

基于消声水池的单波束测深仪精度评定方法

王智明¹, 阳凡林^{1,2}, 张会娟¹, 曾超¹

(1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 海岛(礁)测绘技术国家测绘局重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要: 洋海回声测深是目前获得较高精度海底地形的重要手段,但其前提是对测深仪进行准确校正。提出在消声水池内用内符合和外符合的方法来评定单波束测深仪的精度和性能指标。实验表明,该精度评定方法和精度评定软件切实可行,能比较客观地检验测深仪的精度。

关键词: 单波束测深仪;精度评定;内符合;外符合

中图分类号: P229.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2011)06-0055-05

Precision Evaluation Method of Single Beam Echosounder Based on Anechoic Pool

WANG Zhiming¹, YANG Fanlin^{1,2}, ZHANG Huijuan¹, ZENG Chao¹

(1. Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Key Lab of Surveying and Mapping Technology on Island and Reef, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: With the rapid development and utilization of marine resources, we need higher accuracy of submarine topography. At present, the echosounding is the most important method to obtain the high accuracy of submarine topography. This paper designed a method for exact calibrating of echosounder. It proposed that the internal coincidence and external coincidence could be used to evaluate the accuracy and performance indices of the single beam echosounder in anechoic pool. Experiments show that it is feasible to use this method to test and evaluate the accuracy and performance indices of the echosounder. It gave some technical references for accuracy evaluation of oceanographic survey instruments.

Key words: single beam echosounder; precision evaluation; internal coincidence; external coincidence

出海前和返航后对测深仪器的性能指标进行测定,是提高海底地形测量精度的前提。通常,单波束测深仪的内符合和外符合校准是在某一海域,测量船多次测量测线上的水深(用GPS定位来实现测线重复)来检查测深仪的内符合精度,在分析多波束测深系统换能器的横摇校准和时间校准时选择特定海域重复测量进行测试^[1]。由于这种内符合测试是在海上进行,受风浪、船的横摇、纵摇和升沉的影响,GPS定位精度虽然很高,但是,让船沿指定的航线航行难免会有几m甚至几十m的偏航^[2],这种方法本身有很多误差源。本研究提出以海洋测绘试验场为平台来检测单波束测深仪的精度,受外界环境影响小,检测更加客观。

1 检测原理与方法

以海洋实验场为平台,采用外符合和内符合的方法对单波束测深仪进行检测和精度评定。

收稿日期: 2011-09-17

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863计划”项目(2009AA121405-4); 山东科技大学研究生创新基金项目(YCB110008)。

作者简介: 王智明(1985—),男,山东日照人,硕士研究生,主要从事海洋测绘及测深数据处理方面的研究。

E-mail: wangzhiming.77@163.com.

阳凡林(1974—),男,湖北荆州人,博士,教授,主要从事海洋测绘与GPS应用方面的研究。E-mail: yang723@163.com

1.1 内符合精度测试

用同一台仪器,在同一条测线上多次测量水深值,用统计学方法计算重复测线上多次测量的同一位置的水深值的符合程度(中误差)。如果多次测量的同一位置的水深值符合程度好,则认为仪器的内符合精度高^[2-4]。

1.2 外符合精度测试

外符合精度测试的方法有多种,总起来说就是引入更高精度的仪器或是引入更高精度的测量方法来检测另一个仪器的测量精度或者检测另一种测量方法的测量精度,本实验采用两种外符合测试方法:①在水池注水前用全站仪精确测量池底的地形,水池注水后再用测深仪测量池底某一剖面的地形,计算全站仪测量的地形剖面和测深仪测量的地形剖面的中误差,用这个中误差来衡量测深仪的精度。②将测深仪水平放置,测深仪测量的水深值即是探头与水池墙壁之间的距离,测深仪探头的正上方放置 GPS RTK 流动站来实时测量测深仪的平面位置,计算由测深仪测量的距离与由 GPS RTK 测量的距离的符合程度(中误差)来衡量两种测量方法测量的距离的符合程度。

单波束测深仪的外符合测试不仅需要采集测深数据,还需要采集比对数据。在实验水池注水之前用全站仪精确测量池底的地形图,注水以后,测量水面的高程 H_s ,则注水以后的水深可由式(1)计算:

$$h = H_s - H_D \tag{1}$$

其中, H_D —池底的高程。

用式(1)可以将池底的地形图转换成水池的水深图,用水深与测深仪在该测线上测得的水深中误差的较差计算得到外符合测试的中误差,用中误差来评定测深仪的外符合横向测试的精度^[5-7]。

单波束测深仪的横向外符合测试:声波在海水中的传播速度与海水的温度、盐度及深度有关,不同水深处的声速会有差异,所以在垂直测试时声速和池底地形的变化对测试有一定的影响,为了更客观地评定单波束测深仪的精度,消除这些方面的影响,采用横向测试的方法,将单波束测深仪水平放置,由单波束测深变为单波束测距。

如图 1 所示,换能器水平放置,此时测深仪测量的水深值即是换能器到墙壁的距离。换能器到墙壁的距离可以用 GPS RTK 的方法实时测量出来,换能器正上方安置 GPS 流动站,首先,用 GPS 流动站测量换能器正对着的墙壁点的坐标 (x_0, y_0) ,然后把 GPS 流动站安置在换能器的正上方,开始测量后的某一时刻 GPS 的坐标是 (x_i, y_i) ,则可以计算出换能器到墙壁的距离

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \tag{2}$$

测深仪和 GPS 能够连续测量距离,将这两个距离值进行外符合中误差计算得到外符合横向测试的中误差,用这个中误差来评定测深仪的外符合横向测试的精度。

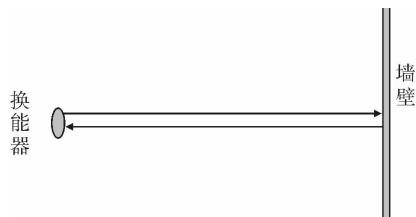


图 1 单波束外符合横向测试示意图

Fig. 1 Sketch of traverse test for external coincidence of single beam

2 数据处理与误差分析

2.1 测深仪的数据采集和预处理

不管是外符合测试还是内符合测试需要采集的都是同一条测线上多次测量的水深数据。外符合测试是从多次测量的数据中选择一次测量的数据跟其他方法测量的数据进行符合,内符合测试是多次测量的数据之间进行符合。不同型号的测深仪数据的记录格式不同,为了便于编写软件统一处理,需要将采集到的数据转换成每一行数据依次是序号、北坐标、东坐标、水深值的格式。计算中误差前,需对原始异常数据进行剔除。剔除测深仪没有追踪到的回波的测深值是 0 的数据、剔除前后测深值相差超过 1 m 的数据,计算数据剔除率,数据剔除率也作为评定测深仪的一个指标,剔除率越大,仪器性能越不稳定。

2.2 寻找对应点和插值

仪器沿直线采集数据,用 GPS 测量的坐标在同一条直线上,对预处理后的平面坐标数据进行坐标转换,让其中一个坐标轴与该测线重合或平行,就可用一维坐标来表示测深仪所处的位置,具体方法如下。

1) 计算测线的斜率

$$k_1 = \frac{N_n - N_0}{E_n - E_0}, k_2 = \frac{N_{n-1} - N_1}{E_{n-1} - E_1}, k = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (3)$$

其中,测线起点坐标 (N_0, E_0) ,测线终点坐标 (N_n, E_n) ,采用 GPS RTK 测量的平面坐标精度在 2 cm 内,测线长度大于 40 m,根据误差传播定律,此种方法计算测线的斜率对坐标转换后的平面坐标影响在 0.2 cm 以内。采用精度为 2 + 2 ppm 的全站仪测量的水池地形平面坐标的误差在 0.3 cm 以内。在测量实施过程中对 GPS RTK 和全站仪在已知点上测量进行对比,误差在 4 cm 以内。

2) 坐标转换

倾斜角 $\theta = \arctan k$,将坐标系逆时针旋转 θ° 。其中: (N_i, E_i) —转换前坐标, (a_i, b_i) —转换后的坐标,则坐标转换公式为

$$\begin{bmatrix} a_i \\ b_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_i \\ E_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

坐标转换后,可以用 a_i 来表示测深仪的位置,此时只有一维位置和水深两个变量,可以在坐标系中绘制位置-水深二维图来更直观地显示。

根据各重复测线递增排列的位置信息,截取各条测线最长公共测线坐标段,即各测线起点的最大值和终点的最小值之间的线段,便于插值。

如图 2 所示,在公共测线段内,选择一条测线作为标准线,用线性插值的方法内插出其余测线在该位置的水深值,如测线 i 的 a_{11} 位置处的水深值为

$$h_{0i1} = h_{i1} + (h_{i2} - h_{i1}) \times \frac{a_{11} - a_{i1}}{a_{i2} - a_{i1}} \quad (5)$$

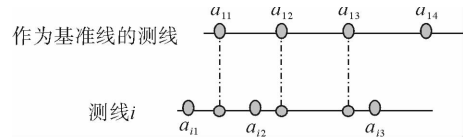


图 2 寻找对应点插值示意图

Fig. 2 Sketch looking for the corresponding point interpolation

2.3 均方误差计算

重复测试线数据的内符合精度均方误差公式^[2]为

$$\epsilon_j = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_{ij}^2}{n}}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

其中, δ_{ij} —第 j 条重复测试线公共段各点水深值 h_{ij} 与该点各重复测试线测量的平均值 h_i 之差:

$$\delta_{ij} = h_{ij} - h_i, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; \quad (7)$$

$$h_i = \sum_{j=1}^m h_{ij} / m, i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

其中, m —测线条数, n —重复测线公共段采样的数据点个数。所有重复测试线的总内符合精度计算公式为

$$\epsilon = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\sum_{i=1}^n \delta_{ij}^2) / n \times m} \quad (9)$$

3 实例分析

为了便于对不同型号的单波束测深仪进行测试,基于 Windows 系统,采用 Visual C++ 6.0 编程语言开发编写了单波束测深仪精度评定的软件,主要包括计算模块、绘图模块和报告输出模块。

计算模块读入测深测试数据文件,提取坐标和水深值,剔除错误数据,坐标转换,截取公共测线段,差值计算,计算中误差。流程如图 3 所示。

绘图模块利用计算模块计算得到的数据,将测试线的位置和水深的曲线图绘制在软件窗口中,让用户更

直观地了解测线的曲线形态和符合程度。

2010 年 10 月,在山东科技大学大型消声水池进行了单波束测深仪精度测试,采用的测深仪是无锡海鹰生产的 HY1600 型号测深仪。池底地形大体是东高西低,注水后水深自西向东逐渐变浅。水池的南北两侧墙体上粘贴有消声材料,水池东西长 50 m,南北宽 10.8 m,在水池上方南北向架设行车,可以沿直线东西向移动。行车上有专门为安装测深仪设置的安装杆,测深仪既可以垂直放置也可以水平放置。

将测深仪垂直固定在水池行车上,GPS RTK 的流动站安置于测深仪的正上方以实时记录测深仪的平面坐标位置。HY1600 精密测深仪用串口输出数据到电脑上,GPS 流动站也用串口接到电脑上,用电脑实时记录和保存数据,记录测深数据包括序号、时间日期、测深仪的平面坐标、水深值,如图 5 所示。

内符合测试所用到的数据只有平面坐标和水深,统一将数据转换成依次是序号、北坐标、东坐标、水深值的格式,剔除测深异常数据,剔除率越大,仪器性能越不稳定。

在测深仪的外符合垂直测试中,还需要对全站仪已测量的池底地形进行格网化,然后根据水面高程计算格网的水深值。根据单波束测深的测线找到与测线对应的水深剖面,池底地形铺设时,通过线性插值可以很容易地计算出测线的水深剖面,将这个水深剖面上的水深值与单波束测深仪测量的水深值进行外符合中误差计算,插值寻找对应点、均方误差,得到外符合测试的中误差(图 6)。

单波束测深仪横向外符合测试的数据采集:单波束测深仪横向放置,朝向水池的西墙,行车沿东西方向运动,GPS 和测深仪实时记录测量到的平面坐标和距离并保存数据文件。

对采集到的数据按以上步骤进行数据预处理、寻找对应点和插值、均方误差的计算。计算得到外符合中误差和内符合中误差为 20~40 mm,外符合横向测试的中误差为 20~40 mm。数据删除率都小于 1%。

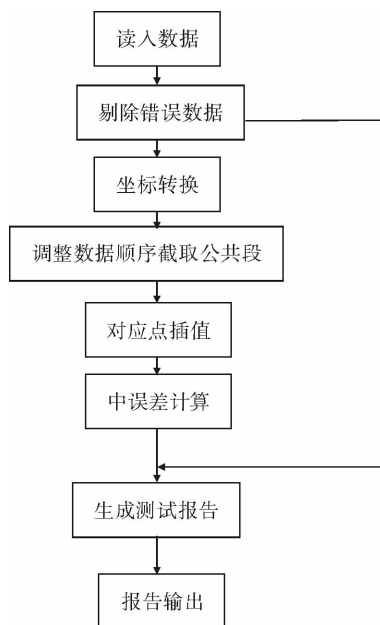


图 3 软件流程图

Fig. 3 The flowchart of software



图 4 大型消声水池图

Fig. 4 A large-scale anechoic pool

测线号为: 1							
1	04-07-2011	11:23:02	12006.9691	3559.9744	3985501.488	510472.743	5.670
2	04-07-2011	11:23:03	12006.9691	3559.9744	3985501.486	510472.742	5.670
3	04-07-2011	11:23:04	12006.9691	3559.9744	3985501.487	510472.741	5.670
4	04-07-2011	11:23:05	12006.9691	3559.9744	3985501.491	510472.743	5.670
5	04-07-2011	11:23:06	12006.9691	3559.9744	3985501.492	510472.743	5.670
6	04-07-2011	11:23:07	12006.9691	3559.9744	3985501.492	510472.744	5.670
7	04-07-2011	11:23:08	12006.9691	3559.9744	3985501.488	510472.739	5.670
8	04-07-2011	11:23:09	12006.9691	3559.9744	3985501.488	510472.740	5.670

图 5 测量原始数据图

Fig. 5 Original data

从测试结果可以看出,采用消声水池进行单波束测深仪精度测试,其测量结果可精确到 5 cm 以内,且不受海洋环境影响,可重复测试,评定结果更为可靠。

4 结论

提出在消声水池内用外符合和内符合的方法对单波束测深仪进行精度评定,并编写了单波束测深仪的精度评定软件。通过用天宝 5800GPS 接收机,对无锡海鹰生产的 HY1600 型号的测深仪进行了测试和精度评定,实验表明该精度评定方法和精度评定软件切实可行,能比较客观地检验测深仪的精度。

参考文献:

- [1]张海涛,唐秋华,周兴华,等.多波束测深系统换能器的安装校准分析[J].海洋通报,2009(2):102-107.
ZHANG Haitao,TANG Qiuhua,ZHOU Xinghua,et al. Installation and calibration analysis of the multibeam echo sounder transducer[J]. Marine Science Bulletin,2009(2):102-107.
- [2]李家彪.多波束勘测原理技术与方法[M].北京:海洋出版社,1999.
- [3]姜作喜,张虹,郭志宏.航空重力测量内符合精度计算方法[J].物探与化探,2010,34(5):672-676.
JIANG Zuoxi,ZHANG Hong,GUO Zhihong. The method for calculation of internal accord accurac in airborne gravity survey[J]. Geophysical & Geochemical Exploration,2010,34(5):672-676.
- [4]刘雁春.海洋测深空间结构及其数据处理[M].北京:测绘出版社,2002.
- [5]阳凡林,刘经南,赵建虎.多波束测深数据的异常检测和滤波[J].武汉大学学报:信息科学版,2004,29(1):80-83.
YANG Fanlin,LIU Jingnan,ZHAO Jianhu. Detecting outliers and filtering noises in multi-beam data[J]. Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University,2004,29(1):80-83.
- [6]阳凡林,郑作亚,郭金运,等.多波束测深的异常数据编辑技术和实现[J].测绘科学,2009,34(6):78-80.
YANG Fanlin,ZHENG Zuoya,GUO Jinyun,et al. Multibeam echo sounding data editing and realizing [J]. Science of Surveying and Mapping,2009,34(6):78-80.
- [7]阳凡林,李家彪,吴自银,等.多波束测深瞬时姿态误差的改正方法[J].测绘学报,2009,38(5):451-453.
YANG Fanlin,LI Jiabiao,WU Ziyin,et al. The methods of removing instantaneous attitude errors for multibeam bathymetry data[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2009,38(5):451-453.

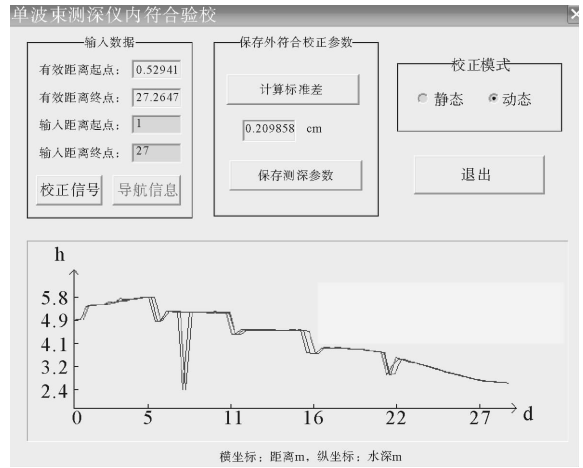


图 6 检校软件示例图

Fig. 6 An example of the software calibration