

光纤传输损耗的测量

一.实验目的和内容

- 1.了解光纤传输损耗的特性及其测量方法。
- 2.掌握用切断法测量光纤传输损耗的方法和技巧。

二.实验基本原理

在光纤传输过程中,光信号能量损失的原因有本征的和非本征的,在实用中最关心的是它的传输总损耗。已经提出的测定光纤总损耗的方法有3种:切断法、插入损耗法和背向散射法。

波长为 λ 的光沿光纤传输距离 L 的衰减且 $A(\lambda)$ (以dB为单位)定义为

$$A(\lambda) = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1)$$

式中 P_1 , P_2 分别是注入端和输出端的光功率。

对于一根均匀的光纤,可定义单位长度(通常是1km)的衰减系数 $\alpha(\lambda)$ (以dB/km为单位),

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} = \frac{10 \lg(P_1/P_2)}{L} \quad (2)$$

光纤的衰减系数是一个与长度无关但与波长有关的参数。

衰减测量注入条件

为获得精确、可重复的测量结果,由定义式(1)可见,测量时应保证光纤中功率分布是稳定的,即满足稳态功率分布的条件。实际的光纤由于存在各种不均匀性等因素,将引起模耦合,而不同的模的衰减和群速度都不同。因此在多模传输的情况下,精确测量的主要问题是测量结果与注入条件、环境条件(应力、弯曲、微弯)有关。实验表明:注入光通过光纤一定长度(耦合长度)后,可达“稳态”或“稳态模功率分布”,这时模式功率分布就不再随注入条件和光纤长度而变,但在一般情况下对于质量较好且处于平直状态的光纤,其耦合长度也需要几公里。因此在实际测量中,对于短光纤一般用稳态模功率分布装置,或适当的光学系统,或有足够长的注入光纤,以获得稳态功率分布条件。单模光纤因为只传导一个模,没有稳态模功率分布问题,所以衰减测量不需要扰模。

切断法

这是直接严格按照定义建立起来的测试方法。在稳态注入条件下,首先测量整根光纤的输出光功率 $P_2(\lambda)$;然后,保持注入条件不变,在离注入端约2m处切断光纤,测量此短光纤输出的光功率 $P_1(\lambda)$,因其衰减可忽略,故 $P_1(\lambda)$ 可认为是被测光纤的注入光功率。因此,按定义式(1)和(2)就可计算出被测光纤的衰减和衰减系数。如果要测量衰减谱,只要改变输入光波长,连续测量不同波长的 $P_2(\lambda)$,然后保持注入条件不变,在离注入端约2m处切断光纤,再连续测量同样的不同波长的 $P_1(\lambda)$,计算各个波长下的衰减,就可得到衰减谱曲线。

由于这种测量方法需要切断光纤,所以是破坏性的,但测量精度高,优于其它方法0.1dB,所以是光纤衰减测量的一种标准测试方法。测试装置如图1所示。测量单一波长衰减时,光源可使用谱宽窄的发光二极管(LED)或激光栅(LD),以提高动态范围。测衰减谱时则应用宽

光谱光源，再通过单色仪分光。光源应能在完成测试过程的足够长时间内保持光强和波长稳定。谱线宽度应不超过规定值。

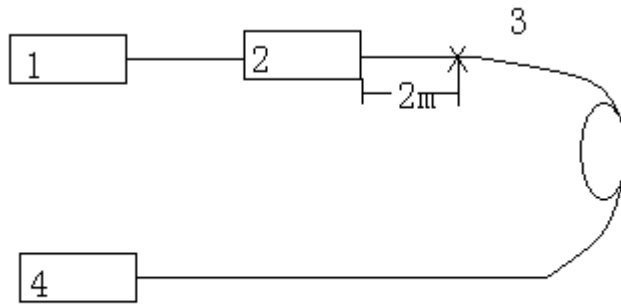


图 1

插入损耗法

上述切断法除具有破坏性以外，用于现场测量既困难，又费时，因此现场测量需用非破坏插入法来代替切断法。目前插入损耗法对于多模光纤的测试，其测量精度和重复性已可满足要求，所以被选为替代测试方法。其测量原理如图 2。

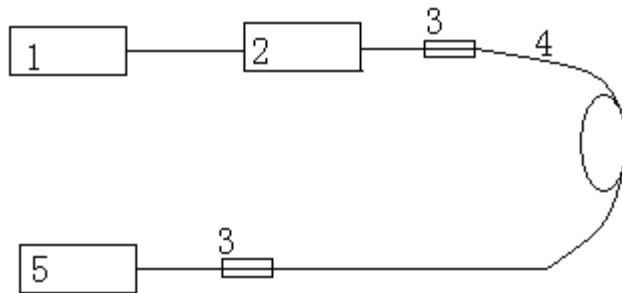


图 2

测量时先校准精入光功率 $P_1(\lambda)$ 。然后把待测光纤插入，调整耦合头使达到最佳耦合，记下此光功率 $P_2(\lambda)$ 。于是测得的衰减且 $A'(\lambda) = P_1(\lambda) - P_2(\lambda)$ 。显然， $A'(\lambda)$ 包括了光纤衰减 $A(\lambda)$ 和连接器(或接头)损耗 A_i 。最后，被测光纤衰减为

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda) / L \text{ (dB / km)}$$

式中 $A(\lambda) = A'(\lambda) - A_i$ ，dB / km。可见，插入损耗法的测量精确度和重复性要受到耦合接头的精确度和重复性的影响，所以这种测试方法不如切断法的精确度高。但因此法是非破坏性的，测量简单方便，故适合于现场使用。

背向散射法

背向散射法也是一种非破坏性的测试方法。测试只需在光纤的一端进行，而且一般有良好的重复性。更由于这种方法不仅可以测量光纤的衰减系数，还能提供沿光纤长度损耗特性的详细情况，其中包括检测光纤的缺陷或断裂点位置、接头的损耗和位置等，也可给出光纤的长度，所以这种方法对实验研究、光纤制造和工程现场都很有用。利用这种方法做成的测量仪器，叫做光时域反射计(optical time-domain reflectometer)，简称 OTDR。

背向散射法是将大功率的窄脉冲注入被测光纤，然后在同一端检测沿光纤背向返回的散射光功率。因为主要的散射机理是瑞利散射，瑞利散射光的特征是它的波长与入射光波的波长相同，光功率与该点的入射光功率成正比，所以测量沿光纤返回的背向瑞利散射光功率就可以获得光沿光纤传输时损耗的信息，从而可以测得光纤的衰减。故称此方法为背向散射

法。其简单原理框图如图 3 所示。

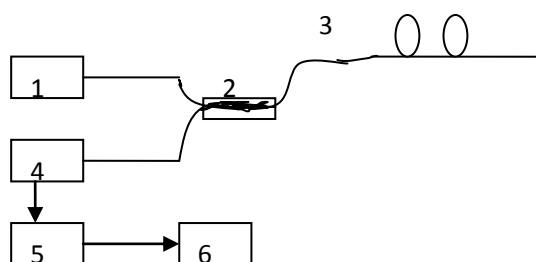


图 3 背向散射法测量原理框图

- 1.光源 2.光纤分路器 3.待测光纤
4.光探测器 5.信号处理单元 6.显示器

图 3

光脉冲通过方向耦合器注入被测光纤。光脉冲在光纤中传输，沿光纤各点来的背向瑞利散射光返回到光纤耦合器，经方向耦合器输入光检测器，经信号处理后输出，就可观察和记录所测的结果。图 4 是背向散射的典型记录曲线，各段分别反映如下特性：

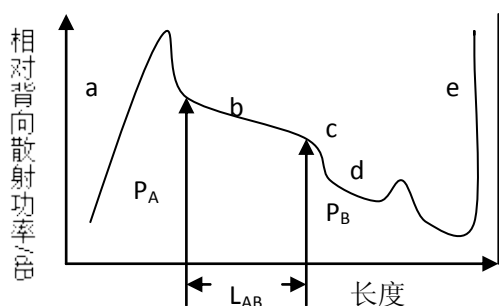


图 4 背向散射法(对数坐标)测量的典型曲

- a 段——由于耦合器和光纤前端面引起的菲涅耳反射脉冲；
- b 段——光脉冲沿具有均匀特性的光纤段传播时的背向瑞利散射曲线；
- c 段——由于接头或耦合不完善引起的损耗，或者光纤存在某些缺陷引起的高损耗区；
- d 段——光纤断裂处，损耗峰大小反映了损坏的程度；
- e 段——光纤终端引起的反射损耗。

由于被测光纤存在接头或缺陷时各段背向散射系数不同，测得的衰减是不准确的，可能产生很大的偏差。但是对于均匀、连续、无接头和缺陷的光纤，衰减测量的结果足够精确。

背向散射法同样适用于单模光纤。虽然单模光纤中背向散射过程不能用几何光学来研究，但是根据波动光学的理论研究证明，单模光纤输入端背向散射功率的表达式除了背向散射系数的意义以外，与多模光纤相同。因此，背向散射法同样适用于单模光纤的衰减特性测量。

背向散射法测量衰减有以下缺点：①无法控制背向散射光的模式分布，这常使两传输方向上测的衰减系数不同，为此可取两方向测量值的平均。②对光纤的非均匀性很敏感。光纤的不均匀，如数值孔径、直径或散射系数的变化等对背向散射信号有影响，不利于衰减系数的确定。由于这些缺点，使背向散射法不能作为测量衰减的基准方法，有疑问时，应以切断法的结果为准。

三. 实验用具与装置图

实验用具：卤钨灯，透镜，单色仪，塑料光纤，光功率计。

装置图：



图 5

四. 实验操作步骤

1. 开启卤钨灯电源,使光源成像于缝上,透镜与缝之间的距离应使其相对孔径与仪器(单色仪)相对孔径相等。
2. 仔细调节光纤入射端面的位置,要求光纤输出最强的光。
3. 使用BGJ型光功率计,按键打向短波和199.9nw档。记录单色仪波长鼓从17.5,18.0,18.5,19.0,19.5,20.0,20.5,21.0八个点时光功率计的读数(减去暗电流),重复三次测量。
4. 保持光纤输入端不变,把光纤剪掉约一半重复上面八个点的测量三次。

五. 数据处理

以波长为横坐标,衰减的dB数为纵坐标,用最小二乘法分析实验数据,作出光纤损耗随波长变化的曲线

$$\text{dB 数} = \frac{10}{L-l} \lg \frac{p(l)}{p(L)}$$

L 为原光纤长度, l 为光纤剪掉后剩下的长度。

注: 可利用硅光电池光谱特性测量实验作的波长校正曲线。

六. 实验结果分析与实验报告要求:

将实验数据和数据处理结果写在实验报告上,分析实验结果好坏,找出其原因。

七. 思考题与预习自测题

1. 什么叫光学仪器的相对孔径? 应如何调节单色仪才能使其有最大的光强及最好的单色性?
2. 光纤传输损耗的大小与哪些因素有关?