

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.03.07

船舶装备安装基准相对姿态测量系统研究

王爱军, 何小妹, 李昆, 王一璋

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 介绍一种船舶装备安装基准相对姿态测量系统, 阐述了系统的各部分组成。对测量系统进行了精度测试, 并进行了数据补偿, 对补偿前后测试精度的比对结果表明, 经补偿后系统具有良好的测试精度。测量系统能够实时测量两个运动平台的相对姿态, 上位机软件具有实时显示、实时监控、测量数据自动存储功能。

关键词: 船舶装备; 基准; 相对姿态; 测量系统

中图分类号: TB922; TH712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795 (2016) 03-0028-03

Study on Relative Attitude Measurement System for Ship-equipment Installation Reference

WANG Aijun, HE Xiaomei, LI Kun, WANG Yizhang

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: A relative attitude measurement system for warship weapons reference is introduced in this paper, the composition of the system is described. The measurement system is precisely tested, and data compensation is made. The test accuracy, after compensation, is better than before. The measurement system can measure the relative attitude of the two platforms in real time, and the PC software has the function of real-time displaying, monitoring and automatic saving of measurement data.

Key words: ship-equipment; reference; relative attitude; measurement system

0 引言

船舶装备(精密电子装备、雷达天线等导航装备、火控装备等)安装基准相对姿态定义为其相对于船舶测量参考水平基准在船舶艏艉方向的横倾角和肋骨方向的纵倾角。船舶装备在安装时需保证装备安装基准相对于船舶测量参考水平基准的横倾角和纵倾角在合理的范围,但随着时间和环境的变化,由于磨损、振动、颠簸、船体的局部变形等原因都将引起装备安装基准相对姿态改变,造成和船体测量参考水平基准相对姿态间的失调,从而影响装备精度和使用效果,降低装备效能的发挥。因此有必要对两个基准的相对姿态进行测量与实时监控,一旦超出允许范围,应及时进行修正。

船舶装备安装基准通常安装在船体的最上层甲板上,而船舶测量参考水平基准则位于船体的最下层甲

板中心处,两者之间受到多层甲板、楼梯、房屋等障碍物的隔断。目前测量方式基本上采用电子水平仪进行差分测量,存在的问题是:只能在船舶停泊时进行测量,测量范围小,静止状态下测量,测量距离短等。船舶在海上航行中,船体的摇摆角会超出水平仪量程使得水平仪无法进行测量与监测,因此,亟需一种专用测量系统进行准确测量^[1-3]。

1 测量系统总体设计

测量系统由两路双轴正交测角装置、一套数据收发终端和上位机及测量软件组成,见图1。两路双轴正交测角装置分别安装于船舶装备安装基准和船舶测量参考水平基准,负责采集两个基准在船舶艏艉方向和肋骨方向的角度信息。数据收发终端接收两路测角装置采集的角度信息,与测角装置通过RS485或无线传输通讯,收发终端接收的两路装置角度信息通过USB传输给上位机,上位机软件负责采集并计算两路测角装置在船体艏艉方向与肋骨方向的角度差值并实时显示。

收稿日期: 2016-04-21; 修回日期: 2016-04-30

基金项目: 装备技术基础科研合同项目(HK30420141JL11)

作者简介: 王爱军(1984-),男,硕士,工程师,从事几何量计量科研工作。

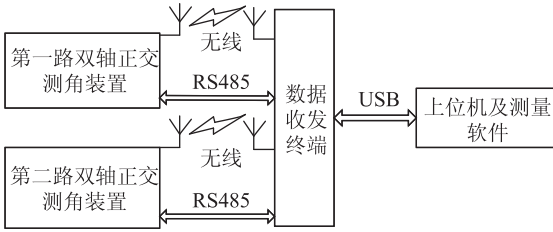


图1 测量系统组成

2 分系统设计

2.1 测角装置

测角装置是整个角度测量系统的核心，实现姿态信息采集与发送，两路测角装置结构相同，每一路测角装置均由两支单轴倾角传感器、传感器安装机构、供电模块、微处理器、RF 射频模块和 RS485 串口组成，如图 2 所示。

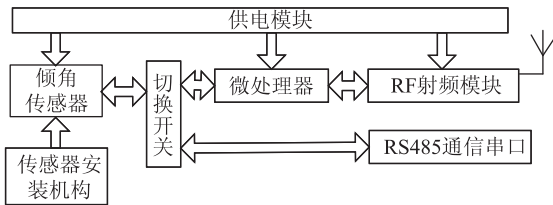


图2 测角装置结构组成

倾角传感器采用 ZEROTRONIC 单向测量传感器，可在多种环境条件下对不稳定的物体或低速移动的物体角度或倾斜度测量。选用传感器量程 $\pm 60^\circ$ 。每套传感器安装机构安装两支传感器，实现两支传感器水平正交布置，且保证两支传感器与测量底面平行。

倾角传感器角度信息通过有线数据传输和无线数据传输进行数据传送。两种模式通过设置切换开关实现功能切换，根据现场的环境及使用条件进行传输方式选择。无线数据传输要求数据传输稳定可靠，能够适应舰船舱外舱室之间有障碍物的环境下正常通信，传输距离能够满足 100 m 使用要求，且要求有极低的静态功耗和较低的工作功耗。故系统采用基于 ZigBee 协议的无线数据通信模式，系统工作频率 2.4 GHz。系统由微处理器为核心的 MCU 控制器和 RF 射频芯片组成，数据发送时，微处理器通过 SPI 总线向 RF 写入控制命令及所需发送的数据，RF 通过天线发送；接收时，微处理器通过 SPI 总线读取 RF 的工作状态，获取芯片相关信息及接收到的数据。从而实现数据的发送与接收。供电模块包含内置式密封高能锂电池为倾角传感器和整个电路提供电源。

2.2 数据收发终端

测角装置角度信息通过数据收发终端进行采集，结构组成如图 3。RF 射频模块 1 与第一路测角装置 RF 射频模块配对共同完成对第一路测角装置角度信息发送接收；RF 射频模块 2 与第二路测角装置 RF 射频模块 2 配对共同完成对第二路测角装置角度信息发送接收；微处理器负责整个无线通信系统中各个模块控制，接收传感器角度信息，向各传感器发送询问信息，设置传感器的工作方式，进行温度补偿，与上位机通信；RS485 通信串口 1、串口 2 分别连接第一路测角装置、第二路测角装置，实现在有线数据模式下数据传输；数据终端也内置了一个密封式高能锂电池，实现在没有外接电源的情况下对整个电路提供电源。

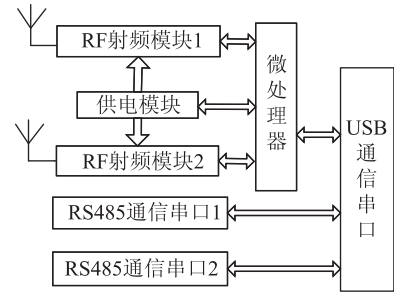


图3 数据收发终端结构组成

2.3 测量软件

测量软件实现对数据收发终端接收的数据显示、差分、存储、自动监测。包括 3 个功能模块，软件初始化设置、数据采集及计算、数据显示与存储。软件初始化设置对传感器通讯串口、波特率、记录文件保存路径等进行设置，数据采集及计算实现对两路测角装置的四路传感器数据进行采集与差分计算，软件能够实现数据手动与自动采集。手动采集时，点击软件读数按钮即可采集当前四路角度信息，并计算出 X、Y 方向上的角度差值即装备安装基准相对于船舶测量参考水平基准的相对姿态。自动采集时，依据要求设定采样周期，软件将按照设定的采样周期进行角度信息的采集，并将采集的数据保存在先前设置的 EXCEL 文件中，实现对装备安装基准相对于船舶测量参考水平基准姿态的实时监测。

3 测量系统精度测试

3.1 测试方法

为验证测量系统的测角精度，采用三轴转台对两路测角装置 X 轴和 Y 轴角度精度进行比对测量。首先将第

一路测角装置固定于三轴转台内框，旋转内框使第一路测角装置的Y轴与三轴转台中框回转轴平行，在±60°范围内，旋转转台中框，每隔10°记录测角装置X轴的角度值，重复测量三次记录测量数据，完成X轴数据采集，将转台内框旋转90°此时第一路测角装置的X轴与三轴转台中框回转轴平行，旋转转台中框，每隔10°记录测角装置Y轴的角度值，重复测量三次记录测量数据，完成Y轴数据采集。同理，将第二路测角装置安装于转台内框，按上述测量方法，完成第二路测角装置X轴、Y轴数据的采集。由记录的数据对两路测角装置测量精度与测量重复性进行分析，通过计算测量值与标称值差值，分析装置测量精度，通过计算三次测量数据之间的极差值分析装置的测量重复性。

3.2 测量精度与重复性分析

以测角装置角度偏差值为纵坐标，角度标称值为横坐标，建立坐标系，则两路测角装置三次测量的X轴、Y轴角度偏差曲线如图4、图5所示。

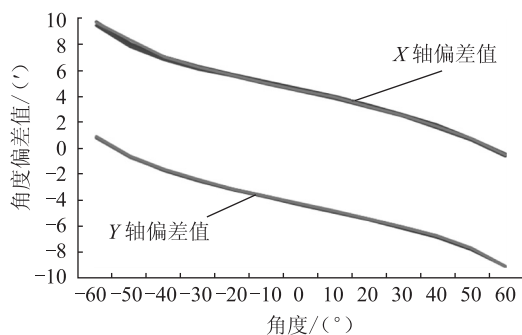


图4 第一路测角装置三次测量X轴Y轴角度偏差曲线

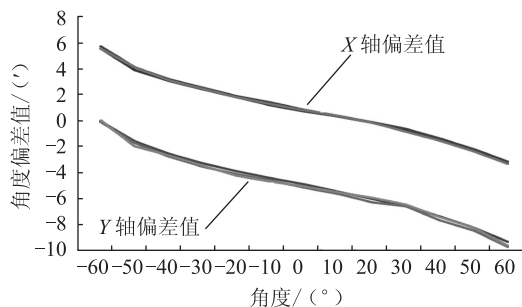


图5 第二路测角装置三次测量X轴Y轴角度偏差曲线

由图4、图5可知，第一路测角装置与第二路测角装置X轴、Y轴角度偏差值基本呈线性变化。第一路测角装置在-60°时X轴角度偏差有最大值9.6′，在60°时Y轴角度偏差有最小值-9.6′；第二路测角装置在-60°时X轴角度偏差有最大值6′，在60°时Y轴角度偏差值有最小值-9.6′。此外，由图4、图5可知，两路测角装置

三次测量偏差曲线基本重合，说明测角装置具有良好的重复性。第一路测角装置X轴角度偏差三次测量最大最小值之差为0.3′，Y轴三次测量最大最小值之差为0.12′，第二路测角装置X轴三次测量最大最小值之差为0.18′，Y轴三次测量最大最小值之差为0.3′，故两套测角装置角度偏差的测量重复性均在0.3′内。

3.3 数据补偿与精度验证

由上分析可知，测角装置偏差基本呈线性变化且具有良好的重复性，可对测量系统进行数据补偿。方法是对三次测量数据取平均值，并计算平均值与标称值的偏差。以标称值为横坐标，求得的偏差值为纵坐标，建立坐标系，对偏差值进行线性最小二乘拟合，求得第一路测角装置与第二路测角装置X轴、Y轴拟合曲线，求得的曲线作为补偿曲线，进行实时补偿。

为验证数据补偿精度，补偿后对装置进行测试验证，并与未补偿前数据进行比对，如图6、图7所示，数据补偿后，偏差值远小于未进行补偿前偏差值，且各条曲线呈线性变化，说明该补偿是合理的。第一路测角装置在60°时X轴角度偏差最大，偏差值为0.8′，在60°时Y轴角度偏差也最大，偏差值为1.2′；第二路测角装置在60°时X轴角度偏差最大，偏差值为0.72′，在60°时Y轴角度偏差也最大，偏差值为1.2′。

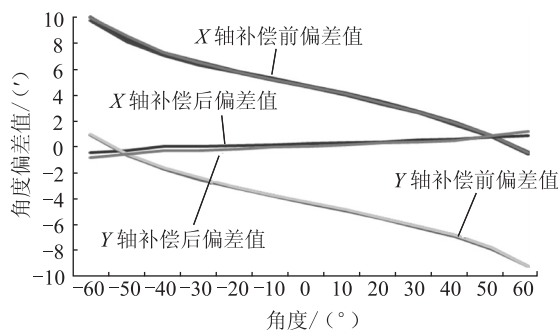


图6 第一路测角装置X轴Y轴补偿前后数据比对

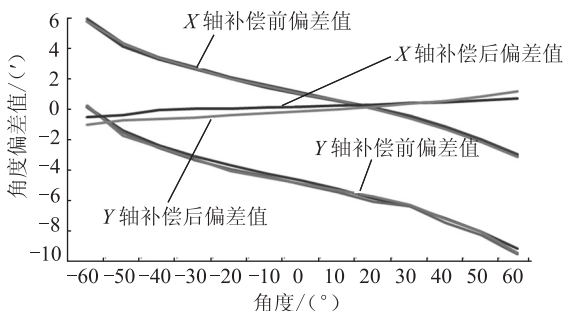


图7 第二路测角装置X轴Y轴补偿前后数据比对

描频率使用需求目前最高为 250 Hz, F-P 滤波器为国外进口, 价格昂贵, 其极限扫面频率一般为 1~2 kHz, 在较高频率下使用易损坏, 所以实际验证实验以仪表产品为例, 只做了 250 Hz 频率下信号采集。

理论上, 依照仿真设计, 改进后的电路结构在驱动 F-P 腔滤波器时, 工作在 2 kHz 高频情况下, 三角波驱动电压的非线性等问题均可解决。

4 结束语

本文主要从电路部分分析研究了 F-P 滤波器做为容性负载带来的典型问题, 并详细介绍了如何解决在高频情况下驱动 F-P 腔所出现的振铃以及三角波非线性问题。电路设计中选用了 OPA552 芯片及接入三极管的方法, 采取适当的连接方式, 消除了 2 kHz 频率

下系统存在的以上问题。

参 考 文 献

- [1] 吕超, 焦斌亮. 运算放大器容性负载驱动问题及其解决方法 [J]. 电子技术, 2008, 45 (2): 77-80.
- [2] 电子开发网综合技术. 运算放大器应用设计的几个技巧 [EB/OL]. [2015-12-12]. www.dzxf.cn, 2007.
- [3] Varadan V K, Varadan V V. Wireless Electro-optic Switching Network for Optical Fiber Sensor Array Using MEMS-IDT Devices [J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1999, 22: 131-135.
- [4] 孙传友, 孙晓斌, 汉泽西, 等. 测控系统原理与设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 5-17.
- [5] 肖忠祥. 数据采集原理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003: 52-53.



(上接第 30 页)

3.4 测角装置性能比对

上述对两套测角装置测角精度分别进行了分析, 理论上若两套测角装置结构完全相同且在转台上安装位置完全一致, 则对任意位置的测量结果应一致, 但由于传感器自身误差, 测角装置误差、测角装置在转台上安装引起的安装误差的存在, 两套测角装置对同一位置的测量结果不一致, 图 8、图 9 给出了两套测角装置在转台同一安装位置下不同 X 轴、Y 轴测量值与标称值差值的变化曲线, 图中两条曲线变化趋势趋于一致, 呈现同时增大同时减小。在 -40°, 30°, 40°, 50°, 60°位置点两路测角装置测得的 X 轴数据差异值最大, 为 0.12'; 在 -40°测量角度时, Y 轴数据差异值最大, 为 0.24'。产生不一致原因即为上述分析的各种误差影响的结果。

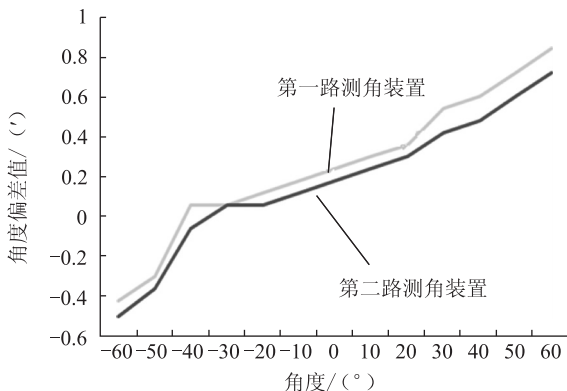


图 8 两套测角装置 X 轴测试数据偏差曲线

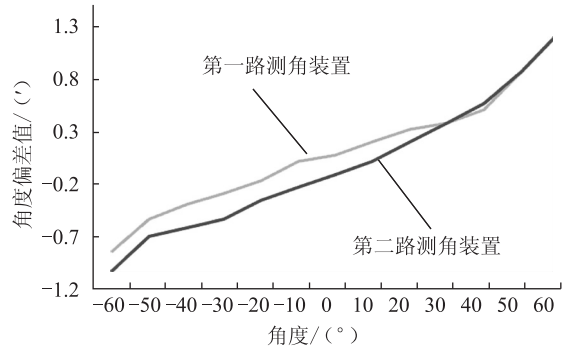


图 9 两套测角装置 Y 轴测试数据偏差曲线

4 结论

研制的船舶装备安装基准相对姿态测量系统测角范围为±60°, 最大测角误差为 1.2', 具有安装简单、使用方便、测量效率高等优点。其既可以满足船舶电子装备、雷达天线导航装备、火控装备安装基准在船舶甲板安装过程中的姿态测试需要, 也可用于船舶装备使用过程中基准相对姿态的周期校准和长期稳定性监测。

参 考 文 献

- [1] 施建荣, 施诗, 张燕论. 舰船装备倾斜和摇摆环境适应性与试验 [J]. 装备环境工程, 2011 (8): 41-44.
- [2] 程树昌, 杨绍清. 舰载武器系统水平度检测与校正新方法模型 [J]. 火力与指挥控制, 1996, 21 (3): 73-76.
- [3] 丁德勇, 康邴, 王五成. 水面舰艇电子装备基座水平度的检验与修正 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26 (6): 70-73, 83.