

陶作民 编  
崔繁荣

北京邮电学院出版社

# 光纤数字通信工程 应用手册

# 光纤数字通信工程 应用手册

陶作民 崔繁荣 编

北京邮电学院出版社

(京) 新登字162号

## 内 容 简 介

本应用手册共分10章,对光纤通信基本原理和光纤、光缆、光电器件、端机和系统作了简要说明,并以应用为主,对光纤数字通信工程的设计、施工和维护技术进行了具体介绍。本手册汇集了一些国内现行有关光纤通信的规程、规定、国标及CCITT建议分别安插在有关章节中,并收集了一些国内产品资料,以便查阅。对常用仪表则专辟一章介绍。

本手册在叙述基本原理时,力求概念简明扼要。对常用的计算公式,适当举以实例说明。在介绍施工、维护技术和有关元器件的使用方面,强调了应该注意的事项。

本手册除可作为从事光纤通信工程技术人员的工具书外,还可作为初学入门的教学参考用书。

### 光纤数字通信工程应用手册

编者 陶作民 崔繁荣

\*

北京邮电学院出版社出版发行

100088北京海淀区学院路42号

北京密云华都印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 1/16 印张14.25 字数358千字

1991年12月第一版 1992年11月第二次印刷

印数: 10001—20000册

ISBN 7-5635-0084-7/TN·27 定价: 11.20元

# 前 言

光纤通信以其独特的优越性，已成为当今世界通信发展方向，绝大部分传统的电气通信将由光纤通信所取代，现发达国家的长途通信已不再敷设同轴电缆。

在过去的十年里，我国的光纤通信发展很快，已有许多国产及引进的光纤通信系统投入使用，光纤通信的科研水平及生产能力都有很大的提高。“七五”期间经过联合攻关，我国已掌握了四次群光纤通信系统的全套技术，五次群光纤通信系统也即将进入实用化阶段，光电器件及新型光纤也都取得了可喜的成果。相应的光纤通信系统的设计、施工及维护技术已为较多的电信技术人员所掌握。光纤通信在其他行业的应用，如工业、交通、军事、航天等领域也有很大的发展。

今后十年是通信大发展的十年，我国的“八五”计划纲要中已将光纤通信列为通信发展的重点之一，可以预计在今后的十年里光纤通信将会比前十年以更高的速度发展。为了在职人员掌握这一新技术，中国通信学会与中央电视台将联合举办《光纤数字通信》电视讲座。考虑到实际工作人员除了要掌握这一新技术外，在工作中更多的是需要查阅一些标准、数据、规定等资料，而这些资料往往比较分散，不易立时找到。为此，我会特邀请武汉邮电科学研究院主任高工陶作民同志及中国通信建设武汉工程公司高工崔繁荣同志联合编写了这本手册。

本手册以实用为主，主要是汇集了一些国内现行的有关光纤通信的规程、规定、国标及CCITT建议等资料，对光纤通信的原理作了简要的说明，并对光纤数字通信工程的设计、施工及维护技术进行了具体介绍，对常用的仪表则专辟一章介绍。手册中还收集了一些国内产品资料，为查阅者提供一些方便。

本手册第一章至第四章、第六章和第七章由陶作民同志编写，其余部分由崔繁荣同志编写。全书由陶作民同志汇总和整理。承蒙北京邮电学院李国瑞教授在百忙中对全书进行了审阅，谨此致谢。

读者如发现手册中有遗漏或不妥之处，请告知我会，以便再版时修订。

湖北省通信学会

1991年9月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 光纤通信工程绪论</b> .....	( 1 )
§ 1—1 光纤通信发展史 .....	( 1 )
§ 1—2 光纤通信的优点 .....	( 1 )
§ 1—3 光纤通信的类型 .....	( 2 )
一、按传输信号分类 .....	( 2 )
二、按波长和光纤类型分类 .....	( 3 )
三、其它通信类型 .....	( 4 )
§ 1—4 发展方向和新技术 .....	( 5 )
<b>第二章 光源</b> .....	( 8 )
§ 2—1 光纤通信对光源的基本要求 .....	( 8 )
§ 2—2 半导体光源发光机理和类型 .....	( 8 )
§ 2—3 半导体激光器特性 .....	( 9 )
一、 $I-V$ 特性 .....	( 9 )
二、 $P-I$ 特性 .....	( 10 )
三、光谱特性 .....	( 11 )
四、温度特性 .....	( 12 )
§ 2—4 国产半导体激光器及简易检验 .....	( 13 )
一、短波长半导体激光器 .....	( 13 )
二、长波长激光器 .....	( 14 )
三、长波长激光器组件 .....	( 15 )
四、激光器的简易检验 .....	( 16 )
§ 2—5 发光二极管特性 .....	( 17 )
§ 2—6 国产发光二极管 .....	( 19 )
一、短波长发光二极管 (GaAlAs-LED) .....	( 19 )
二、长波长发光二极管 (InGaAsP-LED) .....	( 19 )
<b>第三章 光电检测器</b> .....	( 21 )
§ 3—1 光纤通信对光电检测器的要求 .....	( 21 )
§ 3—2 半导体光电检测器机理和类型 .....	( 21 )
一、光电二极管 .....	( 21 )
二、PIN光电二极管 .....	( 22 )
三、雪崩光电二极管 .....	( 22 )
§ 3—3 半导体光电检测器的特性 .....	( 23 )
一、PIN光电二极管特性 .....	( 23 )
二、雪崩光电二极管特性 .....	( 24 )
§ 3—4 国产光电检测器的技术指标及简易检验 .....	( 27 )
一、短波长检测器 .....	( 27 )

二、长波长检测器 .....	( 28 )
三、光电检测器的简易检验 .....	( 30 )
§ 3—5 半导体光电检测器的使用 .....	( 30 )
一、光电二极管的使用 .....	( 30 )
二、雪崩光电二极管的使用 .....	( 31 )
<b>第四章 光纤和光缆</b> .....	( 32 )
§ 4—1 光纤的构造及分类 .....	( 32 )
一、光纤的构造和传光原理 .....	( 32 )
二、光纤的分类 .....	( 33 )
§ 4—2 通信用光纤的规格和光纤型号的命名方法 .....	( 34 )
一、规格 .....	( 34 )
二、光纤型号的命名方法 .....	( 37 )
§ 4—3 光纤的传输特性 .....	( 38 )
一、光纤的衰减特性 .....	( 38 )
二、光纤的数值孔径 .....	( 39 )
三、光纤的传输模式 .....	( 40 )
四、光纤的色散和脉冲展宽 .....	( 41 )
五、光纤的带宽 .....	( 43 )
六、单模光纤的截止波长和模场直径 .....	( 45 )
§ 4—4 光纤主要参数测量 .....	( 47 )
一、几何尺寸及折射率分布测量 .....	( 48 )
二、数值孔径的测量 .....	( 49 )
三、光纤衰减测量 .....	( 50 )
四、光纤带宽的测量 .....	( 53 )
五、单模光纤模场直径的测量 .....	( 55 )
六、单模光纤截止波长和色散测量 .....	( 56 )
§ 4—5 光纤的寿命和可靠性 .....	( 58 )
一、光纤的温度特性 .....	( 58 )
二、光纤抗张强度和寿命 .....	( 59 )
§ 4—6 光缆结构及型号的命名方法 .....	( 60 )
一、光缆结构的特点和类型 .....	( 60 )
二、光缆结构举例 .....	( 61 )
三、光缆的外护套 .....	( 63 )
四、光缆型号的命名方法 .....	( 64 )
§ 4—7 国产光纤光缆 .....	( 65 )
§ 4—8 光纤连接器和光缆接续套管 .....	( 70 )
一、光纤连接器 .....	( 70 )
二、光缆接续套管(盒) .....	( 71 )
<b>第五章 电终端机</b> .....	( 73 )
§ 5—1 电终端机概述 .....	( 73 )

一、异步数字系列 .....	(73)
二、同步数字系列 .....	(73)
§ 5-2 PCM基群设备 .....	(75)
一、基群设备基本原理及参数 .....	(75)
二、PCM30/32终端机帧结构 .....	(76)
三、传统公共编译码基群设备 .....	(77)
四、PCM单路编译码器 .....	(80)
五、单路编译码基群设备 .....	(81)
六、PCM终端机产品系列举例 .....	(82)
§ 5-3 数字复用设备 .....	(84)
一、复用设备基本原理及参数 .....	(85)
二、复用设备帧结构 .....	(86)
三、复用设备方框图 .....	(89)
四、复用设备产品系列举例 .....	(91)
§ 5-4 数字设备传输线路码型 .....	(91)
§ 5-5 FDM与PCM方式的互接 .....	(93)
§ 5-6 数字分配架 .....	(94)
<b>第六章 光终端机和系统 .....</b>	<b>(96)</b>
§ 6-1 光终端机的作用及方框图 .....	(96)
一、光端机的作用 .....	(96)
二、数字光纤通信系统终端机方框图 .....	(96)
§ 6-2 光中继器作用及方框图 .....	(98)
一、光中继器的作用和构成 .....	(98)
二、光纤放大器 .....	(99)
§ 6-3 光终端机主要电路简介 .....	(100)
一、光发送机 .....	(100)
二、光接收机 .....	(102)
三、抖动和误码 .....	(105)
§ 6-4 线路码型和误码检测 .....	(106)
一、线路码型种类 .....	(106)
二、编译码电路简述 .....	(110)
三、误码检测 .....	(111)
§ 6-5 电路的监视与控制 .....	(112)
一、监控系统的监控内容和基本组成 .....	(112)
二、监控信息的传输方式 .....	(113)
§ 6-6 国产光端机和系统 .....	(117)
<b>第七章 光纤数字通信工程设计 .....</b>	<b>(120)</b>
§ 7-1 采用光纤数字通信的场合 .....	(120)
一、市内电话局间中继线 .....	(120)
二、长途通信网 .....	(120)

§ 7—2 系统的组成和技术指标 .....	(122)
一、光纤数字通信系统的构成和制式 .....	(122)
二、误码指标分配 .....	(124)
三、抖动指标 .....	(126)
四、系统可用性指标和分析 .....	(127)
§ 7—3 中继段长计算 .....	(128)
一、计算方法的分类 .....	(128)
二、中继段光功率主要指标 .....	(129)
三、衰减限制系统中继段长的计算 .....	(130)
四、带宽限制系统中继段长的计算 .....	(132)
§ 7—4 架空光缆线路及机房设计 .....	(134)
一、架空光缆系统应注意的问题 .....	(134)
二、光缆结构的选择 .....	(134)
三、机房设计 .....	(135)
§ 7—5 光纤通信工程设计程序和举例 .....	(136)
一、设计程序 .....	(136)
二、市话中继线设计举例 .....	(137)
三、长途干线设计举例 .....	(140)
<b>第八章 光纤数字通信工程施工 .....</b>	<b>(144)</b>
§ 8—1 光纤数字通信工程施工概述 .....	(144)
一、光缆施工的特点 .....	(144)
二、端机设备安装施工特点 .....	(145)
§ 8—2 光缆敷设前准备工作 .....	(145)
一、一般准备工作 .....	(145)
二、光缆单盘检验 .....	(145)
三、光缆路由复测 .....	(146)
四、光缆配盘 .....	(147)
§ 8—3 光缆敷设 .....	(148)
一、光缆敷设方式及牵引力的计算 .....	(148)
二、光缆敷设牵引机 .....	(149)
三、管道光缆敷设 .....	(150)
四、架空光缆敷设 .....	(150)
五、直埋光缆敷设 .....	(151)
六、水底光缆敷设 .....	(152)
§ 8—4 光纤接续与损耗测试 .....	(152)
一、光纤接续步骤和方法 .....	(152)
二、光纤接头损耗的机理和计算 .....	(153)
三、光纤接续损耗的监控和测量 .....	(155)
§ 8—5 光缆安装和全程测试 .....	(157)
一、光缆接头护套(盒)安装 .....	(157)



二、局(站)内光缆安装 .....	(158)
三、光中继段光纤衰减测试 .....	(158)
§ 8—6 端机设备的安装和测试项目 .....	(159)
一、安装机房铁架和机架 .....	(159)
二、布放编扎焊接局内电缆 .....	(159)
三、布线系统检查及通电试验 .....	(160)
四、光电设备本机测试 .....	(160)
五、数字段指示测试 .....	(161)
<b>第九章 光纤数字通信设备的维护 .....</b>	<b>(162)</b>
§ 9—1 光纤数字通信设备维护概述 .....	(162)
一、光缆线路维护特点 .....	(162)
二、机房设备维护特点 .....	(162)
三、光纤数字通信系统技术维护管理工作的基本任务 .....	(162)
§ 9—2 光缆线路维护 .....	(163)
一、光缆线路组成 .....	(163)
二、光缆线路维修工作 .....	(163)
三、光缆线路障碍查修 .....	(164)
四、光缆测试 .....	(165)
§ 9—3 光电端机维护 .....	(166)
一、光电端机维护组成 .....	(166)
二、光电端机障碍查修程序和处理 .....	(166)
三、光电端机维护主要仪表 .....	(171)
§ 9—4 端机设备定期测试 .....	(171)
一、PCM基群设备指标测试 .....	(171)
二、数字复用设备指标测试 .....	(176)
三、光端机(中继器)和数字段指标测试 .....	(180)
<b>第十章 光纤数字通信工程使用仪表 .....</b>	<b>(183)</b>
§ 10—1 使用仪表要求和类型 .....	(183)
一、对仪表要求 .....	(183)
二、仪表种类 .....	(183)
§ 10—2 光功率计 .....	(185)
一、光功率计方框图 .....	(185)
二、光功率计主要性能 .....	(187)
三、使用方法 .....	(188)
§ 10—3 光源 .....	(189)
一、光源方框图 .....	(189)
二、主要性能 .....	(189)
三、光源的使用 .....	(193)
§ 10—4 光时域反射仪 .....	(193)
一、光时域反射仪方框图 .....	(193)

二、光时域反射仪主要特点与性能 .....	(194)
三、光时域反射仪的使用 .....	(196)
§ 10—5 光纤熔接器 .....	(197)
一、多模光纤熔接器 .....	(197)
二、单模光纤熔接器 .....	(199)
§ 10—6 数字传输分析仪 .....	(200)
一、数字传输分析仪ME520B方框图 .....	(200)
二、数字传输分析仪ME520B主要特点 .....	(200)
三、数字传输分析仪ME520B主要技术性能 .....	(202)
四、数字传输分析仪的使用 .....	(204)
§ 10—7 话路特性测试仪 .....	(204)
一、话路特性测试仪方框图 .....	(205)
二、话路特性测试仪主要性能 .....	(205)
三、话路特性测试仪的使用 .....	(207)
<b>附 录</b> .....	(210)
一、假设参考数字通道 .....	(210)
二、网路的误码性能指标 .....	(210)
三、零次群复用设备 .....	(215)
<b>参考文献</b> .....	(216)

# 第一章 光纤通信工程绪论

## §1—1 光纤通信发展史

光纤通信是七十年代发展起来的一种新型通信方式。

所谓光纤通信，就是将要传的电报、电话、图像和数据信号先变成光信号，经由光纤进行传输或者在本地进行光交换。

光，实质上也是电磁波，只不过是它的频率很高而已，现在的光通信频率在近红外区，将来还要逐步发展到中红外和远红外区。

在1961年到1970年间研究的光通信，大多利用大气进行传输。经过实践证实，经大气光传输要受到天气的严重影响，气候变化能引起传输光束的抖动，通信质量恶化。尤其在大雾和雨雪天气，通信会因之中断，而难以实现“全天候”通信。另外，大气传输必须具备“视线所及”的地理条件。这些，使得大气光传输受到极大的限制。

1960年红宝石激光器的发明，为后来的光纤通信起了推动作用。尔后，相继又出现了气体激光器。尤其是1962年，半导体激光器的出现，成为光纤通信发展道路上的一块里程碑。这种器件体积小，效率高，调制方便，十分适于光纤通信。

1966年，当时在英国标准电信研究所的英籍华人高锟博士，提出用石英材料石英光纤做光波导的理论。他论证了当时石英光纤的损耗机理，是基于石英材料中的杂质吸收。按照他的理论，1970年，美国康宁玻璃公司，经提纯并研制出20dB/km的低损耗光纤。现在，在1.3 $\mu\text{m}$ 窗口处的光纤损耗达1dB/km以下，在1.55 $\mu\text{m}$ 窗口处的光纤损耗达0.2dB/km甚至可达0.15dB/km。

1976年，英国首先建立起光纤图像传输系统，用以传输电视。1977年美国在亚特兰大，日本在东生驹先后建立起数字光纤通信系统现场试验，用以传送电报、电话、图像及数据信号。自此以后，世界上相继建成数千个光纤通信系统，从现场试验走向全面商用化阶段。

光纤通信的发展过程可分为三个时期：1976年以前为技术准备阶段；1976~1982年为商用试验和形成产业阶段；1982年起为推广应用阶段。

## §1—2 光纤通信的优点

1. 通信容量大。理论上两根光纤可传送上百万个电话和上百套电视节目。目前已实验成可通三万路电话的系统（同轴电缆的通信容量最高只能传送10800个电话），而且极适于传输数字信号。

2. 中断距离长。中断距离可达100km以上，比同轴电缆大几十倍，见表1—1。

3. 抗干扰能力强。有利于送动态图像（如可视电话和电视节目），有利于靠近高压输电线和与电气化铁道平行敷设，而通信不受其干扰，有利于在工厂内部的自动控制和监视系统应用，有利于在多雷地区和飞机上应用，有利于在保密性强的军政单位使用。

表1-1 光纤通信与其它通信的比例

通信手段	最大通信容量 ( (话路数)	中继距离 (km)	耗铜量t/km
中同轴电缆	1800	6	8管为1.2
大同轴电缆	10800	1.5	8管为4.0
微波中继通信	3600	40	
光纤通信(140Mb/s)	1920	50	
光纤通信(565Mb/s)	7680	40(1.3 $\mu$ m) 65(1.5 $\mu$ m)	
光纤通信(1.6Gb/s)	2800	40	

注：(1) 同轴电缆和光纤通信的最大通路数是指两管（或根）构成双向回路的话路数。

(2) 1.3 $\mu$ m和1.5 $\mu$ m指工作波长。

4. 节省有色金属和能源。光纤采用石英材料，由光纤构成光缆可以不用有色金属铜和铝，而同轴电缆和一般电缆要以铜为主要材料(用量见表1-1)。目前，世界上铜的资源越来越少。制造10000km光纤比10000km单管同轴铜线节约能源63亿卡，折合标准煤为900吨。

5. 光缆重量轻、体积小。相同容量话路光缆，要比电缆轻90%~95%（光缆的重仅为电缆的1/20~1/10）。直径不到电缆的1/5。故运输和敷设都比铜线电缆方便，并利于在军用战斗机上作信号控制用。

6. 经济效益好。由于其通信容量大，中继距离长，节省有色金属和敷设方便等优点，因此，经济效益十分明显。在34Mb/s以上光纤通信系统的价格比同轴电缆便宜30%以上。

### §1-3 光纤通信的类型

光纤通信系统是以光波为载波，光纤为传输介质的通信系统，见图1-1。它主要由光发送、光传输和接收三部分组成，加上适当的接口设备，就可以作一个单独的“光单元”插入现有的数字和模拟通信系统、有线和无线通信系统之中。



图1-1 光纤通信系统

光纤通信系统可以根据系统所使用的传输信号形式、传输光的波长和光纤类型、光接收和发送方式进行不同的分类。

#### 一、按传输信号分类

按传输信号可以分为模拟系统和数字系统两类。

##### 1. 数字光纤通信系统

这是目前光纤通信主要的通信方式。图1-1中的电信号输入是采用脉冲编码（PCM）信

号。数字通信的优点是，抗干扰性强，使用再生技术时噪声积累少，易于集成以减少设备的体积和功耗，转接交换方便，利于与计算机结合等。数字通信的缺点是所占的频带宽，而光纤的带宽比金属传输线要宽许多，弥补了数字通信所占频带宽的缺点。光纤通信在接收和发送时，在光电变换过程中所产生的散粒效应噪声和非线性失真较大。但若采用数字通信，中继器采用判决再生技术，则噪声积累少。因此，光纤通信采用数字传输成了最有利的技术。目前在人类社会进入信息社会的时代，各国在公用通信网中的长途干线和市内局间中继线路均纷纷采用数字光纤通信系统作主要方式，以便实现传输网的数字化（IDN）。

## 2. 模拟光纤通信系统

图1—1所示的光纤通信系统，若输入电信号不采用脉冲编码信号的通信系统即为模拟光纤通信系统。这种系统的缺点是由于光电变换时噪声较大。在长距离传输时，采用中间增音站将使噪声积累，故只能应用在短距离传输线路上。在公用通信网中的用户网中，可用这种方式传输宽带视频信号。

模拟光纤通信最主要的优点，是不需要数字系统中的模—数和数—模转换，故比较经济。而且一个电视信号如用数字通信方式，且不用频带压缩，140Mb/s的系统只能通一个电视。在目前的技术的情况下，为了在用户网传送多路宽带业务（如CATV），采用频率调制频分复用的模拟光纤通信方式。图1—2为西德在BIGFON工程所采用的频率分复用模拟光纤通信系统。

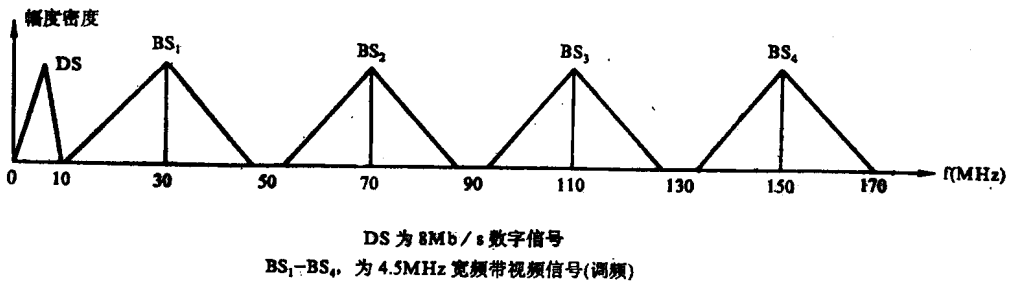


图1—2 频分复用模拟光纤通信方式

如果只传输一个基带信号，则将此信号直接送至光发送机进行光强度调制即可，但传输距离只可能几km。如果在希望较长距离上传输，则要先采取脉冲频率调制，然后再送到光发送机进行光强调制。由于采用FPM调制后，改善了传输信噪比，故中继距离可达20km以上，而且可以加装中间再生中继器。其传输总长度可达50~100km。

## 二、按波长和光纤类型分类

按波长及光纤类型可分为四类，这种分类代表了光纤技术的发展过程。当然，光纤技术的发展过程，也是光源和光电探测器相应发展过程，同时也是与高速率低功耗的集成电路的不断研制成功密切相关。

### 1. 短波长（0.85μm左右）多模光纤系统

其通信容量一般为480路以下（速率在34Mb/s以下）。其中继段长度为10km以内，其发

送机光源为GaAlAs半导体激光器或发光二极管。其接收机的光电探测器为Si-PIN光电二极管或Si-APD雪崩管。

## 2. 长波长 (1.3 $\mu\text{m}$ ) 多模光纤系统

其通信速率一般为34Mb/s~140Mb/s, 1983年以前英国和美国所建长途干线大多属这一类。其中继距离为25km或20km以内。其所用光源为InGaAsP半导体多模激光器或发光二极管。其光电探测器为Ge-APD或InGaAs-PIN二极管和InGaAs-APD, 但后者是近年才成熟。

## 3. 长波长 (1.3 $\mu\text{m}$ ) 单模光纤系统

其通信速率一般为140~565Mb/s, 自1983年起美日英等国兴建的长途干线均属这一类。其中继距离可达30~50km(140Mb/s)。其光源为InGaAsP单横模激光器(隐埋条件), 这种激光器在直流工作时是单纵模, 但在高速调制时为多模。其光电探测器与第二类相同。

## 4. 长波长 (1.55 $\mu\text{m}$ ) 单模光纤系统

其通信速率一般为565mb/s以上。由于调制速率高会产生模分配噪声限制了大容量长中继距离的传输, 因此要采用零色散位移光纤和动态单纵模激光器。

# 三、其它通信类型

## 1. 相干光纤通信系统

目前广泛使用的光纤通信都属于直接强度调制和直接检波系统。其光电检测对光载波频率、相位和偏振变化均反应不灵敏, 其输出信号仅与光载波的瞬时强度成正比, 因而类似于马可尼时代的无线电通信系统。

相干光通信是相干性好的光载波, 通过电信号调制经光纤送到接收端, 接收的光波信号与接收机内部产生的本机振荡光波在满足偏振匹配的条件下混频, 所产生的中频电流大小与光载波的强度、相位、频率和偏振状态有关。因而可实现幅移键控调制(ASK)、频移键控调制(FSK)、相移键控调制(PSK)下的外差检波或零差检波。这种系统的主要优点有三: (1) 提高了接收灵敏度约10~25dB(与传统系统相比), 如果光纤的衰减为0.2dB/km, 灵敏度可提高20dB, 相当中继距离强加100km; (2) 通信速率少受啁啾声等因素的影响, 其速率可达Gb/s级; (3) 可进行高密度波分复用。

相干通信的技术难度大, 主要有三个方面: (1) 接收的光信号和本机振荡光波偏振匹配要好; (2) 半导体激光器强度稳定性要高, 一般要求频率偏移在10MHz以下; (3) 激光器的谱线宽度要窄。由于近年来半导体激光器有较大突破, 上述(2)(3)两项已能满足, 第(1)项采用接收端设偏振控制器或分集接收也已能够满足, 但目前的系统价格昂贵, 故尚未能推广应用。

## 2. 波分复用系统

在一根光纤中, 同时传输两个或多个不同波长的光载波信号的光纤通信称为波分复用系

统。目前，许多国家已应用这种技术。它在长途光纤通信与用户网光纤通信两个领域的应用都有广阔的前景。

实现波分复用(WDM)的关键器件是分波和合波器(复用/解复用器)。原理上分波器和合波器是相同的。对分波器和合波器的主要要求是插入损耗小、串光小或波长间隔小。传统的分波、合波器有①镜型，②光栅型，③电介质多层干涉滤光片型。

过去多将四波长复用系统用在用户网方面，如将0.8, 0.89, 1.2和1.3 $\mu\text{m}$ 分别传送6.3Mb/s的数据窄带信号和4MHz会议电视信号。后来向长波长高速和使用组合管件发展，如将1.285, 1.355, 1.480, 1.560 $\mu\text{m}$ 复用分别传565Mb/s和140Mb/s用于长途网。

## §1—4 发展方向和新技术

光纤通信由于具有许多优点和巨大生命力，其发展之快、推广应用之速为通信史上所罕见。目前，在经济发达的国家，已在长途通信和市内局间中继方面大量采用光纤通信，跨越大西洋和太平洋的海底光缆也在建设。近年来光纤通信发展的目标有两个：

(1) 市内用户网实现光纤通信，即由点到点的光纤通信发展到全程全网使用光纤，换句话说即光纤进入到家庭；

(2) 实现宽带综合业务数字网(B-ISDN)。

要实现上述宏伟目标，关键在于降低每一用户承担的成本，所有光纤、光器件、光端机以至连接器成本都须降低。其中，终端设备的成本关键在光电子集成(OEIC)化，即使光器件和电子器件进行单片集成回路，以使终端设备更小型、更可靠和更价廉。

为了实现上述宏伟目标，进一步挖掘光纤通信的潜力，下述三方面是近年来科研和试验的热门：①超高速大容量、超长中继距的试验；②高密度频分复用系统的试验；③光交换系统的研制。其中，最后一种目前进展不大。现将此三方面及其它有关新技术略述如下。

### 1. 超高速大容量、超长中继距离系统

超大容量和长中继距离是有矛盾的。因容量越大时，其中继距离将减小，故通常用通信速率与中继距离的乘积来衡量其水平。例如目前已实用化的通信系统，565Mb/s系统的中继距离为65km，1.6Gb/s系统的中继距离为40km，则其乘积分别为：

$$565\text{Mb/s} \cdot 65\text{km} = 36.7\text{Gb/s} \cdot \text{km}$$

$$1.6\text{Gb/s} \cdot 40\text{km} = 64\text{Gb/s} \cdot \text{km}$$

目前研究试验目标是使通信速率更高(容量更大)和使中继距离更大，达到使两者的乘积更大，相干通信是有利于提高码速和延长中继距离的。

在提高码速方面，主要的限制是光电器件的性能，如激光器在直接调制时在超高速率出现啾啾声，检测器的噪声和响应速度也限制码速。电子器件也是限制码速的颈口。据1990年国际光纤通信会议(OFC'90)资料表明，有些试验系统的速率高达10Gb/s以上，其中既有相干通信，也有直接调制——直接检测方式。如美国曾试验20Gb/s的直接调制方式，被认为是可行的。

在延长中继距离方面的限制，主要有光纤传光衰减、色散和接收机灵敏度等。前两年利用1.55 $\mu\text{m}$ 零色散位移光纤，使140Mb/s系统无中继传输了220km。采用相干通信系统曾用2Gb/s速率试通204km。11Gb/s直接调制系统也进行了70km的试验。自光放大器出现

后,尤其是1989年饵掺杂光纤放大器(EDFA)试验成功,在延长中继距离起到了如虎添翼的作用,克服了过去要提高接收灵敏度的困难。如日本采用直接调制方式将10Gb/s的信号进行375km的无中继传输试验(采用光纤放大器后),使频率与距离的乘积达到:

$$10\text{Gb/s}\cdot 375\text{km} = 3750\text{Gb/s}\cdot\text{km}$$

又如日本在1990年曾用2.5Gb/s的相干通信系统,采用26个光纤放大器实现了2223km的无中断传输试验。当然这些超高速、长距离的系统如何实用化还有一段相当长的路程,尚待不断研究和试验

## 2. 光孤子传输的试验

在增大传输中继距离方面,光纤的传光损耗和光接收机灵敏度不是不唯一的障碍,而光纤的色散使脉冲展宽也是一个重要因素。因此,有些科研工作者在进行光纤孤子脉冲传输试验,其原理是利用光纤在大功率注入时的非线性作用与光纤中的色散作用达到平衡,使光脉冲在传输中无展宽。具体说就是在大功率光源注入光纤的非线性作用下,产生一种“自相位调制”,使脉冲波前沿速度变慢,而后沿速度变快,从而使脉冲不发生展宽。相同于流水中一个不变形的旋涡孤子,故称孤子传输。

自从光纤放大器在补偿光纤损耗延长通信距离方面起到巨大作用以后,有人认为孤子传输的研究也就更应加速赶上,但目前困难还不少。

## 3. 高密度频分复用系统

前节已指出了波分复用可增加通信容量,但其波长间隔比较大,故复用量较小,而高密度频分复用实质上也是波分复用,不过其波长间隔比较小,而且是用频率来衡量,故称为频分复用。波分复用与频分复用并无严格定义来区分。有人认为,凡是各路光载波间隔大于1nm的称波分复用,而间隔远小于1nm的则称为频分复用。

利用相干通信系统可实现高密度频分复用,而且接收端可挑选任意信道的光载波,以便在市内用户网上应用。目前,国外已有几个单位研制出在1.5 $\mu\text{m}$ 波段(如1.54~1.538 $\mu\text{m}$ )实现16信道复用的样机。这种样机的发送端有16个DFB单频激光器,其信道频率间隔为8.5或10GHz(即每两相邻光载波的中心频率相差8.5或10GHz)。该16个信道用星形耦合器注入到一根光纤中。其接收机的本振激光器的中心频率是可调的,当调到某一光载波频率附近并获得2GHz的中频时,即可接收到这一信道。据估计这样相干外差检测的复用方式将来可做到100个信道。

在常规直接检测的光纤通信中实现高密度复用也是人们所追求的目标。因目前相干光外差接收设备的成本高,故还不易推广应用。目前,进行此项试验的方法有许多种,如在接收端利用无源可调滤波器,能实现20~40个信道的复用,又如利用铌酸锂波导集中器和反射光栅,能在1.5 $\mu\text{m}$ 波段附近实现16信道复用,也有利用布利渊受激光纤放大器来实现在接收端可调到任一个信道的复用。

## 4. 超长波长、超低损耗光纤

要延长通信的中继距离,前面已经指出光纤衰减特性是主要障碍之一。目前,石英材料制成的光纤在1.55 $\mu\text{m}$ 波长处衰减常数已接近理论最低值。如果再将工作波长加大,由于要受到红外吸收的影响,衰减常数却又会增大。因此科技工作者多年来在寻求超长波长(2 $\mu\text{m}$



以上)窗口的超低损耗光纤。这种光纤可用于红外线光谱区。这种红外光纤的材料有两大类,即非石英的玻璃材料和结晶材料。在理论上,这两种材料制作的光纤的传输损耗可分别达到 $1 \times 10^{-3}$ dB/km和 $1 \times 10^{-4}$ dB/km。从研制情况来看,以氟玻璃ZrF<sub>4</sub>进展较好,在2.3 $\mu$ m波长的损耗已达0.7dB/km,但这两年无大进展。

## 5. 光交换技术

目前,交换机都是作用电来完成交换信道。如果实现光交换便可在光通信中省掉光—电转换这一环节。目前研制中的光交换机主要有如下三种类型:

(1)空间分割型。它是用矩阵开关来完成,所用光器件又有电—光型、声—光型、磁—光型、液晶开关型等。

(2)波长分割型。它是利用波长变换元件、波长滤光片等来实现。

(3)时间分割型。它是利用光存储器(如光纤延迟线、光双稳态器件等)来实现。但是,这些类型的光交换技术的研究工作,目前都进展不大。

总的说来,光纤通信的潜在容量和可用性还没有完全发挥。还有些新技术尚待突破,有些领域尚待探索开发。在加速推广应用方面,实现光电集成和进一步降低成本是一个亟待解决的重要课题。