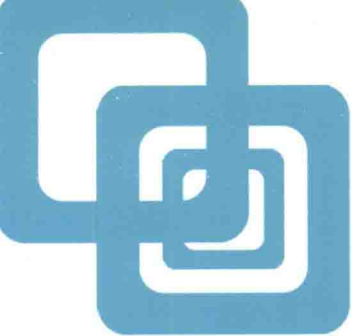




高等职业教育“十二五”规划教材

光传输系统 运行与维护

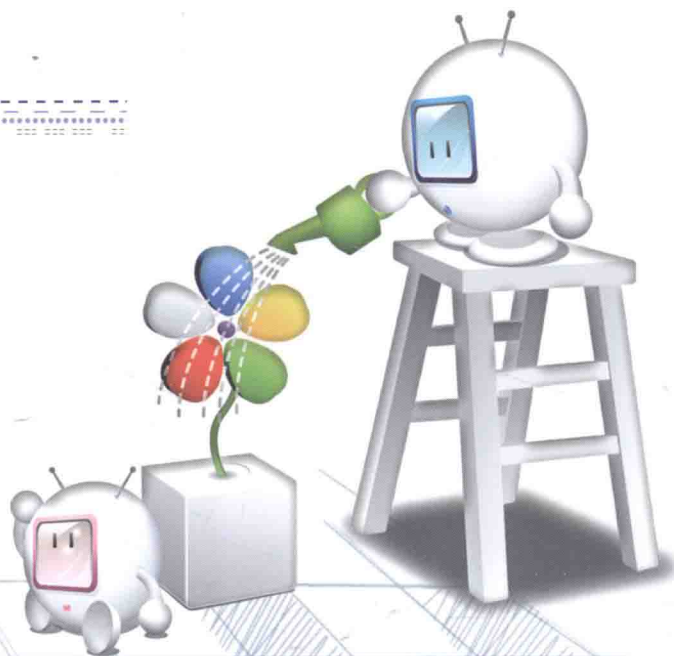


贾璐 主编

邀请企业专家共同参与编写

教学内容紧贴技术前沿，并满足院校
教学和职业岗位培训需求

引导学生掌握基本理论知识，并重点
掌握项目施工维护中的各项技能



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件、课后练习题答案等

高等职业教育“十二五”规划教材

光传输系统运行与维护

主 编 贾 璐

副主编 李元元

参 编 包晓蕾 殷 璆



机械工业出版社

本书按照最新的职业教育改革精神,结合近年来课程建设与改革经验编写。以“十二五”期间城市光网的建设为背景,全面介绍了光传输网络的硬件结构和网络协议体系,并结合通信工程项目详细介绍了光传输设备的安装调试、光传输业务的开通、光传输系统的维护等方面的操作。引导学生在掌握光传输网络基本理论知识的基础上,重点掌握光传输系统项目施工维护中的各项技能。

本书可分为两个部分。第一部分为第1~5章,主要介绍光传输网络的基本理论知识,包括光纤通信技术的基本概念、光传输系统的通信线缆和发送接收设备、同步数字传输体制等。第二部分为第6~10章,主要介绍光传输系统工程实践操作技能,包括硬件安装、设备调测、业务开通、故障检测及例行维护等方面的技能。

本书可作为高等职业院校通信技术、计算机网络技术等专业的教学用书,也可作为光传输系统工程领域的技术参考用书。

为方便教学,本书配有免费电子课件、课后练习题答案等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可通过来电(010-88379564)或电子邮件(cmpqu@163.com)索取。有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

光传输系统运行与维护/贾璐主编. —北京:机械工业出版社,2012.10

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-39935-3

I. ①光… II. ①贾… III. ①光通信—数字传输系统
高等职业教育—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第234468号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲世海 责任编辑:曲世海

版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm 14.25印张·349千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39935-3

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

光传输网是社会发展的基础，是国家工业化与信息化融合的重要纽带，也是三大电信运营商的各种业务的承载。“十二五”期间，“宽带中国·光网城市”工程在全国各地全面实施，构建“百兆进户、千兆进楼、T级出口”的智能宽带网络，将打造一个以宽带化、IP化、扁平化、融合化为核心特征的可管可控的绿色高性能光通信网络。光传输网对国民经济和社会各领域的应用效果及辐射作用将日渐显著，为进一步推动社会信息化进程，实现国家“十二五”发展目标做出应有贡献。

光纤通信技术的发展日新月异，传统的光纤通信方面的教材以及教学主要集中在理论部分，教学内容缺乏对相关设备和工程环境的介绍，与企业实际需求严重脱节。故编写一本讲述光传输网技术的教材是十分必要的，既可以使课程教学内容紧贴技术前沿，又能满足高职高专院校教学和职业岗位培训的需求。

本书由贾璐担任主编，李元元担任副主编，包晓蕾、殷璐参与编写。其中第1、2、4章由贾璐编写，第5、6、7、9章由李元元编写，第3、10章由包晓蕾编写，第8章由殷璐编写。

本书针对各个不同层级人才的技能要求，叙述内容由浅入深、循序渐进，选取案例贴近工程实际，是一部实用性很强的书籍。

本书邀请了企业专家共同参与编写，在编写过程中，企业专家不仅根据企业对人才岗位技能的要求，对编写大纲提出了很多宝贵的意见，而且提供了大量丰富的工程案例、设计文档、图片，使得本书内容更贴近工程实际。本书选取了大量来自一线工程的插图，使得教材的内容更加生动。本书的编写得到了深圳讯方通信技术有限公司在技术上的支持，在此表示衷心的感谢。

编 者

目 录

前言

学习领域1 认知光传输系统

第1章 光纤通信技术概述	2
1.1 光纤通信的基本概念	2
1.1.1 什么是光纤通信	2
1.1.2 光纤通信的发展历史及现状	2
1.1.3 光纤通信系统的组成及分类	4
1.1.4 光纤通信技术的特点及应用	6
1.1.5 光纤通信的发展趋势	7
1.2 光传输网的发展	9
1.2.1 光传输网的主要通信方式	9
1.2.2 光传输网推动电信行业的发展	9
1.2.3 光传输网的演进历程和发展趋势	12
课后练习题	14
第2章 光传输系统通信线缆	15
2.1 光纤与光缆	15
2.1.1 光纤的基本知识	15
2.1.2 光纤的传输特性	17
2.1.3 光纤的类型	19
2.1.4 光缆的结构和型号	21
2.1.5 光纤连接器件	25
2.2 E1 电缆	28
2.2.1 E1 电缆介绍	28
2.2.2 装接 E1 同轴电缆的直式 BNC 公接头	31
2.2.3 装接 E1 同轴电缆的直式 I9-M 公接头	33
2.2.4 装接 E1 同轴电缆的直式 SMB 母插头	34
课后练习题	36
第3章 光纤通信系统用元器件	38
3.1 通信光源	38
3.1.1 常用半导体光源	38
3.1.2 半导体光源技术的最新发展	40
3.2 光电检测器	42
3.2.1 光电检测器的工作原理	42

3.2.2 常用光电检测器	42
3.3 无源光器件	43
3.4 光放大器	45
3.4.1 光放大器的应用和分类	45
3.4.2 EDFA 的技术原理	46
3.4.3 EDFA 的应用	47
课后练习题	48
 学习领域 2 光传输系统硬件安装调试	
第 4 章 光传输系统设备安装	50
4.1 光传输系统硬件设备介绍	50
4.1.1 OptiX Metro 1000 设备介绍	50
4.1.2 OptiX OSN 2500 设备介绍	54
4.2 机柜安装	59
4.2.1 机柜定位	60
4.2.2 支架定位与安装	62
4.2.3 机柜在支架上安装	65
4.2.4 机柜安装检查	67
4.3 光传输设备安装	68
4.3.1 安装流程	68
4.3.2 在机柜中安装设备	68
4.3.3 安装接地电缆	70
4.3.4 安装电源线	71
4.3.5 安装 E1 电缆	72
4.3.6 安装尾纤	74
课后练习题	76
第 5 章 光传输系统网络调测	78
5.1 调测准备	78
5.2 单站调测	79
5.2.1 测试线缆连接	79
5.2.2 测试光接口指标	81
5.2.3 测试 PDH 通道	82
5.3 系统调测	83
5.3.1 检查全网光纤的连接	84
5.3.2 监测全网性能和告警	86
5.3.3 测试以太网连接	86
5.3.4 测试全网误码	87
课后练习题	88

学习领域3 光传输系统业务开通

第6章 光传输网技术	90
6.1 数字光传输网通信体系	90
6.2 SDH 传输原理	93
6.3 SDH 传输网结构	98
6.3.1 SDH 传输网的常见网元	98
6.3.2 SDH 传输网拓扑	99
6.3.3 链形网业务传输	101
6.3.4 环形网业务传输	101
6.4 MSTP 技术的演进	108
6.4.1 MSTP 的引入	108
6.4.2 第一代 MSTP	108
6.4.3 第二代 MSTP	109
6.5 密集波分复用技术	110
6.5.1 波分复用技术的产生背景	110
6.5.2 DWDM 技术概述	111
6.5.3 DWDM 系统结构	114
6.5.4 DWDM 系统的特点和优势	114
6.5.5 DWDM 系统发展趋势	115
6.6 光接口类型	117
课后练习题	118
第7章 光传输系统组网及业务配置开通	120
7.1 光传输系统组网	120
7.1.1 链形网	120
7.1.2 环形网	120
7.1.3 环带链形网	121
7.2 业务配置方式	122
7.2.1 T2000 网管软件介绍	122
7.2.2 命令行配置软件介绍	123
7.3 网元初始化配置	127
7.3.1 网元初始化基本命令介绍	127
7.3.2 使用网管软件初始化网元	128
7.4 业务配置	136
7.4.1 SDH 点对点 E1 业务	136
7.4.2 SDH 点对点以太网业务	138
7.4.3 SDH 链形业务	142
7.4.4 SDH 光传输环形业务	146
课后练习题	150

学习领域 4 光传输系统维护

第 8 章 光传输系统例行维护	154
8.1 网管维护指引和记录	154
8.2 设备维护指引和记录	160
课后练习题	160
第 9 章 光传输系统常见故障处理	162
9.1 故障定位的基本原则与方法	162
9.1.1 故障定位的基本原则	162
9.1.2 告警和性能分析法	163
9.1.3 环回法	164
9.1.4 替换法	165
9.1.5 配置数据分析法	166
9.1.6 更改配置法	166
9.1.7 仪表测试法	167
9.2 故障定位的基本流程	167
9.2.1 排除外部设备故障	167
9.2.2 故障定位到单站	169
9.2.3 故障定位到单板并最终排除	169
9.3 业务中断故障处理	169
9.3.1 告警信号事件	170
9.3.2 业务中断故障处理流程	171
9.3.3 业务终端故障处理方法	173
9.4 误码问题故障处理	175
9.4.1 误码问题故障定位方法	175
9.4.2 误码问题的故障处理方法	175
9.5 设备对接故障	178
9.5.1 设备对接故障定位方法	178
9.5.2 设备对接故障的处理方法	179
9.6 SNCP 保护倒换故障处理	183
9.6.1 SNCP 保护倒换故障定位方法	183
9.6.2 SNCP 保护故障定位与排除	184
课后练习题	185

学习领域 5 了解下一代光传输系统

第 10 章 光纤通信新技术	188
10.1 ASON 技术	188
10.1.1 ASON 的概念、发展历史、功能及特点	188
10.1.2 ASON 的基本框架	189

10.1.3	ASON 的控制协议	192
10.1.4	ASON 网络技术	193
10.1.5	典型 ASON 设备介绍	196
10.2	OTN 技术	197
10.2.1	OTN 的标准及特点	197
10.2.2	OTN 技术原理	200
10.2.3	OTN 设备介绍	203
10.3	PTN 技术	204
10.3.1	概述	204
10.3.2	PTN 技术应用	206
10.3.3	PTN 的关键技术	207
10.3.4	典型 PTN 设备介绍	212
	课后练习题	216
	参考文献	218

学习领域1

认知光传输系统

第1章 光纤通信技术概述

1.1 光纤通信的基本概念

1.1.1 什么是光纤通信

通信科学的发展历史悠久。近代通信技术分为电通信和光通信两类，电通信又分为有线通信和无线通信。电通信已经是相当成熟的通信技术。光通信是利用光导纤维传输光波信号的通信方式，这种通信方式称为光纤通信，是当代通信技术发展的最新成就。

光波是电磁波，其频率比无线电波中的微波频率高 $10^4 \sim 10^5$ 倍，光波范围包括红外线、可见光及紫外线。目前广泛使用的光纤通信工作在近红外区，波谱为 $167 \sim 375\text{THz}$ ，即波长为 $0.8 \sim 1.8\mu\text{m}$ 。光纤通信技术的发展十分迅速，并以其信息容量大、保密性好、体积小、重量轻、无再生中继距离长等优点得到了广泛的应用，已成为现代通信的主要支柱之一，发展前景十分广阔。

1.1.2 光纤通信的发展历史及现状

利用光进行通信并不是一个新概念，我国古代使用的烽火台就是大气光通信的最好例子。后来的手旗、灯光甚至交通红绿灯等均可划入光通信的范畴，但可惜它们所能传递的距离和信息量都是十分有限的。

近代光通信的雏形可追溯到 1880 年贝尔发明的光电话，他用阳光作为光源、硒晶体作为光接收检测器件，通过 200m 的大气空间成功地传送了语音信号。虽然在以后的几十年中，科技工作者对 Bell 的光电话具有浓厚的兴趣，但由于合适光源的缺乏及严重的大气衰减，这种大气通信光电话未能像其他电通信方式那样得到发展。

通信的容量通常用 BL 表示， B 为比特率， L 为中继距离。20 世纪，随着科学技术的进步，通信容量的发展十分迅速。

20 世纪后半叶人们开始认识到，如果用光波作为载波， BL 可能增加几个数量级，然而 50 年代还没有相干光源和合适的传输媒质。1960 年，激光器的发明解决了第一个问题，随后人们的注意力集中到寻找用激光进行通信的途径。20 世纪 60 年代，提出了许多方法解决光传输通道问题，其中最值得注意的是用气体透镜序列进行光限制传输。1966 年，英籍华人高琨博士提出光纤可能是最佳选择，因为它能像铜线传导电子那样导光。但主要的问题是光纤的高损耗，20 世纪 60 年代可能得到的光纤损耗超过了 1000dB/km 。这一问题在 1970 年出现了突破，在 $1\mu\text{m}$ 附近波长区光纤损耗降低到约 20dB/km 。几乎在同时，室温下运行的 GaAs(砷镓)半导体激光器研究成功。小型光源和低损耗光纤的先后问世，在全世界范围内掀起了发展光纤通信的高潮。进展确实很快，在不到 20 年的时间， BL 增加了几个数量级，在技术上经历了各具特点的五个发展阶段(或五代光通信系统)。光通信整体发展时间表如图 1-1 所示。

1. 第一代光通信系统

紧随研究与发展的步伐，经过许多现场试验后，工作于 $0.8\mu\text{m}$ 的第一代光通信系统于 1978 年正式投入商业应用，其比特率为 $20 \sim 100\text{Mbit/s}$ ，最大中继间距约为 10km ，最大通信容量(BL)约为 $500\text{Mbit/s} \cdot \text{km}$ 。与同轴电缆系统相比，其中继间距长，投资和维护费用低，

因此它成为工程和商业运营的追求目标。

2. 第二代光通信系统

在1970年人们就认识到,使光波系统工作于 $1.3\mu\text{m}$ 时,光纤损耗小于 1.0dB/km ,且具有最低色散,可大大增加中继距离,这推动了全世界努力发展 $1.3\mu\text{m}$ 的InGaAs(铟镓砷)半导体激光器和检测器。并在1977年研制成功这种激光器。

20世纪80年代初,早期的采用多模光纤的第二代光通信系统问世,其中继距离超过了 20km ,但由于多模光纤的模间色散,使早期系统的比特率限制在 100Mbit/s 以下。采用单模光纤能克服这种限制,一个实验室于1981年演示了比特率为 2Gbit/s 、传输距离为 44km 的单模光波实验系统,并很快引入商业系统,至1987年, $1.3\mu\text{m}$ 单模第二代光通信系统开始投入商业运营,其比特率高达 1.7Gbit/s ,中继距离约为 50km 。

3. 第三代光通信系统

第二代光通信系统中继距离受到 $1.3\mu\text{m}$ 附近光纤损耗(典型值为 0.5dB/km)的限制,理论研究发现,石英光纤最低损耗在 $1.55\mu\text{m}$ 附近,实验技术上于1979年就达到了 0.2dB/km 的低损耗。然而由于 $1.55\mu\text{m}$ 处高的光纤色散,而且当时多纵模同时振荡的常规InGaAsP(铟镓砷磷)半导体激光器的谱展宽问题尚未解决,这两个因素推迟了第三代光通信系统的问世。后来的研究发现,色散问题可以通过使用设计在 $1.5\mu\text{m}$ 附近、具有最小色散的色散位移光纤(DSF)与采用单纵模激光器来克服。在20世纪80年代这两种技术都得到了发展,1985年的传输试验显示,其比特率达到 4Gbit/s ,中继距离超过 100km 。至1990年,工作于 2.4Gbit/s 、 $1.55\mu\text{m}$ 的第三代光通信系统已能提供通信商业业务,这样的第三代光通信系统,通过精心设计激光器和光接收机,其比特率能超过 10Gbit/s 。

4. 第四代光通信系统

第四代光通信系统以采用光放大器(OA)增加中继距离和采用频分与波分复用(FDM与WDM)增加比特率为特征,这种系统有时采用零差或外差方案,称为相干光波通信系统,20世纪80年代在全世界得到了发展。在一次试验中利用星形耦合器实现100路 622Gbit/s 数据复用,传输距离为 50km ,其信道间串音可以忽略。在另一次试验中,单信道速率为 2.5Gbit/s ,不用再生器,光纤损耗用光纤放大器(EDFA)补偿,放大器间距为 80km ,传输距离达 2223km 。光通信系统采用相干检测技术并不是使用EDFA的先决条件。有的实验室曾使用常规非相干技术实现了 $2.5\text{Gbit/s} \cdot 4500\text{km}$ 和 $10\text{Gbit/s} \cdot 1500\text{km}$ 的数据传输,另一实验曾使用循环回路实现了 $2.4\text{Gbit/s} \cdot 21000\text{km}$ 和 $5\text{Gbit/s} \cdot 14000\text{km}$ 的数据传输。20世纪90年代初期,光纤放大器的问世引起了光纤通信领域的重大变革。

5. 第五代光通信系统

第五代光通信系统的研究与发展经历了20多年,已取得突破性进展。它基于光纤非线性压缩抵消光纤色散展宽的新概念产生的光孤子,可实现光脉冲信号保形传输,虽然这种基本思想1973年就已提出,但直到1988年才由贝尔(Bell)实验室采用受激喇曼散射增益补偿

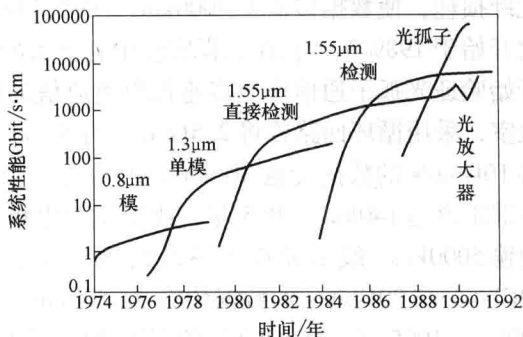


图 1-1 光通信整体发展时间表

光纤损耗,使数据传输了 4000km,次年又使传输距离延长到 6000km。EDFA 用于光孤子放大开始于 1989 年,它在工程实际中有更大的优点,自那以后,国际上一些著名实验室纷纷开始验证光孤子通信作为高速长距离通信的巨大潜力。1990 ~ 1992 年,在美国与英国的实验室,采用循环回路曾将 2.5Gbit/s 与 5Gbit/s 的数据传输 10000km 以上。日本的实验室则将 10Gbit/s 的数据传输 106km。1995 年,法国的实验室则将 20Gbit/s 的数据传输 106km,中继距离达 140km。1995 年,线形试验也将 20Gbit/s 的数据传输 8100km,40Gbit/s 的数据传输 5000km。线形光孤子系统的现场试验也在日本东京周围的城域网中进行,分别将 10Gbit/s 与 20Gbit/s 的数据传输了 2500km 与 1000km。1994 年,80Gbit/s 的高速数据传输了 500km;1995 年,160Gbit/s 的高速数据传输了 200km。

光通信技术得到巨大发展,目前世界通信业务的 90% 需经光纤传输。随着光通信系统技术的发展,光通信系统在通信网中的应用得到了相应的发展。现在世界上许多国家都将光通信系统引入了公用电信网、中继网和接入网中。但是目前这种奇特媒质的真正应用还仅仅是在现有电信网络的骨架结构内用光纤代替铜线,使通信网的性能得到了某种改善,降低了成本,而网络的拓扑基本上还是光通信出现之前的模式,光通信的潜力尚未完全发挥。在目前的通信网中,光纤通信技术应用尚属于一种经典应用,在通信的发展中属于第二代通信网(第一代纯为纯电信网)。进入 20 世纪 90 年代后,随着光纤与光波电子技术的发展,光子开关、光逻辑门、光互连、变频、路由器等许多新颖光纤与半导体功能光器件相继问世,在全世界范围内掀起了发展第三代通信网——全光通信网的潮流。这种通信网中,不仅用光波系统传输信号,交换、复用、控制与路由选择等亦全部在光域完成,由此构建真正的光通信网。光通信的发展至今不过 50 年,但其进展之快,对通信技术影响之大,始所未料,目前大量新的理论与技术研究和发工作正在继续进行。

1.1.3 光纤通信系统的组成及分类

1. 光纤通信系统的组成

光纤通信系统组成如图 1-2 所示,主要包括光发射机、光接收机、光纤、中继器和光纤连接器、耦合器等无源器件。

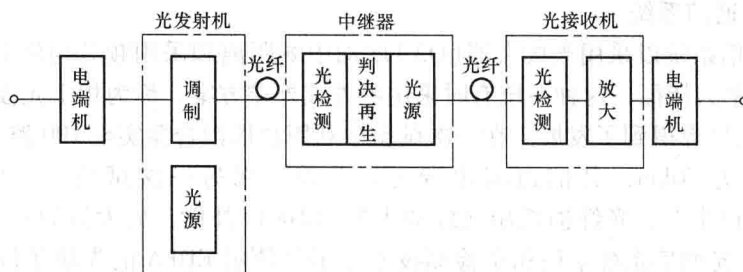


图 1-2 光纤通信系统组成

(1) 光发射机 光发射机是实现电/光转换的光端机。它由光源、驱动器和调制器组成。其功能是将来自于电端机的电信号对光源发出的光波进行调制,成为已调光波,然后再将已调的光信号耦合到光纤或光缆去传输。电端机就是常规的电子通信设备。

(2) 光接收机 光接收机是实现光/电转换的光端机。它由光检测器和光放大器组成。其功能是将光纤或光缆传输来的光信号,经光检测器转变为电信号,然后,再将这微弱的电

信号经放大电路放大到足够的电平,送到接收端的电端机去。

(3) 光纤或光缆 光纤或光缆构成光的传输通路。其功能是将发信端发出的已调光信号,经过光纤或光缆的远距离传输后,耦合到收信端的光检测器上去,完成传送信息任务。

(4) 中继器 中继器由光检测器、光源和判决再生电路组成。它的作用有两个:一个是补偿光信号在光纤中传输时受到的衰减;另一个是对波形失真的脉冲进行补偿。

(5) 光纤连接器、耦合器等无源器件 由于光纤或光缆的长度受光纤拉制工艺和光缆施工条件的限制,且光纤的拉制长度也是有限度的(如1km),因此一条光纤线路可能存在多根光纤相连接的问题。于是,光纤间的连接、光纤与光端机的连接及耦合,对光纤连接器、耦合器等无源器件的使用是必不可少的。

目前实用的光纤通信系统都采用直接检波系统。直接检波系统就是在发送端直接把信号调制到光波上,而在接收端用光电检波管直接把被调制的光波检波为原信号的系统。电端机就是一般电信号设备,例如载波机或电视图像发送与接收设备等。光端机则是把电信号转变为光信号的设备(光发射机),或把光信号转变为电信号的设备(光接收机)。光发射机的作用是将发送的电信号进行处理,加载在半导体激光器上,使电信号调制光波,然后将此已调制光波送入光导纤维。已调制光波经光导纤维传送至光接收机的半导体光电管上检波,检波后得到的电信号经过适当处理再送接收电端机,然后按一般电信号处理。这就是整个光纤通信的过程,这个过程和一般无线电通信过程是十分相似的。当然,光纤通信的空间传输手段是光导纤维,这与一般无线电通信在空间传输电波的情况是不同的。

直接检波系统的基本优点是构成简单,就当前光波技术水平来讲现实可行。同时,由于光波频率极高,在这样的系统上传送上万路电话、几十路电视并不困难,完全可以满足目前通信的需要。因此直接检波系统是光纤通信当前较多采用的形式。

2. 光纤通信系统的分类

光纤通信系统可以按多种方式进行分类。

(1) 按波长分类 可以分为短波长光纤通信系统、长波长光纤通信系统及超长波长光纤通信系统。

1) 短波长光纤通信系统,工作波长为 $0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$,典型值为 $0.85 \mu\text{m}$,这种系统的中继距离较短,目前使用较少。

2) 长波长光纤通信系统,工作波长为 $1.0 \sim 1.6 \mu\text{m}$,通常采用 $1.3 \mu\text{m}$ 、 $1.5 \mu\text{m}$ 两种波长。这类系统的中继距离较长,尤其是采用 $1.5 \mu\text{m}$ 零色散位移的单模光纤时, 140Mbit/s 系统的中继距离可达到100 km。

3) 超长波长光纤通信系统,采用非石英光纤,例如卤化物光纤,当工作波长大于 $2 \mu\text{m}$ 时,衰减为 $10^{-2} \sim 10^{-5} \text{dB/km}$,可实现1000km无中继传输。

(2) 按光纤的模式分类 可以分为多模光纤通信系统和单模光纤通信系统。

1) 多模光纤通信系统,采用石英多模梯度光纤作为传输线路,因传输频率受限制,一般应用于 140Mbit/s 以下的系统。

2) 单模光纤通信系统,采用石英单模光纤作为传输线,传输容量大,距离长,目前建设的光纤通信系统都是这一类型的。

(3) 按光纤的传输信号分类 分为光纤模拟通信系统和光纤数字通信系统。

1) 光纤模拟通信系统,它是用模拟信号直接对光源进行强度调制的系统。

2) 光纤数字通信系统,它是用脉冲编码调制(Pulse Code Modulation,PCM)数字电信号直接对光源进行强度调制的系统,其通信距离长,传输质量高,是被广泛采用的系统。

(4) 按传输速率分类 分为低速光纤通信系统和高速光纤通信系统。

1) 低速光纤通信系统,一般传输信号速率为2Mbit/s或8Mbit/s。

2) 高速光纤通信系统,它的传输信号速率为34Mbit/s、140Mbit/s,有时把速率等于140Mbit/s和高于140Mbit/s的系统才称为高速通信系统,如1.5Gbit/s、2.5Gbit/s等。

(5) 按应用范围分类 分为公用光纤通信系统和专用光纤通信系统。

1) 公用光纤通信系统,电信部门应用的光纤通信系统称为公用光纤通信系统,它包括光纤市话中继通信系统、光纤长途通信系统及光纤用户环路通信系统等。

2) 专用光纤通信系统,指电信部门以外的各部门应用的光纤通信系统,例如电力、铁路、交通、石油、广播、银行、军事等部门应用的光纤通信系统,统称为专用光纤通信系统。

1.1.4 光纤通信技术的特点及应用

1. 光纤通信技术的特点

光纤通信技术之所以受到人们的极大重视,是因为和其他通信手段相比,其具有无与伦比的优越性,主要表现为:

(1) 传输频带宽,通信容量大 目前使用的光波频率比微波高 $10^3 \sim 10^4$ 倍,通信容量可增加 $10^3 \sim 10^4$ 倍。理论上两根光纤可传送上百万个电话和上百套电话节目。目前已实验成可通数万路电话的系统。

(2) 中继距离远 光纤通信无中继的直通距离可比金属线缆远得多,目前可达100km以上,比同轴电缆大几十倍。

(3) 抗电磁干扰能力强,无串话 光纤是非金属的光导纤维,即使工作在强电磁场附近或处于核爆炸后强大的电磁干扰的环境中,光纤也不会产生感应电压、电流。这有利于传送动态图像(如可视电话和电视节目),靠近高压输电线和与电气化铁道平行敷设,通信也不受干扰,适于在工厂内部的自动控制和监视系统中应用,也有利于在多雷地区、飞机上以及保密性要求强的军政单位使用。由于光纤信息限制在光纤内传输,不会逸出光纤,所以光缆的光纤之间不会“串话”,即没有纤间串扰,不易被窃听。

(4) 光纤细,光缆轻 光纤直径一般只有几微米到几十微米,相同容量话路光缆,要比电缆轻90%~95%(光缆的重量仅为电缆的 $1/10 \sim 1/20$),直径不到电缆的 $1/5$,故运输和敷设均比铜线电缆方便,并利于在军用战斗机上作信号控制用。

(5) 资源丰富,节约有色金属和能源 光纤的纤芯和包层的主要原料是二氧化硅,资源丰富且价格便宜,取之不尽。而电缆所需的铜、铝矿产则是有限的,采用光纤后可节省大量的铜材。制造10000km光纤比10000km单管同轴铜线节约能源 2.64×10^{11} J,折合标准煤为 9×10^5 kg。

(6) 均衡容易 在工作频带内,光纤对每一频率成分的损耗几乎是相等的,一般不需要在中继站和接收端采取幅度均衡措施。若需要均衡,一般也容易达到要求。

(7) 经济效益好 由于光纤通信具有通信容量大、中继距离长、节省有色金属和敷设方便等优点,因此,其经济效益十分明显。34Gbit/s以上光纤通信系统的价格比同轴电缆便宜30%以上。

(8) 抗腐蚀、不怕潮湿 即使光纤因外保护层有小孔、裂缝而进水或受潮,也不会影响光的传递,但进水和受潮对金属导线意味着接地和短路。光纤系统也不存在发生火花的风险,安全性好。

2. 光纤通信技术的应用

光纤可以传输数字信号,也可以传输模拟信号。光纤在通信网、广播电视网与计算机网,以及其他数据传输系统中,都得到了广泛应用。光纤宽带干线传送网和接入网发展迅速,是当前研究开发应用的主要目标。

光纤的应用主要体现如下:

1) 光纤在公用电信网间作为传输线。由于光纤损耗低、容量大、直径小、重量轻和敷设容易,所以特别适合作为市内电话中继及长途干线线路,这也是光纤的主要应用场合。

2) 局域网中的应用。这是一种把计算机和智能终端通过光纤连接起来,实现工厂、办公室、家庭自动化的局域网地区数字信息网。

3) 光纤宽带综合业务数字网。光纤宽带综合业务数字网除开办传统的电话、高速数据通信外,还开办可视电话、视频会议、远程医疗、远程教育等大容量、高宽带业务。

4) 光纤用户线。目前除发展光纤局域网外,还要建设和发展光纤用户线,以实现光纤到小区、光纤到楼、光纤到户。

5) 满足不同网络层面的应用。光纤通信的发展方向是把光纤直接通往千家万户。为适应光传输网向更高速率、更大容量、更长距离方向发展,不同层次光通信网络对光纤要求也不尽相同,在核心层面、城域网层面、局域网层面,光纤通信都得到了广泛的应用。

6) 应用于专网,作为危险环境下的通信线路。光纤通信主要应用于电力、公路、铁路、矿山等通信专网,诸如发电厂、化工厂、石油库等场所,对于防强电、防辐射、防危险化学品流散、防火灾、防爆炸是非常重要的。因为光纤不导电,没有短路危险,而且通信容量大,故最适合这类系统。

1.1.5 光纤通信的发展趋势

1. 光纤到户

现在移动通信发展速度惊人,但其带宽有限,终端体积不可能太大,显示屏幕受限,因此,人们依然追求性能相对占优的固定终端,希望实现光纤到户。光纤到户(FTTH)的魅力在于它有极大的带宽,它是解决从互联网主干网到用户桌面的“最后一公里”瓶颈现象的最佳方案。随着技术的更新换代,光纤到户的成本大大降低,不久可降到与DSL和HFC网相当,这使FTTH的实用化成为可能。据报道,1997年日本NTT公司就开始发展FTTH,2000年后由于成本降低而使用户数量大增。美国在2002年前后的12个月中,FTTH的安装数量增加了200%以上。在我国光纤到户也是势在必行,目前,我国从沿海到内地兴起光纤到户建设高潮。可以说,光纤到户是光纤通信的一个亮点,伴随着相应技术的成熟与实用化,成本降低到能承受的水平时,FTTH的大趋势是不可阻挡的。

2. 全光网络

传统的光传输网实现了节点间的全光化,但在网络节点处仍使用电器件,限制了目前通信网干线总容量的提高,因此真正的全光网络成为非常重要的研究课题。全光网络以光节点代替电节点,节点之间也是全光化,信息始终以光的形式进行传输与交换,交换机对用户信息的处理不再按比特进行,而是根据其波长来决定路由。全光网络具有良好的透明性、开放

性、兼容性、可靠性、可扩展性,并能提供巨大的带宽、超大容量、极高的处理速度、较低的误码率,网络结构简单,组网非常灵活,可以随时增加新节点而不必安装信号的交换和处理设备。当然,全光网络的发展并不可能独立于众多通信技术,它必须要与因特网、ATM网、移动通信网等相融合。目前,全光网络的发展仍处于初期阶段,但已显示出良好的发展前景。从发展趋势上看,形成一个真正的、以波分复用(WDM)技术与光交换技术为主的光传输网层,建立纯粹的全光网络,消除电光瓶颈已成为未来光通信发展的必然趋势,更是未来信息网络的核心,也是通信技术发展的最高级别,更是理想级别。

3. 向超高速系统的发展

目前,10Gbit/s系统已经开始大批量装备网络,主要在北美,在欧洲、日本和澳大利亚也已开始大量应用。但是,10Gbit/s系统对于光缆极化模式色散比较敏感,而已经敷设的光缆并不一定都能满足开通和使用10Gbit/s系统的要求,需要实际测试、验证合格后才能安装开通,它的比较现实的出路是转向光复用方式。光复用的方式有很多种,但目前只有波分复用(WDM)方式进入了大规模商用阶段,而其他方式尚处于试验研究阶段。

4. 向超大容量 WDM 系统的演进

采用电的时分复用系统的扩容潜力已尽,然而光纤的200nm可用带宽资源利用率低于1%,还有99%的资源尚待挖掘。如果将多个发送波长适当错开的光源信号同时在一级光纤上传送,则可大大增加光纤的信息传输容量。基于WDM应用的巨大好处及近几年来技术上的重大突破和市场的驱动,WDM系统的发展十分迅速。目前,全球实际敷设的WDM系统已超过3000个,而实用化系统的最大容量已达320Gbit/s($2 \times 16 \times 10\text{Gbit/s}$),美国朗讯公司已宣布将推出80个波长的WDM系统,其容量可达200Gbit/s($80 \times 2.5\text{Gbit/s}$)或400Gbit/s($40 \times 10\text{Gbit/s}$)。实验室的最高水平则已达到2.6Tbit/s($130 \times 20\text{Gbit/s}$)。预计不久的将来,实用化系统的容量即可达到1Tbit/s的水平。

5. 实现光联网

上述实用化的波分复用系统尽管具有巨大的传输容量,但基本上是以点到点通信为基础的系统,其灵活性和可靠性还不够理想。如果在光路上也能实现类似SDH在电路上的分插功能和交叉连接功能,则无疑将增加新一层的威力。根据这一基本思路,光联网既可以实现超大容量光传输网,使网络具备扩展性、重构性、透明性,又允许网络的节点数和业务量的不断增长,互连任何系统和不同制式的信号。

6. 开发新一代的光纤

传统的G.652单模光纤在适应上述超高速长距离传输网络的发展需要面已经暴露出力不从心的态势,开发新型光纤已成为开发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,已出现两种不同的新型光纤,即非零色散光纤(G.655光纤)和全波光纤(无水吸收峰光纤)。其中,全波光纤将是以后开发的重点,也是现在研究的热点。从当前技术发展、成本及应用需求的实际状况看,它距离实现广泛应用于电信接入网这一最终目标还会有一个较长的发展过程。

7. IP Over SDH 与 IP Over Optical

以IP业务为主的数据业务是当前世界信息业发展的主要推动力,因而能否有效地支持IP业务已成为新技术能否有长远技术寿命的标志。目前,ATM和SDH均能支持IP,分别称为IP Over ATM和IP Over SDH,两者各有千秋。但从长远看,当IP业务量逐渐增加,需要