

# 第11章 终端天线

11.1 手机天线

11.2 可穿戴天线

11.3 标签天线

11.4 广播电视天线

11.5 内窥镜天线

11.6 毫米波防撞雷达

# 11.1 手机天线

 1980s <b>1G</b> 大哥大	 1990s <b>2G</b> 摩托罗拉	 2000s <b>3G</b> 智能手机	 2010s <b>4G</b> 智能手机	 2020 ? <b>5G</b> 智能手机
 模拟信号	 短信	  短信 互联网	  短信 互联网  多媒体	  短信 互联网   多媒体 智能家居 头条号 / MiLi

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1691279813716166956&wfr=spider&for=pc>

## \* 手机天线频段

	频段（左右）	波长	天线（1/4波长）
2G	0.8-1Ghz、 1.8Ghz	20-30cm	5-7.5cm
3G	1.8-2.2Ghz	13-16cm	3-5cm
4G	1.8-2.7Ghz	11-16cm	2.5-4cm
5G	低频3-5Ghz	6-10cm	1.5-2.5cm
	高频20-30Ghz	10mm	2.5mm
Wifi	2.4Ghz	12.5cm	3cm
	5Ghz	6cm	1.5cm
蓝牙	2.4Ghz	12.5cm	3cm
GPS/北斗	1.2-1.6Ghz	18-25cm	4.5-6cm
NFC	2.4Ghz	12.5cm	3cm
	13.56Mhz	22m	近场传输、线 圈电场耦合
无线 充电	13.56Mhz	22m	
	22Khz	/	

# \* 手机天线常用术语

## 1、回波损耗、反射系数、电压驻波比、S11

**回波损耗** (Return Loss): 入射功率/反射功率, 为dB数值

**反射系数** ( $\Gamma$ ): 反射电压/入射电压, 为标量

**电压驻波比** (Voltage Standing Wave Ratio): 波腹电压/波节电压

**S参数**: S12为反向传输系数, 也就是隔离。S21为正向传输系数, 也就是增益。S11为输入反射系数, 也就是输入回波损耗, S22为输出反射系数, 也就是输出回波损耗。

# \* 手机天线常用术语

## 2、Directionality（方向性系数）

天线辐射方向性参数。天线据此可分全向（omni-directional）和定向（directional）。

## 3、Gain（增益）

某一方向的天线增益是指该方向上的功率通量密度和理想点源或半波振子在最大辐射方向上的功率通量密度之比。增益与天线方向图的关系：方向图主瓣越窄，副瓣越小，增益越高。

## \* 手机天线常用术语

### 4、Efficiency（效率）

$$\text{Gain} = \text{Directionality} \times \text{Efficiency}$$

$$\text{Efficiency} = \text{Output Power} / \text{Input Power}$$

### 5、Polarization（极化）

天线远场处电矢量轨迹。分线极化、圆极化、椭圆极化。

6. 有源参数：TRP (Total Radiated Power) 总辐射功率、TIS (Total Isotropic Sensitivity) 手机接收灵敏度等。

外置天线:

典型外置天线

单极天线

拉杆天线

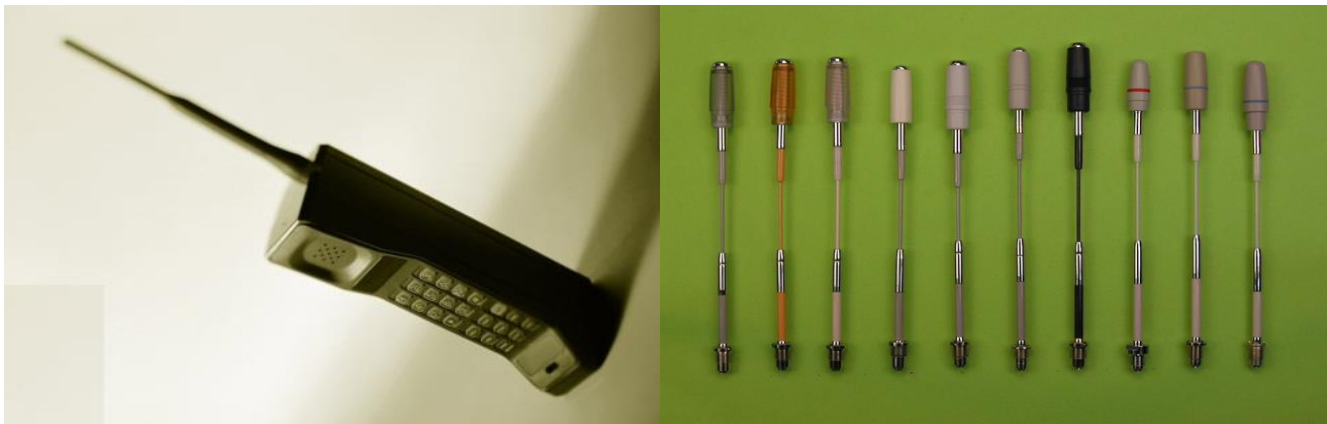
螺旋天线

**PCB印制螺旋天线**

## 外置天线:

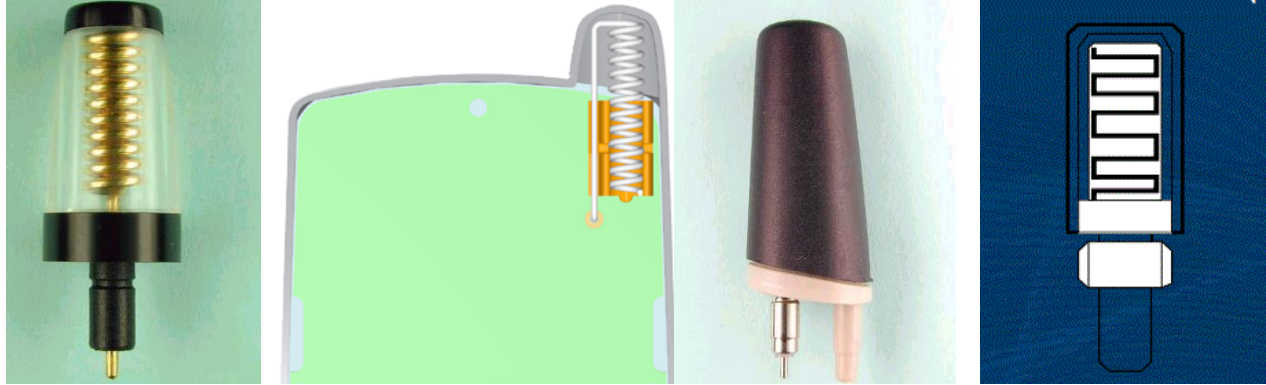
单极天线——传统的外置天线一般为单极天线，虽然制作简单，但是尺寸较大，不便于携带。

拉杆天线——一般是采用一节 $1/4$ 波长螺旋和一节 $1/2$ 波长螺旋构成，需要介质棒去耦，用来实现手机的高增益，在手持情况下，其增益可增加6dB以上。





## 外置天线:



螺旋天线——螺旋线是一种慢波结构，螺旋天线实际也是一种慢波化的单极天线。由于螺旋线的作用，减小了电磁波沿螺旋线传播的相速度，因此天线的长度可以缩短。也正是由于螺旋线的慢波结构，使得天线的带宽窄，天线的储能大，辐射效率降低。

PCB板螺旋天线——实际是一种变形的螺旋天线，利用PCB板的介电常数进一步降低天线的尺寸而已。

## 内置天线:

内置天线的形式特别多，包括微带贴片天线、缝隙天线、IFA天线和倒L天线、PIFA、陶瓷天线等等。

但目前的主流天线主要有两种：PIFA天线、MONOPOLE天线。



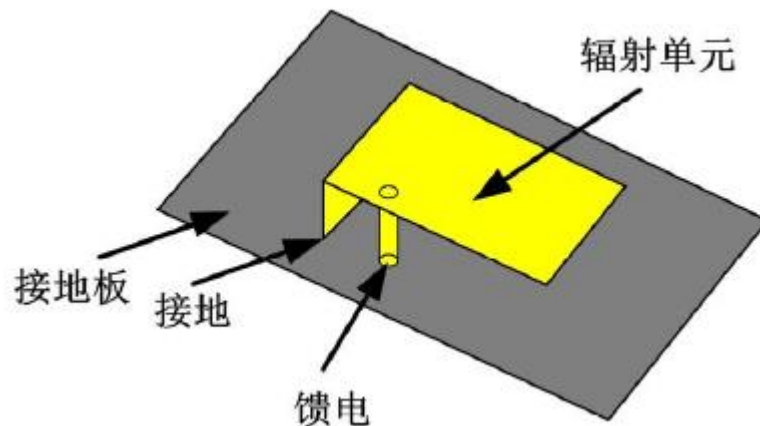
PIFA



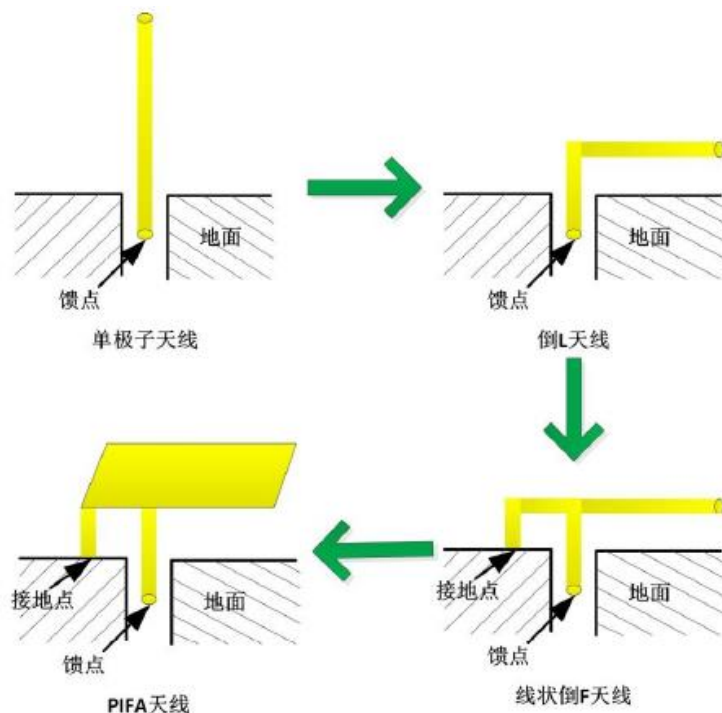
MONOPOLE

## (1) PIFA 天线（平面倒 F 天线）

Planar Inverted F-shaped Antenna, 由于天线的走线形状与倒写的字母F相似而得名，被很广泛的应用于手机内置天线的设计。右图给出了PIFA 天线的基本结构示意图，该天线主要包括四个部分：接地板、接地点、馈电点以及辐射单元。其中，接地板是作为反射面的，距接地板一定高度的平行面上的金属片作为天线的辐射单元，在辐射金属片和接地板之间有两个相互靠近的引脚，分别是用于短路接地和信号传输馈电。



PIFA 天线可以看作是由四分之一波长的单极子天线（Monopole Antenna）演变而来，该天线的演变过程如图所示。



演变过程：单极—>高度限制—>倒L—>输入阻抗小—>倒F（PIFA）—>带宽—>倒F平面化

PIFA 天线是安装在与之平行的接地板正上方的辐射贴片作为主要辐射体，在实际中通常是用手机的 PCB 板作为 PIFA 天线的地。

PIFA天线如按要求设计环境结构，电性能相当优越，包括 SAR（Specific Absorption Rate特殊吸收比率, 主要测量人体吸收手机辐射量的多少）指标，是内置天线首选方案。适用于有一定厚度手机产品，折叠、滑盖、旋盖、直板机。

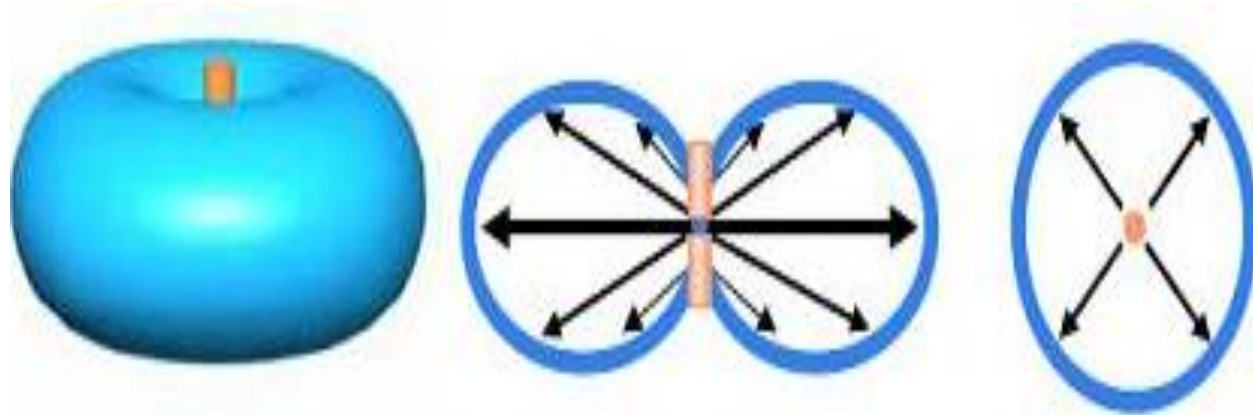


## (2) 单极子天线

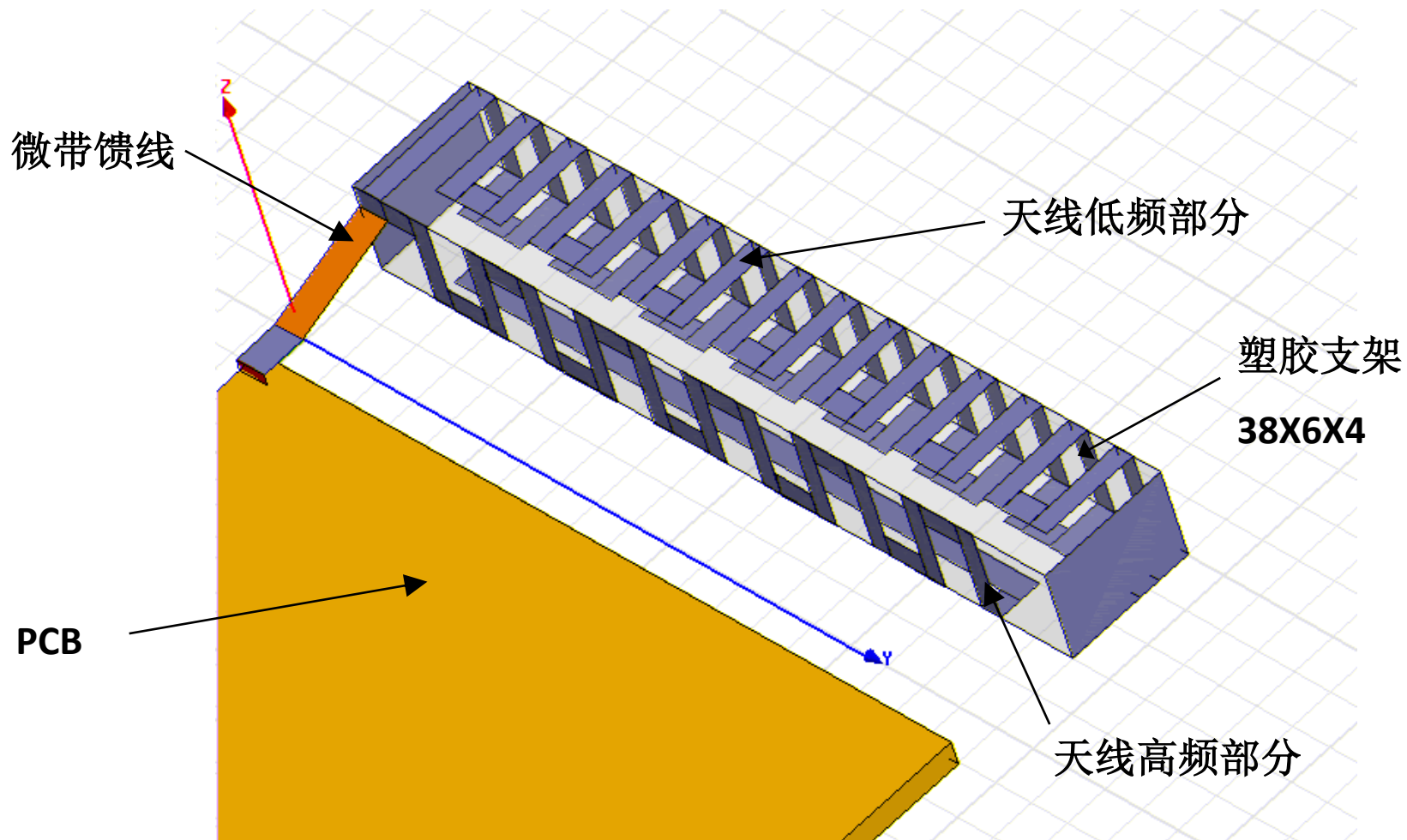
单极子天线是竖直的具有四分之一波长的天线。该天线安装在一个接地平面上，它可以是实际地面，也可以是诸如搭载工具车体等人造接地面上。

单极天线的馈电是在下端点使用同轴电缆进行的，馈线的接地导体与平台相连接。

在自由空间中，四分之一波长单极天线在垂直平面上的辐射方向图与半波偶极天线在垂直平面中的方向图形状相似，但没有地下辐射。在水平面上，垂直单极天线是全向性的。

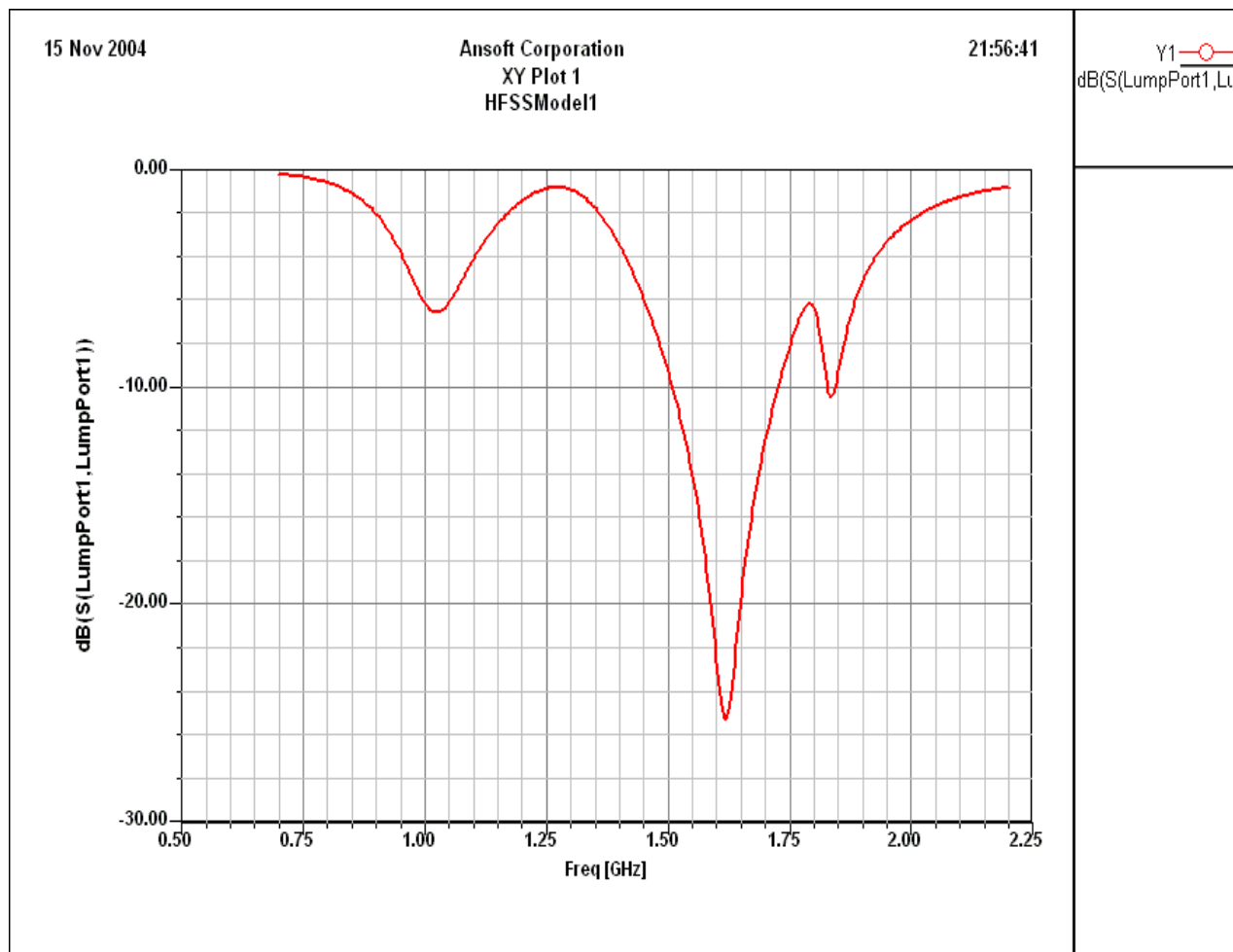






从右图可见

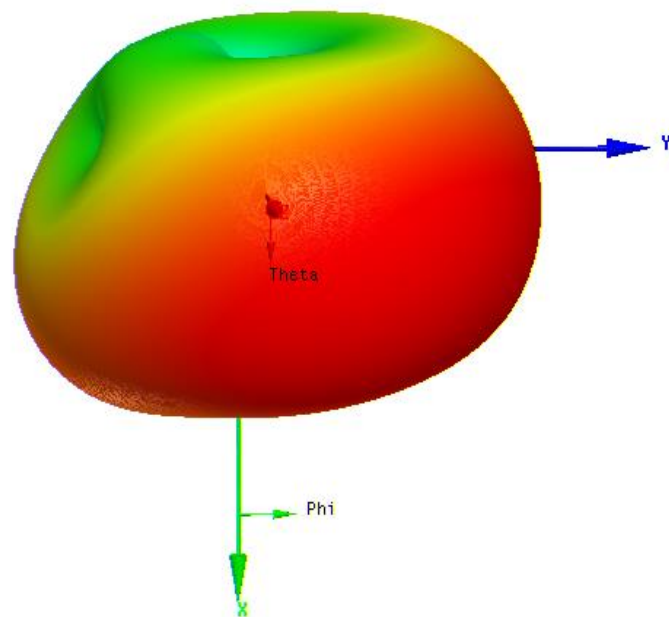
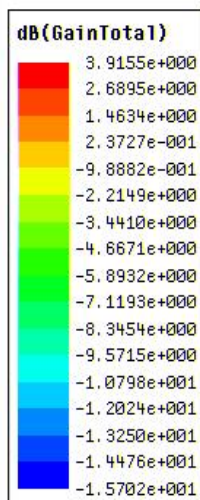
- 该种monopole保持了低频（1GHz）工作频带。
- 高频则可有着与中心频率比值20%以上、宽达几百兆工作带宽。





右图为该天线模型在1.8GHz频率下的增益方向图。

- 最大增益 $\sim 4\text{dBi}$ 。
- 全向性可控



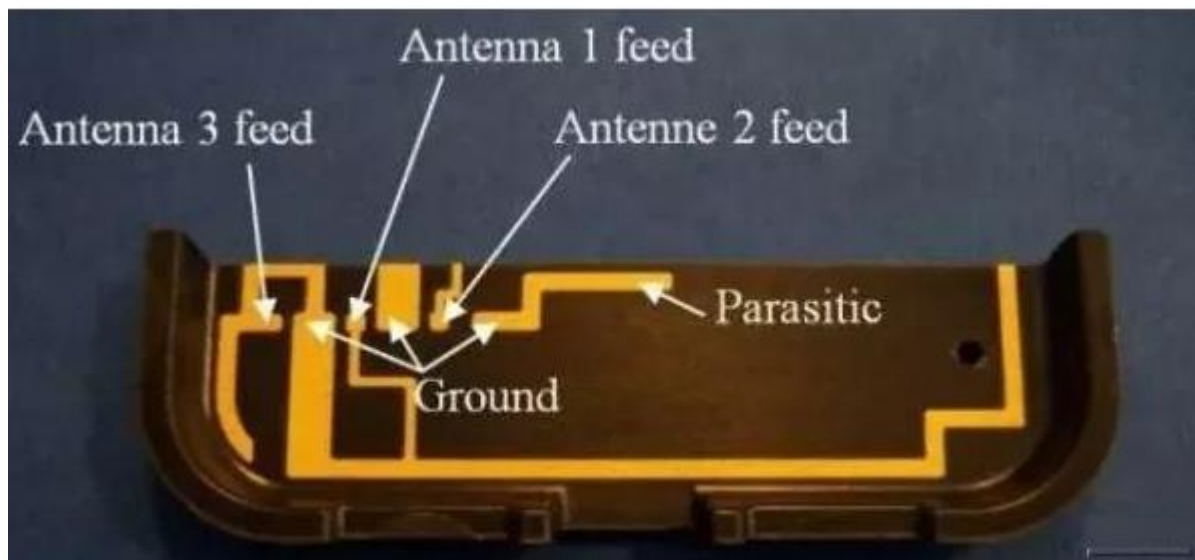
内置天线，一般分为3种工艺：

第一种，是FPC（Flexible Printed Circuit，柔性电路板）。

简单来说，就是用塑料膜中间夹着铜薄膜做成的导线。我们就以iPhone为例，从第一代到第三代iPhone，就是采用FPC天线设计。



第二种，是LDS（Laser-Direct-structuring，激光直接成型技术）。这种也不复杂，就是在塑料支架上用激光刻出形状后，再电镀上金属形成的，三星的S9手机，就是采用的LDS方案。

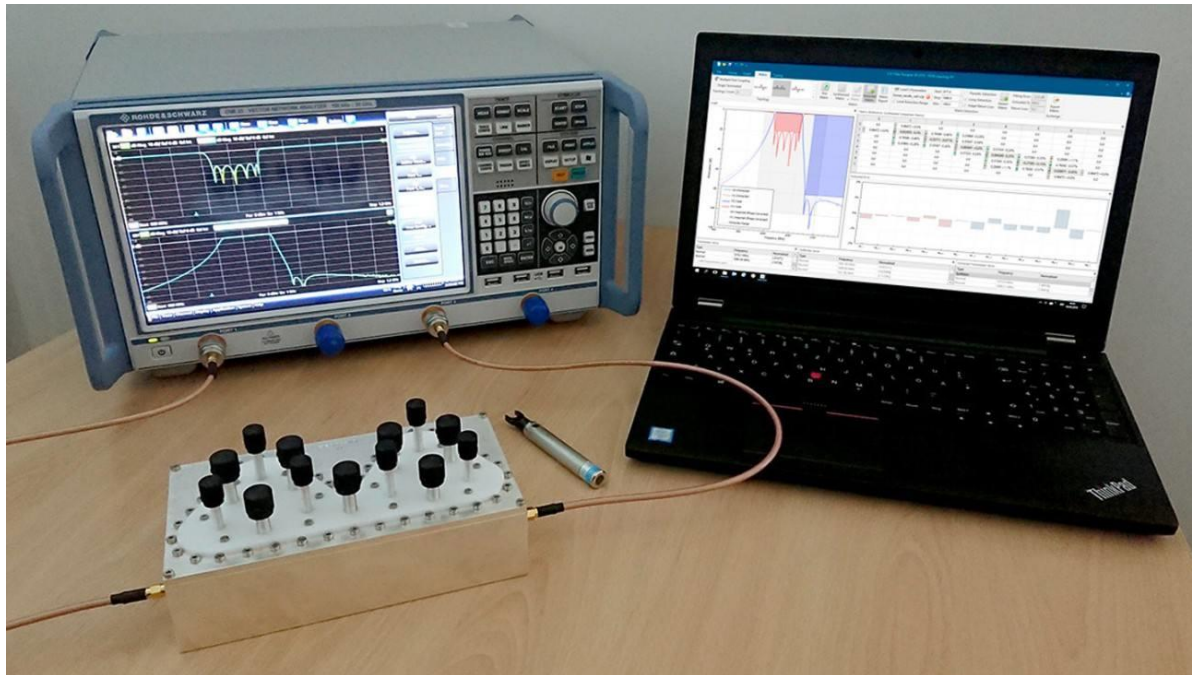


第三种，也就是最后一种，就是大家喜闻乐见的“金属中框”方案。也就是直接把手机金属中框的一部分，当作天线来用。



## \* 手机天线无源测试

- 我们把使用网络分析仪的测试叫做无源测试 (Passive)，它是通过电缆线将网分的发出信号传到EUT天线，通过网分分析处理后得到无源参数。
- 无源测试主要参数：增益；方向图；驻波比/回波损耗；3D场强图；交叉极化比/隔离度；效率



- 无源测试不足之处：
- 侧重从手机天线的增益、效率、方向图等天线的辐射参数方面考察手机的辐射性能。
- 无源测试虽然考虑了整机环境(比如天线周围器件)对天线性能的影响，但天线与整机配合之后最终的发射功率和接收灵敏度如何，从无源测试数据无法直接得知，测试数据不是很直观。

## \* 手机天线有源测试

- 有源测试：在特定微波暗室内，测试手机的辐射功率和接收灵敏度。
- 有源（ACTIVE）测试报告：
  - 1：HAC (HEARING AID COMPATIBILITY) ——助听器兼容性
  - 2：SAR (SPECIFIC ABSORPTION RATE) ——特殊吸收比率
  - 3：OTA (OVER THE AIR) ——空中性能测试

## 什么是HAC测试？

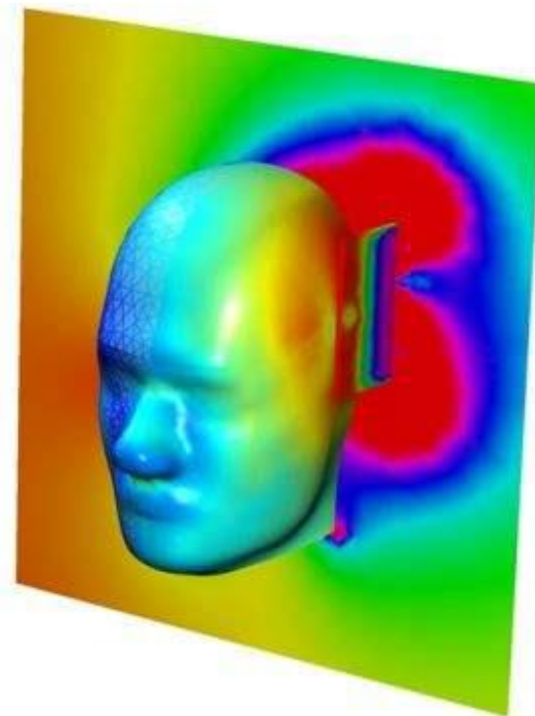
- HAC (HEARING AID COMPATIBILITY)
- 根据标准定义消费者可通过对助听器抗干扰级别和相应的手机信号发射级别来判断某型号助听器与手机的兼容性。





# 什么是SAR?

- SAR是英文 Specific Absorption Rate 的缩写，是计量多少无线电频率辐射能量被身体所实际吸收的表示单位，称作特殊吸收比率或者SAR。
- SAR的表示单位：瓦特每千克 ( $\text{W/kg}$ ) 或者毫瓦每克 ( $\text{mw/g}$ )。



➤SAR公式：给定密度（ $\rho$ ）的体积微元（ $dV$ ）内质量微元（ $dm$ ）所吸收（消散）的能量微元（ $dW$ ）对时间的微分值就是SAR：

$$SAR = d(dW/dm)/dt = d(dW/\rho dV)/dt = \sigma E^2/\rho$$

其中：

$E$ 为细胞组织中的电场强度有效值，以V/m表示；

$\sigma$  为人体组织的电导率，以S/m表示；

$\rho$  为人体组织密度，以kg/m<sup>3</sup>表示；

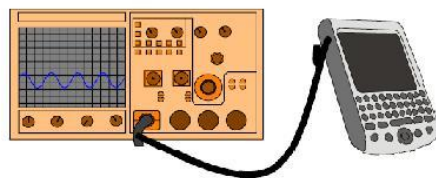
SAR 的限值要求: 中国、欧洲、澳洲、日本(Limit requirement of SAR: China、Europe、Australia、Japan)

	全身平均 Whole Body	局部特定部位 Partial Body	手、手腕、足、足踝 Hands、Wrists、Feet and Ankles
职业 Occupational	0.4	10.0	20.0
公众 General Population	0.08	2.0	4.0

# 什么是OTA测试？

- OTA(over the air)-空中性能测试，与传导测试相对应，空间三维测量。

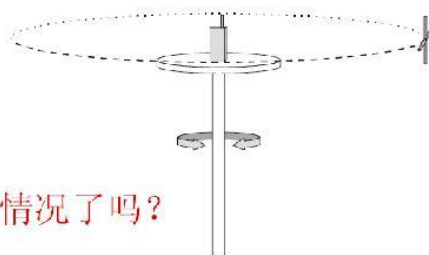
- 传导测试方法



- 2维测试方法



模拟实际使用情况了吗？



- OTA测试优点：侧重从手机整机的发射功率和接收灵敏度方面考察手机的辐射性能。

## OTA 测试中的主要测试参数

- 在OTA测试中，辐射性能参数主要分为两类：发射参数和接收参数。

发射参数：TRP和NHPRP

接收参数：TIS和NHPIIS

## 发射参数：TRP和NHPRP

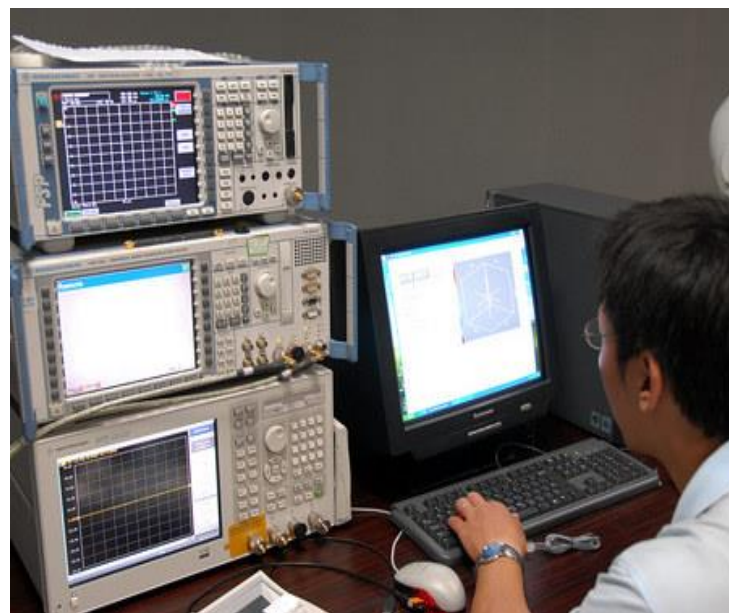
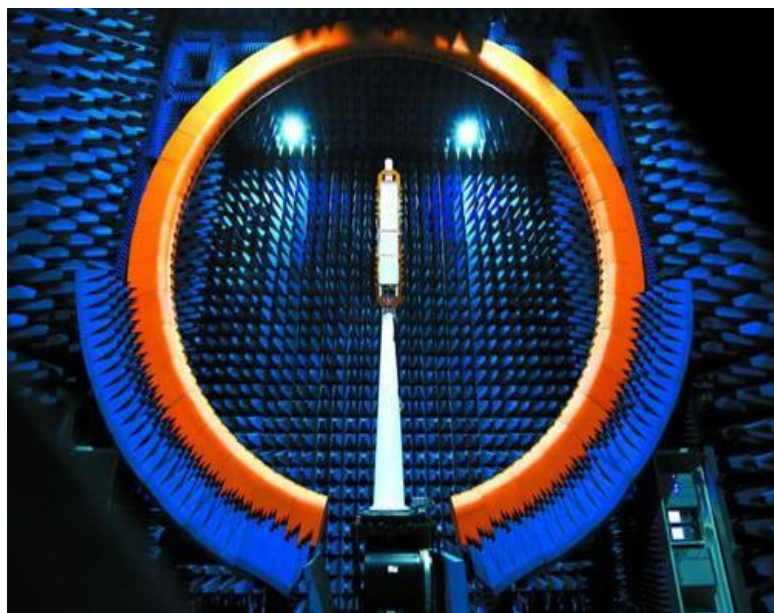
- TRP (Total Radiated Power) 总辐射功率：通过对整个三维辐射球面上的发射功率进行面积分并取平均得到。它反映手机整机的发射功率情况，跟手机在传导情况下的发射功率和天线辐射性能有关。
- NHPRP (Near Horizon Partial Radiated Power)：手机在接近水平面上一定夹角范围内的辐射功率积分值，反映了手机在此夹角范围内的发射特性。

## 接收参数：TIS和NHPIS

- TIS (Total Isotropic Sensitivity) 总全向灵敏度：反映在整个三维辐射球面上手机接收灵敏度指标的情况。它反映了手机整机的接收灵敏度情况，跟手机的传导灵敏度和天线的辐射性能有关。
- NHPIS (Near Horizon Partial Isotropic Sensitivity)：手机在接近水平面上一定夹角范围内的接收灵敏度积分值，反映了手机在此夹角范围内的接收特性。

## OTA测试系统

- 该系统主要由暗室、高精度定位系统及其控制器、射频测试仪器和带自动测试程序的个人电脑构成。主要射频仪器有综测仪、频谱仪、网络分析仪。为进行人头模拟测试，还需要符合标准的人头模型。





## 11.2 可穿戴天线

可穿戴天线技术受到越来越多的关注。例如，在医学方面，研究利用可穿戴天线进行诸如乳腺癌等其他病灶组织的探测，以及一些实时医学诊断系统的研制；



在军事方面，一些单兵作战的背包雷达以及单兵通信系统都采用了可穿戴天线设计。



在民用方面，可穿戴天线在移动通信中也受到极大的关注，如智能手表，智能眼镜。



目前可穿戴天线多数应用于人体中心无线网络 (Body Centric Wireless Net-work)，选择 ISM 频段，中心频率为2.45GHz。

1、由于运用于人体中心无线网络，并不要求远距离传输，故选择电尺寸较小的天线。

2、由于可穿戴天线的低剖面特性，故在此频段上工作的天线多数为微带贴片天线。

3、馈电方式的选择多选用微带馈电，因为微带馈电较探针馈电优势就是不会增加天线的高度，且易于集成。除了微带贴片天线外还有些单极子天线，倒 F 型天线等都有应用，视需要的情况而定。

4、由于人体是一个复杂的非均匀色散媒质，无法精确建立人体模型，不过可以利用一些测量数据来建立在误差允许范围内的人体模型。经过研究得知人体对于天线而言是个损耗很大的物体，如何减小人体对天线的影响，以及天线对人体的辐射，都是研究的热点。目前较常用的方法是在人体和天线之间增加反射板，和运用特殊形式的天线，使得天线向人体的辐射尽可能的小。

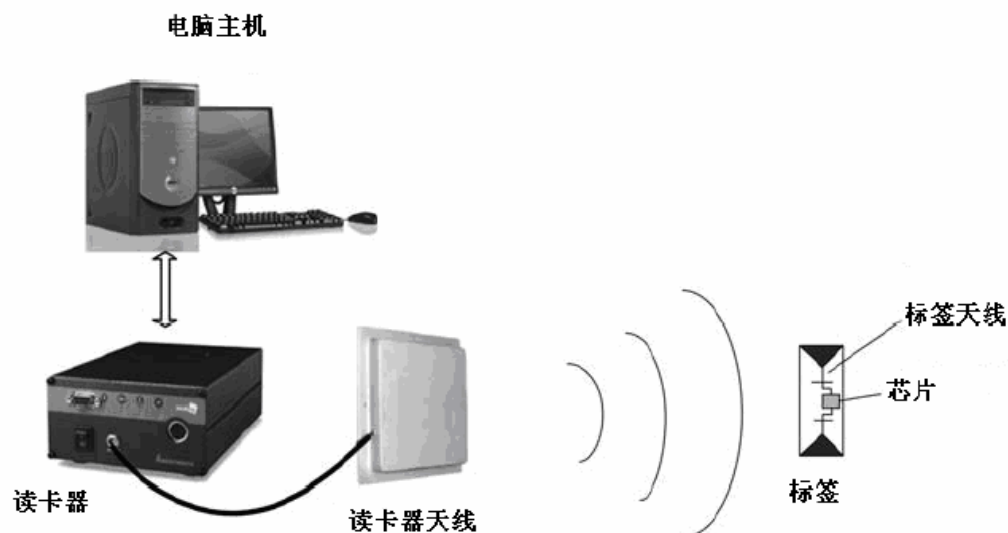
## 11.3 标签天线

射频识别(Radio Frequency Identification) 简称RFID技术, 是 90 年代兴起的自动识别技术。它是一项利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电磁场)实现无接触信息传递并通过所传递的信息达到识别目的的技术。

二代身份证采用高科技rfid技术



通常情况下，RFID 的应用系统主要由读卡器和RFID标签两部分组成的。其中，读卡器一般作为计算机终端，用来实现对RFID卡的数据读写和存储，它是由控制单元、高频通讯模块和天线组成。而RFID卡则是一种无源的应答器，主要是由一块集成电路(IC) 芯片及其外接天线组成，其中RFID 芯片通常集成有射频前端、逻辑控制、存储器等电路，有的甚至将天线一起集成在同一芯片上。





RFID系统的基本工作原理是RFID卡进入读写器的射频场后，由其天线获得的感应电流经升压电路作为芯片的电源，同时将携带信息的感应电流通过射频前端电路检出数字信号，送入逻辑控制电路进行信息处理，所需回复的信息则从存储器中获取经由逻辑控制电路送回射频前端电路，最后通过天线发回给读写器。可见，RFID卡与读写器实现数据通讯过程中起关键的作用是天线。

一方面，无源的RFID卡芯片要具备在启动电路工作时可通过自身天线从读写器天线获得足够的电磁能量的功能，另一方面，RFID标签天线应具备与读卡器之间的通讯信道和通讯方式。

## 11.4 广播电视天线（VHF/UHF）

VHF波段指的是频率从30 MHz到300 MHz的波段, 而UHF波段则是频率从300MHz到3000MHz的波段。在现今无线通信领域, VHF/UHF波段由于有着较好的信噪比和较高的效率, 在广播, 对讲机, 室外电视天线, 业余无线电, 机载舰载天线等范围内得到了广泛的使用。



## 11.5 内窥镜天线

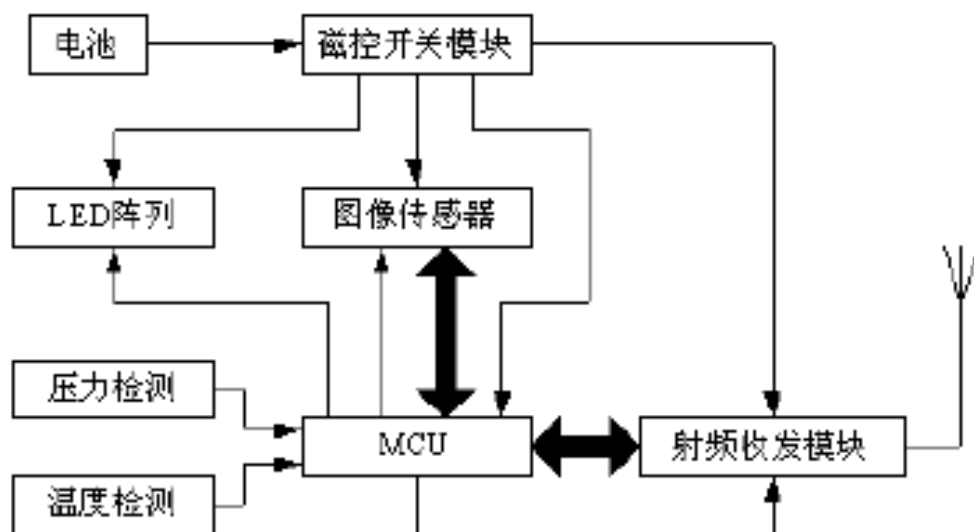
无线胶囊内窥镜 ( Wireless Capsule Endoscope, WCE) 作为一种新型的无创无痛消化道诊断技术, 为消化道疾病的诊断带来了全新的选择。WCE 系统是一种集光电工程、图像处理、信息通讯与生物医学等多种技术于一体的综合性系统, 其中用于图像数据发射的无线通讯天线, 直接影响到无线信息传输的质量, 是无线胶囊内窥镜系统的重要组成部分。

- 由于对诊断性能的要求，需要提高图像传感器的分辨率以及帧速率，因此要求无线通讯系统具有较高的传输速率及较大的带宽。
- 此外由于人体内部器官组织结构复杂，对电磁辐射衰减严重，天线在人体内部的辐射效率将大幅度降低。
- 胶囊内部空间狭小（直径 1 cm，长度 2 cm 左右），胶囊内天线不能做的太大；
- 在患者检查过程中，天线在人体小肠内随着重力作用及消化道的蠕动运动，其具体位置和方向不能确定，因此要求天线的辐射方向图近似为圆形，在尽可能缩小天线尺寸的同时也要考虑到如何实现天线的圆极化。

以色列吉温成象有限公司（GivenImaging Ltd.）率先研制出世界第一套检测胃肠道的无线内窥镜系统，即M2A（Mouth to Anus）无线内窥镜。

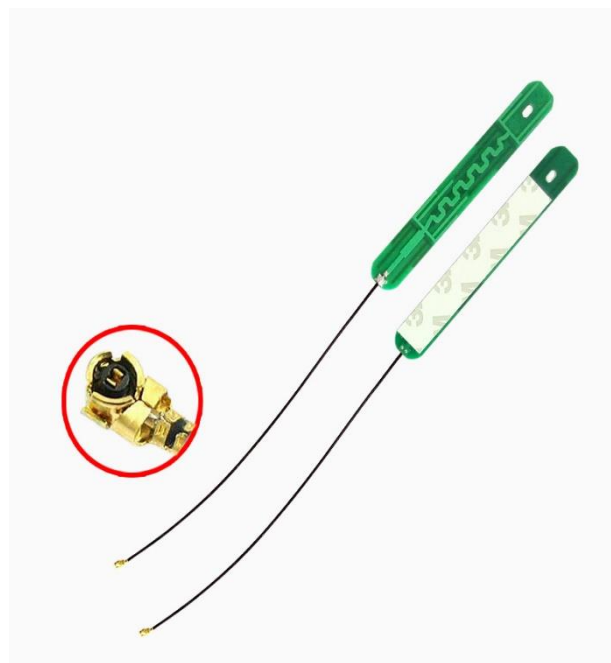


重庆金山公司在2004年研制出OMOM无线内窥镜系统，主要包括无线内窥镜胶囊、图像记录仪和影像工作站三个部分。无线内窥镜胶囊的外观和内部的电路结构如下图所示。通过磁控开关模块切断/接通整个系统的电源。系统通过MCU对LED、图像传感器和射频收发模块的控制，完成图像的采集和射频数据的收发。



## 11.6 路由器天线

路由器天线一般是由螺旋杆、连接线、辐射铜管构成，其本质是单极子天线。此外，基于单极子工作原理，还有许多变型形式。



## (1) 路由器天线信号增强——附加反射面

易拉罐内表面可以反射无线信号，这样就加强了天线对无线信号的接收和发射能力。



全向

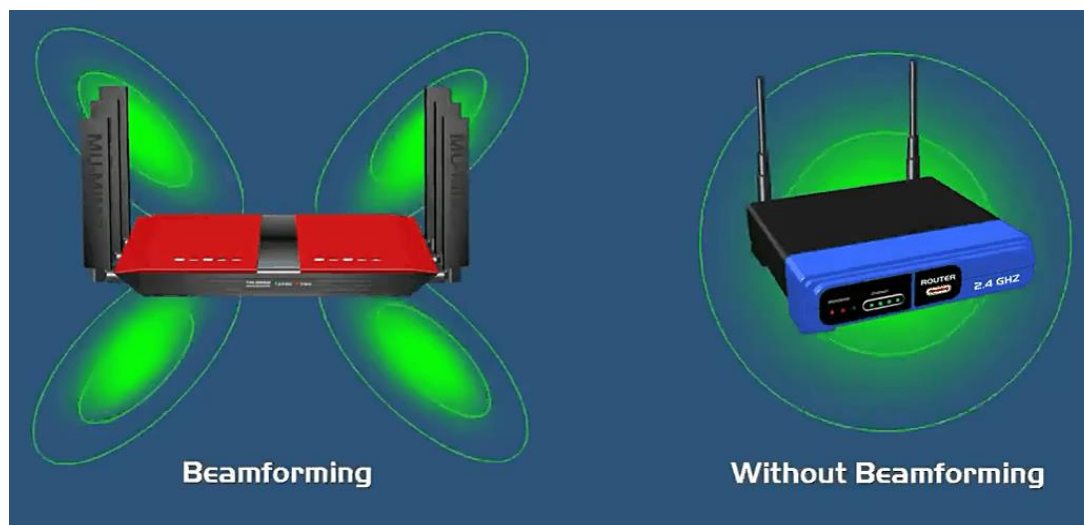


定向

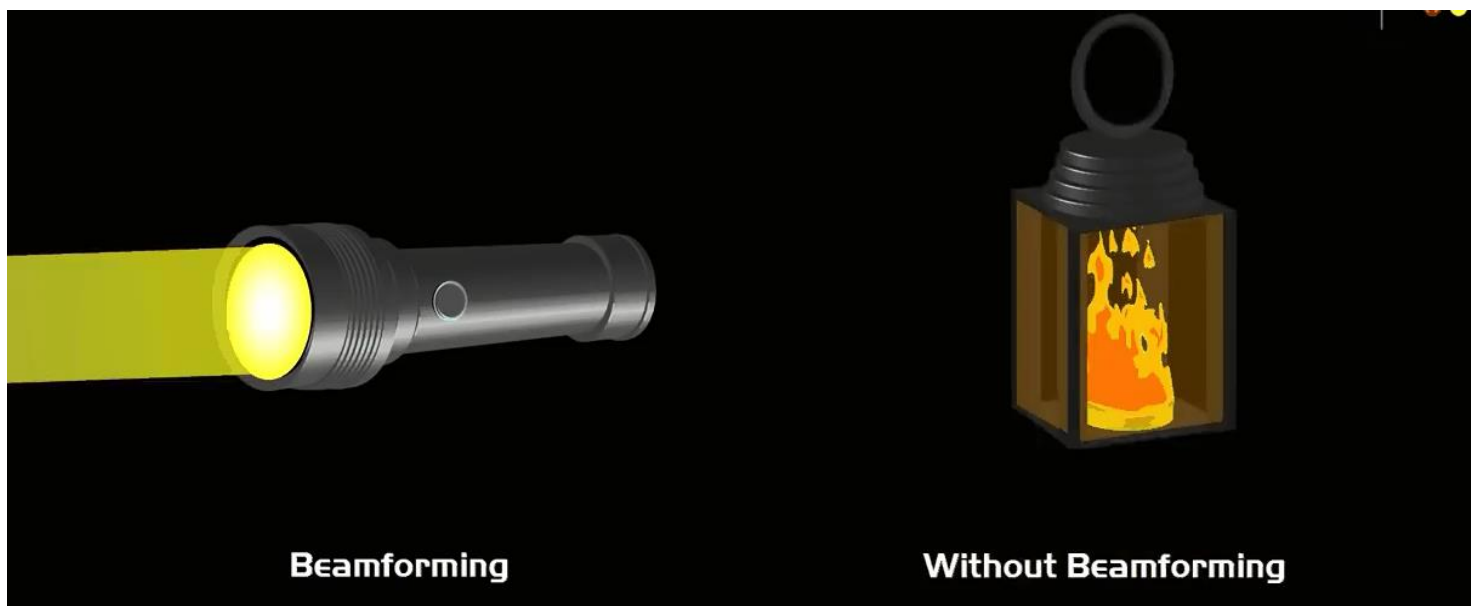


## (2) 路由器天线信号增强——波束成形

现在在高端的无线路由器上我们经常可以看到“Beamforming”波束成形技术，“波束成形”是一种让无线路由器发射端根据接收端位置进行定向发射的技术，如果要采用波束成形技术路由器必须拥有多天线。



## (2) 路由器天线信号增强——波束成形



### (3) 天线越多真的越好吗？

对于路由器来说，天线的数量确实会对信号产生一些影响，但主要是在天线的材质以及技术上面。比如铜制天线、MIMO技术的天线与普通天线相比，可以提高信号的传输距离。



### (3) 天线越多真的越好吗？

路由器的发射功率才是影响信号的主要原因，如果发射功率不改变，那么天线数量越多，虽然可以增加传输距离，但是效果微乎其微。

结论：信号的强度以及穿墙能力完全取决于发射功率，和天线没有任何关系，天线很多，只是为了减少覆盖区域内的盲点，提升传输速率。

## 11.7 毫米波防撞雷达

汽车防撞系统技术方案包括毫米波雷达、激光雷达、红外线雷达、摄像头等。

**毫米波雷达**受自然环境影响小，探测距离适中，在车载雷达领域性价比最高，但是难以识别行人、交通标志等；

**激光雷达**测量精度较高，可用于实时建立空间三维地图，但是成本高昂，且在雨、雪、雾天效果较差；

**红外线雷达**测量精度较高，技术成熟且成本较低，但是测量距离近（小于10m），极大地限制了其应用场景；

**摄像头**成本低，能够对物体进行识别，是车道偏离预警、交通标志识别等功能必不可少的传感器，但具有依赖光线、在夜间和极端天气下会失效、难以精确测距等缺点。

各类技术方案在测量距离、精准度和适应环境等方面各有优劣。当前各类辅助驾驶/无人驾驶解决方案中基本采用多传感器融合的解决方案，但无论哪种方案，毫米波防撞雷达都具有重要地位。

