



高等学校
电子信息类 规划教材

光纤通信系统

杨祥林

国防工业出版社

光纤通信系统

杨祥林

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统/杨祥林. —北京:国防工业出版社,
2000(2000.10重印)

ISBN 7-118-02159-8

I.光… II.杨… III.光导纤维通信系统 IV.TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 63157 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 455 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 10 月北京第 2 次印刷

印数:4001—7000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办同各专指委、出版社协商后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按《1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由物理电子技术专业教育指导委员会征稿、推荐，经全国高等学校工科电子类专业教育指导委员会领导小组批准，作为国家重点教材出版。

本教材由南京邮电学院杨祥林教授任主编，清华大学范崇澄教授任主审，责任编委为浙江大学陈抗生教授。

本教材第一版(1991年版)曾于1996年获优秀教材奖。与1991年时相比，现在光纤通信技术已取得许多新的重大的发展，因此现在的修订版教材在结构和内容方面都有很大变化，已是一本全新的光纤通信教材。

本课程的参考时数为60~80学时。

全书共分12章。第1章主要介绍光波通信的基本概念和发展，提供背景和预备知识。第2章~第7章介绍光波通信系统的结构单元，包括光纤光缆、光信号传输特性、光互连无源器件、光源与光发送机、光检测器与光接收机及光放大器；第8章~第11章介绍几类重要的光波通信系统；最后第12章介绍光波通信网新技术。考虑到光波通信技术的进步和教学改革的深化，对原教材中有关光纤传输理论章节进行了改编，对光纤结构和导波特性的内容进行了精简，增加了光纤非线性特性的内容，新编了第3章光波系统中光信号的传输特性。删除了前版第3章和第4章，增编了光波系统互连技术与器件一章，对一些新型光互连器件进行了介绍。删除了原教材第6、7章，新编了光放大器作为第7章，为后续各章介绍光波系统的全光化提供了基础。鉴于光放大器和光波通信网的发展，对原教材第10章光纤通信系统进行了大幅度的改编，增加了光放大系统和光波通信网的性能和设计内容，并更名为直接检测光波系统的设计与性能。鉴于多信道通信系统与通信网的飞速发展，新编了第9章相干光波通信系统和第10章多信道光波系统。鉴于近年来高速长距离光孤子通信技术已取得突破，已发展成为第五代光波通信系统，所以新编了第11章光纤孤子通信系统。最后，第12章扼要地介绍了近年来发展的全光通信网的概念、结构和关键技术，这是未来宽带综合业务数字网(B-ISDN)的基础。此外，对第5章、第6章也进行了大幅度的改编。

在教材编写过程中遇到的首要问题是如何选取教材内容。现在国内已出版过很多光电子与光纤通信教材，但由于出版时间较早，今天看来，大多内容已偏旧，而光波通信技术本身的发展又异常迅速，并开始进入全光传输与全光通信时代。在有限的篇幅中，如何反映当代信息科学技术的现状和水平，应将哪些最基本最重要的科学技术知识教给学生需要认真考虑，本书将面对21世纪光波通信发展的实际，力图在教材中多反映一些光纤通信的新技术和新发展，而重点仍在系统地介绍光纤通信系统的基本原理、基本概念、基本技术和基本的分析设计方法，尽力在教材中反映出全光通信技术的概貌。

本教材可供本科高年级学生和研究生选读,可以学习全书各章,但学得浅一些,也可以少学一些章节,但学得深一些。也可以作为二学期二门课程的教材使用,即将第 2、3、4、5、6 章作为光纤通信技术基础课教材,第 1、8、9、10、11、12 章作为光纤通信系统课教材。请任课老师认真加以挑选和指导。

沈建华老师参加了第 2 章、第 8 章的编写,孟宇老师参加了第 3 章、第 9 章的编写。研究生陈德华、邱亮和刘寅为本书打印和校对书稿做了许多工作。专业教学指导委员会的专家们为本书提出了许多宝贵意见。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

杨祥林

一九九九年八月

内 容 简 介

本书系《1996~2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》中列选的国家级重点教材。

全书共分12章,比较全面系统地介绍了光波通信的发展,光纤结构和导波特性和,光纤系统中光信号传输特性,光波系统互连技术与器件,光源与光发送机,光检测器与光接收机,光放大器,直接检测光波系统的设计与性能,相干光波通信系统,多信道光波系统,光孤子通信系统和光波通信网新技术等,各章均附有练习题。

本书的特点是概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂、系统性强,既重视基本原理和基本概念的阐述,也重视必要的理论分析,密切联系实际,全书约以一半篇幅力图反映21世纪全光通信的技术概貌。本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、光学工程、电子信息科学与技术、光信息科学与技术以及其他电子信息类专业本科生和研究生光电子技术和光纤通信课程的教材,也可供从事光通信工作的科技人员学习参考。

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 光纤通信的发展与现状	1
1.2 通信系统的信号与调制	4
1.2.1 模拟信号与数字信号	4
1.2.2 调制格式	6
1.3 信号复用与数字传递方式	7
1.3.1 数字信号的复用方法与 PDH 系统	7
1.3.2 同步数字转移模式 (STM)	9
1.3.3 异步转移模式 (ATM)	10
1.4 光纤通信系统及其应用	12
1.5 光纤系统的基本组成	13
1.5.1 光纤光缆	13
1.5.2 光发送机	14
1.5.3 光接收机	15
练习题	16
第 2 章 光纤的结构与导波特性的射线分析	18
2.1 光纤的导光原理与结构特性的射线分析	18
2.1.1 阶跃光纤	19
2.1.2 渐变光纤	20
2.2 阶跃光纤的模式理论	21
2.2.1 电磁波在光纤中传播的基本方程	21
2.2.2 光在光纤中传播的导波方程	22
2.2.3 阶跃光纤中的光场	23
2.2.4 阶跃光纤的本征值方程与模式	24
2.2.5 单模光纤	26
2.3 单模光纤的色散	29
2.3.1 光纤色散引起的脉冲展宽及对通信容量的影响	29
2.3.2 材料色散	30
2.3.3 波导色散	31
2.3.4 色散位移和非零色散光纤	32
2.3.5 高阶色散	33
2.3.6 偏振色散	33

2.4 光纤损耗	34
2.4.1 衰减系数	34
2.4.2 衰减机理	35
2.5 光纤的非线性效应	37
2.5.1 非线性折射率与自相位调制	37
2.5.2 受激非弹性散射	38
2.5.3 参量过程与四波混频	39
2.6 光纤光缆设计与制造	40
2.6.1 光纤的结构设计与制造	40
2.6.2 光缆的结构设计与制造	42
练习题	44
第3章 光波系统中光信号的传输特性	46
3.1 色散影响下光信号的传输特性	46
3.1.1 光脉冲传输的基本方程	46
3.1.2 光脉冲参数与色散展宽	47
3.2 光纤带宽与色散对通信能力的限制	51
3.2.1 宽谱光源脉冲传输时的展宽与极限比特率	52
3.2.2 窄谱光源脉冲传输时的展宽与极限比特率	52
3.2.3 光纤与光纤系统的带宽	54
3.3 光纤非线性影响下光信号的传输特性	56
3.3.1 光脉冲在非线性色散光波系统中传输的基本方程	56
3.3.2 光波系统中光脉冲信号的传输状态	57
3.4 非线性光波系统中的自相位调制和频率啁啾	58
练习题	62
第4章 光波系统互连技术与器件	64
4.1 光纤连接器	64
4.1.1 光纤连接损耗及影响因素	64
4.1.2 光纤连接器的结构	67
4.2 光纤耦合器	69
4.2.1 光纤耦合器的基本原理与结构	69
4.2.2 光纤耦合器的特性	72
4.2.3 其他类型耦合器	75
4.3 波分复用/解复用器与光滤波器	76
4.3.1 WDM/DWDM 的技术性能	77
4.3.2 WDM/DWDM 的结构原理	78
4.4 光波导调制与开关器件	83
4.4.1 相位调制器	84
4.4.2 强度调制器和光开关	85
练习题	87

第 5 章 光源与光发送机	88
5.1 半导体光源的物理基础	88
5.1.1 发射与吸收速率	88
5.1.2 PN 结的形成及其能带结构	90
5.1.3 载流子的复合发光效率与寿命	94
5.1.4 制造异质结的化合物半导体	95
5.2 发光二极管	96
5.2.1 输出功率与效率	96
5.2.2 输出光谱特性	97
5.2.3 响应速率与带宽	98
5.2.4 LED 的类型与结构	98
5.3 半导体激光二极管	100
5.3.1 粒子数反转与光增益	100
5.3.2 光学谐振腔与激光器的阈值条件	101
5.3.3 激光器的结构	103
5.3.4 有源层的导波特性和激光腔的振荡模式	105
5.3.5 单纵模半导体激光器	107
5.4 半导体激光器的输出特性	110
5.4.1 $I-I$ 转换输出特性	110
5.4.2 调制特性	113
5.4.3 噪声特性	115
5.5 光发送机	118
5.5.1 光源的调制	118
5.5.2 光源的驱动电路	119
5.5.3 光源与光纤的耦合	123
练习题	125
第 6 章 光检测器与光接收机	127
6.1 光电二极管	127
6.1.1 光检测器的物理基础	127
6.1.2 PN 光电二极管	130
6.1.3 PIN 光电二极管	130
6.1.4 雪崩光电二极管	131
6.2 光接收机的电路结构与特性	134
6.2.1 光接收机的前端	135
6.2.2 光接收机的线性通道	136
6.2.3 数据重建电路	137
6.2.4 集成光接收机	138
6.3 光接收机的噪声	139
6.3.1 光接收机的噪声源	139

6.3.2	PIN 光接收机的信噪比	141
6.3.3	APD 光接收机的信噪比	142
6.4	数字光接收机的灵敏度	144
6.4.1	光接收机的误码率	144
6.4.2	数字光接收机的最小平均接收功率	146
6.4.3	光接收机的极限灵敏度	148
6.4.4	光接收机灵敏度的恶化	149
6.5	光中继器与分插复用器	152
6.5.1	光中继器	152
6.5.2	分插复用器	153
	练习题	154
第 7 章	光放大器	156
7.1	光放大器的原理与一般特性	156
7.1.1	光放大器的原理	156
7.1.2	光增益谱宽与放大器带宽	157
7.1.3	增益饱和与饱和输出功率	157
7.1.4	放大器噪声	159
7.1.5	光放大器在光波系统中的应用	160
7.2	半导体光放大器	161
7.2.1	工作原理	161
7.2.2	放大器特性	163
7.2.3	放大器应用	164
7.3	光纤喇曼放大器	165
7.3.1	FRA 的工作原理与增益带宽	165
7.3.2	FRA 的耦合工作方程和增益饱和	167
7.3.3	FRA 的性能及其应用	168
7.4	光纤布里渊放大器	169
7.4.1	FBA 的工作原理与增益带宽	169
7.4.2	FBA 的耦合工作方程和增益饱和	170
7.4.3	FBA 的性能及其应用	171
7.5	掺铒光纤放大器	172
7.5.1	掺铒光纤放大器的工作原理与增益谱特性	172
7.5.2	EDFA 的小信号增益与饱和特性	174
7.5.3	EDFA 的高速与多信道放大特性	177
7.5.4	EDFA 的系统应用	179
	练习题	181
第 8 章	直接检测光波系统的设计与性能	182
8.1	光波系统的结构	182
8.1.1	点到点连接	182

8.1.2 广播和分配网	183
8.1.3 局域网	184
8.2 光纤损耗和色散对系统性能的限制	187
8.2.1 损耗限制光波系统	187
8.2.2 色散限制光波系统	188
8.2.3 点到点电信商业光波系统	189
8.3 光波系统的设计	190
8.3.1 光波系统的功率预算	190
8.3.2 光波系统的上升时间预算	191
8.3.3 光波系统的色散预算	192
8.4 光接收机灵敏度恶化和系统功率代价	193
8.4.1 模噪声的影响	193
8.4.2 色散展宽的影响	194
8.4.3 模分配噪声的影响	195
8.4.4 频率啁啾的影响	195
8.5 光放大系统的设计与性能	197
8.5.1 光前置放大器 ASE 噪声对系统性能的影响	197
8.5.2 级联在线光放大系统的性能	199
练习题	205
第 9 章 相干光波通信系统	207
9.1 相干检测原理与特性	207
9.1.1 零差检测	208
9.1.2 外差检测	208
9.1.3 信噪比	209
9.2 调制格式	210
9.2.1 ASK 调制格式	210
9.2.2 PSK 调制格式	212
9.2.3 FSK 调制格式	212
9.3 解调方案	213
9.3.1 外差同步解调	213
9.3.2 外差异步解调	214
9.3.3 零差同步解调	215
9.3.4 零差异步解调	216
9.4 相干光接收机的误码率和灵敏度	217
9.4.1 同步 ASK 接收机	217
9.4.2 同步 PSK 接收机	218
9.4.3 同步 FSK 接收机	219
9.4.4 异步 ASK 接收机	219
9.4.5 异步 FSK 接收机	220

9.4.6 异步 DPSK 接收机	221
9.5 相干光接收机灵敏度恶化与系统设计考虑	221
9.5.1 相位噪声	221
9.5.2 强度噪声	223
9.5.3 偏振失配	224
9.5.4 光纤色散	224
9.6 相干光波系统的性能	225
9.6.1 异步外差系统	225
9.6.2 同步外差系统	225
9.6.3 零差系统	226
9.6.4 现场试验系统	227
练习题	227
第 10 章 多信道光波系统	229
10.1 多信道光波系统的复用方案	229
10.2 WDM 光波系统	231
10.2.1 高速大容量点到点通信	231
10.2.2 多信道广播与分配网	232
10.2.3 多路接入局域网	234
10.3 WDM 多信道光波系统的解复用与信道串音	236
10.3.1 信道选择光滤波器的参数设计和选择能力	236
10.3.2 直接光解复用光放大 WDM 系统中的串音	237
10.3.3 相干解复用密集 WDM 系统中的串音	239
10.4 WDM 多信道光波系统的非线性串音	241
10.4.1 受激喇曼散射(SRS)	241
10.4.2 受激布里渊散射(SBS)	242
10.4.3 交叉相位调制(XPM)	243
10.4.4 四波混频(FWM)	243
10.5 副载波复用(SCM)光波系统	244
10.5.1 模拟 SCM 光波系统	245
10.5.2 相干 SCM 光波系统	248
10.5.3 多波长 SCM 光波系统	252
10.6 码分复用(CDM)光波系统	252
练习题	254
第 11 章 光纤孤子通信系统	256
11.1 光孤子及其特性	256
11.1.1 非线性薛定谔方程	256
11.1.2 NSE 的解及其性质	257
11.1.3 暗孤子	259
11.2 光纤损耗与光孤子能量补偿放大	260

11.2.1	损耗导致的脉冲展宽与面积定理	261
11.2.2	光纤损耗的补偿放大与全光中继	262
11.2.3	延长放大器间距的预加重方法	264
11.3	光纤孤子系统的通信容量及其限制因素	265
11.3.1	ASE 噪声与光孤子系统的通信容量	265
11.3.2	孤子相互作用与通信容量	267
11.3.3	光孤子源频率啁啾的影响	269
11.3.4	自感应受激喇曼散射与孤子自频移的影响	270
11.4	光纤孤子的传输控制	272
11.4.1	ASE 限制的频域滤波控制	272
11.4.2	光孤子传输的时域控制	274
11.5	多信道光孤子系统	276
11.5.1	多信道光孤子通信系统的特点	276
11.5.2	多信道光孤子的碰撞长度	277
11.6	光纤孤子通信系统的组成与实验进展	278
	练习题	283
第 12 章	光波通信网新技术	285
12.1	通信网结构的发展	285
12.2	节点间连接和光纤链路的全光化	287
12.3	光传送网结构分层与 WDM 网的物理通道	288
12.3.1	物理网结构分层	288
12.3.2	光通道层的波长路由	291
12.3.3	波长通道与波长变换	291
12.4	光交叉连接设备	293
12.4.1	OXC 的功能和技术要求	294
12.4.2	OXC 的基本结构	294
12.4.3	OXC 与 DXC 结构的关系与性能比较	298
12.5	波长变换技术	299
12.5.1	光电混合波长变换技术	300
12.5.2	全光波长变换技术	301
12.5.3	四波混频 FWM 波长变换器	303
	练习题	304
	参考文献	305

第 1 章 导 论

通信系统将信息从一个地方传送到另一个地方,不管这两个地方相隔几公里,还是横跨大洋的距离。信息通常被频率从几兆赫(MHz)到几百太赫的电磁波携带,光通信系统使用电磁波谱中可见光或近红外区域的高频电磁波(约 100THz),有时称为光波通信系统,以区别于载波频率低 5 个数量级的微波(约 1GHz)通信系统。光纤通信系统是利用光纤进行信息传输的光波系统,80 年代在全球得到了广泛应用,并使通信领域发生了巨大的变化,是信息时代来临的主要物质基础之一。本章的目的是介绍光纤通信的基本概念,提供背景和预备知识。

1.1 光纤通信的发展与现状

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,是两种相当成熟的通信技术。通信技术发展过程中,围绕着增加信息传输的速率和距离,提高通信系统的有效性、可靠性和经济性方面进行了许多工作,取得了卓越的成就。光通信技术则是当代通信技术发展的最新成就,已成为现代通信的基石。

从广义的概念上说,凡使用光作为通信手段的都可称为光通信,则光通信的历史可追溯到远古时代,那时大部分文明社会已经用烟火信号传递单个的信息,至 18 世纪末通过信号灯、旗帜和其他信号装置进行通信的类似方法已基本走到了尽头。1792 年,根据克劳特查普(Claude Chappe)的建议,采用中继器使机械代码信号传送很长距离(约 100km)。这种光通信系统速度很慢,其有效速率 $B < 1\text{b/s}$ 。

19 世纪 30 年代电报的出现用电取代了光,开始了电信时代,利用新的代码技术(如莫尔斯代码),速率增加到 $3 \sim 10\text{b/s}$,采用中继站后允许进行长距离(约 1 000km)通信,1866 年,第一条越洋电报电缆系统投入运营。电报也基本上使用数字法。1876 年电话的发明引起了本质的变化,电信号通过连续变化电流的模拟形式传送,这种模拟电通信技术支配了通信系统达 100 年左右。

20 世纪全球电话网的发展导致了电通信系统许多改进,使用同轴电缆代替双绞线大大提高了系统容量。第一代同轴电缆系统在 1940 年投入使用,是一个 3MHz 的系统,能够传输 300 路音频信号或 1 路视频信号,这种系统的带宽受到与频率相关的电缆损耗的影响,频率超过 10MHz 时,损耗迅速增加。这种限制导致了微波通信系统的发展,在微波系统中,利用 $1 \sim 10\text{GHz}$ 的电磁载波及合适的调制技术传递信号。最早的微波系统中,利用 $1 \sim 10\text{GHz}$ 的电磁载波及合适的调制技术传递信号。最早的微波系统工作于 4GHz,1948 年投入运营,从此以后,同轴和微波系统都得到了很大发展,并都能工作于约 100Mb/s 。

最先进的同轴系统于 1975 年投入运营,其速率达 274Mb/s,但中继距离短(约 1km),系统成本高。微波通信系统速率亦受到载波频率的限制。

通信系统的容量通常用比特率—距离积 BL 表示, B 为比特率, L 为中继间距。图 1.1 给出了最近一个半世纪来 BL 积随技术进步发生的变化。可见至 70 年代电通信获得的最大 BL 积不超过 $100(\text{Mb/s}) \cdot \text{km}$ 。

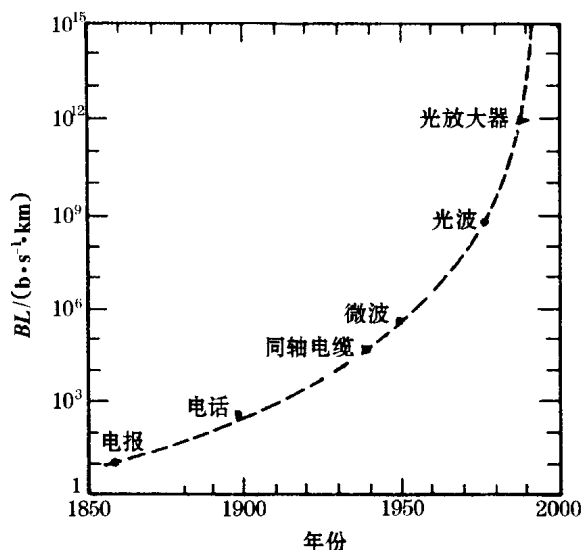


图 1.1 1850—2000 年间比特率—距离积的变化(圆点标志新技术出现)

20 世纪后半叶人们开始认识到,如果用光波作载波, BL 积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。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。主要的问题是光纤的高损耗,60 年代可能得到的光纤损耗超过了 1000dB/km 。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 半导体激光器研究成功。小型光源和低损耗光纤的同时问世,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,比特率—距离积增加了几个数量级,在技术上经历了各具特点的五五个发展阶段(或五代光波通信系统)。图 1.2 展示了自 1974 年后光波通信系统性能的变化,曲线显示了五代光纤通信系统比特率—距离积的增长。

紧随研究与发展的步伐,经过许多现场试验后,于 1978 年工作于 $0.8\mu\text{m}$ 的第一代光波系统正式投入商业应用,其比特率在 $20 \sim 100\text{Mb/s}$ 之间,最大中继间距约 10km ,最大通信容量(BL)约 $500(\text{Mb/s}) \cdot \text{km}$ 。与同轴系统相比,中继间距长,投资和维护费用低,是工程和商业运营的追求目标。

在 1970 年时人们就认识到,使光波系统工作于 $1.3\mu\text{m}$ 时,光纤损耗 $< 1.0\text{dB/km}$,且有最低色散,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 半导体激光器和检测器。1977 年研制成功这种激光器。接着在 80 年代初,早期的采用多模光纤的第二代光波通信系统问世,其中继距离超过了 20km ,但由于多模光纤的模间色散,早期的系

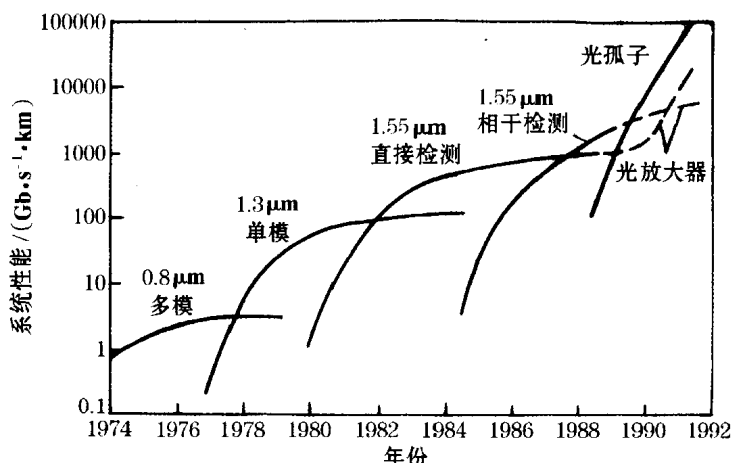


图 1.2 光波通信技术的进展

统的比特率限制在 100Mb/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 2Gb/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 μ m 单模第二代光波系统开始投入商业运营,其比特率高达 1.7Gb/s,中继距离约 50km。

第二代光波系统中继距离受 1.3 μ m 附近光纤损耗(典型值为 0.5dB/km)限制,理论研究发现,石英光纤最低损耗在 1.55 μ 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 μ m 处高的光纤色散,而当时多纵模同时振荡的常规 InGnAsP 半导体激光器的谱展宽问题尚未解决,这两个因素,推迟了第三代光波系统的问世。后来的研究发现,色散问题可以通过使用设计在 1.5 μ 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 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 4Gb/s,中继离超过 100km。至 1990 年,工作于 2.4Gb/s,1.55 μ m 的第三代光波系统已能提供通信商业业务。这样的第三代光波系统,通过精心设计激光器和光接收机,其比特率能超过 10Gb/s。确实后来 10Gb/s 的光波系统在一些国家得到了重点发展。

第四代光波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,在 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 622Mb/s 数据复用,传输距离 50km,其信道间串音可以忽略。在另一次试验中,单信道速率 2.5Gb/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 2 223km。光波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 2.5Gb/s,4 500km 和 10Gb/s,1 500km 的数据传输。另一实验曾使用循环回路实现了 2.4Gb/s,21 000km 和 5Gb/s,14 000km 数据传输。90 年代初期光纤放大器的问世已引起了光纤通信领域的重大变革。

第五代光波通信系统的研究与发展也经历了近 20 年历程,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,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