

卫星遥感在森林火灾识别与扩散监测中的应用

王玉强

山东省减灾中心

DOI:10.32629/gmsm.v8i5.2322

[摘要] 全球气候变化问题日益突出,森林火灾发生频率持续上升,对生态环境造成显著破坏。传统森林火灾监测模式依赖人工排查与地面站点监测,难以在较短时段内完整捕捉火灾相关信息,而卫星遥感凭借覆盖范围广、数据获取高效、监测响应迅速等特性,已发展为森林火灾监测领域的核心技术支持。基于此,本文聚焦卫星遥感在森林火灾识别与扩散动态监测中的实践应用,通过解析遥感影像处理技术、火灾信息提取方法、火势蔓延监测技术路径及实际应用案例,系统阐释卫星遥感技术在提升森林火灾监测效率、保障数据准确性、增强实时响应能力等方面的独特价值,同时探讨该技术当前面临的现实挑战与未来发展方向。

[关键词] 卫星遥感; 森林火灾; 火灾识别; 扩散监测; 应用

中图分类号: TP7 **文献标识码:** A

The Application of Satellite Remote Sensing in Forest Fire Identification and Spread Monitoring

Yuqiang Wang

Shandong Disaster Reduction Center

[Abstract] The issue of global climate change is becoming increasingly prominent, and the frequency of forest fires is continuously rising, causing significant damage to the ecological environment. Traditional forest fire monitoring methods rely on manual inspections and ground-based station monitoring, which are difficult to comprehensively capture fire-related information within a short period. Satellite remote sensing, with its wide coverage, efficient data acquisition, and rapid monitoring response, has developed into a core technical support in the field of forest fire monitoring. This paper focuses on the practical application of satellite remote sensing in forest fire identification and dynamic spread monitoring. By analyzing remote sensing image processing techniques, fire information extraction methods, fire spread monitoring technical paths, and actual application cases, it systematically explains the unique value of satellite remote sensing technology in improving forest fire monitoring efficiency, ensuring data accuracy, and enhancing real-time response capabilities. At the same time, it discusses the current practical challenges and future development directions of this technology.

[Key words] Satellite remote sensing; Forest fire; Fire identification; Spread monitoring; Application

引言

森林火灾作为全球生态系统面临的主要威胁之一,在干旱、高温等不利气象条件下极易爆发,且火势的快速蔓延会对生态环境产生严重冲击。传统火灾监测手段多以地面巡查为核心,存在信息反馈滞后、覆盖范围有限等明显不足。卫星遥感技术借助天基地球观测系统,能够实时生成大范围、高分辨率的地表监测数据,为森林火灾的早期识别、火势蔓延过程追踪及灾后损失评估提供了全新技术方案。本文将重点剖析卫星遥感技术在森林火灾监测中的具体应用场景,深入探讨其在火灾初期预警、火势动态监测及灾后评估等关键环节发挥的核心作用。

1 卫星遥感技术概述

1.1 卫星遥感基本原理

卫星遥感技术的核心机制是捕捉地表物体反射或辐射的电磁波信号,经卫星传感器接收后转化为可用数据。不同波段电磁波与地表物体的相互作用存在差异,传感器捕捉这些差异化信号并生成影像数据,进而反映植被覆盖状况、土地利用类型、地表温湿度等关键信息。地物对电磁波的反射与辐射特性具有独特性,通过解析多波段数据可实现地物类型识别与动态变化追踪。森林火灾监测中,热红外波段(10.5 μm ~12.5 μm)凭借对高温信号的高敏感性,能精准捕捉火点热辐射特征,为火源快速定

位提供技术支撑。光谱波段可反演归一化植被指数 (NDVI) 与土壤湿度参数, 据此评估森林燃烧潜力与易燃性等级, 这些数据既服务于火情实时追踪, 也为火灾预警体系构建提供量化依据。^[1]

1.2 常用的卫星遥感平台

卫星遥感平台特指搭载遥感传感器的卫星系统, 主要分为静止轨道卫星与低轨道卫星两大类。静止轨道卫星因轨道周期与地球自转同步, 可对特定区域实施长时间连续观测, 但其空间分辨率相对有限, 更适用于大范围火情宏观监测。低轨道卫星虽单轨覆盖范围较小, 但轨道高度较低的优势使其能获取更高分辨率数据, 满足火点精确定位与细节分析需求。典型低轨道平台包括搭载MODIS传感器的Terra/Aqua卫星、Sentinel系列卫星等, 其中MODIS具备36个波段覆盖能力, 空间分辨率达250-1000m, 重访周期1-2天; Sentinel-2卫星空间分辨率最高可达10m, 重访周期5天, 这类平台能在火灾发生后及时捕获影像数据, 保障监测的时效性。遥感平台的选择直接决定监测覆盖范围、数据精度与响应速度, 需结合具体监测目标科学配置。^[2]

1.3 卫星遥感数据类型

卫星遥感数据依据波段范围与探测原理可划分为光学影像、红外遥感数据及合成孔径雷达 (SAR) 数据三大类。光学影像通过可见光 ($0.5\ \mu\text{m}\sim 0.7\ \mu\text{m}$) 与近红外波段 ($0.7\ \mu\text{m}\sim 1.1\ \mu\text{m}$) 获取地表信息, 可有效识别植被覆盖类型与森林健康状态, 在火灾监测中能捕捉火灾前期植被光谱变化与火点初发迹象。红外遥感数据聚焦热红外波段, 对地表温度变化极具敏感性, 火灾发生时可清晰呈现火源位置与热辐射强度, 是火点判识的核心数据来源。SAR数据通过微波信号探测地表, 具备穿透云层与烟雾的独特优势, 即便在复杂天气条件下仍能稳定监测火势蔓延态势, 如Sentinel-1A卫星的极化比值数据可辅助突破云雨天气限制。三类数据在火灾监测中功能互补, 通过多源数据融合能显著提升火情监测的全面性与可靠性。^[3]

2 森林火灾的遥感识别方法

2.1 火灾前期的遥感监测

火灾前期的遥感监测是火情预警与防灾减灾的关键环节, 其核心通过热红外与光学影像的协同应用, 实现对森林生态系统关键参数的动态追踪。光学影像可精准反演森林植被绿度与生长状态, 其中归一化植被指数 (NDVI) 作为核心评估指标, 能量化反映植被光合作用能力与健康程度; 当植被受干旱胁迫、极端高温等环境因素影响出现生长异常时, NDVI值会呈现显著下降, 直接导致森林燃烧风险提升。热红外影像则聚焦地表温度场变化, 凭借对高温信号的高捕获能力, 可精准识别地表异常升温区域, 这类区域往往是潜在火险点或初期火源的集中分布区。通过热红外与光学影像的多源数据融合分析, 遥感技术能够实现潜在火灾危险区域的精准圈定, 为火情早期预警提供定量化数据支撑。基于长期卫星遥感数据统计分析, 当森林区域地表温度持续超过 35°C , 且对应区域NDVI值低于0.3时, 植被含水量与抗火能力显著降低, 森林火灾发生概率较常规情况提升4-6倍, 该组合指标已成为火灾前期预警的核心判据之一。

2.2 火灾发生期间的火点识别

火灾暴发阶段, 卫星遥感依托热红外波段的高温探测能力, 可快速捕捉地表异常热辐射信号, 实现火点精准定位。这类火点在遥感影像中表现为显著高于背景环境的热辐射异常区, 其辐射强度与火点燃烧程度呈正相关。当前主流火点识别技术包括阈值分割法与变化检测法, 其中阈值分割法通过设定热红外波段 ($10.5\ \mu\text{m}\sim 12.5\ \mu\text{m}$) 辐射亮度阈值, 筛选出超出正常地表温度范围的异常区域, 该方法运算效率高, 适用于大范围快速火点筛查。变化检测法则通过比对火灾发生前后同一区域的多时相遥感影像, 分析地表热辐射特征与光谱信息的突变情况, 进一步验证火点真实性并排除虚假热异常。实际监测中, MODIS与VIIRS等卫星传感器已形成成熟应用体系。MODIS传感器搭载于Terra/Aqua卫星, 具备36个探测波段, 其火点监测以1-2天的重访周期覆盖全球, 时间分辨率优势显著, 可满足火灾动态追踪需求; VIIRS传感器则凭借更高的空间分辨率 (375m), 能精准识别小规模火点, 两类系统协同使用可提升火点识别的全面性与精度。

2.3 火灾后期的影像分析

火灾结束后, 遥感影像技术可全面支撑火灾影响范围界定与灾后损失评估工作。植被指数 (NDVI) 作为核心量化指标, 其数值变化能直观反映森林受损程度——火灾导致植被覆盖破坏或消亡, 对应区域NDVI值会出现断崖式下降, 高火强度燃烧区域NDVI值可降至0.1以下, 甚至接近裸地水平、影像对比技术通过叠加分析火灾前后的多源遥感数据, 能清晰勾勒火灾蔓延轨迹, 精准测算过火面积与损害范围、此外, 遥感技术还可长期追踪火灾区域生态恢复进程, 动态监测植被再生与生态系统重建效果、美国加州森林火灾的遥感监测案例显示, 火灾后高火强度区域的植被恢复进程显著滞后, 通过连续一年的NDVI数据追踪发现, 该类区域植被覆盖度仅恢复至火灾前的30%左右, 而中低火强度区域恢复率可达60%以上。

3 森林火灾扩散监测技术

3.1 火灾扩散监测的基本原理

火灾扩散监测的核心是通过卫星遥感影像与气象要素数据的协同分析, 实现对火势蔓延路径、扩散速度及影响范围的实时追踪与预测。卫星遥感影像凭借高分辨率优势提供地表精细信息, 通过时间序列影像的连续解析, 可清晰还原火灾在不同时段的空间扩展轨迹, 精准捕捉火前沿推进的动态特征、气温、湿度、风速等气象参数直接主导火灾蔓延态势, 其中风速通过提高燃烧物供氧效率加速火势扩散, 气温升高会降低植被含水量进而提升燃烧速率, 湿度则通过抑制燃烧反应减缓蔓延进程、相关监测数据显示, 当环境风速达到10米/秒时, 火灾水平蔓延速度较静风条件提升30%以上, 这类量化关系为扩散预测提供了关键依据。^[4]

3.2 动态火灾扩散模型

动态火灾扩散模型通过整合卫星遥感数据与多元环境影响因素, 构建量化模型以实时表征火灾蔓延的动态演化过程。模型核心输入参数包括遥感影像反演的火点位置、过火范围等基础

信息,以及气温、湿度、风速、地形坡度与坡向等环境变量,通过数值模拟算法复刻不同场景下的火灾蔓延规律,进而预测火势未来发展趋势,这类模型具备动态更新能力,可基于实时获取的卫星监测数据与气象观测数据持续优化预测结果,精准识别火灾潜在扩展区域与高危影响范围,美国加州森林火灾监测中,研究团队基于MODIS卫星的热红外影像数据与区域气象模型输出结果,开发出高精度动态扩散模型,该模型通过耦合植被类型、地形起伏等下垫面信息。

3.3 火灾扩散的遥感数据应用案例

卫星遥感数据在火灾扩散监测中的实践应用,为火势动态追踪提供了强有力的技术支撑。MODIS与Sentinel系列卫星凭借各自性能优势,成为火灾监测的核心数据来源:MODIS传感器以1-2天的高重访周期实现全球覆盖,每天可获取多次过境影像,在火灾初期阶段能快速捕捉火点信号并定位,为扩散监测赢得响应时间;Sentinel系列卫星中,Sentinel-2的10m高空间分辨率可精准捕捉火灾蔓延的细节特征,Sentinel-1的SAR数据能突破云雨、烟雾等天气限制保障监测连续性,多源遥感数据与动态火灾扩散模型的结合,进一步提升了扩散预测的准确性。

4 卫星遥感技术在森林火灾监测中的挑战与发展趋势

4.1 技术面临的挑战

卫星遥感技术在森林火灾监测领域的应用优势显著,但仍存在多项亟待突破的技术瓶颈。空间分辨率限制是核心挑战之一:尽管WorldView系列卫星等平台可提供0.5m级高分辨率影像,但多数业务化监测依赖的中低分辨率卫星(如MODIS)空间分辨率仅250-1000m,难以识别面积小于0.1km²的初期火点,这类小规模火情在植被茂密区域更易被背景信号掩盖、时效性不足同样制约监测效能,火灾在8级以上阵风条件下蔓延速度可达10m/min以上,而常规低轨道卫星重访周期多为1-5天,静止轨道卫星虽能连续观测,但空间分辨率仅1-4km,难以满足快速变化火情的实时追踪需求,复杂环境干扰进一步降低监测准确性:山地地形的坡度阴影、森林冠层的遮挡效应会导致遥感影像出现伪火点或漏检情况,而火灾产生的浓烟(光学厚度 $\tau > 3$)及雾霾天气会衰减可见光与近红外波段信号,使热红外波段火点判识误差提升20%以上。

4.2 数据融合与多源信息集成

多源数据融合与信息集成将成为提升火灾监测精准度与实时性的关键发展方向。该技术路径通过整合卫星遥感数据、地面传感器网络数据、气象观测数据及社会感知信息,构建全方位监测体系,弥补单一数据源的固有缺陷,气象数据中的风速、气温、相对湿度等参数与遥感反演的植被含水量、地表温度数据耦合,可通过数值模型优化火灾扩散路径与速度的预测精度;地面传感器(如红外测温仪、烟雾传感器)获取的实地数据,能为遥感影像火点判识提供真值验证,将误判率降低15%-20%。随着云

计算与大数据技术的成熟,分布式处理框架可实现PB级遥感数据的实时解析,通过并行计算快速提取火点位置、过火范围等关键信息,多源信息集成不仅能突破单一数据的应用局限,更能构建“空天地”一体化监测网络,为火灾防控决策提供多维度、量化的科学支撑。

4.3 新型遥感技术的发展趋势

遥感技术的持续革新将推动森林火灾监测向精准化、智能化方向升级。高时空分辨率遥感平台将成为核心支撑:Sentinel-2卫星10m空间分辨率与5天重访周期的组合、WorldView-4卫星0.3m分辨率与1天重访能力的提升,可实现火情从初期到蔓延阶段的精细化追踪、波段拓展方面,微波遥感(如Sentinel-1的C波段)与激光雷达(LiDAR)数据的应用将进一步丰富监测维度,LiDAR的三维地形与植被结构数据可优化火灾扩散模型的地形因子参数,微波波段的穿透性优势能突破云雨、浓烟的观测限制,人工智能与机器学习技术的深度融合将重构监测流程,基于卷积神经网络(CNN)的火点识别算法可自动处理海量遥感影像,识别精度达95%以上;结合长短期记忆网络(LSTM)的时序分析模型,能利用历史火情数据与实时监测信息预测火势发展趋势。^[5]

5 结语

卫星遥感技术已成为森林火灾监测体系的核心支撑,通过高效的大范围数据获取与专业化分析,为火情识别、扩散追踪及灾后评估提供了全方位技术保障。然而,空间分辨率与时效性的平衡矛盾、复杂环境下的监测干扰等问题仍需持续攻克,未来,随着多源数据融合技术的成熟、新型高分辨率遥感平台的部署,以及人工智能算法的深度学习,森林火灾监测将实现从“被动响应”向“主动预警”、从“宏观监测”向“精准管控”的转型,这些技术进步将显著提升火灾预警的前瞻性、应急响应的针对性及灾后恢复的科学性,为减轻火灾对生态环境的破坏、保障人类生命财产安全提供强有力的技术支撑。

[参考文献]

- [1]叶妮.基于深度学习的森林火灾预警研究[D].西安建筑科技大学,2024.
- [2]周绍庆.基于卫星监测的森林火灾无人机核查系统研究[D].中南林业科技大学,2022.
- [3]姚瑶.基于Landsat8OLI遥感影像的林火识别方法研究[D].东北林业大学,2021.
- [4]徐鑫.基于无人机的森林火灾监测系统研究[D].武汉理工大学,2020.
- [5]谭小琴,张鑫,张洪吉.遥感技术在我国森林火灾监测中的应用现状与展望[J].科技创新与应用,2025,15(28):163-167.

作者简介:

王玉强(1989--),男,汉族,山东省济南市人,硕士研究生,职称:高级工程师,研究方向:自然灾害综合风险调查评估,灾害风险管理、防灾减灾。