

# 第一章 电话子系统

## 第一节 电话系统基础知识

电话系统是由电话交换网络完成语音的传输和交换的。电话交换网络中电话交换机的任务是在主叫用户与被叫用户之间建立起通话电路。地铁电话系统中使用的是数字程控电话交换机，数字程控电话交换机以时分复用的方式工作，其交换的是经脉冲编码调制 (PCM) 后的数字信号。本节将对语音信号的数字化、多路时分复用、30/32 路 PCM 帧结构、数字信号交换基本原理、电话自动接续过程中的信令方式及话务量等知识进行介绍。

### 一、语音信号数字化

语音信号是模拟信号，频率在 300 Hz ~ 3.4 kHz。要将语音信号在数字传输系统中进行传递，就必须使模拟的语音信号数字化。语音信号的数字化是进行数字化交换和传输的基础。

语音信号数字化方法有很多，用得最多的是脉冲编码调制 (PCM)。在脉冲编码调制 (PCM) 传输系统中，发送端模拟语音信号经声/电转换成模拟电信号，按抽样定理对模拟电信号进行取样，取样之后进行幅度量化，最后进行二进制编码。经过抽样、量化和编码三个模数变换 (A/D) 过程后，变成一连串二进制 PCM 数字脉冲信号，经线路传输，到接收端后再经过模数反变换 (D/A)，把二进制 PCM 数字脉冲信号还原成模拟信号，再由低通滤波器恢复出原始的模拟语音信号，就完成了语音信号的数字化传输。如图 1.1 所示。

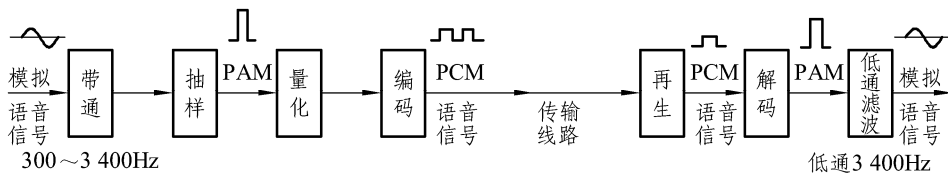


图 1.1 脉冲编码调制传输系统

脉冲编码调制相对应的波形如图 1.2 所示。

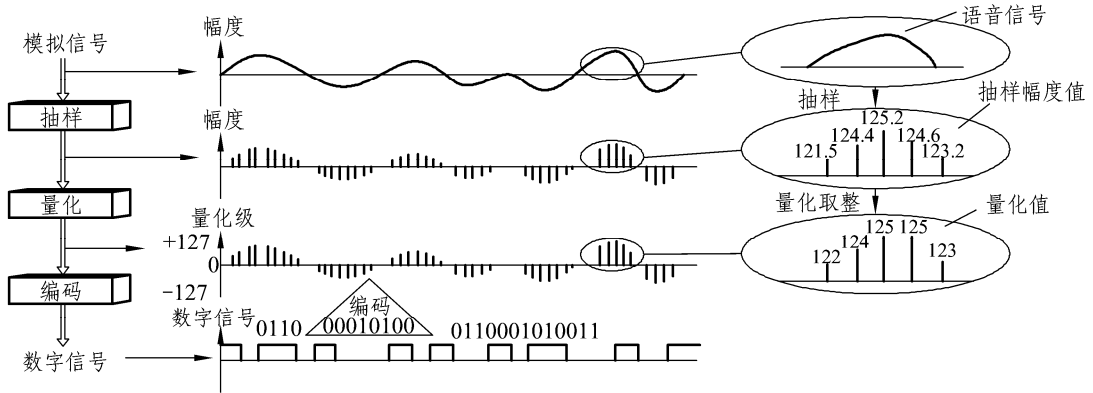


图 1.2 脉冲编码调制过程示意图

### (一) 抽 样

“抽样”就是指在时间轴上等距离地在各取样点取出原始模拟信号的幅度值。由抽样定理可知，当模拟信号的最高频率为  $f_{\max}$  时，只要抽样脉冲的频率  $f_s \geq 2f_{\max}$ ，取样后的信号中就包含有原模拟信号的全部信息。在接收端只需经过一个低通滤波器就能够还原成原模拟信号。这一过程称为脉冲幅度调制 (PAM)。取样后的信号称为脉冲幅度调制信号。

从低通滤波器输出的语音信号的最高频率为 3.4 kHz，按抽样定理一般取 8 kHz 作为抽样频率，在接收端就能恢复为原来的信号，也就是每隔  $1/8000$  s (125  $\mu$ s) 对语音信号抽样一次。语音信号在时间上是连续的，经过抽样后将变为时间上离散的信号，语音信号的抽样如图 1.3 所示。

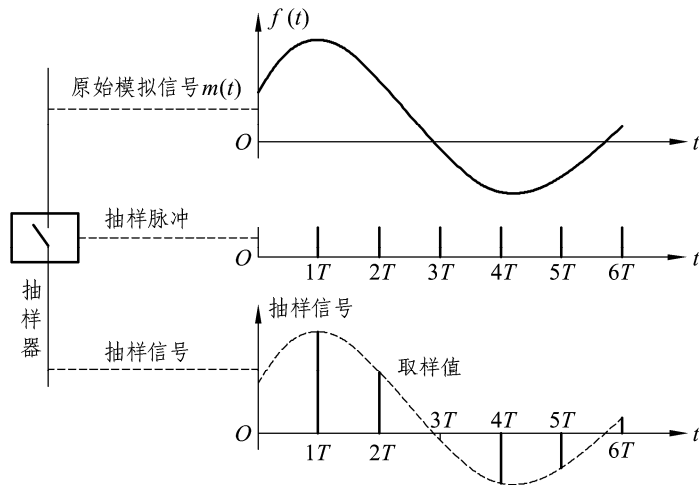


图 1.3 语音信号的抽样

### (二) 量 化

抽样后得到的脉冲幅度调制 (PAM) 信号, 其幅度仍为连续值, 为了将这个连续值离散化就要对它进行量化。所谓“量化”是把一个无限多取值的信号用有限个数字来表示。

典型的量化过程是将 PAM 信号可能取值的范围划分成若干级, 每个 PAM 信号按“四舍五入”的原则就近取某级的值。这种近似的表示法, 使接收端的信号在恢复时会产生一些失真, 所造成的影响类似于混入的噪声, 因此把由于量化而产生的噪声称为“量化噪声”, 量化噪声的大小完全取决于所表示的值与准确值之间的差别, 可以通过缩小量化级间隔来减小量化误差, 但由此带来的问题是语音编码的位数会增加。

### (三) 编 码

编码是将量化后的脉冲值转换成  $n$  位二进制码组。二进制码的位数  $n$  与量化等级  $L$  的关系满足  $n = \log_2 L$ 。图 1.2 中的量化等级为 128, 采用 7 位二进制编码表示, 再使用 1 个比特作为符号位, 所以一个数字用 8 位码来表示。在经过编码后的信号, 就已经是 PCM 信号了。

### (四) 解码和重建

解码是编码的反变换, 在接收端将收到的 PCM 码组还原为 PAM 信号, 这个过程又称为数模变换 (D/A 变换)。在 PCM 解码中, 首先是将输入串行的 PCM 码变成并行的 PCM 码, 然后变成 PAM 码, 最后经过低通滤波器平滑就恢复为与发送端一样的 PAM 信号, 如图 1.4 所示。



图 1.4 解码示意图

## 二、时分多路复用

多路复用是指将多路信号在同一传输线上进行互不干扰的传输, 它是提高传输线利用率、降低成本的有效途径。目前多路复用的方法有多种, 如频分复用 (FDM)、时分复用 (TDM)、空分复用 (SDM)、波分复用 (WDM) 和码分复用 (CDM) 等。频分复用方法多用于模拟通信, 而时分复用方法多用于数字通信。

### (一) 时分多路复用简介

对一路信号进行时间抽样时, 两个样值点之间的时间都是空闲的, 完全可以在这段空闲时间内插入其他路的信号样值。图 1.5 所示为在第 1 路信号两个样值点之间插入第 2~ $n$  路信号的样值。

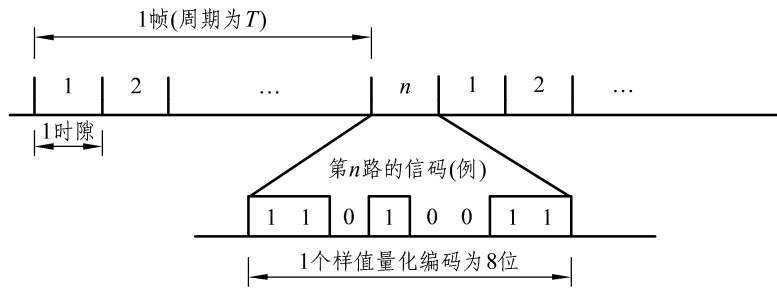


图 1.5 时分多路复用示意图

时分多路复用正是利用各路信号在信道上占有不同时间间隔来把各路信号分开。具体来说，把时间分成均匀的时间间隔，将每一路信号的传输时间分配在不同的时间间隔内，以达到各路信号按时间互相分开，共享同一传输线的目的。

图 1.5 中，每路所占有的时间间隔称为“路时隙”，简称“时隙”，用 TS 表示。

如果复用路数为  $n$ ，并且将每路语音信号的一个抽样值经量化编码后生成 8 位码。第 1 路信号的 8 位码占用第 1 个时隙，第 2 路信号的 8 位码占用时隙 2，由此类推，第  $n$  路信号的 8 位码占用时隙  $n$ 。这样依次传送，待把第  $n$  路传输完后，再进行第二轮传送。每传一轮的总时间称为 1 帧。只要每一帧的时间符合取样定理的要求，通话就能实现。

如前所述，对语音信号的取样频率  $f_s = 8 \text{ kHz}$ ，其抽样周期  $T_s = 1/8000 \text{ s} = 125 \mu\text{s}$ ，则一帧的时间为  $125 \mu\text{s}$ 。对 30/32 路 PCM 系统而言，一帧有 32 个时隙，要将一帧时间  $125 \mu\text{s}$  分成 32 个时隙，则一个时隙所占用的时间为  $125 \mu\text{s}/32 = 3.9 \mu\text{s}$ 。

时分多路复用的电路结构如图 1.6 所示。各路语音信号经低通滤波器  $LP_1$  将频带限制在  $3.4 \text{ kHz}$  以内，然后送到抽样的电子开关  $S_1$ 。  $S_1$  受抽样脉冲的控制，依次接通各输入线，将语音信号取样成 PAM 信号，循环一周的周期等于抽样周期  $T_s$ ，这样就达到了对每一路信号每隔  $T_s$  间隔取样一次的目的。若是 30/32 路 PCM 系统  $n = 32$ ，对每一路信号每隔  $125 \mu\text{s}$  抽样一次，电子开关  $S_1$  的动作频率为  $3.9 \mu\text{s}$ 。

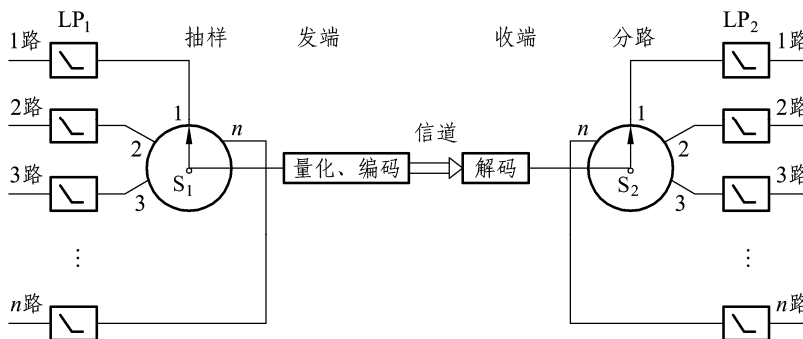


图 1.6 时分多路复用电路结构图

由图 1.6 可知， $S_1$  不仅起到抽样作用，同时还起到复用合路的作用，因此它也被称为

“合路门”。各路 的抽样信号按时间错开，送到公用编码器，进行量化编码，然后将数码送到信道。

在收端，将各路数码进行统一解码，使它还原为 PAM 信号，然后由分路开关  $S_2$  依次接通各路，在各分路中经过低通滤波器  $LP_2$  把 PAM 信号恢复为语音信号。收端的分路开关尚起到时分复用的分路作用，所以也被称为“分路门”。

应注意的是， $S_2$  与  $S_1$  的起始位置和脉冲频率必须一致，否则会造成错收。也就是说，收发双方必须在时间上保持严格的同步。

## (二) 30/32 路 PCM 时分复用系统

30/32 路 PCM 系统的结构如图 1.7 所示。话路容量为 30 路，同步码及告警码占 1 路，标志信号占 1 路，共 32 路（或称 32 个信道）。

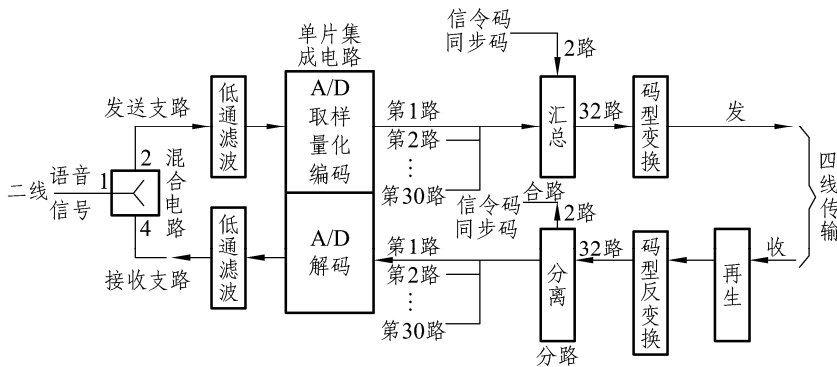


图 1.7 30/32 路 PCM 系统框图

### (1) 发送支路。

每一话路的语音模拟信号经 2/4 线变换用的混合电路 1-2 端送入发送支路，由低通滤波器限制语音信号频带的上限为 3.4 kHz，再由模数 (A/D) 变换电路完成抽样、量化和编码，编成单极性 8 位的 PCM 信号；然后在汇总电路把各话路的数字语音信号、同步码（或告警码）和标志信号码插入到不同时隙，即按不同时隙进行时分合路，组成 PCM 信号群；最后由码型变换电路将其变换成适宜于传输的码型送往线路传输。

### (2) 接收支路。

在接收端，首先将接收到的 PCM 信号群的双极性码进行整形再生；然后，经过码型反变换电路恢复成原始编码的码型；经分离电路将各话路的语音信号、同步码（或告警码）和标志信号码进行分路；分离出来的各话路信号经各自的数模 (D/A) 变换电路完成解码功能，使之恢复成 PAM 信号；最后经过低通滤波器恢复为每一话路的语音模拟信号。

## (三) 30/32 路 PCM 系统帧结构

所谓“帧结构”就是在一帧（或取样周期）时间内的时间分配关系，它包括了时隙、码位、同步与标志信号的分配关系。30/32路PCM系统的帧结构如图1.8所示。图中的最上部 $F_0, F_1, \dots$ 表示帧顺序，由 $F_0 \sim F_{15}$ 共16个帧组成了一个复帧；每一帧有32个时隙；每一时隙有8位码组。 $TS_1 \sim TS_{15}$ 和 $TS_{17} \sim TS_{31}$ 共30个时隙为“话路时隙”，用于传送30个话路的语音信号，一个时隙传输一路语音信号。 $TS_1$ 为第1路语音信号的时隙，传输第1路语音信号； $TS_{17}$ 为第16路语音信号的时隙，传输第16路语音信号； $TS_{31}$ 为第30路语音信号的时隙，传输第30路语音信号； $TS_0$ 为“帧同步时隙”，用于收发端同步； $TS_{16}$ 为“标志信号时隙”，用来传送复帧同步码和各个话路的标志信号（中继话路的占用空闲信号等，从而使两个交换机能够相互配合，自动完成电话接续任务）。帧同步时隙 $TS_0$ ，每隔1帧传送1次帧同步码，帧同步码中的第1位留作国际通信用的备用比特，后面7位码是帧定位码组，规定为“0011011”，传送帧同步码的帧，定义为“偶数帧”。“奇数帧” $TS_0$ 的第1位也留作国际通信用的备用比特；第2位码固定为“1”，以便接收端能区分是奇数帧；第3位码为帧失步告警码，用于向对端局告警，同步时该位码为“0”，表示对端局至本局同步情况正常，反之，当对端局至本局的同步情况失常时，即置该位码为“1”，通知对方已失步无法工作；第4-8位码可作其他信号用，在未用前暂固定为“1”。 $TS_{16}$ 作为话路的标志信号时隙，用来传送各个话路的标志信号。由于电话的标志信号频率较低，每隔2ms传输一次，即电话的标志信号的抽样频率是500Hz，是语音抽样频率的1/16，因而将连续发生的16个帧作为1个复帧，30个话路的标志信号及复帧同步信号用 $F_0$ 复帧中的 $TS_{16}$ 来表示即可。第 $F_1 \sim F_{15}$ 帧的 $TS_{16}$ 用来表示话路的标志信号，由于话路标志信号的信息类型不多，因此每一路标志信号采用4位码，以a、b、c、d表示，这样一个时隙可传送两个话路的标志信号，在 $F_1 \sim F_{15}$ 这15帧内可传送30路标志信号，如图1.8所示。 $F_0$ 帧的 $TS_{16}$ 用来传送复帧同步信号，其前4位码为复帧同步码“0000”，第6位为复帧失步告警码，同步时为“0”，失步时为“1”，余下的码位备用，在未用前暂固定为“1”。要注意的是标志信号a、b、c、d不能全为“0”，否则就会与复帧同步码混淆。

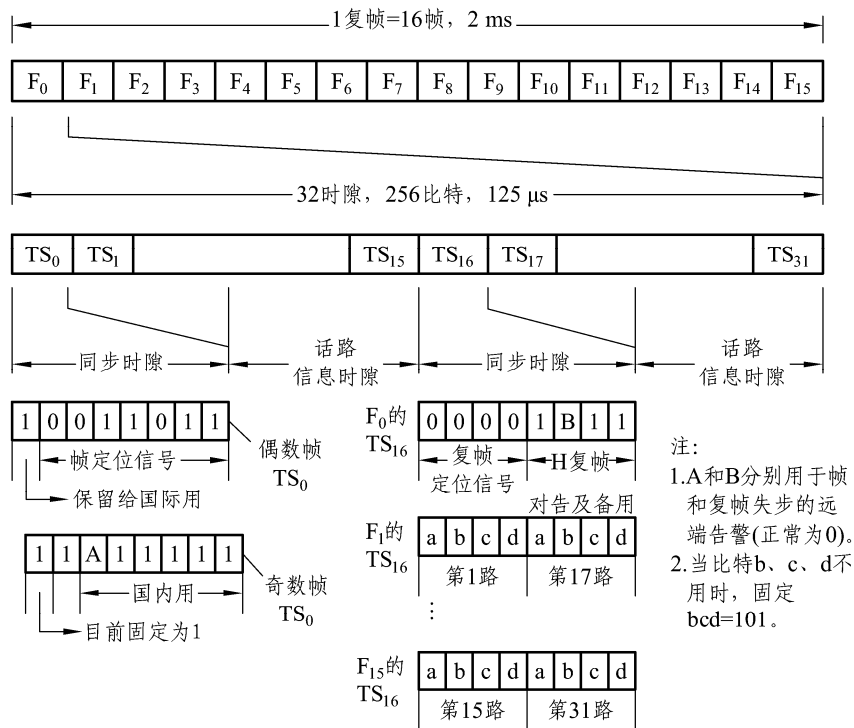


图 1.8 30/32 路 PCM 系统的帧结构

由帧结构可以方便地求出 30/32 路 PCM 系统的码流速率，1 帧有 32 个时隙，每个时隙传送 8 bit，1 帧共传送  $32 \times 8 \text{ bit} = 256 \text{ bit}$ ，1 帧时间长度为 125  $\mu\text{s}$ ，传送码流速率为  $256 \text{ bit} / 125 \mu\text{s} = 2.048 \text{ Mbit/s}$ ，即 30/32 PCM 系统的码流速率为 2.048 Mbit/s。对 30 个话路的某一路来说，每秒取样 8 000 次，每次传 8 bit，其码流速率为  $8 \times 8 \text{ 000 bit} = 65 \text{ kbit/s}$ ，即每路数据传输的码率为 64 kbit/s。1 个复帧有 16 帧，时间长度为  $16 \times 125 \mu\text{s} = 2 \text{ ms}$ 。

#### (四) PCM 的一次群和高次群

在时分制数字通信系统中，高次群系统也可以由若干个低次群的数字信号通过数字复接设备汇总而成。北美和日本采用以 1 544 kbit/s (24 路 PCM) 为基群速率的数字速率系列；欧洲和俄罗斯采用以 2 048 kbit/s (30/32 路 PCM) 为基群的数字速率系列。我国也采用以 2 048 kbit/s 为基群的数字速率系列。数字速率系列见表 1.1 所示。

表 1.1 PCM 数字复接速率

	一次群(基群)	二次群	三次群	四次群
北美	24 路 1.544 Mb/s	96 路(24×4) 6.312 Mb/s	672 路(96×7) 44.736 Mb/s	4032 路(672×6) 274.176 Mb/s
日本	24 路 1.544 Mb/s	96 路(24×4) 6.312 Mb/s	480 路(96×5) 32.064 Mb/s	1440 路(480×3) 97.728 Mb/s

欧洲	30 路 2.048 Mb/s	120 路(30×4) 8.448 Mb/s	480 路(120×4) 34.368 Mb/s	1920 路(480×4) 139.264 Mb/s
----	--------------------	---------------------------	-----------------------------	-------------------------------

### 三、数字信号交换基本原理

电话交换系统的任务就是在各条用户线间、用户线与中继线间或中继线间与中继线间建立起语音信号的临时通道(临时接续),而这一工作是由交换网络来完成的。在现在的电话交换系统中,交换网络可分为时分交换网络和空分交换网络两类。时分交换网络的主要设备是时分接线器,空分交换网络的主要设备则是空分接线器。

#### (一) 时分接线器(T接线器)

时分接线器的功能是完成一条 PCM 复用线上各时隙间信息的交换,它主要由语音存储器和控制存储器组成,如图 1.9 所示。

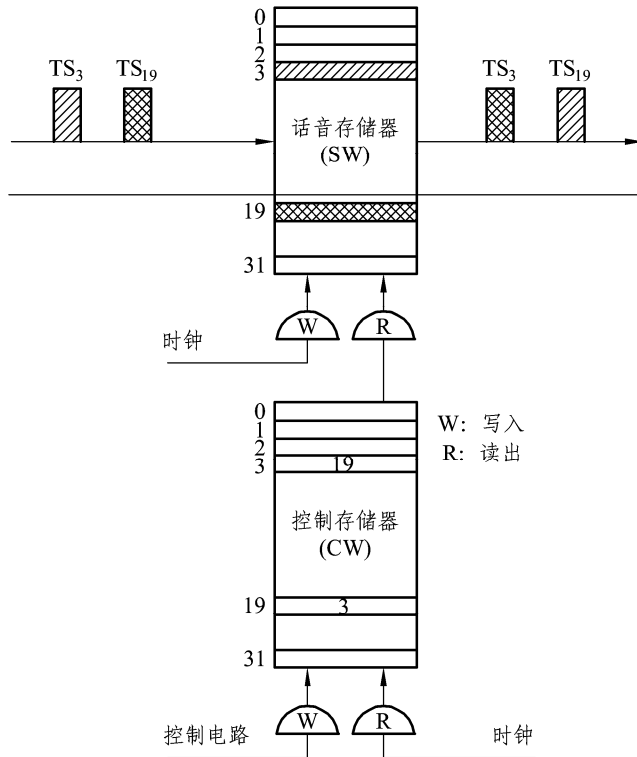


图 1.9 T 接线器结构原理图

语音存储器 (SM) 是用来暂时存储语音脉码信息的,故又称“缓冲存储器”。



## (二) 空分接线器 (S 接线器)

空分接线器，就其结构而言，它与空分交换网络中的空分接线器是相同的。其作用是完成不同 PCM 复用线上同时隙间的信码交换。空分接线器的结构如图 1.10 所示。

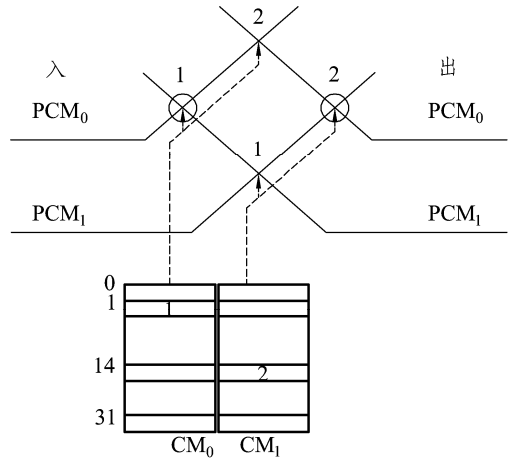


图 1.10 S 接线器结构示意图

## (三) TST 和 STS 数字交换网络

程控交换机的交换网络是由单级 T 接线器或 T 接线器和 S 接线器多级组合组成的，其中 TST 和 STS 网络是最基本的两种组合形式，尤其是 TST 网络，由于成本低、路由选择简单，从 20 世纪 80 年代开始就被广泛采用。

图 1.11 所示为 TST 网络，信号由左边 S 接线器进入，按时隙输出。各路时分接线器输出的信号经 T 接线器的交换，输出送入 S 接线器，在 S 接线器中按时隙输出，完成交换。

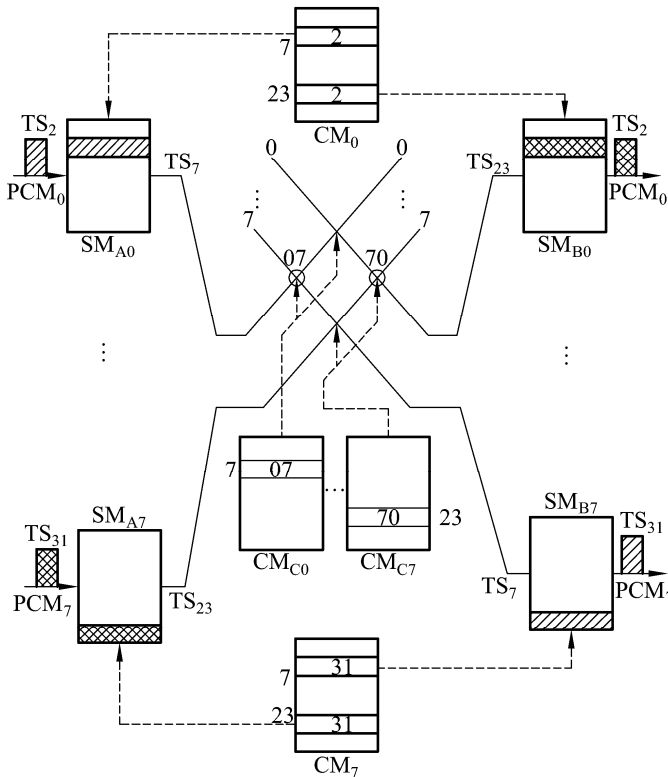


图 1.11 TST 网络结构图

图 1.12 所示为 STS 网络，信号由左边 T 接线器进入，按不同的路数输出。经 T 接线器交换后输出的信号经 S 接线器按不同的时隙输出，输出信号送入 T 接线器，在 T 接线器中按

不同目的输出，完成交换。

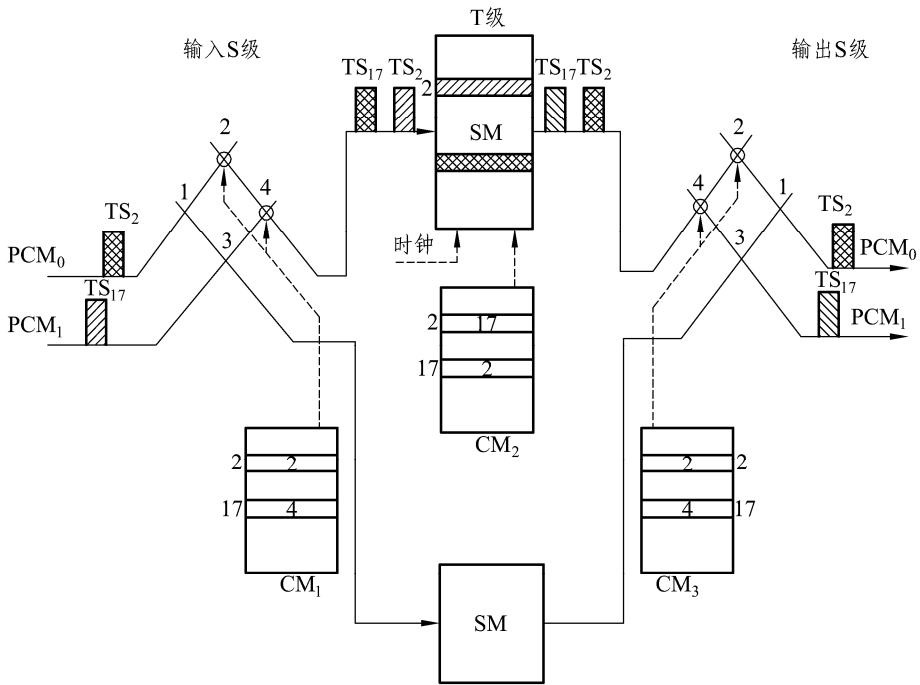


图 1.12 STS 网络结构图

## 四、信令方式

在电话自动接续过程中，为使用户双方能顺利接通电路，必须有一套完整的信号系统，这些信号在电话通信网中传递，起着指挥、联络、协调各部分的作用，以确保通信网作为一个整体有条不紊地运转，因此也可把这些控制信号称为信令。

信号系统，又称信令方式，用以描述各种状态和相关的地址信息，它是通信网中各个交换局在完成各种呼叫接续时所遵循的一种通信语言格式。在通用电话网或专用网内，各交换机所使用的信令（包括信令内容、含义、格式和传输方式等）必须协调一致、密切配合，因此信令方式必须标准化。

### （一）信令的基本概念

信令是各交换局在完成呼叫接续中的一种通用语言。譬如一个用户要求呼叫，他必须先摘机，于是由用户话机向交换局送出摘机信令；交换机识别出用户后，向用户送出拨号音信令；然后用户将被叫用户号码告诉交换局，这就是拨号信令；交换局经过处理之后叫出被叫用户，要向被叫用户振铃，即送出振铃信令等。这些都属于交换局和用户之间的信令。在两个或两个以上交换局之间完成呼叫接续任务时，除上述交换机和用户间的信令外，还要求各