



# 通信系统原理教程

## 第2讲 概论之二

通信教研室 杨春萍

# 本讲内容

- 通信的发展
- 消息、信息和信号
- 数字通信
- 信道
- 信道中的噪声

# 信道

- 信道定义
- 信道类型
- 无线信道
- 有线信道
- 信道模型
- 信道特性对信号传输的影响



# 信道

## ■ 信道定义

信号的传输媒质叫信道。如明线、电缆、光纤、波导管等。

## ■ 信道分类

狭义信道：指的是传输媒质。例如：

有线信道：明线、电缆、光纤等。

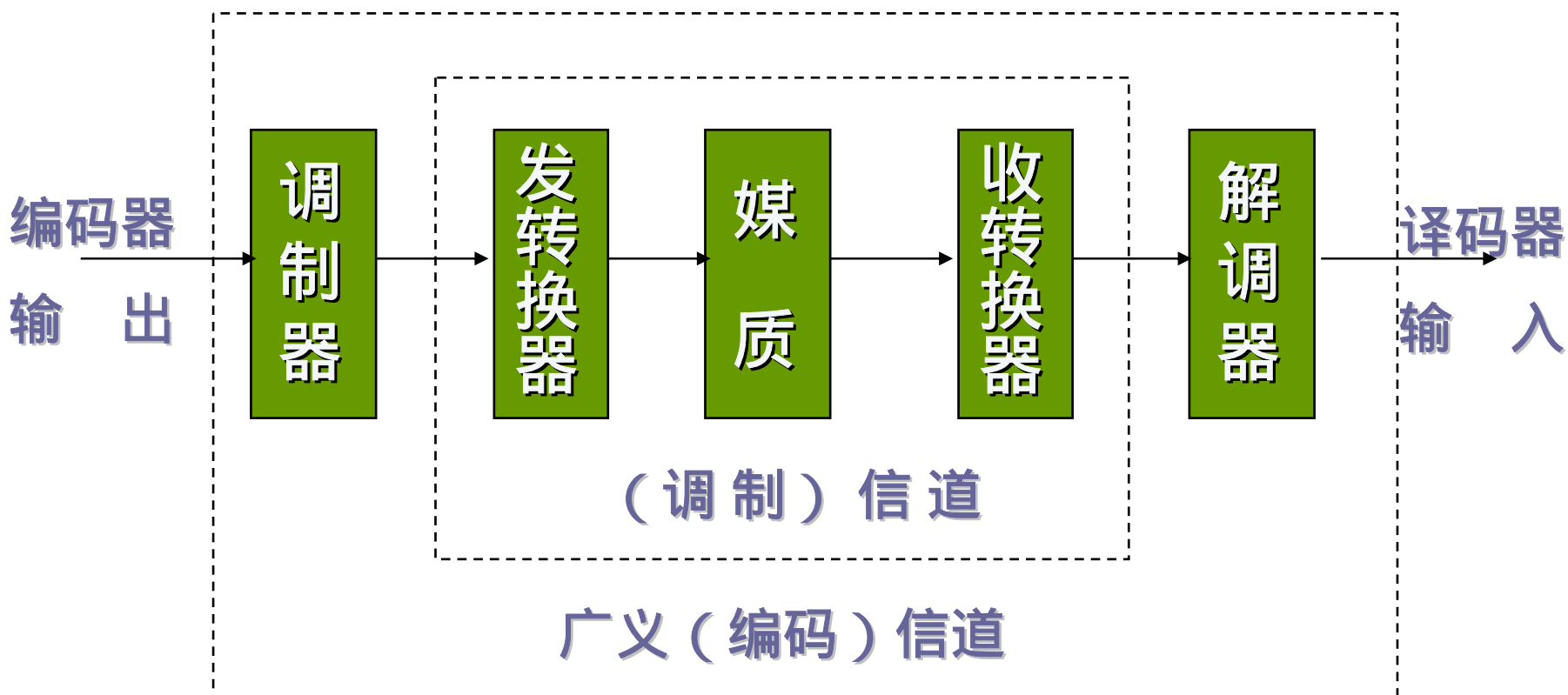
无线信道：长波、中波、人造卫星中继等。

广义信道：除了传输媒质之外，还包括其它收发设备。

调制信道(模拟信道)：传输模拟信号。

编码信道(数字信道)：传输数字信号。

## 调制信道与编码信道的关系



广义信道除媒质外，还包含一些设备。调制信道除了传输媒质外还包含发、收转换器；编码信道除了包含整个调制信道外还包含调制器和解调器。

# 无线信道

- 无线电通信的起源
- 电磁波发射对波长的要求
- 频段（波长）划分

# 频段（波长）划分

频率范围 (kHz)	名称	典型应用
3 – 30 (10-100 km)	甚低频(VLF)	远程导航、水下通信 声纳、授时
30 – 300 (1-10 km)	低频(LF)	导航、水下通信 无线电信标
300 – 3000 (100-1000m)	中频(MF)	广播、海事通信、测向、 遇险求救、海岸警卫

# 频段（波长）划分

频率范围 (MHz)	名称	典型应用
3 – 30 (10-100m)	高频(HF)	远程广播、电报、电话、飞机与船只间通信、船 - 岸通信、业余无线电
30 – 300 (米波)	甚高频(VHF)	电视、调频广播、陆地交通、空中交通管制、出租汽车、警察、导航、飞机通信
300 – 3000 (分米波)	特高频(UHF)	电视、蜂窝网、微波链路、无线电探空仪、导航、卫星通信、GPS、监视雷达、无线电高度计



## 频段（波长）划分

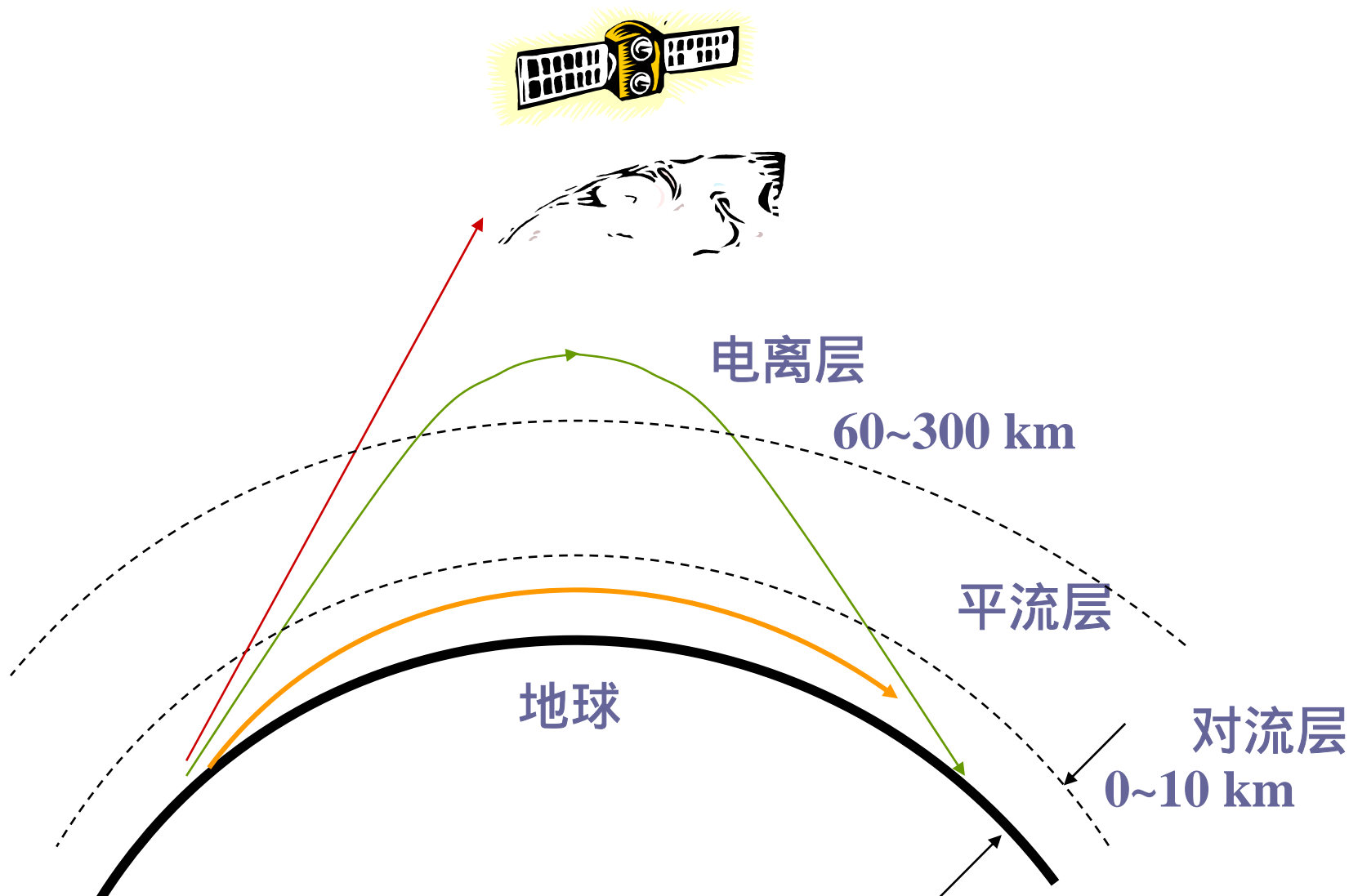
频率范围 (GHz)	名称	典型应用
3 – 30 (厘米波)	超高频(HF)	卫星通信、无线电高度计 微波链路、机载雷达、气象 雷达、公用陆地移动通信
30 – 300 (毫米波)	极高频(VHF)	铁路业务、雷达着陆系统、 实验用
300 – 3000 (0.1 – 1 mm)	亚毫米波	实验用

# 频段（波长）划分

频率范围 (THz)	名称	典型应用
43 – 430	红外线 (7 – 0.7 $\mu\text{m}$ )	光通信系统
430 – 750	可见光 (0.7 – 0.4 $\mu\text{m}$ )	光通信系统
750 – 3000	紫外线 (0.4 – 0.1 $\mu\text{m}$ )	光通信系统

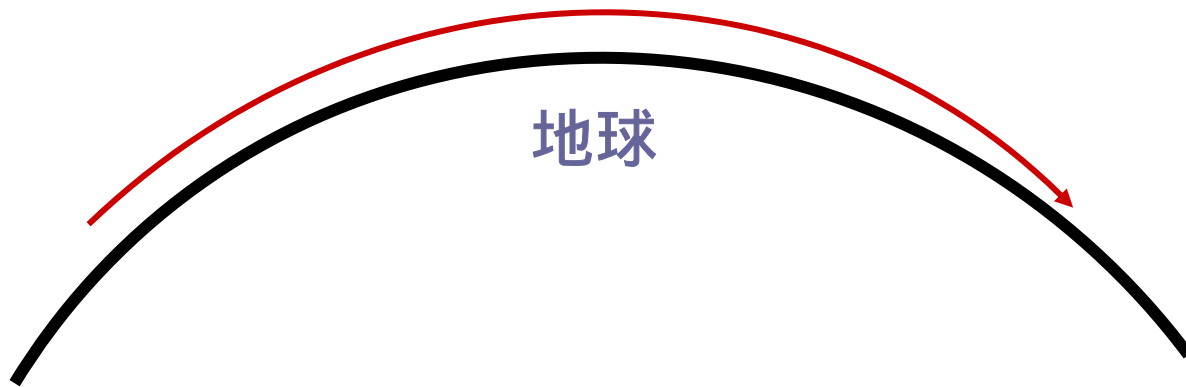
注：kHz =  $10^3$  Hz,      MHz =  $10^6$  Hz,      GHz =  $10^9$  Hz,  
THz =  $10^{12}$  Hz,      mm =  $10^{-3}$  m,       $\mu\text{m}$  =  $10^{-6}$  m

# 电磁波传播：地波、天波、视线传播



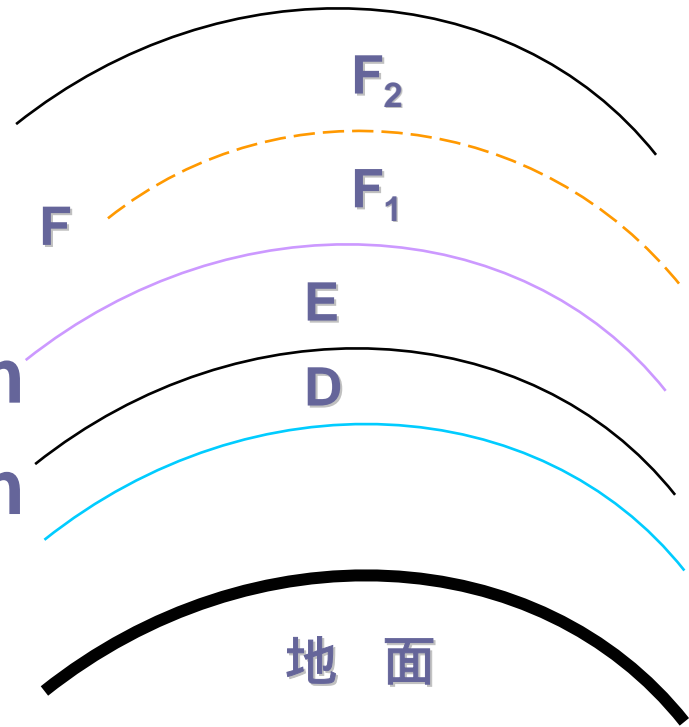
# 地 波

- 频率：2MHz 以下
- 绕射：发生在波长 ~ 障碍物尺寸可比时
- 通信距离：可达数百 ~ 数千 km



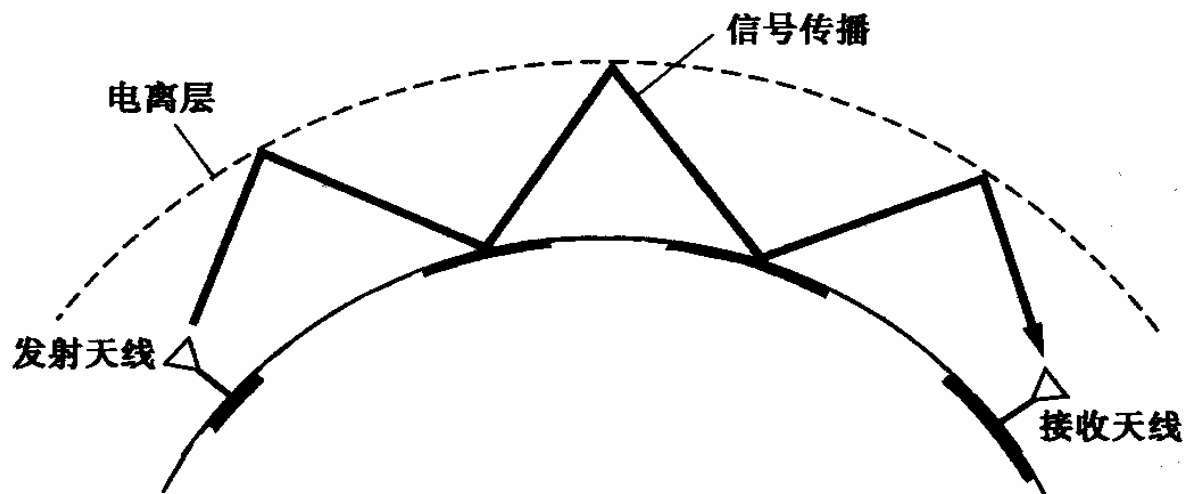
# 电离层的结构

- D层：高60 ~ 80 km
- E层：高100 ~ 120 km
- F层：高150 ~ 400 km
  - F<sub>1</sub>层：140 ~ 200 km
  - F<sub>2</sub>层：250 ~ 400 km
- 晚上：D层、F<sub>1</sub>层消失  
E层、F<sub>2</sub>层减弱



# 天 波

- 电离层高度：60 ~ 300 km
- 单跳最大距离：4000 km
- 多跳可以环球
- 频率：2 ~ 30 MHz



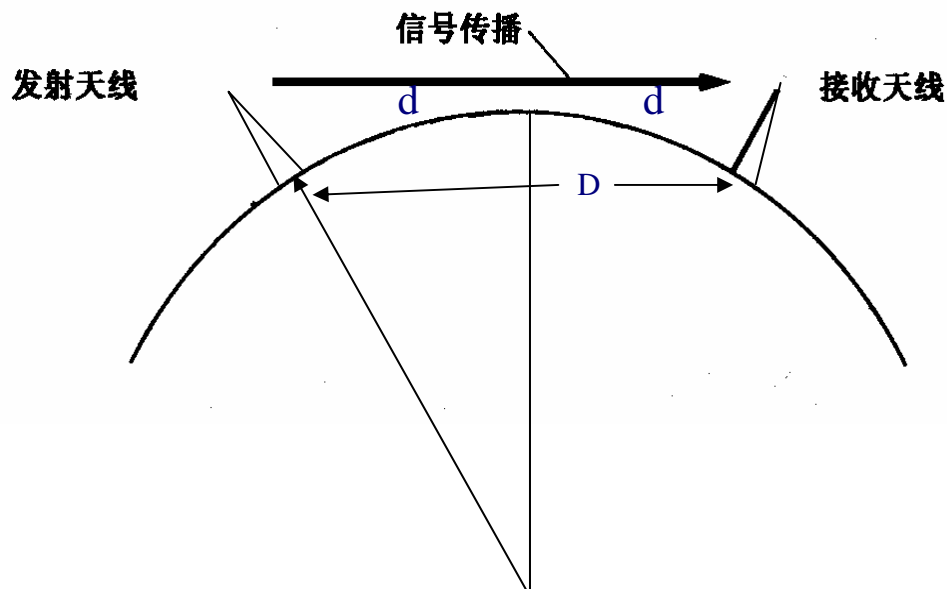
# 视线传播

- 频率： $> 30 \text{ MHz}$
- 传播距离： $d^2 + r^2 = (h+r)^2$ ,

$$\text{或 } d = \sqrt{h^2 + 2rh} \approx \sqrt{2rh}$$

$$h \approx D^2/50 \text{ (m)}$$

式中  $D$  - km



# 无线电中继

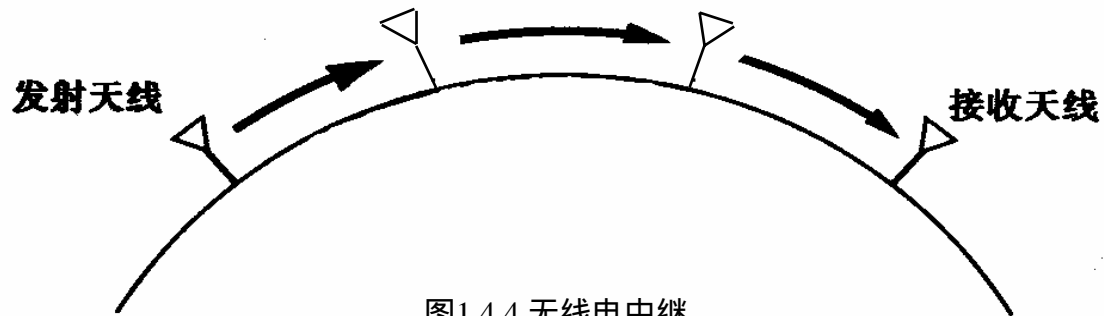
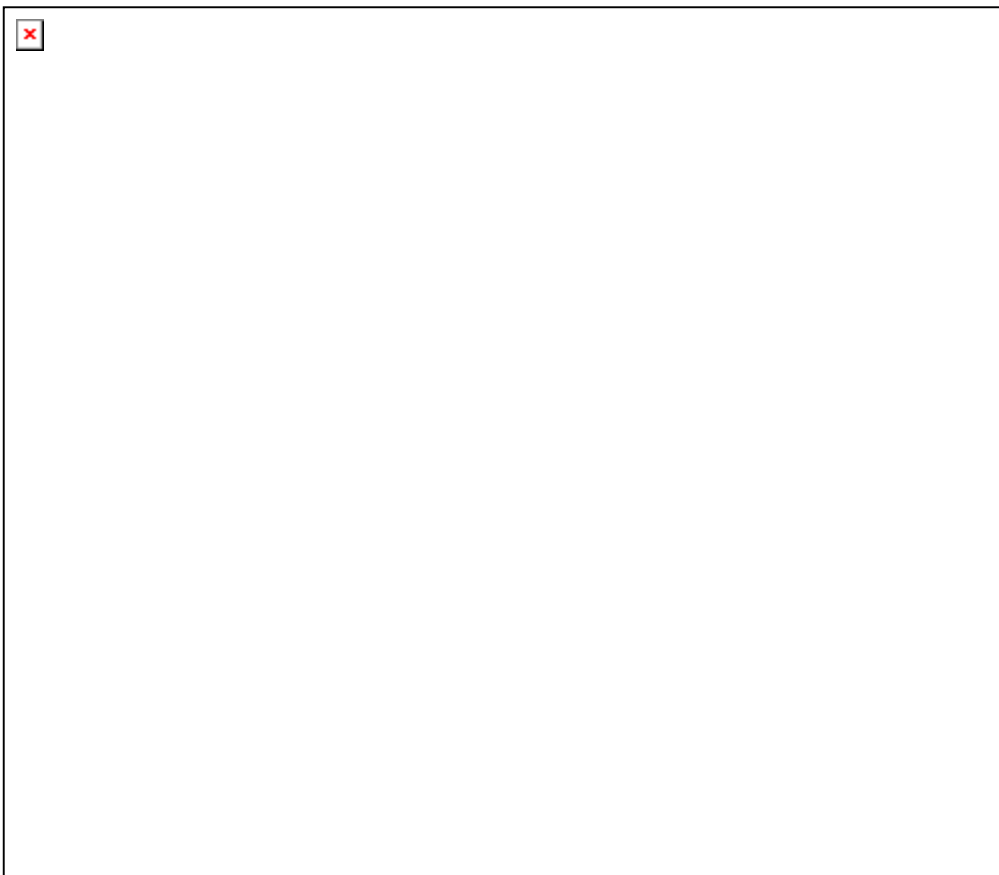


图1.4.4 无线电中继



# 静止卫星中继通信

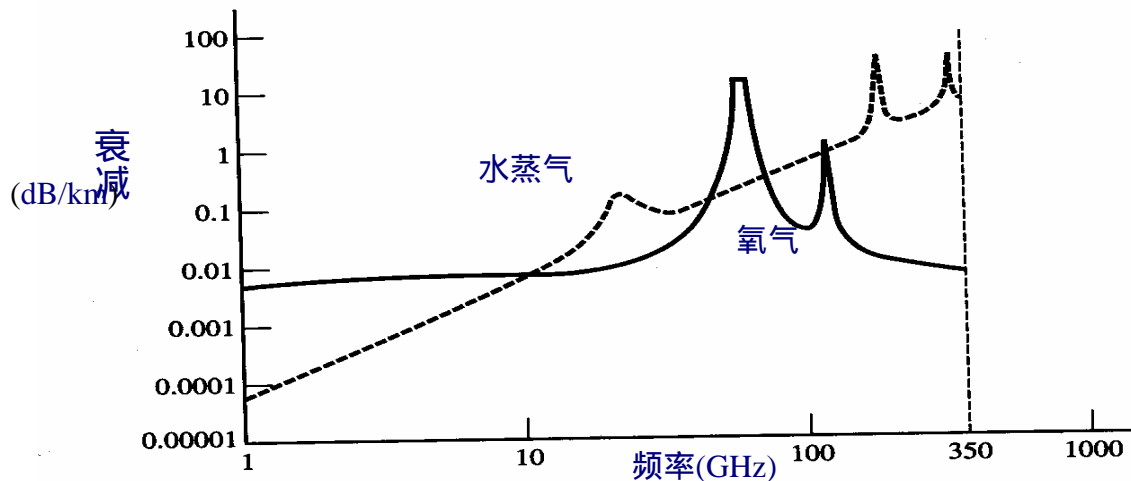


# 平流层中继通信

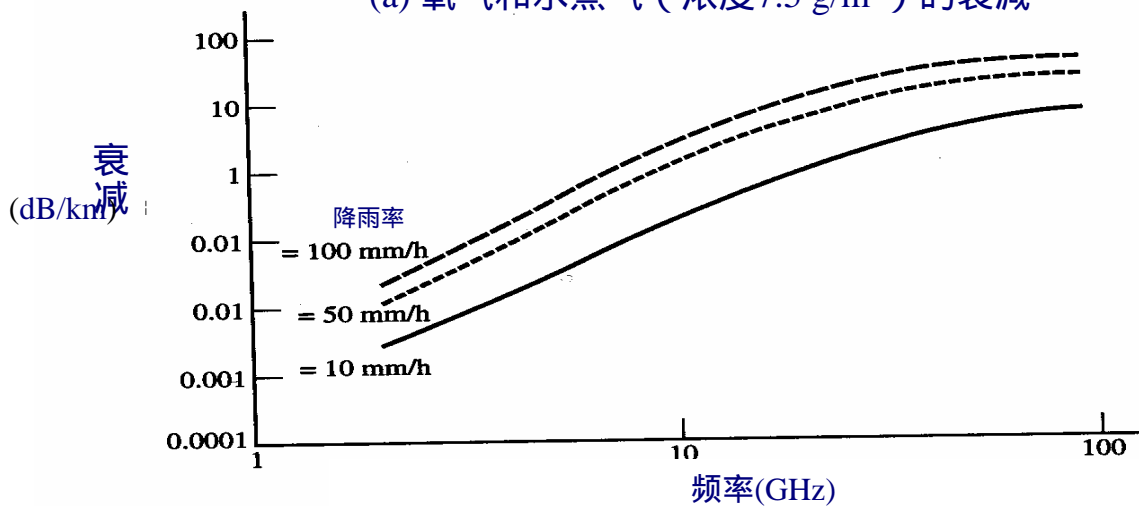
## ■ HAPS(High Altitude Platform Station)



# 大气对电磁波传播的影响



(a) 氧气和水蒸气 (浓度 $7.5 \text{ g/m}^3$ ) 的衰减



(b) 降雨的衰减

图1.4.5 大气衰减

# 散射通信

- 电离层散射
  - 频率: 30 ~ 60 MHz
- 对流层散射
  - 频率: 100 ~ 4000 MHz
- 流星余迹散射
  - 频率: 30 ~ 100 MHz

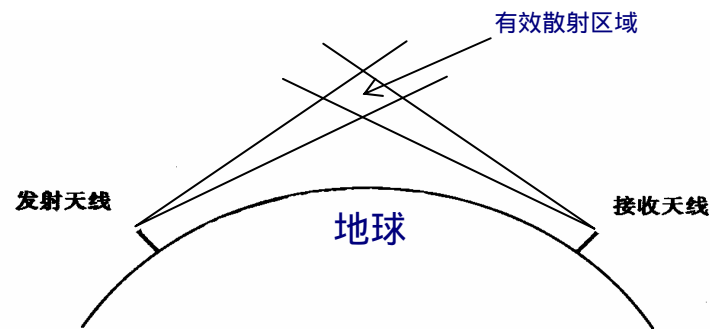
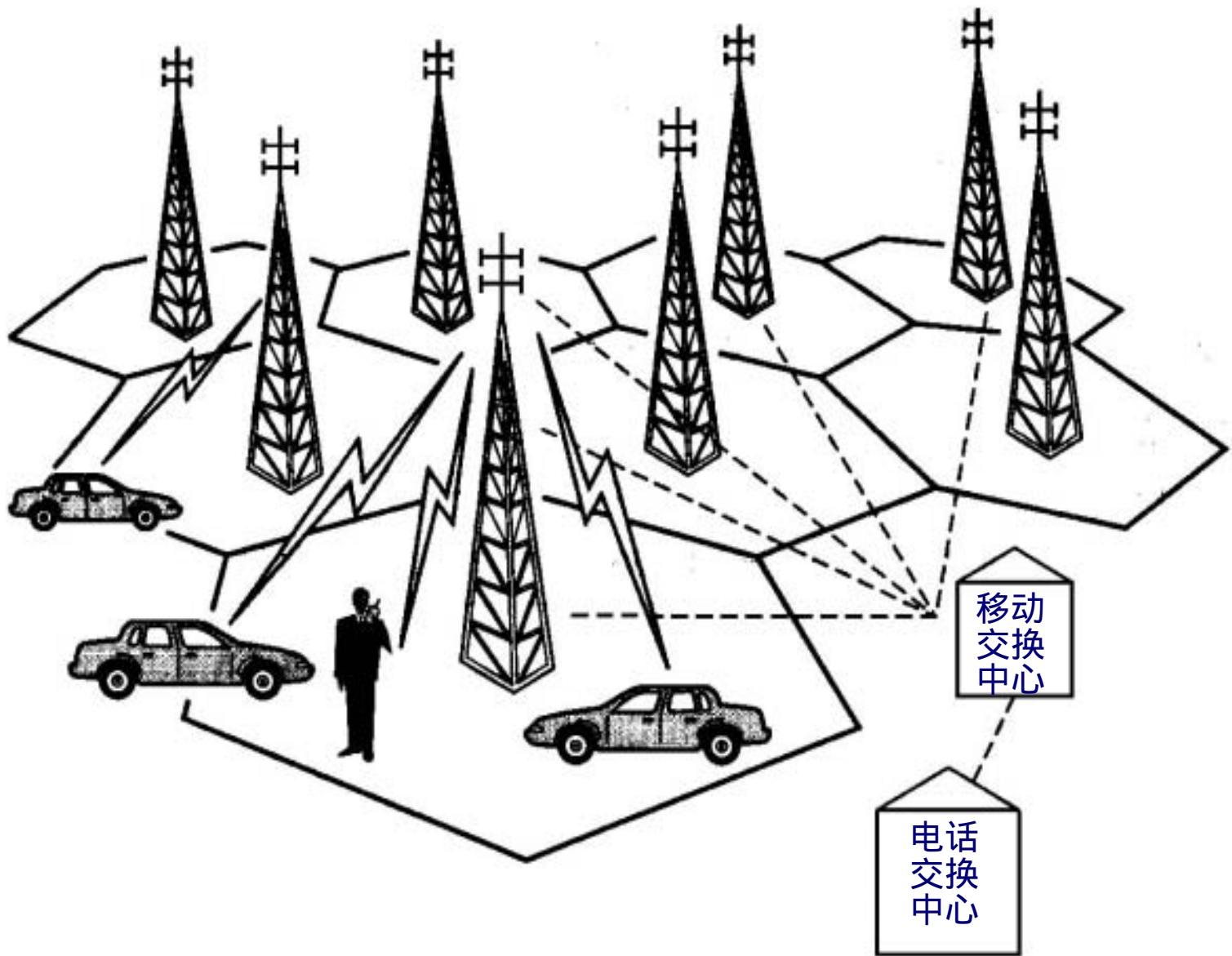


图1.4.6 对流层散射通信

# 蜂窝网



# 有线信道

- 明线
- 对称电缆
- 同轴电缆

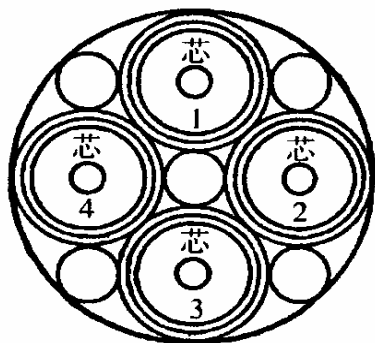


图1.4.8 同轴电缆截面示意图

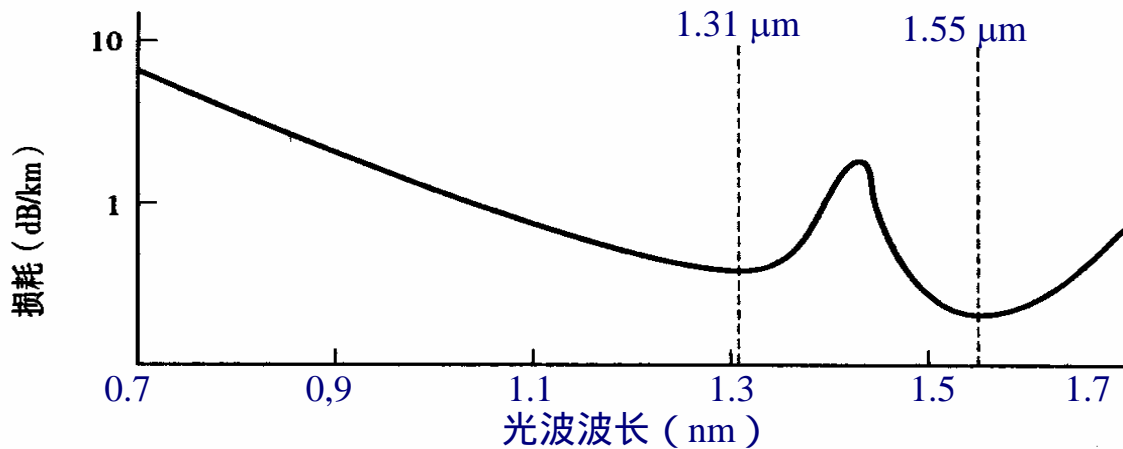
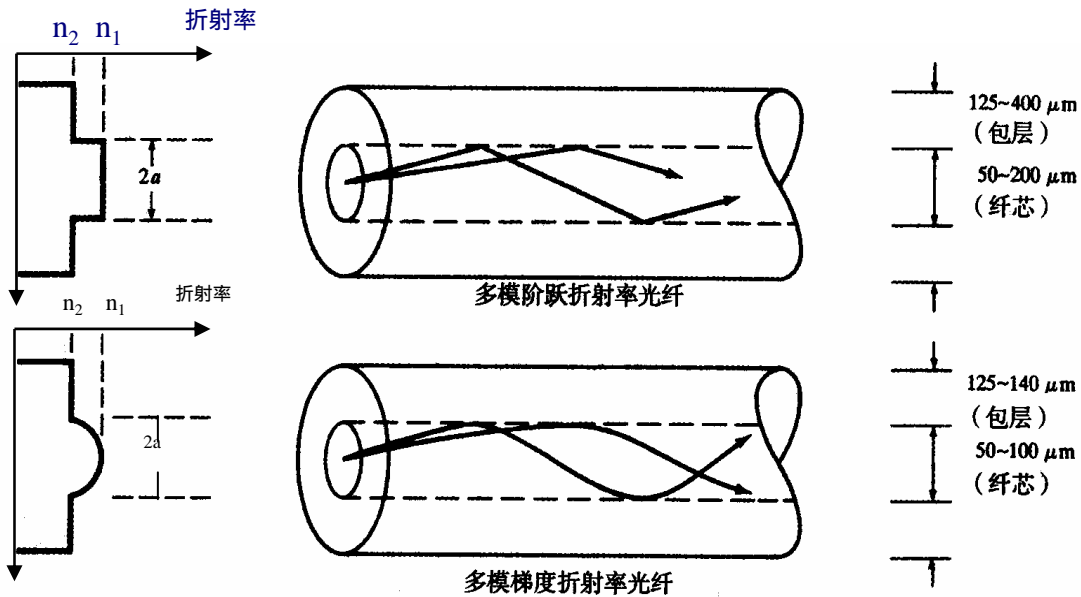


# 有线电信道电气特性

信道类型	通话容量 (路)	频率范围(kHz)	传输距离(km)
明线	1+3	0.3 ~ 27	300
明线	1+3+12	0.3 ~ 150	120
对称电缆	24	12 ~ 108	35
对称电缆	60	12 ~ 252	12 ~ 18
小同轴电缆	300	60 ~ 1 300	8
小同轴电缆	960	60 ~ 4 100	4
中同轴电缆	1 800	300 ~ 9 000	6
中同轴电缆	2 700	300 ~ 12 000	4.5
中同轴电缆	10 800	300 ~ 60 000	1.5

# 光纤

- 结构
- 损耗





# 信道模型

- 调制信道模型: 对于单“端对”信道



$$e_o(t) = f[e_i(t)] + n(t)$$

式中  $e_i(t)$  - 输入的已调信号；

$e_o(t)$  - 输出信号；

$n(t)$  - 加性噪声，它与 $e_i(t)$ 相互独立。

$f[e_i(t)]$  - 与输入有关的一个函数，  
表示信道对于信号的影响。

通常， $f[e_i(t)]$  可以表示为： $k(t) e_i(t)$ ，

$$\text{此时， } e_o(t) = k(t) e_i(t) + n(t)$$

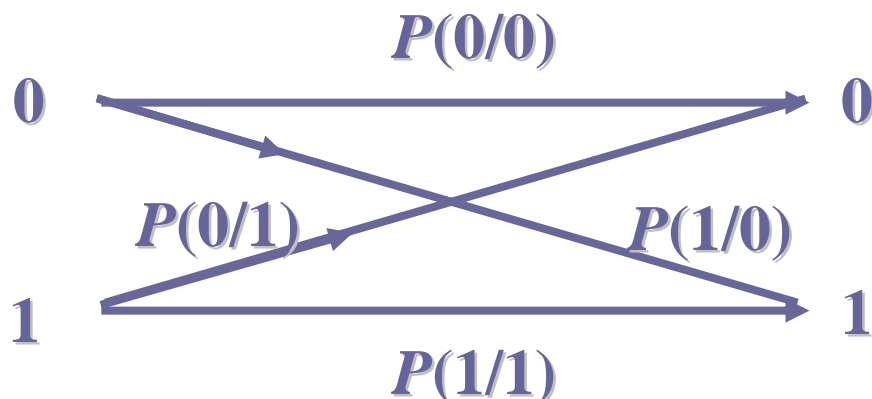
其中 $k(t)$ 表示时变线性网络的特性，称为乘性干扰。

$k(t)$  - 一个复杂的函数，反映信道的衰减、线性失真、非线性失真、延迟 ... 等。最简单情况： $k(t) = \text{常数}$ ，表示衰减。

当 $k(t) = \text{常数}$ ，称为恒(定)参(量)信道.例如，同轴电缆  
当 $k(t) \neq \text{常数}$ ，称为随(机)参(量)信道.例如，移动蜂窝  
网通信信道

## • 编码信道模型:

### ➤ 二进制信号、无记忆信道

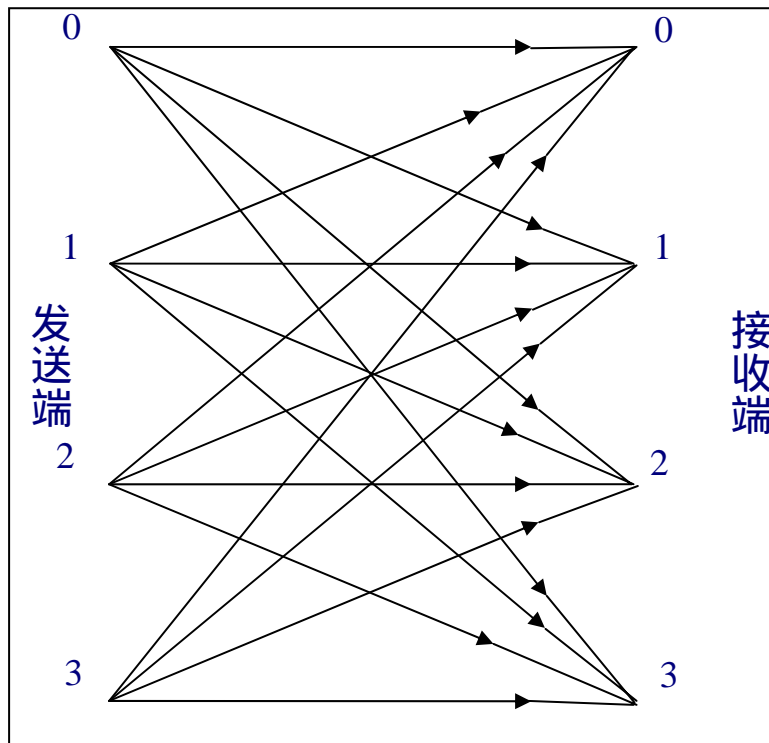


其中 ,  $P(0/0), P(1/1)$  - 正确转移概率  
 $P(0/1), P(1/0)$  - 错误转移概率  
转移概率 - 决定于编码信道的特性

$$P(0/0) = 1 - P(1/0)$$

$$P(1/1) = 1 - P(0/1)$$

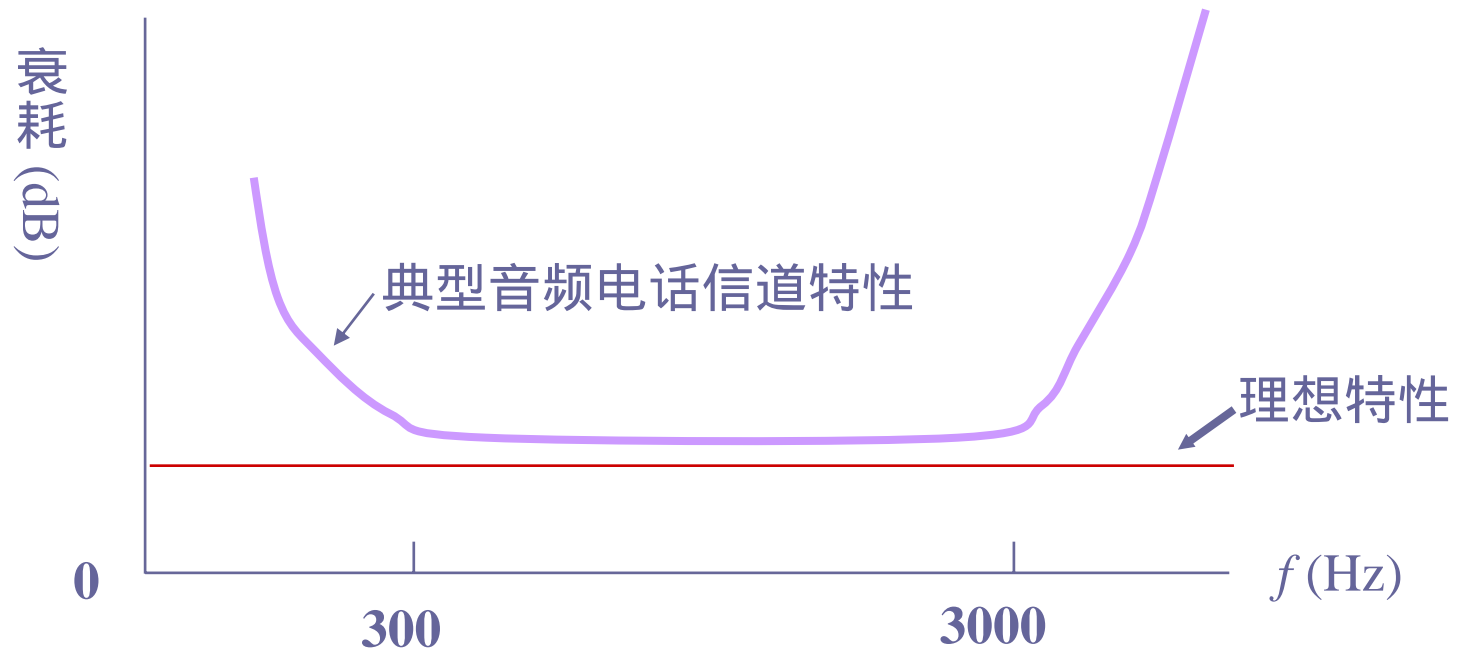
## ➤ 四进制



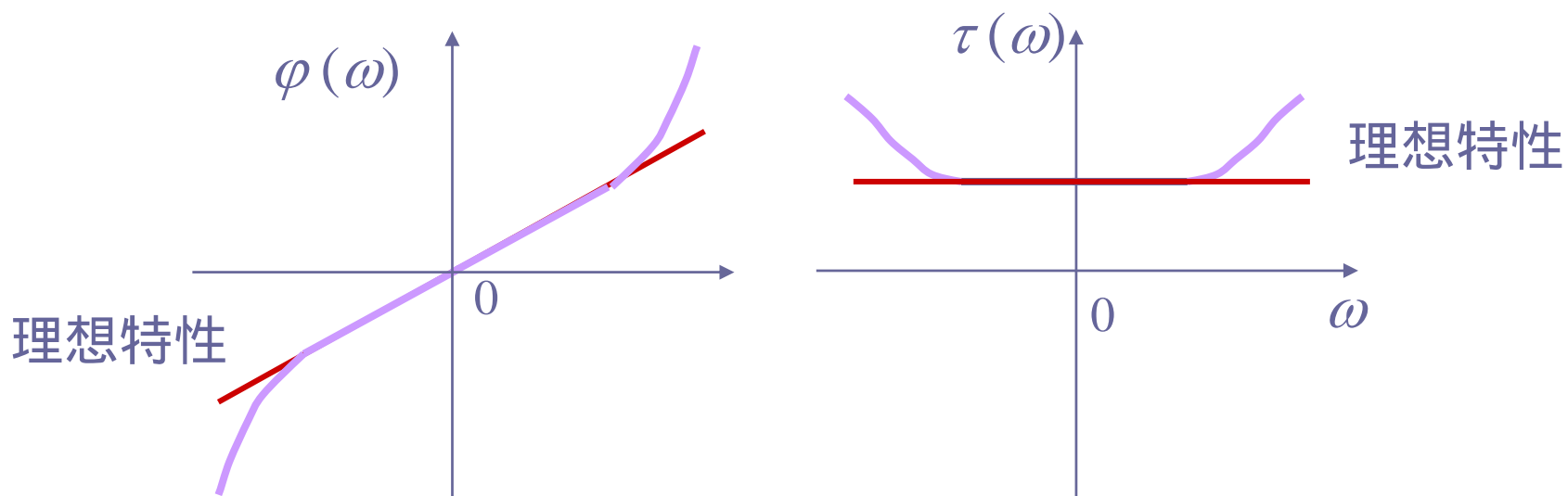
# 信道特性对信号传输的影响

□ 恒参信道： ~ 非时变线性网络

■ 振幅~频率特性



## ■ 相位~频率特性



理想特性: 相位  $\varphi(\omega) = k\omega$  ;

群延迟  $\tau(\omega) = d\varphi(\omega)/d\omega = k$

畸变的影响: 波形失真 (相位失真)、码间串扰。

## ■ 线性失真

频率失真和相位失真, 属于线性失真, 可用“线性补偿网络”纠正, “均衡”

## ■ 非线性失真

振幅特性非线性、频率偏移、相位抖动 ...  
非线性失真难以消除

## □ 变参信道

- 变参信道的共性

衰    落: 衰减随机变化

传输时延: 随机变化

多径效应: 快衰落



## ■ 接收信号的特性

设发送信号为  $A \cos \omega_0 t$  , 则经过  $n$  条路径传播后的接收信号  $R(t)$  可以表示为 :

$$R(t) = \sum_{i=1}^n r_i(t) \cos \omega_0 [t - \tau_i(t)] = \sum_{i=1}^n r_i(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_i(t)]$$

式中  $r_i(t)$  - 第  $i$  条路径的接收信号振幅 ;

$\tau_i(t)$  - 第  $i$  条路径的传输时延

$$\varphi_i(t) = -\omega_0 \tau_i(t)$$

$$R(t) = \sum_{i=1}^n r_i(t) \cos \varphi_i(t) \cos \omega_0 t - \sum_{i=1}^n r_i(t) \sin \varphi_i(t) \sin \omega_0 t$$

$$\underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{X_c(t)} \qquad\qquad\qquad \underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{X_s(t)}$$

$$R(t) = X_c(t) \cos \omega_0 t - X_s(t) \sin \omega_0 t = V(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)]$$

式中  $V(t)$  - 合成波 $R(t)$ 的包络; 【多径衰落】

$\varphi(t)$  - 合成波 $R(t)$ 的相位。

即有

$$V(t) = \sqrt{X_c^2(t) + X_s^2(t)}$$

$$\varphi(t) = \arctan \frac{X_s(t)}{X_c(t)}$$

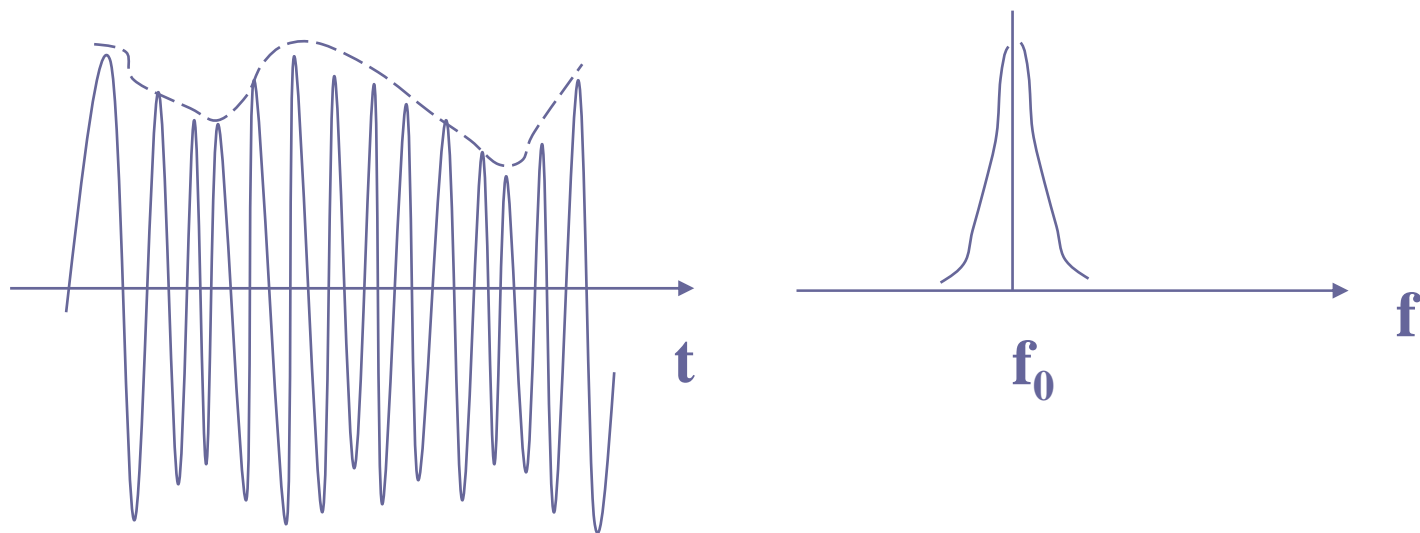
由于, 相对于 $\omega$ 而言,  $r_i(t)$ 和 $\varphi_i(t)$ 变化缓慢, 故 $X_c(t)$ ,  $X_s(t)$ 及 $V(t)$ ,  $\varphi(t)$ 也是缓慢变化的。

所以,  $R(t)$ 可以视为一个窄带信号 (随机过程)。

由下式可见， $R(t) = V(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)]$

原发送信号  $A \cos \omega_0 t$ ，经过传输后：

- \* 恒定振幅  $A$ ，变成慢变振幅  $V(t)$ ；
- \* 恒定相位  $0$ ，变成慢变相位  $\varphi(t)$ ；
- \* 因而，频谱由单一频率变成窄带频谱。



## ■ 频率选择性衰落

设：只有两条多径传播路径，且衰减相同，时延不同；

发射信号为 $f(t)$ ，接收信号为 $af(t - \tau_0)$ 和 $af(t - \tau_0 - \tau)$ ；  
发射信号的频谱为 $F(\omega)$ 。

则有  $f(t) \Leftrightarrow F(\omega)$

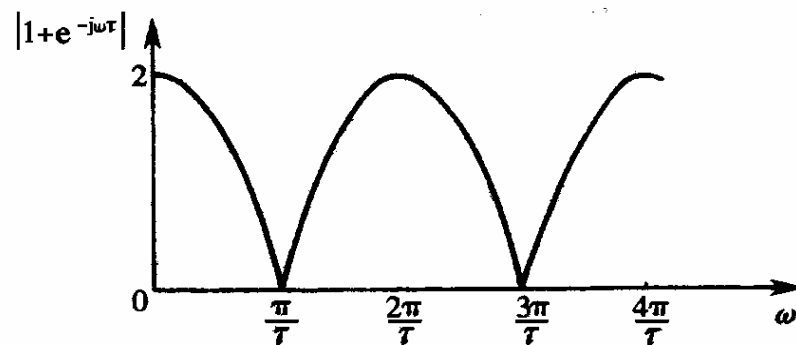
$$af(t - \tau_0) \Leftrightarrow a F(\omega) e^{-j\omega\tau_0}$$

$$af(t - \tau_0 - \tau) \Leftrightarrow a F(\omega) e^{-j\omega(\tau_0 + \tau)}$$

$$af(t - \tau_0) + af(t - \tau_0 - \tau) \Leftrightarrow a F(\omega) e^{-j\omega\tau_0} (1 + e^{-j\omega\tau})$$

$$\therefore H(\omega) = a F(\omega) e^{-j\omega\tau_0} (1 + e^{-j\omega\tau}) / F(\omega) = ae^{-j\omega\tau_0} (1 + e^{-j\omega\tau})$$

$$\begin{aligned} |1 + e^{-j\omega\tau}| &= |1 + \cos\omega\tau - j\sin\omega\tau| = \sqrt{[(1 + \cos\omega\tau)^2 + \sin^2\omega\tau]}^{1/2} \\ &= 2|\cos(\omega\tau/2)| \end{aligned}$$

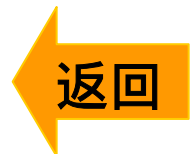


## ■ 三类信号

\*确知信号

\*随相信号

\*起伏信号



# 信道中的噪声

## □ 按照来源分类：

- 人为噪声：电火花、家用电器...
- 自然噪声：闪电、大气噪声、热噪声...

## □ 按照性质分类：

- 脉冲噪声
- 窄带噪声
- 起伏噪声

## □ 今后讨论通信系统时主要涉及：

白噪声 - 热噪声是一种典型白噪声。

返回