

平台定位定向误差对舰艇联合打击效果影响分析

安瑾, 高峰端, 武宜川

江苏自动化研究所, 江苏 连云港 222061

摘要: 本文探讨了平台定位定向误差对武器打击效果的影响, 定量分析了平台定位和定向误差对毁伤期望、舰载导弹远程打击精度以及跨平台目指精度的影响, 给出了量化分析数据及其相互影响关系。

关键词: 平台定位定向误差; 毁伤期望; 远程打击精度; 跨平台目指

文献标识码: A

Abstract: This paper discusses the effect of platform position and orientation error to the weapon combat effectiveness, quantitatively analyse the effect of platform position and orientation error to expected damage, shipborne missile long distance strike precision and cross-platform target indication precision, give the quantitative analysis of data and mutual influence.

Key Words: plat location and orientation error; expected damage; long distance strike precision; cross-platform target indication

引言

随着我国国防科技现代化的发展, 高精武器系统性能日益提高, 为了充分发挥复杂战场环境下高精武器的作战效能, 必将会对目标定位精度提出更高的要求, 进而对平台的定位精度提出新的要求; 在多平台联合作战中, 远程精确打击、跨平台协同作战等都需要高精度的平台定位和定向信息。

一般而言, 平台的定位和定向精度越高, 武器系统对目标的捕获概率、打击精度和毁伤概率就越大, 本文将定量分析平台定位和定向误差对毁伤期望、舰载导弹远程打击精度以及跨平台目指精度的影响, 给出量化分析数据, 阐释平台的定位和定向误差对武器打击效果的影响。

1. 平台定位误差对武器射击效果的影响

对于武器系统来说, 射击效果指标是为了评定武器射击效果的好坏而采用的概率数值指标, 它不仅与武器散布误差有关, 而且与目标的定位精度、武器的威力、效能和目标的性质、易损性等有关^[1]。由文献[1]可得到单发武器对面临目标毁伤期望 S , 以及达到预定射击效果所需武器数量 N 的计算公式:

$$S = \frac{1}{\pi k^2} \int_0^k \int_0^{2\pi} \frac{1}{\sigma^2} t e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \int_0^R r e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} dr d\theta dt \quad (1)$$

$$N = \frac{\ln(1-P)}{\ln(1-S)} \quad (2)$$

其中, k 为圆形面目标的半径;

R , 为武器的杀伤半径;

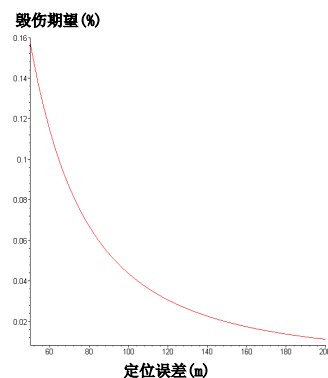
σ , 为武器对目标的射击精度;

$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_w^2}$, σ_w 为武器散布误差, σ_t 为目标定位误差;

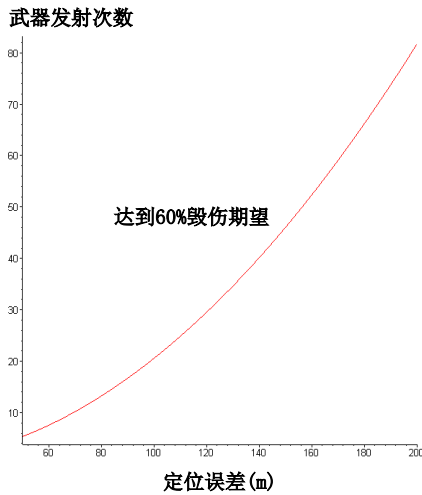
P , 为毁伤标准。

显然, 由于平台的定位误差是目标定位误差的一个组成部分, 平台定位误差的大小将直接影响武器系统对目标的打击效果。

在面目标半径为 50m、武器杀伤半径为 30m 的情况下, 计算单发武器射击效果的变化情况和为了达到 0.6 的射击效果指标所需的武器数量变化情况, 仿真结果见图 1、图 2 和表 1。

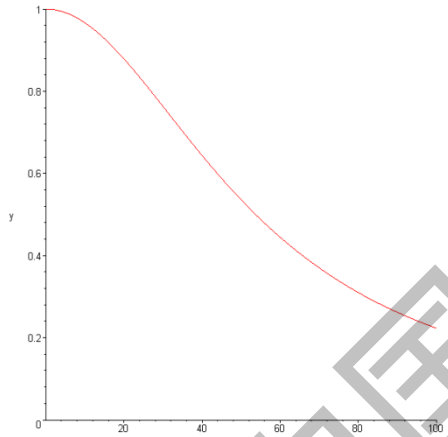


(a) 对单发武器毁伤期望影响

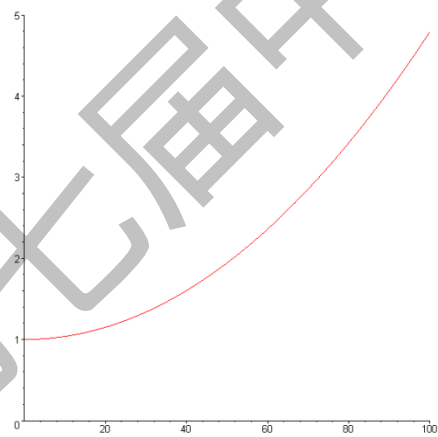


(b) 达到 0.6 毁伤期望所需武器发射次数

图 1 定位误差对武器射击效果的影响



(a) 单发武器毁伤期望下降百分比



(b) 达到 0.6 毁伤期望所需弹药量增加百分比

图 2 =50m, 从 0 到 100m 变化时, 武器射击效果变化图

表 1 目标定位误差与武器散布误差相当时, 达到 0.6 毁伤期望所需弹药量增加百分比

	50	60	70	80	90	100
增加百分比	1.94	1.96	1.98	1.98	1.99	1.99
	110	120	130	140	150	160
增加百分比	1.99	1.99	1.99	1.99	2.0	2.0
	170	180	190	200		
增加百分比	2.0	2.0	2.0	2.0		

通过以上仿真可以看到, 随着定位误差的增大, 单发武器的射击效果会急剧下降, 为了达到预定打击效果 (0.6 毁伤期望) 所需的弹药量会显著增加, 如图 1 所示; 当目标定位误差和武器的散布误差相当, 即时, 单发武器的射击效果会下降约 50%, 为了达到预定打击效果所需的弹药量会增加 2 倍, 如图 2 和表 1 所示, 可见精度越高的武器对目标的定位精度要求就越高。

2. 平台定位定向误差对舰载导弹远程打击精度的影响

随着海战场空间的扩展, 国内外水面驱护航一般都具备防区外作战能力, 即利用中远程反舰导弹对视距外水面目标实施打击。远程反舰导弹多采用“惯导+主动雷达末制导”的制导体制, 以减少导弹对外界的依赖, 提高导弹自主性^[2]。发射前由远程目标指示系统提供目标指示参数, 发射后导弹根据规划航路和自身惯导自主向目标机动, 抵达目标附近后末制导雷达开机对目标进行搜捕、实施攻击, 如图 3 所示。

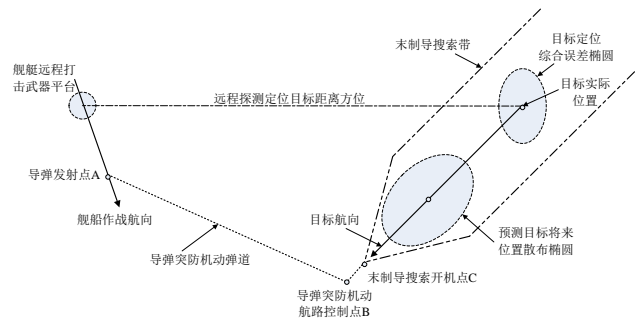


图 3 舰载导弹远程打击示意图

平台的导航系统可以向导弹发射系统提供载体的速度、位置、姿态等运动参数, 初始化导弹的

位置、速度和姿态，使导弹正确竖立和对准，发射平台的定位定向误差将直接通过初始对准传递到导弹引导系统中，给导弹的制导系统带来目标定位偏差；除此之外，导弹的惯导精度和飞行时间还会给导弹飞行带来偏差。如图 所示，从舰载导弹发射 (A 点) 到抵达末制导开机点 (C 点)，若平台定位定向精度较差，加之惯导引入的飞行偏差，最终将扩大目标定位的综合误差椭圆，在导弹末制导开机时，目标很有可能出现在末制导搜索带外侧，导致导弹搜索不到目标。

综合考虑导弹初始位置误差、初始对准角度误差、陀螺漂移的影响，可以得到导弹抵达末制导开机点的定位偏差计算公式 (单一方向)^[3]：

$$\Delta y_{\delta}(t) = -\delta R_e (1 - \cos \omega_s t) \quad (3)$$

$$\Delta y_{\varepsilon}(t) = R_e \varepsilon \left(t - \frac{\sin \omega_s t}{\omega_s} \right) \quad (4)$$

$$\Delta y(t) = \Delta y_0 + \Delta y_{\delta}(t) + \Delta y_{\varepsilon}(t) \quad (5)$$

其中， Δy_0 为导弹初始位置误差；

$\Delta y_{\delta}(t)$ 为导弹初始对准误差导致的飞行定位偏差；

$\Delta y_{\varepsilon}(t)$ 为导弹惯导陀螺漂移导致的飞行定位偏差；

δ 为初始对准角度误差；

ε 为陀螺漂移角速度；

t 为导弹飞行时间。

由公式 (5) 可以看到，导弹初始位置误差对其飞行定位偏差的影响是恒定的；由公式 (3) 和 (4) 可以看到，初始对准角度误差和陀螺漂移对导弹飞行定位偏差的影响是与导弹的飞行时间有关的，初始对准角度误差对导弹飞行定位偏差的影响以舒拉周期进行震荡，最大值为，如图 4 所示；导弹惯导陀螺漂移对导弹飞行定位偏差的影响随着时间增加而增大，如图 5 所示。不考虑导弹初始对准过程引入的随机扰动影响，平台的定位偏差即为初始位置误差，平台的定向偏差即为初始对准角度误差。

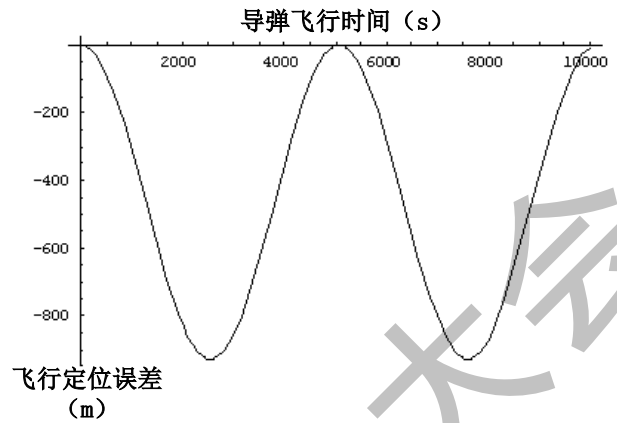


图 4 初始对准角度误差对导弹飞行定位误差的影响()

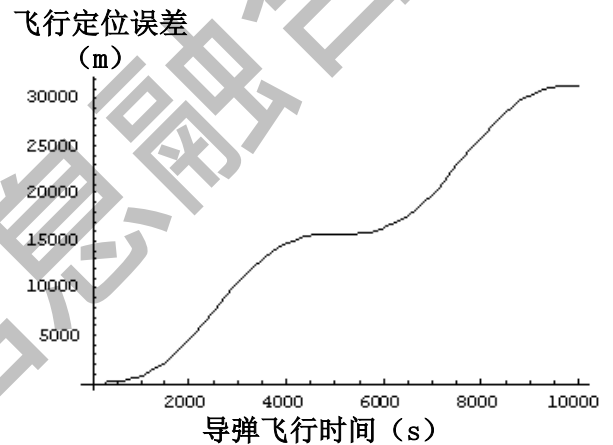
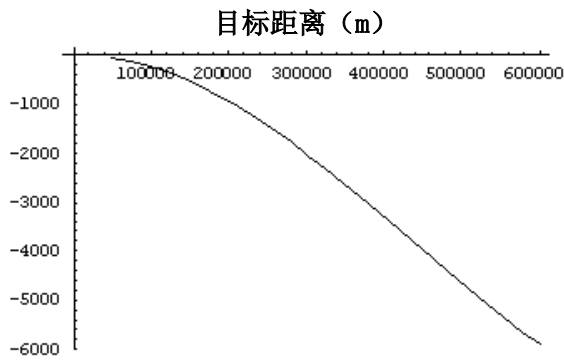


图 5 陀螺漂移对导弹飞行定位误差的影响

其由导弹到目标的飞行距离 S 和导弹的飞行速度 v 决定。

对于特定导弹而言 (导弹飞行速度 v 确定)，导弹从发射到末制导开机的飞行时间由飞行距离 S 决定。典型反舰导弹的射程一般在 600km 以内，如捕鲸叉导弹系列射程 $110\text{ km} \sim 230\text{ km}$ ，宝石导弹射程 300 km ，战斧 BGM-109B 射程 460 km ，花岗岩导弹射程 550 km ^[2]。假设陀螺漂移速率 (典型惯导精度)，导弹飞行速度为 1Ma ，平台定向误差为 $2'$ ，初始位置误差为 50m ，由公式 (3) ~ (5) 可得到当目标在距平台 $50\text{km} \sim 600\text{km}$ 范围情况下，平台定向误差、陀螺漂移对导弹飞行定位偏差的影响：



飞行定位误差 (m)

图 6 平台定向误差对导弹飞行定位偏差的影响

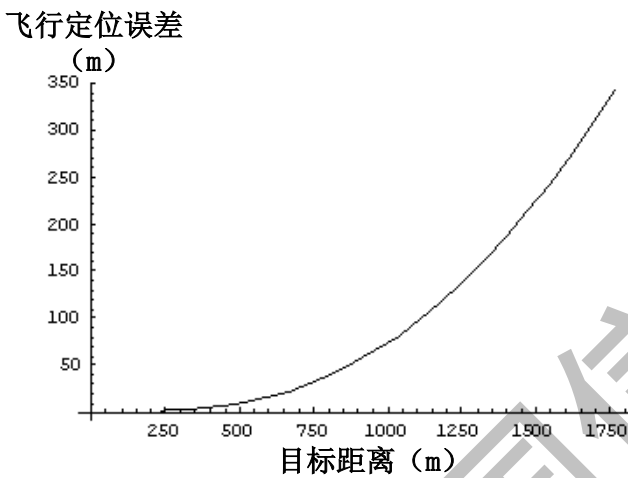
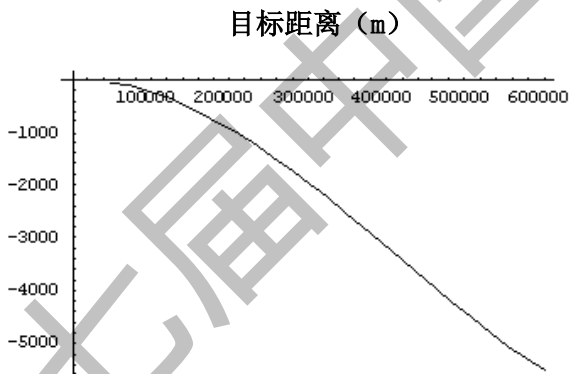


图 7 陀螺漂移对导弹飞行定位偏差的影响



飞行定位误差 (m)

图 8 平台定位/定向误差和陀螺漂移联合对导弹飞行定位偏差的影响

表 2 平台定位/定向误差和陀螺漂移联合对导弹飞行定位偏差的影响 (目标距离 600 km)

误差影响因	平台定	平台定向	陀螺漂移
-------	-----	------	------

素	位误差	误差	
各因素导致的误差大小 (m)	50	-5856.55	342.169
误差百分比	0.9%	92.84%	6.26%

由上述仿真可以看到, 在典型反舰导弹对水面目标攻击想定下 (陀螺漂移速率, 目标距离小于 600km), 平台的定位误差对导弹飞行定位偏差的影响是恒定的, 其对导弹飞行定位偏差的影响较小; 平台的定向误差会直接叠加到导弹的初始对准角度误差上, 随着导弹的飞行, 其对导弹飞行定位偏差的影响将占据主导地位。

3. 平台定位定向误差对跨平台目标指示精度的影响

舰载火控系统主要通过目标指示数据控制跟踪传感器搜索、捕获锁定、跟踪目标, 从而实现对目标的火力打击。舰艇编队协同作战时, 当编队内平台间的定位定向基准出现偏差时, 会在跨平台下达目标指示时影响目标精度, 从而延长武器系统搜索、捕获目标的反应时间, 甚至导致武器系统无法捕获或稳定跟踪目标。以舰艇多平台协同防空武器系统为例, 假设平台 A 在 20 km 处发现目标并向平台 B 的武器系统进行目标指示, 如图 所示。平台 A 和平台 B 的平台定位误差为 90m, 平台定向误差为 9', 平台 A 上搜索雷达方位误差为 12', 平台 B 上跟踪传感器波束半宽度 d 为 0.6deg, 因为捕获概率密度与成正比 (为平台对目标的定向误差角), 忽略信息传输带来的时间误差时, 平台 B 上武器系统对目标的定向误差角及捕获概率如表 所示。

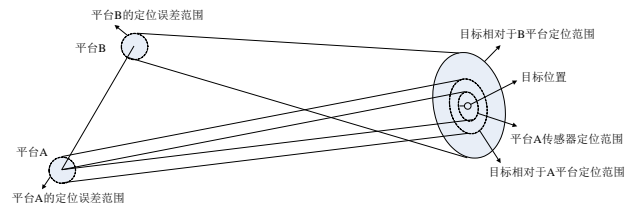


图 9 平台定位定向误差对跨平台目标指示精度的影响

表 3 平台定位定向误差对跨平台目标捕获概率的影响

平台定位误差	平台定向误差	跨平台目指误差角	捕获概率
90m	9'	25.01'	78.56%
90m	5'	24.05'	80.00%
10m	9'	15.56'	91.08%
10m	5'	11.40'	95.11%
5m	4'	10.37'	95.93%
5m	2'	9.14'	96.83%

由表中可以看出,在探测传感器精度一定的情况下,当跨平台给武器系统下达目标指示时,两平台的定位定向误差将叠加起来影响武器平台对目标的定向精度,最终影响武器系统对目标的捕获概率。当平台的定位误差从 5m 下降到 90m,定向误差从 2'下降到 9',则跨平台目指误差角将从 9.14'下降到 25.01',致使平台 B 跟踪雷达的捕获概率降低了 18%。由此可见,舰艇编队平台间的定位定向基准偏差,直接影响跨平台目指精度,降低武器系统对目标的捕获概率。

4. 结束语

由上述分析可知,平台的定位定向数据为火控初始对准、目标定位提供精确的信息支撑,是武器

系统实现精确打击的基础,是实现跨平台接力引导、武器协同精确打击的基础条件和保证。提高平台定位定向精度,建立多平台一致定位定向基准,对于提高武器系统对目标的捕获概率、发挥武器威力、提升作战集群的整体作战效力具有重要意义。

参考文献

- [1] 陈永胜,舒健生,王运吉,黄河. 武器系统对目标定位精度的要求分析[J]. 火力与指挥控制, 2002 年增刊
- [2] 雷志东,张晓林,郭桂友. 远程目标指示条件下的反舰导弹一次捕获概率研究[J]. 战术导弹技术, 2009 年 7 月
- [3] 邓正隆. 惯性技术[M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2006 年 4 月

作者简介:

安瑾 (1981-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为数据融合、雷达数据处理;

高峰端 (1979-), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为水面舰艇作战系统。

E-mail: anjin308@163.com

联系电话: 0518-85981571

手机号码: 18951257537

通信地址: 江苏省连云港市圣湖路 18 号 邮政编码: 22206