



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 15972.42—2021  
代替 GB/T 15972.42—2008

## 光纤试验方法规范 第 42 部分： 传输特性的测量方法和试验程序 波长色散

Specifications for optical fibre test methods—  
Part 42: Measurement methods and test procedures for transmission  
characteristics—Chromatic dispersion

(IEC 60793-1-42:2013, Optical fibres—Part 1-42: Measurement  
methods and test procedures—Chromatic dispersion, MOD)

2021-04-30 发布

2021-08-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 方法概述 ..... 1

4 试验装置 ..... 2

5 试样和试样制备 ..... 3

6 程序 ..... 3

7 计算 ..... 3

8 结果 ..... 4

附录 A（规范性附录） 方法 A——相移法测量的特定要求 ..... 5

附录 B（规范性附录） 方法 B——时域群时延谱法测量的特定要求 ..... 9

附录 C（规范性附录） 方法 C——微分相移法测量的特定要求 ..... 12

附录 D（规范性附录） 色散拟合 ..... 16





## 前 言

GB/T 15972《光纤试验方法规范》由若干部分组成,其预期结构及对应的国际标准为:

- 第 10 部分:测量方法和试验程序 总则(对应 IEC 60793-1-1);
- 第 20 部分~第 29 部分:尺寸参数的测量方法和试验程序(对应 IEC 60793-1-20 至 IEC 60793-1-29);
- 第 30 部分~第 39 部分:机械性能的测量方法和试验程序(对应 IEC 60793-1-30 至 IEC 60793-1-39);
- 第 40 部分~第 49 部分:传输特性的测量方法和试验程序(对应 IEC 60793-1-40 至 IEC 60793-1-49);
- 第 50 部分~第 59 部分:环境性能的测量方法和试验程序(对应 IEC 60793-1-50 至 IEC 60793-1-59)。

其中 GB/T 15972.40~49 由以下部分组成:

- 第 40 部分:传输特性的测量方法和试验程序 衰减;
- 第 41 部分:传输特性的测量方法和试验程序 带宽;
- 第 42 部分:传输特性的测量方法和试验程序 波长色散;
- 第 43 部分:传输特性的测量方法和试验程序 数值孔径;
- 第 44 部分:传输特性的测量方法和试验程序 截止波长;
- 第 45 部分:传输特性的测量方法和试验程序 模场直径;
- 第 46 部分:传输特性的测量方法和试验程序 透光率变化;
- 第 47 部分:传输特性的测量方法和试验程序 宏弯损耗;
- 第 48 部分:传输特性的测量方法和试验程序 偏振模色散;
- 第 49 部分:传输特性的测量方法和试验程序 微分模时延。

本部分为 GB/T 15972 的第 42 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 15972.42—2008《光纤试验方法规范 第 42 部分:传输特性和光学特性的测量方法和试验方法 波长色散》。本部分与 GB/T 15972.42—2008 相比主要技术变化如下:

- 修改了标准的名称;
- 修改了本部分适用的光纤类型及相应的方法、试验装置和计算(见第 1 章、第 3 章、第 4 章和第 7 章,2008 年版的第 1 章、第 3 章、第 4 章和第 7 章);
- 删除了方法 D——干涉法(见 2008 年版的 3.4 和附录 D);
- 修改了经滤光的发光二极管的 FWHM 要求(见 C.1,2008 年版的 C.1);
- 增加了色散拟合(见附录 D)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60793-1-42:2013《光纤 第 1-42 部分:测量方法和试验程序 波长色散》。

本部分与国际标准相比,主要结构变化如下:

- 按照我国标准的编排格式和表述要求,将 IEC 文件中第 1 章部分内容调整到本部分的第 3 章;将 IEC 文件中第 4 章合并到本部分的第 3 章;将 IEC 文件中第 7 章的拟合公式中的符号和符号含义调整到本部分的附录 D。

本部分与 IEC 60793-1-42:2013 相比,主要技术差异及其原因为:

——关于规范性引用文件,本部分做了具有技术性差异的调整,以适应我国技术条件,调整的情况集中反映在第2章“规范性引用文件”中,具体调整如下:

- 删除了 IEC 60793-2,相应增加了 GB/T 9771(所有部分)和 GB/T 12357.1;
- 用修改采用国际标准的 GB/T 15972.10 代替 IEC 60793-1-1;
- 用修改采用国际标准的 GB/T 15972.41—2008 代替 IEC 60793-1-41:2001。

——为与国家标准中光纤的分类代号保持一致,将 IEC 文件中的范围“B1 类单模光纤”改为“B1.1、B1.2 和 B1.3 类单模光纤”;考虑到实际应用中 B6.b2 和 B6.b3 子类弯曲不敏感单模光纤采用同样的方法进行测试,故将 IEC 文件中的范围“B6.a1 和 B6.a2 子类单模光纤”扩大到“B6 类单模光纤”。

本部分做了下列编辑性修改:

——将标准名称修改为《光纤试验方法规范 第42部分:传输特性的测量方法和试验程序 波长色散》;

——纠正了 A.1.3 注1的错误指向;

——纠正了 A.3.2 和 B.3.2 中章节的引用错误。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国通信标准化技术委员会(SAC/TC 485)归口。

本部分起草单位:烽火科技集团有限公司。

本部分主要起草人:刘骋、王冬香、胡古月、胡鹏、许江波。

本部分所代替标准的历次发布情况为:

——GB/T 15972.42—2008。

# 光纤试验方法规范 第 42 部分： 传输特性的测量方法和试验程序 波长色散

## 1 范围

GB/T 15972 的本部分规定了光纤波长色散的试验方法,确立了对试验装置、试样和试样制备、程序、计算和结果的统一要求。

本部分适用于 GB/T 12357 和 GB/T 9771 系列标准中规定的以下类别光纤和光缆:

- A1 类多模光纤;
- A4f、A4g 和 A4h 子类多模光纤;
- B1.1、B1.2、B1.3、B2、B4、B5 及 B6 类单模光纤。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 9771(所有部分) 通信用单模光纤

GB/T 12357(所有部分) 通信用多模光纤

GB/T 15972.10 光纤试验方法规范 第 10 部分:测量方法和试验程序 总则(GB/T 15972.10—2021,IEC 60793-1-1:2017,MOD)

GB/T 15972.41—2008 光纤试验方法规范 第 41 部分:传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 带宽(IEC 60793-1-41:2001,MOD)

## 3 方法概述

### 3.1 总则

测量波长色散有以下三种试验方法:

- 方法 A:相移法;
- 方法 B:时域群时延谱法;
- 方法 C:微分相移法。

上述三种测量方法均适用于 A1 类渐变型折射率分布的多模光纤,A4f、A4g 和 A4h 子类多模光纤和 B 类单模光纤在指定波长范围的色散测量。

上述方法适用于实验室、工厂和光缆工作现场的色散测量,测量波长范围可按要求改变。

上述方法对测量环境的要求应符合 GB/T 15972.10 中的规定。这些方法适用于 1 km 以上长度的光纤或光缆的测量,在测量精度或重复性满足要求的情况下,也可测量长度较短的光纤。

### 3.2 方法 A——相移法

相移法适用于在规定的波长范围内测定 B 类单模光纤中 B1.1、B1.2、B1.3、B2、B4、B5 及 B6 类单模

光纤, A1 类多模光纤以及 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤的色散特性。

相移法是测量不同波长正弦调制信号的相位移变化, 将其转换后得到光波在光纤中传播的相对时延, 用指定的拟合公式由相对时延谱拟合导出光纤的波长色散特性。相移法可用典型的激光器光源或经过分光的 LED 作光源。

相移法是测量所有 B 类单模光纤中 B1.1、B1.2、B1.3、B2、B4、B5 及 B6 类单模光纤的基准试验方法 (RTM), 在不具备相移法的条件下, 也可用方法 C——微分相移法解决对试验结果所持异议。

### 3.3 方法 B——时域群时延谱法

时域群时延谱法适用于在规定的波长范围内测定 B 类单模光纤中 B1.1、B1.2、B1.3、B2、B4、B5 及 B6 类单模光纤, A1 类多模光纤以及 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤的色散特性。

时域群时延谱法直接测量已知长度的光纤在不同波长脉冲信号下的群时延, 用指定的拟合公式由相对时延谱拟合导出光纤的波长色散特性。时域群时延谱法可用光纤拉曼激光器或使用一组激光器作光源。

时域群时延谱法是测量 A1 类多模光纤以及 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤色散的基准试验方法 (RTM), 可用于解决对试验结果所持异议。

### 3.4 方法 C——微分相移法

微分相移法适用于在规定的波长范围内测定 B 类单模光纤中 B1.1、B1.2、B1.3、B2、B4、B5 及 B6 类单模光纤, A1 类多模光纤以及 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤的色散特性。

微分相移法是将光源经调制的光耦合进被试光纤, 将光纤输出的第一个波长光的相位与输出的第二个波长光的相位进行比较, 由微分相移、波长间隔和光纤长度确定这两个波长间隔内的平均波长色散系数。本方法假定这两个测量波长的平均波长的波长色散系数等于这两个测量波长间隔内的平均波长色散系数。通过对色散数据曲线拟合可获得诸如零色散波长  $\lambda_0$  和零色散斜率  $S_0$ 。这两个参数。

在没有相移法的条件下, 微分相移法也可用于解决对 B 类单模光纤中 B1.1、B1.2、B1.3、B2、B4、B5 及 B6 类单模光纤色散试验结果所持异议。

## 4 试验装置

### 4.1 概述

在 4.2~4.5 中给出了三种色散测量方法的测量装置的共同要求, 在附录 A、附录 B 和附录 C 分别给出了每一种试验方法特定的要求。

### 4.2 注入光学系统

应采用合适器件将信号源输出耦合到被试光纤或参考光纤, 使每一信号的物理光程在测量期间保持恒定。合适器件可包括多通道单模光开关或活动光连接器。

A1 类多模光纤以及 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤的注入条件应按 GB/T 15972.41—2008 中方法 A 的规定。

### 4.3 高阶模滤模器(单模)

当测量单模光纤时, 应在关注的波长范围内滤除高阶模, 应采用诸如半径足够小的单个光纤圈作为滤模器将截止波长移至关注的最短波长以下。

#### 4.4 输入定位装置

应提供合适的方式对光纤输入端同光源的耦合位置进行精密调节,如  $x-y-z$  方向微调架,或机械耦合器件如连接器、真空吸盘、三棒接头等等。测量期间,光纤的位置应保持稳定。

#### 4.5 输出定位装置

应提供一种合适的方式使得试样的输出光功率能耦合进探测系统中。耦合时可选用光学透镜或用机械连接器同探测器尾纤相连。

### 5 试样和试样制备

#### 5.1 试样长度

对于方法 A、方法 B 和方法 C,试样可以是光纤或光缆,其长度应足以达到足够的相位测量精度,典型的最小长度是 1 km。由于 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤相比 A1 类多模光纤有更大的衰减值,故对 A4 类光纤,100 m 的最小长度是可以接受的。

注:使用短长度光纤进行测试时会影响测试结果的重复性。被测光纤的长度越长,测试结果的重复性越好。

#### 5.2 试样端面

试样的输入端面和输出端面应平整、光滑,与光纤轴应有很好的垂直度。

#### 5.3 参考光纤

参考光纤类型应与试样光纤相同,以便对光源和装置其他部分产生的色散延迟进行补偿。参考光纤长度应小于或等于被试光纤长度的 0.2%。

如果对 A4f、A4g 及 A4h 子类多模光纤进行测试时,参考光纤长度应小于或等于 2 m。如果参考光纤的长度大于被试光纤的 0.2%,那么参考光纤的色散应该被考虑,应从试样的测试结果中减掉参考光纤的色散值。

在测量过程中,试样的温度应保持稳定,一般温度变化应小于 0.1 °C (或 1 °C),这取决于待测样品的色散特性对温度的敏感性。

### 6 程序

方法 A、方法 B 和方法 C 分别见附录 A、附录 B 和附录 C 中的试验程序。

所有的方法均要求对参考光纤进行测量,参考光纤的数据可预先存储以方便试样测量。当更换仪器的光源、接收光纤或电子元件时,应重新测量参考光纤。

### 7 计算

#### 7.1 概述

在附录 A、附录 B 和附录 C 中分别给出了每一种试验方法的相对时延或色散的计算方法。

可用于所有试验方法中对单位长度光纤的群时延曲线  $\tau(\lambda)$  拟合的方法,见附录 D。

## 7.2 A1 类多模光纤, A4f、A4g、A4h 子类多模光纤, B1.1、B1.3 以及 B6 类单模光纤

时延或色散数据拟合应使用附录 D 中三项塞缪尔(Sellmeier)方程拟合。计算色散系数  $D(\lambda)$ , 零色散波长  $\lambda_0$ , 零色散斜率  $S_0$  的计算公式见附录 D。

只有在 1 550 nm 区域, 色散与波长的关系可近似为线性函数, 时延可用二项式拟合, 见附录 D。

## 7.3 B1.2 类单模光纤

基于准确性要求, 对于波长间隔不超过 35 nm, 二项式拟合法可用于 1 550 nm 区域。二项式拟合公式不能用于外推预测超出测量波长范围的色散。对于更长的波长间隔, 推荐使用五项塞缪尔(Sellmeier)拟合方程式或四项多项式拟合。但是不能外推到 1 310 nm 区域。

计算色散系数  $D(\lambda)$  和色散斜率  $S(\lambda)$  的公式见附录 D。

## 7.4 B2 类光纤

基于准确性要求, 对于波长间隔不超过 35 nm, 二项式拟合法可用于 1 550 nm 区域。二项式拟合公式不能用于外推预测超出测量波长范围的色散。对于更长的波长间隔, 推荐使用五项塞缪尔(Sellmeier)拟合方程式或者四项多项式拟合。但是不能外推到 1 310 nm 区域。

相应的色散系数  $D(\lambda)$ , 零色散波长  $\lambda_0$ , 零色散斜率  $S_0$  的拟合公式见附录 D。

## 7.5 B4 和 B5 类单模光纤

对于波长间隔大于 35 nm, 宜使用五项塞缪尔拟合方程式或四项多项式拟合。但是该拟合公式不能用于外推预测超出测量波长范围的色散。

对于 B4 类光纤, 二项式拟合只可以用于短波长间隔(波长间隔  $\leq 35$  nm)的情况下。该拟合公式不能用于外推预测超出测量波长范围的色散。

相应的色散系数  $D(\lambda)$  和色散斜率  $S(\lambda)$  的公式见附录 D。

# 8 结果

## 8.1 测量结果报告应包括下列内容:

- 试样识别号;
- 计算结果所用公式;
- 试样长度;
- 被测光纤类型;
- 按产品规范要求, 报告产品的零色散波长、零色散斜率和指定波长或波长范围的色散系数;
- 测量日期和操作人员。

## 8.2 报告中也可包括下列内容:

- 所用试验方法(方法 A、方法 B 或方法 C);
- 光源类型和所用测量波长;
- 调制器频率;
- 信号检测器和信号检测电子系统说明;
- 计算技术细节;
- 试验装置最近校准日期。

附录 A  
(规范性附录)  
方法 A——相移法测量的特定要求

A.1 装置

A.1.1 光源

依据测量波长范围,可采用多只激光器(见图 A.1)、波长可调激光器、发光二极管(LED)(见图A.2)或其他宽带光源(如光纤拉曼激光器)。在测量期间,光源位置、强度和波长应保持稳定。

根据光源类型和试验装置,可以采用光开关、单色仪、色散器件、滤光器、光耦合器或可调谐激光器构成波长选择器。波长选择器可放在被测光纤的输入端或输出端。

采用三波长光源系统(其波长范围覆盖零色散波长 $\lambda_0$ )测量 B1 类光纤时,光源中心波长偏差或不稳定性 $\delta\lambda$ 将对测量 $\lambda_0$ 产生 $3\delta\lambda$ 的最大误差。零色散斜率 $S_0$ 的最大误差与 $\delta\lambda/\Delta\lambda$ ( $\Delta\lambda$ 为光源波长间隔)成正比,当 $\delta\lambda/\Delta\lambda=1/30$ 时, $S_0$ 的最大误差约为 $0.012\text{ ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$ 。

采用平均波长接近被测量样预期零色散波长 $\lambda_0$ 的光源和/或采用多于三个波长的光源可获得较小误差。

通常采用一个温度受控的、输出功率稳定的单纵模激光器就足够了。现场试验装置的参考链路可能需要一只附加激光器(见 A.1.5)。

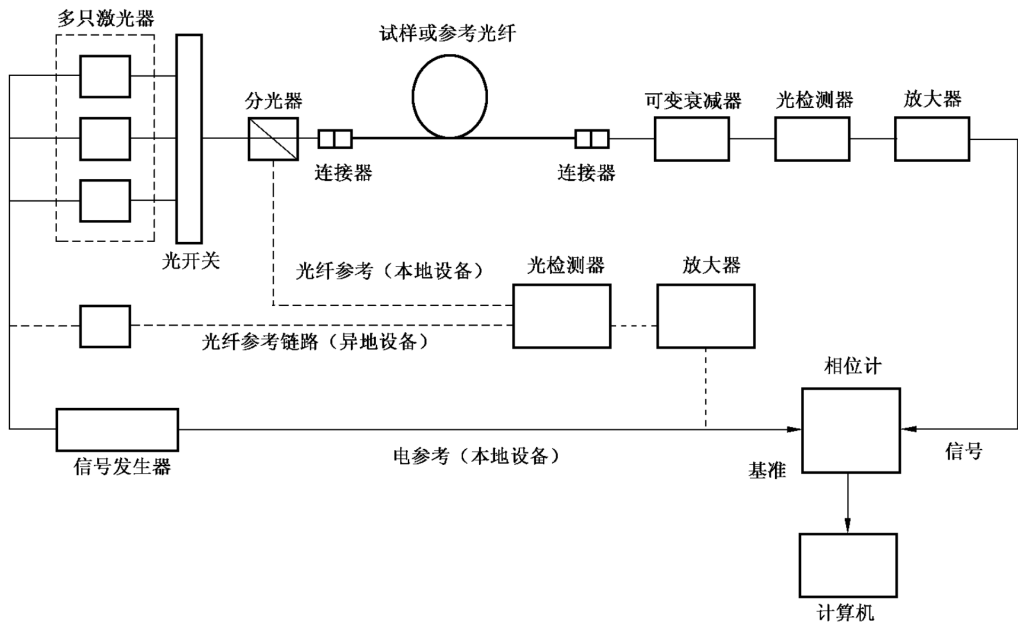


图 A.1 相移法试验装置(多只激光器)

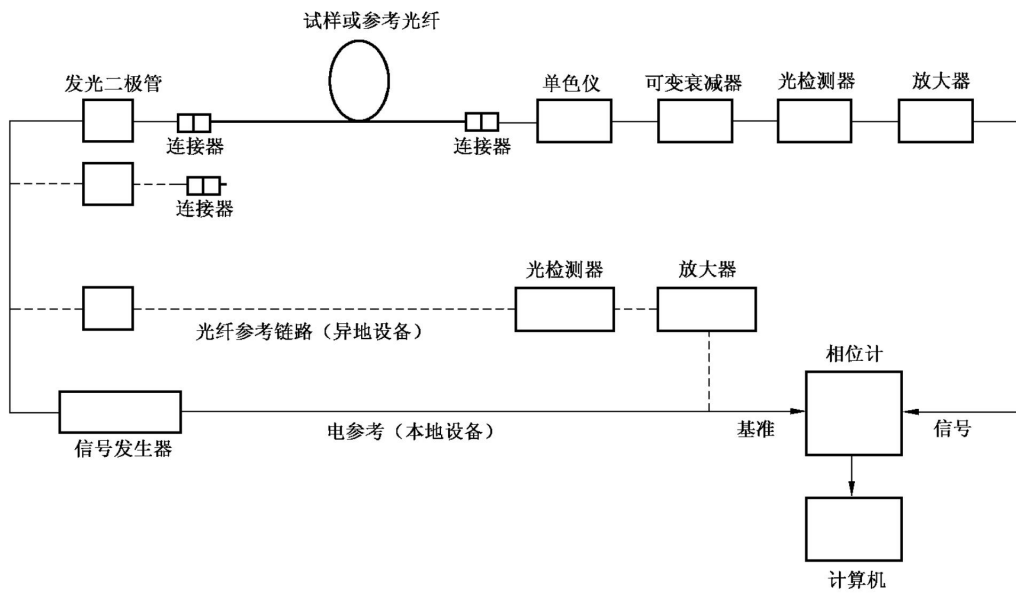


图 A.2 相移法试验装置(LED)

#### A.1.2 谱宽

光源的半幅全宽(FWHM)应小于或等于 10 nm。

#### A.1.3 调制器

调制器应用正弦波(或梯形波,或方波)对光源进行幅度调制,产生一个具有单一主傅里叶分量的波形。调制频率稳定度至少应为  $10^{-6}$  量级。

测量相移时,应防止  $n \times 360^\circ$  ( $n$  是整数)的不确定性。为此应采用诸如跟踪  $360^\circ$  相位变化的方法或选择足够低的调制频率将相对相移限制在  $360^\circ$  之内。对于 B1 类光纤,将相移限制在  $360^\circ$  之内的最高调制频率  $f_{\max}$  (MHz)应按公式(A.1)确定:

$$f_{\max} = \frac{8 \times 10^6}{S_0 \times L} \left[ \left( \lambda_i - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_i} \right)^2 - \left( \lambda_j - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_j} \right)^2 \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- $L$  ——预期的试样最大长度,单位为千米(km);
- $S_0$  ——预期的零色散斜率,单位为皮秒每平方纳米千米[ps/(nm<sup>2</sup> · km)];
- $\lambda_0$  ——预期的零色散波长,单位为纳米(nm);
- $\lambda_i, \lambda_j$  ——测量中采用的使  $f_{\max}$  最低的一对波长,单位为纳米(nm)。

另外,为保证试验装置有足够的测量精度,光源调制频率应足够高。对于 B1 类光纤和光源波长间隔为  $\Delta\lambda$  的三波长系统,最低调制频率  $f_{\min}$  (MHz)应按公式(A.2)确定:

$$f_{\min} = \frac{\Delta\phi \times 10^7}{L \times (\Delta\lambda)^2} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $\Delta\phi$  ——试验设备总的相位不稳定性,单位为度(°);
- $L$  ——对试样预期的最短长度,单位为千米(km);
- $\Delta\lambda$  ——光源波长间隔平均值,单位为纳米(nm)。



例如：当  $\Delta\phi=0.1^\circ$ ,  $L=10\text{ km}$ ,  $\Delta\lambda=32\text{ nm}$  时，要求光源最低调制频率大约为 100 MHz。

注 1：用不同的波长间隔和相位不稳定性对附录 D 中用三项塞缪尔方程拟合群时延的公式进行  $\lambda_0$  和  $S_0$  的重复测量，得到式 (A.2)。

注 2：选用平均波长接近于预期试样零色散波长  $\lambda_0$  的光源，和/或选用三个以上波长系统的光源，可使误差小于上述最大误差。

#### A.1.4 信号检测器和信号检测电子系统

应将一个在测量波长范围内灵敏的光检测器和一个相位计一起使用。为提高检测系统的灵敏度，可采用一个放大器。一个典型的系统可能包括光电二极管、场效应晶体管放大器和矢量电压表。

光检测器—放大器—相位计系统应只对调制信号的主傅里叶分量响应，在接收光功率范围内应引入恒定的信号相移。接收功率范围可由可变衰减器控制。

#### A.1.5 基准信号

为测量信号源的相位，应给相位计提供与调制信号的主傅里叶分量频率相同的基准信号。基准信号相位应与调制信号同步，一般从调制信号中分离出来。下面给出基准信号的实例（见图 A.1 和图 A.2）：

- 当信号源和检测器在同地场合时，例如在实验室或校准期间，信号发生器和相位计的参考端口之间可采用电连接。
- 当信号源和检测器在同地场合时，也可采用分光器（分光器插在试样之前）和检测器。
- 对于光缆现场试验（信号源和检测器异地），可采用一条光学链路。该光学链路一般包括与含被测试样的光学链路相类似的调制光源、光纤和检测器。
- 现场试验（信号源和检测器异地）用的基准信号也可用波分复用在被试光纤上传送。

### A.2 程序

#### A.2.1 校准

将参考光纤（见 5.3）插入试验装置，并建立基准信号（见 A.1.5）。测量和记录试样在每个波长上信号相对于基准信号的输入相位  $\phi_{\text{in}}(\lambda_i)$ 。

如果在每个波长下调制信号的相位都可调节，那么在校准测量时应调整全部波长下的调制信号的相位，使得输入相位  $\phi_{\text{in}}(\lambda_i)=0$ 。

#### A.2.2 试样测量

将被试光纤插入试验装置，并建立基准信号。测量和记录试样在每个波长上信号相对于基准信号的输出相位  $\phi_{\text{out}}(\lambda_i)$ 。

注：在进行试样测量和校准测量时，需调节检测器接收的光功率电平，使信号检测器和信号检测电子系统中与光功率大小有关的相移减少到最低限度。

### A.3 计算

A.3.1 每个波长上测得的输入相位都应从该波长上的输出相位中减去。单位长度光纤群时延  $\tau(\lambda_i)$  为公式 (A.3)：

$$\tau(\lambda_i) = [\phi_{\text{out}}(\lambda_i) - \phi_{\text{in}}(\lambda_i)] \times \frac{10^6}{360 \times f \times L} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：  
 $\phi_{\text{out}}(\lambda_i)$ ——测得的试样输出相位，单位为度(°)；  
 $\phi_{\text{in}}(\lambda_i)$ ——测得的试样输入相位，单位为度(°)；  
 $f$ ——光源调制频率，单位为兆赫兹(MHz)；  
 $L$ ——扣除参考光纤长度后被测试样长度，单位为千米(km)。

A.3.2 用 A.3.1 中得到的时延数据，用附录 D 中的最佳拟合公式进行时延拟合。

A.3.3 用附录 D 中适合的系数最佳拟合值计算光纤色散或产品规范中要求的其他参数。图 A.3 是典型的时延曲线  $\tau(\lambda_i)$  和色散曲线  $D(\lambda_i)$ 。

A.3.4 色散可以通过零色散波长  $\lambda_0$  和零色散斜率  $S_0$  来定义，或者通过在一个或多个波长上的色散系数来定义，或者前两种方法。在某些情况下零色散波长和零色散斜率参数只是用于计算远离零色散波长处的色散系数。

当定义零色散波长时，测量波长需包括零色散波长，或包括距这一波长 100 nm 以内的数据。当零色散波长和零色散斜率仅用于计算远离零色散波长处的色散系数时，测量波长需包含计算所用到的波长。附录 D 中给出了测量波长的范围以及适合的拟合方法。

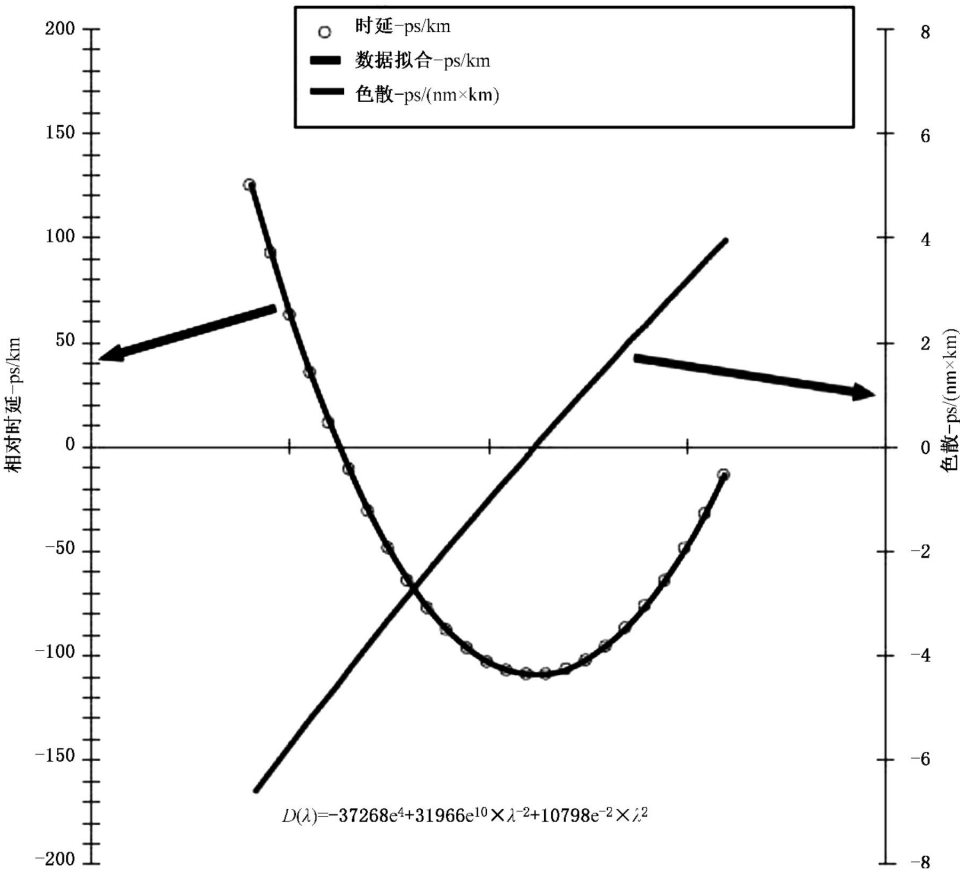


图 A.3 典型的时延和色散曲线

附录 B  
(规范性附录)

方法 B——时域群时延谱法测量的特定要求

B.1 装置

B.1.1 光源

B.1.1.1 光纤拉曼激光器

可采用光纤拉曼激光器系统,该系统是用同步锁模和 Q 开关的掺钕钇铝石榴石激光器(Nd:YAG 激光器)泵浦一段合适长度(约 200 m)的单模光纤,用光栅单色仪这类器件进行滤光。它能产生短持续时间的脉冲,其半幅全宽(FWHM)应小于 400 ps。光脉冲应有足够的强度、足够的空间稳定性和时间稳定性。

采用光纤拉曼激光器的试验装置如图 B.1 所示。

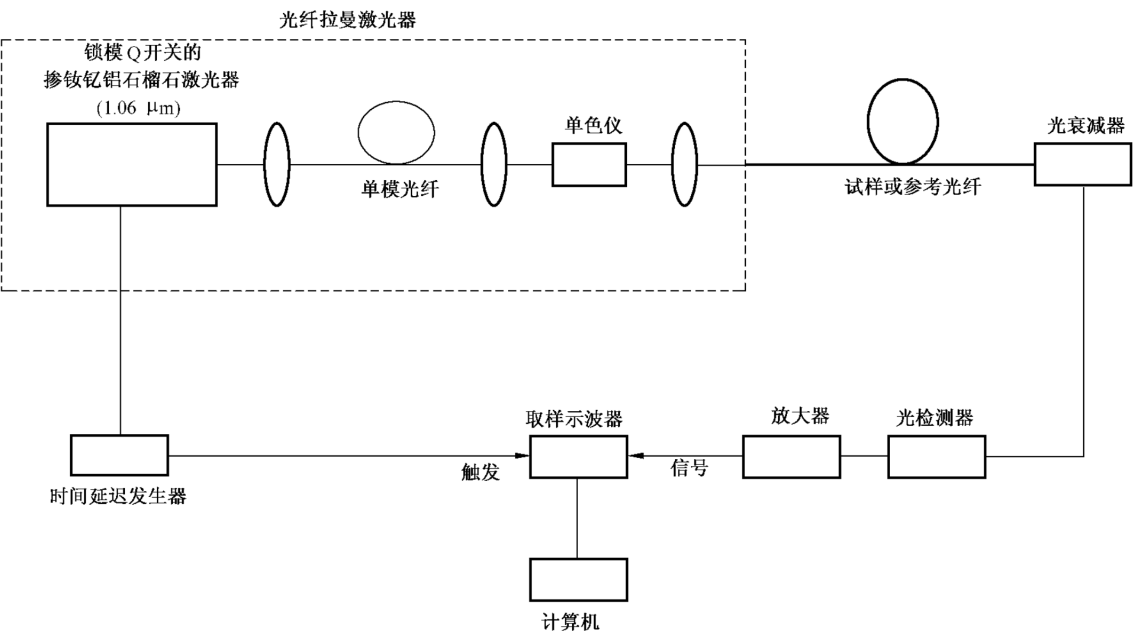


图 B.1 时域群时延谱法试验装置(光纤拉曼激光器)

B.1.1.2 多只激光器组

可采用不同波长的多只注入式激光器,激光器组的持续时间应足够短(FWHM 宽度小于 400 ps),在测量期间,应保持强度稳定并可稳定触发。

采用多个激光器组的试验装置如图 B.2 所示。

B.1.1.3 波长可调激光器

可采用一个或多个强度稳定的波长可调激光器(例如外腔激光器),它能产生短脉宽(FWHM 小于

400 ps)。在测量期间,应能保持波长稳定和稳定的触发。

**B.1.1.4 谱宽**

光源的 FWHM 应小于或等于 10 nm。

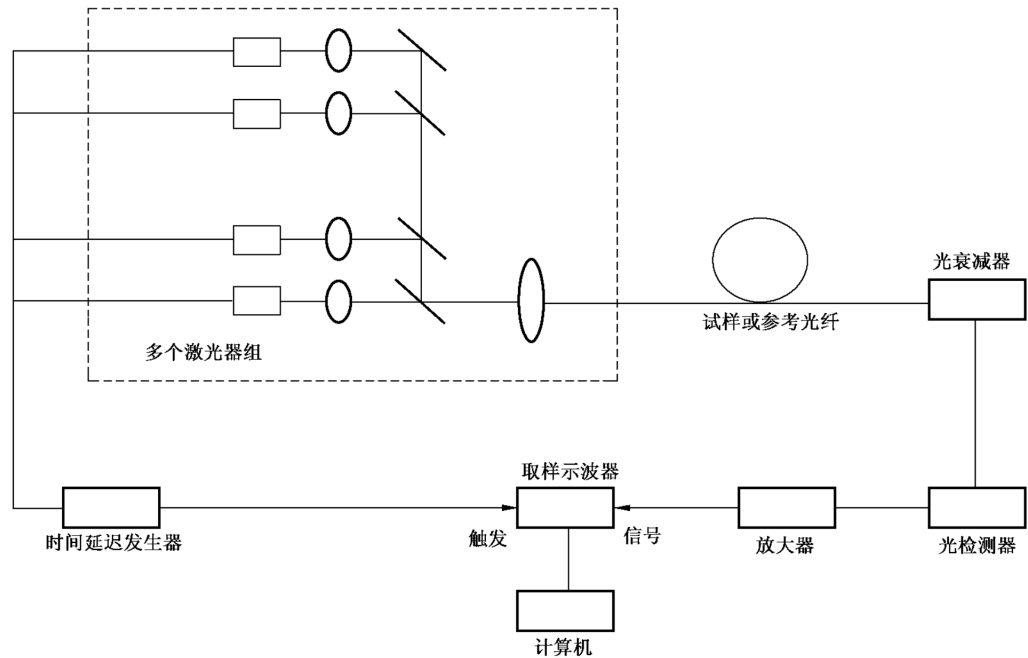


图 B.2 时域群时延谱法试验装置(多个激光器组)

**B.1.2 信号检测器**

应采用一种在所使用波长范围内灵敏的高速光检测器(冲击响应的 FWHM 小于 400 ps),如锗雪崩光电二极管。在接收光强范围内检测器的线性度应在 10% 以内。限制线性度的主要目的是不压缩脉冲峰,从而不影响脉冲峰时间位置的确定。可采用一个宽带放大器提高检测器灵敏度,以满足速率和线性的要求。光衰减器可用来保持恒定的信号幅度。

**B.1.3 信号检测电子系统**

应采用一种测量和/或显示装置,一般为高频取样示波器,它能够在经过校准的时间刻度上显示光脉冲的相对到达时间。

**B.1.4 延迟器件**

为补偿试样和参考试样之间的传输延迟差,应提供一种如数字延迟发生器这样的延迟器件。它既可触发光源,也可由光源来触发它,并能给检测电子系统(取样示波器)提供一个延迟的触发信号。延迟器件应在测量期间提供稳定的延迟时间,其抖动和漂移的均方根应小于 50 ps。

B.2 程序

B.2.1 参考试样的测量

参考试样测量步骤如下：

- a) 将参考光纤接入试验装置,并将光源波长调到第一个测量波长。调节延迟发生器,以便在已知的、经过校准的示波器的时间刻度上显示出输入脉冲。
- b) 脉冲位置由其波峰或形中心位置确定。将第一个测量波长作为基准波长,记录该基准波长的脉冲相对于已校准的准标(例如显示标线)的时间位置。
- c) 将光源调至下一个测量波长,不改变延迟发生器。记录该波长脉冲和基准波长脉冲之间的时间差  $\tau_{in}(\lambda_i)$ 。在所要求的各波长  $\tau_i$  上重复本程序。

注：采用本方法,延迟器件精度并不重要。如果不能用不同波长脉冲的大时延差进行测量,为了获得预期结果,就应使用已知精度的延迟发生器或类似器件在每一个波长上记录示波器上延迟时间和脉冲位置。

B.2.2 试样测量

试样测量步骤如下：

- a) 将试样放入试验装置,并将光源波长调到第一个测量波长,调节延迟发生器,以便在已知的、经过校准的示波器的时间刻度上显示出输入脉冲。
- b) 重复 B.2.1 中 b) 的步骤,记录该基准波长脉冲的时间位置。
- c) 将光源调到下一个测量波长,不改变延迟发生器,记录该波长脉冲和基准波长脉冲之间的时间差  $\tau_{out}(\lambda_i)$ 。在所要求的各波长  $\lambda_i$  上重复本程序。如果不能用这种方法进行测量,则按 B.2.1 中的注所说明的情况进行处理。
- d) 从每个波长的输出脉冲时间差中减去在该波长上测得的输入脉冲时间差。

B.3 计算

B.3.1 单位长度的群时延为公式(B.1)：

$$\tau(\lambda_i) = \frac{[\tau_{out}(\lambda_i) - \tau_{in}(\lambda_i)]}{L} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- $\tau_{out}(\lambda_i)$ ——输出脉冲时间差,单位为皮秒(ps)；
- $\tau_{in}(\lambda_i)$ ——输入脉冲时间差,单位为皮秒(ps)；
- $L$ ——扣除参考光纤长度后的被测试样长度,单位为千米(km)。

B.3.2 用 B.3.1 中得到的时延数据,用附录 D 中的最佳拟合公式进行时延拟合。

B.3.3 使用附录 D 中适合的系数最佳拟合值去计算色散  $D(\lambda)$ ,或要求的其他参数。图 A.2 是典型的时延曲线  $\tau(\lambda_i)$ 和色散曲线  $D(\lambda_i)$ 。

B.3.4 色散可以通过零色散波长  $\lambda_0$  和零色散斜率  $S_0$  来定义,或者通过在一个或多个波长上的色散系数来定义,或者前两种方法。在某种情况下零色散波长和零色散斜率参数只是用于计算远离零色散波长处的色散系数。

当定义零色散波长时,测量波长应包括零色散波长,或包括距这一波长 100 nm 以内的数据。当零色散波长和零色散斜率仅用于计算远离零色散波长处的色散系数时,测量波长需包含计算所用到的波长。附录 D 中给出了测量波长的范围以及适合的拟合方法。

附录 C  
(规范性附录)

方法 C——微分相移法测量的特定要求

C.1 装置

C.1.1 光源

C.1.1.1 多只激光器

每次测量要求有两个波长的激光器(见图 C.1)。测量期间,在偏置电流和调制频率下及激光器所处的环境温度内,每个光源的中心波长和调制输出相位都应保持稳定。

可采用具有温控的输出功率稳定的单纵模或多纵模激光器。对于现场试验装置,可能需要一只附加激光器用于参考链路(见 C.1.4)。

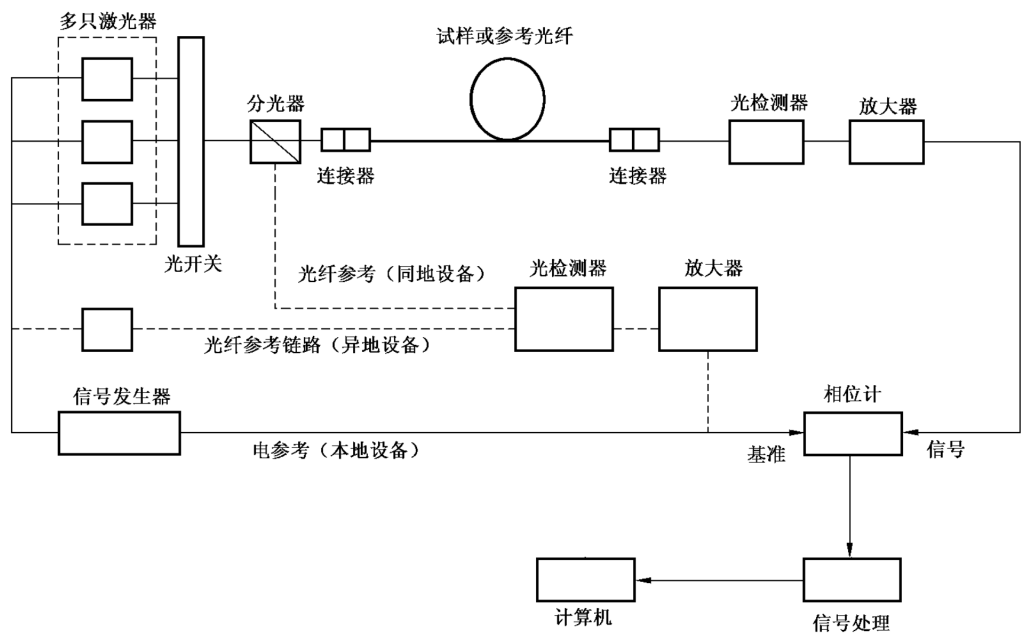


图 C.1 微分相移法试验装置(多只激光器)

C.1.1.2 经滤光的发光二极管

应采用一只或多只 LED(见图 C.2)。一般应通过单色仪等装置对输出光谱进行滤光,以获得 FWHM 小于或等于 10 nm 的谱线。

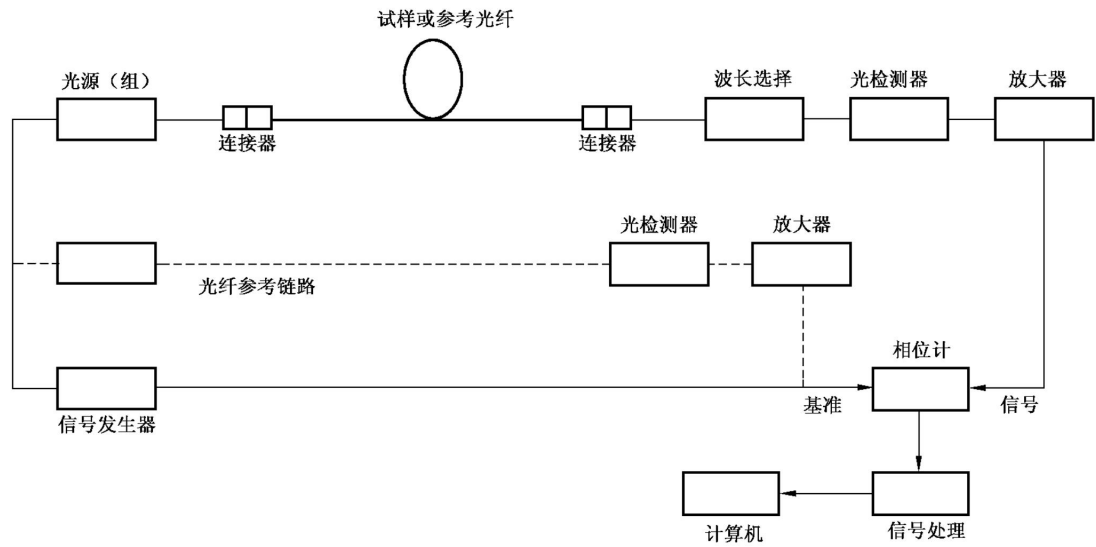


图 C.2 微分相移法试验装置(LED)

C.1.2 调制器

调制器应用正弦波(或梯形波,或方波)对光源进行幅度调制,产生一个具有单一主傅里叶分量的波形。调制频率稳定度一般要求  $1 \times 10^{-6}$ 。每个光源的相位调制可加以调节,以便对试验装置进行校准。

测量微分相位时,应防止  $n \times 360^\circ$  ( $n$  是整数)的不确定性。对较长试样和/或大的色散系数,这个问题可通过诸如降低调制频率的方法来解决。对于 B1 类光纤,将微分相移限制在  $360^\circ$  之内的最高调制频率  $f_{\max}$  (Hz)应按公式(C.1)确定:

$$f_{\max} = \frac{4 \times 10^{12} \times \lambda_i^3 \times (\lambda_i^4 - \lambda_0^4)^{-1}}{S_0 \times L \times \Delta\lambda} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $L$  —— 试样长度,单位为千米(km);
- $S_0$  —— 预期的零色散斜率,单位为皮秒每平方纳米千米[ps/(nm<sup>2</sup> · km)];
- $\lambda_0$  —— 预期的零色散波长,单位为纳米(nm);
- $\lambda_i$  —— 使  $f_{\max}$  最小的光源波长,单位为纳米(nm);
- $\Delta\lambda$  —— 微分相位测量点间的波长间隔,单位为纳米(nm)。

另外,为保证试验装置有足够的测量精度,光源调制频率应足够高。

微分相位测量点间的波长间隔  $\Delta\lambda$  通常为 2 nm~20 nm。

C.1.3 信号检测器和信号检测电子系统

应将一个在测量波长范围内灵敏的光检测器和一个相位计一起使用。为提高检测系统灵敏度可采用一个放大器。一个典型的系统可包括光电二极管、场效应晶体管放大器和相敏检测器。

光检测器-放大器-相位计系统应只对调制信号的主傅里叶分量响应,在接收的光功率范围内应引入恒定的信号相移。

信号处理单元将记录一对测量波长上相位计的微分输出,并向计算机/数据采集系统提供表示这两个波长间的微分相位输出信号。在这两个波长上,波长选择和相对相位的测量应足够快,使得被试光纤的长度漂移对测量结果的影响可以忽略。信号处理单元的三个实例如下:

图 C.1 和图 C.2 给出了第一个实例。信号处理单元先记录一个测量波长上的相位,然后再记录另

一个测量波长上的相位。由这两个波长的微分相位和试样长度确定平均波长的波长色散。图 C.2 中标有“信号处理”的单元可由计算机实现其功能。图 C.3 给出了第二个实例。相位计参考信号本身即是通过光纤的一对波长中的一个。

图 C.4 给出了第三个实例。用几百赫兹的频率在两波长之间交替切换光,采用相位计检测微分相位输出。相位计产生与波长调制同步的交流信号,其幅度与两个测量波长之间的微分相位成正比。然后该信号用锁相放大器解调,产生代表微分相位的直流信号。平均波长的波长色散由该微分相位和试样长度确定。

为控制接收的光功率,可采用诸如光衰减器这类的器件。

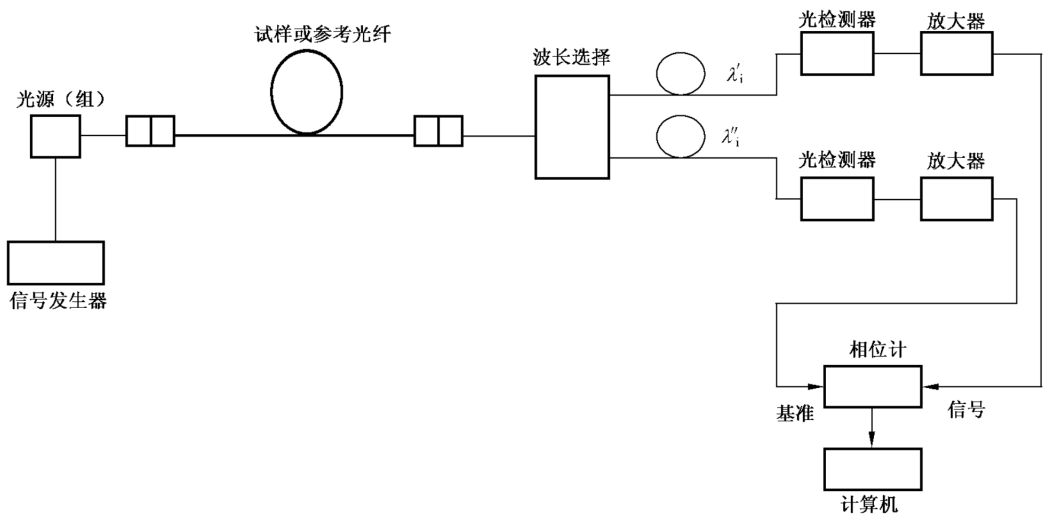


图 C.3 微分相移法试验装置(用双波长测量微分相位)

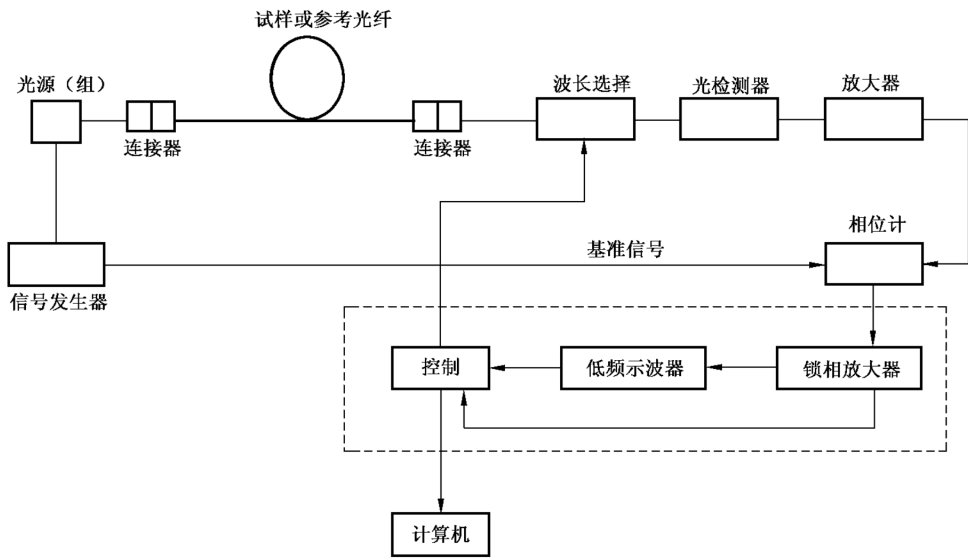


图 C.4 微分相移法试验装置(用双调制测量微分相位)

C.1.4 基准信号

应给相位计提供与调制信号的主傅里叶分量频率相同的基准信号,以测量信号相对于基准信号的



微分相位。基准信号应与调制信号同步,一般是从调制信号中分出。

图 C.1 中基准信号的实例说明如下:

- a) 信号源和检测器在同地时,例如在实验室或校准期间,信号发生器和相位计的参考端口之间可采用电连接。
- b) 信号源和检测器在同地时,也可采用分光器(分光器插在试样之前)和检测器。
- c) 对于光缆现场试验(信号源和检测器异地),可采用一条光学链路。该光学链路一般包括与含被测试样的光学链路相类似的调制光源、光纤和检测器。

## C.2 程序

### C.2.1 试样测量

将被测试样放入试验装置并建立基准信号。测量并记录平均波长  $\lambda_i$  的一对相邻波长  $\lambda_i'$  和  $\lambda_i''$  的微分相位  $\Delta\phi(\lambda_i)$ 。

### C.2.2 校准

将参考光纤放入试验装置并建立基准信号。测量并记录平均波长  $\lambda_i$  的一对相邻波长  $\lambda_i'$  和  $\lambda_i''$  的微分相位  $\Delta\phi'(\lambda_i)$ 。

注:在进行试样测量和校准测量时,需调节检测器接收的光功率电平,使信号检测器和信号检测电子系统中与光功率大小有关的相移减少到最低限度。

## C.3 计算

### C.3.1 每一波长的色散系数计算如下:

每一波长  $\lambda_i$  处的波长色散系数  $D(\lambda_i)$  由公式(C.2)导出:

$$D(\lambda_i) = \frac{\Delta\phi(\lambda_i) - \Delta\phi'(\lambda_i)}{360 \times f \times L \times \Delta\lambda} \times 10^{12} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- $\lambda_i$  —— 波长  $\lambda_i'$  和  $\lambda_i''$  的平均值,单位为纳米(nm);
- $\Delta\lambda$  —— 波长  $\lambda_i'$  和  $\lambda_i''$  的差值,单位为纳米(nm);
- $\Delta\phi(\lambda_i)$  —— 被测试样的微分相位,单位为度( $^\circ$ );
- $\Delta\phi'(\lambda_i)$  —— 相位校准光纤的微分相位,单位为度( $^\circ$ );
- $f$  —— 调制频率,单位为赫兹(Hz);
- $L$  —— 扣除相位校准光纤长度后的被测试样长度,单位为千米(km)。

C.3.2 在每一波长得到的波长色散系数直接作为被测光纤波长色散系数的最终结果,无需进一步的数据处理或计算。

色散可以通过零色散波长  $\lambda_0$  和零色散斜率  $S_0$  来定义,或者通过在一个或多个波长上的色散系数来定义,或者前两种方法。在某种情况下零色散波长和零色散斜率参数只是用于计算远离零色散波长处的色散系数。

当定义零色散波长时,测量波长应包括零色散波长,或包括距这一波长 100 nm 以内的数据。当零色散波长和零色散斜率仅用于计算远离零色散波长处的色散系数时,测量波长需包含计算所用到的波长。附录 D 中给出了测量波长的范围以及适合的拟合方法。

附录 D  
(规范性附录)  
色散拟合

D.1 概述

色散测量的结果可以是直接测量的色散值或与波长相关的函数值——群时延值。色散和色散斜率值可以通过这些数据求导得到。求导通常是在数据被拟合成数学模型后。

本附件给出了色散拟合的通用描述和一些标准的拟合公式。

以下列出了本附录后续拟合公式中所用符号和符号的含义：

- $\lambda$  —— 波长,单位为纳米(nm);
- $\tau$  —— 单位长度光纤群时延谱,单位为皮秒每千米(ps/ km);
- $D(\lambda)$  —— 色散系数,单位为单位为皮秒每纳米千米[ps/(nm · km)];
- $\lambda_0$  —— 零色散波长,单位为纳米(nm);
- $\tau(\lambda_0)$  —— 零色散波长处的最小相对时延,单位为皮秒每千米(ps/ km);
- $S_0$  —— 零色散波长处的色散斜率,单位为皮秒每平方纳米千米[ps/(nm<sup>2</sup> · km)];
- $S(\lambda)$  —— 色散斜率,单位为皮秒每平方纳米千米[ps/(nm<sup>2</sup> · km)]。

注 1:  $\tau(\lambda)$  和  $D(\lambda)$  均可直接测定或用测量结果对指定函数进行拟合得到。

注 2: 例如,当指定了拟合函数时,只要是拟合的结果同实际测量结果的均方根偏差的总和为最小,等式右边表达式中的所有拟合系数的值也就被确定,该表达式就可用来确定其他变量的值。

注 3: 拟合函数中的 A、B、C、D 或 E 均为拟合系数。

D.2 公式和拟合系数的定义

表 D.1 包含了拟合的数学模型的通用描述。多项式是通用的,并能通过同样的原理扩展到更高阶多项式,使得拟合能保持稳定。

表 D.2 给出了相应的色散斜率的公式。

表 D.3 给出了三项塞缪尔方程和二阶多项式模型的零色散波长和零色散斜率。

表 D.1 拟合类型和拟合系数的定义:群时延和色散系数拟合公式

| 拟合类型    | 群时延 $\tau(\lambda)$   | 色散系数 $D(\lambda)$   |
|---------|---|---|
| 三项塞缪尔方程 | $A+B\times\lambda^2+C\times\lambda^{-2}$                                      | $2\times B\times\lambda-2\times C\times\lambda^{-3}$  |
| 五项塞缪尔方程 | $A+B\times\lambda^2+C\times\lambda^{-2}+D\times\lambda^4+E\times\lambda^{-4}$ | $2\times B\times\lambda-2\times C\times\lambda^{-3}+4\times D\times\lambda^3-4\times E\times\lambda^{-5}$ |
| 二阶多项式   | $A+B\times\lambda+C\times\lambda^2$   | $B+2\times C\times\lambda$  |
| 三阶多项式   | $A+B\times\lambda+C\times\lambda^2+D\times\lambda^3$                          | $B+2\times C\times\lambda+3\times D\times\lambda^2$   |
| 四阶多项式   | $A+B\times\lambda+C\times\lambda^2+D\times\lambda^3+E\times\lambda^4$         | $B+2\times C\times\lambda+3\times D\times\lambda^2+4\times E\times\lambda^3$                              |

表 D.2 色散斜率拟合公式

| 拟合类型    | 色散斜率 $S(\lambda)$  |
|---------|--|
| 三项塞缪尔方程 | $2 \times B + 6 \times C \times \lambda^{-4}$  |
| 五项塞缪尔方程 | $2 \times B + 6 \times C \times \lambda^{-4} + 12 \times D \times \lambda^2 + 20 \times E \times \lambda^{-6}$ |
| 二阶多项式   | $2 \times C$   |
| 三阶多项式   | $2 \times C + 6 \times D \times \lambda$   |
| 四阶多项式   | $2 \times C + 6 \times D \times \lambda + 12 \times E \times \lambda^2$  |

表 D.3 零色散波长和零色散斜率

| 拟合类型    | 零色散波长 $\lambda_0$ | 零色散斜率 $S_0$ |
|---------|-------------------|-------------|
| 三项塞缪尔方程 | $(C/B)^{1/4}$     | 8B          |
| 二阶多项式   | $-B/(2C)$         | 2C          |

注 1：对于三项塞缪尔拟合类型，色散系数的替代拟合公式(D.1)如下：

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \times \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right)$$

.....( D.1 )

注 2：对于二阶多项式，色散系数的替代拟合公式(D.2)如下：

$$D(\lambda) = S_0 \times (\lambda - \lambda_0)$$

.....( D.2 )

D.3 拟合程序

对于强大的数值拟合，在完成最小二乘回归之前，横坐标轴(波长)应通过坐标变换转换为具有缩小范围的值。在回归之后，拟合参数在完成求导之前，需转换成原始的波长。

应选择合适的最小二乘回归来解决拟合问题。这种方法对在群时延或色散数据的测量过程中产生的噪声和其他误差的影响应是稳定的。依赖输入数据源，群时延或导出的色散公式会被用到。

应注意拟合是需包含足够的数据点。当拟合阶数和采样点数量是相当的，拟合将无法得到准确结果。

如果拟合群时延数据，色散数据使用拟合得到的系数代入到表 D.1 中的色散计算公式进行计算。外推到拟合范围外的波长需小心，因为对范围外的点的拟合可能是非物理性的表现。

色散斜率可使用拟合得到的系数代入到表 D.2 中的公式中进行计算。

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
光纤试验方法规范 第 42 部分：  
传输特性的测量方法和试验程序  
波长色散

GB/T 15972.42—2021

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)  
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2021 年 4 月第一版

\*

书号: 155066 · 1-66592

版权专有 侵权必究



GB/T 15972.42-2021