

测量船基于标校经纬仪的雷达光轴动态标定方法研究

孙 昊 李志坚* 吴旭贤 姜永刚

(中国卫星海上测控部, 江阴 214431)

摘 要 通过对航天测量船船载雷达标定原理分析, 推导出基于标校经纬仪的雷达光轴标定计算公式, 并提出动态条件下船载雷达光轴标定的新方法。应用结果表明: 该方法具有较高的可信度, 能够解决动态情况下船载雷达光轴无法标定的技术难题, 极大地提高船载雷达测量精度, 具有一定的实际应用价值。

关键词 动态标定 船载雷达 标校经纬仪

中图法分类号 U665.22; **文献标志码** A

随着航天事业的飞速发展, 现代航天任务对测控站测量系统的测量准确度提出了很高的要求。与陆地雷达^[1]伺服系统相比, 测量船在海上受风浪等环境因素影响而不停地运动, 船载雷达^[2]随载体的运动也在不停地运动, 为了实现对目标飞行器的精确定轨, 船载雷达的测量精度显得尤为重要。

理想状态下, 雷达对目标进行跟踪测量时, 机械轴以大地坐标为基准, 以电轴对准目标, 伺服系统的光轴、电轴、机械轴三轴重合, 实现高精度测量。实际上, 由于传统工艺等缺陷, 天线的光轴、电轴、机械轴不可能完全重合。在现有标校方法中, 光轴已尽可能准确地与机械轴重合, 通常以光轴代替机械轴与电轴进行标校^[3]。因此, 光轴是雷达进行角度测量的基准, 如果光机偏差不稳定, 将直接带来角度测量误差。测量船执行海上测控任务出海时间长, 受海上动态环境影响, 雷达光轴是否会发生偏移, 缺乏检验的比对基准。针对这个问题, 本文提出了一种验证雷达光轴稳定性的新方法, 即通过雷达和经纬仪联合测星, 计算雷达光轴与经纬仪光轴之间的差值, 从而克服船摇带来的影响, 实现海上动态环境下的雷达光轴标定。

1 传统光轴标定方法

传统的光轴标定需要测量船进坞实施设备标校。坞内标校是让测量船进船坞坐墩, 使之静止不动, 并在船坞四周建立方位标、距离标、校准塔和大地测量基准点等标校设施, 以真地平和方位标的大地测量成果为基准, 对雷达设备进行全面地标校, 获得高精度的零位和轴系误差数据, 并归算到惯导甲板坐标系中。

1.1 船进坞坐墩

为简化标校方法, 便于使用现有标校工具, 使甲板坐标系接近地平坐标系, 应保证船进坞坐墩后的置平度在5角分以内。进坞坐墩的置平度取决于坞墩排列的水平度。因此, 在船进坞前, 应在坞底按测量船的底部形状排列坞墩, 并经过认真检查验收。在船进坞后, 应调整压载, 使船左右平衡, 并控制船艏艉线对准船坞中轴线, 然后再排水坐墩。在排水过程中, 应在全船基准平台上用两台水平仪连续监测船体的纵倾和横倾, 如发现大于5角分应重新坐墩。

1.2 大地测量

为提供各设备用的方位标数据(大地方位角、高低角和距离), 需在船坞周围确定三个基准点。

三个基准点应具有三等大地控制网精度,并应在船进坞前对它们进行大地联测。通过大地联测和平差计算获得三个基准点和六个方位标的大地测量成果资料。

船进坞当天各测量设备应按规定位置安装标志灯,并配合大地测量将标志灯调到各设备的方位旋转轴上。然后在某个基准点上,用全站仪观测该基准点到各设备标志灯的水平角、距离和高低角,解算获得各测量设备三轴中心的坐标数据,由坐标反算获得各方位标的大地方位角,由高程反算获得高低角。设备点所需的天文坐标和垂线偏差分量由基准点加测一等天文点后由该点大地归心求得。

需提供的大地测量成果为:各测量设备三轴中心的天文与大地经纬度、垂线偏差分量、正常高、高程异常及其到各方位标的大地方位角与高低角、天文方位角与高低角和斜距;天线望远镜光轴与测量电视光轴偏心于三轴中心的方位角与高低角改正数;经纬仪三轴中心到激光合作目标的距离等。

1.3 光机偏差标定

(1) 用反向法依次对各方位标进行测量,连续三个测回;

(2) 按下式计算望远镜及标校电视光机偏差 S_{bi} :

$$S_{bi} = (A_{\text{正}i} - A_{\text{倒}i} + 180^\circ) / 2 - S_{vi} \quad (\text{当 } 0^\circ \leq A_{\text{正}i} < 180^\circ);$$

$$S_{bi} = (A_{\text{正}i} - A_{\text{倒}i} - 180^\circ) / 2 - S_{vi} \quad (\text{当 } 180^\circ \leq A_{\text{正}i} < 360^\circ);$$

$$S_b = \sum S_{bi} / n, i = 1, 2, 3.$$

式中: S_{vi} 望远镜或标校电视光轴偏心于设备三轴中心的第 i 个方位标的方位改正数,由大地测量成果提供。

(3) 按下式计算光机偏差修正量:

$$\Delta A = -S_b \sec E.$$

式中:

ΔA —光机偏差对方位的修正量;

E —目标俯仰角测量值。

注:(1) $S_b > 0$ 表示光轴落后于机械轴;

(2) 若用反向法对“#”标校板对称光标进行测量,则 S_{vi} 。

2 联合测星新方法

测量船测量设备标校技术是海上测控技术的

重要组成部分。由于测量船长期出海,相对动态条件下缺乏相关技术对雷达光轴进行标定,从而不能检测设备的测量精度。因此提出“硬比较法”来评定雷达光轴设备的综合精度。所谓“硬比较法”是指选用测量精度更高的测量设备做比较标准设备,与被鉴定设备同时跟踪测量同一目标,然后按被鉴定测量设备的测量元素比较两者的测量结果,依此来获得被鉴定设备的系统误差和随机误差。测量船上,标校经纬仪作为测量船航向比对基准,安装于惯导平台正上方,与惯导平台固联,可视为刚体。它的指向精度达 $10''$,大大优于雷达的测量精度。因此,可以利用经纬仪和雷达光轴同时跟踪测量星体的方法^[4],对雷达光轴进行标定。

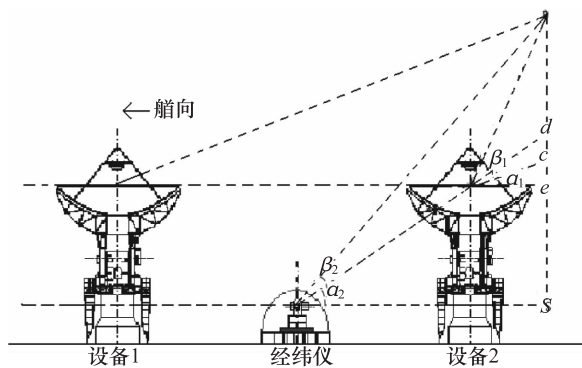


图1 船载雷达、经纬仪示意图

2.1 原理及公式

以设备2为例进行计算,设备1同理。

(1) 正常情况下,经纬仪到恒星之间的距离与雷达天线到恒星的距离相一致,距离无穷远,设备2和经纬仪联合测星,在光轴跟踪状态下,设备2天线的方位角、俯仰角与经纬仪的方位角、俯仰角近似相等。在惯导坐标系下,距离近似相等,设 α_1, β_1 为雷达天线坐标系中方位、俯仰角、 α_2, β_2 为经纬仪在坐标系中的方位、俯仰角。测星设备在零位统一的坐标系内;由于雷达设备与经纬仪设备之间本身存在一定的高度差,即: h 值固定,由上述条件可得:

$$\sin \beta_1 = \frac{sc}{sa}.$$

$$\sin \beta_2 = \frac{sd}{so}.$$

$$sc - sd = h (h \text{ 值等于 } 5 \text{ m}).$$

因为经纬仪与雷达到恒星之间的距离为无穷远,所以 $sa \approx so$ 即:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \beta_2; \\ \cos\alpha_1 &= \frac{ae}{ac} = \frac{ae}{sa} \times \sin\beta_1; \\ \cos\alpha_2 &= \frac{of}{od} = \frac{of}{os} \times \sin\beta_2.\end{aligned}$$

因为经纬仪与雷达天线在水平面的距离为固定值,即:

$$\alpha_1 = \alpha_2.$$

利用经纬仪从星库中引星^[5],雷达设备利用经纬仪的数引数据进行测星,读取各设备间的方位、俯仰值并记录;多次测星比较雷达与经纬仪方位、俯仰之间的差值,根据经纬仪的数据算取雷达设备的方位俯仰多次数据的平均值,即为雷达设备光轴的误差值。

(2) 实际设备 2 天线和经纬仪的光轴不可能与机械轴完全重合,根据大地测量成果,要叠加设备 2 天线和经纬仪的光机偏差。

雷达设备光轴出现偏差,造成零位误差。通过上式中算出的雷达设备方位、俯仰的平均值与经纬仪方位、俯仰的平均值进行比较,算出雷达的方位、俯仰误差。将误差值通过中心机装订进行修订以达到精确定轨的目的。

2.2 具体方法及步骤

(1) 在码头和海上进行惯导的不水平度和航向角偏差由 GJ—1104 经纬仪同步或准同步测星, GJ—1104 经纬仪解算获得。

前端机首先进行星表检索,建立使用星表文件;实时解算:星表文件、座标变换、船摇稳定计算、提供角数引导数据、终端计算机;前端机、数据处理机启动自动化测星程序,进行自动化拍星;用测量电视测出仰角在 $20^\circ \sim 65^\circ$ 方位间隔大体一致的 n 颗星,每颗星测 m 组数据,修正编码器零位,由甲板系坐标变换到地平系并进行变形、惯导的不水平度和航向角偏差修正,然后与理论位置比对。

(2) 自动化测星标校方法及步骤:

① 标校经纬仪、设备 1 和设备 2 的设备微机启

动自动化测星标校程序;

② 根据各设备标校电视测星最低星等的能力,选择比最低星等稍亮且方位角在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 、俯仰角在 $20^\circ \sim 60^\circ$ 之间、四个象限均匀分布的星,装订测星时间和坞内各设备大地测量成果提供的天文经纬度,自动生成观测星表、蒙气差表和气温变差乘数的改正系数表;

③ 在时统控制下,由设备微机引导各设备完成自动化测星工作,每次测 30 颗星;

④ 各设备微机启动测星解算程序,按各设备的误差模型解算出各设备的零值和轴系误差,并与坞内常规标校结果比对,检验鉴定静态条件下自动化测星程序的正确性和测星精度。

经纬仪与雷达联合测星,经纬仪的指向精度 $\sigma_A, \sigma_B \leq 10''$; USB 天线的指向精度 $\sigma_A, \sigma_B \leq 72''$ 。由于经纬仪光轴的稳定性比雷达高,因此在动态环境下通过经纬仪标校雷达光轴的准确性从而验证电轴的稳定性,达到雷达的精确定轨。

3 结束语

通过雷达和经纬仪联合测星法,可以克服船摇带来的影响,实现了海上动态环境下的雷达光轴标定。此方法不受外界环境限制,可以随时对雷达系统进行精度检验,为雷达能以更高的精度要求参战打下良好技术指标基础。同时,利用方法可实现对雷达光轴的长期检测、监视,为测量船积累宝贵数据。

参 考 文 献

- 1 杨斌峰. 地面测控雷达角度标校技术. 现代电子技术, 2005; (17): 47—52
- 2 谢君虹,靖军红,朱爱红,等. 新型舰船雷达标校系统的同步研究. 火力与指挥控制, 2010; (09): 181—183
- 3 钟德安,张同双,李晓勇,等. 基于标校经纬仪的测量船坞内标校新方法. 无线电工程, 2009; (07): 49—52
- 4 袁诚宏,朱晓峰,陈 健,等. 基于联合放球的船载雷达角度零值标校方法. 飞行器测控学报, 2009; (04): 20—23
- 5 张光明,王建军,郭丽虹. 经纬仪的自动星体标校. 光学精密工程, 1999; 7(4): 91—95

The Calibration of Radar Axis Based on Theodolite under the
Dynamic Condition in TT&C-ship

SUN Hao, LI Zhi-jian^{*}, WU Xu-xian, JIANG Yong-gang
(China Satellite Marine Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214431)

[Abstract] The essay analyses the calibration theory of carrier radar axis in TT&C-ship, conducts the expressions of radar axis based on theodolite. At the same time, a new calibration method of carrier radar axis is introduced. The trial result indicates that the technique has high reliability. It can resolve the calibration of radar axis under the dynamic condition and data acquired is meeting measurement of high efficiency. Therefore, it has some actual application value.

[Key words] dynamic calibration carrier radar theodolite

(上接第 8076 页)

The Numerical Simulation of Horizontal Displacement in
Underground Diaphragm Wall Based on ANSYS

HOU Ming-xun¹, FANG Ying-guang^{1,2*}, HU Gui-xian¹, GU Ren-guo^{1,2}
(School of Civil Engineering and Transportation¹, State Key Laboratory of Subtropical
Building Science², South China University of Technology, Guangzhou 510641, P. R. China)

[Abstract] According to the monitoring data of the underground diaphragm wall in an actual project, the FEA model of the underground continuous wall based on the general-purpose finite element software ANSYS is established, to simulate the horizontal displacement in the process of excavation of pit. Then by comparing the calculation data with the monitoring ones, the method and applicability of ANSYS in simulating underground diaphragm wall structure is analyzed.

[Key words] ANSYS underground diaphragm wall monitoring values numerical simulation

(上接第 8083 页)

Short Tower Cable-stayed Bridge Static Load Experiment Analysis

LUO Ting
(South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China)

[Abstract] An example of Shawan Bridge static load experiment has been shown to introduce a general way of Short Tower Cable-stayed Bridge static load experiment. Midas/Civil software of bridge engineering is used to establish bridge model to simulate the various stages of the experiment, calculate theoretical parameter and compare it with the measured value. It contributes to the design and construction of short tower cable-stayed bridge or similar structure.

[Key words] static load experiment Midas/Civil short tower cable-stayed bridge