

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.02.09

# 一种适用于支撑激光跟踪仪的轻型高稳结构三脚架

乔磊, 孙安斌, 马骊群, 王继虎, 曹铁泽

(中航工业北京长城计量测试技术研究所 大尺寸实验室, 北京 100095)

**摘要:** 三脚架是用来固定或支撑摄影器材及测量仪器的设备, 对于使用三脚架支撑的测量仪器而言, 三脚架的稳定性非常重要。相比于重型支撑平台, 三脚架具有灵活、便携的特点, 如何在保证轻便的前提下, 使三脚架达到最好的稳定性一直是三脚架设计中关注的重点问题。本文设计了一种适用于支撑现有不同类型的激光跟踪仪的便携式碳纤维三脚架。该三脚架可升降, 抗环境干扰小, 经仿真分析, 在承重 25 kg 的情况下, 施加 2.5 N·m 的扭矩引入的最大变形量为 0.01 mm。

**关键词:** 三脚架; 碳纤维; 稳定性; 激光跟踪仪

**中图分类号:** TB92; TH761

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2016)02-0031-03

## Development of A Carbon Fiber Tripod for Laser Trackers

QIAO Lei, SUN Anbin, MA Liqun, WANG Jihu, CAO Tiede

(Large-scale Laboratory, Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

**Abstract:** A tripod is used to fix or support the photographing device or measuring instruments to keep it level, playing a supporting role in the stability of instruments. For the measuring instruments supported by the tripod, the stability of the tripod is very important. Compared with the heavy base, the tripod is flexible and portable. Therefore, how to make the structural stability of the case on lightweight and portable equipment is particularly important. In this paper, we design a portable carbon fiber tripod which can support different types of laser trackers. The tripod can be lifted with small environment interference. In the case of 25 kg, the maximum deformation can be 0.01 mm by the torque of 2.5 N·m through the simulation analysis.

**Key words:** tripod; carbon fiber; stability; laser tracker

## 0 引言

激光跟踪仪是工业测量系统中一种高精度的大尺寸坐标测量仪器。其测量精度受到多种因素的影响, 如环境温度、现场振动、仪器设备支撑结构的稳定性等。其中跟踪仪支撑平台的稳定性是影响跟踪仪精度的重要因素, 特别是测量环境恶劣的情况下, 稳定性差的支撑平台所带来的影响远超过仪器自身对测量结果的影响。三脚架是跟踪仪用户最常用的一种支撑平台<sup>[1]</sup>, 如果在测量过程中三脚架不能保证跟踪仪的稳定性, 则会大大降低跟踪仪的实际测量精度<sup>[2-4]</sup>。本文参照了多种三脚架的结构, 设计了一种以碳纤维为主支撑材料的轻型三脚架, 碳纤维材质线胀系数小,

抗温变能力强, 在保证轻便的同时, 提高了设备的稳定性。

## 1 三脚架的主要结构及性能要求

三脚架是用来固定摄影设备或测量仪器、使其保持水平并起到稳定支撑作用的装置。一般三脚架主要由顶座、支撑腿、连杆结构、中间升降机构、底座等组成, 如图 1 所示。各个结构的作用如表 1 所示。

作为支撑装置三脚架通常要求具有如下性能: 轻便性、稳定性、可否升降、承载能力、抗干扰特性、抗扭矩特性、抗温变特性等<sup>[5-6]</sup>。表 2 给出了目前测量仪器常用的三脚架性价比较。

作为激光跟踪仪专用三脚架, 在工作过程中要保持设备稳定, 因此设计的三脚架需要结构稳固, 稳定性强; 同时为了携带方便还要求重量轻并具备升降功能。由于跟踪仪在工作过程中会产生一定的扭矩, 因此所设计三脚架还应具备一定的抗扭矩特性; 同时考

收稿日期: 2016-01-29; 修回日期: 2016-03-12

作者简介: 乔磊(1989-), 男, 北京海淀人, 助理工程师, 研究方向为大尺寸空间测量; 马骊群(1965-), 女, 研究员, 博士, 主要从事几何量测试与校准技术研究。



图1 三脚架结构示意图

表1 三脚架各部分结构功能表

结构名称	功能
顶座	用来紧固连接三脚架和跟踪仪
支撑腿	三个支撑腿在圆周方向对整体结构起支撑和稳定作用
中间升降机构	由升降套筒和支撑柱组成，通过调整实现仪器的升降
连杆结构	连接支撑柱和支撑腿构成稳定的三角形结构，支撑腿通过连杆连接支撑柱上的滑动圆环可以调节支撑腿展开程度
底座	通过三个底座支脚支撑在地面上，底座要保证与地接触牢固

表2 常见三脚架性价比列表

材质	强度	稳定性	轻便性	抗干扰	抗腐蚀	抗温度变化	价格
铝合金	较强	较强	较强	弱	弱	弱	中
钛合金	强	强	较强	弱	强	较强	高
碳纤维	较强	较强	高强	强	强	强	较高
钢管	强	强	弱	弱	弱	弱	低
木材	弱	弱	强	弱	弱	强	中

考虑到测量过程中现场环境的变化，三脚架还要具有一定的抗温变特性。

本次设计的跟踪仪三脚架主要设计指标要求如下：总重 15 kg 左右；承重 25 kg；支撑面积不超过 1.0 m<sup>2</sup>；升降高度 1 ~ 1.5 m；施加 2.5 N·m 的扭矩引入的最大变形量不超过 0.01 mm。

## 2 跟踪仪专用三脚架的结构设计

根据设计指标，本次设计选用碳纤维材质作为主支撑材料，这种材质最大的优点是线胀系数小，常温下受温度影响微弱，能够在温变环境下保证测量结果的准确性<sup>[7]</sup>。

### 2.1 主支撑腿的结构设计

主支撑腿采用双碳管单节结构，该结构无升降环节，最大限度地提高了三脚架的稳定性，具体结构见图 2。主支撑腿总长为 800 mm，支撑腿的最大张开角可达 30°，可调整高度为 100 mm。最大支撑面积小于 0.8 m<sup>2</sup>。

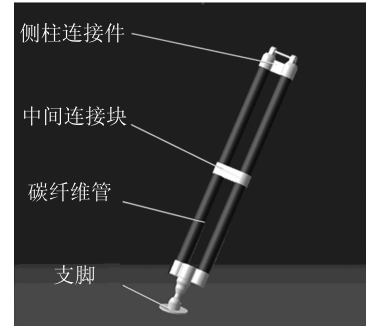


图2 双管单节支撑腿

碳纤维双管结构稳定性优于单管金属结构，由于取消了调整环节，保证了支撑腿的稳定性，同时减小了支撑面积。

### 2.2 升降机构设计

三脚架中间升降机构采用提拉式套筒结构，主要由支撑柱以及升降套筒两部分构成，如图 3。升降套筒选用质量较轻的碳纤维材质，而支撑柱则选用相对重些的铝合金材质以降低重心，经计算在负载 20 kg 的情况下，支撑柱采用铝合金材质要比碳纤维材质重心降低 16 mm，提高了稳定性，能够承受更大的倾斜。



图3 三脚架中间升降机构

相比于涡轮蜗杆升降结构，提拉式套筒结构升降快捷，材质不受限制，使用碳纤维材料可最大限度地减少三脚架的重量。

在升降机构设计中需要注意的是套筒锁紧机构，本次设计采用两个紧固套环对升降套筒进行锁紧，见图 4。最外层为支撑柱，最内层为升降套筒。在支撑柱内部，采用上下两个紧固压环对升降套筒进行紧固，

需要调节升降套筒的位置时, 松开连接紧固压环的旋钮, 此时可以上下调节套筒, 将其升降至指定位置后, 分别拧紧两个旋钮, 对升降套筒完成锁紧。相对于单点紧固这种紧固方式接触面积大, 升降套筒受力更加均匀, 锁紧程度更加稳定。

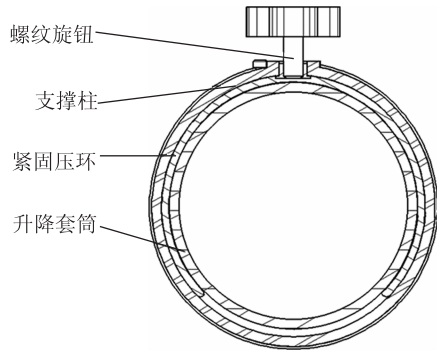


图4 三脚架升降套筒锁紧机构

### 2.3 连杆结构的设计

连杆机构是负责三个支撑脚与支撑柱的连接, 使支撑柱、支撑腿、连杆三者之间呈为稳定的三角连杆结构, 具体结构见图5。连杆选用坚固的铝合金材质, 随着三个支脚的打开, 连杆上的滑动圆环沿支撑柱上下移动, 当展开至所需角度后, 通过拧紧连杆机构上的紧固把手就可以快速将三个支撑脚固定。

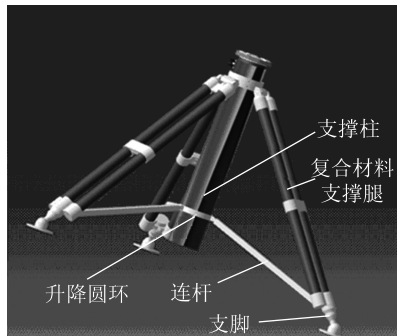


图5 三脚架连杆结构展开示意图

## 3 结构仿真分析

使用 ANSYS 软件对所设计的三脚架进行结构仿真分析, 主要考虑在负载、扭矩和倾角改变时三脚架的变形<sup>[8]</sup>。

### 3.1 在负载和倾角变化下三脚架的变形仿真

设定工况参数如下: 负载重量分别选取 25, 35, 50 kg; 倾斜角度选取 0°, 2°; 在温度为 20°C 的情况下, 仿真结果见表3, 变形分布图见图6。

表3 模拟仿真工况及结果记录表

重量 /kg	倾斜角 /( $^{\circ}$ )	竖直方向(X方向)变形/ $\mu\text{m}$	水平方向变形/ $\mu\text{m}$		总变形/ $\mu\text{m}$
			Y方向	Z方向	
25	0	2.54	0.75	0.79	3.32
	2	3.11	10.2	7.99	11.2
35	0	4.16	1.23	1.30	5.48
	2	5.09	16.7	13.2	18.5
50	0	5.78	1.71	1.81	7.54
	2	7.08	23.2	18.3	25.4

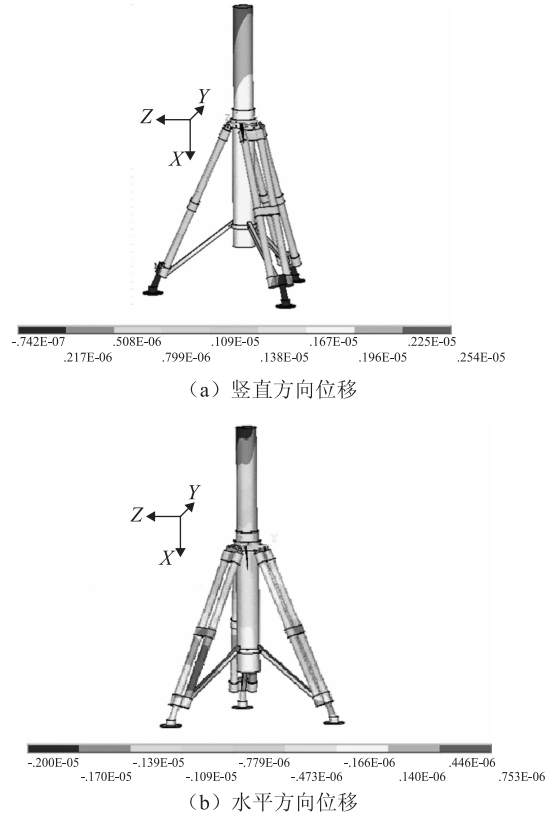


图6 有限元分析结果视图

从表3可以看出, 在倾斜角为 0° 的情况下, 三脚架的整体变形随着负载的增大而增大, 主要变形发生在竖直方向(X方向), 最大变形发生在升降套筒顶端, 是由竖直方向向下的负载压力造成的。水平方向(YZ方向)也同样产生了形变, 最大水平形变发生在三个支撑腿中间位置, 这是由于负载向下的压力使得三个支撑腿发生了弯曲, 发生弯曲最大的位置位于支撑腿的中下部分。在无倾斜的情况下水平方向的形变量远小于竖直方向的形变量。当施加 2° 倾斜角时, 竖直方向的形变量随负载增大而增大, 但增大幅度较小; 水平方向的形变量显著增大, 远大于竖直方向的形变量。这是由于出现倾斜之后三脚架整体发生倾斜, 原本竖直向下的负载产生了水平方向的分力, 因此水平方向

(下转第 41 页)

## 5 结束语

在本项目中,通过对典型的压力表进行环境试验,得到了一些压力表的环境影响量变化规律,尤其是温度影响量的总结可为压力表现场校准修正提供参考,便于对数据进行合理补偿,提高现场校准的准确度;另外,在高温高湿环境条件下,标准和被校仪表的数据均有明显影响,避免在高温高湿情况下开展工作,对降低现场校准风险具有一定意义,同时这也给数字压力计的选择提供了一定参考,对其防水抗潮性能也需要进一步观察。

由于本次试验量有限,其他不同类型、不同材质、不同等级的压力表还有待于进一步细化试验,扩展试验量。温湿度综合环境试验数据不是单独环境的简单

(上接第 33 页)

的位移增大了很多,最大水平形变依然发生在支撑腿中下部位。

从表 3 的分析结果可以看出,当施加倾斜的角度为  $2^\circ$  时,并在承载 25 kg 载荷的情况下,三脚架形变为  $11.2 \mu\text{m}$ ,而跟踪仪重量大约在  $10 \sim 20 \text{ kg}$  左右。因此在实际测试过程中只要保证三脚架的整体倾斜角度在  $2^\circ$  以内,其整体形变就能控制在一个很小的范围内。

### 3.2 在扭矩变化下三脚架的变形仿真结果

设定工况参数如下:负载重量为 25 kg,扭矩分别选取 1.5, 2.5, 3.5  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,在温度为  $20^\circ\text{C}$  的情况下,仿真结果见表 4。

表 4 模拟仿真工况及结果记录表

扭矩/ ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )	竖直方向 ( $X$ 方 向) 变形/ $\mu\text{m}$	水平方向变形/ $\mu\text{m}$		总变形/ $\mu\text{m}$
		$Y$ 方向	$Z$ 方向	
1.5	1.47	5.18	6.82	7.72
2.5	1.94	6.91	8.79	10.3
3.5	2.56	9.13	11.6	13.6

由表 4 可知,在施加扭矩的情况下,竖直方向的位移相对于水平位移小很多,水平方向的位移随着扭矩的增加而增加,经有限元分析最大水平位移发生在升降套筒顶端部分,这是由于扭矩的扭转部分作用造成的。扭矩对跟踪仪的静态测量无影响,只对动态测量有影响。而在施加扭矩的情况下,当扭矩为  $2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$  时,最大水平方向形变为  $0.01 \text{ mm}$ 。跟踪仪动态测量下,实际旋转的扭矩小于  $2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,因此扭矩对跟踪仪的测量结果的影响较小。

叠加,也不是简单的线性关系,具体的相关性还有待于进一步研究。另外,本系列试验还不能完全的模拟真实环境,例如有些高原地区的低气压环境、某些机载设备运行中的振动环境等在本试验设计中没有体现。

### 参考文献

- [1] 李敏. 压力表检定中温度对检定结果造成的影响[J]. 科技致富向导, 2014(14): 170.
- [2] 张宏宇. 浅析压力表的计量检定与校准[J]. 科技致富向导, 2012(33): 166.
- [3] 鲁炯明, 王政. 压力表检定时温度对标准压力表选择的影响[J]. 计量与测试技术, 2013, 40(1): 12-13.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 875-2005 数字压力计检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2005.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1416-2013 数字式压力计型式评价大纲[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.

## 4 结论

本文采用新型碳纤维材质,设计了一种适用于激光跟踪仪的碳纤维三脚架。该三脚架整体结构的稳定性强,与其他金属材质构成的三脚架相比较,具有更为轻便、抗干扰、抗温变等优点。结合有限元分析结果,在正常负载及扭转条件下,三脚架能够在  $2^\circ$  以内的倾斜角工况下引入的变形量不超过  $0.01 \text{ mm}$ ,对跟踪仪的现场测量结果影响可忽略不计,可以满足跟踪仪的正常使用需求。

### 参考文献

- [1] 张治国, 王浩, 唐春霞. 全站仪对中整平方法探讨[J]. 现代测绘, 2008, 31(4): 22-24.
- [2] 高小平. 测量仪器三脚架的操作使用方法探讨[J]. 文化教育, 2003, 32(5): 56.
- [3] FARO Technologies, Inc. Faro laser tracker. pdf [EB/OL]. (2005-12-20) [2015-12-10]. <http://www.ftp.faro.com/>.
- [4] New River Kinematics, Inc. SA-USMN Training Manual [EB/OL]. (2005-5-20) [2015-12-10]. <http://www.spatialanalyzer.com/sa-documents.htm>.
- [5] Lee J-S, Kang T-J. Changes in physico-chemical and morphological properties of carbon fiber by surface treatment [J]. Carbon, 1997, 35(2): 209-216.
- [6] 孙丽萍, 张澎涛. 碳纤维复合材料的电磁屏蔽特性[J]. 林业机械与木工设备, 2005, 33(3): 46-47.
- [7] 于成浩, 柯明, 赵振堂. 提高激光跟踪仪测量精度的措施[J]. 测绘科学, 2007, 32(2): 54-56.
- [8] 邓凡平. ANSYS12 有限元分析自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 23-312.