引文格式：全昌文,李翔,盘贻峰,等. 中航时无人机在自然资源调查监测中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(6): 57-60. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.06.013

中航时无人机在自然资源调查监测中的应用

全昌文[1,2]，李　翔[1,2]，盘贻峰[1,2]，潘正强[1,2]，黄景金[1,2*]，唐长增[1,2]
（1. 广西壮族自治区自然资源调查监测院，广西 南宁 530219；
2. 自然资源部北部湾经济区自然资源监测评价工程技术创新中心，广西 南宁 530219）

摘　要：利用常规轻小型无人机采集自然资源调查监测影像数据，具有机动灵活、时效性强等特点，但针对大范围影像获取，存在采集效率低、处理成果精度不高等问题。国家应急测绘保障南宁基地“彩虹-4”中航时固定翼无人机具有航时长、采集效率高、覆盖面积广、数据类型多样等特点，在大面积影像数据采集上优势明显；分析了“彩虹-4”在城市违建监测、耕地“非农化”监测、国有土地调查等方面的典型应用，为“彩虹-4”无人机在自然资源调查监测工作中的应用提供经验和借鉴，推动国家应急测绘保障能力“平时”服务能力的提升。

关键词：彩虹-4；无人机；自然资源；调查监测
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）06-0057-04

Application of Medium Endurance UAV in Natural Resource Survey and Monitoring

QUAN Changwen[1,2], LI Xiang[1,2], PAN Yifeng[1,2], PAN Zhengqiang[1,2], HUANG Jingjin[1,2], TANG Changzeng[1,2]
(1. Guangxi Institute of Natural Resources Survey and Monitoring, Nanning 530219, China;
2. Technology Innovation Center for Natural Resources Monitoring and Evaluation of Beibu Gulf Economic Zone, Ministry of Natural Resources, Nanning 530219, China)

Abstract: Using conventional light and small UAV to acquire natural resource survey and monitoring image data has the characteristics of flexibility and timeliness, but for a large range of image acquisition, there are problems such as low acquisition efficiency and low processing accuracy. CH-4 medium endurance fixed-wing UAV of Nanning base for emergency surveying and mapping support has the characteristics of long flight duration, high collection efficiency, wide coverage area and diverse data types and so on, and has obvious advantages in large area image data acquisition. In this paper, we analyzed the typical applications of CH-4 UAV in urban illegal construction monitoring, farmland “non-agricultural” monitoring, land survey and other aspects, which could provide experience and reference for the application of CH-4 UAV in natural resource survey and monitoring, and promote the common service ability improvement of national emergency surveying and mapping support ability.

Key words: CH-4, UAV, natural resource, survey and monitoring

当前，自然资源部门正处于全面提升自然资源治理体系和治理能力现代化的关键时期，全面查清和及时掌握自然资源家底是落实“两统一”职责和满足生态文明建设需要的前提和基础[1-2]。2020 年 1 月出台的《自然资源调查监测体系构建总体方案》指出自然资源监测是在自然资源基础调查和专项调查形成的自然资源本底数据基础上，掌握自然资源自身变化及人类活动引起的变化情况的一项工作，实现“早发现、早制止、严打击”的监管目标。在此基础上，广西结合实际出台了《广西自然资源调查监测体系构建实施方案》，要求到 2025 年完成全区自然资源统一调查、评价、监测制度建设，为科学编制国土空间规划并实施监督，逐步实现山水林田湖草沙的整体保护、系统修复和综合治理的目标提供基础支撑。

开展自然资源调查监测，数据保障是第一位。由于广西地处亚热带，天气复杂多变，多云多雨多雾，使得光学卫星拍摄窗口期短。广西地形地貌复杂、地表覆盖破碎、多变性易变性强、地物识别困难等，这使得传统人海战术的作业模式不可持续。国家应急测绘保障南宁基地（以下简称南宁基地）配备的中航时

收稿日期：2022-08-08。
项目来源：广西重点研发计划资助项目（桂科 AB22080077）；广西科技基地和人才专项基金资助项目（桂科 AD20238044）；广西空间信息与测绘重点实验室基金资助项目（191851011）。
第一作者简介：全昌文（1987—），工程师，主要从事自然资源调查监测和应急测绘等工作，E-mail：qcw148@163.com。
通信作者：黄景金（1988—），高级工程师，主要从事自然资源调查监测和应急测绘等工作，E-mail：jingjin_huang@tju.edu.cn。

固定翼无人机航空应急测绘系统（以下简称彩虹-4）在调查监测中具有独特优势，特别是在载荷搭载、航摄效率、作业时间、作业距离和时效性方面，可作为光学卫星的有效补充[3]。彩虹-4已经在应急测绘中得到有效应用，如：王中祥[4]等研究以大载荷长航时无人机在应急测绘中的应用，为应急测绘提供了新技术手段；史晓明[5]等介绍了中航时固定翼无人机航空应急系统及其对湖北省应急测绘保障意义；闫东[6]等介绍了“军民融合”背景下彩虹-4无人机在应急测绘、海洋监测等领域的多个应用案例。轻小型无人机在点状区域可充分发挥其机动灵活、时效性强优点，但对远距离的面状（线状）大面积区域，具有地面通达度较低、航摄效率相对较低、影像处理成果精度不高等问题[7-8]，而中航时固定翼无人机可解决上述问题，经过1a多的探索实践，在自然资源调查与监测中已经广泛应用。

1 南宁基地概况

1.1 基地保障范围

国家应急测绘保障能力建设是国家发改委批复实施的国家测绘重大基础能力建设专项。南宁基地是该专项中配备了彩虹-4无人机的8个基地之一，基地建设在纵向上和国家应急测绘中心直接连通，横向上和广西应急相关部门互联，建成覆盖面广、适应性强、机动性高的广西应急测绘保障能力体系，从而为国家应急测绘保障中心提供各类应急资源共享服务。依托彩虹-4中航时固定翼无人机，南宁基地保障半径达到900 km，保障区域为广西、广东、海南、湖南及南海部分海域。

1.2 中航时固定翼无人机系统

中航时固定翼无人机系统是南宁基地主要装备之一，配套建设了地面指挥车、超视距卫星通信等多个系统。该机型为自主研发，主要由飞行器、传感器、指挥控制平台等设备组成，具有航时长、覆盖面积广、数据类型多样、适宜跨省区作业等特点；可服务大范围、跨区域、长航时等数据采集需求，在应对重大自然灾害、面状（线状）区域自然资源调查监测等方面有明显优势。

2 在广西自然资源调查监测中的优势

自然资源调查监测的关键在于解决第一时间掌握任何时间、任何地点、任何要素的任何变化的问题。针对年度更新、对重点区域和重点要素的专题监测、应急监测等，可发挥彩虹-4中航时固定翼无人机在线状区域和面状区域的数据获取优势，提供实时的光学视频、热红外视频和快拼影像等数据，准实时的应急指挥图、专题图、测绘成果图，非实时的线上地理信息服务。

2.1 中航时固定翼无人机性能参数

飞行平台的性能直接决定彩虹-4的观测能力，其最大载荷重量达到345 kg，同时搭载了多种传感器，包括光学面阵相机、miniSAR、光电吊舱（光学和热红外视频）和定位定姿系统。在搭载100 kg载荷时，巡航速度为150 km/h时，最大航程达到4 320 km。搭载的光学相机具有0.4 μm的像元尺寸，可满足1∶500~1∶2 000等大比例尺的成图要求；miniSAR有效作业距离为6 000 m，空间分辨率在条带模式下优于0.3 m，聚束模式下优于0.1 m。彩虹-4中航时固定翼无人机的主要参数如表1所示。

2.2 影像采集效率

彩虹-4的数据采集效率直接决定其在自然资源调查监测的能力。根据平台和传感器参数设计，按飞行速度为160 km/h，航向重叠度为70%、旁向重叠度为45%、飞行速度为160 km/h、有效作业时间为0.7 h和总体作业时间为1 h的情况下计算，彩虹-4的光学和SAR数据采集效率分别如表2、3所示。

表1 中航时固定翼无人机飞行平台主要参数

类别	指标参数
机型型号	CH-4
最大起飞重量/kg	1 330
最大载重重量/kg	345
作业半径/km	视距链路＞200（无线电通视）； 超视距链路＞900（卫星波束覆范围）
巡航速度/（km/h）	150 ~180
续航时间/h	>25 (100 kg载荷)
最大实用升限/m	7 500 (海拔高)
导航方式	惯导+GNSS
起降方式	水平轮式，机场滑坡起降
工作温度/℃	-40~40

表2　光学影像采集效率

航高/km	地面分辨率/cm	拍照间隔/s	总相片数	作业面积/km²	有效采集效率/（km²/h）
0.9	4.6	5.4	478	32	44
1.8	9.2	10.8	239	63	89
2.7	13.8	16.1	159	95	133

表3　SAR影像采集效率

航高/km	对地带宽/m	有效对地带宽/m	有效采集效率/（km²/h）
0.9	1 404	990	113
1.8	2 808	1 980	226
2.7	4 212	2 970	339

2.3　优势特点

彩虹-4无人机飞行姿态平稳，滞空时间长，在飞行空域、气象条件允许的情况下，单架次可见光影像获取时长超过6 h，可面向大范围大区域的自然资源调查监测影像数据获取作业。具备SAR影像、光电吊舱等影像数据同步获取能力，形成全天时的作业监测能力。彩虹-4无人机通信能力强，搭载了机载卫星通讯设备，光电吊舱的视频数据可实时回传数据中心，具备远程监测能力。彩虹-4无人机能够接入广西无人机联动服务平台，实时显示无人机位置、状态、轨迹和实时视频，并能够通过任务（事件）驱动的方式，实现装备快速调用，高效执行大面积区域的自然资源调查监测任务。

3　在广西自然资源调查监测中的应用成效

2020年，彩虹-4无人机进驻梧州机场，开展应急演练及影像获取工作；2021年转场玉林机场，仅仅1个多月时间，就飞行15架次，飞行时长120 h，获取分辨率优于0.2 m影像数据达到1.28万km²，数据获取情况如图1所示。彩虹-4无人机采集影像有以下优势：①巡航速度快，达到160 km/h，约是常规电动无人机（约70 km/h）的2.3倍，单位时间采集效率更高；②影像幅面大，搭载中幅面190 MP CCD传感器幅宽达到16 470像素，相对常规轻小型无人机覆盖面积更广，可大幅提升作业效率；③滞空时间长，可连续作业超过25 h，常规轻小型无人机一般为2~3 h，在天气窗口短的广西各地，一次起落能够持续获取大面积影像数据；④测控距离远，能够基于卫星通信实现大于900 km的超视距指挥作业，常规无人机一般在20 km以内；⑤单日获取影像面积大，单日可获取超过1 000 km²的影像数据，是常规无人机（约50 km²/d）的20倍。基于这些优势特点，彩虹-4无人机适合大范围、长距离的面状或带状高分辨率影像数据采集工作，下面列举部分应用。

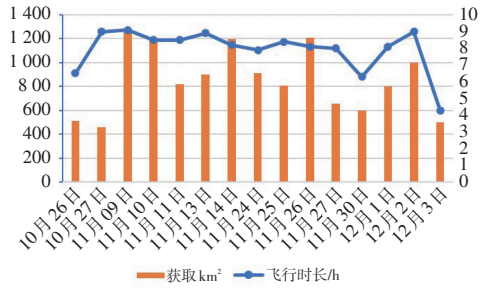


图1 彩虹-4无人机2021年主要数据获取情况

3.1　在城市违建监测中的应用

随着社会经济的发展和各种利益的驱动，城市当中各式各样的违法建设行为层出不穷，严重制约着城市现代化的发展和和谐社会的建设。传统的对违法建设进行监测和管理的手段相对落后，主要靠群众举报发现和确认，违法建筑屡禁不止且不能及时发现，以至监测和拆违的成本急剧增高，造成公共安全事故频发，阻碍了城市的发展和建设，破坏了城市形象，降低了政府威信。

2020年，梧州市自然资源局利用彩虹-4获取的大面积城区光学遥感影像，经处理后得到监测影像，与前时相影像对比分析，找出城市违法建设变化图斑。

3.2　在耕地“非农化”监测中的应用

耕地是粮食生产的重要基础，事关国家粮食安全。近年来，国家出台了一系列严格耕地保护政策措施，要求采取有力措施，强化监督管理，坚决制止耕地“非农化”、防止“非粮化”行为[9]。但一些地方仍然存在违规占用耕地行为，亟需采取主动式发现的技术手段对大面积耕地范围进行监测。

2021年广西自然资源厅组织开展了自然资源综合监测工作，要求采用最新航天航空遥感影像，针对耕地“非农化”、涉嫌违法用地用矿线索、建设用地批后实施等情况进行动态监测监管。在充分利用卫星影像的情况下，对卫星影像无法覆盖的地区，利用彩虹-4无人机获取重点监测区域高分辨率影像，作为动态监测基础数据，快速比对发现耕地上非农建设、占用农田种树挖塘等违法行为。以玉林市北流县为例，获取全域影像面积2 452 km²，快速发现“非农化”图斑99个涉及耕地面积103.26亩，现状多为动土、设施农用地、农村道路等建设情况。

3.3　在国有土地调查中的应用

2021年，广西农垦集团对区内国有农场所有土地开展了调查工作，需要为调查工作快速提供高分辨率影像数据。本次农场土地调查采用了彩虹-4等无人机在不到1个月时间快速获取了区内15家二级农场3 600个地块约100万亩分辨率优于0.2 m的高清影

像，为农场土地摸底调查以及后续变化监管、土地业务管理等工作提供了高效数据服务。

3.4 在露天矿山监测中的应用

近年来，中央生态环境保护督察组在对各地的督察工作中发现，存在粗放开采、无序开采、越界开采等诸多情形，矿山修复治理不到位，导致严重的生态破坏和环境污染。加强露天矿山的监测是当前一项重要工作，2021年5月，利用彩虹-4等无人机设备，获取了生态环保督察涉及自然资源领域40余处采石场、矿山的高清影像数据，为环保督察工作提供了有力佐证[10]。

4 结 语

国家应急测绘保障南宁基地注重长远。通过“平战结合”方式持续提升彩虹-4优势服务能力，已经在广西部分城市的违建监测、耕地“非农化”监测、国有土地调查和露天矿山监测等自然资源调查监测工作中取得实际应用。下一步将开展彩虹-4无人机的SAR数据、光电吊舱数据的实际应用研究，进一步服务多类型调查监测。

参考文献

[1] 谷树忠,吴太平. 中国新时代自然资源治理体系的理论构想[J]. 自然资源学报,2020,35(8):1 802-1 816

[2] 黄露,王爱华,陈君,等. 国产卫星遥感技术在自然资源调查监测中的应用[J]. 地理空间信息,2020,18(5):73-75

[3] 黄景金,唐长增,李毅,等. 广西自然资源调查监测体系构建[J]. 国土资源遥感,2020,32(2):154-161

[4] 王中祥,武昊,朱杰,等. 大载荷长航时无人机航空应急测绘系统设计与实现[J]. 测绘通报,2019(9):128-134

[5] 史晓明,张田凤,汪洋,等. 中航时固定翼无人机在湖北省航空应急测绘系统建设中的应用[J]. 测绘通报,2017(增刊):185-187

[6] 闫东,周乃恩. 彩虹无人机系列应用及展望[J]. 软件,2018,39(9):117-122

[7] 朱庆,曹振宇,林珲,等. 应急测绘保障体系若干关键问题研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):551-555

[8] 毕凯,李英成,丁晓波,等. 轻小型无人机航摄技术现状及发展趋势[J]. 测绘通报,2015(3):27-31

[9] 谢优平,肖祥红. 基于遥感技术的自然资源执法监察工作问题探析[J]. 地理空间信息,2021,19(9):41-43

[10] 黄仲德. 矿山开采对生态环境德影响及矿区生态修复分析[J]. 中国资源综合利用,2020,38(10):134-136

（上接第56页）

[3] 王磊, 连增增, 刘杰. 基于SBAS-InSAR技术和Sentinel-1A的城市地表沉降监测[J]. 地理空间信息, 2022, 20(4): 59-64

[4] 陆燕燕, 柯长青, 陈德良, 等. PS-InSAR在沛县矿区地表沉降监测中的应用[J]. 地理空间信息, 2016, 14(5): 96-99

[5] Berardino P, Fornaro G, Lanari R, et al. A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2002, 40(11): 2 375-2 383

[6] Yang Z, Li Z, Zhu J, et al. Locating and Defining Underground Goaf Caused by CoalMining from Space-borne SAR Interferometry[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018, 135: 112-126

[7] 陈亮, 姚硕强, 马润霞, 等. 应用Sentine1-1A卫星数据对宁东煤炭基地进行沉陷监测试验研究[J]. 矿山测量, 2017, 45(3):45-49

[8] 任文静, 贾洪果, 闫斌. SBAS-InSAR方法支持下的矿区地表沉降监测及参数反演[J]. 测绘通报, 2021(3):113-117

[9] 李达, 邓喀中, 高晓雄, 等. 基于SBAS-InSAR的矿区地表沉降监测与分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(10):1 531-1 537

[10] 沙永莲, 王晓文, 刘国祥, 等. 基于SBAS InSAR的新疆哈密砂墩子煤田开采沉陷监测与反演[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(3):194-201

[11] 刘志敏, 李永生, 张景发, 等. 基于SBAS-InSAR的长治矿区地表形变监测[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(3):37-42

[12] 王路遥, 潘光永, 陶秋香, 等. 基于SBAS-InSAR时序分析技术的兖州矿区沉降监测与分析[J]. 煤炭技术, 2019, 38(10):83-87

[13] 潘光永, 陶秋香, 陈洋, 等. 基于SBAS-InSAR的山东济阳矿区沉降监测与分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(4):100-106

[14] 李小涛, 张孝荣, 黄景偲, 等. 基于SBAS-InSAR的榆神矿区地表动态沉陷特征研究[J]. 地理空间信息, 2021, 19(8):35-38

[15] Lefever D W. Measuring Geographic Concentration by Means of the Standard Deviational Ellipse[J]. American Journal of Sociology, 1926, 32(1):88-94

[16] 耿丹, 涂宽, 谌华, 等. SBAS-InSAR和高分辨率光学遥感相结合的矿区地表形变时空演化特征研究[J]. 自然灾害学报, 2022, 31(1):251-264

[17] 贾志强, 吴虹. 白银市平川区矿山开发多目标遥感调查监测[J]. 科技信息, 2009 (13):348-349

[18] 韩守富. 基于升降轨InSAR技术的准三维地表形变监测方法研究:以窑街矿区为例[D]. 兰州:兰州大学, 2020