

空对空导弹对战斗机空战效能影响的仿真

刘行伟 朱荣昌 向锦武

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 定量分析了空对空导弹的装机数量、主要作战使用性能和机动能力对战斗机空战效能的影响,研究了作战过程中空对空导弹的有效使用方式,以提高战斗机的生存能力和空战效能.空对空导弹的动力学模型采用三自由度质点方程,典型运动轨迹分为分离、拉开、接敌3个阶段.同时给出了每个阶段对导弹轨迹的不同要求,在仿真中也考虑了导弹的雷达散射截面(RCS).采用一对一空战对抗形式,对幻影2000飞机与F16飞机在高空中距、携带不同数量的空对空导弹、以及在不同的时机使用等情况下,进行了空战仿真,结果表明载机速度、分离角度以及空对空导弹使用速度对战斗机的空战效能有很大影响.

关键词: 空对空导弹; 系统仿真; 战斗效能

中图分类号: V 271.4; E 911

文献标识码: A **文章编号:** 1001-5965(2005)09-0963-03

Simulation of effect of air-to-air missile on operational effectiveness of fighter

Liu Xingwei Zhu Rongchang Xiang Jinwu

(School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Effect of quantity, performance and flexibility of air-to-air missile on airfight effectiveness was analyzed, and effective manner to use air-to-air missile in air action was discussed to improve fighter's survivability and its airfight effectiveness. Three degrees of freedom particle kinetic equations were employed to model the missile's motion, and typical trace of missile was partitioned into three different phases: breaking, parting, and contacting. Meanwhile, the different requirements of the missile trace were given in each phase; the characteristics of the missile radar cross section(RCS) were also taken into account in the simulation analysis. One-one airfight pattern was used to simulate a Mirage2000 vs. a F16 under circumstances of high altitude middle distance, different amounts of air-to-air missiles, various opportunities to launch missile, et al. Results show that fighter's velocity, disengagement angle and missile's velocity significantly affect the operational effectiveness of fighter.

Key words: space-to-space missiles; system simulation; operational effectiveness

近期的几次具有高技术特点的局部战争表明,空中作战已经成为现代战争取胜的先决条件,而且空中作战过程表现出显著的电子化、信息化的特点^[1,2].本文根据空中作战的特点和要求,充分利用现有的电子信息技术,通过设置不同的空战对抗仿真试验条件,针对空空弹所应具备的主要战术性能,定量分析研究了战斗机在装备了空空弹后,其主要使用时机和装机数量,所应具备的

主要作战使用性能和机动能力.根据作战使用研究的结果,可以将空空弹主要战术性能要求,转化为研制、设计中所需的具体技术要求和建议.

1 空空弹的典型运动轨迹

根据空战过程的主要特点^[3,4],按照战斗机战术使用的主要方式^[5],可将空空弹的典型运动轨迹可以分为分离、拉开、接敌3个阶段,在不同的阶段,对于空空弹的机动飞行轨迹要求也不尽

相同.

仿真中,空空弹的动力学模型采用简化的三自由度质点方程,其运动方程可表示为

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= v \cos \theta \cos \psi \\ \dot{y} &= v \cos \theta \sin \psi \\ \dot{z} &= v \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, v 代表飞行速度; θ 是航迹倾角(坡度); ψ 是航迹偏航角.在空空弹运动的每一个阶段, v, θ, ψ 可分别表示为如下方程:

分离段:

$$\left. \begin{aligned} \dot{v} &= -k_2 g & v > v_{\text{bre}} \\ \dot{v} &= k_1 g & v < v_{\text{bre}} \\ \dot{\theta} &= 0 \\ \dot{\psi} &= \pm G_{\text{bre}} g / v \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, g 代表重力加速度; k_1, k_2 表示径向过载,与当前飞机所在高度、飞行速度、过载和发动机推力有关.由于仿真中高度、速度、过载和发动机推力(动力段)为常数,因此 k_1, k_2 可以设定为常数.

设置分离段主要是为了使发射的导弹能尽快地进行转弯机动与本机脱离,在分离段,空空弹以恒定过载作定常转弯运动,直到分离角度达到预定值附近.因此,通过确定分离段速度 V_{bre} 、分离过载 G_{bre} 、分离角度 γ 等,就可以基本确定分离段的运动轨迹.

拉开段:

$$\left. \begin{aligned} \dot{v} &= -k_2 g & v > v_{\text{part}} \\ \dot{v} &= k_1 g & v < v_{\text{part}} \\ \dot{\theta} &= 0 \\ \dot{\psi} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

空空弹作水平直线运动,直到飞行时间达到预定值.通过确定拉开段速度 v_{part} 和拉开段飞行时间,就可以确定分离段的运动轨迹.

接敌段:

$$\left. \begin{aligned} \dot{v} &= -k_2 g & v > v_{\text{con}} \\ \dot{v} &= k_1 g & v < v_{\text{con}} \\ \dot{\theta} &= 0 \\ \dot{\psi} &= G_{\text{con}} g / v & \psi_{\text{sl}} > 0 \\ \dot{\psi} &= -G_{\text{con}} g / v & \psi_{\text{sl}} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中, ψ_{sl} 表示空空弹到目标外推位置的视线角度.由于空空弹的有动力飞行时间有限,所以,在接敌段,有可能进入非动力飞行状态.在失去动力后,空空弹会逐渐损失高度和速度.

空空弹通过发射时刻的敌方目标位置、速度和航向,外推敌方当前位置,并向敌方当前位置转

弯.通过确定接敌速度 v_{con} 、接敌过载 G_{con} 就可以确定接敌段的轨迹.

为了延长留空时间,空空弹采取的策略是尽量保持高度,其运动轨迹可以描述为

$$\left. \begin{aligned} \dot{v} &= -g \sin \theta - g k d_i - d_0 \\ \dot{\theta} &= (1 - \cos \theta) g \\ \dot{\psi} &= \tan(\arccos(1/G_{\text{max}} k)) \\ k &= (v/v_{\text{con}})^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中, d_0, d_i 分别代表零升阻力系数和诱导阻力系数.

2 仿真与结果分析

仿真的目的主要在于研究空空弹在空战中的使用方法,检验其战术上是否有效.因此,在进行空空弹的雷达反射特性仿真时作了简化处理^[6],假定其各个方向上的雷达散射截面(RCS)均为常数,仿真时设定为 $0.1 \sim 0.5 \text{ m}^2$.

2.1 仿真模型中的典型参数

仿真中使用的一组典型参数,见表1.

表1 典型参数

飞行时间/s		Ma		过载/kg		分离角/(°)	
动力	拉开	分离	拉开	接敌	分离		接敌
3	1	0.9	2~3	3	0.003 5	0.003 5	90

在实际仿真中,为了取得更好的效果,对每枚空空弹的部分运动参数进行了随机扰动处理,增加了一定的不确定性,也与未来的空射导弹研制、使用的实际情况相吻合.

2.2 仿真主要过程设计

在实际仿真中采用了一对一(即单机对抗)对抗仿真形式.一对一对抗是空战对抗的最小作战单元,是构成大规模多机空战的基础^[7].而且,在一对一的空战条件下,能充分表现战斗机的各方面性能的优劣与否,对于定量分析战斗机各项功能和性能对于空战结果的影响,具有较好简洁性和直观性.同时,战斗机一对一空战的能力,与战斗机编队空战能力具有较好的相融性.另外,在现有的条件下,建立多机编队空战的仿真环境,存在较大的难度,需要投入的人员和设备较多^[6].更主要的是,经论证,采用一对一空战仿真的仿真形式,基本上足以说明空空弹的战术应用特点和主要使用要求,而且国外在进行类似的论证研究时,主要也是采用这样的方式.

高空是一般战斗机的远航巡航高度,来袭的敌机在受到威胁前,通常是以高空飞行作为其巡航条件,一方面以较大的速度接近战区,另一方面

可以在有限油量条件尽可能增大其作战半径,因此高空中距是超视距空战的主要条件. 本文重点对幻影 2000 飞机与 F16 飞机在高空中距、携带不同数量的空空弹、在不同的时机使用空空弹等情况下,进行空战仿真.

仿真试验初始条件:飞机高度均为 $H = 11 \text{ km}$;两机之间距离 $D = 100 \text{ km}$;两机表速 $V = 800 \text{ km/h}$;两机航向分别为 $Q_1 = 0^\circ, Q_2 = 180^\circ$;机内余油均为 80%;使用空空弹时机为距离目标 80 km, 60 km, 45 km.

2.3 结果及分析

经系统仿真,结果如表 2 ~ 表 3 所示.

表 2 幻影 2000 与 F16 对抗结果(分开角为 90°)

对抗结果	80 km	60 km	45 km	总计	平均	
战损	红	4	1	0	5	1.7
	蓝	5	4	5	14	4.7
导弹发射数量/枚	红	10	11	10	31	10.3
	蓝	10	14	14	38	12.7
试验次数/次	10	10	10	30	10	

表 3 幻影 2000 与 F16 对抗结果(分开角为 60°)

对抗结果	80 km	60 km	45 km	总计	平均	
战损	红	4	2	3	9	3
	蓝	5	3	6	14	4.7
导弹发射数量/枚	红	11	14	10	35	11.7
	蓝	13	12	13	38	12.7
试验次数/次	10	10	10	30	10	

为了分析空空弹的应具备的技术性能对于使用空战战术的影响,在仿真试验过程中有意设定了不同空空弹发射后的机动飞行条件. 经对比分析发现,空空弹在发射后,其分开角度的大小对于其使用的有效性具有较大的影响.

从分项试验结果来看,在高空条件下,由于空空弹的使用速度更大,攻击的成功概率较高. 这也从一个侧面说明,提高空空弹的使用速度对于提高空空弹的作战效能有着很大作用.

3 结论

本文分析了空空弹的装机数量、主要作战使用性能和机动能力对战斗机空战效能的影响,研究了作战过程中空空弹的有效使用方式,对幻影 2000 飞机与 F16 飞机单机对抗进行了仿真,获得如下结论:

- 1) 载机在较大速度时使用空空弹对敌机具有更大的威胁;
- 2) 空空弹在发射后,分开角度的大小对于使

用的有效性具有较大的影响;

- 3) 提高空空弹的使用速度对于提高空空弹的作战效能有着很大作用.

参考文献 (References)

- [1] 陈国海. 机载 PD 火控雷达作战效能分析[J]. 现代雷达, 1997, 19(2):20~24
Chen Guohai. Analysis of fighting effectiveness for airborne PD fire-control radar[J]. Modern Radar, 1997, 19(2):20~24 (in Chinese)
- [2] 张红, 孙红雷, 王玉宏. 航空电子战作战效能分析[J]. 电光与控制, 1999, 73(1):29~33
Zhang Hong, Sun Honglei, Wang Yuhong. Analysis on combat efficiency of aviation electronic war[J]. Electrooptics & Control, 1999, 73(1):29~33 (in Chinese)
- [3] 杨雪, 陈新, 辛文彦. 空军武器装备体系作战效能分析[J]. 火力与指挥控制, 2002, 27(4):59~62
Yang Xue, Chen Xin, Xin Wenkui. Study on method to operational effectiveness analysis for the weapon system of the air force [J]. Fire Control & Command Control, 2002, 27(4):59~62 (in Chinese)
- [4] Jones J M. Air defense concepts and effectiveness[R]. 12AD-A154079, 1984
- [5] Hague D S. Multiple tactical aircraft combat performance system [J]. J Aircraft, 1981, 18(7):513~520
- [6] 张野鹏. 作战模拟基础[M]. 北京:解放军出版社, 1995
Zhang Yepeng. Foundation of combat simulation[M]. Beijing: Military Press, 1995 (in Chinese)
- [7] 陈永光, 邵国培, 张顺健, 等. 综合电子战仿真系统中关键技术的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(2):66~69
Chen Yongguang, Shao Guopei, Zhang Shunjian, et al. Study on key techniques in a simulation system of synthetic EW[J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(2):66~69 (in Chinese)
- [8] 张安, 卢广山. 飞机武器系统作战效能分析研究的进展[J]. 火力与指挥控制, 2001, 26(2):1~4
Zhang An, Lu Guangshan. Advances on operational efficiency analysis of aviation weapon system[J]. Fire Control & Command Control, 2001, 26(2):1~4 (in Chinese)
- [9] 周晓群. 国外电子战无人机的发展现状及趋势[J]. 舰船电子对抗, 2003, 26(3):6~9
Zhou Xiaogun. Developing status and tendency of foreign unmanned aerial vehicle for EW[J]. Warship & Electronic War, 2003, 26(3):6~9 (in Chinese)
- [10] 黄俊, 向锦武, 朱荣昌, 等. 攻击直升机作战效能评估[J]. 南京航空航天大学学报, 1999, 31(6):620~625
Huang Jun, Xiang Jinwu, Zhu Rongchang, et al. Evaluation of operational effectiveness for attack helicopter [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 1999, 31(6):620~625 (in Chinese)