



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 15972.4—1998  
eqv IEC 793-1-4:1995

## 光纤总规范 第4部分：传输特性和光学特性 试验方法

Generic specification for optical fibres  
Part 4: Measuring methods for transmission  
and optical characteristics

1998-12-21 发布

1999-07-01 实施

国家质量技术监督局 发布

## 前 言

本标准是等效采用国际电工委员会 IEC 793-1-4:1995《光纤 第1部分:总规范 第4篇:传输特性和光学特性试验方法》和修改单 1(1996)对 GB/T 8401—1987《光纤的传输特性和光学特性测试方法》和 GB/T 15972—1995《光纤总规范》中的 5.5 进行修订的。本标准某些条款中,还参考采用了 ITU-T G650:1997《单模光纤相关参数的定义和试验方法》和 ITU-T G651:1993《50/125  $\mu\text{m}$  多模渐变折射率光纤缆的特性》中的有关规定。

这样,使我国的光纤国家标准与国际标准相一致,以适应在此领域的国际技术交流和贸易往来迅速发展的需要。

本标准与 GB/T 8401—1987 和 GB/T 15972—1995 中的 5.5 相比,除增加了微弯敏感性、光学连续性、光透射率变化和宏弯敏感性的试验方法外,衰减测试方法中增加了谱衰减模型,波长色散测试方法中增加了微分相移法,截止波长测试方法中增加了成缆单模光纤截止波长的测定,并将模场直径的测试方法归入到本标准中。

GB/T 15972—1998 在《光纤总规范》总标题下包括五个部分:

第1部分(即 GB/T 15972.1):总则

第2部分(即 GB/T 15972.2):尺寸参数试验方法

第3部分(即 GB/T 15972.3):机械性能试验方法

第4部分(即 GB/T 15972.4):传输特性和光学特性试验方法

第5部分(即 GB/T 15972.5):环境性能试验方法

本标准是第4部分。

本标准从实施之日起同时代替 GB/T 8401.1~8401.12—1987 和 GB/T 15972—1995。

本标准由中华人民共和国邮电部和电子工业部共同提出。

本标准由邮电部电信科学研究规划院归口。

本标准起草单位:邮电部武汉邮电科学研究院、电子工业部上海传输线研究所。

本标准主要起草人:陈永诗、吴金良、刘泽恒、陈国庆。

IEC 前言

1) IEC(国际电工委员会)是一个包括所有国家电工委员会(IEC 国家委员会)的世界性标准化组织。IEC 的目标是促进电气和电子领域内涉及的所有标准化问题的国际合作。为此目的,除其它活动外,IEC 发布国际标准。标准的制定委托给技术委员会。对该内容感兴趣的任何 IEC 国家委员会都可以参加这个制定工作。与 IEC 有联系的国际的、政府的和非政府的组织也可参加制定工作。IEC 与国际标准化组织(ISO)按照双方协商确定的条件进行密切合作。

2) IEC 在技术问题上的正式决议或协议,是由对这些问题特别关切的国家委员会参加的技术委员会制定的,对所涉及的问题尽可能地代表了国际上的一致意见。

3) 这些决议或协议应按国际应用的建议,以标准、技术报告或导则的形式发布,并在此意义上为各国家委员会所接受。

4) 为了促进国际上的统一,IEC 各国家委员会有责任使其国家和地区标准尽可能采用 IEC 国际标准。国家或地区标准与 IEC 标准之间的任何差异应在国家或地区标准中清楚地指明。

国际标准 IEC 793-1-4 是由 IEC 第 86 技术委员会(纤维光学)的第 86A 分委员会(光纤光缆)制定的。

1992 年颁布的 IEC 793-1 的第 4 版已被修改,它被分成了 5 个标准,每个标准包括一篇。

IEC 793-1-4 第 1 版取消并替代 IEC 793-1 的第 4 篇,形成了一个新的技术修订版。

本标准应与下列标准结合起来使用:

- IEC 793-1-1:1995, 光纤 第 1 部分:总规范
- IEC 793-1-2:1995, 光纤 第 1 部分:总规范
- IEC 793-1-3:1995, 光纤 第 1 部分:总规范
- IEC 793-1-5:1995, 光纤 第 1 部分:总规范
- 第 1 篇:总则
- 第 2 篇:尺寸参数试验方法
- 第 3 篇:机械性能试验方法
- 第 5 篇:环境性能试验方法

本标准文本以下列文件为依据:

|             |             |
|-------------|-------------|
| 国际标准草案      | 表决报告        |
| 86A/303/DIS | 86A/329/RVD |

表决批准本标准的全部资料可在上表列出的表决报告中查阅。

附录 A 是标准的附录。

附:修改单前言

修改单 1 是由 IEC 第 86 技术委员会(纤维光学)的第 86A 分委员会(光纤光缆)制定的。

修改单 1 的文本依据下列文件:

|              |             |
|--------------|-------------|
| 最终国际标准草案     | 表决报告        |
| 86A/341/FDIS | 86A/364/RVD |

表决批准本修改单的全部资料可在上表列出的表决报告中查阅。

# 光纤总规范

## 第 4 部分：传输特性和光学特性

### 试验方法

GB/T 15972. 4—1998  
eqv IEC 793-1-4:1995

代替 GB/T 8401. 1~8401. 12—1987  
GB/T 15972—1995 一部分

Generic specification for optical fibres  
Part 4: Measuring methods for transmission  
and optical characteristics

#### 1 范围

本标准规定了光纤传输特性和光学特性的试验方法及其对试验装置、注入条件、程序、计算方法、结果的统一要求。

本标准适用于成品光纤光缆传输特性和光学特性的商业性检验。

#### 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 15972. 2—1998 光纤总规范 第 2 部分:尺寸参数试验方法

#### 3 传输特性和光学特性试验项目

应从表 1 列出的项目中选择确定的试验方法进行光纤传输特性和光学特性的测定。适用的试验和合格判据应在产品规范中规定。

表 1 光纤的传输特性和光学特性

| 试验方法标准号        | 试验方法      | 适用的特性 | 适用的光纤类型   |
|----------------|-----------|-------|-----------|
| GB/T 15972-C1A | 截断法       | 衰减    | 单模光纤和多模光纤 |
| GB/T 15972-C1B | 插入损耗法     |       |           |
| GB/T 15972-C1C | 后向散射法     |       |           |
| GB/T 15972-C1D | 谱衰减模型     |       | 单模光纤      |
| GB/T 15972-C1C | 后向散射法     | 点不连续  | 单模光纤和多模光纤 |
| GB/T 15972-C2A | 冲击响应法     | 基带响应  | 多模光纤      |
| GB/T 15972-C2B | 频率响应法     |       |           |
| GB/T 15972-C3A | 可膨胀圆筒法    | 微弯敏感性 | 单模光纤      |
| GB/T 15972-C3B | 固定直径圆筒法   |       |           |
| GB/T 15972-C3C | 金属网格法     |       |           |
| GB/T 15972-C4  | 传输或辐射光功率法 | 光学连续性 | 单模光纤和多模光纤 |
| GB/T 15972-C1C | 后向散射法     |       |           |

表 1(完)

| 试验方法标准号                                            | 试验方法                        | 适用的特性                 | 适用的光纤类型   |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|
| GB/T 15972-C5A<br>GB/T 15972-C5B                   | 相移法<br>脉冲时延法                | 波长色散                  | 单模光纤和多模光纤 |
| GB/T 15972-C5C<br>GB/T 15972-C5D                   | 微分相移法<br>干涉法(将来考虑)          |                       | 单模光纤      |
| GB/T 15972-C6                                      | 远场光分布法                      | 数值孔径                  | 多模光纤      |
| GB/T 15972-C7A<br>GB/T 15972-C7B                   | 传输功率法                       | 单模光纤截止波长              | 单模光纤      |
|                                                    |                             | 成缆单模光纤截止波长            |           |
| GB/T 15972-C9A<br>GB/T 15972-C9B<br>GB/T 15972-C9C | 直接远场扫描法<br>远场可变孔径法<br>近场扫描法 | 模场直径                  | 单模光纤      |
| GB/T 15972-C10A<br>GB/T 15972-C10B                 | 传输功率监测法<br>后向散射监测法          | 机械试验和环境试验时<br>光透射率的变化 | 单模光纤和多模光纤 |
| GB/T 15972-C11                                     | 宏弯敏感性                       | 宏弯敏感性                 | 单模光纤      |
| GB/T 15972-A1A<br>GB/T 15972-A1B<br>GB/T 15972-A2  | 折射近场法<br>横向干涉法<br>近场光分布法    | 折射率剖面                 | 单模光纤和多模光纤 |

#### 4 衰减

衰减是光纤中光功率减少量的一种度量,它取决于光纤的性质和长度,并受测量条件的影响。

未加以控制的注入条件通常激励较高阶有损耗的模式,这种模式会产生瞬态损耗并导致光纤衰减与光纤长度不成正比;加以控制的稳态注入条件使光纤衰减与其长度成正比。稳态条件下,能确定光纤衰减系数,串接光纤总衰减可由各自的衰减线性相加得出。

测量光纤衰减的四种试验方法描述如下:

##### a) 截断法

截断法是测量光纤衰减特性的基准试验方法(RTM),在不改变注入条件时测出通过光纤两横截面的光功率  $P_1(\lambda)$  和  $P_2(\lambda)$ ,从而直接得出光纤衰减。 $P_2(\lambda)$  是光纤末端出射光功率; $P_1(\lambda)$  是截断光纤后,光纤截留段末端出射光功率。

根据测量原理,本方法不可能获得整个光纤长度上的衰减信息,在变化条件下也很难测出光纤衰减变化。在某些情况下,其破坏性是本方法的一个缺点。

##### b) 插入损耗法

插入损耗法是测量光纤衰减特性的替代试验方法(ATM),原理上类似于截断法,但  $P_1(\lambda)$  是注入系统输出端出射光功率。测得的光纤衰减中包含了试验装置的衰减,必须分别用附加连接器损耗和参考光纤段损耗对测量结果加以修正。

本方法不可能分析整个光纤长度上的衰减特性。但根据先前已知的光功率  $P_1(\lambda)$ ,有可能在环境条件(如温度和受力)变化时连续测量衰减变化。

插入损耗法测量精度比截断法低,但它对被试光纤和两端可能固定的端头具有非破坏的优点,特别适用于现场测试,主要用于测量已连接起来的带有连接器的光缆。

##### c) 后向散射法

后向散射法是测量光纤衰减特性的替代试验方法(ATM),它测量从光纤中不同点后向散射至该光纤始端的后向散射光功率。这是一种单端测量。

该方法的测量结果受光纤中光传输速度和光纤后向散射特性的影响,不可能像截断法那样精确测

量光纤衰减。

本方法允许对光纤整个长度(或感兴趣的光纤段、或串接的光纤链)进行分析,甚至可以鉴别分立的点(例如接头、点不连续)。

本方法也可以用作光纤长度测量,光纤不连续点、断点、接点的检查和定位,光纤光学连续性的检查,光纤后向散射光强度测量。

用双向平均的后向散射曲线描述和确定衰减均匀性的方法尚在考虑之中。

#### d) 谱衰减模型

可以用一个特征矩阵  $M$  和一个矢量  $v$  计算光纤谱衰减系数。矢量  $v$  包含三至五个波长上(例如 1 310 nm、1 330 nm、1 360 nm、1 380 nm 和/或 1 550 nm)测量的衰减系数。

第一种方法:如果  $M$  是光纤或光缆提供者提供的该产品的特征矩阵,模型化谱衰减系数可以用矢量  $w$  表示,矢量  $w$  由下式计算:

$$w = M \cdot v \quad \dots\dots\dots(1)$$

第二种方法:如果  $M$  是普通矩阵,光纤或光缆提供者应提供一个修正因子矢量  $e$ , (1)式变成:

$$w = M \cdot v + e \quad \dots\dots\dots(2)$$

普通矩阵是能用于不同的光纤设计或生产厂家(假定是一种光纤类型)的特征矩阵,它可由标准体和/或借助于标准体决定。每个光纤提供者可以同用户/最终用户或生产厂家比较他们的产品,其差别由矢量  $e$  决定。

本模型仅适用于 B1 类和 B2 类光纤。

#### 4.1 定义

一段光纤上,相距  $L$  的两个横截面 1 和 2 之间在波长  $\lambda$  处的衰减  $A(\lambda)$  定义为:

$$A(\lambda) = 10 \lg(P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:  $P_1(\lambda)$ ——通过横截面 1 的光功率;

$P_2(\lambda)$ ——通过横截面 2 的光功率。

对于稳态条件下的均匀光纤,可定义单位长度衰减(即衰减系数)  $\alpha(\lambda)$  为:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{dB/km}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:  $L$ ——光纤长度, km;

$\alpha(\lambda)$  值与选择的光纤长度无关。

#### 4.2 方法 GB/T 15972-C1A——截断法

##### 4.2.1 试验装置

衰减测定可在一个或多个波长上进行,也可在某一波长范围内测量谱衰减特性。适宜的试验装置框图如图 1 和图 2 所示。

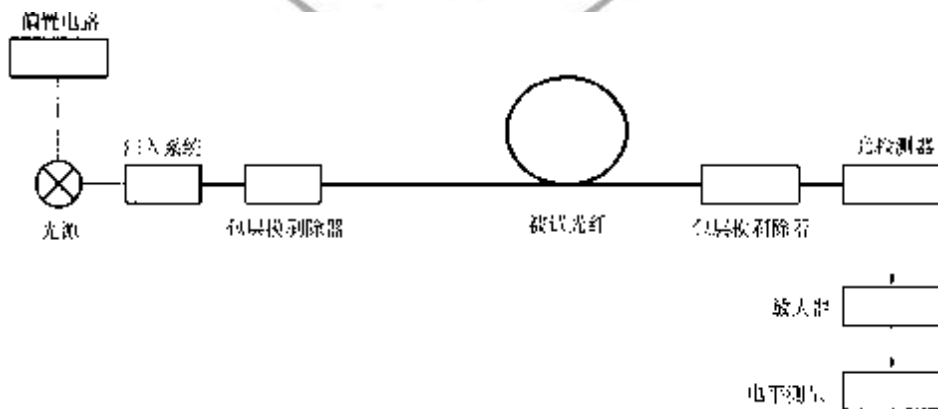


图 1 规定波长上测量衰减的试验装置(截断法)

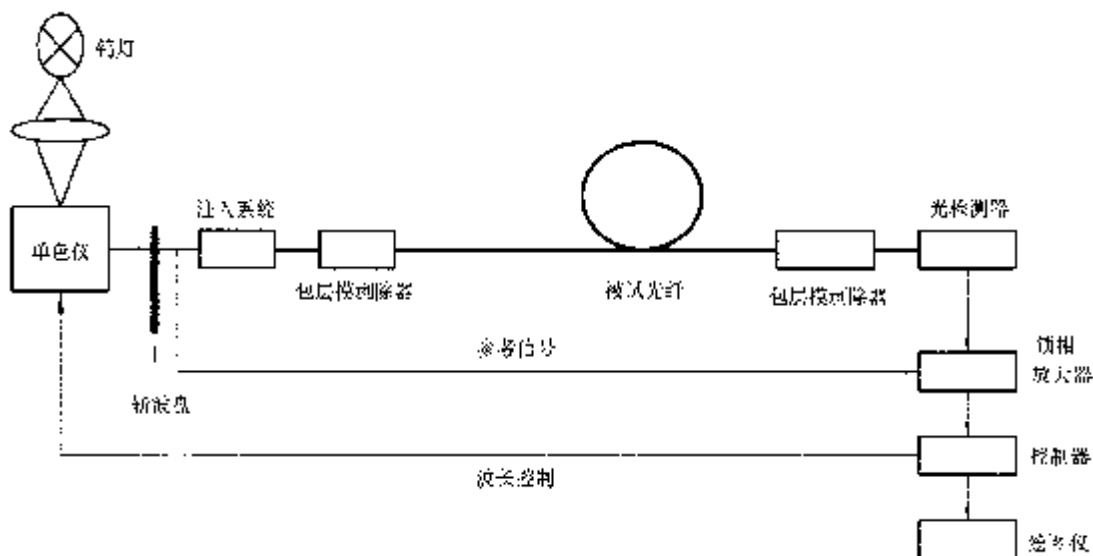


图2 多个波长上测量衰减或谱衰减的试验装置(截断法)

#### 4.2.1.1 光源

应采用稳定辐射的光源,如卤钨灯、激光器或发光二极管(LED)。依据测量类型选择合适的光源。在完成测量过程的时间内,光源位置、强度和波长应保持稳定。光源波长范围应满足光纤测量的需要,其谱线半幅全宽(FWHM)应保证对光纤谱衰减特性有足够的分辨率。光纤输入端应与注入光束对准,或者与注入光纤同轴连接。

#### 4.2.1.2 光检测器组件

应采用一适当的装置将从被试光纤出射的全部光功率耦合进光检测器,例如:光学透镜系统、接有尾纤的折射率匹配接头或与光检测器直接耦合的折射率匹配接头。对于带尾纤的光检测器,尾纤须有足够大纤芯直径和数值孔径,以便接收从参考光纤和被试光纤出射的全部光。

在接收光强范围和测量时间内,检测器应具有良好的线性和稳定性。典型组件包括接有前置放大器的光生伏打型光电二极管。同步检测时应采用锁相放大器。

#### 4.2.1.3 信号处理

为了改善接收机信噪比,通常对光源进行调制。这时,应将光检测器连接到与光源调制频率同步的信号处理装置上。检测系统应有良好的线性或具有已知的特性。

#### 4.2.1.4 包层模剥除器

应采用包层模剥除器,防止检测到包层中传输的光功率。当涂料折射率等于或大于光纤包层折射率时,就不需要包层模剥除器。

#### 4.2.2 注入条件

##### 4.2.2.1 单模光纤注入条件

单模光纤注入条件应足以激励起基模,滤去高阶模,剥除包层模。注入光纤的光功率在测量期间应保持稳定。通常采用下列两种注入技术:

##### a) 尾纤

采用尾纤时,应在光源尾纤和被试光纤之间使用折射率匹配材料消除干涉效应。

##### b) 光学透镜系统

采用这种光注入技术时,应使用能使光纤注入端与注入光束重复对中并稳定固定的定位装置。为减少光纤定位对注入功率的敏感性,可采用满注入方法。

为在感兴趣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(例如 30 mm)作为滤模器将截止波长移至感兴趣的最短波长以下,但圈的半径不能小到引起与波长相关的振荡。

为保证沿光纤短距离(截留长度)传输后不存在包层模,需采用包层模剥除器。包层模剥除器通常由

折射率等于或稍大于光纤包层折射率的材料组成,可以是一种直接加在除去被覆层光纤上靠近端点处的折射率匹配液。在某些情况下,光纤被覆层可起包层模剥除器作用。

#### 4.2.2.2 多模光纤注入条件

多模光纤注入条件应避免注入高阶瞬态模式,使沿光纤的功率分布基本不变化(即稳态模分布),从而使光纤衰减与长度近似成线性关系。通常采用下列两种注入技术:

##### a) 滤模器

采用滤模器的衰减测量注入装置如图3所示。

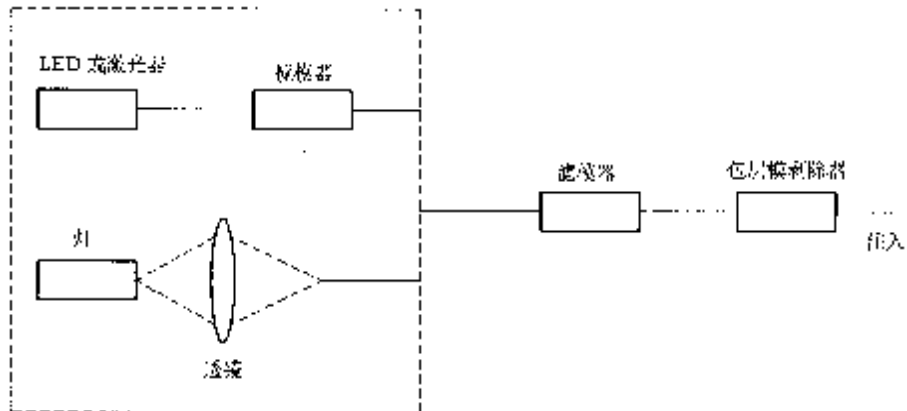


图3 采用滤模器的衰减测量注入装置

可以选择一根与被试光纤类型相同的足够长(典型长度不短于1 km)光纤作为滤模器;也可选择将被试光纤以低张力在芯轴上绕几圈(典型为3~5圈)的芯轴形式滤模器,芯轴直径选择应保证在被试光纤中激励的瞬态模受到足够的衰减,从而达到稳态模分布;另外也可以采用搅模器和滤模器的组合形式,即将一些金属球随机分布在长于0.5 m的与被试光纤类型相同的光纤上,在金属球上施加压力来达到稳态模分布。

应采用远场测量方法比较均匀满注入的被试光纤(不短于1 km)远场功率分布与采用芯轴滤模器(或采用搅模器和滤模器组合形式)的短段光纤远场功率分布。芯轴直径(或施加于金属球的压力)的选择应保证两者的远场功率分布相接近。短光纤辐射图数值孔径(按方法GB/T 15972-C6测量)应为长光纤数值孔径的94%~100%。芯轴直径(或施加于金属球的压力)可能随光纤不同而不同,这取决于光纤和涂覆层类型。通常芯轴直径为15 mm~40 mm,在20 mm长度内绕5圈光纤。

滤模器前注入的光功率分布应是基本均匀的。对于不能产生这种分布的光源,如LED或激光器,应采用搅模器。搅模器可由一种合适的光纤排列组成(例如,突变-渐变-突变型折射率分布光纤排列)。

##### b) 几何光学注入

采用空间状态限制(Limited Phase Space, LPS)的衰减测量的几何光学注入装置如图4所示。

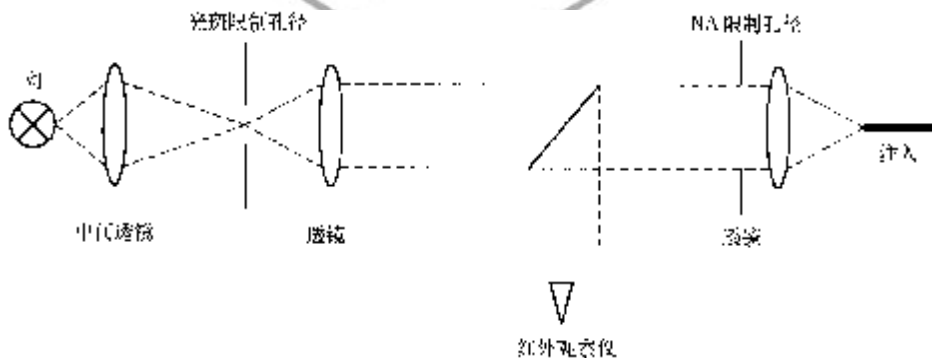


图4 采用空间状态限制的衰减测量注入装置

注入光束光斑尺寸应为被试光纤纤芯直径的70%,数值孔径应为被试光纤数值孔径的70%。这是不会产生泄漏模(即非束缚模)的最大几何注入的注入功率分布(例如50/125 μm、数值孔径为0.20的

渐变型折射率分布的多模光纤,LPS注入条件为均匀的  $35\text{ }\mu\text{m}$  光斑和 0.14 数值孔径。对于同样光纤,ITU-T G.651 采用  $26\text{ }\mu\text{m}$  光斑和 0.11 数值孔径。).

应使注入光斑和光锥对中的在纤芯上,保证注入光束轴和光纤轴重合。

应采用包层模剥除器以保证沿光纤短距离传输后不存在包层模。

#### 4.2.3 程序

4.2.3.1 将被试光纤放入试验装置中,记录输出光功率  $P_2$ 。

4.2.3.2 保持注入条件不变,将光纤截断至截留长度(例如离注入点 2 m),记录从光纤截留长度输出光功率  $P_1$ 。

4.2.3.3 按 4.1 衰减定义,由  $P_1$  和  $P_2$  计算出  $P_1$  与  $P_2$  两点间光纤段的衰减和衰减系数。

4.2.3.4 使用几个波长上的衰减测量结果,通过 4.5 给出的关系式能够计算出谱衰减曲线。

#### 4.2.4 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度;
- 4) 试验数据;
- 5) 按产品规范要求,在规定波长上以 dB 表示的衰减和以 dB/km 表示的衰减系数以及谱衰减;
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光源类型;
- 2) 光源谱宽;
- 3) 注入技术;
- 4) 试验装置。

#### 4.3 方法 GB/T 15972-C1B——插入损耗法

##### 4.3.1 装置

衰减测定可在一个或多个波长上进行,也可在某一波长范围内测量谱衰减特性。适宜的试验装置框图如图 5(校正)和图 6(测量)所示。

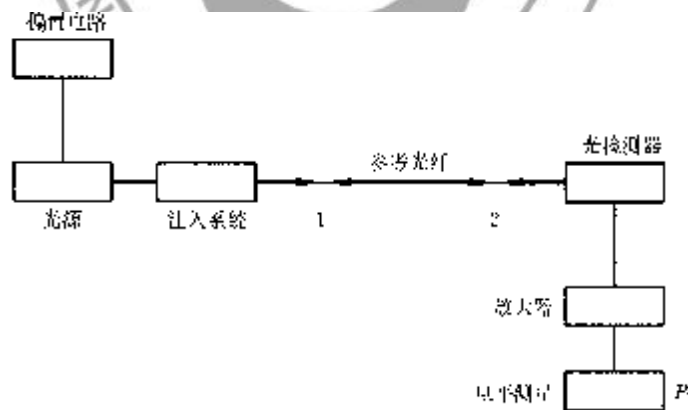


图 5 插入损耗法试验装置(校正)

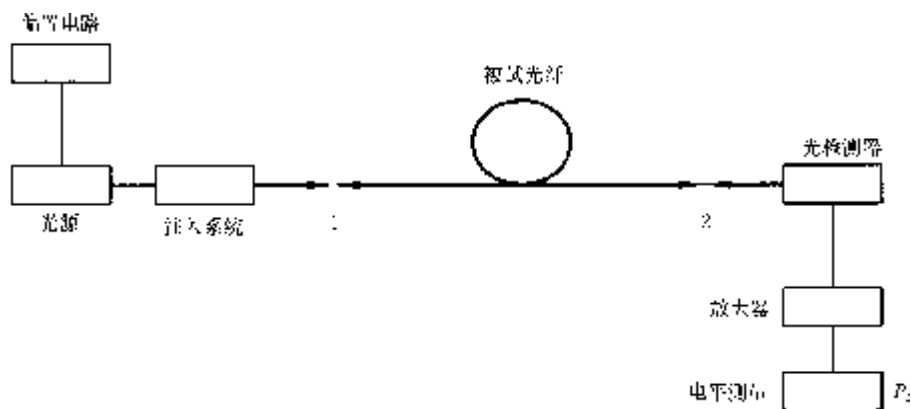


图6 插入损耗法试验装置(测量)

#### 4.3.1.1 光源

按 4.2.1.1 规定。

#### 4.3.1.2 光检测器组件

按 4.2.1.2 规定。

#### 4.3.1.3 信号处理

按 4.2.1.3 规定。

#### 4.3.1.4 包层模剥除器

按 4.2.1.4 规定。

#### 4.3.1.5 耦合装置

本方法要求使用精密的光纤对光纤的耦合装置,使耦合损耗最小以保证结果可靠性。该耦合装置可以是凭目视检查的机械微调架或纤芯对纤芯的连接器。

#### 4.3.1.6 参考光纤

参考光纤须是与被试光纤类型相同的光纤。

#### 4.3.2 注入条件

要求的注入条件应与 4.2.2 的规定相似。参考光纤和被试光纤的注入条件须相同。

#### 4.3.3 程序

4.3.3.1 采用与被试光纤同样类型的短段光纤(例如 2 m,其衰减可以忽略)作为参考光纤对装置进行初始校准,获得参考输入光功率  $P_1$ 。

4.3.3.2 将被试光纤连接到装置上并进行耦合调节,以使光检测器给出最大电平,记录输出光功率  $P_2$ 。

4.3.3.3 按 4.1 衰减定义,由  $P_1$  和  $P_2$  计算出被试光纤衰减和衰减系数。

如果参考光纤衰减不能忽略,应将参考光纤衰减加上计算值作为被试光纤衰减。

#### 4.3.4 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度;
- 4) 试验数据;
- 5) 按产品规范要求,在规定波长上以 dB 表示的衰减和以 dB/km 表示的衰减系数以及谱衰减;
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光源类型;
- 2) 光源谱宽;
- 3) 注入技术;
- 4) 试验装置。

#### 4.4 方法 GB/T 15972-C1C——后向散射法

本方法描述了用光时域反射计(OTDR)进行的三种基本测量程序——长度(见 4.4.4.4)、衰减或衰减系数(见 4.4.4.5)和沿光纤或光缆长度上点不连续的位置、损耗和特征(见 4.4.4.6)。这些测量旨在用于质量控制和接受试验,也适合于安装和维护时的检查。

光时域反射计也可用来测量光学连续性,对光纤链路是否连续作出大致判断。

##### 4.4.1 装置

OTDR 试验装置至少由以下几个部分组成,如图 7 所示。

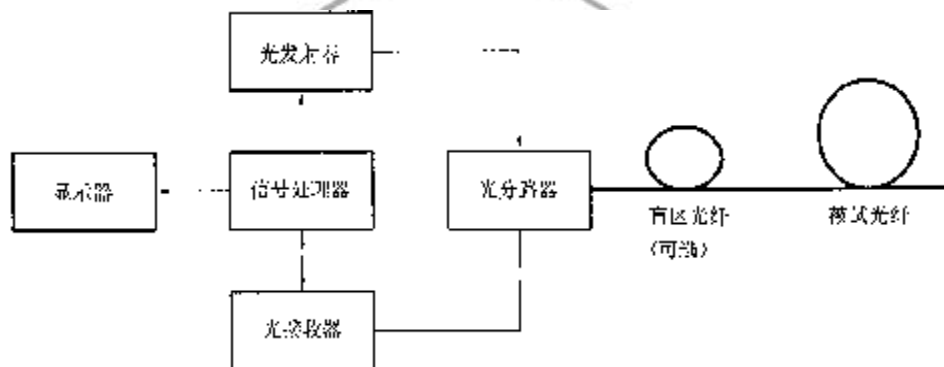


图 7 光时域反射计试验装置框图

##### 4.4.1.1 光发射器

通常包括一个脉冲激光二极管,能提供一个或多个脉冲宽度和脉冲重复频率。多波长仪器通常具有多个光源,标称中心波长可为 850 nm、1 300 nm、1 310 nm 或 1 550 nm,或按产品规范规定。中心波长应在规定值的 15 nm 以内。对于精确测量,中心波长应在规定值的 10 nm 以内。如果光源中心波长和规定波长差值大于 10 nm,应在测量结果报告中指出。光源均方根谱宽(RMSW)应不大于 10 nm,或者光源半幅全宽(FWHM)应不大于 25 nm。

如果谱衰减模型中采用 OTDR 的数据,实际中心波长应在规定值的 2 nm 之内,水峰波长区域(1 360 nm~1 430 nm)的光源谱宽不应大于 10 nm(FWHM)或 4 nm(RMSW)。

应采用诸如光谱分析仪这样的合适测量仪器对光源中心波长和谱宽进行周期检定。

##### 4.4.1.2 输出口

应提供某种方法将被试光纤或盲区光纤连接到仪器面板或光源尾纤上。

##### 4.4.1.3 光分路器

耦合器/光分路器将光源输出光耦合到光纤和把后向散射光耦合到检测器,同时避免光源与检测器的直接耦合。耦合器/光分路器不应有偏振效应。

##### 4.4.1.4 光接收器

通常包括光电二极管检测器,检测器的带宽、灵敏度、线性度及动态范围应与采用的脉宽和接收信号电平相适应。

##### 4.4.1.5 信号处理器

宜有一个对数响应的信号处理器处理信号,并采用信号平均技术提高信噪比。

##### 4.4.1.6 显示器

显示器可以是阴极射线管(CRT)、液晶显示器,或是这两者,或是计算机的部件。

显示器上垂直分度标尺宜为分贝数,对应于往返光信号损耗之半的分贝数变化;水平分度标尺宜为

m 或 km, 对应于往返光信号群时延之半的长度。

仪器面板控制器应可对显示器上的曲线进行定位, 并应能对长度或分贝的较小区域显示的部分曲线进行扩展。可控制一个或多个能对曲线上某些点定位的可移动光标。

显示器上应能给出移动光标的座标和一些适合于本仪器的辅助信息。

#### 4.4.1.7 数据接口(可选)

仪器可提供显示曲线的硬拷贝, 并能与计算机连接。

#### 4.4.1.8 反射控制器(可选)

为将高菲涅尔反射引起的接收器瞬时饱和降至最低限度, 以减少每一反射点后光纤盲区范围, 应采用电子屏蔽或在耦合器/光分路器中采用适宜的方法。

为了减小 OTDR 连接处初始反射对结果的影响, 通常在 OTDR 连接器和被试光纤之间采用一段盲区光纤。

#### 4.4.1.9 接头和连接器

为了对 OTDR 曲线的附加影响减至最小, OTDR 所要求的任何接头或连接器应具有低插入损耗和低反射(高回波损耗)。

#### 4.4.2 试样

4.4.2.1 试样为盘上或缆内、或是产品规范规定的一根光纤。可在工厂或现场对单段或连接起来的多段光纤进行测量。

注: 应小心避免卷绕对点不连续或衰减测量引入人为的衰减, 或者在长度或点不连续测量时引入明显伸长。应使光纤端(如在线盘的最里层)导致的任何损耗在衰减系数的计算中能够忽略不计。

4.4.2.2 如果有效群折射率未知, 进行长度测量时, 应首先提供类似于 4.4.2.1 中试样的校准光纤或光缆对仪器进行校准, 确定群折射率。

#### 4.4.3 注入条件

除长度测量的光注入条件可由测试人员自行处理外, 用 OTDR 进行其他测量的光注入条件应按 4.2.2 的规定。

#### 4.4.4 程序

4.4.4.1 将被试光纤连接到仪器上或盲区光纤(如采用)的一端, 将盲区光纤(如采用)另一端连接到仪器上。

4.4.4.2 将诸如光源波长、脉宽、长度范围(包括长度分辨率)、有效群折射率以及信号平均次数(或时间)等 OTDR 参数一起输入到仪器, 这些参数中某些值可能已在仪器中预置。

注: 如果有效群折射率未知, 应用已知长度的标准光纤或光缆对仪器进行校准, 确定群折射率。由于光缆中存在光纤余长或其他因素, 对同类光纤, 光缆的有效群折射率大于光纤的有效群折射率。

4.4.4.3 启动 OTDR 进行取样, 调整仪器显示的后向散射信号, 使曲线尽可能全屏幕显示。如需增加分辨率, 应调整仪器, 按较大比例扩展感兴趣的区域。

#### 4.4.4.4 长度测定

如图 8 所示, 将光标置于试样末端反射脉冲上升边缘的一点, 确定  $Z_2$ ; 将同一光标或另一光标置于试样始端反射脉冲上升边缘的一点, 确定  $Z_0$  (如试样前无光纤或光缆段, 则  $Z_0$  为零; 如试样前有已知长度为  $Z_D$  的光纤或光缆段, 则  $Z_0$  为  $Z_D$ )。如果由于不连续性极小而不易确定  $Z_2$  和  $Z_0$  的位置, 就在该处加一个绷紧的弯曲并改变弯曲半径以帮助光标定位; 对于  $Z_2$  的定位, 如有可能, 切割试样远端, 使那里产生反射。

试样长度为:  $Z_2 - Z_0$ 。

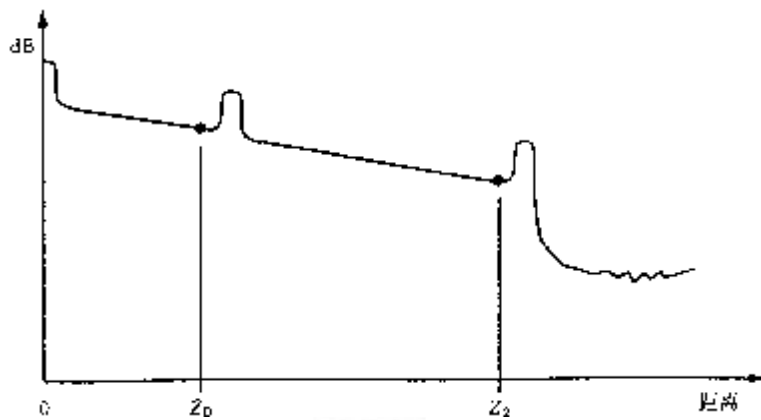


图8 OTDR 曲线(长度测定)

#### 4.4.4.5 衰减和衰减系数测定

如图9所示,将光标置于试样始端反射脉冲上升边缘的一点,确定 $Z_0$ (如试样前无光纤或光缆段,则 $Z_0$ 为零)。

将光标置于试样曲线线性区段始端(紧挨近端),确定 $Z_1$ 、 $P_1$ ;将同一光标或另一光标置于试样末端反射脉冲上升边缘的一点,确定 $Z_2$ 、 $P_2$ 。

如果由于不连续性极小而不宜确定 $Z_0$ 和 $Z_2$ 的位置,就在该处加一个绷紧的弯曲并改变弯曲半径以帮助光标定位;对于 $Z_2$ 的定位,如可能,切割试样远端,使那里产生反射。

始于盲区之后光纤或光缆段的单向后向散射衰减: $A = (P_1 - P_2)$ dB。

始于盲区之后光纤或光缆段的单向后向散射衰减系数: $\alpha = (P_1 - P_2) / (Z_2 - Z_1)$ dB/km。

光纤或光缆段总单向后向散射衰减: $A_{\text{总}} = \alpha(Z_2 - Z_0)$ dB。

通常,OTDR能直接给出 $A$ 值和 $\alpha$ 值。该数据可以用两点法给出,也可用最小二乘法近似(LSA)法拟合曲线给出。LSA法得出的结果可能与两点法得出的结果不同,但该方法的重复性更好。

应进行双向测量,将双向测量获得的数值取平均得到精确的衰减和衰减系数;如光纤两端均匀性好,亦可进行单向测量。

需要时可进行多波长测量,对B1类和B2类光纤可按照4.5给出的关系式计算谱衰减。

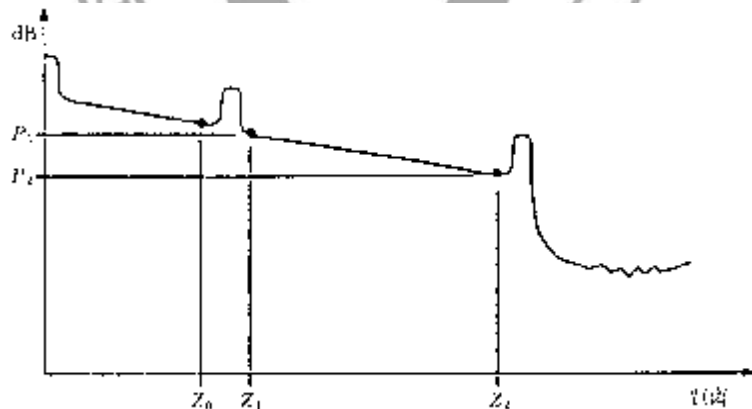


图9 OTDR 曲线(衰减测定)

#### 4.4.4.6 点不连续的测定

点不连续是连续的OTDR信号在朝上或朝下方向的暂时或永久性的局部偏移,偏移特征能够随试验条件(例如OTDR信号脉宽、波长和方向)变化。点不连续的持续时间约为脉冲宽度。为了确定点不连续(而不是衰减不均匀性)的存在,应采用两种不同的脉宽观察有疑问的区域。如果损耗或增益的形状随

脉宽而变,则该异常情况是点不连续;否则要按照测量光纤或光缆衰减的程序进行衰减不均匀性测量。

如图 10 所示,将光标置于不连续点处功率开始上升或下降的始端来确定点不连续的位置。一般仪器要求一对光标置于不连续点处的两侧,将两根最佳拟合直线(每一根分别由两点法或最小二乘法近似法得到)外推到不连续点处的位置。两直线在不连续点处的垂直距离为点不连续的视在损耗或增益。

应进行双向测量,将双向测量取得的数值进行平均(这样可消除视在增益)得出点不连续损耗。

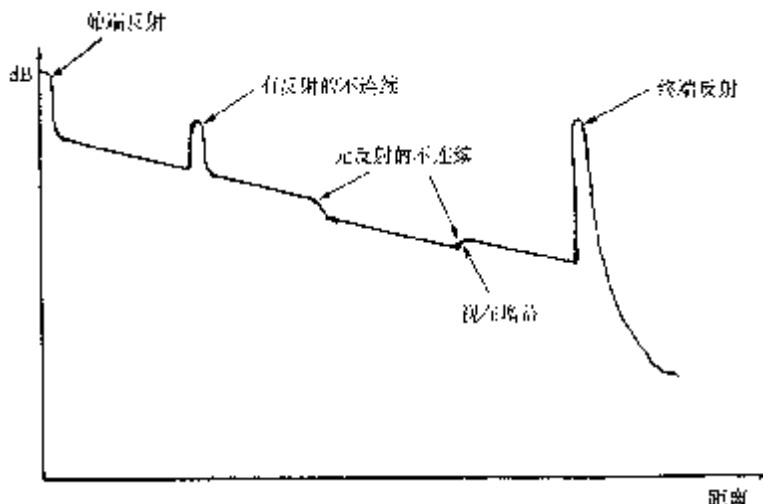


图 10 OTDR 曲线(点不连续的测定)

#### 4.4.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试验数据(试样长度,试样衰减或衰减系数,点不连续特征等);
- 4) 试样端别(当测量长度或测量结果是双向平均值时,不需要);
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光纤或光缆试样,包括其类型、有效群折射率;
- 2) 测量仪器(包括制造厂家,型号及说明书);
- 3) 注入条件;
- 4) 定期检验的光源中心波长和谱宽。

#### 4.5 方法 GB/T 15972-C1D——谱衰减模型

该方法由几个(3~5个)波长上直接测得的衰减值来估算谱衰减。

##### 4.5.1 装置

本方法是对预先测量的衰减值进行计算而得出谱衰减,不需要特定装置。所选用的装置即是测量单波长衰减的试验装置。

##### 4.5.2 试样

测量单波长衰减所要求的试样。

##### 4.5.3 程序

测量单波长衰减所采用的程序。

##### 4.5.4 计算

光纤的谱衰减系数可通过特征矩阵  $M$  和矢量  $v$  计算出来。矢量  $v$  ( $n$  个元素)包含了  $n$  个(3~5个)预定波长(例如 1 310 nm、1 330 nm、1 360 nm、1 380 nm 和/或 1 550 nm)上测量的衰减系数,矩阵  $M$  由

下面给出：

$$\begin{array}{ccccccc} A_{11} & A_{12} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & A_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & A_{mn} \end{array}$$

式中： $m$ ——估算谱衰减系数的波长数；

$n$ ——预定的波长数(在这些波长上，衰减系数已测得)。

第一种方法中， $M$  是光纤或光缆提供者提供的该产品的特征矩阵，模型化谱衰减即矢量  $w$  从公式(1)计算出来。第二种方法中， $M$  是普通矩阵，这时光纤或光缆提供者应提供修正因子矢量  $e$ ，从公式(2)计算出矢量  $w$ 。矢量  $w$  ( $m$  个元素)可包含在许多波长(例如从 1 240 nm~1 600 nm，间隔 10 nm)上估算的衰减系数。

在确定的波长范围内，每一波长上实际衰减系数与估算衰减系数之差值的标准偏差宜小于 0. xx dB/km。如在确定波长范围外再指定一个附加波长范围，则在每一波长上实际衰减系数与估算衰减系数之差值的标准偏差宜小于 0. yy dB/km。xx(和 yy)的值和波长范围应在用户和厂家之间达成协议。

$M$  和  $e$  的元素是用统计方法获得的，矢量  $w$  的元素也应认为是统计数值。为了指出估算衰减系数的精度，光纤或光缆提供者在提供  $M$  和  $e$  时，同时应提供一个矢量，该矢量包含衰减系数实际值与估算值之差值的标准偏差。

注

- 1 为便于矩阵使用，应在预定波长上对光纤进行例行测量。预定波长数可为三至五个，如果可以达到足够的精度，可减少预定波长数。预定波长值(例如 1 310 nm、1 330 nm、1 360 nm、1 380 nm 和/或 1 550 nm)尚待进一步研究。
- 2 该模型仅考虑用于未成缆光纤。用于成缆光纤时，考虑到成缆的影响和环境的影响，矢量  $w$  必须加上一个附加矢量。

#### 4.5.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容：

- 1) 试验日期和操作人员；
- 2) 试样识别号；
- 3) 在相应波长上的衰减系数(或谱衰减曲线)。

b) 报告中也可包括下列内容：

- 1) 测量预定波长衰减的试验方法；
- 2) 估算谱衰减的矩阵或修正因子矢量(如采用普通矩阵)；
- 3) 使用矩阵时获得的矢量(它包含衰减系数实际值与估算值之差值的标准偏差)。

### 5 模式基带响应

模式基带响应是总基带响应的一部分。总基带响应可由下式表示：

$$B_T = (B_m^{-2} + B_{ch}^{-2})^{-1/2} \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中： $B_T$ ——总带宽(包括模式失真和波长色散)；

$B_m$ ——模式失真带宽；

$B_{ch}$ ——波长色散带宽。

注

- 1 假定光纤模式失真基带响应和光源光谱均是高斯型分布。

2 波长色散带宽  $B_{ch}$  与光纤段长度成反比,如果假定光源光谱是高斯型分布,则  $B_{ch}$  可表示为:

$$B_{ch} = \frac{0.44 \times 10^6}{\Delta\lambda D(\lambda)L} (\text{MHz}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中: $\Delta\lambda$ ——光源的 FWHM 谱宽,nm;

$D(\lambda)$ ——波长色散系数,ps/(nm·km);

$L$ ——光纤段长度,km。

本技术旨在测量模式基带响应,通过将  $\Delta\lambda$  这一项减至最小以使  $B_T$  和  $B_m$  之差小于 10% 来实现。

本章规定了测量模式基带响应的试验方法。模式基带响应可在时域或频域中表示。

## 5.1 定义

### 5.1.1 时域(冲击响应)

冲击响应  $g(t)$  定义为这样一个函数,即它与光纤输入光功率的卷积等于光纤输出光功率。

### 5.1.2 频域(频率响应)

频率响应定义为下式表示的函数:

$$G(\omega) = P_2(\omega)/P_1(\omega) \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中: $P_1(\omega)$ ——横截面 1 处调制信号的光功率谱;

$P_2(\omega)$ ——横截面 2 处调制信号的光功率谱。

幅度响应和相位响应分别为  $G(\omega)$  的绝对值和辐角。

在线性系统中,时域和频域的基带响应通过下式互相联系:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(-j\omega t) dt \quad \dots\dots\dots(8)$$

## 5.2 方法 GB/T 15972-C2A——冲击响应(时域法)

### 5.2.1 装置

本方法通过对被试光纤输入脉冲和输出脉冲进行比较,借助于输入脉冲和输出脉冲的付里叶变换能够计算出基带频率响应及冲击响应。

合适的试验装置如图 11 所示。

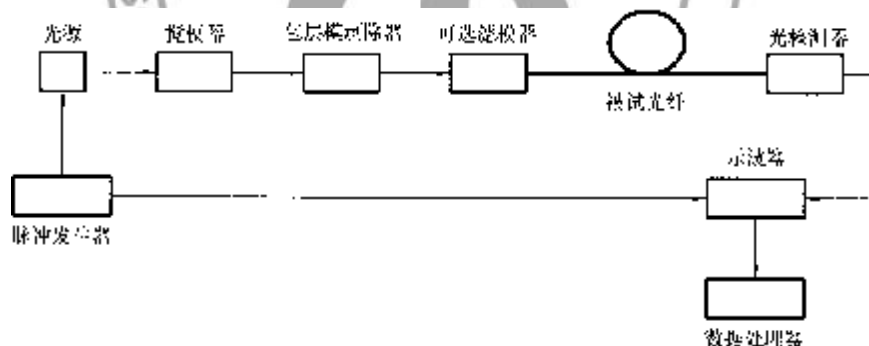


图 11 模式基带响应试验装置(冲击响应)

#### 5.2.1.1 光源

应采用一个激光器作光源,其激光辐射超过自发辐射。在测量期间,光源位置、强度和波长应保持恒定。光源中心波长  $\lambda$  应在表 2 选定的标称值的  $\pm 20 \text{ nm}$  之内,其 FWHM 谱宽  $\Delta\lambda$  不应超过表 2 中给出的相应值。

表 2 光源的中心波长标称值和谱宽

nm

| $\lambda$   | $\Delta\lambda$ |
|-------------|-----------------|
| 800~900     | 5               |
| 1 200~1 350 | 10              |

**5.2.1.2 包层模剥除器**

按 4.2.1.4 规定。

**5.2.1.3 光检测器**

应优先采用高速光电二极管作光检测器。光检测器带宽通常应大大超过被试光纤带宽。然而需要作一些修正,应说明检测器的基带响应和非线性度。检测器表面灵敏度应是均匀的。

**5.2.1.4 辅助设备**

应采用合适的辅助设备,例如:

- a) 可调光脉冲序列发生器(脉冲宽度和脉冲频率可调);
- b) 取样示波器;
- c) XY 记录仪。

注:所作的测量应保证有适当的校准、系统线性和系统稳定性。

**5.2.2 注入条件**

注入系统应使注入系统的脉冲失真与被试光纤的脉冲失真相比小到可以忽略不计。否则,应记录注入系统的输出脉冲形状,然后在光纤基带响应中考虑进去。

应使用满注入,在这种情况下,注入光锥角大于光纤最大理论数值孔径,并且注入光斑直径与光纤纤芯直径相当。应确认被试光纤无微弯,注入系统输出端的能量分布基本恒定,且与光源的耦合无关(表明所有传导模受到正常激励)。

下列装置能提供满注入条件:

- a) 透镜系统;
- b) 注入光纤系统(例如突变—渐变—突变光纤搅模器)。

**5.2.3 程序**

**5.2.3.1** 将被试光纤放入试验装置,光纤输入端与注入光锥轴线对中,光纤输出端与检测器表面对准,使检测器能接收到被试光纤的全部出射光。

**5.2.3.2** 在被试光纤输入端和输出端记录脉冲,按 5.1.1 的定义计算出冲击响应  $g(t)$ 。

**5.2.3.3** 如果需要,按公式(8)计算出被试光纤的频率响应  $G(\omega)$ 。

**5.2.4 结果**

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度;
- 4) 测量时的标称波长;
- 5) 由幅-频特性曲线上一3dB(光)点确定的带宽;
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光源波长和谱宽;
- 2) 注入类型;
- 3) 试验装置;
- 4) 完整的输入脉冲和输出脉冲波形曲线。

### 5.3 方法 GB/T 15972-C2B——频率响应(频域法)

#### 5.3.1 装置

本方法是测量幅度-频率函数(即幅度响应),可采用下列两种方法:

- 用输入脉冲激励时,对光纤输出信号进行频谱分析;
- 对扫频输入信号或离散正弦波输入信号输出进行分析。

合适试验装置如图 12 所示。

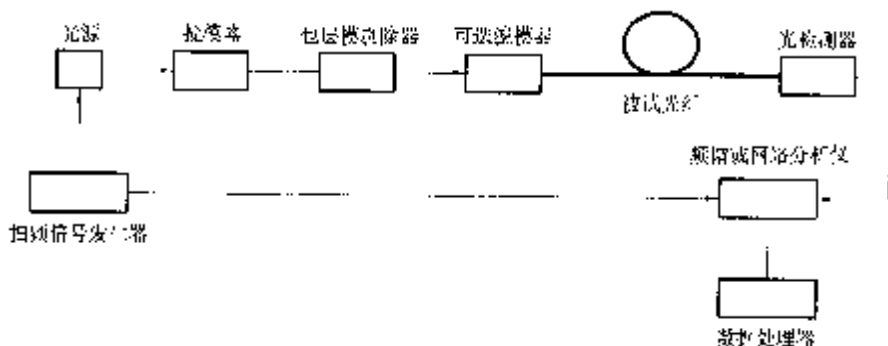


图 12 模式基带响应的试验装置(频率响应)

##### 5.3.1.1 光源

按 5.2.1.1 规定。

##### 5.3.1.2 包层模剥除器

按 5.2.1.2 规定。

##### 5.3.1.3 光检测器

按 5.2.1.3 规定。

##### 5.3.1.4 辅助设备

应采用合适的辅助设备,例如:

- 频谱分析仪或网络分析仪;
- 正弦波光源。

注:所作的测量应保证有适当的校准、系统线性和系统稳定性。

#### 5.3.2 注入条件

按 5.2.2 规定。

#### 5.3.3 程序

5.3.3.1 将被试光纤放入试验装置,光纤输入端与注入光锥轴线对中,光纤输出端与检测器表面对准,使检测器能接收到被试光纤的全部出射光。

5.3.3.2 在被试光纤输入端和输出端记录信号,按 5.1.2 的定义式(7)计算出被试光纤的模式基带响应(频域)。

#### 5.3.4 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度;
- 4) 测量时的标称波长;
- 5) 由幅-频特性曲线上一3dB(光)点确定的带宽;
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光源波长和谱宽;
- 2) 注入类型;
- 3) 试验装置;
- 4) 完整的输入和输出频率响应曲线;
- 5) 试验装置的频谱分辨率。

## 6 微弯敏感性

本标准规定了测量 A1 类和 B 类光纤微弯敏感性的三种方法:

- a) 方法 GB/T 15972-C3A——可膨胀圆筒法,适用于 B 类光纤;
- b) 方法 GB/T 15972-C3B——固定直径圆筒法,适用于 A1 类和 B 类光纤;
- c) 方法 GB/T 15972-C3C——金属网格法。

方法 GB/T 15972-C3A 是一种在施加的线性压力范围内测量单模光纤微弯敏感性的方法;方法 GB/T 15972-C3B 是一种在固定线性压力下测量 A1 类和 B 类光纤微弯敏感性的较简单的方法;方法 GB/T 15972-C3C 是一种采用金属网格测量微弯敏感性的方法。

这三种方法的试验结果只能进行定性比较,它通常在光纤的一般评估中采用,而不在常规方式中采用。

试验应在正常的温度和相对湿度条件下进行。

### 6.1 方法 GB/T 15972-C3A——可膨胀圆筒法

本方法给出由于微弯效应产生的损耗增加,其损耗增加量是施加在光纤上线性压力的函数。

#### 6.1.1 装置

装置由一个可膨胀的圆筒组成,其直径能连续改变。为了避免宏弯效应,要求包括膨胀部分的任何局部最小弯曲直径不小于 200 mm。圆筒表面应用具有选定粗糙度的特定材料(例如叠盖砂纸的薄膜 PSA—颗粒度 40  $\mu\text{m}$  级—矿质  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )覆盖。在圆筒覆盖层表面上应至少能绕 400 m 被试光纤。

圆筒膨胀时,应采用方法 GB/T 15972-C5A 装置,测量光纤伸长率。衰减测定应采用方法 GB/T 15972-C1A 或方法 GB/T 15972-C1C 的装置,也可采用方法 GB/T 15972-C10A 的装置。

#### 6.1.2 程序

将被试光纤在圆筒上无张力地小心绕上一层,绕时应避免光纤任何交叉或重叠,并使光纤固定以避免相对滑动。应记录圆筒膨胀时衰减系数的变化和相位变化。

#### 6.1.3 计算

光纤伸长率  $\varepsilon$  可由下式求出:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\theta}{fL} V \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中: $\Delta\theta$ ——相移,°;

$f$ ——调制频率,Hz;

$L$ ——试样长度,km;

$V$ ——与光弹系数  $k$ 、真空中光速  $c$  和有效群折射率  $N_{\text{ef}}$  有关的常数。

$$V = \frac{kc}{360N_{\text{ef}}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

对于 B1 类光纤, $V$  的典型值为 726 (km/s)/(°)。由此可计算线性压力:

$$P = T/R = EA\varepsilon/R \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中: $T$ ——施加于光纤上的张力,N;

$R$ ——静止条件下可膨胀圆筒半径,mm;

$E$ ——光纤杨氏模量,N/mm<sup>2</sup>;

$A$ ——光纤(玻璃部分)横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

作出衰减系数( $\text{dB/km}$ )变化与线性压力  $P$  ( $\text{N/mm}$ )或伸长率  $\varepsilon$  (%)的函数关系曲线。由所获得的点通过内插得到一条经过坐标原点的直线,该直线的斜率即被试光纤的微弯敏感性。微弯敏感性的单位为  $(\text{dB/km})/\%$ 或 $(\text{dB/km})/(\text{N/mm})$ 。

#### 6.1.4 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 绕在可膨胀圆筒上的试样长度;
- 4) 光源波长;
- 5) 衰减系数变化与线性压力或伸长率的函数关系曲线图;
- 6) 微弯敏感性;
- 7) 试验日期和操作人员;
- 8) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 试验装置构成(必要时);
- 2) 可膨胀圆筒的最小直径;
- 3) 采用材料的粗糙度和类型;

#### 6.2 方法 GB/T 15972-C3B——固定直径圆筒法

本方法规定了检验 A1 类和 B 类光纤微弯敏感性的程序。它给出在光纤上施加固定线性压力时,由微弯效应所产生的附加损耗。

##### 6.2.1 装置

装置由固定直径的圆筒组成。为了避免宏弯效应,要求最小直径为 200 mm。

圆筒表面应用具有选定粗糙度的特定材料(例如叠盖砂纸的薄膜 PSA—颗粒度 40  $\mu\text{m}$  级—矿质  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )覆盖。在圆筒覆盖层表面上应至少能绕 400 m 被试光纤。

衰减测量应采用方法 GB/T 15972-C1A——截断法或方法 GB/T 15972-C1C——后向散射法。

##### 6.2.2 程序

应用 3N(暂定值)的卷绕力将被试光纤单层绕在圆筒上。

测量总衰减系数。为了得到由微弯敏感性引起的衰减增加,应用被试光纤固有的衰减系数对测得的总衰减系数进行修正。在大卷绕力情况下,测得的总衰减主要是微弯损耗。

##### 6.2.3 计算

微弯敏感性由下式求出:

$$\text{微弯敏感性} = \frac{\alpha R}{T} = \frac{\alpha}{P} \quad (\text{dB/km})/(\text{N/mm}) \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:  $\alpha$ ——由微弯引起的衰减增加,  $\text{dB/km}$ ;

$P$ ——线性压力,  $\text{N/mm}$ ;

$R$ ——固定圆筒半径,  $\text{mm}$ ;

$T$ ——施加于光纤上的卷绕张力,  $\text{N}$ 。

可采用不同的卷绕张力按程序进行多次测量。

##### 6.2.4 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;

- 3) 绕在有覆盖层圆筒上的试样长度;
- 4) 光源波长;
- 5) 微弯敏感性;
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 试验装置构成(必要时);
- 2) 圆筒直径;
- 3) 采用材料的粗糙度和类型。

### 6.3 方法 GB/T 15972-C3C——金属网格法

本方法采用金属网格使光纤产生微弯,从而确定光纤微弯损耗的相对敏感性。

#### 6.3.1 装置

##### 6.3.1.1 光源

光源的 FWHM 谱宽应不大于 10 nm(或在产品规范中规定)。在测量期间,光源波长、强度和位置应保持稳定,并能在某一波长范围内(或按产品规范中规定)工作。

##### 6.3.1.2 检测器

应采用谱响应与光源相匹配的光电二极管检测器。光检测器的系统响应应与所采用的调制技术相匹配,并且在测量波长范围内是线性的。为改善接收机信噪比,应对光源进行调制。

##### 6.3.1.3 滤模器

为防止光纤中有高次模传输,应采用滤模器。可在光纤上打一直径为 60 mm 的单圈作为滤模器。

##### 6.3.1.4 微弯引入设备

产生微弯损耗的典型设备如图 13 所示。金属基座平台起稳定作用,其表面光滑。两个定位柱固定在基座平台上。

一薄片硬化橡胶(硬度为 73~75)被固定在基座平台上,它相对于定位柱不能移动。橡胶片上面作了一个标记,该标记是一个直径为 98.5 mm 的圆。将橡胶片的一部分切割掉以防止光纤交叉,这使被试光纤长度减少了大约 8 mm。橡胶片表面应平坦,上面不能刻任何形式的槽。

金属网格(在详细规范中规定)上有二个孔,以便能用基座平台上的定位柱对金属网格进行重复的精确定位。

标称质量为 1 kg 的顶板上有两个孔,使得它能滑进基座平台上的定位柱。一组负荷块(例如 5×1 kg,或在产品规范中规定)提供附加负荷以引起附加微弯损耗。

#### 6.3.2 详细规范要求

- a) 波长范围(例如 1 200 nm~1 600 nm);
- b) 光源谱宽(例如不大于 10 nm);
- c) 波长步进量(例如不大于 10 nm);
- d) 负荷块重量(例如为 1 kg);
- e) 金属网格特征(例如 70 根丝编成);
- f) 采样数(例如 5~10)。

#### 6.3.3 程序

将光纤绕成一圈圈的圆环放置在橡胶片上。必要时用几片胶带(不超过三片)将光纤固定。

将金属网格安放在定位柱上,小心地把顶板放下,下推金属网格使之压在光纤上。在规定的波长范围内记录功率读数。

将规定的负荷块压在顶板上,并在规定波长范围内记录功率读数。依次将其他的负荷块加在顶板上,并在规定波长范围内记录功率读数。

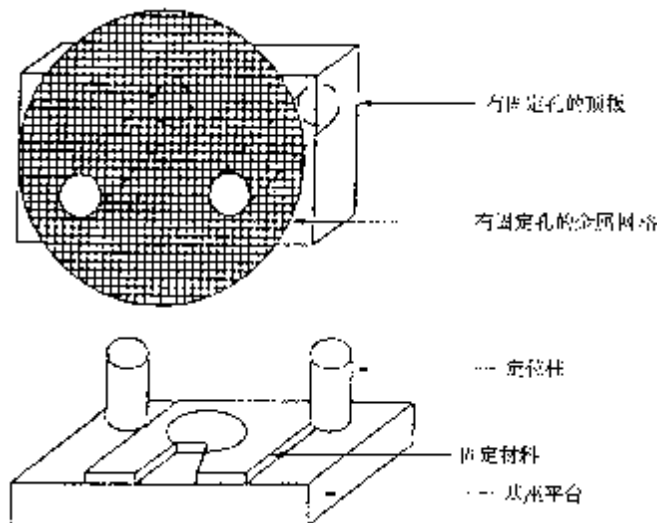


图 13 微弯引入设备示意图(金属网格法)

#### 6.3.4 计算

计算出平均损耗增量,用 $(\text{dB/m})/(\text{kg/m})$ 表示。该平均损耗增量是在规定波长范围内波长的函数。

#### 6.3.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 在规定波长范围内平均损耗增量;
- 4) 试验日期和操作人员;
- 5) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 微弯引入设备说明(必要时);
- 2) 光纤受压部分长度;
- 3) 重复性和精度(必要时);
- 4) 模场直径;
- 5) 截止波长。

### 7 光学连续性

本章并不作为一种测量方法,而仅对连续或断裂的差异进行检测。例如短光纤段在拉伸、曲挠、弯曲和扭转试验期间受到机械损伤时,由于光纤长度分辨率的限制,在采用后向散射设备可能不合适的情况下,这种检测就非常必要。

当被试光纤足够长时,后向散射技术是适用的。这种技术在方法 GB/T 15972-C1C 和方法 GB/T 15972-C10B 中给出。

对下列场合,可能需要检测断裂:

- a) 遭受机械损伤前的光纤试样;
- b) 遭受机械损伤后的光纤试样。

#### 7.1 定义

##### 7.1.1 光学连续性

光纤段光学连续性是表征沿该光纤段传导光功率的能力。光学连续性可通过在光纤一端注入光并在另一端测量输出的光功率来表示。

### 7.1.2 光学不连续性(断裂)

在设备特定的注入和检测配置情况下,光纤输出端实际测得的光功率比注入光纤的光功率小一个约定值时,则认为这根连续光纤光学不连续。该约定值应在用户和厂家之间达成协议。

## 7.2 方法 GB/T 15972-C4——传输或辐射光功率法

本方法规定了光学连续性的试验装置,它旨在指出一根光纤是否光学连续或是否产生严重的衰减增加。

### 7.2.1 装置

试验装置由分离的发射单元和接收单元组成,如图 14 所示。

发射器包含一个光源,接收器包括光电检测器、稳定的放大器和指示接收功率电平表。一种可供选择的方法是附加一个电路,如果接收功率降到预定电平之下,指示灯亮。

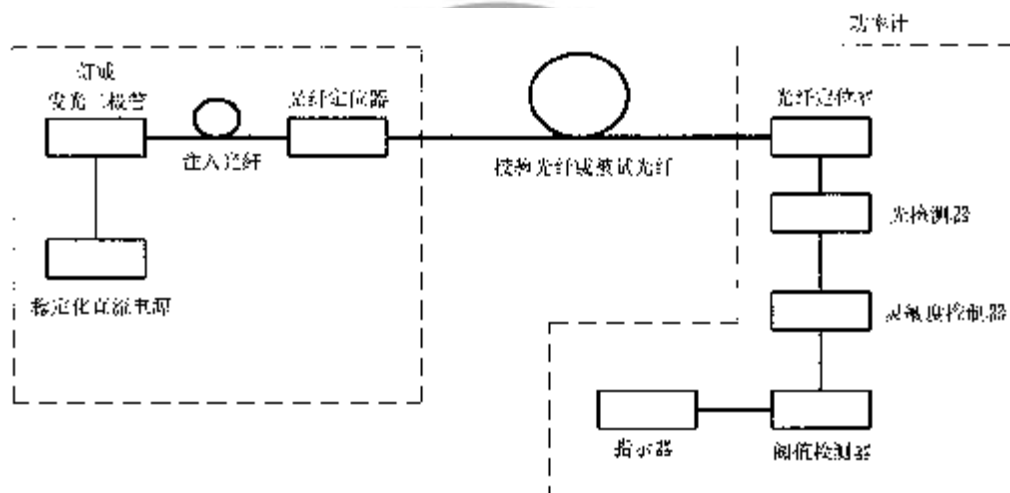


图 14 传输或辐射光功率法的试验装置

#### 7.2.1.1 光源

光源应是一个由灯泡或 LED 组成的大发光面的发射纤维光学终端器件。为方便起见,它也可与一根注入光纤耦合。为了减少发射纤维光学终端器件一侧的损耗变化,当采用注入光纤时,注入光纤应是突变折射率分布型光纤,其纤芯直径明显大于被试光纤纤芯直径。

#### 7.2.1.2 光检测器

采用与光源相匹配的接收器,例如光电二极管,它与由灵敏度控制器调节的阈值检测器和指示器相连。任何等效的器件都可作为接收器。检测器的光敏面应有较大尺寸。

#### 7.2.1.3 光纤定位器

发射纤维光学终端和接收纤维光学终端的光纤定位器,用于光纤的快速定位。

#### 7.2.1.4 校验光纤

连接发射器和接收器的校验光纤,用于获得零校准点。

### 7.2.2 程序

#### 7.2.2.1 装置调节

a) 采用一根已知是光学连续的短校验光纤检验装置的工作情况。

b) 当采用图 14 所示装置时,调节灵敏度控制器,使接收光功率刚好超过阈值检测器的阈值,并且指示器工作(如采用功率计,则注意读数应符合要求)。

#### 7.2.2.2 初始测量

a) 将被试光纤取代校验光纤。

b) 在 7.2.2.1 中 b) 确定的灵敏度值的基础上,按对被试光纤预期的衰减量增加灵敏度。

c) 保证指示器工作。指示器工作表明光纤是光学连续的。

d) 如果指示器不工作,就增加灵敏度,直至指示器工作。计算使指示器工作所需要的以 dB 表示的灵敏度增量(如采用功率计,则计算出指示功率与 7.2.2.1 中 b) 指示功率之间的衰减增量)。

e) 如果衰减增量(或灵敏度增量)超过约定值,则认为光纤断裂。

### 7.2.2.3 机械损伤后测量

本测量仅对受机械损伤前已知是光学连续(不断裂)的光纤段进行。

a) 使光纤经受所要求的机械损伤作用。如有必要,则更换试验装置中的光纤。

b) 如果指示器不工作,应增加灵敏度,直至它工作。计算相对于 7.2.2.2 中 d) 确定的灵敏度值的灵敏度增量(如采用功率计,则计算出所指示的功率与 7.2.2.2 中 d) 所指示的功率之间的衰减增量)。

c) 如果由于机械损伤试验导致衰减增量(或灵敏度增量)超过约定值,则认为光纤断裂。

### 7.2.3 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度和预期衰减;
- 4) 机械损伤试验导致的衰减增量(或灵敏度增量);
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 试验装置说明;
- 2) 初始灵敏度的设定值(7.2.2.1 中 b));
- 3) 机械损伤试验前被试光纤灵敏度的设定值和指示器状态(7.2.2.2 中 b) 和 7.2.2.2 中 c))。

## 8 波长色散

波长色散是由组成光源谱的不同波长光波在光纤中以不同群速度传输引起的,它取决于该光纤的特性和长度。

测量波长色散的四种试验方法描述如下:

### a) 相移法

相移法是测量光纤波长色散的基准试验方法(RTM)。它在频域中通过检测、记录和处理不同波长正弦调制信号的相移来测量不同波长信号的群时延,从而推导出光纤波长色散。它适用于测量 B 类单模光纤和 A1 类多模光纤的波长色散。

### b) 脉冲时延法

脉冲时延法是测量光纤波长色散的替代试验方法(ATM)。它在时域中通过直接检测、记录和处理不同波长脉冲信号的群时延,从而推导出光纤的波长色散。它适用于测量 B 类单模光纤和 A1 类多模光纤的波长色散。

### c) 微分相移法

微分相移法是测量光纤波长色散的替代试验方法(ATM)。它在 1 000 nm~1 700 nm 波长范围内由两个相近波长间的微分群时延来测量特定波长上的波长色散系数。它适合于测量 B 类单模光纤的波长色散。

### d) 干涉法

在考虑中。

## 8.1 定义

### 8.1.1 波长色散

波长色散是由组成光源谱的不同波长的光波以不同群速度传输所引起的光纤中每单位光源谱宽的

光脉冲展宽,用  $\text{ps}/\text{nm}$  表示。

波长色散通常由材料色散、波导色散和剖面色散三个部分组成。

### 8.1.2 波长色散系数

光纤波长色散系数是每单位光纤长度的波长色散,用  $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$  表示。

### 8.1.3 零色散波长

零色散波长是波长色散为零的波长,用  $\text{nm}$  表示。

### 8.1.4 零色散斜率

在零色散波长处,波长色散系数对波长曲线的斜率值,用  $\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$  表示。

## 8.2 方法 GB/T 15972-C5A——相移法

本方法适用于实验室、工厂和现场测量长度大于  $1 \text{ km}$  的 B 类单模光纤和 A1 类多模光纤的波长色散,在测量精度或重复性满足要求的情况下,也可测量长度更短的光纤。测量波长范围可按要求改变。

### 8.2.1 装置

#### 8.2.1.1 光源

依据测量波长范围,可采用多只激光器(见图 15)、波长可调激光器、发光二极管(LED)(见图 16)或其他宽带光源。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  $0.012 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 。

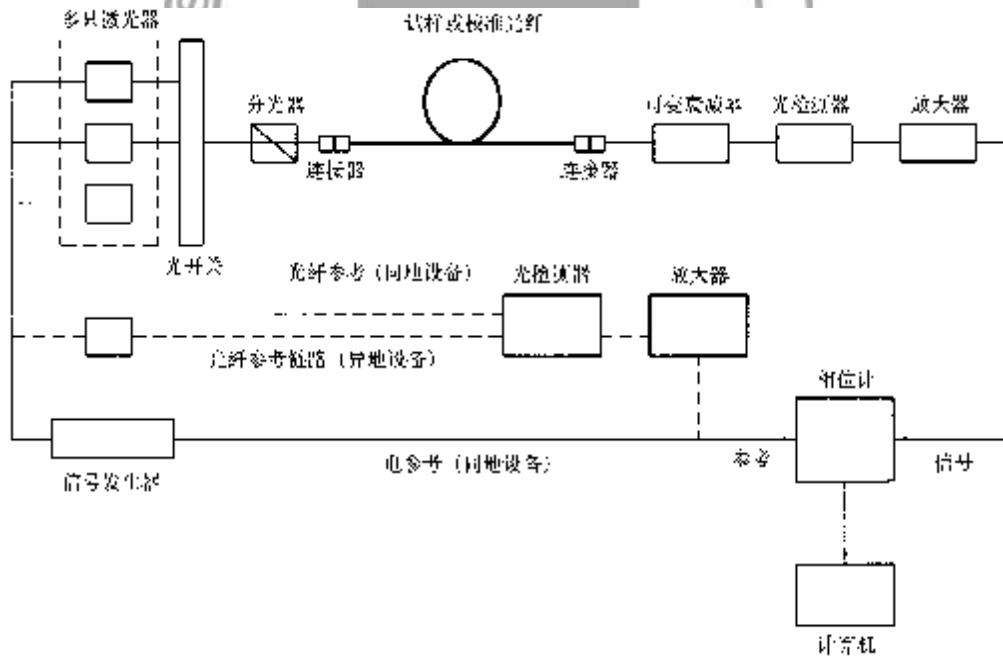


图 15 相移法试验装置(多只激光器)

采用平均波长接近被测试样预期零色散波长  $\lambda_0$  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。

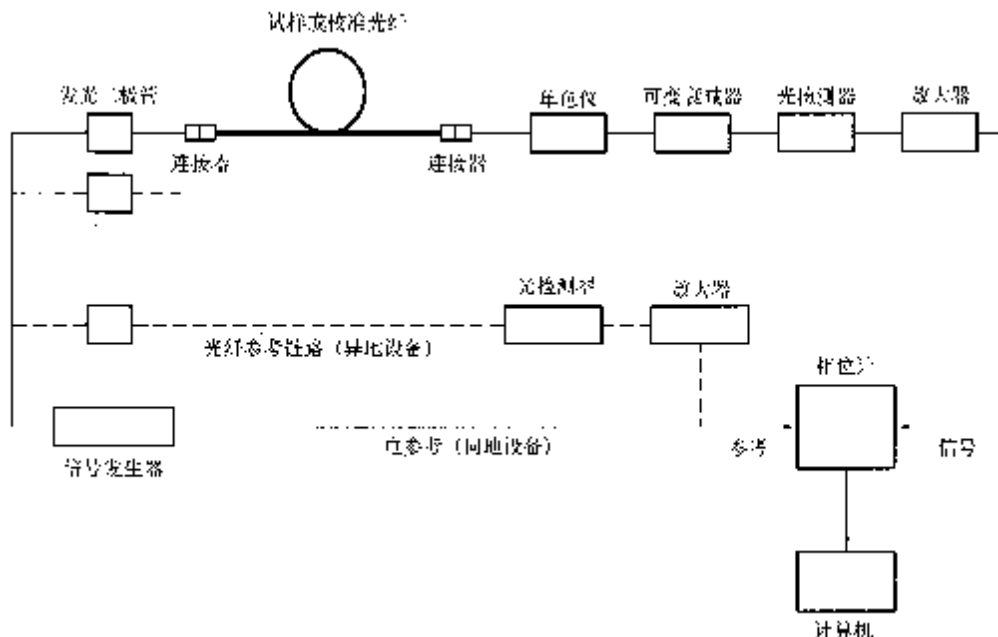


图 16 相移法试验装置(LED)

选择 LED 作光源时,应采用一只或多只 LED。应对它的光谱进行滤光(例如采用单色仪),给出三个或三个以上的谱线(谱线的 FWHM 一般小于 6 nm)。

#### 8.2.1.2 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付里叶分量的波形。调制频率稳定度至少应为  $10^{-8}$  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) 应按下式确定:

$$f_{\max} = \frac{8 \times 10^6}{S_0 L} [(\lambda_i - \lambda_0^2/\lambda_i)^2 - (\lambda_j - \lambda_0^2/\lambda_j)^2]^{-1} \text{ (MHz)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:  $L$ ——预期的试样最大长度, km;

$S_0$ ——预期的零色散斜率, ps/(nm<sup>2</sup> · km);

$\lambda_0$ ——预期的零色散波长, nm;

$\lambda_i, \lambda_j$ ——测量中采用的使  $f_{\max}$  最低的一对波长, nm。

另外,为保证试验装置有足够的测量精度,光源调制频率必须足够高。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) 应按下式确定:

$$f_{\min} = \frac{\Delta\phi \times 10^7}{L(\Delta\lambda)^2} \text{ (MHz)} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:  $\Delta\phi$ ——试验设备总的相位不稳定性, (°);

$L$ ——对试样预期的最短长度, km;

$\Delta\lambda$ ——光源波长间隔平均值, nm。

#### 8.2.1.3 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。

检测器—放大器—相位计系统应只对调制信号的主付里叶分量响应,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。

#### 8.2.1.4 参考信号

为测量信号源的相位,应向相位计提供一个具有与调制信号相同的主付里叶分量的参考信号。参考信号相位应与调制信号同步,一般从调制信号中分离出来。下面给出参考信号的实例(见图 15 和图 16):

- a) 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。
- b) 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。
- 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。
- d) 现场试验(信号源和检测器异地)用的参考信号也可用波分复用在被试光纤上传送。

#### 8.2.1.5 计算设备

计算机可用于设备控制、数据采集和数据的数值计算。

#### 8.2.2 试样和校准光纤

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。

相位校准光纤类型应与试样光纤相同,以便输入相位的测定或输入相位的均衡。校准光纤长度应短于或等于被试光纤长度的 0.2%。

#### 8.2.3 注入条件

应采用合适器件将信号源输出耦合到被试光纤或相位校准光纤,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。

应采用一个半径足够小的单圈来消除感兴趣波长范围内的高阶模,使截止波长移至感兴趣的最短波长以下。

A1 类多模光纤的注入条件应按方法 GB/T 15972-C2A——冲击响应中的规定。

#### 8.2.4 程序

##### 8.2.4.1 校准

a) 将相位校准光纤插入试验装置,并建立参考信号。测量和记录每个波长上信号相对于参考信号的相位  $\phi_{in}(\lambda_i)$ 。

注:如设备有较好的长期相位稳定性,可不要求对每次测量进行校准。

b) 如果信号是相位可调的,那么在相位校准光纤安装就位的情况下,所有信号的相位都将均衡。在这种情况下, $\phi_{in}(\lambda_i)=0$ 。

##### 8.2.4.2 试样测量

a) 将被试光纤插入试验装置,并建立参考信号。测量和记录每个波长上信号相对于参考信号的相位  $\phi_{out}(\lambda_i)$ 。

b) 在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。单位长度的相对群时延  $\tau(\lambda_i)$  为:

$$\tau(\lambda_i) = [\phi_{out}(\lambda_i) - \phi_{in}(\lambda_i)] \frac{10^6}{360fL} \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:  $\phi_{out}(\lambda_i)$ ——测得的输出相位,°;

$\phi_{in}(\lambda_i)$ ——测得的输入相位,°;

$f$ ——光源调制频率,MHz;

$L$ ——扣除校准光纤长度后被测试样长度,km。

##### 8.2.4.3 计算

如需计算零色散波长  $\lambda_0$ ,测量波长应覆盖零色散波长  $\lambda_0$  或至少包括  $\lambda_0$  附近 100 nm 以内一点。

a) A1 类多模光纤和 B1.1 类单模光纤

单位长度光纤群时延曲线  $\tau(\lambda)$  通过下面的三项拟合式来拟合:

$$\tau(\lambda) = A + B\lambda^2 + C\lambda^{-2} \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(16a)$$

式中: $A$ 、 $B$ 、 $C$  是拟合系数。

或者等效采用下式来拟合:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{8} \left( \lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(16b)$$

式中: $\tau_0$ ——零色散波长  $\lambda_0$  处最小相对群时延,ps/km;

$S_0$ ——零色散波长  $\lambda_0$  处的斜率,ps/(nm<sup>2</sup>·km)。

将  $\tau(\lambda)$  对波长微分得到波长色散系数  $D(\lambda)$ :

$$D(\lambda) = 2(B\lambda - C\lambda^{-3}) \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(17a)$$

或:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left( \lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right) \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(17b)$$

#### b) B1.2 类单模光纤

单位长度光纤群时延曲线  $\tau(\lambda)$  用公式(18)拟合:

$$\tau(\lambda) = \tau_{1550} + 0.5S_{1550}(\lambda - 1550)^2 + \lambda D_{1550} \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中: $\tau_{1550}$ ——在波长 1 550 nm 处的相对群时延,(ps/km);

$S_{1550}$ ——在波长 1 550 nm 处的色散斜率,(ps/(nm<sup>2</sup>·km));

$D_{1550}$ ——在波长 1 550 nm 处的色散系数,(ps/(nm·km))。

将  $\tau(\lambda)$  对波长微分得到波长色散系数  $D(\lambda)$ :

$$D(\lambda) = S_{1550}(\lambda - 1550) + D_{1550} \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(19)$$

#### c) B2 类单模光纤

单位长度光纤群时延曲线  $\tau(\lambda)$  用公式(20)拟合:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(20)$$

将  $\tau(\lambda)$  对波长微分得到波长色散系数  $D(\lambda)$ :

$$D(\lambda) = S_0(\lambda - \lambda_0) \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(21)$$

注

1 在 1 500 nm~1 600 nm 波长范围内, $\tau(\lambda)$  和  $D(\lambda)$  的拟合公式是足够精确的。但这些公式并不意味着可用于 1 300 nm 波段。

2 另一方面,波长色散系数可直接测量,例如采用微分相移法。在这种情况下,应采用直线直接对波长色散系数拟合来确定  $\lambda_0$  和  $S_0$ 。

#### d) B3 类单模光纤

单位长度光纤群时延曲线  $\tau(\lambda)$  用下面五项拟合式拟合:

$$\tau(\lambda) = A + B\lambda^2 + C\lambda^{-2} + D\lambda^4 + E\lambda^{-4} \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(22a)$$

式中: $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  是拟合系数。

在 1 200 nm~1 600 nm 波长范围,系数  $E$  很小,因此可采用下列简化的四项拟合式:

$$\tau(\lambda) = A + B\lambda^2 + C\lambda^{-2} + D\lambda^4 \quad (\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(22b)$$

将  $\tau(\lambda)$  对波长微分得到波长色散系数  $D(\lambda)$ :

$$D(\lambda) = 2B\lambda - 2C\lambda^{-3} + 4D\lambda^3 - 4E\lambda^{-5} \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(23a)$$

或:

$$D(\lambda) = 2B\lambda - 2C\lambda^{-3} + 4D\lambda^3 \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(23b)$$

注:在 1 200 nm~1 600 nm 波长范围内,这些公式是足够精确的。

### 8.2.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称,必要时可附上所用的拟合公式;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度;
- 4) 试验数据;
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 所用光源和测量波长说明;
- 2) 调制器频率;
- 3) 信号检测器和信号检测电子系统说明;
- 4) 计算技术。

### 8.3 方法 GB/T 15972-C5B——脉冲时延法

本方法适用于在实验室、工厂和现场测量长度大于 1 km 的 B 类单模光纤和 A1 类多模光纤的波长色散,在测量精度或重复性满足要求的情况下,也可测量长度更短的光纤。本方法可在 1 060 nm~1 700 nm 波长范围内测量。

#### 8.3.1 装置

##### 8.3.1.1 光源

本装置应采用 FWHM 谱宽不大于 10 nm 的光源。

##### a) 光纤喇曼激光器

可采用光纤喇曼激光器系统,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光脉冲,其半幅全时宽度(FDWM)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。

采用光纤喇曼激光器的试验装置如图 17 所示。

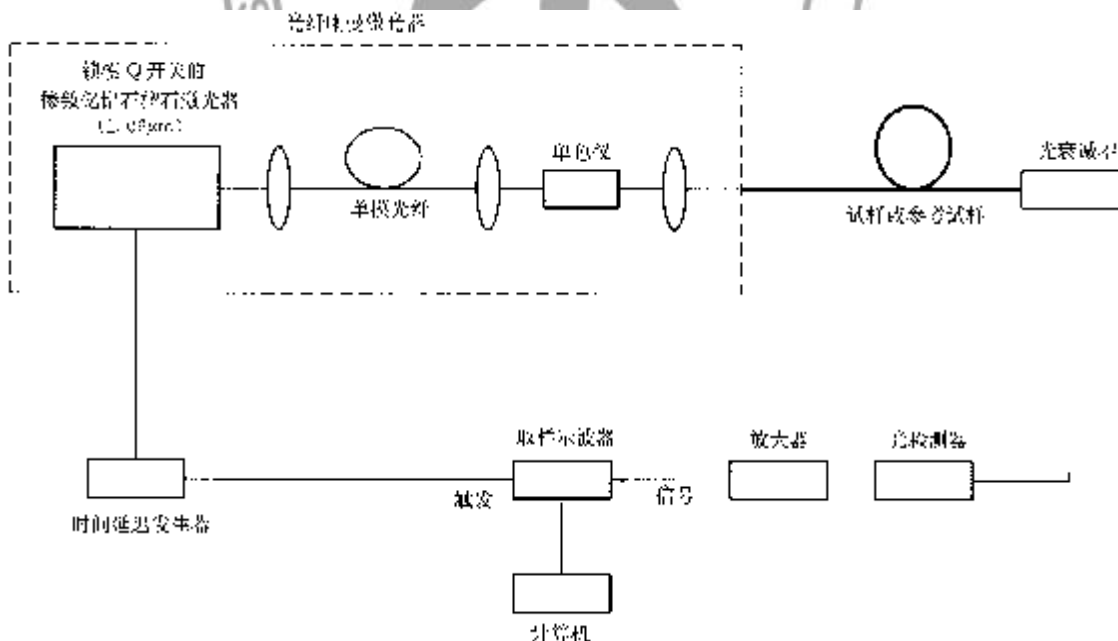


图 17 脉冲时延法试验装置(光纤喇曼激光器)

## b) 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(FDHM 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 18 所示。

## c) 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(FDHM 小于 400 ps)。在测量期间,应能保持波长稳定和稳定的触发。

## 8.3.1.2 输入定位装置

应提供某种方法将试样输入端与光源耦合,可以采用 x-y-z 微调定位器或诸如连接器、真空接头、三针接头等这样的机械耦合。在测量期间,试样输入端位置应保持稳定。

## 8.3.1.3 输出定位装置

应提供某种方法(例如透镜或者与检测器尾纤的机械连接)对试样输出端进行定位,将试样传导的光功率耦合到检测器。

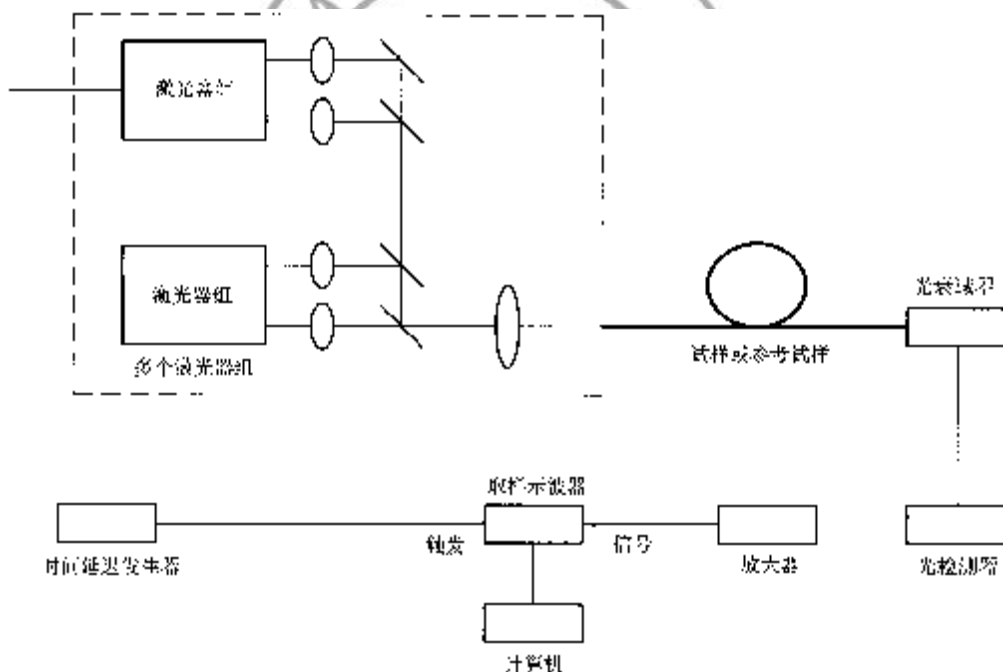


图 18 脉冲时延法试验装置(多个激光器组)

## 8.3.1.4 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 FDHM 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,从而不影响确定脉冲峰的时间位置。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。

## 8.3.1.5 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。

## 8.3.1.6 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/km。

### 8.3.1.7 计算设备

可采用计算机用于设备控制、数据采集和数据的数值计算。

### 8.3.2 试样

8.3.2.1 试样可以是光纤或光缆。其长度应足以使波长色散系数不精确性减至最小。

8.3.2.2 在试样输入端和输出端应制备平整的端面。

8.3.2.3 应采用与试样类型相同的参考光纤,以获得系统的输入脉冲数据。参考光纤长度应短于或等于试样长度的 0.2%。

### 8.3.3 注入条件

应提供合适方法将所选定波长的脉冲注入到被测试样。如果光源采用单色仪或类似的波长选择器件,则应提供某种方法定位试样,使选定波长的脉冲耦合进被测试样。此外,如果关闭光源,可采用一个光学系统观察试样输入端的位置。本试验方法用于测量渐变型折射率分布多模光纤时,注入条件应按方法 GB/T 15972-C2A——冲击响应中的规定。

### 8.3.4 程序

#### 8.3.4.1 参考试样的测量

a) 将参考光纤放入试验装置,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) 脉冲位置由其波峰或中心点确定。将该波长作为基准波长,记录该基准波长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  $\lambda_i$  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,就必须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。

#### 8.3.4.2 试样测量

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) 按 8.3.4.1 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(由 8.3.4.2 中 b) 确定)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,则应按 8.3.4.1 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。单位长度的群时延为:

$$\tau(\lambda) = (\tau_{out}(\lambda_i) - \tau_{in}(\lambda_i))/L(\text{ps/km}) \quad \dots\dots\dots(24)$$

式中:  $\tau_{out}(\lambda_i)$ ——输出脉冲时间差,ps;

$\tau_{in}(\lambda_i)$ ——输入脉冲时间差,ps;

$L$ ——扣除参考光纤长度后的被测试样长度,km。

#### 8.3.4.3 计算

对 B 类单模光纤和 A1 类多模光纤,群时延曲线  $\tau(\lambda)$  的拟合和波长色散系数  $D(\lambda)$  的计算按 8.2.4.3 的规定。

### 8.3.5 结果

a) 测量结果的报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称,必要时可附上所用的拟合公式;
- 2) 试样识别号;
- 3) 试样长度;

- 4) 试验数据;
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。
- b) 报告中也可包括下列内容:
  - 1) 所用的光源和测量波长说明;
  - 2) 输入脉冲的半幅全时;
  - 3) 信号探测器、信号检测电子系统和延迟器件说明;
  - 4) 计算技术。

#### 8.4 方法 GB/T 15972-C5C——微分相移法

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。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。本方法适合于测量长度大于1 km的B类单模光纤波长色散系数,在测量精度或重复性满足要求的情况下,也可以测量长度更短的光纤。

##### 8.4.1 装置

###### 8.4.1.1 光源

###### a) 多只激光器

每次测量要求有两个波长的激光器(波长间隔一般为2 nm~20 nm)。测量期间,在偏置电流和调制频率下及激光器所处的温度内,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。

合适的试验装置如图19所示:

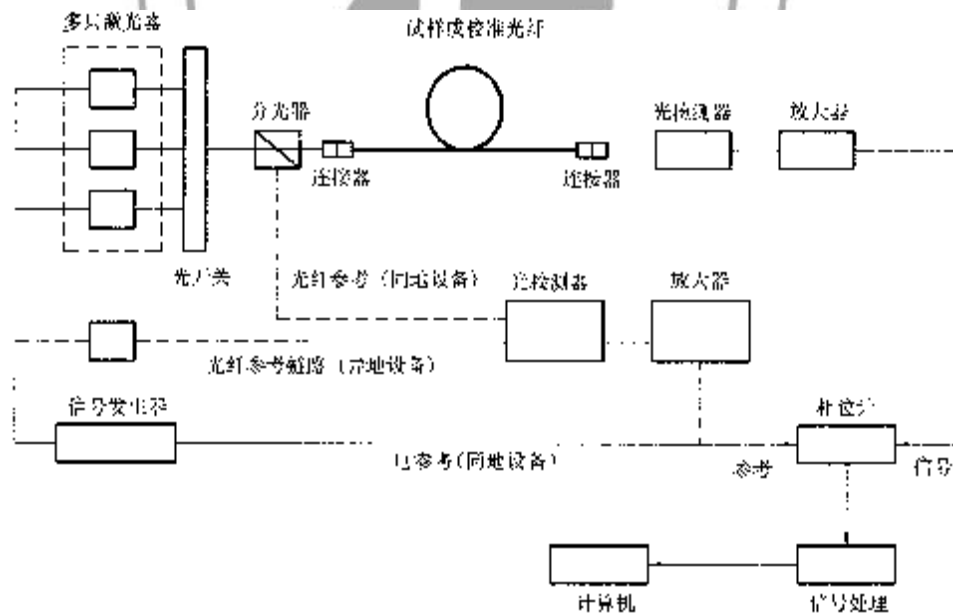


图19 微分相移法试验装置(多只激光器)

###### b) 经滤光的发光二极管

应采用一只或多只LED。一般应通过单色仪等装置对输出光谱进行滤光,以获得FWHM为1 nm~5 nm的谱线。测量要求的波长间隔一般为2 nm~20 nm。

合适的试验装置如图 20 所示。

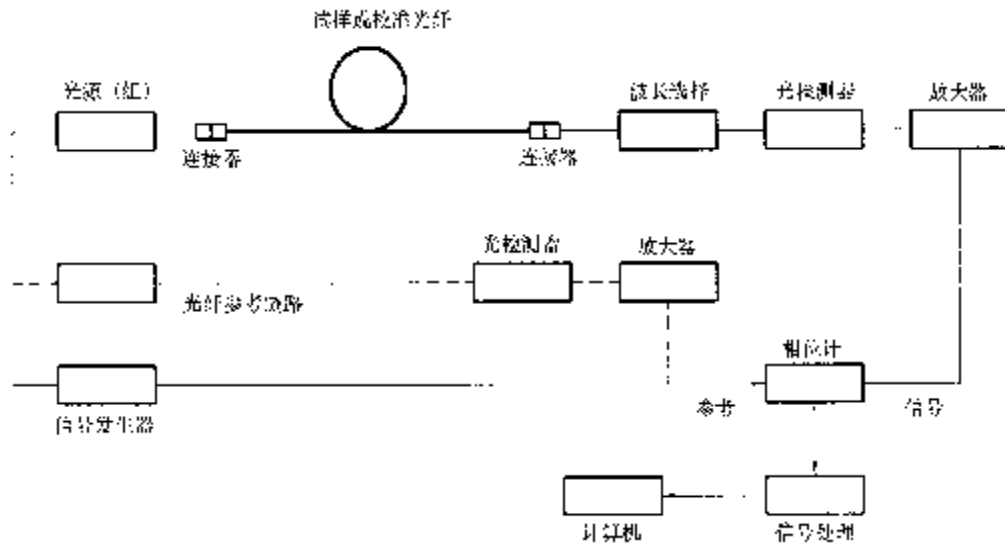


图 20 微分相移法试验装置(LED)

#### 8.4.1.2 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付里叶分量的波形。调制频率稳定度一般要求  $0.01 \times 10^{-6}$ 。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)应按下式确定:

$$f_{\max} = \frac{4 \times 10^{12} \lambda_i^3 (\lambda_i^4 - \lambda_0^4)^{-1}}{S_0 L \Delta \lambda} \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:  $L$ ——试样长度, km;

$S_0$ ——预期的零色散斜率, ps/(nm<sup>2</sup> · km);

$\lambda_0$ ——预期的零色散波长, nm;

$\lambda_i$ ——使  $f_{\max}$  最小的光源波长, nm;

$\Delta \lambda$ ——微分相位测量点间的波长间隔, nm。

另外,为保证试验装置有足够的测量精度,光源调制频率必须足够高。

#### 8.4.1.3 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。

检测器—放大器—相位计系统应只对调制信号的主付里叶分量响应,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:

a) 图 19 和图 20 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 20 中标有“信号处理”的单元可由计算机实现其功能。

b) 图 21 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。

c) 图 22 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。

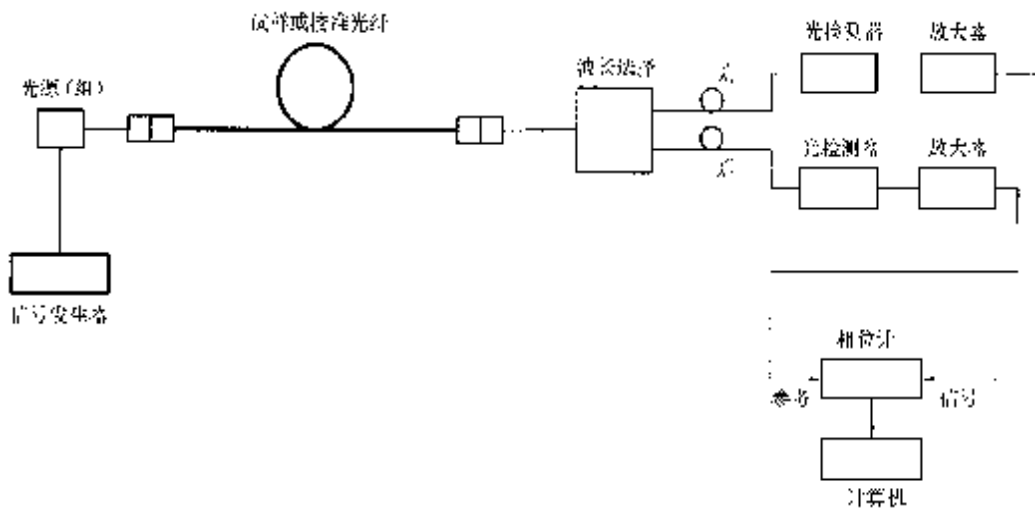


图 21 微分相移法试验装置(用双波长测量微分相位)

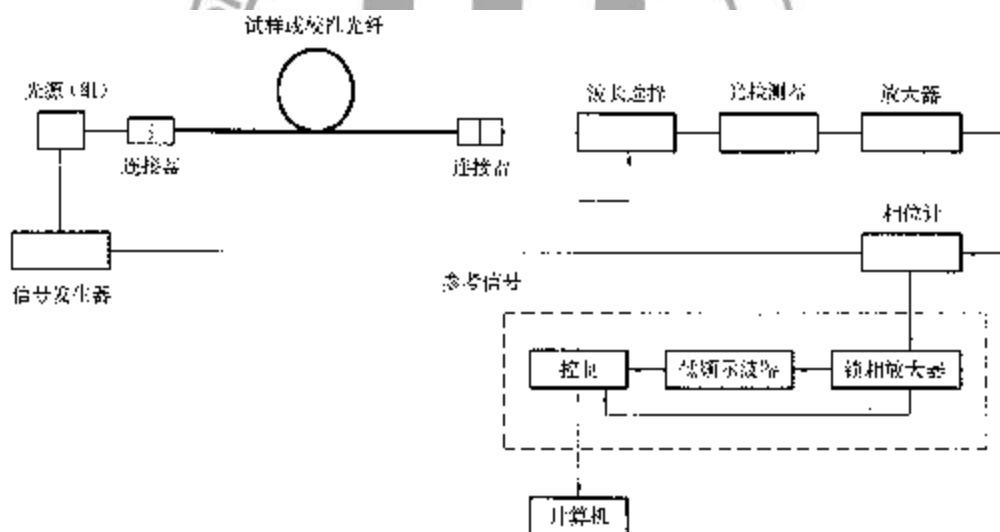


图 22 微分相移法试验装置(用双调制测量微分相位)

#### 8.4.1.4 参考信号

应给相位计提供与调制信号相同的主付里叶分量的参考信号,以测量信号相对于参考信号的微分相位。参考信号必须与调制信号同步,一般是从调制信号中分出。参考信号的实例如下(见图 19):

- 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。
- 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。
- 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。

#### 8.4.1.5 计算设备

可采用计算机用于设备控制、数据采集和数据的数值计算。

### 8.4.2 试样和校准光纤

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。

微分相位校准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。校准光纤长度应短于或等于被试光纤长度的0.2%。

### 8.4.3 注入条件

信号应耦合到被试光纤或微分相位校准光纤(参考光纤),使得在微分相位测量期间每一信号的物理光程保持恒定。对于单模光纤,合适的器件可包括多通道单模光开关或活动光连接器。

### 8.4.4 程序

#### 8.4.4.1 试样测量

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

#### 8.4.4.2 校准

将相位校准光纤放入试验装置并建立参考信号。测量并记录平均波长为 $\lambda_i$ 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,应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。

#### 8.4.4.3 计算

##### a) 波长色散系数

每一波长 $\lambda_i$ 处的波长色散系数 $D(\lambda_i)$ 由下式给出:

$$D(\lambda_i) = \frac{\Delta\phi(\lambda_i) - \Delta\phi'(\lambda_i)}{360fL\Delta\lambda} 10^{12} \quad (\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) \quad \dots\dots\dots(26)$$

式中: $\lambda_i$ ——波长 $\lambda_i$ 和 $\lambda''_i$ 的平均值,nm;

$\Delta\lambda$ ——波长 $\lambda_i$ 和 $\lambda''_i$ 的差值,即 nm;

$\Delta\phi(\lambda_i)$ ——被测试样的微分相位,(°);

$\Delta\phi'(\lambda_i)$ ——相位校准光纤的微分相位,(°);

$f$ ——调制频率,Hz;

$L$ ——扣除相位校准光纤长度后的被测试样长度,km。

##### b) 零色散波长 $\lambda_0$ 和零色散斜率 $S_0$

按8.2.4.3的拟合公式对测得的波长色散系数数据进行计算,可求得零色散波长 $\lambda_0$ 和零色散斜率 $S_0$ 。

### 8.4.5 结果

#### a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
  - 2) 试样识别号;
  - 3) 试样长度;
  - 4) 试验数据;
  - 5) 试验日期和操作人员;
  - 6) 环境温度和相对湿度。
- b) 报告中也可包括下列内容:
- 1) 所用光源和测量波长说明;
  - 2) 调制频率;
  - 3) 信号检测器和信号检测电子系统说明;
  - 4) 计算技术和拟合公式。

## 9 数值孔径

渐变折射率多模光纤数值孔径( $NA$ )是一个重要参数,它表明光纤收集光功率的能力。它被用来预测光纤的注入效率、接头连接损耗和微弯/宏弯性能。

可通过测量短段光纤远场辐射图(远场光分布法)确定光纤数值孔径  $NA$ ,其值又称为远场数值孔径  $NA_{\text{ff}}$ 或有效数值孔径  $NA_{\text{ef}}$ ;也可通过测量光纤折射率分布(方法 GB/T 15972-A.1A——折射近场法)来确定,其值称为最大理论数值孔径  $NA_{\text{th}}$ 。

### 9.1 定义

渐变折射率多模光纤最大理论数值孔径  $NA_{\text{th}}$ 定义为:

$$NA_{\text{th}} = \sin \theta_m \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中: $\theta_m$ ——光纤传导的最大子午光线角。

根据光纤折射率分布可得出:

$$NA_{\text{th}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \dots\dots\dots (28a)$$

或

$$NA_{\text{th}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \dots\dots\dots (28b)$$

式中: $\Delta$ ——芯包相对折射率差,  $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ ,  $\Delta \ll 1$ ;

$n_1$ ——纤芯的最大折射率;

$n_2$ ——最内均匀包层的折射率。

采用远场光分布法可获得远场辐射图  $I(\theta)$ ,远场数值孔径  $NA_{\text{ff}}$ 定义为光强下降到最大值 5%处的半角( $\theta_5$ )的正弦,即:

$$NA_{\text{ff}} = \sin \theta_5 \quad \dots\dots\dots (29)$$

$NA_{\text{ff}}$ 和  $NA_{\text{th}}$ 之间的关系与测量波长有关。测量远场光分布大多在 850 nm 波长上进行,而测量折射率分布通常在 540 nm 或 633 nm 波长上进行。对这些波长, $NA_{\text{ff}}$ 与  $NA_{\text{th}}$ 之间的关系由下式给出:

$$NA_{\text{ff}} = k NA_{\text{th}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中: $k$ ——修正系数,取值为 0.95 和 0.96,分别对应测量波长 540 nm 和 633 nm。

应将 850 nm 波长上测得的  $NA_{\text{ff}}$ 作为光纤的数值孔径。它可直接通过测量 850 nm 波长上的远场光分布获得,或间接由  $NA_{\text{th}}$ 来获得。

### 9.2 方法 GB/T 15972-C6——远场光分布法

本方法是测量光纤数值孔径的基准试验方法(RTM)。远场光分布法是测量光纤远场角辐射光强分布,通过 9.1 中的定义式计算出多模光纤的数值孔径  $NA_{\text{ff}}$ 。

#### 9.2.1 装置

合适的试验装置如图 23 所示。

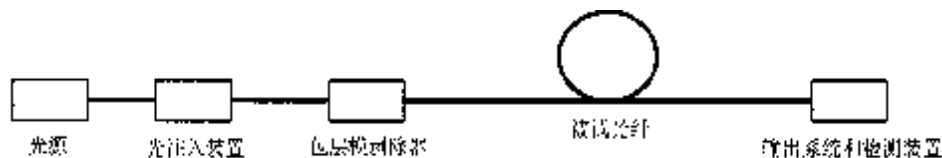


图 23 远场光分布法试验装置

##### 9.2.1.1 光源

应采用非相干光源,它能在试样端面上产生基本恒定的辐射(光强变化小于 10%)面。在完成测量过程的时间内,其强度和位置应保持稳定。除非另有规定,光源中心波长应为 850 nm ± 25 nm。

##### 9.2.1.2 光纤输入端固定和对中

应配置固定试样输入端装置,以便能稳定并可重复地定位而不使光纤明显变形。应提供合适的装置

以使输入端面与注入光束对中。应提供一种对试样端面对中情况检验的方法。

### 9.2.1.3 包层模剥除器

应采用一个合适的包层模剥除器,以消除包层中传输的光功率。

### 9.2.1.4 输出系统和检测装置

可采用三种等效方法检测试样出射远场的角辐射强度分布。方法 A 和 B 是远场辐射图的角扫描:方法 C 是角辐射强度图空间变换的扫描(可采用小光敏面或大光敏面的扫描检测器)。

#### a) 角扫描——方法 A(见图 24)

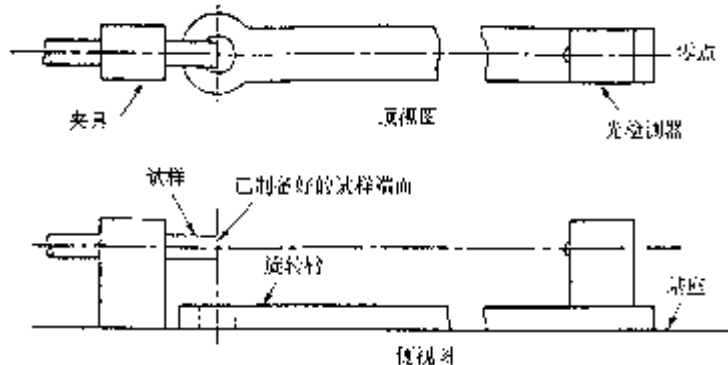


图 24 方法 A

#### 1) 光纤输出端固定和对中

应采用试样输出端固定和对中的装置,使得试样输出端面与光检测器的旋转轴重合、试样输出端面中心与光检测器表面中心轴线重合。

#### 2) 检测系统机械装置

应采用旋转光检测器的合适装置,使检测器基本上能沿检测到试样全部输出光辐射的圆弧扫描(例如一个经过校准的测角器)。机械装置旋转轴应与试样端面重合并垂直于试样轴线,机械装置旋转平面应包含试样轴线。应提供一种装置记录试样输出端轴线与检测器和试样端面之间的假想线形成的夹角。

#### b) 角扫描——方法 B(见图 25)

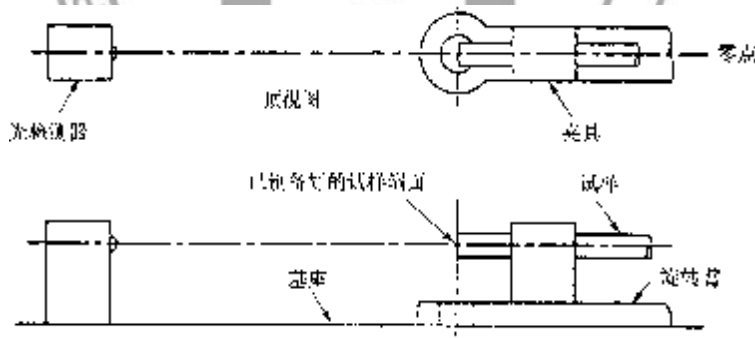


图 25 方法 B

应采用一种固定试样的装置,使试样输出端面与试样转轴重合、试样输出端面中心与光检测器表面中心轴线重合。这种装置(即测角器或精密转动台)应充分转动,使固定的检测器能扫描旋转平面中试样的全部输出光辐射。即转角应大于试样输出辐射的最大角度。应提供一种装置以记录试样输出端轴线与检测器和试样端面之间的假想线形成的夹角。

#### c) 空间场图扫描——方法 C(见图 26)

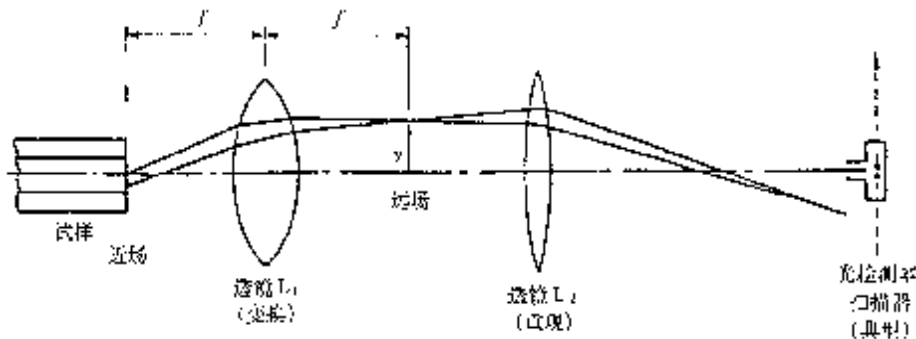


图 26 方法 C

## 1) 光纤输出端固定装置

应提供试样输出端固定并对中的装置,该装置能进行稳定并可重复的定位。

## 2) 远场变换和投影

应采用诸如显微镜物镜或经适当校准透镜的合适方法,获得光纤输出近场图形的付里叶变换,形成试样远场的空间图。

应用带针孔的检测器扫描该图形或该图形的像,并记录远场光强。针孔直径应小于或等于系统衍射极限的一半:

$$d \leq (1.22M\lambda f)/2D \quad \dots\dots\dots(31)$$

式中: $d$ ——针孔直径, $\mu\text{m}$ ;

$\lambda$ ——光纤出射光波长, $\text{nm}$ ;

$f$ ——变换透镜焦距, $\text{mm}$ ;

$D$ ——纤芯直径, $\mu\text{m}$ ;

$M$ ——变换透镜后焦面到扫描平面的放大率。

透镜 $L_1$ 的数值孔径应足够大,不得限制光纤试样的数值孔径。当远场图由透镜重现时,为避免图像周围变暗,重现透镜 $L_2$ 的直径 $D_{L2}$ 应足够大:

$$D_{L2} > 2f \frac{\sin\phi}{\cos\phi} \quad \dots\dots\dots(32)$$

式中: $\sin\phi$ 是数值孔径,NA。

## 3) 扫描系统

应提供用诸如带针孔检测器扫描远场图的方法。

## 4) 系统校准

为了确定扫描系统移动距离与变换透镜后焦面上扫描实际距离之间的变换系数,应进行校准。为此可采用一块尺寸已知的模板,小心地置于透镜 $L_1$ 的后焦面中。

反映空间变换平面(图26中透镜 $L_1$ 后焦面)上某点至中心轴线的距离 $y$ 与该点和中心轴线夹角 $\theta$ 的关系如下式所示:

$$y = f\sin\theta \quad \dots\dots\dots(33)$$

式中: $y$ ——空间变换平面上某点至中心轴线的距离, $\text{mm}$ ;

$f$ ——变换透镜 $L_1$ 的焦距, $\text{mm}$ ;

$\theta$ ——空间变换平面上某点与中心轴线的夹角。

## 5) 记录系统

应提供一种测量光强 $E(y)$ 的装置,它是扫描位置 $y$ 的函数。应按下式修正检测到的光强:

$$I(\theta) = E(y)\cos(\theta) \quad \dots\dots\dots(34)$$

式中: $I(\theta)$ ——光强角度分布;

$y$ ——离空间场图轴线的距离;

$E(y)$ ——距空间场图轴线  $y$  处的辐射强度；

$\theta$ ——与试样输出端轴线的夹角。

#### d) 光检测器

应采用在接收光强范围内线性度优于 5% 的检测器。为了提高分辨率,可采用一个针孔限制检测器的有效尺寸。根据要求的角分辨率,检测器或针孔尺寸由下式确定:

$$d = \frac{\theta R}{0.006} \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中: $d$ ——检测器(或针孔)直径, $\mu\text{m}$ ;

$\theta$ ——要求的角分辨率, $^\circ$ ;

$R$ ——试样输出端面到检测器或针孔的距离, $\text{cm}$ 。

分辨率一般不大于  $0.5^\circ$ 。 $R$  还应符合远场要求:

$$R \geq d'^2/\lambda \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中: $R$ ——试样输出端面到检测器或针孔的距离, $\text{mm}$ ;

$d'$ ——试样出射区直径, $\mu\text{m}$ ;

$\lambda$ ——光源中心波长, $\text{nm}$ 。

#### 9.2.2 注入条件

应采用一光学元件系统,以产生单色的(FWHM 宽度小于  $100\text{ nm}$ )基本恒定的辐射光斑。光斑直径大于试样端面直径,光斑数值孔径大于试样数值孔径。可采用光学滤光器限制光源谱宽。

#### 9.2.3 试样

试样长度应为  $2.0\text{ m} \pm 0.2\text{ m}$ 。试样端面应光滑、平整并垂直于光纤轴。由于测量精度受试样端面不垂直性的影响,端面角宜小于  $2^\circ$ 。

#### 9.2.4 程序

9.2.4.1 将试样两端置于对中固定装置上。输入端应大致在恒定辐射光斑聚焦像的中心。

9.2.4.2 将光源调到要求的波长和谱宽。

9.2.4.3 扫描远场辐射图,并记录作为角位置函数的光强。

#### 9.2.5 计算

##### 9.2.5.1 百分之五光强角( $\theta_5$ )

从远场光辐射图上找出光强为最大值 5% 处的点,将这两点对应的半角作为  $\theta_5$  记录下来。

##### 9.2.5.2 数值孔径( $NA_{\#}$ )

远场数值孔径  $NA_{\#}$  可用公式(29)计算出来。

#### 9.2.6 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 远场数值孔径;
- 4) 光源波长(不是  $850\text{ nm}$  时,需要指明);
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 试验系统校准和角分辨率;
- 2) 注入光斑尺寸和数值孔径;
- 3) 包层模剥除方法;
- 4) 扫描方法。

## 10 截止波长

测量单模光纤截止波长和成缆单模光纤截止波长的试验方法是传输功率法。该方法是在一定条件下,把通过被试光纤(或光缆)的传输功率与参考传输功率随波长的变化相比较,根据定义,得出截止波长值。

### 10.1 定义

当光纤中的模大体上被均匀激励情况下,包括注入较高次模在内的总光功率与基模光功率之比随波长减小到规定值时所对应的较大波长就是截止波长。

该规定值一般为 0.1 dB。根据该定义,在截止波长处被测试样中  $LP_{11}$  模的衰减是 19.3 dB。

本章规定了两种类型截止波长:

- a) 对短长度未成缆预涂覆单模光纤测得的截止波长  $\lambda_c$ ;
- b) 在应用条件下对成缆单模光纤测得的截止波长  $\lambda_{cc}$ 。

为了避免模式噪声和色散功率代价,最短缆长(当出现修护时,包括维修缆长)的截止波长  $\lambda_{cc}$  应小于最短预期的系统工作波长  $\lambda_s$ :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad \dots\dots\dots (37)$$

这就确保每段光缆都处于单模工作状态。

### 10.2 方法 GB/T 15972-C7A——传输功率法(单模光纤截止波长的测定)

#### 10.2.1 装置

测量预涂覆单模光纤截止波长的典型试验装置如图 27 所示。

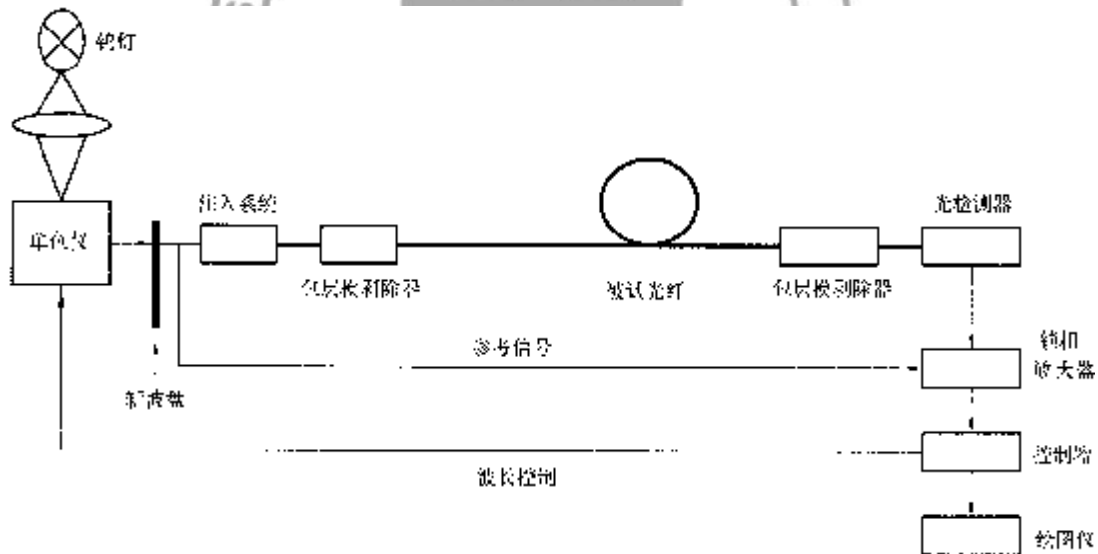


图 27 传输功率法试验装置

#### 10.2.1.1 光源

应采用 FWHM 谱宽不超过 10 nm 的光源。在完成测量过程的时间内,其位置、强度和波长应保持稳定,并能够在足够宽的波长范围内工作。其波长范围应足以覆盖所期望的截止波长。

#### 10.2.1.2 调制

为防止背景光影响测量结果并有助于信号恢复,应对光源进行调制。如采用光谱分析仪之类的试验设备,可不需对光源进行调制。

#### 10.2.1.3 固定和定位装置

在测量期间应稳定地固定试样输入端和输出端,可采用诸如真空吸盘、磁性吸盘或连接器这类装置,使光纤端面能在注入光学系统和检测光学系统中进行重复定位。

#### 10.2.1.4 包层模剥除器

为防止包层模的传输和检测,应在试样输入端和输出端采用包层模剥除器,但应避免影响  $LP_{11}$  模的传输。当涂料折射率等于或大于光纤包层折射率时,就不需要包层模剥除器。

#### 10.2.1.5 光检测器组件

应采用将试样出射的全部光功率耦合进检测器光敏区的检测光学系统。例如可采用光学透镜系统、与带多模光纤尾纤检测器对接或直接耦合。

采用在测量波长范围内灵敏的、在接收光强范围内具有较好线性的光检测器。典型的系统在采用锁相放大器和斩波组件进行同步检测时,可包括光生伏打型锗或铟镓砷光电二极管和电流输入前置放大器。

#### 10.2.1.6 信号处理

通常采用一台计算机用于数据采集和分析。

#### 10.2.2 试样

预涂覆单模光纤截止波长的测定是在长度为  $2\text{ m}(\pm 0.2\text{ m})$  的光纤上进行。一种方法是将光纤弯成半径为  $140\text{ mm}$  整圆圈的松弛环;另一种方法是将光纤弯成由切线相连的半径为  $140\text{ mm}$  的两个圆弧(每个  $180^\circ$ )组成的松弛环,如图 28 所示。图中下部的半圆芯轴可以移动,以收紧松弛的光纤而不动光学系统中的任何部分。

光纤试样其他部分应基本不受外部应力,但允许有弯曲半径不小于  $140\text{ mm}$  的较大弯曲,他们不应使测量结果产生重大变化。

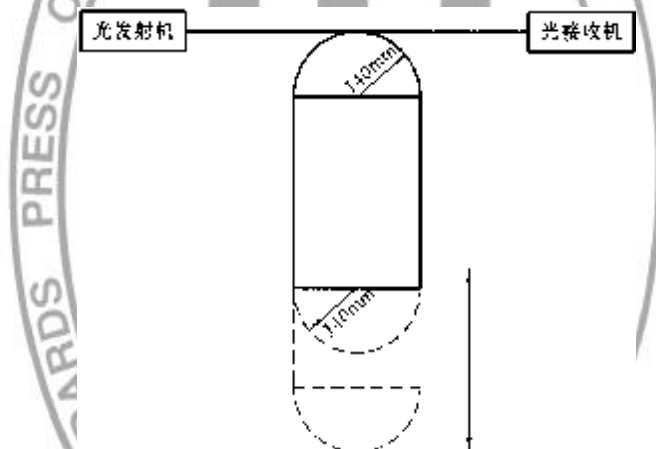


图 28 单模光纤截止波长测定的一种试样安排

#### 10.2.3 参考试样

测量截止波长时,参考试样应是下面的任何一种:

a) 保持被测试样注入条件不变,在试样上打一个足以在大于截止波长的波长上滤除  $LP_{11}$  模的小环。小环半径的典型值是  $30\text{ mm}$ 。

b) 用一短段( $1\sim 2\text{ m}$ )多模光纤。

注:采用方法 b) 时,为了减少漏模的影响,光注入条件可限制在仅充满多模光纤芯径和数值孔径的  $70\%$ ,或者采用一合适的滤模器。

#### 10.2.4 注入条件

应采用诸如透镜系统或多模光纤这样的注入光学系统,在整个测量波长范围内对试样进行满注入。这种注入方式对单模光纤输入端面的位置不太敏感并足以在试样中激励起基模和任何高阶模。如果采用对接,则应避免干涉效应。

当采用多模光纤作参考试样时,对参考光纤的满注入可能在传输功率谱中产生不希望的纹波。对这种注入应加以限制以充分消除纹波效应。一个实例在方法 GB/T 15972-C1A 中给出;限制注入的另一个实例是采用具有足够(约  $4\text{ dB}$ )插入损耗的芯轴卷绕式滤模器。

## 10.2.5 程序

### 10.2.5.1 测量光功率谱 $P_1(\lambda)$

将制备好的试样放入试验装置。光纤输入端与注入光束对准,光纤输出端对准光检测器的光敏面。启动试验装置,测出试样光功率谱  $P_1(\lambda)$ 。

### 10.2.5.2 测量参考光功率谱 $P_2(\lambda)$

采用 10.2.3 中 a) 获取参考试样时,启动试验装置,在相同波长点上测出参考光功率谱  $P_2(\lambda)$ 。

采用 10.2.3 中 b) 获取参考试样时,将参考试样制备好后放入试验装置。光纤输入端与注入光束对准,光纤输出端对准光检测器的光敏面。启动试验装置,在相同波长点上测出参考光功率谱  $P_2(\lambda)$ 。

## 10.2.6 计算

### 10.2.6.1 截止波长确定

定义

$$R(\lambda) = 10 \lg (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (38)$$

#### a) 被试单模光纤作参考试样

采用 10.2.3 中 a) 时,如图 29 所示,截止波长是由  $R(\lambda)$  等于 0.1 dB 对应的最大波长确定。确定截止波长时,  $\Delta R$  应不小于 2 dB。

如果  $\Delta R$  小于 2 dB,则应加大波长扫描范围,扩大单模注入条件,或者减小小弯半径;如果在长波长区域  $R(\lambda)$  随波长增加,则应加大小弯半径。反复作这些调整,直到  $\Delta R$  不小于 2 dB,并且  $R(\lambda)$  在长波长区域基本与波长无关。

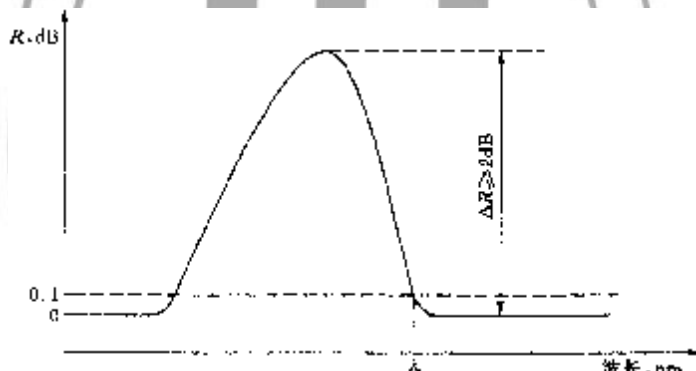


图 29 被试单模光纤作参考试样时典型截止波长曲线

#### b) 多模光纤作参考试样

采用 10.2.3 中 b) 时,如图 30 所示,截止波长是由曲线  $R(\lambda)$  长波长部分拟合的直线(1)位移 0.1 dB 而形成的直线(2)与曲线  $R(\lambda)$  的相交点确定。确定截止波长时,  $\Delta R$  应不小于 2 dB。

如果  $\Delta R < 2$  dB,则应加大波长扫描范围,扩大单模注入条件。反复作这些调整,直到  $\Delta R$  不小于 2 dB,并且  $R(\lambda)$  曲线在长波长区域有足够的长度可以拟合成一条直线。

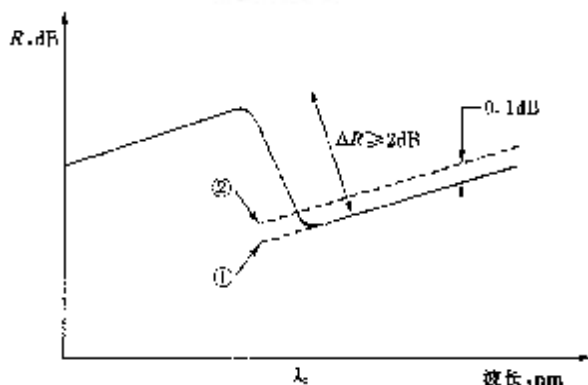


图 30 多模光纤作参考试样时典型截止波长曲线

## 10.2.6.2 截止波长测量曲线拟合法

为改善截止波长的测量精度,可以对测量曲线进行拟合。该方法采用六个步骤完成曲线的拟合和计算。第一步和第二步定义  $LP_{01}$  区,即大波长区;第三步和第四步定义变化区,在该区内  $LP_{11}$  模衰减开始增加;第五步用一理论模型描述变化区;第六步根据特征参数计算截止波长。

## a) 第一步——定义大波长区

采用 10.2.3 中 b) 时,大波长区的最小波长是该波长区内衰减  $\alpha$  最小的那个波长;

采用 10.2.3 中 a) 时,大波长区的最小波长是使下式最小的那个波长:

$$\alpha(\lambda) - 8 - 8\lambda \quad (\lambda \text{ 用 } \mu\text{m} \text{ 表示})$$

大波长区的最大波长是大波长区的最小波长加上 150 nm。

b) 第二步——将大波长区的衰减曲线  $\alpha(\lambda)$  用波长  $\lambda$  的线性等式表示

$$\alpha(\lambda) = A_u + B_u \lambda \quad \dots\dots\dots (39)$$

采用 10.2.3 中 a) 时,  $B_u$  为零,  $A_u$  定为大波长区衰减值的均值。采用 10.2.3 中 b) 时,大波长区内衰减曲线用特殊的方法拟合:

1)  $A_u$  和  $B_u$  通过使偏差绝对值的和最小来获得。

2) 确定偏差的均值并加到  $A_u$  上。

3) 在大波长区,最小偏差  $E$  由下式确定:

$$E = \min |\alpha(\lambda) - A_u - B_u \lambda| \quad \dots\dots\dots (40)$$

## c) 第三步——找出变化区的最大波长

衰减比由第二步确定的直线高 0.1 dB 的最大波长加上 10 nm 就是变化区最大波长。

## d) 第四步——找出变化区的最小波长

从变化区最大波长(由第三步确定)开始,变化区最小波长是  $\alpha(\lambda) - A_u - B_u \lambda$  最大值处的波长,并且该最大值与在较大波长处最小值的差值最大。

## e) 第五步——用理论模型描述变化区

该模型是变换的线性回归。偏差抑制控制了负的回归偏差,使得拟合直线的反变换不产生小于  $E$  (由第二步确定)的负衰减偏差。采用简单的线性编程方法对数据进行拟合(拟合时应抑制偏差)。

$$\text{令 } \alpha(\lambda) = \alpha(\lambda) - A_u - B_u \lambda \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$Y(\lambda) = 10 \lg \left\{ -\frac{10}{c} \lg \left[ \frac{10^{\frac{\alpha(\lambda)}{10}} - 1}{\rho} \right] \right\} \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中:  $c = 10 \lg \left[ \frac{\rho}{(10^{0.01} - 1)} \right]$

$\rho = 2$  (除非在其他的规范中规定)

上面的等式可用下面的直线拟合:

$$-Y(\lambda) = A_t + B_t \lambda \quad \dots\dots\dots (43)$$

通过使偏差绝对值的和最小来获得  $A_t$  和  $B_t$ , 并且偏差都不小于  $-V(\lambda)$ 。  $V(\lambda)$  由  $E$  的函数给出。

$$W(\lambda) = [1 + \rho 10^{\frac{-A}{10} \times 10^{\frac{Y(\lambda)}{10}}}] [10^{\frac{-E}{10}}] \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$Z(\lambda) = 10 \lg \left[ -\frac{10}{\alpha} \lg \left( \frac{W(\lambda) - 1}{\rho} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (45)$$

$$V(\lambda) = Y(\lambda) - Z(\lambda) \quad \dots\dots\dots (46)$$

## f) 第 6 步——估算变化斜率和计算截止波长

如果  $B_t > -1$ , 则变化区内的最大波长就减少 10 nm, 再重复第 5 步, 直到  $B_t \leq -1$ 。截止波长通过下式计算:

$$\text{截止波长} = -\frac{A_t}{B_t} \quad \dots\dots\dots (47)$$

### 10.2.7 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 截止波长;
- 4) 试验日期和操作人员;
- 5) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 所用参考方法(如采用多模参考光纤,应说明光纤类型);
- 2) 所用设备说明;
- 3) 校准数据;
- 4) 典型谱曲线。

### 10.3 方法 GB/T 15972-C7B——传输功率法(成缆单模光纤截止波长的测定)

本方法描述了测量成缆单模光纤截止波长 $\lambda_c$ 的试验程序。 $\lambda_c$ 的测定值受光缆长度和弯曲条件的影响。

按方法 GB/T 15972-C7A 测得的预涂覆单模光纤的截止波长 $\lambda_c$ 一般大于 $\lambda_c$ 。对于短段光缆,例如尾纤、跳线光缆(长度比本方法规定的要短,或者弯曲半径更大),在大于 $\lambda_c$ 的波长上光缆可能变成多模。在光缆长度甚至小于方法 GB/T 15972-C7A 规定的长度情况下,在大于 $\lambda_c$ 的波长上光缆也可能变成多模。因此测量比本方法规定的试样长度(22 m)短的光缆(例如尾纤、跳线光缆等)时,试样长度应在产品规范中规定。

#### 10.3.1 装置

测量成缆单模光纤截止波长的典型试验装置如图 27 所示。

##### 10.3.1.1 光源

按 10.2.1.1 规定。

##### 10.3.1.2 调制

按 10.2.1.2 规定。

##### 10.3.1.3 固定和定位装置

按 10.2.1.3 规定。

##### 10.3.1.4 包层模剥除器

按 10.2.1.4 规定。

##### 10.3.1.5 光检测器组件

按 10.2.1.5 规定。

##### 10.3.1.6 信号处理

按 10.2.1.6 规定。

#### 10.3.2 试样

10.3.2.1 测量成缆单模光纤截止波长的基准试验方法是在缆长为 22 m 的已成缆单模光纤上进行。试样两端各露出 1 m 长光纤,另 20 m 长的光缆部分放置时应无任何能影响测量值的小弯曲。为模拟接头盒的效果,应在两端露出的 1 m 光纤上分别打一个半径为 40 mm 的环。如图 31 所示。

10.3.2.2 测量成缆单模光纤截止波长的替代试验方法是在纤长为 22 m 的单模光纤上进行。试样两端各留出 1 m 长光纤,其余 20 m 光纤应弯成半径不小于 140 mm 的松弛环。为模拟接头盒的效果,应在两端的 1 m 光纤上分别打一个半径为 40 mm 的环。如图 32 所示。

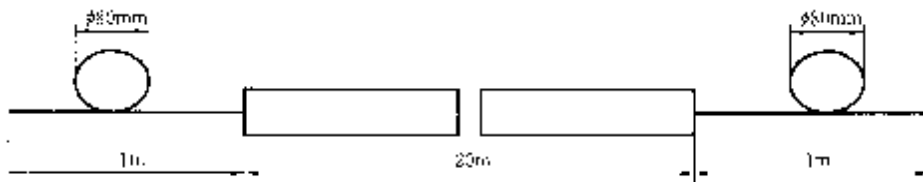


图 31 测量成缆单模光纤截止波长的试样布置(基准试验方法)

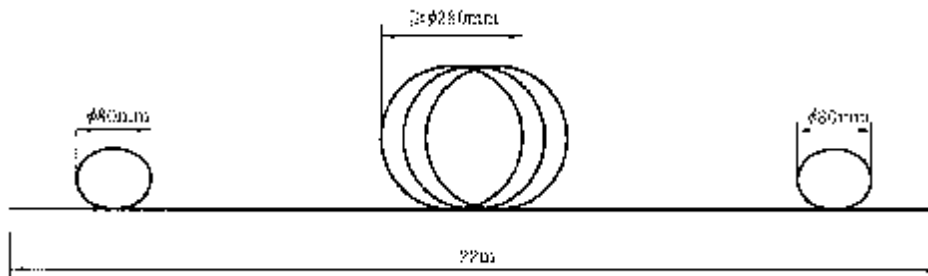


图 32 测量成缆单模光纤截止波长的试样布置(替代试验方法)

**10.3.3 参考试样**

按 10.2.3 规定。

**10.3.4 注入条件**

按 10.2.4 规定。

**10.3.5 程序**

试样应在 10.3.2.1 或 10.3.2.2 提供的试样中选取,或者在产品规范中规定。当使用试样支持系统和包层模剥除器时,应避免任何半径小于 140 mm 的附加弯曲。

当以 10 nm(或更小)的步进量进行波长扫描时,注入条件和检测条件不应该改变。波长扫描范围应足够宽,并覆盖预期的光缆截止波长。

**10.3.5.1 测量光功率谱  $P_1(\lambda)$** 

按 10.2.5.1 规定。

**10.3.5.2 测量参考光功率谱  $P_2(\lambda)$** 

按 10.2.5.2 规定。

**10.3.6 计算**

按 10.2.6 规定。

**10.3.7 结果****a) 测量结果报告应包括下列内容:**

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号
- 3) 试样长度(当长度不是 22 m 时,需要指明);
- 4) 截止波长;
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

**b) 报告中也可包括下列内容:**

- 1) 所用参考方法(如采用多模参考光纤,应说明光纤类型);
- 2) 所用设备说明;
- 3) 校准数据;
- 4) 典型谱曲线。

## 11 模场直径

模场直径是单模光纤基模( $LP_{01}$ )模场强度空间分布的一种度量,它取决于该光纤的特性。

模场直径(MFD)可在远场用远场光强分布  $P_m(\theta)$ 、互补孔径功率传输函数  $\alpha(\theta)$  和在近场用近场光强分布  $f^2(r)$  来测定。模场直径定义与测量方法严格相关。不同试验方法之间的数学等效性如图 33 所示。

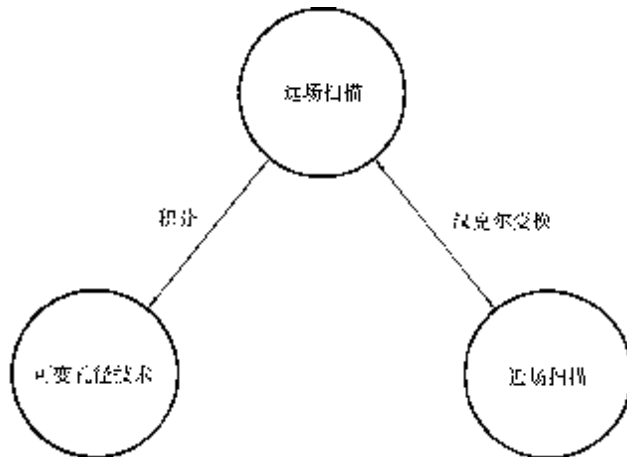


图 33 模场直径三种试验方法之间的数学变换关系

测量单模光纤模场直径的三种试验方法描述如下：

### a) 直接远场扫描法

直接远场扫描法是测量单模光纤模场直径的基准试验方法(RTM)。它直接按照柏特曼(Petermann)远场定义,通过测量光纤远场辐射图计算出单模光纤的模场直径。

### b) 远场可变孔径法

远场可变孔径法是测量单模光纤模场直径的替代试验方法(ATM)。它通过测量光功率穿过不同尺寸孔径的两维远场图计算出单模光纤的模场直径,计算模场直径的数学基础是柏特曼远场定义。

### c) 近场扫描法

近场扫描法是测量单模光纤模场直径的替代试验方法(ATM)。它通过测量光纤径向近场图计算出单模光纤的模场直径,计算模场直径的数学基础是柏特曼远场定义。

这些方法均适用于工作在 1 310 nm 波段或 1 550 nm 波段的 B1 类至 B3 类光纤。

## 11.1 定义

### 11.1.1 基模场

基模场是单模光纤中传输的基模( $LP_{01}$ )模场强度的空间分布。

### 11.1.2 模场直径

由直接远场扫描法测得的远场光强分布  $P_m(\theta)$  确定模场直径( $2W_0$ )的定义式为：

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi} \left[ \frac{\int_0^{\pi/2} P_m(\theta) \sin\theta \cos\theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} P_m(\theta) \sin^3\theta \cos\theta d\theta} \right] \dots\dots\dots (48)$$

式中： $P_m(\theta)$ ——远场光强分布；

$\lambda$ ——测量波长；

$\theta$ ——偏离光纤轴的远场测量角。

上式的积分限为 0 到  $\pi/2$ ,是理解为该积分在自变量的限定内不被截断。但是随着自变量的增大,被积函数很快趋近于零,实际积分上限只要取某个  $\theta_{\max}$  即可。

模场直径的等效转换式可从下面的任何一种方法得到：

## a) 远场可变孔径法

由远场可变孔径法测得的互补孔径功率传输函数  $\alpha(\theta)$  确定模场直径 ( $2W_0$ ) 的等效式为:

$$2W_0 = \frac{\sqrt{2}\lambda}{\pi} \left( \int_0^\infty \alpha(\theta) \sin 2\theta d\theta \right)^{-1/2} \quad \dots\dots\dots (49)$$

式中:  $\lambda$ ——测量波长。

互补孔径功率传输函数  $\alpha(\theta)$  定义为:

$$\alpha(\theta) = 1 - \frac{P(\theta)}{P_{\max}} \quad \dots\dots\dots (50)$$

式中:  $P_{\max}$ ——通过最大孔径的光功率;

$\theta$ ——偏离光纤轴的远场测量角。

## b) 近场扫描法

由近场扫描法测得的近场光强分布  $f^2(r)$  确定模场直径 ( $2W_0$ ) 的等效式为:

$$2W_0 = 2 \left[ 2 \frac{\int_0^\infty r f^2(r) dr}{\int_0^\infty r \left( \frac{df(r)}{dr} \right)^2 dr} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中:  $r$ ——径向坐标。

## 11.1.3 模场中心

模场中心是光纤内基模场空间强度分布的中心位置。

## 11.1.4 模场同心度误差

模场同心度误差是模场中心和包层中心之间的距离。

## 11.2 方法 GB/T 15972-C9A——直接远场扫描法

## 11.2.1 装置

直接远场扫描法的试验装置如图 34 所示。

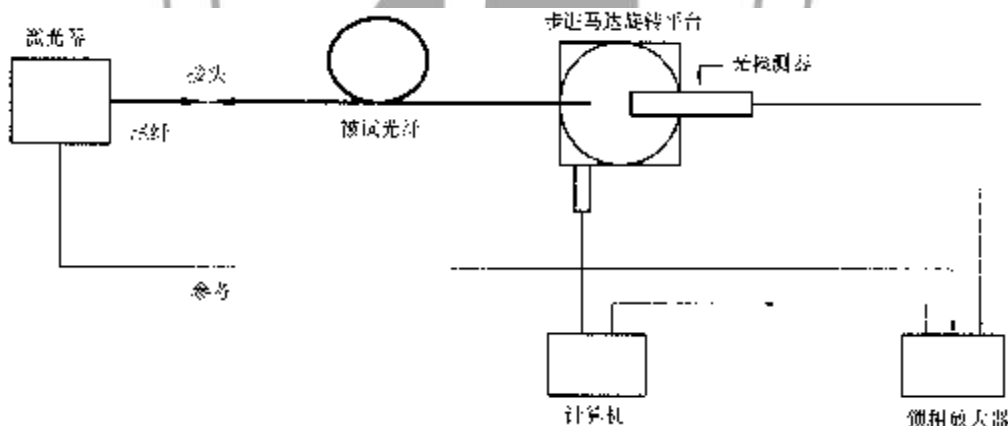


图 34 直接远场扫描法试验装置框图

## 11.2.1.1 光源

应采用合适的相干或非相干光源,例如半导体激光器或经充分滤光的白光源。在完成测量过程的时间内,光源位置、强度和波长应保持稳定。如需要,可采用单色仪和干涉滤光器选择波长。除非另有规定,光源谱线的 FWHM 应不大于 10 nm。

## 11.2.1.2 包层模剥除器

应采用包层模剥除器,以滤除包层模。当涂料折射率等于或大于光纤包层折射率时,就不需要包层模剥除器。

## 11.2.1.3 滤模器

为确保在测量波长上单模工作,应采用滤模器滤除高阶模。通常对被试光纤绕一半径为 30 mm 的

单圈或加入其他类型的滤模器。

#### 11.2.1.4 扫描检测系统

应采用对远场光强分布进行扫描的机械装置,它能以不大于  $0.5^\circ$  的步进量扫描远场光强分布。典型系统可包括一个 PIN 光电二极管,由电流输入前置放大器进行放大,用锁相放大器作同步检测。光检测器离光纤输出端面应至少 10 mm,其光敏面的远场张角不应太大。为此要求光检测器光敏面离光纤输出端面的距离大于  $2W_0b/\lambda$ ,  $2W_0$  是被试光纤的预期模场直径,  $b$  是光检测器的光敏面直径,  $\lambda$  是波长。

精确测量要求的最小动态范围应为 50 dB。对 B1 类和 B2 类光纤,相应的最大扫描半角应分别不小于  $20^\circ$  和  $25^\circ$ 。

如果对于 B1 类和 B2 类光纤,将上述值分别限制在 30 dB、 $12.5^\circ$  和 40 dB、 $20^\circ$  时,确定模场直径时就可能导致大于 1% 的相对误差。

#### 11.2.2 试样

11.2.2.1 试样应是长度为  $2\text{ m} \pm 0.2\text{ m}$  的单模光纤。

11.2.2.2 试样的输入端面和输出端面应平整、光滑,输出端面与光纤轴应有很好的垂直度。

#### 11.2.3 注入条件

所用注入装置必须足以激励起基模,例如可采用光学透镜系统或尾纤来激励被试光纤。

为使耦合进被试光纤的功率对被试光纤输入端面的位置不太敏感,可在空间和角度上对被试光纤进行满注入。如果采用对接,则应在尾纤和被试光纤之间使用折射率匹配材料以避免干涉效应。测量期间,耦合应保持稳定。

#### 11.2.4 程序

11.2.4.1 将制备好的试样放入试验装置并进行对中,其输出端对准检测器组件并获得最大功率。

11.2.4.2 启动扫描装置,以不大于  $0.5^\circ$  的步进量进行扫描,并记录检测的远场光功率  $P(\theta)$ 。

11.2.4.3 按 11.1.2 中的定义式(48),计算出被测试样的模场直径。

#### 11.2.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 光源波长;
- 4) 模场直径;
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光源类型;
- 2) 注入光学系统说明;
- 3) 包层模剥除器(如采用)说明;
- 4) 滤模器说明;
- 5) 扫描组件说明;
- 6) 检测器组件和信号处理设备说明;
- 7) 计算技术细节;
- 8) 试验装置最近校准日期。

### 11.3 方法 GB/T 15972-C9B——远场可变孔径法

#### 11.3.1 装置

远场可变孔径法的典型试验装置如图 35 所示。

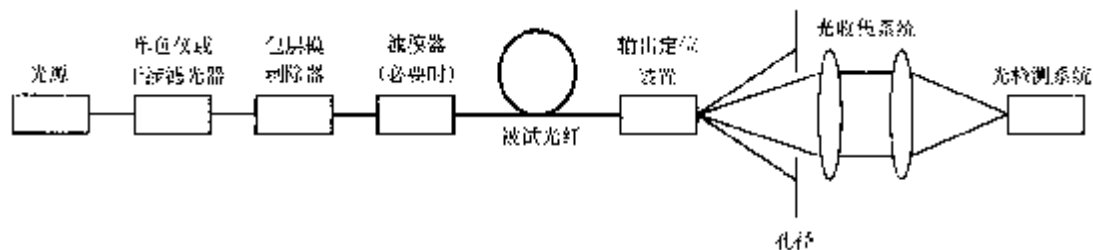


图 35 远场可变孔径法试验装置框图

### 11.3.1.1 光源

应采用能在测量波长上产生足够辐射的合适的非相干光源，如钨丝灯。

单色仪或干涉滤光器可用于选择波长。在完成测量过程的时间内，光源位置、强度和波长应保持稳定。经滤光后光源谱线的 FWHM 宽度应不大于 10 nm。

### 11.3.1.2 包层模剥除器

按 11.2.1.2 规定。

### 11.3.1.3 滤模器

按 11.2.1.3 规定。

### 11.3.1.4 远场可变孔径组件

由不同尺寸圆形孔径组成的装置（如孔径轮）离光纤输出端的距离至少  $100 W_0^2/\lambda$ 。这些孔径一般定在离光纤输出端 20 mm~50 mm 处。应采用使孔径中心对准远场图中心的装置以降低光纤端面角的敏感性。不同尺寸的孔径应足够多，使得附加任何孔径都不会对测量结果产生明显的影响。

#### a) 测量 B1 类光纤的装置要求

远场可变孔径法所达到的模场直径测量精度与试验装置的最大数值孔径有关。对于标称模场直径在  $8.7 \mu\text{m}$ ~ $10 \mu\text{m}$  范围内的 B1 类光纤，当试验装置的最大数值孔径为 0.25 时，典型误差为 1% 或更小。如果要求更小的误差或试样模场直径小于  $8.2 \mu\text{m}$  时，则可采用下列两种方法之一：

1) 应采用最大数值孔径不小于 0.35 的试验装置；

2) 应确定一个映射函数，此映射函数将建立两种试验装置（数值孔径受限制的试验装置和数值孔径不小于 0.35 的试验装置）测量结果之间的关系。

#### b) 测量 B2 类和 B3 类光纤的装置要求

对模场直径等于或大于  $6 \mu\text{m}$  的光纤，试验装置的最大数值孔径应不小于 0.40。

### 11.3.1.5 输出定位装置

应提供诸如具有十字准线的侧视显微镜或摄像机之类的装置，使光纤定位在离孔径距离固定的位置上。如果通过真空吸盘之类的装置使光纤的侧面受限制，那么只需要提供纵向调节就足够了。

### 11.3.1.6 输出光学系统

应采用透镜对、反光镜或其他合适的装置来会聚穿过孔径的全部传输光，并将其耦合至光检测器。

### 11.3.1.7 检测器组件和信号检测电子系统

应采用在测量波长范围内对输出光辐射灵敏的、在接收的光强范围内线性的光检测器。典型的系统可包括锗或铟镓砷光电二极管和电流输入前置放大器，并用锁相放大器进行同步检测。通常需要计算机进行数据分析。

## 11.3.2 试样

按 11.2.2 的规定。

## 11.3.3 注入条件

按 11.2.3 的规定。

## 11.3.4 程序

### 11.3.4.1 将制备好的试样放入输入和输出对中装置上，并将光纤输出端调整到离孔径组件距离正确

的固定位置上。

11.3.4.2 将孔径组件设置到一个小孔径,使孔径与远场图对中,得到最大检测光功率。

11.3.4.3 对每个孔径测量光功率  $P(\theta)$ 。

11.3.4.4 按 11.1.2 中模场直径的等效式(49)计算出被测试样的模场直径。

### 11.3.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;
- 3) 光源波长;
- 4) 模场直径;
- 5) 试验日期和操作人员;
- 6) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 光源类型;
- 2) 注入光学系统说明;
- 3) 包层模剥除器(如采用)说明;
- 4) 滤模器说明;
- 5) 孔径组件、检测器组件中的输出光学系统说明;
- 6) 信号处理设备说明;
- 7) 计算技术细节;
- 8) 试验装置的最近校准日期。

## 11.4 方法 GB/T 15972-C9C——近场扫描法

### 11.4.1 装置

近场扫描法的典型试验装置如图 36 所示。

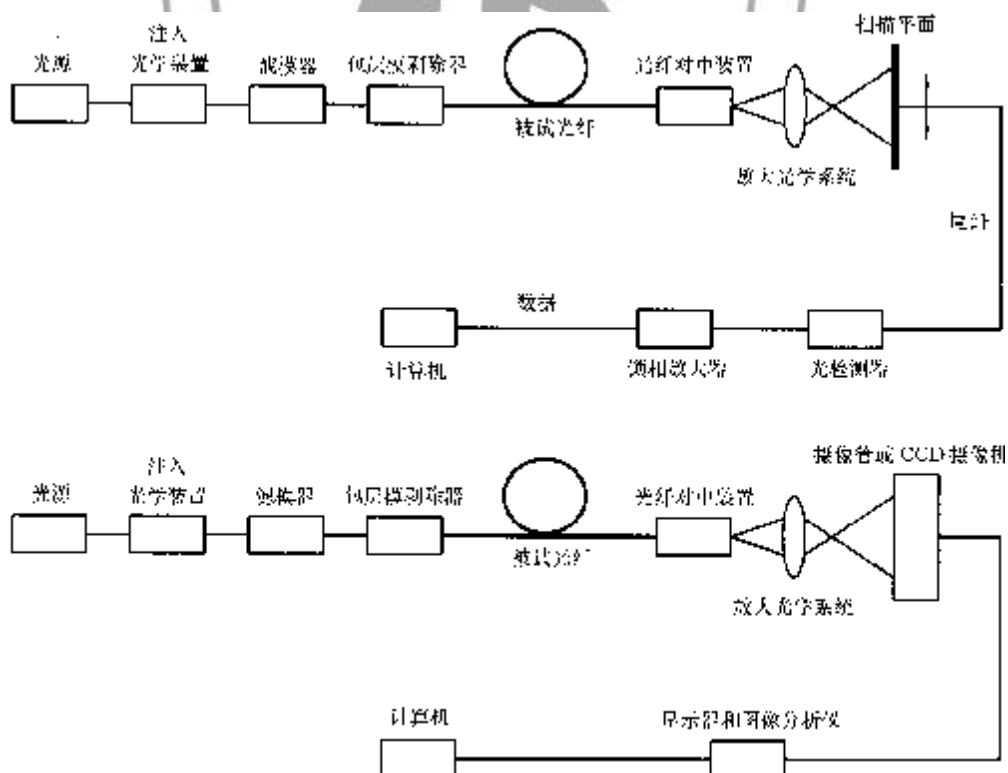


图 36 近场扫描法试验装置框图

#### 11.4.1.1 光源

按 11.2.1.1 规定。

#### 11.4.1.2 包层模剥除器

按 11.2.1.2 规定。

#### 11.4.1.3 滤模器

按 11.2.1.3 规定。

#### 11.4.1.4 放大光学系统

应采用合适的光学系统(例如显微镜物镜)放大试样的输出端,将输出端聚焦在扫描检测器的平面上。此光学系统不应限制成像的数值孔径(NA),光学系统数值孔径应大于光纤输出光辐射的最大数值孔径。对于 B2 类和 B3 类光纤,光学系统数值孔径应不小于 0.45,对 B1 类光纤不小于 0.35。

#### 11.4.1.5 光纤对中

为了能对光纤输出端进行精密轴向调节,应提供合适的机械装置以对准光纤的输出端面,使得在测量波长上将扫描图适当聚焦在扫描检测器的平面上。

#### 11.4.1.6 扫描检测器

为了测量近场图逐点的光强,应采用合适的扫描检测器。检测器在接收光强范围内应是线性的。

应采用机械式或电子式的扫描系统,使测得的近场图有合适的分辨率。一般在近场图上沿约三倍标称模场直径的范围内取足够多的取样点,以保证测量结果的精度。

例如可采用下列任何一种技术:

- a) 用扫描尾纤对输出场图进行扫描的固定光检测器,或者带针孔的扫描光检测器。
- b) 扫描视像管、CCD 或其他图像/光强识别器件。

#### 11.4.1.7 检测电子系统

为了提高信号电平,应采用合适的电子系统。应根据所采用的技术类型选择电子系统的带宽。

当用机械或光学系统对光纤输出端进行扫描时,通常对光源进行调制。如果采用这种方法,光检测器应连接到与光源调制频率同步的放大器(如锁相放大器)上。当进行电子扫描时,应采用合适的图像分析系统和对近场图自动扫描、数据采集和处理的系统。

#### 11.4.2 试样

按 11.2.2 规定。

#### 11.4.3 注入条件

按 11.2.3 规定。

#### 11.4.4 程序

##### 11.4.4.1 光学系统校准

在确定被测试样的模场直径时,应考虑放大光学系统放大率和实际坐标  $r$  的影响,所以放大光学系统的放大率应和扫描系统一起定期进行测量。应使用合适的经过校准的光栅进行初始校准,然后对尺寸(有适当的精度)已知的光纤端面的像进行扫描定期检验放大光学系统的放大率和实际坐标  $r$ 。

##### 11.4.4.2 测量

a) 将制备好的试样放入输入和输出对中装置,调整试样输出端至放大光学系统的距离,使近场图聚焦到扫描光检测器平面上(该平面上,像的对比度应达到最大)。

b) 启动机械式或电子式的扫描系统,记录作为位置函数的近场光强分布  $f^2(r)$ 。

c) 根据 11.1.2 中模场直径等效式(51),用近场光强分布  $f^2(r)$  计算出被测试样模场直径。

#### 11.4.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称;
- 2) 试样识别号;

- 3) 光源波长;
- 4) 模场直径;
- 5) 采用的扫描系统;
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。
- b) 报告中也可包括下列内容:
  - 1) 采用的光源类型及其谱宽;
  - 2) 注入光学系统说明;
  - 3) 包层模剥除器(如采用)说明;
  - 4) 滤模器的说明;
  - 5) 放大光学系统说明(包括放大率和数值孔径);
  - 6) 扫描组件和检测系统说明;
  - 7) 信号处理设备说明;
  - 8) 计算技术细节;
  - 9) 试验装置的最近校准日期。

## 12 光透射率变化

测量光纤和光缆在机械试验和环境试验期间产生的光透射率变化时,一般采用传输功率监测法和后向散射监测法。

### a) 传输功率监测法

传输功率监测法用于监测光纤和光缆在机械试验和环境试验期间产生的光透射率变化。该方法在有关产品规范规定的时间和温度变化范围内监测光透射率,监测时应有高的分辨率和高的稳定性。

### b) 后向散射监测法

后向散射监测法除用于监测光纤和光缆在机械试验和环境试验期间产生的光透射率变化外,还用于监测由光学不连续性、物理缺陷以及衰减斜率变化引起的光传输特性的变化。该方法适用于测量超过后向散射设备本身重复性误差的透射率的变化。

## 12.1 方法 GB/T 15972-C10A——传输功率监测法

### 12.1.1 装置

采用参考试样的传输功率监测法试验装置如图 37 所示,采用稳定化光源的传输功率监测法试验装置如图 38 所示。

#### 12.1.1.1 光源

应采用诸如激光器或 LED 这样的合适光源。通常应对光源进行调制,并可采用滤光器进行波长选择。

#### 12.1.1.2 光分路器

光分路器在测量期间应保持恒定的分光比。其分光比和温度稳定性应按有关规范的规定。

#### 12.1.1.3 光检测器

光检测器应有足够的光敏面以收集输出光锥角中的全部辐射光功率,并在接收的光功率范围内有足够的线性。

在测量波长上,光检测器在光敏区和入射角范围内应具有足够的均匀响应,使得输出光锥角在位置或角度上相对于检测器的移动不超出试验装置机械设计确定的限度之内,而且不明显影响测量结果。

如图 37 所示的试验装置采用多个检测器时,它们应是同一厂家、同一型号并且线性度相差不大的检测器。

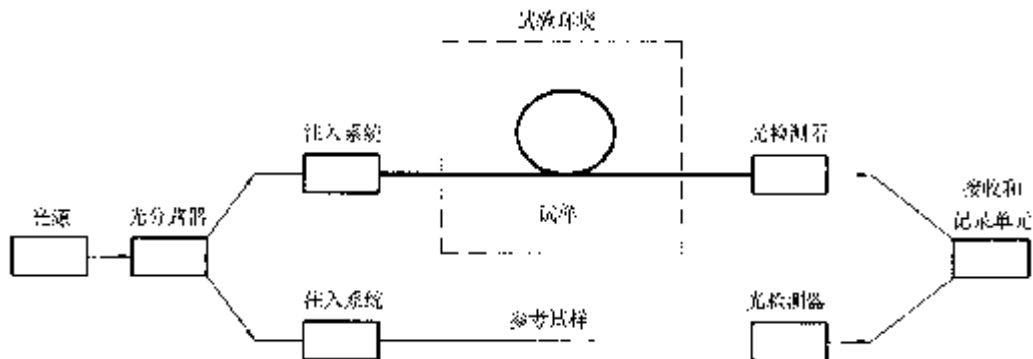


图 37 传输功率监测法试验装置(采用参考试样)

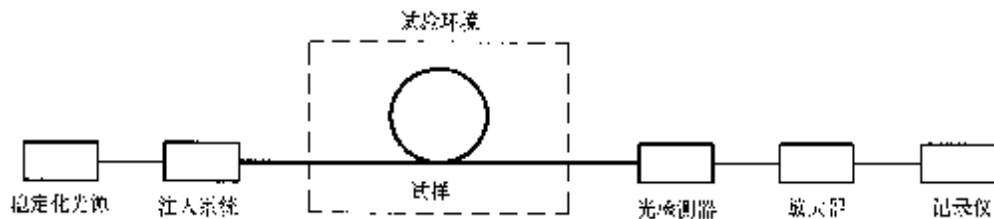


图 38 传输功率监测法试验装置(采用稳定化光源)

### 12.1.2 试样

试样应按机械试验、环境试验或其他试验的规定制备。最短长度试样的衰减变化应与试验装置的分辨率相适应。

### 12.1.3 参考试样

采用参考试样时,参考试样应是和试样类型相同的光纤或光缆,它可以是一短段光纤。如图 37 所示,参考试样应连接在分光器和检测器之间。参考试样的状态在测量期间应是恒定的。

### 12.1.4 注入条件

应按方法 GB/T 15972-C1A 和 GB/T 15972-C1B(对多模光纤和单模光纤)规定的注入条件,根据被测参数采用满注入或限制注入。在试样或参考试样(如采用)的光源端和检测器端应采用包层模剥除器。

### 12.1.5 程序

#### 12.1.5.1 功率测量

试验之前,应测出试样输出的初始光功率  $P_{\alpha}$ 。在图 37 所示的情况下,还应测出参考试样输出的初始光功率  $P_{\alpha r}$ 。

进行机械试验、环境试验或其他试验期间,应相继测量从试样输出的光功率  $P_{nt}(n=1,2,3\cdots)$ 。在图 37 所示的情况下,还应同时测量从参考试样输出的光功率  $P_{nr}(n=1,2,3\cdots)$ 。

在上述测量中,可测量与绝对功率成比例的光功率值,而不是绝对功率本身。在图 37 所示的情况下,试验通道与参考通道的比例常数可能不同,但是在测量期间,该比例常数应保持不变。

#### 12.1.5.2 计算

光透射率的变化  $\Delta D_n$ (分贝数)由下式可得:

图 37 所示的情况:

$$\Delta D_n = 10 \lg \frac{P_{nt} P_{\alpha r}}{P_{\alpha} P_{nr}} \quad \cdots \cdots (52)$$

图 38 所示的情况:

$$\Delta D_n = 10 \lg \frac{P_{nt}}{P_{\alpha}} \quad \cdots \cdots (53)$$

### 12.1.6 结果

提供测量结果的报告可与方法 GB/T 15972-C1A 和 GB/T 15972-C1B 类似,并包括下列补充的内

容:

- a) 试验环境和试验装置状态;
- b) 光透射率的变化  $\Delta D_n (n=1,2,3\cdots)$ , 最好作出曲线图。

## 12.2 方法 GB/T 15972-C10B——后向散射监测法

### 12.2.1 装置

按方法 GB/T 15972-C1C——后向散射法的规定。

### 12.2.2 试样

试样应按机械试验、环境试验或其他试验的规定制备。试样的最短长度应使试样始端和末端的非线性不影响测量结果。

### 12.2.3 注入条件

按 4.4.3 规定。

### 12.2.4 程序

- a) 将被试光纤与耦合器件对中。
- b) 后向散射功率用信号处理器分析, 并以对数刻度进行记录。
- c) 应在对应于被试光纤(或光缆)始端和末端的曲线上选择两点 A 和 B。
- d) 记录这两点之间的衰减值:

$$D_{A-B} = (P_A - P_B)/2 \quad (\text{dB})$$

式中:  $P_A$  和  $P_B$  是以对数刻度得出的对应的功率电平。

- e) 如有必要, 可进行双向测量。

为进行比较, 按规定在试验前、试验期间每间隔一段时间和试验后记录所选两点之间的衰减值和曲线形状。考虑到衰减不均匀性的影响, 在试验前、试验期间每间隔一段时间和试验后所选两点应尽量在同一位置。

### 12.2.5 结果

由试验各阶段的后向散射曲线可得出在试验不同阶段的衰减变化值  $\Delta D_{A-B}$  为:

$$\Delta D_{A-B} = \Delta D_{A-B}(t + \Delta t) - D_{A-B}(t) \quad \cdots \cdots \cdots (54)$$

式中:  $\Delta t$ ——时间间隔。

对结果的解释可参见 4.4.4.6。

## 13 宏弯敏感性

本方法通过测量在 1 550 nm 波长上由于宏弯所引起的附加衰减来检验单模光纤在该波长上的宏弯敏感性。

### 13.1 方法 GB/T 15972-C11——宏弯敏感性

#### 13.1.1 装置

试验装置由芯轴(直径由产品规范规定, 例如 60 mm 或 75 mm)和衰减测量设备组成。在 1 550 nm 波长上的宏弯损耗可用截断法(方法 GB/T 15972-C1A)或传输功率监测法(方法 GB/T 15972-C10A)进行测量。

#### 13.1.2 试样

按所用试验方法(例如截断法或传输功率监测法)的规定。

#### 13.1.3 注入条件

按所用试验方法(例如截断法或传输功率监测法)的规定。

#### 13.1.4 程序

将被试光纤松绕在芯轴上, 圈数一般为 100 圈。

方法 A (GB/T 15972-C10A——传输功率监测法)是测量光纤从直的状态到弯曲状态所引起的衰

减增加;方法 B(GB/T 15972-C1A——截断法)是测量光纤在弯曲状态下的总衰减,为了确定宏弯衰减,应用光纤的固有衰减对测量值进行修正。

本程序可采用方法 A 和方法 B 中的任一种方法、或两种方法都采用或按产品规范的规定。

芯轴之外的光纤和用于参考的光纤截留段不得有引起测量结果变化的任何弯曲。建议以不小于 300 mm 的弯曲直径来收集剩余的光纤。

如将光纤从大直径芯轴(引入的宏弯损耗可忽略不计)绕到规定直径的芯轴上,宏弯损耗能直接用方法 A 来测量,不需光纤固有衰减来修正。

### 13.1.5 结果

a) 测量结果报告应包括下列内容:

- 1) 试验名称
- 2) 芯轴直径;
- 3) 圈数(如不是 100 圈时,需要指明);
- 4) 试样识别号;
- 5) 宏弯损耗(dB);
- 6) 试验日期和操作人员;
- 7) 环境温度和相对湿度。

b) 报告中也可包括下列内容:

- 1) 试验装置(必要时);
- 2) 采用的测量技术。

