

文章编号: 1672-8785(2014)10-0020-03

用于降低胶接应力的反射镜胶接技术

崔永鹏 何 欣

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所空间光学二部, 吉林 长春 130033)

摘 要: 目前空间光学相机用反射镜大多采用脆性材料, 所以结构简单的胶接方式比较适合反射镜的固定。但是如何控制胶接质量、降低或消除由胶接应力引起的反射镜镜面变形显得至关重要。针对空间光学相机中常用的反射镜光学环氧胶胶接, 通过合理确定胶层参数、采用相应手段控制胶层厚度以及采用合理的光学环氧胶固化工艺, 降低了反射镜胶接时的胶接应力, 保证了反射镜面形在胶接前后维持不变。通过试验验证了该胶接方案的合理性和可行性。

关键词: 反射镜; 胶接参数; 厚度控制; 固化工艺

中图分类号: TH745; V19 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.10.004

Cementation Technique for Reducing Stress in Mirror Fixation

CUI Yong-peng, HE Xin

(Department of Space Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Currently, since most of mirrors for space optical cameras are made of brittle materials, they are suitable to be fixed by cementation with simple configuration. However, how to control cementation quality and how to reduce or remove the transmutation of the mirror due to the stress of cementation are very important. For the mirror optical epoxy glue cementation frequently used in space optical cameras, because the measures such as reasonable determination of cementation parameters, control of cementation thickness and use of proper optical epoxy glue technology are taken, the stress due to the cementation of the mirror is reduced and the surface figure of the mirror is kept unchanged before and after cementation. The test result shows that this cementation method is reasonable and feasible.

Key words: reflected mirror; parameter of cementation; thickness control; solidifying technique

0 引言

目前, 大部分空间光学相机所用的反射镜均采用可抛光成高精度面形的脆性材料, 如 SiC 和微晶玻璃等。该结构无法采用螺接直接固定, 只能采用六自由度定位、压块压紧方式固定, 因此仅适用于小尺寸反射镜。随着胶粘剂性能

的不断提高, 加之胶接连接可通过简单结构实现不同材料之间的固定, 采用胶接连接的反射镜在航空航天领域得到了越来越广泛的应用。在反射镜胶接技术方面, 国内的李福和赵伶丰等人已对胶层形状、胶层厚度和应力大小等进行了定性分析与研究, 但采用何种方式控制胶层厚度和减小胶接应力则需通过工程实践来确

收稿日期: 2014-07-18

作者简介: 崔永鹏 (1981-), 男, 河北迁安人, 硕士研究生。主要从事机械设计和机械制造等方面的研究。

E-mail: cyp19810512@yahoo.com.cn

定。本文对反射镜胶接中常用的 GHJ-01 光学环氧树脂胶进行了研究和试验, 并通过选择和控制胶接参数、采用合理的固化工艺降低了胶接应力。

1 胶接参数的确定及固化工艺

GHJ-01 光学环氧树脂胶具有双组分、无色透明、清洁度高、收缩率及粘接应力小、耐高低温、耐水以及耐光学药品等优点, 是空间反射镜胶接中常用的一种胶粘剂。

胶接时, 对胶接参数进行控制显得非常重要。胶接参数包括胶接长度 L 和胶层厚度 h , 如图 1 所示。

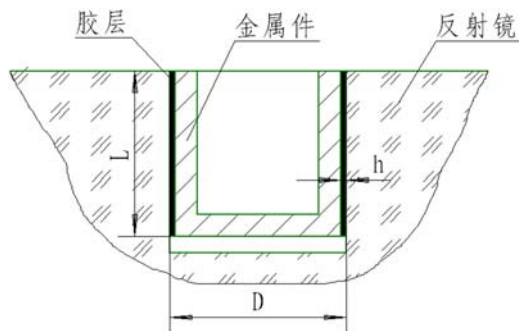


图 1 胶接参数的示意图

1.1 胶接长度

胶接强度与胶接长度 L 之间没有线性关系。开始时, 胶接强度会随 L 的增加而增加, 但当 L 超过一定数值后, 胶接强度将不再提高, 而胶接质量会下降, 所以应选取较为合适的胶接长度。

胶接长度可根据胶粘剂的剪切强度 J 、粘接点的受力大小 F 、粘接件的直径 D 以及选定的安全系数 k 进行估算, 即 $L = kF/\pi DJ$ 。根据经验, 选取的胶接长度 L 一般不大于 $1.5D$ 。

1.2 胶接厚度

胶层厚度对胶接性能起着决定性作用。在用光学环氧胶粘接零件时, 一般将胶层厚度 h 控制在 $0.03 \sim 0.25 \text{ mm}$ 范围内, 因为当胶层厚度太小或者太大时, 胶层缺陷较多, 胶接质量较差, 这会导致胶接强度降低。

由于反射镜、环氧胶和机械金属材料之间存在线胀系数差异, 温度变化时会因线胀系数

不匹配而产生径向温度应力, 从而影响反射镜的面形, 并最终影响光学系统的像质。为了消除温度热应力, 应尽量选择线胀系数与反射镜材料相同的金属材料, 并通过计算选择合适的粘结厚度来使热应力达到最小化甚至被消除。

无热应力粘接时的胶层厚度可以通过理论计算得到。考虑到粘接反射镜和金属材料的零件形位公差, 胶层厚度可通过式 (1) 得到:

$$h = r_0(\alpha_c - \alpha_0) / \left\{ \alpha_b - \alpha_c + \frac{v}{1-v} \right. \\ \left. \times \left[\left(2 - \frac{h}{2L} \right) \alpha_b - \frac{3}{4}(\alpha_0 + \alpha_c) \right] \right\} + \Delta h \quad (1)$$

式中, $\Delta h = \frac{t_0 + t_c}{2} + \frac{c_0 + c_c}{2}$ 。在将金属件镶嵌至反射镜中进行粘接时 (如图 1 所示), t_0 为金属件的粘接圆柱与定位面的垂直度, t_c 为反射镜的粘接孔与反射镜背板的垂直度, c_0 为金属件粘接圆柱的圆柱度, c_c 为反射镜粘接孔的圆柱度。

可以对式 (1) 进行多次迭代求解, 或者将其展开变成 h 的求解方程进行求解。

1.3 胶层厚度的控制

通过计算得到胶层厚度之后, 在工程实施过程中必须保证胶层厚度均匀, 避免胶层厚度一边远大于理论值, 而另一边又远小于理论值。在实施胶粘的过程中, 通过以下方案进行控制 (如图 2 所示): 在设计中, 将粘接金属件嵌入反射镜内, 并将反射镜的端面以及靠近端面的一部分圆柱面作为定心工装的定位面; 粘接金属件圆柱面与定心工装同心固定、端面紧密配合, 定位工装与反射镜圆柱面过渡配合, 并靠反射镜端面进行定位, 保证粘接金属件的径向和轴向

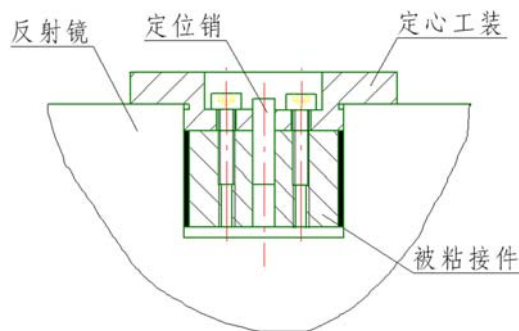


图 2 胶层厚度控制方案

位置, 可将胶层厚度差值控制在几个微米以内; 在胶层固化后, 卸下定心工装, 安装连接件。

1.4 环氧胶固化工艺

为了降低光学环氧胶固化时所产生的内应力对镜面面形的影响, 我们结合光学环氧胶产品的特点以及厂家推荐的固化工艺, 通过多次试验制订了前期低温固化时降低固化反应活性、后期后固化时提高固化程度的固化工艺路线。这样做可以有效消除光学环氧胶固化时的内应力。图 3 所示为光学环氧胶的低应力固化工艺。

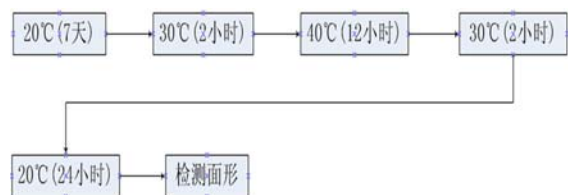
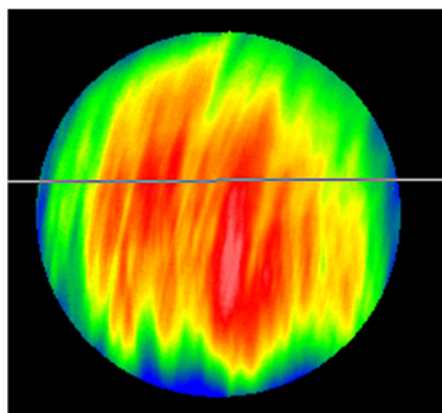
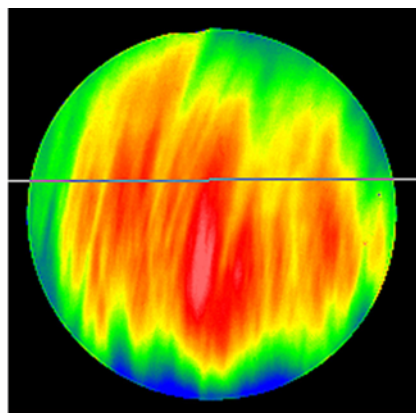


图 3 光学环氧胶的低应力固化工艺



(a)



(b)

图 4 粘接前后的反射镜面形: (a) 粘接前; (b) 粘接后

试验前后的反射镜面形几乎没变: 试验前为 0.022rms, 试验后为 0.023rms, 其变化值在千分之一。镜面的波峰波谷形状也无明显变化, 说明胶接前后没有明显的胶粘应力, 胶层厚度选择、胶层控制措施和固化工艺可以降低内应力, 满足使用要求。

3 结束语

本文介绍了使用光学环氧胶粘接空间光学相机用反射镜时的胶层参数确定、胶层厚度控制方案以及可降低光学环氧胶粘接应力的固化工艺方案。经试验验证, 采用以上方案进行反射

2 胶接试验

试验用反射镜为圆形的 K9 玻璃, 其线胀系数 α_0 为 0.21×10^{-6} , 外形尺寸为 $\Phi 300$ mm, 粘接孔的垂直度 t_0 为 0.005 mm, 圆柱度 c_0 为 0.008 mm。金属结构件采用低膨胀系数合金 4J32 材料, 其线胀系数 α_c 为 0.05×10^{-6} , 外形尺寸为 $\Phi 130$ mm, 粘接宽度 L 为 10 mm, 垂直度 t_c 为 0.004 mm, 圆柱度 c_c 为 0.007 mm。胶粘剂为 GHJ-01 光学环氧胶, 其线胀系数 α_b 为 236×10^{-6} 。

平面镜裸镜的反射面面形精度的均方根值接近 $\lambda/50$ ($\lambda=632.8$ nm)。通过式 (1) 计算的胶层厚度 h 为 0.027 mm, 因此选择 0.03 mm 作为胶层厚度。然后根据图 2 所示的方法控制粘接厚度, 并按照图 3 所示的工艺路线进行固化, 最后得到试验前后的反射镜面形 (见图 4)。

镜胶接, 不仅可以保证胶接质量和有效降低甚至消除胶粘应力, 而且还可以保证胶接前后反射镜面形不变。

参考文献

- [1] 范志刚, 常虹, 陈守谦, 等. 透镜无热装配中粘结层的设计 [J]. 光学精密工程, 2011, 19(11): 2573-2581.
- [2] 刘强, 何欣. 反射镜无热装配中胶层厚度的计算及控制 [J]. 光学精密工程, 2012, 20(10): 2230-2236.
- [3] 李福, 阮萍, 赵葆厂, 等. 胶固紧平面反射镜的有限元分析 [J]. 光学技术, 2006, 32(6): 896-899.
- [4] 赵伶丰, 白光明. 复合材料胶接头分析研究 [J]. 航天器环境工程, 2007, 24(6): 393-396.