天线的基本参数

E 面（xz 平面，$\varphi = 0$）；H 面（xy 平面，$\theta = \pi/2$）

常规方向图函数：$E_\theta = E_0\frac{e^{-j\beta r}}{r}f(\theta,\varphi)$ E_0是与坐标无关的常数；$\beta = 2\pi/\lambda$ 是相位常数

$H_\varphi = \frac{E_\theta}{\eta_0}$ $\eta_0 = 120\pi$ 是自由空间波阻抗；$f(\theta,\varphi)$ 是空间方向图函数

天线方向图一般呈花瓣状，称之为波瓣或波束。 其中包含最大辐射方向的波瓣称之为主瓣，其它的称 为副瓣或旁瓣，并分为第一副瓣、第二副瓣等，与主瓣方向相反的波束称为后瓣或尾瓣。

归一化方向图：$F(\theta,\varphi) = \frac{f(\theta,\varphi)}{f(\theta_m,\varphi_m)}$

方向性系数：$D(\theta_0,\varphi_0) = \frac{4\pi f^2(\theta_0,\varphi_0)}{\int_0^{2\pi}d\varphi\int_0^\pi f^2(\theta,\varphi)\sin\theta d\theta}$ 或 $D(\theta_0,\varphi_0) = \frac{4\pi F^2(\theta_0,\varphi_0)}{\int_0^{2\pi}d\varphi\int_0^\pi F^2(\theta,\varphi)\sin\theta d\theta}$

如果方向图旋转对称（与φ无关）则：$D(\theta_0) = \frac{2F^2(\theta_0)}{\int_0^\pi F^2(\theta)\sin\theta d\theta}$

D 是最大辐射方向上的方向性系数：

$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi}d\varphi\int_0^\pi F^2(\theta,\varphi)\sin\theta d\theta}$ 此时若与φ无关：$D = \frac{2}{\int_0^\pi F^2(\theta)\sin\theta d\theta}$ 且有：$D(\theta,\varphi) = D\cdot F^2(\theta,\varphi)$

主瓣宽度（3dB 波束宽度）：指方向图主瓣上两个半功率点(或场强下降到最大值的 0.707 倍处或分贝值从最大值下降 3dB 处对 应的两点)之间的夹角：记为 $2\theta_{0.5}$。

副瓣电平：指副瓣最大值与主瓣最大值模值之比， 通常用分贝表示。 $SLL_i = 20\log\frac{|E_{imax}|}{|E_{max}|}$

辐射强度：天线在单位立体角内辐射功率 $P_r = \frac{E_0^2}{2\eta_0}\int_0^{2\pi}d\varphi\int_0^\pi f^2(\theta,\varphi)\sin\theta d\theta$

天线效率：$\eta_a = (1-|\Gamma|^2)\frac{P_r}{P_r+P_l} = \eta_r\eta_{cd}$ $P_i = (1-|\Gamma|^2)P_{in} = P_r + P_l$ 是天线实际吸收功率. P_{in}是天线馈电端输入的实功率。$(1-|\Gamma|^2)$为反射失配效率。

天线增益：$G(\theta_0,\varphi_0) = \frac{P_{in0}}{P_{in}} = \frac{P_r}{P_{in}}\frac{P_{r0}}{P_r} = \eta_a D(\theta_0,\varphi_0)$ 在某方向产生相同电场强度的条件下，理想点源 的输入功率 Pin0 与某天线输入功率 Pin 的比值。

天线极化：电磁波的极化是指：在空间某位置上，沿电磁波的传播方向看去，其电场矢量在空间取向随时间变化所描绘出的轨迹。**定义**：在最大增益方向上，作发射时其辐射电磁波的极化，或作接收时能使天线终端得到最大可用功率的来波的极化。**极化损失系数**用 K 的定义为：接收到的功率 P_{re} 与入射到接收天线上的功率 P_i 之比。即$K = P_{re}/P_i$。不需要辐射或接收的极化波称为**交叉极化**（正交极化）。**极化匹配**是指：在最 大指向方向对准的情况下，收、发天线的极化一致。

有效面积：在天线极化完全匹配，以及负载匹配的状态下，天线在某方向上接收并传输至负载的功率 $P_{re}(\theta,\varphi)$ 与入射的均匀平面波功率密度 W_i 之比。$W_i = |E_i|^2/2\eta_0$，E_i为入射波场强。

有效长度：天线上的开路感应电压V_A与具有相同极化的均匀平面波入射电场E_i之比L_e。

口径效率：S_e/S 有效面积/物理面积

输入阻抗：$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$；$R_{in} = R_r + R_l$。$R_l$是天线热损耗电阻$R_r = 2P_r/I_m^2$是天线辐射电阻（"吸收"天线全部辐射功率的电阻，其上流过的电流为天线上的波腹电流）。

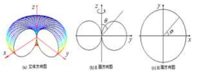
波束效率：ε_b是天线在某锥角 $2\theta_0$ 内辐射/接收的功率与其在整个空间辐射/接收的总功率之比。

天线的方向图 $E_\theta = j\eta_0\frac{Idz}{2\lambda r}\sin\theta e^{-j\beta r}$

元天线

（基本振子或电流元）$H_\varphi = j\frac{Idz}{2\lambda r}\sin\theta e^{-j\beta r}$

$F(\theta) = \sin\theta$ $E_r = E_\varphi = H_r = H_\theta = 0$



$R_r = \frac{2P_r}{I^2} = 80\pi^2\left(\frac{dz}{\lambda}\right)^2$；$D = \frac{2}{\int_0^\pi F^2(\theta)\sin\theta d\theta} = 1.5$ $S_e = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)D = \frac{3\lambda^2}{8\pi}$

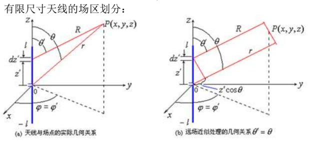
元天线场区划分：

■近场区，电磁场在时间上相位相差 π/2，在某一时刻电场最大时磁场最小，磁场最大时电场最小，为振荡电磁场，没有向外辐射的能量：(βr<<1)

■中场区，开始有向外辐射的能量，但存在交叉极化电场分量 Er，使得在 r 与 θ 组成平面内的合成电场为椭圆极化波：(βr>1)

■远场区，辐射电磁场只有 Eθ 和 Hφ 分量，在时间上二者同相，空间上它们互相正交并垂直于传播方向，形成线极化横电磁波：(βr>>1)

有限尺寸天线的场区划分：



感应近场区：$0 \le r \le 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$

辐射近场区（菲涅尔区）：$0.62\sqrt{D^3/\lambda} \le r \le 2D^2/\lambda$

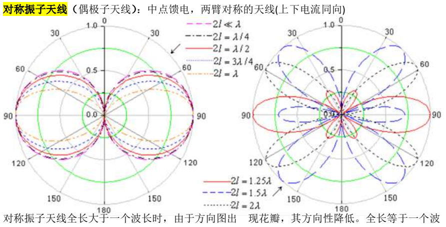
远区场：$2D^2/\lambda \le r \le \infty$

（D 是天线尺寸）（远场近似）

$R = r - z'\cos\theta$ 对相位

$R = r$ 对幅度

对称振子天线（偶极子天线）：中点馈电，两臂对称的天线(上下电流同向)



对称振子天线全长大于一个波长时，由于方向图出 现花瓣，其方向性降低。全长等于一个波长时的方向性 最强，但是馈电点处的电流为零，其输入阻抗为无穷大， 难以匹配。因此，实际中一般多采用半波振子天线。

$f(\theta) = \frac{\cos(\beta l\cos\theta) - \cos(\beta l)}{\sin\theta}$ $f_{max} = f(\theta_m) = 1 - cos(\beta l)$ $S_e = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)D$

沿着 y 轴放置时：$\cos\theta_y = \hat r\cdot\hat y = \sin\theta\sin\varphi$。沿 x 轴放置时$\cos\theta_x = \sin\theta\cos\varphi$

$L_e = \frac{\lambda}{\pi}\frac{1-\cos(\beta l)}{\sin(\beta l)} = \frac{\lambda}{\pi}\tan\left(\frac{\beta l}{2}\right), l \le 1.44, l \ne \lambda$ $R_{in} = \frac{R_r}{\sin^2(\beta l)}$ $D = 2f^2(\theta_m)/Q$

$R_r = 60Q$ $D = \frac{120f_{max}^2}{R_r}$ $Q = \int_0^\pi f^2(\theta)\sin\theta d\theta$

半波振子： 2l = λ/2； $L_e = \lambda/\pi$。Q = 1.2175, $R_{in} = R_r = 73.1\Omega$。线极化

全波振子： 2l = λ； $L_e = \infty$ $R_r = 199\Omega$。短振子： $L_e = l$。

谐振长度是输入阻抗虚部为 0 时的长度

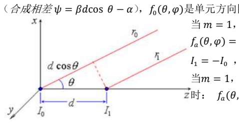
单行波天线：指载有行波电流的直线天线，它可以是菱形天线的一条边，也可以是单独构成地面上的长线行波天线。

方向图函数：$f(\theta) = \frac{\sin\theta}{\xi - \cos\theta}\sin[\beta l(\xi - \cos\theta)/2]$； $\xi = \beta'/\beta = \lambda/\lambda' = c/v$。v 为电流波在线上的传播速度。（无耗时$\xi = 1$）。特点： ■l/λ 愈大，主瓣愈靠近天线轴，主瓣宽度愈窄，副瓣愈多。 ■无耗时，两个波瓣之间出现零值，有耗时则无零值。

单驻波天线：取对称天线的一个臂，构成单线驻波天线。天线一 段馈电，一段开路。

天线阵：目的-提高天线的增益或方向性系数；组成阵列天线的独立单元-天线单元或阵元。直线阵或平面阵/共形阵。

普通二元阵：$E_T = j\frac{60I_0}{r_0}e^{-j\beta r_0}f_0(\theta,\varphi)[1 + me^{j(\beta d\cos\theta-\alpha)}]$。m 是两单元电流幅度比，a 是相位差。 $f_T(\theta,\varphi) = f_0(\theta,\varphi)f_a(\theta,\varphi)$。$f_a(\theta,\varphi) = (e^{-j\psi/2} + me^{j\psi/2})$是阵因子（合成相差$\psi = \beta d\cos\theta - \alpha$），$f_0(\theta,\varphi)$是单元方向图函数。

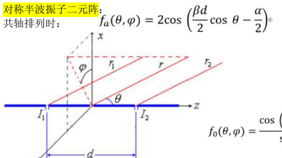


当 m = 1，α = 0（即 $I_1 = I_0$，等幅同相）时：$f_a(\theta,\varphi) = 2\cos\left(\frac{\beta d}{2}\cos\theta\right)$。 当 m = 1，α = π（即 $I_1 = -I_0$，等幅反相)时：$f_a(\theta,\varphi) = 2\sin\left(\frac{\beta d}{2}\cos\theta\right)$。

当m = 1，α = ±π/2(即$I_1 = I_0e^{\mp j\pi/2}$，且 d = λ/4 时：$f_a(\theta,\varphi) = 2\cos\left[\frac{\pi}{4}(\cos\theta \mp 1)\right]$（心脏形）

对称半波振子二元阵：$f_a(\theta,\varphi) = 2\cos\left(\frac{\beta d}{2}\cos\theta - \frac{\alpha}{2}\right)$

共轴排列时：



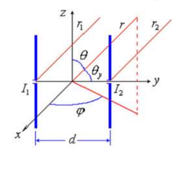
$\cos\theta_y = \hat r\cdot\hat y = \sin\theta\sin\varphi$

$\cos\theta_x = \sin\theta\cos\varphi$

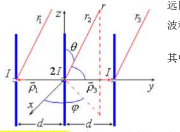
$E_i = j\frac{60I_i}{r_i}e^{-j\beta r_i}f_0(\theta,\varphi)$

$f_0(\theta,\varphi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}$

并排排列时：$f_a(\theta,\varphi) = 2\cos\left(\frac{\beta d}{2}\cos\theta_y - \frac{\alpha}{2}\right)$



对于这样一个对称半波振子三元阵：采用叠加方法处理。各单元辐射场为：



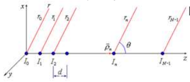
远区总场为：$E_T = E_1 + E_2 + E_3$

波程差：$r - r_1 = \hat r\cdot\vec\rho_1 = -d\sin\theta\sin\varphi$

$r - r_3 = \hat r\cdot\vec\rho_3 = d\sin\theta\sin\varphi$

其中：$I_n = I_0e^{-j\alpha}$；α是相位差

均匀直线天线阵:多个单元天线等间距排列在一条直线上，各单元的馈电幅度相等，相位均匀递变。激励电流为$I_n = I_0e^{-jn\alpha}, n = 0,1,2,\cdots,N-1$。α 为相邻两单元的激励相位差。



阵因子：$f_a(\psi) = 1 + e^{j\psi} + e^{j2} + \cdots e^{j(N-1)\psi}$

$f_a(\psi) = \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)}$ $\psi = \beta d\cos\theta - \alpha$

$F(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{N\beta d}{2}(\cos\theta - \cos\theta_m)\right]}{N\sin\left[\frac{\beta d}{2}(\cos\theta - \cos\theta_m)\right]}$ 抑制栅瓣条件：$\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{1+|\cos\theta_m|}$

f_{amax} 出现在 $\psi = 0$ 处，有$f_{amax} = \lim_{\psi\to 0}\frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} = N$。 $\cos\theta_m = \frac{\alpha}{\beta d}$ 扫描阵θ_m为最大扫描角

零点位置：对侧射式天线阵，$\theta_m = \pi/2$，第一个零点在 $m = 1$ 处

$\cos\theta_0 = \cos\theta_m + \frac{m\lambda}{nd}$ $\cos\theta_0 = \frac{\lambda}{nd}$

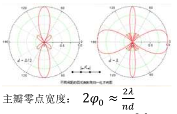
对端射式天线阵，$\theta_m = 0$，第一个零点在 $m = -1$ 处 $\cos\theta_0 = 1 - \frac{\lambda}{nd}$

波瓣宽度：不扫描且 n 很大时：对侧射阵：$2\varphi_{0.5} = 2\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0\right) \approx 51\frac{\lambda}{nd}(\circ)$

方向性系数：当 $d = q\frac{\lambda}{2}(q = 1,2,\ldots)$ 时，即 $D = n$。在端射式天线中，当 $d = q\frac{\lambda}{4}$ 时，$D = n$。

特别的对于侧射式天线：当 $d = \lambda/2$ 时，D 与波瓣宽度的关系为$D\cdot 2\theta_{0.5} \approx 100$ $D = 4\frac{Nd}{\lambda}$

1，侧射式天线阵：$\alpha = 0$，$\cos\theta_m = 0$，$\theta_m = (2m+1)\frac{\pi}{2}, m = 0,1,2,\cdots$。

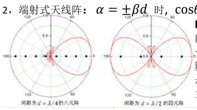


■当 $d = \lambda/2$ 时，在阵轴侧向出现最大值，而在阵轴方向辐射场为零。若单元数增加，方向图主瓣将变窄，副瓣数将增加。方向图是关于阵轴旋转对称的。

■当 $d = \lambda$ 时，将出现多个主瓣，多余的主瓣称为栅瓣。通常不希望栅瓣出现. 因此，侧射阵的单元间距应满足 $d < \lambda$.

主瓣零点宽度：$2\varphi_0 \approx \frac{2\lambda}{nd}$

2，端射式天线阵：$\alpha = \pm\beta d$ 时，$\cos\theta_m = \pm 1$，得$\theta_m = 0$或π。



■当 $d = \lambda/4$ 时，端射阵方向图只有一个指向阵轴方向的主瓣。当 $d = \lambda/2$ 时，端射阵方向图在阵轴的两个方向均出现最大值，说明出现了栅瓣。为了抑制栅瓣的出现，其间距应满足 $d < \lambda/2$。端射阵方向图也是关于阵轴旋转对称的，且当单元数增加时，方向图主瓣将变窄，副瓣数将增加。

主瓣零点宽度：$2\varphi_0 = 2\sqrt{\frac{2\lambda}{nd}}$ $2\theta_{Bm} = 2\theta_{xm}\cdot 2\theta_{ym}$

均匀平面天线阵：$D = \frac{4\pi}{\lambda^2}S = 4\pi\frac{N_xd_x}{\lambda}\cdot\frac{N_yd_y}{\lambda}$ $F(\theta,\varphi) = \frac{\sin\left(\frac{N_x}{2}\psi_x\right)}{N_x\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)}\cdot\frac{\sin\left(\frac{N_y}{2}\psi_y\right)}{N_y\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)}$

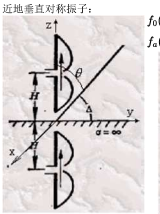
地面对天线方向图的影响：地面或载体受天线影响产生二次场，与天线相互干涉

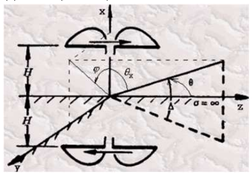
1，镜像法：把导电平面对天线方向图的影响归结为求天线及其镜像天线组成的二元阵的方向图函数问题。 $\Delta = \pi/2 - \varphi$

近地垂直对称振子：

$f_0(\theta) = \frac{\cos(\beta l\cos\theta) - \cos\beta l}{\sin\theta}$ $f_a(\theta,\varphi) = 2\sin(\beta H\cos\theta_x)$

$f_a(\theta) = 2\cos(\beta H\cos\theta)$ $\cos\theta_x = \sin\theta\cos\varphi$





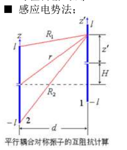
2，反射系数法：求地面的反射系数以确定反射场，则远区总场 就为天线辐射的直达波和反射波场的叠加。

天线的阻抗：

■ 坡印亭矢量法：先求得天线的辐射功率 P_r，然后由 $R_r = 2P_l/R_m$ 求得其辐射电阻。缺点：只能计算输入电阻，不能计算输入电抗；电流为正弦分布且输入端为波节时无法使用。

■ 等值传输线法;

■ 感应电势法;



平行耦合对称振子的互阻抗计算

半波振子的自阻抗为 73.1 + j42.5(Ω)

（全波振子拆解为一个共轴半波振子二元阵）

对于一个对称振子阵：$Z_{ri} = \sum_{j=1}^n\frac{I_{mj}}{I_{mi}}Z_{ij}$。

总辐射阻抗为： 对于一个全半波振子

$Z_\Sigma = \frac{2P_\Sigma}{|I_{km}|^2} = \sum_{i=1}^n\frac{|I_{im}|^2}{|I_{km}|^2}Z_{ri}$ $Z_\Sigma = \sum_{i=1}^n Z_{ri}$ $D = \frac{120f_T^2(\theta_m,\varphi_m)}{R_\Sigma}$

无源振子：一个由激励振子和一个无源振子组成的二元阵中，调节无源振子电流幅度与相位两种途径 1，改变无源振子的长度，及两振子间距，以改变其自阻抗和互阻抗 2，在无源振子上接入可变电抗调节短路点位置，可改变接入电抗的大小和相位

地面对天线阻抗的影响：

垂直接地天线：长为 l 的垂直接地天线的辐射阻抗，是全长为 2l 的自由空间对称振子辐射阻抗的一半即 $R_{rg} = \frac{1}{2}R_r$。

近地垂直和水平二元阵的情况：见地面对方向图的影响

天线接收机：接收平面电磁波，由于共轭匹配，最佳状态下只能吸收一半功率。

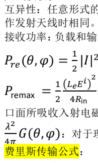
互异性：任意形式的天线用作接收天线时，它的极化、方向性、有效长度和阻抗等，均和它用作发射天线时相同。

接收功率：负载和输入阻抗共轭匹配时，有最佳工作状态。(接收最大主方向与来波方向一致)。

$P_{re}(\theta,\varphi) = \frac{1}{2}|I|^2R_L = \frac{1}{2}\frac{(L_eE')^2}{4R_{in}}F^2(\theta,\varphi)$ 当$F(\theta,\varphi) = 1$且极化相同，有最大接收功率：

$P_{remax} = \frac{1}{2}\frac{(L_eE^i)^2}{4R_{in}}$。由 $P_{re}(\theta,\varphi) = W_i\cdot S_e(\theta,\varphi)$，接收到的功率可以看成是具有面积为 S_e 的口面所吸收入射电磁波的能流。当来波电场极化方向与接收天线极化方向一致时$S_e(\theta,\varphi) = \frac{\lambda^2}{4\pi}G(\theta,\varphi)$：对于理想点源天线：G=1。

费里斯传输公式：



收发两个天线 R 与 T。都处于最佳工作状态，方位角分别为 $(\theta,\varphi),(\theta',\varphi)$。增益分别为 $G_R(\theta,\varphi)$ 和 $G_T(\theta',\varphi)$。发射天线的输入实功率为 P_{Tin}

接收功率：$P_{re}(\theta,\varphi) = P_{Tin}\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2G_T(\theta',\varphi')G_r(\theta,\varphi)$

传输系数：$T(\theta,\varphi) = \frac{P_{re}(\theta,\varphi)}{P_{Tin}} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2G_T(\theta',\varphi')G_r(\theta,\varphi)$

极化失配因子 v：线极化接收天线接收线极化波时$v = \cos^2\alpha$，圆极化波接收水平极化时 v=0.5 园极化波接收圆极化波本身时，只有方向一致时 v=1. 阻抗失配因子 $\mu = 1 - |\Gamma|^2$

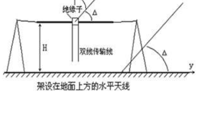
接收天线的噪声温度：外部噪声：大气噪声；工业噪声； 其它无线电设备引起的干涉噪声；宇宙噪声，地球及大气气体的热辐射产生的噪声等。内部噪声：自由电子在该无线电设备的各元、器件中以及天线和 馈线中的热运动所引起。

降低噪声温度：降低系统的物理温度 T0A 和提高其传输效率 ηa。

环天线：接收装置中用得较多的一种天线形式。

双极与单极天线

近地水平半波天线

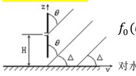


$f_T(\theta,\varphi) = 2\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\Delta\right)}{\sin\Delta}\sin(\beta H\cos\theta)$

根据通信仰角 Δ 选择架设高度 H

$H = \frac{\lambda}{4\sin\Delta}$

近地垂直半波天线



$f_0(\theta,\varphi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}, f_a(\theta,\varphi) = 2\cos(\beta H\cos\theta)$

对水平和垂直半波振子，均有 $f_T(\theta_m,\varphi_m) = 2$。得$D = \frac{480}{R_r}$

对称天线的频带宽度

方向图带宽： $0 < L/\lambda \le 0.7$(对称振子 的最大辐射方向保持在垂直于振子轴的方向)

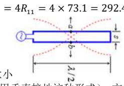
方向性系数带宽：方向性系数从最大值下降到规定值的频率范围。

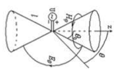
输入阻抗带宽（频带宽度）：以通过输入电流随频率的变化来计算对称振子的输入阻抗带宽。平均特性阻抗越小带宽越宽，减小平均特性阻抗的有效途径是增大振子截面半径。

$\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{2(f_0 - f_1)}{f_0} = 2\left[1 - \frac{2}{\pi}tg^{-1}\left(\frac{Z_0'}{R_A}\right)\right]$ $Z_0' = 120\left[\ln\left(\frac{21}{\rho_e}\right) - 1\right]$ R_A是谐振时输入电阻

对称振子天线的方向图、增益随频率的变化相对于其输入阻抗来说不太敏感，因此，只要确定了输入阻抗的频带宽度，则该频带宽度就可看作是对称振子的工作频带宽度。

折合振子:两个平行且靠得很近的半波振子在末端连接起来所构成。(两线上的电流等幅同相,方向图与半波振子方向图相同) $R_{in} = 4R_{11} = 4\times 73.1 = 292.4\Omega$





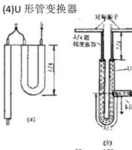
双锥天线:半张角愈大，特性阻抗愈小

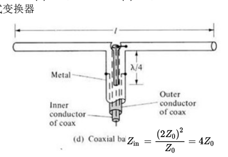
垂直接地振子（中长波天线大都采用垂直接地这种形式）：方向性系数 D_v 是相应的自由空间中对称振子的 2 倍，有效长度 L_{ev}，辐射电阻 R_{rv}，输入阻抗 Z_{inv}是对应振子的一半。提高中长波天线效率：■加顶-增加辐射电阻 Rr 的有效途径 ■铺设地网-铺设地网可减少地面损耗。

盘锥天线：阻抗和方向图随频率的变化比长度为 l 的振子要平缓得多 辐射垂直极化波，方向图与对称振子的方向图基本相同。

线天线的馈电装置：1、双线传输线馈电。馈电原则： ➢双线平行且对地平衡； ➢双线到天线呈直角； ➢双线间距要适中； ➢与天线要匹配。在要求较高的天线馈电中，连接处要加匹配装置：原因：■天线输入阻抗的计算值与实际值有一定差距，如馈电点 缝隙 δ 的不同； ■双线传输线馈电的末端效应，2、同轴传输线馈电（适用频率较高，避免辐射损耗）

平衡变换器（"巴仑" Balun）：用于阻塞和抑制同轴线外导体外表面电流，使电流分布不平衡的方向图与异常阻抗正常。种类：(1) 套筒式变换器(2) 短路式变换器 (5) 同轴渐变变换器 (4)U 形管变换器 (3)开槽式变换器





$Z_{ab} = \frac{U_{ab}}{I_a} = \frac{2U}{I/2} = 4Z_0$ $Z_{in} = \frac{(2Z_0)^2}{Z_0} = 4Z_0$

可以使用λ /4 阻抗变换器匹配

天线阵

蝙蝠翼天线：➢蝙蝠翼天线可以看成是一种特殊的对称振子，相当于振子的直径得到了加粗，因此具有宽频带的特性 ➢从结构特点看，可以看成上、中、下多个电长度不同的对称振子并联而成， 各振子谐振频率不同；➢将两幅蝙蝠翼天线在同一高度垂直放置可以达到水平面均匀辐射的目的。

行波天线：➢电流为行波分布，不存在反射电流； ➢输入阻抗和方向图对频率变化不敏感； ➢频带宽，绝对带宽可达（2:1 至 3:1）； ➢效率低

偶极子加载天线：在天线适当的位置接入电阻或电抗元件，其目的是为了改善天线中的电流分布，使之尽可能地接近行波状态，以展宽工作频带。

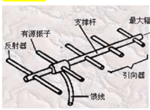
菱形天线：

（1） 单线行波天线（2）V 型天线（3）菱型天线(Rhombic antenna)

菱形天线的优点：行波，频带宽（3:1）；结构简单；增益高；（但效率不一定高）前后比大；维护方便；频率降低，主瓣仰角加大，适合短波通信；可承受较大功率； 菱形天线的缺点：占地面积大；副瓣多，电平高；由于终端接电阻，效率低（60-70%）

韩森—吴特亚特条件（Hansen-Woodyard）：韩—吴条件表明：电磁波沿导线传播所滞后的相位，与电波在自由空间同一方向 传播同一长度所滞后的相位差为时π，行波天线具有最大的方向性系数。最佳行波天线长度：$L_{opt} = \lambda/2(\beta'/\beta - 1)$最佳设计波瓣宽度：$2\varphi_{0.5} = 61^\circ\sqrt{\frac{\lambda}{L}}$

八木天线：

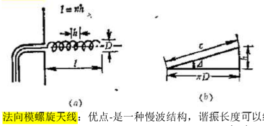


线由一个有源振子和若干个无源振子构成，无源振子位于有源振子两端，起反射能量和导引能量的作用。优点：结构简单、馈电方便，体积小，转动方便。缺点：调整和匹配困难、带宽窄。$2\varphi_{0.5} = 55^\circ\sqrt{\frac{\lambda}{L}}$ D 由 L/λ查表知。线极化

分析方法➢感应电势法-适合元数不多的情况➢矩量法-数值方法，通用、精确➢行波天线理论-单元数较多时。

返射天线：➢返射天线相当于把原来端射天线的长度增加一倍，因此在相同的长度下可以增加 3dB 增益； ➢由于反射盘的镜像作用，还可以使增益再增加 3dB； ➢反射盘 T 称为表面波反射器，直径大致和有同一增益的抛物面天线直径相等， T 与 R 之间的距离为半波长整数倍； ➢反射环，增益再增加 2dB ➢返射式八木天线增益为 15-30dB; ➢结构简单，纵向长度短，增益高，副 瓣后瓣小（副瓣在-20dB,后瓣-30dB）。

螺旋天线：用金属线缠绕成螺旋形状，同轴线馈电。特性取决于螺旋直径与波长比 D/λ。



（1）法向模螺旋天线$D/\lambda < 0.18$

（2）轴向模螺旋天线 $0.25 < D/\lambda < 0.46$ （3）比值进一步加大，最大辐射方向偏离轴线

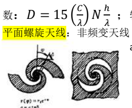
$c^2 = (\pi D)^2 + h^2$，$\Delta = tg^{-1}\frac{h}{\pi D}$，$l = nh$ C 代表一圈周长，D 代表直径

法向模螺旋天线：优点-是一种慢波结构，谐振长度可以缩短，相同情况电阻大；缺点：频带窄，阻抗低，效率低。椭圆极化波轴比：$AR = \frac{|E_\theta|}{|E_\phi|} = \frac{4h}{\pi kD} = \frac{2\lambda h}{(\pi D)^2}$。当 Δ = 90°，螺旋天线变为偶极天线，$E_\varphi = 0, AR = \infty$，垂直极化;当 Δ = 0°，螺旋天线变为环天线，$E_\theta = 0, AR = \infty$，水平极化；当 $E_\theta = E_\varphi, AR = 1$，在整个空间为圆极化，此时 $\pi D = \sqrt{2h\lambda}$，螺距角带入上式求得。

轴向模螺旋天线：C 接近λ时，螺旋天线上电流时行波，沿轴线方向有最大辐射，并且是圆极化波。

$F(\psi) = \frac{\sin\frac{N\psi}{2}}{N\sin\frac{\psi}{2}}, \psi = \beta h\cos\theta - \alpha$；$E = \cos\theta F(\psi)$。主瓣宽度$2\varphi_{05} = \frac{52^\circ}{\frac{C}{\lambda}\sqrt{\frac{Nh}{\lambda}}}$ 方向性系数：$D = 15\left(\frac{C}{\lambda}\right)N\frac{h}{\lambda}$；输入阻抗：$R_{inn} = 140(C/\lambda)$；$AR = (2N+1)/(2N)$

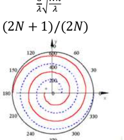
平面螺旋天线：非频变天线



a，b 称为互补天线。a 又是自补天线。

馈电点在螺旋起点

$F(\theta) = \cos\theta$



互补天线: $Z_{腔}\cdot Z_{金属} = \eta^2/4$ $Kr(\varphi) = r(\varphi+\beta)$ $r(\varphi) = r_0e^{a\varphi}$, $a = \cot\delta$

自补天线: $Z_{空气} = Z_{金属} = \eta/2 = 188.5$ (欧)

等角螺旋天线最大辐射方向在法向，且为圆极化。为了获得单向辐射，可加腔或者把螺旋绕在圆锥上。

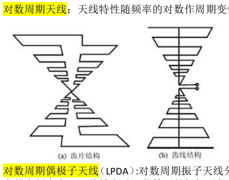
阿基米德螺旋天线(阿螺天线)

反相馈电，一阶模式，轴向模 $r = a\varphi$

同相馈电，二阶模式，螺旋平面最大辐射，全向性的，法向模

宽带特性：频率改变时，主要辐射带随之变动，但因此引起方向图变化不大

对数周期天线：天线特性随频率的对数作周期变化。



(a) 齿片结构 (b) 齿线结构

齿片的作用主要是使横向电流远大于径向电流。当齿片长度约为四分之一波长时，将在齿片上激励起很大的横向电流，该区域成为辐射区。因此，最长齿片约为最 大波长的四分之一，最短齿片为最小波长的四分之一。

对数周期偶极子天线（LPDA）:对数周期振子天线分为三个区：传输区、激励辐射区和未激励区。在某个频率上对天线馈电时，传输区的短振子长度远小于工作波长，基本不辐射电磁能量，仅起传输作用；激励辐射区的振子长度接近工作波长的 1/2，有效辐射电磁能量；未激励区的振子长度远大于 1/2 工作波长，基本不辐射电磁能量，起到感抗作用。改变工作频率时，激励辐射区随频率移动，使天线具有宽频带，方向图和输入阻抗基本不变。**最大辐射方向**在馈电端的短振子方向，在激励辐射区讨论。接近 1/2 工作波长的振子称为谐振振子，短于它的振子呈容性，长于它的振子呈感性，相当于一个非均匀激励的端射阵。