

中国林火卫星遥感预警监测技术研究进展

覃先林, 李晓彤, 刘树超, 刘倩, 李增元

1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091;

2. 国家林业和草原局 林业遥感与信息技术重点实验室, 北京 100091

摘要: 中国目前已形成了地面巡护、近地面监测、航空巡护和卫星监测等4级立体林火监测层次, 但森林火灾仍是造成中国森林资源损失、森林生态环境安全和人身伤害的主要林业灾害。为对林火预警监测技术研究提供技术借鉴参考, 本文从可燃物参数估测、烟区识别、着火点检测、森林大火燃烧动态监测、森林火烧迹地制图、森林火灾受害程度评价、森林燃烧生物量估算和火后植被恢复监测等8个方面, 对中国近二十多年来开展的林火卫星遥感预警监测应用技术的研究进展、存在的技术问题和发展趋势进行了分析, 并对构建服务于生态文明建设的天—空—地一体化的林火预警监测技术体系建设进行了展望。

关键词: 卫星遥感技术, 林火预警, 林火监测, 森林防火

引用格式: 覃先林, 李晓彤, 刘树超, 刘倩, 李增元. 2020. 中国林火卫星遥感预警监测技术研究进展. 遥感学报, 24(5): 511-520

Qin X L, Li X T, Liu S C, Liu Q and Li Z Y. 2020. Forest fire early warning and monitoring techniques using satellite remote sensing in China. *Journal of Remote Sensing (Chinese)*, 24 (5) : 511-520 [DOI: [10.11834/jrs.20209135](https://doi.org/10.11834/jrs.20209135)]

1 引言

森林火灾不仅烧毁林木、伤害林内的动植物、影响生态环境, 还会对林区居民的人身安全、社会和经济带来危害。中国自开展天然林保护、退耕还林还草、速生丰产林基地建设等林业重点生态工程建设以来, 森林覆盖率稳步提升, 林内可燃物大量增加; 林农间作、森林旅游、全球气候异常、以及境外火入侵等造成近年中国的重特大森林火灾时有发生、伤亡事故频繁的局面。因此, 对森林火灾及时预警和监测是实现“打早、打小、打了”的首要任务。

目前, 中国的林火监测已形成了地面巡护、近地面、航空巡护和卫星监测等4级立体监测层次(覃先林, 2016)。卫星监测具有覆盖面积大、时效性高、连续性强等优点, 不仅可对林区的森林资源及火情等进行日常宏观监测, 而且还可对森林火险因子、森林火灾的燃烧状况、火灾损失及灾后森林植被恢复等进行长期连续跟踪监测, 从

而为森林火灾的预防扑救和灾后恢复重建等决策工作提供科技支撑。中国相继在北京、昆明、乌鲁木齐和哈尔滨建立了卫星林火监测站, 实现了利用中国风云气象卫星(FY)、美国的NOAA系列和EOS系列等卫星对全国森林火灾的监测, 林火识别准确率达到90%以上; 卫星已成为当今全国火情日常监测业务的一种重要技术手段(杜永胜, 2012)。

2 研究进展

中国的遥感技术和遥感林业应用技术经过近几十年的发展, 如今已成为支撑林业资源和生态环境监测评价的主要技术手段(李增元等, 2013); 中国林业科学研究院资源信息研究所、中科院遥感与数字地球研究所、国家卫星气象中心、北京林业大学等单位, 依托承担的科研项目, 长期致力于卫星遥感技术在森林防火中的应用技术研究。在此, 结合利用卫星遥感技术曾开展的可燃物参数估测、烟区识别、着火点检测、森林大火燃烧动态监测等方面的研究工作, 对中国近二十多年

收稿日期: 2019-04-30; 预印本: 2019-05-27

基金项目: 中国林业科学研究院科研专项资金项目(编号: CAFYBB2018SZ009); 国防科工局高分重大专项(编号: 21-Y30B02-9001-19/22/06)

第一作者简介: 覃先林, 1969年生, 男, 研究员, 研究方向为林火卫星遥感预警监测技术。E-mail: noaags@ifrit.ac.cn

通信作者简介: 李增元, 1959年生, 男, 研究员, 研究方向为林业遥感技术与应用。E-mail: lizy@ifrit.ac.cn

的林火卫星遥感预警研究进展进行总结分析。

2.1 可燃物参数估测

森林火险发生预报是指利用气象、可燃物、火源等因子来预测预报森林火灾发生的可能性。影响森林火险发生预报的因素主要包括气象、植被以及环境等。中国的林火预报研究工作始于1955年, 专家学者们结合林区情况, 并参考前苏联、加拿大、美国等国家的预报方法, 研究形成了利用气象要素预测预报森林火险等级的模型(覃先林等, 2010a)。随着遥感RS (Remote Sensing)、地理信息系统GIS (Geographic Information System)、互联网和数据库等技术的发展和应用, 为及时获取影响森林火险等级的火险预报参数、开展全国每日的森林火险发生等级预报提供了可行的技术手段; 中国学者在森林、草原火险发生预报中也探索了RS、GIS等新技术的应用方法, 并取得了较好的研究成果。易浩若等(2004)利用NOAA/AVHRR数据按旬获得全国植被的长势及绿度信息, 每10—15 d获取1次全国的植被长势、植被绿度及雪覆盖等信息, 并结合气象数据, 建立了以县级为预报单元的全国森林火险发生预报模型和应用系统, 在1999年和2000年全国春季和秋季防火期内开展了业务运行。郭广猛(2004)以大兴安岭林区为研究区, 基于MODIS数据估测的森林可燃物湿度、植被指数和地表温度来构建火险指数, 实现森林火险预警; Wang等(2004)以中国东北大兴安岭的草原为研究对象, 构建了基于MODIS数据的草原火险等级预报模型和系统。覃先林等(2005, 2007, 2010a)通过在东北林区、西南林区、广东省、广西壮族自治区和江西省等开展观测试验, 探讨了利用MODIS数据识别森林可燃物类型、估算森林可燃物绿度及湿度的方法, 并与GIS技术和数据库技术相结合, 建立了空间分辨率为1 km²的全国林火预警定量估测模型, 研建了林火预警系统; 该系统于2009年—2012年, 在中国及东南亚地区的森林火险发生预报中进行了应用(覃先林等, 2012); 彭光雄等(2007)利用MODIS数据识别可燃物类型、估测可燃物湿度, 并利用构建的火灾敏感性指数(FSI)来监测和评估马来西亚半岛的森林火险, 其研究结果表明该指数可有效表征该国的森林火险实际状况。

2.2 烟区识别

森林草原等植被在燃烧过程中, 会因植被自身水分的蒸发形成大量烟的现象。浓烟不仅会遮挡火场燃烧现状, 致使利用卫星影像检测着火点时发生漏判的现象; 而且还常会形成烟区(包括烟羽和烟团), 从而为人们根据其在卫星影像上的分布状况(如位置、范围和形状)来判定火场的位置和火蔓延趋势提供了条件。如果能从光学卫星影像上及时发现森林草原等植被燃烧释放的烟的分布状况, 从而提前做出预警和防备, 将有助于预防森林草原火灾的发生, 从而降低发生重特大森林草原火灾的可能性。

自20世纪70年代以来, 美国宇航局(NASA)、欧洲空间局(ESA)、中国等陆续发射了NOAA、EOS、EO-1/2、FY系列、高分等卫星, 这些卫星上搭载的传感器(如AVHRR、MODIS、VIRR等), 为人们开展大气、陆地、海洋等领域的研究提供了长时间序列的观测数据, 但与火的卫星检测方法研究相比, 目前有关烟的卫星识别方法研究文献甚少, 也没有类似MODIS的全球着火点和火烧迹地等产品一样的烟产品。中国目前已在轨运行的高分一号(GF-1)、高分二号(GF-2)、高分四号(GF-4)和高分六号(GF-6)等卫星传感器均在可见光和近红外波段内设置了通道, 这些通道影像上对植被因燃烧引起的热异常信息反映并不明显, 但其(尤其是蓝光波段)影像可较好反映植被燃烧形成的烟区的分布状况信息, 为利用这些高分卫星检测植被燃烧形成的烟区提供了可行的条件。

笔者曾选取在黑龙江省黑河市、云南省安宁市、四川省甘孜州、澳大利亚等境内发生的森林火灾为研究对象, 开展了利用GF-1/2影像识别烟区的方法研究。通过对烟及典型地物在GF-1/2卫星多光谱影像的可见光和近红外等通道中的特征分析, 获得烟区的影像特征; 根据烟区与其他地物在GF-1/2不同通道的反射差异特点, 构建烟的决策树判识模型, 建立了利用GF-1/2影像识别烟区的算法技术流程。

2.3 着火点检测

热异常是森林草原等植被燃烧的另一典型特征。利用卫星遥感搭载的热红外传感器对地表热异常敏感的特性, 则可以检测出比卫星空间分辨

率远小的着火点，如利用星下点空间分辨率为 $1.1\text{ km}\times 1.1\text{ km}$ 的AVHRR数据，可检测出面积为 0.1 hm^2 的林火（刘诚等，2004）。

20世纪80年代初，中国专家学者相继开展了TM、AVHRR等卫星数据监测林火的方法研究，并为1987年“5.6”大兴安岭特大森林火灾的预防扑救及时提供了监测服务。结合国内林火监测业务需求和国内外卫星遥感技术的发展，中国专家学者不断探讨了卫星遥感影像监测林火的技术方法，并取得了许多研究成果。易浩若等（1994）利用专家系统方法识别AVHRR影像中的火点，提升了火点的识别精度。近年来，国内外新型卫星传感器不断发射升空，国内学者针对这些新型卫星影像特点，研究形成了相应的着火点检测方法（李增元等，2016；陈洁等，2017；覃先林等，2016，2018）。

按构建着火点检测算法所用的卫星遥感光谱特性，可将其归纳为基于反射特性的检测方法和基于亮温特性的检测方法。前者主要是利用着火像元与非着火像元在短波红外波段的反射率差异，并结合它们在可见光和近红外波段的差异特性，实现对着火像元的识别（朱亚静等，2011；于一凡等，2013；何阳等，2016）。该方法主要适用于具有短波红外波段的多光谱卫星数据（如Landsat TM/ETM+、Landsat 8 OLI、SPOT和Sentinel-2A/B等）。后者主要利用着火像元与非着火像元在中波红外通道、远红外通道的亮温及其差异特性来构建检测判识条件；对于白天的卫星影像，还结合可见光和近红外波段的反射特性来消除外界环境的干扰信息（覃先林和易浩若，2004；覃先林等，2007，2010b，2018；周艺等，2007；陈洁等，2017）。该方法主要应用于具有中波红外和远红外通道的卫星数据（如MODIS、NOAA/AVHRR、FY系列和Himawari-8数据等）。

经过近20多年的技术攻关和应用系统建设，中国研究形成了适用于不同卫星遥感数据的火情监测应用方法和技术系统（吴雪琼等，2010），并开展了全国及周边区域的火情监测应用服务。同时，中国国家森林防火指挥部卫星林火监测系统从1995年建立运行以来，已从仅利用NOAA/AVHRR影像发展到综合应用NOAA、FY和MODIS等卫星影像，已成为日常全国火情监测的主要技术设施，并为森林火灾指挥扑救及时提供了技术

支撑（杜永胜，2012）。

2.4 森林大火燃烧动态监测

1987年“5.6”大兴安岭特大森林火灾发生以后，森林防火工作受到各级政府高度重视，森林防火经费和人力投入均有所增加；虽然森林火灾次数和造成的森林受害面积总体呈下降趋势，但目前中国的森林防火形势依然较严峻，每年仍有数千次森林火灾发生，且近几年都发生了重特大森林火灾，不仅烧毁了大面积的森林资源，还造成了人员伤亡事故。如2019-03-30发生在四川省凉山州木里县雅砻江镇立尔村的森林火灾，造成了31名扑火人员牺牲。在森林草原大火发生中，利用卫星遥感技术准实时定量监测森林火灾燃烧状态，对于及时准确了解火场燃烧现状、对于科学制定预防扑救决策等均具有重要的实用价值。

森林大火燃烧动态卫星监测是指在重特大森林火灾发生过程中，通过利用中高空间分辨率（优于 100 m ）的卫星影像提取森林火灾的火线轮廓参数（位置、长度、面积等），实现对火场燃烧动态的监测技术方法。与着火点识别研究相比，国内外利用遥感技术监测森林草原大火的火场燃烧动态的研究文献屈指可数，国外仅查阅到Ononye等（2007）曾用航空可见/热红外影像AVIRIS（Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer），采用梯度法提取森林火灾的火线；国内付迎春等（2008，2009）研究了MODIS影像提取火线周长、预测火的蔓延方向的方法。由于大多数森林草原火灾在星下点空间分辨率约 1 km 的低空间分辨率热红外通道卫星影像（如NOAA、MODIS、FY等）上通常仅表现为点特征，而在Landsat TM/ETM+/OLI、GF-4、Sentinel-2A/B等中高空间分辨率卫星影像上则较好地表征出火线具有的线面特征。覃先林等（2013）利用天宫一号卫星数据，分析发现在短波红外影像上也可较好地分辨出正在燃烧的区域。美国的Landsat TM/ETM+、Landsat 8 OLI、Sentinel-2A/B等中高空间分辨率传感器中都有中心波长分别约 $1.65\text{ }\mu\text{m}$ 、 $2.12\text{ }\mu\text{m}$ 的短波红外通道，从其影像中可分辨出正在燃烧的森林草原火场轮廓。当森林草原火灾、尤其是重特大森林草原火灾发生过程中，由于受火场地形、植被、风向等影响，常常形成多个火线同时向不同方向蔓延扩散的现象，在中高空间分辨率卫星影像上则表现

出多个分散的燃烧区域,如果要准确从卫星影像中勾绘出这些正在燃烧的区域,通常比较繁琐。杨飞(2012)、覃先林等(2014)曾利用具有中高分辨率特性的 Landsat TM/ETM+数据模拟 GF-4 数据,研究了火线轮廓定量提取方法,实现了基于 Landsat TM/ETM+数据自动生成火线轮廓参数算法程序化;该方法曾用于估测在中国黑龙江省和俄罗斯远东地区境内的森林大火的火线参数;随着 GF-4 卫星的升空运行,目前该技术已成功应用于 GF-4 PMI 数据定量提取森林大火火线轮廓参数。

2.5 森林火烧迹地制图

卫星影像能够获取同一地区不同时间的信息,而不同空间分辨率的卫星影像在不同尺度的火烧迹地制图中都有应用。NASA、ESA、国际地圈生物圈计划(IGBP)等国际组织已发布了全球尺度卫星遥感火烧迹地产品,空间分辨率从 250 m 到 1° 不等(Chuvieco 等, 2018); Long 等(2019)首次研制共享了全球 30 m 分辨率的火烧迹地遥感产品。

可将光学卫星遥感森林火烧迹地制图方法归类为图像分类法、植被指数法和 Logistic 回归法。图像分类法在火烧迹地遥感制图研究中使用比较多,主要包括传统的监督分类、非监督分类、决策树分类、人工神经网络分类、面向对象分类和随机森林分类等(祖笑锋等, 2015; 李明泽等, 2017)。植被指数法主要是根据被火烧后的植被在卫星遥感影像光谱上与正常植被、其他地物的差异,通过构建的植被指数来进行识别(易浩若和纪平, 1998; 朱曦和覃先林, 2013; 孙桂芬, 2018)。该方法的难点是确定分离火烧迹地和其他地物的植被指数和阈值;而不同的卫星传感器、不同地区、不同地物类型和不同火灾损害程度等都会导致难于用同一阈值来判定火烧迹地。Logistic 回归模型法是将卫星遥感的反射率或计算的植被指数,与气候、以及地理要素等参数进行回归,构建火烧迹地识别模型的方法。由于火烧迹地的识别实质上是火烧迹地与非火烧迹地进行区分,因此可以将其当作二分类的 Logistic 回归分类,即通过 Logistic 变换,利用设定的阈值将影像中的火烧迹地与其他类别进行分离,提取火烧迹地(朱曦等, 2013)。

2.6 森林火灾受害程度评价

对森林受害程度及损失状况的评估是开展森林火灾恢复重建工作极为重要的业务需求。森林受害程度可以反映火灾发生后森林生态系统变化程度,即它与植被死亡率成正比,与植被修复能力成反比。利用卫星遥感技术评价森林火灾受害程度不仅可了解火后森林受害程度,也有助于指导森林火灾灾后恢复工作。国内外较多用火烧烈度(Burn Severity)来定量评价森林受害程度(常禹等, 2012; 李明泽等, 2017)。

不同类型卫星遥感数据及其光谱波段间组合指数,如 NBR (Normalized Burn Ratio)、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 和 EVI (Enhanced Vegetation Index) 等,已被广泛地应用在森林燃烧受害程度的评价中。利用卫星遥感评价森林燃烧受害程度的方法可分为:(1)通过目视判读选取不同燃烧程度的训练样本,采用分类方法将卫星影像分为不同的火灾燃烧程度类别;(2)通过卫星影像计算植被指数,结合地面调查组合指数 CBI (Composite Burn Index) 来构建森林燃烧受害程度的评价指标;(3)通过研究火灾发生前后卫星遥感计算的值变化来进行受害程度评价;如 Yi 等(2013)通过 AVHRR 数据计算的 NDVI 差值来评价 1987 年大兴安岭火灾受害程度和分析其空间格局;刘树超等(2018)利用森林火灾前后的 Landsat 8 影像计算的差值归一化燃烧指数(dNBR)作为受害程度评价指标,通过目视解译和统计分析相结合的方法,将森林火灾受害程度分为低度、中度、重度和未受害等 4 个等级,对 2017-05-02 发生在内蒙古毕拉河林场的森林火灾受害程度进行了评价。

按受害程度评价中选用的卫星数据时间可分为 IA (the Initial Assessment) 和 EA (the Extended Assessment) 两类方法,其中前者选用森林火灾发生当年的卫星数据;而后者则选用森林火灾发生后一年的卫星数据。Zhu 等(2006)对比分析了 EA 与 IA 的评估结果,发现由森林火灾发生前的 NBR 减去火灾后 NBR 生成的 dNBR 值与 CBI 的相关性更好;而 Miller 和 Thode (2007) 发现用 EA 数据计算的 RdNBR (Relative dNBR) 比 dNBR 与 CBI 的相关性更高。

虽然由卫星数据计算出的 NBR 值与树冠烧毁

程度间有较强相关性，但是地表和树冠被火烧受害程度通常是不完全相同的，树冠被烧毁状况并不能代替地表和森林总体受火灾伤害程度；而且dNBR是利用火灾前后NBR来计算的，NBR与CBI的相关性不仅会受到阴影和地形的干扰，而其还会受到植被物候、太阳高度角等的影响。因此，利用NBR指数及其衍生指数是否能够反映各种森林生态系统在不同的林火烈度下的真实情况，还有待于进一步在更广范围内进行验证和适用性评价。

近年来，激光雷达数据也常被用于森林燃烧受害程度评价。如Wang和Glenn(2009)利用森林火灾发生前后的LiDAR数据，计算得到植被垂直高度在火灾前后的变化来确定火烧烈度；该方法应用于灌木和草原的危害程度评价效果更明显。

2.7 森林燃烧生物量估算

森林火灾不仅会损毁森林植被，改变林内植被组成和生物多样性；同时，森林火灾释放的碳对大气中的碳平衡和全球气候变化具有重要影响，而森林火灾烧毁的生物量与释放的碳密切相关。在近20年中，随着土地覆盖/土地利用变化、全球气候异常等影响，全球森林火灾的发生次数和过火面积呈现增加的趋势，森林火灾的影响已被研究全球碳循环的专家学者作为重要影响因素之一进行研究。近年来，越来越多的专家学者利用卫星数据开展了估算森林燃烧生物量、碳排放量等研究工作。

随着MODIS、FY等长时序卫星遥感产品的免费共享，为利用卫星火监测产品来估算大区域的森林火灾烧毁的生物量的研究提供了一种新的、有效的技术手段。Kaufman等(1996)提出了火辐射能FRE(Fire Radiative Energy)的卫星估算方法。Wooster和Zhang(2004)利用MODIS火产品中的火辐射率FRP(Fire Radiative Power)数据，计算出FRP在不同的森林覆盖率中出现的频数，估算了俄罗斯和北美寒带区域森林火灾消耗的森林生物量。Wooster等(2005)通过实验分析得到FRE与可燃物的烧毁质量间的转换系数为0.368，这为利用FRE估算结果转化为森林燃烧生物量提供了强有力的支撑，最后引入排放比并根据植物的含碳百分比得到碳排放量。Roberts和Wooster(2008)根据FRP具有幂函数分布特性，推导出梯

度数值积分法求解FRE的方法，为估算森林燃烧生物量提供了一种新的途径。Kumar等(2011)则提出利用火灾持续时间、最大FRP值、最小FRP值以及幂参数来求解FRE的方法。祖笑锋等(2017)鉴于各森林类型的燃烧特性间存在差异，而已有估测模型文献并未考虑森林类型的影响，利用获取的2001年—2014年的MODIS火产品数据(MOD14A2)，分森林类型建立了估算全国烧毁的年森林生物量模型，并估算出该期间各年被森林火灾烧毁的森林生物量；通过与林火排放物计算模型估算的全国各年被森林火灾烧毁的森林生物量对比分析，表明该方法比林火排放物计算模型估测方法更合理。

2.8 火后植被恢复监测

卫星传感器不仅可以按一定时间和空间间隔长期重复观测同一火烧迹地，而且还可以提供地物在其各波段的辐射能量差异，用于地物的识别和区分，从而为利用卫星影像研究火烧迹地植被恢复提供了新的技术手段；不仅可提高研究效率，而且还可以降低研究成本。

目前火烧迹地植被恢复卫星遥感监测方法可概括为图像分类法、光谱混合分析法和植被指数法。图像分类法能将遥感影像数据转化成地物类型的数据。作为常用的监督分类和非监督分类方法，被广泛应用于火烧迹地植被恢复的研究中(苗庆林等, 2015)。光谱混合分析法(SMA)是目前较为常用的一种混合像元分解方法(Somers等, 2010)。SMA能根据不同端元的光谱特征定量分析得出各端元的组成及所占的像元比例，因而该方法得到的分类结果会更加精细、准确，从而提高植被恢复的监测精度，但是该方法会因地表的复杂性、空间异质性、以及像元组成差异性而应用受到限制。植被指数是利用卫星影像各波段信息间进行组合计算得出的不同时空的定量指标值；国内外专家学者常将选取表征植被生长状态参数的植被指数(如NDVI、EVI、NBR等)应用于火后植被恢复评价模型中(Yi等, 2013; 杨伟, 2013; Chu等, 2016; 孙桂芬, 2018)。另外，国内外专家学者也将利用卫星数据反演得到的表征植被生长状况的叶面积指数(LAI)、净初级生产力(NPP)、植被覆盖度(VCF)和光合作用有效辐射吸收率(fAPAR)等生态参数应用到植被恢复的研究中。

3 存在的技术问题

长期以来,国内专家学者利用卫星遥感技术在森林防火预警监测中做了大量的研究和应用工作,取得了大量研究成果;但目前中国林火卫星遥感预警监测技术研究工作在以下方面还需进一步加强。

3.1 关键技术研究还待加强

近几十年,国内林火卫星遥感预警监测技术研究工作取得了较多的研究成果,有效地提升了森林防火预警监测能力,但主要是基于特定的卫星遥感数据开展关键技术攻关和应用示范,缺乏持续、综合、全面围绕林火卫星预警监测开展关键技术研究,也缺乏创新性的技术研究成果;因而中国目前在林火预警监测技术研究方面还表现出基础研究系统性和深度不够、基础理论研究不足以支撑森林防火现代化体系建设、预警监测等应用技术难以支撑应对日益严峻的重特大森林草原火灾发生威胁。

3.2 科研成果转化仍需提高

国内学者利用卫星遥感技术已在可燃物参数估测、烟区识别、着火点检测、森林燃烧动态监测等方面开展了研究和取得了大量的阶段成果,其中部分研究成果甚至达到国际水平;有的研究成果已应用到中国及周边区域的森林草原火灾预警监测中,但总体来看,现有的大多科研成果还仅是实现了预设的科研目标和完成了设定的科研任务,还没有在中国林火预警监测业务工作中发挥出应有的作用;原因之一是由于科研成果与业务应用要求间通常还有一定距离,还需要通过成果转化项目的资助,才能将科研成果进一步转化到中国林火预警监测业务应用工作中。

3.3 卫星火情监测业务系统有待完善

过去形成的林业遥感监测系统缺乏海量遥感数据处理技术和计算资源,从而制约了高分卫星遥感数据在林业调查监测业务中的应用,严重影响了应用系统的规范化运行能力发挥(李增元等, 2018)。在中国的卫星火情监测日常业务中,为保证结果的准确性,主要采用人工判读的方式,由值班人员从卫星影像判读出火情结果并进行发布。随着高分民用卫星数量的日益增多,这种火情判

别方式将难于应对庞大的卫星遥感数据处理和林火预警监测专题信息提取的业务需求,而利用云计算、大数据和人工智能等高新信息技术来搭建业务应用服务平台正成为国际业务应用系统建设的发展趋势之一。

另外,目前国内部分科研单位已形成了森林火灾灾情卫星遥感评估方法和应用系统,但森林防火业务部门还没有完全建立森林火灾灾情卫星遥感评估应用系统,也未开展森林火灾灾情卫星遥感评估业务。

4 展望

随着新时期我国生态文明建设力度的加强和森林防火面临的新任务,不仅RS、GIS、全球定位系统(GPS)等信息技术在森林防火预警监测领域中的应用研究越来越受到重视,而且利用新型技术手段来提升森林火灾的预防扑救能力也更加重视。在新时期,结合生态文明建设,构建天、空、地一体化的林火预警监测技术体系,还需要加强以下几个方面的工作。

4.1 分层次合理构建预警监测体系

由于国家、省(市)、以及县(林业局)级等不同层级森林防火主管部门对林火预警监测业务需求间的差异,所需依赖的监控手段及装备常存在差别;因此,在构建林火预警监测体系时,应分层次合理进行规划布局,确保建设的森林防火设施能融合成一个预警监测整体。如在国家层面以卫星遥感、卫星通讯和卫星导航等航天技术为主,并形成具备综合利用卫星遥导遥技术及时发现、定位和指挥扑救全国林区火情的业务能力;在省级、重点林区、以及自然保护区的森林防火中,则以航空(有人机、无人机)巡视监测为主来预防扑救火灾;而对于重点森林火险的县级或国营林场、以及国家森林公园等,则主要采用物联网、视频监控等监测手段。同时,这些监测技术设施及观测的数据均需实时汇聚到全国的林火预警监测技术体系中,切实形成天、空、地一体化的林火预警监测能力。

4.2 加强技术研究和成果转化

未来应结合新的空间信息观测技术(如物联网、无线传感器、视频卫星等)和应用分析技术

(如云计算、大数据和人工智能等)的发展,以及中国将发射的民用卫星,并与新时期中国森林草原火灾预防扑救业务“天、空、地”协同需求相结合,综合部署开展林火发生机理、可燃物调控、林火蔓延、灾情损失和灾后植被恢复等预警监测技术研究;研发多源时空数据监测森林草原火灾发生及预测火情态势发展等技术,突破新型卫星遥感技术在中国林火预警监测中的应用技术瓶颈,形成可服务于林火预防、监测、救灾及灾后恢复等决策的卫星遥感林火预警监测应用技术;并通过应用示范和科研成果转化来提升行业的林火预警监测业务能力,充分发挥新技术在中国林火预警监测中的作用。

4.3 加强林火预警监测业务系统建设

林火预警监测专题产品的生产常常受制于共性卫星遥感产品生产的精度和时效性,利用现代信息技术提升林火卫星遥感预警监测业务应用系统的性能,使其具有高效、高精度的生成林火预警监测专题产品的能力,将有助于森林防火的科学预防扑救。可根据中国林火预警监测业务实际需求,在现有林火预警监测业务系统基础上,完善和增加系统功能,以达到资源的优化利用,从而形成卫星数据获取、火情产品生产和火情信息共享与服务的综合预警监测业务系统。

参考文献(References)

- Chang Y, Chen H W, Hu Y M, Feng Y T and Li Y. 2012. Advances in the assessment of forest fire severity and its spatial heterogeneity. *Journal of Natural Disasters*, 21(2): 28-34 (常禹, 陈宏伟, 胡远满, 冯玉亭, 李悦. 2012. 林火烈度评价及其空间异质性研究进展. *自然灾害学报*, 21(2): 28-34)
- Chen J, Zheng W and Liu C. 2017. Application of grassland fire monitoring based on Himawari-8 geostationary meteorological satellite data. *Journal of Natural Disasters*, 26(4): 197-204 (陈洁, 郑伟, 刘诚. 2017. Himawari-8 静止气象卫星草原火监测分析. *自然灾害学报*, 26(4): 197-204) [DOI: 10.13577/j.jnd.2017.0423]
- Chu T, Guo X L and Takeda K. 2016. Remote sensing approach to detect post-fire vegetation regrowth in Siberian boreal larch forest. *Ecological Indicators*, 62: 32-46 [DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.11.026]
- Chuvieco E, Lizundia-Loiola J, Pettinari M L, Ramo R, Padilla M, Tansey K, Mouillot F, Laurent P, Storm T, Heil A and Plummer S. 2018. Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies. *Earth System Science Data*, 10(4): 2015-2031 [DOI: 10.5194/essd-10-2015-2018]
- Du Y S. 2012. Making efforts to promote modernization of forest fire prevention by information construction [EB/OL]. Government Network of State Forestry Administration. (2012-02-03). <http://www.forestry.gov.cn/> (杜永胜. 2012. 努力以信息化建设推动森林防火现代化[EB/OL]. 国家林业局政府网. (2012-02-03). <http://www.forestry.gov.cn/main/3423/20120203/524368.html>)
- Fu Y C, Xu S J and Chen M. 2008. Extraction of forest fire edge line based on MODIS imagery gradient. *Scientia Silvae Sinicae*, 44(7): 56-61 (付迎春, 徐颂军, 陈蜜. 2008. 基于 MODIS 影像梯度的林火边界提取方法. *林业科学*, 44(7): 56-61) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-7488.2008.07.010]
- Fu Y C, Yuan X X, Song Y, Chen M and Guo T S. 2009. Automatic extraction of forest fire line using MODIS data by multi-spectral image gradient technique. *Journal of remote sensing*, 13(3): 542-548 (付迎春, 袁修孝, 宋妍, 陈蜜, 郭泰圣. 2009. 基于 MODIS 影像的森林火灾火线检测方法. *遥感学报*, 13(3): 542-548) [DOI: 10.3321/j.issn:1007-4619.2009.03.015]
- Guo G M. 2004. Study on the MODIS Data Processing and the Theory and Method in Forest Fire Early Warning- a case study in the Northeast of China. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (郭广猛. 2004. MODIS 数据处理及其在林火预警中的理论与方法研究——以中国东北地区为例. 北京: 中国科学院研究生院)
- He Y, Yang J, Ma Y, Liu J B, Chen F, Li X P and Yang Y F. 2016. A method for fire detection using Landsat 8 data. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 35(5): 600-608, 624 (何阳, 杨进, 马勇, 刘建波, 陈甫, 李信鹏, 杨轶斐. 2016. 基于 Landsat-8 陆地卫星数据的火线检测方法研究. *红外与毫米波学报*, 35(5): 600-608, 624) [DOI: 10.11972/j.issn.1001-9014.2016.05.015]
- Kaufman Y J, Remer L A, Ottmar R D, Ward D E, Li R R, Kleidman R, Fraser R S, Flynn L P, McDougall D and Shelton G. 1996. Relationship between remotely sensed fire intensity and rate of emission of smoke: SCAR-C experiment/Levine J, ed. *Global Biomass Burning*. Cambridge: MIT Press: 685-696
- Kumar S S, Roy D P, Boschetti L and Kremens R. 2011. Exploiting the power law distribution properties of satellite fire radiative power retrievals: a method to estimate fire radiative energy and biomass burned from sparse satellite observations. *Journal of Geophysical Research*, 116(D19): D19303 [DOI: 10.1029/2011JD015676]
- Li M Z, Kang X R and Fan W Y. 2017. Burned area extraction in Hu-zhong Forests based on remote sensing and the spatial analysis of the burned severity. *Scientia Silvae Sinicae*, 53(3): 163-174 (李明泽, 康祥瑞, 范文义. 2017. 呼中林区火烧迹地遥感提取及林火烈度的空间分析. *林业科学*, 53(3): 163-174) [DOI: 10.11707/j.1001-7488.20170318]
- Li Z Y, Chen E X, Gao Z H, Qin X L, Wu H G and Xia C Z. 2013. Current development status and proposals for national forest remote sensing techniques and applications. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 28(S1): 132-144. (李增元, 陈尔学, 高志海, 覃先林, 武红敢, 夏朝宗. 2013. 中国林业遥感技术与应用发展现状及建议. *中国科学院院刊*, 28(S1): 132-144) [DOI: 10.3969/j.issn.

- 1000-3045.2013.Z01.016]
- Li Z Y, Qin X L, Gao Z H, Deng G, Yin L Y, Sun G F and Zu X F. 2016. Analysis on monitoring burning status of forest fire using GF-4 satellite images. *Spacecraft Engineering*, 25(S1): 201-205 (李增元, 覃先林, 高志海, 邓广, 尹凌宇, 孙桂芬, 祖笑锋. 2016. 高分四号卫星监测森林火灾燃烧状态分析. *航天器工程*, 25(S1): 201-205)
- Li Z Y, Qin X L, Gao Z H, Deng G and Chen E X. 2018. Research on forestry application with high resolution remote sensing. *Satellite Application*, (11):61-65 (李增元, 覃先林, 高志海, 邓广, 陈尔学. 高分遥感林业应用研究. *卫星应用*, 2018, 11: 61-65)
- Liu C, Li Y J, Zhao C H, Yan H and Zhao H M. 2004. The method of evaluating sub-pixel size and temperature of fire spot in AVHRR data. *Journal of Applied Meteorological Science*, 15(3): 273-280 (刘诚, 李亚军, 赵长海, 阎华, 赵洪森. 2004. 气象卫星亚像元火点面积和亮温估算方法. *应用气象学报*, 15(3): 273-280) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-7313.2004.03.003]
- Liu S C, Chen X Z, Qin X L, Sun G F and Li X T. 2018. Remote sensing assessment of forest fire damage degree in Bilahe forest farm, Inner Mongolia. *Forest Resources Management*, (1): 90-95, 140 (刘树超, 陈小中, 覃先林, 孙桂芬, 李晓彤. 2018. 内蒙古毕拉河林场森林火灾受害程度遥感评价. *林业资源管理*, (1): 90-95, 140) [DOI: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2018.01.013]
- Long T F, Zhang Z M, He G J, Jiao W L, Tang C, Wu B F, Zhang X M, Wang G Z and Yin R Y. 2019. 30 m resolution global annual burned area mapping based on Landsat images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(5): 489 [DOI: 10.3390/rs11050489]
- Miao Q L, Tian X R and Zhao F J. 2015. NDVI recovery process for post-fire vegetation in Daxing'anling. *Scientia Silvae Sinicae*, 51(2): 90-98 (苗庆林, 田晓瑞, 赵凤君. 2015. 大兴安岭不同植被火后NDVI恢复过程. *林业科学*, 51(2): 90-98) [DOI: 10.11707/j.1001-7488.20150211]
- Miller J D and Thode A E. 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1): 66-80 [DOI: 10.1016/j.rse.2006.12.006]
- Ononye A E, Vodacek A and Saber E. 2007. Automated extraction of fire line parameters from multispectral infrared images. *Remote Sensing of Environment*, 108(2): 179-188. [DOI: 10.1016/j.rse.2006.09.029]
- Peng G X, Chen Y H, Li J and Patah N A. 2007. Combination of remote sensing and meteorological data for fire risk monitoring—a case study in Peninsular Malaysia. *Geo-Information Science*, 9(5): 99-104 (彭光雄, 陈云浩, 李京, Patah N A. 2007. 结合遥感和气象数据的森林火险监测研究——以马来西亚半岛为例. *地球信息科学*, 9(5): 99-104) [DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2007.05.017]
- Qin X L. 2005. Study on Forest Fire Early Warning and Monitoring Methodology Using Remote Sensing and Geography Information System Techniques. Beijing: Chinese Academy of Forestry (覃先林. 2005. 遥感与地理信息系统技术相结合的林火预警方法的研究. 北京: 中国林业科学研究院)
- Qin X L. 2016. Forest Fire Monitoring Using Satellite Remote Sensing. Beijing: China Forestry Publishing House (覃先林. 2016. 林火卫星遥感监测. 北京: 中国林业出版社)
- Qin X L, Liu S C, Li X T, Li Z Y, Gao Z H and Deng G. 2018. Application of GF-4 satellite data in forest and grassland fire monitoring in China. *Satellite Application*, (12): 34-37 (覃先林, 刘树超, 李晓彤, 李增元, 高志海, 邓广. 2018. 高分四号卫星在中国森林草原火情监测中的应用. *卫星应用*, (12): 34-37)
- Qin X L, Pang Y and Deng G. 2012. Remote Sensing Monitoring Technology and Practice for Forest Resources and Forest Fires in Southeast Asia. Beijing: China Forestry Publishing House (覃先林, 庞勇, 邓广. 2012. 东南亚地区森林资源和林火遥感监测技术与实践. 北京: 中国林业出版社)
- Qin X L and Yi H R. 2004. A method to identify forest fire based on MODIS data. *Fire Safety Science*, 13(2): 83-89 (覃先林, 易浩若. 2004. 基于MODIS数据的林火识别方法研究. *火灾科学*, 13(2): 83-89) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-5309.2004.02.005]
- Qin X L, Ying L Y, Sun G F and Zu X F. 2016. Method for burned forest biomass estimation at subcompartment level using GF-1 images and GIS datasets. *Journal of Geography and Natural Disasters*, 6(3): 1000181 [DOI: 10.4172/2167-0587.1000181]
- Qin X L, Zhang Z H, Li Z Y, Tian Z W, Xiong Y Q, Yang D F and Zhang R. 2010a. Method of forecasting and implementation of forest fire early warning. *Journal of Beijing Forestry University*, 32(4): 17-21 (覃先林, 张子辉, 李增元, 田祖为, 熊有强, 杨德付, 张瑞. 2010a. 林火预警及实现方法. *北京林业大学学报*, 32(4): 17-21)
- Qin X L, Zhang Z H and Li Z Y. 2010b. An automatic forest fires identification method using HJ-1B IRS data. *Remote Sensing Technology and Application*, 25(5): 700-706 (覃先林, 张子辉, 李增元. 2010b. 一种利用HJ-1B红外相机数据自动识别林火的方法. *遥感技术与应用*, 25(5): 700-706) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2010.5.700]
- Qin X L, Zhang Z H, Li Z Y and Yi H R. 2007. Northeast forest fires identification methodology using AATSR data. *Remote Sensing Technology and Application*, 22(4): 479-484 (覃先林, 张子辉, 李增元, 易浩若. 2007. 基于AATSR数据的东北林火识别方法研究. *遥感技术与应用*, 22(4): 479-484) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-0323.2007.04.001]
- Qin X L, Zhu X, Yang F, Zhao K R, Pang Y, Li Z Y, Li X Z and Zhang J X. 2013. Analysis of sensitive spectral bands for burning status detection using hyper-spectral images of Tiangong-01. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 33(7): 1908-1911 (覃先林, 朱曦, 杨飞, 赵凯瑞, 庞勇, 李增元, 李绪志, 张九星. 2013. 天宫一号高光谱数据探测火情状态敏感谱段分析. *光谱学与光谱分析*, 33(7): 1908-1911) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)07-1908-04]
- Qin X L, Yang F, Zu X F, Zhang Z H and Li Z Y. 2014. Quantitative extraction of fine contour parameters for forest fire using satellite remote sensing. *Journal of Infrared Millimeter Waves*, 33(6): 642-648 (覃先林, 杨飞, 祖笑锋, 张子辉, 李增元. 2014. 火线轮廓参数卫星遥感定量提取方法. *红外与毫米波学报*, 33(6): 642-648)

- [DOI:10.3724/SP.J.1010.2014.00642]
- Roberts G J and Wooster M J. 2008. Fire detection and fire characterization over Africa using Meteosat SEVIRI. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(4): 1200-1218 [DOI: 10.1109/tgrs.2008.915751]
- Somers B, Verbesselt J, Ampe E M, Sims N, Verstraeten W W and Coppin P. 2010. Spectral mixture analysis to monitor defoliation in mixed-age *Eucalyptus globulus* Labill plantations in southern Australia using *Landsat 5-TM* and *EO-1 Hyperion* data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(4): 270-277 [DOI: 10.1016/j.jag.2010.03.005]
- Sun G F. 2018. Method for Burned Forest Area Identification and Vegetation Restoration Using Satellite Data. Beijing: Chinese Academy of Forestry (孙桂芬. 2018. 森林火烧迹地识别及植被恢复卫星遥感监测方法. 北京: 中国林业科学研究院)
- Wang C and Glenn N F. 2009. Estimation of fire severity using pre- and post-fire LiDAR data in sagebrush steppe rangelands. *International Journal of Wildland Fire*, 18(7): 848-856 [DOI: 10.1071/WF08173]
- Wang L T, Zhou Y, Wang S X and Chen S R. 2004. Monitoring for grassland and forest fire danger using remote sensing data/2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Anchorage, AK, USA: IEEE: 2095-2098. [DOI: 10.1109/IGARSS.2004.1370770]
- Wooster M J, Roberts G, Perry G L W and Kaufman Y J. 2005. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research*, 110(D24): D24311 [DOI: 10.1029/2005JD006318]
- Wooster M J and Zhang Y H. 2004. Boreal forest fires burn less intensely in Russia than in North America. *Geophysical Research Letters*, 31(20): L20505 [DOI: 10.1029/2004gl020805]
- Wu X Q, Qin X L, Li C, Tian Z W, Xiong Y Q, Yang D F and Zhang R. 2010. Analysis of current forest fire monitoring system in China. *Inner Mongolia Forestry Investigation and Design*, 33(3): 69-72 (吴雪琼, 覃先林, 李程, 田祖为, 熊有强, 杨德付, 张瑞. 2010. 中国林火监测体系现状分析. 内蒙古林业调查设计, 33(3): 69-72) [DOI: 10.3969/j.issn.1006-6993.2010.03.029]
- Yang F. 2012. Study on the Extraction Method of Active Fire Line Using High Spatial Resolution Data. Kunming: Southwest Forestry University (杨飞. 2012. 基于高空间分辨率数据的林火燃烧现状提取研究. 昆明: 西南林业大学)
- Yang W. 2013. The Study on Burned Area Mapping and Vegetation Regeneration Based on Remote Sensing Data in Heilongjiang Basin. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences (杨伟. 2013. 基于遥感的黑龙江流域火烧迹地及其植被恢复研究. 长春: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所))
- Yi H R, Bai L N and Ji P. 1994. Research method for remote sensing image processing using expert system. *Forest Research*, 7(1): 13-19 (易浩若, 白黎娜, 纪平. 1994. 专家系统用于遥感图像处理的方法研究. 林业科学研究, 7(1): 13-19)
- Yi H R and Ji P. 1998. The methods of evaluating burned area of forest fire by using remote sensing. *Remote Sensing Technology and Application*, 13(2): 10-14 (易浩若, 纪平. 1998. 森林过火面积的遥感测算方法. 遥感技术与应用, 13(2): 10-14) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.1998.02.002]
- Yi H R, Ji P and Qin X L. 2004. Study on forest fire danger forecast system and its operation in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 40(3): 203-207 (易浩若, 纪平, 覃先林. 2004. 全国森林火险预报系统的研究与运行. 林业科学, 40(3): 203-207) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-7488.2004.03.036]
- Yi K P, Tani H, Zhang J Q, Guo M, Wang X F and Zhong G S. 2013. Long-term satellite detection of post-fire vegetation trends in boreal forests of China. *Remote Sensing*, 5(12): 6938-6957 [DOI: 10.3390/rs5126938]
- Yu Y F, Pan J, Xing L X, Jiang L J, Meng T, Han X J and Zhou C C. 2013. Identification of high temperature targets in remote sensing imagery based on mahalanobis distance. *Remote Sensing Information*, 28(5): 90-94 (于一凡, 潘军, 邢立新, 蒋立军, 孟涛, 韩晓静, 周彩彩. 2013. 基于马氏距离的遥感图像高温目标识别方法研究. 遥感信息, 28(5): 90-94) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2013.05.017]
- Zhou Y, Wang S X, Wang L T, Chen S R and Li H C. 2007. MODIS data-based automatic extraction of information on fire spot. *Journal of Natural Disasters*, 16(1): 88-93 (周艺, 王世新, 王丽涛, 陈世荣, 李浩川. 2007. 基于MODIS数据的火点信息自动提取方法. 自然灾害学报, 16(1): 88-93) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-4574.2007.01.017]
- Zhu X and Qin X L. 2013. Burned area mapping using HJ-1A/B CCD data based on two-phase algorithm. *Remote Sensing Technology and Application*, 28(1): 72-77 (朱曦, 覃先林. 2013. 基于二阶段算法的HJ-CCD数据过火区制图. 遥感技术与应用, 28(1): 72-77) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2013.1.72]
- Zhu X, Qin X L and Liao J. 2013. Remote sensing mapping for unitemporal cross-region forest burned area based on fuzzy set theory. *Remote Sensing for Land and Resources*, 25(4): 122-128 (朱曦, 覃先林, 廖靖. 2013. 基于模糊集理论的单时相跨区域森林过火区遥感制图. 国土资源遥感, 25(4): 122-128) [DOI: 10.6046/gtzyyg.2013.04.19]
- Zhu Y J, Xing L X, Pan J, Meng T, Wen J C, Wang H H, Qiao Z M and Huang J C. 2011. Method of identifying high-temperature target using shortwave infrared remote sensing data. *Remote Sensing Information*, (6): 33-36, 41 (朱亚静, 邢立新, 潘军, 孟涛, 闻久成, 王红红, 乔振民, 黄竞斌. 2011. 短波红外遥感高温地物目标识别方法研究. 遥感信息, (6): 33-36, 41) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.007]
- Zhu Z, Key C, Ohlen D and Benson N. 2006. Evaluate Sensitivities of Burn-Severity Mapping Algorithms for Different Ecosystems and Fire Histories in the United States. USA Final Report to the Joint Fire Science Program, Project: JFSP 01-1-4-12. USGS EROS
- Zu X F, Qin X L, Li Z Y, Sun G F and Liu S C. 2017. Method for burned forest biomass estimation using satellite remote sensing

based on power law distribution. *Scientia Silvae Sinicae*, 53(10): 90-99 (祖笑锋, 覃先林, 李增元, 孙桂芬, 刘树超. 2017. 基于幂律分布的森林燃烧生物量卫星遥感估测方法. *林业科学*, 53(10): 90-99) [DOI: [10.11707/j.1001-7488.20171010](https://doi.org/10.11707/j.1001-7488.20171010)]

Zu X F, Qin X L, Yin L Y, Chen X Z and Zhong X Q. 2015. *Decision*

tree method for burned area identification based on the spectral index of GF-1 WFV image. *Forest Resources Management*, (4): 73-78, 83 (祖笑锋, 覃先林, 尹凌宇, 陈小中, 钟祥清. 2015. 基于高分一号影像光谱指数识别火烧迹地的决策树方法. *林业资源管理*, (4): 73-78, 83) [DOI: [10.13466/j.cnki.lyzygl.2015.04.013](https://doi.org/10.13466/j.cnki.lyzygl.2015.04.013)]

Forest fire early warning and monitoring techniques using satellite remote sensing in China

QIN Xianlin, LI Xiaotong, LIU Shuchao, LIU Qian, LI Zengyuan

1. *Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China;*

2. *Key Laboratory of Forestry Remote Sensing and Information System, NFGA, Beijing 100091, China*

Abstract: Four levels of stereoscopic forest fire monitoring have been established in China, namely, ground patrol, near-ground monitoring, aviation patrol, and satellite monitoring. Forest fire remains the main forest disaster that causes loss of forest resources, threatens the safety of forest ecological environment, and results in personal injuries. This study aims to provide technical reference for the study of forest fire early warning and monitoring technology in the new period of China. The research progress, existing problems, and development trend of forest fire early warning and fire monitoring methods with satellite remote sensing technique in the past 20 years are investigated on the basis of eight fields, namely, fuel parameter evaluation, smoke identification, active fire point monitoring, combustion dynamic monitoring of large forest fire, burned forest area identification and mapping, damage assessment of forest fire, burned forest biomass estimation, and burned vegetation recovery. The design of forest fire early warning and monitoring technology system has been discussed using the integrated information of satellite, aviation, and ground monitoring techniques to promote Chinese ecological civilization.

Key words: satellite remote sensing technique, forest fire early warning, forest fire monitoring, forest fire prevention

Supported by Specialized Research Fund of the Chinese Academy of Forestry (No. CAFYBB2018SZ009); High Resolution Satellite Project of the State Administration of Science, Technology and Industry for National Defense of PRC (No. 21-Y30B02-9001-19/22/06)