

【武器装备】

车载炮射导弹行进间射击精度

刘全胜,王帅帅,高玉水,卢皓

(装甲兵工程学院 兵器工程系,北京 100072)

摘要:根据炮射导弹的制导原理和射击过程,对影响炮射导弹射击精度的主要误差源进行了分析。对炮射导弹武器系统射击的圆概率偏差和命中概率进行了仿真计算,结果显示在远距离射击时不能满足战技指标。通过对计算结果的分析,提出了提高射击精度的方法。

关键词:炮射导弹;射击精度;误差

中图分类号:TJ761.1

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)11-0014-03

Analysis of Shooting Accuracy in motion for Vehicle Gun-Launched Missile

LIU Quan-sheng, WANG Shuai-shuai, GAO Yu-shui, LU Hao

(Dept of Arms Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: According to the guidance principle and firing process of gun-launched missile, the main error affecting the shooting accuracy of gun-launched missile was analyzed, and the CEP (circular error probable) and the hitting probability of gun-launched missile system were simulated. The results showed that the long-range shooting could not meet the tactical and technical index. Through analyzing the results, the paper proposed a method to improve the shooting accuracy.

Key words: gun-launched missile; shooting accuracy; error

在不改变装甲车辆原有功能和使用操作方式的前提下,通过新技术的融合,炮射导弹凭借着远射程和高命中精度,全面提高了坦克装甲车辆武器的综合作战效能。较高的命中精度是其重要的战技指标之一和其存在的重要价值,因此对炮射导弹射击精度的研究必然成为炮射导弹武器系统的重要研究方向之一。我国炮射导弹是在引进俄罗斯 100 mm 炮射导弹的基础上开始研制的,采用激光架束制导。100 mm 炮射导弹战术技术指标要求的命中概率是:对 4 000 m 距离上 2.3 m × 4.6 m 的坦克目标,静止射击时的命中概率 ≥ 90%;行进间射击时的命中概率 ≥ 80%^[1]。但是其合理性没有经过验证。由于炮射导弹造价昂贵,破坏性大,不可能通过实弹射击的方式来试验。如果对影响射击精度的误差源分析准确,通过误差合成的方法来计算也是可行的。

1 制导原理及射击过程

稳像式昼夜观瞄测距制导仪的昼间瞄准通道作为基准通道瞄准目标,激光发射器组件发射激光束并形成激光信息场,调制器组件对激光空间频率进行编码,导弹在激光信息场中飞行,导弹的弹上电子仪器将接收到的激光编码转换成控制指令,该指令与相对于信息场零指令轴的导弹位置偏差的大小和方向一致。控制指令传输到导弹的舵机传动装置组件,经放大处理后,控制舵机的执行机构运动,改变导弹的运动方向,使导弹向信息场零指令轴靠近。导弹飞行期间,使瞄准分划与目标图像重合,控制导弹的飞行轨迹,直至命中目标——这就是激光架束制导原理。

火控系统在稳像工作方式下,按照炮射导弹的射击操作程序,正确完成装填等各项准备工作后,用炮长操纵台把测

收稿日期:2011-09-20

作者简介:刘全胜(1968—),男,副教授,主要从事武器系统综合运用研究。

瞄制导仪的瞄准标志对准目标,按下炮长操纵台“炮击发”按钮,导弹被击发,约1.5s后导弹射出炮膛。这个时候由于发射时产生的烟雾和扬起的尘土会遮挡视线,暂时看不到目标,在导弹飞行约3s后,视线逐渐恢复清晰,此时将瞄准线平稳的对准目标中心,并平稳跟踪目标,保持瞄准标志始终在目标中心,直至命中目标——这就是激光架束炮射导弹的射击过程。

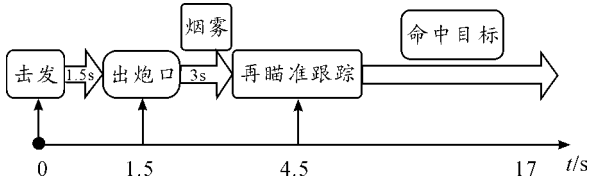


图1 炮射导弹的射击过程示意图

2 炮射导弹射击误差分析

根据炮射导弹的射击特点和射击过程可知,导弹出炮口由于烟雾等原因在无控飞行段即使存在较大误差,只要导弹能够顺利进入激光信息场,正常启控,使瞄准分划与目标重合就可击中目标。

炮射导弹是导弹的一种,和普通炮弹射击精度的分析有所不同,导弹的射击误差通常分为制导误差和非制导误差^[2]。制导误差是由于测量精度、解算精度、响应能力的制约所形成的误差。非制导误差主要指在自身和外界因素的干扰下,由与制导系统无关的因素而造成的误差。文献[3]中将影响炮射导弹命中概率的因素分为3类:导弹偏离控制场中心的误差;激光控制场中心线与瞄准线不一致引起的误差;瞄准线偏离目标中心的误差。文献[4]中将影响炮射导弹射击的误差源分为3类8个误差源:瞄准线定位过程产生的误差;激光信息场误差;导弹控制精度和速度误差。

现假设制导仪性能满足各项指标要求,大气条件稳定,对导弹射击精度不构成影响;忽略炮长操作熟练程度带来的误差,弹丸性质的差异和噪声、各种干扰造成的误差等。影响炮射导弹射击精度的因素如表1所示。

已知激光信息场零指令轴与瞄准轴的最大失调量,按正态分布的 3σ 原则,该均方差为 $\sigma_{st} = x_{st}/3$,假设高低向和方位向的失调量相等,则方位向和高低向失调量的均方差为 $\sigma_{sf} = \sigma_{sg} = \sqrt{\sigma_{st}^2/2}$ 。导弹随动激光信息场中心线的误差按相关仿真和实测结果估计得出。目标中心判定误差是由于射手难以准确判定目标中心引起的,此项误差规定为目标高度和宽度的六分之一,对于远距离目标要附加一定的补偿。忽略不同距离上判定误差的微小差异,统一用表1中的公式计算。瞄准误差是非制导误差中的主要误差,主要由于地面起伏、发动机冲量、导弹发射时的冲击震动引起的,人为因素和瞄准线漂移也会使瞄准误差增大。在不同路面、不同车速、不同瞄准速度下瞄准误差相差很大,假设车速15 km/h,目标速度25 km/h,在标准路面上,通过相关仿真计算,将此

项误差方位向、高低向都取为0.2mil。

表1 炮射导弹射击误差分类表

分类	误差源	取值
制导	激光信息场零指令轴与瞄准轴的失调量	$D \leq 4\ 000\text{ m}; x_{st} \leq 0.5\text{ m}$ $4\ 000\text{ m} < D \leq 5\ 880\text{ m};$ $x_{st} \leq 0.75\text{ m}$
	瞄准线稳定精度(车速15 km/h)	$\sigma_{wdf} \leq 0.2\text{ mil}$ $\sigma_{wdg} \leq 0.15\text{ mil}$
误差	导弹随动激光信息场中心线的误差	$\sigma_{sdf} = 0.1\text{ m}$ $\sigma_{sdg} = 0.05\text{ m}$
	非制导	目标中心判定误差 ($D > 2\ 000\text{ m}$)
误差	瞄准误差	$\sigma_{msf} = \sigma_{msg} = 0.2\text{ mil}$
误差	瞄准线的散射	$\sigma_{mss} = \frac{D}{1\ 000} \times 0.03\text{ mil}$

3 炮射导弹射击精度计算

假设目标为2.3 m × 4.6 m的正面矩形目标,采用行进间射击的方式对其射击。采用圆概率偏差和命中概率来反应炮射导弹的射击精度。如图2所示,以目标中心为原点建立坐标系, O 为理论瞄准点, C 为散步中心, P 为弹着点。

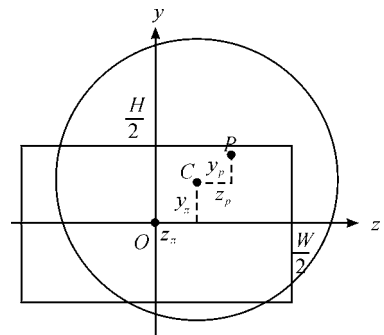


图2 炮射导弹射击误差示意图

首先将各类误差的均方差单位换算为米(m),便于计算。射表中将圆周分为6 000mil,均方差用 σ 表示,单位换算成米后用 σ' 表示(为书写方便,下文用 σ 来表示),则

$$\tan(\sigma \cdot \frac{2\pi}{6\ 000}) \approx \sigma \cdot \frac{2\pi}{6\ 000} = \frac{\sigma'}{D}$$

$$\sigma' = \sigma \cdot \frac{\pi}{3\ 000} \cdot D$$

方位向散步均方差为

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{sf}^2 + \sigma_{wdf}^2 + \sigma_{sdf}^2 + \sigma_{mbf}^2 + \sigma_{msf}^2 + \sigma_{mss}^2}$$

高低向散步均方差为

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{slg}^2 + \sigma_{wdg}^2 + \sigma_{sdg}^2 + \sigma_{mbg}^2 + \sigma_{mzg}^2 + \sigma_{mss}^2}$$

根据计算公式

$$CEP = \begin{cases} 0.615\sigma_z + 0.562\sigma_y, & \sigma_z < \sigma_y \\ 1.1774\sigma, & \sigma_z = \sigma_y \\ 0.562\sigma_z + 0.615\sigma_y, & \sigma_z > \sigma_y \end{cases} \quad (\sigma_z/\sigma_y \approx 0.28 \sim 3.57)$$

计算得 CEP 的取值如表 2 所示。

表 2 CEP 取值

距离	2 000 m	2 500 m	3 000 m
σ_z	1.014 00	1.117 35	1.238 52
σ_y	0.709 34	0.824 76	0.955 45
CEP	1.006 11	1.135 18	1.283 65
3 500 m	4 000 m	4 500 m	5 000 m
1.372 69	1.522 40	1.691 22	1.867 91
1.095 84	1.249 97	1.422 38	1.600 32
1.445 39	1.624 33	1.825 23	2.033 96

一般认为射弹散步符合正态分布,在距离、方向误差相互独立的条件下,有弹着点的分布密度函数为

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} e^{-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}}, \varphi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}}$$

则方位向、高低向的命中概率为

$$P_f = \int_{-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} e^{-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}} dz = \Phi_0\left(\frac{z_0 + \frac{W}{2}}{\sigma_z}\right) - \Phi_0\left(\frac{z_0 - \frac{W}{2}}{\sigma_z}\right)$$

$$P_g = \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}} dy = \Phi_0\left(\frac{y_0 + \frac{H}{2}}{\sigma_y}\right) - \Phi_0\left(\frac{y_0 - \frac{H}{2}}{\sigma_y}\right)$$

其中, z_0 、 y_0 取为激光信息场零指令轴和瞄准轴的失调量。即

$$z_0 = y_0 = \begin{cases} 0.117 85 \text{ m}, & D \leq 4 000 \text{ m} \\ 0.176 77 \text{ m}, & 4 000 \text{ m} < D < 5 880 \text{ m} \end{cases}$$

命中概率为 $P = P_f \cdot P_g$, 计算结果如表 3 所示。

表 3 命中概率

距离	2 000 m	2 500 m	3 000 m
P_f	0.975 75	0.959 35	0.935 49
P_g	0.890 24	0.832 49	0.767 73
P	0.868 60	0.798 60	0.718 20
3 500 m	4 000 m	4 500 m	5 000 m
0.904 96	0.867 99	0.823 81	0.779 74
0.703 23	0.640 30	0.577 62	0.524 92
0.636 40	0.555 80	0.475 80	0.409 30

从计算结果来看,随着炮目距离的增加,圆概率偏差逐渐变大,命中概率随之降低。在距离在 2 500 m 左右时行进间命中概率基本可满足 80% 的要求。但对于 4 000 m 以上远距离目标,命中概率明显偏低。达不到战技指标。如果目标为战场实体,不是简单的矩形目标,将会引入体形系数(如正面坦克的体形系数为 0.86),命中概率的结果将更低。由于行进间射击的时候,路面的起伏造成的瞄准线扰动和瞄准线漂移使瞄准变的困难,再加上对于远距离目标,目标中心难以判断,瞄准跟踪也十分困难。如一辆宽为 3 m 的坦克在 5 000 m 距离上,从光学仪器上观察到的正面宽度为 0.18 个分划,在这种条件下,操纵手必须具备相当高的跟踪目标的技能。在计算过程中有的误差采用的是最大值,也使计算结果偏低。以上因素导致炮射导弹远距离的射击精度不够理想。

要想提高炮射导弹的射击精度必须提升观瞄设备的性能,改善制导仪的解算精度、导弹响应能力,缩小激光信息场零指令轴与瞄准轴的失调量,来提高制导仪的制导精度。此外,在设计上尽量减小瞄准线的漂移,采用稳定性更高的陀螺仪,要加强炮长的瞄准跟踪训练,提高操作的熟练程度,达到减小瞄准误差的目的。

4 结束语

根据激光驾束炮射导弹武器系统的射击特点和射击过程,对影响炮射导弹射击精度的误差源进行了分析,对其圆概率偏差和命中概率进行了计算。在 2 500 m 距离上,圆概率偏差约为 1.1 m,基本满足 80% 命中概率的要求。对于远距离目标,却达不到战技指标的要求,制导误差(激光信息场中心线和瞄准线的失调量等)和瞄准误差是主要误差,可以通过改善炮射导弹武器系统硬件精度和提高炮长操作规范和熟练程度来提高。通过对炮射导弹精度的分析可为部队改进炮射导弹射击训练方法,提高训练效果,提供指导和依据,为指挥员的战场射击决策提供理论帮助,最大限度发挥炮射导弹的作战效能。

参考文献:

- [1] 中国人民解放军总参谋部军训和兵种部. 04 式履带式步兵战车构造与使用[M]. 北京:解放军出版社,2007.
- [2] 罗兴柏,刘国庆. 陆军武器系统作战效能分析[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [3] 朱竟夫,王钦钊,赵碧君. 炮射导弹命中概率分析[J]. 火力与指挥控制,2005,30(5):8-11.
- [4] 曹晖,卢志刚,秦继荣. 激光驾束制导炮射导弹远距离命中概率分析[J]. 火力与指挥控制,2008,33(1):116-118.