

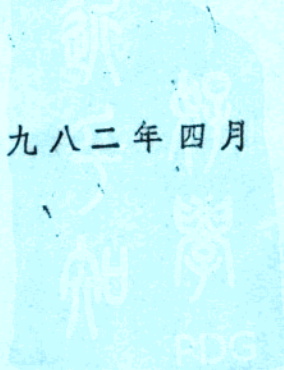
通信系统

第四册

(内部试用)

中国人民解放军 工程技术学院三系

一九八二年四月



第四册目录

§ 8—4 卫星通信体制介绍	359
8.4.1 FDM—FM—FDMA/PMA方式	359
8.4.2 SCPC方式	361
8.4.3 SPADE方式	366
8.4.4 TDM—PCM—PSK—TDMA方式	384
一、系统的职能结构及工作程序	385
二、系统的帧结构及帧效率	385
三、与用户的接口问题	394
四、系统的定时与同步	400
五、载波恢复	409

第九章 卫星通信地面站

§ 9—1 概 述	423
9.1.1 地球站的分类	423
9.1.2 标准地面站的特性	425
9.1.3 地面站的站址选择	426
9.1.4 地面站的组成和基本功能	433
§ 9—2 天线馈线系统	438
9.2.1 主要技术指标	438
9.2.2 卡塞格伦天线	441
9.2.3 馈电设备	445

§ 9—3 发射系统	456
9.3.1 主要技术指标	456
9.3.2 大功率放大器	458
9.3.3 其它组成部分	461
§ 9—4 接收系统	464
9.4.1 主要技术指标	464
9.4.2 低噪声放大器	467
9.4.3 微波接收机	486
9.4.4 通信接收机	497
§ 9—5 终端系统	501

§ 8—4 卫星通信体制介绍

下面我们介绍在国际、国内卫星通信中普遍使用和正在发展的几种通信体制。

8.4.1 FDM—FM—FDMA/FMA 方式

这种方式主要用来传输多路模拟电话或电视信号，是当前业务量最大，应用最普遍、技术最成熟的一种“模拟卫星通信体制”。

图 8—5 1 是这种体制的典型原理框图，图中表示出了 A、B、C、D、E、F 六个地面站进行电话通信的情形。以 A 站发，F 站收为例。在发端，首先由长途电信局将需要与 B~F 等五站进行联接的电话信号通过电缆或小微波送到 A 站。地面站通过载波电话发信终端设备进行频分复用 (SSB—FDM)，并作适当的排列，形成基带信号。这里以每个站分配一个基群 (12 路)，共同组成一个超群 (60 路) 基带为例。然后通过调频 (FM) 发信机将基带信号调制到中频 (如 70 MHz) 载波上，再通过微波发信机进行上变频和功率放大，形成上行微波信号 (如 6 GHz 左右)，最后由天线发射给卫星。由于各站都使用预先指定的互不相同的发射载频 (如 A 站为 f_A)，于是在转发器上形成预分配的频分多址信号 (FDMA/PMA)，在进行适当的处理和变换之后，以下行微

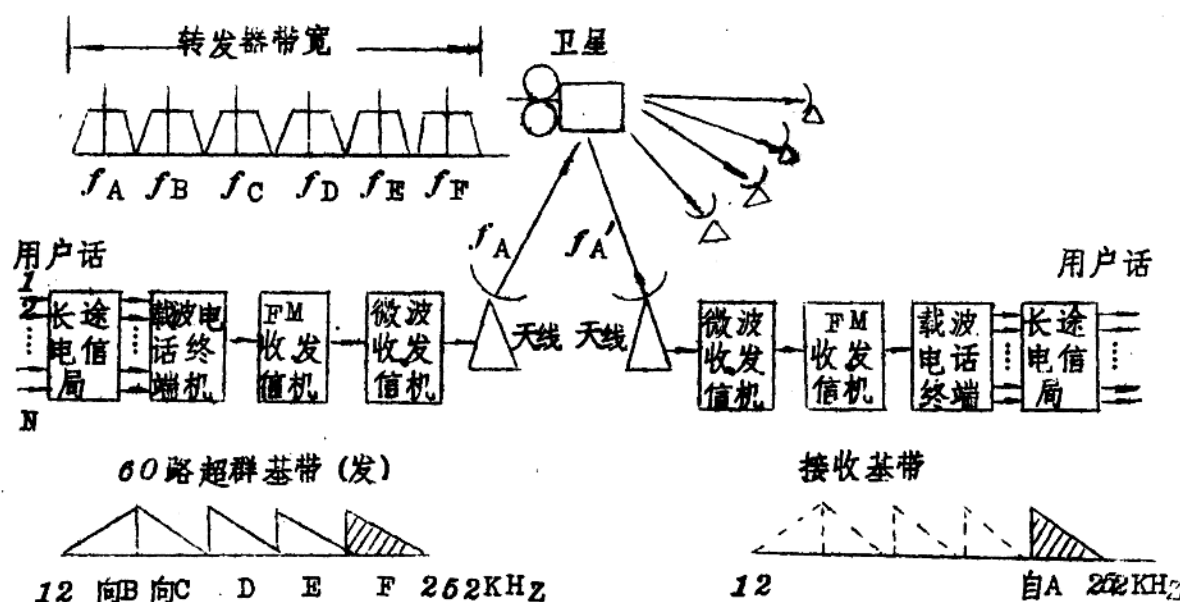


图 8-51 FDM-FM-FDMA/PMA 原理图

波频率 (如 4GHz 左右) 发向各地面站。在收端, F 站首先通过微波收音机对由天线接收下来的多址信号进行低噪声放大和下变频变成中频信号。然后通过调频接收机进行频率解调 (鉴频), 获得基带信号。最后经过载波电话收音终端机的基带解调, 用滤波器取出本站所需的成分 (一个基群)。再由长途电信局进一步分路解调, 并分别送到各被呼叫的用户。

当 F 站的用户回答时, 通话过程与上述类似。也是先通过本站的发信终端设备, 把由长途局送来的信号复用到发向 A 站的基群频带内, 然后通过调频和变频, 以规定给本站的载频 f_F 向卫星发射。A 站收到卫星转发的信号以后, 也要经过一系列的变频、解调、分路、滤波取出所需的信号成分, 再由本地长途局分送给有关用户。

其它各站的通信也和上述情况相同。只是各站所用的发射载频和基

群复用的位置有所不同。

由于FDM—FM方式在地面微波通信系统中早已应用，技术、设备等都很成熟，所以这种体制的最大优点是可以直接利用已有的成果，便于和地面微波通信系统构成统一的通信网，而且操作简单，工作可靠。但它有许多不容忽视的缺点，主要是：(1)由于多载波通过转发器，所以非线性交调、互调失真的影响严重；(2)为了减小非线性干扰，须使行波管在低于饱和电平点的范围内工作，从而降低了卫星功率的利用率；(3)为避免各载波之间的干扰，相邻站址信号之间须留有足够的保护带，所以转发器的频带利用率低；(4)由于采用PMA技术，所以线路利用率低、灵活性差。因此，这种体制适于在少站址、大容量即高密度干线通信的情况下应用，而不适用于站数多、容量小的情况。

8.4.2 SCPC方式

SCPC为“单路单载波”(Single Channel per Carrier)的缩写，是近几年发展起来的一种比较好的通信方式。SCPC主要是传输电话信号或话带内的电报或数据。基带信号可以是模拟的，也可以是数字式的。当传送模拟信号时，一般采用“每载波一路电话—频分多址”(SCPC—FM—FDMA)体制，构成“模拟卫星通信系统”。当传送数字信号时，则采用“每载波一路增量调制(或脉码调制)数字话—移相键控—频分多址”(SCPC— ΔM (PCM)—PSK—FDMA)体制，构成“数字卫星通信系统”。至于多址分配方式，它既可以采用PMA，也可以采用DAMA。后面将要介绍的SPADE方式是采用DAMA技术的典型例子。通常所说的SCPC方式，一般是指采用PMA联接的系统。

从目前的使用情况看，某些区域性或国内卫星通信系统主要是采用“SCPC—FM—FDMA”方式。这种方式的原理方框图，除了终端设备部

分外（无基带信号多路复用问题），与 FDM—FM—FDMA 方式基本相同。但是为了提高系统的性能，采用了一系列的改进措施：

（一）、采用压缩扩展技术：

这是为了提高系统信噪比而采取的措施。方法是在发信端加音频“压缩器”，以减小音量范围，提高较弱信号的电平。到收信端则用“扩展器”将传输的信号扩张到原来的范围。压扩器对信噪比的改善量是话音电平的函数。弱信号改善量大，强信号改善量少。通常设计对中等话音电平的改善量为 $15 \sim 17$ dB。压扩器电路，目前一般都采用 CCITT 建议的具有 0 dBm 无扰电平的“2:1 音节压扩”方案。并要求压缩器和扩展器具有完全相反的特性。当然，在采用压扩器的系统中，必须保证压缩器与扩展器之间的传输通道有良好的稳定性，才能得到预期的效果。

（二）、采用预加重和去加重技术：

加重技术在一般调频电话系统中都要采用。这里因为调频解调器输出的热噪声功率和频率平方成正比。即噪声谱特性按每倍频程 6 dB 的速率上升。所以话路高端信噪比差，而低端信噪比则有较大的余量。为了使系统中高、低端话路的信噪比分布比较均匀，可在通路中采取加重措施，即进行“预加重”和“去加重”。所谓“预加重”，就是在调频器输入端接入一个“预加重”网络。其作用是使调制信号的幅度在高频端提高，在低频端降低。因为热噪声在整个基带内的分布，并不因预加重而改变。这样就可以使解调后的信噪比在整个基带内比较均匀。当然，经预加重的信号还必须在接收端恢复到原来的电平。所以在解调器输出端还要加一个“去加重”网络。其特性应与预加重的特性正好相反。对于 FDM 信号来说，如图 8—5 2 和表 8—4 所示。对于 SCPC 信号来说，

可以采用每倍频程6dB的加重特性,也可以采用在1000Hz处转折(即时间常数为159 μ s)的RC型加重特性。对于热噪声来说,前者可给出6.3dB的加重改善,后者可给出5.8dB的加重改善。但从减小脉冲噪声的影响来说,后者则优于前者。值得注意,当系统中占优势

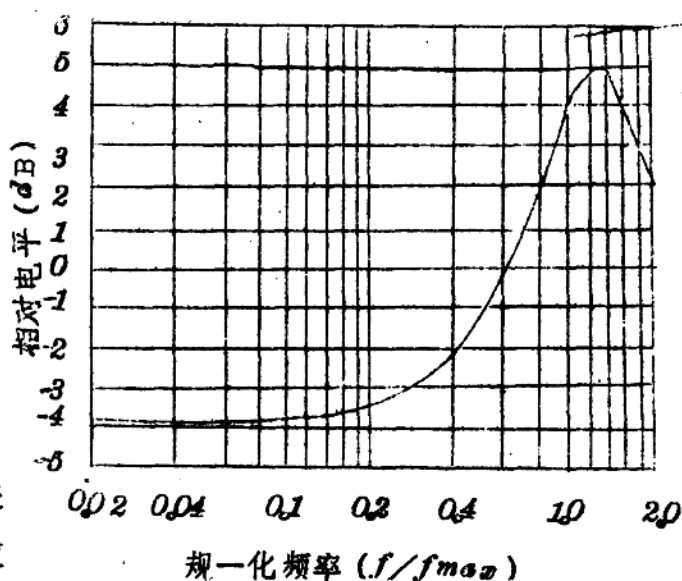


图8—52 预加重网络特性

表8—4 FDM电话用加重网络特性

路数	FDM信道带宽B (KHz)	加重网络的谐波频率 f_n (KHz)
24	108	135
60	300	375
120	552	690
300	1300	1625
600	2660	3325
960	4188	5235
1260	5636	7045
1800	8204	10255

的噪声是脉冲噪声而不是热噪声时(如在低载波噪声比下运行),应避免使用任何一种加重措施。否则将使系统性能大为恶化。

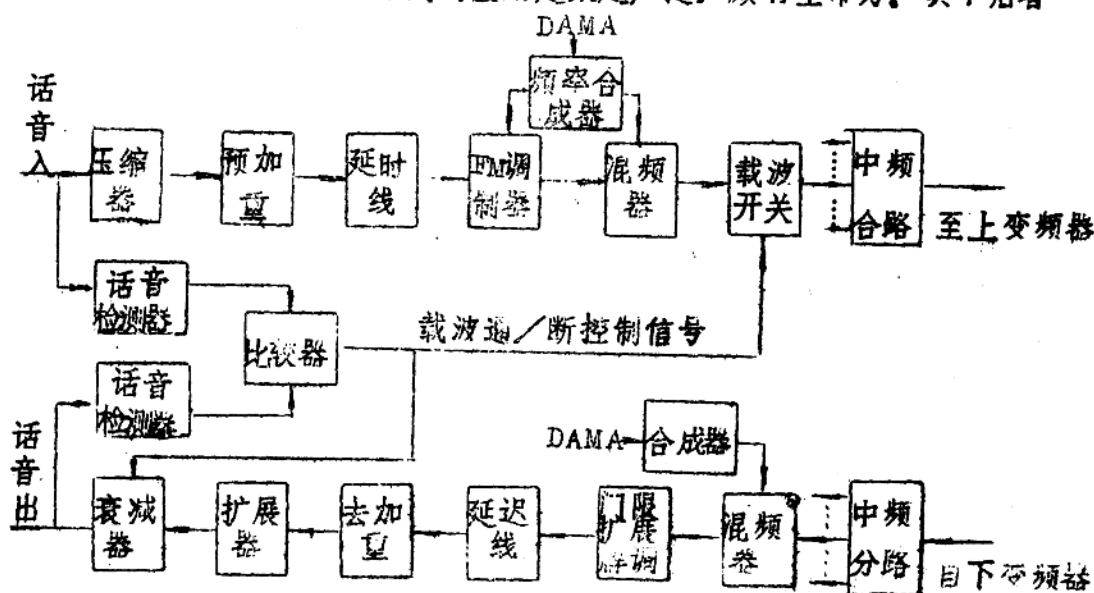
三、采用话控载波 (VOX) 技术:

为了节省卫星转发器的发射功率, SCPC 系统一般都加有“话控载波”(或称“话音激活”、“语音开关”,用“VOX”表示)设备。这就是只在有话音时才发射载波,耗用卫星功率;而在通话间歇期间,则不发射载波,不耗用卫星功率。据统计,一个业务量很大的通信系统,在任一瞬间内也只有(25~40)%的话路处于工作状态,即每个话路只有(25~40)%的工作概率。所以当系统采用 VOX 技术以后,可使转发器的容量提高 2.5~4 倍。

此外还使用“门限扩展频率解调器”、“回音抑制器”、“喀喇声抑制器”等,从而明显地改善了系统的性能。

图 8-53 是调频制 SCPC 方式的通道单元(中频以下部分)设备方框图。图中延迟线的作用是使话控传输的第一个音节免受削波。DAMA 部分装在外部,不包含在 SCPC 设备之内,一般不用,若不用,则为 FMA 方式。

随着数字通信技术的发展,SCPC- Δ M-BPSK-FDMA 方式和 SCPC-PCM-QPSK-FDMA 方式的应用越来越广泛,颇有生命力。其中后者



是由SPADE方式在应用中发展起来的一种简单型式。所以它的组成和工作原理在对 SPADE 系统作了必要的介绍之后,便可自然明了。至于前者,则是考虑到 ΔM 方式的某些优点而提出来的。从系统的结构来看,它与后者的主要区别仅在于通路(信道)单元的信源编码(ΔM , PCM)和相移键控(BPSK, QPSK)方式的不同。图 8-54 示出了这种体制的信道单元简略方框图。在 SCPC 方式中,PCM 和 ΔM 编、解码器的特性如表 8-5 所示。从系统性能上看,PCM-SCPC 方式比 ΔM -SCPC 方

表 8-5 PCM 和 ΔM 编解码器特性参数

方式	速 率	压扩特性
PCM	8KHz 取样, 7b 编码, 加同步码总速率 64Kb/s	13 折线 A 律
ΔM	32Kb/s	数字音节压扩

式传输的话音质量高,但对误码率的要求前者为 10^{-4} , 后者只有 10^{-3} , 而通信容量后者要比前者大一倍(因为速率低一半)。

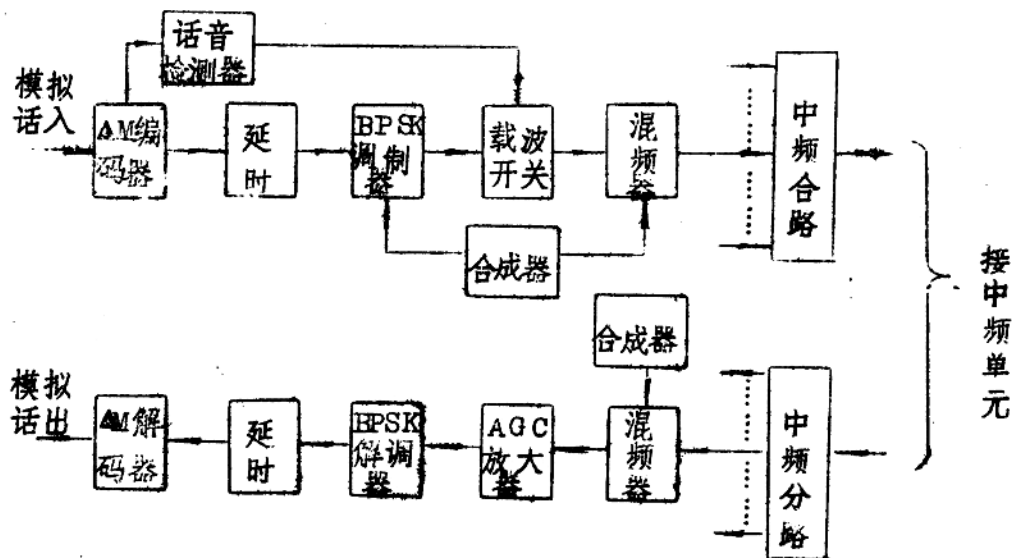


图 8-54 SCPC- ΔM -BPSK 信道单元方框图

综上所述, SCPC 方式具有许多的优点, 主要是: (1) 由于采用了话控载波, 提高了转发器的容量; (2) 可外加 DAMA 装置, 以提高信道利用率; 也可采用 PMA 方式, 以适应小容量廉价地面站的要求, 因此, 具有简便、灵活的特点。 (3) 由于每载波都在独立状态下工作, 所以可作到数字通信和模拟通信兼容于一网, 这就进一步提高了使用的机动性和灵活性。因此这种方式自从 1973 年开始使用以来, 获得了迅速的发展。SCPC 方式还存在一些问题, 一是由于它主要采用 FPMA 联接方式, 所以灵活性尚嫌不足, 二是没有从根本上消除交调失真等非线性干扰的影响, 只不过由于每载波发射功率的减小和在转发器中的随机出现, 使得这种影响不如 FDM-FM-FDMA 方式那么严重就是了。

8.4.3 SPADE 方式

SPADE 是“每载波单信道脉码调制按需分配多址联接设备” (Single Channel per Carrier PCM Multiple Access Demand Assignment Equipment) 的缩写。其多址分割方式是 FDMA, 载波调制方式是 QPSK, 所以这种方式也可写成“SCPC-PCM-QPSK-FDMA/DAMA”。SPADE 是针对 FDM-FM-FDMA/PMA 方式不适应于共用地面站多, 而线路用量小的弱点, 为小容量 (24 路以至 12 路以下) 地面站设计的, 具有较高的灵活性的变通性。该系统由美国通信卫星公司, 于 1964 年开始研制, 1969 年制成样机, 1970 年被批准在国际电信卫星通信网中使用, 并在 1971 年发射的 IS-1V (T₂) 号卫星上设置了专用转发器 (10[#])。最近虽然呼声不高, 但仍在应用, 又鉴于它是 SCPC-PCM-FDMA/PMA 方式的一般形式, 所以我们仍作必要地介绍。此种数字式卫星通信体制的特点可简要概括如下:

1. 每个载波只携带一路数字电话或一个 64Kb/s 以下的宽带或窄带

数据信号。

2. 数字电话采用 PCM 方式；载波调制：用户信号采用 QPSK 方式，共用信号采用 BPSK 方式。

3. 初期采用“模拟话音插空”(TASI)技术。后来改用“数字话音插空”(DSI)技术。与前面提到的“话控载波”(VOX)技术类似。它是当讲话者开始讲话时，立刻分给他一条线路。在他停顿时(包括接通后找人的时间。讲话人在句与句，甚至词与词之间的停顿，以及听对方讲话的时间等。统计表明，平均单条线路的空闲时间约为整个通话时间的 60~65%)，立刻把刚才使用的线路给别的用户使用(如果有人需要的话)。

4. 信道分割采用 FDMA 方式。线路分配采用“没有监控站”有“共用信号通路”的 FVMA 方式。

5. 电话交换中心和国内传输线路，不管采用哪种信号方式，都能与本系统接通，即能和现有的各种信号方式联通。

SPADE 方式的通信信道由两部分组成：一个是音频信道(音频信号通路)，一个是共用信道(共用信号通路)。前者传送正式的用户信号；后者传送呼叫信号、“忙音”(占线信号)及其它控制信号。两种信道的 FDMA 频谱配置如图 8-5-5 所示(使用 IS-1V 的 10[#]中继器，带宽为 36 MHz)。

音频信道传送的单路 PCM-QPSK 信号的带宽是 32 KHz，加上防护信号方式，也叫“信号体制”。这里的“信号”指的是为了保证正常通信而设置的联络信号(如拨号振铃等)、监视信号、控制信号等。信号方式就是对以上信号的规格、变换、转接、传输的统一规定。目前使用的有 1968 年 CCITT 规定的 NO. 6 信号体制及以前的 NO. 1、NO. 5、NO. 3 BIS、R-2 等方式。

带。每一信道的射频带宽定为 45KHz 。这样 36MHz 的带宽可以容纳~~800~~个单向的音频信道（由800个载频建立）。但真正用来传输用户信号的是794条单信道（构成397条双工通路）。具体分配如下：以导频为中心，分成上下两个频带。中间空出两个信道的带宽（导频上、下各一个信道，共 90KHz ）作为间隔。上下两个频带各有399条单信道。信道编号高、低对应（信道1、信道1'……信道N、信道N'……），每两个相应的信道，自动结对构成一个双工通路。但其中的1、1'和2、2'

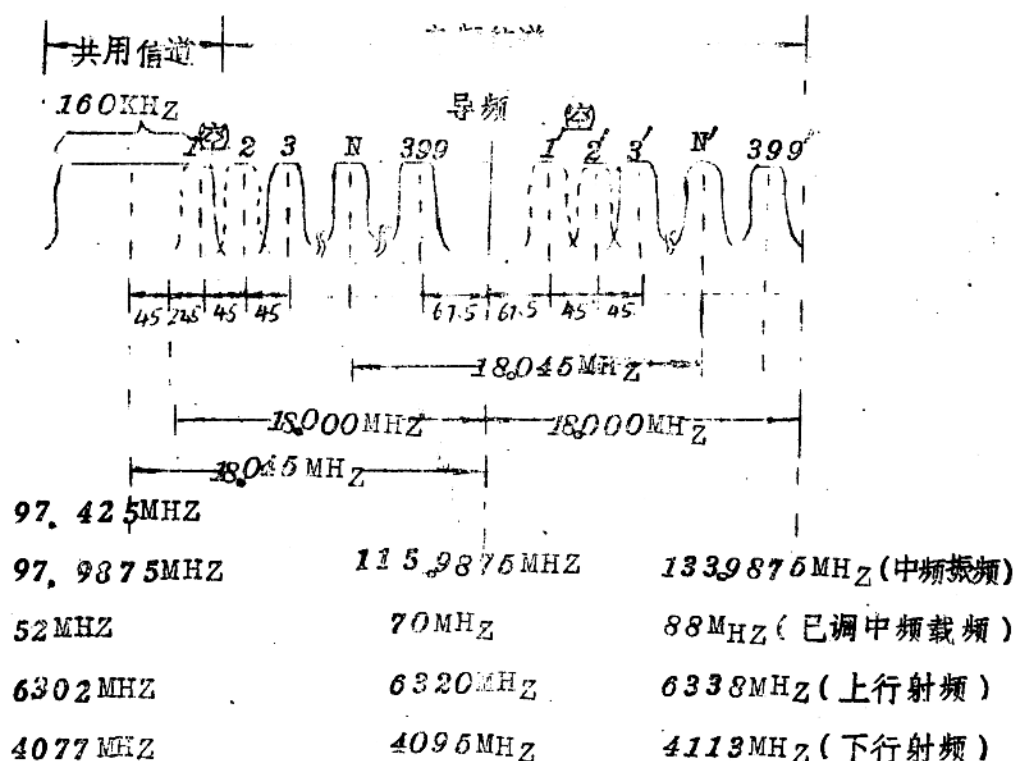


图 8-55 SPADE 方式信道频率分配图

两对信道不用。信道1与中继器低端的部分剩余频带构成160KHz的共

用信道。信道 2 作为共用信道与音频信道的间隔。信道 1、2，因为是信道 1 和 2 的配对线路，所以也空了下来。这样实际的音频信道只有 397 对，它所占据的频带叫“频率池”（或叫“信道池”）。频率池中每一对信道的频差都相同，固定为 18.045MHz 。这种关系在解调时利用。

下面分述音频信道和共用信道所传信号的特点。

进入 SPADE 系统的每一路话音信号，首先以 PCM 方式进行数字化。PCM 的取样频率为 8KHz ，每样点值以 7 比特的二进码表示，其传输速率应为 56Kb/s 。但为了提高通信的可靠性，在通信过程中要不断的插入“同步码组”（每传送 224 比特信息插入 32 比特的同步码）。因此实际的信息速率为 64Kb/s 。整个信息的码元编排方式如图 8-56 所示。

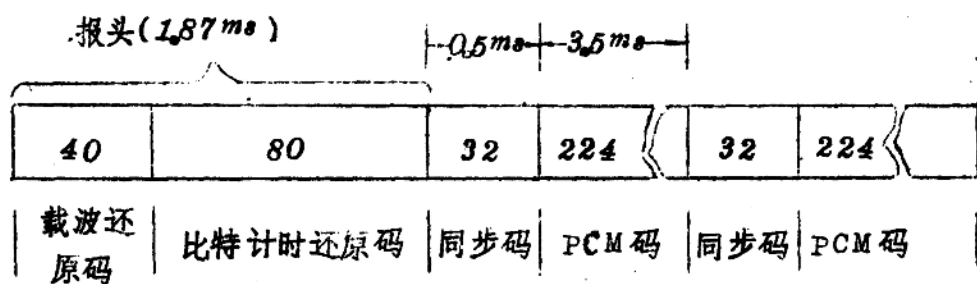


图 8-56 音频信道数字信息码元的编排

其中“报头”部分传输的“预示代码”（或称“前置比特”）包括两个内容：一是“载波恢复”。二是“时钟恢复”（或称“比特同步恢复”、“比特计时还原”）前者是 40 比特全“1”码。后者是 80 比特“00110011...”码。它们的作用是使收端实现载波和信息定时的再生，供 PSK 解调器使用。通信中，每当载波重新发射时，都首先发 120 比特前置码，在载波连续发射的过程中就不再插发这种电码

了。“同步码”(SOM)也叫“信号起始码”或“信号发出码”，其作用是保证收端经常性校正所恢复的时钟，保持字同步，克服因相位模糊而造成的失真。

共用信道(CSC)为通信网中各个SPADE装置所共有，用来分配和控制卫星线路。共用信号是一个数据序列，采用BPSK、TDMA/PMA方式进行传输。共用信号的内容和帧结构如图8-57所示。由参考站的“基准窄脉冲群”和各通信地面站的“数据窄脉冲群”所组成。它们都以爆发的方式出现。前者叫“基准爆发”(或“参考爆发”)，后者叫“站爆发”(或“数据爆发”)。基准爆发传输作为参考标准的脉冲序列(预示代码)，所有各地面站都根据这个序列与指定给本站使用的数据窄脉冲群的相对时间关系进行“站爆发”，以避免相邻两站爆发的重迭。站爆发传输的数据窄脉冲群是用来联通线路的预示代码。每个地面站(含“参考站”)都分配一个站爆发的时槽，其位置和长度都是预先指定的。

共用信号的帧时间长度为50ms，共分50个分帧，每分帧占1ms的时间。其中第1分帧进行基准爆发，其它49个分帧分别供49个地面站(含参考站)进行站爆发(即使少于49个站，每站也只用一个分帧)。

共用信号的信息速率为128Kb/s，即每分帧128b(1ms)。基准爆发和各班爆发所占分帧的时间和比特数相同，但格式不一样，具体结构如下(参看图8-57)：

基准爆发：

载波恢复40比特，供各站共用信号系统进行参考载频的再生。

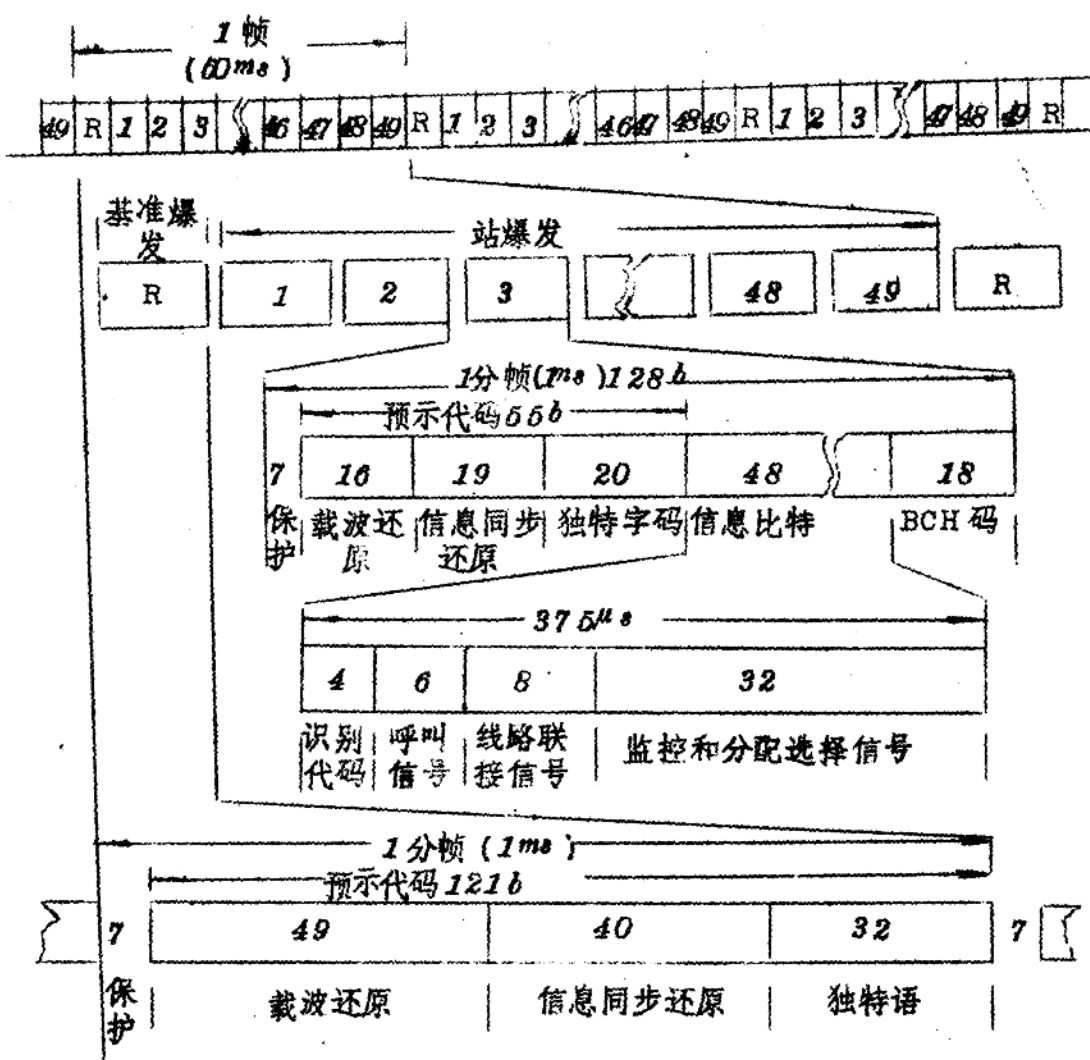


图 8—5 7 共用信道信息结构

信号同步恢复 40 比特, 供给各站的共用信号系统恢复时钟脉冲。
 独特语 (独特字码) 32 比特, 传输独特的、可识别的同步字码,
 以指示所有各地面站开始站爆发的相对时间。

保护时间(防扰时间)7比特。由前一分帧最后两比特的释放延迟时间和本分帧开头的5比特间隙时间所合成。在保护时间内停止发射电磁波。其作用是防止前后两个分帧因脉冲相位不稳而造成重迭。

站爆发:

载波恢复16比特,供接收站共用系统进行数据爆发的载波恢复。

信息同步恢复19比特,供接收站共用系统进行数据爆发的比特计时再生。

独特语20比特。传送发射站的站址代码。

信息比特48位。其中4比特传送分辨信息的识别代码;6比特传送联系对方站的呼叫信号;6比特传送为对方站指定的联接线路的信号;32比特传送电话线路的监控信号和分配选择信号。

BCH码18比特。这是采用(7,5,16)码的3重比特编码。以确保信号的可靠传输。但为了减小设备的复杂性,BCH码只用来检测错误。不用作纠错。

由以上共用信号帧结构可见,SPADE通信网中,最多只能容纳49个地面站。其中有一个地面站同时作为参考站,它既进行正常的站爆发,又进行基准爆发。其他各站则只进行站爆发,但每个站都具有基准爆发的能力。若参考站出了故障,当连续两次不能发出基准窄脉冲群时,则另一个预定站便自动地转为参考站,立即进行基准爆发,以及时提供共用的预示代码。

参考站除了比一般站多发射“基准爆发”以外,还要发射导频。各地面SPADE装置都以此为标准进行自动频率控制,以避免由于多普勒效应或卫星转发器引起的频率变化对SPADE解调系统的影响。

SPADE卫星通信系统结构如图6-1-1所示。图中只画出了一个地面