

doi: 10.7690/bgzdh.2023.09.007

一种车载雷达的简易方向标定误差修正方法

刘中根, 芮伟, 王明远

(陆军装备部驻重庆地区军代局, 重庆 400060)

摘要: 针对车载雷达调平时, 雷达调平误差和系统标定误差引起的雷达角度误差而影响车载雷达的定位精度, 提出一种误差修正算法。通过设计的转角接口盒装置测出的雷达调平引起的角度误差, 实现了车载雷达方位标定误差修正。试验结果表明, 该车载雷达定位精度达到了国内同行业领先水平。

关键词: 车载雷达; 误差; 修正; 调平

中图分类号: TJ812 **文献标志码:** A

A Simple Method of Directional Calibration Error Correction for Vehicular Radar

Liu Zhonggen, Rui Wei, Wang Mingyuan

(Military Representative Bureau of Army Equipment Department in Chongqing District, Chongqing 400060, China)

Abstract: In view of the fact that the radar angle error caused by radar leveling error and system calibration error affects the positioning accuracy of vehicular radar when the vehicular radar is leveling, an error correction algorithm is proposed. The angle error caused by radar leveling is measured by the designed corner interface box device, and the azimuth calibration error correction of vehicular radar is realized. The test results show that the positioning accuracy of the vehicle radar has reached the leading level in the same industry in China.

Keywords: vehicular radar; error; correction; leveling

0 引言

随着现代战争发展需要, 车载雷达以其机动性强等优点越来越受到重视, 在我军侦察装备领域发挥着越来越重要的作用^[1-5]。通常, 雷达轴系包括方位旋转轴、俯仰旋转轴和机械轴, 另外还有光轴和电轴。这些轴构成测量坐标系, 坐标原点 O 在三轴交点(数学交点)上, 其中光轴或电轴是测量轴。由于方位旋转轴不垂直于系统坐标系基准平面(垂直轴倾斜误差)、俯仰旋转轴不垂直于方位旋转轴、光轴不垂直于俯仰旋转轴和电轴不平行于光轴等原因, 都会引入测角误差。

因此, 车载雷达在工作前, 需要进行雷达方位、方向标定, 其中: 方位标定为雷达站地理坐标标定, 方向标定为雷达天线真北值标定。雷达标定就是对天线法向(又称机械轴)或波束指向(又称电轴)的指向与地球正北方向进行直接或间接测量的过程。该过程一般是在雷达天线架设完成后, 仍被锁定的时候进行。雷达的标定对于地面雷达的正常工作起着很重要的作用, 是雷达指示目标的方位基准。一旦出问题, 即便雷达本身对目标的指示精度再高, 也

会使雷达对目标的指示位置出现问题, 严重时还会影响指挥部门对战情的判断和决策, 很可能决定一场战争的成败, 所以这个基准是非常重要的^[6-9]。

新研的某型指侦车, 由于定位定向设备与车载雷达不在同一系统, 直接采用传统的定位定向设备数据直接给雷达标定, 存在系统间误差, 严重影响了雷达标定精度。为解决车载雷达标定误差大的问题, 采用误差分析的方法, 对产生误差的源头制定针对相应措施, 提出一种简易的车载雷达方位标定误差修正方法, 采用自动标定的方法对自动标定误差进行修正。

1 某型指侦车的基本情况

某型指侦车具备“侦、指、打、评”一体化的作战能力, 实现专业兵种不间断指挥, 是我军新型指挥侦察自动化装备。车上配备有惯性导航装置和车载雷达, 其中惯性导航装置用于车辆寻北及导航, 实时自主确定位置坐标, 为车载雷达侦察赋予北向; 车载雷达由天线收发单元、方位随动单元、目标检测单元和雷达操控终端组成, 安装在升降调平平台上, 用于对敌方炮位和我方弹着点坐标测定、地面

收稿日期: 2023-05-19; 修回日期: 2023-07-05

作者简介: 刘中根(1974—), 男, 河南人, 硕士。

活动目标搜索跟踪等，车载雷达与惯性导航装置安装位置和工作信息流程如图 1 所示。

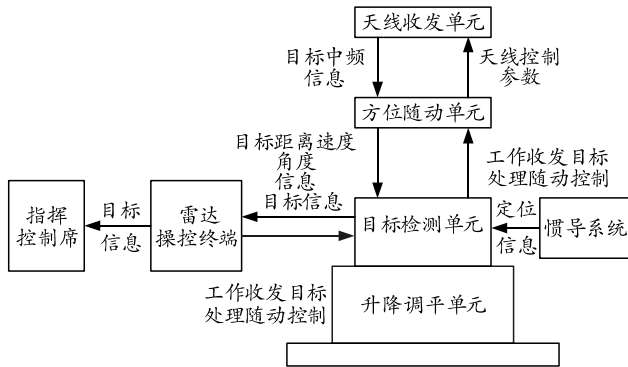


图 1 车载雷达与惯性导航装置安装位置和工作信息流程

2 传统的雷达方位方法

在民用领域或雷达使用要求不高的条件下，常采用陀螺寻北仪安装于雷达天线上的方法，对雷达进行标定。陀螺寻北是利用陀螺仪测得的地球自转角速度分量和加速度计测得的载体倾斜角度来确定载体方位角，即载体的轴向与正北的夹角。该方法的前提是天线的几何对称平面和天线的波束对称平面相重合，即机械轴与电轴一致，虽然天线加工和装配时有误差和变形，两者的方向存在偏差，无形中引入了一个系统偏差，但对于机动雷达来说是能够满足要求的，因为绝大多数天线的结构都是横向水平对称的，波束的形状也基本是中心对称的，理论上两者的对称中心平面在水平面上的投影是完全重合的，即天线的电轴和机械轴水平面上的投影是重合的。

传统的标定方法就是采用单个光学经纬仪标定出天线在锁定状态下的机械轴与地球正北的夹角，然后通过反复地进行寻北来调整陀螺电子寻北仪方向，最终使陀螺电子寻北仪的指向与天线法向一致。标定天线的机械轴与地球正北的夹角的原理，如图 2 所示。

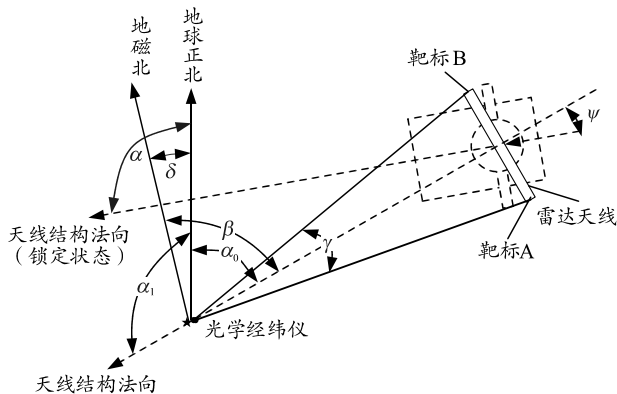


图 2 传统的陀螺寻北仪标定方法

传统标定方法的操作过程如下所述：

1) 将车辆调平，架设好天线，并锁定不使其转动，进行寻北，给系统赋初值。

2) 转动天线，通过经纬仪观察天线上 2 个结构对称的靶标：靶标 A 和靶标 B；当夹角 γ 最大时，利用光学经纬仪找到夹角 γ 的中心线（夹角 γ 的中心线即为天线的指向），测量出地磁北和天线指向的夹角 β 和当时状态下天线转动的角度 ψ 。

3) 查出当时的磁偏角 δ （即地球正北和地磁北的夹角）；那么 $\alpha_0 = \beta - \delta$, $\alpha_1 = 180 - \alpha_0$ 。

4) 最后得出天线在锁定状态下，天线结构法向与地球正北的夹角 $\alpha = \alpha_1 - \psi$ 。

5) 保证天线标定状态不变，进行寻北—根据寻北值调整陀螺电子寻北仪方向—再寻北—再调整—直到寻北数据与 α 值相等。

3 误差分析

经分析，对于某型指侦车车载雷达方位标定主要存在 2 个误差：

1) 雷达调平角度误差。指侦车配备有独立的定位定向设备，由于定位定向设备（固定在车体）与车载雷达两者不在同一系统中，在雷达调平的过程中，由于雷达平台间隙和自旋等原因，雷达天线单元相对于车体会产生一个转角，经仿真，在 5° 的斜坡下，该转角最大可达 1° ，直接采用定位定向设备的数据给雷达标定，存在系统间误差，严重影响了雷达标定精度；因此，有必要测量出车载雷达与车体的偏差角度，修正雷达初始状态真北值的相对准确值，从而进行标定。

2) 雷达标定误差。

4 误差修正设计

针对以上产生误差的分析，通过设计转角接口盒测量调平过程产生的角度，进行误差修正；通过改进标定方法，即观测目标点方法修正车体与雷达系统间误差。

4.1 转交接口盒设计

转角接口盒是一个在雷达调平时，测量雷达与车体相对转角量的设备，由可见光发射器、平面镜、CCD、计算单元等组成。如图 3 所示，可见光发射器（由 LED 光源盒产生 4 个光点）安装于雷达升降调平单元底部，当雷达与车体产生转角误差时，可见光光源通过平面镜反射到 CCD 感光面上的光斑位置会发生改变，计算单元通过光斑位置改变来计算

转角角度的大小，并通过 RS232 传送给雷达操作终端。

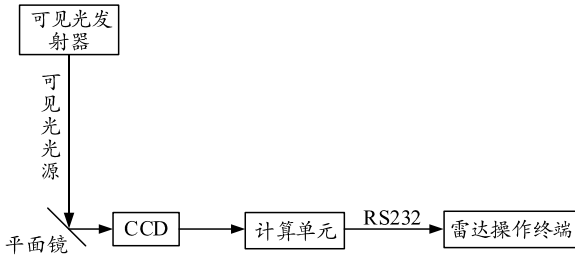


图 3 转角接口盒设计原理

雷达调平前，系统记录此时转角接口盒输出角度，记做 μ_1 ；雷达调平后，再次记录输出角度，记做 μ_2 ，则雷达调平后转角变化量 μ 为：

$$\mu = \mu_2 - \mu_1 \quad (1)$$

4.2 观测目标点消除误差方法研究

选定 3 个目标点 A、B、C，将车载雷达放置在目标点 A 处，如图 4 所示。

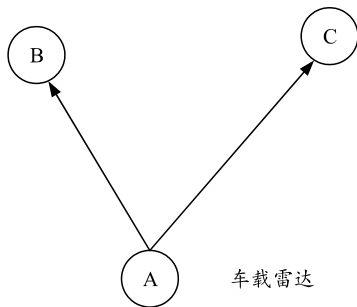


图 4 标准点 A/B/C 位置

打开雷达电源开关，开启雷达操控终端，架设雷达，首先采用车上定位定向设备数据对雷达进行标定，然后将雷达天线对准标准点 B，读取雷达码盘值（即雷达操控软件上显示的方位值），记作 α_1 ，通过标准点 A、B 两点间的地理坐标，计算出 A、B 两点的真北值，记作 α_2 。那么，雷达与定位定向设备间误差 α 为：

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (2)$$

将该误差 α 与定位定向设备提供的方位值做运算后，雷达重新进行标定；标定后，将雷达天线对准标准点 C，对误差 α 进行验证。

4.3 最终修正结果

结合 4.1 和 4.2 节内容，由式(1)得到雷达调平后转角变化量 μ ，由式(2)得到雷达与定位定向设备间误差 α ，定位定向设备输出的真北值记作 β 。

此时，雷达标定值 W 为：

$$W = \beta + \alpha + \mu \quad (3)$$

5 试验

在某型车定型试验时，采用笔者所述误差修正方法进行误差修正。试验过程如下：

- 1) 将车驻车在具有良好通视效果的水平阵地上；
- 2) 将车载雷达升起调平，注入雷达标定修正值 W 对雷达进行标定；
- 3) 转动雷达方位，对 2 km 处的目标车（车速 30 km/h）进行多次侦察；
- 4) 记录侦察结果；
- 5) 将车驻车在 5° 斜坡的阵地上，重复步骤 1)—4)；
- 6) 不采用雷达标定修正值的情况下，重复以上试验进行验证。

表 1 为车驻车在水平阵地侦察活动目标（采用标定修正值）的试验结果；表 2 为车驻车在 5° 斜坡阵地侦察活动目标（采用标定修正值）的试验结果；表 3 为车驻车在水平阵地侦察活动目标（未采用标定修正值）的试验结果；表 4 为车驻车在 5° 斜坡阵地侦察活动目标（未采用标定修正值）的试验结果。

表 1 水平阵地侦察（采用标定修正值）的试验结果

序号	修正值/mil	目标距离/km	误差值/mil
1	9.5	2.8	0.8
2	9.5	2.5	0.8
3	9.5	2.3	0.7
4	9.5	2.2	0.6
5	9.5	2.0	0.6

表 2 5° 斜坡阵地侦察（采用标定修正值）的试验结果

序号	修正值/mil	目标距离/km	误差值/mil
1	9.5	2.8	1.2
2	9.5	2.5	1.2
3	9.5	2.3	1.1
4	9.5	2.2	1.0
5	9.5	2.0	0.9

表 3 水平阵地侦察（未采用标定修正值）的试验结果

序号	修正值/mil	目标距离/km	误差值/mil
1	-	2.8	11.2
2	-	2.5	11.7
3	-	2.3	11.5
4	-	2.2	10.9
5	-	2.0	10.7

表 4 5° 斜坡阵地侦察（未采用标定修正值）的试验结果

序号	修正值/mil	目标距离/km	误差值/mil
1	-	2.8	16.6
2	-	2.5	16.2
3	-	2.3	15.5
4	-	2.2	15.2
5	-	2.0	14.8