



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104296908 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201410545398.7

审查员 张超然

(22)申请日 2014.09.29

(73)专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区一
匡街2号哈尔滨工业大学科学园E2栋

(72)发明人 王常虹 夏红伟 马广程 王月明
杨立峰 刘飞

(51)Int.Cl.

G01L 3/00(2006.01)

(56)对比文件

GB 2002525 A,1979.02.21,

CN 103234512 A,2013.08.07,

CN 102829908 A,2012.12.19,

CN 104006787 A,2014.08.27,

CN 103868648 A,2014.06.18,

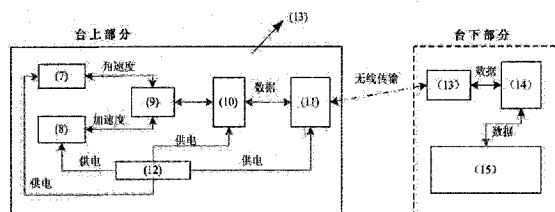
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置

(57)摘要

本发明提供一种三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置。包括三轴气浮台、标准气浮体、配重块、台上测量转发系统和台下接收数据处理系统,台上部分由标准气浮体及质量特性配准装置、角速度采样及其数据转发装置、电源及其转换模块组成的;台下接收数据处理系统包括台下无线传输设备、工控机和局域网服务器,利用“五步法”实时解算干扰力矩相关参数,将解算参数显示并保存成文档,本干扰力矩测量方法及其装置不但能够高精度地测量三自由度气浮台总体的干扰力矩,还能分离各干扰力矩组成及其影响参数,再此基础上给出合理的干扰力矩补偿建议。本装置具有测量精度高、测量结果完全、操作方便、测量实验时间不受限制的特点。



1. 一种三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置,包括三轴气浮台、标准气浮体、配重块、台上测量转发系统和台下接收数据处理系统,其特征在于:标准气浮体安装在三轴气浮台上,配重块和台上测量转发系统安装在标准气浮体上,台下接收数据处理系统安装在气浮台旁边的地基上,所述的台上测量转发系统包括三轴陀螺、三轴加速度计、多通道采样卡、嵌入式计算机、可编程控制器和电池,三轴陀螺和三轴加速度计分别与多通道采样卡相连接,多通道采样卡与嵌入式计算机连接,嵌入式计算机与可编程控制器相连接,电池负责给台上测量转发系统供电;台下接收数据处理系统包括台下无线传输设备、工控机和局域网服务器,无线传输设备和工控机相连,工控机和局域网服务器相连,可编程控制器与无线传输设备通过无线网络连接;嵌入式计算机通过多通道采样卡采集三轴陀螺和三轴加速度计角速度和加速度信号;嵌入式计算机能够调节配置采集卡采集模式、采样频率的参数,采集角速度、加速度数据,对数据滤波封装后从串口发送到可编程控制器,可编程控制器接收角速度和加速度数据,并通过无线网络传输发送给台下的工控机,台下的工控机通过无线网络实时获取数据,利用“五步法”实时解算干扰力矩相关参数,将解算参数显示并保存成文档,所述的“五步法”如下:

步骤一,式(1)给出了建立的三自由度气浮台模型,通过三轴陀螺和三轴加速度计测量数据进行捷联姿态解算获得载体相对导航坐标系角速度,再根据(1)式求解总干扰力矩,

$$\begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_{xpb} \\ \dot{\omega}_{ypb} \\ \dot{\omega}_{zpb} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{zpb} & \omega_{ypb} \\ \omega_{zpb} & 0 & -\omega_{xpb} \\ \omega_{ypb} & \omega_{xpb} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{xpb} \\ \omega_{ypb} \\ \omega_{zpb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $J = \begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix}$ 三自由度气浮台转动惯量阵;

$\omega = \begin{bmatrix} \omega_{xpb} \\ \omega_{ypb} \\ \omega_{zpb} \end{bmatrix}$ 载体相对平台转动的角速度在体坐标系上表示;

$M = \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix}$ 载体总干扰力矩在体坐标系分量形式;

步骤二,对体坐标系下总干扰力矩分量形式进行FFT频谱分析,分离由于电磁干扰等因素产生的固定频率的干扰力矩分量,不包括质量偏心产生的干扰力矩分量;

步骤三,根据式(2)计算偏心距角速度相关的干扰力矩常数 K_{ω_x} 、 K_{ω_y} 、 K_{ω_z} 、偏心距 r 、涡流力矩 M_2 ,式中姿态角及姿态矩阵为捷联惯导系统解算获得的参数:

$$\begin{bmatrix} C_b^p \cdot mg \cdot \begin{bmatrix} 0 & -\cos \gamma \sin \theta & \sin \theta \\ \cos \gamma \sin \theta & 0 & \sin \gamma \cos \theta \\ -\sin \theta & -\sin \gamma \cos \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \omega_{xpb} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \omega_{ypb} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \omega_{zpb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_\xi \\ r_\eta \\ r_\zeta \\ M_{2x} \\ M_{2y} \\ M_{2z} \\ K_{\omega x} \\ K_{\omega y} \\ K_{\omega z} \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{1x} \\ M_{1y} \\ M_{1z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, C_b^p 为体坐标系到平台坐标系的坐标转换矩阵;

$$M_1 = \begin{bmatrix} M_{1x} \\ M_{1y} \\ M_{1z} \end{bmatrix} = C_b^p \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix} \text{ 为载体总干扰力矩在平台坐标系下分量表示;}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} M_{2x} \\ M_{2y} \\ M_{2z} \end{bmatrix} \text{ 为涡流力矩在平台坐标系下的分量表示;}$$

$K_{\omega x}, K_{\omega y}, K_{\omega z}$ 为角速度相关干扰力矩等效比例系数;

$$r = \begin{bmatrix} r_\xi \\ r_\eta \\ r_\zeta \end{bmatrix} \text{ 为偏心矢量在体坐标系内表达式;}$$

γ, θ 为气浮台的滚转角、俯仰角;

步骤四, 进一步分析基座安装偏差角对干扰力矩的影响通过式(3)算出, 通过多次改变固定水平位置角处的基座竖直偏差角0.1度, 获得多组方程, 再根据(3)式求解独立参数 $K_q, \alpha, \beta, M_{constx}, M_{consty}$;

$$K_q \cdot \alpha \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta \\ -\sin \beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{constx} \\ M_{consty} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{2x} \\ M_{2y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, K_q 为基座安装误差角干扰力矩系数;

α 为基座竖直轴偏差角;

β 为基座水平轴偏差位置角;

M_{constx}, M_{consty} 为常值干扰力矩分量;

步骤五, 用前四步解算出的独立参数, 获得各干扰力矩值, 三轴陀螺和三轴加速度计采样进行下一解算周期。

三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置

技术领域

[0001] 本发明涉及测量技术,具体说涉及一种三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置。

背景技术

[0002] 气浮台依靠压缩空气在气浮轴承与轴承座之间形成气膜,使气浮台浮起,实现近似无摩擦的相对运动条件,以模拟卫星在外层空间所受小干扰力矩的环境。作为卫星运动模拟器,采用球面气浮轴承支撑的三自由度气浮台,不但能模拟三轴方向所需要的姿态运动,还能模拟卫星三轴姿态耦合动力学,通过气浮台进行全物理仿真具有重要作用,它是方案论证和功能验证不可缺少的工具。仿真实践证明,利用气浮台进行仿真不仅对卫星姿态控制系统验证有着重要作用,而且能够显著提高卫星的效费比,降低风险,缩短研发周期。

[0003] 气浮球轴承作为配准卫星全物理仿真系统的核心部件组件,其性能指标直接关系到仿真测试系统的优劣,因此需给出专用的方法与设备对干扰力矩这一指标检测分析,并当干扰力矩不满足要求时给出补偿建议。

[0004] 目前关于气浮台干扰力矩测量的方法主要有质点系动量矩定理法、旋转测量法、周期测量法等。

[0005] 在应用的模型方面,各种干扰力矩测量方法的参考模型均类似于李延斌、包钢、王祖温、吕彦东等在论文“三自由度气浮台自动平衡系统动力学建模”(见《中国惯性技术学报》,2005年,13卷第5期,页码83-87)中建立的中等精度的动力学模型,不满足高承载的、高精度测量要求;本发明通过严密的理论分析与动力学推导,建立了更完整的三自由度气浮台动力学模型。针对高承载高精度的三自由度气浮台要求,此模型考虑了质量中心与实际转动中心偏离,实际转动中心相对气浮台基座几何中心的漂移,气浮台交叉轴的转动惯量,参数化了各干扰力矩组成等因素;此模型不仅更满足高精度的测量与工程实用性的要求,而且便于多方面应用,例如测量系统构建过程中方案精度分析,三自由度气浮台姿态实时解算,三自由度气浮台综合干扰力矩测量与成分分析,气浮台干扰力矩补偿,质量特性配平过程中避免气浮台“倒戈现象”(一定的干扰力矩和气浮台偏心距条件下,气浮台侧翻到现象)等。

[0006] 在测量方法方面,中国发明专利号201210321537.9,专利名称:三轴气浮台综合干扰力矩测量方法,提出了一种测量三轴气浮台综合干扰力矩的装置,该方法仅能测出绕竖直轴的单轴总干扰力矩,不能分析出其他两轴干扰力矩,更不能分析出各干扰力矩的组成。杨秀彬等在“三轴气浮台自动调节平衡和干扰力矩测试”、“三轴气浮平台常值干扰力矩的分析与补偿”、“3自由度气浮台力学性能研究”等文章中在常值干扰力矩或静不平衡力矩作用假设下,与实际气浮台复杂干扰力矩环境不同。如上测量方法还存在着不同的缺陷:质点系动量矩定理法只能测量静不平衡的干扰力矩;旋转测量法只能测量沿竖直轴的干扰力矩分量;周期测量法只能测量沿某一水平轴的干扰力矩等。

[0007] 目前,还没有一种实用的方法能够高精度测量三轴干扰力矩,也没有涉及到干扰力矩的组成分离与补偿方法。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置,本发明可以满足大承载情况下高精度地面全物理仿真系统的分析与设计需求。

[0009] 本发明的目的是这样实现的:一种三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置,包括三轴气浮台、标准气浮体、配重块、台上测量转发系统和台下接收数据处理系统,标准气浮体安装在三轴气浮台上,配重块和台上测量转发系统安装在标准气浮体上,台下接收数据处理系统安装在气浮台旁边的地基上,所述的台上测量转发系统包括三轴陀螺、三轴加速度计、多通道采样卡、嵌入式计算机、可编程控制器和电池,三轴陀螺和三轴加速度计分别与多通道采样卡相连接,多通道采样卡与嵌入式计算机连接,嵌入式计算机与可编程控制器相连接,电池负责给台上测量转发系统供电;台下接收数据处理系统包括台下无线传输设备、工控机和局域网服务器,无线传输设备和工控机相连,工控机和局域网服务器相连,可编程控制器与无线传输设备无线网络连接;嵌入式计算机通过多通道采样卡采集三轴陀螺和三轴加速度计角速度和加速度信号;嵌入式计算机能够调节配置采集卡采集模式、采样频率的参数,采集角速度、加速度数据,对数据滤波封装后从串口发送到可编程控制器,可编程控制器接收角速度和加速度数据,并通过无线网络传输发送给台下的工控机,台下的工控机通过无线网络实时获取数据,利用“五步法”实时解算干扰力矩相关参数,将解算参数显示并保存成文档,所述的“五步法”如下:

[0010] 步骤一,式(1)给出了建立的三自由度气浮台模型,通过三轴陀螺和三轴加速度计测量数据进行捷联姿态解算获得载体相对导航坐标系角速度,再根据式(1)求解总干扰力矩,

[0011]

$$\begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_{xpb} \\ \dot{\omega}_{y pb} \\ \dot{\omega}_{z pb} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{zpb} & \omega_{y pb} \\ \omega_{zpb} & 0 & -\omega_{xpb} \\ \omega_{y pb} & \omega_{xpb} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{xpb} \\ \omega_{y pb} \\ \omega_{z pb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0012] 其中, $J = \begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix}$ 三自由度气浮台转动惯量阵;

[0013] $\omega = \begin{bmatrix} \omega_{xpb} \\ \omega_{y pb} \\ \omega_{z pb} \end{bmatrix}$ 载体相对平台转动的角速度在体坐标系上表示;

[0014] $M = \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix}$ 载体总干扰力矩在体轴系分量形式;

[0015] 步骤二,对体坐标系下干扰力矩分量形式进行FFT频谱分析,分离由于电磁干扰等因素产生的固定频率的干扰力矩分量,不包括质量偏心产生的干扰力矩分量;

[0016] 步骤三,根据式(2)计算偏心距角速度相关的干扰力矩常数 $K_{\omega_x}, K_{\omega_y}, K_{\omega_z}$ 、偏心距 r 、涡流力矩 M_2 ,式中姿态角及姿态矩阵为捷联惯导系统解算获得的参数:

$$[0017] \quad \begin{bmatrix} C_b^p \cdot mg \cdot \begin{bmatrix} 0 & -\cos \gamma \sin \theta & \sin \theta \\ \cos \gamma \sin \theta & 0 & \sin \gamma \cos \theta \\ -\sin \theta & -\sin \gamma \cos \theta & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \omega_{xpb} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \omega_{ypb} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \omega_{zpb} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_\xi \\ r_\eta \\ r_\zeta \\ M_{2x} \\ M_{2y} \\ M_{2z} \\ K_{\omega_x} \\ K_{\omega_y} \\ K_{\omega_z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{1x} \\ M_{1y} \\ M_{1z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0018] 其中, C_b^p 为载体系到平台系的坐标转换矩阵;

$$[0019] \quad M_1 = \begin{bmatrix} M_{1x} \\ M_{1y} \\ M_{1z} \end{bmatrix} = C_b^p \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix} \text{ 为载体总干扰力矩在平台坐标系下分量表示;}$$

$$[0020] \quad M_2 = \begin{bmatrix} M_{2x} \\ M_{2y} \\ M_{2z} \end{bmatrix} \text{ 为涡流力矩在平台坐标系下的分量表示;}$$

[0021] $K_{\omega_x}, K_{\omega_y}, K_{\omega_z}$ 为角速度相关干扰力矩等效比例系数;

$$[0022] \quad r = \begin{bmatrix} r_\xi \\ r_\eta \\ r_\zeta \end{bmatrix} \text{ 为偏心矢量在载体系内表达式;}$$

[0023] γ, θ 为气浮台的滚转角、俯仰角;

[0024] 步骤四,进一步分析基座安装偏差角对干扰力矩的影响通过式(3)算出,通过多次改变固定水平位置角处的基座竖直偏差角0.1度,获得多组方程,再根据(3)式求解独立参数 $K_q, \alpha, \beta, M_{constx}, M_{consty}$;

$$[0025] \quad K_q \cdot \alpha \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta \\ -\sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{constx} \\ M_{consty} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{2x} \\ M_{2y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0026] 其中, K_q 为基座安装误差角干扰力矩系数;

[0027] α 为基座竖直轴偏差角;

[0028] β 为基座水平轴偏差位置角;

[0029] M_{constx}, M_{consty} 为常值干扰力矩分量;

[0030] 步骤五,用前四步解算出的独立参数,获得各干扰力矩值,三轴陀螺和三轴加速度计采样进行下一解算周期。

[0031] 本发明能够高精度的测量气浮台的三轴干扰力矩,并且可以将气浮台的综合干扰力矩分解为重力不平衡干扰力矩、基座安装误差干扰力矩、回转风阻和轴承转动摩擦组成的角速度相关干扰力矩、电磁干扰等原因产生的固定频率干扰力矩、涡流及不确定因素对应的常值干扰力矩,并针对各干扰力矩的影响因素给出补偿建议。此系统具有测量精度高、测量结果完全、操作方便、测量实验时间不受限制的特点。

附图说明

- [0032] 图1为本发明的干扰力矩解算方法流程图；
[0033] 图2为本发明的装置示意图；
[0034] 图3气浮球轴承与标准气浮体机械结构图
[0035] 图4为本发明的干扰力矩测量系统结构图；
[0036] 图5为本发明的重力偏心干扰力矩示意图；
[0037] 图6为本发明的基座偏差示意图；

具体实施方式

[0038] 实施例1

[0039] 一种三自由度气浮台干扰力矩组成测量装置,包括三轴气浮台1、标准气浮体2、配重块3、台上测量转发系统4和台下接收数据处理系统6;标准气浮体2安装在三轴气浮台1上,配重块3和台上测量转发系统4安装在标准气浮体2上,台下接收数据处理系统6安装在三轴气浮台1旁边的地基上,所述的台上测量转发系统4包括由三轴陀螺7、三轴加速度计8、多通道采样卡9、嵌入式计算机10、可编程控制器11和电池5,三轴陀螺7和三轴加速度计8分别与多通道采样卡9相连接,多通道采样卡9与嵌入式计算机10连接,嵌入式计算机10与可编程控制器11相连接,电池5负责给台上测量转发系统4供电;台下接收数据处理系统6包括台下无线传输设备13、工控机14和局域网服务器15,台下无线传输设备13和工控机14相连,工控机14和局域网服务器15相连,可编程控制器11与台下无线传输设备13无线网络连接;嵌入式计算机10通过多通道采样卡9采集三轴陀螺7和三轴加速度计8角速度和加速度信号;嵌入式计算机10能够调节配置采集卡采集模式、采样频率的参数,采集角速度、加速度数据,对数据滤波封装后从串口发送到可编程控制器11,可编程控制器11接收角速度和加速度数据,并通过无线网络传输发送给台下的工控机14,台下的工控机14通过无线网络实时获取数据;

[0040] 本发明三自由度气浮台干扰力矩检测实现步骤如下:

[0041] 步骤一:给系统通电,运行客户端测量程序;

[0042] 步骤二:记录三自由度气浮台供气压力,环境温度,室内湿度,气浮台转动惯量。

[0043] 步骤三:对已粗配准的气浮台施加初始扰动,气浮台自由运动。

[0044] 步骤四:启动台下客户端程序的干扰力矩实时解算部分,获得各干扰力矩成分,保存测试数据文档,具体解算方法为:

[0045] (1)通过三轴陀螺7及三轴加速度计8测量数据进行捷联姿态解算获得载体相对导航坐标系角速度,求解总干扰力矩。

[0046] (2)对体坐标系下干扰力矩分量形式进行频率分析,分离由于电磁干扰等因素产生的固定频率的干扰力矩分量(不包括质量偏心产生的干扰力矩分量)。

[0047] (3)计算偏心距角速度相关的干扰力矩常数、偏心距、涡流力矩。

[0048] (4)进一步分析基座安装偏差角对干扰力矩的影响,解算基座偏差角等五个独立参数。

[0049] (5)用前四步解算出的独立参数,获得各干扰力矩值。进行下一解算周期,实现实

时解算。

[0050] 步骤五:使气浮台停止转动,结束测试;

[0051] 步骤六:根据测试结果分析产生干扰力矩的主要原因并给出补偿建议。干扰力矩补偿后返回“步骤一”重新测量,直至满足气浮台干扰力矩精度要求。

[0052] 实施例2

[0053] 结合图1说明三自由度气浮台动力学模型与各干扰力矩分析及解算方法(因为测量方法求解过程中将需要五步解算,因此命名为“五步法”)。“五步法”解算干扰力矩过程如下:

[0054] 步骤一,式(1)给出了建立的三自由度气浮台模型。通过三轴陀螺7及三轴加速度计8测量数据进行捷联姿态解算获得载体相对导航坐标系角速度,再根据(1)式求解总干扰力矩。

[0055]

$$\begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_{xpb} \\ \dot{\omega}_{y pb} \\ \dot{\omega}_{z pb} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{zpb} & \omega_{y pb} \\ \omega_{zpb} & 0 & -\omega_{xpb} \\ \omega_{y pb} & \omega_{xpb} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{xpb} \\ \omega_{y pb} \\ \omega_{z pb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0056] 其中, $J = \begin{bmatrix} J_{obxx} & -J_{obxy} & -J_{obxz} \\ -J_{obxy} & J_{obyy} & -J_{obyz} \\ -J_{obxz} & -J_{obyz} & J_{obzz} \end{bmatrix}$ 三自由度气浮台转动惯量阵;

[0057] $\omega = \begin{bmatrix} \omega_{xpb} \\ \omega_{y pb} \\ \omega_{z pb} \end{bmatrix}$ 载体相对平台转动的角速度在体坐标系上表示;

[0058] $M = \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix}$ 载体总干扰力矩在体轴系分量形式;

[0059] 步骤二,对体坐标系下干扰力矩分量形式进行FFT频谱分析,分离由于电磁干扰等因素产生的固定频率的干扰力矩分量(不包括质量偏心产生的干扰力矩分量)。

[0060] 步骤三,根据式(2)计算偏心距角速度相关的干扰力矩常数 $K_{\omega x}$ 、 $K_{\omega y}$ 、 $K_{\omega z}$ 、偏心距 r 、涡流力矩 M_2 ,式中姿态角及姿态矩阵为捷联惯导系统解算获得的参数:

[0061]

$$\begin{bmatrix} C_b^p \cdot mg \cdot \begin{bmatrix} 0 & -\cos \gamma \sin \theta & \sin \theta \\ \cos \gamma \sin \theta & 0 & \sin \gamma \cos \theta \\ -\sin \theta & -\sin \gamma \cos \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{xpb} & 0 & 0 \\ 0 & \omega_{y pb} & 0 \\ 0 & 0 & \omega_{z pb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{\xi} \\ r_{\eta} \\ r_{\zeta} \\ M_{2x} \\ M_{2y} \\ M_{2z} \\ K_{\omega x} \\ K_{\omega y} \\ K_{\omega z} \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{1x} \\ M_{1y} \\ M_{1z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0062] 其中, C_b^p 为载体系到平台系的坐标转换矩阵;

[0063] $M_1 = \begin{bmatrix} M_{1x} \\ M_{1y} \\ M_{1z} \end{bmatrix} = C_b^p \begin{bmatrix} M_{obx} \\ M_{oby} \\ M_{obz} \end{bmatrix}$ 为载体总干扰力矩在平台坐标系下分量表示;

[0064] $M_2 = \begin{bmatrix} M_{2x} \\ M_{2y} \\ M_{2z} \end{bmatrix}$ 为涡流力矩在平台坐标系下的分量表示;

[0065] $K_{\omega_x}, K_{\omega_y}, K_{\omega_z}$ 为角速度相关干扰力矩等效比例系数;

[0066] $r = \begin{bmatrix} r_\xi \\ r_\eta \\ r_\zeta \end{bmatrix}$ 为偏心矢量在载体系内表达式;

[0067] γ, θ 为气浮台的滚转角、俯仰角。

[0068] 步骤四, 进一步分析基座安装偏差角对干扰力矩的影响可通过式(3)算出。通过多次改变固定水平位置角处的基座竖直偏差角0.1度, 获得多组方程。再根据(3)式解得基座偏差角等五个独立参数。

$$[0069] \quad K_q \cdot \alpha \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta \\ -\sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{constx} \\ M_{consty} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{2x} \\ M_{2y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0070] 其中, K_q 为基座安装误差角干扰力矩系数;

[0071] α 为基座竖直轴偏差角;

[0072] β 为基座水平轴偏差位置角;

[0073] M_{constx}, M_{consty} 为常值干扰力矩分量;

[0074] 步骤五, 用前四步解算出的独立参数, 获得各干扰力矩值。三轴陀螺7及三轴加速度计8采样进行下一解算周期。

[0075] 通过分析, “五步法”可解算出三轴的总干扰力矩、各干扰力矩成分、偏心距、基座安装误差等, 且便于程序实现。

[0076] 实施例3

[0077] 结合图2、图3、图4说明气浮台干扰力矩分析测量装置: 测量系统由台上系统和台下系统组成; 台上系统由角速度采样装置及质量特性粗调节装置两部分组成, 其均安装在气浮台的标准气浮体2平面上。将封装了三轴陀螺7、三轴加速度计8、多通道采样卡9、嵌入式计算机10、电池5及电源转换模块、可编程控制器11, 具有无线通讯功能的角速度测量装置安装在气浮台的安装面板上。台下部分, 台下无线传输设备13连接在工控机14上, 通过局域网络实现数据的同享, 从而实现数据接收处理、实时检测显示。

[0078] 实施例4

[0079] 结合图1、图4说明各部分之间的数据及处理传递方式: 嵌入式计算机10通过多通道采样卡9采集三轴陀螺7及三轴加速度计8的角速度信号; 嵌入式计算机10可以配置采集卡采集模式、采样频率等参数, 采集角速度、加速度数据, 对数据滤波封装后从串口发送到可编程控制器11。可编程控制器11接收角速度和加速度数据, 并通过无线网络传输发送。工控机14通过无线网络实时获取数据, 利用“五步法”实时解算干扰力矩相关参数, 将解算参

数显示并保存成文档。

[0080] 实施例5

[0081] 气浮台初始扰动的施加:可以人工徒手、或者通过控制动量轮给三自由度气浮台施加顺时针、逆时针方向的初始扰动,如果施加的扰动使气浮台在绕竖直轴转动时伴有小角度的摆动,可以提高绕水平轴的干扰力矩的测量精度。

[0082] 实施例6

[0083] 结合图1、图5、图6说明独立参数计算分析干扰力矩组成的方法及补偿建议:三自由度气浮台本身存在球轴承的气流摩擦力矩、涡流力矩、静不平衡力矩等扰动力矩,此外还有环境振动、温度变化、平台变形等干扰。

[0084] 由图5可知,质心与回转中心不重合产生的干扰力矩与偏心距及气浮台的姿态相关,测试过程中需要用到捷联解算获取姿态,进一步计算获取独立的偏心距矢量在体轴系上的分量。由偏心分量指导质量特性调整,以补偿由静不平衡产生的干扰力矩值。

[0085] 由图6可知,基座偏差产生的干扰力矩与偏心距的位置角度 β 与基座轴偏差角度 α 相关,即 β 与 α 为独立参数,解算在五步法中进行。最后通过获取的参数值调整基座竖直轴,减小基座轴偏差产生的干扰力矩,达到补偿的目的。

[0086] 因此,提高气浮球加工精度、调节供气压力及湿度可以减小涡流力矩的影响,调整基座偏差角可以减小对应干扰力矩分量,根据偏心距调整气浮台质量特性可以减小静不平衡干扰力矩。

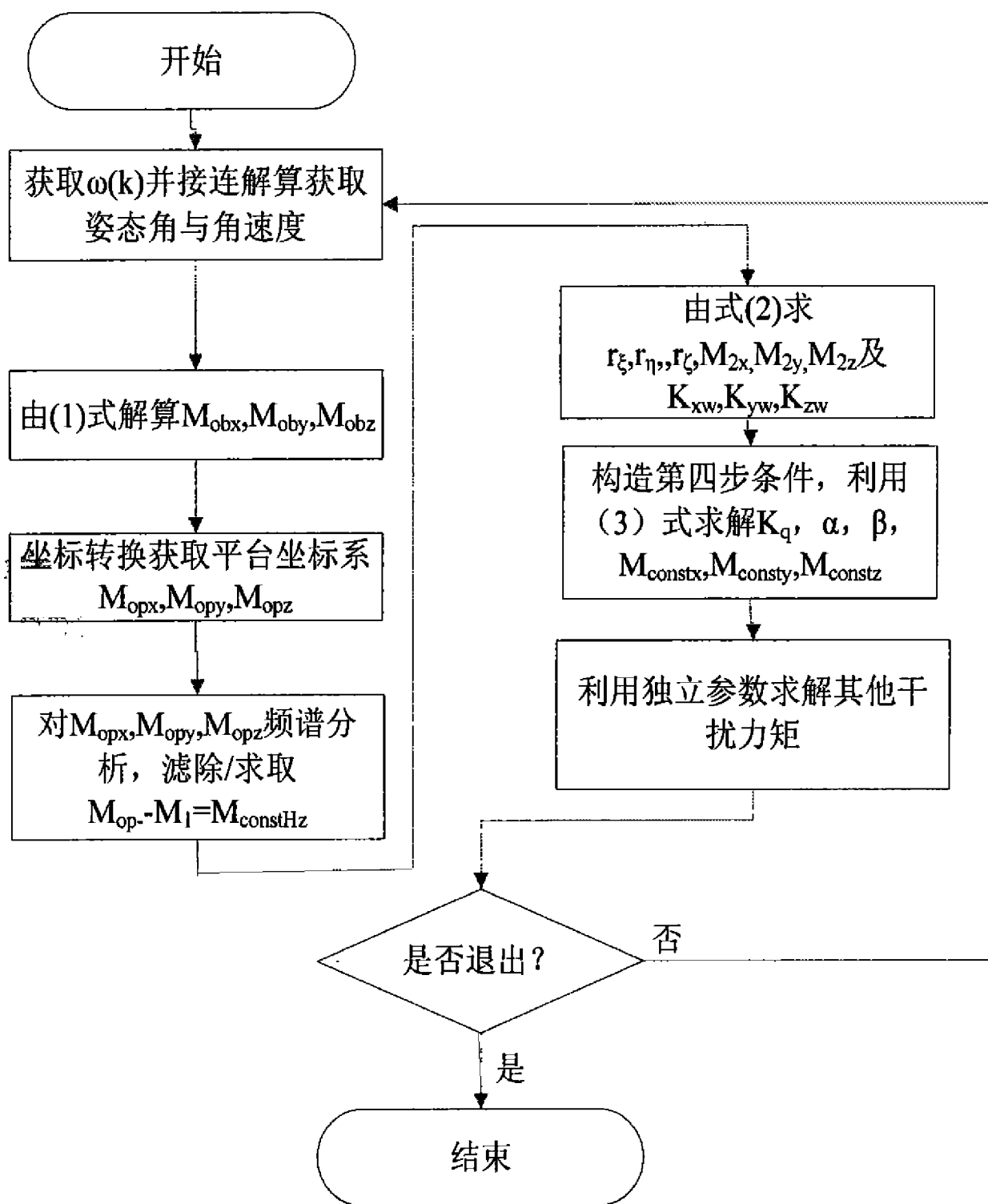


图1

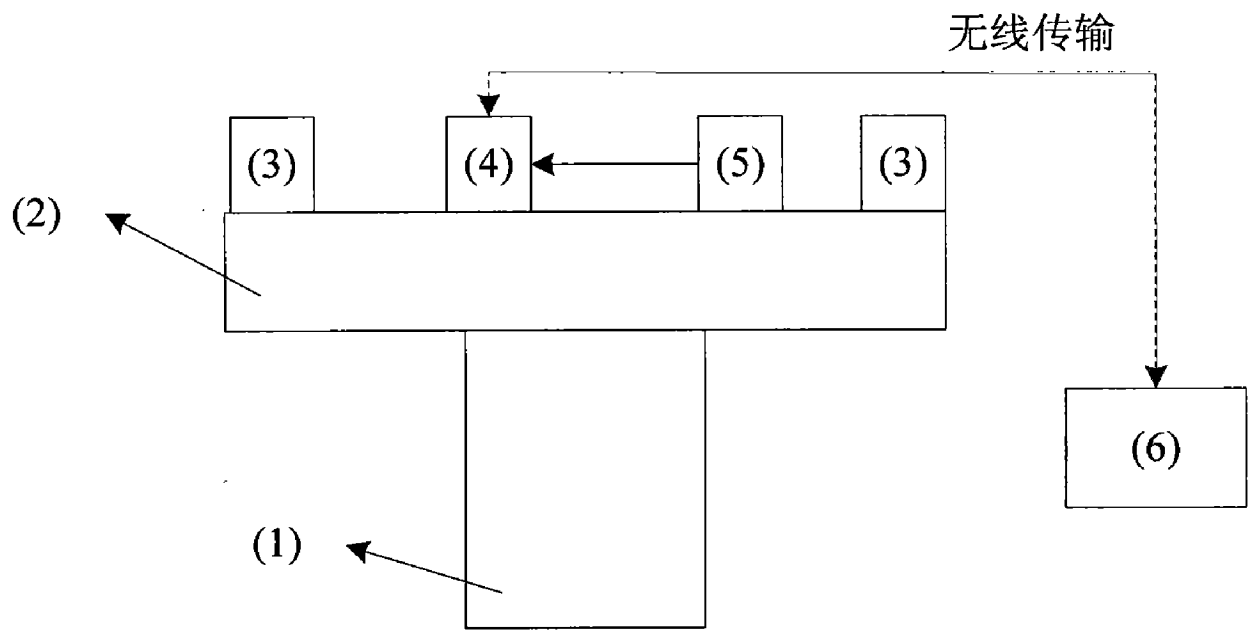


图2

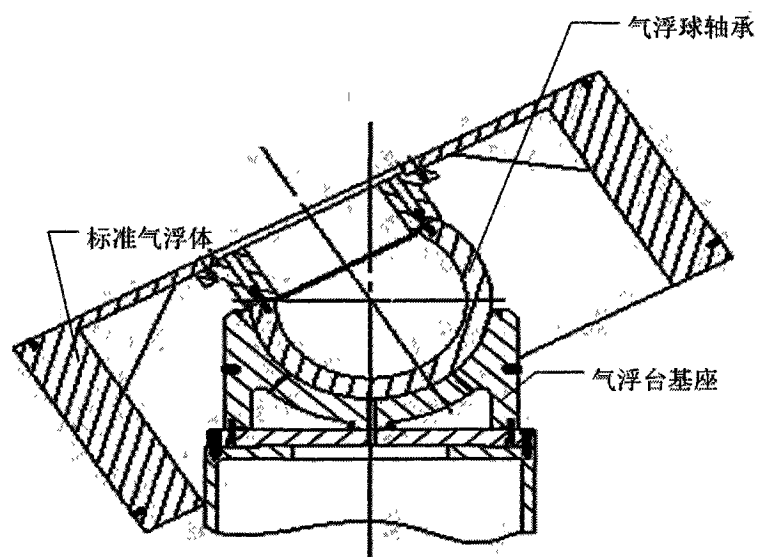


图3

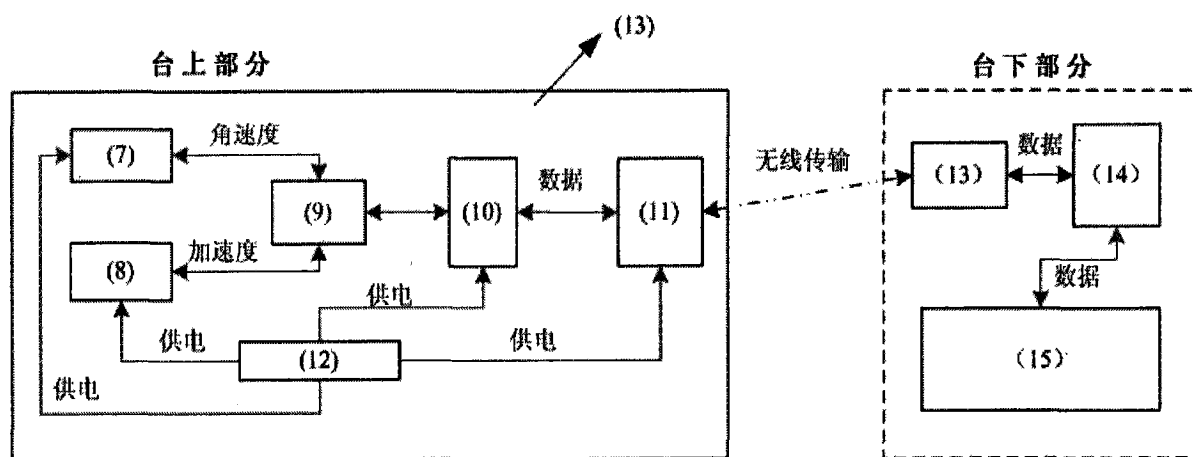


图4

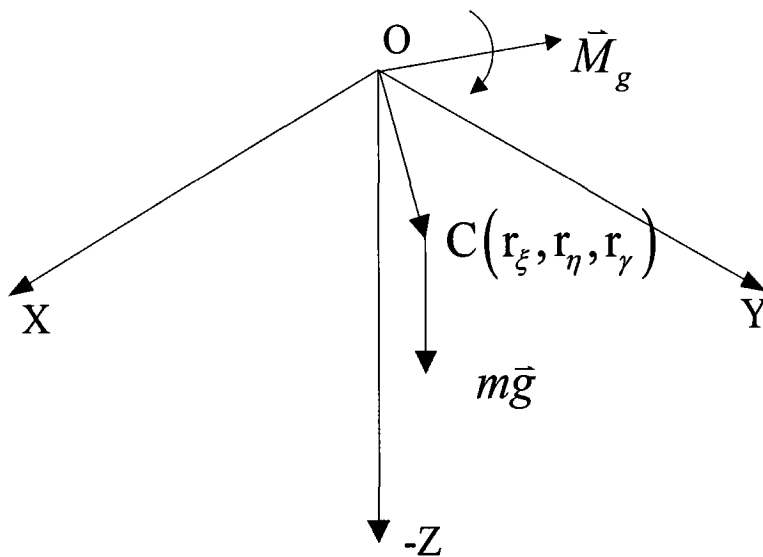


图5

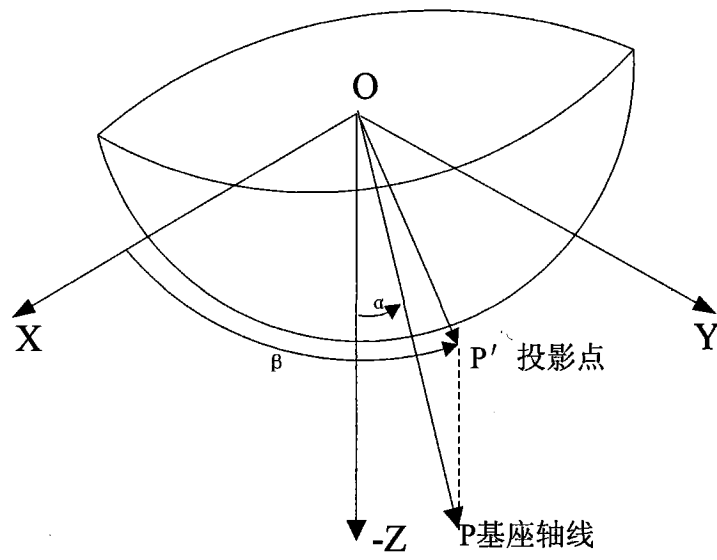


图6