



声速误差对水深测量的影响分析

梁达炜, 张宝瑞

(长江航道测量中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 从声速误差来源进行分析, 探讨了目前长江航道水深测量中声速测量的现状, 并对长江上不同水道的声速进行长达 4 a 的声速测量和数据分析, 通过数据分析长江航道水深测量中影响声速的各种因素, 从而发现规律, 最后提出了一些减少声速测量误差对水深影响的相关方法。

关键词: 声速误差; 水深测量; 温度

中图分类号: TV 221. 2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)11-0028-03

Influence of sound velocity error on bathymetric survey

LIANG Da-wei, ZHANG Bao-rui

(Changjiang Waterway Survey Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: This article analyzes the sources of velocity error, discusses the current status of sound velocity measurement in the Yangtze River channel's bathymetric survey, and carries out sound velocity measurement of 4 years and data analysis, to find out the factors influencing the sound velocity and achieve the law. Means of reducing the influence from the sound velocity error on the bathymetric survey are provided.

Keywords: velocity error; bathymetric survey; temperature

在航道测量中, 水深测量是不可缺少的一部分, 测量方法通常采用船载测深仪(单波束、多波束)的方式进行水深测量。涉及改正的参数主要有换能器吃水、灵敏度及声速值等, 声速是其中一个核心参数。声速在测量中存在误差, 为此在水深测量外业数据采集及内业数据后处理过程中, 为了尽可能减小声速值对真实水深数据的影响, 需要减少声速测量的误差。

1 声速误差来源

声速的研究首先要从声速剖面入手, 声速剖面直接决定着声线的实际轨迹, 是声速改正的基础。

海洋测量中, 声速剖面影响有时相当显著, 且对测量结果的影响是来源于多方面的。声速剖

面测量误差主要来自于海水环境的变化及仪器的系统误差。对于常采用 CTD 声速剖面测量法, 其系统偏差为: $\Delta T = 3 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}$, $\Delta s = 2 \times 10^{-3} \text{ppt}$, $\Delta D = 3 \times 10^{-3} \text{bar}^{[1]}$ 。

根据 Mackenzie 声速公式和误差传播理论, 声速测量误差为:

$$\Delta C = \left\{ \left[\frac{\partial C(T, s, D)}{\partial T} \Delta T \right]^2 + \left[\frac{\partial C(T, s, D)}{\partial s} \Delta s \right]^2 + \left[\frac{\partial C(T, s, D)}{\partial D} \Delta D \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

影响声速的 3 个主要因素是温度 T 、盐度 s 和深度 D , 其中温度对表层水面的作用使得声速的变化比较复杂。在同一天水深测量中, 气温对表层水温的影响可能很大, 对于声速的影响是非常显著的; 另外, 特殊水域水文因素的改变、水流特点的作用等对于声速测量的影响也不可忽视。

收稿日期: 2014-09-09

作者简介: 梁达炜 (1989—), 男, 助理工程师, 从事长江航道测绘生产工作。

因此, 在声速测量时, 需要根据特定水域的情况, 制定严密的声速剖面测量方案。

2 长江声速测量现状

1) 直接声速测量法。

在声速测量中用声速剖面仪直接测量水体中的声速值, 基本工作原理是要测量声波在某一水深处固定距离上传播的时间或相位。具体测量方法有脉冲时间法、干涉法和脉冲循环法等。其中脉冲时间法是在所测水体介质中放置一组发射、接收换能器, 它们之间的距离是精确的已知值 d , 通过测量脉冲信号传播的时间 t , 便可以计算出声速 C :

$$C = d/t \tag{2}$$

该测量方法是目前应用最广的声速测量方法, 其精度一般可以达到每秒亚米级。

2) 间接声速测量法。

在水中影响声速的因素比较复杂, 基本不可能测得最准确的值。目前, 长江上航道水深测量中声速值间接测定使用的方法多是使用温度计测量长江水层表面以下多层江水的水温, 根据水温声速表查询求得当前水温对应的声速, 取其平均值, 进而在测深仪中进行设置, 从而尽可能减少声速误差对水深数据真实值的影响。

对于目前的测量情况, 得出了一个大胆的设想: 温度是对水深测量误差影响最大的因素。为此, 做了大量试验。

3 声速数据分析

大量的试验表明, 海水中的声速主要受温度、压力和盐度影响。温度增加 1 ℃, 声速增加约 4.5 m/s; 深度增加 1 m, 压力约增加 0.1 个大气压, 声速增加约 0.016 m/s; 盐度每变化 1‰, 声速变化约 0.13 m/s。盐度通常通过导电性测量而获得, 静水压力与水深变化直接相关。

为了更加精确计算在其他外部条件一定的情况下, 盐度、水深以及温度对声速变化的影响情况, 对长江多个水道中多个区域从 2010 年 5 月—

2013 年 8 月采用 SVP-20 声速剖面仪进行了长达 4 a 的观测。通过对大量的原始数据进行分析, 摘取了同一水道部分数据 (表 1)。

表 1 2011—2013 年水深、温度对声速的影响

时间	水深/m	声速/(m·s ⁻¹)	温度/℃
2013-05-05	0.7	1 494.5	24.2
	3.4	1 494.5	24.0
	10.5	1 494.4	24.0
2013-08-23	0.7	1 496.8	25.1
	3.4	1 496.8	25.0
	11.0	1 496.8	25.0
2012-01-19	0.7	1 441.4	8.7
	3.4	1 441.3	8.6
	11.0	1 441.2	8.6
2012-09-02	0.7	1 500.7	26.7
	3.4	1 500.4	26.6
	11.5	1 500.3	26.6
2011-06-20	0.7	1 500.3	26.3
	3.4	1 500.3	26.3
	11.0	1 500.1	26.2
2011-10-15	0.7	1 491.3	23.2
	3.4	1 491.2	23.2
	12.0	1 491.1	23.2

不难发现, 当水深固定为 0.7 m, 温度 23 ℃ 时, 声速为 1 491.3 m/s; 温度为 25 ℃ 时, 声速为 1 496.8 m/s; 温度 26 ℃ 时, 声速 1 500.3 m/s。当水深固定为 3.4 m, 温度 8.6 ℃, 声速 1 441.3 m/s; 温度 22 ℃ 时, 声速 1 486.9 m/s; 温度 25 ℃ 时, 声速 1 496.8 m/s。可见固定水深的情况下, 声速是随着温度的增大而递增的。

在温度一定的情况下, 改变水深值, 声速的变化非常微小。

从上述数据不难发现, 在同一区域介质里, 盐度相对一定的情况下, 水深对声速的影响并不明显, 反而温度的变化对水下声速的影响较为明显。因此试验表明温度是影响水下声速的主要因素, 目前在测量水下地形时运用到根据温度来对声速改正的方法基本正确。可以从水面连续下放声速仪探头至水底, 测得不同深度的水深, 采用平均值, 这样测得的声速更为准确, 利用准确的声速进行测深仪设置, 以减少声速设置中存在的误差。

4 声速对水深的影

4.1 声速对测深值的影响原理

声速经验公式:

$$\nu = 1\,449.2 + 4.6t - 0.055t^2 + 0.000\,29t^3 + (1.34 - 0.010t)(S - 35) + 0.017d \quad (3)$$

式中: t 为水温 ($^{\circ}\text{C}$); h 为水的深度 (m); S 为盐度; ν 为声速 (m/s)^[2]。

由式(3)可知: 声速随温度、盐度等相关因素的增加而增大, 其中与温度的相关性最大, 盐度的影响最小。

声速对水深测量误差的影响可用以下公式表示:

$$E = D\Delta C[1 - 2\tan(2\alpha_0) + 2\tan\beta\tan\alpha_0]/C_0 \quad (4)$$

式中: E 为由声速引起的水深误差; α_0 为折射角之补角; β 为水底坡度角; ΔC 为声速变化; C_0 为折射介质声速; D 为水深值^[3]。

从式(3)可以看出, 该误差由 3 部分组成: 第 1 部分为垂直误差; 第 2 部分是由声线弯曲引起的水深误差; 第 3 部分代表回波的位置偏移以及在斜坡区由于位置偏移而引起的水深误差。

长江航道测量中的声速是一个比较核心的因素, 它取决于介质中的声波传播特性, 随着水温、水深、水流、地理位置等的变化而变化。

4.2 声速剖面对水深值的影响

1) 声速数据来源对水深值的影响。

表层声速的变化是整个声速剖面变化中最活跃的部分。由于受到昼夜温差和季节性变化的影响, 表层声速常持续发生变化, 一般昼夜变化为 1 m/s, 季节性变化可达 19 m/s。从观测数据来看表层声速变化越大, 引起的水底畸变也越大, 并且这种畸变从中央波束到边缘波束呈迅速增加的趋势。跃层的强度和深度影响多波束的测量精度, 跃层越浅, 波束偏转越早; 跃层越深, 对波束偏转影响越小。

2) 声速改正。

导致声速剖面误差的原因是多方面的: 采集

声速剖面的仪器精度不够、在测量时输入的声速剖面点不能很好地拟合实际声场、测区声速测站点太稀、没有及时更新声速剖面、因河道情况因素导致表层声速剧变、声速跃层变化过快等。声速对测深误差影响由 3 部分组成: ① 垂直误差; ② 声线弯曲引起的水深误差; ③ 回波位置偏移以及在斜坡区由于位置偏移而引起的水深误差^[4]。

5 结语

1) 在保证整个测量范围都处于同一外界环境因素的前提下, 采用多次声速测量取平均值的方法可使声速变化的误差减小, 从而得到相对稳定的声速值。

2) 在水深测量过程中, 发射换能器连续远离接收换能器移动时, 要尽量避免改变发射换能器的移动方向, 因为发射换能器往哪个方向移动都有可能引起频率的增大, 并由此带来声速测量值的系统误差。

3) 声速对水深数据的测量数据影响较大, 声速剖面的正确与否, 直接关系到测量数据的准确性。用声速仪测量声速, 相比起传统的利用温度计测量水下水温查询声速表的方法更加精确, 利用声速仪求取声速剖面从而计算出声速值的方法能更精确地得到声速值, 从而使水深数据误差减少, 保证质量更高的测量成果数据。

参考文献:

- [1] 赵建虎. 现代海洋测绘[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008: 122-123.
- [2] 刘伯胜. 水声学原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2002: 56-58.
- [3] 刘雁春. 海洋测深空间结构及其数据结构[M]. 北京: 测绘出版社, 2002: 77-78.
- [4] 孙革. 多波束测深系统声速校正方法及其应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.

(本文编辑 武亚庆)