

# 光纤接续损耗分析、测量与处理

侯东兴<sup>1</sup>, 李政杰<sup>1</sup>, 金荣<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:**通过对单模光纤损耗特性的分析,阐述了单模光纤产生接续损耗的原因及用背向散射法和“四功率法”测量接续损耗的方法以及对接续损耗的处理。

**关键词:**单模光纤;损耗特性;接续损耗;模场直径

**中图分类号:**TN818 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)06-0055-04

在光缆线路施工中,一条较长的光纤线路都由若干根光纤组成,因此,工程中总要进行光纤光缆的接续。光纤接续损耗的大小是衡量光纤施工水平的重要标志,也是光纤通信中一个重要的传输参数,所以光纤接续损耗是人们普遍关注的一个重要问题。

## 1 单模光纤损耗的产生

### 1.1 固有损耗的产生

固有损耗是光纤本身不完善造成的损耗。引起光纤本身损耗的原因是构成光纤材料的分子和原子具有吸收某一特定波长光的特性。由于制造技术的局限性,光纤材料中总含有一点杂质,而这些杂质粒子因其固有频率会对某些波长的光产生强烈的吸收。同时,在光纤制作过程中也有可能使光纤结构不完善而导致光辐射和散射的产生,因为光纤在生产过程中经过高温软化后,冷却固化时由于热扰动引起材料密度的不均匀变化。产生固有损耗的原因一般有:芯径失配;折射率失配;光纤同心度不良等。它们都无法通过改善接续工艺来减小损耗。

### 1.2 非固有损耗的产生

非固有损耗是指非光纤本身不完善,而是接续工艺不良造成的损耗。造成非固有损耗的原因有:芯位置的横向偏差;纵向偏差;光纤的轴向角偏差;光纤端面的污染等。

非固有损耗还包括微弯曲损耗、弯曲损耗等附加损耗,即光纤从直线部分进入弯曲部分时传导模变成了辐射模而产生的损耗。弯曲损耗光纤接续时,弯曲损耗系数 $B_{\text{弯}}$ 为

$$B_{\text{弯}} = C_1 \cdot e^{-C_2 R}$$

式中, $R$ 是光纤弯曲的曲率半径; $C_1$ 、 $C_2$ 是光纤结构传输常数,与 $R$ 无关。

对于单模光纤,在两光纤完全对准,且认为端面间无任何间隙的情况下,接续损耗主要取决于两光纤模场直径的差异。接续损耗为

$$b = 20 \lg [1/2(d_1/d_2 + d_2/d_1)]$$

$d_1$ 和 $d_2$ 分别为两光纤的模场直径。

## 2. 光纤接续损耗产生的原因

### 2.1 外界因素

收稿日期:2001-02-07

作者简介:侯东兴(1967-),男,陕西大荔人,硕士生,主要从事通信与信息研究。

接续光纤时,被连接的两根光纤的纤芯必须对准。在连接点上,如果纤芯的轴心错位,折角或者被连接光纤之间的芯径、相对折射率差不同,就会在连接点产生较大的损耗。特别是单模光纤(SM型),由于其芯径小,与多模光纤比,缺陷的影响变大。总的说,影响接续损耗的原因主要有:光纤端面的处理、熔接机的性能带来的损耗、纤芯未对准、光纤的参数和特性不良等。

同时,我们也不能忽视影响接头损耗的人为因素和机械因素。这种因素大约有下列几种:光纤收容弯曲损耗、光纤断面质量、横向失配、纵向分离、轴向倾斜等。

### 2.2 本征因素

所要接续的任何两根光纤,由于存在本身结构指标的偏差,自然会对接续损耗造成不同程度的影响。主要表现在对接光纤的模场直径不等、纤芯和包层同心度欠佳及纤芯的不圆度上。

#### 1) 对接光纤的模场直径不等

模场直径影响到单模光纤的弯曲损耗和连接损耗。随着波长的增加模场直径增大,模场直径的一般定义为

$$d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \lambda = 1/\sqrt{A^2} \text{ 或 } d = 2\lambda/\pi n_k \sqrt{\Delta} = 0.436\lambda/\sqrt{\Delta}$$

对于单模光纤,在两光纤完全对准,且认为端面间无任何间隙的情况下,接续损耗主要取决于两光纤模场直径的差异。

#### 2) 光纤的不圆度

$$\text{纤芯的不圆度: } e = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{1/2(d_{\max} + d_{\min})} \times 100\%$$

式中  $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  分别是光纤纤芯直径的最大值和最小值。

包层的不圆度:

$$E = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{1/2(D_{\max} + D_{\min})} \times 100\%$$

式中  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  分别是光纤包层直径的最大值和最小值。单模光纤中光的传输主要是通过纤芯传播的,只有非常小一部分光是通过包层传播的。因此光纤纤芯以及包层不圆将产生传输损耗。

#### 3) 光纤的不同心度

光纤的不同心度是表征光纤纤芯的中心与包层中心的偏离程度的参数。其定义为

$$C = x/d \times 100\%$$

式中  $x$  为纤芯与包层的中心距离,  $d$  为纤芯直径的平均值,  $d = 1/2(d_{\max} + d_{\min})$ , 它直接影响对接光纤的纤芯定位,极大地影响着接续损耗的大小。

## 3 光纤接续损耗的测量方法

光纤损耗的测量方法有剪断法、插入损耗法、背向散射法以及“四功率法”等等。剪断法测量比较准确,但在实际工程中这种方法是不实用的。插入损耗法要求一段短光纤其特性与待测光纤相似,并且要求两者光信号注入条件相同,测量方法麻烦而准确度又不如剪断法。所以经常采用的光纤损耗测量方法是背向散射法。如果要非常准确地测量出光纤的损耗,那么“四功率法”就是最好的选择。

### 3.1 用背向散射法测量光纤的接续损耗

背向散射法(也叫 OTDR)是一种多功能的测量手段,它不但可以测量特定波长的光纤损耗,也可以测量接头损耗、光纤的损耗分布、光纤长度和故障点位置等,是目前测量光纤接续损耗最常用的一种测量方法。

图1是背向散射测量系统的示意图。电光变换器(E/O)在光脉冲发生器的作用下产生光脉冲,通过耦合器入射到待测光纤的前端面,同时将散射和反射光耦合到光电变换器(O/E),光电变换器把收到的微弱的散射和反射光信号转

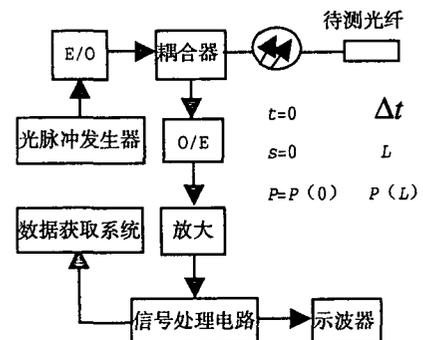


图1 背向散射测量系统示意图

换成电信号再由放大器放大,经过信号处理就可得到各点的波形。通过对显示波形的分析便可得到光纤损耗特性。

由光脉冲发生器产生的光功率为  $P(0)$  的光脉冲,在  $t=0$  时刻注入光纤之中,经过  $\Delta t$  时间后,光信号传播距离  $s=L$  处。显然  $L=c/(n_k \cdot \Delta t)$ ,其中  $c$  是光在真空中传播速度, $n_k$  是纤芯折射率。光信号在长度为  $L$  各点上产生瑞利散射,汇成的反射光经过光纤的衰减损耗返回到光纤入射端,其反射功率为  $P(2\Delta t)$ 。

反射光功率经过放大等处理后可接到示波器  $y$  轴上。同时利用  $L=c/(n_k \cdot \Delta t)$  关系,将时间轴变为光纤传光距离  $s$  的坐标轴;而将反射光功率经过 O/E 变换、放大以及对数处理后接到  $y$  轴上。这样从示波器屏幕上可直接看到如图 2 所示背向散射功率曲线。

利用背向散射功率曲线,可以很容易测出光纤沿线任意两点间或全程的衰减情况,从而知道各点光纤损耗情况。其任意段光纤的损耗系数为

$$\alpha = \frac{5}{L_2 - L_1} \lg \frac{P(L_1)}{P(L_2)}$$

式中  $P(L_1)$ 、 $P(L_2)$  分别对应于  $L_1$ 、 $L_2$  点瑞利背向散射功率。

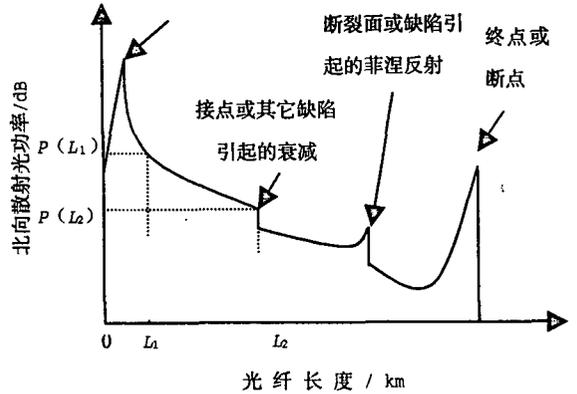


图2 背向散射功率曲线

### 3.2 采用“四功率法”测量光纤接续损耗

“四功率法”测量系统原理如图 3 所示( I 和 II 是两条待连接的光纤)。其测量方法和步骤如下:

- 1) 由中继站送出光功率,在光纤 I 的 A 点用光功率计测量出光功率为  $P_1(\mu W)$ 。
- 2) 在 A 点做第一次熔接(临时接头),然后,在光纤 II 的 B 点用光功率计测出光功率为  $P_2(\mu W)$ 。
- 3) 在 C 点切断光纤,用光功率计测量出光功率  $P_3(\mu W)$ 。
- 4) 在 A 点再一次切断光纤作永久性熔接(取掉临时接头)。在光纤 II 的 B 点处测得光功率为  $P_4(\mu W)$ 。

接头损耗表示为

$$\alpha_s = 10 \lg \frac{P_1}{P_3} + 10 \lg \frac{P_2}{P_4}$$

用这种方法可以比较准确地测出光纤接头的损耗。

## 4 光纤接续损耗的处理

光纤在接续中,由于其本身结构不够完善,自然会对接续损耗造成不同程度的影响。在工程中为使接续损耗减少到最低,可对光纤的模场直径、纤芯和包层的同心度及纤心的不圆度采取配盘措施来解决,要求两根相连的光纤模场直径差在  $0.5\mu m$  的误差范围内,以此减少由于模场直径偏差而产生的附加连接损耗。同时要有良好的光纤接续工具和工艺。

熔接后的接头不理想,显示器显示接头处就会有气泡,或连接部分产生弯曲,这样的接头损耗会很高,所以要杜绝光纤端面有灰尘、光纤切断角不良、预加热放电时间过短、放电电流太强。为了减少这些影响,要选用高精度的光纤端面切割器制备光纤端面,可使用“预热熔接法”的连接方法,即对光纤端面进行加热整形之后再行熔接。这种方法的特点是在预热时对光纤端面整形,结果减轻了连接部分产生弯曲和气泡的几率从而实现稳定的连接。

光纤在盘绕过程中,注意光纤盘绕半径不要过小,尽量盘大

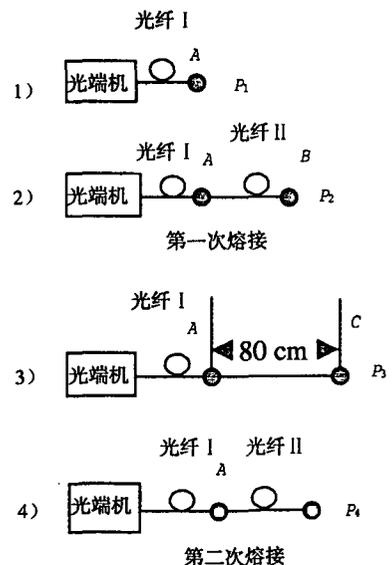


图3 “四功率法”光纤接头损耗测试原理

圈,光纤最小弯曲半径要大于10 cm,以降低由于光纤弯曲而增加的线路损耗。

要防止光纤端头受损和受潮。光纤端头受到损伤主要是指光缆在敷设过程中端头处一段受到过大的拉力而使光纤受到损伤。光纤端头受潮是因为光缆在敷设完毕后放入人井或接头坑时没有经过防潮处理。无论是光纤损伤还是受潮都将引起光纤的损耗增大。为防止光纤端头受损和受潮,可以适当地增加预留长度,在接续前截去受损或受潮的一段。

## 5 结束语

本文着重论述了单模光纤产生接续损耗的原因,用背向散射法和“四功率法”测量接续损耗的方法以及对接续损耗的处理。但是在工程应用中,对接续损耗影响最大的是光纤的模场直径不等、纤芯和包层同心度欠佳及纤芯的不圆度。对于非固有损耗则可完全通过改善接续工艺来减小损耗,同时精密的工具和施工中细致的操作也是减少接续损耗的重要手段。

### 参考文献:

- [1] 渡边高信,清水至. 光缆施工与维护技术[M]. 北京:人民邮电出版社,1990.
- [2] 赵梓森. 单模光纤通信系统原理[M]. 北京:人民邮电出版社,1988.
- [3] 福春秀雄. 光缆[M]. 北京:人民邮电出版社,1990.
- [4] 杨春舫. 光纤接续损耗分析与处理[J]. 电信技术,1997,4(1):32-33.

## Analysis Measurement and Processing of Connection Loss of the Single Mode Fiber

HOU Dong-xing<sup>1</sup>, LI Zheng-jie<sup>1</sup>, JIN Rong<sup>2</sup>

(The Missile Institute of the Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

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

**Abstract:** This thesis expatiates the causes of the connection loss produced by single mode optical fiber by making an analysis of loss characteristics of the single mode optical fiber. And the methods of "OTDR" and "4P" are used to measure and treat the connection loss.

**Key words:** single-mode fiber; loss characteristic; connection loss; mode field diameter