

引用格式:石章松,张渝缘,刘健.未来空域窗射弹数量求解方法[J].电光与控制,2018,25(7):39-42,62. SHI Z S, ZHANG Y Y, LIU J. On calculation of the number of projectiles in future airspace window[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(7):39-42, 62.

未来空域窗射弹数量求解方法

石章松, 张渝缘, 刘健
(海军工程大学电子工程学院, 武汉 430033)

摘要:为解决未来空域窗射弹数量配置问题,依据未来空域窗理论最优射击密度,推导未来空域窗各瞄准点配置多发射弹情况下的毁伤概率公式,并对该公式特点进行分析。同时,基于该毁伤概率公式,提出预定毁伤概率情况下及预定毁伤概率导数情况下的射弹数量求解方法和预定射弹数量情况下的瞄准点数量求解方法。仿真实验表明,在同一条件下,通过该毁伤概率公式求得的毁伤概率与解析法求得的毁伤概率基本相同,两种情况下的射弹数量求解结果对目标的毁伤概率通过仿真验证与理论值基本一致,具有一定的可行性。

关键词:高炮;未来空域窗;射弹数量;毁伤概率

中图分类号: TN271 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2018.07.008

On Calculation of the Number of Projectiles in Future Airspace Window

SHI Zhang-song, ZHANG Yu-yuan, LIU Jian

(Electronic Engineering College, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: To determine the number of projectiles in Future Airspace Window (FAW), we deduced the damage probability formula for the future airspace window with many projectiles configured for each aiming point according to the optimal firing density of the future airspace window, and analyzed the feature of the formula. Based on the formula, the methods for calculating the number of the projectiles under predetermined damage probability or predetermined derivative of damage probability, and the number of aiming-points under predetermined number of projectiles, were provided. The simulation example showed that, the results of damage probability obtained though the formula were nearly the same as that obtained through analytic method. In both cases, the damage probability result of simulation was basically the same as theoretical result, which means that the method has certain feasibility.

Key words: antiaircraft gun; future airspace window; the number of projectile; damage probability

0 引言

未来空域窗(Future Airspace Window, FAW)作为近几年发展起来的新型高炮射击方式,能够有效地打击高速机动目标^[1]。在国内的研究中,文献[2-4]探讨了圆形未来空域窗的瞄准点配置方法,但忽略了射弹间的相关误差;文献[5]在考虑相关误差的情况下,通过解析法,对网状未来空域窗的瞄准点配置方法进行了求解;文献[6]通过函数逼近法对网状和圆环状未来空域窗进行配置分析;文献[7]利用未来空域窗最优毁伤概率函数,研究了预定毁伤概率情况下未来

空域窗射弹数量的求解方法,但由于其求解的射弹数量即为配置瞄准点的数量,而在实际应用中,未来空域窗瞄准点不能无限地配置,需要采用每个瞄准点配置多发射弹的方式,其毁伤概率函数计算值与解析法求得的理论值偏差较大,因此需要找到新的方法对未来空域窗瞄准点数量进行配置。

本文依据未来空域窗理论最优射击密度,通过采取一个瞄准点发射多发射弹的方式,推导其对应的毁伤概率公式,并依据该毁伤概率公式,提出了预定毁伤概率情况下、预定毁伤概率导数情况下射弹数量求解方法和预定射弹数量情况下的瞄准点数量求解方法。

1 毁伤概率公式及其特点分析

1.1 毁伤概率公式推导

在射击效能分析中,通常将射击过程中的各项误

收稿日期:2017-07-18

修回日期:2017-09-19

作者简介:石章松(1975—),男,湖北武汉人,博士,教授,研究方向为舰艇火控系统技术。

差进行统一处理,将误差分为射弹相关误差和射弹不相关误差。以预测目标未来点为坐标原点,在预测迎面弹内建立直角坐标系 OXZ ,记射弹不相关误差在 X 轴上的概率误差为 E_{x1} ,不相关误差在 Z 轴上的概率误差为 E_{z1} ;射弹相关误差在 X 轴上的概率误差为 E_{x2} ,相关误差在 Z 轴上的概率误差为 E_{z2} ;目标的等效宽度和长度分别为 B, L ;射弹的瞄准点坐标为 (\bar{x}_i, \bar{z}_i) ($i = 1, \dots, n$);毁伤目标所需的射弹数为 ω 。为了便于计算,将上述参数化简为: $\varepsilon_x = \frac{E_{x2}}{E_{x1}}$; $\varepsilon_z = \frac{E_{z2}}{E_{z1}}$; $k = \frac{B}{E_{x1}}$; $q = \frac{L}{E_{z1}}$;

$$S = \frac{4BL}{E_{x1}E_{z1}}; \xi_{xi} = \frac{\bar{x}_i}{E_{x1}}; \xi_{zi} = \frac{\bar{z}_i}{E_{z1}}。$$

其对应的毁伤概率为^[8-9]

$$P_n = 1 - \frac{\rho^2}{\pi \varepsilon_x \varepsilon_z} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\rho^2(x^2/\varepsilon_x^2 + z^2/\varepsilon_z^2) - U(x,z)} dx dz \quad (1)$$

式中, $U(x, z)$ 表示其对应的中间函数,即

$$U(x, z) = - \sum_{i=1}^n \ln \left[1 - \frac{\rho(x + \xi_{xi}, z + \xi_{zi})}{\omega} \right] \quad (2)$$

$$\rho(x, z) = \frac{\rho^2}{\pi} \int_{-q}^q \int_{-k}^k e^{-\rho^2[(x_1-x)^2 + (z_1-z)^2]} dx_1 dz_1 \quad (3)$$

同时,可求得其对应的最优中间函数为

$$U_0(x, z) = \begin{cases} \rho^2(R^2 - r_{xz}) & r_{xz} \leq R^2 \\ 0 & r_{xz} > R^2 \end{cases} \quad (4)$$

式中,

$$r_{xz} = \frac{x^2}{\varepsilon_x^2} + \frac{z^2}{\varepsilon_z^2}; \quad (5)$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{2nS\tau_2(k, q, \omega)}{\pi \rho^2 \varepsilon_x \varepsilon_z}}; \quad (6)$$

$$\tau_2(k, q, \omega) = - \frac{1}{4kq} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \ln \left[1 - \frac{\rho(x, z)}{\omega} \right] dx dz \quad (7)$$

由文献[4]可知,当要配置 n 个瞄准点时,通过解析法配置的未来空域窗瞄准点对目标的毁伤概率接近于相同情况下未来空域窗对目标的最优毁伤概率,因此,可近似认为其中间函数与最优中间函数相等,即 $U_n(x, z) \approx U_{n0}(x, z)$ 。

设配置的未来空域窗瞄准点数为 n ,一个瞄准点对应发射的射弹数为 m ($m > 1$),依据式(2)可得

$$U_{n,m}(x, z) = mU_n(x, z) \approx mU_{n0}(x, z) \quad (8)$$

将式(4)和式(8)代入式(1)中求解,可推得配置 n 个瞄准点,每个瞄准点对应发射 m 个射弹数时对应的毁伤概率公式为

$$P_{n,m} = 1 - \frac{me^{-\rho^2 R^2} - e^{-m\rho^2 R^2}}{m-1} \quad (9)$$

由式(6)可知,令

$$\rho^2 R^2 = \rho^2 \sqrt{\frac{2S\tau_2(k, q, \omega)}{\pi \rho^2 \varepsilon_x \varepsilon_z}} \times \sqrt{n} = \mu \sqrt{n} \quad (10)$$

则式(9)变为

$$P_{n,m} = 1 - \frac{me^{-\mu\sqrt{n}} - e^{-m\mu\sqrt{n}}}{m-1} = 1 - P_u \quad m > 1 \quad (11)$$

1.2 特点分析

由式(11)可知,在目标特性相同的情况下,影响未来空域窗毁伤概率的主要因素有配置的瞄准点数目 n 和每个瞄准点发射射弹数量 m ,为方便分析可令

$$P_u = \frac{me^{-\mu\sqrt{n}} - e^{-m\mu\sqrt{n}}}{m-1} \quad m > 1 \quad (12)$$

通常,在配置未来空域窗时,其瞄准点数目将给定。假设未来空域窗配置瞄准点数目为 n ,当 $m = 1$ 时,有

$$U_{n,1}(x, z) = U_0(x, z) \quad (13)$$

将式(4)和式(13)代入式(1)可得

$$P_u = (1 + \rho^2 R^2) e^{-\rho^2 R^2} \quad (14)$$

而当 m 趋近于无穷大时,有

$$\lim_{m \rightarrow \infty} P_u = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{me^{-\mu\sqrt{n}} - e^{-m\mu\sqrt{n}}}{m-1} \quad (15)$$

依据洛必达法则,求解式(15)得

$$\lim_{m \rightarrow \infty} P_u = e^{-\mu\sqrt{n}} \quad (16)$$

对 P_u 关于 m 求导可得

$$\frac{\partial P_u}{\partial m} = \frac{\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu\sqrt{n}} + e^{-m\mu\sqrt{n}} - e^{-\mu\sqrt{n}}}{(m-1)^2} \quad (17)$$

构造函数

$$g(m) = \mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu\sqrt{n}} + e^{-m\mu\sqrt{n}} \quad (18)$$

对 $g(m)$ 求导可得

$$g'(m) = (1-m)\mu^2 n e^{-m\mu\sqrt{n}} \quad (19)$$

显然,当 $m > 1$ 时, $g(m)$ 单调递减,因此,当 $m > 1$ 时有

$$\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu\sqrt{n}} + e^{-m\mu\sqrt{n}} - e^{-\mu\sqrt{n}} \leq 0 \quad (20)$$

可得 $\frac{\partial P_u}{\partial m} \leq 0$, 即 P_u 在 $m > 1$ 的条件下单调递减。因此,当未来空域窗配置瞄准点数目 n 给定时,概率 P_u 关于每个瞄准点发射射弹数量 m ,是下界为 $e^{-\mu\sqrt{n}}$ 、上界为 $(1 + \rho^2 R^2) e^{-\rho^2 R^2}$ 的单调递减函数。

2 预定毁伤概率情况下的射弹数量求解方法

依据上述的特点分析,可求解预定毁伤概率情况下的射弹数量。

假设给定配置的瞄准点数量为 n ,预定毁伤概率为 P_c ,由函数特点分析可知,由于给定瞄准点数量情况下其对应毁伤概率有上下界,因此有 P_c 的限制条件为

$$1 - (1 + \rho^2 R^2) e^{-\rho^2 R^2} \leq P_c \leq 1 - e^{-\mu\sqrt{n}} \quad (21)$$

易知,毁伤概率函数 $P_{n,m}$ 是关于每个瞄准点发射射弹数量 m , 下界为 $1 - (1 + \rho^2 R^2) e^{-\rho^2 R^2}$ 、上界为 $1 - e^{-\mu/\sqrt{n}}$ 的单调递增函数, 因此, 可用牛顿迭代法对射弹数量进行求解。

构造函数

$$\zeta(m) = 1 - \frac{me^{-\mu/\sqrt{n}} - e^{-m\mu/\sqrt{n}}}{m-1} - P_c \quad (22)$$

构建迭代函数

$$m_{k+1} = m_k - \frac{\zeta(m_k)}{\zeta'(m_k)} \quad (23)$$

式中

$$\zeta'(m) = -\frac{\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu/\sqrt{n}} + e^{-m\mu/\sqrt{n}} - e^{-\mu/\sqrt{n}}}{(m-1)^2} \quad (24)$$

利用式(22)、式(23)和式(24), 可求解需要配置每个瞄准点的发射射弹数量 m , 总的射弹数量 κ 为

$$\kappa = n \times m \quad (25)$$

3 预定毁伤概率导数情况下的射弹数量求解方法

在实际情况中, 随着射弹数量逐渐增多, 其提升的毁伤概率会逐渐减小, 因此, 一味地提升毁伤概率会导致射弹数量浪费, 利用预定毁伤概率导数的方法对射弹数量进行配置, 可以有效减少射弹浪费。

假设给定配置的瞄准点数量为 n , 预定毁伤概率关于每个瞄准点发射射弹数量的导数为 ξ , 其物理意义为: 每个瞄准点再增加一发射弹所提高的毁伤概率。记式(17)中 P_u 关于 m 的导数为 $f'(m)$, 显然 $f'(m)$ 在 $m > 1$ 上, 下界为 $-\infty$, 上界为 0。对其进行求导可得

$$f''(m) = \frac{(1-m)^3 \mu^2 n e^{-m\mu/\sqrt{n}}}{(m-1)^4} - \frac{2(m-1)[\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu/\sqrt{n}} + e^{-m\mu/\sqrt{n}} - e^{-\mu/\sqrt{n}}]}{(m-1)^4} \quad (26)$$

由式(20)易知, $2(m-1)[\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu/\sqrt{n}} + e^{-m\mu/\sqrt{n}} - e^{-\mu/\sqrt{n}}]$ 在 $m > 1$ 时小于 0, 令

$$\varphi(m) = (1-m)^3 \mu^2 n e^{-m\mu/\sqrt{n}} \quad (27)$$

对 $\varphi(m)$ 进行求导可得

$$\varphi'(m) = (1-m)^2 \mu^2 n e^{m\mu/\sqrt{n}} [-3 - \mu\sqrt{n}(1-m)] \quad (28)$$

通常, 在实际情况中, 由于瞄准点数量 $n \gg 3, m > 1$, 因此可认为实际情况中 $-3 - \mu\sqrt{n}(1-m) > 0, \varphi(m)$ 在 $m > 1$ 时单调递增, 又 $\lim_{m \rightarrow 1} \varphi(m) = 0$, 则在 $m > 1$ 时, $\varphi(m) > 0$ 。可知

$$\varphi(m) = (1-m)^3 \mu^2 n e^{-m\mu/\sqrt{n}} - 2(m-1) \cdot [\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu/\sqrt{n}} + e^{-m\mu/\sqrt{n}} - e^{-\mu/\sqrt{n}}] \quad (29)$$

在 $m > 1$ 上 $\varphi(m) > 0$, 依据式(26)可得 $f''(m)$ 在 $m > 1$ 上 $f''(m) > 0$, 即 $f'(m)$ 在 $m > 1$ 上单调递增, 所以 $f'(m)$ 在 $m > 1$ 上是一个下界为 $-\infty$ 、上界为 0 的单调递增函数。

显然, 毁伤概率 $P_{n,m}$ 关于每个瞄准点发射射弹数量 $m(m > 1)$ 的导数, 是下界为 0、上界为 ∞ 的单调递减函数。

用牛顿迭代法对射弹数量进行求解, 构造函数

$$\xi'(m) = -\frac{\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu/\sqrt{n}} + e^{-m\mu/\sqrt{n}} - e^{-\mu/\sqrt{n}}}{(m-1)^2} - \xi \quad (30)$$

构建迭代函数

$$m_{k+1} = m_k - \frac{\xi'(m_k)}{\xi''(m_k)} \quad (31)$$

式中

$$\xi''(m) = -\frac{(1-m)^3 \mu^2 n e^{-m\mu/\sqrt{n}}}{(m-1)^4} + \frac{2(m-1)[\mu\sqrt{n}(m-1)e^{-m\mu/\sqrt{n}} + e^{-m\mu/\sqrt{n}} - e^{-\mu/\sqrt{n}}]}{(m-1)^4} \quad (32)$$

4 预定射弹数量下瞄准点数量求解方法

设定发射的射弹数量为 κ , 瞄准点数量为 n , 则对应每个瞄准点发射射弹数量 $m = \kappa/n$, 由式(11)可得毁伤概率关于瞄准点数量的函数为

$$P_{n,m} = 1 - \frac{\frac{N}{n} e^{-\mu/\sqrt{n}} - e^{-\frac{N}{n} \cdot \mu/\sqrt{n}}}{\frac{N}{n} - 1} \quad (33)$$

令 $t = \sqrt{n}$, 可得

$$P(t) = 1 - \frac{\frac{N}{t^2} e^{-\mu/t} - e^{-\frac{N}{t^2} \cdot \mu}}{\frac{N}{t^2} - 1} \quad (34)$$

对 $P(t)$ 进行求导可知

$$P'(t) = -\frac{N\mu}{t^2} \left(1 - \frac{N}{t^2}\right) (e^{-\mu/t} + e^{-\frac{N\mu}{t^2}}) - \frac{2N}{t^3} (e^{-\mu/t} - e^{-\frac{N\mu}{t^2}}) \quad (35)$$

易知, $P'(t)$ 在 $1 \leq t \leq \sqrt{N}$ 上恒大于 0 且随着 t 不断增大趋近于 0, 因此 $P_{n,m}$ 关于 n 为斜率不断减少的单调递增函数。

瞄准点数量越多, 其对目标的毁伤概率越大。但在实际情况中, 由于火控系统性能有限, 瞄准点数量往往受到限制。因此, 需要选择合适的毁伤概率 P_κ , 既能满足火控系统功能, 又能具有较高的毁伤概率。同理, 在已知预定毁伤概率 P_κ 条件下, 对式(34)运用牛

顿迭代法,可以求得此时需要的瞄准点数量 n 。

5 仿真分析

5.1 毁伤概率公式仿真验证^[10]

设定配置的瞄准点数目 $n = 50$, X 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_x = 5$, Z 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_z = 4.5$, 等效长度 $k = 1$, 等效宽度 $q = 1$, 分别求解每个瞄准点发射射弹数 m 取不同数值情况下解析法(利用式(1))得到的毁伤概率 P_a 和利用毁伤概率公式得到的毁伤概率 P_c , 结果如表 1 所示。

表 1 不同 m 时的毁伤概率
Table 1 Damage probability under different m

m	P_a	P_c
5	0.5998	0.6143
10	0.6513	0.6515
15	0.6742	0.6688
20	0.6887	0.6746
25	0.6992	0.6780
30	0.7072	0.6802
35	0.7173	0.6818
40	0.7192	0.6830

由表 1 知,利用毁伤概率公式求得的毁伤概率与解析法求得的毁伤概率基本一致,并且随着 m 值不断增大,两者差值逐渐增大。其主要原因在于其中间函数与计算所得最优中间函数并不完全一致, m 取值不断增大,将会导致误差的不断积累,致使偏差缓慢增大。另外,从表 1 中可以看出,利用毁伤概率公式求得的毁伤概率与利用解析法求得的毁伤概率的变化趋势基本相同,即可以利用毁伤概率公式的导数表征实际毁伤概率的变化,因而可以利用该公式对不同需求下的射弹数量进行配置求解。

5.2 预定毁伤概率下射弹数量求解

设定配置的瞄准点数目 $n = 40$, X 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_x = 3.5$, Z 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_z = 5$, 等效长度 $k = 1$, 等效宽度 $q = 1$, 预定毁伤概率为 P_c , 求得射弹数利用解析法与毁伤概率公式解得的概率分别为 P_a 和 P_c , 结果见表 2。

表 2 预定毁伤概率下的射弹数

Table 2 The number of projectiles under predetermined damage probability

P_c	m	P_a	P_c
0.5	2	0.4771	0.4844
0.55	3	0.5487	0.5580
0.6	4	0.5883	0.5975
0.65	8	0.6536	0.6526
0.68	20	0.7105	0.6800

由表 2 知,不同预定毁伤概率情况下,求解的每个

瞄准点配置的射弹数 m , 通过解析法和毁伤概率公式解得的毁伤概率与预定毁伤概率基本相同,并且随着射弹数量的增大,对毁伤概率的提升逐渐减小。

5.3 预定毁伤概率导数情况下的射弹数量求解

设定配置的瞄准点数目 $n = 30$, X 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_x = 4.5$, Z 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_z = 5.5$, 等效长度 $k = 1$, 等效宽度 $q = 1$, 预定毁伤概率关于每个瞄准点发射射弹数量的导数为 ξ , 求得的射弹数利用解析法与毁伤概率公式解得的概率分别为 P_a 和 P_c , 结果如表 3 所示。

表 3 预定毁伤概率导数情况下的射弹数

Table 3 The number of projectiles under predetermined derivative of damage probability

ξ	m	P_a	P_c
0.1	2	0.3317	0.3362
	3	0.4000	0.4068
0.05	3	0.4000	0.4068
	4	0.4421	0.4502
0.01	7	0.5038	0.5102
	8	0.5152	0.5199
0.005	10	0.5323	0.5332
	11	0.5390	0.5378

由表 3 知,利用解析法求得的毁伤概率与利用毁伤概率公式求得的毁伤概率,其变化趋势基本相同,不同 ξ 条件下求得的每个瞄准点的射弹数量 m , 与每个瞄准点的射弹数量 $m + 1$ 情况下求得的毁伤概率,其提升量与 ξ 基本相同。由于累计误差的存在,利用毁伤概率公式求得的变化率相对于实际毁伤概率变化率较小,但是总体趋势基本相同,因此可利用毁伤概率公式的导数表征实际毁伤概率的变化。

5.4 预定射弹数量下瞄准点数量求解

设定发射的射弹数量 $\kappa = 200$, X 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_x = 4.5$, Z 方向相关概率误差和不相关概率误差比值 $\varepsilon_z = 5.5$, 等效长度 $k = 1$, 等效宽度 $q = 1$, 可以得到如图 1 所示的毁伤概率关于瞄准点数量的曲线。

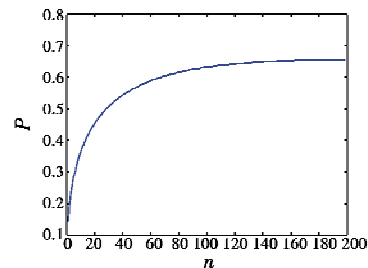


图 1 不同瞄准点数量下毁伤概率

Fig. 1 Damage probability under different number of aiming-points

- Spacecraft and Rockets, 2010, 47(1):48-61.
- [2] ZHENG C J, LU Y P, HE Z. Improved algorithms for flush airdata sensing system [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2006, 19(4):334-339.
- [3] 温瑞琦, 郑守铎, 叶玮. 嵌入式大气数据传感技术的发展现状 [J]. 电光与控制, 2008, 15(8):53-56.
- [4] 朱维庆, 冯雷, 王长红, 等. 声相关流体速度测量理论和信号处理方法 [J]. 声学学报, 2007, 32(2):144-150.
- [5] CEVHER V, CHELLAPPA R, MCCLELLAN J H. Vehicle speed estimation using acoustic wave patterns [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(1):30-47.
- [6] 孙贵青, 李启虎. 声矢量传感器研究进展 [J]. 声学学报, 2004, 29(6):481-490.
- [7] CHEN C, TAO J W. Estimation of airspeed based on acoustic vector sensor array [C]//The 11th International Conference on Signal Processing, 2012:307-310.
- [8] 陈诚, 陶建武. 基于声矢量传感器阵列的鲁棒 H_∞ 空气流动速度估计算法 [J]. 航空学报, 2013, 34(2):361-370.
- [9] 虞飞, 陶建武, 钱立林, 等. 基于声矢量传感器阵列的空速估计算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(5):1060-1065.
- [10] 虞飞, 陶建武, 曾宾, 等. 基于 MUSIC 算法的近场空速估计 [J]. 计量学报, 2015, 36(5):477-481.
- [11] 韩佳辉, 毕大平, 陈璐. 基于虚拟孔径扩展的非均匀稀疏阵无模糊测向算法 [J]. 电光与控制, 2018, 25(3):1-6.
- [12] 杨训仁, 陈宇. 大气声学 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] 张强. 气动声学基础 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [14] PETRE S, LARSON E G, GERSHMAN A B. The stochastic CRB for array processing: a textbook derivation [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2001, 8(5):148-150.
- [15] 杨浩天, 汪立新, 田颖, 等. 惯性器件剩余寿命预测非线性退化过程建模的贝叶斯方法 [J]. 电光与控制, 2016, 23(12):90-96.

(上接第 42 页)

在不同预定毁伤概率 P_x 情况下, 对应的瞄准点数量 n , 每个瞄准点配置的射弹数量 m (由于 n 和 m 应为整数, 故选择四舍五入取整), 计算其对应的毁伤概率 P_e , 结果如表 4 所示。

表 4 预定射弹数量下的瞄准点数

Table 4 The number of aiming-points under predetermined number of projectiles

P_x	n	m	P_e
0.2	2	100	0.1925
0.3	6	33	0.3002
0.4	13	15	0.3945
0.5	28	7	0.4956
0.6	68	3	0.6034

由表 4 可知, 预定射弹数量情况下, 只要依据实际情况预定毁伤概率, 便可求出应该配置的瞄准点数量以及每个瞄准点对应的射弹数量。

6 结论

本文针对未来空域窗射弹数量配置问题, 依据未来空域窗最优射击密度理论, 构造其对应的毁伤概率公式, 并基于该公式对未来空域窗射弹数量配置问题进行分析求解。提出预定毁伤概率情况下的射弹数量求解方法, 预定毁伤概率导数情况下的射弹数量求解方法, 预定射弹数量下的瞄准点数量求解方法。

仿真实验表明, 运用该毁伤概率公式求得的毁伤概率与解析法求得的毁伤概率基本一致, 在不同需求条件下, 本文方法求解的射弹数量, 通过毁伤概率公式

和解析法求得的毁伤概率基本一致, 满足实际需求条件, 证明该方法具有一定的可行性。

参 考 文 献

- [1] 胡炎, 杨斌, 苏卿, 等. 小口径舰炮武器系统射击方式比较 [J]. 舰船电子工程, 2010, 30(6):24-27.
- [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] 刘恒, 梅卫, 单甘霖, 等. 未来空域窗弹丸散布中心配置方法 [J]. 电光与控制, 2013, 20(5):73-76.
- [5] 卢发兴, 贾正荣, 吴玲. 未来空域窗弹丸瞄准点配置方法 [J]. 兵工学报, 2015, 36(8):1541-1545.
- [6] 贾正荣, 卢发兴, 吴玲. 基于函数逼近的未来空域窗瞄准点配置方法 [J]. 电子学报, 2017, 45(8):2031-2037.
- [7] JIA Z R, LU F X, WU L. A predictor corrector method for solving ammunition amount in future airspace window shooting [C]//International Conference on Intelligent Human-machine Systems and Cybernetics, IEEE, 2016:296-300.
- [8] 邢昌凤, 李敏勇, 吴玲. 舰载武器系统效能分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [9] 卢发兴, 贾正荣, 吴玲. 最优未来空域窗模型 [J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(5):1072-1075.
- [10] 刘恒, 梅卫, 单甘霖. 空域窗射击毁伤概率解析计算模型 [J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(4):130-132, 136.