

## 【武器装备】

## 鱼雷发射装置安全性仿真分析

李志华, 阎勇, 吴吉伟

(海军蚌埠士官学校 兵器系, 安徽 蚌埠 233012)

**摘要:**分析了鱼雷出管速度对鱼雷离艇与入水后初始段的运动安全性的影响,分别建立了鱼雷离艇和鱼雷入水初始阶段运动方程,进行了仿真计算。结果表明:不会出现鱼雷碰艇情况;在仿真初始条件给定的条件下,鱼雷可以较快的达到设定深度。

**关键词:**发射装置;鱼雷;仿真分析

**中图分类号:**TJ63<sup>+</sup>1.2;TJ012.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2011)04-0007-02

## Simulation Analysis of Torpedo Launching Security

LI Zhi-hua, YAN Yong, WU Ji-wei

(Weapon Department, Beng Bu Navy Petty Officer Academy, Bengbu 233012, China)

**Abstract:** The paper analyzed the influence of movement security of torpedo leaving-tube speed in torpedo leaving submarine and torpedo entering water at initial stage. And it established the movement equation of torpedo leaving submarine and torpedo entering water at initial stage, and made the simulation computation. The results show that the situation of bump between torpedo and submarine would not be appeared, and the torpedo would arrive at the setting depth quickly under the condition of giving initial setting value.

**Key words:** launching device; torpedo; simulation

对发射装置而言,直接影响鱼雷离艇安全性与鱼雷入水后初始段的运动安全性的指标就是鱼雷的出管速度,因此进行鱼雷离艇安全性与鱼雷入水后初始段的运动安全性的分析主要就是对鱼雷出管速度进行分析。

鱼雷的出管速度是指鱼雷出管时,鱼雷相对于攻击舰艇的速度。它既要保证鱼雷自由地通过潜艇的外壳(防波板凹龛区)安全离开艇体,又要保证鱼雷安全地由非稳定运动阶段过渡到稳定运动阶段,即保证鱼雷最初航行阶段在深度运动上的操纵性(不致产生过大的袋深或跳水),鱼雷可以安全航行。所以,鱼雷的出管速度是保证潜艇和鱼雷的安全指标,是发射装置所要解决的最基本的问题。

从弹道的观点看,应在保证鱼雷和潜艇的安全条件下,尽可能选取小的出管速度值,才能作到弹道设计合理、经济。近年来,随着鱼雷的发展,鱼雷的出管速度可能会逐步减小。但是对减小之后的值,必须要进行安全性校核,因为忽略艇速引起的防波板凹龛区的流体动力性能就可能带来较大的误差,这样潜艇安全性(碰撞问题)校核就显得突出了。显然,鱼雷及潜艇的安全指标是应该统一起来的。

## 1 鱼雷离艇安全性分析

K级潜艇发射鱼雷时,其航速为4~6 kn,鱼雷出管速度为12~27 m/s,鱼雷的初始速度为14~30 m/s。

俄罗斯K级潜艇发射53-66鱼雷时,首先要保证鱼雷不与发射平台相撞,能够安全离艇;其次,鱼雷离艇后,还要保证鱼雷在初期弹道的安全性,即要保证鱼雷在最初航行阶段在深度方向上不会产生过大的袋深或跳水。为此,有必要对53-66鱼雷在K级潜艇防波凹龛区的运动及其弹道进行仿真计算。

## 1.1 鱼雷在潜艇凹龛区的运动方程

当鱼雷圆柱体部分未离开发射管的导轨时,鱼雷受约束而不能在垂直方向上运动;当鱼雷圆柱体部分离开导轨时,尾鳍还要在导轨上运动约2 m,这时可认为鱼雷可以在垂直方向上运动,从而建立随艇坐标系 $o_w x_w y_w$ ,如图1所示。经推导,方程如下:

$$\begin{cases} x_w = \frac{m}{A_x} \ln \left[ 1 + \frac{(v_l + w_c)m}{A_x} t \right] - v_l t \\ y_w = 2mC_y \rho f \ln \left( \frac{1 + e^{\frac{\sqrt{2PC_y \rho f}}{m}}}{2} \right) - t \sqrt{\frac{2P}{C_y \rho f}} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $m$  为鱼雷的质量;  $A_x$  为鱼雷的阻力系数;  $v_l$  为潜艇的航速;  $w_c$  为鱼雷的出管速度;  $C_y$  为鱼雷的横向阻力系数;  $\rho$  为海水的密度;  $f$  为鱼雷的纵剖面面积,  $f = 0.86D_T L_T$ ,  $D_T$ 、 $L_T$  分别为鱼雷的直径和长度。

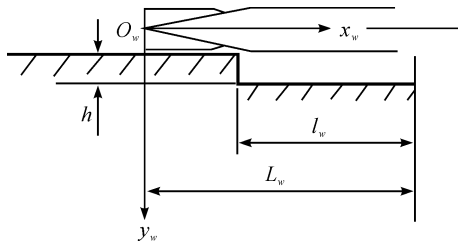


图1 坐标系

## 1.2 鱼雷在 K 级潜艇凹舱区运动的仿真计算

K 级潜艇发射管前端口到减阻板的距离可按  $l_w = 3$  m 计算, 因此, 在随艇坐标系中, 53-66 鱼雷在 K 级潜艇凹舱区的行程可按  $L_w = 5$  m 计算。

考虑 53-66 鱼雷在最有可能与 K 级潜艇相撞的情况下发射, 则可取潜艇的航速  $v_l = 3.0$  m/s, 鱼雷的出管速度  $w_c = 12$  m/s。仿真得到的 53-66 鱼雷的下沉曲线  $x_w - y_w$ , 如图 2 所示。

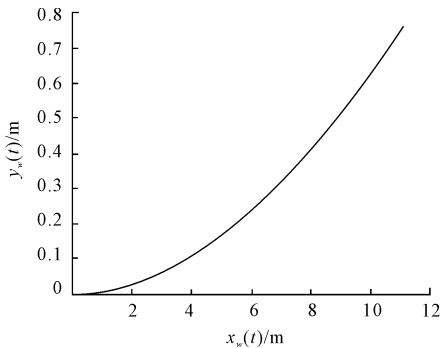


图2 53-66 鱼雷的下沉曲线

在仿真中可解得 53-66 鱼雷在 K 级潜艇凹舱区运动的时间  $t(L_w) = 0.4310$  s, 鱼雷在 K 级潜艇凹舱区下降的高度  $y_w(L_w) = 0.1633$  m。K 级潜艇凹舱区的锥度为 1:18, 推算得凹舱区的高度  $h = \frac{1}{18} \times 3 = 0.17$  m。由此可见  $y_w(L_w) < h$ , 鱼雷可以安全的离开 K 级潜艇的凹舱区。

## 2 鱼雷入水后初始段的运动安全性分析

### 2.1 鱼雷弹道方程的简化

对鱼雷的原弹道方程<sup>[1]</sup>进行简化处理, 忽略次要因素。由于  $\alpha$  和  $\theta$  很小, 所以有  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\cos \alpha \approx 1$ ,  $\sin \theta \approx \theta$ ,

$\cos \theta \approx 1$  成立。又  $dt = \frac{1}{v} ds$ ,  $\frac{d^2}{dt^2} = v^2 \frac{d^2}{ds^2} + \frac{v dv}{ds} \times \frac{d}{ds}$ , 经整理得

如下鱼雷弹道方程

$$\begin{cases} \frac{dv^2}{ds} = \frac{2}{m} (T - A_x v^2) \\ a_{10} \alpha + a_{11} \frac{d\alpha}{dt} + b_{11} \frac{d\theta}{ds} + b_{12} \frac{d^2\theta}{ds^2} = -A_p \delta + \frac{P}{v^2} \\ a_{20} \alpha + a_{21} \frac{d\alpha}{dt} + b_{21} \frac{d\theta}{ds} + b_{22} \frac{d^2\theta}{ds^2} = A_p C_p \delta + \frac{T\Delta + Bl}{v^2} \end{cases}$$

其中方程的系数为

$$\begin{cases} a_{10} = \left( \frac{\lambda_{\eta}}{m} + 1 \right) \frac{T}{v^2} + A_y^{\alpha} - \frac{\lambda_{\eta}}{m} A_x + K \\ a_{11} = m \left( 1 + \frac{\lambda_{\eta}}{m} \right) \\ b_{11} = A_y^{\omega} + KC_b - m - \frac{\lambda_{\eta \xi}}{m} \left( \frac{T}{v^2} - A_x \right) \\ b_{12} = -\lambda_{\eta \xi} \\ a_{20} = A_{mz} - KC_b - m - \frac{\lambda_{\eta \xi}}{m} (T - A_x) \\ a_{21} = \lambda_{\eta \xi} \\ b_{21} = - \left( A_{mz}^{\omega} + KC_b^2 \right) - \frac{J + \lambda_{\eta \xi}}{m} \left( \frac{T}{v^2} - A_x \right) \\ b_{22} = - \left( J + \lambda_{\xi \xi} \right) \end{cases}$$

以上系数方程组中含有  $T$ 、 $v^2$  变量, 在这里视  $T$  为常量, 视  $v = \bar{v} = \frac{v_0 + v_b}{2}$  ( $v_0$  为鱼雷初始速度,  $v_b$  为鱼雷稳定航行时的速度)。

对采用惯性深控系统的鱼雷来说, 其深控方程为摆锤的运动方程。摆锤运动方程是在大地坐标系  $o_e x_e y_e z_e$  中建立的。本文中摆锤运动方程是在海平面坐标系  $o_l x_l y_l z_l$  中建立的。海平面坐标系  $o_l x_l y_l z_l$  的原点  $o_l$  是由大地坐标系  $o_e x_e y_e z_e$  中的坐标原点  $o_e$  沿  $y_e$  轴移动到海平面上形成的, 两坐标系中的其他各轴的平行关系保持不变。在海平面坐标系中摆锤的运动方程变为

$$\begin{aligned} i \frac{d^2 \Psi}{dt^2} &= \frac{d^2 x_l}{dt^2} \cos(\theta - \Psi) + \frac{d^2 y_l}{dt^2} \sin(\theta - \Psi) + \\ a_2 \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \cos(\theta_2 - \Psi) &- [a_2 \sin(\theta_2 - \Psi) - i] \frac{d^2 \theta}{dt^2} - \\ \varepsilon \frac{d\Psi}{dt} &+ g \sin(\theta - \Psi) - C_e \sin \Psi - m_s \end{aligned}$$

方程中辅助方程为

$$\begin{cases} \frac{dy_l}{dt} = v \sin(\theta - \alpha) \\ \frac{ds}{dt} = v \end{cases}$$

### 2.2 鱼雷弹道的仿真计算

有关资料在对鱼雷弹道仿真时, 是以时间  $t$  为自变量, 这样不能直观地反映出随着鱼雷航程的增加鱼雷的运动情况, 为此以鱼雷航程  $s$  为坐标。

由于 K 级潜艇可在 8~240 m 不同的深度下发射鱼雷, 考虑 K 级潜艇的发射压力及 53-66 鱼雷的 (下转第 13 页)