

未来空域窗弹丸散布中心配置方法

刘恒¹, 梅卫¹, 单甘霖¹, 张小伟², 肖颖¹

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 西安军代局驻咸阳地区军代室, 陕西 咸阳 712099)

摘要: 为对付机动目标, 未来空域窗射击体制应运而生。未来空域窗的设计构造, 是通过弹丸散布中心进行合理配置实现的。提出了一种新的弹丸散布中心配置方法: 散布角均分法, 并提出了一种修正的空域窗半径计算公式, 解决现有公式计算精度不高的问题。运用仿真算例对其效果进行验证, 仿真结果表明, 散布角均分法改善了空域窗内的平坦性、扩大了空域窗的有效面积, 适于配置未来空域窗内的弹丸散布中心。

关键词: 未来空域窗; 弹丸散布中心; 空域窗半径

中图分类号: V271.4; TJ35 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)05-0073-04

Configuration Method of Projectile Dispersion Center in Future Airspace Window

LIU Heng¹, MEI Wei¹, SHAN Ganlin¹, ZHANG Xiaowei², XIAO Ying¹

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Xianyang Military Deputy Office, Xianyang 712099, China)

Abstract: Future airspace window shooting system was born to intercept maneuvering targets, which was designed and constructed by reasonable configuration of the projectile dispersion centre. A new configuration method of projectile dispersion center named spreading-angle, equal-dividing method was presented, and a corrected formula for calculating the radius of airspace window was also given, which solved the problem of low calculation accuracy of existing methods. Simulation example was taken to verify its effect and the simulation result showed that the spreading-angle, equal-dividing method improves the flatness in airspace window and enlarges its effective area, which is suitable to configure the projectile dispersion center in future airspace window.

Key words: future airspace window; projectile dispersion center; radius of airspace window

0 引言

未来空域窗射击体制是一种近年发展起来的高炮射击体制。在国外, 对未来空域窗的构想始于20世纪80年代末^[1], 但是该射击体制只散见于专利文献和产品介绍中, 且仅限于概念性和文字性描述, 未给出定量分析结果和相关设计理论, 是出于保密考虑还是尚未达到系统理论的经验与仿真阶段, 不得而知。在国内, 对未来空域窗射击体制的研究已经取得了一定的成果^[2-11]。文献[2-3]是国内最早介绍未来空域窗射击体制的文章, 它首次以严谨的数学工具、明确的物理

概念, 研究了未来空域窗射击体制; 文献[4]提出了一种用于求解弹头散布均匀度的分布估计算法等。在通常情况下, 目标毁伤概率等于命中概率与命中条件下毁伤概率的乘积。为使未来空域窗射击体制具有最优的毁伤概率, 它应具备以下特点: 1) 具有一定的面积(半径), 应对目标预测精度不是很高的问题, 保证空域窗有较高的命中概率; 2) 具有一定的弹丸散布密度, 保证在空域窗命中条件下有较高的毁伤概率。好比一个“鱼网”, 网面太小和孔隙太大均不能达到良好的捕鱼效果。由于空域窗内弹丸散布中心的配置是影响空域窗面积及弹丸散布密度的重要因素, 故通过合理配置弹丸散布中心, 在提高毁伤概率的同时又有助于降低对高炮数和弹丸数的需求。本文主要研究弹丸散布中心的配置问题, 目的是构造弹丸散布密集均匀的空域窗。首先, 论述未来空域窗的基本概念和表征指标, 以及弹丸散布中心的配置参数与其表征指标的

收稿日期: 2012-05-26 修回日期: 2012-06-28

基金项目: 国防“十二五”预研项目(40405070102)

作者简介: 刘恒(1986—), 男, 山东临朐人, 博士生, 研究方向为火控、指控和制导系统理论与应用。

关系;接着,提出一种优化的弹丸散布中心配置方法——散布角均分法;然后,对现有的空域窗半径计算公式存在的问题进行分析,提出一种修正的空域窗半径计算公式;最后,进行数字仿真以验证散布角均分法的可行性和有效性。

1 未来空域窗的构成与弹丸散布中心配置

由文献[2]所述的未来空域窗的概念可以看出,表征未来空域窗的指标有窗内弹丸散布均匀度、窗内总的散布概率、窗内弹丸散布概率密度和空域窗半径,如图1所示。下面分别阐述这4个指标的含义。

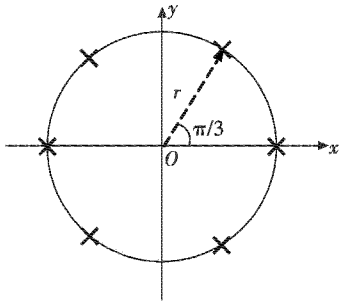


图1 弹丸散布中心在预测迎弹面内的配置示意图($m=6$)

Fig.1 Configuration of the projectile distributing center ($m=6$)

假设在预测迎弹面内, m 个服从二维单位正态分布的弹丸散布中心 \bar{X}_i 为

$$\bar{X}_i = (\bar{x}_i \quad \bar{y}_i)^T = (r \cos \frac{2\pi i}{m} \quad r \sin \frac{2\pi i}{m})^T, i=1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

且 \bar{X}_i 均匀配置在以坐标原点为圆心,半径为 r 的圆周上。若对每个散布中心 \bar{X}_i 发射的弹丸数相等,则可以证明^[1]:当且仅当该圆半径 $r = r_m = \sqrt{2}$ 、 $m \geq 3$ 时,在预测迎弹面内可以构成一个综合弹丸散布密度平坦、弹丸散布密度均匀度 α 和散布概率 β 均可计算的圆形未来空域窗。

此时,可在预测迎弹面内以 $(0,0)$ 为中心建立一个圆形未来空域窗 W ,并有

$$\iint_{(x,y) \in W} f_m(x,y) dx dy = \beta \quad (2)$$

$$\frac{\min_W f_m(x,y)}{\max_W f_m(x,y)} = \alpha \quad (3)$$

式中, $f_m(x,y)$ 表示具有 m 个散布中心的综合弹丸散布密度函数。其计算式为

$$f_m(x,y) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{2\pi} \exp \left[-\frac{1}{2}(x - \bar{x}_i)^2 - \frac{1}{2}(y - \bar{y}_i)^2 \right] \quad (4)$$

工程上为易于实现,以 $(0,0)$ 为圆心,在 $x-y$ 平面内以 $R = \|x_0\|$ 为半径作圆: $x^2 + y^2 = R^2$ 。其中: R 为未来空域窗的半径; x_0 为位于 x 轴上的一点。计算方法为

$$f_m(R,0) = \alpha f_m(0,0) \quad (5)$$

弹丸散布中心的配置参数包括散布圆个数、散布圆上的散布中心个数、散布圆的半径、弹丸的散布均方差。由式(1)~式(5)可以看出,未来空域窗的4个指标是由弹丸散布中心的配置参数决定的,它们之间不同的组合方式决定了其构成的未来空域窗的指标。因此,须对各参数进行合理优化配置,才能构成指标优良的空域窗。

2 未来空域窗内弹丸散布模型

为简便并不失一般性,假设弹丸散布服从单位正态散布(文中除特殊说明,否则均采用该假设)。构成未来空域窗时,弹丸散布中心通常以规则绕圆分布为主^[6]。以8个弹丸散布中心为例论述,如图2所示。

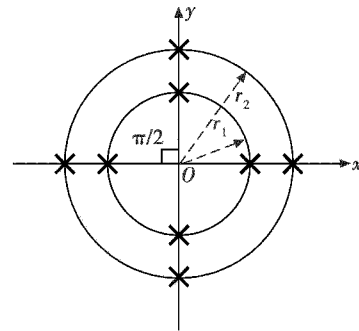


图2 弹丸散布中心绕圆分布形式

Fig.2 Round distributions of pill dispersion centers

根据图2所示的弹丸散布中心配置方式,未来空域窗内的单发射击平均散布密度函数为

$$f_k(x,y) = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(x - r_i \cos \frac{2\pi j}{n_i})^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y - r_i \sin \frac{2\pi j}{n_i})^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \quad (6)$$

式中: i 为形成的散布圆个数; n_i 为各圆上的散布中心个数; r_i 为各散布圆的半径; $k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} j_i$,为总的弹丸散布中心个数; σ_x, σ_y 为弹丸的散布均方差。

通过对图2所示绕圆分布法的分析可以看出,虽然在两个散布圆上均分了弹丸散布中心个数,扩大了空域窗的有效面积,但两个相邻散布中心的夹角并没有达到最优化。因此,提出一种新的构造方法即散布角均分法。其原理是:任意两个相邻的弹丸散布中心,不区分所在散布圆半径的差异,其夹角(称为散布角)大小是相等的。即,在散布角上将所有的弹丸散布中心统一进行均匀分布,而不再是各自散布圆上的弹丸散布中心单独进行均匀分布,如图3所示。

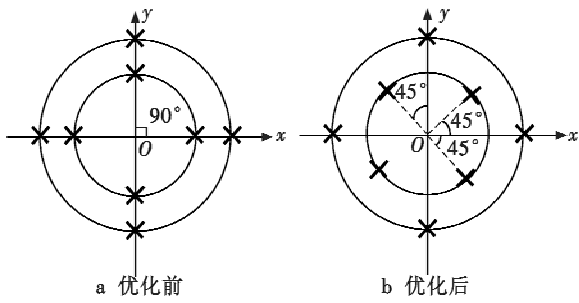


图3 散布中心不同分布状况

Fig. 3 Different distributions of dispersion centers

优化后的 $k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} j_i$ 个弹丸散布中心 $X_{i,j}$ 为

$$X_{i,j} = (x_{i,j} \ y_{i,j})^T = (r_i \cos \theta_{ij} \ r_i \sin \theta_{ij})^T$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n_i \quad (7)$$

式中, $\theta_{ij} = 2\pi \times ((j-1) \times m + i) / \sum_{i=1}^m n_i$, 为第 i 个散布圆上第 j 个弹丸散布中心的散布角。

3 未来空域窗半径的计算公式

在第1小节中,用式(5)来计算圆形未来空域窗的半径。在仿真过程中发现,当单个散布圆上的弹丸散布中心个数较少时,所形成的弹丸散布概率密度函数的等值曲线并不是规则的圆形,如图4a所示,而式(5)对未来空域窗的半径等值曲线是圆形的情况计算精度高,因此,由它计算出的空域窗半径与实际值相比存在着误差。以4个弹丸散布中心均匀分布为例进行论述。

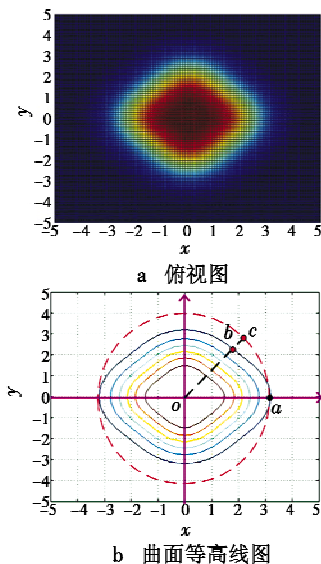


图4 弹丸综合散布密度曲线图

Fig. 4 Integrative distribution density graph of the projectile

在图4b中, a 点和 b 点所代表的散布密度值是相等的, a 点和 c 点是在同一圆周上的两点, c 点代表的散布密度值要小于 a 点代表的值。若按照式(5)计算,得到的未来空域窗半径大小是 oa 的距离,显然 oa

要大于 ob , 则计算出的空域窗半径要偏大。同时由式(3)可知,此时弹丸散布密度均匀度 α 应等于 c 点与 o 点的比值,而得到的却是 a 点与 o 点的比值,故计算出的 α 是不准确的。为提高弹丸散布密度均匀度的计算精度,提出了一种修正的未来空域窗半径计算式为

$$f_m(R \cos(\frac{\pi}{m}), R \sin(\frac{\pi}{m})) = \alpha f_m(0, 0) \quad (8)$$

式中: R 为待求取的未来空域窗的半径; m 为未来空域窗内的弹丸散布中心个数; α 为弹丸散布密度均匀度。

在上式中,取 $\alpha = 1/\sqrt{2}$, 用式(8)计算出的未来空域窗的半径是 1.6200, 与式(5)的计算结果 1.8601 相比值偏小,这与图4所示的实际情况是一致的。

4 算例仿真

4.1 仿真条件

散布圆个数为 2 个, 其半径分别为 $r_1 = \sqrt{2}, r_2 = 2\sqrt{2}$ 。弹丸的散布均方差为服从 $(0, 1)$ 的高斯分布, 散布圆上的散布中心个数分别为 $n_1 = n_2 = 4, n_1 = n_2 = 6, n_1 = 5, n_2 = 4$ 。

4.2 仿真结果

由式(8)计算未来空域窗半径, 优化前后的未来空域窗内弹丸散布概率密度如图5所示(以 $n_1 = n_2 = 4$, 共 $k = 8$ 个散布中心为例)。不同弹丸散布中心条件下, 散布角均分法和绕圆分布法构造的空域窗半径见表1。

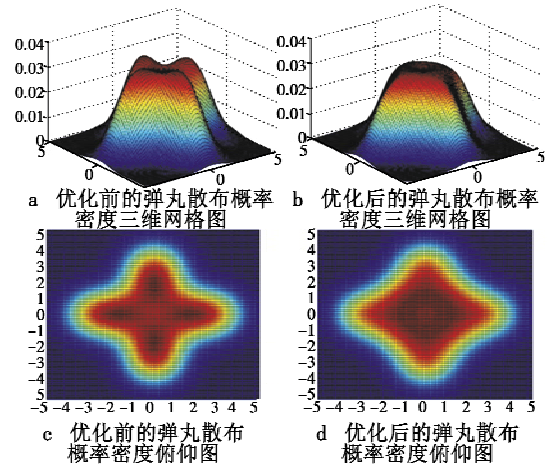


图5 不同的散布密度函数图

Fig. 5 Graph of different distribution density

表1 优化前后的未来空域窗半径

Table 1 Radius of future airspace window before and after optimization

弹丸散布中心个数	$n_1 = n_2 = 4$	$n_1 = n_2 = 6$	$n_1 = 5, n_2 = 4$
绕圆分布法构造的窗半径 $R_i, i=1, 2, 3$	1.9060	2.3220	1.9410
散布角均分法构造的窗半径 $R'_i, i=1, 2, 3$	2.4400	2.4630	2.3360

4.3 结果分析

根据图 5 和表 1 中未来空域窗半径的数据,可以得出以下结论。

1) 当未来空域窗内弹丸散布中心个数 $n_1 = n_2 = 4$ 时,优化前后未来空域窗半径变化的相对比率是: $\sigma_1 = \frac{R'_1 - R_1}{R_1} = \frac{2.4400 - 1.9060}{1.9060} \% = 28.02\%$; 当 $n_1 = n_2 = 6$ 和 $n_1 = 5, n_2 = 4$ 时,变化的相对比率分别是: 6.07% 和 20.35% 。可以看出,不管弹丸散布中心的个数多少,散布角均分法均能有效地增大未来空域窗的半径;同时,从图 5 可以看出,优化后的未来空域窗内平坦性也得到了改善。综合两方面的变化,散布角均分法改善了未来空域窗的弹丸散布特性,优化了其特征指标,是可行的,适于配置未来空域窗内的弹丸散布中心。

2) 对散布角均分法弹丸配置方式,在弹丸散布中心个数由 12 减少到 8 时,其构造的未来空域窗半径相对缩减率仅为: $\sigma_3 = \frac{R'_1 - R'_2}{R'_2} = \frac{2.4400 - 2.4630}{2.4630} \% = -0.93\%$,这说明,优化后的空域窗弹丸配置模型对弹丸散布中心的个数并不敏感。这在实战中,就可以达到减少高炮使用数量的目的,其意义是显而易见的;而优化前未来空域窗半径的相对缩减率达到了 $\sigma_4 = -17.9\%$,下降速率明显大于前者,这表明绕圆分布法对弹丸散布中心的个数比较敏感,故散布角均分法更适合在实际作战中使用。

5 结束语

本文主要研究了弹丸散布中心的配置问题,提出了一种新的弹丸散布中心配置方法——散布角均分法,以及一种修正的空域窗半径计算公式,解决了现有公式计算精度不高的问题。通过仿真结果可以看出,

散布角均分法改善了空域窗内的平坦性、扩大了空域窗的有效面积,适于配置未来空域窗内的弹丸散布中心,更适合在实际作战中使用。另外,本文给出的配置方法只能够从理论上保证在坐标附近概率密度近似平坦,是否还有其他更佳的配置策略还需要进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 杨宇刚. 舰载 CTWS 反导新理论——窗口射击[J]. 现代舰船, 1997(3): 20-22.
- [2] 胡金春, 郭治. 未来空域窗的数学描述[J]. 兵工学报, 1998, 19(4): 293-297.
- [3] 胡金春, 郭治. 未来空域窗的参数论证[J]. 兵工学报, 1999, 20(1): 13-18.
- [4] 窦丽华, 王高鹏, 陈杰, 等. 求解弹头散布均匀度的分布估计算法[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(6): 624-628.
- [5] 孙世岩, 邱志明, 王航宇, 等. 拦阻面弹丸散布中心配置方法[J]. 弹道学报, 2008, 20(4): 16-19.
- [6] 陈建, 王学军, 彭涛. 超高射频弹幕武器系统射击效力分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2009(1): 9-12.
- [7] 姜建芳, 袁勇, 赖祖红. 具有多射击诸元的子母弹武器系统毁伤效能分析[J]. 火力与指挥控制, 2003, 28(2): 57-59.
- [8] 刘锐, 李银伢, 盛安冬. 高炮应急射击时一种新的火控诸元求解方法[J]. 电光与控制, 2009, 16(10): 25-30.
- [9] 刘恒, 梅卫, 张小伟. 基于未来空域窗的高炮点射效力仿真[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(11): 158-160.
- [10] 江世英, 时银水, 朱岩, 等. 某型小高炮系统抗击巡航导弹的仿真研究[J]. 电光与控制, 2005, 12(3): 55-59.
- [11] 王兆胜, 郭锡福. 诸元精度与密集度对命中概率的影响[J]. 弹道学报, 2003, 15(1): 64-68.

声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司等在其网络平台 and 系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文, 著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我部上述声明。