

Analysis and Discussion of the Multi-Beam Sounding System in Jingjiang River

Xiangcheng Xie*, Yu Deng, Xiuwei Lai, Rufu Zhou

Jingjiang Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, The Hydrological Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Jingzhou Hubei
Email: *xxc811219@163.com

Received: Oct. 8th, 2019; accepted: Nov. 12th, 2019; published: Nov. 19th, 2019

Abstract

Single-beam topographic survey in accordance with cross-sectional method is mainly used to achieve the continuity of topographic map by grid interpolation because there is no data between the lines, which will lead to the distortion, exaggeration or suppression of the terrain through interpolation smoothing. The multi-beam bathymetric system belongs to the planar measurement system. In order to verify the technical characteristics of multi-beam, the technicians conducted comparative tests and analysis on the multi-beam system. The plane area and revetment slope area are selected in the experiment. By using multi-beam, single-beam and traditional RTK measurement modes in high and low water periods, some conclusions are drawn, which can provide scientific reference for the popularization and application of multi-beam bathymetric system.

Keywords

Hydrographic Survey, Multi-Beam Sounding System, Accuracy Analysis

多波束测深系统在荆江河段应用初探与精度分析

解祥成*, 邓宇, 赖修蔚, 周儒夫

长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州
Email: *xxc811219@163.com

收稿日期: 2019年10月8日; 录用日期: 2019年11月12日; 发布日期: 2019年11月19日

摘要

目前采用单波束按照断面法进行水道地形测时, 由于测线间没有数据, 故在成图时主要通过网格化内插方法实

作者简介: 解祥成, 男, 高级工程师, 大学本科学历, 主要从事河道勘测。

*通讯作者。

现地形图的连续性, 这样会导致地形通过内插平滑而受到歪曲、夸大或抑制。而多波束测深系统属于面状测量系统, 为验证多波束的技术特点, 技术人员对单位引进的多波束系统进行了对比试验及分析。试验选取了平面区域和护岸斜坡区域, 通过高、低水时期, 利用多波束、单波束以及传统RTK等测量模式, 进行对比试验研究, 得出一些结论, 为多波束测深系统推广应用提供科学参考。

关键词

水道地形测量, 多波束测深系统, 精度分析

Copyright © 2019 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

目前, 长江中下游荆江河段河道地形测量基本上采用基于单波束测深、GNSS平面定位的断面测量模式, 其测深数据分布特点是沿航迹数据十分密集, 而在测线间没有数据。所以, 在数据处理过程中, 为了解决测深数据分布不均问题, 均采用数据网格化内插的方法, 预测测线之间数据空白区的水深变化情况和趋势。这种通过网格化内插方法无法探测到尺度小于测线间的微地形, 不仅会产生假地形, 而且也会使测线上已经探测到的小尺度微地形通过内插平滑而受到歪曲、夸大或抑制。

近年来水下地形测量的另外一种方式——多波束测深系统获得了极大地发展, 它突破了传统测深理论的框架, 将世界海洋与河道测深技术发展推上了新的高度。多波束测量是以带状方式进行的, 波束连续发射和接收, 测量覆盖程度高, 对水下地形可100%覆盖, 与单波束比较, 波束角窄, 对细微地形的变化都能完全反映出来, 单波束是点、线的反映, 而多波束则是面上的整体反映。多波束系统同步记录船体姿态信息, 起伏、纵摇、横摇、船向等, 由后处理软件对测量结果进行校正, 使测量结果受外界不利因素影响减少到最低限度。在堤防安全、溃口、崩岸监测、水下工程施工监测、港口及疏浚工程监测、水下物体摸探及打捞等方面具有其他方法不可替代的作用。

本文结合长江中下游荆江河段河道地形测量项目, 对单位引进的Sonic 2024型多波束测深系统与传统单波束测深系统、固定护坡工程RTK测量等传统方式进行对比试验, 并通过各种组合分析, 得出一些结论, 为类似工程测量提供参考, 为多波束测深系统推广应用提供科学参考。

2. 多波束测深系统

2.1. 系统组成

Sonic 2024型多波束测深系统基于第5代声呐结构的多波束测深仪, 是一种多传感器的复杂组合测量系统[1]。它主要由换能器、CARIS数据处理系统、PDS2000声纳处理器、GNSS、运动传感器、声速剖面仪等构成。其系统主要组成部分见图1所示。

本系统最主要的硬件为Sonic 2024换能器部分, 此换能器部分由接收换能器, 发射换能器和连接电缆组成, 主要功能是向水底发射波束, 并接收反射的回波。换能器波束个数达256个, 发射端和接收端呈“T”字形, 工作频率为200~400 KHZ频段内实时可选, 且波束发射角为 10° ~ 160° , 且在线实时可调, 其测深最大量程可大500米, 测深精度为1.25 cm, 发射速率可达75 Hz, 精度符合国际海道测量组织(IHO)S-44精度标准。

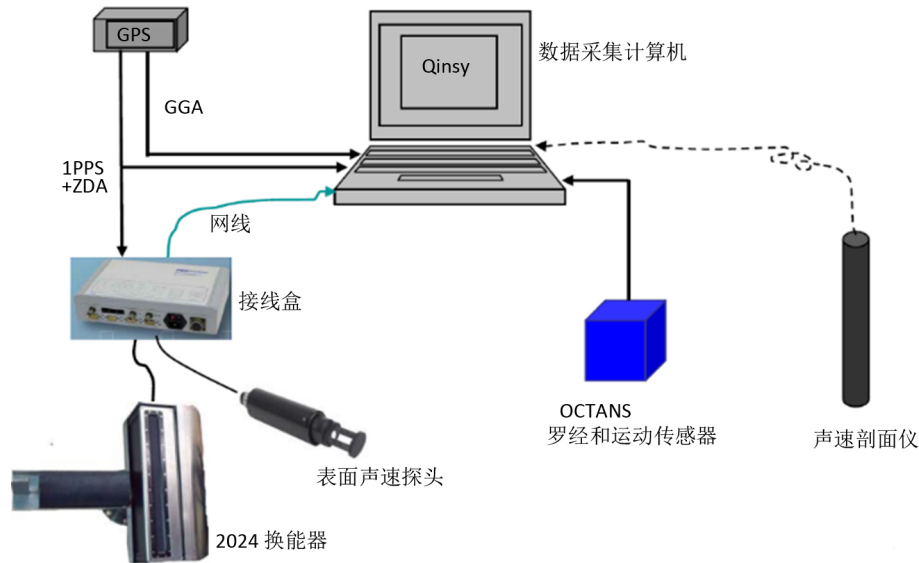


Figure 1. Composition of Sonic 2024 multi-beam sounding system

图 1. Sonic 2024 型多波束测深系统组成

2.2. 系统工作原理

多波束测深系统的工作原理与单波束测深仪的工作原理一样，都是利用声波的反射原理来进行测量的。与单波束测深仪不同的是，多波束测深系统的信号发射和接收是由 n 个组成一定角度分布的指向性正交的两组换能器来完成的。发射单元平行于船纵向(龙骨)方向，并呈两侧对称向正下方发射扇形脉冲声波。接收单元沿船横向(垂直龙骨)排列。在垂直于测量船航向的方向上，通过波束形成技术在若干个预成波束角方向上形成若干个波束，根据各角度声波到达的时间或相位就可以分别测量出每个波束对应点的水深值[2]。若干个测量周期组合起来就形成了一条以测量船航迹为中心线的带状水深图，因此多波束测深系统也被称为条带测深系统[3]。

3. 项目对比分析

3.1. 项目实施

3.1.1. 外业生产

为验证引进的 Sonic 2024 型多波束测深系统在水深测量方面的功能、精度与效益等，单位组织了相关试验，并结合河道项目，选择了长江中下游荆江的郝穴河段、沙市河段等位置进行了相关试验与分析。

本试验项目采用 1954 北京坐标系，横轴墨卡托投影 3° 分带。水下平面利用 GNSS RTK 进行定位，并采用七参数进行 WGS-84 坐标到 BJ-54 坐标的转换，每个试验河段的起算基准均一致。

试验外业生产主要包括：多波束系统设备安装、校正、施测及数据处理等步骤，单波束测深和 RTK 测量为传统精确测量方式。

3.1.2. 数据处理

单波束测深和 RTK 测量为常规测量，数据处理包含数据传输、水深处理、水位推算等。多波束系统数据处理包括数据预处理、数据成果输出和成图几个部分。

多波束系统数据预处理主要包括定位数据处理，声速剖面数据处理，潮位数据处理，姿态数据处理，深度数据处理和数据编辑、去噪、合并、清项；图型处理是对预处理后得到的水深数据进行网格化，生成数字地形模型(DTM)，最终形成河道地形图，数据处理流程如图 2 所示，可见其处理流程复杂，某一方面出错，则会影

响整个数据的精度。

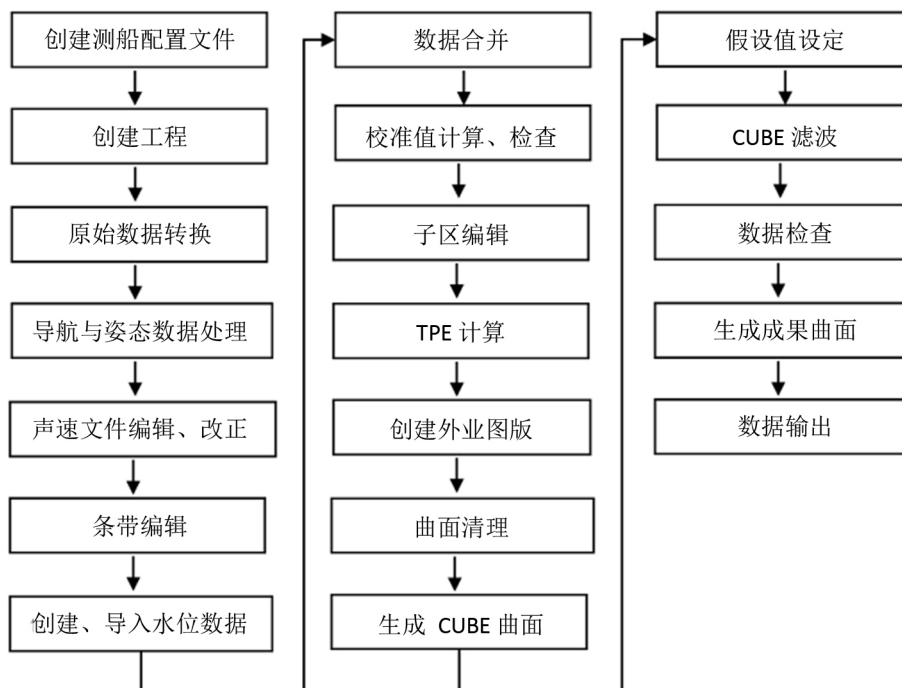


Figure 2. CARIS processing multi-beam data flow

图 2. CARIS 处理多波束数据流程

经过数据处理，最终输出的部分河道 3D 影像如图 3 所示。

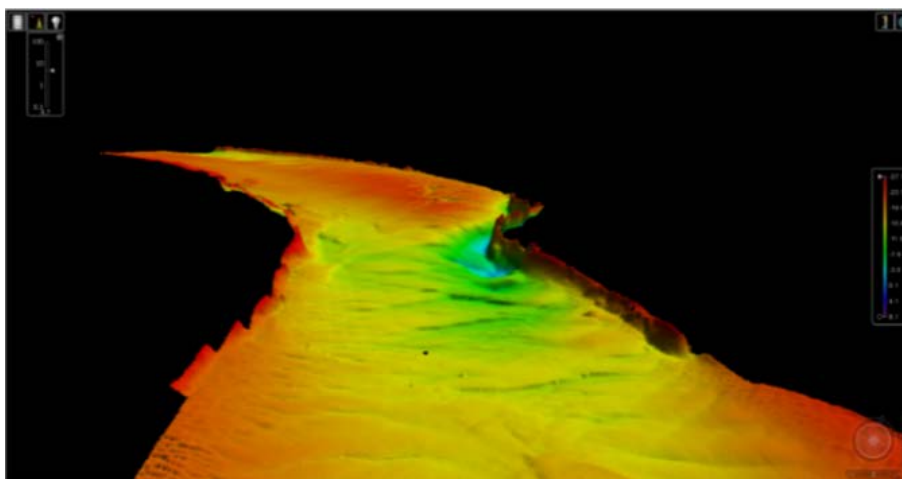


Figure 3. 3-D image generation schematic map of river

图 3. 河道 3D 影像生成示意图

3.2. 数据统计

3.2.1. 数据统计原则

1) 为了有针对性的反映多波束系统在航道等重要区域的扫测结果，将对区域内的所有数据都参与统计分析。

2) 多波束与河道固定护坡工程的对比, 汛前采用传统 RTK 进行散点测量与汛期高水期的多波束扫射数据进行对比分析。

3) 点位对比的原则: 多波束的水深数据按照单波束水道地形测量的计划线进行筛选, 采用起点距相同的点计算高差的方式进行对比, 或者多波束按照不同网格间距输出散点, 通过程序寻找与单波束测点或 RTK 地形散点按照位置最接近点作对比。

4) 体积对比法原则: 采用同一范围内的单波束与多波束测点分别成图后, 再统计同面积范围内的体积法以及不同等深线包含体积的对比方式。

5) 多波束的水深数据筛选方式为不同点距间隔的方式抽稀输出。

3.2.2. 统计方法

为了更真实的反应多波束测量的精度, 本文采用了不同类型设备、多种组合方式进行对比分析, 水下高程点以单波束或 RTK 高程点为模板, 统计方式为:

1) 水深互差统计, 将多波束数据按照 0.5 m 间隔输出, 然后将单波束按照亮点间距最小原则与其进行比较。

2) 体积法统计, 主要有两种方式, 选择多波束按照 1 m、2 m、3 m、4 m、5 m 不同点距与常规单波束进行同面积下的体积对比; 同面积下 31~29 m 不同等深线的方式, 进行比较两种仪器测量数据所包含的体积。

3) 固定的河道水泥护坡统计, 汛期采用传统 RTK 散点测量方式, 高水期采用多波束测量, 再分斜坡与平坦两种区域进行统计分析。

3.3. 精度对比分析

3.3.1. 郝穴河段对比分析

本河段试验项目采用的比例尺为 1:10,000 中比例尺, 试验长度约 4.5 km。因本次试验为中比例尺测量, 故单波束测量时未进行延时改正, 且船速相对较快。

经过数据处理后, 共统计了单波束 HY1601 同步试验数据 23 个断面 456 个典型的地形特征点。水深点高程互差统计以单波束测深数据为模版, 统计数据见表 1 所示, 通过对比分析最大互差为-3.03 m。

Table 1. Statistics of elevation difference of water depth points in 1:10,000 River topographic survey of Haoxue reach (m)

表 1. 郝穴河段 1:10,000 河道地形测量水深点高程互差统计单位(m)

互差分布	$\leq \pm 0.1$	$\pm 0.1 \leq \infty < \pm 0.2$	$\pm 0.2 \leq \infty < \pm 0.5$	$0.52 \leq \infty < \pm 1.0$	$\geq \pm 1.0$
统计个数	174	151	96	25	10
百分比	38.1%	33.1%	21.1%	5.5%	2.2%

取其中一个横断面, 将单波束和多波束测量数据处理成水下河道测量横剖面图进行对比分析, 见图 4 所示(红色为单波束测点, 蓝色为多波束测点)。

通过表 1 和图 4 对比及分析可知:

1) 其误差分布符合正态分布规律。

2) 两者互差 92.3% 的数据小于 0.5 m, 且通过断面对比分析两者吻合较好, 且在平坦地区, 两种仪器水深数据互差较小, 互差较大的基本出现在陡坡或水深突然剧变的位置。

3.3.2. 沙市河段对比分析

本河段试验项目采用的比例尺为 1:1000 大比例尺, 试验过程中严格控制船行速度、严格进行延时改正, 所有测量数据的起算与基准均一致。试验分三个区域, 包括:

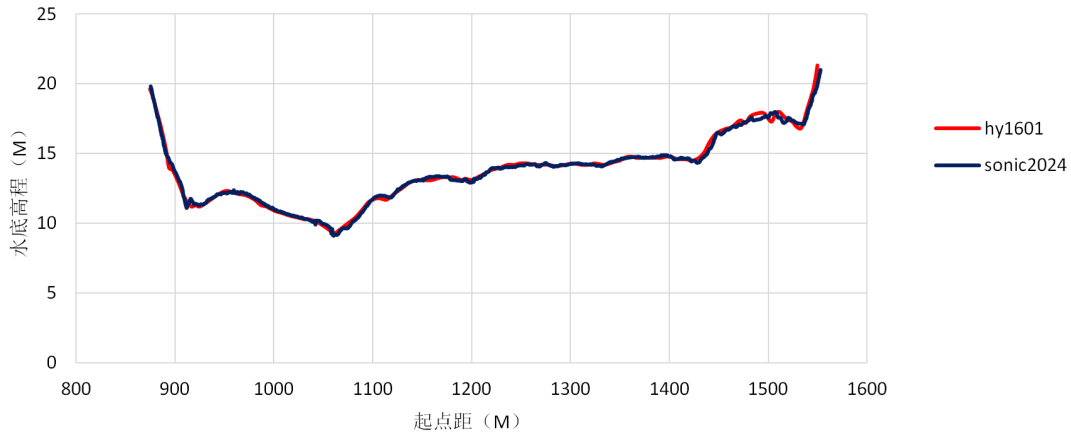


Figure 4. Comparison of single-beam and multi-beam measurements at the same cross-section
图 4. 单波束和多波束同一断面测量对比图

第一区域：河道水下地形测量区域，进行单波束与多波束同步测深精度对比；

第二区域：固定护坡工程的斜坡处，高水期采用多波束扫射，低水期采用传统 RTK 散点测量模式；

第三区域：荆州长江三八滩平坦区域的固定维护工程处，测量方式为高水期采用多波束扫射，低水期采用传统 RTK 散点测量模式。

沙市河段三个区域试验数据对比分析如下。

1) 测深精度对比

第一区域数据经过处理后，共统计了单波束 HY1601 同步试验数据 36 个断面 2344 个典型的地形特征点。水深互差统计以单波束测深数据为模版，其统计结果见表 2 所示，通过对比分析最大互差为 1.42 m。

Table 2. Statistical analysis of the difference between multi-beam and single-beam underwater elevation points in Shashi river reach (unit: m)

表 2. 沙市河段与单波束水下高程点互差统计(单位: m)

互差分布	$\leq \pm 0.1$	$\pm 0.1 \leq \infty < \pm 0.2$	$\pm 0.2 \leq \infty < \pm 0.5$	$0.5 \leq \infty < \pm 1.0$	$\geq \pm 1.0$
统计个数	705	613	910	107	9
百分比	30%	26.2%	38.8%	4.6%	0.4%

通过分析对比，其误差的极值主要分布在岸坡区域。表 2 数据统计显示 95% 的互差在 0.5 m 以内，且极值分布优于郝穴河段，这主要因不同比例尺测量时，外业的设置、测量的船速、数据采集的时间同步性等有关。

2) RTK 地形点对比

第二、三区域固定护坡工程 RTK 测量点与多波束扫射统计分析见表 3、表 4 所示。分斜坡和平坦两种区域进行了统计分析。其中斜坡段最大互差为 0.392 m，平坦区域最大互差为 0.39 m。

Table 3. Statistical analysis of elevation difference of fixed slope protection project in Shashi river reach (slope) (unit: m)

表 3. 沙市河段固定护坡工程高程点互差统计(斜坡) (单位: m)

互差分布	$\leq \pm 0.1$	$\pm 0.1 \leq \infty < \pm 0.2$	$\pm 0.2 \leq \infty < \pm 0.5$	$0.5 \leq \infty < \pm 1.0$	$\geq \pm 1.0$
统计个数	172	113	48	2	0
百分比	51.3%	33.7%	14.3%	0.7%	0%

Table 4. Statistical analysis of elevation difference of fixed slope protection project in Shashi river reach (flat terrain) (unit: m)**表 4.** 沙市河段固定护坡工程高程点互差统计(平坦)(单位: m)

互差分布	$\leq \pm 0.1$	$\pm 0.1 \leq \infty < \pm 0.2$	$\pm 0.2 \leq \infty < \pm 0.5$	$0.5 \leq \infty < \pm 1.0$	$\geq \pm 1.0$
统计个数	80	206	25	0	0
百分比	25.8%	66.2%	8%	0%	0%

通过表 3 和表 4 的对比分析可知:

1、其误差分布均符合正态分布规律。

2、通过表 3 及表 4 的固定护坡工程对比, 85%以上的互差在 0.2 m 以内, 且平坦区域精度高于斜坡区域, 这也表明采用测船进行水下地形测量时, 其精度影响因素较多, 而传统 RTK 测量模式则相对较少。

3) 体积法对比

根据沙市河段的比测数据, 利用单波束测深仪数据绘制了 5 m 点距的地形图, 多波束数据按 1~5 m 不同点距绘制了的地形图, 分别建立 DTM 模型, 计算相同面积下不同多波束点距或者多种等深线所围体积, 并计算相对误差(多波束测深系统在不同点距, 与单波束测深系统计算面积的百分比), 具体如表 5、表 6 所示。

Table 5. Statistical table of volume difference between different points in the same area of 1:1000 River topographic survey in Shashi reach**表 5.** 沙市河段 1:1000 河道地形测量同面积不同点距的体积互差统计

方式	多波束测深计算体积		单波束测深仪	差值统计
	点距	体积	测点间距 5m 体积	
1	1.0 m	1,505,438.73		0.15%
2	2.0 m	1,512,611.21		0.33%
3	3.0 m	1,518,974.31	1,507,665.68	0.75%
4	4.0 m	1,523,209.32		1.03%
5	5.0 m	1,527,054.79		1.29%

通过表 5 对比及分析可知: 若将单波束测量值作为真值, 在进行多波束数据后处理时, 点距取值越小则越接近真值。

Table 6. Statistical table of volume difference of different Isobaths in the same area of 1:1000 River topographic survey in Shashi reach**表 6.** 沙市河段 1:1000 河道地形测量同面积不同等深线的体积互差统计

不同等深线	多波束测深计算体积	单波束测深仪计算体积	体积差	差值统计
33 m	1,092,619.87	1,093,578.32	-958.45	0.022%
32 m	969,966.34	970,615.24	-648.9	0.011%
31 m	848,915.08	849,300.29	-385.21	0.011%
30 m	730,759.64	730,843.03	-83.39	0.003%
29 m	615,346.49	615,143.73	202.76	0.008%

通过表 6 的对比及分析可知: 通过同面积不同等深线的体积互差分析, 以及前面护坡的平坦与斜坡工程的对比分析可知, 多波束在平坦区域测量与传统测量数据吻合良好, 陡坡区域略差。

4. 结论与建议

4.1. 结论

1) 通过不同传统的测量方式与多波束进行试验数据对比分析, 测点高程互差 90%以上在 0.5 m 范围之内, 误差分布符合正态分布规律, 说明仪器设备在功能上满足生产需要。

2) 试验数据分析表明, 无论单波束、多波束在斜坡或陡坡区域进行测量时, 会因船速、波束开角、时间同步等因素造成测量误差的存在。

3) 工作经验表明, 在深水区大比例尺水下扫射、水底表面障碍物探测、抛砂石检测、码头选址、水下桥墩测量、高洪近岸崩岸测量及库区大水深测量等多方面, 多波束测深系统测量在时效性、真实环境的实现上具有无可比拟的优点。

4) 多波束与单波束相比, 具有高分辨率、水下地形全覆盖的特点, 且在水深不超过 50 m 的水域中, 根据其两者的不同波束开角, 可知多波束能保证测点距为 1 m 或更小; 而单波束测点距只能勉强达到 5 m。

5) 对于长范围小比例尺水下地形测量、浅水域所占比重较大区域不建议采用多波束测量, 因多波束测量系统主要采用纵断面测量方式, 且不同测线需要一定重复扫描, 且测量宽度与水深正相关, 故采用多波束测水下测图比较耗时误工。

4.2. 建议

1) 单波束测量岸坡、多波束的边缘波束扫射岸坡均会出现误差, 故在外业测量时, 单波束应控制船速[4], 设置好延时改正; 多波束则应尽量避免边缘波束扫射岸坡区域。

2) 多波束测深系统的误差具有复杂性和隐蔽性。河道底质情况、人为操作、系统参数设置、多波束仪器的自噪声、测船的本底噪声、其他设备的声波干扰、周围船舶对水体的扰动、水底底质对声波的影响等等, 都会不同程度地给多波束系统的正常测量工作带来的一定的干扰与影响。因此, 在多波束系统作业的各个阶段, 必须进行周密细致的布置、切实有效的质量控制、科学正确的精度评估, 才能有效的提高多波束测深成果质量, 充分发挥多波束测深系统的优越性[5]。

参考文献

- [1] 赵建虎, 刘经南. 多波束测深系统的现状和发展趋势[J]. 海洋测绘, 2002(5): 7-10.
ZHAO Jianhu, LIU Jingnan. Present situation and development trend of multi-beam sounding system. Hydrographic Surveying and Charting, 2002(5): 7-10. (in Chinese)
- [2] 李成刚, 王伟伟, 阎军, 等. 传统多波束系统与具有相干特点的多波束系统的研究[J]. 海洋测绘, 2007, 27(2): 70-80.
LI Chenggang, WANG Weiwei, YAN Jun, et al. The study on traditional multibeam and interferometric multibeam. Hydrographic Surveying and Charting, 2007, 27(2): 70-80. (in Chinese)
- [3] 李家彪, 等. 多波束勘测原理技术与方法[M]. 海洋出版社, 1999.
LI Jiabiao, et al. Principle, technology and method of multi-beam measurement. Ocean Publishing, 1999. (in Chinese)
- [4] 赵建虎, 刘经南, 周丰年. GPS 测定船体姿态方法研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(4): 353-357.
ZHAO Jianhu, LIU Jingnan and ZHOU Fengnian. Method in determining vessel attitude with GPS. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 2000, 25(4): 353-357. (in Chinese)
- [5] 樊小涛. 多波束勘测原理技术与方法多波束与单波束测深技术应用精度对比及实用性分析[J]. 测绘学会, 2014.
FAN Xiaotao. Principle and method of multi-beam prospecting accuracy comparison and practicability analysis of multi-beam and single-beam sounding technology. Society of Surveying and Mapping, 2014. (in Chinese)