

一种宇航用光缆及光缆组件的加固设计方案

张志升^{1,2}, 陆兆辉^{1,2}, 阚杰^{1,2}

(1.中国电子科技集团公司 第八研究所,合肥 230051;2.宇航光纤互连技术安徽省重点实验室,合肥 230051)

摘要:由于光缆较柔软,在工程操作时容易弯折,使得装备在航天器舱内的光缆弯曲半径过小。为增强光缆的刚性,提出了一种宇航用光缆及光缆组件加固设计方案,在不改变光缆结构的前提下,按原生产工艺将光缆组件制作完成后,采用胶带和布进行缠绕保护,并对光缆组件的相关性能进行试验分析。试验结果表明,该方案增强了光缆组件整体的刚性,满足设计要求。

关键词:光缆;弯曲半径;加固;胶带;布

中图分类号:TN929.1 文献标志码:A 文章编号:1002-5561(2022)06-0082-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2022.06.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Reinforcement design scheme of aerospace optical cable and optical cable assembly

ZHANG Zhisheng^{1,2}, LU Zhaohui^{1,2}, KAN Jie^{1,2}

(1. The 8th Research Institute of CETC, Hefei 230051, China;

2. Anhui Key Laboratory of Aerospace Fiber Interconnection Technology, Hefei 230051, China)

Abstract: As the cable is soft, it is easy to bend in engineering operation, so that the bending radius of the cable equipped in the spacecraft cabin is too small. In order to enhance the rigidity of optical cable, a reinforcement design scheme for aerospace optical cable and optical cable components is proposed. Without changing the structure of optical cable, after the optical cable components are manufactured according to the original production process, tape and cloth are used for winding protection, and the correlation of optical cable components is tested and analyzed. The test results show that the scheme enhances the overall rigidity of the optical cable assembly and meets the design requirements.

Key words: optical cable, bending radius, reinforcement, adhesive tape, cloth

0 引言

近几年,光缆和光缆组件在整个航天领域中的应用越来越多,开始广泛应用于航天各系统设备之间的高速互连^[1]。由于目前没有宇航用光缆及光缆组件加固先例,因此为了便于航天舱内敷设布线,一般要求光缆和光缆组件本身较柔软。若对已经设计定型的光缆和光缆组件按照军用光缆铠装加固或采用军用光缆组件铠装管加固方式,则研制周期较长,一般为2~3

年,且重量会大幅度增加。因此,为增强光缆的刚性且不大增加光缆重量,本文提出一种宇航用光缆及光缆组件加固设计方案。

1 宇航用光缆及光缆组件加固设计方案

1.1 光缆加固设计

影响光缆抗弯折性能的因素主要有2个:一是成缆材料的刚度,即弯曲模量;二是截面惯性矩,与光缆厚度有关。因此,一般采用弯曲模量较高的刚性材料、增加光缆厚度2种途径来提高光缆的抗弯折性能。但是,受设计尺寸限制,光缆外径不宜增加过大,故光缆加固设计主要从选用刚性较高的成缆材料入手。本文选用高强高模的热塑性聚合材料(弯曲模量可达9 GPa以上)加固光缆,设计的刚性成缆材料加固舱内耐辐照光缆结构如图1所示,光缆由抗辐照光纤、刚性缓

收稿日期:2021-12-23。

作者简介: 张志升(1990—),男,安徽肥西人,硕士,工程师,主要研究方向为光纤连接器、光缆组件和光无源器件等。负责了1项国家重点型号工程配套项目,完成了1项载人航天工程立项元器件研制项目和多项横向生产项目。



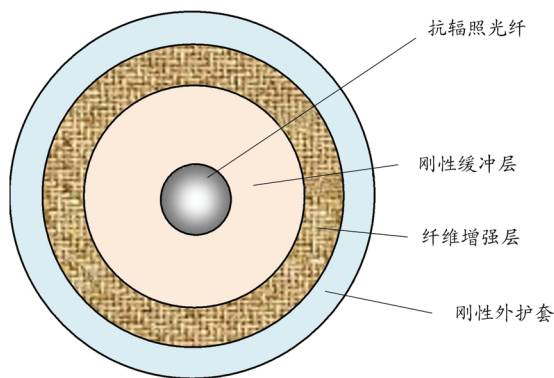


图1 刚性成缆材料加固舱内耐辐照光缆结构

冲层、纤维增强层和刚性外护套组成。

在刚性加固方面,刚性缓冲层、纤维增强层和刚性外护套均选用高强高模的材料,材料自身硬度大,尺寸比普通光缆小,在保持外径不变(外径尺寸为1.8 mm,线密度小于5 g/m)的情况下使外护层壁厚增大,提高硬度横截面面积,增加光缆的硬度。

在光缆温度性能方面,光纤外挤制的一层低膨胀刚性缓冲层,具有较低的线膨胀系数,可以有效缓冲温度应力对光纤的影响,使光缆满足宽温性能的要求。

在宇航环境适应性方面,所选用的材料均能满足辐照、热真空释气和材料毒性等要求。

在成缆工艺方面,刚性缓冲挤塑工艺成熟,已在舱外耐辐照光缆中得到应用;编织工艺也为成熟工艺,只有共聚酯的外护套挤制操作需进行工艺攻关。

1.2 光缆组件加固设计

因重新设计新型光缆组件结构的研发周期长、难度大且成本高,故本文考虑在不改变光缆组件结构的前提下对光缆组件进行优化设计,即按原光缆组件的生产工艺将光缆组件制作完成后,不采用锦丝套带进行保护,而是采用成熟的电缆加固和布处理工艺(采用胶带和布对光缆进行缠绕),增强光缆组件中的光缆刚性。布保护示意图如图2所示。

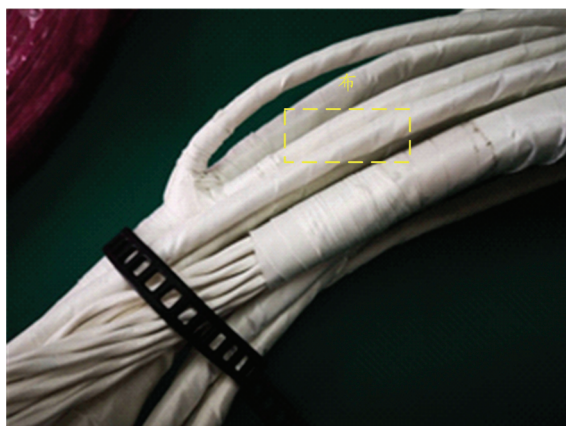


图2 布保护示意图

宇航用光缆组件的结构形式如图3所示,包括4个J599/26GE04AN 光纤连接器(1#~4#)、8根光缆(外径为1.8 mm,光缆长度共分为4种,每种有2根)。光缆从连接器尾端直接分支,光缆分支和中间部分用布和胶带捆扎。同时,借鉴宇航产品上的电缆加固工艺,光缆组件的加固具体步骤如下:

①为了增强光缆的刚性,在主缆和分支缆上使用单面胶带进行缠绕紧固后,再在其外面用布进行缠绕。

②在使用胶带和布进行缠绕的过程中,需要将胶带和布倾斜一定的角度,使其可以压住已经缠绕好的部分一半左右(缠绕1层),按此方式依次缠绕至各自结合部位。搭接方式如图4所示。

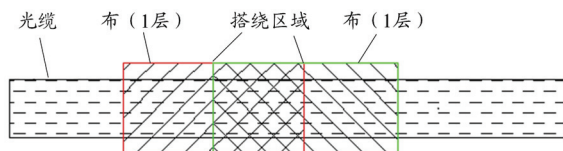


图4 搭接方式

③在连接器尾端结合处,先用胶带将光缆和连接器尾端进行缠绕固定,再用胶带在布的内圈固定一段,将布从连接器尾端的金属后端开始缠绕(缠绕1层)。

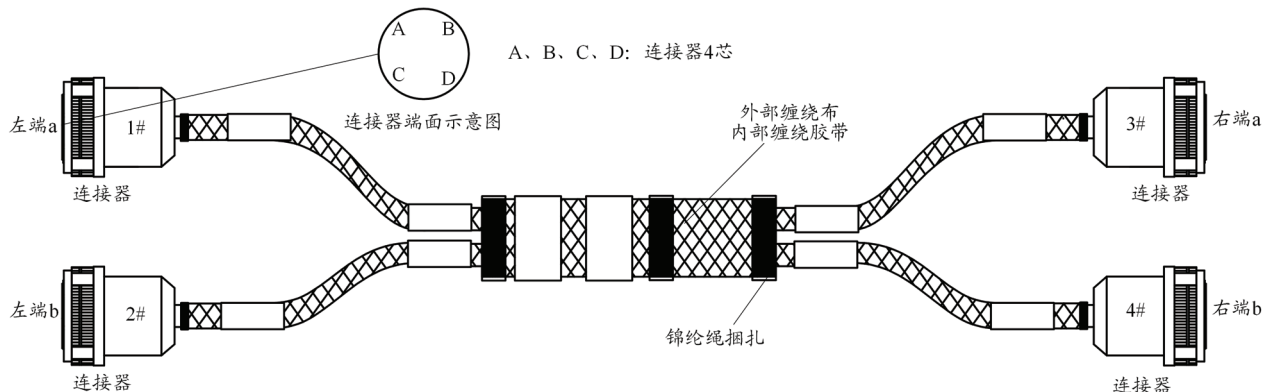


图3 宇航用光缆组件结构形式

张志升,陆兆辉,阙杰:一种宇航用光缆及光缆组件的加固设计方案

④在分支结合处,先将2个分支用胶带固定在一起,再用胶带在布的内圈固定一段后,将布从缠绕好胶带的分支处进行缠绕;依次处理另一边的分支结合处和连接器的结合处。加固后光缆组件示意图如图5所示。

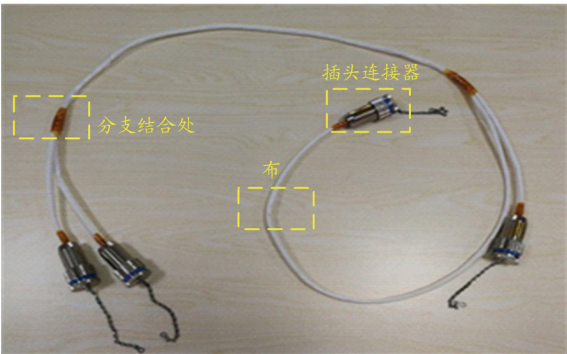


图5 加固后光缆组件示意图

在宇航载人的空间环境中,若增加非金属材料需通过相关非金属材料试验(热真空释气、材料毒性等)。而本文提出的光缆组件加固方案中采用的胶带和布均常用在宇航环境下电缆的加固和原子氧防护上,故该原材料可满足宇航空间环境适应性要求。

2 实验分析

本文分别从插入损耗、力学性能、光缆封口处弯曲和配接等方面对所提的加固方案进行实验分析。

2.1 插入损耗测试

本文使用插损/回损测试仪,按GJB 915A-1997方法303测试图3所示的光缆组件加固前后的插入损耗,得到的插入损耗变化如表1所示。可以看出,光缆组件加固前后的插入损耗变化有增有减,且损耗值成随机分布状态,这种结果主要是由光缆组件插入损耗的测试误差导致的;插入损耗在加固前后无明显变化,且加固前后的插入损耗均小于0.5 dB,满足设计要求。

表1 插入损耗测试表

连接器之间的连接方式				加固前插入损耗/dB	加固后插入损耗/dB
1#	A	3#	B	0.16	0.19
	B		A	0.03	0.07
	C	4#	B	0.17	0.07
	D		A	0.17	0.27
2#	A	3#	D	0.18	0.19
	B		C	0.15	0.16
	C	4#	D	0.05	0.06
	D		C	0.19	0.08

2.2 力学性能测试

本文按以下试验条件依次对所提光缆组件中的力学性能进行试验验证。

①正弦振动Ⅰ。按GJB 1217A-2009方法2005进行试验,试验条件如表2所示,每个方向各扫描一次,一次扫描时间为0.5 h。

②正弦振动Ⅱ。按GJB 1217A-2009方法2005中的试验条件Ⅲ进行试验,频率为10~70 Hz时,位移幅值为0.75 mm;频率为70~2000 Hz时,加速度为147 m/s²时。在2个相互垂直的轴向和径向各扫描一次,每次扫描时间为0.5 h。

③随机振动。按GJB 1217A-2009方法2005中试验条件Ⅵ表中的C条件进行试验,功率频谱密度为0.06 G²/Hz,频率为40~2000 Hz,在2个相互垂直的轴向和径向各扫描一次,每次扫描时间为0.5 h。

表2 正弦振动Ⅰ试验条件

频率范围/Hz	幅值/mm	加速度/(m·s ⁻²)	加载扫描率/(oct·min ⁻¹)	试验方向
4~10	22	—	2	3个相互垂直的方向
10~17	12.5	—	2	3个相互垂直的方向
17~20	—	192.08	2	3个相互垂直的方向
20~100	—	205.8	2	3个相互垂直的方向

试验期间,任意抽取一光路测量光不连续性,得到力学试验结果具体情况如表3所示。可以看出,在力学环境条件下进行的光缆组件光不连续性测试期间,未出现光不连续性现象,且光缆组件的插入损耗均小于0.5 dB,满足设计要求。

2.3 光缆封口处弯曲试验

本文按GJB 1217A-2009方法2017试验程序Ⅰ进行光缆封口处弯曲试验,具体步骤如下:

表3 力学试验结果

连接器之间的连接方式				光不连续性	插入损耗/dB
1#	A	3#	B	0	0.13
	B		A		0.15
	C	4#	B		0.05
	D		A		0.19
2#	A	3#	D		0.07
	B		C		0.24
	C	4#	D		0.06
	D		C		0.08

- ①选取光缆组件任意一段光缆作为试验样品;
- ②反复弯曲 100 次;
- ③试验后, 观察光缆组件外观和测试插入损耗, 结果如表 4 所示。可以看出,光缆组件外观良好(布无明显松动、脱出现象,胶带粘接牢固),且插入损耗均小于 0.5 dB,满足设计要求。

表 4 光缆封口处弯曲试验结果

连接器之间的连接方式				外观	插入损耗/dB
1#	A	3#	B	良好	0.27
	B		A		0.19
	C	4#	B		—
	D		A		—
2#	A	3#	D		0.03
	B		C		0.20
	C	4#	D		—
	D		C		—

2.4 配接试验

光缆组件与光模块配接测试示意图如图 6 所示。本文通过旋转光缆组件两端的连接器测试光缆组件动态旋转和弯曲的应力,测试结果如表 5 所示。可以

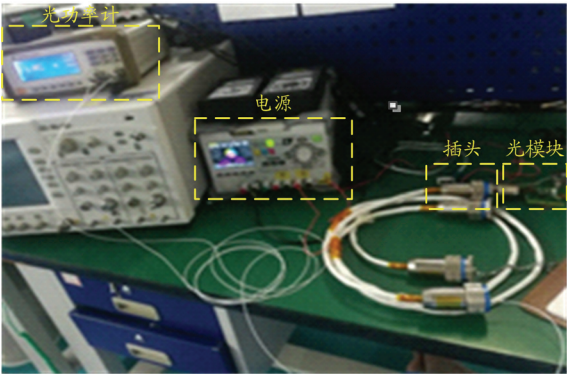


图 6 光缆组件与光模块配接测试示意图

表 5 配接试验结果

连接器之间的连接方式				光功率变化/dBm
1#	A	3#	B	0.05
	B		A	—
	C	4#	B	0.06
	D		A	—
2#	A	3#	D	0.05
	B		C	—
	C	4#	D	0.06
	D		C	—

看出,转动光缆组件时,光功率指标无明显变化,满足用户要求。

3 结束语

本文详细阐述了光缆和光缆组件的加固设计方案,在不改变光缆结构的前提下进行优化设计,并进行了相关性能测试,测试结果均满足设计要求。为确保光缆组件在安装和使用过程中光缆的弯曲半径满足设计要求,建议总装光缆组件时注意如下事项:

- ①光缆最小安装弯曲半径不小于 50 mm,以便保护内部光缆的正常使用;
- ②光缆组件在安装过程中,应避免过度拉伸光缆;
- ③光缆安装过程中需避免对光缆的扭转,若扭转长度大于 1 m 时,尽量先插合好两端连接器,再调节主缆段光缆,使其光缆顺滑;
- ④光缆安装过程中需避免硬物的碰撞、冲击和倾压等机械损伤;
- ⑤总体单位在敷设光缆组件过程中,如需要穿孔或布线时,需要用手拿着光纤连接器金属部分,让尾端光缆自由舒展,禁止只拿光缆不拿光纤连接器。

参考文献:

[1] 张宝富.光纤通信[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2009.