

短基线水声定位精度仿真研究

杨贵海, 李 兵, 马锦垠

(91439 部队, 辽宁 大连 116041)

摘要: 采用数值仿真方法, 重点研究了测深、测距精度及定位点与测量基阵的位置关系等因素对短基线水声定位精度的影响, 为设备研制方案的确定以及试验测量方案的制定提供了有效参考。

关键词: 水声定位; 短基线; 定位精度; 测量基阵

中图分类号: P716⁺.4

文献标识码: B

文章编号: 1671-3044(2010)03-0034-03

1 引言

目前, 水下定位和导航最常用的方法是声学方法。根据识别方位、距离测量, 并对这些量进行处理和计算, 就构成了声学定位系统。按接收基阵或应答器基阵的基线长度的不同, 可分为长基线、短基线和超短基线三种声学定位系统。其中, 长基线的测量精度优于短基线和超短基线, 但长基线的基阵布放、校准、回收较为复杂, 成本较高, 更适于大范围、深海海域的测量。短基线和超短基线系统适合于浅海海域使用, 但超短基线系统的定位精度较差, 而短基线系统可采用船载式基阵, 安装使用方便, 成本较低, 精度也比较适宜。

本文根据系统定位原理, 对短基线水声定位系统的定位精度、有效作用范围等因素进行数值仿真, 从而为设备研制方案的确定以及试验测量方案的制定提供参考。

2 短基线定位原理

一般短基线定位基阵由3个以上换能器组成, 换能器的阵形为三角形或四边形, 换能器之间的位置关系精确测定。假设基阵由3个阵元组成, 各基元坐标为 (x_i, y_i, z_i) ($i=1, 2, 3$), 目标位置坐标为 (X, Y, Z) , 则可得到定位方程如下:

$$(X-x_i)^2 + (Y-y_i)^2 + (Z-z_i)^2 = (ct_i)^2 = d_i^2, i=1, 2, 3 \quad (1)$$

式中, t_i 为声脉冲从目标到各基元的传输时间; c 为声速。

在实际使用中, 为简化系统实现, 通常可在目标上安装兼具测深功能的水声应答机, 深度信息可通

过水声通信方式传送至测量船上的信号处理单元。这样, 在工程实现时, 即可将船载水声基阵由三阵元减至二阵元, 降低实施复杂性。同时, 通过在测量船上安装 GPS 测量分机及姿态(方位、纵摇、横摇)测量装置, 可解算得出基阵阵元的大地坐标, 通过求解定位方程组, 即可得到水下目标的绝对大地坐标。

本文采用数值仿真方法对短基线水声定位系统的精度进行仿真计算。

3 仿真算法模型

3.1 坐标系的建立

由于目标深度由压力传感器可测, 建立水平坐标系如图1所示。

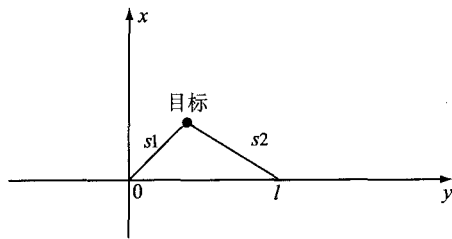


图1 坐标系的建立

原点为水声换能器1, 换能器1与换能器2连线为 y 轴, 二者距离为 l , x 轴与 y 轴垂直构成直角坐标系。

3.2 仿真算法

设测量区域内一点 $M(x, y)$, 目标深度 h_0 , 测深误差 Δh , 测距相对误差 d , 水声换能器的水平距离为 l 。

则解算目标水平位置过程如下:

(1) 仿真计算目标深度:

$$h = h_0 + \Delta h \quad (2)$$

(2) 目标到换能器 1 的水平距离为:

$$s_1 = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

(3) 测量得到目标到换能器 1 的距离为:

$$s_{11} = \sqrt{s_1^2 + h^2} \times (1 + d) \quad (4)$$

(4) 目标到换能器 2 的水平距离为:

$$s_2 = \sqrt{x^2 + (y - l)^2} \quad (5)$$

(5) 测量得到目标到换能器 2 的距离为:

$$s_{22} = \sqrt{s_2^2 + h^2} \times (1 + d) \quad (6)$$

仿真解算得到目标坐标如下:

$$x_1 = \frac{\sqrt{-s_{11}^4 + 2s_{11}^2 l^2 + 2s_{11}^2 s_{22}^2 - l^4 + 2s_{22}^2 l^2 - s_{22}^4 - 4h^2 l^2}}{2l} \quad (7)$$

$$y_1 = \frac{s_{11}^2 + l^2 - s_{22}^2}{2l} \quad (8)$$

则水平定位误差(即解算结果 $M1(x_1, y_1)$ 到实际目标 $M(x, y)$ 的距离)为:

$$z = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \quad (9)$$

3.3 仿真的基本约定

(1) 深度误差的选取

仿真计算的深度为 50m;深度误差从 -1m ~ +1m, 按间隔 0.2m 一点计算。

(2) 测距误差的选取

采用水声跳频脉冲测距技术可大幅度提高水声测时精度,使测时误差小于 $30\mu s$,因此可以认为测距误差主要由声速误差引起的。有效测距是在短时间、较小的测量范围内进行的,故由声速造成的测距误差是同向的。

测距误差从 $-8\%D \sim +8\%D$,按间隔 $2\%D$ 计算。本文以后提及的测距误差均指相对误差。

(3) 测量基阵长度的选取

仿真测量基阵的长度为 10m。

(4) 测量范围的选取

仿真范围: x 轴从 0~100m,按 5m 一点计算; y 轴从 -100~110m,按 5m 一点计算。

(5) 仿真结果形式

为便于统计、分析、查找规律,仿真计算结果分别以数据表格、可视图像的形式进行综合显示。

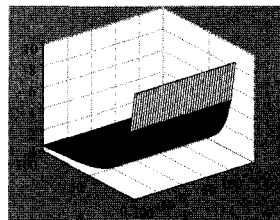
4 仿真结果分析

受篇幅所限,本文将数据结果表格略去,主要以图形仿真的结果进行展示和分析,图形中坐标单位为 m。

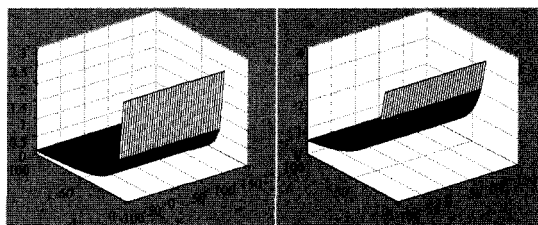
4.1 测距误差为 0,测深误差引起的定位误差

如图 2 所示,测深误差对定位误差的影响和目标与测量基阵的垂直距离相关。同样的测深误差情

况下,距离基阵越近,定位误差越大,尤其在测量基阵较远处,即使测距误差为 0,较小的测深误差也会引起很大的定位误差;例如测深误差为 -1m 时,在距测量基阵 5m 处的定位误差达 6.14m;测深误差 1m,在距测量基阵 5m 处目标解算甚至无解。因此,在测量实施时,应尽量使定位测量基阵与被定位目标保持一定距离,该距离应不小于 20m。



测深误差=1



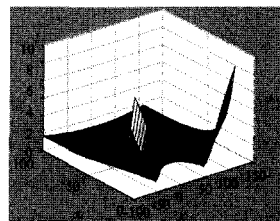
测深误差=0.2

测深误差=-1

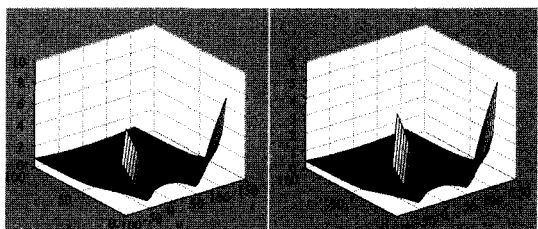
图 2 测深误差引起的定位误差

4.2 测深误差为 0,测距误差引起的定位误差

仿真计算结果表明,当测距误差为负时(测距值小于距离真值)会造成靠近测量基阵中心处定位解算无解;当测距误差为正时(测距大于距离真值)会造成测量基阵两端延长线处定位解算无解,故在图像表现上有一定差异。实际上,测深误差为 0 时,测距引起的定位误差形式是基本相同的。通过图 3、4 可以看出,定位精度最高的点在位于测量基阵中心的垂线上。



测距误差=-8%



测距误差=-4%

测距误差=-2%

图 3 测距误差为负值引起的定位误差

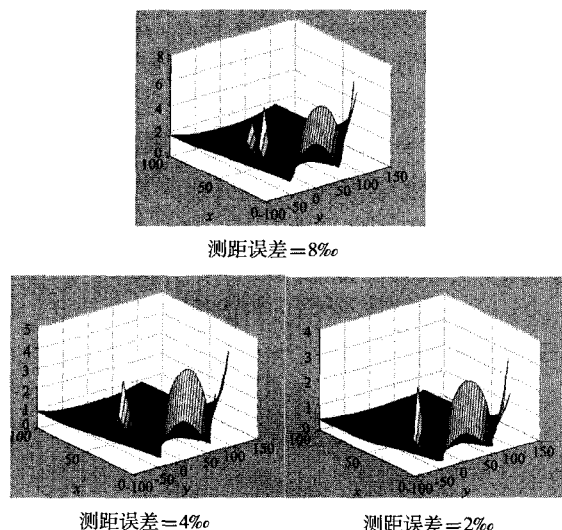


图4 测距误差为正值引起的定位误差

5 结束语

本文在对短基线水声定位原理分析的基础上,通过数值计算仿真,采用定量的数据表格和定性图像方式,对短基线水声定位系统中测距误差、测深误差、交会态势等对定位精度的影响进行了研究分析。通过仿真分析,可以得到以下结论:

(1)在测深误差 $\leq 1\text{m}$,测距误差 $\leq 6\text{‰}$ 时,目标与测量基阵的水平距离 $\geq 20\text{m}$ 且水平距离 $\leq 150\text{m}$,目标的定位精度可满足定位精度 3m 的要求。

(2)在定位测量实施中,应使测量船与被测目标拉开一定距离后进行定位。依据这一结论,在水声基阵的设计安装时,特意将基阵架安装在测量船的另一侧,这样在布放被测目标完毕即使测量船不作机动,测量基阵与目标也会有 10m (船宽)左右的距离,利于测量实施。

(3)目标定位测量时,应尽量使目标处于测量基阵中垂线附近。尤其是对于沉底目标的测量,应尽可能采用目标在测量基阵中心垂线处的测量数据进行统计,滤掉随机误差可以进一步提高定位解算精度。

参考文献:

- [1] 张志涌. 精通 MATLAB 6.5 版[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] 刘伯胜,雷家煜. 水声学原理[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
- [3] 田 坦. 水下定位与导航技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [4] 吴永亭,周兴华. 水下声学定位系统及其应用[J]. 海洋测绘,2003,23(4):18~21.
- [5] 尹泽明,丁春利. 精通 MATLAB 6[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [6] 刘志俭. MATLAB应用程序接口用户指南[M]. 北京:科学出版社,2001.

Research on Precision Simulation of Short Baseline Acoustic Positioning System

YANG Gui-hai, LI Bing, MA Jin-yin

(91439 Troops, Dalian, Liaoning, 116041)

Abstract: The paper mainly researches the precision influenced by depth error and distance error and relatively location of the object and array to short baseline positioning system using numeric simulation. The result works as an effectively reference to the development and test project.

Key words: acoustic positioning; short baseline; positioning precision; array