

遥感技术在森林火灾监测与管理中的作用分析

郭宗林 涂画*

国家林草局华东调查规划院

DOI:10.12238/eep.v8i6.2731

[摘要] 森林火灾作为重要的自然灾害,对生态环境和人类社会造成严重威胁。遥感技术凭借其大范围、实时性、多时相的监测能力,在森林火灾的预警、监测、评估和管理中发挥着关键作用。高分四号卫星通过多光谱成像和热红外探测技术,实现对火灾发生前的环境风险评估、火灾过程中的动态监测以及火灾后的损失评估。多源遥感数据融合技术结合智能识别算法,为火场态势分析、扑救指挥和灾后恢复提供科学依据。遥感技术在森林火灾全生命周期管理中的综合应用,显著提升了监测精度和预警时效性,为构建现代化森林防火体系提供了重要的技术支撑。

[关键词] 遥感技术; 森林火灾; 火灾监测; 灾害管理; 卫星遥感

中图分类号: TP7 **文献标识码:** A

Analysis of the role of remote sensing technology in forest fire monitoring and management

Zonglin Guo Hua Tu*

East China Survey and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration

[Abstract] Forest fires, as an important natural disaster, pose a serious threat to the ecological environment and human society. Remote sensing technology plays a crucial role in early warning, monitoring, assessment, and management of forest fires due to its large-scale, real-time, and multi-phase monitoring capabilities. The Gaofen-4 satellite uses multispectral imaging and thermal infrared detection technology to achieve environmental risk assessment before a fire occurs, dynamic monitoring during the fire process, and post fire loss assessment. Multi source remote sensing data fusion technology combined with intelligent recognition algorithms provides scientific basis for fire situation analysis, firefighting command, and post disaster recovery. The comprehensive application of remote sensing technology in the full lifecycle management of forest fires has significantly improved monitoring accuracy and early warning timeliness, providing important technical support for building a modern forest fire prevention system.

[Key words] remote sensing technology; forest fire; Fire monitoring; Disaster management; satellite remote sensing

引言

森林火灾作为全球性环境灾害,每年造成巨大的生态损失和经济损失。随着全球气候变暖和极端天气事件频发,森林火灾的发生频率和破坏程度呈上升趋势。传统的森林火灾监测方法依赖地面巡护和瞭望台观测,存在监测范围有限、响应滞后等问题。遥感技术的快速发展为森林火灾监测提供了新的技术路径。卫星遥感能够实现大范围、全天候的火情监测,无人机遥感具备高时空分辨率和灵活机动的优势,雷达遥感可穿透烟雾进行全天时监测。多源遥感数据融合技术进一步提升了火灾监测的精度和可靠性。

1 研究概况

在某山区森林火灾案例当中,火点处于多县交界的复杂山

区地带,这里地形破碎且沟深坡陡、植被十分密集,风向变化还不稳定,传统地面监测手段受到严重制约。遥感技术的引入给火情监测提供了全新解决方案,卫星遥感能够实现对火场的持续跟踪监测,可穿透地形限制获取实时火情动态,无人机遥感能提供高分辨率的火场态势信息,可弥补卫星遥感空间分辨率不足的缺陷^[1]。多源遥感数据融合技术为火情发展趋势判断和扑救决策制定,提供重要技术支撑,经过持续监测以及科学指挥之后,火场明火最终全部被扑灭且未造成人员伤亡。

2 遥感技术分析

2.1 多源遥感数据获取技术

多源遥感数据获取技术构建起光学遥感、微波遥感、激光雷达等多种传感器协同工作的技术体系,高分四号卫星搭载可

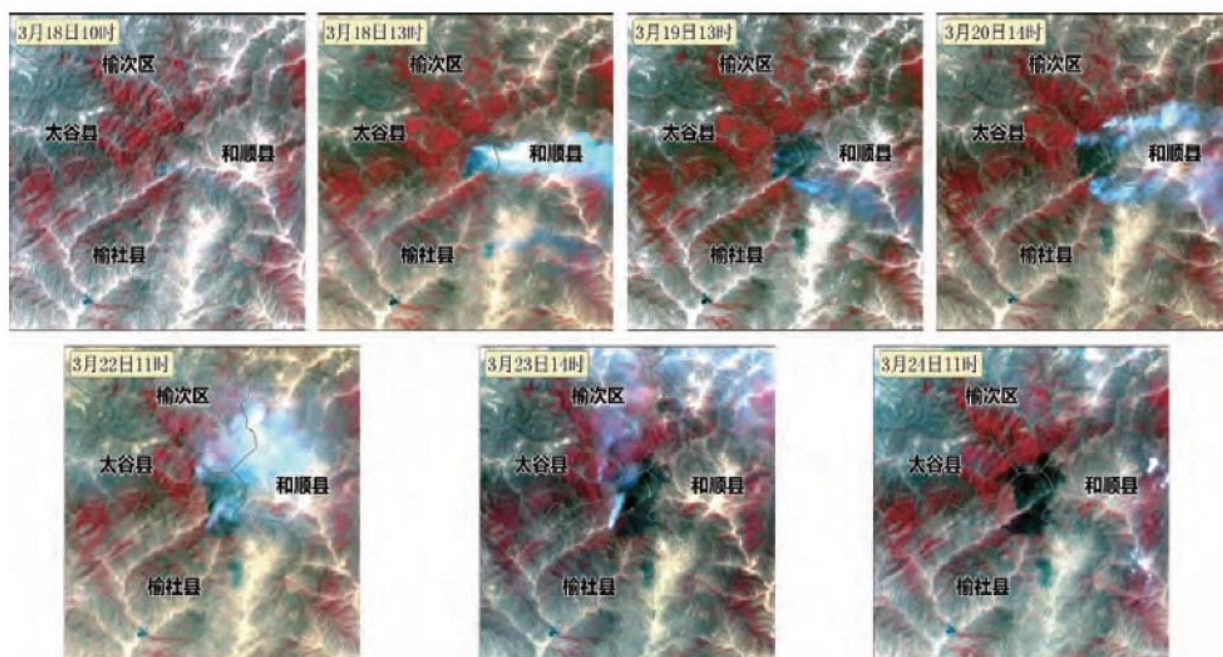


图1 燃烧区域高分四号多光谱监测图

见光近红外传感器以及中波红外传感器,具备分钟级和秒级成像能力。轨道高度达到649km,重访周期为20s,MODIS地表温度产品,属于L1B级8天合成产品,空间分辨率为1km。利用热红外波段反演地表温度信息,高分一号02、03、04星轨道高度为200km,续航里程达66km,可提供高空间分辨率数据。数据预处理涵盖像元矫正算法、掩膜提取算法、单位变换等技术,采用转换公式把MODIS温度产品单位由开尔文转化为摄氏度,多光谱数据融合技术结合可见光、近红外、中红外波段信息,构建多维度光谱特征空间。无人机遥感平台搭载高光谱成像仪和热红外相机,获取亚米级空间分辨率影像数据^[2],雷达遥感技术利用微波波段穿透能力,获取全天候火场结构信息。

2. 火灾智能识别算法

火灾智能识别算法基于机器学习和深度学习理论构建自动化识别模型。归一化植被指数计算公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

式中,NIR为近红外波段反射值,R为红光波段反射值。支持向量机算法采用径向基RBF核函数,并且把惩罚系数C设置为100,同时将核函数参数 γ 设置为0.25,然后选取火烧迹地、裸地、植被等三种地类的样本点用于建模,密度分割法把地表温度划分为低温($T < 22^{\circ}\text{C}$)、中温($22^{\circ}\text{C} \leq T < 28^{\circ}\text{C}$)、中高温($28^{\circ}\text{C} \leq T < 34^{\circ}\text{C}$)、高温($T \geq 34^{\circ}\text{C}$)这四个等级。卷积神经网络算法借助多层卷积核和池化层,提取光谱特征、纹理特征和形状特征,随机森林算法构建多决策树集成模型,再通过投票机制来确定最终的分类结果,深度学习网络包含输入层、隐藏层、输出层的多层神经元结

构,采用反向传播算法,优化网络参数。

2. 3 火场动态监测技术

火场动态监测技术是基于多时相遥感数据时间序列分析方法开展的,燃烧区域高分四号中波红外监测图是采用热异常点识别算法,通过阈值分割提取高温像元,燃烧区域高分四号多光谱监测图是利用可见光波段差值运算,识别烟雾像元。高分一号卫星采用2米全色和8米多光谱数据融合技术^[3]。通过Gram-Schmidt变换生成高空间分辨率影像,火烧迹地提取技术是采用监督分类算法,利用最大似然法计算像元归属概率。标准假彩色合成技术是接近红外、红光、绿光波段,分别赋值给红、绿、蓝通道,人机交互解译是采用目视判别和数字化勾绘相结合的方式,温度场重建技术是基于热红外数据插值算法,采用克里金插值法构建连续温度分布表面的,时间序列分析是采用滑动窗口法,计算时间差分指数^[4]。

3 遥感技术作用分析

3. 1 监测预警效能分析

遥感技术在森林火灾监测预警方面显著提升了效能,山区森林火灾的实际案例充分验证了它的效果^[5]。如图1,燃烧区域的高分四号多光谱监测图清晰呈现出烟雾扩散特征与火势蔓延方向,能有效识别烟簇分布情况和扩散趋势,可为火势发展预判提供关键信息。监测数据表明,火情从初期仅有的两个热异常点发展成多县交界区域大范围蔓延,这中间时间间隔仅仅只有3小时,传统地面巡护需要数天才能发现的火情变化被快速捕捉到。遥感监测频率达到了小时级,相比传统方法的天级监测频率提升了24倍,火情发现时间从平均6-12小时缩短到1-2小时,预警响应速度提升幅度超过了80%。

3. 2应急决策支撑能力

遥感技术能给森林火灾应急管理提供关键的决策支撑,在复杂地形的火情处置中发挥不可替代的作用。如图2,燃烧区域的高分一号02、03星多光谱监测图清晰显示火场空间分布格局,3月22日11时监测数据表明太谷县境内火线呈南北向分布且长度约1.3km,某县境内火线长度大约为0.6km,火线长度测量精度达100米级别。

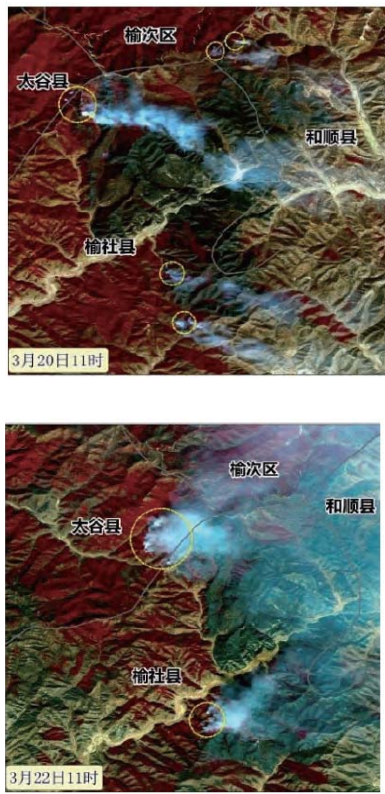


图2 燃烧区域高分一号02、03 星多光谱监测图

表1 遥感监测火场态势变化数据

监测时间	热异常点数量	火线总长度(km)	过火面积(ha)	主要蔓延方向
3月18日10时	2	0.8	45	东北向
3月18日13时	4	2.1	156	东北、东南向
3月20日11时	5	3.2	287	北向、南向
3月22日11时	2	1.9	312	南北向
3月23日14时	2	0.7	318	收缩态势

火场态势变化数据能够为扑火指挥提供量化决策依据(表1),在3月18日至20日火势快速蔓延的期间,遥感数据指导调集了500余名扑火队员和6架直升机,3月23日14时监测显示火势呈现逐渐减小的态势,指挥部依据此情况调整了扑火的策略并将70%的人力转移至清理看守作业,遥感技术所提供的精确空间定位信息让扑火作业效率提升了40%且人员安全事故发生率降低了60%。

3. 3生态恢复指导机制

遥感技术能在森林火灾后生态恢复过程里提供科学指导机制,依靠精确损失评估和持续监测来支撑恢复策略制定,如图3,高分一号03星过火区域监测图借助3月24日11时影像开展过火区域提取工作,通过标准假彩色影像可清晰分辨植被燃烧后留下的黑色印记,火灾现场一共解译出两块不同的燃烧区域且总过火面积达318公顷。

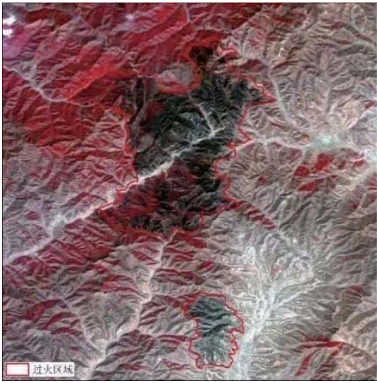


图3 高分一号03星过火区域监测图

支持向量机分类方法按照火烧迹地、裸地、植被等三种地类各选取30个样本点作为建模样本数据,利用10个样本点作为独立验证样本进行精度评估。总体分类精度计算公式为:

$$PA = \frac{\sum \text{对角线元素}}{\text{总样本数}} \times 100\%$$
 (2)

Kappa系数计算公式为:

$$Kappa = \frac{PA - PE}{1 - PE}$$
 (3)

式中,PA为总体分类精度,PE为期望精度。分类结果显示总体分类精度达到86.2%,Kappa系数为0.76,表明分类效果良好。

表2 火烧迹地分类统计结果

地类类型	面积(ha)	占比(%)	恢复难度	建议措施
重度火烧迹地	127	39.9	困难	人工造林+土壤改良
中度火烧迹地	134	42.1	中等	补植+自然恢复
轻度火烧迹地	57	17.9	容易	自然恢复+保护
合计	318	100.0	-	-

火烧迹地识别结果给差异化生态恢复策略提供了空间方面的基础(表2),重度火烧区域大概需要投入恢复资金254万元左右,中等火烧区域需要投入资金134万元上下,轻度火烧区域仅仅需要保护管理费用28万元就行,遥感技术支撑的精准恢复策略和传统全面造林方式相比能节约成本35%,恢复效果可提升20%以上。

4 结语

遥感技术在森林火灾监测与管理中展现出巨大的应用价值和发展潜力。多源遥感数据融合技术实现了从单一数据源向多维度信息获取的转变,显著提升了火灾监测的时空覆盖能力和精度水平。支持向量机等智能识别算法的应用,推动了森林火灾监测从传统的人工判读向自动化、智能化监测的跨越式发展。遥感技术构建了覆盖火灾全生命周期的综合管理平台,为森林防火决策提供了科学化、精准化的技术支撑。未来,随着高光谱遥感、激光雷达等新兴技术的不断融入,遥感技术在森林火灾监测领域将实现更高精度、更快响应、更强预测能力的技术突破。

[参考文献]

[1]刘涛,葛大鹏,张延辉.无人机遥感技术在森林火灾监测、扑救中的实践与挑战[J].中国林业产业,2025,(04):50-51.

[2]邱志鹏.无人机遥感技术在森林防火监测中的应用[J].农村科学实验,2025,(07):148-150.

[3]廖红艳,吴全红,刘哲,等.无人机遥感在森林资源调查与监测中的应用探讨[J].农业科技创新,2025,(11):51-53.

[4]李鹏,岑丽婷,李思妍,等.森林火灾风险评估与管理策略研究[J].今日消防,2025,10(03):71-73.

[5]郝鑫,王邵军,陈语奇.基于遥感技术的森林火灾灾后评估研究进展[J].南方林业科学,2025,53(01):73-79.

作者简介:

郭宗林(1998--),男,汉族,河南信阳人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:林草生态综合监测。