



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 15972.45—2021  
代替 GB/T 15972.45—2008

## 光纤试验方法规范 第 45 部分： 传输特性的测量方法和试验程序 模场直径

Specifications for optical fibre test methods—  
Part 45: Measurement methods and test procedures for transmission  
characteristics—Mode field diameter

(IEC 60793-1-45:2017, Optical fibres—Part 1-45:  
Measurement methods and test procedures—Mode field diameter, MOD)

2021-04-30 发布

2021-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 试验方法概述 ..... 1

4 试验装置 ..... 2

5 试样和试样制备 ..... 3

6 试验程序 ..... 3

7 计算 ..... 3

8 结果 ..... 5

附录 A (资料性附录) 本部分与 IEC 60793-1-45:2017 相比的结构变化情况 ..... 6

附录 B (规范性附录) 方法 A——用直接远场法测量模场直径的特定要求 ..... 7

附录 C (规范性附录) 方法 B——用远场可变孔径法测量模场直径的特定要求 ..... 9

附录 D (规范性附录) 方法 C——用近场扫描法测量模场直径的特定要求 ..... 12

附录 E (规范性附录) 方法 D——用光时域反射计测量模场直径的特定要求 ..... 15

附录 F (资料性附录) 采样数据和计算结果 ..... 19





## 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~第 19 部分:测量方法和试验程序 总则(对应 IEC 60793-1-10 至 IEC 60793-1-19);
- 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 45 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 15972.45—2008《光纤试验方法规范 第 45 部分:传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 模场直径》。本部分与 GB/T 15972.45—2008 相比主要技术变化如下:

- 修改了标准的名称;
- 增加了试验装置的概述(见 4.1);
- 增加了高阶模剥除器中对 B6 光纤的试样要求(见 4.6);
- 增加了试样长度中对 B6 光纤的试样要求(见 5.1);
- 修改了 B1.1 至 B6 类型光纤的试样长度要求(见 5.1,2008 年版的 5.1);
- 增加了附录 A 本部分与 IEC 60793-1-45:2017 相比的结构变化情况(见附录 A);
- 增加了附录 B 中的计算机章节(见 B.1.3);
- 增加了附录 B、C 和 D 中的采样数据章节(见 B.4,C.4 和 D.4);
- 增加了附录 C 中对测量 B6 类光纤的装置要求(见 C.1.2.2);
- 删除了对 B3 类光纤的装置要求(见 2008 年版的 B.1.2.2);
- 增加了对 B5 类光纤的装置要求(见 C.1.2.3);
- 增加了公式(E.1)(见 E.4);

——修改了公式(E.2)(见 E.4, 2008 年版的 D.4);

——修改了表 F.1、表 F.2 及表 F.3 中的数据(见附录 F, 2008 年版的表 E.1、表 E.2 及表 E.3)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60793-1-45:2017《光纤 第 45 部分:测量方法和试验程序 模场直径》。

本部分与 IEC 60793-1-45:2017 相比在结构上有较多调整,附录 A 中列出了本部分与 IEC 60793-1-45:2017 的章条编号对照一览表。

本部分与 IEC 60793-1-45:2017 相比的技术性差异及其原因如下:

——关于规范性引用文件,本部分做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,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(见 IEC 文件的第 2 章);
- 用修改采用国际标准的 GB/T 15972.40—2008 代替 IEC 60793-1-40:2001(见第 2 章);

——删除了 IEC 文件第 3 章“术语和定义”内容和第 5 章基准测试方法,因为 IEC 文件中“术语和定义”没有实际内容,且基准测试方法被合并到本部分第 3 章“试验方法概述”(见 IEC 文件的第 3 章和第 5 章);

——由于考虑到连接损耗变化对测量的影响,增加了附录 E 中对光纤接头的要求(见 E.2.6);

——修改了附录 E 的验证试验章节,增加了等同水平的具体计算公式(见 E.4.3)。

本部分做了下列编辑性修改:

——将名称修改为《光纤试验方法规范 第 45 部分:传输特性的测量方法和试验程序 模场直径》。

请注意本部分的某些内容可能涉及专利。本部分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、成都泰瑞通信设备检测有限公司。

本部分主要起草人:刘骋、姚頔、甘露、王冬香、李琳莹、王彦亮、谢校臻、王珩。

本部分所代替标准的历次发布情况为:

——GB/T 15972.45—2008。

光纤试验方法规范 第 45 部分：  
传输特性的测量方法和试验程序  
模场直径

1 范围

GB/T 15972 的本部分规定了光纤模场直径的试验方法，确立了对试验装置、注入条件、程序、计算方法和结果的统一要求。  
本部分适用于 B 类单模光纤模场直径的测量。

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 15972.40—2008 光纤试验方法规范 第 40 部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序衰减(IEC 60793-1-40:2001,MOD)

3 试验方法概述

模场直径(MFD)测量是在光纤横截面导模的电磁场强度的横截面范围，模场直径(MFD)被定义为远场强度分布的积分比，即彼得曼第二定义(Petermann II)。  
模场直径(MFD)可在远场用远场光强分布  $P_F(\theta)$ 、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。不同试验方法之间的数学等效性如图 1 所示。

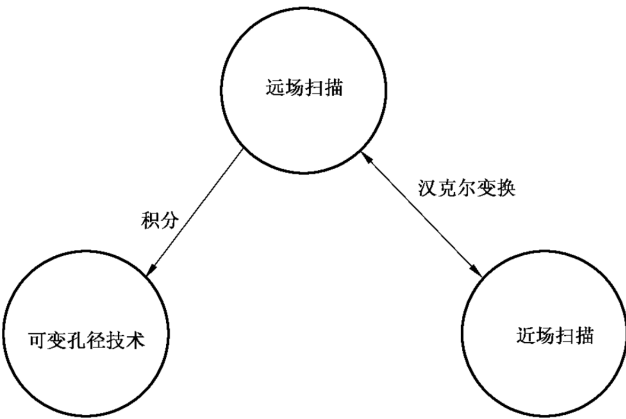


图 1 模场直径三种试验方法之间的数学变换关系

测量单模光纤模场直径有如下四种试验方法：  
——方法 A:直接远场扫描法；  
——方法 B:远场可变孔径法；

——方法 C:近场扫描法;

——方法 D:用光时域反射计的双向后向散射法。

方法 A 是测量单模光纤模场直径的基准试验方法(RTM)。它直接按照彼得曼第二定义,通过测量光纤远场辐射图计算出单模光纤的模场直径。该方法可以作为基准测试方法,用以仲裁测试误差所引起的争议。

方法 B 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二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彼得曼第二定义。

方法 C 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彼得曼第二定义。

方法 D 不适合用作测量未知类型和设计结构光纤的模场直径。

以上四种方法均适用于工作在 1 310 nm 波段或 1 550 nm 波段的 B 类单模光纤。

## 4 试验装置

### 4.1 概述

以下对测量装置的要求为模场直径的四种测量方法所共有,在附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中还分别给出了对每一种试验方法的装置框图和特定要求。

### 4.2 光源

对于方法 A、方法 B 和方法 C,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,光源的辐射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,光源谱线的半幅全宽(FWHM)应不大于 10 nm。

对于方法 D,见附录 E 中的要求。

### 4.3 注入光学系统

对于方法 A、方法 B 和方法 C,所用光注入装置应足以激励起基模,例如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其输入端面的位置不敏感,可在空间和角度上对被试光纤注入端进行满注入。如果采用插入法对接,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。

对于方法 D,见附录 E 中的要求。

### 4.4 输入定位装置

应采用合适的方式对光纤输入端和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、真空吸附固定夹具、三棒接头等。测量期间,光纤的位置应保持稳定。

### 4.5 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。

### 4.6 高阶模剥除器

应采用一种方法滤除大于或等于试样截止波长范围内的高阶模。例如,将被试光纤绕一半径为 30 mm 的单圈对于大多数 B1.1 至 B6 类型光纤来说通常是足够的。对于有些弯曲性能更好的 B6 类光纤,可以采用更小半径、多圈弯曲或更长试样长度来剥除高阶模。

#### 4.7 输出定位装置

应采用一种稳定的、能使光纤输出端面精确对中的调节方法,使得在测量波长上,输出光束能以合适的方式聚焦在检测器的接收面上。耦合时可选用光学透镜或用机械连接器同检测器尾纤相连。应提供诸如具有十字对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。如果通过真空吸附固定夹具之类的装置使光纤的侧面受限制(这主要取决于光探测器的尺寸),那么只需要提供纵向调节即可。

#### 4.8 输出光学系统

分别见附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中的说明。

#### 4.9 检测器

分别见附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中的说明。

#### 4.10 计算机

使用计算机进行设备控制、光强采集和数据处理等,以获最终测量结果。具体细节分别见附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中的说明。

### 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,多数 B1.1 至 B6 类型光纤的试样长度应该是已知的,典型长度为  $2\text{ m} \pm 0.2\text{ m}$ 。对于有些弯曲性能更好的 B6 类光纤,可以采用更长试样长度(例如 22 m)来剥除高阶模。

对于方法 D,试样长度应超过(或所在位置超过)OTDR 的测量盲区,光纤两端应易于操作,具体要求见 GB/T 15972.40—2008 方法 C 的说明。

#### 5.2 试样端面

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。

### 6 试验程序

分别见附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中的方法。

### 7 计算

#### 7.1 总则

以下给出了用方法 A、方法 B 和方法 C 三种测量方法计算模场直径的基本等式,附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中分别给出了模场直径的具体计算程序。在附录 F 中分别提供了一组用方法 A、方法 B 和方法 C 所采集的数据和利用这些数据计算模场直径的结果范例。

#### 7.2 方法 A——直接远场扫描法

由远场光强分布确定模场直径( $2W_0$ )的彼得曼第二定义(Petermann II),模场直径计算如公式

(1)所示:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi} \left[ \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} P_F(\theta) \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} P_F(\theta) \sin^3(\theta) \cos(\theta) d\theta} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$2W_0$  ——模场直径,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$P_F(\theta)$  ——远场光强分布;

$\lambda$  ——测量波长,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\theta$  ——光纤远场测量角,单位为度( $^\circ$ )。

注:上式的积分限为0到 $\frac{\pi}{2}$ ,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。

用远场法测量单模光纤的模场直径分两个步骤。首先测量出光纤的远场光强分布,然后根据 Petermann II 远场定义式,用采集到的远场数据通过数学程序进行积分运算,计算模场直径。

附录 F 中提供了用直接远场扫描法测量时的一组采样数据和模场直径的计算结果。采样数据以叠合远场辐射功率  $P_F(\theta)$  和相应的角度函数  $\theta$  的形式给出,用这组数据可校验已建立的积分运算程序的计算结果。

### 7.3 方法 B——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  $\alpha(x)$  确定模场直径( $2W_0$ )的等效式如公式(2)所示:

$$2W_0 = \left( \frac{\lambda}{\pi D} \right) \left[ \int_0^\infty \alpha(x) \frac{x}{(x^2 + D^2)^2} dx \right]^{-1/2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\lambda$  ——测量波长,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$D$  ——孔径光阑所在平面到光纤端面的距离,单位为毫米(mm);

$\alpha(x)$  ——互补孔径功率传输函数,其计算式如公式(3)所示:

$$\alpha(x) = 1 - \frac{P(x)}{P(\max)} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$P(x)$  ——透过孔径光阑的光功率,其孔径半径为  $x$ ,或者远场测量角为  $\theta$ ;

$P(\max)$  ——透过最大孔径的光阑的光功率。

$x$  ——孔径光阑的半径,单位为毫米(mm),其计算式如公式(4)所示:

$$x = D \tan(\theta) \dots\dots\dots (4)$$

公式(2)的另一个等效表达式如公式(5)所示:

$$2W_0 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{\pi} \left[ \int_0^\infty \alpha(\theta) \sin(2\theta) d\theta \right]^{-1/2} \dots\dots\dots (5)$$

用远场可变孔径法测量单模光纤的模场直径分两个步骤:首先测量出透过不同尺寸孔径光阑的远场辐射光功率,然后用这些远场数据通过数学程序计算模场直径。

计算模场直径的数学基础是基于公式(1)的彼得曼第二定义。公式(2)和公式(5)可以由公式(1)积分推导求出。

### 7.4 方法 C——近场扫描法

由近场光强分布确定模场直径( $2W_0$ )的等效表达式如公式(6)所示:

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

.....( 6 )

式中：

- $r$  —— 径向坐标,单位为微米( $\mu\text{m}$ )；
- $f^2(r)$  —— 近场光强分布。

注：上式中的积分上限为无穷大,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  $r_{\text{max}}$  即可。在计算微商时可使用数据拟合技术。

用近场扫描法测量单模光纤的模场直径分两个步骤:首先测得光纤的径向近场光强分布,然后用这些近场数据通过数学程序计算模场直径。

计算模场直径的数学基础是基于公式(1)的彼得曼第二定义。近场  $f(r)$ 和远场  $F(\theta)$ 形成一个汉克尔对。通过汉克尔变换和公式  $P_F = F^2(\theta)$ 可以使公式(1)和公式(6)相互转换。

8 结果

8.1 测量结果报告

测量结果报告应包括下列内容：

- 试验名称；
- 试样识别号；
- 光源波长；
- 试验结果；
- 被测光纤类型；
- 判定标准；
- 试验日期和操作人员。

8.2 如有需要,报告中也可包括下列内容

以下信息可应要求提供下列内容：

- 所用试验方法(方法 A、方法 B、方法 C 或方法 D)；
- 光源类型和 FWHW 谱宽；
- 仪器型号说明；
- 计算技术细节；
- 试验装置最近校准日期；
- 失效或验收标准；
- 需要报告的信息；
- 与所采用实验程序的任何偏差。

附 录 A  
(资料性附录)

本部分与 IEC 60793-1-45:2017 相比的结构变化情况

本部分与 IEC 60793-1-45:2017 相比在结构上有部分调整,具体章条对照情况见表 A.1。

表 A.1 本部分与 IEC 60793-1-45:2017 的章条编号对照情况

本部分章条编号	对应的 IEC 60793-1-45:2017 章条编号
1	1
2	2
3	4
4.1	6.1
4.2	6.2
4.3	6.3
4.4	6.4
4.5	6.5
4.6	6.6
4.7	6.7
4.8	6.8
4.9	6.9
4.10	6.10
5.1	7.1
5.2	7.2
6	8
7.1	9.1
7.2	9.2
7.3	9.3
7.4	9.4
8.1	10.1
8.2	10.2
附录 A	—
附录 B	附录 A
附录 C	附录 B
附录 D	附录 C
附录 E	附录 D
附录 F	附录 E



附录 B  
(规范性附录)

方法 A——用直接远场法测量模场直径的特定要求

B.1 装置

B.1.1 典型装置构成

附录 B 描述了除第 4 章规定要求之外的设备。  
直接远场扫描法的典型试验装置如图 B.1 所示。

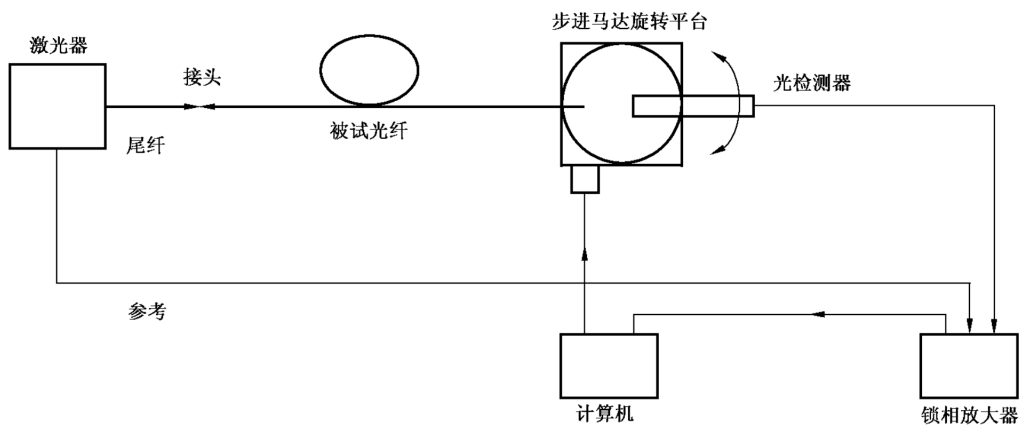


图 B.1 直接远场扫描法试验装置框图

B.1.2 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。可使光纤轴向与检测器的旋转平面相一致，并使光纤末端与扫描的旋转中心对齐。典型系统可包括一个光伏模式的 PIN 光电二极管，由电流输入前置放大器进行放大，并通过锁相放大器作同步检测。光检测器光敏面离光纤输出端面的距离至少要为 10 mm 并保证光检测器光敏面的远场张角不过大。为了确保这点，光检测器应放置在距离光纤输出端面大于  $2W_0b/\lambda$  距离处，其中  $2W_0$  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 类光纤，相应的最大扫描半角应不小于  $20^\circ$ ；对于 B2 类和 B4 类光纤，相应的最大扫描半角应不小于  $25^\circ$ 。减小动态范围(或最大扫描半角)的要求可能引入误差。

如果对于 B1 类光纤，将上述值分别限制在 30 dB、 $12.5^\circ$ ，对于 B2 类和 B4 类光纤，将上述值分别限制在 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。

B.1.3 计算机

典型系统还应包括一台计算机来处理远场数据。

## B.2 程序

将准备好的光纤试样放入试验系统并进行对中,其输出端对准检测器组件并获得最大功率。

启动扫描装置,以不大于  $0.5^\circ$  的等距步进量进行扫描,记录每一个远场角度  $\theta_i$  处所对应的远场光功率  $P(\theta_i)$ ,  $i$  为角度的位置序号。

根据记录数据计算彼得曼第二定义的积分值,并按 7.2 中定义式(1)和 B.3 中的方法,计算被测试样的模场直径。

## B.3 计算

### B.3.1 叠合远场辐射功率数据的确定

在  $0 \leq \theta_i \leq \theta_{\max}$  的角度范围内,对两边相应角度数据取平均得到叠合远场辐射功率,如公式(B.1)所示:

$$P_F(\theta_i) = \frac{P(\theta_i) + P(\theta_{-i})}{2} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$P_F(\theta_i)$ ——叠合远场辐射功率;  
 $P(\theta_i)$ ——作为角度函数的远场辐射功率,  $\theta_i$  为弧度值,第  $i$  个角度记为  $\theta_i$ 。

### B.3.2 计算定义公式(1)中的积分项

用数值近似积分方法计算公式(1)中的积分项,公式(B.2)和公式(B.3)是用矩形法近似积分的计算式,采用其他积分方法时的计算精度不得低于该方法。

$$T = \sum_0^n P_F(\theta_i) \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) d\theta \dots\dots\dots (B.2)$$

$$B = \sum_0^n P_F(\theta_i) \sin^3(\theta_i) \cos(\theta_i) d\theta \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$T$ ——顶端积分值;  
 $B$ ——底端积分值;  
 $P_F(\theta_i)$ ——叠合远场辐射功率;  
 $\theta_i$ ——第  $i$  个径向扫描位置上的远场测量角(弧度值),其中,  $d\theta = \theta_{i+1} - \theta_i$ 。

### B.3.3 计算结果

模场直径的计算结果如公式(B.4)所示。

$$MFD = 2W_0 = \left( \frac{\lambda \sqrt{2}}{\pi} \right) \sqrt{\frac{T}{B}} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$2W_0$ ——模场直径,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

## B.4 采样数据

采样数据和计算结果如表 F.1 所示。

附录 C  
(规范性附录)

方法 B——用远场可变孔径法测量模场直径的特定要求

C.1 装置

C.1.1 典型装置构成

附录 C 描述了除第 4 章规定要求之外的设备。  
远场可变孔径法的典型试验装置如图 C.1 所示。

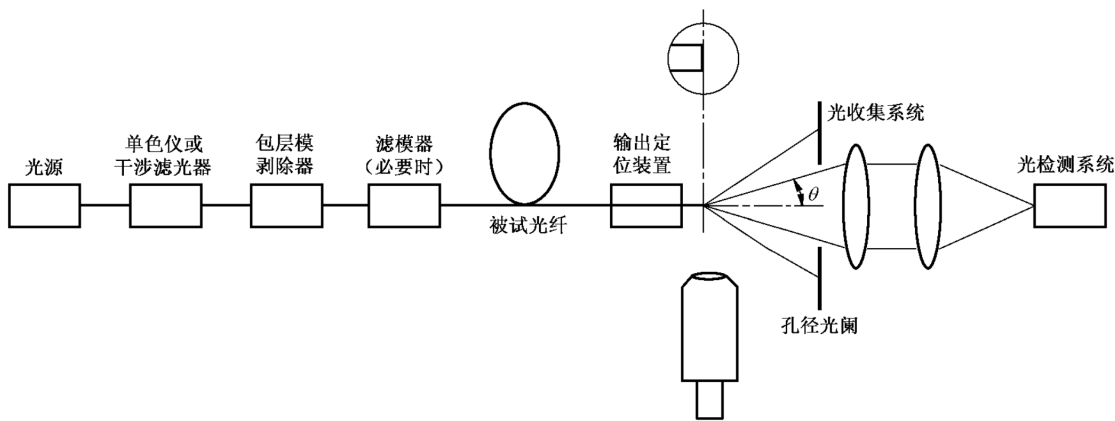


图 C.1 远场可变孔径法试验装置框图

C.1.2 远场可变孔径组件

C.1.2.1 装置设置原则

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为  $100 W_0^2/\lambda$ ，这些孔径一般定位在离光纤输出端 20 mm~50 mm 处。应采用使孔径中心对准光纤输出辐射图中心的装置，以降低测量结果对光纤端面角度情况的敏感性。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。另外，最大孔径的尺寸应足够大，以防止光纤远场辐射图被截断。

注 1：光路定位十分重要。

注 2：孔的数量和尺寸对于测量精度十分重要，其最佳组合方式取决于被测光纤的结构类型，可以用方法 A 中的直接远场扫描法对所选用的组合方式进行验证。

C.1.2.2 测量 B1 类和 B6 类光纤的装置要求

远场可变孔径法对模场直径的测量精度与试验装置的最大数值孔径有关。对于 B1 类和 B6 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当试样模场直径小于 8.2 μm 时，则可采用下列两种方法之一：

- a) 应采用最大数值孔径不小于 0.35 的试验装置；
- b) 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。

C.1.2.3 测量 B2、B4 和 B5 类光纤的装置要求

对模场直径等于或大于 6 μm 的光纤,试验装置的最大数值孔径应不小于 0.40。

C.1.3 输出光学系统

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

C.1.4 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。通常需要进行数据分析。

C.2 程序

C.2.1 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。

C.2.2 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。

C.2.3 对每个孔径测量光功率  $P(\theta)$ 。

C.2.4 重复测试每个指定波长的光功率。

C.2.5 按 7.3 中模场直径的等效式(2)计算出被测试样的模场直径。

C.3 计算

C.3.1 确定互补孔径功率传输函数

确定每一个孔的互补孔径功率传输函数,如公式(C.1)所示:

$$\alpha(\theta_i) = 1 - \frac{P(\theta_i)}{P(\theta_n)} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$\alpha(\theta_i)$  ——每一个孔径光阑的互补孔径功率传输函数, $i$  从 1 到  $n$ ;

$P(\theta_i)$  ——作为角度函数的孔径光阑的透光功率,第  $i$  个孔的角度记为  $\theta_i$ 。

C.3.2 积分项计算

用数值近似积分方法计算公式(5)中的积分项,公式(C.2)是计算该积分项的一种方法,采用其他积分方法时的计算精度不得低于该方法。

$$T = \sum_1^n \alpha(\theta_i) \sin(2\theta_i) (\theta_i - \theta_{i-1}) \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

$T$  ——等式(5)的积分值;

$\alpha(\theta_i)$  ——用公式(C.1)计算的互补孔径功率传输函数。

注:  $\theta_0 = 0$

C.3.3 计算结果

模场直径的计算结果如公式(C.3)所示。

$$MFD = 2W_0 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)\sqrt{\frac{2}{T}}$$

.....( C.3 )

式中：  
2W<sub>0</sub>——模场直径,单位为微米(μm)。

C.4 采样数据

采样数据和计算结果如表 F.2 所示。

附录 D  
(规范性附录)

方法 C——用近场扫描法测量模场直径的特定要求

D.1 装置

D.1.1 典型装置构成

附录 D 描述了除第 4 章规定要求之外的设备。  
近场扫描法的典型试验装置如图 D.1 所示。

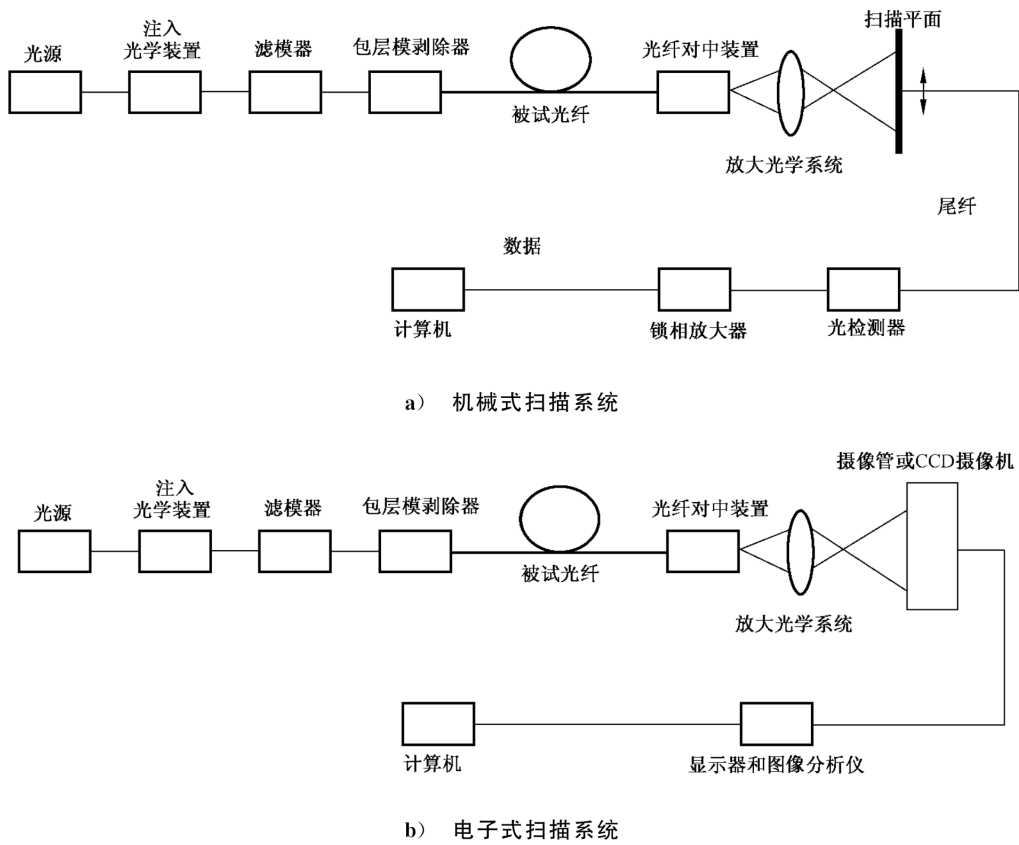


图 D.1 近场扫描法试验装置框图

D.1.2 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,将输出端图象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。

D.1.3 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 100 个以上的取样点,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。

应精确校准这些器件所在的位置。

#### D.1.4 检测电子系统

为了提高信号电平,应采用合适的电子系统。应根据所采用的扫描系统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一种能对近场图进行自动扫描、数据采集和处理的系统。

### D.2 程序

D.2.1 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(该平面上图像的对比度应达到最大)。

D.2.2 机械式扫描系统是通过移动扫描尾纤和记录作为位置函数的光强来扫描放大的近场模式,电子式扫描系统是利用视频分析仪来处理近场模式。

D.2.3 根据 7.4 中模场直径等效式(6),用光纤输出端面上的近场光强分布  $f^2(r)$  计算出被测试样模场直径。应按 D.3 中的要求考虑放大光学系统的放大率和实际坐标  $r$  的影响。

D.2.4 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)已知的光纤端面的图像进行扫描,定期检验放大光学系统的放大率和实际坐标  $r$ 。

### D.3 计算

#### D.3.1 计算形中心

对于一个给定的覆盖了最大范围的近场图截面,其形中心位置计算如公式(D.1)所示:

$$r_c = \frac{\sum r_i f^2(r_i)}{\sum f^2(r_i)} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- $r_c$  ——形中心位置,单位为微米( $\mu\text{m}$ );
- $r_i$  ——每一扫描点所在径向位置,单位为微米( $\mu\text{m}$ );
- $f^2(r_i)$  ——每一扫描点上的近场功率。

#### D.3.2 叠合近场功率分布

用公式(D.1)中计算的形中心位置重新确定每一扫描点的径向排列次序,在该形中心位置之后的扫描点的排列次序大于零,在该形中心位置之前的扫描点的排列次序小于零,给定的最大次序为  $n$ ,则叠合近场功率大小如公式(D.2)所示:

$$f_i^2(r_i) = \left[ \frac{f^2(r_i) + f^2(r_{-i})}{2} \right] \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

$f_i^2(r_i)$  ——叠合近场功率；  
 $f^2(r_i)$ 、 $f^2(r_{-i})$  ——每一扫描点上的近场功率。

**D.3.3 积分项计算**

用数值近似积分方法计算式(6)中的积分项，公式(D.3)和公式(D.4)是计算该积分项的一种方法，采用其他积分方法时的计算精度不得低于该方法。

$$T = \sum_1^n r_i f_i^2(r_i) dr \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

$T$  ——顶端积分值；  
 $f_i^2(r_i)$  ——叠合近场功率。

$$B = \sum_0^n r_i \left[ \frac{df_i(r_i)}{dr} \right] dr \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中：

$B$ ——底端积分值；  
当  $i > 0$  时， $df_i(r_i) = f_i(r_i) - f_i(r_{i-1})$ ；  
当  $i = 0$  时， $df_i(r_i) = 0$ ；  
 $dr = (r_1 - r_0)$ 。

注：计算导数时可将数据拟合成一条曲线。

**D.3.4 计算结果**

模场直径的计算结果如公式(D.5)所示。

$$MFD = 2W_0 = 2\sqrt{\frac{2T}{B}} \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中：

$2W_0$ ——模场直径，单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

**D.4 采样数据**

采样数据和计算结果如表 F.3 所示。



附录 E  
(规范性附录)

方法 D——用光时域反射计测量模场直径的特定要求

E.1 概述

本附录描述用双向后向散射技术(使用光时域反射计)的测量结果计算光纤端面上模场直径的方法。

本方法是将被测光纤同一段模场直径已知的参考尾纤连接在一起,用 OTDR 测量其连接损耗,比较出被测光纤的模场直径值。参考光纤与被测光纤的结构应相近,例如,两种光纤同为匹配包层型 B1 类光纤。当被测光纤与参考光纤的结构不同时,可以在测量结果上确定出一个经验校正函数。

用 OTDR 测量模场直径时仅限于在被测量样品与参考样品的接头处进行,这是因 OTDR 的测量是非线性的。OTDR 的非线性度指标通常由仪器制造商提供。虽然典型的线性度大小对衰减系数的测量结果影响并不大,但却不足以精确地确定光纤全长的模场直径。本方法要求分别从光纤的两端进行双向测量。

这一方法通常被光纤制造商用来测量结构已知的光纤,模场直径的其他三种测量方法都可用来解决对本试验方法测量结果所持异议。应定期校准本试验方法的测量结果。

E.2 装置

E.2.1 OTDR

测量仪器已在 GB/T 15972.40—2008 的方法 C 中描述,要得到精度最佳的测量结果,OTDR 中心波长的偏差应在 $\pm 2\text{ nm}$ 以内,若偏差达到 $2.5\text{ nm}$ ,则在 $1\,310\text{ nm}$ 和 $1\,550\text{ nm}$ 波长引起的测量结果误差约为 $0.025\text{ }\mu\text{m}$ 。

E.2.2 光开关选件

可使用光开关提高测量效率,图 E.1 是用光开关将 OTDR 双波长的激光引出进行双向后向散射测量的示意图,配合使用两个参考光纤可使得光纤的双向测量更为方便。

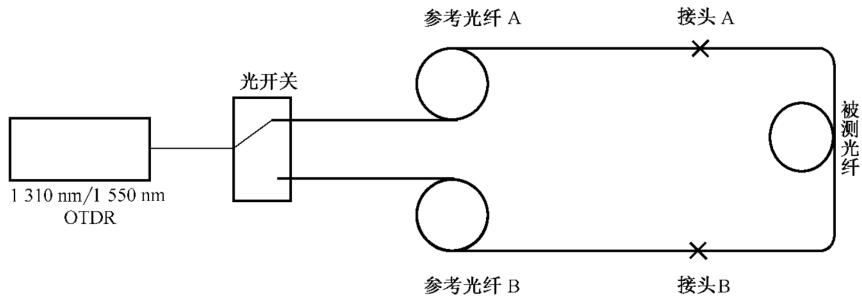


图 E.1 光开关装置图

### E.2.3 计算机

测量系统推荐使用一台计算机来测量损耗。

### E.2.4 试验样品

试样应为盘绕在光纤盘上或在光缆中的 B 类光纤,光纤长度应能足以避开 OTDR 的测量盲区,光纤两端应留出一定长度以便于测量。对试样进一步的要求见 GB/T 15972.40。

### E.2.5 参考样品

用两根已预先测定过(其他三种方法中的一种方法)一个或多个波长模场直径的单模光纤作为参考光纤,分别用于被测光纤两个端别的测量。

通常参考光纤与被测光纤的结构应相近,光纤长度应能足以避开 OTDR 的测量盲区,如果参考光纤与被测光纤的结构设计不同,则应确定一个经验映射函数,在本方法的测量结果和原有测量方法的测量结果间建立联系。

### E.2.6 光纤接头

在测量过程中,参考光纤与被测光纤的接头 A(或 B)应保持稳定,使测量结果不受连接损耗变化的影响,可选用熔接连接或活动连接的方式,当使用活动连接方式时,应使用折射率匹配油以减小光纤端面处反射峰的影响。

## E.3 程序

### E.3.1 测量方向和表示符号

可以通过测量如图 E.1 中所示的接头 A 或接头 B 的后向散射损耗特性来测定试样的模场直径,在本程序中,使用了如下符号:

$\lambda_j$  —— 某一测量波长;

$L_A(\lambda_j)$  —— 从参考 A 纤注入光测量接头 A 在  $\lambda_j$  波长上的损耗;

$L_B(\lambda_j)$  —— 从参考 B 纤注入光测量接头 A 在  $\lambda_j$  波长上的损耗;

$W_A(\lambda_j)$  —— 参考 A 纤在波长  $\lambda_j$  上预先测得的模场直径;

$W_S(\lambda_j)$  —— 用本试验方法测量的试样在波长  $\lambda_j$  上的模场直径;

$g_j$  —— 与波长和光纤结构相关的修正因子;

$f_j$  —— 与波长和光纤结构相关的修正因子。

图 E.2 和图 E.3 是分别从参考 A 纤注入光和从参考 B 纤注入光测量的后向散射曲线示意图。

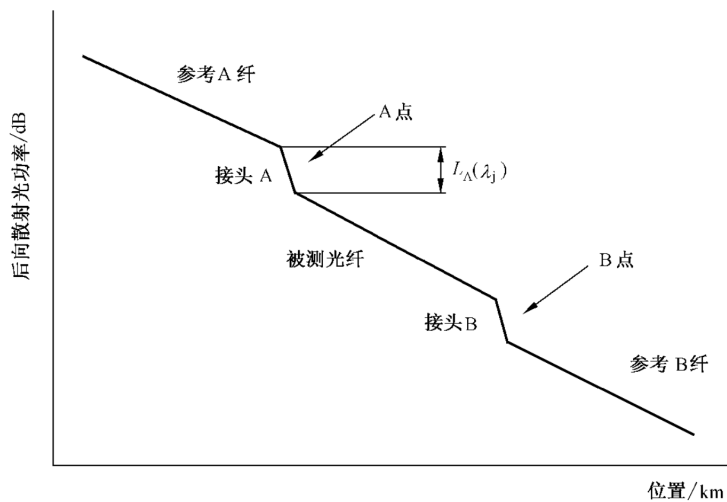


图 E.2 从参考 A 纤注入光测量

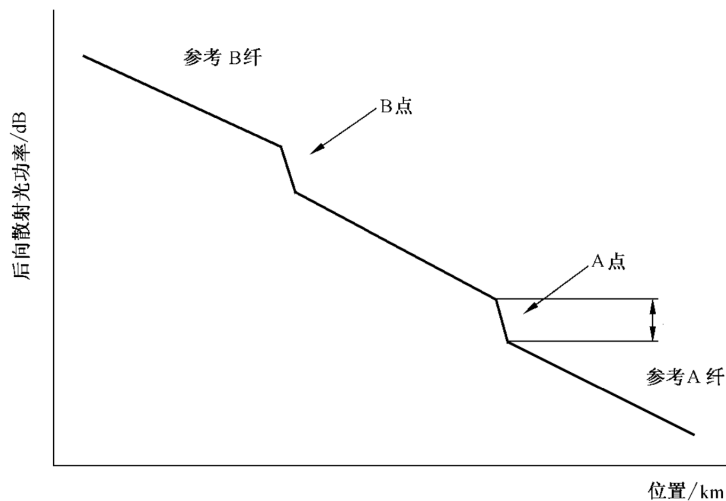


图 E.3 从参考 B 纤注入光测量

E.3.2 用 GB/T 15972.40—2008 中方法 C,从参考 A 纤注入 $\lambda_j$ 波长的光,测量接头 A 的损耗,结果记为  $L_A(\lambda_j)$ 从参考 B 纤注入 $\lambda_j$ 波长的光,测量接头 A 的损耗,结果记为  $L_B(\lambda_j)$ 。

E.3.3 用 E.4 中公式(E.1)计算被试光纤的模场直径。

E.4 计算

E.4.1 参考光纤的模场直径

应选取其他三种方法中的一种方法测量参考光纤在每一个要求测量波长的模场直径。

E.4.2 计算试样的模场直径

在某一测量波长 $\lambda_j$ ,参考 A 纤与参考 B 纤之间的损耗的计算方法如公式(E.1)所示：

$$\Delta L(\lambda_j) = L_A(\lambda_j) - L_B(\lambda_j) \dots\dots\dots (E.1)$$

试样在波长 $\lambda_j$ 处的模场直径的计算如公式(E.2)所示:

$$W_s(\lambda_j) = W_A(\lambda_j) 10^{\frac{|g_j \Delta L + f_j|}{20}} \dots\dots\dots (E.2)$$

用参数  $g_j$  和  $f_j$  修正测量结果。对于某一已知结构的光纤,需要进行验证试验,根据经验确定参数  $g_j$  和  $f_j$  的最佳值。当  $g_j$  和  $f_j$  未知并无法依经验确定时,可以分别设为 1 和 0。

### E.4.3 光纤类型、结构和波长的验证试验

**E.4.3.1** 选用一组需要对光纤类型、结构和相应波长进行验证试验的光纤样品,在某一波长处的模场直径已经用原方法(其他三种方法任意之一)测量。该组样品覆盖了这种类型和结构的光纤中较宽的模场直径和截止波长的数值范围。

**E.4.3.2** 用 E.3.2 中的程序测量每一光纤的  $L_A$  和  $L_B$ 。

**E.4.3.3** 对每一光纤计算  $20\lg\left(\frac{W_s}{W_A}\right)$  和  $(L_A - L_B)$ ,对所有光纤以  $(L_A - L_B)$  为横轴,  $20\lg\left(\frac{W_s}{W_A}\right)$  为纵轴作一条拟合直线,确定直线的斜率  $g$  和截距  $f$ 。

**E.4.3.4** 选用同一类型、同一结构的第二组光纤,重复步骤 E.4.3.1 和 E.4.3.2。

**E.4.3.5** 用 E.4.3.3 中得到的  $g$  和  $f$  计算每一光纤的模场直径  $W_s$ ,并与其原始数据比较,得到两种方法的模场直径差别  $W_d$ 。

**E.4.3.6** 确定两种测量方法的结果是否等同。其判别标准为:等同水平  $B$  不大于  $0.1 \mu\text{m}$ ,  $B$  的计算式如公式(E.3)所示:

$$B = |\bar{d}| + 2 \frac{\sigma_d}{\sqrt{N}} \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

$B$  ——等同水平,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\bar{d}$  ——一组光纤模场直径两种测量结果的平均差值,  $\bar{d} = \overline{W_d}$ ,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\sigma_d$  ——一组光纤模场直径两种测量结果标准偏差的差值,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$N$  ——一组光纤的样品数量。

**E.4.3.7** 当  $B$  超过  $0.1 \mu\text{m}$  时,应调整测量程序,如改进光纤连接的方式或状态等。

**E.4.3.8** 图 E.4 提供了一个典型的验证试验的图形和数据。

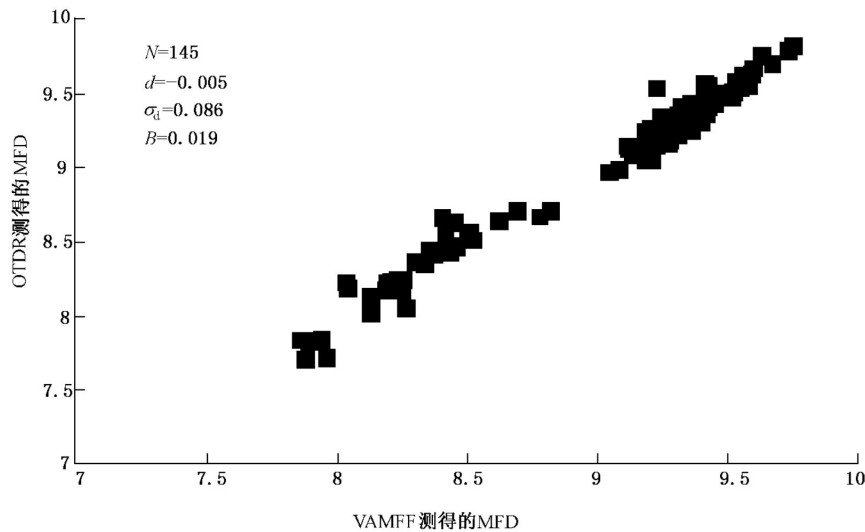


图 E.4 验证范例-方法比较

附 录 F  
(资料性附录)  
采样数据和计算结果

### F.1 概述

表 F.1、表 F.2、表 F.3 中分别提供了用方法 A、方法 B 和方法 C 测量时的一组采样数据和计算结果。

### F.2 方法 A 的数据

表 F.1 方法 A 的采样数据和计算结果

角度 (°)	归一化叠合光功率	角度 (°)	归一化叠合光功率
0.000	1.000 00	9.405	0.048 47
0.495	0.986 26	9.900	0.039 11
0.099	0.944 69	10.395	0.031 55
1.485	0.881 28	10.890	0.025 58
1.980	0.802 91	11.385	0.020 59
2.475	0.713 44	11.880	0.016 59
2.970	0.621 16	12.375	0.013 35
3.465	0.533 03	12.870	0.010 77
3.960	0.452 02	13.365	0.008 65
4.455	0.378 06	13.860	0.006 97
4.950	0.313 73	14.355	0.005 59
5.445	0.258 48	14.850	0.004 47
5.940	0.211 16	15.345	0.003 56
6.435	0.171 70	15.840	0.002 83
6.930	0.139 50	16.335	0.002 24
7.425	0.113 30	16.830	0.001 79
7.920	0.091 99	17.325	0.001 45
8.415	0.074 47	17.820	0.001 13
8.910	0.060 09	18.315	0.000 87
注：波长为 1 550 nm,模场直径计算结果为 6.73 $\mu\text{m}$ 。			

### F.3 方法 B 的数据

计算方法细节不同时可能引起  $0.01\ \mu\text{m}$  的计算值差异。

表 F.2 方法 B 的采样数据和计算结果

角度 (°)	光功率	角度 (°)	光功率
1.273	0.085 72	10.367	0.708 23
2.201	0.208 64	11.172	0.714 50
2.930	0.312 50	11.944	0.719 71
3.820	0.423 22	13.216	0.725 10
4.631	0.509 08	14.879	0.729 71
5.403	0.567 77	16.671	0.733 06
6.271	0.613 60	18.275	0.734 74
7.107	0.646 90	20.042	0.735 82
7.776	0.667 85	21.788	0.735 84
8.663	0.686 43	23.478	0.736 16
9.558	0.699 63	—	—
注：波长为 $1\ 550\ \text{nm}$ ，模场直径计算结果为 $8.13\ \mu\text{m}$ 。			

### F.4 方法 C 的数据

表 F.3 方法 C 的采样数据和计算结果

半径 $\mu\text{m}$	归一化光功率	半径 $\mu\text{m}$	归一化光功率
0.000	1.000 00	10.817	0.001 97
1.082	0.890 27	11.899	0.000 88
2.163	0.635 61	12.981	0.000 36
3.245	0.350 31	14.063	0.000 15
4.327	0.166 87	15.144	0.000 06
5.409	0.078 26	16.226	0.000 02
6.490	0.037 35	17.308	0.000 00
7.572	0.017 52	18.389	0.000 00
8.654	0.008 72	19.471	0.000 00
9.736	0.004 33	20.553	0.000 00
注：波长为 $1\ 550\ \text{nm}$ ，模场直径计算结果为 $10.48\ \mu\text{m}$ 。			



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
光纤试验方法规范 第 45 部分：  
传输特性的测量方法和试验程序  
模场直径

GB/T 15972.45—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)

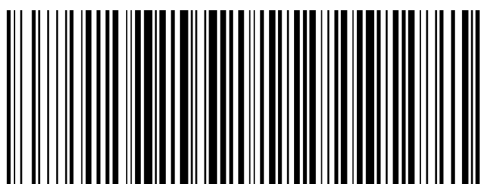
服务热线: 400-168-0010

2021 年 4 月第一版

\*

书号: 155066 · 1-66591

版权专有 侵权必究



GB/T 15972.45-2021