

# 可调抛光型光纤耦合器 对位公差的分析

严 方 陈振宣 武时勉

(上海科学技术大学, 上海光纤技术与现代通信研究所)

## 提 要

本文导出可调抛光型光纤耦合器在上、下石英基块出现纵向或横向位移及立体交角时的耦合功率公式, 从而给出各种可调抛光型光纤耦合器的对位公差和设计依据。

关键词: 光纤定向耦合器; 光纤器件; 光纤技术。

## 一、引 言

近年来, 随着光纤通信和传感系统的急剧发展, 抛光型耦合器在这些系统中的应用价值也随之提高<sup>[1~5]</sup>。但是, 这类器件的分割比对温度十分敏感, 因此与熔接型光纤耦合器比较大为逊色。M. J. F. Digonnet<sup>[4]</sup>首先在理论上分析并实现了横向位移型可调抛光型耦合器。显然, 这种新型器件经过温度与位移量的标准校验后, 不仅能克服固定抛光型光纤耦合器对温度敏感的弱点, 而且还具有任意调节分割比的特点, 因此它在光纤应用中已成为颇具吸引力的器件。可惜这种器件要求亚微米量级的横向位移精度, 因此, 殊难推广普及。本文通过分析证明, 当这种器件的上石英基块在作纵向位移和立体转角调谐时, 比作横向位移的机械传动精度要求低两个数量级。因此, 按本文提出的设计原则研制的器件具有最低的对位公差, 从而能减小研制难度降低器件造价。

## 二、理 论 推 导

对于两根平行、弱导直光纤, R. Vanelooster<sup>[5]</sup>给出  $HE_{11}$  模耦合系数的严格解:

$$C = \frac{\lambda}{2\pi n_1} \frac{u^2}{a^2 V^2} \frac{K_0[w(D/a)]}{K_1^2(w)}, \quad (1)$$

式中:  $\lambda$  为信号波长,  $n_1$ ,  $a$  分别为纤芯折射率及半径,  $V = (u^2 + w^2)^{1/2}$  为归一化频率,  $K_0$ ,  $K_1$  分别为零阶和一阶汉克尔函数,  $D$  是两根纤芯中轴之间的距离。

对于直光纤耦合器传输臂及耦合臂的归一化输出功率可分别表示为:

$$P_T = \cos^2(CL), \quad P_C = \sin^2(CL), \quad (2)$$

式中, 设输入功率为 1,  $L$  为耦合段长度。但是, 在实际光纤耦合器中, 光纤以曲率半径  $R$  胶固在石英基块的细槽中。在这种场合下, Digonnet 指出, 式(1)、(2)仍可使用, 只须将耦合段

长度  $L$  改成有效耦合长度:

$$L_e = \frac{1}{C(D_0)} \int_{-\infty}^{+\infty} C[D(Z)] dZ. \quad (3)$$

式中,  $D_0$  为弯曲纤芯轴间最小距离,  $D(Z)$  为耦合器纵轴上点  $Z$  处弯曲光纤纤芯轴间距离。

利用空间几何关系(见图 1)不难求出,当耦合器上、下石英基块中的弯曲光纤,相互作用纵、横向位移及立体转角运动时,两弯曲光纤纤芯轴间距离  $D$ , 随最小纤芯轴间距离  $D_0$ , 纵向位移  $A_l$ 、横向位移  $A_t$ 、立体转角  $A_r$  及纵坐标  $Z$  变化的关系式:

$$\begin{aligned} D(D_0, A_l, Z) &= D_0 + 2R - (R^2 - (Z + A_l)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad - (R^2 - (Z - A_l)^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D(D_0, A_t, Z) &= ((D_0 + 2R - 2R(1 - Z^2/R^2)^{\frac{1}{2}})^2 \\ &\quad + A_t^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (5) \end{aligned}$$

$$D(D_0, A_r, Z) = 2((D_0/2 + R - (R^2 - Z^2 \sec^2(A_r/2))^{\frac{1}{2}})^2 + Z^2 \tan^2(A_r/2))^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

利用上述公式,可以方便地将(3)式推广成下式:

$$L_{ei} = \frac{1}{C(D_0)} \int_{-\infty}^{+\infty} C_i[D(D_0, A_i, Z)] dZ, \quad (7)$$

$$\psi = \begin{cases} l: \text{longitudinal displacement,} \\ t: \text{lateral displacement,} \\ r: \text{rotation round the vertical axis,} \end{cases}$$

式中,  $D(D_0, A_i, Z)$  为耦合系数  $C_i$  的变量,  $D_0, A_i, Z$  为其宗量。实际上, (5)式中弯曲光纤的曲率半径  $R$  (一般约 20~30 cm) 比纵坐标  $Z$  的有效积分域(一般约 2 mm)大得多, 故在(5)式中略去  $Z^2/R^2$  等小量, 则和文献[4]中的(7)式完全一致。

将(4)~(7)式代入(1)、(2)式可计算出耦合功率  $P_c$  随纵、横向位移及立体转角变化的曲线, 从中可以计算和区分出三种情况下公差要求的松紧程度。

### 三、计算实例

采用不同波长下标准单模光纤的参数, 利用本文编制的程序计算后发现, 当固定  $2a/D_0, V$  及相对折射率  $A$ , 改变  $D_0$  和  $\lambda$  时, 耦合功率随纵、横位移和立体转角的变化, 有相似的规律, 如图(2)~(4)所示。利用各种几何参数固定的光纤, 经大量计算证明, 这些规律可归纳如下:

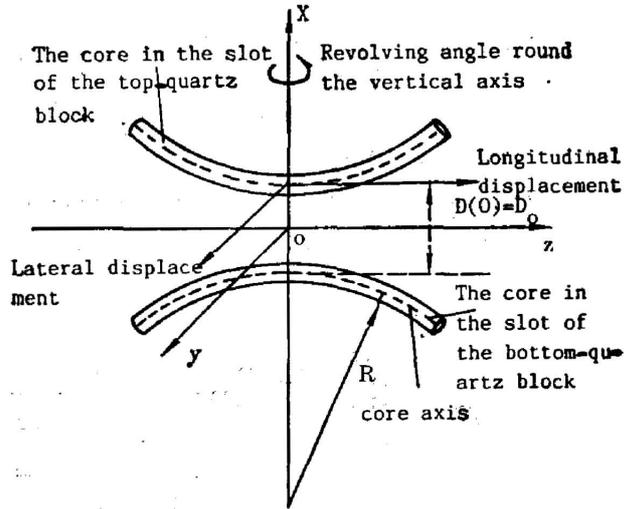


Fig. 1 Schematic diagram of displacement and rotation for tunable polishing optical-fiber couplers

1.  $2a/D_0 = \text{const.}$  时, 耦合曲线振荡的频率随  $\lambda$  或  $V^{-1}$  增大而降低;
2. 随着  $2a/D_0$  减小, 耦合振荡曲线由多峰变成双峰, 随后又变成单峰, 最后单峰逐渐降低以致消失;

3.  $\left| \frac{dA_t}{dP_c} \right| / \left| \frac{dA_t}{dP_c} \right| \approx 10^3$ , 表明器件纵向对位公差较横向约大两个数量级;

4.  $\left| \frac{dA_r}{dP_c} \right| / \left| \frac{dA_t}{dP_c} \right| \approx 10$  (minute/ $\mu\text{m}$ ), 假如转角调分与横向调微米有相同的机械控制难度, 则表明器件转角对位公差较横向约大一个数量级 (指公差要求最松的单峰区: 图 3(b) 与图 4(b) 曲线 3 之间的对比值)。

图 2~4 是当保持  $V$  和  $\Delta$  不变, 改变  $2a/D_0$  和  $\lambda$  时, 三种运动方式下的耦合曲线, 它们反映出上述结论的部分内容。

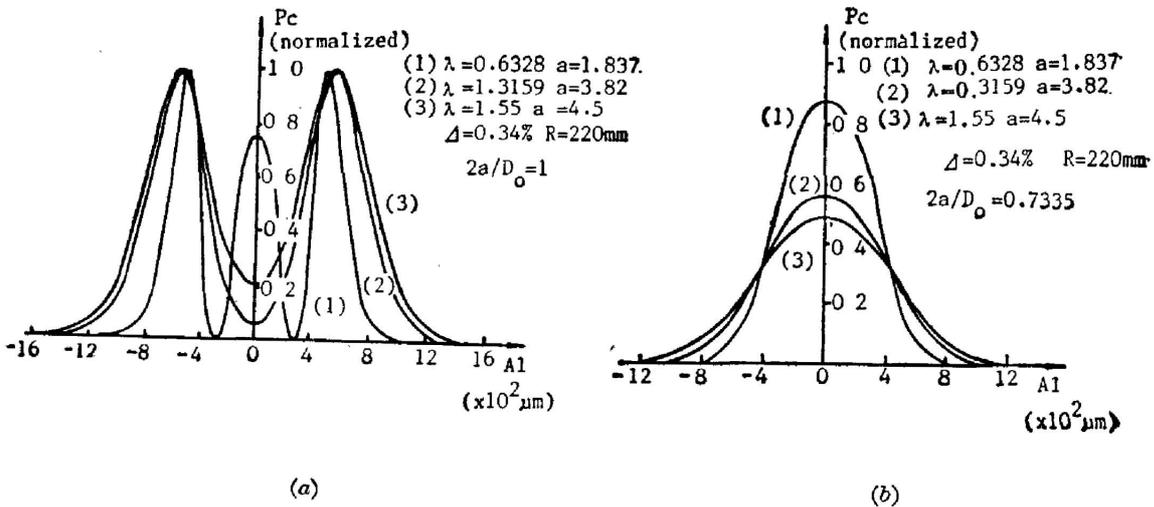


Fig. 2 Coupling curves of longitudinal displacement

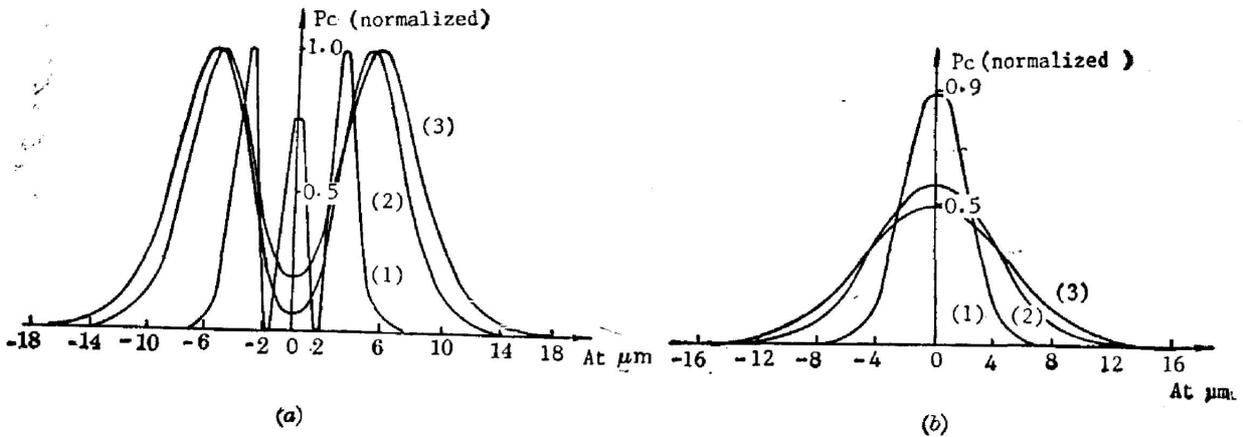


Fig. 3 Coupling curves of lateral displacement

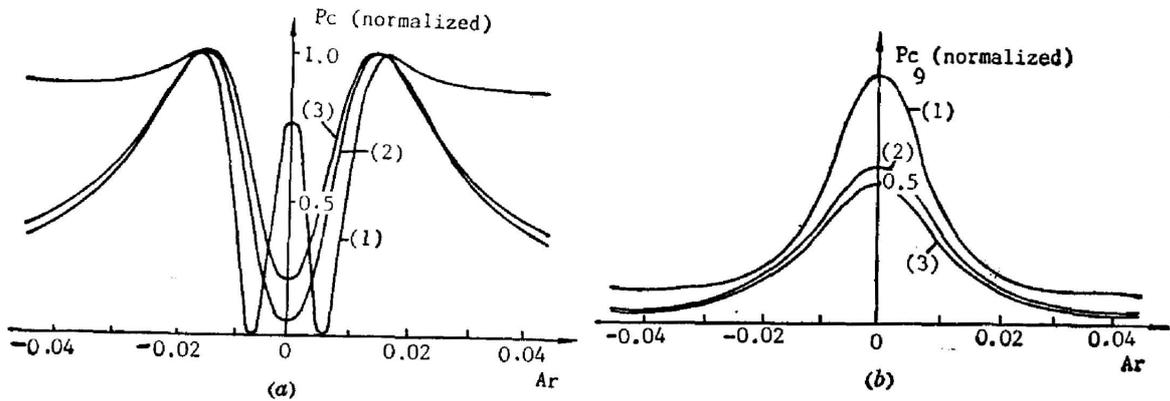


Fig. 4 Coupling curves of rotation round the vertical axis

#### 四、结 论

根据上节的结果可看到,若想设计各种分割比为  $-\infty \sim 3(\text{db})$  的可调光纤耦合器,只须调整光纤参数和  $2a/D_0$  值,使能达到如图 2(b)、3(b) 及 4(b) 中曲线 3 所示的情况;若想设计各种分割比为  $-\infty \sim +\infty(\text{db})$  的全程可调光纤耦合器,同样必须调整光纤参数及  $2a/D_0$  值,使能达到图 2(b)、3(b) 及 4(b) 中曲线 1 所示的情况。这样设计的可调耦合器,显然要求最低的对位公差及最小的研制难度,因而容易达到分割比均匀、连续可调的目的。

此外,从图 2(b)、3(b)、4(b) 中可以看到,在某些特殊调谐点,这类器件具有波分复用的性能。当然,这就要求极高和极稳定的调谐。

最后必须指出:上述三种调谐运动方式往往相互关联,殊难独立。目前,国内研制出的几种一维亚微米位移架仍不能摆脱受其它自由度牵制的影响,突破这一难关是实现这类可调耦合器的关键所在。

#### 参 考 文 献

- [1] Y. Tsujimoto, H. Serizawa *et al.*; *Electron. Lett.*, 1978, **14**, No. 5 (Mar), 157.
- [2] R. A. Bergh, G. Kotler *et al.*; *Electron. Lett.*, 1980, **16**, No. 7 (Mar), 260.
- [3] O. Parriaux, S. Gidon *et al.*; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 14 (Jul), 2420.
- [4] Michel J. F. Digonnet, Herbert J. Shaw; *IEEE J. Q. E.*, 1982, **QE-18**, No. 4 (Apr), 746.
- [5] R. Vanclooster, P. Phariseau; *Physica*, 1970, **47**, No. 4 (Jun), 485.

## **Analysis for counterpoint tolerances of tunable polishing optical-fiber couplers**

YAN FANG, CHEN ZHENYI AND WU SHIMIAN

(*Shanghai University of Science & Technology, Shanghai Optical Fiber Technique  
& Modern Communication Research Institute*)

(Received 7 July 1988; revised 9 November 1988)

### **Abstract**

In this paper the formulae of coupling power in tunable polishing optical-fiber couplers have been derived, with its top-quartz block moving along the longitudinal or lateral direction and revolving round the vertical axis against the bottom-quartz block. Thereby, counterpoint tolerances and a device-design basis for various tunable polishing optical-fiber couplers are given as well.

**Key words:** optical-fiber directional coupler; optical-fiber devices; optical-fiber technique.