

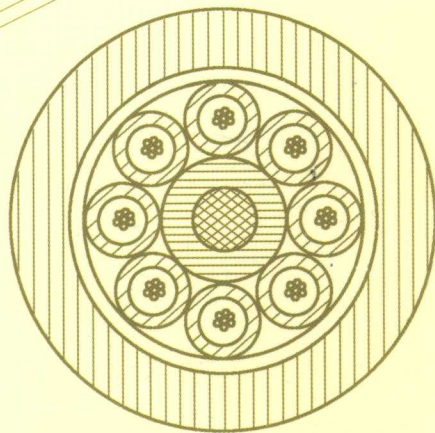
普通高等院校“十一五”规划教材

光纤通信系统

(第2版)

杨祥林 主编 孟宇 副主编

GUANGXIAN TONGXIN XITONG



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

光纤通信系统

(第2版)

主 编	杨祥林		
副主编	孟 宇		
编 著	杨祥林	孟 宇	
	蔡祥宝	范 红	

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统介绍和阐述了光纤通信的基本原理和基本技术,全书分四部分共14章。第一部分即第1章。第二部分即第2章~第6章,为光纤通信技术基础,分别介绍光导纤维的导波原理与特性,半导体激光器和光纤激光器的原理、特性与光发送机的结构特性,光电检测器的原理、特性与光接收机的结构特性,光放大器的原理、结构特性与应用,可调光滤波器、光纤光栅/光栅器件、波分复用器/解复用器、光波导调制器、光开关、光隔离器与光环行器等无源功能器件及其应用。第三部分即第7章~第11章,为光通信系统结构组成与通信理论技术,重点介绍光信号的传输演化规律、传输特性、波形畸变、补偿整形与全光再生中继及强度调制/直接检测、相干检测、非线性光孤子传输和多信道(OTDM、WDM、OSCM、OCDM)四类基本光波通信系统的结构组成、通信性能分析与通信应用。第四部分即第12章~第14章,为光波通信网络,分别介绍基于电交换的第一代光传送网、第二代WDM光路交换传送网及自动交换光网络(ASON)、突发交换光网络(OBSN)与光分组交换网络(OPSN)等新一代光网络的基本原理、结构组成、关键技术、组网应用与发展趋势。

本书概念清晰、论述严谨、内容新颖、图文并茂、系统性强,既重视基本概念的阐述,也重视必要的理论分析,密切联系实际。本书可作为高等学校通信类、电子信息类、光信息科学与技术及光学工程专业本科生和研究生“光电子技术”和“光通信”课程的教材,也可供从事光通信工作的科技人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统 / 杨祥林主编. —2版. —北京:国防工业出版社, 2009.6
普通高等院校“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06271-7

I. 光... II. 杨... III. 光纤通信-通信系统-高等学校-教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第042200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100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 29 字数 666千字

2009年6月第2版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 42.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本教材原系按前电子工业部电子类专业教材(1986年—1990年)编审规划,于1991年由东南大学出版社出版,曾于1996年获第三届全国工科电子类专业优秀教材奖。为反映光纤通信的新发展,又于1998年对教材进行改写修编,并作为国家重点教材列入《1996年—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》,于2000年由国防工业出版社出版,之后已经多次印刷,为众多院校和读者使用。现再次进行修订,仍由国防工业出版社出版。与2000年版教材相比,新修订版在结构体系和内容方面均有较大变化。

全书分为四部分共14章。第1章仍为导论,主要考虑非通信专业读者,先介绍光纤通信的基本概念,提供背景和预备知识,作为本书的第一部分。第2章~第6章为光通信技术基础,是本书的第二部分,介绍光通信系统/网络的基础结构组成单元,包括光纤光缆传输媒质、光源与光发送机、光检测器与光接收机及光中继器、光放大器及光无源功能器件等内容。作为基础保留了2000年版教材的基本理论体系,增加和增强了光纤偏振态演化、偏振色散特性、光子晶体光纤、光纤光栅与光栅器件、光纤激光器、可调光滤波器、波分复用器/解复用器、光调制器与光开关等重要内容的介绍。第7章~第11章为第三部分光波通信系统,作为信号传输的理论基础,首先着力介绍了光纤传输媒质中光脉冲信号传输演化的基本理论与特性及补偿整形技术。作为全书的主体,保留了2000年版教材的格局和理论体系,系统完整地介绍了四种基本类型的光波通信系统的原理、结构组成和性能分析,强化了多信道通信系统的介绍,并增加了一些重要新技术、新系统和新进展的介绍。原版的第12章更改扩编为本书的第12章~第14章,构成新版的第四部分——光波通信网络,分别介绍基于电子交换的第一代光传送网、第二代WDM全光传送网和新一代智能光网络。这四部分内容构成了一部系统完整内容丰富的光通信教材。

新版教材在修订过程中仍然遵循尽力多反映一些光通信的新技术新发

展,但重点仍在较系统、全面地介绍光波通信的基本概念、基本原理、基本技术和基本分析方法的理念,以适应高等院校课程教学的要求,亦适宜于科技工作者参考。

由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

作者

2008年12月

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 光纤通信的发展与现状	1
1.2 通信系统信号的编码与调制	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) 与 SDH/SONET 系统	8
1.3.3 异步转移模式	10
1.4 光纤系统的基本组成	11
1.4.1 光纤光缆	11
1.4.2 光发送机	12
1.4.3 光接收机	13
1.5 光纤通信网络及其发展	14
练习题	15
第 2 章 光纤的结构与导波特性	17
2.1 光纤的导光原理与结构特性的射线分析	17
2.1.1 阶跃光纤	18
2.1.2 渐变光纤	19
2.2 阶跃光纤的模式理论	20
2.2.1 电磁波在光纤中传播的基本方程	20
2.2.2 光在光纤中传播的导波方程	21
2.2.3 阶跃光纤中的光场	22
2.2.4 阶跃光纤的本征值方程与模式	23
2.2.5 单模光纤	25
2.3 光纤的双折射现象和偏振特性	27
2.3.1 双折射光纤的参数与类型	27
2.3.2 光纤的线双折射	28
2.3.3 光纤的圆双折射	33
2.4 光纤的色散特性	34
2.4.1 光纤色散的形成机制和类别	34
2.4.2 光纤色散的表示方法和技术指标	35

2.4.3	单模光纤的色度色散	35
2.4.4	单模光纤的偏振色散	39
2.4.5	高阶色散	41
2.4.6	光纤色散的调整与新型单模光纤	41
2.5	光纤损耗	44
2.5.1	衰减系数	44
2.5.2	衰减机理	45
2.6	光纤的非线性效应	47
2.6.1	非线性折射率与自相位调制	47
2.6.2	受激非弹性散射	48
2.6.3	参量过程与四波混频	49
2.7	光纤光缆设计与制造	51
2.7.1	光纤的结构设计与制造	51
2.7.2	光缆的结构设计与制造	52
2.7.3	光纤的技术参数	54
2.8	光子晶体光纤	55
2.8.1	光子晶体光纤的概念	55
2.8.2	折射率引导型光子晶体光纤	55
2.8.3	光子带隙引导型光子晶体光纤	56
2.8.4	光子晶体光纤的制备	56
2.8.5	光子晶体光纤的损耗	57
2.8.6	光子晶体光纤的色散	58
	练习题	60
第3章	光源与光发送机	62
3.1	半导体光源的物理基础	62
3.1.1	发射与吸收速率	62
3.1.2	PN结的形成及其能带结构	64
3.1.3	载流子的复合发光效率与寿命	67
3.1.4	制造异质结的化合物半导体	68
3.2	发光二极管	69
3.2.1	输出功率与效率	70
3.2.2	输出光谱特性	71
3.2.3	响应速率与带宽	71
3.2.4	LED的类型与结构	72
3.3	半导体激光二极管	73
3.3.1	粒子数反转与光增益	73
3.3.2	光学谐振腔与激光器的阈值条件	75
3.3.3	激光器的结构	76
3.3.4	有源层的导波特性和激光腔的振荡模式	78

3.3.5	单纵模半导体激光器	80
3.4	半导体激光器的输出特性	83
3.4.1	$L-I$ 转换输出特性	83
3.4.2	调制特性	85
3.4.3	噪声特性	88
3.5	光发送机	90
3.5.1	光源的调制	91
3.5.2	光源的驱动电路	92
3.5.3	光源与光纤的耦合	96
3.6	光纤激光器	98
3.6.1	线形掺铒光纤激光器	98
3.6.2	环形掺铒光纤激光器	99
	练习题	102
第4章	光检测器与光接收机	104
4.1	光电二极管	104
4.1.1	光检测器的物理基础	104
4.1.2	PN 光电二极管	106
4.1.3	PIN 光电二极管	107
4.1.4	雪崩光电二极管	108
4.2	光接收机的电路结构与特性	111
4.2.1	光接收机的前端	111
4.2.2	光接收机的线性通道	112
4.2.3	数据重建电路	113
4.2.4	集成光接收机	114
4.3	光接收机的噪声	115
4.3.1	光接收机的噪声源	115
4.3.2	PIN 光接收机的信噪比	117
4.3.3	APD 光接收机的信噪比	118
4.4	数字光接收机的灵敏度	120
4.4.1	光接收机的误码率	120
4.4.2	数字光接收机的最小平均接收功率	122
4.4.3	光接收机的极限灵敏度	124
4.4.4	光接收机灵敏度的恶化	125
4.5	光中继器与分插复用器	127
4.5.1	光中继器	127
4.5.2	分插复用器	128
	练习题	130
第5章	光放大器	131
5.1	光放大器的原理与一般特性	131

5.1.1	光放大器的原理	131
5.1.2	光增益谱宽与放大器带宽	132
5.1.3	增益饱和与饱和输出功率	133
5.1.4	放大器噪声	134
5.1.5	光放大器在光波系统中的应用	135
5.2	半导体光放大器	136
5.2.1	工作原理	136
5.2.2	放大器特性	138
5.2.3	放大器应用	139
5.3	光纤喇曼放大器	140
5.3.1	FRA 的工作原理与增益带宽	140
5.3.2	FRA 的耦合工作方程和增益饱和	142
5.3.3	FRA 的性能及其应用	143
5.4	光纤布里渊放大器	143
5.4.1	FBA 的工作原理与增益带宽	144
5.4.2	FBA 的耦合工作方程和增益饱和	145
5.4.3	FBA 的性能及其应用	146
5.5	掺铒光纤放大器	147
5.5.1	掺铒光纤放大器的工作原理与增益谱特性	147
5.5.2	EDFA 的小信号增益与饱和特性	149
5.5.3	EDFA 的高速与带宽多信道放大特性	152
5.5.4	EDFA 的系统应用	154
	练习题	156
第 6 章	光无源器件	158
6.1	光纤连接器	158
6.1.1	光纤连接损耗及影响因素	158
6.1.2	光纤连接器的结构	161
6.2	光纤耦合器	162
6.2.1	光纤耦合器的基本原理与结构	163
6.2.2	光纤耦合器的特性	165
6.2.3	其他类型耦合器	167
6.3	可调光滤波器	169
6.3.1	可调光滤波器的类型和特性	169
6.3.2	F-P 干涉型可调光滤波器 (FPTF)	170
6.3.3	M-Z 可调光滤波器	175
6.3.4	电光可调滤波器 (EOTF)	177
6.3.5	声光可调光滤波器 (AOTF)	178
6.3.6	可调有源光滤波器	179
6.4	光纤光栅及其应用	180

6.4.1	光纤光栅的结构和制作方法	181
6.4.2	光纤光栅的导光原理与布拉格光栅	182
6.4.3	非均匀光纤光栅	185
6.5	波分复用/解复用	187
6.5.1	波分复用器的功能与特性	187
6.5.2	结构和原理	190
6.6	光波导调制器	196
6.6.1	光调制器原理和类型	197
6.6.2	相位调制器	198
6.6.3	强度调制器	199
6.6.4	半导体光调制器	200
6.7	光开关	201
6.7.1	光开关的功能和特性	201
6.7.2	光开关的结构原理与特性	202
6.7.3	光开关阵列	204
6.7.4	微电子机械开关系统	207
6.8	光隔离器和环形器	209
6.8.1	光隔离器	209
6.8.2	光环行器	211
	练习题	212
第7章	光波系统中光信号的传输理论	214
7.1	色散影响下光信号的传输特性	214
7.1.1	光脉冲传输的基本方程	214
7.1.2	光脉冲参数与色散展宽	215
7.2	光纤带宽与色散对通信能力的限制	219
7.2.1	宽谱光源脉冲传输时的展宽与极限比特率	219
7.2.2	窄谱光源脉冲传输时的展宽与极限比特率	220
7.2.3	光纤与光纤系统的带宽	222
7.3	光信号传输的色散补偿技术	223
7.3.1	色散补偿技术的意义	223
7.3.2	色散补偿原理	224
7.3.3	高速大容量光波系统中的色散补偿	226
7.4	光纤非线性影响下光信号的传输特性	227
7.4.1	光脉冲在非线性色散光波系统中传输的基本方程	227
7.4.2	光波系统中光脉冲信号的传输状态	228
7.5	非线性光波系统中的自相位调制和频率啁啾	230
7.6	全光3R再生中继器	234
7.6.1	全光3R再生中继原理	234
7.6.2	再放大	235

7.6.3	再定时	235
7.6.4	再整形	238
7.6.5	全光 3R 再生中继器的结构组成与系统应用	239
	练习题	240
第 8 章	直接检测光波通信系统的设计与性能	241
8.1	单信道点到点数字光波通信系统的组成与通信功能	241
8.2	光纤损耗和色散对系统性能的限制	242
8.2.1	损耗限制光波系统	243
8.2.2	色散限制光波系统	244
8.2.3	点到点电信商业光波系统	245
8.3	光波系统的设计	246
8.3.1	光波系统的功率预算	246
8.3.2	光波系统的上升时间预算	247
8.3.3	光波系统的色散预算	248
8.4	光接收机灵敏度恶化和系统功率代价	249
8.4.1	模噪声的影响	249
8.4.2	色散展宽的影响	250
8.4.3	模分配噪声的影响	251
8.4.4	频率啁啾的影响	251
8.5	光放大系统的设计与性能	252
8.5.1	光前置放大器 ASE 噪声对系统性能的影响	253
8.5.2	级联在线光放大系统的性能	255
	练习题	260
第 9 章	相干光波通信系统	262
9.1	相干检测原理与特性	262
9.1.1	零差检测	263
9.1.2	外差检测	263
9.1.3	信噪比	264
9.2	调制格式	265
9.2.1	ASK 调制格式	265
9.2.2	PSK 调制格式	267
9.2.3	FSK 调制格式	267
9.3	解调方案	268
9.3.1	外差同步解调	268
9.3.2	外差异步解调	269
9.3.3	零差同步解调	270
9.3.4	零差异步解调	271
9.4	相干光接收机的误码率与灵敏度	272
9.4.1	同步 ASK 接收机	272

9.4.2	同步 PSK 接收机	273
9.4.3	同步 FSK 接收机	274
9.4.4	异步 ASK 接收机	274
9.4.5	异步 FSK 接收机	275
9.4.6	异步 DPSK 接收机	275
9.5	相干光接收机灵敏度恶化与系统设计考虑	276
9.5.1	相位噪声	276
9.5.2	强度噪声	277
9.5.3	偏振失配	278
9.5.4	光纤色散	279
9.6	相干光波系统的性能	280
9.6.1	异步外差系统	280
9.6.2	同步外差系统	280
9.6.3	零差系统	281
9.6.4	现场实验系统	281
	练习题	281
第 10 章	光孤子通信系统	283
10.1	光孤子及其特性	283
10.1.1	非线性薛定谔方程	283
10.1.2	NSE 的解及其性质	284
10.1.3	暗孤子	286
10.2	光纤损耗与光孤子能量补偿放大	287
10.2.1	损耗导致的脉冲展宽与面积定理	287
10.2.2	光纤损耗的补偿放大与全光中继	288
10.2.3	延长放大器间距的预加重方法	290
10.3	光纤孤子系统的通信容量及其限制因素	291
10.3.1	ASE 噪声与光孤子系统的通信容量	291
10.3.2	孤子相互作用与通信容量	293
10.3.3	光孤子源频率啁啾的影响	295
10.3.4	自感应受激喇曼散射与孤子自频移的影响	296
10.4	光纤孤子的传输控制	298
10.4.1	ASE 限制的频域滤波控制	298
10.4.2	光孤子传输的时域控制	300
10.5	光纤孤子通信系统的组成与实验进展	302
	练习题	304
第 11 章	多信道光波系统	305
11.1	光时分复用多信道光波系统	305
11.1.1	复用系统结构原理	305
11.1.2	系统复用关键单元技术	306

11.1.3	OTDM 技术系统应用实验	309
11.2	波分复用多信道光波系统	309
11.2.1	复用系统结构组成和传输过程	310
11.2.2	复用系统的技术要求	310
11.2.3	复用系统的应用	312
11.2.4	DWDM 应用实验系统	313
11.3	WDM 多信道信号传输性能	314
11.3.1	线性串音	315
11.3.2	非线性串音	316
11.4	副载波复用光波系统	319
11.4.1	模拟 SCM 光波系统	320
11.4.2	相干 SCM 光波系统	323
11.4.3	多波长 SCM 光波系统	326
11.5	光码分复用多信道光波系统	327
11.5.1	OCDM 系统原理	327
11.5.2	OCDM 系统组成与信号传输过程	329
11.5.3	OCDM 系统关键单元技术	329
11.5.4	OCDMA 实验系统示例	330
11.6	多信道光孤子系统	332
11.6.1	多信道光孤子通信系统的特点	332
11.6.2	多信道光孤子的碰撞长度	332
	练习题	333
第 12 章	光电混合网	335
12.1	光网络及其发展	335
12.1.1	光网络的基本概念	335
12.1.2	光网络的基本构成	336
12.1.3	光网络的发展	337
12.2	光网络技术特征与分类	337
12.2.1	按网径大小和地域分类	337
12.2.2	按网络结构分类	338
12.2.3	按媒质接入控制(MAC)子层特征分类	339
12.2.4	按通信业务类型与应用分类	339
12.3	光纤局域网	340
12.3.1	基本概念和发展简史	340
12.3.2	局域网的标准体系	341
12.4	SDH 网络	344
12.4.1	基本概念和技术特点	344
12.4.2	速率与帧结构	345
12.4.3	复用映射结构	346

12.4.4	网络系统组成	351
12.5	ATM 网络	357
12.5.1	基本概念和技术特点	357
12.5.2	信元结构	358
12.5.3	复用与交换	359
12.5.4	ATM 协议参考模型	361
12.5.5	ATM 交换网络体系结构	362
12.6	光纤以太网	365
12.6.1	以太网标准和技术发展	365
12.6.2	10M 以太网标准与 10M 光纤以太网	367
12.6.3	交换式以太网	372
12.6.4	高速光纤以太网	374
12.6.5	光纤以太网的应用	378
	练习题	380
第 13 章	WDM 全光传送网	382
13.1	光交换原理与结构	382
13.1.1	光交换基本概念	382
13.1.2	空分光交换	384
13.1.3	时分光交换	385
13.1.4	波分光交换	387
13.1.5	码分光交换	388
13.1.6	光分组交换	389
13.1.7	复合光交换	389
13.2	光传送网的体系结构	390
13.2.1	光传送网的分层结构	390
13.2.2	光传送网的层间适配	392
13.2.3	波长通道和虚波长通道	393
13.3	节点功能与结构	394
13.3.1	OXC	394
13.3.2	OADM	400
13.3.3	利用 OXC 和 OADM 构建的光网络示例	402
13.4	路由与波长分配	404
13.4.1	基本概念	404
13.4.2	路由算法	404
13.4.3	波长分配算法	405
13.5	网络的保护与恢复	406
13.5.1	基本概念	407
13.5.2	光传送网中的保护方法	409
13.5.3	光传送网中的恢复方法	412

练习题.....	414
第 14 章 新一代光网络	416
14.1 传统传送网结构的缺陷和发展方向.....	416
14.2 自动交换光网络(ASON)	417
14.2.1 ASON 的体系结构	418
14.2.2 ASON 传送平面	418
14.2.3 ASON 控制平面	419
14.2.4 ASON 管理平面	421
14.2.5 ASON 中的路由问题	422
14.2.6 ASON 的路由技术	424
14.3 光分组交换网络.....	426
14.3.1 光分组交换光网络概述.....	426
14.3.2 光分组和交换节点结构.....	428
14.3.3 冲突解决方案.....	430
14.4 光突发交换网络.....	433
14.4.1 光突发交换网络基本原理.....	434
14.4.2 光突发交换网络的关键技术.....	435
14.4.3 光突发交换网络的实验系统举例.....	439
练习题.....	440
英汉缩略名词对照	441
参考文献	449

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千米,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(THz)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,20世纪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 $3\text{b/s} \sim 10\text{b/s}$,采用中继站后允许进行长距离(约1000km)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1GHz~10GHz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 20 世纪 70 年代电通信获得的最大 BL 积不超过 $100(\text{Mb/s}) \cdot \text{km}$ 。

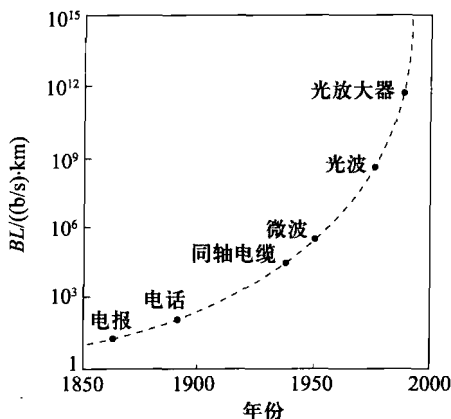


图 1.1 1850 年—2000 年比特率—距离积的变化(圆点标志新技术出现)

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, 20 世纪 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。1966 年英籍华人高琨博士提出光纤可能是最佳选择, 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 。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浪潮, 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 5 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。

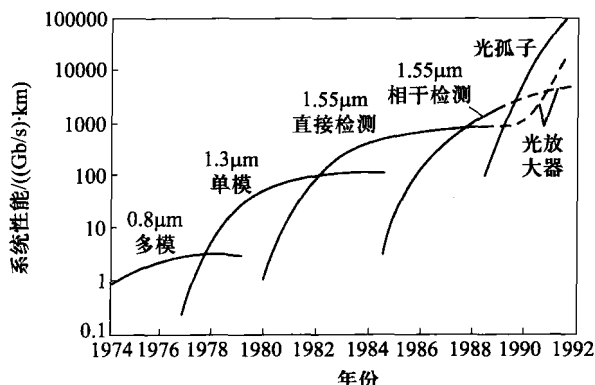


图 1.2 光波通信技术的进展

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, 其比特率为 $20\text{Mb/s} \sim 100\text{Mb/s}$, 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