引文格式：林晓静. 船载一体化测量技术在航道测量中的应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(10): 62-64. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.10.015

船载一体化测量技术在航道测量中的应用

林晓静[1]
（1. 湖北省测绘工程院，湖北 武汉 430074）

摘　要：针对当前长江航道不同地形条件的特点，结合当前高新测绘技术的发展，提出一套基于船载的水上水下多种测绘技术协同采集与数据融合处理的技术流程，讨论了船载平台及测量设备的选择，介绍了水下数据采集和水上数据采集两部分工作流程，分析了一体化测量系统集成及协同作业方式以及多源数据的融合处理与应用等，通过实例测量对获取的数据进行成果检核及评价，平面和高程精度均满足航道测量中的规范要求。最后分析相关结论及存在的问题，结论具有一定的工程借鉴和指导意义。

关键词：水上水下一体化测量；长航道测量；激光雷达；数据融合
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）10-0062-03

Application of Ship-borne Integrated Measurement Technology in Waterway Surveying and Mapping

LIN Xiaojing[1]
(1. Hubei Institute of Surveying and Mapping, Wuhan 430074, China)

Abstract: Combining with the development of current high-tech surveying and mapping technologies, we proposed a set of technical procedures for collaborative acquisition and data fusion processing of above-water and under-water surveying and mapping technologies based on ship-borne considering the current characteristics of different terrain conditions in the Yangtze River waterway. We discussed the selections of ship-borne platform and measuring equipment, and introduced the workflow of above-water and under-water data acquisition. We checked and evaluated the obtained data after analyzing the integrated measurement system and the fusion processing and application of multi-source data, and found that the accuracy in horizontal and vertical could meet the standard requirements in the waterway survey. Finally, we analyzed the results and problems which could be conducive to engineering projects.

Key words: above-water and under-water integrated measurement, Yangtze River waterway measurement, LiDAR, data fusion

近年来，无人机低空摄像测量、多波束扫测、三维激光扫描等高新测绘技术发展迅速并被广泛应用[1-2]，但各种测量手段既各有所长，也各有所限。以长江航道测绘项目的应用现状为例，项目实施过程中无人机航测、三维激光扫描等高新测绘技术均有局部应用，但尚未实现“空、地、水”一体化协同作业以提供整个测区水上和水下的整体地形图，未形成系统性的优势[3-4]。因此，使用水上水下一体化监测技术来进行长江航道数据扫测，同时获取航道水上和水下的连续无缝、坐标统一的点云和水底数据显得尤为重要。本文针对长江航道测量不同的地形条件特点，通过实验与分析，形成了一套水上水下一体化测量系统集成、作业、数据采集、处理、建模及融合的完整技术路线，为长江干线航道一体化快速测绘提供技术支撑。

1　水上水下一体化测量系统架构

1.1　系统组成

船载水上水下一体化测量系统（以下简称“一体化测量系统”）是将多种测绘传感器集成在同一个载体上，进行空中、地面及水下的一体化测绘，同步采集多目标数据[5-6]。一体化测量系统主要由船舶载体平台，搭载多波束/单波束测深仪、三维激光扫描仪等设备组成。本次测量中根据长江上中下游地理环境使用其中一种或多种设备。

1.2　系统的软硬件设备

1.2.1　船载平台

船载平台主要包括有人船和无人船2种。根据吃水深度要求，1 cm以上水深可使用有人船，20 cm以

收稿日期：2022-06-17。
项目来源：湖北省自然科学基金资助项目（2021CFA039）。
作者简介：林晓静（1986—），硕士研究生，工程师，研究方向为GNSS数据处理，E-mail：545359961@qq.com。

上水深区域可使用无人船。实际工作中，综合考虑测区范围大小、水深、风浪、流速等情况选择合适的船载平台。

1.2.2　测深仪

测深仪主要包括多波束和单波束2种。单波束测深单次测量只能获得测量平台垂直下方一个水深值，数据量少，在反映复杂水下地形方面欠缺。多波束测深发射波束向下呈较大的扇形开角，可以在测量断面内形成多个测深点，有较宽的扫幅和较高的测点密度，对于河底地形复杂区域如深槽、浅包、礁石、障碍物等，较易获得详细的水下地形信息。多波束测深系统适用于水深较大的区域，可充分发挥测深的高效率，同时也可避免探头的损坏，浅水区域则适用单波束测深仪。

1.2.3　三维激光扫描仪

三维激光扫描仪为脉冲式和相位式2种。脉冲式的特点是射程远，主流测程在400~2 000 m；相位式的特点是射程近、精度高、速度快，射程一般小于2 00 m。根据长江航道远距离扫描测量特点，长江中下游河道逐渐变宽，要求更远的扫程，宜采用1 000 m以上扫程。脉冲式三维激光扫描仪适用于长江航道地形测量。

国产三维激光扫描仪厂商有华测导航、北科天绘、海达数云等，目前随着国产设备在性能和稳定性上的稳步提升，选择的设备也越来越多，例如华测现在有AS300、AS900、AS1300等多种型号，且国产厂家在售后服务响应方面会更为及时，维修成本低，软件齐全。

1.2.4　数据处理软件

数据处理软件包括水下数据处理软件、水上数据处理软件和数据融合分析软件。测深仪获取的水下数据和激光雷达获取的水上数据分别通过专业的水上、水下数据软件进行处理，生成水下和水上点云数据，导入到“长江航道多源数据融合处理及成果可视化动态展示软件”，进行多源数据融合、处理及分析。

其中，主流的多波束测深仪商业软件有Caris（编辑能力强、界面效果漂亮）、Geocap（点云功能强大）、triton（操作简单）、MbSystem（开源软件）、Hypack等，各设备厂家也自带数据处理软件。

三维激光扫描仪主要为厂家自带的软件，一般以点云处理为主（滤波、编辑、拼接、渲染），不同程度地进行一些点云测图（点线面地物要素采集、符号库）、点云建模（线面拟合）、三维实景及数据输入输出等操作，如华测设备配套的点云数据处理软件Co-Process。

2　作业流程

船载水上水下一体化测量系统分为水下数据采集和水上数据采集两部分，在水深测量的同时完成两岸地形测绘。本文采用船载三维激光扫描与船载测深仪协同作业、采集以及融合的作业模式。

1）作业准备。主要包括收集测区已有的相关资料。

2）航线规划。根据测区范围，规划船舶航线。

3）基站选择。基准站可选择长江CORS、当地省CORS、千寻或者自架基准站的RTK和PPK服务。

4）系统校准。一般情况下船载设备无法绝对静止，通常在船载设备开机后让船体进行高动态运动使IMU设备对齐，同时在测深之前需进行测深系统校准工作。

5）数据处理。测深仪获取的水下数据和激光雷达获取的水上数据分别通过专业的软件处理，分别生成水下和水上点云数据，导入到“长江航道多源数据融合处理及成果可视化动态展示软件”，进行多源数据融合、处理及分析。

3　数据处理

数据处理主要包含测量后多源数据的融合、数据噪声抑制、格网点云数据生成等具体步骤[7-8]。其中，水下数据和水上数据分别处理完成后再融合。

1）数据整理与解析。外业数据采集后，对已采集的激光扫描仪数据，测深数据和惯性导航数据进行下载并备份。利用数据预处理软件对船载一体化测量系统多个传感器数据进行解析获取后期制作数据成果所需测量点信息。

2）数据改正。将解析获得的水上激光扫描数据和水深数据分别进行各项改正。

3）数据融合。首先，导入惯导姿态数据，根据检校参数得到各个时刻激光扫描仪和测深仪中心点的坐标及姿态，导入原始激光数据和测深数据，得到测点在传感器坐标系下的坐标，然后根据测量时间对应查找传感器获取测量点信息时刻的位置与姿态，计算测点的三维坐标。

4）成果输出。输出测量、处理、改正并归化到规定基准面后的数据。

4 数据成果检核评价

4.1 水深数据检核

本文采用多波束测量数据与无人船单波束检核测量数据及多波束检查线数据进行比对的方法，检验多波束测量数据的质量采用多波束及单波束检查线2种方式，检查线测线布设严格按规范要求进行。

本次实验区位于长江中下游河段，包括张家洲试验区（测区1）和沙洲试验区（测区2），在2个测区的多波束水深数据中，选取一定数量的水深点进行比对，比对统计结果见表1。

部分检查线高程点与主测深线误差较大的，经校核，其位置与主测线点位相差较远，与等高线仍相对吻合；同点位的检测线高程点与多波束高程点误差在0.1~0.12 m以内。

表1 检查线与多波束测点对比统计表

测区	高程误差区间/m	点数/个	百分比/%
测区1	0≤△≤0.1	19 635	90.07
	0.10<△≤0.20	1 618	7.42
	0.20<△≤0.30	438	2.01
	△>0.3	109	0.5
测区2	0≤△≤0.1	21 132	90.97
	0.10<△≤0.20	1 398	6.02
	0.20<△≤0.30	467	2.01
	△>0.3	232	1

4.2 多波束水下测量评价

本次水下地形测量采用有人船多波束扫测的方式进行，为检验多波束测量的可靠性，用无人船检核了多波束测量总测线的6%。通过以上对比分析，多波束测深总的精度情况见表2。可以认为，本次波束水下测量资料是可靠的，精度符合规范及技术设计书的要求。

表2 多波束水深比对结果

测区	平面误差/m	高程误差/m	最大位置偏移量/m	最大高程误差/m
测区1	<0.33	<0.33	0.30	0.33
测区2	<0.35	<0.35	0.12	0.35

4.3 激光雷达数据检核

激光雷达数据主要使用华测自研软件CoPre1.0、CoRefine、CoProcess2.0和点云处理软件QTModeler，辅以人工检查相结合的方法对成果各项指标进行检查。

4.4 平面与高程精度检查

为检核激光雷达数据的精度，实施测量时，在沙洲水道测区选择了10个、在张家洲水道测区选择了41个具有明显特征的点进行观测，获取其精准的平面坐标及高程值，与激光雷达采集的点云数据中的同名点进行比对，以获取点云的平面及高程精度。计算所得的中误差值均满足规范的精度要求。

5 总结及存在的问题

长江航道水深变化较大，主航道水流急，且来往船只较多，不宜采用无人船搭载测深仪。而采用多波束测深系统布设航线时，应依据水深情况兼顾效率与重叠度。声速剖面仪尽量选深的地方下放，保证声剖可以涵盖全部水深。此外，长江航道一般测区较大测深效率极慢，建议采用分块测量方式。水深检测目前多采用单波束测检查线与多波束叠加检查，比对重合点的水深。

现有滤波算法在数据处理上具有局限性[8]，三维激光点云滤波多采用交互式滤波与自动滤波，忽视了系统误差对高度与深度的影响，并未根据误差源类型与特点进行相应滤波削弱误差；当前的船载水上水下一体化测量系统对激光雷达系统和多波束测深系统的检校工作大部分是分开进行[9]，即水上水下的传感器使用不同的目标物或标定场，角度安装系统误差和偏移量系统误差检校分开进行，这也使得船载一体化测量系统检校工作较为复杂。

参考文献

[1] 边志刚,王冬.船载水上水下一体化综合测量系统技术与应用[J].港工技术,2017,54(1):109-112

[2] 赵春明,叶作安,谢志茹,等.水上水下一体化测量技术探讨[J].中国水运(下半月),2016,16(9):287-290

[3] 石硕崇,库安邦,明平寿.航道测绘现状及发展[J].测绘与空间地理信息,2018,41(11):236-237

[4] 陈科,王冲,闻平,吴杰,等.利用多传感器集成和数据融合实现水上水下一体化测绘[J].测绘通报,2017(3):76-79

[5] 吴琼,刘胜震,杨盼,等.水上水下一体化测绘关键技术研究[J].地理空间信息,2020,18(1):32-35

[6] 余建伟,刘守军.中海达船载水上水下一体化三维移动测量系统[J].测绘通报,2013(7):119-120

[7] 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

[8] 肖冰.激光和多波束点云水陆地形数据整合研究[D].泰安:山东农业大学,2018

[9] 石硕崇,周兴华,李杰,等.船载水陆一体化综合测量系统研究进展[J].测绘通报,2019(9):7-12