

文章编号: 1001-3806(2003)05-0440-03

扩束型光纤连接器损耗机理研究

苏美开¹ 高稚允¹ 孙海东² 左 昉¹ 刘秉琦¹

(¹北京理工大学光电工程系,北京,100081) (²海特光电责任有限公司,北京,100083)

摘要: 介绍了扩束型光纤连接器的基本原理,定量分析了它的损耗机理,即包括可变损耗和固定损耗。可变损耗主要是由于系统各单元之间的对准误差引起的,包括径向偏移损耗、纵向偏移损耗以及轴向倾角损耗,其中影响最大的是径向偏移损耗;其次是轴向倾角损耗、固定损耗、纵向偏移损耗。固定损耗是由系统自身所用材料、表面处理决定的,包括菲涅耳损耗、球差损耗、衍射损耗、色散损耗、吸收损耗等。给出了降低损耗的有效方法。

关键词: 光纤传输;扩束型光纤连接器;损耗机理;可变损耗;固定损耗

中图分类号: TN91 **文献标识码:** A

Study on the loss mechanism of the expand beam fiber connector

Su Meikai¹, Gao Zhiyun¹, Sun Haidong², Zuo Fang¹, Liu Bingqi¹

(¹ Department of Opto-electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

(² Hi-Teach Optoelectronics Co., Ltd, Beijing, 100083)

Abstract: The basic principle expand beam fiber connector is firstly introduced. Then its loss mechanism is analyzed, including the variable loss and the invariable loss. The variable loss comes from the error of leveling for cells of the system, such as the loss of radial excursion, the loss of portrait excursion and the loss portrait obliquity. In all loss, the radial excursion is the greatest, then the loss of portrait obliquity, the invariable loss and the loss of portrait excursion. The invariable loss comes from the materials and surface processing of the system itself, such as the loss of Fresnel, ball aberration, diffraction, chromatic aberration and absorb. Finally, the efficient methods to reduce loss are presented.

Key words: fiber transmission; expand beam fiber connector; loss mechanism; variable loss; invariable loss

引言

光纤连接器种类很多,其中扩束型光纤连接器^[1]具有耦合损耗低、防止污染影响、放宽制造尺寸和精度要求的特点,在单模光纤中有广泛应用。

扩束型光纤连接器是一种可重复使用的活动连接器,这一特点决定了其不仅可在光纤通信中应用^[2~4],在其它领域也广泛使用,如英国 DIOMED 高功率半导体激光手术刀^[5],国产 500mW 半导体激光治疗仪^[6]等。

光纤连接器的耦合效率问题是人们历来研究的重点^[7,8],尤其在效率要求高的场合。例如,激光手术刀的激光模块的输出功率为 25W,如果光纤连接器的效率为 80% (损耗 1dB),则激光输出到工作面上时可达 20W,而当耦合效率低到 60% (损耗 2dB) 时,则激光输出到工作面上时仅为 15W。这些损耗

在连接面上变成热能,常常造成光纤端面的烧蚀^[9],更进一步降低了工作效率。可见对于大功率的应用场合提高连接器的耦合效率尤其重要。

1 扩束型光纤连接器的工作原理

扩束型光纤连接器的工作原理如图 1 所示。 L_1 collimation focusing lens

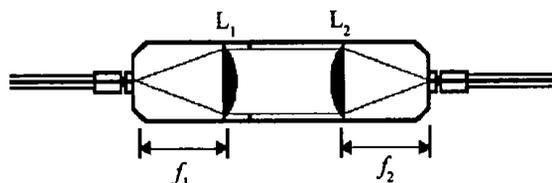


Fig. 1 Optical path of expand beam fiber connector

为扩束镜,用于将发射光纤出射的激光准直和扩束, L_1 与发射光纤端面的距离正好等于 L_1 的焦距 f_1 ,透镜 L_2 用于会聚光束,且其距离接收光纤端面正好等于 f_2 。根据几何光学成像原理可知,出射光斑直径 D (即发射光纤直径)与接收光斑直径 S 有如下关系:

作者简介:苏美开,男,1964年10月出生。工程师,博士研究生。现从事光学工程方面的研究。

收稿日期:2002-11-21;收到修改稿日期:2003-04-08

$$S = (f_2/f_1) D \quad (1)$$

透镜 L_1 焦距和孔径 A (半径) 由发射光纤的数值孔径决定, 即: $A/f_1 \quad NA_1 = \sin(\alpha_1/2)$ (2) 才能保证将发射光纤射出的激光全部包容进去, 其中, NA_1 为发射光纤的数值孔径, α_1 为发射光纤的半孔径角。

同样 L_2 焦距 f_2 和孔径 A (半径) 由接收光纤的数值孔径决定, 即:

$$A/f_2 \quad NA_2 = \sin(\alpha_2/2) \quad (3)$$

应该注意的是, A 是净孔径, 在加工时应不包含压边尺寸。

另外, 设计时应注意焦距不能太短, 否则将增加像差, 通常: $f/A > 2$ (4)

2 扩束型连接器的损耗机理

2.1 径向偏移损耗

考虑一种简单情况, 对接光纤为阶跃光纤, 由于径向偏移 (见图 2a), 使有效接收面积减少, 设偏移量为 s_1 , 则有耦合损耗 L_1 (dB) 为^[11]:

$$L_1 = -10\lg\{[2\arccos(s_1/a)] - [1 - (s_1/2a)^2]^{1/2}/(a)\} \quad (5)$$

式中, a 为接收光纤的半径, 由于 $2a \gg s_1$, 则(5)式可简化为: $L_1 = -10\lg[1 - 2s_1/(a)]$ (6)

图 2b 的情况, 是由于入射光纤偏离透镜中心轴线引起, 计算方法类似于图 2a 的情形, 设偏移量为 s_2 , 则有: $L_2 = -10\lg[1 - 2s_2/(A)]$ (7)

式中, A 是透镜的半径。由于通常 $A > a$, 所以, 当 $s_1 = s_2$ 时, $L_2 < L_1$ 。

图 2c 的情形是前两种情况的合成, 这也是最一般的情形, 即:

$$L_3 = -10\lg\left[1 - \frac{2s_1}{a}\right] - 10\lg\left[1 - 2\frac{s_2}{A}\right] \quad (8)$$

略去高阶小量, 则(8)式可简化为:

$$L_3 = -10\lg[1 - 2s_1/(a) - 2s_2/(A)] \quad (9)$$



Fig. 2 The loss of radial excursion

2.2 纵向偏差(或轴向偏差)损耗

轴向偏差是由于发射光纤的端面轴向偏离扩束透镜焦平面或接收光纤轴向偏离会聚透镜焦平面的情形。如图 3a 为发射光纤向外偏离的情形, 此时如果透镜的数值孔径与发射光纤的数值孔径相等, 则

一部分光将从扩束透镜边缘损失掉, 可直接得到:

$$L_4 = 0 \quad (A/f_1 > \tan \alpha)$$

$$L_4 = -10\lg[A/(A + s \tan \alpha)]^2 \quad (A/f_1 = \tan \alpha) \quad (10)$$

式中, $\tan \alpha$ 为发射光纤的数值孔径, f_1 为扩束透镜焦距, s 为偏离量, 因为 $A \gg s$, 则(10)式简化为:

$$L_4 = -10\lg(1 - 2s/f_1) \quad (11)$$

轴向偏差的另一个损耗是由于发射光纤端面位置改变后, 经会聚透镜而形成的像发生了改变(横向放大率发生了改变), 设两个透镜的合成焦距为 f , 则在没有偏差时, 放大率为:

$$y = v/u = f/(u - f) \quad (12)$$

式中, u 为物(发射光纤端面)距, v 为像距。当有偏差 s 时, 放大率为:

$$y = \frac{v}{u} = \frac{f}{u + s - f} \quad (13)$$

从(13)式可见, 当 $s > 0$ 时(即向左偏离), $y < y_0$, 这时没有损耗, 但当 $s < 0$ 时(即向右偏离), (13)式为:

$$y = f/(u - s - f) = f/[(u - f) - s] \quad (14)$$

则损耗可以直接写为:

$$L_5 = -10\lg\left(\frac{y}{y_0}\right)^2 = -10\lg\left[1 - \frac{s}{u - f}\right]^2 \quad (15)$$

考虑一种简短情况而不影响讨论结果: 如果两透镜 $f_1 = f_2 = f$, 间隔 $d = 0$, 则^[10]: $f = f/2, u = f$ 。

(15)式变为:

$$L_5 = -10\lg[1 - 2s/f]^2 - 10\lg(1 - 4s/f) \quad (16)$$

接收光纤的偏差形式与发射光纤应相同, 只是左偏时是(16)式, 右偏时是(11)式。

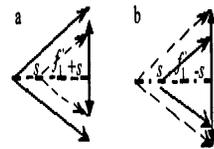


Fig. 3 The loss of portrait excursion

2.3 轴向倾角偏差损耗

图 4a 轴向倾角是由于发射光纤与透镜中心轴

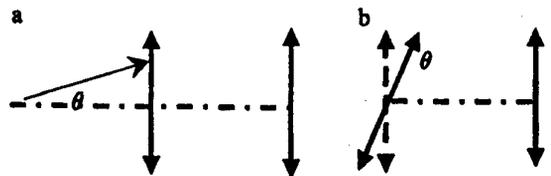


Fig. 4 The loss of portrait obliquity

线有一个偏向角, 这种情形的损耗是由于发射光纤出来的一部分光功率会落入接收光纤受光立体角之外, 其损耗机理的分析方法可参考光纤直接耦合^[11]损耗机理分析方法。如果参考径向偏移情况, 将相关的线度量改为角度量, 即 $\theta = \alpha - 2NA$ (NA 为

发射光纤的数值孔径),则由(6)式可得:

$$L_6 = -10\lg[1 - \delta / (NA)] \quad (17)$$

结果与文献[1]中得到的经验公式一致。

轴向偏差的另一种情况是两个透镜的不平行引起的,如图4b,其损耗可写为:

$$L_7 = -10\lg[a^2 \cos^2 \theta / a^2] - 10\lg(1 - a^2) \quad (18)$$

可见这种损耗较小。

2.4 球差损耗

在用球透镜扩束时,不可避免地将产生球差。设 s 是球差引起的弥散斑半径, d 是光纤对传输光的衍射光斑直径,则一般用下式作确定材料的依据^[1]: $s + d = 2a$ 。

若球透镜的半径与折射率分别是 r 与 n ,则有:

$$s = [n / (n - 1)^2 - 1] nr (NA)^3 / 4(n - 1) \quad (19)$$

$$d = 0.61 / NA \quad (20)$$

由球差决定的损耗最低可以降到2%。另外,如果采用单色性好的激光作光源,色差不必考虑,至于吸收损耗通常很小,也不必考虑。

2.5 菲涅耳损耗

透镜和光纤端面存在菲涅耳反射,因此,必然有菲涅耳损耗,这是一个定值,每个面的损耗约为4%,整个系统5个面约20%(1dB),镀增透膜时整个系统损耗降为5%(0.2dB)。

2.6 各种损耗比较

通过上面的分析可以看出连接器的损耗可分为两类:一类是固定损耗,它是由系统自身决定,按照从小到大排列是:菲涅耳、球差、衍射、色散、吸收等。另一类是可变损耗,它是由对准误差引起的,决定它们大小的因素分别是:(1)径向偏移损耗因子,由(6)式知: $2\delta / a$;(2)纵向偏差损耗因子,由(11)式知: $2s / f_1$;(3)轴向倾角损耗因子,由(17)式知: δ / NA 。

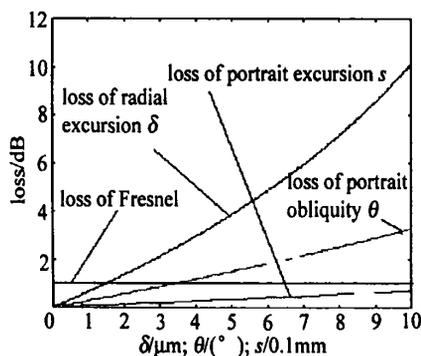


Fig. 5 All the loss compared

(suppose the fiber radius is $10\mu\text{m}$, the NA of fiber is 0.2 and the lens focus length is 30mm)

由于通常 $f_1 \gg a$,而 δ 和 s 都是线度误差,因此相对来说,纵向偏差影响较小,轴向倾角应介于(1)、(2)之间。各种损耗的比较如图5所示。

3 降低损耗的途径

3.1 降低可变损耗的方法

毫无疑问降低可变损耗的有效方法是提高系统的对中精度。即通过调整发射光纤、扩束透镜、会聚透镜和接收光纤之间的位置关系,使光达到最佳输出。具体方法见下。

发射光纤调校:(1)点亮激光器,由功率计测出其出射光功率 W_1 ,关闭之;(2)将透镜组固定好,把发射光纤固定在高精度五维(位置:上下、左右、前后;角度:高低角、方向角)可调整支架上并概略瞄准透镜组中心,且光纤端面概略与前透镜焦平面重合、端面中心概略在焦点上;(3)接通指示激光器(如工作激光器本身是可见光就不须指示激光),使发射光纤发出红光,在透镜组像平面上放置一个接收屏,观看红色光斑,微调发射光纤位置,观察光斑亮度及形状的变化,直到感觉最亮为止;(4)将接收屏换成激光功率计,点亮激光器模块,再微调发射光纤的位置,直到功率计指示最大为止,设为 W_2 ;(5)计算效率 W_2 / W_1 应大于90%。

接收光纤调校:固定发射光纤和透镜组不动,方法与发射光纤调校完全一样。设接收光纤最大出光功率为 W_3 ,则应有 $W_3 / W_1 = 80\%$ 。

3.2 降低固定损耗的方法

固定损耗主要由菲涅耳损耗和球差所引起,因此,透镜及两个光纤端面可使菲涅耳损耗降低到5%左右,采用非球面透镜加工技术将有效地消除球差损耗,但可能要增加成本。

总之,采取一些技术措施,在理论上可使扩束型光纤连接器的损耗将减少到8%(0.35dB)。

参考文献

- [1] 杨祥林. 光纤传输系统. 南京:东南大学出版社,1994:145~147.
- [2] Moisel J. Proc SPIE,2000,4089:72~79.
- [3] Schulze J. Proc SPIE,1999,3737:562~571.
- [4] Mitev V. Proc SPIE,1997,2505:150~160.
- [5] DIOMED 激光公司. 中国激光医学杂志,2000,9:203.
- [6] 魏森全. 江西科学,2001,19:23~24.
- [7] Presby H M. Appl Opt,1988,27(15):3121~3123.
- [8] Poppe P, Welsh D E. J O S A,1983,73:1922.
- [9] 叶迎华,沈瑞琪,戴实之. 火工学,2001(3):22.
- [10] 姚启钧. 光学教程. 北京:高等教育出版社,1981:186~191.