

内 容 简 介

本书是一本介绍卫星通信的科普读物。全书共分九章。第一章至第四章介绍了卫星通信的基础知识;第五章至第七章重点介绍了通信卫星、同步卫星通信和卫星通信地面站;第八章介绍了卫星通信线路;第九章介绍了卫星通信的发展远景。

本书内容充实、系统,文字通俗易懂,可供具有中等文化程度以上的有关工程技术人员和青年爱好者阅读。

卫 星 通 信

唐 辉 编著

责任编辑 隋启水

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983 年 8 月 第 一 版 开本:787×1092 1/16

1983 年 8 月 第一次印刷 印张:21 3/4 插页:3

印数:0001—4,800 字数:501,000

统一书号:15031·516

本社书号:3181·15—7

定 价: 2.90 元

目 录

第一章 卫星通信的发展和特点	1
1.1 卫星通信的发展	1
1.1.1 现代电信技术发展的新产物——卫星通信	1
1.1.2 人造卫星和微波接力通信技术的结合	20
1.1.3 卫星通信的诞生和发展概况	24
1.2 卫星通信的特点	27
1.2.1 卫星通信的特点	27
1.2.2 影响卫星运行和卫星通信的地球周围环境	29
第二章 卫星通信系统	35
2.1 卫星通信系统的分类	35
2.1.1 卫星通信的基本概念和术语	35
2.1.2 卫星通信系统的组成和分类	35
2.2 卫星通信的通信范围	37
2.2.1 卫星覆盖范围和卫星通信范围	37
2.2.2 共视卫星通信区	39
2.3 无源和有源卫星接力通信	41
2.3.1 无源卫星接力通信	41
2.3.2 有源卫星接力通信	43
2.4 随机和位相运动卫星接力通信	45
2.4.1 运动卫星接力通信	45
2.4.2 随机运动卫星接力通信	46
2.4.3 位相运动卫星接力通信	47
2.5 同步卫星接力通信	49
2.5.1 同步卫星接力通信系统	49
2.5.2 同步卫星的通信覆盖范围	49
2.5.3 同步卫星接力通信的延时和路由	51
2.6 三种卫星通信系统的比较	53
2.6.1 同步卫星通信系统的优越性	53
2.6.2 发挥运动卫星的特点	55
第三章 卫星技术控制中心和卫星通信管理中心	60
3.1 卫星技术控制中心	60
3.1.1 卫星轨道测控系统	60
3.1.2 卫星技术控制中心	61
3.1.3 跟踪站	62
3.2 卫星通信管理中心	64
3.2.1 卫星通信系统的组织管理	64

3.2.2 卫星通信管理中心	65
第四章 人造卫星的轨道和发射	68
4.1 人造卫星的轨道	68
4.1.1 人造卫星的运动	68
4.1.2 卫星的圆轨道运动	72
4.1.3 卫星的椭圆轨道运动	75
4.2 人造卫星的发射	79
4.2.1 重力阻力和速度	79
4.2.2 运载火箭	80
4.2.3 人造卫星、行星和恒星的发射速度	99
4.2.4 卫星轨道倾角和发射能量的关系	101
4.2.5 人造卫星的发射	103
4.2.6 同步卫星的发射	108
第五章 通信卫星	113
5.1 通信卫星的部门	113
5.1.1 通信卫星的主要任务	113
5.1.2 通信卫星的构成	113
5.2 通信卫星的多种形状和实例	114
5.2.1 通信卫星的发展概况	114
5.2.2 通信卫星的实例	115
5.3 通信卫星的通信系统	122
5.3.1 通信卫星的通信系统的任务和构成	122
5.3.2 几种通信卫星的通信系统方框图	122
5.3.3 通信卫星的通信系统设备	125
5.4 通信卫星的天线	132
5.4.1 通信卫星天线的种类	132
5.4.2 通信卫星的消旋定向天线	132
5.4.3 通信卫星的全向天线	135
5.5 通信卫星的遥测遥控系统	135
5.5.1 通信卫星的神经	135
5.5.2 通信卫星的遥测	136
5.5.3 通信卫星的遥控	137
5.6 通信卫星的控制系统	137
5.6.1 通信卫星控制系统的任务和构成	137
5.6.2 通信卫星的轨道或位置控制	138
5.6.3 通信卫星的姿态控制	139
5.7 通信卫星的电源系统	143
5.7.1 通信卫星的电源特点和要求	143
5.7.2 通信卫星的化学电池	144
5.7.3 通信卫星的太阳电池	145
5.7.4 通信卫星电源的控制电路结构	145

5.8 通信卫星的温度控制	146
5.8.1 卫星的环境和内部温度	146
5.8.2 卫星的温度控制方法	146
5.9 通信卫星的可靠性	147
5.9.1 衡量可靠性的尺度	147
5.9.2 串联和并联系统的可靠性	147
5.9.3 通信卫星的二重系统构成法	148
5.9.4 通信卫星制造中的环境试验	149
第六章 同步卫星通信	150
6.1 同步卫星的运动	150
6.1.1 地球连同卫星的公转	150
6.1.2 同步卫星的运动	150
6.2 同步卫星的通信区域	151
6.2.1 同步卫星的覆盖边线夹角和覆盖区域	151
6.2.2 同步通信卫星的通信区域	153
6.3 三颗同步通信卫星沟通全球通信	155
6.3.1 确定同步通信卫星位置的因素	155
6.3.2 环绕地球的等高等速等距等角的三颗同步卫星	156
6.3.3 同步卫星的重叠区和盲区	156
6.4 一种国际通信用的同步卫星系统的分布	157
6.4.1 国际通信中的一种同步卫星系统的分布实例	157
6.4.2 国际通信的同步卫星通信网与地面通信干线的结合	158
6.5 地面站对向同步卫星的方位、仰角和距离	159
6.5.1 地面的位置标称——经度和纬度	159
6.5.2 地面站对向同步卫星的方位、仰角和距离	162
第七章 卫星通信地面站	167
7.1 卫星通信地面站的分类	167
7.1.1 按卫星通信系统以及通信用途和方式分类	167
7.1.2 按地面站的结构和位置状态分类	167
7.2 卫星通信地面站的构成	168
7.2.1 地面站的组成	168
7.2.2 经过地面站的通信信号传输路由	169
7.2.3 参观一下地面站	170
7.3 地面站的眼睛——天线系统	173
7.3.1 地面站天线的功用和种类	173
7.3.2 双反射镜式抛物面天线的组成和工作原理	175
7.3.3 地面站天线的性能要求	182
7.4 地面站的接收系统	187
7.4.1 地面站接收系统的组成	187
7.4.2 载波接收功率	188
7.4.3 讨厌的噪声	191

7.4.4	衡量通信质量的信噪比和噪声系数	196
7.4.5	地面站的性能指数	199
7.4.6	能相应增加通信距离的特殊放大器	201
7.4.7	低噪声参量放大器	202
7.4.8	冷管的致冷装置	207
7.4.9	高灵敏度解调器	210
7.5	地面站的终端系统和通信控制系统	212
7.5.1	终端系统的功用和组成	212
7.5.2	电话载波终端设备	212
7.5.3	电视终端设备	215
7.5.4	地面站通信控制系统	218
7.6	地面站的发射系统	219
7.6.1	地面站发射系统的功用和组成	219
7.6.2	发射系统的功率放大器	220
7.6.3	行波管的结构和原理	221
7.6.4	速调管的结构和原理	228
7.6.5	宽频带调制器	228
7.7	地面站的回波抑制和电视制式转换	229
7.7.1	回波抑制设备	229
7.7.2	电视标准制式转换设备	232
7.8	地面站的电源系统	237
7.8.1	地面站的电源种类和要求	237
7.8.2	不停电电源系统	240
7.8.3	地面站的接地系统	245
7.9	卫星通信地面站的建设	248
7.9.1	地面站通信系统和设备制式的确定	248
7.9.2	地面站站址的选定	251
7.9.3	地面站的布局	256
7.9.4	地面站的投资和建设	257
7.10	几种地面站方框图	266
7.10.1	小型同步卫星通信地面站方框图	266
7.10.2	国际通信同步卫星大型地面站方框图	270
7.10.3	移动式卫星通信地面站方框图	272
7.10.4	舰载卫星通信终端站方框图	273
第八章	卫星通信线路	275
8.1	卫星通信线路的构成和使用	275
8.1.1	卫星通信线路的构成	275
8.1.2	卫星通信线路传输的频率、能量和噪声	277
8.1.3	卫星通信模拟线路	282
8.1.4	卫星通信线路的使用	283
8.2	卫星通信线路的多址联接方式	284
8.2.1	卫星多址联接通信的特点和原理	284

8.2.2 频分多址联接方式	287
8.2.3 时分多址联接方式	294
8.2.4 空分多址联接方式	298
8.2.5 码分多址联接方式	300
8.2.6 几种主要多址联接方式的比较	303
8.3 卫星通信线路与地面通信网络的连通	303
8.3.1 卫星通信线路与地面有线通信网络的连通	303
8.3.2 卫星通信线路与地面无线线路的连通	305
第九章 卫星通信的发展前景	308
9.1 不断发展的卫星通信技术	308
9.1.1 开辟新的卫星通信波段	308
9.1.2 无止境的卫星通信新技术	311
9.2 多花样和多功能的通信卫星	319
9.2.1 通信卫星的变化趋势	319
9.2.2 通信卫星中继网	320
9.2.3 未来的空中通信枢纽站	323
9.2.4 通信卫星直播电视	324
9.2.5 巨大的星际航行通信卫星站	333
9.3 未来的卫星通信地面站	334
9.3.1 地面站的变化趋势	334
9.3.2 无人维护的自动遥控地面站	336

第一章 卫星通信的发展和特点

1.1 卫星通信的发展

1.1.1 现代电信技术发展的新产物——卫星通信

(1) 电信的业务和频带

电信的诞生和发展 电信是利用电磁能的通信,是利用行进速度为每秒3亿米的电磁能传递信息的通信。电信网是国家的“神经”和社会的“神经”。电信大大加强了人类的听觉、视觉、感觉器官以及言语、书写和大脑思维记忆的能力。电信可以把语言、声响、文字、数据、静止或活动图象作为通信的信息,沿有形的有线线路或沿无形的空间无线线路以光速向远方传递。电信已成为人类从事各种活动的重要手段。

现代电信亦同样是伴随着人类的生产技术、科学文化和社会进步的发展而发展起来的。当银河系的一些物质通过运动转化逐渐形成太阳恒星系的地球以来,已有45~60亿年的高龄;在地球上的生命进化过程也有三四十亿年的漫长岁月,而出现人类则仅仅是在一百万年之前。人类在这百万年的劳动中,利用大自然,改造大自然。劳动创造了人的本能和智慧,劳动人民创造了人类的历史、创造了今天的世界。我们的祖先,在生产实践中,为了表达思维意向而逐渐创造了语言,进而创造了文字。与此同时,人们曾经利用各种声响(如锣、鼓、空心棒、爆竹、号角、哨、鸟叫和动物叫等)、物标、烽火、灯光、旗语等方式进行近距离通信;利用通信鸽、驿站、烽火台、风筝等方式进行远距离通信。在人类尚未掌握电磁基本知识之前的漫长岁月里,流传至今的“千里眼顺风耳”的故事,“眼观六路,耳听八方”的传说,“远在天边,近在眼前”的神话,都反映了古人是多么向往理想的通信工具。

人们为了实现这些理想已进行了大量的研究。在两千多年前,人们发现了“摩擦生电”的现象:一种称为琥珀的透明石头,用棉布与之摩擦后能吸起轻小的物体*。同时,人们又发现了磁石吸铁的现象,并发明了用天然磁铁做成的指南针。指南针不仅是人类最早用来指示航行的工具,而且它标志着人类进入“磁电世界”和创造磁电技术的开始,这个受着地球南北磁极吸引着的磁针,启发着人们对磁能、进而对电能的研究和应用。雷电是人类最早最经常遇到的一种电现象,它是天空云与云之间、云与大地之间的大气放电现象,但直到公元十八世纪人们才逐渐认识了它。1820年,人们发现在通着电流的导线周围具有磁场;后来,又发现在变化着的磁场中的导线里会产生电流。这样,人们便逐渐认识了磁和电的本性及其相互关系,总结出了电和电磁波的有关规律,并用来进行通信。于是,这种既可沿导线奔驰又能腾空飞驶的以每秒可绕地球七圈半速度传播的电能通信“骏马”,便成为人类通信的信息载体。1882年,人们发明了沿导线传递的电码通信“电磁有线电报”,即利用电码组合为数字和字母的初期电报通信。接着,又发明了传递语言电流的

* 在我国东汉时代《论衡》一书中,就记载有“顿牟掇芥”,顿牟即琥珀,掇芥即能吸起轻小物体的意思。

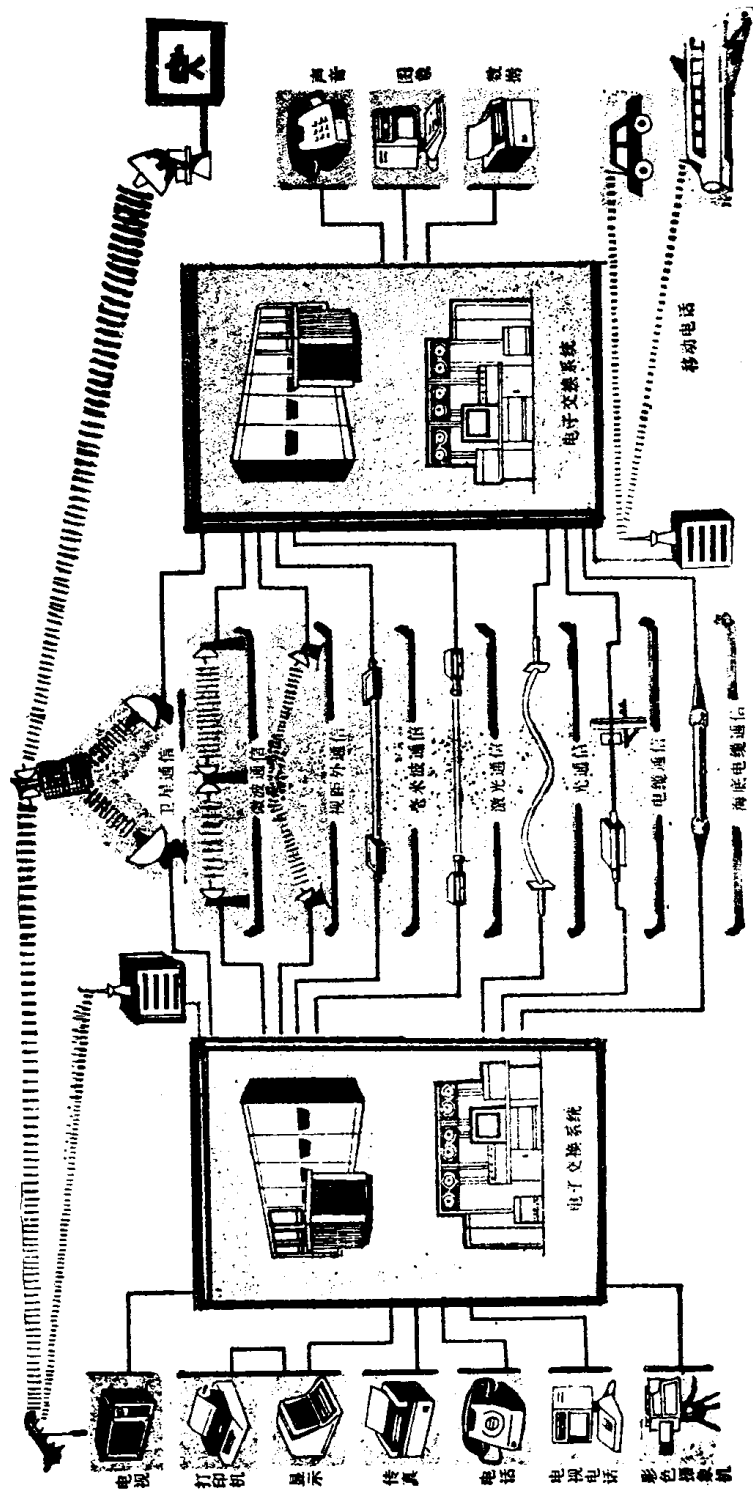


图1.1 现代综合通信的构成

有线电话。1895年,发明了不用导线的无线电通信,这是把导线线圈的一头伸向高空,一头接入大地,从而构成天线感应线圈与天线、大地间的电容所组成的闭合振荡回路,使电振荡的能量向空中辐射电磁波,并以类似的方法接收电磁波,这便是能在空间传递的初期无线电电码电报。后来,又接连发明了无线电话、无线电广播、电视、电视电话、传真、书写电话、无线电测位雷达、无线电导航、无线电跟踪、无线电探测或遥感、无线电遥测遥控等,还发明了复用线路的载波通信传输技术、自动接通主叫和被叫电路的自动交换技术、电子计算机控制或程序控制全电子自动电话交换机、电报信息自动交换机和电报电路自动交换机,进而发明了比常规的模拟通信方式优越的数字通信方式,出现了高速数传和图象自动交换机,还有一系列的大容量宽频带的传输新技术:同轴电缆载波通信线路、微波接力通信线路和卫星通信线路,目前正在进一步探索发明并开始应用比电信更为优越的光信,即光能通信,包括利用光导纤维或光缆做传输线路及激光载波的光缆通信、利用空间做传输媒质及激光载波的激光通信以及中微子光通信等。

现代电信技术正在与电脑(电子计算机)技术相结合,从而更加扩大了电话、电报、传真、电视、电视电话等通信业务的功能,例如,程序电报、电话、电视和广播,程序家务,远距就医,电视查阅图书情报和资料,电视选购商品、订票、存取款和各种查询,无线电自动电话以及电子邮政等。从现代通信装备的“言、听、写、视”和程序思维等功能来看,从通信速度、通信范围、通信距离、通信质量、通信容量和通信效果等方面来衡量,可以说,长期流传的“千里眼顺风耳”的故事、传说和神话,现在已成为现实了,见图1.1所示。

电信的业务和频带 电信的基本通信业务是:电话、书写电话、电视电话,电报、数据传输,传真(静态图象和文字),电视(活动图象)。

每种通信业务都与信息源的基本特征和人的识别本能有关。信息源大致分为音信息源(例如电话的语言信息、广播的声响信息)、可见光信息源(例如电视的可见光反射活动图象信息、传真的可见光反射静态图象信息)、编码程序信息源(例如电报、数据传输的编码程序信息源)。所有信息源都具有这些特征:频带、波长范围、波形及振幅范围和传递。当它们转换为电信号之后,便都以电磁波速或光速进行传输。对于电信的传输系统、交换系统和端机来说,通信业务的频带是一个非常重要的性能参数。在一定传输质量的条件下,传输系统(包括传输设备和线路)的传输能力决定于它的允许传输频带,而其传输容量系指传输某一频带的通信业务的数量。

电话的标准频带是300—3400 Hz(赫)。这是作为适应多路复用线路载波技术而取自语言频带中可达到一定通信可靠度质量的基本频段。人的语言,从低音到高音大体是在80—8000 Hz的频率范围。人类的耳朵可以感受到20—20000 Hz频率(或17—0.017米波长)范围的声音。因而一般声音的频率范围定为20—20000 Hz;低于20 Hz的声音叫做次声波;高于20000 Hz的声音称为超声波。应当指出,通过声学实验,测得人的感觉器官能接收外界刺激的原始信息量,约为每秒 10^8 比特(比特或毕是二进制数码元“1、0”单位,是可以识别的最小信息单位),但奇怪的是在经过听觉神经系统加工后,选择出决定知觉的信息量却只有50—500 比/秒,这就是说,如果设法选取决定语言知觉的关键信息作为电话通信的传输信息,则会几百倍地提高线路的传输效率。声音的传播速度是很慢的,如在0℃、15℃的空气中传递,分别为331.5米/秒、340米/秒,在淡水和海水里的传递,分别为1441米/秒和1493米/秒,在固体的钢材中为5100米/秒。显然,变成电话信号的传递

要比原来的语言信息提高 88 万倍。人们在讲话时,声音的功率很低,平均约为 10 微瓦,其变化范围约在 0.1—几千微瓦的范围,这在电话通信设备线路中是容易达到的。声波的传速 V 、频率 F 和波长 λ 与电磁波相似,也有下列的关系:

$$F \cdot \lambda = V$$

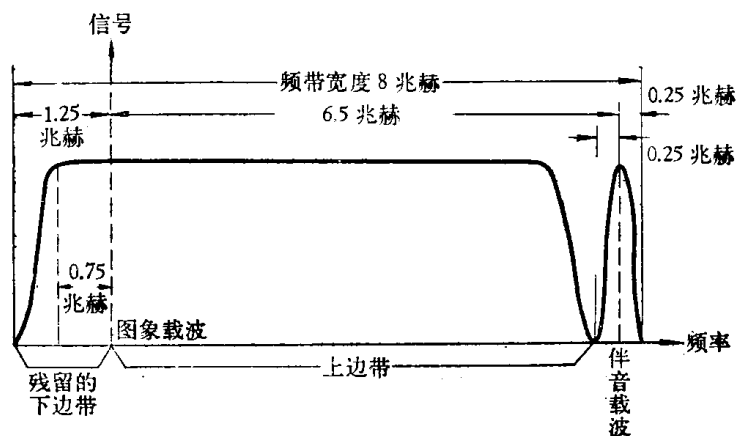
值得强调的是:当声音变为电的音频信号之后,由于传速发生了质的变化,而频率保持不变,所以,其波长会相应地显著增长。例如,假定将整个声音频带 20—20000 Hz 变为相应的音频电流,则其波长将由 17—0.017 米的声音波长跃变为 15×10^6 — 15×10^3 米的音频电流波长;同样,将话音的 300—3400 Hz 的言语变为电话标准频带的电话音频电流之后,则电话的电流波长便由 1.13—0.1 米跃变为 1×10^6 — 88.2×10^3 米。在实际的电话通信中,为了提高电路的传输容量,也有取用音调质量比较差的更加缩减的 300—2700 Hz 的窄带电话频带。

把话音电流变为二进制数字信号传输的通信,称为数字电话通信。数字电话的信息频带比通常的模拟语音的电话频带要宽 16 倍(它等于取样速率即 ≥ 2 倍电话标准频带与取样的编码位数的乘积: 2×4 千赫 $\times 8$ 位码/取样 = 64 千毕/秒)。数字通信技术所以能得到新的发展,是因为它能把千变万化的模拟语言电流信号,变为异常简化、只有“1、0”或“有、无”两种幅度恒定的传输信号,所以,其抗干扰性非常高;并且,具有从中选取非常少量的而却是决定知觉的有效信息量进行传输的潜力,从而又可以反过来实现巨大的频带压缩。

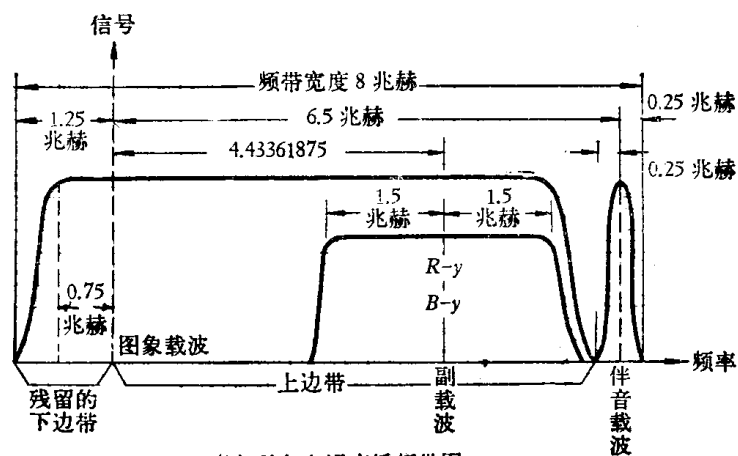
书写电话是一种既能通电话、又能传递书写的文字图表和数据的新型通信装置。它实际上是遥控随动技术在电话通信中的应用。通常,都是利用现有电话网线路来沟通这种业务,即把原来电话标准频带分成两个频段,同时传送两种功能的通信信息,一个频段是 300—1900 Hz,供拨号和通话之用,另一个频段是 1900—3400 Hz,供书写之用。在正常情况下,可以一面相互通话,一面书写而互不干扰。

电视包括广播电视、电视通信、工业电视、探测电视、教学电视、电脑电视、宇宙电视和军用电视等等。但习惯上常说的电视是指广播电视。广播电视属于单向电视,是一发多收,为了延伸电视的传播距离,经常利用电信的宽频带电路或信道进行电视转播。电视通信的主要种类是电视电话(亦称可视电话)和电视会议电话。电视通信一般都是双向通信,是一对一和一对多的双向用户通信;电视通信是实时通信,包括传送人物图象、文字数据和语言声响,而电视广播则主要是传递延时的图象和声响,电视通信一般是在低照度条件下的摄象通信,它的传输质量要求和图象频带都要比电视广播为低。电视电话是电视技术和电话技术的结合,目前主要是发展彩色电视电话。根据传送图象质量和频带的要求差异,电视电话基本分为两种:一种是能传送和显示动态图象的宽频带电视电话,其中包括 6 MHz(兆赫)、4 MHz、1 MHz 频带的;另一种是只能传送静态图象的窄频带电视电话,其传输频带与话音频带(300—3400 Hz)相同,故被称为简易电视电话。为传输宽带电视电话,无论是传输 6 MHz(相当 1500 个话路带宽),或是传输 4 MHz(相当于 1000 个话路带宽)、1 MHz(相当于 250 个话路带宽),都必须利用宽频带的通信线路,例如,利用地面微波接力线路、同轴电缆载波线路、光缆线路和卫星通信线路等。而传输窄频带的简易电视电话,则可采用一般市话音频电话线路或在 300—3400 Hz 的载波电话电路上进行传输。宽频带 6 MHz、4 MHz、1 MHz 电视电话的数字通信频带是 96、64、16 兆毕/秒 (MB/sec)。

广播电视的频道宽度为 8 MHz，其中包括 0.5MHz 伴音 (50—15000Hz) 的调频带宽。为了使黑白和彩色电视能相互接收或兼容，不仅要两者的频带宽度保持相同，而且在彩色电视信号中，包括有与黑白电视相同的一个亮度信号图象载波和一个相同的伴音载波，另外，多了一个插在图象高频段部分的包括两种基色信号成分的副载波，因为可由这两种基色信号与亮度信号按红绿蓝三色分量关系式 $Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$ 计算得到第三种基色信号，并按 $Y_{\text{黑白}} = 0.33R + 0.33G + 0.33B$ 式，由彩色电视的三等量基色信号构成黑白电视亮度信号，或由黑白亮度信号分解为彩色等量三基色信号。如图 1.2 所示，



(a) 黑白电视广播频带图



(b) 彩色电视广播频带图

图 1.2

6 MHz 的图象信号是采用调幅方式载到图象载波上，保留了图象调幅载波的一个上边带和一个 1.25 MHz 的残留下边带。应当指出，各国取定的电视图象标准频带和兼容方式是不完全一样的，如我国和有些国家的电视标准频带是 0—6 MHz，而有些国家则是压缩频带 0—4 MHz。为了在通信线路上传输广播电视信号，通常都是将图象信号及伴音信号分别调制和传输的。虽然目前还做不到真正的卫星直播电视（即不能用普通的电视机直接接收，而只能采用集体收转方式或加天线和转换设备的个体方式）。但是，这种集体收转方式和个体接收方式的卫星直播电视以及利用卫星通信线路进行电视转播（经地面站收转至当地电视台转播），已经显出比其它通信手段转播电视优越的特点。除此之外，还有一种能实际达到电视用户扩大选收远方电视效果的更为接近真正卫星直播电视的过渡方式，这就是卫星-携留充氦气球或充氦气艇直播电视的新方案，它既吸收了卫星覆

盖面积大的特点,又利用了高度适当、直播功率需要不大并可随时补充电源的充氦气球或气艇的收转,所以,是一种技术简单易行、投资省和见效快的直播电视系统(可参见第9.2节)。

如上所述,不论是广播电视的图象频带,或是电视电话的图象或视频频带,都要比其它通信业务的信息频带宽很多。其频带之所以很宽,是因为图象-电视信号转换的摄像、显象扫描速率很高。大家知道,人的眼睛能看到频率为394.737—750兆赫(MMHz)或波长为0.76—0.4微米的可见光电磁波的本领。可见光中包括有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等七种基本单色成分,它们可组成无数种色彩绚丽的光色。在自然界里,除了少数的发光体以外,绝大多数物体本身是不发光的,而我们所以能看到物体的形状和光色,完全是靠物体对光的反射。但是,电视却并非是直接传送近乎有355 MHz带宽的被物体反射的同时并行多维可见光电信号,而是大大缩减了带宽的仅仅是当时一个小点点或象素的光色单维信号,也就是景物的按每幅每行每点扫描的象素光色单维信号。其每点的光,对黑白电视来说,仅是取其亮度的相应分量;而对彩色电视来说,则是取其红、绿、蓝三种基色的亮度和色度分量,因为用这三种基色能组合成各种颜色。同时,由于人的眼睛具有视觉惰性:当显象管电子束从首行第一点扫到最末行最后一点时,便会使视觉发生整幅的图象模样,并且,若在一秒钟以内能扫描25幅时,便可形成活动的景象。电视的摄像和显象就是这样:首先利用电子束逐点逐行逐幅(帧)地扫描景物的小点点(即象素)的光亮(对黑白电视来说)或光色(对彩色电视来说),再转为相应的电信号和传输信号传输出去,然后,又将传输信号变为相应的电信号,并与前者相同步地驱使电子束轰击显象管上的相应象素,于是,便使它显出与原来景物相似的光亮或光色。我国的电视标准规定,每秒扫描25幅,每幅图象有625行,每行有 $\frac{4}{3} \times 625 = 833$ 个象素,即整幅共有 $625 \times 833 = 520625$

个象素。显然,彩色电视总共要有其三倍即约156万个象素。因而可以计算出:黑白电视摄像管和显象管每秒钟要扫描约1300万个象素;而彩色电视每秒钟要扫描约3900万个象素。这样,就不难了解,电视图象的频带为什么能比一般由眼睛直接视觉的可见光色彩的频带大为压缩以及大大宽于其它通信业务频带。以黑白电视而言,当图象为全白或全部象素都发亮时,它所扫描的图象电信号便是一条直线电流,即频率为零;当图象亮度变化最多或是最为复杂的图象时,则其频率应为最高,例如,按黑白连续交错地组成的图象(白色的亮度是波峰,黑色的亮度是波谷,两个这样的相邻象素便形成一个交流波),即每秒扫描的象素之半,便是黑白电视的最高频率:

$$\frac{13 \times 10^6}{2} = 6.5 \text{ MHz.}$$

但实际上由于这种复杂图象出现的机会极少,所以,一般高质量的黑白电视,是取其最高频率为6 MHz,即电视图象频带为0—6 MHz,而有些国家则取定为更加压缩了的0—4 MHz。至于彩色电视的频带,因为是按黑白和彩色兼容要求采用三基色同时扫描,因而同于黑白的单色扫描速率,也同于黑白的传输频带。

除了上述的电视广播外,还有声音广播,或习惯上称为电台广播或简称广播。因为声音广播要求播送语言、音乐和各种声响,所以,其播送的频带要比语言的和电话的宽很多。本应接近声音的整个频带,但在实际上根据线路的可能传输条件,播送的频带亦有较

大缩减。广播电台播送的有效音频频带为 50—15000Hz, 约为电话标准频带的 4.8 倍。

电报通信系为编码文字通信, 有人工按码音响电报及后来发展的凿孔电报和打字电码传递电报(即简称为电传电报)。人工按码电报具有设备简单、电路传输质量要求不高和使用机动灵活等优点, 但又有电路利用率和劳动效率很低的缺点。如平均每分钟按码 200 个, 那么, 每分钟只能发 40 个数字或字母(每五个码组成一个数字或字母), 或只能发 10 个中文字(因汉字要多一次译电编码, 由 4 个数字组成一个字); 而且亦同样需要一条实线电路或一条无线电路或一个载波电路, 随着电路复用技术的发展, 只需要一个载波电报电路(即 1/16 或 1/24 个电话电路)。凿孔电报是发端采用键盘凿孔机和以凿孔纸带作报码控制的自动发报机以及收端采用波纹收报机和广泛应用电传打字机的一种自动电报, 这种凿孔自动电报的收报能力虽然能比人工收报方法高七、八倍, 但由于增加了发报凿孔的操作, 特别是当收报不采用电传打字电报机而采用波纹纸带收报机时, 则又增加了收报的波纹译电工序, 所以, 使得其电路利用率和劳动效率仍然较低。电传打字电报是一种直接打成字母和数字的半自动电报通信。它是由报务员或用户直接用打字方式而同时自动发送出相应的五单位脉冲编码, 并在收端同时由电传机根据接收的五单位脉冲编码而自动打出相应的数字或字母。这种电传打字电报机使用方便、效率较高, 因而是现代通信中应用得比较广泛的电报终端机。一般电传机都是统一用五个均匀单位时间 t 的有脉冲(矩形电流)或无脉冲不同状态, 来组合成 32 个字母位或数字位的电码组合, 而在每个电码组合的前面, 都统一采用一个 t 单位时间的无脉冲的启动标志信号, 并在每个电码组合后面, 又都加一个 $1.5t$ 单位时间的有脉冲的停止标志信号, 因此, 每个五单位电码组合实际上是 $7.5t$ 单位时间。每秒传输一个单位时间 t 的有或无(1 或 0)脉冲, 称为一个波特, 它是表示电传打字机速率的基本单位。一般电传机都具有三个发报速率, 即每秒 50、75 和 100 波特的三种速率; 速率愈高, 其组合电码的单位时间 t 愈短, 50 波特的单位时间 t 为 20 毫秒, 50 波特电传机的收发能力比人工电报能快 10 倍以上。现在, 新型电传机的收发报速率已提高到 1200、2400、4800 波特, 但由于人工打字的速度受到限制(通常只能在 120 波特以下), 所以, 凡是使用高于 120 波特速率的电传机, 只能用预先凿好孔条的办法来达到高速收发报的目的。在通信与计算机结合起来的现代数据通信中, 往往利用这些高速率的电传机作为具有特高速运算能力的计算机的外围终端设备。电传电报信号的传输, 一般是这样进行的: 用其有或无脉冲对一载波中心频率进行调频, 若是 50 波特的低速电传电报, 则其调频的传输频带便为 $f_0 \pm 45$ (或 30) Hz (f_0 为载波中心频率, 有脉冲为 $f_- = f_0 - 45(30)$ Hz, 称为传号, 无脉冲 $f_+ = f_0 + 45(30)$ Hz, 称为空号), 连同间距, 每个电传电报电路的传输频带, 实为 180Hz 或 120Hz, 因此, 在 300—3400Hz 的一个载波话路中, 能容纳 16 路或 24 路 50 波特电传打字电报信号, 或者说, 能容有 16 或 24 个载报电路。随着通信技术的发展, 现在已在研制一条话路可容 48 或一百多个 50 波特电传载报电路。电传电报的频带是所有通信业务中最窄的一种。

按电报信息的交换接转方式, 可分为半自动撕凿孔纸条转报和自动转报。半自动凿孔条转报系在转接局接收发端局的电传报文, 并自动凿孔而获得凿孔纸条, 然后, 再由报务员将凿孔条输入到被叫端(收端)电路的凿孔发报机或带有凿孔发报机的电传机而自动向收端转发电报, 于是, 收端局可借助于电传机实时地直接打印出转发来的电报。显然, 这种半自动凿孔转报方式在转接局出现了一段人工操作。自动转报又分为实时的电路自

动转报和先贮录再发送的信息自动转报。前者象自动电话的电路交换那样，是利用控制接续设备把来报电路和去报电路连接起来，从而可使发端局直接向收端局发报；信息自动转报则是先将来报电路(发端局)的电报信息由电子计算机转报机按程序贮存起来，然后，再根据电报的格式和指令选出收端局的去报电路，将贮存的转发报文自动转发出去。显然，信息自动转报不仅可以长时间地贮存来报报文，而且还可以进行变速转发，既可以低速或高速接收，也可以高速或低速转发，例如，可按 50 波特或 200 波特的低速接收，也可以按 1000、2400 或 4800 波特的高速转发，因此，信息自动转报的电路利用率高、速度快、容量大，机动灵活，能适应各种业务需要，能工作于不同类型的电路，能自动区分报类和路由，并具有优先发送能力等。信息和电路自动转报都是电报通信的一项现代化自动转接或交换技术。通常，电路自动转报用为用户电报通信；而信息自动转报用为公众电报通信。

传真属于一种图象通信，是利用电能把真迹文字、图表、相片、新闻报纸的原样沿通信线路传输到对方的一种通信。传真机根据功能或用途、传速、扫描方式、记录方式和结构等差异而分类很多。有能在一分钟内传送整个报纸板面的彩色新闻传真机；有能在三秒钟内就传送一页文件的飞点管扫描高速传真机和激光高速传真机；还有一些能在稍长时间内和在一个话路上传送文件图片和相片的普通传真机。传真是根据光电相互转换的原理，利用逐点逐行扫描摄象的办法，把划分为很多个小点点(象素)和附在转动滚筒上或平板上的报文或图象，依次地变为连续的对应于每个象素光色的电信号，并传到对方收端，而收端的传真机显象装置，则是将收到的电信号与发端保持着同步，并采用电光转化或电化、电热、磁录、照象和机械等接收记录方法把发端的报文或图象显出象来。传真的频带宽度，一方面取决于传真的速度要求或传送一定幅面的时间要求，另一方面取决于传真扫描线条密度或质量要求，其次，又取决于所采用的新技术。例如，有几种需要 1—6 分钟传送一板彩色新闻(报纸)的传真，就必须占用一个频带宽为 240kHz 的 60 路(话)的载波超群电路；如果采用先进的编码压缩频带技术，则仅需占用一个频带宽为 48kHz 的 12 路基群电路；又例如，用带宽为 48kHz 的传真机的传速，可达每分钟 3000—3600 线，传送一页报文的时间仅需 30 秒钟，而用带宽为 240kHz 的传真机，传送一页报文的时间缩短为 6 秒钟以下；一般传真机，大都是用一个话路或占用一个 300—3400Hz 频带的电路进行小幅面图象或真迹传真的，所需的时间亦已缩短到 1—3 分钟。目前，有些国家已经建立了传真通信交换网；有的是利用电话交换网兼作传真和中速数传通信；还有的正在建立包括传真、电报、数据传输、电话和图象在内的综合数字交换通信网。

数据通信也称数据传输，它是近十多年来随着电子计算机的广泛应用而兴起的一种新的通信业务。由于电子计算机所具有的高速运算能力、超高的记忆和处理本领，以及其本身元部件集成电路化及小型化，加之时分系统的发展，允许同时处理许多用户送给的数据等特点，致使许多部门能随时用它进行快速运算、存贮、统计、查询和计划，这就发展成为与电子计算机相连接的一种数据通信业务。数据通信是通过通信线路和交换机把散布在各地远方的用户直接连接到有关电子计算机系统的一种通信，这使电子计算机的应用不受空间和时间的限制，使许多用户能同时共用，并迅速解决各种运算、逻辑功能和推理，就象自己身边具有一台计算机一样。在技术发达国家中，已在工程设计、企业管理、生产制造、交通运输、输油输气和输电、科学研究、空间探索、军事部门、政府机关、财政金融、商品流通、天文气象、医疗卫生等许多部门中，都广泛应用了数据通信。数据通信的频带取

决于传输数据的信息速率,例如,利用一个 300—3400Hz 的载波话路或电话线路可以传输 2400、4800 甚至 9600 毕/秒速率的数据信息。现在,已经广泛利用数字通信技术进行数据传输通信,一个脉码话路可以传送 48 千毕/秒的数据信息,这相当于模拟通信载波的一个 12 路基群。数据通信的终端机种类很多,目前有最简单的按键式电话数据通信机、电视屏幕的可视数据通信机、配有静电感应式行印字机(每分钟可打 1400 行)和激光印字机(其印字速率已达每分钟一万行)的数据终端机,还有应用于数据终端的、能进行传递及格式等变换和数据汇集与多路复用的微处理机,因为这种微处理机具有可编程序的优点、具有大容量存贮器和新的显示装置,所以,能够提高数据通信的功能和速度。数据通信交换亦区分为电路交换和存储转发的分组交换两类。有的国家已经开放了数字化的数据公用传输网。

现在许多国家都在发展新的超大容量传输媒介与新的数字交换设备。由于集成电路的迅速发展,由于光缆、波导等传输媒介的发展,由于数据通信与图象通信的增加,现代化通信网正在从模拟与数字兼容向着数字化和综合化方向发展,将实现各种通信业务信息数字化的体制,并综合在一个通信网内进行数字传输与交换。

(2) 适应宽频带通信的波段

电磁波频谱 电磁波是宇宙中最普遍的一种东西,可以说,宇宙是电磁波的海洋。

光也是一种电磁波。人类能获得有关天体、宇宙的知识,认识一点宇宙的奥妙,几乎全是靠对宇宙射来的电磁波尤其是其中的光的研究分析。因为人类的眼睛具有看光的本领,所以,靠物体对其照射光的反射,才使人们能直接看到物体和识别物体。如今,还可利用特制的仪器“眼睛”,利用不可见光——红外线的照射和反射作用,亦能使我们间接地看到黑暗环境的物体。可见光是波长为 0.76—0.40 微米、频率为 394736842—7500000000MHz (即近似为 $395—750 \times 10^{12}$ Hz) 之间的电磁波。它包括红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等彩色光带。红光波长是可见光中最长的,紫光波长是最短的。光是直线传播的,光束是一种振荡着的电磁场连续波,电磁波是一种双重波,是紧密交织在一起的电场与磁场一起前进的电磁场。它以每秒 30 万公里的固定速率进行传播。在拍个巴掌(约 1/7 秒)的时间里,就能走完环绕地球一周的距离。在太阳辐射的光谱中,还有波长比可见光波长还长的红外线;有波长比可见光波长更短的辐射线:紫外线、X 射线、 γ 射线……,被称为太阳光短波长的辐射线。电磁波,包括光和各种射线,除来自太阳以外,还有来自宇宙天体。

在可见光的两侧,还有其它多种电磁波:在波长比它长的一侧:近邻是红外线,远邻是无线电波和工业波段;在波长比它短的一侧,近邻是紫外线,远邻是 X 射线和 γ 射线等。表 1.1 为电磁波频谱表。根据电磁波的传播特性和特殊效应,电磁波划分为:工业波段、无线电波段、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 γ 射线等。工业波段的波长在 10^5 米以上,频率在 3000Hz 以下,它通常产生在工业交流电中,例如,通常使用的交流电源的频率,便是工业交流发电机产生的 50Hz 频率,其波长是 6×10^6 米。无线电波段是指波长为 10 万米—0.75 毫米或频率为 3000Hz—400GHz (GHz = 10^9 Hz,即为千兆赫)的电磁波,无线电波可以从电磁振荡电路通过天线发射到空间。根据无线电波段的电磁波传播特性,按照无线电波的波长,把无线电波又划分为:超长波(波长为 10 万—1 万米、频率为

3kHz—30kHz); 长波 (波长为 1 万—1 千米、频率为 30kHz—300kHz); 中波 (波长为 1000 米—100 米、频率为 300kHz—3MHz); 短波 (波长为 100 米—10 米、频率为 3MHz—30MHz); 超短波或米波 (波长为 10 米—1 米、频率为 30MHz—300MHz); 微波 (波长又细分为: 1 米—0.1 米 (米波)、10 厘米—1 厘米 (厘米波)、10 毫米—1 毫米 (毫米波), 其相应的频率为 300MHz—3000MHz、3GHz—30GHz、30GHz—300GHz); 与光波相交接的亚毫米波 (波长为 1 毫米—0.1 毫米、频率为 300GHz—3000GHz), 其中, 波长 0.75 毫米和频率 400GHz 为无线电波和光波红外线的交接始点, 波长 0.75 毫米—0.1 毫米、频率 400—3000GHz 为它们的交接区域. 红外线属于不可见光, 它不能直接引起视觉, 但其热效应特别显著, 其波长为 750 微米—0.76 微米、频率为 400—394737GHz; 因为它邻近于可见光的红色光线, 并在其外, 故而得名红外线. 红外线又分为远红外线 (波长为 750—15 微米、频率为 400—2000GHz)、中红外线 (波长为 15—1.5 微米、频率为 2000—20000GHz)、近红外线 (波长为 1.5—0.76 微米、频率为 20000—394737GHz). 可见光是一种含有各种频率的复色光, 包括红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等七色光. 其波长为 0.76—0.4 微米、频率为 3.95×10^{14} — 7.50×10^{14} Hz. 各色散光谱的波长, 红色为 7600—6470 埃 (1 埃 = 10^{-10} 米), 橙色为 6470—5880 埃, 黄色为 5880—5500 埃, 绿色为 5500—4920 埃, 蓝色为 4920—4550 埃, 青色为 4550—4330 埃, 紫色为 4330—4000 埃. 可见光以能引起人的视觉而得名. 紫外线也是不可见光, 不能引起视觉, 但它易使被它照射的物体发生化学反应, 其波长为 0.4 微米—0.005 微米 (即 4000—50 埃)、频率为 7.50×10^{14} — 600×10^{14} Hz. X 射线的波长为 50—0.04 埃、频率为 600×10^{14} — 750000×10^{14} Hz. γ 射线的波长在 0.04 埃 (即 0.000004 微米) 以下, 其频率在 75GGHz 以上.

由于 1—2.3 微米、3—5 微米、7—14 微米等波段的红外线很少被大气吸收, 所以, 它们被称为能穿透大气层的红外线窗. 紫外线易被大气吸收, 适用在没有大气的宇宙空间通信. X 射线的能量很大、穿透物质的本领很强, 它被广泛用于医疗、农业等方面. γ 射线比 X 射线的能量更大、穿透物质的本领也更强; 随着 γ 射线波长的减小, 它的电磁波性亦愈来愈不显著.

无线电波的传播形式 无线电波共有三种传播形式: 第一种是空间波, 也称为直射波; 第二种是天波, 也叫做天地反射波; 第三种是地波, 又称表面波, 如图 1.3 所示.

空间波是指沿收发信两端的直线空间传播的无线电波. 它的传距决定于视距范围, 当然是指在地球曲面大地上的直线视距而说的; 对于大地与宇宙飞行体 (例如飞船、卫星和宇宙探测器等) 之间的通信无线电波来说, 其直线传距则远远超过曲面大地上的视距范围, 可达成千上万公里以上, 甚至可以是以光年计的直线距离. 微波和超短波就是按空间波来传播的, 就象光波按直线传播那样.

天波是靠天空电离层与大地来回反射而传播的无线电波, 因而又称为天地反射波. 在离地面四五十公里的高空, 有着我们看不见的数层环绕地球的电离层. 电离层的产生, 是由于环绕地球的大气受到太阳和天体光照和辐射线辐射, 这几层大气分子里的电子脱离出来, 经过电离后的大气带了电, 便形成了地球上空 40—800 公里高度的电离的气体层, 它包含大量的自由电子和离子. 根据电离的程度差异, 分为 D、E、F₁、F₂ 四层. D 层 (60—80 公里) 对长波传播的天波能发生反射作用; E 层 (100—140 公里) 对中波的天波发生反射作用, 并对超短波有散射作用; F₁ 层 (160—200 公里) 和 F₂ 层 (200—400 公里)

对短波的天波反射起重要作用。总之,电离层对长、中、短波的天波具有反射的作用,而被反射回大地的天波,在遇到大地和大地上的物体后,又会反射回电离层,就这样,可以连续地反射下去而传播得很远,所以,天波又被称为反射波。天波在被电离层和大地反射的同时,亦被吸收一部分能量,因而逐渐衰减。还有,由于电离层日夜经常变化,这使得天波的传播很不稳定。天波的传距是比较远的,这是因为天波是象赛马那样跳跃式的反射传播,接触电离层和大地反射体的时间极短,面积不大,而跳跃一次的距离却很大。长波、中波尤其是短波都是要靠其天波传播,当然,同时也靠其地波传播。

地波是沿着地表面传播的无线电波。虽然地球的表面是凹凸不平的,但对地波来说,遇到地面上的障碍物并不算得什么,因为它具有绕射的能力,能绕过地球上拱起部分或障碍物而向前传播。当然,由于地波在传播中一直是接近地面,其能量易被大地逐渐吸收而衰减,因而传距不能太远,尤其是波长愈短,吸收愈快,传距也就愈短。但地波不易受气候影响,因而它传播的可靠性较高。长波、中波和短波都伴随有地波的传播,在一定的情况下,长波和中波主要是靠地波进行传播的。

适应宽频带通信的微波和亚毫米波频带愈宽的波段愈适应宽频带通信。相比之下,超长波、长波、中波和短波的频带非常狭窄,因而它们的通信容量也非常小。

超长波的频率为 3—30kHz(千赫),整个频带宽才有 27kHz。为了衡量整个波段的容量大小,我们可以与容纳一路载波电话(频带 4kHz)的数量做比较。超长波只能容纳 6 路电话,但在实际上,由于载波频率一般要高于主送信号最高频率的 10 倍以上,因而它只能勉强地通上一路载波无线电。超长波适用为窄带或单频的电码电报通信、导航和航海探测等;超长波的传播损耗小、绕射能力强,因为它的波长很长(100—10 公里),对于地球表面上大都小于 10 公里高的障碍物(我国的珠穆朗玛峰是世界上最高的峰,其高为 8848 米),都可以不费劲地绕射过去,所以,超长波能绕地球传播。当它在海水和土壤中传播时,其吸收损耗较小,一般能穿透 30 米深的海水。还有,它传播稳定,很少受大气骚动和受核爆炸的影响;它还可穿透电离层,并且容易绕过宇宙空间的星体,因而亦利于在宇宙进行窄带信号通信。但可惜的是,不仅其频带太窄,而且其发射设备和天线庞大,因而不能被广泛应用。

长波的频率为 30—300kHz, 频带宽为 270kHz。整个频带只能容纳约相当 60 多路载波电话或 30 多路无线电(调幅双边带载波无线电)或 5 个无线电广播(按声音广播最高频率为 15000Hz 计算,并是调幅双边带无线电广播)。长波是以地波及天波的形式传播,但在几千里范围以内,便是以地波传播为主,在几千里以外的通信,则是靠其天波传播。因为长波波长较长(1 万—1 千米),所以,地面上的多数物体,象高山、海岛等都挡不住它,但在一般发射功率和天线的情况下,其地波的传播距离亦只不过是三、四千公里,而不能象超长波的地波那样绕地球传播,因而当长波的通信距离大于其地波的最大传距时,长波的传播形式则变为以天波为主。长波主要被用于频率窄的电报和电话通信,用为气

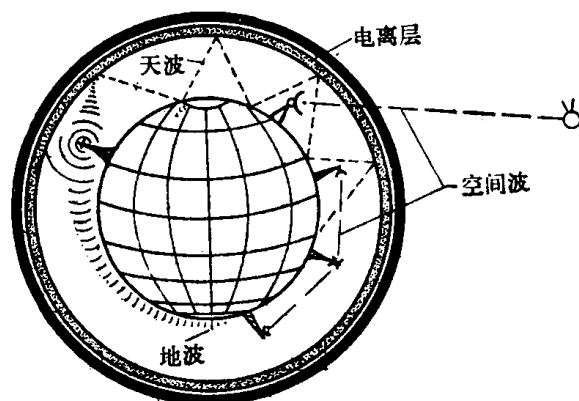


图 1.3 无线电波的三种传播形式