

# 现代通信技术概论

---

# 第3讲 数字微波通信系统

## 3.1 概述

## 3.2 微波的视距传播特性

## 3.3 数字微波通信系统

## 3.1 概述

3.1.1 基本概念

3.1.2 微波通信发展历程

3.1.3 微波通信的特点

3.1.4 微波通信系统的分类

3.1.5 微波通信的应用

## 3.1.1 基本概念

- ◆ 微波是指波长在**1mm~1m**或频率为**300MHz-300GHz**的电磁波。
- ◆ 微波通信指的是以微波频率作为载波，通过中继接力方式实现的一种通信方式。

## 3.1.2 微波通信的发展历程

- ◆ 19世纪30年代中期出现了工作在VHF频段的第一个商用模拟无线通信系统。
- ◆ 二战期间出现了UHF频段的军用无线中继通信系统。
- ◆ 1951年，美国纽约到旧金山之间成功开通了商用的微波通信线路。在随后的二三十年间，模拟微波通信系统迅速发展。
- ◆ 我国从“七五”期间开始引入微波通信系统。
- ◆ 20世纪70年代末出现了采用简单QPSK、8PSK等的商用数字微波通信系统。
- ◆ 20世纪80年代，随着数字信号处理技术和大规模集成电路的发展，微波通信系统得到迅速发展。
- ◆ 20世纪90年代后出现了容量更大的数字微波通信系统

### 3.1.3 微波通信的特点

- ◆频带宽，传输容量大
- ◆适于传送宽频带信号
- ◆天线增益高，方向性强
- ◆外界干扰小，通信线路稳定可靠
- ◆投资少，建设快，通信灵活性大
- ◆中继通信方式

## 3.1.4 微波通信系统的分类

- ◆ 模拟微波通信系统
- ◆ 数字微波通信系统

## 3.1.5 微波通信的应用

- ◆作为干线光纤传输的备份和补充
- ◆边远地区和专用通信网中为用户提供基本业务
- ◆市内的短距离支线连接
- ◆无线宽带业务接入



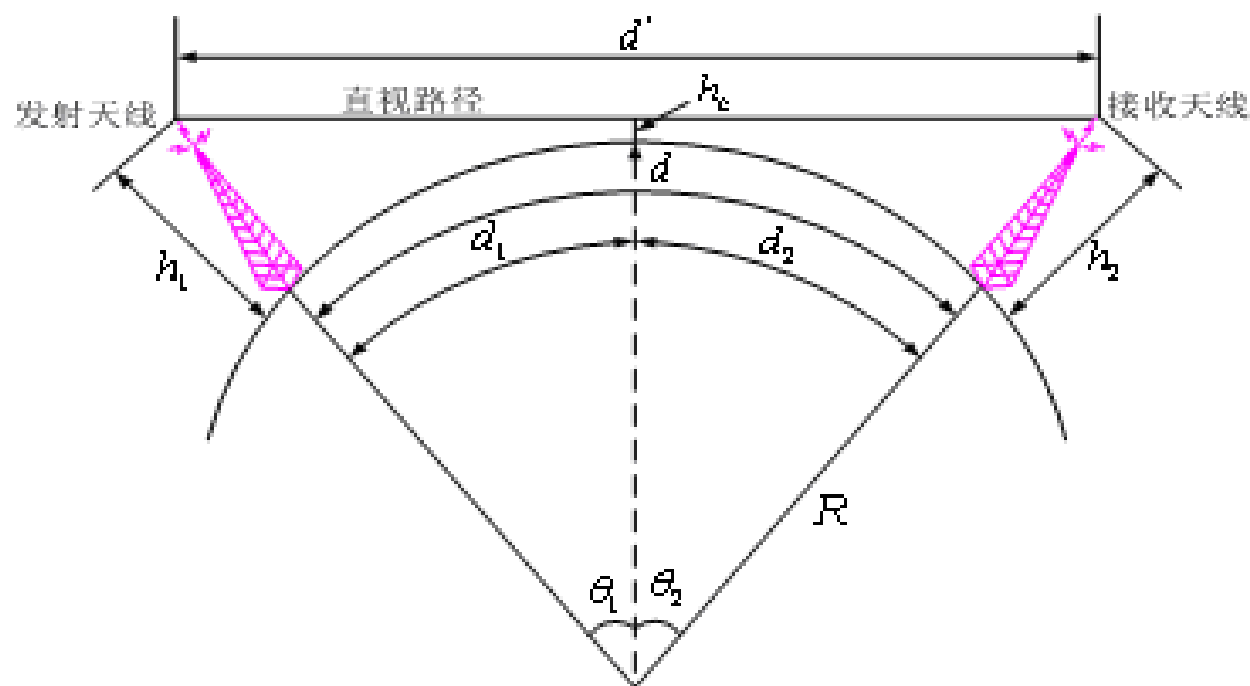
## 3.2 微波的视距传播特性

3.2.1 天线高度与传播距离

3.2.2 自由空间传播损耗

3.2.3 地面效应和大气效应

## 3.2.1 天线高度与传播距离



$$d = d_1 + d_2 = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1 - h_c} + \sqrt{h_2 - h_c})$$

## 3.2.2 自由空间传播损耗

在半径为 $d$ 的球面上的功率（电通量）密度为

$$F = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

辐射源发出的总辐射功率

传播（或扩散）因子： $\frac{P_t}{F} = 4\pi d^2$

## 3.2.2 自由空间传播损耗

实际微波通信中采用的天线均有方向性，对于发射天线而言，天线增益 $G_t$ 表示天线在最大辐射方向上单位立体角的发射功率与无方向天线单位立体角的发射功率的比值。此时，与发射源相距 $d$ 的单位面积所接收的功率为

$$P_r' = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2}$$

## 3.2.2 自由空间传播损耗

对于接收天线而言，天线增益 $G_r$ 表示天线接收特定方向电波功率的能力。根据天线理论，天线的有效面积为

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

若接收机与发射机的距离为 $d$ ，接收天线的有效面积为 $A$ ，发射天线的增益为 $G_t$ ，接收天线的增益为 $G_r$ ，则接收到的信号载波功率为

$$P_r = P_t G_r A = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} G_t G_r P_t$$

## 3.2.2 自由空间传播损耗

若不考虑发射天线增益 $G_t$ 和接收天线增益 $G_r$ ，电波的自由空间损耗定义为发射功率与接收功率之比，即

$$L_f = \frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \left(\frac{4\pi}{c}\right)^2 d^2 f^2$$

通常用分贝表示自由空间传播损耗，即

$$L_f = 92.44 + 20\lg d + 20\lg f$$

## 3.2.2 自由空间传播损耗

若考虑发射天线增益 $G_t$ 和接收天线增益 $G_r$ ，则将这种有方向性的传播损耗称为系统损耗，通常用 $L$ 表示，其分贝形式为

$$L = L_t - G_t - G_r$$

## 3.2.3 地面效应和大气效应

### ◆地面效应

- ✓ 传播路径上障碍物的阻挡或部分阻挡引起的损耗
- ✓ 电波在平滑地面（如水面、沙漠、草原等）的反射引起的多径传播，进而产生接收信号的干涉衰落。

### ◆地面反射

- ✓ 电波在比较平滑的地表面上传播时会产生强烈的镜面反射，形成多径传播。

### ◆大气效应

- ✓ 大气对微波传输所产生的影响主要有大气损耗、雨雪天气引起的损耗以及大气折射引起的损耗。



## 3.3 数字微波通信系统

3.3.1 中继通信线路与设备组成

3.3.2 微波波道及其频率配置

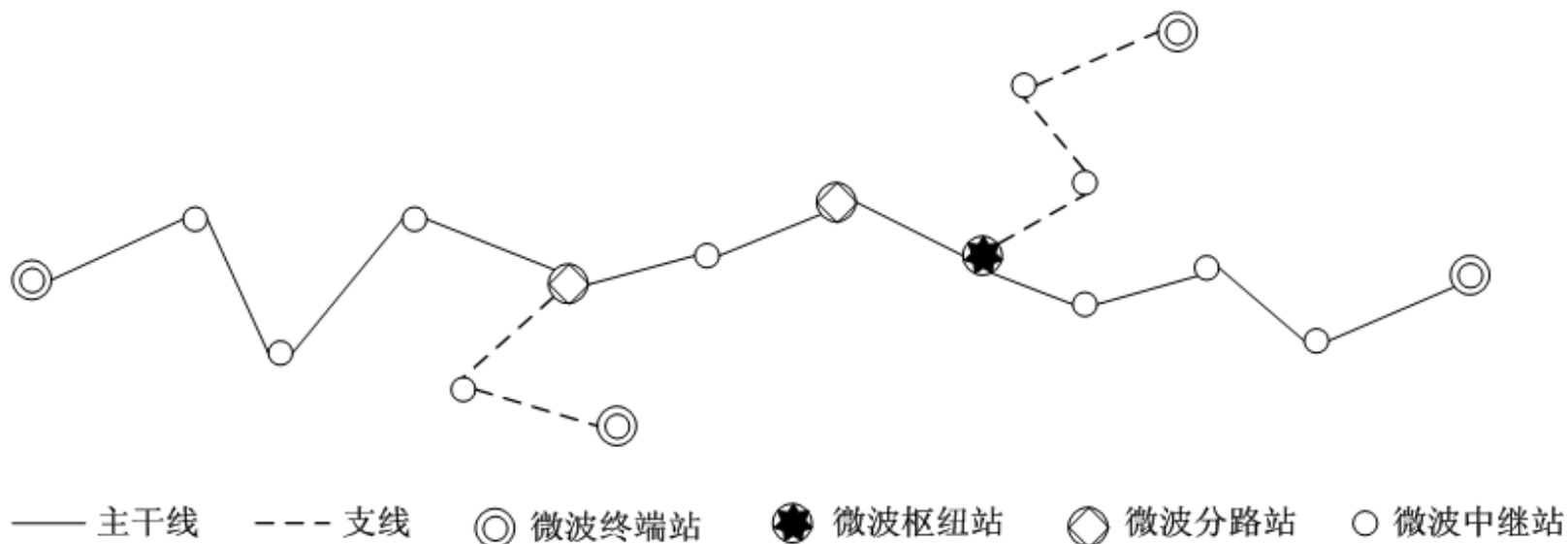
3.3.3 发信设备

3.3.4 收信设备

3.3.5 天馈线系统

# 3.3.1 中继通信线路与设备组成

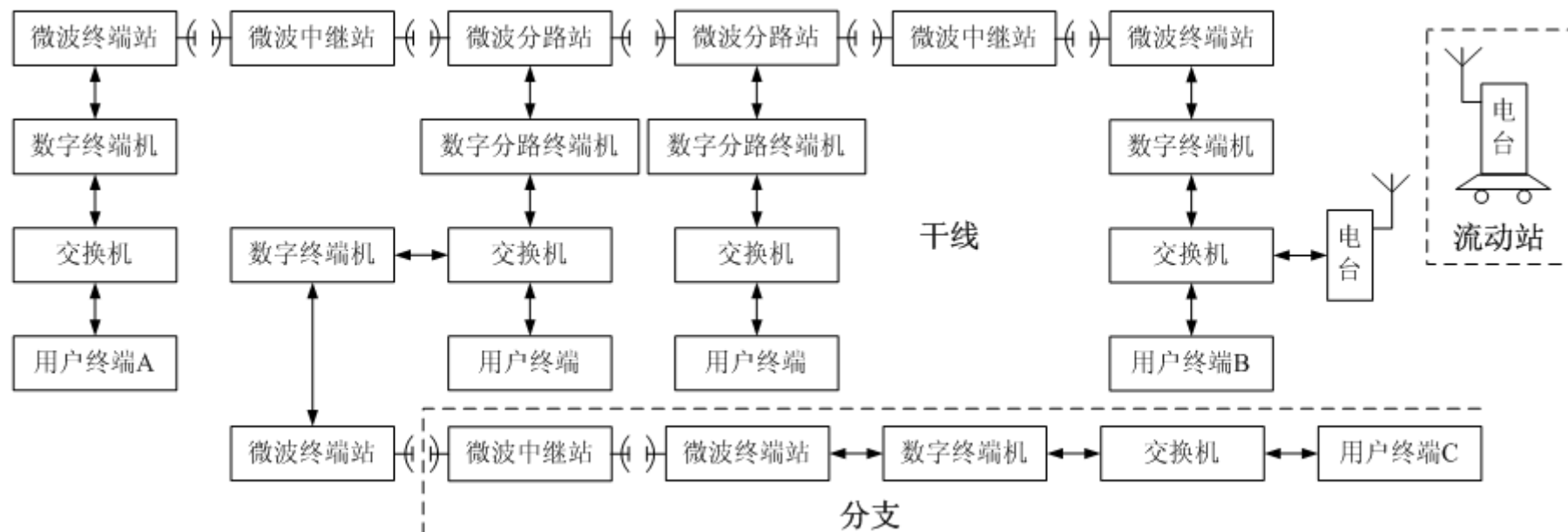
## 数字微波通信线路



# 3.3.1 中继通信线路与设备组成

## 数字微波通信系统组成

用户终端；交换机；数字终端机；微波站



## 3.3.1 中继通信线路与设备组成

### ◆ 用户终端

直接为用户所使用的终端设备。如电话机、传真机、计算机、调度电话机等。

### ◆ 交换机

用户可通过交换机进行呼叫连接，建立暂时的通信信道或电路。这种交换可以是模拟交换，也可以是数字交换。目前，大容量干线绝大部分采用数字程控交换机。

### ◆ 数字终端机

实际上是一个数字电话终端复用/分接设备，其基本功能是把来自交换机的多路信号进行复接，复接信号送往数字微波传输信道。同时把来自微波终端站的复接信号进行分接，分接信号送往交换机。

## 3.3.1 中继通信线路与设备组成

### ◆ 微波站

- ✓ 数字微波终端站
- ✓ 数字微波中继站
- ✓ 数字微波分路站
- ✓ 数字微波枢纽站

## 3.3.1 中继通信线路与设备组成

### ◆ 数字微波终端站

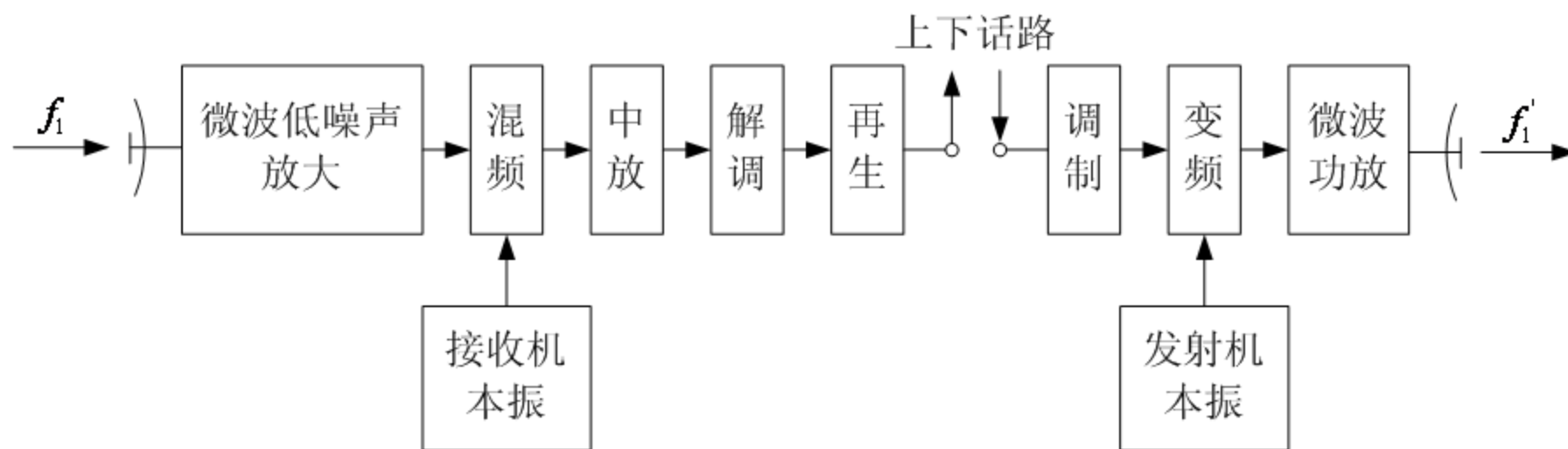
- ✓ 数字微波终端站指的是位于线路两端或分支线路终点的微波站。在SDH微波终端站设备中包括发信端和收信端两大部分。
- ✓ SDH微波终端站的发信端主要负责完成主信号的发信基带处理（包括CMI/NRZ变换、SDH开销的插入与提取、微波帧开销的插入和旁路业务的提取等）、调制（包括纠错编码、扰码和差分编码等）、发信混频和发信功率方法等。
- ✓ SDH微波终端站的收信端主要负责完成主信号的低噪声接收（根据需要可含分集接收和分集合成）、解调（含中频频域均衡、基带或中频时域均衡、收信差分译码、解扰码和纠错译码等）以及收信基带处理（含旁路业务的提取、微波帧开销的插入与提取、SDH开销的插入与提取，以及NRZ/CMI变换等）。

## 3.3.1 中继通信线路与设备组成

### ◆ 数字微波中继站

- ✓ 数字微波中继站指的是位于线路中间的微波站。根据对信号的处理方式不同，又可将中继站分为中间站和再生中继站，再生中继站又包括上下话路和不上下话路两种结构。
- ✓ 数字微波中继站的中继方式
  - 基带中继（再生转接）
  - 外差中继（中频转接）
  - 直接中继（射频转接）

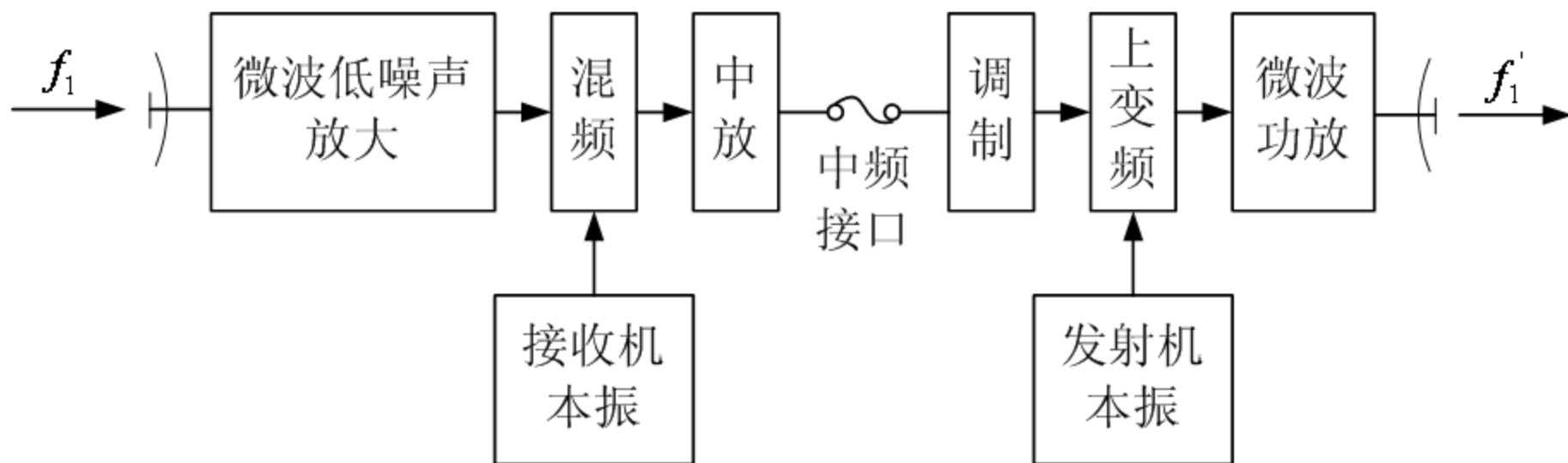
### 3.3.1 中继通信线路与设备组成



基带中继（再生转接）方式

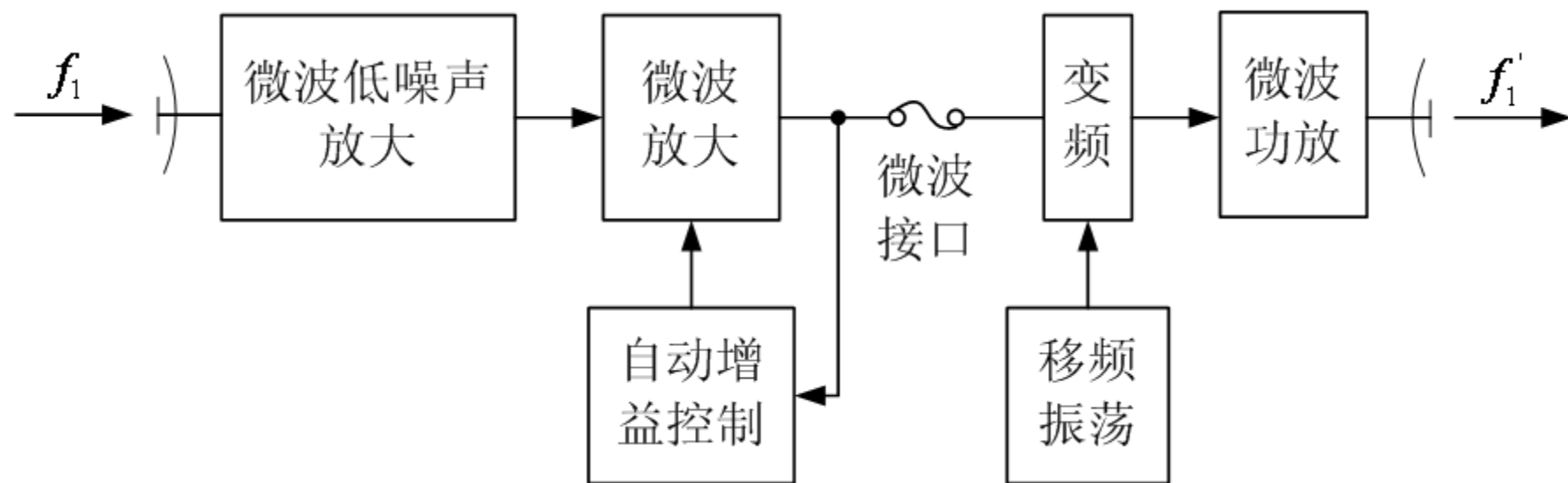


### 3.3.1 中继通信线路与设备组成



外差中继（中频转接）方式

### 3.3.1 中继通信线路与设备组成



直接中继（射频转接）方式

## 3.3.1 中继通信线路与设备组成

### ◆ 数字微波分路站

- ✓ 数字微波分路站指的是位于线路中间的微波站，既可以上、下某收、发信波道的部分支路，也可以沟通干线上两个方向之间的通信。由于在此站上能够完成部分波道信号的再生，因此该站应配备有SDH微波传输设备和SDH分插复用设备（ADM）。

## 3.3.1 中继通信线路与设备组成

### ◆ 数字微波枢纽站

数字微波枢纽站指的是位于干线上的、需要完成多个方向通信任务的微波站。在系统多波道工作的情况下，此类站应能完成对某些波道STM-4信号或部分支路的转接和话路的上、下功能，同时也能完成对某些波道STM-4信号的复接和分接操作，如果需要，还能对某些波道的信号进行再生处理后的再继续传播。

## 3.3.2 微波波道及其频率配置

- ◆ 微波通信频率配置的基本原则是使整个微波传输系统中的相互干扰最小，频率利用率最高。
- ◆ 频率配置时应考虑的因素
  - ✓ 整个频率的安排要紧凑，使得每个频段尽可能获得充分利用。
  - ✓ 在同一中继站中，一个单向传输信号的接收和发射必须使用不同的频率，以避免自调干扰。
  - ✓ 在多路微波信号传输频率之间必须留有足够的频率间隔以避免不同信道间的相互干扰。
  - ✓ 因微波天线和天线塔建设费用很高，多波道系统要设法共用天线，因此选用的频率配置方案应有利于天线共用，达到既能使天线建设费用低又能满足技术指标的目的。
  - ✓ 避免某一传输信道采用超外差式接收机的镜像频率传输信号。

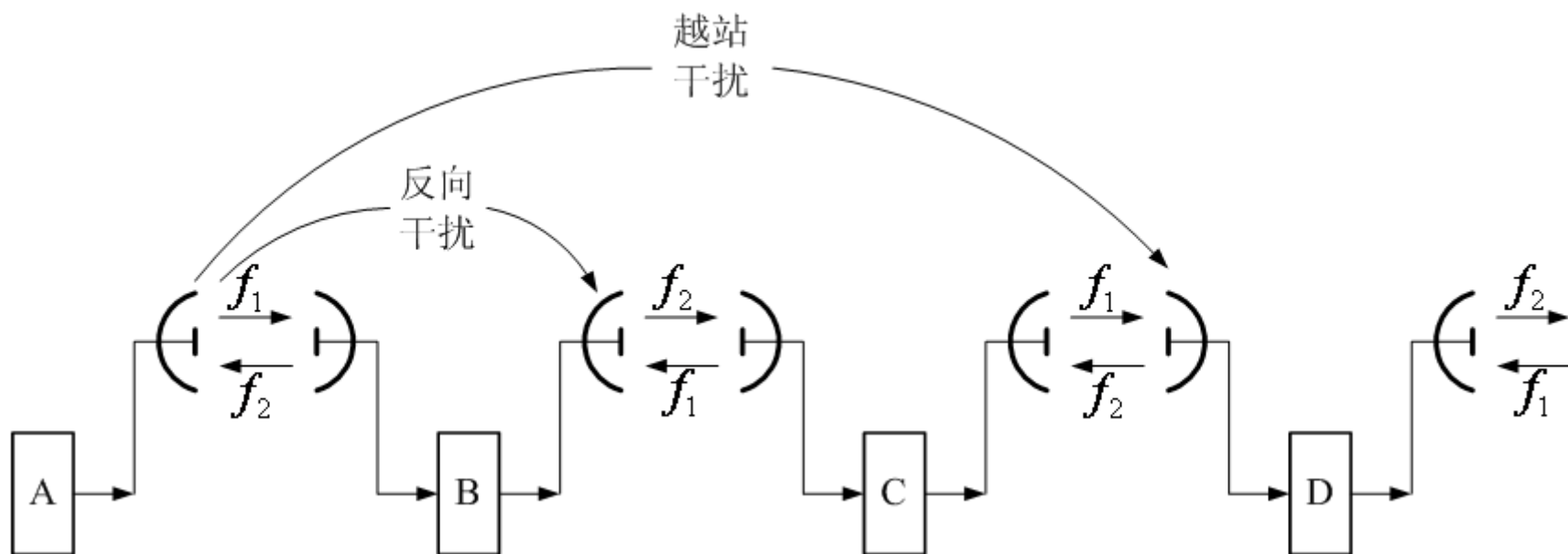
## 3.3.2 微波波道及其频率配置

### ◆ 单波道的频率配置

- ✓ 二频制频率分配
- ✓ 四频制频率分配

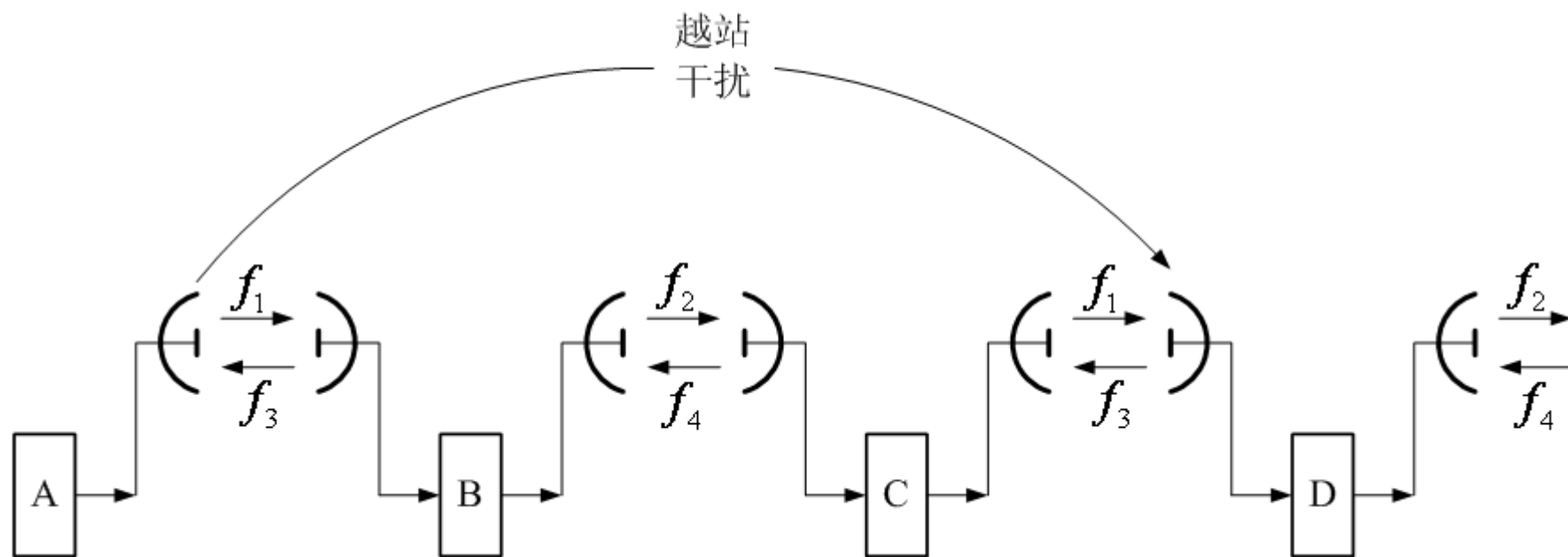
## 3.3.2 微波波道及其频率配置

### 二频制频率分配



## 3.3.2 微波波道及其频率配置

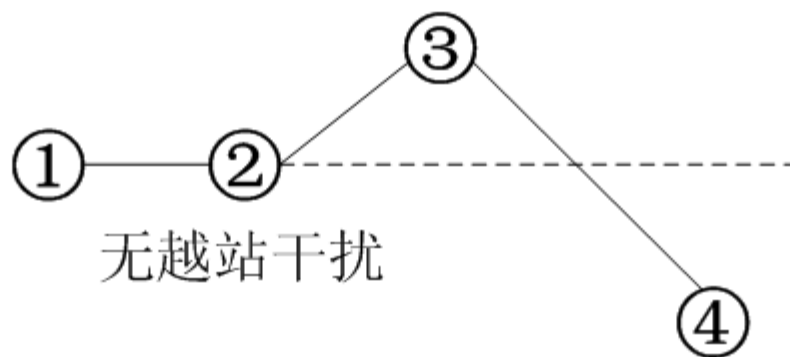
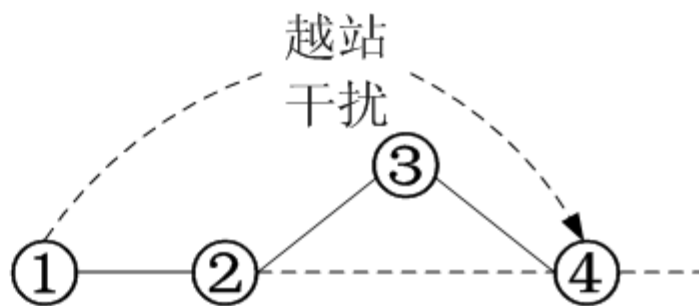
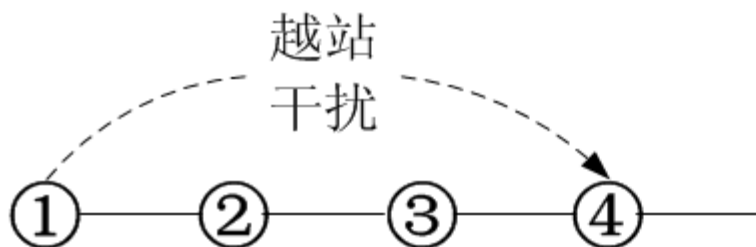
### 四频制频率分配





## 3.3.2 微波波道及其频率配置

越站干扰



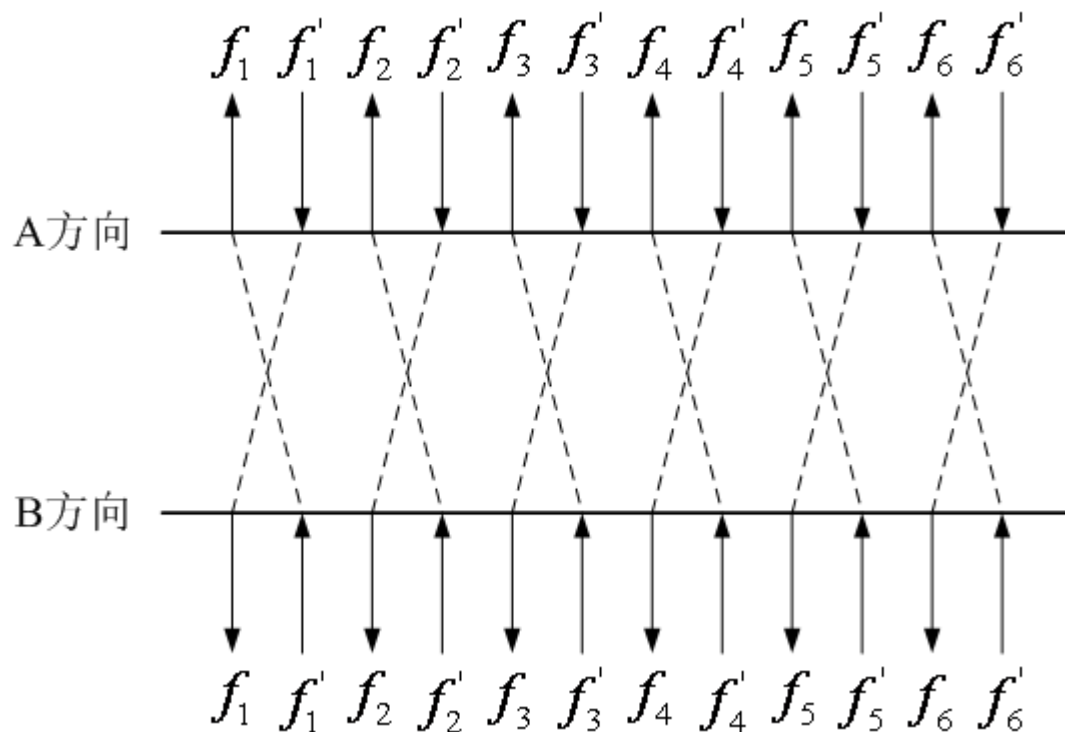
## 3.3.2 微波波道及其频率配置

### ◆ 多波道的频率配置

- ✓ 收发频率相间排列
- ✓ 收发频率集中排列

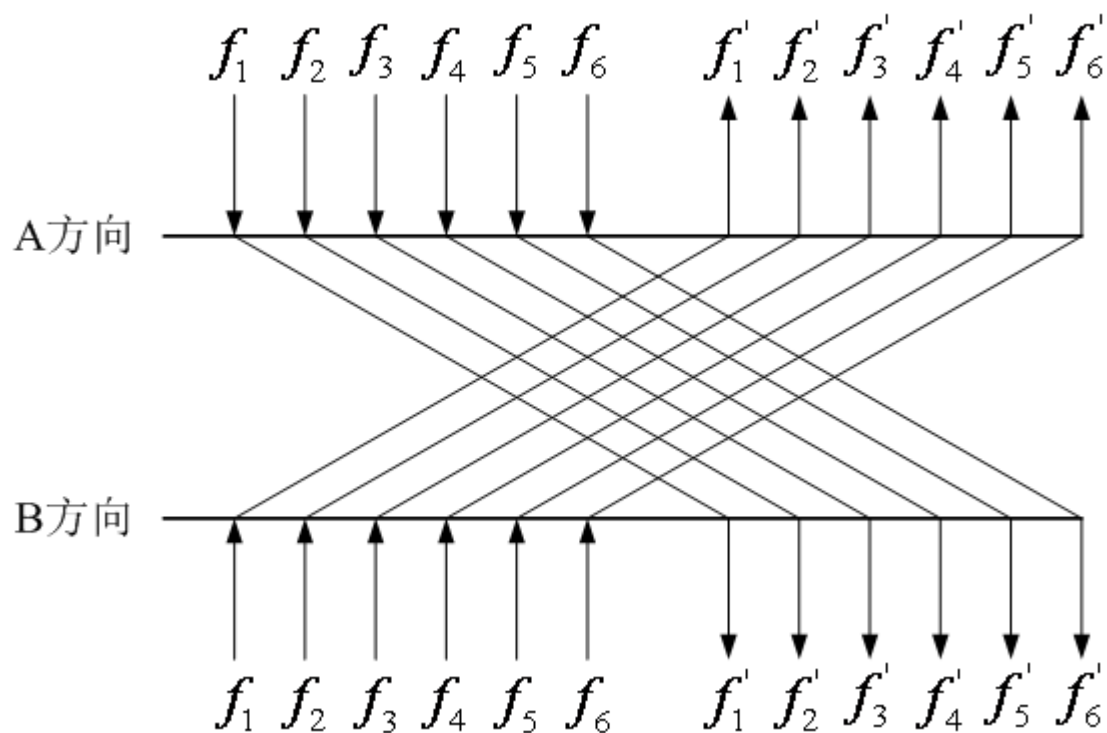
## 3.3.2 微波波道及其频率配置

收发频率相间排列：



## 3.3.2 微波波道及其频率配置

收发频率集中排列:

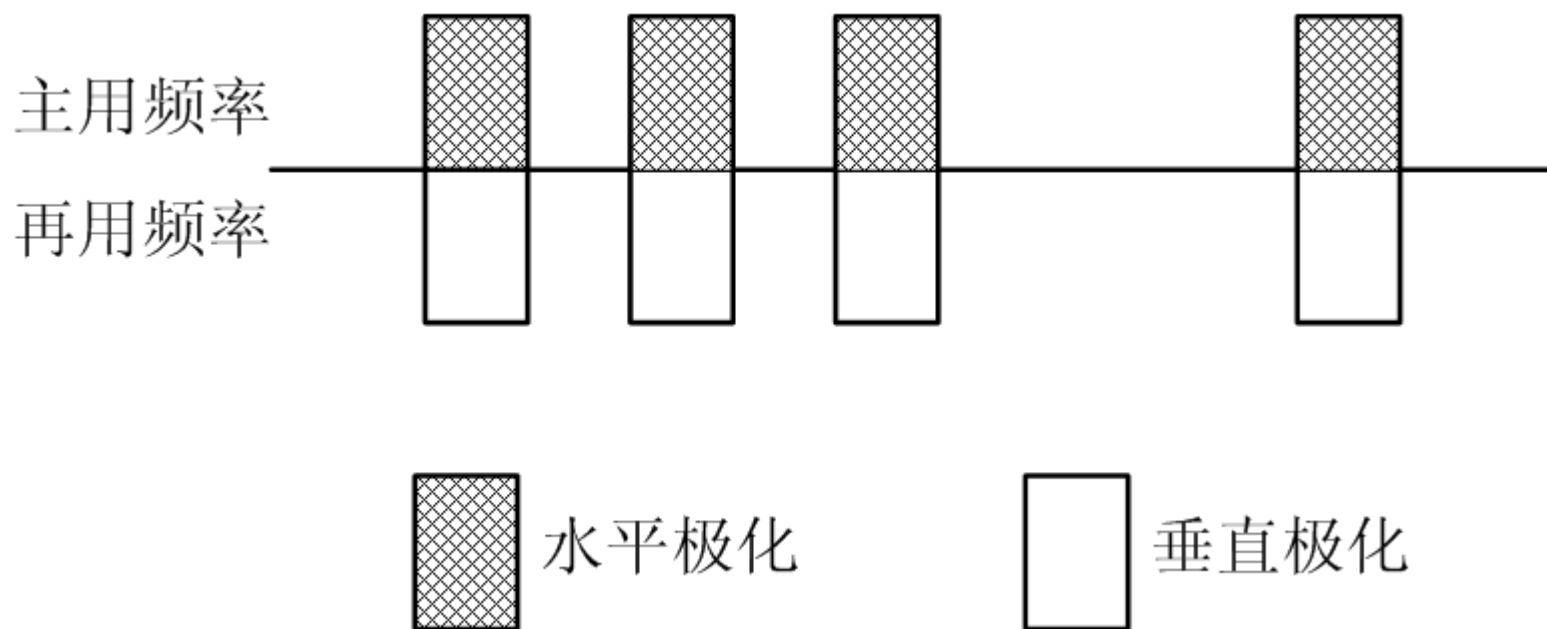


## 3.3.2 微波波道及其频率配置

### ◆ 频率再用

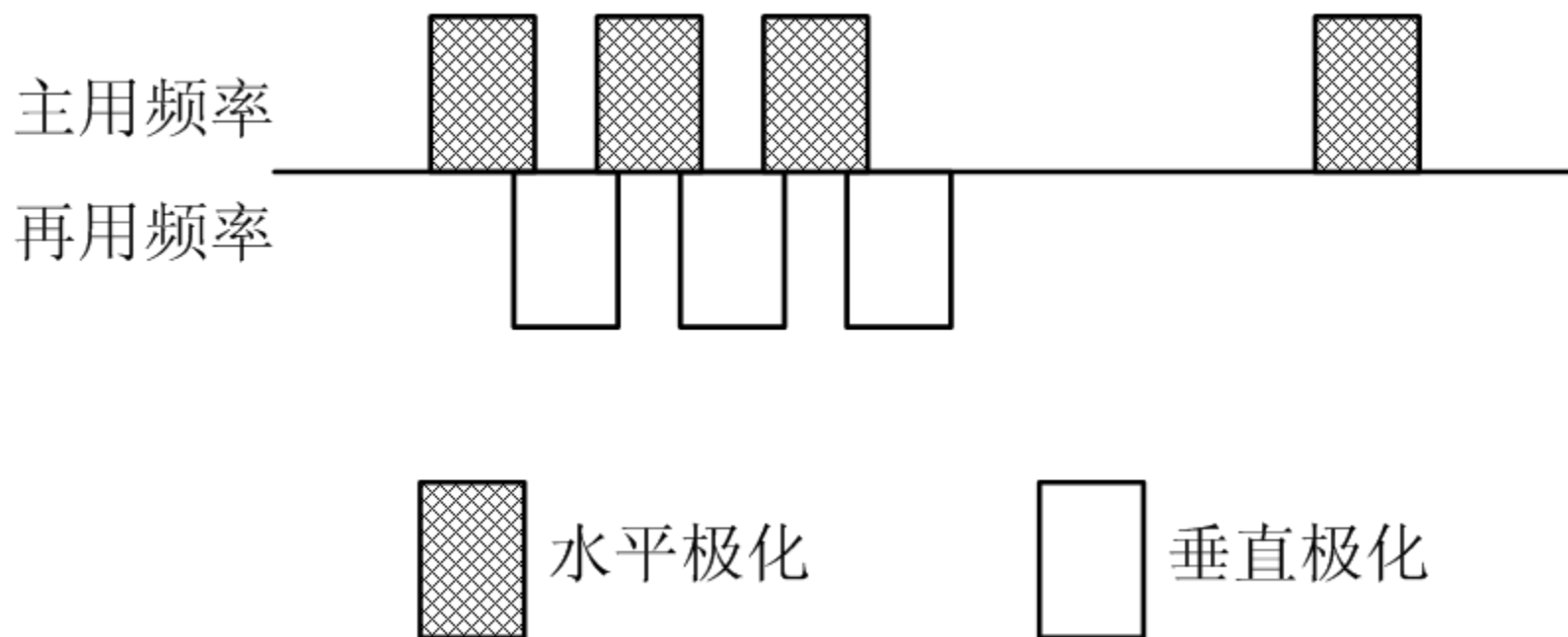
- ✓ 频率再用是一种提高频道利用率的常用技术。由微波的极化特性可知，利用两个相互正交信号的极化方式（如水平极化和垂直极化）可以减少它们之间的干扰，由此可以对微波波道实行频率再用。
- ✓ 在微波通信系统中，频率再用就是在相同和相近的波道频率位置，借助不同的极化方式来增加射频波道数量。
- ✓ 频率再用方案
  - 同波道型频率再用
  - 插入波道型频率再用

## 3.3.2 微波波道及其频率配置



同波道型频率再用

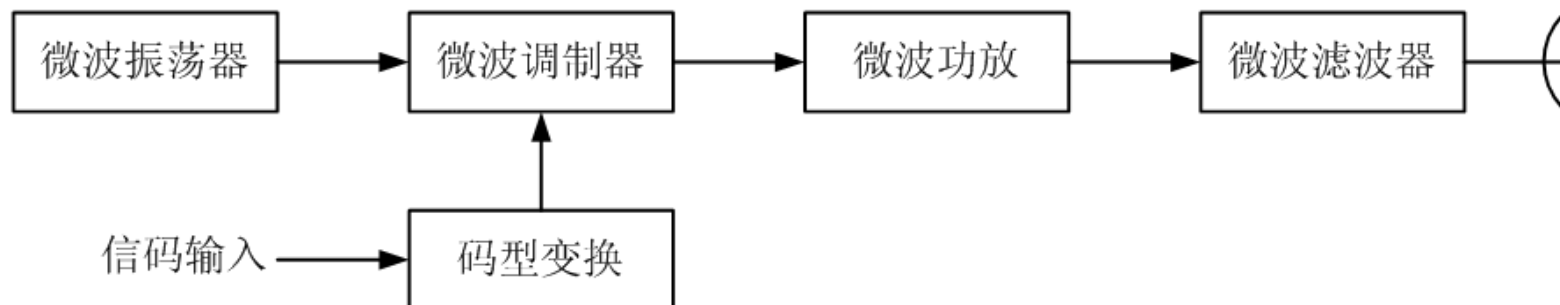
## 3.3.2 微波波道及其频率配置



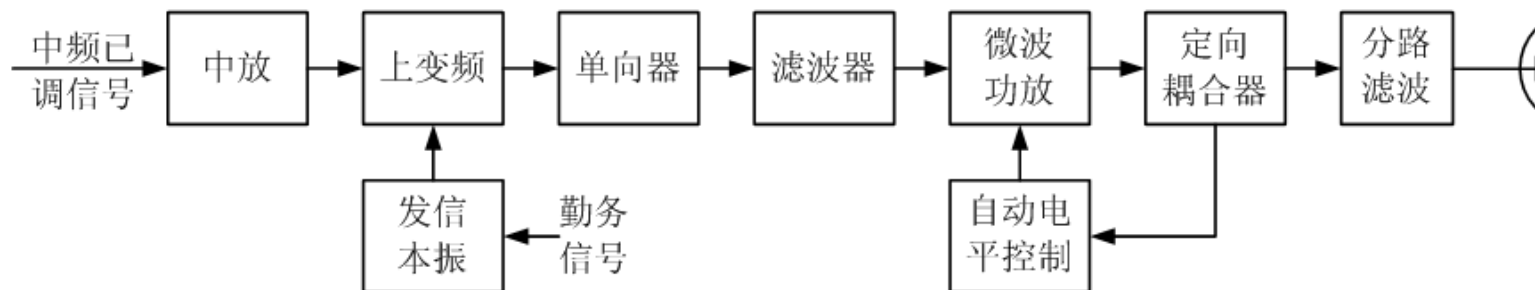
插入波道型频率再用

## 3.3.3 发信设备

### ◆ 直接调制式发信机



### ◆ 变频式发信机





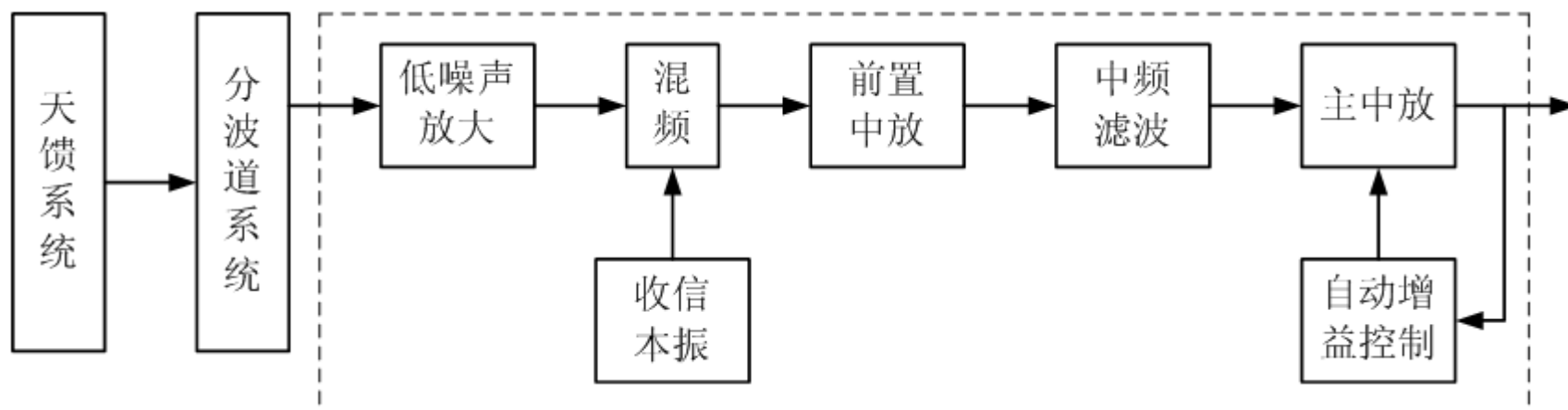
## 3.3.3 发信设备

### ◆ 发信机的主要性能指标

- ✓ 工作频段
- ✓ 输出功率
- ✓ 频率稳定度

## 3.3.4 收信设备

收信设备的组成:



## 3.3.4 收信设备

### ◆ 收信机的主要性能指标

- ✓ 工作频段
- ✓ 收信本振的频率稳定度
- ✓ 噪声系数
- ✓ 通频带
- ✓ 选择性
- ✓ 收信机的最大增益
- ✓ 自动增益控制范围

## 3.3.5 天馈线系统

- ◆ 天馈线系统由馈线、双工器和天线组成。
- ◆ 微波通信中的馈线有同轴电缆和波导管两种形式。一般在分米波段可以采用同轴电缆，而在厘米波段采用波导管可以降低馈线损耗。
- ◆ 对天馈线系统的总体要求是：足够的天线增益、良好的方向性、低传输损耗馈线系统、极小的电压驻波比。整个天馈线系统应该具有较高的极化去耦度和足够的机械强度。

# 本章小结及知识点

- ◆ 微波通信的概念和特点
- ◆ 微波通信系统的分类及应用
- ◆ 微波的视距传播特性
- ◆ 数字微波通信系统的组成
- ◆ 数字微波中继站的中继方式
- ◆ 微波波道及其频率配置
- ◆ 数字微波收发信设备

## 作业（第2&3讲）

- 1、与模拟通信相比，数字通信有哪些优势？**
- 2、试说明差错控制编码的基本原理。**
- 3、什么是微波通信？微波通信具有哪些特点？数字微波通信系统由哪几个部分组成？**