

文章编号 1004-924X(2003)03-0287-04

一种提高碳纤维复合材料框架结构应用性能的结构技术

丁亚林, 田海英, 刘立国, 丁延卫

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:分析了碳纤维复合材料的基本性能,探讨提高碳纤维复合材料结构性能的预埋技术措施,给出了预埋件的选取原则和几种典型结构形式。设计制备了框架式碳纤维复合材料构件,其最大外形尺寸为 1 200 mm × 790 mm × 695 mm、质量为 41 kg,其上安装质量为 125 kg 的仪器,经正弦扫描振动和随机扫描振动试验,该构件可承受 20.4 g 加速度载荷,试验后支架完好无损。

关键词:碳纤维复合材料;预埋件;振动试验

中图分类号: TP73 **文献标识码:** A

Use of pre-embedded parts to improve the performance of carbon fibre framework

DING Ya-lin, TIAN Hai-ying, LIU Li-guo, DING Yan-wei

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: The use of pre-embedded parts to improve the performance of carbon fibre framework is discussed by summarizing the major characteristics of carbon fibre and presenting the structure of several pre-embedded parts. A carbon fibre framework with overall dimensions of 1 200 mm × 790 mm × 695 mm and mass of 41 kg has been designed and fabricated, and subjected to both sine and random vibration tests. The results show that the carbon fibre framework can withstand an acceleration of 20.4 g.

Key words: carbon fiber; pre-embedded part; vibration test

1 引言

碳纤维复合材料以其密度小、比刚度高、线膨胀系数小等特点,作为结构件,被广泛应用在火箭、导弹、航空、机械等各行业,随着空间技术的发展和轻质复合材料需求的牵引,碳纤维复合材料作为结构件逐步用于空间遥感仪器结构中,且有逐步增长的趋势。空间遥感仪器中应用的碳纤

维复合材料结构件应具有高的尺寸稳定性、结构稳定性及热稳定性。成型后的碳纤维复合材料结构件,通过加工碳纤维基体来保证使用要求是困难的。本文从探讨碳纤维复合材料性能出发,研究碳纤维复合材料作为空间遥感仪器结构件采取的预埋技术措施,结合某空间遥感仪器采用的碳纤维复合材料具体结构,给出预埋件的几种结构形式,采用预埋措施设计制备了框架式碳纤维复合材料结构件并进行试验验证^[1-2]。

2 碳纤维复合材料性能对比分析

碳纤维复合材料是以碳纤维材料为基体,采

用表面活化的处理方法,借助固化剂和其它助剂,通过一定的工艺手段制备而成的一种综合性能优良的工程材料。碳纤维复合材料性能与空间遥感仪器常用的结构材料性能对比如表 1 所示

表 1 碳纤维复合材料与常用结构材料主要性能对比

Tab. 1 The main properties of carbon fiber composite material and other materials

材料	密度(g/cm^3)	弹性模量(10^9 Pa)	比刚度(10^7 N \cdot mm/g)	线膨胀系数($10^{-6}/^\circ\text{C}$)
铝合金(LC9)	2.8	71	2.53	23.6
钛合金(TC4)	4.44	109	2.45	9.1
铸造钛合金(ZTC4)	4.40	114	2.59	8.9
铁镍合金(4J32)	8.1	141	1.74	0.3~1.0
碳纤维复合材料(T300B)	1.8	95	5.28	0~1.0 (由铺层工艺确定)

由表 1 可知,碳纤维复合材料具有如下特点:

(1) 密度小。碳纤维复合材料的密度是铝合金密度的 0.64 倍、钛合金密度的 0.4 倍,由此可知,同种尺寸形状的结构件,用碳纤维复合材料制作较用铝合金制做可轻量化 36%,比用钛合金制作可轻量化 60%。

(2) 比刚度高。碳纤维复合材料的比刚度约为铝合金和钛合金材料比刚度的 2 倍,由此可知,在同种质量的前提下,碳纤维复合材料结构刚度较铝合金或钛合金的结构刚度提高一倍,适于轻质结构。

(3) 线膨胀系数小,且可按结构需要调整。碳纤维复合材料线膨胀系数较铝合金和钛合金线膨胀系数小一个数量级以上,与铁镍合金相近,且可根据碳纤维复合材料的铺层成型工艺调整,适于尺寸稳定性要求较高的支撑结构。

3 提高碳纤维复合材料结构性能的技术措施

碳纤维复合材料虽然有许多优良的性能,但将碳纤维复合材料制成各种结构件,必然存在碳纤维复合结构件与各金属结构件或组件间的相互接口关系。由于其可加工性能差,且形位、尺寸公差不易保证,对已成型后的结构件,不适宜在碳纤维基体上机械加工,如进行机械加工将破坏碳纤维基体的连续性,影响结构件的使用性能。为保证碳纤维复合结构件的安装及使用性能要求,避

免机械加工碳纤维复合基体,在碳纤维复合材料结构件成型过程中,采用在碳纤维复合材料基体上预先放置金属结构件的工艺措施来保证。

3.1 预埋件的选取原则

所谓预埋件就是指在工艺成型过程中,在碳纤维复合结构件各接口处,预先放置加工性能好的轻质金属结构件,以便成型后对金属结构件进行各种成型加工,来满足性能要求的一种工艺方法。预埋件常用的材料有铝合金、钛合金和铁镍合金。对结构性能、热稳定性要求不高的碳纤维复合件选用铝合金材料作为预埋件;对结构性能、热稳定性要求较高的碳纤维复合材料选用钛合金或铁镍合金作为预埋件。

3.2 预埋件的结构形式

预埋件的结构形式主要取决于碳纤维复合结构件的形式及功能。碳纤维复合结构件的曲型结构有框架式、筒式和杆式三种形式。不同的结构形式预埋件的结构形式不同,分述如下:

(a) 框架式结构

框架式结构有长方形框架和三角形框架及二者的组合结构,结构简图如图 1 所示。

框架式结构多用于空间遥感仪器的承力构件(如支架等),要求碳纤维框架结构在各种载荷(如冲击、振动)作用下,应具有足够的强度和刚度,保证其工作正常,因此要求在框架与框架、框架与光学仪器的连接处,设置结构刚度较好的预埋件,借助预埋件间的连接,实现碳纤维复合结构间的连接。其典型预埋件结构的形式为工字形杆件和法兰形柱状结构,结构简图如图 2、图 3 所示。

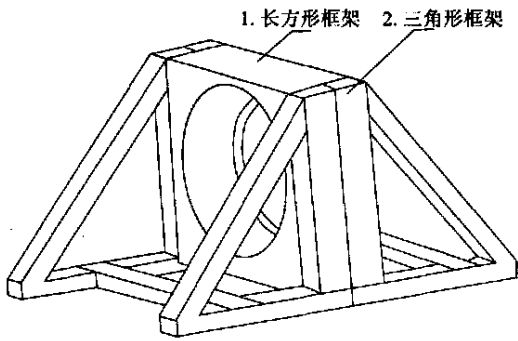


图 1 框架式结构简图

Fig. 1 Sketch of the frame structure

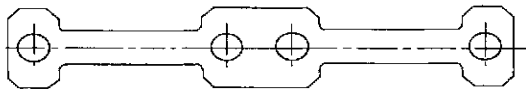


图 2 工字形预埋件

Fig. 2 I-shaped pre-embedded part

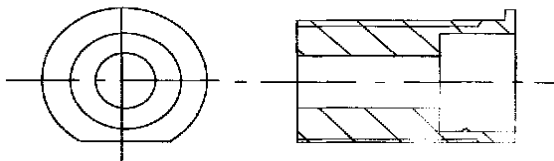


图 3 法兰形预埋件

Fig. 3 Flanged pre-embedded part

工字形杆件用于主承力框架上(如图 1 中序号 1 两侧),其上加工有螺纹孔,用于接口连接,在结构中起载荷均匀传递作用;法兰形柱状结构设置在辅助支承框架(图 1 中序号 2)的接口连接处,用于提高接口连接处的结构性能,其上设计有螺纹副用于提高与碳纤维复合材料基体连接的面积,法兰采用削边结构,用于成型时保持位置相对稳定。

(b) 筒式结构

筒式结构多用于空间遥感仪器的遮光镜筒或用作通光口径不大的光学镜筒,来支撑光学结构件。

用于遮光镜筒的碳纤维复合结构件,因遮光镜筒在仪器中仅起遮光作用,对结构件的性能要求不高,形状较简单、壁厚较薄(小于 3 mm),成型较容易,但其法兰接口连接处,需预埋图 3 形式的预埋件,用于提高接口连接处的结构性能。

用于支撑光学结构件的碳纤维复合结构件,其上安装有光学元件,光学元件在光学系统中有严格的尺寸和位置要求,因此通常采用在碳纤维复合材料的结构件上预埋有比碳纤维复合材料加工性能好的钛合金预埋件,预埋件的结构形式如图 4 所示。

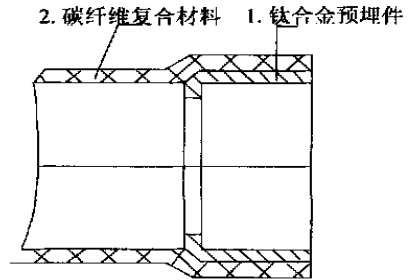


图 4 筒式结构预埋件

Fig. 4 Tube shape pre-embedded part

钛合金预埋件的外径加工成螺纹形结构,用于提高钛合金件与碳纤维复合材料的结合性能,为保证预埋钛合金件的初始相对位置,在二者间的径向设置有定位销。成型后复合结构件通过加工钛合金预埋件来达到固定光学元件使用要求,通过碳纤维铺层工艺,满足其尺寸稳定和结构稳定性要求。

(c) 杆式结构

对于外形尺寸大、质量大、光学元件间尺寸和结构稳定性要求高的仪器,为减轻重量使设计出的结构更加合理,在光学元件间常采用桁架式结构。桁架是由多个杆件与框架按设计要求组合而成,桁架性能的优劣,在很大程度上取决于碳纤维

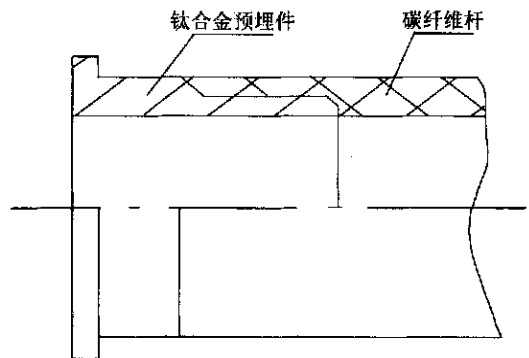


图 5 无角度要求安装的碳纤维杆件

Fig. 5 Carbon fiber pole part without angle requirement

复合材料的杆件,因此在制作碳纤维杆件时,除选

用性能优良的碳纤维,采用特殊的铺层工艺,满足力学性能及热稳定性要求外,还应采用合理的预埋措施予以保证。作为碳纤维杆件通常采用在其两端预埋有比碳纤维复合材料加工性能好、力学性能优良的钛合金件或铁镍合金件,其典型结构形式如图 5,图 6 所示。

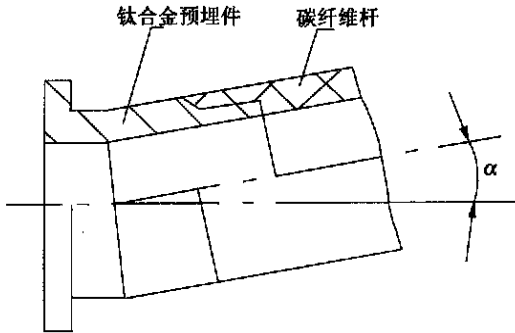


图 6 有角度要求安装的碳纤维复合杆件

Fig. 6 Carbon fiber pole part with angle requirement

图 5 结构用于无角度要求安装的碳纤维杆件;图 6 结构用于有角度要求安装的碳纤维复合杆件。碳纤维复合杆件对轴向长度方向的尺寸精度要求较高,因此采用杆件成型后,通过加工两端预埋法兰的方法来保证,杆件的接口设置在两端预埋件的法兰处。

参考文献:

- [1] 顾里之. 纤维增强复合材料[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
GU L ZH. *Carbon fiber composites* [M]. Beijing:Mechanical Industry Publishing Company, 1988. (in Chinese)
- [2] 张俊华,盛祖铭,孙继同. 复合材料结构设计指南[M]. 北京:宇航出版社,1999.
ZHANG J H, SHENG Z M, SUN J T. *Design guide of composites constructure* [M]. Beijing: Yu Hang Publishing Company. 1999. (in Chinese)
- [3] SEUMM J E, PHNCHON G E. Graphite/epoxy material characteristics and design techniques for airborne instrument applicatin[J]. *SPIE*, 1982, 309:188-198.
- [4] CCONNELL S J, DODSOM K J, FRIEDMAN Z, et al. Design progression of an all-composite primary mirror for the FIRST telescope[J]. *SPIE*, 2000, 4013:173-183

作者简介:丁亚林(1964 -) ,男,吉林长春人,研究员,主要从事空间遥感仪器结构研究。

4 碳纤维复合材料结构件试验验证

结合某空间遥感仪器的需求,设计制备了框架式碳纤维复合材料结构件,其最大外形尺寸为 1 200 mm × 790 mm × 695 mm,质量为 41 kg(比采用铝合金材料轻 10 kg),结构简图如图 1 所示。将质量为 125 kg 某空间遥感仪器安装在支架上,一起放置在振动台上,按空间环境试验条件进行三个方向正弦扫描振动(频谱范围 5 ~ 100 Hz、幅值 3 ~ 6 g)和随机扫描振动(频谱范围 10 ~ 2 000 Hz、均方根加速度值 7.8 grms)试验,在试验过程中支架承受的最大加速度为 20.4 g,试验后支架完好无损。

5 结束语

碳纤维复合材料作为结构件,以其密度小、比刚度高等特性被广泛应用在各行业。随着技术的发展和碳纤维复合材料工艺的不断提高,将有越来越多的碳纤维复合结构件应用在空间遥感仪器上^[3-4]。本文结合工程实际应用,给出一种避免加工成型后的碳纤维复合材料基体所采取的预埋技术措施。采用预埋技术,使成型后的框架式碳纤维复合结构件,可以通过加工预埋件的方法来保证其非常高的安装及使用性能要求。碳纤维复合结构件在空间遥感仪器中应用,对提高仪器的性能,使空间遥感技术向着轻型、高比刚度的方向发展起重要作用。