

实验十八 测量光纤的色散和衰减

实验序号 No:225046

测量光纤的色散和衰减

Measurement of Fiber Dispersion and Attenuation

实验简介

色散是光纤的传输特性之一，不同波长的光脉冲在光纤中具有不同的传播速度，色散反应了光脉冲沿光纤传播时的展宽。光纤的色散现象对光纤通信极为不利。光纤数字通信传输的是一系列脉冲码，传输中的脉冲展宽，导致了脉冲与脉冲相重叠现象，形成传输码的失误差错。为避免误码出现，就要拉长脉冲间距，导致传输速率降低，减少了通信容量。光纤脉冲的展宽程度随着传输距离的增长而越来越严重，为了避免误码，光纤的传输距离也要缩短。

一、实现目的

- 1、通过测量单模光纤的 13/15 之间以及 1550 窗口内两点之间的色散值，了解并掌握相移法测量单模光纤色散的方法。
- 2、通过测量单模光纤的衰减值，了解测量光纤损耗的常用方法之一：插入法（实际测量中很多器件的插损、损耗都使用这种方法）。

二、实验原理

（一）、色散概述

色散是光纤的传输特性之一。由于不同波长的光脉冲在光纤中具有不同的传播速度，因此，色散反应了光脉冲沿光纤传播时的展宽。光纤的色散现象对光纤通信极为不利。光纤数字通信传输的是一系列脉冲码，光纤在传输中的脉冲展宽，导致了脉冲与脉冲相重叠现象，即产生了码间干扰，从而形成传输码的失误，造成差错。为避免误码出现，就要拉长脉冲间距，导致传输速率降低，从而减少了通信容量。另一方面，光纤脉冲的展宽程度随着传输距离的增长而越来越严重。因此，为了避免误码，光纤的传输距离也要缩短。光纤的色散可分为：

1. 模式色散又称模间色散：光纤的模式色散只存在于多模光纤中。每一种模式到达光纤终端的时间先后不同，造成了脉冲的展宽，从而出现色散现象。
2. 材料色散：含有不同波长的光脉冲通过光纤传输时，不同波长的电磁波在玻璃中的折射率 $n(\lambda)$ 不相同，传输速度不同就会引起脉冲展宽，导致色散。
3. 波导色散又称结构色散：它是由光纤的几何结构决定的色散，其中光纤的横截面积尺寸起主要作用。光在光纤中通过芯与包层界面时，受全反射作用，被限制在纤芯中传播。但是，如果横向尺寸沿光纤轴发生波动，除导致模式间的模式变换外，还有可能引起一部分高频率的光线进入包层，在包层中传输，而包层的折射率低、传播速度大，这就会引起光脉冲展宽，从而导致色散。
4. 偏振模式色散（PMD）：又称光的双折射，单模光纤只能传输一种基模的光。基模实际上是由两个偏振方向相互正交的模场 HE_{11x} 和 HE_{11y} 所组成。若单模光纤存在着不圆度、微

弯力、应力等，HE_{11x} 和 HE_{11y} 存在相位差，则合成光场是一个方向和瞬时幅度随时间变化的非线性偏振，就会产生双折射现象，即 x 和 y 方向的折射率不同。因传播速度不等，模场的偏振方向将沿光纤的传播方向随机变化，从而会在光纤的输出端产生偏振色散。PCVD 工艺生产出的单模光纤具有极低的偏振模色散（PMD）。

（二）、色散（带宽）的描述

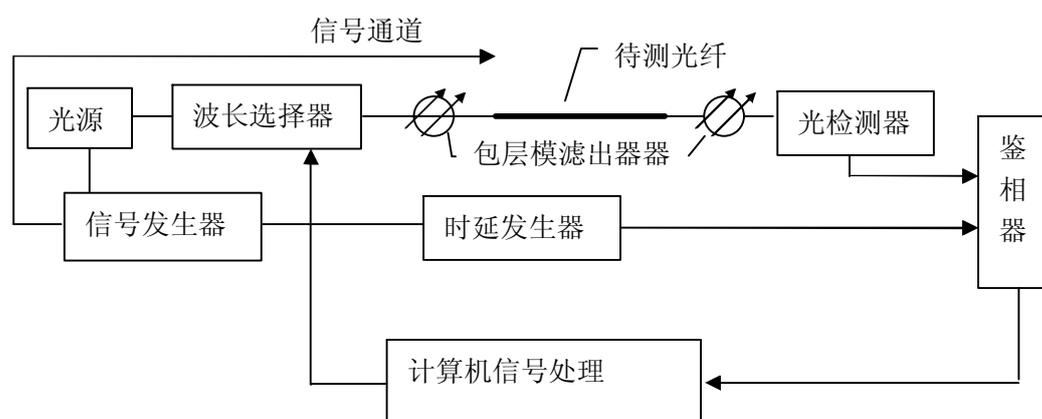
理想圆对称单模光纤的色散（实际上光纤并非理想的圆对称，因此要考虑偏振模色散这里我们只描述理想圆对称情况），由于不存在模畸变（只有一个基模，不存在高阶模，忽略偏振态的改变），传导光脉冲的展宽完全是由波导色散和材料色散决定，人们常把这种基模的一个模内的色散定义为模内色散，有时为了和其他色散进行区分，也称色度色散，表明是和光的“色彩”（波长）有关。模内色散系数的定义是：单位光源光谱宽度、单位光纤长度所对应的光脉冲的展宽（延时差）[ps/(nm·km)]：

$$\sigma = \frac{d\tau(\lambda)}{d\lambda} [\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})]$$

对所有类型的光纤，该系数是可以测定不同波长的光通过一定长度的光纤的相对时差（延时）来确定的。根据国际标准 ITU、IEC 和 EIA/TIA 的规定，测量单位光纤长度乘波长的群延时数据，宜用 Sellmeier 三项表达式来拟合（适用于单模和多模光纤）。

（三）、单模光纤色散的测量

PCVD 单模光纤色散的测量方法很多，例如相移法（频域法）、脉冲法（时域法）、干涉法等等，在图 18-1 中介绍最常用的 ITU、IEC 及 EIA/TIA 等国际标准推荐的采用“相移方法”（PHASE-SHIFT METHOD）。



18-1 单模光纤色散测量的相移方框图

系统由光源、波长选择器、信号发生器、包层模滤出器、探测器、时延发生器、鉴相器以及计算机信号处理部分组成，测量时波长选择器选择波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ，并且选择信号发生器调制合适的调制频率，使得所有波长的相位延时 Φ_i 满足 $2N\pi < \Phi_i < (2N+2)\pi$ ，于是当波长差别很小的时候，不同波长的时延 τ_i 有下面的关系：

$$\frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{\lambda_{i+1} - \lambda_i} \approx \frac{d\tau}{d\lambda} = D(\lambda_i)$$

即可得到不同波长的色散值。

*下面的黑体字是选读部分，感兴趣的同学可以了解。

对于零色散点附近，色散量非常小，所以很难精确地测量其色散值，根据 CCITT G.650 规定，可以通过不同的拟合公式（sellmeier 表达式）通过部分点测量快速而且较精确的测量其色散值。下面给出部分公式：

对于 G.652 光纤，在 1270~1340nm 范围内，可以使用：

$$\tau_{\lambda} = \tau_0 + \frac{S_0}{8} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{ps/km})$$

式中， τ_0 是在零色散波长附近的最小群色散时延值。通过测量波长较长的几个点，确定出上式中的常数项，再将上式对 λ 进行微分即可得到相对应的色散值。

对于 G.653 光纤，在 1550nm 附近的三项 sellmeier 公式为：

$$\tau_{\lambda} = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (\text{ps/km})$$

(四)、光纤的衰减

60 年代，光纤损耗超过 1000dB/km，1970 年出现突破，光纤损耗降低到约 20dB/km (1000 nm 附近波长区)，1979 年，光纤损耗又降到 0.2dB/km (在 1550 nm 处)，低损耗光纤的问世导致了光波技术领域的革命，开创了光纤通信的时代。

光纤的损耗主要由材料吸收、瑞利散射和辐射损耗三部分组成，各部分描述具体如下：

A、材料吸收

紫外、红外、OH 离子、金属离子吸收等，是材料本身所固有的--本征吸收损耗，OH 离子吸收：O-H 键的基本谐振波长为 2.73 μm ，与 Si-O 键的谐振波长相互影响，在光纤通信波段内产生一系列的吸收峰，影响较大的是在 1.39、1.24、0.95 μm ，峰之间的低损耗区构成了光纤通信的三个窗口。（减低 OH 离子浓度，减低这些吸收峰---全波光纤 AllWave）

B、瑞利散射是一种基本损耗机理。由于制造过程中沉积到熔石英中的随机密度变化引起的，导致折射率本身的起伏，使光向各个方向散射。大小与 λ^{-4} 成反比， $R=C/\lambda^4$ (dB/km) 因而主要作用在短波长区。瑞利散射损耗对光纤来说是其本身固有的，因而它确定了光纤损耗的最终极限。在 1.55 μm 波段，瑞利散射引起的损耗仍达 0.12~0.16 dB/km，是该段损耗的主要原因。

C、辐射损耗又称弯曲损耗，包括两类：一是弯曲半径远大于光纤直径，二是光纤成缆时轴向产生的随机性微弯。定性解释：导模的部分能量在光纤包层中（消失场拖尾）于纤芯中的场一起传输。当发生弯曲时，离中心较远的消失场尾部须以较大的速度行进，以便与纤芯中的场一同前进。这有可能要求离纤芯远的消失场尾部以大于光速的速度前进，由于这是不可能的，因此这部分场将辐射出去而损耗掉。

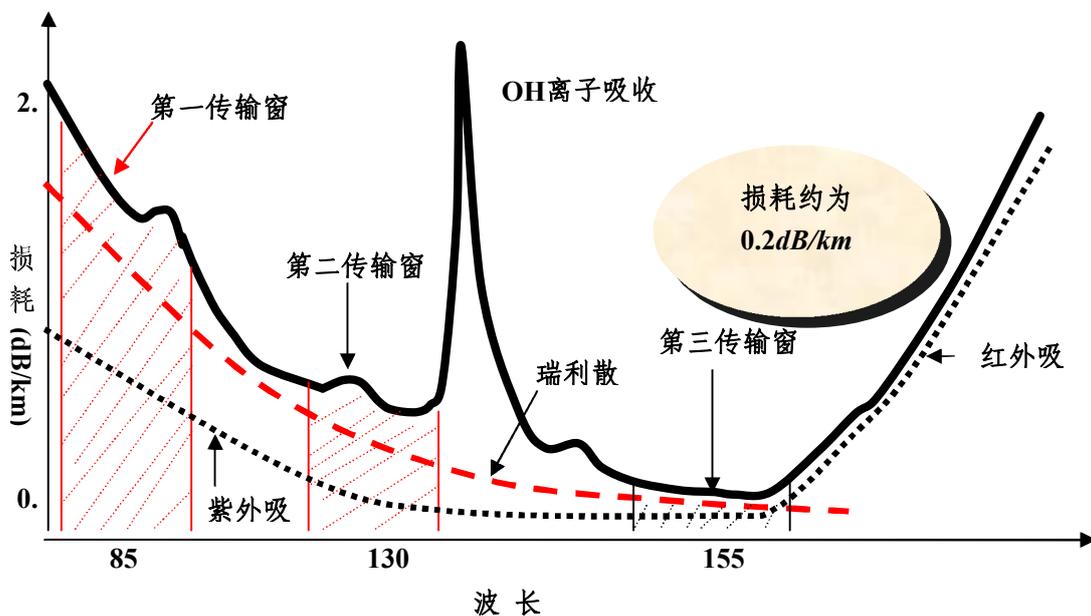


图18-2 G.652 光纤的损耗谱线

(五)、损耗的测量

光纤损耗的常用方法是插入法和剪断法，这里只简单介绍一下原理，有兴趣的同学可以查阅相关标准（ITU-T G.650~G.655, IEC60793-1-4 (1995), GB8401-87, GB/T 9771-200X 等）。

插入法的原理很简单，即先使用一根短标准跳线连接光源和功率计之间，记录功率值 P_0 ，再用待测光纤代替短跳线，测量这种情况下的功率计 P_1 ，用这两个功率的差 (p_1-p_0) 除以待测光纤的长度(L)，即可得到待测光纤的损耗值 (dB/km)。需要注意的是尽可能保持其它条件不变，光纤位置、弯曲程度、连接头等尽量保持不变，并且保证光纤中的模式受到均匀的激励（测量单模光纤的情况要使用滤模器）。表示如下：

$$\alpha = (p_1 - p_0) / L \quad (\text{dB/km})$$

剪断法的基本原理是将待测光纤接入光源和功率计之间，然后纪录这个时刻的功率值 P_1 ，再将光纤在离光源耦合端保留大约 20cm，测量此时的光功率值 P_0 ，然后再利用上式计算光纤的损耗值。

三、实验装置：

实验中所使用的仪器为金飞博公司生产的色散测量仪，测量色散的方法如前所述的原理相同，只是形式上略有改变，结构原理图如下：

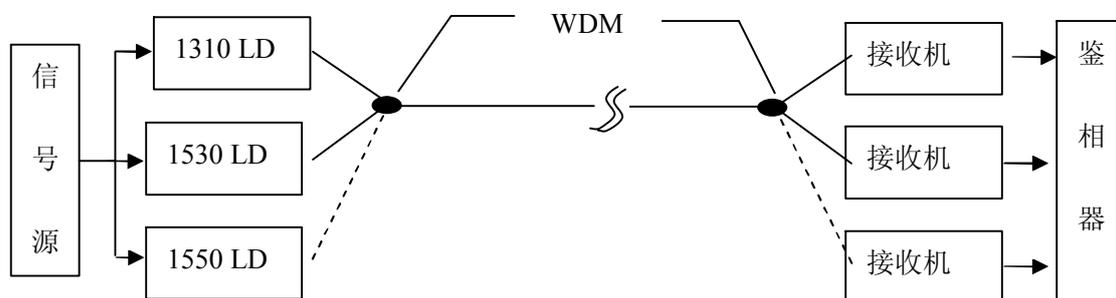


图 18-3 测量单模光纤色散的结构原理图

如图所示，如果 1550nm 和 1310nm 经过待测光纤后相位相差为 $2N\pi + \Phi_1$, ($0 < \Phi_1 < 2\pi$)，调整适当的信号源频率使得 1310nm/1530nm 经过待测光纤后的相位差为 $2N\pi + \Phi_2$, ($0 < \Phi_2 < 2\pi$)，我们可以得到 1530nm/1550nm 的两个信号光经过待测光纤后相位差为 $\Phi_1 - \Phi_2$ ，那么相对应的色散值为：

$$D(1550) \approx \frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{\lambda_{i+1} - \lambda_i} = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) / 2\pi f L}{1550 - 1530} = \Delta\tau / \Delta\lambda / L \quad (\text{ps/nm/km})$$

式中：f：信号源调制频率，L：待测光纤长度。

四、实验步骤

(一)、色散测量

1. 接通电源；
2. 选择信号源频率为高频率处，将 WDM 的两个连接端子接在 1310nm 和 1550nm 两个 LD 的输出上，记录此时鉴相器的读数（1310nm/1550nm 的相位差）；
3. 选择信号源频率为高频率处，将 WDM 的两个连接端子接在 1310nm 和 1530nm 两个 LD 的输出上，记录此时鉴相器的读数（1310nm/1530nm 的相位差）；
4. 重复上述 2~3 步骤 5~10 次，利用公式计算 1550 窗口的待测光纤色散的平均值；

(二)、衰减测量

1. 接通电源；

2. 用标准跳线将 1310nm 光源和功率计连接起来，记录功率计上读数 P_0 ；
3. 用待测光纤代替标准跳线，记录功率计读数 P_1 ；
4. 重复上述 2~3 步骤，记录 5~10 组功率值 P_0 和 P_1 ，利用损耗公式计算待测光纤在 1310nm 时的衰减损耗平均值；
5. 将光源分别换成 1530、1550nm 的光源，测量待测光纤在 1530/1550nm 的衰减损耗值。

五、思考题：

- 1, 测量光纤损耗的时候，为什么要注意尽可能的使其他条件不变？
- 2, 为什么测量结果中 1530nm 和 1550nm 的光纤损耗值基本相同？
- 3, 如果使用低频率的信号调制，是否可以利用 1310/1550 或者 1310/1530 的办法直接测量 1310nm 附近的色散值？