

# 智慧旅游安全评价的犹豫模糊 全排列多边形图示法

彭定洪 李杰<sup>1</sup>

(昆明理工大学 管理与经济学院/质量发展研究院, 云南 昆明 650093)

**【摘要】:**从系统的视角,以犹豫模糊集为评价信息载体,提出一种犹豫模糊全排列多边形图示法(HF-FPPSIM)。首先,依据 PS-DR-DP 概念框架构建了一套智慧旅游安全评价指标体系。考虑到传统安全评价方法常以线性加权平均方式集结指标而未考虑指标的系统结构,以全排列多边形图示法(FPPSIM)为方法架构和犹豫模糊集(HFS)表征评价信息,提出了一种智慧旅游安全评价的 HF-FPPSIM 方法。其次,以黄山智慧旅游景区为研究对象,实例分析并验证了所提方法的有效性。结果表明,黄山智慧旅游景区 P-S 安全指数按时序呈较快提升的趋势, D-R 状态除 2018 年达到较安全水平,其余年份均处于安全状态,而 D-P 状态大部分区域都处于较不安全范围,需加大对智慧旅游安全的内部要素管理。

**【关键词】:**安全工程 智慧旅游安全 PS-DR-DP 框架 犹豫模糊集(HFS) 全排列多边形图示法(FPPSIM)

**【中图分类号】:** F592.7; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)09-137-08

自 IBM 提出“智慧地球”概念以来<sup>[1]</sup>,全球各领域向更灵活、更高容错率的智慧化迈进成为未来的趋势,智慧城市、智慧医疗、智慧旅游等衍生态念相继出现。用“智慧”理念和手段升级旅游业是当前新型旅游发展的新风向。智慧旅游旨在集智慧服务、管理、营销和体验于一体,提高游客的旅游体验和感知,增强旅游景区竞争力,为旅游业转型升级提供新的途径,其相比于传统旅游具有自动化和智能化的特征,提供了更好的体验、更个性化的服务。旅游的智慧化在提升了景区管理水平和方便了用户的体验的同时,用户信息泄露、网络安全标准缺失、由于“技防”而忽略了“人防”等新的安全问题也随之出现。因此,对智慧旅游景区的安全评价逐渐成为智慧旅游安全管理的基础和前提<sup>[2,3]</sup>。

目前,学界对于智慧旅游安全的研究从侧重于智慧旅游的单一要素或环节方面,逐渐转向智慧旅游系统的研究,智慧旅游安全评价正日益受到学者和管理者的重视<sup>[4,5,6]</sup>。以往关于传统的旅游安全的研究主要集中于时空格局<sup>[7]</sup>、“投入—产出”视角<sup>[8]</sup>、合作网络视角<sup>[9]</sup>等,这对智慧旅游安全评价具有重要的借鉴意义,然而目前智慧旅游产业链条中介入的企业更为多元化,涉及的要素种类多、范围广,要形成具有系统结构的智慧旅游安全指标体系是目前的难点,这意味着智慧旅游的安全保障有着更高的要求,那么对其进行评价的要求相对于传统旅游更高,而以系统特点为出发点的评价研究也较为欠缺,结论的客观性受到了一定限制。

智慧旅游安全评价涉及诸多环节,其中合理的指标体系是评价的前提和基础。目前,对此议题已有大量研究,具有代表性的有,刘利宁<sup>[4]</sup>通过德尔菲法建立的包含硬件支撑、综合应用系统和应用价值评价的指标体系。郑莎<sup>[5]</sup>建立的包含网络安全、交通安全、

**作者简介:** 彭定洪, 博士, 教授, 研究方向为系统工程、模糊决策。E-mail:pengdinghong2006@163.com

**基金项目:** 国家自然科学基金“支持多群组协同决策的广义犹豫模糊 TOPSIS 关键技术与求解途径及其应用”(71861018); 云南省哲学社会科学规划项目“多级 HF-TOPSIS-like 综合评价方法及其在云南智慧旅游城市发展中的应用研究”(YB2019067); 中国博士后科学基金“双重犹豫模糊 TOPSIS 决策方法”(2015T80990)

游览安全和管理安全的智慧旅游安全指标体系。刘国峰等<sup>[6]</sup>认为智慧旅游安全问题体现在法律、技术、信用和监管方面等。纵观这些研究不难发现,学者们对智慧旅游安全的内涵理解千差万别,所构建的指标体系也各不相同。且构建的方法和手段大都以文献调查法、专家咨询法等,从而导致所建立的指标体系存在理论性不强、缺乏说服力等缺陷<sup>[10]</sup>。为了有效解决该类问题,最近,一些学者尝试利用概念模型将指标体系构建这种非结构化问题转变为半结构化问题,一定程度增强了指标体系构建的理论支撑和说服力,成为评价指标体系研究的一种新趋势。例如以时间逻辑的全生命周期概念框架(TLC)<sup>[11]</sup>,以因果逻辑的驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)概念框架<sup>[12]</sup>等。然而因智慧旅游系统的内在需求,对其进行安全评价需考虑其对立又统一、相互反射和影响的特点<sup>[13]</sup>,同时外在环境和内部环境对智慧旅游安全有着增强或削弱的效果,正反两面的相互作用使智慧旅游安全或大或小但同时需使系统保持平衡,而PS-DR-DP(pressure-support, destructiveness-resilience, degradation-promotion, 压力—支撑力,破坏力—恢复力,退化力—提升力)<sup>[14]</sup>框架因其具有“正反两面三个维度”的特性恰好符合问题特征,因此本文尝试将此模型应用到智慧旅游安全评价问题中。

此外,研究所需要的方法是判断智慧旅游安全的重要手段和工具,选择恰当的评价方法直接影响着评价结果的真实性和客观性。考虑到智慧旅游安全评价是一项复杂的系统工程,系统中的不同要素间存在协同作用关系,因此元素的种类和位置都会影响系统效能的发挥。而传统综合评价法在进行安全评价过程中,将多个准则融合成方案具体性能值时,往往不能避免线性加权平均或几何加权平均的方式<sup>[15]</sup>,但此种“线性放缩”方式仅考虑元素种类而忽略了元素位置反映的系统结构效应和功能涌现性特征。因此,在融合方案性能值时,采用面积型的方式更能体现系统的倍增效应,这也是提高智慧旅游系统安全性的关键途径之一。其中体现面积型思想的综合评价方法有雷达图法、面积灰关联法等,但在使用以上方法时很难确定系统中元素的排序方式。目前行之有效的是采用全排列多边形图示法<sup>[16]</sup>(full permutation polygon synthetic indicator method, FPPSIM),该方法在未知元素位置的情况下,以全排列的方式穷尽所有指标排列可能,因此在智慧旅游的安全评价问题上具有一定适用性。此外,评价过程中不仅许多数据难以用客观数据测度,并且各属性来源不同,存在数据信息具有不唯一性的问题,此时精确值难以表达此类不确定信息,而为了保证结果的公平性,此种模糊、不确定的情形不能由精确值替代。

为解决上述问题,本文提出在犹豫模糊集的数值基础上建立全排列多边形图示法的评价模型,并更充分地考虑了犹豫模糊元各级指标对综合性能值的放大和紧缩效应,构建犹豫模糊全排列多边形图示法开展智慧旅游系统性安全评价。

## 1 指标体系构建

目前关于智慧旅游安全评价的研究正成为学界的热点,但现有的研究并不多,本文在传统旅游安全因素的基础上提取关键指标,为智慧旅游安全定义和指标体系建立提供新思路。Ruiz 等<sup>[17]</sup>认为领土、社会经济、政治风险等是影响智慧旅游安全的关键因素。Afolabi 等<sup>[18]</sup>认为隐私问题、感知风险、信息控制、服务提供商是威胁智慧旅游安全的重要原因。国内学者对旅游安全的界定大多聚焦在人身、财物和心理方面<sup>[19,20]</sup>。由于旅游安全是旅游系统和安全系统产生的交叉概念,旅游安全系统同外界存在物质和信息等的交换,故本文在系统论的基础上,同意邹永广<sup>[2]</sup>的观点,认为旅游安全是旅游系统在内外因素相互作用的情况下仍处于有保障、平衡的状态,其中,旅游系统包括旅游者、旅游地、旅游资源等构成要素,并将智慧旅游安全定义为旅游者、旅游资源等主体在利用技术资源的同时不受危险和损失,使人地系统维持在平衡、稳定的一种状态。

### 1.1 PS-DR-DP 概念框架

PS-DR-DP 概念框架遵循凡事均有两面性哲理,从正反两面三个维度(即三对作用力)观察系统的内力(例如承载力、潜力和活力等),使评估角度更加全面,且有效地阐释了智慧旅游安全具备的资源环境条件{支撑力(正)—压力(反)},采取行动后对系统自身会造成的后果{提升力(正)—退化力(反)},以及对系统环境带来的影响{恢复力(正)—破坏力(反)}三方面。将 PS-DR-DP 模型应用在智慧旅游安全评价中,可以有效地反映智慧旅游安全系统内在逻辑关系(图1)。

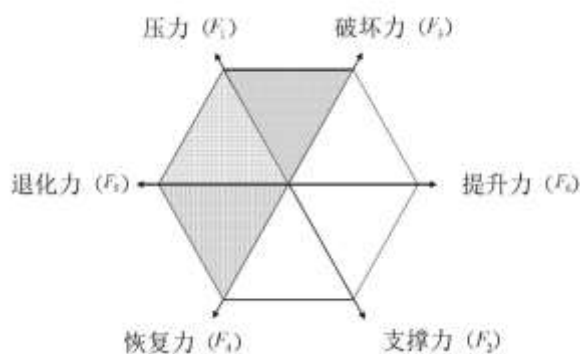


图1 PS-DR-DP 概念框架

智慧旅游在其特有的条件下不同于常规旅游安全问题，尤其大数据、云计算等科技的应用使安全因素更为复杂，其需要的安全保障也应更加全面，因此本文在借鉴现有指标设计的基础上，结合“行为给系统和外界带来的影响”的分析，划分智慧旅游安全评价的指标与对应状态，利用 PS-DR-DP 框架构建的智慧旅游安全评价体系中，支撑力(S)指引入智能设备后的智慧旅游基础设施建设安全状况，压力(P)指社会安全突发事件、智能设备老化等入侵因素带来的影响，P-S 作用力表征智慧旅游安全的基本情况；恢复力(R)指采用的旅游综合信息库等管理措施行为带来的影响，破坏力(D)指在数据操作过程中可能带来的隐私泄露等安全风险状况，D-R 作用力表示智慧旅游外部管理因素给系统安全带来的影响；提升力(S)指智慧旅游的经济投入等因素给系统带来的发展能力，与其对应的退化力(D)指上述投入因素带来的负面影响，表现为智慧旅游目的地过于商业化、游客数量过多等导致的潜在不安全因素，D-P 作用力表示智慧旅游内部要素对系统安全的影响。

## 1.2 指标选取及体系构建

在概念框架基础上，依据智慧旅游安全内涵，重点参考《中国智慧旅游城市（镇）建设指标体系》《智慧旅游建设与服务规范》(DB61/T1201.3—2018)，并收集现有智慧旅游安全相关指标，经归纳和整合现有智慧旅游安全指标<sup>[5,21,22]</sup>后，遵循指标体系的整体性、科学性、客观性和可操作性等构建原则，初步确定智慧旅游安全评价的指标体系。接着，采用专家咨询法，邀请某省政府、文旅厅和发改委等相关部门专家及科研机构专家，在表明指标体系逻辑和意图后，以半结构化问卷征询方式，论证该指标体系的合理性，确定指标类型。

本文选取智慧旅游安全领域上影响力大、覆盖范围广且具有典型性的 4 份评价指标体系<sup>[5,22,23,24]</sup>与构建的指标体系进行比较分析，梳理各指标设置类型与特点，共同点在于本文与以上研究共同关注了环境影响（社会、公共卫生安全事件和政策法规等）和人为因素（游客行为、景区服务等）方面，资源空间承载力、预警系统和文化承载力等重要指标，这在一定程度上证明了本文所构建指标体系的合理性和科学性。然而，不同的是，本文还关注到了旅游企业营业收入利润率、智慧旅游目的地商业化程度等体现智慧旅游产业支持能力和智慧旅游过度开发程度的指标，本文的优势在于智慧旅游安全评价不仅包含智慧旅游地、智慧旅游资源、智慧旅游产业等独立部分的安全状态，还考虑到了同一系统内的指标间存在协同又对抗的关系，而这恰好是最关键又容易被忽略的一点。目前，智慧旅游安全评价指标体系的构建体现着不同的内涵而没有找到共同的理论依据，此时，采用概念框架的方式更具说服力，较之于 DPSIR 指标体系，本文构建的 PS-DR-DP 指标体系不仅体现了因果逻辑关系，还从系统的角度反映了内、外部环境和自身具有的资源条件间两面性的关系，因此本文构建的指标体系能更为客观、全面地反映智慧旅游安全情况。

## 2 研究方法

### 2.1 犹豫模糊集

为确保智慧旅游安全评价的全面性和真实性，对其评价方案指标的性能评估通常由来自不同部门的领域专家进行评判，自然地，就难免出现因不同领域专家，其利益、责任和视角等各不相同，提供的评判自然不同的状况。如何充分利用多领域专家评判是此类问题中的难点，在决策和评价领域，目前较为有效的方式是利用西班牙学者 Torra & Narukawa<sup>[25]</sup>提出的犹豫模糊集 (HFS), HFS 允许同一元素可能隶属程度由多个隶属值表征，这更为细致地刻画了评价过程的多专家意见间的徘徊不定特征，在群体决策和多专家综合评价研究中备受青睐。HFS 具体定义如下。

定义 1<sup>[25]</sup>: 设 M 为一给定集合，集合  $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$  有 N 个隶属度，则有关隶属函数的犹豫模糊集定义为:  $H_M = \{\langle x, h_M(x) \rangle | x \in X\}$ 。其中， $h_M(x)$  代表元素  $x \in X$  在集合 M 中的可能隶属度，其值域为  $[0, 1]$ ,  $h_M(x)$  通常被称为犹豫模糊元 (HFE)。

定义 2<sup>[25]</sup>: 令  $h, h_1$  和  $h_2$  为 3 个犹豫模糊元，且  $\lambda$  为一个常数，规定了下列运算规则:

$$\begin{aligned} (1) \quad \lambda h &= \bigcup_{\gamma \in h} \{1 - (1 - \gamma)^\lambda\}, \lambda > 0. \\ (2) \quad h^\lambda &= \bigcup_{\gamma \in h} \{\gamma^\lambda\}, \lambda > 0. \\ (3) \quad h_1 \oplus h_2 &= \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2\}. \\ (4) \quad h_1 \otimes h_2 &= \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{\gamma_1 \gamma_2\}. \end{aligned}$$

## 2.2 全排列多边形图示法

全排列多边形图示法的基本思想是通过考虑到系统中指标的顺序和位置发生变化会引起系统连锁反应的情况，以多边形的面性反应方案的性能值。同时，当某一指标不确定相邻的指标具体为何时，该方法以全排列的方式穷尽所有可能。FPPSIM 通过创建中心 n 边形来表示 n 个标准化后的指标的理论最大值，用双曲线标准化函数对指标进行处理，使在理想最小值 L 和理想最大值 U 之间的指标映射到  $[-1, 1]$  区间上，且满足理想最小值标准化后的值为 -1，理想最大值标准化后为 1，临界值标准化后为 0，标准化后的指标以标准化后的临界值为分界点，呈现着快—慢—快的非线性增长。根据上述条件，对于第 i 个指标的标准化公式  $S(x_i)$  如式 (1) 所示。

$$S(x_i) = \frac{(U_i - L_i)(X_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2T_i)X_i + U_i T_i + L_i T_i - 2U_i L_i} \quad (1)$$

式中:  $X_i$  为第 i 个指标值。  $T_i, U_i$  和  $L_i$  分别为第 i 个指标的阈值，最大值和最小值。

由式 (1) 构造了一个顶点为  $S_i=1$ ，中心点为  $S_i=-1$  的正多边形，标准化后的指标上限值到中心点的距离为多边形的半径，

各指标标准化后的值小于阈值为负，大于阈值为正。由于允许存在旋转和翻转的情况，因此 n 个指标可以构成  $\frac{(n-1)!}{2}$  个不同的不规则中心 n 边形。则以第  $A_i$  个方案为例，由相邻指标构成了  $\frac{n!}{2}$  个三角形，不同三角形组成的不同 n 边形区域总面积之和，与中心点和顶点构成的三角形数量之比为，代表一个任意三角形在考虑了所有排列可能和属性影响后得到的结果，如式 (2) 所示。

$$Q_{A_i} = \left[ 0.5 \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \sum_{i \neq j} (S_i + 1)(S_j + 1) \right] \times \frac{n!}{2} \times \frac{2}{n(n-1)} \quad (2)$$

式中： $S_i$  和  $S_j$  为指标  $i$  和  $j$  下标准化后的值， $S_i+1$  为指标  $i$  的端到中心点的距离。

同理， $\frac{(n-1)!}{2}$  个规则  $n$  边形构成的  $\frac{n!}{2}$  个三角形，在考虑属性之间影响的情况下得到的指数如式 (3) 所示。

$$Q'_{A_i} = 0.5 \times 4 \times n \times \frac{(n-1)!}{2} \times \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \quad (3)$$

综合所有排列可能和属性影响，方案  $A_i$  的综合指数计算式为：

$$S_{A_i} = \frac{\sum_{i \neq j} (S_i + 1)(S_j + 1)}{2n(n-1)} \quad (4)$$

### 2.3 犹豫模糊全排列多边形图示法结构框架

本文提出的犹豫模糊全排列多边形图示法不再采用传统的加法方式，而是以多维向量相乘的方式组合指标，通过选定指标上限值  $U$ 、下限值  $L$  和阈值  $T$ ，利用综合指数反映整个区域的智慧旅游安全水平，弥补了以往通过指标值乘以权重的线性放缩，而未顾及系统的整体性和结构化特点<sup>[26]</sup>的缺陷，下面介绍 HF-FPPSIM 的具体步骤。

步骤 1：建立初始决策矩阵  $H$ 。收集专家意见，并结合统计结果得到黄山智慧旅游景区待评价年份  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 在智慧旅游安全准则  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) 下的所有评价元组成的犹豫模糊元  $h_{ij} = \bigcup_{\alpha \in S_{ij}} \{\alpha\}$ 。初始决策矩阵即为：

$$H = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{m1} & h_{m2} & \dots & h_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

$$= \begin{bmatrix} \bigcup_{\gamma_i \in h_{11}} \{\gamma_{11}\} & \bigcup_{\gamma_i \in h_{12}} \{\gamma_{12}\} & \cdots & \bigcup_{\gamma_i \in h_{1n}} \{\gamma_{1n}\} \\ \bigcup_{\gamma_i \in h_{21}} \{\gamma_{21}\} & \bigcup_{\gamma_i \in h_{22}} \{\gamma_{22}\} & \cdots & \bigcup_{\gamma_i \in h_{2n}} \{\gamma_{2n}\} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \bigcup_{\gamma_i \in h_{m1}} \{\gamma_{m1}\} & \bigcup_{\gamma_i \in h_{m2}} \{\gamma_{m2}\} & \cdots & \bigcup_{\gamma_i \in h_{mn}} \{\gamma_{mn}\} \end{bmatrix}$$

步骤 2: 犹豫模糊评价矩阵标准化。为消除指标间的不可公度性, 标准化是决策过程中不可或缺的一环, 由于智慧旅游安全系统中各个环节的运行过程十分复杂, 许多涉及主观因素的环节具有不确定性, 故非线性的标准化方式更加符合实际。当属性  $C_j$  的指标评价值处于目标隶属度  $t_j$  以下时, 在靠近临界值的过程中, 去量化指标的隶属度值相对于原指标的增长速度逐渐减缓, 产生紧缩效应。当超越临界值时, 增长速度开始逐渐增加, 产生放大效应。原 FPPSIM 公式标准化后区间为  $[-1, 1]$ , 所以需要在犹豫模糊上将值域放缩到  $[0, 1]$ , 进而达到在决策矩阵中统一计算的目的, 其中效益型指标标准化公式如下所示。

$$h'_y = \bigcup_{\gamma_i \in h'_y} \{\gamma'_y\}$$

$$= \bigcup_{\gamma_i \in h_y, t_j \in h_{t_j}} \left\{ \frac{1}{2} \left[ \frac{\left( \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\} - \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\} \right) (\gamma_y - t_j)}{\left( \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\} - t_j \right) (\gamma_y - \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\})} + \frac{t_j - \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\}}{\left( \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\} - \gamma_y \right)} + 1 \right] \right\} \quad (6)$$

当  $\gamma'_y = \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\}$  时, 标准化值为 1, 当  $\gamma_y = t_j$  时, 标准化值为 1/2, 当  $\gamma'_y = \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{\gamma_y\}$  时, 标准化值为 0, 成本型指标标准化公式如下所示。

$$h'_y = \bigcup_{\gamma_i \in h'_y} \{\gamma'_y\}$$

$$= \bigcup_{\gamma_i \in h_y, t_j \in h_{t_j}} \left\{ \frac{1}{2} \left[ \frac{\left( \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{1 - \gamma_y\} - \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{1 - \gamma_y\} \right) (1 - \gamma_y - t_j)}{\left( \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{1 - \gamma_y\} - t_j \right) (1 - \gamma_y - \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{1 - \gamma_y\})} + \frac{t_j - \min_{1 \leq i \leq m} \min_{\gamma_i \in h_y} \{1 - \gamma_y\}}{\left( \max_{1 \leq i \leq m} \max_{\gamma_i \in h_y} \{1 - \gamma_y\} - (1 - \gamma_y) \right)} + 1 \right] \right\} \quad (7)$$

步骤 3: 计算综合指数。延续传统 FPPSIM 思想, 综合指标  $S_{mf}(A_i)$  定义为考虑所有排列可能和属性影响, 任一不规则三角形面积与某一标准化后的指标上限值构成的中心三角形面积比率, 那么在犹豫模糊领域上, 以 HFE 构成的三角形的两边为例, 一边为 3 个值决定的犹豫模糊边, 另一边为由 2 个值确定的犹豫模糊边, 故由这两个犹豫模糊元确定的三角形有 6 个, 具体思路见图 2。通过隶属度间的代数积之和既汇集了所有可能情况下的评价值信息, 又解决了模糊元长度不等的计算问题, 则智慧旅游景区安全指数的计算如式 (8) 所示。其中,  $\forall \gamma'_w \in h'_w, \gamma'_w \in h'_w$ , 为所有可能数,  $0.5(\gamma'_w + 1)(\gamma'_w + 1)$  表示犹豫模糊元中所有排列可能中的一种三角形面积 (图 2)。

$$\begin{aligned}
S_{HF}(A_i) &= \frac{\sum_{k \neq j}^{k,j} (h_j^* \oplus h^{full}) \otimes (h_k^* \oplus h^{full})}{2n(n-1)} \\
&= \frac{\sum_{k \neq j}^{k,j} \frac{1}{\#h_{ij}^* \#h_{ik}^*} \sum_{\gamma_{ij} \in h_{ij}^*} \sum_{\gamma_{ik} \in h_{ik}^*} (\gamma_{ij} + 1)(\gamma_{ik} + 1)}{2n(n-1)} \\
&= \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k>j}^n \frac{1}{\#h_{ij}^* \#h_{ik}^*} \sum_{\gamma_{ij} \in h_{ij}^*} \sum_{\gamma_{ik} \in h_{ik}^*} (\gamma_{ij} + 1)(\gamma_{ik} + 1)
\end{aligned} \tag{8}$$

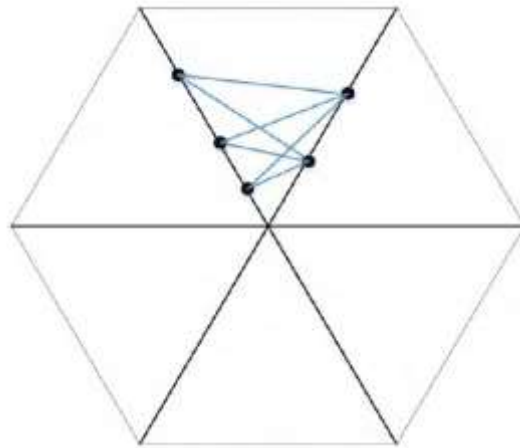


图 2 2 个隶属度组合的可能性

### 3 实例分析

黄山是我国旅游景区智慧化升级较早的景点，根据《智慧黄山景区总体规划》建立了景区集成示范应用平台、景区物联网等。一方面，黄山的智慧景区建设取得诸多成就；另一方面，黄山智慧景区也面临着业务管理、安全防范等信息化建设需求和从管理的角度进行安全防范的需求选择黄山智慧景区作为智慧旅游安全评价的研究对象具有较强代表性。黄山智慧旅游景区目前经历了 3 个关键的阶段，黄山智慧旅游景区在 2010 年启动了《智慧黄山景区总体规划（2011—2015）》，并在接下来的发展中取得了较好成效，2015 年黄山智慧旅游景区位列全国第三，随后在 2018 年确定实施《黄山风景区名胜区管理条例》。综合考虑黄山智慧旅游景区的规划理念和发展的关键节点，确定本文所研究黄山智慧旅游安全评价的年份分别为 2010 年、2012 年、2015 年和 2018 年，4 个年份的客观数据收集自《黄山市统计年鉴》《黄山市国民经济和社会发展统计公报》，余下缺少统计数据或不确定统计数据的指标均由上述参与指标体系构建的专家组打分给出。

#### 3.1 评价过程

专家团队在查阅相关统计数据和国内外关于智慧旅游安全的经典案例后，给出黄山智慧旅游景区各项指标的安全评估值。在此种复杂的决策情况下，决策者由于时间限制、某些数据不清晰、与问题领域相关的专业知识有限等原因，倾向于以几个可能值的形式提供他们的判断和意见。同时，由于职责和背景的不同，他们的观点和判断通常是相互竞争或相互矛盾的，为了保留原始信息，且避免数据间复杂的一致性推导过程，本文将所有可能的评价价值根据定义转换为 HFE，最终由 7 位专家经过 3 轮决议，

首次打的分数和后两次打的分数范围一致。

其次，在黄山智慧旅游景区安全评价问题中，为了消除量纲差异所造成的结果偏差，利用式(6)和式(7)对决策矩阵中属性为效益型和成本型的指标进行标准化处理，得到标准化后的决策矩阵。

通过式(8)可以得到智慧旅游景区安全状况的子系统指数和综合指数，以及各项指标发展示意图，分别如图3和图4所示。其中图3中，(a)和(b)分别为“压力”“支撑力”示意图，(c)和(d)为“破坏力”“恢复力”示意图，(e)和(f)为“退化力”“提升力”示意图。

### 3.2 评价结果与分析

全排列多边形图分维度分析可以展现各对作用力对智慧旅游景区安全的贡献程度，其综合指数反映了智慧旅游景区的综合安全水平。标准化后的指标构成的带状图形体现了某年的评估指标在该维度的最低评估值和最高评估值，带状图形所在区域在0.5~1之间则占优势，在0~0.5范围内则占劣势，指标的优势面积越大代表该维度下发展越好。采用犹豫模糊全排列多边形图对黄山智慧旅游景区不同发展时间(2010年、2012年、2015年和2018年)的综合安全能力进行评价，结果表明：黄山智慧旅游景区的安全综合指数呈现上升趋势，从2010年的0.373提升到2012年的0.447，并且从2015年开始安全综合指数的增长速率变大，3对作用力子系统的综合安全表现也有不同程度的变化，具体如图3和图4所示。

(1) 压力—支撑力子系统。压力—支撑力维度上，2010年黄山智慧旅游景区的安全综合指数较低，该维度共同体现了智慧旅游景区的基本安全情况。2005年《黄山风景区数字化建设总体规划》的执行，使黄山景区到2010年已经有了一定的数字化建设基础，物联网、云计算等技术的迅猛发展为智慧旅游景区提供了区别于传统旅游景区的信息支撑，当紧急情况发生时信息传递效率和信息质量都得到提高，能更有效地进行决策，基于以上分析和图4所示，压力—支撑力子系统的安全指数增长速率呈现变大趋势。并且由图3(a)得，2015年和2018年的带状区域分布在0.5~1区域，其中2015年的生态承载力状态最好，2018年的社会安全事件风险状态最好，而2010年的带状区域大部分位于0~0.5范围内，表示该年黄山智慧旅游景区在压力—支撑力维度下存在缺陷。如图3(b)所示，在所研究时间范围内，2018年的带状区域占据了0.5~1的绝大部分，这说明黄山的预警系统、信息平台建设程度和产业支持能力取得极大进步。

(2) 破坏力—恢复力子系统。黄山智慧旅游景区在破坏力—恢复力维度下的指数按时序增长，尤其在2012年到2015年期间变化速率开始加快，如图4所示。并由图3(c)观察到，在该系统内部评估值形成的带状主要集中在指标 $C_{12}$ 的0.5~1区域下，且优势面积按时序逐渐增大，如图3(d)所示，所研究年份中2018年的带状区域面积最大，其智慧旅游安全法规完善程度最高。这表明黄山智慧旅游景区在2012年入选全国首批智慧旅游景区试点单位后，智慧化建设逐渐深入，游客与景区的信息交互更加通畅，用户投诉建议能得到及时反馈，并且《黄山风景名胜区管理条例》等一系列法规的颁布和完善有效缓解了用户投诉问题。此外，智慧旅游景区建设过程中存在注重硬件建设而忽略人员管理、规范操作等人的因素的现象，团队风险预防意识由开始的“人防”到“机防”再到“人防配合机防”，受此影响指标 $C_{14}$ 呈缓和波动变化。

(3) 退化力—提升力子系统。黄山智慧旅游景区在退化力—提升力维度下的指数虽在增长但整体仍处于较低水平，如图4所示，且增长速度极为缓慢，在该维度内部除游客素质和行为及“智慧”产品区分度两个指标值按时序上升外，其余指标均略有起伏。并且根据客观数据和专家评估值所得到的带状区域中，2012年的游客素质和行为、智慧旅游目的地商业化程度范围的带状区域较大，代表该年实际指标评价值的可变动范围的理想值和最低值偏差较大，原因可能在于2012年十一黄金周期间的日人流量首次达6万，创历史最高，黄山智慧旅游景区的事前预备方案和景区监控措施给景区安全带来一定保障，但仍不能完全避免景区人员素质参差不齐所带来的资源保护和管理的压力。

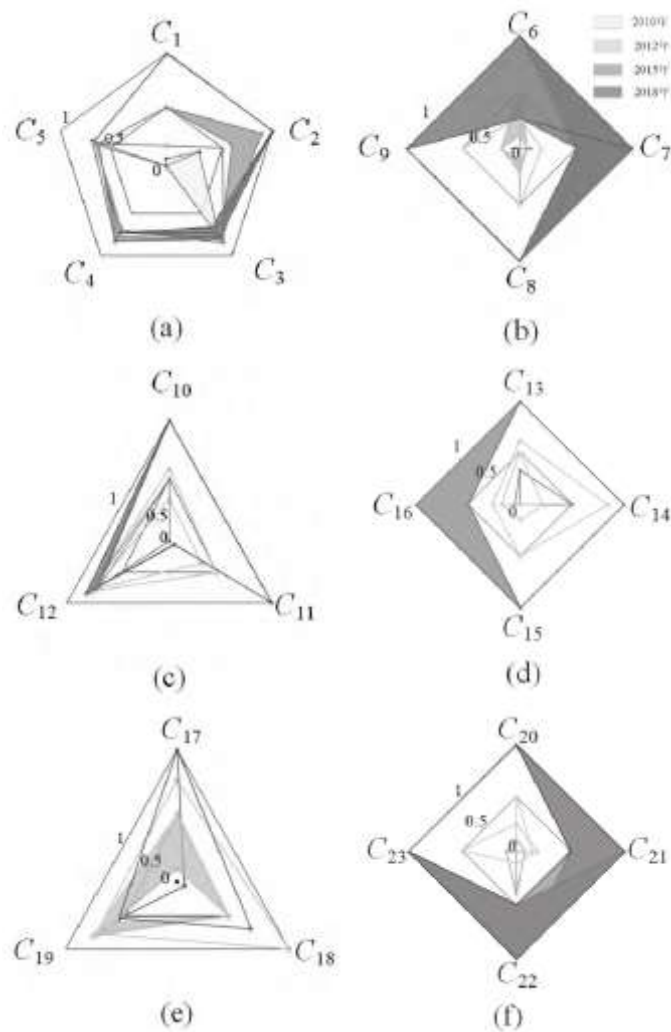


图3 黄山智慧旅游景区子系统各指标全排列多边形图示

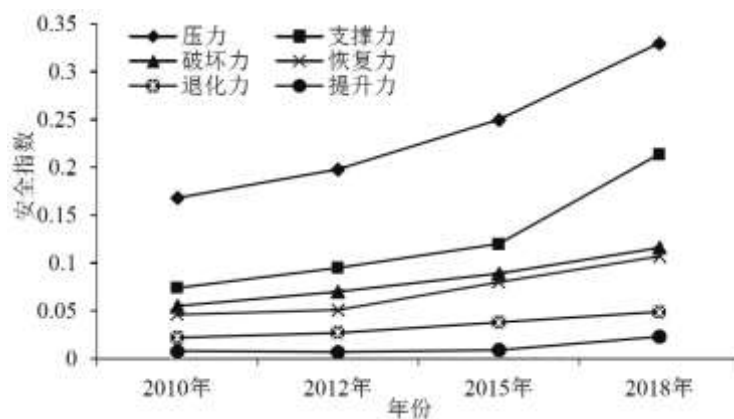


图4 黄山智慧景区子系统安全水平及各子系统水平的动态变化

退化力—提升力子系统代表着智慧旅游景区内部行为要素对智慧旅游景区安全带来的影响，由图3(f)观察到，2018年的带

状区域位于 0.5~1 范围内,这说明到 2018 年黄山智慧旅游景区的内部要素有着良好的发展基础,黄山智慧旅游景区吸引了大批游客的同时,旅游者冒险行为、不规范行为出现的可能性增大,加大了旅游者不安全程度,同时,管理者或游客的个人行为错误会加大物的不安全性以至于发生事故。

## 4 方法对比

全排列多边形图示法相比于其他评价方法本质区别为通过面积比体现的系统作用,相邻指标间的作用不是简单线性相加,元素会影响系统性能,指标间的顺序位置所反应的系统结构也会决定系统的整体性能。为了证明犹豫模糊全排列多边形图示法的合理性,本文在这一部分利用原始数据使用线性加权平均为代表的 HF-TOPSIS 方法<sup>[27]</sup>和模糊 VIKOR (F-VIKOR) 方法<sup>[28]</sup>进行对比分析。

模糊 VIKOR 方法所得排名结果与本文所使用模型评价结果一致,证明了本文方法在考虑指标间相关顺序的智慧旅游安全评价上是有效的且具有一定适用性,且本文所提方法可以完整的保留犹豫模糊集信息。

而采用 Xu & Zhang<sup>[27]</sup>提出的犹豫模糊 TOPSIS 方法所得结果与本文所得结果有所差异,原因可能在于 HF-TOPSIS 在评价问题融合多个方案的准则性能值时采用线性加权平均的方式,这在实际意义上忽略了系统的平衡原理和特点,而本文所提方法结合了静态指标和动态趋势的特点,使评价结果更贴合实际。同时,其利用添值的方式使犹豫模糊元长度一致,这在一定程度上会影响原始信息的真实性,从而使方案排序结果与本文排名略有差异。

## 5 结论

智慧旅游安全评价能有效反映并有助于提升智慧旅游景区的安全状况,然而在为数不多的研究中,较少关注到指标体系框架的构建和系统性方法的研究。为此,本文针对智慧旅游系统性的特点,提出了一种考虑系统结构的智慧旅游安全评价模型,开展了智慧旅游安全影响因素相关分析,得到以下结论:

(1) 本文构建了一套具有正反两面、三种维度的 PS-DR-DP 智慧旅游安全评价框架,通过“压力—支撑力”反映系统自身的基础条件,“破坏力—恢复力”表示智慧旅游外部管理因素给系统安全带来的影响,“退化力—提升力”表示智慧旅游内部要素对系统安全的影响。通过 PS-DR-DP 指标体系较为全面的体现智慧旅游系统的安全状况。

(2) 本文将全排列多边形图示法与犹豫模糊理论结合,弥补了现有智慧旅游安全评价问题中系统指标排列影响评价结果的缺陷。本文提出的指标体系和研究方法更加符合智慧旅游安全评价问题的系统性需求,同时更全面地利用了评价信息,为解决犹豫模糊环境下智慧旅游安全评价问题提供了技术支撑。

(3) 对黄山智慧旅游景区的分析:P-S 指数以较安全为主,安全指数按时序呈较快提高的趋势,可见其基础建设是优势因素;D-R 指数呈上升趋势,2018 年以较安全水平为主,其余年份处于较不安全和临界安全状态,其中与信息安全有关的因素需要得到重视,优势面积集中在用户投诉率和智慧旅游安全法规完善程度指标下,但其余指标的科学管理仍有欠缺;而 D-P 指数不容乐观,大部分区域都处于较不安全范围,需加大对智慧旅游内部要素的管理。

### 参考文献:

[1] 钱大群. 智慧地球赢在中国 [EB/OL]. (2019-05-19). <https://max.book118.com/html/2019/0517/6234043000002032.shtm>.

- 
- [2] 邹永广. 旅游安全评价: 研究现状与述评[J]. 旅游学刊, 2020(7):133-146.
- [3] 邹永广. 意识与应景: 中国旅游安全政策演进特征研究[J]. 旅游学刊, 2018(6):110-122.
- [4] 刘利宁. 智慧旅游评价指标体系研究[J]. 科技管理研究, 2013(6):67-71.
- [5] 郑莎. 智慧旅游视角下的旅游安全问题研究[J]. 洛阳师范学院学报, 2015(9):29-32.
- [6] 刘国峰, 陈璐璐, 张文鑫. 智慧旅游风险管理问题研究[J]. 农村经济与科技, 2018(9):105-107.
- [7] 邹永广. 目的地旅游安全度评价及时空格局——基于全国 31 个省会城市的统计数据[J]. 中国软科学, 2016(2):56-66.
- [8] 秦晓楠, 程钰. 中国旅游城市生态安全系统评估与类型划分研究——基于节点权重约束网络 DEA 模型[J]. 地理科学, 2019(1):156-163.
- [9] 邹永广, 林炜铃. 合作网络视角下社区旅游安全公共治理研究——以崇武古城为例[J]. 华侨大学学报(哲学社会科学版), 2017(5):25-34.
- [10] 方广玲, 香宝, 迟文峰, 等. 西南山区旅游生态承载力研究[J]. 生态经济, 2018(2):179-185.
- [11] 舒启林, 王成恩. 产品全生命周期信息模型研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005(8):1051-1056.
- [12] Smeets E, Weterings R. Environmental indicators: Typology and overview[J]. European Environmental Agency, 1999, 25(25):119-133.
- [13] 邹力行. 系统科学方法与系统性风险研究[J]. 东北财经大学学报, 2019(2):67-74.
- [14] 王亮, 刘慧. 基于 PS-DR-DP 理论模型的区域资源环境承载力综合评价[J]. 地理学报, 2019(2):340-352.
- [15] Sigalat-Signes E, Calvo-Palomares R, Roig-Merino B, et al. Transition towards a tourist innovation model: The smart tourism destination: Reality or territorial marketing?[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2020, 5(2):96-104.
- [16] 吴琼, 王如松, 李宏卿, 等. 生态城市指标体系与评价方法[J]. 生态学报, 2005(8):2090-2095.
- [17] Ruiz S S, Viñals M J, Teruel L, et al. Security and safety as a key factor for smart tourism destinations: New management challenges in relation to health risks[M]//Katsoni V, Van Zyl C. Culture and Tourism in a Smart, Globalized, and Sustainable World, Berlin: Springer, 2021.
- [18] Afolabi O O, Oztüren A, İlkan M. Effects of privacy concern, risk, and information control in a smart tourism destination[J]. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 2021, 1:3119-3138.
- [19] 邹永广, 郑向敏. 旅游目的地游客安全感的影响因素实证研究——以福建泉州为例[J]. 旅游学刊, 2012(1):49-57.

- 
- [20] 杨钦钦, 谢朝武. 游客微—宏观安全感与出游意愿的互动效应——基于巴黎恐袭的案例研究[J]. 旅游学刊, 2018(5):68-78.
- [21] 黄松, 李燕林, 戴平娟. 智慧旅游城市旅游竞争力评价[J]. 地理学报, 2017(2):242-255.
- [22] 翁钢民, 潘越, 李凌雁, 等. “丝绸之路”旅游生态健康状况动态评价研究[J]. 生态经济, 2019(5):135-139.
- [23] 孙浩, 黄华乾. 黄山风景区生态旅游安全评价[J]. 湖州师范学院学报, 2019(9):16-21.
- [24] 孙滢悦, 杨青山, 陈鹏. 长白山景区旅游安全风险动态评价研究[J]. 地理科学, 2019(5):770-778.
- [25] Torra V, Narukawa Y. On hesitant fuzzy sets and decision[C]. San Diego: IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2009:1378-1382.
- [26] 翁翎燕, 张超, 李伟霄. 基于全排列多边形图示法的生态城市评价——以上海市为例[J]. 地球与环境, 2017(3):356-362.
- [27] Xu Z, Zhang X. Hesitant fuzzy multi-attribute decision making based on TOPSIS with incomplete weight information[J]. Knowledge Based Systems, 2013, 52:53-64.
- [28] Koppiahraj K, Bathrinath S, Saravanasankar S. A fuzzy VIKOR approach for selection of ergonomic assessment method[J]. Materials Today:Proceedings, 2021, 45:640-645.