

手机无线电技术

本章学习目标

- 了解手机无线电技术基础。
- 了解手机微波天线的基础知识。
- 了解手机软件无线电与认知无线电技术。
- 了解手机电磁兼容原理。

本章主要内容包括手机无线电技术基础、手机射频微波技术、手机天线技术、手机软件无线电技术、手机认知无线电技术和手机电磁兼容原理。

3.1 手机无线电技术基础

手机通信系统为数字无线移动系统,在手机通信系统的无线信道(就是手机天线与基站天线之间的自由空间)中传播的是无线电波。

移动通信系统的信道是无线信道,发送端天线发射的射频信号是无线电波,无线电波在自由空间中传播,到达接收端后,被接收天线所接收。移动通信的基础是无线电技术。

3.1.1 无线电技术发展史

图 3.1 为无线电技术发展史。

手机通信系统的发展过程如下。

(1) 1920—1930 年,早期发展阶段,在短波频段上开发出专用移动通信系统,如美国底特律市警察的警车无线电调度电话系统,AM 调幅,使用频率为 2MHz。这一阶段的特点是:开发专用系统,工作频率比较低。

(2) 1940—1950 年,人工接续的移动电话,调制方式为 FM 调频,使用频率为 150MHz 及 450MHz,单工工作方式。1947 年 Bell 实验室提出了蜂窝系统结构的概念。这一阶段的特点是:从专业移动通信网向公用移动通信网过渡,采用人工接续,网络的容量比较小。

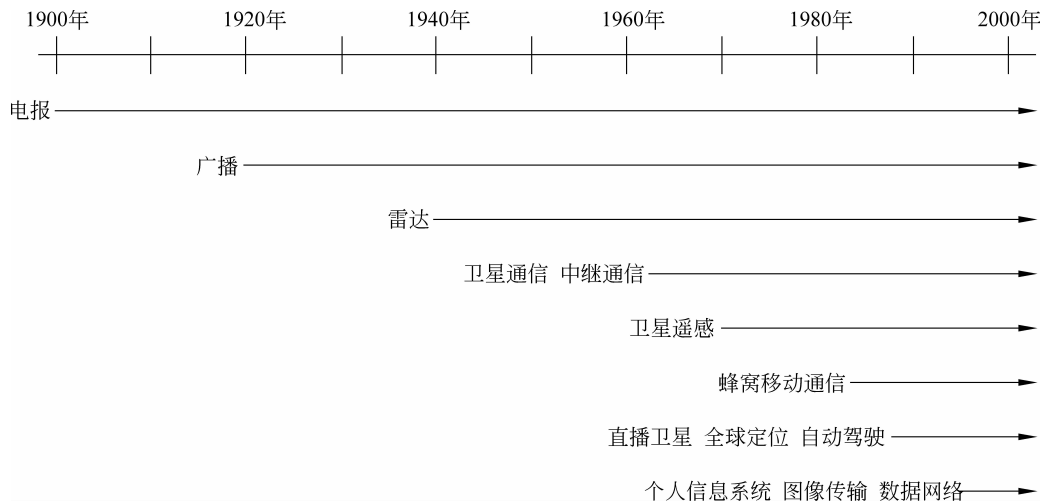


图 3.1 无线电技术发展史

(3) 1960—1970 年,自动拨号移动电话全双工工作方式,使用频率为 150MHz 及 450MHz。1964 年美国开始研究更先进的移动电话系统。特点是:移动通信系统不断得到改进与完善,移动通信网络采用大区制、中小容量,实现了自动选频与自动接续。

(4) 1970—1980 年,使用频率为 800MHz 及 900MHz,全自动拨号,全双工工作,具有越区频道转换,自动漫游通信功能。频谱利用率、系统容量和话音质量都有明显提高。这一阶段的特点是:蜂窝状移动通信系统成为使用网络,形成了第一代移动通信系统,即模拟移动通信系统。

(5) 1980—1990 年,GSM 数字移动通信系统、窄带 CDMA(IS-95A)数字移动通信系统及卫星移动通信投入使用。这一阶段的特点是:数字移动通信系统进入发展与成熟的时期,通常称为第二代移动通信系统,即数字移动通信系统。

(6) 21 世纪,cdma2000、W-CDMA、由我国提出的时分同步 CDMA(TD-SCDMA)等第三代移动通信系统(3G)全面使用。第四代移动通信系统(4G)正逐步使用。

3.1.2 无线电理论基础

无线电技术的理论基础是麦克斯韦方程。

1873 年,麦克斯韦建立了完整描述电场和磁场定律的麦克斯韦方程组。

$$\nabla \times \mathbf{H}(r, t) = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}(r, t) + \mathbf{J}(r, t) \quad (3-1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E}(r, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}(r, t) \quad (3-2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D}(r, t) = \rho(r, t) \quad (3-3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B}(r, t) = 0 \quad (3-4)$$

其中, $\mathbf{E}(r, t)$ 为电场强度矢量(V/m), $\mathbf{B}(r, t)$ 为磁感应强度矢量(Wb/m²), $\mathbf{H}(r, t)$ 为磁场强度矢量(A/m), $\mathbf{D}(r, t)$ 为电位移矢量(C/m²), $\mathbf{J}(r, t)$ 为电流密度矢量(A/m²), $\rho(r, t)$ 为

电荷密度(C/m^3)。

麦克斯韦方程组是自由空间与介质中电磁场的基本定律,指出电与磁是可以相互转化、相互依赖、相互对立的,共存于统一的电磁波中。

电可以转换为磁,而变化的磁场才能转换为电。

电/磁场的空间变化,引起磁/电场的时间变化。

电/磁场的空间变化,导致磁/电场的空间变化。

1888年,赫兹用实验证明了电磁波的存在,利用电磁波可以传输信息。

1898年,马可尼首次完成了无线电通信的实验,使得跨洋通信成为可能。从此,开启了应用无线电技术的崭新时代。

3.1.3 手机通信系统组成

一般的通信系统主要由信源、发送部分、信道、噪声与干扰、接收部分和信宿几大部分组成。

手机通信系统是无线通信系统,利用无线电波来传递信息,如图3.2所示。

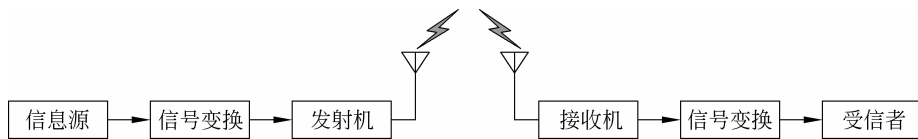


图 3.2 手机通信系统框图

发射系统包括发射机、馈线和发射天线。

接收系统包括接收天线、馈线和接收机。

由于现代的无线通信系统,大都工作在射频微波频段。因此,无线电技术的3个主要分支分别为射频微波技术、天线技术和信道技术。

3.2 手机射频微波技术

由于手机用户的不断增加,手机通信系统的工作频率不断提高。

现在手机通信系统的工作频率都在射频微波频段。例如,CDMA系统工作在800MHz,GSM系统工作在900/1800MHz,3G系统工作在1900/2000/2100MHz。

3.2.1 射频微波

射频是指可以用于无线电信号发射与接收的频率,通常包括中波、短波、超短波,以及微波以上的频段。

研究微波的产生、放大、传输、辐射、接收和测量的学科称为“微波技术”,它是近代科学技术的重大成就之一。

微波是频率在300MHz~3000GHz之间、波长在1m~0.1mm(空气中)之间的射频无线电波,如图3.3所示。

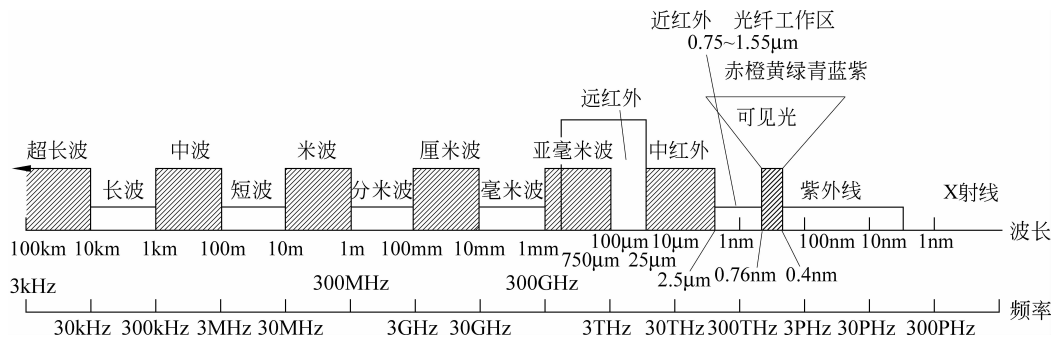


图 3.3 微波在电磁波谱中的位置

在电磁波的频谱中，微波的左边是超短波，右边是红外光波。

微波可以按照波长不同分为分米波、厘米波、毫米波和亚毫米波 4 部分。

微波技术所涉及的无线电频谱，是分米波到毫米波段很宽范围内的无线电信号的发射与接收设备的工作频率。

微波技术包括信号的产生、调制、功率放大、辐射、接收、低噪声放大、混频、解调、检测、滤波、衰减、移相、开关等各个模块单元的设计和生

微波具有下列独特的性质：

(1) 似光性。微波波长非常小，当微波照射到某些物体上时，将产生显著的反射和折射，就和光线的反射、折射一样。同时微波传播的特性也和几何光学相似，能像光线一样地直线传播和容易集中，即具有似光性。

这样利用微波就可以获得方向性好、体积小的天线设备，用于接收地面上或宇宙空间中各种物体反射回来的微弱信号，从而确定该物体的方位和距离，这就是无线通信中的雷达、导航技术的基础。

(2) 穿透性。微波照射于介质物体时，能深入该物体内部的特性称为穿透性。微波是射频频谱中唯一能穿透电离层的电磁波（光波除外），因而成为人类外层空间的“宇宙窗口”。毫米波还能穿透等离子体，是远程导弹和航天器重返大气层时实现无线通信和末端制导的重要手段。

(3) 信息性。微波频段占用的频带约 300GHz，而全部长波、中波和短波频段占有的频带总和不足 30MHz。微波波段的信息容量是非常巨大的，即使是很小的相对带宽，其可用的频带也是很宽的，可达数百甚至上千兆赫兹。

现代多路通信系统，包括卫星通信系统，几乎无例外地都是工作在微波波段。此外，微波信号还可提供相位信息、极化信息、多普勒频率信息，这在目标探测、遥感、目标特征分析等应用中是十分重要的。

3.2.2 无线电频谱

无线电频谱是一种有限的资源。在通信领域中，随着手机用户的不断增加，无线电频谱资源越来越拥挤。

图 3.4 为电磁波的频谱波段划分及其应用。

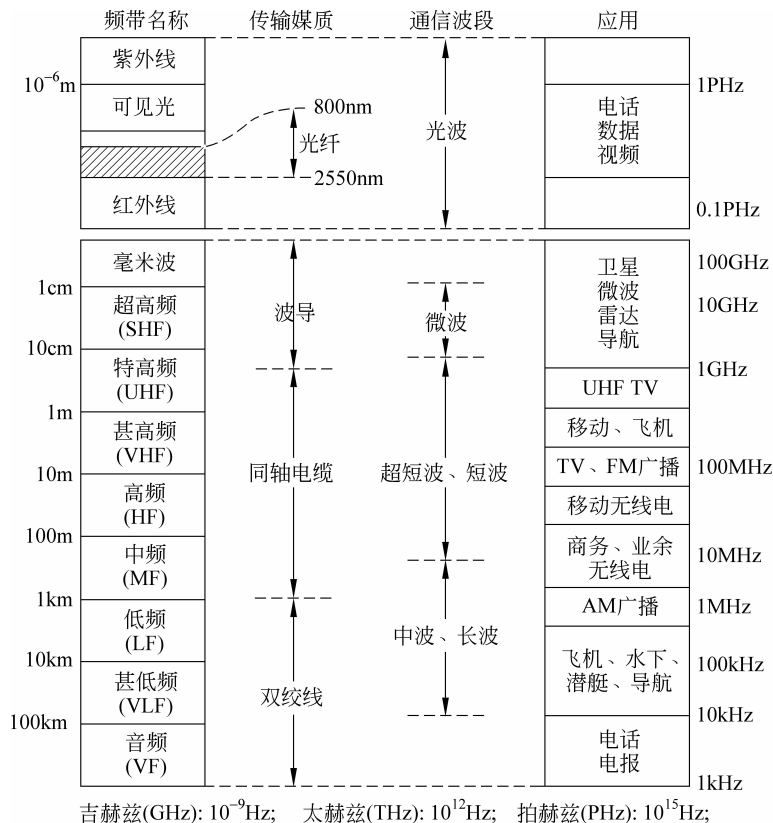


图 3.4 电磁波的频谱波段划分

例 3-1 请给出常用无线电通信系统的工作频率。

解：

调幅(AM)无线电收音机：535~1605kHz

短波收音机：3~30MHz

调频(FM)收音机：88~108MHz

机场导航设备：108~112MHz

商业电视

2~4 频道：54~72MHz

5~6 频道：76~88MHz

7~13 频道：174~216MHz

14~83 频道：470~890MHz

通信卫星

上行：5.925~6.425GHz

下行：3.70~4.20GHz

频谱作为一种资源,需要进行严格管理。在国际电信联盟的文件中规定了雷达、通信、导航、工业应用等无线电设备所允许的工作频段。

常用微波频段如表 3-1 所示。

表 3-1 常用微波频段的划分

波段符号	频率/GHz	波段符号	频率/GHz
UHF	0.3~1.12	Ka	26.5~40.0
L	1.12~1.7	Q	33.0~50.0
LS	1.7~2.6	U	40.0~60.0
S	2.6~3.95	M	50.0~75.0
C	3.95~5.85	E	60.0~90.0
XC	5.85~8.2	F	90.0~140.0
X	8.2~12.4	G	140.0~220.0
Ku	12.4~18.0	R	220.0~325.0
K	18.0~26.5		

3.2.3 微波铁三角

在微波技术与工程中,频率、阻抗和功率是三大核心指标,故将其称为微波铁三角。它能够形象地反映微波技术与工程的基本内容。

这三方面既有独立特性,又相互影响。三者的关系可以用图 3.5 表示。

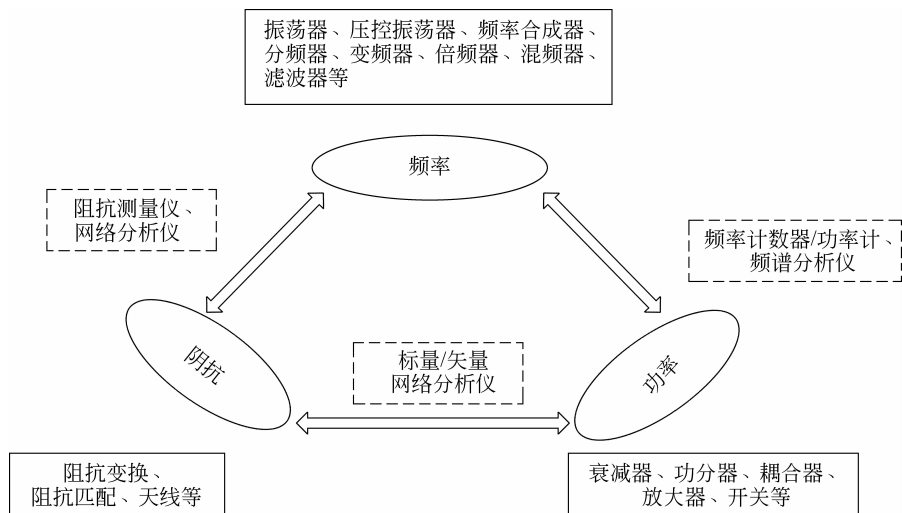


图 3.5 微波铁三角示意图

微波铁三角的关系如下。

(1) 频率是微波工程中最基本的一个参数,对应于无线系统所工作的频谱范围,也规定了所研究的微波电路的基本前提,进而决定微波电路的结构形式和器件材料。

(2) 功率用来描述微波信号的能量大小,所有电路或系统的设计目标都是实现微波

能量的最佳传递。

(3) 阻抗是在特定频率下,描述各种微波电路对微波信号能量传输的影响的一个参数。电路的材料和结构对工作频率的响应决定电路阻抗参数的大小。在工程实际中,应设法改进阻抗特性,实现能量的最大传输。

3.2.4 手机微波通信

手机通信系统工作在微波频段,属于微波通信。

1. 微波通信

微波通信是指用微波频率作载波携带信息进行通信的方式。

微波的传播特性如下。

(1) 直线传播,类似于光的传播。

(2) 视距传播,绕射能力很弱,一般进行视距内的传播。

所谓视距传播,是指发射天线和接收天线处于相互能看见的视线距离内的传播方式。地面通信、卫星通信以及雷达等都可以采用这种传播方式,如图 3.6 所示。

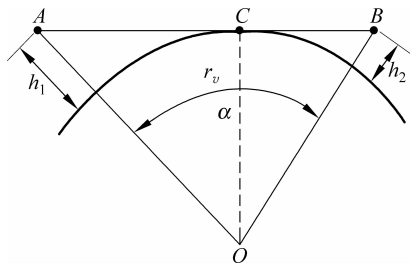


图 3.6 视线距离

设发射天线高度为 h_1 、接收天线高度为 h_2 ,由于地球曲率的影响,收发天线之间的信号传播包括以下两种情况。

(1) 当两天线 A、B 间的距离 $r < r_v$ 时,两天线互相“看得见”。

(2) 当两天线 A、B 间的距离 $r > r_v$ 时,两天线互相“看不见”。

其中, r_v 为收发天线高度分别为 h_2 和 h_1 时的视线极限距离,简称视距。

对于长距离通信可采用接力的方式,包括以下方式。

(1) 微波中继通信,或称微波接力通信。

(2) 对流层散射通信,即利用对流层传播进行通信。

(3) 卫星通信,即利用人造卫星进行信号中继。

2. 微波中继信道

微波的频率范围,由几百兆赫至几十吉赫。微波信号的传输特点,是在自由空间沿视距传输。

由于受地形和天线高度的限制,两点间的传输距离一般为 30~50km,当进行长距离通信时,需要在中间建立多个中继站,进行中继通信。

由于微波中继站离地面高度有限,微波中继信道中存在直接波、地面反射波、绕射波和不均匀体的散射波等。

在微波中继通信系统中,为了提高频谱利用率、减小射频波道间或邻近路由的传输信道间的干扰,需要合理设计射频波道频率配置。在一条微波中继信道上,可采用二频制或四频制频率配置方式。

3. 微波卫星信道

微波卫星通信,是利用人造卫星作为中继站,实现无线通信。

微波中继信道,是由地面建立的端站和中继站组成。而卫星通信信道,是以卫星转发器作为中继站,与接收、发送地球站之间构成。

若卫星运行轨道在赤道平面,离地面高度为 35 780km 时,绕地球运行一周的时间恰为 24 小时,与地球自转同步,这种卫星称为静止卫星或同步卫星。不在静止轨道运行的卫星称为移动卫星。

若以静止卫星作为中继站,采用 3 个相差 120° 的静止通信卫星,就可以覆盖地球的绝大部分地域(两极盲区除外),如图 3.7 所示。

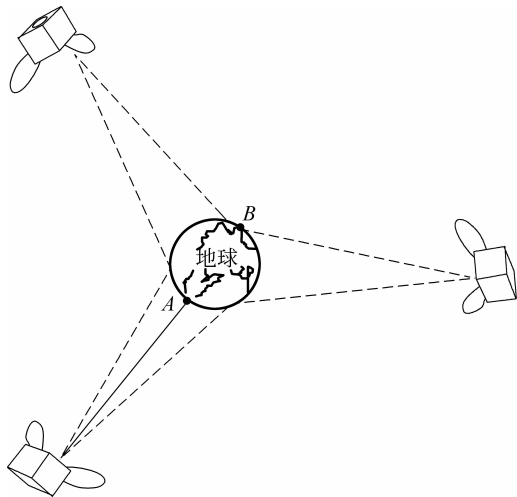


图 3.7 同步卫星通信信道

微波信号在卫星与地面站之间传输,经过电离层时,会产生法拉第旋转,使电波的极化发生偏转。因此,在卫星通信中需要使用圆极化波信号。

4. 陆地移动通信信道

陆地移动通信工作频段主要在射频与微波频段,电波传播特点是以直射波为主。但是,由于城市建筑群和其他地形地物的影响,电波在传播过程中会产生反射波、散射波、地面波以及它们的合成波,电波传输环境较为复杂,如图 3.8 所示。

陆地移动通信信道,是指基站天线和手机天线之间的传播路径。

从图 3.8 可以看出,在陆地移动通信信道中,包括以下 3 种波。

- ① 直接波。
- ② 反射波。
- ③ 地面波。

移动信道是典型的随参信道。

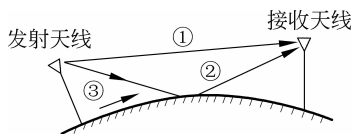


图 3.8 陆地移动通信信道

无线信道与移动通信信道的基本特征,是衰落特性。

5. 微波信号传播方式

在微波移动通信信道中,无线电波传播包括以下方式。

- (1) 直射波。
- (2) 反射波。
- (3) 绕射波。
- (4) 散射波。
- (5) 以上方式的合成波。

对于地面移动信道,由于近地环境的影响,所以,无线电波的合成波是随机起伏变化的。

对于卫星信道,由于电离层特性参数的随机变化,电离层波传播的信号也是随机起伏变化的。

图 3.9 为典型信号的衰落特性。

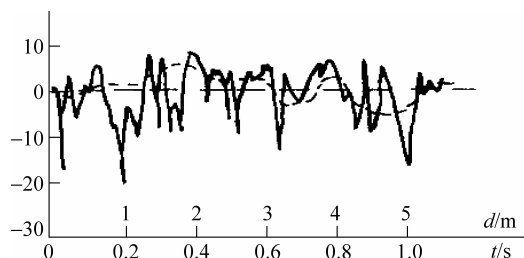


图 3.9 典型信号的衰落特性

例 3-2 电离层为等离子体,电子质量为 m 、电荷为 q 。当外加直流磁场 $B = \hat{z}B_0$ 时,回旋频率

$$\omega_c = \frac{qB_0}{m} \quad (3-5)$$

等离子体频率

$$\omega_p = \sqrt{\frac{Nq^2}{m\epsilon_0}} \quad (3-6)$$

这时,电离层的介电常数为

$$\boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_{\text{本}} & i\epsilon_g & 0 \\ -i\epsilon_g & \epsilon_{\text{本}} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{bmatrix} \quad (3-7)$$

其中,本构参数为

$$\epsilon_{\text{本}} = \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - \omega_c^2} \right) \quad (3-8)$$

$$\epsilon_g = -\epsilon_0 \frac{\omega_c \omega_p^2}{\omega(\omega^2 - \omega_c^2)} \quad (3-9)$$

$$\epsilon_z = \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right) \quad (3-10)$$

求外加磁场为无限强时电离层的介电常数。

解：当外加磁场为无限强时, $B_0 \rightarrow \infty$, 则

$$\omega_c = \frac{qB_0}{m} \rightarrow \infty \quad (3-11)$$

因此,

$$\epsilon_{\text{本}} = \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - \omega_c^2} \right) = \epsilon_0 \quad (3-12)$$

$$\epsilon_y = -\epsilon_0 \frac{\omega_c \omega_p^2}{\omega(\omega^2 - \omega_c^2)} = 0 \quad (3-13)$$

$$\epsilon_z = \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right) \quad (3-14)$$

介电常数为

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{\text{本}} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{\text{本}} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{bmatrix} \quad (3-15)$$

这时, 电离层为单轴等离子体。

6. 手机信号的衰落

在陆地上, 普通移动通信台站的天线高度仅超出地面 1~4m, 电波传播受地形地物的影响较大。与固定通信相比, 移动通信的电波传播显得更为复杂。

移动小区基站天线与移动用户手机之间, 存在着以下形式的电磁波。

- (1) 直接波。
- (2) 反射波。
- (3) 散射波。
- (4) 绕射波。
- (5) 地面波。

上述各种波及其合成波的起伏, 会引起接收机信号的衰落。

衰落的主要形式如下:

- (1) 传播损耗和弥散。
- (2) 阴影衰落。
- (3) 多径衰落。
- (4) 多普勒频移等。

多径衰落的信号包络服从瑞利分布, 故把这种多径衰落称为瑞利衰落, 瑞利衰落的概率分布, 如图 3.10 所示。

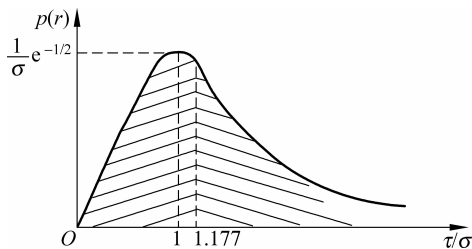


图 3.10 瑞利衰落的概率分布

7. 手机信号衰落的分类

根据不同距离内信号强度变化的快慢, 手机信号衰落可以分为大尺度衰落和小尺度衰落两种。

大尺度衰落,表现为长距离上信号强度的缓慢变化,主要是由信道路径上固定障碍物的阴影引起的,它会影响通信系统的业务覆盖区域。

小尺度衰落,表现为短距离上信号强度的快速波动,主要是由移动台运动和地点的变化引起的,它会影响通信信号传输质量。

根据信号与信道变化快慢程度的比较,衰落可以分为长期慢衰落和短期快衰落两种。

为了保证通信畅通,系统必须有一定的衰落储备量。图 3.11 为可通率 T 分别为 90%、95% 和 99% 的三组曲线。

在应用中,可以根据地形地物、工作频率和可通率要求,由图 3.11 可查得必须的衰落储备量。

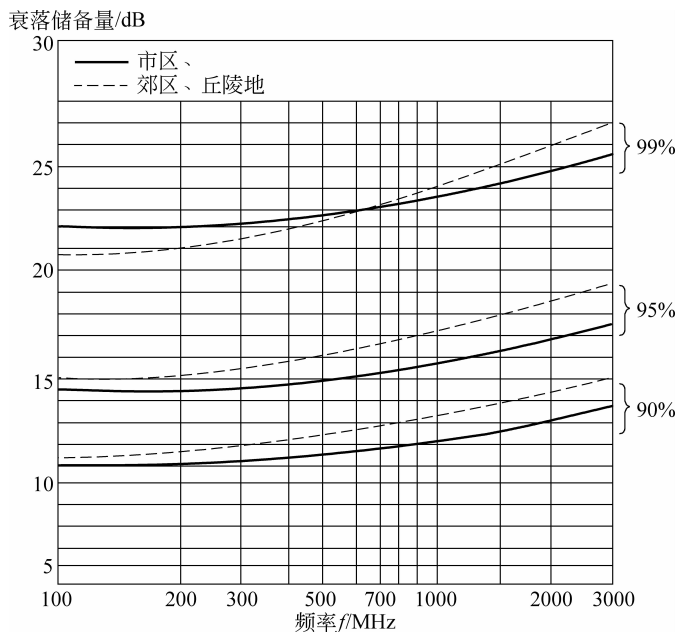


图 3.11 不同系统的衰落储备量

例 3-3 假设某手机通信系统的工作频率 $f=450\text{MHz}$, 工作环境为市区, 要求可通率 $T=99\%$ 。求系统必需的衰落储备。

解: 由图 3.11 可查得, 此时必须的衰落储备约为 22.5dB。

3.3 手机天线技术

人可以通过眼睛、耳朵、鼻子、嘴巴、手脚所对应的视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉, 与外界交换信息。

手机却只能通过天线与外界交换无线电信号。

3.3.1 手机天线的作用

移动通信系统的信息传递过程如下。

(1) 在发射端,手机信号经发射机进行如下处理:

- ① 由调制器调制成导行波能量。
- ② 经馈线传输到发射天线。
- ③ 通过发射天线,将其转换为某种极化的电磁波能量,并辐射到预定方向。

(2) 在无线信道中,电波经过一定方式的传播到达接收点。

(3) 在接收端,手机信号处理过程如下。

① 接收天线将接收的电波,转换为已调制的高频电流能量,经馈线输送至接收机输入端。

② 经接收机解调后取出信号,就完成了信息的传送。

例 3-4 试述天线接收无线电波的物理过程。

解: 天线接收无线电波的物理过程如下。

- (1) 天线导体在空间电场的作用下产生感应电动势。
- (2) 在天线导体表面激励起感应电流。
- (3) 在天线的输出端产生电压。
- (4) 在接收机回路中产生电流。

所以,接收天线是一个把空间电磁波能量转换成高频电流能量或导波能量的转换装置,其工作过程是发射天线的逆过程。

从上述的信息传递过程中,可以得到天线的主要作用是完成手机微波系统中导行波与空间无线电波能量之间的转换,因此,天线也可以称为能量转换器。

为了有效地完成这种能量转换,要求天线是一个良好的“电磁开放”系统,且与它的源或负载匹配。

手机天线的选择与设计是否合理,对于整个手机无线电通信系统的性能,会有很大的影响。

此外,天线还应该具有以下能力。

- (1) 发射和接收预定极化的电磁波。
- (2) 应有足够的工作频率范围。

3.3.2 天线的分类

天线的种类很多,可以有不同的分类方法。

(1) 按用途,可将天线分为通信天线、导航天线、广播电视天线、雷达天线和卫星天线等。

(2) 按工作波长,可将天线分为超长波天线、长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线和微波天线等。

(3) 按辐射元的类型,可将天线分为线天线和面天线。线天线由半径远小于波长的金属导线构成,主要用于长波、中波和短波波段。面天线由尺寸大于波长的金属或介质面

构成,主要用于微波波段。

(4) 按天线特性,又有如下不同的分类方式。

① 按方向特性,可将天线分为定向天线、全向天线、强方向性天线和弱方向性天线。

② 按极化特性,可将天线分为线极化(包括垂直极化和水平极化)天线和圆极化(包括左旋圆极化和右旋圆极化)天线。

③ 按频带特性,可将天线分为窄频带天线、宽频带天线和超宽频带天线。

(5) 按馈电方式,可将天线分为对称天线和非对称天线。

(6) 按天线上的电流,可将天线分为行波天线和驻波天线。

(7) 按天线外形,可将天线分为 V 形天线、菱形天线、环形天线、螺旋天线、喇叭天线和反射面天线等。

手机天线属于通信天线、微波天线、线天线等。

3.3.3 天线的主要参数

1. 方向性系数

1) 方向性图

天线的方向性是指天线在各个方向上辐射(或接收)信号强度的相对大小,可用方向图来表示。

以天线为原点,向各方向作射线,在距离天线同样距离、但不同方向上测量辐射(或接收)电磁波的场强,使各方向的射线长度与场强成正比,就可以得到天线的三维空间方向分布图。

图 3.12 为电基本振子天线的辐射方向性图。

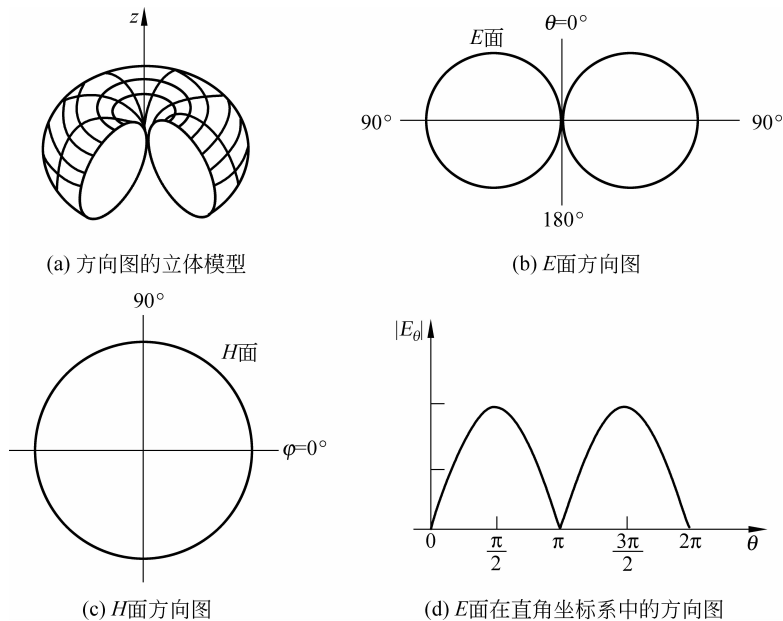


图 3.12 电基本振子天线的方向图

2) 方向性系数

天线的方向性系数定义为：当被研究天线的辐射功率和作为参考的无方向性天线的辐射功率相等时，被研究天线在最大辐射方向上，产生的功率通量密度与无方向性天线在同一点处辐射的功率通量密度之比

$$D = D_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_0} \bigg|_{P_{\Sigma} = P_{\Sigma_0}} \quad \text{或} \quad D = D_{\max} = \frac{|E_{\max}|^2}{|E_0|^2} \bigg|_{P_{\Sigma} = P_{\Sigma_0}} \quad (3-16)$$

3) 两个特殊面

在图 3.12 所示电基本振子的方向图中，有两个特殊面。

(1) 包括导线轴线的平面为 xOz 及 yOz 平面，与地球相比，包含子午线，则称为子午平面，即 E 面。

(2) 而垂直于导线轴线的平面为 xOy 平面，称为赤道平面，即 H 面。

对于面天线，则不同，两个特殊面的定义如下。

(1) 将电场矢量所在的平面称为 E 平面。

(2) 将磁场矢量所在的平面称为 H 平面。

强方向性天线的方向图可能包含多个波瓣，分别称为主瓣、副瓣及后瓣，如图 3.13 和图 3.14 所示。

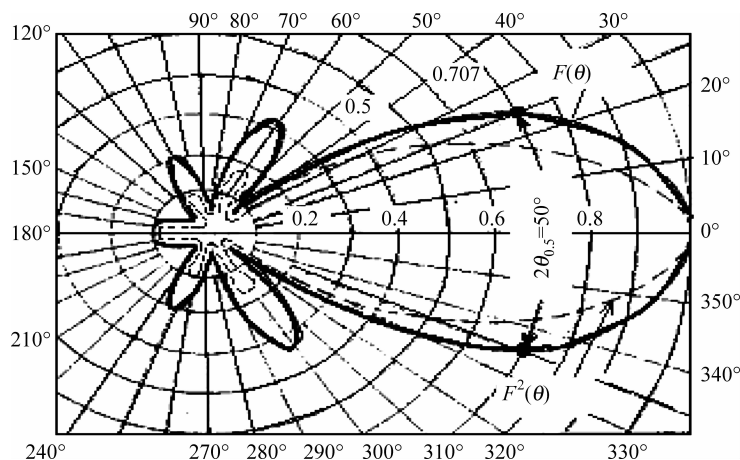


图 3.13 极坐标形式的方向图

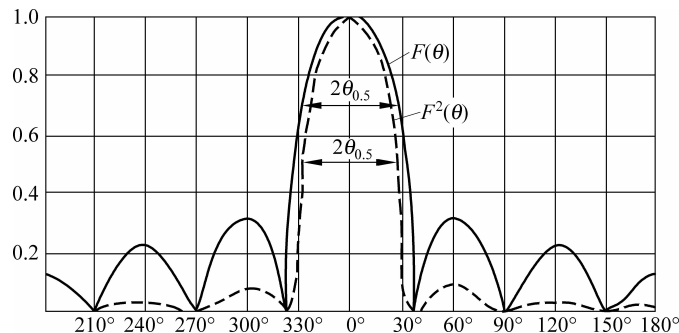


图 3.14 直角坐标形式的方向图

在方向图中,主瓣就是具有最大辐射场强的波瓣。除主瓣外,所有其他波瓣都称为副瓣。处于主瓣正后方的波瓣称为后瓣。

2. 天线效率

1) 天线效率

天线效率定义为天线辐射功率与输入到天线的总功率之比,即

$$\eta_A = \frac{P_{\Sigma}}{P_i} = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma} + P_L} \quad (3-17)$$

2) 辐射电阻

设有一个电阻,当通过它的电流等于天线上的最大电流时,如果其损耗的功率等于天线辐射功率,则定义该电阻为天线的辐射电阻。

$$P_{\Sigma} = \frac{2P_{\Sigma}}{I_m^2} \quad (3-18)$$

辐射电阻是衡量天线辐射能力的一个重要指标,辐射电阻越大,天线的辐射能力越强。

3. 天线增益

天线增益定义为在天线最大辐射方向上的某点,辐射场强相同时,无方向性天线所需要的输入功率与所研究的实际天线需要的输入功率之比,即

$$G = \frac{P_{i0}}{P_i} \quad \left| \begin{array}{l} \text{辐射点场强相同} \end{array} \right. \quad (3-19)$$

4. 输入阻抗

天线输入阻抗是指加在天线输入端的高频电压与输入端电流之比,如图 3.15 所示。

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}} \quad (3-20)$$

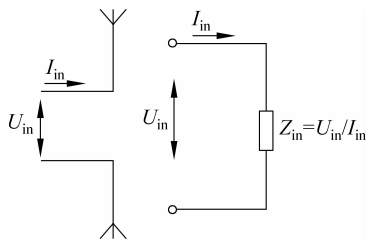


图 3.15 天线的输入阻抗

5. 天线的极化

1) 线极化

当电场矢量只是大小随时间变化而取向不变,其端点的轨迹为一直线时,称为线极化。线极化波、电场矢量在传播过程中总是在一个确定的平面内,这个平面就是电场矢量的振动方向和传播方向所决定的平面,常称为极化平面。因此,线极化也称为平面极化。

线极化包括如下两种。

(1) 垂直极化。当电磁波的电场矢量与地面垂直时,称为垂直极化。

(2) 水平极化。当电磁波的电场矢量与地面平行时,称为水平极化。

图 3.16 为两种线极化方式,图 3.16(a)表示垂直极化,图 3.16(b)表示水平极化。

2) 圆极化

当电场振幅为常量,而电场矢量以角速度 ω 围绕传播方向旋转时,称为圆极化。此时,如果在垂直于传播方向的某一固定平面上观察电磁波的电场矢量,则其端点随着时间变化在该平面上画出的轨迹是一个圆,如图 3.17(a)所示。

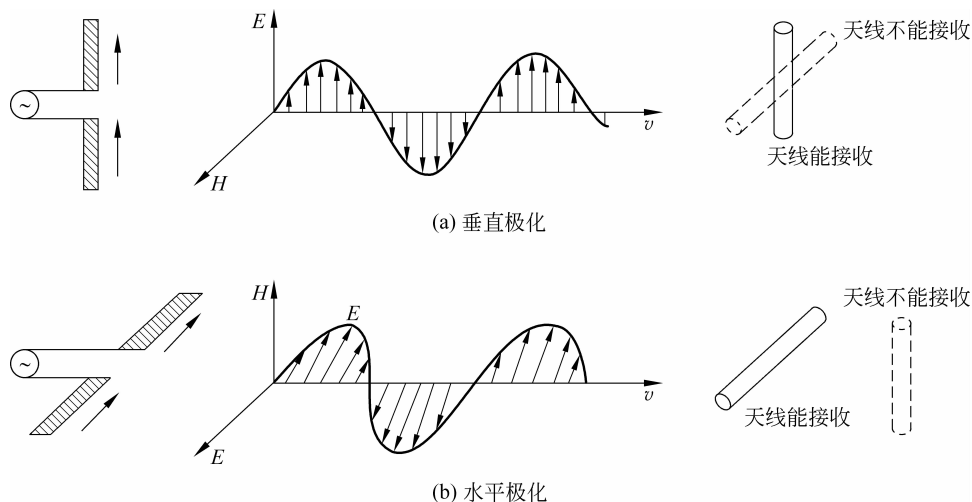


图 3.16 天线的垂直极化和水平极化

如果在某一时刻沿传播方向把各处的电场矢量画出来,则电场矢量端点的轨迹为螺旋线,如图 3.17(b)所示。

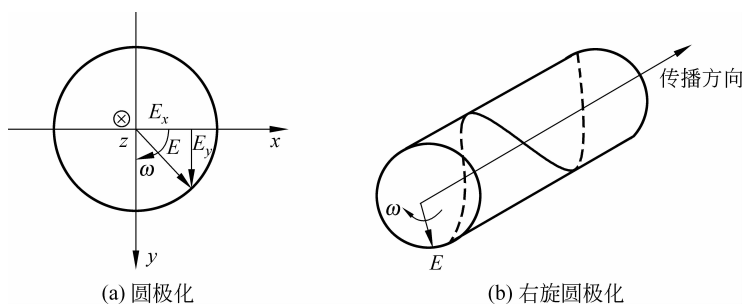


图 3.17 圆极化与右旋圆极化

圆极化又可以分为如下两种。

(1) 右旋圆极化波: 波的矢量端点旋转方向与传播方向成右手螺旋关系的叫右旋圆极化波。

(2) 左旋圆极化波: 波的矢量端点旋转方向与传播方向成左手螺旋关系的叫左旋圆极化波。

图 3.17(b)所表示的就是右旋圆极化波。

例 3-5 不同极化天线如何接收不同极化的电磁波?

解: 接收什么极化的电磁波,就应该使用什么极化的天线。

接收线极化波,应该用线极化天线。

接收圆极化波,应该用圆极化天线。

圆极化天线,可以接收任意取向的线极化波。

线极化天线也可以接收圆极化波,但因为只接收到两分量之中的一个分量,所以接收效率很低。

例 3-6 试述极化旋转方向与接收效率的关系。

解：接收天线的极化旋转方向，应该与所接收的电磁波的极化旋转方向一致。圆极化天线，可以有效地接收旋向相同的圆极化波或椭圆极化波。若旋向不一致，则几乎不能接收。

例 3-7 在卫星通信中，应该使用什么极化的天线？

解：在手机移动通信系统中，通常采用线极化天线。而在卫星通信中，卫星在空中，沿着一定轨道运动时，其天线的指向经常改变。

另一方面，电离层是各向异性介质，电波信号通过电离层后会发生法拉第旋转，极化平面会发生变化。因此为了提高通信的可靠性，发射和接收都应采用圆极化天线。

6. 天线的频带宽度

天线的频带宽度的定义为中心频率两侧，天线的特性下降到还能接受的最低限时，对应的高低两频率间的差值。

常采用天线增益下降 3 分贝或驻波比不超过 1.5 范围内的频带宽度。

3.3.4 手机系统天线

1. 对称天线

对称天线，可以看成是由一对终端开路的传输线两臂向外张开而得来的，并假设张开前后的电流分布相似，如图 3.18 所示。

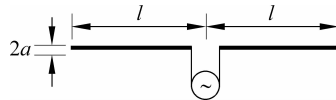


图 3.18 对称天线

对称振子天线的辐射场与 ϕ 无关，它在与其垂直的平面 (H 面) 内是无方向性的，方向图是一个圆，且与天线的电长度 l/λ 无关。

在子午面 (E 面) 即包含振子轴线的平面内，对称振子天线的方向性函数不仅含有 θ ，而且含有对称振子的半臂长度 l ，因此，不同长度的对称振子有不同的方向性。

对称振子天线的 E 面方向性图随 l/λ 变化的情况如图 3.19 所示。

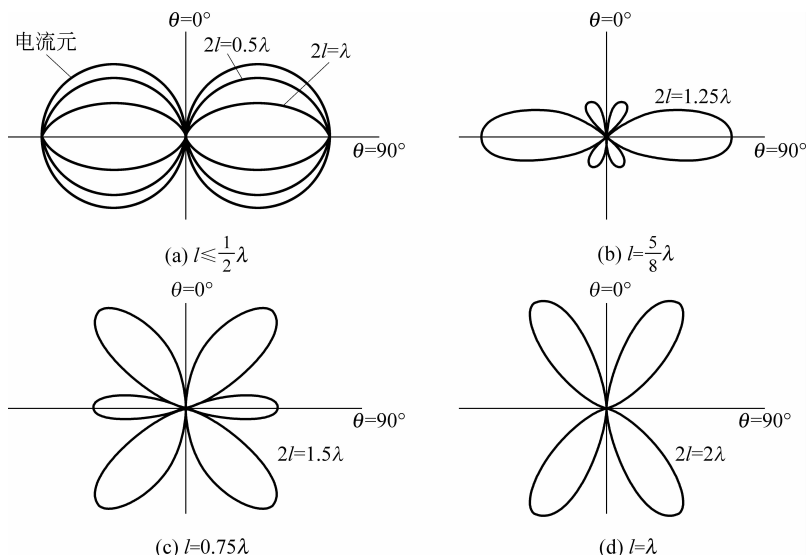


图 3.19 对称振子天线的 E 面方向性图随 l/λ 变化的情况

图 3.20 为对称振子天线的辐射电阻与 l/λ 的关系曲线。

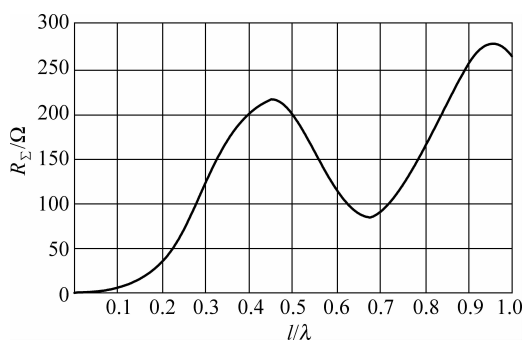


图 3.20 对称振子天线的辐射电阻与 l/λ 的关系曲线

例 3-8 设对称振子的长度为 $2l=1.2\text{m}$, 半径 $a=10\text{mm}$, 工作频率为 $f=120\text{MHz}$, 求其输入阻抗。

解: 因为对称振子的工作波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3 \times 10^8 / 120 \times 10^6 = 2.5(\text{m}) \quad (3-21)$$

所以

$$\frac{l}{\lambda} = \frac{0.6}{2.5} = 0.24 \quad (3-22)$$

查图 3.20 得

$$R_{\Sigma} = 65\Omega$$

则对称振子的平均特性阻抗为

$$\bar{Z}_0 = 120 \left(\ln \frac{2l}{a} - 1 \right) = 454.5(\Omega) \quad (3-23)$$

将以上结果及 $\beta=2\pi/\lambda$ 一并代入输入阻抗公式, 则得

$$Z_{\text{in}} = \frac{R_{\Sigma}}{\sin^2(\beta l)} - j\bar{Z}_0 \cot(\beta l) \approx 65 - j1.1(\Omega) \quad (3-24)$$

2. 单极天线

手机天线为单极天线, 如图 3.21(a)所示。

当地面视为无限大的理想导电平面时, 垂直接地的单极天线, 天线臂与其镜像构成对称振子, 如图 3.21(b)所示。

3. 移动小区基站天线

移动通信基站天线应具有高性能, 并满足下述要求。

(1) 考虑到地球的曲率和地物的阻挡作用,

基站天线必须架设在离地很高处, 如建筑物顶上或专用的小铁塔上。为了使用户在移动

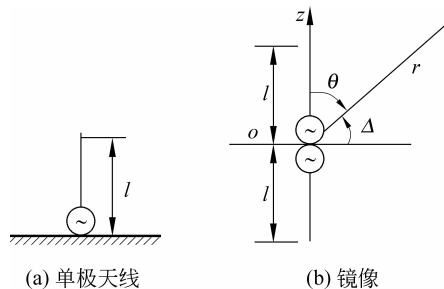


图 3.21 单极天线及其镜像

状态下使用方便,天线应采用垂直极化形式。

(2) 为了保证基站与业务区域内的移动用户之间的通信,在业务区域内,无线电波的能量必须均匀辐射。

(3) 基站天线的增益应尽可能高,天线的方向性在水平面内为全向或弱定向。为节省发射机功率,只能通过压缩垂直面方向图的波束宽度来提高天线增益。

(4) 为了降低同频道干扰,把一个正六边形的蜂窝小区分成3个扇区,需要3个基站天线。

(5) 为了减小多径效应带来的信号衰落,采用分集接收技术。使用空间分集,每个扇区2个天线,天线距离大于信号波长。

所以,通常看到的移动小区基站天线共有6个。

4. 智能天线

在第三代移动通信系统中,采用码分多址(CDMA)技术。码分多址系统的固有问题是自干扰问题。

为了实现抗干扰,可以采用智能天线技术。智能天线技术综合了以下技术。

- (1) 通信技术。
- (2) 信号处理技术。
- (3) 波束赋形技术。

智能天线采用空分多址(SDMA)技术,利用信号在传输方向上的差别,将同频率或同时隙、同地址码的用户信号区分开来,可最大限度地利用有限的信道资源。

5. 喇叭天线

喇叭天线,是波导口逐渐张开,而形成的天线,如图3.22所示。

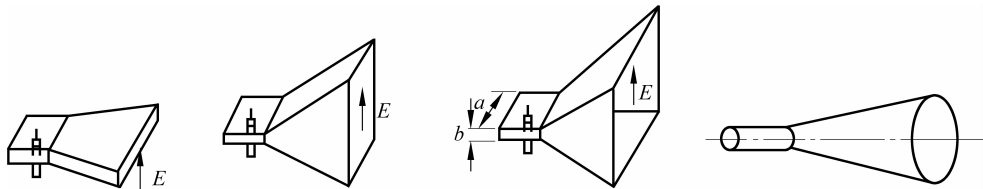


图3.22 各种喇叭天线

根据惠更斯原理,终端开口的波导管可以构成一个辐射器。但是,波导口面的电尺寸很小,其辐射的方向性很差。

为了避免波导末端反射,将波导逐渐地张开就成为喇叭天线。因为波导逐渐地张开,使其逐渐过渡到自由空间,因此可以改善波导与自由空间在开口面上的匹配情况,另外,喇叭的口面较大,可以形成较好的定向辐射,从而取得良好的辐射特性。

6. 抛物面天线

为提高喇叭天线性能,给其增加反射抛物面,即可构成抛物面天线,如图3.23所示。

一般的家用卫星电视天线,大都为抛物面天线。

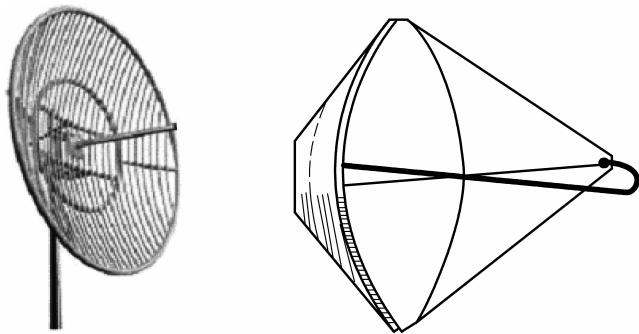


图 3.23 旋转抛物面天线

7. 卡塞格伦天线

采用双反射器,即可构成卡塞格伦天线。

双反射器天线由主反射器、副反射器(或分别称为主反射面、副反射面)和辐射器 3 部分组成,如图 3.24 所示。主反射器为旋转抛物面,副反射器通常为—旋转双曲面。

当副反射器是旋转椭球面时,称为格里高利天线。

辐射器一般都采用喇叭天线。

卡塞格伦天线,可以用一个口径尺寸与原抛物面相同,但焦距放大了 M 倍的旋转抛物面天线来等效,且具有相同的场分布。

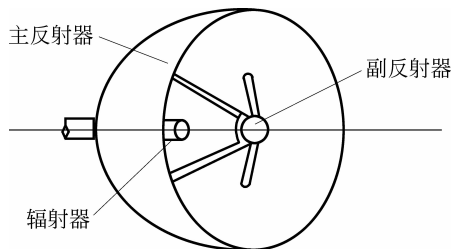


图 3.24 卡塞格伦天线

卡塞格伦天线与普通抛物面天线相比,其主要优点如下。

(1) 由于有主、副面的两次反射,便于使主面口径场的振幅分布最佳化,所以,改善了天线的电性能,尤其是提高了天线的口面利用系数。

(2) 由于馈源置于靠近主面顶点处,向副面辐射,能方便地从主面后伸出,从而减小了馈线的长度,接收机的高频部分可以直接安放在主面后部靠近馈源处,这样大大缩短了高频馈线的长度。所以,卡塞格伦天线结构紧凑,馈电方便。

(3) 由于卡塞格伦天线用短焦距抛物主面,实现了长焦距抛物面天线的性能,所以,缩短了天线的纵向尺寸,使其结构更加合理。

(4) 由于与馈源对着的是双曲面,双曲面的反射把馈源辐射的能量散开,使返回馈源的能量比抛物面天线的要少,从而减少了馈源的失配。

通常,地面卫星接收站使用的是卡塞格伦天线。

例 3-9 天线与馈线连接有什么基本要求?

解: 天线与馈线之间连接时要考虑两个问题。

(1) 阻抗匹配,以保证天线能够从馈线中得到尽可能多的能量,即保证有最大的传输效率;

(2) 平衡馈电,使对称振子的激励电流是两边对称的,以保证天线方向图的对称性。