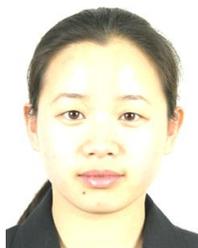




航天器狭窄封闭空间内间距测量方法

汪浩¹ 王国栋² 刘建峰¹

(1. 北京卫星制造厂, 北京 100190; 2. 中国空间技术研究院, 北京 100194)



摘要: 针对某型号总装过程中, 两球面舱体装配之后形成的密闭空间曲面间隙测量, 设计了一套基于直线位移传感器的测量系统, 采用电阻值变化反映位移的方法, 对该空间间隙进行精密测量。整个测量系统包括数据采集、存储和处理子系统。为了保证系统的精度, 设计了标定系统。测量实验表明, 整个测试系统能够对两球面舱体间隙进行测量, 测量精度可达 0.005mm。

关键词: 空间曲面间隙; 测量系统; 直线位移传感器; 标定

A Measurement of Distance in Closed Narrow Space for Spacecraft

Wang Hao¹ Wang Guodong² Liu Jianfeng¹

(1. Beijing Spacecrafts, Beijing 100190; 2. China Academy of Spacecraft Technology, Beijing 100194)

Abstract: A system based on linear displacement sensor is designed for the distance measurement between two hemispherical surfaces. The system consists of data collecting, storage and processing subsystems. A calibration subsystem is designed for accuracy assurance. The results show that the measure system can correctly get the distance between two hemispherical surfaces, and the accuracy is up to 0.005mm.

Key words: spatial clearance; measurement system; linear displacement sensor; calibration

1 引言

在某型号总装过程中, 需对两球面舱体装配之后形成的密闭曲面空间间隙进行精确测量。由于该间隙所在空间为密闭空间, 常规方法测量较为困难, 需采用特殊的方法。多年来, 该间隙是通过在支撑垫块上放置可以受压定型的物质, 测量物质定型后的高度, 从而反映密封大底和防热大底之间的间隙。虽然此方法已经多次使用, 但是该测量方法操作周期长、操作风险大、多余物难于控制, 因此不再满足测量要求。直线位移传感器因其具有结构简单、工作可靠、测量精度高的特点, 广泛应用于位移测量系统中^[1, 2]。本文采用直线位移传感器, 设计曲面间隙测量系统, 研究其替代传统受压定型物质法测间隙的可行性。

2 密闭空间曲面间隙测量系统设计

2.1 传统密闭空间间隙测量方法

传统的两球面舱体间隙测量方法为间接测量法, 即通过测量受压定型物质的变形量, 间接测量两球面之间的间隙。其测量原理如图 1 所示。

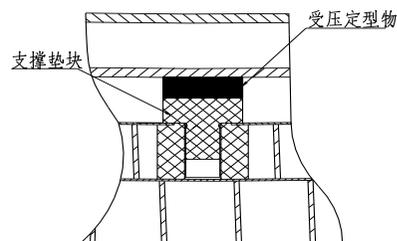


图 1 传统测量方法原理

采用传统方法进行测量时,对球面上各点需进行3次测量。整个测试过程至少持续4天左右,耗费工时长。测量过程需对两球面进行多次分离装配,且测量为人工测量,容易产生风险并造成一定的误差。

2.2 直线位移传感器间隙测量法

本文采用电刷式直线位移传感器,设计两球面舱体间隙测量系统,对间隙进行直接测量,减少间接测量带来的误差。该系统测量原理如图2所示。测量前,传感器总高为 t_0 ,测量时,传感器压缩量为 Δt ,则两球面之间的间隙为 $t_h=t_0-\Delta t$ 。

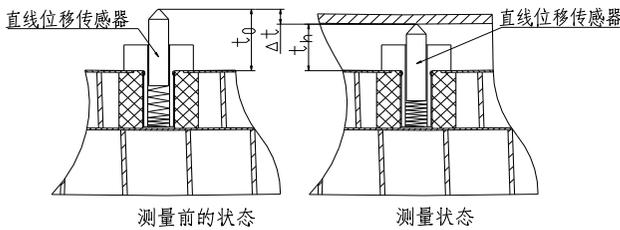


图 2 直线位移传感器测量原理示意图

该间隙测量系统由距离测试元件、数据采集子系统、数据存储子系统、数据处理子系统组成,测试元件用来测量密闭曲面的间隙。数据采集子系统将测试数据采集并传输给数据存储模块。数据存储模块通过SD卡将数据保存,在测试完毕后,将卡内数据读取到PC机中,并进行数据处理,从而显示曲面上每个位置的间隙。其系统原理如图3所示。

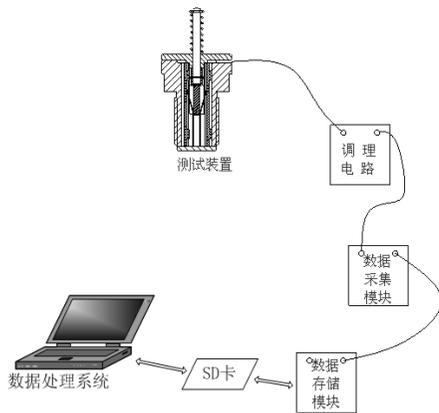


图 3 密闭空间曲面间隙测量系统原理图

本文所设计的测量系统,采用直接测量法。与传统的间接测量法相比较,测量时间短,整个测量时间只需要大约8h,缩短了2/3的时间,且测量过程中不会产生多余物,测量精度完全依靠系统精度保证,人为误差微乎其微,可完全解决传统测量方法中遇见的

问题,替代原有测量方法。

3 直线位移传感器方案设计

由于被测间隙的限制,现有的直线位移传感器都因为尺寸过大,不能满足要求。根据密闭曲面空间测量接口要求,结合国内外的先进测量技术,本文设计了直线位移传感器。该位移传感器主要由接口部件、测试装置、复位装置和机体四大部分组成,其结构如图4所示。

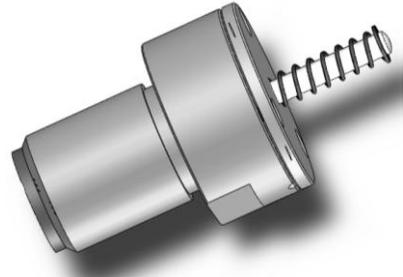


图 4 直线位移传感器结构图

接口部件通过螺纹与被测球面安装。通过曲面与压杆接触,带动电刷相对基板运动产生测试数据。复位装置由压紧弹簧组成,实现传感器的自动复位。机体的主要部件为前盖,其作用是对压杆的精密上下运动提供导向。该直线位移传感器的触头采用球面形状,与被测量件的接触为面接触,不易对产品造成损伤。

4 控制系统结构组成

4.1 系统组成

系统由PC上位机软件、下位机硬件采集控制和传感器阵列三部分组成。传感器阵列由多个直线位移传感器组成,安装于待测位置。多路传感器信号经过采集切换控制板控制,传感器按顺序采集,通过AD芯片(16位)采集传感器电压信号,AD芯片使用SPI通信方式和主控芯片通信,将采集到的数据传送给CPU,同时CPU将控制指令通过SPI通信方式发送至采集切换控制板。

4.2 下位机控制板

下位机控制的主要功能是接收上位机的控制指令完成指定的任务,同时读取各种传感器的值。为保证整个系统高速可靠地运行,选用32位RISC性能处理器STM32F103。

4.3 采集切换控制板

采集切换控制板共有两块，每块板上带有一个高精度的 AD 采集芯片，每块板负责采集 32 路传感器信号。所选的 AD 芯片有 8 个通道，每个通道分时采集 4 路传感器信号。控制系统测试流程如图 5 所示。

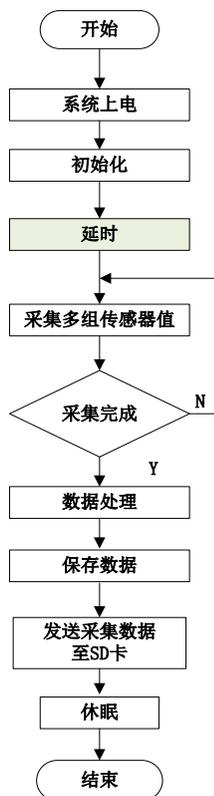


图 5 控制系统流程图

测量系统首先由 PC 上位机发出测量指令，这时系统由电池供电电量开始工作，并对传感器初始数据置零。这时，系统延时对传感器产生的数据进行记录，这是因为系统需进行一定时间的静置，使系统处于稳定状态，传感器数值确定。依次对传感器数据进行采集，采集完成后，对采集的数据进行处理并将其存储于 SD 卡中。这时，系统发出待机指令，电池停止供电，整个系统处于休眠状态。整个过程完成后，拆开密封空间，取出 SD 卡，读取里面存储的测量数据，完成整个测量过程。

5 传感器标定系统

为了保证测试系统精度，直线位移传感器在使用之前需要对其进行定期标定。其系统如图 6 所示。

标定系统主要由机架、传动装置、读数装置、测

试装置、保护装置、测试零件以及设备自身标定装置组成。系统将测试装置与光栅尺安装于同一基准线上，下压装置向下移动，在压缩测试装置的同时带动光栅尺向下运动。通过数据采集模块分别采集光栅尺与直线位移传感器的数据，经过数据处理系统分析数据得出标定文件，并将标定文件打印输出。

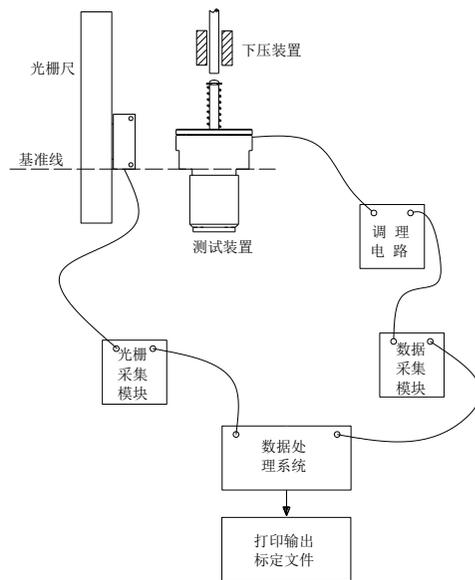


图 6 标定装置系统图

6 实例分析

直线位移传感器在直线光栅输出数据 0~9 时，分别多次采集直线位移传感器显示数据，标定系统与直线位移传感器数值的关系曲线如图 7 所示。

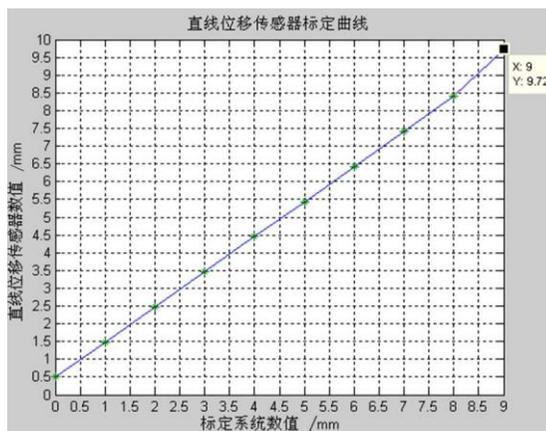


图 7 直线位移传感器标定曲线图

直线位移传感器的起始端留有 0.5mm 左右的余 (下转第 70 页)

