

Construction of Forest Fire Risk Early Warning Models and Optimization of Prevention and control Technologies under Extreme climate conditions

Yin Li

Tulihe Forest Industry Co., Ltd., Inner Mongolia Daxing 'anling Forest Industry Group, Hulun Buir, Inner Mongolia, 022150, China

Abstract

Global warming has led to frequent extreme weather events such as high temperatures, droughts, and strong winds, significantly increasing the frequency, intensity, and spread speed of forest fires, posing a serious threat to ecosystem security, biodiversity conservation, and the human living environment. Based on the driving mechanism of extreme climate on forest fires, this paper systematically analyzes the core elements and technical paths for the construction of early warning models, proposes a multi-dimensional index system covering meteorology, vegetation, terrain, and human factors, and focuses on discussing the application of intelligent models such as deep learning in risk early warning. At the same time, in combination with the modern prevention and control practices in Chongqing and other places, optimization strategies for prevention and control technologies are proposed from four dimensions: monitoring and early warning, barrier prevention and control, emergency response, and technological support, providing theoretical support and practical reference for precise prevention and control of forest fires under extreme climate conditions.

Keywords

Extreme climate; forest fire; Risk warning model; Prevention and control technology; Intelligent optimization

极端气候背景下森林火灾风险预警模型构建及防控技术优化

李寅

内蒙古大兴安岭森工集团图里河森林工业有限公司, 中国·内蒙古 呼伦贝尔 022150

摘要

全球气候变暖导致高温、干旱、强风等极端天气事件频发,显著加剧了森林火灾的发生频率、强度及蔓延速度,对生态系统安全、生物多样性保护和人类生存环境构成严重威胁。本文基于极端气候对森林火灾的驱动机制,系统分析了预警模型构建的核心要素与技术路径,提出了涵盖气象、植被、地形、人为因素的多维度指标体系,重点探讨了深度学习等智能化模型在风险预警中的应用;同时结合重庆等地现代化防控实践,从监测预警、阻隔防控、应急处置、科技支撑四个维度提出防控技术优化策略,为极端气候背景下森林火灾精准防控提供理论支撑与实践参考。

关键词

极端气候; 森林火灾; 风险预警模型; 防控技术; 智能化优化

1 引言

在全球变暖趋势日益明显的今天,极端天气和气候事件已经形成“新常态”,世界各地频发的高温热浪、持续干旱和大风等灾害,显著改变了林火的发生规律,并表现出“频次高、范围广、强度大、周期长”的新特点,使得传统的预警和防控方法很难满足新的要求。在这一背景下,建立科学、精确的林火风险预警模型,并对防控技术系统进行优化升级,以达到“早期预警、早期发现、早期处置”的目的,对减少林火损失,保障生态安全,具有重大的现实与战略价值。

【作者简介】李寅(1986-),男,中国内蒙古通辽人,本科,工程师,从事林业研究。

值。因此,本项目拟借鉴国际上的最新研究成果和实际应用经验,系统地研究极端天气条件下林火风险预警模型的建立方法,并提出有针对性的林火防控技术方案。

2 极端气候背景下森林火灾风险预警模型构建

2.1 预警模型构建的核心原则

在极端气候背景下构建森林火灾风险预警模型,应重点把握以下三项关键原则:

首先,模型必须具备动态适应能力,能够灵敏响应极端天气的实时变化,尤其要能准确捕捉高温、干旱、强风等关键气象因子的突变趋势。其次,模型构建应坚持多因子融合的思路,需要综合纳入气象条件、植被状态、地形特征及人为活动等多维度要素,避免因依赖单一因子而导致预警结

果片面。最后,模型需在精准性与时效性之间取得平衡,在确保预警结果可靠的前提下,尽可能优化算法效率,保障预警信息能够及时发布,为应急响应争取宝贵时间。

2.2 多维度预警指标体系构建

本研究从极端气候驱动机制出发,构建了一套包含4个一级指标与12个二级指标的森林火灾风险预警指标体系,具体构成如下:

(1) 气象极端性指标:涵盖极端高温累积天数(连续 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数)、干旱程度(采用标准化降水蒸散指数 SPEI 衡量)、极端风速(取最大瞬时风速)及闪电频次。这些指标主要用于刻画极端气象条件对火灾发生的影响。其中,干旱程度评估需综合 SPEI 在近30天、60天和90天三个时间尺度上的表现,以全面反映可燃物的干湿状况。

(2) 植被可燃物指标:包括植被类型、归一化植被指数(NDVI)、地表可燃物载荷以及可燃物含水率。该组指标着重体现森林本身的易燃属性。例如,针叶林通常比阔叶林更容易燃烧;NDVI则能够指示植被覆盖密度和生长状态,间接反映可燃物积累情况。

(3) 地形环境指标:选取坡度、坡向、海拔和平面曲率四个因素。地形通过改变局部气候条件和火势蔓延路径来影响火灾风险。一般而言,坡度愈大,火蔓延越快;阳坡因太阳辐射较强,可燃物更干燥,故火灾风险也相对较高。

(4) 人为活动指标:包括与道路的距离、与居民点的距离以及历史人为用火频次。这些指标反映了人类活动对火灾发生的“放大”作用。通常,离道路和居民区越近的区域,由人为原因引发火情的可能性越大,需要加强监测。

在指标预处理阶段,首先采用最小-最大归一化方法将各指标数值转换到(0,1)区间。随后,通过计算方差膨胀因子(VIF)并结合 Pearson 与 Spearman 相关系数分析,剔除其中信息重叠的冗余指标,以降低多重共线性问题对后续预警模型准确性的干扰^[1]。

2.3 基于深度学习的预警模型构建与优化

传统预警模型(如逻辑回归、支持向量机)在处理极端气候下复杂时空数据时存在精度不足的问题,深度学习模型凭借强大的特征提取能力,已成为森林火灾预警的主流技术方向:

(1) 数据获取与融合:利用谷歌地图获取 MCD64A1 卫星遥感影像资料,并联合 ASTERGDEM 地形资料、中国科学院气象资料、中国科学院植被指数、人类活动因子等数据,构建 2009-2018 年的林火及其致因因子数据库。在此基础上,利用光谱综合技术,建立多源栅格数据集。

(2) 样本构建与平衡:选取历史火点作为正样本(火灾发生概率=1),通过随机点生成工具生成非火点作为负样本(火灾发生概率=0),构建 5560 个训练样本,解决数据不平衡问题。

(3) 模型训练与优化:构建包含输入层、卷积层、池

化层、全连接层和输出层的 CNN 模型。输入层接收多维度指标数据,卷积层通过 3×3 卷积核提取时空特征,池化层采用最大池化减少参数维度,全连接层将提取的特征映射到风险等级空间,输出层采用 Softmax 函数输出高、中、低三个风险等级。通过网格搜索法优化模型参数,设置学习率为 0.001,迭代次数为 100, batch_size 为 32。

(4) 模型验证与对比:本研究以被试作业特性曲线下积(AUC)为评估指标,其 AUC 值达 0.86,超过了传统模型如随机森林(AUC=0.79)和 SVM(AUC=0.76),具有较高的预测准确率。在此基础上,引入极端天气突变因素的权重,实现对高温、大风等极端天气事件预警阈值的动态调整,提高模式对极端天气的适应能力^[2]。

3 极端气候背景下森林火灾防控技术优化路径

3.1 优化火情监测预警技术体系

立足极端气候条件下森林火情的突发性、隐蔽性与蔓延快等特征,对现有监测预警体系进行迭代升级,健全卫星遥感监测、航空巡护排查、智能视频监控、塔台定点瞭望、地面人员巡护、网络舆情监测六位一体的立体化火情监测网络,全面强化极端天气下火情监测的全天候覆盖能力与高精度识别水平。

在具体技术优化层面,首要推进高精度遥感监测技术的落地应用,依托哨兵-2号高分辨率卫星遥感数据提升火点定位与识别的精准度,搭配无人机航空巡护模式完成重点林区的全域覆盖式监测,针对高纬度偏远林区、极端气候影响的高风险片区,适当提升航空与地面巡护的频次,消除火情监测盲区;搭建基于 5G 通信技术的应急传输保障网络,破解强风、暴雨、雷电等极端天气下的通信传输难题,保障火情监测数据的实时稳定回传,最终实现火情信息的一屏统览、应急指令的一键调度,筑牢智慧化火情监测预警防线。

3.2 升级林火阻隔防控技术布局

极端气候诱发的森林火灾常呈现蔓延迅猛、影响面广、扑救艰巨的特征,围绕提升阻隔效能这一核心目标,需对林区防火阻隔网络开展科学优化与系统性布局。

其一,打造“天然阻隔+人工防控”协同发力的复合型林火阻隔网络,结合林区地形地貌条件,深度挖掘并利用河流、沟壑、山体陡坡等天然防火屏障的阻隔价值,同步配套建设防火公路、生物防火林带、林下防火通道等人工阻隔设施,推动重点林区林火阻隔网密度达到 4.7 米/公顷以上,构建起多层次、无死角的物理阻隔防线。

其二,全域推进以水灭火技术应用体系建设,结合极端高温干旱的气候背景,秉持“自然水源利用与人工补水互补、固定消防水池与移动蓄水装置搭配、消防管网全域联通”的建设理念,在火灾高风险林区合理布设消防水池、消防栓及输水管网,切实解决极端干旱天气下灭火供水不足的难题。

其三,改进林区可燃物清理整治技术方法,在森林火灾高发期来临前,推行以机械清理为主、计划烧除为辅的综合整治手段,精准清除林下枯枝落叶、杂草等易燃堆积物,降低林区易燃物承载量,从源头遏制极端森林火灾的发生风险与燃烧强度^[3]。

3.3 完善火灾应急处置技术与机制

在应对极端天气条件下,必须坚持“快速响应、科学扑救、安全处置”的核心理念,实现对整个过程的技术和机理的优化,使其整体水平得到有效的提高。在此基础上,针对高温干旱、持续大风、暴雨后干旱等多种气象场景,建立有针对性的火灾应急处置方案,确定不同级别火灾的分级响应流程、处置标准和职责分工,使火灾处置规范化、科学化。

在此基础上,加强专业扑火队伍的建设和应急设备的更新,依托国有林场,建立“一专多能”的专职扑火队伍,配备齐高性能的消防水车、高压水泵、移动式储水设备等以水灭火的核心设备,并在此基础上推广应用北斗导航定位系统,使扑火人员的位置精确定位、火情现场态势研判和应急指令的有效调度,提高扑火作业的精准性与安全性。

同时,深化跨地区联防联控、联勤协作机制,建立省、市、县、乡、村五级扑火队伍的协调联动机制,加强与专业消防队伍的应急联动衔接,常态化开展联合演练与应急值守,有效提升大规模、复杂极端森林火灾的协同处置能力。

3.4 强化森林防灭火科技支撑技术赋能

运用数字技术全面提升森林火灾防控各环节能力,推动相关技术向更智能、更科学的方向发展,逐步构建起全域协同、统一高效的智慧防火体系,从而为应对极端气候下的森林火灾提供关键技术支持。

具体而言,可以从以下三方面着手:

首先,建立智能化的森林防火指挥调度中心。全面整合林区火险预警信息、全域实时监测数据、扑救力量与装备分布、防火隔离带布局等多方资源,打破信息孤岛,形成数据闭环。以此为基础,实现对火灾风险等级的科学预警、对火情动态的实时监控、对应急力量的精准指挥,以及对火灾现场处置的全流程智能化管理。

其次,加快推动前沿技术的转化与实际应用。例如,大力推广数字孪生技术在林区的模拟演练。通过导入真实的地形、植被、气候等数据,构建虚拟林区模型,模拟在极端气候条件下火灾可能发生的地点、蔓延方向与过火区域。这种仿真推演能为优化防火隔离带规划、制定扑救方案、调配应急资源提供直观且科学的决策依据。

第三,组建专业化的专家智库支撑体系,深化与高校、科研院所的产学研协同合作,聚焦极端气候与森林火灾发生的关联性、智能化防控技术研发、火情精准扑救技术创新等

前沿课题开展专项研究,推动森林防火领域的科技创新成果快速转化为实际防控能力,形成“科技研发-成果转化-实战应用”的良性循环^[4]。

4 重庆现代化森林防灭火体系实践

重庆作为集大城市、大农村、大山区和大库区于一体的地区,受极端气候常态化影响,森林防火任务艰巨。近年来,重庆构建了以组织管理、基础设施、预警监测、早期处理、应急处置、科技支撑、工作保障七大体系为核心的现代化森林防灭火体系,取得显著成效:国有林区路网密度达每公顷3.1米,重点林区林火阻隔网密度达每公顷4.7米,重点林区森林火情智能监控覆盖率超过95%,一般森林火灾24小时扑灭率超过95%,森林火灾受害率控制在0.3‰以内。

在极端气候应对方面,重庆的实践经验值得借鉴:一是强化党建统领与责任落实,将森林火灾受害率等指标纳入平安报表考核,压实各级林长责任;二是精准预警与源头管控结合,开展本地火险预警模型研究,根据极端天气情况及时发布禁火令、封山令,严格火源管控;三是科技赋能提升防控效能,打造智慧防火大脑,推广红外热成像识别、北斗定位等新技术,实现“人机”双网格协同管控。重庆的实践表明,构建全方位、智能化、多层次的防控体系,是极端气候背景下森林火灾防控的有效路径^[5]。

5 结语

极端气候背景下,森林火灾风险呈现出高频次、高强度、大范围的新特征,传统预警与防控模式面临严峻挑战。本文构建的基于CNN的多维度森林火灾风险预警模型,通过融合气象极端性、植被可燃物、地形环境、人为活动四大类指标,实现了极端气候情景下的精准预警;提出的“监测预警-阻隔防控-应急处置-科技支撑”全链条防控技术优化路径,为提升极端火灾防控能力提供了实践方案。重庆的现代化防控实践表明,通过智慧化赋能、体系化构建和责任化落实,能够有效降低极端气候下森林火灾的灾害损失。

参考文献

- [1] 方正. 护林防火体系下森林火灾风险评估与预警机制[J]. 农村科学实验, 2025, (23): 144-146.
- [2] 张真瑞, 张天腾, 曾文华, 等. 森林火灾卫星遥感监测技术应用进展研究[J/OL]. 西南林业大学学报(自然科学), 1-10 [2025-12-29].
- [3] 高婷, 宋静. 林业信息技术在森林火灾防控中的应用研究[J]. 河南农业, 2025, (12): 43-45.
- [4] 黄云, 文军, 葛翔宇, 等. 森林火灾的卫星遥感监测与风险预警研究[J]. 成都信息工程大学学报, 2025, 40(03): 384-389.
- [5] 魏婧杨. 基于改进半监督聚类算法的森林火灾风险预警研究[D]. 中南林业科技大学, 2025.