

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.05.08

大尺寸测量设备高空精测平台的研制

孙安斌, 高廷, 乔磊, 马骊群, 王继虎, 甘晓川, 曹铁泽

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 结合大型精密系统部装及总装精测时大尺寸测量设备布局优化及稳定性的要求, 论述了大尺寸测量设备高空精测平台结构组成、实现设备高空精测时的稳定支撑方式、稳定升降的结构原理。试验数据表明, 该平台高空作业时沉降率不大于 0.02 mm/h, 加载经纬仪稳定性达到 0.6"/h, 满足精测需求。

关键词: 大尺寸测量设备; 布局优化; 精测平台; 自动升降; 精密测量

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)05-0039-04

Development of High Altitude Precision Measuring Platform for Large-scale Measurement Equipment

SUN Anbin, GAO Ting, QIAO Lei, MA Liqun, WANG Jihu, GAN Xiaochuan, CAO Tieze

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

Abstract: Combining the requirements of layout optimization and stability of large-size measuring equipment during precision measurement of large-scale precision systems, this paper expounds the structure principle and realization method of stable lifting of large-scale precision measuring platform. Finally, with the help of the omni-directional transfer platform and the carbon fiber synchronous lifting system, the stable support and automatic walking of the large-size measuring device at high altitude are realized. The experimental data show that the stability of the platform is better than that of the theodolite.

Key words: large-size measurement equipment; layout optimization precision measuring platform; automatic lifting; precision measurement

0 引言

激光跟踪仪、激光雷达、经纬仪、摄影测量系统等大尺寸测量设备广泛应用于飞机、空间站、火箭、紧缩场等大型系统部装及总装过程中的精密测量^[1-4]。由于大尺寸精测设备原理及测量范围不同, 需要将其放置在空间中的不同位置实现站位优化, 以实现高精度测量并满足可视化要求。例如: 为满足某大型紧缩场测量装配需求, 需要将两台激光跟踪仪组网布局。经分析优化, 两台激光跟踪仪安装在距离紧缩场 12 m、间距 6 m、高度 8.5 m 的位置组网测量才能满足需求精度^[5]。为实现精确测量还需要测量设备到达测量位置后, 在测量时间内保持其支撑位置的稳定。近年来, 随着大型精密系统应用的增多, 对测量的准确性及效率提出了更高的要求。因此, 迫切需要一种可靠性好、热胀系数低、无需拆卸、方便运输、具有多种大尺寸测量设备承载能力且接口通用性好的精测平台, 克服已有支撑装置无法同时满足自动行走自动升降并兼顾稳定性的难题。

1 系统设计

大尺寸测量设备高空精测平台首先需具有良好的载重能力。本文研制的精测平台以能够承载目前最重的大尺寸测量设备——激光雷达为设计目标, 确定载荷为 60 kg; 此外, 精测平台的支撑高度需能够满足绝大多数大型装备的检测要求, 根据某大型空间探测器星敏传感器、IMU 传感器等实际检测需求, 设计平台最大支撑高度为 8.5 m; 根据集装箱运输需求, 设计平台收缩后高度为 2.4 m; 根据跟踪仪及经纬仪等大尺寸测量中的准确性需求, 设计平台工作高度范围内的稳定性指标为: 沉降率不大于 0.02 mm/h, 经纬仪水平变化不大于 5"/h; 同时, 考虑到设备支撑的安全性需求, 要求平台升降到指定高度后能够进行安全自锁。

根据以上要求, 设计了如图 1 所示的大尺寸测量设备高空精测平台。此平台由自动全向移动的底座、自动稳定升降支撑的主体五级伸缩碳纤维筒部件、增加稳定性的斜支撑固定杆及随动杆、包络多种测量设备安装的设备转接盘、满足经纬仪精测需求的连续升降台及控制系统等部件组成。

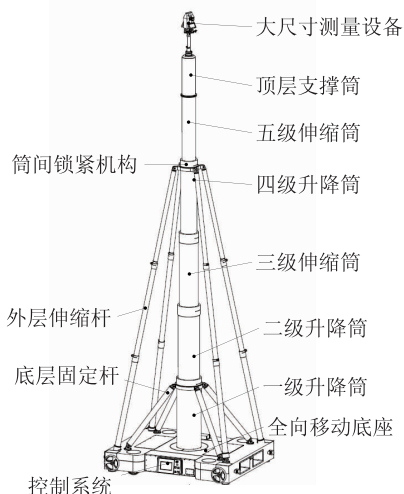


图 1 大尺寸测量设备高空精测平台结构组成图

1.1 全向移动底座

全向移动底座是整个精测平台的基础，其主体结构采用材质为 Q235A 的热轧槽钢与钢板焊接而成，采用纵横交错的立筋焊接，具有较高的强度和稳定性，焊接后采用退火工艺消除内应力，以满足使用时的稳定性需要。底座主体结构中间采用凹陷设计，以降低升降筒收缩后的高度；并利用四角空间安装螺旋升降调整装置以固定支撑底座，保持设备精测时的稳定；4 个自动全向轮安装在螺旋升降调整装置内侧，实现全向移动。底座主体结构顶面安装有主体伸缩碳纤维部件、斜支撑杆等，实现测量设备的自动稳定升降。整体结构如图 2 所示，其内部集成有充供电系统、蓄电池系统、控制系统，用于整体设备的供电和控制；整个驱动轮、升降机构安装在其内部，保证结构的紧凑美观；前后及侧面安装有避障传感器用于避开障碍物及障碍物预警。

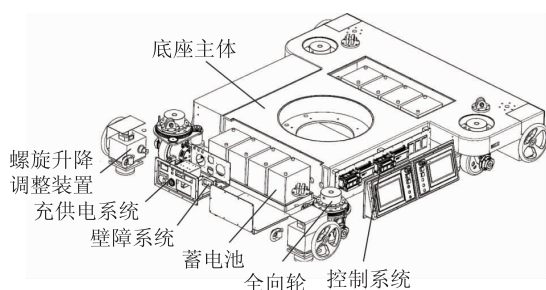


图 2 全向移动底座内部结构图

1.2 主体伸缩碳纤维部件

主体伸缩碳纤维部件作为精测平台的主升降部件，须同时解决自动升降与稳定支撑两个难题以满足精测

需要。若采用钢质材料，按照线性膨胀系数为 1.2×10^{-5} 计算， 1°C 的温度变化引起 8 m 支撑高度的热胀为 0.1 mm，考虑到实际测量环境的不稳定性，此变化量不能满足精测需求。因此采用热胀系数为 1.6×10^{-6} 的碳纤维作为主体伸缩部件材料。采用碳纤维材料带来两个难题：一是导向不能采用金属配合实现，因此采用与碳纤维摩擦系数小的聚四氟乙烯材料制造导向环，每节碳纤维筒设计双导向环保证导向稳定；二是采用套筒驱动时同步丝杠须克服转向力矩，故在碳纤维内部嵌装导轨。由于碳纤维热胀系数与普通钢热胀系数相差较大，为防止内嵌导轨与碳纤维产生应力发生变形，影响测量准确性，内嵌导轨采用殷钢材料制造。

为实现大尺寸测量设备的稳定支撑及驱动，研制的主体伸缩碳纤维部件结构由五级伸缩筒、顶层支撑筒、筒间锁紧机构、筒内导向单元、多级套筒驱动丝杠等部件组成。主体伸缩碳纤维部件的一级升降筒固定，三到四级伸缩筒能够同步伸缩，中心采用四级套筒丝杠支撑驱动，传动原理如图 3 所示。抬升时，底部一级丝杠旋转带动丝杠螺母向上运动，碳纤维筒在殷钢导轨的限制下不能旋转，从而推动二级伸缩筒伸出；一级推杆上部设计的外花键同时将力矩传递到二级推杆内部的内花键上，带动二级推杆绕与一级导向环连接的轴承旋转，从而带动二级导向环上安装的丝杠螺母上升，推动三级升降筒的上升，依次类推，实现整个伸缩结构的抬升。反之缩回过程同理，实现支撑筒的同步伸缩。

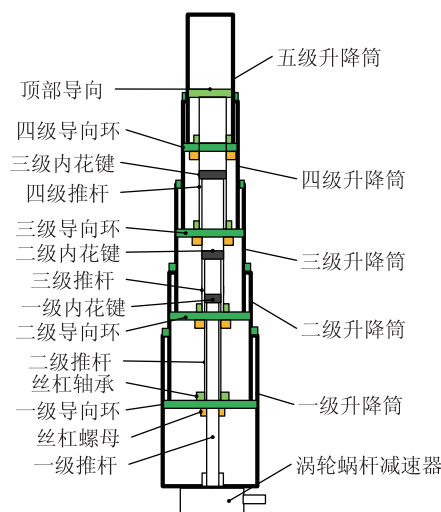


图 3 伸缩结构示意图

为使碳纤维筒升降后具有支撑作用，在筒间上部导向环处设计有筒间锁紧机构，如图 4 所示，筒间锁

紧机构采用抱紧环内嵌高摩擦性材料的设计方式，实现抱紧环与碳纤维筒之间力的传递。抱紧环采用电机驱动涡轮蜗杆、减速机带动梯形丝杠收缩的方式实现锁紧，并通过力传感器作为锁紧反馈。

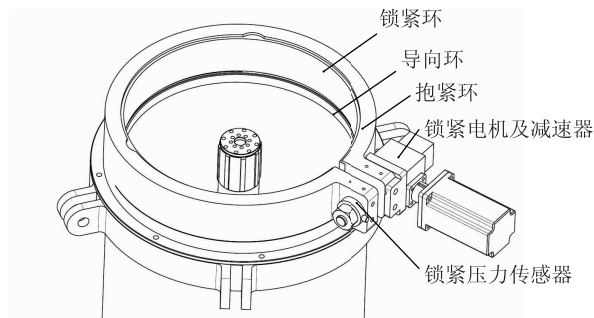


图4 筒间锁紧机构

1.3 斜支撑杆

主体伸缩碳纤维部件提升后为悬臂结构，受扰动后难以稳定，本文设计了外层斜支撑杆用于提高主体伸缩碳纤维部件提升后的稳定性，其由底部固定支撑杆和外部随动斜支撑杆构成，固定支撑杆用于增加主体支撑筒底部固定安装的刚度；外部随动斜支撑杆由具有导向的三个套筒式碳纤维杆组合而成，顶部碳纤维杆与四级碳纤维筒顶部的锁紧连接件相连，底部碳纤维杆与安装在全向移动底座上的随动伸缩碳纤维杆连接，主支撑筒升降时，随动碳纤维杆只能随动进行伸缩及俯仰运动，主体伸缩碳纤维部件受到扰动后，外部随动斜支撑杆产生推拉反作用力的约束，从而提高主支撑筒升高后的稳定性。

2 性能测试

2.1 沉降率试验

为验证系统的稳定性，利用跟踪仪进行沉降率试验。将重 60 kg 的钢板安置在高空精测平台上，并在高空精测平台的顶端安装跟踪仪靶座，上面安放 1.5 英寸的靶球。将高空精测平台调到 8 m 高度，并将跟踪仪安置在地面稳定位置上，设定采样间隔时间为 1 min，连续测量 1 h，记录跟踪仪目标点沿高低方向的坐标值，计算出 1 h 内目标点坐标的标准偏差为 0.01 mm。用 2 倍的标准偏差反应 1 h 内高空精测平台在高空作业最高点(8 m)的稳定性为 0.02 mm。高空精测平台在 8 m 处的稳定性测量结果如图 5 所示。

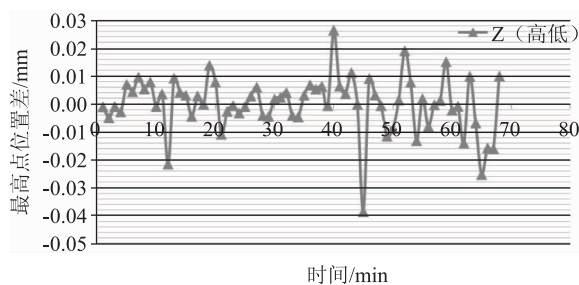


图5 高空精测平台在 8 m 处的稳定性测量结果

2.2 加载经纬仪稳定性试验

为验证系统的调平稳定性，采用经纬仪进行试验。将经纬仪安置在高空精测平台上，升降平台的高度调至 8 m 位置，调整经纬仪水平至 1" 以内，保持照准部不动，每隔 1 h 记录经纬仪水平角和垂直角的读数，连续测量 5 h，分别求出 1 h 前后所测两次的水平方向和垂直方向的角度差，测量结果如表 1 所示。经纬仪本体与升降台的环境保持一致，经纬仪的漂移忽略不计，则仪器与升降台之间的相对变化量小于 0.6"，即高空精测平台加载经纬仪稳定性为 0.6"。

表1 加载经纬仪稳定性试验测量结果

试验次数	角度方向	初始读数	1 h 后读数	1 h 前后 读数差/(")
第一次	水平角	80°19'44.8"	80°19'44.2"	-0.6
	垂直角	108°55'49.6"	108°55'50.0"	0.4
第二次	水平角	80°19'39.5"	80°19'39.2"	-0.3
	垂直角	108°55'48"	108°55'48"	0.0
第三次	水平角	80°19'34.6"	80°19'34.5"	-0.1
	垂直角	108°55'48.8"	108°55'49.2"	0.4
第四次	水平角	80°19'31.2"	80°19'31.5"	0.3
	垂直角	108°55'50.3"	108°55'50.5"	0.2

3 结论

本文论述了一套大尺寸测量设备高空精测平台的完整结构方案，采用全向移动底座作为载运平台，通过基于碳纤维筒的多级同步升降装置实现支撑结构的同步伸缩及自动锁紧；主体支撑筒通过外层固定及随动斜支撑增加支撑稳定性，达到了自动行走、自动升

降、热胀系数小、收缩后尺寸紧凑运输方便的设计目标。经实验证明，该平台高空作业时沉降率不大于 0.02 mm/h，经纬仪加载稳定性达到 0.6"/h，可靠性好，稳定度高，为大尺寸测量设备的高空精测提供了有力保障，并为未来大尺寸测量领域相关设备的设计研制提供了参考。

参 考 文 献

[1] 张开富. 飞机装配过程数字化测量技术[J]. 航空制造技术, 2016(10): 34-40.

[2] James. M. Cobb. Infrared GPS Technology Application by Manufacturing Research&Development [R]. Coordinate Measuring Systems Conference, 2002.

[3] 刘建新, 马强, 杨再华. 激光跟踪测量系统及其在航天器研制中的应用[J]. 航天器环境工程, 2008, 25(3): 286-290.

[4] 郑联语, 朱绪胜, 姜丽萍. 大尺寸测量技术在航空制造业中的应用及关键技术[J]. 航空制造技术, 2013(7):

36-41.

[5] 兰翔, 李晓星, 周国锋, 等. 激光跟踪仪组网测量在大型紧缩场反射面装调中的应用[J]. 航天制造技术, 2015(2): 18-22.

[6] 李庆祥, 王东生, 李玉和. 现代精密仪器设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

收稿日期: 2018-04-16

作 者 简 介



孙安斌(1986-), 男, 硕士, 研究领域包括大尺寸智能检测与校准技术、精密仪器。

2012年毕业于北京长城计量测试技术研究所, 同年工作至今, 现为长度研究室副主任。主持了包括国内首条高铁转向架生产线检测系统、首个大型空间探测器高空精测平台等6个项目研制工作, 作为分项负责人承担国防技术基础、工信部民机课题、型号课题4项, 获集团三等奖1项, 发明专利6项, 发表多篇学术论文。



高精度测量自动升降平台