

基于模糊综合评价的景区飞拉达项目安全分析

孔志军¹, 郭延辉², 胡东平³, 饶碧玉¹

(1. 云南农业大学 建筑工程学院, 昆明 650201; 2. 昆明理工大学 公共安全与应急管理学院, 昆明 650093;
3. 云南鸿博建设咨询有限公司, 昆明 650031)

摘要:为了研究大理某景区飞拉达项目的安全性,在景区现场勘察基础上,采用层次分析和模糊综合评价,对飞拉达项目设施设备、应急救援设施、公用工程、配套设施和安全管理等方面进行安全评价。通过对飞拉达项目研究分析,建立包括设备、人员、管理和环境 4 个因素的子系统及 16 个下属指标的评价体系。通过专家打分法对指标的等级进行模糊评价,计算隶属度,确定风险等级。结果表明,景区飞拉达项目风险评价值 $F=59.4$,安全等级为一般,偏向较安全,需对飞拉达项目进行改进,加强管理。研究结果可为景区飞拉达项目安全管理提供参考。

关键词:景区;飞拉达;层次分析;模糊综合评价;安全评价

中图分类号:X93 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)08-0061-05

飞拉达攀登项目是目前国内的网红户外探险运动,已有上百年历史,每年有百万人参与到这项运动中来。为了吸引游客,国内大量景区开辟了户外飞拉达项目,但由于项目建设在峭壁之上,受自然因素、设施以及景区管理等因素影响,存在很多潜在安全风险,威胁游客生命财产安全。尽管国家相关部门就景区设施安全制定了很多规章制度,但每年仍有因游乐设施安全问题而引发的事故,如 2004 年 6 月 18 日张家界景区发生的岩石崩塌事故。景区游乐设施安全事故往往难以及时发现,而一旦发生关系重大。因此,需加强对飞拉达项目安全风险的评价,找到一种科学合理的评价方法,及时给予景区工作人员反馈,消除安全隐患。

近年来,众多学者就旅游景区安全开展了研究工作。孙滢悦等^[1]、陈炜等^[2]、梅诗婧等^[3]、林爱平等^[4]分别对长白山、漓江、沙漠、山岳型等景区安全风险从不同角度进行了评价研究。但对于景区内大型游乐设施的安全风险,相关研究较少。庄春吉等^[5]应用 AHP 与灰色模糊理论结合的方法,对大型过山龙游乐设施进行安全评价。张新东等^[6]采用 BP 神经网络对大型游乐设施进行安全评价。金灿华等^[7]通过变权层次分析并结合可拓理论对过山车安全进行评价。沈功田等^[8]采用健康评价方法对在役大型游乐设施进行健康评价。梁朝虎等^[9]研究了游乐设施剩余寿命的评价方法。杨振宏等^[10]建立

了熵权物元可拓模型,对滑行类大型游乐设施进行安全评价。杨臣剑等^[11]提出一种结合事故树与模糊数学的风险分级方法,结合信息熵决策法对大型游乐设施风险进行研究。余珂等^[12]基于层次分析法构建了在役观览车的安全评价体系,并进行安全评价。陈滢锜^[13]研究超声波探伤仪的期间核查,并给出应用于游乐设施检验时的核查方法和参数。

飞拉达项目由于发展较晚,对于该项目相关研究及相关法律法规都很欠缺。因此,飞拉达项目安全评价研究对项目运营具有重要意义。为研究飞拉达项目安全性,现以大理某景区飞拉达项目为研究背景,采用层次分析和模糊综合评价构建评价体系,对飞拉达项目进行安全风险评价研究,以期为该景区飞拉达项目安全运营提供参考。

1 飞拉达项目主要安全风险辨识及分析

1.1 景区飞拉达项目概况

大理某景区飞拉达项目根据景区独特的地质特征,景观特征设计总长约 2 160 m,是目前国内最长的飞拉达线路,也是国内唯一一条飞拉达设计与瀑布景观结合的瀑布飞拉达。该景区瀑布飞拉达线设有以下 3 条不同难度路段:

1) 初级体验线。设计难度为容易、童叟皆宜的初级线路(全程 60 m)。

2) 中级瀑布溯溪线。适合登高观景与户外运动锻炼相结合的中级线路(长 1 000 m,爬升高度

收稿日期:2021-03-13

基金项目:云南省应用基础研究计划面上项目(2018FB075);中国博士后科学基金(2017M620433)。

作者简介:孔志军(1996—),男,江西抚州人,云南农业大学建筑工程学院,硕士研究生,研究方向为工程安全风险评估;通信作者郭延辉(1985—),男,陕西延安人,昆明理工大学公共安全与应急管理学院,副教授,博士,研究方向为工程安全。

180 m,中段还有趣味索桥 5 座)。

3)高级丛林穿越线。为体力超强、渴望挑战的人士专门准备了最大垂直高差超过 200 m、难度为很难-极难的挑战线路(长 1 100 m,爬升高度260 m)。

1.2 主要安全风险因素辨识及分析

1.2.1 地质灾害因素

该景区悬崖壁两侧及山坡上存在的大范围碎裂岩体、危岩体、孤石等成为威胁景区安全的重大危险源。特别是在地震、降雨、雨水冲刷、风化等条件下,大范围碎裂岩体和危岩体,以及孤石可能失去其稳定性,产生崩塌、滑动、滚动等,会对景区内设施设备及人员的生命财产安全产生重大的威胁。景区地形切割较深,飞拉达所在一侧岩壁岩体节理裂隙非常发育,危岩顺悬崖呈带状分布,岩体节理裂隙非常发育,危岩规模较大,为特大型危岩带。整个悬崖壁高度较高,最高处达超过 600 m,区内危岩属于高位危岩。

1.2.2 设施风险因素

飞拉达项目主要包括不锈钢绳、填充固定料、脚蹬架、手扶架、卡扣、飞拉达 P 型保护连接环等组成。项目的安全性及可靠性主要取决于:钢丝绳所攀附岩体的稳定性,脚蹬、扶手架等构件的可靠性,防护装置等附属设施的稳定性。经过详细调研,存在的现场主要风险如下:

- 1)部分脚蹬和扶手架锚固深度不够,不牢固。
- 2)线路杂草丛生,行走困难,且内部可能有蛇、蜂等,存在一定风险。
- 3)危险地段缺乏提示警示标志,如易落实地段应增加容易落实警示牌,在有些地段应保证前后攀爬者保持相应距离。
- 4)线路有水地段,崖壁上苔藓丛生,十分光滑,容易滑倒。
- 5)局部地段扶手不够,安全绳沿着滑落方向较长,对安全保护不起作用。
- 6)个别树木未清理影响正常通行。
- 7)局部地段扶手架和脚蹬设置数量不够,且有少部分布置于不稳定岩体中。

2 评价体系建立及权重计算

2.1 飞拉达项目评价体系构建

由于飞拉达项目建设在户外峭壁之上,影响其安全性的因素众多,在进行安全风险评价时需综合考虑自然环境、人员及管理等因素。为构建科学合理的评价指标体系,基于评价体系构建原则,参考大量景区事故经验及现场勘察结果,建立目标层、

准则层和指标层的 3 级指标体系,准则层包括人-机-环-管 4 方面,根据专家意见选取设计、制造及安装,维护保养,安全防护装置,救援设备,工作人员综合能力游客身体素质及安全意识、规章制度建立与执行,管理人员安全、技术培训,游客安全教育,设备定期安全检查情况,应急措施和救援预案,安全警示标识,线路周围岩体安全性,遭遇蛇、蜂等的袭击,攀岩时气候变化,植物、杂草生长等对绳索的影响作为指标层评价因素。评价指标体系见表 1。

表 1 飞拉达安全评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C
飞拉达项目 安全评价 指标 A	设备因素 B ₁	设计、制造及安装 C ₁₁
		维护保养 C ₁₂
		安全防护装置 C ₁₃
		救援设备 C ₁₄
	人员因素 B ₂	工作人员综合能力 C ₂₁
		游客身体素质及安全意识 C ₂₂
	管理因素 B ₃	规章制度建立与执行 C ₃₁
		管理人员安全、技术培训 C ₃₂
		游客安全教育 C ₃₃
		设备定期安全检查情况 C ₃₄
		应急措施和救援预案 C ₃₅
	环境因素 B ₄	安全警示标识 C ₄₁
		线路周围岩体安全性 C ₄₂
		遭遇蛇、蜂等的袭击 C ₄₃
		攀岩时气候变化 C ₄₄
		植物、杂草生长等对绳索的影响 C ₄₅

2.2 评价指标权重计算

指标权重的确定能将指标间相互重要性量化分析,清晰地反映各评价指标重要程度。目前,计算权重的方法有很多,综合考虑,选择层次分析法^[14]计算指标权重。按照表 1 指标体系层级划分结果,邀请专家打分,打分标度见表 2,采用 1-9 标度法进行打分,通过对评价因素两两比较确定相对重要性,构建判断矩阵,根据判断矩阵计算得到飞拉达项目安全评价各一级指标的指标权重见表 3。

由于判断矩阵构造时是对相关领域专家进行问卷调查,给予赋值,存在一定主观性,结果可能出现偏差,因此,需对构造矩阵进行一致性检验,检验公式为

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1); CR = CI / RI$$
$$(1)$$

式中: $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征值; n 为判断矩阵阶数值; RI 取值见表 4。若 $CR < 0.1$, 则矩阵可接受, 否则调整矩阵赋值。根据式(1)计算得到拉达项目

安全评价各一级指标判断矩阵的 $CI=0.0418$, $CR=0.046<0.1$, 因此, 该判断矩阵符合要求。

表 2 标度的含义

标度	含义
1	两元素重要程度相同
3	表示两个元素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	表示两个元素相比,重要性为比值的倒数

表 3 飞拉达项目安全评价各一级指标权重

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	权重 ω
B ₁	1	5	3	1/3	0.26
B ₂	1/5	1	1/3	1/7	0.05
B ₃	1/3	3	1	1/6	0.11
B ₄	3	7	6	1	0.58

表 4 随机性指标 RI 取值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

同理,构造出二级指标设备因素、人员因素、管理因素以及环境因素的判断矩阵 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 分别为

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 \\ 7 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1 \\ 5 & 3 & 1 & 1/3 & 3 \\ 7 & 5 & 3 & 1 & 5 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 & 5 & 3 \\ 5 & 1/3 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

经过计算得 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 的权重向量分别为 $\omega_1=(0.59,0.16,0.18,0.07)$; $\omega_2=(0.125,0.875)$;

$\omega_3=(0.05,0.10,0.25,0.50,0.10)$; $\omega_4=(0.05,0.48,0.21,0.11,0.15)$ 。

由于人员因素 B_2 所构建的判断矩阵为二阶,满足一致性要求,无须检验。对其他各指标判断矩阵进行一致性检验,结果显示构造判断矩阵 CR 值均小于 0.1,说明判断矩阵赋值较合理,可以接受。

2.3 飞拉达项目模糊综合评价

模糊综合评价法^[15]是在模糊数学基础上发展起来的一种综合性评价方法。该方法以隶属度理论为基础,将定性问题转化为定量问题来进行评价,即对一个影响众多的对象用一个总体评价给出。该评价方法结果清晰,具有较强的系统性,对于模糊难以量化的问题具有较好的适用性。

采用模糊综合评价法对大理某景区飞拉达项目安全进行评价,具体的操作流程分为 3 步。

2.3.1 建立效果评估要素集

要素集由评估指标组成,设为 $A=\{A_1,A_2,\cdots,A_n\}$;对评估因素的建立见表 1,其中 $A_i=\{A_{i1},A_{i2},\cdots,A_{im}\}$, A_{ij} 表示第 i 个一级指标下的第 j 个二级指标。

2.3.2 指标分析,建立评估因素档次集

根据前面的模糊综合评价法中介绍,将该景区飞拉达项目安全评价为 5 个等级,并采用百分制来划定。用数学符号记为 F ,分别表示:表示危险,分值为 0~20;表示较危险,分值为 21~40;表示一般,分值为 41~60;表示较安全,分值为 61~80;表示安全,分值为 81~100。现通过专家打分法对指标的等级进行模糊评价,则可求出隶属度。

2.3.3 单项评分,进行单因素模糊综合评价

邀请该领域 5 名相关专家对各单项指标进行评分,评价统计见表 5。

由表 5 可计算出设备因素、人员因素、管理因素以及环境因素下属评价指标所对应的模糊矩阵 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ,即

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.4 & 0.6 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix};$$
$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.0 \end{bmatrix};$$
$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.6 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.6 & 0.0 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.0 \end{bmatrix};$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \end{bmatrix}.$$

表 5 飞拉达项目安全风险评价统计

评价指标	不同评价等级对应的人数				
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
设计、制造及安装 C_{11}	0	1	3	1	0
维护保养 C_{12}	0	1	2	2	0
安全防护装置 C_{13}	0	0	3	2	0
救援设备 C_{14}	0	2	3	0	0
工作人员综合能力 C_{21}	0	0	3	2	0
游客身体素质及安全意识 C_{22}	0	1	2	2	0
规章制度建立与执行 C_{31}	0	0	2	3	0
管理人员安全、技术培训 C_{32}	0	0	2	3	0
游客安全教育 C_{33}	0	1	2	2	0
设备定期安全检查情况 C_{34}	0	1	2	2	0
应急措施和救援预案 C_{35}	0	1	2	2	0
安全警示标识 C_{41}	0	2	2	1	0
线路周围岩体安全性 C_{42}	0	2	2	1	0
遭遇蛇、蜂等的袭击 C_{43}	0	2	2	1	0
攀岩时气候变化 C_{44}	0	0	0	3	2
植物、杂草生长等对绳索的影响 C_{45}	1	1	2	1	0

应用模糊综合评价法,基于评价指标权重和模糊矩阵,飞拉达项目评价结果可以通过以下公式得出。

二级因素评价结果为

$$S_2 = \begin{bmatrix} \omega_1 R_1 \\ \omega_2 R_2 \\ \omega_3 R_3 \\ \omega_4 R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.178 & 0.568 & 0.254 & 0 \\ 0 & 0.175 & 0.425 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.17 & 0.4 & 0.43 & 0.1 \\ 0.03 & 0.326 & 0.356 & 0.244 & 0.194 \end{bmatrix}.$$

进一步得到一级因素评价结果为

$$S_1 = \omega \times S_2 = (0.017 \quad 0.263 \quad 0.419 \quad 0.275 \quad 0.124).$$

由前面可知评语集

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\} = \{10, 30, 50, 70, 90\}.$$

项目总风险评价:

$$F = S_1 \times U = (0.017, 0.263, 0.419, 0.275, 0.124)(10, 30, 50, 70, 90)^T = 59.4.$$

由前面对该景区飞拉达项目的安全评价等级划分结果可知,项目安全评价等级处于 41~60,安全等级为一般,偏向较安全。说明该景区飞拉达在使用过程中仍然存在安全风险,景区工作人员需加强对飞拉达项目的管理,做好风险排除等工作。

3 结论与建议

在景区飞拉达项目现场调研基础上,采用层次分析和模糊综合评价相结合的方法对项目进行安全风险评价,通过分析构建了包括设备、人员、管理和环境 4 个评价准则层以及细分出的 16 个下属指标的评价指标体系。通过计算各级指标权重可知,环境因素对于飞拉达项目的安全影响最大,其中周围岩体安全风险最为突出,需加强对线路周围岩体加固监测,其次是设备及管理因素,而人员因素对于项目安全影响最小。基于模糊综合评价对项目安全风险进行评价,结果表明,该景区飞拉达项目安全风险等级为 59.4,处于 41~60,安全等级一般,使用过程可能存在安全隐患,需加强对飞拉达项目安全管理。针对该景区飞拉达项目可能存在的安全问题,提出以下建议措施:

1)进一步补充完善景区飞拉达项目危险地段的警示、指示、紧急疏散等安全标志。提前向游客介绍攀登过程的安全风险、攀登过程意外处理方法以及配合游客做好防护设备穿戴、意外险办理等工作。

2)尽快完善脚蹬、脚踏板、扶手架、钢丝绳等检查、保养、更换制度,对脚蹬、脚踏板、扶手架、钢丝绳、猪尾保护环、保险绳等及时进行检修,对出现问题的根据情况及时进行加固和更换,严格掌握设备器械的使用情况。

3)针对飞拉达崖壁大范围危岩体,建议开展两侧崖壁边坡崩塌灾害监测预警系统技术研究,监测方法重点考虑岩体裂缝监测,GNSS 无线实时监测,三维激光扫描技术,地基 INSAR、无人机监测等先进监测预警技术。

参考文献

[1] 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,2019,39(5):770—778.
[2] 陈炜,李军辉. 漓江流域竹筏旅游安全风险评价指标体系的构建[J]. 桂林理工大学学报,2016,36(4):859—864.
[3] 梅诗婧,李陇堂,石磊,等. 沙漠型景区旅游安全风险评价——以宁夏沙坡头景区为例[J]. 中国沙漠,2019,39(5):

143—154.

[4] 林爱平, 张明锋. 福建省山岳型旅游景区山洪灾害风险评估[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 132—140.

[5] 庄春吉, 王志荣, 张煜, 等. 基于 AHP-灰色模糊理论的大型游乐设施安全评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 42—46.

[6] 张新东, 庄春吉, 杨臣剑, 等. 基于 BP 神经网络的大型游乐设施安全评价[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(4): 28—31.

[7] 金灿华, 沈功田, 王强, 等. 基于物元可拓理论变权的过山车安全评价方法[J]. 机械设计与研究, 2020, 36(4): 190—194+199.

[8] 沈功田, 刘渊, 张君娇, 等. 在役大型游乐设施健康评价方法研究[J]. 机械工程学报, 2020, 56(10): 1—11.

[9] 梁朝虎, 沈功田, 张琨, 等. 游乐设施剩余寿命评估方法研究[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(4): 1296—1301.

[10] 杨振宏, 张梦洁, 马悦, 等. 基于物元模型的滑行类大型游乐设施安全评价[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(6): 2056—2062.

[11] 杨臣剑, 王志荣, 庄春吉, 等. 大型游乐设施风险评估与分级方法研究[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(3): 845—849.

[12] 余珂, 黄晖, 张静楷. 在役观览车类大型游乐设施安全评估指标体系[J]. 起重运输机械, 2020(16): 52—55.

[13] 陈滢锜. 游乐设施检验用超声探伤仪的期间核查方法[J]. 河南科技, 2020(16): 51—55.

[14] 田蔚然, 徐燕玲, 黄莹. 层次分析法和熵权法在城市街道景观评价中的比较分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(9): 147—153.

[15] 耿娜娜, 邵秀英. 基于模糊综合评价的古村落景区游客满意度研究——以皇城相府景区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(11): 202—208.

Safety Analysis of Via Ferrata Based on the Fuzzy Comprehensive Evaluation

KONG Zhi-jun¹, GUO Yan-hui², HU Dong-ping³, RAO Bi-yu¹

(1. College of Civil and Architecture Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;
2. Faculty of Public Safety and Emergency Management, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
3. Yunnan Hongbo Construction Consulting Co., Ltd., Kunming 650031, China)

Abstract: In order to study the safety of the via Ferrata in a scenic spot in Dali, based on the site survey of the scenic area, analytic hierarchy and fuzzy comprehensive evaluation were used to evaluate the facilities and equipment, emergency rescue facilities, public works, supporting facilities and safety management of the via Ferrata. A safety evaluation was conducted. Through the research and analysis of the via Ferrata, an evaluation system including four subsystems of equipment, personnel, management, and environment and 16 subordinate indicators has been established. The indicators' grade is fuzzily evaluated by the expert scoring method, and the degree of membership is calculated. Determine the risk level. The results show that the scenic risk evaluation value via Ferrata is $F=59.4$, and the safety level is general, which is relatively safe. The via Ferrata needs to be improved and strengthened. The research results can reference the safety management of the via Ferrata in the scenic spot.

Key words: scenic area; via Ferrata; AHP; fuzzy comprehensive evaluation; safety evaluation