

目 录

天线知识	2
1 天线基础知识	3
1.1 天线增益	3
1.2 方向图	4
1.3 极化	5
1.4 天线其它技术指标	6
1.5 天线的种类	8
2 天线技术	10
2.1 天线分集技术	10
2.2 赋形波束技术	12
2.3 智能天线	14
3 天线选型	16
3.1 各种天线的的应用原则	16
3.2 各种无线环境下的天线选择原则	21
4 天线倾角规划	26
4.1 天线倾角设计	26
4.2 实际运用	29
5 天线的安装	31
5.1 天线支架安装	31
5.2 天线安装	31

天线知识

概要说明

在无线通信系统中，与外界传播媒介接口是天线系统。天线的选取和设计直接关系到整个网络的质量。

本文主要讲述了天线的重要技术参数指标的含义，天线的种类，介绍了天线的分集和合成技术，赋形波束技术和智能天线的概念。本文还给出了各种天线的应用原则和各种无线环境下的天线选型原则，并讲述了天线倾角的规划设计方法，最后介绍了天线安装的注意事项。

全文分为五节：

第一节：天线基础知识。介绍了天线的重要技术参数指标和天线的种类。

第二节：天线技术。讲述了天线的分集和合成技术，以及赋形波束技术和智能天线的概念。

第三节：天线选型。介绍了各种天线的应用原则和各种无线环境下的天线选型原则。

第四节：天线倾角规划。从理论和实际应用两方面讲述了天线倾角的设计方法。

第五节：天线的安装。讲述了安装天线和天线支架的注意事项。

Keywords

天线 分集 赋形波束 智能天线 天线选型 天线倾角 天线安装

1 天线基础知识

☞ 要点：

掌握天线常用技术参数指标的含义。

掌握常用天线的种类。

在无线通信系统中，与外界传播媒介接口是天线系统。天线辐射和接收无线电波：发射时，把高频电流转换为电磁波；接收时把电磁波转换为高频电流。天线的型号、增益、方向图、驱动天线功率、简单或复杂的天线配置和天线极化等都影响系统的性能。

1.1 天线增益

增益是天线系统的最重要参数之一，天线增益的定义与全向天线或半波振子天线有关。全向辐射器是假设在所有方向上都辐射等功率的辐射器，在某一方向的天线增益是该方向上的场强。定向辐射器在该方向产生辐射强度之比，见图1。

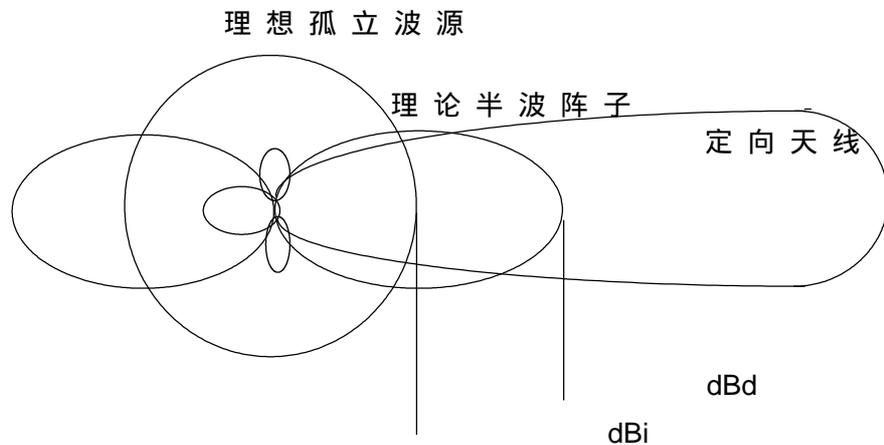


图1 增益比较

dBi 表示天线增益是方向天线相对于全向辐射器的参考值，dBd是相对于半波振子天线参考值，两者之间的关系是：

1.2 方向图

天线的辐射电磁场在固定距离上随角坐标分布的图形，称为方向图。用辐射场强表示的称为场强方向图，用功率密度表示的称之功率方向图，用相位表示的称为相位方向图。

天线方向图是空间立体图形，但是通常应用的是两个互相垂直的主平面内的方向图，称为平面方向图。在线性天线中，由于地面影响较大，都采用垂直面和水平面作为主平面。在面型天线中，则采用 E 平面和 H 平面作为两个主平面。归一化方向图取最大值为1。

在方向图中，包含所需最大辐射方向的辐射波瓣叫天线主波瓣，也称天线波束。主瓣之外的波瓣叫副瓣或旁瓣或边瓣，与主瓣相反方向上的旁瓣叫后瓣，见图2：全向天线水平波瓣和垂直波瓣图，其天线外形为圆柱型；图3：定向天线水平波瓣和垂直波瓣图，其天线外形为板状。

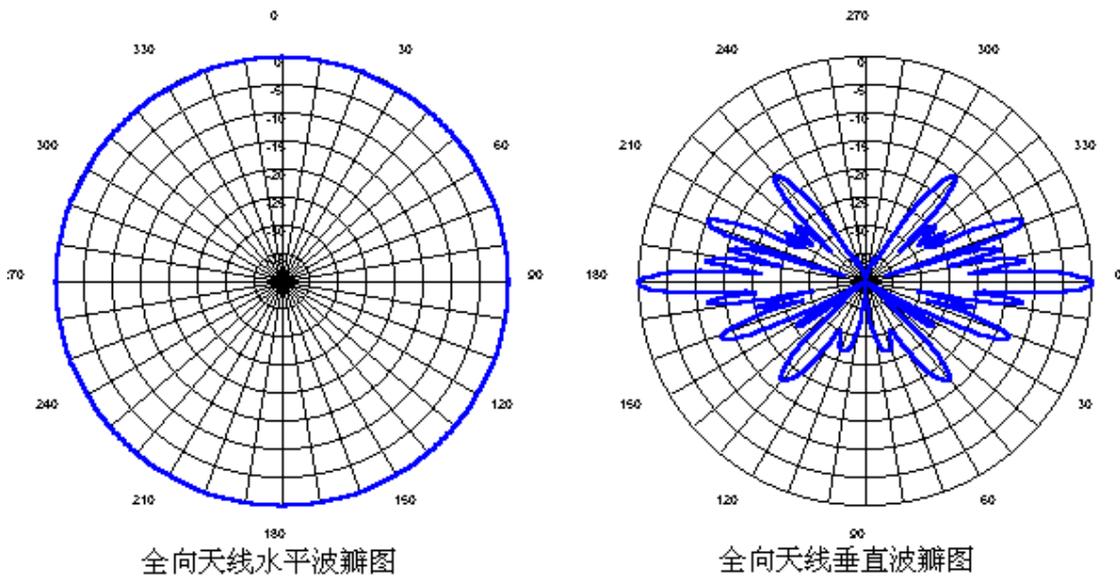


图2 全向天线波瓣示意图

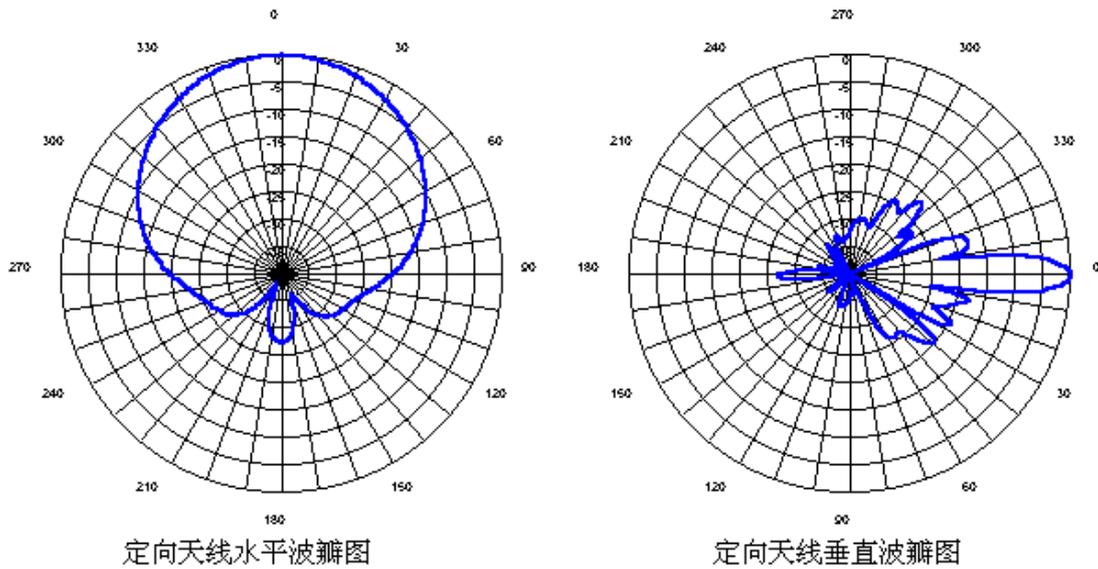


图3 定向天线 波瓣示意图

通常会用到天线方向图的以下一些参数：

- 零功率波瓣宽度，指主瓣最大值两边两个零辐射方向之间的夹角。
- 半功率点波瓣宽度，指最大值下降到0.707（即下降3dB）点的夹角。
- 副瓣电平，指副瓣最大值和主瓣最大值之比。
- 前后比等。

1.3 极化

极化是描述电磁波场强矢量空间指向的一个辐射特性，当没有特别说明时，通常以电场矢量的空间指向作为电磁波的极化方向，而且是指在该天线的最大辐射方向上的电场矢量来说的。

电场矢量在空间的取向在任何时间都保持不变的电磁波叫直线极化波，有时以地面作参考，将电场矢量方向与地面平行的波叫水平极化波，与地面垂直的波叫垂直极化波。由于水平极化波和入射面垂直，故又称正交极化波；垂直极化波的电场矢量与入射平面平行，称之为平行极化波。电场矢量和传播方向构成平面叫极化平面。

电场矢量在空间的取向有的时候并不固定，电场矢量端点描绘的轨迹是圆，称圆极化波；若轨迹是椭圆，称之为椭圆极化波，椭圆极化波和圆极化波都

有旋相性。

不论圆极化波或椭圆极化波，都可由两个互相垂直线性极化波合成。若大小相等合成圆极化波，不相等则合成椭圆极化波。天线可能会在非预定的极化上辐射不需要的能量。这种不需要的能量称为交叉极化辐射分量。对线极化天线而言，交叉极化和预定的极化方向垂直。对于圆极化天线，交叉极化与预订极化的旋向相反。所以交叉极化称正交极化。

1.4 天线其它技术指标

1. 电压驻波比 (VSWR)

VSWR在移动通信蜂窝系统的基站天线中，其最大值应小于或等于1.5:1。若表示天线的输入阻抗， Z_{in} 为天线的标称特性阻抗，则反射系数为

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

，其中 Z_0 为50欧姆。也可以用回波损耗表示端口的匹配特性， $R.L. = -20 \lg | \Gamma |$ ，VSWR=1.5:1时， $R.L. = -13.98\text{dB}$ 。

天线输入阻抗与特性阻抗不一致时，产生的反射波和入射波在馈线上叠加形成驻波，其相邻电压最大值和最小值之比就是电压驻波比。电压驻波比过大，将缩短通信距离，而且反射功率将返回发射机功放部分，容易烧坏功放管，影响通信系统正常工作。

2. 前后比 (F/B)

天线的后向 $180^\circ \pm 30^\circ$ 以内的副瓣电平与最大波束之差，用正值表示。一般天线的前后比在18~45dB之间。对于密集市区要积极采用前后比大的天线，如40dB。

3. 端口隔离度

对于多端口天线，如双极化天线、双频段双极化天线，收发共用时端口之间的隔离度应大于30dB。

4. 回波损耗

指在天线的接头处的反射功率与入射功率的比值。回波损耗反映了天线的匹配特性。

4. 功率容量

指平均功率容量，天线包括匹配、平衡、移相等其它耦合装置，其所承受的功率是有限的，考虑到基站天线的实际最大输入功率（单载波功率为20W），若天线的 一个端口最多输入六个载波，则天线的输入功率为120W，因

此天线的单端口功率容量应大于200W（环境温度为65 时）。

5. 零点填充

基站天线垂直面内采用赋形波束设计时，为了使业务区内的辐射电平更均匀，下副瓣第一零点需要填充，不能有明显的零深。通常零深相对于主波束大于-20dB即表示天线有零点填充，对于大区制基站天线无这一要求。高增益天线尤其需要采取零点填充技术来有效改善近处覆盖。

6. 上副瓣抑制

对于小区制蜂窝系统，为了提高频率复用能力，减少对邻区的同频干扰，基站天线波束赋形时应尽可能降低那些瞄准干扰区的副瓣，提高 D/U值，上第一副瓣电平应小于-18dB，对于大区制基站天线无这一要求。

7. 天线输入接口

为了改善无源交调及射频连接的可靠性，基站天线的输入接口采用 7/16DIN-Female，在天线使用前，端口上应有保护盖，以免生成氧化物或进入杂质。

8. 无源互调（PIM）

所谓无源互调特性是指接头，馈线，天线，滤波器等无源部件工作在多个载频的大功率信号条件下由于部件本身存在非线性而引起的互调效应。通常都认为无源部件是线性的，但是在大功率条件下无源部件都不同程度地存在一定的非线性，这种非线性主要是由以下因素引起的：不同材料的金属的接触；相同材料的接触表面不光滑；连接处不紧密；存在磁性物质等。

互调产物的存在会对通信系统产生干扰，特别是落在接收带内的互调产物将对系统的接收性能产生严重影响，因此在GSM系统中对接头，电缆，天线等无源部件的互调特性都有严格的要求。我们选用的厂家的接头的无源互调指标可达到-150dBc，电缆的无源互调指标可达到-170dBc，天线的无源互调指标可达到-150dBc。

9. 天线尺寸和重量

为了便于天线储存、运输、安装及安全，在满足各项电气指标情况下，天线的外形尺寸应尽可能小，重量尽可能轻。

10. 风载荷

基站天线通常安装在高楼及铁塔上，尤其在沿海地区，常年风速较大，要求天线在36m/s 时正常工作，在55m/s 时不破坏。

11. 工作温度和湿度

基站天线应在环境温度-40 ~ +65 范围内正常工作。基站天线应在环境相对湿度0-100%范围内正常工作。

12. 雷电防护

基站天线所有射频输入端口均要求直流直接接地。

13. 三防能力

基站天线必须具备三防能力，即：防潮、防盐雾、防霉菌。对于基站全向天线必须允许天线倒置安装，同时满足三防要求。

1.5 天线的种类

天线按方向性划分有定向天线和全向天线；按极化形式分有单极化和双极化天线。在不同场合、不同地形、不同用户分布等情况时应采用不同的天线形式。天线的种类（型号）很多，目前基站天线的主要种类如下：

- 1、全向中增益（8-9dBi）、高增益（大于9dBi）普通天线（无零点填充、无赋形技术）
- 2、全向中增益（8-9dBi）、高增益（大于9dBi）赋形天线（零点填充）
- 3、全向高增益（大于9dBi）普通波束下倾天线（无零点填充， 2° - 6° ）
- 4、全向高增益（大于9dBi）赋形波束下倾天线（零点填充5%-25%、下倾 1.25° - 6° ）
- 5、水平面半功率波束宽度 65° 定向中（13-16dBi）、高增益（大于16dBi）普通天线
- 6、水平面半功率波束宽度 90° 定向中（12-15dBi）、高增益（大于15dBi）普通天线
- 7、水平面半功率波束宽度 65° 定向中（13-16dBi）、高增益（大于16dBi）赋形天线（零点填充，上第一副瓣抑制）
- 8、水平面半功率波束宽度 90° 定向中（12-15dBi）、高增益（大于15dBi）赋形天线（零点填充，上第一副瓣抑制）
- 9、水平面半功率波束宽度 65° 定向中（13-16dBi）、高增益（大于16dBi）固定电下倾天线（ 6° / 9° ），这种天线无赋形技术
- 10、水平面半功率波束宽度 90° 定向中（12-15dBi）、高增益（大于15dBi）

固定电下倾天线 ($6^\circ/9^\circ$)，这种天线无赋形技术

11、水平面半功率波束宽度 65° 定向中 ($13-16\text{dBi}$)、高增益 (大于 16dBi)
近端手调俯仰面波束电下倾天线 ($0^\circ-10^\circ$)，这种天线无赋形技术

12、水平面半功率波束宽度 90° 定向中 ($12-15\text{dBi}$)、高增益 (大于 15dBi)
近端手调俯仰面波束电下倾天线 ($0^\circ-10^\circ$)，这种天线无赋形技术

13、水平面半功率波束宽度 65° 定向中 ($13-16\text{dBi}$)、高增益 (大于 16dBi)
远端遥控俯仰面波束电下倾天线 ($0^\circ-10^\circ$)，这种天线无赋形技术，唯一
供应商代表：登达

14、水平面半功率波束宽度 90° 定向中 ($12-15\text{dBi}$)、高增益 (大于 15dBi)
远端遥控俯仰面波束电下倾天线 ($0^\circ-10^\circ$)，这种天线无赋形技术，唯一
供应商代表：登达

15、水平面半功率波束宽度 65° 定向中 ($13-16\text{dBi}$)、高增益 (大于 16dBi)
方位面波束指向远控可调 ($\pm 20^\circ$)、俯仰面波束远控可调天线 ($0^\circ-10^\circ$)，
这种天线无赋形技术，未见有使用报道，技术有待成熟和验证，韩国
公司已经开发出样品。

16、水平面半功率波束宽度 90° 定向中 ($12-15\text{dBi}$)、高增益 (大于 15dBi)
方位面波束指向远控可调 ($\pm 20^\circ$)、俯仰面波束远控可调天线 ($0^\circ-10^\circ$)，
这种天线无赋形技术，未见有使用报道，技术有待成熟和验证，韩国
公司已经开发出样品。

17、定向地形匹配天线，这种天线由全向天线改造而成，主要满足高速公路
以及兼顾村镇的公路覆盖，通常这种应用要求基站覆盖尽可能远，因此基站
架设高度相对会较高，当超过50米的基站天线挂高而又需要满足较近距离村
镇良好覆盖时，一定要避免塔下黑现象。

18、定向高增益 (约 21dBi)、水平面窄波束 ($30-33^\circ$) 天线，用于高速公
路、铁路、狭长地形广覆盖。这种天线体积较大，安装时应注意风载荷。

19、高前后比天线。尤其是频率紧密复用时，后瓣过大容易产生邻频 (甚至
同频) 干扰，从而影响网络质量。前后比大于 35dB 天线为高前后比天线，增
益、波束宽度的规格与普通定向天线一样。高前后比天线采用对数周期偶极
子单元组阵而成，因此从外形上看，这种天线比较厚，但比较窄，相同增
益、波束宽度时，这种天线略重。

20、小增益定向天线 (小于 12dBi)。通常与微基站、微蜂窝配合使用，用
于补点 (补盲)，如大厦的背后，新的生活小区，新的专业市场等。

以上全向天线仅指垂直极化天线，由于全向双极化天线体积重量难于安装，没有看到有普及商用。定向天线已经由单极化逐步向双极化转变，主要受天线安装位置的约束。

2 天线技术

☞ 要点：

掌握分集和合成技术的概念。

掌握几种常用的分集方法。

掌握赋形波束技术的简单原理。

掌握智能天线的特点。

2.1 天线分集技术

2.1.1 分集概念

在移动无线电环境中信号衰落会产生严重问题。随着移动台的移动，瑞利衰落随信号瞬时值快速变动，而对数正态衰落随信号平均值（中值）变动。这两者是构成移动通信接收信号不稳定的主要因素，它使接收信号大大地恶化了。虽然通过增加发信功率、天线尺寸和高度等方法能取得改善，但采用这些方法在移动通信中比较昂贵，有时也显得不切实际；而采用分集方法即在若干个支路上接收相互间相关性很小的载有同一消息的信号，然后通过合并技术再将各个支路信号合并输出，那么便可在接收终端上大大降低深衰落的概率。通常在接收站址使用分集技术，因为接收设备是无源设备，所以不会产生任何干扰。分集的形式可分为两类，一是显分集，二是隐分集。下面仅讨论显分集，它又可以分为基站显分集与一般显分集两类。

基站显分集是由空间分离的几个基站以全覆盖或部分覆盖同一区域。由于有多重信号可以利用，就大大减小了衰落的影响。由于电波传播路径不同，地形地物的阴影效应不同，所以经过独立衰落路径传播的多个慢衰落信号是互不相关的。各信号同时发生深衰落的概率很小，若采用选择分集合并，从各支路信号中选取信噪比最佳的支路，即选出最佳的基站和移动台建立通信，以消除阴影效应和其他地理影响。所以基站显分集又称为多基站分集。

一般显分集用于抑制瑞利衰落，其方法有传统的空间分集、频率分集、极化分集、角度分集、时间分集和场分量分集等多种方法。

2.1.2 分集与合成

分集特性决定于分集分支的数量和接收分集之间的相关系数。如果各分支的

相关系数相同，那么各种分集方案都可实现相同的相关性能。我们还必须考虑如何合成分集接收的多个信号，合适的合成技术会产生较好的性能。例如采用Q重分集，合并前的Q个信号为 s_1, s_2, \dots, s_Q 。考虑到合成可在各分集天线和接收机之间、在接收机中频输出端和检波之后的基频输出端进行，因此这里的 s_i 应理解成高频信号、中频信号或基频信号的一般形式。所谓合成问题也就是把 s_i 如何组合相加的问题。合成后的信号可表示为：

$$s = \sum_{i=1}^Q a_i s_i \quad (4-4-2)$$

式中 a_i 为加权系数。选择不同的加权系数，就产生了不同的合并方法。有四种常用的合成技术：最大比合成技术（MRC），等增益合成技术（EGC），选择合成技术（SEC），转换合成技术（SWC）。这些合成技术是天线技术中重要的组成部分，但由于超出本教材的范围，此处就不再做具体介绍了。在移动通信中，通常采用空间分集和极化分集，分集增益可在5dB左右。下面就对这两种方法进行讨论。

2.1.3 空间分集

空间分集是利用场强随空间的随机变化实现的。在移动通信中，空间略有变动就可能出现较大的场强变动。空间的间距越大，多径传播的差异就越大，所收场强的相关性就越小，在这种情况下，由于深衰落难得同时发生，分集便能把衰落效应降到最小。为此必须确定必要的空间间隔。通常根据参数设计分集天线，与实际天线高度h和天线间距D的关系为：

对于水平间隔放置的天线， D/h 的取值一般为10。例如天线高度为30米，则当天线间隔约3米时，可得到较好的分集增益。另外，垂直天线间隔大于水平天线间隔。目前工程中常见的空间分集天线由两副（收/发，收）或者三副（收，发，收）组成。

2.1.4 极化分集

在前面已经介绍了电磁波的极化现象。目前在越来越多的工程中广泛使用了极化天线。天线通过两种极化——水平极化和垂直极化——而用一个频率携带两种信号。理论上，由于媒质不引入耦合影响，也就不会产生相互干扰。但是在移动通信环境中，会发生互耦效应。这就意味着，信号通过移动无线电媒质传播后，垂直极化波的能量会泄漏到水平极化波去，反之亦然。幸运的是，和主能流相比，泄漏能量很小，通过极化分集依旧可以得到良好的分

集增益。极化分集天线的最大优点在于只需安装一副天线即可，节约了安装成本。

2.1.5 空间分集和极化分集的比较

极化分集最大的好处是可以节省天线安装空间，空间分集需要间隔一定距离的两根接收天线，而极化分集只需一根，在这一根天线中含有两种不同的极化阵子。一般空间分集可以获得3.5dB的链路增益。由于水平极化天线的路径损耗大于垂直极化天线（水平极化波的去极化机会大于垂直极化波），因此对于一个双极化天线，其增益的改善度比空间分集要少1.5dB左右。但双极化分集相对空间分集在室内或车内能提供较低的相关性，因此又能获得比空间分集多1.5dB的改善。比较起来，双极化接收天线的好处就是节省天线安装空间。作为发射天线，如果基站收发天线共用，且采用双极化方式，则采用垂直和水平正交极化阵子的双极化天线和采用正负45度正交极化阵子双极化天线相比较（假设其它条件相同），在理想的自由空间中（假定手机接收天线是垂直极化），手机接收天线接收的信号前者好于后者3dB左右。但在实际应用环境中，考虑到多径传播的存在，在接收点，各种多径信号经统计平均，上述差别基本消失，各种实验也证明了此结论的正确。但在空旷平坦的平原，上述差异或许还存在，但具体是多少，还有待实验证明，可能会有1-2dB的差异。综上所述，在实际应用中，两种双极化方式的差别不大，目前市场上正负45度正交极化天线比较常见。

2.2 赋形波束技术

在蜂窝移动系统中，降低同信道干扰始终是一个复杂的问题。赋形波束技术提高了空间频谱重用。有两种类型的赋形波束。一种是赋形水平面的辐射方向图，即扇形波束；另外一种为赋形垂直面的辐射方向图。在蜂窝系统中，通过使用扇形波束来代替全向波束时，蜂窝间干扰距离增加，从而使基站天线对使用相同频率的另一蜂窝辐射尽可能低的电平，而基站天线对其业务区辐射达到尽可能高的电平。

当固定在一定高度的天线照射在一有限的水平面区域内，天线的垂直方向图表明由于有旁瓣零点的存在，在需要覆盖的区域就有可能产生盲区问题。通过使用垂直平面的余割平方赋形波束功率方向图，可以消除主瓣下方的零点，从而使所需覆盖区域有相等的接收信号电平。该技术也称为零点填充技术。

全球蜂窝系统基本上都使用的一项波束处理技术，即波束倾斜技术。该技术的主要目的是倾斜主波束以压缩朝复用频率的蜂窝方向的辐射电平而增加载

干比的值。在这种情况下，虽然在区域边缘载波电平降低了，但是干扰电平比载波电平降低得更多，所以总的载干比是增加了。从严格意义上来说，波束倾斜并不是真正的赋形波束技术，但是用途却是相同的。目前，使波束下倾的方法有两种。一种是电调下倾，通过改变天线阵的激励系数来调整波束的倾斜情况。还有一种就是机械调整，改变天线的下倾角。

对应不同的波束下倾方法，天线分为电调天线和机械天线。电调天线采用机械加电子方法下倾 15° 后，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，但不会产生干扰，这样的方向图是我们需要的。电调天线有两种，一种是预设固定电气下倾角天线；另外一种是在现场根据需要进行电气下倾角调整的天线，下面描述的是后一种电调天线。而机械天线下倾 15° 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，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，造成干扰。造成这种情况的原因是：电调天线与地面垂直安装（可以选择 $0^\circ \sim 5^\circ$ 机械下倾），天线安装好以后，在调整天线倾角过程中，天线本身不动，是通过电信号调整天线振子的相位，改变水平分量和垂直分量的幅值大小，改变合成分量场强强度，使天线的覆盖距离改变，天线每个方向的场强强度同时增大或减小，从而保证在改变倾角后，天线方向图形状变化不大。而机械天线与地面垂直安装好以后，在调整天线倾角时，天线本身要动，需要通过调整天线背面支架的位置，改变天线的倾角，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，所以天线方向图严重变形。因此电调天线的优点是：在下倾角度很大时，天线主瓣方向覆盖距离明显缩短，天线方向图形状变化不大，能够降低呼损，减小干扰。另外在进行网络优化、管理和维护时，若需要调整天线倾角，使用电调天线时整个系统不需要关机，这样就可利用移动通信专用测试设备，监测天线倾角调整，保证天线倾角为最佳值。电调天线调整倾角的步进度数为 0.1° ，而机械天线调整倾角的步进度数为 1° ，因此电调天线的精度高，效果好。电调天线安装好后，在调整天线倾角时，维护人员不必爬到天线安放处，可以在地面调整天线倾角，还可以对高山上、边远地区的基站天线实行远程监控调整。而调整机械天线倾角时，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。另外机械天线调整天线倾角非常麻烦，一般需要维护人员在夜间爬到天线安放处调整，而且有些天线安装后，再进行调整非常困难，如山顶、特殊楼房处。另外，一般电调天线的三阶互调指标为 -150 dBc ，机械天线的三阶互调指标为 -120 dBc ，相差 30 dBc ，而三阶互调

指标对消除邻频干扰和杂散干扰非常重要，特别在基站站距小、载频多的高话务密度区，需要三阶互调指标达到 - 150 dBc左右，否则就会产生较大的干扰。

2.3 智能天线

随着全球通信业务的迅速发展，作为未来个人通信主要手段的无线移动通信技术引起人们极大关注。如何消除同信道干扰(CCI)、多址干扰(MAI)与多径衰落的影响成为人们在提高无线移动通信系统性能时考虑的主要因素。智能天线利用数字信号处理技术，采用了先进的波束转换技术（switched beam technology）和自适应空间数字处理技术（adaptive spatial digital processing technology），产生空间定向波束，使天线主波束对准用户信号到达方向，旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向，达到充分高效利用移动用户信号并删除或抑制干扰信号的目的。与其它日渐深入和成熟的干扰消除技术相比，智能天线技术在移动通信中的应用研究更显得方兴未艾并显示出巨大潜力。

传统无线基站的最大弱点是浪费无线电信号能量，在一般情况下，只有很小一部分信号能量到达受信方。此外，当基站收听信号时，它接收的不仅是有用信号而且还收到其它信号的干扰噪声。智能天线则不然，它能够更有效地收听特定用户的信号和更有效地将信号能量传递给该用户。不同于传统的时分多址(TDMA)、频分多址(FDMA)或码分多址(CDMA)方式，智能天线引入了第四维多址方式：空分多址(SDMA)方式。在相同时隙、相同频率或相同地址码情况下，用户仍可以根据信号不同的空间传播路径而区分。智能天线相当于空时滤波器，在多个指向不同用户的并行天线波束控制下，可以显著降低用户信号彼此间干扰。具体而言，智能天线将在以下方面提高未来移动通信系统性能：(1)扩大系统的覆盖区域；(2)提高系统容量；(3)提高频谱利用效率；(4)降低基站发射功率，节省系统成本，减少信号间干扰与电磁环境污染。

智能天线分为两大类：多波束智能天线与自适应阵智能天线，简称多波束天线和自适应阵天线。

多波束天线利用多个并行波束覆盖整个用户区，每个波束的指向是固定的，波束宽度也随阵元数目的确定而确定。随着用户在小区中的移动，基站选择不同的相应波束，使接受信号最强。因为用户信号并不一定在固定波束的中心处，当用户位于波束边缘，干扰信号位于波束中央时，接收效果最差，所以多波束天线不能实现信号最佳接收，一般只用作接收天线。但是与自适应阵天线相比，多波束天线具有结构简单、无需判定用户信号到达方向的优

点。

自适应阵天线一般采用4~16天线阵元结构，阵元间距 $1/2$ 波长，若阵元间距过大，则接收信号彼此相关程度降低，太小则会在方向图形成不必要的栅瓣，故一般取半波长。阵元分布方式有直线型、圆环型和平面型。自适应天线是智能天线的主要类型，可以实现全向天线，完成用户信号接收和发送。自适应阵天线系统采用数字信号处理技术识别用户信号到达方向，并在此方向形成天线主波束。自适应阵天线根据用户信号的不同空间传播方向提供不同的空间信道，等同于信号有线传输的线缆，有效克服了干扰对系统的影响。

目前，国际上已经将智能天线技术作为一个三代以后移动通信技术发展的主要方向之一，一个具有良好应用前景且尚未得到充分开发的新技术，是第三代移动通信系统中不可缺的关键技术之一。

3 天线选型

☞ 要点：

掌握各种类型的天线的使用原则。

掌握不同无线环境下的天线选型原则。

3.1 各种天线的应用原则

在移动通信网络中，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。天线选择得当，可以增大覆盖面积，减少干扰，改善服务质量。根据地形或话务量的分布可以把天线使用的环境分为7种类型：山区（或丘陵，用户稀疏）、开阔平坦区域（用户居住集中）、城区（高楼多，话务大）、郊区（楼房较矮，开阔）、农村（话务少）和公路（带状覆盖）、近海（覆盖极远，用户少）、隧道。

3.1.1 双频双工双极化天线的新应用

目前双频段定向天线的结构和安装方法与现有的单频段天线相同，但重量有所增加。在城市内的楼顶或郊区铁塔平台上，难以增加天线安装位置，因此将旧天线移到农村使用，更换新的双频段天线是最好解决天线安装位置困难的方法。由于DCS1800基站主要用于吸收部分话务，因此两个天线的俯仰角度控制可以是同时的，避免采用高成本的两个频段独立控制的双频天线。为了减少馈线，通常这种天线集双频、双工、双极化于一体。在机房一侧利用双工器将两个频段的信号分开。

双频天线用于城市或话务量特大的地方，因此水平面半功率波束宽度 65° 天线为主选，同时要求有 6° 或 9° 的固定电下倾或可调（ $0-10^\circ$ ）电下倾，增益采用中等（ $15\text{dBi} - 16\text{dBi}$ ）即可。

3.1.2 八字型全向变形天线应用

纯公路覆盖是指无人居住的山区、沙漠的重要等级公路覆盖，话务量少，为减少基站数量，降低建设成本，通常采用O2以下站型，因此覆盖距离应尽量远，象这种无线覆盖区域，采用地形匹配天线是最理想的，如：8字形的变形全向天线可以增加需要覆盖方向的增益（在最大方向上增益约增加 3dB ），减少公路两旁无用户区的覆盖能量。这种天线的站址选择很重要，公路的延

伸方向应与天线方向图匹配。这种天线实际上就是普通全向天线与对称两根辅助反射金属管组成，反射金属管的作用是通过耦合改变全向天线水平面的方向图。对于纯粹的公路覆盖或其它无建筑物覆盖可以不考虑塔下黑，因为信号进入车内的衰减比进入建筑物内的衰减小得多。

3.1.3 心型全向变形天线应用

在农村地区，许多小村镇建在公路的一侧，在做公路覆盖时可以兼顾这些村镇的覆盖，采用以下变形全向天线（心形方向图），在公路和村镇方向的天线增益可以提高到13-15dBi，可以使村镇和公路覆盖更有效，这种天线实际上就是普通全向天线与一根辅助反射金属管组成，反射金属管的作用是通过耦合改变全向天线水平面的方向图。

3.1.4 窄波束高增益天线的应用

纯公路覆盖也可以采用窄波束天线，如水平面半功率波束宽度为 $30-33^\circ$ ，增益高达21dBi，这种两扇区定向站可以使覆盖距离增加，减少基站数量从而降低用户的建设成本。当然，采用过高增益天线，其体积明显增大，一定要考虑天线的风载荷，在工程设计和安装时都要谨慎。

3.1.5 低增益天线的应用

隧道覆盖。尽管采用高增益窄波束天线可以用于隧道覆盖，但由于这种天线体积大，在隧道口不宜安装，且成本较高，实验证明可以采用低增益天线来覆盖（增益在10-12dBi），这中低增益天线可以是价格低廉的八木天线，也可以是小的平板天线，前者更适合安装在隧道口内侧，后者可以安装在离隧道口较近外侧，天线的最大波束指向与隧道口的法线方向夹角应小于 5° 。隧道的长度不超过2Km，弯曲点不超过一个。采用直放站时应采用高前后比的对数周期偶极子天线或平板阵列天线，并尽可能安装在洞口内侧。超过两公里长的隧道建议在隧道两端口安装基站或直放站。

城市内的阴影区或需要增补的微小区。这些区域可以采用低增益平板天线配置的微基站或基站进行覆盖，平板天线的增益在12-14dBi，波束宽度取决于需要覆盖区域的形状，可以1个扇区，2个扇区，也可以3个扇区。

3.1.6 全向天线的基本应用

高增益普通全向天线的最大增益在10.5-11dBi之间，可以有固定电下倾角。由于其垂直面的波束宽度较小（约 $6.5-7.5^\circ$ ），因此对于没有固定电下倾的

全向天线，建议用于天线挂高不超过50m的平原地区基站，以免出现严重的“塔下黑”现象。对于原处覆盖不重要的基站，可以采用适当固定电下倾的全向天线，以便使覆盖区内的信号电平更强。

高增益赋形全向天线的最大增益为12dBi，我司选择该类型天线的零点填充水平为25%（即第一零点的深度为-12dB）、3度固定电下倾。由于存在3度下倾，因此在0度方向的增益与普通高增益全向天线相同（10.5-11dBi）。这种天线用于山区、丘陵覆盖比较理想，可以有效解决由于天线挂高太高而出现的塔下黑现象。由于赋形天线只对天线下方第一个零点进行填充，因此如果天线挂高过高，该天线也将无能为力。因此建议需要有效覆盖的建筑物距离天线的径向距离R与天线挂高H满足以下关系：

$$H < R \times \text{tg}18^\circ$$

中等增益的赋形和普通全向天线更适合用于周遍环山（山比基站天线高出较多，天线对山梁的仰角大于4度）的不太发达的乡镇，由于其垂直面的波束较宽，因此指向山上的信号较强。

3.1.7 中、高等增益定向天线的应用

在城区更适合使用中等增益（15-16dBi）、水平面半功率波束宽度65度、6-9度固定电下倾加12/15度机械下倾的定向天线，一方面这种增益天线的体积和尺寸比较适合城区使用；另一方面，在较短的覆盖半径内由于垂直面波束宽度较大使信号更加均匀。中等增益天线在相邻扇区方向比高增益天线覆盖的信号强度更加合理。在建设初期，覆盖半径较大时（如1-1.5Km），可以采用高增益（17-18dBi）定向天线。

在郊区，话务量较大、覆盖半径在1.5-2Km时，应采用3扇区高增益（16-17dBi）定向天线，半功率波束宽度90度，由于基站天线高度通常不大于50m，因此可以采用全机械下倾天线；若基站天线超过50m，应采用有固定电下倾的天线。

天线的选用具有一定技术性，不能完全一该而论，是否需要固定电下倾、增益多少取决基站高度和覆盖半径，规划时应仔细考虑，并注意查看不同型号天线的方向图数据，如上第一副瓣有可能造成的越区干扰。在优化时，方向图数据对优化工作有着重要意义。

3.1.8 高前后比定向天线（只有单极化）应用

前后比超过35dB的定向天线为高前后比天线（普通大于15dBi增益天线的前后比约22-25dB），高前后比天线将使紧密复用更有效，可以降低网络的同

频干扰。但两副高前后比天线的价格比一副相同增益和半功率角的双极化天线高出35%。为了提高网络质量，有必要推荐使用这种天线。

3.1.9 单极化天线的应用原则

单极化天线在移动通信基站中通常指单一垂直线极化天线，实验证明，在开阔地区的山区或平原农村，这种天线的覆盖效果比双极化（ $\pm 45^\circ$ ）天线更好，平均电平高出3-10dB，造成这一结果的主要原因是路测或定点测试时，手机的天线取向通常垂直地面（由于手机外壳与手机天线的共同作用，手机的极化方向并非为天线方向，有一个小角度的偏差，这种偏差与手机的型号、手在手机的位置等有关），因此垂直于地面的手机更容易与垂直极化信号匹配，无论您在原地怎么转动，这种匹配是最有效的。在开阔地区的山区或平原农村，垂直极化信号不容易发生极化旋转，因此在这些区域，得到了更好的覆盖效果。而 $\pm 45^\circ$ 极化天线，人在拨打时容易出现极化失配甚至正交的情况。在城市里，由于建筑物林立，建筑物内外的金属体很容易使极化发生旋转，因此是单极化还是 $\pm 45^\circ$ 极化没有多大区别。

在开阔地区的山区或平原农村，建议并推荐使用单极化天线（在安装位置允许的情况下）。

3.1.10 近端手动连续可调电下倾定向天线的应用

在城市里，不断的扩容和新建基站，网络需要及时优化和调整，除了调整网络参数以外，必须调整基站天线的覆盖区域，由于天线架设在高处甚至高山或百米高的铁塔上，调整一次天线需要占用很多的人力和时间，因此采用连续可调电下倾天线极大地缓解了网优的劳动强度并节约了时间。由于在城市里大量采用双极化天线，而许多品牌天线公司在这方面没有增加新的设计，因此这种天线推广较慢，目前只有瑞士HUBER-SUNER公司生产了GSM用连续可调双极化天线。远控连续可调电下倾天线在操作方面比近端手动电调天线更有方便之优势，由于天线价格高了近一倍，因此没有被大范围使用，在国内少量地方有应用。

3.1.11 其他技术天线的应用说明

目前正在跟踪的重要天线技术为：方位和俯仰面的波束指向同时实现远控连续可调。这种技术的应用目的仍然从网优角度考虑。

3.1.12 基站天线选型一览表

地形	站型	天线选择建议	备注
城区	定向站型	选用原则：半功率波束宽度65°/中等增益/带固定电下倾角或可调电下倾+机械下倾的天线，根据基站的覆盖半径选择以上增益参数；	注意机械下倾角不应该超过垂直面半功率波束宽度；网络规划或优化时，如果天线的主波束下倾很大，应评估上第一副瓣对网络产生的影响。
郊区	定向站型	选择原则：半功率波束宽度90°/中、高增益的天线,可以用电调下倾角,也可以是机械下倾角.	注意机械下倾角不应该超过垂直面半功率波束宽度,超过时应采用电下倾+机械下倾
平原农村	定向站型	选择原则：半功率波束宽度90°、105°/中、高增益/单极化空间分集或90°双极化天线,主要采用机械下倾角/零点填充大于15%.	通常是广覆盖
	全向站型	首选有零点填充的天线高增益天线,若覆盖距离不要求很远,可以采用电下倾(3°或5°).	天线相对主要覆盖区挂高不大于50m时,可以使用普通天线(替代)全向站型采用双发时应充分顾及两个天线受塔体或桅杆的影响存在某些方向增益的差异,这种差异在2-10dB范围内。
高速公路(铁路)	定向站型	纯公路覆盖时根据公路方向选择合适站址采用高增益(14dBi)8字型天线(O2/O1站型),不考虑0.5/0.5的配置,最好具有零点填充,若需要更远距离的覆盖,采用S1/1或S2/2定向高增益(21dBi)站型;对于高速公路一侧有小村镇,用户不多时,可以采用210-220°变形全向天线。	采用S1/1或S2/2可以减少近一半基站,因此建设成本更低
	全向站型	对于高速公路两侧有分散用户则应采用全向天线,全向站型的使用方法同上	全向站型采用双发时应充分顾及两个天线受塔体或桅杆的影响存在某些方

			向覆盖的差异，这种差异在0-10dB范围内。
山区	全向站型	当近距离居住用户对天线的仰角不大于 18° 时应采用赋形（零点填充）全向高增益天线（固定电下倾角不超过 3° ）； 当近距离居住用户对天线的仰角超过 18° 时应采用赋形（零点填充）全向中增益天线（固定电下倾角不超过 3° ）；	通常为广覆盖，在基站很广的半径内分布零散用户，话务量较小
	定向站型 + 全向站型	当近距离居住用户数量较多且在某定向区域，而远距离为公路或分散用户，定向区域对天线的仰角大于 18° 时应采用赋形（零点填充）全向高增益天线（固定电下倾角不超过 3° ）+定向站型；定向天线的波束宽度取决特定区域的大小，常规建议 $90^\circ/9^\circ$ 电下倾+15度机械下倾/15-16dBi增益/单、双极化均可	采用高增益全向天线时，应严格要求天线安装的垂直度
隧道	定向天线	10-12dB的八木/对数周期/平板天线	不超过2Km长、只有一处弯道的隧道安装在隧道口内侧为佳

3.2 各种无线环境下的天线选择原则

无线网络规划中，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。天线选择得当，可以增大覆盖面积，减少干扰，改善服务质量。由于天线的选型是同覆盖要求紧密相关的，根据地形或话务量的分布可以把天线使用的环境分为4种类型：城区、郊区、农村和公路。

3.2.1 城区环境下的天线选择

对于在城区的地方，由于基站分布较密，要求单基站覆盖范围小，希望尽量减少越区覆盖的现象，减少基站之间的干扰，提高频率复用率，原则上对天线有以下几个方面的要求：

天线水平面半功率波束宽度的选择

由于市区基站分布数量一般较多，重叠覆盖和频率干扰成为网络中一个很严重的问题，为了减小相邻扇区的重叠区，并降低基站之间可能的干扰，天线水平面的半功率波束宽度应该小一些，通常选用水平面半功率波束宽度为 65° 的天线。一般不采用 90° 以上天线。

天线的增益选择

由于市区基站一般不要求大范围的覆盖距离，因此建议选用中等增益的天线，这样天线垂直面波束可以变宽，可以增强覆盖区内的覆盖效果。同时天线的体积和重量可以变小，有利于安装和降低成本。根据目前天线型号，建议市区天线增益选用15dBi。

对于城市边缘的基站，如果要求覆盖距离较远，可选择较高增益的天线，如17dBi、18dBi。

原则上，在城区设计基站覆盖时，应当选择具有固定电下倾角的天线，下倾角的大小根据具体的情况而定（建议选 $6-9^\circ$ ）。

在城市内，为了提高频率复用率，减小越区干扰，改善D/U值（有用信号与无用信号电平之比），也可以选择上第一副瓣抑制，下第一零点填充的赋形技术天线，但是这种天线通常无固定电下倾角。

由于市区基站站址选择困难，天线安装空间受限，一般建议选用双极化天线。

郊区环境下的天线选择

在郊区，情况差别比较大。可以根据需要的覆盖面积来估计大概需要的天线类型。一般可遵循以下几个基本原则：

可以根据情况选择水平面半功率波束宽度为 65° 的天线或选择半功率波束宽度为 90° 的天线。当周围的基站比较少时，应该优先采用水平面半功率波束宽度为 90° 的天线。

若周围基站分布很密，则其天线选择原则参考城区基站的天线选择。

考虑到将来的平滑升级，所以一般不建议采用全向站型。

是否采用内置下倾角应根据具体情况来定。即使采用下倾角，一般下倾角也比较小。

3.2.2 农村基站的天线选择

对于农村环境，由于存在小话务量，广覆盖的要求，天线应用时应遵循以下

一些原则。

如果要求基站覆盖周围的区域，且没有明显的方向性，基站周围话务分布比较分散，此时建议采用全向基站覆盖。需要特别指出的是：这里的广覆盖并不是指覆盖距离远，而是指覆盖的面积大而且没有明显的方向性。同时需要注意：全向基站由于增益小，覆盖距离不如定向基站远。

如果局方对基站的覆盖距离有更远的覆盖要求，则需要用三个定向天线来实现。一般情况下，应当采用水平面半波束宽度为 90° 的定向天线；另外需要注意的是，垂直极化的天线比双极化的天线有更大的分集效果，同时抵抗慢衰落的能力更强一些，所以，在农村广覆盖的要求下，条件允许的情况下，可以采用两根垂直极化天线。

对于山区的高站（天线相对高度超过50米），一般应当选用具有零点填充功能的天线来解决近距离“塔下黑”问题，这是最经济有效的方法。而通过下倾角的方法来解决，需要注意覆盖范围的缩小。

3.2.3 公路覆盖的天线选择

对于公路覆盖地区，天线的选用原则如下：

在以覆盖铁路、公路沿线为目标的基站，可以采用窄波束的定向天线。

如果覆盖目标为公路及周围零星分布的村庄，可以考虑采用全向天线。

如果覆盖目标仅为高速公路等，可以考虑用8字型天线来解决。这样可以节约基站的数量，实现高速公路的覆盖。

如果是对公路和公路一侧的城镇的覆盖，可以根据情况考虑用水平面半功率波束宽度为 210° 的天线来进行覆盖。建议在进行高速公路的覆盖上优先考虑8字型天线和 210° 天线。下面是两个天线的覆盖示意图。

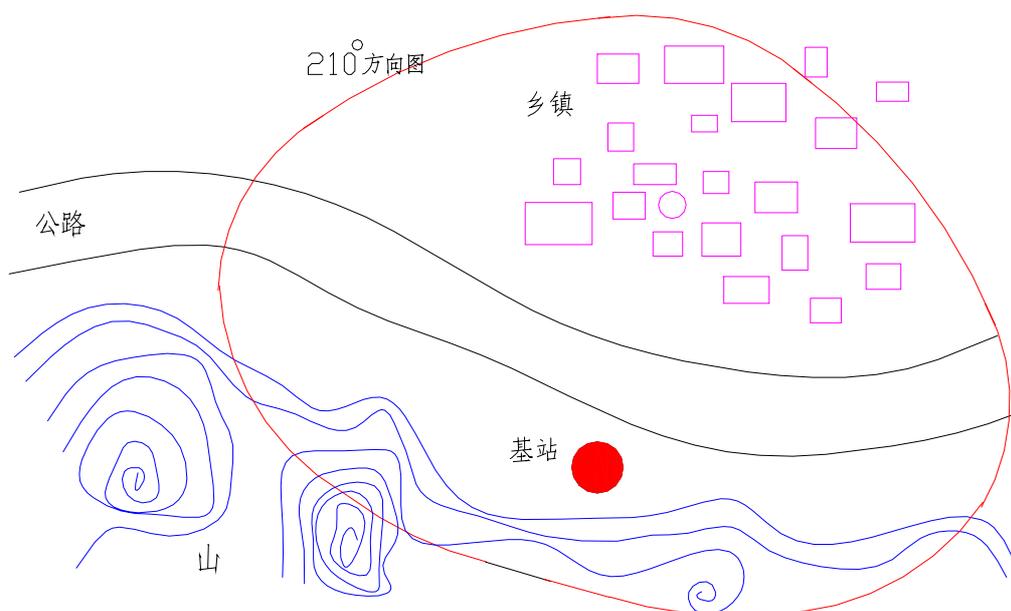


图4 210°天线覆盖示意图

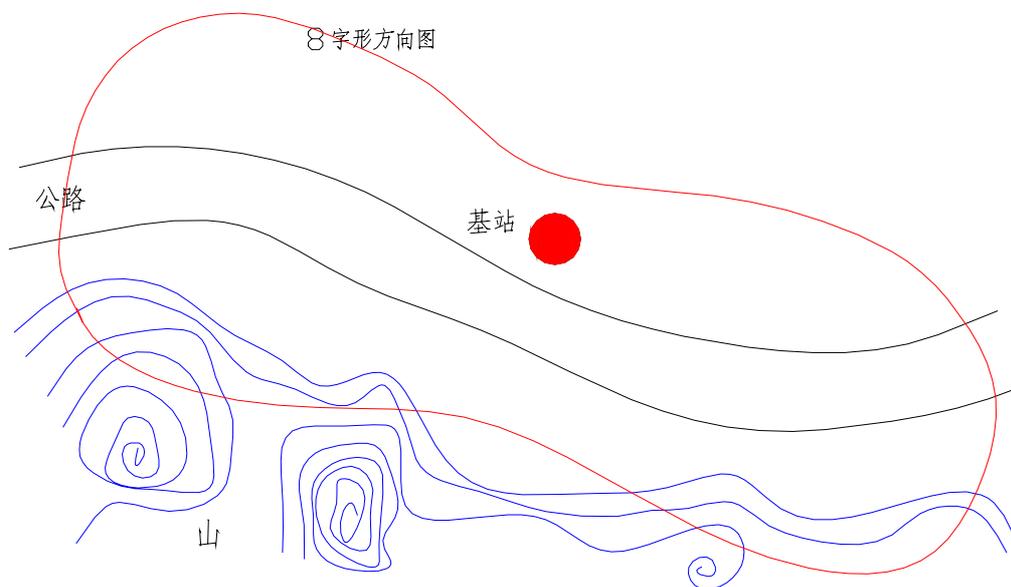


图5 8字型天线覆盖示意图

3.2.4 天线应用的其他考虑

上面主要给出了不同地方的天线选用的基本原则。实际上，天线的选用还要考虑到将来的扩容因素和我司设备的基本性能问题。

举一个简单的例子说明：

假如在高速公路上选用 210° 的天线，那么就要考虑假如该地区未来的话务量上升时的情况下，就要增加载频数量以满足扩容需求，由于基站不同的载频数配置，随着载频数的增加，插入损耗变大，扩容后若不更改相应的配置带来的结果必然是覆盖距离的下降。

另外，由于天线的方位角在网络优化阶段需要经常调整，所以建议所有的定向天线在等到电调方位角天线论证成熟以后，选用可以电调方位角的天线。

3.2.5 特殊天线使用说明

零点填充的天线可以解决塔下黑的问题，而不对别的方面造成任何影响，建议所有的全向天线都采用具有零点填充的天线，以避免塔下黑的现象。

关于8字型天线和 210° 天线。建议在进行高速公路的覆盖上进行优先考虑。

对于基站建在山上，而要覆盖的地区在山下的地方，建议选用垂直面半功率波束很宽的天线进行覆盖，垂直面波束宽度在 20° 左右的天线。

3.2.6 天线选用参考

请参考前一节中的“天线选型一览表”及相关说明。

3.2.7 几种覆盖需求定义

常规覆盖需求：一般性覆盖需求，无线覆盖设计的常用标准。

较高覆盖需求：通常意义上的广覆盖需求，如农村的广覆盖需求，包括客户提出的超出常规的覆盖需求，也存在于某些特殊环境的城区，如哈尔滨、独联体国家大城市等一些墙壁较厚的城区的室内覆盖需求。

特殊覆盖需求：特殊广覆盖的需求，是产品覆盖能力的极限，机顶功率已经达到该站型最大。建议载频数小于等于4。

3.2.8 市区、郊区、山区定义

市区	郊区	山区
包括县城市区这一级	包括平坦乡镇、公路	包括山区乡镇级别、山区公路

4 天线倾角规划

☞ 要点：

掌握在理论上计算天线倾角与覆盖距离的关系。

在市区能根据实际情况合理设置天线的下倾角。

4.1 天线倾角设计

在设计天线倾角时必须考虑的因素有：天线的高度、方位角、增益、垂直半功率角，以及期望小区覆盖范围。

在天线增益一定的情况下，天线的水平半功率角与垂直半功率角成反比，其关系可以表示为：

$$G = 32600 / (\theta_v \theta_h)$$

其中， G_a 为天线增益（为倍数，还需换算成dB值）， θ_v 为垂直半功率角， θ_h 为水平半功率角。

从上式可知，当天线增益较小时，天线的垂直半功率角和水平半功率角通常较大；而当天线增益较高时，天线的垂直半功率角和水平半功率角通常较小。为了更好地控制越区覆盖，在密集基站区域网络规划时选择高增益天线比较适宜，但是高增益天线容易造成近处覆盖不好的情况发生，严重时需要考虑采用零点填充技术。

对于分布在市区的基站，当天线无倾角或倾角很小时，各小区的服务范围取决于天线高度、方位角、增益、发射功率，以及地形地物等，此时覆盖半径可以采用Okumura-Hata或COST231公式计算；当天线倾角较大时，因上述公式中没有考虑倾角，无法计算出的覆盖半径（如有比较准确的传播模型和数字地图，ASSET可以计算）。此时可以根据天线垂直半功率角和倾角大小按三角几何公式直接估算，方法如下：

假设所需覆盖半径为 $D(m)$ ，天线高度为 $H(m)$ ，倾角为 α ，垂直半功率角为 θ_v ，则天线主瓣波束与地平面的关系如图6所示：

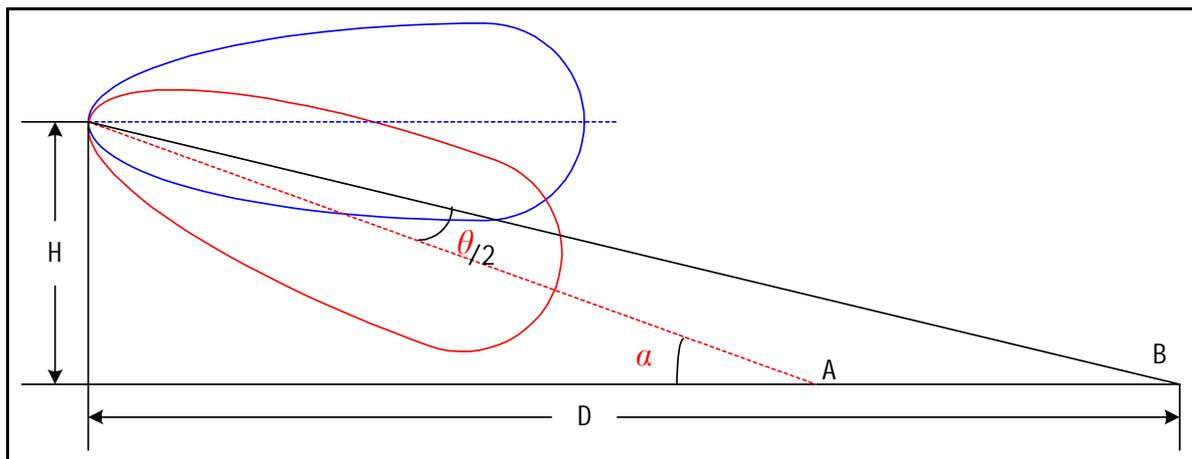


图6 天线主瓣波束与地平面的关系

可以看出，当天线倾角为0度时天线波束主瓣即主要能量沿水平方向辐射；当天线下倾 θ 度时，主瓣方向的延长线最终必将与地面一点（A点）相交。由于天线在垂直方向有一定的波束宽度，因此在A点往B点方向，仍会有较强的能量辐射到。根据天线技术性能，在半功率角内，天线增益下降缓慢；超过半功率角后，天线增益（特别是上波瓣）迅速下降，因此在考虑天线倾角大小时可以认为半功率角延长线到地平面交点（B点）内为该天线的实际覆盖范围。

根据上述分析以及三角几何原理，可以推导出天线高度、下倾角、覆盖距离三者之间的关系为：

$$D = \frac{H}{\tan(\theta/2)}$$

上式可以用来估算倾角调整后的覆盖距离。但应用该式时有限制条件：倾角必须大于半功率角之半；距离D必须小于无下倾时按公式计算出的距离。式中垂直波束宽度可以查具体天线技术指标或计算得出。

对于垂直波束宽度为17度，基站天线高度40米的场合，覆盖距离与天线倾角的关系如图7所示。当垂直波束宽度为6.5度，基站天线高度40米时，覆盖距离与天线倾角的关系如图8所示。

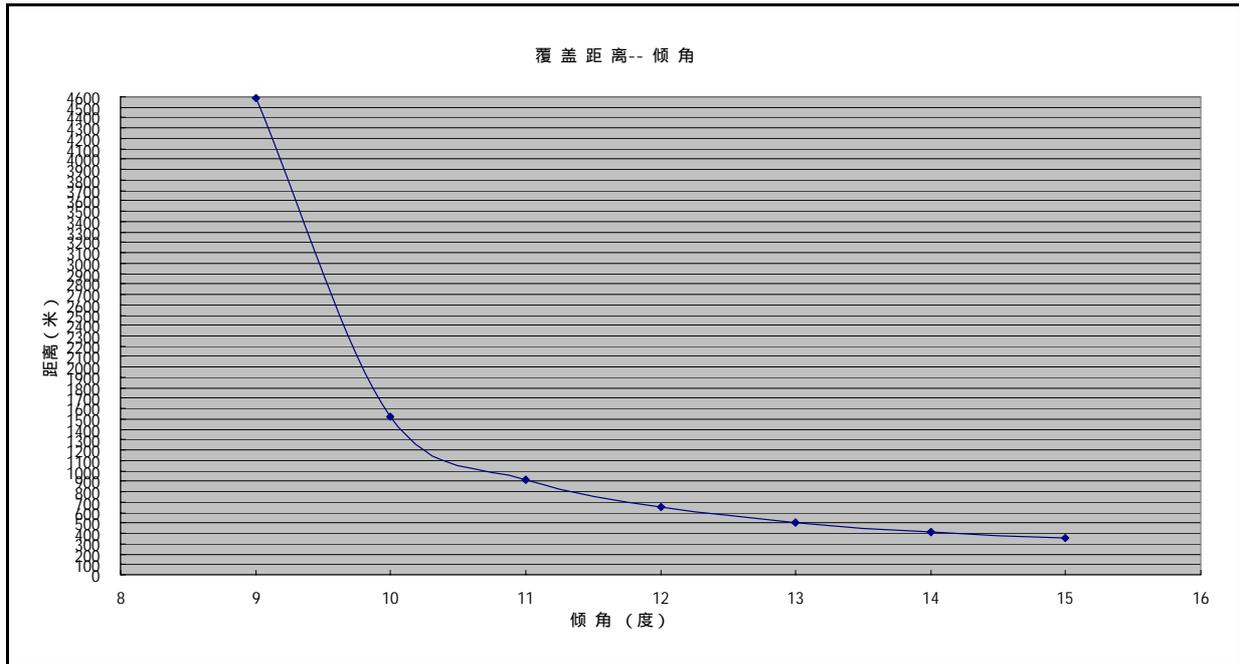


图7 覆盖距离与倾角关系（垂直波束宽度17度，天线高度40米）

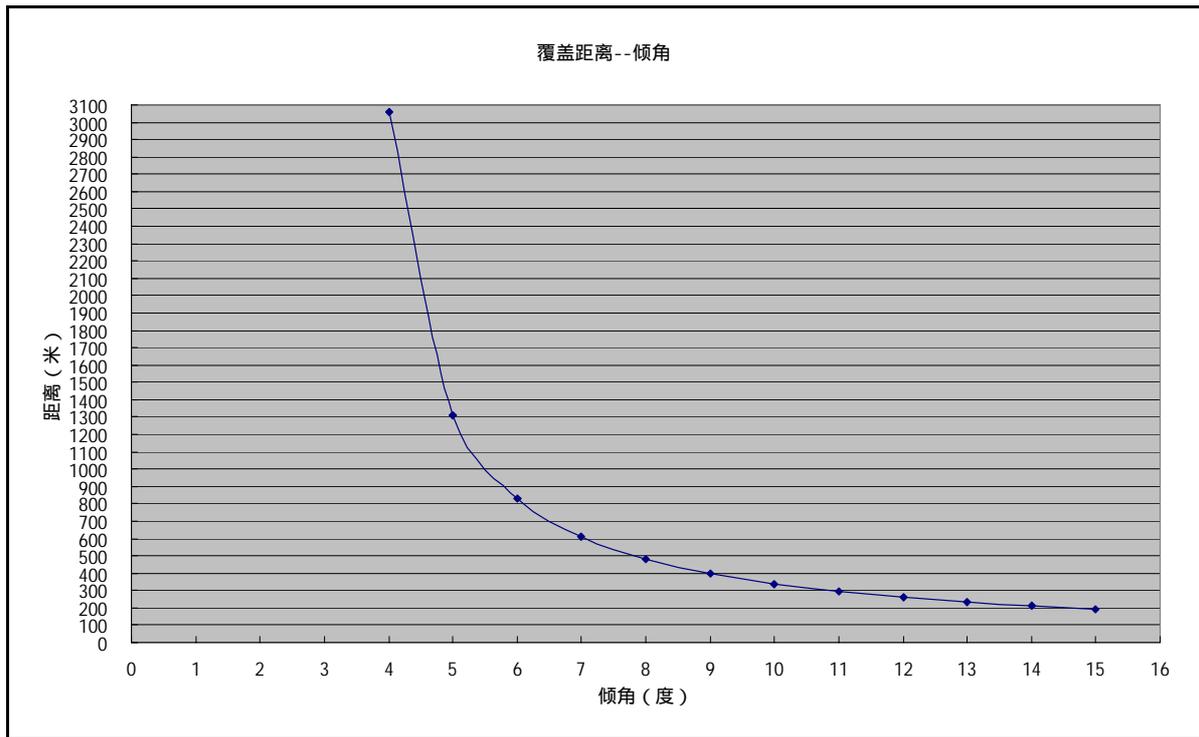


图8 覆盖距离与倾角关系（垂直波束宽度6.5度，天线高度40米）

从以上两图可以看出，在天线高度和倾角一定时，覆盖距离与天线的垂直波束宽度间的关系。垂直波束宽度越小，覆盖距离越小。因此为了更好地控制越区覆盖，在规划阶段选择天线时应该选择垂直波束宽度小的天线。必须注

意的是：调整倾角后除了可以控制越区覆盖外，还可以改善基站附近的室内覆盖，但远离基站处的覆盖将变差。

4.2 实际运用

为了便于实际运用和考虑相邻小区间必要的部分区域重叠，密集市区基站到覆盖目标距离D可以简化为小区设计半径；天线高度H指基站与覆盖目标的相对高度，并且本文我们只讨论近似平原地区。天线下倾分为机械下倾和电气下倾。一般认为，天线机械下倾在10度以内是比较科学的做法，大于10度时波瓣容易变形而对其他小区造成意想不到的干扰。

所以，从追求最大合理化目标而言，在密集市区组网，我们希望采用电调天线，由于能够在现场进行电气下倾角调节的天线较贵，一般可以采用出厂预设6~7度电气下倾天线，在网络扩容和优化时结合机械下倾，实现15~20度大下倾角设置。

根据上述讨论，结合我们最常用的A天线和常见天线高度（25-50米），给出在250、500、800、1000米小区半径下的天线倾角建议值。其他情况可以类推。

天线型号	天线垂直半功率角	小区半径 (R)	天线高度	下倾角
65度，增益17dBi	8	200	50	18
65度，增益17dBi	8	250	50	15
65度，增益17dBi	8	250	40	13
65度，增益17dBi	8	250	30	11
65度，增益17dBi	8	250	25	10
65度，增益17dBi	8	500	50	10
65度，增益17dBi	8	500	40	9
65度，增益17dBi	8	500	30	8
65度，增益17dBi	8	500	25	7
65度，增益17dBi	8	800	30	6
65度，增益17dBi	8	1000	30	2

可见，在小区半径过分小时，天线机械下倾也无法保证能够很好控制覆盖范围，此时只能降低天线高度；如果降低高度存在困难，就需要采取天线电气下倾与机械下倾相结合的方式。实际运用中，对于天线高度50米的基站，小

区半径最小为250米。一般情况下，密集市区宏蜂窝理想天线高度为25-30米，而郊区或指向郊区天线高度为40-50米。

以上下倾角计算方法主要适合于站距1200米（即 $R=800m$ ）以内的密集基站组网。

当基站距离覆盖目标大于800米时，大面积覆盖仍是最重要的关注点，估算天线倾角时不必考虑垂直半功率角的影响，此时下倾角一般为1-4度；特殊情况下如基站本身已经建在较高位置，此时下倾角也可能较大。

但是，基站周围环境是十分复杂的，下倾角还必须考虑附近山体、水面和高大玻璃墙幕的反射，这种反射容易造成意外的与其他基站同邻频干扰甚至自身时间色散效应；也必须考虑楼房天面、前方密集建筑群、山坡等对电波的阴影效应。但是实际组网中有时也会结合基站周围地理环境利用大楼或山体等的阻挡来控制覆盖范围，此时需要与下倾角综合考虑。

密集市区组网还必须考虑当天线主瓣正对街道而带来的街道效应和意外越区覆盖。一般情况下，密集市区应避免天线主瓣正对较直的街道。

当小区需要覆盖比天线位置高的区域时，可能还会采取定向天线倒装或者下倾角为负的情况，此时需要注意天线的防水问题。

如果基站位置过高而需要覆盖比基站位置低很多（大于60-70米或俯角大于5度）的谷地，并且只能用全向天线时，需要考虑采用电气下倾角（3度、5度等）、较宽垂直波瓣（低增益）、零点填充或提高下副波瓣增益等特点的全向天线来改善基站近处覆盖，避免可能出现的“塔下黑”现象。

我们还必须考虑天线后瓣在天线主瓣下倾后的方向情况，因为现在一般的天线前后比只有20dB左右。同时还需注意上副瓣的影响。

通常，全向天线垂直功率角是沿水平面上下对称的，倒装和正装效果一样；但是实际工程中还是需要注意具体全向天线的垂直方向图，是否已经具备电气下倾角，此时倒装就要慎重考虑了。

5 天线的安装

☞ 要点：

掌握天线支架安装的注意事项。

掌握天线安装的注意事项。

5.1 天线支架安装

不同类型的天线，不同的安装环境对天线支架的设计要求不同，安装方法也不同。在实际情况中，只有铁塔平台的天线安装涉及到天线支架的安装和调整问题，屋顶天线的安装则不涉及天线支架调整（一般用抱杆），在天线支架安装时需要注意以下几点：

- （1）天线支架安装平面和天线桅杆应与水平面严格垂直。
- （2）天线支架伸出铁塔平台时，应确保天线在避雷针保护区域内，同时要注意与铁塔的隔离。避雷针保护区域为避雷针顶点下倾45度角范围内。
- （3）天线支架与铁塔平台之间的固定应牢固、安全，但不固定死，利于网络优化时天线的调节。
- （4）天线支架伸出平台时，应考虑支架的承重和抗风性能。
- （5）天线支架的安装方向应确保不影响定向天线的收发性能和方向调整。
- （6）如有必要，对天线支架的安装做一些吊装措施，避免日久天线支架的变形。

5.2 天线安装

在GSM中使用的天线类型有全向杆状与定向板状两种，下面分别列出在安装过程中需要注意的事项。

5.2.1 全向天线的安装

全向天线安装时应注意：

- （1）安装时天线馈电点要朝下，安装护套靠近桅杆，护套顶端应与桅杆顶部齐平或略高出桅杆顶部以防止天线辐射体被桅杆阻挡。
- （2）用天线固定夹将天线护套与桅杆两点固定，松紧程度应确保承重与抗

风，且不会松动，也不宜过紧，以免压坏天线护套。

- (3) 注意检查全向天线的垂直度。
- (4) 注意检查全向收发天线的空间分集距离，一般要求大于4米。
- (5) 尽量避免铁塔对全向天线的在覆盖区域的阻挡。

当全向天线安装在铁塔和金属管上时，应注意：

- (1) 严禁金属管与全向天线的有效辐射体重叠安装（天线的有效辐射体是指全向天线的天线罩部分）。
- (2) 设法避免全向天线整体安装在金属管（桅杆）上。
- (3) 当全向天线安装在铁塔上应保证与塔体最近端面相距大于6个波长。
- (4) 不建议使用全向双发覆盖技术，因为全向天线安装在塔体的两侧，受塔体的影响，两个天线在某些方向的覆盖有较大差异（2-10dB）。
- (5) 全向天线的安装垂直度至少小于垂直面半功率波束宽度的1/8。

5.2.2 定向天线的安装

定向天线安装时应注意：

- (1) 按照工程设计图纸确定天线的安装方向。
- (2) 在用指南针确定天线的方位角时要远离铁塔，避免铁塔影响测量的准确度。
- (3) 方位角误差不能超过正负5度。
- (4) 用角度仪调整天线的俯仰角，俯仰角误差不能超过正负0.5度。
- (5) 注意检查收发天线的空间分集距离，有效分集距离要大于4米。