

第 4 章 卫星通信系统

本章要点:

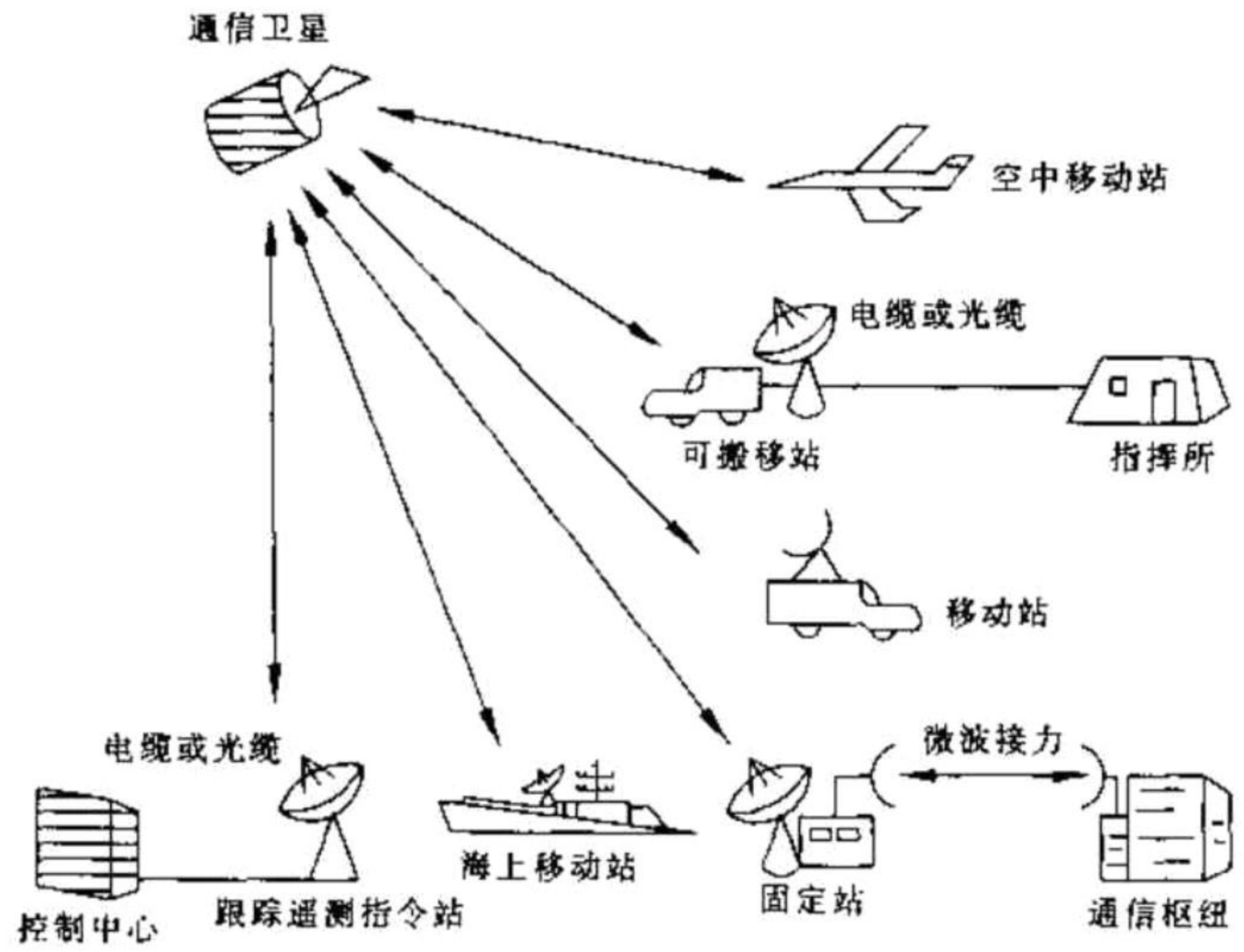
- 卫星通信概述
- 通信卫星与地球站
- 卫星通信系统的技术体制

4. 1 卫星通信概述

4. 1. 1 卫星通信的基本概念

- **卫星通信**：指地球站之间利用人造地球卫星转发信号实现的无线电通信。
- **地球站**：设在地球上(包括陆地、水上和大气层中)的无线电通信站。
- **通信卫星**：用于转发各地球站信号的人造地球卫星。

是地面微波接力通信和航天技术的结合。



4.1.2 通信卫星的类型

1、按轨道平面与赤道平面的夹角不同

分为：赤道卫星、极轨卫星、倾斜轨道卫星

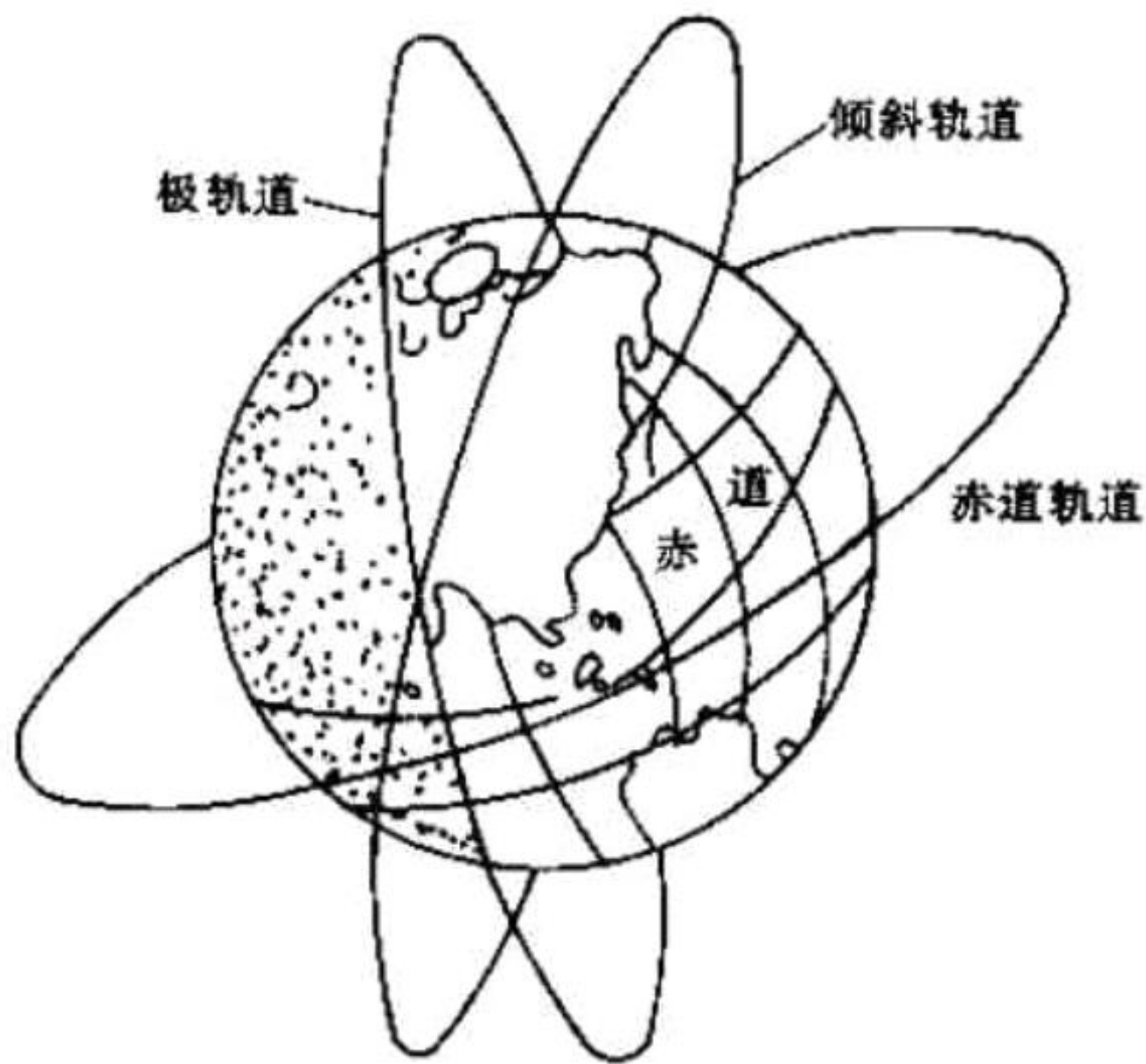


图 4-2 通信卫星的轨道

2、 按卫星离地面最大高度 h 的不同

分为:

低高度卫星, $h < 5000\text{km}$;

小高度卫星, $5000\text{km} < h < 20000\text{km}$;

高高度卫星, $h > 20000\text{km}$ 。

3、 按卫星的运转周期以及卫星与地球上任一点的相对位置关系不同可分为:

a) 同步卫星:

运转周期与地球自转周期相同, 其运行轨道称为同步轨道。

同步卫星又有定点和非定点之分。

b) 非同步卫星:

运转周期不等于(通常是小于)地球自转周期, 其轨道倾角、轨道高度、轨道形状(圆形成椭圆形)可因需要而异。

从地球上看来,这种卫星是以一定的速度运动的,故又称为移动卫星或运动卫星。

目前的卫星通信系统大多采用静止卫星。

静止卫星距地 35800 公里,可覆盖 40% 的地球表面,最远跨距 18000 公里。

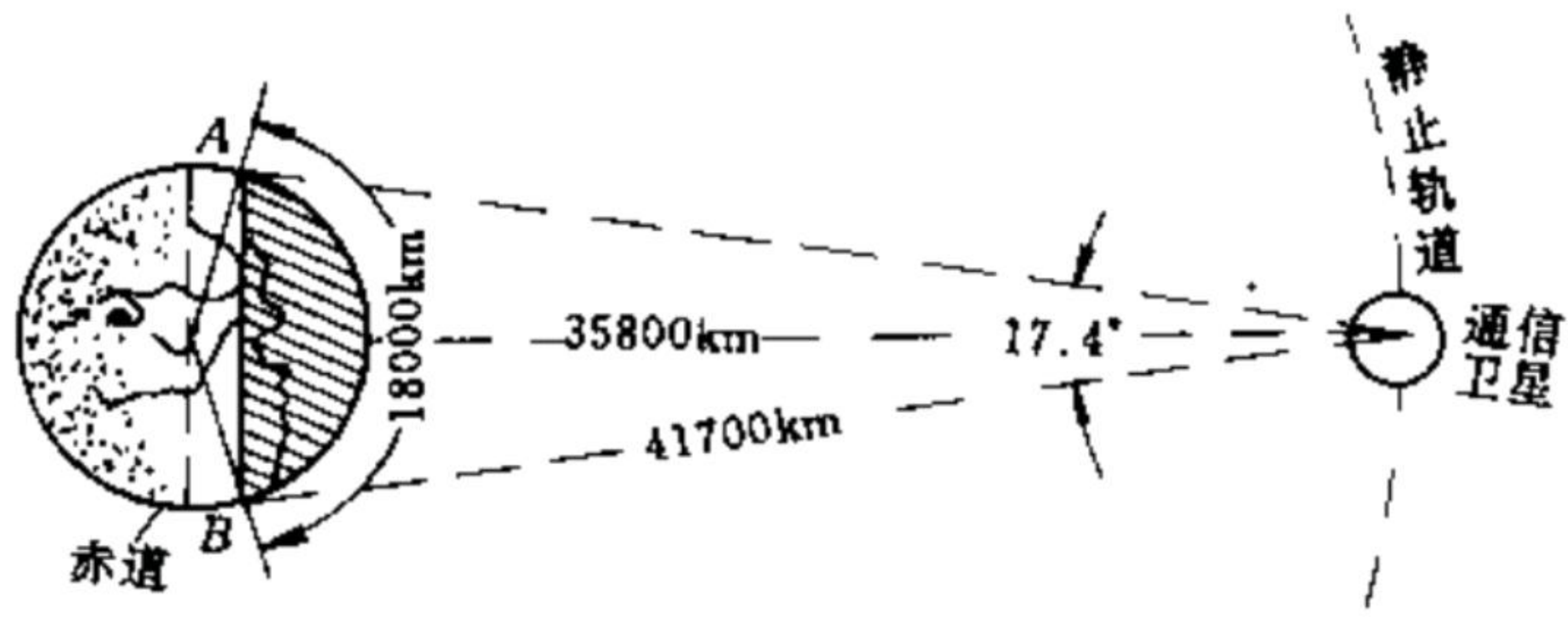


图 4-3 静止通信卫星的覆盖区

适当配置的三颗同步卫星和覆盖全球（除极地地区）。

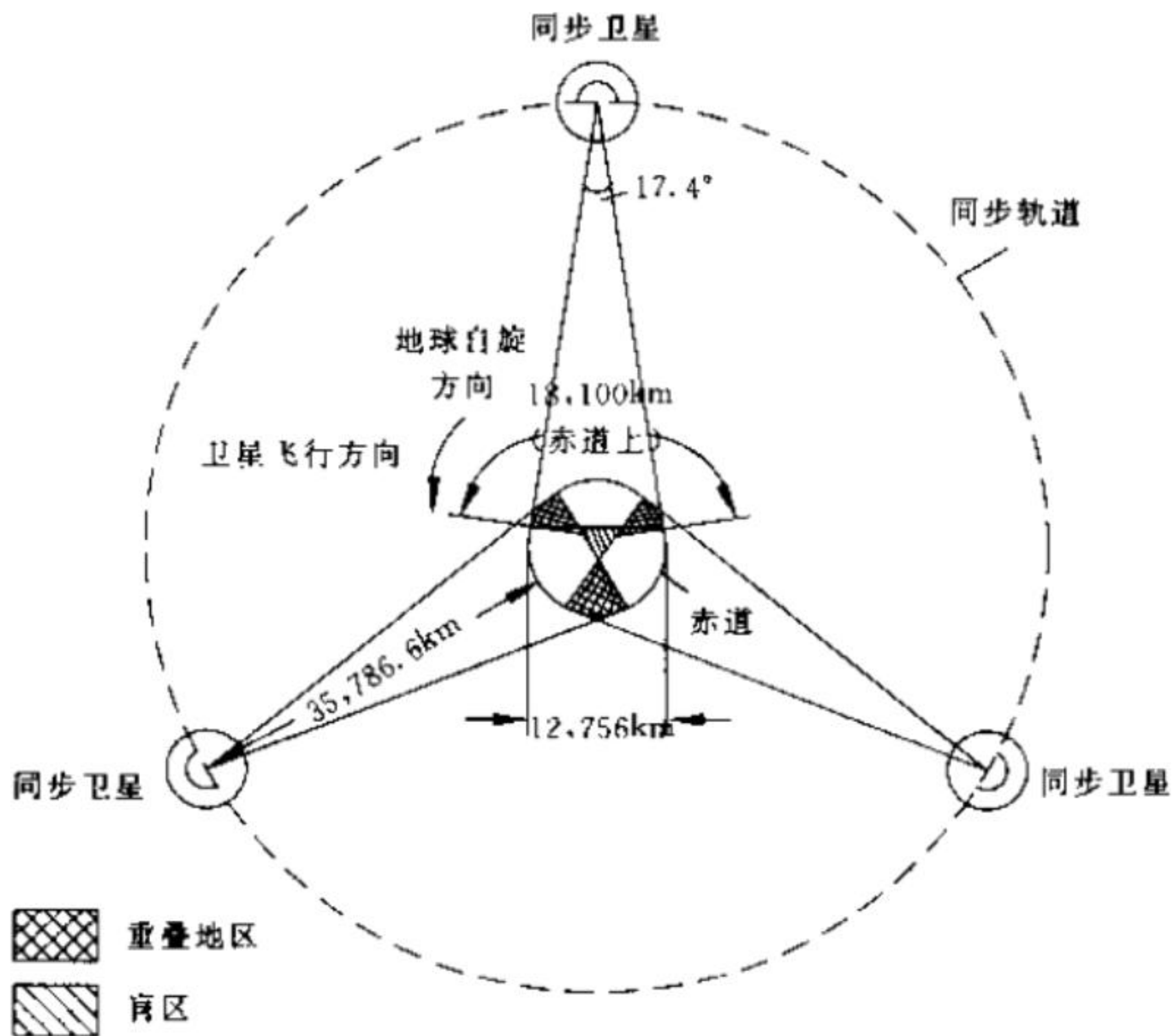


图 4-4 利用静止卫星建立全球通信

静止卫星的优点:

- (1) 卫星静止, 地球站天线易对准卫星, 不需要复杂的跟踪系统;
- (2) 不需要更换不同的卫星以保持通信的连续;
- (3) 信号频率稳定, 不存在多普勒频移。

静止卫星的缺点:

- (1) 两极地区为通信盲区;
- (2) 卫星距地球远, 传输损耗的时延大;
- (3) 静止轨道只有一条, 容纳卫星数目有限;
- (4) 发射和在轨测控技术复杂;
- (5) 春分和秋分前后存在星蚀和日凌中断现象 (参见教材图 4-5)。

4. 1. 3 卫星通信系统的组成及其工作过程

1、系统的组成

卫星通信系统组成:

通信卫星、跟踪遥测指令站、卫星通信地球站、地面传输线路

■ 通信卫星的作用:

转发各地球站信号。

由一副或数副天线、若干转发器以及跟踪、遥测、控制等分系统组成。

■ 跟踪遥测指令站:

用以接收卫星发来的信标及各种状态数据，经分析处理后向卫星发出指令信号，

控制卫星的位置、姿态及各部分工作状态

■ 卫星通信地球站:

用于发射和接收用户信号。

由基带处理、调制解调、发射、接收、天线、电源等设备组成。

- **地面传输线路:**

采用电线、光缆或微波接力线路等。

卫星通信网络的结构:

星形网络、网格形网络、混合形式

- **星形网络:**

外围各站与中心站可直接通信，外围站之间须经中心站转接建立联系。

- **网格形网络:**

所有各站均可经卫星直接沟通。

- **两种网络的混合形式。**

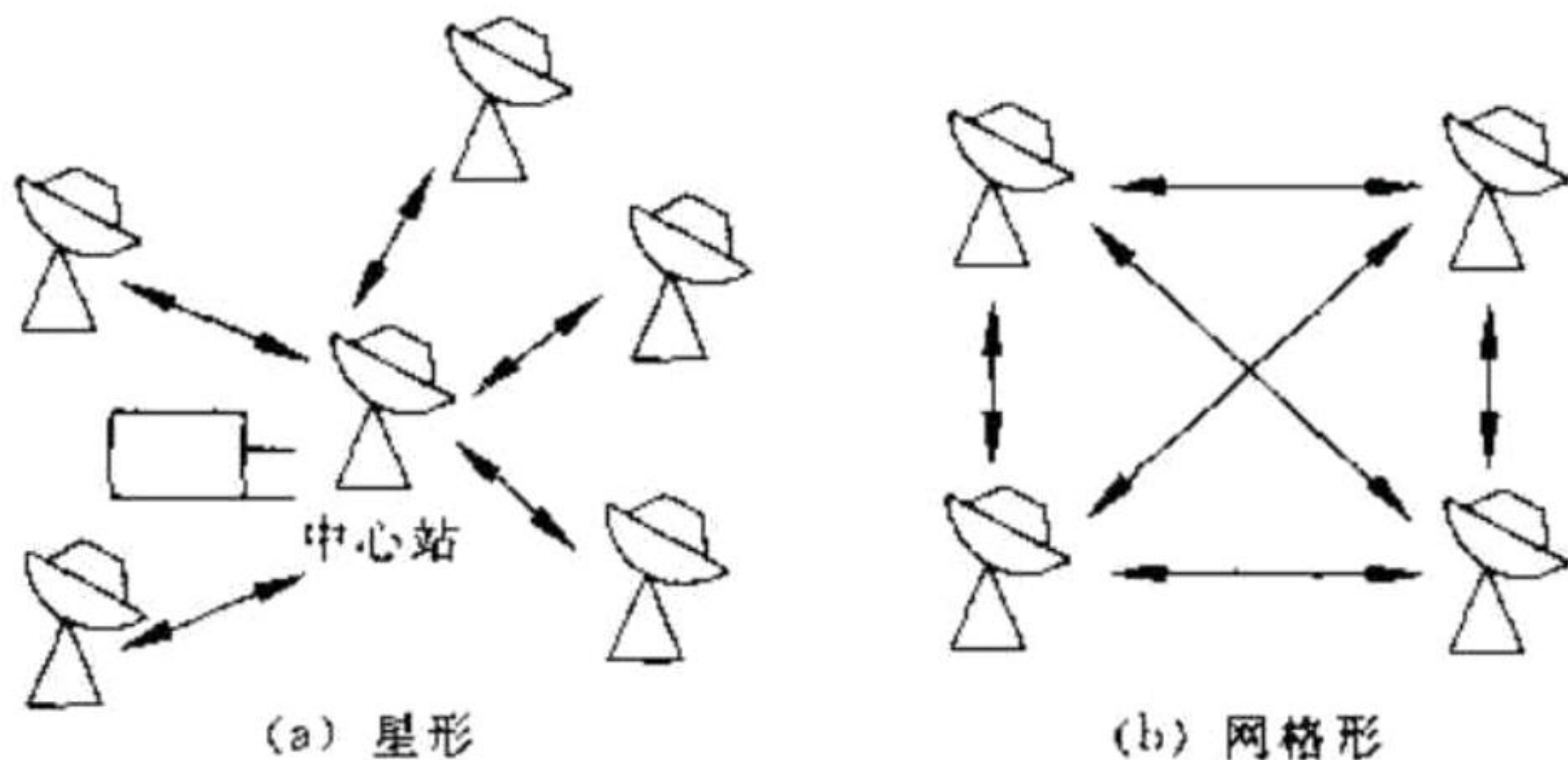


图 4-6 卫星通信网络的结构

2、系统的工作过程

- 上行线路(或称上行链): 从发信地球站到卫星的线路。
- 下行线路(或称下行链): 从卫星到收信地球站的线路。
- 通信线路 = 上行线路 + 下行线路

- 两条共用同一卫星的单工线路组成双工线路。

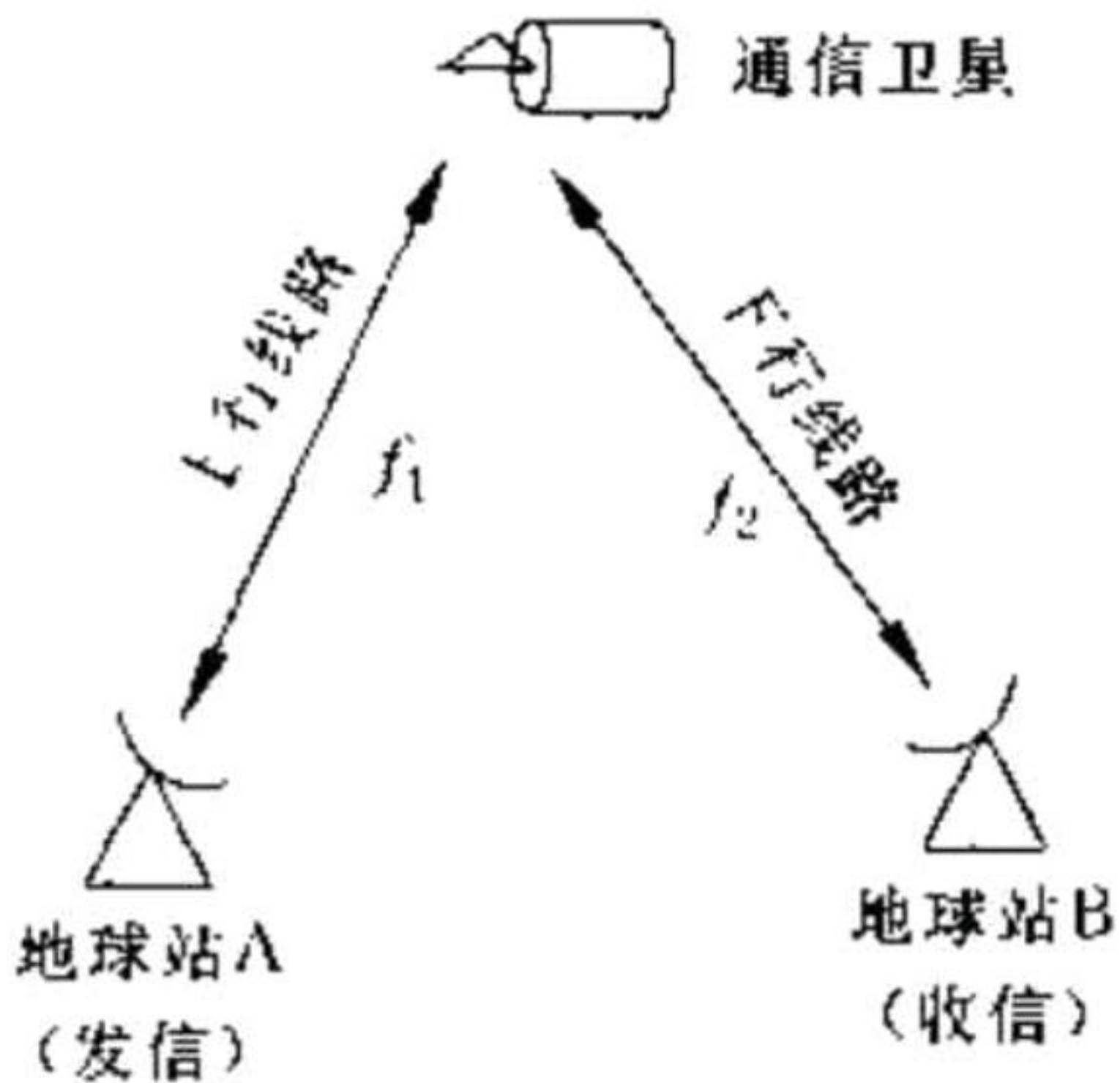


图 1-7 最简单的卫星通信
线路示意图

单跳线路与双跳线路

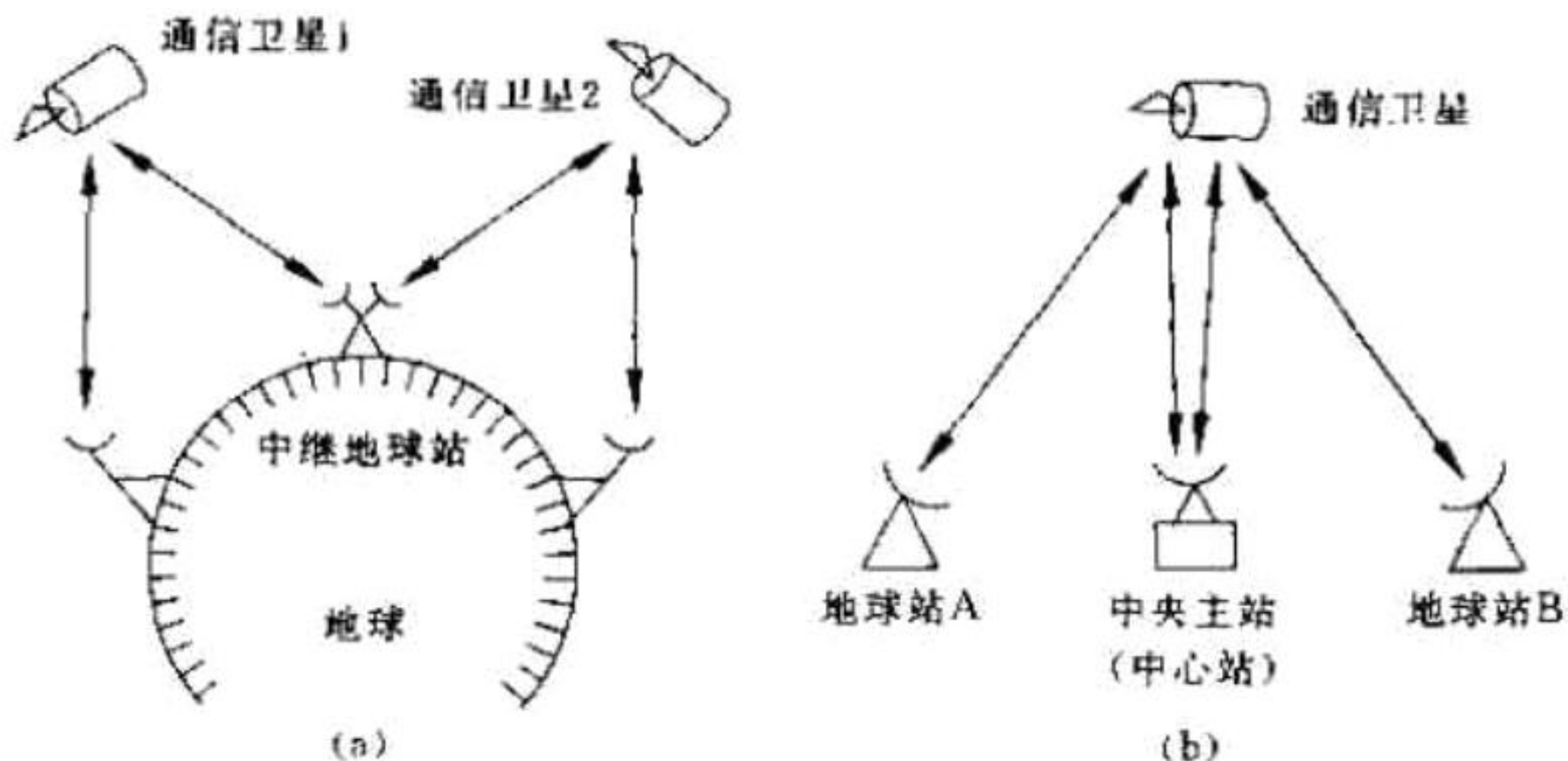


图 4-8 双跳卫星通信线路

单跳线路——只经过一次卫星转发后就被对方站接收。

大多数通信线路如此工作。

双跳线路——经过两次卫星转发后才被对方站接收。

国际卫星通信中经位于重叠覆盖区中的地球站中转通信。

星形网中，边远站之间需要经过中心站的中继，两次通过同一卫星转发。

4.1.4 卫星通信使用的频率

1、 卫星通信工作频段选择

- 电波应能穿透电离层，传输损耗和外界噪声应尽可能地小；
- 应具有较宽的可用频带，以满足通信容量的要求
- 与其他通信系统之间的干扰应尽量小，且便于与现有通信技术设备相配合

卫星通信使用的频率范围选在微波波段是最合适的

2、 卫星通信使用的频段

- 4 / 6 (GHz) 系统:

上行频率为 5.925GHz-6.425GHz，下行为 3.7GHz-4.2GHz。

带宽达加 500MHz。大部分国际卫单通信使用此频段。

■ 7 / 8 (GHz) 系统:

上行为 7.9GHz-8.4GHz, 下行为 7.25GHz-7.75GHz。

有些国家的政府和军事卫星通信使用此频段

■ 11GHz (或 12) / 14GHz 系统:

上行为 14GHz-14.5GHz, 下行为 11.7GHz-12.2GHz 或 10.95GHz-11.2GHz 及
11.45GHz-11.7GHz。

国际通信卫星从第五代开始使用此频段。

一些国家的民用和广播卫星也有使用的。

频率高, 天线尺寸小, 增益高。

可以缓解频谱拥挤和相互干扰。

■ 20 / 30GHz 及以上频段的开发。

可利用带宽进一步增大。

受降雨影响严重。

4.1.4 卫星通信的主要优缺点

优点:

- 通信距离远，通信覆盖面积大。

单跳传递最远距离 18000km，一颗静止通信卫星能覆盖地球总面积的 40% 左右。

- 具有多址连接特性，通信灵活性大。

卫星通信系统能同时实现多个方向、多个地球站之间直接通信，不受地理条件的限制，具有高度的机动灵活性。

- 可用频带宽，通信容量大。

- 传播稳定可靠、通信质量高。

利用微波传播，直接穿透大气层，所经路程绝大部分是在大气层以外，几乎处于理想的真空状态，属于自由空间传播。

- 建设速度快，成本与通信距离无关。

缺点:

■ 通信卫星使用寿命较短。

元器件寿命, 轨道姿态控制消耗推进剂, 一般寿命仅几年, 成为“太空垃圾”。

■ 卫星通信整个系统的技术比较复杂。

静止通信卫星的制造、发射和测控需要先进的空间技术和电子技术。

需要采用高增益天线, 大功率发射机, 高灵敏度、低噪声接收机和先进的调制、解调器等, 要求高, 技术复杂。

■ 卫星通信有较大的传输延时。

静止卫星与地球站平均距离为 40000km, 电波在地球站——卫星——地球站之间传播, 单向延迟达 270ms。

4.2 通信卫星和地球站

4.2.1 通信卫星

以静止卫星为例。

静止通信卫星组成:

- 。 天线分系统
- 。 通信分系统
- 。 电源分系统
- 。 跟踪遥测指令分系统
- 。 控制分系统

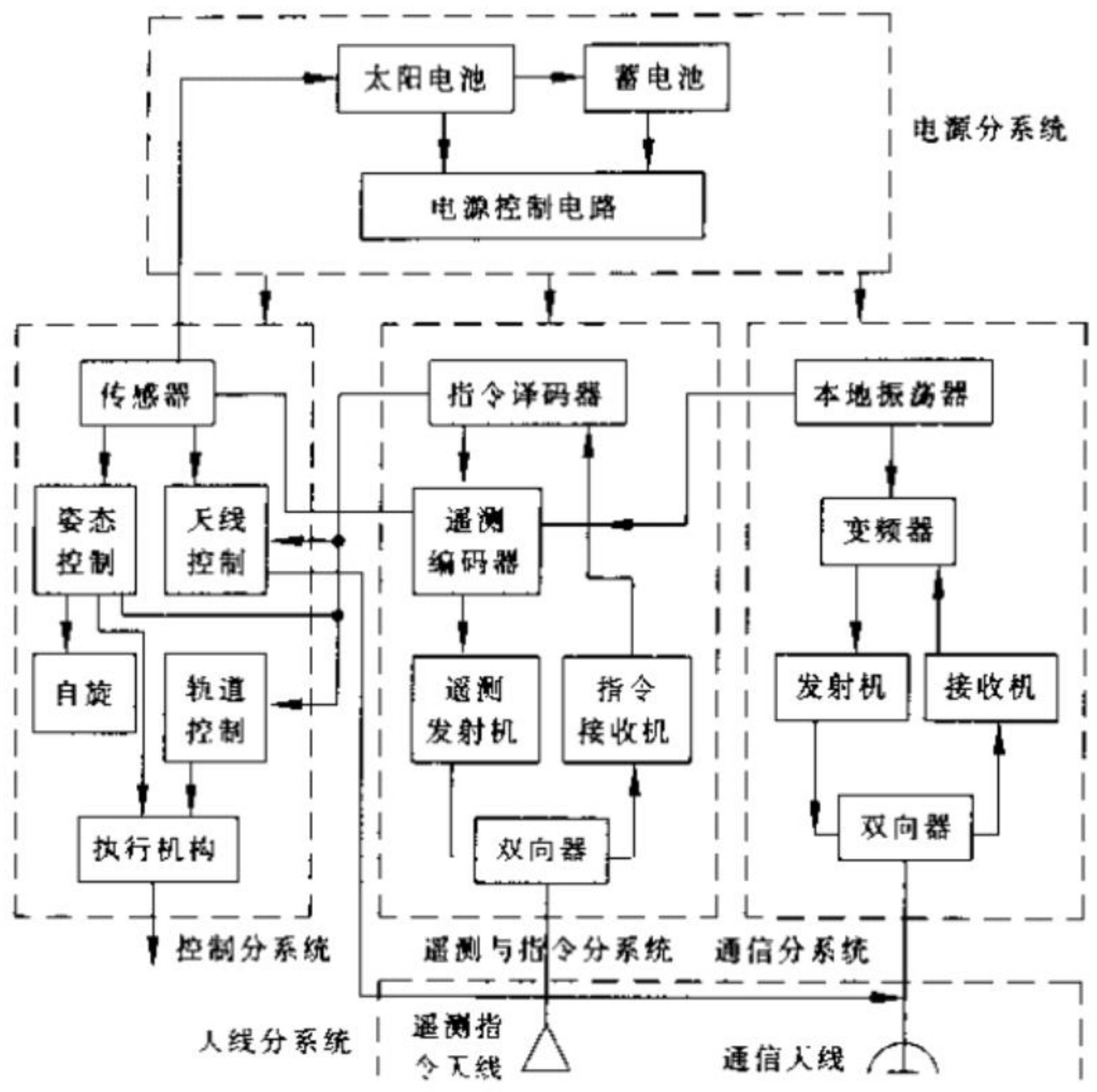


图 4-10 通信卫星的设备组成

1、控制分系统

- 控制分系统的组成:

各种喷气推进器、驱动装置、加热及散热装置、各种转换开关等一系列机械的或电子的可控调整装置。

- 功能:

根据星上跟踪遥测指令分系统接收到的来自地面跟踪遥测指令站的指令，完成对卫星的各种控制。

- 静止卫星的各种控制:

位置控制、姿态控制、温度控制、各设备的工作状态控制及主、备用切换等。

姿态控制也称姿态稳定，实现办法:

自旋稳定法、三轴稳定法。

2、 天线分系统

● 通信卫星天线:

- 遥测、指令和信标天线: 采用全向天线
- 通信天线: 采用定向天线, 按波束覆盖区的大小分为覆球波束天线、点波束天线和赋形波束天线。

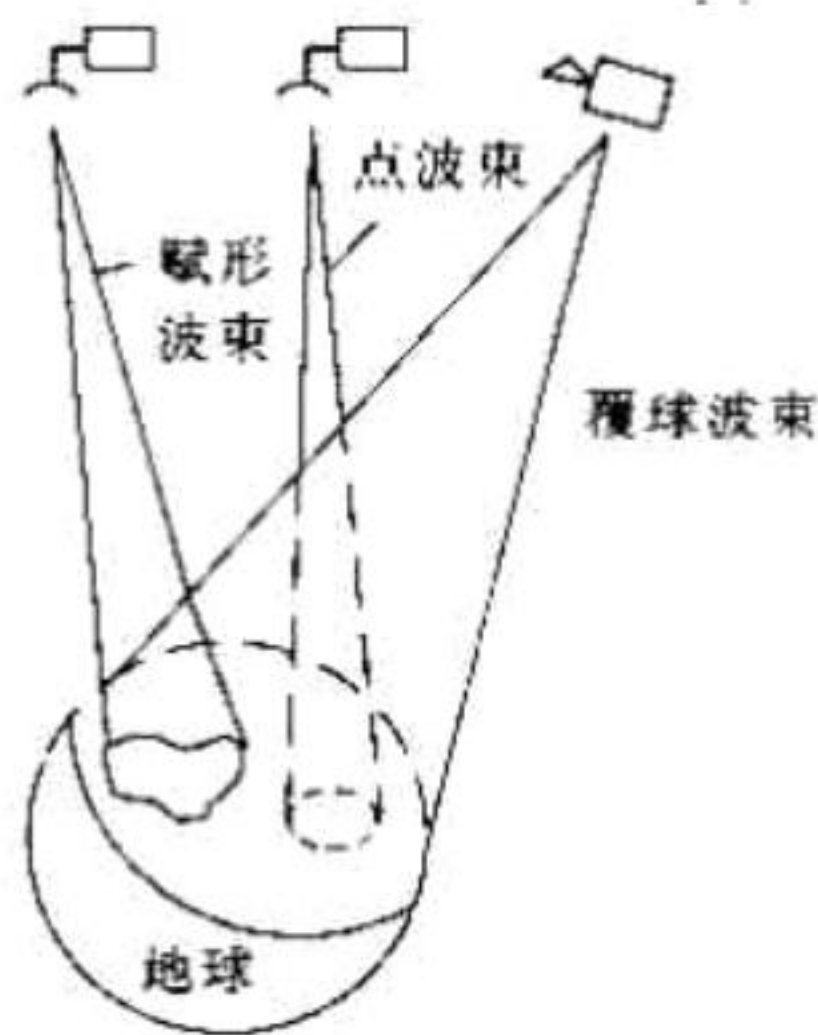


图 4-11 点波束、球波束和赋形波束示意图

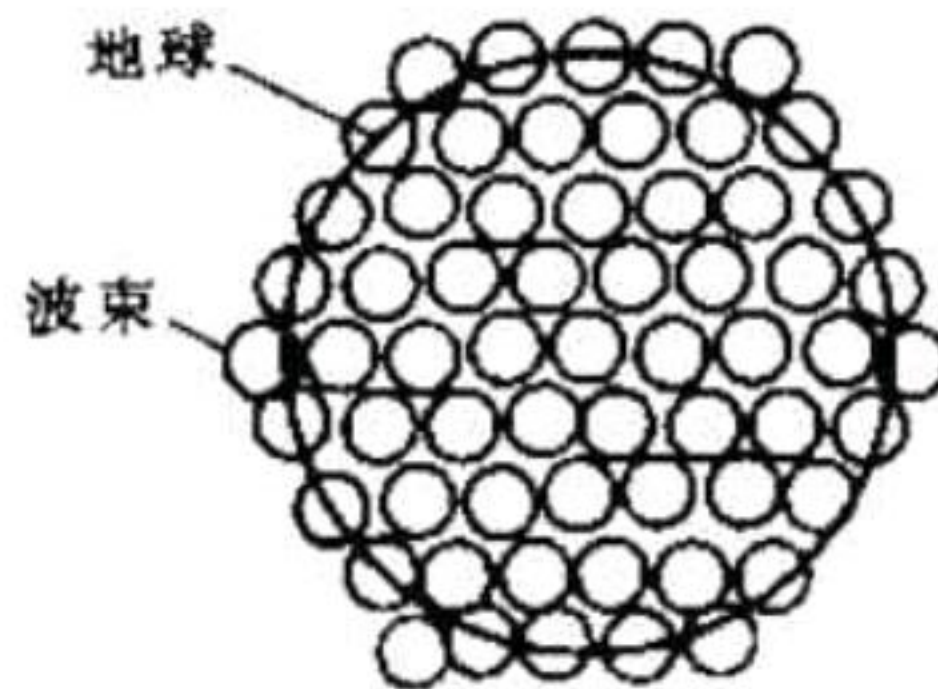


图 1 13 多点波束覆盖示意图

- 覆球波束天线

也称全球波束天线，球波束天线。

可覆盖卫星对地面的整个视区，波束半功率带宽为 17.4 度。

- 点波束天线

也称窄波束天线，增益高，半功率带宽小，一般为圆形。

- 赋形波束天线

通过修改反射器形状，或利用多个馈源从不同方向经反射器产生多波束的组合来实现。

可覆盖不规则形状的服务区。

有国内波束天线、区域波束天线、半球波束天线、多波束天线等。

多波束天线的优点：

灵活覆盖全部或特定通信区域；

便于实现零点控向技术。

3、通信分系统 (转发器)

对转发器的基本要求:

附加噪声和失真小, 有足够的工作带宽, 和足够大的总增益, 频率稳定性和可靠性尽量高。

转发器分类: 透明转发器、处理转发器。

(1) 透明转发器:

收到地面发来的信号后仅进行低噪声放大、变频和功率放大后发回地面, 对信号无任何其他处理的转发器, 即单纯完成转发任务的转发器。

组成方案:

- 。一次变频方案 (直接微波转发), 用于大容量系统。
- 。二次变频方案 (超外差中频转发), 用于小容量系统。

工作频段通常划分为多个信道, 每信道配一个转发器。

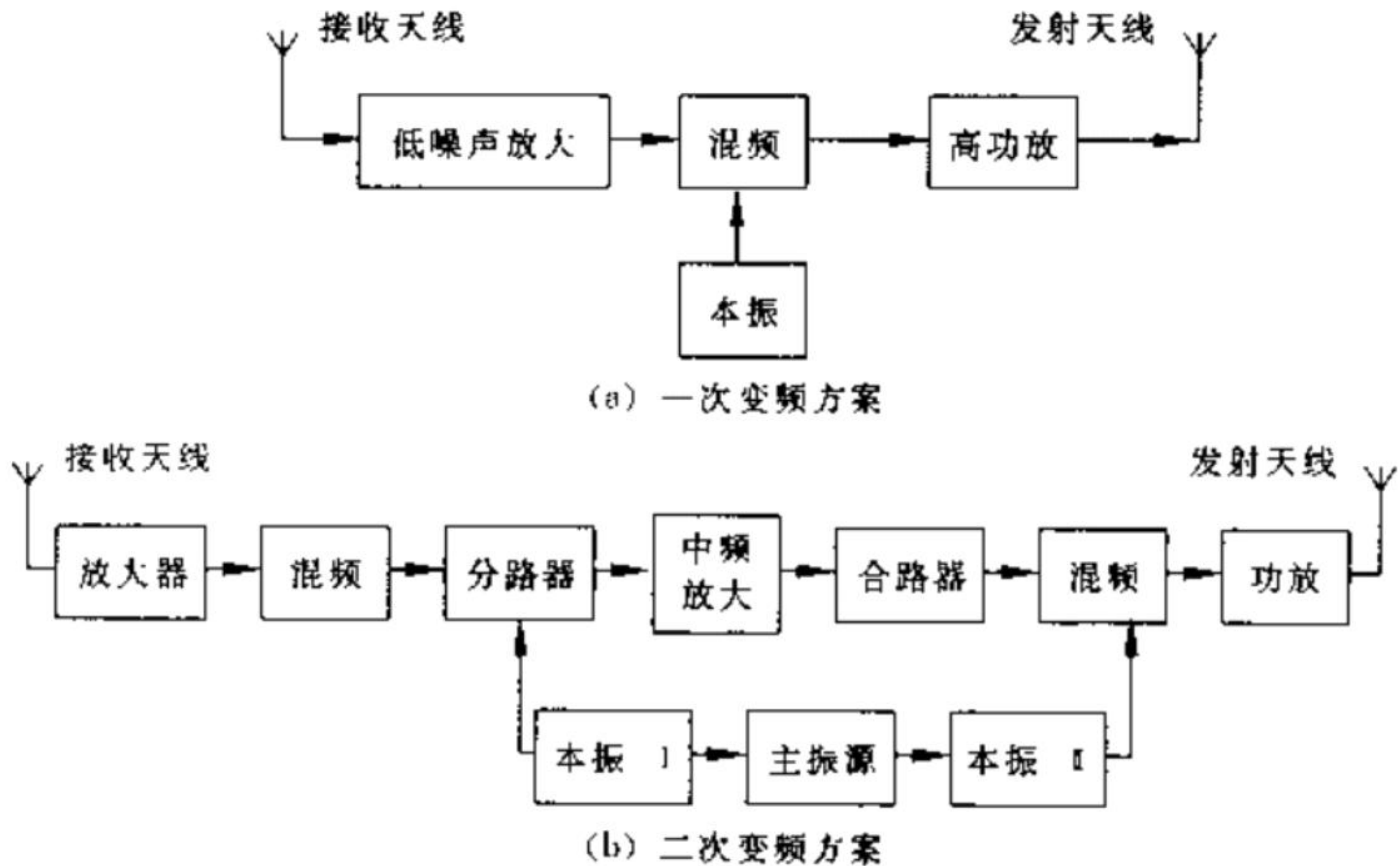


图 4-14 透明转发器的组成

(2) 处理转发器:

指除了信号转发外, 还具有信号处理功能的转发器。

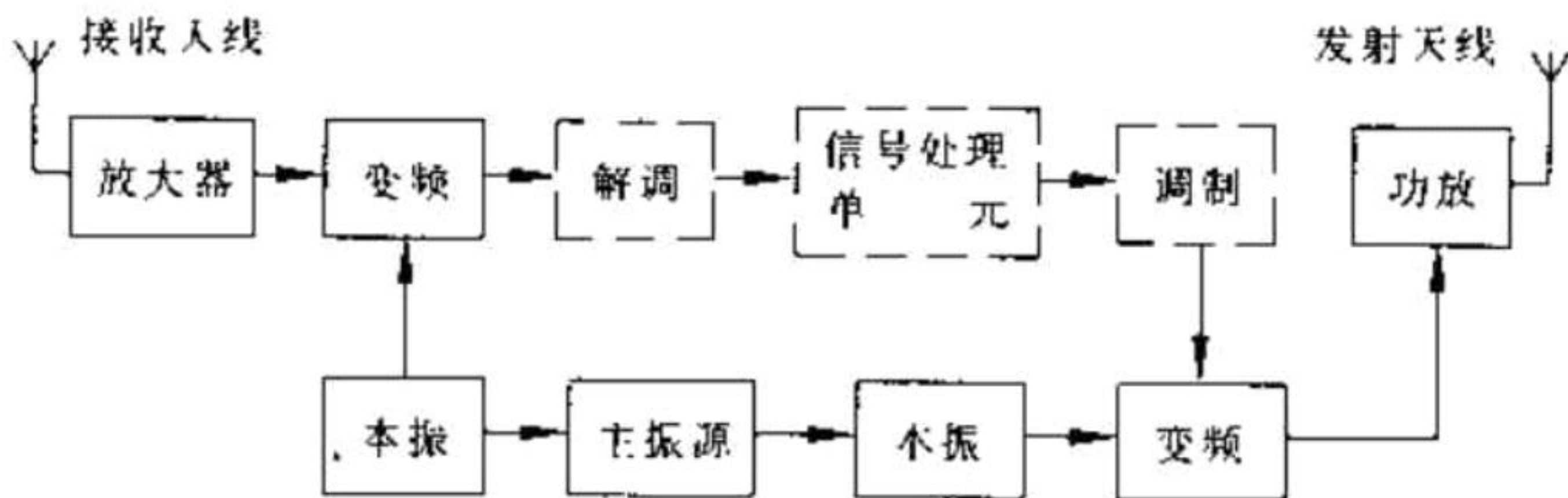


图 4 15 处理转发器的组成

与二次变频的透明转发器相比, 只在两级变频器之间增加了信号的解调器、处理单元和调制器。

信号解调后便于处理。

星上信号处理:

- 。星上再生: 消除噪声积累
- 。星上交换: 由微波开关矩阵实现, 完成波束交换。
- 。其他高级处理。

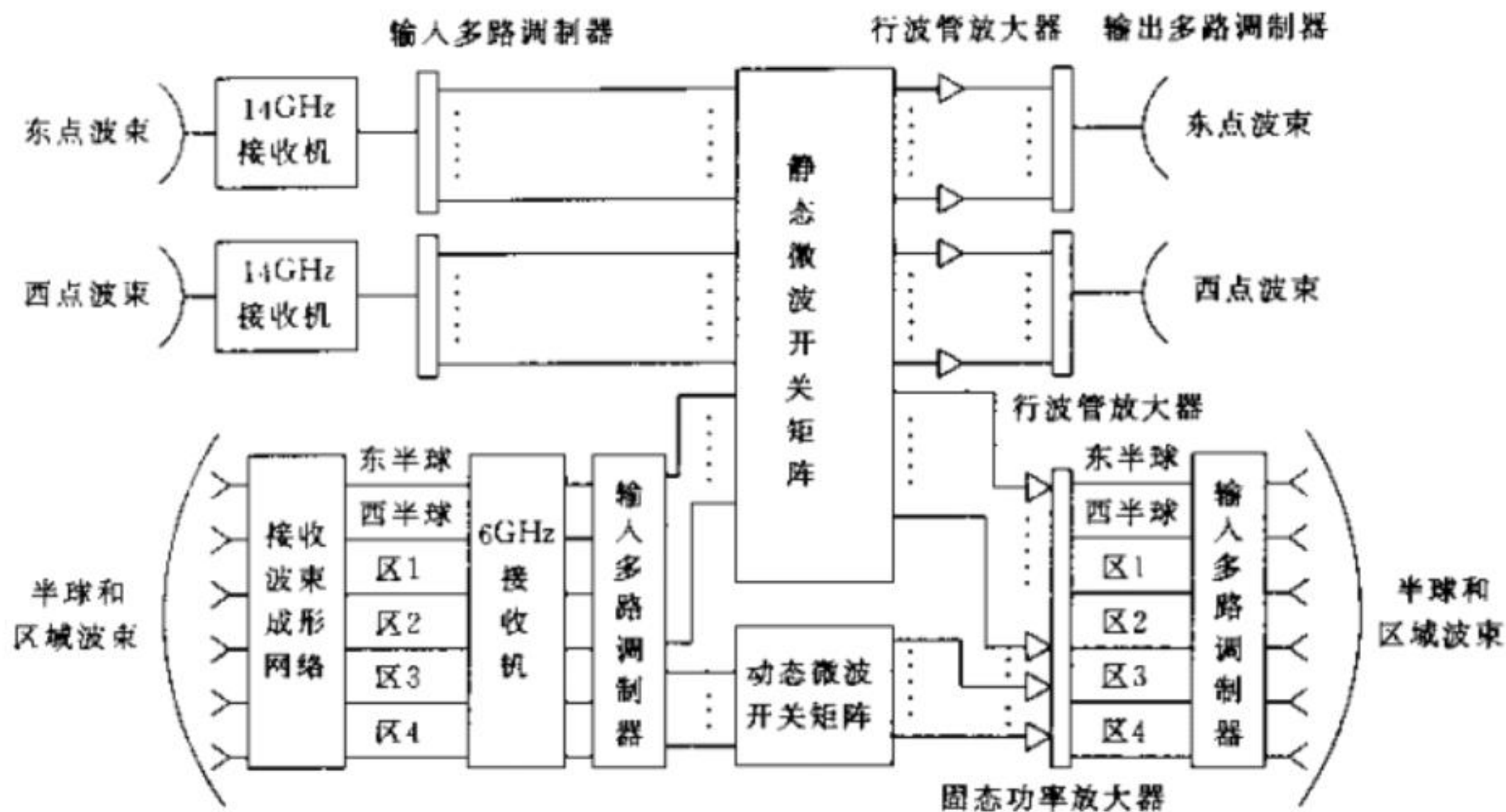


图 4-17 IS-VI 的通信分系统

4、跟踪、遥测、指令分系统

- 组成:

遥测部分、指令部分、用于跟踪的信标和发射设备。

- 任务:

(1) 为各地球站发送信标信号，供地球站天线跟踪卫星用。

由信标发射设备完成。

(2) 通过各种传感器和敏感器件，不断测出卫星的在轨位置、姿态、各分系统设备的工作状态(如工作电压、电流等，以及设备是否故障或损坏)、环境参数(如湿度、压力等)等数据，经遥测发射设备发给地面的跟踪遥测指令站(TT&C)。

由遥测设备完成。

(3) 接收 TT&C 站发来的控制指令，处理后送给控制分系统执行。

由指令设备完成。

5、电源分系统

要求：体积小，重量轻，效率高，在卫星寿命期间输出足够电能。

组成：太阳能电池、化学电池及电源控制电路。

非星蚀期间，由太阳能电池(基本电源)给负载供电，并通过充电控制器给蓄电池充电；

星蚀时，化学电池(辅助电源)供电，保证卫星继续工作。

嫦娥一号进入绕月轨道后，在一年的工作期间，将遇到两次星蚀。

4. 2. 2 地球站

4. 2. 2. 1 地球站的分类

- **按安装方式分：**

有固定站、可搬移站和移动站(如船载站、车载站、机载站等)

- **按天线口径大小分：**

15m 站、10m 站、7m 站、3m 站等。

- **按用途分：**

有民用通信站、军用通信站、电视广播站等。

- **按业务系统不同分：**

有国际卫星通信地球站、国内卫星通信地球站等。

- **按技术标准**

通常按照国际卫星通信组织标准，分为 A、B、C、D、E、F、G、Z 等各种标准。

4.2.2.2 地球站的性能指标

(1) 全向有效辐射功率 (EIRP):

指发射天线辐射功率与天线增益的乘积。

它表示在接收功率一定的情况下，一个全向天线必须发射的等效功率。

表征发射系统的发射能力。

稳定度要求：正负 5dBW/田。

(2) 品质因数

指接收系统天线增益与等效噪声温度之比。

高的品质因数代表系统功率一定时系统容量更大，或质量更好。

提高天线的增益（增大口径或提高效率），或者减小等效噪声温度（使用低噪声接收机）

都可以使品质因数提高。

(3) 其他参数

射频工作范围、载波频率的准确度和稳定度、以及地球站工作环境条件等。

4.2.2.3 地球站的组成设备

地球站组成:

天线分系统、发射分系统、接收分系统、终端分系统、监控分系统、电源分系统、地面接口及传输分系统等组成。

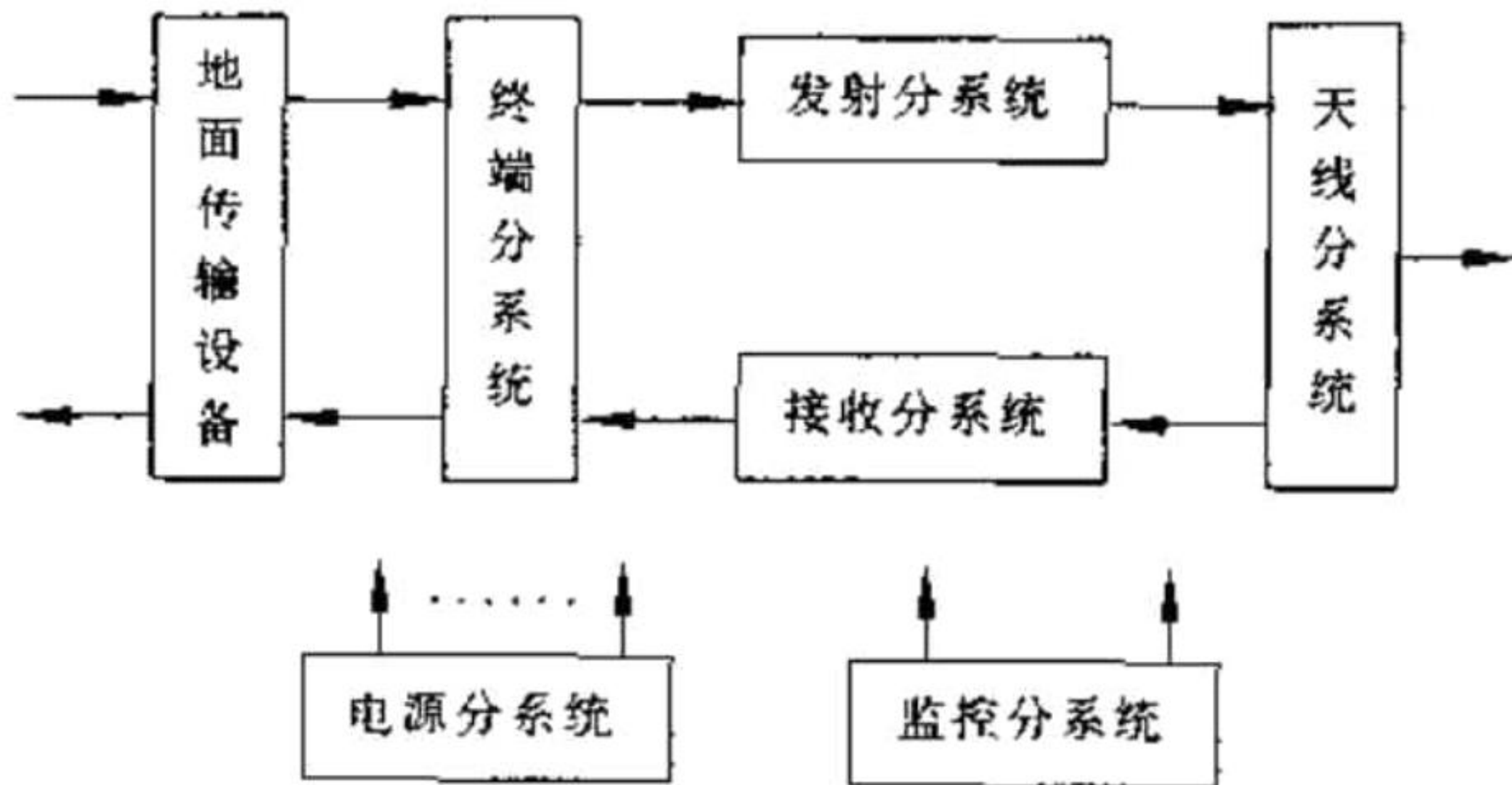


图 1-18 地球站的设备组成

1、天线分系统:

- (1) 组成: 天线、馈线和跟踪设备 3 个部分。
- (2) 功能: 完成发送信号、接收信号和跟踪卫星的任务。
- (3) 常用跟踪方法: 手动跟踪、程序跟踪、自动跟踪。
- (4) 主要技术指标: 频率范围、增益和方向图、等效噪声温度、旋转性能和机械精度。

2、发射分系统:

- (1) 组成: 调制器、中频放大器、上变频器、功放组成。

调制器、上变频器、功放是重要部分, 一般都有备份。

- (2) 功能: 将终端分系统送来的基带信号(待发送信号)对中频进行调制(FM 或 FSK 等)。

再经上变频和功率放大器后馈送给天线发往卫星。

- (3) 主要技术指标: 输出功率、频率稳定度、频带宽度。

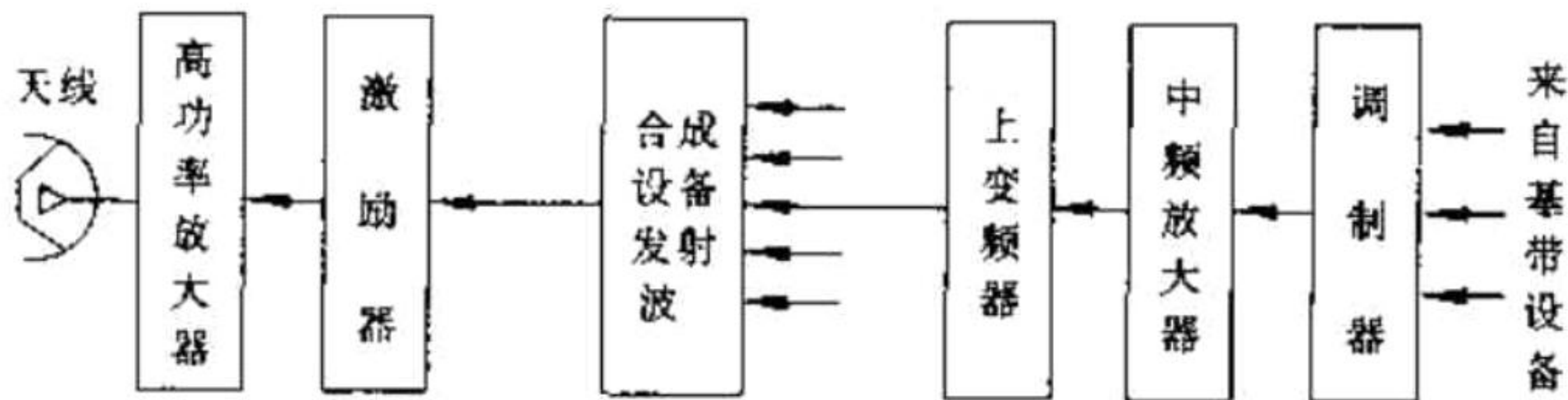


图 4-21 地球站发射设备的基本组成

3、接收分系统:

由低噪声放大器、下变频器、解调器等组成。

将天线分系统收到的由卫星转发下来的微弱信号进行放大、下变频和解调，并将解调后的基带信号送至终端分系统。

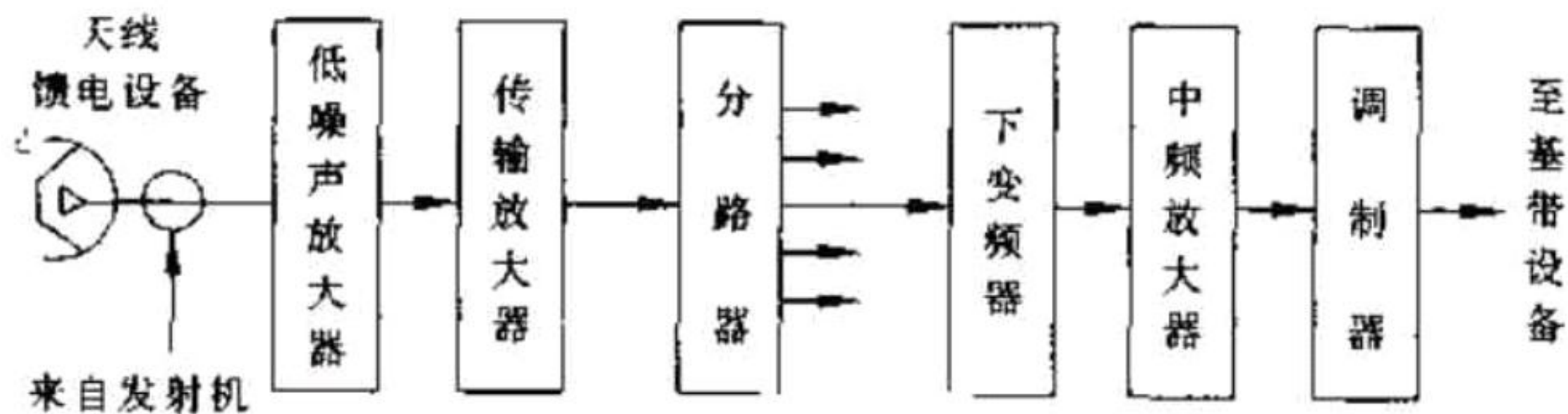


图 4-22 接收分系统的基本组成

4、终端分系统:

对经地面接口线路传来的各种用户信号分别用相应的终端设备对其进行转换、编排及其他基带处理，形成适合卫星信道传输的基带信号；

并将接收分系统收到并解调的基带信号进行与上述相反的处理，然后经地面接口线路送到各有关用户。

5、电源分系统:

对所有通信设备及辅助设备供电。

对它的要求是定电压、高可靠、不间断地供电。



电源机柜与蓄电池

6、监控分系统

作用：便于操作人员随时掌握各种设备运行状态，在设备故障时迅速处理，以及有效对设备进行维护管理。

一般采用集中监视方式。即将主要设备的指示、告警和控制都集中到监控台上。

优点：便于操作控制。

根据地球站大小，所需监控设备繁简有别。



地球站实景图



连接设备和天线的馈线

4.3 卫星通信系统的技术体制

4.3.1 卫星通信体制的基本内容

通信体制: 指通信系统采用的信号传输方式和信号交换方式。

1、基带信号的传输方式

基带信号形式: 模拟信号、数字信号

多路复用方式: 频分多路复用 (FDM)、时分多路复用 (TDM)

基带信号的其他处理: 预加重、加密、差错控制编码、数字语音内插、扩频编码等。

2、中频(或射频)信号的调制制度

模拟卫星常采用调频 FM

数字卫星通信一般采用 2PSK、4PSK、MSK 等调制方式

3、多址联接方式

常用多址方式: 频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA)、空分多址 (SDMA)。

4、信道分配与交换制度

信道分配: 即各地球站以何种方式占用信道资源。

分配方式: 预分配(PA)、按需分配(DA)、随机分配(RA)

交换制度: 卫星交换处理器采用的交换方式

表 4-2 卫星通信体制的基本内容

信号形式		多路复用方式	调制制度	多址方式	分配制度
模拟制		SC	FM	FDMA	PA 或 DA
		FDM		SDMA	PA
数字制	DM、PCM 或其他	SC	PSK 或其他 数字调制 制度	FDMA	PA 或 DA
		TDM		TDMA CDMA SDMA	

4.3.2 多址联接技术

1、多址联接的含义及实现的依据

(1) **多址联接**: 指在卫星的覆盖区内, 各地球站通过共同的卫星, 同时分别建立相互之间的通信线路而实现的多边通信。

(2) **实现多址联接的关键**: 各地球站所发信号经卫星转发器混合与转发后应能为相应的对方站识别, 各站信号之间的干扰要尽量小。

(3) **实现多址联接的技术基础**: 信号分割。

信号分割可以在不同域进行, 如信号频率不同 (FDMA)、出现的时间不同 (TDMA)、或所处的空间不同 (SDMA)。

(3) **多址连接与多路复用的不同**:

多址连接在射频信道上进行, 以实现多个站之间实现相互通信;

多路复用在终端设备上进行, 以实现一个站同时传送多路信号的目的。

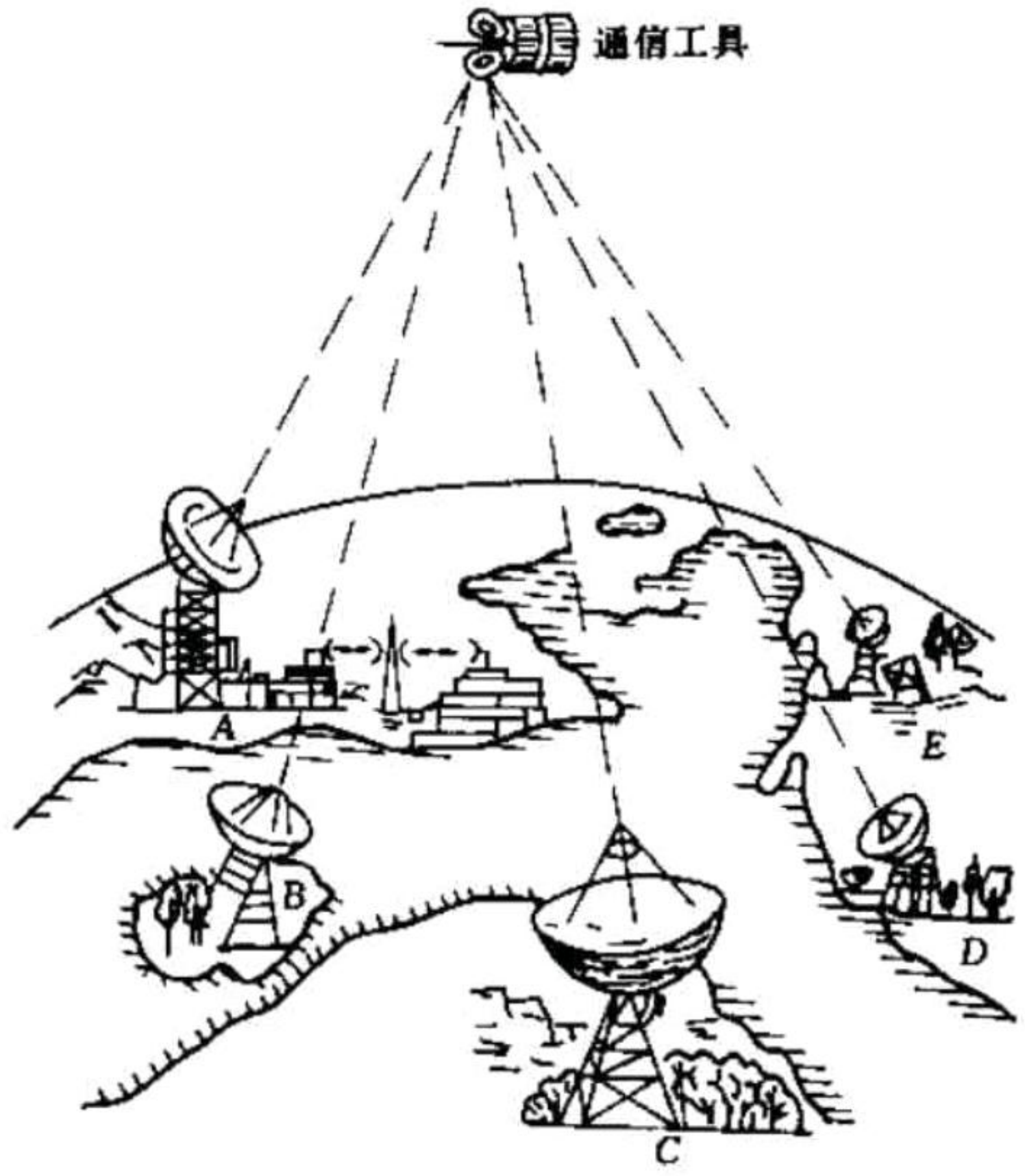


图 4-26 多址连接示意图

2、频分多址(FDMA)

(1) 频分多址:

把卫星转发器的可用射频带宽分割成若干互不重叠的部分，分配给各地球站作为所要发送信号的载波使用。

多个地球站共用卫星转发器，按射频载波频率不同区分站址的方式。

(2) 频分多址基本方式

A) 任一地球站与几个站通信就分配几个载波，卫星照收照发。

若有 n 个站则转发器需转发 $n(n-1)$ 个载波。适用于大小站兼容、通信容量较小且站数不多的场合。

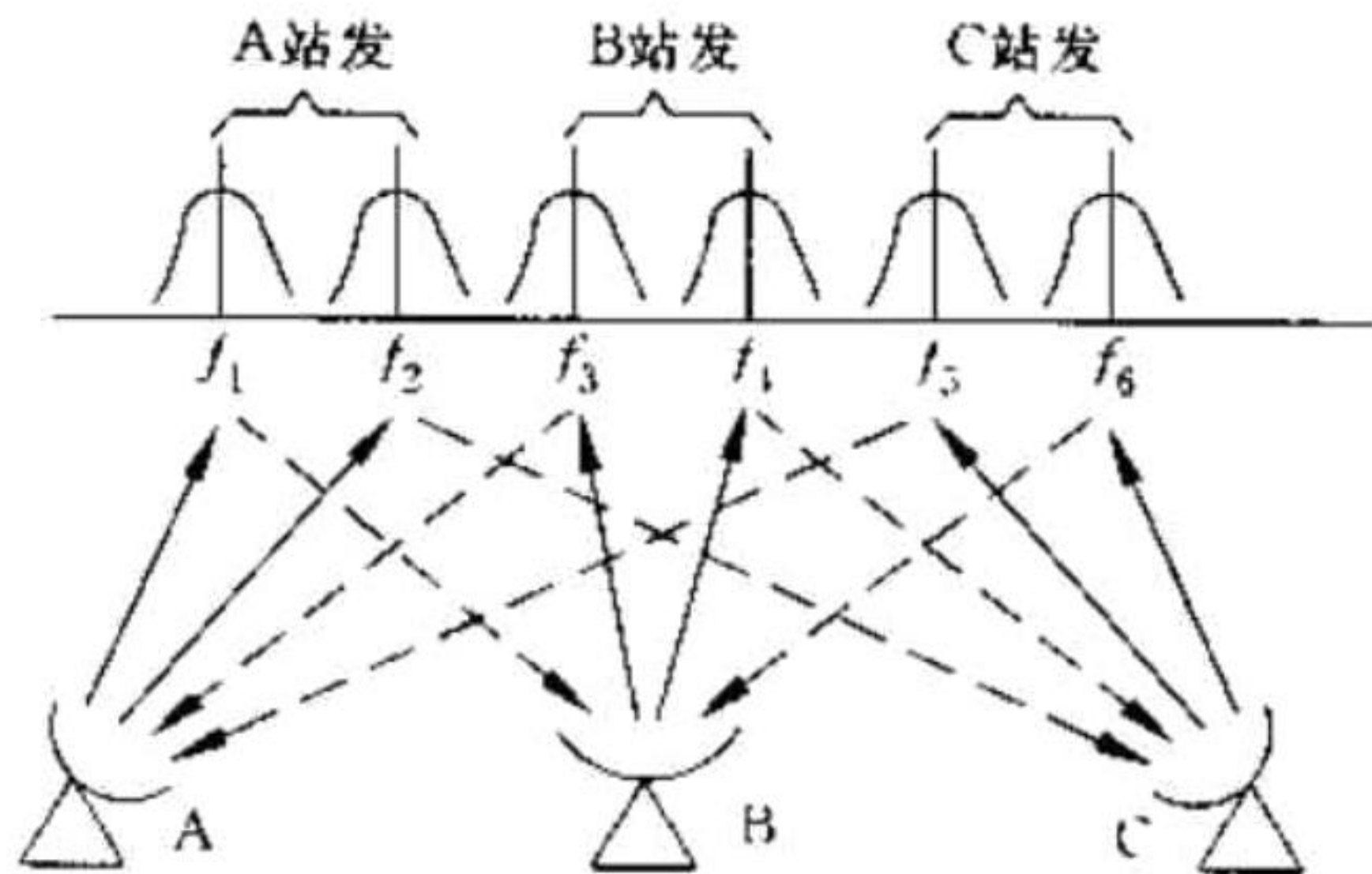


图 1-27 FDMA 第一方案示意图

B) “多址载波”方式:

每个地球站只发一个载波,利用基带中的频分多路复用或时分多路复用将发往不同站的信号安排在不同的群路上,以便于对方站识别并取出到该站的信号。

这种方式适用于网中各站为电路数差不多的同类型大站,且站数不多的情况,不宜大小站兼容。

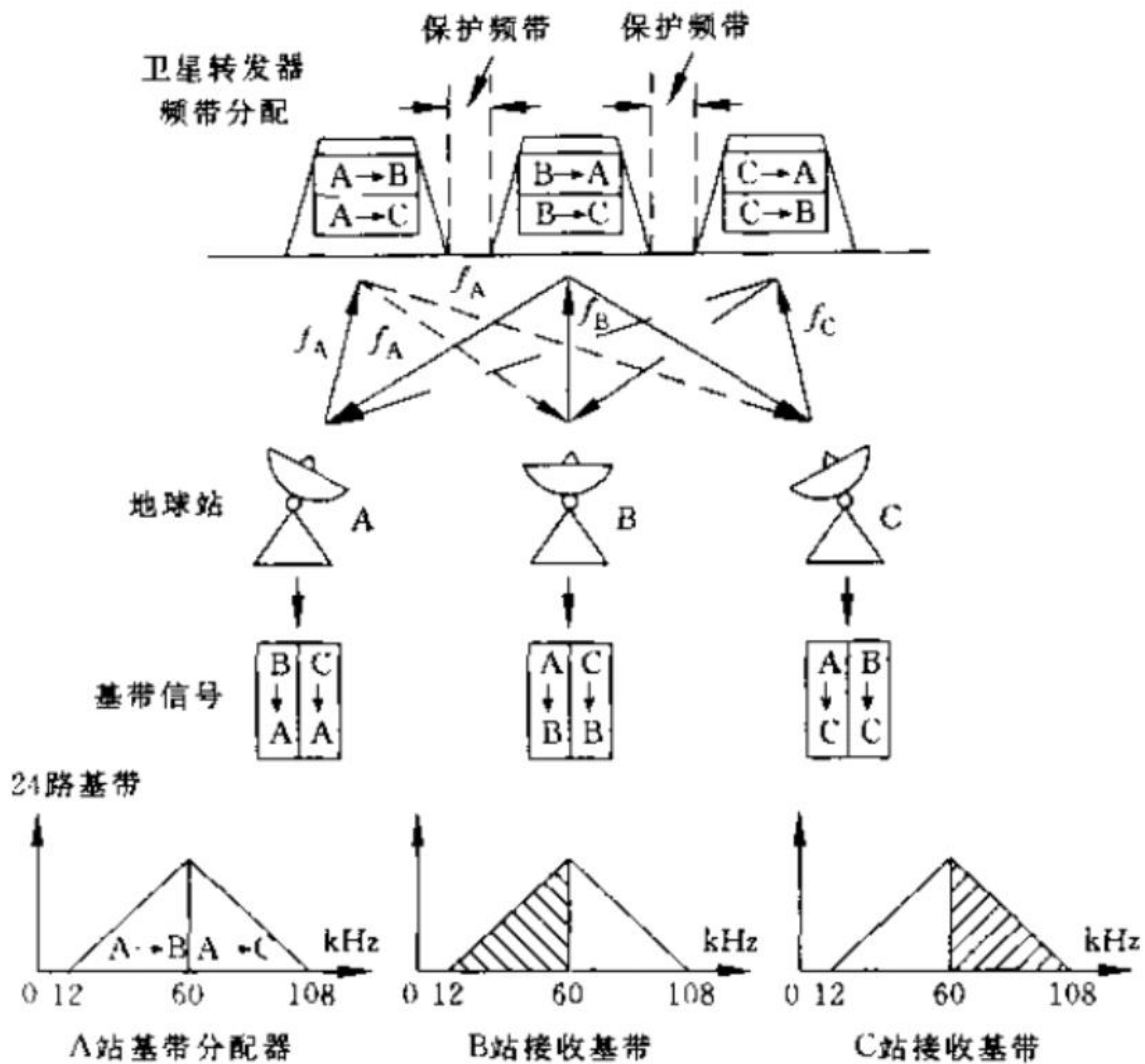


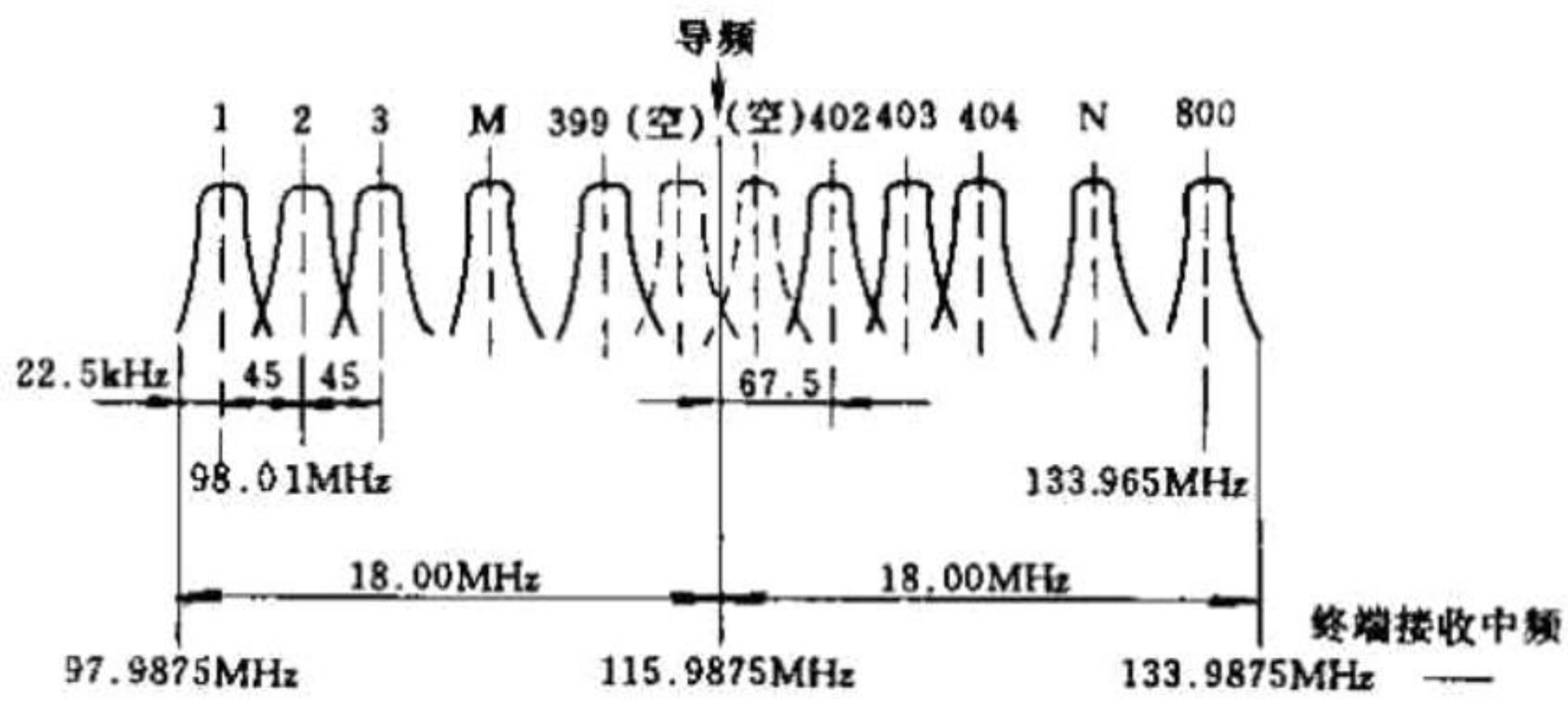
图 4-28 “多址载波”方式工作原理图

C) 每载波单路方式 SCPC (Single channel per carrier):

将卫星转发器的可用频带划分成若干个子频带 (通道), 每个子频带只传一路信号 (话音或数据)。

根据各分站业务需求可以分配 1 个或多个子频带。

SCPC 方式适用于站址多、各站业务量小的场合, 总容量基本上与站址数无关。



注: 对不占一个转发器的 SCPC 系统, 导频位于收发信道群中心, 与其相邻的两个频道仍空闲, 相互间隔不变

图 4-29 SCPC/PA 的频率配置

3、时分多址(TDMA)

(1) 时分多址——将卫星转发器工作时间划分成若干时隙，每个分站被分配固定时隙进行信号传输。

为保证各分站严格同步，设置一个基准站。

在同步时钟控制下，各分站依次在规定时隙发送信号，卫星进行转发，循环一次为一帧。

该分站使用相同的载波频率。

(2) 时分多址方式的主要优点：

没有互调问题；

功率与频带能充分利用；

上行功率不需要严格控制；

便于大、小站兼容(各站码速率可以不同)；

站数多时通信容量仍较大。

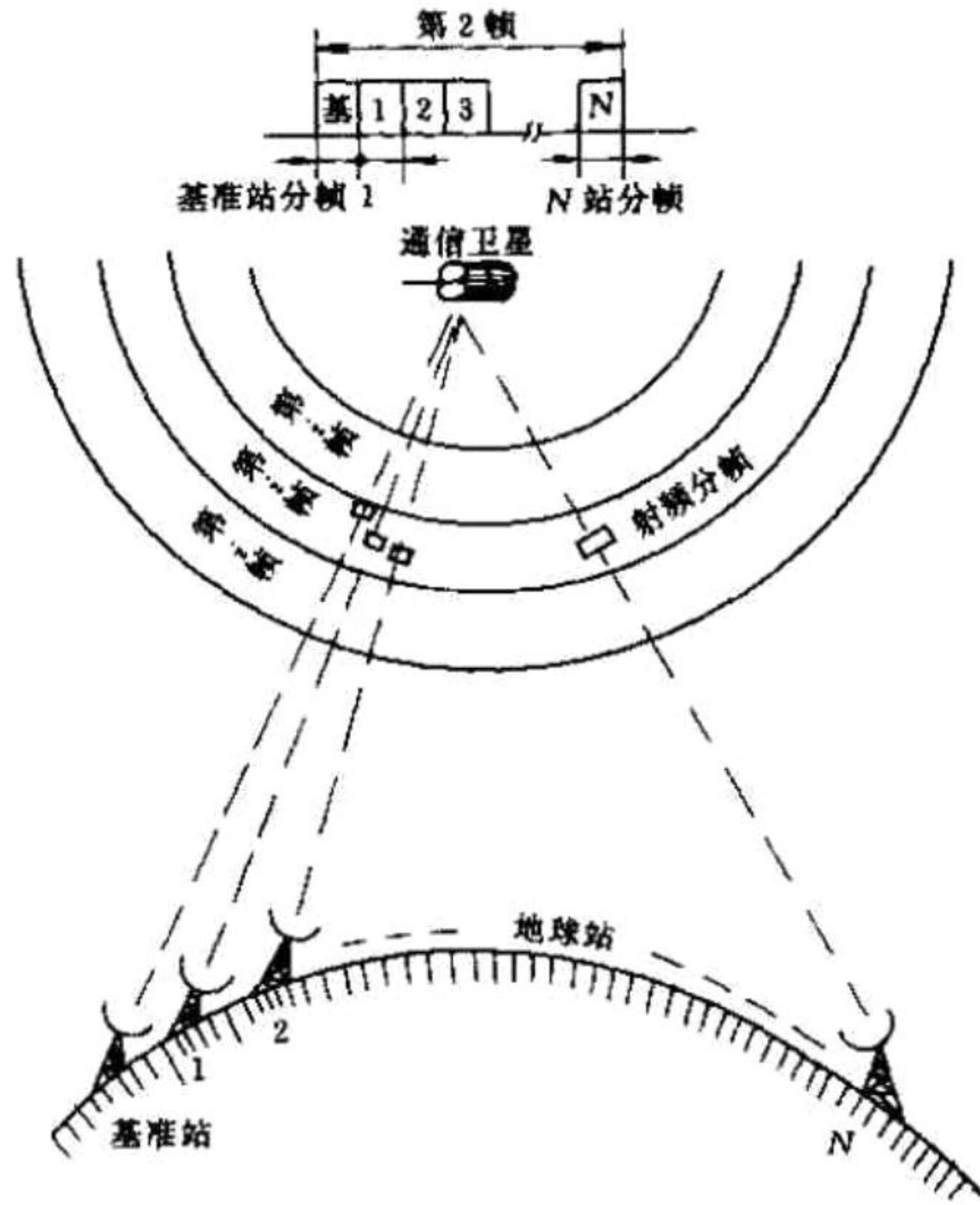


图 4-30 时分多址方式示意图

(3) TDMA 方式的主要问题

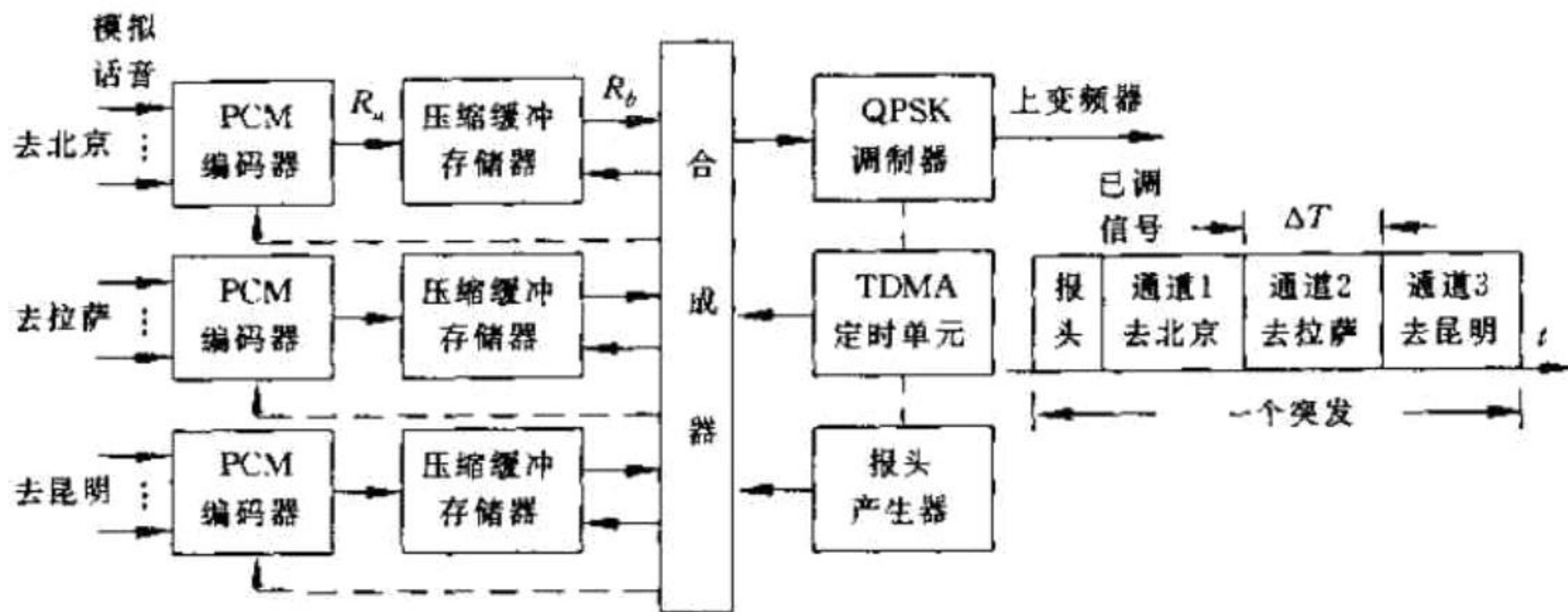
需要有精确的同步，以保证各站突发信号到达转发器的时间不发生至叠，并且保证接

收站能正确识别站址和迅速提取时钟，建立位同步。

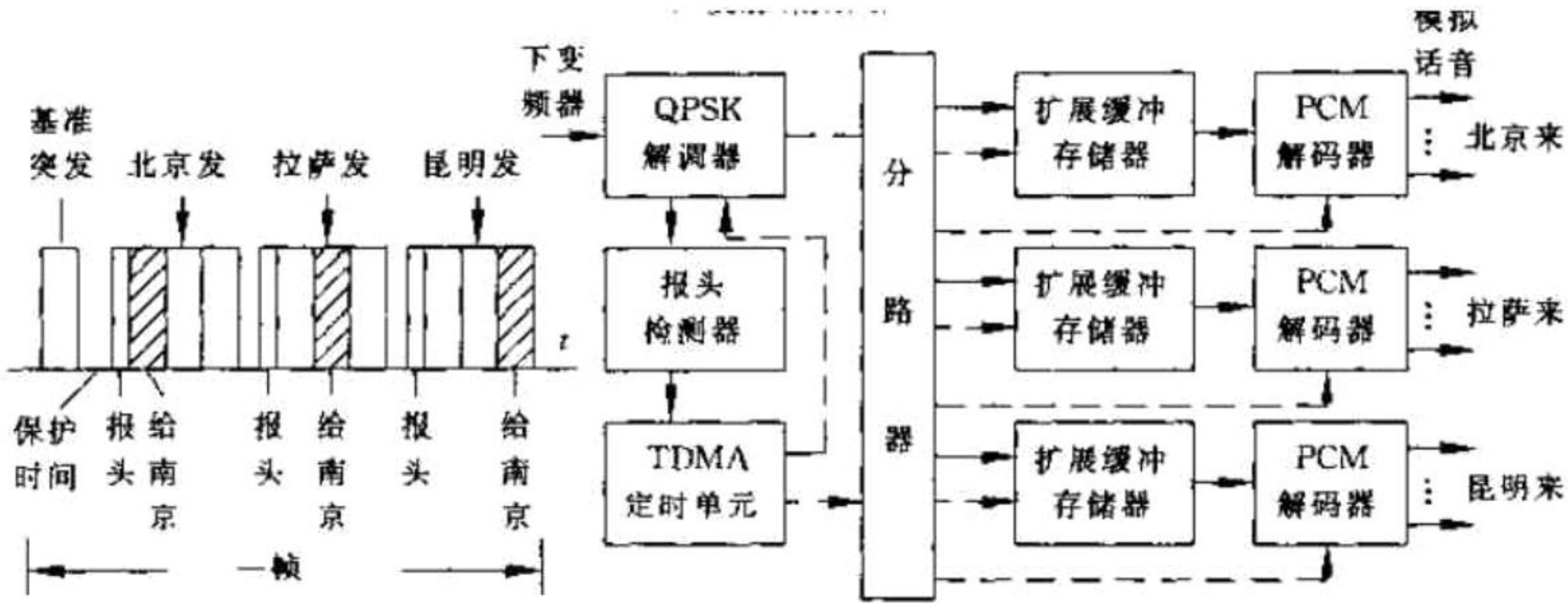
这是比较复杂、困难的技术。

(4) 时分多址典型体制——PCM / TDM / PSK / TDMA 系统

教材 p124-125，自看。



(a) 发射(南京站)



(b) 接收(南京站)

4、空分多址(SDMA)

(1) 空分多址——卫星天线有多个点波束分别指向不同区域，不同区域的地球站之间利用空间区分。

。采用空分多址方式工作的卫星需要星上交换设备(ss)。

。某区域中某站发的信号经上行波束达到转发器后由星上交换开关将其转到另一区域的下行波束，再传到此区域的某一站。

。若同一区域内有几个地球站，它们之间还须依靠其他多址方式工作。因此，SDMA 方式经常与其他多址方式相结合实现多址联接，如时分多址相结合等。

(2) SDMA 的主要优点：

卫星天线增益高(波束窄)，卫星功率可得到合理有效的利用；

可实现频率重复使用，使系统的通信容量成倍扩大。

(3) SDMA 方式存在的问题：

对卫星的要求很高：卫星姿态稳定度要高，要有较庞大和复杂的天线(各天线的波束指向不问)，要有星上交换设备等。

这不仅使卫星设备复杂，而且由于空间故障难以修复，增加了通信失效的风险。

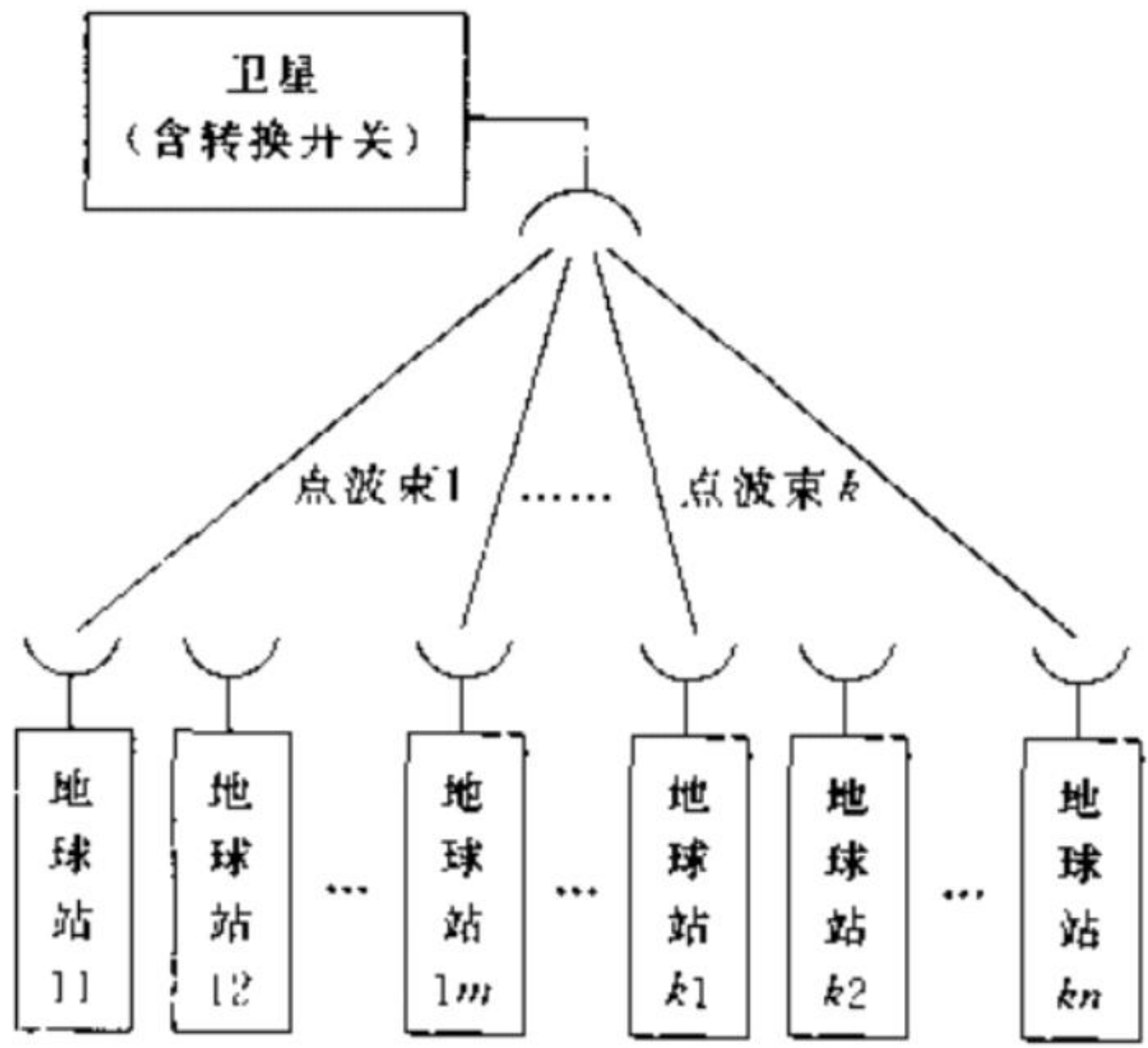


图 4-34 空分多址示意图

5、 码分多址(CDMA)

(1) 码分多址 CDMA:

对各地球站分别用各不相同的、互不相关的伪随机码(地址码)将发送的信号进行扩频调制。

即使各地球站发射的信号在频率、时间、空间上相互重叠,也不会出现相互干扰。

(2) 常用技术:

直接序列扩频码分多址(CDMA / DS)、跳频码分多址(CDMA / FH)两种。

(3) CDMA 方式优点:

具有较强的抗干扰能力,较好的隐蔽性,改变地址较灵活方便。

(4) CDMA 方式缺点:

频带利用率较低,通信容量较小。

最适合战时的军事卫星通信,容量小、分布广的由小站组成的民用卫星通信系统。

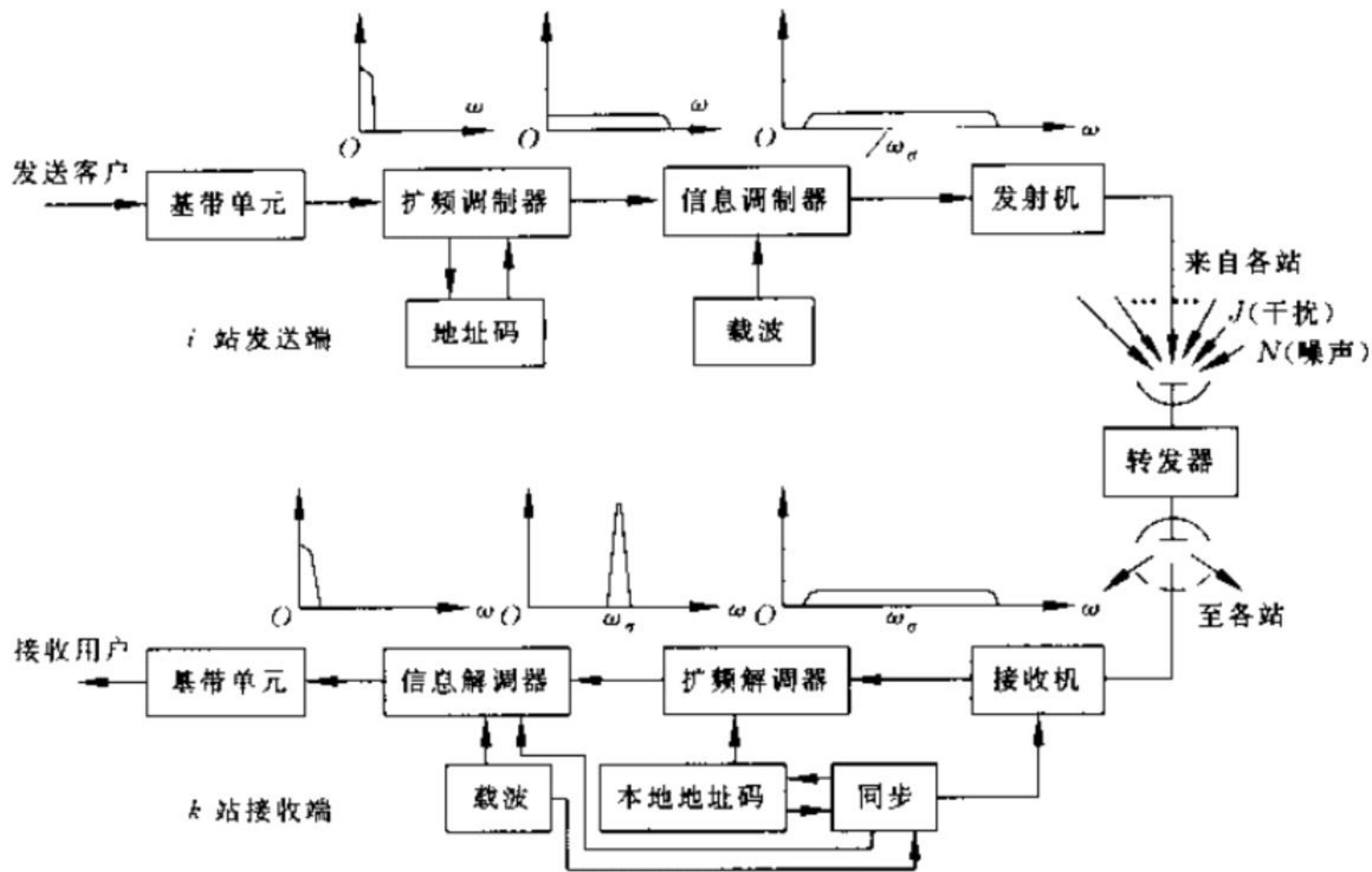


图 4-35 CDMA 方式示意图

4.3.3 多址分配制度

1、多址分配制度的含义

(1) **多址分配制度**: 即如何将 FDMA、TDMA、SDMA、CDMA 等多址连接方式分割的信道资源分配给各地球站使用的制度。

与多址连接方式紧密关联。

(2) **主要多制分配制度**: 预分配(PA)、按申请分配(DA)、随机分配(RA)等 3 大类。

2、预分配(PA)

(1) **固定预分配(FPA)方式**:

按事先规定, 固定分配给每个地球站一定数量的载频(即通道), 各地球站只能用分配给它的频率与有关地球站通信, 其他站不能占用这些频率。

优点: 实施连接简单, 建立通信快, 基本上不需要控制设备。

缺点: 使用不灵活, 通道不能相互调剂, 业务量较小时的通道利用率较低。

(2) 按时预分配(TPA)方式:

按各站业务量随时间及其他因素周期性变动的规律, 对本站使用的通道在一天内作几次周期性调整。

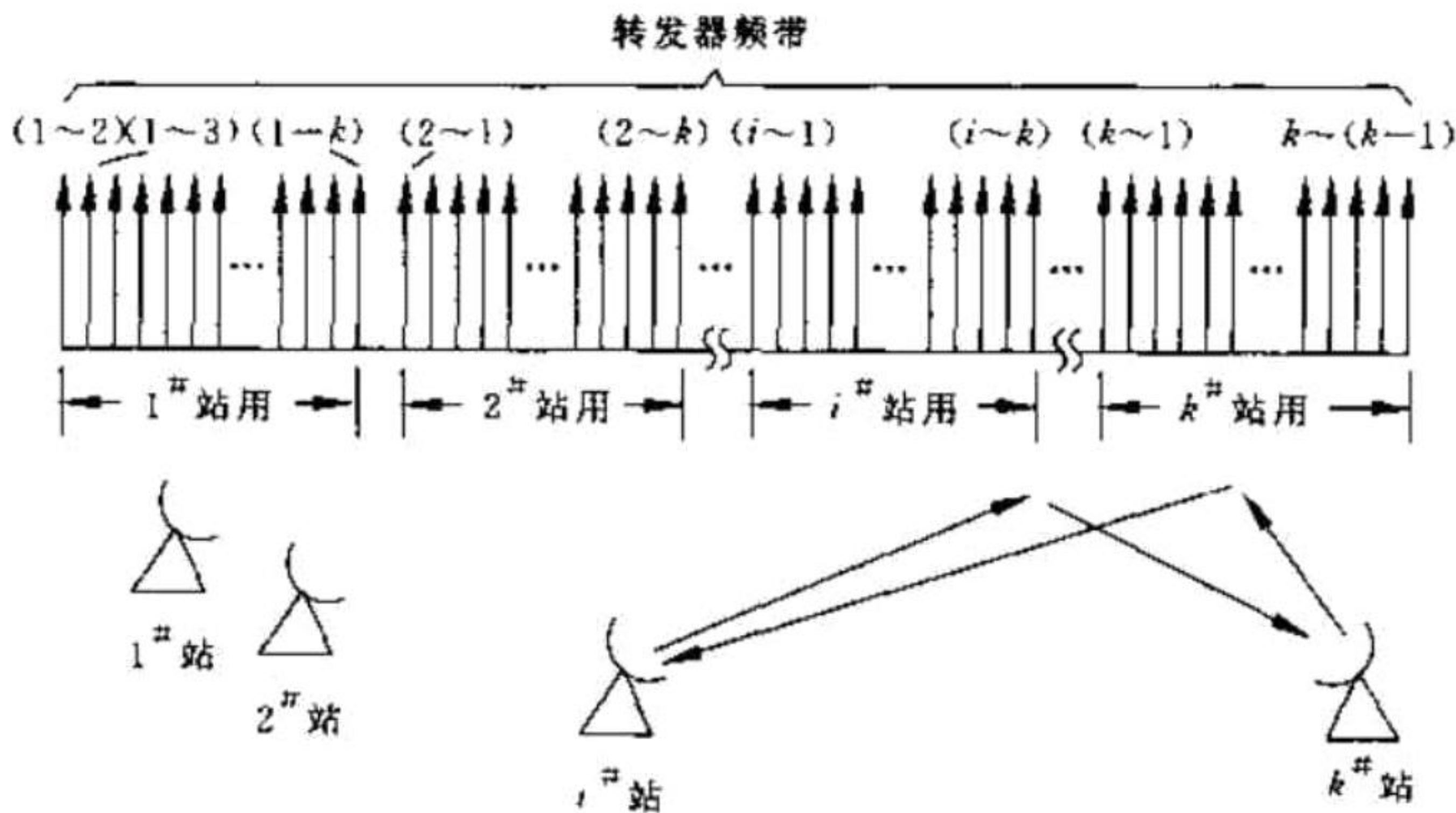


图 4-36 固定预分配示意图

3、按申请分配(DA)

(1) 按申请分配(DA):

卫星的通道不是或不完全是固定分配给各站专用的，而是根据地球站的申请临时分配给其使用，通话完毕又收归公用。

优点:基本上可避免信道忙闲不均的现象。

缺点:需要比较复杂的控制设备，要单独开辟一个专用频段供各站申请、分配信道时联系用。

(2) 按申请分配的实现方式:

a) 发端固定 / 收端可变 (FT / VR) 方式:

即整个系统中，各地球站使用的发射载频是固定预分配的，但各个地球站所用的接收频率可以在转发器的整个频带内变动。

b) 收端固定 / 发端可变 (FR / VT) 方式:

即各站所能使用的接收频率是固定预分配的，发射载频可在转发器整个可用频带内

变动。

c) 全可变(VT / VR)方式:

即发射载频和接收载频都是临时申请临时分配的, 选择范围是整个转发器可用频带。一旦通话完毕, 所用载频便交出, 供其他站申请使用。

d) 分群全可变方式:

这种方式把系统内的地球站分为若干群, 卫星转发器的通道相应地也分为若干群, 每一群内的通道分配采用全可变方式, 但不能调剂给别的群。

4、随机分配(RA)

(1) 利用卫星后道进行数据传输和交换的主要特点

a) 随机地、间断地使用信道

即发送数据的时间是随机的, 间断的。且没有数据传输的空闲时间居多。

b) 可以分组传输、非实时传输。

以上特点意味着,如果使用 F D M A 或 T D M A 与分配方式,信道利用率会很低。

解决方法: 使用随机分配方式。

(2) 随机分配(RA):

指网中各站随机地占用卫星信道,若发生“碰撞”则重发的一种分配方式。

在利用卫星信道进行数据通信时,采用这种分配方式可大大提高信道的利用率。

(3) 常用随机分配方案: ALOHA 方案

A L O H A 方案是美国夏威夷大学为地面交互计算机信息传输网络而设计的。

1973 年第一次应用于卫星通信系统。

(4) ALOHA 方案的种类

纯 ALOHA (P-ALOHA);

时隙 ALOHA (S-ALOHA);

预约 ALOHA (R-ALOHA)。