



普通高等教育“十二五”规划教材

国家特色专业 · 通信工程 · 核心课程规划教材

# 电信传输原理

Theory of Telecommunication Transmission

(第2版)

胡庆 唐宏 姚玉坤 田增山 编著

电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国家特色专业·通信工程·核心课程规划教材

# 电信传输原理

(第2版)

胡庆 唐宏 姚玉坤 田增山 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书共分8章,以电信传输的基本概念,金属传输线、波导传输线、介质光波导的传输理论,无线传输理论、微波通信传输信道特征、移动通信传输信道特征、卫星通信传输信道特征为主要内容,并且每章都配有实践活动和复习题。该书系统阐述了有线和无线不同种类电信传输的基础理论、基本概念、基本技术和基本分析方法,以及传输信道的主要传输性能和各种传输方式的实际应用实例,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。

本书可作为通信工程、电子信息工程、信息工程、广播电视工程专业的本、专科学生教材,也可供相关的科研人员、教学和工程技术人员阅读和参考。

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 / 胡庆等编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2012.9

国家特色专业·通信工程·核心课程规划教材

ISBN 978-7-121-18191-7

I. ①电… II. ①胡… III. ①电信—通信理论—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 210196 号

责任编辑: 竺南直

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司  
装 订:

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

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 14 字数: 358 千字

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zllts@phei.com.cn](mailto:zllts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 出版说明

教材建设是高等学校组织教学和进行学科建设的重要内容。

为贯彻落实教育部“质量工程”的具体工作，把课程、教材建设与资源共享提上新的高度，电子工业出版社以教育部普通高等教育“十二五”国家级规划教材的申报和出版为契机，充分发挥在电子信息领域的专业出版优势和独树一帜的品牌影响力，适时推出了这套“国家特色专业·通信工程·核心课程规划教材”。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点：

- (1) 专业特色鲜明：本科通信工程专业的专业核心课程为主线。
- (2) 注重先进性、系统性、教学适用性：基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。
- (3) 配套教学支持：每本教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版教学辅导书。
- (4) 质量保证：本套教材特别吸纳或整合了以下优秀资源：
  - ① 多数教材来源于优秀教材的修订和再版，包括教育部“十五”、“十一五”、“十二五”等历届国家级规划教材、国家级或省部级获奖教材、历届全国统编教材等。
  - ② 多数作者为著名教材作者、国家级/省级教学名师、国家级/省级优秀教学团队负责人。
  - ③ 其他优秀教学资源，如国家级/省级精品课程、国家级教学示范中心等组织编写的、体现相应课程或课程群特色的配套教材。

为做好本套教材的编写、出版工作，我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问，并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院（系）的院长（系主任）成立教材编委会，从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

我们坚信：一流的教师队伍，一定有一流的教学理念和方法；一流的教学内容，需要配备一流的教材，从而体现一流的教学管理和教学质量。

# 《国家特色专业·通信工程·核心课程规划教材》顾问委员

(按姓名音序排列)

迟惠生 (北京大学)	程时昕 (东南大学)
冯重熙 (清华大学)	李承恕 (北京交通大学)
吴伟陵 (北京邮电大学)	吴诗其 (电子科技大学)
谢希仁 (解放军理工大学)	袁保宗 (北京交通大学)

# 《国家特色专业·通信工程·核心课程规划教材》编审委员

(按姓名音序排列)

**主任委员** 樊昌信 (西安电子科技大学)

## 副主任委员

顾畹仪 (北京邮电大学)	李建东 (西安电子科技大学)
彭启琮 (电子科技大学)	王金龙 (解放军理工大学)
王希勤 (清华大学)	王传臣 (电子工业出版社)
吴镇扬 (东南大学)	张思东 (北京交通大学)

## 委员

安建平 (北京理工大学)	鲍长春 (北京工业大学)
陈咏恩 (同济大学)	邓建国 (西安交通大学)
段哲民 (西北工业大学)	樊昌信 (西安电子科技大学)
范平志 (西南交通大学)	方勇 (上海大学)
酆广增 (南京邮电大学)	顾畹仪 (北京邮电大学)
顾学迈 (哈尔滨工业大学)	康健 (吉林大学)
李建东 (西安电子科技大学)	李晓峰 (电子科技大学)
刘琚 (山东大学)	彭启琮 (电子科技大学)
仇佩亮 (浙江大学)	唐朝京 (国防科技大学)
唐向宏 (杭州电子科技大学)	田宝玉 (北京邮电大学)
王金龙 (解放军理工大学)	王希勤 (清华大学)
王祖林 (北京航空航天大学)	王传臣 (电子工业出版社)
韦岗 (华南理工大学)	吴镇扬 (东南大学)
徐昌庆 (上海交通大学)	张德民 (重庆邮电大学)
张思东 (北京交通大学)	郑建生 (武汉大学)
朱光喜 (华中科技大学)	朱秀昌 (南京邮电大学)

投稿联系方式: 韩同平编辑 (010)88254525 E-mail: hantp@phei.com.cn

# 前 言

信息传输是信息社会的三大标志之一，“传输技术”的发展，决定着“整个通信网络”的发展。在信息通信高速发展的当今社会，传输是现代信息网络的生命线，信息的高速传输使人们运筹帷幄中，决胜千里外；传输是决定“整个通信网络”的发展要素，可以说没有传输，就没有真正意义上的通信。因此，“电信传输原理”是通信与信息工程类专业的重要专业基础课，有很广的适应面，是为掌握“光纤通信系统”、“移动通信”、“微波卫星通信”、“现代通信网”、“计算机网络”、“宽带接入网技术”等知识领域的铺垫。

本书以电信传输需求的理论分析为线索，融合了作者近十年的教学经验、多年的工程应用和最新科研成果，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。书中以电磁场理论为基础，注重用传输应用实例来介绍各种传输方式的概念、原理、技术和各种通信传输信道，每章都有从实际工作中精心提炼出来的应用实例，力求给读者一个比较全面、系统，以及从理论到实际的信息传输的完整框架。

全书共分为 8 章，主要包括电信传输的基本概念和基本分析方法，金属传输线、波导传输线、介质光波导（光纤）传输线的传输理论和应用，微波、移动、卫星通信信道及其传输线路特征，且本书选取了当代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。为了便于教学，本书配有电子课件，任课教师可登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）免费注册下载。

本书第 1、2、3、4、6 章由胡庆编写，第 5 章由唐宏编写，第 7 章由唐宏、田增山编写，第 8 章由唐宏、姚玉坤编写。全书由胡庆主编且统稿。在全书编写期间得到余翔、张德民、张毅、胡敏等大力协助，在此一并表示感谢。

本书可作为高等学校工科通信工程、信息工程、电子信息科学与技术及其他电子信息类专业本、专科学生教材，也可供研究生、科技工作者和工程技术人员参考。

由于作者水平所限，书中难免存在疏漏和错误，恳请广大读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 电信传输的基本概念</b> .....	1
1.1 通信基本概念及发展史.....	1
1.1.1 通信的定义.....	1
1.1.2 通信发展史.....	2
1.1.3 电信传输理论的发展史.....	3
1.2 电信传输系统模型.....	4
1.2.1 电信及电信传输.....	4
1.2.2 电信传输系统模型.....	4
1.2.3 信号的类型与电磁波波段的划分.....	6
1.2.4 电磁波常见传播模式.....	9
1.2.5 电信传输的主要特点.....	11
1.3 电信传输信道及传输介质.....	12
1.3.1 信道的概念及分类.....	13
1.3.2 有线信道及特性.....	14
1.3.3 无线信道及特性.....	17
1.3.5 信道的传输能力.....	19
1.4 传输特性和传输单位.....	19
1.4.1 传输特性.....	19
1.4.2 传输单位.....	20
思考与练习题.....	23
<b>第 2 章 金属传输线理论</b> .....	25
2.1 常用的传输线及应用.....	25
2.1.1 常用传输线的结构及种类.....	25
2.1.2 全塑市话对称电缆的电参数及应用.....	27
2.1.3 双绞线电缆的电参数及应用.....	28
2.1.4 同轴电缆的电参数及应用.....	30
2.2 传输线常用分析方法及电参数.....	31
2.2.1 传输线常用分析方法.....	31
2.2.2 长线的分布参数和等效电路.....	32
2.3 传输线方程及其解.....	34
2.3.1 均匀传输线的方程.....	34
2.3.2 均匀传输线方程的解.....	36
2.4 传输线的基本特性参数.....	39
2.4.1 特性阻抗 $Z_C$ .....	39
2.4.2 传输常数 $\gamma$ .....	41

2.4.3	反射系数与驻波比	45
2.4.4	传输功率	46
2.4.5	相速度、传输线波长与群速度	47
2.5	传输线的工作状态	49
2.5.1	传输线的阻抗匹配	50
2.5.2	传输线的阻抗不匹配	50
2.5.3	串音损耗和串音防卫度	52
	思考与练习题	53
<b>第3章</b>	<b>波导传输线理论</b>	<b>55</b>
3.1	波导传输线及应用	55
3.1.1	波导传输线的结构及种类	55
3.1.2	波导在微波天馈线系统的应用	55
3.1.3	波导在微波器件上的应用	57
3.2	波导传输线的常用分析方法及一般特性	58
3.2.1	波导传输线的常用分析方法	58
3.2.2	波导中电磁波的一般传输特性	62
3.3	矩形波导及其传输特性	65
3.3.1	矩形波导中 TM、TE 波的场方程	65
3.3.2	矩形波导中电磁波的传输特性	68
3.4	圆波导及其传输特性	71
3.4.1	圆波导中 TM、TE 波的场方程	72
3.4.2	圆波导中电磁波的传输特性	76
3.5	同轴线及其传输特性	76
3.5.1	同轴线中 TEM 波的场方程	77
3.5.2	同轴线中高次模的场方程	78
3.5.3	单模传输与同轴线尺寸的关系	80
	实践活动	80
	思考与练习题	80
<b>第4章</b>	<b>介质光波导传输理论</b>	<b>82</b>
4.1	光纤、光缆及应用	82
4.1.1	光纤、光缆的结构及种类	82
4.1.2	光纤在电信网络中的应用	85
4.1.3	光纤在计算机校园网络中的应用	87
4.1.4	光纤在桥梁工程结构监测中的应用	87
4.2	射线理论分析光纤传输原理	88
4.2.1	基本光学定律	88
4.2.2	阶跃光纤中的射线法	89
4.2.3	渐变光纤中的射线法	90
4.3	波动理论分析光纤传输原理	92



4.3.1	阶跃光纤中 LP 模的场方程	93
4.3.2	光纤的 LP 模及其特性	95
4.4	影响光纤传输特性因素	99
4.4.1	损耗特性	99
4.4.2	色散特性和带宽	102
4.4.3	非线性特性	105
	思考与练习题	108
<b>第 5 章</b>	<b>无线传输基本理论</b>	<b>109</b>
5.1	无线电波传播特征	110
5.2	无线电波传播损耗	110
5.2.1	能量的扩散与吸收	111
5.2.2	自由空间传播损耗	111
5.2.3	自然现象引起的损耗	113
5.2.4	多径传播引起损耗	115
5.2.5	无线传播模型	116
5.3	无线信道噪声与衰落	118
5.3.1	信道噪声	118
5.3.2	衰落原因与分类	119
5.3.3	抗衰落技术	122
5.4	无线通信的多址连接及工作方式	125
5.4.1	频分多址 (FDMA) 方式	126
5.4.2	时分多址 (TDMA) 方式	127
5.4.3	码分多址 (CDMA) 方式	128
5.4.4	空分多址 (SDMA) 方式	130
5.4.5	无线通信系统的工作方式	131
	实践活动	132
	思考与练习题	132
<b>第 6 章</b>	<b>微波通信传输信道的特征</b>	<b>134</b>
6.1	微波中继传输系统及其应用	134
6.1.1	微波中继传输系统概述	134
6.1.2	微波传输系统中的天馈线	138
6.1.3	微波中继传输系统的应用	140
6.2	微波传播路径	141
6.2.1	地面对微波传播的影响	141
6.2.2	大气对微波传播的影响	146
6.2.3	微波线路设计	149
6.2.4	地面凸起高度与天线高度	149
6.3	微波传输线路噪声及参数计算	151
6.3.1	微波线路噪声	151

6.3.2 微波传输线路参数计算	153
实践活动	155
思考与练习题	155
<b>第7章 移动通信传输信道的特性</b>	<b>156</b>
7.1 移动通信系统及应用	156
7.1.1 移动通信系统结构及传输特点	156
7.1.2 移动通信在传输领域的应用	162
7.2 移动通信的信道特征	166
7.2.1 快衰落	166
7.2.2 慢衰落	167
7.2.3 移动信道的传输损耗	169
7.3 移动信道的噪声与干扰	169
7.3.1 噪声的分类及特性	169
7.3.2 邻道干扰和同频道干扰	172
7.3.3 互调干扰和远近效应	174
7.4 移动信道的传播模型	176
7.4.1 室外传播模型	176
7.4.2 室内传播模型	179
7.5 移动通信网络特性	180
7.5.1 移动通信的组网方式	180
7.5.2 移动通信系统容量分析	183
实践活动	185
思考与练习题	185
<b>第8章 卫星通信系统及传输信道特性</b>	<b>187</b>
8.1 卫星通信系统的基本概念及应用	188
8.1.1 卫星通信系统简述	188
8.1.2 卫星通信的应用	191
8.2 卫星通信系统工作原理	195
8.2.1 卫星通信地面段	195
8.2.2 卫星通信空间段	196
8.2.3 卫星通信线路及工作过程	197
8.2.4 通信卫星运行轨道	198
8.3 卫星通信传输线路特性	200
8.3.1 卫星线路的噪声和干扰	200
8.3.2 卫星线路接收机载噪比 $C/N$ 与 $G/T$ 值的计算	202
8.3.3 卫星传输线路的 $C/T$ 计算	205
实践活动	209
思考与练习题	209
<b>参考文献</b>	<b>211</b>

# 第1章 电信传输的基本概念

## 1.1 通信基本概念及发展史

通信按照传统的理解就是信息的传输，通信就是通过某种媒质从一地向另一地传递和交换信息。在当今高度信息化的社会，信息和通信已成为现代社会的“命脉”。

### 1.1.1 通信的定义

通信的目的是传递消息中所包含的信息。消息是客观物质运动和主观思维活动的状态的一种反映，在不同时期具有不同的表现形式。例如，话音、文字、符号、音乐、数据、图片或活动图像等都是消息。人们接收消息，关心的是消息中包含的有意义内容，即信息。消息是信息的载体，消息又是以具体信号（如电信号、光信号等）形式表现出来的。通信则是进行信息的时空转移，即通过某种媒质把信息从一方传送到另一方。基于这种认识，“通信”也就是“信息传输”或“消息传输”。

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，而符号、图形、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。消息必须转换成适合信道传输的物理量，这种物理量成为信号，如电信号、光信号、声信号等，才能在通信系统中传输。信号携带着消息，它是传输消息的运载工具。信号携带信息，但不是信息本身。同样，同一信息可用不同信号来表示。同一信号也可表示不同信息。信息是消息中包含的有意义的或有效的内容。信息、消息和信号是既有区别又有联系的3个不同概念。

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叫做通信。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。像两个人的交谈就是一种最简单的通信。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，要受到传送空间距离和时间的一定限制。要实现远距离和任意时间的通信，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，然后通过某种媒质传送到对方，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。

## 1.1.2 通信发展史

信息(或电信)传输的发展史,始终伴随着通信的发展史。

在我国,通信的起源至少可以追溯到周朝。众所周知,中国历史上周幽王(公元前 781—公元前 771 年)烽火嬉诸侯的故事。这个故事就是古代应用光通信的见证,它证明光通信在中国的应用至少可以追溯到公元前 800 年,这在世界上也是领先的。

近代电通信技术始于 1820 年安培发明的电报通信,这是近代数字通信的开始。此后,电报通信技术不断地改进,并得到迅速发展和广泛应用。

在 1837 年,人类历史上第一次进行电信联系的莫尔斯(MORSE)有线电报诞生了,是英国人在 1.5 km 的距离上进行了电表演。随后在 1844 年 5 月 24 日,莫尔斯启用第一条电报线,由华盛顿特区至巴尔的摩,开创了电信号传输的新时代。

在 1876 年,贝尔发明有线电话,通过一条几百英尺(1 英尺=0.3048 米)长的铜线电缆,在一个方向上用电流传送了声音。之后,贝尔获美国专利局授予的电话专利,并在 1877 年用硬双铜线架设了电话线路,从此传输线开始了传输比电报信号频率高得多的语音信号。这就是电信传输线路的最早应用。在百余年的时间里,从 1851 年成功地将第一条 4 根相互绝缘、直径为 1.65 mm 的铜线电缆敷设,完成了英法之间的电报联系,到 1955 年完成第一条从纽芬兰到苏格兰海底越洋同轴电话电缆的敷设。当时所用传输线的形式都是平行双导线和同轴线,迄今仍有重要的价值。

在 1888 年,德国人赫兹用火花产生电磁波的装置,证明了人们怀疑与期待已久的电磁波存在。赫兹在实验报告中说明了存在一种电波,以光速在空中运动。这是无线电的最早发现。

在 1894 年马可尼的设想“这种电磁波可以用来传递信号,能越过很长距离,而无须导线”。1896 年马可尼发明的无线电报,传输距离为 30 米,随后马可尼在陆地和拖船之间实现传输 2 千米的无线电报。1897 年马可尼获无线电报专利,建立无线电报公司。1901 年 12 月 12 日马可尼在加拿大纽芬兰岛收到从英国 Cornwall 发出的无线信号,传输距离为 1700 英里(1 英里=1.6093 千米)。

在 1906 年,德弗雷斯特发明电子三极管,数年后用于长、中、短波的电报和电话,推动了无线电通信和无线电广播的发展。1919 年,调幅无线电广播、超外差接收机问世。1936 年,商业电视广播开播。

20 世纪 30~50 年代开创无线电信号传输的新时代,是微波大发展的时期,如测量、雷达、微波中继等方面,特别在微波中继方面发展迅速。1948 年,美国建设了从纽约到波士顿的微波中继线路,传送 480 路电话和 1 路电视信号。微波传输线可以是同轴线、矩形波导或圆波导,主要用于天线馈线,即在机房信号源到天线之间传输导波。

在卫星通信方面,英国空军雷达专家阿瑟·克拉克在 1945 年提出了卫星通信的设想(直到 1957 年 10 月,苏联发射了第一颗人造地球卫星)。1965 年美国第一颗地球同步卫星“蓝鸟 1 号”(第一颗商用卫星)发射成功,开创了卫星通信的新纪元。

在移动通信方面,1946 年,美国在圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话业务,频率为 150~450 MHz。1978 年以后,美国、日本、瑞典等国利用这一技术先后开通了大容量

量小区制的蜂窝移动电话试验系统。

由以上描述可以看出,通信的发展史,离不开传输技术发展。传输技术发展到今天,只用简短的文字已不能描述其品种的繁杂、发展的迅速和理论的深奥了。随着电信容量的日益扩大,人们开始使用亚毫米波或更高的频率进行通信,这时金属传输线在理论和技术上都遇到了难题。为寻找新的信息载体,人们将注意力集中到介质传输线和光波上。光波有比亚毫米波高得多的频率,利用光波作为载体,其潜在的通信容量是传统的电通信手段所无法比拟的。华裔高锟于1966年发表一篇题为《用于光频的介质纤维表面波波导》的文章,文章提出可以从石英中提炼超纯的细丝状纤维,并用于光频成为光波导。于1977年,美国芝加哥建成第一条光纤通信线路,长度为6 km。然而,事情发展得很快,在1988年建成了横跨大西洋的海底光缆系统,采用的是单模光纤,总长达到19 200 km。

光纤也叫做介质光波导,是介质波导理论的研究成果。光纤传输原理采用的是两套分析方法,即射线理论和模式理论。石英光纤的工作波长为850~1650 nm,单根光纤的可用频带几乎达到200 THz,即使在1550 nm附近的低损耗窗口,其带宽也达到了15 THz。光纤通信的诸多好处,使光纤通信成为有线通信的典型代表,它以提高光纤链路传输速率和延长传输距离为目标。

### 1.1.3 电信传输理论的发展史

回顾电信传输技术的历史,其实就是电信传输的理论发展历程。

1865年,麦克斯韦在题为《电磁场的动力学理论》的论文中奠定了电磁场理论的基础,利用麦克斯韦的成果进行传输线理论研究成为了可能。1876年,亥维塞利用麦克斯韦方程推导出了经典电报方程,并于1903年架设一条线路,连接了利物浦和瓦灵顿两个城市,使亥维塞的理论完全得到了证明。经典电报方程既适用于平行双导线,又适用于同轴线,可用于高频的双导体传输系统。1893年,英国物理学家汤姆逊(电子的发现者)出版了一本论述麦克斯韦电磁理论的书,肯定了圆金属壁管子传输电磁波的可实现性,预言波长可与圆柱直径相比拟,这就是微波传输线即圆波导,直到1936年才得以实现。1897年,英国物理学家瑞利在发表的论文中,讨论了矩形截面和圆形截面“空柱”中的电磁振动,即对应后来的矩形波导和圆波导,并引进了截止波长的概念。瑞利还得到了矩形波导中主模的场方程组,并讨论了圆波导中的主模。到1931年,人们看出了波导技术的实用价值。1936年,贝尔实验室的科学家做出了实验波导线长为260 m的青铜管,直径为12.5 cm,信号波长为9 cm。后来,人们把1936年当做微波技术的开始年份。

电信传输是现代信息社会进步的最基本条件和要求。传输线路的发展,一直与扩大通信容量、延长通信距离相联系,它的发展是促使技术进步的巨大动力。众所周知,在信息通信高速发展的当今社会,传输无处不在。也就是说“传输技术”的发展高低决定着“整个通信网络”的发展要素。没有传输,就没有真正意义上的通信,要实现国家信息基础设施(NII)的发展目标,必须首先构建以光纤/电缆为主,微波/卫星为辅、覆盖全国和全球、天地一体化的通信传输网络。现如今,只有对传输有足够的理解,才能在相同的物理资源下,获得高效率、高质量的通信。信息的高速传输使人们决策帷幄之中,致胜千里外,已不再是幻想了。

## 1.2 电信传输系统模型

### 1.2.1 电信及电信传输

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。通俗解释“电信”是指利用有线、无线的电磁系统或光电系统，对语音、文字、数据、图像以及其他形式信息的电信号进行的传送过程。那么，“电信传输”就是指含有信息的电信号通过具体物理媒质从一处传到另一处的传输过程。

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。为了达到用户满意的质量传送，就要求研究如何高质量地传输电信号的问题。例如，语言、文字、图像、数据等信息如何变换成为更适应信道传输的电信号？对于传输方式和传输质量有哪些要求？传输线、传输设备或部件的结构与特性之间又有什么样的联系？等等。本书的目的是使读者能够掌握电信传输的一些基本理论、基本应用，为各类通信系统的学习打好基础。

### 1.2.2 电信传输系统模型

电信传输由电信传输系统来实现的，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）所构成的总体。一个最简单的传输系统，至少要由一个发送器（也叫做变换器）、一个接收器（也叫做反变换器）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。

以分处 A、B 两地的任意两用户（人与人，机器与机器，人与机器）间的信息传递为例，基于点-点之间的电信传输系统一般模型，可用图 1-1 来描述。

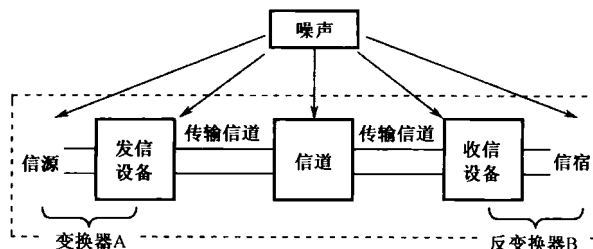


图 1-1 点-点电信传输系统一般模型

信源是消息的产生地，其作用是把各种消息转换成原始电信号，称为消息信号或基带信号。电话机、电视摄像机和电传机、计算机等各种终端设备就是信源。前者属于模拟信源，输出的是模拟信号；后者是数字信源，输出离散的数字信号。

发信设备的基本功能是将信源变换成与信道相适配的、适合信道中传输的电信号或光信号。

信道是信号传输通道的简称，是指传输信号的物理媒质。通常由自由空间、光缆、全塑市话对称电缆、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(发信端)迅速且正确无误地输送到B点(收信端)。

噪声不是人为加入的设备,而是电信传输系统中各种设备以及信道中所固有的,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,进而降低了通信质量。

收信设备位于反变换器B的那一端,基本功能是完成发信设备的反变换,即将从信道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,进行反变换,使其信息重现原始基带信号原貌。

信宿是传输信息的归宿点,是消息接收者,其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

图1-1概括地描述了一个点-点电信传输系统的组成,它反映了传输系统的共性,因此称为电信传输系统的一般模型。根据研究的对象以及所关注的问题不同,图1-1模型中的各小方框的内容和作用将有所不同,因而相应有不同形式的更具体的传输系统模型。

下面通过如图1-2所示的实际电信传输系统例子,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中的话机、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,还能与其他局的用户实现连接或转接。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、码分等多种形式的复用,用以提高信道的传输容量。传输终端设备(如地球站、微波终端、有线传输终端设备等)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(或信道编码变换),或进行信道编码反变换等。电缆、光缆、微波、卫星是不同形式的传输媒质或信号载体。

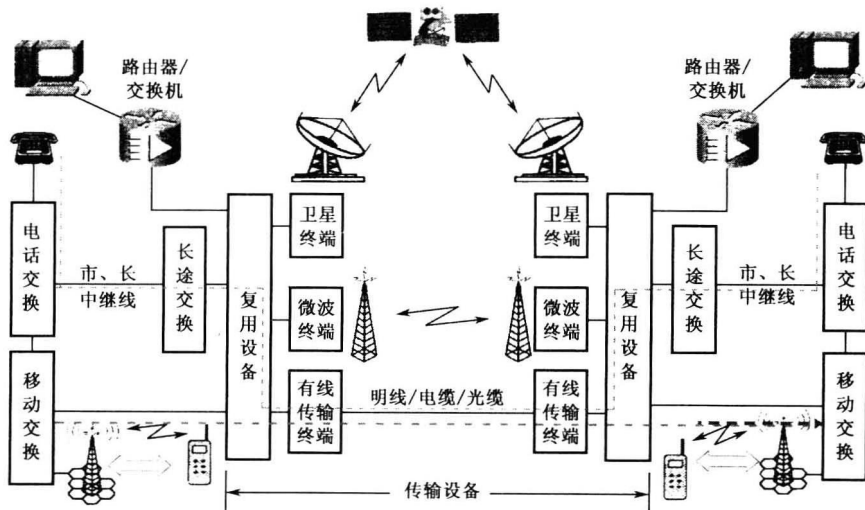


图 1-2 实用电信传输系统一般结构

若采用有线传输系统并用电缆作传输媒质时,此时传输终端设备为电缆传输终端设备,

相应的传输系统称为电缆传输系统或称为电缆通信系统。若采用光缆作传输媒质时, 此时的传输终端设备就称为光端机, 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。

若采用无线传输系统并用微波作载体时, 微波中继站作信号转接, 此时传输终端设备就是微波端站, 其传输过程是: 微波端站的发信机产生电信号, 并由发射天线转换成电磁波, 经空间媒质传播, 到接收端, 微波端站的接收天线接收电磁波后还原成电信号, 送收信机还原成原始信号, 完成传输。相应的传输系统就称为微波传输系统, 或称为微波通信系统。若仍采用微波作载体, 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不仅在于电信号载体、传输媒质和传输终端设备不同, 还在于无线信号在自由空间的传输过程需要天线完成电信号向电磁波转换并发射或逆过程。通信系统服务范围不同, 其天线结构不同, 常用天线的实物如图 1-3 所示。正是由于这些不同, 才使得不同的传输系统具有独特的性能。它也正是本课程重点要讨论的问题, 在随后的几章中将分别逐一进行介绍。

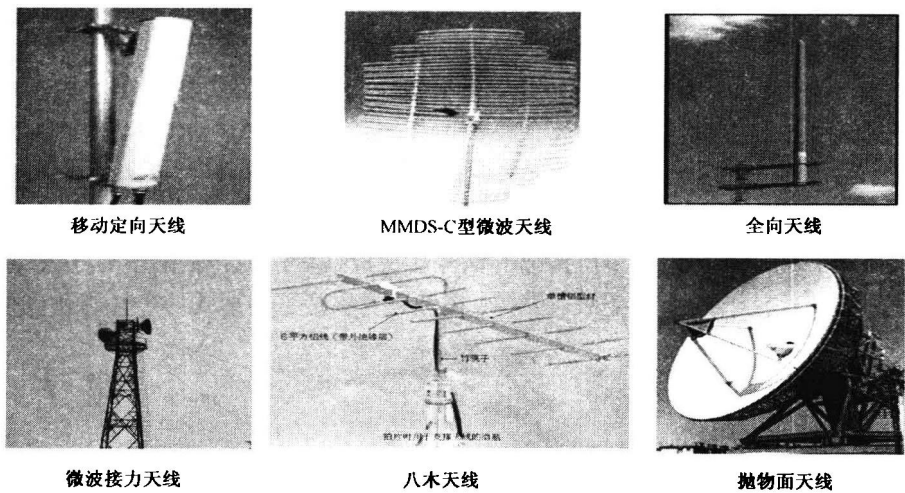


图 1-3 常用天线的实物图

### 1.2.3 信号的类型与电磁波波段的划分

#### 1. 电信号的类型

电信号按照不同的角度可有不同的分类, 若按照信号参量 (如连续波的幅度、频率或相位; 脉冲波的幅度、宽度或位置) 的取值方式不同可把信号分为两类, 即模拟信号和数字信号。因而, 按照信道中传输的信号不同, 可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

凡信号参量的取值是连续的或取无穷多个值的, 且直接与消息相对应的信号, 均称为模拟信号。模拟信号有时也称为连续信号, 这个连续是指信号的某一参量可以连续变化, 或者



说在某一取值范围内可以取无穷多个值，而不一定在时间上也连续，如图 1-4 所示。

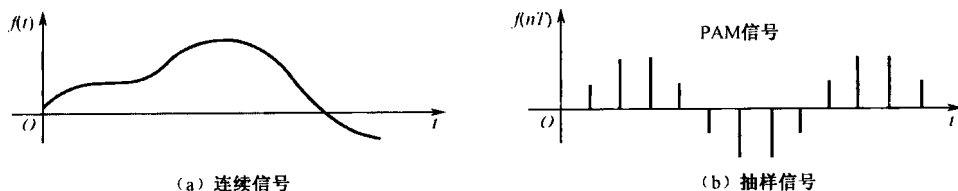


图 1-4 模拟信号波形

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 20~20 000 Hz。在话音频谱中，女人的声音的高频成分多一些，男人的声音的低频成分多一些，如图 1-5 所示。

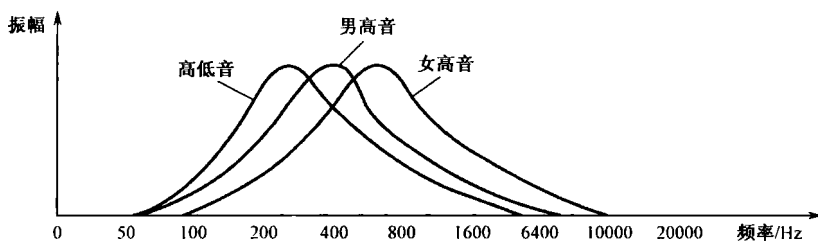


图 1-5 声音的频率成分

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 300~4000 Hz。大量的实验证明，如果将电话传送频率范围限制在 400~2000 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 300~2700 Hz 的频率成分。在高质量的电话系统中，传送的频率范围是 300~3400 Hz。

## (2) 数字信号

除模拟信号外，还有一种数字信号。凡信号参量只能取有限个值，并且常常不直接与消息相对应的信号，均称为数字信号。数字信号有时也称为离散信号，这个离散是指信号的某一参量是离散变化的，而不一定在时间上也离散，如图 1-6 所示。像电报信号、计算机输入/输出信号、脉冲编码 PCM 信号等都是数字信号。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”，就等于完全消除了干扰。

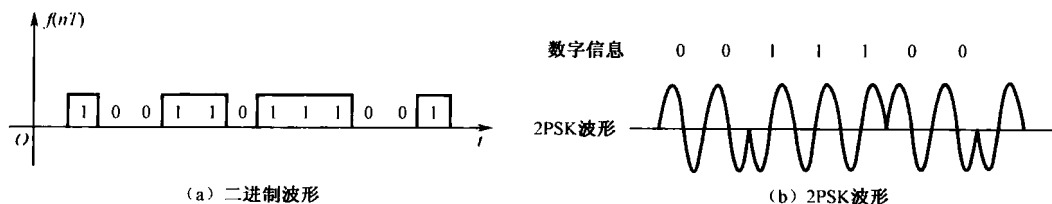


图 1-6 数字信号波形