

doi: 10.7690/bgzdh.2023.12.010

# 某型无坐力炮射击偏差及修正分析

焦方金<sup>1</sup>, 安自朝<sup>2</sup>, 李 召<sup>3</sup>

(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第三军事代表室, 成都 610093; 3. 中国人民解放军 63961 部队, 北京 100012)

**摘要:** 针对某型无坐力炮, 由横倾导致的射击偏差问题, 提出火炮肩射状态下的坐标系方法。描述火炮姿态变化, 建立横倾状态下的射击偏差量计算模型, 分析横倾对火炮射击精度的影响程度, 提高射击精度以及火炮毁伤效果。结果表明, 该方法能够为火控修正射击偏差提供参考。

**关键词:** 无坐力炮; 横倾; 射击偏差; 修正

**中图分类号:** TJ301 **文献标志码:** A

## Analysis of Deviation and Correction About Recoilless-gun on Slope

Jiao Fangjin<sup>1</sup>, An Zichao<sup>2</sup>, Li Zhao<sup>3</sup>

(1. Shijiazhuang Campus, Infantry College of PLA, Shijiazhuang 050083, China; 2. No. 3 Military Representative Office in Chengdu District, Chongqing Military Representative Bureau of Army, Chengdu 610093, China; 3. No. 63961 Unit of PLA, Beijing 100012, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of firing deviation caused by the roll of a recoilless gun, a coordinate system method for shoulder-firing was proposed. This paper describes the gun attitude change, establishes the calculation model of firing deviation under the state of roll, and analyzes the influence of roll on the gun firing accuracy, so as to improve the firing accuracy and damage effect of the gun. The results show that the method can provide reference for fire control to correct firing deviation.

**Keywords:** recoilless gun; heeling; firing deviation; correction

### 0 引言

某型无坐力炮是一种威力大、精度高、弹种多、无后坐力发射的兵组武器, 能够在复杂地形条件下对固定或移动目标进行射击<sup>[1-4]</sup>。该火炮配备的火控系统内置多种传感器, 能够自动修正气温、药温、海拔等多个变量并给出修正后的瞄准点, 功能十分强大; 但是该火控却未修正横倾偏差量, 仅为炮手提供了水平指示标志, 需要炮手自行控制火炮的水平姿态。由于采用肩射姿态, 炮手瞄准过程中多数精力都用于将瞄准点保持在目标上, 较难同时兼顾火炮的横倾姿态, 必然会带来射击偏差。笔者通过建立横倾射击偏差量计算模型来实际计算火炮横倾时的偏差量, 为火控修正横倾偏差量以及修正的条件提供依据。

### 1 建立坐标系

为便于研究和计算无坐力炮横倾状态下的射击偏差情况, 首先建立无坐力炮肩射姿态下的坐标系, 以描述无坐力炮横倾前后的炮身状态。由于无坐力

炮是以炮手的肩部为支撑点进行方向和高低调整的, 因此建立以该支点为坐标原点的直角坐标系。如图 1 所示, 坐标系以  $O-XYZ$  表示,  $O$  为坐标原点, 为无坐力炮炮身轴线与炮手肩部支撑点的交点;  $X$  轴表示火炮在  $O$  点所在水平面上的投影, 指向前方;  $Y$  轴表示垂直于  $X$  轴指向右侧的射线;  $Z$  轴指向正上方<sup>[5-6]</sup>。

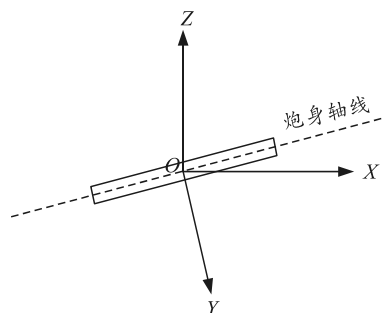


图 1 无坐力炮直角坐标系

### 2 初始状态与横倾状态的坐标变换

设定火炮初始状态下高低射角为  $\alpha_0$ , 方向射角为  $0$ , 以  $P_0$  代表其初始状态的矢量,  $x_0, y_0, z_0$  为

收稿日期: 2023-08-12; 修回日期: 2023-09-23

第一作者: 焦方金(1979—), 男, 山东人, 硕士。

炮身的坐标，则  $\mathbf{P}_0=[x_0 \ y_0 \ z_0]$ ，其矢量  $\mathbf{P}_0$  的长度为  $\gamma_0$ 。

火炮出现横倾后，其高低射角和方向射角均会发生变化，假设其横倾角度为  $\theta$ ，横倾后的高低射角为  $\alpha$ ，方向射角为  $\beta$ ，以  $\mathbf{P}$  代表发生横倾状态下的火炮矢量， $x$ 、 $y$ 、 $z$  为横倾后炮身的坐标，则  $\mathbf{P}=[x \ y \ z]$ ，其矢量  $\mathbf{P}$  的长度为  $\gamma^{[7]}$ 。

$\mathbf{P}_0$  与  $\mathbf{P}$  在火炮坐标系中的位置关系如图 2 所示。

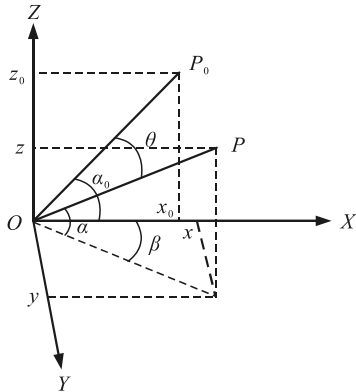


图 2 火炮初始姿态与横倾姿态

设  $T$  为  $\mathbf{P}_0$  与  $\mathbf{P}$  的转换矩阵，则有：

$$\mathbf{P}=\mathbf{P}_0\mathbf{T} \tag{1}$$

由图 1 中矢量  $\mathbf{P}_0$  和  $\mathbf{P}$  的位置关系，可求得转换矩阵：

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

将转换矩阵  $T$  代入公式，可以求得：

$$\mathbf{P}=[x_0 \ y_0 \ z_0]\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x_0 & y_0 \cos\theta+z_0 \sin\theta & z_0 \cos\theta-y_0 \sin\theta \end{bmatrix} \tag{2}$$

### 3 计算射击偏差量

根据式(1)可得如下方程式：

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

由于初始状态下， $\mathbf{P}_0$  的方向角度为 0，所以其在  $Y$  轴上的分量为 0， $\mathbf{P}_0=[x_0 \ 0 \ z_0]$ ，其长度  $\gamma_0$  与其在 3 个坐标轴上的分量有如下关系：

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

横倾后，矢量  $\mathbf{P}$  的高低、方向角度均发生变化，长度  $\gamma$  与其在 3 个坐标轴上的分量有如下关系：

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

将式(3)、(4)带入式(2)，可得：

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

由于火炮只发生了横向倾斜，亦即矢量  $\mathbf{P}_0$  和  $\mathbf{P}$  只围绕  $X$  轴方向发生旋转，所以矢量  $\mathbf{P}_0$  和  $\mathbf{P}$  的长度是相等的，即  $\gamma_0=\gamma$ 。

因此式(6)消去长度矢量后，可变为：

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

计算火炮横倾引起的方向和高低偏差量，需知道其横倾后的高低射角  $\alpha$  和方向射角  $\beta$ ，将式(7)简化为：

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

可得出横倾后的方向射角、高低射角为：

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

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：

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

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

### 4 实例计算

假设炮手以肩射姿态操作无坐力炮射击，不考虑其他影响因素，计算横倾角在  $0\sim 200'$  范围内，炮目距离 ( $\alpha_0$ ) 在 400、600、800、1 000、1 200 m 时的射击偏差量，将  $\alpha_0$  及横倾角代入式(10)、(11)，计算得出的方向偏差量和高低偏差量如表 1 和 2 所示。

表 1 不同横倾角度下的方向射角偏差量 mil

横倾角/(°)	炮目距离				
	400 m	600 m	800 m	1 000 m	1 200 m
30	0.442	0.540	0.641	0.746	0.855
60	0.884	1.080	1.282	1.493	1.709
90	1.326	1.620	1.923	2.239	2.564
120	1.768	2.160	2.563	2.985	3.418
150	2.209	2.699	3.204	3.731	4.272

表 2 不同横倾角度下的高低射角偏差量 mil

横倾角/(°)	炮目距离				
	400 m	600 m	800 m	1000 m	1200 m
30	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004
60	0.008	0.009	0.011	0.013	0.015
90	0.017	0.021	0.025	0.029	0.034
120	0.031	0.038	0.045	0.052	0.060
150	0.048	0.059	0.070	0.081	0.093

从上表中可以看出：肩射状态下，出现横倾时，无坐力炮方向射角和高低射角的偏差量均会随着炮目距离和横倾角的增大而增大，但是二者的数值相差很大。将同等条件下的方向射角偏差量与高低射角偏差量相除，可算出二者的比值在 46~221 倍。

方向射角和高低射角的偏差反映在弹道上就是弹着点相对于目标的变化，亦即弹着点偏差量。对于垂直目标而言，影响命中率的主要是弹着点方向偏差量和高低偏差量。对于水平目标而言，影响命中率的主要是弹着点方向偏差量和距离偏差量。

根据射表中射角变化量与落点高低量和距离变化量之间的关系，利用 origin 软件对无坐力炮在全射程范围内的弹着点方向偏差量、弹着点高低偏差量和弹着点距离偏差量进行分析，并用等高线图的形式显示数据的变化，其结果如图 3—5 所示。

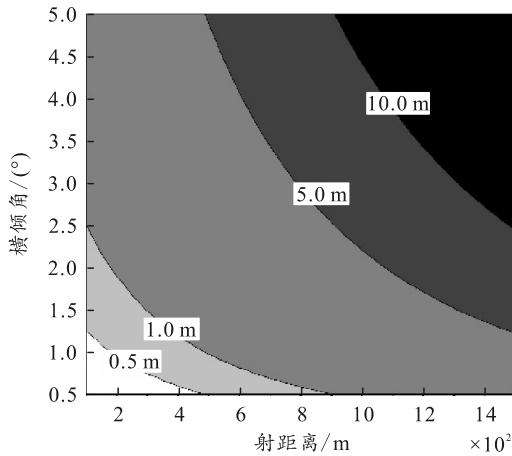


图 3 不同横倾角度下弹着点方向偏差量

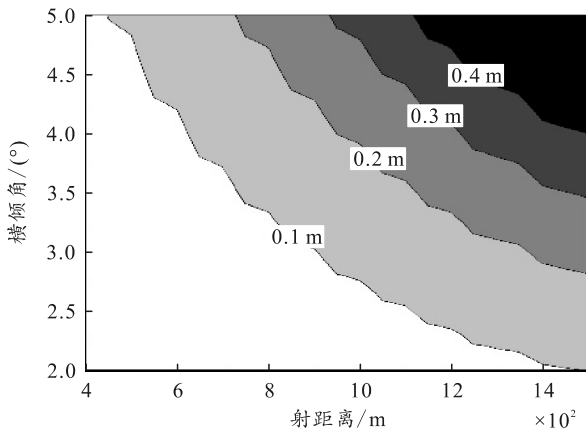


图 4 不同横倾角度下弹着点高低偏差量

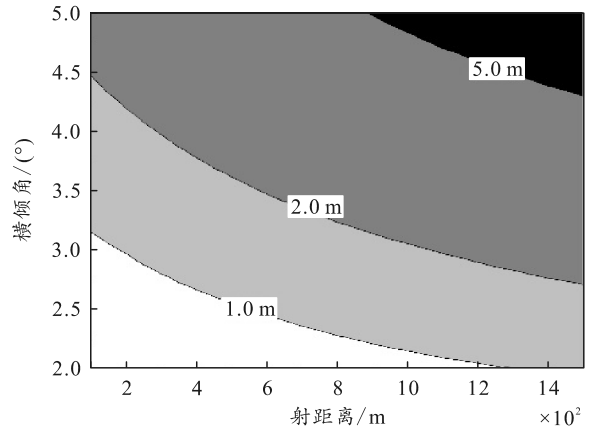


图 5 不同横倾角度下弹着点距离偏差量

从图 4 中可以看到，在 800 m 范围内，横倾角即便达到 4.5°，所引起的弹着点高低偏差量也不到 0.2 m。如果对垂直目标射击，以装甲车辆为例，其正面尺寸一般为 2 m\*2 m 左右，0.2 m 的偏差量仅相当于目标高度的 1/10，基本上不会对命中率产生影响，这说明横倾带来的弹着点高低偏差量在大部分情况下是可以忽略的。

但是对于弹着点的方向和距离偏差而言，横倾带来的影响大得多。根据图 3 当横倾幅度超过 1°时，400 m 的方向偏差就超过了 0.5 m。对于装甲车辆，该偏差量接近于 1/4 的目标宽度。对于无坐力炮而言，考虑到炮手瞄准时的晃动、击发瞬间的抖动，如果再增加横倾带来的 0.5 m 初始偏差，在该距离上，命中目标已经变得相当困难。因此，应该考虑予以修正。

如果是对平面目标射击，以机枪火力点为例，为方便相互配合，其正副射手间隔一般在 1 m 左右。根据图 3、4，射击距离超过 500 m 时，大部分方向偏差量就已经超过 0.5 m。当射击距离超过 800 m，横倾角大于 0.5°的情况下，绝大多数弹着点方向偏差量超过了 1 m，对于机枪火力点，杀伤效果会受到一定程度的影响。如果射击距离进一步增加，在 1 200 m 距离以上，横倾超过 2°时，弹着点的方向偏差量大于 5 m，同时距离偏差量也接近 1 m，对于目标的杀伤效果会受到较大程度的影响。如果射距离超过 1 400 m，横倾角超过 3°，仅方向偏差量就达到 10 m 以上，距离偏差量也超过了 2 m，几乎很难对目标造成足够有效的毁伤。

因此，对于 2 人或多人组成的机枪火力点或者反坦克小组这类目标而言，射击距离超过 800 m 时，应考虑修正横倾偏差量，以避免影响火炮对目标的打击效果。

## 5 修正方式

肩炮射击时，炮手需要瞄准目标的同时尽量控制火炮保持水平，如果火控对于横倾偏差量采用分段修正的方法，瞄准点的变化轨迹容易形成“跳跃”现象，使得炮手反复调整火炮姿态，增加了炮手负担，反而不利于炮手瞄准。要想降低对炮手的影响，可行的方式是实时采集火炮的横倾角度并实时计算横倾偏差量，同时将瞄准点的修正频率与火控屏幕刷新频率保持一致，从而使瞄准点在火控镜内线性平滑移动。对炮手而言，上述情况下，在视觉上不会出现瞄准点“跳跃”现象，有利于提高瞄准稳定性。

## 6 结论

无坐力炮在射击过程中，炮身的横向倾斜会造成射角在方向和高低上发生偏差，这 2 种偏差量随着射击距离和横倾角的增大而增大，但是对于射击精度影响程度不同。综合来看，方向射角偏差影响较大，高低射击偏差影响较小。

综合考虑射手肩射姿态瞄准操控的稳定程度和击发瞬间的抖动等因素，在一定的射击距离和横倾

角度下应该修正横倾偏差量以提高射击精度，从而提高火炮的毁伤效果。在修正方法上，可以采取与火控屏幕刷新频率同频调整的方式更新瞄准点，从而避免射手在瞄准时的“跳跃”现象，尽可能提高炮手瞄准的稳定性。

## 参考文献：

- \*\*\*\*\*
- (上接第 9 页)
- [2] 邹权. 某大口径火炮弹药自动装填控制系统关键问题研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015: 1-10.
  - [3] 金中. 坦克炮自动装弹机: 第 8 讲[J]. 国外坦克, 2004(8): 44-45.
  - [4] 彭青. 某链式回转弹仓的设计研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012: 5-16.
  - [5] 魏继卿, 许耀峰, 刘小蒙, 等. 自动弹仓回转选弹动力学仿真及优化[J]. 火炮发射与控制学报, 2015, 36(2): 36-39.
  - [6] 王月桐, 高跃飞, 信义兵, 等. 迫击炮齿形链式回转弹仓设计与分析[J]. 机械传动, 2017, 41(4): 81-84, 105.
  - [7] 解凤娟, 何宗颖, 骆小平, 等. 基于 RecurDyn 的链式回转弹仓多边形效应分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2013(2): 27-30.
  - [8] 王国晋, 洪林, 梁艳书. 不同相位角对大节距输送链多边形效应的影响[J]. 机械传动, 2019, 43(8): 141-143.
  - [9] ZHU X H, HUANG J M. Weaken Polygon Effect and Improve Chain Drive Performance[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012: 246-247.
  - [10] 张玲玲, 陆天炜, 吴鹿鸣, 等. 链传动多边形效应的实验研究[J]. 机械工程与自动化, 2010(4): 97-99.
  - [11] WANG Y B, JIA H P. Dynamic Simulation Research on Chain Drive Mechanism of Corn Seeder Based on ADAMS[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 281(1): 2-6.
  - [12] 倪健健, 李文斌. 基于 ADAMS 的链传动机构的仿真分析[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(1): 242-245.
  - [13] 蒲明辉, 宁际恒, 刘玉婷, 等. 基于 MSC. ADAMS 的链传动建模与仿真研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2007(1): 60-64.
  - [14] 董宁宁. 基于反演方法的链式自动弹仓运动控制研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2020: 11-22.
  - [15] 盛建辉. 车载弹丸回转库的动力学分析与结构参数优化[D]. 南京: 南京理工大学, 2020: 17-34.
  - [16] 信义兵, 高跃飞, 徐凤军, 等. 基于 ADAMS 某链式回转弹仓的仿真分析[J]. 机械工程与自动化, 2015(3): 81-82, 84.