

海湾地区复杂地形测量方法研究

禹云亮¹, 侯健², 魏明刚², 曾淑辉²

(1. 中山市海洋与地质环境监测站, 广东 中山 528400;

2. 青岛中海基业海洋科技有限公司, 山东 青岛 266555)

摘要:传统野外地形测量方法在海湾地区实施起来难度高效率低,且陆地部分与近岸水下部分的地形数据相对独立,坐标参考系统不统一,给沿海区域的实际地形研究应用带来不便。为减少野外作业的工作量 and 提高数据的利用效率,设计了无人机摄影测量与水深测量技术相结合的技术方案,在海湾地区的陆地部分采用无人机摄影测量获取地面地形数据,沿岸的海底部分采用测深仪进行水深测量获取海底地形数据,通过数据融合在专业软件上获取海湾地区的完整统一地形数据,并通过具体实验验证了该方案的可行性和有效性。结果表明,此方案可减少外业作业量提高工作效率,为不同海湾地区复杂地形测量提供参考。

关键词:海湾地区;地形测量;无人机;摄影测量;水深测量

中图分类号:P714

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2020)03-0231-06

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2020.03.009

引用格式:YU Y L, HOU J, WEI M G, et al. Research on the method of complex topographic survey in the gulf region[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(3): 231-236. 禹云亮, 侯健, 魏明刚, 等. 海湾地区复杂地形测量方法研究[J]. 海岸工程, 2020, 39(3): 231-236.

我国地域幅员辽阔,地形地貌多样,近年来我国正大力开展海洋战略,对海湾地区的开发需求日趋强烈^[1-3]。但海湾地区地势复杂,周围分布的泥潭、水池等对野外测绘作业带来了诸多不便^[4],为了获取海湾地区的地形数据,传统的野外 RTK(Real-time Kinematic)测量不仅需要耗费大量的人力物力,还会因为交通不便等原因增加工作难度,效率较低,且获取地面的坐标数据更新周期长,而海湾地区受海水冲击影响,地形多变,数据精度难以保证。随着无人机技术的发展成熟,无人机摄影测量具有作业时间短、测量范围广、成果精度高等优势,一次数据采集可以得到影像、点云、DOM(Digital Orthophoto Map)等多种数据^[5-6],在许多地形测量项目中得以应用^[7-8]。为获取某一海湾地区的陆地及近岸海底地形数据,本研究结合无人机摄影测量与水深测量技术,完成了对海湾地区的地形测量方案,并通过实验验证了该方案的可行性和有效性。

1 技术原理

1.1 测量基本原理

无人机摄影测量基本原理是通过无人机搭载的航摄相机连续曝光获取测区地面影像,通过内业空三解算得到加密点坐标,进而完成对测区的全部测量。通过搭载不同传感器可在短小时内获取大面积范围的点云、影像、多光谱等多源数据,具有测量范围广、作业效率高、获取数据类型多样等特点。通过专业数据处理软件可最终获取测区的正射影像、DOM、DEM(Digital Elevation Model)、点云数据、三维模型等结果,

收稿日期:2020-03-09

作者简介:禹云亮(1978-),男,高级工程师,主要从事海洋测绘方面研究. E-mail: 65609682@qq.com

(陈 靖 编辑)

可满足不同行业应用的各种需求。本实验选用智航 V200C 垂直起降无人机,配套 SONY 黑卡相机进行航测实验。

水深测量基本原理是通过使用测深杆、水铈、回声测深仪、多波束回声测深系统和海底地貌探测仪等测得瞬时水面下的深度,经测深仪改正和水位改正,归算到由深度基准面起算的深度,最后获得水下待测点的平面和高程的坐标数据。本实验选用 HY1200B 型号声速剖面仪, HY1601 型号测深仪进行单波束水深测量。

1.2 数据融合原理

无人机摄影测量采集所获得的数据为影像数据,利用专业软件对数据完成空三解算后可生成 DSM (Digital Surface Model),进而用于地形测量,在与水深数据融合前,需要将 2 组数据的坐标系统进行统一,即进行测量基准的转换。测量基准的具体要求为转换区域椭球面经纬度在 3° 以内,转换所用的基准控制点周边应有不少于 10 个稳定的 IGS(International GNSS Service)站、国内 IGS 站及国家级卫星导航定位基准站,并遵循以下原则:1)连续性:测站连续观测 3 a(或以上);2)稳定性:站点坐标变化很小,具有已知的点位速度;3)高精度:点位速度值精度优于 3 mm/a ;4)多种解:IGS 站点具有至少 3 个不同国际分析中心的速度值,并且残差小于 3 mm/a ;5)均衡性:站点尽量均匀分布;6)精度一致性:站点间坐标精度应在同一数量级,并且速度值的精度也应在同一数量级。

本实验采用 5 个 C 级控制点进行七参数坐标基准转换,通过测量经坐标转换后的 DSM 中均匀分布的高程点坐标,与水深测量得到的水下高程点一同导入软件 CASS 中完成数据的融合,进而可对测区进行地形分析。

2 测量技术方案

本实验区域选择位于山东海阳与即墨交界处的丁字湾为测区,丁字湾为一“丁字形”的海边湾区。由于测区泥滩分布较多,受潮水冲刷影响,大部分地势比较平缓,从水流向外方向,地势缓慢增高,水流区域由于有河道,所以地势很低,测区西北部施工区域地势偏高,较为复杂,西南部分为陆地部分,地势偏高一些,起伏不定。

在丁字湾区域开展的地形测量实验采用 2 种数据采集方式:陆地部分采用无人机摄影测量、水下部分采用单波束测深仪进行测深,最后通过数据融合得到整个丁字湾测区的地形数据。

2.1 航测数据采集

1) 确定航飞区域

使用专业地图软件确定航飞区域,根据航飞区域规划每个架次的飞行区域,根据精度要求规划航线,设置飞行参数,保存每个架次的区域文件与规划好的航线文件。

2) 航线规划与飞行参数设置

根据实验要求设置参数:比例尺为 $1:2\,000$,航高为 $500\sim 600\text{ m}$,旁向重叠率为 70% ,航向重叠率为 80% ,地面分辨率为 7 cm 。按照此参数在每架次区域内生成航线,保存待用。

3) 布设像控点

按飞行区域布设像控点,在地图软件内进行标记。由于使用 PPK(Post Processed Kinematic)后差分系统,可适当减少像控点布设,所以约 $1\sim 2\text{ km}$ 布设一个像控点,中间布设部分检查点(图 1)。

4) 野外航拍

实施野外飞行作业前,选择视野开阔的平地作为起飞地点,观察风向风力,选择合适的起飞时间。起飞前在地面先架设 GPS 静态基站,调节飞机相机参数并自检完成后进行数据采集作业。飞机按规划航线完成

作业后,检查数据与 PPK 是否对应。

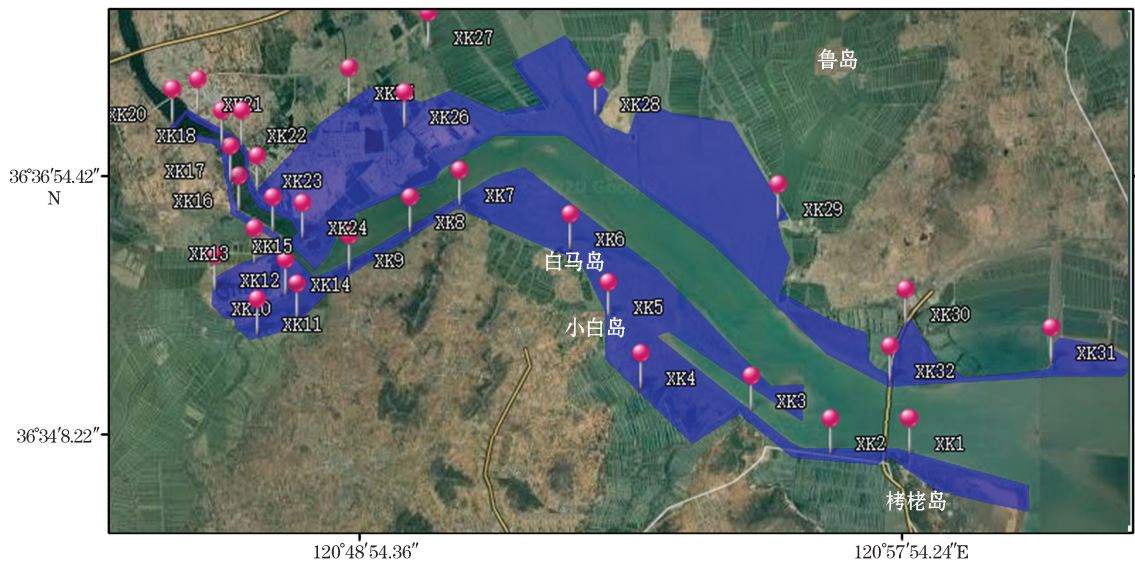


图 1 像控点位置分布
Fig.1 Distribution and location of the image control points

2.2 水深数据采集

本次水深测量平面控制采用 CGCS2000 坐标系,中央子午线东经 120°E,3 度带高斯投影。高程系统采用国家 1985 高程系统,施测前选用 5 个 C 级控制点进行了静态测量,并进行了基线解算,三维约束平差,获得测区高精度七参数,选择测区附近的控制点进行检核,单点校正,并进行坐标比对,满足测量规范要求,经质检符合精度要求。坐标校对中误差见表 1。

1) 确定测深区域布设测线

按技术要求布设主测线:间隔 50 m,主测线方向垂直与等深线方向。检查线与主测线垂直,不少于主测线 5%区域测线。具体测线布设见图 2。

表 1 使用七参数改正后坐标校对中误差分析(mm)

Table 1 Error analysis of coordinate calibration after correction by using seven parameters (mm)

对比点	ΔX	ΔY	ΔZ
A	2	5	9
B	3	4	11
C	3	2	7



图 2 测线布设
Fig.2 Schematic diagram of the surveying line layout

2) 水深改正

(1)声速改正:为提高数据精度,采用由浅至深再由深至浅的方法投放声速剖面仪,将平均声速曲线直接用于声速改正。(2)吃水改正:精确量取换能器吃水深度,输入测深仪进行吃水改正,换能器吃水测量前后各测量一次。

3) 导航定位

由于近岸测深, GPS(Global Positioning System)可达到实时固定解,所以采用 RTK 进行定位,设置 GPS 接收机输出 GGA 数据,同时采集固定解,不需要验潮。操作员根据显示器上的测线与船型定位来操作船进行测深,为保证数据质量,船速保持在 5~7 kn。

4) 水深施测

测深仪在测量前先将声速仪的声速参数输入测深仪,使用人工测深对比板测量水深值,与测深仪所测得水深值进行比较,对声速进行修正。在测深仪的测深界面上,通过增益方案实时调整合适增益值进行水深校准。

检测线的测量方法及测量精度与主测线相同,检测线的定位点间距根据测量比例加密至在规定范围内与主测线保证有重合点,每一条检查线与主测线的交叉点都进行比较。

3 数据处理及结果分析

3.1 航测内业数据处理

数据采集完成后,检查照片数据与 PPK 数据,照片数据质量是否合格,照片与 PPK 是否对应。检查无误后使用 PPK 解算软件对 PPK 数据进行解算,得到目标坐标系下的每张照片的精确坐标。最后使用 Pix4D 软件进行数据处理,通过像控点矫正,得到 DOM 与 DEM。将得到的 DOM 与 DEM 导入三维测图软件建立 DSM 进行高程点提取(图 3),5 m 一个高程点,分布均匀,保证所选点具有代表性,可体现地貌特征。

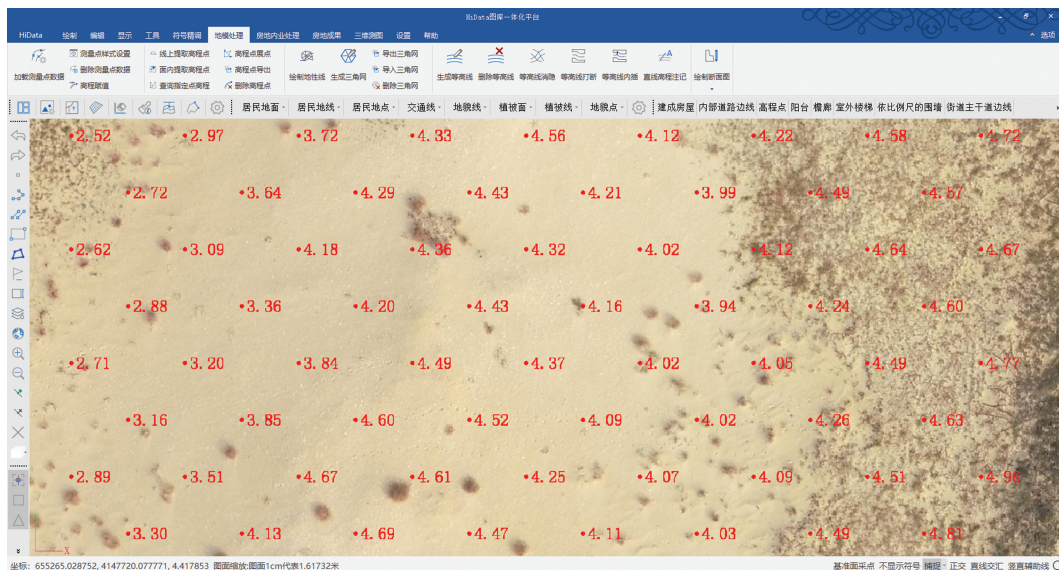


图 3 软件提取高程点界面

Fig.3 Interface of elevation point extraction of the software

所有区域高程点提取完毕后导入 CASS 进行检核,与检查点进行对比,并且每片区域接边重合区域高程点进行对比,对比重合及相近的点。结果表明,差值全部在 15 cm 之内,确认无误后融合。

3.2 海测内业数据处理

使用 HaiDa 水深处理软件对水深测量数据进行计算与处理。对 DGPS (Differential Global Position System) 测量自动化系统所采集的水深和定位数据进行内业资料后处理。在软件内设置投影参数、比例尺和图幅范围等基本参数后,根据声速改正和吃水改正测量数据对原始数据进行改正计算,在主测线上均匀选取水深点,删除多余的水深点,最后将处理后的水深数据导出。水深数据处理结果见图 4。

3.3 结果分析

对航测数据和水深数据处理完成后,首先将 2 组数据进行融合,将处理结束后的水下高程点在 CASS 中展出,并导入航测经坐标转换后的高程点。2 组数据融合后对重合部分进行对比,并与检查线交叉部分的点进行对比,经过对比得出,重合高程点及相近高程点差值均小于 25 cm,其他区域如有高程突变情况,联合实际地形检查合理性,是否有陡坎或陡坡等地形变化,最后将融合后的高程点导出(图 5)。

原始数据资料中测区最大高程点高程 5.91 m,最低高程点高程 -15.24 m。本实验测得测区最大高程点高程 5.83 m,最小高程点高程 -15.2 m,从数据融合后的等高线图来看,整体地势比较平缓,测区西北部地势偏高,地形较为复杂,西南部分地势偏高。结合以上对比数据可以得出,测区地形与实验前已有资料数据基本符合,2 组数据在融合前精度均满足测量标准规范要求,融合部分数据高程误差值小于 25 cm,满足相关的精度要求,经实验验证本方法可用于实际的工程应用中。本次实验共用时 8 天,其中踏勘布设像控点 2 天,无人机摄影测量外业用时 2 天,水深测量外业用时 2 天,内业数据处理用时 2 天,相较于传统外业测量节省了大量的人力和作业周期,显著地提高了工作效率。

4 结 语

地形测量是工程应用开展前的必要准备。通过地形测量,可以获取地形地貌空间数据,其具有可量算性,具备空间分析基础,为工程规划、设计、施工等不同阶段提供了基础数据。我国近年来正在大力推进对海湾地区的开发及保护,面对海湾地区水池洼地密布、潮流影响大、交通困难、地势复杂等环境因素,传统的野外 RTK 测量作业难度大。本文采用无人机摄影测量技术与单波束水深测量技术相结合的方法降低了外业工作量。在高潮时采用单波束水深测量方法进行测量,在低潮时采用无人机航测方法进行测量,确保了重叠区域便于精度验证,很好地解决了潮区测量。通过数据融合,使得陆地与海底的地形数据相统一,可以更好地应用于海岸带保护利用与规划、海湾生态修复保护、海洋工程建设等工作,提高了作业效率,降低了作业成本。该方法在其他海湾地区地形测量中也具有一定的应用参考价值。

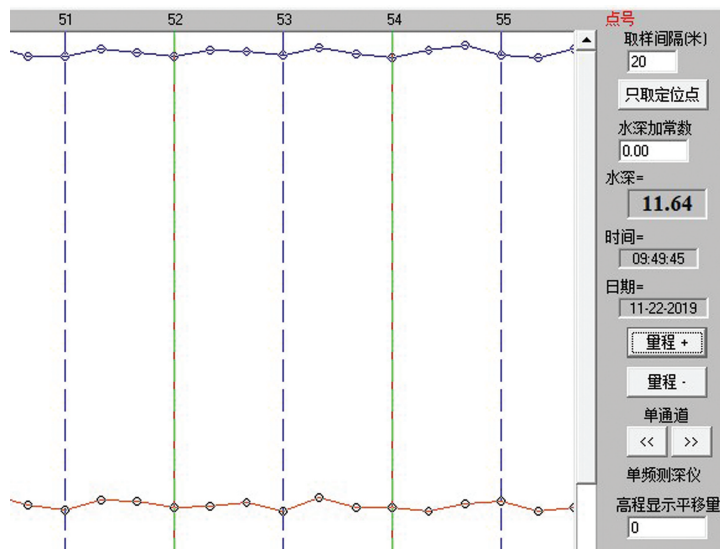


图 4 水深数据处理结果

Fig.4 Data processing of water depth



图 5 数据融合后的高程点

Fig.5 Contour map obtained after data fusion

参考文献 (References):

- [1] MA L B, ZHANG H W, LI G Q. The technical measure study of underwater topographic survey for Changcheng Bay at Changcheng Station in Antarctica[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2010, 33(4): 168-169. 马林波, 张洪文, 李国全. 南极长城站长城海湾水下地形测量技术方法研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2010, 33(4): 168-169.
- [2] WEI C W, YANG X Y. Application and data processing of unmanned vehicle in underwater topographic survey[J]. *Beijing Surveying and Mapping*, 2019, 33(12): 1571-1573. 韦程文, 杨啸宇. 无人船在海洋水下地形测量中的应用和数据处理[J]. *北京测绘*, 2019, 33(12): 1571-1573.
- [3] LIU Q, ZHAI G J, LU X S. Application of ship-borne integrated measurement system in water and above[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(10): 127-132. 刘强, 翟国君, 卢秀山. 船载多传感器一体化测量技术与应用[J]. *测绘通报*, 2019(10): 127-132.
- [4] OUYANG Y, CHEN Y Y. Special terrain surveying and mapping technology in surveying and mapping engineering[J]. *Resource Information and Engineering*, 2019, 34(5): 72-75. 欧阳云, 陈莹莹. 测绘工程中的特殊地形测绘技术[J]. *资源信息与工程*, 2019, 34(5): 72-75.
- [5] LI X. Application of UAV aerial photogrammetry technology in topographic mapping[J]. *Intelligent City*, 2020, 6(1): 50-51. 李想. 无人机航空摄影测量技术在地形测绘中的应用探析[J]. *智能城市*, 2020, 6(1): 50-51.
- [6] HE G D. Analysis of aerial photogrammetry technology of UAV in topographic survey[J]. *China Science and Technology Information*, 2019(16): 72-73. 何国栋. 地形测量中无人机航空摄影测量技术分析[J]. *中国科技信息*, 2019(16): 72-73.
- [7] AWANG R Z, XIN T. Application of UAV aerial survey technology in topographic mapping[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, 2019(4): 4-6. 阿旺仁增, 辛堂. 无人机航空测量技术在地形测绘中的应用[J]. *四川有色金属*, 2019(4): 4-6.
- [8] ZHOU W. Application of trimble UX-5 HP UAV in the measurement of river belt topography[J]. *Journal of Geomatics*, 2020, 45(1): 1-3. 周伟. Trimble UX-5 HP 无人机系统在河道带状地形测量中的应用[J]. *测绘地理信息*, 2020, 45(1): 1-3.

Research on the Method of Complex Topographic Survey in the Gulf Region

YU Yun-liang¹, HOU Jian², WEI Ming-gang², ZENG Shu-hui²

(1. *Zhongshan Marine and Geological Environment Monitoring Station*, Zhongshan 528400, China;

2. *Qingdao SinoHi Marine Technology Co., Ltd*, Qingdao 266555, China)

Abstract: It is high difficulty and low efficiency to implement traditional field topographic survey methods in gulf region. And the topographic data of the land part and the nearshore underwater part are relatively independent, and also the coordinate reference system is not unified. All these have brought inconvenience to the practical topographic research and application in the coastal areas. In order to reduce the amount of field work and improve the efficiency of data utilization, a technical scheme of UAV photogrammetry combined with bathymetric technology is studied. The UAV photogrammetry is used to acquire the terrain data of the land part in the gulf region and the bathymeter is used to obtain the topographic data of the sea-floor in the nearshore part of the gulf region. The complete and unified terrain data of the gulf region is thus obtained through data fusion and by using professional software. It has been verified by experiments that this scheme is feasible and effective and can achieve the goal of reducing field work amount and improving work efficiency.

Key words: gulf region; topographic survey; UAV; photogrammetry; bathymetry

Received: March 9, 2020