

# GPS在连续波雷达测速电波折射误差修正中的应用

刘春光, 王利伟

(中国人民解放军92124部队, 辽宁大连 116023)

**摘要:**受布站几何关系和飞行器轨迹的限制, 试验中有些测量段无法具备三站交汇条件, 难以满足连续波雷达测速电波折射误差修正的前提条件。文章提出利用GPS测量的飞行器轨迹参数反算出和两个真实站点成等边三角形分布的虚拟站点的理论测量值, 使用这个虚拟站点和两个真实站点进行三站交汇折射修正, 定量分析了飞行器轨迹偏差对测速电波折射修正量的影响。

**关键词:**连续波雷达; 测速; 电波折射; 误差修正; 虚拟站点; GPS

**本文引用格式:**刘春光, 王利伟. GPS在连续波雷达测速电波折射误差修正中的应用[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(S1): 176-177, 191.

**Citation format:**LIU Chunguang, WANG Liwei. Application and Research of GPS in Radio Wave Refraction Error Correction of CW Radar Velocity Measurement[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(S1): 176-177, 191.

中图分类号: P185.16

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2019)S1-0176-02

## Application and Research of GPS in Radio Wave Refraction Error Correction of CW Radar Velocity Measurement

LIU Chunguang, WANG Liwei

(The No. 92124<sup>th</sup> Troop of PLA, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Constrained by the geometric relationship of the station and the trajectory of the aircraft, some measurement sections in the experiment can't form the condition of three stations intersection, and it is difficult to meet the precondition of radio wave refraction error correction of CW radar velocity measurement. In this paper, the theoretical measurement of a virtual station with equilateral triangular distribution of two real stations and the flight vehicle trajectory parameters measured by GPS were presented, and the intersection refraction correction of three stations was carried out by using this virtual station and two real stations. The influence of the flight vehicle trajectory deviation on the radio wave refraction correction of velocity measurement was analyzed quantitatively.

**Key words:** CW radar; velocity measurement; radio wave refraction; error correction; virtual station; GPS

由于大气介质分布的不均匀性, 无线电波在大气层内传播时会产生折射效应, 给跟踪测量带来误差, 即电波折射误差。事后数据处理时必须考虑电波折射带来的误差影响, 予以修正。根据电波折射修正原理<sup>[1]</sup>, 对速度进行折射修正的前提是已知目标点的位置和速度参数, 即 $(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ , 因

此需要形成三站交汇条件, 即通过3个测站提供的6个测元 $R_1, R_2, R_3, \dot{R}_1, \dot{R}_2, \dot{R}_3$ 解算出所需的 $(x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ 。受布站几何关系和目标飞行器轨迹等因素的影响, 试验中有些测量段无法形成三站交汇条件, 难以满足连续波雷达测速电波折射误差修正的前提条件, 所以就无法采用上述标准方法对

收稿日期: 2018-11-21; 修回日期: 2018-12-29

作者简介: 刘春光(1981—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事外测事后数据处理及方法研究, E-mail: 1285739162@qq.com。

这些测速信息进行电波折射误差修正,这也直接导致提供给飞行器轨迹融合解算的测速数据不完整或未经电波折射误差修正。

文章提出利用初步处理后的GPS测量的飞行器轨迹参数反算出和真实的两个站点成等边三角形分布的虚拟站点的理论测量值,使用这个虚拟站点和两个真实站点进行三站交汇电波折射修正(这种方法以下称为虚拟三站交汇折射修正),并定量分析了飞行器轨迹偏差对测速电波折射修正量的影响大小。

## 1 3R-R系统电波折射误差修正

3R-R系统布站及折射几何图形如图1所示,它的测元为各站视在距离和视在距离变化率,它应由三个测站组成。采用迭代法进行电波折射误差计算,即把三个视在距离( $i=1,2,3$ )作真实距离的零次近似值,求出目标坐标的近似值,再由目标近似位置和连续波雷达站坐标值求出对应站的真实角度的近似值,然后应用一小循环求出视在仰角;再进一步用折射基本公式求出折射误差量,经折射误差修正视在距离后,可得到真实距离的一次近似值。重复上述过程,反复迭代直到满足精度为止<sup>[1-2]</sup>。

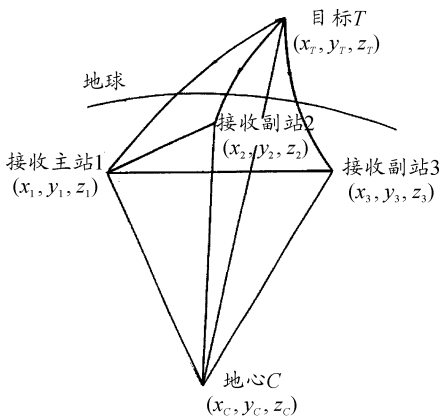


图1 系统电波折射几何图形

## 2 利用飞行器轨迹反算出虚拟站点的理论测量值

利用真实的两个站点的坐标,计算出和真实的两个站点成等边三角形分布的虚拟站点测量系坐标。根据坐标转换公式<sup>[3]</sup>,可以算出测站在发射系坐标假定坐标。

已知飞行器轨迹 $m$ 和测站在发射系坐标假定坐标 $m$ ,则根据一般性原理<sup>[4-5]</sup>,可以推导出以下公式:

$$\alpha_i = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{Z - Z_{oi}}{X - X_{oi}} \right) \quad (\text{若 } \alpha_i < 0, \text{ 则 } \alpha_i = \alpha_i + 2\pi) \quad (1)$$

$$\gamma_i = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{Y - Y_{oi}}{\sqrt{(X - X_{oi})^2 + (Z - Z_{oi})^2}} \right) \quad (2)$$

$$R = \sqrt{(X - X_{oi})^2 + (Y - Y_{oi})^2 + (Z - Z_{oi})^2} \quad (3)$$

$$\dot{R} = \frac{X - X_{oi}}{R} \dot{X} + \frac{Y - Y_{oi}}{R} \dot{Y} + \frac{Z - Z_{oi}}{R} \dot{Z} \quad (4)$$

其中: $\alpha_i, \gamma_i$ 为发射系下的角度,通过矩阵 $\phi_{mi}^T$ 转换<sup>[3]</sup>,得测量系下的角度为 $\alpha'_i, \gamma'_i$ , $R$ 为连续波雷达观测到的目标视在距离, $\dot{R}$ 为连续波雷达观测到的目标视在距离变化率。

## 3 GPS飞行器轨迹偏差对电波折射修正的影响

### 3.1 GPS飞行器轨迹偏差的大小

本修正方法使用初步处理后的GPS测量数据作为计算用的初始飞行器轨迹,而GPS初始飞行器轨迹与真实飞行器轨迹相比,存在一定水平的偏差,这就会给折射修正计算带来一定程度的误差,所以需定量分析由此带来的影响<sup>[6]</sup>。

由于大部分误差已经经过修正,因此GPS初始飞行器轨迹的精度可以估计。考虑试验实际情况和对以往数据处理结果的统计,可认为GPS初始飞行器轨迹的位置偏差小于100 m,速度偏差小于1 m/s。

### 3.2 飞行器轨迹偏差影响分析

根据上述估计,分别令 $\Delta x, \Delta y, \Delta z = 100$  n以及 $\Delta \dot{x}, \Delta \dot{y}, \Delta \dot{z} = 1$  m/s,仿真计算各偏差对速度电波折射修正量的影响,结果参见表1和表2。

从表1可看出:除 $z$ 方向的影响稍明显,最大接近0.009 m/s, $x, y$ 方向的影响都在0.004 m/s以内。考虑到定位偏差的假设值较大,实际偏差通常要小很多,可以忽略由此带来的影响。

表1 飞行器轨迹位置偏差对速度电波折射

		修正量的影响			$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
仰角/ (°)	测距/ m	$\Delta x =$ 100 m	$\Delta y =$ 100 m	$\Delta z =$ 100 m	
2	20 338	0.003 2	0.000 4	0.008 9	
4	20 296	0.003 6	0.000 2	0.008 6	
7	20 230	0.002 1	0.000 1	0.005 5	
10	20 146	0.001 3	0.000 1	0.003 4	
17	20 104	0.000 3	0.000 3	0.001 2	
25	20 407	0.000 4	0.000 1	0.000 6	
35	21 192	0.000 3	0.000 1	0.000 7	
45	22 744	0.000 2	0.000 0	-0.000 2	
53	24 773	0.000 1	0.000 0	-0.000 4	
59	27 932	0.000 1	0.000 0	0.000 2	

从表2可看出:飞行器轨迹的速度偏差对速度电波折射修正量的影响很小,其中 $x, y$ 方向的影响都在0.001 m/s以内, $z$ 方向的影响稍大一些,但最大也不超过0.003 m/s。考虑到速度偏差的假设值较大,实际偏差通常要小很多,所以速度偏差带来的影响也可忽略不计。(下转第191页)