



普通高等教育“十二五”规划教材

国家级特色专业 · 通信工程 · 核心课程规划教材

光纤通信系统与网络

Optical Fiber Communication System and Network

(第3版)

胡庆 刘鸿 张德民 杨晓波 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

光纤通信系统与网络

(第3版)

胡庆 刘鸿 张德民 杨晓波 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统阐述了现代光纤通信系统与网络的基本构成、基本原理、基本概念、基本理论、基本性能指标和关键技术, 主要内容包括典型光纤通信系统的原理、光纤传输原理及传输特性、基本光纤通信器件原理及性能指标、光纤通信系统及设计, 同时根据光纤通信的最新进展, 配合“全光网、全 IP 化”大趋势介绍了 SDH/MSTP 光同步网络、基于 SDH 的 MSTP、DWDM/OTN 光传送网络、PTN 分组传送网络、城域与接入光网络及全光通信网等实用技术。

全书注重理论与实践、设计与工程的结合, 精选了一些当前最新的实例进行分析, 并且以形象直观的图表形式来配合文字叙述, 有助于读者学习。为了配合教学和学习, 每章都精选一定数量的习题。本书可作为各高等院校工科通信与信息工程类专业课教材, 也可供科研和工程技术人员参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统与网络 / 胡庆等编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2014.9

国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

ISBN 978-7-121-24140-6

I. ①光… II. ①胡… III. ①光导纤维通信系统—高等学校—教材 ②光纤通信—通信网—高等学校—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 191782 号

策划编辑: 竺南直

责任编辑: 竺南直

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 16 字数: 410 千字

版 次: 2014 年 9 月第 1 版

印 次: 2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

教材建设是高等学校组织教学和进行学科建设的重要内容。

为贯彻落实教育部“质量工程”的具体工作，把课程、教材建设与资源共享提上新的高度，电子工业出版社充分发挥在电子信息领域的教育出版优势和独树一帜的品牌影响力，适时推出了这套“国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材”。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点：

- (1) 专业特色鲜明：以本科通信工程专业的专业核心课程为主线。
- (2) 注重先进性、系统性、教学适用性：基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。
- (3) 配套教学支持：每本教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版教学辅导书。
- (4) 质量保证：本套教材特别吸纳或整合了以下优秀资源：
 - ① 多数教材来源于优秀教材的修订和再版，包括教育部“十五”、“十一五”等历届国家级规划教材、国家级或省部级获奖教材、历届全国统编教材等。
 - ② 多数作者为著名教材作者、国家级/省级教学名师、国家级/省级优秀教学团队负责人。
 - ③ 其他优秀教学资源，如国家级/省级精品课程、国家级教学示范中心等组织编写的、体现相应课程或课程群特色的配套教材。

为做好本套教材的编写、出版工作，我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问，并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院（系）的院长（系主任）成立教材编委会，从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

我们坚信：一流的教师队伍，一定有一流的教学理念和方法；一流的教学内容，需要配备一流的教材，从而体现一流的教学管理和教学质量。

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》顾问委员

(按姓名音序排列)

迟惠生(北京大学)

冯重熙(清华大学)

吴伟陵(北京邮电大学)

谢希仁(解放军理工大学)

程时昕(东南大学)

李承恕(北京交通大学)

吴诗其(电子科技大学)

袁保宗(北京交通大学)

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》编审委员

(按姓名音序排列)

主任委员 樊昌信(西安电子科技大学)

副主任委员

顾婉仪(北京邮电大学)

彭启琮(电子科技大学)

王希勤(清华大学)

吴镇扬(东南大学)

李建东(西安电子科技大学)

王金龙(解放军理工大学)

王传臣(电子工业出版社)

张思东(北京交通大学)

委员

安建平(北京理工大学)

陈咏恩(同济大学)

段哲民(西北工业大学)

范平志(西南交通大学)

鄢广增(南京邮电大学)

顾学迈(哈尔滨工业大学)

李建东(西安电子科技大学)

刘 琚(山东大学)

仇佩亮(浙江大学)

唐向宏(杭州电子科技大学)

王金龙(解放军理工大学)

王祖林(北京航空航天大学)

韦 岗(华南理工大学)

徐昌庆(上海交通大学)

张思东(北京交通大学)

朱光喜(华中科技大学)

鲍长春(北京工业大学)

邓建国(西安交通大学)

樊昌信(西安电子科技大学)

方 勇(上海大学)

顾婉仪(北京邮电大学)

康 健(吉林大学)

李晓峰(电子科技大学)

彭启琮(电子科技大学)

唐朝京(国防科技大学)

田宝玉(北京邮电大学)

王希勤(清华大学)

王传臣(电子工业出版社)

吴镇扬(东南大学)

张德民(重庆邮电大学)

郑建生(武汉大学)

朱秀昌(南京邮电大学)

投稿邮箱: 韩同平编辑 (010)88254525 E-mail: hantp@phei.com.cn

第3版前言

信息传输是信息社会的三大标志之一，“光纤传输技术”的发展，决定着“整个通信网络”的发展。为了适应光纤通信技术发展的快速性，知识更新强烈的需求性，作者融合了近20年的教学经验、多年的工程实践以及光纤通信发展多样化而对本教材进行第三次修订。这次修订编写过程中，主编人员重新梳理理论知识点之间的衔接关系，进而缩减部分理论分析难度和目前减退技术的篇幅，同时根据光纤通信的最新进展，重点增补当前光网络的实用新技术方面的内容，如基于SDH的MSTP、光传送网（OTN）、分组传送网PTN（IP RAN）、城域与接入光网络和自动交换光网络（ASON）等应用技术。力求给读者一个比较全面的、系统的、从理论到实际的光纤通信系统与网络的完整框架。

本书比较全面、系统地讲述了现代光纤通信系统的基本原理、基本技术、系统设计和光纤通信网络。全书共9章：第1章～第4章主要介绍了光纤通信系统所包含的基础内容，即光纤通信发展趋势、光纤传输原理及传输特性、光纤通信的基本器件和光纤通信系统构成原理及设计方法；第5章介绍SDH/MSTP光同步网络；第6章讨论DWDM/OTN光传送网络；第7章介绍了PTN分组传送网络；第8章介绍了城域与接入光网络，重点对城域光、网络光互联网络和APON/GPON/EPON接入技术作了介绍；第9章介绍全光通信网，包括全光通信网的结构、光交换技术、自动交换光网络（ASON）等。

本书第1～5章由胡庆修订，第7章和第9章由张德民、胡庆修订，第6章由刘鸿修订，第8章由杨晓波修订。全书由胡庆统稿，由张德民审核。本书在编写及修订期间得到了严常青、张毅、胡敏、张爱平等同志的大力协助，在此一并表示感谢。

为适应当前高校课程门类多、课时压缩的教学特点，本书在概念和原理的讲述上力求严谨、准确、精练，理论适中，注重实用，主要面向工科院校，尽量少用繁杂的数学推导。

本书可作为高等学校电子信息类专业本科生教材，也可供研究生、科技工作者和工程技术人员参考。

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编著者
2014年7月

目 录

第 1 章 光纤通信概论	1
1.1 光纤通信系统发展现状	1
1.1.1 光纤通信的特点及发展简史	1
1.1.2 光纤通信系统及发展现状	5
1.2 光纤通信网络发展现状	7
1.2.1 通信网概念	7
1.2.2 光纤通信网络模型	8
1.2.3 光纤通信网络现状	9
1.3 光纤通信发展与演变趋势	11
1.3.1 光纤、光缆发展与演变趋势	11
1.3.2 光纤通信系统发展与演变趋势	12
1.3.3 光纤通信网络发展与演变趋势	12
习题 1	14
第 2 章 光纤传输原理及传输特性	15
2.1 光纤和光缆的结构及类型	15
2.1.1 光纤结构及类型	15
2.1.2 光缆结构及类型	19
2.1.3 光缆型号、规格及特性	22
2.2 光纤传输原理分析	25
2.2.1 射线理论分析光纤的传输原理	25
2.2.2 波动理论分析光纤的传输原理	28
2.3 光纤的结构参数	34
2.3.1 几何参数	35
2.3.2 数值孔径	35
2.3.3 模场直径	35
2.3.4 截止波长	36
2.4 光纤的传输特性	37
2.4.1 损耗特性	37
2.4.2 色散特性	40
2.4.3 光纤双折射及偏振特性	44
2.4.4 光纤的非线性效应	46
习题 2	49

第 3 章 光纤通信基本器件	50
3.1 光源器件	50
3.1.1 半导体激光器的结构及原理	50
3.1.2 分布反馈式和可调谐式半导体激光器	57
3.1.3 半导体激光器的主要特性	60
3.1.4 半导体发光二极管 (LED)	64
3.1.5 半导体发光二极管的主要特性	65
3.2 光检测器件	66
3.2.1 PD 光电二极管	66
3.2.2 PIN 光电二极管	67
3.2.3 APD 雪崩光电二极管	67
3.2.4 光电二极管的主要特性	68
3.3 光纤放大器 (EDFA)	70
3.3.1 EDFA 的结构及原理	71
3.3.2 EDFA 的主要特性	73
3.4 光纤连接器件	76
3.4.1 光纤连接器的结构与种类	76
3.4.2 光纤连接器的主要性能指标	76
3.5 光分路耦合器和波分复用器	78
3.5.1 光分路耦合器	78
3.5.2 波分复用器和解复用器	80
3.6 光隔离器与光环行器	85
3.6.1 光隔离器	85
3.6.2 光环行器	86
3.7 光衰减器和光开关	87
3.7.1 光衰减器	87
3.7.2 光开关	88
3.8 偏振控制器和光调制器	89
3.8.1 偏振控制器	89
3.8.2 光调制器	90
习题 3	91
第 4 章 光纤通信系统及设计	92
4.1 两种数字传输体制	92
4.1.1 准同步数字体系 (PDH)	92
4.1.2 同步数字体系 (SDH)	93
4.2 光发射机	94
4.2.1 光源直接强度调制	94
4.2.2 光发射机的构成及原理	95

4.2.3	光发射机的主要性能指标	102
4.3	光接收机	103
4.3.1	光接收机的结构及原理	103
4.3.2	光接收机的噪声分析	106
4.3.3	光接收机的主要性能指标	109
4.4	光中继器	111
4.5	系统的性能指标	112
4.5.1	误码性能	112
4.5.2	抖动和滑动性能	114
4.5.3	可靠性	116
4.6	光纤通信系统的设计	117
4.6.1	系统的总体考虑	117
4.6.2	中继段长的设计	118
	习题 4	122
第 5 章	SDH/MSTP 光同步网络	124
5.1	SDH 传输体制的基本概念	124
5.1.1	光传输网络发展与演变	124
5.1.2	基本概念与帧结构	125
5.1.3	SDH 的复用映射结构	128
5.2	SDH 的基本网络单元设备	131
5.2.1	终端复用器 (TM) 和分插复用器 (ADM)	131
5.2.2	再生中继器 (REG)	132
5.2.3	数字交叉连接设备 (DXC)	132
5.3	SDH 传送网	132
5.3.1	传送网分层与分割	132
5.3.2	SDH 网络结构	135
5.3.3	SDH 网同步的概念	138
5.3.4	SDH 自愈环网原理	140
5.3.5	SDH 网络管理	141
5.4	基于 SDH 的 MSTP	142
5.4.1	MSTP 的概念	143
5.4.2	MSTP 的功能块模型及实现	144
5.4.3	MSTP 技术应用	148
	习题 5	149
第 6 章	DWDM/OTN 光传送网络	150
6.1	DWDM 的基本概念	150
6.1.1	波分复用定义	150
6.1.2	DWDM 在传输网中的定位	152
6.1.3	DWDM 系统模型	152

6.1.4	实用 DWDM 系统的构成	153
6.2	DWDM 的基本网络单元设备	155
6.2.1	光终端复用设备 (OTM)	156
6.2.2	光线路放大设备 (OLA)	161
6.2.3	光分插复用设备 (OADM)	162
6.2.4	光交叉连接设备 (OXC)	163
6.3	DWDM 网络结构与保护	164
6.3.1	DWDM 网络结构	164
6.3.2	DWDM 自愈环网原理	166
6.3.3	DWDM 网络管理	168
6.3.4	DWDM 光网络在长途干线的应用	171
6.4	OTN 的基本概念与帧结构	172
6.4.1	OTN 的基本概念	172
6.4.2	OTN 的分层结构	173
6.4.3	OTN 的帧结构	177
6.4.4	OTN 的复用映射结构	179
6.5	OTN 的基本网元和组网保护	182
6.5.1	OTN 新增网元	182
6.5.2	OTN 组网保护	184
	习题 6	186
第 7 章 PTN 分组传送网		187
7.1	PTN 的基本概念	187
7.1.1	PTN 的基本概念及特点	188
7.1.2	PTN 的标准	189
7.1.3	PTN 与 MSTP、以太网和 IP/MPLS 的性能比较	190
7.2	PTN 网络体系结构	191
7.2.1	PTN 的分层结构	191
7.2.2	PTN 的功能平面	193
7.3	PTN 网元结构	193
7.3.1	PTN 网元分类	193
7.3.2	PTN 网元的功能结构	194
7.3.3	PTN 的业务承载与数据转发	195
7.4	PTN 组网应用及保护机制	197
	习题 7	198
第 8 章 城域与接入光网络		199
8.1	城域光网络	199
8.1.1	城域光网络的结构	199
8.1.2	城域网的特点	200
8.2	光互连网络	201

8.2.1	光互联网的概念	201
8.2.2	光互联网的体系结构	203
8.3	接入光网络	204
8.3.1	光纤接入网的界定	204
8.3.2	光纤接入网基本网元设备	206
8.3.3	实用光纤接入网的基本构成	209
8.3.4	光纤接入网的拓扑结构	210
8.4	无源光网络 (PON) 接入网	212
8.4.1	PON 的技术种类	212
8.4.2	APON, GPON, EPON 接入技术比较	213
8.5	EPON 系统结构及原理	215
8.5.1	EPON 系统结构	215
8.5.2	EPON 系统的工作原理	216
8.5.3	EPON 帧结构	217
8.5.4	EPON 关键技术	218
8.5.5	EPON 基本网络单元设备	220
8.6	光纤接入网的应用	222
8.6.1	PON 接入网应用	222
8.6.2	TDD+TDM+TDMA 的 PON 的 OAN	223
	习题 8	224
第 9 章 全光通信网		225
9.1	全光通信网概述	225
9.1.1	全光通信网的基本概念	225
9.1.2	全光通信网的结构	226
9.1.3	全光通信网的特点	227
9.1.4	全光通信网中的关键技术	228
9.2	光交换技术	229
9.2.1	光电路交换技术	230
9.2.2	光分组交换技术	232
9.2.3	光突发交换技术	234
9.2.4	光标签交换技术	235
9.3	自动交换光网络 (ASON)	235
9.3.1	ASON 的体系结构及主要功能	236
9.3.2	ASON 的主要特点	238
9.3.3	ASON 的连接类型	239
9.3.4	ASON 的网络结构模型	240
9.3.5	ASON 的标准化	241
	习题 9	242
参考文献		243

第 1 章 光纤通信概论

从诞生光纤通信以来，一场持续的革命一直改变着整个世界的通信领域。人们所需的高清晰、高可靠、远距离、大容量通信成为了现实。今天的光纤通信已渗透到电信网络、数据网络、有线电视（CATV）网络和光互联网络等信息网络中，可以说，目前光纤通信已成为信息传输最重要的方式之一。

现如今，只有对光纤通信系统与网络的传输性能和通信原理有足够的理解才能以较少的投入而获得高质量的通信。信息的高速传输使人们“决策帷幄中，致胜千里外”已不再是幻想。

1.1 光纤通信系统发展现状

1.1.1 光纤通信特点及发展简史

利用光导纤维（简称光纤）传输光波信号的通信方式称为光纤通信。由于光纤的传光性能优异，传输带宽极大，现在已形成了以光纤通信为主，微波、卫星和电缆通信为辅的信息传输网络格局。

通信发展始终在追求两大目标，一是远距离传输，二是大容量通信。人们知道无论是无线电通信，还是有线电通信都是以电磁波为载体进行的，而电磁波的频谱很宽，其分布情况如图 1-1 所示。由图可见，无线电通信所用波段在波长为几厘米至几千米范围内。由通信原理可知，通信容量与载波频率成正比例增大，所以人们一直在探索将更高频率的电磁波作为载波用于通信技术。光纤通信中所用的光载波属于电磁波的范畴，与无线电波相似的电磁波，其波长在 μm 级，频率非常高，约为 10^{14} Hz 量级。其频率比传统的电通信容量最高的“微波”段还高 $10^4\sim 10^5$ 倍。目前光纤通信使用工作波长范围为 $0.85\sim 2.00\ \mu\text{m}$ ，采用的典型中心波长为 $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $1.31\ \mu\text{m}$ 、 $1.55\ \mu\text{m}$ 和 $1.625\ \mu\text{m}$ 。

光纤通信与电缆或微波等通信方式相比，主要区别有二，一是用很高频率的光波作载波；二是用光纤作为传输介质。光纤具有传输容量大、传输损耗小、重量轻、不怕电磁干扰等一系列优点。基于此，光纤通信有以下明显的特点。

(1) 由于光波频率高，可供利用的频带极宽，尤其适合高速宽带信息的传输，在高速通信干线、宽带综合业务通信网络中，发挥着越来越大的作用。

(2) 由于光纤的传输损耗很低，现已做到 $0.2\ \text{dB/km}$ 以下，因而可以大大增加通信无中继距离，这对于长途干线和海底传输十分有利。在采用了先进的相干光通信，光放大器和光孤子通信技术之后，无中继通信距离可提高到几百公里，甚至上千公里。

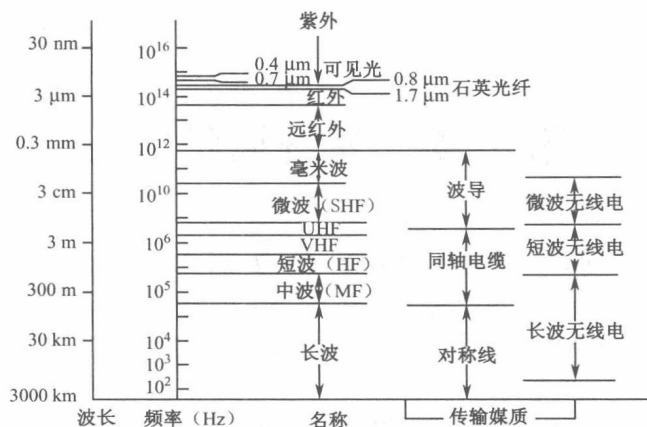


图 1-1 电磁波谱与传输媒质的关系

(3) 光纤传输是限制在光纤内的, 光能几乎不会向外辐射, 因此不存在光缆中各光纤之间信号串扰, 很难被窃听, 信号传输质量高, 保密性好。

(4) 光纤抗电磁干扰能力很强, 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。

(5) 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。

(6) 光纤的化学性能稳定, 耐化学侵蚀、抗高温、不打火花, 适用于特殊环境。

(7) 光纤是石英玻璃拉制成形的, 原料资源丰富, 节约有色金属。

同时光纤通信也存在以下缺点:

(1) 光纤弯曲半径不宜过小, 否则可能引起较大的衰减。

(2) 光纤的连接操作技术要求高, 需专用设备。

(3) 光纤的分路、耦合操作较困难、烦琐。

应该指出, 光纤通信的上述缺点, 现已在一定程度上得到克服, 它们不影响光纤通信的实用。表 1.1 和表 1.2 分别列出了光纤与电缆、波导这几种传输媒质的特性比较和光纤的特点及应用场合。

表 1.1 光纤与电缆、波导的特性比较

传输介质	频率	衰减系数/(dB/km)	中继距离/(km)	敷设安装	接续
对称电缆	4kHz	2.06	1~2	方便	方便
细同轴电缆	1 MHz	5.24	1.6	方便	较方便
粗同轴电缆	60MHz	18.77	1.6	方便	较方便
微波波导	40~120MHz	2.00	10	特殊	特殊
单模光纤	$\geq 10\sim 100\text{GHz}$	0.2 (注 1) ~ 0.36 (注 2)	>50	方便	特殊

注 1: 当光波波长为 $1.55\mu\text{m}$ 时的值。

注 2: 当光波波长为 $1.31\mu\text{m}$ 时的值。

表 1.2 光纤的特点及其应用场合

光纤特点	应用场合
低衰减、宽频带	公用通信、计算机通信、有线电视图像传输
尺寸小、重量轻	飞机、导弹、航空航天、船舰内的通信控制
抗电磁干扰	电力及铁道通信, 交通控制信号, 核电站通信
耐化学侵蚀	油田、炼油厂、矿井等区域的通信

众所周知, 光早已用于远距离通信, 如烽火台、信号灯等, 但早期所用光通信方法是原始的、落后的和不太可靠的。现代光通信概念是 1880 年提出的, A.G 贝尔研究出一个可以在可见光束上, 两百多米距离内传送话音的光电话机装置, 其原理是用振动的话音声波调制太阳光源, 将已调光波通过镜面反射入大气传输至终端, 终端接收机将连续话音光信号通过光电池还原, 这个想法是真正意义上的光通信。但遗憾的是此技术不能实用。究其原因有二: 一是没有可靠的、高强度的光源; 二是没有稳定的、低损耗的传输媒质, 所以无法得到高质量的、大容量的光通信。

1960 年, 美国人梅曼 (T.H.Maiman) 发明了第一台相干振荡光源——红宝石激光器。激光 (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, Laser) 是基于物质原子、分子内能的变化而构成的光波振荡器。激光的频率成分单纯、方向性好、光束发散角小, 几乎是一束平行的光束。之后出现的气体和固体激光器, 因体积大、效率低, 不适宜在通信中使用。

1962 年半导体激光器出现, 为光通信光源实用化带来了希望。1970 年, 首次研制出在室温下连续工作的双异质结半导体激光器, 为实用化通信光源奠定了基础。

1966 年, 英籍华裔科学家高锟 (C.K.Kao) 根据介质波导理论提出光纤作为光通信传输媒质的概念, 由此高锟教授荣获 2009 年诺贝尔物理学奖。

1970 年, 美国康宁公司的 Maurer 等人首次研制出阶跃折射率多模光纤, 其在波长为 630 nm 处的衰减系数小于 20 dB/km; 同年美国贝尔实验室的 Hayashi 等人研制出室温下连续工作的 GaALAs 双异质结注入式激光器。正是光纤和激光器这两个科研成果的同时问世, 拉开了光纤通信的序幕。到 70 年代末, 在 1 310 nm 波长上, 光纤衰减系数已降至 4 dB/km; 在 1 550 nm 波长上, 降至 0.20 dB/km, 已接近理论值。与此同时, 为促进光纤通信系统的实用化, 人们又及时地开发出适用于长波长的光源 (激光器、发光二极管) 和光检测器。应运而生的光纤成缆、光无源器件和性能测试及工程应用仪表等技术的日趋成熟, 都为光纤通信作为新的通信方式奠定了坚实的基础。

1976 年, 美国西屋电气公司在亚特兰大成功地进行了世界上第一个传输距离为 110 km 的 44.736 Mbit/s 光纤通信系统的现场实验, 使光纤通信向实用化迈出了第一步。

我国自 70 年代初就已开始了光纤通信技术的研究, 1977 年, 武汉邮电科学研究院研制成功中国第一根阶跃折射率分布的、波长为 0.85 μm 的的衰减系数为 3dB/km 多模光纤。后来又研制成功单模光纤、特殊光纤以及光通信设备。

1987 年底, 建成第一个国产的长途光通信系统, 由武汉至荆州, 全长约 250km, 传输 34Mbit / s 信号, 光缆采用架空方式。

1988 年起, 国内光纤通信系统的应用由多模光纤转为单模光纤。

1993年,我国与日本、美国三方投资建设的第一条大容量海底光缆正式开通,全长1250 km,传输速率560Mbit/s,可提供7560条电路,相当于原有的中日海底同轴电缆的15倍。

1999年我国完成了“八纵八横”通信光缆工程,全长约80000 km,如图1-2所示。它作为整个国家南北东西的主干通信网,使我国光纤通信水平迈上了新台阶。

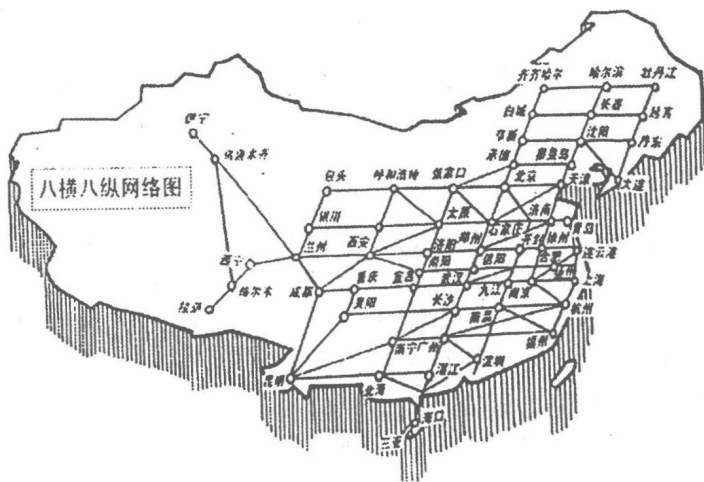


图 1-2 八横八纵光纤网络图

近年,着力解决全网瓶颈——将光纤接入网作为通信接入网的一部分,直接面向用户。提出“光进铜退”策略,即将光纤引入到千家万户,保证亿万用户的多媒体信息畅通无阻地进入信息高速公路。在网络传输的高速化方面,目前商用系统的速率已从155.520Mbit/s增加到10Gbit/s,不少已达到40Gbit/s,另外,速率达160Gbit/s和640Gbit/s的传输试验也获得成功。

光纤通信技术的问世与发展给世界通信业带来了一场变革。特别是近40年,光纤通信的研究和开发非常迅速:技术上不断更新换代,通信能力(传输速率和中继距离)不断提高,应用范围不断扩大。到目前为止光纤通信的发展可以粗略地分为四个阶段:

第一阶段(1966~1976年),从基础研究到商业应用的开发时期。在这个时期,实现了短波长(0.85 μm)低速率(34 Mbit/s或45 Mbit/s)多模光纤通信系统,无中继传输距离约10 km。

第二阶段(1976~1986年),以提高传输速率和增加传输距离为研究目标,大力推广应用的大发展时期。在这个时期,实现了工作波长为1.31 μm 、传输速率为140~565 Mbit/s的单模光纤通信系统,无中继传输距离为50~100 km。

第三阶段(1986~1996年),以超大容量和超长距离为目标、全面深入开展新技术研究的时期。在这个时期,实现了1.55 μm 色散移位单模光纤通信系统。采用外调制技术,传输速率可达2.5~10 Gbit/s,无中继传输距离可达100~150 km。

第四阶段(1996~2006年),主要研究光纤通信新技术,例如,超大容量的密集波分复用技术使最高速率达到 $256 \times 40 \text{ Gbit/s} = 10 \text{ Tbit/s}$ 和超长距离的光孤子通信技术等。

目前人们正涉足第五阶段光纤通信系统的研究和开发,至少具有四大特征:超宽带——单根光纤传输容量Tbit/s以上;超长距离——光放大距离可达数千km;光交换——克服

电交换瓶颈；智能化——智能光网络技术。光通信发展史如表 1.3 所示。

表 1.3 光通信发展史

古代光通信	烽火台、夜间信号灯、水面上的航标灯
1880 年	美国人贝尔发明了光电话（光源为阳光，接收器为硒管，传输介质为大气）
20 世纪 60 年代	1960 年，美国发明了第一台红宝石激光器，并进行了透镜阵列传输光的实验 1961 年，制成氦-氖（He-Ne）气体激光器 1962 年，制成砷化镓半导体激光器 1966 年，英籍华人高锟就光缆传输的前景发表了具有历史意义的论文，此时光纤损耗约为 3000dB/km
20 世纪 70 年代	1970 年，美国康宁公司研制成功损耗为 20dB/km 的石英光纤 1970 年，美国贝尔实验室和日本 NEC 公司先后研制成功室温下连续振荡的 GaAlAs 双异质结半导体激光器
20 世纪 80 年代	提高传输速率，增加传输距离，大力推广应用，光纤通信在海底通信获得应用
20 世纪 90 年代	掺铒光纤放大器（EDFA）的应用迅速得到了普及，波分复用（WDM）系统实用化
21 世纪	先进的调制技术、超强 FEC 纠错技术、电子色散补偿技术、偏振复用相干检测技术，以及有源和无源器件集成模块大量问世，出现了以 40Gbit/s 和 100Gbit/s 为基础的 WDM 系统应用

1.1.2 光纤通信系统及发展现状

1. 光纤通信系统模型

光纤通信系统可以传输数字信号也可以传输模拟信号，可以承载语音、图像、数据和多媒体业务等各类信息。目前实用的光纤通信系统，采用的是强度调制 IM——直接检测 DD 的实现方式，由光发送设备、光纤传输线路、光接收设备和各种光器件等构成，如图 1-3 所示，现主要用于骨干（长途）网、本地网以及光纤接入网。

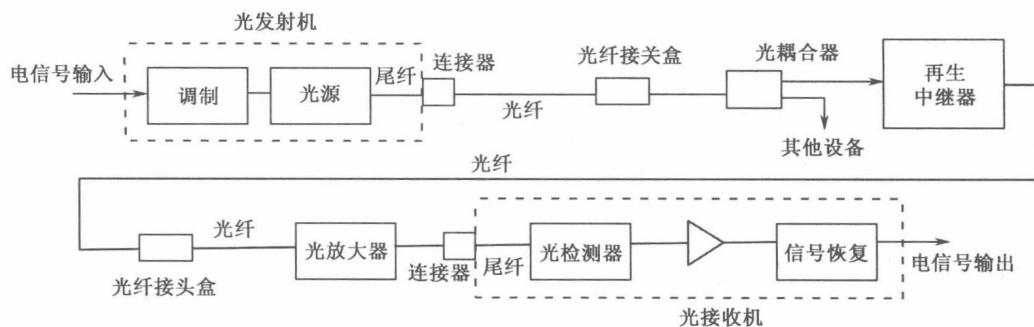


图 1-3 光纤通信系统的构成示意图

图 1-3 中所示的是一个方向的传输系统，反方向传输系统的结构与之相同。光纤通信系统可分为三个基本单元，即光发射机、光纤线路和光接收机。光发射机由将带有信息的电信号转换成光信号的转换装置和将光信号送入光纤的传输装置组成。光源是其核心部件，由激光器 LD（Laser Diode）或发光二极管 LED（Light Emission Diode）构成；光纤线路最

主要的是光纤(实用光纤线路一般以光缆形式存在)传送光信号;光接收机由光检测器(如光电二极管 PIN 或 APD)、放大电路和信号恢复电路组成。光接收机的作用是实现光/电转换,即把来自光纤的光信号还原成电信号,经放大、整形、再生恢复原形。

对于长距离的光纤线路,出除了光纤作为传输线传送光信号外,中途还需要光中继器,其作用是将经过光纤长距离衰减和畸变后的微弱光信号放大、整形、再生成具有一定强度的光信号,继续送向前方,以保证良好的传输质量。近年来,适合作光中继器的有光放大器,如掺铒光纤放大器已进入商用。

在光纤线路中还包括大量的有源、无源光器件,连接器件、光耦合器件,他们分别起着各种设备与光纤之间的连接作用和用于需要将传输的光分路或合路的场合等功能。

2. 光纤通信系统的现状

(1) 模拟光纤通信系统的现状

传输模拟信号的光纤通信系统称为模拟光纤通信系统,模拟光纤通信系统典型应用场景是工业控制的单路电视系统和光纤有线电视(CATV)的多路传输系统。此外,模拟光纤传输还应用于光纤测量、光纤传感等领域;而且随着光载无线技术的日益成熟,模拟光纤传输技术应用于移动通信网络、室内覆盖以及卫星通信中。在此以光纤有线电视传输系统为例,阐述模拟光纤通信系统的基本原理及其特点。

多路光纤传输系统常用频分复用技术实现,目前已先后开发了 16 路、32 路、48 路、64 路和 128 路的光纤 CATV 传输系统,应用在光纤彩色闭路电视和广播电视传送方面。光纤 CATV 传输系统一般由信号源、前端、干线传输和用户分配网络几个部分组成,如图 1-4 所示。前端设备负责将来自卫星、远端有线电视台、实时视频、本地存储器等多个频道节目混合,然后统一向用户发送,传输线路分为干线、配线和引入线 3 段。前端与光节点设备之间为模拟电视信号的光纤传输,光节点设备之后的配线和引入线部分仍然保留原来的同轴电缆结构,这样组成了光纤同轴电缆混合系统(HFC)。

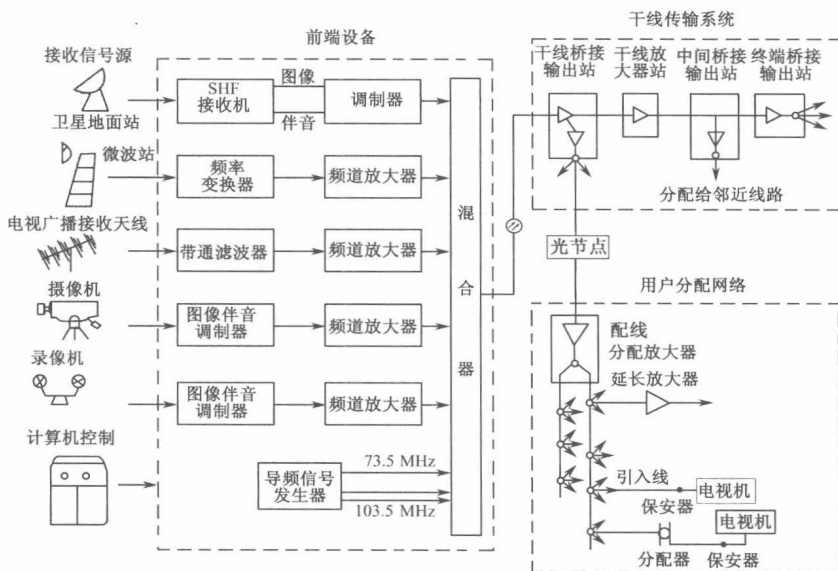


图 1-4 CATV 传输系统基本组成