

- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

光纤通信技术

主 编 田国栋
副主编 王 超
主 审 张立中



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国高等院校教材·通信工程系列教材

★ 教育部推荐教材、普通高等教育“十一五”国家级规划教材

光纤通信技术

主 编 廖卫华
副主编 王 强
参 编 廖 强



★ 清华大学出版社

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

光纤通信技术

主 编 田国栋

副主编 王 超

主 审 张立中



西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书分三篇共九章,全面介绍了光纤通信基本知识(光纤通信概论,通信光纤与光缆,光通信器件);系统阐述了光纤通信技术的应用(光纤传输体系与光网络,光纤传输设备与线路编码,光缆线路的设计、敷设与维护);重点讲授了光纤通信实践技能(光纤与光缆接续技术,光纤与光缆测试技术,光纤通信技能实训)。全书在内容选取上力求做到光纤通信理论的系统性、光纤通信技术的新颖性和光纤通信能力的实用性。

本书内容理论联系实际、通俗易懂,主要作为通信电子等相关专业高等职业教育教材,也可供从事光纤通信技术的工程人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信技术/田国栋主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.9

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2114-2

I. 光… II. 田… III. 光纤通信—高等学校:技术学校—教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121569 号

策 划 薛 媛

责任编辑 薛 媛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 14.5

字 数 332千字

印 数 1~4000册

定 价 21.00元

ISBN 978-7-5606-2114-2/TN·0457

XDUP 2406001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

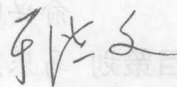
为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位要求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2008 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主任：温希东（深圳职业技术学院副校长 教授）

副主任：马晓明（深圳职业技术学院通信工程系主任 教授）

余 华（武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授）

电子组组长：余 华(兼)（成员按姓氏笔画排列）

于宝明（南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员）

马建如（常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授）

刘 科（苏州职业大学信息工程系 副教授）

刘守义（深圳职业技术学院 教授）

许秀林（南通职业大学电子系副主任 副教授）

高恭嫻（南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授）

余红娟（金华职业技术学院电子系主任 副教授）

宋 烨（长沙航空职业技术学院 副教授）

李思政（淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师）

苏家健（上海第二工业大学电子电气工程学院 教授）

张宗平（深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师）

陈传军（金陵科技学院电子系主任 副教授）

姚建永（武汉职业技术学院电信学院院长 副教授）

徐丽萍（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

涂用军（广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授）

曹光跃（安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授）

梁长垠（深圳职业技术学院电子工程系 副教授）

通信组组长：马晓明(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王巧明（广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授）

江 力（安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授）

余 华（南京信息职业技术学院通信工程系 副教授）

吴 永（广东科学技术职业学院电子系 高级工程师）

张立中（常州信息职业技术学院 高级工程师）

李立高（长沙通信职业技术学院 副教授）

林植平（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

杨 俊（武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授）

俞兴明（苏州职业大学电子信息工程系 副教授）

项目策划 马乐惠

策 划 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

通信事业日新月异,飞速发展。光纤通信作为通信专业的重要组成部分近年来也得到了长足发展。为了适应通信发展的需求,造就一大批理论水平较强,且具备较高实验技能的高级应用型通信人才,作者根据三年制高职现代通信专业教学大纲编写了本书。

全书分为三篇共九章。第一篇光纤通信基本知识包括光纤通信概论、通信光纤与光缆、光通信器件三章。第1章光纤通信概论主要讲述光纤通信的发展、构成、优越性、新技术;第2章通信光纤与光缆主要讲述光纤的结构与分类、光纤的导光原理、光纤的传输特性、单模光纤与多模光纤、光缆结构与分类、光缆的型号与标志;第3章光通信器件主要讲述LD和LED光源、PIN和APD光检测器、EDFA光纤放大器、无源光器件。第二篇光纤通信技术应用包括光纤传输体系与光网络,光纤传输设备与线路编码,光缆线路的设计、敷设与维护三章。第4章光纤传输体系与光网络主要讲述准同步数字传输系列(PDH)、同步数字传输系列(SDH)、光纤通信复用技术、光纤传输网络、光纤接入网以及光纤有线电视系统;第5章光纤传输设备与线路编码主要讲述光发射机、光接收机、光接口以及常用线路编码;第6章光缆线路的设计、敷设与维护主要讲述光缆线路的设计、四种光缆敷设方式以及光缆线路的维护。第三篇光纤通信实践技能包括光纤与光缆接续技术、光纤与光缆测试技术、光纤通信技能实训三章。第7章光纤与光缆接续技术主要讲述光纤接续、光纤熔接机使用与操作、光缆接续、光缆成端;第8章光纤与光缆测试技术主要讲述光时域反射仪(OTDR)、光源与光功率计、光纤平均衰耗测试、光纤接头衰耗测试、光纤长度的测试、光纤传输带宽测试;第9章光纤通信技能实训主要讲述八个方面光纤技能实训的内容。

第1章1.1~1.3节、第6章6.6节和第8章由西安铁路职业技术学院张华实验师编写;第1章1.4节由西安铁路职业技术学院王希庆讲师编写;第4章、第5章、第6章6.1~6.5节由西安铁路职业技术学院王超讲师编写;第2章、第3章、第7章、第9章由西安铁路职业技术学院田国栋副教授编写。全书由田国栋副教授统稿。作者对支持本书编写的所有同志,特别是赵连城教授的大力支持表示感谢!

由于水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正,以便在今后的修订工作中进一步改进。

编 者

2008年5月

目 录

第一篇 光纤通信基本知识

第 1 章 光纤通信概论	1
1.1 光纤通信发展历程	1
1.1.1 光纤通信的产生与发展	1
1.1.2 光纤通信发展趋势	3
1.2 光纤通信的系统构成	5
1.2.1 光纤通信系统的分类	6
1.2.2 光纤通信系统的基本组成	6
1.3 光纤通信的特点	7
1.4 光纤通信新技术	10
1.4.1 相干光通信	10
1.4.2 光孤子通信	12
1.4.3 全光通信网	12
小结	14
思考题	14
第 2 章 通信光纤与光缆	16
2.1 光纤的结构和分类	16
2.1.1 光纤的结构	16
2.1.2 光纤的种类	17
2.1.3 光纤的结构参数	18
2.2 光纤的导光原理	20
2.2.1 光的反射与折射	20
2.2.2 光在光纤中的传播	21
2.2.3 光在光纤中的传播模式	23
2.3 光纤的传输特性	23
2.3.1 光纤的衰减特性	23
2.3.2 光纤的色散特性	27
2.4 单模光纤和多模光纤	30
2.4.1 G.651 多模光纤	30
2.4.2 G.652 常规单模光纤	31
2.4.3 G.653 零色散位移光纤(DSP)	32
2.4.4 G.654 低衰减单模光纤	33
2.4.5 G.655 非零色散位移光纤	34
2.4.6 G.656 三波段光纤	36
2.5 光缆的结构与分类	36

2.5.1 光缆的缆芯	36
2.5.2 光缆的护层	38
2.5.3 光缆的分类	39
2.6 光缆的型号与标志	40
2.6.1 光缆型号的国标规定	40
2.6.2 识别标志	42
小结	43
思考题	44
第3章 光通信器件	45
3.1 LD 和 LED 光源	45
3.1.1 半导体中光的发射与激射	45
3.1.2 半导体发光二极管	48
3.1.3 半导体激光器	50
3.2 PIN 和 APD 光检测器	57
3.2.1 光电转换原理	57
3.2.2 PIN 光电二极管	59
3.2.3 雪崩光电二极管	60
3.2.4 光检测器的特性	62
3.3 EDFA 光纤放大器	65
3.3.1 光放大器的类型	65
3.3.2 EDFA 的组成	65
3.3.3 EDFA 的工作原理	66
3.4 无源光器件	67
3.4.1 光纤连接器	67
3.4.2 光衰减器	68
3.4.3 波分复用器	69
3.4.4 光耦合器	71
3.4.5 光隔离器	72
小结	73
思考题	74

第二篇 光纤通信技术的应用

第4章 光纤传输体系与光网络	76
4.1 光纤准同步数字传输体系	76
4.1.1 复接的基本概念	76
4.1.2 准同步数字复接体系(PDH)	77
4.2 光纤同步数字传输体系	78
4.2.1 SDH 的基本概念	78
4.2.2 SDH 的速率和帧结构	79
4.2.3 同步复用和映射方法	80
4.3 光纤通信复用技术	82
4.3.1 光空分复用(OSDM)	82
4.3.2 光波分复用(OWDM)	83

4.3.3	光频分复用(OFDM)	83
4.3.4	光时分复用(OTDM)	84
4.3.5	光码分复用(OCDM)	84
4.3.6	光副载波复用(OSCM)	84
4.3.7	时间压缩复用(TCM)	85
4.4	光纤传输网络	85
4.4.1	光纤 SDH 网络	85
4.4.2	光纤 ATM 网络	90
4.4.3	光纤 IP 网络	91
4.5	光纤接入网	93
4.5.1	光纤接入网的基本概念	93
4.5.2	无源光网络(PON)接入技术	94
4.5.3	有源光网络(AON)接入技术	96
4.6	光纤有线电视系统	97
4.6.1	光纤(CATV)传输系统	97
4.6.2	HFC 网络	98
	小结	99
	思考题	100
第 5 章	光纤传输设备与线路编码	101
5.1	光发射机	102
5.1.1	光发射机的组成	102
5.1.2	调制电路与控制技术	104
5.1.3	光发射机的主要指标	107
5.2	光接收机	108
5.2.1	光接收机的组成	108
5.2.2	光接收机的性能指标	110
5.3	SDH 光端机接口标准	112
5.3.1	光接口的标准化	112
5.3.2	光接口的参数	113
5.4	线路编码	117
5.4.1	光纤传输对线路码型的要求	117
5.4.2	光纤通信系统常用的线路码型	117
	小结	122
	思考题	122
第 6 章	光缆线路的设计、敷设与维护	124
6.1	光缆线路的设计	124
6.1.1	光缆线路路由的选择	124
6.1.2	光缆线路敷设方式的选择	124
6.1.3	光缆结构程式的选择	125
6.1.4	中继距离的计算	125
6.2	直埋光缆的敷设	126
6.2.1	开沟与处理	126
6.2.2	光缆敷设	127

6.2.3	光缆保护	128
6.2.4	线路标石	129
6.3	管道光缆的敷设	129
6.3.1	光缆管道的清洗	130
6.3.2	管道光缆的敷设机具	130
6.3.3	管道光缆的敷设方法	131
6.3.4	管道光缆的敷设步骤	132
6.4	架空光缆的敷设	135
6.4.1	杆路与吊线的选择	135
6.4.2	吊挂式架设	137
6.4.3	缠绕式架设	138
6.4.4	架空光缆的接地保护	138
6.5	水底光缆的敷设	139
6.5.1	水底光缆的敷设条件	139
6.5.2	水底光缆的埋深与挖沟	140
6.5.3	水底光缆的布放	141
6.5.4	水底光缆的水线标志	142
6.6	光缆线路的维护	142
6.6.1	光缆线路维护的目的及内容	142
6.6.2	光缆的常规维护	144
6.6.3	光缆线路的故障维修	145
6.6.4	光缆线路维护作业规范	147
	小结	148
	思考题	148

第三篇 光纤通信实践技能

第7章	光纤与光缆接续技术	150
7.1	光纤接续	150
7.1.1	光纤接续方式分类与基本要求	150
7.1.2	减小光纤接续损耗的措施	152
7.1.3	光纤的端面处理	153
7.1.4	单模光纤的熔接	154
7.1.5	熔接后的机械强度	155
7.2	光纤熔接机	156
7.2.1	光纤熔接机简介	156
7.2.2	光纤熔接机使用与操作	159
7.3	光缆接续	162
7.3.1	光缆接续基本要求	162
7.3.2	光缆接头盒选择条件及光纤接续基本要求	163
7.3.3	光缆接头盒施工过程	164
7.4	光缆成端	171
7.4.1	无人中继站的光缆成端	172
7.4.2	局内光缆的成端	172

小结	174
思考题	175
第8章 光纤与光缆测试技术	176
8.1 光时域反射仪(OTDR)	176
8.1.1 光时域反射仪(OTDR)的工作原理	176
8.1.2 光时域反射仪(OTDR)的参数设置	178
8.1.3 OTDR 测试基本步骤	179
8.2 光源与光功率计	180
8.2.1 高稳定度光源	180
8.2.2 光功率计	182
8.2.3 便携式光纤多用表	183
8.3 光纤平均衰减测试	184
8.3.1 光纤平均衰减的切断法测试	184
8.3.2 光纤平均衰减的插入法测试	185
8.3.3 光纤平均衰减的背向散射法测试	186
8.4 光纤接头衰减测试	187
8.4.1 光纤接头衰减的比较法测试	187
8.4.2 光纤接头衰减的 OTDR 测试	188
8.4.3 光纤接头衰减的光纤熔接机估算法	189
8.5 光纤长度的测试	190
8.5.1 传输脉冲时延测量法	190
8.5.2 反射脉冲时延测量法	190
8.5.3 使用 OTDR 测试光缆长度	191
8.6 光纤传输带宽测试	192
8.6.1 光纤传输带宽的脉冲法测试	192
8.6.2 光纤传输带宽的扫频法测试	194
小结	195
思考题	196
第9章 光纤通信技能实训	197
9.1 光纤通信系统技能实训	197
9.1.1 实训目的	197
9.1.2 实训内容	197
9.1.3 实训过程	197
9.1.4 实训总结	200
9.2 光纤、光缆结构技能实训	200
9.2.1 实训目的	200
9.2.2 实训内容	200
9.2.3 实训过程	201
9.2.4 实训总结	203
9.3 单模光纤开剥、切割、熔接技能实训	203
9.3.1 实训目的	203
9.3.2 实训内容	203
9.3.3 实训过程	203

9.3.4	实训总结	207
9.4	光缆接续技能实训	207
9.4.1	实训目的	207
9.4.2	实训内容	207
9.4.3	实训过程	207
9.4.4	实训总结	208
9.5	光纤参数测试技能实训	208
9.5.1	实训目的	208
9.5.2	实训内容	209
9.5.3	实训过程	209
9.5.4	实训总结	211
9.6	OTDR 测试技能实训	211
9.6.1	实训目的	211
9.6.2	实训内容	211
9.6.3	实训过程	211
9.6.4	实训总结	212
9.7	光缆线路维护技能实训	212
9.7.1	实训目的	212
9.7.2	实训内容	213
9.7.3	实训过程	213
9.7.4	实训总结	215
9.8	光端机指标查阅与测试技能实训	215
9.8.1	实训目的	215
9.8.2	实训内容	215
9.8.3	实训过程	215
9.8.4	实训总结	217
	思考题	217
	参考文献	218

第一篇 光纤通信基本知识

第1章 光纤通信概论

光纤通信是以光波作载波,以光纤为传输媒介的通信方式。它是20世纪70年代初期出现的一种新型通信技术。由于光纤通信是有传输距离远、信息容量大且通信质量高等特点,因而成为当今信息传输的主要手段,是“信息高速公路”的基石。

1.1 光纤通信发展历程

1.1.1 光纤通信的产生与发展

1. 目视光通信

人类社会中的远距离通信的主流是光通信,电气通信的历史不过一百多年。从古埃及、古中国、古希腊和古罗马时代至发明莫尔斯电报的数千年间,远距离通信主要为目视光通信。三千多年前我国周朝就利用烽火台的火光传送敌情消息,到了近现代,战争中用信号弹指挥作战、城市使用信号灯指挥交通等传递信息的方式均可称为目视光通信。我们现在经常提到的光纤通信与这些简单的视觉光通信完全不同,光纤通信是由光通信逐步发展、演变而来的,是指以光波作载波传送信息的通信方式。

2. 贝尔的光电话

1880年贝尔发明了一种利用光波作载波传送话音信息的“光电话”,利用太阳光或弧光灯作光源,光束通过透镜聚焦在话筒的振动镜片上,当人对着话筒说话时,振动镜随着话音振动,从而使反射光的强度随着话音的变化而变化。接收端设有一面抛物面反射镜,把从大气中传送来的随着话音而变化的光波反射到硅片上,硅片将光能转变为电流,把电流送到听筒就可以听到发送端讲话的声音。

贝尔的光电话曾受到人们的关注和重视,但是由于当时各种技术条件的限制,这种光电话的传输距离很短,实用意义不大,只能说是光通信的雏形。因为没有理想的光源和良好的传输介质,光通信沉睡了80年。但光电话的发明的确证明了利用光波作载波传递信息的可能性。

3. 激光器大气通信

1960年,美国科学家梅曼(Maiman)发明了红宝石激光器,激光器发出的激光与普通

光相比,具有方向性好、亮度高等优点,同时也具有通常无线电波的性质,是一种理想的可以携带信息的光载波。激光器光源的出现,解决了长期以来找不到合适光源的问题,使长期徘徊不前的光通信得以继续向前发展。

20 世纪 60 年代初期研究的光通信大多是利用大气传输光波,但大气光波通信不稳定因素很多。主要原因是光波在大气中传输受到大气层中变化无常的气候条件的影响,光波能量损失严重,因此光波在大气层中的传输并不顺利。光波通信的许多优越性激发了人们的热情,驱使人们去进一步探索新的传输介质。

4. 透镜波导光波通信

为了不使光波受大气层中各种因素的干扰,人们进行了光波地下传输的各种试验,即透镜波导光波传输系统。透镜波导就是在金属管道内,每隔一定距离放置一个聚焦透镜,使光波在管道中不断地边聚焦边向前传输,实验是成功的,但由于现场施工十分复杂,对每个透镜或反射镜要进行严格的校准和牢固的安装,系统造价昂贵,调整、测试、维修都很困难,因此实用意义不大。但这项实验对光纤通信的发展还是有贡献的,因为光纤的导光原理与透镜波导光波的原理基本相似,只是光纤导光原理的构思更巧妙、使用更合理。

5. 光纤通信的诞生与迅速发展

1) 光纤的产生

1933 年出生于上海的英国标准电信研究所的英籍华人高锟(K. C. Kao)博士对光波通信提出了大胆的设想,他认为电可以沿着导电的金属导线远距离传输,光也能沿着可以导光的玻璃纤维传输。1966 年,高锟首次提出低损耗光导纤维(简称光纤)的概念,他从理论上预言,如果能消除玻璃中的各种杂质,使光的吸收减到非常小,就可以生产出一种有实用意义的低损耗光纤。在高锟提出的理论指导下,美国康宁公司马勒博士等三人的研究小组,经过大量的研究和试验,终于在 1970 年 8 月首次研制出损耗为 20 dB/km(光波沿光纤传输 1 km 后,光能损耗到原来的 1%)的石英光纤。这种光纤直径很小,只有人的头发那么细,并且柔软可绕,它既克服了地下透镜波导存在的问题,又能防止大气对光波的干扰,是一种理想的传输介质。在光纤损耗获得巨大突破的同一年,美国贝尔实验室研制成功了室温下连续振荡的半导体激光器,从此为光纤通信技术的发展创造了更为有利的条件。

2) 光纤通信迅速发展

1974 年贝尔实验室发明了制造低损耗光纤的方法,使光纤损耗下降到 1 dB/km;而日本电话电报公司研制出了更低损耗的光纤,损耗下降到 0.5 dB/km。美国于 1976 年在亚特兰大成功地进行了码速为 44.7 Mb/s 的光纤通信系统试验;日本也于同年开始了 64 km、32 Mb/s 光纤通信系统的室内试验。

1979 年美国电报电话公司和日本电话电报公司研制成功了 1.55 μm 连续振荡半导体激光器,日本研制出了 0.2 dB/km 的极低损耗石英光纤,同时进行了 1.3 μm 长波长光纤通信系统的试验。1980 年美国标准化 FT3 光纤通信系统投入商用;1981 年日本 F-32M 和 F-100M 光纤通信系统投入商用。1994 年 1 月全球光缆敷设总长度已经达到 5470 km,1995 年超过了 18 000 km。

我国的光纤通信也紧跟世界发展步伐,经过近 30 年的发展,已建成以“八纵八横”为标志的大容量光缆通信干线传输网,再考虑本地中继光缆线路和接入网光缆线路,目前我国

敷设光缆总长度已经超过 150 万千米。30 年的积累不仅打造了传输骨干体系,还为我国营造了一个巨大的光纤光缆产业规模。资料显示,2005 年我国共生产、销售光缆 1750 万芯千米,约占全球生产量的 30%,位居世界第一,已成为世界光纤光缆的主要生产基地之一。2006 年,全国产销光缆达 2000 万芯千米。其中,长飞为 460 万芯千米、亨通为 408 万芯千米、烽火为 280 万芯千米,中天、通光、永鼎、奥星都达 150 万芯千米以上,成康、富通、汇源、特发都达 100 万芯千米以上。

1.1.2 光纤通信发展趋势

1. 宽带通信业务需求激增、光纤通信向超高速系统发展

光纤产品的大规模采用成为全球宽带通信网络飞速发展的有力基础。网络的扩张又带来全球性传送业务的大增长,这些业务需求包括 Internet 的蓬勃发展、大量的全球数据传送,以及其他一些不断增长的先进业务。

视频娱乐节目:采用速率高达几十兆比特的数字电视,提供同实物一样大的高分辨率、3D、真彩色视频娱乐节目。

可视电话:全球将有一亿以上的家庭装有带大型 3D 彩色屏幕的可视电话。

视频会议:通过 Internet 提供桌面或膝上机的一对一型或组对组型会议电视系统。

大量的、即时的、连续的全球数据传送:允许几百万大小公司以及部门内部的各个相互连接的高档工作站之间进行数据通信。

全球网络:少数几个全球性的用户到用户通信公司将主宰全球通信市场。这种全球化的过程将通过收购、兼并、合股和新建的方式来完成,而大量地敷设陆地和海底公用(用以出租)光缆为完成这一过程奠定了基础。私营全球光网络将迅速发展。采用一个便携式收发信机,以低廉的成本,实现在任何地方、任意时间、对任何人的通信(话音、数据、图像和视频)将变得可行。

全球业务:对共同感兴趣的商务运作的合并过程将继续下去。依赖于通信的主要业务有遍布全球的生产、研发、管理和客户服务。而高带宽的、即时的通信为此打下了基础。随着远程办公形式的大量采用,知识员工的物理位置将彻底发生变化。小型办公室和家庭办公室的光纤连接将非常普遍。

政府全球化:发达国家将更多地通过各种全球合作组织来协调世界经济、军事、人道主义和其他活动。这样的组织有世界贸易组织、国际货币基金、北美自由贸易联盟、联合国以及北大西洋公约组织等。

小用户的作用上升:进入 21 世纪,大型企业、政府和教育机构是光纤通信市场中处于支配地位的用户。数以亿计的全球居民用户现在正拥有自己的光纤连接。竞争将使商用光纤连接更加可靠,通过各种各样的接入方式接入到大楼中去(城区光纤系统、网状/环状网络和光交换将首先采用)。

网络容量的需求和传输速率的提高一直是一对主要矛盾。在过去几年中,光纤技术领域取得了大量突破性进展,其中包括 10 Gb/s 网络的全面构建和单根光纤上每秒以太比特容量的成功演示。40 Gb/s 和 80 Gb/s 网络成功演示进一步突出了速率更高、容量更大的网络优势,为各种各样的新业务,特别是宽带业务和多媒体提供了实现的可能。

2. 向超大容量 WDM 系统的演进

光纤的 200 nm 可用带宽资源仅利用了不到 1%，99% 的资源尚待发掘。如果将多个发送波长适当错开的光源信号同时在一根光纤上传送，则可大大增加光纤的信息传输容量，这就是波分复用(WDM)的基本思路。波分复用系统发展十分迅速。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 320 Gb。美国朗讯公司已宣布推出 80 个波长的 WDM 系统，其总容量可达 200 Gb 或 400 Gb。实验室的最高水平已达到 2.6 Tb，预计不久商用化系统的容量即可达到 1 Tb 的水平。近年来超大容量密集波分复用系统的发展是光纤通信发展史上的又一里程碑，不仅开发了无穷无尽的光传输链路的容量，而且也成为 IP 业务爆炸式发展的催化剂和下一代光传送网灵活光节点的基础。

3. 实现光联网

波分复用系统技术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的话，无疑将增加新的威力。

根据这一基本思路，光的分插复用器(OADM)和光的交叉连接设备(OXC)均已在实验室研制成功，前者已投入商用。鉴于光联网具有潜在的巨大优势，发达国家投入了大量的人力、物力和财力进行研究，特别是美国国防部预研局(DARPA)资助了一系列光联网项目，如以 Bellcore 为主开发的“光网技术合作计划(ONTIC)”，以朗讯公司为主开发的“全光通信网”预研计划，“多波长光网络(MONET)”和“国家透明光网络(NTON)”等，在欧洲和日本，也分别有类似的光联网项目在进行。

4. 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送网络的发展需要方面已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。为了适应干线网和城域网的不同发展需要，已出现了三种不同的新型光纤，如非零色散光纤(G. 655 光纤)、低色散三波段光纤(G. 656 光纤)和无水吸收峰光纤(全波光纤)。目前影响可用波段的主要因素是 1385nm 附近的水吸收峰，因而若能设法消除这一水峰，则光纤的可用频谱可望大大扩展。全波光纤就是在这种形势下诞生的。

5. 解决全光网瓶颈的手段——光接入网

过去几年间，网络的核心部分发生了翻天覆地的变化，无论是交换还是传输都已更新了好几代。不久以后，网络的这一部分将成为全数字化的、软件主宰和控制的、高度集成和智能化的网络。而另一方面，现存的接入网中双绞线铜线的模拟系统还有相当比例。两者在技术上的巨大反差说明接入网已确实成为制约全光网进一步发展的瓶颈。目前尽管出现了一系列解决这一瓶颈问题的技术手段，如双绞线上的 XDSL 系统，同轴电缆上的 HFC 系统，宽带无线接入系统，但这些都只能算是一些过渡性解决方案，唯一能够根本上彻底解决这一瓶颈问题的长远技术手段是光接入网的全面实现。

6. 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 业务已成为新技术是否有长远技术寿命的标志。