

4.4 面天线

线天线在微波波段的**局限性**:

- 1、方向系数小;
- 2、阵列天线实现复杂;
- 3、尺寸限制了功率容量;
- 4、天线阵参数难以控制;

因此, 线天线的增益一般都**小于30dB**。大多只应用于厘米波段以下。为了解决线天线固有的弱点, 出现了**面天线**。在波长小于10厘米, 微波波段, 多采用面天线, 这样不仅结构简单, 而且增益高。



4.4 面天线

面状天线主体是其尺寸远大于工作波长的金属面状结构。面天线用在无线电频谱的**高频端**，特别是微波波段，其最大特点是**强方向性**。常见的面天线有喇叭天线，抛物面天线等，已被广泛地应用于微波中继通信系统、卫星通信及雷达、导航等方向。

大型面天线常有两个不同作用的部件构成。一个是**初级辐射器**，通常由对称振子、缝隙或喇叭构成，其作用是将高频电流或导波的能量转变为电磁辐射能量；另一个是使天线形成所要求的方向特性的**辐射口面**，如喇叭的口面、抛物反射面，因为辐射口面的尺寸可以做到远大于工作波长，微波面天线在合理的尺寸下可得到**很高的增益**。

面天线的分析与线天线类似，先求出它的辐射场，再分析方向性、阻抗等特性。严格求解面天线的辐射场，数学上是很繁杂的。

4.4 面天线

惠更斯-菲涅耳原理

惠更斯原理认为：波在传播过程中，行进中的波阵面上每一点都是子波源，由这些子波源产生的球面波波前的包络构成下一时刻的波阵面。

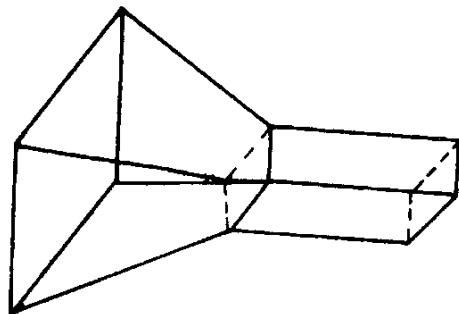
菲涅耳发展了惠更斯的理论，认为在波前进过程中，空间任何一点的波场是包围波源的任意封闭曲面上各点子波源发出的波在该点以各种幅度和相位叠加的结果。

惠更斯-菲涅耳原理表明：空间中任一点电磁场，是包围天线的任意封闭曲面上各点产生的电磁场在该点叠加的结果。

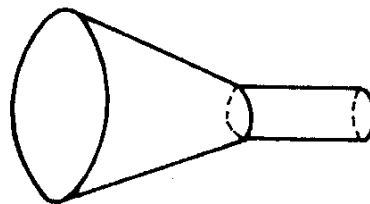
一、喇叭天线

1、喇叭天线的种类、结构和特点

喇叭天线是一种最基本的面状天线，是由波导壁张开延伸而得。根据惠更斯原理，终端开口的波导管可以构成一个辐射器。但波导口面的电尺寸很小，其辐射的方向性很差。而且，在波导开口处波的传播条件发生突变，波导与开口面外的空间不相匹配，将形成严重的反射。将波导管的截面均匀地逐渐扩展，既能取得大的口面尺寸，同时也因电波在喇叭张开段逐渐扩张，改善了它在开口面上的匹配情况，从而取得良好的辐射特性。



(a) 矩形喇叭



(b) 圆锥形喇叭

2、喇叭天线的辐射特性

喇叭天线口面振幅均匀时，方向性系数为

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A$$

当口面振幅为余弦分布时，方向性函数

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_0$$

式中 A 是口面几何面积， A_0 是有效面积。 $A_0 = \upsilon A$ ， υ 称口面利用系数，当振幅余弦分布时 $\upsilon = 0.81$ 。

口面辐射特性见下表：

口面形状	口面场分布		$2\theta_{3dB}$ (弧度)	FSLI.(dB)	ν	方向函数
矩形	$E_y = E_0$	$m=0$	$E \text{ 面}: 0.89 \frac{\lambda}{D_2}$	-13.2	1	$E \text{ 面}: \frac{\sin \psi_2}{\psi_2}$
		$m=1$	$H \text{ 面}: 0.89 \frac{\lambda}{D_1}$			$H \text{ 面}: \frac{\sin \psi_1}{\psi_1}$
	$E_y = E_0 \cos \frac{\pi x_1}{D_1}$	$m=0$	$E \text{ 面}: 0.89 \frac{\lambda}{D_2}$	-13.2	0.81	$E \text{ 面}: \frac{\sin \psi_2}{\psi_2}$
		$m=1$	$H \text{ 面}: 1.18 \frac{\lambda}{D_1}$	-23.0		$H \text{ 面}: \frac{\cos \psi_1}{1 - \left(\frac{2}{\pi} \psi_1\right)^2}$
圆形	$E_y = E_0$ $\left[1 - \left(\frac{\rho_s}{a}\right)^2\right]^m$	$m=0$	$1.02 \frac{\lambda}{2a}$	-17.6	1	$\frac{J_1(\psi_2)}{\psi_3}$
		$m=1$	$1.27 \frac{\lambda}{2a}$	-24.6	0.75	$\frac{J_2(\psi_3)}{\psi_3}$
		$m=2$	$1.47 \frac{\lambda}{2a}$	-30.6	0.56	$\frac{J_2(\psi_3)}{\psi_3}$
	$E_y = E_0 \left\{ 0.3 + 0.7 \times \left[1 - \left(\frac{\rho_s}{a}\right)^2\right]^2 \right\}^m$	$m=0$	$1.02 \frac{\lambda}{2a}$	-17.6	1	
		$m=1$	$1.14 \frac{\lambda}{2a}$	-22.4	0.91	
		$m=2$	$1.72 \frac{\lambda}{2a}$	-27.5	0.87	

二、抛物面天线

抛物面天线的工作原理与探照灯相类似，利用反射面来改进天线的辐射特性。

1、抛物面天线的结构和工作原理

抛物面天线由辐射器（或称馈源）和抛物反射面构成。辐射器位于抛物面的焦点上，本身为弱方向性。经过反射以后则可成为主瓣很窄，副瓣很小的强方向性天线。抛物面天线具有良好的辐射特性，在微波中继通信，卫星地面站和射电天文等方面得到了广泛的应用。

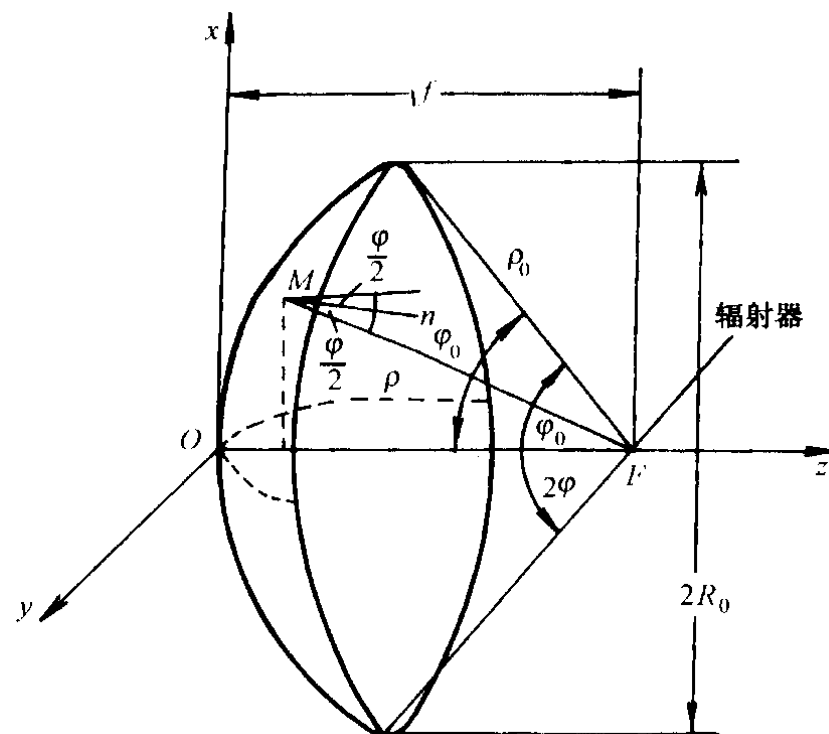
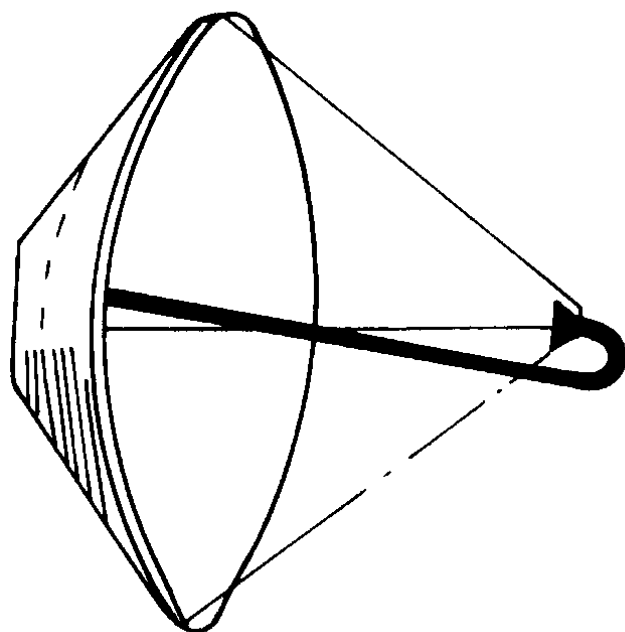
抛物反射面具有多种形式，常用的有柱形抛物面、旋转抛物面和部分抛物面。辐射器可采用圆形、角锥形喇叭或二元振子阵等。

抛物面天线的工作原理可借鉴几何光学射线法说明，令馈源天线的相位中心与抛物面天线焦点 F 重合。由 F 发出的球面波服从几何光学射线定律：

a、反射线平行律：由焦点发出的射线经抛物面发射后，反射线与轴线平行；

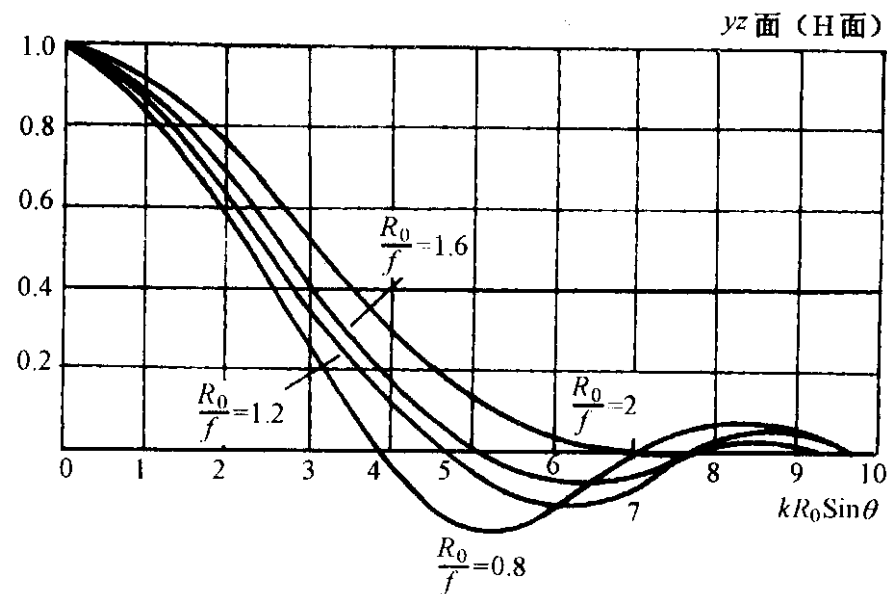
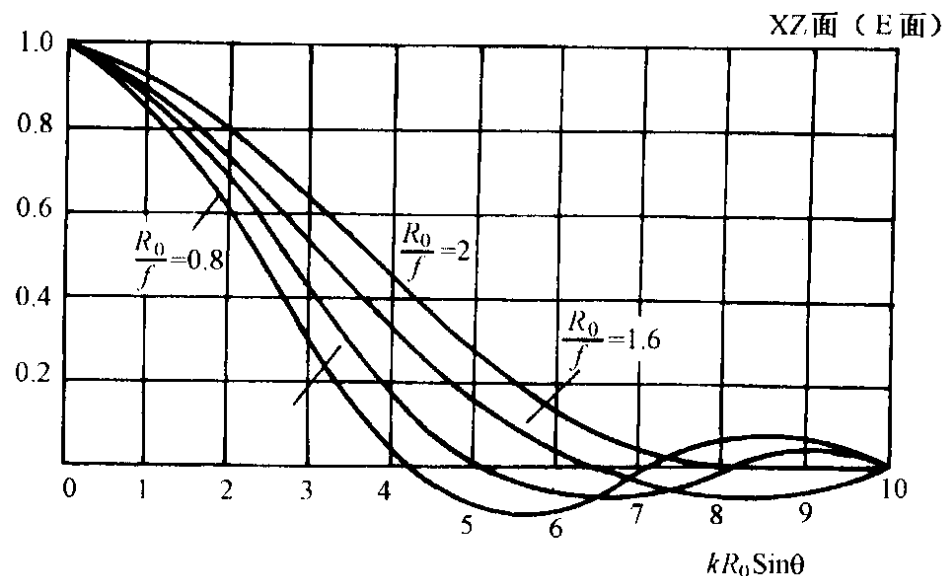
b、等光程律：所有从 F 发出的射线经抛物面发射后，反射线到达任何与抛物面天线轴垂直的平面的光程相等。

即从焦点 F 发出的射线，经抛物面反射后平行于 OF 轴，从而在口面上可得到近似均匀的平面波。该特性是抛物面天线辐射的重要理论依据。



2、抛物面天线的方向性和增益系数

带有无源反射器的半波振子作辐射器，对于不同的**焦径比** R_0 / f 值时($R_0 = \rho_0 \sin \phi_0$)，抛物面天线在 H 面及 E 面的方向图曲线如图所示。



由曲线图可见，随 R_0 / f 增大，即口面张角 φ_0 增大、方向图主瓣逐渐变宽、副瓣变小。这是因为 φ_0 角愈大，辐射器对口面照射愈均匀的缘故。

当 $R_0 / f = 1.3$ 时，由曲线图可求得相应的半功率张角宽度为：

$$2\theta_{H0.5} \approx 1.2 \frac{\lambda}{2R_0} (\text{弧度}) \approx 69 \frac{\lambda}{2R_0} (\text{度})$$

抛物面天线的方向性系数主要取决于反射面口面的面积及口面场的分布情况。抛面天线的方向性系数可表示为：

$$D = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \nu$$

抛物面天线的辐射效率 η 通常都小于1。原因是辐射器发出的功率有相当一部分不能被反射面截获，而从反射面边缘越过，造成泄漏损耗。增益系数常表示为：

$$G = \eta D = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \eta \nu$$

例：卫星通信地面基站常用30米直径的抛物面天线，口径效率 ν 为0.6，若工作波长为0.75厘米，辐射效率 η 大约为1，则增益为**59dB**左右。

3、抛物面天线的辐射器

(1) 对辐射器的要求

辐射器的方向图应满足如下要求：

在抛物面的泻漏功率为最小的前提下，保证对抛物面均匀照射。

使抛物面反方向不辐射或尽量小的辐射。

辐射器应具有确定的相位中心，使它位于抛物面的焦点上，使口面均保持等相分布。

辐射器对抛物面阻挡作用应尽量小，避免它阻挡截获的一部分功率通过辐射器进入馈电系统，造成失配现象。

(2) 馈源的选择

馈源的类型很多,如何选择馈源应根据天线的工作波段和特定用途而定。抛物面天线多用于微波波段,馈源多采用波导辐射器和喇叭,也有用振子、螺旋天线等作馈源的。

① 波导辐射器由于传输波型的限制,口径不大,方向图波瓣较宽,适用于短焦距抛物面天线。

② 长焦距抛物面天线的口径张角较小,为了获得最佳照射,馈源方向图应较窄,即要求馈源口径较大,一般采用小张角口径喇叭。

③ 在某些情况下,要求天线辐射或接收圆极化电磁波(如雷达搜索或跟踪目标),这就要求馈源为圆极化的,像螺旋天线等。

④ 有时要求天线是宽频带的,这就应采用宽频带馈源,如平面螺旋天线、对数周期天线等。

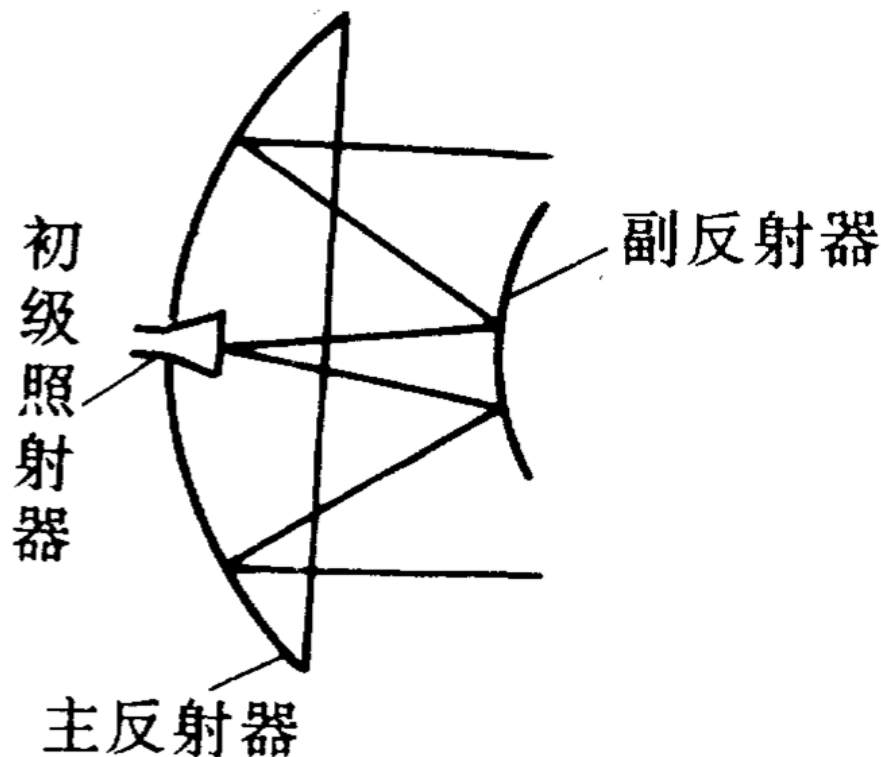
三、卡塞格伦（Cassegrain）天线

又称双反射面天线，利用两个反射镜面的组合，来获得平行波束和强方向性的天线系统。它是由卡塞格伦光学望远镜原理演变而来的。

1、工作原理与结构

卡塞格伦天线由主反射器、副反射器（或分别称为主反射面、副反射面）和辐射器三部分组成，如图所示。主反射器为旋转抛物面，副反射器通常为一旋转双曲面。

副反射器为旋转椭球面时，称之为**格里高利**天线。辐射器一般都采用喇叭。



2、双曲线的几何特性

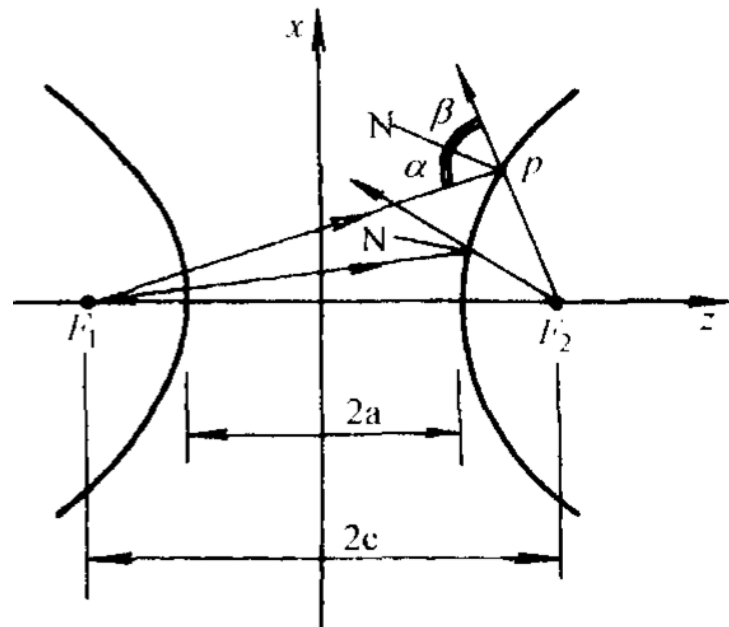
到两个定点 F_1 、 F_2 的距离之差为常数（ $2a$ ）的点的轨迹，叫做双曲线。定点 F_1 、 F_2 称为双曲线的焦点。设两点之间的距离为 $2c$ 。在直角坐标系中，双曲线的方程为：

$$\frac{z^2}{a^2} - \frac{x^2}{c^2 - a^2} = 1$$

① 从两个焦点到双曲线上任一点 P 的连线 F_1P 和 F_2P （的延长线），与通过该点的法线 PN 的夹角相等，即有： $\alpha = \beta$

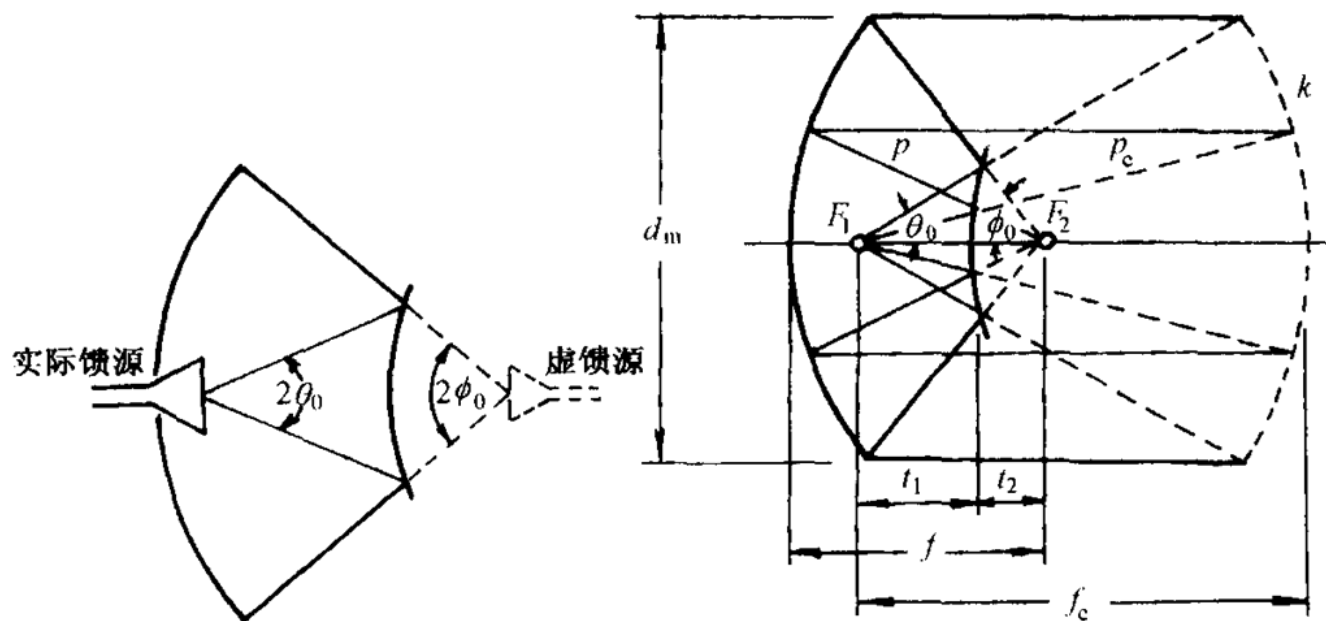
② 双曲线上任一点 P 到两焦点的距离差等于常数，即 $F_1P - F_2P = 2a$

从实焦点 F_1 出发，经双曲面反射的任一射线，比从虚焦点 F_2 发出的都相差一个相位常 $\frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2a$ ，使口面场仍保持均匀相位分布。



可见双反射器天线与普通的抛物面天线一样，都是把由辐射器发出的球面波经反射后汇聚成平面波。

双反射器天线常常用等效抛物面方法来分析。根据几何光学原理，图（a）所示的双反射器天线可以用图（b）中的等效抛物面天线来代替。这个等效抛物面天线具有与双反射器天线相同的辐射器和相同的口径，但它的焦距比实际抛物面天线的焦距增大了。



加长焦距，使口面场分布较为均匀，有利于提高双反射器天线的口面利用系数。

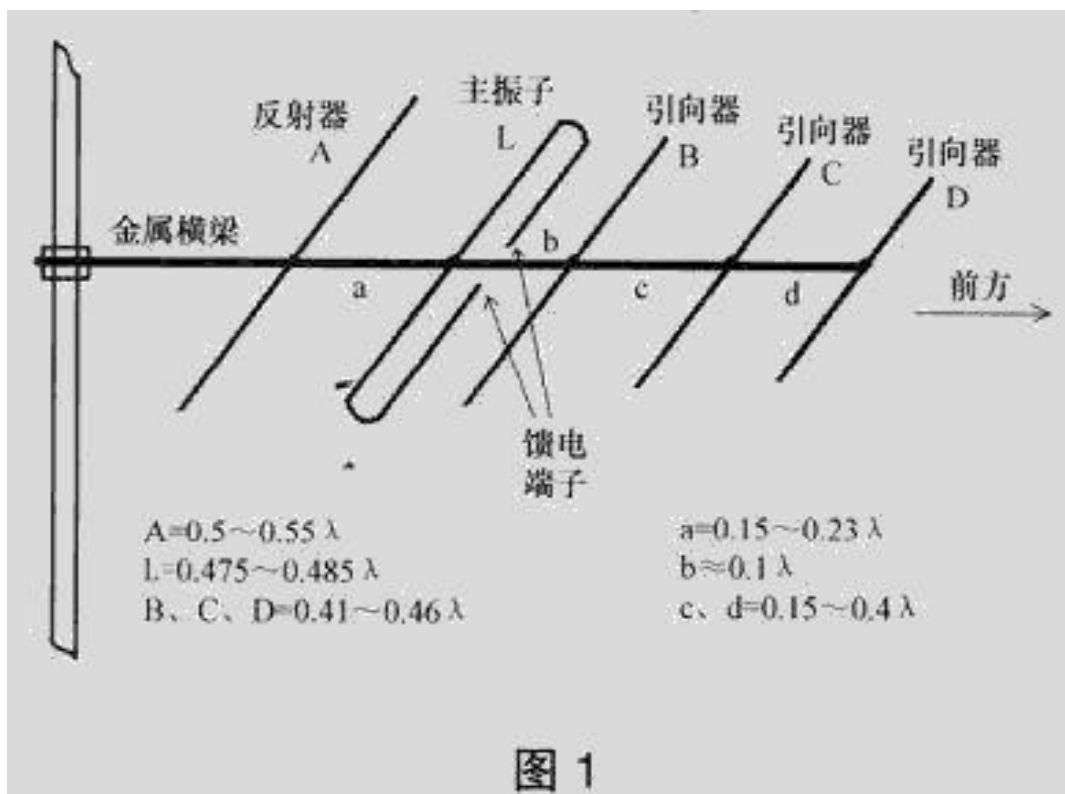
双反射器天线的辐射器被放置于作为主反射器的抛物面的顶点附近，即双曲面的实焦点上。与辐射器相连的馈线即收发设备位于主反射器的后方。可见双反射器天线的结构有利于缩短馈线的长度，并便于安装调整。

除了主、副反射器的泄漏或照射效率、遮挡效率、反射器表面轮廓偏差效率等因素外，尚有一些其他因素，如喇叭辐射器及副反射器位置偏移会引起效率下降；天线系统中导体及介质损耗也会引起效率下降。由于它们的影响相对说来较小，通常都略去不及，但是在涉及安装时应尽量设法减小这些影响因素。

通信系统中常用天线简介

1、引向天线

引向天线又称为八木天线，广泛应用于米波，分米波段段的通信，雷达，电视及其他无线电系统中。

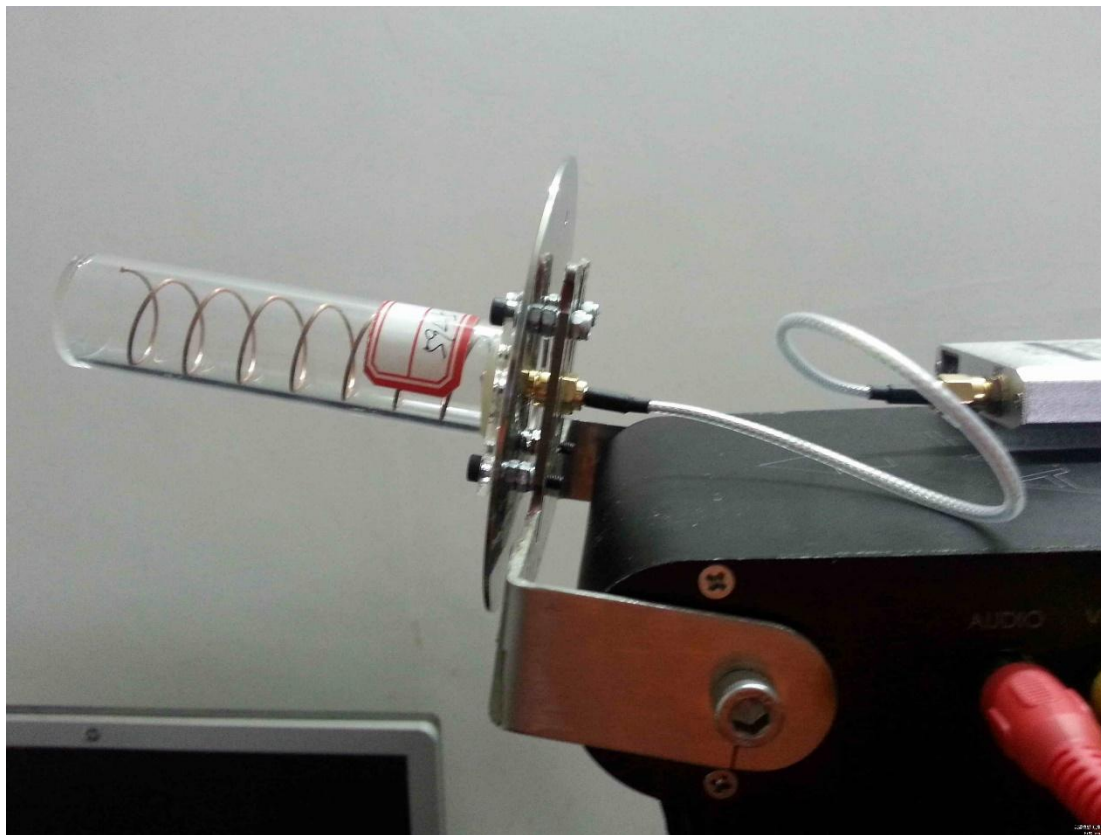


通信系统中常用天线简介

2、螺旋天线

a、经典螺旋天线

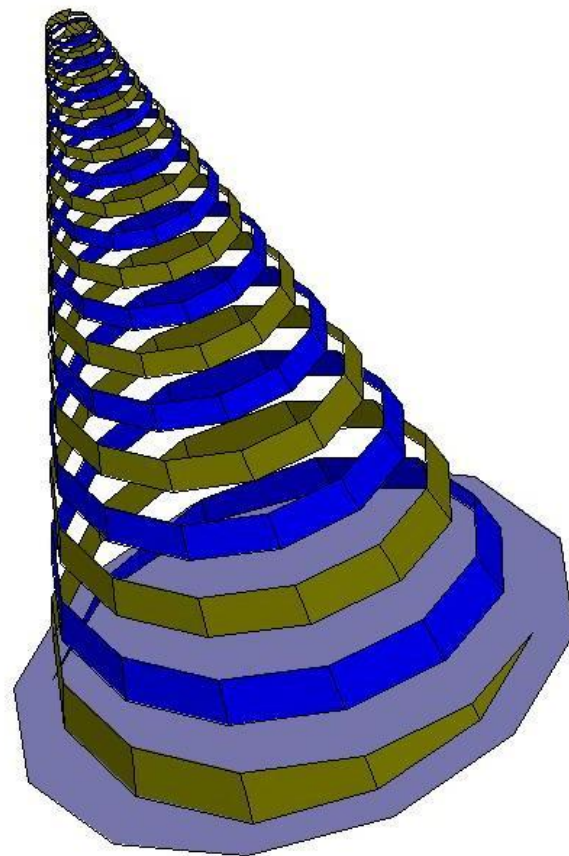
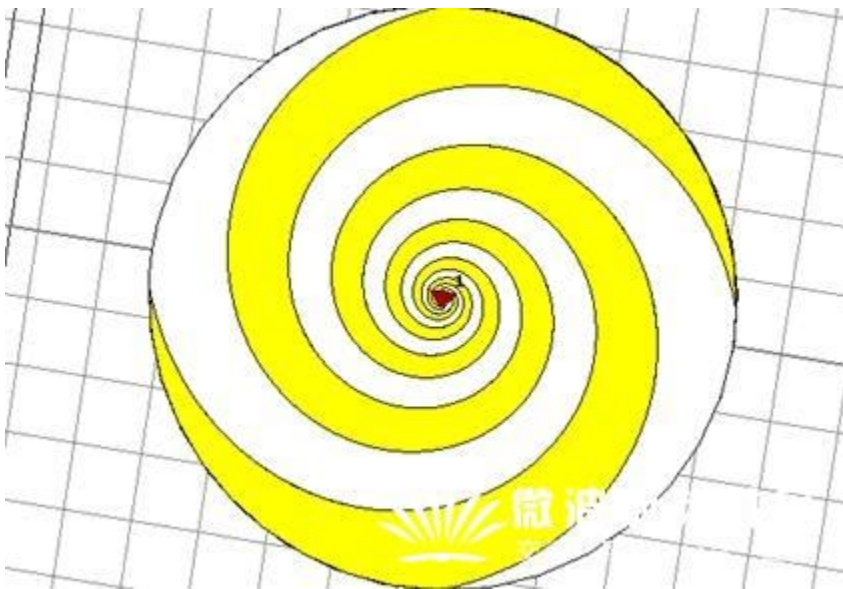
经典螺旋天线可辐射圆极化波，并具有良好的宽频特性。可以同时垂直或水平移动整组天线来跟踪卫星。



通信系统中常用天线简介

b、等角螺旋天线

等角螺旋天线由两个对称的等角螺旋臂构成。最大辐射方向是垂直于天线平面。



通信系统中常用天线简介

c、阿基米德螺旋天线

阿基米德螺旋天线是常用的平面螺旋天线。阿基米德螺旋天线具有宽频带，圆极化，尺寸小，效率高，可以嵌装等优点。

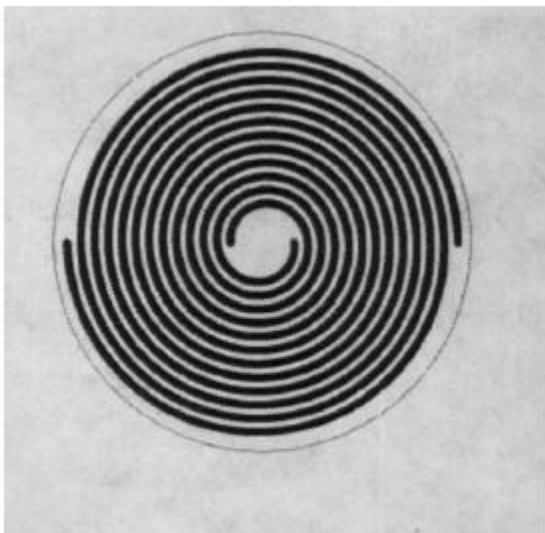


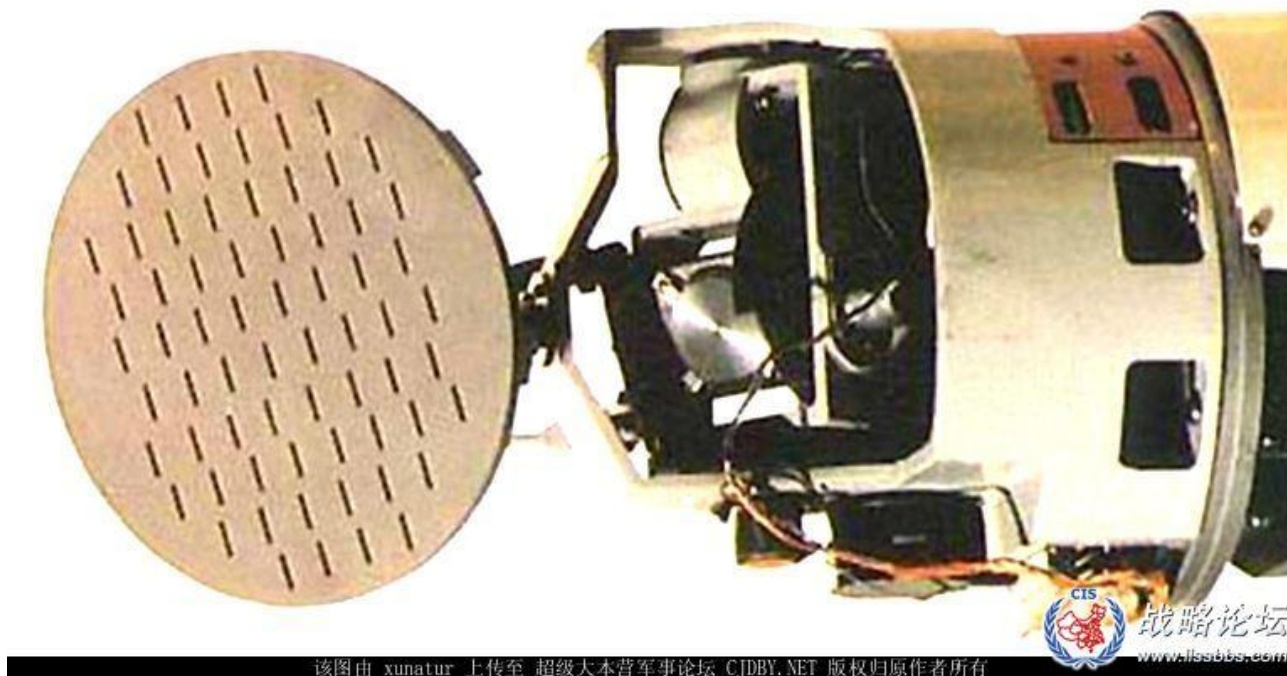
图 2-5 平面阿基米德螺旋天线制版图



通信系统中常用天线简介

3、缝隙天线

缝隙天线就是在波导壁上开有缝隙，以发射和接收电磁波。一般用于微波波段雷达，导航，电子对抗和通信。我国第一个人造卫星使用的就是缝隙天线。

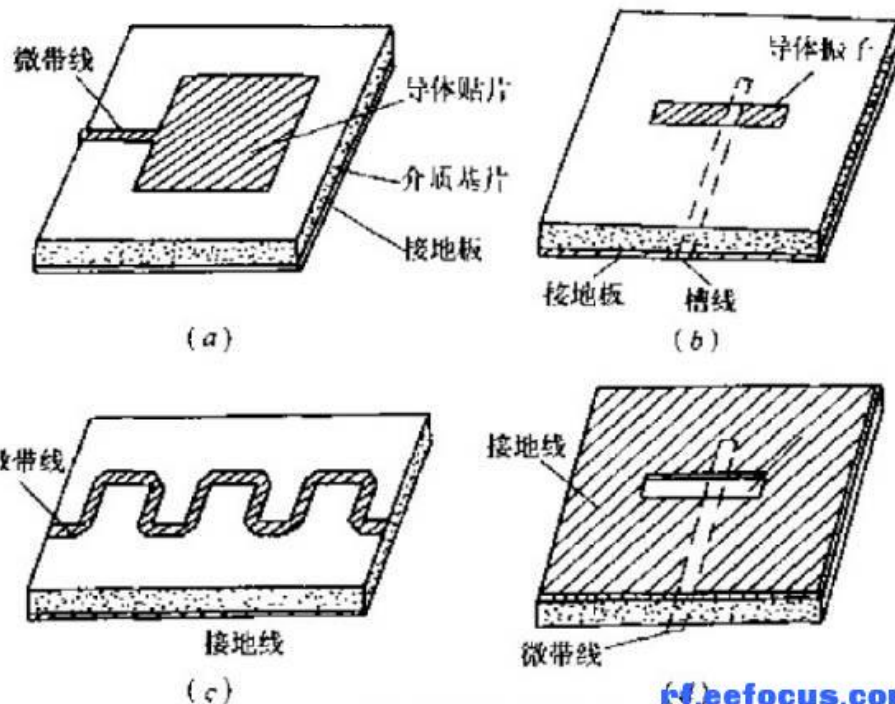
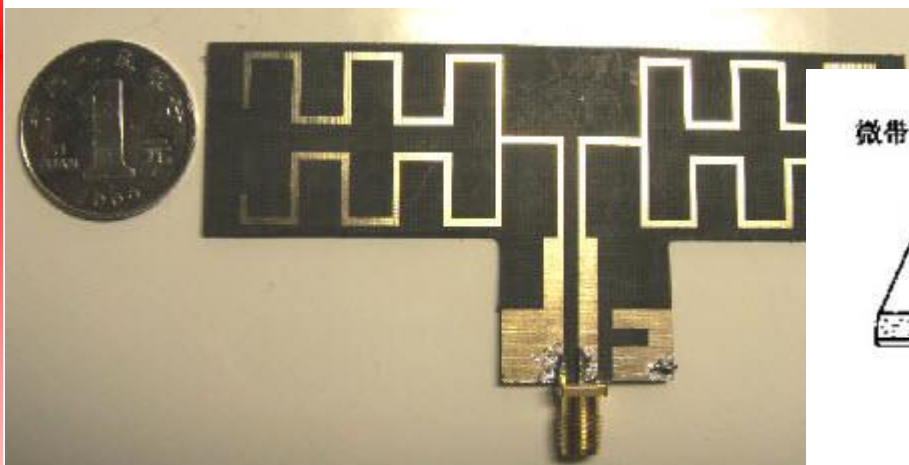


弹载雷达导引头缝隙天线阵

通信系统中常用手机天线

微带线天线:

微带线天线越来越受重视，它便于获得圆极化，容易实现双频段和双极化，尺寸小，重量轻，价格低，尤其是剖面高度小，便于安装，可以用于高速飞行器，如火箭，导弹，飞机等。**缺点**是工作频带窄，有明显的谐振特性，谐振后，阻抗不匹配，使天线不能正常工作。



通信系统中常用手机天线

早期手机天线是外置天线，有单极子天线，螺旋天线和PCB印刷天线等，外置天线的优点是工作频带宽，接收信号稳定，制造简单，费用低等，缺点是容易损坏，人体容易影响信号接收，对人体辐射伤害大，现在一般都是内置天线。



移动通信中的基站天线

基站天线最初使用的是普通定向和全向天线，后来广泛使用机械天线，现在大面积使用的是电调天线和双极化天线。

- 1、全向天线和普通定向天线；
- 2、机械天线；
- 3、电调天线；
- 4、双极化天线

频率范围：2400-2500MHz

增益：2x16dBi

极化：垂直和水平

水平面波瓣宽度：90度

垂直面波瓣宽度：8度

前后比：>23dB

隔离度：>25dB

驻波比：<1.5典型；最大 2.0

阻抗：50Ω

最大功率：50W

接头型号：2个N型母座

天线尺寸：70x14x5 cm

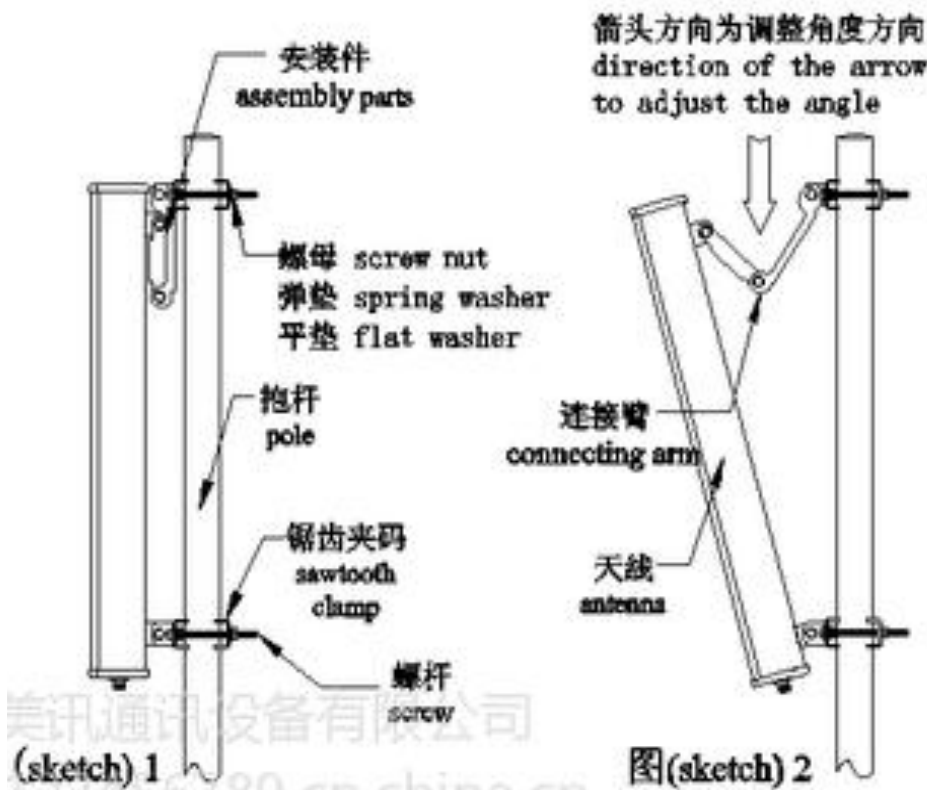
包装尺寸：75x15x14cm

天线重量：2.5 kg

机械可调倾角：0~25°

抱杆直径：Φ30-70mm

抗风强度：60(m/s)



智能天线

智能天线是在自适应天线技术基础上发展形成的，自20世纪60年代以来，在雷达，通信，电子对抗和遥感遥测等领域有广泛的应用。主要分2大类：波束切换天线系统和自适应天线系统。

波束切换天线：创建一组固定波束覆盖整个小区，选择输出功率最大的波束为用户提供服务。

自适应天线：自动调节天线阵元的幅度和相位（即方向图朝向），以达到最佳接收的效果。

智能天线主要有4部分：

- 1、天线阵；
- 2、模数转换器；
- 3、波束形成部分；
- 4、DOA估计单元。