



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116124344 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 09

(21) 申请号 202310007648.0

(22) 申请日 2023.01.04

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 116124344 A

(43) 申请公布日 2023.05.16

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100089 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 贺建武 杨超 马隆飞 康琦  
段俐 章楚

(74) 专利代理机构 北京维正专利代理有限公司  
11508  
专利代理师 全万志

(51) Int. Cl.  
G01L 5/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106895936 A, 2017.06.27

CN 110146208 A, 2019.08.20

CN 110413015 A, 2019.11.05

CN 115165295 A, 2022.10.11

CN 115290239 A, 2022.11.04

CN 216954935 U, 2022.07.12

杨超等.亚微牛级推力测量系统设计及实验研究.《中国光学》.2019,第12卷(第3期),526-533.

审查员 刘嘉

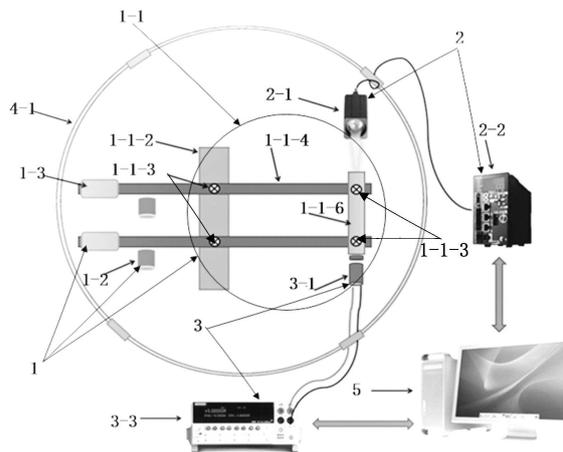
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,该装置包括扭摆型测量机构、位移传感器、标准力标定装置、水平底座及防尘罩,以及测控子系统5;该扭摆型测量机构包括平行四边形测量台架、限位机构与阻尼器,以及配重机构;在该平行四边形测量台架的一条侧边联动杆的上表面安装有推力器安装台,该推力器安装台上分别装有推力器、位移传感器、标准力标定装置,推力器的推力方向为沿着联动杆的长度方向;本发明有效消除了推力器力臂测量误差、标准力力臂测量误差和传感器位置测量误差,提高了测量精度;位移测量表现为一维位移测量模式,提高了推力测量系统线性度;仅需调节扭摆一维质心位置,简化了推力器装配和调试过程。



1. 一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:包括扭摆型测量机构(1)、位移传感器(2)、标准力标定装置(3)、水平底座及防尘罩(4)、以及测控子系统(5);

该扭摆型测量机构(1)包括平行四边形测量台架(1-1)、限位机构与阻尼器(1-2)、以及配重机构(1-3);在该平行四边形测量台架(1-1)的一条侧边联动杆(1-1-6)的上表面安装有推力器安装台(1-1-7),该推力器安装台(1-1-7)上分别装有推力器、标准力标定装置(3),推力器的推力方向为沿着联动杆(1-1-6)的长度方向;在与该联动杆(1-1-6)相对而设的平行四边形测量台架另一条侧边的外侧、沿着水平方向由内到外分别设有所述限位机构与阻尼器(1-2)、以及配重机构(1-3);

所述推力器、以及标准力标定装置(3),它们各自的一端布设在推力器安装台(1-1-7)上,另一端分别连接测控子系统(5);在平行四边形测量台架(1-1)、推力器安装台(1-1-7)、位移传感器(2)、标准力标定装置(3)、以及限位机构与阻尼器(1-2)、配重机构(1-3)的下方和周围,还设有起到对它们支撑和防尘作用的水平底座及防尘罩(4);

所述扭摆型测量机构(1)用于将推力信号转换为可直接测量的位移信号;所述位移传感器(2)用于测量位移信号并将位移信号转换为电信号输送至测控子系统(5);所述标准力标定装置(3)用于标定扭摆、构建电磁力与位移的关系;所述水平底座及防尘罩(4)用于辅助测量扭摆,实现质心精密调节、同时保证平台水平度,且具防尘防风功能;所述测控子系统(5)用于将位移信息转换为推力信息、实现微推力测量装置的信号自动化测量与控制功能,并提供实时数据处理、显示和存储功能;

所述水平底座及防尘罩(4)包括防尘罩(4-1)、倾角调节台(4-2)和倾角传感器(4-3);该倾角调节台(4-2)和倾角传感器(4-3)布设在防尘罩(4-1)内,其中,该倾角调节台(4-2)布设在防尘罩(4-1)内的第一层,倾角传感器(4-3)布设在该倾角调节台(4-2)的上表面;该倾角调节台(4-2)与倾角传感器(4-3)用于辅助测量扭摆实现质心精密调节、同时保证平台水平度;该防尘罩(4-1)用于隔离或降低环境噪声;

所述的配重机构(1-3)包括用于粗调的配重块(1-3-1)和用于细调的质心微调结构(1-3-2),所述的配重块(1-3-1)为砝码块,用于粗范围的配重;所述质心微调结构(1-3-2)为采用精密螺纹杆和小砝码构成的游标砝码,通过该游标砝码进行质心的精细调整;

所述平行四边形测量台架(1-1)包括支撑架(1-1-1)、枢轴固定架(1-1-2)、枢轴(1-1-3)、摆臂(1-1-4)、电极接线盒(1-1-5)、联动杆(1-1-6)、以及联动杆(1-1-6)上方的推力器安装台(1-1-7);该支撑架(1-1-1)布设在所述倾角调节台(4-2)的上表面;该支撑架(1-1-1)设有第一支架、第二支架,第一支架的底面与所述倾角调节台(4-2)相抵接,第二支架的一个侧面在竖直面上与第一支架的一个侧面固接在一起,第二支架的高度与平行四边形测量台架(1-1)的高度相匹配;在第二支架的上表面,固装有所述平行四边形测量台架(1-1);该平行四边形测量台架(1-1)由水平面内二条相互平行的摆臂(1-1-4)、和水平面内与二条摆臂垂直的另外二个相互平行的枢轴固定架(1-1-2)、以及联动杆(1-1-6)通过枢轴(1-1-3)连接而成,从而形成能够在水平面内左右摆动的平行四边形测量台架;所述推力器的推力方向为沿着联动杆(1-1-6)长度方向。

2. 根据权利要求1所述一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:所述位移传感器(2)包括位移传感器探头(2-1)和位移传感器控制器(2-2),当推力器的推力作用在联动杆(1-1-6)上时,该平行四边形测量台架(1-1)将产生摆动或位移,位移传感器

探头(2-1)测量到该位移,将位移信号通过位移传感器控制器(2-2)传送给测控子系统(5)。

3.根据权利要求2所述一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:所述位移传感器采用一套激光同轴位移干涉测量设备,能够实现 $0.2\mu\text{m}$ 的位移测量分辨力,量程为 $\pm 1\text{mm}$ 。

4.根据权利要求3所述一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:所述标准力标定装置(3)包括电磁力标定器(3-1)、六自由度位移台(3-2)和高精度源表(3-3);所述标准力标定装置(3)为预先已经完成电磁力和电流对应关系标定的装置;该电磁力标定器(3-1)用于提供标定中的电磁线圈和永磁体,该高精度源表(3-3)用于给电磁力标定器(3-1)提供一个稳定的电流进行标定;从而构建电磁力和高精度源表(3-3)输出电流一一对应的关系,再利用高精度源表(3-3)输出的电流与电磁力的关系标定扭摆角位移与力矩的关系。

5.根据权利要求4所述一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:所述测控子系统(5)包括NI多功能数据采集卡和PC机以及测控软件,其NI多功能数据采集卡用于采集位移传感器探头(2-1)的位移信号;该测控软件根据预先标定的电磁力和电流的对应关系,将与电磁力相对应的电流信号发送给高精度源表(3-3),高精度源表(3-3)接收测控子系统指令后,向电磁力标定器(3-1)输出对应的电流,产生电磁力,拉动或推动扭摆运动,再由位移传感器探头(2-1)测量到扭摆运动位移信号,从而实现扭摆的标定;标定完成后,在推力器推力测量过程中,测控子系统可根据采集的位移信号得到推力大小,并提供实时数据处理、显示和存储功能。

6.根据权利要求1所述一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:所述摆臂(1-1-4)的长度为 $0.2\text{m}$ 、枢轴(1-1-3)的数量为6个:二条摆臂(1-1-4)之间的距离为 $0.08\text{m}$ 。

7.根据权利要求1所述一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特征在于:系统可实现 $0-100\text{mN}$ 的推力测量范围,推力测量分辨力达到 $0.05\text{mN}$ 。

## 一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置

### 技术领域

[0001] 本发明属航天推进技术领域,具体为一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,用以实现微推力器的推力测量。

### 背景技术

[0002] 随着微小卫星和微纳卫星的迅猛发展,近年来对微推进系统的需求也日趋旺盛。目前国际上已开发出多种新概念微推力器,主要包括离子微推力器、场发射电推力器、霍尔推力器、脉冲等离子体推力器和冷气微推力器等。这些推力器最显著的特点就是所产生的推力和冲量都较小,其推重比也很小,造成推力测量系统响应弱,且易受各种环境因素干扰,不利于高精度的微推力测量。

[0003] 微推力测量技术是测量与评价微推力器性能最有效的技术手段和方法。不同类型的微推力器,其工作原理不同,质量、体积和结构都有较大差异。为适应各种推力器不同的推力标定需求,近年来开发了多种不同原理、不同结构的微推力测量系统,总的来说有扭摆结构、天平结构、单摆结构和形变结构四种。各种结构类型的微推力测量系统均有其特点,也有其局限性。

### 发明内容

[0004] 本发明针对现有技术的不足,提出一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,目的在于提高扭摆结构微推力测量系统测量精度、降低微推力器装配调试流程和复杂度,结合Roberval平衡结构原理设计出的一款性能优异的双臂扭摆微推力测量系统。

[0005] 本发明为解决其技术问题,提出以下技术方案:

[0006] 一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置,其特点是:包括扭摆型测量机构(1)、位移传感器(2)、标准力标定装置(3)、水平底座及防尘罩(4)、以及测控子系统(5);

[0007] 该扭摆型测量机构(1)包括平行四边形测量台架(1-1)、限位机构与阻尼器(1-2)、以及配重机构(1-3);在该平行四边形测量台架(1-1)的一条侧边联动杆(1-1-6)的上表面安装有推力器安装台(1-1-7),该推力器安装台(1-1-7)上分别装有推力器、标准力标定装置(3),推力器的推力方向为沿着联动杆(1-1-6)的长度方向;在与该联动杆(1-1-6)相对而设的平行四边形测量台架另一条侧边的外侧、沿着水平方向由内到外分别设有所述限位机构与阻尼器(1-2)、以及配重机构(1-3);

[0008] 所述推力器、以及标准力标定装置(3),它们各自的一端布设在推力器安装台(1-1-7)上,另一端分别连接测控子系统(5);在平行四边形测量台架(1-1)、推力器安装台(1-1-7)、位移传感器(2)、标准力标定装置(3)、以及限位机构与阻尼器(1-2)、配重机构(1-3)的下方和周围,还设有起到对它们支撑和防尘作用的水平底座及防尘罩(4);

[0009] 所述扭摆型测量机构(1)用于将推力信号转换为可直接测量的位移信号;所述位移传感器(2)用于测量位移信号并将位移信号转换为电信号输送至测控子系统(5);所述标准力标定装置(3)用于标定扭摆、构建电磁力与位移的关系;所述水平底座及防尘罩(4)用

于辅助测量扭摆,实现质心精密调节、同时保证平台水平度,且具防尘防风功能;所述测控子系统(5)用于将位移信息转换为推力信息、实现微推力测量装置的信号自动化测量与控制功能,并提供实时数据处理、显示和存储功能;

[0010] 所述水平底座及防尘罩(4)包括防尘罩(4-1)、倾角调节台(4-2)和倾角传感器(4-3);该倾角调节台(4-2)和倾角传感器(4-3)布设在防尘罩(4-1)内,其中,该倾角调节台(4-2)布设在防尘罩(4-1)内的第一层,倾角传感器(4-3)布设在该倾角调节台(4-2)的上表面;该倾角调节台(4-2)与倾角传感器(4-3)用于辅助测量扭摆实现质心精密调节、同时保证平台水平度;该防尘罩(4-1)用于隔离或降低环境噪声;

[0011] 所述的配重机构(1-3)包括用于粗调的配重块(1-3-1)和用于细调的质心微调结构(1-3-2),所述的配重块(1-3-1)为砝码块,用于粗范围的配重;所述质心微调结构(1-3-2)为采用精密螺纹杆和小砝码构成的游标砝码,通过该游标砝码进行质心的精细调整;

[0012] 所述平行四边形测量台架(1-1)包括支撑架(1-1-1)、枢轴固定架(1-1-2)、枢轴(1-1-3)、摆臂(1-1-4)、电极接线盒(1-1-5)、联动杆(1-1-6)、以及联动杆(1-1-6)上方的推力器安装台(1-1-7);该支撑架(1-1-1)布设在所述倾角调节台(4-2)的上表面;该支撑架(1-1-1)设有第一支架、第二支架,第一支架的底面与所述倾角调节台(4-2)相抵接,第二支架的一个侧面在竖直面上与第一支架的一个侧面固接在一起,第二支架的高度与平行四边形测量台架(1-1)的高度相匹配;在第二支架的上表面,固装有所述平行四边形测量台架(1-1);该平行四边形测量台架(1-1)由水平面内二条相互平行的摆臂(1-1-4)、和水平面内与二条摆臂垂直的另外二个相互平行的枢轴固定架(1-1-2)、以及联动杆(1-1-6)通过枢轴(1-1-3)连接而成,从而形成能够在水平面内左右摆动的平行四边形测量台架;所述推力器的推力方向为沿着联动杆(1-1-6)长度方向。

[0013] 进一步地,所述位移传感器(2)包括位移传感器探头(2-1)和位移传感器控制器(2-2),当推力器的推力作用在联动杆(1-1-6)上时,该平行四边形测量台架(1-1)将产生摆动或位移,位移传感器探头(2-1)测量到该位移,将位移信号通过位移传感器控制器(2-2)传送给测控子系统(5)。

[0014] 进一步地,所述位移传感器采用一套激光同轴位移干涉测量设备,能够实现 $0.2\mu\text{m}$ 的位移测量分辨力,量程为 $\pm 1\text{mm}$ 。

[0015] 进一步地,所述标准力标定装置(3)包括电磁力标定器(3-1)、六自由度位移台(3-2)和高精度源表(3-3);所述标准力标定装置(3)为预先已经完成电磁力和电流对应关系标定的装置;该电磁力标定器(3-1)用于提供标定中的电磁线圈和永磁体,该高精度源表(3-3)用于给电磁力标定器(3-1)提供一个稳定的电流进行标定;从而构建电磁力和高精度源表(3-3)输出电流一一对应的关系,再利用高精度源表(3-3)输出的电流与电磁力的关系标定扭摆角位移与力矩的关系。

[0016] 进一步地,所述测控子系统(5)包括NI多功能数据采集卡和PC机以及测控软件,其NI多功能数据采集卡用于采集位移传感器探头(2-1)的位移信号;该测控软件根据预先标定的电磁力和电流的对应关系,将与电磁力相对应的电流信号发送给高精度源表(3-3),高精度源表(3-3)接收测控子系统指令后,向电磁力标定器(3-1)输出对应的电流,产生电磁力,拉动或推动扭摆运动,再由位移传感器探头(2-1)测量到扭摆运动位移信号,从而实现扭摆的标定;标定完成后,在推力器推力测量过程中,测控子系统可根据采集的位移信号得

到推力大小,并提供实时数据处理、显示和存储功能。

[0017] 进一步地,所述摆臂(1-1-4)的长度为0.2m、枢轴(1-1-3)的数量为6个:二条摆臂(1-1-4)之间的距离为0.08 m。

[0018] 进一步地,系统可实现0-100mN的推力测量范围,推力测量分辨力达到0.05mN。

[0019] 本发明的优点效果

[0020] 1、基于Roberval平衡结构设计微推力测量扭摆,有效消除了推力器力臂测量误差、标准力力臂测量误差和传感器位置测量误差,提高了测量精度;

[0021] 2、位移测量表现为一维位移测量模式,而非传统的转动角位移测量,提高了推力测量系统线性度;

[0022] 3、采用6个枢轴限制双臂扭摆除运动自由度以外的5个自由度,提高了系统抗干扰能力和载重能力,并且仅需调节扭摆一维质心位置,极大地简化了推力器装配和调试过程。

## 附图说明

[0023] 图1 为本发明基于Roberval平衡结构的微推力测量装置俯视图;

[0024] 图2 为本发明基于Roberval平衡结构的微推力测量装置立体图。

[0025] 图中,1:扭摆型测量机构;1-1:平行四边形测量台架;1-1-1:支撑架;1-1-2:枢轴固定架;1-1-3:枢轴;1-1-4:摆臂;1-1-5:电极接线盒;1-1-6:联动杆;1-1-7:推力器安装台;1-2:限位机构与阻尼器;1-3:配重机构;1-3-1:粗调的配重块;1-3-2:质心微调结构;2:位移传感器;2-1:位移传感器探头;2-2:位移传感器控制器;3:标准力标定装置;3-1:电磁力标定器;3-2:六自由度位移台;3-3:高精度源表;4:水平底座及防尘罩;4-1:防尘罩;4-2:倾角调节台;4-3:倾角传感器;5:测控子系统。

## 具体实施方式

[0026] 本发明设计原理

[0027] 1、平行四边形测量台架限制了双臂扭摆其它5个自由度的设计原理。(物体存在6个自由度:x、y、z三个平动方向的自由度、以及围绕x轴、y轴、z轴转动的三个转动方向的自由度)。设置推力器推力方向为沿着联动杆1-1-6长度的方向,从而限制双臂扭摆的其他5个方向的自由度。也就是说,当推力器沿着联动杆1-1-6长度方向给联动杆1-1-6上的枢轴1-1-3一个直线方向的力时,摆臂1-1-4会随着该推力产生转动(水平面内转动),但这个转动仅仅限于一个自由度的转动(摆臂只有围绕z轴的转动)、而没有3个方向的平动和另外2个方向(围绕x轴、围绕y轴)的转动。本发明在靠近摆臂1-1-4的中间位置设有上下同轴布设的4个枢轴(俯视图上看只有2个),这是为了解决摆臂1-1-4一边重(联动杆1-1-6上再安装长方形的板子作为推力器安装台1-1-7,该推力器具有几公斤重)、一边轻的情况,当摆臂1-1-4的联动杆1-1-6处的枢轴1-1-3的承重相对摆臂1-1-4中间的枢轴1-1-3的承重较大时,就会导致图1俯视图上四个枢轴靠近右端的2个承重偏大、靠近摆臂1-1-4中间的2个承重相对轻,相对重的一端会将将对轻的一端“抬起来”,从而使得俯视图图1上的四个枢轴1-1-3不在同一个平面上,此时摆臂1-1-4除了推力器给它施加推力时产生围绕z轴的自由度运动以外,还会因为摆臂1-1-4的一头重一头轻而发生围绕y轴的自由度转动,这样,摆臂1-1-4就多了一个自由度转动,就不能限制5个自由度而只能限制4个自由度。为了限制这个多出的

自由度,本发明将靠近摆臂中间位置的枢轴1-1-3设置为上下同轴布设,用以加固摆臂1-1-4靠近中间位置的枢轴,使得俯视图上的四个枢轴在同一个平面上,从而限制了5个方向的自由度,只有1个自由度是灵敏的,这正是本发明要达到的目标。

[0028] 2、平行四边形测量台架消除力臂测量误差的设计原理。1)所述消除了测量误差是指基于Roberval平衡结构设计的微推力测量扭摆,有效消除了推力器力臂测量误差、标准力标定装置力臂测量误差和位移传感器位置测量误差,提高了测量精度;2)本发明将推力器、标准力标定装置3、装在联动杆1-1-6上方的推力器安装台1-1-7上(在联动杆1-1-6上再安装长方形的板子作为推力器安装台1-1-7),尽管在推力器安装台1-1-7上的上下左右位置会有偏差,但是它们的作用点是一样的,都是作用在与联动杆1-1-6连接的枢轴1-1-3上。而传统的杆秤测量模式只采用一根摆杆,位移传感器、推力器、标准力标定装置三个均布设在这一根摆杆上,这种基于一根摆杆的测量除了方向上的误差还会有位置上的误差,哪怕三个都装在同一个位置也会存在位置上的误差。进一步地,如果是传统的杆秤测量,则将位移传感器、推力器、标准力装在摆臂的不同位置,这个位置是需要提前测量出来的,这样才能根据角位移反推推力。但是这个位置的测量是非常困难的,因为推力器正中心我们是知道的,但是推力的正中心是不知道的,此时测量力臂非常非常困难、而且精度不可能高。本发明现在只要把推力器、标准力放在推力器方板上,只要保证推力输出方向和摆臂1-1-4是垂直的即可,至于装在推力器安装台1-1-6的前后左右那个位置没有关系,不需要知道位置只需要保证推力的方向和摆臂是垂直的即可,就如同把东西放在托盘上就行了而无需知道放在托盘上的什么位置。这里的推力器安装台1-1-7就相当于所述托盘。通过这种把推力器、标准力标定装置放在推力器安装台1-1-7上或放在托盘上的方法,把力臂的测量误差完全消除掉了。例如20厘米力臂,如果采用传统方式,只要有0.2毫米的力臂的测量误差就会带来1%的推力测量误差。而本发明将这个1%的推力测量误差杜绝掉了。常规的杆秤的误差在3-5%左右,本发明测量误差优于0.5%,比传统杆秤的精度高出一个量级。

[0029] 基于以上原理,本发明设计了一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置

[0030] 一种基于Roberval平衡结构的微推力测量装置如图1、图2所示,包括扭摆型测量机构1、位移传感器2、标准力标定装置3、水平底座及防尘罩4、以及测控子系统5;

[0031] 该扭摆型测量机构1如图1所示,包括平行四边形测量台架1-1、限位机构与阻尼器1-2、以及配重机构1-3;在该平行四边形测量台架1-1的一条侧边联动杆1-1-6的上表面安装有推力器安装台1-1-7,该推力器安装台1-1-7上分别装有推力器、标准力标定装置3,推力器的推力方向为沿着联动杆1-1-6的长度方向;在与该联动杆1-1-6相对而设的平行四边形测量台架另一条侧边的外侧、沿着水平方向由内到外分别设有所述限位机构与阻尼器1-2、以及配重机构1-3;所述推力器、以及标准力标定装置3,它们各自的一端布设在推力器安装台1-1-7上,另一端分别连接测控分系统5;在平行四边形测量台架1-1、推力器安装台1-1-7、位移传感器2、标准力标定装置3、以及限位机构与阻尼器1-2、配重机构1-3的下方和周围,还设有起到对它们支撑和防尘作用的水平底座及防尘罩4;

[0032] 补充说明1:

[0033] 图1是俯视图,推力是水平方向,重力是竖直方向。推力器推力与重力相互垂直。

[0034] 所述扭摆型测量机构1如图1所示,用于将推力信号转换为可直接测量的位移信号;所述位移传感器2用于测量位移信号并将位移信号转换为电信号输送至测控分系统5;

所述标准力标定装置3用于标定扭摆、构建电磁力与位移的关系；如图2所示，所述水平底座及防尘罩4用于辅助测量扭摆，实现质心精密调节、同时保证平台水平度，且具防尘防风功能；所述测控分系统5用于将位移信息转换为推力信息、实现微推力测量系统信号自动化测量与控制功能，并提供实时数据处理、显示和存储功能。

[0035] 进一步地，所述水平底座及防尘罩4如图2所示，包括防尘罩4-1、倾角调节台4-2和倾角传感器4-3；该倾角调节台4-2和倾角传感器4-3布设在防尘罩4-1内，其中，该倾角调节台4-2布设在防尘罩4-1内的第一层，倾角传感器4-3布设在该倾角调节台4-2的上表面；该倾角调节台4-2与倾角传感器4-3用于辅助测量扭摆实现质心精密调节、同时保证平台水平度；该防尘罩4-1用于隔离或降低环境噪声。

[0036] 进一步地，所述平行四边形测量台架1-1如图2所示，包括支撑架1-1-1、枢轴固定架1-1-2、枢轴1-1-3、摆臂1-1-4、电极接线盒1-1-5、联动杆1-1-6以及联动杆1-1-6上方的推力器安装台1-1-7；该支撑架1-1-1布设在所述倾角调节台4-2的上表面；该支撑架1-1-1设有第一支架、第二支架，第一支架的底面与所述倾角调节台4-2相抵接，第二支架的一个侧面在竖直面上与第一支架的一个侧面固接在一起，第二支架的高度与平行四边形测量台架1-1的高度相匹配；在第二支架的上表面，固装有所述平行四边形测量台架1-1；该平行四边形测量台架1-1由水平面内二条相互平行的摆臂1-1-4、和水平面内与该二条摆臂垂直的另外二个相互平行的枢轴固定架1-1-2、以及联动杆1-1-6通过枢轴1-1-3连接而成，从而形成能够在水平面内左右摆动的平行四边形测量台架；所述推力器的推力方向为沿着联动杆1-1-6长度方向。

[0037] 补充说明2

[0038] 1、如图2所示，枢轴1-1-3一共6个，靠近二条摆臂1-1-4的中间位置有4个枢轴1-1-3，该4个枢轴1-1-3各2个上下同轴布设在摆臂1-1-4的两侧；在推力器1-1-6下方的二条摆臂1-1-4上也分别设有一边一个枢轴1-1-3，2条摆臂1-1-4、联动杆1-1-6、枢轴固定架1-1-2、6个枢轴共同组成平行变形。

[0039] 2、靠近摆臂中间位置设置上下同轴的枢轴1-1-3是为了坚固的作用，因为推力器1-1-6要压在其下面的2个枢轴1-1-3上，这个压力会传递给靠近摆臂中间位置的枢轴1-1-3，容易使得靠近摆臂中间位置的枢轴1-1-3损坏，因此将靠近摆臂中间位置的枢轴1-1-3设置为上下两排，起到坚固的作用。

[0040] 进一步地，所述位移传感器2如图1所示，包括位移传感器探头2-1和位移传感器控制器2-2，当推力器的推力作用在联动杆1-1-6上时，该平行四边形测量台架1-1产生摆动或位移，位移传感器探头2-1测量到该位移，将该位移信号通过位移传感器控制器2-2传送给测控子系统5。

[0041] 进一步地，所述位移传感器采用一套激光同轴位移干涉测量设备，能够实现0.2 $\mu$ m的位移测量分辨力，量程为 $\pm 1$ mm。

[0042] 进一步地，所述标准力标定装置3如图1所示，包括电磁力标定器3-1、六自由度位移台3-2和高精度源表3-3；所述标准力标定装置3为预先已经完成电磁力和电流对应关系标定的装置；该电磁力标定器3-1用于提供标定中的电磁线圈和永磁体，该高精度源表3-3用于给电磁力标定器3-1提供一个稳定的电流进行标定、从而构建电磁力和高精度源表3-3输出电流一一对应的关系，再利用高精度源表3-3输出的电流与电磁力的关系标定扭摆角

位移与力矩的关系。

[0043] 进一步地,所述测控子系统5如图1所示,包括NI多功能数据采集卡和PC机以及测控软件,其NI多功能数据采集卡用于采集位移传感器探头2-1的位移信号;该测控软件根据预先标定的电磁力和电流的对应关系,将与电磁力相对应的电流信号发送给高精度源表3-3,高精度源表3-3接收测控子系统指令后,向电磁力标定器3-1输出对应的电流,产生电磁力,拉动或推动扭摆运动,再由位移传感器探头2-1测量到扭摆运动位移信号,从而实现扭摆的标定;标定完成后,在推力器推力测量过程中,测控子系统可根据采集的位移信号得到推力大小,并提供实时数据处理、显示和存储功能。

[0044] 进一步地,所述的配重机构1-3如图2所示,包括用于粗调的配重块1-3-1和用于细调的质心微调结构1-3-2,所述的配重块1-3-1为砝码块,用于粗范围的配重;所述质心微调结构1-3-2为采用精密螺纹杆和小砝码构成的游标砝码,通过该游标砝码进行质心的精细调整。

[0045] 进一步地,所述摆臂1-1-4的长度优选为0.2m、枢轴1-1-3的数量优选为6个:二条摆臂1-1-4之间的距离优选为0.08m。

[0046] 进一步地,该系统可实现0-100mN的推力测量范围,推力测量分辨力达到0.05mN。

[0047] 需要强调的是,上述具体实施例仅仅是对本发明的解释,其并不是对本发明的限制,本领域技术人员在阅读完本说明书后可以根据需要对上述实施例做出没有创造性贡献的修改,但只要在本发明的权利要求范围内都受到专利法的保护。

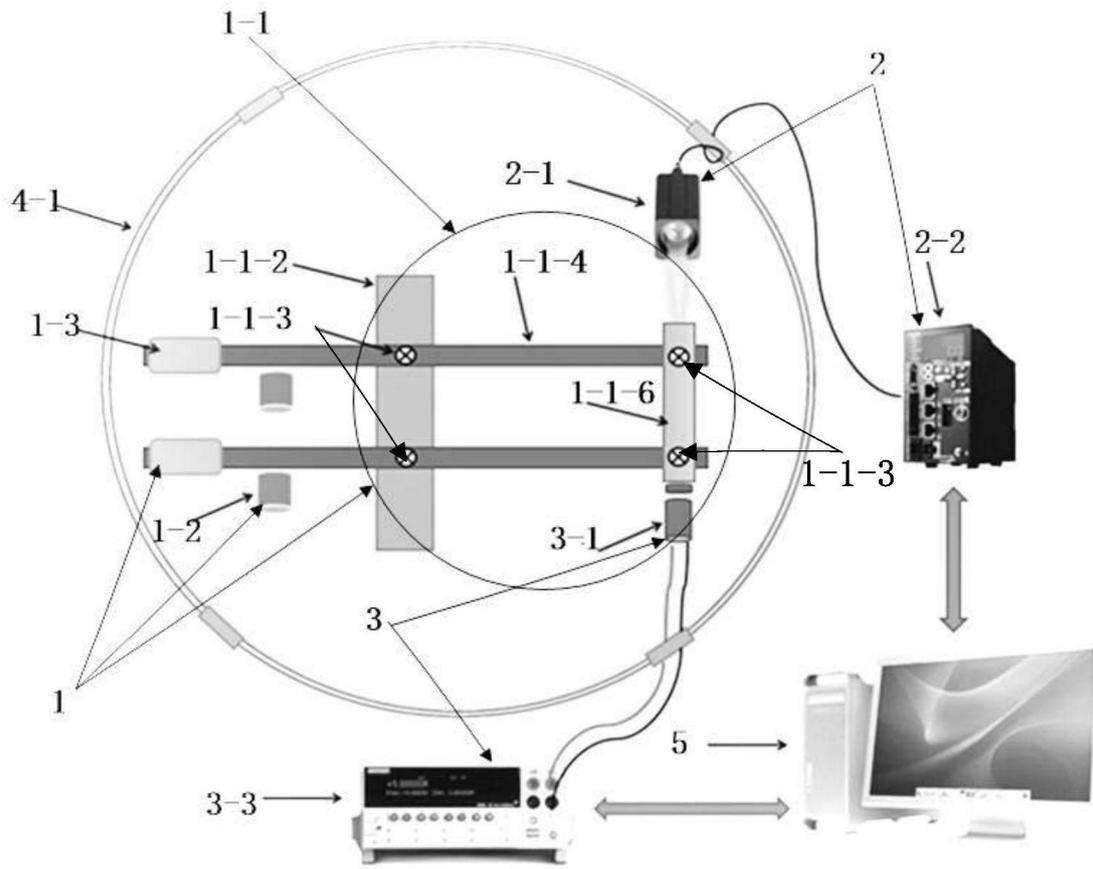


图1

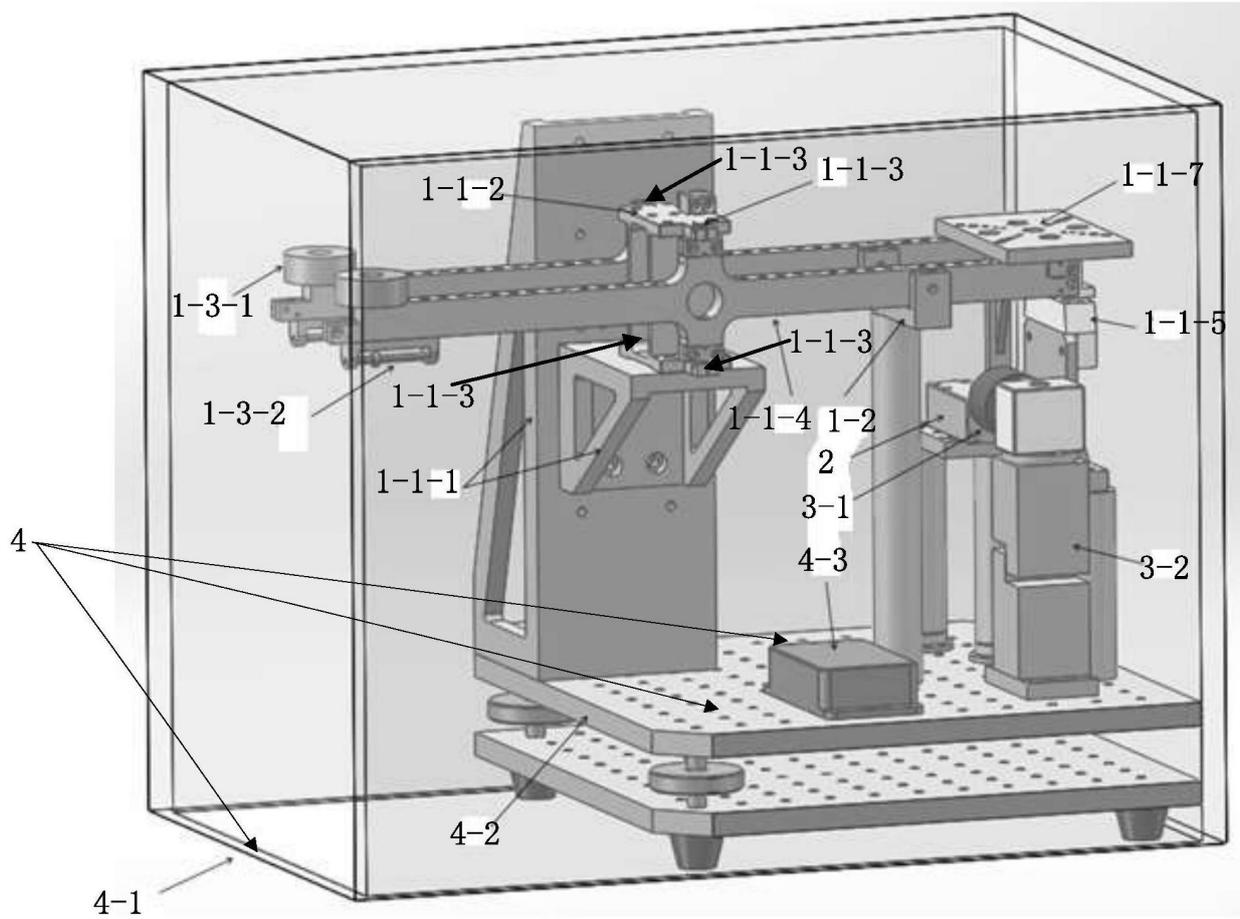


图2