

无人机遥感系统在岸线勘测中的应用^{*}

麻德明^{1,2}, 邓才龙¹, 徐文学¹, 田梓文¹, 刘焱雄¹

(1. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061; 2. 中国海洋大学环境科学与工程学院 青岛 266100)

摘要: 文章介绍了无人机遥感系统的主要组成和作业流程, 重点探讨了无人机遥感在岸线勘测中的关键技术, 并以青岛小岛屿为例, 开展了基于无人机影像的岸线提取, 利用现场实测岸线数据和基于激光雷达数据提取的岸线进行比对, 以验证提取岸线的正确性。结果表明: 基于无人机开展岸线勘测是经济可行的, 而且效率比较高, 能够满足大比例尺成图精度要求。

关键词: 无人机遥感; 相机检校; 像控测量; 影像拼接与纠正

中图分类号: P71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9857(2015)04-0045-04

1 前言

海岸线是海岸带的重要标志之一, 它不仅标识了陆地与海洋的分界线, 而且还蕴含了丰富的环境信息, 并对沿海的滩涂利用、湿地生态系统的兴衰等具有重要的指示作用^[1]。海岸线可分为大陆海岸线和岛屿海岸线, 我国海岸线绵长, 北起鸭绿江口, 南至北仑河口, 总长度 3.2 万 km, 其中大陆海岸线 1.8 万 km。在我国海岸线定义为多年大潮平均高潮位时的海陆分界线^[2], 是重要的基础地理要素, 也是划分海洋与陆地行政管理区域的基准线, 快速而又准确地获取岸线的位置及其动态变化信息, 对于海域使用管理具有十分重要的意义。

以往对岸线的勘定极其动态监测, 大都通过人工实地测量和卫星遥感影像解译^[3-7], 由于岸线地形复杂, 有些区域难以到达, 现场测量困难, 而且外业工作量大; 而遥感影像解译获取岸线的精度不高, 难以满足大比例尺成图要求。随着信息化建设和科学技术的不断进步和发展, 无人机与航空摄影测量相结合, 成为航空对地观测的新遥感平台, 加上数码相机的引入, 使得无人机遥感系统成为航空遥感领域的一个崭新发展方向^[8-9]。无人机低空航拍摄影技术作为一项空间数据获取的重要手段, 与前两种方式相比, 具有机动灵活、影像快速获取、高危地区探测、成本

低、高分辨率、低空大比例尺制图等优点, 还可针对重点水域、岸线、海岛等进行重点和大频次监测, 弥补了现有卫星遥感、航空遥感和现场监测技术手段的不足。

2 无人机系统组成及其应用

无人机航摄系统是以无人机为飞行平台, 利用高分辨率相机获取影像数据, 通过飞控和地面站控制系统实现影像的自动获取, 同时实现航迹规划和监控、信息数据压缩和自动传输、影像预处理等功能, 是具有高智能化程度、稳定可靠、作业能力强的低空遥感系统。具体包括: 飞行导航与控制系统、无人机航摄平台、移动地面站监控系统、发射与回收系统、数据接收与处理系统、野外保障系统以及附设设备等^[10]。其核心功能是实现低空、小范围、实时快速的航空摄影, 以获取高分辨率的影像。

无人机系统作为一种新型低空遥感信息获取与监测手段, 因其运输便利、升空准备时间短、起降受限小、操控简单、运行成本低、可快速响应等特点, 已得到广泛的应用和推广, 在国民经济发展的诸多方面发挥着越来越重要的作用, 特别是在地图测绘、气象水文信息探测、遥感测绘、矿产资源与开发、土地利用与调查、防灾减灾、生态环境监测等领域, 为用户提供了一种快速进行数据获取、处理、应用分析一体化的新型遥感手段,

^{*} 基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201405028、201305023)和中央级科研院所基本科研业务经费(GY0214G18)。

及时提供了现实性强的的大比例尺地形图和正摄影像图数据成果,并逐渐成为众多遥感监测任务的最好选择,为当地的社会、经济建设提供快捷方便的高分辨率影像测绘保障服务。

3 工作流程

海岸线地处海岸带区域,地形复杂多变,各处潮汐差异较大,滩涂种类性质多样,岸线被开发利用的方式众多,使海岸带地区航摄面临很多的问题,需制订相应的作业流程。总体作业流程主要分为以下几大步:数码相机检校、航线规划设计、像控点测量、内业数据处理(影像拼接、空中三角测量、正射影像制作等)、成果检查与验收等。具体无人机航测作业流程如图1所示。

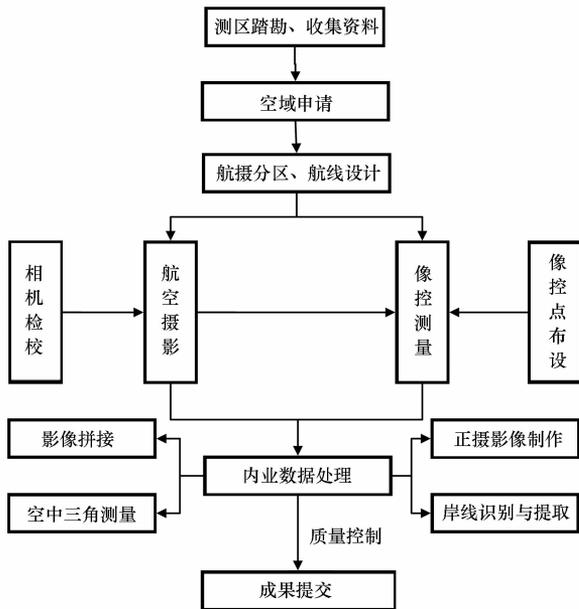


图1 无人机航测作业流程

4 岸线勘测关键技术

4.1 相机检校

无人机航摄平台上安装的一般都是非量测型数码相机,由于非量测数码相机存在着镜头畸变的较大影响,在航摄前必须对其进行检校,才能保证获取高质量的影像数据。通过建立室外相机检校场,利用畸变改正公式进行参数校正。非量测相机的畸变校准主要确定相机的焦距误差、主像点误差、径向畸变系数、偏心畸变系数和电荷耦合元件(CCD)非正方形比例系数,检校应满足以下要求^[11]:① 相机检校参数应包括:主点

坐标、主距和畸变差方程系数;② 相机检校时应在地面或空中对检校场进行多基线多角度摄影,通过摄影测量平差方法得到相机参数最终解,并统计精度报告;③ 检校精度应满足主点坐标中误差不应大于 $10 \mu\text{m}$,主距中误差不应大于 $5 \mu\text{m}$,经过畸变差方程式及测定的系数值拟合后,残余畸变差不应大于 0.3 像素。

4.2 像控测量

像片控制点(亦称野外控制点)是航测内业加密控制点和测图的依据,主要分为平面控制点、高程控制点和平高控制点3种。其中,平面控制点应选在线状地物的交叉点或明显拐角上;高程控制点尽量选择在高度变化缓慢的地形特征点上;平高控制点则需要两者兼顾。由于受摄取地形条件、摄影资料以及信息处理方式的不同,像控点的布设方案也不尽相同,像控点的选择和布设都需遵循一定原则^[12-13],其数量和分布都会影响精度。像控点一般应立体、均匀地分布在测区内,并且要加强测区边缘的控制,兼顾中部,对于地形起伏的区域应适当加密,较为平坦的可酌情删减,为提取岸线,沿海岸应适当加密。

4.2.1 特殊标靶点布设

岸线位置区域往往无明显的特征点或者特征点稀疏,为便于影像中岸线辨识,提高岸线提取的精度,在无人机航摄前需在测区岸线位置上布设标靶点,宜采用正方形或圆形,颜色要便于识别(如红底白心),正方形规格边长不小于 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$,圆形半径不小于 0.3 m 。

4.2.2 一般像控点布设

首先对测区进行分区,根据测区地形地貌特征和成图比例尺,确定像控点间隔距离,对地形起伏较大区域,应适当加密像控点,且最高和最低区域均应布设,在满足精度的情况下,平坦区域可适当减少像控点分布。按照上述像控点布设原则实地选点,对无明显特征地物的区域,应布设人工标靶点,规格参考特殊标靶点。

岸线勘定及动态监测区域属于特殊地形,宜采用全野外布点,以能最大限度地控制测绘面积为原则。一般采用GPS-RTK方法测定像控点的平面坐标和高程;当RTK方法无法使用时,可采用GPS快速静态定位方法测量像控点。可充分利用各地的CORS网精化测量成果,点位应满足

GPS 观测对环境条件的各种要求,如避开高楼、大树、大片水域、高压电线、微波发射天线等。如果不能满足观测条件时,可采用其他办法(如光电测距导线法)测定控制点的坐标和高程。

4.3 影像快速拼接与纠正

无人机航摄一个架次获取的影像上千张,达10多个GB的量级,除了性能出众的摄影测量工作站硬件支持外,更需要针对其影像特点、相机参数、飞行姿态数据以及相关几何模型,通过空中三角测量加密软件,对多幅无人机影像进行图像的几何纠正配准和镶嵌匀色,实现影像的快速拼接,最后生成正射遥感影像产品。目前,国内外比较通用的支持此类后期数据处理的商业软件也很多,例如:Pixel Grid、Virtuozo AAT-PATB、Image Station SSK、MAP-AT、DPGrid、Pixel Factory、Inpho 全数字摄影测量等软件,可根据实际作业需求,并结合各软件的优缺点和性价比进行合理的选择。

4.4 岸线识别与提取

根据《海岸带调查技术规程》,海岸线分为自然岸线和人工岸线,自然岸线又包括基岩岸线、砂质岸线和泥质岸线。基岩海岸的海岸线位置界定在陡崖的基部;一般砂质海岸的岸线比较平直,在海滩上部常常堆成一条与岸平行的滩脊,岸线一般确定在滩脊的顶部向海一侧,而具陡崖的海滩一般无滩脊发育,海滩与基岩陡岸直接相接,崖下滩、崖的交接线即为岸线;泥质海岸主要由潮汐作用塑造的低平海岸,潮间带宽而平缓,泥质岸线应根据海岸植被生长变化状况、大潮平均高潮位时的海水痕迹线以及植物碎屑、贝壳碎片、杂物垃圾分布的痕迹线等综合分析界定。人工岸线识别相对容易,通常以海岸工程等的外沿为其位置线。

5 实例及验证

本试验采用了 TF-7 型固定翼无人机系统:无人机长约 2.5 m,翼展约 3 m,飞行速度 15~40 m/s,巡航速度 30 m/s,工作高度 500~1 200 m,升限不小于 4 500 m,续航时间不小于 2 h,抗风能力为四级风速,控制半径不小于 20 km,有效载荷 3~5 kg。搭载相机为 Canon EOS 5D Mark II,像幅分辨率为 5 616 像素×3 744 像素,焦距

35 mm。根据飞行区域地形特征和航摄的技术要求,设计飞行高度 550 m,依据成图要求和作业规范,确定基线长 130 m,航线间隔宽度 365 m。

选定小岛湾区域,开展无人机航摄,并借助 Inpho 软件制作正射遥感影像(图 2),基于正射影像提取小岛湾岸线。同时,通过船载三维激光雷达对小岛湾沿岸进行扫描,经激光雷达数据处理软件(Terrasolid)生成数字高程模型(DEM),基于岸滩地区的 DEM 资料投影到海岸带的实际位置,利用潮汐资料计算平均大潮的高潮线高程,通过理论深度基准面与国家 85 高程进行转换,利用转换后的岸线高程切割 DEM,生成海岸线。此外,选取了区域内的一段砂质岸线,通过现场实测岸线,进行与基于影像和激光雷达提取的岸线进行比对(图 2 和图 3),分析评价影像判读的准确度。从比对的图像可以看出,基于无人机遥感影像提取的岸线与激光雷达提取和现场实测的岸线基本吻合。实际工作中可结合实测岸线和激光雷达扫描生成的岸线,对基于无人机影像提取的岸线位置进行修正。



图2 小岛湾正射影像

6 结论与讨论

无人机遥感系统凭借其机动、快速、经济等优势,加上高效、自动化的无人机影像数据处理



图3 砂质岸线比对

软件的支持,极大地推动了其发展,应用领域与产业化前景可观。上述试验表明:基于无人机遥感系统,能够快速获取海岸地区正摄影像,基于此影像可解译出高精度的岸线信息,能够满足大比例尺成图要求,因此,基于无人机开展岸线勘测是行之有效的。无人机遥感系统能及时、有效地获取海岸带地区的地形地貌数据,将成为岸线基础信息获取和动态监测的重要手段。

目前,国家海洋局已在我国管辖海域大力推广应用无人机遥感监视监测技术,以丰富和完善我国海域动态监视监测管理系统。因此,把无人机对岸线的勘测与监测纳入全国海域动态监视监测系统中,掌握其动态变化信息,有利于提升对岸线资源的有效监管,同时也能为海域使用管理提供有效的技术支撑。

但是,无人机遥感也有不足之处,如荷载有限,抗风能力较差等,这都会影响无人机影像获取的精度。在后续的研究中可从以下4个方面进一步深入研究,以便其在岸线勘测及其动态监测以及区域用海规划中等发挥更大的作用。

(1)从遥感影像上获得的海岸线一般是某一时刻海水与陆地的瞬时交界线(也称水边线),受潮汐等因素的影响,岸线在不断变化。很难判断提取的岸线位置是否完全准确,应加强与其他方法的综合,来识别、提取、修正岸线。

(2)无人机有限的载荷,很难搭载高精度的IMU,实现无控制航空摄影。在现有的条件下,如何通过特殊的算法,尽量减少像控点的数量,同样达到所需要的精度要求。

(3)在荷载允许的条件下,研究多传感器融合,例如搭载三维激光雷达扫描仪,进一步提高岸线提取的精度。

(4)如何进一步解决摄影曝光时间误差带来像移所带来空间分辨率的损失,真正达到1:500的成图精度。

参考文献

- [1] 刘鹏. 海岸线影像特征提取方法与实证研究[D]. 福州:福建师范大学,2008.
- [2] 国家质量技术监督局. GB/T 18190—2000 海洋学术语. 海洋地质学[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [3] 马小峰,赵东至,张丰收,等. 海岸线卫星遥感提取方法研究进展[J]. 遥感技术与应用,2007,22(4):575—579.
- [4] 申家双,翟京生,郭海涛. 海岸线提取技术研究[J]. 海洋测绘,2009,29(6):74—77.
- [5] 孙伟富,马毅,张杰,等. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究[J]. 测绘通报,2011(3):41—44.
- [6] 王李娟,牛铮,赵德刚,等. 基于ETM遥感影像的海岸线提取与验证研究[J]. 遥感技术与应用,2010,25(2):235—238.
- [7] 夏东兴,段焱,吴桑云. 现代海岸线划定方法研究[J]. 海洋学研究,2009,27(增刊):28—33.
- [8] 吴云东,张强. 立体测绘型双翼民用无人机航空摄影系统的实现与应用[J]. 测绘科学技术学报,2003,26(3):161—164.
- [9] 康峰. 无人机系统发展总体趋势分析[J]. 无线电工程,2004,34(1):40—42.
- [10] 中国科学院遥感应用研究所. 微型无人机低空摄影测量项目方案书[EB/OL]. [2014-05-16]. <http://www.docin.com/p-911551025.html>,2010.
- [11] 国家测绘局. CH/Z 3005—2010 低空数字航空摄影规范[S]. 2010.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB/T 1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量外业规范[S]. 2010.
- [13] 国家测绘局. CH/Z 3004—2010 低空数字航空摄影测量外业规范[S]. 2010.