



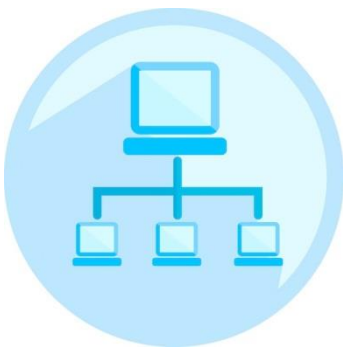
# 计算机网络



顾 军

计算机学院

[jgu@cumt.edu.cn](mailto:jgu@cumt.edu.cn)





## 专题2：信号如何在计算机网络中流动

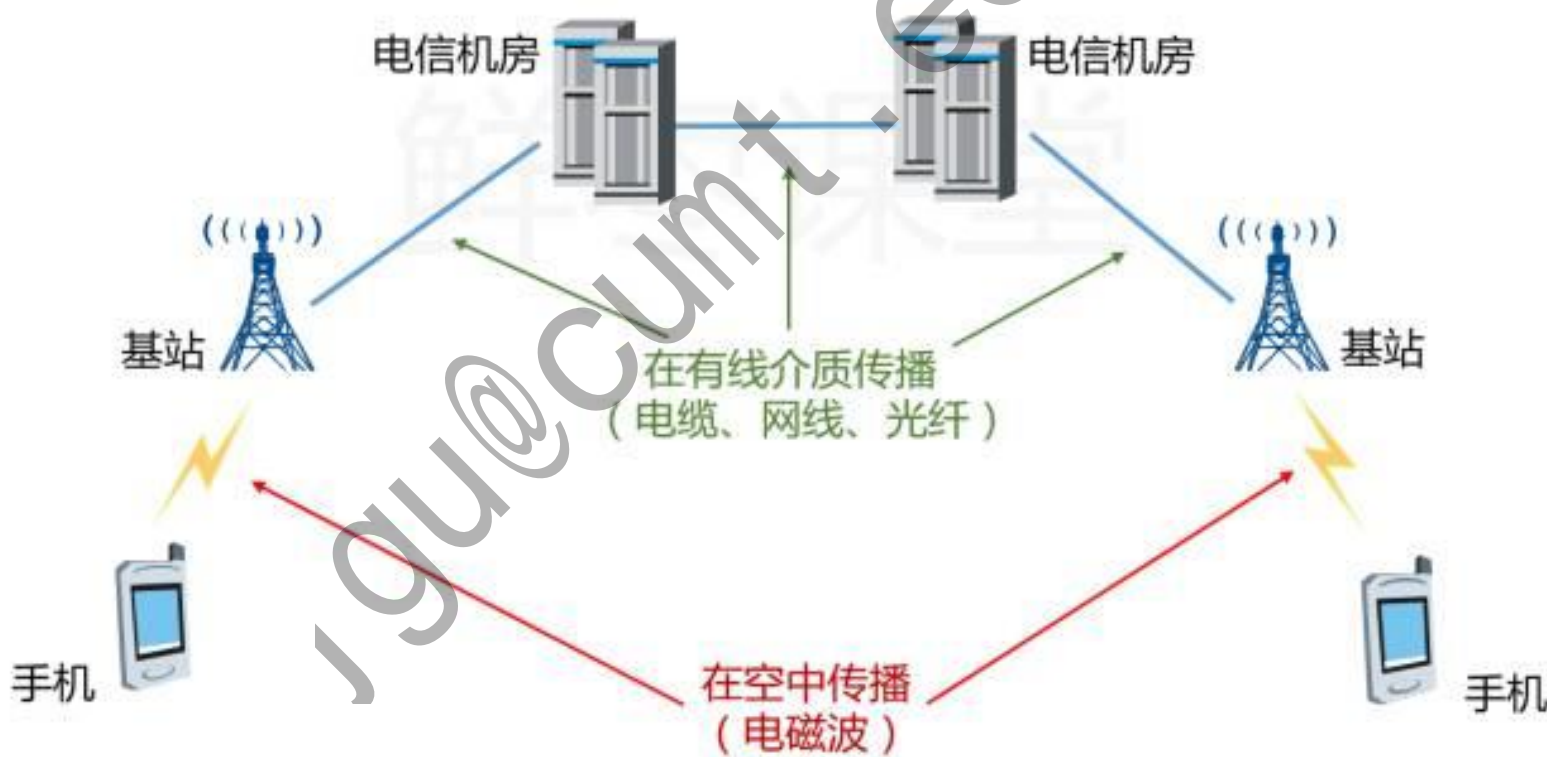


- 应用层(application layer)
- 运输层(transport layer)
- 网络层(network layer)
- 数据链路层(data link layer)
- 物理层(physical layer)



## Q12: 信号的传输媒体有哪些?

- 传输媒体也称为传输介质或传输媒介，它就是数据传输系统中在发送器和接收器之间的物理通路。





# 传输媒体的分类

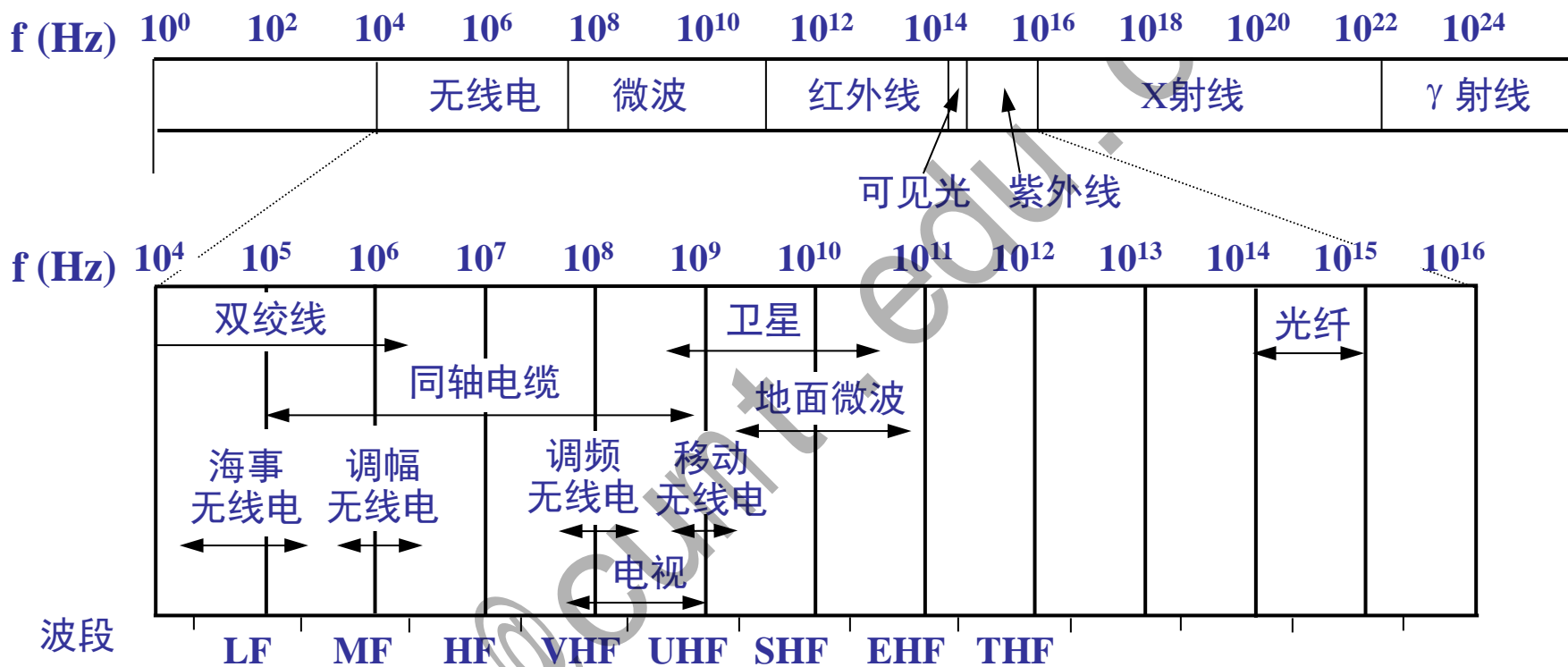
- 传输媒体可分为两大类，即导引型传输媒体和非导引型传输媒体。
- 在导引型传输媒体中，电磁波被导引沿着固体媒体（铜线或光纤）传播。
- 非导引型传输媒体就是指自由空间。在非导引型传输媒体中，电磁波的传输常称为无线传输。





# 电信领域使用的电磁波的频谱

(电磁波每秒钟变动的次数便是频率)



香农公式:

$$C = W \log_2 (1 + S / N)$$

传送速率与信道带宽成正比，载波频率越高，能容纳的信号带宽越大。





# 1. 导引型传输媒体

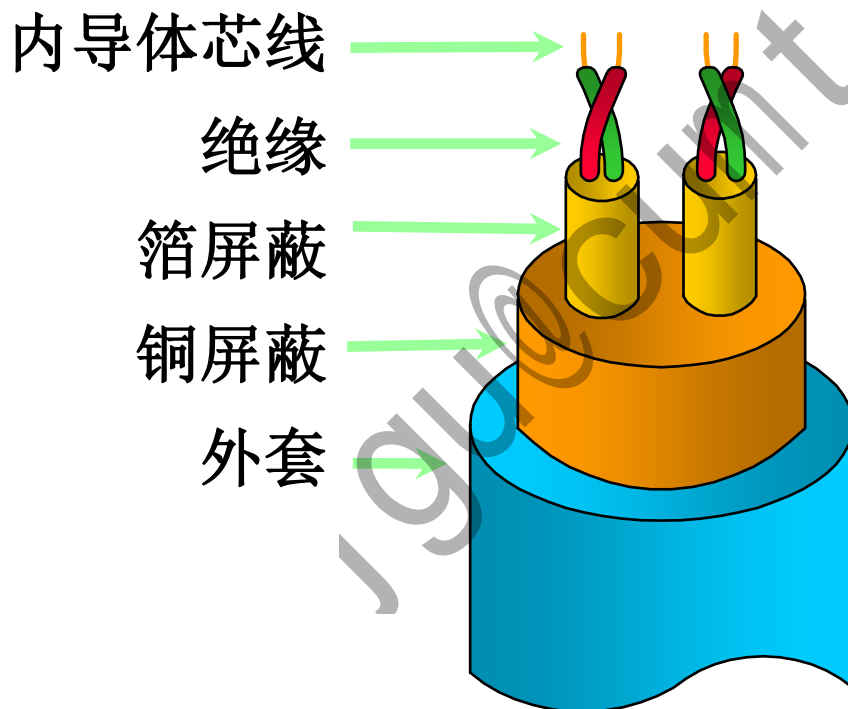
- 双绞线
  - 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair)
  - 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair)
- 同轴电缆
  - $50\ \Omega$  同轴电缆
  - $75\ \Omega$  同轴电缆
- 光缆





# 双绞线

- 双绞线由两根相互绝缘的导线组成，两根导线**绞合成匀称的螺旋状**，作为一条通信线路。
- 把一对或多对双绞线放在一个绝缘套管中便成了双绞线电缆。



--螺旋绞合的双导线， $\Phi \approx 1\text{mm}$

---典型连接距离**100m**（LAN）

--RJ45插座、插头

--优缺点：

成本低

密度高、节省空间

安装容易（综合布线系统）

平衡传输（高速率）

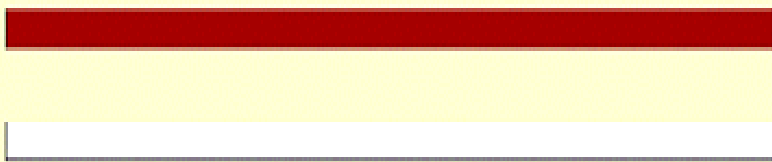
抗干扰性一般

连接距离较短

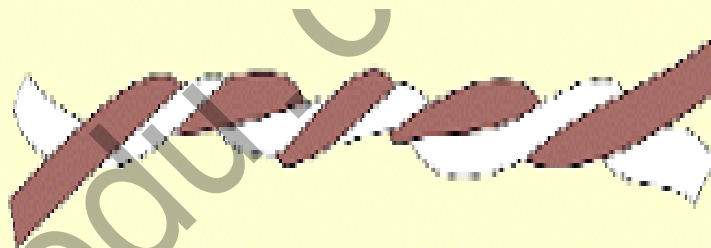




# 绞合的作用



一般的電線是兩條芯線互相平行



雙絞線獨特的對絞結構，兩條芯線必須相互旋轉、纏繞在一起

当网络线上通过的是 $>10\text{MHz}$ 的高频信号时，导线之间的绝缘线相当于一个介电板，它与导线所形成的电容对高频信号起旁路衰减作用（信号相位被滞后）。

越是传输高频网络信号，负面影响越是不能忽略。

将平行线对绞后，会在线对形成电容的同时形成一个串联的电感，使信号相位超前，能够抵消电容的对信号的衰减作用。

随着线对长度的增加，二者的作用都同等程度的增加，理想情况下信号就可以无衰减的在双绞线对上传输。





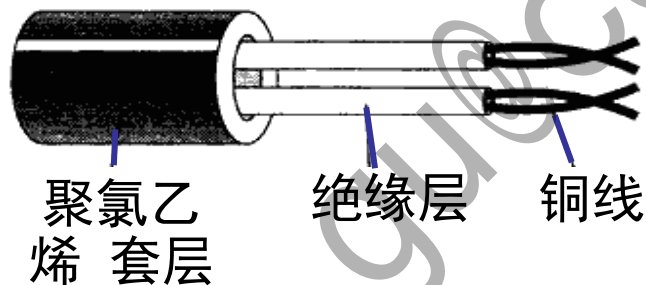


# 屏蔽的作用

## 非屏蔽双绞线 (UTP)

- 双绞线外没有任何金属屏蔽材料，只有一层绝缘胶片包裹，价格相对便宜，组网灵活，更易于安装。

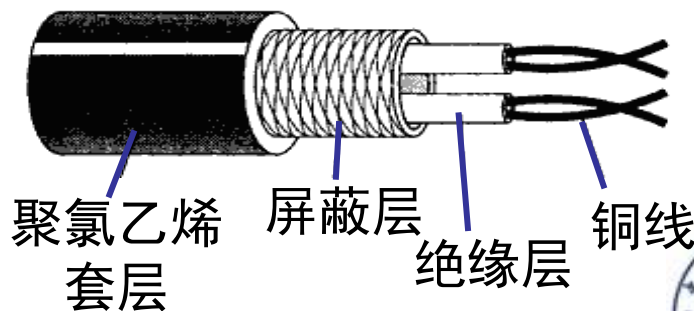
- 3类、5类、6类、7类  
(16MHz、100M、250M、600M)



现在相对流行的是非屏蔽双绞线UTP

## 屏蔽双绞线 (STP)

- 以铝箔屏蔽以减少干扰和串音；
- 安装时，屏蔽层必须接地，在实际施工时，很难全部完美接地，从而使屏蔽层本身成为最大的干扰源，导致性能甚至远不如非屏蔽双绞线。





# 双绞线的选择

三类双绞线



五类双绞线



- ▶ 三类、五类、超五类线外观上类似，其内部有以下区别：
  - ✓ 信号线的绝缘材料不同，线越好，它的介电常数就应该越小，从而使形成的电容越小；
  - ✓ 线对的绕度可能不同（根据绝缘材料介电常数确定）。
- ▶ 此外，越软的线品质越好
  - ✓ 一是表明该线的导线含铜量很高（因为纯铜很软），直流损耗就会很小；
  - ✓ 二是表明该导线可能是多股线而不是单股线，因为多股线对高频信号传递能力强一些。





# 常用的绞合线的类别、带宽和典型应用

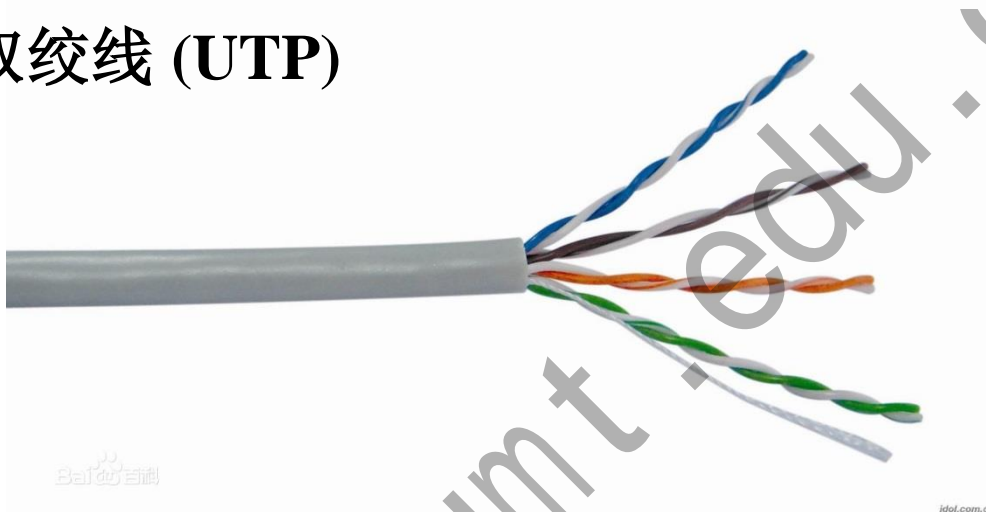
绞合线类别	带宽	线缆特点	典型应用
3	16 MHz	2对4芯双绞线	模拟电话；曾用于传统以太网（10 Mbit/s）
4	20 MHz	4对8芯双绞线	曾用于令牌局域网
5	100 MHz	与4类相比增加了绞合度	传输速率不超过100 Mbit/s的应用
5E（超5类）	125 MHz	与5类相比衰减更小	传输速率不超过1 Gbit/s的应用
6	250 MHz	与5类相比改善了串扰等性能	传输速率高于1 Gbit/s的应用
7	600 MHz	使用屏蔽双绞线	传输速率高于10 Gbit/s的应用





# 局域网双绞线

非屏蔽双绞线 (UTP)



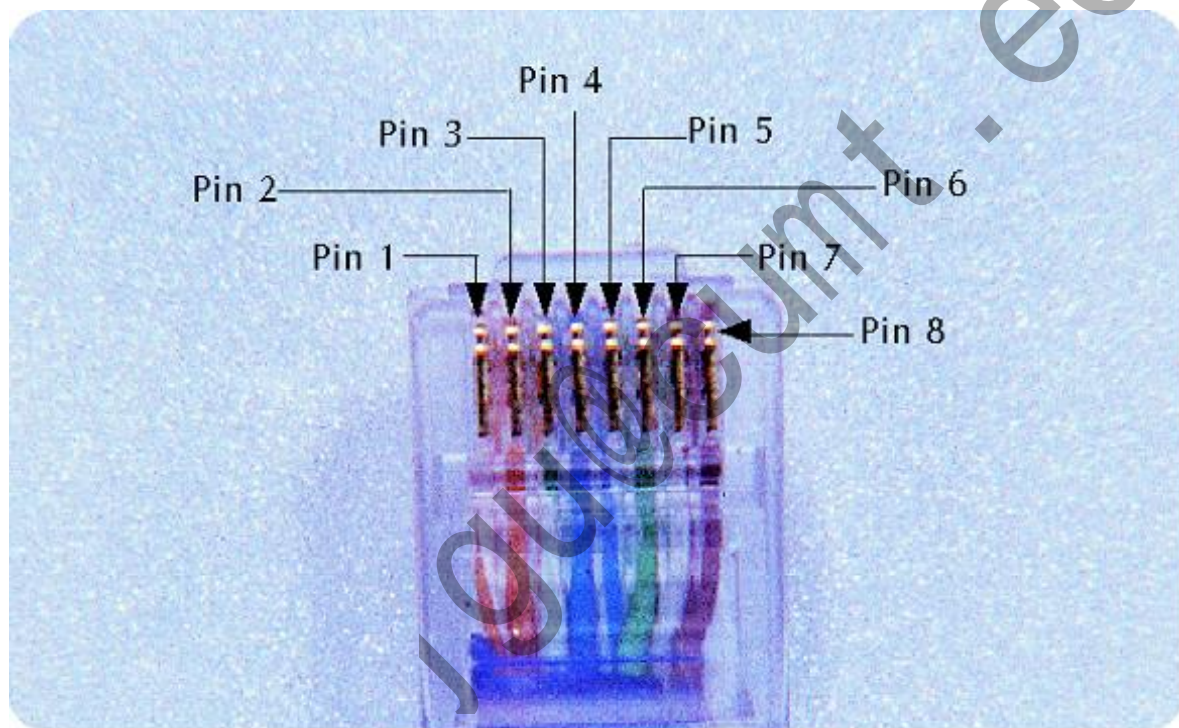
屏蔽双绞线 (STP)





# 双绞线的结构化布线

- ❑ RJ45水晶头由金属片和塑料构成，制作网线所需要的RJ-45水晶接头前端有8个凹槽，简称“8P”（Position，位置）。



- ❑ 当金属片面对我们的时候从左至右引脚序号是1~8。



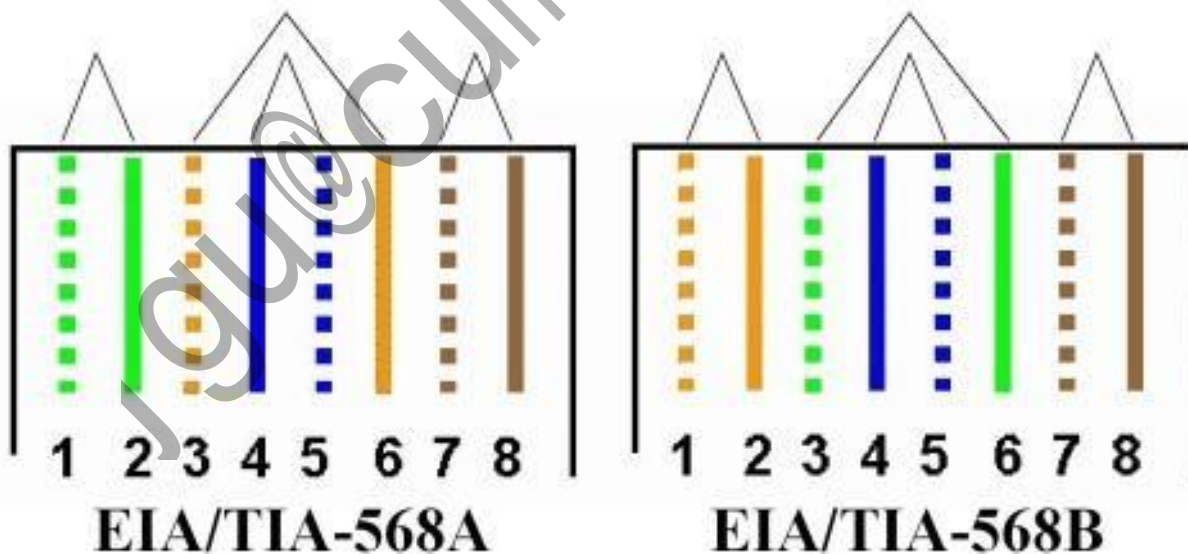




# EIA/TIA-568双绞线布线标准

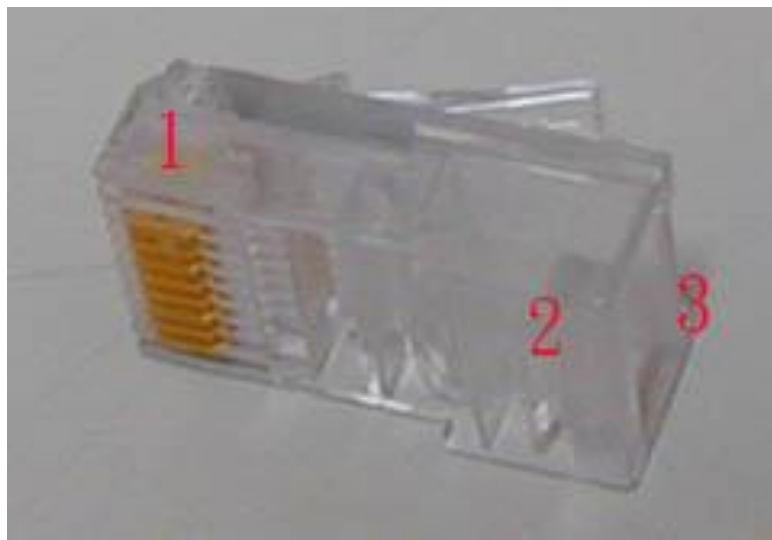
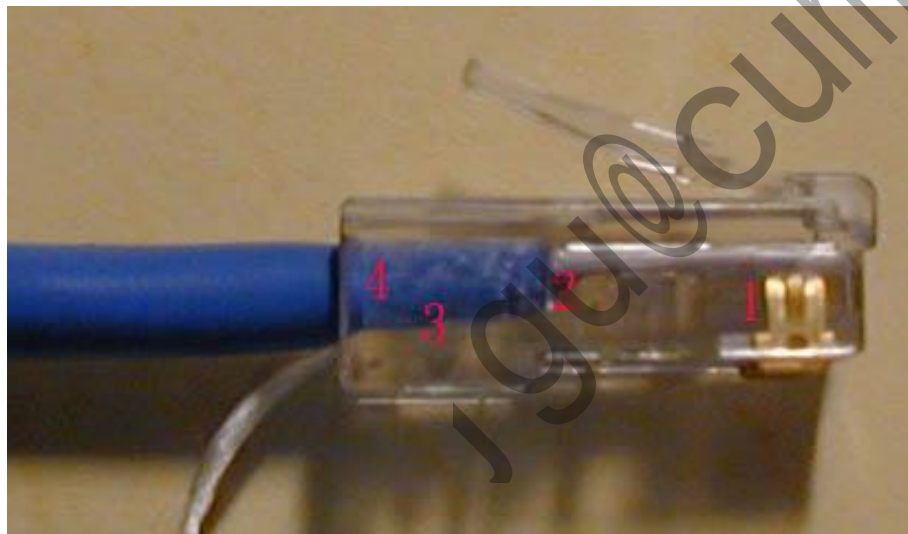
- 国际通用的双绞线制作标准有两种，即EIA/TIA568A和EIA/TIA568B，对应RJ-45插头的1~8脚的排线顺序分别为：

- ◆ T568A：绿白、绿、橙白、蓝、蓝白、橙、棕白、棕
- ◆ T568B：橙白、橙、绿白、蓝、蓝白、绿、棕白、棕



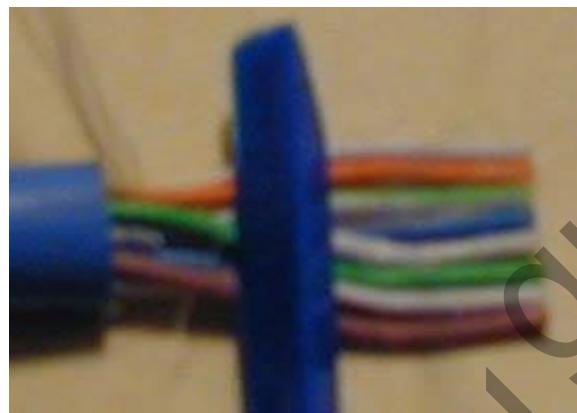
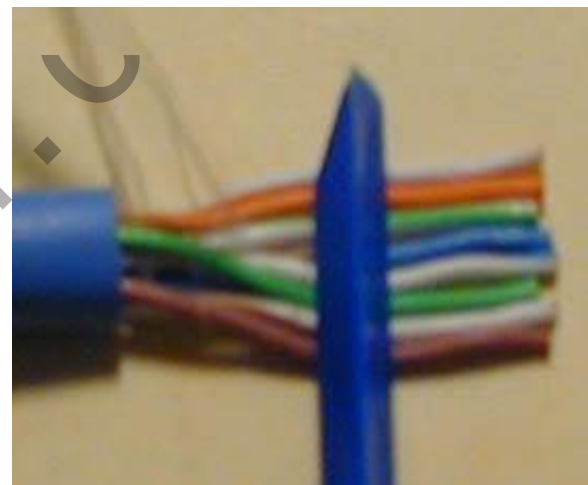
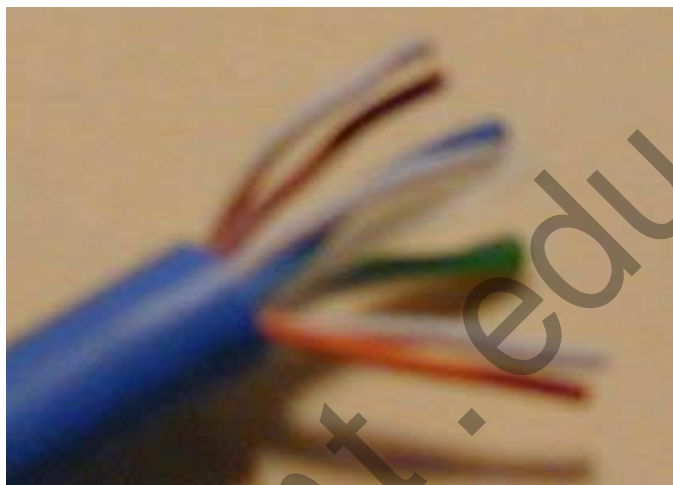


# RJ-45接头





# 在双绞线上安装RJ-45接头







# 双绞线的制作

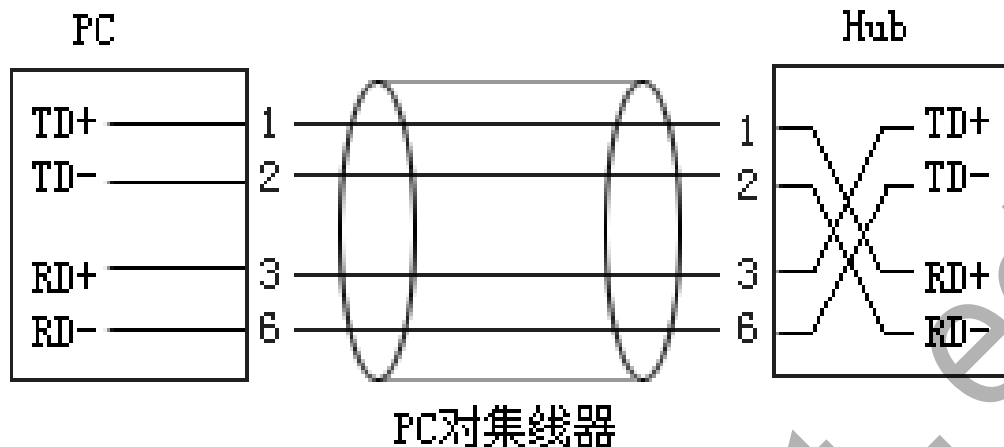
- 根据双绞线两端所遵循的制作标准，可以把双绞线分为直通线和交叉线。
  - 直通线的两端同时按照T568A或T568B的标准制作而成；
  - 交叉线的一端按照T568A的标准制作，而另一端则按照T568B的标准制作。

类型	标准	RJ-45 甲	RJ-45 乙
直通线	T568A	绿白、绿、橙白、蓝、蓝白、橙、棕白、棕	绿白、绿、橙白、蓝、蓝白、橙、棕白、棕
	T568B	橙白、橙、绿白、蓝、蓝白、绿、棕白、棕	橙白、橙、绿白、蓝、蓝白、绿、棕白、棕
交叉线		橙白、橙、绿白、蓝、蓝白、绿、棕白、棕	绿白、绿、橙白、蓝、蓝白、橙、棕白、棕

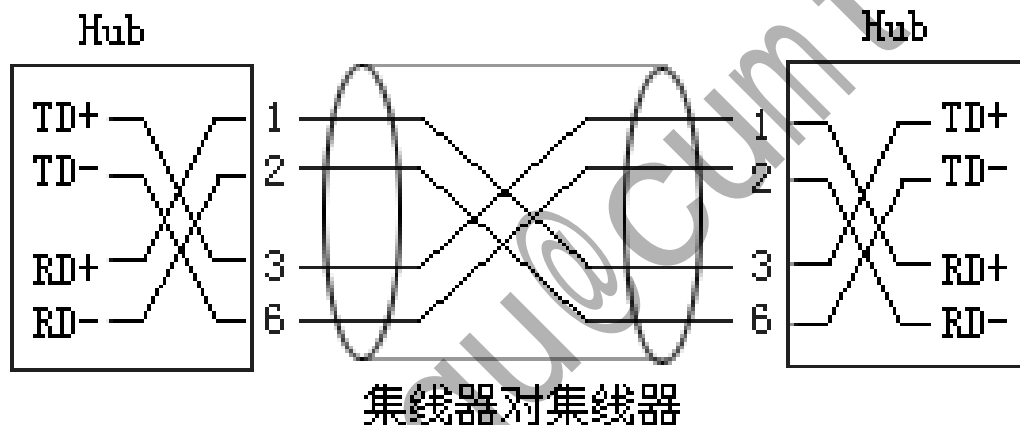




# 双绞线的连接



异类设备直连(straight through), 比如交换机(或Hub)和电脑, 路由器和交换机(或Hub)



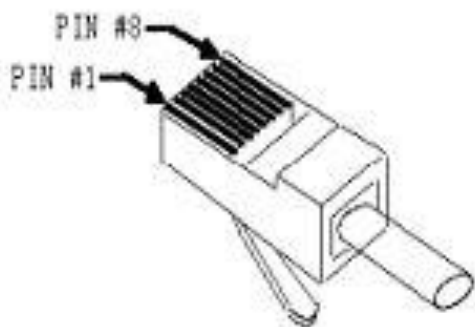
同类设备交叉连接(cross-over), 比如电脑和电脑, 交换机交换机, 路由器和路由器。因为同种设备的接口的信号引脚是相同的, 所以需要使用交叉线进行交换。

**注意:** 现在很多交换机可以自动识别网线, 所以两种都可以正常使用。而路由器互联多数情况下会用广域网链路。





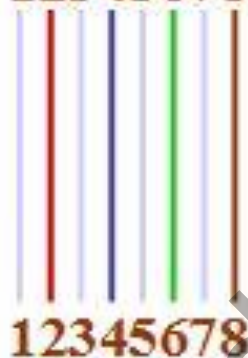
直连网线



交叉网线



Side 1  
12345678



Side 2

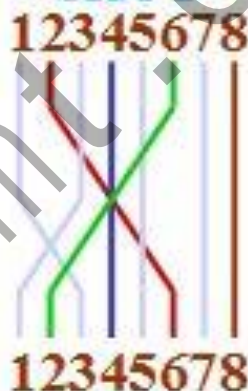
Side 1

- 1=白/橙
- 2=橙
- 3=白/绿
- 4=蓝
- 5=白/蓝
- 6=绿
- 7=白/棕
- 8=棕

Side 2

- 1=白/橙
- 2=橙
- 3=白/绿
- 4=蓝
- 5=白/蓝
- 6=绿
- 7=白/棕
- 8=棕

Side 1



Side 2

Side 1

- 1=白/橙
- 2=橙
- 3=白/绿
- 4=蓝
- 5=白/蓝
- 6=绿
- 7=白/棕
- 8=棕

Side 2

- 1=白/绿
- 2=绿
- 3=白/橙
- 4=蓝
- 5=白/蓝
- 6=橙
- 7=白/棕
- 8=棕

实际应用中，大多数都使用**T568B**的标准，通常认为该标准对电磁干扰的屏蔽更好。





# 双绞线的优缺点

- 价格便宜
- 便于布线
- 耐用性差
- 易受电磁干扰

对传送数据来说，现在最常用的 UTP 是5类线（Category 5 或 CAT5）。





# 同轴电缆

- 同轴电缆

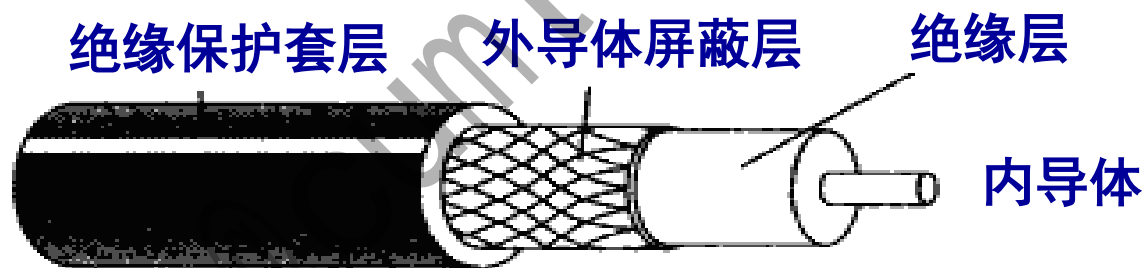
- 同轴电缆具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。
- 同轴电缆的带宽取决于电缆的质量。
- 50  $\Omega$  同轴电缆 —— LAN / 数字传输常用
- 75  $\Omega$  同轴电缆 —— 有线电视 / 模拟传输常用





# 同轴电缆的结构

- ◆ 物理特性：由内导体铜质芯线（单股实心线或多股绞合线）、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层（也可以是箔状）以及绝缘保护外层所组成。



同轴电缆的结构





- 同轴电缆（Coaxial Cable）
  - 粗缆



AUI接口



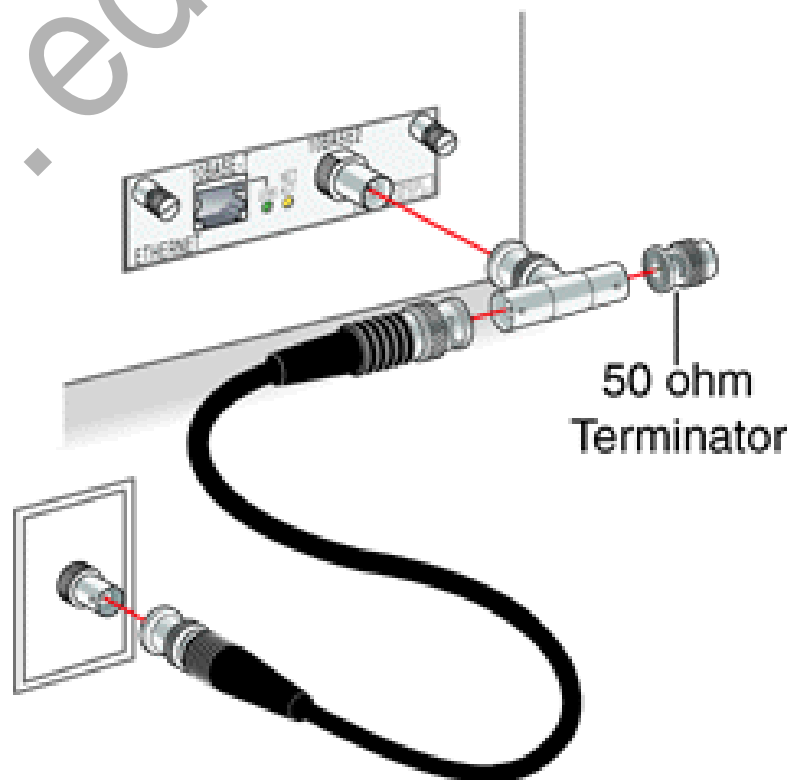




- 同轴电缆（Coaxial Cable）
  - 细缆



BNC接口







50 SIGNAL RG-58A/U 50Ω U.S. CABLE

細同軸電纜

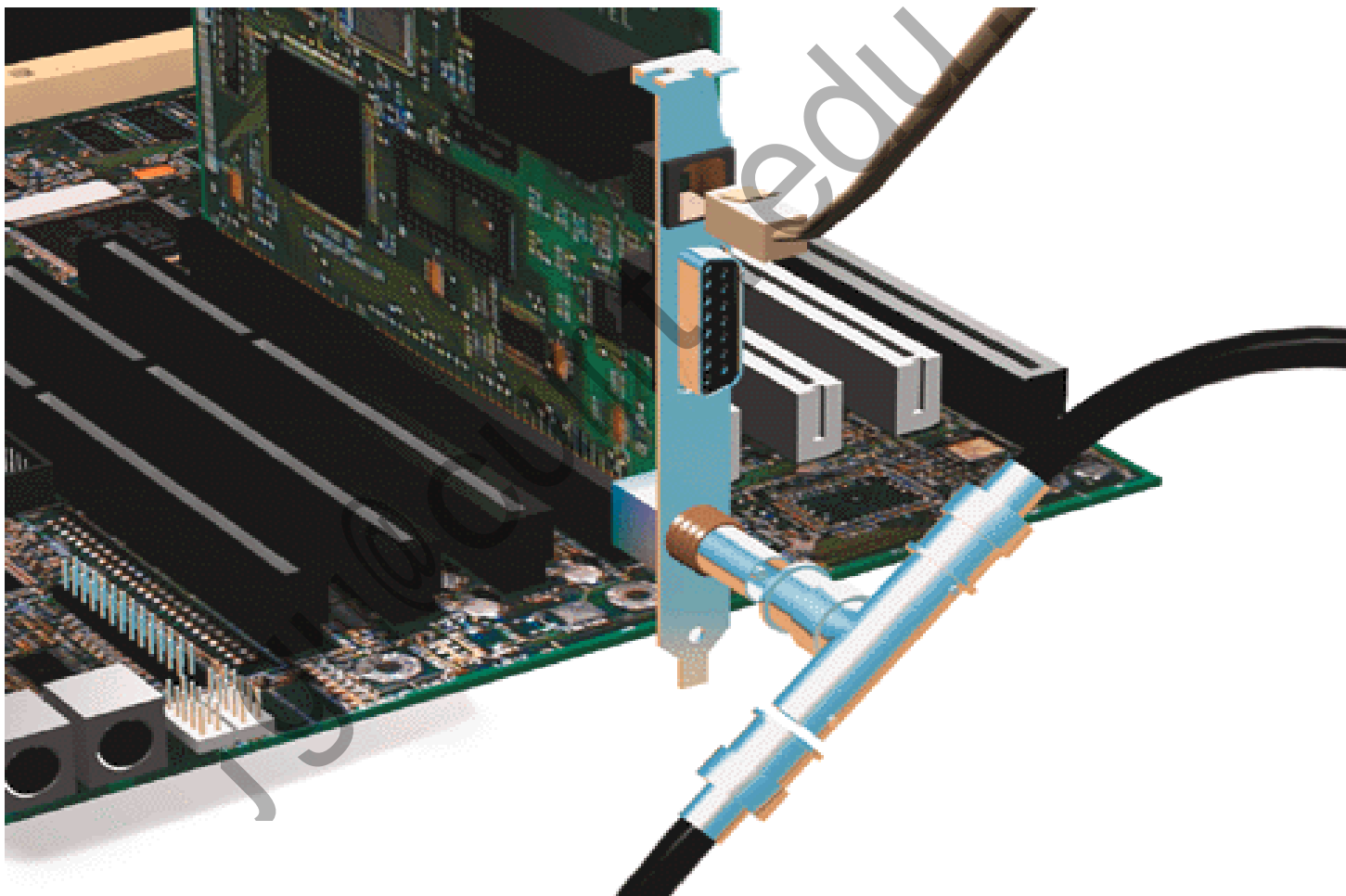
5 FT4 EIA/TIA TSB-36 (UTP CATEGORY 5

雙絞線



常用的三種電纜線

粗同軸電纜





# 同轴电缆的优缺点

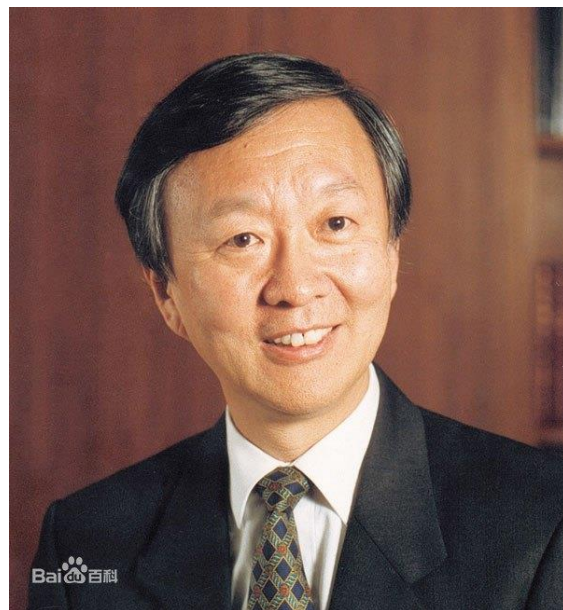
- 抗干扰能力强
- 价格贵，很重，无法结构化布线





# 光纤

- 光纤是光导纤维的简写，是一种由玻璃或塑料制成的纤维，可作为光传导工具。
- 传输原理是“光的全反射”。
- 前香港中文大学校长高锟和George A. Hockham首先提出光纤可以用于通讯传输的设想，高锟因此获得2009年诺贝尔物理学奖。
- 有“光纤之父”之称





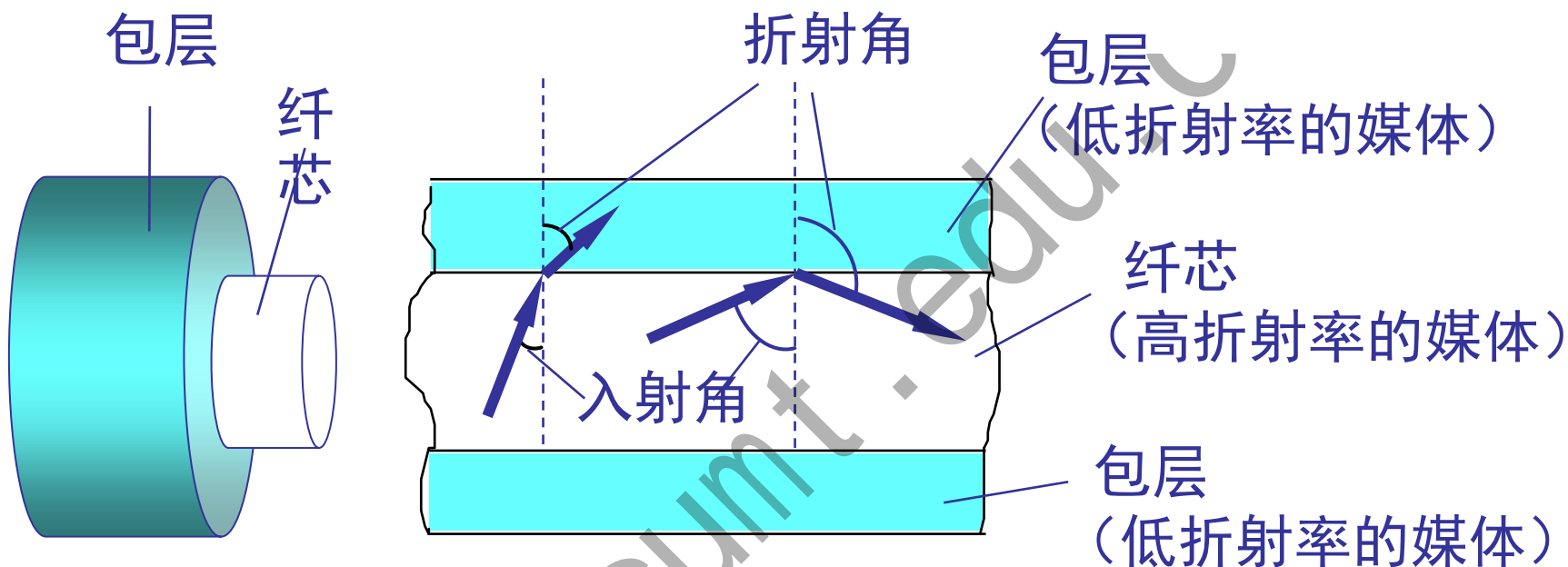
# 光纤通信

- 光纤通信就是利用光导纤维传递**光脉冲**来进行通信。
  - 有光脉冲相当于1，而没有光脉冲相当于0
- 由于可见光的频率非常高，约为  $10^8$  MHz 的量级，因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽。
- 发送端可以采用发光二极管或半导体激光器作为光源，它们在电脉冲的作用下能产生出光脉冲，在接收端利用光电二极管做出光检测器，在检测到光脉冲时可还原出电脉冲。





# 光线在光纤中的折射



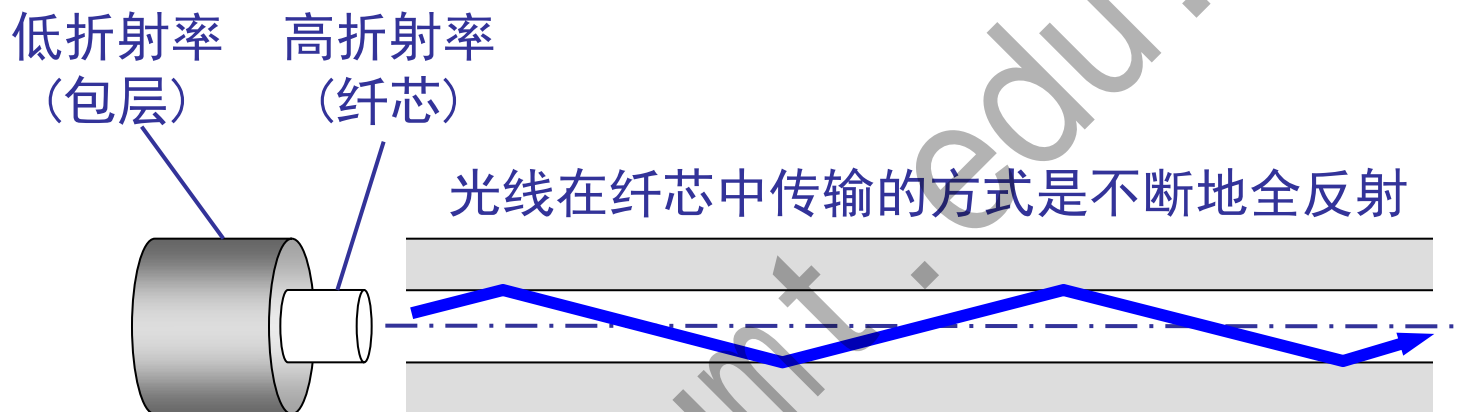
## 光线在光纤中的折射

当光线从高折射率的媒体射向低折射率的媒体时，其折射角将大于入射角。因此，如果入射角足够大，就会出现全反射，光也就沿着光纤传输下去。





# 光纤的工作原理



## 光波在纤芯中的传播

只要从纤芯中射到纤芯表面的光线的入射角大于某个临界角度，就可产生全反射。







# 多模光纤与单模光纤

- 多模光纤

只要从纤芯中射到纤芯表面的光纤的入射角大于某一个临界角度，就可产生全反射。

因此，可以存在多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输。这种光纤称为多模光纤。

- 单模光纤

若光纤的直径减小到只有一个光的波长，则光纤就像一根波导那样，它可使光线一直向前传播，而不会产生多次反射。这样的光纤称为单模光纤。



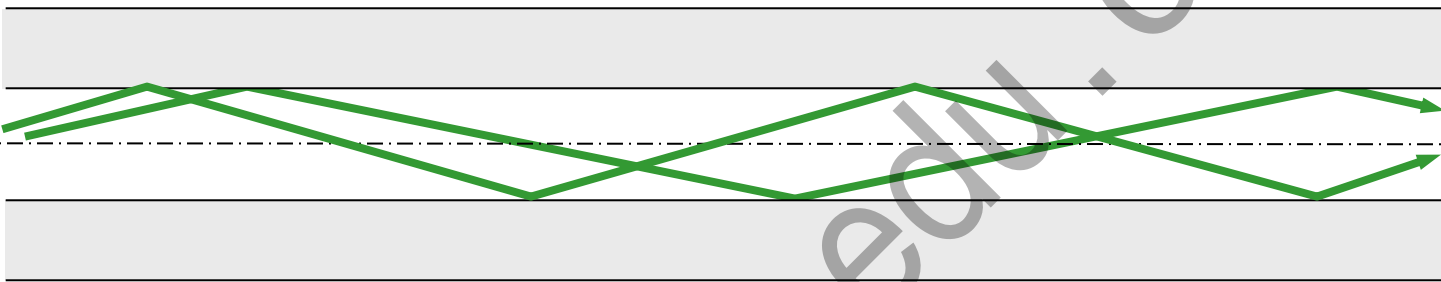
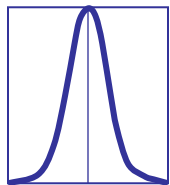




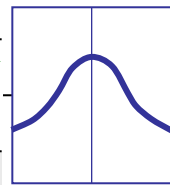
# 多模光纤与单模光纤

## 多模光纤

输入脉冲



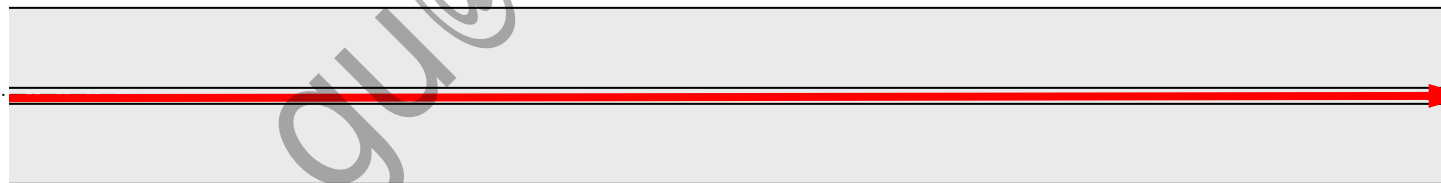
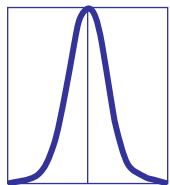
输出脉冲



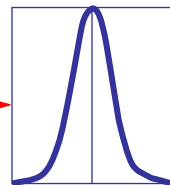
- 光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽，造成失真，因此只适合于近距离传输。

## 单模光纤

输入脉冲



输出脉冲



- 单模光纤的纤芯很细，制造成本较高，光源要使用昂贵的半导体激光器，但损耗较小，可长距离传输。





# 光纤通信中使用的光波的波段

- 常用的三个波段的中心分别位于 850 nm, 1300 nm 和 1550 nm。
  - 850 nm波段的衰减较大，后两者较小。
- 所有这三个波段都具有 25000~30000 GHz 的带宽，可见光纤的通信容量非常大。

$$c = \lambda \nu$$

↑  
↑  
↑  
波长 频率

c是光速，是固定值  
真空中，光速理论值是每秒30万公里





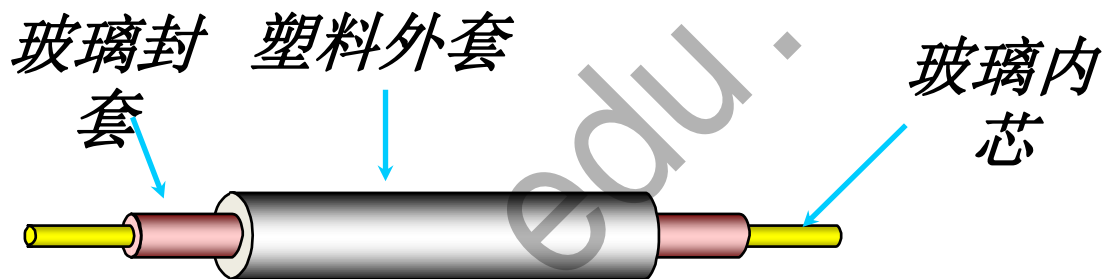
# 光纤优点

- (1) 通信容量非常大。
  - 一根光纤的潜在带宽可达**20THz**。采用这样的带宽，只需一秒钟左右，即可将人类古今中外全部文字资料传送完毕。
  - **400Gbit/s**系统已经投入商业使用。
- (2) 传输损耗小，中继距离长。
  - 光纤的损耗极低，在光波长为**1.55 $\mu$ m**附近，石英光纤损耗可低于**0.2dB/km**，这比任何传输媒质的损耗都低。因此，无中继传输距离可达几十、甚至上百公里。
- (3) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (4) 无串音干扰，保密性好。
- (5) 体积小，重量轻。

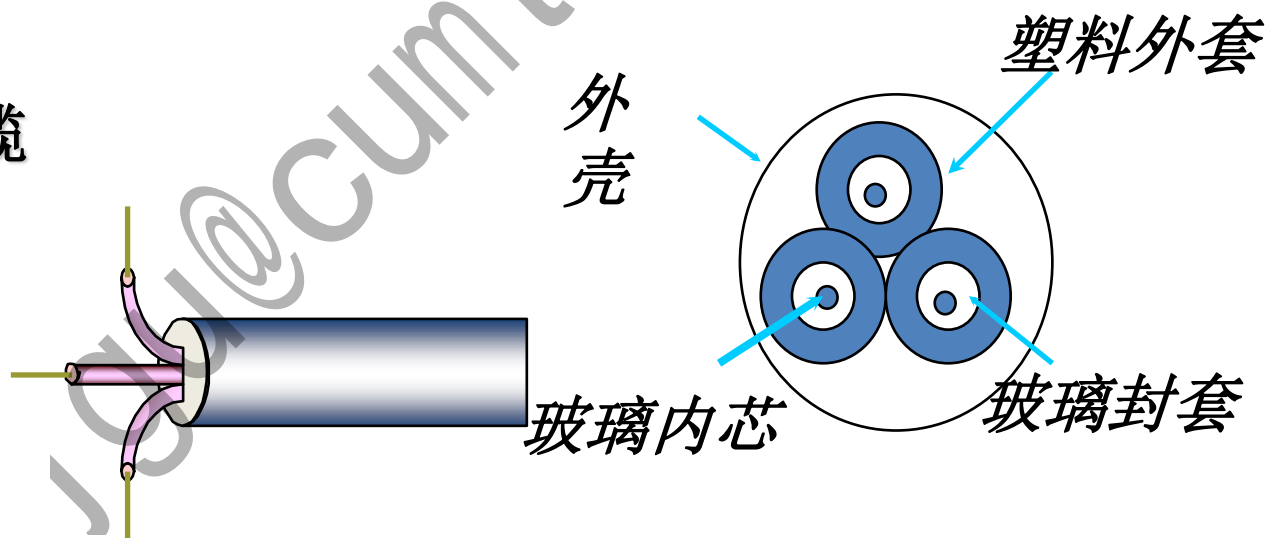


# 光缆

单芯光缆



多芯光缆





# 单芯光缆



光源:

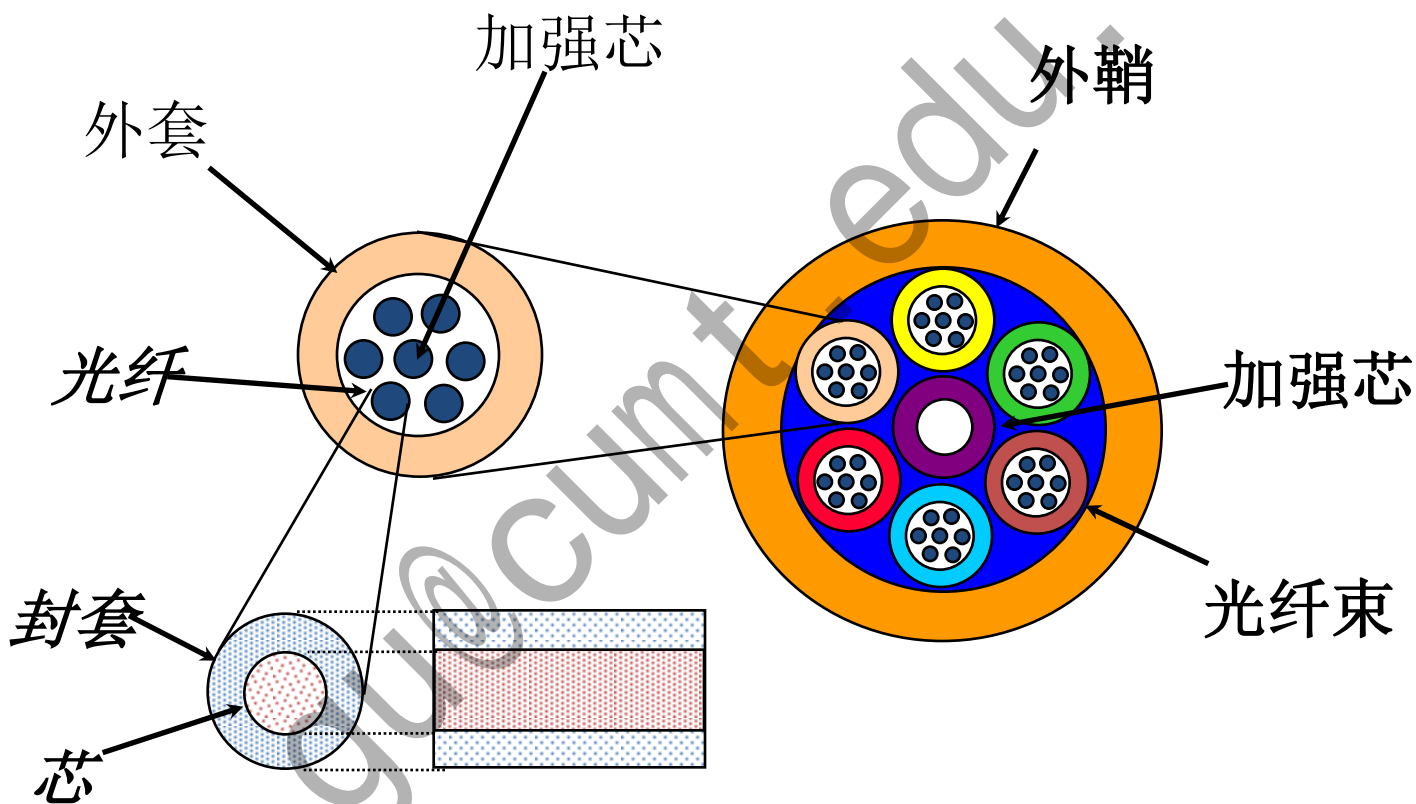
**850nm/1300nm/1500nm**

发光二极管 / 激光二极管





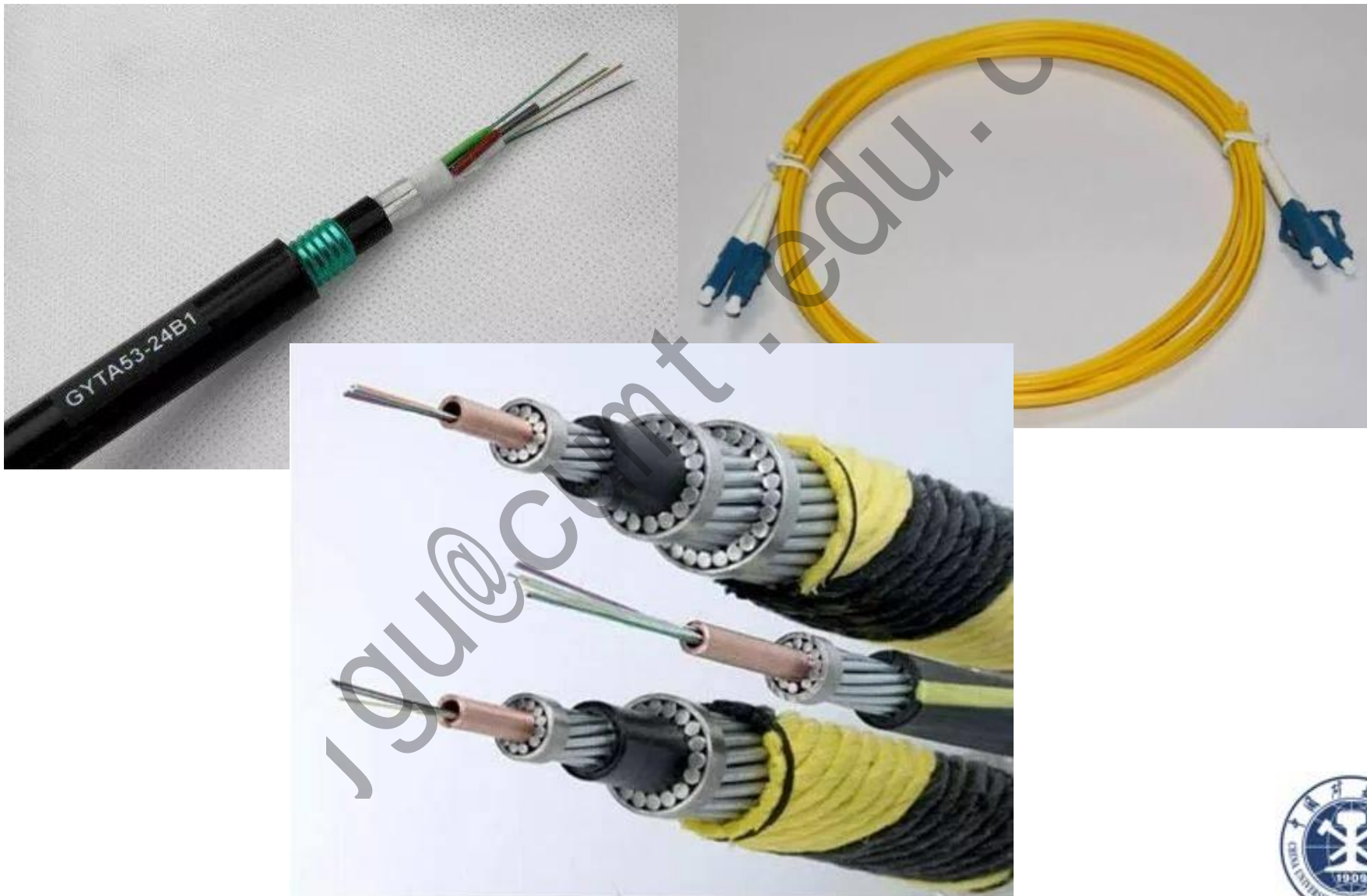
# 多芯光缆剖面结构







# 陆地光缆 vs. 海底光缆

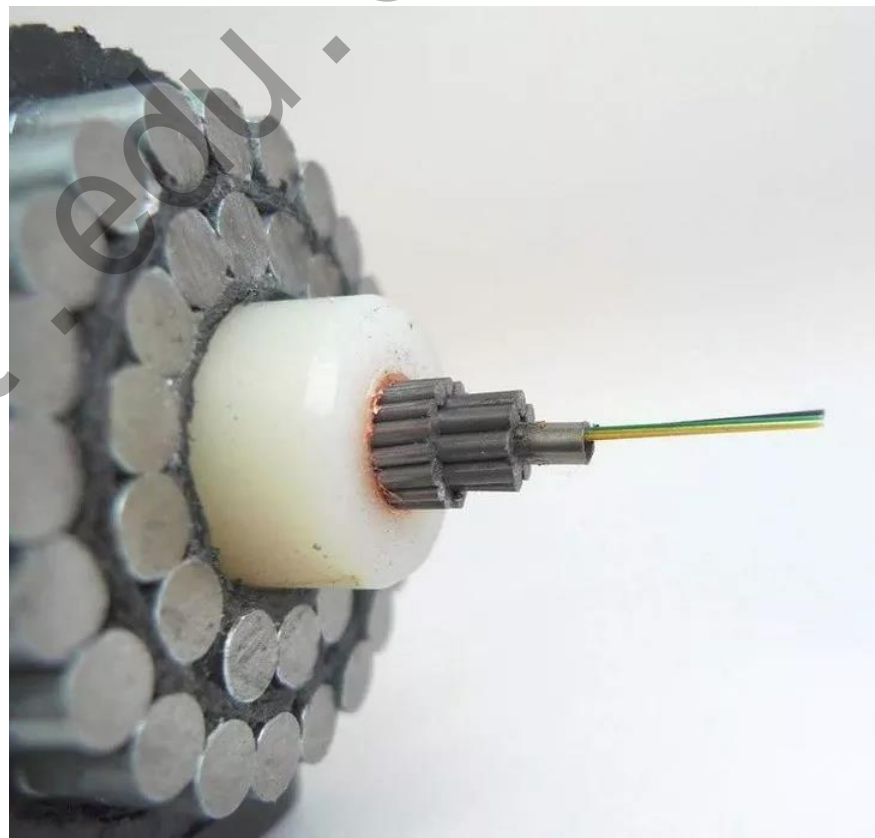




# 海底光缆



海底光缆，看上去有点像  
输油管道



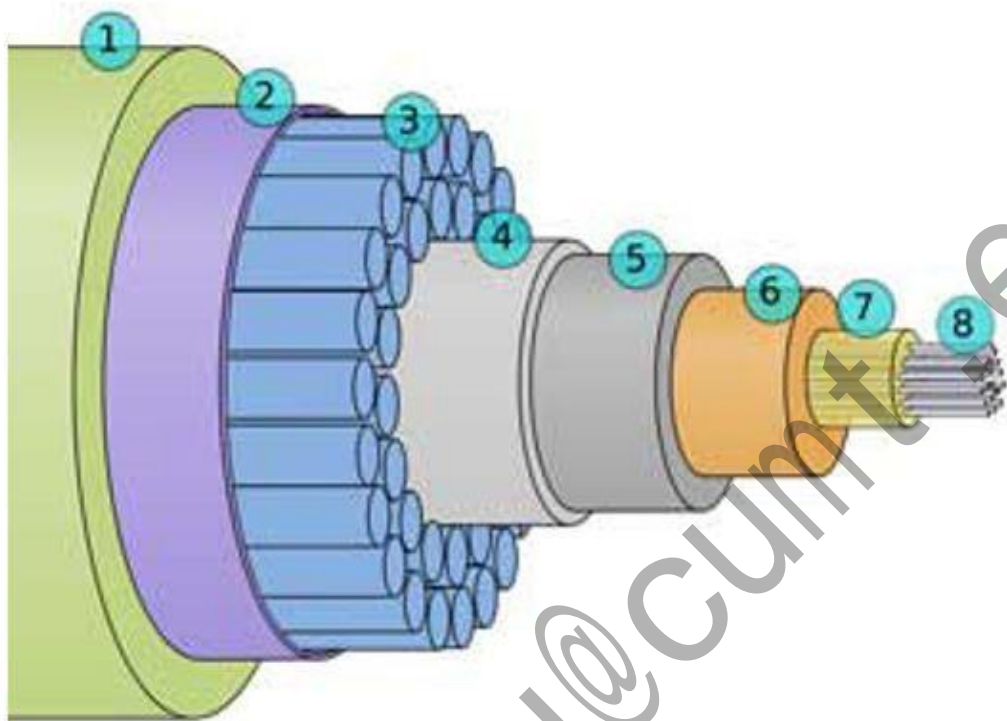
横跨大西洋的光纤电缆横截面，  
中间是头发丝大小的纤芯







# 典型海底光缆的结构解析



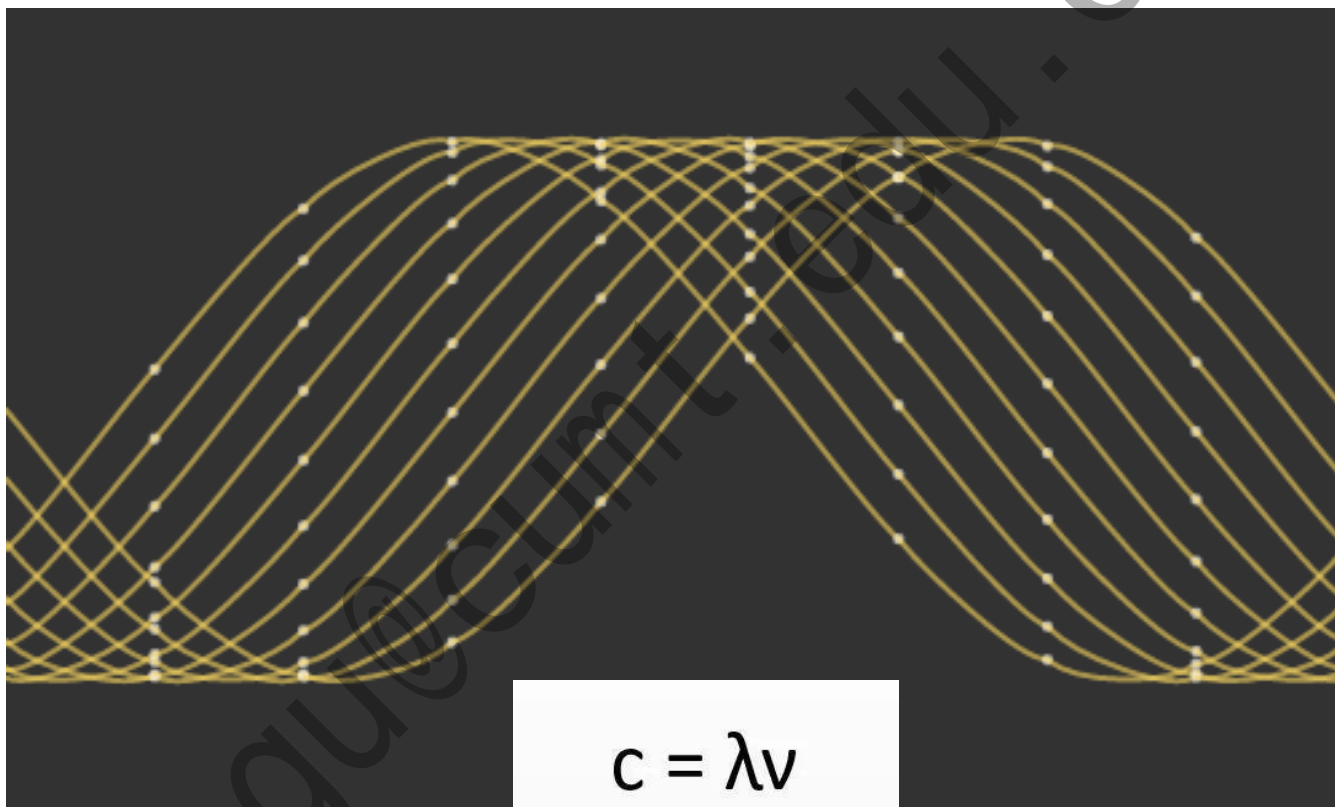
- 1: 聚乙烯层
- 2: 聚酯树脂或沥青层
- 3: 钢绞线层
- 4: 铝制防水层
- 5: 聚碳酸酯层
- 6: 铜管或铝管
- 7: 石蜡, 烷烃层
- 8: 光纤束





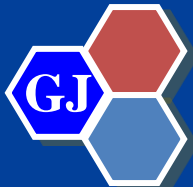
## 2. 非导引型传输媒体

### 电磁波 (Electromagnetic Wave)



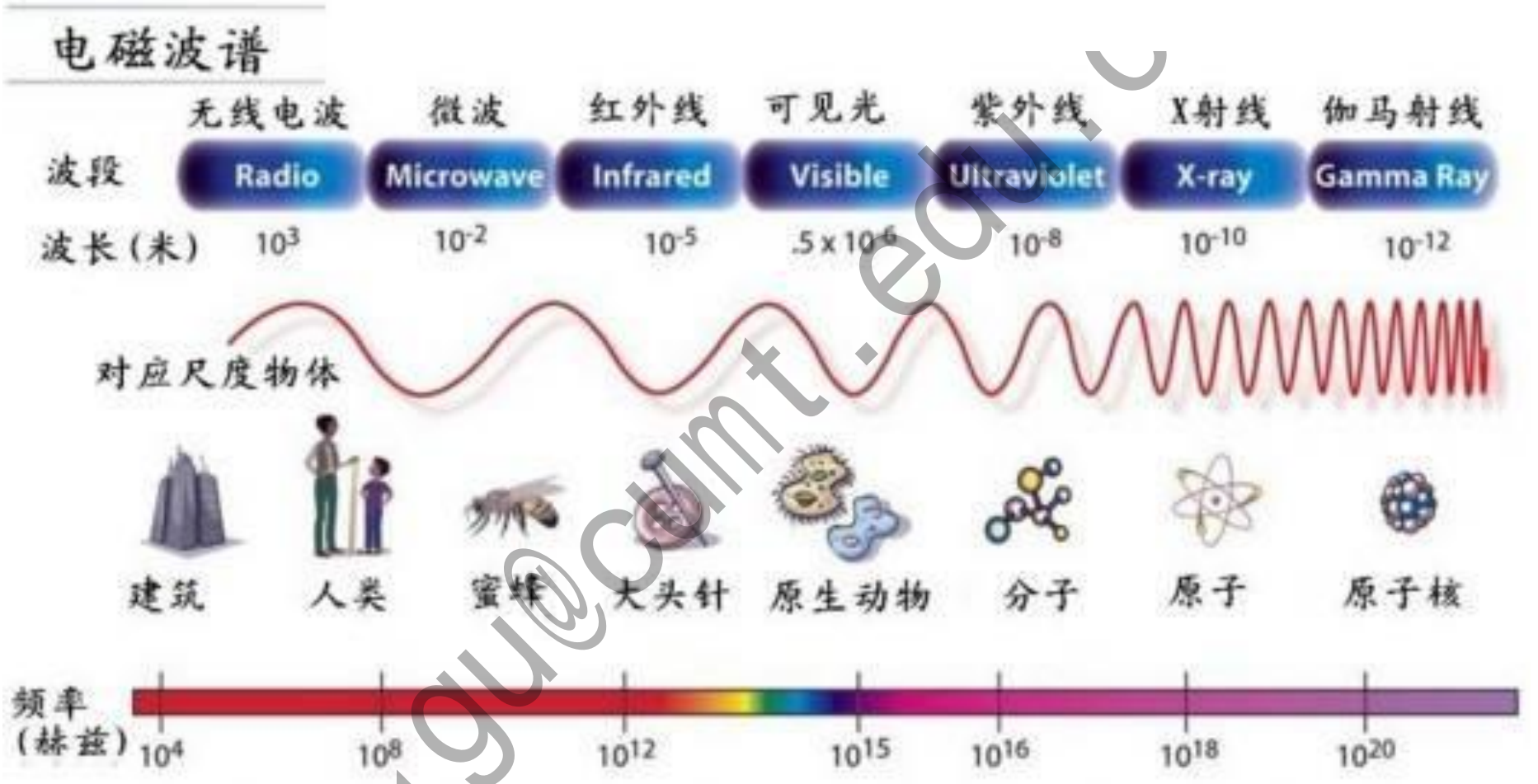
频率越高，对应着电磁波的波长越短，能量越高，衰减越快，穿透性越差，散射越少，对人体伤害越大

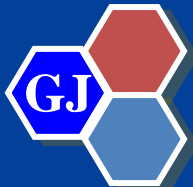




# 电磁波的频谱

(电磁波每秒钟变动的次数便是频率)





# 通信电磁波的分类和用途

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
特高频	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
超高频	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; 移动通信; 卫星通信; 国际海事卫星通信
极高频	EHF	30-300GHz	毫米波	10mm-1mm	再入大气层时的通信; 波导通信

GSM900 CDMA800

4G LTE

5G





# 通讯领域中的频段是电磁波的频率范围

- 甚低频 (VLF) 3 kHz~30 kHz, 波长为甚长波100 km~10 km。
- 低频 (LF) 30 kHz ~300 kHz, 波长为长波10 km~1 km。
- 中频 (MF) 300 kHz~3000 kHz, 波长为中波1000 m~100 m。
- 高频 (HF) 3 MHz~30 MHz, 波长为短波100 m~10 m。
- 甚高频 (VHF) 30 MHz~300 MHz, 波长为米波10 m~1 m。
- 特高频 (UHF) 300 MHz~3000 MHz, 波长为分米波100cm~10 cm。
- 超高频 (SHF) 3 GHz~30 GHz, 波长为厘米波10 cm~1 cm。
- 极高频 (EHF) 30 GHz~300 GHz, 波长为毫米波10 mm~1 mm。
- 至高频 (THF) 300 GHz~3000 GHz, 波长为丝米波1 mm~0.1 mm。







# 长波通信 (Long-wave Communication)

- 长波台指从300千赫兹至30千赫兹，波长为1000米~10000米的无线电波电台。
- 长波具有穿透岩石和土壤的能力，也用于地下通信，在频段低端（30~60kHz），电磁波能穿透一定深度的海水，可以用于对水下舰艇的通信，如对潜艇的通信和远洋航行的舰艇通信等；但因频带窄，只能通电报或低速数据。







# 甚长波 (Very Long-wave)

- 甚长波的波长比长波更长，传播衰减更小，在远距离通信时主要靠大地与低电离层间形成的波导进行传播，距离可达数千公里乃至覆盖全球。
- 甚长波穿透海水能力较强，适用于对水下舰艇的远距离通信、海面舰艇的通信、以及时间和频率标准的广播。





# 中波通信 (Medium-wave Communication)

- 中波是指频率为300KHz—3MHz，相应波长为1km—100m范围内的电磁波。
- 中波能以表面波或天波的形式传播，这一点和长波一样。
  - ✓ 但长波穿入电离层极浅，在电离层的下界面即能反射。
  - ✓ 中波较长波频率高，故需要在比较深入的电离层处才能发生反射。
- 波长在3000—2000米的无线电通信，用无线或表面波传播，接收场强都很稳定，可用以完成可靠的通信，如船舶通信与导航等。
- 波长在2000—200m的中短波主要用于广播，故此波段又称广播波段。





# 短波通信 (Shortwave Communication)

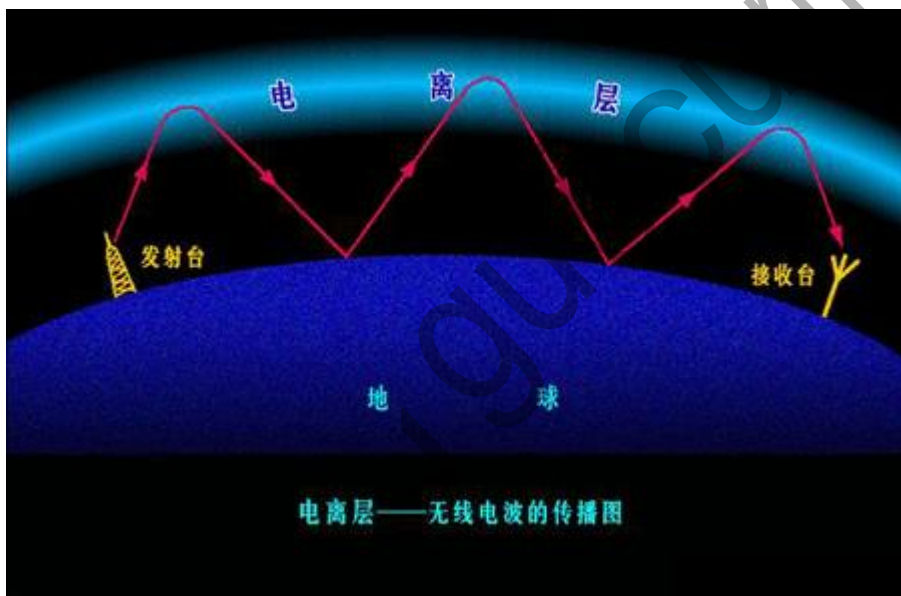
- 短波通信（即高频HF通信）
  - 短波通信是波长在100米~10米之间，频率范围3兆赫~300兆赫，与长，中波一样，短波可以靠表面波和天波传播。
  - 由于短波频率较高，地面吸收较强，用表面波传播时，衰减很快，在一般情况下，短波的表面波传播的距离只有几十公里，不适合作远距离通信。
  - 收音机广播、电报、业余无线电一般用这个频段
  - 由于电离层的高度和密度容易受昼夜、季节、气候等因素的影响，所以短波通信的稳定性较差，噪声较大。





# 短波通信的距离

- 短波用地表波传播时，由于地表波的衰减随着频率的升高而增加，对通常应用的发射功率来说，传播距离一般不超过几十公里，故只适用于小电台。
- 短波用电离层波来传播时，由于电离层的吸收随着频率的升高而减小，对短波的吸收不大，故可借电离层对电波的一次或多次反射以进行远距离通信。



民用紧急通信频率121.5MHz  
军用紧急通信频率243MHz





# 短波通信系统

- 短波是唯一不受网络枢纽和有源中继体制约的远程通信手段，始终是应急指挥的重要手段之一。
- 短波通信系统由发信机、发信天线、收信机、收信天线和各种终端设备组成。
- 一般分为便携式、车载式和固定式电台。具有体积小、重量轻等特点，通常采用鞭形天线，利用地波进行近距离通信，功率通常为数瓦至数十瓦。



20w军用短波数字化抗干扰电台



单兵电台



车载短波电台





# 微波通信 (Microwave Communication)

- 波长在0.1毫米至1米之间，对应的频率范围是300 MHz (0.3 GHz) ~ 300GHz，但主要使用2 ~ 40GHz的频率范围。
- 微波是分米波、厘米波、毫米波与亚毫米波的统称。
- 微波的最重要应用是雷达和通信。
  - 雷达不仅用于国防，同时也用于导航、气象测量、大地测量、工业检测和交通管理等方面。
  - 通信应用主要是现代的卫星通信和常规的中继通信，如移动通信（3G、4G、5G等）、无线局域网、无线城域网等

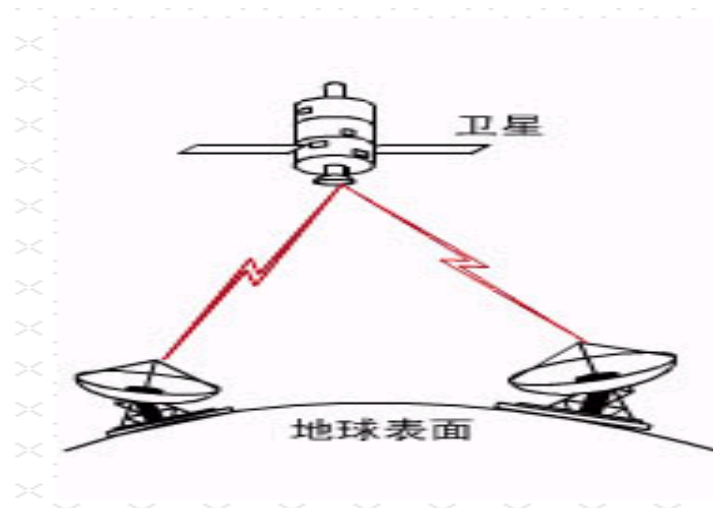
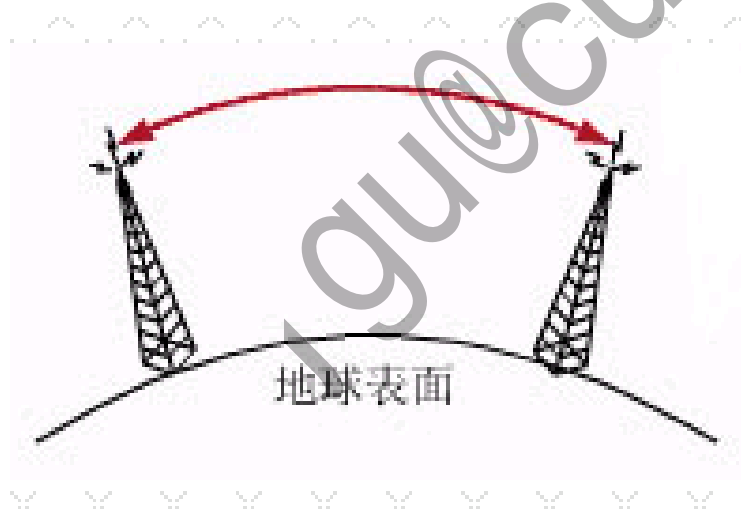






# 微波通信 (Microwave Communication)

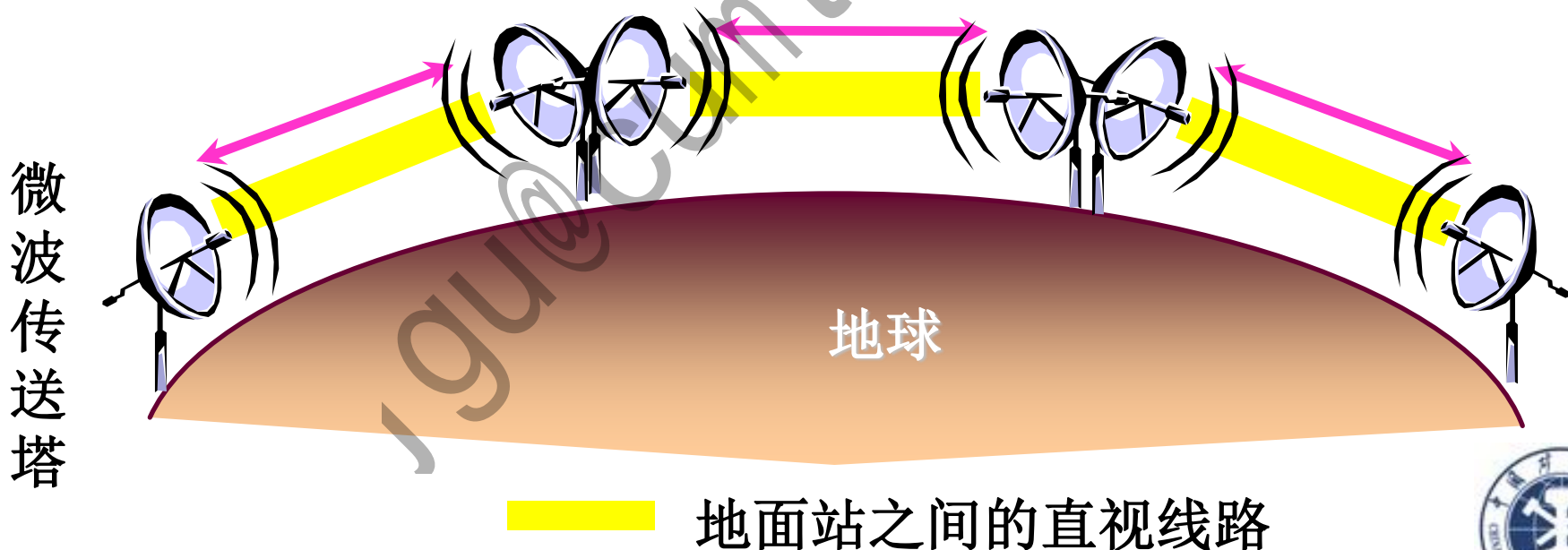
- 微波通信在空间主要是直线传播，会穿透电离层而进入宇宙空间，因此它不像短波那样可以经电离层反射传播到地面上很远的地方。
- 传统的微波通信主要有两种：
  - 地面微波接力通信
  - 卫星通信





# 地面微波接力通信

- ◆ 微波通信在空间主要是直线传播，而地球表面是个曲面，因此直接传播距离一般只有50km左右。
- ◆ 地面微波**接力**通信：长距离传输时每隔一段距离就架设一个中继站，将前一信号放大向后传。
  - 100m高天线塔可传播到100km





# 地面微波接力通信

- ◆ 适用：
  - 可传输电话、电报、图象、数据等信息。
- ◆ 优点：
  - 频带宽、通信容量大、传输质量高、可靠性较好、投资少、见效快、灵活等。
- ◆ 缺点：
  - 相邻站间必须直视，不能有障碍物；
  - 受气候干扰较大；
  - 保密性差；
  - 中继站的使用与维护问题等。

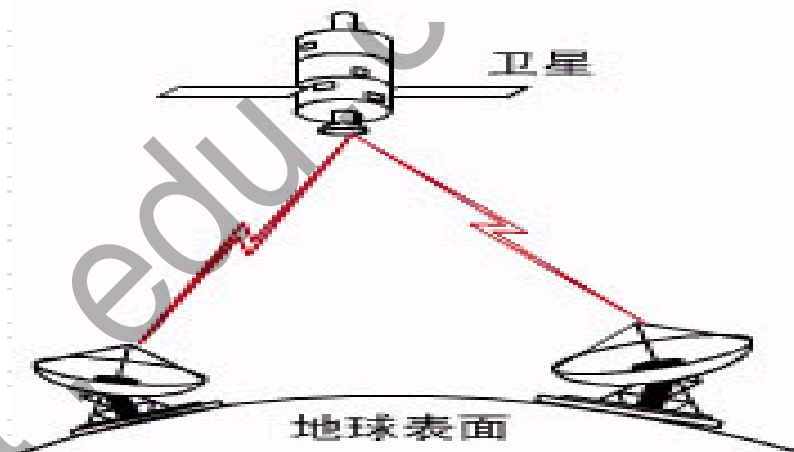




# 卫星通信 (Satellite Communication)

卫星通信方法：

用位于36000公里高空的人造同步卫星做中继站的一种微波接力通信。

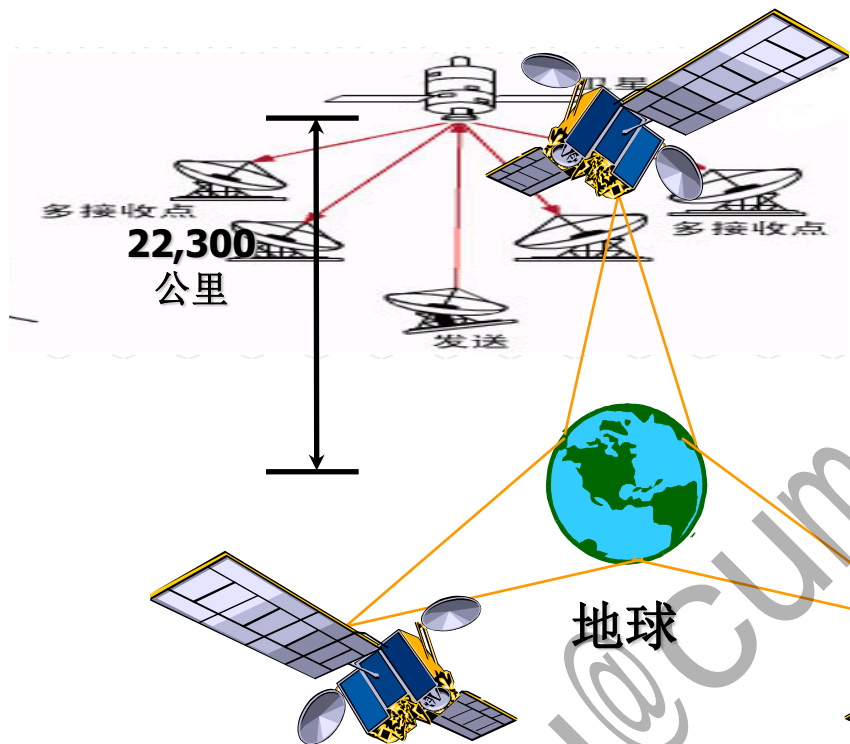


- ◆ 特点：通信距离远、费用与距离远近无关；具有较大的传播时延，且相对确定，一般可取为270ms。
- ◆ 优点：频带很宽，通信容量大，信号受干扰小；通信比较稳定；覆盖面广，非常适合于广播电视通信。
- ◆ 缺点：保密性较差，造价较高。





# 地球同步卫星



- 与地面站相对固定位置
- 使用3个卫星覆盖全球
- 传播延迟时间长





# 无线通信 (Wireless Communication)

- 无线通信分为两类：
  - 无线移动通信(Wireless Mobile Communication),  
如：3G、4G、5G
  - 无线局域网通信(Wireless LAN Communication), ,  
可以采用微波、激光、红外线及可见光等作为传输介质
- 它们的传输设施根本不同。



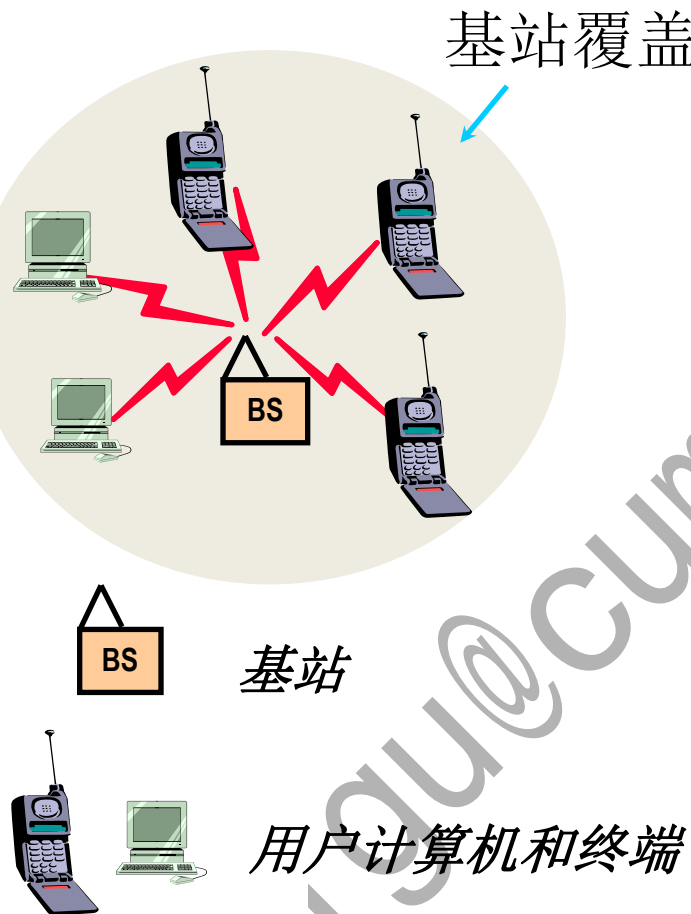




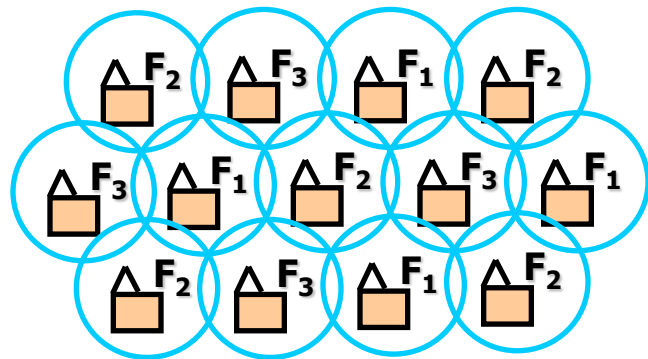
# 无线移动通信

- 移动网络指的是移动、电信、联通运营的2G、3G、4G网络，这些网络使用专有的频率，有专门的运营商规划、优化、运营。
- 移动基站发射功率一般在20W左右，能做到很好的干扰隔离，一个基站的覆盖范围可以达到3-5公里。
- 使用移动网络需要完整的登记、鉴权、计费等手续。





- 固定终端点（基站）和终端之间是无线链路

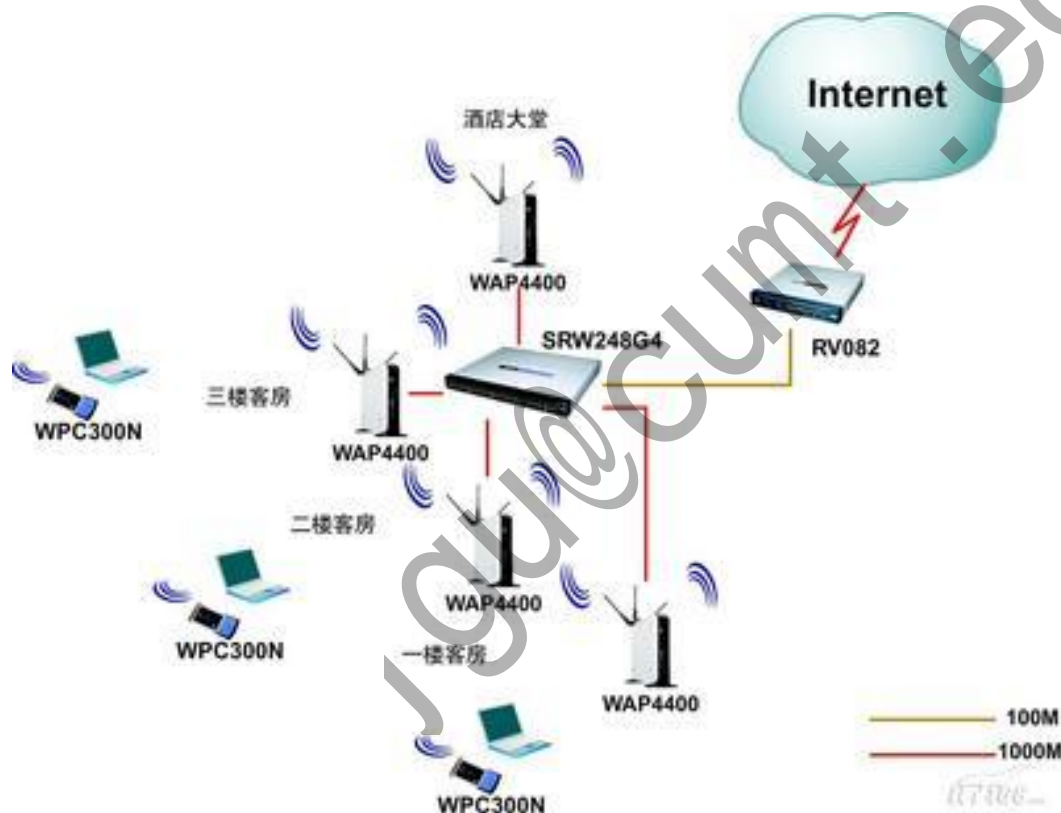


$F_1, F_2, F_3$  = 使用的频率



# 无线局域网通信

- 无线局域网(Wireless Local Area Networks; WLAN)利用无线技术在空中传输数据、语音和视频信号，速率可以达到几百兆甚至1G。



WiFi (wireless fidelity, 无线保真) ——Wi-Fi联盟制造商的商标，是一种商业认证，是一个创建于IEEE 802.11标准的无线局域网技术。





# 无线局域网使用的频段

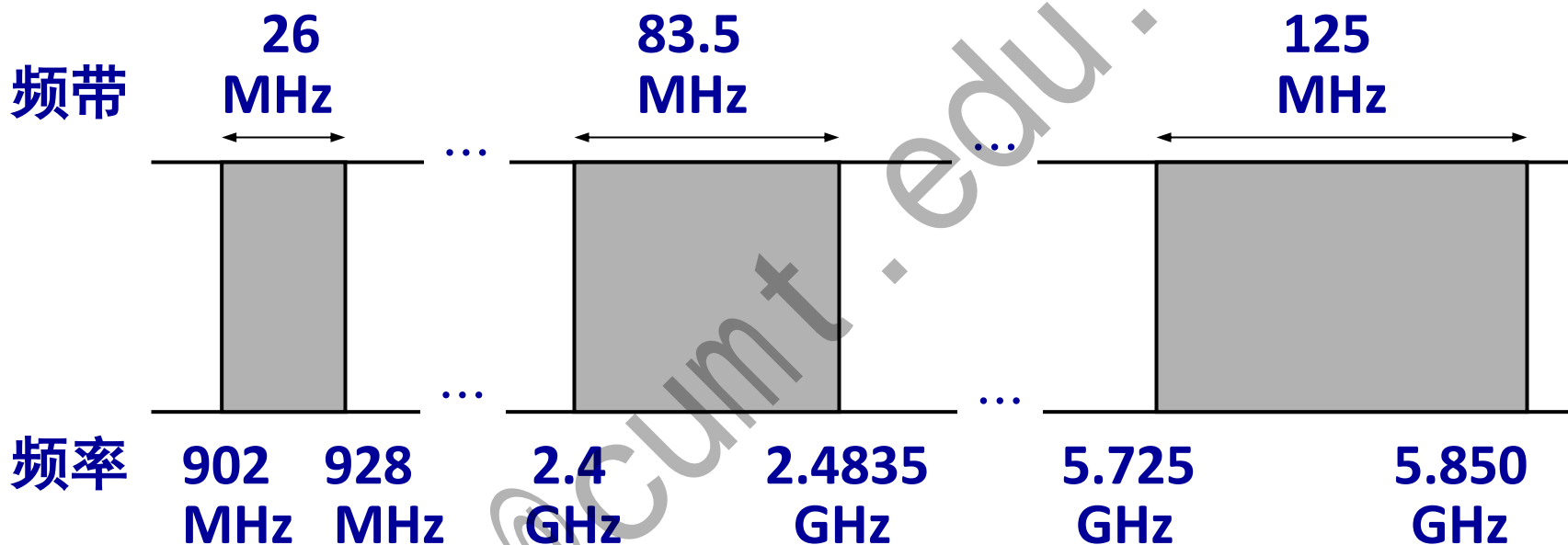
- 无线接入点AP的功率一般都很小，一般10mW左右，范围小几十到上百米，干扰也就少点。
- 无线传输所使用的频段很广。
  - 要使用某一段无线电频谱进行通信，通常必须得到本国政府有关无线电频谱管理机构的许可证。
  - 但是，也有一些无线电频段是可以自由使用的。
  - 例如：ISM(Industrial, Scientific, Medical)，工、科、医频段





# 无线局域网使用的 ISM 频段

ISM(Industrial, Scientific, Medical), 工、科、医频段



美国的ISM频段。各国的 ISM 标准有可能略有差别。

现在的无线局域网使用其中的2.4GHz和5.8GHz频段  
(5.8GHz有时也可简称为5GHz频段)





# 红外线与毫米波通信

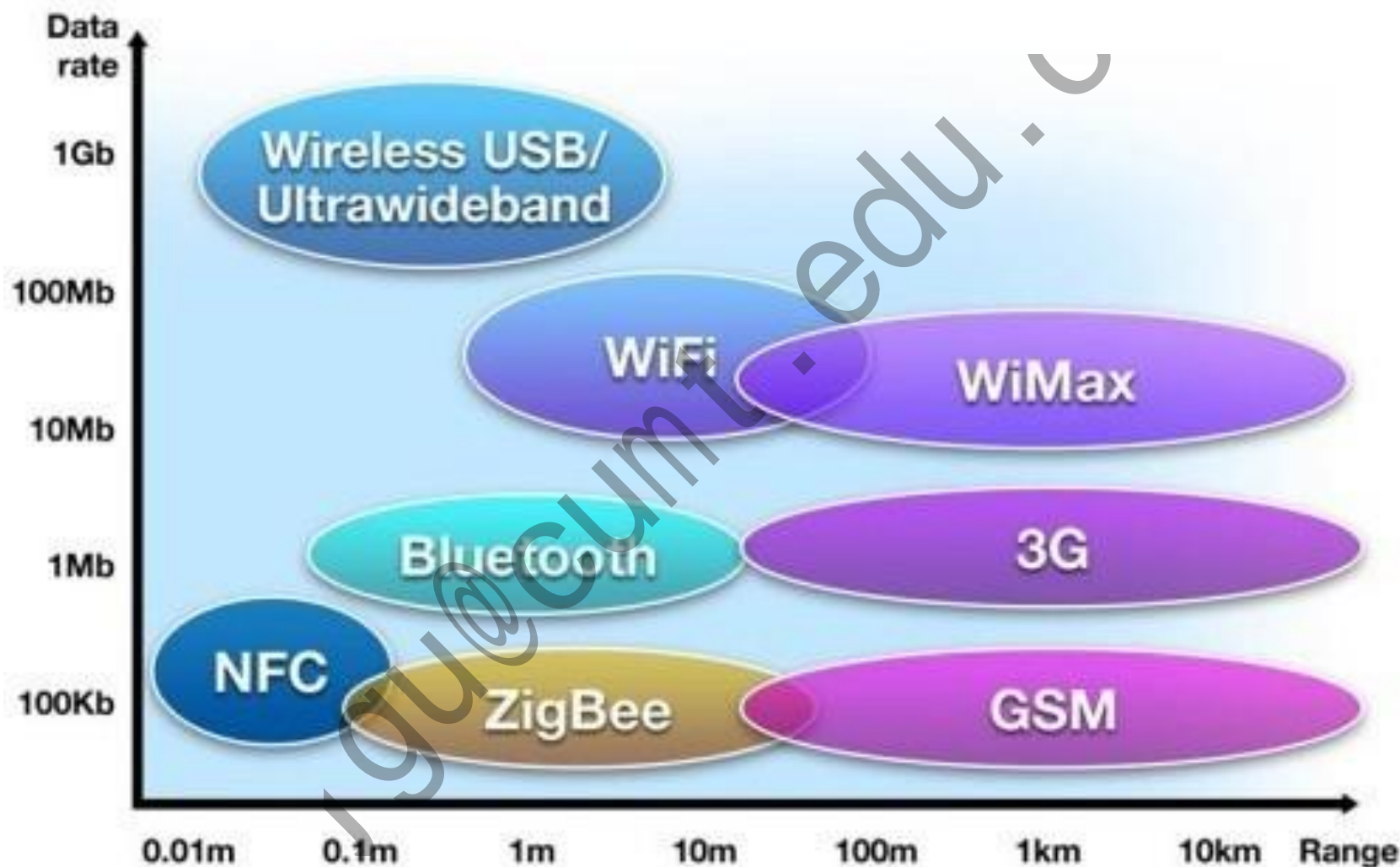
- ◆ 特点：具有一定的方向性。
- ◆ 优点：价格便宜，易制造，有良好的安全性，不易被窃听或截取。
- ◆ 缺点：不能穿透坚硬的物体。
- ◆ 适用：被广泛应用于短距离通信，红外线成为室内无线局域网的主要选择对象。





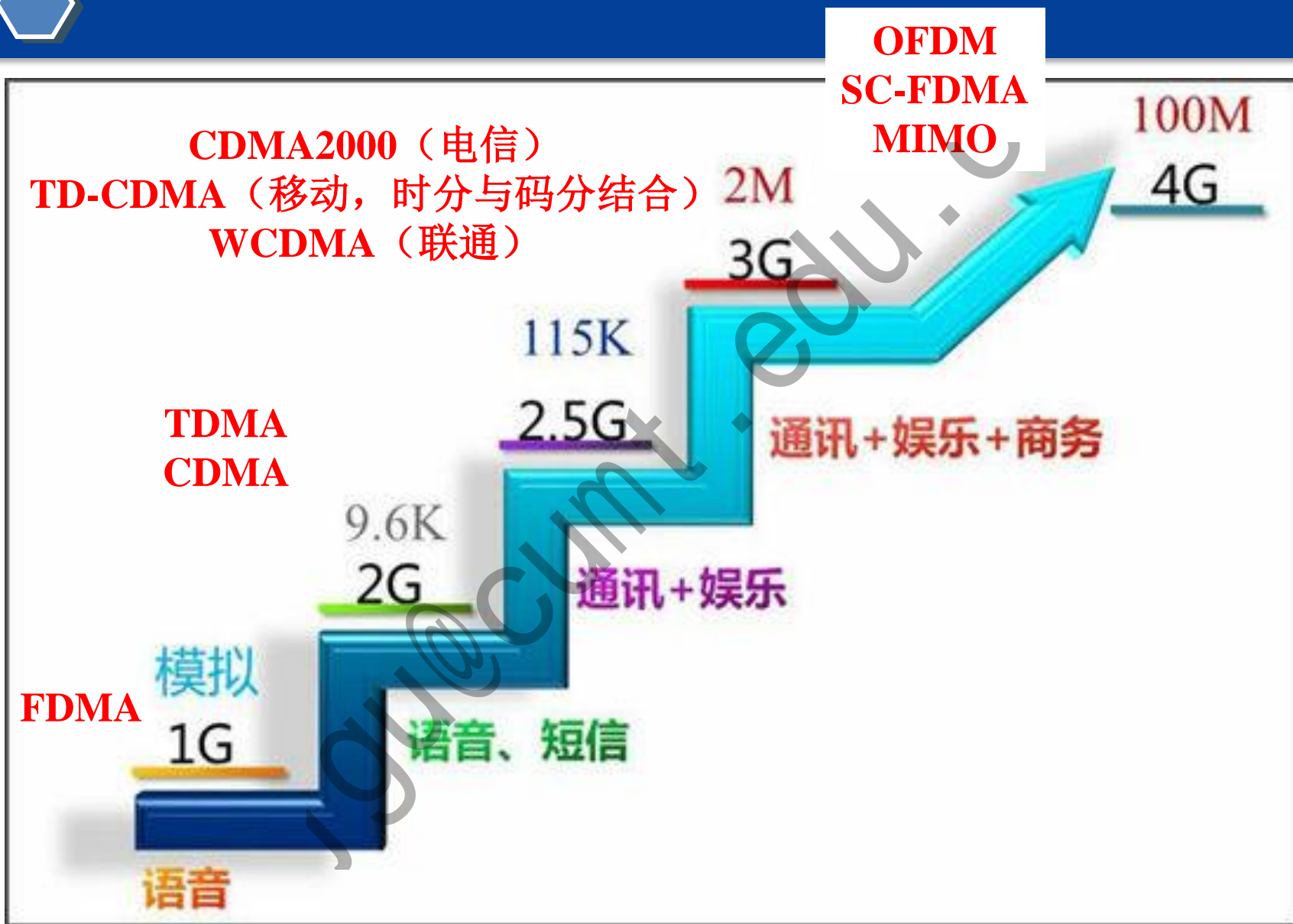


# 无线通信技术及其频段





# 1G-2G-3G-4G的发展





# 5G时代的到来

- 5G将实现随时、随地、万物互联，主要特点是波长为毫米级，超宽带，超高速，超低延时。



毫米波虽然易被周边物质吸收或反射，穿透性也差，但是频率超过了30GHz，可携带的信息量非常惊人





# 卫星互联网

卫星互联网可以解决海洋、森林、沙漠等偏远地区船舶、飞机、科考的宽带通信问题，成为地面移动通信的有益补充。







# 美国太空探索技术公司SpaceX



SpaceX是一家由PayPal早期投资人埃隆·马斯克（Elon Musk）2002年6月建立的美国太空运输公司。它开发了可部分重复使用的猎鹰1号和猎鹰9号运载火箭。SpaceX同时开发Dragon系列的航天器以通过猎鹰9号发射到轨道。

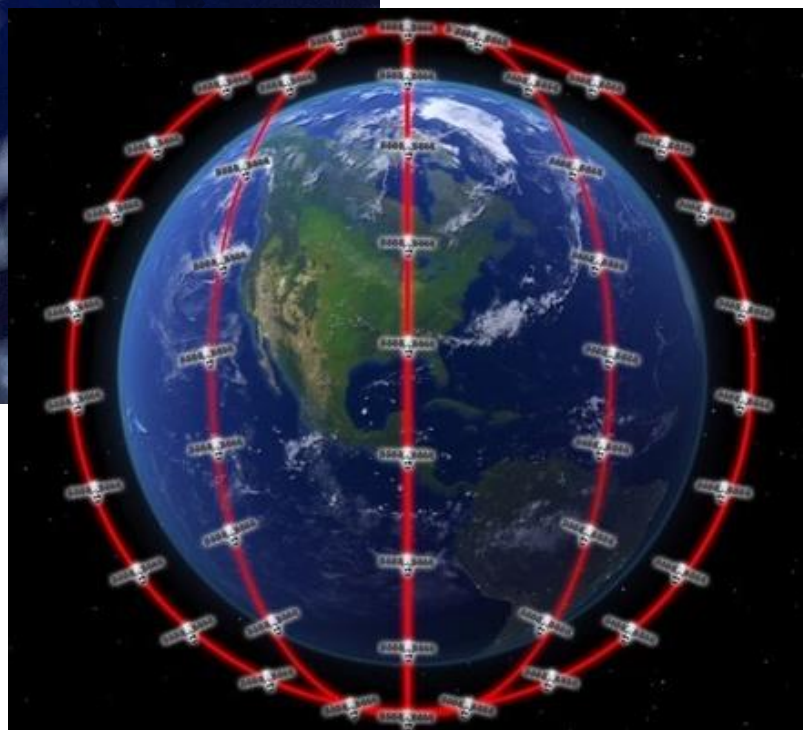




# 低空卫星无线网络技术



2015年9月，埃隆·马斯克向美国联邦通信委员会提出申请，请求批准发射4000多颗近地轨道卫星，组建卫星宽带网络“**Starlink**”，欲打造一个遍布全球的卫星Wi-Fi，帮助全世界尤其是偏远的地区接入高速的宽带互联网，为全球数十亿人带来类似5G的网络服务。



星链计划(Starlink)

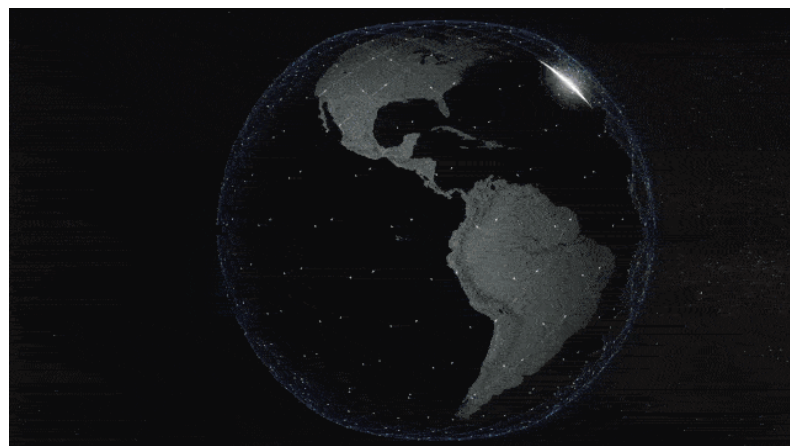






# 马斯克的星链计划还在继续

- 根据SpaceX在2019年10月份提交给FCC的备案，他们准备最终发送的卫星总数目达到42000颗。
- 2020年4月22日，猎鹰9号火箭从佛罗里达州的肯尼迪航天中心基地发射，将第七批的60颗卫星送上了太空。
- 至此，SpaceX发射卫星总数将达到422颗。
- SpaceX计划要在今年年底前将1000多颗卫星送上天。
- 4月23日，马斯克在推特上公布了这一项“伟大”的计划的最新目标：“星链内测差不多三个月后开始，公测六个月以后（开始）。”





# 中国亦将卫星互联网纳入发展战略

2020年4月20日，国资委和发改委召开经济运行例行发布会，明确新基建的范围，卫星互联网成功“晋级”新基建战略。

## 中国采取的具体措施 新基建



大数据



云计算



人工智能



物联网



区块链



5G



新能源





# 光波通信也在崛起，例如：LiFi





### 3. 常用传输媒体的比较

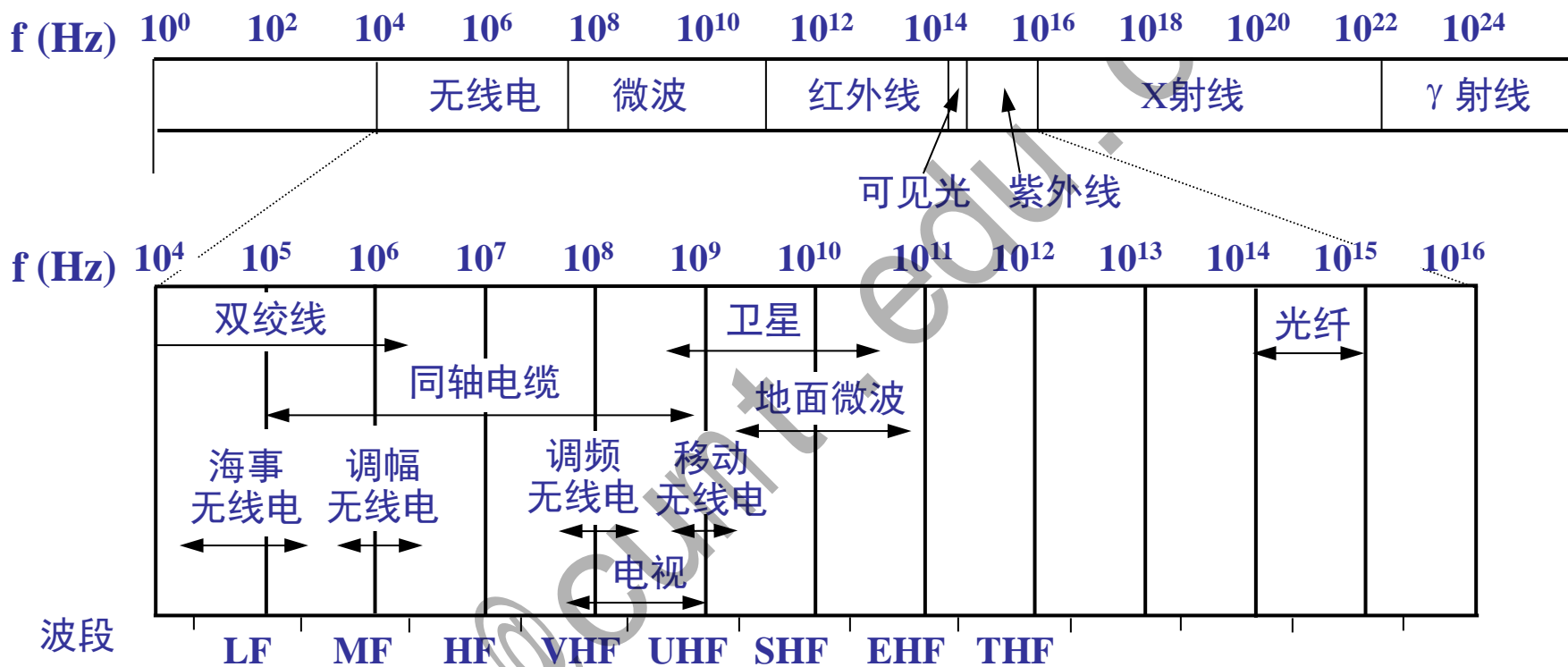
传输媒体	远距离速率	传输距离	性能	价格	应用	应用示例
双绞线	模拟: 300-3400Hz, 数字: 4Mbps	5-6公里 2-3公里	可以	很低	模拟传输 数字传输	用户环线 LAN
50 Ω 同轴电缆	10Mbps	1-10公里	较好	较低	数字	LAN
75 Ω 同轴电缆	300--450MHz	100公里	较好	较高	模拟、数字	CATV
光纤	2Gbps	10-100公里	很好	较高	远距离传输	主干网、长话
短波	几十--几百bps	全球	较差	很低	远程、低速通信	广播
地面 微波接力	2--40GHz	几百公里	很好	与距离无关	远程通信	长话、电视
卫星	500MHz	上万公里	很好	卫星及火箭 造价较高	远程通信	数据、电视





# 电信领域使用的电磁波的频谱

(电磁波每秒钟变动的次数便是频率)



香农公式:

$$C = W \log_2 (1 + S / N)$$

传送速率与信道带宽成正比，载波频率越高，能容纳的信号带宽越大。

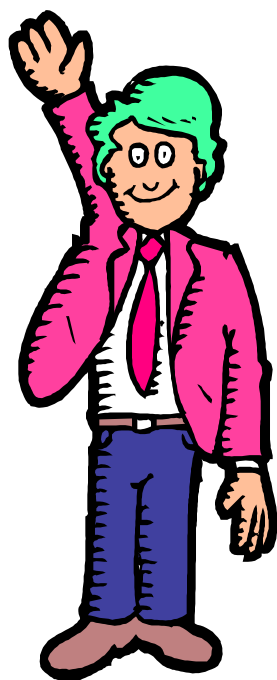




# 通讯领域中的频段是电磁波的频率范围







**THANK  
YOU!**

