

破片式战斗部对飞机目标的杀伤方法^{*}

王国庆,应国森,尤春涛

(海军驻重庆地区导弹设备军事代表室,重庆 402760)

摘要:分析了 F-16 战斗机的数学模型和破片式战斗部动态破片的空间分布,利用 Visual Basic 可视化语言编制了在弹目交会条件下破片式战斗部对飞机目标的杀伤模拟计算程序,并进行了在不同弹目交会状态下的杀伤计算,可为战斗部和引战的配合设计提供参考。

关键词:战斗部;战斗机;要害舱段;毁伤场;目标

中图分类号: T760

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)05-0028-05

在现代战争中,战斗机是空中作战的主要工具,在战争中左右着战争局势的发展。而破片式战斗部又是防空战斗部的主力,它采用大量密集杀伤破片打击战斗机目标,是防空作战中最有效的手段之一。通过以典型破片式战斗部对 F-16 战斗机杀伤过程的研究,可得出破片式战斗部杀伤空中、地面、水面等目标的研究方法。

1 坐标系

1.1 飞机坐标系

飞机坐标系 OXYZ,其坐标原点 O 为飞机头部顶点,OX 轴正方向指向飞机的飞行方向,OY 轴在飞机的水平平面内,正方向指向右方,OZ 轴由右手法则确定。

1.2 战斗部坐标系

战斗部坐标系 $Ox_0y_0z_0$,其坐标原点取战斗部的几何中心, Ox_0 轴与战斗部的飞行速度一致, Oy_0 轴在铅垂面内垂直于 Ox_0 轴,向上为正, Oz_0 轴由右手法则确定。

1.3 战斗部坐标系中质点在飞机坐标系中的坐标计算

战斗部坐标系中的质点在飞机坐标系中的坐标计算按照下式进行

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & 2\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \\ -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha & -\sin \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{01} \\ y_{01} \\ z_{01} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, α 为方向角(在飞机坐标系 x_0z_0 平面上战斗部轴线和 x 轴的夹角,偏向 z 轴正向为正,反之为负); β 为攻角(在飞机坐标系 x_0y_0 平面上战斗部轴线和 x 轴的夹角,偏向 y 轴

负向为正,反之为负); x_{01} 、 y_{01} 、 z_{01} 为质点在战斗部坐标系中的坐标值; x_0 、 y_0 、 z_0 为战斗部坐标系原点在飞机坐标系中的坐标值; x 、 y 、 z 为转换到飞机坐标系中的质点坐标。

2 飞机目标数学建模^[1]

2.1 要害舱段划分

以 F-16 战斗机为研究目标,对该飞机进行详细分析后,把该飞机分为 12 个要害舱段,151 个要害部位。其中要害舱段包括:驾驶员(10 个要害部位),电传操纵系统(48 个要害部位),冷气系统(32 个要害部位),液压系统(7 个要害部位),军械系统(14 个要害部位),网络系统(2 个要害部位),无线电系统(9 个要害部位),动力系统(3 个要害部位),起落架系统(9 个要害部位),仪表板系统(4 个要害部位),^⑪ 氧气系统(6 个要害部位),^⑫ 燃油系统(7 个要害部位)。

2.2 要害部位几何模型

为研究方便起见,采用常用的研究方法,将 151 个要害部位近似为 151 个大小不一的直角六面体。在研究中给出每个要害部位的相关参数,就可以用数学方法定量描述该要害部位。

3 杀伤破片战斗部参数计算^[2-3]

3.1 战斗部毁伤场分析

由于破片式战斗部在飞行过程中具有一定的速度,战斗部爆炸后破片也具有同样的初速,所以静态破片飞散场与动态破片飞散场不同。静态破片飞散场为带状(如图 1),而动态破片飞散场则为锥状(如图 2)。

* 收稿日期:2009-03-07

作者简介:王国庆(1983—),男,安徽舒城人,主要从事导弹战斗部研究。

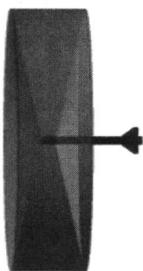


图1 静态破片飞散场模拟

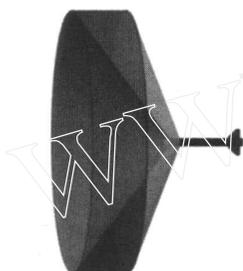


图2 动态破片飞散场模拟

3.2 动态破片计算

动态破片可以用以下公式计算

$$\alpha = \arctan \left(\frac{v_0 \sin \alpha_0}{v_0 \cos \alpha_0 + v_{\text{弹}}} \right) \quad (2)$$

式中, α 和 α_0 分别为动态和静态破片飞散方向与战斗部飞行方向的夹角, v_0 为破片初速, $v_{\text{弹}}$ 为战斗部终点速度。

迭加战斗部终点速度后的破片初速度 v_{p0} 为

$$v_{p0} = \sqrt{v_0^2 + v_{\text{弹}}^2 + 2v_0 v_{\text{弹}} \cos \alpha_0} \quad (3)$$

3.3 战斗部三维破片飞散计算原理

为了更准确的描述战斗部爆炸后破片在三维环境下的飞行情况和破片与目标的交会情况,程序利用现有成熟技术及原理,对每一枚破片逐一从初始飞行到撞击目标的过程进行连续计算(计算步长小于等于 2×10^{-6} 秒),可获得每一枚破片在飞行过程任一时刻的相关参数。图3所示的就是某破片在飞行过程中某四个时刻的参数计算模拟。

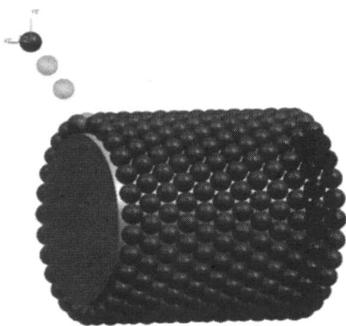


图3 某破片在飞行过程中某四个时刻的参数计算模拟

3.4 战斗部三维破片飞散计算程序框图

战斗部爆炸后破片飞散按照如图4进行计算。

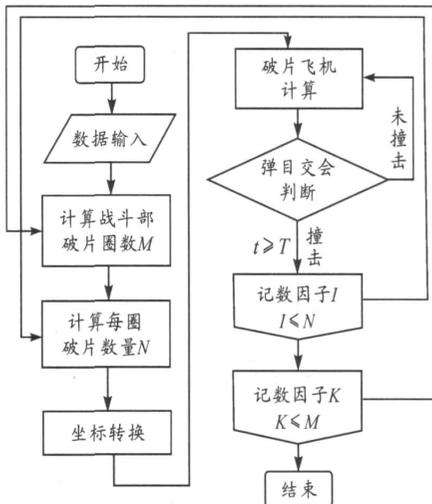


图4 三维破片飞散计算

4 几种弹目交会情况下的数学计算^[4]

4.1 计算战斗部模型

采用大飞散角战斗部作为研究对象,战斗部共装填 $\phi 6 \text{ mm}$ 、2 g 钨球破片 2 378 枚,装药长度 180 mm,端部直径 $\phi 15 \text{ mm}$,破片飞散角约 20° ,破片飞散方向角 0° 。

4.2 几种弹目交会情况下的计算结果

4.2.1 战斗部(2 Ma,约 680 m/s)与战斗机(0.9 Ma,约 306 m/s)相向飞行的几种交会情况计算

1) 战斗部在飞机坐标系(0, -4,0)处爆炸,即在飞机坐标系原点正下方 4 m 处。战斗部在飞机坐标系中的飞行方向角 0° ,攻角 0° 。计算得飞机模型被 35 枚破片击中。如图5所示。图中的方格线的长宽均为 1 m,战斗机的飞行方向指向每张图片的左侧,左图和右图为一一对应关系。飞机坐标系水平截靶在飞机目标的中轴线上。

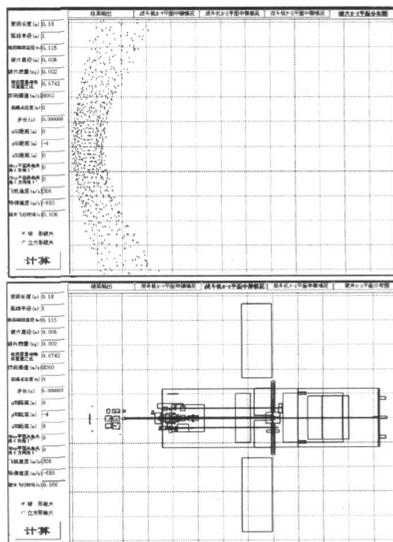


图5 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F-16 战斗机模型的破片分布

2) 战斗部在飞机坐标系(0, - 4, 0)处爆炸,方向角 30°, 攻角 0°:计算得飞机模型被 82 枚破片击中,如图 6 所示.

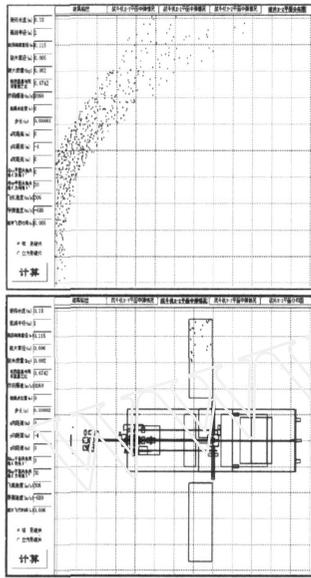


图 6 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F- 16 战斗机模型的破片分布

3) 战斗部在飞机坐标系坐标点(- 10, 4, 3)处爆炸,方向角 0°,攻角 0°:计算得飞机模型被 106 枚破片击中,如图 7 所示.

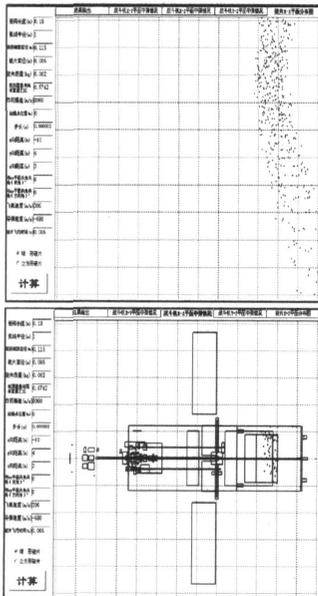


图 7 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F- 16 战斗机模型的破片分布

4) 战斗部在飞机坐标系坐标点(0, - 8, 0)处爆炸,方向角 - 30°,攻角 15°:计算得飞机模型被 166 枚破片击中,如图 8 所示.

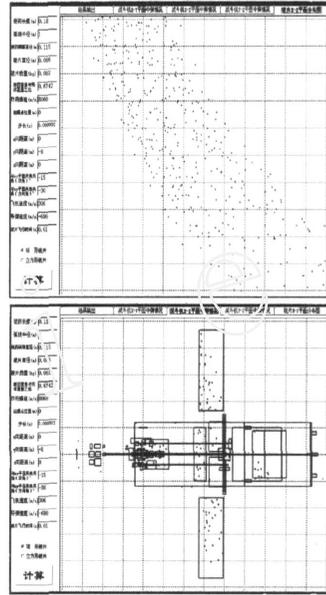


图 8 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F- 16 战斗机模型的破片分布

4.2.2 战斗部(2 Ma)与战斗机(0.9 Ma)追尾飞行的几种交会情况计算

1) 战斗部在飞机坐标系坐标点(- 10, 4, 3)处爆炸,方向角 0°,攻角 0°:计算得飞机模型被 377 枚破片击中,如图 9 所示.

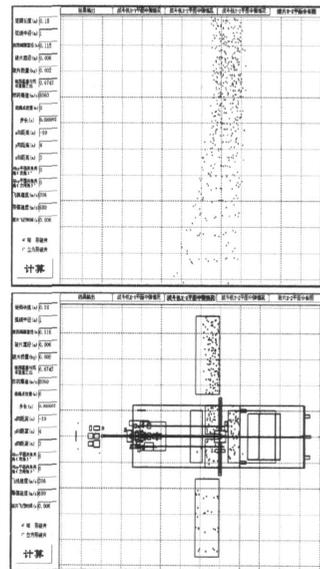


图 9 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F- 16 战斗机模型的破片分布

2) 战斗部在飞机坐标系坐标点(- 10, 8, 0)处爆炸,方向角 - 30°,攻角 15°:计算得飞机模型被 236 枚破片击中,如图 10 所示.

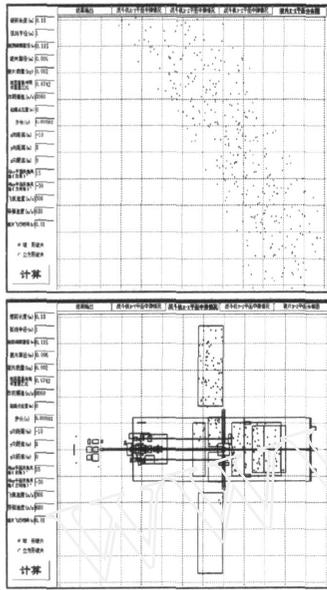


图 10 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F-16 战斗机模型的破片分布

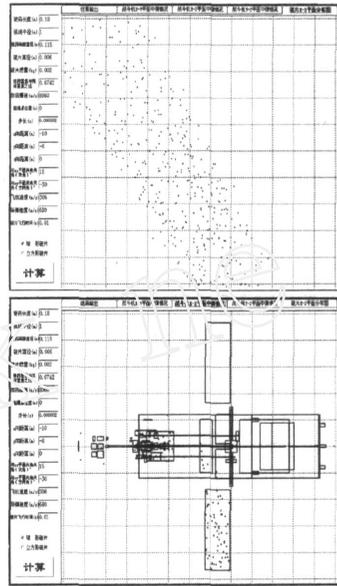


图 12 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F-16 战斗机模型的破片分布

3) 战斗部在飞机坐标系坐标点 $(-10, -8, 0)$ 处爆炸, 方向角 -30° , 攻角 15° : 计算得飞机模型被 126 枚破片击中, 如图 11 所示.

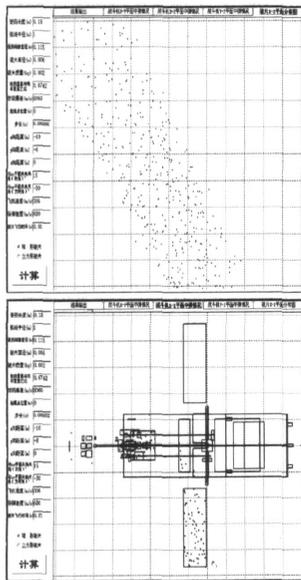


图 11 破片在飞机坐标系水平截靶上的分布和破片打击 F-16 战斗机模型的破片分布

4) 战斗部在飞机坐标系坐标点 $(-10, -8, 0)$ 处爆炸, 方向角 30° , 攻角 15° : 计算得飞机模型被 234 枚破片击中, 如图 12 所示.

4.3 结果分析

1) 从图 5 可以看出, 飞向飞机目标的破片距离飞机中轴线最近, 破片最先到达, 而两侧到达的时间稍晚, 又由于战斗部和战斗机具有较大的相向速度, 所以在水平截靶上形成了弧形的破片飞散带. 这和分析结果相吻合.

2) 从图 5 ~ 图 12 可以看出, 4 m 处和 8 m 处破片的分布宽度分别约为 1.5 m 和 3 m, 这和用数学绘图法计算出来的宽度相近.

3) 图 7 和图 9 中, 战斗部的起爆点、方向角和攻角完全相同, 但破片分布带位置和弧形偏转方向完全不同, 这是由于战斗部和战斗机的合成速度在战斗机飞行方向上大小和方向不同所造成的.

5 试验验证

为了验证本模拟计算程序的正确性, 把某战斗部的真实静爆试验情况和模拟计算情况进行了对比. 图 12 左图为某战斗部在距离靶板 8 m 处爆炸后在靶板上的破片穿孔情况, 右图为完全模拟某战斗部试验状态下破片在模拟靶板上的穿孔情况.

从图 13 可以看出, 本程序的模拟计算和试验情况较为吻合, 说明本程序采用的计算方法正确, 可以用于工程分析计算.

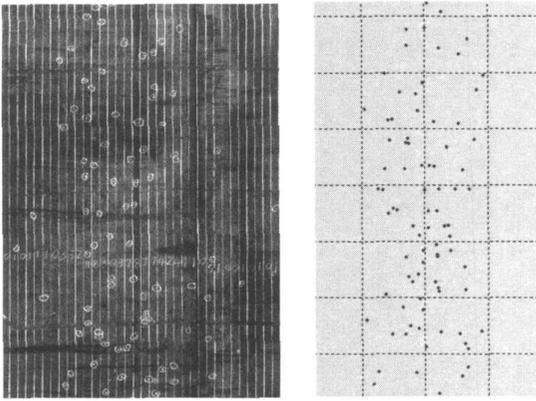


图 13 某战斗部真实静爆试验情况和模拟计算情况对比

6 结束语

本文中提供的模拟计算方法,不但可以计算出每枚破

片的飞行路线和参数,而且还可以计算打击到目标上的每枚破片的着靶部位等相关数据参数,为开展更深入、准确的目标易损性研究提供依据。

本文中的模拟程序既可以计算单发杀伤战斗部对三维空中以及地面、水面模拟目标的杀伤过程,也可以模拟弹目作用环境及过程,为战斗部和引战配合的设计提供参考。

参考文献:

- [1] 林光宇,宋笔峰.飞机作战生存力分析与设计基础[M].北京:航空工业出版社,1998.
- [2] 李隽良,蒋勇,汪光先.计算机数值方法[M].南京:东南大学出版社,2000.
- [3] 姜晓铭. Visual Basic 6.0 程序设计[M].北京:北京工业大学出版社,2000.
- [4] 赵文宣.终点弹道学[M].北京:兵器工业出版社,1985.

(上接第 27 页)

参考文献:

- [1] Dollar H S. Iterative Linear Algebra for Constrained Optimization[D]. University of Oxford, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, 2005.
- [2] Elman H, Golub G H. Inexact and preconditioned Uzawa algorithms for saddle point problems[J]. SIAM J. NA, 1994,31:1645 - 1661.
- [3] Elman H, Silvester D. Fast nonsymmetric iteration and preconditioning for Navier-Stokes equations[J]. SIAM J. Sci. Comput, 1996,17:33 - 46.
- [4] Elman H, Silvester D, Wathen A. Iterative methods for problems in computational fluid dynamics[R]. Numerical Analysis Group Research Report NA - 96/19.
- [5] Fischer B, Ramage A, Silvester D J, et al. Minimum residual methods for augmented systems[J]. BIT, 1998,38:527 - 543.
- [6] Arioli M, Duff I S, de Rijk P P M. On the augmented system approach to sparse least squares problems[J]. Numer. Math, 1989,55:667 - 684.
- [7] Birek A, Paige C C. Solution of augmented linear systems using orthogonal factorization[J]. BIT, 1994,34:1 - 24.
- [8] Santos G H, Silva B P B, Yuan J Y. Block SOR methods for rank deficient least squares problems[J]. J. Comput. Appl. Math, 1998,100:1 - 9.
- [9] Wright S. Stability of augmented system factorizations in interior point methods[J]. SIAM J. Matrix Anal. Appl, 1997,18:191 - 222.
- [10] Santos G H, Yuan J Y. Preconditioned conjugate gradient methods for rank deficient least squares problems[J]. Int. J. Comput. Math, 1999,72:509 - 518.
- [11] Yuan J Y, Iusem A N. Preconditioned conjugate gradient methods for generalized least squares problems[J]. Comput. Appl. Math, 1996,71:287 - 297.
- [12] Golub G H, Wu X, Yuan J Y. SOR-like methods for augmented systems[J]. BIT, 2001,55:71 - 85.
- [13] Darvishi M T, Hessari P. Symmetric SOR method for augmented systems[J]. Appl. Math. Comput, 2006,183:409 - 415.
- [14] Bai Zhong-Zhi, Parlett B N, Wang Zeng-Qi. On generalized successive overrelaxation methods for augmented linear systems[J]. Numerische Mathematik, 2005,102:1 - 38.
- [15] Young D M. Iterative solution for large linear systems[M]. Academic press, New York, 1971.