

# 中程空空导弹攻击区仿真与拟合

## Attack Area Calculating and Data Fitting for Medium Air-to-Air Missile

张列航<sup>1</sup> 雷蕾<sup>1</sup> 杨长启<sup>2/1</sup> 中国飞行试验研究院<sup>2</sup> 中国空空导弹研究院

**摘要:**通过对中程空空弹的简化建模与仿真,计算出中程空空导弹的攻击区,对计算数据进行分析,得到在马赫数、高度、速度、进入角等不同参数条件下攻击区之间的关系,采用最小二乘法对仿真区进行拟合,将不同条件下的攻击区化为统一的火控工作式。

**关键词:**空战攻击区; 仿真; 空空导弹; 参数拟合

当前空战的特点,一般是首先通过机载雷达或预警机雷达进行目标搜索,发现目标后互射超视距中程或远程空空弹;进入视距作战后,在目视及光电雷达等各种辅助条件下,采用近距格斗弹或航炮进行对抗,直到一方失去作战能力。导弹攻击区是火控解算的基础,超视距空战必须通过雷达发现,并且必须计算出导弹攻击区才能有效打击目标。

导弹攻击区一般有发射包线和杀伤区两种描述方式。发射包线指目标周围,能在一定攻击条件下以某种概率命中目标的载机初始位置范围。杀伤区指载机周围,导弹可以在一定条件下以某种概率命中目标的目标初始位置范围。两种表达是等效的,本文以杀伤区的计算为目标。

### 1 物理模型假设条件

#### 1.1 仿真环境条件

杀伤区仿真的环境条件十分重要,它描述了导弹仿真的环境,本文对其进行了如下的近似。

(1) 认为目标和导弹在同一高度的同一平面内;

(2) 导弹和目标的运动均为质点运动,作用在导弹上的力为推力、阻力、侧力;

(3) 目标的各种机动都可看成是一系列不同初始条件下、不同过载机动的组合,故仿真中只研究目标为某初始条件采用固定过载机动的情况;

(4) 忽略控制系统惯性及弹体姿态变化的惯性,忽略各种随机干扰。

#### 1.2 仿真约束条件

仿真的约束条件直接与导弹的战术指标相关,是仿真结束的关键,往往制约着导弹的杀伤区范围。导弹仿真的约束条件包括:

- (1) 导引头工作距离;
- (2) 弹上能源工作最大时间;
- (2) 引信需要的导弹最小及最大相对速度限制;
- (4) 导引头视场角范围限制;
- (5) 引信解除保险时间限制;
- (6) 导引头跟踪角速度、目标视线角速度限制;
- (7) 导弹发射时的初始离轴角限制;
- (8) 导弹的需用过载不能

大于可用过载;

(9) 导弹其他性能参数限制,如进入有控飞行的时间、主动段完成进入被动段的时间等。

### 2 仿真建模

#### 2.1 数学模型

在输入导弹参数、飞机参数后,首先应用超实时仿真计算出导弹攻击区载入数据,然后在空战仿真中应用这些数据进行实时仿真。超实时仿真可以采用六自由度仿真模型、三自由度模型、简化的三自由度模型等,三者精度依次降低,时间花费也相应减少。通过仿真试验验证采用简化三自由度模型计算出攻击区是有意义的,本文对简化的三自由度模型仿真进行了研究。空空导弹的空战态势如图1所示。

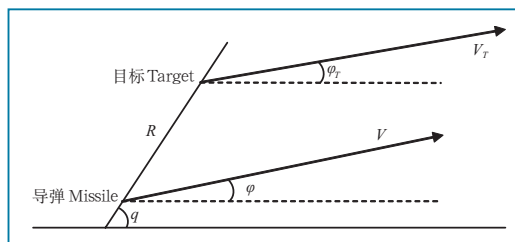


图1 空战态势图

$$\dot{q} = [V \sin(q - \varphi) - V_T \sin(q - \varphi_T)] / R \quad (1)$$

$$\dot{R} = V_T \cos(q - \varphi_T) - V \cos(q - \varphi) \quad (2)$$

$$\dot{\varphi}_T = \varphi_T (G_T, V_T) \quad (3)$$

$$\dot{V} = (P - D) / m \quad (4)$$

$$D = 1/2 \rho S C_x V^2 \quad (5)$$

$$\dot{\varphi} = K \frac{dq}{dt} \quad (6)$$

其中  $q$  为视线角,  $\varphi$  为导弹方位角,  $\varphi_T$  为目标方位角,  $R$  为距离,  $V$  为导弹速度,  $V_T$  为目标速度,  $G_T$  为目标过载,  $P$  为发动机推力,  $D$  为阻力,  $m$  为导弹质量,  $\rho$  为导弹所在高度的空气密度,  $S$  为导弹当量截面积,  $C_x$  为阻力系数,  $K$  为导引系数。

## 2.2 计算机仿真流程

仿真计算机模型反映了数学模型在计算机中的表达, 以流程图方式给出空空弹的仿真从开始到结束的过程如图2所示。

## 3 仿真结果与最小二乘拟合

对于工程实际应用, 超视距中程空空导弹远端的导引律可以化为简单的比例导引, 而靠近段导引律依然是比例导引律, 只是二者的系数有所不同。为了简化运算, 可以设定为某些最优值, 并且由于开始时距离较远, 超视距仿真时可以认为载机初始状态指向目标机。杀伤区的超实时仿真为杀伤区计算提供数据, 所以应该针对数据结果进行分析。应用四阶龙格库塔法, 根据自选参数进行仿真, 参数的选择情况如下。

(1) 导弹和目标飞行高度分别为2000、4000、

8000、10000、15000m;

(2) 导弹飞行速度  $V_m$  为  $1.0M_a$ 、 $1.5M_a$ 、 $2.0M_a$ 、 $2.5M_a$ ; 导弹速度不能小于100m/s;

(3) 目标机飞行速度  $V_t$  为  $0.5M_a$ 、 $1.0M_a$ 、 $1.5M_a$ ; 导弹离轴发射角为  $0^\circ$ ;

(4) 导弹最小发射距离为0.5km; 导弹目标最小相对速度为150 m/s;

(5) 引信解除保险时间为3s; 导弹脱靶量为10m;

(6) 导引头捕获距离为10km; 导引头视场角为  $\pm 2^\circ$ ;

(7) 弹上能源工作时间为60s;

(8) 导弹当量为  $0.025m^2$ ; 导弹质量为100kg;

(9) 空气密度通过查表得出;

(10) 主动段为6.0s。

载机高度10000m, 导弹飞行速度320m/s, 目标飞行速度320m/s, 目标过载分别为0和3时仿真拟合得到的杀伤区分别如图3、图4所示。

从大量的数据可以分析出空空导弹的最大杀伤距离与高度、进入角、目标速度、本载机速度成近似的线性

关系, 尤其是本机、目标机速度与杀伤区的线性关系最强, 而高度、进入角很大程度上可以看成近似线性, 为了能够以一定的精度拟合数据, 不妨将速度关系设定为线性, 而将高度、进入角关系设定为二次方程关系。

选取的实验点越多, 仿真拟合的结果也越精确, 不过计算量也成倍地增加。本文各选取3个各类参数, 加速度选取11个, 对一共297个仿真结果进行处理, 选择如下多项式:

$$\begin{aligned} R_{\max} = & k_1 V_m + k_2 V_T + k_3 H + k_4 V_m V_T + k_5 V_m H \\ & + k_6 V_T H + k_7 V_m H V_T + k_8 n^3 + k_9 V_m n^3 + k_{10} V_T n^3 \\ & + k_{11} H n^3 + k_{12} V_m V_T n^3 + k_{13} V_m H n^3 + k_{14} V_T H n^3 \\ & + k_{15} V_m V_T H n^3 + k_{16} n^2 + k_{17} V_m n^2 + k_{18} V_T n^2 \\ & + k_{19} H n^2 + k_{20} V_m V_T n^2 + k_{21} V_m H n^2 + k_{22} V_T H n^2 \\ & + k_{23} V_m V_T H n^2 + k_{24} n + k_{25} V_m n + k_{26} V_T n \\ & + k_{27} H n + k_{28} V_m V_T n + k_{29} V_m H n + k_{30} V_T H n \\ & + k_{31} V_m V_T H n + k_{32} \end{aligned} \quad (7)$$

选择的数据为: 进入角  $30^\circ$ ,  $H$  为5000、10000、15000m,  $V_{\text{Missile}}$  为330、350、370m/s,  $V_{\text{Target}}$  为280、310、340m/s, 过载  $n$  为0、0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5, 最终拟合的

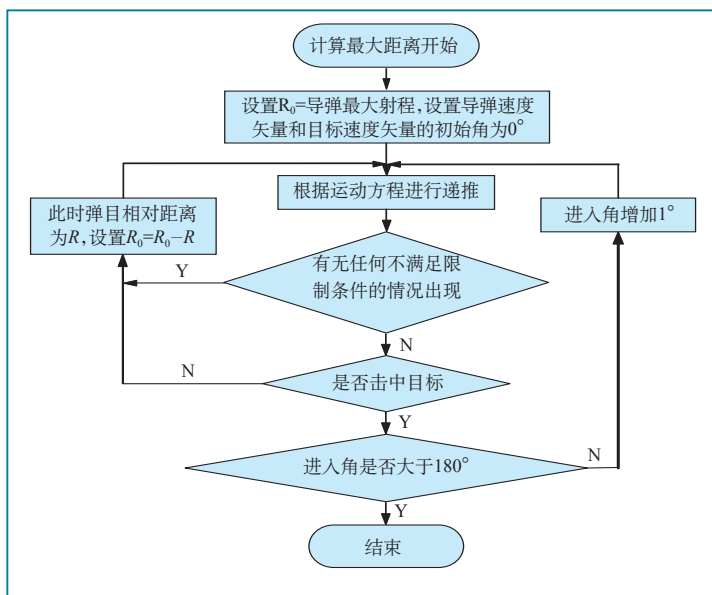


图2 杀伤区仿真流程图

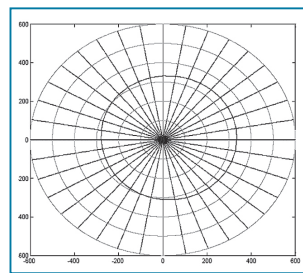


图3 目标过载0的杀伤区

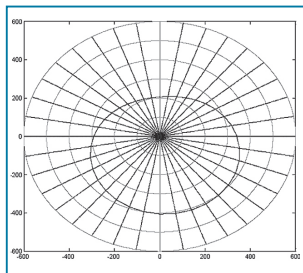


图4 目标过载3的杀伤区

# 填充橡胶构件在航空发动机中的应用

## The Application of Components Filled in Rubber in Aero-Engines

李伟红 苏丹 辛彦秋 马宇飞 / 中航工业黎明航空发动机公司

**摘要:**介绍了在航空发动机结构中采用的填充橡胶材料的金属构件的特征及其填充工艺技术。

**关键词:**硅橡胶; 填充构件; 发动机; 应用; 工艺

长期以来, 橡胶材料在航空发动机结构中的应用仅限于以单独制品形式, 用于燃油、滑油、空气系统以及发动机外部附件支架结构部分, 实现管路系统可靠密封及结构减振作用。随着橡胶材料及航空发动机结构设计技术的发展, 一种将橡胶材料填充进入金属结构

内, 形成金属和橡胶为一体的混合式发动机构件, 在航空发动机的压气机等部件中应用并发挥重要作用。

### 1 橡胶填充材料的选择

#### 1.1 橡胶填充材料选择的原则

橡胶填充材料选择的原则是, 必

须满足航空发动机相关部件的工作状况、结构性能及寿命等技术要求。一般应考虑以下几点。

- 工作温度, 应满足在 $-50 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 条件下稳定工作。
- 优异的抗老化性能, 满足航空发动机返修寿命期内可靠工作。

表1 仿真拟合参数表

$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$
4.8338e1	-3.3972e1	8.5748 e-1	-6.4893 e-2	-6.4893 e-2	-1.5267e-3	2.6166e-6	3.6504 e3
$k_9$	$k_{10}$	$k_{11}$	$k_{12}$	$k_{13}$	$k_{14}$	$k_{15}$	$k_{16}$
-1.2372 e0	-1.3194e1	-9.6664e-3	-4.3362e-3	3.8808e-5	5.1674e-5	-1.2739e-7	-2.9499e4
$k_{17}$	$k_{18}$	$k_{19}$	$k_{20}$	$k_{21}$	$k_{22}$	$k_{23}$	$k_{24}$
1.2952e1	1.0384e2	1.5345e-1	-4.7335e-2	-4.1210e-4	-7.322e-4	1.4326e-6	6.5227e4
$k_{25}$	$k_{26}$	$k_{27}$	$k_{28}$	$k_{29}$	$k_{30}$	$k_{31}$	$k_{32}$
-4.0119e1	-2.1187e2	-6.7867e-1	1.4866e-1	1.2842e-3	2.9979e-3	-4.5796e0	-1.535e2

参数如表1所示。

### 4 结论和展望

本文对导弹攻击区进行了简化的建模与仿真, 这种简化在一定程度上是有效和可行的, 对于导弹理论阶段性能参数的选择具有指导意义。但在实际的仿真试验中, 这种简化太过简单, 而建立在六自由度非线性模型基础上的全弹仿真又太过复杂, 所以很有必要建立一种精度“适中”的模型, 它应该在三维空间内且可以反映导弹的主要战技指标, 同时忽略一些

次要因素, 这种模型将成为驱动三维可视化模型的引擎, 也能成为验证、实验导弹性能的一种手段。如果进一步将此模型与导弹的末端效能模型相结合, 则可以建立综合的导弹武器效能实验评估平台, 这对武器效能的研究起到了促进作用。

AST

### 参考文献

- [1] 刘代军, 高晓光, 李言俊. 中远程复合制导空空导弹允许攻击区计算[J]. 航空兵器, 1998 (2).
- [2] 毛丽艳. 基于数据链的多机多

目标智能火控系统研究[D]. 南京航空航天大学硕士学位论文, 2006.

[3] 李建军. 超视距多机协同作战分析. 西北工业大学硕士学位论文[D], 2001.

[4] 刘彤. 防空战斗部杀伤威力评估方法研究. 南京理工大学博士学位论文, 2004.

### 作者简介

张列航, 硕士研究生, 工程师, 主要从事火控武器系统试验及仿真研究。