

预防森林火灾的层次分析法

——基于层次分析法的森林防火方案

简斯佳

北方工业大学, 北京

收稿日期: 2021年11月13日; 录用日期: 2021年12月13日; 发布日期: 2021年12月20日

摘要

森林在国民经济中占有重要的地位,它具有美化环境,调节气候,生产氧气,吸收二氧化碳等重要作用。除此,林下蕴藏着丰富野生植物资源,失火会导致某些物种灭绝,烧伤野生动物,且失火将使森林经历很长的恢复期,其也可能将被灌丛,低价林取而代之。因此,森林安全防火建设是国家保护自然资源,保护自然生态环境,保护自然森林权和发展经济林业的迫切需要。森林起火起因较为复杂,且不易及时发现,如若失火范围扩大则难以遏制,损耗人力物力,乃至生命。由于影响因素较多,因此,需要选定一个对影响森林失火因素进行定性定量分析的方法,找出防止森林起火的最佳方案。

关键词

层次分析法, 森林防火, 方案评估

Analytic Hierarchy Process for Forest Fire Prevention

—Forest Fire Prevention Scheme Based on Analytic Hierarchy Process

Sijia Jian

North China University of Technology, Beijing

Received: Nov. 13th, 2021; accepted: Dec. 13th, 2021; published: Dec. 20th, 2021

Abstract

Forest plays an important role in the national economy. It has the important role of beautifying

the environment, regulating the climate, producing oxygen and absorbing carbon dioxide. In addition, the forest is rich in wild plant resources, fire will lead to the extinction of some species, burn wild animals, and fire will make the forest after a long recovery period, it may also be replaced by shrubs, low-value forest. Therefore, forest fire protection is the protection of natural resources, ecological environment, forest protection and forestry development needs. Forest fire causes are complex, and it is not easy to find in time. If the fire expands, it will be difficult to contain, resulting in the loss of human and material resources, and even lives. As there are many factors affecting forest fire, it is necessary to select a qualitative and quantitative analysis method for factors affecting forest fire, and find out the best scheme to prevent forest fire.

Keywords

Analytic Hierarchy Process, Forest Fire Prevention, Scheme Evaluation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 森林失火事故概况

1) 2020年3月30日凉山州森林火灾救援过程19人牺牲、3人受伤。各类土地过火总面积3047.7805公顷,综合计算受害森林面积791.6公顷,直接经济损失9731.12万元。

2) 2020年4月西藏森林火灾致使3000余人历时4昼夜持续扑救,明火于4月18日全部扑灭。此次扑救,共扑打火线13公里,清理烟点4200余处、站杆倒木3900余根,开设防火隔离带3.5公里,实施了两次人工增雨。

3) 浙江一男子乱丢烟头引发289亩森林火灾,2020年11月7日7时30分许,应某某在仙居县下各镇某山场抽烟后将未熄灭的烟头丢弃在山场,引起森林火灾,造成森林受损。经鉴定,山场森林火灾过火总面积19.27公顷(折合289亩),其中浙江省级公益林面积4.07公顷(折合61亩)。

4) 因扫墓时不慎引发森林火灾,过火未成林地面积达97.3亩。近日,江西省芦溪县人民法院审结该案,用随身带的打火机点燃爆竹等祭祀用品,因天气干燥,气温较高,不慎引发森林火灾。以犯失火罪,判处被告人陈某秀有期徒刑八个月,缓刑一年。

2. 森林失火原因分析及层次分析法

2.1. 森林失火原因分析

运用层次分析法对我国森林的失火风险评估时,将影响森林失火的因果关系与影响程度大小进行比较。并将影响因素作为多级指标,构建多层次结构模型,根据在专家积累经验,实际发生案件的基础上,给它们加权(同失火事故的影响力),将每层因子对上层因素影响的重要程度进行俩俩比较。

根据现实生活的情况,森林火灾发生人为原因(一级指标)是最大的一个因素。首先是公民防火意识不够。随着林区产业结构调整、经济搞活和节假日天数的增多,进入林区进行施工、采矿等生产活动和旅游观光的人员大量增加,而部分人员防火意识淡薄,防扑火知识匮乏造成森林火灾发生。因此,上坟烧纸B2、烧荒烧炭B1、生产用火B4、野外吸烟B3成为了我们需要着重注意的引火起因。

其次,监管力度不够,火灾预防工作存漏洞:一些地方没有真正把森林防火作为一件大事来抓。特别是有的森林防火重点县,安排部署只是为了应付上级检查,以会议落实会议,以文件落实文件,预防

工作流于形式，没有真正把防火措施落到实处。没有针对防火形势的变化及时启动预案，护林人员、检查了望人员没有及时上岗到位，野外火源管理漏洞百出。因此需要我们实施措施：定点检查清扫引火遗留物 C3 以清扫这些障碍、相关人员规范作业等。还有综合保障能力建设比较滞后，防扑火基础设施建设还远远不够。国家要求，重点林业县国有林业局、场至少要建立一支专业或半专业扑火队，但目前绝大部分单位还没有建立起来。

野外生产火源安全管理工作难度明显加大：野外火源生产中的生活用品起火数量增多，火源安全管理工作压力明显增大。另外一个一级指标是自然因素。气候变化地理条件极为不利，在春秋季节极易频繁持续发生野外室内森林防水水源灾害火灾，使野外室内森林防水火源灾害防灾保护管理工作的重难度不断提高加大。其次长期的野外森林防火天气干燥也极有机会可能直接影响导致野外森林中的地面温度难以控制持续不断向上升高，森林中的有害物质易燃而直接引起野外森林火源自燃。而且野外森林防火雷击也同样极有可以直接影响导致野外森林水源火灾的频繁持续发生。

考虑到森林失火的原因，在人文因素上来说，有烧荒烧炭，上坟烧纸，野外吸烟，小孩玩火，生产用火五个主要起因；从自然界的方面考虑，主要有阳光照射和雷电起火两大原因。将这七个因素作为准则层(为实现总目标而采取的各种措施，必须考虑的准则来实现预定目标所涉及的中环节)。

2.2. 层次分析法[1]

层次分析法[1]把研究对象作为一个系统，按照分解，比较判断，综合的思维方式进行决策，成为继机理分析，统计分析之后发展起来的系统分析的重要工具。系统的思想在于不隔断各个因素度结果的影响，而层次分析法中每一层的权重设置最后将会直接或间接影响到结果，而且在每个层次中的每个因素对结果的影响程度都是量化的。一般用于多目标，多准则，多时期等的系统评价。

优点：

这种方法简洁实用，简洁性——计算简便，结果明确，便于广大企业战略决策者直接深入分析了解和准确分析掌握。它同时可以具有多种综合优化实用性——将理论确定性与综合决策系统定量相互的有机结合，能有效综合处理传统的各种综合应用优化企业决策定量方法。它同时可以具有多种综合优化系统性——将综合决策机理对象思维分析方法视作一个综合系统，按照实际关系进行分解、比较、判断，综合的系统优化思维机理分析算法方式使它可以用于进行多种综合优化决策——综合系统定量机理思维分析(与综合决策定量机理系统思维分析、测试机理系统思维分析方法可以并列)。

总之，它不仅需要数学概念，将思维数学化系统化，还注重严谨的逻辑，缜密的推理，把定性与定量的方法有机结合，使复杂的系统分解，巴多目标多准则且难以量化的决策问题转化为多层次单目标问题。

2.3. 建立层次结构模型

将一个好的决策问题分为 3 个主要层次：标层 O，准则层 C，方案层 P；每层有若干元素，各层元素间的关系用相连的直线表示。通过相互比较确定：各准则对目标的权重，及各方案对每一准则的权重。

将上述两组权重进行综合比较，确定各方案对目标的权重。层次分析法将定性分析与定量分析结合起来完成以上步骤，给出决策问题的定量结果。层次结构反映了因素之间的关系，但准则层中的各准则在目标衡量中所占的比重并不一定相同，在决策者的心目中，它们各占有一定的比例。

深入分析实际问题，构建森林失火层次结构模型，如图 1 所示。将有关因素自上而下分层(目标层 A-防止森林着火；准则层 B-烧荒烧炭 B1，上坟烧纸 B2，野外吸烟 B3，小孩玩火 B4，生产用火 B5，阳光照射 B6，雷电起火 B7；方案层 C-合格烟筒禁三无产品 C1，入林人员文明教育 C2，定点检查·清扫

残留易燃物 C3，小孩监护 C4，生产人员规范作业 C5，防雷装置 C6)，上层受下层影响，而层内各因素基本上相对独立。

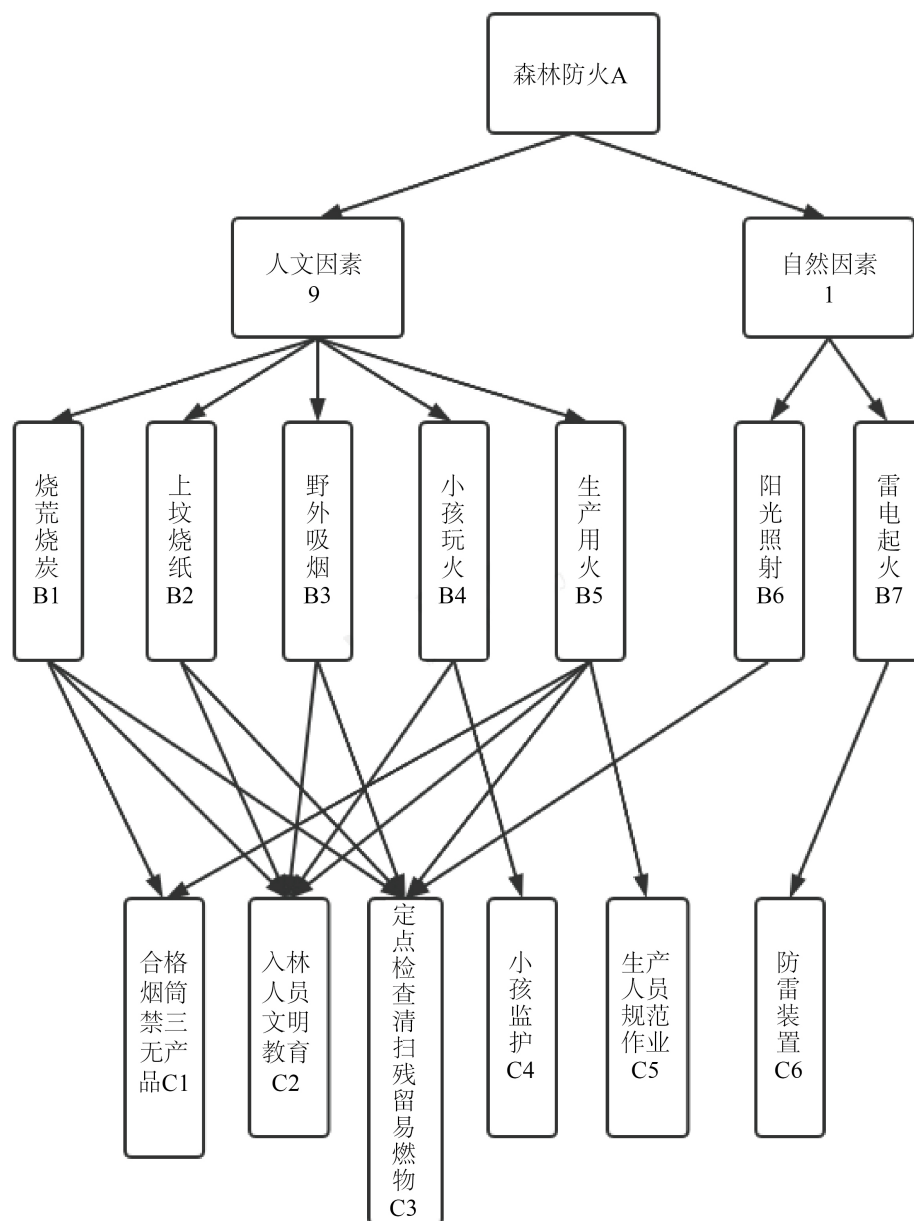


Figure 1. Structural hierarchy model of forest fire prevention
图 1. 森林防火的结构层次模型

2.4. 构造判断矩阵(成对比较阵)

层次结构虽然直接反映了各个权重因素之间的准则权重权键关系，但是在不同准则式样的分层管理结构体系中的各层次关键准则权重因素在基层决策者的目标值和效果值的衡量中所表现应当对应的各占的权重关键准则比重并不一定相同，在每个基层决策者的共同理念心目中，它们各自都相应占有一定的准则权重关键比例。元素之间两两对比，对比采用相对尺度。见表 1~表 6。

$$c_i : c_j = a_{ij}$$

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, a_{ij} > 0, a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$$

Table 1. The judgment matrix B1-C

表 1. 判断矩阵 B1-C

烧荒烧炭	合格烟筒禁三无产品	入林人员文明教育	定点检查清扫残留物
合格烟筒禁三无产品	1	3	2
入林人员文明教育	1/3	1	4/3
定点检查清扫残留物	1/2	3/4	1

Table 2. The judgment matrix B2-C

表 2. 判断矩阵 B2-C

上坟烧纸	入林人员文明教育	定点检查清扫残留物
入林人员文明教育	1	2
定点检查清扫残留物	1/2	1

Table 3. The judgment matrix B3-C

表 3. 判断矩阵 B3-C

野外吸烟	入林人员文明教育	定点检查清扫残留物
入林人员文明教育	1	3/2
定点检查清扫残留物	2/3	1

Table 4. The judgment matrix B4-C

表 4. 判断矩阵 B4-C

小孩玩火	入林人员文明教育	小孩监护
入林人员文明教育	1	1/3
小孩监护	3	1

Table 5. The judgment matrix B5-C

表 5. 判断矩阵 B5-C

生产用火	合格烟筒禁三无产品	入林人员文明教育	定点检查清扫残留物	生产人员规范作业
合格烟筒禁三无产品	1	2	1/3	1/2
入林人员文明教育	1/2	1	1/5	1/4
定点检查清扫残留物	3	5	1	3/2
生产人员规范作业	2	2	2/3	1

Table 6. The results of the Saaty

表 6. Saaty 的结果

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

由于 B6, B7 只有一个影响因素, 故省略。

2.5. 计算判断矩阵及其一致性检验

对每一成对比较阵计算最大特征根和特征向量, 作一致性检验, 若通过, 则特征向量为权向量。计算组合权向量(作组合一致性检验*)合权向量可作为决策的定量依据。

见表 7。Saaty 等人建议可以采取对因子进行两两比较建立成对比较矩阵的办法来确定影响某因素的诸因子在该因素中所占的比重。元素之间两两对比, 对比采用相对尺度。

用 1~3, 1~5, ...1~17, ..., 1p~9p (p = 2, 3, 4, 5), d + 0.1~d + 0.9 (d = 1, 2, 3, 4)等 27 种比较尺度对若干实例构造成对比较阵, 算出权向量, 与实际对比发现, 1~9 尺度较优。

CI 越大, 不一致越严重; 为衡量 CI 的大小, 引入随机一致性指标 RI。随机模拟得到 a_{ij} , 形成 A, 计算 CI 即得 RI。当 $CR < 0.1$ 时, 通过一致性检验。

Table 7. Judge the index value of the matrix

表 7. 判断矩阵的指标值

量化值	1	3	5	7	9
因素 i 比 j	同等重要	稍微重要	较强重要	强烈重要	极端重要

将各层权重相乘求得最后的组合权向量。

$$\sum w1_{ij} \times w2_{ij} \times w3_{ij}$$

Table 8. Table of eigenvalues and judgment criteria

表 8. 特征值及判断标准表格

Bi	1	2	3	4	5	6	7
w1	0.9	0.1					
w2	0.4959	0.2717	0.0939	0.048	0.0906	0.4	0.6
w3	C1: 0.5425 C2: 0.1818 C3: 0.2727	C2: 0.6667 C3: 0.3333	C2: 0.6000 C3: 0.4000	C2: 0.2500 C4: 0.7500	C1: 0.1564 C2: 0.0819 C3: 0.4488 C5: 0.3128	1	1
特征值	3	2	2	2	4.0042	1	1
CI	2.22E-16	0	0	0	0.0014	0	0
CR	3.83E-16				0.0015		

从自然因素考虑, 因为雷电能量集中, 而太阳光能较为分散, 所以强度上比较, 雷电可能造成的森林失火产生后果更恶劣, 故权重采用 0.6 (雷电)和 0.4 (太阳)。

$$C1 = 0.9 * 0.4959 * 0.5425 + 0.9 * 0.0906 * 0.1564 = 0.25487604。$$

$$C2 = 0.9 * 0.4959 * 0.1818 + 0.9 * 0.2727 * 0.6667 + 0.9 * 0.0939 * 0.6 + 0.9 * 0.23 * 0.048 + 0.9 * 0.0906 * 0.0819 = 0.31019144。$$

$$C3 = 0.9 * 0.4959 * 0.2727 + 0.9 * 0.2717 * 0.3333 + 0.9 * 0.0939 * 0.4 + 0.9 * 0.0906 * 0.4488 + 0.1 * 0.4 = 0.31360974。$$

$$C4 = 0.9 * 0.048 * 0.75 = 0.0324。$$

$$C5 = 0.9 * 0.0906 * 0.3128 = 0.02550571。$$

$$C6 = 0.1 * 0.6 = 0.06。$$

通过比较, $C3 > C2 > C1 > C4 > C5 > C6$ 。

见表 8。所以, 在森林防火中, 最应该注重点检查, 及时清扫残留易燃物。因为火灾的发现比扑灭更加重要, 应从根本上遏止, 制止森林火灾, 故要从根源上杜绝, 则需要定点检查, 清除祭扫、烧荒烧炭、烟头、生产用火遗留下来的可燃物。以免发生大规模失火的状况。同时, 入林人员的文明教育也很重要, 因为导致森林起火大概率为人们造成而非自然界造成的, 所以要加强对百姓的森林常识, 规范行为。从使用灭火产品法律常识上, 购买燃烧质量没有合格证的灭火原料产品或者有燃烧质量荒火或者燃烧炭火的灭火产品是完全没有必需的, 严禁三无二劣燃烧产品(灭火原料本身无可能指定正规生产日期、无灭火产品质量合格检验机构合格证以及灭火产品本身无可能指定正规生产厂家), 以免来路不明的产品带来的恶劣后果。

3. 预防措施及建议

3.1. 预防措施

春节、清明节等重要高峰期林场火险隐患高峰部分时段, 全省 5 万余名农业林场防火护林员正在严格执行林场防火巡查, 严管野外发生林场安全火源。在始终坚持一个封住林的看好山、看住林的基本理念同时, 更多地还要着力于如何做好一个管住山和林山的人。去年以来全省农业林场部门累计组织印制宣传发放各类林场防火隐患宣传品 510 万余件, 悬挂林场防火宣传横幅 123,150 余条, 严抓林场防火隐患宣传教育, 切实增强广大人民群众农业林场安全防火防控安全意识, 规范农业林场防火生产企业经营以及生活用品安全防火。同时全省结合自然灾害农业林场安全风险防控隐患整治普查以及整治处理工作, 全省深入开展林场排查清理救治了并整改了一批全省国有一级重点农业林场、风景区和文物旅游名胜区、重要高速公路以及输配线变电站等防火设施以及林场周边一大批农业林场安全火险隐患防控安全隐患。在春节、清明节、国庆节等重要节假日时间段和节点, 各级农业林场防火森防安全防火工作指挥部全体成员和各主管单位已向全省林场累计分别组织派出林场防火隐患检查组 2900 余个, 力促全省林场安全火灾防控火险隐患防控各项具体措施及时组织落地有效贯彻落实[2]。

在我国目前的防治, 森林的土木工程建筑防火灾害防治主要工作就是一贯实行的以明火预防为主、积极主动打击明火消灭的工程防火防治方针。如何坚持的以预防为主防火是目前我国实行森林土木工程建筑防火的一个基本前提和重要技术关键, 控制其根源方可减少后顾之忧。因此, 森林防火须立足于预防。至于大型森林建筑防火期内, 需严格禁止在大型森林建筑防火区野外特殊用途防火。因特殊危险情况可能需要用火的, 必须严格按照申请办理批准用火手续, 并严格领取野外特殊用途防火经营许可证。与先进现代科技紧密结合, 无人机智能遥感防火监测技术在大型森林建筑防火工程中的广泛应用; 基于 3D GIS 的森林防火应急指挥系统(视频采集和存储功能、视频联网功能以及林火智能识别功能); 红外热成像技术在森林防火中的应用(采用光电技术, 接收物体辐射的特殊红外线信号, 之后将红外信号转换成被人眼识别的图像或视频, 并对图像或视频温度赋值, 这就是近年来火热的红外热成像技术。通过这项技术, 可以使人类“看到”物体表面的温度分布, 且该技术在森林防火中的应用, 可以大大降低成本, 且操作简便); 5G 技术在森林火灾防治工作中的应用(新一代 5G 通信技术可以解决之前的问题, 实现感知设备接入和超高清图像的快速传输, 大大提高了指挥能力以及远程操控能力, 实现森林火灾的高效率应急处置需求) [3]。

3.2. 建议

想要有效防范森林着火, 人为因素作为最大的影响因素, 必然要提高公民的素质, 意识。只有使各

个身份的人民有意识的去保护我们的森林家园，才能使损失最小化。因此，从身份上分类，森林的工作人员需要落实好防范规范作业，认真仔细检查森林中的残留物，清扫所有的易燃物，从根源上阻断失火的源头；森林的到访人员，包括上墓扫坟的公民也需要加强自身的素质，清理干净相关燃物。

森林重大自然灾害火灾事件易于偶然突发难以迅速反扑，始终必须时刻绷紧抓好森林火灾防火这样一根弦，防患于未“燃”，胜过一切森林火灾事发后的紧急火灾救援。中国河南省政府筑牢森林自然火灾工作防火墙森林灭火减灾工作综合指挥部机关党组书记办公室以及政府相关职能部门主要负责人近日对此介绍，筑牢河南森林火灾防火墙就必须把森林防火减灾工作切实抓好做在前面，只有把每个防火关口都切实向前面推移，尽最大努力彻底解决堵住森林防火工作漏洞、消除隐患，才能把引发森林自然火灾这种危险灾害因素彻底消灭在一个没有萌芽期的自然状态[2]。

完善相关法律法规，提高基层森林防火工作的能力。可以制定一些森林防火工作的标准，让每一个从业人员在工作过程中都能够有据可循，严格按照标准执行。基层建设森林地区的各级林业局和森林地区林木工业防火工程管理工作技术人员一定必须在重要同时继续加强组织做好农村森林农业林木工程防火管理知识科普宣传教育培训工作，可以通过各种渠道，采用多种手段，让森林防火工作的重要认识渗透到每一个公民心中。完善当地森林防火工作的监控预警系统，并且积极为从事森林防火工作的相关人员进行培训工作，提高他们的工作能力，不论是预防火灾，还是火灾来临时的扑救。地方人民政府必须积极探索引进先进的国家森林林木防火工程技术，通过各种技术手段、专业设备以及相关人才的更新换代，为新形势下的森林防火工作提供一个基本保障[4]。

4. 结论

1) 从指标中综合评定，结果表明：重点考虑人为因素。其中需要加强用合格烟筒，禁三无产品，入林人员文明教育，定点检查，清扫残留易燃物。

C3 定点检查,清扫残留易燃物 > C2 入林人员文明教育 > C1 合格烟筒,禁三无产品 > C4 小孩监护 > C5 生产人员规范作业 > C6 防雷装置。

2) 在实际森林防火时，还需对其余不确定因素进行综合分析考虑，以最大努力遏制森林起火对自然界的伤害以及财力物力人力的损失。

3) 通过广泛使用指标层次定性分析法对我国森林林木防火管理系统进行风险评估，建立一套科学合理的风险评价评估指标体系，再通过采用指标定性模型与模型量化相结合的计算方法，对各评价指标下的直接影响风险因子系数进行指标权重综合计算，最后通过量化分值与权重加权相乘得到森林火灾风险指数，确定森林火灾风险等级，为森林防火部门提供参考数据。将风险最高的影响因素作为未来重点加强防护对象，整治失火现象[5]。

基金项目

北京市级大学生创新创业训练计划课题(108051360021XN216/005)。

参考文献

- [1] 刘新宪, 朱道立. 选择与判断: AHP 层次分析法决策[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 1990.
- [2] 包东喜, 胡雯洁, 赵树祥, 刘源望. 我省拉响森林重点防火期红色警报[N]. 湖北日报, 2021-11-12.
- [3] 李本国, 石强. 森林火灾防治中新技术的应用[J]. 新农业, 2021(21): 91.
- [4] 董晓进. 新形势下森林防火工作的重要性与实施策略分析[J]. 农家参谋, 2021(20): 175-176.
- [5] 刘康明. 浅析层次分析法在消防监督检查工作中的应用[J]. 今日消防, 2021(9): 85-87+90.

附录

```
RI = [0, 0, 0, 0.58, 0.90, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41, 1.45];
```

```
A_1=[1,9;1/9,1];%第一层
```

```
A_2_1 = [1, 2, 5, 9, 6;
```

```
1/2, 1, 3, 6, 3;
```

```
1/5, 1/3, 1, 2, 1;
```

```
1/9, 1/6, 1/2, 1, 1/2;
```

```
1/6, 1/3, 1, 2, 1];
```

```
[x_2, y_2] = eig(A_2_1);%求矩阵的特征值和特征向量，x 为特征向量矩阵，y 为特征值矩阵。
```

```
eigenvalue_2 = diag(y_2);%求对角线向量
```

```
lamda_2 = max(eigenvalue_2);%求最大特征值
```

```
for i = 1:length(A_2_1)%求最大特征值对应的序数
```

```
if lamda_2 == eigenvalue_2(i)
```

```
break;
```

```
end
```

```
end
```

```
y_lamda_2 = x_2(:,i)/sum(x_2(:,i),1);%求矩阵最大特征值对应的特征向量并标准化
```

```
CI_2_1 = (lamda_2-length(A_2_1)) / (length(A_2_1)-1);%求 CI
```

```
CR_2_1 = CI_2_1 / RI(length(A_2_1));%求 CR
```

```
B1
```

```
1,3,2;
```

```
1/3,1,2/3;
```

```
1/2,3/2,1
```

```
lamda_2
```

```
y_lamda_2
```

```
CI_2_1
```

```
CR_2_1
```

```
lamda_2 =
```

```
3.0000
```

```
y_lamda_2 =
```

```
0.5455
```

```
0.1818
```

```
0.2727
```

```
CI_2_1 =
```

2.2204e-16

CR_2_1 =

3.8284e-16

B2

1,2;

1/2,1

lamda_2

y_lamda_2

CI_2_1

CR_2_1

lamda_2 =

2

y_lamda_2 =

0.6667

0.3333

CI_2_1 =

0

CR_2_1 =

NaN

B3

1,3/2;

2/3,1

lamda_2

y_lamda_2

CI_2_1

CR_2_1

lamda_2 =

2

y_lamda_2 =

0.6000

0.4000

CI_2_1 =

0

CR_2_1 =

NaN

B4

1,1/3;
3,1
lamda_2
y_lamda_2
CI_2_1
CR_2_1
lamda_2 =
2
y_lamda_2 =
0.2500
0.7500
CI_2_1 =
0
CR_2_1 =
NaN

B5
1,2,1/3,1/2;
1/2,1,1/5,1/4;
3,5,1,3/2;
2,4,2/3,1
lamda_2
y_lamda_2
CI_2_1
CR_2_1
lamda_2 =
4.0042
y_lamda_2 =
0.1564
0.0819
0.4488
0.3128
CI_2_1 =
0.0014
CR_2_1 =
0.0015