

73145

604

实用天线设计与制作

陈玉春 编

电子工业出版社

内 容 简 介

本书向读者介绍了天线、馈线以及匹配方面的实用知识，并介绍了数十种常用天线设计、制作和使用方面的实用知识。

本书还简要介绍了短波通信工程中几种常用天线的特性和用途，简要介绍了波天线的工作原理。

读者对象为收录机、电视机用户，移动通信电台用户，无线电爱好者，无线电管理人员。

实用天线设计与制作

陈 玉 春 编

责任编辑：王玉国

*

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国电波传播研究所印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：4 7/8 字数：109千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

印数：1—27200册 定价：1.25元

ISBN7-5053-0206-X/TN·87

目 录

前 言

第一章 基础知识	(1)
§ 1.1 无线电波.....	(1)
§ 1.2 电波传播.....	(3)
§ 1.3 几种基本天线.....	(5)
一 各向同性天线.....	(6)
二 赫兹振子.....	(6)
三 接地单极天线.....	(7)
四 半波偶极天线.....	(7)
§ 1.4 天线的基本参数.....	(8)
一 输入阻抗.....	(8)
二 方向图.....	(9)
三 有效长度.....	(10)
四 增益.....	(10)
§ 1.5 天线的防雷与接地.....	(11)
第二章 中、短波天线及其附件	(15)
§ 2.1 长线天线.....	(15)
§ 2.2 半波偶极天线.....	(17)
§ 2.3 倒V型天线.....	(19)
§ 2.4 多频道偶极天线.....	(20)
§ 2.5 T型天线.....	(20)
§ 2.6 地网天线.....	(21)
§ 2.7 有源天线.....	(22)
一 电路.....	(23)
二 制作.....	(26)

三	使用方法	(28)
四	简单有源天线	(29)
§ 2.8	有源铁氧体天线	(31)
一	电路	(32)
二	制作	(34)
三	使用方法	(36)
四	工作在1.6~4.5兆赫的有源铁氧体天线	(36)
§ 2.9	环形天线	(37)
一	简单环形天线	(37)
二	有源环形天线及其制作	(39)
三	差分环形天线及其制作	(41)
四	倾斜环形天线	(44)
五	螺旋环形天线	(45)
六	工作在短波波段的环形天线	(46)
七	工作在长波波段的环形天线	(47)
§ 2.10	高频前置滤波器	(47)
一	电路	(49)
二	制作	(51)
三	使用方法	(52)
§ 2.11	可调天线衰减器	(53)
一	用衰减器增强天线的选择性	(54)
二	制作	(57)
§ 2.12	调谐陷波器	(58)
§ 2.13	天线低通滤波器	(61)
§ 2.14	天线调谐器	(64)
一	电路	(65)
二	制作	(67)
§ 2.15	短波通信工程中常用的天线	(68)

一	笼形水平半波偶极天线	(69)
二	笼形对称垂直偶极天线	(70)
三	带导电地网的非对称垂直天线	(71)
四	水平同相阵列式天线	(71)
五	菱形天线	(72)
六	对数周期天线	(74)
第三章	电视接收天线	(76)
§ 3.1	架设电视天线应注意的问题	(76)
§ 3.2	室内天线	(77)
§ 3.3	线性半波偶极天线	(77)
§ 3.4	折合半波偶极天线	(79)
§ 3.5	八木天线	(80)
§ 3.6	多频道天线	(86)
一	扇形天线	(86)
二	两个折合振子组成的双频道天线	(87)
三	隔离滤波器	(88)
§ 3.7	八木天线阵	(91)
一	双层五单元八木天线	(92)
二	四层五单元八木天线	(95)
三	双层双列五单元八木天线	(96)
§ 3.8	环形天线	(97)
§ 3.9	有源电视天线	(98)
第四章	移动通信天线	(101)
§ 4.1	J型半波天线	(101)
§ 4.2	地网天线	(102)
一	四分之一波长地网天线	(102)
二	八分之五波长地网天线	(104)
三	伞骨地网天线	(106)

§ 4.3	J型折合半波天线	(106)
§ 4.4	共线天线	(111)
一	天线结构	(112)
二	馈电和匹配	(112)
三	二单元共线天线	(112)
§ 4.5	移动式 and 便携式 天线	(113)
第五章	微波天线	(116)
§ 5.1	有效孔径	(117)
§ 5.2	喇叭天线	(118)
§ 5.3	缝隙天线	(119)
§ 5.4	微波透镜	(120)
一	介质透镜	(121)
二	金属板透镜	(122)
§ 5.5	抛物面 反射天线	(123)
一	抛物面反射器的几何光学性质	(123)
二	辐射方向图	(124)
三	馈电器	(126)
四	结构	(127)
第六章	馈线和匹配	(128)
§ 6.1	传输线	(128)
一	传输线的特性阻抗	(128)
二	如何确定电缆的特性阻抗	(130)
§ 6.2	匹配	(132)
一	半波偶极天线的匹配	(132)
二	折合半波偶极天线的匹配	(135)
三	宽频带匹配器	(139)
四	馈线与接收机的连接	(141)
附 录		(143)
参考文献		(144)

第一章 基础知识

§ 1.1 无线电波

无线电波是一种电磁波。在真空中，电波以每秒299,792,077米的速度向前传播。在传播过程中的每一瞬间，电磁波中的电场(E)方向与磁场(H)方向相互垂直，一般来说，它们又都与电波传播的方向垂直。电波在自由空间中的结构如图1.1(a)所示。

若发射天线是一副向空间均匀地辐射电波的全向天线，如图1.4所示。那么，电波从这一天线辐射出来之后，便会很快地向四面八方均匀地散布开来。对于一副距发射机很远的接收天线，它所接收到的电波波阵面可以近似地看成一个平面。如果这副天线可以“看见”电场和磁场的话，在这个平面波阵面上，电场和磁场的相互关系就是图1.1(b)所示的样子。图中实线表示电场 E ，虚线表示磁场 H 。 E 和 H 的幅度都会按照电波的频率周期

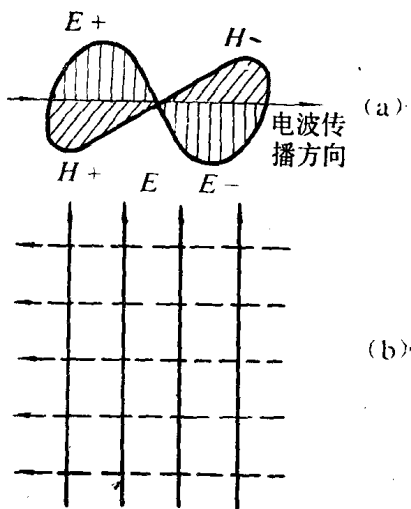


图1.1 (a) 电波在自由空间中的结构，
E为电场，H为磁场
(b) 电波的波阵面

性地变化。

如果顺着电场 E 的方向放置一根导体，那么，由于电场 E 的作用，导体中的自由电子就会在导体中按照电波的频率周期性地运动。这样，在导体中就产生了周期性的感应电流。把这个电流设法引入接收机，加以放大，经过检波，解调等一系列措施，人们便可得到发射台发出的声音或图象信号，这就是接收无线电波的基本原理。能够接收周围空间电波能量的装置就叫做天线。刚才所讲的这根导体就是一副天线。如果这根导体的长度选得适当，使电荷从导体一端跑到另一端的过程能够与电场 E 的周期性变化过程协调起来，我们就说天线与接收频率调到了谐振状态。这时，便会有最佳接收效果。

电场 E 的方向称为电波的极化方向。如果 E 与地平面平行，便称之为水平极化；如果 E 垂直于地平面，则称之为垂直极化。广播台和电视台常用线天线发射无线电波，对这种线天线来说，大体上可以认为电波的极化和线天线的摆设方向相同。例如，若将一个半波偶极天线水平架设，那么，它就发射或接收水平极化波。若将它垂直架设，它就发射或接收垂直极化波。

无线电波的两个重要参数是它的频率和波长。它们之间有如下关系：

$$\text{电波速度 } v \text{ (米)} = \text{频率 } f \text{ (赫兹)} \times \text{波长 } \lambda \text{ (米)}$$

电波一旦发射出来，除了特殊情况之外，其频率一般是不变化的，其波长与传播介质有关。若传播介质的介电常数为 ϵ ，那么，在这种传播介质中，电波的波长和速度分别为

$$\lambda_{\text{介}} = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon}$$

$$v_{\text{介}} = c / \sqrt{\epsilon}$$

式中, λ_0 , c 分别为电波在真空中的波长和速度。

当我们考虑电波在电缆中传播时, 必须考虑介电常数的影响。

真空中的介电常数为1.0。表1.1中给出了几种主要介质的介电常数 ϵ 。

表1.1 介质的介电常数表

介 质	介电常数 ϵ	介 质	介电常数 ϵ
空 气	1.0	聚四氟乙烯	2.0
变压器油	2.1~2.4	云 母	7
乙醇(酒精)	25.7	碱 玻 璃	6.5
石 蜡	1.9~2.2	石英玻璃	4.5
聚 乙 烯	2.2~2.4	高 瓷	7.0~8.0
聚苯乙烯	2.4~2.6	高频滑石瓷	6.0~6.5
聚氯乙烯	3.3		

我国中波收音机的工作频率大约是在535千赫到1.65兆赫。短波收音机的工作频率大约是1.6兆赫到30兆赫。从1频道到12频道的电视播送频率大约是从50兆赫到220兆赫的甚高频(VHF)波段。从13频道到68频道的电视播送频率大约是从470兆赫到950兆赫的超高频(UHF)波段, 我国电视频道见附录。VHF和UHF波段也常用于移动通信。

§ 1.2 电波传播

不同频率的电波, 传播的方式不一样。从垂直发射天线发

出的低频垂直极化波，它紧挨着地面传播，称之为地波传播。因为它不断地受到地面的吸收，所以，传播距离很短。在白天，中波收音机主要是接收地波信号。以一定仰角发射的高频无线电波，可以经地球上空电离层的反射，而回到距发射机很远的地面，这种传播方式称为天波传播，如图1.2所示。短波收音机主要是接收天波信号。

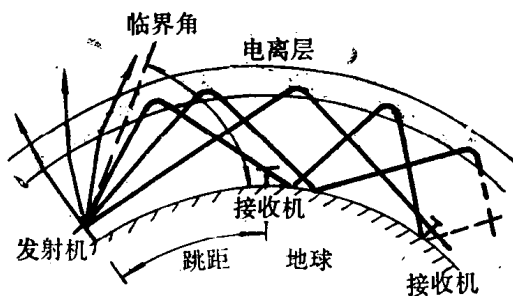


图1.2 高频无线电波经电离层的反射传播

VHF波段以及更高频段的电波会穿透电离层，而不能反射回地面，所以接收天线必需能“看”到发射天线，才能收到足够强的信号。这种传播方式称为视线传播，如图1.3所示。

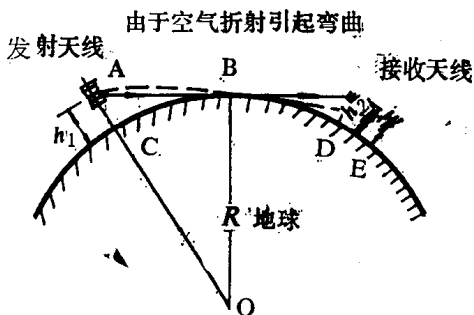


图1.3 无线电波的视线传播

在图1.3中，在C点架设高 h_1 米的发射天线，在B点收看，弧 \widehat{CB} 即为视线距离。 R 为地球半径，约为 6.37×10^6 米。发射天线处于A点，OBA构成直角三角形

$$AB = \sqrt{(R+h_1)^2 - R^2} \approx \sqrt{2Rh_1} = 3.57\sqrt{h_1} \text{ (公里)}。$$

因为 $h_1 \ll AB$ ，可近似认为视线距离 $\widehat{CB} = AB = 3.57\sqrt{h_1}$ 公里。可见，发射天线架得越高，便可以“看”得越远。

如果接收天线也架高，设其高度为 h_2 米，架在地面上的D点，如图1.3所示。同样可以求得地面距离 $\widehat{BD} = 3.57\sqrt{h_2}$ 公里。所以，发射天线到接收天线的地面距离 $\widehat{CD} = 3.57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ 公里。实际上，由于大气的折射作用，电波可以按图1.3中的虚线传播，到达地面E处的接收天线。传播距离约比上面的计算值大15%左右。所以，实际上，视线传播的地面距离为

$$\widehat{CE} = 4.11 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ 公里}$$

这也是电视广播的视线传播距离。根据上面的分析可以看出，在视线传播情况下，接收天线架得越高越好。

由于还存在着散射、折射等其它传播方式，所以，有时，视线传播的距离可以大大超过上面算出的距离。

§ 1.3 几种基本天线

天线是一种向周围空间辐射电磁波能量，或者，从周围空间接收电磁波能量的装置。各向同性天线、赫兹振子、接地垂直单极天线以及半波偶极天线是几种最基本的天线。下面简略

介绍这几种天线。

一 各向同性天线

各向同性天线是一种均匀地向各个方向辐射能量的天线，又称全向天线。自由空间中的点源，就可看作这样的天线，如图 1.4 所示。在过源点的任何一个平面内，它的方向图都是一个圆。这种天线实际上并不存在，研究这种天线的意义在于，一般都以它作为参考，来研究其他天线的增益。例如，相对于各向同性天线来说，半波偶极天线的功率增益系数为 1.64，增益 $G = 2.15$ 分贝。

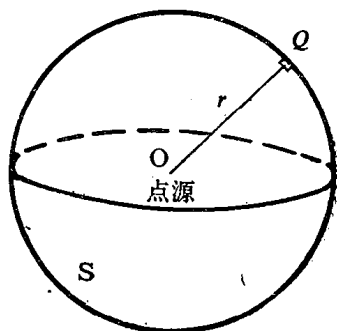


图 1.4 各向同性天线

二 赫兹振子

赫兹振子有时又称为赫兹偶极子。它的长度不大于十分之一波长。所以，它上面的电流可以看成是均匀分布的。它的示意图、水平面内和垂直面内的方向图示于图 1.5。相对于各向

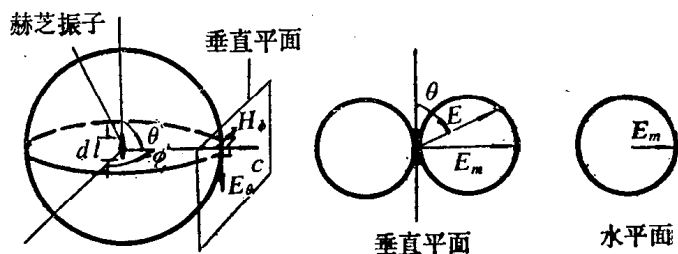


图 1.5 赫兹振子及其方向图

同性天线来说，它的功率增益系数为1.5，或者说，它的增益为 $G = 1.76$ 分贝。

三 接地单极天线

最简单的垂直天线是低端接地的单极垂直振子。完全导电地面的影响可以用单极天线的镜像来考虑。常用的单极垂直振子的长度一般大于八分之一波长。几种典型的接地垂直单极天线及其在垂直面内的方向图图示于图1.6。

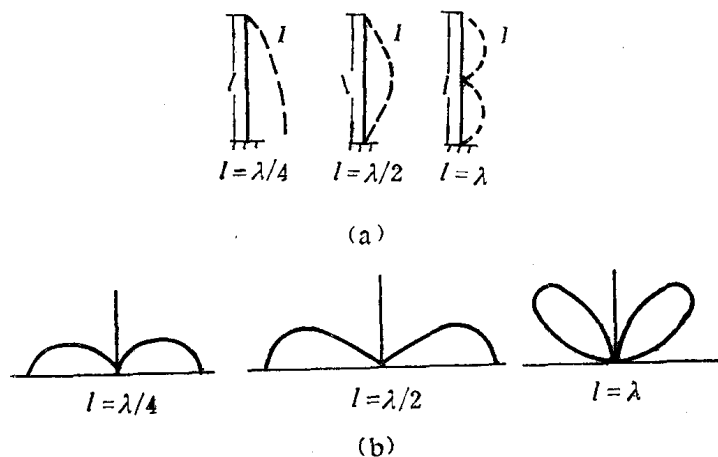


图1.6 几种典型的接地垂直单极天线及其方向图
(a) 长度为 l 的接地单极天线 (b) 垂直面内的方向图

四 半波偶极天线

无论在实用中或是在理论研究中，半波偶极天线都是一种重要的天线。它的基本结构及方向图图示于图1.7。

§ 1.4 天线的基本参数

天线的基本参数包括输入阻抗、方向图、有效高度和增益。现以电视广播频段常用的半波偶极天线为例来说明这些参数，如图1.7所示。

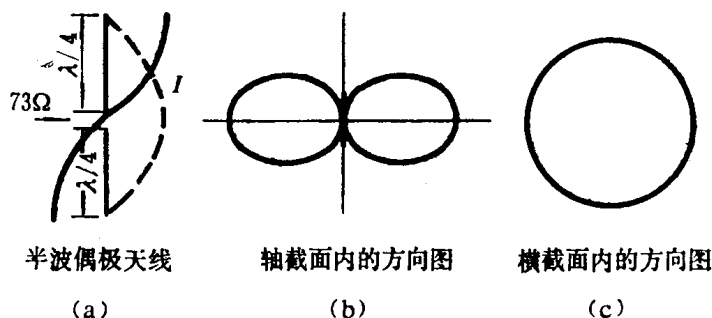


图1.7 半波偶极天线及其方向图

一 输入阻抗

图1.7所示的半波振子是由沿一条直线配置的两段相同导体组成。半波振子的总长度大约等于半个波长。两段导体的内端点是天线的馈电点。这两点之间的阻抗称为天线的输入阻抗。一般来说，天线输入阻抗分为有功和无功两部分。无功部分可能呈电感性或电容性。假如天线调到谐振，那么它的输入阻抗的无功部分就等于零。例如，调到谐振的直线半波偶极天线的输入阻抗只有有功部分，即为纯电阻，约为73.1欧姆。当工作频率稍偏离谐振频率时，输入阻抗的有功分量变化很小，但出现无功分量。当工作频率较谐振频率低时，无功分量呈电容

性；较高时，呈电感性。

馈线接入天线的馈电点。馈线阻抗应与天线阻抗匹配，否则，就会增大电压驻波比，引起功率损耗。

频率变化时，天线的输入阻抗变化越小，天线通带就越宽。

二 方向图

接收天线的方向图表示电磁场在天线中所感应的电动势与信号传来的方向之间的关系。

在极坐标系统中，当将最大电动势取为1的时候，表示感应电动势与信号传来方向的关系的图形称为方向图。图1.7(b)示出了半波振子在通过振子轴线的任何平面内的方向图。在这个图中，振子轴线沿垂直方向。当电波从垂直于振子方向到来时，在振子的接线端感应出最大电动势，图中取这个最大电动势值为1。当电波传来的方向与振子轴线重合时，感应电动势为零。假如来波方向在轴截面内与振子轴线成 45° 角，这时在天线接线端上感应的电动势是最大电动势的0.62。图1.7(c)给出了半波振子在与振子垂直的平面内的方向图，这个方向图是一个圆。

天线的方向图取决于天线的结构，例如，多元天线的方向图要比半波振子的方向图窄。窄方向图天线能够更集中地接收电台方向传来的信号，而减弱其它方向上传来的信号。因此，窄波束天线有较强的抗干扰作用。

方向图的宽度通常用角度来表明。在这个角度范围内，电磁场在天线中感应出的电动势不小于最高电平的0.7。

对于高增益定向天线，除了主瓣之外，一般还有后瓣和旁

瓣，统称为副瓣，一般来说，我们总是希望副瓣越小越好。高增益定向天线主瓣方向图的典型例子见图1.8。在中、短波波段，天线的辐射仰角主要取决于天线的架设高度。

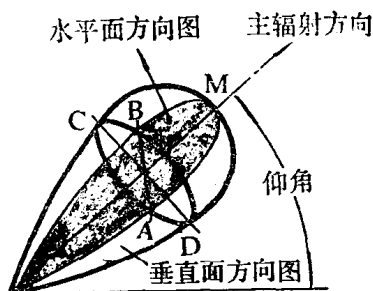


图1.8 高增益定向天线的主瓣方向图示例

三 有效长度

有效面积是天线的重要参数之一。对于象半波振子这样的线天线来说，一般称有效长度。如果将天线的有效长度乘以天线所在位置的接收信号场强，那么就可得到当信号从最强接收方向传来时，在天线接线端所产生的电动势的数值。通常用米作有效长度的度量单位，有效长度取决于天线的几何尺寸和工作波长。

对半波振子来说，有效长度

$$h_e = \frac{\lambda}{\pi}$$

式中， λ 为波长（米）。

四 增益

天线的电压增益系数表明：天线在匹配负载上所产生的感

应电压超过用全向天线接收同一信号时，在匹配的负载上所产生的电压的倍数。功率增益系数则是功率的提高倍数。

例如，半波振子天线与全向天线相比，电压增益系数为1.28，功率增益系数为 $1.28^2 = 1.64$ 。这是指，当信号是从垂直于半波振子的方向传来时，天线接收点之间的感应电动势要比用全向天线接收时，高出1.28倍，功率要高1.64倍。

天线的增益 $G = 10\lg(\text{功率增益系数}) \text{ dB}$

当用电压增益系数表示时，天线的增益

$$G = 20\lg(\text{电压增益系数}) \text{ dB}$$

所以，用这两种方法表示，天线的增益都是一样的。我们常用分贝表示一副天线的增益，半波振子天线的增益为2.15分贝。

有时，当我们说一副天线的增益为若干分贝时，不是与全向天线比较，而是与半波偶极天线比较。查阅天线参数时，要注意这一点。例如，一副半波偶极天线，若与全向天线比较，它的增益为2.15分贝；若与它自己比较，则它的增益为0分贝。一副三元八木天线相对于全向天线的增益约为7.7分贝，而相对于半波偶极天线则为5.56分贝。

在这本书中，我们一般是指相对于全向天线的增益。归纳来说，半波偶极天线的输入阻抗约为73欧姆，增益约为2.15分贝。

§ 1.5 天线的防雷与接地

我们知道，打雷是自然界的一种放电现象。有时，雷电会以雷霆万钧之力击毙人畜，击毁工程设施。所以我们应对雷电