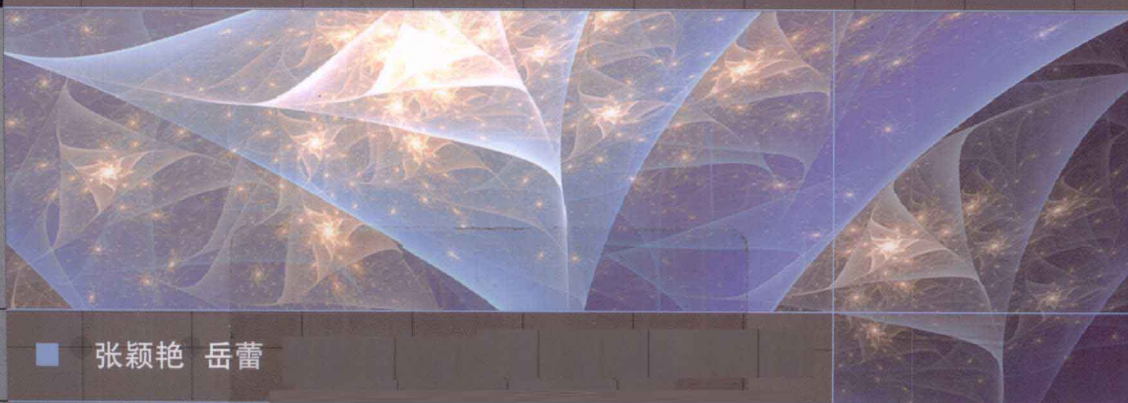


Optical Communication Instruments
Basics and Applications

光通信仪表 与测试应用



■ 张颖艳 岳蕾

► **实用性** 本书根据介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有没有进行过多的理论推导，主要是配合图示和操作实例介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有很强的实用性。

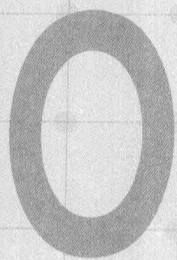
► **先进性** 本书较全面、系统地介绍了光通信测试仪表的专业基础知识、工作原理、使用方法和典型应用。

► **普遍适用性** 本书体系完整，内容突出目前广泛使用的仪表和广泛应用的光通信技术，以满足大多数读者的学习需求。

► **易学易用性** 本书采用模块化的编排方式，各章既相对独立，又彼此有机联系，使全书浑然一体。读者不必逐章阅读，可以挑选感兴趣的章节直接阅读。



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



Optical Communication Instruments
Basics and Applications

光通信仪表 与测试应用

黄震 周波 刘丽 秦怀明 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

光通信仪表与测试应用 / 张颖艳等编著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2012.4
ISBN 978-7-115-27187-7

I. ①光… II. ①张… III. ①光通信—仪表—测试
IV. ①TN929.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第262893号

内 容 提 要

本书介绍了当前光通信测试中常用的仪表,如光功率计、光时域反射计、光谱分析仪、光波长计、光回波损耗测试仪、光纤偏振模色散分析仪、光纤色度色散分析仪、数字传输分析仪、通信信号分析仪(眼图仪)等的理论基础、使用方法和使用技巧。书中还结合目前使用的主流仪表和光通信技术标准,对这些仪表在光纤光学、光无源器件、光通信系统中的测试应用进行了讲解。本书根据作者在测试工作中的实际经验编写,没有进行过多的理论推导,主要是配合图示和操作实例介绍仪表的应用,具有很强的实用性。

本书适合从事通信和电子工程领域工作的人员,特别是研发、生产、运营维护和计量校准人员,以及大专院校通信工程、电子测量与仪器专业的师生阅读参考。

光通信仪表与测试应用

◆ 编 著 张颖艳 岳 蕾 傅栋博 黄 震 周 波
刘 丽 秦怀明

责任编辑 姚予疆

执行编辑 刘 洋

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 21

字数: 505千字

印数: 1—3 000册

2012年4月第1版

2012年4月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-27187-7

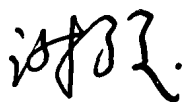
定价: 65.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

序

本书是几位长期从事光通信计量测试领域工作的工程师实践经验的总结，是通信技术标准和测量经验相结合的结晶。

工程技术、运营维护、生产测试人员可以从本书中了解仪表操作，使用技巧，注意事项，保养维护；科研测试人员可以从中了解仪表的原理，测量方法，测试系统的搭建，精度更高的测试方案，选用仪表的技巧等。对于电子工程、通信工程和仪器仪表领域的学习者、求职者，本书是将原理和实践有效结合的一本书，可以帮助读者快速地将理论知识转化为实际能力。



工业和信息化部电信研究院副院长 谢毅博士

2011 年 12 月

前言

光网络是信息技术的依托。作为信息通信网络的基础设施，光网络就像建筑中的地基一样，必不可少。有了光通信的巨大带宽才使 21 世纪的信息世纪成为可能。

仪表是光通信研发、生产、工程测试的基础工具。无论是光通信产品的研发、生产人员，还是光通信系统工程测试、运营维护人员，以及相关领域的学者，都有必要掌握光通信测试方面的知识和技能。鉴于此，工业和信息化部通信计量中心组织编写了本书。

本书介绍了当前光通信测试中常用的仪表，如光功率计、光时域反射计、光谱分析仪、光波长计、光回波损耗测试仪、光纤偏振模色散分析仪、光纤色度色散分析仪、数字传输分析仪、通信信号分析仪（眼图仪）等的理论基础、使用方法和使用技巧。书中还结合目前使用的主流仪表和光通信技术标准，对这些仪表在光纤光学、光无源光器件、光通信系统中的测试应用进行了介绍。本书的特点如下：

（1）实用性。本书根据作者在计量测试工作中的实际经验编写，没有进行过多的理论推导，主要是配合图示和操作实例介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有很强的实用性。

（2）全面性。本书较全面、系统地介绍了光通信测试仪表的专业基础知识、工作原理、使用方法和典型应用。

（3）适用性。本书体系完整，内容突出目前广泛使用的仪表和广泛应用的光通信技术，以满足大多数读者的学习需求。本书所介绍的仪表新旧型号结合，以普遍使用的产品为主，兼顾国际著名厂商产品和一些国产仪表，内容的典型性、普适性强。

（4）仪表和测量的有机结合。本书将仪表和测量应用、测量系统搭建有机结合，给读者提供实践性较强的知识和应用方案。

（5）易学易用。本书采用模块化的编排方式，各章既相对独立，又彼此有机联系，使全书浑然一体。读者不必逐章阅读，可以挑选感兴趣的章节直接阅读。

本书适合从事通信和电子工程领域工作的人员，特别是研发、生产、运营维护和计量校准人员，以及大专院校通信工程、电子测量与仪器专业的师生阅读参考。

本书在写作过程中，得到了工业和信息化部电信研究院、工业和信息化部通信计量中心各级领导的指导，同时还得到了安捷伦公司、EXFO 公司、JDSU 公司、安立公司等仪表企业的帮助，在此一并致谢。

由于作者学识有限，书中错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。读者可通过本书编辑的电子邮箱（liuyang@ptpress.com.cn）与我们联系。

作 者

2012 年 1 月

目 录

第 1 章 光通信系统测试基础..... 1	
1.1 光通信概论..... 1	
1.1.1 概述..... 1	
1.1.2 光通信系统分类..... 1	
1.1.3 光通信系统的基本组成..... 2	
1.2 光纤通信中的测量量值..... 2	
1.2.1 概述..... 2	
1.2.2 相关量纲单位基础..... 3	
1.2.3 dBm 与 mW..... 3	
1.2.4 dB 与 dBm..... 4	
1.2.5 dB 与 %..... 5	
1.3 光通信系统中的测量参数..... 5	
1.3.1 平均波长 (Mean Wavelength)..... 6	
1.3.2 中心波长 (Center Wavelength)..... 6	
1.3.3 峰值波长 (Peak Wavelength)..... 6	
1.3.4 峰值密度 Peak Density (1nm)..... 6	
1.3.5 Sigma(σ)谱宽..... 6	
1.3.6 3dB 谱宽..... 6	
1.3.7 半功率点谱宽 FWHM (Full Width Half Max)..... 7	
1.3.8 边模抑制比 SMSR(Side Mode Suppression Ratio)..... 7	
1.3.9 光信噪比 (OSNR)..... 7	
1.3.10 回波损耗 (Return Loss)..... 7	
1.3.11 事件盲区长度 (Event Dead Zone Length)..... 7	
1.3.12 衰减盲区长度 (Attenuation Dead Zone Length)..... 7	
1.3.13 光纤损耗 (Optical Fiber Attenuation)..... 7	
1.3.14 偏振模色散..... 7	
1.3.15 色散..... 8	
1.3.16 光纤传输特性和光学特性参数..... 8	
1.3.17 光纤几何尺寸参数..... 9	
1.3.18 比特率 (Bit rate)..... 9	
1.3.19 差错 (Error)..... 9	
1.3.20 误比特率 BER (Bit Error Rate)..... 9	
1.3.21 抖动 (Jitter)..... 10	
1.3.22 输出抖动 (Output jitter)..... 10	
1.3.23 抖动转移函数 (Jitter transfer function)..... 10	
1.3.24 输入转移容限 (Jitter tolerance)..... 10	
1.3.25 漂移 (Wander)..... 10	
1.3.26 消光比 EX (Extinction ratio)..... 10	

1.4	光通信测试项目和仪表配置	10			
1.4.1	基础光波测试	10			
1.4.2	光无源器件测试项目及仪表的配置	12			
1.4.3	高速光通信系统测试项目及仪表配置	13			
第 2 章	光功率计	17			
2.1	光功率计的基本概述	17			
2.1.1	光功率的定义	17			
2.1.2	光功率的常用单位	17			
2.2	光功率计的用途和分类	18			
2.2.1	光功率计的用途	18			
2.2.2	光功率计的分类	18			
2.3	光功率计的原理和指标	20			
2.3.1	光功率计的原理与构成	20			
2.3.2	光功率计的性能指标	22			
2.3.3	几种典型商用光功率计介绍	26			
2.4	光功率计在光通信系统测试中的典型应用	27			
2.4.1	在光发射端机测试中的应用	27			
2.4.2	在光接收端机测试中的应用	27			
2.4.3	光纤、光缆的衰减量测试	28			
2.5	光功率计用于其他通信仪表和器件的测量	28			
2.5.1	光衰减器的测量	28			
2.5.2	稳定光源的测量	28			
2.5.3	光有源器件的测量	29			
2.5.4	光无源器件的测量	29			
2.6	光功率计的计量校准	30			
2.6.1	光功率标准	30			
2.6.2	光功率计的计量检定	30			
第 3 章	光源	33			
3.1	光源的发光原理	33			
3.1.1	概述	33			
3.1.2	半导体发光二极管(LED)				
	光源	33			
3.1.3	激光光源	33			
3.1.4	半导体(LD)激光光源	36			
3.1.5	垂直腔半导体激光器	36			
3.1.6	面发射和边发射	37			
3.2	光源的类型	38			
3.2.1	多模光源	39			
3.2.2	单模光源	41			
3.2.3	宽谱光源	42			
3.2.4	多纵模光源	44			
3.2.5	单纵模光源	45			
3.2.6	可调谐激光光源	47			
3.2.7	可见光源	48			
3.2.8	激光放大器	49			
3.2.9	偏振稳定光源	50			
3.3	光源的典型指标	53			
3.3.1	光源的中心波长	53			
3.3.2	光源的发光功率	56			
3.3.3	光源的功率稳定度	56			
3.3.4	光源的光谱宽度	57			
3.4	典型光源介绍	57			
3.4.1	JDSU 的 OLS-6	57			
3.4.2	Agilent 的 86100 系列	57			
3.4.3	EXFO 的 FLS-2200	58			
3.5	光源的使用注意事项及使用技巧	59			
3.5.1	稳定的光功率	59			
3.5.2	稳定的光波长	60			
3.5.3	端口的清洁和保养	60			
3.6	光源的应用实例	60			
3.6.1	多模光纤损耗测试的光源选择	60			
3.6.2	宽带光源测试光器件工作带宽	61			
3.6.3	偏振相关损耗	62			
3.6.4	光源的简单调制	64			
第 4 章	光衰减器	67			
4.1	光衰减器的原理	67			

4.1.1 概述	67	5.2.6 灵敏度	87
4.1.2 固定式光衰减器	67	5.2.7 偏振相关性	88
4.1.3 光可变衰减器 (Variable Optical Attenuator, VOA)	69	5.3 典型光谱分析仪介绍	88
4.2 光衰减器的典型指标	73	5.3.1 Agilent 8614xB 系列光谱 分析仪	88
4.2.1 插入损耗	73	5.3.2 安立 (Anritsu) 公司 MS9740A 光谱分析仪	89
4.2.2 衰减值的准确度	74	5.3.3 EXFO 公司光谱分析仪 系列	90
4.2.3 衰减值的重复性	74	5.3.4 JDSU 公司光谱分析仪 系列	93
4.2.4 偏振相关损耗	74	5.4 光谱分析仪使用注意事项及 使用技巧	93
4.2.5 回波损耗	75	5.4.1 使用	94
4.3 典型光衰减器介绍	75	5.4.2 保养和清洁	94
4.3.1 Anritsu 的 MN95D	75	5.4.3 预热和自动对准 (AUTO-ALIGN)	94
4.3.2 JDSU 的 OLA-55	76	5.4.4 波长校准和功率校准	94
4.3.3 EXFO 的 FVA-60B	76	5.4.5 选择合适的分辨力带宽 (RBW)	95
4.3.4 Agilent 的 8157xA	76	5.4.6 完成一次常规测试的步骤 和参数设置	96
4.4 光衰减器的使用注意事项及使 用技巧	77	5.5 使用光谱分析仪的典型测试 实例	96
4.5 光衰减器的测试实例	79	5.5.1 光源测试	96
4.5.1 应用光衰减器测量光功率 计线性度	79	5.5.2 光无源器件测试	100
4.5.2 应用光衰减器测量光源对 反射的灵敏度	79	5.5.3 光放大器 (EDFA) 测试	104
第 5 章 光谱分析仪	81	5.5.4 DWDM 系统测试	107
5.1 光谱分析仪原理	81	第 6 章 光波长计	111
5.1.1 概述	81	6.1 光波长计原理	111
5.1.2 光谱分析仪基本结构 框图	82	6.1.1 光波长的定义	111
5.1.3 Fabry-Perot 干涉型光谱分 析仪	82	6.1.2 光波长测试方法	111
5.1.4 迈克尔逊干涉型光谱分 析仪	83	6.1.3 光波长计测量原理	112
5.1.5 衍射光栅型光谱分析仪	83	6.2 光波长计的主要指标	113
5.2 光谱分析仪典型指标	85	6.3 典型光波长计介绍	113
5.2.1 波长范围	85	6.3.1 安捷伦多波长计系列	114
5.2.2 分辨率带宽 (RBW)	85	6.3.2 EXFO 公司 WA-7600 & WA-7100 多波长计	115
5.2.3 动态范围	87		
5.2.4 波长准确度	87		
5.2.5 功率准确度	87		

6.4	多波长计使用注意事项	117	8.2.1	光源发光功率	151
6.5	光波长计的使用及典型应用	118	8.2.2	光源稳定性	152
6.5.1	DWDM 系统安装和维护 测试要求	118	8.2.3	光功率准确度	152
6.5.2	DWDM 系统结构和测 试点	118	8.2.4	光回波损耗准确度	152
6.5.3	86120B/C 操作说明	119	8.2.5	光回波损耗测试仪的使用 技巧及注意事项	152
6.5.4	86120B/C 在 DWDM 系统 中的典型应用	122	8.3	典型光回波损耗测试仪介绍	152
6.6	光谱分析仪和多波长计的性能 比较	123	8.3.1	Agilent 的 816xx 系列	152
第 7 章	光时域反射计	125	8.3.2	JDSU 的 RM3 系列	156
7.1	光时域反射计原理	125	8.3.3	EXFO 的 IQS-12001B	158
7.1.1	概述	125	第 9 章	偏振模色散 (PMD) 测 试仪	161
7.1.2	有关的基本物理概念	125	9.1	偏振模色散测试仪原理	161
7.1.3	光时域反射计的原理和 框图	127	9.1.1	偏振模色散测量的几种 方法及原理	161
7.2	光时域反射计的典型技术 指标	129	9.1.2	偏振模色散 (PMD) 测试 仪的原理	172
7.2.1	距离特性	129	9.2	偏振模色散测试仪的主要 指标	173
7.2.2	衰耗特性	130	9.2.1	偏振模色散 (PMD)	173
7.2.3	盲区	130	9.2.2	偏振相关损耗 (PDL)	173
7.2.4	动态范围	131	9.3	偏振模色散测试仪典型仪表 介绍	173
7.3	典型光时域反射计介绍	132	9.3.1	Agilent 公司的偏振模色 散 (PMD) 测试仪	173
7.3.1	EXFO 公司的 OTDR	132	9.3.2	EXFO 公司的偏振模色散 (PMD) 测试仪	175
7.3.2	JDSU 公司的 OTDR	133	9.3.3	JDSU 公司的偏振模色散 (PMD) 测试仪	182
7.4	如何使用光时域反射计	135	9.4	偏振模色散测试仪测试中应 注意的问题	182
7.4.1	采样	135	9.4.1	测试模式的选择	182
7.4.2	测量	138	9.4.2	测试参数的设置	183
7.4.3	改善 OTDR 的功能	142	9.4.3	偏振模色散 (PMD) 仿真 器在测试中的使用	183
7.4.4	安全注意事项	144	9.4.4	测试曲线和测试结果的 分析	183
第 8 章	光回波损耗测试仪	145	9.5	使用偏振模色散测试仪的典型 测试实例	184
8.1	光回波损耗测试仪原理	145			
8.1.1	光回波损耗的定义	145			
8.1.2	光回波损耗测试方法	146			
8.1.3	光回波损耗测试仪的自 校准	149			
8.2	光回波损耗测试仪的典型 指标	151			

9.5.1 在高速光传输系统中光纤、光缆偏振模色散 (PMD) 测试	184	—— 光纤折射率测试	201
9.5.2 各种光器件的偏振相关损耗 (PDL) 测试	186	10.6 色散测试仪的计量校准	202
第 10 章 色度色散 (CD) 测试仪	189	10.6.1 光纤色散标准	202
10.1 色散测试仪原理	189	10.6.2 色散量值传递系统	210
10.1.1 概述	189	10.6.3 色散测试仪的计量校准	210
10.1.2 色散 (CD) 测试仪的原理	189	第 11 章 光纤模场直径谱损耗测试仪	213
10.2 色散测试仪主要指标介绍	190	11.1 模场直径谱损耗测试仪原理	213
10.2.1 零色散波长	190	11.1.1 概述	213
10.2.2 零色散斜率	190	11.1.2 光纤模场直径谱损耗测试仪的原理	218
10.2.3 色散	190	11.2 模场直径谱损耗测试仪主要指标介绍	218
10.3 色散测试仪典型仪表介绍	191	11.2.1 模场直径	218
10.3.1 PerkinElmer Optoelectronics 公司的色散测试仪	191	11.2.2 截止波长	218
10.3.2 Photon Kinetics Inc. 公司的色散测试仪	192	11.2.3 谱衰减	219
10.3.3 Agilent 公司的色散测试仪	192	11.2.4 数值孔径	219
10.3.4 JDSU 公司的色散测试仪	193	11.3 模场直径谱损耗测试仪典型仪表介绍	219
10.3.5 EXFO 公司的色散测试仪	194	11.3.1 Photon Kinetics 公司的光纤综合参数测试系统	219
10.4 色散测试仪测试中应注意的问题	198	11.3.2 PE.fiberoptics 公司的谱损耗截止波长模场直径有效面积测试系统	221
10.4.1 测试参数的设置	198	11.4 模场直径谱损耗测试仪测试中应注意的问题	225
10.4.2 测试前参考值测试的必要性	198	11.4.1 使用模场直径标准光纤对仪表进行校准	225
10.4.3 色散分段测量的方法	199	11.4.2 截止波长测试中造成测试结果差异的原因	226
10.4.4 色散测试仪对光纤长度的测量	199	11.4.3 单模光纤和多模光纤衰减谱测试中应注意的问题	226
10.5 典型使用案例	200	11.5 典型使用案例	227
10.5.1 单模光纤色散 (CD) 测试	200	11.5.1 单模光纤模场直径测试	227
10.5.2 色散测试仪的其他应用		11.5.2 单模光纤截止波长测试	228

11.5.3	单模光纤谱损耗测试	229	13.1.3	漂移	257
第 12 章	光纤几何尺寸测试		13.2	工作原理和技术指标	258
	测试仪	231	13.2.1	工作原理	258
12.1	光纤几何尺寸测试仪原理	231	13.2.2	技术指标和主要功能	261
12.1.1	概述	231	13.3	典型仪表介绍	264
12.1.2	光纤几何尺寸测试仪的 原理	232	13.3.1	概况	264
12.2	光纤几何尺寸测试仪主要指标 介绍	232	13.3.2	安捷伦科技 (Agilent Technology) 的产品	265
12.2.1	包层直径	232	13.3.3	安立 (Anritsu) 公司的 产品	266
12.2.2	包层不圆度	233	13.3.4	捷迪讯 (JDSU) 公司的 产品	266
12.2.3	纤芯直径	233	13.3.5	其他公司的数字传输分 析仪	268
12.2.4	纤芯不圆度	233	13.4	数字传输分析仪的典型测试 应用	269
12.2.5	芯/包层同心度误差	233	13.4.1	数字传输分析仪使用的 一般性知识	269
12.3	光纤几何尺寸测试仪典型仪表 介绍	233	13.4.2	误码性能参数测试	274
12.3.1	Photon Kinetics 公司的 光纤几何尺寸测试仪	233	13.4.3	抖动性能参数测试	279
12.3.2	EXFO 公司的光纤综合 测试仪	241	13.4.4	漂移性能参数测试	285
12.4	光纤几何尺寸测试仪测试中应 注意的问题	245	13.4.5	其他重要应用	286
12.4.1	使用包层直径标准光纤 对仪表进行校准	245	第 14 章	通信信号分析仪	291
12.4.2	使用折射率分布标准光 纤对仪表进行校准	246	14.1	概述	291
12.4.3	对被测光纤端面的切割 角度进行测量	247	14.1.1	眼图分析法	291
12.4.4	光纤单元制备时清洁的 重要性	247	14.1.2	眼图及其模板	292
12.5	典型使用案例	248	14.1.3	参数定义	293
12.5.1	单模光纤几何特性 测试	248	14.2	工作原理和主要技术指标	296
12.5.2	多模光纤折射率分布测 试和数值孔径测试	249	14.2.1	工作原理	296
第 13 章	数字传输分析仪	253	14.2.2	技术指标	297
13.1	概述	253	14.3	典型仪表介绍	301
13.1.1	误码	253	14.3.1	泰克公司的产品	301
13.1.2	抖动	256	14.3.2	安捷伦公司的产品	304
			14.4	眼图测量与仪表使用	305
			14.4.1	使用前的准备工作	305
			14.4.2	仪表自检、预热与 校准	309
			14.4.3	眼图测量的基本设置	310
			附录	清洁	313

第 1 章

光通信系统测试基础

1.1 光通信概论

1.1.1 概述

光通信是以光作为信息载体而实现的通信方式。光通信是由电通信发展而来，是成熟的电通信技术与先进的光子技术的结合。光纤通信与电通信的主要差异是，光纤通信传输的是光波信号，传输的媒质是光纤。

由于光纤通信具有传输距离远、信息容量大、通信质量高等优点，因而成为当今信息传输的主要手段。利用光纤通信，可以传送电话、数据、图像、广播和电视节目等通信业务。

1.1.2 光通信系统分类

光波由可见光、红外光和紫外光组成。目前，光纤通信使用的光源波长范围在近红外区，即 800~1 700nm 间，是不可见光，就像电磁波一样，是看不见摸不着的。由于光纤对不同波长的光呈现不同的衰减，所以，在光纤通信系统中选择 850nm（约 2dB/km）、1 310nm（0.4dB/km）、1 550nm（0.2dB/km）等低损耗区作为光纤通信的窗口。

根据所使用的波长、传输信号形式、传输光纤和接收方式的不同，光通信系统可分成如表 1-1 所示类型。

表 1-1 光通信系统的分类

分 类	类 别	特 点
按传输波长	短波长光纤通信系统	系统工作波长为 0.8~0.9μm，中继距离短，10km 以内
	长波长光纤通信系统	系统工作波长为 1.0~1.6μm，中继距离较长，100km 以上
	超长波长光纤通信系统	系统工作波长为 2μm 以上，中继距离长，1 000km 以上，非石英系光纤
按光纤特点	多模光纤通信系统	石英多模光纤，传输容量小，一般在 140Mbit/s 以下
	单模光纤通信系统	石英单模光纤，传输容量大，一般在 155Mbit/s 以上
按信号形式	光纤数字通信系统	传输数字信号，抗干扰能力强
	光纤模拟通信系统	传输模拟信号，适用于短距离传输，成本低

续表

分 类	类 别	特 点
按制式	外差光纤通信系统	光接收机灵敏度高，中继距离长，通信容量大，设备复杂
	全光通信系统	不需要光电转换，通信质量高
	波分复用系统	在一根光纤上可传输多个载波信号，通信容量大，成本低

1.1.3 光通信系统的基本组成

任何一种通信都是由信源、信道和信宿组成的。一个基本的光通信系统组成如图 1-1 所示。它由光发射端机、光纤或光缆、光中继器和光接收端机 4 部分组成。目前最常用、最主要的方式是强度调制—直接检测（IM-DD）数字光纤通信系统。

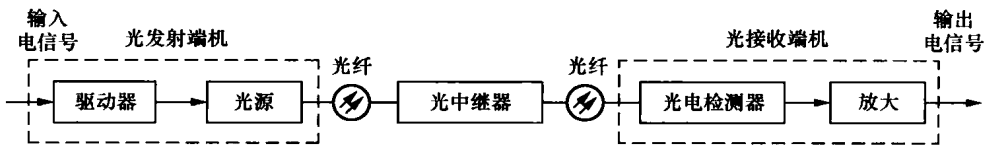


图 1-1 光通信系统基本组成

1. 光发射端机

光发射端机的功能是将输入的电信号转换为光信号，然后将光信号耦合到光纤或光缆中传输，实现电/光转换，通常称为光端机。

2. 光纤或光缆

光纤作为传输媒介，作用是将发射端机光源发的光信号，经传输后耦合到光接收端机的光电检测器转变为电信号，完成信号传输任务。光纤属于光波导，一般双向通信时需要两根光纤。

3. 光中继器

光信号在光纤中传输一定距离后，由于受到光纤衰减、色散的影响会产生能量衰减和波形失真。为保证通信质量，必须对衰减和失真达到一定程度的光信号进行放大和恢复。光中继器的作用一是补偿光的衰减，二是对波形失真的脉冲进行整形。

光中继器分为两大类：一类是光—电—光间接放大光中继器，另一类是全光中继器。目前广泛使用的是掺铒光纤放大器（EDFA）和拉曼（Raman）放大器。

4. 光接收端机

光接收端机主要由光电检测器和放大器组成。作用是将光纤光缆传输来的光信号经光电检测器转变为电信号，然后将微弱的电信号放大到足够的电平，送入接收端的电端机进行进一步的处理。

1.2 光纤通信中的测量量值

1.2.1 概述

在光纤通信产品的测试中，经常会遇到 dB、dBm、%（百分比）等量纲单位。不详细了

解这些常用的工程量纲将对工作造成很大麻烦。如有些时候, 10dBm 和-10dBm 的两个光信号功率相加并不等于 0dBm 而等于 10.04dBm。因此, 有必要介绍一些工程量纲和一些常见的测试参数。

1.2.2 相关量纲单位基础

1. dB

Bel, 贝尔, 是表征功率比值的一个单位, 等于功率比值以 10 为底求对数, 是为了纪念电话的发明者 Alexander Graham Bel 的杰出贡献而以他的名字命名。为了便于计算, 通常使用 dB 来代替 Bel。两个功率比值以 10 为底取对数的 10 倍单位是 dB, 是一个相对值单位, 即有:

$$a = 10 \times \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{dB} \quad (1-1)$$

dB 常用于损耗和增益的计算和表示。对数运算中“负号”表示衰减, “正号”表示增强, 损耗衰减等定义式多个负号, 是为了避免计算出现负值。

工程上常碰到很大或很小的数字, 在很多情况下只关心它们之间的比例关系。例如, 光发射机的发射功率为 1mW, 而接收机接收的功率是 0.001mW, 接收的功率只有发射功率的 0.1%。在这种情况下, 用对数表示就非常方便。发射功率为 0dBm, 接收功率为-30dBm, 功率差异(衰减)为 0dBm - (-30) dBm = 30dB。另外一个例子, 有两级光功率放大器的增益分别为 12 倍和 16 倍, 那么总增益为 12×16=192 倍。如果换成对数运算, 第一级和第二级的增益分别是 10.8dB 和 12dB, 那么总增益为 10.8+12=22.8dB。

dB 是将原本乘除运算变为加减运算, 指数运算变为乘除运算。简化了计算, 同时也易于估算。

例如每米透光 99%, 10m 后透光为 0.99^{10} , 以 dB 表示为每米光损耗 0.1dB, 10m 后损耗为 $10 \times 0.1\text{dB}$; 衰减 10dB 就是减小为输入的 1/10, 衰减 20dB 就是减小为输入的 1/100 之一, 等等。

2. dBm

dBm 是相对于 1mW 的 dB 数, 即, 当参考功率 P_2 为 1mW, 功率的对数值量纲单位是 dBm, 即有:

$$p = 10 \times \lg \left(\frac{P_1}{1\text{mW}} \right) \text{dBm} \quad (1-2)$$

经常定义于绝对功率:

$$P_1 = 10^{\frac{p}{10}} \text{mW} \quad (1-3)$$

除了 dBm 还有 dBc、dBr 等, 都是相对于某个值的 dB 数。

dBc 是相对载波的 dB 数, 定义为一个调制信号相对于载波的边带数。例如-30dBc 表示比载波低 30dB。

dBr 为相对于参考功率的 dB 数, 定义为相对于参考功率的变化。

1.2.3 dBm 与 mW

在光通信系统中, 常常会用到 mW 和 dBm 的转化, 式 (1-2) 和式 (1-3) 是 mW 和 dBm

的转化公式。表 1-2 是常用 mW 和 dBm 值转换表。

常用 dBm 与 mW 转换表		
dBm		mW
30.0	1 W	1 000
20.0	100mW	100
10.0	10mW	10
7.0	5mW	5
0.0	1mW	1
-3.0	500μW	0.5
-10.0	100μW	0.1
-20.0	10μW	0.01
-30.0	1μW	0.001
-40.0	100nW	0.000 1

此外，还有一个经验算法在实际工作中方便记忆，只要记住简便公式：

0dBm=1mW
左边加 10=右边乘 10，即 10dBm=10mW，故得 20dBm=100mW。
反过来也成立，左边减 10=右边除 10，故得-10dBm=0.1mW。
还有左边加 3=右边乘 2，0+3dBm=2mW，即+3dBm=2mW。
反过来也成立，左边减 3=右边除 2，0-3dBm=1/2mW，即-3dBm=0.5mW。
所以-50dBm=0dBm-10-10-10-10-10=1mW/10/10/10/10/10=0.000 01mW。

需要注意的是，当计算多个信号的总功率时，即功率相加，不能直接用量纲 dBm 表示的对数值来计算，应该将 dBm 值转换为线性值 mW 或 W 进行计算，再将计算后的线性值 mW 或 W 转换为对数值 dBm。例如，30dBm 和 30dBm 的信号功率相加就不是 60dBm，而是 1W+1W=2W，转换为对数值后为 33dBm。

1.2.4 dB 与 dBm

虽然我们知晓 dB 常用于损耗和增益的计算和表示，dBm 是功率的对数值量纲单位，但在实际工作中二者常常混淆。图 1-2 是一个测试被测器件插入损耗的测试连接图。

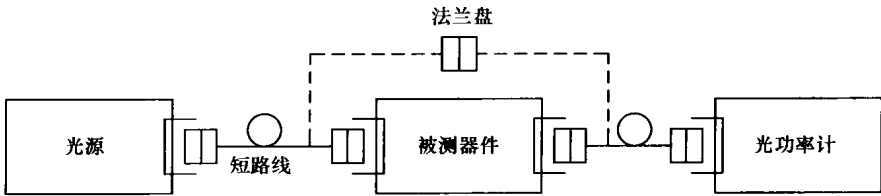


图 1-2 插入损耗测试连接图

接入被测器件前，光功率计的读数（输入功率）是-20dBm，接入被测器件后，光功率计的读数（输出功率）是-23dBm。被测器件的插入损耗为-20dBm-（-23dBm）=3dB。即相对被测器件接入前，衰减了 3dB。如果说相对被测器件接入前，光功率减少了 3dBm，这句话对吗？

通过如下计算可以验证,接入后,光功率下降了 50%,实际减少了 23dBm,而不是 3dBm。负号表示低于 1mW。

$$-20\text{dBm} = 10^{\frac{-20}{10}} = 0.01\text{mW}$$

$$-23\text{dBm} = 10^{\frac{-23}{10}} \approx 0.005\text{mW}$$

$$0.01\text{mW} - 0.005\text{mW} = 0.005\text{mW} = 10\lg\left(\frac{0.005\text{mW}}{1\text{mW}}\right) \approx -23\text{dBm}$$

所以,在进行以对数为单位的功率计算时,要转换为线性值计算。

1.2.5 dB 与 %

把一个功率值的 $x\%$ 转化为 dB 的公式如下:

$$a = 10 \times \lg \frac{x}{100} \text{dB} \quad (1-4)$$

例:图 1-2 中,被测器件接入后,光功率下降了 50%,那么衰减值等于多少 dB?

$$a = 10 \times \lg \frac{50}{100} \text{dB} = -3\text{dB}$$

常说的“衰减 3dB 就是功率下降 50%”就是这么计算出来的。

可以按照下面的公式把 dB 转化为%:

$$x = 100\% \times 10^{\frac{\text{dB}}{10}} \quad (1-5)$$

例:计算衰减为 3dB 时,输出功率与输入功率的百分比。

$$x = 100\% \times 10^{\frac{-3}{10}} = 50.1\%$$

当衰减值为 3dB 时,输出功率是输入功率的一半 (50%)。

注:衰减指的是负分贝值。

当表述为比一个值多 (或少) $x\%$ 是指在初始值上面加上 (或减去) $x\%$ 。 $x\%$ 转化为 dB 的公式为:

$$a = 10 \times \lg \left(1 + \frac{x}{100} \right) \text{dB} \quad (1-6)$$

$$x = 100\% \times 10^{\frac{\text{dB}}{10}} - 1 \quad (1-7)$$

例:一个光衰减器的输出功率比输入功率小 20%,那么这个衰减的 dB 值是多少?

$$a = 10 \times \lg \left(1 + \frac{-20}{100} \right) \text{dB} = -0.97\text{dB} \approx -1\text{dB}$$

1.3 光通信系统中的测量参数

本节介绍光通信系统中经常见到的一些测试参数和相关测试仪表。这些参数是光通信测