



天线结构设计

四〇二室编

西北电讯工程学院

编者说明

这本教材是在仓促中编写出来的，存在着不少的缺点与错误。

有关天线结构方面的资料，无论是中文或外文都很少，而且零零星星分散在各个方
面，很不易搜集。编者缺乏实践，见识又少，水平有限。对于国内各工厂及研究所的丰
富实践经验，限于条件未能取经学习，编入教材中去。由于工作较忙，没有充裕时间，
所以编写得很草率，希望读者提出宝贵意见，以便今后改进。

目 录

第一章 雷达天线简介	1
§ 1 天线的基本参数.....	1
§ 2 多元阵天线的方向图.....	4
§ 3 振子天线.....	7
§ 4 相控阵天线的原理.....	9
§ 5 喇叭天线.....	11
§ 6 裂缝天线.....	11
§ 7 透镜天线.....	13
§ 8 抛物面天线.....	15
§ 9 扇形波束天线.....	20
§ 10 双反射体天线.....	24
第二章 雷达天线结构设计总论	29
§ 1 对雷达天线结构的一般要求.....	29
§ 2 天线公差分析.....	29
§ 3 天线结构的材料.....	35
§ 4 天线结构设计的几个问题.....	36
§ 5 天线的运输与架设.....	40
第三章 天线的荷载	43
§ 1 天线荷载的分类.....	43
§ 2 风力计算.....	46
§ 3 天线的风力矩.....	56
§ 4 设计风速的确定.....	58
§ 5 风的动荷作用.....	61
§ 6 减小风力及风力矩的办法.....	61
§ 7 风洞试验.....	63
第四章 结构力学基础	65
§ 1 结构的计算简图.....	65
§ 2 结构的几何构造分析.....	67
§ 3 静定结构的一般概念.....	72
§ 4 静定平面桁架.....	74
§ 5 静定空间桁架.....	79
§ 6 结构的位移计算.....	86

§ 7 超静定结构	94
§ 8 结构矩阵分析	102
附录 矩阵代数	116
第五章 非圆截面反射体天线结构	123
§ 1 骨架的结构型式	123
§ 2 主力骨架的支点与高度的选择	131
§ 3 天线结构计算举例	135
第六章 圆形抛物面天线结构	155
§ 1 结构形式	155
§ 2 反射体的强度刚度计算	158
§ 3 对称荷载时主力骨架的结构分析	160
§ 4 反对称荷载时主力骨架的结构分析	174
§ 5 反射面板的计算	178
§ 6 馈源支架	179
附录	181
第七章 抛物面反射体的制造与检测	185
§ 1 反射面的制造工艺	185
§ 2 反射面的检测	199
§ 3 馈源及付反射器的安装	209

第一章 雷达天线简介

§1 天线的基本参数

天线用来辐射和接收无线电波。发射天线把从发射机来的已调制的高频电流变成电磁波向空间辐射出去。接收天线接收空间的电磁波，把它变成高频电流送入接收机。同一雷达天线交替地担负发射天线和接收天线的工作，用天线开关来完成转换作用。

所有天线服从互易定律，即同一天线在用作发射天线时所具有的特性，在用作接收天线时也具有同样的特性，也就是说天线具有可逆性。例如天线用作发射时，某一方向辐射最强，反过来用作接收时，也是该方向接收最强。其它如阻抗、通频带也相同。但是接收天线由于接收功率微弱，问题比发射天线简单些。发射天线功率最大可达十兆瓦，平均功率可达十千瓦，会发生绝缘被击穿、另件过热等现象。

天线的重要特性与参数为：方向图，增益、阻抗、极化、带宽等。

一、天线的方向性，方向图

天线发射或接收无线电波一般具有方向的不均匀性(方向性)，即天线所产生的辐射场的强度在离天线等距离空间各点，随着方向的不同而改变，或者天线对于从不同方向传来的等强度的无线电波吸收能量不同，在有的方向辐射或接收最强，在其它方向则辐射或接收较弱或很弱。

天线的方向性可用方向图来表示。方向图表示天线在各方向辐射(或接收)强度的相对大小。如果在离天线同样的距离，但是在不同方向上来测量辐射电磁波的场强，根据这种测量的结果就可以画出方向图。以天线为原点，向各方向作射线，取其长度与场强成正比例，即得空间方向图。(必须注意，不同长度的矢量都表示在不同方向但离天线是同一距离上的场强)。由于绘制立体空间的方向图比较困难，通常方向图只绘在两个平面上。一个平面平行于磁场矢量，叫做H平面，一个平面平行电场矢量，叫做E平面。这两个平面互相垂直。

方向图一般以相对值来表示，即以 E/E_{max} 来绘制。若用极坐标来绘制图，一个典型的方向图如图1-1。

用方程式来表示：

$$E = E_{max} F(\theta, \varphi)$$

方向图有时也用直角坐标来表示。

在某些情况下，用功率通量密度(单位时间内由通过该点单位面积的电磁能量通量)来绘制方向图称为功率方向图。由于功率和电压平方成正比，那么相应的 E/E_{max} 值平方后绘制图形，即得功率方向图。

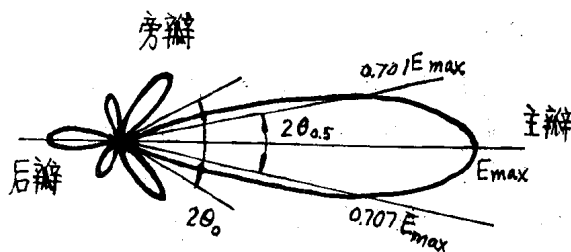


图 1-1

二、主瓣宽度

天线方向图主瓣最大值两边半功率通量密度方向间的夹角（即场强为最大值的 $1/\sqrt{2}$ 的两个方向间的夹角）称为半功率波瓣宽度，以 $2\theta_{0.5E}$ ， $2\theta_{0.5H}$ 表示。

零功率宽度是主瓣最大值两边零辐射方向之间的夹角。以 $2\theta_{0E}$ ， $2\theta_{0H}$ 表示。

波瓣宽度一般都是指半功率波瓣宽度。

主瓣宽度愈窄，方向性愈好。

三、旁瓣电平

旁瓣电平是以主瓣最大值为基准的，它是最大旁瓣的极大值与主瓣的最大值之比。必须尽可能使方向图中的旁瓣小些，有了旁瓣就会使一部分辐射能量白白向空间不必要的方向散失掉。雷达天线的旁瓣除了引起能量散失外，还可能对测定目标的方向引起错误。

四、方向系数

方向图只能表示一个天线各个方向辐射强度的相对大小。为了比较不同天线定向辐射能力，引入“方向系数”这一个参量。它说明天线在空间集中辐射能力。

在确定方向系数时，通常我们以理想的无方向性天线作为比较的标准，无方向性天线在各个方向的辐射强度相等，其方向图为一球面。方向系数的定义是：

定向天线最大辐射方向功率通量密度和各向均匀辐射的天线（即无方向性天线）的功率通量密度之比（设两天线总辐射功率相等，观察点对天线的距离相等）称为天线的方向系数。

$$D = \frac{S_m}{S_0} = \frac{E_m^2}{E_0^2}$$

一个天线的方向系数的大小表示它的定向辐射能力比均匀辐射大多少倍。

五、效率

天线效率是辐射功率和输入到天线的总功率之比

$$\eta = \frac{P_{\text{辐射}}}{P_{\text{输入}}}$$

对于长波天线 $\eta = 10 \sim 40\%$ ，中波天线 $\eta = 70 \sim 80\%$ ，短波天线 $90 \sim 95\%$ ，超短波天线 100% 。

六、增益

当输入功率一定时，发射天线在空间某点产生的场强与效率 η 和方向系数 D 有关系，为了比较全面地表征天线的特性，引入另一个参数，叫做“增益”。

增益的定义是：当输入功率相等的情况下，定向天线的最大辐射方向上空间某一点的功率通量密度与无方向性天线同一点功率通量密度之比。

天线的增益等于天线的方向系数 D 和天线的效率 η 的乘积（比较上述两个定义就可以得出）

$$G = \eta \cdot D$$

对于大多数超高频天线，效率等于 1，故增益等于方向系数。在超高频天线中，增益可达几千至几万以上。

无线电技术中广泛地采用功率或场强的比值的对数来表示，其单位为奈培或分贝。在表示功率的比值时，分贝数为

$$N = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad \text{分贝 (db)}$$

因此天线的增益也常用分贝来表示

$$G \text{ (分贝)} = 10 \log_{10} G$$

增益与半功率波瓣宽度的关系是

$$G = \frac{15000 \sim 42000}{(2\theta_{0.5E})(2\theta_{0.5H})}$$

分子的数值与主瓣形状及旁瓣数多少及大小有关。对于针状波束，或 $\theta_E/\theta_H < 4$ 时，分子为 27000，即

$$G = \frac{27000}{(2\theta_{0.5E})(2\theta_{0.5H})}$$

七、极化

波的极化是指空间某点电场强度矢量的方向随时间的变化规律，通常用电场强度矢量的端点在空间描出的轨迹来表示。电磁波的极化有三种形式：线极化，圆极化，和椭圆极化。

线极化——当电场矢量取向不变，电场矢量端点的轨迹为一一直线时，称为平面极化或线极化。水平极化与垂直极化是平面极化的特例。

当电磁波的电场矢量与地面垂直时，称为垂直极化；与地面平行时称为水平极化。

极化问题具有重要的意义，例如在水平极化电波的电磁场中，安排垂直的天线，则这天线不会感应出电流。

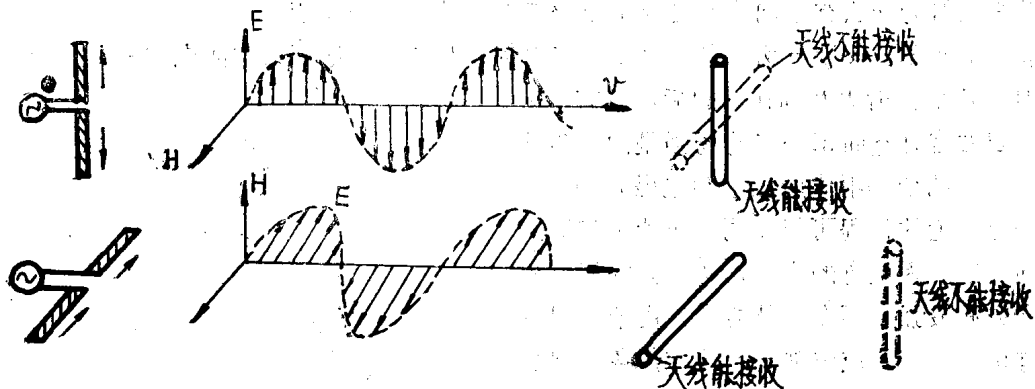


图 1-2

接收天线的轴的方向与极化方向愈一致，则在天线上产生的感应电动势就愈大。

圆极化——当电场的振幅是常量而矢量以 ω 的速度围绕传播方向旋转时，称为圆极

化。圆极化波可以看作两个幅度相等、频率相同、电场强度互相垂直而相位差 90° 的线极化波所合成的结果。

在雷达侦察与干扰中及减少雨雪干扰等方面，圆极化天线有特殊的应用。

椭圆极化——在一周期内，电场矢量的大小和方向都在变化，在垂直于传播方向平面内电场矢量端点的轨迹为一椭圆，称为椭圆极化。

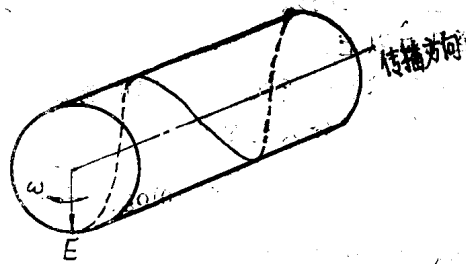


图 1-3

八、阻抗

天线的输入阻抗就是输入电压与输入电流的比值，研究天线的输入阻抗的意义在于工作时能够使天线与馈线匹配，从而达到提高传输效率的目的。在最佳匹配情况下，馈电设备传输能量的效率最高，功率容量最大。

九、天线的通频带

上述天线参数符合规定的技术要求时的工作频率范围，称为天线的通频带。

无论是关于方向性的参数或指标，或关于能量转换的参数或指标（阻抗和效率）都是工作频率的函数。天线参数在容许变化范围内的频率范围，就叫天线的频带。天线频带的宽窄取决于它的参数随频率变化的快慢和容许变化的范围。

一般超高频天线的频带在 10% 或 5% 以下（指 $\frac{\Delta f}{f_0}$ ），圆柱螺旋天线约为 2:1。极宽频带天线（对数周期天线）可达 10:1 或 20:1。

§ 2 多元阵天线的方向图

天线辐射为什么有方向性？这要用电磁波的干涉作用来说明。

举一个例子。假设有两个点辐射体，它们都向四周均匀地辐射球面电磁波，没有方向性。但是两个辐射体并列在一起后，就有了方向性。因为这时空间每一点的场强是两个电磁波的合成。两个辐射体所辐射的电磁波到达空间同一点所走的行程可能相同也可能不相同；视方向而定。因此有的方向，两个波的相位相同，合成波最强。而在另外方向，由于行程不同而有相位差，合成波就弱。这样，各方向强弱不均匀，出现了方向性。

(a) 设两个辐射单元的距离是 d ，它们辐射的电场振幅一样大，出发时的相位也一样。现在来研究空间某一点 P 的场强。取两个辐射单元的中点为原点，从 P 点到原点的连线

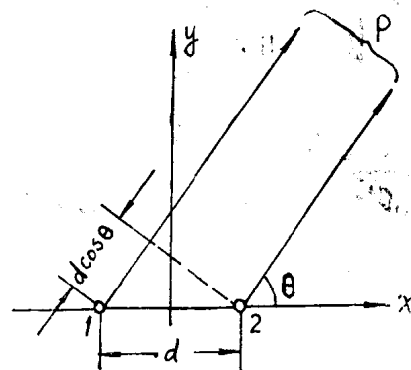


图 1-4

即为电波到达该点的传播方向，我们称为电波射线。由于 P 点足够远，两个辐射单元到达 P 点的射线可视为互相平行。

两辐射单元在 P 点的场强分别为

$$E_1 = E_m \sin(\omega t - kr_1)$$

$$E_2 = E_m \sin(\omega t - kr_2)$$

$k = 2\pi/\lambda$ ， ω —电磁波的角频率，

r_1, r_2 分别为 P 点到辐射单元 1, 2 的距离。

两射线到达 P 点的波程差为 $r_1 - r_2 = d \cos \theta$ ，它们的相位差为 $k d \cos \theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \cos \theta$ 。

设 $d = \lambda/2$ ，则相位差为 $\pi \cos \theta$ 。

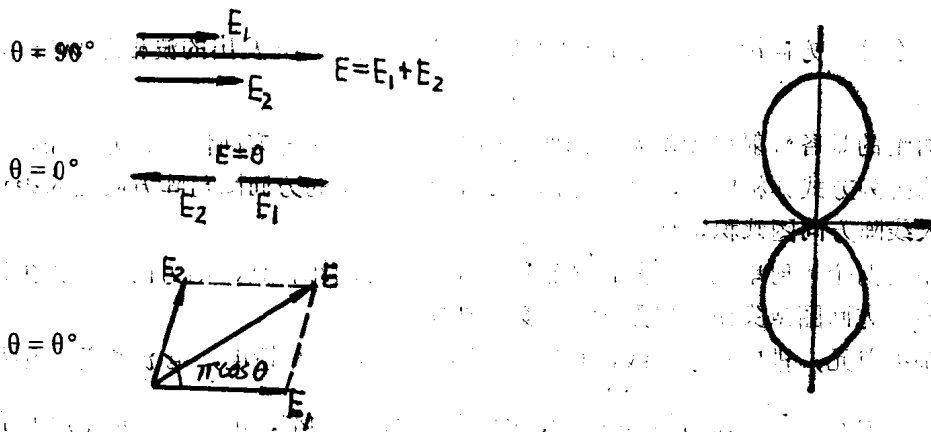
当 $\theta = 90^\circ$ ， $\cos \theta = 0$ ， E_1 和 E_2 没有相位差，两波同相位，合成波最强。

$\theta = 0^\circ$ ，行程差 $\lambda/2$ ，相位差为 π ，两波反相，完全抵销，合成波为零。

$0^\circ < \theta < 90^\circ$ 的方向，相位差为 $\pi \cos \theta$ ， $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ ，

$$|\vec{E}| = 2 |\vec{E}| \cos\left(\frac{\pi \cos \theta}{2}\right)$$

合成波的场强介乎最大值与零之间。两辐射单元的平面方向图如图 1-5。



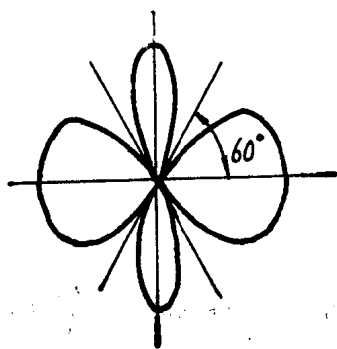
$d = \frac{\lambda}{2}$ 时，二元阵的方向图

图 1-5

从上面的例子可得出结论：天线在各方向场强大小分布不均，主要是天线上存在许多辐射单元，它们辐射的电磁波在空间不同方向上有波程差因而发生干涉的结果。而方向图的形状还和各辐射单元的场强大小（振幅）、辐射单元之间的距离 d 及起始相位有关。

(b) 如果辐射单元 1 的起始相位比辐射单元 2 超前 $\frac{2\pi}{\lambda} d \cos \theta_1$ ，其最大辐射方向就在 θ_1 与 $-\theta_1$ 的方向，同时方向图的图形也发生了相应的变化。

(c) 如果辐射单元间的距离为 λ ，则方向图如图 1-6。 $\theta = 0^\circ$ ，两波同相合成波最强。 $\theta = 60^\circ$ 时，两波相位差 $2\pi \cos 60^\circ = \pi$ ，两波反相，完全抵消，合成波等于零。 $\theta = 90^\circ$ 时，两波相位差 $2\pi \cos 90^\circ = 0$ ，两波同相，合成波又是最强。



$d = \lambda$ 时，二元阵的方向图
图 1-6

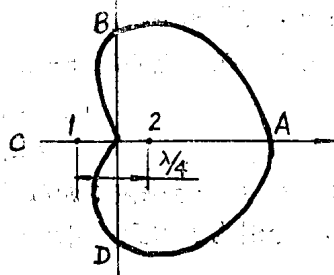


图 1-7

(d) 如果两辐射单元相距为 $\lambda/4$ ，辐射单元 1 的起始相位比辐射单元 2 超前 90° ，则其方向图如图 1-7。只在一个方向上有最大的辐射。因为在 OA 方向，辐射单元 1 的波虽然多走了 $\lambda/4$ 的路程，但其起始相位比辐射单元 2 超前 90° ，结果两个波在 OA 方向上同相，场强加倍。在相反的 OC 方向上，辐射单元 2 发出的波在起始相位上比辐射单元 1 落后 90° ，此外由于又多走了 $\frac{\lambda}{4}$ 一段路程，相位又落后 90° ，总计，它比辐射单元 1 发出的波落后了 180° ，结果两波互相抵消，在这个方向没有辐射。在 OB 及 OD 方向，两个单元发出的波相差 90° ，合成场强等于 $\sqrt{2} E_1$ 。

(e) 以上讨论的是各辐射单元均无方向性，如果各辐射单元有方向性，且方向图相同（它们在阵内的排列方式亦相同），合成方向图是单元辐射体的方向图与阵方向图的乘积。这一关系叫做天线阵方向图乘积定理。

(f) 如果不是两个辐射单元，而是许多辐射单元按一定间距排列，则方向图更为尖锐。辐射单元数愈多，方向图愈尖锐，但是旁瓣的数目也增加了。

设有几个辐射单元，排成一条直线，辐射元的间距为 d ，同相馈电，电流相等，则相同两辐射元的相位差为 $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \cos \theta = kd \cos \theta$ ，如以辐射元 1 为准，则各辐射元在远处 P 点的场为：

$$\begin{aligned} E_1 &= E_0 \sin \omega t \\ E_2 &= E_0 \sin (\omega t - \varphi) \\ E_3 &= E_0 \sin (\omega t - 2\varphi) \\ &\dots \dots \dots \\ E_N &= E_0 \sin [\omega t - (N-1)\varphi] \end{aligned}$$

求合成场强时，我们可用矢量法。由于各矢量振幅相等，夹角都是 φ ，故各矢量端点的轨迹必在圆上，圆的半径为

$$\frac{E_0}{2} \frac{1}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

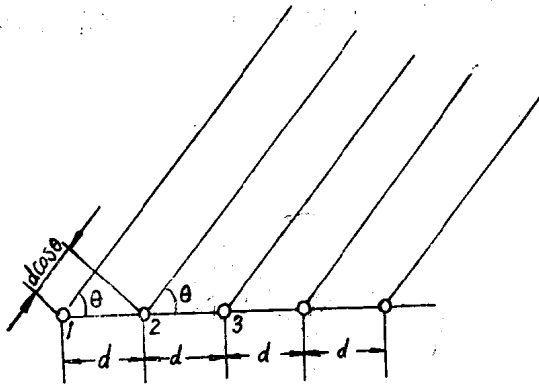


图 1-8

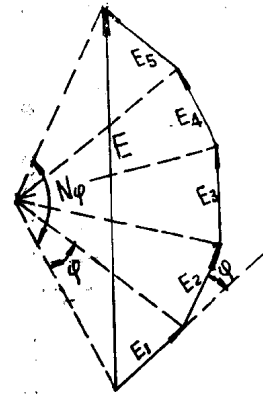


图 1-9

于是合成矢量的振幅

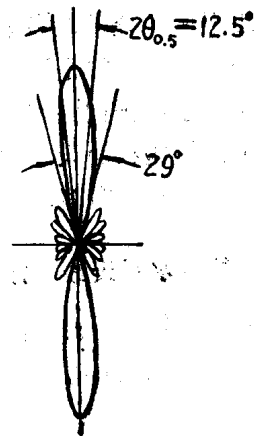
$$|E| = 2 \frac{E_0}{2 \sin \frac{\phi}{2}} \cdot \sin \frac{N\phi}{2} = E_0 \frac{\sin \frac{Nkd \cos \theta}{2}}{\sin \frac{k d \cos \theta}{2}}$$

若 $d = \frac{\lambda}{2}$, $kd = \frac{\pi 2}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} = \pi$,

$$|E| = E_0 \frac{\sin \left(\frac{N\pi \cos \theta}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\pi \cos \theta}{2} \right)}$$

八个单元相距为 $\frac{\lambda}{2}$ 的天线阵 其方向

图如图 1-10。



$N=8, d = \frac{\lambda}{2}$ 天线阵方向图

图 1-10

§ 3 振子天线

一、半波振子

半波振子是由两根导体组成的天线。通常用金属圆棒或空心圆管制成，每根长 $\lambda/4$ ，总长为 $\frac{\lambda}{2}$ 。它是四分之一波长的开路线展开成一直线而形成。在振子中产生了驻波，电流和电压沿振子的分布与 $\frac{\lambda}{4}$ 波长的开路线一样。当振子总长为 $\frac{\lambda}{2}$ 的整数倍时，处于谐振状态，输入阻抗最小，而且是纯电阻。

为改善振子宽频带性能，采用直径较粗的振子， $2\rho/l$ 可选在 $1/5 \sim 1/20$ 范围内。由于

振子直径加粗，谐振长度减小了。实际上作为辐射器用的振子，其谐振长度在 $0.45 \sim 0.49\lambda$ 之间。

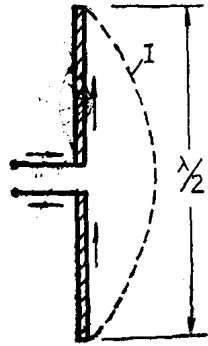
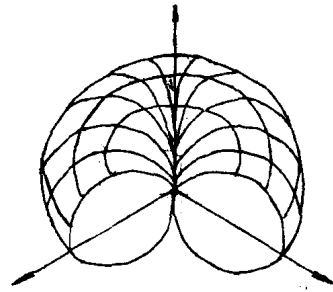


图 1-11



半波振子的立体方向图

图 1-12

我们设想把振子分成很多小段，每一小段当作一个辐射元，那末，半波振子在空间远处任何一点的场，可以认为是许多辐射单元所产生的场的叠加结果。其立体方向图如图 1-12。

半波振子的方向性很差，其波瓣宽度为 78.2° 。单个振子在超高频波段很少作为独立的天线，常作为抛物面天线的辐射器。

为得到窄的方向图，常采用若干个振子组成的系统。

二、同相水平天线（振子阵天线）

它是由许多个形状、构造、性能等全部相同的半波振子排列组成。这些振子排在同一个平面内，成 n 行， m 列。每一列中，振子的轴线应在一条线上，而每一行的振子互相平行。

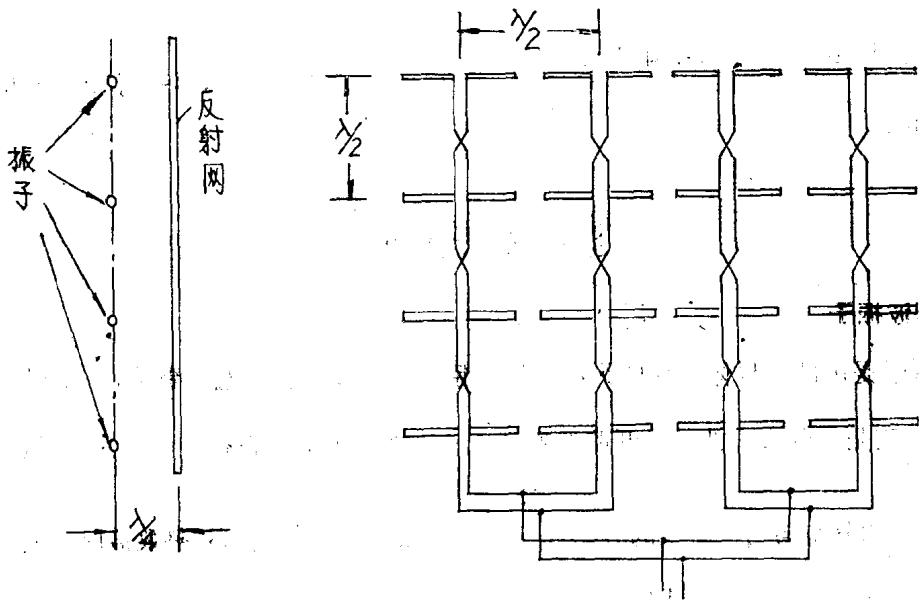


图 1-13

两相邻行间的距离严格保持 $\frac{\lambda}{2}$ ，相邻列间的距离亦应严格保持为 $\frac{\lambda}{2}$ 。各振子的激励电流相位相同。网状反射器与振子相距为 $\frac{\lambda}{4}$ ，这样使天线能量只向前方辐射。

增加每一列中半波振子数目，可使水平平面内波束变窄。增加每一行中半波振子数目，可使垂直平面内波束变窄。

半功率波瓣宽度可按 $2\theta_{0.5} = 51 \frac{\lambda}{Nd}$ 计算。很明显，半波振子数目增加，可使方向图更尖锐。但是，这样天线尺寸庞大，结构上会迂到很多困难。

三、引向天线（八木天线）

引向天线是由一个有源振子和若干个无源振子构成的。

有源振子是用馈线与发射机或接收机相连接。无源振子之一作反射器用，而其余是作引向器使用。所有振子都排列在同一平面上，且垂直于连接它们中心的金属杆。

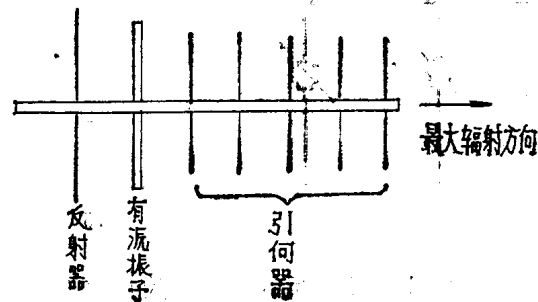


图 1-14

金属杆通过振子上的电压波节点，由于金属杆垂直于天线的电场，所以它对天线场的结构不会有显著的影响。

由于有源振子是在它的中心馈电的，因此它不能象无源振子那样和金属杆直接接触，它必须和金属杆绝缘，并与馈线连接。

通常反射振子比有源振子稍长，约长5~15%，引向振子比有源振子稍短，约短5~15%。反射器通常为—根，因为—根反射器差不多已使背面没有辐射了。引向器数目愈多，则波瓣图愈尖锐。但引向器数目过多，天线尺寸过大，一般不多于十根。

从结构上看，引向天线结构简单，制造方便，且成本低廉。引向天线常用于米波和分米波波段。一般半功率波瓣宽度为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

为了获得更高的方向性，可采用几个同相馈电的引向天线组成的引向天线阵。

§ 4 相控阵天线的原理

相控阵雷达的天线由许多相同的辐射单元组成（每个单元可以是一个缝隙、一个振子等），各个单元的高频相位可以分别控制。下面进行说明时，为了简单起见，将以直线阵为例，它的结论同样适用于面阵天线。

如图1-15，设所有的辐射单元被同相激励，如前所述，等相波前是与天线孔径平行的，最大的辐射方向是与天线孔径垂直的法线方向。在与法线偏离 θ 角的方向，电磁场不是同相

相加，因此辐射的强度减弱。设相邻两个单元的距离为 d ，那么它们沿 θ 方向辐射的电磁波有一个由于距差 $d \cdot \sin\theta$ 所引起的相位差 $\frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \sin\theta$ 。

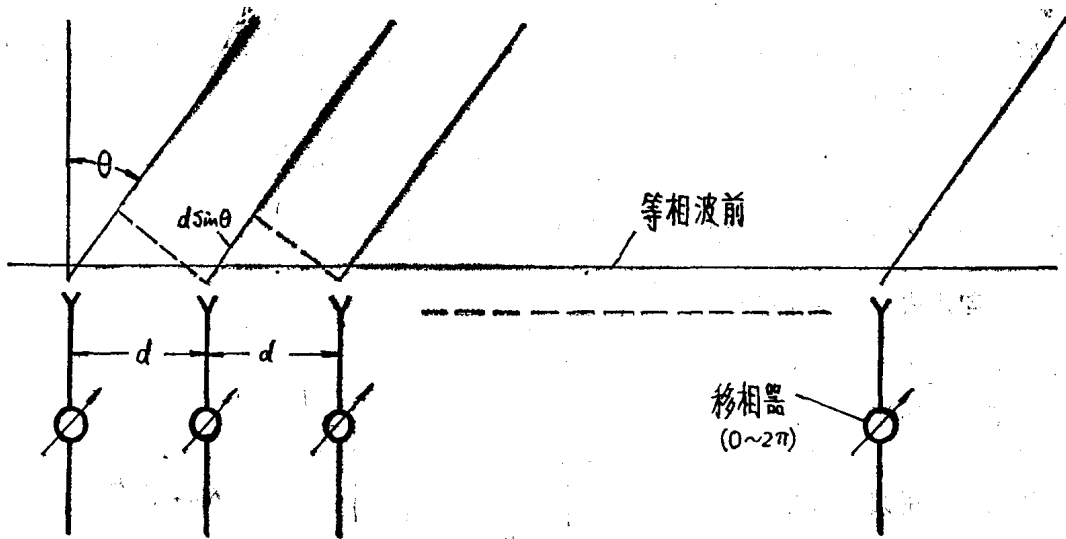


图 1-15

当辐射单元的数目很多，而单元之间的距离又很近时，方向图的半功率点宽度是

$$2\theta_{0.5} = \frac{50\lambda}{Nd} \quad (\text{度})$$

如果我们希望不是非法线方向，而是在与法线成某一角 θ_0 方向得到最大的辐射强度，就不能对各个辐射单元同相馈电，而是按给定的方向 θ_0 。在馈电时对各个单元适当地移相。由于辐射单元之间有相差，在图中天线右边的单元比相邻的左单元向 θ_0 方向辐射时要少走 $d \cdot \sin\theta_0$ 这样一段距离，在同相馈电时，它的相位就比左邻的相位提前 $\frac{2\pi d}{\lambda} \sin\theta_0$ 。因此，

要这两个辐射单元在 θ_0 方向的电磁场同相相加，就要把右邻单元的相位迟后 $\frac{2\pi d}{\lambda} \sin\theta_0$ ，

以补偿由于距离差所引起的提前量。按照这样的道理，调整全部辐射单元的相位，就可以在 θ_0 方向得到最大的辐射强度。

当辐射单元的数目很多，互相间的距离又很近时，波束的半功率点宽度为：

$$2\theta_{0.5} \approx \frac{50\lambda}{Nd \cdot \cos\theta_0}$$

可见最大辐射方向偏离法线以后，波束的宽度将要增加，这是必然的，因为在其它任何方向的孔径有效尺寸与法线方向的相比总是减小了。

通常相邻辐射单元之间的距离 d 取为 $\lambda/2$ ，这时候， N 个辐射单元所构成的面天线将得到一针状波束，它沿法线方向波束的半功率点宽度 $2\theta_{0.5}$ 与 N 的关系是：

$$N = \frac{10000}{(2\theta_{0.5})^2}$$

或者

$$2\theta_{0.5} = \frac{100}{N}$$

这样的天线，当调整相位使得在 θ_0 方向得到最大辐射强度时，天线的增益为

$$G(\theta_0) = \pi N \cos \theta_0$$

从以上这些关系可以知道，当波束宽度要求为 1° 时，面天线的辐射单元总数大约是 10000，法线方向的天线增益约为 30000。当最大辐射方向为 $\pm 60^\circ$ 时，波束宽度的增大到 2° ，天线增益下降到 15000。所以通常规定相控阵天线的扫描范围不超过 $\pm 60^\circ$ 。

§5 喇叭天线

电磁波也可以从开口波导向空间辐射，但辐射效果不会很好。因为波导和自由空间的特性阻抗不一样，因而会有反射存在。为了避免波导末端的反射，将波导逐渐地张开就成为喇叭天线。因为波导逐渐地张开，使得逐渐地过渡到自由空间，因此可以改善波导与空间的匹配。另外，喇叭的口径较大，用喇叭可以形成较好的定向辐射（我们可以把喇叭口面内的电磁场分布看作相当于许多靠得很近的辐射体，在空间不同方向上引起波程差发生干涉的结果）。

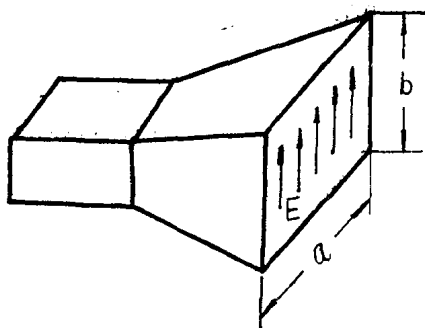


图 1-16

喇叭尺寸与波瓣宽度的关系是：

$$2\theta_{0.5E} = 51 \frac{\lambda}{b} \text{ (度)};$$

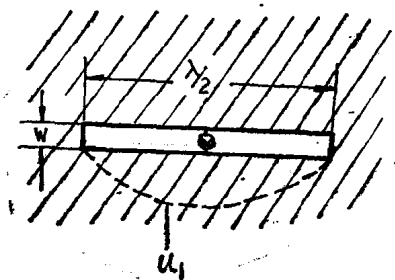
$$2\theta_{0.5H} = 68 \frac{\lambda}{a} \text{ (度)}.$$

喇叭尺寸愈大，方向图主瓣愈窄，增益愈大。

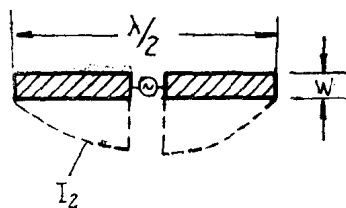
喇叭天线通常作为辐射器，其优点是：

- ① 频率特性好，可以适用于较宽的频率。
- ② 方向图一般只有很不显著的旁瓣。
- ③ 将喇叭放成一排时，相互间几乎完全没有影响。

§6 裂缝天线



(a) (理想的裂缝天线)



(b) (等效的振子天线)

图 1-17

在波导或空腔谐振器上开有一孔或几个裂缝以辐射或接收电磁波的天线，叫裂缝天线。

裂缝天线的优点是没有凸起的部分，因此如果装在飞机上，不带来附加空气阻力。裂缝本身可以填以某种能量损耗很小的介质，如聚苯乙烯。

根据二重性原理：单个裂缝可以和一个半波振子相当，只要将电场矢量与磁场矢量互换一下。即裂缝天线在缝中及其周围空间的电磁场强 \vec{E}_1 和 \vec{H}_1 的方向是空间各点坐标的函数，且分别与等效振子在该点的场强 \vec{H}_2 及 \vec{E}_2 的方向相同。米波振子的电场是沿着轴线方向，而裂缝天线的电场与裂缝方向垂直。

裂缝方向应与电流线垂直。如果在波导管壁上，沿着电流方向或者零值电流线方向，开出一条窄缝，那末这条窄缝对波导管内电流分布的影响极小，甚至实际上电磁能都不能经过这条缝向空间辐射出去。

如果裂缝的方向垂直于电流线，这些电流将通过这条缝由波导管内腔向外空间流动而发射出去。

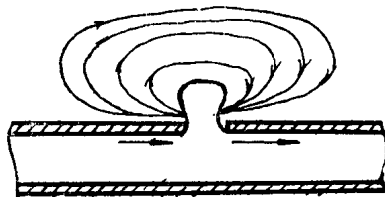


图 1-18

矩形波导管壁上的电流分布如图1-19，电流最大密度出现在波导管的窄壁以及波导管宽边邻近窄壁的边缘等处，沿宽边中线电流等于零，为了获得最大的辐射，必须使裂缝横截电流密度最大处的电流线。

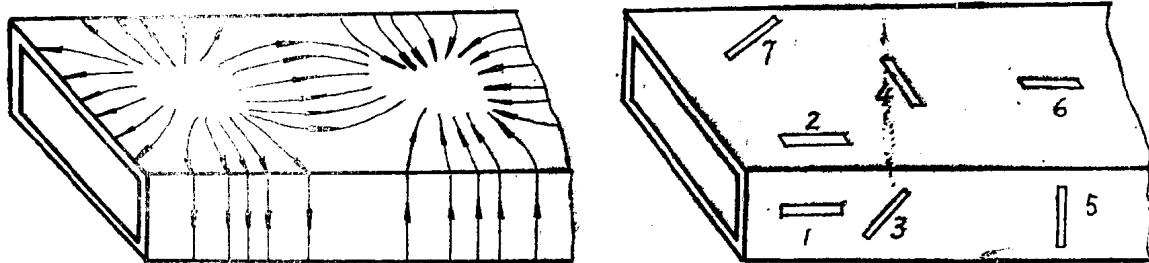


图 1-19

根据上述道理，缝5和缝6不能用来做天线，因为缝向沿着电流线方向，为了产生最大

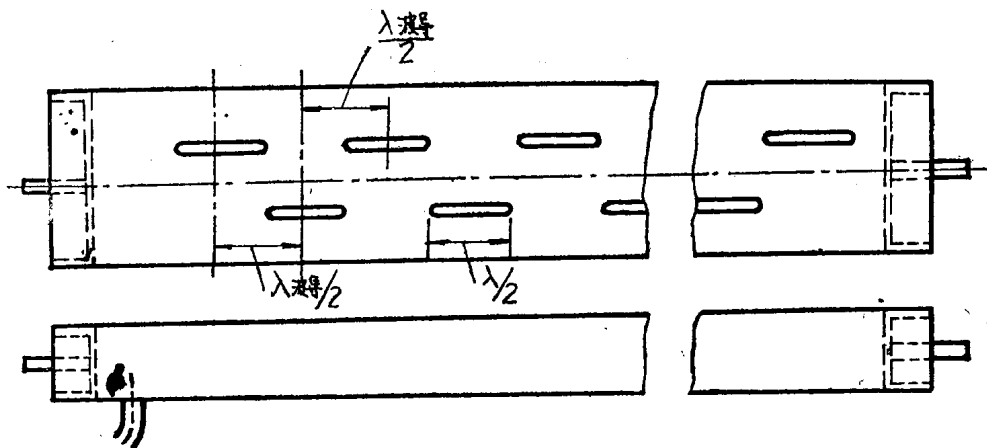


图 1-20

的辐射，裂缝应开在 1,2 等处，裂缝 3,4 也能很好地辐射，因为这些裂缝都与电流线交叉。

象单个振子一样，裂缝天线的方向性较差，为了提高天线的方向性，采用在波导的一个壁上开有一系列裂缝的多裂缝天线。图 1-20 所示是在波导宽壁上具有纵向裂缝的、同相激励的多裂缝天线。裂缝对中心线偏移一个距离，各裂缝在波导管轴向的相互距离等于半波导波长。因为波导壁上的横向电流，每经过半波长、相位就改变 180° ，为了获得同相激励，裂缝应在中心线的两则交替地分布。

上述天线的缺点是频带太窄，因 1-21 是在波导窄壁上开有倾斜裂缝的同相天线，可得较宽的频带。这些裂缝中心之间的距离等于半波导波长。为了保证激励电流的同相性，裂缝交叉地作不同方向的倾斜。

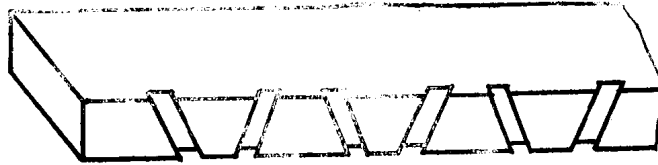


图 1-21

§7 透镜天线

透镜天线由辐射器和透镜所组成，辐射器放在透镜的焦点上，辐射器是一方向性较差的天线，如喇叭。

透镜的作用是把辐射器所辐射的球面波变为平面波，电磁波经过透镜后，在距离透镜较近之处保持平面波形式，但由于电磁波在空间发生绕射，因而在距离较远之处又变为球面波。虽然如此，透镜天线的方向图尖锐多了。

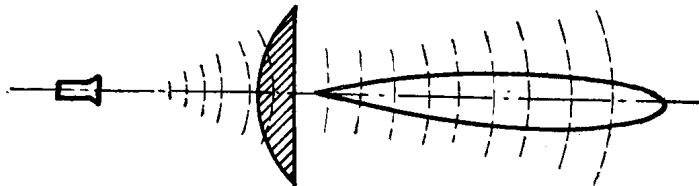


图 1-22

透镜天线与光学透镜相似，它是利用①电磁波在空气中与在介质中传播速度不同，以及②电磁波通过两种不同介质分界面时发生折射的原理。

透镜分介质透镜和金属加速透镜两种

一、介质透镜

采用超高频中损耗较小的介质如聚苯乙烯，聚四氟乙烯制成，其折射率 n 为介电常数的平方根。介质透镜是根据几何光学中两个基本原理而设计的：①电磁波通过两种不同介质的

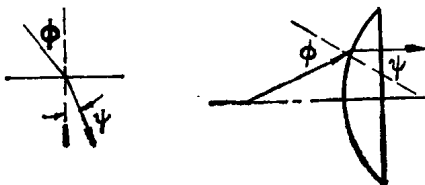


图 1-23

分界面时的折射定律： $n = \frac{\sin\phi}{\sin\psi}$ 。而波在

介质中的传播速度 V_ϕ 小于波在空气或真空中的传播速度 C ，后者与前者之比等于折射率（可用光的波动说证明） $n = \frac{C}{V_\phi} > 1$ 。所以 $\phi >$