

中国电子教育学会高教分会推荐
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

电信传输原理

主 编 孙 霞
副主编 刘金亭 鲜 娟
 刘水晶 龚雪娇
主 审 鲜继清

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书根据通信工程本科专业的发展方向和教学需要,结合电信传输技术的最新发展原理及其现状编写而成,主要介绍了电信传输概述、金属传输线理论、波导传输线理论、光纤传输原理、无线传输原理、微波与卫星传输系统、移动通信无线传输等方面的内容,每章都配有思考与练习题。

本书可作为普通高等院校通信工程专业本科生教材,以及硕士生、博士生学习电信传输的入门辅导书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电信传输原理/孙霞主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.2

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4411 - 0

I. ①电… II. ①孙… III. ①传输线理论 IV. ①TN81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 312227 号

策 划 戚文艳

责任编辑 武翠琴 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.5

字 数 338千字

印 数 1~3000册

定 价 34.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4411 - 0/TN

XDUP 4703001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

中国电子教育学会高教分会

教材建设指导委员会名单

主任	李建东	西安电子科技大学副校长
副主任	裘松良	浙江理工大学校长
	韩焱	中北大学副校长
	颜晓红	南京邮电大学副校长
	胡华	杭州电子科技大学副校长
	欧阳缮	桂林电子科技大学副校长
	柯亨玉	武汉大学电子信息学院院长
	胡方明	西安电子科技大学出版社社长

委员（按姓氏笔画排列）

	于风芹	江南大学物联网工程学院系主任
	王泉	西安电子科技大学计算机学院院长
	朱智林	山东工商学院信息与电子工程学院院长
	何苏勤	北京化工大学信息科学与技术学院副院长
	宋鹏	北方工业大学信息工程学院电子工程系主任
	陈鹤鸣	南京邮电大学贝尔英才学院院长
	尚宇	西安工业大学电子信息工程学院副院长
	金炜东	西南交通大学电气工程学院系主任
	罗新民	西安交通大学电子信息与工程学院副院长
	段哲民	西北工业大学电子信息学院副院长
	郭庆	桂林电子科技大学教务处处长
	郭宝龙	西安电子科技大学教务处处长
	徐江荣	杭州电子科技大学教务处处长
	蒋宁	电子科技大学教务处处长
	蒋乐天	上海交通大学电子工程系
	曾孝平	重庆大学通信工程学院院长
	樊相宇	西安邮电大学教务处处长
秘书长	吕抗美	中国电子教育学会高教分会秘书长
	毛红兵	西安电子科技大学出版社社长助理

前 言

人类社会的发展与信息技术的关系越来越密切，主要表现为手机、网络、电视等平台的发展在为人们提供便利的同时，也给人们的生活和工作方式带来了翻天覆地的变化，大量的信息充斥着我们的生活，影响着我们的思想和行为。作为社会的最小组成单元，每个人每时每刻都离不开电子信息的获取、传输、处理和应用，每个人都被“网”在了通信网中。

传输技术的发展水平决定了整个通信网络的发展水平，可以说传输技术是通信发展的基石。电信传输原理是传输技术的理论基础，“电信传输原理”课程是通信工程专业的核心专业基础课程，也是电子信息工程、广播电视工程专业的重要支撑课程。

本书主要讨论有线传输技术和无线传输技术，研究不同通信媒质的传输技术原理、传输信道以及传输系统的组成和应用等，力求给读者一个比较全面的、系统的、从理论到实际的有关信息传输的完整框架。编写本书的指导思想是使应用型本科通信与电子信息类专业的学生从系统和实用的角度熟悉电信传输技术的基本知识，抛弃烦琐的理论公式推导，让学生建立整个电信传输系统的概念，拓宽视野，了解传输技术发展的新动向，以适应迅速发展的电子技术革命。

本书在叙述上力求概念清楚、重点突出、深入浅出、通俗易懂；在内容上力求突出科学性、先进性、系统性与实用性；在体系结构上强调知识结构的系统性和完整性，强调课程间的有机结合，注重学生知识运用能力的培养。

本书参考学时为 32~56 学时。全书共分 7 章，包括电信传输概述、金属传输线理论、波导传输线理论、光纤传输原理、无线传输原理、微波与卫星传输系统、移动通信无线传输。

本书由孙霞、刘金亭、鲜娟、刘文晶、龚雪娇共同编写。其中，第 1 章由孙霞编写；第 2 章、第 3 章由刘金亭编写；第 4 章由刘文晶编写；第 5 章由龚雪娇编写；第 6 章、第 7 章由孙霞、鲜娟编写。全书由孙霞统编定稿。鲜继清教授对本书进行主审并提出了宝贵的修改意见，在此表示诚挚的谢意。在本书的编写过程中，得到了胡继志老师、易红薇老师的鼎力相助，还得到了西安电子科技大学出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免存在一些不足之处，敬请各位读者批评指正。

编 者

2016 年 10 月

目 录

第 1 章 电信传输概述	1	2.4 传输线的基本特性参数	42
1.1 通信基本概念及系统模型	1	2.4.1 特性阻抗	42
1.1.1 通信的基本概念	1	2.4.2 传输常数	44
1.1.2 模拟信号和数字信号	2	2.4.3 反射系数与驻波比	46
1.1.3 电信传输系统模型	3	2.5 均匀无损传输线的工作状态	46
1.2 电磁波及其波段划分	5	2.5.1 均匀无损传输线	47
1.2.1 电磁波波段划分	5	2.5.2 均匀无损传输线的工作状态	48
1.2.2 各波段的特点及应用	7	2.6 其他常用传输线及应用	50
1.3 微波和光波	9	2.6.1 微带线	50
1.3.1 微波及其特点	9	2.6.2 带状线	51
1.3.2 光波	11	思考与练习题	51
1.4 电信传输信道	11	第 3 章 波导传输线理论	53
1.4.1 信息传输	11	3.1 波导传输线及应用	53
1.4.2 信道概念及分类	11	3.1.1 波导传输线	53
1.4.3 有线传输信道	12	3.1.2 圆波导定向耦合器在高功率 微波测量中的应用	54
1.4.4 无线传输信道	16	3.1.3 波导在微波天线 系统中的应用	55
1.5 信道的传输特性	20	3.1.4 波导滤波器的应用	56
1.5.1 幅频与相频传输特性	20	3.1.5 常用波导的电参数	59
1.5.2 信道的衰减	21	3.2 波导传输线的常用分析方法及 一般特性	60
1.5.3 信道中的噪声与干扰	21	3.2.1 波导传输线的常用分析方法	60
1.5.4 电信传输系统的性能指标	23	3.2.2 波导中电磁波的一般传输特性	64
1.5.5 信道容量	25	3.3 矩形波导传输线及其传输特性	65
1.6 电信传输技术发展历程简述	26	3.3.1 矩形波导中 TM、TE 波的 场方程	66
1.6.1 传输线的发展	26	3.3.2 矩形波导中电磁波的传输特性	68
1.6.2 电信传输技术的发展	27	3.4 圆波导及其传输特性	72
思考与练习题	29	3.4.1 圆波导中 TM、TE 波的方程	73
第 2 章 金属传输线理论	30	3.4.2 圆波导中电磁波的传输特性	76
2.1 通信传输电缆的分类及特点	30	思考与练习题	76
2.1.1 通信传输电缆的分类	30	第 4 章 光纤传输原理	78
2.1.2 全色谱全塑电缆的型号及规格	30	4.1 光纤通信系统的构成	78
2.1.3 双屏蔽数字同轴电缆	33	4.1.1 光纤通信系统模型	78
2.1.4 五类双绞电缆的分类与特点	34	4.1.2 光纤导光原理	80
2.2 同轴电缆的技术特性及应用	36	4.1.3 光纤传输特性	85
2.2.1 同轴电缆的结构	36	4.1.4 常用光纤光缆类型	90
2.2.2 同轴电缆的技术特性	37	4.2 光纤接入网	96
2.2.3 同轴电缆的应用	39		
2.3 传输线常用分析方法及电参数	40		
2.3.1 传输线常用分析方法	40		
2.3.2 长线的分布参数和等效电路	41		

4.2.1	光纤接入网的概念	96	6.2.1	微波通信的概念及特点	142
4.2.2	光纤接入网的基本结构	97	6.2.2	微波通信系统的组成	143
4.2.3	光纤接入网的应用类型	98	6.2.3	微波中继传输线路	144
4.2.4	光纤接入网的关键技术	100	6.2.4	微波通信的频率配置	145
4.2.5	无源光网络	102	6.2.5	微波天馈线系统	146
4.3	光纤以太网	106	6.3	微波传播	150
4.3.1	以太网的概念及分类	106	6.3.1	地面对微波传播的影响	150
4.3.2	以太网的网络组成	109	6.3.2	对流层对微波传播的影响	154
4.3.3	LAN 接入组网案例分析	111	6.4	微波传输线路噪声	159
4.4	基于 SDH 的光传输网	113	6.5	微波传输线路参数计算	160
4.4.1	SDH 的基本概念	114	6.6	微波通信线路设计	162
4.4.2	SDH 的速率与帧结构	114	6.7	卫星通信的概念及特点	163
4.4.3	SDH 的基本网络单元	116	6.8	卫星通信系统	164
4.5	基于 DWDM 的光传输网	118	6.8.1	通信卫星	164
4.5.1	波分复用原理	118	6.8.2	卫星通信系统的组成	167
4.5.2	DWDM 系统的基本结构	119	6.8.3	卫星通信传输线路	167
4.5.3	DWDM 技术选型	120	6.8.4	卫星通信系统的工作过程	168
4.5.4	DWDM 关键技术	123	6.8.5	卫星通信系统的频段分配	169
4.6	未来光传送网	124	6.8.6	卫星通信天馈线系统	171
4.6.1	智能光传送网	124	6.8.7	观察参量	172
4.6.2	传送网的发展方向	126	6.9	卫星通信传输线路特性	174
	思考与练习题	128	6.9.1	自然现象对卫星通信 线路的影响	174
第 5 章	无线传输原理	129	6.9.2	卫星通信线路的噪声和干扰	176
5.1	无线电波传输理论	129	6.10	卫星通信系统应用	182
5.1.1	电磁波常见传播模式	129	6.10.1	卫星电视广播	182
5.1.2	电磁波传播特性	130	6.10.2	VSAT 卫星通信系统	183
5.2	无线传播损耗	131	6.10.3	海事卫星通信系统	186
5.2.1	自由空间传播损耗	132	6.10.4	IDR 卫星通信系统	187
5.2.2	自然现象引起的损耗	133	6.10.5	GPS 定位及差分原理	187
5.2.3	多径传播引起的损耗	134	6.10.6	量子通信	191
5.3	无线传输中的噪声与干扰	135		思考与练习题	195
5.3.1	噪声干扰的分类	136	第 7 章	移动通信无线传输	197
5.3.2	噪声干扰的原因	136	7.1	移动通信概述	197
5.4	无线传输的多址方式	137	7.1.1	移动通信的发展	197
5.4.1	频分多址 (FDMA) 方式	137	7.1.2	移动通信的网络结构	199
5.4.2	时分多址 (TDMA) 方式	138	7.1.3	移动通信的特点	200
5.4.3	码分多址 (CDMA) 方式	138	7.2	移动通信的信道特征	201
5.4.4	空分多址 (SDMA) 方式	139	7.2.1	表征衰落特性的常用数字特征	201
5.4.5	正交频分多址 (OFDMA) 方式	139	7.2.2	移动通信中无线电波的 传播特性	202
	思考与练习题	140	7.2.3	移动信号传播的四种效应	203
第 6 章	微波与卫星传输系统	141	7.2.4	移动信号传播的三类衰落损耗	205
6.1	微波与卫星通信概述	141			
6.2	微波通信系统	142			

7.2.5 移动信道参数	206	7.5 蜂窝组网技术	216
7.3 移动信道的噪声与干扰	207	7.5.1 移动通信网的体制	216
7.3.1 移动信道的噪声	208	7.5.2 移动通信网的组网方式	217
7.3.2 移动信道的干扰	209	7.5.3 移动通信系统的容量	220
7.4 移动信道的传播模型	212	思考与练习题	221
7.4.1 室外传播模型	213	参考文献	222
7.4.2 室内无线传播模型	215		

第 1 章 电信传输概述

1.1 通信基本概念及系统模型

1.1.1 通信的基本概念

消息是指物体的客观运动和人们的主观思维,我们通常用语言、文字、图像和数据等方式来描述。例如,电话中的语音、电视中的图像等都称为消息。消息在许多情况下是不便于传送和交换的,如语言就不宜远距离直接传送,为此需要用光、声、电等物理量来运载消息。例如,打电话是利用电话(系统)来传递消息;两个人之间的对话,是利用声音来传递消息;古代的“消息树”“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等则是利用光的方式传递消息。随着社会的发展,消息的种类越来越多,人们对传递消息的要求和手段也越来越高。

信息是消息中包含的有意义的内容,信息是抽象的,因此,信息必须借助于载体——消息,才能够便于人们进行信息的传递、交换、存储和提取。信息量的大小可用消息发生的概率的倒数来表示,即

$$I = \log \frac{1}{P(X)} = -\log P(X) \quad (1-1)$$

式中, I 表示消息所含有的信息量; $P(X)$ 表示消息发生的概率。

信息量的单位由对数底数的取值决定。当对数以 2 为底时,单位是“比特”(bit——binary unit 的缩写);当对数以 e 为底时,单位是“奈特”(nat——nature unit 的缩写);当对数以 10 为底时,单位是“哈特”(hart——hartley 的缩写)。三个单位之间的换算关系为

$$1 \text{ nat} = 1.44 \text{ bit}$$

$$1 \text{ hart} = 3.22 \text{ bit}$$

通常采用“比特”作为信息量的常用单位。

由于消息在许多情况下不便于传送和交换,因此必须将其转换成适合信道传输的形式,借助于光、声、电等物理量来运载,这些物理量就称为信号,如光信号、声信号、电信号等。信号是用来携带消息的载体,但不是消息本身,同样,同一信息可用不同的信号来表示,同一信号也可表示不同的信息。信息、消息和信号是既有区别又有联系的三个不同的概念。

由于信息是消息中包含的有意义的内容,是人们需要传递的内容,因此在通信系统中

形式上传输的是消息，但实质上传输的是信息。消息只是表达信息的工具、载荷信息的客体。

人类自存在以来就进行思想交流和消息传递。远古时代的人类用表情和动作进行信息交流，这是最原始的通信方式。古代的通信方式有烽火台、击鼓、信鸽等，其传输会受到传输距离及时间的限制。随着社会生产力的发展，人们对传递消息的要求也越来越高。在各种各样的通信方式中，利用电信号来传递消息的通信方法称为电信(Telecommunication)，如电报、电话、短信、E-mail等，这种通信具有迅速、准确、可靠等特点，且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制，因而得到了飞速发展和广泛应用。

通信是指通过某种媒质将消息从一地传输到另一地的过程。简单地说，消息传输就是通信。通信的目的是获取信息。

1.1.2 模拟信号和数字信号

通信中消息的传送是通过信号来进行的。信号是表示消息的物理量，是运载信息的工具，是信息的载体。信号的分类方法有很多，可以从不同的角度对信号进行分类。例如，信号可以分为确知信号与随机信号、周期信号与非周期信号、模拟信号与数字信号等。下面简要介绍模拟信号与数字信号的概念。

如果信号中代表消息的信号参量(幅度或者频率)随消息作连续变化，则此信号就称为模拟信号，又称为连续信号。如代表消息的信号参量是幅度，则模拟信号的幅度应随消息连续变化，即幅度取值有无限多个，但在时间上可以连续，也可以离散。图1-1所示为时间连续和时间离散的模拟信号。

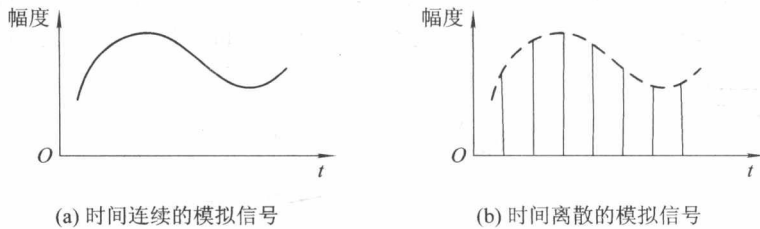


图 1-1 模拟信号

数字信号是指在时间上和幅度取值上均离散的信号。图1-2所示为二进制码和经过调制的数字信号。数字信号通常可由模拟信号获得。数字信号便于存储、处理、传输。与模

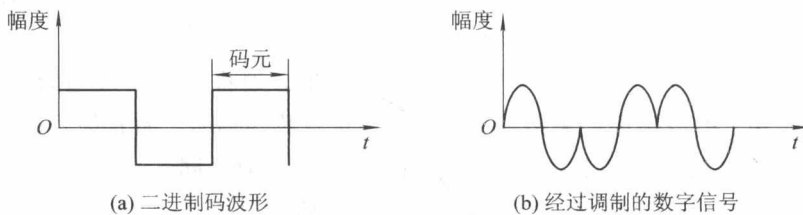


图 1-2 数字信号

拟信号相比，数字信号最大的优点是抗干扰性强，噪声不积累。由于信号在通信中传输一段距离后，信号能量会受到损失，噪声的干扰会使波形变坏，因此为了提高其信噪比，要及时将变形的信号进行处理、放大。在模拟通信中，由于传输的信号是模拟信号(幅值是连续的)，因此难以把噪声干扰分开而去掉，随着距离的增加，信号的传输质量会越来越恶化，如图 1-3(a)所示。在数字通信中，传输的是数字脉冲信号，这些信号在传输过程中也同样会有能量损失，受到噪声干扰，但当信噪比还未恶化到一定程度时，可在适当距离或信号终端通过再生的方法，使之恢复为原来的脉冲信号波形，如图 1-3(b)所示。由此可见，数字通信具有消除干扰和噪声积累的能力，可实现长距离、高质量的通信。因此现代通信是数字通信的时代。

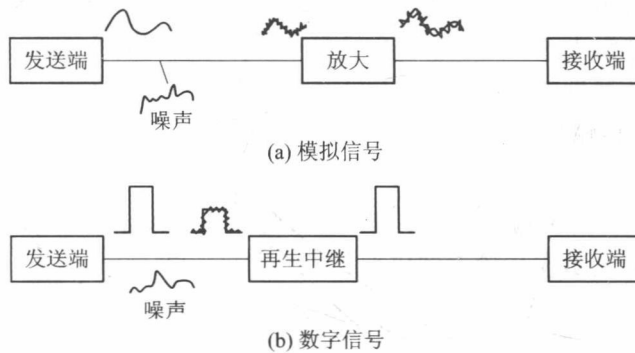


图 1-3 两类通信方式抗干扰性能比较

1.1.3 电信传输系统模型

1973 年，国际电信公约及规定将“电信”这一术语定义为：利用有线电、无线电、光学或其他电磁系统对符号、信号、文字、影像、声音或任何信息的传输、发射或接收。以上谈到的电信，就是本书谈到的通信。广义上讲，无论采用何种方法，使用何种传输媒质，只要把信息从一个地方传送到另一个地方，均称为通信。虽然通信系统种类繁多、形式各异，但实质都是完成从一个地方到另一个地方的信息传递或交换。一个简单的电信传输系统包括信息源、发送设备、信道、接收设备、受信者和噪声源等，如图 1-4 所示。

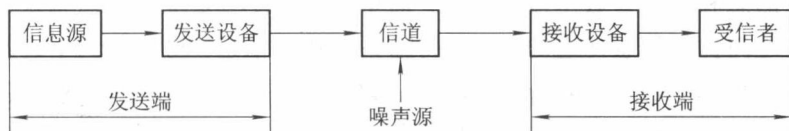


图 1-4 电信传输系统基本模型

信息源是产生消息的源，把人或设备发出的信息变换为原始的电信号；发送设备负责将信息源发出的信号变成适合于信道传输的信号；接收端的接收设备与发送端的发送设备实现的功能相反，负责把从传输信道中接收的信号恢复成相应的原始信号，比如常用的信道编/解码器、调制/解调器都属于发送/接收设备；受信者是将复原的原始信号转换成相

应的消息的宿端，也称为信宿。

信道是信号传输的通道，是通信系统的重要组成部分。信道由各种各样的传输媒质支撑，这些媒质包括明线、电缆、光缆及无线方面各波段的电磁波等。传输媒质是用于承载传输信息的物理媒体，是传递信号的通道，提供两地之间的传输通路。根据传输信号的特性，可将信道分为模拟信道和数字信道。根据传输距离的远近及作用，可将信道分为两类：距离比较近的称为用户线或接入信道(接入网)，当前以金属电缆和无线传输为主；距离较远的称为中继或长途传输信道，当前主要由光缆、微波和卫星信道组成。根据传输媒质是否有形，可将信道分为两种：一种是电磁信号在自由空间中传输的无线信道；另一种是电磁信号在某种有形的传输线上传输的有线信道。

噪声源不是人为实现的实体，而是在实际的通信系统中客观存在的。实际上，干扰噪声可能在信息源处就混入了，也可能从构成变换器的电子设备中引入，传输信道中的电磁感应以及接收端的各种设备中也都可能引入干扰。在通信系统中，一般的噪声可以导致各种不良后果，如信号传输劣化，表现为语音不清、嘈杂等。噪声从产生方式上可分为内部噪声和外部噪声两大类。

由于目前通信系统中传输的是数字信号，因此，现代电信传输系统一般又称为数字传输系统。图 1-5 所示为数字传输系统模型。

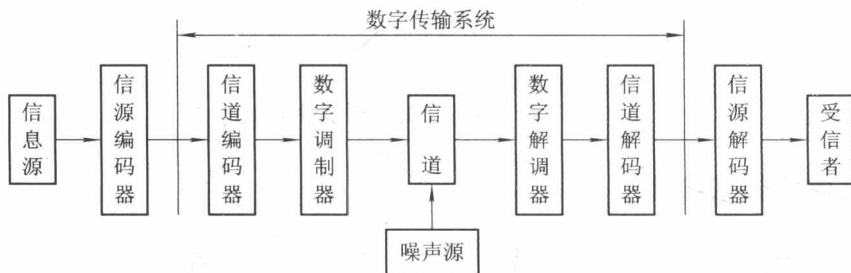


图 1-5 数字传输系统模型

信息源提供的语音、数据、图像等待传递的信息经信源编码、信道编码和调制，将其频谱搬移到对应传输介质(导向传输介质和非导向传输介质)的传输频段内，通过传输介质传输至对方后，再经解调等逆变换，恢复成受信者适用的信息形式，这一全过程信息所通过的通信设备的总和统称为数字传输系统。简单地说，传输系统的作用就是为需要进行信息交互的设备之间提供信息传递的通道。传输系统作为信道，可连接两个终端设备构成电信系统；作为链路，则可连接网节点的交换系统构成电信网。传输系统按其传输信号性质，可分为模拟信号传输系统和数字信号传输系统两类；按其传输媒质，可分为有线传输系统和无线传输系统两类。

传输系统是通信网的重要组成部分，是各通信网元间连接的纽带，承载各网元间信息的传递，其系统性能的好坏直接制约通信网的发展。提高传输线路上的信号速率、扩宽传输频带是传输系统的不断追求。传输系统在通信网中的位置如图 1-6 所示。

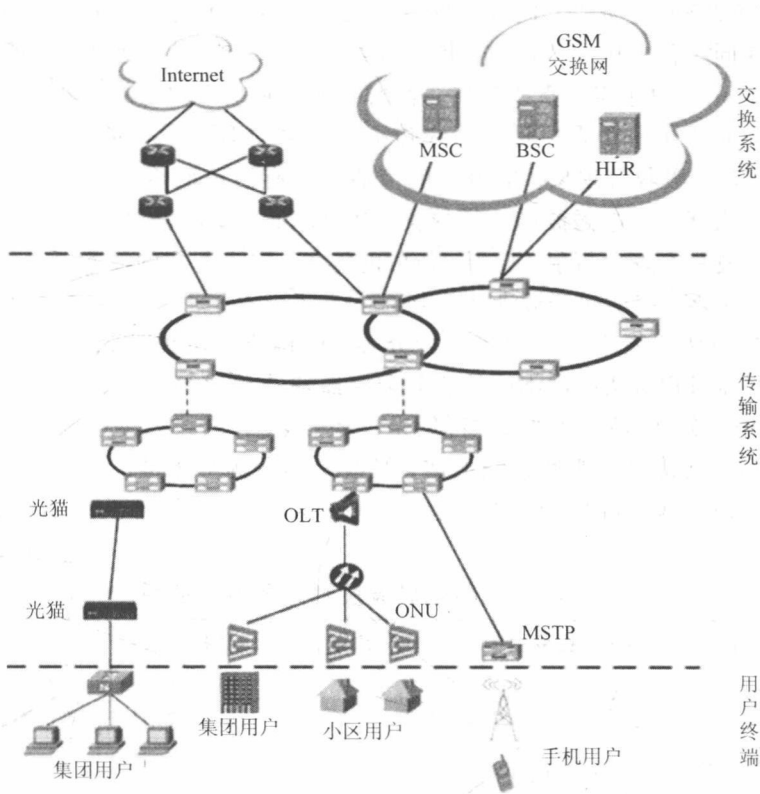


图 1-6 传输系统在通信网中的位置

1.2 电磁波及其波段划分

1.2.1 电磁波波段划分

随时间变化的电场、磁场互相激发，以波动的形式向周围扩散，形成电磁波。磁场或电场每秒钟内周期变化的次数就是电磁波的频率，用 f 表示，单位是赫兹(Hz)；电磁波的传播速度称为波速，用 c 表示， $c=3 \times 10^8$ m/s。波速(c)和频率(f)的比值称为波长，用 λ 表示，单位是米(m)，即

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知，波长与频率成反比，波长越长，频率越低；反之，频率越高，波长越短。在无线通信设备中，为了保证有效的发射和接收，天线的设计依据中最重要的参数就是波长。天线理论要求：为了得到尽可能高的发射效率，天线的长度 L 要与发射信号的波长 λ 相比拟，通常要求

$$L = \frac{\lambda}{4} \sim \frac{\lambda}{2} \quad (1-3)$$

另外，电磁波的能量与频率成正比，即频率越高，波长越短，能量越大。

电磁波是以波动的形式传播的电磁场，具有波粒二象性。电磁波不依靠介质传播，在

真空中的传播速度等同于光速。同频率的电磁波，在不同介质中的传播速度不同。不同频率的电磁波，在同一种介质中传播时，频率越高，折射率越大，速度越小。另外，且电磁波只有在同种均匀介质中才能沿直线传播，若同一种介质是不均匀的，电磁波在其中的折射率是不一样的，在这样的介质中是沿曲线传播的。通过不同介质时，电磁波会发生折射、反射、绕射、散射及吸收等现象。电磁波的传播方式有沿地面传播的地面波，还有从空中传播的空间波以及天波。电磁波的波长越长，其衰减越少，波长越长也越容易绕过障碍物继续传播。电磁波具有发生折射、反射、衍射的能力，因为所有的波都具有波粒二象性。折射、反射属于粒子性；衍射属于波动性。

将电磁波按照从低频率到高频率进行分类，就构成了电磁波谱。为了便于研究和管理，国际电信联盟(ITU)从提供不同的业务和传播特性相似等方面对电磁波加以划分，依次为：普通无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X射线和 γ 射线。

从甚长波到米波都属于普通无线电波；微波又细分为分米波、厘米波、毫米波。人眼可接收到的电磁波，称为可见光(波长为380~780 nm)。具体各波段的名称及应用如表1-1所示。

表 1-1 无线电波波段划分及典型应用

段号	频段名称	频率范围	波长范围	波段名称	传输介质	用途
1	甚低频 (VLF)	3~ 30 kHz	100~ 10 km	甚长波	有线线对或 长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
2	低频 (LF)	30~ 300 kHz	10~1km	长波	有线线对或 长波无线电	导航、信标、电力线通信
3	中频 (MF)	300~ 3000 kHz	1000~ 100 m	中波	同轴电缆或 短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
4	高频 (HF)	3~ 30 MHz	100~ 10 m	短波	同轴电缆或 短波无线电	移动天线电话、短波广播定点军用通信、业余无线电
5	甚高频 (VHF)	30~ 300 MHz	10~1 m	米波	同轴电缆或 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆、通信、导航
6	特高频 (UHF)	300~ 3000 MHz	100~ 10 cm	分米波	波导或分米 波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
7	超高频 (SHF)	3~ 30 GHz	10~ 1 cm	厘米波	波导或厘米 波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达、无线宽带接入
8	极高频 (EHF)	30~ 300 GHz	10~ 1 mm	毫米波	波导或毫米 波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
9	紫外、 可见光、 红外		380~ 760 nm		光纤或激光 空间传播	光通信

在通信过程中，人们先把通信消息，例如，声音、图像、文字等转变为电信号，这些电信号以电磁波作为载体，由电磁波带着向周围空间传播。而在另一地点，人们利用接收机接收到这些电磁波后，又将其中的电信号还原成声音、图像、文字等消息，这就是信息传

播即通信的大致过程。通信所采用的传输线种类及传输方式是由电磁波的频率所决定的。电信的发展历程实际上就是所使用的载波频率由低到高的发展过程。通信容量几乎与所使用的频率成正比，人们对通信容量的要求越高，使用的频率就越高。

通信方式一般可分为两大类：一类称为有线通信，一类称为无线通信。有线通信方式是传输线引导电磁波按照一定方向进行传播，能量由发送方传送到接收方，传输效率较高；无线通信方式是利用天线将电磁波辐射到需要的空间区域进行信息交换。与有线通信方式相比，无线通信方式传输质量不稳定，信号易受干扰，易受自然因素等影响，但由于其具有不需要架设传输线路，不受通信距离限制，机动性好，建立迅速等优点，目前得到了快速的发展。

当电磁波频率不高时，如米波以上波长范围，广泛应用双线传输线来传输电信号，同轴线可用于较高频率，如分米波及厘米波波段；当频率更高时，如微波频段，就需用波导来传输电信号；当频率达到光波时，就选用光纤作为传输介质。本书章节安排也是根据从低频到高频的顺序进行的。常用的传输媒质与电磁波波段的对应关系如图 1-7 所示。

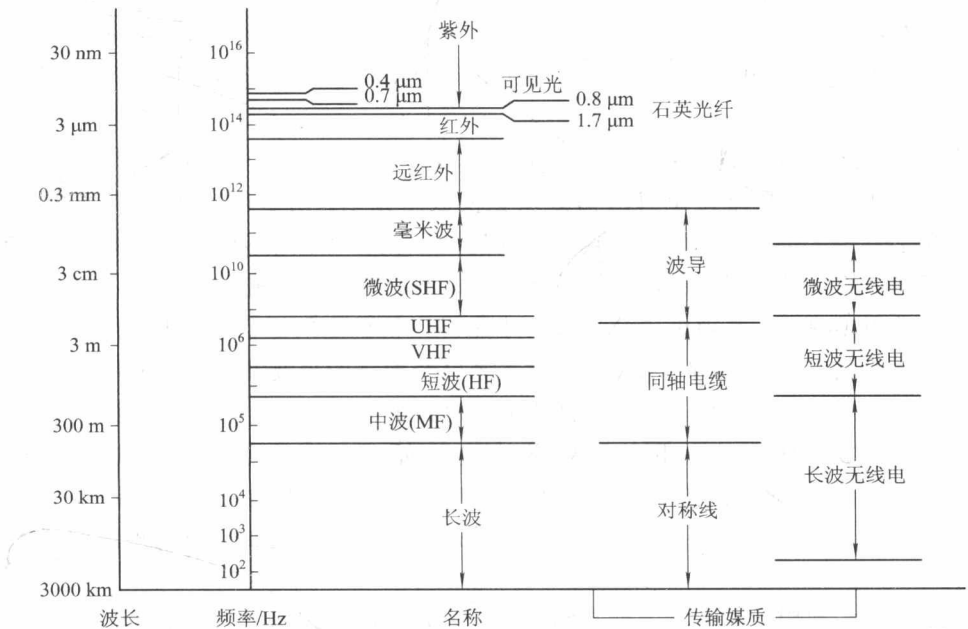


图 1-7 电磁波段划分

1.2.2 各波段的特点及应用

1. 甚长波和长波波段

甚长波和长波波段可以用天波和地波传播，以地波传播方式为主。因地波传播频率越高，大地的吸收越大，故在无线电的早期是向低频率的方向发展。该波段主要用于无线电导航(航空和航海)、定点通信、海上移动通信和广播。

该波段的优点是：

(1) 传播距离长，在海水上应用数千瓦的功率可以实现 3000 公里的通信。所以目前还有很多海岸电台使用长波通信(30~200 kHz)，或用 10~30 kHz 实现特远距离的通信。

(2) 电离层扰动的影响小。长波传播稳定, 基本没有衰落现象。

(3) 波长越长, 大地或海水的吸收越小, 因此适宜于水下和地下通信。

该波段的缺点是:

(1) 容量小。长波整个频带宽度只有 200 kHz, 因此容量有限, 不能容纳多个电台在同一地区工作。

(2) 大气噪声干扰大。因为频率越低, 大气噪声干扰越大(大气干扰也和地理位置有关, 越近赤道, 干扰越大)。

(3) 需要大的天线。

2. 中波波段

在中波波段, 电磁波主要的传播方式是地波传播。在这一频段的低端比高端传播得更好。由于频率增高, 地面的情况差别已不太显著。该波段主要用于广播、无线电导航(航空和航海)、海上移动通信。由于中波传播的特点, 特别适宜于地区性的广播业务, 在该频段信号稳定。

3. 短波波段

短波电离层通信简单, 易于实现, 成本低, 可用小功率和小得多的天线实现远距离通信, 这是其优点。

但是短波也有严重的缺点:

(1) 通信不稳定。要维持全日通信必须更换数个频率。由于电离层的 11 年周期的影响, 当太阳活动性大的时候, 可以用到 3~30 MHz, 而当太阳活动性最小的时候只有 3~15 MHz 能够应用。所以短波通信必须具有全波段的频率才能适应。

(2) 有严重的衰落, 必须采用分集接收才能得到较稳定的通信。短波通信通常采用频率分集, 这就是说需要占用两个频率, 这对本来已经拥挤的短波波段是一个困难的问题。

(3) 受电离层扰动的影响, 大气等自然干扰也比较大。短波通信时, 使用某一频率, 利用天波只能到达某一距离以外(因为如果距离再近, 必须提高仰角, 这时电磁波将穿过电离层而不反射回来), 而地波传播又只能到达较近的距离。所以, 在这两个距离之间, 既收不到地波也收不到天波, 称为盲区或静区。这是短波波段所特有的, 因此短波波段不能用于导航。

在短波波段, 利用地波传播通信是很少的, 因为短波波段的地波传播距离极近, 稍远一点衰减就极大。因此, 除军用战术小型电台还采用短波地波通信外, 其他地方很少采用。

4. 米波、分米波的一部分波段

这一波段是一个“中间”波段。它基本上不能被电离层反射, 地波传播的距离非常短, 因此该波段主要的传播方式是视距内的空间波传播, 以及对流层散射和电离层散射。

该频段的优点是: 对于低容量系统可以用小尺寸天线。明显地, 这种特点特别适宜于移动通信。在无线电中继系统中, 采用较高一些的频率, 虽然传播损耗增加, 但是高的天线增益可以补偿这部分损耗。因此, 采用这个频段的高频段是合适的, 而且容量也可增大, 可以通过更多的路数。对流层散射在某些场合代替了无线电接力系统, 因为它可以不用中继站, 一跳数百公里, 同时还可具有大容量(多路传输), 而这在低频率是不可能的。该频段频率主要分配在广播、陆上移动通信、航空移动通信、海上移动通信、定点通信、空间通

信、雷达等。

5. 厘米波波段

厘米波波段的传播特点是视距传播,大气噪声低,但在某些频率区域(3 cm 波长),大气(水汽)吸收比较大。另外,该频段也用散射方式传播。由于该频段尚不太拥挤,因此,目前的分配问题不大。

在该频段中,由于没有大气噪声的干扰,同时波长短的天线的波束容易做得很窄,所以无线电导航和雷达特别适合。目前已将此波段分配给定点及移动通信、导航、雷达、气象、无线电天文学、空间通信、业余无线电等使用。

6. 毫米波波段

毫米波波段的优点是:

- (1) 具有极宽的带宽。
- (2) 波束窄。
- (3) 与激光相比,毫米波的传播受气候的影响要小得多,可以认为具有全天候特性。
- (4) 与微波相比,毫米波元器件的尺寸要小得多。

因此毫米波系统具有更容易小型化的优点。

该波段的缺点是:

- (1) 大气中传播衰减严重。
- (2) 器件加工精度要求高。

毫米波在通信、雷达、制导、遥感技术、射电天文学、临床医学和波谱学方面都有重大的意义。利用大气窗口的毫米波频率可实现大容量的卫星-地面通信或地面中继通信。

从 40 GHz 到 3000 GHz(这是光波的下限),除了激光以外,还未能很好地加以利用,有待于以后的研究和发

1.3 微波和光波

1.3.1 微波及其特点

由于微波频率高,提供的通信容量大,因此在目前得到了快速发展。本节单独对微波进行介绍。

微波是一个非常特殊的电磁波段,其频率为 300 MHz~300 GHz,波长在 0.1 mm~1 m 之间。微波介于无线电波和红外辐射之间,但不能仅依靠将低频无线电波和红外辐射加以推广的办法导出微波的产生、传输和应用的原理。微波波段之所以要从射频频谱中分离出来单独进行研究,是由于微波波段有着不同于其他波段的重要特点。

1. 似光性和似声性

微波波长很短,比地球上的一般物体(如飞机、舰船、汽车建筑物等)尺寸相对要小得多。这使得微波的特点与几何光学相似,即所谓的似光性。因此使用微波工作,能使电路元件尺寸减小,使系统更加紧凑,可以制成体积小、波束窄、方向性很强、增益很高的天线系统,接收来自地面或空间各种物体反射回来的微弱信号,从而确定物体方位和距离,分