



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

胡庆 张德民 张颖 编著

通信光缆与 电缆线路工程

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Communication Optical Cable and
Electric Cable Line Engineering



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

胡庆 张德民 张颖 编著

通信光缆与 电缆线路工程

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Communication Optical Cable and
Electric Cable Line Engineering

人民邮电出版社

北 京



精品系列

图书在版编目 (CIP) 数据

通信光缆与电缆线路工程 / 胡庆, 张德民, 张颖编
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2011.3
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-23486-5

I. ①通… II. ①胡… ②张… ③张… III. ①光缆通信—通信线路—通讯工程—高等学校—教材②通信电缆—通信线路—通讯工程—高等学校—教材 IV.
①TN913.33②TN913.32

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第008571号

内 容 提 要

本书系统地阐述了现代有线传输线路工程设计中所涉及的光缆、电缆及综合布线工程的基础和实际工程建设操作规程。本书力求体现工程教育思想,在阐述光缆、电缆及综合布线的基本概念、基础理论、基本技术时,紧密与工程应用实例有机结合,特别注重以图表形式来配合文字叙述。全书共11章,主要包括通信系统、通信网及其传输技术,光纤、光缆和光器件的结构类型和特性参数,光缆通信线路工程设计、施工与实例,光缆线路测试与维护,通信电缆分类、型号和电气特性参数,通信电缆串音和防串音措施,通信电缆施工,通信电缆配线设计,电缆线路测试和维护,综合布线系统线路工程设计;每章都配有复习题和思考题。本书选取了当前通信光缆与电缆工程中的最新应用进行介绍,概念清楚,形象直观。

本书可作为通信与信息类、电子技术类专业教材,也可作为相关通信工程技术人员的培训教材或参考书。

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

通信光缆与电缆线路工程

-
- ◆ 编 著 胡 庆 张德民 张 颖
责任编辑 贾 楠
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.25 2011年3月第1版
字数: 395千字 2011年3月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-23486-5

定价: 32.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

信息传输是信息社会的重要基础之一,传输线路技术与工程的发展与通信网络的发展密切相关。随着“三网融合”的实施,信息网络进一步高速发展,光缆、电缆和综合布线线路工程设计与施工又将进入新一轮建设高潮。为了适应通信线路工程技术发展的快速性、多样性以及知识更新的强烈需求,作者融合了近十年的教学经验和工程实践编写了本教材。在教材编写过程中,主编人员注重教学与科研相长,力图将科研成果融入教材中,确保教材的前沿性、科学性和系统性。与此同时,还通过定期参与工程实践、知名IT企业培训等方面的活动来保持与行业的紧密合作,并就相关标准充分听取国际电联标准化部门(ITU-T)传输组中我国专家的意见,力求给读者呈献一个比较全面、系统的从理论到实践的通信线路工程设计的完整框架。

“通信光缆与电缆线路工程”是通信与信息工程类专业的重要专业课,有很广的适用面,为便于读者掌握“光缆线路工程设计”、“光纤通信系统设计”、“工程概预算”、“光缆线路工程设计文件的编制”、“光缆竣工线路测试与障碍处理”、“通信电缆分类和电气特性参数”、“通信电缆串音和防串音措施”、“通信电缆配线设计”、“电缆线路测试与障碍处理”、“综合布线系统线路工程设计”等专业知识,本书选取了当前通信光缆与电缆工程中的最新应用进行介绍,以形象、直观的图表配合文字叙述,较好地体现了系统性,内容翔实,与工程应用紧密结合。

全书共11章,主要包括光缆、光纤和光器件的结构及特性参数,光缆通信线路工程设计,设计文件的编制和工程概、预算的编制,光缆线路施工、接续及竣工技术文件编制,光缆线路测试、维护常见的障碍及处理,电缆的结构及特性参数,通信电缆串音和防串音措施,电缆线路施工、接续及设备安装,通信电缆配线设计及用户线路设计实例,电缆线路测试、维护常见的障碍及处理,综合布线系统、线路工程设计及系统的测试。

本书第1~4章以及第7~11章由胡庆编写,第5章由张颖编写,第6章由张德民编写。全书由胡庆统稿。在全书编写期间得到张毅、胡敏、余翔、刘鸿、吴坤君等大力协助,在此一并表示感谢。

本书可作为高等学校通信及信息类和电子技术类专业本科生教材,也可作为工程技术人员参考书。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年11月

目 录

第1章 绪论	1	2.4.3 环境性能	49
1.1 通信系统、通信网及传输技术	1	2.5 光纤光缆线路的基本器件	50
1.1.1 现代通信系统模型	1	2.5.1 光纤连接器	50
1.1.2 现代通信网概念	3	2.5.2 光分路耦合器	52
1.1.3 现代通信传输技术	4	2.5.3 光衰减器	54
1.2 光纤通信的发展	6	2.5.4 光缆接头盒	55
1.2.1 光纤通信的发展	6	2.5.5 光纤配线架	56
1.2.2 光纤线路传输特点	8	2.5.6 光缆交接箱	58
1.2.3 光纤(光缆)线路传输方式	9	复习题和思考题	59
1.2.4 通信光纤光缆的应用	10	第3章 光缆通信线路工程设计	61
1.3 电缆通信的发展	12	3.1 光纤通信系统设计	61
1.3.1 电缆通信的发展	12	3.1.1 系统设计原则	61
1.3.2 全塑电缆线路的传输特点	14	3.1.2 系统设计的基本参数	62
1.3.3 电缆线路传输方式	14	3.1.3 传输系统中中继距离的设计	63
1.3.4 通信电缆的应用	16	3.2 光缆线路工程建设程序	67
复习题和思考题	17	3.2.1 规划阶段	67
第2章 光纤、光缆和光器件	18	3.2.2 设计阶段	69
2.1 光纤	18	3.2.3 准备阶段	69
2.1.1 光纤的结构	18	3.2.4 施工阶段	69
2.1.2 光纤的制造过程	19	3.2.5 竣工投产阶段	70
2.2 光纤的主要参数、特性及类型	22	3.3 光缆线路工程设计	71
2.2.1 光纤的主要参数	22	3.3.1 光缆线路工程设计的内容及 要求	71
2.2.2 光纤的主要特性	24	3.3.2 光缆线路路由的选择	73
2.2.3 光纤非线性特性	29	3.3.3 局/中继站的选择及建筑要求	73
2.2.4 光纤的机械和温度特性	31	3.3.4 敷设方式与光纤光缆的选择	73
2.2.5 光纤的分类及应用	32	3.3.5 光缆接续与光缆预留	75
2.3 光缆	37	3.3.6 光缆线路的防护	75
2.3.1 光缆的结构	37	3.4 光缆线路工程设计文件的编制	76
2.3.2 光缆的制造过程	38	3.4.1 设计文件的编制内容	77
2.3.3 光缆的分类及应用	40	3.4.2 设计文件的编制举例	78
2.3.4 光缆型号与规格	43	3.4.3 概、预算的编制	82
2.4 光缆的主要特性	47	3.4.4 ××局市话光缆工程预算 编制举例	84
2.4.1 传输特性	47		
2.4.2 机械特性	47		

复习题和思考题	92	5.3.2 光缆自动监测系统检测举例	151
第4章 光缆线路施工	94	复习题和思考题	152
4.1 光缆线路施工准备	94	第6章 通信电缆	154
4.1.1 路由复测	94	6.1 通信电缆的分类和型号	154
4.1.2 单盘检测	97	6.1.1 对称电缆的分类	154
4.1.3 光缆配盘	98	6.1.2 同轴电缆的分类	155
4.1.4 路由准备	101	6.1.3 通信电缆的型号与规格	156
4.2 光缆线路工程施工	101	6.1.4 通信电缆的特点	158
4.2.1 管道光缆的敷设	101	6.2 通信电缆的结构与色谱	159
4.2.2 直埋光缆的敷设	106	6.2.1 全塑市话对称电缆的结构	159
4.2.3 架空光缆的敷设	111	6.2.2 同轴电缆的结构	161
4.2.4 水底光缆敷设	115	6.2.3 全塑对称电缆芯线色谱、 扎带色谱	163
4.2.5 局内光缆的敷设	116	6.3 通信电缆的电气特性参数	167
4.3 光缆接续	118	6.3.1 全塑对称电缆的电气参数	167
4.3.1 光纤接续损耗	118	6.3.2 常用双绞线电缆的电参数	171
4.3.2 光纤熔接法	120	6.3.3 同轴电缆的电气参数	172
4.3.3 光缆的接续	127	复习题和思考题	174
4.3.4 光缆成端	129	第7章 通信电缆串音和防串音措施	175
4.4 竣工测试	130	7.1 全塑对称电缆回路间串音和 防串音措施	175
4.5 光缆线路工程竣工	130	7.1.1 对称电缆回路间串音的 物理过程	175
4.5.1 随工验收	131	7.1.2 串音衰减和串音防卫度	178
4.5.2 初步验收	131	7.1.3 减少串音的措施	179
4.5.3 竣工验收	134	7.2 同轴电缆回路间的串音和防 串音措施	181
4.6 光缆工程竣工技术文件编制	135	7.2.1 同轴回路间串音的物理过程	181
4.6.1 竣工文件编制要求	135	7.2.2 串音衰减和串音防卫度	183
4.6.2 竣工文件编制内容	135	7.2.3 减少串音的措施	185
复习题和思考题	138	复习题和思考题	187
第5章 光缆线路测试与维护	139	第8章 通信电缆施工	188
5.1 光缆工程竣工测试	139	8.1 电缆线路施工准备	188
5.1.1 光特性的竣工测试	139	8.1.1 电缆的单盘检测	188
5.1.2 光缆电性能的测试	143	8.1.2 电缆配盘	191
5.1.3 中继站接地线电阻的测试	145	8.2 电缆线路工程施工	192
5.2 光缆线路维护	146	8.2.1 管道电缆的敷设	192
5.2.1 光缆线路的常规维护内容 及方式	146	8.2.2 直埋电缆的敷设	194
5.2.2 维护项目及测试周期	148	8.2.3 架空电缆的敷设	196
5.2.3 光缆线路常见的障碍与处理	149		
5.3 光缆线路自动实时监控系统的	149		
5.3.1 光缆自动实时监控系统的	150		

8.2.4 水底电缆的敷设·····	197	10.1 电缆线路竣工测试·····	225
8.2.5 局内电缆的敷设·····	197	10.1.1 直流电阻测试·····	225
8.2.6 墙壁电缆及楼内电缆的 敷设·····	198	10.1.2 绝缘电阻测试·····	227
8.3 全塑对称电缆接续·····	202	10.1.3 接地电阻测试·····	228
8.3.1 电缆芯线的编号与对号·····	202	10.2 电缆线路维护·····	229
8.3.2 全塑电缆常用的接续方法·····	202	10.2.1 电缆线路的常规维护内容 及方式·····	229
8.4 电缆分线设备及交接箱的安装·····	204	10.2.2 维护项目及测试周期·····	230
8.4.1 分线设备的分类、结构及 安装·····	204	10.2.3 电缆线路常见的障碍与 处理·····	231
8.4.2 交接箱的分类、结构及 安装·····	206	复习题与思考题·····	232
8.4.3 交接设备成端及把线安装·····	209	第 11 章 综合布线系统线路工程 设计 ·····	234
8.5 竣工测试·····	211	11.1 综合布线系统的基本概念·····	234
8.6 电缆线路工程竣工·····	212	11.1.1 智能化建筑与综合布线 系统的关系·····	234
思考题与练习题·····	212	11.1.2 综合布线系统的定义、特点及 应用范围·····	235
第 9 章 通信电缆配线设计 ·····	213	11.2 综合布线系统的组成和主要 设备部件·····	237
9.1 全程电话网传输衰减分配与 用户线路设计·····	213	11.2.1 综合布线系统中的各个 子系统组成·····	238
9.1.1 全程电话网传输衰减 分配·····	214	11.2.2 综合布线系统的主要设备 部件·····	239
9.1.2 用户线路传输衰减限制的 工程设计实例·····	215	11.3 综合布线的工程设计·····	241
9.2 主干电缆网的配线·····	216	11.3.1 综合布线系统的设计流程 与要点·····	241
9.2.1 直接配线·····	217	11.3.2 综合布线中的各个子系统的 设计·····	243
9.2.2 复接配线·····	217	11.3.3 综合布线中的线缆敷设 方法·····	248
9.2.3 交接配线·····	218	11.4 综合布线系统的测试·····	249
9.3 配线电缆网的配线·····	221	复习题和思考题·····	251
9.3.1 直接配线·····	222	参考文献 ·····	252
9.3.2 自由配线·····	222		
9.3.3 复接配线·····	223		
9.3.4 交接配线·····	223		
复习题和思考题·····	223		
第 10 章 电缆线路测试和维护 ·····	225		

信息传输是信息社会的重要基础之一,“光缆、电缆传输线路工程技术”的发展影响着“整个通信网络”的发展进程。特别是在国家提出“三网融合”发展战略的今天,高速信息传输线路作为“三网融合”的基础,必将促进光缆、电缆和综合布线线路工程设计、施工与建设进入新高潮。在探讨通信光缆与电缆线路工程时,首先应对通信系统、通信网络、传输技术等相关的基本概念、基本原理进行了解,明确光缆与电缆线路工程所处的地位,为后续介绍光缆与电缆线路工程相关内容作一个有效的铺垫。

1.1 通信系统、通信网及传输技术

在人类社会活动中,可以广义地认为各种客观事物的状态及其变化都属于信息。信息可以有多种表现形式,以电话等方式携带的信息通常是实时传送的信息,而书刊、资料、光盘等媒体记录的信息则更多的是非实时传送的信息。

人们经常需要把自己的想法、意见、消息、情报与别人进行交流,这种互通信息的方式或过程就叫通信。广义上说,无论采用何种方法,使用何种传输介质,只要将信息从一地传送到另一地,均可称为通信。再比如,在古代人类利用烽火台、击鼓、驿站快马接力、信鸽、旗语等实现信息传递也都属于简单通信,此类简单通信只能在近距离内进行,受到传送空间、距离的限制。要实现远距离的通信,并达到迅速、有效、准确、可靠的目的,就要借助于电子技术,建立通信系统,把要传递的声音、文字、图像等信息转换成电信号,然后通过介质传送到接收方,再还原成原来的信息。例如,电话通信是把语音信号变成电信号传送到远方去的通信方式;图像通信是把固定的或活动的图像信号变成电信号传送到远方去的通信方式等。下面对通信系统模型及工作原理进行简单介绍。

1.1.1 现代通信系统模型

分处 A、B 两地的任意两用户(人与人,机器与机器,人与机器)间的信息传递是通过通信系统来实现的。通信系统由发送终端设备、传输信道、接收终端设备组成,如图 1-1 所示。

图 1-1 中发送终端置于变换器 A 的一端,是把来自信源的消息变换成与传输信道相适配的电或光信号,并提供额定的信号功率进入传输信道传输,使其能有效地传送到接收端。接收终端位于反变换器 B 的一端,是将从信道接收下来的信号进行衰减补偿,并消除或减小畸变和噪声对有用信号的干扰,将接收下来的电或光信号进行反变换,重现信息原貌。

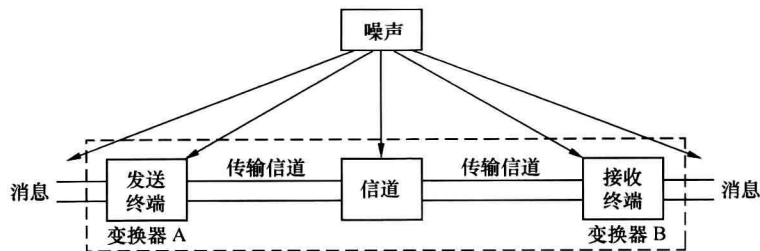


图 1-1 通信系统的模型示意图

传输信道是信号传输通道的简称，通常包括自由空间、光缆、全塑市话对称电缆、同轴电缆等，其主要功能是尽可能地减小电或光信号在信道中的传输损耗，并尽可能地减少因畸变和噪声造成的对有用信号的干扰，顺利地把电信号自 A 点（发送终端）迅速且准确无误地输送到 B 点（接收终端）。

就接收、发送终端设备而言，又可分为用户终端设备和传输终端设备两类。用户终端设备是以用户线（有线或无线）为传输信道的终端设备，它从业务角度可分为电话终端设备、数据终端设备、图像终端设备等。传输终端设备是以有线、无线介质为信道，为用户终端和业务网提供传输服务的电信终端，它主要包括数字收发信机、微波收发信机、光收发信机等各种发送、接收设备和 PDH 准同步数字系列中的 PCM 复接设备、SDH 同步数字系列中的同步终端复用器等各种复用设备。

噪声会使有用信号发生畸变，使终端设备、传输信道工作在非线性状态。当噪声叠加在有用信号上时，将会降低有用信号的信噪比，进而降低通信质量。

信源提供待传递的原始信号，如电话通信的语音，图像通信中的可视图文、传真和数据通信中的数据等。信宿再现信源的原始信号。

下面通过图 1-2 来进一步介绍实际通信系统的一般结构。一个完整的通信系统除了必须

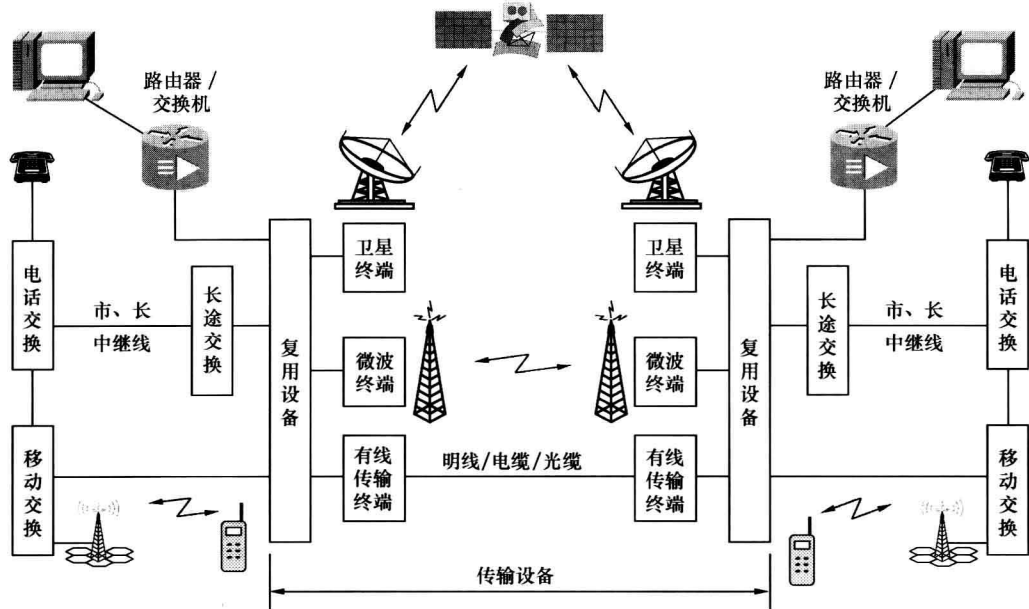


图 1-2 通信系统的一般结构

具备传输信道部分外，还需要有用户终端设备、交换机、多路复用设备和传输终端设备（收发信机）等。

图 1-2 所示的固定电话、移动电话和计算机等都是用户终端设备，用户终端设备的作用是将语音或数据信号转换成电信号，或者进行反变换。交换设备的作用是实现局内或局间用户间的信号交换或转接。复用设备的作用是实现多路信号的复用（汇接），可采用频分、时分、码分多种形式的复用，以提高物理信道的传输容量。传输终端设备（如卫星终端、微波终端等）的主要作用是将待传输的信号转换成适合信道传输的信号或进行反变换等。这里的电缆、光缆、微波、卫星是不同形式的传输介质或信号载体。

当通信系统采用电缆作为传输介质时，此时传输终端设备为电缆通信终端设备，相应的通信系统为电缆通信系统。若采用光缆作为传输介质时，此时的传输终端设备即为光端机，相应的通信系统就称为光缆（光纤）通信系统。若采用微波作为载体，用微波中继站作信号转接，此时传输终端设备就是微波端站，相应的通信系统就称为微波通信系统。若仍采用微波作为载体，用卫星作中继站，此时传输终端设备就是卫星地面站（或地球站），相应的传输系统就称为卫星通信系统。

不管何种通信系统，都离不开传导电磁波的介质，任何两点之间的电磁波传播介质通常被称为“通信线路”或“信道”。由光缆或电缆作为电磁波传播介质的通信线路称为“有线通信线路”；由自由空间或大气层作为电磁波传播介质的通信线路称为“无线通信线路”。

1.1.2 现代通信网概念

如上所述，两用户间的通信是利用通信系统来完成的，也就是说，欲让 A、B 两地的用户互相通信，必须在他们之间建立一个通信系统。对于离散分布的 n 个用户，若要让其中任意两用户能互相通信，最简单的方法是用传输线把各用户（如 A、B、C、D、E、F）两两连接起来，如图 1-3（a）所示，这样就需要建立 $n(n-1)/2$ 个通信连接。众多传输设备与通信线路纵横交错，构成通信网。

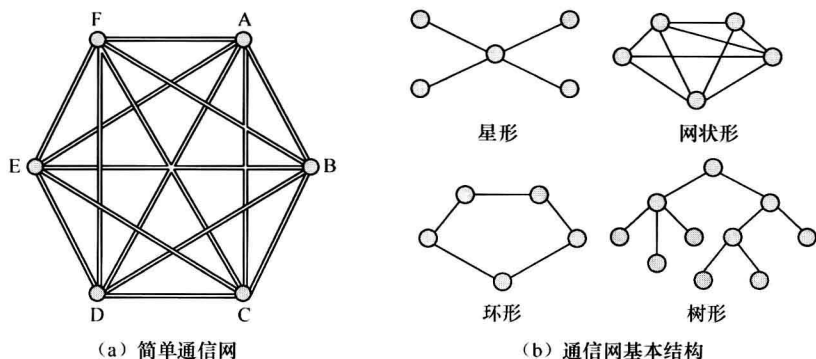


图 1-3 通信网结构示意图

通信网可以从不同角度的分类，若从通信的业务来分类，可分成电话网（电信网）、电报网、数据网等。无论国内还是国外，目前电话业务仍是整个通信业务的主体，通信网还是以电话网为主体。这里主要介绍电话网的基本结构。

由多个用户构成的通信系统体系就称为通信网。一个完整的通信网是由用户终端设备、

传输设备、交换设备和相应的信令、协议、标准等软件构成。用户终端设备和传输设备的功能已在前面介绍，下面介绍交换设备、信令、协议、标准等的功能。

交换设备用于完成用户群内的各个用户终端之间通信线路的会聚、转接和分配，并控制信号的流向。交换设备的种类有：电话通信中的程控电话交换机，数据通信中的分组交换机、ATM 交换机、软交换机及光通信中的光交换机等。

信令系统是通信网的神经系统。比如，电话要接通，必须传递和交换必要的信令，完成各种呼叫处理、接续、控制与维护管理等功能。信令系统可使网络作为一个整体而正常运行，有效完成任何用户之间的通信。协议是通信网中用户与用户、用户与网络资源、用户与交换中心间完成通信或服务所必须遵循的规则和约定的共同“语言”。这种语言能使通信网合理运行，正确控制。标准是由权威机构建议的协议，是保证通信网正常运行应遵守的条款。

通信网的基本拓扑结构主要有星形、网状形、环形和树形等，如图 1-3（b）所示。将各类拓扑结构结合起来，网络的结构就会合理得多。图 1-4 所示为我国的电话网的网络等级结构。可以看出，我国电话网由长途电话网和本地电话网组成。长途电话网采用由网形和树形形成的复合型网络结构。我国电话网的等级结构已由原来的 5 级演变为 3 级，并向无级的方向发展。在无级动态网中，整个电话网将由一级长途网、本地网和接入网构成。长途网和本地网均可采用动态路由选择，而接入网将采用环形网结构，并实现光纤化和宽带化。图 1-4 中 DC 为数字交换中心，TM 为数字汇接局，LS 为本地交换局。

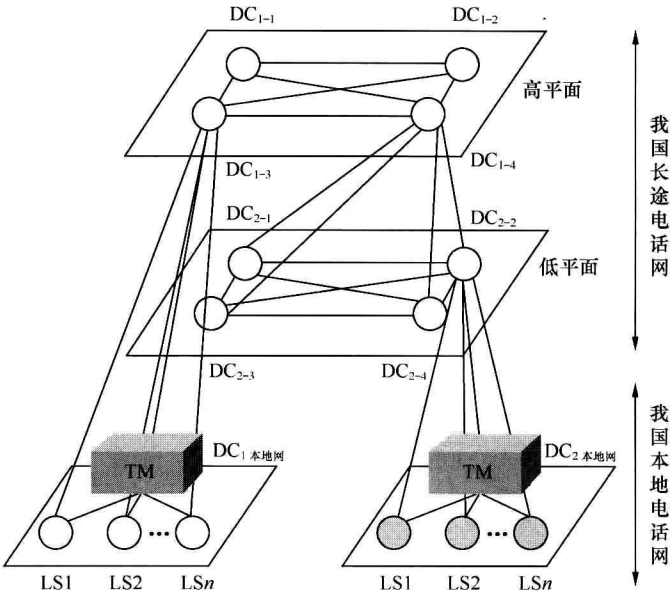


图 1-4 目前的电话网结构

21 世纪电话网的发展方向是全球化、宽带化、数据化、网络化和个人化，电话网逐渐从传统的电话交换网向 IP 业务化宽带分组网过渡。

1.1.3 现代通信传输技术

通信信号需要在一定的物理介质中传播，这种物理介质称为传输介质。传输介质是提供

A、B 两地传递信息的通道。比如，空气（大气层）是传送声音的介质，因而人与人之间能面对面交谈，可以直接听到对方的声音。在月球上是没有空气的，因此，在月球上要完成两个人之间面对面的交谈，要借助于电子技术，把要传递的声音等信息转换成电信号，然后通过介质传送，才能听到对方的声音。电信号的传输以速度快、距离远为优势，是信息传输的一种重要的手段。那么，电信号传输的介质有哪些呢？

一般来说，电信号的变化体现在电压或电流的变化上，电压或电流的变化会导致导线周围的电场或磁场的变化。电场与磁场的总称为电磁场。电磁场的传播需要一定的时间过程，其在真空的传播速度可达为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ，这种以很高速度传播的电磁场叫做电磁波。所以，电信号的传输实质是电磁波的传播，它的传播方式因传输的介质不同可分为两类：一类是电磁波在自由空间的传播，这种传播方式叫做无线传输，其能量比较分散，传输效率较低；另一类是电磁波沿某种传输线传播，这种传播方式叫做有线传输，其传输的电磁波能量大部分集中在传输线周围，传输效率较高。现代通信传输方式可用图 1-5 来概括。

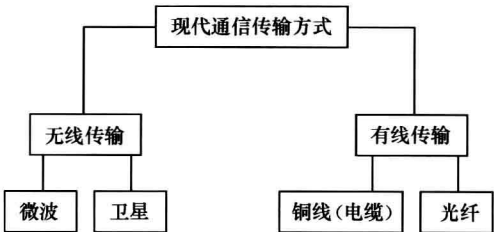


图 1-5 现代通信传输方式

现有的传输线有架空明线、对称电缆、同轴电缆、金属波导管和光纤等。各类传输线结构如图 1-6 所示。

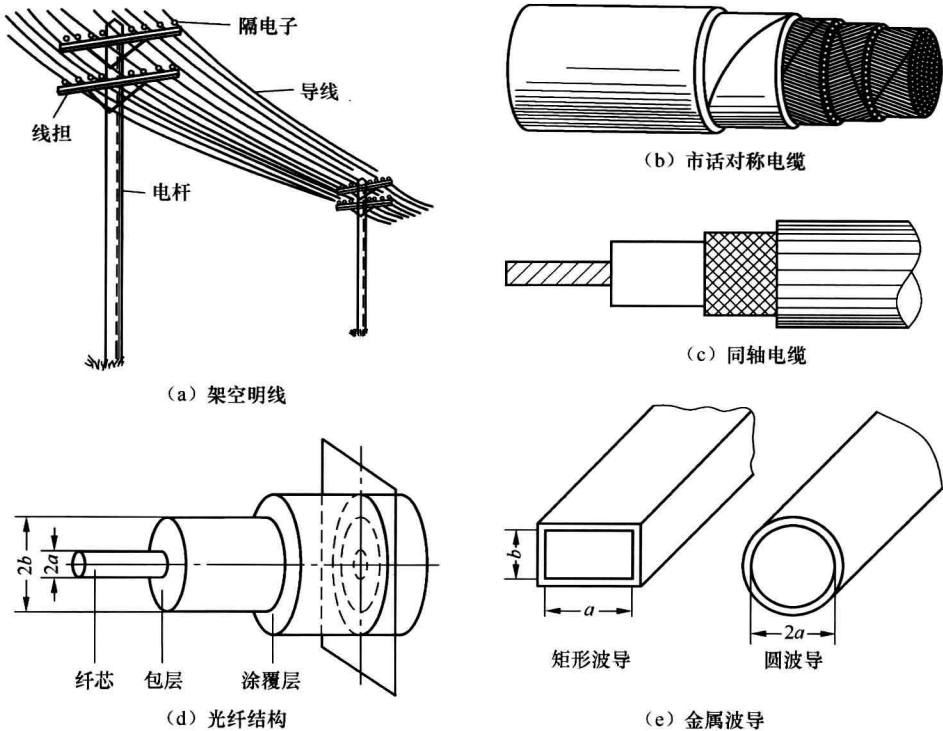


图 1-6 有线通信线路

无线电传播的传输介质是对流层、平流层或电离层，传播方式有直射波、反射波、地波和散射波等，如图 1-7 所示。

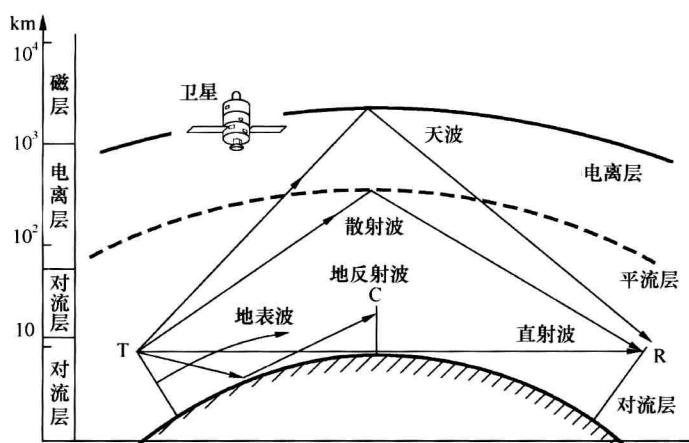


图 1-7 大气层的结构和无线电波的传播

一条无线信道的构成需要有发射机、发射天线、接收天线和接收机。无线信道比有线信道受到更多自然界和人为的干扰，但无线信道也具有有线信道无可比拟的优点，它不受导线的限制，因此收信者可以在范围极其广泛的地域接收信号。无线信道可根据电信号使用频率的不同分为短波、超短波、微波等。

短波 ($\lambda=10\sim 100\text{m}$, $f=3\sim 30\text{MHz}$) 经电离层的一次或数次反射，通信距离可达上万公里，主要用于应急、抗灾中的电话及数据通信。

超短波 ($\lambda=1\sim 10\text{m}$, $f=30\sim 300\text{MHz}$) 主要以直线视距方式在大气层中传输，传输距离约 50km，也可在对流层中作数百公里的超视距通信，主要用于 280MHz 高速寻呼、无绳电话、对讲电话及超短波数字通信等。

微波 ($\lambda=0.1\sim 1\text{m}$, $f=300\text{MHz}\sim 300\text{GHz}$) 主要用于 900MHz、1 800MHz 和 2 000MHz 公用陆地移动电话、地面微波接力通信、卫星通信、对流层散射通信、空间通信（即用微波在地球站与人造卫星和航天器之间通信）及特殊地形的通信等。

1.2 光纤通信的发展

1.2.1 光纤通信的发展

光纤通信是以激光作为信息载体，以光纤作为传输介质的通信方式。由于光纤的传光性能优异，传输带宽极大，因此，现在已形成了以光纤通信为主，微波、卫星、电缆通信为辅的通信格局。

光纤通信技术是近 30 年迅猛发展起来的高新技术。它的诞生和发展给通信技术带来了划时代的革命。为了使读者对光纤通信的发展历程有个基本了解，现将该技术的进程简要介绍如下。

1960 年，第一台相干振荡光源——红宝石激光器问世。激光器 (Laser) 是基于物质原子和分子内能的变化而构成的光波振荡器，它可产生频谱纯度很高的激光。但气体和固体激光器体积大、效率低，不适宜在通信中使用。

1962 年，半导体激光器的出现为光通信光源实用化带来了希望。1970 年，首次研制出在

室温下连续工作的双异质结半导体激光器, 这为实用化通信光源奠定了基础。

1966年, 华裔科学家高锟(C.K.K90)根据介质波导理论提出了光纤作为光通信传输介质的概念, 由此高锟荣获2009年诺贝尔物理学奖。

1970年, 美国AT&T公司Bell实验室的Machnesney等人和英国南安普顿大学的研究人员研究、发明、改进了化学气相沉积(Modified Chemical Vapour Deposition, MCVD)的光纤制备方法。

1970年, 美国康宁公司的Maurer等人首次研制出阶跃折射率多模光纤, 其在波长为630nm处的衰减系数小于20dB/km; 同年美国贝尔实验室的Hayashi等人研制出室温下连续工作的GaAlAs双异质结注入式激光器。正是光纤和激光器这两个科研成果的同时问世, 拉开了光纤通信的序幕。

1972年, 随着光纤制备工艺中的原材料提纯、制棒和拉丝技术水平的不断提高, 梯度折射率多模光纤的衰减系数降至4dB/km。

1976年, 在进一步设法降低玻璃中的OH根含量时, 发现光纤的衰减在长波长区有1310nm和1550nm两个窗口。同年, 美国西屋电气公司在亚特兰大成功地进行了世界上第一个44.736Mbit/s传输110km的光纤通信系统的现场试验, 使光纤通信向实用化迈出第一步。

1980年, 原料提纯和光纤制备工艺不断完善, 加快了光纤的传输窗口由850nm移至1310nm和1550nm的进程。特别是制出了低衰减光纤, 其在1550nm的衰减系数为0.20dB/km, 已接近理论值。与此同时, 为促进光纤通信系统的实用化, 人们又及时开发出适用于长波长的光源(激光器、发光二极管)和光检测器。应运而生的光纤成缆、光无源器件和性能测试及工程应用仪表等技术的日趋成熟, 都为光纤光缆作为新的通信传输介质奠定了良好的基础。

1981年以后, 世界各发达国家开始将光纤通信技术大规模地推入商用。历经近20年突飞猛进的发展, 光纤通信速率已由1978年的45Mbit/s提高到目前的400Gbit/s。

我国自20世纪70年代初就已开始了光纤通信技术的研究, 1977年武汉邮电科学研究院研制出中国的第一根阶跃折射率分布多模光纤, 其在850nm的衰减系数为3dB/km。

1987年年底, 建成了第一个国产的长途光纤通信系统, 由武汉至荆州, 全长约250km, 传输34Mbit/s信号, 光缆采用架空方式。

1988年起, 国内光纤通信系统的应用由多模光纤转为单模光纤。

1993年, 我国与日本、美国三方投资建设的第一条通向世界的大容量海底光缆正式开通。全长1250km, 传输速率560Mbit/s, 可提供7560条电路, 相当于原有的中日海底同轴电缆的15倍。

1999年, 我国完成了“八纵八横”通信光缆工程, 全长约80000km。它作为全国的主干通信网, 使我国光纤通信水平迈上了新台阶。

光纤通信技术的问世与发展给世界通信业带来了革命性的变化, 使光纤通信成为信息高速公路的重要传输平台。当今光纤通信技术的发展趋势主要是光纤通信系统的网络化和超高速化。目前光纤通信网络成为各国信息传输的核心网, 近年, 着力解决全网“瓶颈”——将光纤接入网作为通信接入网的一部分, 直接面向用户, 提出“光进铜退”, 即让光纤引入到千家万户, 保证亿万用户的多媒体信息畅通无阻地进入信息高速公路。在网络传输的高速化方面, 目前商用系统的速率已从155.520Mbit/s增加到10Gbit/s, 不少已达到40Gbit/s, 另外, 160Gbit/s速率和640Gbit/s速率的传输试验也获得成功。

新一代光纤的开发趋势朝着通信业务网络功能细分方向发展, 如开发核心网、城域网、接

入网各自适用的光纤,如现广泛应用的常规单模光纤 (ITU-T G.652) 在 1 310nm 为零色散,在 1 550nm 为最低损耗,其工作波长为 1 310nm;色散位移单模光纤 (ITU-T G.653) 低损耗和零色散均在 1 550nm,工作波长为 1 550nm;截止波长位移单模光纤 (ITU-T G.654) 在 1 550 nm,衰减系数仅为 0.15dB/km;非色散位移单模光纤 (ITU-TG.655),其在 1 550nm 损耗小,色散小,非线性效应小;宽带光传送非零色散光纤 (ITU—TG.656),在 1 460~1 624nm 波长范围色散变化维持在较小范围 ($2\sim 14\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$),能有效抑制密集波分复用系统的非线性效应。弯曲衰减不敏感单模光纤 (ITU—TG.657),其弯曲半径可实现常规的 G·652 光纤的弯曲半径的 $1/4\sim 1/2$,可以在 1 260~1 625nm 的宽波长范围内 (即 O, E, S, C, L5 个工作波段) 工作。从新一代光纤开发方向可以看出,在传输特性方面,降低了衰减、色散,克服了非线性现象,光纤的工作波长由 850nm 和 1 310nm 向 1 550nm 和 2 000nm 波长区域扩展。

1.2.2 光纤线路传输特点

光纤通信为什么发展得如此快速?因为与电缆和微波等通信方式相比,以光纤作为传输线路主要有以下的特点。

1. 通信频带极宽,通信容量大

由于光纤本征带宽达 240GHz,因此传输容量大,一根光纤理论上可以同时传输近 100 亿路电话和 1 000 万路电视节目。根据目前实用化的水平,每对光纤单波长传输速率可达 40Gbit/s,相当于传 483 840 路电话信号,比 3 600 路中同轴电缆的通信容量高约 134 倍。采用波分复用技术后,通信容量已达到 10.932Tbit/s。我国的设备制造商已可以提供 1.6Tbit/s ($160\times 10\text{Gbit/s}$),相当于约 1 935 万路电话信号的传输能力。

2. 传输衰减小,传输距离长

由于光纤的传输衰减很低,所以能实现很长的无中继传输距离。在 1 550nm 波长的衰减系数为 0.2~0.25 dB/km,而同轴电缆在频率为 60MHz 时的衰减系数为 19dB/km,全塑对称电缆在频率为 4MHz 时的衰减系数为 20dB/km。3 600 路中同轴载波电话系统的增音段的距离仅为 6km,但光纤通信的最大中继距离可达 200km,因此,光纤通信不仅可以大大节省工程建设成本,而且对提高可靠性和稳定性具有特别重要的意义。

3. 抗电磁干扰,传输质量高

任何信息传输系统都应具有一定的抗干扰能力,否则通信就会变得不稳定。通信的干扰源有许多,如雷电干扰、电离层变化、太阳的黑子活动、电机干扰、高压电力线的影响以及无线电波的干扰等,这些干扰都是现代通信无法回避的问题,所以现有通信设备的研制和通信网络的设计中都注意采用各种措施加以防止,但仍然不能满意地解决以上各种干扰的影响。由于光纤通信使用的光载波频率很高,不受以上干扰的影响,因此,光通信从根本上解决了长期困扰电通信的干扰问题,大大提高了传输质量。

4. 信号串扰小,保密性好

对通信系统的另一个重要的要求是保密性。随着科学技术的发展,传统的通信方式很容

易被窃听，只要在明线或电缆附近（甚至几千米之外）设置一个特别的接收装置，就可以获得明线或电缆中传输的信息。但是光纤通信与电通信不同，光波被限制在光纤中传播，即使在转弯处弯曲半径很小时，漏出光纤的光波也是十分微弱。实际上，光纤中的光波是不会泄漏出来的，在电通信中常见的线路之间的串音现象，在光纤通信中是不存在的。因此，光纤通信的保密性是非常高的。

5. 光纤尺寸小、重量轻，便于施工运输，节省地下空间资源

光纤的直径很小，裸光纤直径只有 $125\mu\text{m}$ ，它只有单管中同轴（内/外导体直径为 $2.6\text{mm}/9.5\text{mm}$ ）电缆芯径的百分之一左右。同样，光缆的直径也很小，8 芯的光缆横截面直径约为 10mm ，而标准的 8 管中同轴电缆横截面直径约为 47mm 。因此，过去敷设一条电缆需占用地下管道的一个管孔，采用光缆后，地下管道的管孔可以复用，一条光缆只占用 $1/3$ 个管孔，不仅节省了地下空间资源，也节省了工程建设成本。

光缆的质量比电缆轻得多。例如，18 管中同轴电缆每米的质量是 11kg ，18 芯光缆每米的质量仅为 90g ，为施工运输带来极大的方便。

1.2.3 光纤（光缆）线路传输方式

光纤线路传输有两种方式，一种是双纤单向传输方式，另一种是单纤双向传输方式。目前最常用的是双纤单向传输方式，如图 1-8 所示，该方式的光纤传输系统主要用于骨干（长途）网、本地网以及光纤接入网。

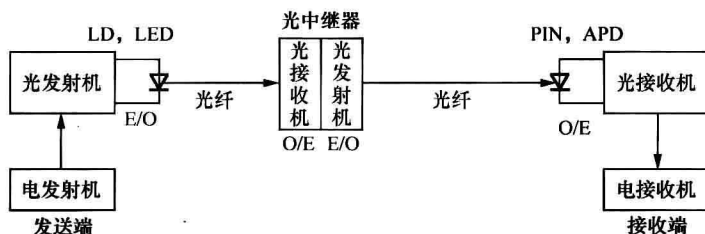


图 1-8 光纤传输系统示意图

光纤传输系统是由发送设备、传输线路和接收设备 3 大部分构成。其中电发射机的作用是对来自信息源的信号将进行模/数转换，并做多路复用处理。光发射机（如激光器 LD 或发光二极管 LED）的作用是实现电/光转换，即把电信号调制成光信号，送入光纤，传输至远方。光接收机（如光电二极管 PIN 或 APD）的作用是实现光/电转换，即把来自光纤的光信号还原成电信号，经放大、整形、复原后，送至电接收机，完成数字信号的分接以及数/模转换。

对于长距离的光纤传输系统，还需要中继器，其作用是将经过长距离光纤衰减和畸变后的微弱光信号放大、整形、再生成具有一定强度的光信号，继续送向前方，以保证良好的通信质量。目前的中继器都采用光—电—光形式，即将接收到的光信号，用光电检测器变换为电信号，经放大、整形、再生后再将电信号变换成光信号重新发出。近年来，适合作为光中继器的光放大器（如掺铒光纤放大器）已投入商用。这就是说，采用光放大器的全光中继及全光网络将为期不远。

1.2.4 通信光纤光缆的应用

光纤光缆传输系统不仅适用于通信骨干网、本地网及接入网，而且也广泛采用于有线电视网、互联网、局域网等信息网络中。光纤除了在公用通信和专用通信中大量使用外，还在军事、航空航天、测量、传感、自动控制、医疗卫生等许多领域得到广泛的应用。

1. 光纤在通信骨干网、本地网传输系统中的应用

通信骨干网、本地网传输主要以光纤传输为主，其传输原理如图 1-8 所示。

2. 光纤在用户接入网中的应用

光纤接入网是指在用户接入网中采用光纤作为主要传输介质来实现用户信息传送的应用形式。光纤接入网的主要优点是可以传输宽带业务，即计算机数据业务、IPTV 业务和传统电话业务等，且传输质量好，可靠性高，网径一般较小，可不需要中继器等。图 1-9 所示为一种光纤接入网结构示意图，它将光纤引入千家万户，保证多媒体信息畅通无阻。

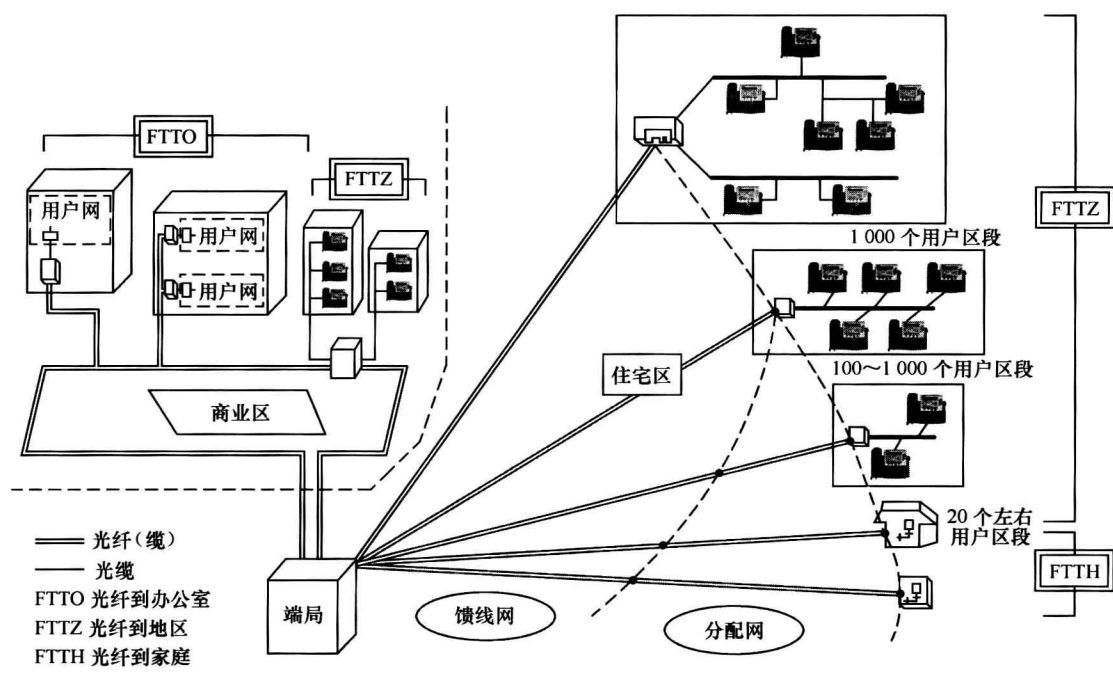


图 1-9 光纤接入网示例

3. 光纤在电视、数据传输中的应用

利用光纤作为有线电视（CATV）的干线传输介质，可大大提高信号传输质量，为多功能、大容量的信息传送提供了基础。然而，做到光纤到户成本很高，难于大规模实现，因此，目前 CATV 网的最佳选择是光纤与同轴电缆混合（HFC）的传输方式。

4. 光纤在计算机校园网络中的应用

利用光纤传输 1 000 Mbit/s 计算机校园网的数据信号，其结构如图 1-10 所示。