度及空间特征研究. *地理科学*, 2016, 36(4): 548-554. [Hu Yuna, Mei Lin, Chen Yan. Quality assessment and spatial feature of portal websites in China's 5A rated tourism attraction. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(4): 548-554.]
- [26] 黄远水, 陈钢华, 伍弦. 福建省旅游景区空间结构研究——基于国家3A级以上旅游景区的统计分析. *经济地理*, 2010, 30(7): 1195-1199. [Huang Yuanshui, Chen Ganghua, Wu Xian. Spatial structure of tourist attractions in Fujian province——Statistic analysis based on the national 3A level- above tourist attractions. *Economic Geography*, 2010, 30(7): 1195-1199.]
- [27] 胡焕庸. 中国人口之分布——附统计表与密度图. *地理学报*, 1935, 2(2): 33-74. [Hu Huangyong. Distribution of China's population: With statistical charts and density map. *Acta Geographica Sinica*, 1935, 2(2): 33-74.]
- [28] 沈丽珍, 顾朝林. 区域流动空间整合与全球城市网络构建. *地理科学*, 2009, 29(6): 787-793. [Shen Lizhen, Gu Chaoli. Integration of regional space of flows and construction of global urban network. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(6): 787-793.]
- [29] 赵渺希, 黎智枫, 钟焯, 等. 中国城市群多中心网络的拓扑结构. *地理科学进展*, 2016, 35(3): 376-388. [Zhao Miaoxi, Li Zhifeng, Zhong Ye, et al. Polycentric network topology of urban agglomerations in China. *Progress in Geography*, 2016, 35(3): 376-388.]
- [30] 叶磊, 段学军, 欧向军. 基于交通信息流的江苏省流空间网络结构研究. *地理科学*, 2015, 35(10): 1230-1237. [Ye Lei, Duan Xuejun, Ou Xiangjun. The urban network structure of Jiangsu province based on the traffic and information flow. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(10): 1230-1237.]
- [31] 王铮. 突破“胡焕庸线”的两个关键. *文汇报*, 2014-12-2(2). [Wang Zheng. The two keys to break the “Hu Huanyong Line”. *Wen Hui Po*: 2014-12-2(2).]
- [32] 刘望保, 石恩名. 基于ICT的中国城市间人口日常流动空间格局——以百度迁徙为例. *地理学报*, 2016, 71(10): 1667-1679. [Liu Wangbao, Shi Enming. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: A case study of "Baidu Migration". *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1667-1679.]

Research on structure characteristics of the inter-provincial tourist flow spatial network in China based on the modified gravity model

ZHOU Huiling^{1,2}, WANG Fuyuan^{3,4}

- (1. College of Tourism & Landscape Architecture, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. Institute of Guangxi Tourism Industry, Guilin 541004, Guangxi, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 4. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The characteristics of the spatial network structure of tourist flow in a high-speed transportation era are the fundamental issue that needs to be explored in the spatial organization and management of the national tourist flow. Through modification of relative parameters of the gravity model close to reality to calculate the inter-provincial tourist flow, and with application of the complex network analysis method to measure the superiority, connectivity and development level of the inter-provincial tourist flow spatial network structure in China, the research reveals the following characteristics of the spatial network structure: the structure of the inter-provincial tourist flow spatial network in China is stable, with tourist flows converging in Southeast China, asymmetric flow, coexistent spatial connectivity structures of proximity type and skipping type, and significant hierarchical structure. In practical terms: (1) Seen from the superiority of the inter-provincial tourist flow spatial network in China, main tourist destinations and main target tourism markets are overlapping, the tourism flow largely converges within the region along Shanghai (East)-Guangdong (South)-Sichuan (West)-Hebei (North); (2) Seen from the connectivity level of the inter-provincial tourist flow spatial network in China, three eastern provinces of Jiangsu, Zhejiang and Shandong are main converging places with the superior tourism flow from various regions, among which Jiangsu and Zhejiang even have created a mutually beneficial relationship; while Tibet is at the bottom of the list, especially the flow from Hainan; (3) Seen from the development level of the inter-provincial tourist flow spatial network in China, the entropy is fairly high, and the structure is stable; the tourism flow presents asymmetry at a certain level, and the spatial converge of superior tourism flow is obvious; and there is basically no group-organizing phenomenon within the spatial network; the inter-provincial tourist flow spatial network China has two types of structure, namely “close mass connection structure” and the “enclave spanning connection structure”. The former is represented by Jiangsu, Zhejiang and Shanghai, and the latter by Jiangsu and Guangdong; the inter-provincial tourist flow spatial network in China is of hierarchical nature, roughly presenting a pattern of eastern-central-western gradient weaving; and the status of unbalanced development will remain unchanged for a relatively long time.

Keywords: gravity model; tourism spatial structure; inter-provincial tourism; tourist flow spatial network; structure characteristics