

NINXIA WURENJI YAOGAN
JIANCE LILUN YU SHIJIAN

宁夏无人机遥感 监测理论与实践

吕红军 张慧娟 魏采用 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社



编委会

编委会主任 吴加敏

副 主 任 吕红军 张永庭

编 写 人 员 吕红军 刘长宁 张慧娟 魏采用 李 欢 杨雪茹

吴振宇 张慧琴 王文龙 张 允 韩 芬 杨雅婷

梁 伟 唐谊娟 武 丹

宁夏无人机遥感 监测理论与实践

吕红军 张慧娟 魏采用 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

宁夏无人机遥感监测理论与实践 / 吕红军, 张慧娟,
魏采用著. --银川: 宁夏人民教育出版社, 2018.11

ISBN 978-7-5544-2701-9

I. ①宁… II. ①吕… ②张… ③魏… III. ①无人驾驶
飞机—航空遥感—监测—宁夏 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第280708号

宁夏无人机遥感监测理论与实践

吕红军 张慧娟 魏采用 著

责任编辑 向红伟
责任校对 王 娟
封面设计 木 叶
责任印制 殷 戈



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

出版发行

地 址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦(750001)

网 址 <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://www.hh-book.com>

电子信箱 jiaoyushe@yrpubm.com

邮购电话 0951-5014284

经 销 全国新华书店

印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司

印刷委托书号 (宁) 0012050

开本 787 mm × 1092 mm 1/16

印张 12.25 字数 320千字

版次 2018年11月第1版

印次 2019年1月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-5544-2701-9

定价 55.00元

版权所有 侵权必究

序

无人机是一种无线电遥控设备，起初主要用于军事领域。随着科技的进步，人工智能、云计算功能的实现和智能化、信息化时代的到来，无人机技术从最初的起步开始走向成熟，已广泛应用于工农业、水利电力、城乡建设和政府决策等诸多行业。

无人机遥感是利用先进的无人机技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通讯技术、GPS差分定位技术和遥感应用技术，能够实现自动化、智能化、专业化快速获取国土资源、自然环境、地震灾区等空间遥感信息，且能完成遥感数据处理、建模和应用分析的应用技术，具有成本低、精度高、分辨率高、效率高等特点，现已成为未来的主要航空遥感技术之一。

多年前，宁夏遥感测绘勘察院敏锐地看到了无人机在宁夏境内应用的广阔前景，成功引进了多架“快眼”系列固定翼无人机、无人直升机与多旋翼飞行器航摄系统，并充分利用宁夏气候干旱、光照充足、陆域面积广阔、地形地貌和土地类型的代表性强、无人机遥感监测需求明显、航拍条件好，以及无人机体积小、航程远等优势，获取高分辨率影像、视频和扫描信息，为自治区各项决策提供技术支撑和服务。

《宁夏无人机遥感监测理论与实践》一书，将宁夏近年来在无人机遥感技术应用方面的创新性工作进行了集成。特别是在地理区情监

测、土地和矿山执法监测、矿山环境和地质灾害调查监测、现代农业和应急救援等方面积累的丰富工作经验，通过总结和提炼，形成具有重要科研价值和示范意义的成果。

本书以最简捷的方式，从三个层面全面介绍了无人机的发展历程、功能特点、应用领域、创新成果及前景展望以及宁夏无人机的应用情况，内容上与时俱进、通俗易懂；形式上图文并茂、简单直观；编排上深入浅出、循序渐进，结构上条理分明、层次清楚。

1. 系统地介绍了无人机的发展历程及趋势，无人机相关技术规程以及民用无人机管理政策和相关法规，国内无人机技术成熟应用案例和无人机的新应用方向，引发了读者对无人机产生浓厚的学习兴趣。

2. 全面、通俗地介绍了无人机类型，系统的各个组成部分，全面普及无人机专业入门知识。

3. 全面介绍了无人机在我区各行各业的实际运用实例及应用方向。

通过本书应用实例中所采用的技术方法、产生效益及创新亮点，进一步证明了无人机遥感技术具有更高的机动性，更高的精确性和作业效率，为今后我区无人机技术发展奠定了雄厚的基础。相信今后随着无人机遥感技术的不断发展，无人机遥感技术将在发挥更大的作用，在宁夏会拥有更为广阔的空间。

宁峰
2019.2

目 录

第1章 概 述

第一节 无人机发展概况 / 002

一、无人机定义与发展趋势 / 002

二、无人机发展历程 / 002

第二节 国内无人机应用案例 / 005

一、地质灾害监测及地震应急测绘 / 005

二、三维城市 / 006

三、森林防火 / 007

四、人工增雨 / 007

五、无人机植保 / 007

六、消防应用 / 009

第三节 无人机新应用方向探索和实践 / 010

一、国外无人机布局物流快递 / 010

二、国内无人机抢占物流快递市场 / 011

三、扭转农村电商交通不便现状 / 012

四、规模化商用 / 013

五、在测绘行业的应用 / 013

第四节 无人机遥感技术的优势与问题 / 014

- 一、无人机遥感监测的快速、高效 / 014
- 二、遥感监测大尺度、宏观性 / 014
- 三、处理速度快 / 014
- 四、周期性强 / 015
- 五、无人机行业存在的一些问题 / 015

第2章 无人机航摄系统组成

第一节 无人机的类型 / 016

- 一、按动力源划分 / 016
- 二、按飞行平台构型划分 / 017
- 三、按用途划分 / 020
- 四、按行业应用划分 / 021

第二节 无人机系统构成 / 021

- 一、飞控系统 / 021
- 二、导航系统 / 021
- 三、动力源 / 022
- 四、遥控系统 / 022

第三节 无人机系统工作流程 / 023

- 一、无人机航摄系统架构 / 023
- 二、飞行平台系统 / 023
- 三、无人机操控团队 / 024

第3章 应用示范

第一节 宁夏煤炭资源开采区地表变形监测——地质环境 / 025

- 一、项目背景 / 025
- 二、理论方法 / 029
- 三、示范成果 / 037

第二节 吴忠市利通区扁担沟灌区土地利用现状遥感调查——土地调查	/ 046
一、项目背景	/ 046
二、理论方法	/ 047
三、遥感调查成果	/ 052
第三节 固原市农业土地资源精细化管理信息系统——农业信息化	/ 054
一、项目背景	/ 054
二、项目区概况	/ 054
三、工作方法	/ 056
四、示范成果	/ 083
第四节 吴忠市城市绿地遥感调查——林业调查	/ 100
一、项目背景	/ 100
二、理论方法	/ 102
三、示范成果	/ 106
第五节 宁夏引黄灌区灌溉面积及作物种植结构遥感调查——水利调查	/ 107
一、项目背景	/ 107
二、理论方法	/ 112
三、示范成果	/ 120
第六节 宁夏生态移民迁出区无人机遥感监测——重大项目监测	/ 147
一、项目背景	/ 147
二、理论方法	/ 150
三、示范成果	/ 158
第七节 宁夏中北部土地整理重大工程项目施工后监测——重大项目实施监测	/ 159
一、项目背景	/ 159
二、理论方法	/ 161
三、示范成果	/ 164
第八节 甘肃省天水市秦州区娘娘坝镇泥石流灾害监测——灾害应急	/ 170
一、项目背景	/ 170
二、理论方法	/ 172
三、示范成果	/ 177
第九节 小结	/ 179
一、解决的遥感测绘问题	/ 179

二、成果的转化应用和取得的综合效益 / 179

三、地区无人机专业团队的成长与培养 / 181

第4章 展 望

一、航拍领域 / 183

二、植保领域 / 183

三、物流领域 / 183

四、其他领域 / 184

第1章

概述

无人机 (unmanned aerial vehicle, UAV) 是一种机上无人驾驶的航空器, 其具有动力装置和导航模块, 在一定范围内靠无线电遥控设备或计算机预编程序自主控制飞行。无人机研制始于20世纪初, 有人驾驶飞机诞生后的十几年, 经过近一个世纪的发展, 已经形成了一个大家族。目前, 全世界有超过50个国家装备了300种以上的无人机, 比较著名的有美国的“全球鹰”“捕食者”, 中国的“ASN”系列大型无人机, 英国的“凤凰”中型无人机, 以色列的“云雀”“鸟眼”系列小型无人机等。无人机种类繁多, 从动力、用途、控制方式、结构、航程和飞行器重量等方面可划分为多种类型。例如: 按动力可分为太阳能、燃油、燃料电池和混合动力无人机; 按用途可分为军用、民用和多用途无人机; 按控制方式可分为无线电遥控、预编程自主控制、程控与遥控复合控制无人机; 按结构可分为固定翼、旋翼、无人直升机和垂直起降无人机; 按航程可分为近程、中程、远程和全球无人机; 按飞行器重量可以分为微型、小型、中型和大型无人机。无人机系统是一套综合的技术支撑系统, 它是对无人机概念的扩展, 它由机体、机上载荷和地面设备等组成, 实现其飞行、操控、数据处理和信息传导等功能。

无人机遥感 (UAV remotesensing, UA-VRS) 是利用先进的无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通信技术、POS定位定姿技术、GPS差分定位技术和遥感应用技术, 具有自动化、智能化、专业化快速获取国土、资源、环境、事件等空间遥感信息, 并进行实时处理、建模和分析的先进新兴航空遥感技术解决方案。无人机遥感系统 (UAVremotesensing system, UA-VRSS) 即是一种以无人机为平台, 以各种成像与非成像传感器为主要载荷, 飞行高度一般在几千米以内, 能够获取遥感影像、视频等数据的无人航空遥感与摄影测量系统。目前, 成熟完备的民用无人机主要由飞行平台系统、轻小型多功能对地观测传感系统、遥感空基交互控制系统、地面数据快速处理系统、数据传输链路、综合保障系统与装置, 以及地面后勤人员等组成。

第一节 无人机发展概况

一、无人机定义与发展趋势

无人机是无人驾驶飞机的简称，它是一种有动力、可近山、能携带多种任务设备、执行多种任务，可一次或多次重复使用，携带各类有效载荷完成各种指定任务的有动力空中飞行器。无人机机身上无驾驶舱，不需要驾驶员在机舱内进行驾驶，但安装有自动驾驶仪、程序控制装备等设备。地面、舰艇上或母机遥控站的人员通过雷达等设备，对其进行跟踪、定位、遥控、遥测和数字传输。无人机既可以在无线电遥控下像普通飞机一样起飞，也可以由母机带到空中投放飞行；可采用与普通飞机着陆过程一样的方式自动着陆，也可以通过遥控使用降落伞或拦网回收。

从技术角度定义可以分为无人直升机、固定翼无人机、无人飞艇、无人伞翼机等，其中在遥感测绘领域内应用最广的是无人直升机、固定翼无人机和多旋翼无人机。从应用角度可以分为军用、民用和军民两用无人机。

无人机以其生存率高、机载配置多样化、滞空时间长、操作灵活、经济实用、训练维修成本低、搭载平台性能不受人类似生理条件限制等优点，在遥感测绘等领域得到了成功的运用，并受到了青睐。无人机与卫星相比，具有分辨率高、预警时间短、制造成本低等优势；而相对于有人驾驶飞机，则具有设计灵活、体积小、重量轻、续航时间长、空中利用率高、载荷能力强，安全系数高、自主控制能力强等优点。此外，无人机造价低廉、容易操控，使用成本仅为有人驾驶飞机的百分之十甚至百分之几。

二、无人机发展历程

无人机最初起源于第一次世界大战期间，一般认为世界上第一架无人机是诞生于1917年的斯佩里“空中鱼雷号”无人机。从那时起，美、英等国开始设计遥控无人机用作靶机进行炮兵训练。第二次世界大战期间，日本试用了无人飞行器，海上无人舰艇和地面车辆。但是这个阶段的无人机在技术上尚不成熟，准确性很低，实战应用范围有限，并没有引起普遍重视。

第二次世界大战后，随着电子技术的进步，无人机在更复杂作战任务方面显示出了其特有的优势，受到的关注开始增多。冷战期间，无人机系统除了作为训练目标或敌军雷达的诱饵飞行以外，还开始执行侦察与情报收集等任务。例如，在越南战争期间，美军曾经使用大量的无人机对高情报价值或者是防御严密的目标进行侦察。20世纪60年代后期，美国空军曾在空中C-130飞机上对AQM-34无人驾驶飞行器进行遥控，并实施有人和无人平台编队试验。1982年以色列航空工业公司首创以无人机进行侦察、情报搜集、跟踪和通信等活动的理念。而后美国和以色列在局部战争中多次使用军事无人机，引发全球对无人机的关注，世界各国开始进入无人机研发领域。

（一）国外无人机发展概况

无人机的发展具有悠久的历史，1909年世界上第一架无人机在美国试飞。1914年英国秘密研究无人机，英、德两国在1917年前后取得技术上的突破。冷战结束后，尤其是进入21世纪，无人机研发制造和应用开始从军用向民用方向开放和探索。无人机作为一个系统，涉及的技术有：飞行控制系统、自动驾驶系统、通信系统、GPS、微处理器、发动机和传感器等，随着技术发展，目前，无人机技术处于世界领先水平的是美国、德国、以色列，此外俄国、英国、法国、加拿大等国家无人机技术发展较快。我国周边国家如日本、印度、韩国等基于雄厚的工业及电子技术，无人机也发展迅速。2005年以来，美国在无人机创新方面取得重大突破，而且已经首次实现大规模商用，无人机携带起来特别方便，操作简单，直接用手机或平板电脑就可以操作，应用范围颇广。

目前，全球成熟的无人机应用领域有：航空摄影、边境巡逻、精准农业、公共安全维护、低空遥感测绘、物流、空中拍摄以及查证贸易索赔、植物保护、电影特效制作，等等。

（二）国内无人机发展概况

我国研究起步较晚，20世纪70年代，我国才开始自主研制无人侦察机。改革开放以后，在无人机民用领域逐步探索可行性。据不完全统计，现阶段我国从事无人机研发生产的单位有1000多家，形成了配套齐全的研发、制造、销售和服务体系的有600家左右，近年来呈现出井喷发展之势。研制投入使用的无人机型多达百余种，无人机技术逐步完善。

我国无人机在几十年间，经历了从仿制国外无人机到自己研发无人机再到出口无人机的过程。我国很重视无人机的发展，并将其相关技术列入“863计划”中，我国的无人机技术得到很大的进步，市场份额也在不断扩大。我国在2014年无人机销售量2万架左右，50%以上的增长在未来几年将持续保持，在2014年我国民用无人机销售规模已经达到40亿元。2002年至2015年7月，国内与无人机相关的专利申请有15245件，其中新型专利占37.48%，发明型技术专利占57.39%，外观专利占比5.13%。中国无

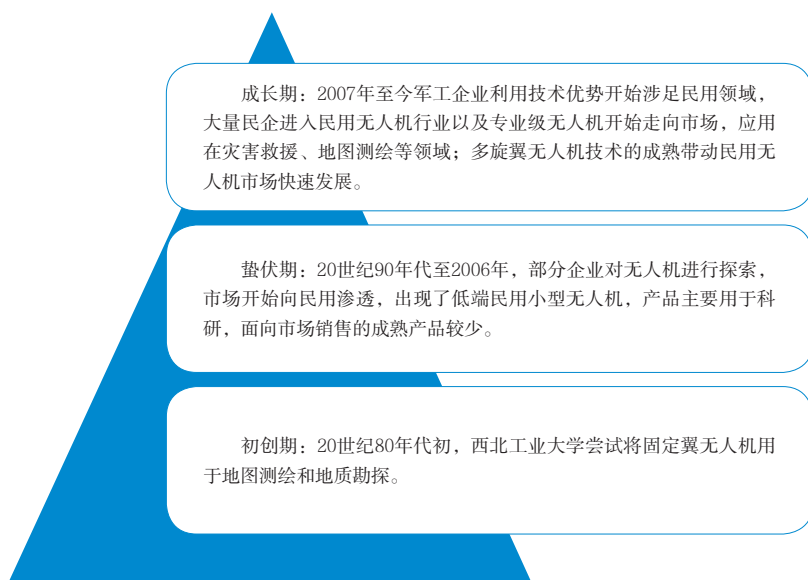


图1-1-1 我国无人机发展历史

人机经历了30多年的发展，形成以军工集团下属单位和科研院所、民营企业为主要市场参与者的新兴市场。

民用无人机分为民用工业级无人机和民用消费级无人机，发展主要经历了三个时期：初创期、蛰伏期和成长期。2008年之前，中国民用无人机市场规模小，增长缓慢，主要运用于灾害救援、地图测绘等专业级市场。

2008年以来，以“大疆创新”为代表的中国消费级民用无人机企业，依靠多旋翼无人机迅速崛起。随着多旋翼无人机在消费级市场应用增多，多旋翼无人机成为民用无人机市场的主流机型，作为中国制造的消费级无人机在全球市场份额、研发制造能力、应用广度深度方面均具有一定优势，成为“中国创造”的代名词。消费级无人机因低成本，便于操作，应用性和娱乐性兼有，快速点燃了国民的消费热潮，大量企业和资本纷纷加入消费级无人机生产制造领域，随着消费级市场的竞争愈加激烈，一些无人机企业纷纷转向专业应用的工业级无人机领域，国内工业级无人机市场也开始出现快速增长。

目前，中国参与研制和生产无人机的单位有：中国航空工业集团、中国航天科技集团、中国航天科工集团、中国电子科技集团、大疆公司、南京航空航天大学、南京模拟技术研究所、北京航空航天大学、西北工业大学、北京数字绿土科技有限公司、一飞智控、中科遥感等。军用无人机如中航工业集团公司研制生产的“彩虹”系列无人机已达到国外同类无人机的水平，民用无人机包括的“大疆”“幻影”“大疆精灵”系列无人机也有较高的市场占有率。

（三）宁夏无人机发展概况

银川作为国家首批列入的“通用航空产业综合示范区”重点城市，近年来无人机行业发展迅速。据相关部门统计，截至2016年12月，在宁夏工商部门注册，涉及无人机销售、服务、培训的企业达200余家，无人机的使用单位也是日益增多，如：宁夏测绘系统、地矿系统、国土系统、公安消防系统、水利水电系统、森林防火系统、旅游考古系统等各个单位，据不完全统计，使用单位累计已超过60余家，无人机数量达到400余架。

截至目前，宁夏地区无人机已应用到各行各业：如在航空拍摄方面，沙坡头影视城部分电影已采用无人机取景和辅助拍摄；测绘地理信息方面，宁夏遥感测绘勘察院、宁夏测绘局等一批单位率先发展无人机航测，服务于城市建设管理；宁夏水利水电勘察测绘研究院、宁夏电力设计院等在5年前已开始发展无人机在行业和应用；在公安消防等领域，无人机也有较多应用。其中宁夏遥感测绘勘察院自2010年以来，成功引进了“快眼”系列固定翼无人机、无人直升机与多旋翼飞行器航摄系统，组建了宁夏第一支无人机队。通过近几年的人才培养和引进，技术人员素质和能力不断提升，能够应对复杂局面的复合型人才队伍专业技术人员达50余人，2人取得AOPA无人飞行器飞行员资格认证；拥有各类无人飞行器19架，可搭载佳能5DⅡ、佳能5DⅢ、飞思IQ180、索尼NEX-7K、激光三维扫描仪等各类航摄仪器；拥有UP30、CXG-300地面控制软件、DPgrid、Pix4D等正射影像（DOM）生产软件，VirtuoZo、GEOWAYDPS等数字测图软件以及海量数据存储系统；研发了从无人机自主装配、运行、维护，到航摄作业、数据加工制作的整套技术流程；能够高效、保质完成各类航摄数据的作业与生产。

第二节 国内无人机应用案例

一、地质灾害监测及地震应急测绘

我国是一个地质灾害多发国，无人机遥感技术能在灾害中第一时间获取影像信息数据，并对接下来的救援提供了第一手的资料。如在四川雅安芦山县地质灾害中无人机的灾害救援能力得到了充分的体现，国家减灾中心在震后30分钟以内启动了重大自然灾害无人机应急合作机制，并迅速组织了无人机遥感灾害监测工作组，从北京到县一级无人机队伍分别进行灾后的遥感测绘工作，为救援和灾后重建提供了大量珍贵材料，使国家及时制定了正确的方案。

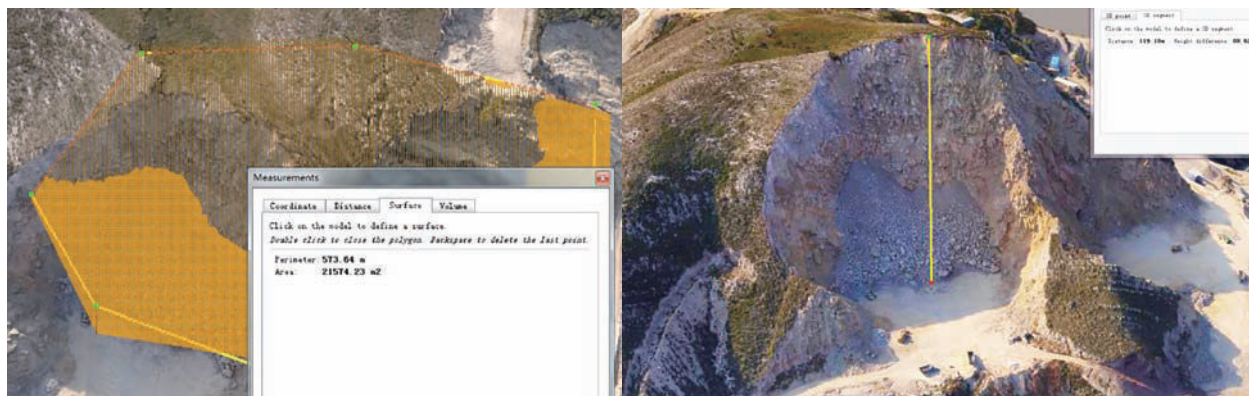


图1-2-1

2017年8月8日21时19分，四川省阿坝州九寨沟县发生7.0级地震，震源深度20 km。九寨沟地震发生后，牵动了全国人民的心。按照四川省抗震救灾指挥部的指示，四川省测绘应急指挥中心紧急指派测绘应急保障中心无人机分队连夜奔赴灾区，利用无人机侦查、测绘九寨沟县地震情况，获取了当地灾后影像图，为救援提供了更直观的决策依据。

无人机测绘这种高性价比、无场地要求、机动灵活、受天气影响小的低空遥感方式，已经受到了国家越来越多的重视。

近几年国家发生的重特大自然灾害中，都有无人机第一时间开展测绘工作。2014年8月3日，云南鲁甸发生6.5级地震，道路交通和通信线路中断。国家测绘地理信息局立刻派出4架无人机获取航拍影像，8月4日中午就获取了堰塞湖地区30 km²的高分辨率影像，并在6日进行了第二次航拍，进行数据信息实时对比，陆续为指挥部、水利部、武警部队等相关单位提供灾区受害的位置、类型、规模等信息，为下一步的灾情评估、分析，指挥决策提供了第一手的航拍资料。

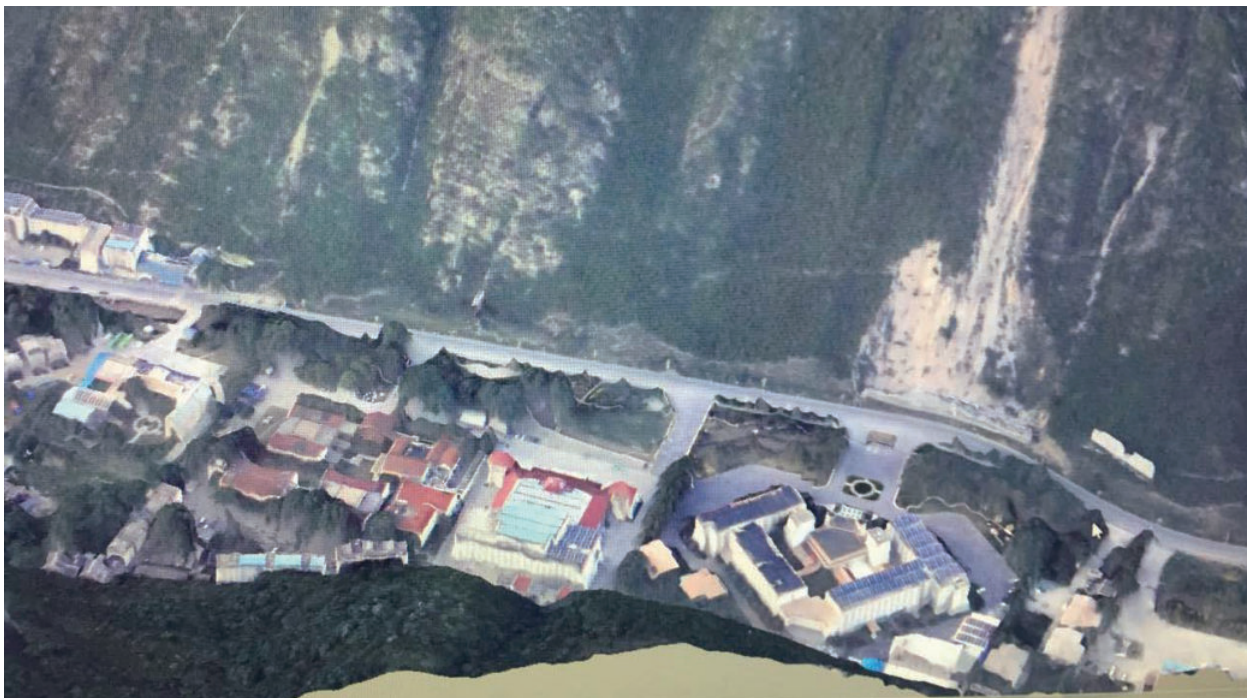


图1-2-2

二、三维城市

城市三维建模是“智慧城市”建设的关键技术之一。为解决传统城市建模方法存在的数据采集难度大、成本高、建模效率低等问题，专家提出了一种基于无人机倾斜摄影技术的城市三维建模方法。首先，利用云台控制无人机镜头方向来获取研究区的正射及倾斜影像；然后，利用空中三角测量生成的三维点云构建三维模型，并将从多视影像中提取的建筑物墙面纹理映射到相应的模型；最终，建立城市真三维模型。

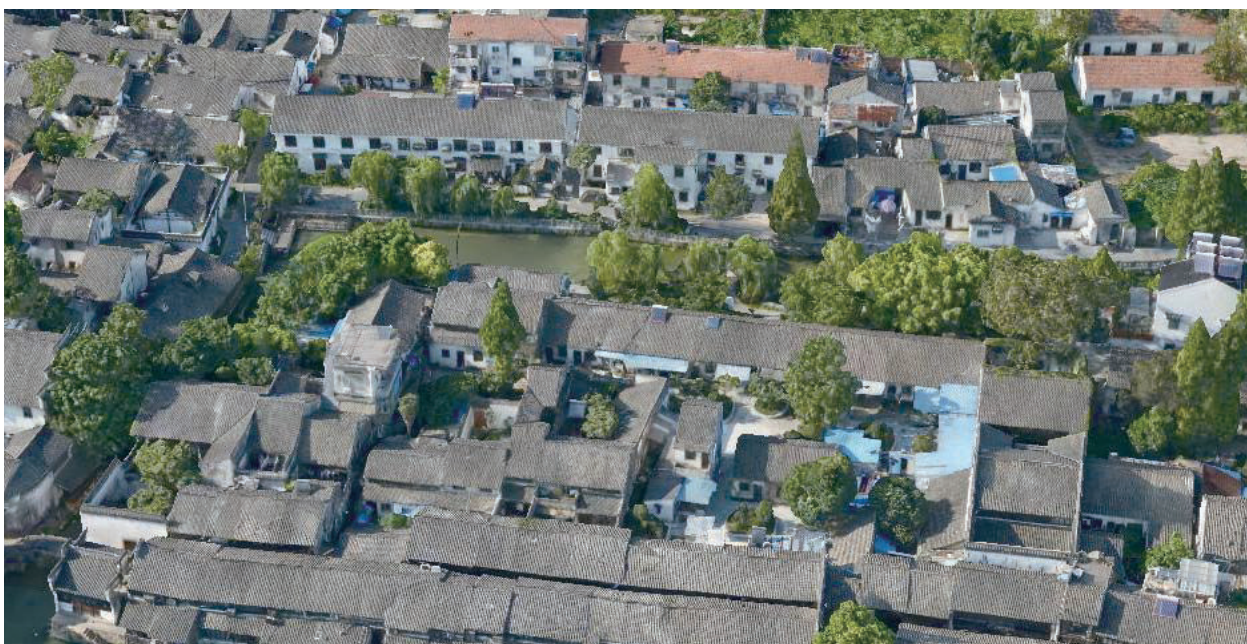


图1-2-3

三、森林防火

林业消防无人机的应用重点解决了在地面巡护无法顾及的偏远地区发生林火的早期发现,以及对重大森林火灾现场的各种动态信息的准确把握和及时了解,也可以解决飞机巡护无法夜航、烟雾造成能见度降低无法飞行等问题。作为现有林业监测手段的有力补充,无人机显示出其他手段无法比拟的优越性,在林业火灾的监测、预防、扑救、灾后评估等方面必将得到广泛的应用。

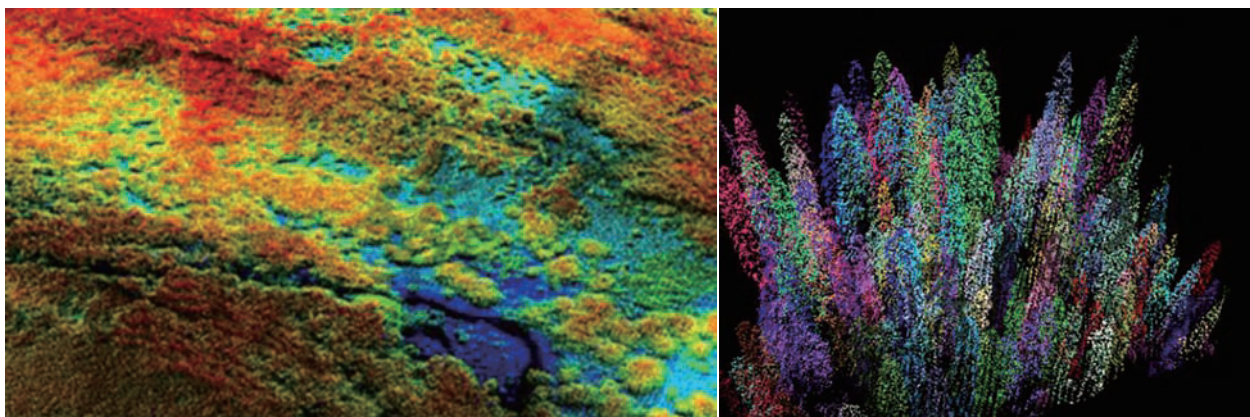


图1-2-4

四、人工增雨

无人机系统可用于人工增雨,以使用简便、机动性好、便于投放,又没有人员安全的风险等特点而见长,因此特别适合森林防火作业中的人工增雨。无人机共携带10枚增雨焰条,通过挂架挂载在机腹与起落架中间。飞行中点燃某枚焰条,由地面遥控进行控制,并通过遥测信息显示焰条是否已点燃的状态,每次可根据情况同时点燃多根发烟管。根据有人机人工降雨作业投放碘化银数量与作业区域的关系,10枚增雨焰条的碘化银含量即可满足100 km²的人工降雨作业区域要求。

五、无人机植保

农业植保无人机市场极为广阔,这已经是整个行业的共识。

据自然资源部数据,中国大约有15.46亿亩永久基本农田。在植保服务市场,每一季农作物都有多次喷洒作业需求;加上无人机整机市场、产业链上下游配件、航空植保专用药剂等……农业植保无人机市场前景令很多人充满期待。

出于对市场前景极为乐观的预期,大量无人机公司加速布局农业植保领域,部分公司甚至已将触角伸至海外。

(一) 病虫害监测

纵观目前国内外森林病虫害监测技术,大多数需要借助高空卫星,然而高空卫星受时间分辨率、空间分辨率、光谱分辨率、外界天气等因素的影响,无法实时、定点获取森林发病前中后等不同时期