文章编号: 1002-1582(2001)06-0505-02

碳纤维复合材料用于光学镜面*

郝伟娜, 姚正秋, 陈汉良
(国家天文台 南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042)

摘 要: 介绍了从20世纪80年代初开始,国际上将碳纤维复合材料用于光学镜面中的现有的技术水平及国内的现状,提出了碳纤维复合材料用于光学镜面将有可能达到的精度以及所开展的工作。

关 键 词: 碳纤维; 光学镜面; 复合材料
中图分类号: TH706 **文献标识码**: A

Carbon fiber composite material used in optical mirror

HAO Wei-na, YAO Zheng-qiu, CHEN Han-liang
(Nanjing Astronomical Optics and Technologies Institute, National Astronomical Observatory, Nanjing 210042, China)

Abstract: This paper describes the present technology of international carbon fiber composite material used in optical mirror and the condition in China. The accuracy will be reached and the work we have proceeded, also introduced in this paper.

Key words: carbon fiber; optical mirror; composite material

1 引 言

从20世纪80年代初开始,国际上就已开始采用经特殊设计制造的碳纤维复合材料来代替金属制作桁架,如美国的太空望远镜和射电望远镜。这种经特殊设计的复合材料构件具有高模量、高强度和超低膨胀系数(设计的整体构件可与玻璃镜面的膨胀系数相同)。镜阵刚度大,减小了档光面积,且不会因温差而引起畸变,省去了伺服调整系统,提高了可靠性,降低了成本和重量,大大提高了成像质量。

另一方面,典型的支撑结构的质量与镜子质量之比是比较高的,在10～20之间。所以,减少光学系统重量,可以同时减少支撑结构的重量及节省价值不菲的经费。采用复合材料作为光学镜面就能达到这种效果。

2 背 景

国际上一个新的研究动向是采用超高模量复合材料制造镜面衬底,表面经精密抛光和离子束抛光后镀膜成镜,可望大幅度提高精度和降低重量,从根本上改变现有望远镜设计制造理念。在20世纪80年代,欧洲空间局开展了XMM研究,采用了碳/环氧复合材料制造镜面获得了初期成功,但未能解决因环氧树脂吸湿后长期缓释气体引起表面纤维印痕问题;在20世纪90年代,美国NASA喷气推进实验室开展了PSR计划,采用碳/氰酸酯复合材料和新的加工制造技术解决了上述问题;在20世纪90年代后期,NASA戈达德宇航中心进一步深入开展研究工作,采用M55J/EX1515碳/氰酸酯复合材料,应用离子束抛光等技术取得了惊人的研究结果:直径420 mm的镜面表面粗糙度<1 nm、面密度<2 000 g/m^2。采用复合材料所制造的镜面精度高、重量轻,大大降低了整个望远镜的重量,从而具有极好的动力学特性,是天文望远镜设计制造技术的革命,尤其对空间天文望远镜有极为重要的意义。

Peter C Chen和Timo T Saha等人还试验做了一架全部都用复合材料做的望远镜样品(包括光学系统和支撑结构)。由于没有高质量的模具,光学质量不是很好(面形精度具有几个波长)。

从国际上的动态来看,采用复合材料所制造的镜面精度已能达到红外的精度。但是,具有可见光精度的和大口径的光学镜面目前还没有做出来,主要是因为在经固化到室温的过程中,复制镜面有弯曲现象。

从我国的实际情况而言,国内的复合材料一般以航空航天技术的开发为目的,现有的技术不能满足对光学镜面的加工要求,现有的制造加工技术侧重保证材料强度等结构指标,对外形尺寸、粗糙度及保型性只能满足厘米波段以上的雷达天线的要求,无法制造出天文望远镜的复合材料光学镜面。

对于镜面用复合材料来说,由于采用复型法制造、精密抛光和离子束抛光,为防止抛光过程中温升引起微裂纹和纤维印痕,所以所用材料体系还必须满足低温固化、低吸湿真空释放、高热稳定、高抗裂的加工与使用要求。概括起来,天文望远镜用碳纤维复合材料的最显著的特点是具有可设计的超低热膨胀系数、超高比刚度、高比强度以及低吸湿真空释放、高热稳定、高抗裂特性,而在制造技术方面则需多种先进、精密加工技术的综合。

因此,目前的工作是希望能用碳纤维复合材料制造出令人满意的天文望远镜的复合材料光学镜面。

3 工作进展

目前,南京航空航天大学已能做出精度为0.1的碳纤维胶合材料结构,如果在此基础上进行修正,采取一定的加工方法,如玻璃光学镜面复制及离子抛光,可以提高至可见光的精度。同时,南京天文光学技术研究所在光学镜面复制方面已取得一定的成绩,并且已开展等离子抛光设备的研制及有关技术研究课题。目前,天文光学技术研究所正与南京航空航天大学协作,

* 收稿日期: 2001-06-01; 收到修改稿日期: 2001-06-15
作者简介: 郝伟娜(1976-),女,山东省人,国家天文台南京天文光学技术研究所博士研究生。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

共同开展碳纤维胶合材料用于光学镜面的课题研究。针对天文望远镜的具体要求和复合材料可加工范围,建立一套从组分材料选择、制造工艺、结构设计、性能测试到后加工的综合设计方法和精密制造技术,预计在 3 年内可以研制出用碳纤维胶合材料制成的光学镜面。

3.1 制作模具

为了实现玻璃光学镜面的复制及离子抛光,首先制作了两套不同尺寸的模具,以便于天文仪器碳纤维镜面的研制工作。其直径分别为φ390 mm 和φ450 mm。模具为 R = 1 600 mm 的球面模具。模具图如图 1 所示。

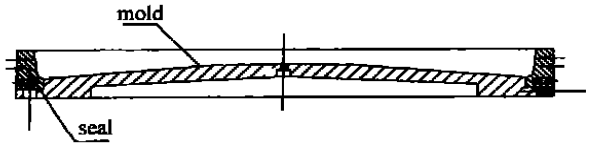


图 1

3.2 镜面复制

目前,已经开始了φ450 mm 的碳纤维镜面的研制工作。在已制成的球面模具上加脱模剂,然后抽真空,敷上碳纤维和树脂,预计可以制成精度为 0.10 的镜面坯;然后再用光学加工方法进行修磨、镀铝。预计在 2001 年内可完成第一块碳纤维镜面样品。

致谢:感谢南京航空航天大学材料系肖军、丘建辉等人在本课题中给予我们的巨大帮助。

参考文献:

[1] Peter C Chen, Timo T saha, Andrew M smith, Robert Romeo. [J]. Optical Engineering, 1998, 37(2):666—676.

[2] Robert C Romeo. CFRP composites for optics and structures in telescope applications [J]. SPIE, 2543:154—161.

[3] Peter C Chen, C W Bowers, David A Content, MarzoukMarzouk, R C Romeo. [J]. Optical Engineering, 2000, 39(9):2320—2329.

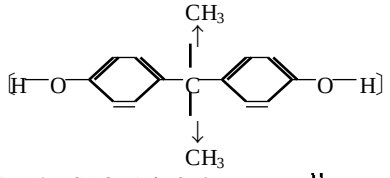
[4] J R Vinsion. The behavior of sandwich structure of isotropic and composite materials [M]. Technomic publishing co Inc, UK, 1999.

[5] J M Whitney, R L MeCullough. Micromechanical Materials modeling [M]. Technomic Pub1 Co Inc, Lancaster, 1993.

[6] Michael H Krim. Desigh of high stable optical support structure [J]. SPIE, 1975, 41:885.

[7] 李顺林,王兴业. 复合材料结构设计基础[M]. 武汉:武汉工业大学出版社, 1993.

(上接第 504 页)



受热不会极快硬化(抛光时会产生高热量),即使加入固化剂让其中的线状结构在一定温度下胶联成网状结构的高聚物,也可使柏油保持微量塑性弹力,但强度比其高得多。因此只要将模具面形精确压制后,就可以长时间应用,使用中还要将模具进行必要的微孔结构处理,以加大表面粗糙度,增加磨削能力。此外,设备的程控调心动作可以随机保证球心在一条线上移动, P_n 基本不变,如图 2 所示。此外,值得提及的是抛光设备,只要在非球面状态下输入球面参数,就可以对大口径球面透镜、大口径样板进行区间驻点修磨,以改善局部不规则程度。

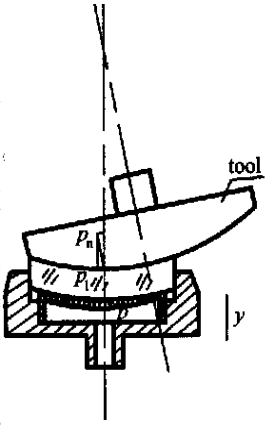


图 2 P_n 基本不变

P —总压力; P_n —正压力; P_1 —切向分力。

4.3.2 定心磨、倒边

可以在精铣磨之后进行,只要将设备中的磨、倒边程序调出加入到加工程序中就可连续完成。但此时需要专用的真空吸附夹具或胶夹具,其定位精度和配合精度要求都很高,况且还要损失磨轮的外圆部分。由于在点接触磨削球面时,不易控制磨轮的端口磨损参数,故一般不采用此方式加工。通常采用在立式设备上对大口径透镜进行机械定心磨、倒边(消除大透镜自重对定心精度的影响)。根据透镜的机械定心条件可知

$$R/D < (1/2)\mu m \qquad (5)$$

当极限夹紧角仅在 12°~16°时,定心效果不太理想,要想达到较高的定心精度(C = 0.03 mm 以上),应该在夹头上想办法。

(1) 夹头的几何精度。夹头本身在制造时端口与被夹持部分的同心度、与轴线的垂直度、端口的全跳动均应控制在 0.03 μm 以内。夹头工作面抛光,所具有的小圆角切忌成刀锋状,以便玻璃可任意滑动。

(2) 夹头材料的选择。传统夹头材料多用 H_{96}、H_{62} 等。人们认为用铜做夹头可防止锈蚀,压延性好不损伤零件表面,却不知铜合金中的铁、镍、锡、铅等元素刚好也位于金属活动顺序表的前端,它们也和铜一样极易与玻璃表面的盐离子发生作用而阻滞定心力系的平衡,使定心不畅。道理也很简单,由于铜是第 29 号元素,核最外层电子数为 1,它是以自由电子来维持离子间金属键的,所以很不稳定。当玻璃表面的盐离子大量作用于铜夹头光滑的工作面时就产生了阻滞力,难怪透镜口径越大,不平衡越明显,以至磨削进行了一段时间后透镜还在自动调心(俗称让刀)。建议夹头采用强度高、无磁滞性、韧塑性好、耐腐蚀的不锈镍铬合金材料,可以很好的解决大透镜定心磨边的问题,一般都可以达到 C = 0.01 mm 左右。

5 结束语

大口径透镜、大口径非球面透镜的加工不但在民品生产中逐步开始,甚至已引入到军品生产中,确实有利可图,但还有许多工艺问题、设备问题需要解决。

参考文献:

[1] 蔡立,田守信. 光学零件加工技术[M]. 武汉:华中工业学院出版社, 1987.

[2] D F HORNE. OPTICAL PRODUCTION TECHNOLOGY[M]. 1978, 9~17.

[3] 王宪民,李克敏. 关于大口径透镜高效加工[J]. 云光技术, 1999, (2).

[4] LOH Co. Operation Manual[M]. 2000.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net