

# 滇西北旅游流网络结构韧性特征研究

## ——基于 Python 中断情景模拟视角

吕宛青, 刘 鑫

(云南大学 工商管理与旅游管理学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 基于韧性视角的区域旅游流网络结构研究, 是提升区域旅游适应性能力的有效措施, 中断模拟在网络结构韧性研究中的运用也逐渐受到重视。文章基于网络爬虫技术抓取 2016—2022 年滇西北区域内游记数据, 进一步构建旅游流网络, 并科学选取韧性评价指标, 借助 Python 软件实现网络中断模拟操作, 评估滇西北旅游流网络结构韧性。结果表明: 滇西北旅游流网络存在若干小型子群, 在整体网络中扮演重要的连通、传输角色; 滇西北旅游流网络结构韧性各特征值之间均存在强正相关性, 某一节点消失时, 网络结构韧性指标变化的“叠加效应”逐渐凸显; 滇西北旅游流网络中对网络结构韧性影响较大的节点主要是营销宣传到位且规划建设完善的旅游景区。

**关键词:** 旅游流; 网络; 结构韧性; 滇西北; 情景模拟

**中图分类号:** F59 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5841(2024)02-0001-13

随着区域经济的不断发展, 旅游流已经成为推动经济高质量发展的强大支柱<sup>[1]</sup>。旅游业作为受外部冲击影响最为广泛和典型的行业, 在实践和理论研究中有必要在新的区域韧性框架下进行深入的多维探索<sup>[2]</sup>。在区域关系趋向于网络化发展以及外界自然灾害、卫生安全事件等危机事件的冲击下, 网络结构韧性成为衡量区域韧性的重要手段<sup>[3]</sup>。探讨旅游业如何对抗脆弱性、增强韧性, 对于赋能传统旅游业态新升级、推进旅游业恢复和转型, 提升旅游经济系统适应性能力和持续健康发展能力, 促进我国旅游产业高质量发展, 具有重要意义<sup>[4]</sup>。因此, 对区域旅游流网络结构韧性进行评估分析, 有助于提升区域旅游韧性, 进一步促进相关旅游部门科学制定区域旅游政策。

**基金项目:** 教育部人文社会科学研究规划基金项目“民族地区阻断规模性返贫长效机制的构建研究”(22YJA630060); 云南省教育厅科学研究基金项目“滇西北旅游流网络结构韧性特征及优化研究——基于 Python 中断情景模拟视角”(2023Y0361)。

**作者简介:** 吕宛青(1962—), 女, 云南昆明人, 教授, 博士生导师, 研究方向为民族旅游、旅游经济; 刘鑫(1998—), 女, 河南南阳人, 2021 级硕士研究生, 研究方向为旅游经济。

基于此,本文以云南省旅游产业的热力发展区——滇西北旅游区为案例地,在 Python 中断情景模拟视角下对滇西北旅游流网络结构韧性进行评价,为区域旅游流网络结构韧性提升提供实证参考。

## 一、文献回顾

韧性原意为跳回(原来的状态)<sup>[5]2</sup>,是指一个系统遭受外部冲击后维持状态并恢复到原有水平的能力<sup>[6]</sup>。美国生态学家霍林(Holling C S)首次将韧性的概念与生态学相结合<sup>[7]</sup>。学者对韧性的理论研究经历了工程韧性、生态韧性、演化韧性三个阶段。作为研究旅游流网络结构韧性的重要理论基础,演化韧性发展不断深入<sup>[8]2</sup>。在研究主题层面,国内外学者多从旅游流的测度与预测<sup>[9]</sup>、旅游流的时空格局与效应<sup>[10-11]</sup>等角度进行研究,更有国内学者围绕旅游流的流量与流质<sup>[12]</sup>以及旅游流空间格局带来的经济效应<sup>[13]</sup>对旅游流进行深度研究;在研究对象层面,学者对旅游流的研究从国内外和出境旅游流转为对区域内旅游流的研究;在研究方法层面,学者多基于空间统计、网络分析<sup>[14-15]</sup>等方法对旅游流进行研究分析。

作为城市韧性研究的重要部分,网络结构韧性逐渐受到学者重视。结构与功能是系统普遍存在的两种既相互区别又相互联系的基本属性,结构韧性主要指代网络拓扑结构所导致的韧性问题<sup>[5]2</sup>,学者多通过对网络结构的定量测度,即从层级性和匹配性等方面实现对网络结构的韧性评价<sup>[16],[17]2</sup>。学术界关于旅游流网络结构的研究多集中于社会网络理论背景下的结构特征及演化比较<sup>[18]</sup>、影响因素<sup>[19]</sup>和结构优化<sup>[20]</sup>等方面。在旅游流网络结构韧性研究层面,多数学者聚焦城市群或单个城市,借鉴前人学者对城市网络韧性、区域综合系统韧性研究科学选取评价指标,实现对旅游流网络结构韧性的评价分析,如方叶林<sup>[8]2</sup>等人借鉴城市网络结构韧性评价指标,从层级性、匹配性、传输性以及集聚性四方面开展中国东部五大城市群旅游流网络结构韧性测度评价;王章郡<sup>[21]</sup>等人运用韧性代理法和指标体系法综合构建旅游流网络结构韧性动态和静态评价指标,分析新冠疫情冲击下重庆市旅游流网络结构韧性。

与此同时,网络中断在网络结构韧性研究中的运用逐渐受到重视,并成为认知网络结构韧性的重要途径。有实证表明,频繁发生的自然灾害、卫生安全事件冲击以及人为灾害冲击极易对网络造成中断影响<sup>[22]</sup>。在学术研究中,学者们多借助 Python 或 MATLAB 等软件,依次对网络中的各个节点进行仿真攻击,对区域网络结构韧性进行特征分析,并进一步探讨网络结构韧性指标特征值的相关性分析以及网络中的关键性节点与脆弱性节点识别等内容<sup>[23]2,[24]2,[25]</sup>。

通过梳理以上文献得出:第一,现有文献多基于社会网络理论对旅游流

网络结构进行研究, 基于复杂网络理论的研究仍处于发展阶段; 第二, 基于中断操作情境下的网络结构韧性的研究对象多是交通、信息和综合网络等, 对旅游流网络结构韧性的中断研究尚需深入; 第三, 现有的网络结构韧性研究在对网络进行中断情景模拟时仅作为逐个节点攻击操作, 但网络中断的原因种类较多, 因此有必要对攻击策略作进一步分类。因此, 本文基于复杂网络理论, 借助 Python 软件对滇西北旅游流网络进行中断模拟操作, 并在随机攻击的基础上, 增加加权重度、H-index 以及 PageRank 算法三种蓄意攻击策略, 进一步完善滇西北旅游流网络的中断模拟操作。

二、研究设计

(一) 案例地概况

滇西北旅游区位于云南省西北部, 地域范围涵盖大理白族自治州、丽江市、迪庆藏族自治州和怒江傈僳族自治州, 是云南省旅游资源、区域人口以及产业聚集地, 以滇西北为案例地, 开展旅游流网络结构韧性评估研究具有典型性和代表性。

如表 1 所示, 自 2016 年起, 虽然滇西北旅游人数和云南省旅游人数的增减态势较为一致, 但滇西北国内旅游客流量占云南省总旅游客流量的比重逐年下降。可见, 滇西北区域内各州市面对外部冲击的抵抗力以及恢复发展问题各异, 提高区域旅游韧性不仅是理论研究之需, 也成为现实之需。

表 1 2016—2021 年滇西北国内旅游客流量比重表

年份	滇西北旅游 人数/万人次	云南省旅游 人数/万人次	滇西北旅游人数 占全省比重/%
2016	9 360. 29	42 519. 33	22. 01
2017	11 025. 15	56 672. 12	19. 45
2018	11 852. 29	68 141. 72	17. 39
2019	13 072. 07	79 977. 77	16. 34
2020	7 631. 73	52 887. 07	14. 43
2021	8 412. 10	64 893. 56	12. 96

注: 数据来自云南省 2017—2022 年统计年鉴。

(二) 数据来源

本文选取携程旅行网和马蜂窝作为采集网站, 利用爬虫软件对滇西北区域内游记数据进行采集, 采集数据的时间由 2016 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日, 主要获取游记的出游路线等信息, 以四州市区域内游客游记形成完整旅游轨迹中的 A 级旅游景区为节点, 分析各个节点之间的关系数据, 以此构建旅游流网络。

### (三) 研究方法

#### 1. 网络结构韧性评价指标选取

网络结构成为表征区域网络格局特征和评估区域韧性能力的重要途径<sup>[26]</sup>。本文综合前人的相关研究,选取网络多样、网络传输性以及网络连通性作为网络结构韧性评价指标,并分别选取平均独立路径数量、网络全局效率和最大联通子图相对大小作为韧性测度指标。

##### (1) 网络多样性

衡量多样性的方法是计算网络中与常用路径独立的其他支路的数量。平均独立路径数量数值与网络多样性指标成正比<sup>[23]4</sup>,公式为:

$$V = \frac{\sum_{i \neq j \in G} n_{ij}}{N(N-1)} \quad (1)$$

式(1)中:  $V$  为平均独立路径数量;  $n_{ij}$  为节点  $i$  与节点  $j$  之间的独立路径数量;  $N$  是网络中的节点数量。

##### (2) 网络传输性

网络全局效率是直接基于网络所实现的传输功能。全局效率与网络连通程度成正比<sup>[2]4</sup>。具体公式为:

$$E(G) = \frac{\sum_{i \neq j \in G} \frac{1}{d_{ij}}}{N(N-1)} \quad (2)$$

式(2)中:  $E(G)$  表示网络全局效率,  $0 \leq E(G) \leq 1$ ;  $d_{ij}$  是网络中节点  $i$  与节点  $j$  之间的最短路径;  $N$  是网络中的节点数量。

##### (3) 网络连通性

最大连通子图 (largest connected cluster, LCC) 是指网络受到攻击之后,剩余的最大连通节点群的节点数量<sup>[27]4</sup>,通过分析网络遭受攻击前后最大连通子图相对大小的变化,能够直观反映网络受到破坏的程度<sup>[24]4</sup>。本文选取最大连通子图相对大小测度旅游流网络遭受攻击后其连通性的变化特征。公式如下:

$$G = \frac{P^*}{P} \quad (3)$$

式(3)中:  $G$  表示最大连通子图相对大小;  $P^*$  和  $P$  分别表示最大连通子图和初始网络大小。

#### 2. 重要度排名

##### (1) 加权重

加权重源于社会网络分析研究中对网络的特征分析。度是复杂网络最基本的统计指标,加权重指与节点的边权重的总和,表征网络中节点的重要性程度,也就是对网络影响程度<sup>[28]</sup>。计算公式如下:

$$S_i = \sum_{j \in n} W_{ij} \quad (4)$$

式(4)中:  $a_{ij}$ 表示与节点  $i$  相连的节点  $j$  的数目;  $n$  表示网络中节点总数;  $k_i$  表示节点  $i$  的度;  $W_{ij}$  表示节点  $i$  与节点  $j$  之间的连接边权重;  $S_i$  表示节点  $i$  的加权重。

## (2) H-index

$H$  指数是学术界中普遍用于评估学者学术成果重要性的指标<sup>[29]</sup>, 吕琳媛等人将  $H$  指数推广至复杂网络研究中, 并改进提出  $H$  指数中心性, 公式如下:

$$H_{index}(i) = H(d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jn}) \quad (5)$$

式(5)中:  $n$  表示节点  $i$  的度;  $(j1, j2, \dots, jn)$  表示节点  $i$  的邻居节点集;  $(d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jn})$  表示邻居节点的度集; 函数  $H(d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jn})$  的最终返回值为  $y$ , 并使得邻居节点的度集中有  $y$  个值大于等于  $y$ 。

## (3) PageRank 算法

在运用 PageRank 算法中, 通常将网页间的链接关系视为有向网络, 并根据网页间的联系计算网络重要性<sup>[30]</sup>。公式如下:

$$PageRank_{(i)} = (1 - d) + d \sum_{j \in B(i)} \frac{PageRank_{(j)}}{N_j} \quad (6)$$

式(6)中:  $PageRank_{(i)}$  表示网页  $i$  的  $PageRank$  值;  $d$  为阻尼系数, 在复杂网络中表示事件经过一个节点后继续流向其他节点的概率, 通常情况下, 阻尼系数的取值为 0.85;  $B(i)$  表示链接入网页  $i$  的集合, 在复杂网络中对应节点  $i$  的入度;  $PageRank_{(j)}$  为指向网页  $i$  的网页  $j$  的  $PageRank$  值;  $N_j$  表示网页  $j$  的导出链接数, 即复杂网络中节点  $j$  的出度。

## 3. 相关性分析

为剖析网络结构韧性特征值之间的相关性, 借助 SPSS 软件中的相关分析模块, 分别进行四种中断模拟情境下网络多样性下降值、网络传输性下降值和网络连通性下降值任意两者之间的 Pearson 相关性分析。

## 三、结果分析

### (一) 旅游目的地负面事件冲击下的滇西北旅游流网络结构分析

参照胡家镜等人的相关研究, 旅游目的地负面事件是指旅游目的地产品(服务)供给主体因功能性产品缺陷、管理能力欠缺、违背社会规范和道德准则等因素, 对旅游者利益、旅游目的地形象或旅游品牌声誉造成伤害的危机事件<sup>[31]</sup>。近年来, “游客参与低价游被导游要挟购物”等负面事件层出不穷, 这对滇西北地区旅游者的旅游决策、线路规划以及旅游目的地形象感知都有较大影响, 同时滇西北旅游资源的关注度和利用率等均会随之改变, 旅游流网络结构随之受到影响。

## (二) 中断模拟下滇西北旅游流网络结构韧性特征评价

网络的攻击策略分为随机攻击和蓄意攻击,随机攻击对应的是自然灾害等攻击方式,在中断模拟情景中指对网络节点的无目标性攻击;蓄意攻击则是对关键节点进行有预谋的攻击,在中断模拟情景下指对网络节点按照重要性排序,有针对性地实施攻击策略<sup>[27]6</sup>。

本文分别选取加权重、H-index 以及 PageRank 算法对滇西北旅游流网络中的节点按照重要性由高到低排序,以这些节点作为攻击对象,采用随机攻击方式和加权重、H-index 以及 PageRank 三种蓄意攻击方式,每次模拟一个节点失效下的网络中断情景,依次完成对网络中各个节点的仿真攻击,并将前提条件设置为:当某节点遭受一次攻击后会立即被删除,同时与此节点直接连接的其他路径也会失效<sup>[17]6</sup>。

本文使用 Python 软件模拟和评估中断情景下的滇西北旅游流网络多样性、传输性以及连通性变化,分别计算其平均独立路径数量、网络全局效率和最大联通子图相对大小数值,进而对中断模拟情境下滇西北旅游流网络结构韧性进行评价。

### 1. 网络多样性评价

滇西北旅游流网络平均独立路径数量为 8.89。由图 1 可知,与随机攻击相比,三种蓄意攻击下旅游流网络多样性衰退程度更加明显。随机攻击情境下,系统攻击次数分别为 5 次、11 次、28 次及 56 次时,平均独立路径数量分别下降至初始数量的 76.8%、51.8%、12.1% 和 0。蓄意攻击情境下,通过加权重攻击的平均

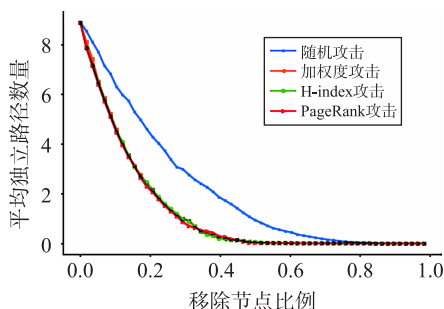


图1 滇西北旅游流网络多样性变化特征

独立路径数量在网络攻击 48 次时,已降为 0,蓄意攻击次数分别为 5 次、12 次以及 28 次时,平均独立路径数量降至初始数量的 76.3%、50.8% 和 6.6%;通过 H-index 攻击的平均独立路径数量在网络攻击第 49 次时已下降为 0,蓄意攻击次数分别为 3 次、6 次以及 28 次时,平均独立路径数量降至初始数量的 72.5%、50.6% 和 0.6%;通过 PageRank 攻击的平均独立路径数量在网络攻击第 49 次时已下降为 0,蓄意攻击次数分别为 3 次、6 次以及 28 次时,平均独立路径数量降至初始数量的 71.9%、50.3% 和 0.3%。总体上看,加权重、H-index 以及 PageRank 攻击情境下的网络平均独立路径数量变化趋势比较一致,在移除节点比例为 0.8 之前,比随机攻击下网络平均独立路径数量数值下降程度更为明显。

2. 网络传输性评价

将节点按照重要性顺序排列后依次攻击，计算每次网络攻击后的网络全局效率数值并绘制曲线图，由图 2 可知。随机攻击下，网络全局效率缓慢下降，三种蓄意攻击下，曲线斜率出现大幅变动，且三条曲线下下降趋势相似，以加权重攻击为例：在移除节点数为 6，即移除网络中前 10% 的节点后，网络全局效率已下降至初始数值的 66.8%，移除节点数为 12，即移除网络中前 20% 的节点后，网络传输性指标下降至初始数值的 43.6%；移除节点数为当移除节点比例为 40% 时，全局效率数值仅占初始数值的 6.5%，曲线开始趋于平稳。这表明三种蓄意攻击方式下，移除重要性排名前 40% 的节点前，网络传输性下降斜率绝对值较大，移除节点比例自 40% 开始提升后，全局效率数值曲线趋于平缓，下降速度降低。

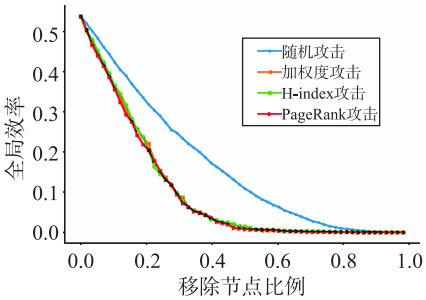


图 2 滇西北旅游流网络传输性变化特征

3. 网络连通性评价

由图 3 可知，随机攻击情境下，最大连通子图相对大小下降趋势趋于平缓，曲线斜率绝对值趋近于 1；三种蓄意攻击方式情境下，网络连通性指标下降趋势各不相同：加权重攻击下，移除节点个数为 22 时，最大连通子图相对大小由 0.491 降至 0.333，曲线开始呈现断崖式、阶梯式下降现象；H-index 攻击下，在移除节点个数为 21 时，数值由 0.526 下降至 0.368，最大连通子图相对大小曲线呈现断崖式下降趋势；PageRank 攻击下，移除第 25 个节点后，最大连通子图相对大小由 0.456 降至 0.351，随后，曲线开始呈现明显阶梯式下降趋势。

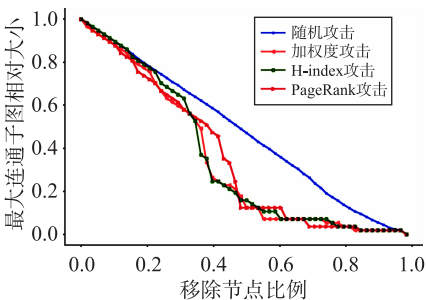


图 3 滇西北旅游流网络连通性变化特征

（三）韧性特征值相关性分析

通过 SPSS 的相关分析功能分析不同攻击方式下，网络结构韧性指标下降值之间的关系。

如表 2 所示，随机攻击后，网络多样性、网络传输性与网络连通性之间的皮尔逊相关系数分别为 0.990、0.913 和 0.959，显著性概率值  $P = 0.000 < 0.01$ ，表示在 0.01 的显著性水平上（99.0% 的置信度）极显著。且三个变量中，两两变量存在极强正相关性，如表 3、表 4、表 5 所示，三种蓄意攻击方式下，网络多样性、网络传输性与网络连通性之间的皮尔逊相关系数均在 0.8 以上，三个变量中两两变量存在极强正相关性。

表 2 随机攻击后网络多样性、传输性及连通性的相关性分析

		网络多样性	网络传输性	网络连通性
网络多样性	皮尔逊相关性	1	0.990 **	0.913 **
	Sig. (双尾)		0.000	0.000
	N	57	57	57
网络传输性	皮尔逊相关性	0.990 **	1	0.959 **
	Sig. (双尾)	0.000		0.000
	N	57	57	57
网络连通性	皮尔逊相关性	0.913 **	0.959 **	1
	Sig. (双尾)	0.000	0.000	
	N	57	57	57

注：\*\*表示在 0.01 级别（双尾），相关性显著。

表 3 加权重攻击后网络多样性、传输性及连通性的相关性分析

		网络多样性	网络传输性	网络连通性
网络多样性	皮尔逊相关性	1	0.986 **	0.859 **
	Sig. (双尾)		0.000	0.000
	N	57	5	5
网络传输性	皮尔逊相关性	0.986 **	1	0.919 **
	Sig. (双尾)	0.000		0.000
	N	57	57	57
网络连通性	皮尔逊相关性	0.859 **	0.919 **	1
	Sig. (双尾)	0.000	0.000	
	N	57	57	57

注：\*\*表示在 0.01 级别（双尾），相关性显著。



表4 H-index 攻击后网络多样性、传输性及连通性的相关性分析

		网络多样性	网络传输性	网络连通性
网络多样性	皮尔逊相关性	1	0.989 **	0.862 **
	Sig. (双尾)		0.000	0.000
	N	57	57	57
网络传输性	皮尔逊相关性	0.989 **	1	0.913 **
	Sig. (双尾)	0.000		0.000
	N	57	57	57
网络连通性	皮尔逊相关性	0.862 **	0.913 **	1
	Sig. (双尾)	0.000	0.000	
	N	57	57	57

注:\*\*表示在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著。

表5 PageRank 攻击后网络多样性、传输性及连通性的相关性分析

		网络多样性	网络传输性	网络连通性
网络多样性	皮尔逊相关性	1	0.988 **	0.839 **
	Sig. (双尾)		0.000	0.000
	个案数	57	57	57
网络传输性	皮尔逊相关性	0.988 **	1	0.893 **
	Sig. (双尾)	0.000		0.000
	个案数	57	57	57
网络连通性	皮尔逊相关性	0.839 **	0.893 **	1
	Sig. (双尾)	0.000	0.000	
	个案数	57	57	57

注:\*\*表示在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著。

由上述数据分析可知, 各指标特征值在随机攻击和蓄意攻击情境下均存在极强正相关性, 这表明: 滇西北旅游流网络中某一节点中断消失时, 节点间的平均独立路径数量、网络效率以及最大连通子图相对大小通常会同步受到影响, 网络中剩余节点间的联系逐渐减少, 对应的调整旅游线路的备用路径逐渐减少, “叠加效应” 逐渐产生, 从而暴露旅游流网络结构的脆弱性。

(四) 主导性和脆弱性节点的识别与分析

对于滇西北旅游流网络主导性节点和脆弱性节点的定义和选取方式, 参考彭翀等人的研究, 筛选出同时对网络多样性、传输性以及网络连通性产生高度影响的城市节点, 将这类与韧性有关的关键节点称为主导性节点, 将韧性水平随其他节点失效产生较大幅度衰减的节点定义为脆弱性节点<sup>[17]9</sup>。

运用 ArcGIS 软件中的自然断点法对滇西北旅游流网络节点进行分类,

三种攻击方式下网络多样性、传输性和连通性节点分布被划分为六个层级，将网络多样性、传输性和连通性下降值同处于第一、第二及第三层级的节点视为主导性节点，将网络多样性、传输性和连通性下降值同处于第四、第五及第六层级的节点视为脆弱性节点，共得到丽江古城景区等 6 个主导性节点以及丽江东巴谷景区等 32 个脆弱性节点（见表 6）。主导性节点是滇西北旅游流流质与流量较高的地区，发挥着重要的人流、物流与信息流等重要集散作用。脆弱性节点多为知名度较低且建设发展不充分的旅游景区，且空间分布较为分散。

表 6 滇西北旅游流网络主导性节点与脆弱性节点分布统计

	丽江市	大理州	迪庆州	怒江州
主导性节点	丽江古城景区 丽江玉龙雪山景区 丽江束河古镇景区	大理古城景区 双廊艺术小镇文化旅游区	香格里拉独克宗古城	
脆弱性节点	丽江东巴谷景区 丽江东巴万神园景区 丽江观音峡景区 丽江老君山国家公园黎明景区 丽江玉峰寺景区 丽江玉水寨景区 丽江玉柱擎天景区 玉龙县东巴王国景区 丽江三股水景区 丽江黑龙潭景区	大理海洋世界景区 大理南涧无量山樱花谷景区 大理天龙八部影视城景区 大理云龙县诺邓景区 大理州博物馆景区 巍山县东莲花景区 大理张家花园景区 大理巍山古城—巍宝山旅游区 大理洱源地热国旅游景区 大理宾川鸡足山景区 弥渡小河淌水天生桥景区	迪庆州博物馆景区 迪庆州和谐塔中塔景区 红军长征博物馆景区 塔城滇金丝猴国家公园景区 香巴拉时轮坛城文化博览中心景区 香格里拉高山植物园景区 香格里拉白水台景区	贡山贡当神山景区 泸水百花岭傈僳音乐小镇 小沙坝服务区 贡山独龙江景区

四、结论与启示

（一）研究结论

本文在随机攻击与三种蓄意攻击环境下对滇西北旅游流网络结构韧性进行测度，主要结论为：

随机攻击后，滇西北旅游流网络结构韧性指标下降较为均衡；相比之下，三种蓄意攻击后的韧性指标变化值各有不同，尤其是最大连通子图相对

大小的下降曲线在中后期呈现阶梯式、断崖式下降趋势,表明滇西北旅游流网络存在若干小型子群,在整体网络中扮演着不可或缺的角色。

滇西北旅游流网络结构韧性各特征值之间均存在强正相关性,当某一节点受影响而中断消失时,网络结构韧性各项特征值会同步受到影响,节点间的联系逐渐减少,调整旅游线路的备用路径减少,节点间联系交流的成本增加,“叠加效应”逐渐产生,从而暴露旅游流网络结构的脆弱性。

滇西北旅游流网络主导性节点位属丽江市、大理州和迪庆州,凸显了滇西北区域内的旅游资源规划与发展的不均衡、不充分发展问题,对网络结构韧性影响较大的节点主要是营销宣传到位且规划建设完善的旅游景区。

## (二) 研究启示

提升滇西北旅游流网络多样性可因地制宜发展以六个主导性节点为主的旅游景区,以旅游景区为中心,适时规划分布合理的旅游线路,利用与发展景区周围各类旅游资源,形成资源开发、影响互惠的良性循环。同时,滇西北地区乃至云南省应着力构建危机预警机制,重视旅游目的地负面事件的作用机理;负面事件爆发后,应及时控制事件发展态势,及时总结负面事件处理经验,防患于未然。

## [参考文献]

- [1] 柯景怡, 周子涵, 张高军. 传统节点与新型节点: 深圳旅游流网络结构 [J]. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 2023, 51 (2): 47-58.
- [2] 刘培学, 朱知沛, 曾湛荆, 等. 后疫情时代下的旅游区域韧性研究展望 [J]. 现代城市研究, 2021, 36 (5): 19-26.
- [3] 叶欣梁, 何一, 孙瑞红. 脆弱与反脆弱: 旅游业韧性研究进展与述评 [J]. 旅游学刊, 2023, 38 (10): 31-48.
- [4] 魏冶, 修春亮. 城市网络韧性的概念与分析框架探析 [J]. 地理科学进展, 2020, 39 (3): 488-502.
- [5] 孙久文, 孙翔宇. 区域经济韧性研究进展和在中国应用的探索 [J]. 经济地理, 2017, 37 (10): 1-9.
- [6] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 1-23.
- [7] 方叶林, 苏雪晴, 黄震方, 等. 中国东部沿海五大城市群旅游流网络的结构特征及其韧性评估: 基于演化韧性的视角 [J]. 经济地理, 2022, 42 (2): 203-211.
- [8] WANG L, WU B, ZHU Q, et al. Forecasting monthly tourism demand using enhanced back-propagation neural network [J]. Neural Processing Letters, 2020, 52 (3): 2607-2636.
- [9] WANG Y, CHEN H, WU X. Spatial structure characteristics of tourist attraction cooperation networks in the Yangtze River Delta based on tourism flow [J]. Sustainability, 2021, 13 (21): 12036.
- [10] 查晓莉, 徐雨晨, 陆林, 等. 上海迪士尼国内旅游流地理分布与流动特征 [J]. 旅游学刊, 2019, 34 (6): 58-73.

- [11] 康莉, 李振亭, 李文瑞. 中国省域入境旅游市场结构的流量—流质 (Q-Q) 模型分析 [J]. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 2020, 48 (4): 20-27.
- [12] 马丽君, 龙云. 基于社会网络分析法的中国省际入境旅游经济增长空间关联性 [J]. 地理科学, 2017, 37 (11): 1705-1711.
- [13] MOU N, ZHENG Y, MAKKONEN T, et al. Tourists' digital footprint: the spatial patterns of tourist flows in Qingdao, China [J]. Tourism Management, 2020, 81: 104151.
- [14] 王金伟, 王国权, 刘乙, 等. 井冈山红色旅游流时空分布及网络结构特征 [J]. 自然资源学报, 2021, 36 (7): 1777-1791.
- [15] 李博, 曹盖. 基于涉海 A 股上市公司的中国沿海地区海洋经济网络结构韧性演化研究 [J]. 地理科学进展, 2022, 41 (6): 945-955.
- [16] 彭翀, 陈思宇, 王宝强. 中断模拟下城市群网络结构韧性研究: 以长江中游城市群客运网络为例 [J]. 经济地理, 2019, 39 (8): 68-76.
- [17] 张清源, 李磊, 陆林. 旅游体验视角下旅游流网络结构比较研究: 以黄山市为例 [J]. 世界地理研究, 2020, 29 (6): 1213-1225.
- [18] 李倩, 曲凌雁. 城市旅游流网络结构特征及其影响因素: 以上海市为例 [J]. 世界地理研究, 2021, 30 (1): 114-124.
- [19] 邓良凯, 黄勇, 刘雪丽, 等. 旅游流视角下川西北高原旅游地空间结构特征及规划优化 [J]. 旅游科学, 2019, 33 (5): 31-44.
- [20] 王章郡, 周小曼, 方忠权. 基于新冠疫情冲击的城市旅游流网络结构韧性评估: 以重庆市中心城区为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36 (11): 148-157.
- [21] ZHAO K, KUMAR A, HARRISON T P, et al. Analyzing the resilience of complex supply network topologies against random and targeted disruptions [J]. IEEE Systems Journal, 2011, 5 (1): 28-39.
- [22] 魏石梅, 潘竞虎. 中国地级及以上城市网络结构韧性测度 [J]. 地理学报, 2021, 76 (6): 1394-1407.
- [23] 何瑶, 杨永春, 郭建科. 中断模拟下的中国沿海集装箱港口航运网络脆弱性 [J]. 资源科学, 2022, 44 (2): 414-424.
- [24] 黄浩, 王俊超, 王成芳, 等. 基于复杂网络的社区供应保障韧性评估方法 [J]. 地球信息科学学报, 2023, 25 (12): 2303-2314.
- [25] 钟业喜, 吴思雨, 吴青青. 多要素网络结构韧性分析: 以长江中游城市群为例 [J]. 江西师范大学学报 (哲学社会科学版), 2022, 55 (5): 99-109.
- [26] 孔建国, 卢靖宇, 李煜琨, 等. 管制空域复杂网络模型构建及抗毁性分析 [J]. 科学与技术工程, 2023, 23 (9): 3973-3981.
- [27] 蒋金亮, 鲁嘉颐, 戈大专, 等. 长三角地区城市经济网络的时空演化特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32 (1): 24-39.
- [28] 卢鹏丽, 许星舟. 基于精准 k 核的复杂网络节点重要性评估方法 [J]. 兰州理工大学学报, 2022, 48 (4): 90-98.
- [29] LÜ L, ZHOU T, ZHANG Q M, et al. The H-index of a network node and its relation to degree and coreness [J]. Nature Communications, 2016, 7: 10168.
- [30] 高涛, 周彪, 孔会, 等. 基于 PageRank 的业务过程活动重要性度量 [J]. 计算机技术与发展, 2022, 32 (8): 210-215.

- [31] 胡家镜, 万秋, 刘悦, 等. 负面事件对旅游目的地影响及应对策略: 基于动态视角的实验研究 [J]. 旅游学刊, 2020, 35 (5): 108 – 123.

## **Research on Structural Resilience Characteristics of Tourism Flow Network in Northwest Yunnan: Based on the Simulation Perspective of Python Interruption Scenario**

LYU Wanqing, LIU Xin

(School of Business Administration and Tourism Management, Yunnan University,  
Kunming 650500, Yunnan, China)

**Abstract:** The study of regional tourism flow network structure based on the perspective of resilience is an effective measure to enhance the adaptive capacity of regional tourism, and the use of interruption simulation in the study of network structure resilience has been gradually emphasized. The article is based on the network crawler technology to capture the travelogue data in the region of Northwest Yunnan from 2016 to 2022, to further construct the tourism flow network, scientifically select the toughness evaluation indexes, and realize the network interruption simulation operation with the help of Python software to assess the toughness of the network structure of tourism flow in Northwest Yunnan. The results show that: there are several small subgroups in the Northwest Yunnan tourism flow network, which play an important role in the overall network of connectivity and transmission; there is a strong positive correlation between the eigenvalues of the structural toughness of the Northwest Yunnan tourism flow network, and when a node is disappeared, the “superposition effect” of the network structural toughness indexes gradually highlights; the structural toughness of the network is also affected by the “superposition effect” of the node disappearance. When a node disappears, the “superposition effect” of the changes in network structural toughness indicators is gradually highlighted; the nodes in the Northwest Yunnan tourism flow network that have a greater impact on the structural toughness of the network are mainly the tourist attractions that have marketing and publicity in place and are well planned and constructed.

**Keywords:** tourism flow; network; structural resilience; northwest Yunnan; scenario simulation