

天线与电波的基本知识

(1) 天线是什么？

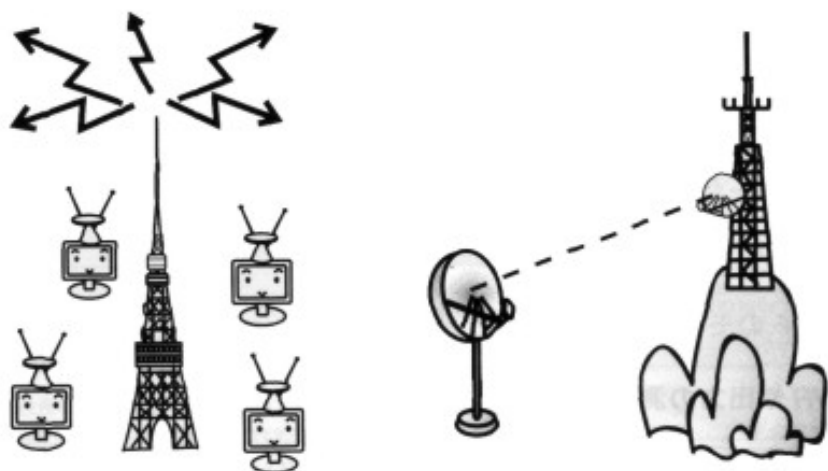
电台通过天线向天空中发射电波，同时通过天线从天空中接收电波，因此对电台来说，天线具有特别重要的作用。性能良好的电台，必须配备性能良好的天线，二者缺一不可。

■ 差天线和好天线

天线的材料必须是导体，也就是电阻值比较小的各种金属。由于天线的材料必须是金属，因此从理论上讲，任何金属物品都可以当作天线。例如，我们可以用平底锅和烧水壶当作天线，但我们不知道这种“天线”究竟向什么方向发射电波，也不知道电台的电波是否通过这种“天线”完全发射出去，因此这种“天线”就是坏天线。



以电视台的天线为例，它能够有效地发送给服务区域内的所有家庭。再以移动电话基地台的天线为例，它能够有效地发送给指定范围内的所有用户。不同的天线有不同的目的，能够达到目的的天线就是好天线。



(2) 好天线的三个标准

我们说能够达到目的的天线就是好天线，那么如何具体判断一副天线的好坏呢？一般来说，判断天线好坏有三个标准。

■ SWR（驻波比）

SWR是一个数值，用来衡量电波通过天线发射出去的效率，数值越接近1.0越好。

例如：
 SWR=1.0 表示电波100%发射出去
 SWR=1.5 表示电波只发射出去96%
 SWR=2.0 表示电波只发射出去90%
 SWR=3.0 表示电波只发射出去75%
 SWR=6.0 表示电波只发射出去50%



※成品天线的SWR多数在1.5以下，少数在2.0以下。SWR在1.5以下的天线就是好天线。

■ 增益

增益也是一个数值，用来衡量一副天线与基准天线相比，所发射电波的强度增加了多少。增益的单位是dB（分贝），数值越大，电波强度越高，天线越好。假设基准天线的增益是0dB，如果一副天线的增益也是0dB，则表示电波强度没有增加，与基准天线相同。如果一副天线的增益是3dB，则表示电波强度比基准天线增加了2倍，20dB表示电波强度增加了100倍。对于接收的情况，增益也具有相同的参考意义。

下面是一组增益的例子：

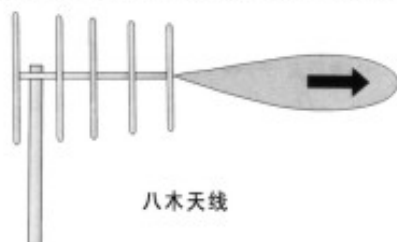
0dB = 电波强度没有增加	20dB = 电波强度增加了100倍
3dB = 电波强度增加了2倍	23dB = 电波强度增加了200倍
10dB = 电波强度增加了10倍	30dB = 电波强度增加了1000倍
13dB = 电波强度增加了20倍	40dB = 电波强度增加了10000倍

■ 方向性

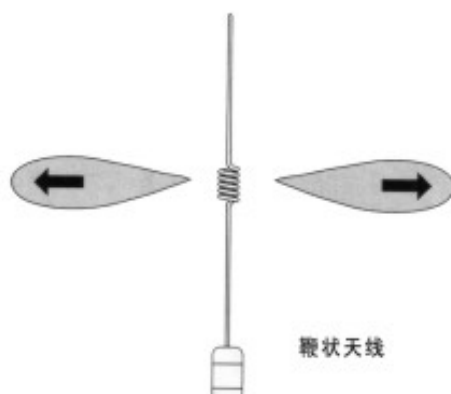
以微波天线为例，它只接收来自特定方向的信号，这就是方向性。一副天线，如果它能够向特定方向最大限度发射电波，或者从特定方向最大限度接收电波，那么它就是好天线。

下面是两种常见天线提高方向性的方法：

- ① 八木天线（左图）通过增加单元数来提高方向性。
- ② 鞭状天线（右图）通过增加长度来提高方向性。



八木天线



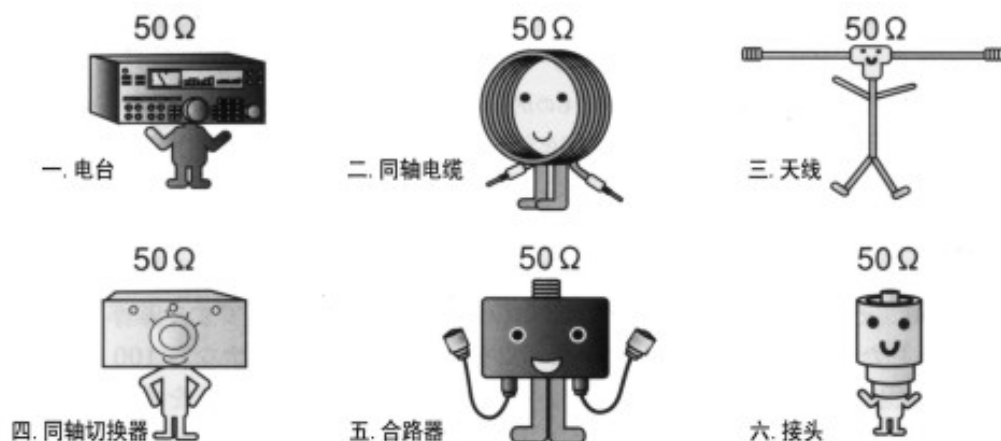
鞭状天线

(3) 天线的SWR

为了将电波高效率地发射出去，电台与同轴电缆之间、同轴电缆与天线之间，必须能够高效率地传送电波。衡量效率高低的指标就是前面介绍过的SWR。下面继续介绍影响SWR的一个主要因素：阻抗。

■ 阻抗

阻抗是交流电路上电压与电流的比值，单位是欧姆（ Ω ）。业余无线电的绝大部分设备，天线输出阻抗都是 50Ω 。我们只有将相同阻抗的设备连接起来，才能保证电波高效率地发射出去，这就是阻抗匹配。下面是六种常见设备的阻抗，均为 50Ω 。

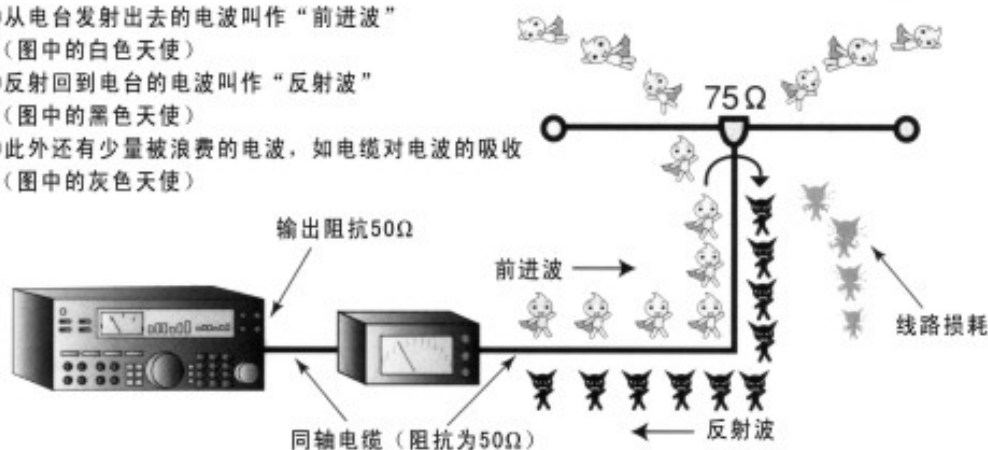


■ 不同阻抗的设备连接起来，会有什么后果？

从阻抗 50Ω 的电台中发射出来的电波，首先通过阻抗 50Ω 的同轴电缆，由于两者阻抗匹配，电波不会损失。但是，假如天线的阻抗不是 50Ω ，而是 75Ω ，那么电波将不能全部发射出去，有一部分电波会沿着同轴电缆反射回到电台。反射回来的电波越多，SWR值越高，电波损失越大。

50Ω 的电台与 75Ω 的天线连接，SWR通常会上升到1.5以上，约4%的电波被反射回来。

- ①从电台发射出去的电波叫作“前进波”
(图中的白色天使)
- ②反射回到电台的电波叫作“反射波”
(图中的黑色天使)
- ③此外还有少量被浪费的电波，如电缆对电波的吸收
(图中的灰色天使)



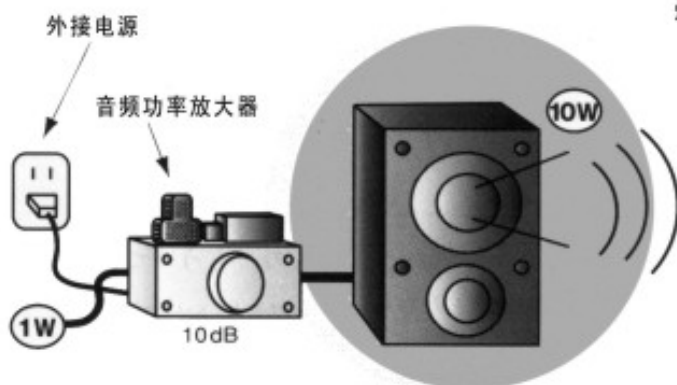
(4) 天线的增益

有两种方法可以提高天线的增益：一是利用有源放大器，二是将电波集中在某个特定方向上。

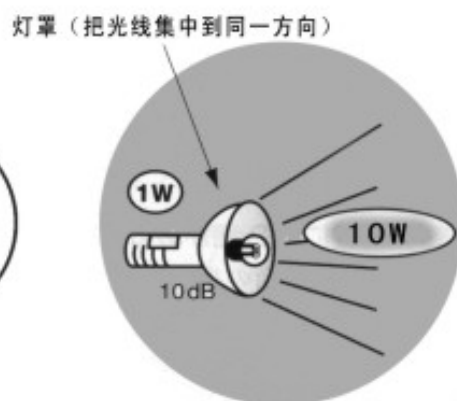
■ 天线的增益

我们可以让一副天线在某个特定方向上达到最大增益。下面举两个例子：

左图是一套音响设备，输入功率只有1W，经过增益为10dB的有源放大器的放大，从音箱正面产生的输出功率变成10W。



右图是一个灯泡，输入功率也是1W，由于灯罩将光线集中在一个方向上，在该方向上，输出功率相当于10W。



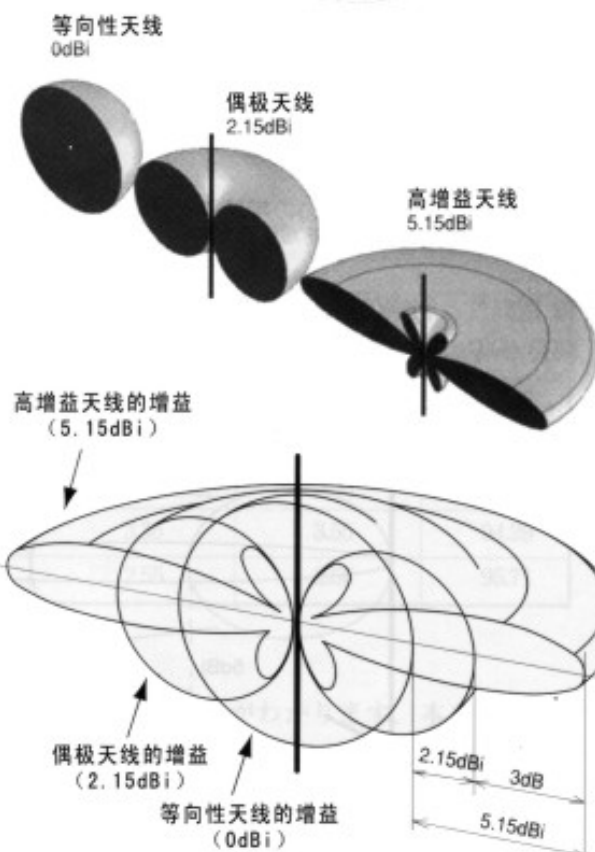
下面是增益从零逐渐变大的三种天线：

①等向性天线（上图）：这种半球形的天线只是理论上假设的天线，实际上并不存在，因为它像太阳一样，向所有方向均匀发射同一强度的电波，电波没有方向性，不符合好天线的第三个标准。在技术上，这种天线的增益用0dBi表示。

②偶极天线（中图）：与等向性天线相比，这种天线的增益有明显提高，可以达到2.15dBi。

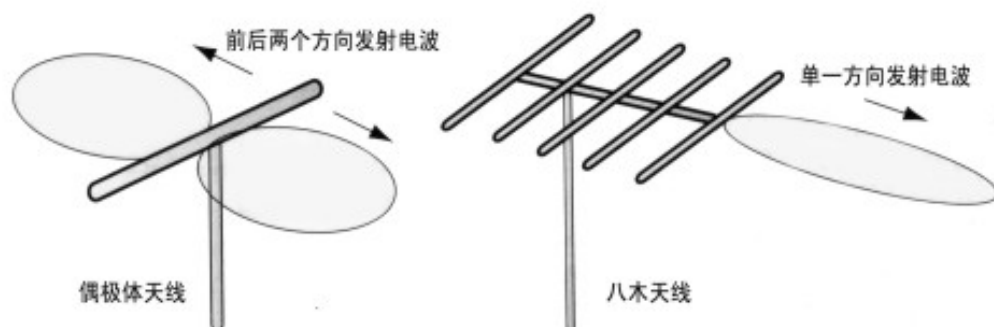
③高增益天线（下图）：与偶极天线相比，这种天线的增益至少增加了3dB，达到5.15dBi。

请注意最后一个小写字母“i”表示isotropic（等向性），表示与等向性天线相比。



(5) 天线的方向性

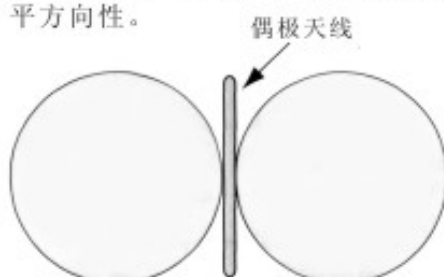
任何天线都有方向性。当我们需要向特定方向发射强电波时，我们应当使用高指向性的天线。



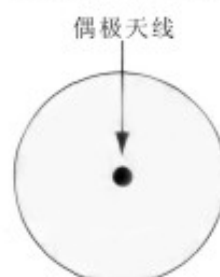
在接收的情况下，方向性同样有参考意义。

■ 两种方向性

以偶极天线为例，如果我们从它的正上方看，它的方向性曲线是两个大圆圈（左图），我们称作水平方向性。

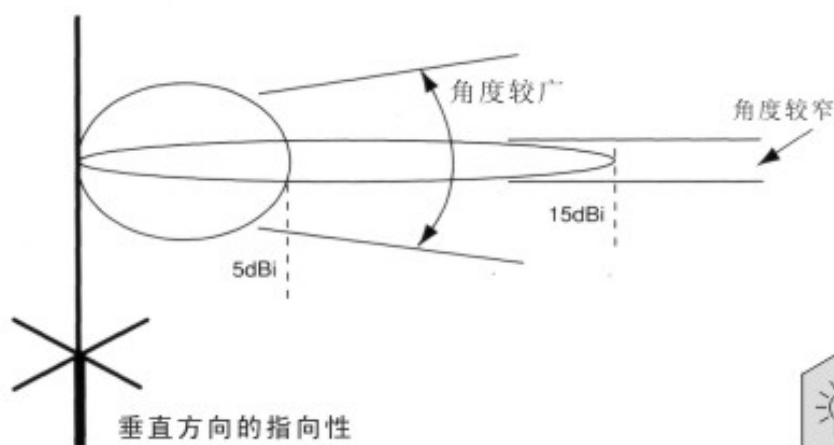


如果从它的正前面看，它的方向性曲线是一个大圆圈（右图），我们称作垂直方向性。



■ 增益与方向性的关系

两者的关系是：要想让增益大，那么方向的范围就要窄。下图是一副天线的垂直方向性曲线，方向范围窄的那部分，增益是15dBi，而方向范围宽的那部分，增益只有5dBi。



在这里，让我们回想一下中学的物理课本知识——能量守恒定律。其实，天线并不能增加电波的强度，但是，天线可以改变电波的方向性，让电波的能量集中到某一个方向，从而达到了“增加电波强度”的效果。就像上面提到的同向性天线，它的电波发射方向是一个圆球，但是，如果通过某种形式的天线，把这个圆球压扁，那么，它的发射距离就远了。

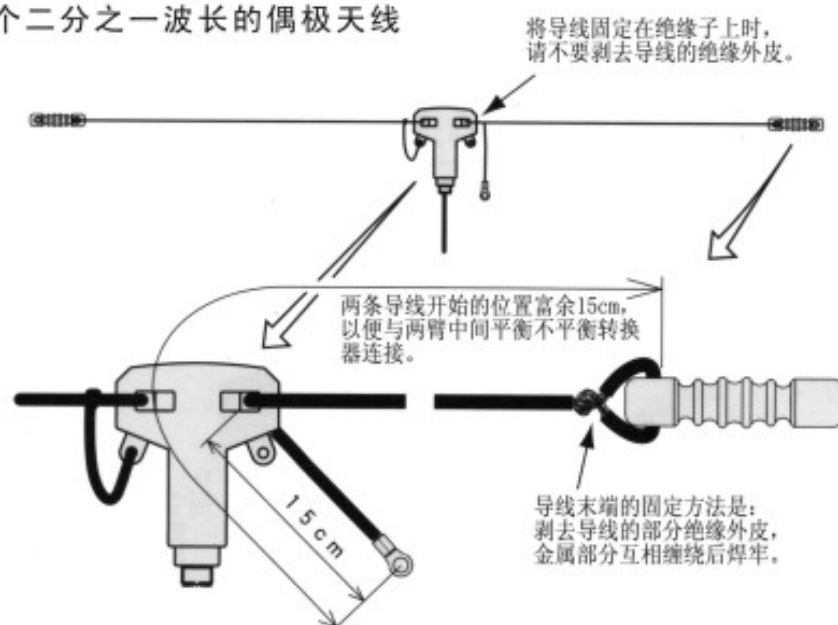
技术专栏

天线的实际长度

天线的长度，通常分为两种：1/2波长和1/4波长。以7MHz波段为例，它的波长是40m，因此1/4波长就是10m（理论值）。但是，天线的好坏还会受到地形和周围环境的影响，按照理论值制作的天线，往往并不是最理想（例如谐振点偏低或偏高），因此在制作天线时，我们还需要利用下列公式，将理论值再略微缩减一点，得出实际长度。即使得出实际长度，仍然需要进行细微调整，直到达到理想状态。

$$\text{实际长度} = \text{理论值} \times \text{缩减率}$$

下图是一个二分之一波长的偶极天线



由左、右两条导线组成（我们也叫两臂），每一臂的导线的实际长度根据下表数据计算出来，最后将两条导线固定在绝缘子上。

波段(MHz) /波长(m)	谐振点 (Mhz)	天线离房顶6米 高处的SWR	每条导线的 实际长度(m)	1/4波长的 理论值(m)	缩短率 (%)
3.5/80	3.52	2.0	19.48	21.31	91.43
7/40	7.02	1.49	9.99	10.68	93.51
14/20	14.15	1.39	4.93	5.30	93.01
21/15	21.11	1.65	3.35	3.55	94.29
28/10	28.15	1.39	2.55	2.66	95.71

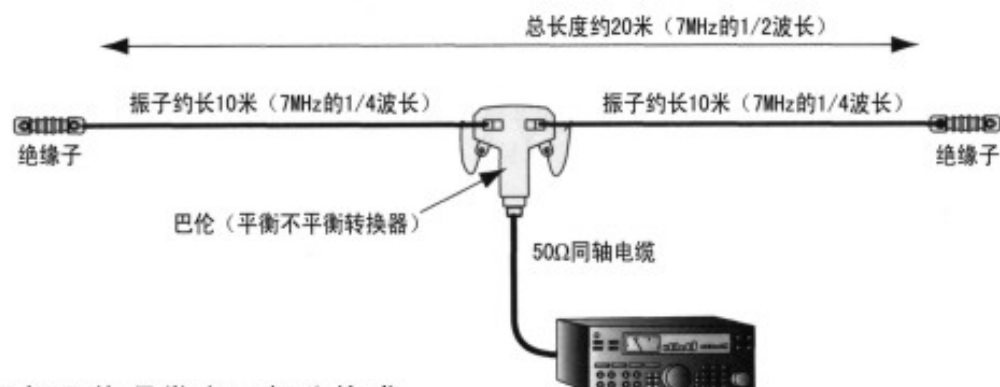
补充：

天线的SWR会受安装高度的影响，上表是按6米的高度作为参考。通常，天线的安装高度越高、周围的干扰物越少，会获得更好的SWR。

HF偶极天线

(6) 偶极天线的结构

偶极天线的结构非常简单，通常由导线、巴伦和绝缘子三部分构成。HF通信大量使用偶极天线，而VHF/UHF通信几乎不使用偶极天线。

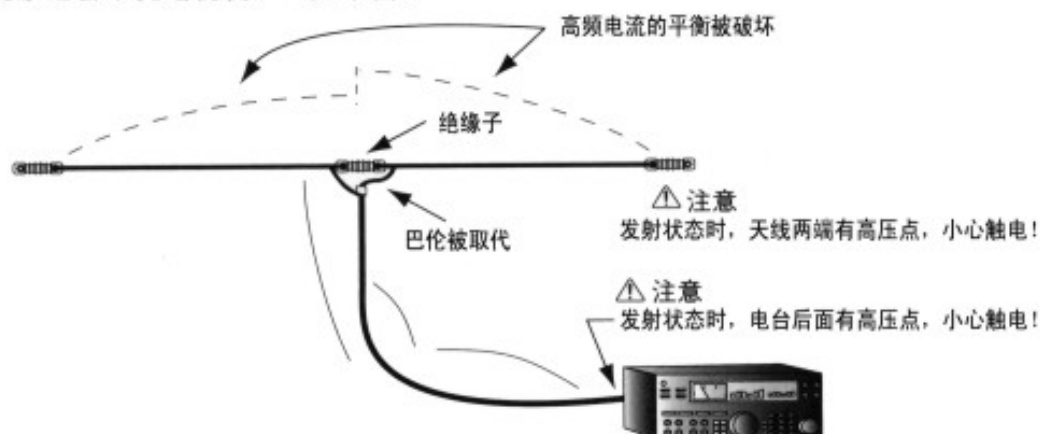


■ 偶极天线通常由三部分构成：

- ①导线：也叫振子，直径2mm左右的金属导线。
- ②巴伦：也叫平衡不平衡转换器，最好有，没有也可以。
- ③绝缘子：如果没有，可以用其它绝缘材料代替。

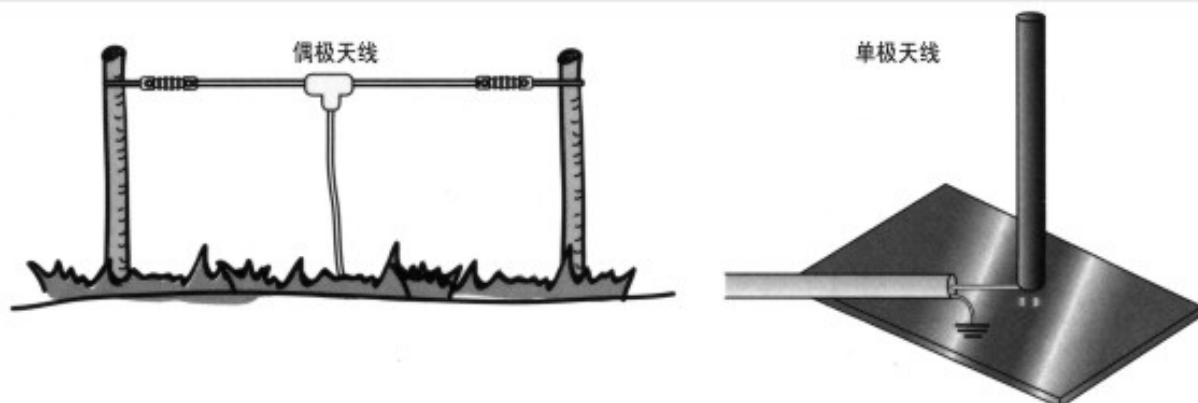
■ 天线没有巴伦会怎样？

简单地讲，天线如果没有巴伦，会有两个后果：一是同轴电缆也发射电波，影响天线的效率。另外，同轴电缆的长度一旦改变，天线的SWR也随之改变。二是电台处于发射状态时，接触电台的某些部位，有可能有触电感觉，很不安全。此外这种漏电现象还会干扰电视机。（如下图）



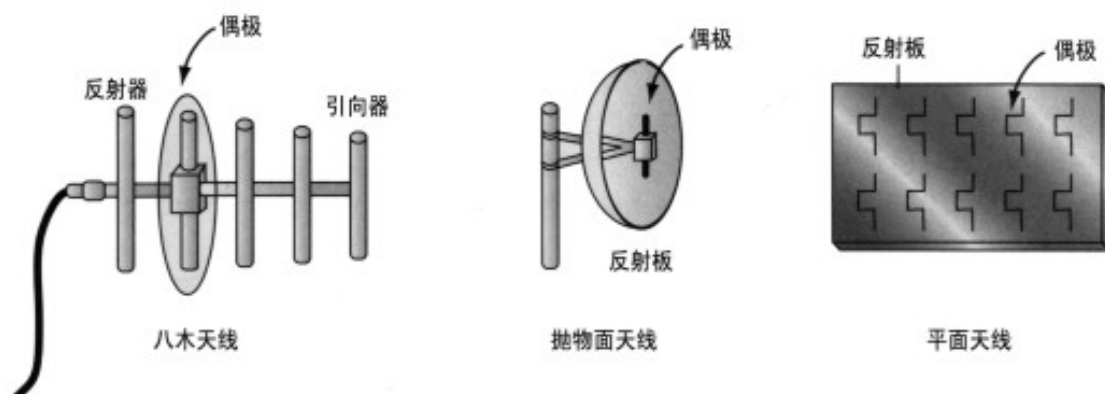
(7) 其它天线中也包含偶极天线

偶极天线（左图）由两条左右对称的导线构成，是最基本的天线形式之一。在其它形式的天线中，往往也包含偶极天线，例如单极天线（右图），它是偶极天线的一种变形体，HF车载天线就属于单极天线。

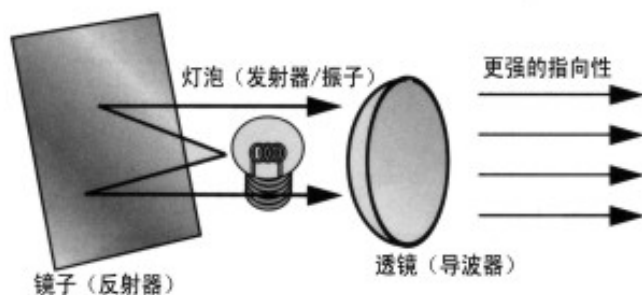


■ 各种天线中都可以看到偶极天线的影子

在八木天线（左图）、抛物面天线（中图）、平面天线（右图）等各种天线中，都可以看到偶极天线的影子。

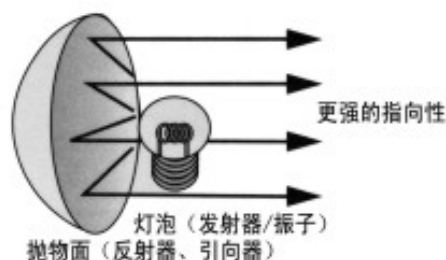


下图是八木天线定向发射电波的原理。灯泡相当于偶极天线振子，镜子相当于反射器，透镜相当于引向器，使电波朝特定方向发射。



八木天线定向发射电波原理

下图是抛物面天线定向发射电波的原理。灯泡相当于偶极天线（发射器），抛物面相当于反射器和引向器，使电波朝特定方向发射。



抛物面天线定向发射电波原理

(8) 偶极天线的长度

偶极天线的长度由频率决定。以7MHz偶极天线为例，它的长度是波长（40m）的二分之一，也就是20m。



■ 关于波长

波长与频率是相对的。一般来说，频率越低，波长越大，例如：

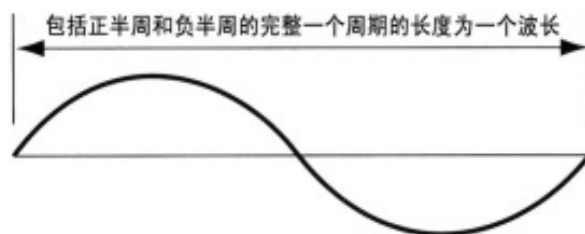
频率（兆赫）	=	波长（米）
3.5MHz	=	80m
7MHz	=	40m
14MHz	=	20m
21MHz	=	15m
28MHz	=	10m
144MHz	=	2m
430MHz	=	0.7m

波长的计算公式是：波长（米）= 电波速率（光速率）÷ 频率（兆赫）= 300 ÷ 频率（MHz）

以7兆为例，它的波长是：

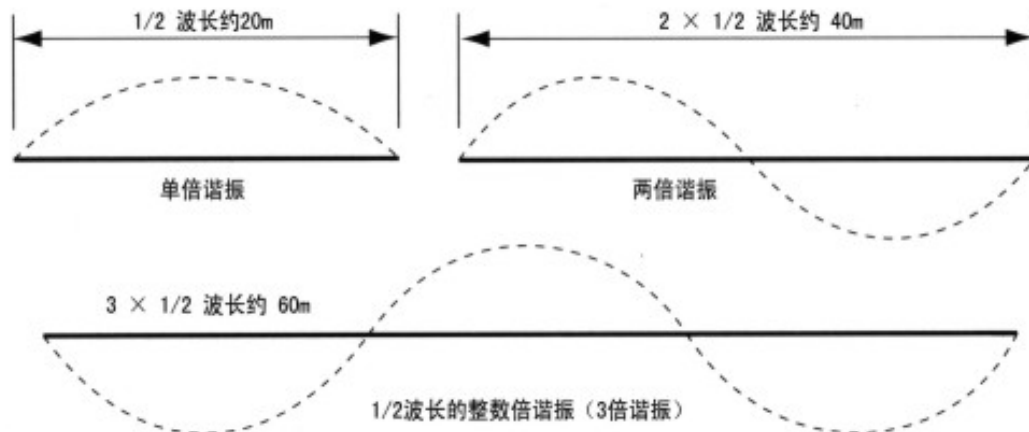
$$300 \div 7 \approx 42.85\text{m}$$

业余无线电爱好者通常将这个数字简称为40m，因此7MHz波段也可以称作40m波段。



■ 偶极天线的长度

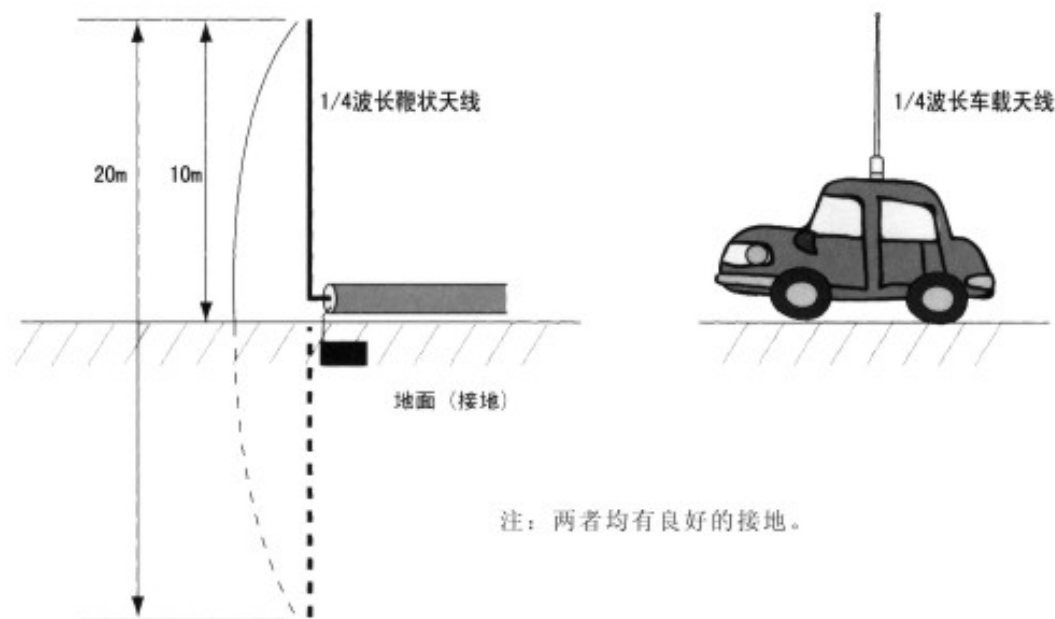
偶极天线的长度如果是二分之一波长，或者是二分之一波长的整数倍，那么偶极天线的效率最高。天线的最高效率状态被称作谐振。（下图以7MHz偶极天线举例）



注：以上三副偶极天线均可谐振，但天线能够谐振，并不代表天线一定工作在最好的状态，详细请参考后面第40小节。

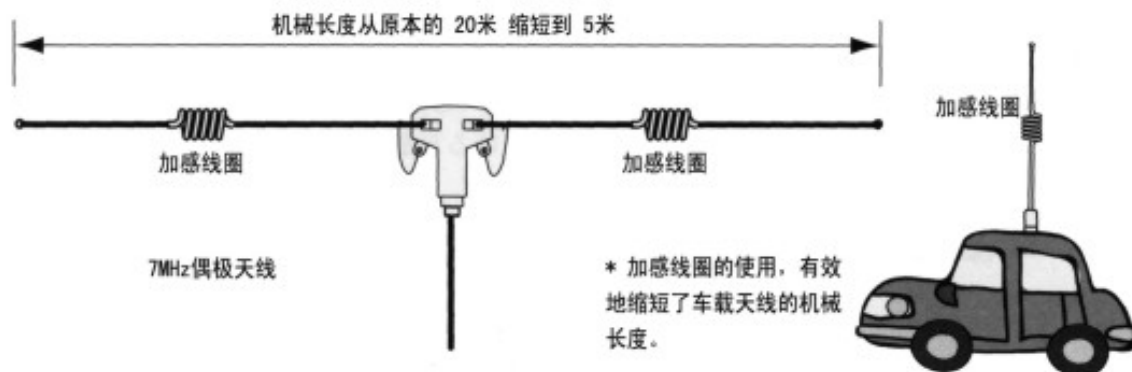
(9) 缩短天线的长度

如果将天线固定在地面上（接地），或者固定在汽车车身上（相当于接地），那么我们可以将二分之一波长的长度再缩短一半，变成四分之一波长。用于移动通联的车载天线就是典型的四分之一波长接地型天线。



■ 利用加感线圈缩短天线的长度

我们所说的1/2波长或1/4波长，并不是指机械长度（实际长度），而是指电气长度。当机械长度和电气长度相等时，天线的效果最好，我们称这种天线为全尺寸天线（Full Size）；当由于客观原因不便制作全尺寸天线时（例如场地空间不足），我们可以将天线导线的一部分缠绕成线圈（学名：加感线圈），此时机械长度缩短了，但电气长度并没有缩短，仍然是1/2波长或1/4波长。

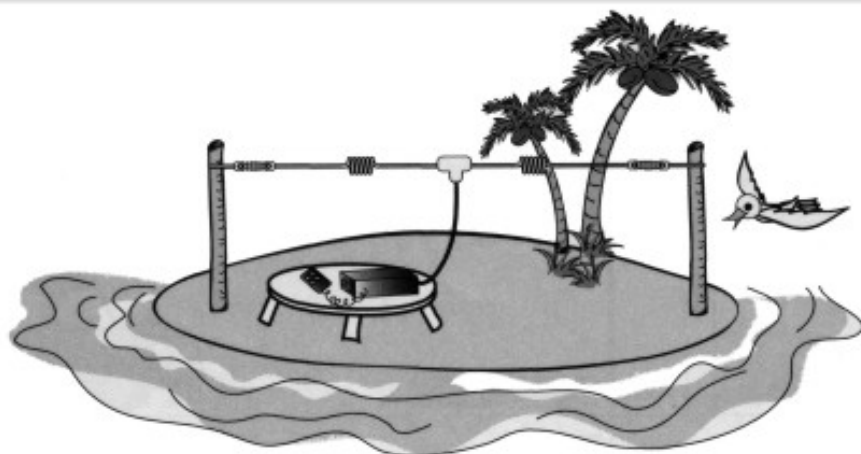


■ 天线能够缩短到什么程度？

理论上讲，我们可以将20m长的导线全部缠绕成加感线圈，制成一根类似水管那样的筒状7MHz天线，但这种天线的电波损失太大，电波能量大部分损耗在线圈上，因此没有实用价值。

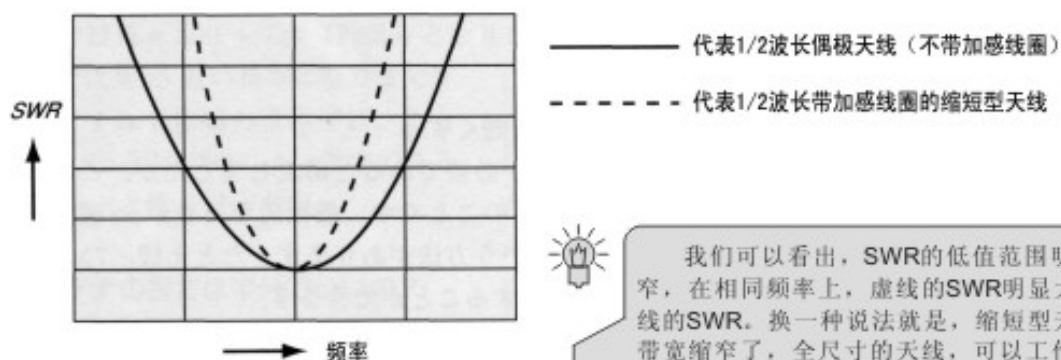
(10) 缩短天线的缺点

利用加感线圈可以明显缩短天线的机械长度，便于我们制作原本很长的低波段天线（例如7MHz天线）。但在同时，缩短型天线也带来了两个问题。



■ 缩短天线的SWR会变大

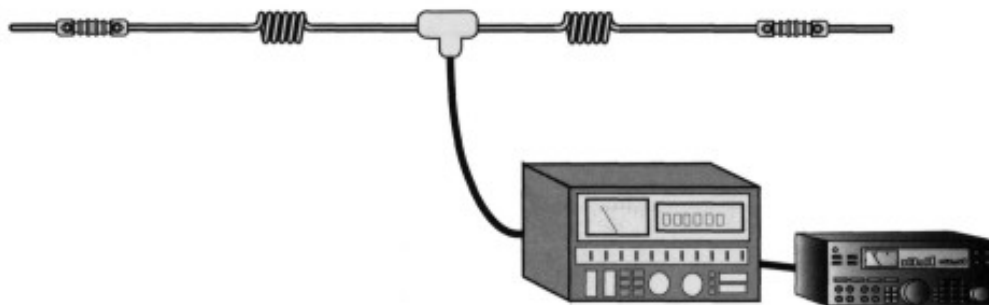
天线缩短之后，虽然机械长度变小了，但SWR却变大了。



我们可以看出，SWR的低值范围明显变窄，在相同频率上，虚线的SWR明显大于实线的SWR。换一种说法就是，缩短型天线的带宽缩窄了，全尺寸的天线，可以工作在很宽的频率范围，缩短型天线的可工作频率范围比较小，缩短得越厉害，工作频率范围越小。

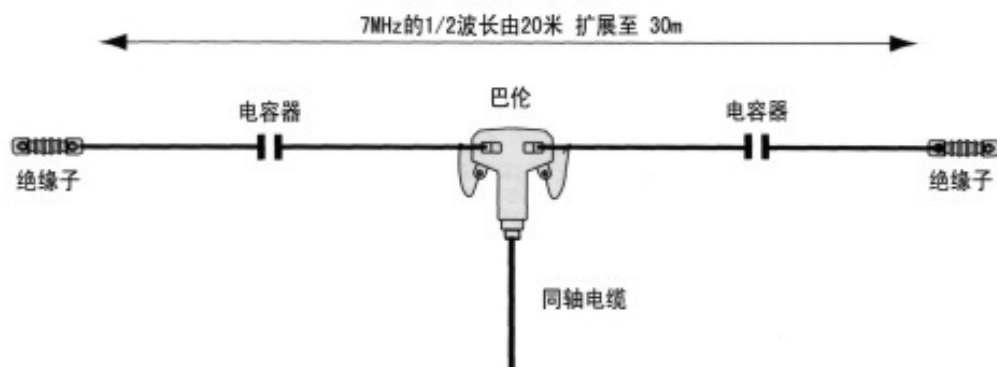
■ 缩短天线不适合大功率发射

加感线圈不能承受过大的发射功率。在某些情况下，加感线圈很可能由于高温而融化。因此在制作带有加感线圈的缩短天线时，一定要使用电阻较小、直径较粗的导线。



(11) 增加天线的长度

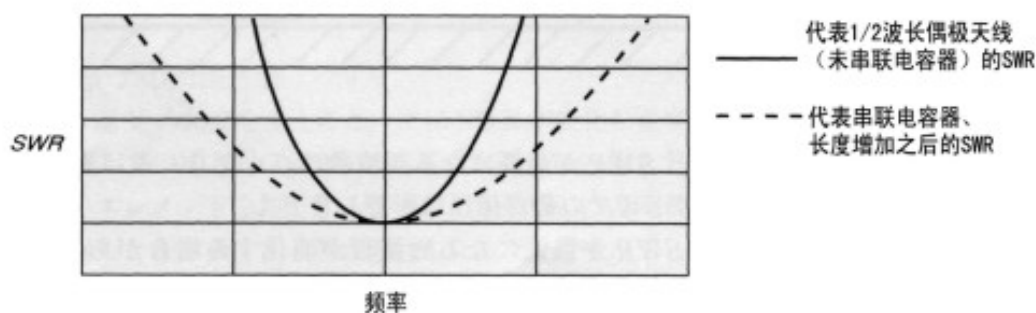
前面介绍了如何缩短天线的长度。事实上，如果在天线导线中间串联一个电容器，我们也可以增加天线的长度。



■ 延长天线有两个优点：

- ① 能够提高天线的增益；
- ② 能够降低天线的SWR，增加天线带宽。

在下图中，实线是二分之一波长偶极天线（未串联电容器）的SWR曲线，虚线是串联电容器、长度增加之后的SWR曲线，我们可以看出，SWR的低值范围明显变宽，在相同频率上，虚线的SWR明显小于实线的SWR，从另一角度，天线的带宽增加了。

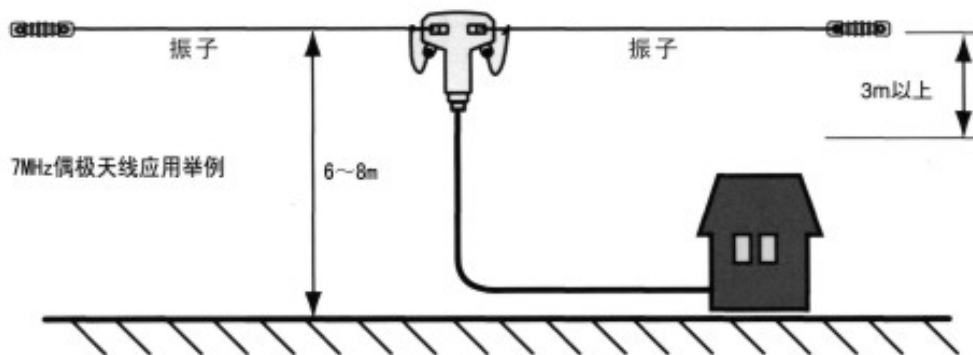


(12) 天线高度对天线性能的影响

HF偶极天线一般比较长，例如7MHz偶极天线全长20m，3.5MHz偶极天线全长40m，这给天线的架设与调整带来了一定困难。此外，地形与建筑物对偶极天线也有很大影响。偶极天线的特点是既讲究长度又讲究高度，这两者的变化会影响天线的性能。

■ 偶极天线的架设高度

架设 7MHz 和 7MHz 以上波段的偶极天线时，距离地面的高度至少在 6 至 8m 之间，此时天线的 SWR 可以降低到 1.5 以下。7MHz 以下波段（例如 3.5MHz）的偶极天线，即使架设高度也在 6 至 8m 之间，天线的 SWR 通常会高于 1.5，很难降低下来。另外，偶极天线距离建筑物顶部的高度应当在 3m 以上，理论上，天线离建筑物高度在 $1/4$ 波长以上，效果最佳。

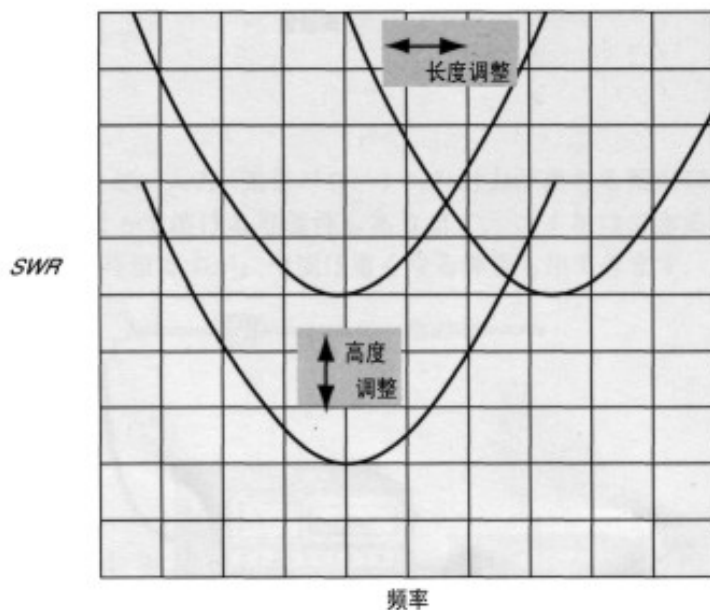


■ 架设偶极天线时的调整方法

①先调整天线的长度。找到SWR最低的频点，该频点也叫天线的谐振频率。如发现谐振频率低了，就一点一点剪短振子，直到频率升高。如发现谐振频率较高，可再一点一点加长振子，直到频率降低。在调整过程中，SWR并没有明显变化。在右图中，天线长度的变化导致谐振频率的变化，但SWR并没有明显变化。

②再调整天线的高度。不断提升天线高度，SWR会随之降低，由此可见，高度对SWR有明显影响。在右图中，天线高度的变化导致SWR的变化，但谐振频率并没有明显变化。

③结论：在架设偶极天线时，一定要先调整天线的长度，找到最佳谐振频率后调整天线的高度，最终找到SWR最小的最佳架设位置。

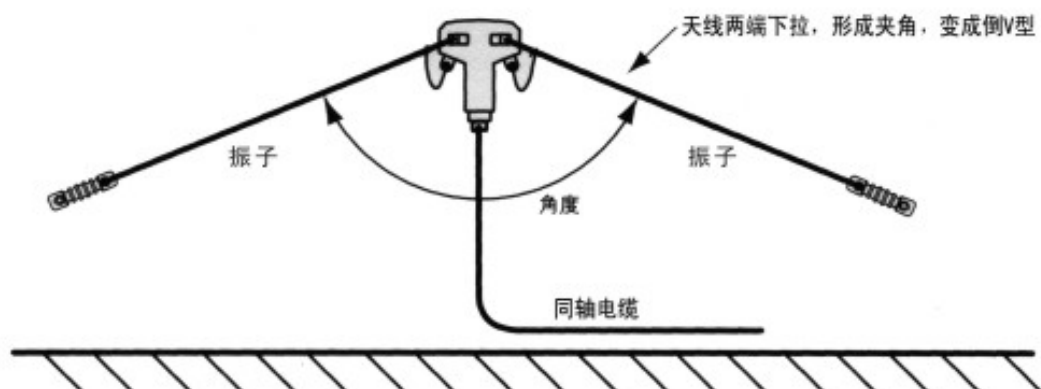


(13) 偶极天线的变形体：倒V天线

将偶极天线的两端向下拉，于是天线从“—”字形变成“倒V”形（颠倒的英文字母V），这就是倒V天线。与架设水平的偶极天线相比，架设倒V天线相对容易一些。

■ 偶极天线的变种

将水平的偶极天线变成倒V天线之后，天线的宽度和高度会因夹角改变而改变。下图是一副倒V天线，由于天线有夹角，因而宽度明显减少。



※在架设倒V天线时，它的高度应当比水平偶极天线略高一点。

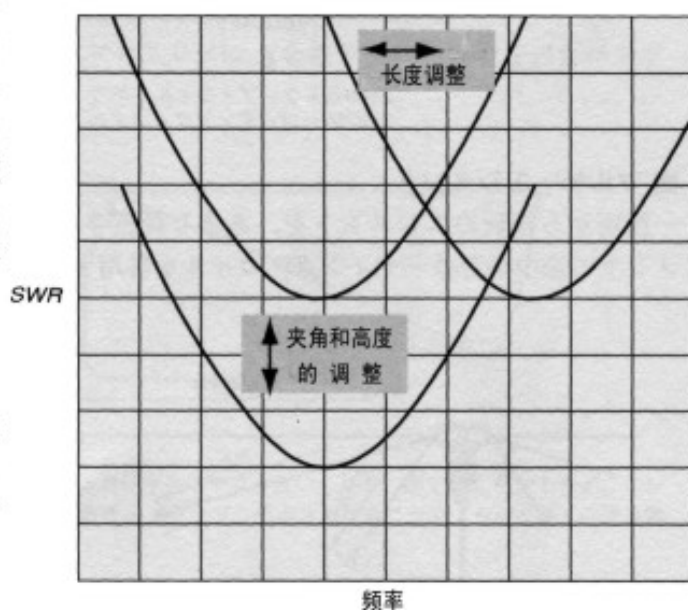
■ 架设倒V天线时的调整方法

①首先调整天线的夹角。夹角如果改变，SWR也相应地改变。一般来说，在夹角逐渐缩小、高度逐渐增加的过程中，SWR会达到最小值。在右图中，天线夹角的变化导致SWR的变化，但谐振频率并没有明显变化。

②先调整天线的长度。找到SWR最低的频点，该频点也叫天线的谐振频率。

如发现谐振频率低了，就一点一点剪短振子，直到频率升高。如发现谐振频率较高，可再一点一点加长振子，直到频率降低。在调整过程中，SWR并没有明显变化。在右图中，天线长度的变化导致谐振频率的变化，但SWR并没有明显变化。

③调整天线的高度。不断提升天线高度，SWR会随之降低，由此可见，高度对SWR有明显影响。在右图中，天线高度的变化导致SWR的变化，但谐振频率并没有明显变化。



HF多波段天线

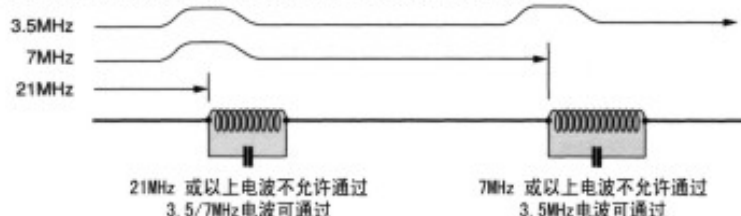
(14) 让天线同时在多个波段上工作

前面介绍的偶极天线，只能在单一波段上工作，属于单波段天线。让一副偶极天线同时在多个波段上工作，这并不是梦想，而是可以实现的。

■ 使用陷波器

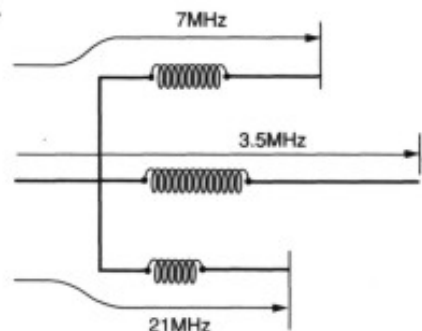
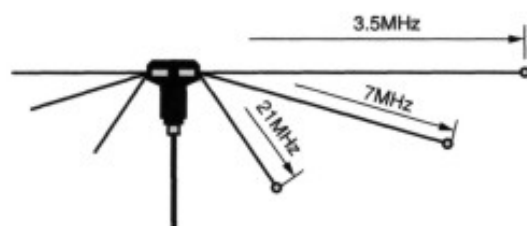
陷波器是利用并联谐振回路的特性，制作的一种线圈。陷波器的特点是：对于频率较低的电波，它相当于加感线圈，允许电波通过，而对于频率较高的电波，它相当于一个阻值很大的电阻，不允许电波通过。通俗地讲，陷波器好象是一个特定频率的过滤器，低于特定频率的电波，它不过滤，等于或高于特定频率的电波，它过滤掉。在偶极天线中串接陷波器，可以制作多波段天线。

下图的天线串接了两个陷波器，左边是21MHz陷波器，它允许比它频率低的7MHz和3.5MHz电波通过，但不允许21MHz电波通过，因此它的左侧相当于一根21MHz天线。右边的是7MHz陷波器，它允许比它频率低的3.5MHz电波通过，但不允许7MHz电波通过，因此它的右侧相当于一根7MHz天线。整根天线都允许3.5MHz电波通过，因此整根天线相当于3.5MHz天线。这就是典型的利用陷波器的多波段天线。



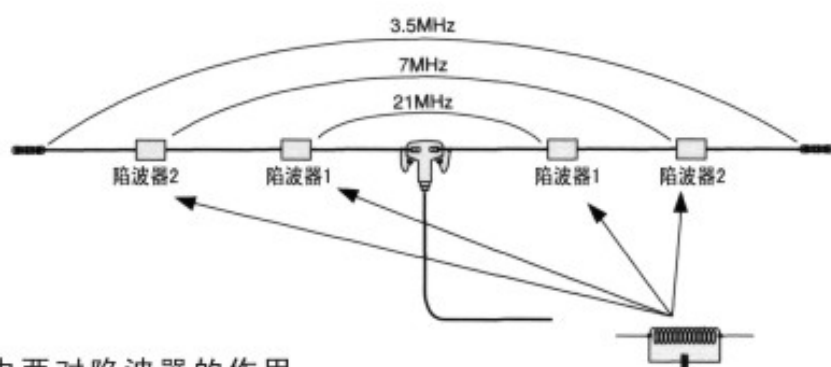
■ 不使用陷波器的多波段天线

不使用陷波器，也可以制作多波段天线。左下图是一种方法，从天线中央顶部巴伦引出三对导线，分别为3.5MHz、7MHz和21MHz天线的振子，相互之间保持一定距离，不要太近。右下图是另外一种方法，从天线中央顶部巴伦引出一对振子，但从振子中间部位分成三叉，每叉上面带一个加感线圈，从上到下依次是7MHz、3.5MHz和21MHz天线。



(15) 多波段偶极天线

在单波段偶极天线的两侧导线上（振子）串接一个或多个陷波器，即可变成多波段偶极天线。下图原本是一副 3.5MHz 单波段偶极天线，在两侧振子上分别串接两个陷波器，其中靠近天线中心的两个是 21MHz 陷波器，靠近天线两端的两个是 7MHz 陷波器，于是这副天线变成三波段偶极天线，其中第一道弧线表示 21MHz 天线，第二道弧线表示 7MHz 天线，第三道弧线表示 3.5MHz 天线。



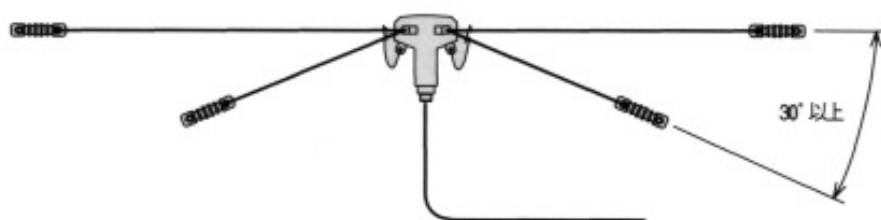
■ 上图中两对陷波器的作用

上图中有两对陷波器，对不同的波段，它们有不同的作用，具体作用请看下表：

波段	类 型	两个21MHz陷波器	两个7MHz陷波器
21MHz	不带加感线圈的标准天线	21MHz电波在此谐振	——
7MHz	带加感线圈的缩短型天线	相当于两个加感线圈	7MHz电波在此谐振
3.5MHz	带加感线圈的缩短型天线	相当于两个加感线圈	相当于两个加感线圈

■ 不使用陷波器的多波段天线

在下图中，从偶极天线的中央顶部引出两对振子，一对长，一对短，构成一副两波段偶极天线，两对振子之间至少要有30度以上的夹角。



※ 为降低SWR，在架设这副两波段偶极天线时，应当把较长的低波段天线水平放置，把较短的高波段天线以倒V形状放置。如果能够让每对导线之间保持适当的距离，那么利用上述方法，也可以制作三波段或四波段的偶极天线。如果再配合陷波器，还可以制作更多波段的偶极天线。

※ 例如：钻石的W8010和国产的M-409五波段偶极天线，就是使用了两对振子和三对陷波器构成。

(16) 多波段垂直天线

垂直天线，可以节约安装的空间位置。利用陷波器，不仅可以制作水平的多波段天线，也可以制作垂直的多波段天线。

多波段垂直天线通常是 $1/4$ 波长天线，由一根较长的垂直振子与多根较短的水平振子组成，垂直振子和水平振子的长度都要求是四分之一波长。

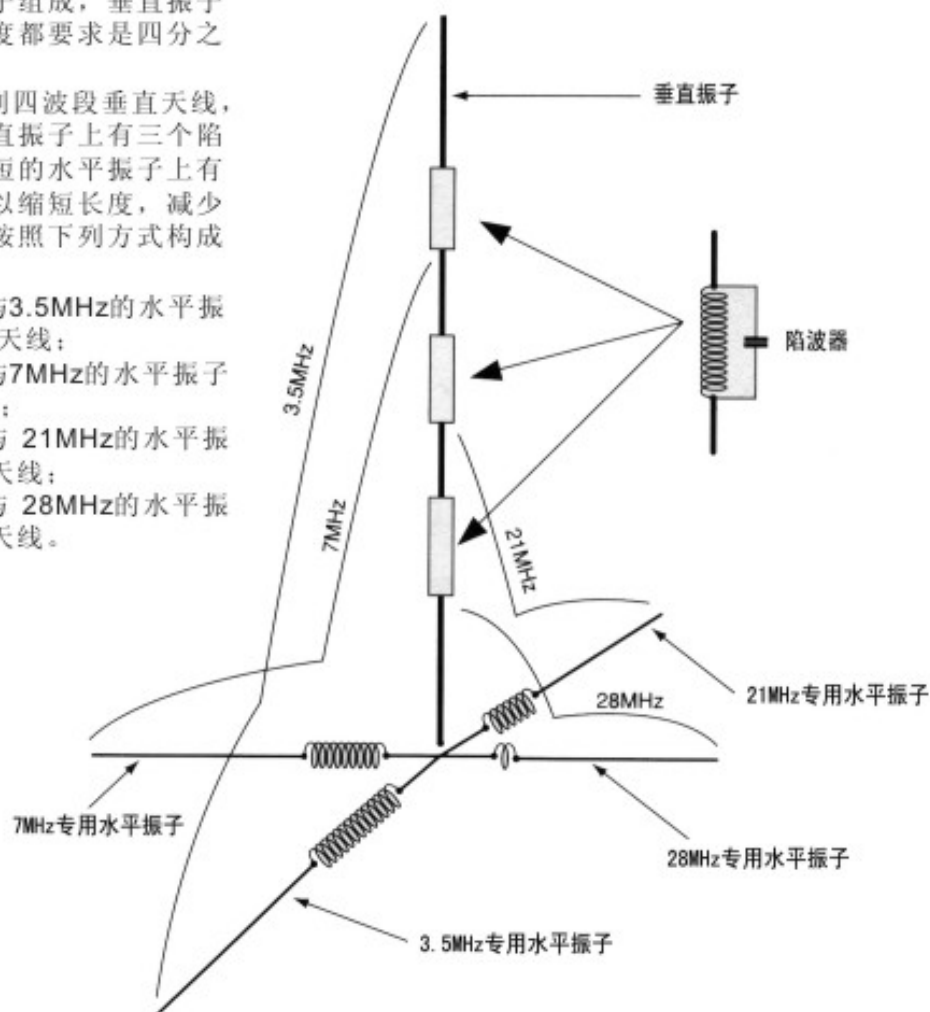
右下图是一副四波段垂直天线，在一根较长的垂直振子上有三个陷波器，在四根较短的水平振子上有四个加感线圈，以缩短长度，减少安装空间。它们按照下列方式构成四个子天线：

①垂直振子与3.5MHz的水平振子构成3.5MHz子天线；

②垂直振子与7MHz的水平振子构成7MHz子天线；

③垂直振子与21MHz的水平振子构成21MHz子天线；

④垂直振子与28MHz的水平振子构成28MHz子天线。



■多波段垂直天线的四个组成部分

①垂直振子：垂直振子上有多个陷波器。

②水平振子：也叫地网。调整水平振子的长度，用于调整SWR的大小。有几个波段，就要有几根水平振子。

③陷波器：串接在垂直振子上，用来过滤高频电波，是制作多波段天线的主要元件。

④加感线圈：串接在水平振子上，用来缩短天线的机械长度。

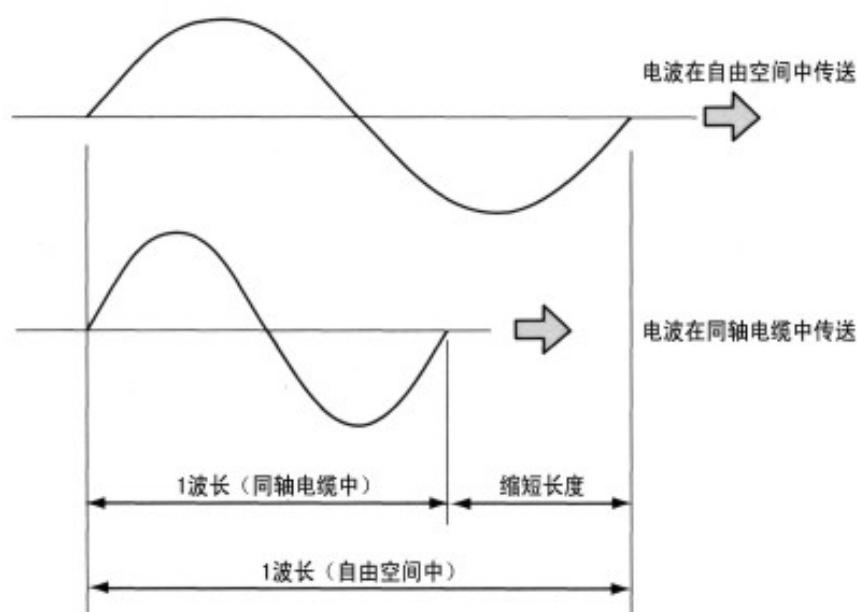
技术专栏

同轴电缆的波长缩短系数

这里介绍一下同轴电缆的缩短系数，因为，在以后的章节中，会有利用同轴电缆制作业余无线电辅助器件的内容。

电波在自由空间中以光速飞行，但在同轴电缆中，电波的速度要慢一些，波长也要短一些，这种现象就叫做同轴电缆的波长缩短系数。注意：不同型号的电缆，有不同的缩短系数。

在下图中，上方曲线是电波在自由空间中的一个波长，下方曲线是电波在同轴电缆中的一个波长，后者明显短于前者。



■ 三种常用型号的同轴电缆的波长缩短系数

- ①D型 (5D-2V、8D-2V等) 同轴电缆的波长缩短系数为67%
- ②RG型 (RG-58/u等) 同轴电缆的波长缩短系数为67%
- ③FB型 (5D-FB、8D-FB等) 同轴电缆的波长缩短系数为80%

■ 如何根据缩短系数计算电缆长度？

下面举两个例子。第一个例子是7MHz天线的5D-2V型同轴电缆。在自由空间中，7MHz电波的波长是：_____ $300 \div 7 \approx 42.86\text{m}$

而在D型同轴电缆中，7MHz电波的波长是：_____ $42.86 \times 67\% \approx 28.71\text{m}$

因此对7MHz天线来说，二分之一波长同轴电缆的长度是：_____ $28.71 \div 2 \approx 14.36\text{m}$

第二个例子是28MHz天线的5D-FB型同轴电缆。在自由空间中，28MHz电波的波长是：_____ $300 \div 28 \approx 10.71\text{m}$

而在FB型同轴电缆中，28MHz电波的波长是：_____ $10.71 \times 80\% \approx 8.57\text{m}$

因此对28MHz天线来说，四分之一波长同轴电缆的长度是：_____ $8.57 \div 4 \approx 2.14\text{m}$

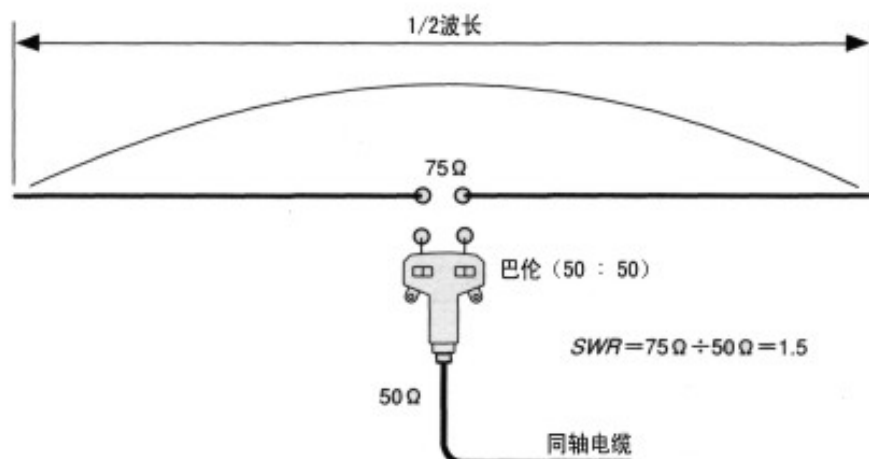
电压馈电型天线

(17) 电流馈电与电压馈电的区别

■ 电流馈电型天线

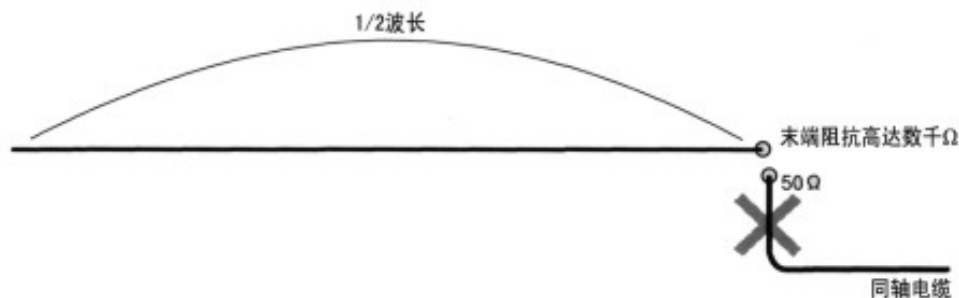
每臂长度为 $1/4$ 波长的偶极天线是电流馈电型天线。从天线中央馈电时，阻抗约 75Ω ，同轴电缆可以与天线直接连接，也可以通过巴伦与天线连接。巴伦不转换阻抗，但可以匹配阻抗。在下图中， 50Ω 的同轴电缆通过一个 $50\Omega:50\Omega$ （1:1）的巴伦，与 75Ω 的天线连接，此时的SWR等于：

$$SWR = 75\Omega \div 50\Omega = 1.5$$



■ 电压馈电型天线

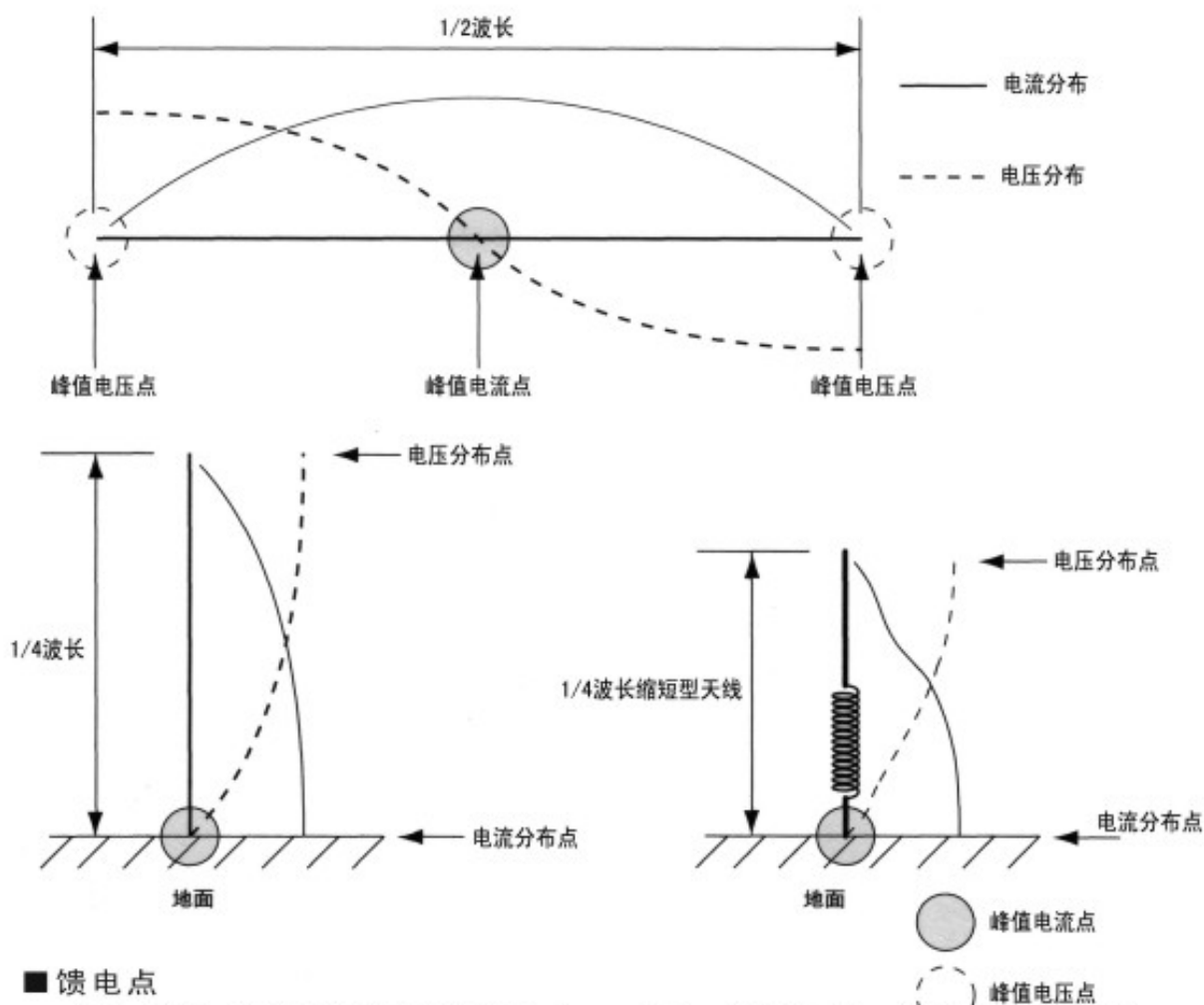
单独一根 $1/2$ 波长的天线，末端阻抗高达几 $k\Omega$ （假设为 $5k\Omega$ ），如果同轴电缆与这种天线直接连接，按照上面的计算公式，SWR将达到100！因此我们不能以上面的方式为这种天线馈电。即： $SWR = 5000\Omega \div 50\Omega = 100$



(18) 天线上的高频电流与高频电压

在二分之一波长天线上，分布着如图所示的高频电流与高频电压。电流最大的位置称作峰值电流点，电压最大的位置称作峰值电压点。

下面是三种常见天线的高频电流与高频电压分布图，其中上图是二分之一波长偶极天线，左下图是固定在地面的四分之一波长垂直天线，右下图是固定在地面的带加感线圈的四分之一波长垂直天线。在分布图中，实线表示电流分布，实线圆圈表示峰值电流点，虚线表示电压分布，虚线圆圈表示峰值电压点。



■ 馈电点

同轴电缆与天线连接的位置叫做馈电点。二分之一波长的天线，馈电点可以是峰值电流点（中部馈电），也可以是峰值电压点（末端馈电），而四分之一波长的天线，馈电点只能是峰值电流点。

■ 电压馈电型天线

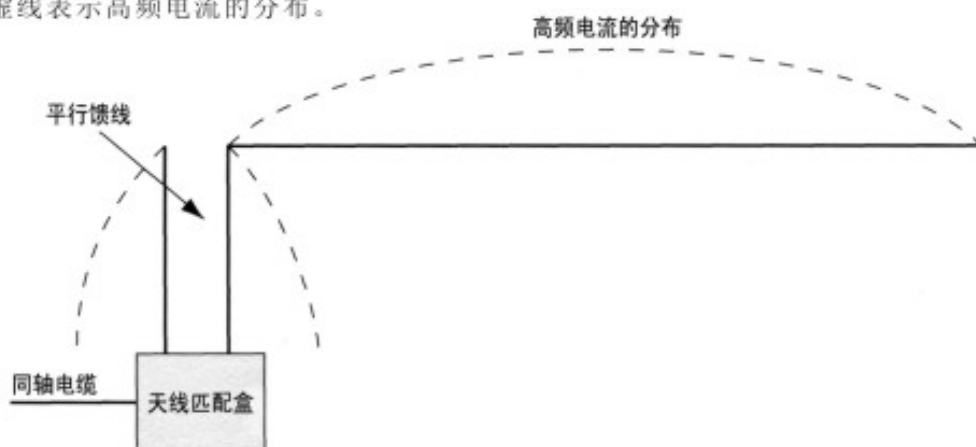
偶极天线和四分之一波长天线，绝大部分都是从峰值电流点向天线馈电，峰值电流点就是馈电点，因此我们一般不使用“电流馈电型天线”这个术语。与此相反，从峰值电压点向天线馈电、峰值电压点是馈电点的天线，我们称做“电压馈电型天线”。

(19) 电压馈电型天线与匹配盒

电压馈电型天线的馈电点是天线的末端，这个特点有利于我们不受环境的制约，选择合适的架设地点。下面请看两种电压馈电型天线。

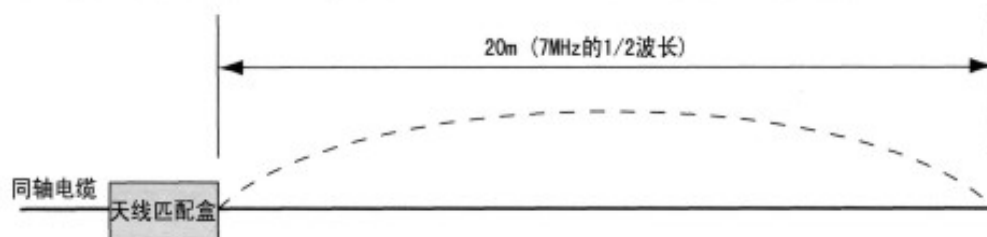
■ 齐伯林天线 (Zepp Antenna)

齐伯林天线最初使用在20世纪初的齐伯林 (Zeppelin) 飞艇上，于是有了这个名称。调整齐伯天线的匹配盒，可以让这种天线在多个波段工作。下图是一副齐伯林天线，长方形是匹配盒，它的左边是同轴电缆，上边有两条平行的馈线，其中一条与天线连接。图中虚线表示高频电流的分布。



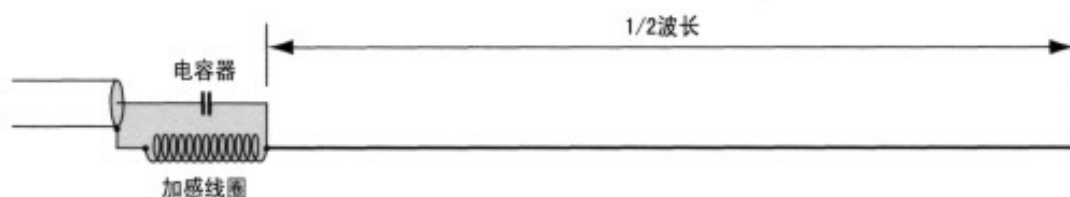
■ 末端馈电天线 (End Fed Antenna)

齐伯林天线现在并不常用，而这种末端馈电天线现在很常用。下图是一根7MHz二分之一波长的末端馈电天线，全长20m，通过匹配盒与同轴电缆连接。



■ 电压馈电型天线的匹配盒

匹配盒的构造很简单，就是一个加感线圈和一个电容器。请参看下图：



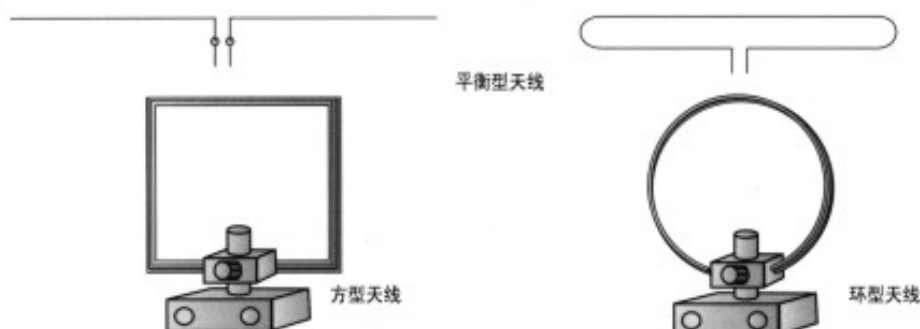
(20) 关于巴伦

巴伦用来将平衡的偶极天线与不平衡的同轴电缆连接起来，此外还通过巴伦给天线馈电。



■平衡型天线

对馈电点来说，既是振子又是地线（地网）、两者没有区别的天线就是平衡型天线。左下图是方形天线（Quad Antenna），右下图是环形天线（Loop Antenna），均属于平衡型天线。



■不平衡型天线

振子与地线（地网）各自独立的天线就是不平衡型天线。左下图是GP天线，右下图是车载鞭状天线，均属于不平衡型天线。



■巴伦的连接方法

巴伦的阻抗比除了1:1 ($50\Omega:50\Omega$) 之外，还有1:4 ($50\Omega:200\Omega$) 等多种，用来实现天线与同轴电缆之间的“平衡:不平衡”转换，也可实现同轴电缆和天线之间的阻抗变换。左下图是 50Ω 同轴电缆通过1:1巴伦与 75Ω 偶极天线相连，右下图是 50Ω 同轴电缆通过1:4巴伦与 200Ω 折合偶极天线相连。



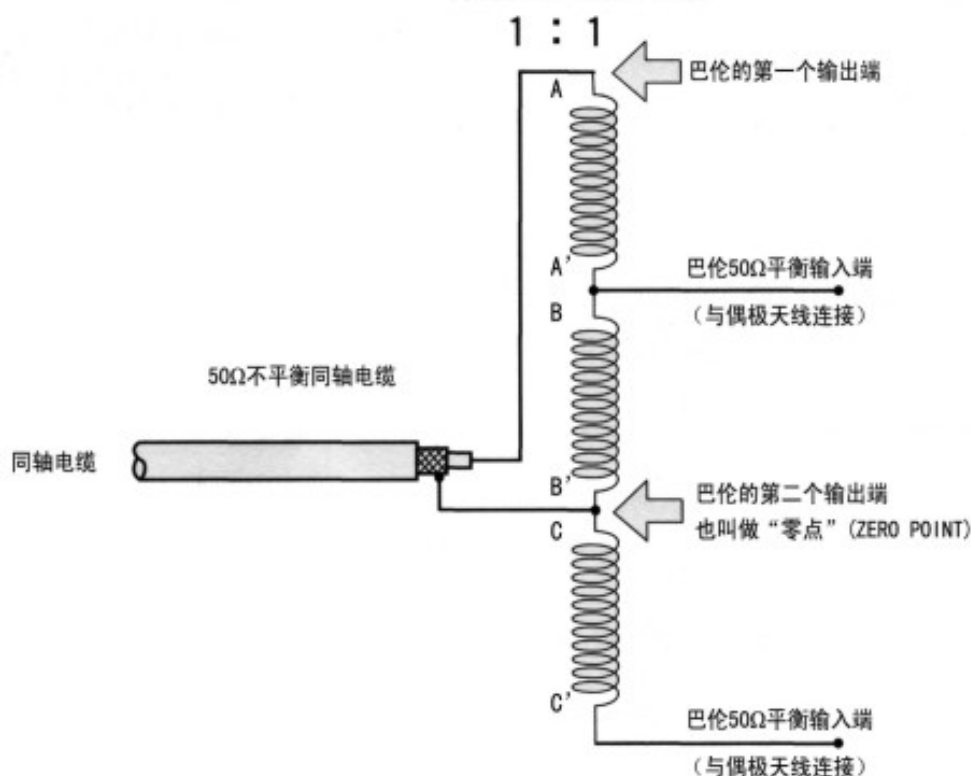
(21) 巴伦的构造

有各种各样的巴伦，最常见的一种是高频变压器式巴伦。

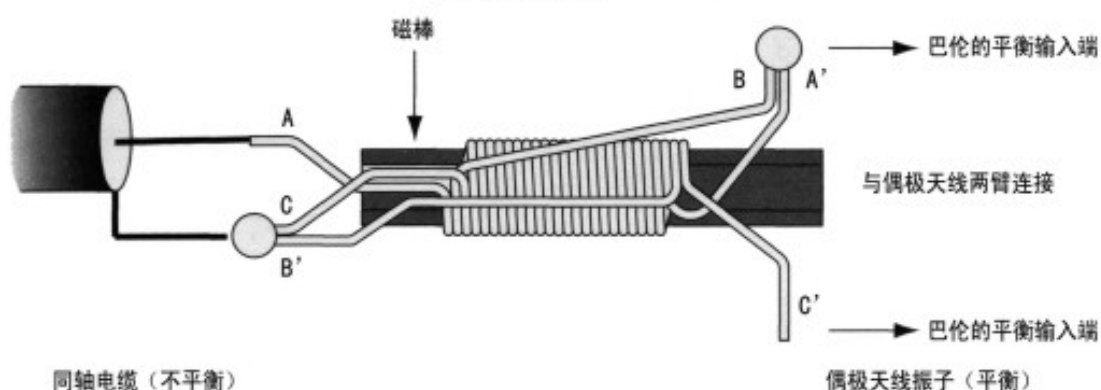
■ 高频变压器式巴伦

这种类型的巴伦在HF天线上广泛使用，其构造请看下面的两张图。请注意：在电路图中，三个线圈是分离的，但在实际制作时，可以将三个线圈缠绕在一个铁氧体（磁环、磁棒）上。（也可以是空心的，不加铁氧体）

1:1高频变压器式巴伦的电路图



巴伦的实际外观图

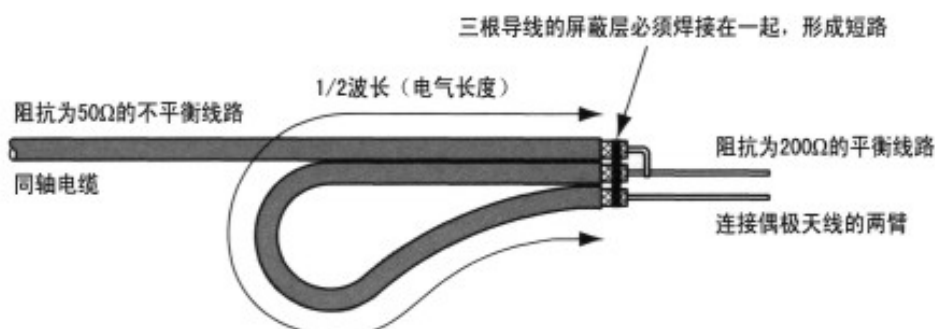


(22) U形巴伦

用同轴电缆也可以制作巴伦，这种巴伦叫作U形巴伦，制作方法非常简单。八木天线的馈电点就经常使用U形巴伦。

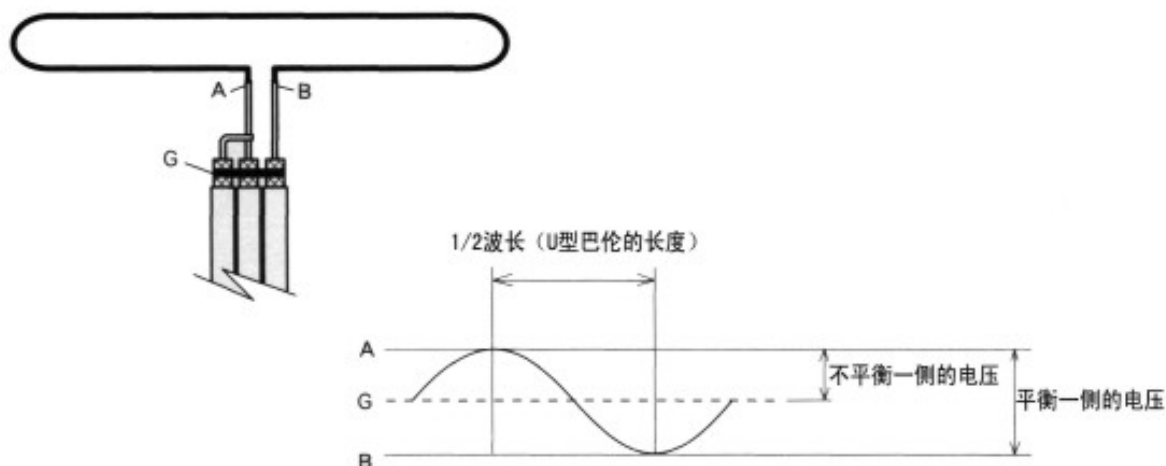
■ U形巴伦的构造

将一段同轴电缆弯曲成U形，再将顶部合拢，就是U形巴伦。这段同轴电缆的长度，等于二分之一波长乘上波长缩短率，具体计算方法请参看前面介绍的《技术专栏——同轴电缆的波长缩短系数》。其构造如下图：



■ U形巴伦的阻抗比是1:4

使用U形巴伦后，天线一侧的阻抗是同轴电缆一侧的阻抗的4倍，也就是U形巴伦的阻抗比是1:4。在上图中，同轴电缆一侧的阻抗是50Ω，天线一侧的阻抗是200Ω。造成这种现象的原因是U形巴伦平衡一侧的电压比不平衡一侧增加了1倍。U形巴伦在转换阻抗的同时，也完成了不平衡-平衡转换。



■ 计算平衡一侧的阻抗R

根据欧姆定律， $P=10\text{W}$ ， $R=50\Omega$ （不平衡一侧的阻抗）， $V=\sqrt{P \times R} \approx 22.4[\text{V}]$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(2 \times 22.4)^2}{10} \approx 200[\Omega] \text{ (平衡一侧的阻抗)}$$

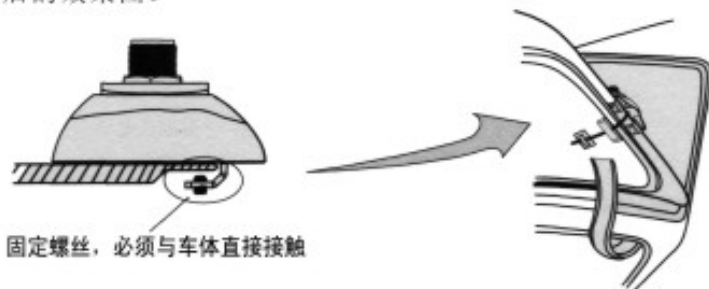
安装HF车载天线

(23) 安装HF车载天线的注意事项

安装HF车载天线时，如果SWR不能降下来的话，天线不能充分发挥作用。

■在汽车上安装HF车载天线

天线必须有良好的接地，这是最重要的一点。为此，天线底座的螺丝必须与车体金属板直接接触。左下图圆圈里就是天线底座的固定螺丝，必须与车体直接接触。右下图是打开后备箱之后的效果图。

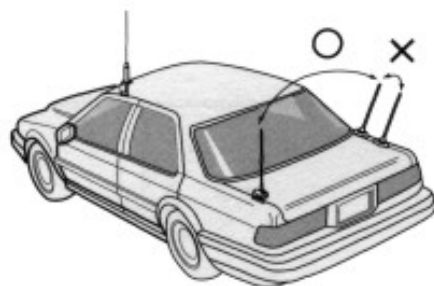


■在轿车上安装HF车载天线

天线的安装位置越高越好，因此将天线安装在轿车顶部是最理想的。不过现在许多火腿并不是把天线安装在轿车顶部，而是安装在后备箱上，并且这种做法正在成为主流。

●同时安装两套天线的方法

如果想在后备箱上同时安装两根天线，不能象右图那样，安装在同一侧，而应当安装在两侧，尽可能增加两根天线的距离。



■在汽车的其它部位安装HF车载天线

天线可以安装在汽车的其它部位，例如两厢车的后盖门，或者汽车顶部的行李架。

①如果将天线安装在后盖门上，请尽可能安装在上部。如果安装在下部，天线与车体太近，SWR很难降下来。右下图中画圆圈的天线表示安装正确，画叉子的天线表示安装不正确。

②行李架通常有几个底座，固定在车顶上。如果将天线安装在行李架上，请尽可能安装在底座旁边，这样比较牢固，请参看右下图。



(24) HF 车载天线的地线

将 HF 车载天线安装在汽车的某些部位（例如汽车顶部的行李架）时，通常无法接地，在这种情况下，必须使用单独的地线。请注意：接地线如果太长，SWR 降不下来，因此应当尽可能短，具体长度请看下面的介绍。

下面两张图是使用接地线的实例



■ 接地线的长度与 SWR

接地线如果太长，SWR 会很大，谐振点也会有很大变化。

下表是接地线长度分别为 10cm、30cm 和 50cm 时测定的 SWR 数值。通过研究这张表，我们大致可以得出三个结论：

- ① 10cm 地线适用于 50MHz 及其以下的波段
- ② 30cm 地线适用于 14MHz 及其以下的波段
- ③ 50cm 地线适用于 10MHz 及其以下的波段

※ 安装环境不同，SWR 也会有不同的变化。

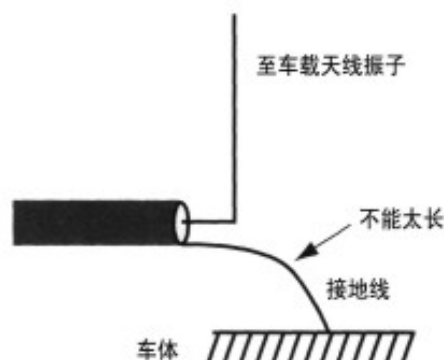
下表仅供参考：

长度 波段 (MHz)	10cm		30cm		50cm	
	谐振点(MHz)	SWR	谐振点(MHz)	SWR	谐振点(MHz)	SWR
3.5	3.56	1.3	3.53	1.2	3.53	1.3
7	7.06	1.1	7.03	1.0	7.02	1.0
10	10.14	1.4	10.08	1.3	10.04	1.4
14	14.23	1.3	14.08	1.2	13.94	2.0
18	18.11	1.2	17.83	1.1	17.60	1.2
21	21.28	1.3	20.88	1.8	20.49	2.5
28	28.56	1.4	27.89	2.0	27.53	3.8
50	51.4	1.3	无谐振点	无谐振点	无谐振点	无谐振点

备注：灰色部分表示接地线长度在某些波段不能使用。

■ 地线对天线的影响

地线如果太长，它就变成了振子，向外辐射电波，必然会影响 SWR，但另一方面，地线如果太短，也会影响高频的 SWR，因此地线的长度必须要合适。

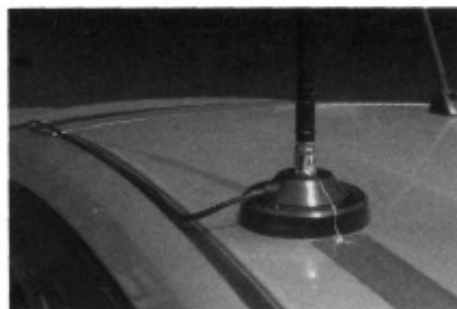


(25) 找不到合适的接地点怎么办？

有些时候，HF车载天线与接地点的距离太远，无法连接地线，无法将SWR降下来，此时可以试用下面的方法。

■ 在车身上粘贴薄铜片

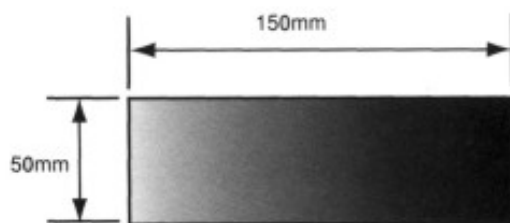
如果找不到合适的接地点，可以在天线附近的车身上，粘贴一块薄铜片，以此模拟大地。在右图中，将一块薄铜片粘贴在车顶上，用一根短导线将天线与薄铜片连接起来，这根短导线就是接地线。



■ 薄铜片的种类和尺寸

除了使用薄铜片，也可以使用薄铝片等导电性能好、容易焊接的金属片。

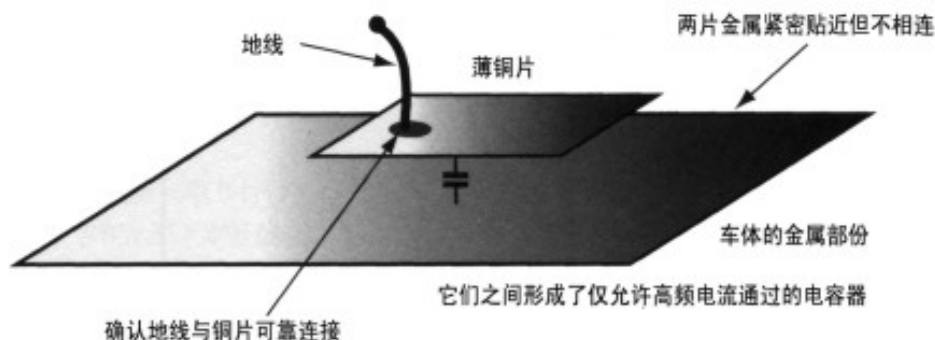
①薄铜片的尺寸为50mm×150mm（矩形），也可以使用与此面积相当的正方形或圆形薄铜片。



②天线与薄铜片之间的地线长度最好在10cm以下，可以保证天线在3.5MHz至50MHz之间正常工作。

■ 粘贴薄铜片的方法可行吗？

两片金属贴近但不相连时，相当于一个电容器，允许高频电流通过，在车顶上粘贴薄铜片就是利用了这个原理，因此将天线的地线连接到薄铜片上，是完全可行的。在下图中，薄铜片与车顶形成电容器，天线的地线焊接在薄铜片上。



■ 请注意：

在汽车行驶过程中，天线的磁性吸盘有可能移动甚至脱落，导致接地线断裂，必须引起注意。

技术专栏

同轴避雷器

感应雷和静电会在天线上产生高压，有可能损坏电台，因此应当安装同轴避雷器。当一定的电压加在同轴避雷器上时，它内部的放电管会立即放电，将高压释放到地面上，从而保护电台。

同轴避雷器的外观



■ 同轴避雷器的安装方法

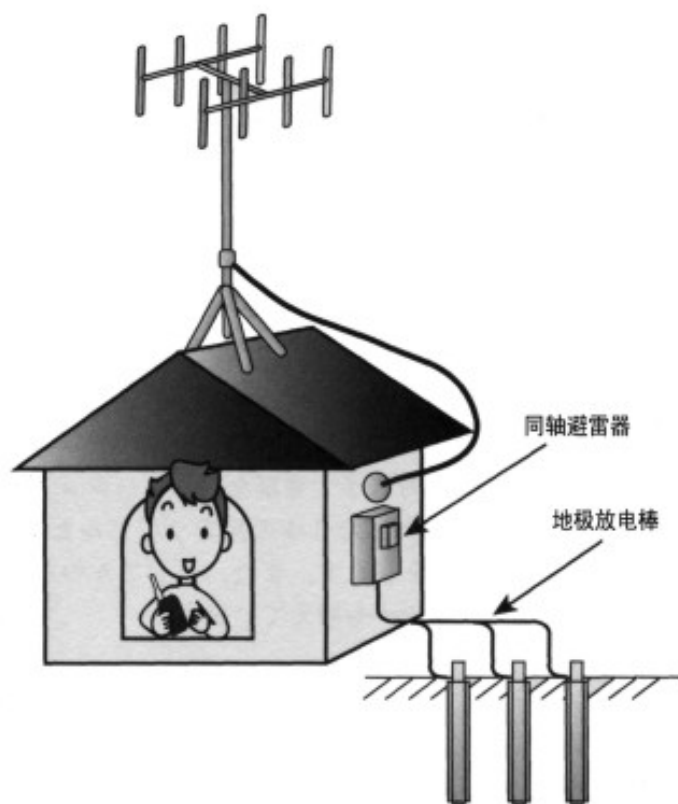
将同轴避雷器固定在墙上，地线可靠接地。为了获得最好的放电效果，可以埋设两到三根地极。在右图中，同轴避雷器的地线接线端与三根地极相连。

■ 关于直接雷击

即使安装了同轴避雷器，如果雷电直接落在天线上，仍然会使包括电台在内的大多数设备损坏。为避免遭到直接雷击，在雷雨天，最好将天线电缆从电台上卸下，放到窗户外面的屋檐下，这样做最保险。

■ 关于感应雷

因静电感应和电磁感应而在天线和馈线上产生高电压的雷击就是感应雷。



VHF/UHF固定型天线

(26) 固定型天线的种类

用于VHF/UHF通联的固定型天线主要有两种，一是八木天线，二是GP天线（地网天线），下面依次介绍两者的用途。

■八木天线

八木天线指向特定的方向，具有良好的方向性，具有高增益。

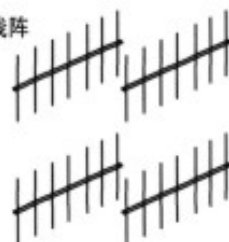
①优点：

八木天线具有良好的方向性和高增益，特别适合远距离通联。将多副相同的八木天线组合成天线阵列，可以获得更高的增益。使用天线阵列，可以避免通联过程中，因频率相近而造成不必要的串台、混台等干扰。左下图是由四副并列的八木天线组成的阵列，右下图是由四副八木天线组成的两行两列阵列。

单行四列八木天线阵



双行双列八木天线阵



②缺点：

八木天线一般需要转向器配合才能很好工作，体积庞大，很难收到指定方向以外的其它方向的电波。如果希望收到所有方向的电波，八木天线不如下面介绍的无方向性的GP天线。

■GP天线

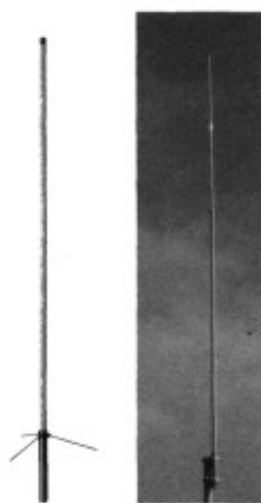
GP天线有长有短，有的只能在一个波段工作，有的能在多个波段工作。在垂直竖立的GP天线的下方，有三根水平延伸的振子（请看右图），相当于地线，我们称作地网。现在又出现了没有地网的GP天线。

①优点：

架设比较简单，不需要旋转器，在水平方向上可以向所有方向发射电波，从所有方向接收电波。

②缺点：

增益小，如果想要提高增益，必须增加天线的长度和高度，而这样做往往会干扰临近的友台。



(27) 八木天线的特点

八木天线是典型的方向性天线。用于VHF/UHF通联的八木天线通常是小型天线，结构并不复杂，初学者可以尝试制作这种高增益天线。

■ 八木天线的特性

八木天线与电视机的天线非常类似，都是指向特定方向的天线。

■ 八木天线的构成

① 辐射器（主振子）：

实际上就是一副偶极天线。

② 反射器：

比二分之一波长略短，用来反射电波。

③ 引向器：

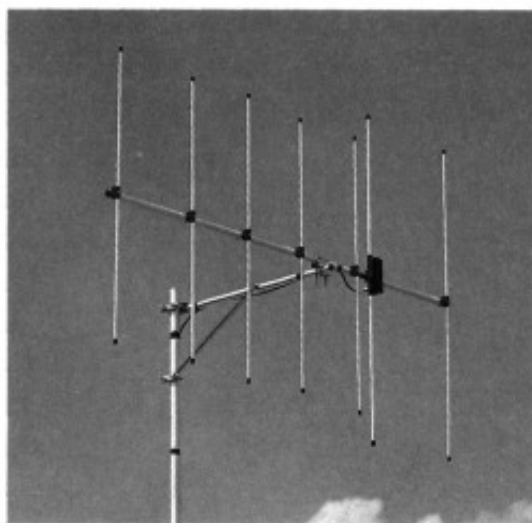
比二分之一波长略短，用来引导电波。

④ 匹配盒：

用来装入巴伦。

⑤ 主梁：

用来固定上面四种部件。

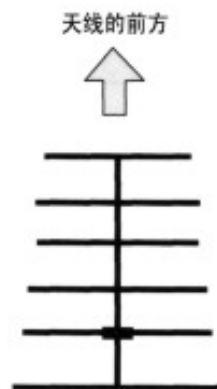
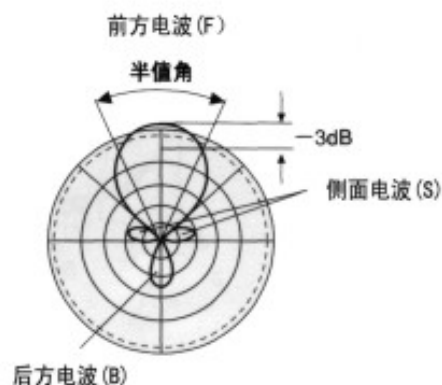


■ 仔细研究八木天线的方向性

从八木天线的前方、两侧和后方都会辐射电波，但只有前方电波（F）是有用的，侧面电波（S）和后方电波（B）都是无用的。在一些八木天线成品的说明书上，会列出F与S、F与B的比值。以前方增益最强处为中轴，向两侧伸展到增益减半处（通常降低3dB）所形成的夹角，在技术上叫作半值角，也叫方向角。一般来说，F与S、F与B这两个比值越大，八木天线越好。

① 前方电波（F）与侧面电波（S）的比值F/S（dB），也叫前侧比，越大越好。

② 前方电波（F）与后方电波（S）的比值F/B（dB），也叫前后比，越大越好。



(28) 八木天线的极化

八木天线可以水平架设，也可以垂直架设，在这两种情况下，电波的极化方向是不同的。两个通联电台的天线极化不相同，通联效果会比较差。

■VHF/UHF八木天线通常是垂直架设

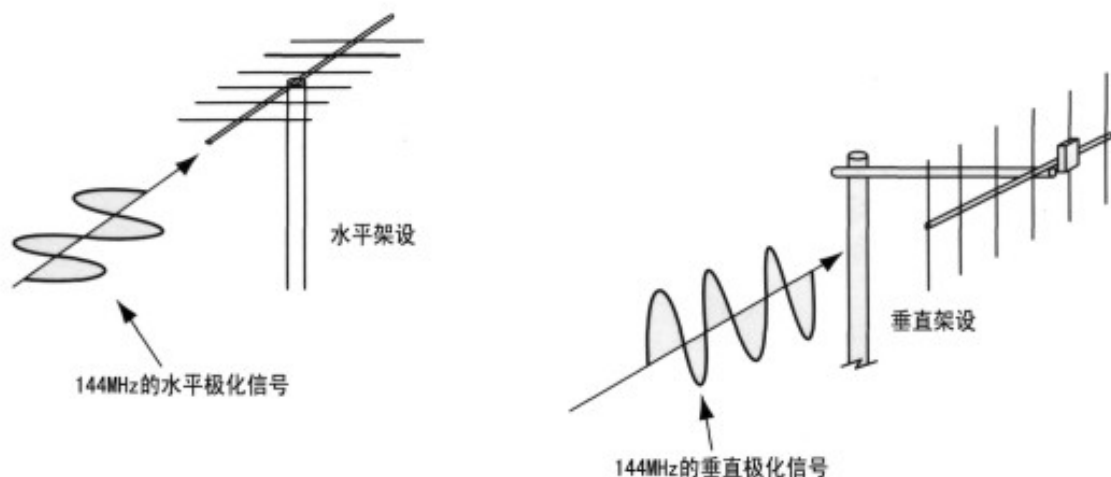
电视用的八木天线除少数地区是垂直架设之外，多数地区都是水平架设，而144MHz以上波段的业余无线电用八木天线一般都是垂直架设。

①水平架设：

对方电台的八木天线也是水平架设时是水平极化，例如左下图：

②垂直架设：

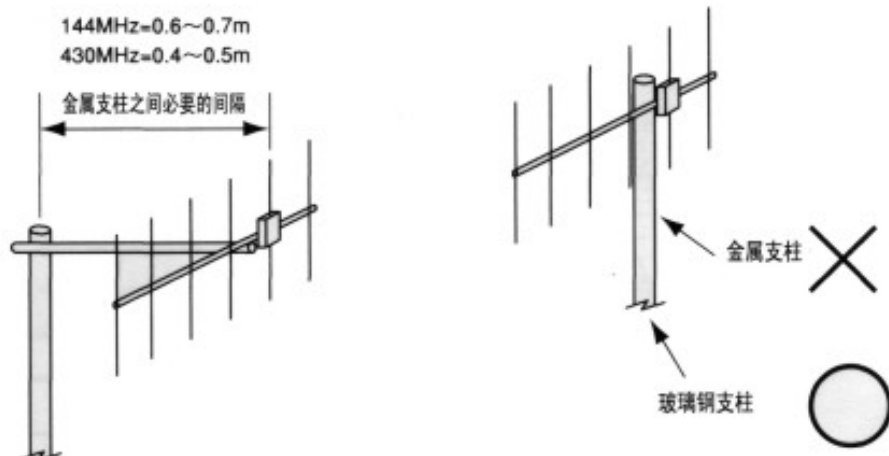
对方电台的八木天线也是垂直架设时是垂直极化，例如右下图：



■架设方法

将八木天线固定在金属支柱上时，天线与金属支柱之间必须有一定的距离，144MHz天线的距离在0.6至0.7m之间，430MHz天线的距离在0.4至0.5m之间，请参看左下图。

如果希望将八木天线直接固定在支柱上，两者之间没有距离，那么不能使用金属支柱，必须使用玻璃钢支柱，这一点非常重要。在右下图中，画叉子的表示金属支柱，不能使用，画圆圈的表示玻璃钢支柱，可以使用。

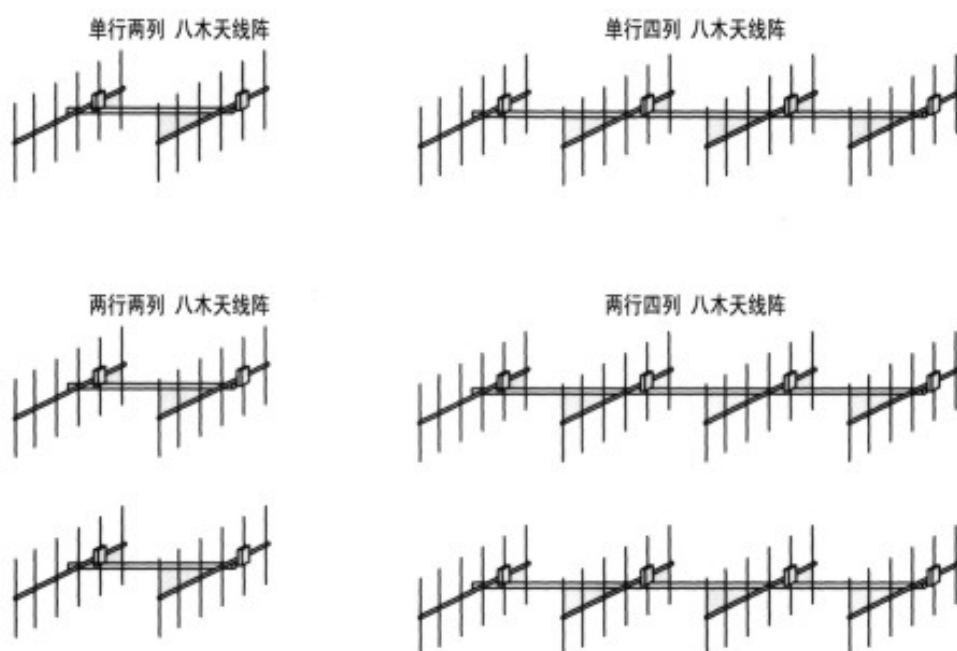


(29) 提高八木天线的性能

将具有方向性的多个八木天线组合起来，构成天线阵列，可以进一步提高八木天线的方向性。

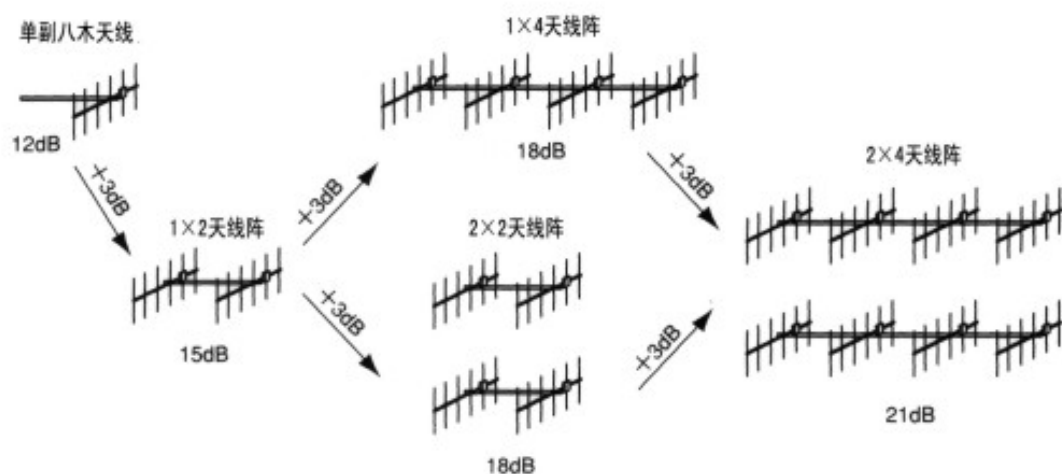
■ 天线阵列

将多个八木天线平行地安装在支柱上，可以构成天线阵列。许多电台利用天线阵列进行VHF/UHF远距离通联，充满乐趣。



■ 天线阵列与增益

八木天线的数量每增加一倍，增益提高大约3dB。不过，由于八木天线是与同轴电缆和各种接头相连的，接口部位通常会有损耗，因此天线阵列的总增益会略有下降。



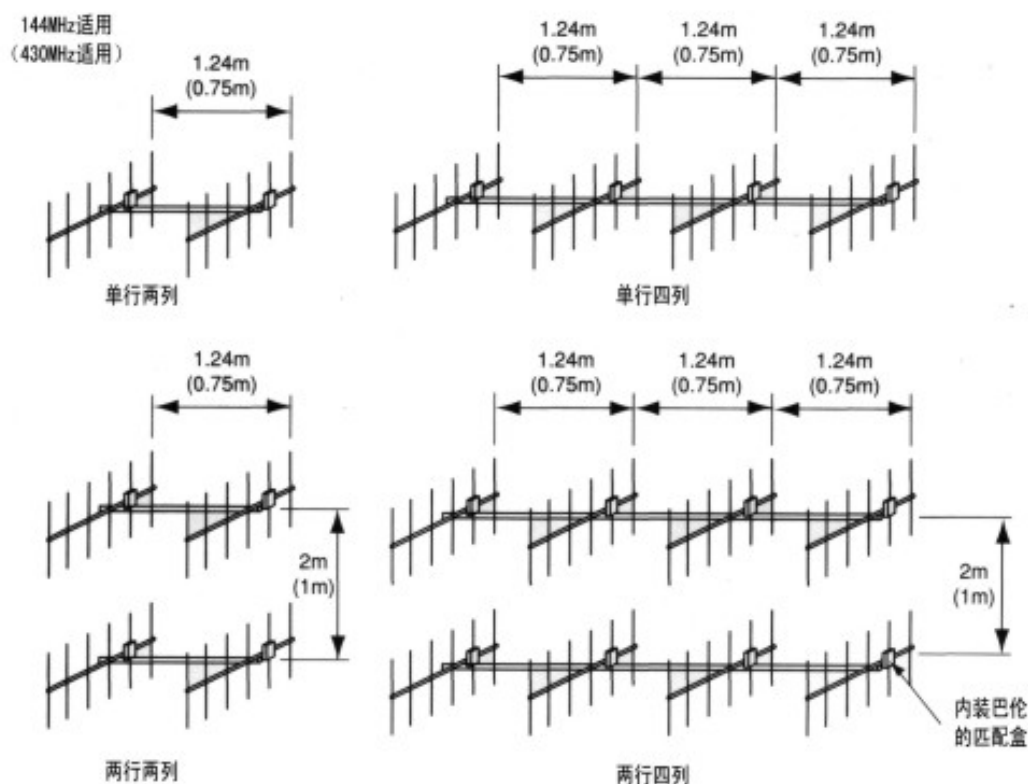
图中：天线数量每增加一倍，增益提高3dB，因此最右边的2X4天线阵的增益是21dB，比最左边的单副天线（12dB）高出9dB。

(30) 八木天线阵列的安装

用多副八木天线构成天线阵列时，可以水平安装，也可以垂直安装，复杂的天线阵列甚至可以一部分水平安装、一部分垂直安装。

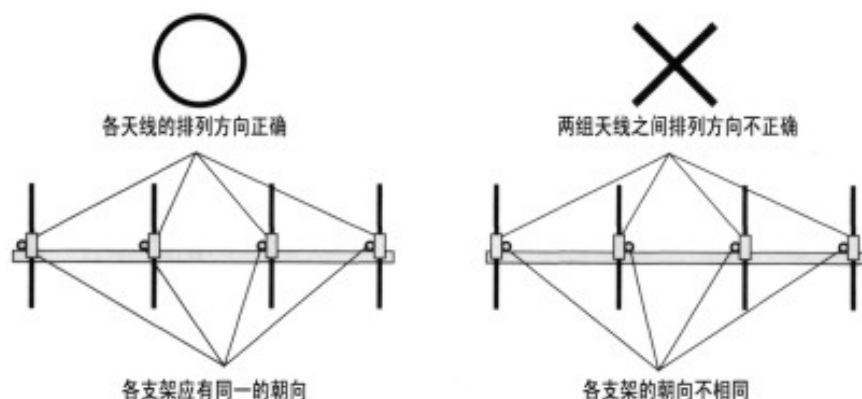
■ 144MHz/430MHz天线阵列中各副天线的方向与距离

下面的四张图展示了天线阵列中各副天线的方向，以及相互之间的距离。请注意：图中给出的距离值，仅适用于5~10单元的144MHz八木天线和10~15单元的430MHz八木天线。



■ 天线阵的排列方向

安装天线阵列中的各副天线时，必须全部朝着同一方向，否则的话，天线的增益会降低。左下图中各副天线的方向是正确的，右下图中有两副天线的方向是错误的。这两张图中的小方块表示内装巴伦的匹配盒。

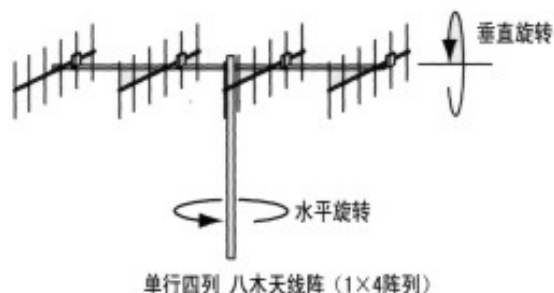
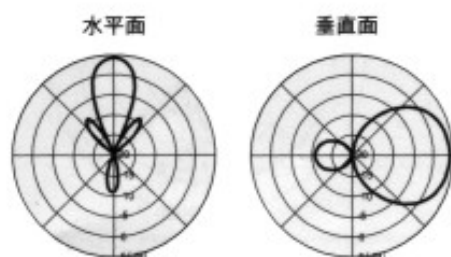
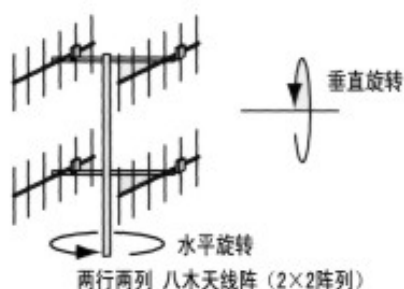
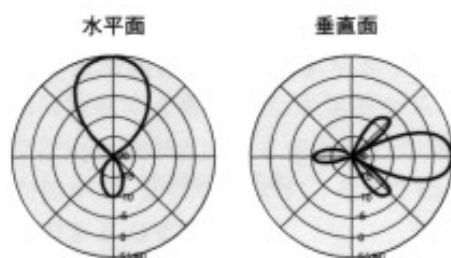
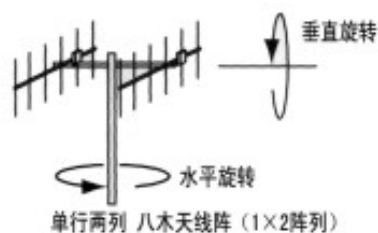
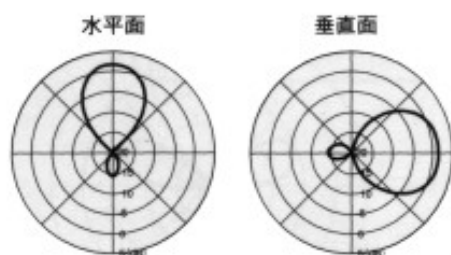
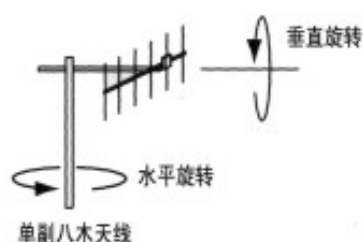
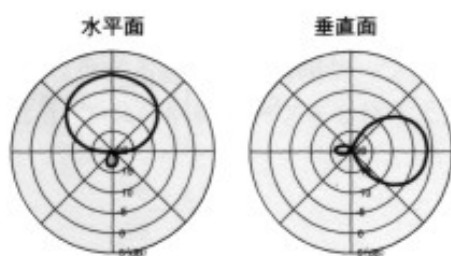


(31) 八木天线阵列的方向性

天线阵列中的各副天线是平行安装的，但振子都是与大地垂直的，所以极化方向是垂直的。天线阵列的方向性（包括水平方向性和垂直方向性）究竟又怎样的，请看下面的介绍。

■ 天线阵列的方向性

在天线阵列中，水平方向的天线越多，水平方向的半值角越小，水平方向性越好，例如1X4阵列好于1X2阵列。垂直方向的天线越多，垂直方向的半值角越小，垂直方向性越好，例如2X2阵列好于1X2阵列。天线阵列既有水平方向性，又有垂直方向性。



天线阵水平方向与垂直方向的增益示意图

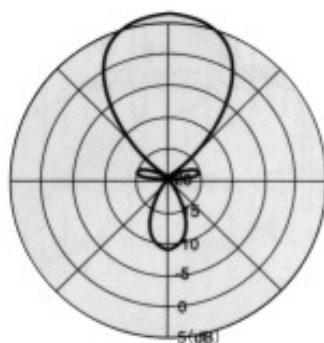
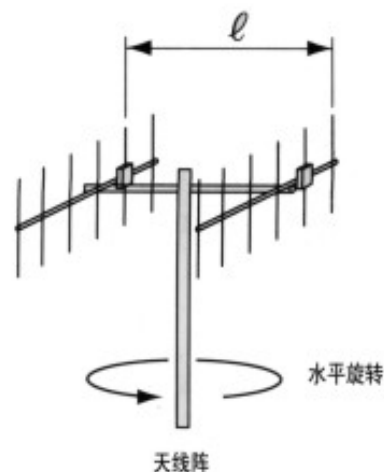
(32) 天线阵列中各副天线的距离

假设有一个由两副天线构成的 1×2 阵列（右下图），那么这两副天线之间的距离对天线阵列的增益与方向性会有怎样的影响呢？

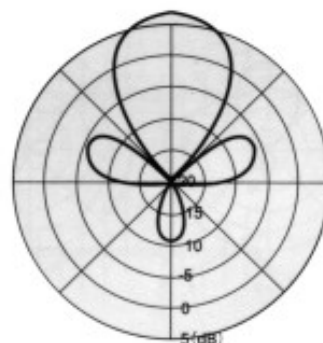
■ 两副天线之间的距离

前面曾经介绍过，从天线的前方、两侧和后方都会辐射电波，但只有前方电波（F）是有用的，侧面电波（S）和后方电波（B）都是无用的。两副天线之间的距离逐渐增加，增益并不会提高，但侧面电波（S）会越来越多。

在下面的四张水平方向图中，两副天线之间的距离由1.25m依次增加到1.5m、2m和3m，但增益并没有增加，而侧面电波（S）却越来越多。

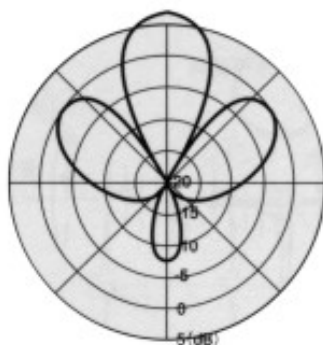


$\ell = 1.25\text{m} (0.62\text{波長})$

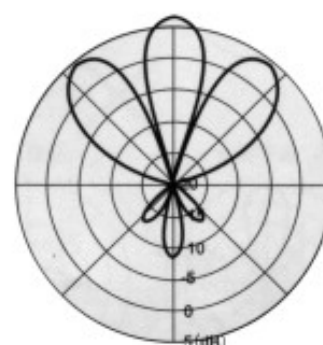


$\ell = 1.5\text{m} (0.75\text{波長})$

不同列距的天线阵在水平方向的增益示意图



$\ell = 2\text{m} (1\text{波長})$



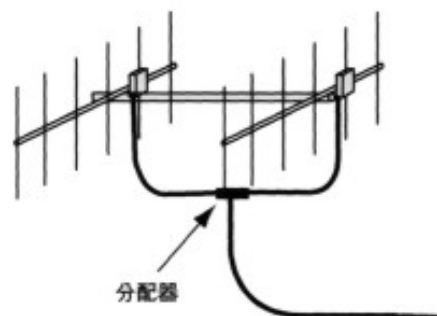
$\ell = 3\text{m} (1.5\text{波長})$

(33) 为天线阵列中的各副天线馈电

将多副天线构成天线阵列后，如何为各副天线馈电呢？下面以 1×2 阵列为例进行介绍。

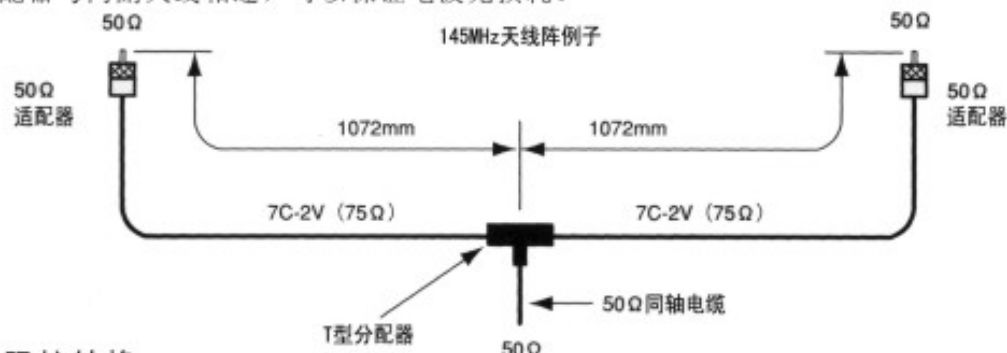
■ 分配器

给两副天线馈电时，需要使用T形分配器，将同轴电缆一分为二，请看右图。



■ 连接分配器与两副天线的馈线

使用两根等长的 75Ω 同轴电缆作为馈线，将分配器与两副天线相连，可以保证电波无损耗。

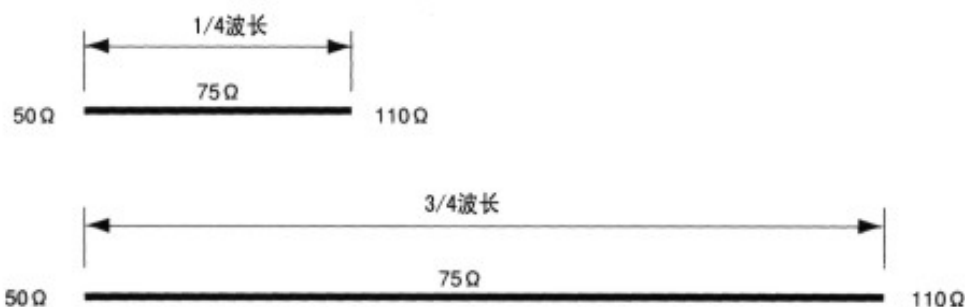


■ 阻抗转换

将阻抗 75Ω 的馈线与阻抗 50Ω 的天线相连时，会改变阻抗。具体来说，使用两根等长的 75Ω 同轴电缆作为馈线，此时馈线的阻抗约为 110Ω 。馈线与天线并联后，总的阻抗约为 55Ω ，因此可以通过分配器与阻抗 50Ω 的同轴电缆直接相连，并由同轴电缆馈电。

至于单根馈线的实际长度，最好是 $1/4$ 波长乘上缩短率之后的奇数倍。以 145MHz (2m) 为例，它的 $1/4$ 波长是 500mm ，乘上馈线的缩短率 0.67 （详见第3章最后一节），等于 335mm 。假设天线馈电点到分配器的长度是 670mm ，正好是 335mm 的两倍，是偶数倍，而我们需要的是奇数倍，所以单根馈线的实际长度应当是 335mm 的三倍，即 1005mm 。

下面第一张图是缩短后的 $1/4$ 波长（ 335mm ），第二张图是缩短后的 $1/4$ 波长的三倍（ 1005mm ），即单根馈线的实际长度。



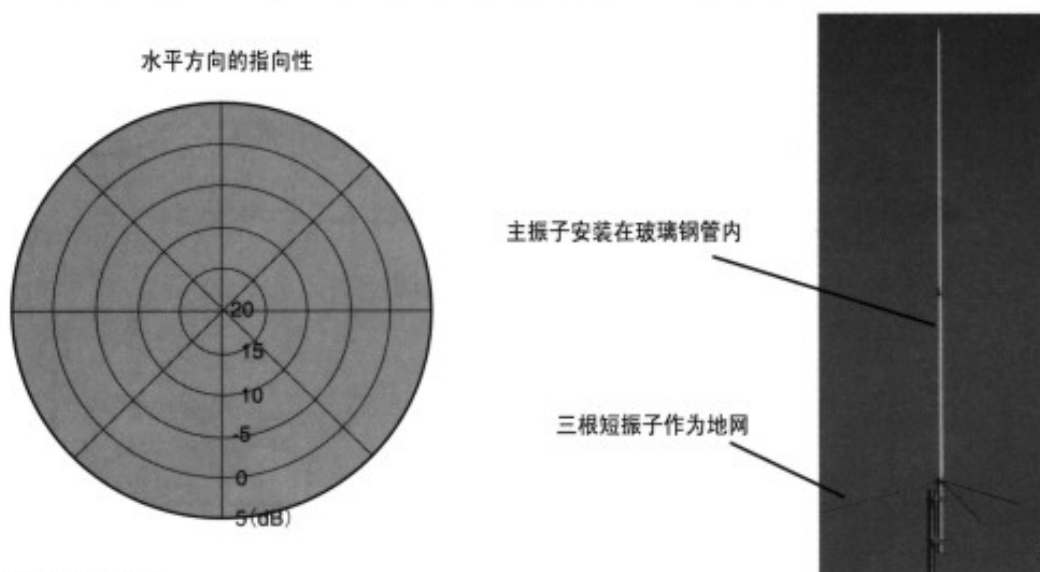
(34) GP天线的特点

GP天线的水平方向性是均一的，因此也可以说这种天线没有方向性。我们应当了解GP天线的特点，以便更好地利用它。

■GP天线的特点

GP天线可以在水平面360度的范围内，毫无遗漏地与任何方向的电台通联。左下图是从GP天线顶部测量到的水平方向图，我们可以看出，这种天线向所有方向发射均匀、一致的电波。

右下图是一根GP天线，主振子安装在玻璃钢管中，天线下面有三根短振子作为地网。



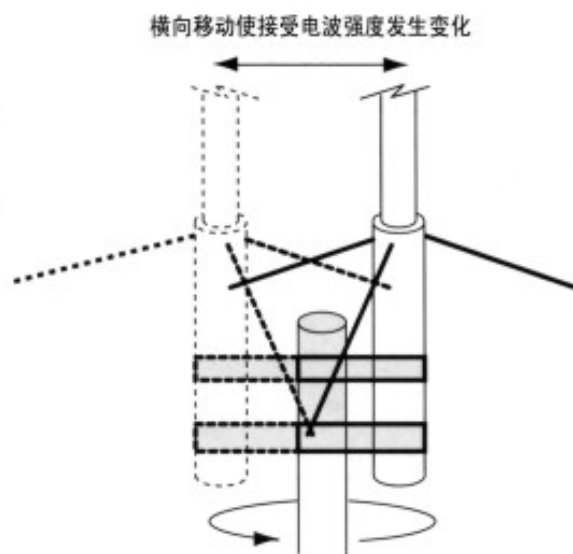
■地网的影响

旋转GP天线时，电台信号有时变强，有时变弱，于是有人问：是不是因为三根地网振子太少造成的？不是的！即使将地网振子增加到三根以上，也不会对GP天线的方向性有明显影响。

旋转GP天线时，电台信号忽强忽弱的主要原因有两个：

①由于大风等原因，GP天线没有垂直竖立，发生倾斜，导致接受电波的强度发生变化。

②旋转GP天线时，并不是以天线为中心旋转，而是沿着水平方向前后、左右移动，导致接受电波的强度发生变化。例如右图：

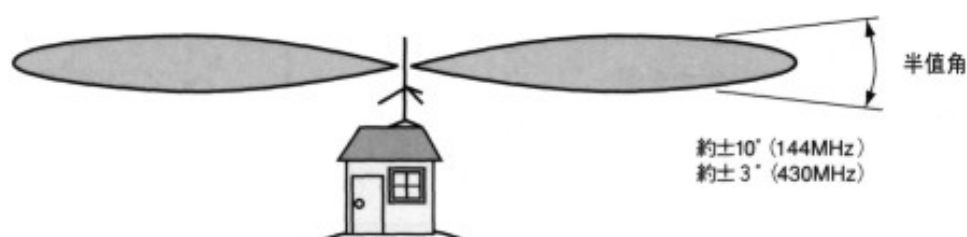


(35) 与地理位置相适应的GP天线

根据周围的地形与建筑物，选择最适当的GP天线。下面以144MHz/430MHz双波段GP天线为例，分三种情况介绍。

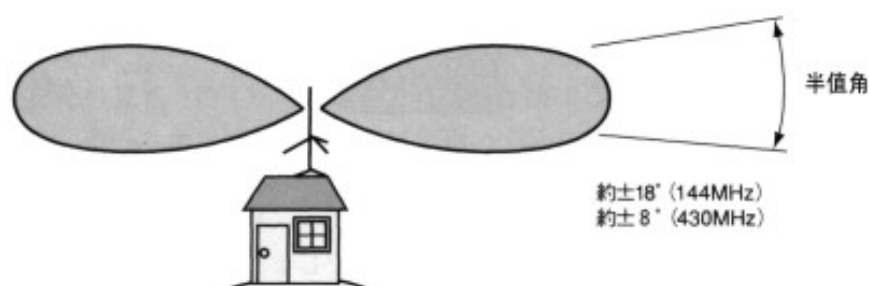
■ 周围没有高山和高楼的郊区开阔地带

这种地带适合使用具有良好垂直方向性的高增益天线，天线长度在5至7m之间。以长度7m的两波段GP天线为例，144MHz的半值角为 $\pm 10^\circ$ ，430MHz的半值角为 $\pm 3^\circ$ 。请参看下图：



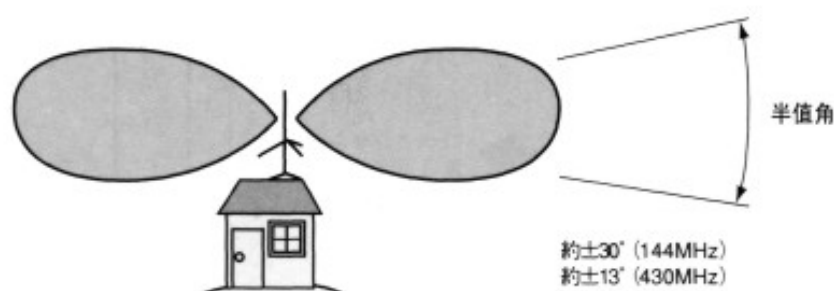
■ 周围有高山，但没有高楼，与高山有相当距离的地带

不推荐使用高增益天线，使用普通天线即可，天线长度在2.4至4米之间，此时144MHz的半值角为 $\pm 18^\circ$ ，430MHz的半值角为 $\pm 8^\circ$ 。请参看下图：



■ 房屋被群山环抱，或者房屋后面有山，或者住在城市高楼中

高增益天线在某些情况下，通联效果非常好，而低增益天线在某些情况下，也会有令人意外的通联效果，因此很难下结论，一般使用长度2m以下的天线即可，此时144MHz的半值角为 $\pm 30^\circ$ ，430MHz的半值角为 $\pm 13^\circ$ 。请参看下图：



(36) VHF/UHF天线的架设

在架设VHF/UHF天线时，需要注意一些问题。

■ 架设的高度

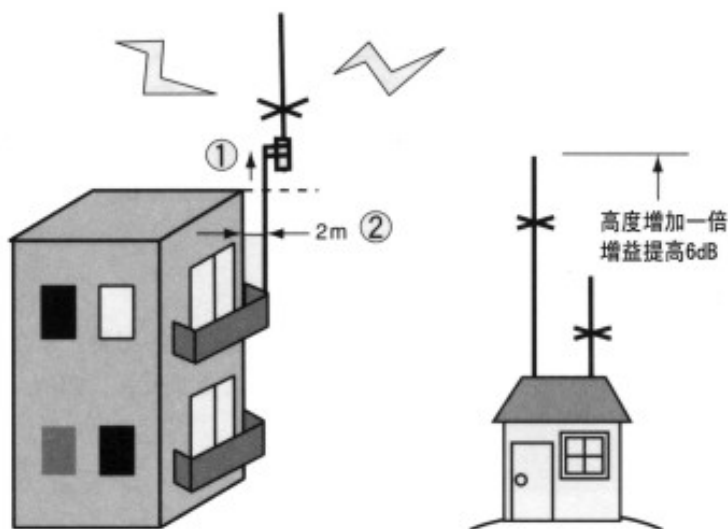
VHF/UHF天线的架设位置越高，通联范围越广。在高山上，使用手台有可能达到100公里以上的通联距离。一般来说，架设高度增加一倍，相当于增益提高6dB的效果（右下图），因此在架设VHF/UHF天线时，应当选择尽可能高的位置。

■ 建筑物的影响

①如果将天线架设在楼房的阳台上，整根天线应当高于楼房顶部（左图）。

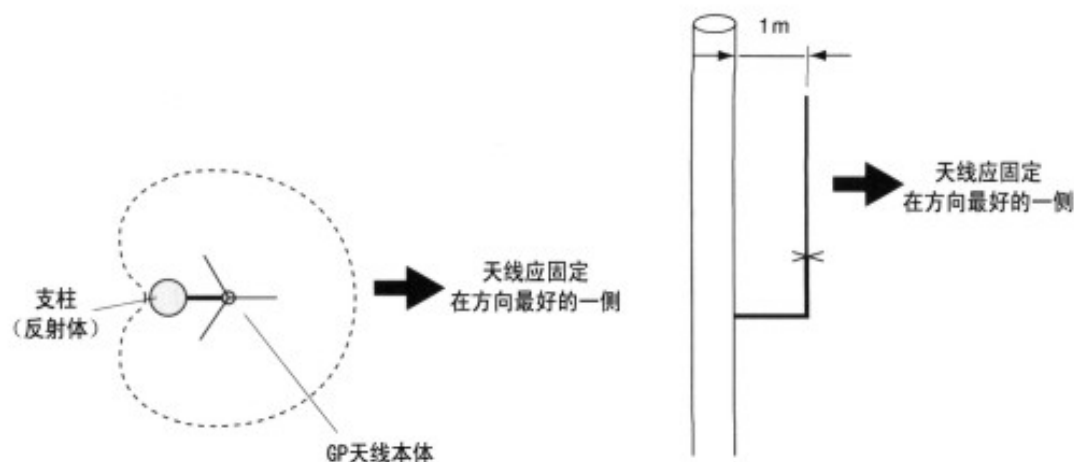
②如果沿着楼房墙壁架设天线，天线与墙壁之间应当保持2m以上的距离（左图）。

※天线与墙壁之间的距离，如果不能保持2m以上，那么必须测量SWR，看看SWR是否适合通联。



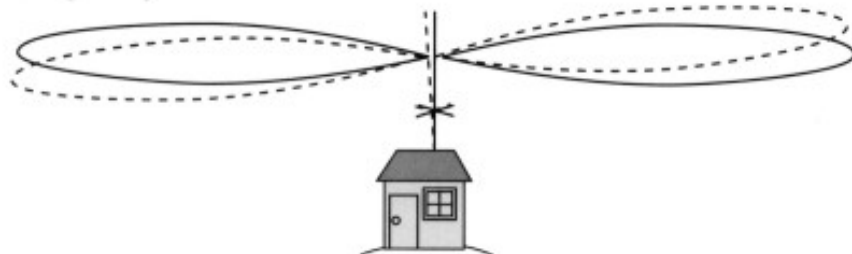
■ 将天线架设在天线塔或支柱上

将天线架设在天线塔或支柱上时，天线与塔身或支柱的距离，最好能保持1m以上。不过需要注意的是，将天线固定在支柱一侧时，支柱相当于反射体，可能影响天线的方向性，因此应当根据天线的水平方向图，将天线固定在位置最好的一侧（参看下图）。



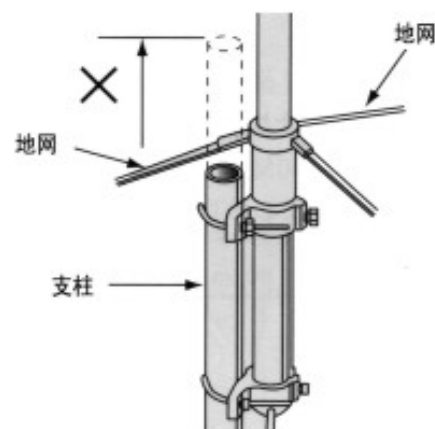
■天线必须垂直竖立

要想获得高增益，天线必须垂直竖立。天线如果倾斜，将影响天线的性能。请参看下图：



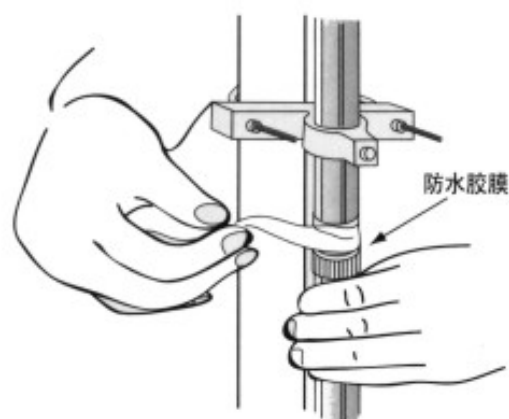
■支柱的高度

支柱如果高过地网，将严重影响天线的性能，所以支柱一定要低于地网。在右图中，虚线表示支柱高过地网，是错误的，实线表示支柱低于地网，是正确的。



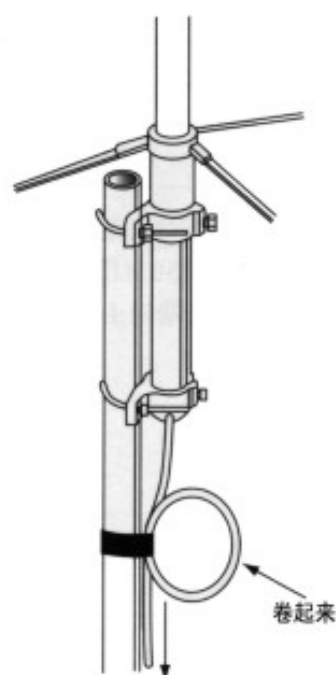
■同轴电缆的防水

将修理自来水管用的防水胶膜拉长1.5倍，紧紧缠绕在天线的各个接头部，然后再在它上面缠绕绝缘胶布（下图），以防止同轴电缆进水。也可以用电工市场上的防水胶布（或称高频绝缘胶布）。



■避免接头受力

将从天线上垂下的多余电缆卷起来，用胶布固定在支柱上（右图），这样做可以避免接头受力，保护接头，同时也可以起到防止整条电缆进水的作用。这种做法对天线本身没有影响。

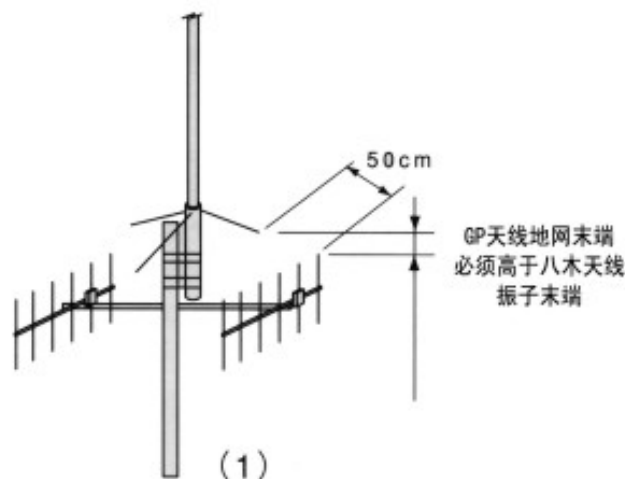


VHF/UHF天线的架设

在天线塔或支柱上架设多副VHF/UHF天线

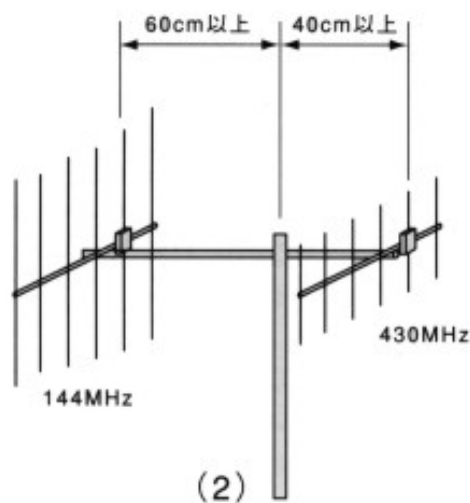
■ 架设方法一

同时架设GP天线和八木天线时，必须注意两点。一是从GP天线地网振子的末端，到八木天线振子的末端，必须有50cm以上的距离。二是GP天线地网振子的末端，要高于八木天线振子的末端。以上两点请参看右图：



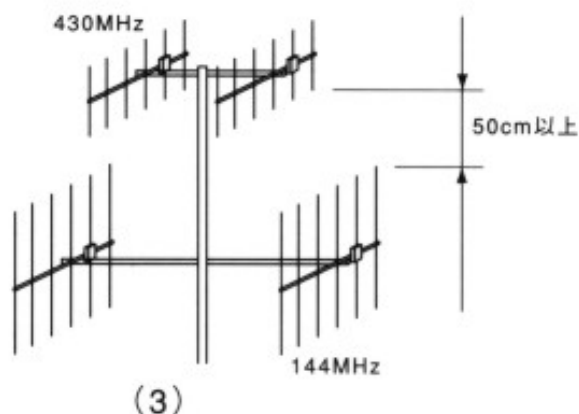
■ 架设方法二

同时架设144MHz和430MHz八木天线时，两者之间要尽可能保持距离。在下图中，144MHz天线距离支柱在60cm以上，430MHz天线距离支柱在40cm以上。



■ 架设方法三

同时架设两组或多组八木天线阵列，各组单元末端之间至少要有50cm的距离。



VHF/UHF车载天线

(37) VHF/UHF车载天线的安装

在安装VHF/UHF车载天线时，需要注意几个问题。

■ 车载天线的接地

与HF天线一样，VHF/UHF车载天线也必须有良好的接地。在安装天线时，一定要用固定螺丝，将天线底座紧紧固定在车身上。左下方是天线底座与固定螺丝的示意图，右下方是将天线安装在后备箱上，打开后备箱之后的示意图。



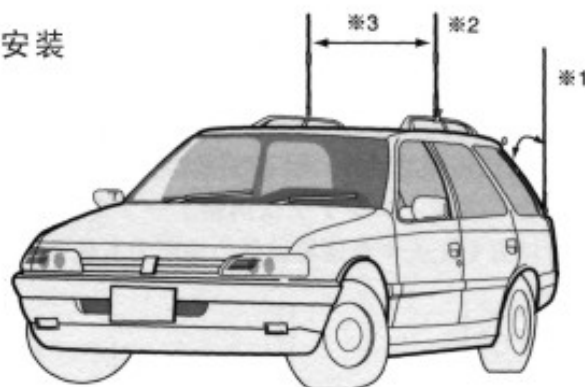
■ 车载天线没有单独的地网，便于安装

车载天线由于没有单独的地网，因此可以安装在汽车的各个部位上。但是，车载天线如果距离车身太近，会影响自身的性能。在右下图中，汽车安装了三根车载天线，其中：

①第一根天线距离车身太近，SWR很难降下来，另外受到车身的影响，增益也不会高。

②第二根天线的位置最好，效率最高。

③第二根与第三根天线之间的距离如果在1m以上，就不会影响各自的SWR。



■ 车载天线要垂直安装

HF天线略微倾斜一点，问题并不大，但VHF/UHF车载高增益天线最好垂直安装。长度小于1.2米的车载天线略微倾斜一点没有关系。右图表示倾斜安装的天线会形成一定的仰角，仰角越大，通信距离越短。

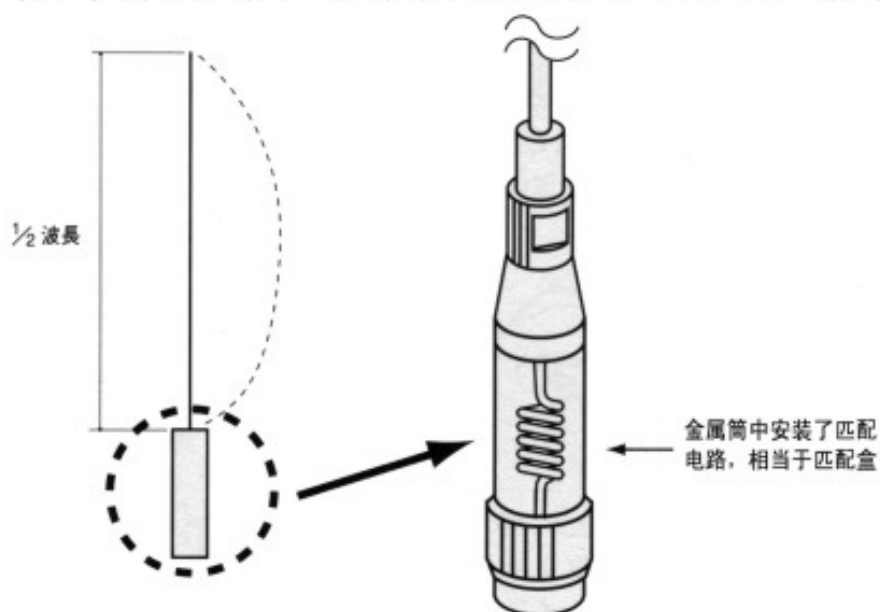


(38) 主流的车载天线是无地网天线

无地网天线通过馈电点为天线馈电，这种天线虽然没有单独的水平地网，但可以充分发挥天线的性能。车载天线也是无地网天线，在车载天线下方的金属管中，安装了类似匹配盒的匹配电路，用来保证天线有良好的SWR特性。无地网天线正在成为车载天线的主流。

■ 车载天线的匹配盒在哪里？

我们曾在前面第17小节中介绍过，电压馈电型天线馈电点的阻抗高达几k Ω ，因此不能与50 Ω 的同轴电缆直接连接，必须通过匹配盒。车载天线为什么能与同轴电缆直接连接呢？原来在车载天线底部的金属管中，已经安装了匹配电路，相当于匹配盒，请参看下图。



■ 车载天线也可以安装在家中

车载天线与同轴电缆直接连接，安装方便，如果我们动动脑筋，也可以将车载天线安装在汽车以外的其它地点。在右下图，利用特制的固定支架，将车载天线安装在家中阳台的金属栏杆上。左下图表示，如果固定支架与黑块以上部位接触，将影响天线的SWR，需要特别注意。



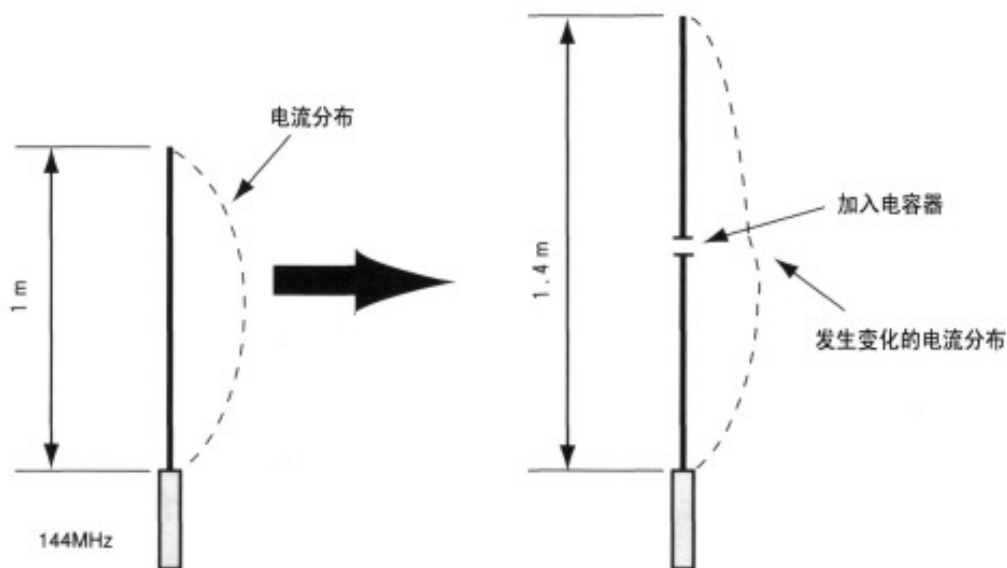
车载天线安装在家中阳台的例子

(39) 两种加长的高增益车载天线

为了增加车载天线的长度，我们有两种方法，一是增加天线振子的长度，二是增加天线振子的数量。

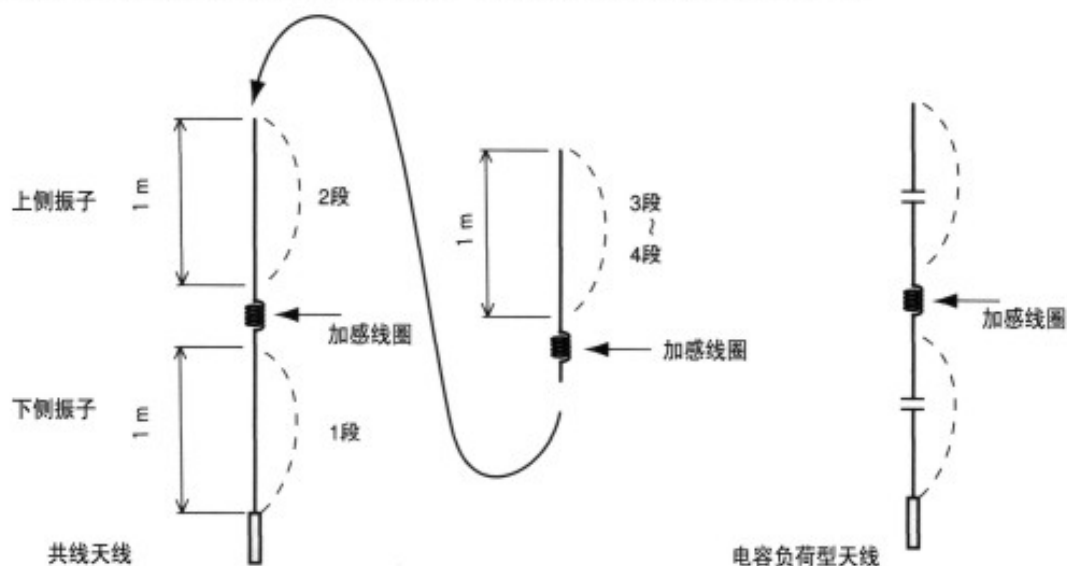
■ 电容负荷型天线（增加振子的长度）

在振子中间加入电容后，电容两侧振子的机械长度可以增加，但天线的电气长度仍然是二分之一波长。左下图是原来的144MHz天线，全长1m，虚线是电流分布图。右下图是加入电容之后的天线，全长1.4m，虚线是发生变化的电流分布图。



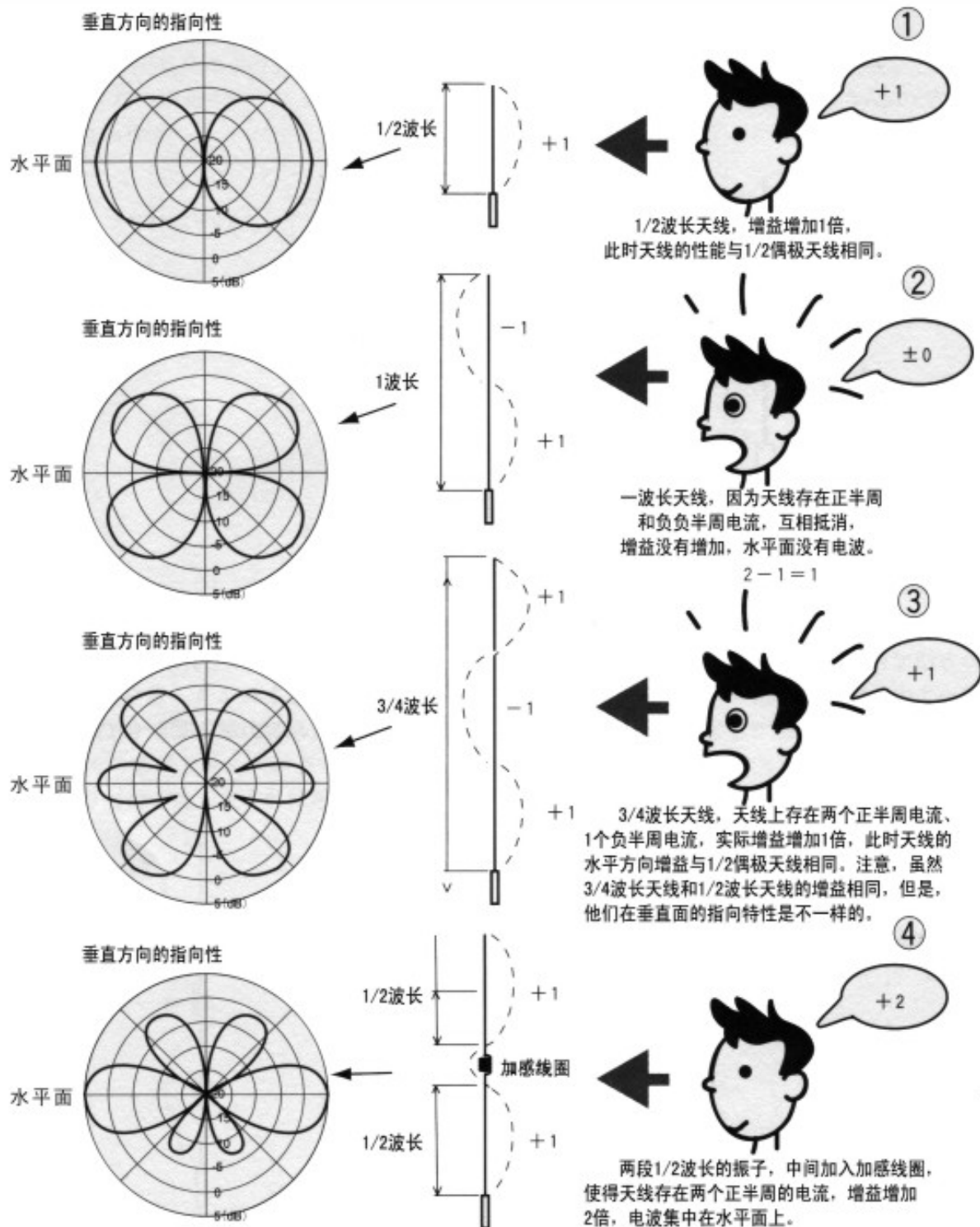
■ 共线天线（collinear antenna，增加振子的数量）

在单段振子的上面，再增加一段或多段，可以提高天线的增益，这就是共线天线。在左下图中，在第1段振子的上面，又增加了第2段，两段之间加入加感线圈，此外，还可以用同样方法，增加第3段甚至第4段，从而大大提高天线的增益。我们还可以将电容负荷型天线与共线天线结合起来，制成更长的天线。例如右下图：



(40) 加长天线的增益为什么会提高？

在两段振子之间加入加感线圈之后，电波会在水平面集中，从而提高了天线的增益。下面四组图是鞭状车载电线逐渐加长时的垂直方向图，有助于我们了解垂直方向性的变化。



(41) 多波段车载天线

业余无线电的各个VHF/UHF波段，它们的频率是“三倍关系”：

$50\text{MHz} \times 3 = 150\text{MHz}$ ，大致相当于144MHz。

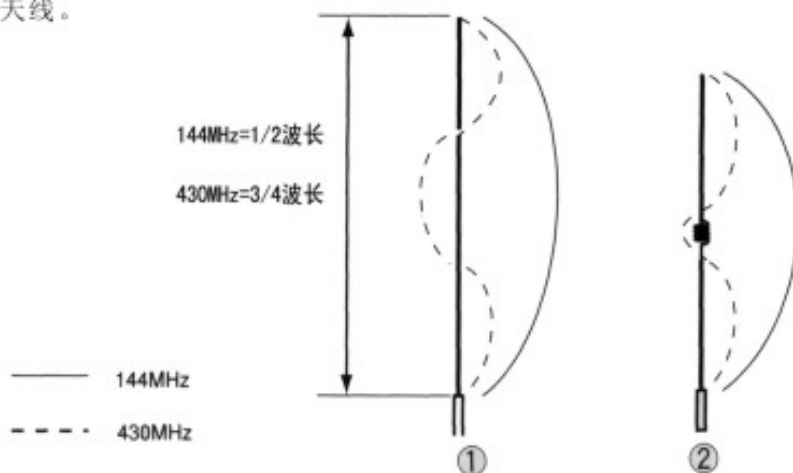
$144\text{MHz} \times 3 = 432\text{MHz}$ ，大致相当于430MHz。

$430\text{MHz} \times 3 = 1290\text{MHz}$ ，大致相当于1200MHz。

它们的波长则是“三分之一倍关系”。这两种关系有助于我们制作多波段车载天线。

■ 双波段天线

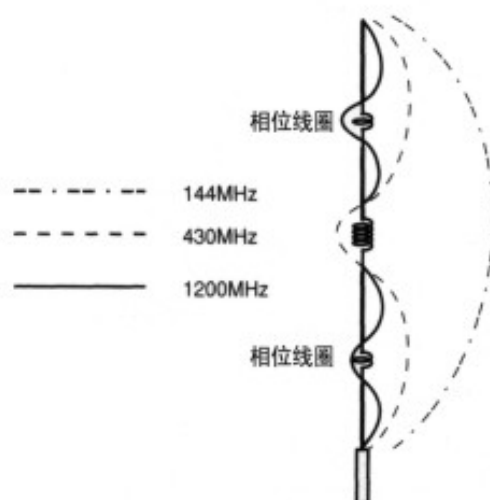
如果我们充分利用“三倍频率、1/3倍波长”这种关系，则可以制作出多波段高增益车载天线。



图①是144MHz的1/2波长天线，它同时也可以当作430MHz的3/4波长天线。不过作为430MHz天线，它的增益比较低，为此，我们可以在天线中间加入加感线圈，成为图②那样的双波段高增益天线。

■ 三波段天线

在上述天线的基础上，如果我们再加入两个线圈，分别用于430MHz和1200MHz，则可以制成三波段天线，请参看下图。这两个线圈不同于中间的加感线圈，它们被称做“相位线圈”。



测量天线的SWR和输出功率

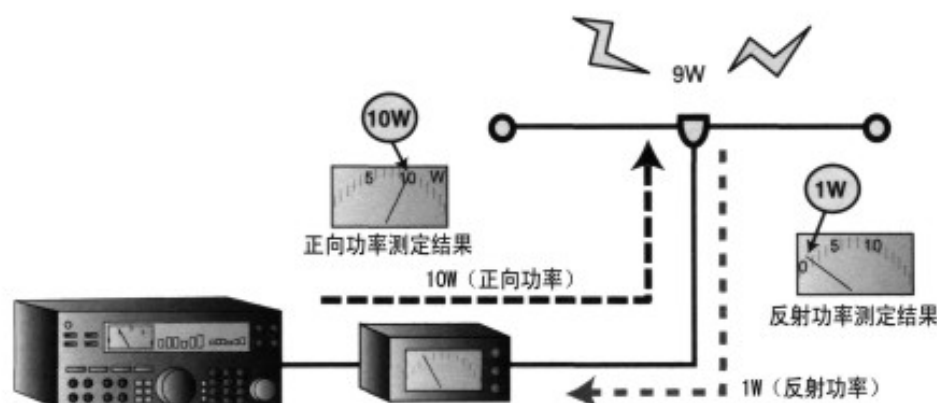
(42) 驻波表的功能与种类

市场上出售的驻波表分为两种：一种是单指针式（Single），通过切换开关和调节旋钮来测量SWR；另一种是双指针式（Cross），从左右两根指针的交叉点直接读取SWR，操作非常简单。

※这两种驻波表均可测量电台的输出功率。

■ SWR是如何测量出来的？

驻波表分别测量从天线发射出去的电流量（正向功率）与从天线反射回来的电流量（反射功率），根据两者的比值，得出天线的SWR。



■ 需要经常测量SWR吗？

不需要经常测量SWR，只有在架设天线与同轴电缆时，或者感觉电波发射有问题时，才需要测量SWR。较低的SWR可以让我们安心地使用电台。

■ 驻波表的种类

市场上出售的驻波表分为两种，一种是单指针式（左下图）；另一种是双指针式（右下图）。



单指针式：
功能功能较丰富，
但每次使用时需要
进行校准



双指针式：
可直接读出功率和SWR，
左边的指针表示正向功率，
右边的指针表示方向功率，
两个指针交叉点的读数，
就是SWR

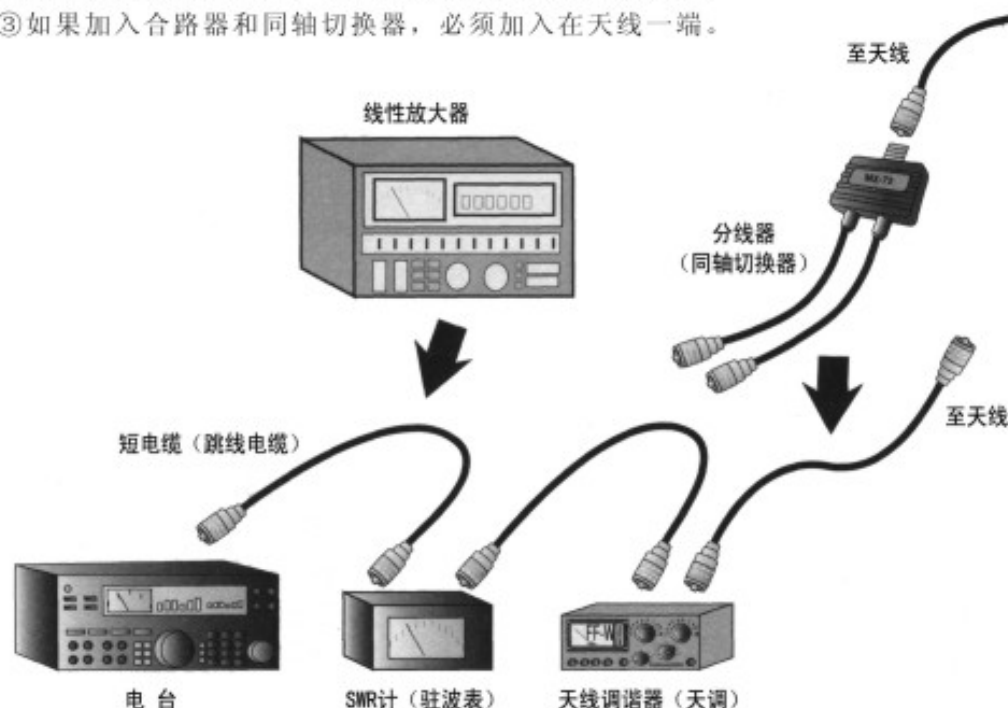
(43) 驻波表的连接方法

- ① 电台的ANT端与驻波表的TX端相连。
- ② 驻波表的ANT端与天线的同轴电缆相连。
- ③ 驻波表与天线之间也可以连接合路器或同轴切换器。



■ 连接其它设备

- ① 连接天线调谐器（天调）时，请注意连接顺序（参看下图）。
- ② 如果加入线性放大器，必须加入在电台与驻波表之间。
- ③ 如果加入合路器和同轴切换器，必须加入在天线一端。



■ 改变接头

有一些驻波表，不同波段使用不同的输入接头，例如HF和V/UHF分别使用不同的接头，在改变频率范围（波段）之后，注意要接到对应的接头上。

(44) SWR的测量步骤

一、初始设置（以钻石SX-600型驻波表为例，参看下图）

- ① RANGE （范围）：放在任意位置
- ② FUNCTION（功能）：放在CAL位置
- ③ POWER （功率）：放在OFF位置
- ④ CAL （测量）：放在MIN位置
- ⑤ AVE （平均功率）：放在任意位置



※使用驻波表之前，一定要确认它与电台和天线已经正确连接。

二、电台的设定

将电台调整到能够连续发射电波的FM或CW方式，输出功率不要超过5W。

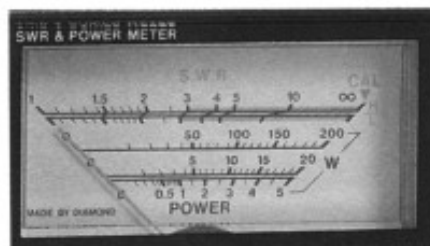
三、驻波表的校正

按下电台发射键，发射电波，从MIN位置慢慢旋转CAL旋钮，让指针指向表头中CAL一行的最右边的位置（满档），即校正完毕（参看右图）。

四、测量SWR

松开电台的发射键，停止发射，将FUNCTION开关扳到SWR位置，再按下电台的发射键，测量SWR，此时指针的读数，即为当天线的SWR值。

请仔细看指针的位置，如果SWR在1.5以下，天线就是合格的。



■双指针式驻波表的测量步骤

（以钻石SX-20C型驻波表为例）

一、初始设置：根据电台输出功率的大小，将功率范围开关扳到相应的位置（参看右图）。

二、电台的设定：与单指针式驻波表相同。

三、测量SWR：按下电台发射键，发射电波，从左右两根指针的交叉点读取SWR。



(45) 功率的测量步骤

一、初始设置 (以钻石SX-600型驻波表为例, 参看下图)

- ① **RANGE** (范围): 放在与电台功率相应的位置。如果不知道电台功率, 放在**200W**位置 (最大值)。
- ② **FUNCTION** (功能): 放在**POWER**位置
- ③ **POWER** (功率): 测量发射功率时, 放在**FWD**位置;
测量反射功率时, 放在**REF**位置。
- ④ **CAL** (测量): 放在**MIN**位置 (万一操作不当, 可以保护驻波表)
- ⑤ **AVE** (平均功率): **FM/AM**方式下放在**AVE**位置;
SSB/CW方式下放在**PEP MONI**位置。

※使用驻波表之前, 一定要确认它与电台和天线已经正确连接。



二、电台的设定

将电台调整到**FM**、**SSB**等方式下, 以便测量所使用方式的**SWR**。

三、测量功率

按下电台发射键, 发射电波, 从表头读取**SWR**。

※使用**SSB**方式通联时, 不说话就不发射电波, 因此应当在说话时测量**SWR**。

■双指针式驻波表的测量步骤

(以钻石SX-20C型驻波表为例)

一、初始设置: 根据电台输出功率的大小, 将功率范围开关扳到相应的位置 (参看右图)。

二、电台的设定: 与单指针式驻波表相同。

三、测量**SWR**: 按下电台发射键, 发射电波, 左指针的读数就是电台的发射功率, 右指针的则是天线反射回来的功率。



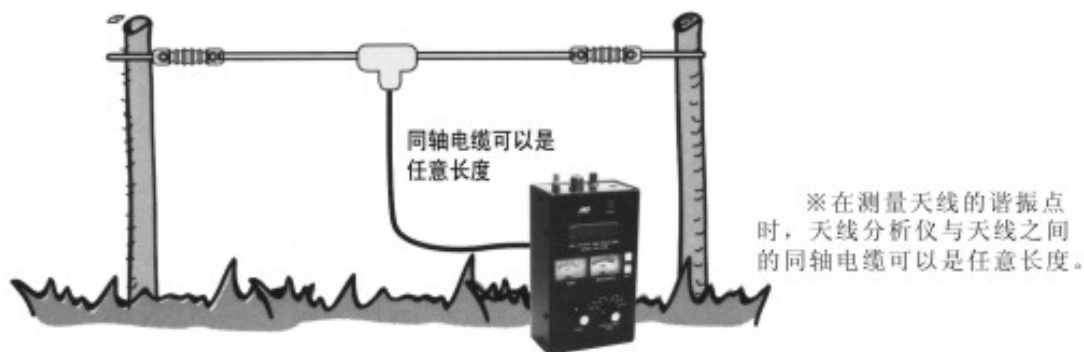
(46) 使用天线分析仪

天线分析仪是一种内含电波发射器的测量设备，用来测量天线的SWR和阻抗。当电台不发射电波时，驻波表不能告诉我们天线是否谐振，而天线分析仪却可以不借助电台来告诉我们天线的谐振点，因此这种设备为我们调整HF天线提供了很大方便，现在很多天线分析仪，测量频率范围很广，还可以用于测量VHF和UHF天线，如MFS-269。



■ 测量偶极天线的谐振点

将天线分析仪的波段旋钮调整到指定波段，然后用同轴电缆与天线连接（下图）。在调整频率的过程中，SWR指针指向的最小值就是天线的谐振点。



■ 谐振点的调整

①测量到的谐振点如果比指定谐振点低，说明天线振子过长，需要剪短。如果一次剪掉的太多，有可能高于指定谐振点，所以一定要分多次，一点一点剪短，同时进行测量。在天线调整中，有一句名言“Cut and Try”，中文意思“边剪边试”，公式计算出的只是理论长度，在实际调整中，因天线材料、安装环境等因素，长度都不相同，需要一边剪，一边测量SWR，直到找出最佳的长度。

②测量到的谐振点如果比指定谐振点高，说明天线振子过短，需要加长。

③调整HF天线谐振点时应注意的一个问题。地形与周围建筑物对HF天线有很大的影响，在一个地方调好谐振点之后，如果将天线移动到另外一个地方，谐振点很可能会发生变化，这一点需要引起注意。

■ 测量天线的阻抗

将天线分析仪放置在天线的正下方，连接两者的同轴电缆越短，测量到的阻抗值越准确，因此一定要使用尽可能短的同轴电缆（请参看下图）。



(47) 使用假负载

假负载是一个 50Ω 的无感电阻，用来模拟一副理想状态下的天线，可用于测量电台的输出功率，也可以测量同轴电缆、合路器和天线切换器的SWR。使用假负载时，不会向外界发射电波，不会干扰临近的友台，因此可以安心进行测试。

■ 测量功率

天线的SWR如果太高，则无法测量电台的准确功率。假负载具有优良的SWR特性，可以用它测量电台的准确功率。下面是两种常用假负载的外观图。



■ 测量功率

可以将电台与假负载连接起来，也可以将电台、驻波表和假负载连接起来（下图），测量电台本身的SWR。



■ 测量同轴电缆的损耗

使用假负载可以测量一段较长的同轴电缆的损耗，方法如下图：

①先用一根尽可能短的跳线电缆连接电台与驻波表（带假负载），测得此时的功率 P_1 。

②将跳线电缆拿下，换上那段较长的同轴电缆，测得此时的功率 P_2 。

③ P_2 与 P_1 之差就是同轴电缆的损耗值。



※不同型号的同轴电缆，由于自身质量问题，它们的损耗值可能互不相同，这一点请注意。