



高等院校电子信息科学与工程类

• 通信工程专业教材 •

通信线路工程

傅珂 李雪松 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等院校电子信息科学与工程类

• 通信工程专业教材 •

通信线路工程

傅 珂 李雪松 编著

北京邮电大学出版社

• 北 京 •

内 容 简 介

本书系统地介绍了通信线路工程的基础知识,线路设计、施工、工程测试和维护技术以及仪器仪表的原理和使用方法。并注意吸收最新的标准规范、产品和工程技术,全面反映了通信线路工程领域的发展和最新成果。

全书共分为13章,第1章为概述内容,介绍了现代通信的历史和发展趋势,电通信到光通信的演进,通信系统组成,线路工程的范围和特点。第2~3章为电缆部分,主要介绍电缆的基本知识,重点阐述了本地网中应用的市话全塑电缆工程。第4~5章讲解光纤、光缆的结构、性能、分类及应用。第6章为测试理论部分,讲述光纤和光缆的测试内容和方法。第7章为光缆工程的设计部分,介绍光缆线路工程的设计程序、设计内容和通信线路工程的概、预算编制方法。第8~11章为施工技术部分,讲解各种敷设方式的线路施工,光缆安装接续,线路防护和工程测试及竣工验收。第12章为线路维护和故障排除部分,介绍了通信线路维护的组织、标准和故障处理程序和方法。第13章介绍通信线路工程中常用的仪器、仪表的原理和使用方法。

本书内容全面,概念清楚,重点突出,理论部分取舍合理,简明易懂,是一本工程实用性较强的书籍,可作为通信工程、网络工程等相关专业的教材,也可供从事通信工程和网络工程建设、管理、维护以及工程监理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信线路工程/傅珂,李雪松编著. --北京:北京邮电大学出版社,2010.5

ISBN 978-7-5635-2304-7

I. ①通… II. ①傅…②李… III. ①通信线路—通讯工程 IV. ①TN913.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 082710 号

书 名: 通信线路工程

编 著 者: 傅 珂 李雪松

责任编辑: 陈岚岚

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 19.5

字 数: 487 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2304-7

定 价: 35.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

Internet 自 20 世纪 90 年代以来呈现爆炸式的成长,电信网的业务因此发生了深刻的变革,从传统的以话音业务为主转向以 IP 业务为代表的数字、图像和多媒体通信业务,这是电信网最为显著的变化。新的业务带来带宽的巨大需求,ATM、以太网、IP 和 MPLS 技术逐渐成为骨干网络的核心技术。这些应用和发展需要光通信技术支持,同时也促进了光通信技术的飞速发展。

业务的发展离不开传输技术的进步,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,光纤通信的容量也在不断扩大。商用时分复用(TDM)系统的速率已达 10 Gbit/s, TDM 40 Gbit/s 系统已进入现场应用。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 OFC 年会上, DWDM 试验系统容量最高记录已达 10.93 Tbit/s,无线中继传输距离达数千千米。商用光纤传输系统不断部署,该类产品大多采用 160×10 Gbit/s 方案。单波长 40G 系统已经商用,单波长 100G 系统预计将在 2010 年商用,目前光网络的研究重点为光传送网(OTN)和自动交换光网络(ASON),以适应大颗粒业务(2.5G 以上)的传送需求,以及光波长业务的可监控、可管理和可运营。

为了适应光纤通信系统的发展,近年来光纤技术也有了长足的进展。在多模光纤上,50/125 μm 的多模光纤将成为主流应用,ITU-T 的 G.651.1(07/2007)规范定义此类光纤应能支持 1 Gbit/s Ethernet 系统长达 550 m 的应用,EIA/TIA 更将多模光纤进一步分为 OM1~OM4,配合 VCSEL 垂直腔表面体激光器,以支持 10 Gbit/s 至更高速率的 Ethernet 多模系统应用。在单模光纤上,ITU-T 对原有的 G.652、G.653、G.654 和 G.655 均作了修改。G.652 光纤除了适用于传输速率最高为 2.5 Gbit/s 的 G.652.A 外,又多了 3 种性能更高的 G.652.B、G.652.C 和 G.652.D 光纤,传输速率可达到 10 Gbit/s。新标准把非零色散位移光纤(NZ-DSF)即 G.655 光纤分为多个子类(A~E)。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 0.1~6.0 ps/(nm·km)。G.655.B 类光纤适用于 G.692 规定的速率高达 10 Gbit/s(STM-64)、波道间隔不超过 100 GHz 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。目前在长途波分复用系统中 G.655 光纤成为首选的光纤,其中佼佼者如康宁公司的第三代大有效截面积光纤(LEAF)和朗讯(Lucent)公司的真波光纤,它们分别对光纤的非线性和色散特性进行优化。

同时,为了适应光纤通信在核心网、城域网中的 DWDM 应用,ITU-T 新增加了

G.656“用于宽带光传输的非零色散位移光纤”标准。在接入网入户光纤中的应用,ITU-T 新增加了 G.657“接入网中使用的弯曲损耗不敏感单模光纤”标准。

近年来我国的光纤、光缆技术也取得了较大的发展,1998 年开始使用 G.655 光纤,2000 年以后开始大量使用一级干线。大部分城市的城域网建设采用 G.652.A 和 G.652.B 类光纤,目前开始采用 G.652.C/D 常规单模光纤。接入网的引入光缆和室内光缆中光纤开始采用 G.657 光纤。随着光纤通信系统建设重点从核心网转向接入网,光缆正向着品种多样化、应用细分化、芯数密集化、缆芯干式化、结构小型化方向发展。但是接入网中的光缆工程呈现出不同于核心网的特点,本书也注意到此应用趋势,并对此作介绍。

电信网各个层面的光纤化是一个渐进的过程,传统的铜线、铜缆还将使用,通过各种 DSL 技术升级,还可满足一段时期内的开通宽带业务的需求。

本书旨在反映最近几年电信网技术和产品的进步,并将最新进展及相应的工程建设、维护与管理技术介绍给广大读者。全书共分 13 章,第 1 章简要介绍了通信的发展历史、电缆/光纤通信系统组成和通信线路工程的施工范围和特点;第 2、3 章介绍有关通信电缆的知识,重点是电缆在市话工程中的应用;第 4、5 章讲解光纤、光缆的结构、性能、分类和应用,有关光纤、光缆的国内外标准体系;第 6 章介绍了光纤的测试理论和方法;第 7 章详细讨论了光缆线路工程的建设程序、设计原则、设计内容、设计要点、工程设计勘察要求、工程概、预算费用的编制方法;第 8~11 章讨论了光缆线路施工,包括路由复测、单盘光缆检验、光缆的配盘、光缆布放安装、线路光缆的接续以及成端安装、中继段测试和工程移交等;第 12 章讨论了线路维护管理组织,光缆线路维护标准,光缆线路维护内容、周期及方法,详细讨论了光缆线路的障碍及处理程序、光缆线路障碍点的定位和处理方法,并给出了光缆线路障碍的处理案例;第 13 章介绍了光时域反射仪(OTDR)、光纤熔接机、对地绝缘测试仪和地阻测试仪等线路常用仪表的使用。

全书参考了 ITU-T、IEC 和 TIA/EIA 关于光纤、光缆的一些新的修改标准和通信线路工程的研究成果。本书的主要特点如下:一是内容全面,覆盖了通信线路工程的设计、施工与维护的各个方面;二是内容新,提供的内容大多来自最新的标准和近几年实际工程的设计资料;三是实用性强,结合编著者多年从事通信线路教学、设计施工和维护的经验,提供了很多实用案例;四是本书的基本内容已经过几年的教学实践,浅显务实。

书中第 2、3 章由李雪松编写,第 6 章由韩仲祥编写,第 11 章由柳海编写,其余章节由傅珂编写,并由傅珂、李雪松负责全书统稿、校对工作。由于编著者水平有限,书中错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 通信技术发展概述	1
1.1.1 通信发展历史	1
1.1.2 通信电缆的发展	2
1.1.3 从电通信到光通信	4
1.2 光通信的发展历史	5
1.2.1 光通信	5
1.2.2 光通信发展史	5
1.2.3 光纤通信系统发展	7
1.2.4 我国光纤通信发展概况	8
1.3 光纤通信系统基础知识	9
1.3.1 光纤通信系统的基本构成	9
1.3.2 光纤通信的主要特点	11
1.3.3 光纤通信的传输窗口	13
1.3.4 光纤通信系统的分类	13
1.4 通线线路工程	14
1.4.1 通信线路网分级	14
1.4.2 通信线路工程的施工和维护范围	16
思考与练习	16
第 2 章 通信电缆	17
2.1 全塑电缆类型和结构	17
2.1.1 全塑电缆类型	17
2.1.2 全塑电缆结构	18
2.1.3 全塑电缆的色谱与规格程式	23
2.1.4 市话全塑电缆的端别	27
2.2 通信电缆的型号及表示方法	27
思考与练习	30
第 3 章 用户电缆线路工程设计与施工	31
3.1 用户电缆线路传输设计	31
3.1.1 用户线路网构成	31

3.1.2 电缆线路传输设计标准	32
3.1.3 用户电缆线路环路设计基本方法	34
3.2 用户电缆配线方式和成端	36
3.2.1 电缆配线的基本知识	36
3.2.2 用户电缆配线方式及选择	37
3.2.3 用户电缆成端	41
3.3 全塑电缆的接续	44
3.3.1 电缆芯线的编号与对号	44
3.3.2 全塑电缆常用接续方法	45
3.4 全塑电缆的封合	47
思考与练习	49
第4章 光纤	50
4.1 光纤的基本知识	50
4.1.1 光纤的结构	50
4.1.2 光纤的材料	51
4.1.3 光纤的制造	53
4.1.4 光纤的导光原理	54
4.1.5 光纤的分类	56
4.2 光纤的几何、光学特性	57
4.2.1 光纤的几何参数	57
4.2.2 光纤的光学特性	58
4.3 光纤的传输特性	60
4.3.1 衰减	60
4.3.2 色散	64
4.3.3 机械特性	67
4.3.4 温度特性	68
4.4 光纤的类型	69
4.4.1 渐变型多模光纤	70
4.4.2 常规单模光纤(G. 652 光纤)	71
4.4.3 色散位移光纤(G. 653 光纤)	73
4.4.4 截止波长位移单模光纤(G. 654 光纤)	73
4.4.5 非零色散位移单模光纤(G. 655 光纤)	73
4.4.6 非零色散宽带传送应用的单模光纤(G. 656 光纤)	74
4.4.7 接入网用弯曲不敏感单模光纤(G. 657 光纤)	75
4.4.8 色散补偿光纤	76
4.4.9 塑料光纤	77
思考与练习	78

第 5 章 光缆	80
5.1 光缆概述	80
5.1.1 光缆结构设计考虑的因素	80
5.1.2 光缆的制造过程	80
5.2 光缆的结构和材料	81
5.2.1 光缆的结构	81
5.2.2 光缆的材料	86
5.2.3 光缆的端别和纤序	88
5.2.4 光缆的机械和环境性能	88
5.3 光缆的分类与型号命名	89
5.3.1 光缆的分类	89
5.3.2 光缆的型号	89
5.3.3 光缆结构举例	92
思考与练习	94
第 6 章 光纤传输参数测量	95
6.1 测量概述	95
6.1.1 测量方法的分级及要求	95
6.1.2 注入条件	96
6.2 光纤衰减特性的测量	97
6.2.1 剪断法	97
6.2.2 插入法	98
6.2.3 后向散射法(OTDR 法)	99
6.2.4 改进的测量方法	99
6.3 多模光纤带宽的测量	100
6.3.1 时域法	101
6.3.2 频域法	102
6.3.3 光纤带宽的现场测试	104
6.4 单模光纤色散测量	104
思考与练习	107
第 7 章 光缆线路工程设计	108
7.1 光缆线路工程设计程序	108
7.1.1 规划阶段	108
7.1.2 设计阶段	110
7.1.3 设计会审与审批	112
7.2 工程设计原则及内容	113
7.2.1 工程设计原则	113

7.2.2 设计内容	113
7.2.3 设计文件的组成	113
7.3 光通信系统设计要点	113
7.3.1 光通信系统设计的基本要求	113
7.3.2 光通信系统设计的基本参数	114
7.3.3 光纤、光缆的选用	116
7.3.4 传输设计	121
7.4 线路设计	122
7.4.1 光缆线路路由选择	123
7.4.2 中继站站址选择原则	124
7.4.3 敷设方式及要求	125
7.4.4 水底光缆敷设	126
7.4.5 光缆的接续	127
7.4.6 光缆的预留	127
7.4.7 光缆线路的防护	128
7.5 工程设计勘测	129
7.5.1 工程可行性研究报告和工程方案勘察	129
7.5.2 光缆线路勘测	131
7.6 设计文件的编制	136
7.6.1 设计文件的内容	136
7.6.2 编制概、预算的作用、原则及编制依据	136
7.6.3 概、预算费用组成	138
7.6.4 概、预算的文件组成	139
7.6.5 概、预算编制程序	140
思考与练习	141

第8章 光缆线路的路由复测、单盘检验和配盘 143

8.1 光缆工程的特点、施工流程和组织	143
8.1.1 光缆工程的特点	143
8.1.2 光缆工程施工流程图	144
8.1.3 施工组织方法	145
8.2 光缆线路路由复测	145
8.2.1 光缆路由复测的任务	145
8.2.2 复测的基本原则	147
8.2.3 路由复测的方法	149
8.3 光缆线路的单盘检验	151
8.3.1 单盘检验的目的	151
8.3.2 单盘检验的内容及方法	152
8.4 光缆线路中继段配盘	154

8.4.1 光缆配盘的目的	154
8.4.2 光缆配盘的要求	154
8.4.3 光缆配盘方法	155
思考与练习	158
第9章 光缆线路工程施工	159
9.1 概述	159
9.2 直埋光缆路由施工	160
9.2.1 准备工作	160
9.2.2 挖掘光缆沟槽及要求	160
9.2.3 直埋光缆的保护措施	162
9.3 直埋光缆敷设	162
9.3.1 布放光缆的准备工作	162
9.3.2 敷设光缆的方法和要求	163
9.3.3 回填与路由标石	165
9.4 架空光缆路由施工	166
9.5 架空光缆敷设	176
9.5.1 支承方式	176
9.5.2 光缆吊线的装设及要求	176
9.5.3 架空光缆的架挂	178
9.5.4 预留和引上保护	181
9.5.5 自承式光缆的架空敷设	182
9.6 管道光缆路由施工	182
9.6.1 通信管道的结构	182
9.6.2 管道建筑与孔内子管敷设	185
9.6.3 塑料管道(硅芯管)的敷设	186
9.7 管道光缆敷设	188
9.7.1 管道光缆敷设前的准备	188
9.7.2 管孔的选择及清刷	188
9.7.3 管道光缆的配置	189
9.7.4 穿放光缆	190
9.7.5 光缆在人孔内的安排	192
9.8 水底光缆敷设	192
9.8.1 适用地段	192
9.8.2 水底光缆的选用	192
9.8.3 敷设准备	193
9.8.4 敷设方法	195
9.8.5 水底河床光缆沟的回填	196
9.8.6 水底光缆的附属设施	196

9.9 接入网光缆工程施工新技术	198
9.9.1 应用于 FTTN 网络的光缆	199
9.9.2 气吹微缆工程	201
9.9.3 路槽缆工程	204
9.9.4 排水管道光缆工程	205
思考与练习	205
第 10 章 光缆的接续与成端	207
10.1 光纤的固定接续	207
10.1.1 光纤的固定接续方法	207
10.1.2 光纤熔接接续的操作方法	209
10.1.3 机械连接——冷接法	212
10.1.4 光纤接续注意事项	213
10.2 光纤的连接器的接续	213
10.2.1 连接器的主要指标	214
10.2.2 光纤(缆)活动连接器的基本结构	214
10.2.3 常用的光纤(缆)活动连接器	216
10.3 光纤连接损耗的现场监测	218
10.3.1 光纤连接损耗的原因	218
10.3.2 光纤连接损耗的现场监测	219
10.4 光缆的接续	222
10.4.1 光缆接头盒的性能要求	222
10.4.2 光缆接续的一般步骤	223
10.4.3 接头护套接续的种类及方法	226
10.4.4 光缆接头监测与监测标石的连接	227
10.4.5 光缆接头的防水处理及安装	228
10.5 光缆成端	230
10.5.1 无人值守中继站光缆成端	230
10.5.2 端站、有人值守中继站的光缆成端方式和技术要求	231
10.5.3 光缆成端的注意事项	233
10.6 成端测量	234
10.6.1 成端测量的特点和必要性	234
10.6.2 成端测量的方法	234
思考与练习	237
第 11 章 工程竣工测试及工程验收	238
11.1 光缆工程竣工测试的内容	238
11.1.1 光特性测试	238
11.1.2 电特性测量	239

11.2 电缆测试	240
11.2.1 直流电阻测试	240
11.2.2 绝缘电阻测试	242
11.2.3 接地电阻测试	244
11.3 竣工技术文件编制	246
11.3.1 编制要求	246
11.3.2 编制内容及装订格式	246
11.3.3 总册部分编制方法	247
11.3.4 竣工测试记录部分编制方法	248
11.3.5 竣工路由图纸编制方法	248
11.4 工程验收	249
11.4.1 工程验收依据	249
11.4.2 工程验收的方法、内容及步骤	249
第 12 章 光缆线路维护与故障排除	255
12.1 光缆线路维护的基本任务与方法	255
12.1.1 光缆线路维护工作的基本任务	255
12.1.2 维护方法与周期	255
12.1.3 光缆线路维护的要求	257
12.2 光缆线路维护标准	257
12.2.1 值勤维护指标	257
12.2.2 光缆线路的质量标准	258
12.3 光缆线路障碍及处理程序	259
12.3.1 光缆线路障碍的定义	259
12.3.2 光缆线路障碍原因分析	260
12.3.3 光缆线路障碍处理要求	260
12.3.4 修复程序	261
12.4 光缆线路障碍点的定位	263
12.4.1 光缆线路常见障碍现象及原因	263
12.4.2 障碍测量	264
12.4.3 光缆线路障碍点的定位	264
12.5 障碍修理	267
12.5.1 应急抢代通	268
12.5.2 正式修复	272
思考与练习	273
第 13 章 线路工程常用仪表的使用	274
13.1 光时域反射计	274
13.1.1 概述	274

13.1.2	MW9076 OTDR 的主要特点	277
13.1.3	MW9076 OTDR 的测量模式	278
13.1.4	MW9076 OTDR 操作使用	280
13.1.5	MW9076 OTDR 的其他功能	283
13.1.6	测定故障点误差的原因和纠正措施	283
13.2	光纤熔接机	283
13.2.1	概述	283
13.2.2	TYPE-39 熔接机的特点	286
13.2.3	TYPE-39 熔接机操作应用	288
13.2.4	使用注意事项	293
13.2.5	日常维护	293
13.3	电/光缆金属护套对地绝缘测试仪	293
13.3.1	基本工作原理	293
13.3.2	操作应用	294
13.4	地阻测试仪	296
	思考与练习	297
	参考文献	299

1.1 通信技术发展概述

1.1.1 通信发展历史

从普遍意义上讲,通信是各种形式的信息转移或传递。通常是将拟传输的信息设法加载(即调制)到某种载体(电波、光波)上,被调制的载体传输到目的地后,再将有用的信息从载体上还原出来(即解调制),达到通信的目的。基本通信系统的组成框图如图 1-1 所示。

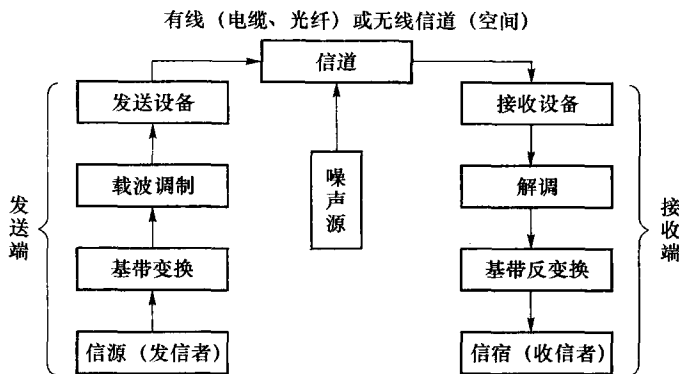


图 1-1 通信系统的组成框图

现代意义的通信是以电通信的出现为标志的,通信技术发展史上的重要事件如下。

1837 年,莫尔斯发明有线电报,至 1844 年已能传送 40 英里。1858 年,大西洋海底电缆 TAT-1 接通,第一次解决了越洋通信,但原始的电缆带宽极窄,90 个字的电报需要传送 67 分钟。1864 年,麦克斯韦提出了著名的电磁辐射方程。1876 年,贝尔发明电话,电话开始在为电报敷设的电上传输。1887 年,德国人赫兹以实验证明了电磁波的存在。1895 年,马可尼发明了无线电报,并于 1901 年首次完成了横跨大西洋的无线电通信。1904 年,弗莱明发明了真空二极管。1907 年,李·德·福尔斯特发明了真空三极管,1918 年,FM 无线广播、超外差接收机相继问世,1925 年,开始采用了三路载波电话、多路通信。1936 年,调频无线广播开播,1937 年,PCM 原理被提出,1938 年,电视(TV)广播开播。1940—1945 年,第

二次世界大战刺激了雷达和微波通信系统的发展。1948年,发明了晶体管,香农提出了信息论,通信统计理论开始建立。1950年,时分多路复用应用于电话。1956年,建设了越洋电缆。1957年,苏联发射了第一颗人造地球卫星。1960年,发明了激光,1961年,发明了集成电路,1962年,发射了第一颗同步通信卫星,PCM进入实用阶段。1960—1970年,彩电问世,阿波罗宇宙飞船登月,数字传输理论和技术得到了迅速发展,出现了高速数字计算机。1970—1980年,大规模集成电路出现和发展,国际商用卫星通信建立,程控交换机进入实用阶段,第一条光纤通信系统投入应用,微处理机在通信领域的应用迅速发展。1980年以后,用VLSI制成了长波长光纤通信系统并广泛应用,综合业务数字网(ISDN)崛起。1990年,以互联网为代表的通信得到爆炸式的发展。

作为现代无线通信应用发展的标志是蜂窝无线和个人通信系统的建立和发展:20世纪70年代后期为第一代无线通信系统(模拟,FDMA),80年代为第二代窄带数字系统的广泛应用(TDMA、CDMA),目前即将进入实用的第三代移动通信系统为采用智能信号处理技术的宽带数字系统(CDMA),目前第三代移动通信系统为采用智能信号处理技术的宽带数字系统(CDMA)已经进入实用,第四代移动通信系统是多功能集成的宽带移动通信系统(CDMA、OFDM、MIMO等),可提供的最大下行带宽为100 Mbit/s。第四代移动通信将以宽带(超宽带)、接入因特网、具有多种综合功能的系统形态出现,已经有多个试验网络,将在2012年前后得到大规模部署。

1.1.2 通信电缆的发展

通信线路是将信息从一个地点传送到另一个地点的传输介质。通信线路的发展,大体经历了架空明线、对称电缆、同轴电缆和光缆等主要阶段。用于传送电信号的金属导线称为通信电缆。通信线路从明线发展到电缆,再到目前广泛应用的光缆,是社会经济发展和技术进步的重要标志之一。从目前来看,有线通信线路中的“光进铜退”是一个确定不移的趋势,同时也是个过程。光缆还不能完全替代电缆,在一个时期内,电缆与光缆还将并存使用,特别是用户对称电缆和射频同轴电缆在用户接入网中应用较为广泛。通信电缆和光缆的结合可满足高质量和大容量的信息传输需求。

按照通信电缆材质和线径的不同,它可作为用户接入线路、交换机与传输设备间的中继线和短途中继线等。各种通信电缆类型和敷设方式列入表1-1、表1-2中。

表 1-1 各种传输线型和敷设方式

传输线型	结构	双 线					
		对称型				同轴型	
		明线	对称电缆		中	小	微
			对绞组	星绞组			
	线质	金属线					
		铁、铝、铜	铝、铜		铜		铜(超导)
线径/mm	1.6~4.0	0.32~1.2		2.6/9.5	1.2/4.4	0.7/2.9	
线路建筑方式		架空	架空、地下(直埋、管道、隧道)、水底				

表 1-2 不同传输线型及各自的占用频带

传输线型			传输的最高频率					
			10 kHz	100 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz
对称型	架空明线	铁线	30 kHz					
		铜线	150 kHz					
	市缆(对绞)		5 MHz					
	高频对称电缆(星绞组)		34 MHz					
同轴型	中(2.6/9.5mm)		1 GHz					
	小(1.2/4.4mm)		560 MHz					
	微(0.7/2.9mm)		34 MHz					
	超导(0.4/1.36mm)		大于 1 GHz					

约在 19 世纪中叶,世界上出现了第一条通信电缆,是采用马来胶绝缘的多股扭合成 2 mm 线径的单芯电报电缆。外护层用铅皮包封,再缠以钢带或钢丝,以适用于陆地或水底敷设。1876 年电话问世,最初的电话是利用电报线通话的。单根导线通话噪声很大,后来为了减少噪声干扰,电话明线和电缆都改用了双线环路。为了减少通话串音,又陆续采用明线交叉,即双线相互换位的技术;在电缆中则采取双线相互扭绞的办法。将多对由两根相同线质、相同线径、相互绝缘的芯线相互扭绞而成的芯线组合在一起,便成了电缆,叫做对称电缆。

20 世纪初,因市内电话用户增多且密集,才制造出细线径(约 0.5 mm)的铜芯纸绝缘对绞式铅包市话电缆,适用于 6 km 以下的短距离电话传输。

1920 年以后,相继出现了 1.2~1.4 mm 线径的纸绳纸带绝缘的复对绞铅包电缆,电容和衰减都比上述市话电缆要小,若接入加感线圈构成电话回路,传输距离可延伸 100 km 左右。20 世纪 60 年代实现了高频对称电缆复用到 800 kHz(180 路)的长距离传输系统。

对称电缆通常能传送频率为 4 MHz 以下的电信号,为了传送更高频率的电信号。1930 年后,出现了一种新型结构的电缆,叫做同轴电缆(Coaxial Cable)。这是由一根中心导线(内导体)和一根包围在它外面的圆管导体(外导体)组合而成的信息传输媒体。最早的是传输 L1 型 3 MHz(600 路)传输系统,发展到 20 世纪 70 年代已经建成了 60 MHz(万路)以上的传输系统,或可以同时传送几路电视节目。西欧各国过去已敷设的高频对称电缆线路较多,也有部分同轴电缆线路,而在北美境内,则采用同轴电缆干线线路。这些电缆干线网迄今仍然在世界各国有线通信系统中使用。

同轴电缆的另一个用途是城市有线电视网络(CATV),用于传输广播式的有线电视节目,同轴电缆的频带可以使用到 750 MHz,相比电话线具有带宽优势。目前的方向是将同轴电缆组成的有线电视网,引入光纤,将树形的网络结构作为星形的子网。子网内使用原来的同轴电缆接入一定数目的用户,并对单向广播传输方式进行双向传输改造,增加回传信道,以支持双向通信业务,完成电视、语音和数据业务的提供。

我国长途通信电缆线路建设开始于 20 世纪 50 年代末的高频对称电缆线路工程,1976 年我国第一条中同轴电缆线路正式投产使用,以后又陆续兴建了若干高频对称电缆线路及

若干中、小同轴电缆线路,其中某些电缆线路通过挖潜改造,又进一步扩大了容量。

近年来,我国已建起了以城市为中心,光缆为中继线,电缆为用户线的较完整的城乡电话通信线路网、CATV 用户网,大、中型厂矿企业也都建有规模不等的专用通信网。

1.1.3 从电通信到光通信

作为通信系统,可传递的信息容量取决于载体可用于调制的频带宽度,而可能获得的频带宽度又受限于载体频率有多高,载体频率愈高则可利用的频带愈宽,可传递的信息容量愈大。同时从经济上看,可用带宽愈大,平均到每一线的成本愈低。统计资料表明:同样距离的长途电话费用,采用 20 MHz 微波中继系统,是采用原始的双绞线系统的八分之一。

随着社会的进步和发展,信息交换量的需求与日俱增。为增大通信容量,得到更快、更好、更节省的通信方式,人们总是不懈地追求更高的载体频率(或更短的波长)。纵观通信技术的发展过程,可以看到一个明显的特点:频率是由低频端向高频端发展的,而通信方式也从中波、短波发展到微波、毫米波及微米波。可以说通信技术的发展历史是通信容量不断增长的历史,也是不断开拓使用更高频率(或更短波长)的历史。例如,当人类掌握了数百至数千千赫的技术后,无线电及广播开始应用;数十至数百兆赫技术成熟后,电视进入千家万户;数千至数万兆赫的载波,就提供了诸如雷达、微波通信、卫星通信等强有力的通信手段。这期间平均每 20 年频率便递增一个数量级,至 20 世纪 60 年代中期,微波及毫米波技术就已完善,当时在通信中实际使用的最高载体频率是 4~6 GHz。要开发更高的载频,就势必要开拓光波。

光波与通信用的无线电波一样,也是一种电磁波,所不同的只是它的波长比无线电波的波长短得多,或者说它的频率要高得多。图 1-2 画出了光波在电磁波波谱图中的位置。根据电磁波波谱图可知,光波由紫外线、红外线和可见光构成。目前光纤通信光源使用的波长范围在近红外区内,即波长在 $0.8 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 之间,是一种不可见光,是一种不能引起视觉的电磁波。从图 1-2 中可知,光波的频率为 $10^{14} \sim 10^{16}$ Hz,比常用的微波高 $10^4 \sim 10^5$ 量级,因此理论上光波的通信容量也是微波通信的 $10^4 \sim 10^5$ 倍,因而具有极大的通信容量。正因为光纤具有十分诱人的前景,因此不断促使人类去探索光通信的可能性。

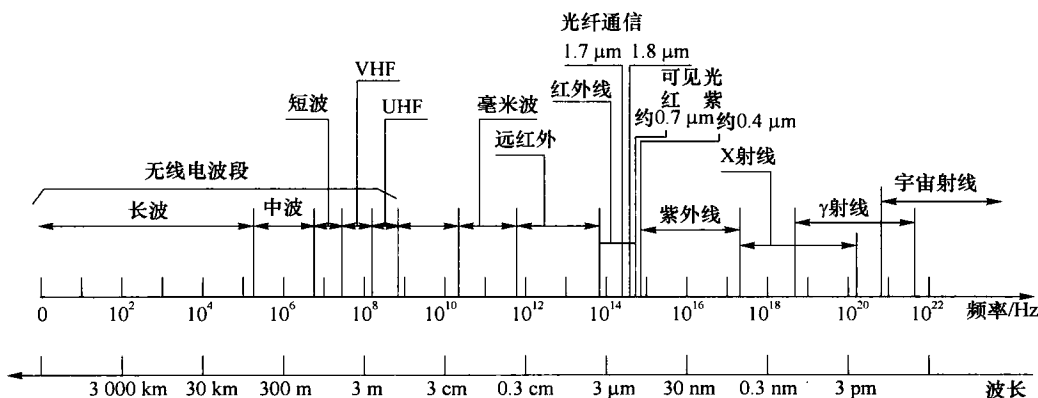


图 1-2 电磁波波谱图