

有关天线的一些基本概念

(初稿)

西安海天天线科技股份有限公司

2001 年 8 月 21 日

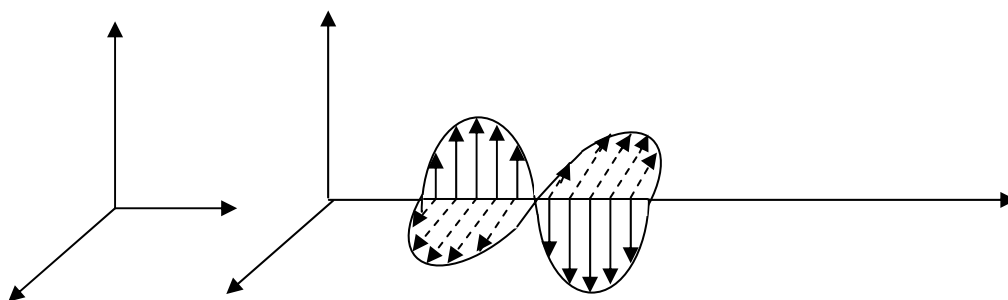
目录

- 1无线电波的基本知识
- 2超短波的传播
- 3天线辐射电磁波的基本原理
- 4关于传输线的几个基本概念
- 5 典型的移动基站天线技术指标综述
- 6 通信距离方程

1 无线电波的基本知识

1.1 无线电波

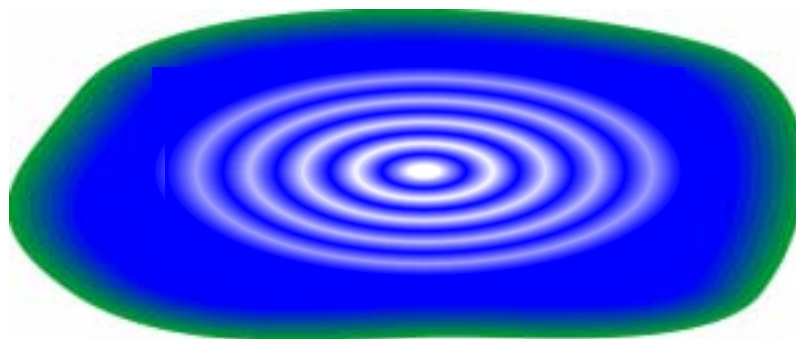
什么叫无线电波？无线电波是一种能量传输形式，在传播过程中，电场和磁场在空间是相互垂直的，同时这两者又都垂直于传播方向。



无线电波和光波一样，它的传播速度和传播媒质有关。无线电波在真空中的传播速度等于光速。我们用 $C = 300000$ 公里 / 秒表示。在媒质中的传播速度为： $V = C / \sqrt{\epsilon}$ ，式中 ϵ 为传播媒质的相对介电常数。空气的相对介电常数与真空的相对介电常数很接近，略大于 1。

因此，无线电波在空气中的传播速度略小于光速，通常我们就认为它等于光速。

无线电波有点象一个池塘上的波纹，在传播时波会减弱



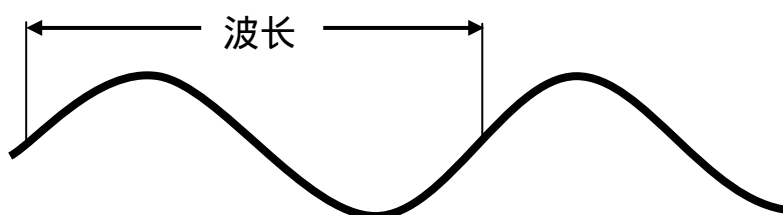
无线电波的波长、频率和传播速度的关系

可用式 $\lambda = V / f$ 表示。

式中， V 为速度，单位为米/秒； f 为频率，单位为赫芝； λ 为波长，单位为米。

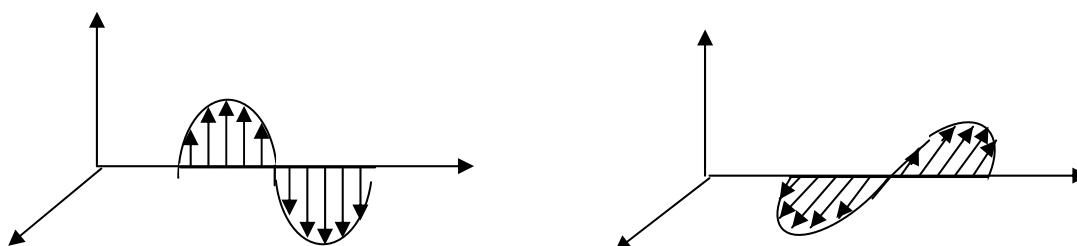
由上述关系式不难看出，同一频率的无线电波在不同的媒质中传播时，速度是不同的，因此波长也不一样。

我们通常使用的聚四氟乙烯型绝缘同轴射频电缆其相对介电常数 ϵ 约为 2.1，因此， $V \epsilon \approx C / 1.44$ ， $\lambda \epsilon \approx \lambda / 1.44$ 。



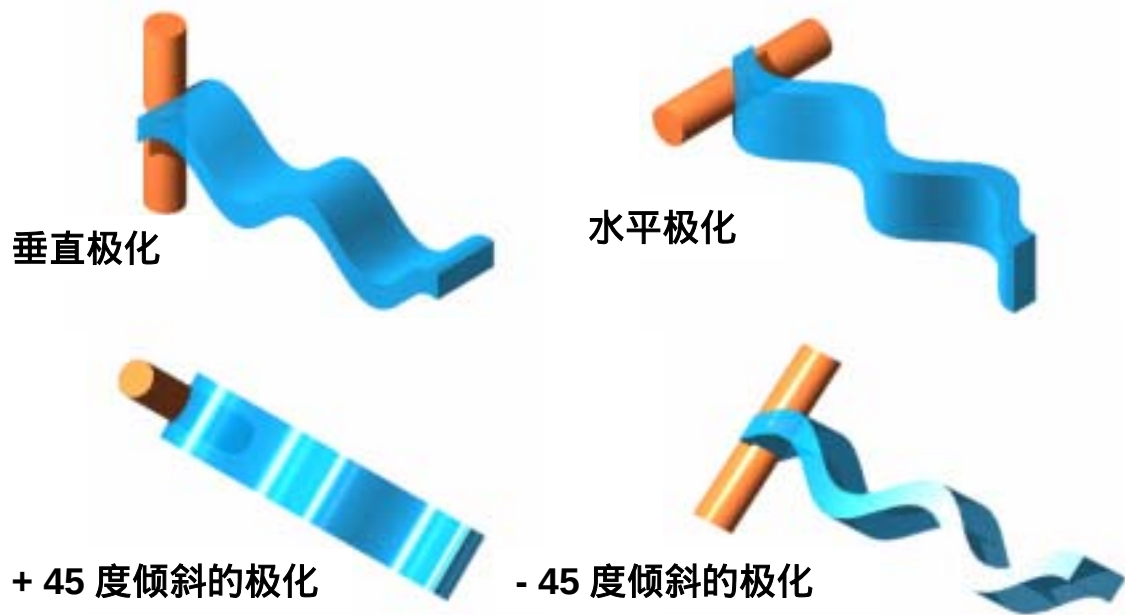
1.2 无线电波的极化

无线电波在空间传播时，其电场方向是按一定的规律而变化的，这种现象称为无线电波的极化。无线电波的电场方向称为电波的极化方向。如果电波的电场方向垂直于地面，我们就称它为垂直极化波。如果电波的电场方向与地面平行，则称它为水平极化波。



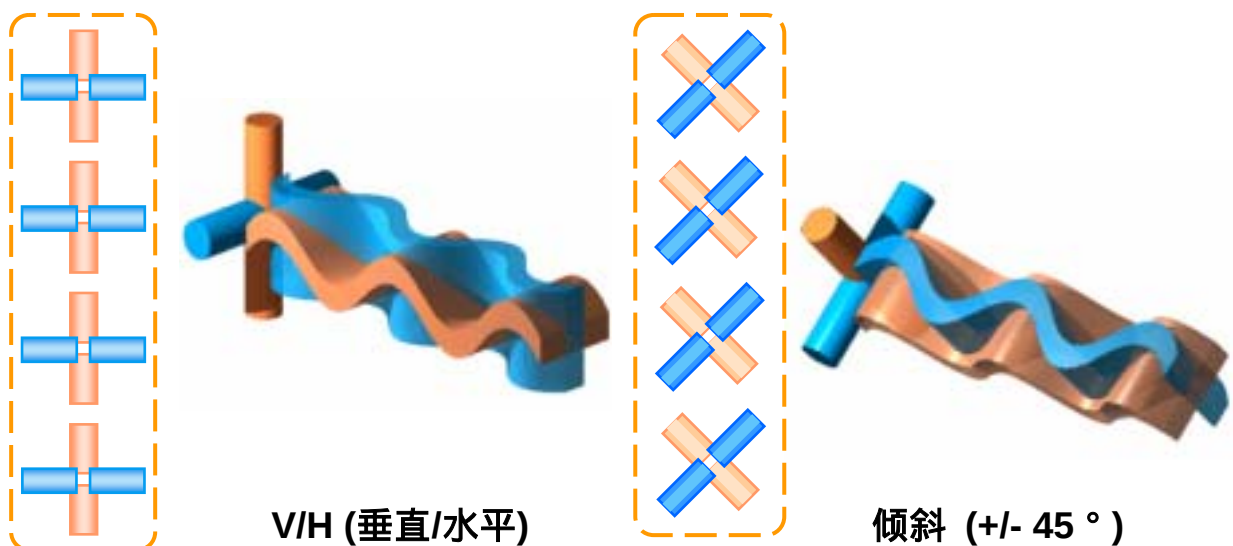
1.3 天线的极化

天线辐射的电磁场的电场方向就是天线的极化方向



双极化天线

- 两个天线为一个整体
- 两个独立的波



1.4 圆极化波

如果电波在传播过程中电场的方向是旋转的，就叫做椭圆极化波。旋转过程中，如果电场的幅度，即大小保持不变，我们就叫它为圆极化波。向传播方向看去顺时针方向旋转的叫右旋圆极化波，反时针方向旋转的叫做左旋圆极化波。

垂直极化波要用具有垂直极化特性的天线来接收；水平极化波要用具有水平极化特性的天线来接收；

右旋圆极化波要用具有右旋圆极化特性的天线来接收；而左旋圆极化波要用具有左旋圆极化特性的天线来接收。当来波的极化方向与接收天线的极化方向不一致时，在接收过程中通常都要产生极化损失，例如：当用圆极化天线接收任一线极化波，或用线极化天线接收任一圆极化波时，都要产生 3 分贝的极化损失，即只能接收到来波的一半能量；

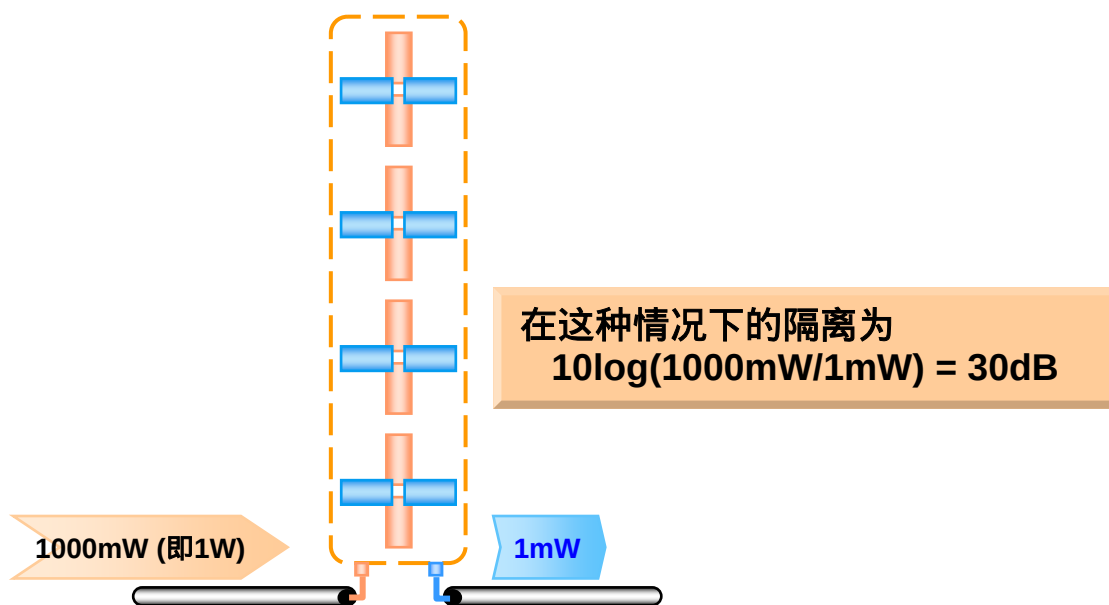
1.4 极化损失

当来波的极化方向与接收天线的极化方向不一致时，在接收过程中通常都要产生极化损失，例如：当用圆极化天线接收任一线极化波，或用线极化天线接收任一圆极化波时，都要产生 3 分贝的极化损失，即只能接收到来波的一半能量；

当接收天线的极化方向（例如水平或右旋圆极化）与来波的极化方向（相应为垂直或左旋圆极化）完全正交时，接收天线也就完全接收不到来波的能量，这时称来波与接收天线极化是隔离的。

1.6 (极化)隔离

隔离代表馈送到一种极化的信号在另外一种极化中出现的比例

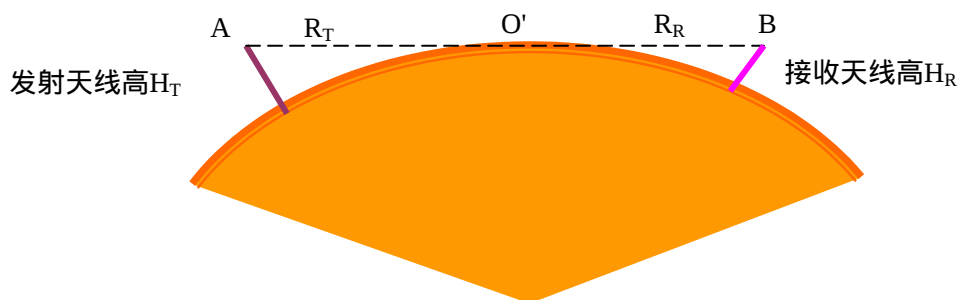


2 超短波的传播

无线电波的波长不同，传播特点也不完全相同。目前GSM和CDMA移动通信使用的频段都属于UHF（特高频）超短波段，其高端属于微波。

2.1 超短波和微波的视距传播

超短波和微波的频率很高，波长较短，它的地面波衰减很快。因此也不能依靠地面波作较远距离的传播，它主要是由空间波来传播的。空间波一般只能沿直线方向传播到直接可见的地方。在直视距离内超短波的传播区域习惯上称为“照明区”。在直视距离内超短波接收装置才能稳定地接收信号。直视距离和发射天线以及接收天线的高度有关系，并受到地球曲率半径的影响。由简单的几何关系式可知 $AB = 3.57(\sqrt{H_T} + \sqrt{H_R})$ (公里)



由于大气层对超短波的折射作用，有效传播直视距离为

$$AB = 4.12 (\sqrt{H_T} + \sqrt{H_R}) (\text{公里})$$

2.2 电波的多径传播

电波除了直接传播外，遇到障碍物，例如，山丘、森林、地面或楼房等高大建筑物，还会产生反射。因此，到达接收天线的超短波不仅有直射波，还有反射波，这种现象就叫多径传输。

由于多途径传播使得信号场强分布相当复杂，波动很大；也由于多径传输的影响，会使电波的极化方向发生变化，因此，有的地方信号场强增强，有的地方信号场强减弱。另外，不同的障碍物对电波的反射能力也不同。例如：钢筋混凝土建筑物对超短波的反射能力比砖墙强。我们应尽量避免多径传输效应的影响。同时可采取空间分集或极化分集的措施加以对应。

2.3 电波的绕射传播

电波在传播途径上遇到障碍物时，总是力图绕过障碍物，再向前传播。这种现象叫做电波的绕射。超短波的绕射能力较弱，在高大建筑物后面会形成所谓的“阴影区”。信号质量受到影响的程度不仅和接收天线距建筑物的距离及建筑物的高度有关，还和频率有关。例如一个建筑物的高度为10米，在距建筑物200米处接收的信号质量几乎不受影响，但在距建筑物100米处，接收信号场强将比无高楼时明显减弱。这时，如果接收的是216 ~ 223兆赫的电视信号，接收信号场强比无高楼时减弱16分贝，当接收670兆赫的电视信号时，接收信号场强将比无高楼时减弱20分贝。如果建筑物的高度增加到50米时，则在距建筑物1000米以内，接收信号的场强都将受到影响，因而有不同程度的减弱。也就是说，频率越高，建筑物越高、越近，影响越大。相反，频率越低，建筑物越矮、越远，影响越小。

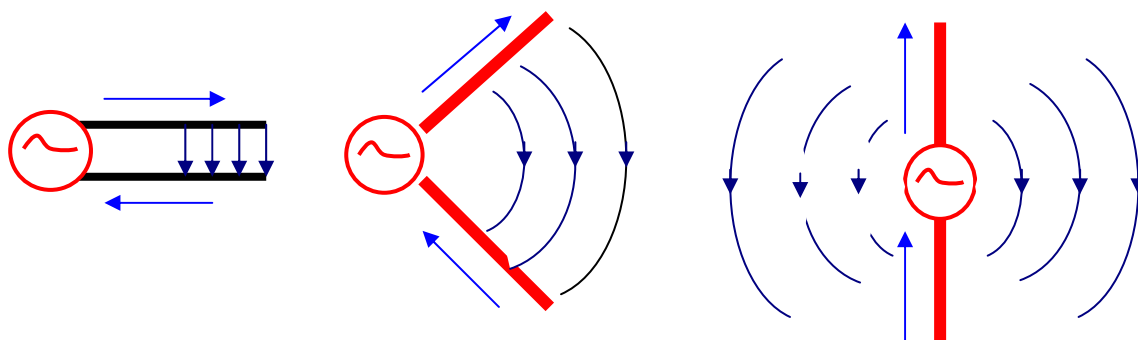
因此，架设天线选择基站场地时，必须按上述原则来考虑对绕射传播可能产生的各种不利因素，并努力加以避免。

3 天线辐射电磁波的基本原理

导线载有交变电流时，就可以形成电磁波的辐射，辐射的能力与导线的

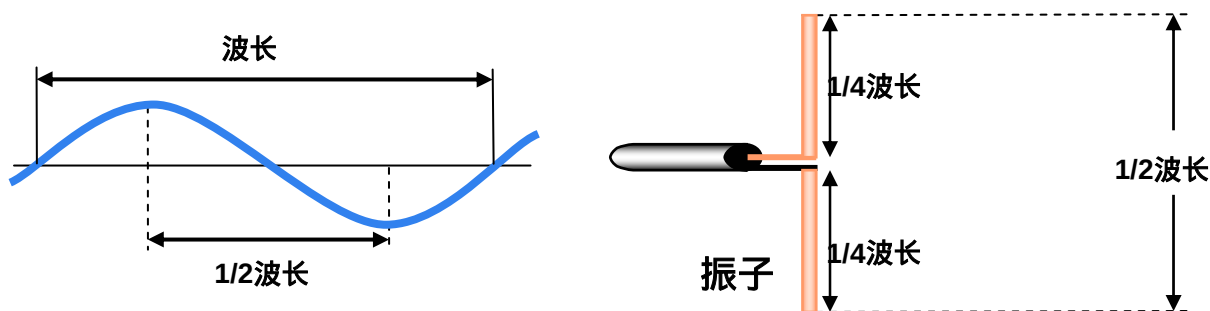
长短和形状有关.如果导线位置如由于两导线的距离很近,且两导线所产生的感应电动势几乎可以抵消,因而辐射很微弱。如果将两导线张开,这时由于两导线的电流方向相同,由两导线所产生的感应电动势方向相同,因而辐射较强。当导线的长度 l 远小于波长时,导线的电流很小,辐射很微弱。

当导线的长度增大到可与波长相比拟时,导线上的电流就大大增加,因而就能形成较强的辐射。通常将上述能产生显著辐射的直导线称为振子。



3.1 对称振子

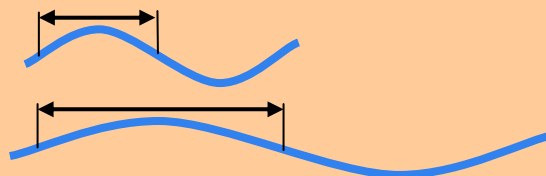
两臂长度相等的振子叫做对称振子。每臂长度为四分之一波长。全长与波长相等的振子,称为全波对称振子。将振子折合起来的,称为折合振子。



一个 $1/2$ 波长的对称振子 在

800MHz 约 200mm长

400MHz 约 400mm 长



3.2 天线的输入阻抗

天线和馈线的连接端，即馈电点两端感应的信号电压与信号电流之比，称为天线的输入阻抗。输入阻抗有电阻分量和电抗分量。输入阻抗的电抗分量会减少从天线进入馈线的有效信号功率。因此，必须使电抗分量尽可能为零，使天线的输入阻抗为纯电阻。

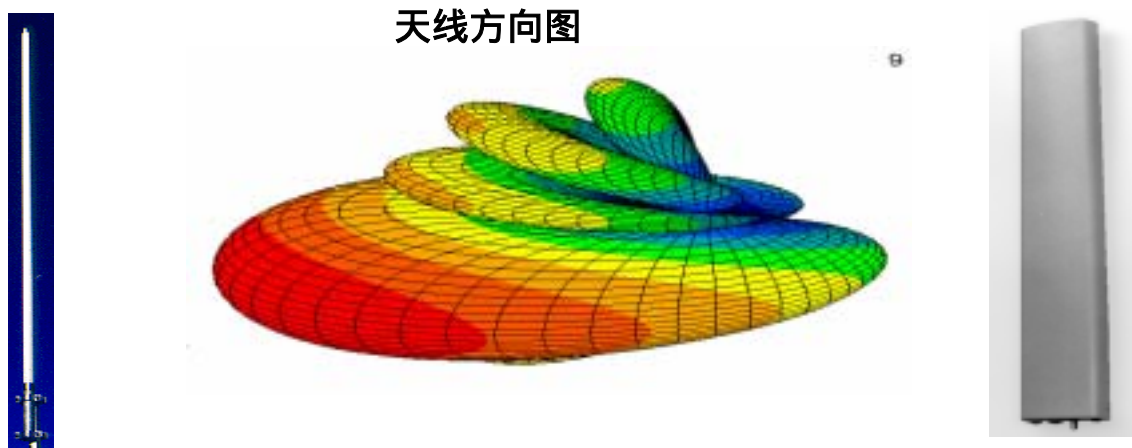
输入阻抗与天线的结构和工作波长有关，基本半波振子，即由中间对称馈电的半波长导线，其输入阻抗为 $(73.1 + j 42.5)$ 欧姆。当把振子长度缩短 3 % ~ 5 % 时，就可以消除其中的电抗分量，使天线的输入阻抗为纯电阻，即使半波振子的输入阻抗为 73.1 欧（标称 75 欧）。

而全长约为一个波长，且折合弯成 U 形管形状由中间对称馈电的折合半波振子，可看成是两个基本半波振子的并联，而输入阻抗为基本半波振子输入阻抗的四倍，即 292 欧（标称 300 欧）。

3.3 天线的方向性

天线的方向性是指天线向一定方向辐射电磁波的能力。对于接收天线而言，方向性表示天线对不同方向传来的电波所具有的接收能力。天线的方向性的特性曲线通常用方向图来表示。

方向图可用来说明天线在空间各个方向上所具有的发射或接收电磁波的能力。



3.4 天线的工作频率范围(带宽)

无论是发射天线还是接收天线，它们总是在一定的频率范围内工作的，通常，工作在中心频率时天线所能输送的功率最大，偏离中心频率时它所输送的功率都将减小，据此可定义天线的频率带宽。

有几种不同的定义：

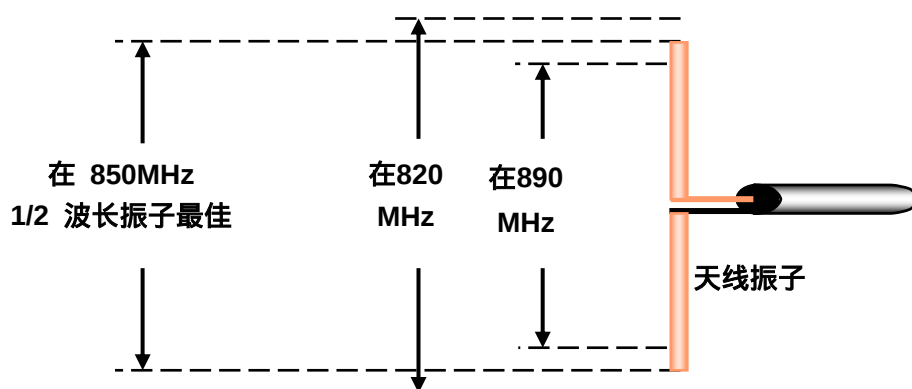
一种是指天线增益下降三分贝时的频带宽度；

一种是指在规定的驻波比下天线的工作频带宽度。

在移动通信系统中是按后一种定义的，具体的说，就是当天线的输入驻波比 ≤ 1.5 时，天线的工作带宽。

当天线的工作波长不是最佳时天线性能要下降

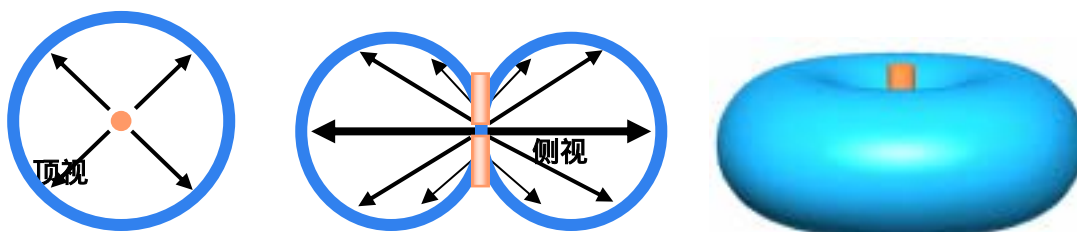
在天线工作频带内,天线性能下降不多,仍然是可以接受的。



在 820 MHz 1/2 波长 为~ 180mm, 在890 MHz 为~ 170mm
175mm对~ 850MHz 将是最佳的
该天线的频带宽度 = 890 - 820 = 70MHz

3.5 天线的功能:控制辐射能量的去向

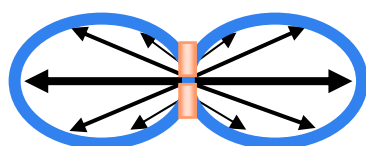
一个单一的对称振子具有“面包圈”形的方向图



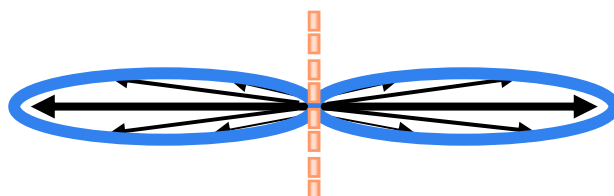
- 在地平面上，为了把信号集中到所需要的地方，要求把“面包圈”压成扁平的。



- 对称振子组阵能够控制辐射能构成“扁平的面包圈”



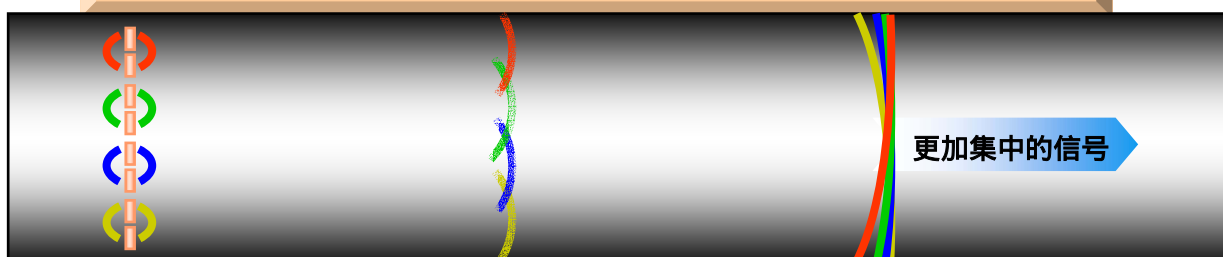
一个对称台振子
假设在接收机中有1mW功率



在阵中有4个对
在接收机中就有4

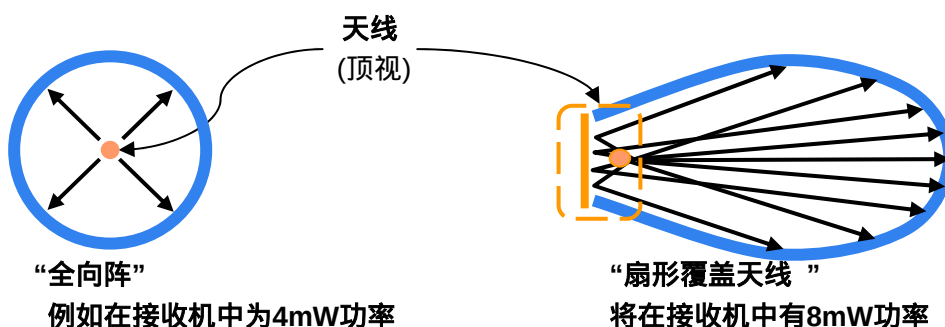
- 增益是指在输入功率相等的条件下，实际天线与理想的辐射单元在空间同一点处所产生的场强的平方之比，即功率之比。增益一般与天线方向图有关，方向图主瓣越窄，后瓣、副瓣越小，增益越高。

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



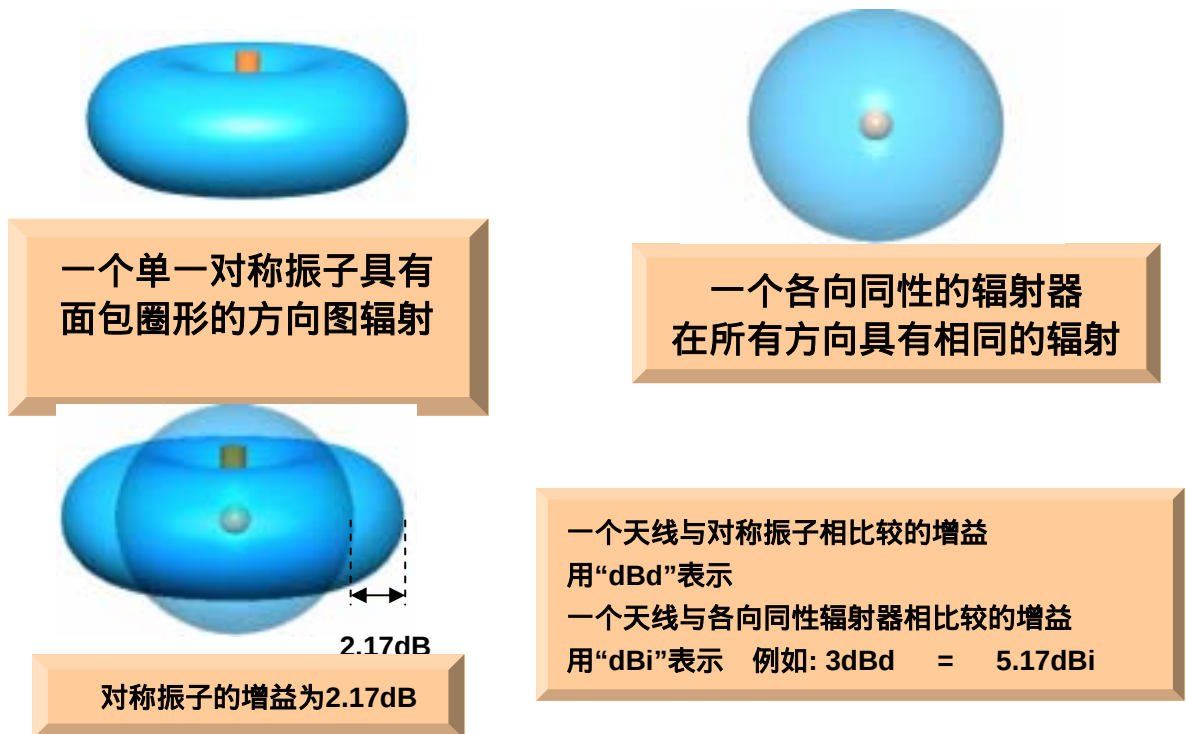
- 利用反射板可把辐射能控制聚焦到一个方向

反射面放在阵列的一边构成扇形覆盖天线



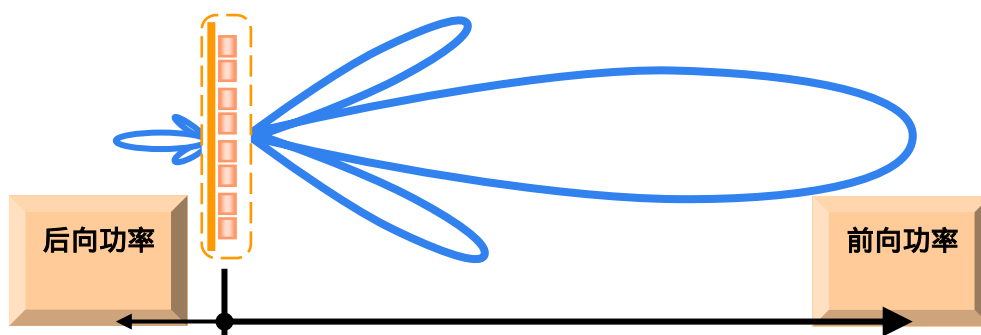
在我们的“扇形覆盖天线”中，反射面把功率聚焦到一个方向进一步提高了增益。这里，“扇形覆盖天线”与单个对称振子相比的增益为 $10\log(8\text{mW}/1\text{mW}) = 9\text{dBd}$

3.6 dBd 和 dBi 的区别



3.7 前后比

方向图中，前后瓣最大电平之比称为前后比。它大，天线定向接收性能就好。基本半波振子天线的前后比为 1，所以对来自振子前后的相同信号电波具有相同的接收能力。



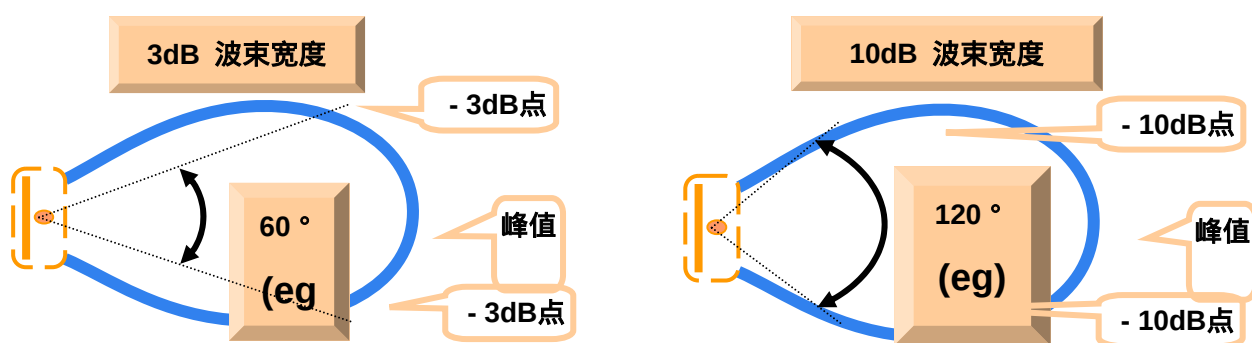
以 dB 表示的前后比= $10 \log \frac{(\text{前向功率})}{(\text{反向功率})}$ 典型值为 25dB 左右

目的是有一个尽可能小的反向功率

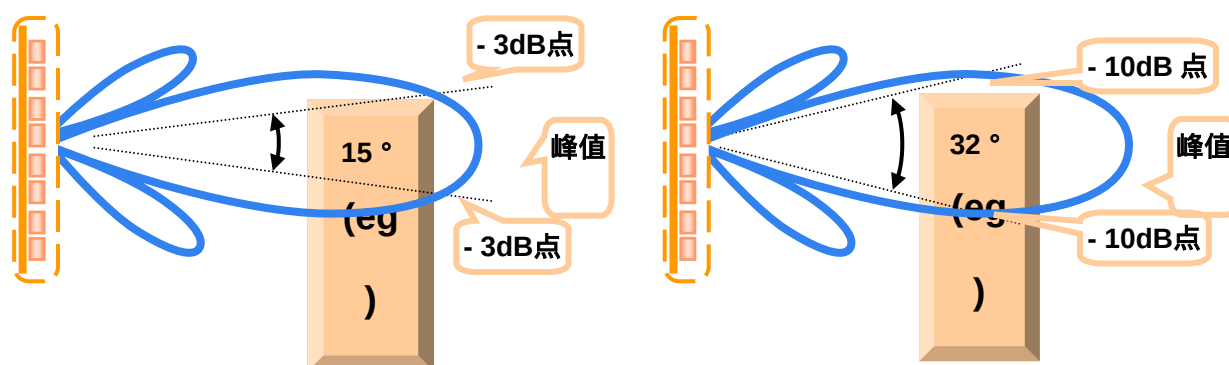
3.8 波束宽度

在方向图中通常都有两个瓣或多个瓣，其中最大的瓣称为主瓣，其余的瓣称为副瓣。主瓣两半功率点间的夹角定义为天线方向图的波瓣宽度。称为半功率（角）瓣宽。主瓣瓣宽越窄，则方向性越好，抗干扰能力越强。

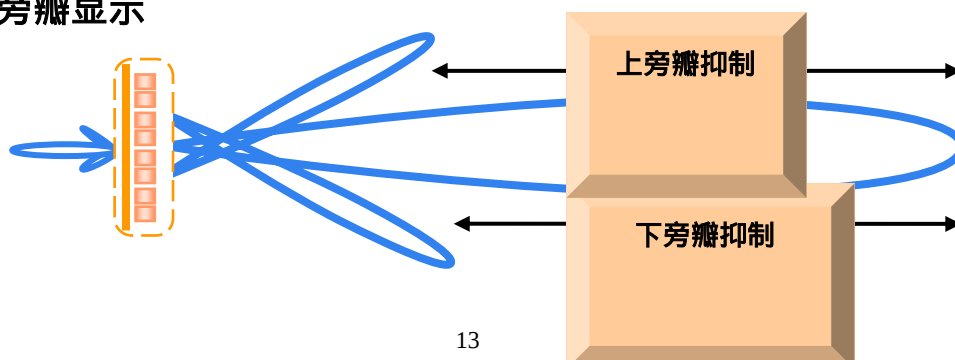
方位即水平面方向图

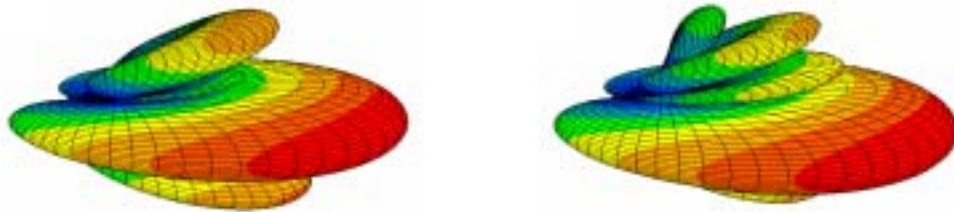


俯仰面即垂直面方向图



- 方向图旁瓣显示





3.9 天线增益与方向图的关系

一般说来，天线的主瓣波束宽度越窄，天线增益越高

- 当旁瓣电平及前后比正常的情况下，可用下式近似表示

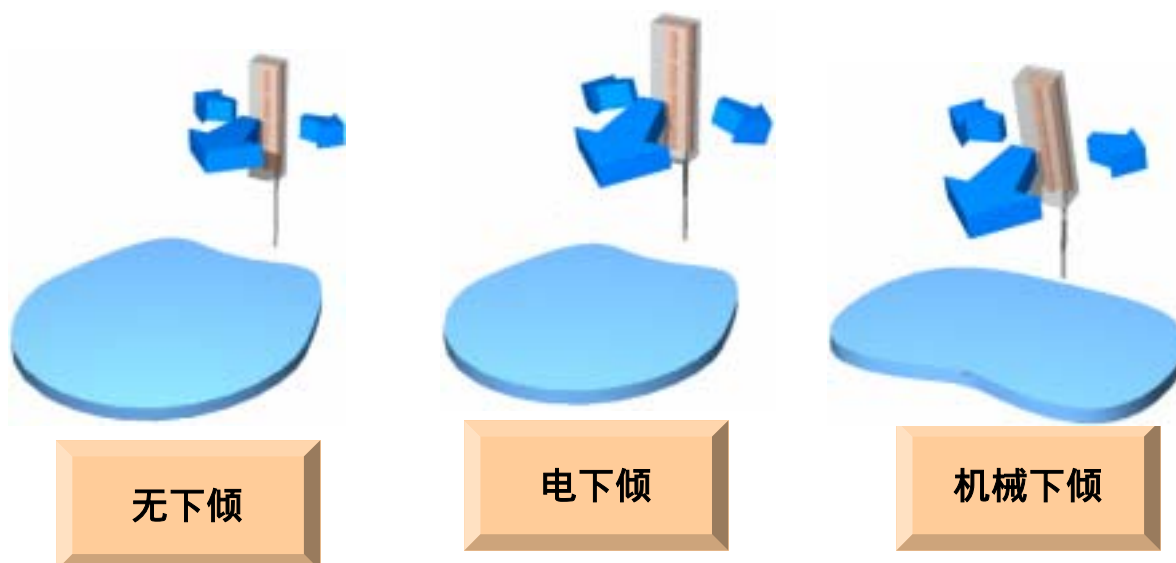
$$G(dB) = 10 \log \frac{32000}{2\theta_{0.5E} 2\theta_{0.5H}}$$

- 对反射面天线，则由于有效照射效率因素的影响，故

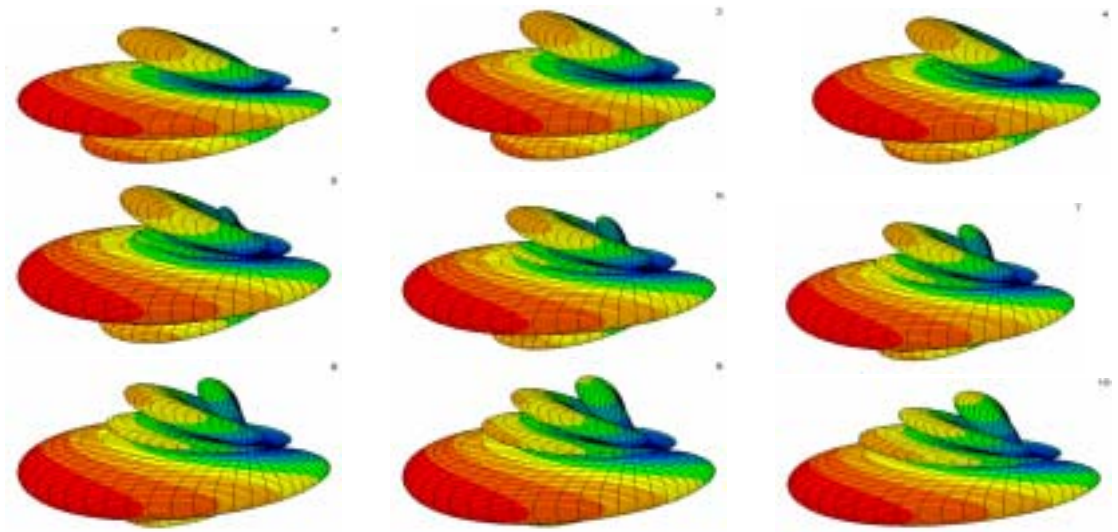
$$G(dB) = 10 \log \frac{27000}{2\theta_{0.5E} 2\theta_{0.5H}}$$

3.10 天线的下倾

为使波束指向朝向地面，需要天线下倾。



•天线波束下倾的演示



4 关于传输线的几个基本概念

连接天线和发射（或接收）机输出（或输入）端的导线称为传输线或馈线。传输线的主要任务是有效地传输信号能量。

因此它应能将天线接收的信号以最小的损耗传送到接收机输入端，或将发射机发出的信号以最小的损耗传送到发射天线的输入端，同时它本身不应拾取或产生杂散干扰信号。这样，就要求传输线必须屏蔽或平衡。

当传输线的几何长度等于或大于所传送信号的波长时就叫做长传输线，简称长线。

4.1 传输线的种类

超短波段的传输线一般有两种：平行线传输线和同轴电缆传输线（微波传输线有波导和微带等）。平行线传输线通常由两根平行的导线组成。它是对称式或平衡式的传输线。这种馈线损耗大，不能用于 UHF 频段。同轴电缆传输线的两根导线为芯线和屏蔽铜网，因铜网接地，两根导体对地不对称，因此叫做不对称式或不平衡式传输线。同轴电缆工作频率范围宽，损耗小，对静电耦合有一定的屏蔽作用，但对磁场的干扰却无能为力。使用时切忌与有强电流的线路并行走向，也不能靠近低频信号线路。

4.2 传输线的特性阻抗

无限长传输线上各点电压与电流的比值等于特性阻抗，用符号 Z_0 表示。

同轴电缆的特性阻抗

$Z_0 = [138 / \sqrt{\epsilon_r}] \times \log(D/d)$ 欧姆。通常 $Z_0 = 50$ 欧姆/或 75 欧姆

式中， D 为同轴电缆外导体铜网内径；

d 为其芯线外径；

ϵ_r 为导体间绝缘介质的相对介电常数。

由上式不难看出，馈线特性阻抗与导体直径、导体间距和导体间介质的介电常数有关，与馈线长短、工作频率以及馈线终端所接负载阻抗大小无关。

4.3 馈线衰减常数

信号在馈线里传输，除有导体的电阻损耗外，还有绝缘材料的介质损耗。这两种损耗随馈线长度的增加和工作频率的提高而增加。因此，应合理布局尽量缩短馈线长度。损耗的大小用衰减常数表示。单位用分贝（dB）/ 米或分贝 / 百米表示。

这里顺便再说明一下分贝的概念，当输入功率为 P_1 。输出功率为 P_2 时，传输损耗可用 γ 表示， $\gamma \text{ (dB)} = 10 \times \log(P_1 / P_2)$ (分贝)。

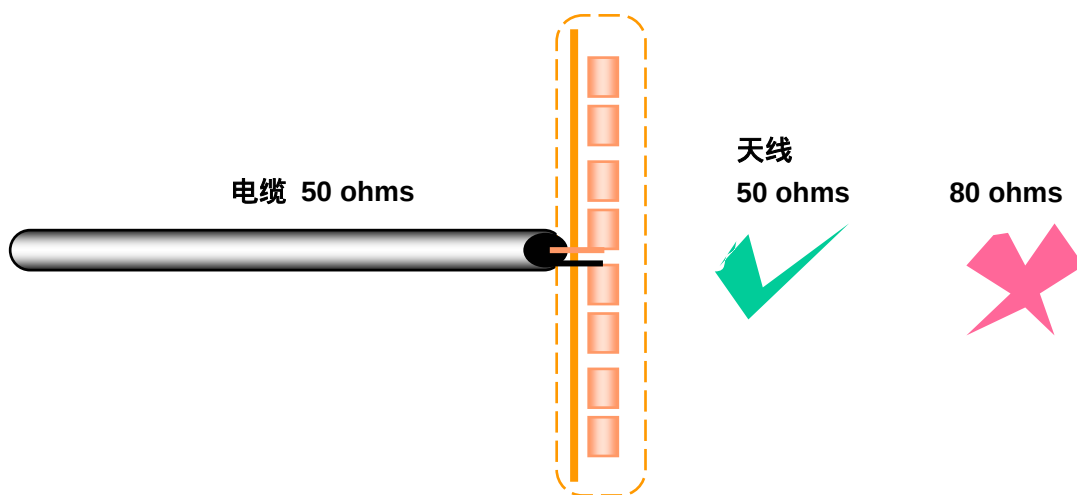
4.4 匹配的概念

什么叫匹配？我们可简单地认为，馈线终端所接负载阻抗 Z_L 等于馈线特性阻抗 Z_0 时，称为馈线终端是匹配连接的。当使用的终端负载是天线时，如果天线振子较粗，输入阻抗随频率的变化就较小，容易和馈线保持匹配，这时振子的工作频率范围就较宽。反之，则较窄。

在实际工作中，天线的输入阻抗还会受周围物体存在和杂散电容的影响。为了使馈线与天线严格匹配，在架设天线时还需要通过测量，适当地调整天线的结构，或加装匹配装置。

● 匹配和失配例

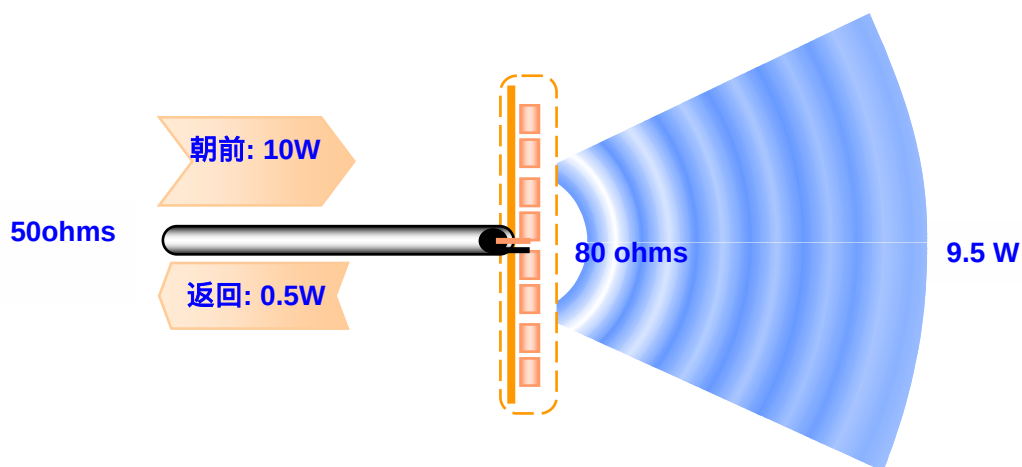
要获得良好的电性能阻抗必须匹配



4.5 反射损耗

当馈线和天线匹配时，高频能量全部被负载吸收，馈线上只有入射波，没有反射波。馈线上传输的是行波，馈线上各处的电压幅度相等，馈线上任意一点的阻抗都等于它的特性阻抗。

而当天线和馈线不匹配时，也就是天线阻抗不等于馈线特性阻抗时，负载就不能全部将馈线上传输的高频能量吸收，而只能吸收部分能量。入射波的一部分能量反射回来形成反射波。



这里的反射损耗为 $10\log(10/0.5) = 13\text{dB}$ 、

VSWR 是反射损耗的另一种计量

4.6 馈线和天线的电压驻波比

在不匹配的情况下,馈线上同时存在入射波和反射波。两者叠加,在入射波和反射波相位相同的地方振幅相加最大,形成波腹;而在入射波和反射波相位相反的地方振幅相减为最小,形成波节。其它各点的振幅则介于波幅与波节之间。这种合成波称为驻波。反射波和入射波幅度之比叫作反射系数。

$$\text{反射系数 } \Gamma = \frac{\text{反射波幅度}}{\text{入射波幅度}} = \frac{(Z - Z_0)}{(Z + Z_0)}$$

驻波波腹电压与波节电压幅度之比称为驻波系数,也叫电压驻波比 (VSWR)

$$\text{驻波系数 } S = \frac{\text{驻波波腹电压幅度最大值 } V_{\max}}{\text{驻波波节电压幅度最小值 } V_{\min}} = \frac{(1+\Gamma)}{(1-\Gamma)}$$

终端负载阻抗和特性阻抗越接近,反射系数越小,驻波系数越接近于 1,匹配也就越好。

4.7 平衡装置

电源、负载和传输线,根据它们对地的关系,都可以分成平衡和不平衡两类。若电源两端与地之间的电压大小相等,极性相反,就称为平衡电源,否则称为不平衡电源;与此相似,若负载两端或传输线两导体与地之间阻抗相同,则称为平衡负载或平衡(馈线)传输线,否则为不平衡负载或不平衡(馈线)传输线。

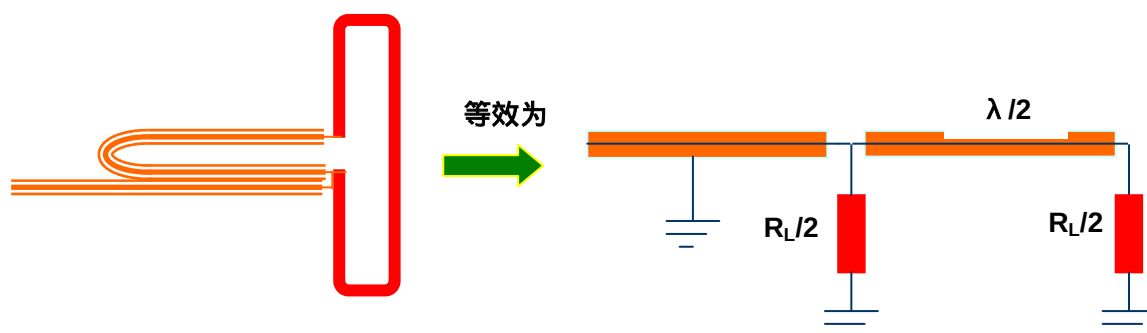
在不平衡电源或不平衡负载之间应当用同轴电缆连接,在平衡电源与平衡负载之间应当用平行(馈线)传输线连接,这样才能有效地传输电磁能,否则它们的平衡性或不平衡性将遭到破坏而不能正常工作。为了解决这个问题,通常在中间加装“平衡 - 不平衡”的转换装置,一般称为平衡变换器。

● 二分之一波长平衡变换器

又称“U”形平衡变换器,它用于不平衡馈线与平衡负载连接时的平衡变

换，并有阻抗变换作用。

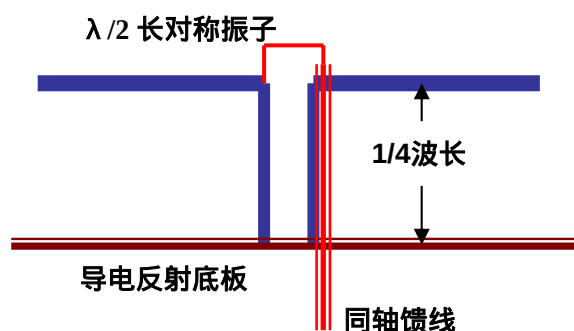
移动通信系统中，采用的同轴电缆通常特性阻抗为 50 欧，所以还必须采用适当间距的振子将折合式半波振子天线的阻抗调整到 200 欧左右，才能实现最终与主馈线 50 欧同轴电缆的阻抗匹配。



- 四分之一波长平衡-不平衡变换器

利用四分之一波长短路传输线终端为高频开路的性质实现天线平衡输入端口与同轴馈线不平衡输出端口之间的平衡-不平衡变换。

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{jZ_L \tan \beta l + Z_0}$$



5 典型的移动基站天线技术指标综述

- 频率范围 MHz 820 – 890
- 频带宽度 MHz 70
- 增益 dBi 15
- 极化 垂直
- 阻抗 Ω 50
- 反射损耗 dB >18
- 前后比 dB >30
- 下倾角(可调) 2 - 10 °

- 半功率(3dB) 波束宽度
 - 方位 64 °
 - 俯仰 18 °
- 10 分贝 (10dB)波束宽度
 - 方位 120 °
 - 俯仰 30 °
- 俯仰上旁瓣抑制 dB < -12
- 俯仰下旁瓣抑制 dB < -14

6 通信距离方程

设发射功率为 P_T ,发射天线增益为 G_T ,工作波长为 λ 。接收灵敏度为 P_R ,接收天线增益为 G_R ,如果收、发天线间距离为 R ,电波在无环境干扰时 ,有以下关系 :

式中 , L_0 是传播途中的电波损耗。

举例 : 设 $P_T=10\text{mW}=-20\text{dBW}$; $P_R=-50\text{dBm}=-80\text{dBW}$

$G_R=G_T=7\text{dBi}$; $\lambda=0.157\text{m}$ ($f_0=1910\text{MHz}$)

$L_0=0$ 时 , $R=?$

$$20\log R = P_T - P_R - 20\log 1/\lambda + G_R + G_T$$

$$=-20+80-21.98-16.08+14=35.94\text{dB}$$

$$R = 10^{\frac{35.94}{20}} = 62.7(m)$$

1.9GHz电波在穿透一层墙时 , 大约损失10~15dB。