

火箭助飞鱼雷作战弹道仿真系统*

吴宇

(海军驻上海地区军事代表局,上海 200233)

摘要:为火箭助飞鱼雷的弹道仿真研究提供有效的平台,根据火箭助飞鱼雷全弹道运动流程,建立了其空中和水下的动力学、运动学、控制导引及风场环境等模型,应用面向对象方法设计了仿真模型,构建了仿真系统。对典型态势进行仿真,得到了全弹道曲线和特征点处战技指标参数,结果表明所建模型正确,仿真系统具有良好的可操作性。

关键词:火箭助飞鱼雷;弹道;建模;仿真系统

中图分类号:TJ630.1 **文献标志码:**A

Rocket-assisted Torpedo Trajectory Simulation System

WU Yu

(Navy Military Representative Bureau in Shanghai Area, Shanghai 200233, China)

Abstract:In order to provide an effective test bed for the rocket-assisted torpedo trajectory simulation research, according to the motion process of its trajectories, the models of the dynamics, the kinematical equation, the guidance and control equation, the wind field environment, etc. in air and under the water were built, and the object-oriented methods were applied to the simulation system design. The trajectory curves and technical parameters of characteristic points were acquired. The results show that the models are reliable, and the simulation system is exercisable.

Keywords:rocket-assisted torpedo; trajectory; modeling; simulation system

0 引言

火箭助飞鱼雷具有速度高、射程远、反应快、突击性强等优点,可弥补舰载管装鱼雷射程不足的缺点,实现对敌潜艇的先敌发射,从而成为一种重要的反潜武器。到目前为止,已先后经历三代,并向着垂直发射、高速远程和高精度制导方向发展。

国内对火箭助飞鱼雷也展开了大量的研究,建立了相应的模型^[1],并对诸如落点分布^[2]、效能评估^[3]等问题进行了分析,取得了一系列成果。文中在建立火箭助飞鱼雷全弹道动力学运动学、控制与导引模型及风场环境模型的基础上,开发了仿真系统,可以对指令修正、闭路导引等重要阶段进行深入的分析与研究,从而为其弹道设计与作战应用仿真研究提供有效的手段。

1 系统总体设计

1.1 系统结构与功能

火箭助飞鱼雷作战仿真系统由仿真应用层、运行

支撑软件层、网络通信层组成;在界面上则包括数据显示、曲线显示、态势信息显示以及人工干预控制等;在模型上,都包含有实体运动模型、探测模型、发控模型等;对于分布式的仿真系统,则还包括节点间通信的网络接口、管理与服务功能等。

系统由四个模块——接口模块、人机界面模块、模型解算模块及数据管理模块组成,实现多种态势下应用火箭助飞鱼雷对潜攻击的作战过程的鱼雷弹道、攻击效果等进行仿真分析的功能。系统总体框架结构如图1所示。

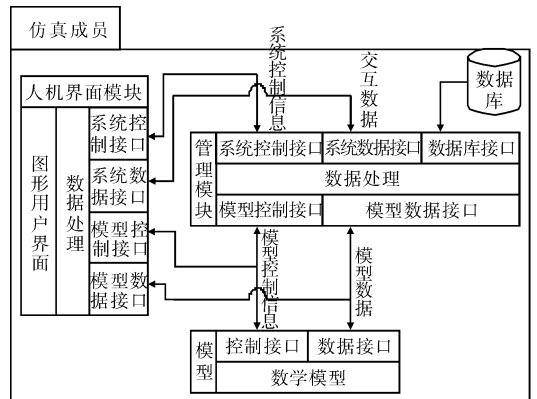


图1 系统总体框架结构图

* 收稿日期:2010-09-15

作者简介:吴宇(1981-),男,江苏常熟人,工程师,博士,研究方向:系统仿真。

1.2 系统工作原理

在运行仿真系统时,首先进行态势设定即初始化,包括目标初始距离与方位,运动方向、速度,战场风况,射击方式,瞄准方式等等。在仿真开始后,则进行模型实时解算与显示,以鱼雷命中目标或航程耗尽为仿真结束标志。系统工作原理如图 2 所示。

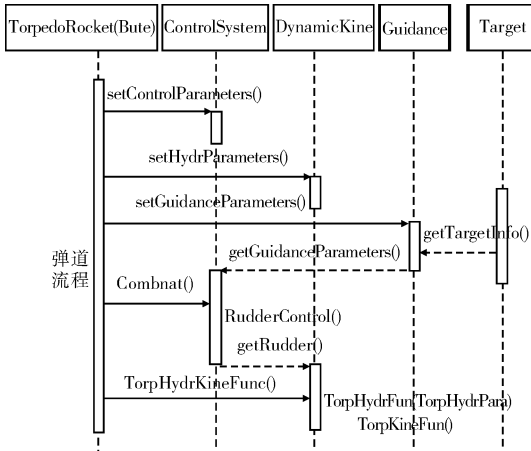


图 2 火箭助飞鱼雷仿真运行流程图

2 模型设计

在火箭助飞鱼雷建模过程中所涉及的数学模型包括动力学运动学模型、控制模型、导引模型以及大气环境模型等。这些模型相互作用,共同构建了火箭助飞鱼雷弹道仿真的基础。

2.1 数学模型

2.1.1 动力学模型

火箭助飞鱼雷在空中的动力学方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{V}_z \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \mathbf{C}_b^p \begin{bmatrix} P - X \\ N \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, P 为推力, X, N, Z 分别为三个轴向的气动力。

在水下的动力学方程为:

$$\begin{bmatrix} dV_x/dt \\ dV_y/dt \\ dV_z/dt \\ d\omega_x/dt \\ d\omega_y/dt \\ d\omega_z/dt \end{bmatrix} = [\mathbf{A}^{-1}] \cdot \begin{bmatrix} F_{sx} + F_{gx} + F_{tx} \\ F_{sy} + F_{gy} + F_{ty} \\ F_{sz} + F_{gz} + F_{tz} \\ M_{sx} + M_{gx} + M_{tx} \\ M_{sy} + M_{gy} + M_{ty} \\ M_{sz} + M_{gz} + M_{tz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, \mathbf{A} 是质量矩阵。

2.1.2 控制模型

火箭在飞行过程中根据导引方法或程序设定来控制俯仰、偏航和横滚,在不同的阶段采用不同的控制方法。

主动段和水下段采用 PD 控制方式,控制方程为:

$$\begin{cases} \delta_{a_c} = k_{\omega_x} (K_\gamma \cdot \Delta\gamma + \omega_{x1}) \\ \delta_{r_c} = k_{\omega_y} (K_\psi \cdot \Delta\psi + \omega_{y1}) \\ \delta_{e_c} = k_{\omega_z} (K_\vartheta \cdot \Delta\vartheta + \omega_{z1}) \end{cases} \quad (3)$$

比例导引^[4]时的控制方程为:

$$\begin{cases} \delta_{e_c} = k_{n_y} (n_y + n_{y_c}) + k_{\omega_z} \omega_z \\ \delta_{r_c} = k_{n_z} (n_z + n_{z_c}) + k_{\omega_y} \omega_y \end{cases} \quad (4)$$

2.1.3 大气模型

由于火箭助飞鱼雷在飞行过程中高度变化很大。在这个空间内,大气的许多物理参数如密度、温度、压强等变化直接影响鱼雷的受力;此外,风对鱼雷的弹道、姿态的影响也很大。因此,在建模时必须考虑这些影响因素。

1) 大气环境

$$\begin{cases} T = T_o + L_{Mb} H_1 \\ p_H = p_o \left(\frac{T_o}{T} \right)^{\frac{9.80665}{287.05287 \times L_{Mb}}} \\ \rho = \rho_o \left(\frac{T_o}{T} \right)^{\left(1 + \frac{9.80665}{287.05287 \times L_{Mb}} \right)} \\ V_a = 20.0468 \sqrt{T} \end{cases} \quad (5)$$

2) 风场模型

风速的计算公式为:

$$\begin{bmatrix} V_{fx} \\ V_{fy} \\ V_{fz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_f \cos(A_o - A_f) \\ 0 \\ -W_f \sin(A_o - A_f) \end{bmatrix} \quad (6)$$

风干扰主要产生附加干扰攻角,并使动压引起改变,从而使气动力发生变化。

2.2 仿真模型

火箭助飞鱼雷的模型比较复杂,涉及相互关联的多个子系统。因此,按软件工程化设计方法,遵循高内聚低耦合^[5]的原则,将仿真模型分为基类、控制系统类、动力学运动学类、制导系统类等几个主要模块,其结构及相互间关系如图 3 所示。其中, TorpedoBase 是抽象类,提供发射诸元参数装订、鱼雷结构参数和动力参数的设置、计算及坐标系之间的转换等功能; DynamicKine 类实现鱼雷在六个自由度上所受的力、力矩、过载以及速度、位置、姿态等参数的计算功能; GuidanceSystem 类实现鱼雷在运动过程中导引率、控制信号的计算; ControlSystem 类则实现横滚、俯仰、偏航三通道控制方程的计算等功能。这些类与 TorpedoBase 类是聚合关系。 TorpedoRocket 类和 TorpedoBute 类均由 TorpedoBase 类派生而来,是在

仿真中实际应用的类。通过这一设计,使得空中飞行段的火箭和水中运动段的鱼雷能调用同一个模型而不需要再单独进行开发,并与仿真系统其它部分如界面、数据管理等相互独立,提高了模型的通用性。

3 仿真实例

火箭助飞鱼雷的作战态势包括近中远三种射程,瞄准方式有当前点和前置点,射击方式有单射和双雷齐射,环境则可分为标况、顺风、逆风及侧风等。主要考察指标包括弹道顶点高度、飞行时间、落点雷目距离、最大速度、攻角、雷箭分离时姿态及命中概率等。选取某一典型态势进行仿真,结果如图 4 所示。对部分数据统计结果如表 1 所示。通过仿真结果与实际试验的数据对比,验证了模型的可信度。

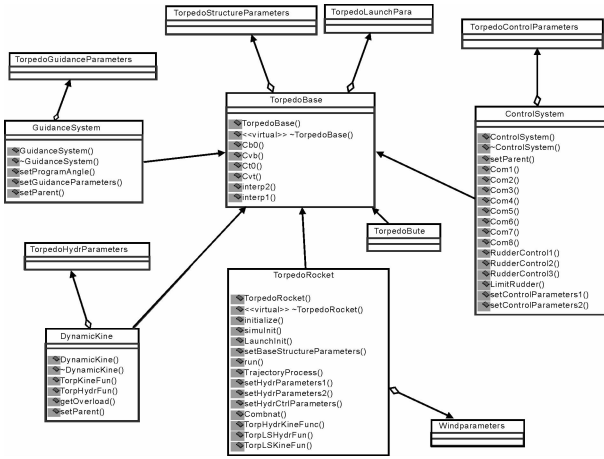


图 3 火箭助飞鱼雷仿真模型结构图

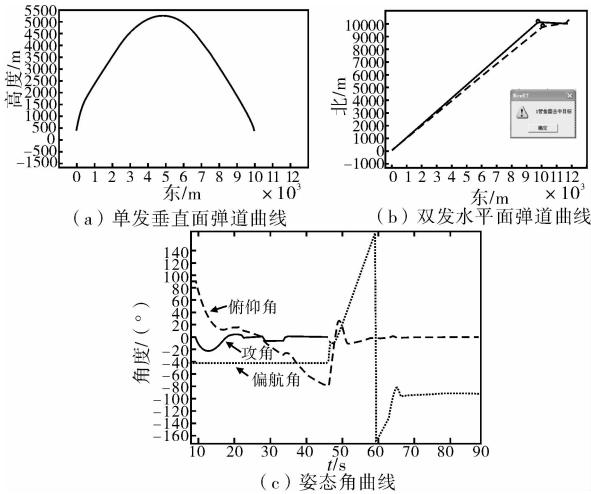


图 4 仿真结果曲线图

表 1 仿真结果统计表

参数	标况	顺风	逆风	正侧风
最大速度/(m/s)	340	341.2	343.3	340
最大负攻角/(°)	-10.9	-11.6	-11	-11
滑翔攻角/(°)	16	16.6	10.8	19.1
分离点速度/(m/s)	195	206.4	175	192
分离点俯仰角/(°)	-18	-15.5	-31.5	-16.9
落点雷目距离/m	605	598	648	622

4 结论

文中用面向对象方法建立了火箭助飞鱼雷仿真模型,设计并实现了弹道仿真软件。仿真运行结果表明,所建模型可信并具有良好的可扩展性与可重用性,仿真系统具有友好的人机界面,操作简便,为火箭助飞鱼雷及类似武器系统的弹道仿真测试提供了方便有效的试验平台。

参考文献:

[1] 薛晓忠,邵大燮,金友兵. 火箭助飞鱼雷的弹道分析[J]. 兵工学报,2001,22(4):452-455.

[2] 寇祝,周明. 基于超视距通道的火箭助飞鱼雷射击效率研究[J]. 鱼雷技术,2009(2):57-60.

[3] 孟庆操,赵晓哲. 一种快速解算火箭助飞鱼雷关机点方法[J]. 火力与指挥控制,2009(7):82-85.

[4] Matt Robb, Brian A White, A Tsourdos, et al. Reachability guidance; A novel concept to improve mid-course guidance[C]//AACC, 2005: 339-345.

[5] Mike O'Docherty. Object-oriented analysis and design: Understanding system development with UML2. 0 [M]. John Wiley & Sons, 2005.