

# 地面水平度对武器系统射向的影响\*

方 飞,张永生,张培峻,李引良,史学鑫

(中国兵器工业第 203 研究所,西安 710065)

摘 要:由于地面不水平,武器在布设时,其射向基准发生了偏转,射向就会产生偏差,文中根据建立的数学模型,得到射向偏差的解析解,求解了水平度对射向的影响。结果表明水平度对射向的影响比较大,必须将其控制在一定的范围内,才能保证该武器系统的射击精度。

关键词:基准面;水平度;仰角;方位偏差;最大偏转

中图分类号:TJ768.1 文献标志码:A

## Effect of Horizontal Degree of Ground on Certain Weapon System

FANG Fei, ZHANG Yongsheng, ZHANG Peijun, LI Yinliang, SHI Xuexin

(No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

Abstract: Because the ground is not horizontal, the base level has been deflected when certain weapon system is emplaced. In this text, a model is built and developed for effect of horizontal degree of ground. According to the mathematical modeling, equation of shooting deviations is established and solved. Theoretical analysis show that horizontal degree of ground must be controlled in the certain scope and it obtains good results of shooting precision.

Keywords: base level; horizontal degree; elevation; orientation deviations; maximum deflection

### 0 引言

武器在布设时,由于地面高低不平,武器系统布设到位后,其基准平面已经发生了偏转,所以在新的基准平面内由伺服驱动旋转一定角度所确定的射向和根据原始基准平面所确定的射向在方位角之间、仰角之间都会有一个偏差。文中所要求解的就是仰角和水平度在一定范围内变化时,不同的方位<sup>[1-2]</sup>所对应的方位角的偏差、仰角的偏差以及最大方位角的偏差。

### 1 建模求解

#### 1.1 建立数学模型

如图 1, XOY 面为原始基准平面,由于地面不水平,武器布设后,基准面发生了偏转, X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub> 面为发生偏转以后的基准平面,假设 OX 为最大偏转方向,水平角为 γ(即为 XOY 面与 X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub> 面的夹角), OA 为射向(仰角为 β(即为 OA 与 X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub> 面的夹角), OG 为 OA 在 X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub> 平面内的投影, OH 为 OA 在平面 XOY 内的投影。当射向

在 X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub> 面内转过 θ 角时,其在 XOY 面的投影 OH 与 OX 轴的夹角 σ 与 θ 之间必定有一个差值,这个差值称为方位偏差,所要求的

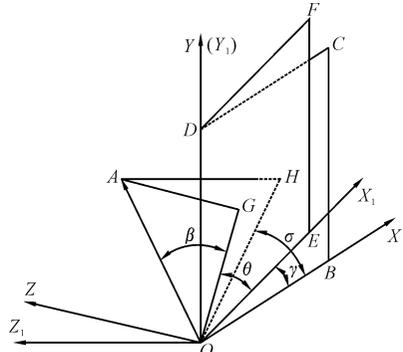


图 1 射向偏差

目标函数就是射向的方位偏差 σ - θ、仰角偏差 η 以及 θ 为何值时, σ - θ 取得最大值。

#### 1.2 模型求解

上述模型中 O - XYZ 坐标系绕着 Y 轴旋转 γ 角得到 O - X<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>Z<sub>1</sub> 坐标系,根据坐标旋转可以得到 O - X<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>Z<sub>1</sub> 坐标系在 O - XYZ 坐标系下各轴的方向余弦:

$$\begin{cases} OX_1(\cos\gamma & 0 & \sin\gamma) \\ OY_1(0 & 1 & 0) \\ OZ_1(-\sin\gamma & 0 & \cos\gamma) \end{cases} \quad (1)$$

\* 收稿日期:2007-11-21

作者简介:方飞(1979-),男,湖北人,助理工程师,硕士研究生,研究方向:未敏弹总体技术。

设 OA 的长度为 1, 则得到 A 点在 O - X<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>Z<sub>1</sub> 坐标系下的坐标值:

$$A(\cos\theta\cos\beta \quad \sin\theta\cos\beta \quad \sin\beta) \quad (2)$$

根据坐标旋转公式<sup>[3]</sup>, 由式(1)、式(2)得到

A 点在 O - XYZ 坐标系下的坐标:

$$(x \quad y \quad z) = (\cos\theta\cos\beta \quad \sin\theta\cos\beta \quad \sin\beta) \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

得到:

$$A(\cos\theta\cos\beta\cos\gamma - \sin\gamma\cos\beta \quad \sin\theta\cos\beta \quad \cos\theta\cos\beta\sin\gamma + \sin\beta\cos\gamma) \quad (4)$$

上式就是 A 点在 O - XYZ 坐标系下的坐标值, 根据 A 点的横纵坐标可以得到  $\sigma$ , 有:

$$\cot\sigma = \frac{\cos\theta\cos\beta\cos\gamma - \sin\gamma\cos\beta}{\sin\theta\cos\beta} \quad (5)$$

因此得到方位偏差:

$$\sigma - \theta = \operatorname{arccot} \frac{\cos\theta\cos\beta\cos\gamma - \sin\gamma\cos\beta}{\sin\theta\cos\beta} - \theta \quad (6)$$

式(6)即为射向偏差的解析解。对式(6)求极值可得到最大方位偏差, 也即水平度对射向的最大影响, 对式(6)中  $\theta$  求一阶导数化简得到:

$$\cos^2\beta\cos\gamma - \sin\gamma\cos\theta\sin\beta\cos\beta = \sin^2\theta\cos^2\beta + (\cos\theta\cos\beta\cos\gamma - \sin\gamma\sin\beta)^2 \quad (7)$$

根据 A 点的坐标也可得到仰角的偏差  $\eta$ , 也即 OA 与新基准平面的夹角和原基准平面夹角的差值。

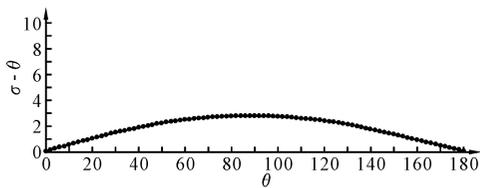
$$\eta = \arcsin(\cos\theta\cos\beta\sin\gamma + \sin\beta\cos\gamma) - \beta \quad (8)$$

### 1.3 数值求解

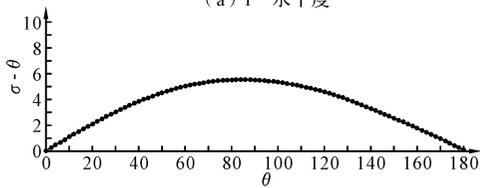
结合本武器系统要求,  $\beta$  在  $70^\circ \pm 3^\circ$  内变化,  $\gamma$  在  $\pm 3^\circ$  内变化, 根据式(6)解算出方位偏差<sup>[4]</sup>, 图 2 分别给出的是仰角  $\beta = 70^\circ$ , 水平度分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$  时对应的方位偏差的变化曲线; 根据式(7)解算出最大偏差和其对应的方位角, 图 3 分别给出了水平度为  $3^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $1^\circ$ , 仰角  $\beta$  在  $70^\circ \pm 3^\circ$  内变化时, 最大方位偏差和其对应的方位角的变化曲线; 根据式(8)解算出仰角偏差, 图 4 分别给出了仰角  $\beta = 70^\circ$  时, 水平度分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$  时对应的仰角偏差变化曲线。

## 2 计算结果分析

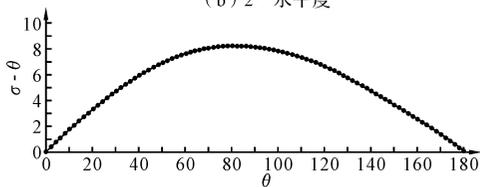
根据数值计算的结果得到以下结论:



(a) 1° 水平度

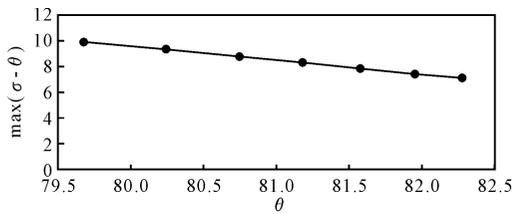


(b) 2° 水平度

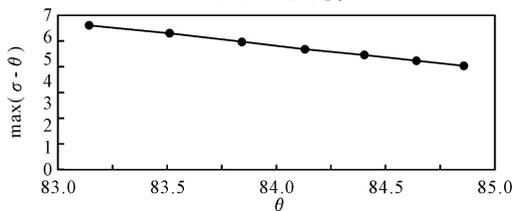


(c) 3° 水平度

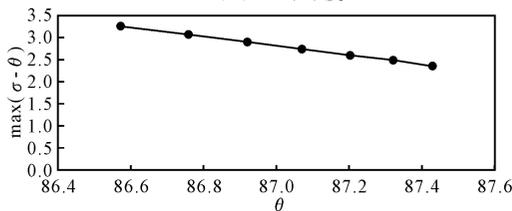
图 2 不同水平度下方位偏差曲线



(a) 3° 水平度



(b) 2° 水平度



(c) 1° 水平度

图 3 不同水平度下最大方位偏差曲线

1) 图 2 在仰角一定 ( $70^\circ$ ) 的情况下, 水平角越大对应的方位偏差也就越大。图 2(a) 中的最大方位偏差位置在  $87.07^\circ$ , 最大方位偏差为  $2.75^\circ$ ; 图 2(b) 中的最大方位偏差位置在  $84.13^\circ$ , 最大方位偏差为  $5.51^\circ$ ; 图 2(c) 中的最大方位偏差位置在  $81.18^\circ$ , 最大方位偏差为  $8.28^\circ$ 。

对于 80m 的射距, 方位偏差为  $10^\circ$  时, 落点误差就会达到 14m; 方位偏差为  $5^\circ$  时, 落点误差就会达到 7m, 方位偏差为  $3^\circ$  时, 落点误差就会达

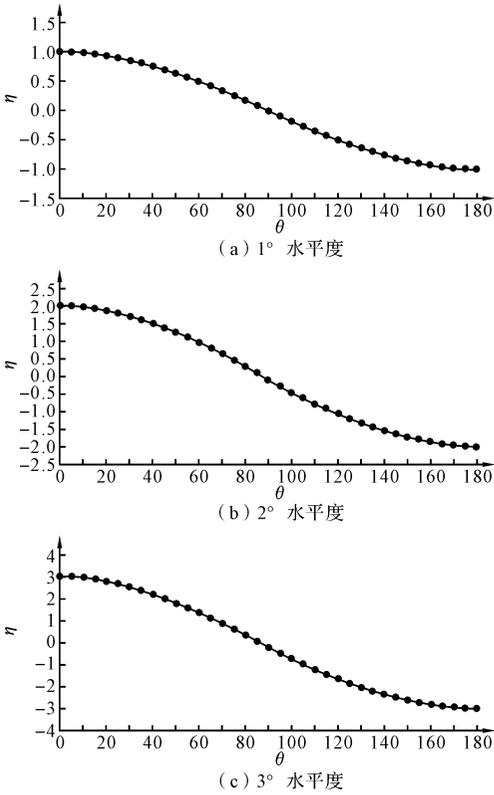


图 4 不同水平度下的仰角偏差曲线

到 4m。

2) 综合图 3, 水平度为 3° 时方位最大偏差都达到 7° 以上, 当仰角为 73° 时, 方位最大偏差接近 10°; 水平度为 2° 时方位最大偏差都达到 4.5° 以上, 当仰角为 73° 时, 方位最大偏差接近 7°; 水平度为 1° 时, 方位最大偏差在 3° 左右。

3) 综合图 4, 仰角偏差的变化范围决定于水平度的大小, 在起始点仰角偏差最大, 在 90° 位置仰角偏差为零。

所建立的数学模型中, 假设的最大偏转方向为  $OX$  轴方向, 如果最大偏转方向与  $OX$  轴有一

定的夹角, 那么它的起始点的方位偏差就不为零了, 根据图 2 可以知道它的方位偏差变化曲线必定是相邻两个周期内的某段曲线, 也就是说方位偏差变化曲线可以通过左右平移得到, 那么它们对应的方位偏差的变化范围也就是一样的了, 其中在最大偏转位置对应的方位偏差为零(以最大偏转方向为  $OX$  轴)。此时仰角偏差的变化曲线也是可以通过对图中曲线进行左右平移得到的。

### 3 结论

地面水平度对射向的影响比较大。有一定仰角布设在地面的武器系统都会受到地面水平度的影响。由于该武器系统的转角是任意的, 根据文中的推论, 可以采用以下两种方法来保证武器系统的射击精度:

- 1) 直接将水平度控制在一个合适的范围内;
- 2) 引入方位补偿角, 也就是说可以通过调整转角(加上或减去补偿角)来抵消水平度的影响。

因此要保证该武器系统的精度, 必须降低水平度对其射向的影响, 从而减小方位角的偏差。

参考文献:

- [1] 王磊, 彭涛, 孙浩伟, 等. 偏移技术在探地雷达数据处理中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2007(6): 11-13.
- [2] 倪秀胜, 景涛, 王绪本. 多目标雷达探测识别和定位[J]. 物探与化探, 2007(3): 229-232.
- [3] 《数学手册》编写组. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [4] 苏金明, 阮沈勇. MATLAB6.1 实用指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.