

doi: 10.7690/bgzd.2015.05.002

# 基于高斯投影的发射方位角精确计算方法

周立锋, 曹淑艳

(中国人民解放军 92941 部队 96 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

**摘要:** 针对导弹试验, 在进行弹道参数解算时, 需要提供精确的发射方位角的问题, 采用高斯投影的方法, 详细推导了一种不同于传统的发射方位角计算方法, 并提供了具体算法和模型。在理论分析的基础上, 采用新方法对算例数据进行计算和分析。结果表明, 用新方法计算得到的发射方位角精度达到秒级。该方法已在靶场发射方位角的计算中得到成功应用。

**关键词:** 发射方位角; 高斯投影; 子午线收敛角; 平面坐标方位角

**中图分类号:** TJ760.3 **文献标志码:** A

## Method of Accurate Launching Azimuth Calculation Based on Gauss Projection

Zhou Lifeng, Cao Shuyan

(No. 96 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125000, China)

**Abstract:** In ballistic missile flight test, when calculate trajectory parameters, it is need to give accurate launching azimuth. Unlike conventional methods, a new method of calculating launching azimuth based on Gauss projection is presented. A detailed algorithm and model for the method are presented. Following theoretical analysis, experiment data is used in calculation and analysis with the new method. The results show that the launching azimuth calculation accuracy of the new method reaches second level. The method is already successfully used in calculation launching azimuth at a test range.

**Keywords:** launching azimuth; Gauss projection; meridian constringent angle; plane coordinate azimuth

### 0 引言

靶场导弹试验外弹道数据处理中, 在进行发射坐标系下的弹道参数解算时, 需要提供精确的发射方位角。以往的任务中, 一般是采用理论的发射方位角, 但是实际发射方位角与理论发射方位角不一致。如果采用理论发射方位角进行弹道参数解算, 其解算结果会存在比较大的偏差。怎样根据现有的数据计算发射方位角, 是一个急需解决的问题。文献[1]中提出的方法, 计算量偏大, 笔者提出了一种基于高斯投影的发射方位角精确计算方法, 相对来说, 计算量小, 精度高。

发射方位角<sup>[2]</sup>(launching azimuth) 又称射击方位角。过发射点的天文北(大地北)与该点瞄准方向(对瞄准点)在过该点水平面(切平面)上投影的夹角, 并以该点天文北(大地北)开始顺时针方向旋转为正。天文北与瞄准方向在水平面上投影的夹角, 称为天文发射方位角; 大地北与瞄准方向在切平面上投影的夹角, 称为大地发射方位角。由于导弹和运载火箭飞行试验所采用的发射坐标系是垂线坐标系, 因此, 通常所说的发射方位角指天文发射方位

角; 对于近程弹道导弹, 有时亦用大地发射方位角。靶场上把发射方位角, 常称之为射向角。

### 1 发射方位角精确的计算公式

#### 1.1 高斯投影<sup>[3]</sup>

高斯投影是一种正形投影, 是横轴切圆柱的正形投影。如图 1 所示, 可以想象有一个圆柱面横套在地球的外面, 并与某一子午线相切(此子午线称中央子午线或轴子午线), 椭球柱的中心轴通过椭球中心。其满足下面 3 个条件:

- 1) 正形条件;
- 2) 中央子午线投影后为直线;
- 3) 中央子午线投影后长度不变。

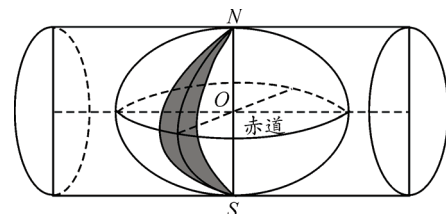


图 1 高斯投影

将中央子午线东西各一定经差范围内的地区

收稿日期: 2014-12-17; 修回日期: 2015-01-19

作者简介: 周立锋(1980—), 男, 湖南人, 学士, 工程师, 从事测量数据处理技术研究。

(一般为六度或三度)投影到椭圆柱面上, 将此柱面沿某一母线展开成高斯投影平面, 如图 2。在高斯投影平面上, 中央子午线和赤道的投影都是直线。以中央子午线与赤道的交点  $O$  为坐标原点, 以中央子午线的投影为纵坐标, 即  $x$  轴, 以赤道的投影为横坐标, 即  $y$  轴, 这就形成了高斯平面直角坐标系。

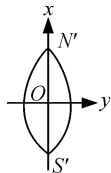


图 2 高斯直角坐标系

### 1.2 子午线收敛角的计算方法

文献[4-6]中介绍了几种求解子午线收敛角  $\gamma$  的方法, 任意一种方法均能满足精度要求。下面选用由高斯坐标  $(x, y)$  计算子午线收敛角  $\gamma$  的方法。

$$\gamma = \frac{y}{N_f} t_f - \frac{y^3}{3N_f^3} t_f (1 + t_f^2 - \eta_f^2) + \frac{y^5}{15N_f^5} t_f (2 + 5t_f^2 + 3t_f^4) \quad (1)$$

式中:  $N_f = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_f}}$ ;  $\eta_f = e' \cos B_f$ ;  $t_f = \text{tg } B_f$ ,

$B_f$  为底点纬度, 它表示自赤道起算的子午线弧长为  $x$  所对应的大地纬度, 其计算方法参考文献[2]。

### 1.3 发射方位角公式推导

如图 3,  $O_f'$ 、 $P'$  分别为导弹发射点  $O_f$ 、落点  $P$  在高斯平面上的投影点,  $O_f'N'$  为  $O_f$  点子午线的投影曲线, 过  $O_f'$  作直线  $O_f'L$  平行于纵坐标轴  $OX$ , 这个方向为坐标北方向, 以区别于真北方向  $O_f'N'$ 。

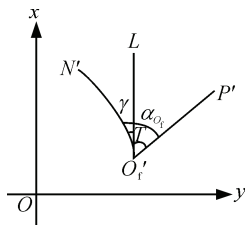


图 3 平面子午线收敛角

$O_f'N'$  曲线与  $O_f'L$  直线的夹角称为在  $O_f'$  点的平面子午线收敛角, 以  $\gamma$  表示。  $O_f'L$  与  $O_f'P'$  的夹角叫做过  $O_f'$  点的  $O_f'P'$  平面坐标方位角, 以  $T$  表示。  $O_f'N'$  曲线与  $O_f'P'$  直线的夹角, 鉴于正形投

影, 仍为发射方位角  $\alpha_{O_f}$ 。

由图 3 可得

$$\alpha_{O_f} = T + \gamma \quad (2)$$

在图 3 中容易得到

$$T_{1,2} = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

式中:  $(x_1, y_1)$  为发射点  $O_f$  的高斯坐标;  $(x_2, y_2)$  为落到  $P$  的高斯坐标。

## 2 算例分析

针对文中提出的基于高斯投影的发射方位角计算方法, 在 C#.NET2008 的环境编程, 根据发射点和落点的坐标, 计算其相应的发射方位角。

笔者选用了 10 000 条弹道计算导弹发射方位角, 导弹发射点  $O_f$  为北纬  $30^\circ$ 、东经  $115^\circ$ , 最远的落点  $P$  为北纬  $35^\circ$ 、东经  $118^\circ$ 。在  $O_fP$  之间, 内插 10 000 个点, 作为导弹的落点  $P_i$ , 分别计算它们的发射方位角  $\alpha_{O_f i}$ , 其计算结果如图 4 所示。

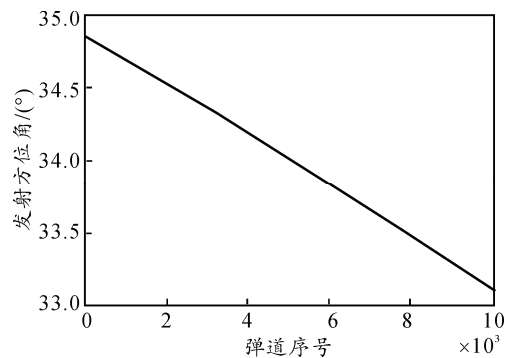


图 4 发射方位角曲线

采用文中发射方位角的计算方法与文献[1]中的公式法进行比较, 其一次差如图 5 所示。

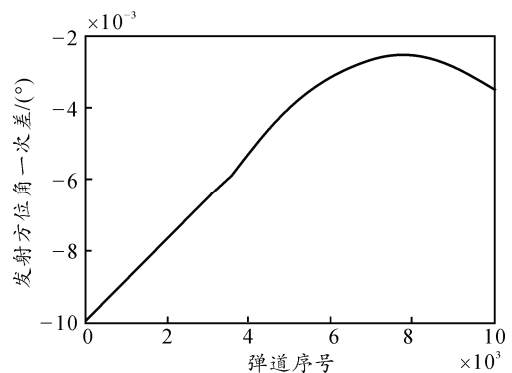


图 5 发射方位角一次差曲线