

一种光纤固定接头接续损耗特性的研究

李维民, 黄海清, 姚群
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:根据 OTDR 实验测试曲线和光场局域模式耦合理论,对自行研制的毛细管固定连接器的接续性能进行了分析研究,研究表明,毛细管壁与光纤包层间的缝隙必须控制在一定的范围内,才能保证较低的接续损耗。

关键词:毛细管;接续损耗;菲涅耳反射

中图分类号:TP212 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)05-0064-03

光纤通信由于传输容量大和传输距离远而被广泛使用。但在日常通信中,由于各种原因常造成光缆线路故障,导致断纤使通信中断,一旦发生断纤事故,必须马上进行抢修。利用传统的光纤熔接方式难以及时快速抢通,且需要使用价格昂贵的光纤熔接机耗时较长,针对上述情况我们研制了一种光缆线路快速抢通器材,它使操作人员仅进行简单操作就可使线路畅通,无须采用熔接机进行操作,使线路抢通做到迅速、快捷。本文给出的这种自行研制的毛细管固定接头连接装置,它能够代替光纤熔接机对光纤实现半永久性连接。这种装置在线路抢通、线路短距离连接、架空作业以及野外工作的特殊环境下使用十分方便,尤其适用于临时性连接。它不需电源、热源,使用起来十分灵活快速,接续时间仅需 1 min。

1 连接器

连接器主要有一用玻璃材料控制而成的毛细管,将处理好的单模光纤从两头穿入毛细管内,利用毛细管的内径使两根光纤纤芯对准,在两光纤端面之间加入匹配油膏,再旋紧保护套上的旋钮,使光纤紧固。其基本对接原理如图 1 所示。

玻璃管的内径为 126 μm ,长度为 15 mm,加上保护套后体积也很小,携带十分方便。其主要技术指标为

平均测试接续损耗:0.5 dB

回波损耗: > 40 dB

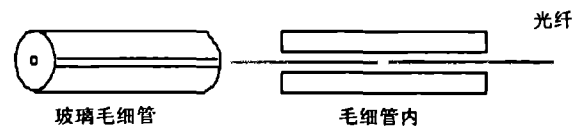


图 1 毛细管接续原理图

2 光场传输特性分析

由于单模光纤中的传输模式,在近轴光束范围内可以用高斯分布来近似表示光场分布。可以证明,如果近场分布为高斯分布,则远场分布也一定为高斯分布^[1]。因此,在弱导($\Delta n \ll 1$)条件下,对接的两根光纤中的场可写成如下形式

$$E = E_0 \exp\left(-\frac{r^2}{W^2}\right) e^{-i\beta z} \quad (1)$$

式(1)中 W 为模场半径, r 、 z 分别为光纤的径向和轴向坐标, β 为传播常数。

收稿日期:2003-03-03

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:李维民(1958-),男,陕西西安人,副教授,主要从事光通信技术研究。

用理想光纤的本征模迭加表示接收光纤入射端面上的光场,有

$$E = \sum_m a_m E_m \tag{2}$$

式(2)中的 m 是模式阶数, $m=0$ 对应单模情况。由于在每根光纤中, 电场 E_m 和相应的磁场 H_n 满足下述正交条件:

$$\iint E_m \times H_n^* \cdot e_z dS = \begin{cases} 0 & (m \neq n) \\ 1 & (m = n) \end{cases} \tag{3}$$

* 号表示复共轭, e_z 是沿光纤轴向的单位矢量, S 是光纤的横截面, 如果光纤中有很强的电场存在时, 应考虑光纤的有效面积。由于弱导光纤中, 芯线和包层中纵向传输的功率流可以用轴向玻印亭矢量的积分求得, 即

$$P = P_{芯} + P_{包} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\infty} E \times H_0 \cdot e_z r dr \tag{4}$$

当 $m = 0$ 时, a_0 的表示式由式(2)、(3)、(4) 可得

$$a_0 = \frac{1}{2P} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\infty} E \times H_0 \cdot e_z r dr \tag{5}$$

式(5) 中, P 为入射光功率, H_0 是传导基模的磁场强度矢量, E 是入射在接收光纤端面上的光场。两根光纤对接时的功率传输系数为

$$T = |a_0|^2 \tag{6}$$

由于光纤端面对接的特点不同, 将造成不同的接续损耗。两根光纤之间相互位置偏差主要有以下 3 种情况, 如图 2 所示。

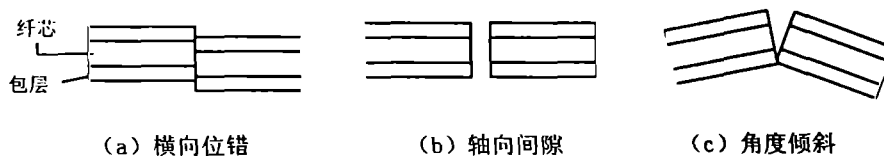


图2 两根光纤对接时的位置偏差

综合考虑各种因素的影响, 对于毛细管连接器, 角度倾斜可以通过毛细管的内径得到矫正, 轴向间隙可以通过有效的对接插入得到基本消除。由于毛细管内径与光纤包层外径的误差, 使两根光纤对接时会产生 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 的横向位错, 这一偏差是造成接续损耗的最主要原因。下面以单模渐变型光纤为例, 对接续损耗进行分析。

2.1 横向位错产生的接续损耗

考虑到式(6), 在不考虑菲涅耳反射的情况下, 由于横向位错 d 而产生的接续损耗为^[1]

$$L_d = -10 \lg \exp\left[-\left(\frac{d}{W}\right)^2\right] \tag{7}$$

式(7)中, W 为模场半径, 在 d 一定的情况下, 会对 L_d 产生影响^[2]。 W 与纤芯半径 a 的比值由 Marcuse 判据可计算为^[3]

$$W/a \approx (0.65 + 1.619V^{-\frac{3}{2}} + 2.879V^{-6}) \tag{8}$$

V 为归一化频率, $V = \frac{2\pi}{\lambda} a n \sqrt{2\Delta}$, Δ 为纤芯、包层界面的相对折射率, λ 为测试光波波长。图 3 为不同波长情况下, 不同的横向位错与接续损耗的数值分析曲线。分析表明, 实际测试中, 如果要求接续损耗小于 1 dB, 当采用 $1.31 \mu\text{m}$ 的测试波长时, 横向位错应小于 $2 \mu\text{m}$, 当采用 $1.55 \mu\text{m}$ 的测试波长时, 横向位错应小于 $3 \mu\text{m}$ 。

2.2 菲涅耳反射损耗

处于空气中的光纤接头界面上要产生菲涅耳反射, 所以菲涅耳反射损耗对接续损耗影响很大, 这种损耗可

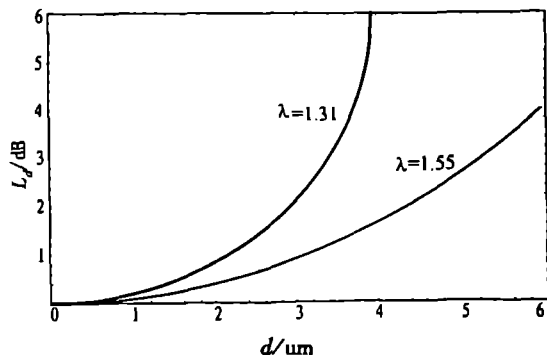


图3 横向位错与接续损耗

用下式来表示

$$L_f = -10 \lg \left[16 \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2 / \left(1 + \frac{n_1}{n_0} \right)^4 \right] \quad (9)$$

式(9)中, n_1 为光纤纤芯折射率, n_0 为空气折射率, 取 $n_0 = 1$, $n_1 = 1.46$, 可得 $L_f = 0.32$ dB, 所选用的匹配油膏折射率 $1.3 < n < 1.46$, 可以很好地起到消除菲涅耳反射, 降低接续损耗的目的。

3 连接器的测试曲线及分析

其 OTDR 测试曲线如图 4 所示, 图中, L 为衰减, l 为光纤长度

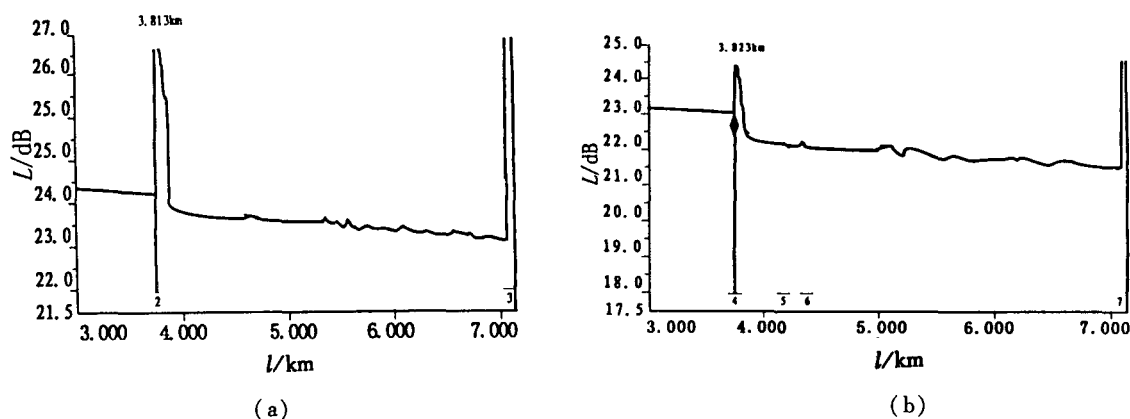


图 4 OTDR 实测数据曲线

实际测试时, 波长分别采用 $1.31 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$, 在多次测量中, 最好的测量结果是接续损耗为零。图 4 给出了采用波长 $1.31 \mu\text{m}$ 时, 加匹配油膏后两次不同测试情况的测试曲线。图 4(a) 为接续损耗较大的一个实测数据曲线, 事件 4 为接头处, 接续损耗为 0.72 dB, 接头回波损耗 55.5 dB; 图 4(b) 为接续损耗较小的一个实测数据曲线, 事件 2 为接头处, 接续损耗为 0.23 dB, 接头回波损耗 41.0 dB。另外, 测试表明匹配油膏与光纤端面结合的情况, 对回波损耗影响较大, 两光纤间匹配油膏接触良好, 回波损耗就小, 反之, 回波损耗就大。

参考文献:

- [1] 杨祥林. 光纤通信系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [2] 姚挽乐, 淳于祺. 模场直径对单模光纤接续损耗的影响[J]. 光通信技术, 1991, 15(4): 203-205.
- [3] Marcuse D. Loss Analysis of Single-Mode Fiber Splices[J]. Bell Syst Tech J, 1997, 56(5): 703-718.
- [4] 董淑福, 倪延辉, 李维民, 等. 快速光缆故障定位[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(1): 53-55.

(编辑: 门向生)

Research on Splicing Loss Characteristics of an Optical Fiber Connector

LI Wei-min, HUANG Hai-qing, YAO Qun

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: This paper analyzes the connectivity of the capillary fixing connector developed by ourselves. The result shows that, only by controlling the blind side between the capillary mural and the optical fiber cladding within limit can the lower splicing loss be guaranteed.

Key words: capillary; optical fiber fixing connector; splicing loss