

移动通信天线的选型及优化调整

刘志英
(中国联通山西分公司 山西)

摘要:移动通信系统中，空间无线信号的接受、发射都是依赖基站天线来实现，因此，基站天线对移动通信网络来说，起着举足轻重的作用。天线的选择是一个很重要的部分，应根据网络的覆盖要求、话务量、干扰和网络服务质量等实际情况来选择天线，而天线参数的设置调整，也将直接影响整个网络的运行质量，由此在无线网络优化中，天馈系统的优化占将是整个无线系统优化的基础和保证。

论文从天线的主要性能指标入手，接着从天线的选择参考、优化中天线的选型及在网优中参数的调整来具体论述，实现改善系统的掉话率、接通率和阻塞率等运行指标，达到移动通信天线优化调整的目的。

关键词：天线 选型 优化调整

移动通信系统中，空间无线信号的接受、发射都是依赖基站天线来实现。因此，基站天线对移动通信网络来说，起着举足轻重的作用。在网络建设初期天线的选型和日后运维工作中天线参数的设置调整，都将直接影响整个网络的运行质量。由此在无线网络优化中，天馈系统的优化占将是整个无线系统优化的基础和保证。论文首先从天线规格说明书中的主要性能指标入手，来简要谈天线的选型及在网优中参数的调整。

1. 天线的主要性能指标

对于天线的认识首先从天线的主要参数入手，这些参数包括：方向性，频率范围（宽度），增益，极化方式，输入阻抗，反射损耗，前后比，隔离度，波束宽度及三阶交调等。

1.1 方向性

天线方向性是指天线向一定方向辐射电磁波的能力。对于接受天线而言，方向性表示天线对不同方向传来的电磁波所具有的接受能力。天线的方向性的特性曲线通常用方向图表示。方向图是表征天线辐射性空间角度关系的图形，同样说明天线在空间各个方向上所具有的发射或接受电磁波的能力。通常，用水平和垂直这两个具有最大辐射方向的平面方向图来表示天线的立体方向图。理想的天线为点源泉天线，它在各方向上辐射强度相等，辐射没有方向性，方向图是个球体。而单一对称排子具有的方向图为椭圆的面包圈型。

1.2 波束宽度

表征天线在指定方向上辐射功率的集中程度的重要参数，可分为 3db 波束宽度和 10db 波束宽度。3db 波束宽度指在天线主瓣的两侧，相对于天线最大功率值，当功率强度下降到 -3db 时的两点间的夹角。该夹角即半功率角。10db 波束宽度的定义同理。波束宽度根据方向的不同，可分为垂直面和水平面。例如较为常用的 GSM 定向天线水平 3db 波瓣宽度为 65°，它在 120° 的小区边沿，天线辐射功率要比最大辐射方向上低 9~10dB。

1.3 频率范围、频率带宽

无论是发射天线还是接受天线，他们都有一定的工作频率范围，在此频率范围中心时天线所能传送的功率最大，越是偏离这个中心频率，他所传送的功率越小。对频率带宽的定义有两种标准：一是天线增益下降 3db 是的频率带宽；一是指在允许驻波比范围的工作频率带宽。移动通信中是按后一种标准定义。即驻波比 < 1.5 时的工作带宽。例如，通常 GSM/900M 天线的频率范围为 870 ~ 960MHz，频率带宽为 90MHz。

1.4 增益

增益是指在相同输入功率、相同距离条件下、天线在最大辐射方向上的功率密度与理想辐射单元在该方向上的密度之比。增益与天线的方向图有一定关系，方向图主瓣越窄，旁瓣后瓣越小，增益越高。另外，根据所参考的理想辐射单元的不同，表征天线增益的参数也不同：dBi 是相对于点源天线的增益，点源天线在各方向具有相同的辐射；dBd 相对于单一的对称阵子的增益；dBi = dBd + 2.15。相同的条件下，增益越高，电波传播的距离越远。习惯采用 dBi 来表征天线的增益。

1.5 输入阻抗

输入抗是指天线在天线和馈线的连接点，即馈电点上感应的信号电压和电流之比。输入阻抗包括电阻分量和电抗分量，因电抗分量会减少有效信号的功率，所以必须尽量使其电抗分量为零，使天线的输入阻抗为纯电阻。一般移动通信天线的输入阻抗有 50 和 75 两种。

1.6 反射损耗和驻波比

理论上，当馈线和天线的阻抗完全匹配时，天馈通路的高频参量将全部被负载吸收，馈线上只有射波，没有反射波。而当天线与馈线不匹配，或是馈线某部分的特性阻抗有改变时，负载就不能吸收全部的高频能量，于是入射波的一部分能量被反射回来形成反射波。比如进入馈线的能量为 10W，在天线口出来的能量为 9.5W，有 0.5W 被反射回来，此时的反射损耗就为： $10\log(10/0.5)=13\text{dB}$ 。反射损耗的另一计量单位为 VSWR（电压驻波比），它定义为由于天线的输入阻抗与馈线的特性阻抗不完全匹配，产生部分的信号反射反射波和入射波在馈

线上叠加形成驻波，在入射波和反射波相位相同的地方振幅相加得最大值，形成波腹；在入射波和反射相位相反的地方振幅相减得最小值，形成波节。波腹幅度的最大值与波节幅度的最小值之比即为电压驻波比 VSWR。

还有一个相关的表示参数为反射系统

=反射波幅度/入射波幅度=Z₀/Z

VSWR=波腹幅度最大值/波节幅度最小值=(1+T)/(1-T)=(Z+Z₀)/(Z-Z₀)

天馈系统阻抗越匹配，反射系统越小，驻波比越接近 1。通常，移动通信天线的电压驻波比应小于 1.4，但实际应用中，考虑到损耗的影响，我们都要求 VSWR 应小于 1.2。

1.7 极化方式

天线极化方式是以辐射（或接收）电磁场的电场矢量方向的不同加以区分的，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。天线极化方式可分为线极化，圆极化和椭圆极化。线极化又分为水平极化，垂直极化和±45°极化。由于电波的特性，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，极化或±45°极化方式。还有一点容易忽视，就是垂直极化方式虽不易产生极化电流，避免了能量的大幅衰减，但垂直极化波易受天气，特别是受下雨的影响，也会千万电磁波能量的损失。±45°双极化天线是组合了+45°和-45°两副极化方向相互正交的天线，兼收发双模，即避免了水平极化和垂直极化天线的不足，又节省的天线数量，还因其采用极化正交的方式，确保了天线良好的隔离度。而且其空间分集效果较单极化的空间分集效果高出约 2db 的增益。

1.8 双极化天线隔离度

隔离度为在双极化天线中馈送到一种极化的信号在另外一种极化中出现的比例。比如信号从+45°极化端口输入 P_{1W} 功率信号，从另一端口接收到同一信号的功率为 P_{2W}，则

隔离度=10lg(P₁/P₂)

通常天线的隔离度要求达到 30db 以上。

1.9 前后比

天线方向前后波瓣电平最大值之比称为前后比。前后比越大，天线的定向接收性能就越好。其典型值为 25db，对于 C 网，因三扇区采用同载波，天线前后比应该大于 30db。

前后比=10lg(前向功率/反向功率)

1.10 三阶互调

当两个或多个射频信号在非线性器件中结合时，就会混合在一起，从两者相加或相减频

点的谐波中产生互调信号，此噪音信号将会对原信号造成干扰。其产生公式为 $(X^*A)+(Y^*B)$ 及 $(X^*A)-(Y^*B)$ 。谐波的次数可以从 1 到更高，通常谐波高于 10 次到 15 次一般不会对信号造成影响。互调中最常见的形式为三次互调，其最简单公式为 $(2A+B)$ 、 $(2A-B)$ 、 $(2B+A)$ 、 $(2B-A)$ 。互调可由有源元件（无线电设备、二极管）或无源元件（电缆、接头、无线、滤波器）引起。天线中互调可能由材料不纯、电镀工艺差等因素造成。三阶互调不达标则容易产生邻频干扰和杂散干扰，这次可能导致信号失真、虚假信道繁忙、语音质量下降、系统容易受限等恶果。三阶互调指标一般要求为：在 20W(43dBm) 的载波功率下 $IM3 < -107 \text{ dBm}$ ，即 $< -150 \text{ dbc}$ 。

2. 天线选择参考

地形	站型	天线建议选择	备注
地区	定向站型	一般选用低或中等增益，带固定或机械下倾角的天线，主要取决于基站的密度；如果有电调方位角的天线，也应该选择	在安装天线的时候，注意机械下倾角不应该超过 10 度
郊区	定向站型	一般采用高增益的天线，可以有电调下倾角，也可以是机械下倾角。另外，假如有些方位区域覆盖不好，可以考虑用水平面半功率束宽度为 90 度的天线	假如安装机械下倾角，一般机械下倾角不应太大
平原 农村	定向站型	一般选择 90 度的天线，也可以考虑 120 度的天线，最好采用垂直单极化天线	一般不加下倾角
	全向站型	首选有零点填充的天线，不考虑下倾角	一般不加下倾角
高速公路	定向站型	首先考虑 8 字型天线，再考虑采用功分器的 0.5/0.5 配置；最好具有零点填充	一般不加下倾角
	定向站型+全向站型	首先考虑 210 度天线，其次才考虑定向天线+全向天线的组合	一般不加下倾角
山区	全向站型	首先考虑有零点填充的天线，其次考虑低增益天线，然后考虑加下倾角	一般不加下倾角
	定向站型	考虑低增益，垂直面波束宽的天线，然后才考虑加下倾角	一般不加下倾角

3. 优化中天线的选型

3.1 话务量密集的城区覆盖

根据以下公式计算天线下倾角：

$$\theta = \arctg [h / (r/2)]$$

3.1.1 话务量高密集区

基站间距离在 300 ~ 500 米，可计算出天线倾角 α 大约在 $10^\circ \sim 19^\circ$ ，可采用内置电下倾 9° ，水平半功率角 65° ， $\pm 45^\circ$ 双极化天线，加上机械可变下倾角 15° ，可保证水平半功率波瓣宽度在主瓣下倾的 $10^\circ \sim 19^\circ$ 内无变化，结合调整基站发射功率，完全可以满足对话务量高密集市区覆盖且不干扰的要求。若单纯采用无预置下倾仅机械下倾的定向天线，其下倾角超时 10° 时（根据各厂家天线性能不同略有差异），将造成方向图在水平面的畸变，水平半功率波瓣宽度被拉宽，信号覆盖将难以控制，造成基站间干扰。

3.1.2 话务量中密集区

基站间距离大于 500 米，可计算天线倾角 α 大约在 $6^\circ \sim 16^\circ$ ，可采用内置电下倾 6° ，水平半功率角 65° ， $\pm 45^\circ$ 双极化天线，加上一定的机械下倾，可保证水平半功率波瓣宽度在主瓣下倾 $6^\circ \sim 16^\circ$ 内无变化，以满足话务量中密集区覆盖且不干扰的要求。

3.1.3 话务量底密集市区

基站间距离可能更大，可计算出天线倾角 α 大约在 $3^\circ \sim 12^\circ$ ，可采用内置电下倾 3° ，水平半功率角 65° ， $\pm 45^\circ$ 双极化天线，可保证水平方向图半功率波瓣宽度在主瓣下倾的 $3^\circ \sim 12^\circ$ 内无变化，可以满足对这一区域覆盖且不干扰的要求。

3.2 乡镇地区覆盖

在话务量不太密集的乡镇地区，房屋密集度一般，信号覆盖需要有一定广度和穿透力，可选择三扇区定向站，基站间距离适当加大，考虑天线下倾调整不多，对下倾角的调整范围和特性需求不高，可采用机械下倾的单极化，空间分集，增益较高的 65° 定向天线。

3.3 农村地区覆盖

在话务量较低的农村地区，鉴于话务量分布较松散，将重点考虑信号覆盖的范围，基站大多采用全向型站。采用增益 11.5dBi 的全向天线，其方向图成同心圆状，覆盖较均匀。

3.4 铁路或公路沿线覆盖

铁路或公路沿线需要覆盖区域主要成狭长的带状分布，应尽量延长沿线方向覆盖的距离，可以采用双扇区型基站，采用窄波束高增益的定向天线，最好具有零点填充，如单极化 90° 或 65° 水平面半功率角的高增益（ $16\text{dBi} \sim 18\text{dBi}$ ）定向天线，两天线相背放置，使其

最大辐射方向与高速路的方向一致。此类地区用户主要是快速移动用户，为保证切换的正常进行，定向天线的前后比不宜太高。

如覆盖沿线话务量较低，单、双载频足以，考虑节省资源降低成本，可采用全向天线变形的双向天线，它的双向半功率波瓣宽度为 70° ，最大增益达 14° 。或可采用两副 18.5 dBi 高增益 65° 水平面半功率角的单极化天线，利用一分二功分器做两扇区的伪定向站，除去 3.2 dBi 的功分器插入损耗，“每扇区”可获得 15.3 dBi 的增益。较采用 11.5 dBi 增益的全向天线，在主瓣方向上增益也可提高 4.3 dBi 。该改造投资和工程量都较小，如使用得当效果也是相当明显。另外，如还要兼顾沿线的村庄，还可采用全向或变形的全向天线——公路兼镇天线（水平半功率角为 210° ）。这两类天线均为特种天线。

3.5 室内覆盖

随着在大型建筑物（尤其是酒店、商务和商业中心、大型购物商场、停车场等）内使用移动电话所产生的话务量日益增加，用户已不满足只有室外覆盖良好的移动通信用户，同时也要求网络运营商能提供室内覆盖良好的服务，但此类场所由于其建筑体自身的原因（如墙体较厚、面积较大、楼层较高等等），往往是网络覆盖的盲区或信号特别差。因此，解决好室内覆盖，满足用户的需求，提高网络的通信质量，也就成为工程建设和网络优化工作的一项重要内容。改善室内覆盖，有两种基本方法：一种是加大室外信号解决室内覆盖；另一种是采用室内信号分布系统方式。建设室内分布系统是目前解决室内覆盖问题最有效的方法，它与前一种方案最根本的区别就是将无线信号通过有线方式直接引到室内的每一个区域，消除室内覆盖盲区，抑制干扰，为室内用户提供稳定、可靠的信号，使用户在室内也能享受高质量的通信服务。这种方案在设计时，要考虑信号不外泄到建筑物外面，而对网络造成干扰。

4、优化中天线参数的设置调整

网优中天线参数的调整主要包括天线高度、俯仰角、方位角三参数的调整。参数设置是否合理很大程度的影响着系统的掉话率、接通率、阻塞率等运行指标，对改善天线信号及无线环境至关重要。

4.1 天线高度的设置

天线的挂高直接影响基站覆盖的范围，因为 GSM 和 CDMA 使用的频段都属于超短波，频率很高，它沿地面传播时，衰减很快，所以主要由空间波来传播。空间波一般只能沿视线传播。也只有在直视距离内超短波接受装置才能稳定的接受信号。根据几何公式 $S=4.12(H+h) \text{ km}$ ，我们可以更直观的了解一下天线高度与传播距离的关系。当然实际的覆盖距离还

与所用天线类型，俯仰角，地理环境等因素有关。对于市区的覆盖，基站间的距离也由原来的1km缩短到500m或更短。这时，天线就不宜太高了，否则，基站覆盖的范围将很难控制在相应的范围内，造成越区覆盖及一系列系统内的干扰。

4.2 俯仰角设置

俯仰角的设置很大程度的决定了信号覆盖的范围和程度。在话务密的地区，随着话务量的不断增加，楼房密集不断的加大，基站间的距离也逐渐缩短，一般在300~500m之间，此时俯仰角的合理设置就显得尤为重要。俯仰角设置过大，信号实际的覆盖范围会大于预期的覆盖范围，容易造成小区间的越区覆盖，邻区关系的混乱，系统内频率间干扰，过分吸收话务量导致话务不均衡等现象；而俯仰角设置过小，容易形成小区间的盲区、弱区。对于无内置下倾的天线，当俯仰角超过10°时，还会造成水平面方向图的畸变，水平方向图在主瓣方向上被压缩，水平半功率角加大，造成小区间干扰。俯仰角的大小可参考公式 $a = \arctg [h/(r/2)]$ 和实际的地理环境来设置。

4.3 方位角设置

方位角设置决定了天线主瓣所对的方向。于是在天线主瓣所对的方向上信号相对较强，覆盖距离较远，而在扇区与扇区之间，由旁瓣叠加而成，信号强度相对较弱，覆盖距离也相对较短。在早期工程规划中三扇区基站的天线方位角一般为0°（正北）、120°、240°，其设置并未考虑实际地理环境。因此，在后期优化中方位角的调整就占据相当的工作量，这主要是根据地形地貌和话务量分布来综合考虑。

另外，随着网络建设的不断扩大和话务量需求的不断增加，将出现越来越多的多网共站的现象。不同频段，不同类型的天线排列在一起，极易的造成系统间，系统内的干扰。这就需要天线间保持一定的距离以确保大于30db的隔离度。通常，在单系统内，对于采用空间分集的单极化天线，同扇区内要求两天线保持4m的水平距离，0.5m的垂直距离；对于双极化天线，由于其半波振子采用±45°极化正交的方式，已满足30db的隔离度，所以它的天线间隔只需保持大于20cm即可。当GSM与CDMA系统共站时，GSM900M频段的使用情况为，上行：880MHz~915MHz，下行：925MHz~960MHz，CDMA800M频段的使用情况为，上行：825MHz~849MHz，下行：870MHz~894MHz。这样CDMA的下行与GSM的上行频段紧靠，且CDMA系统采用扩频通信，为自扰系统，抗干扰能力强，在两频段临界的地方为CDMA的下行，由基站发射信号，发射功率大，而GSM系统采用TDMA时分复用技术，抗干扰能力相对较弱，在两频段临界的地方为GSM上行，由BS移动台发射信号，发射功率小。由此可见，两网共站时，因主要考虑CDMA下行对GSM上行的干扰。就我们联通自己而言，假设CDMA和GSM使用同等

增益的天线，由于两网之间有 15MHZ 的带宽被移动占用，计算可得，两网天线需满足水平隔离度 1.90M 或垂直距离 0.56M, 可基本满足隔离度要求。

参考文献

- 1、《天线基础》 西北工业大学出版社 高建平、张芝贤编 2002
- 2、《GSM 原理及其网络优化》 机械工业出版社 韩斌杰编著 2002.9
- 3、《CDMA 系统和 GSM 系统兼容性分析及计算》和《移动通信在线》内部资料 2002

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>