

聚焦式战斗部攻击下飞机的易损性计算

赵晨钟, 韩庆

(西北工业大学航空学院, 陕西西安, 710072)

摘要 飞机生存力已成为军用飞机设计的主要技术指标之一,飞机易损性计算的主要目的是评估飞机生存力,为飞机生存力增强设计提供理论指导。以模拟现代空战中主要使用的聚焦式战斗部的毁伤元真实飞散特性为基础,考虑冲击波超压的毁伤效应和球形、方形毁伤元对飞机的洞穿作用,以战斗部静态飞散角作为设计参数,建立了聚焦式战斗部的威力场。研究了聚焦式战斗部威力场内不同毁伤元对飞机的多击中易损性,同时给出了计算实例,与非聚焦战斗部杀伤结果对比表明:聚焦式战斗部对飞机有更高的杀伤概率。

关键词 聚焦式战斗部;杀伤概率;易损性;生存力

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.01.004

中图分类号 V221.92 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)01-0015-03

飞机易损性是指飞机不能承受损伤机理一次或多次打击的程度,即在敌火力击中时倾向于严重损伤和毁坏的程度。飞机易损性越高,越容易被杀伤。在现代战争中,作战飞机的杀伤主要是由导弹战斗部爆炸形成的毁伤元的杀伤引起的^[1-2]。聚焦式战斗部使轴向能量在某个位置上环带汇聚并形成较小的飞散角(一般认为小于 4°)和较集中的毁伤元预制破片^[3]。图1是一种典型的聚焦式战斗部结构。本文使用 Visual C++6.0 编程模拟聚焦式战斗部破片飞散特性,并计算分析在其攻击下飞机的易损性。

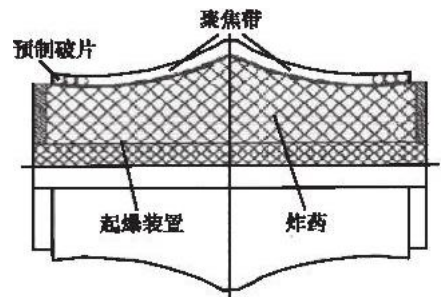


图1 聚焦式战斗部结构图

Fig.1 Configuration of focusing warhead

1 战斗部威力场建模

本文将战斗部等效为圆柱形,忽略轴端效应及轴向稀疏波的影响。形成的结果文件包括:破片速度、类型、数量、质量及每个破片在弹体坐标系下的坐标、飞散方向。

1.1 初速计算

战斗部爆炸后,破片在爆轰产物作用下达到的最大飞行速度就是破片初速。从动能角度出发,业已建立了很多关于破片初速的理论表达式,其中 Gurney 能量法^[4]是应用最为广泛的一种方法。

破片获得初速度并脱离爆轰产物气体作用后在空气中飞行时,将受到重力和空气阻力的作用,由于飞行距离较短,可忽略重力作用,但不同毁伤元迎风面积不同,不能忽略空气阻力对毁伤元速度的影响。

$$V_R = v_0 \exp\left(-\frac{C_D \rho_a S}{2m_f} R\right) \quad (1)$$

式中: V_R 为距爆心 R 处破片的速度; C_D 为气动阻力系数; ρ_a 为当地空气密度; S 为破片展现面积; m_f 为破片质量。

* 收稿日期:2011-06-21

基金项目:航空科学基金资助项目(02B53008)

作者简介:赵晨钟(1985-),男,甘肃敦煌人,硕士生,主要从事飞机易损性研究.E-mail:zhaochenzhong@tom.com.

1.2 破片飞散特性

破片飞散特性参数主要包括破片飞散角和飞散方向角。本文研究聚焦战斗部,将静态飞散角作为设计参数,在工程应用中主要通过控制战斗部的起爆方式(如网络起爆)、调整战斗部装药型面等方法来实现。对于结构确定的聚焦式战斗部,破片总数、破片质量、静态飞散角是确定的,但在飞散角(聚焦带)内,破片的分布具有一定的随机性,模拟计算时假设破片在聚焦带内服从均匀分布,实验对比表明这种假设是成立的。

1.3 冲击波超压计算

战斗部在空中爆炸时产生的高温、高压爆轰产物急剧膨胀,把周围空气从原来位置迅速排挤出去,形成一压缩空气层,即为空气冲击波^[5],由下式计算冲击波超压:

$$\Delta p = \begin{cases} 0.67 \frac{w}{R^3} + 0.1, & \Delta p > 1 \text{ MPa} \\ 0.0975 \frac{\sqrt[3]{w}}{R} + 0.1455 \frac{\sqrt[3]{w^2}}{R} + 0.585 \frac{w}{R} - 0.002, & \Delta p \leq 1 \text{ MPa} \end{cases} \quad (2)$$

式中: w 为主装药的TNT当量值; R 为目标距爆心的距离。

2 飞机的易损性计算

2.1 读入飞机易损性计算的有限元模型

本文读入的飞机及部件的有限元模型由MSC/PATRAN建立,在已知飞机及部件外形尺寸情况下,主要由四边形面元来逼近,少数的三角形面元用于几何外形过渡,对于三角形面元采用重复一个节点的方法来等效成四边形面元。

飞机在遭受导弹攻击时的损伤主要是由导弹战斗部爆炸的毁伤元的杀伤引起的,在进行易损性计算之前做如下基本假设:① 导弹不能直接击中飞机,引信探测到飞机处于战斗部威力场作用范围内时引爆战斗部;② 导弹与飞机相遇时,其速度矢量与飞机速度矢量在同一个平面内。

聚焦式战斗部毁伤元与飞机的交汇算法使用基于部件包围盒的飞机几何描述算法^[6],图2为计算的流程图, M 为由威力场产生的射击线总数, N_j 为飞机结构部件的个数。

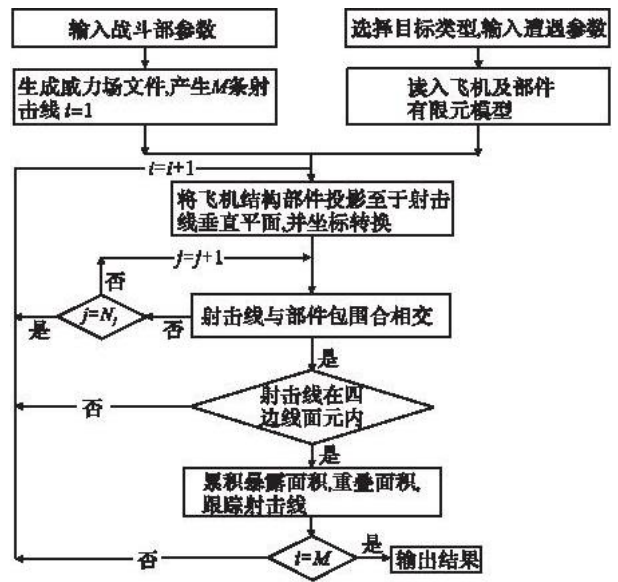


图2 易损性计算流程图

Fig. 2 Flow chart on calculation of vulnerability

2.2 冲击波对飞机的毁伤概率

冲击波对飞机的结构部件杀伤概率使用下式计算:

$$p = \begin{cases} 1, & \Delta p > \Delta p_f \\ \frac{\Delta p - \Delta p_{cr}}{\Delta p_f - \Delta p_{cr}}, & \Delta p_{cr} \leq \Delta p \leq \Delta p_f \\ 0, & \Delta p < \Delta p_{cr} \end{cases} \quad (3)$$

式中 Δp_{cr} , Δp_f 为冲击波场杀伤飞机类目标的超压有效范围,取 $\Delta p_f = 0.2 \text{ MPa}$, $\Delta p_{cr} = 0.05 \text{ MPa}$ 。

2.3 破片的击穿作用概率

穿透杀伤为聚集式破片战斗部对飞机类目标的主要杀伤方式,通常以击穿单位厚度的铝目标的比动能来衡量^[7-8]。飞机结构部件在给定单枚破片打击下的穿透杀伤概率为:

$$p_{k/h} = \begin{cases} 0, & E_b \leq 4.5 \\ 1 + 2.65e^{-0.34E_b} - 2.96e^{-0.14E_b}, & E_b > 4.5 \end{cases} \quad (4)$$

式中 E_b 为铝目标单位厚度上的比动能,以 $(\text{kg} \cdot \text{m} / (\text{cm}^2 \cdot \text{mm}))$ 计,其它目标的材料可等效为铝目标。

$$E_b = \frac{m_f V_R^2}{2Sh} = \frac{m_f^{1/3} V_R^2}{2\phi h} = \frac{m_f^{1/3} V_R^2}{2\phi \delta} \cos\theta \quad (5)$$

式中: $S = \varphi m_f^{2/3}$ 为破片与靶板的期望接触面积; φ 为破片形状系数; $h = \delta / \cos\theta$; 为面元击穿情况下的侵彻厚度; δ 为面元实际厚度; θ 为破片打击方向与面元法线的夹角。

2.4 破片对飞机的杀伤概率

通过以上计算可得单枚破片对飞机结构部件的杀伤概率,使用马尔可夫链法^[9]可累积求出飞机在导弹破片攻击下的杀伤概率。

3 算例

以 X 型飞机为例,遭遇高度 5 000 m,炸点在目联相对坐标系中的坐标(-10, 3, -3),飞机速度 300 m/s,导弹速度 500 m/s,弹目交汇角 0°;战斗部分为聚焦(静态飞散角 4°)和非聚焦(静态飞散角 10°),装填 6 kg 某高能炸药,产生 920 个预制破片,破片质量 5 g,以下为杀伤概率对比。

表 1 聚焦和非聚焦杀伤概率对比

Tab. 1 probability of damaging for conventional warhead and the focusing warhead

毁伤元类型	考虑风阻	杀伤概率		聚焦战斗部 概率高出值
		聚焦战斗部	非聚焦战斗部	
球形	是	0.999 790	0.595 197	0.404 593
	否	0.999 831	0.609 191	0.390 640
方形	是	0.771207	0.487 302	0.283 905
	否	0.849 769	0.569 392	0.280 377

4 结论

本文介绍的方法可用于计算飞机的毁伤概率,也可用于飞机战伤分析,为战伤抢修提供必要的参考。算例分析表明聚焦式破片战斗部对飞机的杀伤概率远大于非聚焦战斗部,这对飞机生存力增强设计和导弹杀伤效能评估具有指导意义。所提出的计算方法已在计算机上编程调试通过,应用中表明,该方法通用性强,易于实现。

参考文献(References):

- [1] Ball Robert E. 飞机作战生存力分析与设计基础[M]. 林光宇,宋笔锋,译.北京:航空工业出版社,1998:88-89.
Ball Robert E. The fundament of aircraft combat survivability analysis and design [M]. LIN Guangyu, SONG Bifeng, translate. Beijing: Aviation industry press, 1998:88-89. (in Chinese)
- [2] Ball Robert E. A history of the survivability design of military aircraft[P]. ADA 351434, 1998.
- [3] Carleone J. Tactical missile design[M]. Washington: The American institute of aeronautics and astronautics, 1993:95-98.
- [4] 李晋庆,胡焕性. 聚焦型破片战斗部对目标毁伤概率的工程算法[J]. 兵工学报, 2003, 24(4): 555-557.
LI Jinqing, HU Huanxing. Engineering method of calculation for the damaging probability of targets by fragmentation from a focusing warhead[J]. Acta armamentarii, 2003, 24(4): 555-557. (in Chinese)
- [5] 宋浦,肖川,袁宝慧. 破片聚焦式战斗部毁伤直升机类目标的研究[J]. 弹箭与制导学报 2002, 22(3): 50-55.
SONG Pu, XIAO Chuan, YUAN Baohui. The study on damaging target by fragmentation focuss warhead[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 2002, 22(13): 50-55. (in Chinese)
- [6] 吕付星,韩庆,赵晨钟. 基于部件包围盒的飞机几何描述算法研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(3): 517-520.
LÜ Fuxing, HAN Qing, ZHAO Chenzhong. Aigorithm study on geometric description of aircraft for vulnerability assessment based on the bounding box of components[J]. Science technology and engineering, 2011, 11(3): 517-520. (in Chinese)
- [7] 隋树元,王树山. 终点效应学[M]. 北京:国防工业出版社, 2000:110-111.
SUI Shuyuan, WANG Shushan. Terminal effect[M]. Beijing: National defense industry press, 2000:110-111. (in Chinese)
- [8] Sturfels R G. Design of space tethers for meteoroid and orbital debris impact survivability[R]. A1AA 2001-1104.
- [9] 裴扬. 飞机非核武器威胁下易损性定量计算方法研究[D]. 西安:西北工业大学, 2006.
PEI Yang. Quantitative calculation methods of aircraft non-nuclear volnerability[D]. Xi'an: Northwestern polytechnical univer- sity, 2006. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

(下转第 27 页)