

1-2-2019

## Modeling of Submarine Torpedo-Launching Simulation

Jinping Wu

*Navy Submarine Academy, Qingdao, Qingdao 266100, China,;*

Junchao Mao

*Navy Submarine Academy, Qingdao, Qingdao 266100, China,;*

Wenqiang Ding

*Navy Submarine Academy, Qingdao, Qingdao 266100, China,;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Modeling of Submarine Torpedo-Launching Simulation

### Abstract

**Abstract:** In order to lay foundation for modeling and simulation of operation problems such as torpedo attacking, torpedo operation application and torpedo operation effectiveness analysis, etc., *the model of submarine torpedo-launching is built in the way of qualitative analysis and classical mathematics*. As an important composition of submarine torpedo-attacking, torpedo-launching mainly means the course from torpedo out-tube to hitting target or voyage end, which is between the stage of “controlling weapon launching” and “observing attack effectiveness” during the whole torpedo-attacking course. *Through analyzing the seven-stage trajectory process of torpedo-launching, the target detecting model and acoustic homing range model of acoustic homing torpedo are built. The wake characteristics model, the wake area geometrical model and the wake detecting model of wake homing torpedo are established. The target geometrical model, torpedo hitting judgment model and torpedo rapid hitting judgment model are also set up.*

### Keywords

submarine, torpedo launching, trajectory process, finding model, hitting judgment model

### Recommended Citation

Wu Jinping, Mao Junchao, Ding Wenqiang. Modeling of Submarine Torpedo-Launching Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(3): 873-879.

# 潜艇鱼雷射击过程仿真建模

吴金平, 毛俊超, 丁文强

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 采用定性分析与经典数学方法对潜艇鱼雷射击过程进行建模, 为潜艇鱼雷攻击、鱼雷作战使用和鱼雷作战效能分析等作战问题的建模与仿真研究奠定基础。作为潜艇鱼雷攻击过程的重要组成部分, 鱼雷射击过程主要是指从鱼雷出管到命中目标或航程耗尽的过程, 该过程介于整个鱼雷攻击过程中“控制发射武器”和“观察攻击效果”两个阶段之间。通过分析鱼雷射击过程七阶段弹道流程, 建立了声自导鱼雷的目标检测模型和鱼雷自导作用距离模型, 建立了尾流自导鱼雷的尾流特性模型、尾流区域几何模型和尾流检测模型, 建立了目标几何模型、鱼雷命中判断模型和快速命中判断模型等。

**关键词:** 潜艇; 鱼雷射击; 弹道流程; 发现模型; 命中判断模型

中图分类号: TJ630.34; E920.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 03-0873-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201803013

## Modeling of Submarine Torpedo-Launching Simulation

Wu Jinping, Mao Junchao, Ding Wenqiang

(Navy Submarine Academy, Qingdao, Qingdao 266100, China.)

**Abstract:** In order to lay foundation for modeling and simulation of operation problems such as torpedo attacking, torpedo operation application and torpedo operation effectiveness analysis, etc., *the model of submarine torpedo-launching is built in the way of qualitative analysis and classical mathematics.* As an important composition of submarine torpedo-attacking, torpedo-launching mainly means the course from torpedo out-tube to hitting target or voyage end, which is between the stage of “controlling weapon launching” and “observing attack effectiveness” during the whole torpedo-attacking course. *Through analyzing the seven-stage trajectory process of torpedo-launching, the target detecting model and acoustic homing range model of acoustic homing torpedo are built. The wake characteristics model, the wake area geometrical model and the wake detecting model of wake homing torpedo are established. The target geometrical model, torpedo hitting judgment model and torpedo rapid hitting judgment model are also set up.*

**Keywords:** submarine; torpedo launching; trajectory process; finding model; hitting judgment model

## 引言

潜艇鱼雷射击过程是潜艇鱼雷攻击过程的重

要组成部分, 主要是指从鱼雷出管到命中目标或航程耗尽的过程。在潜艇作战问题仿真研究中, 潜艇鱼雷射击过程的研究通常为技术仿真研究或战术仿真研究性质, 技术仿真研究重点解决与鱼雷自身战术技术性能评估相关的问题, 如鱼雷六自由度运动问题、鱼雷自导性能问题、鱼雷弹道稳定性问题等; 战术仿真研究重点解决与鱼雷作战使用相关的



收稿日期: 2016-03-10 修回日期: 2016-05-23;  
作者简介: 吴金平(1976-), 男, 山东昌乐, 博士, 副教授, 研究方向为兵种战术与作战仿真; 毛俊超(1976-), 男, 山东平邑, 硕士, 副教授, 研究方向为军事运筹与数学建模; 丁文强(1984-), 男, 山东胶州, 博士, 工程师, 研究方向为兵种战术。

<http://www.china-simulation.com>

• 873 •

问题,如鱼雷发现概率、捕获概率、命中概率等。本文重点从战术仿真研究的角度对潜艇鱼雷射击过程进行建模,为潜艇鱼雷攻击、鱼雷作战使用和鱼雷作战效能等作战问题的建模与仿真研究奠定基础。

## 1 鱼雷射击过程弹道流程

鱼雷是潜艇的重要攻击性武器,其类型按动力可分为热动力鱼雷和电力鱼雷,按控制方式可分为线导鱼雷和自导鱼雷,按自导方式可分为直航鱼雷、声自导鱼雷、尾流自导鱼雷等。潜射鱼雷种类多样,但从弹道流程来看,其射击过程大致相同,可分为出管旋回段、线导导引段、机动航行段、搜索目标(尾流)段、跟踪目标(尾流)段、命中目标(航程耗尽)段和再搜索段等,如图1所示。

### (1) 出管旋回段

鱼雷发射出管后,需要经过2~5s时间完成掉深修正、状态适应等,才能进入稳定航行状态,然后按照预先设定参数进行变向、变速、变深机动,到达设定的航向、航速、航深后保持稳定航行。

### (2) 线导导引段

对于线导鱼雷,进入稳定航行状态后,根据艇上发出的线导遥控指令完成相应的变向、变速、变深机动,并将鱼雷状态信息、目标信息等遥测参数传回艇上指控系统。

### (3) 机动航行段

对于自导鱼雷或线导断线后的自导鱼雷,当到达指定航向、航速和航深后,开始按相应弹道(直

航弹道或蛇行弹道)接近目标。自导鱼雷执行完一次机动(一次转角、一次航速、一次航深等)后,有的还需要执行二次机动(二次转角、二次航速、二次航深等)。

### (4) 搜索目标(尾流)段

声自导鱼雷到达自导开机距离后自导开机搜索目标,对于主动声自导鱼雷,不断发射声信号,接收到目标反射信号后,认为发现目标;对于被动声自导鱼雷,接收到目标辐射噪声信号后,认为发现目标;对于尾流自导鱼雷,当鱼雷进入舰船目标尾流,检测到尾流信号,认为发现目标。

鱼雷发现的目标可能是舰船目标,也可能是声诱饵、干扰器等水声对抗器材。对于主动声自导鱼雷,声诱饵是假目标,干扰器是噪声信号源;对于被动声自导鱼雷,声诱饵和干扰器都是假目标。

### (5) 跟踪目标(尾流)段

鱼雷发现目标(尾流)后开始跟踪目标(尾流),当声自导鱼雷识别目标为舰船目标或尾流自导鱼雷识别出舰船尾流时,鱼雷保持对目标(尾流)的跟踪;当声自导鱼雷识别目标为假目标时,中断对目标的跟踪,开始再搜索目标。

### (6) 命中目标(航程耗尽)段

鱼雷稳定跟踪舰船目标(尾流),当鱼雷与目标接近至非触发引信作用距离时,鱼雷爆炸,命中目标;如果鱼雷越过目标而非触发引信未动作或鱼雷到达特定距离未发现目标尾流,则开始再搜索目标。如果鱼雷达到最大航程仍未命中目标,则航程耗尽。

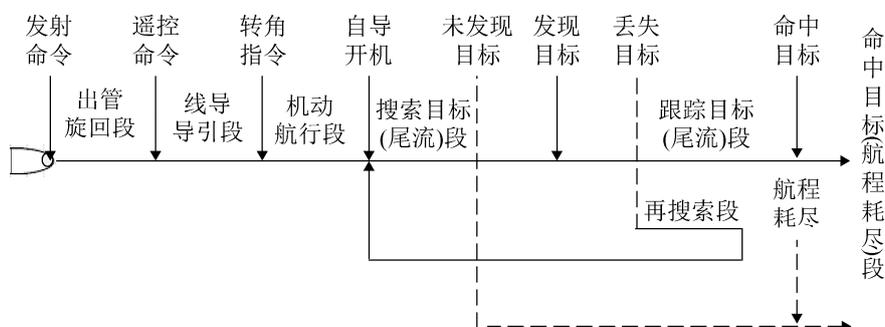


图1 鱼雷射击过程的弹道流程

Fig. 1 Trajectory process of torpedo launching

(7) 再搜索段

当鱼雷识别目标为假目标、攻击目标时引信未动作、跟踪目标(尾流)过程中突然丢失目标(尾流)等时, 进入再搜索段, 按设定弹道或自主弹道重新开始搜索目标, 直至鱼雷命中目标或航程耗尽。

## 2 声自导鱼雷发现模型

声自导鱼雷分为主动声自导鱼雷和被动声自导鱼雷两种, 主动声自导鱼雷通过不断发射声信号, 当接收到目标反射信号后, 认为发现目标, 开始跟踪目标; 被动声自导鱼雷通过接收到目标辐射噪声信号, 认为发现目标, 开始跟踪目标。

### 2.1 目标检测模型

在建模与仿真中, 通常认为鱼雷通过弹道自适应, 在自导开机后能够保证在深度剖面上发现目标, 因此声自导鱼雷发现目标问题就可以放在二维平面坐标系中考虑。如图 2 所示, 目标位置坐标为  $M(x_m, y_m)$ , 鱼雷位置坐标为  $T(x_T, y_T)$ , 鱼雷与目标距离为  $D$ , 鱼雷航向为  $C_T$ , 鱼雷连线与鱼雷航向的夹角为  $\alpha$ , 鱼雷自导开机后形成一个半径为  $r$ 、半角为  $\phi$  的自导扇面。

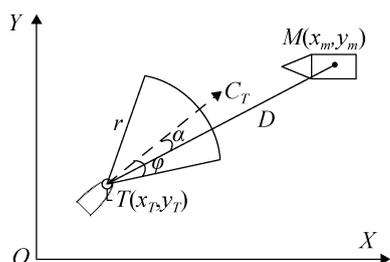


图 2 鱼雷发现目标示意图  
Fig. 2 Diagram of torpedo finding target

鱼雷发现目标需要目标质心位置点  $M$  能够落入鱼雷自导扇面区域内, 取决于两个条件: 一是鱼雷和目标的距离小于鱼雷自导扇面半径; 二是鱼雷连线与鱼雷航向的夹角小于鱼雷自导扇面半角。

由以上分析可知, 声自导鱼雷检测模型可表示为:

$$\begin{cases} D = \sqrt{(y_T - y_m)^2 + (x_T - x_m)^2} \leq r \\ \alpha = \left| \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{y_T - y_m}{x_T - x_m} \right) - C_T \right| \leq \phi \end{cases} \quad (1)$$

### 2.2 鱼雷自导作用距离模型

建立鱼雷检测模型后, 需要进一步对鱼雷自导扇面进行求解。鱼雷自导扇面包含了三个要素: 一是扇面中心点, 即鱼雷位置点; 二是扇面角度, 由鱼雷技术性能决定, 一般是固定的; 三是扇面半径, 取决于鱼雷的主动(或被动)自导作用距离, 其求解原理与声纳作用距离的求解原理是一致的。

影响鱼雷自导作用距离的因素很多, 包括目标性质、鱼目相对态势(距离、舷角、方位等)、鱼目运动要素(航向、速度、深度等)、鱼雷命中角、水声环境条件(主要是指海区深度、声速梯度、海况和海底底质等水文条件)、干扰器材使用情况、鱼雷声纳技术性能等。以鱼雷命中角的影响为例, 同等其他条件下, 命中角越小自导作用距离越小, 命中角越大自导作用距离越大。在建模与仿真中, 对鱼雷自导作用距离的求取方法很多, 与问题研究的已知前提条件和求解精度等紧密相关。以信号余量模型为例, 为了反映鱼雷信号的随机波动, 在声纳方程中加入一个随机信号项  $E(t)$ , 称为信号余量, 该值与鱼雷自导性能、海洋环境噪声等因素有关, 符合标准正态分布。由此, 声纳方程可表示为:

$$\begin{aligned} \text{主动: } E(t) &= SL - 2TL + TS - (NL - DI) - DT \\ \text{被动: } E(t) &= SL - TL - (NL - DI) - DT \\ \text{余量: } E(t) &= \sigma \cdot ZT \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $SL$ 、 $NL$ 、 $DI$ 、 $DT$  由鱼雷自导系统决定;  $TS$  为目标强度;  $\sigma$  为随机变量  $ZT$  的均方差。

由式(2)经过变换可得:

$$\begin{aligned} \text{主动: } TL &= (SL + TS - NL + DI - DT - \sigma \cdot ZT) / 2 \\ \text{被动: } TL &= SL - NL + DI - DT - \sigma \cdot ZT / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)求得传播损失  $TL$  后, 再根据  $TL$  值与距离的对应关系, 即可求出鱼雷主动(或被动)自导作用距离。

### 3 尾流自导鱼雷发现模型

尾流自导鱼雷通过探测水面舰船目标尾流攻击目标,鱼雷发现与跟踪的不是目标本身而是目标尾流,当鱼雷进入目标舰船尾流,检测到尾流信号,认为发现目标,开始跟踪目标。

水面舰船的尾流具有声物理场、热物理场、磁物理场和光物理场等物理场效应,尾流自导鱼雷可以利用尾流的这些不同的物理场效应实现制导,目前在工程上应用最为广泛的是声物理场效应,相应的鱼雷称为声尾流自导鱼雷(分为主动声尾流自导鱼雷和被动声尾流自导鱼雷2种)。

#### 3.1 尾流特征模型

尾流特征主要是指尾流长度、宽度和厚度等指标。在建模与仿真时,一般不考虑尾流厚度,因为水面舰船的尾流厚度一般为1~2.5倍吃水深度,而尾流自导鱼雷设定的搜索深度通常能够保证鱼雷航行在目标尾流厚度范围内。

##### (1) 尾流长度

尾流长度与水面舰船的船型、吨位、速度、吃水和海况等直接相关,一般情况下可达数千米。为了保证尾流自导鱼雷能够有效地检测到尾流,根据经验公式,尾流有效长度模型<sup>[1]</sup>为:

$$L_m = \begin{cases} (200 \sim 300) \cdot V_m, & \text{1,2级海况} \\ 180 \cdot V_m, & \text{3级海况} \\ 120 \cdot V_m, & \text{4.5级海况} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $L_m$  为尾流长度(m);  $V_m$  为目标速度(m/s)。

##### (2) 尾流宽度

尾流宽度与水面舰船的宽度、速度和转向机动等直接相关。尾流在舰尾宽度约为0.5倍舰宽,从舰船尾端开始尾流有一较大扩散角,约为 $40^\circ \sim 60^\circ$ ,尾流扩散到一定距离时扩散角会急剧减小(一般小于 $1^\circ$ ),这时尾流宽度约为2.5倍舰宽,当距离再远时,尾流宽度基本稳定。在舰船加速或变向时,尾流宽度相应增加。

尾流宽度的经验公式<sup>[1]</sup>如下:

$$W_m = 0.5 \cdot W_f + g \cdot V_f \cdot T \quad (5)$$

其中,  $W_m$  为尾流宽度(m);  $W_f$  为舰船最大宽度(m);  $g$  为宽度扩展常数,当扩散角为 $40^\circ$ 时取0.36397,当扩散角为 $60^\circ$ 时取0.57735<sup>[6]</sup>;  $V_f$  为舰船速度(m/s);  $T$  为自舰船尾部至相应尾流处的累积时间。当  $W_m$  大于2.5倍舰宽时,取  $W_m = 2.5 \cdot W_f$ 。

#### 3.2 尾流区域几何模型

由于尾流所具有的以上长度和宽度特征,尾流区域的几何形状总体上是不规则的。在建模与仿真中,在足够小的时间间隔  $\Delta T$  内,可以近似地认为尾流区域是一个四边形区域,因此,可以将整条尾流看成是小的四边形区域的集合。

在二维平面坐标系中,尾流区域如图3所示,只要建立每个小四边形区域的模型,再通过仿真计算,即可拟合出整条尾流区域的几何模型。

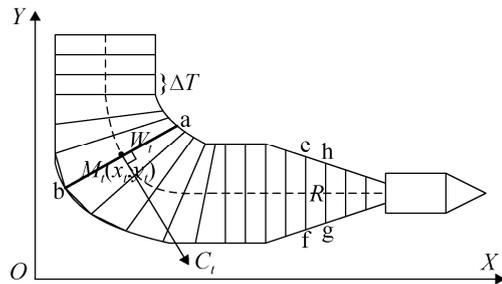


图3 水面舰船尾流区域示意图

Fig. 3 Diagram of wake area of surface ship

如图3所示,虚线为水面舰船的航迹,  $M_t$ 、 $W_t$ 、 $C_t$  分别为某一时刻  $t$  水面舰船的位置、尾流宽度和航向,  $a$ 、 $b$  为时刻  $t$  尾流边界点。由图可知,边界点  $a$ 、 $b$  可由下式得出:

$$\begin{cases} a = x_t - \frac{1}{2} \cdot W_t \cdot \cos C_t \\ b = y_t + \frac{1}{2} \cdot W_t \cdot \sin C_t \end{cases} \quad (6)$$

由式(6)可求得尾流中每一个边界点的坐标,进而可以得到自水面舰船尾部开始至有效尾流结束的每一个小四边形的四个顶点(如图中小四边形  $R$  对应的  $efgh$ )的坐标,从而可以拟合出整条有效长度尾流的模型。

### 3.3 尾流检测模型

鱼雷是否发现尾流是通过判断鱼雷是否处在尾流中确定的, 鱼雷发现尾流后的跟踪弹道是通过判断鱼雷是否出了尾流来确定的, 这就涉及到尾流的检测问题。

主动声尾流自导应用最为广泛的是单波束和三波束 2 种模式<sup>[6]</sup>, 鱼雷通过发射主动声脉冲, 根据接收到回波信号的具体情况, 实现尾流检测。单波束模式下, 鱼雷通过顶视单波束实现尾流检测, 如果没有尾流回波信号, 则判断鱼雷在尾流外; 如果有尾流回波信号, 则判断鱼雷在尾流内。三波束模式下, 鱼雷通过顶视波束、左波束和右波束 3 个波束共同实现尾流检测, 如果三个波束均没有尾流回波信号, 则判断鱼雷在尾流之外; 如果右波束和顶视波束有尾流回波信号, 而左波束没有尾流回波信号, 则判断鱼雷在尾流左边沿; 如果三个波束都有尾流回波信号, 则判断鱼雷在尾流中; 如果左波束和顶视波束有尾流回波信号, 而右波束没有尾流回波信号, 则判断鱼雷在尾流右边沿。

在建模与仿真过程中, 建立尾流检测模型实质上就是判断鱼雷的波束与海平面的交点是否落在有效尾流的几何区域内, 区别仅在于单波束有一个交点, 而三波束有 3 个交点。在二维平面坐标系中, 单波束由于是顶视波束, 其与海平面的交点即是鱼雷的二维平面位置; 三波束与海平面的 3 个交点, 如图 4 所示。

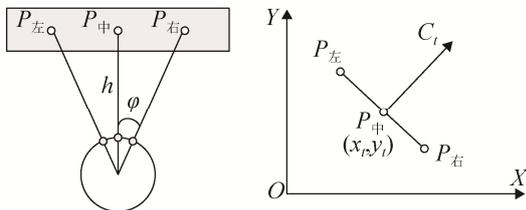


图 4 三波束三交点示意图

Fig. 4 Diagram of three intersection points of three beams

假设某一时刻  $t$  鱼雷位置为  $(x_t, y_t)$ , 航向为  $C_t$ , 深度为  $h$ , 波束角为  $\phi$ , 则 3 个交点  $P_{中}(x_{中}, y_{中})$ 、 $P_{左}(x_{左}, y_{左})$  和  $P_{右}(x_{右}, y_{右})$  的坐标可表示为:

$$\begin{cases} x_{中} = x_t \\ y_{中} = y_t \\ x_{左} = x_{中} - h \cdot \tan \phi \cdot \cos C_t \\ y_{左} = y_{中} + h \cdot \tan \phi \cdot \sin C_t \\ x_{右} = x_{中} + h \cdot \tan \phi \cdot \cos C_t \\ y_{右} = y_{中} - h \cdot \tan \phi \cdot \sin C_t \end{cases} \quad (7)$$

求出各交点坐标后, 只要能够判断交点是否在目标有效尾流内即可, 实质上就是判断交点坐标是否落在组成目标有效尾流区域的各个小四边形几何区域内。

如图 5 所示, 不失一般性, 对于一个四边形  $efgh$ ,  $P$  点与其中每两个顶点构成三角形, 其中有 4 个角为  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  和  $\phi_4$ , 设:  $\alpha = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$ , 则, 判断  $P$  点是否落入该四边形几何区域内的方法是:

$$\begin{cases} \alpha = 2\pi, \text{ 落入区域内} \\ \alpha < 2\pi, \text{ 不在区域内} \end{cases} \quad (8)$$

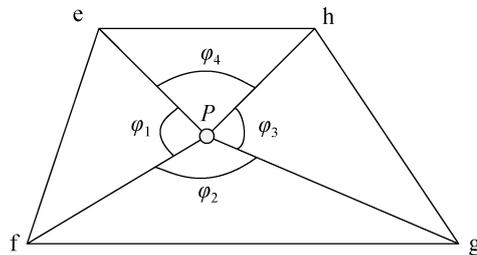


图 5 某点落入四边形区域判断示意图

Fig. 5 Diagram of judgment of some point in quadrilateral area

## 4 鱼雷命中判断模型

鱼雷发现目标后进行跟踪, 直到命中目标或航程耗尽。根据命中判断需求的不同, 鱼雷命中判断模型可以解决 3 个层次的问题: 一是鱼雷能否命中目标; 二是鱼雷命中目标的部位; 三是鱼雷命中目标的精度。

### 4.1 目标几何模型

从几何特征分类, 目标可以分为点目标、线目标、面目标和立体目标四类<sup>[5,7]</sup>。点目标是幅员很(极)小的目标, 其面积可忽略不计; 线目标是一维

目标,有一定的长度,有的目标也可以认为长度无限;面目标是二维目标,在水平(或垂直)平面上占有一定面积,为了问题研究方便,通常将其近似处理成正方形、长方形、圆形、椭圆形等规则形状;立体目标是三维目标,在空间中占有一定体积,通常也根据需要将其实近似处理成正方体、长方体、圆球体、椭圆体等规则的几何形状。

对于鱼雷而言,目标一般是水面舰艇、潜艇等舰船目标,根据命中判断的不同需求,可以将这些目标相应地处理成点目标、线目标、面目标或立体目标。点目标即目标在二维平面坐标系中的坐标点 $(x_m, y_m)$ ,如图6(a)所示;线目标即目标长度对应的两个端点在二维平面坐标系中的坐标点 $(x_{m1}, y_{m1})$ 和 $(x_{m2}, y_{m2})$ 构成的线段,如图6(b)所示;面目标即长度为 $2a$ 、宽度为 $2b$ 的目标,在二维平面坐标系中的面积图形,如图6(c)所示;体目标即长度为 $2a$ 、宽度为 $2b$ 、高度为 $2c$ 的目标,在三维立体坐标系中的体积图形,如图6(d)所示。

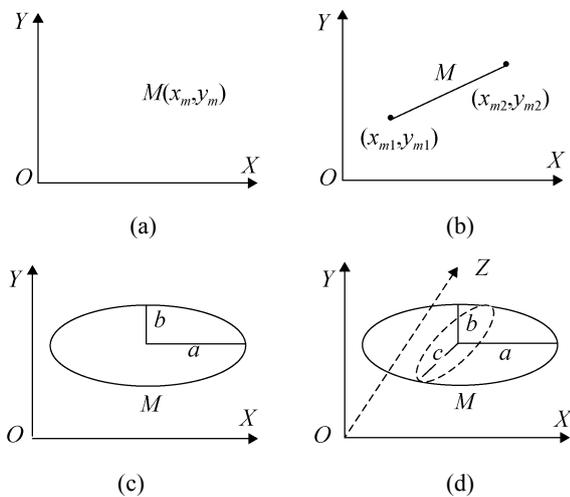


图6 目标几何形状示意图  
Fig. 6 Diagram of target geometry

对于水面舰艇、潜艇等舰船目标,当处理成面目标时,可以将其处理成长方形或椭圆形;当处理成体目标时,可以将其处理成长方体或椭球体。处理成线目标、面目标和体目标时,目标长度为吃水线的长度(潜艇在水下时为潜艇长度),目标宽度为吃水线的宽度(潜艇在水下时为潜艇宽度),目标深

度为吃水线的深度(潜艇在水下时为潜艇高度)。

如图6所示,当分别处理成点目标、线目标、椭圆形和椭球体时,可得公式如下:

$$\begin{cases} \text{点目标: } (x_m, y_m) \\ \text{线目标: } \frac{y - y_{m1}}{x - x_{m1}} = \frac{y_{m2} - y_{m1}}{x_{m2} - x_{m1}} \\ \text{面目标: } \frac{(x - a_0)^2}{a^2} + \frac{(y - b_0)^2}{b^2} = 1 \\ \text{体目标: } \frac{(x - a_0)^2}{a^2} + \frac{(y - b_0)^2}{b^2} + \frac{(z - c_0)^2}{c^2} = 1 \end{cases} \quad (9)$$

式中: $(a_0, b_0)$ 为椭圆形中心点坐标; $(a_0, b_0, c_0)$ 为椭球体中心点坐标。

## 4.2 命中判断模型

建立目标几何模型后,命中判断问题就相应地转化成鱼雷质心坐标能否与相应的点目标、线目标、面目标或立体目标接近到特定距离(鱼雷非触发引信动作的距离)。

以椭圆形面目标为例,如图7所示,可得:

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{a} \\ r = \sqrt{\frac{b^2}{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \phi}} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $a$ 为椭圆形半长; $b$ 为椭圆形半宽; $\varepsilon$ 为椭圆形的离心率; $r$ 为雷目连线与椭圆形边界交点距椭圆形中心点的距离; $\phi$ 为鱼雷相对于目标的舷角; $R_f$ 为鱼雷非触发引信作用距离; $C$ 为目标航向; $D$ 为鱼雷与目标的距离。

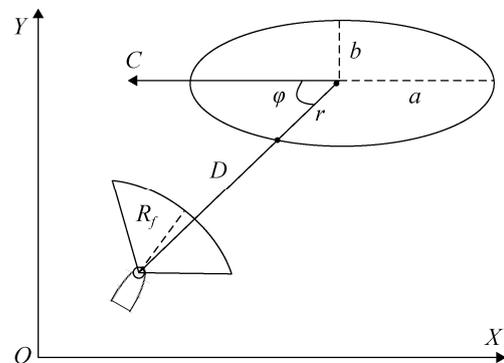


图7 椭圆形面目标命中判断示意图  
Fig. 7 Diagram of hitting judgment of oval face target

由图7可知, 当满足  $D \leq (r+R_f)$  时, 鱼雷命中目标。

## 5 结论

在潜艇鱼雷攻击过程“选定攻击目标—确定攻击方式—占领攻击阵位—确定鱼雷使用要素—组织射击通道—控制发射武器—观察攻击效果”中, 潜艇鱼雷射击过程介于“控制发射武器”和“观察攻击效果”两个阶段之间, 是潜艇鱼雷攻击过程建模与仿真的重要组成部分。通过分析鱼雷射击过程七阶段弹道流程, 系统地建立了针对潜艇鱼雷射击过程的全流程仿真模型, 包括声自导鱼雷的目标检测模型和鱼雷自导作用距离模型, 尾流自导鱼雷的尾流特性模型、尾流区域几何模型和尾流检测模型, 目标几何模型、鱼雷命中判断模型和快速命中判断模型等, 所建模型已经在某型潜艇作战应用研究系统中得到成功应用, 被证明具有粒度细、精度高、鲁棒性好等优点, 尤其适用于潜艇作战战术层次问题研究, 为潜艇鱼雷攻击、鱼雷作战使用和鱼雷作战效能分析等作战问题的建模与仿真研究奠定了基础。

## 参考文献:

- [1] 曹庆刚, 毛秋丹, 房毅. 某型潜艇尾流自导鱼雷命中概率方法研究[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(3): 132-136.  
Cao Qing-gang, Mao Qiu-dan, Fang Yi. The Hitting Probability's Methods of X-model Wake Homing Torpedo[J]. Ship Electronic Engineering, 2015, 35(3): 132-136.
- [2] 李宗吉, 任斌, 孙玉松, 等. UUV 自航发射鱼雷过程的建模与仿真[J]. 舰船科学技术, 2014, 36(12): 186-191.  
Li Zong-ji, Ren Bin, Sun Yu-song, et al. Modeling and Simulation of Trajectory for UUV with Torpedo Swimming-out [J]. Ship Science and Technology, 2014, 36(12): 186-191.
- [3] 李本昌, 梁涛. 潜艇鱼雷射击模型的通用化处理及运用[J]. 鱼雷技术, 2013, 21(5): 384-387.  
Li Ben-chang, Liang Tao. Generalization and Application of Shooting Models of Submarine-launched Torpedo[J]. Torpedo Technology, 2013, 21(5): 384-387.
- [4] 朱文振, 叶浩亮, 李国良. 鱼雷命中精度试验方案研究[J]. 鱼雷技术, 2012, 20(3): 231-235.  
Zhu Wen-zhen, Ye Hao-liang, Li Guo-liang. Testing Scheme for Torpedo Hitting Accuracy[J]. Torpedo Technology, 2012, 20(3): 231-235.
- [5] 谢勇, 张静远, 谌剑, 等. 体目标条件下反潜鱼雷命中目标模型[J]. 海军工程大学学报, 2011, 23(1): 88-93.  
Xie Yong, Zhang Jing-yuan, Zhan Jian, et al. Target Hit Model of Anti-submarine Torpedoes Based on Target-body[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2011, 23(1): 88-93.
- [6] 蒋贤芬, 张静远, 刘文远. 线导+尾流自导鱼雷射击阵位仿真研究[J]. 鱼雷技术, 2008, 16(6): 57-62.  
Jiang Xian-fen, Zhang Jing-yuan, Liu Wen-yuan. Simulation of Fire Position for Wire Guiding and Wake Homing Torpedo[J]. Torpedo Technology, 2008, 16(6): 57-62.
- [7] 王小宁, 康凤举, 吴宇, 等. 体目标条件下的鱼雷攻击效果评估仿真方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(1): 403-405.  
Wang Xiao-ning, Kang Feng-ju, Wu Yu, et al. Investigative Methods Torpedo Attacking Effectiveness Evaluation of Based on Target-body[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2006, 26(1): 403-405.