

影响载体搭载多波束测深系统 数据精度的误差分析^{*}

冯湘子

(中海油田服务股份有限公司 物探事业部,天津 300451)

摘要:相对于船载多波束系统而言,载体搭载多波束系统的精度受更多因素的影响。主要包括水下导航定位误差和压力传感器误差,这些误差会影响载体搭载多波束所获取的数据质量,降低所获取的水深精度,不利于进一步的分析和解释。本文分析了几类拖体调查水深的影响因素,并结合近期综合深水调查项目中现场所获取的资料,分析载体搭载多波束数据精度的实际误差,为现场作业和综合分析提供参考和依据。结果表明,作业前的校准工作对载体搭载多波束的数据精度影响较大,而在水深较浅的区域,采用船载多波束的所获取的水深精度较高。

关键词:多波束;深拖;无人遥控潜水器;自主式水下潜器;精度分析

中图分类号: P733

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2015.04.007

随着海洋工程勘察向深水迈进,船载仪器的调查方法已经不能满足调查需求,多种载体搭载仪器在水下进行调查的技术愈发成熟。经过近十几年来的应用,船载多波束测深的现场作业规范和解释方法已相当成熟,但相对于船载多波束而言,载体搭载多波束系统需要经过更复杂的归位计算,涉及更多的仪器设备和更多样的影响因素。随着载体搭载多波束系统在各海区作业的开展,其数据精度的问题也逐渐引起了重视,国内对于此方面还未开展相关的研究。本文结合近期的综合水深调查项目中的现场资料,分析说明载体搭载多波束测深数据误差来源及数据可信程度。

1 水下搭载作业方式

目前主流的海洋勘察作业载体有深拖系统、ROV 和 AUV 等。

深拖系统(Deep Tow system,DT)是拖曳于船后的深海工程勘察系统。在一个拖曳式航行器上安装导航定位系统、多波束测深系统、侧扫声呐系统、浅地层剖面系统、磁力仪等,可进行地形、地貌、浅地层、管缆等综合调查。由水面上的母船用铠装缆沿离海底一定高度上拖曳进行调查。

ROV(Remote Operated Vehicle)即无人遥控潜水器,系统组成包括导航定位系统、动力推进器、电子通讯装置、摄像头、凯夫拉零浮力拖缆等单元部件,分为观察级和作业

^{*} 收稿日期:2015-05-06

作者简介:冯湘子(1986-),男,硕士,工程物探工程师,主要从事海洋勘察方面工作, E-mail:fengxzbox@163.com

(李 燕 编辑)

级。在海洋工程勘察领域一般使用作业级 ROV 搭载多波束系统、侧扫声呐系统、浅地层剖面系统、磁力仪等,进行海底工程勘察作业;或者直接用自带摄像头和机械手,进行海底取样、水下打捞、水下设施的检测和维护等。

AUV(Autonomous Underwater Vehicle)即自主式水下潜器,相对于 ROV 而言,其活动范围不受电缆限制、机动性好、安全、智能化程度高,可以预编程进行海洋工程勘察作业,作业效率较高。

3 种作业方式差异见图 1。深拖(图 1a)作业时通过铠装缆拖曳并提供电力和传输数据,通过 USBL 进行定位;ROV(图 1b)作业时通过铠装缆提供电力和传输数据,通过 USBL 进行定位;AUV(图 1c)作业时无线缆链接,通过自身电池供电,并将数据记录在内部,通过 USBL 获取定位信息。

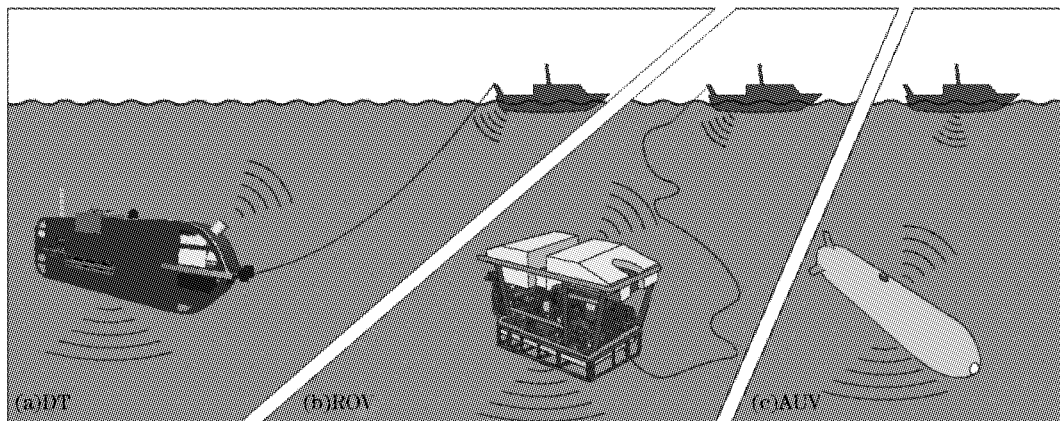


图 1 拖体作业方式示意图

Fig. 1 A sketch of the operational mode of towed vehicles

这 3 类载体虽然工作方式和原理各不相同,但其搭载多波束测深系统(Multi-Beam Echo Sonar, MBES)进行水深测量作业的基本影响因素基本一致。

2 数据精度影响因素

载体进行水深测量作业时,数据运算的流程为:多波束系统接收回波记录双程旅时(Two-way Travel Time)、波束脚印方位角和俯角,结合声速剖面计算载体与波束脚印的距离 L ;根据载体的姿态传感器(Motion Reference Unit, MRU)计算波束脚印方位角和俯角,进一步计算波束脚印相对载体的平面坐标 x, y 相对载体的深度 d_2 ;根据 USBL 定位数据、母船艏向及母船姿态确定载体相对于母船的坐标 X, Y ;根据压力传感器(Pressure Sensor)确定载体所在水深 d_1 ,再结合载体艏向、母船 GPS 坐标,计算出波束脚印的实际坐标。

相对于船载多波束而言,载体多波束测量的额外误差主要是确定载体相对母船的坐标 X, Y 和深度 d_1 ,即水下导航定位误差和压力传感器误差(图 2)。

2.1 水下导航定位

对水下载体进行导航定位的方式有长基线定位方法、短基线定位方法和超短基线定位等方式,其中无需海底基阵的超短基线定位系统(Ultra-short baseline system, USBL)

应用较为广泛^[1]。

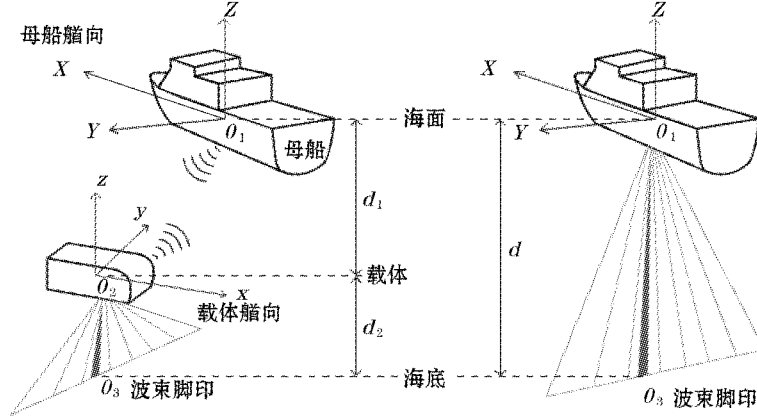


图 2 载体多波束与船载多波束模式对比

Fig. 2 Contrast between the working modes of the vehicle-mounted MBES and the vessel-mounted MBES

超短基线定位系统的主要目的是通过测量水下目标的方位角和距离获得目标位置,因此其主要误差来源可以归结为两个方面:测距误差和测向误差^[2]。较主流的 USBL 产品,其标称的距离精度一般为量程的 0.2%~0.5%,角度精度为 0.1°~0.5°。

实际作业过程中影响定位精度的因素主要包括:

- 1) 噪音干扰,造成测向误差;
- 2) 母船姿态变化,造成测向误差;
- 3) 声速测定误差,造成测时误差,声线折射会造成测向误差;
- 4) 水听器基阵安装偏移,造成测向误差。

2.2 压力传感器

根据水下压力计算载体至海面的距离 d_1 。载体进行多波束水深测量作业时,一般离海底较近而离海面较远,因此压力传感器误差是水深测量的主要误差。为了适应全水域作业,载体一般都会安装量程较大的压力传感器,以 Paroscientific 公司的 Series 8B 和 8CB Depth Sensors 为例,这类石英谐振式压力传感器量程为 7 000 m,标称精度为满量程 (Full Scale, FS) 的 0.01%,即精度只有 0.7 m。

在载体上的运动传感器也可以提供灵敏度和精度较高的起伏 (Heave)、横摇 (Roll)、纵摇 (Pitch) 等姿态参数,Heave 数据与压力传感器提供的水深均反映载体在水中的起伏变化,不能同时参与计算^[3];由于 Heave 数据不能反映载体在海面下的深度,因此在计算时使用的是压力传感器记录的载体深度。但是通过提取多波束原始数据对比(如图 3,深拖搭载多波束作业),可见运动传感器所提供的 Heave 数据频率高、姿态平滑、稳定性好、可信度高,相比之下,压力传感器所提供的载体深度数据频率低、跳点多、稳定性差、可信度低^[4]。

根据压力传感器的计算公式^[5]:

$$z = \int_{P_{ATM}}^{P_V} \frac{1}{\rho(S, t, p) g(L, p)} dp \quad (1)$$

式中, z 为水深 (m); P_V 为载体所测压强 (Pa); P_{ATM} 为标准大气压 (Pa); S 为盐度; t 为温度

($^{\circ}\text{C}$); p 为压强 (Pa); L 为纬度; $g(L, p)$ 为重力 (m/s^2); $\rho(S, t, p)$ 为密度 (kg/m^3)。

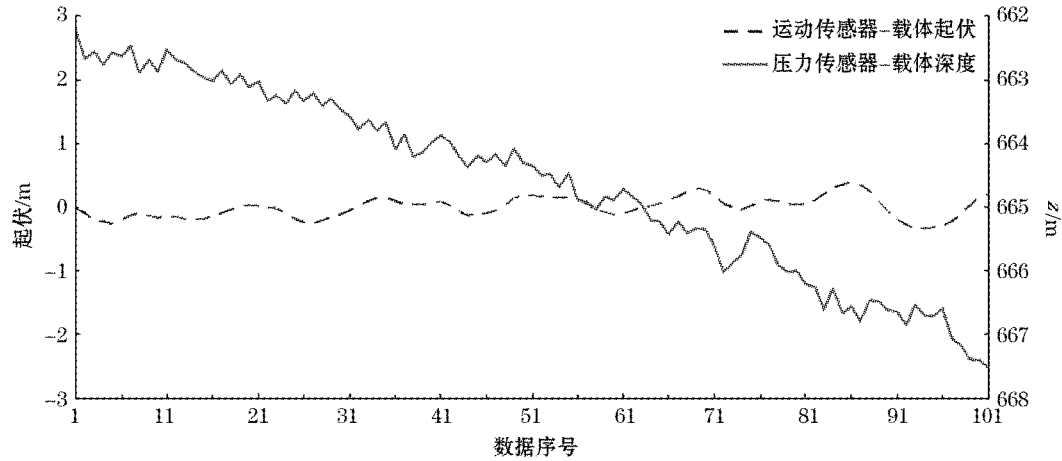


图3 运动传感器与压力传感器灵敏度对比

Fig. 3 Comparison of sensibilities between the motion sensor and the pressure sensor

根据式(1),压力传感器进行深度计算需要较多参数,包括盐度、温度、纬度、重力加速度、海水密度等,在实际作业时这些参数的精确程度直接影响到所测深度的精确度^[6]。

3 实例分析

选取两次作业成果进行对比分析,作业 A 和 B 为在中国南海海域开展的平台场址定点水深调查,水深 300~500 m,采用船载多波束系统、深拖搭载多波束系统、ROV 搭载多波束、钻孔水深、CTD(温盐深仪)测深等多种方式长时间进行观测(遵循保密原则,所有水深数据均减去一随机常量)。调查结果如表 1 所示。

表1 作业 A 和 B 调查设备与结果

Table 1 Equipment used and results obtained in survey A and B

调查方式	水深/m		设备型号	备注
	作业 A	作业 B		
船载多波束 1	375.6	450.1	EM302 多波束	踏勘调查
船载多波束 2	375.7	450.1	EM302 多波束	井场调查
CTD 测水深	375.3	449.9	COMPACT-CTD Lite	CTD 压载重物投入海底,记录坐标和深度
ROV 搭载 CTD	375.7	449.6	COMPACT-CTD Lite	ROV 载 CTD 航至预定位置海底,长时间观测
ROV 搭载多波束	374.6	448.6	EM2040 多波束 Paroscientific Series 8CB Depth Sensors	井场精细调查
深拖搭载多波束	374.5	448.4	EM2000 多波束 Paroscientific Series 8CB Depth Sensors	路由调查
钻孔水深	374.8	449.4	深水工程钻机 NaviSound 630DS/6000 单波束	基板安装 CTD,沉降至预定位置,长时间观测; 单波束测深仪同时测量

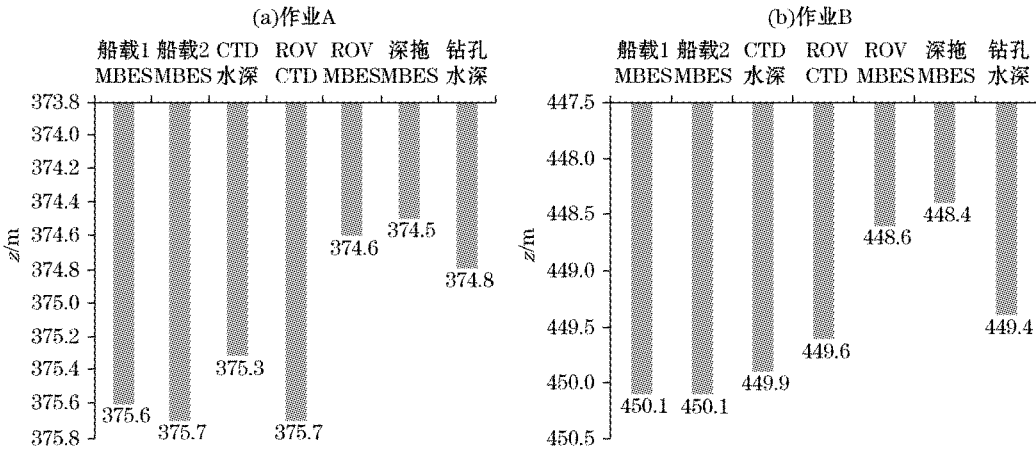


图 4 多种方式获得水深资料成果对比

Fig. 4 Comparison of the water depth data obtained by different ways

根据各调查设备的精度和采样数据数量(表 2)计算其可信程度:

$$\text{可信程度} = \frac{\text{采样数量}}{\text{设备精度}} \quad (2)$$

通过各个调查设备的可信程度,加权计算综合水深,确定作业 A 和 B 综合水深应分别取 375.3 m 和 449.4 m。相对而言,ROV 和深拖搭载的多波束测深结果浅 0.7~1.0 m,这个差异可以认为是 USBL 定位误差和压力传感器的深度误差共同造成的^[7]。

表 2 作业 A 和 B 调查设备的可信程度

Table 2 The credibility of the equipment used in survey A and B

时 间	调查设备	设备精度/m		采样数量		可信程度	
		作业 A	作业 B	作业 A	作业 B	作业 A	作业 B
2013-05	EM302	0.01	0.01	64	58	6 400	5 800
2014-06	EM302	0.01	0.01	72	56	7 200	5 600
2014-06	EM302	0.01	0.01	56	68	5 600	6 800
2014-08	ROV CTD	0.03+0.90	0.03+1.20	2 065	2 279	2 220	1 853
2014-08	ROV EM2040	0.03+0.01	0.03+0.01	235	263	5 875	6 575
2014-08	深拖 EM2000	0.03+0.01	0.03+0.01	121	138	3 025	3 450
2014-09	单波束钻孔水深	0.10+0.30	0.10+0.40	5 861	4 385	14 653	8 770

4 结 论

- 1)水下载体进行海洋勘察作业作为行业发展的趋势,具备船载设备所无法达到的数据密度和效率,为了在实际作业过程中达到理想的精度,需要在作业前对 USBL 和压力传感器进行严格的检测和校准。
- 2)载体搭载多波束测深系统进行作业的优点是效率高、数据密度大,但是由于其获取的水深精度受更多设备影响,所测精度并不尽如人意。按照目前已有的资料分析认为,在 500 m 水深以内,若要获取精确水深宜采用船载多波束系统进行调查,而要获得精细的地形资料则应采取载体搭载多波束系统进行调查;在 500 m 以深的地区尚无对比资料。

参考文献:

- [1] 田坦. 水下定位与导航技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.
- [2] 汪志明, 田春和. 超短基线系统水下定位误差分析[J]. 测绘信息与工程, 2010, 35(6): 30-31.
- [3] KONGSBERG E M. Series Multi-beam echo sounder EM datagram formats[S]. Kongsberg Maritime AS, 2012, 850-160692/P.
- [4] 阳凡林, 卢秀山, 李家彪, 等. 多波束勘测运动传感器偏移的改正方法[J]. 武汉大学学报, 2010, 35(7): 819-820.
- [5] FOFONOFF N P, P C JR MILLARD. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco technical papers in marine science 44[J]. Unesco Technical Papers in Marine Science, 1983.
- [6] 索利利, 高占科, 朱海庆. 海洋压力测量仪器的校准方法及结果评定[J]. 海洋技术, 2009, 28(3): 130-133.
- [7] 李海森, 陆丹, 魏玉阔, 等. 多波束海底地形等深线快速生成新算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2012, 33(5): 1-6.

Error Analysis of Data Accuracy of Vehicle-Mounted Mutli-Beam Echo Sounder

FENG Xiang-zi

(Geophysical, China Oilfield Services Limited, Tianjin 300451, China)

Abstract: The data accuracy of the mutli-beam echo sounder (MBES) carried on vehicles can be influenced by much more factors than that of the MBES mounted on vessels, which includes mainly the underwater navigation and positioning error and the pressure sensor error. These errors could impact on the quality of the data acquired by the vehicle-carried MBES and then reduce the accuracy of the obtained water depth data, which is not conducive to the further analysis and interpretation. Based on the analysis of the factors influencing the water depth data obtained in several types of deep-tow surveys and combining with the field data obtained in a comprehensive deep water survey executed recently, the actual error of the data accuracy of the vehicle-carried MBES is analyzed. The results show that the calibration work prior to the survey has much effect on the data accuracy of the vehicle-carried MBES, whereas in the shallower waters the accuracy of water depth data obtained by using a vessel-mounted MBES is relatively higher. These provide a reference and basis for field operations and comprehensive analyses.

Key words: multi-beam; deep tow; remotely operated vehicle; autonomous underwater vehicle; accuracy analysis