

# 一、天线的几个重要参数

## 1. 天线的输入阻抗

天线的输入阻抗是天线馈电端输入电压与输入电流的比值。天线与馈线的连接，最佳情形是天线输入阻抗是纯电阻且等于馈线的特性阻抗，这时馈线终端没有功率反射，馈线上没有驻波，天线的输入阻抗随频率的变化比较平缓。天线的匹配工作就是消除天线输入阻抗中的电抗分量，使电阻分量尽可能地接近馈线的特性阻抗。匹配的优劣一般用四个参数来衡量，即反射系数，行波系数，驻波比和回波损耗，四个参数之间有固定的数值关系，使用哪一个纯出于习惯。在我们日常维护中，用得较多的是驻波比和回波损耗。

驻波比：它是行波系数的倒数，其值在 1 到无穷大之间。驻波比为 1，表示完全匹配；驻波比为无穷大表示全反射，完全失配。在移动通信系统中，一般要求驻波比小于 1.5。回波损耗：它是反射系数绝对值的倒数，以分贝值表示。回波损耗的值在 0 dB 的到无穷大之间，回波损耗越大表示匹配越差，回波损耗越大表示匹配越好。0 表示全反射，无穷大表示完全匹配。在移动通信系统中，一般要求回波损耗大于 14 dB。

## 2. 天线的极化方式

所谓天线的极化，就是指天线辐射时形成的电场强度方向。当电场强度方向垂直于地面时，此电波就称为垂直极化波；当电场强度方向平行于地面时，此电波就称为水平极化波。由于电波的特性，决定了水平极化传播的信号在贴近地面时会在大地表面产生极化电流，极化

电流因受大地阻抗影响产生热能而使电场信号迅速衰减，而垂直极化方式则不易产生极化电流，从而避免了能量的大幅衰减，保证了信号的有效传播。因此，在移动通信系统中，一般均采用垂直极化的传播方式。另外，随着新技术的发展，最近又出现了一种双极化天线。就其设计思路而言，一般分为垂直与水平极化和 $\pm 45^\circ$ 极化两种方式，性能上一般后者优于前者，因此目前大部分采用的是 $\pm 45^\circ$ 极化方式。双极化天线组合了 $+45^\circ$ 和 $-45^\circ$ 两副极化方向相互正交的天线，并同时工作在收发双工模式下，大大节省了每个小区的天线数量；同时由于 $\pm 45^\circ$ 为正交极化，有效保证了分集接收的良好效果。（其极化分集增益约为 5 d B，比单极化天线提高约 2 d B。）

### **3．天线的增益**

天线增益是用来衡量天线朝一个特定方向收发信号的能力，它是选择基站天线最重要的参数之一。一般来说，增益的提高主要依靠减小垂直面向辐射的波瓣宽度，而在水平面上保持全向的辐射性能。天线增益对移动通信系统的运行质量极为重要，因为它决定蜂窝边缘的信号电平。增加增益就可以在一确定方向上增大网络的覆盖范围，或者在确定范围内增大增益余量。任何蜂窝系统都是一个双向过程，增加天线的增益能同时减少双向系统增益预算余量。

### **4．天线的波瓣宽度**

波瓣宽度是定向天线常用的一个很重要的参数，它是指天线的辐射图中低于峰值 3 d B 处所成夹角的宽度（天线的辐射图是度量天线各个方向收发信号能力的一个指标，通常以图形方式表示为功率强度

与夹角的关系)。天线垂直的波瓣宽度一般与该天线所对应方向上的覆盖半径有关。因此,在一定范围内通过对天线垂直度(俯仰角)的调节,可以达到改善小区覆盖质量的目的,这也是我们在网络优化中经常采用的一种手段。

## 二、几种天线的比较及选择

移动通信天线的技术发展很快,最初中国主要使用普通的定向和全向型移动天线,后来普遍使用机械天线,现在一些省市的移动网已经开始使用电调天线和双极化移动天线。由于目前移动通信系统中使用的各种天线的使用频率,增益和前后比等指标差别不大,都符合网络指标要求,我们将重点从移动天线倾角改变对天线方向图及无线网络的影响方面,对上述几种天线进行分析比较。

### 1. 机械天线

所谓机械天线,即指使用机械调整下倾角度的移动天线。机械天线与地面垂直安装好以后,如果因网络优化的要求,需要调整天线背面支架的位置改变天线的倾角来实现。在调整过程中,虽然天线主瓣方向的覆盖距离明显变化,但天线垂直分量和水平分量的幅值不变,所以天线方向图容易变形。实践证明:机械天线的最佳下倾角度为 $1^{\circ} - 5^{\circ}$ ;当下倾角度在 $5^{\circ} - 10^{\circ}$ 变化时,其天线方向图稍有变形但变化不大;当下倾角度在 $10^{\circ} - 15^{\circ}$ 变化时,其天线方向图变化较大;当机械天线下倾 $15^{\circ}$ 后,天线方向图形状改变很大,从没有下倾时的鸭梨形变为纺锤形,这时虽然主瓣方向覆盖距离明显缩短,但是整个天线方向图不是都在本基站扇区内,在相邻基站扇区内也会收

到该基站的信号，从而造成严重的系统内干扰。另外，在日常维护中，如果要调整机械天线倾角，整个系统要关机，不能在调整天线倾角的同时进行监测；机械天线调整天线倾角非常麻烦，一般需要维护人员爬到天线安放处进行调整；机械天线的下倾角度是通过计算机模拟分析软件计算的理论值，同实际最佳下倾角度有一定的偏差；机械天线调整倾角的步进度数为  $1^\circ$ ，三阶互调指标为  $-120\text{ dB}$ 。

## 2. 电调天线

所谓电调天线，即指使用电子调整下倾角度的移动天线。电子下倾的原理是通过改变共线阵天线振子的相位，改变垂直分量和水平分量的幅值大小，改变合成分量场强强度，从而使天线的垂直方向图下倾。由于天线各方向的场强强度同时增大和减小，保证在改变倾角后天线方向图变化不大，使主瓣方向覆盖距离缩短，同时又使整个方向图在服务小区扇区内减小覆盖面积但又不产生干扰。实践证明，电调天线倾角在  $1^\circ - 5^\circ$  变化时，其天线方向图与机械天线的大致相同；当下倾角度在  $5^\circ - 10^\circ$  变化时，其天线方向图较机械天线的稍有改善；当下倾角度在  $10^\circ - 15^\circ$  变化时，其天线方向图较机械天线的变化较大；当机械天线倾角  $15^\circ$  后，其天线方向图较机械天线的明显不同，这时天线方向图形状改变不大，主瓣方向覆盖距离明显缩短，整个天线方向图都在本基站扇区内，增加下倾角度，可以使扇区覆盖面积缩小，但不产生干扰，这样的方向图是我们需要的，因此采用电调天线能够降低呼损，减小干扰。另外，电调天线允许系统在不停机的情况下对垂直方向图下倾角进行调整，实时监测调整的效

果,调整倾角的步进精度也较高(为 $0.1^\circ$ ),因此可以对网络实现精细调整;电调天线的三阶互调指标为 $-150\text{ dB}$ ,较机械天线相差 $30\text{ dB}$ ,有利于消除邻频干扰和杂散干扰。

### 3. 双极化天线

双极化天线是一种新型天线技术,组合了 $+45^\circ$ 和 $-45^\circ$ 两副极化方向相互正交的天线并同时工作在收发双工模式下,因此其最突出的优点是节省单个定向基站的天线数量;一般GSM数字移动通信网的定向基站(三扇区)要使用9根天线,每个扇形使用3根天线(空间分集,一发两收),如果使用双极化天线,每个扇形只需要1根天线;同时由于在双极化天线中, $\pm 45^\circ$ 的极化正交性可以保证 $+45^\circ$ 和 $-45^\circ$ 两副天线之间的隔离度满足互调对天线间隔离度的要求( $\geq 30\text{ dB}$ ),因此双极化天线之间的空间间隔仅需 $20-30\text{ cm}$ ;另外,双极化天线具有电调天线的优点,在移动通信网中使用双极化天线同电调天线一样,可以降低呼损,减小干扰,提高全网的服务质量。如果使用双极化天线,由于双极化天线对架设安装要求不高,不需要征地建塔,只需要架一根直径 $20\text{ cm}$ 的铁柱,将双极化天线按相应覆盖方向固定在铁柱上即可,从而节省基建投资,同时使基站布局更加合理,基站站址的选定更加容易。

对于天线的选择,我们应根据自己移动网的覆盖,话务量,干扰和网络服务质量等实际情况,选择适合本地区移动网络需要的移动天线:在基站密集的高话务地区,应该尽量采用双极化天线和电调天线,在边、郊等话务量不高,基站不密集地区和只要求覆盖的地区,可以

使用传统的机械天线。我国目前的移动通信网在高话务密度区的呼损较高，干扰较大，其中一个重要原因是机械天线下倾角度过大，天线方向图严重变形。要解决高话务区的容量不足，必须缩短站距，加大天线方向图的下倾角度，但是使用机械天线，下倾角度大于 $5^{\circ}$ 时，天线方向图就开始变形，超过 $10^{\circ}$ 时，天线方向图严重变形，因此采用机械天线，很难解决用户高密度区呼损高、干扰大的问题。因此建议在高话务密度区采用电调天线或双极化天线替换机械天线，替换下来的机械天线可以安装在农村，郊区等话务密度低的地区。

### 三、天线调整在移动通信系统中的应用

天线是无线信号与基站之间的接口，在整个无线网络中起着很重要的作用。天线的正确安装，天线参数的正确调整（包括天线高度、俯仰角、方位角），对无线网络的信号质量有着很大的影响，能够较为有效的改善系统的掉话率，接通率。阻塞率等运行质量指标，改善无线信号及无线环境。

#### 1. 天线的安装

由于移动通信的迅猛发展，目前全国许多地区存在多网并存的局面，即A、B、G三网并存，其中有些地区的G网还包括GSM900和GSM1800。为充分利用资源，实现资源共享，我们一般采用天线共塔的形式。这就涉及到天线的正确安装问题，即如何安装才能尽可能地减少天线之间的相互影响。在工程中我们一般用隔离度指标来衡量，通常要求隔离度应至少大于30dB，为满足该要求，常采用使天线在垂直方向隔开或在水平方向隔开的方法，实践证明，在天线间距相同时，垂直安装比水平安装能获得更大的隔离度。

总的来说，天线的安装应注意以下几个问题：

（1）定向天线的塔侧安装：为减少天线铁塔对天线方向性图的影响，在安装时应注意：定向天线的中心至铁塔的距离为 $\lambda/4$ 或 $3\lambda/4$ 时，可获得塔外的最大方向性。

（2）全向天线的塔侧安装：为减少天线铁塔对天线方向图的影响，原则上天线铁塔不能成为天线的反射器。因此在安装中，天线总应安装于棱角上，且使天线与铁塔任一部位的最近距离大于 $\lambda$ 。

（3）多天线共塔：要尽量减少不同网收发信天线之间的耦合作用和相互影响，设法增大天线相互之间的隔离度，最好的办法是增大相互之间的距离。天线共塔时，应优先采用垂直安装。

（4）对于传统的单极化天线（垂直极化），由于天线之间（RX-TX TX-TX）的隔离度（ $\geq 30\text{ dB}$ ）和空间分集技术的要求，要求天线之间有一定的水平和垂直间隔距离，一般垂直距离约为 $50\text{ cm}$ ，水平距离约为 $4.5\text{ m}$ ，这时必须增加基建投资，以扩大安装天线的平台，而对于双极化天线（ $\pm 45^\circ$ 极化），由于 $\pm 45^\circ$ 的极化正交性可以保证 $+45^\circ$ 和 $-45^\circ$ 两副天线之间的隔离度满足互调对天线间隔度的要求（ $\geq 30\text{ dB}$ ），因此双极化天线之间的空间间隔仅需 $20-30\text{ cm}$ ，移动基站可以不必兴建铁塔，只需要架一根直径 $20\text{ cm}$ 的铁柱，将双极化天线按相应覆盖方向固定在铁柱上即可。

## **2. 天线参数的调整**

### **（1）天线高度的调整**

天线高度直接与基站的覆盖范围有关。一般来说，我们用仪器测得的信号覆盖范围受两方向因素影响：一是天线所发直射波所能达到的最远距离；二是到达该地点的信号强度足以为仪器所捕捉。900 MHz 移动通信是近地表面视线通信，天线所发直射波所能达到的最远距离（S）直接与收发信天线的高度有关，具体关系式可简化如下：

$$S = 2 R \sqrt{H + h}$$

其中：R - 地球半径，约为 6370 km；

H - 基站天线的中心点高度；

h - 手机或测试仪表的天线高度。

由此可见，基站无线信号所能达到的最远距离（即基站的覆盖范围）是由天线高度决定的。GSM网络在建设初期，站点较少，为了保证覆盖，基站天线一般架设得都较高。随着近几年移动通信的迅速发展，基站站点大量增多，在市区已经达到大约500m左右为一个站。在这种情况下，我们必须减小基站的覆盖范围，降低天线的高度，否则会严重影响我们的网络质量。其影响主要有以下几个方面：

a. 话务不均衡。基站天线过高，会造成该基站的覆盖范围过大，从而造成该基站的话务量很大，而与之相邻的基站由于覆盖较小且被该基站覆盖，话务量较小，不能发挥应有作用，导致话务不均衡。

b. 系统内干扰。基站天线过高，会造成越站无线干扰（主要包括同频干扰及邻频干扰），引起掉话、串话和有较大杂音等现象，从而导致整个无线通信网络的质量下降。

c. 孤岛效应。孤岛效应是基站覆盖性问题，当基站覆盖在大型



水面或多山地区等特殊地形时，由于水面或山峰的反射，使基站在原覆盖范围不变的基础上，在很远处出现“飞地”，而与之有切换关系的相邻基站却因地形的阻挡覆盖不到，这样就造成“飞地”与相邻基站之间没有切换关系，“飞地”因此成为一个孤岛，当手机占用上“飞地”覆盖区的信号时，很容易因没有切换关系而引起掉话。

## （2）天线俯仰角的调整

天线俯仰角的调整是网络优化中的一个非常重要的事情。选择合适的俯仰角可以使天线至本小区边界的射线与天线至受干扰小区边界的射线之间处于天线垂直方向图中增益衰减变化最大的部分，从而使受干扰小区的同频及邻频干扰减至最小；另外，选择合适的覆盖范围，使基站实际覆盖范围与预期的设计范围相同，同时加强本覆盖区的信号强度。

在目前的移动通信网络中，由于基站的站点的增多，使得我们在设计市区基站的时候，一般要求其覆盖范围大约为 500 M 左右，而根据移动通信天线的特性，如果不使天线有一定的俯仰角（或俯仰角偏小）的话，则基站的覆盖范围是会远远大于 500 M 的，如此则会造成基站实际覆盖范围比预期范围偏大，从而导致小区与小区之间交叉覆盖，相邻切换关系混乱，系统内频率干扰严重；另一方面，如果天线的俯仰角偏大，则会造成基站实际覆盖范围比预期范围偏小，导致小区之间的信号盲区或弱区，同时易导致天线方向图形状的变化（如从鸭梨形变为纺锤形），从而造成严重的系统内干扰。因此，合理设置俯仰角是保证整个移动通信网络质量的基本保证。

### （3）天线方位角的调整

天线方位角的调整对移动通信的网络质量非常重要。一方面，准确的方位角能保证基站的实际覆盖与所预期的相同，保证整个网络的运行质量；另一方面，依据话务量或网络存在的具体情况对方位角进行适当的调整，可以更好地优化现有的移动通信网络。

在GSM建设及规划中，我们一般严格按照上述的规定对天线的方位角进行安装及调整，这也是天线安装的重要标准之一，如果方位角设置与之存在偏差，则易导致基站的实际覆盖与所设计的不相符，导致基站的覆盖范围不合理，从而导致一些意想不到的同频及邻频干扰。但在实际的GSM网络中，一方面，由于地形的原因，如大楼、高山、水面等，往往引起信号的折射或反射，从而导致实际覆盖与理想模型存在较大的出入，造成一些区域信号较强，一些区域信号较弱，这时我们可根据网络的实际情况，对所地应天线的方位角进行适当的调整，以保证信号较弱区域的信号强度，达到网络优化的目的；另一方面，由于实际存在的人口密度不同，导致各天线所对应小区的话务不均衡，这时我们可通过调整天线的方位角，达到均衡话务量的目的。当然，在一般情况下我们并不赞成对天线的方位角进行调整，因为这样可能会造成一定程度的系统内干扰。但在某些特殊情况下，如当地紧急会议或大型公众活动等，导致某些小区话务量特别集中，这时我们可临时对天线的方位角进行调整，以达到均衡话务，优化网络的目的；另外，针对郊区某些信号盲区或弱区，我们亦可通过调整天线的方位角达到优化网络的目的，这时我们应辅以场强测试车对周围信号

进行测试，以保证网络的运行质量