

# 一种新的光纤测试激励方法

施震东 施庆麟

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

**提要:** 提出了一种能在光纤中建立起“准”平衡模分布 (EMD) 的新方法。此法应用了 S. S. F. 滤模器, 使损耗的测试精度大为提高, 且为准确测量光纤参数提供一种有效而可靠的测试激励方法。

## A new exciting method for optical fiber measurement

Shi Zhengdong, Shi Qingling

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)

**Abstract:** This paper analyses some typical exciting conditions in optical fiber measurement and proposes a new equilibrium mode distribution method, in which a "S. S. F." mode stripper is used to improve greatly the measurement accuracy of the fiber loss. It provides an effective and reliable exciting method for accurate measurement of optical fiber parameters.

### 一、引言

在对多模光纤的传输性能(损耗和带宽)进行测试时, 采取什么样的激励条件有重要意义。在多模光纤的注入端进行全模激励时, 将会有上百个低次模与高次模一起在光纤中传输。由于光纤存在的包层模及漏泄模的影响, 并且在传输过程中模间相互耦合作用, 各种模式的功率分布以及传输时延各不相同, 因此在光纤整个长度上的模式功率分布是不稳定的。在这种条件下得到的测试数据将会有较大的偏差, 只有当光纤达到一定的长度(对均匀光纤而言), 也即由于模间耦合作用而使总的模式功率分布达到一个动

态平衡时, 就可以认为在光纤中已经建立起平衡模分布。在这种条件下, 测量光纤的损耗和带宽才显得有意义了。怎样才能比较简便地判明在光纤中已经建立起平衡模分布, 并且使用什么激励条件才能在光纤中建立平衡模分布? 文献[1]所推荐的建立平衡模的条件是: 光纤出射端面的近场图半高处  $NF_{0.5}$  为  $26\mu\text{m}$ , 并且光纤的近场功率分布不随长度而变化(即长、短光纤的近场图一致)。图1所示即为某光纤的出射端面近场图, 纵坐标为光功率, 横坐标为光纤截面芯直径。图中顶部的下凹是CVD法制作光纤坯棒工艺所具有的现象。

目前使用的激励方法有扰模、滤模以及

收稿日期: 1985年4月24日。

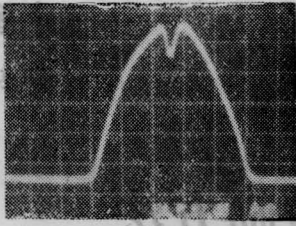


图 1

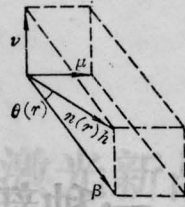


图 2 射线角  $\theta$  同传播常数  $\beta$  的关系

限模等。我们在大量的测试工作中，运用了自己研制的显微近场分析系统，探索出一种用 S. S. F. 滤模器 (Small NA and Step Index Fiber) 的方法。由光纤的模式理论可知，对于具有相同  $\Delta$ 、 $2a$  及  $\lambda$  的多模光纤，在阶跃指数光纤中传播的模式总数将大于梯度指数光纤中传播的模式总数。另一方面从光的射线理论知道，当阶跃光纤具有较小的临界角时，注入光将在光纤内产生角度较大的全内反射。也就是说，注入光将主要集中在纤芯处传输。因此，如果我们使用小数值孔径的阶跃光纤作为激励装置，既能使传导模在光纤中得到均匀激励 (即全模激励)，同时又能使纤芯附近的低次模得到充分传输而又减少高次模和泄漏模的影响。这样就能模拟“假”光纤扰模等方法的作用而在光纤中建立起平衡模分布。由此，我们分别对 S. S. F. 滤模器、“假”光纤扰模及 MW 滤模器加包层模剥除器等方法进行了实验，以期得到一种既能在光纤中建立起平衡模分布，又能在日常测试中体现出制作简单、使用方便、重复性好等原则的有效的激励方法。

## 二、近场分析法原理与实验系统

先考虑一非相干光源向梯度型多模光纤的注入。如果在注入端进行朗伯激励，则图 2 所示的纤芯中半径  $r$  处的射线方向同传播方向间的夹角  $\theta(r)$  可由下式定义<sup>[2]</sup>：

$$\cos \theta(r) = \beta_{\nu\mu} / n(r)k \quad (1)$$

式中： $n(r)$ ——纤芯  $r$  处的折射率； $k$ ——真空中的平面波传播常数； $\beta_{\nu\mu}$ ——传播常数

(纵向模数为  $\nu$ ，径向模数为  $\mu$  的传播矢量的  $z$  分量)。

由于射线角是同传播的模式所联系的，对应于一个所给定的模式就有一个由 (1) 式所确定的最大角。

当认为通信光纤是弱导光纤 ( $\Delta \ll 1$ ) 时<sup>[3]</sup>，它的传播模的传播常数  $\beta_{\nu\mu}$  近似地可用它的截止值  $n_2k$  代替<sup>[4]</sup>，因而有

$$\cos \theta(r) = n_2k / n(r)k = n_2 / n(r) \quad (2)$$

式中  $n_2$ ——包层折射率。另据折射定律

$$n_1 \sin(\theta) = n(r) \sin \theta(r) \quad (3)$$

式中  $n_1$ ——芯折射率； $\theta$ ——芯入射角。

由 (2)、(3) 式可得半径  $r$  处的局部数值孔径

$$\begin{aligned} A(r) &= n(r) \sin \theta(r) \\ &= [n^2(r) - n_2^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4) \end{aligned}$$

因此，如果我们在光纤的注入端是朗伯激励，则入射到半径  $r$  处进入到光纤内的传输功率为

$$\begin{aligned} P(r) &= P(0) \frac{A^2(r)}{A^2(0)} \\ &= P(0) \frac{n^2(r) - n_2^2}{n^2(0) - n_2^2} \alpha n^2(r) - n_2^2 \quad (5) \end{aligned}$$

由 (4) 式和 (5) 式可看出，纤芯内  $r$  处的近场功率分布是正比于该处的折射率分布，而该处的折射率分布又是正比于接受辐射的立体角  $\theta$ 。如果所有的模都受到相同的衰减 (忽略掉泄漏模及包层模的影响)，并且在传播时又不产生模间耦合，则可以认为光纤末端的近场功率分布等于光纤始端的近场功率分布。因此可以说，我们在光纤末端所接收到的近场功率分布，正是由光纤端面的激励条

件、光纤本身的折射率分布以及光纤传输过程中受模衰耗、模间耦合影响后建立起的模间功率分布所综合决定的辐射图样。因此光纤出射端面的近场光强分布可以用来表征光纤截面的折射率分布，并且可以非常直观地看到经过长光纤传输后，传播模式对折射率分布所产生的影响。

显微近场分析法实验系统如图3所示。



图3 显微近场分析法实验系统

由朗伯光源产生的非相干光经物镜聚焦后注入光纤端面，光纤的末端经偏光显微镜放大成像后投射到硅靶摄像机靶面。硅靶摄像机输出的视频信号由视频选行器处理后从二路分别送至监视器显示光纤端面图形及示波器以显示光纤末端面的光强功率分布，该显微电视测试系统原理我们以前已有专文论及<sup>[5]</sup>，在此不再赘述。

### 三、实验方法与结果

首先用刻度间隔为  $10\mu\text{m}$  的测微尺对示波器的横坐标进行定标。由于我们使用的是卤钨灯光源，因此可以用改变光源的发光功率来对长、短光纤的近场功率分布进行归一，以得到相对应的  $NF_{0.5}$ 。并且应切实保证光纤的注入端面位置及输出的象焦平面始终保持一致。以下介绍三种方法的实验结果。

#### 1. 用 S. S. F. 滤模器的方法

S. S. F. 滤模器方法就是用一根小数值孔径的阶跃指数光纤作为滤模装置。S. S. F. 的长度为 2m 并与被测光纤用熔接器熔接。光源从 S. S. F. 端面注入。

表1列出了用 S. S. F. 滤模器对三根均匀光纤激励后分别在长短光纤末端测得的

表 1

光纤编号	长度 (km)	$NF_{0.5}(\mu\text{m})$		差值 ( $\mu\text{m}$ )
		长纤	短纤	
HW-4	1.5	34.4	34.9	0.5
HW-6	1.5	34.4	34.7	0.3
HW-12	1.47	34.9	34.9	0

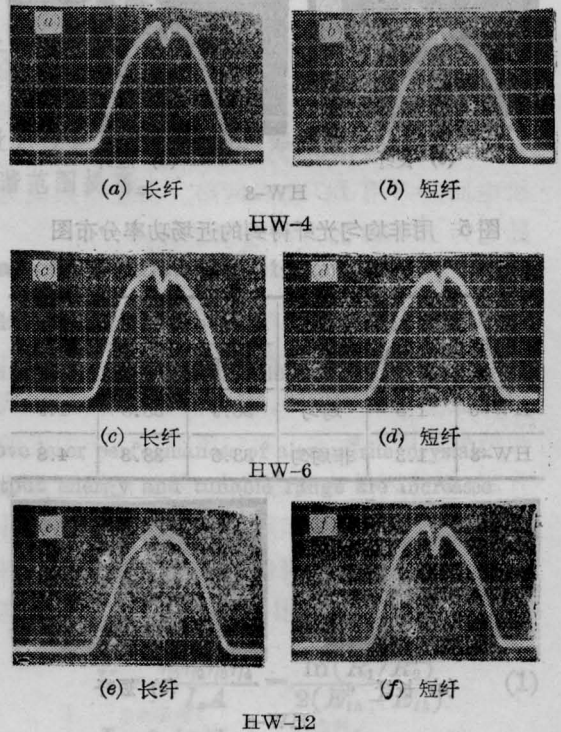


图4 用均匀光纤得到的近场功率分布图

$NF_{0.5}$  值，图4是它们的近场功率分布图形。

表2列出了用 S. S. F. 滤模器对二根非均匀光纤激励后分别在长短光纤末端测得的  $NF_{0.5}$  值。图5是它们的近场功率分布图形。

表3列出了二根被测光纤直接同光源耦合时长短光纤末端面的  $NF_{0.5}$  值，图6是它们的近场功率分布图。

表 2

光纤编号	长度 (km)	$NF_{0.5}(\mu\text{m})$		差值
		长纤	短纤	
HW-5	1.5	34	35.4	1.4
HW-8	1.3	31.5	35.4	3.9



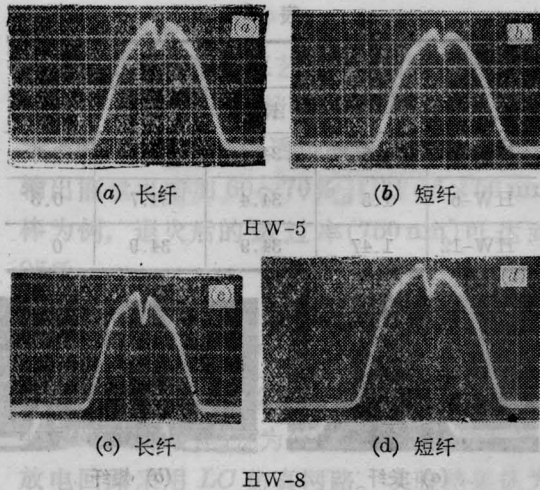
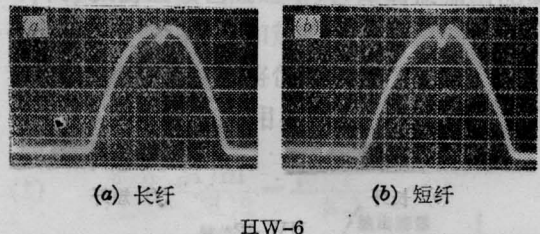


图5 用非均匀光纤得到的近场功率分布图

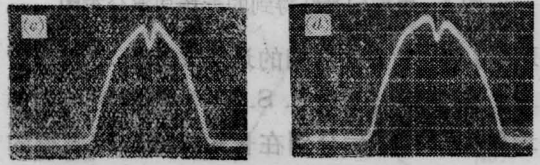
表 3

光纤编号	长度 (km)	光 纤 均匀性	NF <sub>0.5</sub> (μm)		差值
			长纤	短纤	
HW-6	1.5	均匀	36.9	38.8	1.9
HW-8	1.3	非均匀	33.5	38.3	4.8



(a) 长纤 (b) 短纤

HW-6



(c) 长纤 (d) 短纤

HW-8

图 6

### 2. 用“假”光纤方法

“假”光纤方法就是用一根具有和被测光纤结构参数相似的长光纤作为滤模装置。其长度在1km以上并与被测光纤用熔接器熔接。光源从“假”光纤端面注入。表4列出了用“假”光纤法激励后分别在长短光纤末端面测得的NF<sub>0.5</sub>值。

表 4

“假”光纤长度 (km)	光 纤 均匀性	NF <sub>0.5</sub> (μm)		差值
		长纤	短纤	
3	均匀	35.9	35.9	0
1.5	均匀	35.9	36.4	0.5
1.5	非均匀	35.9	35.9	0

### 3. 用“MW”滤模器及包层模剥除器方法

该方法就是在离被测光纤注入端1m左右的地方置一圆柱，将光纤同方向绕在圆柱上，所绕的圈数视被测光纤的性能而定。圆柱直径为6mm。该滤模装置后面放一包层模剥除器。

表5列出了用“MW”滤模器和包层模剥除器的方法激励后分别在长短光纤末端面测得的NF<sub>0.5</sub>值。

表 5

光纤编号	长度 (km)	光 纤 均匀性	NF <sub>0.5</sub> (μm)		差值
			长纤	短纤	
HW-6	1.5	均匀	27.6	27.2	0.4
HW-5	1.5	非均匀	32.5	32	0.5

### 四、讨 论

由表可以看出，“假”光纤的长度至少在1.5km以上。不过1.5km非均匀光纤的滤模作用和3km均匀光纤的滤模作用相似，这就充分证明了非均匀光纤中的模耦合作用更为明显。

“MW”滤模器加包层模剥除器的方法是一种比较新的方法<sup>[6]</sup>。从表5可以看出，对均匀或非均匀光纤，其长短光纤的NF<sub>0.5</sub>差值均在0.5μm以内，并且均匀光纤的NF<sub>0.5</sub>在27μm左右。可以认为，用这种方法将可望达到文献[1]所确定的26μm值，从而在光纤内真正建立起平衡模分布。但由于被测

(下转第686页)

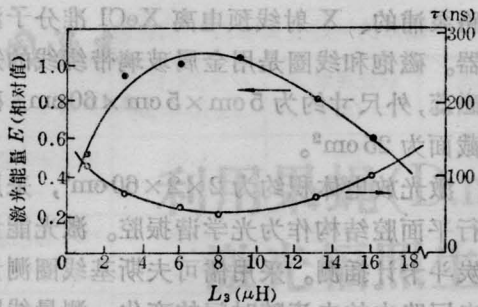


图3 旁路电感  $L_3$  对磁饱和和线圈压缩效果及激光输出的影响

述分析。 $L_3$  的合适选择可以使  $T_C$  和  $\Delta t$  互相匹配, 获得最佳的磁压缩效果。此时  $\tau$  最小, 而激光输出能量  $E$  最大。

图4是采用磁饱和和线圈后的激光工作特性。横坐标是激光放电与 X 射线预电离之间的时间延迟。作为比较, 图中同时给出了无磁饱和和线圈时的激光输出特性。从图中可知, 采用磁饱和和线圈后, 激光输出对于时间延迟的变化较过去灵敏。不过, 由于磁饱和和线圈本身有损耗, 会消耗一部分能量, 使激光输出有所下降, 但只要选择适当的时间延迟, 磁饱和和线圈引起的损耗可控制在 10% 左右。作

为损耗所付出的代价, 磁压缩器使激光装置中开关元件的寿命有数量级的增长。对于球阀开关, 它可以延长清洗维修间隔, 对于闸流管更可以延长其使用寿命。

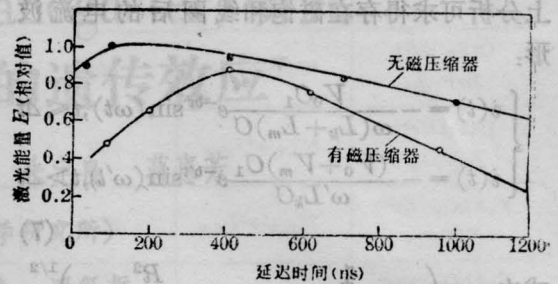


图4 磁饱和和线圈对激光输出的影响

### 参 考 文 献

- [1] K. Noda *et al.*; CLEO'85 Technical Digest, 21~24 May 1985, Baltimore MD USA, Paper WM-26, p. 118.
- [2] I. Smilanski *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **40**, No. 7, 547.
- [3] D. Bazting *et al.*; *Laser und Optoelektronik*, 1982, No. 2, 128.
- [4] M. Stockton *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**, No. 3, 2765.

出发(上接第 698 页)  
 光纤的不同, 每根光纤的滤模程度(具体为滤模圈数)是不同的。这在实际常规测试中就比较难于掌握。并且这种方法实施起来较为复杂, 不太适用于诸如产业部门的批量测试。  
 由实验可以看出, 如果被测光纤直接同光源耦合而未采取任何稳模措施, 其长短光纤的末端面近场功率分布  $NF_{0.5}$  的差值可在  $1.9 \mu\text{m}$  至  $4.8 \mu\text{m}$  之间, 而如果采用了 S. S. F. 滤模器, 对均匀光纤而言, 该值可减少到 0 至  $0.5 \mu\text{m}$ 。所以用 S. S. F. 滤模器后虽然  $NF_{0.5}$  未能达到  $26 \mu\text{m}$ , 但从长短光纤的模式功率分布来看, 我们可以认为此时在光纤中已近似地建立起平衡模分布, 我们暂且称之为“准”平衡模分布。当然对非均匀光纤来讲, 其效果就不是十分明显, 这是由于非均匀光纤内部的模间耦合作用更为强烈的原

因。不过, 同被测光纤直接同光源耦合的方法比较, 其作用也是显而易见的。我们曾用 S. S. F 滤模器及“MW”滤模器加包层模剥除器这两种激励条件对同一根光纤分别测试了损耗, 二者偏差为  $0.1\text{dB}$  ( $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ )。

### 参 考 文 献

- [1] "Report on the Geneva Meeting (26-30 Sep. 1983)", CCITT STUDY GROUP XV, Geneva, 26.9. -7.10, 1983.
- [2] S. E. Miller, A. G. Chynoweth; "Optical Fiber Telecommunication", Academic Press, 1979.
- [3] D. Gloge; *Appl. Opt.*, 1971, **10**, No. 10, 2252-2258.
- [4] A. W. Snyder; *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1969, MTT-17, 1130-1138.
- [5] 施庆麟, 施震东; 《电子技术》, 1981, No. 11.
- [6] Leonard G. Cohen *et al.*; *P. IEEE*, 1980, **68**, No. 10, 1205.