



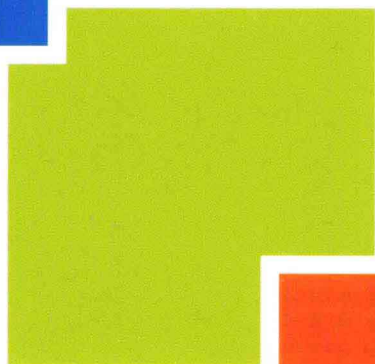
工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

明艳 李强 刘鸿 编著

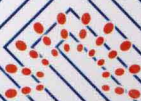
光传输技术 实训教程

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Practice of
Optical Transmission



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高校系列



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

明艳 李强 刘鸿 编著

光传输技术 实训教程

21 世纪高等院校信息与通信工程规划
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication E

TN818
03

Practice of
Optical Transmission



人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

光传输技术实训教程 / 明艳, 李强, 刘鸿编著. --
北京: 人民邮电出版社, 2013. 9
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-32574-7

I. ①光… II. ①明… ②李… ③刘… III. ①光传输
技术—高等学校—教材 IV. ①TN818

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第174144号

内 容 提 要

本书是结合卓越工程师计划而编写的光传输技术实训教材。全书共 3 部分 14 章, 主要包括光纤通信测量、华为 SDH 实训、中兴 SDH 实训, 每章都配有实训的总结与思考。本书以知名企业华为、中兴的 Optix 155/622 H (Metro 1000)、ZXMP S320 传输设备为平台, 以典型网络为工程实例, 详细地介绍了设备硬件、网管软件、PDH/SDH 业务、网络保护、以太网业务的配置方法, 概念阐述清楚, 实训内容循序渐进。

本书可作为通信与信息专业本科、专科院校实训教材, 也可供相关科研、教学和工程技术人员参考。

-
- ◆ 编 著 明 艳 李 强 刘 鸿
责任编辑 刘 博
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 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>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.75 2013 年 9 月第 1 版
字数: 407 千字 2013 年 9 月北京第 1 次印刷
-

定价: 39.80 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

高度发达的信息社会要求通信网络提供多种多样的电信业务,通过电信网络传输、交换、处理的信息种类更加复杂多样,容量越来越大,于是,现代化的通信网络必须向数字化、综合化、智能化和个人化方向发展,以适应用户多样化的需求。

传输系统是通信网络的重要组成部分,传输系统的好坏直接制约着通信网络的发展。光纤通信技术的诞生和发展,给通信技术带来了划时代的革命。1966年,华裔科学家高锟博士根据介质波导理论提出了光纤作为光通信传输介质的概念,因此,获得了2009年诺贝尔物理学奖。1970年,美国康宁公司首次研制出阶跃折射率多模光纤,同年,美国贝尔实验室研制出室温下连续工作的双异质结半导体激光器。多模光纤和双异质结半导体激光器的同时问世,拉开了光纤通信的序幕。

光纤通信是以激光作为信息载体,以光导纤维作为传输媒介的通信方式。由于光纤的传输带宽很宽,传输损耗较小,所以能实现长距离、大容量的通信。现在已经形成了以光纤光缆通信为主,微波、卫星、电缆通信为辅的通信网络。当今世界,各国大力发展信息高速公路,以SDH/WDM为主的光纤传输网络,作为高速公路最基础的物理平台发挥着越来越重要的作用。

为培养学生和初学者综合运用科学理论方法和技术手段,分析并解决工程实际问题的能力,以适应社会对光传输技术人才的需求,本实训教材在简单铺垫理论知识的基础上,更注重实训技能操作,采用循序渐进、图文并茂的形式对实训项目进行了详细介绍。

全书分为3部分,共14章。第1部分为光纤通信测量,共4章,内容分别为光纤通信技术概述、光纤特性的测量、光器件测试和光纤通信系统测量;第2部分为华为SDH实训,共5章,分别介绍了华为Optix 155/622H传输设备的硬件、OptiX iManager T2000网管、SDH/PDH业务、以太网业务及保护的配置方法;第3部分为中兴SDH实训,共5章,分别介绍了中兴ZXMP S320传输设备的硬件、ZXONM E300网管、SDH/PDH业务、以太网业务及保护的配置方法。

本书由明艳主编,并编写了第1部分的第1章和第4章、第3部分的5个章节,李强编写了第2部分的5个章节,刘鸿编写了第1部分的第2章和第3章。杜惠平教授、余翔副教授在百忙之中抽出时间审阅了全书。另外,本书在编写过程中还得到了中兴通讯学院多位工程师的指导和帮助,在此一并表示最诚挚的感谢!

由于通信技术和通信产品发展很快,编者的水平有限,本书难免有错误或不当之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2013年6月

目 录

第1部分 光纤通信测量

第1章 光纤通信技术概述	3
1.1 光纤通信发展状况	3
1.1.1 光纤通信发展简史	3
1.1.2 光纤通信系统发展的3个阶段	4
1.2 光纤通信系统的组成	6
1.2.1 光纤通信的概念	6
1.2.2 光纤通信系统所涉及的光缆和器件	7
1.2.3 光纤通信系统的类型	7
1.2.4 光纤通信系统的特点	8
1.3 光纤通信系统的发展方向	9
总结与思考	10
第2章 光纤特性测量	11
2.1 基本概念	11
2.1.1 光纤的结构与分类	11
2.1.2 通信光纤的主要参数	12
2.1.3 光纤的主要特性	13
2.1.4 光缆的基本结构	15
2.2 光纤测量概述	16
2.2.1 光纤的测量标准和测量方法	16
2.2.2 常用测量仪表	16
2.3 光纤几何特性测量	21
2.3.1 实训要求	21
2.3.2 实训内容	22
2.4 光纤损耗测量	24
2.4.1 实训要求	24
2.4.2 损耗测量的注入条件	24
2.4.3 剪断法	25
2.4.4 插入损耗法	27
2.4.5 背向散射法	27
2.4.6 单模光纤的弯曲损耗测量	29
2.5 单模光纤色散测量	30

2.5.1 实训要求	30
2.5.2 实训内容	31
总结与思考	34
第3章 光器件测试	35
3.1 基本概念	35
3.2 实训要求	35
3.3 有源器件测试	36
3.3.1 半导体光源的测量	36
3.3.2 半导体光检测器测试	38
3.4 光无源器件测试	41
3.4.1 光波分复用器测试	41
3.4.2 光分路耦合器指标测试	43
3.4.3 光衰减器测试	46
3.4.4 光隔离器测试	48
3.4.5 光开关测试	49
3.4.6 光环行器测试	50
3.4.7 光纤连接器(FC/PC型、SC/PC型)指标测试	51
总结与思考	52
第4章 光纤通信系统测量	53
4.1 基本概念	53
4.2 实训要求	53
4.3 SDH设备光接口性能的测量	54
4.3.1 平均发送光功率和消光比测试	54
4.3.2 光接收机指标测试和系统富余度测试	55
4.3.3 误码性能测量	58
总结与思考	59

第2部分 华为SDH实训

第5章 认知Optix 155/622 H(Metro 1000) 设备硬件结构	63
5.1 OptiX 155/622H性能特点介绍	64

5.2 设备结构介绍	67	8.2.2 数据规划	119
5.2.1 硬件结构	67	8.2.3 保护方式	119
5.2.2 系统结构	68	8.3 实习步骤记录	120
5.2.3 单板介绍	69	8.3.1 MSP 环带无保护链配置	120
总结与思考	77	8.3.2 SNCP 环带线性复用段 1+1 保护链配置	122
第 6 章 认知 T2000 管理软件	78	8.3.3 SNCP 环带线性 复用段 1:1 保护链配置	124
6.1 OptiX iManager T2000 管理软件	78	8.3.4 MSP 环带线性复用段 1+1 保护链配置	126
6.1.1 T2000 的功能特性	78	8.3.5 MSP 环带线性 复用段 1:1 保护链配置	127
6.1.2 T2000 体系结构及特点	79	总结与思考	128
6.1.3 T2000 接口使用说明	82	第 9 章 以太网业务组网实训	129
6.2 iManager T2000 网管安装	82	9.1 实训要求	129
6.2.1 网管需要安装的软件	82	9.2 基于 MSTP 的以太网原理	129
6.2.2 安装流程	83	9.2.1 TAG 标识	130
6.2.3 iManager T2000 网管 安装步骤	84	9.2.2 MAC 端口工作模式	130
总结与思考	95	9.2.3 VLAN ID	130
第 7 章 SDH/PDH 业务组网实训	96	9.2.4 VLAN 优先级	131
7.1 实训要求	96	9.2.5 流控	131
7.2 实习规划	96	9.2.6 VCTRUNK	131
7.2.1 组网规划	96	9.2.7 VB/LP	131
7.2.2 数据规划	97	9.3 以太网业务介绍	132
7.3 实习步骤记录	100	9.3.1 EPL 业务	132
7.3.1 登录 T2000	100	9.3.2 EVPL 业务	133
7.3.2 以 root 网元用户创建网元	101	9.3.3 EPLAN 业务	133
7.3.3 创建单板	102	9.4 独占 VCTRUNK 的 EPL 业务配置	134
7.3.4 创建纤缆	104	9.4.1 组网规划	134
7.3.5 创建拓扑子网	105	9.4.2 实习步骤记录	136
7.3.6 创建保护子网	106	9.5 共享 VCTRUNK 的 EPL 业务配置	142
7.3.7 配置时钟	107	9.5.1 组网规划	142
7.3.8 配置公务	112	9.5.2 实习步骤记录	144
7.3.9 创建 SDH/PDH 业务 (使用单站功能)	113	9.6 MPLS 标签隔离的 EVPL 业务配置	150
7.3.10 备份网元数据库	117	9.6.1 组网规划	150
总结与思考	117	9.6.2 实习步骤记录	152
第 8 章 不同保护方式下的 业务配置实训	118		
8.1 实训要求	118		
8.2 实习规划	118		
8.2.1 组网规划	118		

9.7 MPLS 标签交换的 EVPL		12.3 实习步骤记录	213
业务配置	157	12.3.1 启动网管	214
9.7.1 组网规划	157	12.3.2 创建网元	214
9.7.2 实习步骤记录	160	12.3.3 安装单板	216
9.8 EPLAN 业务实例	165	12.3.4 建立连接	217
9.8.1 组网规划	165	12.3.5 配置时钟源	218
9.8.2 实习步骤记录	169	12.3.6 配置公务	219
总结与思考	175	12.3.7 配置业务	221
第 3 部分 中兴 SDH 实训		总结与思考	226
第 10 章 认知 ZXMP S320		第 13 章 不同保护方式下	
设备硬件结构	179	业务配置实训	228
10.1 实训要求	179	13.1 实训要求	228
10.2 ZXMP S320 设备	179	13.2 实习规划	228
10.2.1 性能特点介绍	180	13.2.1 组网规划	228
10.2.2 系统总体介绍	181	13.2.2 数据规划	229
10.2.3 单板介绍	182	13.3 实习步骤记录	229
总结与思考	199	13.3.1 二纤双向复用段保护	
第 11 章 认知 ZXONM E300		环配置	229
管理软件	200	13.3.2 二纤双向通道保护环	
11.1 实训要求	200	配置	234
11.2 ZXONM E300 管理软件	200	总结与思考	237
11.2.1 ZXONM E300 网管		第 14 章 以太网业务组网实训	238
系统结构	200	14.1 实训要求	238
11.2.2 ZXONM E300 网管		14.2 基于 MSTP 的以太网原理	238
软件组成	202	14.2.1 L2 层交换的基本概念	238
11.2.3 ZXONM E300 网管特点	203	14.2.2 SFE4 板运行方式	240
11.3 ZXONM E300 网管安装	203	14.2.3 SFE4 板 L2 层交换的	
11.3.1 网管需要安装的软件	203	寻址模式	241
11.3.2 安装流程	204	14.2.4 以太网业务	242
11.3.3 ZXONM E300 网管		14.3 透传以太网业务配置	243
安装步骤	205	14.3.1 组网规划	243
总结与思考	209	14.3.2 实习步骤记录	244
第 12 章 SDH/PDH 业务组网实训	210	14.4 虚拟局域网业务配置	250
12.1 实训要求	210	14.4.1 组网规划	250
12.2 实习规划	210	14.4.2 实习步骤记录	250
12.2.1 组网规划	211	总结与思考	259
12.2.2 数据规划	211	参考文献	260

第 1 部分 光纤通信测量

第 1 章 光纤通信技术概述

第 2 章 光纤特性测量

第 3 章 光器件测试

第 4 章 光纤通信系统测量

1.1 光纤通信发展状况

1.1.1 光纤通信发展简史

伴随着社会的进步与发展,通信向大容量、长距离的方向发展已经是必然的发展趋势。由于光波具有极高的频率(大约3亿兆赫兹),也就是说具有极高的带宽,从而可以容纳巨大的通信信息,所以用光波作为载体进行通信一直是人们几百年来追求的目标。

1880年,贝尔发明了光话系统,但光通信的技术瓶颈——光源和传光介质没有解决。1960年,美国科学家梅曼发明了世界上第一台红宝石激光器,给光通信带来了新的希望;同年,贝尔实验室又发明了氦-氖激光器,初步解决了光通信的光源问题。但上述两种激光器由于体积和重量较大,还不能进入实用阶段。

而对于传光介质来说,当时石英纤维的损耗率高达1000dB/km以上,而同轴电缆的损耗则为20dB/km(但同轴电缆的损耗率已无下降的空间)。1966年,英籍华人高锟指出,石英纤维的高损耗率并非是其本身所固有的特性,而是由于材料中杂质的吸收和瑞利散射产生的,因此,通过对材料的提纯可以制造出适合远距离通信使用的低损耗光纤,奠定了光纤通信的理论基础。

根据高锟的设想,1970年,美国康宁公司研制成衰减率为20dB/km的石英光纤,使光纤的研制技术取得了重大突破。自1970年以后,世界各发达国家对光纤通信的研究注入了大量的人力与物力,从而使光纤通信技术取得了爆炸性的发展。

1. 光纤的损耗

光纤的损耗从1970年的20dB/km,1972年的4dB/km,1974年的1.1dB/km,1976年的0.5dB/km,1979年的0.2dB/km,到了1986年已达到0.14dB/km,接近石英光纤的理论衰减极限值0.1dB/km。

2. 光器件

1970年,美国贝尔实验室研制出世界上第一只在室温下连续波工作的砷化镓铝半导体激光器,为光纤通信找到了合适的光源器件。后来逐渐发展到性能更好、寿命达几万小时的异

质结条形激光器和现在的分布反馈式单纵模激光器 (DFB) 以及多量子阱激光器 (MQW)。光接收器件也从简单的硅 PIN 光二极管发展到量子效率达 90% 的 III-V 族雪崩光电二极管 (APD)。

我国的光纤通信技术的研究始于 20 世纪 70 年代初, 光纤通信系统的实用化则始于 20 世纪 80 年代初。

3. 光纤通信系统

由于光纤制造技术和光电器件制造技术的飞速发展, 以及大规模、超大规模集成电路技术和微处理机技术的进步, 带动了光纤通信系统从小容量到大容量, 从短距离到长距离, 从低水平到高水平, 从旧体制 (PDH) 到新体制 (SDH) 的迅猛发展。

1976 年, 美国在亚特兰大 (Atlanta) 进行了世界上第一个实用光纤通信系统的现场试验, 采用 GaAlAs 半导体激光器和多模光纤, 传输距离为 110km, 码速率达 44.7Mbit/s; 1980 年, 140Mbit/s 的多模光纤通信系统商用化; 1990 年, 565Mbit/s 的单模光纤通信系统进入商用化阶段, 并着手进行零色散位移光纤和波分复用及相干通信的现场实验, 陆续制定了数字同步体系 (SDH) 的技术标准。同一时期, 采用波分复用技术 (WDM), 总容量达到 20Gbit/s 和 40Gbit/s 的密集型波分复用系统 (DWDM) 进入商用化。目前, 160×10Gbit/s 的 DWDM 系统早已达到商用化水平, 并且向更高带宽发展。此外, OTN (Optical Transmission Network, 光传送网)、ASON (Automatic Switched Optical Network, 自动交换光网络)、PTN (Packet Transport Network, 分组传送网) 等新的光传输技术正在不断涌现和发展, 在光孤子通信、超长波长通信和相干光通信方面也取得巨大进展。

1.1.2 光纤通信系统发展的 3 个阶段

传统的光纤传输技术, 经历了准同步数字体系 (PDH)、同步数字体系 (SDH) 和波分复用 (WDM) 3 个阶段。

1. PDH

早期的光传输系统采用的准同步数字体系 (PDH), 是在原有模拟电话网的基础上引入 PCM (脉冲编码调制) 数字传输技术发展起来的, 采用比特填充和码位交织的方法将低速率等级的信号复合成高速信号, PDH 系统的基群信号采用同步时分复用方式, 其他高次群均采用准同步 (或称异步) 的时分复用方式。

PDH 系统包括欧洲、北美和日本 3 个地区性的速率等级。从 20 世纪 70 年代初期至 80 年代, PDH 系统和设备在数字网中获得大规模的推广应用。但是, 随着光纤通信技术的发展, 以及用户对通信业务需求的增加, PDH 的弱点也越来越明显。

(1) 3 种速率标准互不兼容, 不利于国际互通的发展。

(2) 没有世界性的标准光接口规范。各个厂家自行开发的专用光接口互不兼容, 限制了联网的灵活性, 增加了网络的复杂性和运营成本。

(3) PDH 是建立在点对点传输基础上的复用结构, 只支持点对点传输, 无法满足复杂网络组网。

(4) 运行、管理和维护必须依靠人工的数字信号交叉连接和停业务进行测试, 无法满足

现代通信网对监控和网管的需求。

(5) 随着速率的增加,采用 PDH 技术实现高次群复用的难度明显增大,不能适应光纤数字通信大容量和超高速率传输发展的需要。

2. SDH

20 世纪 80 年代中期,由美国贝尔通信研究所提出了同步光网络 (SONET) 的概念。1988 年,原 CCITT (ITU-T 的前身) 接受了 SONET 的概念,形成了世界统一的传输网技术标准,并重新命名为同步数字体系 (SDH)。

SDH 信号采用同步复用方式和灵活的复用映射结构。各种不同等级的码流在帧结构净负荷内规律排列,净负荷与网络同步,只需借助相应软件,即可使高速信号一次直接分插出低速支路信号,也就是所谓的一步解复用特性。

SDH 规范了数字信号的帧结构、复用方式、传输速率等级、接口码型特性,提供了一个国际支持框架,在此基础上发展并建成了一种灵活、可靠、便于管理的世界电信传输网。这种传输网易于扩展,适于新电信业务的开展,并且使不同厂家生产的设备互通成为可能。SDH 设备的光接口符合 ITU-T G.957 和 ITU-T G.691 建议,该标准对工作中心波长没有特别规定。

但是,当传输速率超过 10Gbit/s 后,系统色散等不良影响将加大长距离传输的难度。同时,SDH 系统是基于单波长的时分复用系统,单波长传输无法充分利用光纤的巨大带宽。因此,在骨干网,通过引入 WDM 技术,极大地扩大了光纤的传输容量。

3. DWDM

DWDM 是 WDM 技术中的一种。由于相邻波长间隔较小 (1~10nm 量级),因此,称为密集波分复用。目前,实用的 DWDM 系统工作在 1 550nm 窗口,以便利用掺铒光纤放大器 (EDFA) 的增益频谱特性对复合光波长信号进行直接放大。为满足系统之间的横向兼容性,光通路的中心波长必须符合 G.692 标准。

在 DWDM 系统中,每个光通路可承载不同的客户信号,如 SDH 信号、PDH 信号、ATM 信号等。由于光纤通信以及组网技术在适应多业务需求和宽带化方面具有独特的优势,因此,高速的 SDH 系统和 $N \times 2.5\text{Gbit/s}$ 、 $N \times 10\text{Gbit/s}$ 的 DWDM 系统成为了核心网的主体和支柱。

DWDM 技术的出现,成为能迅速、简单、经济、有效地扩展光纤传输容量的途径,可以充分满足目前网络宽带业务发展的需求,同时也为通向未来全光传输网奠定了良好的基础。

综上所述,归纳光纤、光器件、光纤通信系统的发展进程,光纤通信的发展总体可分为 4 个阶段。

第一阶段 (1880—1969 年): 发明了光话系统,提出了激光通信理论,光纤通信处于探索初创阶段。

第二阶段 (1970—1979 年): 多模光纤与异质结半导体激光器的研制成功使光纤通信进入了实用化阶段。1976 年,美国亚特兰大开通的光纤市话局间中继系统是世界上第一个实用的光纤通信系统。

第三阶段 (1979—1989 年): 光纤技术取得进一步的突破,光纤衰耗率下降到 0.5dB/km 以下,光纤的类型由多模向单模转移、由短波长向长波长转移,数字系统的速率不断提高,

光纤连接技术与器件寿命问题都得到解决，光纤传输系统与光缆线路建设逐渐进入高潮。

第四阶段（1989 年至今）：光纤通信系统由 PDH 向 SDH 过渡，光纤通信系统的传输速率进一步提高。1989 年掺铒光纤放大器（EDFA）的问世给光纤通信技术带来巨大变革，EDFA 的应用解决了长途光纤传输信号的放大问题。随着各种新技术、新器件、新工艺的深入研究，光纤通信将进入光放大、光交叉连接和光交换的全光网时代。

1.2 光纤通信系统的组成

1.2.1 光纤通信的概念

所谓光纤通信，就是以光纤作为传输介质，以光波作为信息载体的通信方式。要使光波成为携带信息的载体，必须先对其进行调制，在接收端再把信息从光波中检测出来。然而，由于目前技术水平有限，对光波进行频率调制与相位调制等仍局限在实验室内，尚未达到实用化水平，因此，目前大都采用强度调制与直接检波方式（IM-DD）。又因为目前的光源器件与光接收器件的非线性比较严重，所以对光器件的线性度要求比较低的数字光纤通信在光纤通信中占据主要位置。

光纤通信系统主要由光发射机、光接收机和光传输设备组成，如图 1-1 所示。

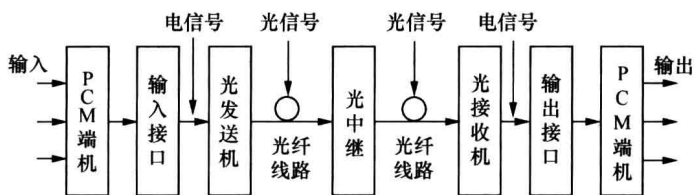


图 1-1 光纤通信系统的组成框图

光发送机的主要作用是把电端机输入的电信号对光源进行调制，使光源产生与电信号对应的光信号进入光纤。光发送机的组成框图如图 1-2 所示。

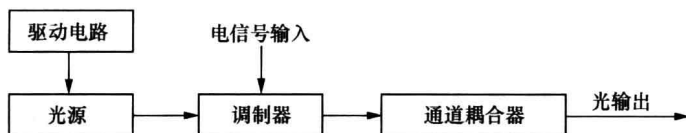


图 1-2 光发送机的组成框图

光接收机的主要作用是将通过光纤传送来的光信号转换为相应的电信号，经放大后进入电端机。

光接收机组成框图如图 1-3 所示。

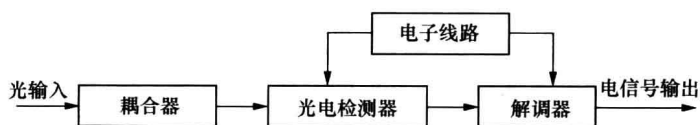


图 1-3 光接收机的组成框图

光传输设备由光缆和中继器组成，它们是光信号传输的通道。而中继器又由光检测器、

电信号放大器、判决再生电路、驱动器和光源组成，其作用是将光信号转换成电信号，经过放大和再生，然后转换成光信号送入下一段光纤中。

1.2.2 光纤通信系统所涉及的光缆和器件

光纤通信系统所涉及的光纤光缆和器件有光缆、光源、光电检测器、光放大器和光无源器件。

1. 光缆

光缆是光纤通信的传输介质，其任务是传送光信号。光缆由光纤和相应的加强件以及外护套组成。光纤的主要特性是损耗和色散。

(1) 光纤的损耗是光在光纤中传播时，其强度或功率会发生衰减的现象。光纤损耗是由于在光纤中传输的光信号的一部分能量被光纤吸收或辐射到光纤外部引起的。光纤有3个低损耗窗口，分别是850nm、1310nm、1550nm。

(2) 光纤色散是由于光纤中不同频率成分和不同模式的光信号的传输速度不同，而使光脉冲展宽的现象。

2. 光源

光源的作用是将电信号转换成光信号。目前常用的光源器件为半导体激光二极管(LD)和半导体发光二极管(LED)。

3. 光电检测器

光电检测器的作用是将光信号转换成电信号。目前常用的光电检测器有光电二极管(PIN)和雪崩光电二极管(APD)。

4. 光放大器

光放大器的作用是将从光纤接收来的光信号直接进行放大后再送至下一段光纤继续进行传送，它将取代传统的光-电-光中继器，在全光通信网络中起到重要作用。光放大器的种类有半导体光放大器、非线性光纤放大器和掺铒光纤放大器，其中最重要的是掺铒光纤放大器。

5. 光无源器件

光无源器件主要用于光纤的连接，光信号的隔离与衰减，光波的复用与分解，光路的接通与断开控制等为光路服务的场合。

1.2.3 光纤通信系统的类型

光纤通信系统的划分方式有多种。

(1) 按传输信道的数目可分为：单信道(波长)系统、稀疏波分复用系统(CWDM)、密集波分复用系统(DWDM)。

(2) 按光传输信号的方式可分为：模拟光纤通信系统和数字光纤通信系统。

(3) 按光调制的方式可分为：直接调制系统和间接调制系统。

(4) 按接收方式可分为：直接检测系统和相干检测系统。

(5) 按光波长划分可分为：短波长光纤通信系统、长波长光纤通信系统、超长波长光纤通信系统。

(6) 按光纤的传输类型可分为：多模光纤通信系统和单模光纤通信系统。

(7) 按应用的范围可分为：公用光纤通信系统和专用光纤通信系统。

1.2.4 光纤通信系统的特点

1. 传输频带宽，通信容量大

20 世纪 90 年代，光纤的传输速率已经达到每秒 T 比特级 (10^{12})。1Tbit/s 的速率意味着我们可以用一对只有头发丝粗细的光纤在 1s 之内将 300 年的泰晤士报传送到世界上任何一个角落，或者同时传送 10 万路电视节目，或同时发送 1200 万路电话。

2. 损耗小，中继距离远

目前常用光纤损耗为 0.2dB/km，甚至更低。直观地说，就是光传送 15km，其强度还有原来的一半。一般光纤通信系统的中继距离为几十千米，有的达一百多千米。

3. 抗电磁干扰能力强

首先，光纤是由非金属材料石英制成的，是绝缘体；其次，光纤所传输的是高频电磁波，而各种干扰的频率一般都很低，这对于电气铁路和高压电力线附近的通信极为有利，也不怕雷击和其他工业设备的电磁干扰，因此，在一些要求防爆的场合使用光纤通信是十分安全的。

4. 保密性好

由于光纤的特殊设计，光纤中传送的光波被限制在光纤的纤芯和包层界面附近传送，很少会跑到光纤之外。即使在弯曲半径很小的位置，泄漏光功率也是十分微弱的。并且成缆以后光纤的外面包有金属制作的防潮层和橡胶材料的护套，这些均是不透光的，因此，泄漏到光缆外的光几乎没有。何况长途光缆和中继光缆一般均埋入地下，所以光纤的保密性能很好。正因为光纤中的光信号一般不会泄漏，所以避免了电通信中常见的线路之间的串话现象。

5. 制造光纤和光缆的资源丰富，可节省有色金属和能源，经济效益好

SiO_2 就是随处可见的沙子，而 1kg 高纯度的石英玻璃可以制成上万 km 的光纤，而制造 1km 的同轴电缆需 120kg 的铜或 500kg 的铅；34Mbit/s 以上的光纤通信系统的价格比同轴电缆便宜 30% 以上，所以采用光纤通信系统在经济上有重大意义。

6. 环境适应性好，重量轻且易敷设

光纤几何尺寸小，细如发丝，可绕性好，可多根成缆，便于敷设。光纤重量轻，特别适用于飞机、轮船、卫星和宇宙飞船。

光纤的主要成分是 SiO_2 , SiO_2 化学性能稳定, 耐化学侵蚀、抗高温、不打火花, 所以, 光纤还可适用于某些特殊环境。

1.3 光纤通信系统的发展方向

光纤通信以其独特的优点被认为是通信史上一次革命性的变革, 促进了信息的流通和交换。经过数十年的发展, 由于新技术层出不穷, 在应用领域呈现出新的发展趋势, 特别是到了 21 世纪, 由于对光子通信、全光通信网络的追求, 必然要设计开发一系列不同于以往传统光纤通信要求的新技术、新器件, 引导光纤通信向以下几个方面发展。

1. 超大容量光纤通信系统

随着信息时代宽带高速业务的不断发展, 不但要求光传输系统向更大容量、更长距离发展, 而且要求其交互便捷, 原有的光纤通信系统的传输容量显然已成为当前和未来信息业务发展的“瓶颈”。因此, 在光传输系统中引入复用技术, 可使光纤的传输能力成倍增长。光纤通信的复用技术经历了空分复用 (SDM)、时分复用 (TDM) 和波分复用 (WDM) 3 个阶段的发展。目前, DWDM 系统中的光纤带宽早已达到每秒 T 比特级, 是当前光纤通信领域的研究热点和首选技术。在未来的全光网络中, WDM 技术是实现全光波长交换和路由的重要基础, 如果将光时分复用 (OTDM)、光码分复用 (OCDM) 等技术与 WDM 相结合, 光纤通信容量还将有革命性的扩展。

2. 光纤的多样化和长波长化

由于光纤衰减、色散、非线性效应等现象, 严重影响到光纤通信系统的质量, 因此, 光纤的波长由 850nm 向 1 310~1 550nm 的长波长移动, 进而向 2 000nm 波长区域扩展。同时, 新型光纤的开发也成为下一代网络基础设施的重要组成部分。目前, 为了适应干线网和城域网的不同发展需要, 已研制出了色散位移光纤、色散补偿光纤、全波光纤和还未成熟的光子晶体光纤。此外, 为了满足接入网方面的需要, 聚合物光纤也应运而生。

3. 光器件的集成化

如同电子集成器件那样, 也可以将许多光学器件 (特别是半导体光器件, 如半导体激光器、光电检测器等) 集成在一个衬底上, 各器件用半导体光波导互连, 制成光集成器件。光电集成器件具有体积小、速度快、可靠性高等优点, 发展光集成是光纤通信的必然。

4. 全光通信网络

目前, 光纤通信还处于光上传输, 电上处理的阶段, 电光转换是制约光纤通信系统带宽拓展的“瓶颈”之一。全光网络是未来光传送网的发展方向。在全光网络中, 通过 WDM 系统与网络节点中的光分插复用器 (OADM) 和光交叉连接设备 (OXC) 相连, 直接对光波长信号及其所携带的各种业务进行光路的上下和交叉连接, 组成具有高灵活性、高可靠性、高生存性和高经济性的全光网络, 以适应未来信息化社会对宽带传送网的发展需要。

总结与思考

1. 本章总结

本章讲述了光纤通信的发展历史，介绍了光纤通信的定义，光纤通信系统的组成，光纤通信系统所涉及的光缆和器件，光纤通信的特点及发展趋势。通过对本章内容的学习，应该掌握光纤通信的定义、光纤通信系统的组成，了解光纤通信的发展简史、光纤通信的特点及发展趋势等内容。

2. 思考题

- (1) 什么叫光纤通信？
- (2) 光纤通信系统由哪几部分组成？简述各部分的作用。
- (3) 光纤通信有哪些优点？
- (4) 什么是光纤的低损耗窗口？光纤的 3 个低损耗窗口是什么？