



通信技术专业职业教育新课改规划教材

光缆通信工程 设计、施工与维护

程毅 主编

GUANGLAN TONGXIN GONGCHENG
SHEJI SHIGONG YU WEIHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费
电子课件



通信技术专业职业教育新课改规划教材

光缆通信工程

设计、施工与维护

主编 程 毅

参编 刘毅刚 李晓慧 杨大秋 任秀云 张新柱
李 研 李艳武 宁丽坤 张永生

机械工业出版社

本书是校企合作、工学结合的项目化教材,是在理论与实践一体化教学及精品课程建设的基础上,引入以工作过程为导向的项目课程理念编写而成的。本书的特色是从课程整体目标培养的角度出发,由六个学习项目(光纤通信的认识、光纤与光缆的识别、认识光端机、光缆通信工程设计、光缆线路施工和光缆线路的维护与管理)组成,每个项目分解成不同的学习任务,每个学习任务又分成若干个子学习任务,学生在一个个项目、任务的完成过程中,整体掌握光缆通信工程设计、施工与维护的基本知识,培养光缆通信工程所需的基本技能。本书的另一个特色是体现了教师的教法和学生的学法,即:教师引入学习任务,引导学生学习理论知识和基本操作技能,寻求解决问题的方法,通过资讯、决策、计划、实施、检查和最后交流、评价,使学生学习能力得到提高。本书不仅能够培养学生的专业能力,还能培养学生方法能力。本书配有电子教案,读者可到机械工业出版社网站 www.cmpedu.com 上免费注册下载。

本书适合作为各类职业院校通信技术专业教材,以及各类培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

光缆通信工程设计、施工与维护/程毅主编. —北京:机械工业出版社, 2010.7

通信技术专业职业教育新课改规划教材

ISBN 978-7-111-31235-2

I. ①光… II. ①程… III. ①光缆通信—职业教育—教材
IV. ①TN913.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第130857号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:梁伟 责任编辑:蔡岩

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2010年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.75印张·394千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31235-2

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是校企合作、工学结合的项目化教材。本书在相关岗位能力要求的基础上，以“工作过程和岗位任务为线索，以实际光缆通信工程为载体，以任务实施为导向”作为编写思想。通过项目载体、任务驱动实现对学生技能的训练，并带动知识点的学习。依据“光缆通信工程设计、施工与维护”课程的教学目标，全书共设计六个学习项目，每一个项目中又分若干个任务，每个学习任务分解为若干个子学习任务，每个子任务是最基本的活动。学生在任务的学习和操作过程中，逐步地理解所学内容。教材内容是以施工技能训练为主，着眼于光缆通信工程的基础性、应用性和先进性；以光纤、光缆的基本概念、技能操作为重点，以够用、适用为原则，增强了教材的活力和生命力。同时不断地强化资讯、决策、计划、实施、检查和评价六个工作过程的基本步骤，从而培养学生的方法能力和社会能力。这些能力与知识能力共同组成学生的岗位能力。

基于以上编写思想，本书在编写时体现以下特点。

1. 教材内容的项目化。教材从职业岗位能力分析入手，吸收了国外先进的职业教育理念，对教材内容进行了重新处理，把理论知识转换成一个个便于教师指导学生学习的項目，而且环环紧扣，逐步深化。

2. 编写思路的新颖性。把过去教材以知识体系介绍或技能训练为主，转变为既有知识技能的训练，又有学习方法及学习过程的训练。把教材从教师的教本转变为学生在教师指导下的读本，强化了普通的学习方法的训练，体现了以学生的“学”为主、教师的“教”为辅的特点。

3. 全方位的能力训练。对每一个学习项目，完整地实施“六步教学法”，可以培养学生的知识能力、方法能力和社会能力，从而全方位培养学生的职业岗位能力。

4. 理论与实践一体化教学。本书已经没有理论教学与实践教学之分，不论是理论方面的内容还是技术方面的内容，学生都是在教师的指导下，阅读理解资料、计划实施任务、检查评价实践过程。在这样的学习过程中，理论与实践已较好地融合在一起。

本教材由程毅主编。参与编写的还有刘毅刚（中国移动公司齐齐哈尔分公司高级工程师），李晓慧、杨大秋、任秀云、张新柱、李研、李艳武、宁丽坤和张永生。

限于编者的水平，书中难免有错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

项目一 光纤通信的认识	1
项目二 光纤与光缆的识别	15
任务一 光纤的识别	16
任务二 光缆的识别	31
项目三 认识光端机	51
任务一 认识激光器	52
任务二 认识掺铒光纤放大器	60
任务三 线路编码的应用	64
任务四 光端机的认识	68
项目四 光缆通信工程设计	83
任务一 光缆通信工程的设计程序	84
任务二 中继段长度的确定	89
任务三 光缆线路工程的查勘	99
任务四 光缆在 AN 中的应用	113
项目五 光缆线路施工	127
任务一 光缆线路施工概述	128
任务二 检验单盘光缆	131
任务三 光缆路由的复测	143
任务四 光缆的配盘	148
任务五 光缆的敷设	155
任务六 光缆的接续与安装	190
任务七 光缆通信线路的防护	207
任务八 光缆线路的竣工验收	211
项目六 光缆线路的维护与管理	227
任务一 长途光缆线路的设备管理与维护职责	228
任务二 长途光缆线路维护工作的内容和管理	235
任务三 长途光缆线路故障及其检修	241
参考文献	264

项目一

光纤通信的认识

光纤通信系统是以光为载波，利用纯度极高的玻璃拉制成极细的光导纤维作为传输媒介，通过光电变换，用光来传输信息的通信系统。光纤通信作为信息化的主要技术支柱之一，必将成为21世纪最重要的战略性产业。最基本的光纤通信系统由数据源、光发送端、光学信道和光接收机组成。光发送机和调制器负责将信号转变成适合于在光纤上传输的光信号，先后用过的光波窗口有 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 。光学信道包括最基本的光纤，还有中继放大器EDFA等；而光学接收机则接收光信号，并从中提取信息，然后转变成电信号，最后得到对应的语音、图像、数据等信息。



学习目标

知识目标

了解光纤通信的发展历史，掌握光纤通信的基本概述，掌握光纤通信的主要特点，掌握光纤通信的传输窗口，掌握光纤通信系统的组成和分类。

能力目标

能熟知光纤通信系统的组成、分类和三个低损耗窗口，能通过各种媒体资源查找所需信息。

素质目标

培养学生逻辑思维、分析问题和解决问题的能力；培养学生团队意识和合作及妥善处理人际关系的能力；培养学生良好的职业道德和敬业精神；培养学生良好的心理素质和克服困难的能力；培养学生较强的口头与书面表达能力和人际沟通能力。

学习任务书

学习领域	光缆通信工程设计、施工与维护		学习小组、人数	第 组、 人
学习情境	光纤通信的认识		专业、班级	
任务内容	T1-1	光纤通信的发展历史		
	T1-2	光纤通信的主要特点		
	T1-3	光纤通信的传输窗口		
	T1-4	光纤通信系统的组成和分类		
学习目标	1. 了解光纤通信的发展历史 2. 明确光纤通信的低损耗传输窗口是哪些，单位是什么 3. 能区分光纤通信与电缆通信的区别 4. 能掌握光纤通信系统的组成和按不同方式的分类 5. 了解光纤通信的未来发展前景			
任务描述	通过阅读学习资料，能清楚知道光纤通信的发展历史和我国光纤通信的应用历史；能写出光纤通信与电缆通信方式的区别；理解传输低损耗窗口的概念，并能正确地写出光纤通信的低损耗传输窗口的数值；能正确地写出光纤通信系统的组成，能写出光发射机和光接收机的作用；能区分光缆与电缆在图中的标识			
对学生的要求	1. 必须掌握光纤通信的优点和缺点 2. 必须掌握电磁波谱的频率与波长的关系及每个波段的电磁波与日常生活的关系 3. 必须明确 0.85μm、1.31μm、1.55μm 作为光纤通信的传输窗口的原因 4. 必须掌握光纤通信系统的组成 5. 具有团队合作的精神，以小组的形式完成工作任务 6. 严格遵守课堂纪律，不迟到、不早退、不旷课 7. 学生应树立职业道德意识，并按照企业的质量管理体系标准去学习和工作 8. 本情境工作任务完成后，需提交计划表、实施表、检查表、评价表和学习反馈表			



任务资讯

1.1.1 光纤通信的发展历史

光纤是一种叫做光导纤维（简称光纤）的圆截面介质波导。

光纤通信就是以光波为载波，光导纤维为传输介质的通信方式，这里所讲的“光波为载波”就是表示将需要传送的信息经调制后变成光波的形式，再送到光纤中去传输，光波在此成了运载信息的工具。

随着社会的不断进步，通信向大容量、长距离方向发展是必然的趋势。由于光波具有极高的频率（大约 10^{14} Hz），也就是说具有极高的带宽，可以承载巨大容量的信息，所以用光波作为载体来进行通信一直是人们几百年来追求的目标。

1. 光纤通信发展的里程碑

1966年7月，英籍华裔学者高锟博士在 Proc. IEE 杂志上发表了一篇十分著名的论文《用于光频的光纤表面波导》，该文从理论上分析证明了用光纤作为传输媒体以实现光纤通信的可能性，设计了通信用光纤的波导结构，更重要的是科学地预言了制造通信用低损耗光纤的可能性，即通过加强原材料提纯、加入适当的掺杂剂，可把光纤的衰减系数降低到 20dB/km 以下。而当时世界上只能制造用于工业、医学方面的光纤，其衰减系数在 1000dB/km 以上。在当时，对于制造衰减系数在 20dB/km 以下的光纤，被认为是可望而不可及的。以后的事实发展雄辩地证明了高锟博士论文的理论性和大胆预言的正确性，因而该论文被誉为光纤通信的里程碑。

2. 光纤通信发展的实质性突破

1970年美国康宁公司根据高锟论文的设想，用改进型化学气相沉积法（MCVD 法）制造出当时世界上第一根超低损耗光纤，成为光纤通信爆炸性发展的导火线。虽然当时康宁公司制造出的光纤只有几米长，衰减系数约 20dB/km，但它毕竟证明了用当时的科学技术与工艺方法制造通信用超低损耗光纤的可能性，也就是说找到了实现低损耗传输光波的理想媒体，这是光纤通信的重大实质性突破。

3. 光纤通信发展的高速性

自 1970 年以来，世界各发达国家对光纤通信的研究倾注了大量的人力与物力，其来势之凶、规模之大、速度之快远远超出了人们的意料，从而使光纤通信技术取得了极其惊人的进展。

(1) 光纤损耗

自 1970 年以来，光纤损耗逐年降低。1970 年：20dB/km；1972 年：4dB/km；1974 年：1.1dB/km；1976 年：0.5dB/km；1979 年：0.2dB/km；1990 年：0.14dB/km；已经接近石英光纤的理论损耗极限值 0.1dB/km。

(2) 光器件

1970 年，美国贝尔实验室研制出世界上第一只在室温下连续工作的砷化镓铝半导体激光器，为光纤通信找到了合适的光源器件。后来逐渐发展到性能更好、寿命达几万小时的

异质结条形激光器和现在的寿命达几十万小时分布反馈式激光器 (DFB-LD) 以及多量子阱 (MQW) 激光器。光接收器件也从简单的硅光敏二极管发展到量子效率达 90% 以上的 III-V 族雪崩光敏二极管。

(3) 光纤通信系统

正是光纤制造技术和光电器件制造技术的飞速发展, 以及大规模、超大规模集成电路技术和微处理器技术的发展, 带动了光纤通信系统从小容量到大容量、从短距离到长距离、从旧体制 (PDH) 到新体制 (SDH) 的迅猛发展。1976 年, 美国在亚特兰大开通了世界上第一个实用化光纤通信系统, 码速率仅为 45Mbit/s, 中继距离为 10km。1985 年, 140Mbit/s 多模光纤通信系统进入商用化阶段, 并着手单模光纤通信系统的现场试验工作。1990 年, 565Mbit/s 单模光纤通信系统进入商用化阶段, 并着手进行零色散位移光纤、波分复用及相干光通信的现场试验, 而且已经陆续制定了同步数字体系 (SDH) 的技术标准。1993 年, 622Mbit/s 的 SDH 产品进入商用化阶段。1995 年, 2.5Gbit/s 的 SDH 产品进入商用化阶段。1998 年, 10Gbit/s 的 SDH 产品进入商用化阶段; 同年, 以 2.5Gbit/s 为基群、总容量为 20Gbit/s 和 40Gbit/s 的密集波分复用 (DWDM) 系统进入商用化阶段。2000 年, 以 10Gbit/s 为基群、总容量为 320Gbit/s 的 DWDM 系统进入商用化阶段。此外, 在智能光网络 (ION)、光分插复用器 (OADM)、光交叉连接设备 (OXC) 等方面也正在取得巨大进展。光纤通信不同于有线电通信, 后者是利用金属媒体传输信号, 光纤通信则是利用透明的光纤传输光波。虽然光和电都是电磁波, 但频率范围相差很大。一般通信电缆最高使用频率约 9~24MHz (10^6 Hz), 而光纤工作频率在 10^{14} ~ 10^{15} Hz 之间。

总之, 从 1970 年到现在虽然只有短短四十年的时间, 但光纤通信技术却取得了极其惊人的进展。用带宽极宽的光波作为传送信息的载体以实现通信, 这是几百年来人们梦寐以求的幻想在今天已成为现实。然而就目前的光纤通信而言, 其实际应用仅是其潜在能力的 2% 左右, 尚有巨大的潜力等待人们去开发利用。因此, 光纤通信技术并未停滞不前, 而是向更高水平、更高阶段发展。

1.1.2 光纤通信的主要特点

光纤通信与传统的各种电缆 (铜线、同轴电缆) 通信或无线通信方式相比, 具有许多独特的优点, 光纤通信的主要特点如下。

1. 光纤通信的主要特点

(1) 巨大的传输容量

传输容量大是光纤通信优于其他通信的最显著特点。现在光纤通信使用的频率为 10^{14} ~ 10^{15} Hz 数量级。比常用的微波频率高 10^4 ~ 10^5 倍, 因而信息容量理论上比微波高出 10^4 ~ 10^5 倍。在信息需求量迅速增长的今天, 这一点是很重要的。渐变多模光纤带宽可达数吉赫兹千米, 单模光纤带宽可达数百太赫兹千米数量级。

(2) 极低的传输损耗

目前单模光纤在 1.310 μ m 窗口的损耗约 0.35dB/km, 在 1.550 μ m 窗口的损耗低达 0.2dB/km, 与此相比, 同轴电缆对 60MHz 信号的损耗为 19dB/km, 市话电缆对 4MHz 信号损耗为 20dB/km, 因此光纤传输比电缆传输的中继距离长得多。

(3) 抗电磁干扰

光纤是由石英玻璃纤维制成，它不怕电磁干扰，也不受外界光的影响。在核辐射的环境中，光纤通信也能正常进行，这是电缆通信不能相比的。因此光纤通信可广泛用于电力输配、电气化铁路、雷击多发地区、核试验等特殊环境中。

(4) 信道串扰小、保密性好

光纤的结构保证在传输中很少向外泄漏，因而存在于光纤中传输的信息之间不会产生串扰，更不易被窃听，保密性优于传统的电通信方式。

(5) 光纤尺寸小、重量轻、可挠性好

光纤的外径仅 $125\mu\text{m}$ ，其套塑后的尺寸也小于 1mm ，用它制成的 $24\sim 28$ 芯光缆外径约为 18mm ，光缆比同样传输能力的电缆要轻得多，约为电缆重量的 $1/3\sim 1/10$ 。经过表面涂敷的光缆可挠性好。这些特点使它不仅适用于公用通信，在军事通信中也极为适用，如用于导弹、舰船、飞机、潜艇通信控制系统等。

(6) 光纤材料资源丰富，价格低廉。与传统通信方式相比，可节省大量铜、铝等金属材料，有利于降低通信系统的成本，并节约资源。

(7) 光纤不会锈蚀、不怕高温，光纤插接器不会产生电火花放电，可用于易燃易爆及有锈蚀危险的环节中。这些优点恰是金属导线的不足之处，所以光纤通信还适宜于化工、矿井及水下通信控制系统。表 1-1 列出了光缆和其他几种传输介质特性的比较。

表 1-1 光缆和其他几种传输介质特性

介质特性	对称电缆或四芯对绞电缆	同轴电缆	微波导波	光纤（缆）
传输直径/mm	1~4	10	50	0.1~0.2
缆的重量比 （同等传输容量）	1	1	1	0.1
每段缆的制造长度/m	100~500	100~500	3~10	>2000
传输损耗/（dB/km）	20（4MHz 时）	19（60MHz 时）	2	0.2~3
带宽/MHz	6	400	4~120GHz （指微波频带）	>100GHz·km （指所传送信号）
敷设安装	方便	方便	特殊	方便
插接器和连接	方便	较方便	特殊	特殊
中继距离/km	1~2	1.5	10	>50

2. 光缆线路工程的特点

光缆作为一种主要的传输介质，因其性能、敷设办法与全塑电缆、同轴电缆、双绞线等不同，光缆线路工程有其自己的特点。

1) 光缆线路的中继距离长，所需中继器数量比电缆线路少得多，在本地网布线及综合布线（GCS）中一般无需设中继器。

2) 光缆线路一般无需进行充气维护，因为绝大部分光缆均为充油光缆，即缆芯中均充满了石油膏，当然石油膏的填入给光纤光缆的接续带来了一些不便，这是它的缺点。

3) 光缆插接器装置及剩余光缆的放置必须按规定方法进行，以保证光纤应有的曲率

半径，尽可能地减少光信号衰减。

4) 在水泥管孔中布放多条光缆时均需加塑料子管保护。这主要是为了减少摩擦力对光缆护层的损伤，同时能防止光缆被扭绞而使光纤受到损伤。

5) 光纤的接续方法与接续设备均比电缆线路复杂，技术含量更高。

6) 光缆线路架空敷设时要采取比电缆线路更为严格的保护措施。

7) 光缆线路工程的概预算与电缆线路工程的概预算有所不同，某些项目应套用其相应的定额子目。

1.1.3 光纤通信的传输窗口

光波是电磁波，其频率比无线电波中的微波频率高 $10^4 \sim 10^5$ 倍，光波范围包括红外线、可见光、紫外线，其波长范围为： $300 \sim 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 。光波中除可见光外，红外线、紫外线等均为人眼看不见的光。可见光由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫 7 种颜色的连续光波组成，其波长范围为： $0.76 \sim 0.39 \mu\text{m}$ ，其中红光的波长最长，紫光的波长最短。波长为 $0.76 \sim 300 \mu\text{m}$ 的电磁波属于红外线，它又可以划分为近红外、中红外、远红外。波长为 $0.39 \sim 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 的电磁波属于紫外线。波长再短就是 X 射线、 γ 射线。电磁波波谱图如图 1-1 所示。

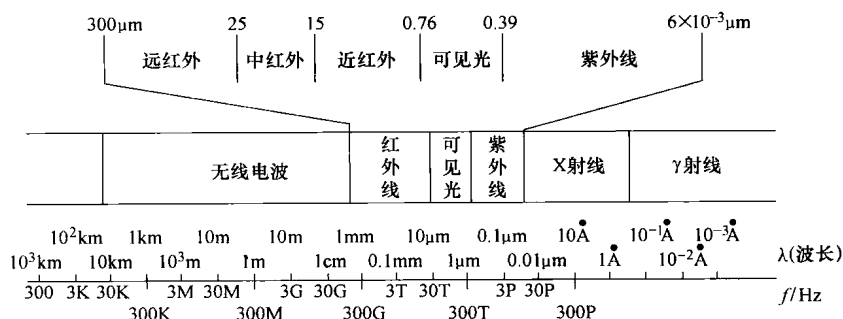


图 1-1 电磁波波谱图

光纤通信的波谱在 $1.67 \times 10^{14} \sim 3.75 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 之间。即波长在 $0.8 \sim 1.8 \mu\text{m}$ ，属于红外波段。将 $0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$ 称为短波段， $1.0 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 称为长波段， $2.0 \mu\text{m}$ 以上称为超长波段。

1.1.4 光纤通信系统的组成和分类

1. 光纤通信系统的组成

光纤通信就是利用光纤来传输携带信息的光波以达到通信的目的。要使光波成为携带信息的载体，必须在发射端对其进行调制，而在接收端把信息从光波中检测出来（解调）。依目前技术水平，大部分采用“强度调制—直接检测”方式（IM—DD）。数字光纤通信系统框图如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出，数字光纤通信系统基本上由光发射机、光纤和光接收机组成。

在发射端，电端机把模拟信息（如语音）进行模数转换，转换后的数字信号复用后再

去调制发射机中的光源器件，一般是半导体激光器（LD），则光源器件就会发出携带信息的光波。如当数字信号为“1”时，光源器件发射一个“传号”光脉冲；当数字信号为“0”时，光源器件发射一个“空号”（不发光）。光发射机的作用就是进行电/光转换把数字化的电脉冲信号码流（如 PCM 语音信号）转换成光脉冲信号码流并输入到光纤中进行传输，光波经光纤传输后到达接收端。

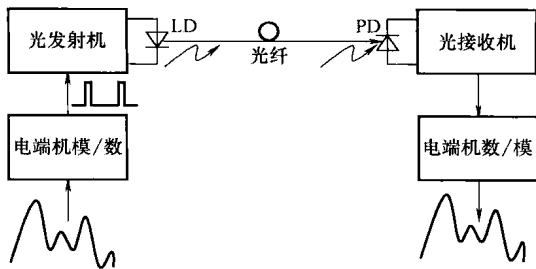


图 1-2 数字光纤通信系统框图

在接收端，光接收机把数字信号从光波中检测出来后输入到电端机，而电端机解复用后再进行数/模转换，恢复成原来的模拟信息。光接收机的作用就是进行光/电转换，把数字电信号（通信信息）经过放大、均衡后再生出波形整齐的电脉冲信号，就这样完成了一次通信的全过程。

2. 光纤通信系统的分类

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的类型进行分类。

（1）按传输信号分类

按传输信号的不同，光纤通信系统可以分为模拟光纤通信系统和数字光纤通信系统两类。

1) 数字光纤通信系统。数字光纤通信系统是光纤通信的主要通信方式。数字通信的优点是抗干扰能力强，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，在光电转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为主要传输方式，以便实现传输网的数字化。

2) 模拟光纤通信系统。在光纤通信系统中，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部分，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通信系统中的模/数转换和数/模转换，故比较经济。而且一个电视信号如采用数字通信方式，可不用频带压缩，140Mbit/s 的系统只能通一路电视。在目前的技术情况下，为了在用户网传送多路宽带业务（如 CATV），应采用频率调制的频分多路复用的模拟光纤通信方式。

如果只传输一个基带信号，则将此信号直接送到光发送机进行发光强度调制即可，但传输距离可能只几公里。如果希望在较长距离上传输，则要先采用脉冲频率调制（PFM），然后再送到光发送机进行光强调制。由于采用 PFM 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。

(2) 按波长和光纤类型分类

按波长和光纤类型分类, 光纤通信系统可分为四类。

1) 短波长 ($0.85\mu\text{m}$ 左右) 多模光纤通信系统。该系统通信容量一般为 480 路以下 (速率在 34Mbit/s 以下), 中继段长度为 10km 以内, 发送机的光源为镓铝砷 (GaAlAs) 半导体激光器或发光二极管, 接收机的光电探测器为硅光敏二极管 (Si-PIN) 或硅雪崩光敏二极管 (Si-APD)。

2) 长波长 ($1.31\mu\text{m}$) 多模光纤通信系统。该系统通信速率一般为 34 ~ 140Mbit/s, 中继距离为 25km 或 20km 以内, 所用光源为铟镓砷磷 (InGaAsP) 半导体多纵模激光器或发光二极管, 光电检测器为锗雪崩光敏二极管 (Ge-APD) 或镓铝砷光敏二极管 (GaAlAs-PIN) 和镓铝砷雪崩光敏二极管 (GaAlAs-APD)。

3) 长波长 ($1.31\mu\text{m}$) 单模光纤通信系统。该系统通信速率一般为 140 ~ 565Mbit/s, 中继距离可达 30 ~ 50km (140Mbit/s), 光源为铟镓砷磷 (InGaAsP) 单纵模激光器, 这种激光器在直流工作时为单纵模, 但在高速调制时为多纵模。

4) 长波长 ($1.55\mu\text{m}$) 单模光纤通信系统。该系统通信速率一般为 565Mbit/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。

1.1.5 光缆工程的现状及发展趋势

1. 光缆工程的现状

中国在通信网络建设中应用光纤是从第六个五年计划 (“六五”) 期间开始的。此后, 中国信息产业高速发展, 光纤市场平均年增长率高达 20% ~ 30%。2009 年, 我国光缆敷设量约为 170 ~ 200 万芯公里。已敷设光纤总数达 1200 多万芯公里。据有关部门的不完全统计, 到 2009 年, 国内已有光缆厂 190 多家, 总生产能力超过 1500 万芯公里。

目前, 国内以中国电信为首的各大运营商纷纷在规划建设全新的全国骨干光传输网络。中国电信已宣布在过去 “八纵八横” 的基础骨干网之外建设以三个 10Gbit/s DWDM (密集波分复用) 环状网为主体的全国高速大容量骨干网; 中国联通也将建设以五个 10Gbit/s DWDM 环网为主的国家级高速骨干网; 中国移动正在积极规划建设自身的国家干线网和省内二级干线网; 中国联通也正在策划其骨干网络的扩展和提速。

据统计, 2000 年总敷设光缆约 720 万芯公里, 2001 年光缆总需求为 1000 万芯公里, 2002 年 4 月达 1150 万芯公里, 2005 年达到 1600 万芯公里, 2009 年达到 2300 万芯公里。

与此同时, 一级干线光缆线路的主要施工方式是直埋和简易塑料管道, 省内二级干线是直埋、管道与架空几种形式的结合, 沿高速公路铺设塑料管道光缆现已开始采用气送光缆的敷设方法。

在本地网的光缆线路中, 城市光缆线路的主要施工方法是管道, 在农村及少数县城仍以架空或直埋方式为主。

2. 光纤的发展趋势

在光纤通信系统为宽带网络提供更高速率、更高可靠性的传输链路的同时, 光纤通信

容量也在不断扩大。商用时分复用 (TDM) 系统的速率已达 10Gbit/s, TDM40Gbit/s 系统已进入现场实用。波分复用 (WDM) 技术不断发展, 已成为网络升级、增加容量的最佳选择方案。DWDM 试验系统容量每隔几个月就被刷新一次, 在 2002 年 3 月 OFC2002 年会上, DWDM 试验系统容量最高记录已达 10.93Tbit/s。

为了适应光纤通信的这种发展, 近年来光纤技术得到长足的进步。2000 年 4 月在日内瓦召开的“1997~2000 年”研究会议上, ITU-TSG15 除了没有对 G.651 (1993 年, 50/125 μm 多模光纤参数的定义和试验方法) 修改外, 对 G.652, G.653, G.654 和 G.655 均做了修改。G.652 光纤, 除了适用于传输速率最高为 2.5Gbit/s 的 G.652.A 外, 又多了两种性能更高的 G.652.B 和 G.652.C 光纤, 传输速率可达到 10Gbit/s。新的标准把 G.655 光纤分为两类: G.655.A 和 G.655.B。G.655.A 光纤用于 G.691 规定的带光放大器的波分复用系统, 只能用在 C 波段且色散值范围为 0.1~6.0Ps/nm $\cdot$ km。G.655.B 类光纤适用于 G.692 规定的速率高达 10Gbit/s (STM-64)、波导间隔不超过 100GHz 的带光放大器的密集波分复用传输系统, 可用于 C、L 两波段。现在世界上许多公司都做出了 G.655.B 类光纤。

下面提供的是未来市场对光纤需求的一些分析, 大家可以从中间看出光纤的使用情况和发展趋势。

(1) G.652.A 和 G.652.B

G.652.A 和 G.652.B 仍占最大比例, 我国西部在建的长途干线工程、我国大部分城市的城域网建设、接入网的绝大部分 (直至引入到楼内的光缆) 都可继续采用 G.652.A 和 G.652.B 类光纤, 估计此类光纤占总光纤用量在数年之内都会维持在 68% 左右。

(2) G.655.B 光纤

在东部地区以及连接西安、成都等西部枢纽城市的长途光缆可用 G.655.B 类光纤, 估计这部分光纤可占到总量的 20% 左右。

(3) 城域网用光纤

城域网一般要用 4~16 信道的粗波分复用系统。G.652.C 和 G.655 光纤可用于建设大城市的城域网的骨干光缆。这两类光纤可占到光纤用量的 8% 左右。G.652.C 类光纤在 1260~1625nm 整个波段之内都可传输光信号。在 O 带 (1260~1360nm) 可开 WDM 模拟视频; 在 E 带 (1360~1460nm) 可开 DWDM 传输系统 (波长间隔 0.8nm, 120 个信道); 在 S, C, L 带 (1460~1625nm) 可开 2.5Gbit/s 的 DWDM 传输系统。

(4) 多模光纤

国际上数据通信局域网 (LAN) 大量用到多模光纤, 它正逐步取代铜缆。随着我国接入网向用户端的推进, 接入网的引入光缆和室内软光缆要用到多模光纤。目前用得较多的是 Alb (62.5 μm /125 μm) 和 Ala (50 μm /125 μm) 两类光纤。Ala 类光纤在 850nm, 最大衰减为 2.4~3.5dB/km, 最小宽带为 200~800MHz $\cdot$ km; 在 1300nm, 最大衰减为 0.75~1.5dB/km, 最小宽带为 200~1200MHz $\cdot$ km; Alb 光纤在 850nm, 最大衰减为 2.8~3.5dB/km, 最小宽带为 100~800MHz $\cdot$ km; 在 1300nm, 最大衰减为 0.7~1.5dB/km, 最小宽带为 200~1000MHz $\cdot$ km。

现在数据通信局域网采用了 CWDM (粗波分复用技术, 一般 4~16 信道), 为网络从 1Gbit/s 向 10Gbit/s 以上升级提供了确定的技术路线。为了适应 LAN 向 Gbit/s 以上升级,

各厂商正在极力提高 A1a 类光纤 850nm 的带宽。在链路中应用低价的 850nm 波长垂直腔表面发射激光器 (VCSEL) 和两级编码技术把此类光纤的激光器带宽提高到 $2000\text{MHz} \cdot \text{km}$ ，它支持 10Gbit/s 以太网单通道传输 300m。随着使用 CWDM 和 VCSEL 的普及，估计今后 A1a 类光纤应用量会超过 A1b 类光纤，以便接受较多的光源信号。现在为提高速率到 1Gbit/s 甚至 10Gbit/s ，改用 LD 光源，所以又转到数值孔径较小的 A1a 类光纤了。

(5) POF 光纤

塑料光纤也是一种多模光纤，在 IEC 中定为 A4 光纤，可用于 FTTD，即光纤到办公桌。日本 ASAHI GLASS 公司使庆应大学 GI—POF 技术商品化，采用全氟化聚合物 (CYTOP) 制造 GI 光纤，其衰减可达 $1.5 \sim 2.5\text{dB}/100\text{m}$ ，传输速率可达 3Gbit/s ，带宽大于 $200\text{MHz} \cdot \text{km}$ 。该光纤在 $700 \sim 1300\text{nm}$ 宽带范围内表现出低衰减。此种塑料光纤可用于短距离光通信和室内传输线 (含家庭用和办公自动化)。预计在解决全光纤化通信的最后一环 (100m 或 300m)，可能就会使用这类 GI—POF 光纤了。朗讯也进军 GI—POF，以日本旭硝子公司的氟树脂 (CYTOP) 光纤为基础在 $850 \sim 1300\text{nm}$ 范围内传输高速数据 100m。KMI 研究报告指出，POF 是一个有增长潜力的领域。



习题与思考

1. 什么是光纤通信？它与电缆通信相比有何主要优点？
2. 光纤的通信特点？光纤通信系统分为哪几类？
3. 光纤通信的三个低损耗窗口是多少？光纤通信向哪些方面发展？
4. 了解同轴电缆和微波波导的基本结构和运用场合 (以便于大家与光缆进行对比)？

计划表

学习领域	光缆通信工程设计、施工与维护		学习小组、人数	第 组、 人	
学习情境	光纤通信的认识		专业、班级		
设计方式	小组讨论、共同制定实施计划				
项目编号 任务序号	计划步骤			使用资源	
计划说明					
计划评语					
	教师签字		组长签字	日期	

实 施 表

学习领域	光缆通信工程设计、施工与维护		学习小组、人数	第 组、 人	
学习情境	光纤通信的认识		专业、班级		
实施方式	团结协作、共同实施				
项目编号 任务序号	实 施 步 骤			使 用 资 源	
实施说明					
实施评语					
	教师签字		组长签字		日期

检 查 表

学习领域		光缆通信工程设计、施工与维护		学习小组、人数		第 组、 人	
学习情境		光纤通信的认识		专业、班级			
序号	检 查 项 目	检 查 标 准				存 在 问 题	
	P1-T1	叙述传输媒质的发展历史					
	P1-T1	叙述光源的发展历史					
	P1-T1	能正确写出光纤通信的优点和缺点					
	P1-T1	能说明光纤通信采用 0.85μm、1.31μm、1.55μm 波长的原因					
	P1-T1	能用原理框图说明光纤通信系统的组成					
检 查 评 价							
	教师签字		组长签字		日期		