

# 贵州省森林火灾事故致因分析及综合防控对策研究

管毓锋, 张磊, 蒙永武

贵州工程应用技术学院, 贵州毕节, 中国

**【摘要】**基于层次分析法(AHP)对贵州省森林火灾事故进行致因分析,运用层次分析法构建森林火灾事故致因的层次结构模型,将复杂的致因因素划分为目标层、准则层和方案层等多个层次,通过成对比较确定各因素之间的相对重要性权重,从而明确关键致因因素,深入剖析其致因并提出综合防控对策。研究表明,人为因素如农事用火、祭祀用火等在森林火灾致因中占比较大,而自然因素如干旱指数、地形坡度等在特定区域和时段也具有重要影响。此外,地形复杂、植被易燃性以及风速等因素也增加了火灾发生和蔓延的风险。

**【关键词】**层次分析法;森林火灾事故;农事用火;祭祀用火;致因分析;综合防控对策

**【基金项目】**贵州工程应用技术学院2024年大学生创新创业训练计划项目(编号:2024106680267)

## 1. 引言

森林火灾是一种极具破坏力的自然灾害,对生态环境、经济发展以及人们的生命财产安全构成了严重威胁。森林火灾的频繁发生,会造成大量的森林资源损失、生态系统破坏以及空气污染等问题。

贵州省作为我国南方的重要林区之一,拥有丰富的森林资源,森林覆盖率高达63.3%,但受喀斯特地貌复杂性和季风气候影响,冬春干旱显著,森林火灾年均发生150起以上,过火面积超3000公顷(数据来源:贵州省林业局)。近年来,气候变化与人类活动叠加,火灾风险加剧,亟需科学分析致因并制定精准防控策略。

国内外研究普遍认为,森林火灾的致因主要分为自然因素和人为因素。自然因素主要包括气候变暖、干旱、高温等[1-4],这些因素会导致森林内部湿度下降,增加火灾风险。人为因素则主要涉及野外用火、放牧、未经管制的焚烧、意外纸张抛弃等不当行为,这些行为都可能引发森林火灾[5]。此外,国内研究还进一步探讨了火源控制、火警监测等方面的不足,认为这些因素在一定程度上加剧了森林火灾的发生。

国外在森林防火工作中广泛应用新技术、新设备,如无人机、卫星遥感、热成像技术等,用于火灾监测、预警和扑救[6,7]。同时,森林防火科研工作也取得了显著进展,各种新型材料的研发和应用为森林火灾的预防和扑救提供了新的解决方案。此外,国外还注

重提高全民的环保意识,通过宣传教育、组织培训等活动普及环保知识,提高公众的防火意识。国内在森林火灾对策研究方面也在不断取得进展。一方面,通过加强火源管控、规范用火行为等措施来减少人为因素引起的火灾;另一方面,也在努力提高预警体系的完善度和精准性,利用大数据、人工智能等技术手段提升森林火灾预警系统的性能。同时,国内还在加强森林火灾应急救援队伍的建设,提高装备水平、训练强度和协调配合能力。

然而,尽管国内外在森林火灾事故致因分析及对策研究方面取得了一定的成果,但仍然存在一些挑战和问题。例如,预警体系仍不完善,火警监测的覆盖范围和时效性有待改善;应急救援能力还需进一步提升,包括装备更新、训练加强和协调配合等方面的改进。国内外在森林火灾事故致因分析及对策研究方面取得了一定的进展,但仍需继续努力完善森林防火工作体系,提高森林防火的效率和效果。

采用“理论分析—模型构建—空间验证—对策优化”的逻辑链条,通过层次分析法对贵州省森林火灾致因权重分析,建立AHP模型:构建判断矩阵,计算准则层及指标层权重,明确关键致因因素,深入剖析其致因,为多尺度防控提供决策依据。

## 2. 贵州省森林火灾事故致因分析

### 2.1 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process,

简称 AHP), 是指将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。层次分析法是一种有效的决策分析方法, 它将复杂问题分解为若干组成因素, 并按照因素间的相互关系及隶属关系进行层次化分析。通过构造判断矩阵、计算权重和进行一致性检验等步骤, 可以为多目标、多准则或无结构特性的决策问题提供简便的决策方法[8,9]。

### 2.2 层次分析法 (AHP) 模型构建

基于层次分析法将贵州省森林火灾事故

致因分为 3 个层次: 目标层 (A), 准则层 (C), 指标层 (P)。即目标层 (A), 贵州省森林火灾致因分析。准则层 (C), C1-人为因素; C2-自然因素。C3-管理因素, 指标层 (P), C1-人为因素: 农事用火 (C11)、祭祀用火 (C12)、野外吸烟 (C13)、其他人为火源 (C14); C2-自然因素: 干旱指数 (C21)、地形坡度 (C22)、风速 (C23)、植被易燃性 (C24); C3-管理因素: 监测预警不足 (C31)、防火宣传薄弱 (C32)、应急响应滞后 (C33)。模型如图 1 所示。

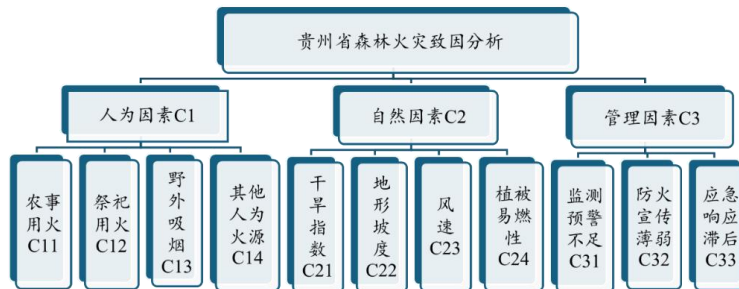


图 1.贵州省森林火灾致因分析层次结构模型

### 2.3 构建判断矩阵与权重计算

(1) 通过专家问卷 (10 名林业、应急管理专家) 对各指标进行赋值, 对三个一级指标, 以及隶属于相同一级指标的二级指标两两相互比较, 取 1~9 分标度各指标之间的重要程度, 构建判断矩阵[10], 判断矩阵标度见表 1:

表 1.判断矩阵标度表

$C_i/C_j$	$(a_{ij}) n \times n$ 取值
同等重要	1
稍微重要	3
较强重要	5
强烈重要	7
极端重要	9
两相邻判断的中间值	2, 4, 6, 8

(2) 计算权重, 并做一致性检验。

首先计算判断矩阵的特征向量求得矩阵权重: 采用方根法计算特征向量, 判断矩阵行积后开  $n$  次方根, 如公式 (1) 所示:

$$\omega_i = \frac{1}{n} \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

再求权重, 如公式 (2) 所示:

$$\omega_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (2)$$

一致性检验中, 首先计算判断矩阵的最大特征根, 如公式 (3) 所示:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A \cdot W]_i}{\omega_i} \quad (3)$$

其次计算一致性指标, 如公式 (4) 所示:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

最后判断一致性: 如果一致性比率, 如公式 (5) 所示:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (5)$$

则矩阵具有一致性。

### 2.4 确定各层级因素权重

根据专家打分法通过专家问卷 (10 名林业、应急管理专家) 对贵州省森林火灾致因因素进行打分, 得出如表 2 至表 5 所示的各级指标权重表, 并通过计算得出  $\omega_i$ ,  $\omega_i$  权重值和一致性检验指标值 CR 值[10]。(计算结果保留 2 位小数)

表 2.一级指标权重表

一级指标	C1	C2	C3	$\omega_i$	CR
C1	1	5	6	0.69	0.05
C2	1/5	1	3	0.22	
C3	1/6	1/3	1	0.09	

表 3.人为因素 C1 的指标权重

二级指标 C1	C11	C12	C13	C14	$\omega_i$	CR
C11	1	3	4	5	0.53	0.04
C12	1/3	1	3	4	0.27	
C13	1/4	1/3	1	2	0.12	
C14	1/5	1/4	1/2	1	0.08	

表 4.自然因素 C2 的指标权重

二级指标 C2	C21	C22	C23	C24	$\omega_i$	CR
C21	1	3	4	6	0.54	0.06
C22	1/3	1	3	4	0.26	
C23	1/4	1/3	1	3	0.13	

C24	1/6	1/4	1/3	1	0.07	
-----	-----	-----	-----	---	------	--

表 5.管理因素 C3 的指标权重

二级指标 C3	C31	C32	C33	$\omega_i$	CR
C31	1	3	4	0.62	0.02
C32	1/3	1	2	0.24	
C33	1/4	1/2	1	0.14	

通过上述一致性比率可知  $CR < 0.1$ , 即上述贵州省森林火灾致因因素下各二级致因因素判断矩阵满足一致性的要求。

### 3.致因权重结果分析

#### 3.1 权重分配总体特征

基于层次分析法 (AHP) 的权重计算, 贵州省森林火灾致因呈现“人为主导、自然助推、管理滞后”的显著特征。

#### 3.2 各因素权重解析

##### 1) 人为因素 (69%) —— 核心驱动

(1) 农事用火 (53%): 贵州省传统农耕区 (如毕节市、黔东南州) 普遍存在焚烧秸秆的耕作习惯。2024 年 2 月七星关区火灾直接由农事焚烧引发, 过火面积 56.8 公顷, 经济损失达 480 万元。此类活动在冬春干旱季节尤为频繁, 火源失控风险极高。

(2) 祭祀用火 (27%): 少数民族聚居区 (如黔东南州雷山县) 祭祀活动密集, 清明、春节时段火源管理压力大。2023 年黔东南州因祭祀引发的火灾占比达 24%, 与权重结果高度吻合。

人为火源的管控是降低火灾风险的核心, 需优先解决农事与祭祀用火问题。

##### 2) 自然因素 (22%) —— 风险放大器

(1) 干旱指数 (54%): 2024 年冬春贵州省平均降水量较常年减少 30%, 干旱指数 (Palmer 指数) 达 0.85 (>0.8 为极端干旱)。干旱导致地表可燃物含水量降至 15% 以下, 火险等级提升至 IV 级 (高危)。

(2) 地形坡度 (27%): 喀斯特地貌区坡度 >25° 的区域 (占全省森林面积 35%), 火势蔓延速度可达平地的 2 倍。例如, 2024 年黔东南州火灾因坡度达 30°, 火线推进速度达 5 米/分钟, 远超扑救能力。

干旱与陡坡地形形成“双刃剑”效应, 显著放大火灾风险。

##### 3) 管理因素 (9%) —— 关键短板

(1) 监测预警不足 (62%): 基层防火设备覆盖率不足 40%, 火情发现滞后超 2 小时 (如 2024 年黔东南州火灾因监测盲区延误扑救)。卫星遥感与无人机技术尚未全域覆盖, 火点识别精度仅 70%。管理短板虽权重

较低, 但监测预警的薄弱直接制约防控效能, 需技术赋能补强。

### 4.综合防控对策研究

根据 AHP 权重优先级, 构建“源头管控 (人为主导) — 生态修复 (自然缓解) — 技术赋能 (管理补强)”三位一体防控体系。

#### 4.1 分级管控火源

(1) 农事用火规范: 在农事用火高发区推广“秸秆粉碎还田+生物质能源利用”, 设立村级集中焚烧点。

(2) 祭祀用火管理: 设立电子香烛祭祀区, 每乡镇至少 3 处, 配套消防水罐和监控设备。推广鲜花祭祀、网络祭扫, 减少传统焚烧行为[11]。

#### 4.2 生态修复与自然阻隔

(1) 林分结构优化: 在坡度 >25° 的喀斯特区域种植木荷、油茶等耐火树种, 减少针叶林比例。阔叶与针叶混交比例调整至 6:4, 降低林火蔓延速度。

(2) 地形阻隔工程: 沿山脊线建设 30 米宽防火林带, 优先覆盖黔东南州、毕节市等高危区域。在干旱指数 >0.8 区域修建微型蓄水池, 配套滴灌系统, 提升植被含水率 [12,13]。

(3) 气象干预措施: 在干旱预警期 (冬春季) 实施火箭增雨, 增加降水量 10%~15%。每年 11 月前完成林下枯枝落叶清理 (目标: 易燃物载量 <10 吨/公顷)。

#### 4.3 技术赋能监测与应急响应

(1) “空天地”立体监测网: 卫星数据, 火点识别精度  $\geq 90\%$ , 每 2 小时更新一次 (覆盖全省)。在农事用火高发区部署载重无人机 (载重  $\geq 20\text{kg}$ ), 可投掷灭火弹或传回实时热成像画面。布设温湿度传感器 (每平方公里 10 个), 实时监测可燃物含水量并预警 [14]。

(2) 应急响应强化: 每村配置 10 人专业队伍, 配备 GIS 导航终端、风力灭火机 (响应时间  $\leq 15$  分钟)。建立云贵川交界区联合指挥平台, 共享 GIS 火险数据, 开展季度联合演练 [15]。

(3) 公众教育与社区共治: 针对农事用火高发区, 入户讲解火灾案例与法律责任。

### 5.结论

基于 AHP 权重的防控对策体系, 通过量化优先级与精准资源分配, 可显著提升贵州省森林火灾防控效率。未来还可以进一步融合 AI 预测与区块链技术, 构建智慧防火平台,

实现“风险可预警、责任可追溯、资源可优化”的可持续防控模式。

### 参考文献

- [1]王诗镝.贵州省森林火灾致灾因素及应对策略研究[J].今日消防,2024,9(08):10-12+125.
- [2]牛迪宇,金凡琦,宋坤杰,等.贵州省森林火险气象服务现状及优化发展策略[J].农业灾害研究,2024,14(12):193-195.
- [3]杨滨鸿,石柳,刘松.贵州省榕江县森林火灾风险分析[J].贵州科学,2024,42(04):65-70.
- [4]王学文.贵州省森林火灾特征及其森林防火对策研究[J].农家参谋,2017,(06):180.
- [5]张运林,田玲玲,丁波,等.贵州省林火发生驱动因子及预测模型[J].生态学杂志,2024,43(01):282-289.DOI:10.13292/j.1000-4890.202401.017.
- [6]Tahri M, Badr S, Mohammadi Z, et al. New forest fire assessment model based on artificial neural network and analytic hierarchy process or fuzzy-analytic hierarchy process methodology for fire vulnerability map[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence,2024,138(PB):109399-109399.
- [7]Kumari B, Pandey C A. Geo-informatics based multi-criteria decision analysis (MCDA) through analytic hierarchy process (AHP) for forest fire risk mapping in Palamau Tiger Reserve, Jharkhand state, India[J]. Journal of Earth System Science: Published by the Indian Academy of Sciences,2020,129(1):970-982.
- [8]郭伯森,李天友,王连辉,等.基于层次分析法的中压配电线路森林火灾故障预警辨识模型[J].供用电,2023,40(03):55-62.DOI:10.19421/j.cnki.1006-6357.2023.03.008.
- [9]韩大鹏,郑鑫,丁聪,等.层次分析法在北京市森林火灾应急支援决策环节实证研究[J].森林防火,2024,42(04):79-84.
- [10]刘冀昆,王成虎,王明玉,等.基于层次分析法的森林火灾应急监测指标评估模型实证研究[J].森林防火,2025,43(01):1-8.
- [11]韩玉兰.毕节市森林火灾扑救风险管理问题及其对策[J].南方农业,2024,18(12):224-226.DOI:10.19415/j.cnki.1673-890x.2024.12.073.
- [12]张金,李正.西南喀斯特地区生物防火阻隔带建设初探——以贵州省毕节市为例[J].森林防火,2024,42(01):52-55.
- [13]杨旭东,李小永.贵州省林火阻隔系统建设现状及对策研究[J].森林防火,2022,40(01):27-30.
- [14]唐晓宇,岳成敏.无人机在贵州省国有龙里林场森林防火中的应用[J].绿色科技,2019,(11):165-166.DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2019.11.068.
- [15]陈国富.应用GIS模糊层次分析法对森林火灾风险区划——以湖南省宁远县为例[J].东北林业大学学报,2025,53(02):114-121+151.DOI:10.13759/j.cnki.dlxb.2025.02.004.