



高等院校  
通信与信息专业规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 光纤通信系统

## 第2版

李履信 沈建华 编著



免费提供电子教案



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



本书全面介绍了光纤通信系统，包括光纤通信系统组成、光纤通信系统性能、光纤通信系统维护、光纤通信系统应用、光纤通信系统发展等。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信与信息专业及相关专业的教材，也可供从事光纤通信工作的工程技术人员参考。

# 光纤通信系统

## 第2版

李履信 沈建华 编著

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统 / 李履信, 沈建华 编著. — 2版. — 北京: 机械工业出版社, 2007.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-111-12503-7

I. 光... II. 李... 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(2007)第040981号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 孙业 封面设计: 陈永明

责任印制: 陈文志 文字编辑: 陈文志

北京双青印刷厂印刷

2007年9月第2版第1次印刷

184mm × 260mm · 20.2印张 · 204千字

0001—1400册

定价: 29.00元



凡购本书, 如首购, 尾页, 页角, 页边, 页底, 均有防伪标志, 并有本厂

机械工业出版社

地址: 北京市百万庄大街22号 邮编: 100037

电话: (010) 88379339

本书紧密结合光通信的发展,全面系统地介绍了光纤通信系统的构成以及下一代光网络的关键技术。全书共分为12章,包括:光纤光缆的结构和类型;光纤的传输理论和传输特性;光路无源器件;光源和光发送机、光检测和光接收机的原理;同步数字体系(SDH);光纤通信系统性能指标;光纤放大器;光波分复用和时分复用技术以及光纤色散补偿技术、相干光通信、光孤子通信、光交换技术等光纤通信新技术;并对光纤通信网(包括光纤接入网、自由空间光通信、自动交换光网络(ASON)和城域多业务平台(MSTP)等内容)进行了介绍。

本书内容深入浅出、概念清楚,覆盖面广且重点突出,不仅全面清晰地对光纤通信系统的构成和各部分的工作原理进行了阐述,同时也对光通信中的最新技术进行了介绍。本书可作为高校电子、通信和信息类专业本科的教学用书,也可作为从事光纤通信工作的科技人员和管理人员的参考用书。

李 履 信 著

## 图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统/李履信,沈建华编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2007. 4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-12293-7

I. 光... II. ①李... ②沈... 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(2007)第040981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:胡毓坚 责任编辑:孙业 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 责任印制:洪汉军

北京双青印刷厂印刷

2007年9月第2版第1次印刷

184mm × 260mm · 20.5印张 · 504千字

9001—14000册

标准书号:ISBN 978-7-111-12293-7

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379739

封面无防伪标均为盗版

# 高等院校通信与信息专业规划教材 编委会名单

(按姓氏笔画排序)

**编委会主任**

乐光新

**编委会副主任**

张文军

张思东

杨海平

徐澄圻

**编委会委员**

王金龙

冯正和

刘增基

李少洪

邹家禄

吴镇扬

赵尔沅

南利平

徐惠民

彭启琮

解月珍

**秘书长**

胡毓坚

**副秘书长**

许晔峰

工业和信息化部

高等教育出版社

## 出版说明

单委会委编

(机械工业出版社)

为了培养 21 世纪国家和社会急需的通信与信息领域的高级科技人才，为了配合高等院校通信与信息专业的教学改革和教材建设，机械工业出版社会同全国在通信与信息领域具有雄厚师资和技术力量的高等院校，组成阵容强大的编委会，组织长期从事教学的骨干教师编写了这套面向普通高等院校的通信与信息专业系列教材，并且将陆续出版。

这套教材将力求做到：专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理，并注意与专业课教学的衔接；专业课教材覆盖面广、深度适中，不仅体现相关领域的最新进展，而且注重理论联系实际。

这套教材的选题是开放式的。随着现代通信与信息技术日新月异地发展，我们将不断更新和补充选题，使这套教材及时反映通信与信息领域的新发展和新技术。我们也欢迎在教学第一线有丰富教学经验的教师及通信与信息领域的科技人员积极参与这项工作。

由于通信与信息技术发展迅速，而且涉及领域非常宽，这套教材的选题和编审中难免有缺点和不足之处，诚恳希望各位老师和同学提出宝贵意见，以利于今后不断改进。

机械工业出版社

高等院校通信与信息专业规划教材编委会



# 前 言

本教材自 2003 年正式出版以来,已在多所院校的通信与信息专业的本科教学中使用,并得到了较好的评价。光纤通信是信息领域内发展最快的领域之一,随着下一代网络的构想和推进,对光纤通信系统的要求也不断提高。近年来,光放大器已经商用化和实用化,光交换和光联网也已得到了初步的应用,光纤通信的发展势必会迎来又一个高峰。为适应光纤通信的新发展,我们对本教材进行了修订。

本书第 2 版保留了介绍光纤通信基本原理和技术的相关内容,同时增加了一些实用性强的新技术及光网络结构的内容,使得本教材不仅保留了第 1 版概念清楚、重点突出等特点,而且更为系统化和实用化。第 2 版基本保留了第 1 版的第 1~8 章;由于光接入网发展非常迅速,已被公认为是未来固定宽带接入最主要的手段之一,因此将其单列为第 9 章;光放大器近年来得到了广泛地应用,因此也将其单列为第 10 章;在第 11 章光纤通信新技术中,加入了光交换和自由空间光通信部分的内容;由于光通信的发展趋于网络化,因此增加了第 12 章,介绍光联网有关内容,包括多业务城域网(MSTP)和自动交换光网络(ASON)等内容。

本书的第 1~5、8 章及第 7、11 章部分内容由李履信编写。第 6、9、10、12 章及第 7、11 章部分内容沈建华编写,全书由沈建华统稿。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

作 者

<p>1 ..... 绪论 1.1</p> <p>2 ..... 光纤通信系统 2.1</p> <p>3 ..... 光纤通信的发展 3.1</p> <p>4 ..... 光纤通信的组成 4.1</p> <p>5 ..... 光纤通信的传输特性 5.1</p> <p>6 ..... 光纤通信的传输特性 6.1</p> <p>7 ..... 光纤通信的传输特性 7.1</p> <p>8 ..... 光纤通信的传输特性 8.1</p> <p>9 ..... 光接入网 9.1</p> <p>10 ..... 光放大器 10.1</p> <p>11 ..... 光纤通信新技术 11.1</p> <p>12 ..... 光联网 12.1</p> <p>附录 1 ..... 常用术语 13.1</p> <p>附录 2 ..... 常用符号 14.1</p> <p>附录 3 ..... 常用单位 15.1</p> <p>附录 4 ..... 常用公式 16.1</p> <p>附录 5 ..... 常用图表 17.1</p> <p>附录 6 ..... 常用数据 18.1</p> <p>附录 7 ..... 常用材料 19.1</p> <p>附录 8 ..... 常用器件 20.1</p> <p>附录 9 ..... 常用设备 21.1</p> <p>附录 10 ..... 常用系统 22.1</p> <p>附录 11 ..... 常用标准 23.1</p> <p>附录 12 ..... 常用规范 24.1</p> <p>附录 13 ..... 常用规程 25.1</p> <p>附录 14 ..... 常用标准 26.1</p> <p>附录 15 ..... 常用规范 27.1</p> <p>附录 16 ..... 常用规程 28.1</p> <p>附录 17 ..... 常用标准 29.1</p> <p>附录 18 ..... 常用规范 30.1</p> <p>附录 19 ..... 常用规程 31.1</p> <p>附录 20 ..... 常用标准 32.1</p> <p>附录 21 ..... 常用规范 33.1</p> <p>附录 22 ..... 常用规程 34.1</p> <p>附录 23 ..... 常用标准 35.1</p> <p>附录 24 ..... 常用规范 36.1</p> <p>附录 25 ..... 常用规程 37.1</p> <p>附录 26 ..... 常用标准 38.1</p> <p>附录 27 ..... 常用规范 39.1</p> <p>附录 28 ..... 常用规程 40.1</p> <p>附录 29 ..... 常用标准 41.1</p> <p>附录 30 ..... 常用规范 42.1</p> <p>附录 31 ..... 常用规程 43.1</p> <p>附录 32 ..... 常用标准 44.1</p> <p>附录 33 ..... 常用规范 45.1</p> <p>附录 34 ..... 常用规程 46.1</p> <p>附录 35 ..... 常用标准 47.1</p> <p>附录 36 ..... 常用规范 48.1</p> <p>附录 37 ..... 常用规程 49.1</p> <p>附录 38 ..... 常用标准 50.1</p> <p>附录 39 ..... 常用规范 51.1</p> <p>附录 40 ..... 常用规程 52.1</p> <p>附录 41 ..... 常用标准 53.1</p> <p>附录 42 ..... 常用规范 54.1</p> <p>附录 43 ..... 常用规程 55.1</p> <p>附录 44 ..... 常用标准 56.1</p> <p>附录 45 ..... 常用规范 57.1</p> <p>附录 46 ..... 常用规程 58.1</p> <p>附录 47 ..... 常用标准 59.1</p> <p>附录 48 ..... 常用规范 60.1</p> <p>附录 49 ..... 常用规程 61.1</p> <p>附录 50 ..... 常用标准 62.1</p> <p>附录 51 ..... 常用规范 63.1</p> <p>附录 52 ..... 常用规程 64.1</p> <p>附录 53 ..... 常用标准 65.1</p> <p>附录 54 ..... 常用规范 66.1</p> <p>附录 55 ..... 常用规程 67.1</p> <p>附录 56 ..... 常用标准 68.1</p> <p>附录 57 ..... 常用规范 69.1</p> <p>附录 58 ..... 常用规程 70.1</p> <p>附录 59 ..... 常用标准 71.1</p> <p>附录 60 ..... 常用规范 72.1</p> <p>附录 61 ..... 常用规程 73.1</p> <p>附录 62 ..... 常用标准 74.1</p> <p>附录 63 ..... 常用规范 75.1</p> <p>附录 64 ..... 常用规程 76.1</p> <p>附录 65 ..... 常用标准 77.1</p> <p>附录 66 ..... 常用规范 78.1</p> <p>附录 67 ..... 常用规程 79.1</p> <p>附录 68 ..... 常用标准 80.1</p> <p>附录 69 ..... 常用规范 81.1</p> <p>附录 70 ..... 常用规程 82.1</p> <p>附录 71 ..... 常用标准 83.1</p> <p>附录 72 ..... 常用规范 84.1</p> <p>附录 73 ..... 常用规程 85.1</p> <p>附录 74 ..... 常用标准 86.1</p> <p>附录 75 ..... 常用规范 87.1</p> <p>附录 76 ..... 常用规程 88.1</p> <p>附录 77 ..... 常用标准 89.1</p> <p>附录 78 ..... 常用规范 90.1</p> <p>附录 79 ..... 常用规程 91.1</p> <p>附录 80 ..... 常用标准 92.1</p> <p>附录 81 ..... 常用规范 93.1</p> <p>附录 82 ..... 常用规程 94.1</p> <p>附录 83 ..... 常用标准 95.1</p> <p>附录 84 ..... 常用规范 96.1</p> <p>附录 85 ..... 常用规程 97.1</p> <p>附录 86 ..... 常用标准 98.1</p> <p>附录 87 ..... 常用规范 99.1</p> <p>附录 88 ..... 常用规程 100.1</p>	<p>1 ..... 绪论 1.1</p> <p>2 ..... 光纤通信系统 2.1</p> <p>3 ..... 光纤通信的发展 3.1</p> <p>4 ..... 光纤通信的组成 4.1</p> <p>5 ..... 光纤通信的传输特性 5.1</p> <p>6 ..... 光纤通信的传输特性 6.1</p> <p>7 ..... 光纤通信的传输特性 7.1</p> <p>8 ..... 光纤通信的传输特性 8.1</p> <p>9 ..... 光接入网 9.1</p> <p>10 ..... 光放大器 10.1</p> <p>11 ..... 光纤通信新技术 11.1</p> <p>12 ..... 光联网 12.1</p> <p>附录 1 ..... 常用术语 13.1</p> <p>附录 2 ..... 常用符号 14.1</p> <p>附录 3 ..... 常用单位 15.1</p> <p>附录 4 ..... 常用公式 16.1</p> <p>附录 5 ..... 常用图表 17.1</p> <p>附录 6 ..... 常用数据 18.1</p> <p>附录 7 ..... 常用材料 19.1</p> <p>附录 8 ..... 常用器件 20.1</p> <p>附录 9 ..... 常用设备 21.1</p> <p>附录 10 ..... 常用系统 22.1</p> <p>附录 11 ..... 常用标准 23.1</p> <p>附录 12 ..... 常用规范 24.1</p> <p>附录 13 ..... 常用规程 25.1</p> <p>附录 14 ..... 常用标准 26.1</p> <p>附录 15 ..... 常用规范 27.1</p> <p>附录 16 ..... 常用规程 28.1</p> <p>附录 17 ..... 常用标准 29.1</p> <p>附录 18 ..... 常用规范 30.1</p> <p>附录 19 ..... 常用规程 31.1</p> <p>附录 20 ..... 常用标准 32.1</p> <p>附录 21 ..... 常用规范 33.1</p> <p>附录 22 ..... 常用规程 34.1</p> <p>附录 23 ..... 常用标准 35.1</p> <p>附录 24 ..... 常用规范 36.1</p> <p>附录 25 ..... 常用规程 37.1</p> <p>附录 26 ..... 常用标准 38.1</p> <p>附录 27 ..... 常用规范 39.1</p> <p>附录 28 ..... 常用规程 40.1</p> <p>附录 29 ..... 常用标准 41.1</p> <p>附录 30 ..... 常用规范 42.1</p> <p>附录 31 ..... 常用规程 43.1</p> <p>附录 32 ..... 常用标准 44.1</p> <p>附录 33 ..... 常用规范 45.1</p> <p>附录 34 ..... 常用规程 46.1</p> <p>附录 35 ..... 常用标准 47.1</p> <p>附录 36 ..... 常用规范 48.1</p> <p>附录 37 ..... 常用规程 49.1</p> <p>附录 38 ..... 常用标准 50.1</p> <p>附录 39 ..... 常用规范 51.1</p> <p>附录 40 ..... 常用规程 52.1</p> <p>附录 41 ..... 常用标准 53.1</p> <p>附录 42 ..... 常用规范 54.1</p> <p>附录 43 ..... 常用规程 55.1</p> <p>附录 44 ..... 常用标准 56.1</p> <p>附录 45 ..... 常用规范 57.1</p> <p>附录 46 ..... 常用规程 58.1</p> <p>附录 47 ..... 常用标准 59.1</p> <p>附录 48 ..... 常用规范 60.1</p> <p>附录 49 ..... 常用规程 61.1</p> <p>附录 50 ..... 常用标准 62.1</p> <p>附录 51 ..... 常用规范 63.1</p> <p>附录 52 ..... 常用规程 64.1</p> <p>附录 53 ..... 常用标准 65.1</p> <p>附录 54 ..... 常用规范 66.1</p> <p>附录 55 ..... 常用规程 67.1</p> <p>附录 56 ..... 常用标准 68.1</p> <p>附录 57 ..... 常用规范 69.1</p> <p>附录 58 ..... 常用规程 70.1</p> <p>附录 59 ..... 常用标准 71.1</p> <p>附录 60 ..... 常用规范 72.1</p> <p>附录 61 ..... 常用规程 73.1</p> <p>附录 62 ..... 常用标准 74.1</p> <p>附录 63 ..... 常用规范 75.1</p> <p>附录 64 ..... 常用规程 76.1</p> <p>附录 65 ..... 常用标准 77.1</p> <p>附录 66 ..... 常用规范 78.1</p> <p>附录 67 ..... 常用规程 79.1</p> <p>附录 68 ..... 常用标准 80.1</p> <p>附录 69 ..... 常用规范 81.1</p> <p>附录 70 ..... 常用规程 82.1</p> <p>附录 71 ..... 常用标准 83.1</p> <p>附录 72 ..... 常用规范 84.1</p> <p>附录 73 ..... 常用规程 85.1</p> <p>附录 74 ..... 常用标准 86.1</p> <p>附录 75 ..... 常用规范 87.1</p> <p>附录 76 ..... 常用规程 88.1</p> <p>附录 77 ..... 常用标准 89.1</p> <p>附录 78 ..... 常用规范 90.1</p> <p>附录 79 ..... 常用规程 91.1</p> <p>附录 80 ..... 常用标准 92.1</p> <p>附录 81 ..... 常用规范 93.1</p> <p>附录 82 ..... 常用规程 94.1</p> <p>附录 83 ..... 常用标准 95.1</p> <p>附录 84 ..... 常用规范 96.1</p> <p>附录 85 ..... 常用规程 97.1</p> <p>附录 86 ..... 常用标准 98.1</p> <p>附录 87 ..... 常用规范 99.1</p> <p>附录 88 ..... 常用规程 100.1</p>
---	---

# 目 录

出版说明	2.6.5 单模光纤性能指标	53
前言	2.7 习题	55
<b>第 1 章 概述</b>	<b>第 3 章 光源和光发送机</b>	<b>56</b>
1.1 光纤通信的发展概况	3.1 半导体激光器和发光二极管	56
1.2 光纤通信的优点和应用	3.1.1 半导体激光器	56
1.2.1 光纤通信的优点	3.1.2 半导体发光二极管	70
1.2.2 光纤通信的应用	3.2 光源调制	71
1.3 光纤传输系统的组成	3.2.1 光源的调制方式	71
1.3.1 光纤通信系统原理框图	3.2.2 光源的直接调制原理	72
1.3.2 光纤通信系统的构成	3.3 光发送机	73
1.4 习题	3.3.1 光端机结构	73
<b>第 2 章 光纤传输理论及传输特性</b>	3.3.2 光发送机	74
2.1 光纤、光缆的结构和类型	3.4 习题	85
2.1.1 光纤结构	<b>第 4 章 光检测器和光接收机</b>	<b>87</b>
2.1.2 光纤型号	4.1 半导体光检测器件	87
2.1.3 光缆及其结构	4.1.1 光电二极管的工作原理	87
2.2 电磁波在光纤中传输的基本方程	4.1.2 光电二极管	88
2.2.1 麦克斯韦方程组和波动方程	4.1.3 雪崩光电二极管	92
2.2.2 亥姆霍兹方程和波参数	4.2 光接收机	95
2.2.3 基本波导方程	4.2.1 光接收电路	96
2.2.4 柱面坐标中的波动方程	4.2.2 输出电路	100
2.3 阶跃折射率光纤模式分析	4.2.3 其他电路	100
2.3.1 矢量分析法	4.3 光接收机噪声分析	102
2.3.2 弱导光纤和线性极化模	4.3.1 光接收机的主要噪声	102
2.4 单模传输	4.3.2 光检测器的噪声分析	103
2.4.1 截止波长	4.3.3 光检测器-放大器信噪比	105
2.4.2 模场直径	4.3.4 接收机噪声	108
2.5 射线光学理论	4.4 光接收机的误码率	109
2.5.1 射线方程	4.5 接收机灵敏度	111
2.5.2 光纤的传光原理	4.5.1 灵敏度定义和表示方法	111
2.6 光纤传输特性	4.5.2 灵敏度计算	112
2.6.1 损耗特性	4.5.3 影响灵敏度的因素	114
2.6.2 色散特性	4.6 光中继机	115
2.6.3 光纤的带宽和冲激响应	4.7 习题	116
2.6.4 光纤中的非线性效应	<b>第 5 章 光路无源器件</b>	<b>117</b>

5.1 光纤连接器	117	6.7.4 分布式故障恢复	169
5.1.1 光纤连接损耗及影响因素	117	6.8 SDH 网络管理	171
5.1.2 光纤连接器的结构	119	6.8.1 SDH 网络管理功能	171
5.2 光纤耦合器	121	6.8.2 管理协议及标准接口	175
5.2.1 光纤耦合器的类型	121	6.9 习题	176
5.2.2 光纤耦合器的结构和基本原理	122	<b>第 7 章 光波分复用系统</b>	177
5.2.3 光纤耦合器的主要特性	123	7.1 光波分复用概述	177
5.2.4 其他类型耦合器	124	7.1.1 光波分复用的基本概念	177
5.3 光衰减器	125	7.1.2 WDM 系统的基本形式	178
5.4 光隔离器与光环行器	125	7.2 WDM 系统的基本结构与工作原理	179
5.5 光调制器和光开关	127	7.2.1 WDM 系统的基本结构	179
5.5.1 光调制器	127	7.2.2 WDM 系统的分类方法	180
5.5.2 光开关	128	7.2.3 光波长区的分配	182
5.6 习题	129	7.3 光波分复用系统的关键技术	184
<b>第 6 章 同步数字体系</b>	130	7.3.1 WDM 系统的几个技术问题	184
6.1 SDH 概述	130	7.3.2 光源技术	185
6.1.1 SDH 的产生	130	7.3.3 波长可调谐滤波器技术	186
6.1.2 SDH 的基本概念和特点	130	7.3.4 光波分复用/解复用器与光滤波器技术	187
6.2 SDH 速率等级和帧结构	132	7.3.5 光转发器技术	190
6.2.1 网络节点接口	132	7.3.6 光纤传输技术	191
6.2.2 同步数字体系的速率	132	7.3.7 WDM 系统的监控技术	192
6.2.3 帧结构	133	7.4 WDM 系统的特点	194
6.3 SDH 复用和映射过程	134	7.5 光时分复用	195
6.3.1 基本复用映射原理和复用单元	134	7.6 习题	196
6.3.2 我国采用的复用结构	136	<b>第 8 章 数字光纤通信系统性能</b>	197
6.4 SDH 网元设备	145	8.1 数字传输模型	197
6.4.1 SDH 设备的一般描述	145	8.1.1 假设参考连接	197
6.4.2 SDH 复用设备	146	8.1.2 假设参考数字链路	198
6.5 SDH 同步与定时	155	8.1.3 假设参考数字段	198
6.5.1 SDH 网同步基本原理	155	8.1.4 光缆数字通信系统框图	199
6.5.2 SDH 定时要求	156	8.2 误码特性	199
6.5.3 SDH 网同步	157	8.2.1 误码和误码率的概念	199
6.6 SDH 传送网	159	8.2.2 误码发生形态和原因	200
6.6.1 传送网的分层与分割	159	8.2.3 误码特性的评定方法	200
6.6.2 SDH 传送网网络拓扑结构	163	8.2.4 误码性能的规范	201
6.7 SDH 网络保护和恢复	164	8.3 抖动特性	204
6.7.1 SDH 传送网故障及自愈机制	164	8.3.1 抖动的概念	204
6.7.2 自动保护倒换 APS	165	8.3.2 抖动的来源	204
6.7.3 SDH 自愈环	166	8.3.3 抖动性能的规范	205
		8.4 漂移特性	208



8.4.1	漂移的概念	208	9.4.4	千兆比特兼容的无源光接 入网	235
8.4.2	漂移的产生	208	9.5	习题	243
8.4.3	漂移性能的规范	209	<b>第 10 章 光放大技术</b>	244	
8.5	延时特性	210	10.1	光放大器概述	244
8.5.1	延时的概念	210	10.1.1	光放大器的基本原理	244
8.5.2	延时的产生	210	10.1.2	光放大器的主要参数	246
8.5.3	延时性能的规范	212	10.2	掺铒光纤放大器	249
8.6	光纤通信系统的可用性	212	10.2.1	EDFA 的工作原理	249
8.6.1	可靠性和可用性表示方法	212	10.2.2	EDFA 特性	249
8.6.2	光纤通信系统可用性计算	213	10.2.3	EDFA 基本结构	250
8.6.3	光纤通信系统可用性指标 要求	214	10.2.4	EDFA 的应用	252
8.7	光缆线路系统设计	214	10.3	光纤拉曼放大器	254
8.7.1	衰减限制系统最大中继距离的 计算	215	10.3.1	受激拉曼散射原理	254
8.7.2	色散限制系统最大中继距离的 计算	216	10.3.2	光纤拉曼放大器结构	255
8.8	习题	217	10.3.3	拉曼放大器在 WDM 系统中的 应用	257
<b>第 9 章 光接入网</b>		218	10.3.4	拉曼放大器的噪声特性	257
9.1	光接入网概述	218	10.3.5	混合拉曼/掺铒光纤放大器	258
9.1.1	接入网基本概念	218	10.4	习题	259
9.1.2	光接入网基本概念	221	<b>第 11 章 光纤通信新技术</b>	260	
9.1.3	光接入网的应用类型	225	11.1	色散补偿技术	260
9.1.4	光接入网的性能指标	225	11.1.1	色散补偿光纤	260
9.2	光接入网关键技术	227	11.1.2	预啁啾技术	262
9.2.1	突发收发技术	227	11.1.3	色散均衡器	262
9.2.2	突发同步技术	227	11.1.4	光相位共轭色散补偿	264
9.2.3	测距技术	227	11.1.5	色散支持传输	265
9.2.4	多址接入技术	228	11.1.6	偏振模色散补偿技术	266
9.2.5	动态带宽分配技术	229	11.2	相干光通信	269
9.2.6	光功率的动态调节	229	11.2.1	相干检测原理	269
9.2.7	服务质量和安全技术	229	11.2.2	调制与解调	271
9.3	有源光接入网	229	11.2.3	误码率和接收机灵敏度	272
9.3.1	AON 基本概念	229	11.2.4	相干光纤通信系统的优点和关键 技术	275
9.3.2	基于 PDH 的 AON	229	11.3	光交换技术	275
9.3.3	基于 SDH 的 AON	230	11.3.1	空分光交换	276
9.4	无源光接入网	231	11.3.2	光波长交换	276
9.4.1	PON 的基本概念	231	11.3.3	光分组交换	277
9.4.2	基于 ATM 的无源光接入网	231	11.3.4	光突发交换	278
9.4.3	基于 Ethernet 的无源光接 入网	233	11.4	光孤子通信技术	278
			11.4.1	光孤子通信系统的基本组成	278

11.4.2	光纤损耗与光孤子能量补偿放大 .....	279	12.1	光联网技术概述 .....	287
11.4.3	影响光纤孤子通信系统容量的因素 .....	279	12.2	城域光网络 .....	287
11.5	自由空间光通信 .....	280	12.2.1	城域光网络概述 .....	287
11.5.1	FSO 技术特点 .....	280	12.2.2	多业务传送平台 .....	292
11.5.2	FSO 系统的基本构成 .....	281	12.3	自动交换光网络 .....	298
11.5.3	FSO 的关键技术 .....	282	12.3.1	ASON 概述 .....	298
11.5.4	FSO 的应用 .....	285	12.3.2	ASON 基本结构和关键技术 .....	299
11.6	习题 .....	285	12.3.3	通用多协议标签交换 .....	307
<b>第 12 章</b>	<b>光联网技术 .....</b>	<b>287</b>	12.4	全光互联网技术 .....	312
			12.5	习题 .....	312
			<b>参考文献</b> .....	<b>314</b>	

# 第1章 概述

## 1.1 光纤通信的发展概况

通信是指两个或多个实体之间交换信息的过程，而通信系统是该过程的具体实现。一个实际的通信系统包括信息的采集、格式变换、传输和交换等过程所涉及的所有实体。光通信是指利用某种特定波长（频率）的光波信号承载信息，并将此光信号通过光纤或者大气信道传送到对方，然后再还原出原始信息的过程。广义上的光通信（Lightwave Communication）包括光纤通信（Optical Fiber Communication）和大气光通信/空间光通信（Free Space Optics）两大类，目前在通信领域内主要采用的是光纤通信方式。

从古代起，我们的祖先已经利用光来传递信息。诸如建造烽火台，用烟和火花来报警，用旗语和灯光信号来传送信息等，都可以看作是原始形式的光通信。当然，这些传递信息的方法极为简单，易受外界因素如阳光等的影响，信息的内容也极为有限。严格来说，上述通信方式都不能称为真正的光通信。1880年，美国人贝尔（A. G. Bell）发明了第一台真正的光学电话。贝尔利用弧光作光源，弧光灯发出恒定的光束，投射在送话器的薄膜上，薄膜随声音振动而振动。反射光束的强弱变化，就反映出声音的振动规律。在接收端利用一个大型的抛物面反射镜，把发送端送来的随着声音变化的光反射到硅光电池上，硅光电池将光信号转变为电信号，再送给受话器还原出原始话音，完成了发送和接收的过程。但自此之后的数十年中光通信的进展不大，其原因是所用的光源是热辐射源，发出的光都是非相干光，调制困难。其次，作为接收机的硅光电池内部噪声很大。另外，由于没有一个适当的光传输媒质，光在大气中传输损耗很大，因此无法实现长距离的光通信。

现在我们所说的光通信是利用谱线很窄、方向性极好、频率和相位都高度一致的相干光——激光作为光源的通信方式。20世纪60年代初，人们相继发明了红宝石激光器、氦氖激光器、二氧化碳激光器等，并利用这些激光器作为光源进行了激光大气传输的试验。但是由于这些固体激光器或气体激光器的体积大、功耗大，不适宜做通信设备中的光源；同时以大气作为传输媒质受气候影响极大。因此，当时光通信的出路是找到合适的光源及理想的传光媒质。

1966年，在英国标准电信实验室工作的华裔科学家高锟（C. K. Kao）首先提出用石英玻璃纤维作为光纤通信的媒质。1970年美国康宁公司用超纯石英为材料，拉制出损耗为20dB/km的光纤，这是向光纤作为传输媒质迈出的最重要的一步。在光纤有了重大突破的同一年，美国贝尔实验室研制成功可在室温下连续振荡的镓铝砷（GaAlAs）半导体激光器，为光纤通信找到了合适的光源。1977年，GaAlAs激光器的寿命可达100万小时，这为光纤通信的商用化奠定了基础。1973年，贝尔实验室发明了用改进的化学气相沉积（MCVD）方法制造光纤，使光纤的衰减下降到1dB/km。1974年，日本解决了光缆的现场敷设及接续问题。1975年出现了



光纤活动连接器。1976年，日本把光纤的衰减降到 $0.5\text{dB/km}$ ，同年美国首先成功地进行了传输速率 $44.736\text{Mbit/s}$ 、传输距离 $10\text{km}$ 的光纤通信系统现场试验，使光纤通信向实用化迈出了第一步。1979年美国和日本先后研制出 $1550\text{nm}$ 波长的激光器，日本制造出超低损耗光纤( $0.2\text{dB/km}$ ,  $1550\text{nm}$ )，同时进行了多模光纤 $1310\text{nm}$ 波长系统的现场试验。到了1980年，采用多模光纤的通信系统已投入商用，单模光纤通信系统也进行了现场试验。在随后的几年内，日本、英国、美国都兴建了单模光缆长途干线系统。随着光纤通信技术的日益成熟，光缆线路覆盖的地域从陆地向海洋延伸。美、日、英等国联合建立的横跨太平洋和大西洋的海底光缆都相继开通。我国也于20世纪70年代开始对光纤有关的技术进行研究，取得了较大的进展。

从世界各国光通信技术发展的情况来看，光纤通信的发展大致经过了以下几个阶段：

第一代光纤通信系统在20世纪70年代后期投入使用，工作波长在 $850\text{nm}$ 波长段的多模光纤系统。光纤的衰减系数为 $2.5\sim 4.0\text{dB/km}$ ，系统的传输速率在 $20\sim 100\text{Mbit/s}$ 之间，实用的系统容量为脉冲编码调制(PCM)三次群，最高传输速率为 $34\text{Mbit/s}$ ，中继距离为 $8\sim 10\text{km}$ 。20世纪80年代初，工作波长在 $1310\text{nm}$ 波长段的多模光纤系统投入使用，光纤衰减系数为 $0.55\sim 1.0\text{dB/km}$ ，传输速率达 $140\text{Mbit/s}$ ，中继距离为 $20\sim 30\text{km}$ 。

第二代光纤通信系统在20世纪80年代中期投入使用，工作波长在 $1310\text{nm}$ 波长段的单模光纤通信系统。光纤衰减系数为 $0.3\sim 0.5\text{dB/km}$ ，可传送准同步数字体系(PDH)的各次群信号，最高传输速率可达 $1.7\text{Gbit/s}$ ，中继距离约为 $50\text{km}$ 。

第三代光纤通信系统在20世纪80年代后期投入使用，工作波长在 $1550\text{nm}$ 波长段的单模光纤系统。光纤衰减系数为 $0.2\text{dB/km}$ ，应用在同步数字体系(SDH)光纤传输网，传输速率达 $2.5\sim 10\text{Gbit/s}$ ，中继距离可超过 $100\text{km}$ 。

第四代光纤通信系统采用光放大器来增加中继距离，同时采用波分复用/频分复用(WDM/FDM)技术来提高传输速率。已完成的有单信道传输速率为 $40\text{Gbit/s}$ ，不采用电中继器，结合先进的调制技术和编码技术等，实现传输距离达 $10000\text{km}$ 的试验。20世纪90年代初光纤放大器的研制成功并投入使用，已经引起了光纤通信的重大变革。目前在实验室中最高的系统容量已经达到 $10\text{Tbit/s}$ 级。

第五代光纤通信系统是基于利用光纤的非线性效应，抵消由于光纤色散产生的脉冲展宽而产生的光孤子，来实现光脉冲信号的保形传输。20世纪90年代后，各国的试验都取得了重大的进展。例如在日本，实验室中已经实现了将 $80\text{Gbit/s}$ 和 $160\text{Gbit/s}$ 的数据分别传输了 $500\text{km}$ 和 $200\text{km}$ ，目前已经开始有商用化的光孤子通信系统面世。

从光纤通信技术发展的趋势和特点来看，光纤通信将会在网络技术、传输技术、复用技术、器件集成化、全光通信等方面获得进一步发展。

传统的以点到点传输为代表的PDH系列的光纤通信系统，已经不适应于现代电信网的发展。因此，产生了SDH光纤通信系统/传送网。SDH光传送网是一个将复接、线路传输及交换功能融为一体并由网管系统进行自动化管理的综合信息网，它使光纤通信从点到点传输的概念进入到网络化应用的阶段。在此基础上，为了减少传统的光纤通信系统配置复杂的缺点，光纤通信系统中开始引入智能化的控制平面技术，使得光纤通信系统也可以自动地根据用户的需求，动态和灵活地建立和拆除连接，即自动交换光网络(ASON)或智能光网络(ION)，这已成为现阶段光纤通信的研究热点。



光纤接入网作为通信网的一部分，通过先进的光纤传输，可以为用户提供各种业务。通过光纤到家、光纤到路边、光纤到大楼等手段，将光纤引入千家万户，保证用户的多媒体信息畅通地接入核心网络。光纤通信系统巨大的带宽资源和对高层协议的透明承载能力，使得它在接入环境中呈现明显的技术优点。

光纤的衰减和色散是限制系统性能最主要的因素。随着光纤放大器的使用，光纤的衰减已不再是增加系统容量、延长中继距离的主要制约因素。在大容量、高速率的信号传输时还需要考虑色散的影响。为解决这个问题，提出了许多色散补偿的办法。如采用色散补偿光纤、光均衡器、相位共轭器等技术。目前对于光纤的群速度色散（GVD）的补偿措施已经较为成熟并得到了推广，对于色散斜率、高阶色散和偏振模色散（PMD）的研究也取得了较大的进展，相关的补偿和管理技术正在迅速实用化。

采用复用技术是完成大容量和高速化的主要手段。光波分复用技术、频分复用技术、时分复用技术日趋成熟。光波分复用技术已得到了广泛地应用。用色散位移光纤（G.653 光纤）虽能解决 1550nm 波长色散对单信道高速率系统的限制，但不适宜使用在波分复用（WDM）系统中。为了解决此问题，又研制出了非零色散位移光纤（G.655 光纤），它具有色散系数小和非线性效应低的优点，可用于波分复用技术。此外，色散平坦光纤和全波光纤等新型光纤的出现使得光纤的可用波长段大大拓展。

先进的光器件是构成先进的光纤通信系统的基础。光纤通信所用的激光器、光放大器等有源器件，光连接器、光耦合器等无源器件的技术正日益发展并获得大量应用。目前，光纤通信中应用的器件正向高速率、高性能、多用途、组件化及单片集成化方向发展。

全光通信技术先进、性能卓越。传统的光/电/光中继器将会由对光信号直接放大的光放大器所代替；光孤子传输将光纤的非线性效应与色散效应有机结合，可实现长距离传输而无脉冲展宽；光交换技术的出现将实现光信号的直接交换。未来有可能实现从信息的产生、处理到传送等的真正意义上的全光通信。

## 1.2 光纤通信的优点和应用

### 1.2.1 光纤通信的优点

由于光纤通信是利用光导纤维传输光信号来实现通信的，因此比起其他通信方式有其明显的优越性。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其他传输媒质所不具有的优点。

#### 1. 传输容量大

光是频率极高的电磁波，传输中可以获得极高的信号频谱。在光纤中传输的激光属于近红外线范围，波长在  $0.75 \sim 2.5\mu\text{m}$ ，仅以其十分之一作为传输频带，就可传送约  $10^{10}$  路电话。因此光纤在单位面积上有极大的信号传输能力，即单位面积上的信息密度极高，传输容量极大。

光纤通信系统的传输容量取决于光纤特性、光源特性和调制特性。目前，光纤通信系统中使用的是  $\text{SiO}_2$  为主要材料的光纤。根据  $\text{SiO}_2$  光纤的损耗 - 波长特性曲线，光纤有着极宽的可用频带宽度。在光纤通信适用的  $\lambda = 1310\text{nm}$  波长段和  $\lambda = 1550\text{nm}$  波长段两个区域，共

有约 200nm 宽的低损耗区，理论上可提供近 30THz 的频带宽度。而目前实验室里利用波分复用技术 + 时分复用技术实现的最高容量为 10Tbit/s 级，因此光纤的频带利用率仍有很大的提高空间。

在一根光缆中可以容纳几百根乃至几千根光纤的带状光缆早已实现，这样即可使线路传输容量成百倍、千倍地增加。就单根光纤而言，采用波分复用技术或频分复用技术，减小光源的谱线宽度，采用外调制方式等都是增加光纤通信系统传输容量的有效办法。

**2. 传输损耗小，中继距离长**  
目前单模光纤在 1310nm 波长窗口衰减系数约为 0.35dB/km，1550nm 窗口衰减系数约为 0.2dB/km，而且在相当宽的频带内特性几乎一致，因此用光纤比用同轴电缆或波导管的中继距离长得多。工作波长为 1550nm 的色散位移单模光纤通信系统，若传输速率为 2.5Gbit/s 则中继距离可达 150km；若传输速率为 10Gbit/s，则中继距离可达 100km；若采用光纤放大器和色散补偿光纤等，中继距离还可增加。

**3. 泄漏小，保密性好**  
由于光纤传输的特殊机理，在光纤中传输的光向外泄漏的能量很微弱，难以被截取或窃听。因此与其他无线、有线通信方式相比有较好的保密性，信息在光纤中传输非常安全，单根光缆内部署多根光纤也不会引入串扰。

**4. 节省大量有色金属**  
制造通常的电缆需要消耗大量的铜和铅等有色金属。以四管中同轴电缆为例，1km 四管中同轴电缆约需 460kg 铜，而制造 1km 光纤，只需几十克石英。制造光纤的石英（主要成分为 SiO<sub>2</sub>）原材料丰富而便宜，几乎取之不竭。

**5. 抗电磁干扰性能好**  
光纤主要是由 SiO<sub>2</sub> 材料制成，它不易受外界各种电磁场的干扰。强电、雷击等也不会显著影响光纤的传输性能。甚至在核辐射等极端环境中，光纤通信仍能正常进行，这是通常的电缆通信所不能比拟的。因此，光纤通信在电力输配、电气化铁路、雷击多发地区、核试验等环境中应用更能体现其优越性。

### 6. 重量轻，可挠性好，敷设方便

在传输同一信息量时，光缆的重量比其他通信电缆重量要轻得多。每根光纤的直径很小，制成光缆后可充分利用地下管道。有二次套塑的光纤，即使以几厘米的曲率半径弯曲也不会断，施工时可以采用与电缆相同或类似的敷设技术进行敷设。通信设备的重量轻和体积小，对军事、航空航天等特殊的应用环境具有特别重要的意义。

总之，光纤通信不仅在技术上具有很大的优越性，在经济上也具有巨大的竞争能力，它在通信领域中将发挥越来越重要的作用。

## 1.2.2 光纤通信的应用

### 1. 光纤通信系统的分类

#### (1) 按传输信号的类型分类

1) 光纤模拟通信系统。这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。这是用来传输数字信号的系统。

#### (2) 按调制方式分类

1) 直接强度调制光纤通信系统。它用电信号直接对光源进行强度调制，在接收端用光检测器直接检测。

2) 外差光纤通信系统。在发送端电信号对光源发出的光载波进行调制（通常是外调制）后，经单模光纤传输到接收端，与接收机的本振振荡光波混频，经光检测器检测后获得信号光与本振光之差的中频信号，然后再解调出电信号。

(3) 按光纤的传输特性分类

1) 多模光纤通信系统。

2) 单模光纤通信系统。

(4) 按使用的光波长分类

1) 短波长光纤通信系统。工作波长为 850nm 的多模光纤系统。这类系统的中继距离较短，一般多用于计算机局域网和设备间互联等场合。

2) 长波长光纤通信系统。工作波长为 1310nm 和 1550nm。采用 1310nm 波长，可以用多模光纤也可以用单模光纤。采用 1550nm 波长，只能用单模光纤。这类系统的中继距离较长，适用于城域网和核心网等环境。

3) 超长波长光纤通信系统。采用卤化物等新材料光纤，工作波长大于 2000nm 时，衰减系数可为  $10^{-2} \sim 10^{-5}$  dB/km，因此可能实现 1000km 的无中继传输。

## 2. 光纤通信的应用

光纤可以传输数字信号，也可传输模拟信号。光纤在通信网、广播电视与计算机网，以及其他数据传输系统中都得到了广泛的应用。光纤通信的应用概括如下：

1) 通信网，主要用于遍及全球的电信网和 Internet 中作语音、数据通信。包括全球通信网（国家和国家间的光缆干线）、各国的公共电信网（如我国的国家一级干线、省级干线及县以下的支线和市话中继通信系统）、专用网（如电力、铁道、国防通信等的光缆系统）和特殊的通信网络（如石油、化工、煤矿等易燃易爆环境下使用的光缆通信系统）。

2) 计算机网络，如局域网、存储局域网（SAN）等网络中的交换机、路由器和服务器等之间的高速传输链路。

3) 有线电视网，如有线电视的干线和分配网、工业电视系统的监控和自动控制系统的数据传输等。

4) 综合业务的光纤接入网，可实现电话、数据、视频及多媒体业务的接入网络。

## 1.3 光纤传输系统的组成

### 1.3.1 光纤通信系统原理框图

光纤通信系统可以传送数字信号也可传送模拟信号。传送的信息有语音、图像、数据和多媒体业务。

实用的光纤通信系统通常采用数字编码、强度调制和直接检测等技术，这种系统的框图如图 1-1 所示。

图中所示的是一个方向的传输，反方向传输的结构是相同的。图中的电端机为数字复用设备，其作用是对来自信源的信号进行处理，例如模/数变换，多路复用（包括准同步和同



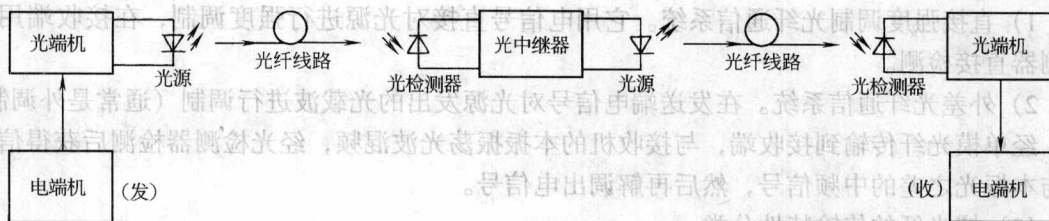


图 1-1 光纤通信系统原理框图 (单向传输)

步复用)等。发送端的光端机是将电信号转换成光信号的光发送机,核心是光源器件,通常采用的是半导体激光器(LD)或发光二极管(LED)。在发送端,光端机把电信号变为光信号并把已调制的光波信号送入光纤传送。为保证长距离传输,中间有光中继器将经光纤长距离传送后受到衰减和色散影响而产生畸变的光脉冲信号转换成电信号进行放大、整形、再生,再变成一定强度的光信号继续传输。接收端的光端机是将光信号转换成电信号的光接收机。光信号经过光检测器(光电二极管(PIN)或雪崩光电二极管(APD)),检波为电脉冲信号,经放大、均衡、判决,恢复为原来送入发送端时的电信号,再送至接收端的电端机。

### 1.3.2 光纤通信系统的构成

由图 1-1 可以看出,一个实用的光纤通信系统主要由数字复用设备、光发送机、光纤线路、光接收机、光中继器等组成。

#### 1. 光发送机

光发送机的作用是把输入的电信号转换成光信号并将光信号最大限度地注入光纤线路。光发送机由光源、驱动器和调制器组成,发送机的核心是光源。对光源的要求是输出功率足够大,调制速率高,光谱线宽度和光束发散角小,输出光功率和光波长要稳定,器件寿命长等。目前最广泛使用的光源有半导体激光器(或称激光二极管,LD)和半导体发光二极管(LED)。普通的激光器谱线宽度较宽,是多纵模激光器,在高速率调制下,激光器输出频谱较宽,从而限制了传输的码速和中继距离。目前在通信网络中大量应用的是分布反馈激光器(DFB-LD)和多量子阱激光器(MQW-LD)等高性能单纵模激光器。

光发送机把电信号转换成光信号的过程是通过电信号对光源进行调制而实现的。光调制有直接调制和间接调制(也称外调制)两种。直接调制是利用电信号注入半导体激光器或发光二极管从而获得相应的光信号。其输出功率的大小随信号电流的大小而变,这种方式较简单,容易实现,但调制速率受激光器特性所限制。外调制是把激光的产生和调制分开,是在激光形成后再加载调制信号,是用独立的调制器对激光器输出的激光进行调制。外调制方法在高速率光纤通信系统和相干光通信系统中应用较多。

#### 2. 光纤线路

光纤线路是光信号的传输媒质。把来自发送机的光信号以尽可能小的衰减和脉冲展宽传送到接收机。对光纤的要求是光纤的基本传输参数衰减和色散要尽可能小。光纤要有一定的机械特性和环境特性。工程中使用的是由许多根光纤绞合在一起组成的光缆。整个光纤线路由光纤、光纤接头、光纤连接器组成。



目前使用的光纤均为石英光纤，按照传输模式分为多模光纤和单模光纤。由于单模光纤的传输性能较多模光纤优越得多，因此目前包括骨干网络、城域网络和接入网络中都普遍采用单模光纤。

石英光纤的损耗 - 波长特性中有三个低损耗的波长区，即波长为 850nm、1310nm、1550nm。为此光纤通信系统的工作波长只能是选择在这三个波长窗口。激光器的发射波长、光检测器的响应波长都与其一致。SiO<sub>2</sub> 单模光纤在这三个低损耗波长区的衰减系数典型值分别小于 2dB/km、0.4dB/km 和 0.25dB/km。石英光纤在  $\lambda = 1310\text{nm}$  附近有一个零色散区，此处色散值可以做到最小。通过光纤的设计，可以使零色散波长移到 1550nm 处，做成可以在  $\lambda = 1550\text{nm}$  处实现损耗和色散都最小的色散位移光纤。为适合光纤通信系统中的波分复用技术的应用，又制成了非零色散位移光纤、色散平坦光纤等新型光纤，关于光纤的类型和参数等将在第 2 章中加以详细介绍。

### 3. 光接收机

光接收机的功能是把由发送机发送的，经光纤线路传输后输出的已产生畸变和衰减的微弱光信号转换为电信号，并经放大、再生恢复为原来的电信号。

光接收机由光检测器、放大器和相关电路组成。对光检测器的要求是响应度高、噪声低、响应速度快。目前广泛使用的光检测器有光电二极管 (PIN) 和雪崩光电二极管 (APD)。

光接收机把光信号转换为电信号的过程是通过光检测器实现的。光检测器检测的方式有直接检测和外差检测两种。直接检测是由光检测器直接把光信号转换为电信号。外差检测是在接收机中设置一个本地振荡器和一个混频器，使本地振荡光和光纤输出的光进行混频产生差拍而输出中频信号，再经光检测器把中频信号转换成电信号。在这种外差检测方式中，对本地激光器的要求很高，要求光源是频率非常稳定、谱线宽度很窄、相位和偏振方向可控制的单模激光器。其优点是接收灵敏度很高。目前实用的光纤通信系统中大多采用直接检测方式。虽然外调制-外差检测的方式技术复杂，但有着传输速率高、接收灵敏度高等优点，所以是一种很有应用前途的通信方式。

衡量接收机质量的主要指标是接收机灵敏度。它表示在一定的误码率条件下，接收机调整到最佳状态时接收微弱信号的能力。接收机的噪声是影响接收机灵敏度的主要因素。

### 4. 数字复用设备

光纤通信系统中的数字复用设备是将各种信号按照一定规则完成复接/分接的设备。数字信号的复用方式中，准同步数字体系 (PDH) 已经基本被同步数字体系 (SDH) 代替。准同步数字体系中，传输速率分别为基群 2.048Mbit/s，二次群 8.448Mbit/s，三次群 34.368Mbit/s，四次群 139.264Mbit/s，五次群 564.992Mbit/s。而同步数字体系中，传输速率 STM-1 为 155.520Mbit/s，STM-4 为 622.080Mbit/s，STM-16 为 2488.320Mbit/s 和 STM-64 为 9953.280Mbit/s 等。

### 5. 光中继器

目前光纤通信系统大多采用光中继器，它采用光-电-光的形式，将光信号首先变换为电信号，然后将恢复后的电信号再变为光信号，而不是直接把光放大，因此光中继器结构较为复杂，价格昂贵。随着光放大器的开发、成熟、使用，可进行光的直接放大，实现全光通信。