

《卫星林火监测图像超分辨率重构关键技术突破及预报预警应用创新》

项目信息

一、项目名称

卫星林火监测图像超分辨率重构关键技术突破及预报预警应用创新

二、提名者及提名意见

提名者：西南林业大学

提名等级：云南省科学技术进步奖一等奖

提名意见：成果聚焦卫星林火监测中的重大科技难题，突破了 1km 热成像的技术瓶颈，将原始的负地形图像重构为 90m、30m 的多尺度正地形影像，打通了防灭火一体化、全链条应用路径。研究成果数据翔实，分析论证充分，结果可靠，应用效果显著，同意申报 2023 年度云南省科学技术进步奖（社会公益项目类）一等奖。

三、项目简介

森林火灾突发性强、破坏性大，应急处置风险高、扑救困难。火情的早发现、火环境及火发展态势的精准刻画，是“打早、打小、打了”的关键。以 NOAA/AVHRR、FY 及 EOS/MODIS 为主的气象环境类卫星，覆盖频率可达 2~6 次/小时，观测面广，一景图像可覆盖大半个中国，运行成本极低，南方卫星林火监测中心每年的建设及运维费用不超过 300 万元。林草资源分布广袤，而野外地面瞭望台、视频及热红外监控、近地无人机监测、人工巡护观测，地面火险因子采集观测等，其覆盖面有限，代表性不足，投入大，云南省每年的地面监测的建设和运维费用约 50 亿元。且对于大林区、偏远山区，森警及航护飞机等核心消防力量赶到火场往往需要若干天的时间。全世界的卫星林火监测已有近 50 年的应用历史，但其热成像空间分辨率低导致森林与农业植被、林火和其它热源高度混淆，初发火、小火难识别，火场及火险变量提取的精度低；中微观火环境信息缺失和反视觉地形效应，影响了可视化理解和后续决策应用。因此，突破卫星林火监测分辨率制约，挖掘其在早期应急处置中的应用潜力，实现防灭火一体化应用是国家林火防控能力提升的重大需求。针对以上问题，研究团队另辟蹊径，创建了基于亚像元光谱增量的监测图像超分重构技术，实现了 90m、30m 像元上的小火表征和识别，火环境及图像正立体可视化表达，火险变量的自动提取，解决了卫星数据在监测预警、预测预报，排兵布阵、扑救指挥决策中的一体化应用问题，极大减少地面监测建设和运维费用，成果具有重要的

防灾、减灾实践价值和理论意义。成果主要创新点如下：

创新点 1：在国内外首次提出了以计算机模拟天光、地物反射/发射率场、光照地形互动、大气路径衰减的传感成像作用，重构超分辨率卫星林火监测图像的技术方法。包括利用卫星雷达 DEM 构建与卫星像元同尺度的传感作用变量，反解算 1km 的反射率场；构建超分辨率光照地形像元上的热射辐增量，将 1km 图像解算为 90m、30m，或任意尺度的正射正立体图像。超分辨率监测图像可视化效果明显增强（图 1），增加并突出了小火与初发火的表征（图 2），有效区分了森林和农用植被（图 3）、林火和非林火（图 4），以及对防灭火一体化至关重要的中微观地形及火环境信息（图 5）。重构图像可实时应用于地面核查、排兵布阵和扑救决策与指挥。

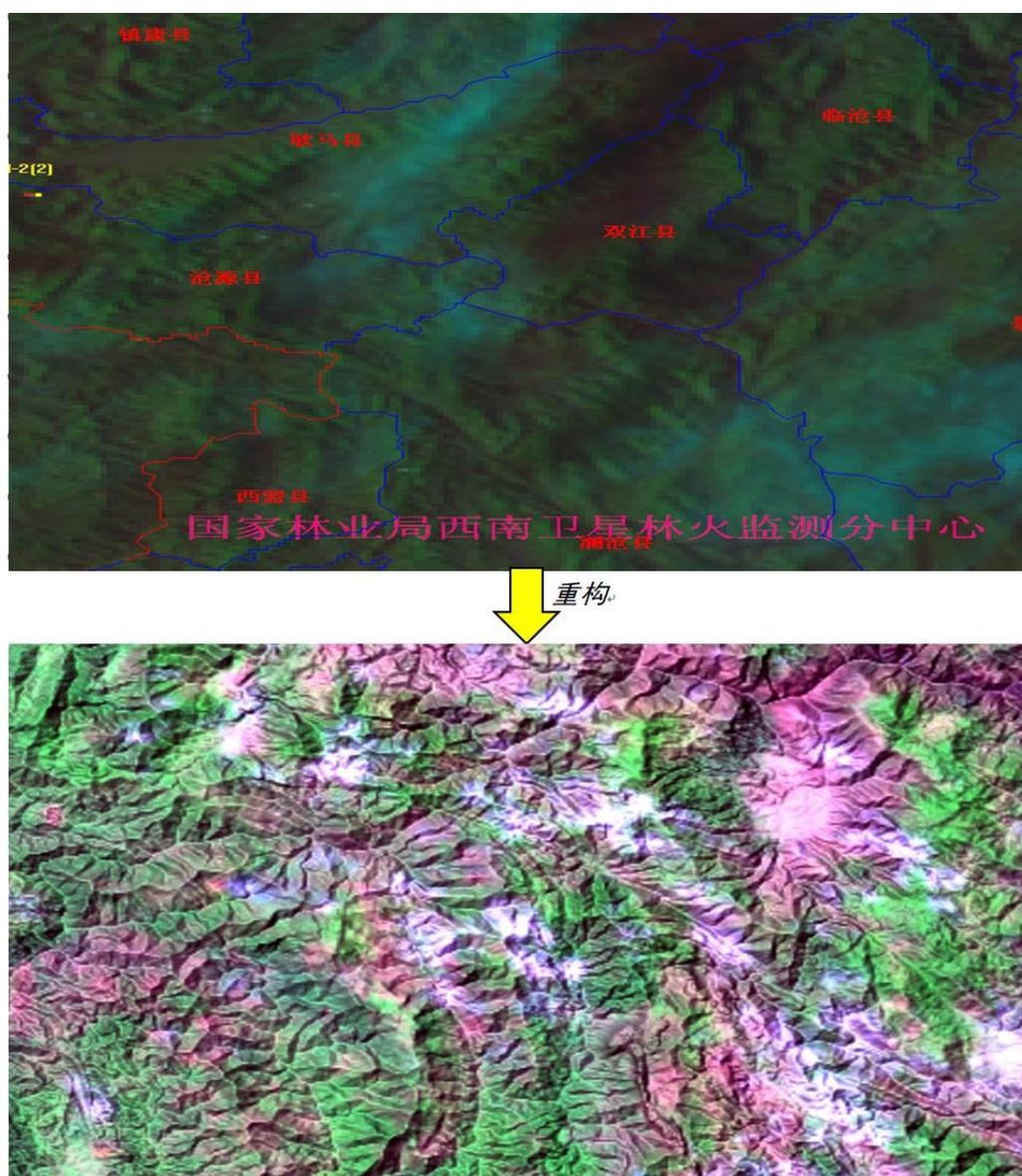


图 1.原始卫星监测图像(上)与超分重构图像 (下)，重构图像增加并增强了火环境信息表达

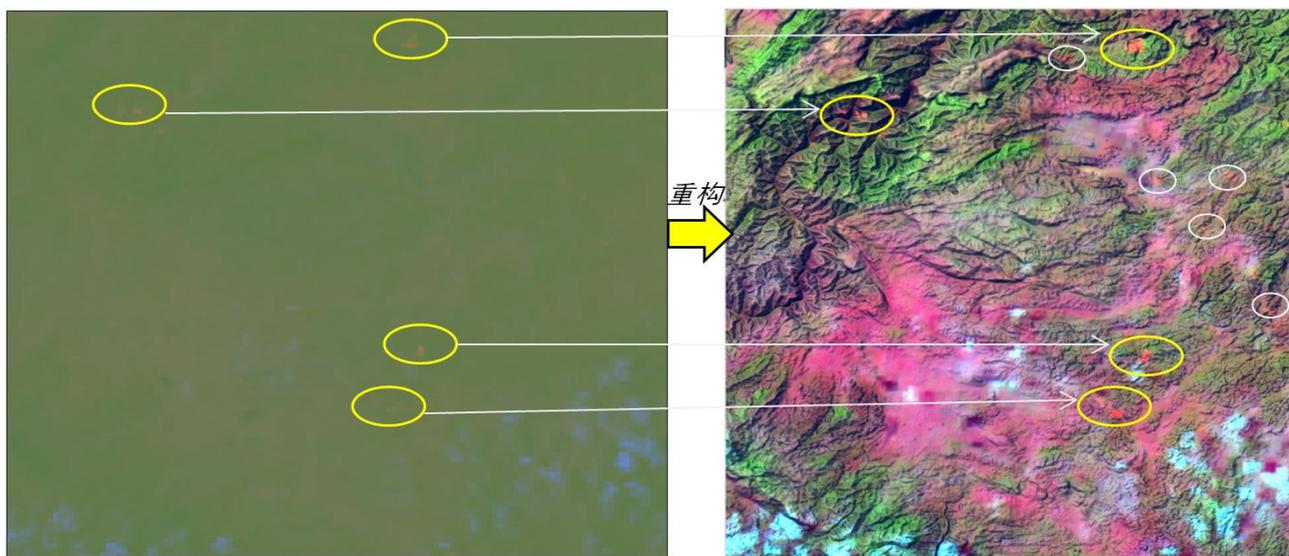


图 2.原监测图像(左)与超分重构图像(右), 漏报的多场小火在重构图像上表征, 白色椭圆区域

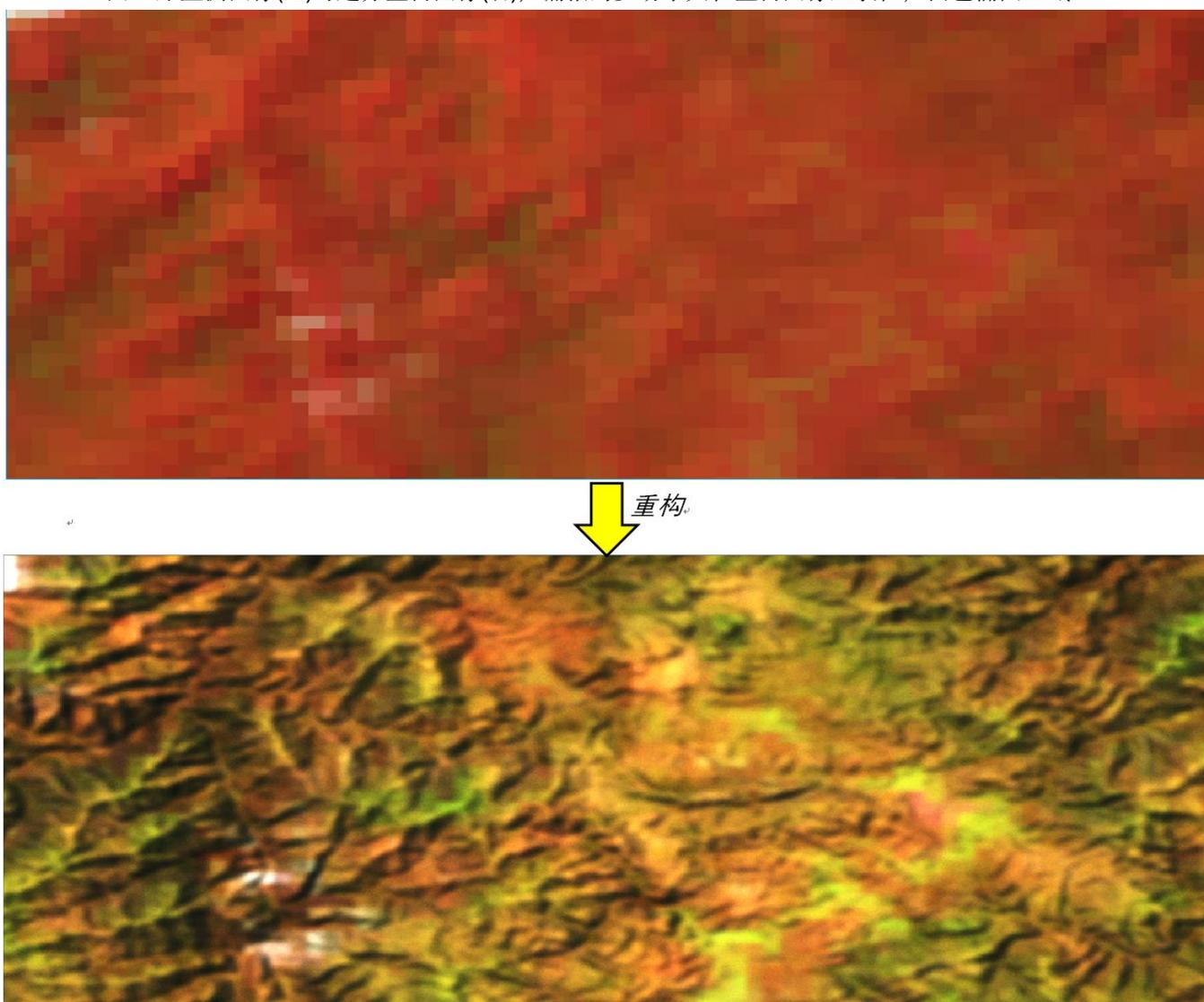


图 3.以 1km FY3 监测图像(上)与重构 30m 图像(下), 森林与农业植被的区分、火环境信息增加

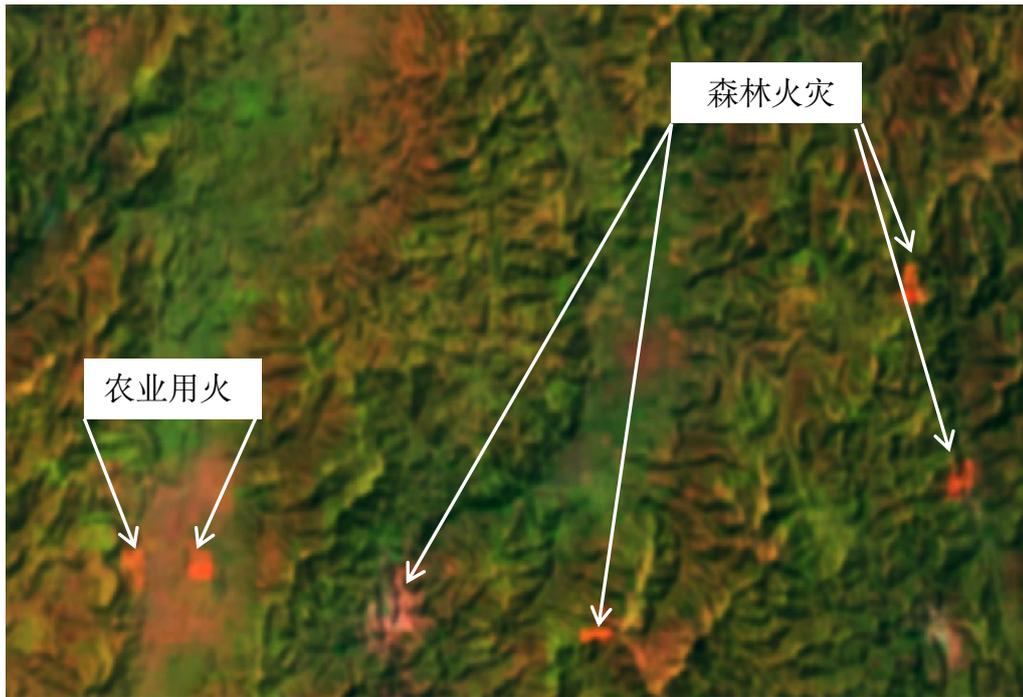
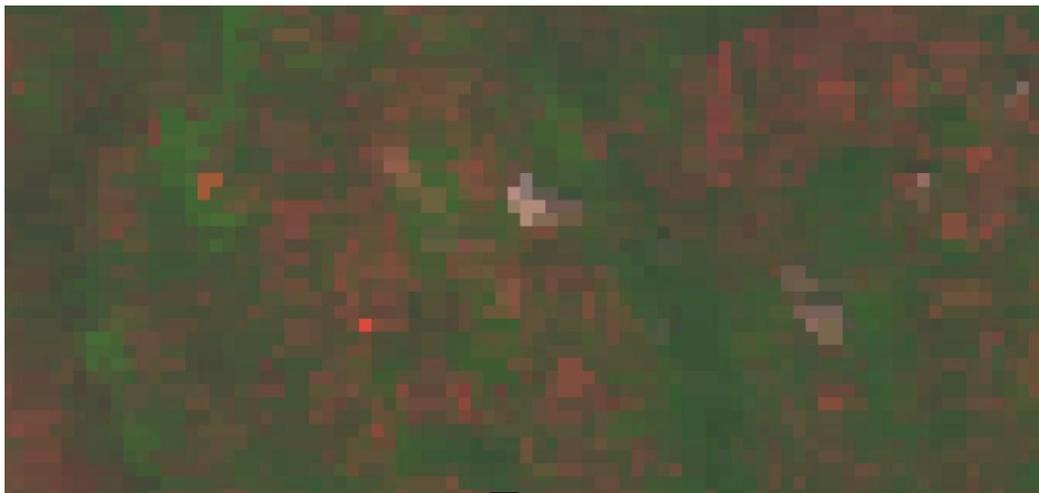


图 4. 重构的监测图像上的林火与非林火区分显著



↓ 重构

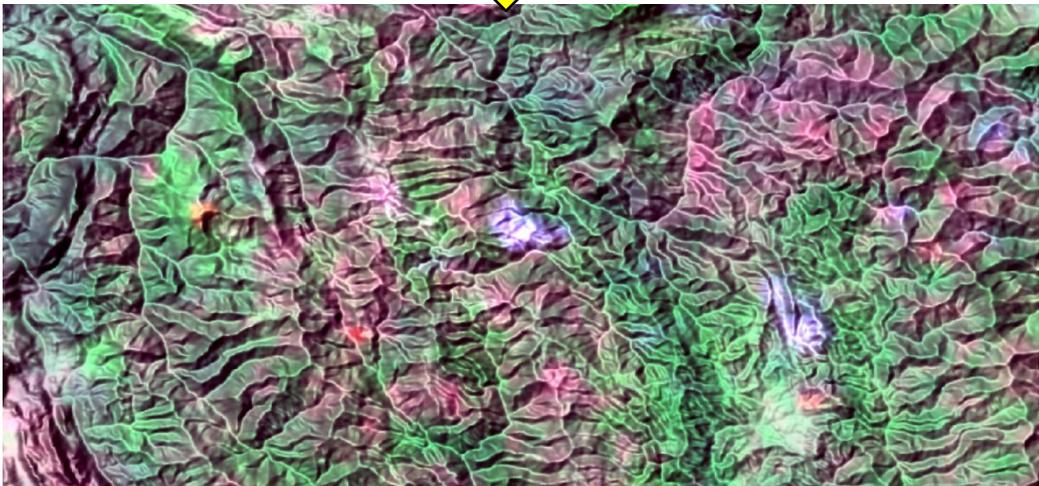


图 5. 原始图像(上)与重构图像(下), 其载荷了地形环境及可燃物信息, 可支持排兵布阵决策

创新点 2: 在国内外第一次提出了基于超分像元上的光谱热增量, 对小火进行增强和识别的方法, 实现了初发火的自动识别、火点参数自动采集入库, 并替代现行的目视解译。由于初发火的燃烧面积、过火区面积在 1km^2 混合像元中的占比非常小, 25m 宽 \times 40m 长的火线, 800 度的燃烧温度形成的像元增温仅有 0.8 度左右, 按原有的理论方法, 这类小火无法在原始图像中表达。将原来绝对热辐射图像转化为热增量图像, 即可实现了小火的表征和识别 (图 6) 和采集入库 (图 7), 并将原一景图像火点判读的时间从 1 到 2 小时缩短到 10 分钟以内, 为地面核查及处置提供了支持。

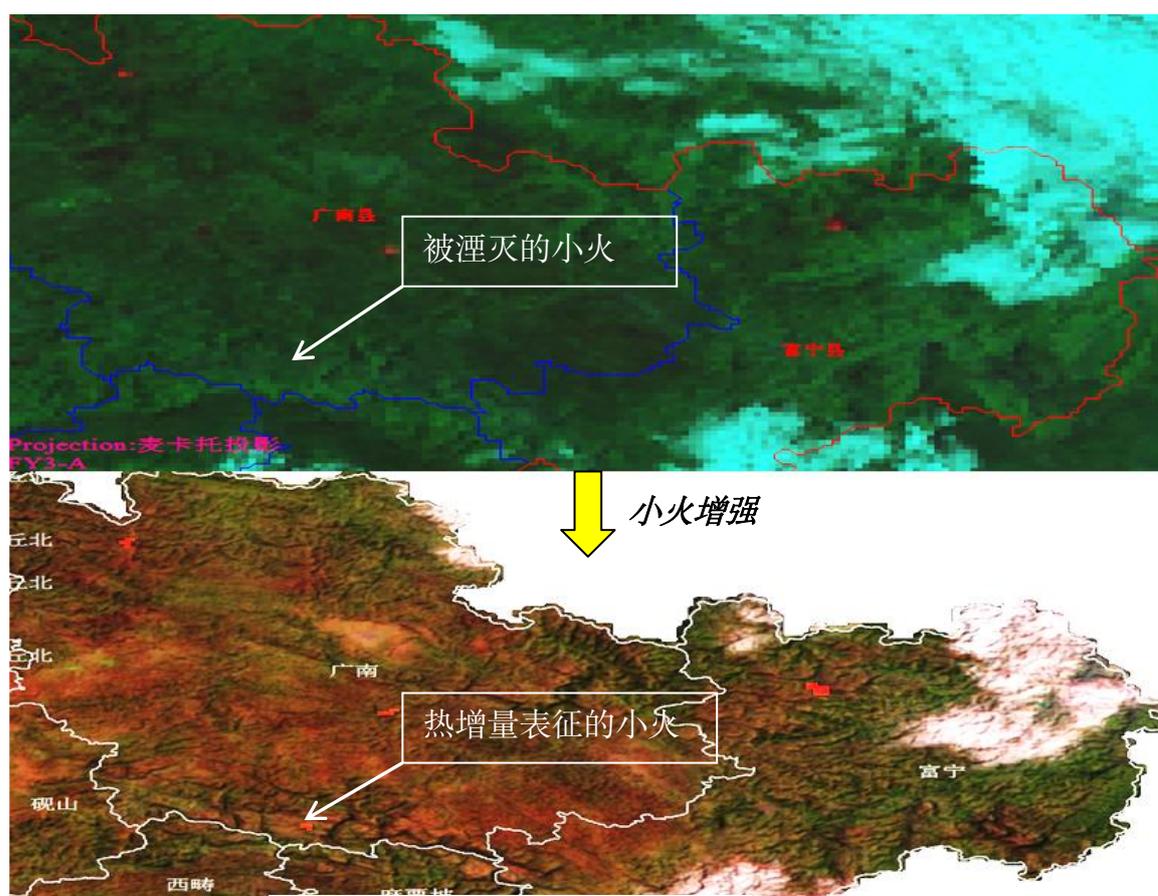


图 6. 基于热增量表征识别的小火

创新点 3: 首次提出了基于雷达 DEM 提取地性线和控制点的技术, 以空间抽样及智能化搜寻定位匹配卫星监测影像的同名地物点的自动配准方法, 实现卫星林火监测图像的快速几何精纠正处理。几何精确纠正是超分重构和火场精确定位、采集的重要基础, 现行国家卫星林火业务系统中, 通常以海岸线、大型湖泊边界等作为参照, 并以手工和目视观察寻找控制点, 影响了火情的早发现和早报告。基于地性线自动几何精纠正及小火自动提取, 可将卫星林火监测几何定位精度提高至 90m 内。

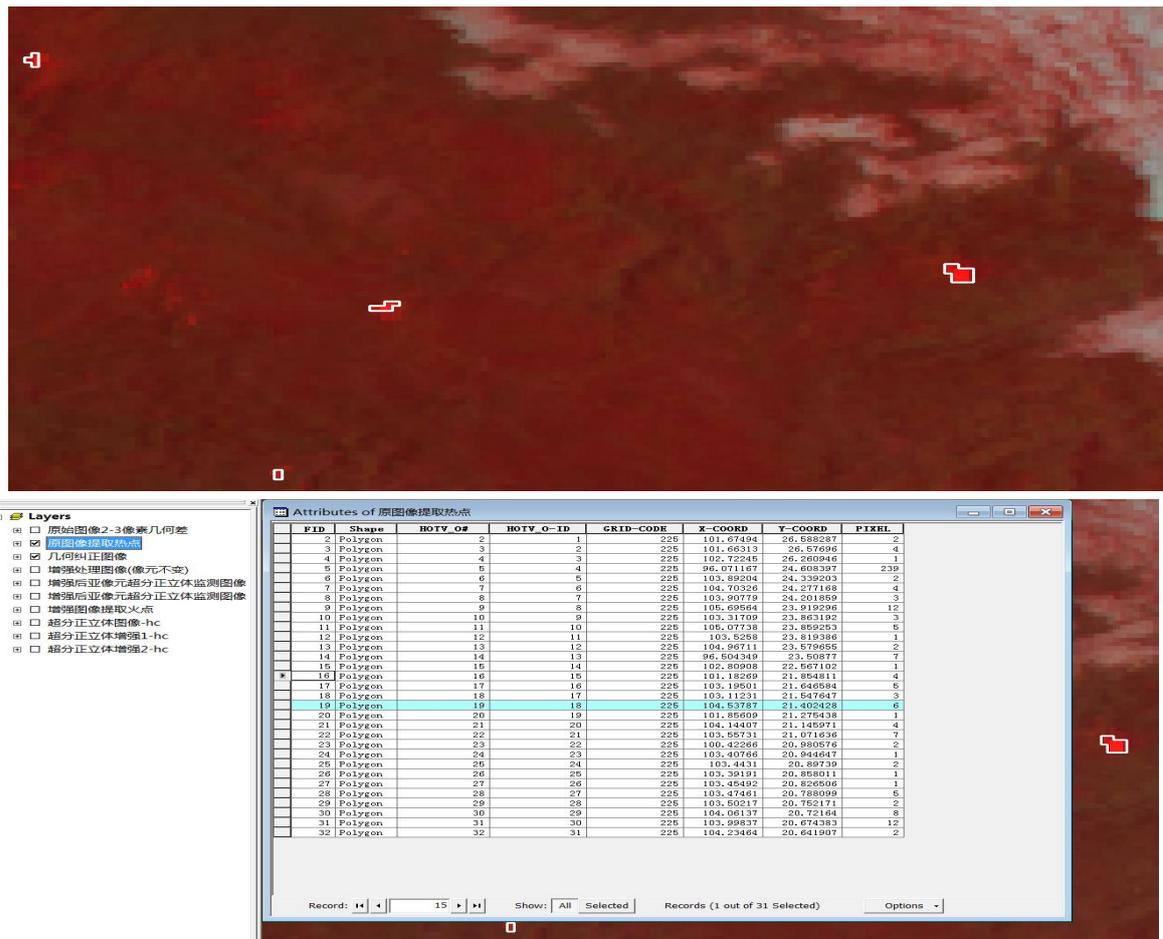


图 7 火点计算机识别和矢量化、参数采集入库

创新点 4: 创新性的提出了以亚像元尺度卫星监测图像自动提取火场参数（火点位置、形状及程度等）、反演时空连续气象场及可燃物载量、挖掘与火蔓延密切相关新型火险变量，并支撑早期应急处置中的林火蔓延预报及预报预警技术体系，实现林火监测与预报预警、扑救决策的联动。传统的火险测报预警主要依赖于地面的点观测数据，是覆盖面极少的稀疏观测值，由于难以代表表面上区域的温度、湿度、含水率、火源密度等的时空变化，制约了林火预报预警的精准性，该成果提供了全新的、以卫星为主要手段的火险变量监测技术。通常偏远林区、大林区发生火灾后，核心的监测预警技术力量和设备紧急调度到火场，往往需要若干天时间，例如 2019 年凉山木里重大火灾，森警赶赴火场花了 35 小时，调度使用航空消防力量与第 5 天后才到达，而卫星林火监测数据的具有极高的时间动态性，通过亚像元反演技术突破，可为当地民兵、地方扑火队伍，提供近实时的连续火场变化数据（图 8），为早期火蔓延预报、紧急救援和排兵布阵，提供科学数据。

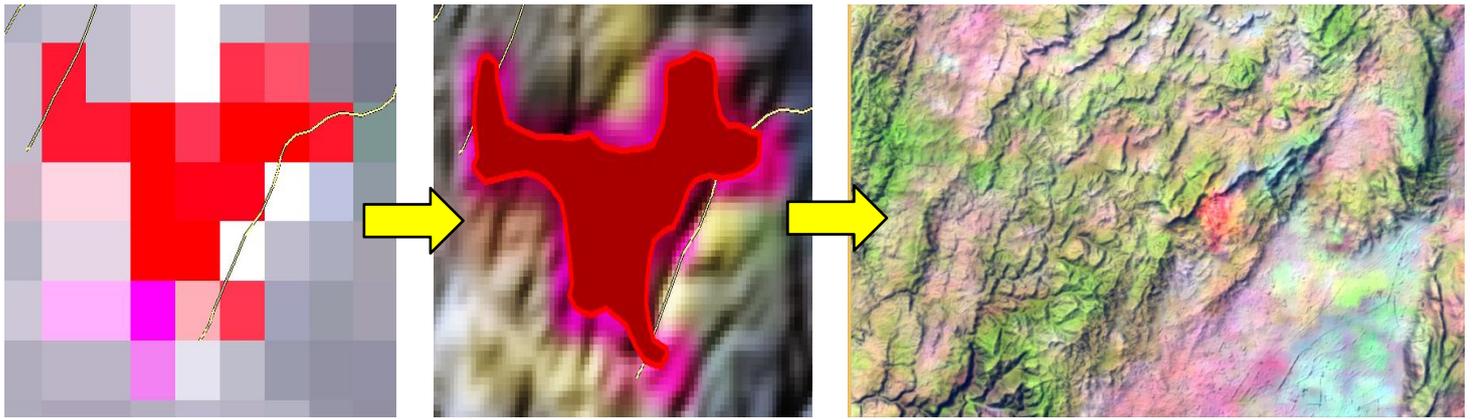


图 8. 亚像元火场边界的超分辨率提取和应急决策支持

成果已应用于应急管理部南方航空护林总站、昆明市林火防控和林草信息中心、昆明市宜良县林业和草原局及昆明市官渡区方旺林场多家单位。成果应用表明，极大提升了地面林火热点核查效率，使原来 5~6 小时完成的热点核查任务提高至约 30 分钟左右，提高火情监测预警精度，节约防火开支约 30%，云南省全年节约经费约 6 亿元，取得了重要经济及防灾与减灾效益。成果发表论文 25 篇，国家级译著 1 部；授权专利 21 件，其中发明专利 15 件，国际发明专利 2 件，新型实用专利 6 件；计算机软件著作权 7 项。

四、主要完成人 (完成单位)

序号	姓名	对本项目技术创造性贡献
1	叶江霞	卫星林火监测图像超分重构研究及推广应用、亚像元支撑的林火预报预警研究，对创新点 1, 2 及 4 有重要贡献。
2	王艳霞	新地学变量建立、亚像元分解增强及地性线遥感卫星林火监测影像自动精纠正研究，对创新点 1 及 3 有重要贡献。
3	周汝良	卫星雷达测绘 DEM 的多尺度分解和增强研究、卫星林火监测超分正立体重构研究，对创新点 1, 2 及 3 有重要贡献。
4	高仲亮	森林可燃物及蔓延特性、火灾烟雾探测及预警挖掘研究，对创新点 4 有重要贡献。
5	赵凤君	基于亚像元森林火灾烟气释放及扩散传输模拟、遥感火烧迹地评估及挖掘应用，对创新点 2 及 4 有重要贡献。
6	吴明山	基于亚像元挖掘火险变量及林火预报预警挖掘研究，对创新点 4 有重要贡献。
7	龙晓敏	时空序列卫星林火监测影像光谱定标研究，对创新点 1, 3 有重要贡献。
8	黄晓园	卫星林火监测信息支撑林火预报挖掘研究，对创新点 4 有重要贡献。
9	邓忠坚	卫星林火监测信息时空格局挖掘研究，对创新点 4 有重要贡献。
10	王文权	卫星林火监测信息支撑林火预报及动态管理挖掘研究，对创新点 4 有重要贡献。

五、主要完成单位

西南林业大学

中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所

云南农业大学

六、代表性论文成果

1. 授权的代表性发明专利:

序号	专利类别	专利名称	授权号	授权日期	权利人	发明人	有效状态
1	发明专利	基于轻小型无人机的森林火灾林木受损程度提取方法	CN111274871B	2020-09-08	西南林业大学	叶江霞,刘乾飞,吴明山,张明莎,王敬文	有效
2	发明专利	基于夜视灯光数据的人为活动影响力场的表达方法	CN112463846B	2021-08-03	西南林业大学	叶江霞,吴明山,张健	有效
3	发明专利	一种度量地貌高差的栅格化曲面的构建方法及系统	CN111127646B	2023-03-14	西南林业大学	周汝良;叶江霞;王艳霞	有效
4	发明专利	一种区域地表温度场的时间过程模拟方法及系统	CN112598763B	2023-02-03	西南林业大学	王艳霞,周汝良	有效
5	发明专利	一种空间抽样目标定位方法及系统	CN108241593B	2020-05-15	西南林业大学	王艳霞,周汝良	有效
6	发明专利	一种山区卫星影像自动配准到地理底图上的方法	CN105354832B	2019-06-21	西南林业大学	王艳霞,周汝良	有效
7	发明专利	一种度量地貌破碎程度的栅格化曲面的构建方法及系统	CN112950779B	2021-10-29	西南林业大学	周汝良,王艳霞	有效
8	发明专利	一种度量地形复杂程度的栅格化曲面的构建方法及系统	CN112950777B	2022-01-25	西南林业大学	周汝良,王艳霞	有效
9	发明专利	一种度量地貌褶皱的栅格化曲面的构建方法及系统	CN112950778B	2022-03-18	西南林业大学	王艳霞,周汝良	有效
10	发明专利	一种局部山地区域的相对湿度日变化基线的构建方法	CN105095660B	2018-09-28	西南林业大学	周汝良	有效

2. 发表的代表性科技论文:

序号	名称	刊名	作者	年卷页码
1	Seasonal differences in the spatial patterns of wildfire drivers and susceptibility in the southwest mountains of China	Science of The Total Environment	Wang Wenquan; Zhao Funjun; Wang Yanxia; Huang Xiaoyuan; Ye Jiangxia	2023 年 869 卷 161782 页
2	Automated geometric precise correction of medium remote sensing images based on ASTER global digital elevation model	Geocarto International	Yanxia Wang; Jiangxia Ye; Chuan Chen; Ruliang Zhou	2023 年 38 卷 2190624 页
3	Automated Extraction of Forest Burn Severity Based on Light and Small UAV Visible Remote Sensing Images	Forests	Jiangxia Ye; Zhongyao Cui; Fengjun Zhao; Qianfei Liu	2022 年 13 卷 1665 页
4	The contribution of duff consumption to fire emissions and air pollution of the Rough Ridge Fire	International Journal of Wildland Fire	Fengjun Zhao; Yongqiang Liu; Scott Goodrick; Benjamin Hornsby; Jeffrey Schardt	2019 年 28 卷 993-1004 页
5	Wildfire Smoke Transport and Air Quality Impacts in Different Regions of China	Atmosphere	Fengjun Zhao; Yongqiang Liu; Lifu Shu; Qi Zhang	2020 年 11 卷 941 页
6	多源卫星遥感影像的林火监测	光谱学与光谱分析	尹俊玥,何瑞瑞,赵凤君,叶江霞*.	2023 年 43 卷 917-926 页
7	森林计划烧除 PM2.5 排放时空过程模拟及其对空气质量的影响	林业科学	曹国军,李嘉昕,赵凤君,舒立福,叶江霞*.	2022 年 58 卷 63-75 页
8	PL 高分辨率遥感影像在森林火灾评估上的应用	林业科学	胡林林,王立中,李华,丁永全,韦昌雷,李慧仁,赵凤君*.	2022 年 58 卷 107-116 页
9	基于亚像元分解与增强的 MODIS 卫星林火监测图像制作	西部林业科学	黄诚,王皓,王一凯,段伟虎,杨凯悦,王艳霞,李清玉.	2015 年 44 卷 82-87 页
10	林分尺度上的森林火险动态评估	林业资源管理	吴明山,周汝良,张明莎,叶江霞*	2020 年 02 期 126-134 页