

# 基于相对运动考虑海流影响的拦截弹布放方法

任磊<sup>1</sup>, 贾跃<sup>1</sup>, 施帆<sup>2</sup>

(1. 海军大连舰艇学院 水武与防化系, 辽宁 大连 116018;  
2. 中国人民解放军 92681 部队, 上海 200940)

**摘要** 为了提高海流影响下的悬浮式深弹拦雷概率, 建立了海流使悬浮式深弹布放位置产生偏移的简化模型, 分析了采用非标准射击条件修正方法进行海流修正的不足, 进而提出了基于相对运动的海流修正方法, 计算得到了考虑海流影响下的悬浮式深弹布放参数; 然后通过计算机仿真实验验证了是否考虑及修正海流影响对悬浮式深弹拦雷效果的影响。结果表明: 当鱼雷报警距离为远, 海流流速为 3 kn 时, 修正海流影响能够使悬浮式深弹的拦雷概率提高 10%~20%。

**关键词** 悬浮式深弹; 海流修正; 布放参数; 拦截概率

**中图分类号** TJ630.1 **文献标识码** A

## Laying Method of Interceptor Considering Ocean Current Influence Based on Relative Motion

REN Lei<sup>1</sup>, JIA Yue<sup>1</sup>, SHI Fan<sup>2</sup>

(1. Department of Underwater Weaponry and Chemical Defense, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China; 2. No. 92681 Unit of PLA, Shanghai 200940, China)

**Abstract** In order to improve the torpedo interception probability of the suspended depth charge under the influence of ocean current, this paper establishes a simplified model of ocean current to offset the placement certificate of suspended depth charge, analyzes the shortage of ocean current correction by using nonstandard shooting condition correction method, then presents a method of ocean current correction based on relative motion, calculates the parameters of the suspended depth charge under the influence of ocean current; verifies theoretically whether to consider and correct the influence of ocean current on the torpedo interception effect of suspended depth charge by computer simulation. The results show that when the torpedo alarm distance is long and the current velocity is 3 kn, the interception probability of the suspended depth charge can be improved by 10%~20% by correcting the influence of current.

**Key words** suspended depth charge; current correction; laying parameter; interception probability

## 0 引言

使用悬浮式深弹拦截来袭鱼雷时, 需要尽可能将其布放在来袭鱼雷将要经过的航线上, 使其悬浮在水中等待鱼雷经过, 检测到目标后通过爆炸实施毁伤, 其布放位置的准确性直接影响到拦截鱼雷的效果<sup>[1]</sup>。由于海流的存在, 悬浮式深弹的布放位

置会不断发生改变, 这种改变可能使其偏移来袭鱼雷将要经过的航线, 也就无法检测并毁伤目标。所以, 海流是可能影响悬浮式深弹拦雷效果不可忽视的重要因素之一。虽然, 海流同样会对来袭鱼雷的运动航迹产生影响<sup>[2]</sup>, 但目前潜射反舰鱼雷在发射之前能够根据事先掌握的作战海区海流大小和方向, 对雷体进行海流参数的装订, 从而修正鱼雷

的航行轨迹;所以,为了保障舰艇自身安全,充分发挥悬浮式深弹的防御作用,同样需要对海流影响下的悬浮式深弹布放参数进行修正。这就是本文所要研究和解决的主要问题。

### 1 海流影响的简化模型

如图 1 所示,悬浮式深弹通过气囊作用实现在水中悬浮,故悬浮气囊、承重电缆、换能器和分离后的弹体组成了一个海洋缆系统<sup>[3]</sup>。该系统在水平方向的运动受到海流等自然因素的共同影响,但是由于气囊的受力面积较小,并且系统的质量集中在水下部分,所以这里进行简化处理,仅考虑海流对悬浮式深弹布放位置的影响。

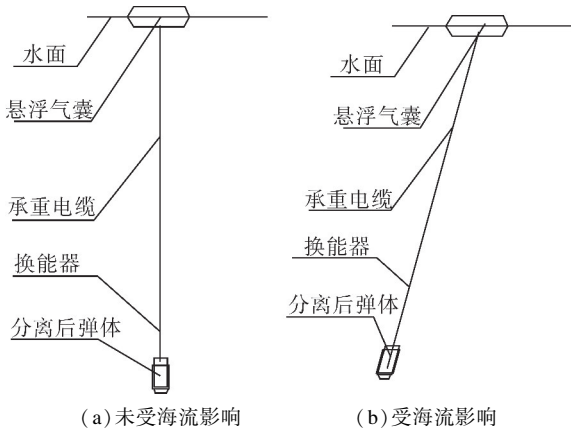


图 1 悬浮式深弹水中悬浮姿态示意图

Fig. 1 Attitude schematic diagram of suspended depth charge

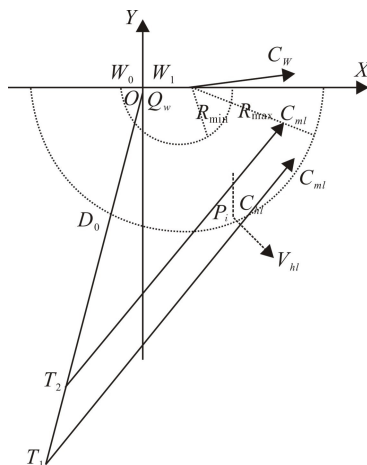


图 2 悬浮式深弹布放位置受海流影响变化示意图

Fig. 2 Change of suspended depth charge's position influenced by ocean current

从图 1 可以看到,悬浮式深弹作为一个海洋缆系统在海水中受到海流影响姿态发生改变,其姿态改变以后水平方向受到的力和力矩也会随海流的方向和大小发生变化。

但是,从理论上说,当海流的大小和方向均稳定的情况下,该系统最终将作匀速直线运动,处于一种平衡的状态。因此,可以通过试验测量出在不同大小的海流作用下悬浮式深弹的运动速度,通过内插和拟和得到海流大小与悬浮式深弹运动速度之间的数值关系。这里先做简化处理,即认为悬浮式深弹的布放位置随海流做同向同速运动。

如图 2 所示,以舰艇鱼雷报警时刻的位置  $W_0$  为坐标原点  $O$ ,  $X$  和  $Y$  轴的取向同前,建立直角坐标系。假设海流的大小为  $V_{hl}$ , 方向为  $C_{hl}$ , 悬浮式深弹布放数量为  $n$ , 则第  $i$  枚悬浮式深弹的布放位置  $P_i$  将随其悬浮时间  $t_x$  发生变化,如式(1)所示。

$$\begin{cases} x_{p_i} = x_{p_i} + \int_0^{t_x} V_{hl} \cdot \sin C_{hl} dt \\ y_{p_i} = y_{p_i} + \int_0^{t_x} V_{hl} \cdot \cos C_{hl} dt \end{cases} \quad (1)$$

### 2 非标准条件修正方法修正海流的问题

根据海流对悬浮式深弹布放位置影响的简化模型可知,悬浮式深弹入水后在海流作用下运动,其布放位置随时间一直在变化,所以除了海流的大小和方向,悬浮式深弹布放位置的偏移幅度与悬浮式深弹等待鱼雷经过的悬浮时间密切相关。考虑到声呐主动工作方式下目标鱼雷的距离已经很近,鱼雷接近的时间非常短;所以这里只研究声呐被动工作方式下的海流修正问题。这种情况下,悬浮式深弹通常按照“双侧基准点”方法实施布放<sup>[4]</sup>,所以对悬浮式深弹进行的海流影响修正也针对其双侧基准点展开,便于确定其布放方案。

要修正悬浮式深弹的布放位置,首先需要计算悬浮式深弹从开始受到海流影响到与来袭鱼雷相遇的悬浮时间。但是,由于布放在 2 个基准点的悬浮式深弹是分别针对鱼雷报警范围远、近端的来袭鱼雷布放的,所以这里考虑的是布放在 2 个基准点的悬浮式深弹从开始受到海流影响到与远、近端来袭鱼雷相遇的悬浮时间。

如图 3 所示,如果忽略各枚悬浮式深弹的发射间隔,那么从鱼雷报警时刻开始,经过系统反应时间、武器空中飞行时间,布放在 2 个基准点的悬浮式深弹是同时入水的。也就是说,从鱼雷报警时刻开始,到布放在 2 个基准点的悬浮式深弹入水,鱼雷报警距离范围远、近端的鱼雷航行时间相同,假设两者航速均估计为 50 kn,则两者航行的距离相同。假设鱼雷报警距离范围远、近端的鱼雷当悬浮式深弹入水时分别航行至  $T'_1$ 、 $T'_2$ ,则有鱼雷报警距离范围远端鱼雷可能位置到悬浮式深弹最大射程圆的距离大于近端鱼雷可能位置到悬浮式深弹最大射程圆的距离<sup>[5]</sup>,即  $T'_1P_1 > T'_2P_2$ 。所以,布放在远端基准点的悬浮式深弹海流修正时间要大于布放在近端基准点的悬浮式深弹海流修正时间,布放基准点  $P_1$ 、 $P_2$  分别修正到  $P'_1$ 、 $P'_2$  点,其它悬浮式深弹则按照相等间隔布放在  $P'_1$  和  $P'_2$  之间。

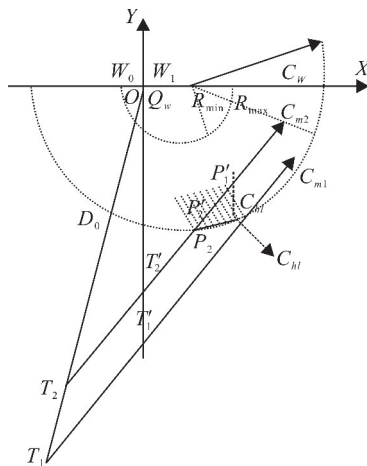


图 3 按非标准射击条件修正方法修正海流影响示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of correcting ocean current influence using nonstandard condition correction method

这种修正海流影响的悬浮式深弹布放方法类似于非标准射击条件的修正<sup>[6]</sup>,即按照海流产生的武器入水点偏差进行反向修正。这种方法虽然简单易行,但是存在 2 个方面的问题:1) 修正精度存在问题。由于悬浮式深弹发射以后在空中的飞行时间与其射程存在一一对应关系。当悬浮式深弹按照上述方法进行海流影响修正后,其落点位置的发射距离不再是其最大射程,所以当鱼雷经过最大射程圆时,悬浮式深弹受海流影响运动的位置不在其期望修正的位置,这就使海流影响的修正存在

误差,将直接影响到悬浮式深弹对来袭鱼雷的拦截概率。2) 修正位置可能超出悬浮式深弹的射程范围。由于鱼雷报警距离远时,悬浮式深弹的布放基准点通常取在其最大射程圆上。如果此时海流使悬浮式深弹存在向其发射位置点移动的趋势,那么按照上述方法进行修正后,悬浮式深弹的布放位置将会超出武器的最大射程。这种情况下,悬浮式深弹武器系统的火控设备无法计算射击诸元。综合以上 2 点看,直接按照非标准射击条件的修正方法对悬浮式深弹布放位置实施修正不是最佳选择,所以下面研究了基于相对运动的海流修正方法。

### 3 基于相对运动的海流修正方法

如图 4 所示,以水面舰艇的鱼雷报警位置  $W_0$  为坐标原点  $O$ ,以正北方向为  $Y$  轴正向建立直角坐标系。水面舰艇航向为  $C_w$ ,鱼雷报警舷角为  $Q_w$ ,鱼雷报警距离范围的最远和最近端位置分别为  $T_1$  和  $T_2$ ,最远和最近端位置的鱼雷航向分别为  $C_{m1}$  和  $C_{m2}$ ,悬浮式深弹的最大射程和最小射程分别用  $R_{max}$  和  $R_{min}$  表示。经过系统反应时间后,水面舰艇于  $W_1$  点发射悬浮式深弹。布放海区的海流方向为  $C_{hl}$ ,海流速度为  $V_{hl}$ 。

假设悬浮式深弹发射后经过空中飞行时间后入水,此时鱼雷报警范围最远和最近端鱼雷分别航行至  $T'_1$  和  $T'_2$  点。分别以  $T'_1$  和  $T'_2$  点为起点,以海流的流向和流速做出矢量  $T'_1H_1$  和  $T'_2H_2$ ,以鱼雷的航向  $C_{m1}$  和  $C_{m2}$  分别做出矢量  $T'_1H'_1$  和  $T'_2H'_2$ 。再分别以  $H_1$  和  $H_2$  为起点,以  $H'_1$  和  $H'_2$  为终点,连接  $H_1H'_1$  和  $H_2H'_2$ 。矢量  $H_1H'_1$  和  $H_2H'_2$  的方向分别用  $C'_{m1}$  和  $C'_{m2}$  表示,即鱼雷相对于海流的速度方向。分别以  $T'_1$  和  $T'_2$  点为起点,以  $C'_{m1}$  和  $C'_{m2}$  为射向的射线与悬浮式深弹最大射程圆的交点  $P'_1$  和  $P'_2$  即修正海流影响后武器的布放基准点。各枚悬浮式深弹即按照相等间隔布放在  $P'_1$  和  $P'_2$  之间,构成修正海流影响的布放拦截阵列,这就是基于相对运动的海流影响修正方法。实际上这种方法就是将悬浮式深弹入水之后,其与来袭鱼雷的运动进行矢量合成,将海流对悬浮式深弹的影响转化为对鱼雷运动的影响,将悬浮式深弹作

为静止的物体,即作为相对运动的基本参照系<sup>[7]</sup>,通过相遇三角形来求取修正后的悬浮式深弹布放位置。

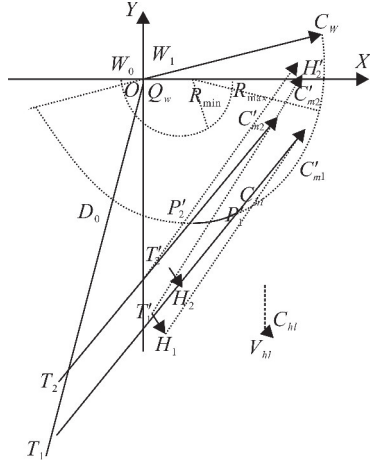


图 4 基于相对运动的悬浮式深弹修正海流布放示意图  
Fig. 4 Laying schematic diagram of suspended depth charge correcting ocean current based on relative motion

假设悬浮式深弹的系统反应时间为  $t_{sys}$ , 武器发射距离为最大射程圆的空中飞行时间为  $t_{fmax}$ , 鱼雷航速为  $V_m$ , 则  $T'_1$  和  $T'_2$  的坐标位置由式(2)和式(3)求得:

$$\begin{cases} x_{T'_1} = x_{T_1} + V_m \cdot (t_{sys} + t_{fmax}) \cdot \sin(C_{m1}) \\ y_{T'_1} = y_{T_1} + V_m \cdot (t_{sys} + t_{fmax}) \cdot \cos(C_{m1}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_{T'_2} = x_{T_2} + V_m \cdot (t_{sys} + t_{fmax}) \cdot \sin(C_{m2}) \\ y_{T'_2} = y_{T_2} + V_m \cdot (t_{sys} + t_{fmax}) \cdot \cos(C_{m2}) \end{cases} \quad (3)$$

根据式(2)和式(3)计算  $T'_1H_1$  和  $T'_2H_2$  终点坐标:

$$\begin{cases} x_{H_1} = x_{T'_1} + V_{hl} \cdot \sin(C_{hl}) \\ y_{H_1} = y_{T'_1} + V_{hl} \cdot \cos(C_{hl}) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} x_{H_2} = x_{T'_2} + V_{hl} \cdot \sin(C_{hl}) \\ y_{H_2} = y_{T'_2} + V_{hl} \cdot \cos(C_{hl}) \end{cases} \quad (5)$$

根据式(6)和式(7)计算  $T'_1H'_1$  和  $T'_2H'_2$  终点坐标:

$$\begin{cases} x_{H'_1} = x_{T'_1} + V_m \cdot \sin(C_{m1}) \\ y_{H'_1} = y_{T'_1} + V_m \cdot \cos(C_{m1}) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} x_{H'_2} = x_{T'_2} + V_m \cdot \sin(C_{m1}) \\ y_{H'_2} = y_{T'_2} + V_m \cdot \cos(C_{m1}) \end{cases} \quad (7)$$

$H_1H'_1$  和  $H_2H'_2$  的方向即  $C'_{m1}$  和  $C'_{m2}$ :

$$C'_{m1} = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_1} - y_{H_1}}{x_{H'_1} - x_{H_1}}\right|\right), x_{H'_1} > x_{H_1} \text{ 且 } y_{H'_1} > y_{H_1} \\ \frac{\pi}{2} + \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_1} - y_{H_1}}{x_{H'_1} - x_{H_1}}\right|\right), x_{H'_1} > x_{H_1} \text{ 且 } y_{H'_1} \leq y_{H_1} \\ \frac{3\pi}{2} + \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_1} - y_{H_1}}{x_{H'_1} - x_{H_1}}\right|\right), x_{H'_1} < x_{H_1} \text{ 且 } y_{H'_1} > y_{H_1} \\ \frac{3\pi}{2} - \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_1} - y_{H_1}}{x_{H'_1} - x_{H_1}}\right|\right), x_{H'_1} < x_{H_1} \text{ 且 } y_{H'_1} \leq y_{H_1} \\ 0, x_{H'_1} = x_{H_1} \text{ 且 } y_{H'_1} < y_{H_1} \\ \pi, x_{H'_1} = x_{H_1} \text{ 且 } y_{H'_1} > y_{H_1} \end{cases} \quad (8)$$

$$C'_{m2} = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_2} - y_{H_2}}{x_{H'_2} - x_{H_2}}\right|\right), x_{H'_2} > x_{H_2} \text{ 且 } y_{H'_2} > y_{H_2} \\ \frac{\pi}{2} + \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_2} - y_{H_2}}{x_{H'_2} - x_{H_2}}\right|\right), x_{H'_2} > x_{H_2} \text{ 且 } y_{H'_2} \leq y_{H_2} \\ \frac{3\pi}{2} + \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_2} - y_{H_2}}{x_{H'_2} - x_{H_2}}\right|\right), x_{H'_2} < x_{H_2} \text{ 且 } y_{H'_2} > y_{H_2} \\ \frac{3\pi}{2} - \arctg\left(\left|\frac{y_{H'_2} - y_{H_2}}{x_{H'_2} - x_{H_2}}\right|\right), x_{H'_2} < x_{H_2} \text{ 且 } y_{H'_2} \leq y_{H_2} \\ 0, x_{H'_2} = x_{H_2} \text{ 且 } y_{H'_2} < y_{H_2} \\ \pi, x_{H'_2} = x_{H_2} \text{ 且 } y_{H'_2} > y_{H_2} \end{cases} \quad (9)$$

由式(10)和式(11)得到布放基准点  $P'_1$  和  $P'_2$  的坐标:

$$\begin{cases} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - C'_{m1}\right) \cdot x_{P'_1} - y_{P'_1} + y_{T'_1} - \\ \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - C'_{m1}\right) \cdot x_{T'_1} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} (x_{P'_1} - x_{w_1})^2 + (y_{P'_1} - y_{w_1})^2 = R_{max}^2 \\ \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - C'_{m2}\right) \cdot x_{P'_2} - y_{P'_2} + y_{T'_2} - \\ \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - C'_{m2}\right) \cdot x_{T'_2} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

采用基于相对运动的海流误差修正方法虽然计算方法上比较繁琐,但是能够有效解决按照位移简单修正的精度较低以及武器修正位置超出武器最大射程的 2 点问题。



### 4 仿真算例检验

针对鱼雷报警距离远时,根据海流速度的不同,分别在不考虑海流影响、考虑海流对悬浮式深弹布放位置影响但不修正、考虑并修正海流对悬浮式深弹布放位置影响 3 种情况下仿真计算悬浮式深弹的拦雷概率。其中舰艇初始航向  $C_w$  为  $90^\circ$ , 航速  $V_w$  为 18 kn, 目标鱼雷为线导+声自导鱼雷, 速度 50 kn<sup>[8]</sup>。

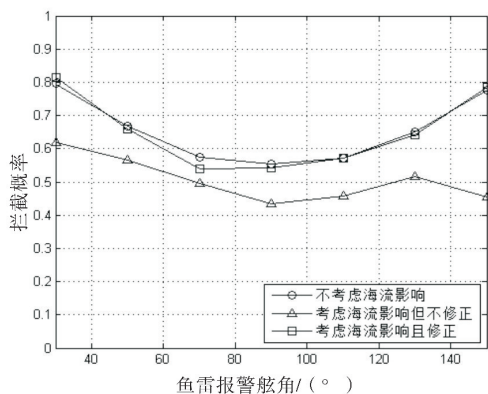


图 5 报警距离为远流速 3 kn 时的拦截概率  
Fig. 5 Interception probability when warning distance is far and current speed 3 kn

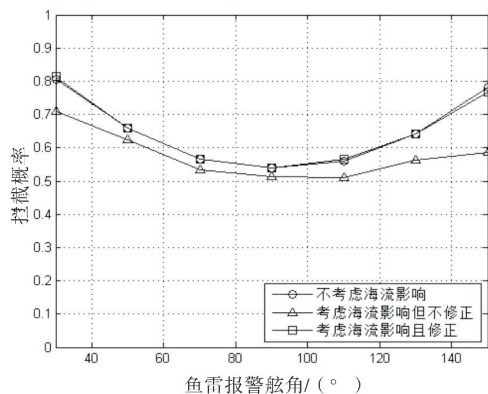


图 6 报警距离为远流速 2 kn 时的拦截概率  
Fig. 6 Interception probability when warning distance is far and current speed 2 kn

从图 5-7 可以看出,当海流速度达到 3 kn 时,其对悬浮式深弹的作战能力影响显著。当鱼雷报警距离远时,悬浮式深弹按照修正海流影响的布放参数布放时其作战能力得到提升,其拦截概率可提高 10%~20%。由此可见,在鱼雷报警距离较远,且海流速度达到 3 kn 的作战海区布放悬浮式深弹

时,必须考虑并修正海流对其布放位置的影响。

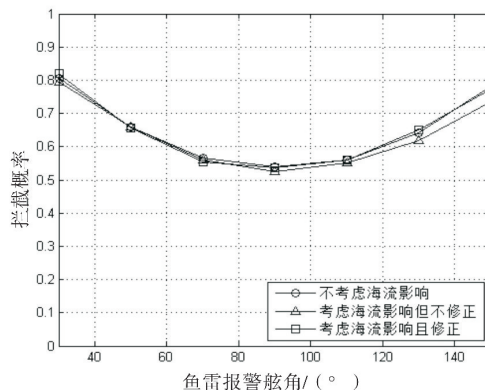


图 7 报警距离为远流速 1 kn 时的拦截概率  
Fig. 7 Interception probability when warning distance is far and current speed 1 kn

### 5 结束语

对于考虑海流影响的悬浮式深弹布放参数修正方法同样可以适用于深弹入水后其它自然因素(如海面风等)对悬浮式深弹布放位置的影响,但这是在其海区自然环境信息已经掌握前提下进行的。实际上,海区的海流方向和速度是实时改变的,在此情况下如何修正悬浮式深弹的布放参数,以求更大幅度地提高其拦截概率是悬浮式深弹作战使用环节需要进一步研究的问题。

### 参考文献

- [1] 徐梁,谢国新,赵志军. 悬浮式深弹拦截鱼雷方法研究[J]. 水雷战与舰船防护,2010,32(4): 50-53.
- [2] 中国船舶重工集团公司. 海军武器装备与海战场环境概论[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [3] 张静远,袁志勇. 悬浮式深弹的被动测距技术[J]. 海军工程大学学报,2003,15(4): 36-38.
- [4] 赵向涛,李文哲,寇祝. 悬浮式深弹拦截鱼雷射击区域分析[J]. 四川兵工学报,2011,32(11): 20-22.
- [5] 姚奉亮,贾跃,丁贝. 悬浮式深弹拦截线导+声自导鱼雷作战模型研究[J]. 指挥控制与仿真,2010,32(5): 63-65.
- [6] 赵建亭. 81 式火箭深弹命中计算[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 1998,20(1): 49-52.
- [7] 周大文. 一种解答相对运动问题的方法[J]. 新教师教学,2009(10): 31-32.
- [8] 陈春玉. 反鱼雷技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

(责任编辑:曹晓霖)