

8-7-2020

Active-combine-passive Homing Trajectory Simulation and Accuracy Analysis for Anti-torpedo Torpedo

Congshan Xiao

1. College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;;;2. Underwater Information and Control Laboratory, Xi'an 710072, China;

Huizhen Yang

1. College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;;;2. Underwater Information and Control Laboratory, Xi'an 710072, 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.

Active-combine-passive Homing Trajectory Simulation and Accuracy Analysis for Anti-torpedo Torpedo

Abstract

Abstract: An active-combine-passive homing model was established based on mathematics model of relative motion and automatically-adjust-lead-angle method. A simulation method of working process was designed about the *active-combine-passive homing* and simulates the trajectory. The influence on the guidance accuracy caused by homing range, sector angle and active-homing cycle was analyzed by using Monte Carlo method. Simulation result indicates that active-combine-passive homing owns a high level effect of interception, the guidance accuracy can be effectively improved by increasing homing range and homing sector angle and decreasing the active-homing cycle.

Keywords

anti-torpedo torpedo, active-combine-passive homing, homing accuracy, automatically- adjust-lead-angle method

Recommended Citation

Xiao Congshan, Yang Huizhen. Active-combine-passive Homing Trajectory Simulation and Accuracy Analysis for Anti-torpedo Torpedo[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2213-2219.

反鱼雷鱼雷主被动联合导引弹道仿真及精度分析

萧丛杉^{1,2}, 杨惠珍^{1,2}

(1.西北工业大学 航海学院, 西安 710072; 2.水下信息与控制重点实验室, 西安 710072)

摘要: 基于雷目相对运动数学模型和多波束自动调整提前角法, 建立了主被动联合导引模型, 设计了主被动联合自导的工作过程仿真方法并对弹道进行仿真。利用蒙特卡洛统计法, 分析了主、被动自导作用距离、自导扇面角和主动自导周期对弹道导引精度的影响。仿真结果表明: 主被动联合自导具有较好的拦截效果, 被动自导作用距离越大、自导扇面角越大、主动自导周期越小越有利于提高导引精度。

关键词: 反鱼雷鱼雷; 主被动联合导引; 导引精度; 自动调整提前角法

中图分类号: TJ63

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 09-2213-07

Active-combine-passive Homing Trajectory Simulation and Accuracy Analysis for Anti-torpedo Torpedo

Xiao Congshan^{1,2}, Yang Huizhen^{1,2}

(1. College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Underwater Information and Control Laboratory, Xi'an 710072, China)

Abstract: An active-combine-passive homing model was established based on mathematics model of relative motion and automatically-adjust-lead-angle method. A simulation method of working process was designed about the *active-combine-passive homing* and simulates the trajectory. The influence on the guidance accuracy caused by homing range, sector angle and active-homing cycle was analyzed by using Monte Carlo method. Simulation result indicates that active-combine-passive homing owns a high level effect of interception, the guidance accuracy can be effectively improved by increasing homing range and homing sector angle and decreasing the active-homing cycle.

Keywords: anti-torpedo torpedo; active-combine-passive homing; homing accuracy; automatically-adjust-lead-angle method

引言

由于来袭鱼雷具有速度快、体积小、机动性强等特点, 反鱼雷鱼雷(anti-torpedo torpedo, ATT)与来袭鱼雷对抗时间短, 要求 ATT 全弹道精确导引和一次性攻击成功, 因此, 导引弹道设计是需要解

决的关键问题之一。文献[1]探讨了 ATT 可能采用的自导方式, 包括: 主动自导方式、被动自导方式、脉冲侦查自导方式、多基地自导方式和诱骗自导方式, 并指出 ATT 宜采用组合自导方式, 充分发挥各种自导方式的优势。由于传统主被动自导方式适应面广, 因此, 本文重点分析主、被动声自导联合工作时的导引弹道和精度。

假设 ATT 有主动、被动和主被动联合三种自导搜索方式, 一般在雷目距离大或目标高速运动的情况下, 若被动自导一段时间后未能发现目标, 则转为主动自导或主动、被动交替自导的方式^[2]。这



收稿日期: 2015-05-10 修回日期: 2015-07-31;
基金项目: 国防科技重点实验室基金(9140C2304041
30C23084)

作者简介: 萧丛杉(1992-), 女, 新疆伊犁, 硕士生,
研究方向为反鱼雷鱼雷控制与仿真; 杨慧珍(1974-),
女, 江西, 博士, 副教授, 水下航行器控制与仿真。

种自导方式既能克服主动自导数据更新慢, 自导作用距离有限的缺点, 又能改善被动自导抗干扰能力差的特点, 对提高 ATT 弹道导引精度有显著效果。

本文在鱼雷水平面动力学模型基础上, 建立了主被动联合导引的仿真模型, 通过设置主动自导计数器的方法模拟了主动自导目标回波的延迟特性, 并利用蒙特卡洛法统计法, 分析了在自动调整提前角法下, 主、被动自导作用距离、自导扇面角和主动自导周期对以脱靶量为表征的导引精度的影响。

1 主被动联合导引模型

自导鱼雷有连个搜索扇面, 垂直扇面和水平扇面, 由于垂直扇面搜索宽度较宽且散布误差有限, ATT 在垂直面的拦截概率可以看做是 1, 因此, 本文仅考虑 ATT 在水平面中的拦截问题。

1.1 雷目相对运动数学模型

借鉴鱼雷的动力学方程, 将简化的鱼雷水平面运动线性方程组、来袭鱼雷质点运动方程和雷目相对运动方程联立, 得到 ATT-来袭鱼雷导引运动的数学模型^[3]。假设来袭鱼雷的运动规律是预先给定的, 即 v_t, Ψ_t 已知, 直舵角 δ 由导引方式来确定。

$$\begin{cases} \dot{\omega} = c_{11}\omega + c_{12}\beta + c_{13}\delta \\ \dot{\beta} = c_{21}\omega + c_{22}\beta + c_{23}\delta \\ \dot{\psi} = \omega \\ \dot{\Psi} = (1 - c_{21})\omega - c_{22}\beta - c_{23}\delta \\ \dot{x} = v \cos \Psi \\ \dot{y} = v \sin \Psi \\ \dot{y}_t = v_t \sin \Psi_t \\ \dot{x}_t = v_t \cos \Psi_t \\ \dot{r} = v_t \cos(q - \Psi_t) - v \cos(q - \Psi) \\ \dot{q} = \frac{1}{r} [v \sin(q - \Psi) - v_t \sin(q - \Psi_t)] \end{cases} \quad (1)$$

其中: ω 为偏航角速度; β 为侧滑角; ψ 为偏航角; Ψ 为弹道偏角; δ 为直舵角。系数 $c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{21}, c_{22}, c_{23}$ 为模型参数。

1.2 多波束自动调整提前角导引法

由于多波束自导装置在鱼雷上的应用, 采用自

动调整提前角法可以使鱼雷按照近似平行接近法导向目标。本文建立了多波束自动调整提前角导引法的仿真模型。

鱼雷的多波束自导装置结构图如图 1 所示。

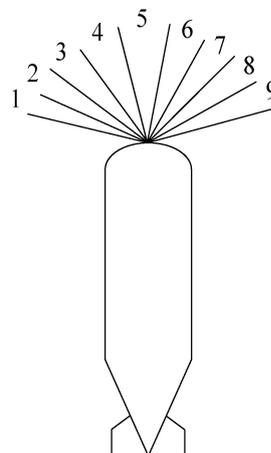


图 1 自导装置波束

该自导装置的水平波束由 9 个波瓣组成, 自导系统工作时通过判断目标信号在鱼雷头部波束的位置, 估计目标方位角信息, 然后按照自动调整提前角导引规则发出操舵指令, 其导引规则为^[4]:

- (1) 将初始声零轴设定在 5 号波束;
- (2) ATT 发现目标后, 若目标处在声零轴波束中则自导给出零舵角的信号; 若目标处在声零轴波束的左边, 自导给出左极限舵角的信号; 若目标处在声零轴波束的右边, 自导给出右极限舵角信号;
- (3) 若目标离开声零轴波束, 进入声零轴波束的右方, 则自导给出右极限舵角信号的同时, 声零轴向左移动一个波束;
- (4) 若目标离开声零轴波束, 进入声零轴波束的左方, 自导在给出左极限舵角信号的同时, 声零轴向右移动一个波束。

图 2 给出了自导系统从收到目标信号到给出操舵指令的逻辑流程。

1.3 主被动自导工作过程的仿真

主动自导工作过程包括发射信号、接受目标回波以及回波处理等过程, 由于声信号传输需要时间, 因此接受到回波的时间与发射时间在信号收发

过程中存在一个延时区域。同时, 为了把接受到的离散信号变成连续信息以便自导系统工作, 主动系统设置了“展宽功能”, 即当收到一个目标信号时,

主动系统将其变成连续时间为 T 的连续信号, 如图 3 所示。 T 表示发射信号周期。

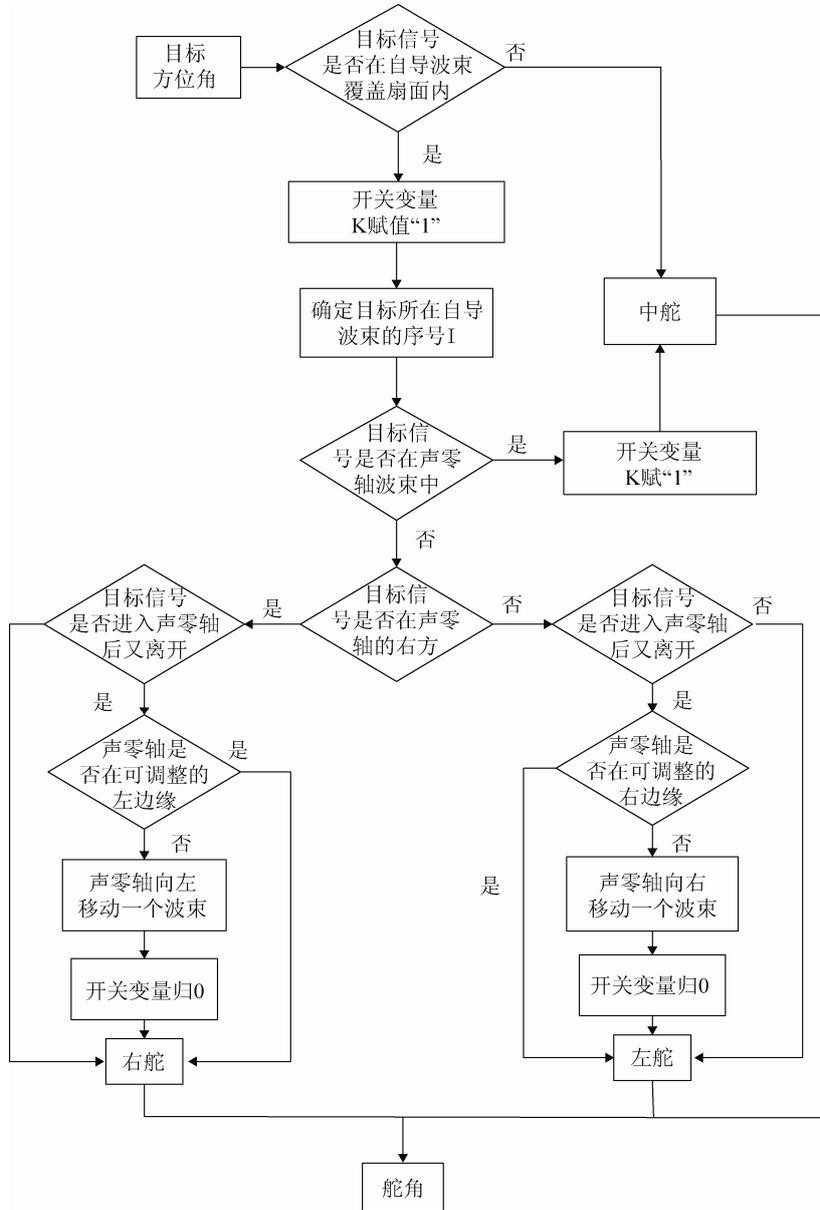


图 2 自导逻辑顺序图

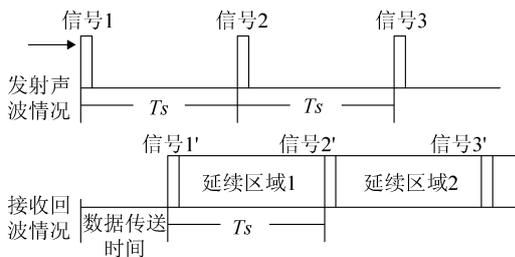


图 3 主动自导收发信号原理图

为了实现目标回波信号离散性的数字仿真, 我们在仿真模型中设置了一个主动自导计数器, 在仿真中令其计时量程为 T_s , 以保证满足计时量程时 ATT 能获得新的目标方位信息。

被动自导仅接受目标辐射噪声, 不存在延迟问题。来袭鱼雷进入被动探测范围内, 则认为 ATT 捕获到来袭鱼雷, 搜索段结束, 转入被动自导阶段,

如果来袭鱼雷进入主动探测范围内,则开始主动自导阶段^[5]。具体流程如下:

(1) 自导开机, ATT 开始被动探测。先计算雷目相对距离和目标方位角,判断目标是否进入被动自导扇面内,若发现目标则输出目标运动要素估计量,否则进入下一次循环。再判断目标是否进入主动自导扇面内,若是则进入第 2 步—主动探测阶段。

(2) 主动自导的计数器置零。模型每运行一步,计数器加 1,此时判断计数器数值与仿真步长的乘积是否超出主动自导周期范围,若超出则输出雷目相对距离和方位以及其他相应估计量,同时计数器清零,否则进入下一次循环。

主被动联合自导工作流程如图 4 所示。

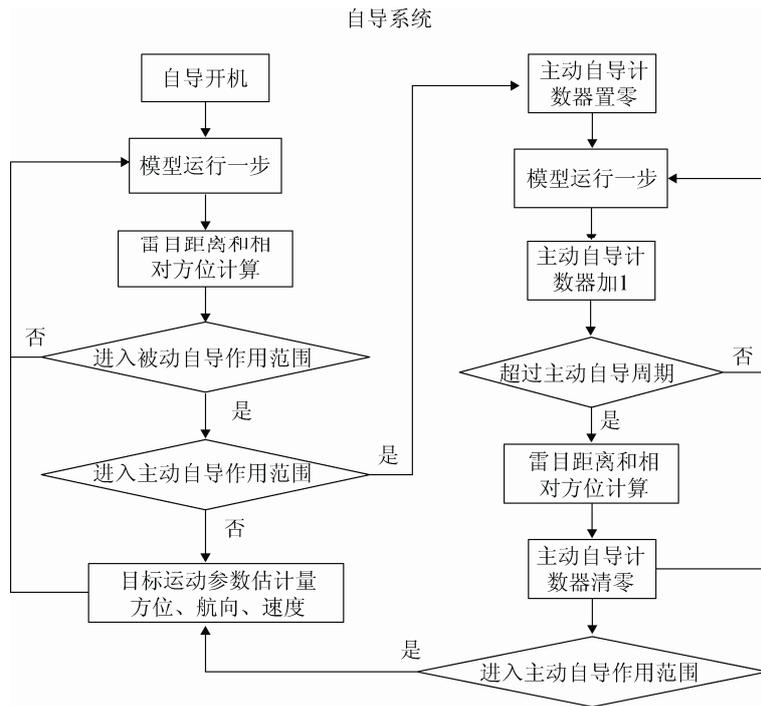


图 4 联合自导工作流程

2 导引弹道仿真

ATT-目标导引运动微分方程组(1)以及自导系统逻辑顺序构成了导引弹道数字仿真的基础,ATT 导引弹道数学仿真模型设计可用图 5 表示。

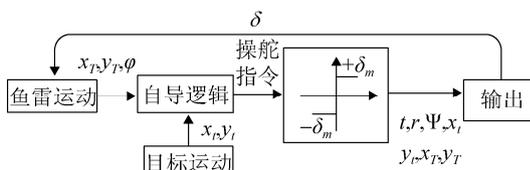


图 5 ATT 数学仿真模型图

ATT 导引弹道的仿真流程如图 6 所示。

流程描述:

(1) 仿真开始前首先设置仿真参数、仿真实体

(ATT 和目标)的基本运动参数以及 ATT 的自导系统性能参数。

(2) 根据 ATT 和目标的初始位置计算初始视线角,根据目标航向得出目标舷角,在此基础上利用发射角解算模型获得发射提前角。

(3) ATT 出管,通过转弯机动的方式调整到搜索主航向上,此时后自导系统开机,进入搜索段。在每个自导周期内根据所计算的目标方位角和雷目距离判断目标是否处于搜索扇面中,若发现目标则进入导引段,否则继续直航搜索,直至航程耗尽。

(4) 在导引段中 ATT 通过解算的目标方位和距离根据导引方法调整航向接近并拦截目标,若目标处于 ATT 引信作用范围内,ATT 爆炸,仿真结束。

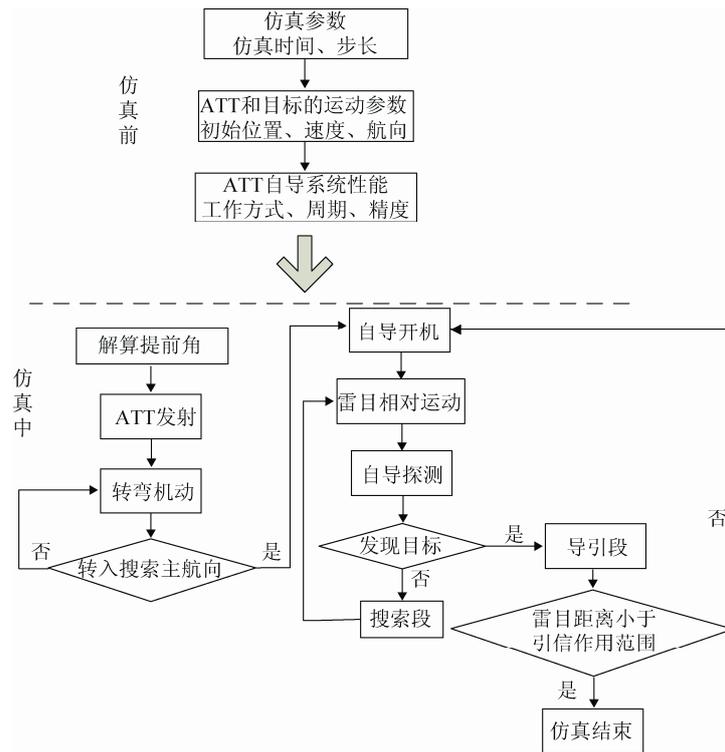


图 6 ATT 导引弹道的仿真流程图

在弹道仿真模型基础上, 利用了蒙特卡洛法, 对脱靶量的统计特性进行了研究。应用蒙特卡洛法统计包括以下内容: 确定各种随机干扰; 根据随机干扰, 随机抽样各项误差; 对获得的 N 次实验结果进行数理统计, 并给出精度评定。

本文主要考虑以下两种随机误差:

- (1) 目标方位角的测向误差 $\Delta\phi$, $\Delta\phi$ 服从 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 的标准正态分布;
- (2) ATT 理想航向角解算误差 $\Delta\psi$, $\Delta\psi$ 服从 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 的标准正态分布。

3 仿真结果

3.1 联合自导弹道仿真

首先对自动调整提前角导引下的联合自导导引弹道进行仿真。仿真条件如下:

- (1) 来袭鱼雷位置坐标(1200,800), ATT(0,0);
- (2) 来袭鱼雷航向为 -160° , ATT 初始航向为 5° , 舷角 -13.7° , 最佳航向角为 47.3814° (服从 $N(0,5^\circ)$ 的正态分布), 扇面角为 90° 有 9 个波束; (3) 速比为 1, 被动测向误差服从 $N(0,2^\circ)$ 的正态分布, 主

动测向误差 $N(0,0.5^\circ)$ 的正态分布; (4) 主动自导周期为 0.5 s, 作用距离为 250 m。

图 7(a)表示主动自导作用距离为 250 m, 被动自导作用距离 750 m 时的雷目相对运动轨迹, 图 (b)为 ATT 偏航角变化曲线。在 0~5 s 之间表示转弯过程; 5~15 s 间 ATT 处于搜索段, 航向角保持在设定搜索航向角上。15 s 时 ATT 发现目标后进入导引段, 在接近目标过程中, 由于声零轴的动态偏移, ATT 的提前角在 0° 附近变化导致偏航角小范围波动。

3.2 联合自导导引精度分析

仿真 1、被动自导作用距离对导引精度的影响

联合自导弹道仿真条件如上节, 设主动自导作用距离为 250 m 不变, 对不同被动自导作用距离下的 ATT 拦截目标模型进行 100 次仿真, 然后对得到的脱靶量进行统计分析, 结果如表 1 所示。

由表 1 中的脱靶量的均值和标准差可看出, 随着自导作用距离的增大, 平均值和标准差减小, 导引精度提高。

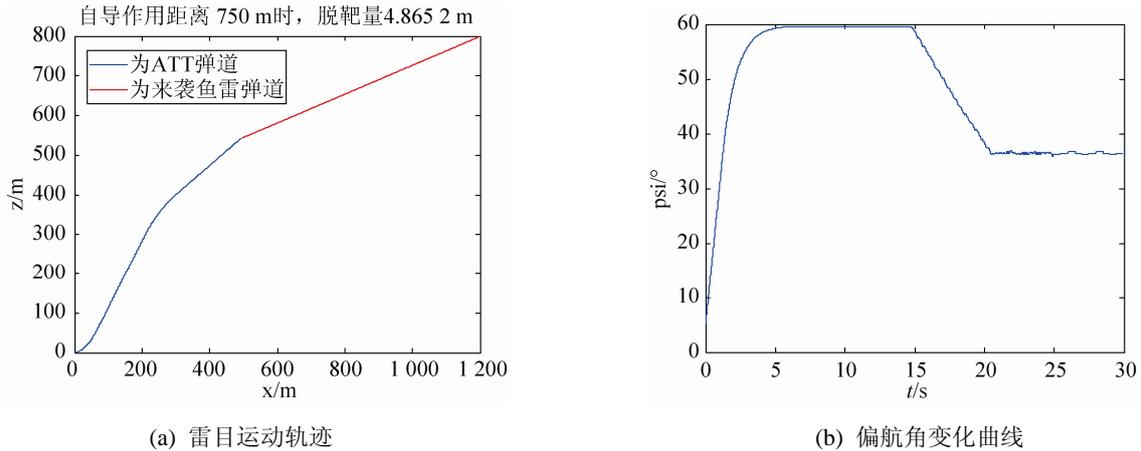


图 7 联合自导下的自动调整提前角导引弹道

表 1 不同被动自导作用距离下的脱靶量统计值

被动自导作用距离/m	600	650	700
平均值	7.05	5.76	5.25
标准差	10	6.32	3.46
被动自导作用距离/m	750	800	850
平均值	5.04	4.73	4.81
标准差	3	1.41	1.22

图 8 所示为 6 个不同被动自导作用距离下的 ATT 命中概率, 主动自导作用距离一定时, 当被动自导作用距离越大, 其命中概率越高。

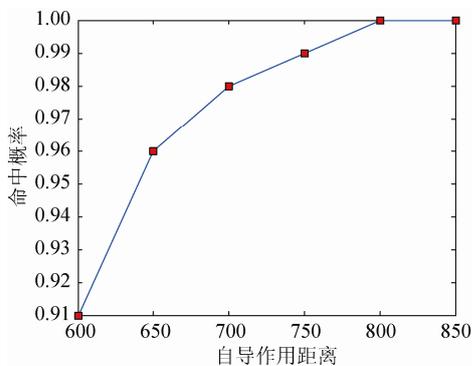


图 8 不同被动自导作用距离下的命中概率

仿真 2、主动自导作用距离对导引精度的影响

联合自导弹道仿真条件不变, 设被动自导作用距离为 750 m, 对不同主动自导作用距离的 ATT 拦截目标模型分别进行 100 次仿真。然后对得到的脱靶量进行统计分析, 结果如表 2 所示。

由表 2 中的脱靶量的均值和标准差可以看出, 在主动自导作用距离为 350 m 时, 脱靶量的均值和标准差最小, 此时导引精度最高。

表 2 不同主动自导作用距离下的脱靶量统计值

主动自导作用距离/m	200	250	300
平均值	5.95	5.07	4.80
标准差	7	3.1	1.5
主动自导作用距离/m	350	400	450
平均值	4.70	5.50	5.81
标准差	0.1	4.2	6.3

图 9 为 6 个不同主动自导作用距离下 ATT 的命中概率, 被动自导作用距离一定的情况下, 命中概率随着主动自导作用距离的增大, 先增加后减小, 在主动自导作用距离为 350 m 时达到最大的命中概率。

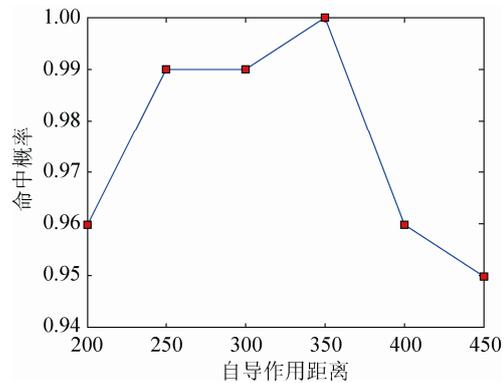


图 9 不同主动自导作用距离下的命中概率

仿真 3、自导扇面角变化对导引精度的影响

利用 3.1 节中的联合自导弹道仿真条件, 设被动作用距离 750 m, 被动测向误差 $N(0, 2^\circ)$, 主动作用距离 250 m, 主动测向误差 $N(0, 0.5^\circ)$, 分别对不同扇面角的 ATT 拦截目标模型进行 100 次仿真, 然后得到的脱靶量进行统计分析, 结果见表 3。

表 3 不同自导扇面角下的脱靶量统计值

自导扇面角/ $^{\circ}$	90	100	110
平均值	5.18	5.42	4.82
标准差	2.91	4.35	0.70
自导扇面角/ $^{\circ}$	120	130	140
平均值	4.75	5.05	4.75
标准差	0.54	2.82	0.54

由表 3 中的脱靶量的均值和标准差可看出, 在扇面角为 120° 和 140° 时, 脱靶量的均值和标准差都很小, 满足命中条件, 精度较高。

图 10 所示为 6 个不同自导扇面角下的 ATT 命中概率, 扇面角在 90° 到 140° 时, 联合自导下的命中概率都 $\geq 98\%$ 。

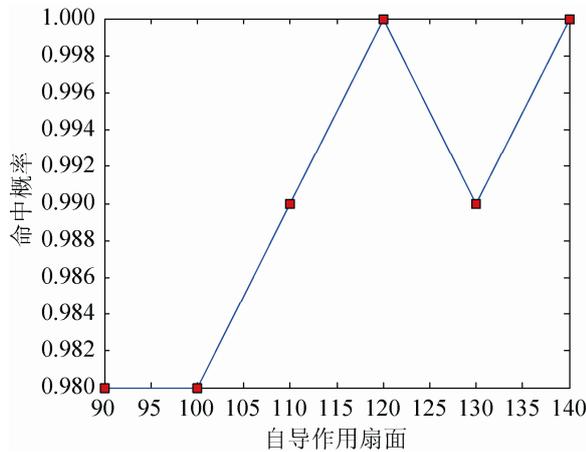


图 10 不同自导作用扇面角下的命中概率

仿真 4、主动自导周期对导引精度的影响

利用 3.1 节中的联合自导弹道仿真条件, 设被动作用距离 750 m, 被动测向误差 $N(0, 2^{\circ})$, 主动作用距离 250 m, 主动测向误差 $N(0, 0.5^{\circ})$, 分别对不同主动自导周期的 ATT 拦截目标模型进行 100 次仿真, 然后对得到的脱靶量进行统计分析, 结果如表 4 所示。

表 4 不同主动自导周期的脱靶量统计值

主动自导周期/s	0.4	0.5	0.6
平均值	4.79	5.61	4.75
标准差	0.775	5.099	0.548
主动自导周期/s	0.7	0.8	0.9
平均值	4.80	5.05	4.57
标准差	0.707	2	7.211

由表 4 中的脱靶量的均值和标准差可看出, 6 个周期下的脱靶量的均值和标准差均较小, 即导引精度较高。图 11 所示为 6 个主动自导周期下的 ATT 命中概率, 由图可看出不同自导周期下的命中概率均大于 96%。

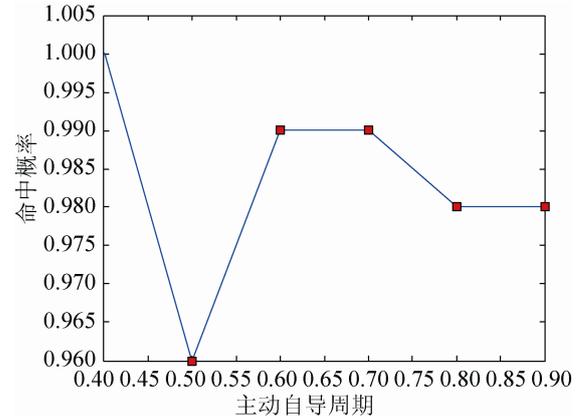


图 11 不同主动自导周期下的命中概率

4 结论

根据反鱼雷鱼雷的水平面动力学方程、雷目相对运动方程和自动调整提前角法的工作原理建立了导引弹道仿真模型, 设计了主被动联合自导的工作过程仿真方法, 利用蒙特卡洛法分析了主动、被动自导作用距离、自导扇面角和主动自导周期对脱靶量和 ATT 命中概率的影响, 仿真结果表明: 主被动联合自导兼备了主动自导和被动自导二者的优点, 具有较高的导引精度和 ATT 命中概率, 该结果可为反鱼雷鱼雷自导系统、导引方法和弹道设计提供参考。

参考文献:

- [1] 何心怡, 肖庆生, 张弛, 等. 反鱼雷鱼雷自导方式研究 [J]. 鱼雷技术, 2010, 18(1): 21-25.
- [2] 高磊. 水下目标被动跟踪及自适应导引律研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
- [3] 范一钢, 詹致祥. 鱼雷导引精度的统计分析 [J]. 舰船科学技术, 1988(1): 36-42.
- [4] 詹志祥. 鱼雷制导规律及命中精度 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1995.
- [5] 王光宇, 彭佩. 火箭助飞式反鱼雷鱼雷性能仿真 [J]. 鱼雷技术, 2013(6): 469-473.