

# 纯方位法测量物体入水点位置研究

梁民赞, 黄子豪, 肖 军

(中国人民解放军91388部队, 广东 湛江 524022)

**摘要:** 物体入水声是一种随机出现的瞬态信号, 分析了物体落水声特性, 提出了利用声学浮标系统测量物体落水点位置的方法, 在此基础上论述了声学浮标探测作用距离预报方法, 介绍了纯方位法测量目标位置的基本原理和方法, 对测量误差来源进行了理论推导, 并进行了误差仿真分析, 可为类似系统设计提供参考。

**关键词:** 入水声; 纯方位; 方位估计

中图分类号: TB566

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2013)06-0043-03

## Study on Measure of the Point of Target's Water Entry Based on Bearings-Only

LIANG Min-zan, HUANG Zi-hao, XIAO Jun

(PLA 91388, Zhanjiang 524022, China)

**Abstract:** The splash of target's water entry is an instantaneous signal. The characteristic of splash sound for target's water entry is analyzed. The method of measuring water entry point by using acoustics buoy is presented. On this basis, the method of forecasting detection range is discussed, the principle and method for measure the target's position by bearing-only are introduced, and the position error is simulated and analyzed. This method could provide reference for the further study of same system.

**Key words:** splash of target's water entry; bearings-only; azimuth estimation

高速物体入水声是一种随机出现的瞬态脉冲, 具有未知的频率、未知的脉冲宽度和未知的幅度, 传统的用于舰船辐射噪声检测方法, 不能简单地用于随机瞬态信号的检测, 对这类信号的捕捉需要采用特殊的方法<sup>[1]</sup>, 即设计专门的水听器及信号处理算法<sup>[2]</sup>来测量物体击水声出现的时间及方位信息, 才能实现对入水声信号的有效检测和测向。本文介绍了一种纯方位测量落水点位置的方法, 采用被动探测方式, 无需在目标上加装合作信标, 也避免了主动探测方式声速装订偏差带来的影响。

### 1 高速物体入水声特性

高速运动物体在接触水面时产生击水声, 入水后会有一部分空气带入水中, 伴随着液体被物体撕开和复合, 被带入

水中的气泡由于水压力的影响而破裂, 气泡破裂辐射的声音, 称之为气泡脉动声。伴随着物体的下潜, 其尾部的气泡破裂会出现反复脉动辐射, 因此高速物体入水声一般包括击水声和之后的若干气泡脉动声<sup>[3]</sup>。综上所述, 物体入水声是一种瞬态信号, 持续时间短, 其波形由击水声和若干气泡脉动组成, 无明显线谱特征。

高速物体击水声是一种瞬态信号, 击水声强与物体特征尺度、入水速度大致成正比关系, 其峰值的经验公式<sup>[4]</sup>

$$P_0 = K(\theta) \frac{\rho v d}{rc} \sin \alpha \frac{1}{[1 - (v \cos \Psi / c)]^2} \quad (1)$$

式(1)中单位是[cm-g-s],  $P_0$  的单位为巴(bar),  $K(\theta)$  为依赖于入水角  $\theta$  的某一系数,  $\rho$  为物体密度,  $v$  为物体入水速度,  $d$  为物体特征尺度,  $r$  为距离,  $c$  为声速,  $\alpha$  为直达声线与水平面夹角,  $\Psi$  为物体运动速度与声线传播方向的夹角。由

上式可知,在物体特征尺度和入水速度、入水角已知时可以预报冲击波的声源级。声源级  $SL$ :

$$SL = 20 \lg \left( \frac{P_0}{P_{\text{ref}}} \right) \quad (2)$$

式(2)中,  $P_0$  为声压有效值;  $P_{\text{ref}}$  为参考声压。

## 2 测量距离预报

本文讨论利用浮标系统对物体入水点位置进行测量,浮标通过被动方式接收目标落水声信号来探测目标位置。在海水中,声信号在传播方向上将随着距离增加而逐渐减弱,因此,到了一定距离以后,水听器阵将接收不到信号,这个距离就是浮标的最大作用距离。

根据被动声呐方程<sup>[5]</sup>

$$SL - TL - (NL - DI) \geq DT \quad (3)$$

对于某一极限作用距离,声呐方程成为等式,则被动声呐方程可改写

$$\begin{cases} SL - (NL - DI + DT) = TL \\ GL = SL - (NL - DI + DT) \end{cases} \quad (4)$$

称  $GL$  为声呐系统的优质因数。对于被动声呐,声呐方程的含意是允许的最大单程传播损失不得超过系统的优质因数。被动声呐优质因数  $GL$

$$GL = SL - NL + G_s + G_t - DT \quad (5)$$

式(5)中以  $G_s$  和  $G_t$  代替了指向性指数  $DI$ ,  $G_s$  为阵的空间处理增益,  $G_t$  为时间处理增益。当  $GL = TL$  时为声呐最大作用距离。

假定传播损失介于球面扩展和柱面扩展之间,则传播损失  $TL$

$$TL = 15 \times \lg(r \times 10^3) + \alpha \cdot r \quad (6)$$

对于给定的目标声源级  $SL$ 、时间处理增益  $G_t$ 、空间处理增益  $G_s$ 、环境噪声级  $NL$ 、检测阈  $DT$  等参数后,可以计算得到不同距离上的声传播损失  $TL$ ,声呐浮标的最大作用距离就是当传播损失达到这个值时所对应的距离,据此就可以预报浮标探测目标的距离,从而确定浮标的布放距离。

## 3 纯方位法测量原理

无源水下目标运动轨迹及其参数测量称为 TMA (Target Motion Analysis),双基阵纯方位 TMA 方法可用于浮标,也可用于舰艇声呐系统。双基阵纯方位无源定位是根据两个阵元测得的目标方位,用三角交汇的方法计算目标位置。浮标(阵元)上装有声学传感器和 GPS,声学传感器用来测量目标方位, GPS 用来测量浮标的大地坐标并得到基线长度  $L$  (两浮标之间的距离)。考虑二维定位,设目标  $T$  坐标为  $(x, y)$ ,第  $i$  号浮标坐标  $(x_i, y_i)$ ,第  $j$  号浮标坐标  $(x_j, y_j)$ 。二元浮标构成基本的定位阵位,浮标位置由 GPS 获得,  $L_{ij}$  代表基线长度;  $\beta_{ij}$  代表基线斜率夹角,如图 1 所示。水声测量仅获得目标方位角  $\alpha_i, \alpha_j$ ,故称为纯方位定位。方位角以正北为基准,顺时针取正,逆时针取负。如图 1 所示,此处  $\alpha_i$  为正,  $\alpha_j$  为

负。根据几何关系<sup>[6]</sup>:

$$R_i \sin \alpha_i - R_j \sin \alpha_j = L_{ij} \cos \beta_{ij} \quad (7)$$

$$R_i \cos \alpha_i - R_j \cos \alpha_j = L_{ij} \sin \beta_{ij} \quad (8)$$

针对浮标  $i$  不难推得:

$$R_i = -L_{ij} \frac{\cos(\alpha_j + \beta_{ij})}{\sin(\alpha_j - \alpha_i)} \quad (9)$$

$$x = x_i + R_i \sin \alpha_i$$

$$y = y_i + R_i \cos \alpha_i \quad (10)$$

式(7)~(10)中:  $R_i, R_j$  分别表示两个浮标的目标相对距离。

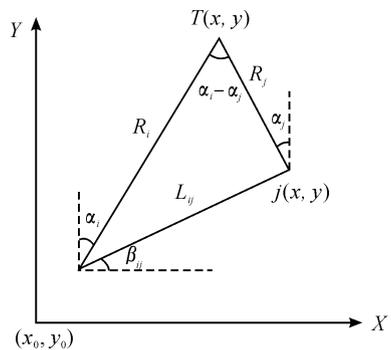


图 1 纯方位定位示意图

解算模型式(1)所反映的定位误差,表现为二维空间的跟踪误差。该式的全微分形式如下:

$$\begin{aligned} dR_i = & -\frac{\cos(\alpha_i + \beta_{ij})}{\sin(\alpha_j - \alpha_i)} \cdot dL_{ij} + L_{ij} \cdot \frac{\sin(\alpha_j + \beta_{ij})}{\sin(\alpha_j - \alpha_i)} \cdot d\beta_{ij} - \\ & L_{ij} \cdot \frac{\cos(\alpha_j + \beta_{ij}) \cdot \cos(\alpha_j - \alpha_i)}{\sin^2(\alpha_j - \alpha_i)} d\alpha_i + \\ & L_{ij} \cdot \frac{\cos(\alpha_i + \beta_{ij})}{\sin^2(\alpha_j - \alpha_i)} \cdot d\alpha_j \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{cases} dx = dx_i + \sin \alpha_i \cdot dR_i + R_i \cdot \cos \alpha_i \cdot d\alpha_i \\ dy = dy_i + \cos \alpha_i \cdot dR_i - R_i \cdot \sin \alpha_i \cdot d\alpha_i \end{cases} \quad (12)$$

式(11)、(12)定性理解为定位误差与 GPS 定位误差、方位测量误差有关。两类误差互相独立,由于 GPS 定位误差较高,可达到 1 m 以内,若两浮标距离足够远, GPS 定位误差引起的测量误差可忽略,仅考虑由方位测量误差引起的定位误差的情况,下面用实例进行说明。假设两浮标相距  $D = 28\ 280$  m,两部浮标同时测量到落点目标方位,如图 2 所示。由三角关系,给定一边和两角,则可求得

$$R = \frac{28\ 280 \times \sin 45^\circ}{\sin 90^\circ} = 20\ 000(\text{m}) \quad (13)$$

目标落点定位精度很大程度上依赖于方位测量精度,假设浮标有  $\pm 3^\circ$  的测向误差,这样可计算得出:

$$R_{\text{max}} = \frac{28\ 280 \times \sin 48^\circ}{\sin 84^\circ} = 21\ 132 \quad (14)$$

$$R_{\text{min}} = \frac{28\ 280 \times \sin 42^\circ}{\sin 90^\circ} = 18\ 923 \quad (15)$$

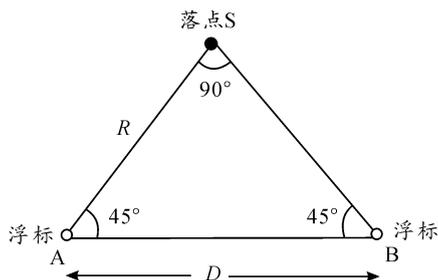


图2 定位解算原理

如图3所示,仅考虑浮标测向误差的情况下,目标落点S的误差范围为一个不规则菱形,假设潜艇A与落点S距离为 $R$ ,经仿真计算得知,测量误差最大值在点3,误差为 $5.66\%R$ ,此时测量距离 $R$ 为 $21\,132\text{ m}$ ;测量误差最小值在点4,误差为 $5.39\%R$ ,此时测量距离 $R$ 为 $18\,923\text{ m}$ 。由计算机仿真可知,当落点在浮标中垂线附近区域时,其定位精度高于其他区域,另外,由三角形定理可知,当落点在两浮标连线附近区域时,落点位置不可解算出。

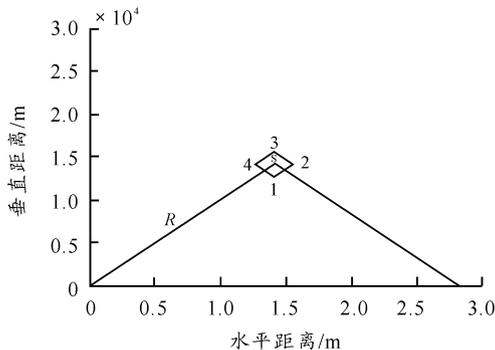


图3 落点测量误差范围示意图

## 4 结束语

本文主要介绍了纯方位法测量物体落水点的原理,重点介绍了双基阵纯方位解算的基本原理,并进行了误差分析,给出了计算仿真计算结果。同理可推导出多基阵纯方位测量方法及多基地声呐纯方位测量方法。物体入水信号具有猝发性,采用纯方位法测量无需在目标上安装合作信标,因此测量目标类型广,成本低,可为类似系统方案设计提供参考。

## 参考文献:

- [1] 李启虎. 数字式声呐设计原理[M]. 合肥:安徽教育出版社,2003:370-377.
- [2] 李关防,赵安邦,惠俊英. 基于经验模态分解的物体入水声检测及测向研究[J]. 声学学报,2008,33,(6):548-554.
- [3] 汤渭霖. 水下噪声学原理[M]. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1984:127-132.
- [4] 鲍筱玲,汤渭霖. 击水声特性研究[J]. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院学报,1981(1):27-39.
- [5] 惠俊英. 水下声信道[M]. 北京:国防工业出版社,2007:141-142.
- [6] 岳剑平,梁国龙,王燕. 水下动目标纯方位被动跟踪仿真研究[J]. 哈尔滨工程大学学报,2003,24(5):500-504.
- [7] 马锦垠,侯宝斌. 火箭助推鱼雷入水点测量系统的设计与实现[J]. 火力与指挥控制,2012(8):199-201.

(责任编辑 周江川)

(上接第42页)

通过上面的例子可以看出,仿真模型组件必须通过组装才能成为联邦成员参与到数字靶场中,可组合是仿真模型组件实现功能可定制和规模可伸缩的数字靶场的关键。

## 4 结束语

航天发射场作为运载火箭测试发射、导弹武器试验以及作战支持保障的中心,在军队信息化建设的进程中具有举足轻重的地位。然而,随着新型武器及航天装备的不断应用和发展,航天发射场逐渐落后于武器装备的试验要求。因此,航天发射场必须着眼于未来战争需求,完善自身试验能力和职能,通过不断创新和研究信息化武器试验、作战和训练方法,构建全新集信息化武器测试发射试验、作战方式方法研究、部队操作技能及战术训练等为一体的数字靶场。基于此,本文运用组件的思想对数字靶场进行了初步的研究,具

有一定的理论和现实意义。

## 参考文献:

- [1] 龚建兴. 基于BOM的可扩展仿真系统框架研究[D]. 长沙:国防科技大学,2007.
- [2] SISO-STD-003. 1, Guide for Base Object Model (BOM) Use and Implementation [S].
- [3] SISO-STD-003, Base Object Model (BOM) Template Specification [S].
- [4] 王卫国,韩东,董博. 基本对象模型及其应用技术[J]. 兵工自动化,2010,29(3):16-17.
- [5] 彭春光,龚建兴,黄柯棣. 基于基本对象模型的仿真模型组器的研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(12):3175-3178.

(责任编辑 周江川)