

空空导弹射后动态攻击区的计算及信息提示

张安柯^{1,2}, 孔繁峨^{1,2}

(1. 光电控制技术重点实验室, 河南 洛阳 471000; 2. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000)

摘要: 空空导弹攻击区解算是导弹发射的必要条件。针对传统的三线攻击区存在的问题, 提出了利用空空导弹射后动态攻击区对其进行改进。基于某空空导弹数学模型(如气动模型、运动模型、导引律模型等), 应用快速模拟算法, 计算了一些典型情况下的空空导弹射后动态攻击区, 并且分析了其在空战中的信息提示作用。仿真表明, 空空导弹射后攻击区与传统攻击区不同, 并且其能够为飞行员提供更多态势信息, 有利于提高作战效能。

关键词: 空空导弹射后动态攻击区; 快速模拟法; 态势信息; 信息提示; 态势感知

中图分类号: TJ726 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)01-0075-05

Calculation and Function of Attack Zone of Air-to-Air Missile After Launching

ZHANG An-ke^{1,2}, KONG Fan-e^{1,2}

(1. Science and Technology on Electro-Optical Control Laboratory, Luoyang 471000, China;

2. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471000, China)

Abstract: The calculation of attack zone of Air-to-Air Missile (AAM) is an essential process in the launching of AAM. The concept of attack zone of AAM after launching is presented to compensate for the limitation of the traditional three-line attack zone. Based on the mathematic models of an AAM, including pneumatic model, kinetic model and so on, the attack zone of AAM after launching under typical condition is calculated out by using very fast simulation algorithm, and the function of it in air combat is also analyzed. The simulation results indicate that: The attack zone of AAM after launching is different from the traditional attack zone and can provide better Situation Awareness (SA) information for the pilot, which is helpful for improving the combat efficiency.

Key words: attack zone of AAM after launching; very fast simulation algorithm; situation information; message function; situation awareness

0 引言

在现代空战中,空空导弹的作用日益重大。随着第四代超视距中远程空空导弹的研制和使用,超视距空战成为空战形式的主流,但随之会产生如下两个问题。

问题一:传统的三线攻击区包括最大可攻击距离、最小可攻击距离和不可逃逸攻击距离。远程空空导弹最大可攻击距离可达100 km以上,而其不可逃逸攻击距离只有几十千米,二者之间存在巨大的空档,在这个空档中,飞行员在几十秒甚至百秒内都得不到火控模块关于已发射导弹的信息提示,只能凭借经验和直觉

进行应对,这就增加了作战风险,从而降低了作战效能。

问题二:实战表明,单发导弹命中概率在30%以下,中远距导弹甚至低于10%,原因是攻击区计算时的假设条件与实际空战差距较大,目标以更灵活的规避战术和最大的机动进行作战,所以在攻击区范围内发射的导弹并非一定能击中空中机动目标。若将导弹能否命中目标信息及时反馈给飞行员,那么飞行员就可以更及时地采取应对措施,把握战机。

解决以上问题的本质就是实时解算空空导弹发射后在一定条件下可攻击的目标区域,并与目标实际所在区域进行比较,从而得到导弹能否命中的信息,其关键就是空空导弹射后动态攻击区的计算。目前,关于空空导弹射后动态攻击区的信息提示作用的研究尚无文献涉及,文献[1]提出了空空导弹射后动态攻击区

的概念,并指出了其在协同多目标作战中的应用。如果在文献[1]提出的空空导弹射后动态攻击区的概念基础上,分析空空导弹射后动态攻击区在空战中提供提示信息的能力,即实时判断导弹能否命中目标并反馈给飞行员,将会对空战具有十分重要的使用价值。本文对空空导弹射后动态攻击区的提示信息作用进行分析研究,具体内容如下文所述。

1 空空导弹射后动态攻击区的提示信息作用

1.1 空空导弹射后动态攻击区的定义

空空导弹射后动态攻击区^[1]是指:空空导弹沿着拦截某目标的弹道飞行 t_p 时刻之后,基于导弹的飞行状态(导弹位置矢量、速度矢量、加速度矢量)、发动机的工作状态、弹体质量、制导和控制系统等子系统状态,在各种约束条件下,能够以一定概率命中目标的三维空间区域。

1.2 基于空空导弹射后动态攻击区的空战信息提示

根据定义,空空导弹射后动态攻击区是指空空导弹射后能够命中目标的空间区域。因此,若能根据导弹状态和目标信息实时计算空空导弹射后动态攻击区,就能够判断导弹能否命中目标。这将极大改善超视距作战中飞行员的信息盲区问题,提高飞行员的态势感知能力,减少被动等待时间。其大概流程是:首先,载机发现并锁定远距目标,发射中远程空空导弹;目标发现被锁定后将会采取机动,载机保持对目标跟踪,引导导弹,并且通过数据链获得导弹信息;火控系统根据获得的导弹和目标信息计算空空导弹射后动态攻击区并与弹目相对距离进行比较,如果弹目距离小于可攻击区范围,继续更新导弹和目标状态信息并保持空空导弹射后动态攻击区火控解算,如果弹目距离超过空空导弹射后动态攻击区一定范围后,火控系统提示飞行员导弹攻击失败信号,飞行员采取应对措施,进行第二波攻击。图1所示为基于空空导弹射后动态攻击区的提示信息产生流程。

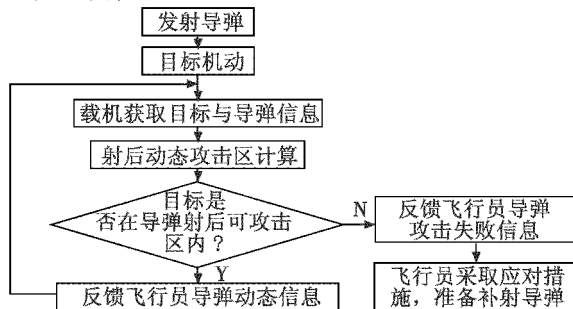


图1 基于空空导弹射后动态攻击区的提示信息产生流程

Fig. 1 The flow chart of message generating based on attack zone of AAM after launching

本文将分析空空导弹射后动态攻击区在空战中的信息提示作用。首先利用改进的二分法建立空空导弹射后动态攻击区计算模型并进行仿真;然后解算典型情况下的空空导弹射后动态攻击区变化趋势;最后利用一个实例分析空空导弹射后动态攻击区的提示信息作用。

2 数学模型

2.1 空空导弹射后动态攻击区计算模型

传统定义的空空导弹射后攻击区计算模型为

$$\begin{cases} R_{\max}|_{t=t_p} = R_{\max}(h, h_T, \mathbf{V}, \mathbf{V}_T, n_{\max}, n_T, q_T, q, N_1, N_2, \dots)|_{t=t_p} \\ R_{\min}|_{t=t_p} = R_{\min}(h, h_T, \mathbf{V}, \mathbf{V}_T, n_{\max}, n_T, q_T, q, N_1, N_2, \dots)|_{t=t_p} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $R_{\max}|_{t=t_p}$ 、 $R_{\min}|_{t=t_p}$ 分别表示空空导弹发射后 t_p 时刻导弹的最大可攻击区、最小可攻击区; $(n_{\max}, \mathbf{V}, h, q)|_{t=t_p}$ 表示空空导弹的最大过载、发射时刻载机的速度、高度、飞行偏角; $(n_T, \mathbf{V}_T, h_T, q_T)|_{t=t_p}$ 表示目标的机动过载,目标在导弹发射时刻的速度、高度和进入角; N_1, N_2, \dots 为其他约束条件,如目标 RCS,各子系统的随机误差和干扰。

2.2 目标瞬时匀速直线运动假设

在实际空战中,目标的机动过载不是固定不变的,如果利用机动过载的估计值来求解空空导弹射后动态攻击区的最大可攻击距离显然是不精确的。而目标机动过载的结果就是目标速度、角度、位置信息的变化,载机可以通过机载雷达或者数据链实时获取目标速度、角度、位置信息。假设在目标和导弹数据信息更新周期内,目标做瞬时匀速直线运动;并周期性地解算导弹对该目标可攻击距离(可以与数据更新周期同步),这样就可以反映导弹对机动目标的空空导弹射后动态攻击区变化趋势。所以,导弹射后最大可攻击距离模型可以简化为

$$R_{\max}|_{t=t_p} = R_{\max}(h, h_T, \mathbf{V}, \mathbf{V}_T, n_{\max}, q_T, q)|_{t=t_p} \quad (2)$$

导弹射后最小可攻击距离模型也类似。导弹运动模型、目标运动模型、发动机推力模型、大气数据模型等详见文献[2-3],此处不再赘述。

3 空空导弹射后动态攻击区计算模型

3.1 空空导弹射后动态攻击区计算

空空导弹射后动态攻击区的计算方法如下:基于目标和导弹运动模型,根据空空导弹沿着某条拦截弹道飞行 t_p 时刻后的状态信息(导弹速度、轨迹倾角、偏角)、位置信息、发动机状态等信息,采用快速模拟算法,计算导弹对某目标的空空导弹射后动态攻击区。为了更直观地反映空战中平台携带的导弹对目标的杀

伤范围,仿真采用以载机为中心(空空导弹射后动态攻击区以导弹为中心)的攻击区,受到机载雷达等火控系统的限制,导弹离轴角限制在 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 之间。计算空空导弹射后动态攻击区时,因为导弹已经脱离载机,安保解除时间和制导启动时间等约束条件已经失效,所以不再计算射后最小可攻击距离。

本文基于三自由度的空空导弹、目标运动模型等,采用四阶龙格库塔算法积分求解导弹飞行轨迹,得到任何时间下的导弹飞行状态、弹目距离信息,并根据这些信息判断导弹能否击中目标。如果不能击中目标,调整弹目距离初值,直到能够击中为止。传统的递推法速度慢,而二分法^[4]容易受到攻击区黑洞的影响,为了避免攻击区黑洞的影响,仿真核心部分采用改进的二分法。

3.2 计算流程图

本文仿真流程如图 2 所示。

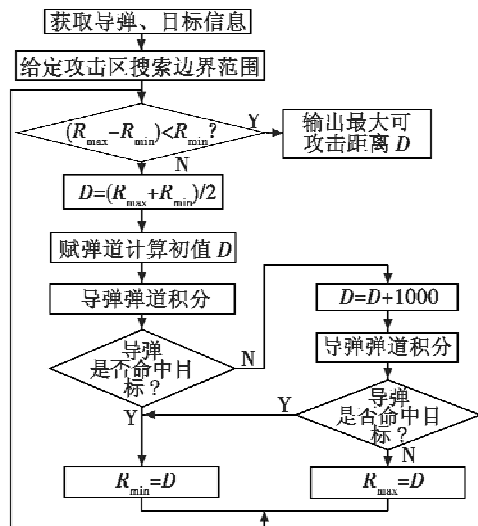


图 2 空空导弹射后动态攻击区仿真流程图

Fig.2 Flow chart of the attack zone simulation

4 仿真结果分析

4.1 数值仿真计算条件

在现代空战中,典型的的目标类型有多种,本文选择 3 种常见的目标类型:1) I 类目标,目标飞行方向与视线方向相同,即载机(导弹)尾追目标;2) II 类目标,目标飞行方向与视线方向成 180° ,即目标向载机(导弹)迎面飞来;3) III 类目标,目标飞行方向与视线方向垂直,即载机(导弹)侧击目标。

数值仿真条件如表 1 所示。其中: V_M, H 分别为载机发射时刻速度和高度; φ_M, θ_M 为导弹发射偏角和倾角; V_T, H_T, q_T 分别为目标速度、高度和进入角; D_0 为导弹发射时刻载机与目标相对距离。本文仿真主要分析导弹发射后对 I 类、II 类和 III 类目标的空空导弹射后动态攻击区变化情况。

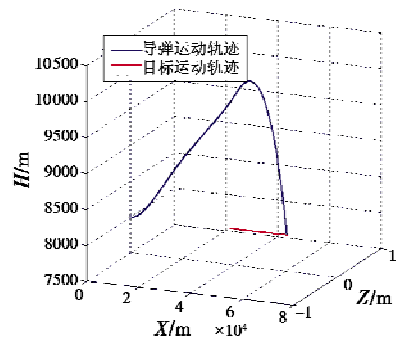
表 1 仿真条件

Table 1 The simulation condition

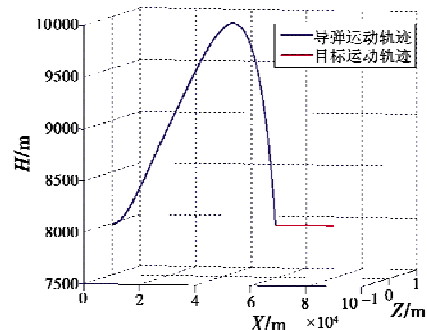
条件	$V_M/(m \cdot s^{-1})$	H/m	$\varphi_M/(\circ)$	$\theta_M/(\circ)$	$V_T/(m \cdot s^{-1})$	H_T/m	$q_T/(\circ)$	D_0/km
1	400	8000	0	0	300	8000	0	38.5
2	400	8000	0	0	300	8000	180	83.5
3	400	8000	0	0	300	8000	90	56

4.2 仿真结果

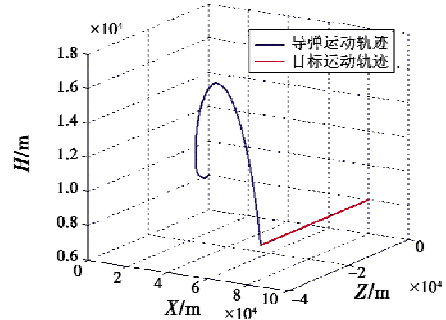
条件 1 仿真结果:图 3a 为导弹尾追攻击该目标的轨迹;图 4a 为导弹发射时刻攻击区和空空导弹射后动态攻击区的比较,从左至右依次为导弹发射时刻攻击区、射后 10 s 攻击区、射后 20 s 攻击区和射后 30 s 攻击区。



a 尾追攻击轨迹



b 迎头拦截轨迹



c 侧击拦截轨迹

图 3 拦截轨迹

Fig.3 The interception tracks

条件 2 仿真结果:图 3b 为导弹拦截该目标的轨迹;图 4b 为导弹发射时刻攻击区和空空导弹射后动态攻击区的比较,从左至右依次为发射时刻攻击区、射后 10 s 攻击区、射后 20 s 攻击区和射后 30 s 攻击区。

条件3仿真结果:图3c为导弹拦截该目标的轨迹;图4c为导弹发射时刻攻击区和空空导弹射后动态攻击区,从左至右依次为发射时刻攻击区、射后10 s攻击区、射后20 s攻击区和射后30 s攻击区。

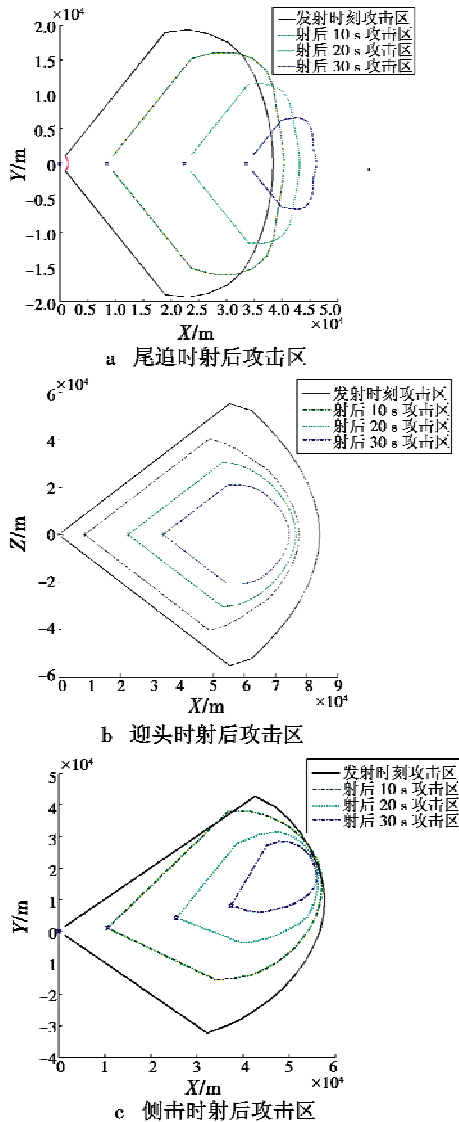


图4 空空导弹射后动态攻击区
Fig.4 The attack zone of AAM after launching

4.3 仿真结果分析

从仿真结果中可以看出,空空导弹射后动态攻击区和传统的空空导弹攻击区是不一样的。

对于I类目标,导弹的攻击区边界随着时间的增长向前推移,逐渐缩小;对于II类目标,导弹的发射时刻攻击区边界包括了空空导弹射后动态攻击区,随着时间的增长,导弹的攻击区边界逐渐收缩,并向内部移动;对于III类目标,空空导弹射后动态攻击区随着时间的增长,逐渐缩小并向目标运动的一侧偏移。

4.4 空空导弹射后动态攻击区在空战中的信息提示作用

在超视距空战中,第一波攻击发生在几十千米以外^[5],下面是一个典型战例。假设在超视距空战中,我方飞行员发现70 km外有一架敌方飞机,目标进入角180°,高度8000 m,目标速度300 m/s;我机速度400 m/s,飞行偏角0°,高度8000 m。此时目标已经进入我方导弹射程,本机锁定目标并发射远程空空导弹,机载火控系统持续计算空空导弹射后动态攻击区,10 s后敌机发现被锁定后进行左转弯机动,机动过载4g。火控系统通过传感器和数据链获得实时更新的目标和导弹速度角度位置信息,近实时地计算导弹对机动目标的空空导弹射后动态攻击区。得到的空空导弹射后动态攻击区变化趋势和弹目相对距离变化如图5所示,导弹拦截轨迹如图6所示。

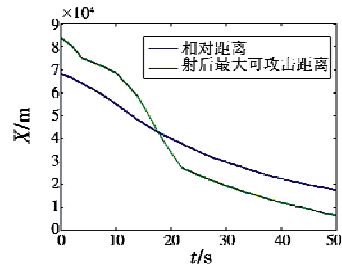


图5 弹目距离和射后最大可攻击距离变化趋势
Fig.5 The distance between missile and target and the attack distance after launching

由图5可知,弹目距离和射后最大可攻击距离变化趋势能更直观并及时地反映给飞行员提示信息:导弹发射17 s以后,导弹的射后最大攻击距离小于弹目距离,导弹击中目标的概率几乎为零,此时火控系统将向飞行员反馈导弹攻击失败信息;由图6可知,在导弹的最大可攻击区边界左右发射远程空空导弹时,由于目标采取机动,导弹并不能击中目标(最后时刻由于导弹速度不满足最小速度限制,所以仿真结束,导弹轨迹停止在此点)。

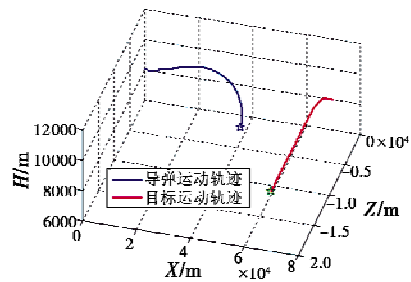


图6 导弹拦截轨迹
Fig.6 The interception track

从上述仿真中可以得到如下结论。

1) 导弹发射时刻攻击区与空空导弹射后动态攻击区不同。导弹发射时刻攻击区受到载机速度、载机高度、目标速度、目标高度、进入角、目标机动类型等因素的影响;而空空导弹射后动态攻击区除了受上述因素的影响外,还要受到导弹实时状态的影响。

2) 导弹是一个能量体,导弹的能量随着飞行时间的增加而降低,空空导弹射后动态攻击区的范围也越来越小,从而命中机动目标的概率也随之降低。

3) 空空导弹射后动态攻击区可以为飞行员提供信息提示。载机锁定目标发射导弹后,如果机上火控系统持续计算导弹射后对该目标的最大可攻击距离并与弹目距离进行比较,可以判断导弹能否命中目标,并反馈给飞行员。

5 总结

本文首先介绍了空空导弹射后动态攻击区的概念,然后给出了避免攻击区黑洞的改进二分法空空导弹射后动态攻击区计算方法,并仿真了一些典型情况下的空空导弹射后动态攻击区变化趋势,最后通过一个典型空战战例,分析了空空导弹射后动态攻击区在空战中的信息提示作用。得到如下结论:如果能够在机载火控系统中采用快速模拟法等近乎实时计算空空导弹射后动态攻击区,并比较导弹可攻击距离和弹目相对距离,就可以判断出导弹是否能够命中机动的空中目标。这能够为飞行员提供更多信息,克服传统攻击区在超视距作战中导弹长时间飞行过程中的信息盲区,增强超视距空战攻防对抗的透明化,从而更好地贯彻“杀伤敌方,保卫自己”的空战宗旨以提高作战效能。

空空导弹射后动态攻击区涉及到导弹及目标系统诸多信息,如果能通过弹上和机载数据链实时获得导弹和目标精确状态信息,将使空空导弹射后动态攻击区的计算更加精确,满足火控精度要求,具有更高的置信度。但目前对其在火控中的应用研究较少,还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 吴胜亮,南英.空空导弹射后动态可攻击区计算[J].弹箭与制导学报,2013,33(5):49-54. (WU S L, NAN Y. The calculation of dynamical attack zone of air-to-air missile after being launched [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2013, 33(5):49-54.)
- [2] 樊会涛.空空导弹方案设计原理[M].北京:航空工业出版社,2013. (FAN H T. Design theory of air-to-air missile[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013.)
- [3] 周志刚.机载火力控制系统分析[M].北京:国防工业出版社,2008:260-272. (ZHOU Z G. Analysis of fire control system [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008:260-272.)
- [4] 焦珂,皮亦鸣,陆继珍.空空导弹发射包线的快速计算方法[J].火力指挥与控制,2010,35(6):100-102,106. (JIAO K, PI Y M, LU J Z. A fast calculation method of launch envelope of air-to-air missile [J]. Fire Control & Command Control, 2010, 35(6):100-102, 106.)
- [5] 吴文海,周思羽,高丽,等.超视距空战过程分析[J].飞行力学,2011,29(6):45-48. (WU W H, ZHOU S Y, GAO L, et al. Analysis of BVR air combat process [J]. Flight Dynamics, 2011, 29(6):45-48.)
- [6] 潘焯焯,郭洁,张林颖,等.基于自适应遗传算法的优化布站方法研究[J].国外电子测量技术,2013,32(5):62-64. (PAN Y Y, GUO J, ZHANG L Y, et al. Optimal embattling method based on adaptive genetic algorithm [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2013, 32(5):62-64.)
- [7] CHAN Y T, HO K C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1994, 42(8):1905-1915.
- [8] SHARP L, KEGEN Y, GUO Y J. GDOP analysis for positioning system design [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(7):3371-3382.
- [9] GALATI G, LEONARDI M, TOSTI M. Multilateration (local and wide area) as a distributed sensor system: lower bounds of accuracy [C]//Radar Conference, EuRAD European, IEEE, 2008:196-199.
- [10] 汪波,薛磊.基于遗传算法的TDOA定位系统的最优布站算法[J].系统工程与电子技术,2009,31(9):2125-2128. (WANG B, XUE L. Station arrangement strategy of TDOA location system based on genetic algorithm [J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(9):2125-2128.)
- [11] 张国强,彭晓明.自适应遗传算法的改进与应用[J].舰船电子工程,2010,30(1):83-84,159. (ZHANG G Q, PENG X M. Improvement and application of an improved adaptive genetic algorithm [J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30(1):83-84, 159.)

(上接第74页)