

重点林区火灾隐患识别与早期预警技术应用

赖晓燕 项 彬 郭子文 蔡慧力

浙江山禾林业服务有限公司 浙江 丽水 323000

摘 要：文章聚焦重点林区火灾隐患识别与早期预警技术。分析了火灾发生机理、时空分布特征及影响因素，构建隐患识别指标体系与评价方法。阐述基于多源遥感技术（卫星、无人机、激光雷达）的隐患识别与火点监测，以及遥感数据隐患信息提取方法。最后介绍基于物联网与传感网络的早期预警技术，包括地面传感网络架构与关键传感技术应用，为重点林区火灾防控提供科学依据与技术支撑。

关键词：重点林区；森林火灾；隐患识别；早期预警

引言：重点林区森林资源丰富，但火灾频发，严重威胁生态平衡与人民生命财产安全。森林火灾发生需可燃物、火源、氧气协同作用，且受气候、地形、人类活动等因素影响，时空分布呈现规律性。准确识别火灾隐患并实现早期预警，对有效防控森林火灾至关重要。本文深入探讨重点林区火灾隐患识别与早期预警技术，旨在提升火灾防控能力，减少灾害损失。

1 重点林区火灾发生机理与影响因素分析

1.1 森林火灾发生的基本条件

森林火灾的发生并非偶然，需同时满足可燃物、火源、氧气三大基本条件，三者相互作用、缺一不可，构成火灾发生的核心基础。可燃物是火灾发生的物质前提，重点林区内的林木、枯枝落叶、杂草、苔藓等均属于易燃可燃物，其含水率直接影响燃烧难度，通常含水率低于 20% 时易达到燃烧状态，其中针叶林比阔叶林更易着火，松林火灾危险性最高。氧气作为助燃气体，森林环境中空气氧含量约 21%，足以满足燃烧需求，气压高、温度低时氧含量升高，会进一步助推燃烧。火源是火灾发生的触发条件，主要分为自然火源和人为火源，自然火源以雷击火、泥炭自燃为主，人为火源包括生产性用火（烧荒、烧木炭等）和非生产性用火（吸烟、上坟烧纸等），其中人为活动是引发森林火灾的主要原因^[1]。三者协同作用，当可燃物干燥、氧气充足且接触火源达到燃点时，火灾便会发生，且在适宜环境下快速蔓延。

1.2 重点林区火灾时空分布特征

重点林区火灾的时空分布呈现显著规律性，受气候、地形、人类活动等因素影响，在时间和空间上形成明确特征。时间分布上，具有强烈的季节性，我国重点

林区火灾主要集中在春秋两季，此时降水稀少、气候干燥，可燃物含水率低，且春季春耕烧荒、秋季祭祀用火频繁，火灾发生率显著上升；夏季降水充沛，可燃物潮湿，火灾发生率最低；冬季气温过低，部分可燃物冻结，火灾发生频次有所下降，但高海拔林区仍存在一定火灾风险。空间分布上，呈现“北多南少、东密西疏”的格局，东北大兴安岭、西南横断山区等重点针叶林区，因植被茂密、地形复杂、人为活动相对集中，火灾发生频次和受害面积均居前列；而南方常绿阔叶林区，因植被抗火性较强、降水丰富，火灾发生率相对较低，且多以小型地面火为主，蔓延速度较慢。

1.3 林火影响因素系统分析

林火发生和蔓延受自然、人为、环境三大类因素综合影响，各因素相互关联、相互作用，构成完整的影响系统。自然因素是基础，气候因素中干旱、大风、高温直接加剧火灾风险，相对湿度低于 55% 时易发生火灾，风速越大越利于火势蔓延，干雷暴天气易引发雷击火；植被因素中，可燃物的类型、密度、含水率决定火灾发生概率和蔓延速度，密林易引发树冠火，疏林地面火蔓延更快。人为因素是主要诱因，随着人类活动范围扩大，生产性用火、非生产性用火及故意纵火等行为，大幅增加了火灾触发概率，居民点密度越高，火灾危险性通常越大。环境因素中，地形影响火势蔓延方向和速度，山地、陡坡会加速火势向上蔓延，山谷、峡谷易形成火旋风。

2 火灾隐患识别指标体系与评价方法

2.1 隐患识别的内涵与原则

火灾隐患识别是指通过科学手段，排查重点林区内可能引发火灾或加剧火灾危害的各类潜在因素，明确隐

患类型、分布及风险程度,为防火防控提供精准依据,其核心内涵是“防患于未然”,实现从被动扑救向主动防控的转变。隐患识别需遵循四大核心原则,确保识别工作科学、全面、高效^[2]。一是全面性原则,需覆盖林区内可燃物、火源、环境、人为活动等所有可能引发火灾的因素,不遗漏任何潜在隐患;二是科学性原则,采用标准化、规范化的识别方法,结合数据监测和实地调研,确保隐患识别结果真实可靠;三是针对性原则,结合不同重点林区的植被类型、地形特点、人类活动规律,聚焦高风险区域和关键隐患因素;四是动态性原则,实时跟踪隐患变化,根据季节更替、植被生长、人类活动变化等,及时更新隐患信息,确保识别工作与实际情况同步,为后续隐患治理提供动态支撑。

2.2 隐患识别指标体系的构建

结合重点林区火灾隐患的形成机制和影响因素,构建层次清晰、指标全面、可操作性强的隐患识别指标体系,分为目标层、准则层和指标层三个层次。目标层为重点林区火灾隐患识别总目标,核心是全面排查潜在隐患、评估风险水平。准则层分为四大类,分别是可燃物隐患指标、火源隐患指标、环境隐患指标和人为活动隐患指标。指标层在准则层基础上细化具体指标,可燃物隐患指标包括可燃物类型、密度、含水率、枯落物厚度等;火源隐患指标包括自然火源频次、人为用火强度、火源管控力度等;环境隐患指标包括年降水量、相对湿度、风速、地形坡度等;人为活动隐患指标包括居民点距离、护林员密度、防火宣传力度等。各指标明确量化标准,采用分级赋值方式,确保指标可监测、可量化,为后续隐患等级评价提供标准化依据,全面覆盖火灾隐患的各个关键环节。

2.3 隐患等级评价方法

针对构建的隐患识别指标体系,采用定性与定量相结合的方法,开展重点林区火灾隐患等级评价,将隐患划分为高、中、低三个等级,为精准防控提供依据。首先采用层次分析法确定各指标的权重,结合重点林区实际情况,对影响火灾风险较大的指标(如可燃物含水率、人为用火强度、风速)赋予较高权重,确保评价结果贴合实际。其次采用综合评分法,根据各指标的实际监测数据,对照分级标准进行打分,汇总计算综合评分值。最后根据综合评分结果划分隐患等级,综合评分80分以上为高风险隐患,此类隐患易引发火灾且蔓延速度快,需立即采取整治措施;40-80分为中风险隐患,存在引发火灾的可能性,需加强监测和管控;40分以下为低风险隐患,引发火灾的概率较低,需定期开展排查。

3 基于多源遥感技术的隐患识别与火点监测

3.1 卫星遥感监测技术

卫星遥感监测技术凭借覆盖范围广、地面制约少、实时性强的优势,成为重点林区火灾隐患识别与火点监测的核心技术之一,可实现火灾前、火灾中、火灾后的全流程监测。该技术基于物体波谱特性和普朗克定律,利用卫星搭载的中红外、热红外传感器,捕捉林区地表温度、植被覆盖度等信息,实现隐患识别和火点探测^[3]。火灾前,通过卫星遥感数据反演可燃物含水率、植被长势等指标,排查高风险隐患区域;火灾中,实时监测火点位置、火势范围、蔓延方向,捕捉烟区分布特征,为火情处置提供数据支撑,中低空间分辨率卫星可实现大范围实时监测,高分辨率卫星可精准定位火点;火灾后,通过卫星影像绘制火烧迹地,评估火灾损失,为灾后恢复提供依据。目前,我国已形成多卫星协同监测格局,大幅提升了重点林区火灾监测的时效性和覆盖面。

3.2 无人机遥感巡查技术

无人机遥感巡查技术作为卫星遥感的补充,凭借机动灵活、分辨率高、操作便捷的优势,广泛应用于重点林区火灾隐患识别与火点监测,尤其适用于卫星遥感盲区 and 复杂地形区域。无人机搭载高清摄像头、红外热像仪等设备,可实现低空近距离巡查,精准捕捉林区细微隐患,如未熄灭的烟头、违规用火点、干燥易燃的枯枝落叶堆积区等。通过“无人机+AI”技术,可实现烟火智能识别,一旦发现直径30厘米以上火源,可立即启动响应机制,向护林员发送定位信息,调度无人机开展立体侦察。同时无人机可实时回传4K高清画面和红外热成像数据,精准定位火点,误差控制在10米以内,打造“实时预警—快速传输—精准处置”的闭环,有效弥补了固定监测设备的盲区,提升了隐患识别和火点监测的精准度。

3.3 激光雷达技术的应用

激光雷达技术凭借探测距离远、分辨率高、抗干扰能力强的特点,在重点林区火灾隐患识别与火点监测中发挥着重要作用,尤其适用于复杂地形和恶劣天气条件下的监测工作。该技术通过发射激光光束,利用烟尘粒子的光散射和偏振效应,实现火点和烟雾的精准探测,系统主要由发射、接收、数据处理和扫描控制子系统组成。目前已开发的高重频偏振激光雷达系统,可选择大功率、高重频激光器作为探测光源,结合高角度分辨率云台实现精细扫描,重复频率为5kHz时,可在48分钟

内对半径 10km 的森林区域完成巡检。该技术可有效识别隐蔽性火点和早期烟雾,成功实现 5.4km 和 8.1km 处模拟火灾的探测,能精准获取火点位置、火势强度等信息,为早期火灾处置提供精准数据支撑,弥补了传统监测技术的不足。

3.4 遥感数据的隐患信息提取

遥感数据的隐患信息提取是实现重点林区火灾精准防控的关键环节,通过对卫星遥感、无人机遥感、激光雷达等多源遥感数据的处理、分析和融合,提取与火灾隐患相关的各类信息,为隐患识别和风险评估提供数据支撑。提取过程主要分为三个步骤:首先对多源遥感数据进行预处理,包括数据校正、去噪、拼接等,确保数据的准确性和一致性;其次采用光谱分析、图像分割、机器学习等技术,提取可燃物分布、含水率、植被覆盖度等隐患相关指标,同时识别火源点、烟雾等异常信息;最后对提取的隐患信息进行融合分析,结合林区地形、气候等数据,筛选出高风险隐患区域,生成隐患信息分布图和分析报告。通过多源数据融合提取,可实现隐患信息的全面、精准提取,大幅提升隐患识别的效率和准确性,为重点林区火灾防控提供科学依据。

4 基于物联网与传感网络的早期预警技术

4.1 地面传感网络架构

地面传感网络是重点林区火灾早期预警的核心基础设施,构建“感知层—边缘计算层—网络层—云端平台”四级架构,实现火灾隐患的实时监测、数据传输和智能预警,形成全方位、立体化的预警网络。感知层作为基础,部署多类型传感器节点,包括多光谱传感器、环境传感器(温湿度、气压、气体)、声学火焰探测器及通信中继节点,全面捕捉林区环境参数和火灾相关信号;边缘计算层搭载 Jetson Nano/OrinNX 节点和轻量化 YOLOv8 模型,实现本地数据处理和决策,减少数据传输压力,提升预警响应速度;网络层采用 LoRaWAN/Zigbee 无线 Mesh 网络和 4G/5G 回传链路,结合时间同步协议,确保数据高效、稳定传输;云端平台实现多源数据融合、火情态势感知和应急响应,可实时展示监测数据,发出预警信息,调度处置力量,形成“监

测—分析—预警—处置”的全链条闭环,提升早期预警的时效性和精准性^[4]。

4.2 关键传感技术应用

关键传感技术的应用是地面传感网络发挥作用的核心,针对重点林区火灾监测需求,各类传感技术各司其职、协同工作,实现火灾隐患的早期识别和实时预警。环境传感器实时监测林区温湿度、气压、空气质量等参数,当温度持续升高、相对湿度低于临界值时,自动发出隐患预警;多光谱传感器和红外传感器可捕捉林区地表温度异常,精准识别早期火点和隐蔽性火源,避免火灾蔓延扩大;声学火焰探测器通过监测火焰燃烧产生的特定频率声波,快速识别火灾,弥补视觉监测的不足;气体传感器可检测林区内一氧化碳、二氧化碳等火灾标志性气体浓度,当浓度超过阈值时,及时发出预警信号。这些关键传感技术与无线通信、人工智能等技术结合,实现数据实时采集、分析和预警,可快速捕捉火灾早期信号,为火灾处置争取宝贵时间,有效降低火灾造成的损失。

结束语

重点林区火灾隐患识别与早期预警技术研究意义重大。通过剖析火灾发生机理与影响因素,构建科学的隐患识别体系与评价方法,结合多源遥感技术实现精准隐患识别与火点监测,利用物联网与传感网络达成早期预警,形成了一套较为完善的火灾防控技术体系。未来,需持续优化技术,提升监测预警的时效性与准确性,为重点林区森林资源安全提供更坚实保障。

参考文献

- [1] 县锦明,李军辉,王红利.森林火灾隐患防控措施初探——以小陇山林区为例[J].森林防火,2024,42(1):64-66.
- [2] 石岩,章森,叶新华,等.辉南县国有林区森林火灾隐患源头治理措施[J].吉林林业科技,2024,53(1):42-45.
- [3] 戚振彪,郭晓雪,寿宇铭,等.林区架空配电线路诱发森林火灾风险评估[J].消防科学与技术,2023,42(6):829-834.
- [4] 唐军,王建林,郭明昌.阿夏国有林区防火码推广与深化应用服务[J].林业科技通讯,2022(5):85-87.