

5G 是第五代 ( 5th Generation ) 移动通信的简称 , 不是 5G 流量的 5G , 也不是说频率 5GHz 的 5G。

相比于 4G , 5G 的各项参数都有质的飞跃 , 简单点说就是又好 ( 移动时或者人多时信号照样好 ) 又快 ( 速度快没延迟 ) 又省 ( 省电 )。

5G 有多快 ? 给个直观感受 , 那就是 1 秒钟可以下载一部高清电影 !

具体参数见下表 :

指标名称	流量密度	连接密度	时延	移动性	能效	用户体验速率	频谱效率	峰值速率
4G参考值	0.1 Mbps/m <sup>2</sup>	10万/km <sup>2</sup>	10ms	350Km/h	1倍	10 Mbps	1倍	1Gbps
5G取值	10 Mbps/m <sup>2</sup>	100万/Km <sup>2</sup>	1ms	500 Km/h	100倍	0.1-1Gbps	3-5倍	20Gbps

5G 选用什么频段 ?

目前来说 , 国际国内主流规划的 5G 频段可分为 5G 低频频段和 5G 高频频段。

**5G低频频段：主要是指6GHz以下的频段。**

近日，我国工信部发布意见稿表明，

3.3G–3.40GHz频段基本被确认为5G频段，原则上限于室内使用；

4.8G–5.0GMHz频段，具体的频率分配使用根据运营商的需求而定。

新增4.4G–4.5GMHz频段，但不能对其他相关无线电业务造成有害干扰。

**5G高频频段：主要是指20GHz以上的频段。**

我国主要在24.75–27.5GHz、37–42.5GHz高频频段正在征集意见，国际上主要使用28GHz进行试验。

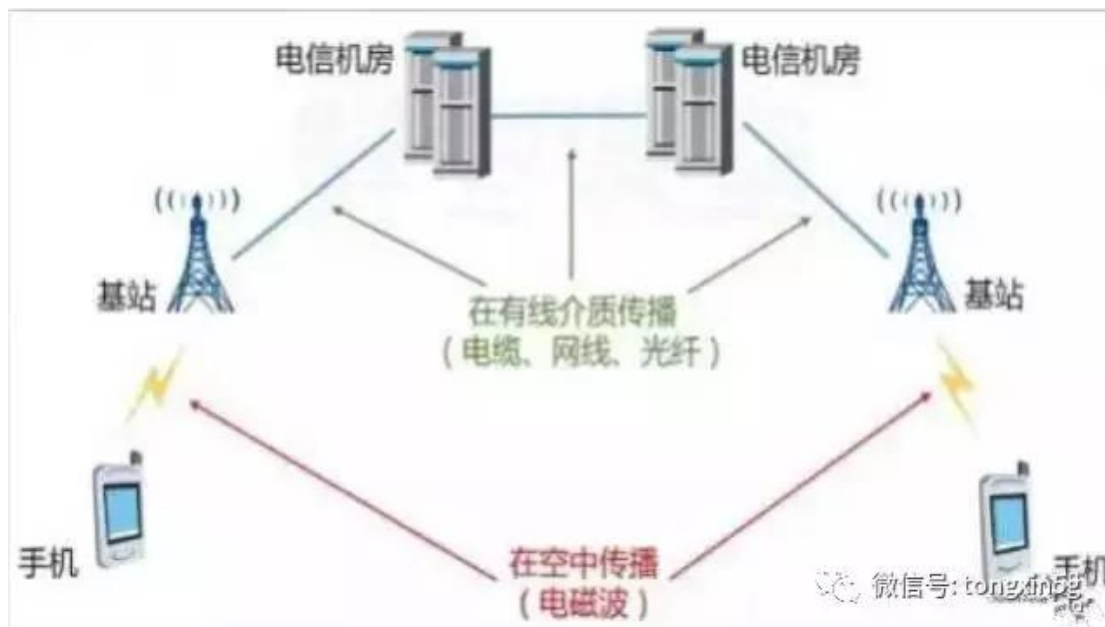
**为什么5G分为低频和高频呢？**

这个问题得慢慢道来，也可以跳过直接看结论

**首先看看手机之间是如何进行通信的？**

有线的部分就不多说了，主要说无线的部分。

手机和基站之间是通过一种叫电磁波的东西进行通信的。



### 电磁波是什么呢？

其实平时听说的红外、紫外、激光，还包括太阳光等等带光字的，不管人眼能不能看见的都是电磁波。

电磁波主要有 3 个参数：振幅、频率和波长。振幅主要表征的是电磁波的强度大小，先不多说了。

### 频率和波长有个神奇的公式：

$$c = \lambda \nu$$

$c$  是光速，是固定值  
真空中，光速为  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$\lambda$  波长  
 $\nu$  频率

光速是不变的，所以频率和波长是一一对应的，知道一个就能求出另外一个。

因此，频率或者波长相当于是电磁波独特的标记。

### 频段是什么？

用电磁波进行无线通信的地方有很多的，比如军用雷达、电视、广播、手机、wifi 等等都是采用电磁波传输数据，只不过频率不同。频率相同的话，就会出现干扰，所以频率是一个稀缺性资源，被占用了就没有了。

一般来说，不同用途的电磁波频率是有一个范围的，比如 3MHz-30MHz，这个范围叫做频段（也叫做频谱资源），而这个频段的上下限之差就是所说的带宽，比如 3MHz-30MHz，这个带宽就是 27M。

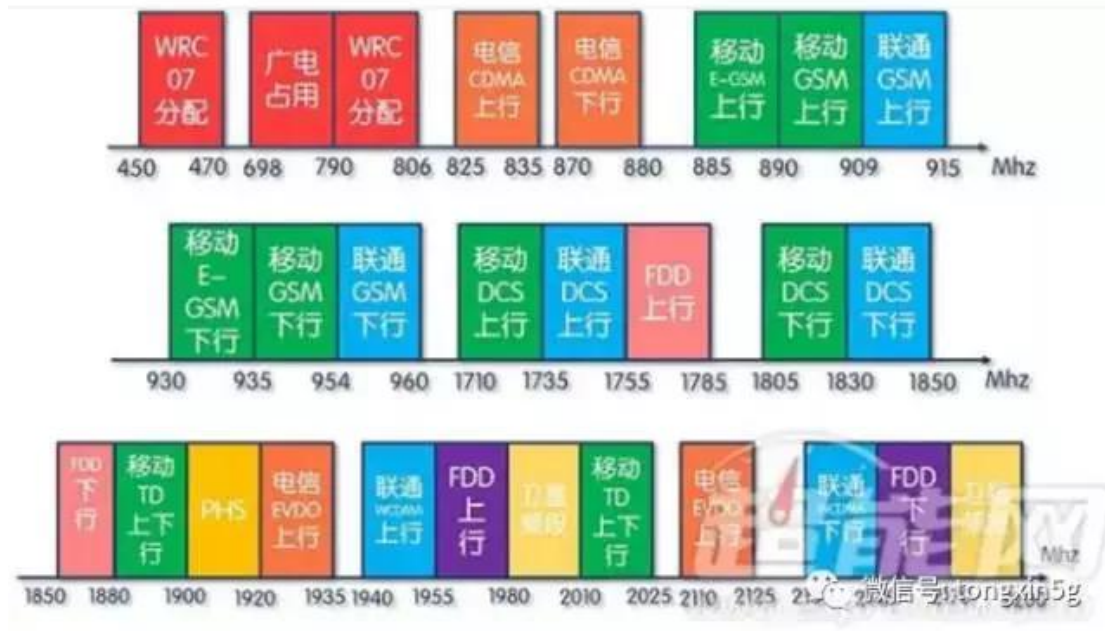
名称	符号	频率	波段	波长	主要用途
甚低频	VLF	3-30KHz	超长波	1000Km-100Km	海岸潜艇通信；远距离通信；超远距离导航
低频	LF	30-300KHz	长波	10Km-1Km	越洋通信；中距离通信；地下岩层通信；远距离导航
中频	MF	0.3-3MHz	中波	1Km-100m	船用通信；业余无线电通信；移动通信；中距离导航
高频	HF	3-30MHz	短波	100m-10m	远距离短波通信；国际定点通信；移动通信
甚高频	VHF	30-300MHz	米波	10m-1m	电离层散射；流星余迹通信；人造电离层通信；对空间飞行体通信；移动通信
超高频	UHF	0.3-3GHz	分米波	1m-0.1m	小容量微波中继通信；对流层散射通信；中容量微波通信；移动通信
特高频	SHF	3-30GHz	厘米波	10cm-1cm	大容量微波中继通信；大容量微波中继通信；数字通信；卫星通信；国际海事卫星通信
极高频	EHF	30-300GHz	毫米波	10mm-1mm	再入大气层的通信；毫米波通信

在特定的一个用途中，比如电视机的使用的电磁波是处于在一个频段里面的，这个频段继续划分成更小的频段，则对应单个频道比如 CCTV1。

手机同样如此，移动通信联通都有各自的频段的，移动 2G\3G\4G 也是对应不同的频段。

例如经常说的“GSM900”、“CDMA800”，其实就是工作频段 900MHz 和 800MHz 的意思。

目前国内主流的 4G 频段在 1.8GHz-2.7GHz 之间。



## 为什么从1G到5G，使用的频率越来越高？

最简单直接的回答是：因为低频率的频段基本都被占用了，只能往高频的划分了。

## 为什么频率越高，速度越快？

因为高频率下的频带还没被划分，可以用的带宽高。

可以把带宽比作路宽，路越宽可以分的车道（信道）就越多，网络速度比作总的车流量，所以车道越多总的车流量越大。

当然，影响总的车流量的因素还有很多，在下面会详细解释。

**逻辑1：频率高→频带未占用→带宽高→信道多→速度快**

## 频率是不是越高越好呢？

当然不是的，根据上文提到的公式：频率越高，波长越短

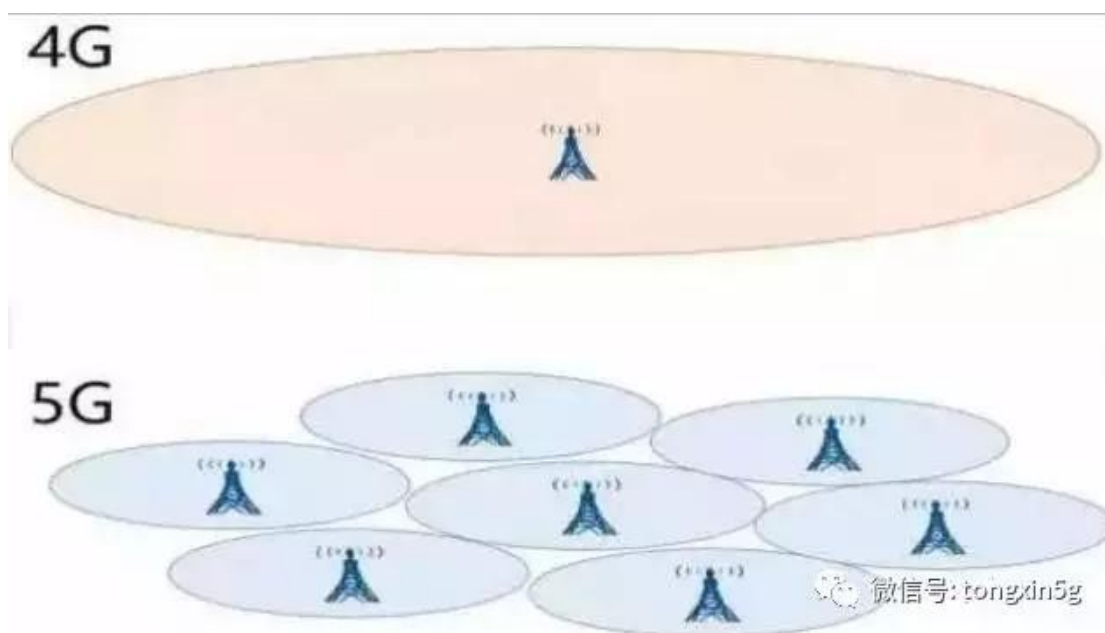


波长越短，电磁波就越趋近于直线传播（绕射能力越差）。

比如激光笔（波长 635nm 左右），射出的光是直线，挡住了就过不去了，也就无法进行信号传输了。

此外，频率越高，传播过程中的衰减也越大，这点后面还会详细解释。

绕射能力差，单个基站信号覆盖的范围就越小，所以为确保信号覆盖，基站的数量就要增加。



逻辑 2：频率高→波长短→绕射能力差→基站覆盖范围小→基站数量增加→成本提高

逻辑 1：频率高→频带未占用→带宽高→信道多→速度快

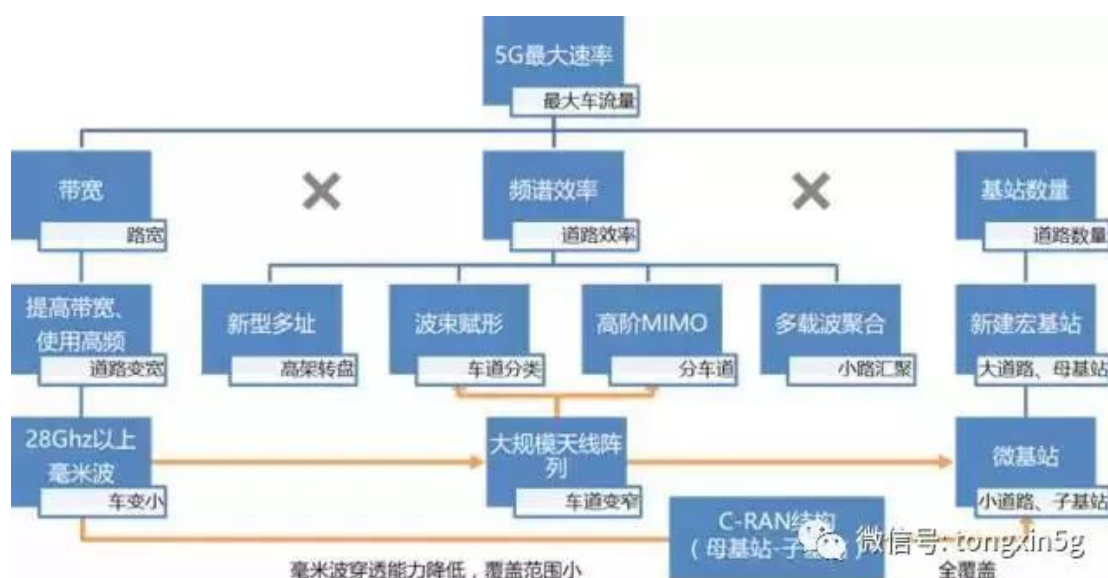
两个结合起来看，就明白了：因为低频和高频各有优缺点。

5G 低频下，速度提升较小，成本提升也较小，

5G 高频下，速度提升较高，成本提升也较高。

当然，5G 的速度和成本也不单单是频率影响的，可以利用新型多址、波束成形、MIMO、载波聚合等众多技术提高频谱的效率，有望在提升速度的同时有效控制好成本。

关于具体的技术就不详细展开了，可以用车流量的比喻来简单理解各项技术。



## 毫米波是什么？

如果按频率 28GHz 来算：

$$\text{波长} = \frac{\text{光速}}{\text{频率}} = \frac{300,000,000\text{m/s}}{28,000,000,000\text{Hz}} \approx 10.7 \text{ mm (毫米)}$$

微信号: tongxin5g

波长将达到 10mm 的级别，也就是毫米波。



因此，毫米波只是在5G高频频段才会出现，而在5G低频频段，波长在6-10cm左右，和现今的4G频率下的波长11-16cm差异不大，仍属于厘米级别。

## 为什么要关注波长呢？

因为电磁波的接收和发送是要通过天线来进行的，而根据远距离通信（距离远大于波长）天线设计的原理，天线的长度理论上是1/4波长或者1/2波长，可以使效率最大化。

而除了通常的2G、3G、4G通信是需要天线，手机中的WIFI、蓝牙、gps功能也都需要天线的。wifi的工作频率在2.4-2.4835GHz和5.150-5.850GHz之间，蓝牙的频率在2.402G-2.480G之间。

根据：频率→波长→天线长度的推导关系，可以发现目前的通信主天线、WIFI、蓝牙天线的长度基本都在几个cm左右，包括5G低频阶段，天线的长度还在1.5-2.5cm。

	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 微信号: tongxin5g
无线充电	13.56Mhz	22m	
	22Khz	/	

频段为一个范围，表中只给了一个近似值，并不是精确值

### NFC 和无线充电的天线超级长？

传统天线工作距离远大于工作波长，工作于远场区，比如手机天线，需要接收几百米直到十几公里外的基站信号。

而手机 NFC 有一个标准的频率为 13.56MHz、无线充电频率为 22KHz 和 13.56MHz，这两种功能也需要天线（线圈），但这种两种天线工作于近场耦合区（工作距离远小于工作波长），原理是基于电场耦合，电磁感应或者磁共振。因此天线长度和波长关系不大，而是线圈的面积和匝数影响较大。

NFC2.4GHz 天线和普通的蓝牙 wifi 天线长度差不多，NFC2.4GHz 工作范围要比 13.56MHz 大得多，因此安全上会存在些问题。

目前 applepay 等支持的是 NFC2.4GHz，三星 pay 和银联用的是 13.56MHz。

### 手机中天线的长度是如何测量的？

手机中天线算的是两点间的导线周长（无相交点），而不是两个端点直接的直线距离。

### 手机里各种天线长什么样子？

先看下三星 S8 的天线，有个概念：手机中有各式各样的天线。



对于通信（主）天线，随着 1G、2G、3G、4G 的发展，频率越高，波长越短，天线也越来越短，设计从以前大哥大的外置式，到目前主流的内置式或者用金属中框当做天线。

外置式的其实就是一根金属线，已经成为老古董了，就不多解释了。

**内置式主要分为 3 种工艺：FPC\LDS\金属中框**

简单点说：

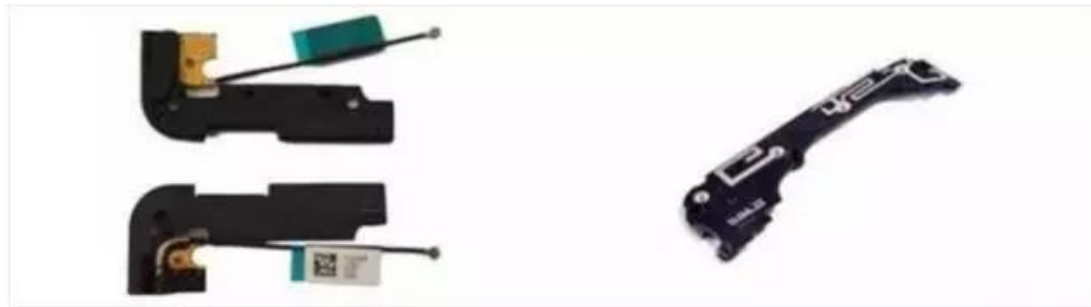
**FPC: 就是用塑料膜中间夹着铜薄膜做成的导线**

第一代 iPhone 到 iPhone3G、iPhone3GS，均采用了 FPC 天线设计结构。



**LDS：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 s9 除了 NFC\无线充电都是用的 LDS 方案的。NFC 使用的是 FPC 方案。



左图是FPC天线，右侧是LDS天线

微信号: tongxin5g

无线充电使用的是 FPC+扁平线圈组成的，关于无线充电的方案又分为 FPC、扁平线圈、密绕线圈，就不展开详细说了。

### 金属中框：就是把手机的金属框部分当做天线

iPhone 4 开始使用中框方案



微信号: tongxin5g

因为不同天线的长度有不同的要求，所以把中框间隔开来设计





iphone6 看似一体的金属后壳，使用塑料填充，其实是被切分成 A/BCD/E 三段，A、E 分别为上部分天线和下半部分天线，中间 BCD 部分是相互导通的，充当天线接地部分。





iPhone6上半部分有通信副天线、双频WLAN、蓝牙、GPS、NFC等功能。

iPhone 6下半部分有通信主天线。

## 5G对手机天线有什么影响？

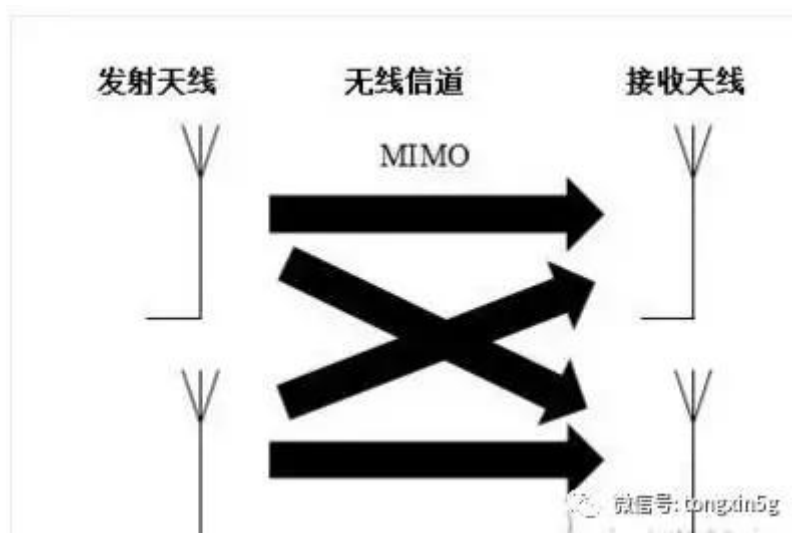
这得分5G低频还是高频来看，

**5G低频→MIMO技术→天线数量增加→空间、设计难度增加**

前面说过，5G低频的时候，5G天线的长度和4G差别不大，那就是没有影响了么？

有还是有的，虽然对长度影响不大，但是为了达到更高的速度，5G会多用几根天线，就是MIMO技术，比如三星的4x4MIMO其实就是指发射端4根天线，手机端4根天线，

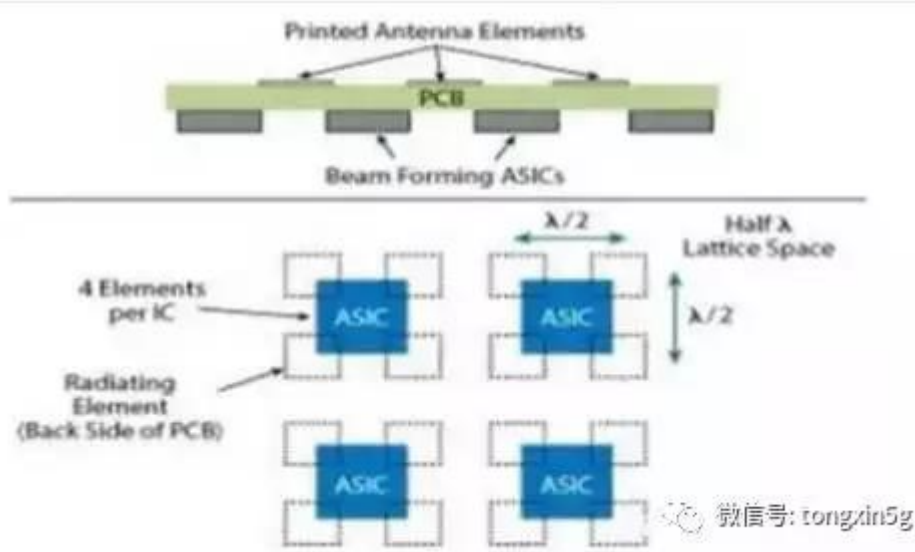
这样来看，5G低频下主要是天线数量的增加，而多个天线之间的位置形状需要好好设计，这样才能达到更好的效率。



### 5G 高频→天线阵列（大小、形式变化）→天线需要重新设计

5G 高频呢，这时天线大小降低到几个毫米了，电磁波的频率非常高，在空气中传播衰减较快，为了减少衰减，目前主流的方案是计划采用 4x4 或者 8x8 的阵列天线。

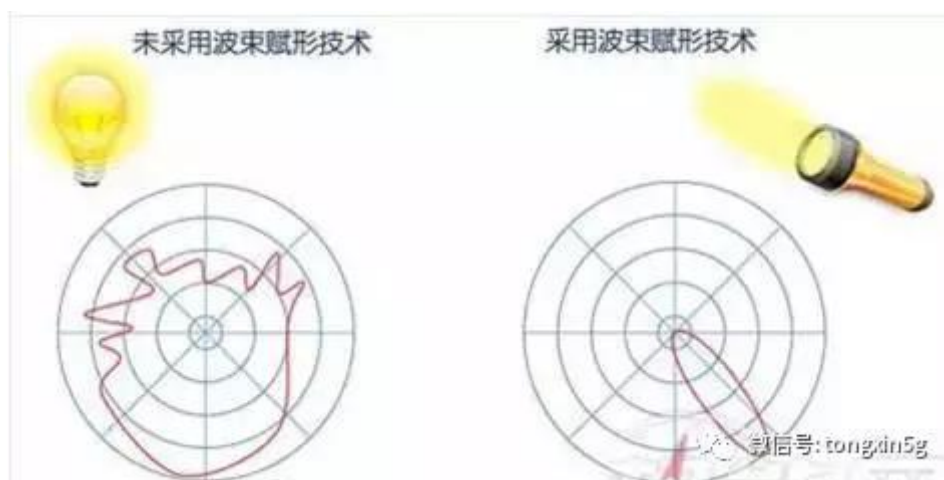
此外，为降低衰减还需要减少走线长度，最好的解决方案是天线和芯片紧靠在一起，每个天线配一个小芯片，甚至不排除未来天线会集成到芯片内部的可能性。



这样有两个好处：

第一个很好理解，和 5G 低频一样，阵列的话数量增加了，就是 MIMO 技术。

第二个好处是可以做波束成形，这个不好理解，打个比方，就是之前的信号相当于电灯泡，是发散光到整个空间的，而波束成形就是把电灯泡变成手电筒，这样所有的光线就会朝一个方向了。



### 天线和手机后盖又有什么关系呢？

我们都知道，金属对电磁波有屏蔽作用的

如果电线放在金属板后面，电磁波从一面辐射而来，大部分能量被反射，小部分能量进入金属，该电磁波会随进入金属的深度成  $e$  指数衰减（能量转化为表面电流）。

对于同一频率电磁波，电导率越高，衰减越快。

对于相同金属材料，电磁波频率越高，衰减越快。

所以，天线绝对不可以放在金属板后面的。

比如，iphone3 的后盖银色的上半部分是金属，下面部分是塑料。为什么要用塑料，就是为了在后面放天线的。



iPhone 3G、iPhone3GS 多了对 3G 网络的支持，为确保无线信号稳定传输，两者也都采用了塑料外壳。



而 iPhone5，为了确保信号稳定，iPhone5 金属后背采用三段式设计，上下两部分是陶瓷玻璃，这也是为防止金属屏蔽电磁波。



那为什么 iphone6 后盖是全金属的呢？

上文提到了苹果从 iphone4 开始把中框做成了天线，iphone6 金属后盖后面是没有天线的！

**因此，天线是从设计上是不能被金属后盖挡住的。**

上面提到的要么天线放背面，不采用金属后盖或者部分不使用金属后盖；要么使用金属后盖，天线不放在背面。

使用金属后盖的话，目前主流的后盖设计是 iphone5 类型的三段式、或者 iphone6 或 7 类型的注塑条形。

然而，目前采用 iphone6 类型的注塑条形后盖的手机，想要做到双天线还带 NFC，技术非常难。

目前来说只有 iphone 实现了，而魅族的 pro6 虽然号称实现了，但实际的 NFC 功能并不完善。



日本村田设计了一款新的专利，在摄像头上面开槽，实现了在摄像头处放置 13.56MHz 的 NFC 线圈。





### 5G 天线，会对手机后盖有影响么？

5G 低频下，天线数量增多，对天线的设计难度提升了，这是肯定的。

如果使用金属后盖，以 iPhone 6、7 为例，上下部分已经放置了很多根天线，再增加 2 跟天线，设计难度肯定加大，但天线的形式未发生根本性的变化，设计难度应该在可接受的范围内。

当然，如果是非金属后盖，比如三星 S8，用 LDS 方案，4x4MIMO 天线空间上问题就不存在，设计上难度更小。

5G 高频,如果用 4x4 或者 8x8 的阵列天线,这时天线的数量和形式发生了根本性的变化,需要重新设计。

单个天线几毫米,4x4mimo 天线大小为 10mmx10mm 的正方形,如果放在手机厚度方向上,是不行的,所以只能放在背面上,因此阵列天线处的背板一定不可以是金属,要么采用金属后盖开窗的方案,要么使用非金属后盖。

随着无线充电即将普及,手机上再上无线充电线圈的话,那么手机后盖只能采用非金属了。比如三星 s8 就是使用的玻璃后盖,既实现了 4x4mimo 天线,也加入了无线充电线圈。



### 非金属后盖塑料、玻璃还是陶瓷？

之前我们提到,金属会对电磁波有屏蔽作用,iphone3 使用了塑料,iPhone4 使用了玻璃,iphone5 使用了陶瓷来防止金属屏蔽,因此至少在 4G 时代塑料、玻璃、陶瓷后盖都是被证明可行的。

目前非金属后盖中，全塑料后盖逐渐成为过去时，一般只用在低端机上；  
全玻璃后盖是主流方案，包括 S8 以及将要推出的 iPhone8 都是用的玻璃方案；  
全陶瓷后盖是新鲜事物，目前只用于小米 5 尊享版、小米 mix 以及即将发布的小米 mix2 中使用，还有安卓之父设计的手机也是采用了陶瓷后盖。  
陶瓷凭借其优异的性能和手感，有望成为手机后盖主流方案之一。

### 以上还是站在目前的 4G 的时代来讲，那么 5G 时代呢？

4G 时代，塑料玻璃陶瓷对电磁波的损耗都很小，所以都可以使用。  
但是材料对电磁波的损耗是和频率成正比的，频率越高，损耗越大。  
损耗指的是能量变小，除了损耗，还有减慢，也就是波的相位变化。

### 5G 电磁波在真空中传播损耗已经很大了

传播损耗仅考虑由能量扩散引起的损耗，其大小只与电磁波本身的频率  $F$ ，传播的距离  $D$  有关。

电磁波在真空中传播的损耗公式： $L = 32.45 + 20\lg F(\text{MHz}) + 20\lg D(\text{km})$ ， $F$  为频率， $D$  为距离，由上式可见，真空中电波传播损耗（亦称衰减）只与工作频率  $f$  和传播距离  $d$  有关，当  $f$  或  $d$  增大一倍时， $L$  将分别增加 6dB。

$\text{dB} = 10\lg(A/B)$  是功率之比。 $\text{dB}$  越大，意味着距离  $A$  处的功率比  $B$  处的大得多， $A$  和  $B$  之间的距离  $d$  越大， $A$  到  $B$  之间的损耗越大。

反过来推断，无线传输损耗每增加 6dB，传送距离减小一倍。

5G 低频下，相比 4G 频率增加了约 1 倍，真空损耗增加了约 6dB，将导致传送距离减小一倍

5G 高频下，相比 4G 频率增加了约 10 倍，真空损耗相比 4G 增加了 20dB，将导致传送距离不到 4G 的 1/8

这还只是理想真空下，实际应用中传播损耗要比这大的多。

**那么玻璃、陶瓷对电磁波产生的介质损耗有多大呢？**

对于一般材料而言，介电性能可以用复介电常数 $\epsilon$ 表示， $\epsilon'$ 称为 $\epsilon$ 实部，表征了材料极化程度或储能容量； $\epsilon''$ 为 $\epsilon$ 虚部，表征了材料的极化损耗。

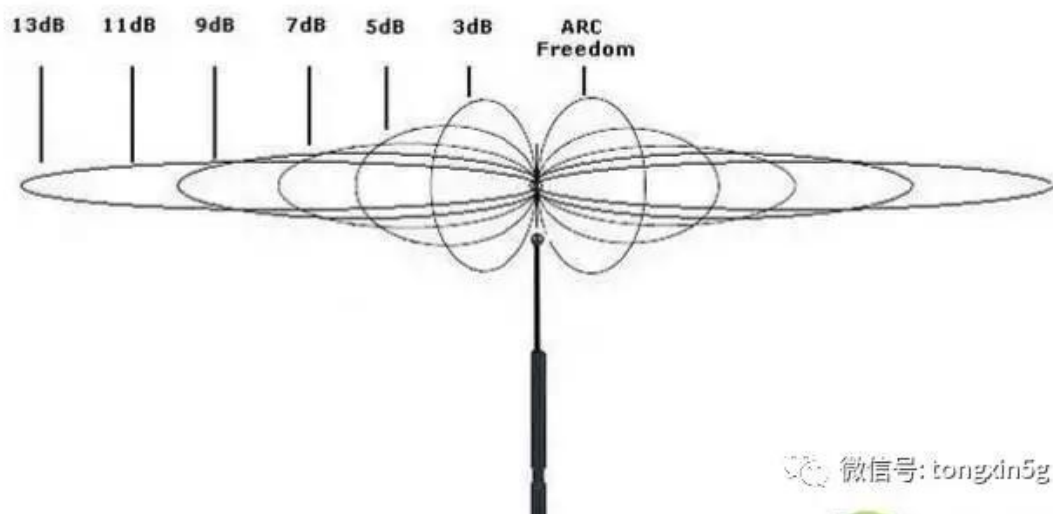
但实际应用当中，常常采用  $\tan\delta$ ，即复 $\epsilon$ 虚部和实部的比值来定量描述电介质的损耗。

5G 不管是低频还是高频，都会带来电磁损耗的提升，如果频率带来的大损耗都能解决，那么还会在意手机陶瓷玻璃后盖这点微小的影响么？

看问题，不应该抓小放大，反客为主，而应该从整体的角度思考，这样才能看到问题的本质。

**有损耗，也有方法增益！**

以上介绍的是最理想、没有使用其他技术的情况下电磁波传播带来的损耗，实际上，在天线发射端，通过对天线的设计如半波阵子、多个半波阵子并列等方法，可以实现对天线进行增益，就是增加其 dB 值的，所以，增益越大，传输的越远。我们常见的无线路由器天线增益一般为 3dB 和 5dB，一些主打穿墙能力突出的产品则采用了 7dBi 增益的无线天线。



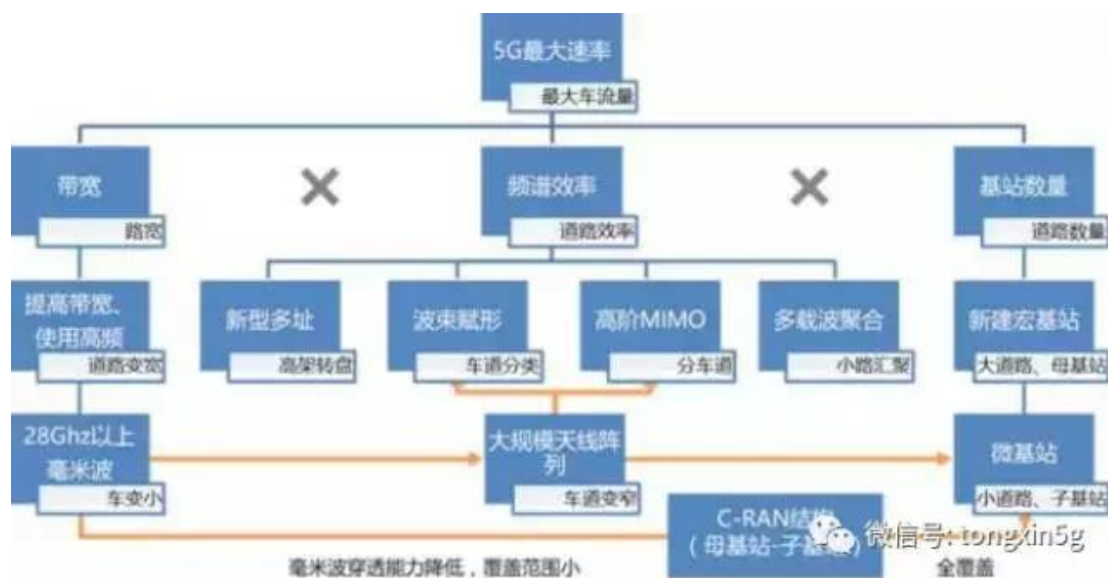
另外，之前提到的**波束成形技术**，是一种让无线路由器发射端根据接收端位置进行定向发射的技术，通过多条路径传输，在接收端采用一定的算法对多个天线收到的信号进行处理，明显改善接收端的信噪比，使得即使在接收端距离发射端较远的情况下，也能获得不错的信号强度。

从目前 5G 的进展来看，5G 低频的频率增加的幅度还好，传播损耗的问题也可以解决，而塑料陶瓷玻璃带来的损耗影响是不用考虑的，都可以使用。

5G 高频的频率增加一个数量级后，传播损耗骤增，这个问题才是首要的。

这个问题的解决，就不是说一个手机后盖是使用塑料还是玻璃或者陶瓷就能解决的，当然金属是不可能的。

而是需要各种 5G 技术比如增加带宽、新型多址、波束成形、载波聚合、高阶 MIMO、C-RAN 结构等技术来实现的，这些技术也都是经过多次论证而留下的主流技术方案。



### 最后总结一下：

- 1、5G 分为低频和高频，国内低频进展快
- 2、5G 低频对手机天线、后盖的影响都不大
- 3、5G 高频天线变化巨大，放在手机内部，则后盖最好用非金属
- 4、相比于频率提升带来的损耗而言，陶瓷玻璃等介质对电磁波的损耗非常小
- 5、5G 天线可提高增益以及采用波束成形等技术，解决损耗问题
- 6、5G 低频，塑料玻璃陶瓷后盖都可以用
- 7、5G 高频，传播损耗骤增需要多种 5G 技术解决，后盖材料问题不是主要考虑的因素。现有天线方案，塑料陶瓷玻璃要是能用都能用，不能用就都不能用，没有讨论的意义。
- 8、如果要用无线充电，手机后盖最好用非金属
- 9、陶瓷玻璃都可以应用于无线充电
- 10、陶瓷力学性能优异、手感好，未来有望成为主流方案之一



微信扫描以下二维码，免费加入【5G 俱乐部】，还赠送整套：5G 前沿、NB-IoT、4G+ (VoLTE) 资料。

