

高等学校电子信息类教材

电信传输原理

胡庆 主编 谢显中 张德民 宋燕辉 编著

Principle

Transmission

Tele-
communications

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校电子信息类教材

电信传输原理

胡庆 主编

谢显中 张德民 宋燕辉 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据电信传输技术和传输线路多样化的快速发展而编写的。全书共分7章,主要包括电信传输的基本概念和方法,金属传输线、波导传输线、光纤传输线的传输理论和应用,微波、卫星、移动通信信道及其传输系统构成,且每章都配有复习题。本书选取了当前电信传输中的最新应用作为理论讨论的实例,概念解释清楚,理论分析深入浅出。

本书可作为通信信息专业本、专科学生教材,也可供相关科研、教学和工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电信传输原理 / 胡庆主编. —北京: 电子工业出版社, 2004. 8

高等学校电子信息类教材

ISBN 7-121-00113-6

I. 电… II. 胡… III. 电信-通信理论-高等学校-教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 069602 号

责任编辑: 沈艳波 特约编辑: 印晓芬

印 刷: 北京天竺颖华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 字数: 368 千字

印 次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

电信号传输是通信的核心，信道是通信系统不可或缺的组成部分。本书以应用电磁场理论为基础，对电信号传输的基本概念、基本原理和通信信道进行了深入浅出的讨论和分析，并概要介绍了通信信道在通信系统中的典型应用。

本书第1章讨论了电信传输的基本概念和方法，为全书打下了讨论的基础；第2~4章分别对金属传输线、波导传输线和光纤传输线的传输理论和相应传输原理进行了系统的讨论；第5~7章分别讨论了微波、卫星、移动通信信道及其传输原理。

本书是在作者使用多年的教学讲义基础上，通过总结长期教学和科研的相关经验而形成的。本书第1章由张德民、胡庆编写，第2，3，4章由胡庆编写，第5，6章由宋燕辉编写，第7章由谢显中编写。全书由胡庆统编，张德民审稿。在全书编写期间得到陈仁发、张毅、郑毅、唐宏等的大力协助，在此一并表示感谢。

本书可作为通信信息类专业相关课程的教材及教学参考书，亦可供通信与信息工程领域的科研和工程技术人员参考。

限于作者水平，本书难免有疏忽错漏之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 电信传输的基本概念	(1)
1.1 通信、电信及电信传输.....	(1)
1.1.1 通信、电信及分类.....	(1)
1.1.2 电信传输.....	(1)
1.1.3 电信号的类型.....	(2)
1.1.4 电信传输的一些特点.....	(3)
1.2 电信传输系统与通信网.....	(4)
1.2.1 电信传输系统.....	(4)
1.2.2 通信网概念.....	(6)
1.3 信号传输的媒质.....	(7)
1.3.1 架空明线.....	(8)
1.3.2 市话对称电缆.....	(9)
1.3.3 同轴电缆.....	(9)
1.3.4 金属波导.....	(11)
1.3.5 光纤光缆.....	(11)
1.3.6 无线信道.....	(11)
1.4 传输中的增益、衰减与电平.....	(11)
1.4.1 增益与衰减.....	(12)
1.4.2 传输单位与传输电平.....	(12)
1.4.3 绝对电平计算.....	(14)
1.4.4 相对电平计算.....	(16)
小结.....	(17)
复习题.....	(17)
第 2 章 金属传输线理论	(19)
2.1 传输线的概念.....	(19)
2.1.1 金属传输线的定义.....	(19)
2.1.2 金属传输线的分类、使用频段和用途.....	(19)
2.2 研究传输线理论的常用分析方法及电参数.....	(21)
2.2.1 分析方法的讨论.....	(21)
2.2.2 长线与短线的概念.....	(22)
2.2.3 集总参数电路与分布参数电路理论的论述.....	(22)
2.2.4 均匀传输线的分布参数.....	(23)

2.2.5	分布参数(一次参数)的物理意义	(24)
2.3	均匀传输线方程及其稳态解	(26)
2.3.1	均匀传输线的等效电路	(26)
2.3.2	均匀传输线的微分方程	(26)
2.3.3	传输线方程的解	(28)
2.3.4	传输线方程解的分析	(31)
2.4	均匀传输线二次参数	(32)
2.4.1	特性阻抗 Z_C	(32)
2.4.2	传输常数 γ	(36)
2.4.3	相速度与群速度的概念	(40)
2.5	双线传输线的工作状态	(43)
2.5.1	传输线的阻抗匹配	(43)
2.5.2	反射和反射损耗	(44)
2.5.3	串音、串音衰减和串音防卫度	(46)
2.6	双线传输线的应用举例	(48)
2.6.1	对称电缆的应用	(48)
2.6.2	同轴电缆的应用	(49)
	小结	(50)
	复习题	(51)
第3章	波导传输线理论	(53)
3.1	波导和导波	(53)
3.1.1	双线传输线的局限	(53)
3.1.2	波导和导波概念	(53)
3.1.3	采用电磁场理论来分析波导传输问题的理由	(54)
3.2	分析规则金属波导时经常采用的方法	(55)
3.2.1	假设和分析思路	(55)
3.2.2	在直角坐标系中求各场分量的表示式的过程	(56)
3.3	金属矩形波导及其传输特性	(59)
3.3.1	矩形波导中的场	(60)
3.3.2	矩形波导的传输特性	(65)
3.3.3	主模 TE_{10} 的特性	(68)
3.4	金属圆波导及其传输特性	(69)
3.4.1	圆波导中 TE 、 TM 模式的场分量	(70)
3.4.2	圆波导的传输特性	(75)
3.5	同轴线及其传输特性	(77)
3.5.1	主模为 TEM 的同轴传输线	(77)
3.5.2	同轴线中的高次模及单模传输的实现	(81)
3.6	金属波导和同轴线的的应用举例	(84)

3.6.1	波导和同轴线在微波天馈线中的应用	(84)
3.6.2	波导和同轴线在微波谐振器中的应用	(84)
3.6.3	波导在模式变化器件中的应用	(84)
小结		(86)
复习题		(86)
第4章	光波导(光纤)传输理论	(89)
4.1	光纤、光缆的结构和分类	(90)
4.1.1	光纤的结构	(90)
4.1.2	光纤的分类	(90)
4.1.3	光缆结构及分类	(92)
4.2	用波动理论分析光纤的导光原理	(93)
4.2.1	阶跃光纤的波动理论分析	(93)
4.2.2	用波动理论分析阶跃弱导光纤的导光原理	(99)
4.3	用射线理论分析光纤的导光原理	(105)
4.3.1	基本光学定律和定义	(105)
4.3.2	阶跃光纤中的导光原理	(106)
4.4	光纤的传输特性	(111)
4.4.1	光纤的损耗特性	(111)
4.4.2	光纤的色散特性和带宽	(113)
4.5	光纤在通信中的应用	(116)
4.5.1	光纤在市内、长途公用传输系统中的应用	(117)
4.5.2	光纤在电视、数据传输中的应用	(117)
4.5.3	光纤在用户接入网中的应用	(117)
小结		(118)
复习题		(120)
第5章	微波传输基本理论	(123)
5.1	无线电波传播方式及特性	(123)
5.1.1	电波传播所涉及到的地球大气层	(123)
5.1.2	无线电波在空间的传播模式	(124)
5.1.3	无线电波传播的方式及特性	(124)
5.1.4	传输媒质对电波传播的影响	(127)
5.2	微波传播	(130)
5.2.1	地面对微波传播的影响	(131)
5.2.2	大气对微波传播的影响	(137)
5.3	衰落及抗衰落技术	(144)
5.3.1	衰落原因及分类	(145)
5.3.2	抗衰落技术	(146)

5.4	微波传输系统及其应用	(151)
5.4.1	微波传输系统的频率配置	(151)
5.4.2	微波传输特点	(153)
5.4.3	数字微波传输系统结构	(153)
5.4.4	微波传输系统的应用举例	(157)
	小结	(158)
	复习题	(159)
第6章	卫星传输的基本理论	(161)
6.1	卫星通信概述	(161)
6.1.1	卫星通信的基本概念	(161)
6.1.2	卫星通信的特点	(162)
6.1.3	卫星通信的使用频段	(163)
6.2	卫星传输线路	(164)
6.2.1	卫星传输系统中存在的噪声和干扰	(165)
6.2.2	接收机的载噪比 C/N 与地球站性能因素 G/T 值	(166)
6.2.3	卫星传输线路的 C/T	(168)
6.3	卫星通信的多址连接	(172)
6.3.1	频分多址 (FDMA) 方式	(173)
6.3.2	时分多址 (TDMA) 方式	(174)
6.3.3	码分多址 (CDMA) 方式	(176)
6.3.4	空分多址 (SDMA) 方式	(177)
6.4	卫星传输系统的应用	(178)
6.4.1	卫星传输系统的组成	(178)
6.4.2	卫星通信的应用举例	(183)
	小结	(188)
	复习题	(189)
第7章	移动通信传输信道的特征	(191)
7.1	移动通信的传输特点	(191)
7.1.1	移动通信的传输特点	(192)
7.1.2	移动通信的工作方式	(193)
7.1.3	移动通信的工作频段	(195)
7.2	移动通信的信道特征	(197)
7.2.1	阴影效应与慢衰落	(198)
7.2.2	多径效应与快衰落	(199)
7.2.3	衰落储备	(201)
7.2.4	移动信道分类	(201)
7.3	移动信道的噪声与干扰	(202)

7.3.1	噪声的分类及特性	(202)
7.3.2	邻道干扰	(205)
7.3.3	同频道干扰	(207)
7.3.4	互调干扰	(210)
7.3.5	远近效应	(212)
7.3.6	符号间干扰	(213)
7.4	从移动通信的组网方式分析传输干扰	(213)
7.4.1	大区制	(213)
7.4.2	小区制	(214)
7.5	移动通信在传输领域的应用	(218)
	小结	(218)
	复习题	(219)
	参考文献	(220)

第 1 章 电信传输的基本概念

1.1 通信、电信及电信传输

1.1.1 通信、电信及分类

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。信息可有多种表现形式，以电话、电视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。或从更广义上说，无论采用何种方法，使用何种传输媒质，只要将信息从一地传送到另一地，均可称为通信。例如两个人的交谈就是一种最简单的通信。讲话的声音通过空气传送到对方，对方听到后获得信息，这就完成了通信的过程。再例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，要受到传送空间、距离的一定限制。要实现远距离的通信，并达到迅速、有效、准确、可靠，就要借助于电子技术，把要传递的声音、文字、图像等信息转换成电信号，然后通过媒质传送到对方，再还原成原来的信息。例如，电报通信是把文字变成电信号传送到远方去的通信方式；电话通信是把语言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变成电信号传送到远方去的通信方式，等等。这些利用电子技术进行的通信方式都称为电信。所以，所谓“电信”，就是利用电子技术实现传送信息和交流信息的通信方式。由于电信号的传送媒质有金属导线、光纤与自由空间等种类，因此属于在金属导线、光纤等有形媒质上传送信息的方式就称为有线电信；属于利用自由空间以电磁波形式传送信息的方式则称为无线电信。有线电信比无线电信的保密性强，受干扰的机会少，比较稳定可靠。但建设费用大，灵活性差。

1.1.2 电信传输

通信的过程就是信息传输的过程。所谓电信传输，就是指含有信息的电信号的传输。电信传输由电信传输系统实现，电信传输系统包括了用户之间的许多电气设备和传输媒质（如金属导线、光纤、自由空间等）。一个最简单的传输系统，至少要由一个发送器（也叫变换器）、一个接收器（也叫反变换器）和把它们连接起来的传输媒质所组成。所以，连接发送器、接收器二者的传输媒质是构成电信传输系统的基本组成部分。

电信传输的基本任务就是要把用户发出的信息，以用户满意的质量传送到对方用户那里。这就要研究如何高质量地传输电信号的问题。例如，语言、文字、图像、数据等信息如何变为便于传输的电信号？对于传输方式和传输质量有哪些要求？传输设备或部件的结构

与特性如何?等等。显然,电信传输的内容极为丰富。本书的目的是使读者能够掌握电信传输的一些基本概念和基本规律,为各类通信系统的学习打好基础。

现以一个最简单的电话传输系统的构成为例,对电信传输原理加以说明。一个简单的电话传输系统由两部电话机(发送器和接收器)和一对导线连接而成,如图 1-1 所示。当人们对着驻极体送话器讲话时,空气发生振动,使驻极体薄膜片产生相应的振动。而驻极体的薄膜片恰是平板电容的两个电极,两个电极的间距随着振动发生变化,极间距离的变化导致驻极体的电容值即容抗发生变化,最终驻极体送话器电路中的电流也就随着讲话发生变化。这个电流就称为话音电流或话音信号。话音电流沿导线以极高的速度传到对方,通过受话器的线圈,产生方向和大小都随时间变化的电磁场,结果使受话器内永久磁铁的磁场时而增强时而减弱。磁场强弱的变化使薄铁膜片受到的吸引力也发生了变化,从而促使膜片振动,发出声音。由于膜片的振动受话音电流的控制,所以受话器发出的声音就与人在送话器前说话的声音基本一致。

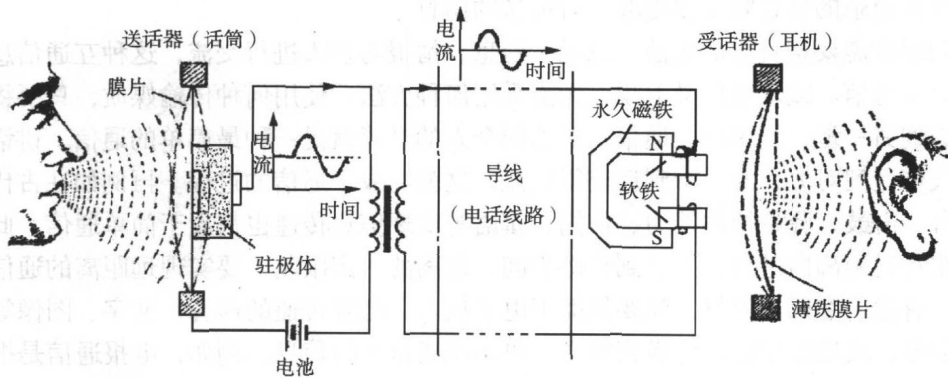


图 1-1 电话通信示意图

电话传输的例子说明,送话器和受话器是利用了声变电和电变声的转换技术,而导线完成了把话音信号迅速地传输给对方的任务,从而实现了远距离的信息传输。

1.1.3 电信号的类型

电信号按照不同的角度可有不同的分类,按照电信号运载信息的形式不同,可分为模拟信号和数字信号两种类型。因而,对应的通信也可分为模拟通信和数字通信两大类。

1. 模拟信号

什么是模拟信号?所谓模拟信号,是指模拟、仿照原有消息变化的电信号。这种信号的幅度变化是时间的连续函数。就是说,随着时间的变化,它的幅度也在连续地变化,所以模拟信号是一种连续信号,如图 1-2 所示。

例如,电话机把说话声音通过送话器变成的电信号就是一种模拟信号,因为送话器输出的电信号的幅度与声压的幅度成正比,而且是随时间连续变化的。通过分析证明,声波是包含着多种不同频率不同振幅正弦波成分的复杂波形,其频率范围约为 $20 \sim 20000\text{Hz}$ 。在话音频谱中,女性的声音高频成分多一些,男性的声音低频成分多一些,如图 1-3 所示。



图 1-2 模拟信号

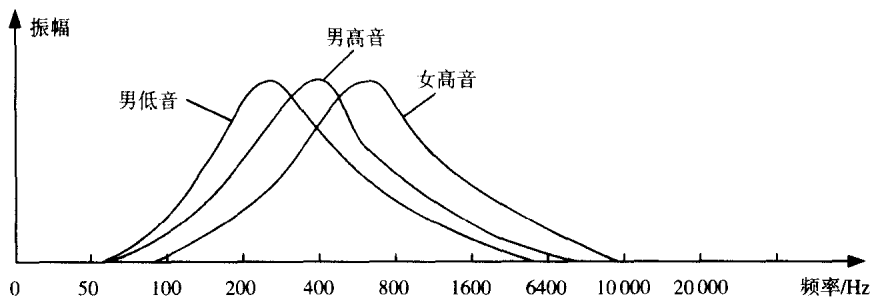


图 1-3 声音的频率成分

一般的电话机，讲话的声音通过送话器后，送出的电信号的频率范围约为 $300 \sim 4000\text{Hz}$ 。大量的实验证明，如果将电话传送频率范围限在 $400 \sim 2000\text{Hz}$ 内，基本上已经可以听懂。为保证通话具有较好的清晰度，通常传送 $300 \sim 2700\text{Hz}$ 的成分。在高质量的电话系统中，传送的频率范围采用的是 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 。

2. 数字信号

什么是数字信号？数字信号在一段时间内幅值被限制在有限个数值之内，它在时间上是不连续的，而是离散的。它在一段时间内传送一个符号，而且每个符号只能取一定的值，即在取值上也是不连续的。例如编码电报的信号就是一种数字信号。数字信号在传输上有很多优点，最主要的是它的抗干扰性强。由于它是以 1, 0 两种状态传输的，在接收端只要正确地判断是“1”或者是“0”，就等于完全取消了干扰。

随着计算机的发展，出现了人与计算机以及计算机与计算机之间的通信。这种通信所传输的都是数字信号，人们把这种通信称为数据通信。

1.1.4 电信传输的一些特点

前面介绍了电信传输的基本概念，下面综合介绍电信传输的一些特点。

1. 传输信号的多频率

电信传输中的信号是多频率的，含有信息的，无论是模拟通信还是数字通信，它们的信号都包含着丰富的频率。因此对收、发信机和传输信道带宽的要求非常重要。例如普通的电话机发出的话音信号频率范围在 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 左右；有线电视 CATV 的传输频带更宽，达 750MHz 左右。

2. 电信传输的功率

电信传输的功率比较小，它一般只有毫瓦量级。也就是说电信号所含的能量比较小，例如一部普通电话机发出的语音信号的功率只有 1mW 左右，经过传输到对方用户接收时，只要不小于 $1\mu\text{W}$ 就能满意地通话。显然电信号传输属于弱电传输，易受外来干扰，所以提高抗干扰能力，减小传输损耗是电信传输又一重要内容。

3. 电信传输的效率

由于电信传输是弱电传输，其传输效率非常重要。要想把含有信息的能量尽可能多地传送到接收负载上，并且希望负载能获得最大功率，则在电信号传输过程中，所有机、线设备接口，传输线或信道都必须处在阻抗匹配连接的状态下。这样每个部件既可从前面的部件获取最大功率，又可向后面部件输出最大功率。如果阻抗不匹配，就会发生电磁波反射，造成传输质量降低。

4. 电信传输与信号变换

信号的互相变换也是电信传输中一个重要特点。例如电话传输必须有声变电和电变声的过程；图像传输有光信号和电信号的变换和逆变换；在频分复用多路通信中，利用频率的变换措施，可以在同一对线路上传输多路信号而互不干扰；在时分复用多路通信中，应用抽样技术，把多路信号变换成数字信号，从而达到在同一对线路上多路信号互不干扰。由于数字信号抗干扰能力强，因此现代通信中一般均利用数字信号进行传输，所以，模/数转换和数/模转换技术在现代通信中获得了广泛应用。

1.2 电信传输系统与通信网

1.2.1 电信传输系统

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电信传输系统来实现的。电信传输系统由发信终端设备、传输信道、交换设备、收信终端设备组成，如图 1-4 所示。电信传输系统能实现通信的全过程，也称为“通信系统”。

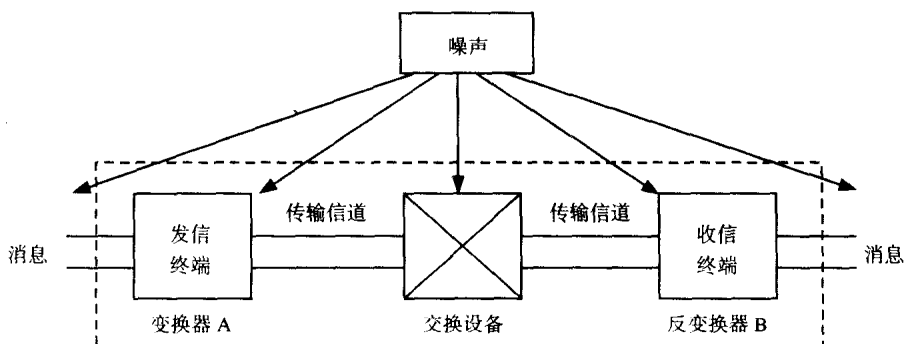


图 1-4 电信传输系统示意图

图 1-4 中发信终端设备置于变换器端，其功能为：把消息变换成与传输信道相适配的电信号或光信号，并提供额定的信号功率，让信号进入该信道。收信终端设备位于反变换器端，

其功能为：将从信道传输而至的收信信号进行衰减补偿，并消除或减小畸变和噪声对有用信号的干扰，将接收下来的电信号或光信号进入该系统进行反变换，使其消息重现原貌。

终端设备本身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。从业务角度分为电话终端设备、数据终端设备和图像终端设备等。传输终端设备是以有线、无线媒质为信道，为用户终端和业务网提供传输服务的电信终端。主要包括数字收发信机、微波收发信机、短波收发信机和光收发信机等各种收发信设备以及 PDH 准同步数字系列中的 PCM 复接设备、SDH 同步数字系列中的终端复用器等各种复用设备。

传输信道是信号传输通道的简称，通常由自由空间、光缆、全塑市话电缆、同轴电缆等提供。其主要功能是尽可能减小电信号或光信号在信道中传输时的功率损耗，并尽可能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（发信终端）迅速且正确无误地输送到 B 点（收信终端），使收信终端获得尽可能大的接收功率和信号噪声比。

交换设备用于为用户群内各用户终端按需求提供相应的临时传输信道连接，并控制信号的流量、流向，以达到共用电信设备，提高设备利用率的目的。例如电话通信中的程控数字电话交换机、数据通信中的分组交换机、宽带通信中的 ATM 交换机及光通信中即将问世的光交换机等。

噪声会使有用信号发生畸变，使终端设备、传输信道、交换设备工作在非线性状态。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。

下面通过一个如图 1-5 所示的实际电信传输系统的例子，进一步了解一个完整的电信传输系统的一般结构。一个完整的电信传输系统除了必须具备传输信道部分外，还需有用户终端设备、交换机、多路复用设备和传输终端设备（收发信机）等。

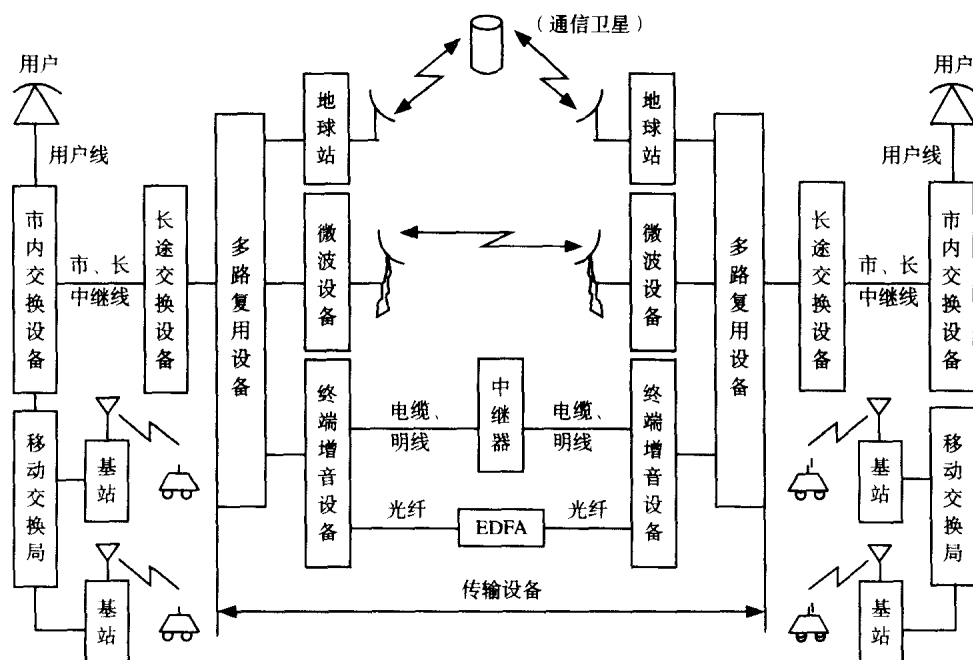


图 1-5 电信传输系统一般结构

图 1-5 中的市内交换设备（话机）、移动交换局（移动台）等是用户终端设备。它的作用是将话音信号转换成电信号，或者进行反变换。交换设备的作用除了实现局内用户间的信号交换，还能同其他局的实现连接或转接。多路复用设备的作用是实现多路信号的汇接（复用）。可采用频分、时分、码分多种形式的复用，以提高信道的传输容量。传输终端设备（如地球站、微波设备、终端增音设备等）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。电缆、光缆、微波、卫星是不同形式的传输媒质或信号载体。当电信传输系统采用电缆作为传输媒质时，此时传输终端设备为电缆传输终端设备，相应的传输系统为电缆传输系统或称为电缆通信系统。若采用光缆为传输媒质，此时的传输终端设备就为光端机，相应的传输系统就称为光缆传输系统，或称为光纤通信系统。若采用微波作为载体，用微波中继站进行信号转接，此时传输终端设备就是微波端站，相应的传输系统就称为微波传输系统，或称微波通信系统。若仍采用微波作为载体，用卫星作为中继站，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传输系统或称为卫星通信系统。

由此可见，无论是电缆通信系统、光纤（缆）通信系统，还是微波通信系统、卫星通信系统，它们的基本结构形式都很类似。不同通信系统之间的差异仅在于电信号载体、传输媒质和传输终端设备不同。正是由于这些不同，不同的传输系统才具有独特的性能。这也正是本课程重点要讨论的问题，在随后的几章中将逐一进行介绍。

1.2.2 通信网概念

如前所述，两用户间的通信是利用电信传输系统来完成的，也就是说，欲让 A、B 两地的用户互通信息，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通信息，最简单方法是用传输线把各用户分别一一连接起来，如图 1-6 (a) 所示。这就需要建立 $n(n-1)/2$ 个电信传输系统。此时，若自高空向地面俯视，则必然可以看到有很多传输设备与传输线路纵横交叉地分布在大地上，犹如罩着一个鱼网，故称为“通信网”。

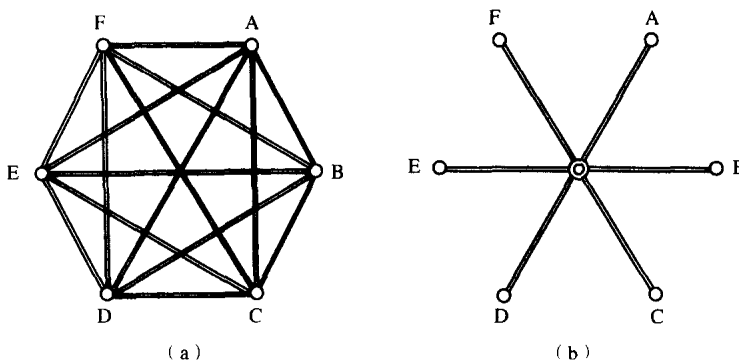


图 1-6 多用户通信网结构示意图

通信网可以从不同角度分类，若从通信的内容来分，可分成电话网（电信网）、电报网和数据网等。但无论国内还是国外，电话业务占整个通信业务的大部分，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。

由多个用户构成的电信传输系统体系就称为通信网。通信网实质上是由用户终端设备、传输设备、交换设备和相应的信令、协议、标准等软件构成的。用户终端设备、传输设备、交换设备功能已在前面简述，这里只解释信令、协议、标准等功能。信令系统是通信网的神经系统。例如，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。信令系统可使网路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，正确地控制。标准是由权威机构建议的协议，是通信网应遵守的条款。

通常把图 1-6 (a) 的连接方式称为直达方式。显然这种通信网需要的传输系统较多。若有 n 个用户就须要有 $n(n-1)/2$ 个传输系统，当 n 较大时，所需传输系统非常多。而且通常一个用户通话时不会同时与其他所有用户都通话，此时许多连接的线对都是闲置的，通信线路的利用率很低，很不经济。

图 1-6 (b) 是在 6 个用户点地区内选择了一个中心地点 G 作为转接中心，由它来转接用户点之间的通信。这样只需要 6 套比较短的传输线路，就能完成用户点之间的连接。这种连接方式是由转接中心 G 向其他用户点进行辐射式的连接，线路的利用率较直达式得到了提高。其缺点是，所有通路都必须经中心转接，没有其他路由可供迂回接续。一旦转接中心发生故障，将会使整个通信系统陷于停顿状态。

如果将直达方式和辐射方式结合起来，网的结构就会合理得多。目前我国电话网的网络等级结构，如图 1-7 所示。由图 1-7 可以看出，我国的电话网分为 5 级，由一、二、三、四级长途交换中心和五级市话端局组成。现阶段也把一、二级合并为一级，三、四级合并为第二级，这样长途电话网就共为 3 级。

电话网可分为长途网和本地网，长途网可设置 4 级交换中心，分别用 C_1, C_2, C_3 和 C_4 表示。 C_1 (一级交换中心) 是首都和省间中心局，例如北京、上海、南京、武汉、沈阳、西安、成都、广州。 C_2 (二级交换中心) 是一般省会中心局。 C_3 (三级交换中心) 是各省的地区市的长话局。 C_4 (四级交换中心) 是一般县长话局。本地网是指同一长途编号区范围内的网络，可设置若干个端局 C_5 ，或由若干个端局 C_5 和汇接局 T、局间中继线、长市中继线、用户线、用户交换机及用户终端等所组成。通常省间中心局采用直达方式的汇合转接 (简称汇接)；省间中心局以下多用辐射方式转接。在通信网中两用户间要完成通话，通常都需要经一级中心或多级中心进行转接，方能接通通话信道。

1.3 信号传输的媒质

众所周知，传输是离不开媒质的。信息的传输也必须有适当的媒质。例如，空气 (大气层) 是传输声音的媒质，因而人与人之间能交谈或能听到远处发出的声音都是很自然的一种现象。在月球上是没有空气的，因而，在月球上要是是有两个人想面对面的交谈，不借助于电信是无法听到对方声音的。电信的传输由于速度快，距离可以很远，故是信息传输的一种重要的手段。那么，电信传输的媒质是什么呢？

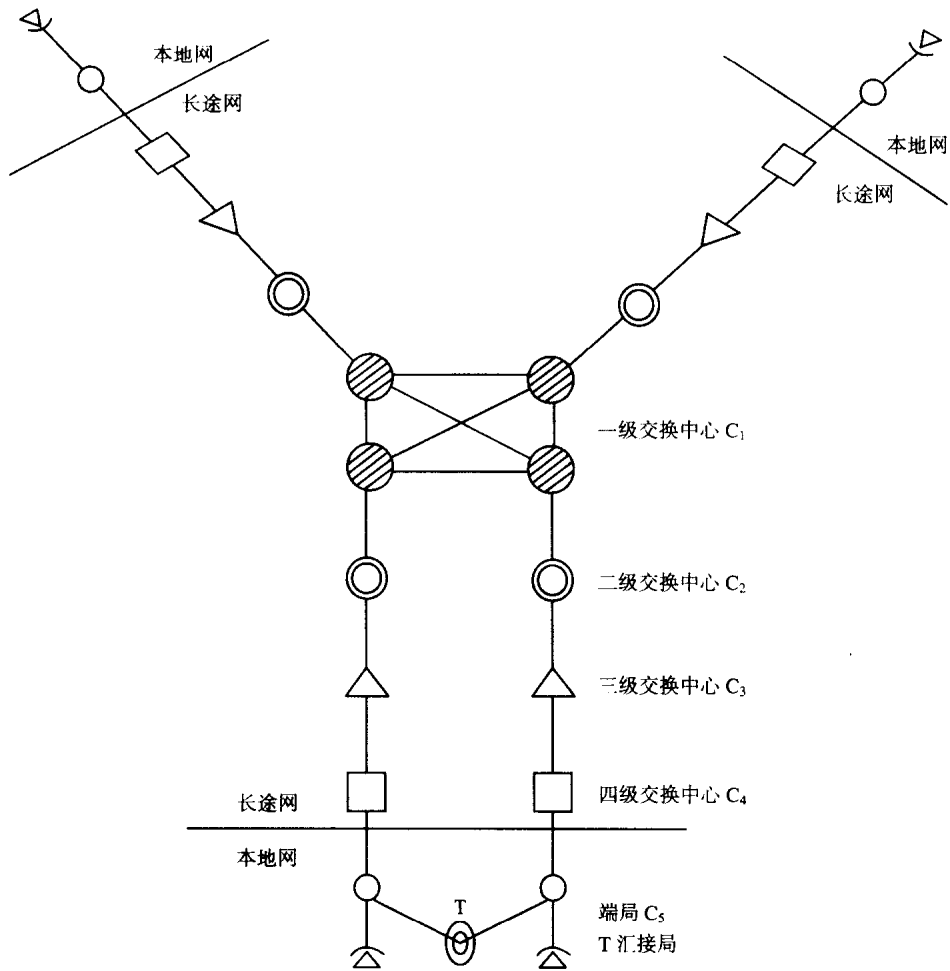


图 1-7 长途电话网

一般来说, 电信号的变化就是电压或电流的变化, 电压或电流的变化就是电场或磁场的变化。电场与磁场的总称就是电磁场。电磁场的传播需要一定的时间, 其速度每秒可达二三十万千米, 这种以很高速度传播的电磁场叫做电磁波。所以, 电信号的传输实质上是电磁波的传播。它的传播方式因传输的媒质不同可分为两类: 一类是电磁波在自由空间的传播, 通常叫做无线电传播, 其能量比较分散, 传输效率较低; 另一类是沿线状导线传播, 由于电磁波的能量大部分集中在导线周围, 其传输效率较高, 这就是所谓的有线电传播。

有线电传播的传输媒质又称为传输线路, 它主要包括架空明线、对称电缆、同轴电缆、金属波导管和光纤。如图 1-8 所示。以此为传输媒质的传输系统称为有线传输系统。

无线电传播的传输媒质是对流层、平流层或电离层, 如图 1-9 所示。以此为传输媒质的传输系统称为无线传输系统。其媒质内传输的是用于搭载信息的载波也称为无线电波。

1.3.1 架空明线

架空明线是利用金属裸导线捆扎在固定的线担的隔电子上, 并架设在电线杆上的一种通信线路。它主要由导线、电杆、线担、隔电子和拉线等组成。如图 1-8 (a) 所示。金属裸导