

# 无人机载红外载荷系统在森林防火中的应用探讨

焦吉文

河北省第三测绘院

**摘要:** 无人机载红外载荷系统在应急测绘应用较为广泛, 论文通过对无人机载红外监测系统的概述、系统组成、系统功能及系统技术特点的描述, 通过在森林火情监测、预警及林火救灾等方面的功能进行了描述, 显示出无人机载红外载荷系统可为森林灾害预警、科学救援和灾后重建等方面提供测绘应急保障服务, 为我国林区防火提供一种可借鉴的地理信息应急测绘技术方案。

**关键词:** 无人机; 红外载荷; 林火监测; 多源数据融合

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.01.083

## 一、引言

自然灾害对经济、人文、地理建设有着严重的影响, 对自然灾害进行监测、分析和早期预报一直是科研工作者探讨的课题。利用无人机航拍系统和光学载荷系统进行远程监控, 获取可见光波段的基础信息, 整体技术已经成熟。但在雷雨、雾霾、大风等天气状况下, 光学载荷的应用效果仍有待完善。我国林区大部分位于山地或丘陵区域, 面积较大、交通不便, 大多采用传统模式进行林火监测和防火工作, 特别是林火监测、林火救援等任务受环境条件限制, 耗费大量人力物力, 且效率低下。论文以无人机载红外载荷系统为例, 阐述在林火监测、林火抢险和灾后恢复等方面的应急测绘保障。

## 二、林火特征及红外辐射理论

### (一) 林火特征

林火燃烧产生火苗, 并伴随极高的热量和浓烟雾。热量是林火燃烧态势和火源类型的重要信息之一。浓烟会使大多数谱段的传感器失去探测到浓烟之下真实火场信息的能力, 所选红外谱段要有透烟的能力。

### (二) 红外辐射理论

在只考虑大气分子吸收时, 大气在短波红外

(0.78~2.5 μm)、中波红外(3~5 μm)和长波红外(8~14 μm)有3个大气红外“透射窗口”, 因而红外载荷传感器的反应波段也应选择这3个“透射窗口”, 如图1所示。

大气中的红外辐射包括物质本身的辐射以及对外来辐射的反射, 在近地大气空间中, 太阳辐射到地球的能量主要在0.15 μm到4 μm之间, 包含紫外线、可见光、短波红外和部分中波红外。地球表面的常温物体的辐射主要集中在3 μm到120 μm波段范围内。根据维恩位移定律可知, 当物体温度升高, 辐射本领的最大值向短波方向移动, 如图2所示。

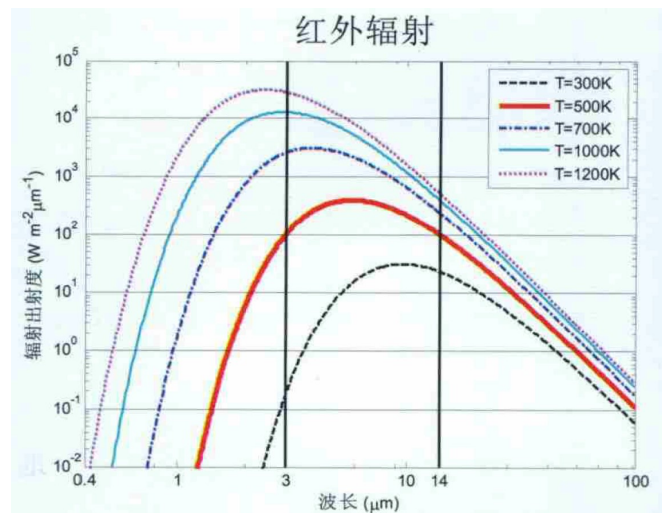


图2 五种不同温度的黑体的辐射出射度与波长的关系

一般林火火场的常温背景为300K, 地表火温度400K~800K、树冠火800K以上, 地下火450K~850K。为了能够区分火场中不同燃烧程度的火点, 需要对火场温度进行测量, 目前中波和长波能够进行温度反演计算火场温度, 但是中波和长波红外的选择需要分析火场的辐射特性, 根据维恩位移定律。

$$\lambda_m T = 2897.8 \mu\text{m} \cdot K$$

式中:  $\lambda_m$ 为黑体光谱辐射通量密度最大的峰值波长; T为黑体的绝对温度。

可以得出常温(300K)背景辐射的峰值波长为9.7 μm, 地表火(400K~800K)辐射峰值波长7.2 μm~3.6 μm, 地下火(450K~850K)辐射峰值波长为6.4 μm~3.4 μm, 树冠火(>800K)辐射的峰值波长小于3.6 μm。可见林火火场的主要辐射集中在中波红外窗口3 μm~5 μm, 部分集中在短波波段, 背景集中在长波波段。

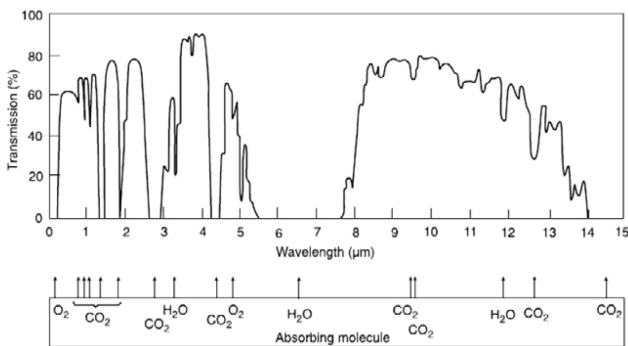


图1 红外辐射在大气中的传播

### （三）火场模拟实验

为了研究红外载荷对火的成像能力和效果，开展了1.5米×0.5米的规则火场实验和秸秆自由燃烧火场实验，得出以下结论：

- 1、三种波段都能透过轻微的烟；
- 2、短波红外传感器能够客观响应着火区域的物理尺寸，适用于对火场的测绘；
- 3、中波红外传感器对着火区域很敏锐，可探测到较多的高温区能量，适用于对火场的搜索和测绘；
- 4、长波红外传感器对常温目标敏感，在高温目标下亮度容易饱和，其适合搜索火场，但虚警率高。
- 5、没有火苗但有火星时，中波和长波红外相机均能发现正在发生的火灾，可见光相机不能；
- 6、有火苗时候，中波红外传感器对火灾的热辐射更为敏感，且响应强烈；
- 7、长波红外对在高温区域容易造成饱和，中波红外能够探测到高温区域；
- 8、长波红外能探测到的火焰，在中波红外上更为明显；长波红外探测不到的火焰，在中波红外上能够发现。中波红外能有效探测到高温区域，并且比普通长波红外性能更优异；
- 9、中波红外对小目标火点成像能力比长波强，对木制材料燃烧热辐射的探测能力更为突出、响应更为强烈，能发现长波红外探测不到的火灾或高温隐患，实际效果优于长波红外，这对森林火灾的监测或预防意义重大；
- 10、中波红外的测温能力和测温范围相比长波更强更广。

### （四）传感器波段选择

为此对森林防火的传感器波段选择为可见光波段、短波红外波段和中波红外波段。可见光波段可以采集直接适合人眼辨别的可见光数据，能够直观展示烟雾形态，进而对火场进行可辨别的探测；短波波段能够透过较浓烈的烟，能够客观反映火场的物理尺寸，适合对火场进行测绘；中波波段能够透过一定的烟雾，测温范围较广，可以对地下火、地表火和林冠火进行区分，能够进行火场火线提取，对火场进行高效探测，对灭火提供有效的参考数据依据。

## 三、系统组成和功能

### （一）系统概述

无人机载红外载荷系统，是面向森林火灾发生时提供测绘应急保障的专用载荷。该系统将可见光和红外灯不同响应波段的传感器进行集成，通过加装控制电路、稳定平台、扫描机构及各类机械伺服系统等，通过无人机低空环境下通过可靠的对地观测成像，实现对大范围森林进行区域监测，提高航空遥感森林防火的感知探测能力，并通过特定软件实现森林防火预警监测功能、火场监测功能和火场灾后评估功能等。

### （二）载荷系统组成

红外载荷系统由机载平台、机载传感器和地面载荷

控制与显示部分组成，其中机载平台由减震稳定系统和POS系统组成；机载传感器由红外传感器、可见光传感器和控制模块组成；地面载荷控制与显示部分由显示控制和数据处理系统组成。

### （三）系统功能

机载平台系统的主要功能是为载荷提供空中作业平台，保证载荷对地成像时的空中姿态，利用高精度GNSS接收机及惯导系统通过后处理计算提供高精度拍照瞬间的POS坐标，实现了记录吊舱姿态数据、POS数据和图像数据同步<sup>[1]</sup>。

传感器系统的功能主要是获取地面可见光照片、视频、短波红外照片和中波红外照片，可见光照片可用于制作高精度地理信息数据地图和林火专题地图；中波红外通过中波几份时间的修改，提取低温、高温目标。

地面控制与显示系统，主要是通过数据链远程控制机载载荷工作并实时回传获取的数据，实现获取数据的存储和管理，获取的地面数据通过林火监测数据处理软件实现实时处理并提取火场范围生成火场等温线等工作，制作专题地图提供林场，用于指导火场灭火救援的相关工作。

## 四、数据处理及分析

无人机高空大视角对地进行监测，可形成宏观可视化的林场动态监测图谱，方便对突发性林火进行实时监测满足救灾指挥的实时需求。该系统具备林火监测数据的快速生成能力，能够对火灾的发生、发展、损失程度进行测量，提取精细化的火场要素、分析火场态势。根据应急救援对成果提供缓急情况的需求，系统具备监测分析和后处理分析两种功能。监测分析出图较快、成图精度较低，基本满足应急救援的需求；后处理分析精度较高，一般用于灾后评估等方面的需求。

### （一）监测分析

检测分析一般为在无人机巡航状态下利用实时监测视频数据成果和红外数据采用多源数据融合叠加分析，实现对着火点的快速搜索、识别、定位等功能，并能够持续对火场进行跟踪监测，监测火势发展。

监测开始前下载监测区域的最新卫星影像地图，经处理后加入监测分析的GIS平台，坐标系统为WGS-84地理坐标系成果，作为多源数据监测处理参考基础。截取可见光视频数据中的照片，参照下载的卫星影像对视频照片进行概略纠正并添加地理坐标，同时将红外图像中提取的火场信息附着在可见光图像中，最终形成包含火场信息的火场态势图。

由于无人机航拍图像并非正射图像，且飞行参数的误差也会影响成像效果，所以得到的图像数据经过叠加一定存在错位、局部地物尺度差异等现象，但是并不影响对大面积火场进行大范围的监测。利用卫星图做为火情态势图的底图能提高火场目标的可视化效果，方便地面人员更加全面的了解火场分布情况。

#### 1. 火场提取

火场是高于常温目标的区域为火场，将中波红外温

度信息将高于常温目标或短波红外灰度图像高亮部分进行提取, 视作火场。由于短波红外单纯依靠灰度图像提取火场容易受到阳光辐射影响; 中波红外测温数据的准确性也直接影响火场提取的精度; 在没有获取可见光真实火场图像的情况下, 火场提取可靠性存在不确定性。

### 2. 烟雾提取

快速处理流程中, 利用可见光视频数据观察火场, 结合中波红外图像处理出效果, 从而确定火场中那一部分存在影响火场识别的浓烟, 进而调用短波红外进行补充, 在没有浓烟的火场中, 只利用中波红外进行火场提取和显示, 从而进一步提高快速处理模式的处理速度。

### 3. 地理坐标提取

为提高处理速度, 需要为单张红外图像添加地理坐标, 生成TIF图, 进而在GIS平台直接显示; 技术流程中利用单点定位算法计算图像中四个角点的地理坐标, 通过透视变换进行校正。吊舱垂直对地拍摄时, 可以直接利用相机参数和飞机POS数据直接利用几何成像关系计算四个角点坐标, 不进行透视变换直接生成TIF图。

## (二) 后处理分析

后处理流程的主要目的是精细化的对火场要素进行提取、计算, 进而为灾情评估、损失计算等工作提供数据支持。后处理流程采用基于卫星底图和可见光拼接地图两种方式

后处理过程中为了能够提取更多火场信息, 将短波红外、中波红外和可见光数据全部进行保留, 但是考虑到短波红外的透烟功能, 所以只在有浓烟的情况下利用短波数据提取火场信息, 无浓烟火场只利用中波红外数据提取火场要素; 另外, 提取的火场要素全部叠加在卫星底图中进行显示, 只有在需要对时间较长, 温度回归常温的火场进行测量时才利用可见光航拍拼接图像作底图, 替换卫星图<sup>[2]</sup>。

火场要素提取功能包括: 火场定位、火场提取、为彩色显示、地表火、地下火林冠火的划分、烟雾提取、面积计算、等温线提取等。GIS平台接受人工辅助, 确保火场要素提取算法的计算结果接受人工监督, 进而提高整个流程获取的最终结果准确有效。

### 1. 火场和烟雾精准提取

明火为肉眼能见到的火苗。受烟雾等遮挡, 不能看到火苗的火为暗火。通过红外测温数据和短波红外数据提取到高温火场, 进而进行识别。

红外相机能够穿透烟雾, 在红外图像中几乎看不到烟雾存在。烟雾在可见光中明显, 所以要识别烟雾只能利用可见光数据进行识别。烟雾的形态不固定, 只有颜色比较明显, 但是单纯的通过颜色来判别烟雾在理论上并不严谨, 容易受到其他浅颜色地物影响, 所以需要多源数据进行统一坐标系的纠正, 考虑相关特征信息进行综合定位并提取。

### 2. 等温线提取

提取等温线可以掌握可视化火场温度分布情况。火场是由很多孤立火点组成, 火点组成火线, 总体成不规

则线状分布; 燃烧过的过火区内也是有很多孤立燃烧的小火点组成, 随机分布在火场内, 通过中波红外数据所反映的色温值进行等温线的提取。

### 3. 过火面积计算

过火面积包括正在燃烧的区域和已经燃烧过的区域的面积。正在燃烧区域的面积可以通过红外图像中提取的高温目标区域, 已经燃烧过的区域可以通过红外及可见光数据进行识别后, 在生成的正射影像图上进行采集计算。

### 4. 应用成果

无人机载红外载荷系统在火场中数据分析结果, 可为火场救援和灾后重建提供可视化的、直观的地理信息数据, 数据经过融合处理后形成的多光谱数据, 直观的反映出火场的大小, 位置和火势强度, 为救援队伍科学救援和决策提供可靠的应急测绘服务。如图3所示。



图3 火场监测数据分析结果

## 五、结语

综上所述, 无人机载红外载荷系统可在为林场应急测绘保障提供多方面的应用, 特别是在自然灾害发生时, 周围环境恶劣, 传统的应急测绘技术实施难度条件下, 无人机载红外载荷系统采用GNSS技术、遥感技术、地物辐射技术、光谱信息技术等高科技测绘地理信息技术, 结合红外载荷技术优化处理措施, 可及时、准确、科学地提供地理信息数据, 为灾害预测、科学救援、预防次灾害发生、灾害重建等方面提供测绘应急保障服务。该系统存在多频段影像, 可以为林场在树木病虫害防治、坏死林木替换等方面提供地理信息数据支撑, 可在今后的工作中进行进一步探讨研究。

## 参考文献

[1] 王文灿, 崔唯佳, 王雪梅. 无人机载残骸搜索系统的设计与实现[J]. 无线电工程, 2021, 51(06): 498-501.

[2] 王琴. 无人机载多波段图像运动目标跟踪系统研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.

作者简介: 焦吉文(1974-), 男, 河北元氏人, 高级工程师, 从事地理信息应急测绘专业研究。