

文章编号: 1672-8785(2015)02-0001-07

无人机载红外载荷在应急测绘保障中的应用现状分析

王俊伟¹ 简 季^{1*} 陈思思²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059 ;

2. 四川测绘地理信息局测绘技术服务中心, 四川 成都 610081)

摘 要: 无人机载红外载荷能够在阴、雨、雾、霾等恶劣天气条件下以及夜间展开作业, 因此在灾情信息获取和应急测绘保障中具有广泛应用。通过描述无人机载红外载荷在大量相关行业领域的应用和实践, 总结分析了其在地质灾害监测评估、森林火灾救援预警、气象水文灾害监测、环境问题应急调查以及恶劣环境下的搜索与救援等应急测绘保障中的应用现状, 讨论了实际存在的技术问题、难点以及相应的解决途径。最后从灾情自动识别和检测方面, 给出了促进无人机载红外载荷在应急测绘保障应用中不断发展的建议。

关键词: 无人机; 红外载荷; 应急测绘保障; 应用

中图分类号: TP7 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.02.001

Review of Application Status of UAV Infrared Payload in Emergency Mapping Support

WANG Jun-wei¹, JIAN Ji^{1*}, CHEN Si-si²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Surveying and Mapping Technology Service Center, Sichuan Surveying and Mapping Geographic Information Bureau, Chengdu 610081, China)

Abstract: Since the infrared payloads for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) can operate under the bad weather conditions of cloud, rain, fog and haze day and night, they are widely used in disaster information acquisition and emergency mapping support. Many applications and practices of UAV infrared payloads in several relative fields are described. Their application status in emergency mapping support aspects such as monitoring and assessment of geological disasters, early warning and rescue of forest fires, monitoring of meteorological and hydrological disasters, emergency investigation of environment issues and search and rescue in bad environment is summarized. The existing technical issues and difficulties and their corresponding solutions are discussed. Finally, some suggestions are given for the development of UAV infrared payloads in automatic disaster recognition and detection.

Key words: UAV; infrared payload; emergency mapping support; application

收稿日期: 2014-12-22

* 通讯作者: 简季 (1972-), 男, 四川资中人, 教授, 主要研究方向为遥感及 GIS。E-mail: scienceandtech@126.com

0 引言

自然灾害每年都会给国家建设和人民生命财产造成严重损失,因此对灾害进行监测和早期预报是减少和预防灾害的重要手段^[1]。传统的现场仪器观测方法以及利用全球定位系统(Global Positioning System, GPS)和时域反射技术(Time-Domain Reflectometry, TDR)等的远程监测方法,都很难应用到人员难以进入的区域以及大面积区域监测上,且成本很高^[2]。若利用无人机作为平台进行航摄作业,则无需人员进入灾区,其单架次作业面积可达几十甚至上百平方公里。这样不仅能够提供宏观定性的解译成果,而且还能提供比较精确、量化的灾情信息。在应急灾情信息获取中,该方法具有其他手段不可比拟的优势^[3]。

由于机动灵活、响应迅速,无人机航摄系统已经在灾情信息获取、灾后重建等领域得到了广泛应用^[4]。现有的无人机航摄系统主要是通过搭载的可见光学载荷来获取作业区域在可见光波段的信息的,其应用条件已经比较成熟,并能及时提供灾区的现势性信息^[5]。但可见光学载荷只能在天气晴好的条件下展开作业,在阴、雨、雾、霾等恶劣天气条件下,在夜间环境中以及在森林火灾救援、火山监测等特殊任务中,其应用受到了极大限制^[6]。而红外载荷通过主动发射红外线,然后接收目标反射的红外辐射或者感知地物在红外波段辐射的光谱信息,最后对其进行成像。该技术的影像信息特征丰富,且作业时间受天气和时段的限制较小。与雷达系统和可见光学载荷相比,红外载荷具有结构简单、尺寸小、重量轻、抗干扰能力强、烟尘穿透性好以及对辅助装置要求最低等特点,可满足重大突发公共事件的应急监测需求^[7]。

受技术、成本以及无人机载重等方面的限制,国内外关于无人机载红外载荷应用的研究主要集中在军事领域,而较少涉足民用领域。随着无人机技术及传感器成像技术的不断发展,无人机载红外载荷在民用领域的广泛应用逐步变为可能。1999年,世界上第一台微型热像仪——AlphaTM相机正式投产,它被公认为微型无人

机行业的突破性产品^[8]。第二代微型载荷——OmegaTM相机于2002年全线投产,研究人员对其第一代产品的每一个重要方面均进行了改进^[9]。作为第三代高分辨率热成像仪,MicroSTAR II无人机引入了无人机载荷的新标准。它采用了先进的自动跟踪技术和机载目标锁定计算机,并在电子控制单元中嵌入了智能目标跟踪系统,因此具有目标自动搜寻与跟踪的能力^[10]。将红外载荷与无人机航摄系统结合起来,势必会拓宽红外载荷在应急测绘保障领域的应用范畴,完善应急装备,从而大幅提升应急测绘保障能力。

本文首先介绍了无人机载红外载荷的研究现状,然后通过大量案例和实践总结分析了无人机载红外载荷在地质灾害监测评估定性、森林草原火灾灾情预估、气象水文灾害监测预警、恶劣环境下的搜索救援以及环境问题应急调查与监测等应急测绘保障中的应用现状。最后对其应用中存在的技术问题和难点进行了讨论,并指出了相应的解决途径以及今后的主要研究方向。

1 应用现状分析

作为一种用于空间数据采集的重要手段,无人机航摄具有能在高危地区探测、机动灵活、响应迅速等优点,已成为卫星遥感与载人航测的有力补充,因此在应急测绘保障中具有广泛的应用前景。而无人机载红外载荷在应急测绘保障中的应用主要集中在地质灾害监测与评估定性、森林草原火灾灾情预估、气象水文灾害监测预警、恶劣环境下的搜索救援以及环境问题应急监测调查等领域(见图1)。

1.1 地质灾害监测与评估定性

常见的地质灾害主要包括崩塌、滑坡、泥石流、火山爆发和煤层自燃等。

对于崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,可以利用无人机搭载的红外扫描仪获取灾区的近红外影像;然后结合地学知识,并根据灾害特征以及灾害体与周围景观的相互作用分析,确定灾害类型;根据灾害的几何形状,在影像上测量灾害体的范围和厚度等参数,然后参照实地考察数据对其进行修正,最后估算由崩塌和滑坡造

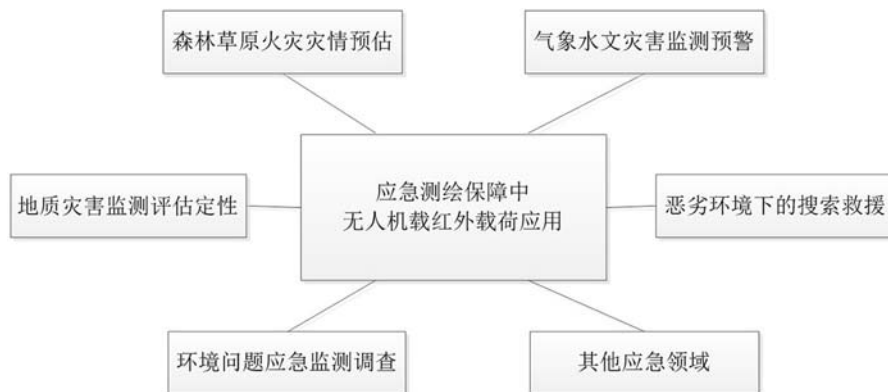


图 1 无人机载红外载荷在应急测绘保障中的具体应用

成的塌方量以及泥石流的影响面积等, 从而实现灾情评估定性^[11]。

热活动性是火山活动的主要特征。在火山活动的前兆期, 火山区的突发性热异常现象和温室气体效应会引起地表在较大范围内出现显著升温^[12]。在燃烧前、燃烧中和燃烧后的较长时间内, 煤田火区的地表均伴有长时间、持续性的热红外异常现象; 而且根据地下煤层的燃烧强度以及燃烧地点距地表深度的不同, 热异常有所差异。通过用无人机载热红外成像仪获取火山、矿区周边的热红外影像来对火山活动和煤层燃烧的前兆进行遥感监测是完全可行的。2011年, 蒋卫国等人采用热红外光谱法研究了矿区地表的红外温度分布, 并对火区进行了定位和宽度估计^[13]。

1.2 森林草原火灾的灾情预估

森林草原火灾往往发生在偏远的原始林区、大林区以及大草原, 面积大且交通不便。无人机载红外航摄系统既能克服卫星平台运行周期固定、地面分辨率低和难以及时发现火情等缺点, 又能把握火情控制及救援的最佳阶段。2006年, 广西气象减灾研究所搭建了一种无人机空中火情监测系统, 并开展了多次影像采集与传输测试实验。该系统具备单架次完成半径在 30 km 以内, 面积为 80 ~ 100 km² 的巡护任务的能力^[14]。李春林等人参与设计的红外成像林火监测无人飞艇系统在林火发生时可以得到报警信号、热影像信号以及火源中心点的经纬度等信息, 并能迅速地在电子地图上自动查询并指出

林火中心点的地理位置^[15]。

1.3 气象水文灾害的监测与预警

气象水文灾害主要包括洪涝灾害、干旱和雪灾等。

在旱情监测评估中, 人们以无人机载多波段红外影像为数据源, 采用植被供水指数建立干旱监测模型, 可准确、迅速获取区域干旱量化数据、干旱区域面积和影响范围等, 从而为抗旱救灾工作提供快速准确的信息服务^[16]。2009年, 王斌以美国犹他州为例, 建立了影像的多空间分析模型以及分数阶植被归一化公式, 并验证了以无人机为平台使用遥感手段进行旱情监测的可行性^[17]。

在雪灾灾情评估与预警中, 人们利用无人机获取近红外、热红外波段的多光谱红外数据, 然后针对典型积雪光谱特征进行分析, 提取积雪覆盖范围, 计算积雪深度, 并结合气象预报数据进行灾区雪灾风险预警, 为灾后速报灾情、快速评估受灾损失以及救灾减灾提供决策^[18]。2008年, 雨雪冰冻灾害发生后, 国家减灾中心工作组采用无人机对灾情进行了监测和应急评估。这是国内首次成功地将无人机遥感系统应用于救灾工作^[19]。

对于洪涝灾害淹没范围的判定, 可利用无人机载多波段红外载荷获取地物在近红外和中红外波段的信息, 并利用近红外波段 (0.76 ~ 0.9 μm) 位于植被的高反射区和水体的强吸收区的特征, 勾绘水体轮廓, 区分土壤湿度, 从而提取水体淹没范围^[20]。

1.4 恶劣环境下的搜索与救援

热像仪是通过红外探测器所接收到的目标和背景的热红外辐射差别来识别目标的。由于受天气和时相的影响较小,热像仪在白天、夜间以及恶劣大气条件下都能获取质量良好的影像。在人眼能见度只有 500 ~ 750 m 的条件下,热像仪对人的探测距离可达 3.6 km,对车辆的探测距离可达 8.3 km,对大型货船的探测距离可达 35 km 以上,因此完全可以借助于无人机平台在恶劣条件下的沉船事故、森林草原火灾、洪涝等灾害中展开搜索与救援^[7]。利用无人机搭载热像仪和红外相机(见图 2)等红外载荷以及高精度导航定位设备,然后再结合其他地理信息数据,便可实现对受灾人员的精确定位,从而开展针对性搜救,减少搜救漏洞,提高救援效率。2012 年 5 月,张永生等人以 Z5 直升机(见图 3)为平台,在青海茶卡地区开展了高原高寒地区机载地对地观测实验^[21]。在同步 POS 测量参数的标注下,利用序列影像抽帧地理空间注册与三维标定快速算法,将视频序列成像画面即时转化为具有量化地理空间信息的动态影像产品,可实现地理空间信息现场直播,从而为突发事件的现场快速观测提供了一种新的手段^[22]。

1.5 环境问题的应急调查与监测

环境问题主要包括热污染、水污染和溢油污染等。在环境应急突发事件中,无人机航摄系统可克服交通不利、情况危险等不利因素,快速赶到污染事故所在空域,立体地查看事故现场、污染物排放情况和周围环境敏感点分布情况,为环境变化情况提供定量、直观的判断依据^[25]。



图 2 红外相机^[23]



图 3 Z5 直升机^[24]

对于水污染,以无人机红外多光谱影像为数据源,通过现场采集叶绿素、生物量和化学物质等数据,建立采样数据与观测辐射量之间的反演模型,可获取水体污染状况分布,查明污染源^[26]。对于溢油污染,无人机载红外扫描仪根据油层与水以及不同厚度油层的差异进行油层探测与识别,并利用溢油边缘智能监测模型和实时溢油面积及溢油量估算模型,分析溢油区域的扩散面积和扩散趋势。2010 年 7 月,大连新港输油管线发生爆炸,随后国家环保部首次利用无人机获取了海面油污监测数据,及时掌控了溢油发生及发展情况^[27]。

对于由工业废水和废气排放以及城市热岛效应等造成的热污染,无人机遥感平台具有受天气影响小、成本低、执行任务灵活、影像质量清晰等特点,更适合于微尺度及环境复杂地区的热污染研究^[28]。2010 年 9 月,华南理工大学以 FZ1500GCH 无人飞艇(见图 4)为平台,通过搭载 TH9260 热红外成像仪(见图 5)在广州开展了无人飞艇红外遥感观测实验,并对无人飞艇红外遥感观测作业流程的标准化进行了探索^[29]。冯小恒等人以无人飞艇为平台,开展了亚热带地区室外热环境研究试验,得出了地温及亮温与近地气温的相关关系式,并对测区地表热场平面分布特征、典型地物温度分布特征和测区热场的剖面温度分布特征进行了分析^[30]。

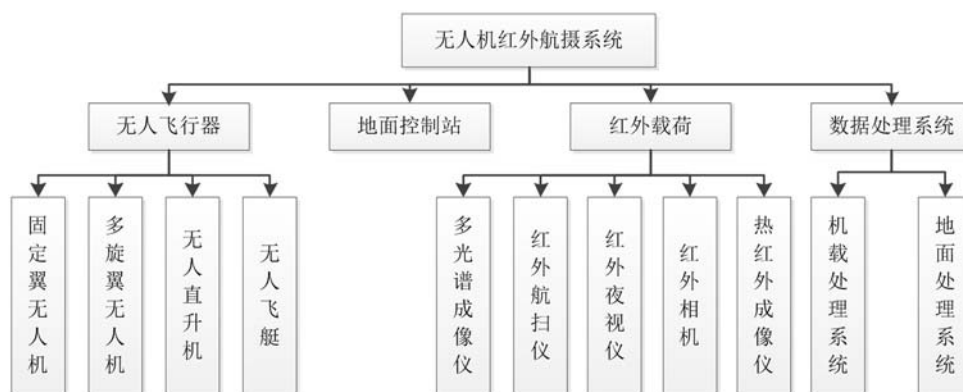
图 4 FZ1500GCII 无人飞艇^[29]图 5 TH9260 红外热像仪^[29]

图 6 无人机红外航摄系统的组成框图

2 存在的问题与难点

基于无人机航摄系统 (见图 6) 的特征, 欲使无人机载红外载荷在应急测绘保障中发挥更大的作用, 除了红外载荷需要具备轻量化、体积小、功耗低、灵敏度高以及帧频快速等条件之外, 还有多个关键技术问题需要加以解决。

2.1 无人机的续航能力与负载重量

应急测绘保障应用中的无人机多为中小型无人机, 其负载重量一般只有几千克, 仅能搭载体积小、重量轻的任务载荷。无人机的续航时间与负载重量密切相关。负载重量越重, 能耗越大, 航程也就越短。在应急突发事件处理中, 由于工作范围广、环境复杂, 存在诸多不确定因素, 这对无人机的续航能力提出了更高的要求。对于燃油型无人机, 适当增加燃油储蓄量和降低发动机的功耗是增加航程的主要途径。增加燃油储蓄量, 会导致机体重心发生变化, 从而

对无人机的平衡造成影响; 降低发动机的功耗也只能增加部分航程, 此时续航能力提升有限。在尽可能地增加负载重量的情况下, 如何通过改进设计提升续航能力, 使无人机成为红外载荷的理想平台, 是一个急需解决的问题。

2.2 灾害数据的后处理

在基于遥感影像的灾害信息提取方面, 最初的人工目视解译已经发展到了计算机自动分类阶段。其间人们虽然提出了多种灾害自动提取方法, 但是这些方法大多是基于灾害前后多期同一传感器影像的变化进行监测的。灾后一般都很难拿到这样理想的数据, 而此时便需要处理异源多期影像、灾后单景影像等, 因此提取有用灾区信息非常困难。基于软件的灾情信息自动提取方法的精度远远没有达到实用化的程度, 仍处于探索阶段, 不能满足灾中实时决策和灾后应急的需求, 因此需要大力发展灾害影像处

理技术^[31]。

2.3 数据压缩与传输

对于夜间搜救及森林火灾监测等特殊任务,决策者需要根据无人机传回的实时画面作出决策。实时获取灾情信息是开展应急测绘保障工作的基础。无人机通过数据链将数据实时传输给地面系统。随着无人机数量的增多以及任务数据量的增大,通信带宽会承受越来越大的压力。无人机在高速飞行的情况下对地面景物进行摄像时,影像内的目标像素小且目标数量多,帧内相关性差;由于影像是满屏运动,帧间相关性也较差^[32]。影像的压缩编码只有采用具有运动补偿的高分辨率算法,才能在较低比特率下实现高质量影像压缩和传输^[33]。数据传输易受环境干扰,码率跳动变化大,这对带宽受限的无线信道传输提出了很大挑战^[34]。

2.4 多源数据融合

由于成像方式及波段的不同,红外影像与光学影像及雷达影像所反映的信息之间存在很大差异,且影像间互补性明显^[35]。通过对三者进行融合,可以充分利用其互补信息进一步完善分类和信息提取结果,增强对影像的解译能力,从而获取全面、准确的灾情数据^[36]。不同的载荷成像机理、成像时间以及成像条件都会引入几何畸变和噪声。受此影响,即使在同一时间对同一区域进行航摄,其影像之间也存在较大差别,导致影像融合具有较大难度。对于不同种类载荷影像间的融合,需要解决统一影像的空间坐标、投影空间和影像消噪,多载荷影像序列融合,影像与非影像信息融合,融合目标检测和处理以及融合效果评估等方面的问题^[37]。进一步分析影像的成像特点和规律,寻找多源载荷间具有较好稳定性和鲁棒性的特征描述算子,显著提高配准融合的稳定性和精确性,是今后融合技术的主要研究方向。

3 结论与展望

无人机载红外载荷机动性好,对目标地物的空间位置及形态具有良好的探测能力。该手

段不仅能够充分利用地物的辐射和发射光谱信息,而且还能够在阴、雨、雾、霾以及夜间恶劣环境下展开作业,大大拓宽了无人机航摄的应用范围和应用条件,为重大突发事件及灾情监测开辟了新的思路。另外,该手段还拓宽了无人机航摄系统在应急救援中的应用范围,提升了应急测绘保障能力。针对无人机载红外载荷在应用中存在的问题和难点,应该从以下三个方面着手研究,以扩大红外载荷在应急测绘保障中的应用:

(1) 构建多载荷影像融合与目标识别一体化方法。建立噪声模型、数据变换模型以及多载荷影像融合模型,对多载荷影像的实时融合进行分析,并对受灾目标进行识别与探测。

(2) 灾情目标的自动检测与信息提取。将多源数据融合与影像处理相结合,利用目标及接收平台运动的动态信息,构建目标影像检测模型,自动检测目标,提取灾情特征。

(3) 建立灾情信息常规化观测体系。结合无人机技术,针对地面沉降、崩塌、滑坡、泥石流、火山等地质灾害以及热污染、水体污染等环境灾害,建立起基于时序的观测体系,并将其逐步发展成为常规的观测手段,以更好地帮助人们开展防灾减灾工作。

参考文献

- [1] 李明,刘欢,朱欣焰.一种面向灾害应急的 UAV 影像快速拼接方法[J]. 灾害学, 2012, 26(3): 139-144.
- [2] 范青松,汤翠莲,陈于,等. GPS 与 InSAR 技术在滑坡监测中的应用研究[J]. 测绘科学, 2006, 21(5): 60-62.
- [3] Colomina I, Molina P. Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 92(10): 79-97.
- [4] Li C C, Zhang G S, Lei T J, et al. Quick Image-processing Method of UAV without Control Points Data in Earthquake Disaster Area[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 3(10): 523-528.
- [5] Meszaros J. Aerial Surveying UAV Based on Open-source Hardware and Software [C]. Zurich: Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, 2011.

- [6] Natan P T, Almurib H A, Kumar T N. A Review of Autonomous Multi-agent Quad-rotor Control Techniques and Applications [C]. Kuala Lumpur: 4th International Conference on Mechatronics (ICOM), 2011.
- [7] 张建奇. **红外物理** [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2013.
- [8] Kostrzewa J, Meyer W, Laband S, et al. Infrared Microsensor Payload for Miniature Unmanned Aerial Vehicles [C]. *SPIE*, 2003, **5090**: 265–274.
- [9] 王帅. 一种作为微型无人机有效载荷的微型红外传感器 [J]. **光机电信息**, 2010, **28**(2): 1–8.
- [10] 毛洁娜, 于龙, 林莹莹. 无人机遥感应用及红外载荷研究 [J]. **红外**, 2007, **28**(2): 32–35.
- [11] 石菊松, 吴树仁, 石玲. 遥感在滑坡灾害研究中的应用进展 [J]. **地质论评**, 2008, **16**(4): 505–514.
- [12] 屈春燕, 单新建, 马瑾. 卫星热红外遥感在火山活动性监测中的应用 [J]. **地震地质**, 2006, **24**(1): 99–110.
- [13] 蒋卫国, 武建军, 顾磊, 等. 基于夜间热红外光谱的地下煤火监测方法研究 [J]. **光谱学与光谱分析**, 2011, **36**(2): 357–361.
- [14] 马瑞升, 马舒庆, 王利平, 等. 微型无人驾驶飞机火情监测系统及其初步试验 [J]. **气象科技**, 2008, **24**(1): 100–104.
- [15] 李春林, 齐怀琴. 红外成像林火监测飞艇姿态控制系统的研究 [J]. **林业机械与木工设备**, 2005, **22**(2): 25–27.
- [16] 钟仕全, 罗永明, 莫建飞, 等. 环境减灾卫星数据在干旱监测中的应用 [J]. **中国农业气象**, 2011, **28**(4): 593–597.
- [17] 王斌. 基于无人机采集图像的土壤湿度预测模型研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2009.
- [18] 雷添杰, 宫阿都, 李长春, 等. 无人机遥感系统在低温雨雪冰冻灾害监测中的应用 [J]. **安徽农业科学**, 2011, **22**(4): 2417–2419.
- [19] 李云, 来红州. 为救灾工作装上“千里眼”——广西桂林无人驾驶飞机救灾演练纪实 [J]. **中国减灾**, 2008, **12**(4): 38–39.
- [20] 曲伟, 路京选, 李琳, 等. 环境减灾小卫星影像水体和湿地自动提取方法研究 [J]. **遥感信息**, 2011, **28**(4): 28–33.
- [21] 张永生. 机载对地观测与地理空间信息现场直播技术 [J]. **测绘科学技术学报**, 2013, **30**(1): 1–5.
- [22] Taylor R C, Dolloff T J, Bower M, et al. Automated Video Georegistration at Real-Time Rate [C]. San Diego: ASPRS 2010 Annual Conference, 2010.
- [23] 索尼公司. XC-EI30CE 红外相机 [EB/OL]. www.gongqiu.com.cn/sydetail-2154756.shtml, 2014.
- [24] 内蒙古新闻网. Z5 型中型无人机在内蒙古大兴安岭林区首航成功 [EB/OL]. <http://china.nmgnews.com.cn/system/2013/06/03/010994754.shtml>, 2013.
- [25] 靳雷, 刘洋, 张硕, 等. 无人机遥感系统在某河流域环境监测项目中的应用 [J]. **环境保护与循环经济**, 2013, **10**(8): 55–57.
- [26] 王桥, 王晋年, 杨一鹏, 等. **环境监管无人机遥感技术与应用** [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [27] 朱京海, 徐光, 刘家斌. 无人机遥感系统在环境保护领域中的应用研究 [J]. **环境保护与循环经济**, 2011, **8**(9): 45–48.
- [28] 田国良, 柳钦火, 陈良富. **热红外遥感** [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [29] 曾月. 城市热环境飞艇遥感观测方法标准化初探 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [30] 冯小恒. 湿热地区城市热环境低空红外遥感实验研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [31] 裴惠娟, 陈文凯, 安培俊. 地震应急中制约遥感应用因素分析 [J]. **高原地震**, 2014, **25**(1): 36–45.
- [32] 崔麦会, 周建军, 陈超. 无人机视频情报的压缩传输技术 [J]. **电讯技术**, 2007, **27**(1): 131–133.
- [33] 毛伟勇. 可用于无线传输的高清 MPEG-2 实时编码器的设计与实现 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [34] 刘荣科, 张晓林. 无人机载图像实时传输方案的研究 [J]. **北京航空航天大学学报**, 2002, **28**(2): 208–212.
- [35] 王鲲鹏, 徐一丹, 于起峰. 红外与可见光图像配准方法分类及现状 [J]. **红外技术**, 2009, **31**(5): 270–274.
- [36] 武继广. 基于机载激光雷达和遥感影像融合的地物探测方法研究 [J]. **首都师范大学学报 (自然科学版)**, 2009, **32**(4): 6–11.
- [37] 林丽娟, 徐涵秋, 陈静洁, 等. 异源、同源传感器影像融合的比较研究 [J]. **遥感技术与应用**, 2010, **26**(5): 619–626.