

基于光学测量手段实时动态测量 船体水平姿态

马庆坤^{1,2}, 乔彦峰^{1*}, 王晓明¹, 高慧斌¹, 安雪晶³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 辽宁机电职业技术学院 信息工程系, 辽宁, 丹东 118009)

摘要:针对测量船传统实时水平测量方法精度较低($\geq 10.0''$)的问题,引入了基于光学测量手段的动态实时船体水平姿态测量方法。采用“光学编码精密测角+惯性同步复示平台+水平误差检测工具”的设计模式,保证了跟踪的稳定性,提高了测量精度。实验结果表明:提出的方法可以提供比传统惯导系统更稳定、精度更高(纵摇 $5.37''$,横摇 $3.60''$)的船体水平姿态数据;可以作为一种普遍适用的运动载体精密水平测量监测手段,为运动载体实时提供高精度的水平基准信息,或用于运动载体惯导水平精度鉴定等。

关键词:测量船;水平测量;动态实时测量;PXI总线

中图分类号:U674.82; P221 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/CO.20120502.0189

Real-time measurement of dynamic horizontal attitudes of ships based on optical method

MA Qing-kun^{1,2}, QIAO Yan-feng^{1*}, WANG Xiao-ming¹, GAO Hui-bin¹, AN Xue-jing³

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *Department of Information Engineering, Liaoning Jidian Polytechnic Institute, Dandong 118009, China)*

* *Corresponding author, E-mail: qiaoyf@ciomp.ac.cn*

Abstract: In order to solve the problem of low accuracy (≥ 10 arcsec) in traditional real-time horizontal measurement methods, this paper introduces a new real time measurement method for the dynamic attitudes of a survey ship based on optical measurement. The model of “precise optical angle encoder measurement + inertia synchronous duplex platform + horizontal attitude error detection tool” is designed to ensure the tracking stability and to improve the measurement accuracy. Experimental results show that this method can provide more stable attitude data of the survey ship with greater precision (pitch: 5.37 arcsec, rolling: 3.60 arcsec) than those of the traditional Inertial Navigation System (INS). As a universal standard of precise measurement for moving carriers, this design can provide accurate real-time level of baseline information, or the accuracy

收稿日期:2011-12-11;修订日期:2012-01-13

基金项目:国防科技预研基金资助项目(No. 1040603)

level for INS accreditation of moving carriers.

Key words: survey ship; horizontal measurement; dynamic real-time measurement; PXI bus

1 引言

远洋航天测量船作为移动式海上测控站,在我国已经具有30年的应用历史,期间船载各类设备都经过了多次更新换代。随着卫星全球导航技术的发展、电视白天测星能力的提高、静电陀螺监控器的应用及设备综合标校技术的进步,基于惯性导航技术的船位船姿测量系统作为全船的精度基准,其导航的位置精度、航向精度都已有了很大提高,但是如何为远洋航天测量船建立动态实时精密的水平测量基准,一直是困扰人们的技术难题。

测量船在运动状态下主要包括3个状态变化:位置平移(前后、左右、上下)、姿态旋转(航向、纵摇、横摇)、结构变形(艏挠、纵挠、横扭),其中纵摇、横摇、纵挠、横扭4个分量与水平有关。其在坞内静态情况下,以大地水平作为标校基准,在水上船摇情况下,以惯导水平姿态数据作为水平参考基准。

目前,国内静态环境水平测量主要依赖各类水平(倾角)测量仪器,虽然测量精度很高(误差 $\leq 1.0''$),但都只适合于静态测量环境。动态环境水平测量主要依赖各种惯性测量元件,虽然适合动态环境使用,但其测量精度普遍不高(误差 $\geq 10.0''$)。

本文参照冯小勇2009年申请的发明专利^[1],提出了以当地大地水平作为绝对水平参考标准的单测量点水平测量体制。采用“光学编码精密测角+惯性同步复示平台+水平误差检测工具”的设计方案,用光学编码精密测角法测量被检基面与惯性同步复示平台之间的夹角,用水平误差检测工具测量惯性同步复示平台与大地水平之间的夹角。

2 工作原理与系统设计

本方案以运动载体(远望测量船)惯导系统

的50 Hz船姿数据(R, P)为引导源,采用24位光电轴角编码器为测角反馈器件,取大地水平位置作为基准,通过精密的光机电系统进行实时水平度测量^[2],很好地解决了运动载体实时精密水平测量的相关问题。

2.1 工作原理

在实际工作过程中,探测装置通过安装基座与被检基面(惯导机座、雷达机座、船体甲板等)连接,水平误差检测工具安装在复示平台上,在复示平台纵轴两端和横轴两端分别装有驱动电机与测角元件。平台水平误差检测工具是保证系统总体测量精度是否满足要求的关键部件。

本方案将实时自准直测微平行光管作为平台水平误差检测工具,并将自准直测微平行光管光轴方向竖直向下安装在惯性同步复示平台上。利用从自准直测微平行光管像面处安装的面阵CCD采集到的图像,实时检测被检基面处安装的液浮平面反射镜表面(绝对大地水平基准)反射得到的光管星点像的偏移情况,从而求得复示平台相对于绝对大地水平基准的转角偏移。水平误差检测原理如图1所示。

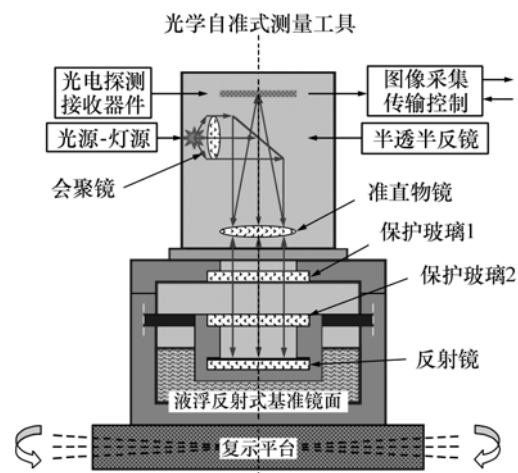


图1 水平误差检测原理图

Fig. 1 Schematic diagram of horizontal error detection

2.2 光机系统设计

探测装置主要由惯性同步复示平台和水平误

差检测工具两部分组成,如图 2 所示。

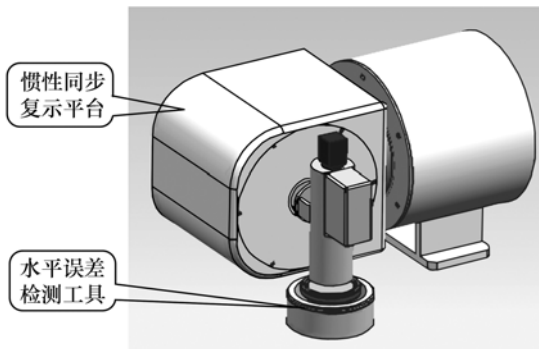


图 2 探测装置三维示意图

Fig. 2 Three-dimensional diagram of detection devices

惯性同步复示平台是系统跟踪目标的执行机构,主要完成设备视轴指向的精密测量;复示平台由垂直相交的纵摇轴系和横摇轴系组成,纵摇轴和横摇轴上分别装有精密 21 位绝对式轴角编码器和力矩电机,如图 3 所示。

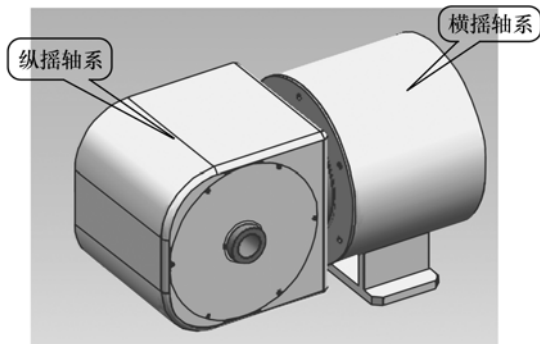


图 3 复式平台三维布局示意图

Fig. 3 Schematic three-dimensional layout of duplex platform

水平误差检测工具是测量惯性同步复示平台水平倾斜量的精密检测机构,主要由自准直测微平行光管^[3]、液浮水银反射镜和电动置中拨叉等部分组成,整体安装于惯性同步复示平台之上,如图 4 所示。

将实时自准直测微平行光管作为平台水平误差检测工具^[4],并将自准直测微平行光管光轴方向竖直向下安装在惯性同步复示平台上。利用来自准直测微平行光管像面处安装的面阵 CCD 采集到的图像,实时检测被检基准平面处安装的液浮水银反射镜表面(绝对大地水平基准)反射得

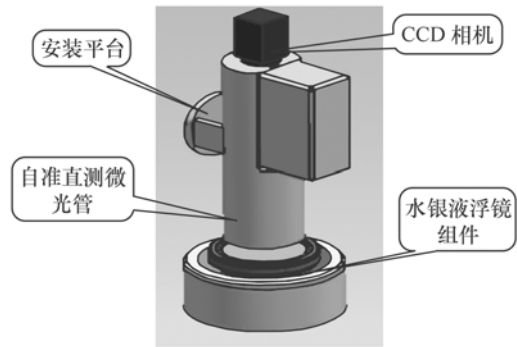


图 4 水平误差检测工具三维模型图

Fig. 4 Three-dimensional model horizontal error detection tool

到的光管星点像的偏移情况,从而求得复示平台相对于绝对大地水平基准的转角偏移。

2.3 电控系统设计

电控系统主要功能为:实时接收惯导系统船姿数据,以此数据为引导源驱动复式平台的方位、俯仰电机进行数引跟踪;同时,图像处理系统实时(20 Hz)采集目标图像、提取脱靶量信息,经滤波等处理后转化成水平误差信息,实时发往惯导系统,进行实时船姿数据修正。

电控系统完全采用货架产品,分系统即不同板卡之间的供电、通讯、同步通过 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)总线来进行^[5],因而电磁兼容性好、结构简洁紧凑、易扩展、易安装、易维护^[6]。电控系统集成后的外观如图 5 所示。



图 5 电控系统外观图

Fig. 5 Appearance of electric control system

3 实验过程及结果分析

3.1 实验过程

电控系统通过网口接收惯性导航系统的姿态

数据(纵摇 ψ 、横摇 θ)作为复示平台的实时引导信息^[7],通过数据总线发送给运动控制卡,驱动两轴电机,使复示平台同步跟踪惯性平台。CCD相机实时采集图像(10 Hz),发往电控机箱的图像处理卡,通过对图像的实时判读,提取脱靶量并将其通过总线传给综合控制卡,将数据封包通过网络向外发送,同时将脱靶量数据量化并与编码器数据融合后和接收到的惯导数据同时记录,以便比较。

3.2 结果分析

考虑到测量数据中包含振动、电噪声等干扰^[8],首先对测量数据进行快速傅里叶变换(FFT)^[9],然后与惯导数据进行比较。横摇曲线比较如图6所示,纵摇曲线比较如图7所示。

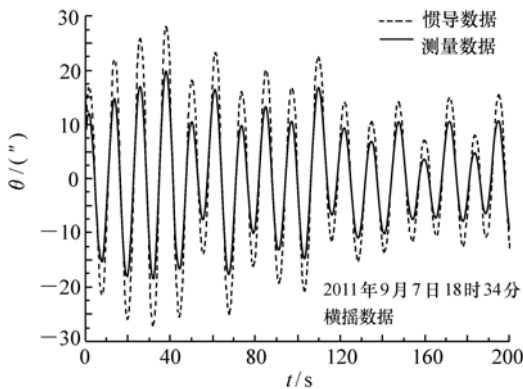


图6 横摇数据曲线比较

Fig. 6 Comparison of roll data curves

对测量数据分析可知,测量数据与惯导数据高度契合;在去除船姿数据的模型误差及震动等噪声误差后,将测量值与真值进行比较,解算出测

参考文献:

- [1] 冯小勇. 运动载体实时精密水平测量方法:中国,200910046330.3[P]. 2010-04-21.
FENG X Y. Real-time precision horizontal measurement method for motion carrier; CN,200910046330.3[P]. 2010-04-21. (in Chinese)
- [2] 张志远,罗国富. 舰船姿态坐标变换及稳定补偿分析[J]. 舰船科学技术,2009,31(4):34-40.
ZHANG ZH Y, LUO G F. Coordinate transformation of warship pose and analysis of stabilization compensation[J]. *Ship Sci. Technology*, 2009, 31(4): 34-40. (in Chinese)
- [3] 杨振,李广云,黄桂平. 基于自准直的立方镜姿态测量方法研究[J]. 宇航计测技术,2010,56(2):14-17.
YANG ZH, LI G Y, HUANG G P. Research on attitude measurement method of cubic prism based on auto-collimation[J]. *J. Astronautic Metrology and Measurement*, 2010, 56(2): 14-17. (in Chinese)
- [4] 黄祥,吴年祥. 基于PSD的光电自准直仪角度测量系统研究[J]. 制造业自动化,2011,33(11):39-41.
HUANG X, WU N X. The research photoelectric autocollimator angle measurement system based on PSD[J]. *Manufactur-*

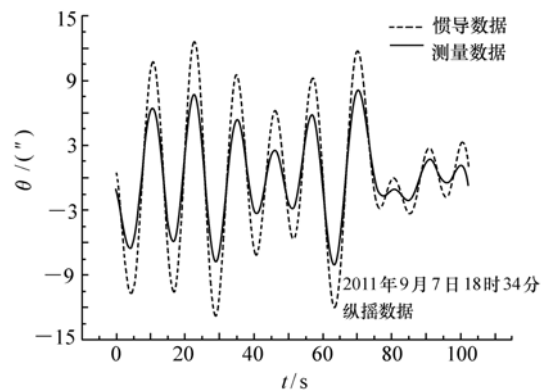


图7 纵摇数据曲线比较

Fig. 7 Comparison of pitch data curves

量精度为纵摇 $5.37''$,横摇 $3.60''$,均优于传统惯导系统水平测量精度。因此,本系统测量数据可作为动态实时精密水平测量基准提供给惯导系统进行实时船姿修正,从而提高测量船的整体测量精度。

4 结论

本文介绍了通过光学测量手段实时动态测量船体水平姿态的新方法,提出了具体设计方案,并以某型号远洋测量船为平台进行了外场试验。

对实验数据的分析显示,本方案作为一种远洋测量船水平度实时精密测量手段,可以为运动载体(车载、船载光测设备)提供高精度实时水平姿态误差;因其与传统惯导系统相比具有更高的测量精度(纵摇 $5.37''$,横摇 $3.60''$),可用于惯导系统水平精度鉴定。

- ing Automation*,2011,33(11):39-41. (in Chinese)
- [5] 霍志,刁节涛,李清江. 基于PXIE总线的高速CCD数字图像采集系统设计[J]. 现代电子技术,2011,34(14):88-92.
HUO ZH,DIAO J T,LI Q J. Design of high-speed CCD digital image collecting system based on PXIE bus[J]. *Modern Electronic Technique*,2011,34(14):88-92. (in Chinese)
- [6] 曹晖,毕建峰. 基于PXI总线的实时综合测试系统研究[J]. 上海航天,2011,38(3):64-68.
CAO H,BI J F. Research of PXI-based real-time integrated measurement system[J]. *Aerospace Shanghai*,2011,38(3):64-68. (in Chinese)
- [7] 宋连龙,陈虹丽. 舰船姿态运动的自适应实时预报及其应用[J]. 船电技术,2005,25(4):40-42.
SONG L L,CHEN H L. Real-time self-adaptive prediction system and its application on ship attitude motion[J]. *Marine Electric Electronic Technology*,2005,25(4):40-42. (in Chinese)
- [8] 易东云,吴孟达. 船姿数据的模型误差与噪声误差分析[J]. 导弹与航天运载技术,1998,232(2):41-44.
YI D Y,WU M D. Analysis for model error and noise error of ship posture data[J]. *J Missiles and Space Vehicles*,1998,232(2):41-44. (in Chinese)
- [9] 王恒,李永刚,陈亮. 测量船船摇前馈数据处理方法研究及应用[J]. 飞行器测控学报,2011,30(2):64-69.
WANG H,LI Y G,CHEN L. Processing of the shaking feedforward data of space instrumentation ships[J]. *J. Spacecraft TT&C Technology*,2011,30(2):64-69. (in Chinese)

作者简介:马庆坤(1981—),男,河南沈丘人,硕士研究生,主要从事实时控制软件和虚拟仪器软件方面的研究。

E-mail:markingkun@163.com

乔彦峰(1962—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事光电测量、光电瞄准、光电测控技术方面的研究。E-mail:qiaoyf@ciomp.ac.cn

王晓明(1984—),男,吉林长春人,博士研究生,主要从事光电经纬仪结构设计及光电测量技术方面的研究。E-mail:wangxiaoming316@yahoo.cn

高慧斌(1963—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事光电测控系统集成、跟踪伺服控制技术方面的研究。E-mail:gaohuibin@163.com