

中文引用格式:刘伟,代萍,赵方雷,等. 山岳型景区旅游安全风险评估:以北京市为例[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(12): 168-177.

英文引用格式:LIU Wei, DAI Ping, ZHAO Fanglei, et al. Tourism safety risk assessment in mountainous scenic areas: a case study of Beijing [J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(12):168-177.

山岳型景区旅游安全风险评估:以北京市为例*

刘伟¹教授,代萍¹,赵方雷²,崔可欣²

(1 中国矿业大学(北京)应急管理与安全工程学院,北京 100083;

2 思睿致远信息咨询(北京)有限公司,北京 100006)

中图分类号:X959

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.12.0514

基金项目:国家自然科学基金面上项目资助(52074303)。

【摘要】 为消除山岳型景区安全风险复杂性和不确定性对景区运营安全的影响,提出一种山岳型景区风险评估方法。首先,识别山岳型景区风险因素,从人员、设备设施、环境和管理4个方面,构建山岳型景区风险评估指标体系;然后,构建模糊贝叶斯网络(FBN)模型评估风险概率,构建层次分析(AHP)模型评估风险损失,并提出一种改进的最低合理可行(ALARP)准则,评估山岳型景区综合安全风险;最后,以北京市山岳型景区的安全风险评估为例,验证该风险评估方法的科学性和有效性。研究表明:基于贝叶斯网络(BN)的山岳型景区风险评估方法,能够有效解决山岳型景区风险因素复杂且各个层级之间存在依赖关系的问题;BN与三角模糊数的结合,既能充分利用专家经验,又可在一定程度上避免专家意见的主观性;山岳型景区关键风险因素为危险游乐设施检测不到位、森林防火设施配置/设置不足、危险游乐项目防护围栏设置不到位、落石与山体滑坡等。

【关键词】 山岳型景区; 安全风险评估; 指标体系; 模糊贝叶斯网络(FBN); 层次分析(AHP); 最低合理可行准则(ALARP)

Tourism safety risk assessment in mountainous scenic areas: a case study of Beijing

LIU Wei¹, DAI Ping¹, ZHAO Fanglei², CUI Kexin²

(1 School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 2 Sirui Zhiyuan Information Consulting (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100006, China)

Abstract: To eliminate the impact of complexity and uncertainty of safety risks in mountainous scenic areas on operational safety, a risk assessment method for mountainous scenic areas was proposed. Firstly, risk factors in mountainous scenic areas were identified to develop a risk assessment index system including personnel, equipment and facilities, environment, and management. Then, FBN and AHP models were proposed to evaluate risk probabilities and losses. Moreover, an improved ALARP criterion was used to analyze the comprehensive safety risk of mountainous scenic areas. Finally, the performance and effectiveness of the risk assessment method were validated against safety risk assessment in mountainous scenic areas in Beijing. The results indicated that the BN-based risk assessment method for mountainous

scenic areas effectively addressed the issue of complex risk factors and interdependent relationships between each level. The combination of BN and triangular fuzzy number can make full use of expert experience and avoid the subjectivity of expert opinions to a certain extent. The key risk factors in mountainous scenic areas were inadequate detection of dangerous amusement facilities, insufficient configuration or arrangement of forest fire prevention facilities, inadequate protective fencing for hazardous amusement projects, and rockfalls and landslides.

Keywords: mountainous scenic areas; safety risk assessment; index system; fuzzy Bayesian network (FBN); analytic hierarchy process (AHP); as low as reasonably practicable (ALARP)

0 引言

山岳型景区是以山体地貌为主要观赏对象和游览内容^[1],为旅游者提供观光、探险等旅游活动的场所,具有风险点多面广,各类风险隐患交织叠加、交叉耦合,事故链复杂多变的特点,安全管理难度大。开展山岳型景区安全风险评估,对于预防旅游安全事故,保证景区安全运营,具有重要的意义。

目前,学者们对景区安全展开了研究,BENTLEY等^[2]分析了新西兰探险旅游行业10年的旅游安全事故,发现登山运动事故发生的概率较大。林爱平^[3]构建了山岳型景区山洪灾害风险层次分析(Analytic Hierarchy Process, AHP)模型,评估了山洪风险等级。王辉^[4]通过统计历史事故数据,研究了影响泰山旅游安全的主要因素并提出对策。邹永广等^[5]基于AHP模型,量化评估了景区安全风险。罗振军等^[6]提出景区安全容量测算方法,利用AHP模型评价景区事故风险管控能力。黄佳杰等^[7]基于扎根理论,分析了山地旅游安全事故致因。方雪等^[8]基于扎根理论,研究了导致国内漂流安全事故的人员、设备、环境和管理风险。现有研究还存在一些不足,①局限于山岳型景区单一事故风险评估,缺乏对整体风险状况的掌握;②在山岳型景区安全风险因素识别上缺乏系统性,风险评估指标体系尚不完善;③当山岳型景区安全风险因素较多或相互关系较为复杂时,上述风险评估方法可能存在不适用或效果不佳的问题。

鉴于此,笔者拟提出一种山岳型景区风险评估方法,构建山岳型景区安全风险评估指标体系,在此基础上创新性引入贝叶斯网络(Bayesian Network, BN),构建山岳型景区安全风险评估模糊BN(Fuzzy BN, FBN)模型评估风险概率,构建AHP模型评估风险损失,并改进最低合理可行(As Low As Reasonably Practicable, ALARP)准则,评估山岳型

景区安全风险等级。通过实例分析,验证该风险评估方法的科学性和有效性,以期为山岳型景区安全风险评估与管理提供参考。

1 构建山岳型景区安全风险评估指标体系

分析山岳型景区部分安全事故案例,参考《旅游区(点)质量等级的划分与评定》^[9],识别山岳型景区风险因素,并将其划分为人员不安全行为、设备设施不安全状态、环境负面影响和管理的缺陷4个维度。基于此,构建山岳型景区安全风险评估指标体系(表1)。该指标体系含14个一级安全风险因素指标,29个二级安全风险因素指标,86个三级安全风险因素指标。

2 构建山岳型景区安全风险评估模型

2.1 构建FBN模型

2.1.1 BN拓扑结构

将表1中三级指标 $X_1 \sim X_{86}$ 作为BN根节点, $A_1 \sim A_4$ 、 $B_1 \sim B_{14}$ 和 $Y_1 \sim Y_{29}$ 作为BN中间节点, Q 作为BN叶节点,利用GeNIe软件构建山岳型景区旅游安全风险评估BN拓扑结构(图1)。通过BN正向推理评估山岳型景区安全风险概率,逆向推理得到各指标后验概率,识别对山岳型景区安全和保障至关重要的网络薄弱环节^[10-11],通过敏感性分析估算各评价指标对山岳型景区旅游安全风险影响程度^[12]。

设 φ 是 Q 的样本空间, Z_1, Z_2, \dots, Z_r 为 Q 的一组完备事件,且 $\bigcup_{i=1}^r Z_i = \varphi$ ($i=1, 2, \dots, r$), $P(Q) > 0$, 则:

$$P(Z_i | Q) = \frac{P(Q | Z_i)P(Z_i)}{P(Q)} = \frac{P(Q | Z_i)P(Z_i)}{\sum_{i=1}^r P(Q | Z_i)P(Z_i)} \quad (1)$$

表1 山岳型景区安全风险评估指标体系

Table 1 Safety risk assessment index system for mountainous scenic areas

评估对象	维度	一级指标	二级指标	三级指标
山岳型景区 旅游安全风险 Q	人员不安全 行为 A_1	人员不具备上岗 条件 B_1	特种(设备)作业 人员证失效 Y_1	特种设备作业人员证缺失或过期 X_1
				特种作业操作证缺失或过期 X_2
			其他从业资格证 失效 Y_2	消防设施操作员证缺失或过期 X_3
				水上救生员证缺失或过期 X_4
				从业人员健康证缺失或过期 X_5
		人员违规 操作 B_2	用火不慎 X_6	
			不按规定路线游览 X_7	
			管理人员脱岗 X_8	
	设备设施不 安全状态 A_2	安全设备 设施配置/ 设置不足 B_3	安全防护欠缺 Y_3	危险游乐项目防护围栏设置不到位 X_9
				施工现场未围挡 X_{10}
			消防设备设施 缺失 Y_4	建筑消防设施配置/设置不到位 X_{11}
				森林防火设施配置/设置不足 X_{12}
		医疗设备设施 不全 Y_5	未设医务室 X_{13}	
			未配备医疗急救设施和常用医疗药品 X_{14}	
		设备设施可 靠性低 B_4	消防设施失效 Y_6	消防设施损坏 X_{15}
				灭火器超期使用 X_{16}
			电气设施危险 性大 Y_7	线头裸露 X_{17}
				线路未穿管 X_{18}
				电闸箱破损严重 X_{19}
			监控设施存 在缺陷 Y_8	监控探头数量不足 X_{20}
				监控设施损坏 X_{21}
				监控数据不具时效性 X_{22}
		监控室无人员值班 X_{23}		
		安全标志设置 不足 B_5	安全警示标志 设置不到位 Y_9	危险区域未设安全警示牌 X_{24}
				危险游乐项目未设注意事项说明牌 X_{25}
			消防安全标志 缺失 Y_{10}	施工现场未设安全警示标志 X_{26}
				消防设施标志设置不到位 X_{27}
		设备设施安全 检测存在缺 陷 B_6	电气防火检测 不达标 Y_{11}	变配电装置和低压配电线路检测不到位 X_{29}
				照明装置和一般低压用电设备检测不到位 X_{30}
			建筑消防设施 检测不达标 Y_{12}	灭火设施检测不到位 X_{31}
				疏散设施检测不到位 X_{32}
			燃气设施检测 不到位 Y_{13}	可燃气体报警控制器缺失或损坏 X_{33}
				紧急切断阀缺失或损坏 X_{34}
			危险游乐设施 检测不足 Y_{14}	危险游乐设施未检测 X_{35}
				安全检测机构不具备资质 X_{36}
		特种设备检测 不足 Y_{15}	无安全检验合格标志 X_{37}	
			未进行特种设备安全风险日管控和周排查 X_{38}	
		环境负面 影响 A_3	建筑外部环境 稳定性差 B_7	防火间距不足 X_{39}
				防雷装置缺失或损坏 X_{40}
				未进行房屋建筑安全评估 X_{41}
	建筑内部环境 危险性大 B_8		火灾荷载大 X_{42}	
			防火和防烟分区划分不合理 X_{43}	
			建(构)筑物耐火 等级低 Y_{16}	建(构)筑物结构耐火等级低 X_{44}
				装修材料耐火等级低 X_{45}
	自然灾害危险 性大 B_9		地震 X_{46}	
			落石与山体滑坡 X_{47}	
			强暴雨 X_{48}	

续表 1

评估对象	维度	一级指标	二级指标	三级指标
	管理的缺陷 A_4	安全生产规章制度不健全 B_{10}	安全生产教育培训不到位 Y_{17}	未制定教育培训计划 X_{49}
				无安全生产教育培训记录 X_{50}
			安全生产责任划分不明 Y_{18}	未明确岗位安全职责 X_{51}
				未明确相关方安全职责 X_{52}
				未明确安全管理机构与人员 X_{53}
			安全生产综合管理制度不健全 Y_{19}	未健全安全生产例会制度 X_{54}
				未落实安全生产事故报告和调查处理制度 X_{55}
				未健全双重预防机制 X_{56}
				建设项目安全设施“三同时”管理不到位 X_{57}
			安全生产专项管理制度不健全 Y_{20}	未建立危险游乐项目安全管理制度 X_{58}
				未建立劳动防护用品配备和管理制度 X_{59}
				未建立燃气使用及管理制度 X_{60}
		未建立反恐防暴应急防范管理制度 X_{61}		
		未建立消防、用电和食品安全管理制度 X_{62}		
		安全管理不到位 B_{11}	安全管理台账缺失 Y_{21}	未建立隐患排查治理台账 X_{63}
				未建立特种作业管理台账 X_{64}
				未建立特种设备台账 X_{65}
				未建立消防设施台账 X_{66}
		安全操作规程未明确 Y_{22}	未制定岗位安全操作规程 X_{67}	
			未制定大型游乐设施安全操作规程 X_{68}	
		日常管理松散 B_{12}	日常巡查不力 Y_{23}	游乐设施日常检查维修不到位 X_{69}
				消防设施使用和维护保养不到位 X_{70}
				安全出口堵塞 X_{71}
		应急预案可靠性低 B_{13}	应急预案内容不完整 Y_{24}	未制定综合应急预案 X_{72}
				未制定专项应急预案 X_{73}
				未制定突发事件现场处置方案 X_{74}
			应急演练不规范 Y_{25}	未制定应急演练方案 X_{75}
				应急演练记录缺失 X_{76}
			应急救援能力不足 Y_{26}	未配备应急救援队伍 X_{77}
		未配备应急救援物资 X_{78}		
运营管理存在漏洞 B_{14}	消防安全管理疏漏 Y_{27}	消防验收合格证缺失 X_{79}		
		开业检查合格证缺失 X_{80}		
		消防设施定期检查记录缺失 X_{81}		
	餐饮安全管理疏漏 Y_{28}	食品经营许可证缺失 X_{82}		
		无厨房排油烟系统清洗报告 X_{83}		
		无特种设备生产许可证 X_{84}		
	其他安全管理疏漏 Y_{29}	营业执照缺失或超期经营 X_{85}		
		无建设工程规划许可证 X_{86}		

式中: i 为BN父节点编号; r 为BN父节点数目; $P(Q)$ 为山岳型景区安全风险概率; $P(Z_i)$ 为父节点 Z_i 的先验概率; $P(Z_i | Q)$ 为父节点 Z_i 的后验概率; $P(Q | Z_i)$ 为父节点 Z_i 失效条件下子节点 Q 的失效概率。

2.1.2 FBN 模型

由于传统BN依赖大量精确数据,而山岳型景区相关数据匮乏。为此,融合多领域专家经验,运用模糊概率表达不确定性,计算根节点先验概率,构建

FBN模型,优化分析^[13]。由于三角模糊数线性分布和容易理解^[14],采用三角模糊数表示BN根节点状态概率。依据联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)概率表述^[15],引入7级自然语言变量描述BN根节点失效可能性(表2)。

对专家意见作加权处理,以反映其专业性和经验差异(表3)。

将BN节点状态 j 设置为“yes”和“no”,针对不

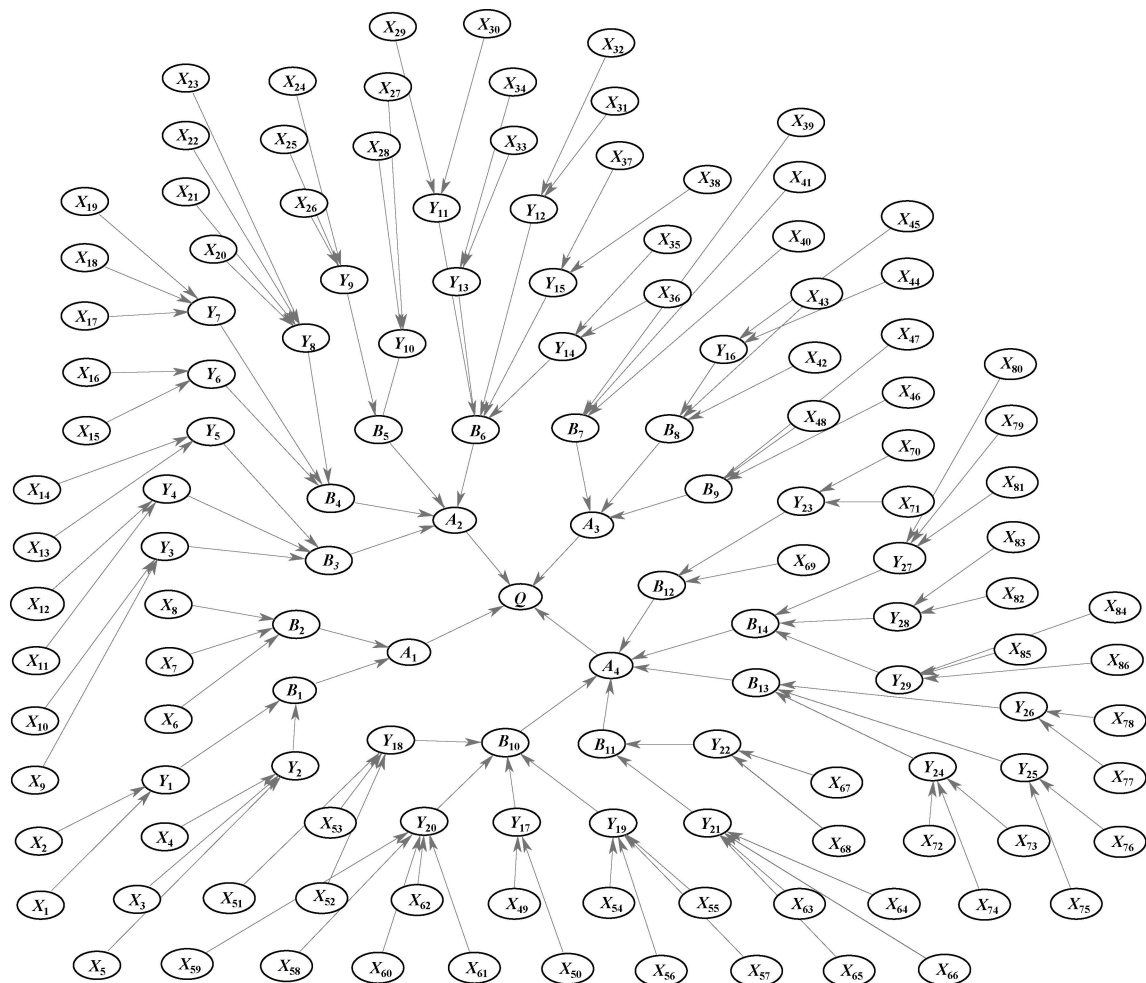


图1 山岳型景区安全风险评价 BN 拓扑结构

Fig. 1 BN topology structure for safety risk assessment of mountainous scenic areas

表2 自然语言变量及概率表述

Table 2 Natural language variables and probability expressions

自然语言变量	三角模糊数	概率范围/%	概率等级 U
非常低 VL	(0,0,0.1)	<1	1
低 L	(0,0.1,0.3)	1~10	2
偏低 FL	(0.1,0.3,0.5)	10~33	3
中等 M	(0.3,0.5,0.7)	33~66	4
偏高 FH	(0.5,0.7,0.9)	66~90	5
高 H	(0.7,0.9,1.0)	90~99	6
非常高 VH	(0.9,1.0,1.0)	>99	7

表3 专家信息及权重

Table 3 Expert information and weight

编号	专家来源	教育背景	从业年限/a	权重 α_k
1	景区等级复核专家	博士	15	0.212 1
2	高校安全工程专业教授	博士	12	0.212 1
3	高校安全工程专业教授	博士	8	0.181 8
4	政府旅游相关部门人员	硕士	6	0.151 5

续表 3

编号	专家来源	教育背景	从业年限/a	权重 α_k
5	风险评估机构人员	硕士	<5	0.121 2
6	风险评估机构人员	硕士	<5	0.121 2

同节点分别表示安全和失效、好和坏等不同含义。结合专家权重值 α_k (k 为专家编号), 将第 k 位专家对 i 节点处于 j 状态的自然语言描述对应的三角模糊数 P_{ij}^k 转换为模糊专家意见聚合结果 \tilde{P}_{ij} , 采用均值面积法计算模糊可能性值 (Fuzzy Possibility Score, FPS)^[16], 根据 ONISAWA^[17] 提出的公式将 FPS 转化为模糊失效概率 (Field Failure Rate, FFR), 即 BN 根节点先验概率:

$$FFR = \begin{cases} \frac{1}{10^R} & \text{FPS} \neq 0 \\ 0 & \text{FPS} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 R 为系数, $R = 2.301 \times \left(\frac{1 - \text{FPS}}{\text{FPS}} \right)^{1/3}$ 。

2.2 构建 AHP 模型

以表 1 中 Q 为目标层, $A_1 \sim A_4$ 为准则层, $B_1 \sim B_{14}$ 、 $Y_1 \sim Y_{29}$ 为要素层, $X_1 \sim X_{86}$ 为指标层, 构建 AHP 模型, 评估山岳型景区安全风险损失, 步骤如下:

1) 计算指标权重向量 W 。由于 3 标度理论较传统 9 标度理论, 具有构建过程简单、评价主观性和模糊性降低、计算量少等优点^[18], 邀请专家运用 3 标度法评估 AHP 模型中各层级指标重要度, 构建两两比较判断矩阵, 计算矩阵最大特征值 λ_{\max} 和特征向量 W 并进行随机一致性检验。当一致性比率 (Consistency Ratio, CR) 小于 0.1 时, 构造的判断矩阵满足一致性要求, 对应的特征向量即为评价指标体系的权重向量。

2) 构建隶属度矩阵 K 。参照《在用电梯安全风险等级评估规范》^[19], 划分山岳型景区安全风险损失等级 $V = \{\text{可忽略}[1], \text{低}[2], \text{中}[3], \text{高}[4]\}$ 。利用专家打分法构建隶属度矩阵 K , 反映各个评价指标在不同风险损失等级上的可能性。

3) 安全风险损失评估。模糊综合评价向量 $L = W \times K$, 根据最大隶属度原则确定山岳型景区安全风险损失等级。

2.3 综合安全风险评估

引入 ALARP 准则, 并在风险划分中增加“极度危险区”, 将山岳型景区旅游安全风险划分为极度危险区、不可接受区、ALARP 区和可忽略区。按照风险指数 $F = U \times V$ (U 为风险概率等级), 将山岳型景区安全风险等级由高到低划分为 I 级、II 级、III 级和 IV 级 (图 2)。

3 安全风险评估实例验证

3.1 山岳型景区安全风险评估案例概况

以北京市怀柔区某山岳型景区安全风险评估为

表 4 根节点 X_6 的先验概率计算

Table 4 Prior probability calculation of root node X_6

节点状态	专家意见						\tilde{p}_{ij}	FPS	FFR
	1	2	3	4	5	6			
no	FH	FH	H	H	FH	FH	(0.567, 0.767, 0.933)	0.758	0.027
	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.7, 0.9, 1)	(0.7, 0.9, 1)	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.5, 0.7, 0.9)			

点安全防护欠缺 Y_3 条件概率计算为例, 由于节点 Y_3 与其父节点危险游乐项目防护围栏设置不到位 X_9 、施工现场未围挡 X_{10} 的逻辑关系为“或”门, 则节点 Y_3 的条件概率为: $P(Y_3 = \text{no}) = P(X_9 = \text{yes})$

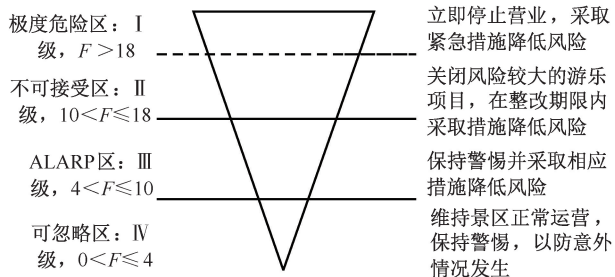


图 2 安全风险等级划分改进 ALARP 准则

Fig. 2 Improved ALARP criteria based on safety risk classification

例, 验证上述风险评估方法的科学性和有效性。该景区近年来引入玻璃水划、飞天魔毯、步步惊心、空中自行车、空中飞船等高风险娱乐项目, 经现场考察发现该景区存在的风险包括: ①步步惊心项目缺少安全验收报告, 出具飞天魔毯安全验收报告的机构不具备权威资质, 不符合“三同时”管理要求。②双重预防机制不健全, 隐患排查治理不到位, 如玻璃水划两侧防护栏高度不够, 存在人员侧翻风险; 空中自行车起点等危险区域未设防护围栏, 存在人员高处坠落风险; 灭火器设置和维护保养不到位, 可靠性低, 存在灭火器过期和随意摆放现象; 施工现场安全监管不到位, 管理人员脱岗, 地面遗留大量烟头, 森林火灾风险较大。③建筑缺少火灾自动报警系统, 存在电气线路未穿管、线头裸露现象。④监控探头数量不足, 无法实时掌握游客安全状况。

3.2 山岳型景区旅游安全风险评估

3.2.1 风险概率评估

1) 计算 BN 根节点先验概率。由于篇幅有限, 仅展示根节点“用火不慎 X_6 ”的先验概率计算过程 (表 4)。其中, 节点状态“no”表示存在用火不慎的状况, 即处于不安全状态。

2) 计算 BN 中间节点条件概率。以 BN 中间节

$P(X_{10} = \text{no}) + P(X_9 = \text{no}) P(X_{10} = \text{yes}) + P(X_9 = \text{no}) P(X_{10} = \text{no}) = 0.072$, $P(Y_3 = \text{yes}) = 1 - P(Y_3 = \text{no}) = 1 - 0.072 = 0.928$ 。在构建的 BN 拓扑结构中输入根节点先验概率和中间节点条件概率, 建立 FBN 模型,

进行模型正向推理(图3)。可见,在当前运行状态下,该景区旅游安全风险概率为76%,风险概率等级 U 为5级,风险可能性较高。

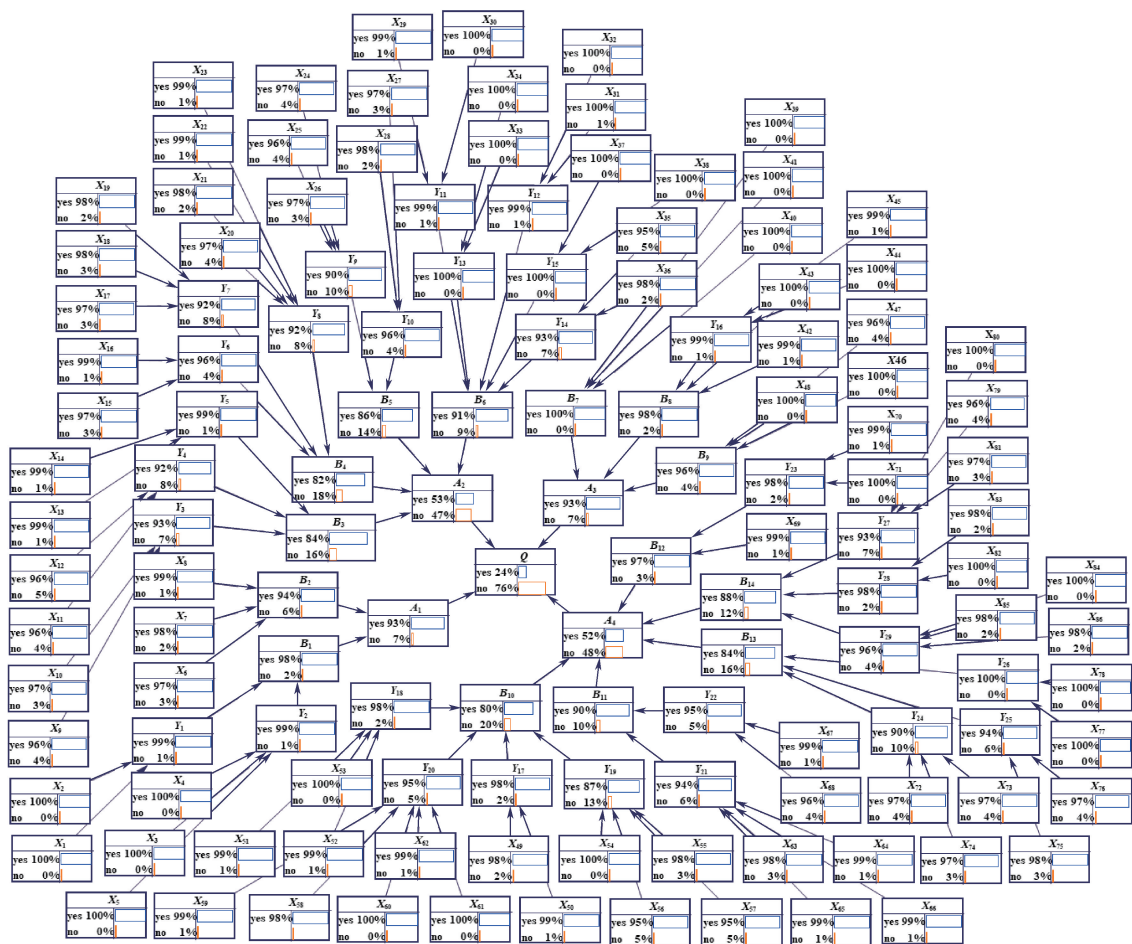


图3 山岳型景区旅游安全风险正向推理

Fig. 3 Positive reasoning of tourism safety risks in mountainous scenic areas

3.2.2 关键风险因素识别

1) 逆向推理。将目标节点 Q 的no状态概率设置为100%,模型逆向推理得出根节点处于“最差状态”的概率。结果表明:未健全双重预防机制 X_{56} 、危险游乐设施未检测 X_{35} 、建设项目安全设施“三同时”管理不到位 X_{57} 、森林防火设施配置/设置不足 X_{12} 、危险游乐项目防护围栏设置不到位 X_9 、建筑消防设施配置/设置不到位 X_{11} 、落石与山体滑坡 X_{47} 和未制定大型游乐设施安全操作规程 X_{68} 是最可能导致该景区发生安全事件的风险因素组合。据此,应重点关注这些风险因素,制定针对性改进措施和管理策略。

2) 敏感性分析。分别将 A_2 和 A_4 节点设置为“Target”并进行敏感性分析,计算出部分节点灵敏度(图4)。可知:对节点 A_2 影响最大的风险因素为危险游乐设施未检测 X_{35} 和森林防火设施配置/设置

不足 X_{12} 。同理,与同层级指标相比,未健全双重预防机制 X_{56} 和建设项目安全设施“三同时”管理不到位 X_{57} 对 A_4 的影响最大。据此,采取措施改进这些敏感因素,能够提高该景区安全风险控制效率和效果。

3.2.3 风险损失评估

以AHP模型准则层 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 指标权重计算为例,利用3标度法两两比较,得到比较矩阵 C_{mn} 。

$$C_{mn} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: m 和 n 为矩阵 C_{mn} 行列编号;标度值0表示指标 A_m 没有 A_n 重要,1表示指标 A_m 和 A_n 一样重要,2表示指标 A_m 比 A_n 重要^[20]。

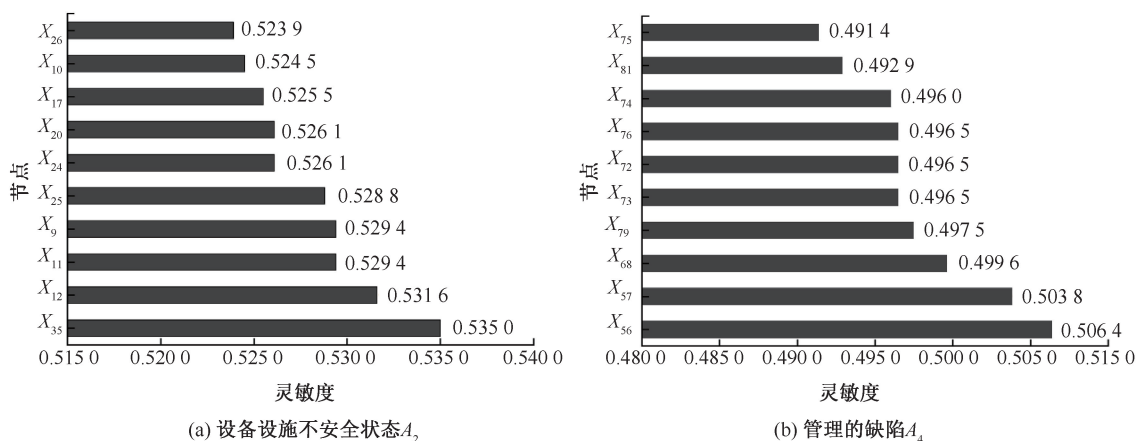


图 4 敏感性分析

Fig. 4 Sensitivity analysis

计算重要性排序指数 $h_m = \sum_{n=1}^4 C_{mn}$, 将初始比较

矩阵转化为判断矩阵 E :

$$a_{uv} = \begin{cases} \frac{h_{m1} - h_{m2}}{h_{\max} - h_{\min}}(a_s - 1) + 1, & h_{m1} \geq h_{m2} \\ 1, & h_{m1} = h_{m2} \\ \left[\frac{h_{m1} - h_{m2}}{h_{\max} - h_{\min}}(a_s - 1) + 1 \right]^{-1}, & h_{m1} < h_{m2} \end{cases} \quad (4)$$

式中: a_{uv} 为判断矩阵 E 的元素; h_{m1} 、 h_{m2} 表示矩阵 C_{mn} 各行元素之和,矩阵 C_{mn} 各行元素之和最大值 $h_{\max} = \max \{ h_m \} = h_4 = 7$, 最小值 $h_{\min} = \min \{ h_m \} = h_3 = 1$; 指数 $a_s = h_{\max} / h_{\min} = 7$ 。

$$E = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{1v} \\ a_{u1} & a_{uv} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 3 & 1/4 \\ 4 & 1 & 6 & 1 \\ 1/3 & 1/6 & 1 & 1/6 \\ 4 & 1 & 6 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

计算判断矩阵最大特征值 λ_{\max} 为 4.06, 一致性指标 (Consistency Index, CI) 为 0.02, 查表得当 $n=4$ 时, 随机一致性指标 (Random Index, RI) 为 0.9, 则 $CR=0.02 < 0.1$, 符合一致性检验要求, 计算特征向量并归一化处理得权重向量 W 。

$$W = (0.122, 0.410, 0.057, 0.410)^T$$

运用上述方法, 计算各层级指标权重向量。邀请专家组填写调查问卷, 评价各指标属于不同风险损失等级的程度, 通过多层模糊综合评价后, 得到隶属度矩阵 K 。

$$K = \begin{pmatrix} 0 & 0.314 & 0.468 & 0.218 \\ 0 & 0.268 & 0.298 & 0.434 \\ 0 & 0.464 & 0.331 & 0.205 \\ 0 & 0.416 & 0.450 & 0.134 \end{pmatrix}$$

模糊评价向量 $L = (0, 0.345, 0.383, 0.271)$, 即山岳型景区安全风险损失等级为中等(3级)的可能性最大。

3.2.4 综合安全风险等级评估

综合风险概率和风险损失评估结果, 应用改进的 ALARP 准则, 该山岳型景区旅游安全风险等级评定为 II 级, 风险不可接受。在北京市旅游景区质量等级复核工作中, 该景区复核结果为限期整改, 安全问题突出, 评估结果与实际情况一致。

4 结 论

1) 提出的基于 BN 的山岳型景区安全风险评估方法, 利用 BN 模型推理优势, 评估出北京市某山岳型景区的风险概率为 76%, 风险损失等级为中等, 风险指数为 15, 综合安全风险等级为 II 级, 风险水平不可接受, 评估结果与实际情况一致, 证明方法具有一定的科学性和有效性。

2) 山岳型景区旅游安全关键风险因素为危险游乐设施检测不到位、森林防火设施配置、设置不足、危险游乐项目防护围栏设置不到位、落石与山体滑坡等。

3) 采用专家调查法获取的风险数据受到专家个人主观意识的影响, 存在一定误差。在后续研究中, 可通过大数据分析收集山岳型景区更多现场数据, 提升模型参数估计精度, 进而提高风险评估的准确性。

参 考 文 献

- [1] GB/T 31706—2015, 山岳型旅游景区清洁服务规范[S].
GB/T 31706—2015, Mountain tourist attraction cleaning service specification [S].
- [2] BENTLEY T A, PAGE S J. A decade of injury monitoring in the New Zealand adventure tourism sector: a summary risk analysis[J]. *Tourism Management*, 2008, 29(5): 857–869.
- [3] 林爱平. 山岳型旅游景区山洪灾害风险评估模型构建[J]. *兰州文理学院学报: 社会科学版*, 2020, 36(5): 72–77.
LIN Aiping. Construction of risk assessment model for mountain torrent disaster in mountain scenic spots[J]. *Journal of Lanzhou University of Arts and Science: Social Sciences*, 2020, 36(5): 72–77.
- [4] 王辉. 山岳型旅游景区登山活动安全问题实证研究: 以泰山景区为例[J]. *泰山学院学报*, 2020, 42(1): 50–55.
WANG Hui. An empirical study on the safety of mountaineering activities in mountain scenic spots-taking mountain scenic spots in Mount Tai as an example[J]. *Journal of Taishan University*, 2020, 42(1): 50–55.
- [5] 邹永广, 郑向敏. 旅游景区安全评价模型及实证研究[J]. *中国安全科学学报*, 2011, 21(3): 156–162.
ZOU Yongguang, ZHENG Xiangmin. Safety evaluation model and empirical study for tourism scenic spots[J]. *China Safety Science Journal*, 2011, 21(3): 156–162.
- [6] 罗振军, 佟瑞鹏. 旅游景区安全容量分析与事故风险评价[J]. *中国安全科学学报*, 2008, 18(2): 150–156.
LUO Zhenjun, TONG Ruipeng. Analysis on safety capacity and assessment of accident risk in tourism spots[J]. *China Safety Science Journal*, 2008, 18(2): 150–156.
- [7] 黄佳杰, 巴兆祥. 山地旅游安全事故致因研究: 基于“三山五岳”的文本案例[J]. *干旱区资源与环境*, 2024, 38(3): 201–208.
HUANG Jiajie, BA Zhaoxiang. Analysis on factors triggering the accidents in mountainous tourism based on textual cases of 8 famous mountains[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2024, 38(3): 201–208.
- [8] 方雪, 谢朝武, 黄锐. 扎根理论下国内漂流旅游安全事故成因机制[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(4): 23–29.
FANG Xue, XIE Chaowu, HUANG Rui. Formation mechanism of safety accidents in domestic drifting tourism based on GT[J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32(4): 23–29.
- [9] GB/T 17775—2003, 旅游区(点)质量等级的划分与评定[S].
GB/T 17775—2003, Standard of rating for quality of tourist attractions [S].
- [10] ARGENTI F, LANDUCCI G, RENIERS G, et al. Vulnerability assessment of chemical facilities to intentional attacks based on bayesian network[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2018, 169: 515–530.
- [11] ARGENTIA F, LANDUCCI G. Advanced attractiveness assessment of process facilities with respect to malevolent external attacks[J]. *Chemical Engineering Transactions*, 2016, 53: 133–138.
- [12] 李新宏, 付雅倩, 刘亚洲, 等. 基于 Copula-BN 的海上船舶碰撞风险评估方法[J]. *中国安全科学学报*, 2023, 33(9): 204–213.
LI Xinhong, FU Yaqian, LIU Yazhou, et al. Copula-BN based risk assessment methodology of marine ship collisions[J]. *China Safety Science Journal*, 2023, 33(9): 204–213.
- [13] 曾明华, 王旭, 王转敏, 等. 基于模糊多态贝叶斯网络的地铁运营风险评估方法[J]. *城市轨道交通研究*, 2019, 22(5): 28–33.
ZENG Minghua, WANG Xu, WANG Zhuanmin, et al. Risk assessment of subway operation safety based on fuzzy polymorphic Bayesian network[J]. *Urban Mass Transit*, 2019, 22(5): 28–33.
- [14] 闫继朋. 建筑主体结构工程施工危险源管理研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.
YAN Jipeng. Research on the management of hazard source for major structure construction[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2018.
- [15] MANNING M R, 戴晓苏. IPCC 第四次评估报告中对不确定性的处理方法[J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2(5): 233–237.
MANNING M R, DAI Xiaosu. The treatment of uncertainties in the fourth IPCC assessment report[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(5): 233–237.

[16] 兰蓉, 范九伦. 三角模糊数上的完备度量及其在决策中的应用[J]. 系统工程学报, 2010, 25(3): 313-319.
LAN Rong, FAN Jiulun. Complete metric on triangular fuzzy numbers and its application to decision-making[J]. Journal of Systems Engineering, 2010, 25(3): 313-319.

[17] ONISAWA T. An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1988, 27(2): 87-103.

[18] 许胜军, 余华中, 李德海, 等. 基于博弈论:云模型的露天矿边坡稳定性分析[J]. 能源与环保, 2023, 45(7): 21-28.
XU Shengjun, YU Huazhong, LI Dehai, et al. Stability analysis of open-pit mine slope based on game theory-cloud model[J]. China Energy and Environmental Protection, 2023, 45(7): 21-28.

[19] DB11/T 1520—2022, 在用电梯安全风险评规范[S].
DB11/T 1520—2022, Rules for exiting lift safety risk assessment[S].

[20] 郭小东, 石占齐, 卢继文, 等. 石窟寺地震灾害风险评估方法研究:以云冈石窟为例[J/OL]. 工业建筑: 1-12 [2024-06-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2068.TU.20240314.2105.002.html>.
GUO Xiaodong, SHI Zhanqi, LU Jiwen, et al. Study on risk assessment method of earthquake disaster in grotto temple-taking Yungang Grottoes as an example[J/OL]. Industrial Construction: 1-12[2024-06-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2068.TU.20240314.2105.002.html>.



作者简介: 刘伟 (1985—),男,安徽宁国人,博士,教授,主要从事安全科学与工程方面的研究。E-mail: liuwei7230@cumtb.edu.cn。

《中国学术期刊影响因子年报(2024 版)》发布

由《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社出版、中国科学文献计量评价研究中心编制的《中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2024 版)》(简称《年报 2024 版》)发布。

《年报(2024 版)》计量指标统计显示:《中国安全科学学报》影响力指数(CI)为 1 330.207,CI 学科排序为 1/20。其他指标如下:2023 年载文量为 433, 可被引文献量为 354,可被引文献比为 0.82。复合总被引频次为 12 892,即年指标为 0.206,复合影响因子为 2.947,复合他引影响因子为 2.355,5 年影响因子为 3.014,他引 5 年影响因子为 2.620。

中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2024 版)

期刊名称: 中国安全科学学报
主办单位: 中国职业安全健康协会
学科类别: 安全科学技术
研究层次: 技术研究
CN/ISSN: CN 11-2665/X ISSN 1003-3023

计量指标统计表

2023年		2022年		2021年	
载文量	433	433	433	433	433
可被引文献量	354	354	354	354	354
可被引文献比	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
复合总被引频次	12892	12892	12892	12892	12892
即年指标	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206
复合影响因子	2.947	2.947	2.947	2.947	2.947
复合他引影响因子	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355
5年影响因子	3.014	3.014	3.014	3.014	3.014
5年他引影响因子	2.620	2.620	2.620	2.620	2.620

中国科学文献计量评价研究中心
2024年6月9日