

舰炮对空闭环校射新方法研究

戴 , 汪德虎, 胡 江

(海军大连舰艇学院, 辽宁大连 116018)

摘 要: 小口径舰炮作为水面舰艇末端防御的主要武器, 在近程防空反导中的实时性、快速性、准确性显得极为重要. 论文针对目前国内不能很好的解决脱靶量检测问题, 从而不能实施大闭环校射的情况, 提出了一种闭环校射新方法——虚拟闭环校射方法. 该方法通过观测目标未进入有效射击区域之前的实际运动航路, 求取一系列逆解射击诸元和顺解射击诸元, 从而得出射击诸元误差序列, 进而预测出射击诸元误差修正量, 实施闭环校射, 大大提高了小口径舰炮的作战效能, 具有重要现实军事意义.

关键词: 虚拟校射; 闭环校射; 防空; 反导

中图分类号: TJ391, E920.2

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112(2006)12A-2491-03

Study of a New Method of the Shipborne Gun's Closed Loop Fire Correction Against Air

DAI Yao, WANG De-hu, HU Jiang

(Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning 116018, China)

Abstract: As the main weapon of worship end defense, small bore shipborne gun's characteristics of real time, speediness and precision are very important. In allusion to the difficulty of the traditional closed loop fire correction in miss distance quantity measuring, a new method of fire correction against air is presented. This method observes the object's actual movement first, and then calculates a series of ordinal and contrary fire data. Based on these fire data, fire data error sequence can be gained, and consequently fire data error correction can also be forecasted. The method presented called virtual closed loop fire correction, is demonstrated to be practicable by digital simulation and the result of experimentation.

Key words: virtual fire correction; closed loop fire correction; air defense; anti missile

1 引言

随着现代高新科技和新军事革命的发展, 使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式等都发生了深刻的变化. 未来的战争行动将首先来自空中, 其突然性和杀伤性巨大, 对水面舰艇来说, 其生存的最大威胁也来自空中兵器的攻击. 小口径舰炮作为水面舰艇末端防御的主要武器, 在近程防空反导中的实时性、快速性、准确性显得极为重要.

为了提高射击效果, 多年来人们一直致力于新技术的研究. 二战后出现的大闭环校射大大提高了小口径舰炮的作战效能, 得到世界各国的承认和推广应用. 但是大闭环校射采用的是实弹对目标的校射, 其先决条件是准确测取脱靶量^[1]. 然而, 在目前完成脱靶量检测存在一定的难度, 而且需要进行大量的实弹试验, 代价过高, 本文结合虚拟校射方法, 提出了不需要进行脱靶量检测的舰炮校射新方法——虚拟闭环校射方法, 对提高小口径舰炮防空反导作战效能具有重要现实军事意义.

2 舰炮对空虚拟闭环校射原理

2.1 射击诸元误差模型

(1) 解命中问题的两种方法

舰炮射击的目的就是使发射出去的弹丸能命中目标, 以期毁伤目标. 为了使发射出去的弹丸能命中目标, 首先需解算舰炮射击时的“射击诸元”, 也就是所谓的解命中问题.

解命中时, 目标的航路机动是未知的, 需要我方进行预测判定, 因此, 解命中问题的一般步骤为^[2]: ①测定目标现在点坐标; ②对目标运动规律进行假设并平滑求取目标运动要素; ③确定发射瞬间目标现在坐标和目标提前点坐标; ④修正非标准弹道气象条件的影响, 计算非标准条件下的相对提前点和弹道点坐标; ⑤求取射击诸元. 如果已知目标全航路信息, 那么也可以航路中的某一点作为命中点求解出命中该点的射击诸元. 我们称前一种方法为顺解命中方法, 后一种为逆解命中方法.

(2) 射击诸元误差模型

如图1所示, 以目标易毁中心(为了检测方便也可是目标几何中心) M 为坐标原点, 弹丸飞行到 M 点时的速度矢量(弹丸存速)为 $V_w(t_f)$, 目标飞行到 M 点时的速度矢量为 $V_m(t_f)$, 两者之差即为

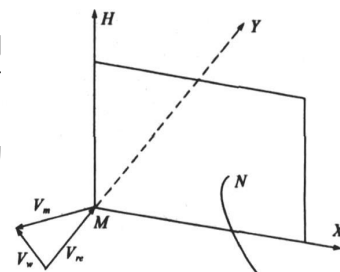


图1 弹目偏差坐标系

弹丸相对目标的相对存速:

$$V_{re}(t_f) = V_w(t_f) - V_m(t_f) \quad (1)$$

过 M 点垂直于 $V_{re}(t_f)$ 的平面称为迎弹面, 沿着 $V_{re}(t_f)$ 方向的有向直线是弹目偏差坐标系的纵深轴; 过 $V_{re}(t_f)$ 的铅垂面与

迎弹面的交线是弹目偏差坐标系的高低轴 H , 向上为正; 在迎弹面内过 M 点垂直于 $V_{re}(t_f)$ 的直线是弹目偏差坐标系的方位轴 X , X 轴的正向可由 Y 轴和 H 轴的通过右手螺旋法则确定。

对于非时间引信弹丸, 弹道与迎弹面的交点 N 即为实际弹着点; 对于时间引信来说, N 点有可能不在迎弹面上。为了研究问题方便, 本文以非时间引信弹丸作为讨论对象。

设弹丸命中目标 M 时的射击诸元是 (β_M, φ_M) , 弹丸飞抵 N 点对应的射击诸元为 (β_N, φ_N) , (β_N, φ_N) 也是舰炮射击时的实际射击诸元, 定义如下射击诸元误差:

$$\Theta = \begin{bmatrix} \Delta\beta \\ \Delta\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_M \\ \varphi_M \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_N \\ \varphi_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\Delta\beta$ 、 $\Delta\varphi$ 分别是射击诸元方位角误差和射击诸元高低角误差。

分析引起射击诸元误差的原因, 就舰炮武器系统而言, 主要可以概括为四种射击误差源。即: ①武器仪器本身误差; ②数学模型误差和目标运动假设误差; ③人员操炮误差; ④外界条件误差, 包括环境误差、弹道气象条件误差以及发射舰摇摆等误差。由于目标的机动, 目标运动假设误差是不可避免的, 我们只能通过预知信息事先预测目标运动参数, 外界条件误差可通过其它方法修正^[3], 武器仪器误差可进行事先调整, 如果不考虑人员操炮误差, 那么射击诸元误差实际上就是我们在第一节提出的逆解射击诸元与顺解射击诸元之差, 即:

$$\Theta = \begin{bmatrix} \Delta\beta \\ \Delta\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_M'' \\ \varphi_M'' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_M' \\ \varphi_M' \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, (β_M'', φ_M'') 为逆解法求得的射击诸元, (β_M', φ_M') 为顺解法求得的射击诸元。

2.2 虚拟闭环校射原理

如图 2 所示, l_a 为目

标运动航路, M_{k-1} 、 M_k 、 M_{k+1} 为目标运动现在

点, 设目标到达 M_k 点的

时刻为 t_k , 以 M_k 为命中点, 那么, 可以通过逆解射击诸元方法求得弹丸飞行时间 $t_{f1}(k)$ 和 $t_k - t_{f1}(k)$ 时刻的逆解射击诸元。由于 $t_k - t_{f1}(k)$ 时刻的目标位置也是可以得到的, 因此, 又可以求得该时刻的顺解射击诸元, 从而可以得到该时刻的射击诸元误差。因为目标运动航路可以进行预测, 顺解射击诸元也可以通过弹道外推法求得, 这样就可以求得多个射击诸元误差 $\Theta(k)$, 利用已得到的多个射击诸元误差建立误差模型, 再采用某种预测方法, 将可以较准确的预测出未来某时刻的射击诸元误差 $\Theta(k+1)$, $i = 1, 2, \dots$, 以此误差预测值即可修正该时刻火控计算机或指挥仪输出的理论射击诸元。

为争取更多校射时间, 此方法可以通过弹道外推方法在目标进入有效射击区域之前就由目标运动方程来得到能够虚拟命中目标的逆解射击诸元和顺解射击诸元, 以及射击诸元误差。这样就可以在目标进入有效射击区域之前建立射击诸元误差模型, 并预测出进入有效射击区域后的射击诸元误差来实现校正, 因此这种校射方法被称为虚拟闭环校射方法。

3 舰炮对空虚拟闭环校射算法

首先通过目标测量装置测得 t_k 及其以前的一系列时刻

的目标现在点位置 M_k, M_{k-1}, \dots , 然后由相应的目标运动假定经平滑滤波后得到 t_k 时刻目标在 M_k 点的位置估计值 $(\hat{x}(k), \hat{y}(k), \hat{h}(k))$ 和速度估计值 $(\hat{v}_x(k), \hat{v}_y(k), \hat{v}_h(k))$ 。

采用等速直线假定, 取 $(x_0, y_0, h_0) = (\hat{x}(k), \hat{y}(k), \hat{h}(k))$ 和速度估计值 $(v_x, v_y, v_h) = (\hat{v}_x(k), \hat{v}_y(k), \hat{v}_h(k))$ 代入命中方

$$\text{程组: } \begin{cases} x = x_0 + v_x t, \\ y = y_0 + v_y t, \\ h = h_0 + v_h t, \end{cases} \quad t \geq 0 \quad (4)$$

$$\begin{cases} D = D(t) = \sqrt{x^2 + y^2 + h^2}, \\ t = g(D, h) = t_f(d, h) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \beta_q = \beta(x, y, h) + \Delta\beta(x, y, h) \\ \varphi_q = \varphi(x, y, h) + \Delta\varphi(x, y, h) \end{cases} \quad (6)$$

求解得到 t_k 时刻的顺解射击诸元 $(\beta_q(k), \varphi_q(k))$ 和弹丸飞行时间 $t_f'(k)$, 保存此射击诸元。然后以 M_k 点位置的估计值作为命中点解弹丸飞行时间函数:

$$t = t_f(d, h) = t_f[\sqrt{\hat{x}^2(k) + \hat{y}^2(k)}, \hat{h}^2(k)] \quad (7)$$

和命中点射击诸元函数:

$$\begin{cases} \beta_q = \beta(\hat{x}(k), \hat{y}(k), \hat{h}(k)) + \Delta\beta(\hat{x}(k), \hat{y}(k), \hat{h}(k)) \\ \varphi_q = \varphi(\hat{x}(k), \hat{y}(k), \hat{h}(k)) + \Delta\varphi(\hat{x}(k), \hat{y}(k), \hat{h}(k)) \end{cases} \quad (8)$$

得到以 M_k 的估计 M_k 为命中点的弹丸飞行时间 $t_f''(k)$ 和 $t_k - t_f''(k)$ 时刻的逆解射击诸元 $(\beta_q''[t_k - t_f''(k)], \varphi_q''[t_k - t_f''(k)])$, 同样存储此射击诸元和弹丸飞行时间。

设目标观测采样间隔时间为 ΔT , 若 $t_k - t_f''(k)$ 刚好是 ΔT

的整数倍, 取 $m = \frac{t_k - t_f''(k)}{\Delta T}$, 则 t_{k-m} 时刻的逆解射击诸元为:

$$\begin{cases} \beta_q''(k-m) = \beta_q''[t_k - t_f''(k)] \\ \varphi_q''(k-m) = \varphi_q''[t_k - t_f''(k)] \end{cases} \quad (9)$$

若 $t_k - t_f''(k)$ 不是 ΔT 的整数倍, 那么为了求解 t_{k-m} 时刻的逆解射击诸元, 还要解算 t_{k-1} 时刻的逆解射击诸元, 然后通过插值法求解, 算法如下:

$$\begin{cases} \beta_q''(k-m) = \frac{(k-m)\Delta T - t_f''(k)}{\Delta T + t_f''(k-1) - t_f''(k)} \beta_q''[t_k - \Delta T - t_f''(k-1)] \\ \quad - \frac{(k-m-1)\Delta T - t_f''(k-1)}{\Delta T + t_f''(k-1) - t_f''(k)} \beta_q''[t_k - t_f''(k)] \\ \varphi_q''(k-m) = \frac{(k-m)\Delta T - t_f''(k)}{\Delta T + t_f''(k-1) - t_f''(k)} \varphi_q''[t_k - \Delta T - t_f''(k-1)] \\ \quad - \frac{(k-m-1)\Delta T - t_f''(k-1)}{\Delta T + t_f''(k-1) - t_f''(k)} \varphi_q''[t_k - t_f''(k)] \end{cases} \quad (10)$$

求出了 t_{k-m} 时刻的逆解射击诸元后, 再求出其顺解射击诸元 $(\beta_q'(k-m), \varphi_q'(k-m))$, 则可以得到 t_{k-m} 时刻的射击诸元误差:

$$\Theta(k-m) = \begin{bmatrix} \beta_q''(k-m) \\ \varphi_q''(k-m) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_q'(k-m) \\ \varphi_q'(k-m) \end{bmatrix} \quad (11)$$

同样, 用此方法可求得 $t_{k-m-1}, t_{k-m-2}, \dots$ 时刻的射击诸元误差, 以这些射击诸元误差序列按照预测公式可以预测出射击诸元误差 $\Theta(k|k-m)^{[4]}$, $\Theta(k|k-m)$ 即 t_k 时刻射击诸元误差的预测值, 用它去修正 t_k 时刻的顺解射击诸元 $(\beta_q'(k), \varphi_q'$

$$(k): \begin{bmatrix} \beta(k) \\ \varphi(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta'_q(k) \\ \varphi'_q(k) \end{bmatrix} + \Theta(k|k-m) \quad (12)$$

得到 $(\beta(k), \varphi(k))$ 的就是经过校正后的理论射击诸元, 至此, t_k 时刻的虚拟闭环校射过程结束。

4 仿真算例

采用虚拟闭环校射方法对一机动目标进行校射, 目标机动路线为等速直线——机动转弯——等速直线^[5], 目标高度为 1.2 km, 大地直角坐标中的航路如图 3 所示。

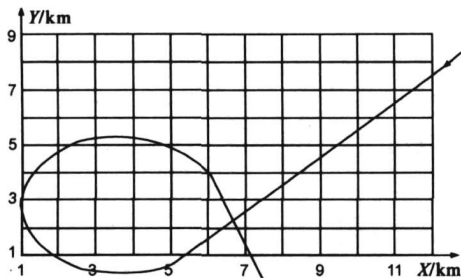


图 3 目标航路

目标的起始位置为 $x_0 = 20.5 \text{ km}$, $y_0 = 16 \text{ km}$ 。

①当 $0 \leq t \leq 68 \text{ s}$ 时, 目标作等速直线运动, 线速度 $v_m = 310 \text{ m/s}$;

②当 $68 \leq t \leq 114 \text{ s}$ 时, 目标作右转弯, 线速度和高度不变, 转弯加速度 $a = 35 \text{ m/s}^2$;

③当 $114 \leq t \leq 164 \text{ s}$, 目标作等速直线运动。

在求解顺解射击诸元时, 在转弯段假设目标机动模型为“当前”统计模型, 则校射前后射击诸元误差分别如图 4、图 5 所示。

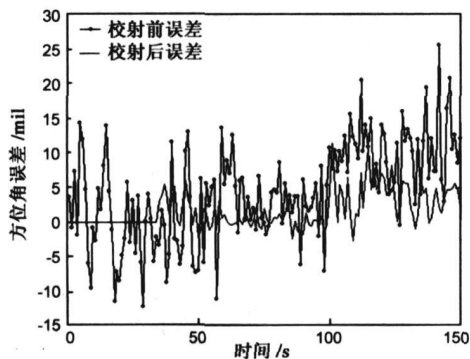


图 4 校射前后方位角误差

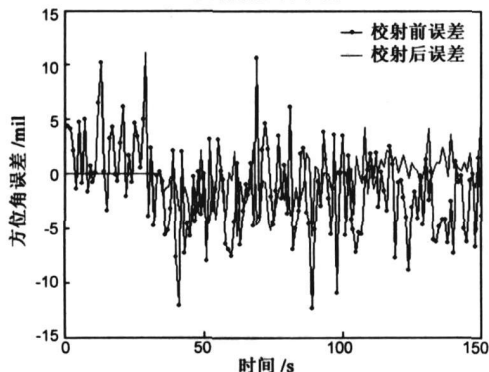


图 5 校射前后高低角误差

为便于统计比较, 分别取校射前和校射后两种情况下被

校射段射击诸元误差进行统计, 统计出结果见表 1。

表 1 射击诸元误差统计表/秒

	方位角误差		高低角误差	
	均值	均方差	均值	均方差
校射前	4.4309	7.0862	-1.4408	4.1809
校射后	1.6876	2.6206	-0.5614	1.9519

5 结束语

在当前国内不能很好的解决脱靶量检测问题的情况下, 虚拟闭环校射的提出, 极大的提升了小口径舰炮在防空反导时的作战效能, 具有重要的现实军事意义。而且, 虚拟闭环校射无需进行硬件改动, 只需对火控计算机软件进行升级, 实施简便, 具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 戴自立. 现代舰载作战系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
Dai Zi li. Modern Warship Combat System[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [2] 汪德虎, 谭周寿, 王建明, 等. 舰炮射击基础理论[M]. 北京: 海潮出版社, 1998.
Wang De hu, Tan Zhou shou, Wang Jian ming, et al. Shipborne Gun fire Theory[M]. Beijing: Haichao Press, 1998. (in Chinese)
- [3] 汪德虎, 戴耀, 王建明. 舰炮弹道观测射击校正研究[J]. 弹道学报, 2002, 14(2): 48-51.
Wang De hu, Dai Yao, Wang Jian ming. Study of naval gun's trajectory detection and correction[J]. Journal of Ballistics, 2002, 14(2): 48-51. (in Chinese)
- [4] 吴云龙, 张飞猛, 徐刚. 自行高炮武器系统梢度参数理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
Wu Yun long, Zhang Fei meng, Xu Gang. Proper Motion Artillery Weapon System Tip Parameter Theory[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [5] 李道京. TWS 雷达中的机动目标跟踪问题[J]. 火力与指挥控制, 1997, 22(3): 71-75.
Li Dao jing. Maneuvering target tracking in TWS radar[J]. Fire and Command Control, 1997, 22(3): 71-75. (in Chinese)

作者简介:



戴 耀 男, 1978 年生, 海军大连舰艇学院博士生, 主要从事舰炮武器系统自动化控制、火力运用等方面的研究。
E-mail: dcymmf@163.com

汪德虎 男, 1955 年生, 海军大连舰艇学院舰载武器系教授, 博士生导师, 主要从事舰炮武器系统火力运用的理论与应用研究。
E-mail: modernwdh@sina.com