

NJUT



## 第六章 天线基本知识

### 6.1 概论

### 6.2 基本振子的辐射

### 6.3 天线的性能参数

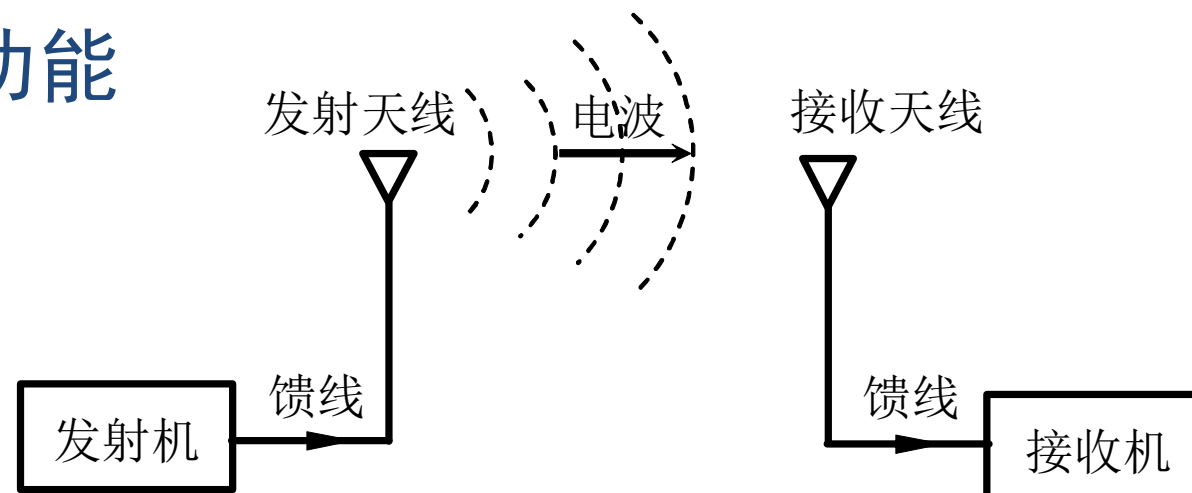
### 6.4 各类天线



## 6.1 概 述

### 1. 天线的定义 **辐射和接收无线电波的装置**

### 2. 天线的基本功能



- **导波能量与电磁波能量的高效转换**
- **与发射机或与接收机匹配;**
- **方向性好;**
- **有适当的极化;**
- **有足够的工作频带。**



### 3. 天线的分类

- 按用途：**通信天线、广播电视天线、雷达天线等**；
- 按工作波长：**长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线和微波天线等**；
- 按辐射元的类型：**线天线和面天线**；
- 按指向性：**全向天线和定向天线**
- 按发展阶段：**传统天线和现代天线**（自适应天线、智能天线）

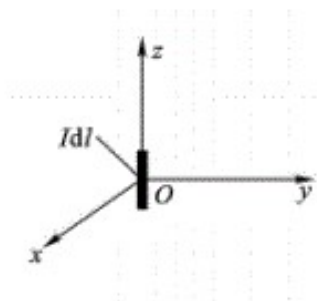
### 4. 天线的分析方法

- 用“场”的分析方法；
- 工程近似结果。



## 6.2 基本振子的辐射

### 1. 基本电振子的电磁场



电基本振子又称电流元：理想的高频电流直导线，  
长度 $L \ll \lambda$ ，半径 $a \ll L$ ，振子沿线电流 $I$ 处处等幅同相。

#### 研究基本电振子的意义

- 基本电振子也称为电偶极子，任何线天线都可看成由大量首尾相连的电偶极子所组成。
- 如果已知电偶极子的电磁场，则任何具有确定电流分布的线天线的电磁场即可计算。

$$H_{\phi} = \frac{I_0 l}{4\pi} k^2 \sin \theta \left[ \frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr}$$

$$E_r = \frac{I_0 l \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon} k^3 \left[ \frac{1}{k^2 r^2} - \frac{j}{k^3 r^3} \right] e^{-jkr}$$

$$E_{\theta} = j \frac{I_0 l \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon} k^3 \left[ \frac{1}{kr} - \frac{j}{(kr)^2} - \frac{1}{(kr)^3} \right] e^{-jkr}$$



(1) 近区 (  $kr \ll 1$  的区域)

$$H_{\phi} \approx \frac{I_0 l}{4\pi} k^2 \sin \theta \frac{1}{(kr)^2} e^{-jkr} = \frac{I_0 l}{4\pi r^2} \sin \theta$$

$$E_r \approx -j \frac{I_0 l}{2\pi \omega \epsilon r^3} e^{-jkr} \cos \theta = -j \frac{I_0 l \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon r^3}$$

$$E_{\theta} \approx -j \frac{I_0 l}{4\pi \omega \epsilon r^3} e^{-jkr} \sin \theta = -j \frac{I_0 l \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon r^3}$$

- 近区磁场的瞬时分布与恒定电流元所激发的恒定磁场相似，  
近区电场的瞬时分布与电偶极子的静电场相似；
- 近区电磁场能量不能脱离波源辐射出去，称为**束缚场**  
或**感应场**，随着距离的增加衰减得很快。

$$H_{\phi} = \frac{I_0 l}{4\pi} k^2 \sin \theta \left[ \cancel{\frac{j}{kr}} + \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr}$$

$$E_r = \frac{I_0 l \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon} k^3 \left[ \cancel{\frac{1}{k^2 r^2}} - \frac{j}{k^3 r^3} \right] e^{-jkr}$$

$$E_{\theta} = j \frac{I_0 l \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon} k^3 \left[ \cancel{\frac{1}{kr}} - \cancel{\frac{j}{(kr)^2}} - \frac{1}{(kr)^3} \right] e^{-jkr}$$

$$\begin{aligned} \vec{S}_{av} &= \frac{1}{2} R_e [\vec{E} \times \vec{H}^*] \\ &= \frac{1}{2} R_e [(\vec{a}_r E_r + \vec{a}_{\theta} E_{\theta}) \times \vec{a}_{\phi} H_{\phi}^*] \\ &= \frac{1}{2} R_e [\vec{a}_r E_{\theta} H_{\phi}^* - \vec{a}_{\theta} E_r H_{\phi}^*] \\ &= 0 \end{aligned}$$





## (2) 远区 ( $kr \gg 1$ 的区域)

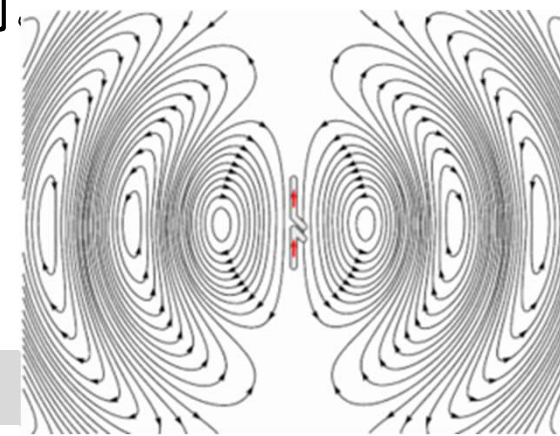
$$H_{\phi} \approx j \frac{I_0 l}{4\pi} k^2 \sin \theta \bullet \frac{1}{kr} e^{-jkr} = j \frac{I_0 l}{2\lambda r} \sin \theta e^{-jkr}$$

$$E_{\theta} \approx j \frac{I_0 l}{4\pi \omega \epsilon} k^3 \sin \theta \bullet \frac{1}{kr} e^{-jkr} = j \frac{k}{\omega \epsilon} \frac{I_0 l}{2\lambda r} \sin \theta e^{-jkr}$$

$$\begin{aligned} H_{\phi} &= \frac{I_0 l}{4\pi} k^2 \sin \theta \left[ \frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr} \\ E_r &= \frac{I_0 l \cos \theta}{2\pi \omega \epsilon} k^3 \left[ \frac{1}{k^2 r^2} - \frac{j}{k^3 r^3} \right] e^{-jkr} \\ E_{\theta} &= j \frac{I_0 l \sin \theta}{4\pi \omega \epsilon} k^3 \left[ \frac{1}{kr} - \frac{j}{(kr)^2} - \frac{1}{(kr)^3} \right] e^{-jkr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \begin{cases} E_{\theta} = j \eta \frac{I_0 l}{2\lambda r} \sin \theta e^{-jkr} \\ H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{\eta} \end{cases} \quad \begin{aligned} \bar{S}_{av} &= \frac{1}{2} R_e [\vec{E} \times \vec{H}^*] \\ &= \frac{1}{2} R_e [\vec{a}_{\theta} E_{\theta} \times \vec{a}_{\phi} H_{\phi}^*] \\ &= \vec{a}_r \frac{1}{2} \eta |H_{\phi}|^2 \\ &= \vec{a}_r \frac{1}{2} \eta \left( \frac{I l \sin \theta}{2\lambda r} \right)^2 \end{aligned} \end{aligned}$$

- 远区的电磁波为沿矢径方向传播的电磁波，电场、磁场振幅与距离 $r$ 成反比，相位随 $r$ 的增加而滞后。
- 电基本振子的辐射有方向性，在 $r$ =常数的球面上，相位处处相同。
- 在电磁波传播方向上， $E_r=0$ 、 $H_r=0$ ，故它是横电磁波。
- 远区场的电场、磁场复振幅之比为一常数，称为波阻抗



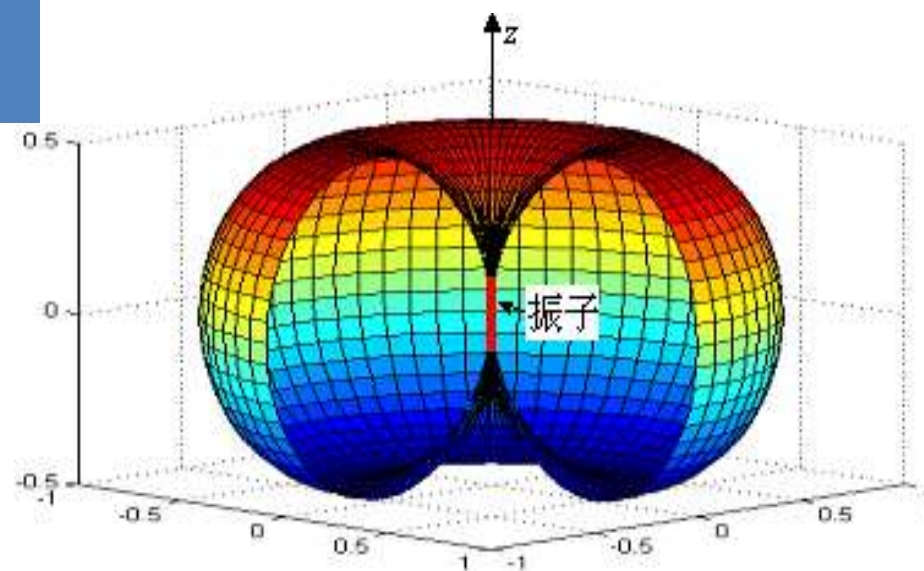


## 6.3 天线的性能参数

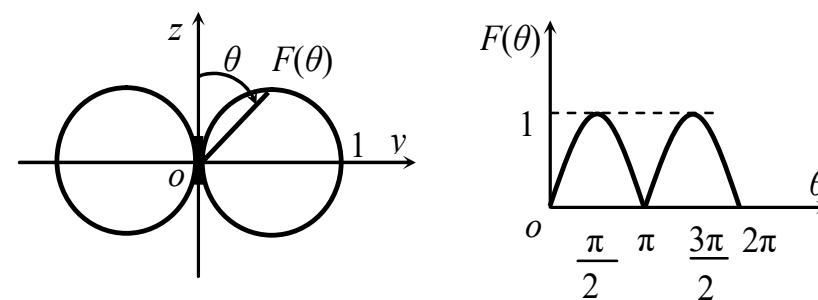
### 一、天线方向性

在距天线 $r$ 的球面上, 天线辐射场强 $E$ 是坐标 $\theta$ 和 $\varphi$ 的函数, 称为方向性函数.

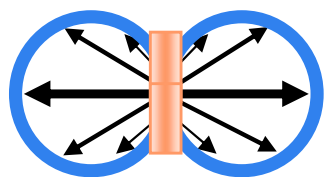
如果天线在各方向辐射的强度用从原点出发的矢量长短来表示, 则连接全部矢量端点所形成的包络就是天线的方向性图



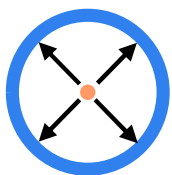
电基本振子立体方向图



垂直放置的半波对称振子



轴线方向上辐射为零, 最大辐射方向在水平面上

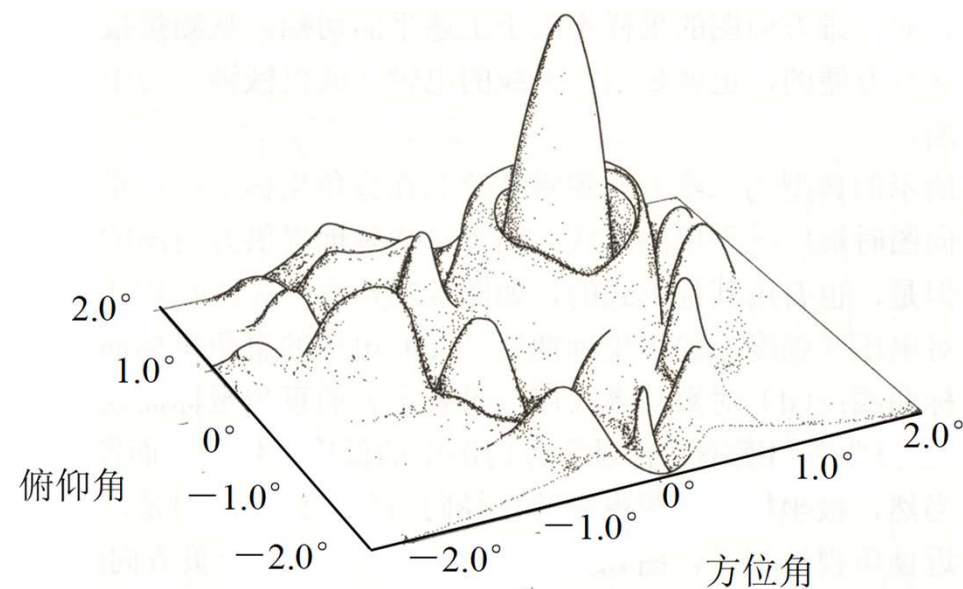


水平面上各个方向上的辐射一样大

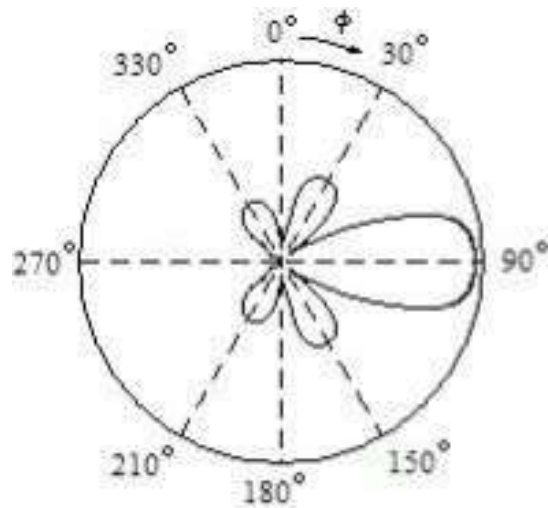
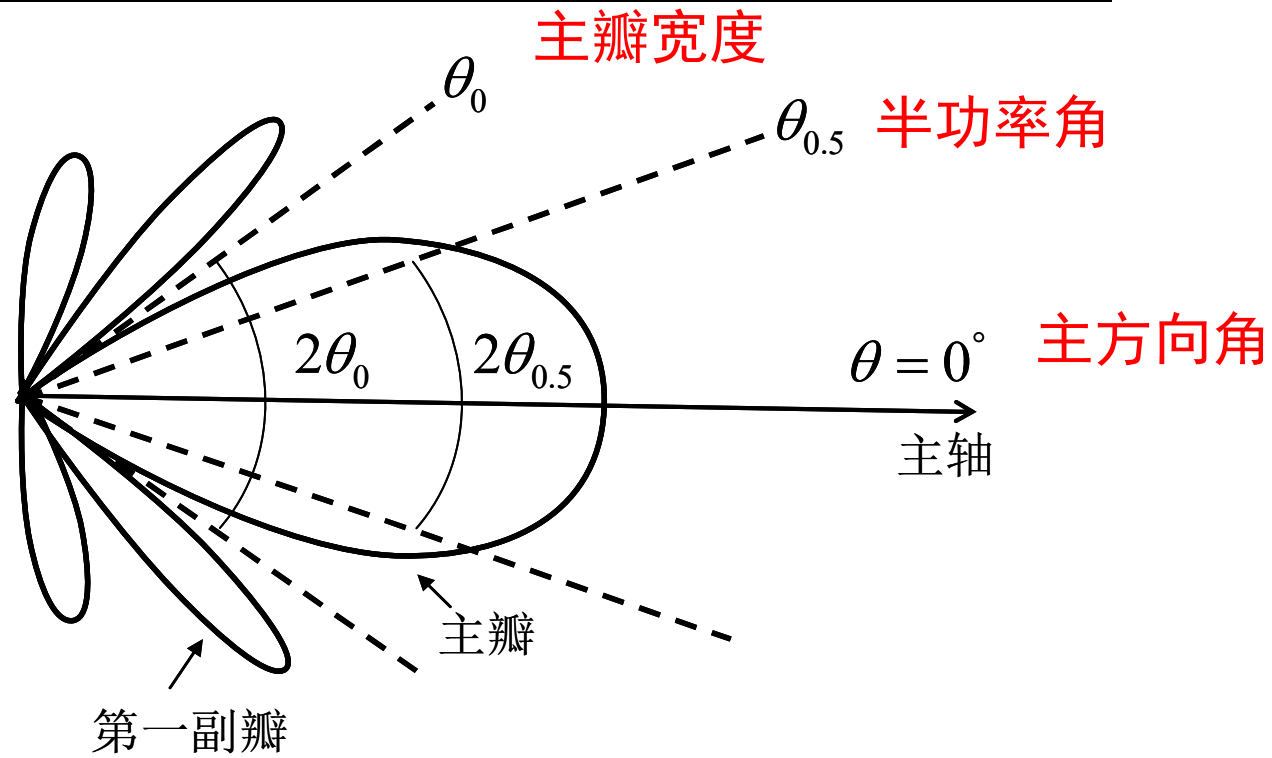


## 2. 方向性图的类型

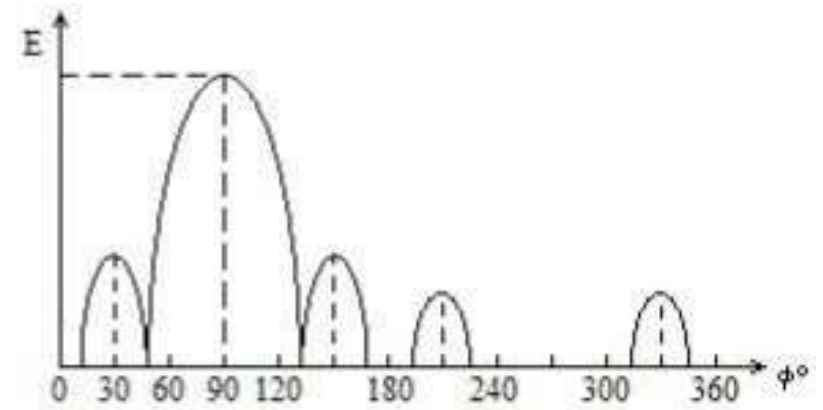
- (1) 立体方向图和平面向方向图。
- (2) 场强方向图和功率方向图。
- (3) 非归一化方向图和归一化方向图。
- (4) 极坐标方向图和直角坐标方向图。







(a)

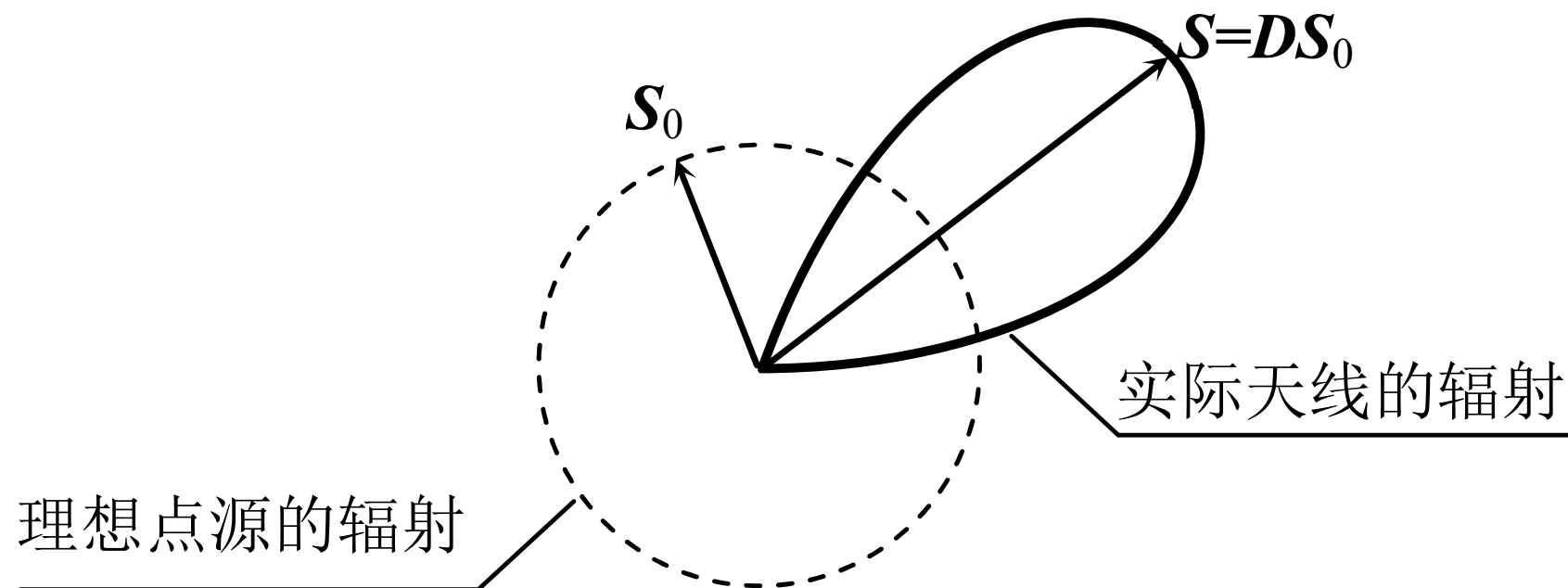


(b)

✕



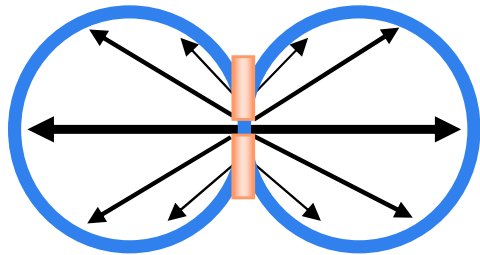
## 二、增益



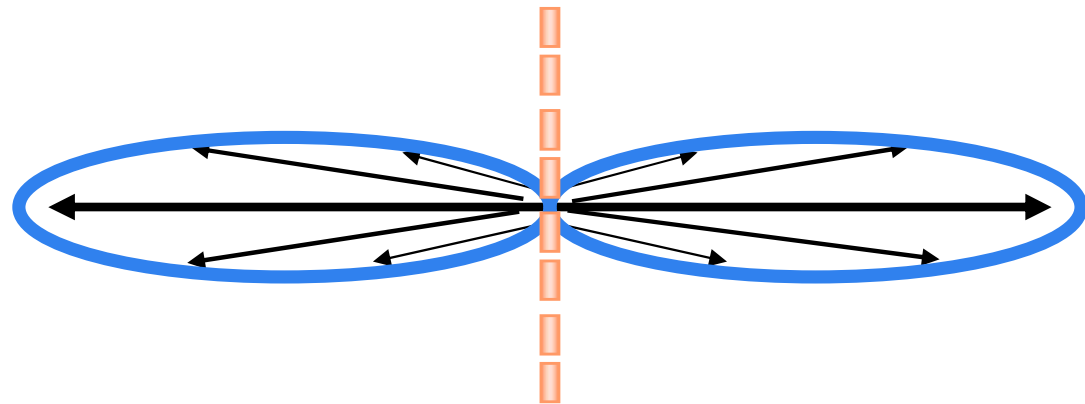
在输入功率相等的条件下，实际天线与无向天线在空间同一点处所产生的信号的功率密度之比。



- 振子一般组合成列。

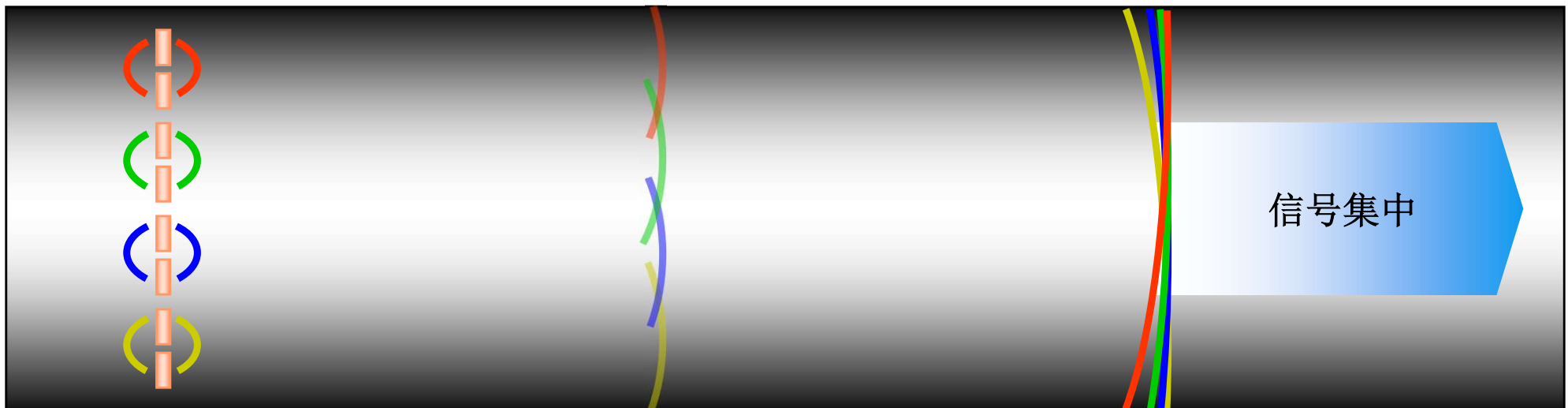


单振子  
接收端产生 **1mW** 的功率



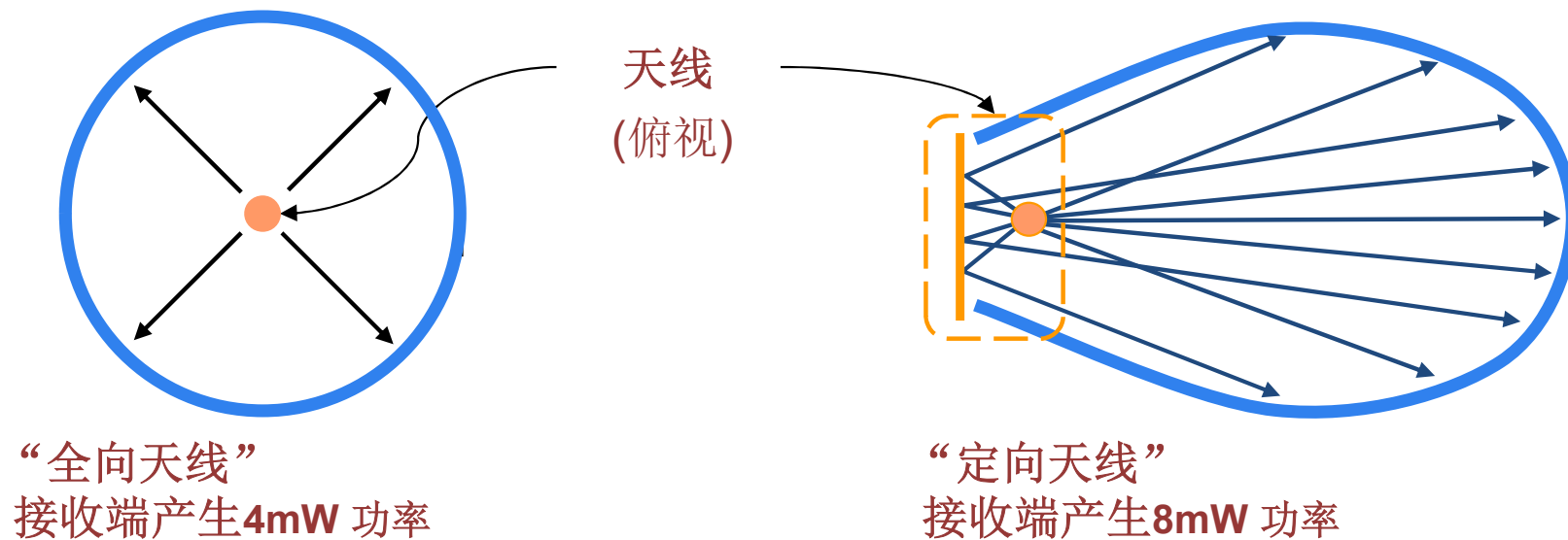
几个振子排成一列  
接收端产生 **4 mW** 功率

$$\text{增益} = 10\log(4\text{mW}/1\text{mW}) = 6\text{dBd}$$





- 振子列的侧面放置一块反射板。



功率由于反射在同一方向上叠加，从而增加增益。  
定向天线的增益为  $10\log(8\text{mW}/4\text{mW}) = 3\text{dBd}$



四个半波振子的直线阵的增益约为 **8 dB**

加反射板，增益约为 **14 ~ 17 dB**

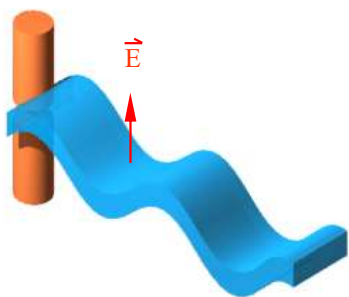
加反射板的八元式直线阵，  
即加长型板状天线，  
其增益约为 **16 ~ 19 dB**



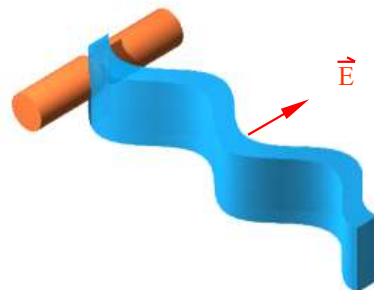
直放站天线



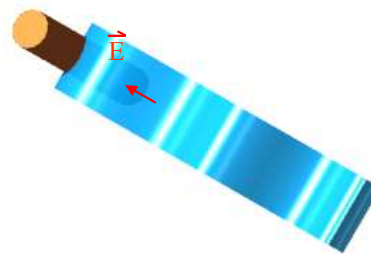
### 三、极化



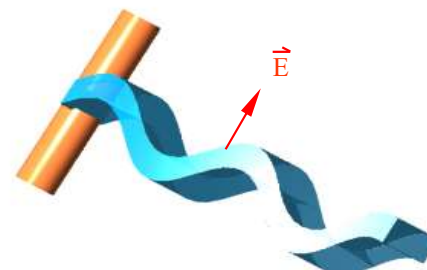
垂直极化



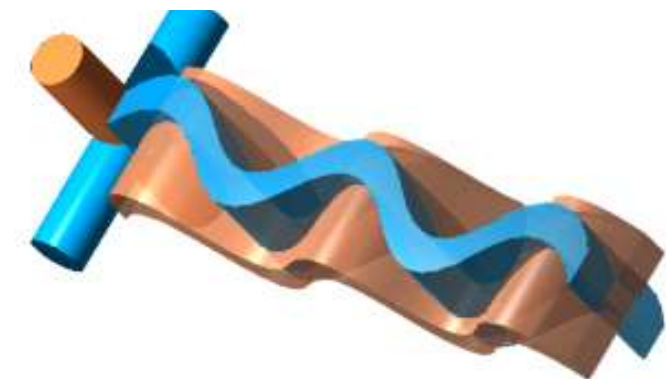
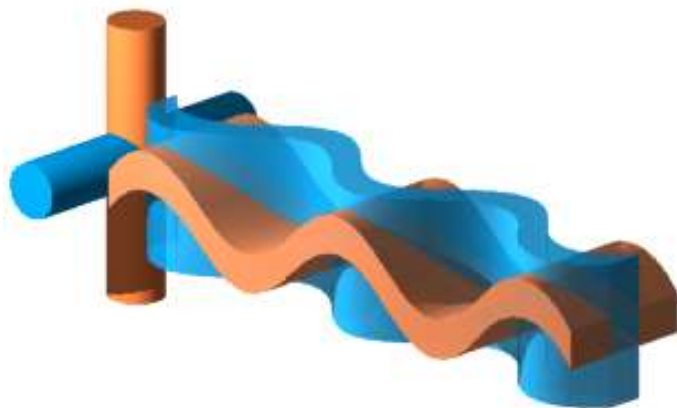
水平极化



+45° 极化



-45° 极化



但若通信的一方是剧烈摆动或高速运动着的，为提高通信可靠性，发射和接收采用圆极化天线；

在人造卫星、宇宙飞船和弹道导弹等空间遥测技术中，由于信号通过电离层后会产生法拉第旋转效应，因此其发射和接收也采用圆极化天线。

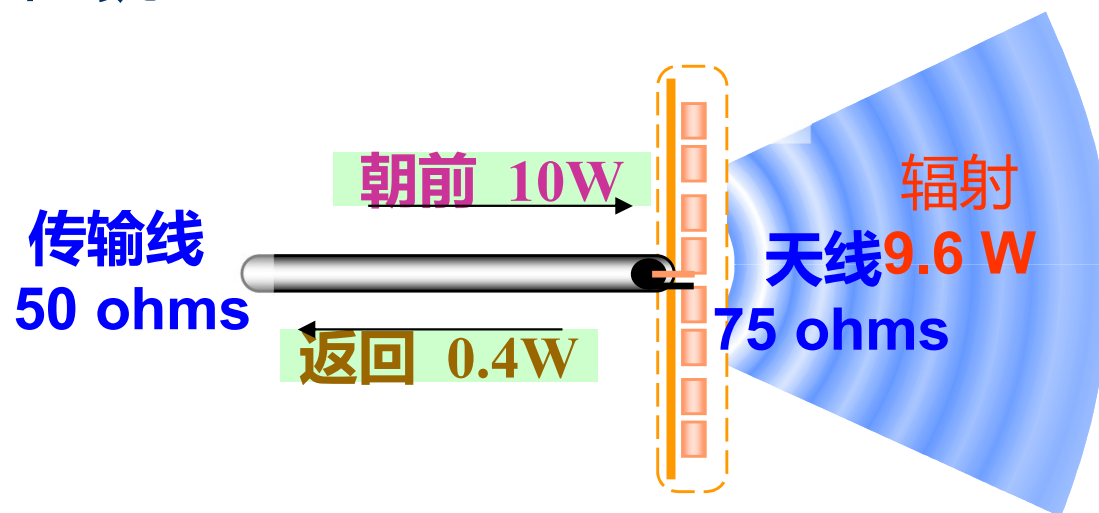
电子战中重要的诀窍：利用圆极化天线来接收未知方位的线性极化信号





四、频带宽度:天线的电性能符合规定的要求的频率范围

五、输入阻抗



六、有效接收面积: 接收电磁波的能力

接收天线与发射天线具有互易特性，即同一天线作为发射与接收时的电参数是相同的，因此上面很多特性参数对接收天线也适用。



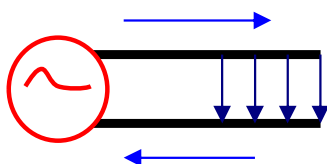
## 6.4 各类天线





## 一、对称振子天线

- 导线上有交变电流流动时，就可以发生电磁波的辐射
- 若两导线距离很近，电场被束缚在两导线之间，辐射很微弱
- 将两导线张开，电场就散播在周围空间，辐射增强



- 当导线的长度  $L$  可与波长相比拟时，导线上的电流大大增加，形成较强的辐射。

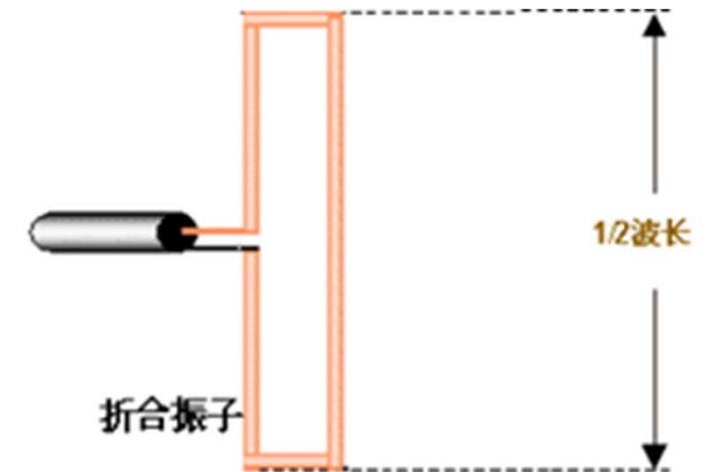
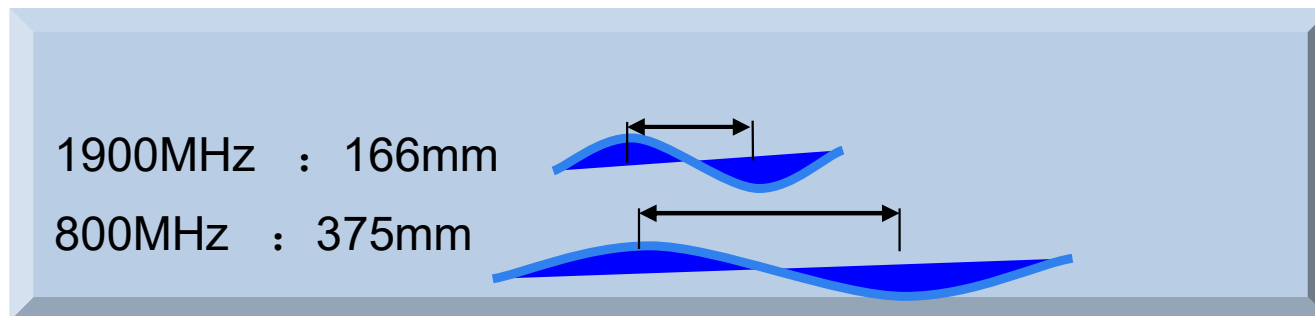
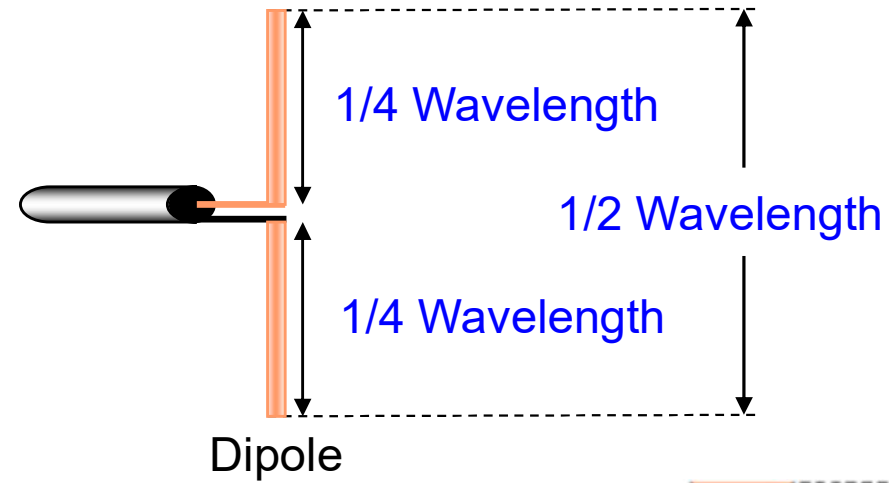
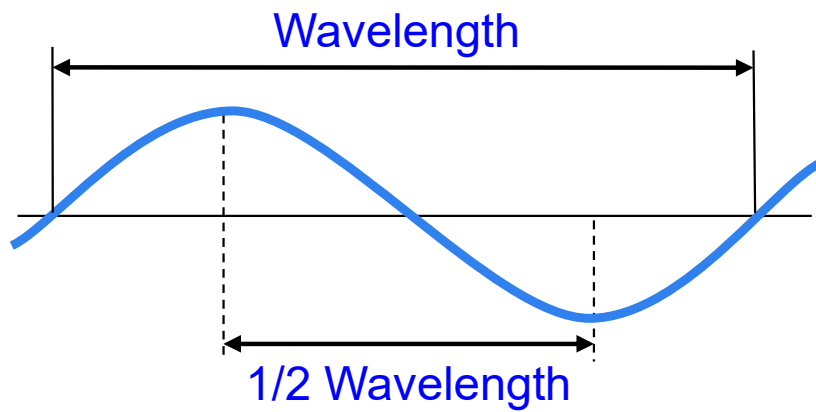
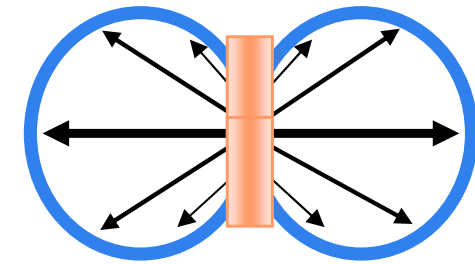
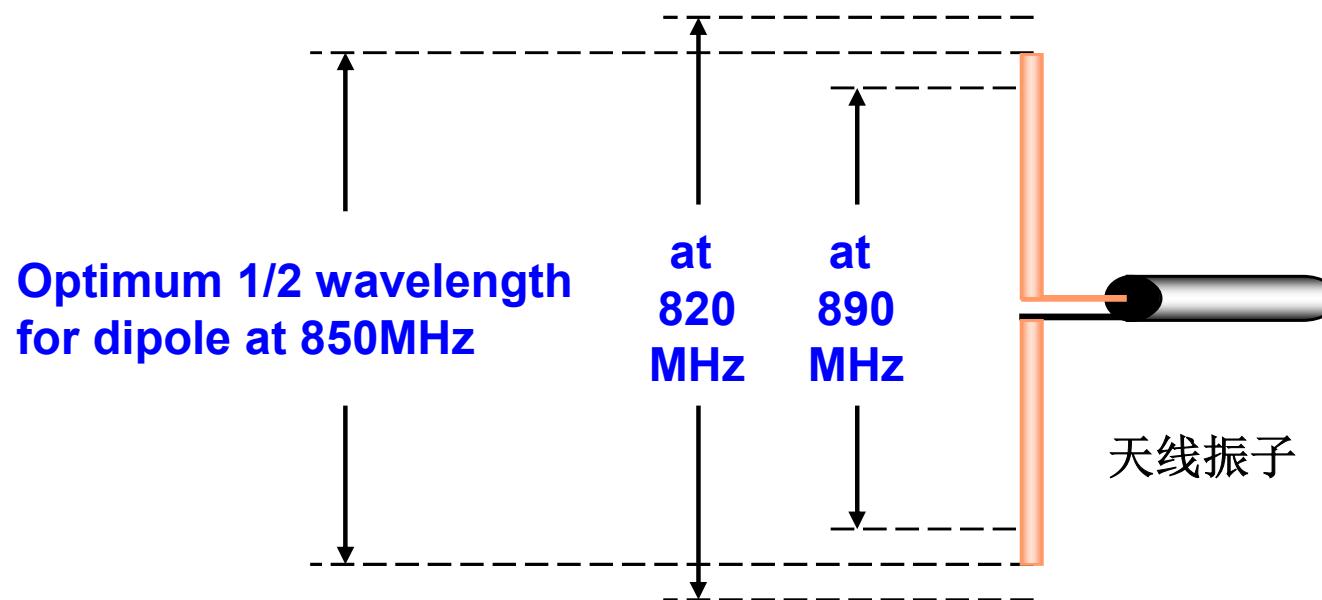


图1.2 b



- 振子的工作性能与其长度和波长的匹配有关:



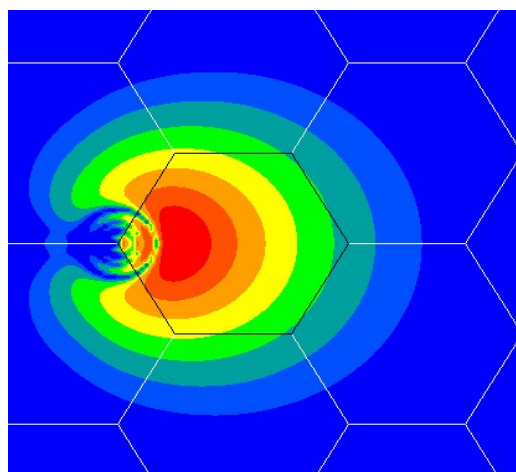
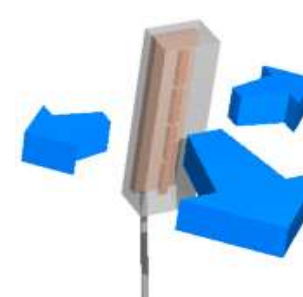
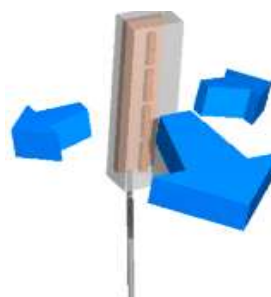
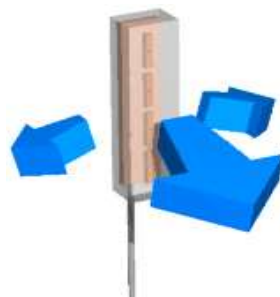
**820 MHz的1/2波长 ~ 180mm, 890 MHz的1/2波长 ~ 170mm**

**天线应取值在 ~ 850MHz - 175mm**

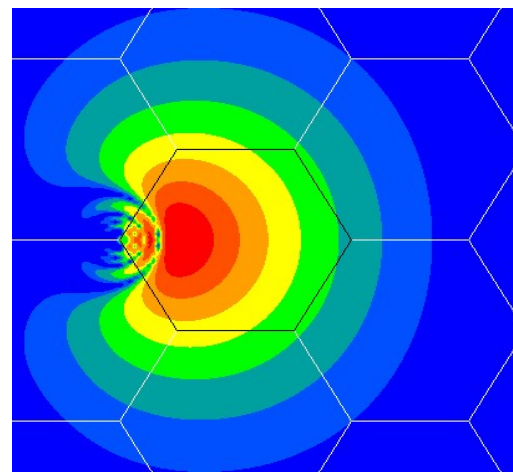
**天线带宽 = 890 - 820 = 70MHz**



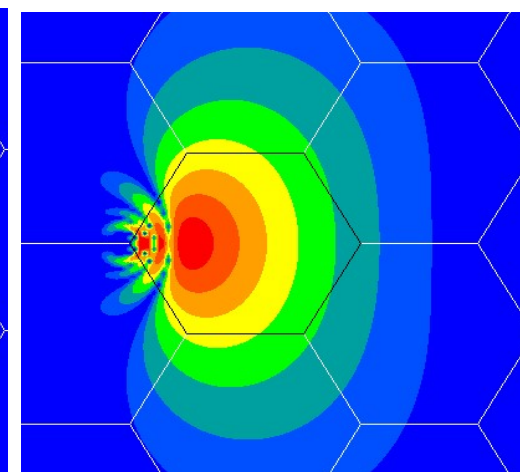
## 下倾方法的比较



**10°** 电下倾



**6°** 电下倾  
**+ 4°** 机械下倾



**10°** 机械下倾





## 二、阵列天线

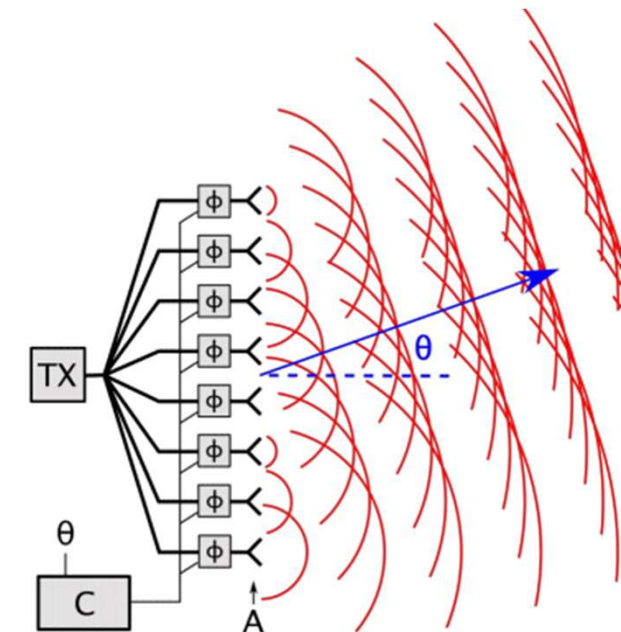
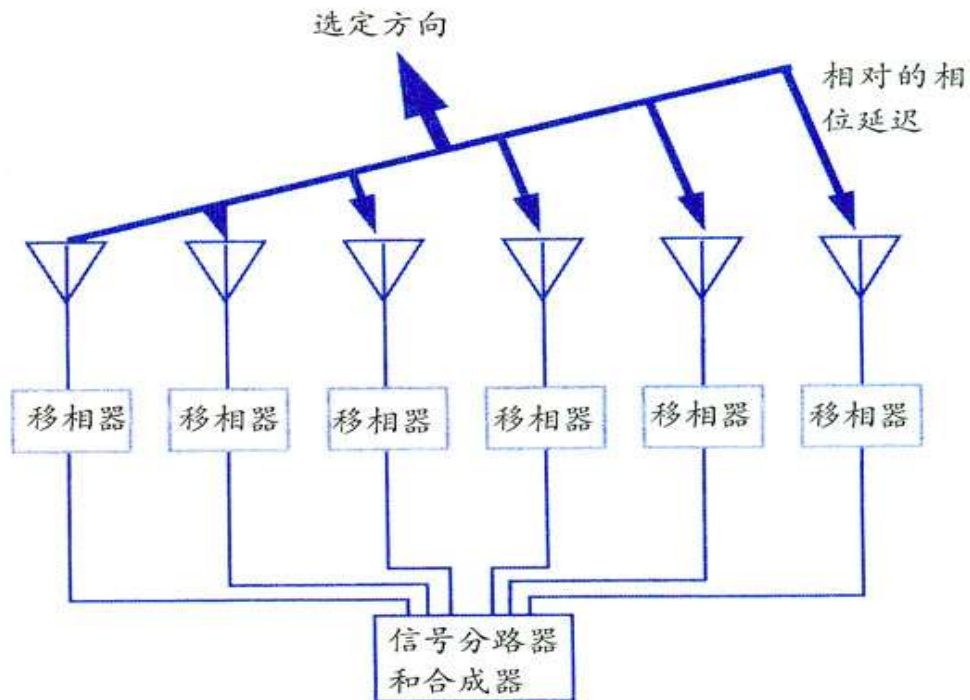
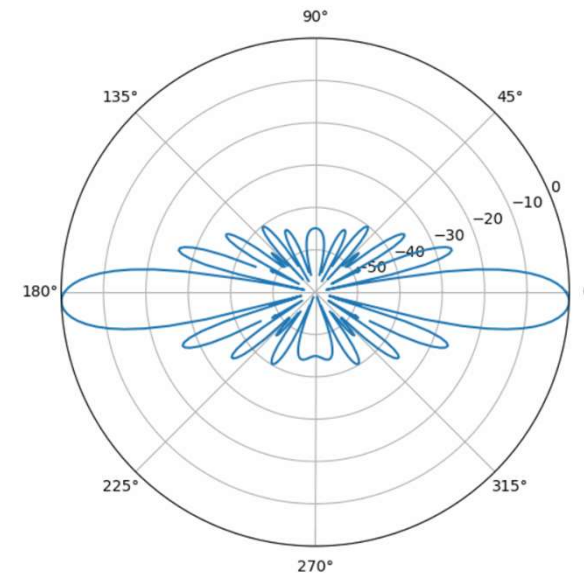
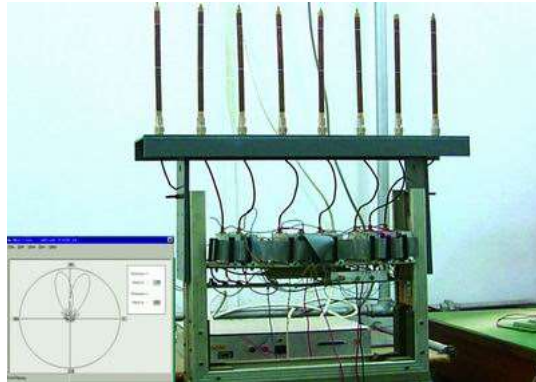
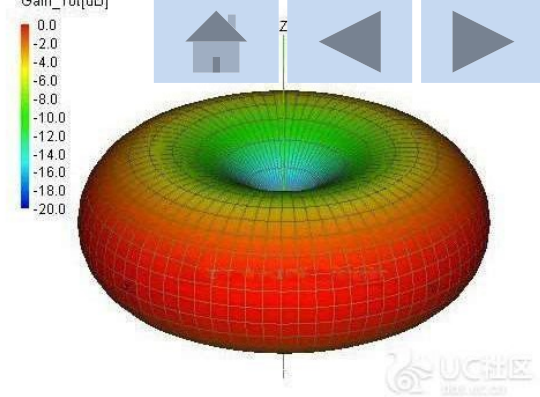
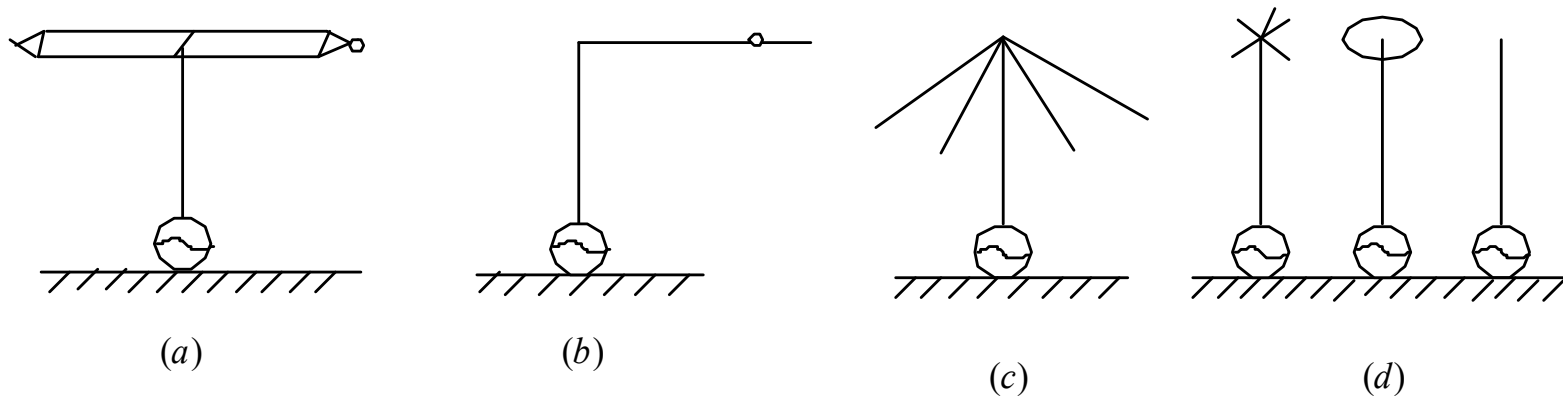


图1 相控阵天线由一系列天线阵元组成，每一个天线阵元均与各被控移相器相连。

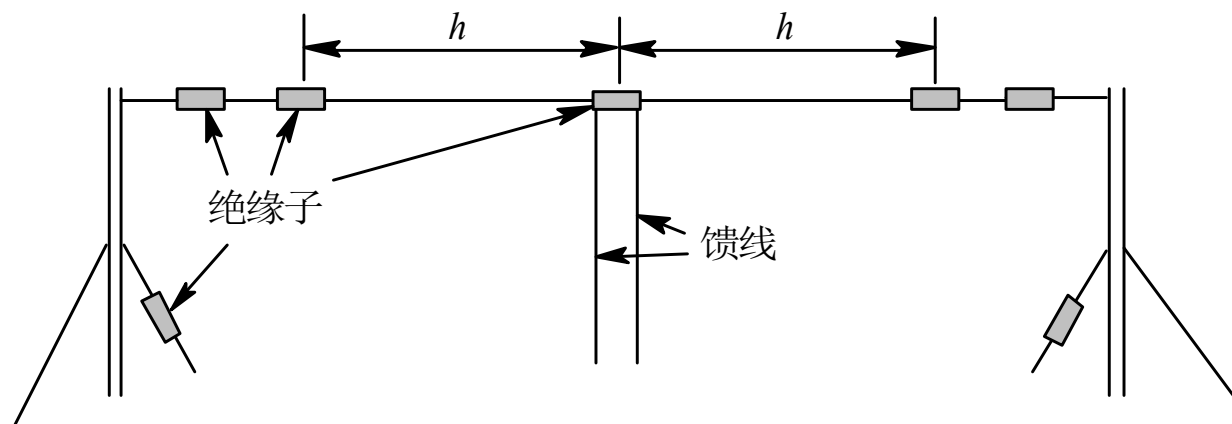


### 三、直立振子天线与水平振子天线

#### 1、直立振子天线——应用于长、中、短波及超短波波段



#### 2、水平振子天线——短波通信、电视



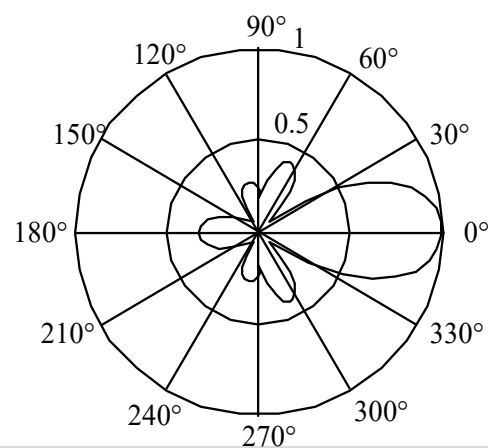


## 四、引向天线

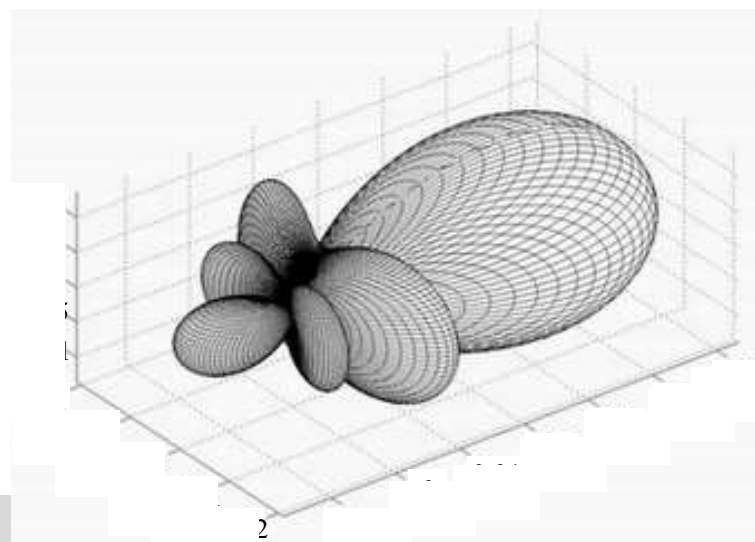
室内分布系统的室外接收天线的首选

增益较高、结构轻巧、架设方便、价格便宜

八木定向天线的单元数越多，其增益越高，通常采用 6 ~ 12 单元的八木定向天线，其增益可达 10~15 dB



(c)



(d)



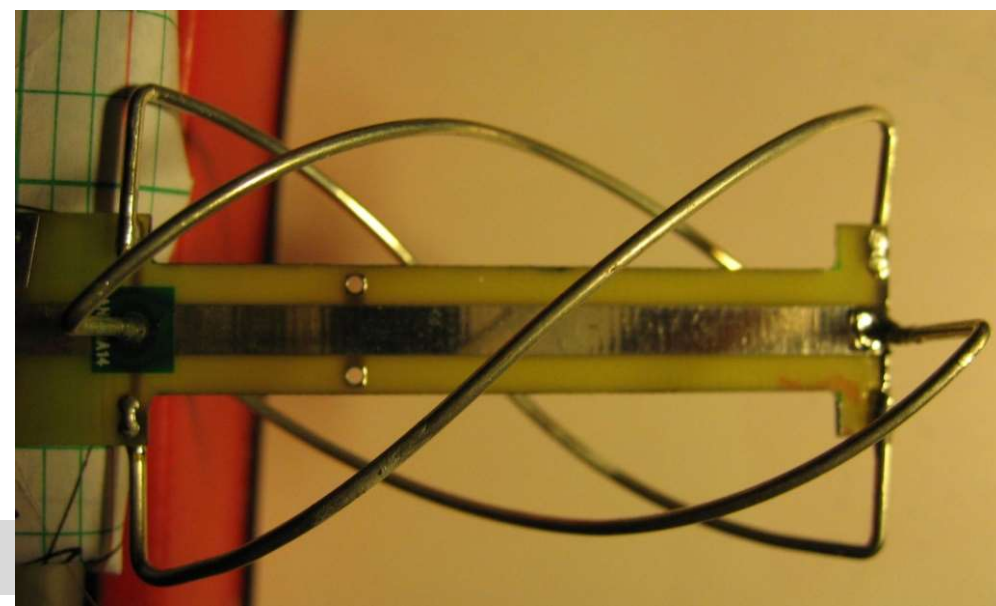




## 五、螺旋天线 适用于移动设备

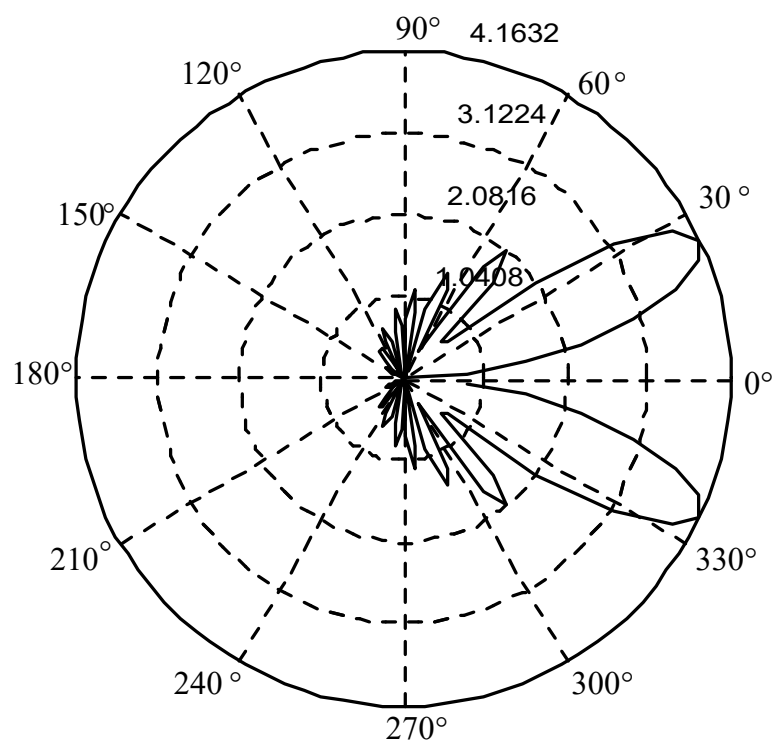


433M内置螺旋天线

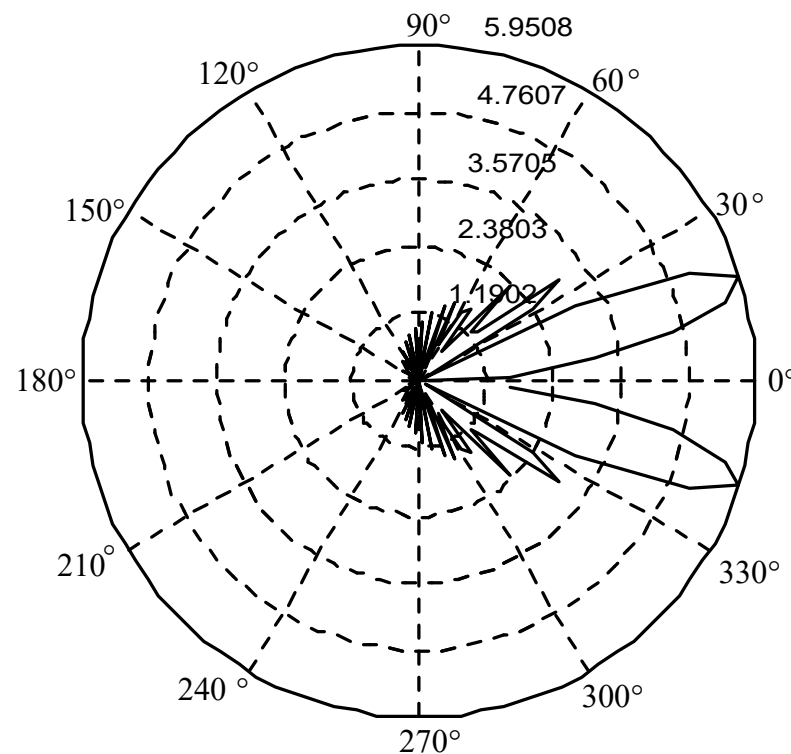




## 六、行波天线 单向辐射



(a)



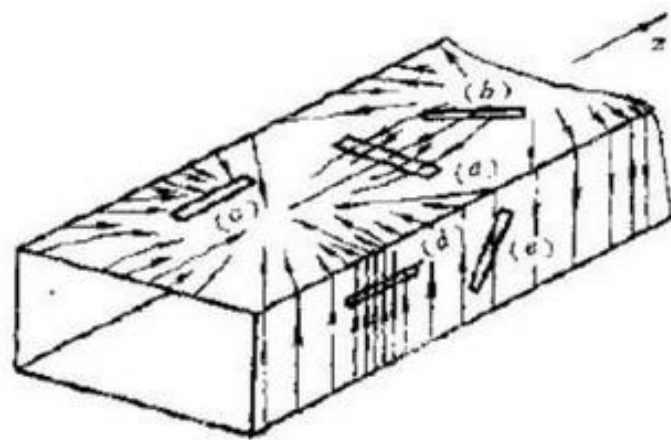
(b)

图  $l=4\lambda$ 和 $8\lambda$ 时行波单导线方向图



## 七、缝隙天线

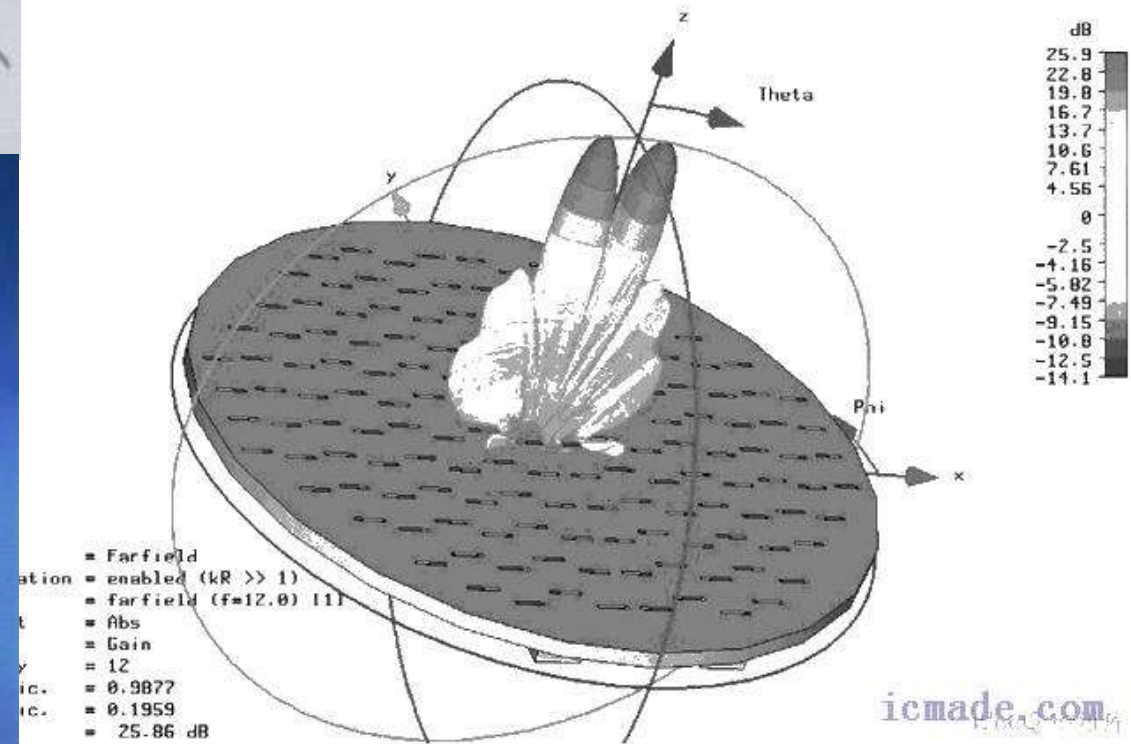
雷达、导航、电子对抗和通信等设备中，特别适宜于用在高速飞行器上



根据电磁场分布得出的波导壁表面电流分布及波导开缝情况。

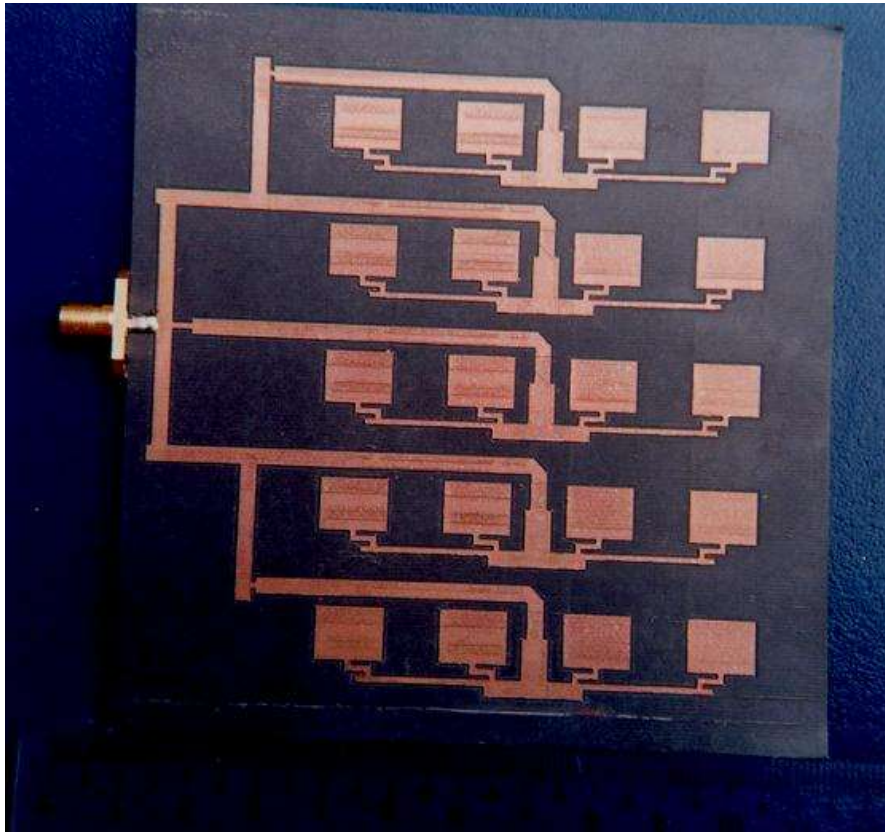






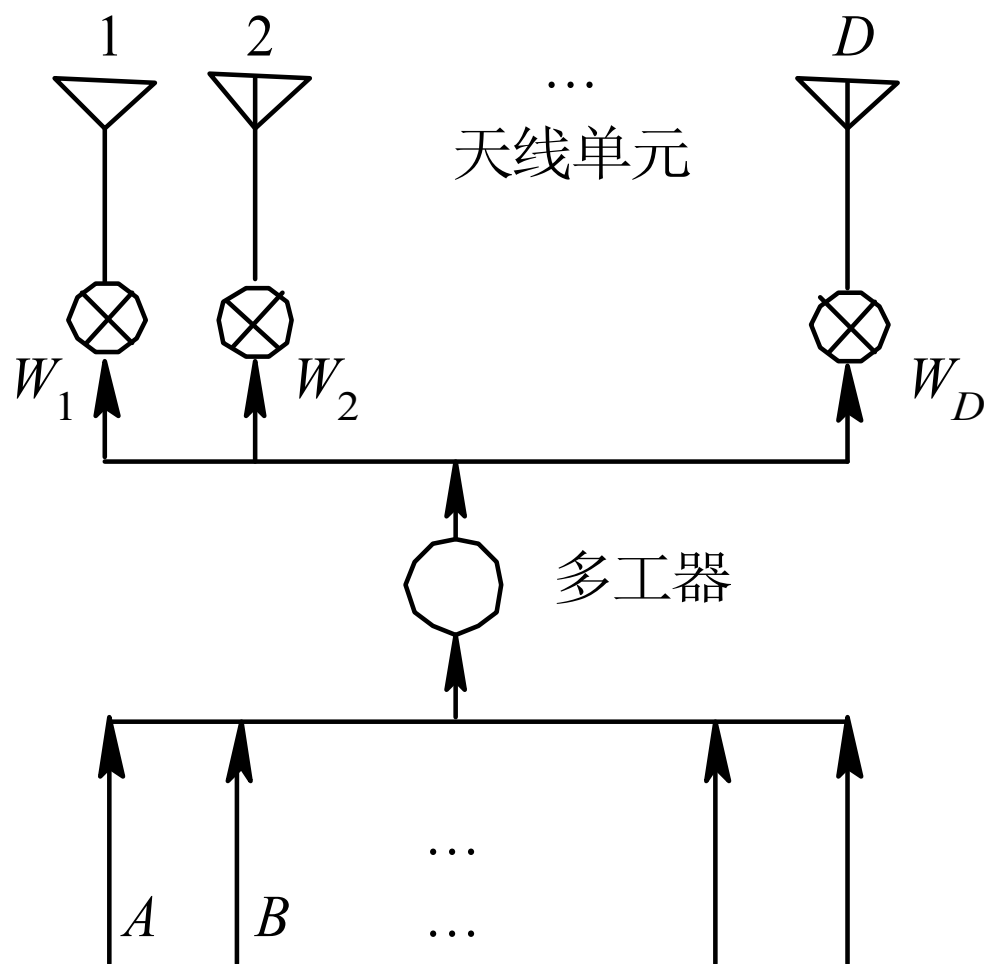


## 八、微带天线

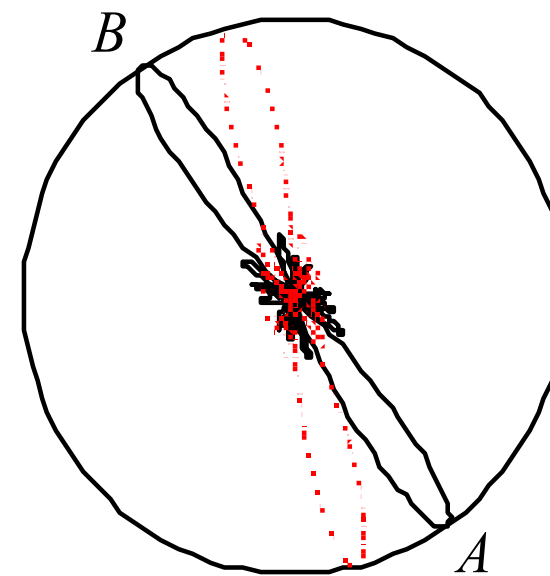




## 九、智能天线 天线方向图的增益特性能够根据信号情况实时进行自适应变化



(a)



(b)

根据一定的准则，使天线阵产生定向波束指向用户

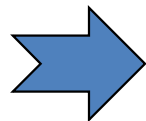


## 十、抛物面天线

高增益栅状抛物面天线

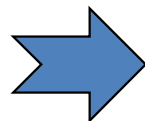
性能价格比高

抛物面



良好的聚焦作用

栅状结构



减轻天线的重量

减少风的阻力

直径为 **1.5 m** 的栅状抛物面天线，  
在**900兆**频段，其增益可达  **$G = 20 \text{ dB}$**

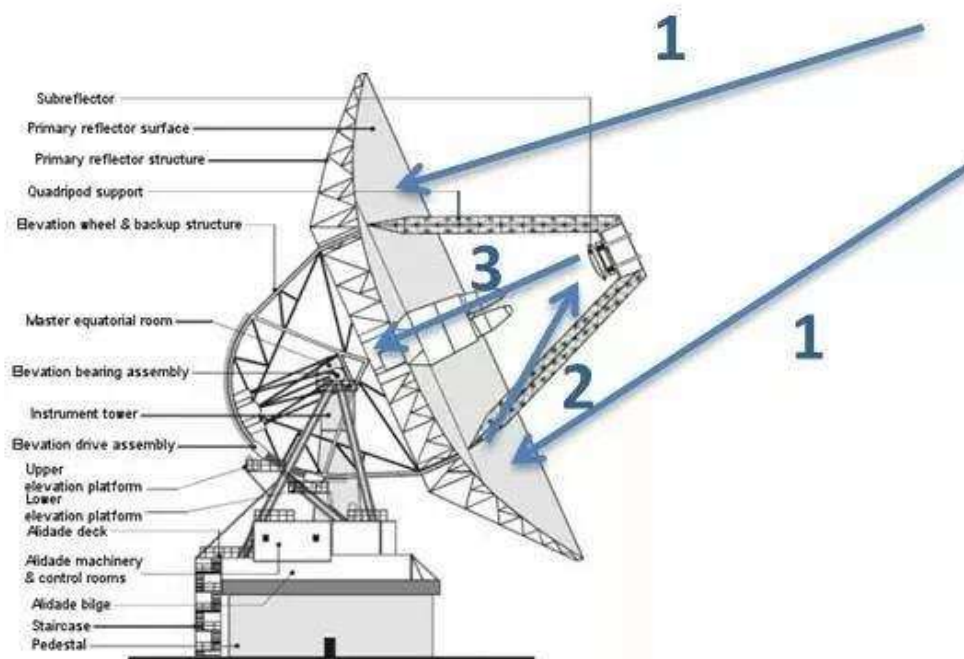
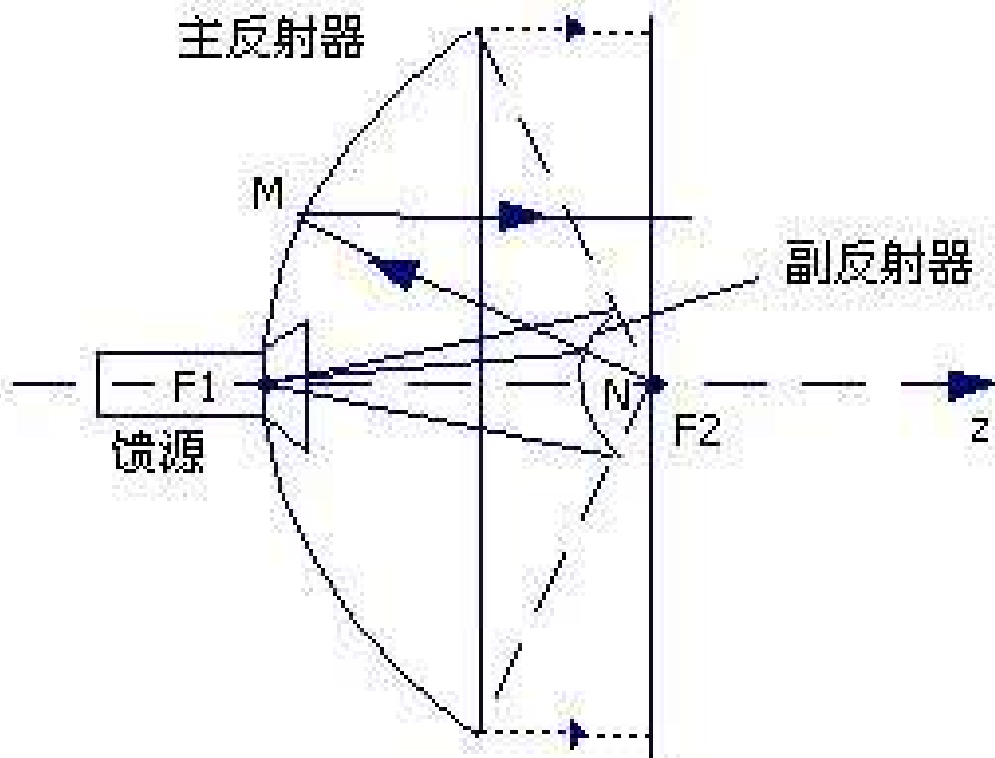


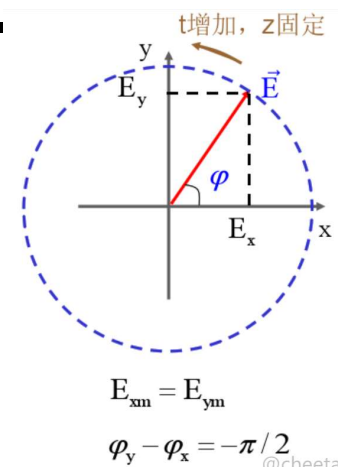




# 十一、卡塞格伦天线

可等效为具有长焦距的抛物面天线





$E_x$  超前  $E_y$  为右旋

$E_x$  超前  $E_y$  为左旋

 $E_{\parallel}$  超前  $E_{\perp}$   $90^{\circ}$ 

$E_{||}$  相位恰好延迟  $90^\circ$



合成场:与介质片成 $45^\circ$ 夹角的线极化波

