

638

TN929.11-43
T18

光纤通信系统

主编 谭扬林
编委 周 敢 杨用红



A0935166

湖南大学出版社
2000年·长沙

内 容 提 要

本书主要介绍了光纤通信系统的组成及工作原理、光调制与解调、导光器件、光端机、光中继器、光器件及系统的测量技术等，并配有复习思考题。

本书可作为高等理工院校专、本科教材，适合于无线电技术专业、信息工程专业、电子工程专业、通信工程专业、图像传输与处理专业的学生使用，也可作为从事通信工程业务工作的广大科技人员的参考书及继续教育工程的教材。

光纤通信系统

Guangxian Tongxin Xitong

主编 谭扬林

-
- 责任编辑 刘其斌
 出版发行 湖南大学出版社
社址 长沙市岳麓山 邮码 410082
电话 0731-8821691 0731-8821315
 经 销 湖南省新华书店
 印 装 国防科学技术大学印刷厂
-

- 开本 787×1092 16开 印张 12.75 字数 326千
 版次 2000年5月第1版 2000年5月第1次印刷
 印数 1—4 000册
 书号 ISBN 7-81053-263-4/TN·3
 定价 18.00元
-

(湖南大学版图书凡有印装差错，请向我社调换)

前 言

光纤通信是一门新兴学科，发展速度十分惊人，它具有频带宽、容量大、中继距离长、抗干扰性好、保密性好、成本低、传输质量高等许多优点。光纤通信以它独特的优点被认为是通信史上一次革命性的变革，光缆通信网将在通信网中代替现用的电缆通信网。在目前方兴未艾的“信息高速公路”建设中，光缆通信网也将发挥新的主导作用。基于上述情况，为培养面向 21 世纪的高科技人材，在高等院校有关专业早已开设了这门课程。

作者根据多年来的教学经验，参考近年来光纤通信产业实际，特编写本书。

本书共有六章，较为详细地讨论了光纤通信系统方面的有关内容，包括光纤通信系统的组成及工作原理、光调制与解调、导光器件、光端机、光中继器及光器件测量技术等。通过对本书的学习，使学生能够较好地掌握光纤通信的基本原理、系统的基本框架及光纤通信的最新发展动态，从而对光纤通信系统有一个全面的了解。

本书可作为高等理工院校专、本科生教材，适合于无线电技术专业、信息工程专业、电子工程专业、通信工程专业、图像传输与处理专业的学生使用，也可作为从事通信工程业务工作的广大科技人员的参考书及继续教育工程的教材。

本书由谭扬林主编，谭扬林负责全书的组织、内容规划、修改与定稿工作。本书的第 1, 2, 3 章由谭扬林编写；第 4, 5 章由周敢编写；第 6 章由杨用红编写。在本书编写过程中，得到了湖南大学计算机与通信工程学院的大力支持与热情鼓励；得到了海南大学计算机与通信工程学院丁钟琦教授的大力支持与热情帮助；得到了谭健研究员的大力帮助，得到了杨婷、肖玲同志的大力帮助。本书参考了国内外出版的有关光纤通信方面的许多专家的论文与专著，在此一并表示衷心的感谢！

本书由刘力教授担任主审。在编审过程中，刘力教授对本书的修改提出了许多宝贵意见，在此表示真诚的感谢！

由于作者水平有限，书中错误和疏漏难免，敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 12 月于长沙

第一章 概 论

§ 1-1 什么是光纤通信

一、什么是光纤通信

光纤通信技术是20世纪70年代初期兴起的一门高新技术。光纤通信一经问世,犹如异军突起,以其技术上先进性和巨大的经济效益,对传统的通信传输手段提出了强劲的挑战,显示了极强的生命力。现在,光纤通信的应用范围,除邮电公用通信网外,在CCTV和CATV系统,数据通信系统,工交监控系统,电力通信,铁路通信,军用通信,油田矿井,仪器仪表,遥感遥测,飞机舰艇等方面都得到了极其广泛的应用。许多新的应用领域还在不断开拓之中。

1. 什么是光纤通信

光纤通信是利用半导体激光器(LD),或发光二极管(LED)作为光源器件,把电信号转换成光信号,耦合到石英光纤中进行传输,在接收端使用半导体检测器件(检波器),如雪崩光电二极管(APD),或光电二极管(PIN)等,将光信号再还原为电信号的一种通信方式。

2. 实现光纤通信的关键

- (1) 低损耗带宽的光纤;
- (2) 高可靠性、长寿命的光源及高响应的光检测器件;
- (3) 光测量以及光纤连接技术。

3. 分类

光纤是用石英材料制成的直径约0.1 mm的玻璃纤维。但它能把特定波长的光传得很远而损耗极小。

光纤按不同的划分方法,可分成若干种类,如表1-1所示。

表 1-1 光纤种类一览表

划分方法	类 型
波 长	0.85 μm 1.3 μm 1.55 μm
传输模式	单模 多模(多模按折射率分布又分阶跃型和渐变型)
材料	石英系;石英芯、塑包层;非石英系(氟化物,卤化物等);塑料等

从传输损耗来看,石英系玻璃光纤相继发现0.85 μm ,1.3 μm 和1.55 μm 三个低损耗窗口。其中损耗0.85 μm 处最大,1.3 μm 处居中,1.55 μm 处最低,目前1.55 μm 光纤最低损耗为0.14 dB/km。尽管1.55 μm 窗口损耗最低,但由于这一波段的光纤色散比1.3 μm 波段的色散大(1.3 μm 波段的色散近似为零),加上工艺制造的问题(比如单模光纤芯径比多模光纤细,制造容差小,要求精细的制造工艺等),通信用石英系光纤的工作波长是从短波长逐渐向长波长过渡,由多模光纤发展到单模光纤的。石英系光纤的基本特性如表1-2所示。

表 1-2

石英系光纤的基本特性

光纤类型	波长 (μm)	损耗 (dB/km)	带宽 (MHz·km)	色散 (ps/km·nm)
多模	0.85	2.5~3.0	几百~上千,几千	
	1.3	0.35~1.0		
单模	1.3	0.27~1.0	很大	<3
	1.55	0.14~0.20	很大	15~20

为了充分利用 1.55 μm 波段的低损耗窗口,现已研制出零色散位移光纤。使零色散点从 1.3 μm 处移到 1.55 μm 处。使 1.55 μm 波段既有很低损耗,又具有零色散的特点。

正在研制的还有一种宽频谱平坦光纤,使 1.3~1.6 μm 整个低损耗波长区色散变低。这对于高速率的频分复用系统具有重大的意义。

以激光器为代表的光电器件是实现光纤通信的另一关键。光源和光检测器件基本按光纤的发展顺序而发展的。即 0.85 μm 多模→1.3 μm 多模→1.3 μm 单模→1.5 μm 单模。

0.85 μm 短波长光纤通信系统所用的光源,是由镓铝砷材料制成的发光二极管和半导体激光器(即 GaAlAs-LED 和 GaAlAs-LD)。检波器是由硅材料制成的光电二极管和雪崩光电二极管(即 Si-PIN 和 Si-APD)。1.3 μm 长波长光纤通信系统的光源,是用铟镓砷磷材料制成的发光二极管和半导体激光器(即 InGaAsP-LED 和 InGaAsP-LD)。检波器是用锗材料制成的雪崩光电二极管(Ge-APD)和用铟镓砷磷材料制成的光电二极管(InGaAsP-PIN)。1.55 μm 长波长光纤通信系统的光源,是用铟镓砷磷材料制成的单纵模激光器(InGaAsP-SLM-LD),检波器是各种不同结构的铟镓砷磷材料制成的 APD。

目前,0.85 μm 短波长和 1.3 μm 长波长的光源和检测器件,国内已大批量生产,提供使用。

4. 光纤通信系统对光源的基本要求

- (1) 谱线窄,光功率大,光束发射角度小,体积小;
- (2) 性能稳定,特别要求温度特性好。寿命长;
- (3) 调制简单方便,速率高。

国产 InGaAsP 激光器技术指标如表 1-3 所示。

表 1-3 国产 InGaAsP 激光器的技术指标

指标名称	代表符号	数值
输出光功率(尾纤输出)	P	2 mW
阈值电流	I_{th}	30 mA
正向压降	V_p	1.5 V
反向耐压	V_r	>4 V
激射波长	λ	1.3 μm
谱线宽度	W	<1 nm
响应时间	t_r	<1 ns
寿命	MTBF	>10 ⁵ h(25 °C)

5. 光纤通信系统对光检测器件的基本要求

光电检测器件的作用是把接收到的光信号变成电信号。光纤通信系统对光电检测器件的基本要求是:

- (1) 对光信号的工作波长有高的响应度；
- (2) 低噪声、高速度,工作电流小,工作电压低；
- (3) 有良好的温度特性和工作稳定性。

国产 InGaAs-PIN 的技术指标如表 1-4 所示。

表 1-4 国产 InGaAs 光电二极管的技术指标

指标名称	代表符号	数值
响应波长	λ	1.3 μm
响应度	R	0.6 A/W
暗电流	I_d	5 nA
上升时间	t_r	0.8 ns
电容	C	1 pF
光敏面直径	\varnothing	75 μm
工作电压	V	-5 V
工作温度	T	-20 C ~ +50 C

二、光纤通信系统的基本结构

1. 结构

光纤通信系统的基本结构如图 1-1 所示。图中仅表示一个方向的传输系统,反方向的传输,结构亦然。

由图 1-1 可知,光纤通信系统主要是由光发送设备、光纤、光接收设备组成。光纤通信系统根据工作波长(0.85 μm , 1.3 μm , 1.55 μm),传输信号形式(模拟、数字),光纤结构(多模、单模)等,构成不同形式的光纤传输系统。

2. 作用

光发送设备将电信号转换成光信号,是通过调制发光器件来实现的。而目前的调制方式都是使光的强度(光功率)发生变化的强度调制方式。

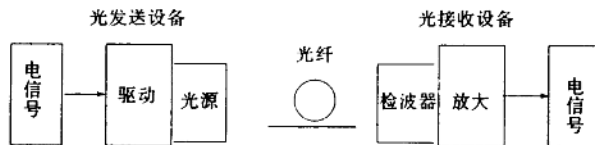


图 1-1 光纤通信系统的基本结构

光接收设备是将光信号转换成电信号,这是使用光电检测器件来完成的。而目前的光电转换方式是采取直接检波的方式——光信号直接转换为电信号。

光纤通信中的模拟信号或数字信号,是指把信息转换成电信号时所采取的调制方式。用这种经过调制的电信号再去改变光的强度以获得光信号。因此,如果电信号连续变化(模拟调制),光信号的强度也连续变化。如果电信号是脉冲信号(数字调制),相应的光信号的强度也以脉冲形式变化(有光无光)。但最终光信号还是强度调制。

3. 复接

把信息转换成电信号所采取的数字调制方式,首先是把信息(例如电话)的模拟信号数字化。常用的办法是脉冲编码调制技术(PCM)。每路数字电话码速为 64 kb/s。再采用时分多路复用的技术(TDM),利用复接器把若干路数字电话复接成“群”。形成群的数字信号送入光发

送设备转换成光信号沿光纤传输。在接收端,经过光-电转换,数字群再由分接器分成若干路。根据传输数字信号的容量,利用逐级复接和分接的办法,构成电信号数字化的复接体系。

目前,世界各国普遍采用的数字复接系统,大体分为二种制式。一种为北美、日本体制,(24路数字电话复接成一次群),另一种为欧洲、中国体制(30路数字电话复接成一次群)。这两种数字体制都属异步复接,对联网不利。表 1-5 给出这两种体制的差别。

表 1-5 数字复接系统的两种制式

系统分类	容量与速率		一次群		二次群		三次半群		四次群		五次群	
	速率 Mb/s	容量 CH	速率 Mb/s	容量 CH	速率 Mb/s	容量 CH	速率 Mb/s	容量 CH	速率 Mb/s	容量 CH	速率 Mb/s	容量 CH
北美	1.5	24	6.3	96	45	672	90	1344	274	4032		
日本	1.5	24	6.3	96	32	480	/	/	100	1440	400	5760
欧洲、中国	2	30	8	120	34	480	/	/	140	1920	565	7680

目前,长途通信网越来越多地采用数字通信。传输线路广泛使用光纤。CCITT(国际电报电话咨询委员会)已建议构成同步光纤网。倾向于使用高速码,节约复接次数。譬如,考虑从一次群 2 Mb/s 以上就是 STM-1 (155.52 Mb/s),再增加则是 STM-4(622 Mb/s)及 STM-16) 2.4 Gb/s)。省去原来的二、三次群,减少了复接和分接的硬件,提高了系统的可靠性。

目前我国采用的数字光纤通信系统的基本结构如图 1-2 所示(以二次群数字复接设备为例,高次群数字光纤通信系统的基本结构依次类推)。

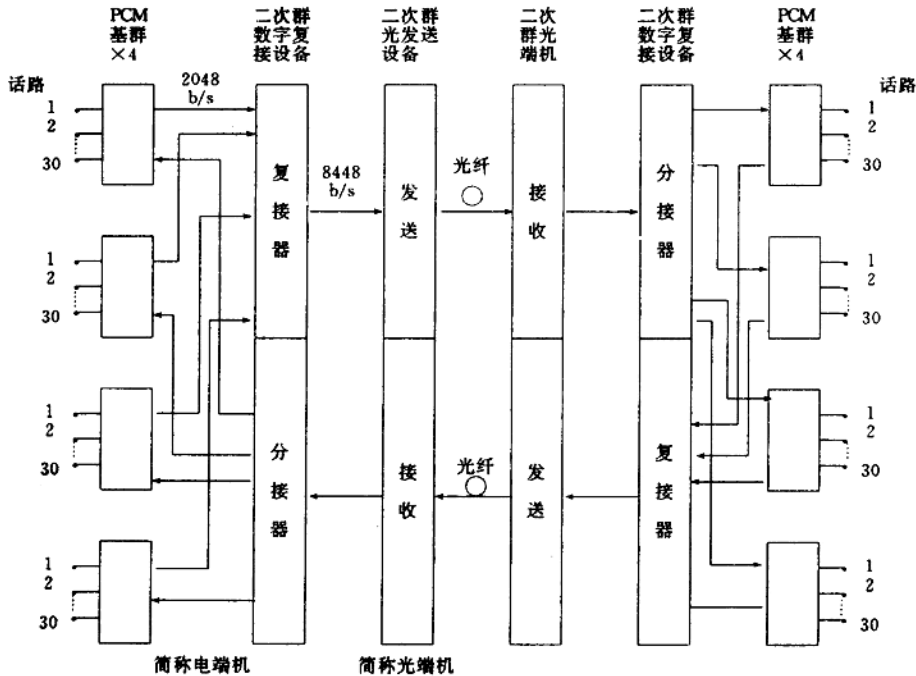


图 1-2 二次群数字光纤通信系统基本结构

§ 1-2 光纤通信的优势

一、光纤通信技术的优点

光纤通信之所以发展迅猛,这是光纤通信技术所具有的巨大技术优势和潜力,以及其巨大的经济效益和社会效益分不开的。

光纤通信最直接、最基本的优点可以从经济和技术两个方面看。

1. 经济优势

(1) 频率资源丰富,通信容量极大

多模光纤的带宽最高可达 7 GHz,远大于同轴电缆。单模光纤的可用带宽高达 20 THz。一对单模光纤的潜在容量可达上亿路电话,几乎是用之不尽。光纤通信的容量主要受到端机速率的限制。现在世界上最高速率的商用系统为 2.4 Gb/s(30720 路)。目前最高已达 10 Gb/s。

(2) 无中继通信距离长

以 140 Mb/s(1920 路)1.3 μm 单模光纤通信系统为例,在光纤损耗为 0.4 dB/km 时,其中继距离可达 60 km。而 300 路、960 路、1800 路同轴电缆通信系统,中继距离只有 4~8 km。微波系统中继距离为 50 km。今后若采用 1.55 μm 波长光纤传输系统时,中继距离可达 100 km。

由于中继距离长,在长途干线通信中,中继器的数量相应减少,这就大大降低了成本,提高了可靠性。也减少了日常维护的工作量及维护费用。

在市内局间通信中可以做到局间无中继传输。根据对我国目前城市的抽样调查,市话局间中继线长度小于 15 km 的占 92.9%。即使对电力部门最近建设的 $22 \times 10^4 \text{ V}$ 和 $50 \times 10^4 \text{ V}$ 变电站而言,出于安全考虑,大多设在离城 30~50 km 的郊区,显然这也是在光纤通信可以实现无中继传输的距离之内。

(3) 节约铜(铝)和铅

我国乃至世界铜资源缺乏。1 km 长的八管中同轴电缆要耗铜 1.2 t。利用石英玻璃纤维代替载体实现通信,可以节约大量的铜(铝)和铅。

(4) 抗干扰能力强、保密性能好

光纤不受电磁干扰,具有抗核辐射的能力。保密性能好。光缆直接埋在电气化铁道的路基上,或与高压线同杆架设,甚至直接制作在架空地线中(OPGW),都不会受到干扰。也不用担心电网故障时地电位升高而带来的一系列问题。因此在电力部门、铁路部门、军事部门得到广泛应用。

(5) 光缆耐腐蚀、重量轻、体积小

8 芯和 18 芯的铝纵包管道光缆与同芯数的标准同轴电缆相比,截面积为后者的 $\frac{1}{5}$ 和 $\frac{1}{10}$,重量减为后者的 $\frac{1}{15}$ 和 $\frac{1}{26}$ 。用光缆取代电缆,可使 B-1 轰炸机的重量减少 1000 kg。航空母舰使用电缆传输需要 47 条,重量 7000 kg,耗资 100 万美元。而用光缆代替,只需用一根 8 芯光缆,重 7 kg,仅费资 3.8 万美元。

2. 技术优势

除了上述的基本优点外,数字光纤传输系统与传统的传输方式相比,在技术上还有许多优势。

(1) 数字光纤传输系统很容易与程控交换机相连接。而主要用于模拟通信的同轴电缆,很难满足数字化的要求。

(2) 数字光纤传输设备采用了专用超大规模数字集成电路和混合集成电路,以及表面安装技术,使设备的可靠性大大提高。

(3) 由于数字光纤传输系统采用 PCM 技术,因而可以方便地利用终端设备上的计算机实现全系统的监测与监控。

(4) 扩容方便。扩容时只要增加若干光、电设备,不必更换光缆,不必增加中继站数量。

(5) 利用“插入毕特”的线路码型,可以方便地解决“区间通信”问题和任意上下话路问题。

由于现代社会的需要,数字设备将逐步取代模拟设备,而建立综合业务数字网已成为当代世界通信发展的趋势。光纤通信刚好最适合实现大容量、长距离的宽带业务和数字信号的传输。因此,我们可以讲光纤通信技术上的巨大优势和潜力,打开了本世纪的全新通信之门。

3. 缺点

尽管如此,光纤本身也并不是完美无缺的。比如,光纤弯曲不能太小,要求连接技术较高,分路、耦合比较困难等。人们经过不断努力,现已掌握了足以克服这些弱点的十分成熟的技术,使光纤通信的推广应用步入坦途。

二、光纤通信与其他通信方式的投资比较

光纤通信除了技术的巨大优势外,与其他通信方式相比,其经济性如何?比如,一项光纤通信工程投资是多少?投资回收期多长?每话路公里成本是多少等等。

在这里,我们简单对投资情况做一比较:

1. 市话局间中继

市话局间中继线路有三种方案可供选择:音频电缆、电缆上开 PCM、光纤通信。这里仅考虑主要设备投资,可作如下结论:

(1) 光纤通信最宜于在程控局间作中继传输使用。其经济距离为 5 km。模拟局对程控局,模拟局对模拟局,其经济距离大于 5 km。但若考试到管道已满,或中继线容量较大,或今后需要扩容等,采用光缆是有利的。

(2) 大城市与卫星城之间的通信,距离一般在 30~70 km 左右,最适合建立光纤无中继通信系统。

2. 长途通信

在长途通信方面,我国过去用明线较多,此外还有同轴电缆、微波和卫星通信。光纤通信后来居上,但每话路公里的成本要比以上通信方式便宜很多。

(1) 光纤通信与同轴电缆通信相比,无论是技术上的先进性,系统的可靠性,扩容的可能性和节省投资方面,光纤通信均优于同轴电缆通信方式。国外许多国家早在 1983 年就已先后宣布,长途干线不再建设同轴电缆线路,而用光缆代替,我国铁道部、通信兵部等,也先后从 1990 年开始在长途干线上主要使用光缆。邮电部的发展方向更是这样。

(2) 光纤通信与微波通信相比,工程造价接近甚至更低。选择何种传输手段。根据具体情况来定。比如经常有台风、冰凌等恶劣气候条件的地区或山区,微波就显得比架空光缆更合适一些。但微波在大城市选址困难,不保密,易受雨、雪、雾等气候影响,传输质量不如光纤等,在这种情况下,选用光纤则优于微波。因此,必须综合、全面地考虑。

(3) 光纤通信与卫星通信相比,各有所长。光纤通信建设费用与通信距离成正比。而卫星通信则与距离无关。当传输距离小于 800 km 时,光纤通信造价便宜。但卫星通信保密性差,寿

命一般 7~10 年。容量也不如光纤通信容量大。另外,卫星通信的频谱资源与轨道资源也是有限的。

§ 1-3 国内外光纤通信发展简史

一、国外光纤通信发展简史

光纤通信从诞生之日起,仅仅十余年的时间,就完成了从理论研究、科学实验,中试生产,推广应用,到完全商用的全过程。

据 1985 年统计资料,全世界已敷设光纤通信线路约 435.5×10^4 km,相当于地球到太阳的一个半来回。

1987 年统计,全世界已敷设光纤通信线路 1088×10^4 km,相当于地球到太阳的 3 个半来回。

到 2000 年,预计累积敷设通纤长度达到 10880×10^4 km,相当于地球到太阳的 36 个来回。届时,光纤将进入家庭。

光纤通信是怎样迅速发展起来的呢?让我们来看看国外光纤通信发展的简史。

1. 理论与器件发展阶段

1960 年,美国休斯飞机公司首先发明了世界第一个红宝石激光器。

1961 年,美国贝尔实验室发明了氨氦激光器。

1962 年,美国通用电气公司,国际商业机器公司和麻省理工学院发明了镓砷半导体激光器。

1965 年,美国贝尔实验室发明二氧化碳激光器。

1966 年,英国标准电信研究所英籍华人高锟博士,提出了用石英玻璃纤维作为光通信传输介质的设想。并发表了改进材料纯度可减少光纤损耗至 20 dB/km 的论文。这一重要理论,为光纤通信的发展起到了开拓性的作用。

1970 年,美国康宁公司率先根据高锟的理论,用汽相沉积法制出长 200 m,损耗为 20 dB/km 的光纤,同时,美国贝尔实验室和日本电报电话公司研制成功体积小、结构简单、调制速率较高的砷镓铝双异质结激光器。至此,光纤通信中的两大关键取得了重大突破,光纤通信技术进入全面发展的阶段。

因此,国际上一般都把 1970 年看作是光纤通信的开元之年。

1972 年至 1973 年,贝尔实验室发明了可以稳定生产低损光纤的汽相沉积法(CVD 工艺)。

2. 光纤发展阶段

1975 年,康宁公司建立了世界上第一个正式生产光纤的工厂。拉制成短波长多模光纤,其损耗值为 3~6 dB/km。

1976 年,美国在亚特兰大市首次成功地进行了码速为 44.7 Mb/s,长度为 1.24 km 的光纤通信系统试验。

1977 年,日本电报电话公司推出光纤轴向沉积工艺(VAD)。贝尔实验室和日本电报电话公司制造的砷镓铝激光器,其外推寿命达到 10×10^4 h(114 年)。美国开通了芝加哥市的第一个市话局间中继光纤传输系统。

1978 年,日本开始了码速为 32 Mb/s 和 100 Mb/s 的光纤通信系统现场试验。

1979年,美国、日本试制 $1.55\mu\text{m}$ 激光器获得室温连续振荡。日本研制出 0.2 dB/km 的低损耗光纤。

3. 商用阶段

1980年,美国 FT3 标准光纤通信系统(44.7 Mb/s , 672 个话路)投入商用。

1981年,日本 F-32M(32 Mb/s , 480 个话路),和 F-100M(100 Mb/s , 140 个话路)标准光纤通信系统投入商用。日本制成 $1.55\mu\text{m}$ 分布反馈型动态单纵模(DFB)激光器。

1982年,英国敷设了总长度为 450 km 的光缆实用线路,共 15 个工程。

1983年,英、美、日、法、西德等八国先后宣布:今后长途干线工程不再敷设电缆,而改敷设光缆。

1984年,日本 F-400M 研制成功。

1985年,利用 F-400M 传输系统,纵费日本大陆南北 3400 km 的干线工程正式开通。

1986年,美、英、法、加、西班牙五国在巴黎签订协议联合建设横跨大西洋的第二条海底光缆 TAT-9 并于 1991 年投入使用。

1987年,日本 F-1.6G 投入商用。

1988年,连接美、英、法三国并由三国共建 TAT-9 第一条大西洋海底光缆长 6657 km 线路投入商用。

1989年,连接美日并由美日合建的 TPC-3 海底光缆总长 9000 km ,正式开通。

通过以上简介,可以看出,国外光纤通信技术发展的历史,大致可以分为三个阶段:1970年~1986年为技术准备阶段;1976年~1982年为现场试用和批量生产阶段;1982年至今为大规模工业化生产和大范围商用阶段。

4. 光纤通信系统发展代史

短短的二十年时间,光纤通信系统已发展了四代:

第一代:短波长($0.85\mu\text{m}$)多模光纤通信系统。

第二代:长波长($1.3\mu\text{m}$)多模光纤通信系统。

第三代:长波长($1.3\mu\text{m}$)单模光纤通信系统。

第四代:长波长($1.55\mu\text{m}$)单模光纤通信系统。

二、国内光纤通信发展史

我国从 20 世纪 70 年代初跟踪世界发展的先进水平,在光纤通信技术的各个领域内全面开展研究工作,取得了一系列重大科研成果。使我国光纤通信的技术水平和推广应用的速度,与世界先进水平相比,差距并不太大。

目前,我国完全可以依靠自己的科研成果,独立地大批量地生产 1~4 次群光电端机设备,完全可以独立地大批量地生产光纤光缆、光电器件、无源器件、低速率配套仪表等。施工、技术服务等单位有 120 余家。从业人员超过 2 万人。能够独立承担设计、培训、施工,技术服务和分别提供定型光电端机、光纤光缆、器件、仪表的单位有 30 余家。目前已逐步形成几个实力较强,具有系统配套能力和工程承包能力的光纤通信产业集团。

根据对邮电公用网的不完全统计,20 世纪“七五”期间敷设的光缆总长度是 20 世纪“六五”的 21 倍。而 20 世纪“八五”计划敷设的光缆总长度将是 20 世纪“六五”的 116 倍。其推广应用的速度也是十分惊人的。

我国通过自力更生,艰苦奋斗,在光纤通信技术发展与推广应用的道路上,取得了一系列令世界瞩目的成就。下面简要地介绍一下我国光纤通信发展的重大事件。1974 年,开始用

MCVD 法进行制作光纤的实验。

1975 年, GaAs 双异质结半导体激光器实现室温下连续振荡。

1976 年, 拉制出第一根通信用石英多模光纤(波长 $0.85\ \mu\text{m}$, 损耗小于 $20\ \text{dB/km}$); 开始进行传输话音和黑白电视信号的实验。

1977 年, 拉制出损耗为 $4\ \text{dB/km}$ 多模光纤; 研制出短波长单异质结发光二极管以及硅雪崩光电二极管。

1978 年, 开始进行 24 路 PCM 信号和彩色电视信号的光纤传输实验。并在当年召开的全国科学大会上展览演示。

进行了 $8\ \text{Mb/s}$ 短波长 $1.8\ \text{km}$ 市话光缆中继线路现场试验; 研制出 GaAs 雪崩光电二极管。

1979 年, $8\ \text{Mb/s}$ 短波长 $5.7\ \text{km}$ 市话长缆中继线路建成; 研制出短波长硅发光二极管; 全国第一届光通信学术交流会在武汉市召开。

1980 年, $10\ \text{km}$ 模拟图像信号光纤传输线路在北京地铁现场实验; 研制出短波长 GaAlAs 双异质结激光器; 研制出短波长 GaAs-AlGaAs 双异结边发光二极管。

1981 年, 研制出长波长 PIN-PET(光电二极管与场效应管组成的光电检波前置放大器); 研制出长波长 InGaAs/InP 双异质激光器和发光二极管。

1982 年, $8\ \text{Mb/s}$ 短波长实现了市话光缆中继线路在武汉市电信局开通; 开始进行短波长四次群光通信系统联试; 和长波长三次群光纤通信系统 $24\ \text{km}$ 现场试验; 电力系统第一条光缆线路开通; 研制出 $1.5\ \mu\text{m}$ InGaAsP/InP 激光器。

1983 年, $34\ \text{Mb/s}$, $1.3\ \mu\text{m}$, $13.3\ \text{km}$ 市话光缆中继线路在武汉开通; $34\ \text{Mb/s}$, $0.85\ \mu\text{m}$, $7\ \text{km}$ 市话光缆中继线路在天津开通; 全国第二届光通信学术会议在武汉召开; 邮电部光通信情报网成立。

1984 年, 四次群光通信系统在信息技术展览会上展出; 研制出第一批单模光纤, 波长 $1.5\ \mu\text{m}$, 损耗 $0.8\ \text{dB/km}$ 及 $1.5\ \mu\text{m}$, $0.5\ \text{dB/km}$;

我国光纤通信实用化进程加快, 20 世纪“六五”期间, 全国共有 11 个城市的邮电公用网敷设光缆局间中继线路。合计光缆总长为 $331.5\ \text{km}$ (折合 $2696\ \text{km}$ 光纤);

1985 年, 开始用 PCVD 工艺, 制造出多模、单模光纤。

1986 年, $140\ \text{Mb/s}$ 、 $400\ \text{Mb/s}$ 、 $560\ \text{Mb/s}$ 光纤数字系统进行了联试和现场试验; 第三届全国光通信学术会议在桂林召开; 邮电部在湖北召开了“汉-荆-沙”省内二级干线光缆传输工程现场推广会。该工程利用原有杆路, 加挂四芯光缆, 开通三次群设备, 全长 $244.8\ \text{km}$ 。是当时全部采用国产设备建成的一条最长的光缆干线工程。电力系统已建光缆传输线路 17 条。

1987 年, 年产 $8000\ \text{km}$ 光纤和 $1000\ \text{km}$ 光缆的二个中试车间分别通过国家验收; 动态单纵模激光器研制成功; 西古光纤光缆有限公司签署合资合同。

1988 年, 第一届全国光纤通信工作会议及展览会在北京召开。15 个试点示范工作受到表彰。 $140\ \text{Mb/s}$, $1.3\ \mu\text{m}$, $35\ \text{km}$ 单模光缆市话中继线路建成; 武汉长飞光纤光缆有限公司签署合资合同。

1989 年, 使用 PCVD 工艺试制 $20\ \text{km}$ 单模光纤, 最小损耗为 $0.42\ \text{dB/km}$; 国产激光器寿命突破 $10 \times 10^4\ \text{h}$ 大关; 第四届全国光通信学术会议在上海召开。

1990 年, 第一条国产光缆水线过长江; 自己设计、研制的两种专用超大规模数字集成电路开始小批量生产。用该电路和制成的二次群、三次群、跳群数字复接设备。技术水平接近国外

同类产品。这两项重大成果于12月20日通过部级鉴定。

1991年,宁-汉光缆通信工程通过国家验收,全线开通运行。

1997年,我国与新加坡率先倡议,工程协调会确定建设东南亚陆地光缆,从我国上海始发沿杭州、南昌、长沙、桂林、南宁达越南河内,再至老挝万象经泰国万象达马来西亚吉隆坡最后到新加坡采用2.5 Gb/s传输系统于1997年底正式开通3万条电话线。

§ 1-4 我国光纤通信发展前景

一、光纤通信工程建设正在逐年加快

我国光纤通信技术经过20世纪“六五”、“七五”的发展,已经可以用国产设备建设光纤通信系统工程。国务院借鉴卫星通信应用的经验,在20世纪“七五”期间分别于8个重点应用领域中安排了十五个光纤通信工程项目,作为第一批试点示范工程,用以推动光纤通信的应用。

第一批试点示范工程简介见表1-6。

表1-6 第一批试点示范工程简介

序号	应用领域	工程内容及规模	工程地点	完成时间
1	公用网一级干线	140 Mb/s 单模 146 km 长途干线通信系统	合肥-芜湖	1991年
2	公用网二级干线	34 Mb/s 多模 244.8 km 省内干线通信系统	武汉-荆州	1987年12月
3	公用网二级干线	34 Mb/s 单模 62 km 省内干线通信系统	扬州-高邮	1988年4月
4	公用网二级干线	34 Mb/s 单模省内干线通信系统	成都-灌县	1988年6月
5	市话中继	140 Mb/s 单模 37 km 通信系统	汉阳-汉南	1988年6月
6	市话中继	140 Mb/s 单模通信系统	上海市	1988年12月
7	市话中继	140 Mb/s 单模通信系统	天津-塘沽	1990年
8	铁路通信	重庆铁路枢纽通信工程	重庆	1990年
9	铁路通信	京-郑长途通信 一期工程	北京-保定	1998年6月
10	广播电视	彩电光纤 传输系统	齐齐哈尔 电视台	1987年10月
11	电力通信	架空地线复合 光缆通信系统	宝鸡	1988年
12	公安监视	天安门电视工程 光缆传输系统	北京	1987年12月
13	交通监视	上海交通管理光 纤电视传输系统	上海	1989年11月
14	国防监视	西昌基地电视光缆传输系统	西昌	1987年11月
15	工业监视	鞍钢838工程光纤 传输多种业务网	鞍山	1987年

为了加强推广应用工作,扩大应用领域和应用面,国务院于1990年7月,又初选了十四个项目,作为第二批光纤通信试点示范工程,详见表1-7。

表 1-7

第二批试点示范工程简介

序号	应用领域	工程投资	工程地点	完成时间
1	公用网二级干线	570 万元	吉林-磐石 155.4 km	1990 年 12 月
2	公用网二级干线	250 万元	海口-金江 54 km	1990 年 12 月
3	公用网二级干线	670 万元	都江堰-理县 144 km	1990 年 6 月
4	铁路通信	460 万元	南京-芜湖 110 km	1991 年 6 月
5	铁路通信	1342 万元	济南-淄博 115 km	1990 年 12 月
6	铁路通信	1.4 亿元	北京-郑州 (保郑段 568 km)	1991 年 6 月
7	电力通信	145 万元	西安北郊变-电管局	1991 年 6 月
8	军用海底光缆工程	400 万元	北海 40 km	1990 年 10 月
9	野战光缆系统	95 万元	军用 30 km	1990 年 6 月
10	公安专用网(一、二期)	650 万元	武汉市	1991 年 12 月
11	城市交通监控工程	318 万元	南宁、桂林市	1991 年 6 月
12	矿井井下监控工程	81 万元	鹤岗矿务局兴山煤矿	1990 年 6 月
13	矿区传输综合网	500 万元	陕西蒲白矿区	1991 年 12 月
14	计算机光纤区域网	120 万元	上海市文汇报大楼	1990 年 3 月

随着两批试点示范工程的逐步完成,为光纤通信的广泛应用提供了样板和经验。光纤通信的推广应用开始进入迅速发展阶段。根据规划,20 世纪“八五”、“九五”十年期间,随着我国光纤通信技术日益成熟,光纤通信产业日益壮大,光纤通信将进入大规模大范围应用的时期。

二、光纤通信产业正在逐步形成

光纤通信的推广应用,极大地促进了产业的形成和发展,目前,国内已形成几个有实力的产业集团和公司,如武汉、上海、天津等地区。

其中,武汉地区以邮电部武汉邮电科学研究院为龙头,以长飞光纤光缆有限公司等单位为骨干,建立了长江光通信产业集团。除了拥有全国最大的光纤通信科研单位和全国最大的光纤光缆合资企业外,长江光通信产业集团并已建立一个大型的光电端机生产企业。采取国内国外两条腿走路的办法建厂。其中 1~4 次群光电端机设备,已经推出以武汉邮电科学研究院自行研究、开发的专用超大规模数字集成电路为基础,采用针对国内实际情况而设计的光电合架设备,其功耗、体积、可靠性等与国外设备相当,而整机总体指标优于国外同类产品。这一技术标志着我国光电端机制造水平达到了国外 20 世纪 90 年代中期的水平。加之价格低廉,提供终身售后服务,这必将大大促进推广应用的速度。

同时,长江光通信产业集团各成员单位,能批量生产光电器件,无源器件,仪表工具等,形成具有生产一条龙,服务一条龙,承包工程一条龙的系统配套能力。正积极为全国各地各部门用户服务。

事实证明,主要依靠自己力量发展起来的光纤通信产业,会越来越大地发挥其主导作用。

三、光纤通信发展前景

光纤通信技术,在今后的十年内,会更加突飞猛进地发展,主要表现在以下几个方面:

1. 超大容量光纤通信系统

由于 1.55 μm 波长光纤通信技术的成熟,由于相干光通信及光电器件的进展,光纤传输

系统的容量或传输码速将不断提高。

(1) 提高单通道系统的传输码速

目前在实验室里传输码速最高的系统是 16 Gb/s, 传输距离为 64 km。其码速距离乘积已超过 1 Tb/s-km。实验证明, 单路调制码速达到 20 Gb/s 是完全可能的。

(2) 利用频分复用技术(包括相干光与非相干光频分复用技术), 使一根光纤, 通过多路光波, 以提高通信容量或连接更多用户。

实验室里已实现 16 个信道的相干光频分复用系统。每个信道码速为 155 Mb/s, 信道间距为 8.5 GHz, 中频为 100 MHz。

另外, 每路调制码速为 622 Mb/s 的非相干光频分复用系统, 也在实验室里试验成功。

2. 相干光纤通信

目前, 光纤通信系统相当于原始的无线通信方式。发端利用光强调制, 收端使用直接检波。而无线电通信时至今日, 数字调制花样繁多。检波方法已过渡到超外差或零差。只需调谐本地振荡器, 就会收到需要的电台信号。因此, 把无线电相干通信技术移植到光纤通信的尝试是很自然的。这样, 可使接收机灵敏度提高, 波长选择性好。这二条优点可长途光纤通信网中的光中继器减少甚至取消, 延长了传输距离, 使光载波频率间隔更加靠近, 提高了光纤实际传输容量。

相干光通信系统的研究工作已日趋成熟。实验室里做出了包括 6 个通道和 16 个通道的系统, 最大可扩展到 51 个通道。

3. 光放大器

我们现在使用的光纤通信系统都是光电转换系统。信号传输过程要经过多次电光和光电转换。能否制造出不用光电转换的全光通信系统呢? 要想实现全光通信系统, 光放大器是关键元件, 也是近几年研究的重点之一。

目前已有行波半导体激光放大管和掺铈石英光纤放大器。其中掺铈光纤放大器已开始进入实用阶级。这样, 对于陆地和海底长途光纤通信线路, 若沿线设置若干个联级光放大器, 起码可以减少甚至取消光再生中继器, 增加通信距离。在多通道分配系统, 光放大器有利于提高用户数。

4. 光电器件和光电集成

长途光纤线路的工作波长, 正在向 $1.55 \mu\text{m}$ 最低损耗波长发展。由于它不是零色散波, 常规光纤通信要求使用单频激光器, 保持动态单纵模。

同时, 不同的光纤通信方式对激光器不断提出更高更苛刻的要求, 使激光器不断改进结构设计和制造工艺使激光器以至光电器件的水平越来越高。生产出窄线宽。宽调谐, 大功率, 长寿命等各种激光器。

光电集成(OEIC)是光纤通信下一步的目标。目前, 把光和电的元件安装在单片基底上的可行性已得到证明。与传统的分立元件相比, 它具有高速、小型、可靠性高和造价低廉的优点, 是今后大量推广光纤通信应用的关键部件。

现已做出的发送 OEIC 芯片, 是把一个激光器和它的驱动电路集成在一块 $350 \times 900 \text{ mm}^2$ 的芯片上。驱动电路是由三个异质结双极晶体管组成的差动开关。

按收用的 OEIC 芯片是将一个 PIN 光电二极管和一个跨异倒数前置放大器组装在一起。在前置放大器中集成了四个连起来的场效应晶体管, 四个电平调整二极管和一个反馈电阻。

5. 低损耗光纤的进一步开发和研制,这是一项长期而不断完善的工作

光纤通信的进一步发展,需不断降低光纤的损耗。我们现在使用的光纤,是石英系材料拉制而成的,其损耗不可能降到 0.1 dB/km 以下。

近几年国际上已开始探索氟化物玻璃、重金属氧化物玻璃、卤化物玻璃等非石英系光纤。

不同氟化物光纤的理论损耗,在 2~3 μm 波段附近,为 0.01 dB/km~0.001 dB/km。现已制出长度为 1 km 损耗为 0.7 dB/km 的非石英系光纤。随着制造技术的发展,将使光纤通信由长法向超长波过渡。光纤通信的发展面临着第三次工作波长的转移。

研究采用单纵模激光振荡器(如 DFB 分布反馈激光器和 C^3 激光器)、光放大器、光开关等。进而研制开发全光中继器、光交换机等。

6. 光纤通信系统向超高速大容量长距离方向发展

目前一些国家已开发出 1.7 Gb/s(24000 路)和 2.4 Gb/s(30 240 路)光纤通信系统,这些超高速大容量无中继光通信系统均采用了光放大器,还研制成掺铒光纤放大器。为进一步提高通信速度,近期将发展光电混合集成电路,提高光电转换环节的速度,增强现有光系统的传输能力,其近期发展目标是光学集成的全光线路,使更多信号处理功能在光频上完成。

7. 为增加光频带的利用,加紧对波分复用技术和相干光通信体制的研究和试验

例如,日本 NTT 利用波分复用扩大容量,复用 8 个光波道,每波道传 5 Gb/s,共可传输 40 Gb/s,实用水平为 4 个波道,每波道传输 1.8 Gb/s。英国进行了单纤双波道双向传输实验。目前研究的重点是提高波分复用度和降低光分/合波器的介入损耗,同时研究新型绕射光栅分/合波器,使波分复用达 10~20 个。而相干光通信技术采用了外差检测或零差检测接收原理。由于具有混频增益及采用了间接调制技术,可使检测接收灵敏度提高 10~20 dB,可望把光纤通信系统容量提高许多倍并可延长中继距离。

8. 光孤子通信正在实验开发阶段、微波副载波技术尚在实验阶段

这些技术都将大幅度提高通信质量。

随着光纤通信技术的不断完善和发展,光纤通信的优势与潜力也就越来越明显。这又极大地促进了光纤通信的应用速度。

众所周知,当今世界已进入信息时代。通信作为传递,处理信息的主轴,对国民经济和社会的发展越来越重要。

到 20 世纪末至下世纪初,我国对邮电通信将采取“协调发展、适度超前”的方针,到 2000 年,全国主要通信能力和业务量将在 1980 年的基础上翻三番(即增长 7 倍)。全国电信网实现自动化,县以上城市长途电话基本可以自动拨号,在主要城市间广泛采用数字化光纤通信、卫星通信、微波通信等传输手段,建立宽带视频网络,开放电视会议电话,可视电话,高速传真,图像通信等新业务,并与国外的数据库相连。

显然,发展光纤通信是实现我国通信现代化的重要手段。目前,我国市内和长途电话交换机的程控数字化发展很快。光纤通信最适宜于数字化传输。通信的发展方向是自动化、数字化、综合化、智能化。而光纤通信是最适宜于大容量、长距离的宽带业务传输。

我国 20 世纪“八五”、“九五”十年期间,光纤通信以超常速度发展,这一点是没有疑问的。当人类社会迈进 21 世纪时,光纤通信在全世界范围内也将从长途通信、市话通信而进入宽带业务和综合数字业务通信。计算机接入光纤数据网就像电话机接入邮电公用网一样方便和普及。“光纤到家庭”已经实现。光纤将为家庭提供电话、有线电视,可视电话,可视数据,遥感遥测等服务。

展望未来,面对现在,我们正处在光纤通信大发展的时代。我们应该努力学习,掌握光纤通信的理论和技術,争取为我国通信现代化,为人类文明的发展,做出更大的贡献。

复习思考题

1. 什么是光纤通信?
2. 实现光纤通信的关键是什么?
3. $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $1.3\ \mu\text{m}$ 及 $1.55\ \mu\text{m}$ 光纤各有何特点。
4. 光纤通信对光源的基本要求是什么?
5. 光电检测器的作用是什么? 基本要求有哪些?
6. 光纤通信的方框图及各部分作用。
7. 数字光纤通信系统的基本构成如何?
8. 光纤通信的经济优势及技術优势如何?
9. 光纤通信与其他通信方式在投資上有什么优势?
10. 光纤通信技術将在哪些方面有较大的跃进与发展?
11. 目前我国采用的数字光纤通信的方框图是怎样的?
12. 光纤通信有哪些突出特点?