

doi: 10.7690/bgzd.2022.10.010

速射迫击炮横倾状态下射击偏差分析

焦方金¹, 安自朝²

(1. 陆军步兵学院石家庄校区, 石家庄 050083; 2. 陆军重庆军事代表局驻成都地区军事代表室, 成都 610093)

摘要: 针对横倾状态下速射迫击炮射击精度出现偏差的问题, 通过建立速射迫击炮的坐标系, 分析横倾前后速射迫击炮的炮身状态并利用坐标变换, 得出横倾状态下速射迫击炮射击偏差量的数学模型。利用 Origin 软件, 计算速射迫击炮在不同距离和横倾角下射击时的方向偏差量和距离偏差量。分析结果表明, 横倾造成的方向和距离偏差量, 随着射击距离和横倾角的增大而增大, 但对于射击精度影响程度不同; 距离偏差量较小, 除边界射击距离外大部分可忽略不计, 而方向偏差量较大, 应予以修正。结果表明, 该计算方法和结果可为完善速射迫击炮射表提供参考。

关键词: 速射迫击炮; 横倾; 射击偏差

中图分类号: TJ31 **文献标志码:** A

Firing Deviation Analysis of Rapid-fire Mortar in Heeling State

Jiao Fangjin¹, An Zichao²

(1. Shijiazhuang Campus, Army Infantry College of PLA, Shijiazhuang 050083, China;

2. Military Representative Office in Chengdu, Chongqing Military Representative Bureau of Army, Chengdu 610093, China)

Abstract: Aiming at the problem of firing accuracy deviation of rapid fire mortar in the state of heeling, the state of the barrel of rapid fire mortar before and after heeling was analyzed by establishing the coordinate system of rapid fire mortar. The mathematical model of firing deviation of rapid firing mortar in the state of heeling was obtained by coordinate transformation. Origin software was used to calculate the direction deviation and distance deviation of rapid-fire mortar at different distances and angles of attack. The results show that the deviation of direction and distance caused by heeling increases with the increase of shooting distance and heeling angle, but the influence on shooting accuracy is different. The deviation of distance is small and can be ignored except for the boundary firing distance, while the deviation of direction is large and should be corrected. The results show that the calculation method and results can provide reference for improving the firing table of rapid-fire mortar.

Keywords: rapid-fire mortar; heeling; firing deviation

0 引言

速射迫击炮是一种自动化程度高、射速快、精度相对较高的随伴型火炮, 能对多种目标实施火力压制^[1-4]。速射迫击炮配备有横倾、纵倾姿态传感器, 可获取身管相对于大地水平面的倾斜角度信息, 速射迫击炮在进行直瞄、半直瞄射击时可将相关横倾、纵倾角度代入诸元解算; 但在间瞄射击时, 并未给出是否修正横倾偏差的说明。笔者通过建立横倾角度引起的偏差量计算模型来实际计算横倾状态下速射迫击炮射击的方向及高低射角偏差量, 并以计算结果为基础, 分析相关偏差量对射击精度的影响, 以研究判定其修正必要性。

1 建立坐标系

为分析和计算速射迫击炮横倾引起的射击偏差量, 首先建立如图 1 所示速射迫击炮的空间坐标系,

以便于描述横倾前后的速射迫击炮炮身状态。由于速射迫击炮是以炮身与上架连接点为支点进行方向和高低旋转的, 因此以该支点为坐标原点建立直角坐标系。坐标系以 $o-xyz$ 表示, o 为坐标原点, 代表速射迫击炮炮身轴线与上架的交点; x 轴为速射迫击炮炮身在 o 点所在水平面上的投影, 指向正前方的射线; y 轴为垂直于 x 轴, 指向右侧的射线; z 轴为垂直于 x 轴, 指向正上方的射线^[5]。

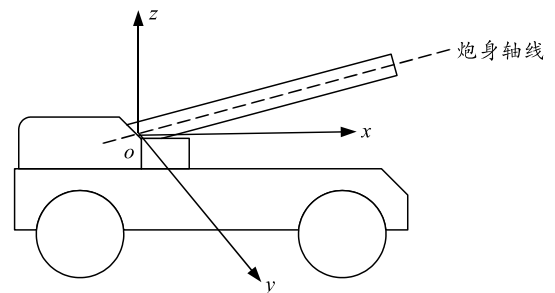


图 1 速射迫击炮直角坐标系

收稿日期: 2022-06-29; 修回日期: 2022-07-28

作者简介: 焦方金(1979—), 男, 山东人, 硕士, 副教授, 从事炮兵教学与科研工作。E-mail: 15027757880@139.com。

2 初始状态与横倾状态的坐标变换

设定速射迫击炮初始状态下的高低射角为 α_0 ，方向射角为 0 ， P_0 为速射迫击炮初始状态下的炮身矢量， x_0 、 y_0 、 z_0 为炮身的坐标，则 $P_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0]$ ，其矢量 P_0 的长度为 γ_0 。

速射迫击炮横倾后，其高低射角和方向射角均会相应发生变化，假设火炮的横倾角度为 θ ，横倾后的高低射角为 α ，方向射角为 β ， P 为横倾状态下的速射迫击炮炮身的矢量， x 、 y 、 z 为横倾后炮身的坐标，则 $P = [x \ y \ z]$ ，其矢量 P 的长度为 γ ^[6]。

P_0 与 P 在速射迫击炮坐标系中的位置关系如图 2 所示。

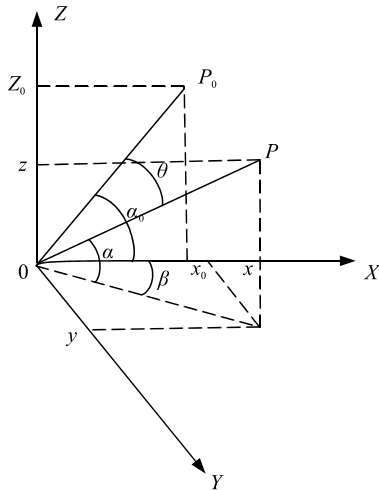


图 2 速射迫击炮初始姿态与横倾姿态位置关系

设 T 为 P_0 与 P 的转换矩阵，则有：

$$P = P_0 \cdot T \quad (1)$$

根据图 2 中矢量 P_0 和 P 的位置关系，可求得二者之间的转换矩阵如下：

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}.$$

将转换矩阵 T 和矢量 P_0 代入式(1)，可将式(1)转换如下：

$$P = [x_0 \ y_0 \ z_0] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = [x_0 \ y_0 \cos \theta + z_0 \sin \theta \ z_0 \cos \theta - y_0 \sin \theta]. \quad (2)$$

3 偏差量分析及计算

根据式(1)及矢量 P 的表达形式，可求得状态 P 下，其炮身矢量的各点坐标计算模型如下：

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 \\ y &= y_0 \cos \theta + z_0 \sin \theta \\ z &= z_0 \cos \theta - y_0 \sin \theta \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

由于初始状态下， P_0 的方向角度为 0 ，所以其在 Y 轴上的分量为 0 ， $P_0 = [x_0 \ 0 \ z_0]$ ，其长度 γ_0 与其在 3 个坐标轴上的分量有如下关系：

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \gamma_0 \cos \alpha_0 \\ y_0 &= 0 \\ z_0 &= \gamma_0 \sin \alpha_0 \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

横倾后，矢量 P 的高低角度和方向角度均发生变化，长度 γ 与其在 3 个坐标轴上的分量有如下关系：

$$\left. \begin{aligned} x &= \gamma \cos \alpha \cos \beta \\ y &= \gamma \cos \alpha \sin \beta \\ z &= \gamma \sin \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

将式(3)、(4)代入式(2)，可得：

$$\left. \begin{aligned} \gamma \cos \alpha \cos \beta &= \gamma_0 \cos \alpha_0 \\ \gamma \cos \alpha \sin \beta &= \gamma_0 \sin \alpha_0 \sin \theta \\ \gamma \sin \alpha &= \gamma_0 \sin \alpha_0 \cos \theta \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

由于速射迫击炮只发生了横向倾斜，即矢量 P_0 和 P 只围绕 X 轴方向发生旋转，所以矢量 P_0 和 P 的长度是相等的，即 $\gamma_0 = \gamma$ 。

因此，式(6)消去其长度矢量后可变为：

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha \cos \beta &= \cos \alpha_0 \\ \cos \alpha \sin \beta &= \sin \alpha_0 \sin \theta \\ \sin \alpha &= \sin \alpha_0 \cos \theta \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

要想计算速射迫击炮横倾引起的方向和距离偏差量，需要知道其横倾后的高低射角 α 和发射角 β ，将式(7)进一步简化后可得：

$$\left. \begin{aligned} \tan \beta &= \tan \alpha_0 \sin \theta \\ \sin \alpha &= \sin \alpha_0 \cos \theta \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

因此，横倾后方向射角、高低射角计算公式为：

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \tan^{-1}(\tan \alpha_0 \sin \theta) \\ \alpha &= \sin^{-1}(\sin \alpha_0 \cos \theta) \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

所以，横倾引起的方向射角偏差量 $\Delta\beta$ 、高低射角偏差量 $\Delta\alpha$ 分别为：

$$\Delta\beta = \beta - 0 = \tan^{-1}(\tan \alpha_0 \sin \theta); \quad (10)$$

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 = \sin^{-1}(\sin \alpha_0 \cos \theta) - \alpha_0. \quad (11)$$

速射迫击炮由于连发射击时炮口会振动，本身精度就会降低^[7]，而根据模型的分析，火炮的横倾

状态显然又增加了对射击精度的不利影响；因此，需要具体计算横倾对精度的影响幅度。

4 实例计算

假设速射迫击炮在横倾状态下射击，取弹种为远程杀伤榴弹，射击距离取值范围为 1 000~5 500 m (间隔 500 m)， α_0 为各射击距离对应的高低射角。取横倾角度范围为 0~5° (间隔 0.5° 向右侧横倾)。将 α_0 及横倾角代入式(10)、(11)，可计算出速射迫击炮在不同横倾角、不同射击距离下的方向角度偏差量和高低角度偏差量，如表 1、2 所示。

表 1 不同横倾角、射距离下的方向角度偏差量 mil

横倾角/(°)	射击距离/m		
	1 000	3 000	5 000
1	0.884	3.206	7.065
2	1.768	6.412	14.127
3	2.651	9.615	21.184
4	3.533	12.815	28.231
5	4.414	16.011	35.267

表 2 不同横倾角、射距离下的高低角度偏差量 mil

横倾角/(°)	射击距离/m		
	1 000	3 000	5 000
1	0.008	0.028	0.062
2	0.031	0.112	0.247
3	0.069	0.252	0.555
4	0.123	0.448	0.986
5	0.193	0.699	1.540

从上表中可以看出，横倾状态下，速射迫击炮的方向和高低角度偏差量均会随着射击距离和横倾角的增大而增大，但是二者的偏差数值差距极大。在 5 000 m 距离上，方向角度偏差量最小也为 7 mil，最高达到了 35 mil，而高低角度偏差量多在 1 mil 以下，最大仅为 1.54 mil。因此，同样条件下，方向角度偏差量远远大于高低角度偏差量。二者的比值关系如表 3 所示。

表 3 同样条件下方向与高低角度偏差量 mil

横倾角/(°)	射击距离/m		
	1 000	3 000	5 000
1	110.5	114.5	114.0
2	57.0	57.3	57.2
3	38.4	38.2	38.2
4	28.7	28.6	28.6
5	22.9	22.9	22.9

从上表可以看出，虽然方向角度偏差量与高低角度偏差量的比值随着距离的增加逐渐减小，但是即便在 5 000 m 距离上，方向角度偏差量仍然是高低角度偏差量的 22.9 倍。

为分析方向和高低射角偏差量的分布情况，利用 origin 软件的 contour 功能绘制了数据等高线图，如图 3、4 所示。

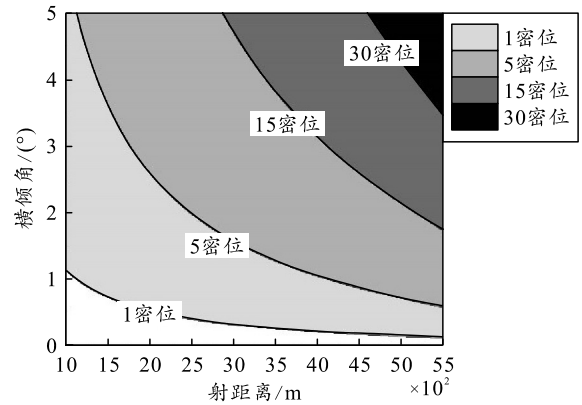


图 3 横倾引起的方向射角偏差量

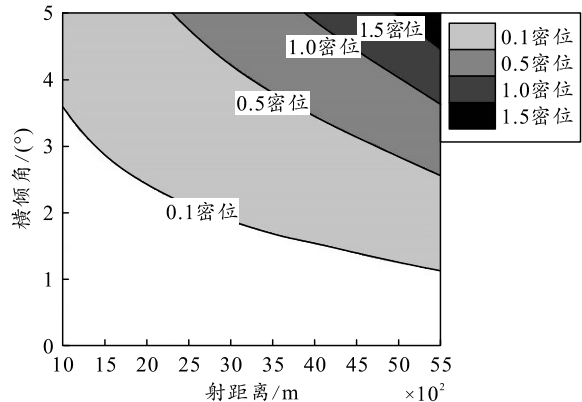


图 4 横倾引起的高低射角偏差量

从上图中可以看到，在 5 500 m 以内，横倾角度 0~5° 的范围下，方向角度偏差量有超过 1/2 的数值大于 5 mil，超过 15 mil 的数值接近 1/3。而高低角度偏差量 2/3 的数值均小于 0.5 mil，但全部数值均未超过 2 mil。

为更加直观地显示偏差量引起的弹着点变化，依据密位公式将方向射角偏差量转换为弹着点的方向偏差量。依据射角变化 1 mil 对应的距离改变量将高低射角偏差量转换为弹着点的距离偏差量。结果分别如图 5、6 所示。

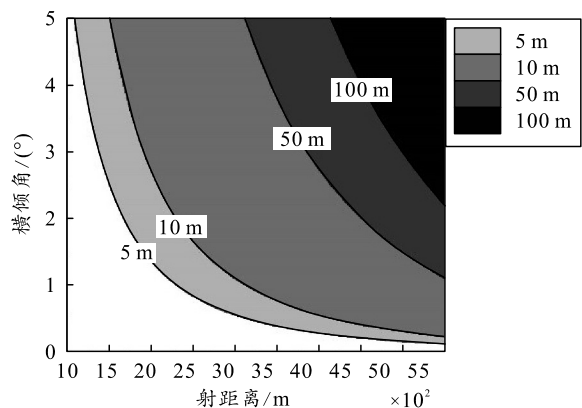


图 5 横倾引起的弹着点方向偏差量