

doi: 10.7690/bgzdh.2016.11.002

舰炮一维弹道修正弹射击安全界研究

盖 强, 胡 江

(海军大连舰艇学院舰炮系, 辽宁 大连 116018)

摘要: 为确保中大口径舰炮使用一维弹道修正弹对岸射击时登陆兵力的安全, 必须对一维弹道修正弹的射击安全界进行研究。针对一维弹道修正弹射击特点, 分析射击安全界的影响因素, 基于解析法和简易法分别提出了射击安全界计算公式, 其中解析法是利用数值积分方法来计算射击安全界, 简易法是采用近似公式确定射击安全界, 最后分析了地形倾斜对舰炮射击安全界的影响。该分析结果可为舰艇指挥员在对岸火力支援作战中的指挥决策提供科学依据。

关键词: 射击安全界; 一维弹道修正弹; 火力支援

中图分类号: TJ391 **文献标志码:** A

Research on Firing Safety Limit of One-dimensional Trajectory Correction Projectile

Gai Qiang, Hu Jiang

(Department of Ship-borne Gun, PLA Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: In order to keep landing force safety during medium and large caliber gun using one-dimensional trajectory correction projectile to fire on shore, we should study the firing safety limit. According to firing characteristic of one-dimensional trajectory correction projectile, analyzed the influence factor of firing safety limit, and put forward the computational expressions of firing safety limit based on analytic method and simplified method respectively. The analytic method used numerical integration to calculate firing safety limit, and the simplified method calculated firing safety limit by approximate formula. Finally analyzed the impact on firing safety limit which caused by terrain tilt. The analysis results will provide scientific basis for commander to make decision when shore firing support.

Keywords: firing safety limit; one-dimensional trajectory correction projectile; firing support

0 引言

一维弹道修正弹是一种通过使用阻力环对射击距离偏差进行修正的新型信息化弹药, 具有射程远、命中精度高、火力密度大的优点^[1]。在登陆作战过程中, 中大口径舰炮使用一维弹道修正弹既可对岸上目标进行火力准备, 又可按照登陆部队的请求, 为其提供应召射击, 进行火力掩护和清除登陆障碍。一维弹道修正弹对岸上目标射击时, 我方登陆兵力必须离开目标一定距离以保证安全, 这个离开目标边缘的最小距离称为射击安全界^[2]。

射击安全界取值不宜过小, 否则会危及我方登陆兵力的安全, 但如果任意扩大射击安全界的数值, 又会增加登陆兵力攻击目标的困难性^[3]; 因此, 研究如何确定一维弹道修正弹的射击安全界, 对中大口径舰炮对岸火力支援作战具有较高的现实意义。

1 影响因素

中大口径舰炮使用一维弹道修正弹实施对岸火力支援与压制时, 射击安全界的大小主要与舰炮射

击的诸元误差、散布误差、弹丸有效杀伤范围和地形倾斜的大小等因素有关^[4]。

1.1 诸元误差

诸元误差指的是一维弹道修正弹在计算射击诸元过程中产生的误差, 主要包括目标定位误差、弹道气象误差和修正机构工作误差等, 其中修正机构工作误差主要指阻力环打开时间与控制指令不一致引起的误差^[5]。

一维弹道修正弹在距离和方向上的诸元误差 (x_n, z_n) 服从二维正态分布, 其分布密度函数为

$$\varphi(x_n, z_n) = \frac{\rho^2}{\pi E_d E_f} \exp \left\{ -\rho^2 \left[\frac{x_n^2}{E_d^2} + \frac{z_n^2}{E_f^2} \right] \right\}. \quad (1)$$

式中: E_d 、 E_f 分别为诸元误差在距离和方向的概率误差; $\rho = 0.4769362762$ 。

1.2 散布误差

散布误差是指射击诸元不变的情况下, 各发弹丸落点相对散布中心的偏差^[6]。一维弹道修正弹散

收稿日期: 2016-06-30; 修回日期: 2016-08-20

基金项目: 海军大连舰艇学院科研发展基金重点资助(DJYKYKT2015-25)

作者简介: 盖 强(1962—), 男, 辽宁人, 博士, 教授, 从事舰炮技术及使用研究。

布误差主要包括舰炮随动系统误差、起始扰动误差、推力偏心误差、弹道系数误差等，其中弹道系数误差由阻力环打开前、后的弹道系数误差 2 部分组成。

一维弹道修正弹在距离和方向上的散布误差 (x_p, z_p) 分布密度函数为：

$$\varphi(x_p, z_p) = \frac{\rho^2}{\pi B_d B_f} \exp \left\{ -\rho^2 \left[\frac{x_p^2}{B_d^2} + \frac{z_p^2}{B_f^2} \right] \right\}. \quad (2)$$

式中 B_d 、 B_f 为散布误差在距离和方向的概率误差。

1.3 弹丸有效杀伤范围

一维弹道修正弹主要靠弹丸爆炸时的破片来杀伤目标，有效杀伤范围与目标性质、地形环境和破片飞散范围等因素有关。我方登陆兵力在对岸上目标冲击过程中，如果离舰炮支援火力距离较近，可以利用地形遮掩、就地隐蔽等方法避免遭受损伤。

一维弹道修正弹在距离和方向上的有效杀伤范围分别用 L_x 、 L_z 表示。

1.4 地形倾斜

对岸上目标射击时，由于地形的影响，目标可

$$p(x_n, z_n) = \int_{a_x+x_n-L_x}^{a_x+x_n+L_x} \int_{a_z+z_n-L_z}^{a_z+z_n+L_z} \frac{\rho^2}{\pi B_d' B_f'} \exp \left\{ -\rho^2 \left[\frac{x^2}{B_d'^2} + \frac{z^2}{B_f'^2} \right] \right\} dx dz$$

$$\frac{1}{4} \left[\hat{\Phi} \left(\frac{a_x+x_n+L_x}{B_d'} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{a_x+x_n-L_x}{B_d'} \right) \right] \cdot \left[\hat{\Phi} \left(\frac{a_z+z_n+L_z}{B_f'} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{a_z+z_n-L_z}{B_f'} \right) \right]. \quad (4)$$

令毁伤登陆兵力所需的平均命中弹数为 ω ，此时发射 1 发弹道修正弹毁伤登陆兵力的条件概率为

$$R_1 = \frac{P(x_n, z_n)}{\omega}. \quad (5)$$

发射 N 发弹道修正弹不毁伤登陆兵力的条件概率为 $\left[1 - \frac{P(x_n, z_n)}{\omega} \right]^N$ ，则发射 N 发弹道修正弹毁伤登陆兵力的条件概率为：

$$R'_N = 1 - \left[1 - \frac{P(x_n, z_n)}{\omega} \right]^N. \quad (6)$$

$$R_N = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{P(x_n, z_n)}{\omega} \right]^N \right\} \varphi_n(x_n, z_n) dx_n dz_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-(x_1^2+x_2^2)} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{P(E_d x_1 / \rho, E_f z_1 / \rho)}{\omega} \right]^N \right\} dx_1 dx_2 \approx$$

$$1 - \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n A_i \sum_{j=1}^n A_j \left\{ 1 - \left[1 - \frac{P(E_d x_1 / \rho, E_f z_1 / \rho)}{\omega} \right]^N \right\}.$$

式中： n 为高斯—埃尔米特结点个数； A_i 、 A_j 为高斯—埃尔米特求积系数； ξ_i 、 ξ_j 为高斯—埃尔米特

能位于向射击舰倾斜的斜面上，设斜面的地面倾斜角为 α ，弹丸落角为 θ_c ，则一维弹道修正弹在斜面上的距离散布概率误差 B'_d 为：

$$B'_d = \frac{B_d \sin \theta_c}{\sin(\theta_c + \alpha)}. \quad (3)$$

当地形向射击舰倾斜时(正斜面)时 α 为正；当地形向敌倾斜(反斜面)时 α 为负。

2 计算方法

一维弹道修正弹射击安全界的计算可以采用解析法和简易法，其中解析法是通过数值积分方法来确定弹丸对目标的毁伤概率^[7]，在此基础上计算射击安全界。

2.1 解析法

设登陆兵力距射击瞄准位置的距离偏差为 a_x 、方向偏差为 a_z ，如果只考虑散布误差的影响，而诸元误差取特定值 (x_n, z_n) ，则发射一发弹道修正弹命中登陆兵力的条件概率 $p(x_n, z_n)$ 为：

若对诸元误差 (x_n, z_n) 取所有可能值，可得弹道修正弹毁伤概率 R_N 的计算公式

$$R_N = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{P(x_n, z_n)}{\omega} \right]^N \right\} \varphi_n(x_n, z_n) dx_n dz_n. \quad (7)$$

可以采用高斯—埃尔米特法来计算公式(7)的积分：

$$\text{首先作变换： } x_1 = \rho \frac{x_n}{E_d}, \quad z_1 = \rho \frac{z_n}{E_f}.$$

然后得到

求积结点。

通常采用安全率 Q (即登陆兵力不被弹道修正

弹毁伤的概率)作为确定安全界的定量指标。而安全率 $Q=1-R_N$ ；所以，只要给定 Q 的值，然后不断改变 a_x 的取值，通过数值积分方法便可以求得方向偏差量 a_z 一定的条件下，距离安全界 a_x 的大小。

利用同样的方法可以计算出方向安全界 a_z 的大小。

2.2 简易法

利用解析法计算一维弹道修正弹射击安全界，虽然精度较高，但计算复杂，需要借助计算机编程实现，而现代战场态势瞬息万变，对指挥员指挥决策的实时性和快速反映能力提出了很高要求；因此，可以考虑采用近似公式计算一维弹道修正弹射击安全界，不仅能满足射击精度要求，而且公式简单，计算时间短。

设一维弹道修正弹对岸射击的距离综合概率误差为 E_x ，方向综合概率误差为 E_z ，考虑地形倾斜的影响，则有

$$\left. \begin{aligned} E_x &= \sqrt{E_d^2 + B_d^2} \\ E_z &= \sqrt{E_f^2 + B_f^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

那么一维弹道修正弹的炸点在距离(方向)上分布在距目标中心为 $4E_x$ ($4E_z$)范围内的概率为 $\phi(4)$ ，

而 $\phi(4) = \int_0^4 \frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} \exp(-\rho^2 t^2) dt = 0.993$ ；因此，可以用

下式近似确定射击安全界

$$\left. \begin{aligned} a_x &= 4E_x + L_x - \frac{1}{2}L_d \\ a_z &= 4E_z + L_z - \frac{1}{2}L_f \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中 L_d 、 L_f 分别为目标幅员的纵深和横宽。

3 应用分析

设中大口径舰炮使用一维弹道修正弹对岸上目标射击，目标面积幅员为 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ ，射击距离分别取 d_1 、 d_2 ，计算一维弹道修正弹在距离上的安全界 a_x 随着地面倾斜角 α 的变化如图 1 所示。

从图中数据可知：地面倾斜角 α 不同时，距离

安全界 a_x 有较明显的差别；因此，在计算一维弹道修正弹对岸上目标射击的安全界时，不应忽略地形倾斜的影响^[8]。

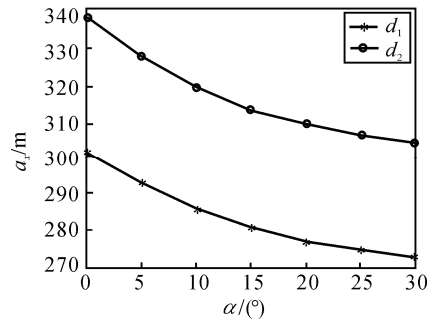


图 1 距离安全界 a_x 随地形倾斜角 α 变化关系

4 结束语

一维弹道修正弹在执行远程对岸火力支援任务时，为保证登陆兵力的安全，尽可能使用最精确的方法决定射击诸元。同时，应综合考虑射击误差、破片杀伤范围等因素的影响，确定合适的射击安全界，力争使不误伤登陆兵力与完成攻击任务两者得到兼顾^[9]。笔者针对一维弹道修正弹的弹道特性进行射击安全界研究，可为舰艇指挥员在对岸火力支援作战中的指挥决策提供科学依据。

参考文献：

- [1] 张宇宸, 杜忠华. 一维弹道修正弹射程修正能力计算方法[J]. 计算机仿真, 2013, 30(6): 24-28.
- [2] 段菖蒲, 刘琼, 唐克. 基于 Kalman 滤波算法对运动目标射击研究[J]. 兵工自动化, 2015, 34(4): 1-4.
- [3] 刘怡昕. 炮兵射击学[M]. 北京: 海军出版社, 2000: 48-52.
- [4] 赖煜坤, 徐礼, 温辉, 等. 自行火炮射击密集度仿真平台[J]. 兵工自动化, 2015, 34(6): 30-32.
- [5] 张永伟, 杨锁昌. 弹道修正弹火力分配[J]. 指挥控制与仿真, 2013, 34(1): 65-70.
- [6] 左振来. 基于虚拟目标和滑模制导律的程控弹道设计方法[J]. 兵工自动化, 2015, 34(2): 31-33.
- [7] 王辉, 张春成, 刘女, 等. 火箭弹尾焰对炮尾点火触点的烧蚀与防护分析[J]. 兵工自动化, 2015, 34(1): 36-39.
- [8] 冯元伟, 吴艳征. 导弹垂直蛇形机动突防反导舰炮分析[J]. 兵工自动化, 2015, 34(3): 26-28.
- [9] 舒延春. 一维修正弹射击校正方法[J]. 四川兵工学报, 2015, 36(2): 1-3.