

# 温度对光纤准直器的角度偏移影响分析

孙鸣捷

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 国家光学仪器工程技术研究中心杭州 310027)

**摘 要** 通过对光纤准直器准直失配, 即离轴耦合、偏角耦合、间距耦合三种情况的耦合损耗进行分析, 发现角度偏移对耦合效率影响最大. 实验中随着温度周期性的变化, 光斑位置也出现了有一定规律性的变化. 实验通过确定光斑位置的变化量从而求出鞍型和拱型支承架在温度循环时的角度偏移为 519  $\mu\text{rad}$  和 395  $\mu\text{rad}$ , 并导致了 0.944 dB 和 0.718 dB 的耦合损耗; 在温度冲击时的角度偏移为 986  $\mu\text{rad}$  和 138  $\mu\text{rad}$ , 并导致了 1.793 dB 和 0.251 dB 的耦合损耗. 实验结果表明拱型支承架在两种不同的温度变化情况下均优于鞍型支承架.

**关键词** 光纤准直器; 光纤支承架; 激光焊接; 角度偏移

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A

## 0 引言

激光封装<sup>[1]</sup>是利用激光焊接<sup>[2]</sup>对光有源、无源器件进行定位、封装的一种技术. 激光封装的过程大致可分为三步: 光信号通过光纤耦合输入尚未封装的密封装置; 在装置内部的光纤末端与其它光学部件进行对准以得到高的耦合效率, 通过激光焊接将其固定在基板上, 并完成密封过程; 光信号通过另一端耦合光纤输出密封装置.

密封装置在工作时因光纤发热是无可避免的, 升温会使光纤支承架产生一定程度上的形变, 从而使封装时的高准直性受影响. 因此考察不同结构的光纤支承架在温度变化时的表现, 并由实验结果来挑选和改进支承架对于实际产品的生产具有一定的参考价值. 考虑到实验的单一性和准确性, 并减少其他因素的影响, 本文将单模光纤准直器为例进行讨论和实验.

## 1 理论分析

### 1.1 准直失配

单模光纤准直器是光纤通信系统和光纤传感系统中的基本光学器件, 它由四分之一节距的自聚焦透镜和单模光纤组成, 主要用于提高单模光纤间的耦合效率<sup>[3-5]</sup>. 由于在准直过程中会出现一定程度的失配, 因此会产生单模光纤间的耦合损耗.

失配主要存在离轴、偏角和间距三种模式.

在高斯光束耦合理论的基础上推导出三种失配情况的具体损失量

$$\eta_a = -10 \log \{ \exp [ - (n_0 \sqrt{A} \pi h \omega_0 / \lambda^2) ] \}$$

$$\eta_b = -10 \{ \exp \{ - \theta / (n_0 \sqrt{A} \omega_0) \} \}^2 \}$$

$$\eta_c = -10 \log [ 4(1 + \epsilon^2) / (2 + \epsilon^2)^2 ]$$

式中, 轴向偏离  $\epsilon = n_0^2 A \pi d \omega_0^2 / \lambda^2$ <sup>[6]</sup>

取参量  $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$ ,  $n_0 = 1.5986$ ,  $\sqrt{A} = 0.332 \text{mm}^{-1}$ ,  $\omega_0 = 4.5 \mu\text{m}$ , 对上式进行计算, 得到的关系曲线.

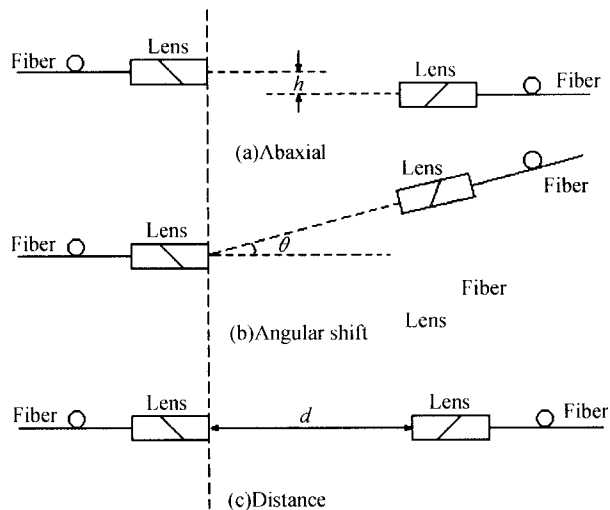


图 1 光纤准直耦合失配示意

Fig. 1 Diagram of optic-fiber collimating misalignment

根据理论计算结果, 图 2(a) 中, 当轴向偏移距离达到 0.25 mm 时, 耦合损耗有 5.3 dB, 而当轴向偏移距离小于 0.1 mm 时, 耦合损耗与轴向偏移距离几乎成线性关系. 由图 2(b) 可见光纤准直器耦合效率对角度偏移非常敏感, 当两光纤准直器的偏角为 0.1° 时, 耦合损耗就达到了 5.3 dB. 在光纤制造工艺中, 0.25 mm 的轴向偏移比 0.1° 的角度偏移要相对容易控制, 换言之, 角度偏移对耦合效率的影响比轴向偏移对要大. 由图 2(c) 可见光纤准直器的耦合对其间距在一定范围内不太敏感. 当间距为 50 mm 时, 耦合损耗值为 0.53 dB. 根据理论计算的数值结果, 所以在后面的具体实验中主要测量光纤准直器的角度偏移.

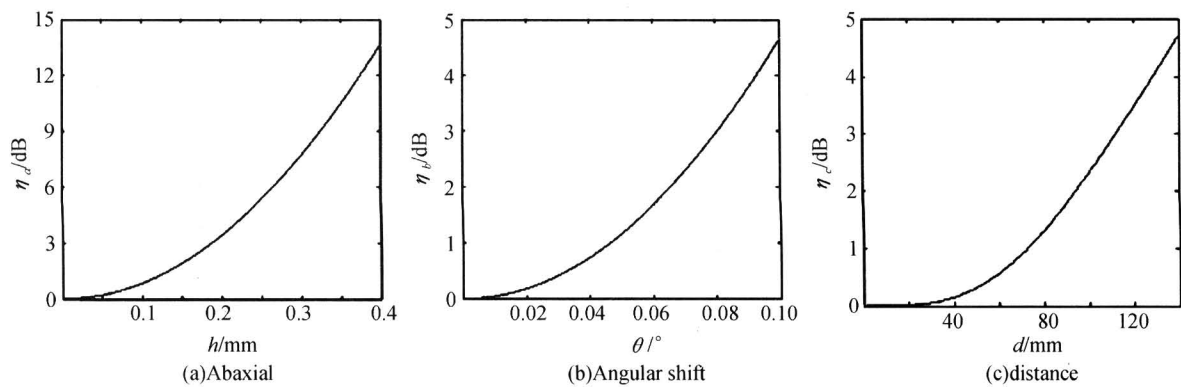


图2 单模光纤准直器的耦合损耗曲线

Fig. 2 Coupling loss of single mode optic-fiber collimator

## 1.2 支承架结构

在光电器件封装技术中,光纤的定位精确程度直接影响整个封装的质量,在工业生产和实验设备中,形形色色的光纤支承架起到了很重要的作用.

目前工业上广泛使用V型槽定位,优点是实现同时对多根光纤准直,比逐根对接方便、省时,但是其在稳定性上相对较差,容易受外界因素影响,而且安装的灵活性不大,因此不适用于精密实验和精密设备.

单个支承架配合激光焊接的定位方式在精密实验中得到了广泛的应用.激光焊接是一种高质量、高精度、低形变和效率高的焊接方法;其特点是热影响区域小、焊件形态稳定,内在规律强,适合于较细钢管、钢片等薄板的立体焊接,因此适用于光电器件封装,而且因为是单根光纤准直,支承架安装时的灵活性就要大很多.目前常见的支承架结构主要有鞍型、拱型两种.

支承架固定,这样使三者之间都无相对移动或相对转动.由于在焊接过程中,每一焊点的能量、位置无法完全相等和完全对称.因此这些焊点不可避免地快速冷却凝固时引入不均匀应力,最终导致激光焊接定位误差、耦合效率下降,这样的耦合偏移被称为焊后失配.与鞍型支承架相比,拱型支承架多了上方的拱型连接,这一拱型连接将约束支架在某些方向上的位置偏移,平衡左右臂上受到的不均匀应力,故其定位稳定性应该优于鞍型支承架.

一般来说,光电器件封装成品在工作时,由于介质长时间吸收激光和密闭工作等原因将出现不同情况的温度分布.根据热力学原理,这种温度的变化将影响光纤支承架的定位精确度,从而导致光纤耦合效率的降低<sup>[8]</sup>.本实验利用可控温源模拟了两种最有可能出现的温度变化环境,测试了由激光焊接方式定位的鞍型、拱型支承架在这两种温度环境下的耦合情况.

## 2 实验分析

### 2.1 实验方案和装置

实验方案是让鞍型、拱型支承架一起分别在温度循环和温度冲击两种工作环境下进行比较测试.其中温度循环是以30℃为起点,1 h内均匀上升到90℃,保持1 h,再在1 h内均匀下降到30℃,共3 h一个循环;温度冲击是以30℃为起点,0.5 h内上升到90℃,然后0.5 h内下降到30℃,共1 h一个循环.实验时两种环境各测试二十个循环,期间记录测量光相对于参考光的偏移量,用于后期数据分析.

将激光耦合到光纤内,两光纤支承架分别固定光纤,并焊接在同一基板上.基板下方置有可控温源,用于产生测试所需的温度环境.在距光学平台一米处放置带网格的观察屏,用于记录从光纤中出射的激光在观察屏上形成光斑的偏移情况.具体的实验装置的示意图和实物图分别如下:

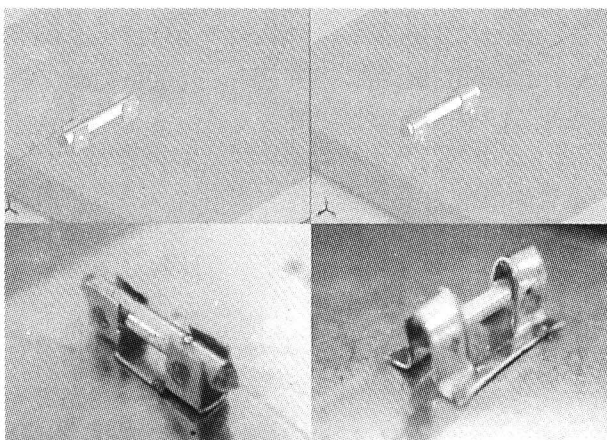


图3 鞍型、拱型支承架的效果图和实物图

Fig. 3 Saddle clip and arch clip

鞍型支承架、准直器和基板的装配过程共需六个焊点,其中两点将支承架与底板焊接固定,另外四个激光焊点将光纤与支承架固定;拱型支承架、准直器和基板的装配过程则需八个焊点,其中四点将支承架与底板焊接固定,另外四个激光焊点将光纤与

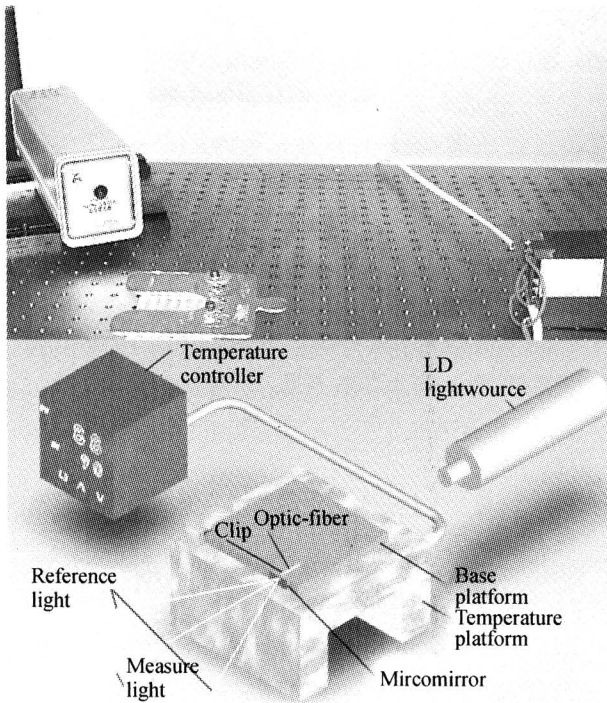


图 4 实验平台的实物图及效果图  
Fig. 4 Diagrams of experimental setup

2.2 实验结果和数据分析

较有代表性的第十个循环的准直器角度偏移曲线以及其中二十个温度循环内的准直器角度偏移曲线。

图 5 中,当环境温度上升、稳定、下降时,角度偏移也具有变大、稳定、变小的趋势;这种偏移随环境温度的规律变化由不锈钢材料的热胀冷缩引起,同时还有一个时间滞后的特性,这是由于支承架对温度变化有一定的反应时间,且温度传感器是接在温度基座上的。在每个温度循环结束后,水平和竖直方向的角偏都无法恢复为零,这说明具有缺陷的焊接过程(焊接光束平均能量密度不均、焊点位置不完

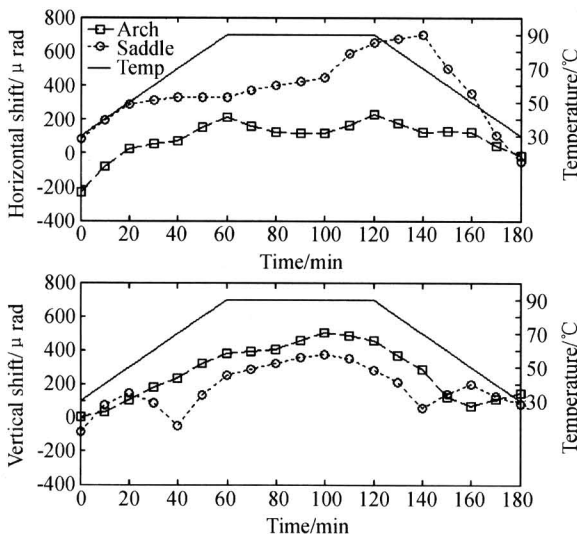


图 5 第十个温度循环的角度偏移  
Fig. 5 Angular shift during the tenth temperature cycle

全对称等)引入不均的残余应力,从而造成了焊后角度失配。

图 6 中,角偏随温度循环逐渐变大,可见由焊接引起的不均匀的残余应力在持续的温度循环过程中逐渐累积。并且由于拱型支承架受到其上方连接的限制,其水平角偏平均为鞍型支架的 50%;竖直方向上,两者的约束方式类似,故两者角度偏移大小差别较小。

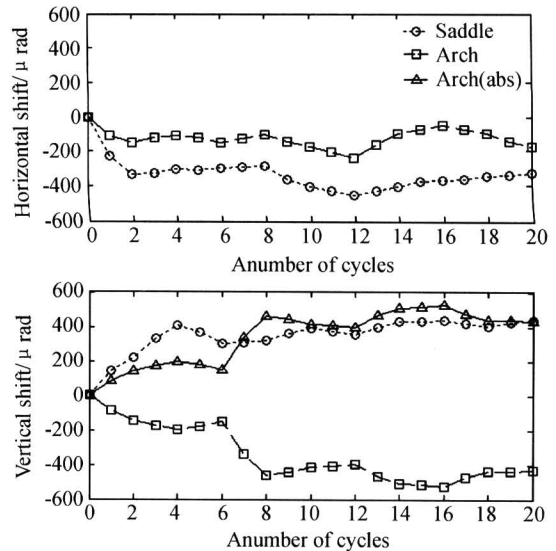


图 6 角度偏移关于循环数的函数  
Fig. 6 Angular shift as a function of the cycle numbers

二十个温度冲击内的准直器角度偏移曲线以及其中较有代表性的第十个冲击的准直器角度偏移曲线。

图 7 中,与温度循环相似,角度偏移的趋势与环境温度的变化相关,但显然时间滞后的特性更为明显,其原因在于在温度冲击中,温度变化的速率较大,装置的热容影响偏移的变化速率。

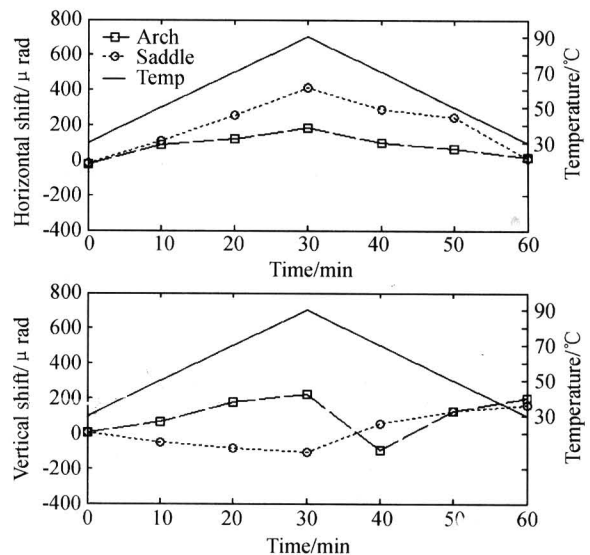


图 7 第十个温度冲击的角度偏移  
Fig. 7 Angular shift during the tenth temperature shock

图 8 中,在温度冲击的情况下,拱型支架的水平、竖直角度偏移都非常小;而鞍型支架竖直的角度偏移要远大于拱型,这是因为冲击的高温时间短,支架形变不大,而拱型支架的上拱起了限制作用.由此,在环境温度迅速变化时,拱型支架的工作稳定性要明显地优于鞍型支架.

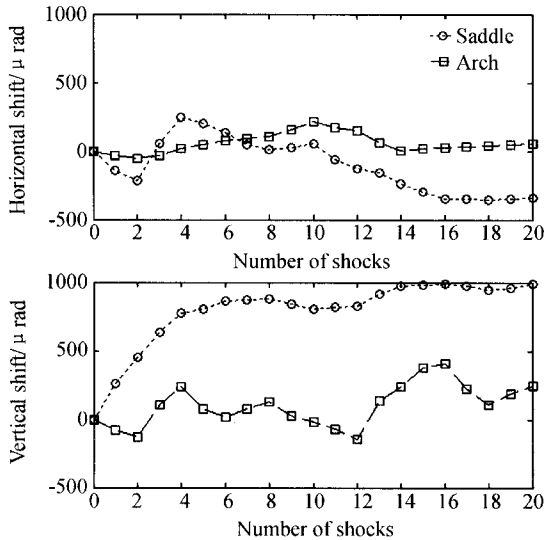


图 8 角度偏移关于冲击数的函数

Fig. 8 Angular shift as a function of the shock numbers

将水平和垂直的角度偏移换算成空间角偏移并计算其耦合损耗,分别如表 1 和表 2.

表 1 两种支架的角度偏移

角度偏移	鞍型支架	拱型支架
温度循环	519 $\mu\text{rad}$ / 0.030°	395 $\mu\text{rad}$ / 0.022°
温度冲击	986 $\mu\text{rad}$ / 0.0565°	138 $\mu\text{rad}$ / 0.008°

表 2 由各自角度偏移求得的耦合损耗

耦合损耗	鞍型支架	拱型支架
温度循环	0.944 dB	0.718 dB
温度冲击	1.793 dB	0.251 dB

### 3 结论

实验数据分析表明拱型支架在温度循环过程中的表现略优于鞍型支架,在温度冲击过程中的表现

则远优于鞍型支架.

进一步优化支架稳定性须大致可以从两个方向着手:一是从设计更合理的支承结构;二是从优化封装过程质量,如提高焊接光束的能量密度均匀性、焊点位置的分布合理性等方面入手.

### 参考文献

- 赵钰. 挑战 21 世纪的光电子封装. 集成电路应用, 2002, **10**(7):27~30  
Zhao Y. *Application of IC*, 2002, **10**(7):27~30
- 李景辉, 常珺. 激光焊接. 焊管, 2004, **27**(1):59~60  
Li J H, Chang J. *Welded Pipe and Tube*, 2004, **27**(1):59~60
- 苗润才, 曾祥梅, 王飞. 单模光纤中光脉冲对的聚合与分裂. 光子学报, 2004, **33**(9):1081~1084  
Miao R C, Zeng X M, Wang F. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(9):1081~1084
- 杜戈果, 阮双琛, 苏红新, 等. 单模石英光纤中受激喇曼散射的研究. 光子学报, 2004, **33**(8):923~926  
Du G G, Ruan S C, Su H X, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(8):923~926
- 陈林, 张晓光, 张茹, 等. 偏振模色散对多信道光纤通信系统信号的影响. 光子学报, 2004, **33**(4):443~447  
Chen L, Zhang X G, Zhang R, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(4):443~447
- 聂刚, 李宝红, 刘雪峰, 等. 半导体激光器到单模光纤高效耦合技术. 光通信技术, 1996, **20**(2):141~145  
Nie G, Li B H, Liu X F, et al. *Optical Communication Technology*, 1996, **20**(2):141~145
- 虞国华, 刘水华, 方罗珍, 等. 单模光纤准直器耦合效率分析. 华中理工大学学报, 1996, **24**(9):111~112  
Yu G H, Liu S H, Fang L Z, et al. *J Huazhong Univ of Sci & Tech*, 1996, **24**(9):111~112
- Loze M K, Wright C D. Temperature distributions in semi-infinite and finite-thickness media as a result of absorption of laser light. *Applied Optics*, 1997, **36**(2):494~502

## Analysis of Temperature Effect on the Angular Shift of Optic-fiber Collimator

Sun Mingjie

*CNERC for Optical Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027*

Received date: 2005-06-28

**Abstract** According to the analysis of collimating misalignment of optic-fiber collimator, that is the coupling efficiencies in abaxial, angular shift, distance coupling and angular shift have the most effect in coupling efficiency. Spot position varied regularly as long as the temperature varied periodically during the experiment. Figured out by the position shifts of light spot in experiments, the angular shifts of saddle and arch clips during temperature cycles were  $519 \mu\text{rad}$  and  $395 \mu\text{rad}$ , and thus led to coupling lost of 0.944 dB and 0.718 dB; the angular shifts of saddle and arch clips during temperature shocks were  $986 \mu\text{rad}$  and  $138 \mu\text{rad}$ , and thus led to coupling lost of 1.793 dB and 0.251 dB. The result of the experiments demonstrated that arch clip is better than saddle clip in both situations of temperature variation.

**Keywords** Fiber collimator coupling; Optic-fiber clips; Laser welding; Angular shift



**Sun Mingjie** was born on January 1982, in Hangzhou, China. He received the B. S. degree in 2004 from Zhejiang University, China. He is presently pursuing the M. S. degree at Zhejiang University, Optical Engineering.