

水雷目标探测攻击指令正确性评判方法研究

倪世丰¹, 龙小民², 陈川²

(1. 海装驻宜昌地区军事代表室; 2. 中国船舶重工集团有限公司第七一〇研究所, 湖北宜昌 443003)

摘要 主动攻击水雷是一种战斗部主动航行接近目标, 并对其实施攻击的水雷, 其打击误差主要受目标探测攻击点估计误差和弹道控制误差影响。因此, 评判主动攻击水雷目标探测攻击指令输出正确的条件是, 目标探测攻击点估计误差也满足指标要求。对目标探测攻击指令输出正确性指标的试验数据处理及评判方法进行研究, 提出了一种基于向量表达式的评判方法, 软件实现简单、便捷。

关键词 主动攻击水雷; 目标探测攻击输出; 试验数据处理; 体积目标
中图分类号 TJ61 **文献标识码** A

Research on Evaluation Method for Attack Order Validity in Mine Target Detection

NI Shifeng¹, LONG Xiaomin², CHEN Chuan²

(1. The Military Representative Office of PLA Navy in Yichang Area;
2. No.710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443003, China)

Abstract Active attack mine is a type of special mine that warheads can actively navigate to approach to and destroy ships. Its strike error is mainly affected by errors of TDS attack point estimation and trajectory control. The criterion for judging the correct output of TDS attack order of active attack mine is that the error of TDS attack point estimation also meets the index requirements. In this paper, the test data processing and evaluation methods for output correctness of TDS attack order are studied, and an evaluation method based on vector expression is proposed, with simple and convenient software implementation.

Key words active attack mine; TDS attack order output; test data process; volume target

0 引言

主动攻击水雷是一种战斗部主动航行接近目标, 并对其实施攻击的水雷^[1]。水雷目标探测系统实现对舰艇目标的探测、识别、定位、目标运动特性参数估计和最佳攻击点预测, 当确认目标进入打击范围时, 适时输出攻击指令, 并将估计的攻击点位置参数传递给战斗部, 战斗部航行到该位置并实施攻击。本文针对目标探测攻击指令输出是否正确的试验评判方法进行研究, 提出了一种基于向量表达式的试验评判方法, 逻辑简单易懂, 且易于软件实现。

1 评判准则

对于定向攻击水雷, 目标探测攻击指令输出是否正确的评判准则为: 将目标探测系统输出攻击指令的时刻作为起始时刻, 考虑水雷战斗部上浮时间, 得到水雷战斗部到达估计攻击点的时刻。该时刻目标舰艇(作为体积目标)到估计攻击点的最小距离应小于误差要求。

2 数学模型需考虑的因素

对于利用舰船声场的水雷目标探测系统, 一般是将目标舰艇作为点目标声源进行处理^[2], 以舰艇的声中心位置为基础建立数学解算模型。而在进行试验数

据处理时, 通常将舰艇作为体积目标^[3-6], 即有长度和宽度; 且水雷试验时一般通过卫星定位设备测量目标舰艇通过时的航迹, 卫星定位设备安装于舰艇的某一位置。因此, 评判目标探测攻击指令输出是否正确时, 需要综合考虑船长、船宽、卫星定位设备安装位置、目标探测攻击点估计位置等多个因素, 统一建立数学模型。根据以上分析, 本文建立了 2 种数学模型^[7-8], 分别为模型 I (假设舰艇为线目标, 即只考虑船长, 不考虑船宽) 和模型 II (假设舰艇为体积目标, 即同时考虑船长和船宽); 并给出了 2 种数学模型下, 评价目标探测攻击指令输出是否正确的计算方法。

3 数学模型 I

假设舰艇为线目标, 即只考虑船长, 不考虑船宽; 水雷在水面投影为 O' 点; GPS 天线安装于船上 G 点, G 点距离船首 A 点的长度为 d_s , 距离船尾 B 点的长度为 d_w ; 估计的攻击点位于 O 点, O 点到 G 点、 A 点和 B 点的距离分别为 d 、 d_1 和 d_2 ; 船的航向角为 α 。据此条件, 在平面坐标系中绘出的几何态势如图 1 所示。图中舰艇坐标为从输出攻击指令开始, 经过水雷战斗部航行至估计攻击点的时间后, GPS 记录的舰艇所在位置。

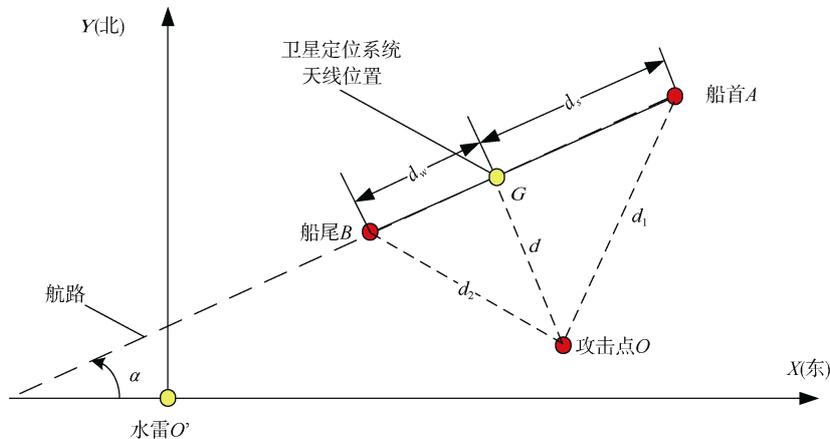


图 1 几何示意图 (线目标)

Fig. 1 Geometric schematic diagram (line target)

设 A 点、 B 点、 G 点、 O 点和 O' 点的坐标分别为 $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ 、 $G(x_G, y_G)$ 、 $O(x_O, y_O)$ 和 $O(0, 0)$ 。

G 点坐标通过 GPS 记录的目标航路数据获取经纬度, 然后结合水雷二次定位后的经纬度转换到 XY 坐标; O 点坐标通过解析内记数据中的估计攻击点获取; A 点和 B 点坐标可由下式求得:

$$\begin{cases} A(x_G + d_s \cos \alpha, y_G + d_s \sin \alpha) \\ B(x_G - d_w \cos \alpha, y_G - d_w \sin \alpha) \end{cases} \quad (1)$$

舰艇通过航路所在直线可用下式表示:

$$\tan \alpha \cdot x - y + (y_G - \tan \alpha \cdot x_G) = 0 \quad (2)$$

由点到直线的距离公式可知, 攻击点 O 到该直线的距离可表示为

$$d = \frac{|kx_O - y_O + (y_G - kx_G)|}{\sqrt{1 + k^2}} \quad (3)$$

式 (3) 中, 为便于表示, 记 $k = \tan \alpha$ 。

考虑舰艇不是一个无限长的目标, 所以按照式 (3) 计算出的攻击点到航路所在直线的距离不一定是攻击点到舰艇的最短距离, 应分以下 3 种情况讨论。

首先引入以下向量, 分别记作:

$$\overline{AO} = (x_O - x_A, y_O - y_A) \quad (4)$$

$$\overline{BO} = (x_O - x_B, y_O - y_B) \quad (5)$$

$$\overline{AB} = (x_B - x_A, y_B - y_A) \quad (6)$$

$$\overline{BA} = (x_A - x_B, y_A - y_B) \quad (7)$$

1) 情况 1: 若攻击点 O 在船首方向, 位置关系如图 2 所示。此时 $\angle OAB > 90^\circ$, 且 $\angle OBA < 90^\circ$, 可采用向量表示为

$$\begin{cases} \overline{AO} \cdot \overline{AB} < 0 \\ \overline{BO} \cdot \overline{BA} > 0 \end{cases} \quad (8)$$

此时，攻击点到舰艇的最小距离 d 为

$$d = \sqrt{(x_A - x_O)^2 + (y_A - y_O)^2}$$

若 $d \leq$ 攻击点估计误差指标要求，则判定攻击指令输出正确。

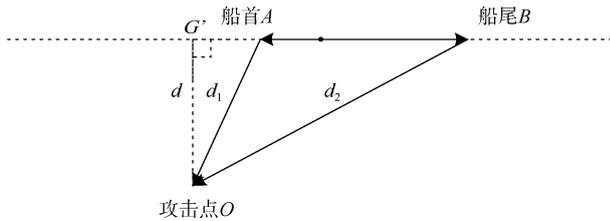


图 2 攻击点在船首方向的位置关系示意图
Fig. 2 Schematic diagram of position relation of attack point in bow direction

2) 情况 2: 若攻击点 O 在船尾方向，位置关系如图 3 所示。此时 $\angle OAB < 90^\circ$ ，且 $\angle OBA > 90^\circ$ ，即：

$$\begin{cases} \overline{AO} \cdot \overline{AB} > 0 \\ \overline{BO} \cdot \overline{BA} < 0 \end{cases} \quad (9)$$

此时，攻击点到舰艇的最小距离 d ：

$$d = \sqrt{(x_B - x_O)^2 + (y_B - y_O)^2}$$

若 $d \leq$ 攻击点估计误差指标要求，则判定攻击指令输出正确。

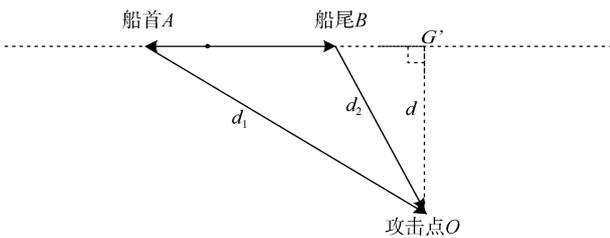


图 3 攻击点在船尾方向的位置关系示意图
Fig. 3 Schematic diagram of position relation of attack point in aft direction

3) 情况 3: 若攻击点在舰艇正横方向，位置关系图如图 4 所示。此时 $\angle OAB < 90^\circ$ 且 $\angle OBA < 90^\circ$ ，即：

$$\begin{cases} \overline{AO} \cdot \overline{AB} < 0 \\ \overline{BO} \cdot \overline{BA} < 0 \end{cases} \quad (10)$$

此时，攻击点到舰艇的最小距离 d 为

$$d = \frac{|kx_O - y_O + (y_G - kx_G)|}{\sqrt{1+k^2}}$$

若 $d \leq$ 攻击点估计误差指标要求，则判定攻击指令输出正确。

设攻击点到舰艇距离最近的点为 G' ，记 $AG' = d_0$ ，此时有：

$$d_0 = \sqrt{d_1^2 - d^2} \quad (11)$$

结合 A 点的坐标和舰船航向 α 可知 G' 的坐标为

$$G'(x_G + d_1 \cos \alpha - d_0 \cos \alpha, y_G + d_1 \sin \alpha - d_0 \sin \alpha) \quad (12)$$

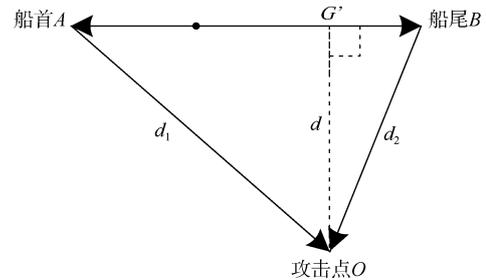


图 4 攻击点在船正横方向的位置关系示意图
Fig. 4 Schematic diagram of position relation of attack point in abeam direction

4 数学模型 II

假设船为体积目标，即既有长度，又有宽度；GPS 安装于船上 G 点， G 点到左舷的距离为 d_L ，到船尾的距离为 d_W ；设船长 L ，船宽为 W 。根据此条件，在平面坐标系中绘出的几何态势如图 5 所示。

根据船的航向和前面所给出的同船舷的相对位置关系，我们可以给出船首 A_R 点、船首 A_L 点、船尾 B_R 点和船尾 B_L 点的坐标值。记 $\beta = \alpha - \frac{\pi}{2}$ ，船首到的距离为 $d_s = L - d_w$ ，到船右舷的距离为 $d_R = W - d_L$ ：

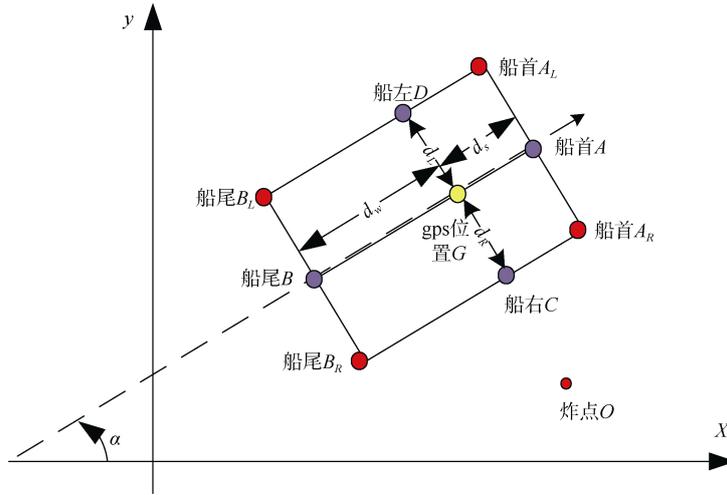


图 5 几何示意图 (面目标)

Fig. 5 Geometric schematic diagram (area target)

$$\begin{cases} A_R(x_A + d_R \cos \beta, y_A + d_R \sin \beta) \\ A_L(x_A - d_L \cos \beta, y_A - d_L \sin \beta) \\ B_R(x_B + d_R \cos \beta, y_B + d_R \sin \beta) \\ B_L(x_B - d_L \cos \beta, y_B - d_L \sin \beta) \end{cases} \quad (13)$$

由式 (1) 可知, 其中:

$$\begin{cases} x_A = x_G + d_s \cos \alpha \\ y_A = y_G + d_s \sin \alpha \\ x_B = x_G - d_w \cos \alpha \\ y_B = y_G - d_w \sin \alpha \end{cases} \quad (14)$$

由船角上 4 点和攻击点位置重新绘制位置关系图, 如图 6 所示。

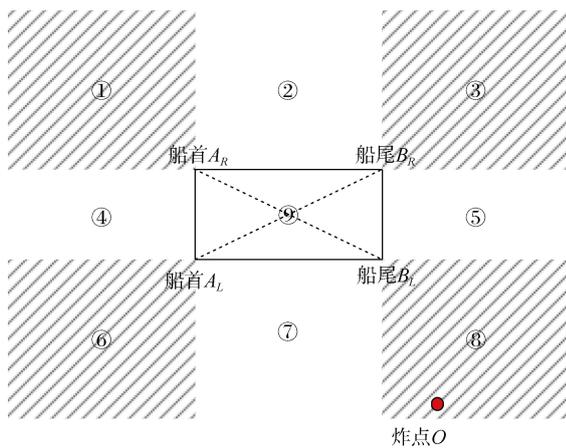


图 6 位置关系示意图 (面目标)

Fig. 6 Schematic diagram of position relation (area target)

当攻击点分布在阴影区域内时, 最近距离由攻击点到船角上 4 点的距离决定; 当攻击点分布在船身内时 (即图中⑨号区域), 默认最近距离为 0; 当攻击点分布在空白区域内时, 最近距离由攻击点到对应线段所在直线的距离决定。

由船角上 4 个点所确定的 4 条直线分别为

$$\begin{cases} A_R A_L: -\cot \alpha \cdot x - y + (y_A + \cot \alpha \cdot x_A) = 0 \\ B_R B_L: -\cot \alpha \cdot x - y + (y_B + \cot \alpha \cdot x_B) = 0 \\ A_R B_R: \tan \alpha \cdot x - y + (y_C - \tan \alpha \cdot x_C) = 0 \\ A_L B_L: \tan \alpha \cdot x - y + (y_D - \tan \alpha \cdot x_D) = 0 \end{cases} \quad (15)$$

式中:

$$\begin{cases} x_C = x_G + d_R \cos \beta \\ y_C = y_G + d_R \sin \beta \\ x_D = x_G - d_L \cos \beta \\ y_D = y_G - d_L \sin \beta \end{cases} \quad (16)$$

令:

$$\begin{cases} f_{A_R A_L}(x, y) = -\cot \alpha \cdot x - y + (y_A + \cot \alpha \cdot x_A) \\ f_{B_R B_L}(x, y) = -\cot \alpha \cdot x - y + (y_B + \cot \alpha \cdot x_B) \\ f_{A_R B_R}(x, y) = \tan \alpha \cdot x - y + (y_C - \tan \alpha \cdot x_C) \\ f_{A_L B_L}(x, y) = \tan \alpha \cdot x - y + (y_D - \tan \alpha \cdot x_D) \end{cases} \quad (17)$$

按照之前的分析, 将求舰艇离攻击点最小距离的过程分为 3 类情况。

1) 第 1 类, 攻击点位于阴影区。

当 $f_{A_R A_L}(x, y) \leq 0$ & $f_{A_R B_R}(x, y) \leq 0$ 时, 攻击点

位于①区,最近距离由 $|OA_R|$ 表示;

当 $f_{B_R B_L}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_R B_R}(x, y) \leq 0$ 时,攻击点位于③区,最近距离由 $|OB_R|$ 表示;

当 $f_{A_R A_L}(x, y) \leq 0$ & $f_{A_L B_L}(x, y) \geq 0$ 时,攻击点位于⑥区,最近距离由 $|OA_L|$ 表示;

当 $f_{B_R B_L}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_L B_L}(x, y) \geq 0$ 时,攻击点位于⑧区,最近距离由 $|OB_L|$ 表示。

2) 第2类,攻击点位于船身内,此时判决成立的条件为

$$\begin{aligned} f_{A_R A_L}(x, y) \geq 0 & \& f_{A_R B_R}(x, y) \geq 0 & \& \\ f_{B_R B_L}(x, y) \leq 0 & \& f_{A_L B_L}(x, y) \leq 0 \end{aligned} \quad (18)$$

3) 第3类,攻击点位于空白区。

当 $f_{A_R A_L}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_R B_R}(x, y) \leq 0$ & $f_{B_R B_L}(x, y) \leq 0$ 时,攻击点位于②区,最近距离可表示为攻击点到直线的距离 $A_R B_R$,此时:

$$D = \frac{|(kx_O - y_O) - (kx_C - y_C)|}{\sqrt{1+k^2}}, \quad k = \tan \beta \quad (19)$$

当 $f_{A_R A_L}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_L B_L}(x, y) \geq 0$ & $f_{B_R B_L}(x, y) \leq 0$ 时,攻击点位于⑦区,最近距离可表示为攻击点到直线的距离 $A_L B_L$,此时:

$$D = \frac{|(kx_O - y_O) - (kx_D - y_D)|}{\sqrt{1+k^2}}, \quad k = \tan \beta \quad (20)$$

当 $f_{A_R A_L}(x, y) \leq 0$ & $f_{A_R B_R}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_L B_L}(x, y) \leq 0$ 时,攻击点位于④区,最近距离可表示为攻击点到直线的距离 $A_L B_L$,此时:

$$D = \frac{|(kx_O - y_O) - (kx_A - y_A)|}{\sqrt{1+k^2}}, \quad k = \tan \alpha \quad (21)$$

当 $f_{B_R B_L}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_R B_R}(x, y) \geq 0$ & $f_{A_L B_L}(x, y)$

≤ 0 时,攻击点位于⑤区,最近距离可表示为攻击点到直线的距离 $A_L B_L$,此时:

$$D = \frac{|(kx_O - y_O) - (kx_B - y_B)|}{\sqrt{1+k^2}}, \quad k = \tan \alpha \quad (22)$$

5 结束语

本文建立了考虑舰艇为线目标和体积目标时的2种数学模型,并给出了相应数学模型下目标探测攻击指令输出是否正确的评判方法,该成果可直接应用于水雷研制。一般情况下,为了简化数据处理流程采用模型I,根据水雷研制和试验数据处理的需要也可选用模型II。

参考文献

- [1] 蔡鹞. 水雷引信技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [2] 湛雅倩. 考虑舰船噪声多源信号的仿真与输出实现[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [3] 周有, 韩鹏, 相敬林. 舰船作为体积目标时噪声通过特性的仿真[J]. 控制与探测学报, 2005, 27(2): 61-64.
- [4] 相敬林, 刘勋. 舰船做为体积声源的强度谱纵向分布特征[J]. 探测与控制学报, 2002, 24(2): 5-17.
- [5] 罗建, 相敬林. 连续噪声过程的模拟[J]. 声学学报, 1997, 22(16): 509-514.
- [6] 刘勋. 体积目标的被动声定向方法和尺度估计研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2000.
- [7] 刑国强. 典型舰船辐射噪声建模与仿真[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [8] 马远良. 数字仿真[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2007.

(责任编辑: 曹晓霖)