

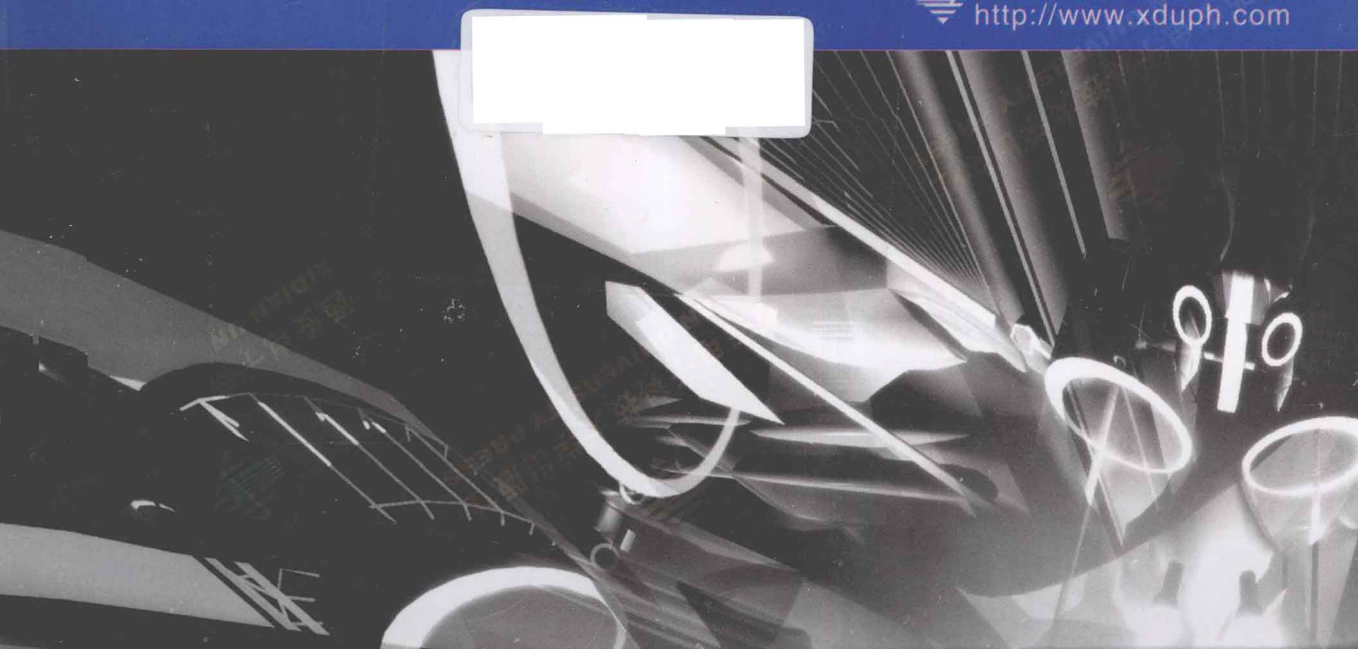
高等学校电子信息类专业
“十二五”规划教材

ELECTRONIC
INFORMATION SPECIALTY

光纤通信测量

刘娟 陆 蓉 编著
姚英 罗文峰

 西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

光纤通信测量

刘娟 陆蓉 编著
姚英 罗文峰



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书包括绪论和7个章节的内容,第1章为光纤通信的基本测量方法;第2章为光纤特性的测量;第3章为光端机接口的测量;第4章为光传输系统的测量;第5章为光放大器和光无源器件的测量;第6章为SDH及其测试;第7章为光网络及其测试。在测量方法中附加了对测量的仪器、仪表的简单介绍。

本书既可作为高等院校通信工程、光电信息工程、光信息科学与技术和电子科技与技术等工科类专业的教材,亦可作为光电子、光纤通信和激光技术等方面的工程技术人员和科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信测量/刘娟等编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2013. 1

高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2947 - 6

I. ① 光… II. ① 刘… III. ① 光纤通信—测量—高等学校—教材 IV. ① TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 312576 号

策 划 云立实

责任编辑 王 斌 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19.5

字 数 462千字

印 数 1~3000册

定 价 34.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2947 - 6/TN

XDUP 3239001—1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

由于光纤通信技术的迅猛发展和广泛应用,因此保证通信质量就显得尤为重要。在光通信技术中,对光通信系统、光纤光缆和光器件的测量等已成为一个重要内容,有必要把光纤通信衡量指标的最新测量方法加以总结、归纳和详细介绍。本书是作者在多年的教学和科研实践的基础上编写而成的,力图使其涵盖目前光纤通信测量的主要方面。

本书以国际电信联盟电信标准化组织(ITU-T)制定的建议为参考,主要介绍光纤通信中光纤、传输设备以及系统的各项性能指标的基准测试法及替代测试法,同时对于一些常用的其他测量方法也进行了介绍。书中阐述了光纤通信系统测量的理论基础及相关的基本概念,以原理性介绍为主,同时也对测量精度进行了讨论。在内容编排上,力求做到重点突出、层次分明和叙述简洁;在编写过程中,尽可能应用最新的测量方法。相比于其他教材,本书增加了偏振模色散等新内容。除介绍光纤、光器件、光端机和光通信系统以外,由于光接入网的迅速发展,本书还编写了光网络的有关内容。

本书由刘娟、陆蓉、姚英和罗文峰老师共同编写。其中刘娟老师编写了第1章、第2章及第5章的大部分内容;陆蓉老师编写了第3章、第4章及第6章的内容;姚英老师编写了第2章光纤机械性能和温度性能的测量、第5章的光无源器件的测量及第7章的内容;罗文峰老师编写了第1章的光纤测量系统的基本知识的内容。全书由刘娟老师统稿。

在本书的编写过程中,参考了相关的资料,在此对原作者表示感谢。感谢西安邮电大学电子工程学院各位老师的帮助,感谢郝爱花老师所编写的校内教材对我们的帮助,感谢梁猛老师为我们提供的实用的参考资料及编写建议。

光纤通信及其相关的测量技术是一门发展迅速的技术,涉及的基础知识非常广泛。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编著者

2012年4月

目 录

绪论	1
第 1 章 光纤通信的基本测量方法	2
1.1 光纤	2
1.1.1 光纤的组成	2
1.1.2 光纤的分类	3
1.2 光纤通信系统的基本组成	6
1.3 光纤测量系统的基本知识	6
1.3.1 光纤测量系统的基本组成	6
1.3.2 ITU-T 基准测试法与替代测试法	9
1.4 习题	9
第 2 章 光纤特性的测量	10
2.1 光纤光学特性的测量	10
2.1.1 折射率分布的测量	10
2.1.2 单模光纤的模场直径及其测量	20
2.1.3 单模光纤的截止波长及其测量	29
2.1.4 多模光纤的数值孔径及其测量	35
2.2 光纤几何参数的测量	38
2.2.1 几何参数的定义	39
2.2.2 测量方法	40
2.3 光纤传输特性的测量	43
2.3.1 光纤的衰减特性及其测量	43
2.3.2 多模光纤的带宽及其测量	56
2.3.3 单模光纤的波长色散及其测量	60
2.3.4 偏振模色散的测量	73
2.4 光纤机械性能和温度性能的测量	104
2.4.1 光纤机械性能的测量	104
2.4.2 光纤温度性能的测量	107
2.5 习题	108
第 3 章 光端机接口的测量	110
3.1 光端机光接口的测量	110
3.1.1 光发送机的测量	110
3.1.2 光通道的测量	116
3.1.3 光接收机的测量	125
3.2 光端机电接口的测量	129
3.2.1 基本指标	129
3.2.2 输出口的测量	132

3.2.3 输入口的测量	137
3.3 习题	139
第4章 光传输系统的测量	140
4.1 数字传输模型	140
4.2 误码特性	141
4.2.1 误码的概念	141
4.2.2 误码的测量	145
4.2.3 误块的概念	147
4.3 抖动特性	150
4.3.1 抖动的概念	150
4.3.2 抖动的测量	152
4.4 漂移特性	154
4.4.1 漂移的概念	154
4.4.2 漂移的测量	154
4.5 传输系统的可靠性	156
4.5.1 可靠性的概念	156
4.5.2 不同系统的可靠性分析	158
4.5.3 可靠性的估算方法	160
4.6 习题	162
第5章 光放大器和光无源器件的测量	164
5.1 光放大器及其性能参数	164
5.1.1 光放大器的基本原理	164
5.1.2 光放大器的分类	164
5.1.3 掺稀土元素光放大器	165
5.1.4 光放大器的性能参数	166
5.2 EDFA 的指标及掺稀土元素放大器的测量	168
5.2.1 光放大器的增益参数及其测量	169
5.2.2 光放大器的功率参数及其测量	174
5.2.3 光放大器的增益斜率及其测量	178
5.2.4 光放大器的噪声参数及其测量	181
5.3 非线性光学光放大器	189
5.3.1 拉曼光放大器(SRA)的工作原理	189
5.3.2 布里渊光放大器(SBA)的工作原理	190
5.3.3 半导体光放大器(SOA)的工作原理	191
5.3.4 其他种类光放大器的测量	191
5.4 光无源器件的测量	192
5.4.1 光连接器的原理及其指标测量	192
5.4.2 光衰减器的原理及其指标测量	198
5.4.3 光耦合器的原理及其指标测量	203
5.4.4 光波分复用器的原理及其指标测量	207
5.4.5 光隔离器和光环行器的原理及其指标测量	213
5.4.6 光功率计和稳定光源简介	216
5.5 习题	220

第 6 章 SDH 及其测试	221
6.1 SDH 原理与测试概述	221
6.1.1 SDH 的原理	221
6.1.2 SDH 测试概述	223
6.2 传送能力测试	224
6.2.1 虚容器的 BER 测试	224
6.2.2 映射测试	225
6.2.3 去映射测试	225
6.3 指针测试	225
6.3.1 定时偏移测试	226
6.3.2 支路输出抖动测试	226
6.4 嵌入开销测试	227
6.4.1 告警测试	227
6.4.2 性能监视测试	227
6.4.3 协议测试	228
6.5 习题	228
第 7 章 光网络及其测试	229
7.1 波分复用(WDM)系统及其测试	229
7.1.1 WDM 系统的基本知识	229
7.1.2 WDM 系统的指标及其测试	241
7.1.3 WDM 系统测试仪表介绍及注意事项	250
7.2 光传输网络(OTN)及其测试	251
7.2.1 OTN 的基本知识	251
7.2.2 OTN 的指标及测试	259
7.3 EPON 及其测试	276
7.3.1 EPON 的基本知识	276
7.3.2 EPON 的指标及测试	290
7.4 习题	302
参考文献	304

绪 论

20 世纪 60 年代, 英籍华裔学者高锟(C. K. Kao)和霍克哈姆(C. A. Hockham)发表了关于传输介质新概念的论文, 指出了利用光纤(Optical Fiber)进行长距离信息传输的可能性和技术途径, 奠定了现代光通信——光纤通信的基础。1970 年, 美国康宁(Corning)公司成功研制出在 633 nm 传输损耗为 20 dB/km 的石英光纤, 这使光纤通信向实用化迈出了一大步。1972 年, 康宁公司高纯石英多模光纤损耗降低到 4 dB/km。1973 年, 美国贝尔(Bell)实验室取得了更大成绩, 将光纤的损耗降低到 2.5 dB/km, 1974 年降低到 1.1 dB/km。1976 年, 日本电报电话(NTT)公司等单位将光纤损耗降低到 0.47 dB/km(波长 1.2 μm)。在以后的 10 年中, 波长为 1.55 μm 的光纤损耗是: 1979 年为 0.20 dB/km, 1984 年为 0.157 dB/km, 1986 年为 0.154 dB/km, 接近了光纤最低损耗的理论极限。

同时, 通信用半导体激光器及光通信相关器件也得到广泛的研究。1970 年, 美国贝尔实验室、日本电气公司(NEC)和前苏联先后突破了半导体激光器在低温(-200°C)或脉冲激励条件下工作的限制, 成功研制出室温下连续振荡的镓铝砷(GaAlAs)双异质结半导体激光器(短波长), 几乎同时研发成功了 GaAlAs 发光二极管。为了配合长波长窗口, 20 世纪 80 年代初研制出了波长为 1.3 μm 和 1.55 μm 的 InGaAsP(铟镓砷磷)长波长激光器和发光二极管, 以满足使用要求。各式各样的光无源器件和仪表也相继出现, 如光纤活动连接器、光衰减器、光纤熔接机及光时域反射仪等。光放大器、可调谐半导体激光器、波分复用技术也得到了发展。光通信技术也由早期的短波长向长波长大容量方向发展。

目前的光纤通信系统在使用波分复用技术时, 波长间隔为 0.8 nm(100 GHz)的光信号在同一根光纤中传输, 这需要每个波长的光信号功率保持稳定。光纤放大器也已成为光通信的基本模块, EDFA(掺铒光纤放大器)已广泛使用, 光通信的波长也由 1310 nm 移至 1550 nm 的低损耗窗口, 光放大器的出现使 DWDM(密集型光波复用)可进行长距离的传输。对于短距离的传输, 如接入网、计算机局域网等也用光纤取代了电缆。同时光纤中的数字调制速率也得到很大的提高, 商用的已达到 10 GHz, 一些研究表明系统的速率可达到 40 GHz 以上。

目前正在研究一些光纤通信新技术, 例如, 超大容量的波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)光纤通信系统和超长距离的光孤子(Soliton)通信系统等, 这些技术为光纤通信的进一步发展提供了动力。

第 1 章 光纤通信的基本测量方法

随着光纤通信的迅猛发展，对光纤光缆及各种光通信设备的需求日益增加。为确保光通信的质量，光纤通信的测量是必不可少的内容。

本章介绍了常用通信类光纤的组成、分类及光通信系统的基本构成，重点介绍了光通信的测量方法的分类及通用的光通信测量的基本要求。

1.1 光 纤

1.1.1 光纤的组成

光纤是一种丝状的圆柱光波导，它将光封闭在其内进行传递。从射线光学的角度看，光纤是一种利用全反射原理进行光信号传递的导波介质。

光纤的基本结构一般是双层或多层的同心圆柱体，如图 1-1 所示。通信用光纤主要由纯二氧化硅(即石英)构成。其中心部分是纤芯，纤芯外面的部分是包层，纤芯的折射率略高于包层的折射率从而形成光波导效应，使大部分的光被束缚在纤芯中传输，实现光信号的长距离传输。

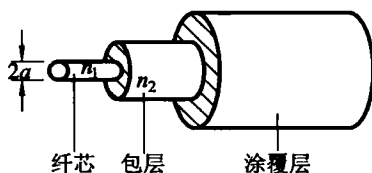


图 1-1 光纤的基本结构

由纤芯和包层组成的光纤常称为裸光纤，这种光纤如果直接使用，由于裸露在环境中，容易受到外界温度、压力和水汽等的侵蚀，因而实际中应用的光纤都在裸光纤的外面增加了防护层，用来缓冲外界的压力，增加光纤的抗拉、抗压强度，并改善光纤的温度特性和防潮性能等。

光纤外部要涂覆多层的高分子材料，如环氧树脂、硅橡胶和尼龙材料等。一般涂覆三层：最靠近光纤的内层称为预涂覆层，其厚度约为几十微米，也称为一次涂覆；次外层为缓冲层，多用硅树脂材料；最外层常用尼龙材料，通常称为二次涂覆。若次外层与一次涂覆层是近乎同心且紧贴相包，则这种光纤称为紧套光纤；若次外层是使用油膏之类的材料，则光纤在油膏包围中的位置相对较松，不固定，这种光纤称为松套光纤。这两种光纤的结构如图 1-2 所示。

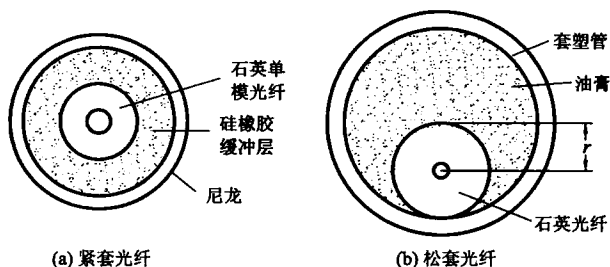


图 1-2 紧套光纤和松套光纤的结构

1.1.2 光纤的分类

根据不同的特性，光纤有不同的分类。我们主要以折射率分布及模式数量来进行分类。

按照光纤纤芯的折射率分布，光纤可分为阶跃折射率型和渐变折射率型（也称为梯度折射率型），即阶跃光纤和渐变光纤。

光纤中模的传播依赖于折射率分布的形状。实际应用中的光纤折射率曲线也可用沿半径的折射率分布指数函数来描述，即

$$\text{对于纤芯: } n^2(r) = n_1^2 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right] \quad r < a \quad (1-1)$$

$$\text{对于包层: } n(r) = n_2 = \text{常数} \quad r \geq a \quad (1-2)$$

式中， n_1 为光纤芯折射率； Δ 为芯包相对折射率差， $\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / (2n_1^2)$ ，在弱导近似下（ $n_1 \approx n_2$ ）， $\Delta \approx (n_1 - n_2) / n_1$ ； r 为离开光纤芯轴的距离； a 为纤芯半径（ μm ）； g 为折射率分布指数； n_2 为包层的折射率。

折射率分布的形状有阶跃（突变）、三角、高斯或更复杂的形式，如图 1-3 所示。

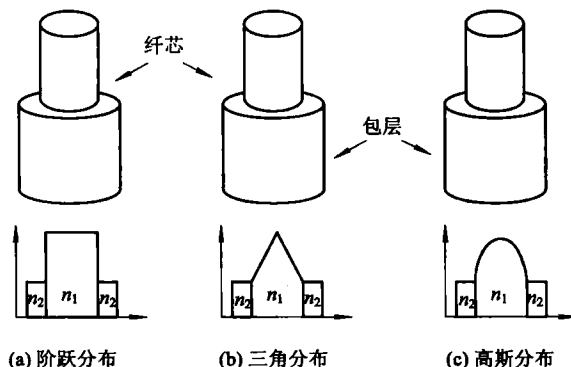


图 1-3 光纤的折射率分布

g 反映了折射率的分布，当 $g=1$ 时为三角形分布，当 $g=2$ 时为抛物线分布（平方率分布），当 $g \rightarrow \infty$ 时为阶跃分布。

按照光纤所传模式数量可将光纤分为单模光纤及多模光纤。对于单模光纤，其折射率分布和突变型光纤相似，纤芯直径只有（8~10） μm ，光线以接近直线形式沿纤芯中心轴线方向传播。因为这种光纤只能传输一个模式（两个偏振态简并），所以称为单模光纤，其信号畸变很小。

突变型多模光纤(Step Index Fiber, SIF), 纤芯折射率 n_1 保持不变, 包层为 n_2 。这种光纤一般纤芯直径为 $2a=(50\sim80)\mu\text{m}$, 光线以折线形式沿纤芯中心轴线方向传播, 特点是信号畸变大。

渐变型多模光纤(Graded Index Fiber, GIF), 在纤芯中心折射率最大, 为 n_1 , 沿径向 r 向外围逐渐变小, 直到包层变为 n_2 。这种光纤一般纤芯直径($2a$)为 $50\mu\text{m}$, 光线以正弦形式沿纤芯中心轴线方向传播, 特点是信号畸变小。

相对于单模光纤而言, 因为突变型光纤和渐变型光纤的纤芯直径都很大, 可以容纳数百个模式, 所以称为多模光纤。渐变型多模光纤和单模光纤, 包层外径 $2b$ 都选用 $125\mu\text{m}$ 。

依据国际电工委员会(International Electrotechnical Commission)标准 IEC 60793-1-1 (1995)《光纤第1部分总规范》光纤的分类方法, 按光纤所用材料、折射率分布形状、零色散波长等因素光纤被分为 A 和 B 两大类: A 类为多模光纤, B 类为单模光纤。表 1-1 和表 1-2 分别给出了 A 类多模光纤和 B 类单模光纤的分类。

表 1-1 A 类多模光纤的分类

类别	材 料	类 型	折射率分布指数 g 极限值
A1	玻璃芯/玻璃包层	梯度折射率光纤	$1\leq g<3$
A2.1	玻璃芯/玻璃包层	准阶跃折射率光纤	$3\leq g<10$
A2.2	玻璃芯/玻璃包层	阶跃折射率光纤	$10\leq g\leq\infty$
A3	玻璃芯/玻璃包层	阶跃折射率光纤	$10\leq g\leq\infty$
A4	塑料光纤		

表 1-2 B 类单模光纤的分类

类别	特 点	零色散波长标称值/nm	工作波长标称值/nm
B1.1	非色散位移光纤	1310	1310 和 1550
B1.2	截止波长位移光纤	1310	1550
B1.3	波长段扩展的非色散位移光纤	1300~1324	1310、1360~1530、1550
B2	色散位移光纤	1550	1550
B3	色散平坦光纤	1310 和 1550	1310 和 1550
B4	非零色散位移光纤	<1530、>1625	30~1625

按照零色散波长和截止波长位移与否可将单模光纤分为 5 种, 国际电信联盟电信标准化组织(ITU-T)在 2000 年 10 月对其中 4 种单模光纤已给出最新建议: G. 652、G. 653、G. 654 和 G. 655。单模光纤的分类如表 1-3 所示。

表 1-3 单模光纤的分类

名 称	ITU-T	IEC
非色散位移单模光纤	G. 652; A、B、C	B1.1 和 B1.3
色散位移单模光纤	G. 653	B2
截止波长位移单模光纤	G. 654	B1.2
非零色散位移单模光纤	G. 655; A、B	B4
色散补偿单模光纤		

1. 常规型单模光纤

常规型单模光纤的零色散波长在 1310 nm 附近, 最低损耗在 1550 nm 附近, 在 1550 nm 处有一个较高的正色散值。ITU-T 建议的 G. 652 光纤和 G. 654 光纤都属于这种类型。零色散波长在 (1300~1324) nm, 最大色散 $D(\lambda) < 3.5 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$, 色散斜率 $S_0 \leq 0.093 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 。

常规型单模光纤的剖面结构分为匹配包层型和下凹内包层型, 如图 1-4 所示。

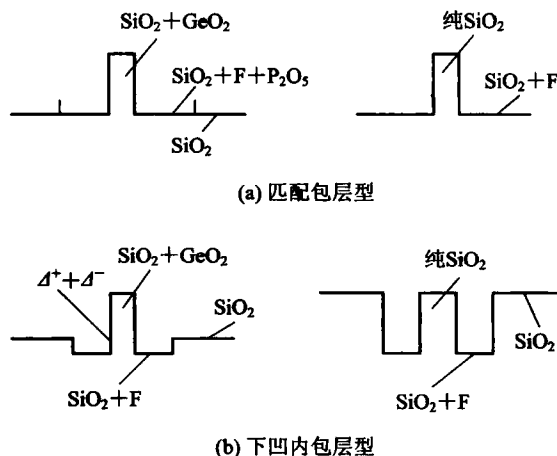


图 1-4 常规型单模光纤的折射率分布

2. 色散位移型光纤(DSF)

色散位移型光纤的零色散波长 λ_0 在 1.55 μm 左右, 它的零色散波长范围为 (1500~1600) nm, 色散斜率 $S_0 \leq 0.085 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$, 在 (1525~1575) nm 范围内最大色散系数 $D(\lambda) < 3.5 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。ITU-T 建议的 G. 653 光纤即属色散位移型光纤。

3. 非零色散型光纤(NZDF)

色散位移型光纤在 1550 nm 波段有十分优异的传输特性, 它在光纤最低损耗波长处的色散系数几乎为零。对于单波长系统, 这无疑是最好的, 但是对于多波长系统, 如 WDM 系统, 这种光纤则有严重问题。在 WDM 系统中, 如果各个波长信道的光功率较大, 则会产生四波混频等三阶非线性效应, 导致系统性能的严重劣化。而工作在零色散区则正好可以满足形成四波混频的共线相位匹配条件。为克服这一问题, ITU-T 制定了 G. 655 建议。

按 ITU-T G. 655 建议制造的光纤在 1550 nm 窗口保留了一定量的色散, 以抑制四波混频。但其色散又要充分小, 以保证色散不会成为系统容量的限制因素。这种光纤就是非零色散光纤(Non Zero Dispersion Fiber)。近年来, 为了解决光纤中的非线性问题, 又成功研制出了大有效面积光纤(LEAF)。这种光纤也属于 G. 655 光纤, 只不过它的有效面积明显大于普通 G. 655 光纤。在相同输入功率条件下, 大有效面积光纤中的光强要小得多, 从而有效地抑制了非线性效应。

4. 色散平坦型光纤

色散平坦型光纤有两个零色散波长, 分别位于 1.3 μm 和 1.6 μm 附近, 因而在 (1.3~1.6) μm 波长范围内总色散都很小, 而且色散斜率也很小。实现色散平坦的手段是使波导色散曲线具有更大的斜率, 或其负色散值随波长变化更剧烈, 使得在 (1.3~1.6) μm 波长

范围内波导色散与材料色散都可较好地抵消。

1.2 光纤通信系统的基本组成

光纤通信系统把光作为传输信号，光纤作为传输介质，其两端为电设备。光纤通信系统多应用于长途传输网、接入网和 OCATV 等，一般说来，光纤通信系统的基本组成如图 1-5 所示。其中，光发射机对输入的电信号进行处理后，将电信号转换为光信号耦合进光纤，光纤线路完成光信号的传输。由于光信号的衰减，光纤线路加光放大器或中继器进行光信号的传输和放大，因此光接收机主要完成光电转换及信号的处理及恢复，最后向外输出需要的电信号。目前光纤通信系统普遍采用强度调制直接检波系统，这种系统具有简单可靠的特点。

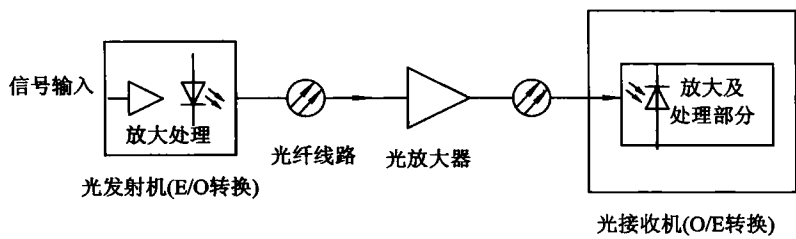


图 1-5 光纤通信系统的基本组成

1.3 光纤测量系统的基本知识

近几年来，光纤通信领域又一次呈现出蓬勃发展的局面。光通信技术以革命性的速度发生着变化，常常是昨天刚刚出现的新技术，今天就得到了广泛的应用。为了保证产品质量和安全，国际和国内标准化组织不断修订老标准，制定新标准。本书以 ITU-T、IEC 等国际标准为主，介绍光纤通信系统的测量。

1.3.1 光纤测量系统的基本组成

光纤作为光的传输媒质，其参数一般是通过测量单个或多个波长的光信号经过光纤传输后的光强分布或光的幅度、相位变化等物理量，再经过数学处理而得到。因此任何光纤测量系统都必须有光源、耦合、探测、放大和显示几个部分，如图 1-6 所示。

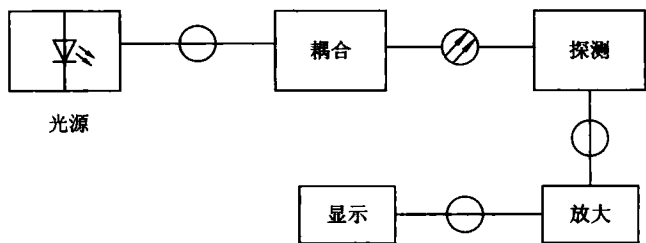


图 1-6 光纤测量系统的基本组成

光源部分完成光电转换的功能。在测量系统中,光源部分要求具有一定的波长及波长和功率的稳定性。探测部分完成光电转换的功能,其核心部件为光电检测器,要求灵敏度高、线性度好,对高频调制还要求响应度高。探测部分的电信号还需进一步放大和处理并显示出来。耦合部分的作用主要为将光源发出的光信号耦合进光纤中。

一般的光纤测量系统至少由发送、耦合、接收部分组成。测量的结果要求稳定可靠,可重复性好,因此要求系统的各部分稳定可靠。此外在测量中还要注意保持每个光学元件的清洁,测量环境也应保持清洁,如光器件上有灰尘的话会影响光的耦合及使测量系统的损耗增大,影响测量的精度。由于光纤比较脆,测量中经常要进行端面的制作,剥去涂覆层的光纤更加脆弱,所以操作时要细心谨慎。同时还应注意光纤弯曲的曲率半径,曲率半径的大小对光纤的损耗,传导模式的消除及光纤本身所受的应力的影响均有较大的影响。

光源耦合进光纤的稳定性和重复性首先跟光纤的端面密切相关。光纤端面的好坏直接影响光纤与光源、光纤与光纤、光纤与光探测器间的连接与耦合。

光纤端面的制作:因为涂覆层会增加光纤的柔韧性,所以首先要用剥皮钳去除光纤的涂覆层,然后用无水乙醇擦拭,去除涂覆层残渣。光纤端面的制备是利用石英光纤的脆性进行的。石英玻璃的硬度可达莫氏硬度7,比较脆。制作端面的方法是将去除涂覆层的裸纤平直放置,用切割刀在光纤表面划一道微小的划痕,然后将光纤掰断。图1-7给出了几种端面的示意图,其中图1-7(a)和图1-7(b)为切割不当造成的。光纤切割刀主要分为机械式和超声波切割两类,机械式简单方便、易于携带,对环境要求不高,超声波切割刀合格率较高,但需用电源,且受环境影响较大。

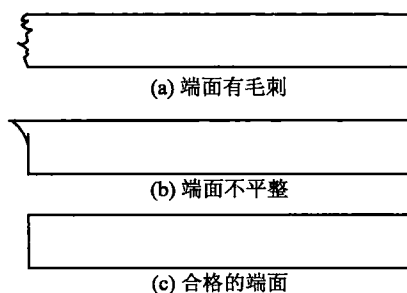


图1-7 几种光纤端面的示意图

要使光纤的测量顺利进行并得到准确可靠的结果,首先必须制备合格的光纤端面。理想的端面应光滑平整,清洁,而且与光纤轴线垂直,建议端面垂直于光纤轴 1° 以内。如图1-7(c)所示。

端面做好后,需将光信号耦合进光纤。对于光纤测量系统,为保证测量系统的可靠性和重复性,还需使光信号模式达到稳定的状态。光经过光纤长距离传输后其模式即达到稳定状态,实际测量中,获得稳态模式分布一般有三种方法:

- (1) 使用一定的光学系统。
- (2) 利用稳态模式模拟器,一般包括扰模器和包层模消除器等。

(3) 用一根性能和被测光纤相同或相似的辅助光纤,代替光纤耦合的作用,这种方法在现场应用则非常方便。光功率和光纤长度的关系如图1-8所示。

下面这种介绍几种稳态模式模拟器。

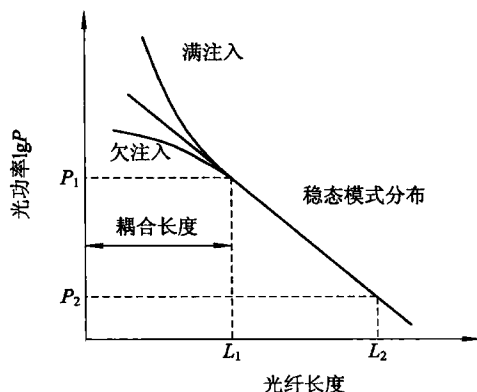


图1-8 光功率和光纤长度的关系

1. 包层模消除器 (Cladding Stripper)

无论单模光纤还是多模光纤，都是依靠传导模工作的。一般来说，对光纤绝大部分参数的正确测量都只考虑这些稳态工作模式的分布和变化。但在光耦合过程中，并不只是激励起传导模，还会激励起泄漏模和辐射模，而且当光纤发生微弯曲变形时，还会由传导模转变为辐射模。当光纤的一次涂覆材料的折射率比石英包层的折射率低时，辐射模将会在包层和涂覆层的界面上产生全反射，从而形成包层模。包层模虽然不会传得很远，但会严重影响测量结果。例如，在测量光纤损耗时，如果是低折射率涂覆材料，利用截断法测得的衰减常数就会偏大很多。其原因是光纤截断后测短光纤的输出功率时，光电探测器探测到的光功率除传导模的光功率外，还混杂有不参与传导的包层模，测得的短光纤出纤功率偏高，从而造成了光纤衰减常数变大的假象。

其实去除包层模的办法很简单，只需将离光纤注入端不远处的一段光纤涂覆层去除，然后将其浸在折射率稍大于包层折射率的匹配液中，包层与涂覆层间的输出光将折向匹配液中并被吸收。匹配液可为甘油、四氯化碳等。用于消除包层模的器件称为包层模消除器，包层模消除器及其代表符号如图 1-9 所示。应当注意的是，对于高折射率涂覆层的光纤，也就是所用的一次涂覆层的折射率比石英光纤的折射率高时，不会形成包层模，因此也就不需要使用包层模消除器了。

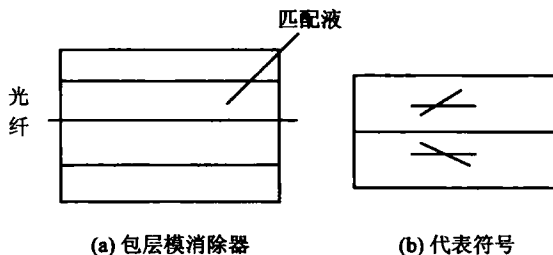


图 1-9 包层模消除器及其代表符号

2. 滤模器 (Mode Filter)

光纤注入端可激发多个模式，经过传输后，一些高阶模由于衰减较大而不存在，测量时为获得正确的结果，应考虑去除这些模式。对于单模光纤，理论上只存在基模，单模光纤参数的测量一般都只考虑基模场的分布及能量的变化等，但注入端往往存在高阶模，为了得到正确的结果，在许多情况下都要滤除高阶模。用来滤除高阶模的器件称为滤模器，其示意图如图 1-10 所示。单模光纤中虽可激励起少数高阶模，但高阶模有着衰减常数大的特点，对光纤稍加弯曲，加大高阶模的衰减，这些高阶模就会很快衰减掉。因此只要在光纤注入端打个小圈就可起到滤模作用。为了统一，可制作一个半径小于 30 mm 的圆柱，将光纤在上面绕一周即可。

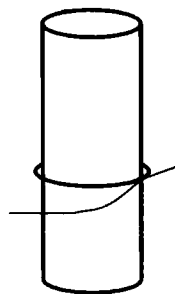


图 1-10 滤模器的示意图

3. 扰模器 (Scrambler)

扰模器一般用于测量多模光纤的衰减常数和带宽传输常数，多模光纤传输的模式很多，当光射入多模光纤中，由于光纤中的扰动，这些模式之间相互耦合、交换能量。实验表

明,注入光经过一定长度路径之后,传导模经过长时间的耦合转换,最后使各个传导模所携带的功率达到稳定,我们称为稳态模分布。在多模光纤中,一般只有达到稳态模分布之后的测量才有意义。但是,一般都要经过几百米甚至几千米的光纤之后才能建立稳态模分布,这就给测量带来许多麻烦。如果要在几米的光纤长度内进行测量就要用到扰模器。

扰模器就是根据模耦合原理,采用强烈几何扰动的方法,使多模光纤中各模式迅速达到稳态分布的一种器件。这类器件很多,图1-11所示的是几种常见扰模器的示意图。图1-11(a)是几个圆柱组成的柱状扰模器,它是利用光纤周期性弯曲达到扰模,圆柱的直径和间距可经过加工调整。图1-11(b)是SGS光纤型扰模器,它是由几米长的三段光纤熔接而成的,第一段为阶跃型多模光纤,第二段为梯度多模光纤,第三段为阶跃多模光纤。

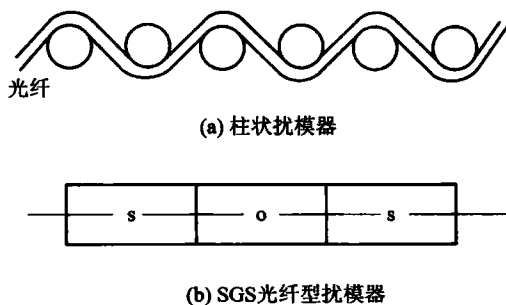


图1-11 扰模器的示意图

1.3.2 ITU-T 基准测试法与替代测试法

ITU-T 建议中给出了两类测试方法,即基准测试法和替代测试法。

基准测试法(Reference Test Method, RTM):对某一类光纤或光缆的某一给定特性是严格按照这个特性的定义来测量的,并给出精确、可重复和与实际使用相一致的结果的测量方法。

替代测试法(Alternativepractical Test Method, ATM):对某一类光纤或光缆(及其相关联的元件)的某一给定特性是以与这个特性的定义在某种意义上一致的方法来测量的,能给出可重复的并与基准测试法的测量结果和实际使用相符合的测量方法。

1.4 习 题

1. 说明光纤的结构及其分类方法。
2. 用简图说明光纤通信测量系统的基本构成。
3. 说明基准测试法和替代测试法及它们之间的关系。
4. 稳态模式模拟器有哪几种?其作用如何?为什么说它们对光纤参数测量是至关重要的?

第 2 章 光纤特性的测量

光纤通信是一种以光波为载体，光纤为传输媒介的通信方式。在光纤通信系统中传输的信息，如数字化的语音、数据和图像等电信号，首先在光端机的发送部分转变为光信号，即光调制，将低频的电信号调制到高频的光载波上；已调制的光载波经光纤传输到接收端，然后将光信号恢复为电信号，从解调波中取出低频电信号。因此，一个光纤通信系统由发送光端机、传输光纤和接收光端机等组成。

根据光纤通信系统的组成，光纤通信测量应主要解决以下几方面的问题：

- (1) 光纤的参数测量。
- (2) 光设备主要性能的测量。
- (3) 光纤通信系统的测量。

光纤作为光通信的传输媒介，其特性参数对光纤传输系统的传输特性有着重要的影响。光纤测试时对光纤特性的实验验证和对光纤特性要求的检验与评价，无论在光纤传输理论的研究，还是在产品设计、提供工艺反馈信息，以及生产过程的质量控制、产品检验、敷设安装和线路维修等过程中都是十分重要且必须掌握的技术。

光纤的实用特性参数很多，但基本上可以归纳为以下三大类：

- (1) 几何特性和光学特性。它们与耦合连接损耗有着密切的关系，主要包括光纤包层直径、纤芯直径、包层不圆度、纤芯不圆度、芯包同心度误差，多模光纤的折射率、数值孔径、单模光纤的模场直径、模场同心误差和截止波长等。
- (2) 传输特性。它们与中继距离和通信容量有关，主要包括光纤的衰减系数、多模光纤的带宽和单模光纤的色散特性等。
- (3) 光纤的机械特性和温度特性。

2.1 光纤光学特性的测量

光纤的光学特性与光纤的性质密切相关，其光学特性影响了其他的性质。光纤光学特性的测量属于光纤基础参数的测量。

2.1.1 折射率分布的测量

光纤的折射率分布与光纤的特性有密切的关系。理论上光纤折射率的分布特性决定了光纤的主要特性，对于光纤的模式及分布起着决定性的影响。在多模光纤中，这一分布对模畸变、带宽具有决定性的影响，如折射率分布达到最佳时，则带宽最高；单模光纤中，它决定着截止波长、模场直径和色散特性。合适的分布，可使单模光纤的材料色散和波导色散在所要求的低损耗波长区相互抵消而产生总零色散。因此光纤折射率分布的精确测量是