

战斗部破片动态飞散区的多值求解方法

鲁卫红¹, 刘成绪², 齐立峰¹

(1. 空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051; 2. 94221 部队, 山东新泰, 271200)

摘要 根据导弹破片动态飞散区与静态飞散区间存在的对应关系“静态→动态1→动态2”, 结合弹目交会参数, 分析了按照线路“动态2→动态1→静态”逆向搜索获得动态飞散区破片飞散速度、密度解值的计算方法; 对导弹破片动态飞散区多值问题进行了分析, 研究发现: 战斗部破片大静态飞散范围角和中心破片静态飞散方向角前倾或后仰复杂情况下的动态飞散区可多达4个解。算例结果验证了求解方法的正确性。

关键词 战斗部破片; 动态飞散区; 多值问题

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.01.012

中图分类号 TJ760⁺¹ **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)01-0053-04

A Method of Multi-Value Solution of Dynamic Scattering Section of Warhead Fragments

LU Wei-hong¹, LIU Cheng-xu², QI Li-feng¹

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, China;
2. Unit 94221, Xintai 271200, Shandong, China)

Abstract: It is necessary to build a mathematical model about dynamic scattering section of warhead fragments which fits in with complex encounter condition between missile and airplane, in the designing phase of missiles. According to the corresponding relation "Static state→Dynamic state 1→Dynamic state 2" between the dynamic scattering section and static scattering section of warhead fragments, and the encounter parameter between missile and airplane target, a method for calculating the dynamic scattering speed and density of the warhead fragments is studied by searching the keys according to the way of "Dynamic state 2→Dynamic state 1→Static state" with computer. The multi-value problem of warhead fragments dynamic scattering section is lucubrated, and a new method of multi-value solution of dynamic scattering section of warhead fragments is advanced, which fits in with complex conditions such as big static state scattering angle range of fragments, the fragments static state scattering direction slope forward or back. A new opinion about multi-value problem that the maximum amount of keys is four is educed. The correctness of the new opinion is verified through simulation examples.

Key words: warhead fragments; dynamic scattering section; multi-value problem

在导弹设计阶段, 通常采用试验和仿真相结合 的方式进行研究, 建立能够适应复杂弹目交会情况

收稿日期: 2012-04-09

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2010JQ8007)

作者简介: 鲁卫红(1968—), 男, 河北安平人, 副教授, 博士, 主要从事雷达对抗、引战配合技术研究。

E-mail: lwh_001@126.com

的战斗部破片动态飞散数学模型十分必要。通常情况下,导弹破片动态飞散区与静态飞散区间存在一一对应关系,动态飞散区中不同位置处的打击破片来自战斗部的不同部位^[1-10]。文献[6]认为动态飞散区与静态飞散区间有时存在“一对二”的对应关系,飞散区一定区域内目标某部位受到破片的2次撞击,出现多值问题。本文分析了复杂弹目交会情况的战斗部破片动态飞散数学模型的建立步骤,对破片动态飞散密度和速度计算的多值求解问题进一步分析后发现:在战斗部破片静态飞散角较大、中心破片静态飞散角前倾或后仰的情况下出现多值问题时,可能出现“一对四”的多值情况,即动态飞散区一定区域内目标某部位受到破片的4次撞击,相比文献[6],对多值问题的研究更进了一步。

1 多值求解

为方便分析,将地面观察系观察的破片相对地面坐标系的动态飞散区称为“动态飞散区1”,目标观察系观察的破片相对目标坐标系的动态飞散区称为“动态飞散区2”。

在以战斗部炸点为原点的弹体坐标系中,根据战斗部静态爆炸参数(中心破片静态飞散方向角 φ_c 、破片静态飞散范围角 $\Delta\varphi$ 、破片静态飞散密度分布 $F_0(\varphi)$ 、破片静态飞散初速度分布 $V_0(\varphi)$ (φ 为静态飞散方向角)、导弹速度矢量 V_M 、目标速度矢量 V_T 、破片速度在空中的衰减系数 K_H 这些已知条件,依照“静态飞散区→动态飞散区1→动态飞散区2”的转换关系,利用计算机数值方法,可计算空间任意点破片相对目标的动态飞散速度、密度^[7]。

在计算目标所观察的弹体坐标系中 A_1 (对应的极坐标为 r_2, ω_2, ϕ_2)处的破片动态2飞散密度或速度时,需要采用计算机数值搜解的方法求解地面所观察的对应的动态1点 B_1 的极坐标值 r_1, ω_1, ϕ_1 及对应的静态飞散角 φ 。根据搜索到的 φ 值,便可以求取 B_1 点处破片密度和速度,进而获得 A_1 处的破片动态2飞散密度或速度。

这是一个三维空间点的搜索问题,即如何根据破片动态2飞散区 A_1 点搜索找到动态1飞散区点 B_1 和对应的静态飞散角 φ 的问题,见图1。

在地面观察,战斗部爆炸后形成的破片经过时间 t 后到达 B_1 点,在飞机观察时,到达 A_1 点。 B_1 点到 A_1 的线长度 $|B_1A_1|$ 为按目标运动速度 V_T 经时间 t 所走距离。本文采用的搜索线路:从 A_1 点出发沿 V_T 直线搜索 B_1 点。

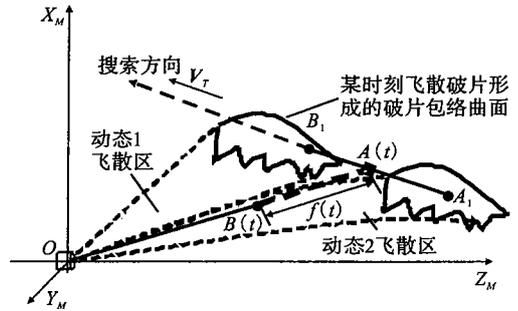


图1 三维空间点的搜索示意图

Fig. 1 The search line of a space point

搜索过程实质是一个三维空间的最优化问题,即求解 $\min|f(t)|$ 的问题,目标函数:

$$f(t) = r_A(t) - r_B(t) \quad (1)$$

式中: t 为搜索变量; $r_A(t)$ 为目标从 A_1 点出发沿速度 V_T 经时间 t 后到 $A(t)$ 点距离炸点的斜距; $r_B(t)$ 为破片若从炸点沿 OA 线飞行,则经时间 t 后到达 $B(t)$ 点所飞行距离。

理论上,如果 A_1 属于破片动态2飞散区域内,则必定可以找到与其对应的点 B_1 ,该位置满足:

$$t = t^*, |f(t^*)| = \min|f(t)| \approx 0 \quad (2)$$

搜索区间需要合理设置,区间过大影响速度,过小又可能丢解。

破片动态2飞散区域内不同位置出发形成的函数值 $|f(t)|$ 可能不存在零点即无解,或可能存在多个零点,出现多解,见图2。对应不同位置,或无解,或有1~4个解。例如:沿方向2飞散的破片来自静态飞散区的4个不同位置。

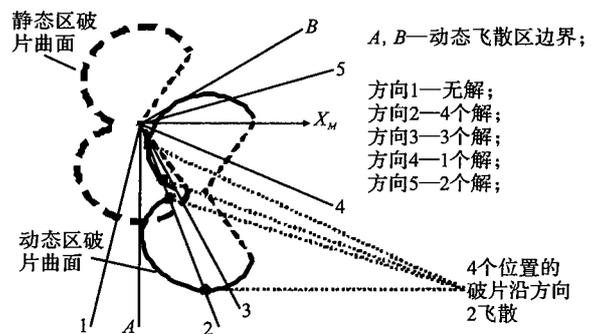


图2 多值情况示意

Fig. 2 The sketch map of multi-value state

搜索 φ 时可能存在多解值 $\varphi_i, 1 \leq i \leq 4$,需要选择满足 $\min|f(t)|$ 的 φ 值。

为保证函数 $f(t)$ 连续、不出现奇异点,搜索过程中假定在 $\varphi = 0 \sim 180^\circ$ 范围内破片初速度不为零,需要对静态飞散区的两侧: $\varphi = 0 \sim (\varphi_c - \Delta\varphi/2)$ 和 $\varphi = (\varphi_c + \Delta\varphi/2) \sim 180^\circ$ 范围破片初速补值:取值为 V_0 ($\varphi_c - \Delta\varphi$),见图3。

当破片初速补值后,搜索中可能出现伪解,当搜索到的静态飞散角 φ 处于静态飞散区的两侧时,对

应的解为伪解。真解和伪解的个数和等于 $|f(t)|$ 的零点总数。

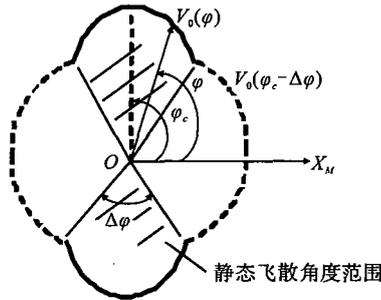


图 3 飞散角范围以外破片初速补值
Fig. 3 The complement speed besides scattering section

搜索过程中函数 $f(t)$ 可能的变化规律见图 4 曲线 1~3。图 4(a) 中对应曲线 1 无解; 对应曲线 2 有一个真解和一个伪解; 对应曲线 3 有一个真解和一个伪解。若变化规律不变, 但静态飞散范围变得较大的情况下, 则可能出现真解超过 1 个, 最多可达 4 个。

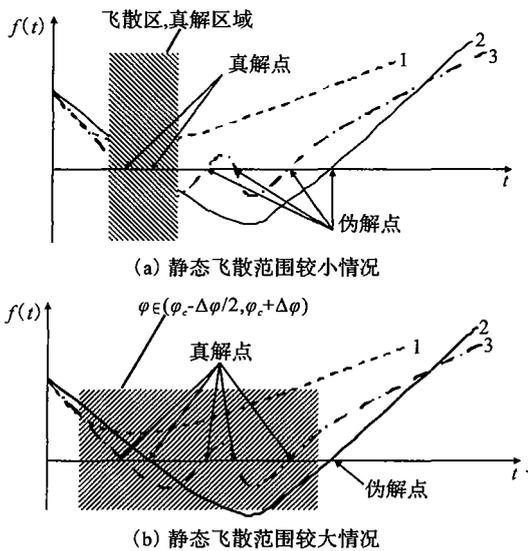


图 4 目标函数 $f(t)$ 可能的变化情况

Fig. 4 The different instance of object function $f(t)$

2 验证计算

假设参数: 战斗部中央破片静态飞散角 $\varphi_c = 120^\circ$, 静态飞散范围角 $\Delta\varphi = 120^\circ$, 破片静态初速 $V_0 = 2\,000\text{ m/s}$, 导弹速度 $V_M = 1\,400\text{ m/s}$, 目标速度 $V_T = 1\,800\text{ m/s}$, 交会角 $q = 80^\circ$, 则绘制出破片动态飞散区(绘出 $t = 30\text{ ms}$ 时破片所在曲面)见图 5, 可见在方向 2 会有 4 个解, 来自战斗部不同部位, 对应静态飞散角分别为 $\varphi = \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ 的破片先后共 4 次打击方向 2 上一点。

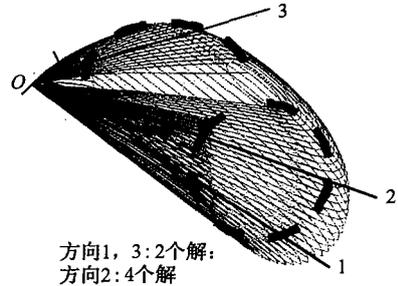


图 5 破片飞散区

Fig. 5 The scattering section of warhead fraction

3 结语

本文在现有文献基础上, 对动态飞散区多值问题做了进一步深入分析, 提出了适用于战斗部破片大静态飞散范围角和中心破片静态飞散方向角前倾或后仰的复杂情况下的动态飞散区的多值求解新方法, 得出最多可达 4 个解的多值问题新见解。通过算例检验了新见解的正确性。

本文的研究成果对于提高导弹对目标的毁伤概率仿真计算精度具有重要的参考价值。

参考文献 (References):

- [1] Dehn James T. Terminal effectiveness, vulnerability, methodology and fragmentation warhead optimization I; a technical survey from an historical perspective [R]. ADA085021, 1980.
- [2] Terrence Klopocic J. An efficient technique for the collection and analysis of fragment mass distributions from fragmenting munitions[R]. ADA320043, 1996.
- [3] John Pearson. A fragmentation model for cylindrical warheads[R]. ADA238153, 1990.
- [4] Predebon William W, Smothers Walter G, Anderson Charles E. Missile warhead modeling: computations and experiments[R]. ADA047294, 1977.
- [5] Charron Yves J. Estimation of velocity distribution of fragmenting warheads using a modified gurney method[R]. ADA074759, 1979.
- [6] 鲁卫红, 童宁宁, 赵兴录, 等. 战斗部破片动态飞散区的多值问题[J], 弹箭与制导学报, 1999, 19(2): 44-47.
LU Weihong, TONG Ningning, ZHAO Xinglu, et al. The multi-value problem of the dynamic scattering section of warhead flinders[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 1999, 19(2): 44-47. (in Chinese)
- [7] 鲁卫红, 张永顺. 破片动态飞散速度的计算[J]; 弹箭与制导学报, 2009, 29(5): 126-128.

- LU Weihong, ZHANG Yongshun. The calculation of dynamic dispersion speed of fragments[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 2009, 29(5):126-128. (in Chinese)
- [8] 王泽, 童幼堂, 李立伟. 防空导弹战斗部破片飞散运动的仿真分析[J]. 战术导弹技术, 2010, 31(6): 93-96.
WANG Ze, TONG Youtang, LI Liwei. Dispersion process simulation of warhead fragments of anti-air missile[J]. Tactical missile technology, 2010, 31(6): 93-96. (in Chinese)
- [9] 胡波, 刘荣忠. 某型破片式战斗部仿真数据分析[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(5): 28-42.
HU Bo, LIU Rongzhong. Analysis of simulation data on a certain type of fragmentation warhead[J]. Journal of sichuan ordnance, 2011, 32(5): 28-42 (in Chinese)
- [10] 黄广炎, 冯顺山, 刘沛清. 战斗部破片对目标打击迹线的计算方法[J]. 爆炸与冲击, 2010, 30(4): 413-418.
HUANG Guangyan, FENG Shunshan, LIU Peiqing. A visual C~(++) and matlab-based computational method for shot-lines of warhead fragments to a target[J]. Explosion and shock waves, 2010, 30(4): 413-418. (in Chinese)
- 部作战效能评估[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2012, 13(6): 30-34.
- [2] 谢鑫, 李为民, 黄仁全, 毛苗. 空基助推段反 TBM 作战拦截弹速度建模分析[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2012, 13(6): 20-24.
- [3] 解增辉, 刘占辰, 黄吉传. 高速旋转弹丸弹道修正原理分析及仿真[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2009, 10(2): 46-50.
- [4] 聂光成, 张安, 彭志专. 一种特殊条件下航空炸弹弹道特征数的符合计算[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2008, 9(2): 14-17.
- [5] 宁伟华, 席吉虎, 陈永革. 电子对抗条件下防空导弹单次连射杀伤概率计算[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2006, 7(2): 18-21.
- [6] 李宏刚, 吕辉. 定向战斗部最佳起爆延时研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2005, 6(4): 23-26.
- [7] 李宏刚, 简金蕾, 魏少莉. 定向战斗部最佳起爆方位角研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2003, 4(4): 19-22.
- [8] 赵晨钟, 韩庆. 聚焦式战斗部攻击下飞机的易损性计算[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2012, 13(1): 15-17.
- [9] 鲁卫红, 李彦彬. 战斗部破片动态飞散区的变换[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2001, 2(5): 68-72.

(编辑:徐敏)

本刊相关链接文献:

- [1] 包悦, 张志峰, 刘力. 基于改进 ADC 模型的反导导弹战斗