

第2章 电路交换

2.1 交换单元与交换网络

根据 IEEE 对电信交换的定义，交换的基本功能是在任意的入线和出线之间建立（或拆除）连接。在交换系统中完成这一基本功能的部件是交换网络，它是交换系统的核心。交换网络是由各种交换单元构成的。

本节介绍基本交换单元和交换网络的基本结构和分类，以及网络阻塞的概念。

2.1.1 基本交换单元

1. 交换单元的一般描述

交换单元是构成交换网络的基本部件。按照一定的拓扑结构和控制方式，由多个交换单元（当然也可以是 1 个）即可构成交换网络。交换单元的功能也就是交换的基本功能，即在任意的入线和出线之间建立连接，或者说将入线上的信息分发到出线上去。

从数学的观点看，不管交换单元的内部结构如何，对外的特性都可归纳为一组入线和一组出线，以及完成控制功能的控制端和描述内部状态的状态端。入线为信息输入端，出线为信息输出端，如图 2-1 所示。这样我们可以暂时不考虑各种具体交换单元的个性，而从一般意义上讨论交换单元的基本概念和特性。

图 2-1 所示的交换单元是一个 $M \times N$ 的交换单元，入线编号为 $1 \sim M$ ，出线编号为 $1 \sim N$ 。若入线数与出线数相等且均为 N ，则为 $N \times N$ 的对称交换单元。

若交换单元的每条入线都能够与每条出线相连接，则称为全互连交换单元；若交换单元的每条入线只能够与部分出线相连接，则称为非全互连交换单元或部分连接交换单元。本节讨论的均为全互连交换单元。

若交换单元是由空间上分离的多个开关部件或小的交换部件按一定的排列规律连接而成的，则称其为空分交换单元。

2. 内部通道与连接

当信号到达交换单元的某条入线时，交换单元要将该信号按照要求分发到出线上去。这时有两种情况。

一是信号为同步时分复用信号，信号本身只携带有用户信息，而没有指定出线地址（该地址由另外的信号如信令来指定）。这时，交换单元可根据控制指令（该控制指令包含了信号要传送到目的地址等信息），在交换单元内部建立通道，将入线与相应的出线连接起来，入线上的输入信号沿着该内部通道在出线上输出，如图 2-2 (a) 所示。

二是信号为统计复用信号，需要交换的信息单元为分组或信元，信号中不仅携带有用户信息，还有标志码，标志码相同的分组属于同一连接。这时，交换单元可根据该信号所携带的标

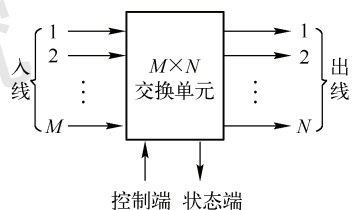


图 2-1 $M \times N$ 的交换单元

志码，在交换单元内部建立通道，将信号从入线交换到出线上，如图 2-2 (b) 所示。

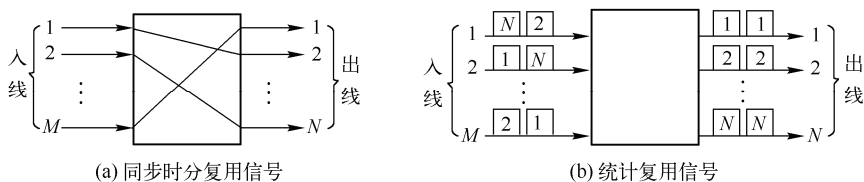


图 2-2 交换单元内部通道的“连接”

对于以上两种情况，在信息交换完毕后，还需将已建立的内部通道拆除。由此可见，交换单元完成交换的基本功能是通过交换单元中连接入线和出线的“内部通道”完成的。建立“内部通道”就是建立连接，拆除“内部通道”就是拆除连接。

3. 交换单元的分类

交换单元可分为如图 2-3 所示的三类。

- 集中型：入线数大于出线数 ($M > N$)，也可称为集中器。
- 扩散型：入线数小于出线数 ($M < N$)，也可称为扩展器。
- 分配型：入线数等于出线数 ($M = N$)，也可称为分配器。

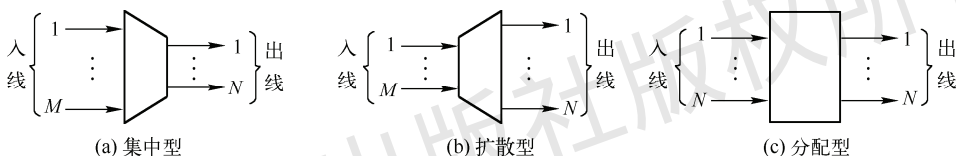


图 2-3 几种交换单元

4. 交换单元的性能

用于描述交换单元外部性能的指标一般有以下 3 项。

(1) 容量

对于交换单元的容量，最基本的要素是交换单元入线和出线的数目。在此基础上，还应考虑交换单元每条入线上可以传送的信息量，对于模拟信号和数字信号，可分别用信号带宽和信号速率来衡量。将交换单元入线（出线）数与每条入线上可传送的信息量这两个要素结合起来，即为交换单元所有入线可以同时传送的总的信息量，称为交换单元的容量。

(2) 接口

交换单元需要规定自己的信号接口标准，即信号形式、速率及信息流方向。不同的交换单元可以进行交换的信号形式是不同的，有的只能交换模拟信号，有的只能交换数字信号，而有的则是模数兼容的。相应地，交换单元与交换接口的连接也有多种不同情况。电路型交换单元（交换网络）接口的详细内容，将在本章 2.3 节中介绍。

(3) 质量

一个交换单元的质量可用两方面的指标来衡量：一是完成交换功能的情况，二是信息通过交换单元的损伤。前一指标是指交换单元完成交换连接的情况，即是否在任何情况下都能完成指定的连接，以及完成交换连接的速度。后一指标是指信号经过交换单元时的时延和其他损伤，如信噪比的降低等。

5. 几种典型的交换单元

(1) 开关阵列

在交换单元内部, 要建立任意入线和出线之间的连接, 最简单且最直接的方法是使用开关。在每条入线和每条出线之间都各自接上一个开关, 所有的开关就构成一个开关阵列。

开关阵列是一种空分交换单元。开关阵列中的开关有两种状态: 接通或断开。当开关接通时, 该开关对应的入线和出线就被连接起来。当开关断开时, 入线和出线就不被连接。

开关阵列在拓扑结构上可为排列成方形或矩形的二维阵列, 分别称为 $N \times N$ 方形开关阵列和 $M \times N$ 矩形开关阵列。图 2-4 所示为 $M \times N$ 矩形开关阵列, 图中交叉点 (实心圆点) 代表开关, 共有 $M \times N$ 个开关, 位于第 i 行第 j 列的开关记做 S_{ij} 。

开关阵列的主要特性如下。

① 每条入线和每条出线的交叉点都对应一个单独的开关, 所以任何入线都可连接至任何出线。而且由于从任意给定的入线到出线的通道上只存在一个开关, 所以开关控制简单, 且具有均匀的单位时延特性。

② 一个交叉点代表一个开关, 交叉点数目就是开关的数目。开关阵列的交叉点数取决于交换单元的入线数和出线数。对指定入线数和出线数的交换单元, 其开关数目反映了实现的复杂程度和成本的高低, 所以应尽量减少交叉点的数目。当入线数和出线数增加时, 交叉点数目会迅速增加。因此, 开关阵列往往只适合于构成较小的交换单元。但随着大规模和超大规模集成电路的迅速发展, 开关阵列的容量逐渐增大。

③ 当某条入线与其连接的所有出线间的一行开关部分 (或全部) 处于接通状态时, 开关阵列很容易实现点对多点 (多播或广播) 功能。所以在不需要点对多点和广播功能时, 每条入线对应的一行开关只能有一个处于接通状态。

④ 开关阵列组成的交换单元的性能取决于所使用的开关。模拟开关用于交换模拟信息, 数字开关用于交换数字信息, 光开关就构成光交换单元。

⑤ 开关阵列具有控制端和状态端。在最简单的情况下, 每个开关配有一个控制端和一个状态端。因为开关的状态只有两种, 所以, 控制端和状态端的信号都可用二值电平 “0” 或 “1” 来表示。

实际使用的开关阵列可以由多种器件实现, 如电磁继电器、模拟电子开关、数字电子开关等。用继电器组成的开关阵列, 既可以传送模拟信号又可以传送数字信号, 而且可以双向传输信号, 但干扰和噪声大, 且动作较慢 (毫秒级), 体积也较大。

模拟电子开关一般利用半导体材料制成, 如 MC142100、MC145100 (4×4 开关阵列)。开关动作较快, 干扰和噪声较小, 但只能单向传输信号, 且衰耗和时延较大。

数字电子开关用于交换数字信号, 可以用逻辑门构成, 如用数字多路选择器或分配器来实现。其开关动作极快且无信号损伤。由电子开关阵列构成的空间交换单元, 可以实现时分复用线之间信息的交换。

(2) 总线型交换单元

总线型交换单元的一般结构如图 2-5 所示。它包括三部分, 即入线控制部分、出线控制部分和总线部分。交换单元的每条入线经各自的入线控制部件与总线相连, 每条出线经各自的出线控制部件与总线相连, 总线按时隙轮流分配给各个入线控制部件和出线控制部件使用, 分配到的入线控制部件将输入信号送到总线上。

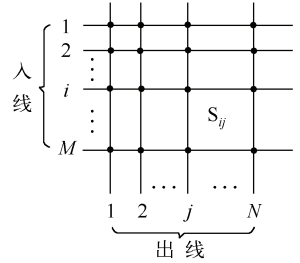


图 2-4 $M \times N$ 矩形开关阵列

入线控制部件的功能是接收入线上的输入信号，进行相应的格式转换后存入缓冲存储器，并在总线分配给该入线控制部件的时隙把收到的信息送到总线上。因为输入信息是连续的比特流，而总线上接收和发送信息是猝发的，所以假设一条入线上的输入信息的速率为 V bps，每个入线控制部件每隔 τ s 获得一个总线时隙，则每条入线上输入缓冲器的容量至少应为 $V\tau$ bps。

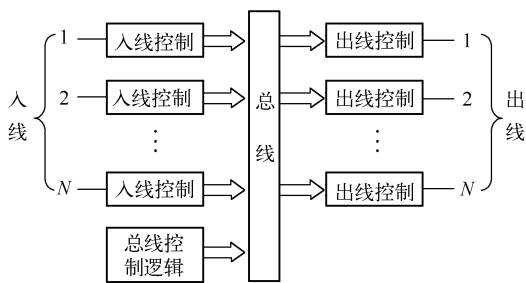


图 2-5 总线型交换单元的一般结构

出线控制部件的功能是检测总线上的信号，把属于自己的信息存入缓冲存储器，并进行一定的格式转换，然后由出线送出形成输出信号。同理，设一个出线控制部件在每个 τ s 时间段内获得的信息量是常数，而出线的数字信息的速率为 V bps，则每条出线上输出缓冲器的容量至少应为 $V\tau$ bps。

总线一般包含多条数据线和控制线，数据线用于在入线控制部件和出线控制部件之间传送信号，控制线完成总线控制功能，包括控制各入线控制部件获得时隙和发送信息，或控制出线控制部件读取属于自己的信息等。

总线上的时隙分配必须按照一定的规则。最简单也是最常用的规则是，不管各入线控制部件是否有输入信息，按时间顺序把总线时隙分配给各入线；比较复杂但效率较高的规则是，按需分配总线时隙，即只在入线有输入信息时才分配给时隙。

总线上的信号是一个同步时分复用信号，若有 N 条入线，每条入线的信号速率是 V bps，则总线上的信号的速率是 NV bps。因此，在总线型交换单元中，总线是信息的集散地，如果入线数较多且输入信号的速率较高，则总线上的信息速率会变得非常高。总线型交换单元的入线数和信号速率受总线上能够传送的信息速率及入线、出线控制电路的工作速率限制。这一限制实际上也就反映了交换单元的信息吞吐量。

工程上可从两方面来提高总线型交换单元的信息吞吐量：一是增加总线的宽度，总线中的数据线的数目增加后，在一个操作中可以送到总线上的信息量就会增加；二是提高入线缓冲器、出线缓冲器和总线读写操作的速度，如使用高速存储芯片。

总线型交换单元适用于时分复用信号，如数字程控交换机 S1240 就采用了总线型交换单元。

(3) 共享存储器型交换单元

共享存储器型交换单元适用于交换各种时分复用信号，包括同步时分复用信号和统计复用信号。其一般结构如图 2-6 所示。其中作为核心部件的存储器，被划分成 N 个单元（区域）， N 路输入数字信号分别送入存储器的 N 个不同的单元（区域）中暂存，然后再按需输出。存储器的写入和读出应采用不同的控制方式，才能完成信息交换。

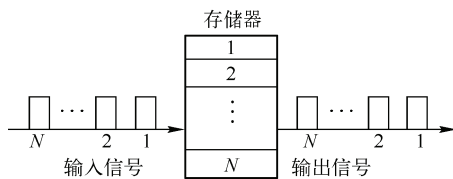


图 2-6 共享存储器型交换单元的一般结构

共享存储器型交换单元的工作方式有两种。

① 输入缓冲。若存储器中 N 个单元（区域）

与各路输入信号相对应，即第 1 路输入信号存入 1 号存储单元，第 2 路输入信号存入 2 号存储单元，依此类推。

对于输入缓冲方式的交换单元，只要在读出存储器单元中的信号时，按照交换要求，有控制、有选择地读出所需单元的信号输出，即可完成信息交换。

② 输出缓冲。若存储器中 N 个单元（区域）与各路输出信号相对应，即 1 号存储单元作为第 1 路输出信号，2 号存储单元作为第 2 路输出信号，依此类推。

对于输出缓冲方式的交换单元，必须按照交换要求有控制地将输入信号写入适当的存储器单元，才能在输出时完成信息交换。

共享存储器型交换单元既可用于同步时分复用信号的信息交换，又可用于统计复用信号的信息交换，但其具体实现有所不同。

2.1.2 交换网络

将若干个基本交换单元按照一定的拓扑结构和控制方式进行组合，即可构成交换网络。构成交换网络的三大要素是交换单元、不同交换单元间的拓扑连接和控制方式，其结构如图 2-7 所示。

下面讨论 2 种常用交换网络的组合特性。

1. 单级网络

将交换单元按一定的拓扑结构连接起来，可形成单级和多级交换网络。单级交换网络由一个交换单元，或者若干个位于同一级的交换单元构成，如图 2-8 所示。

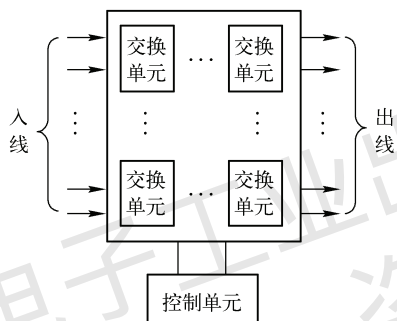


图 2-7 交换网络一般结构

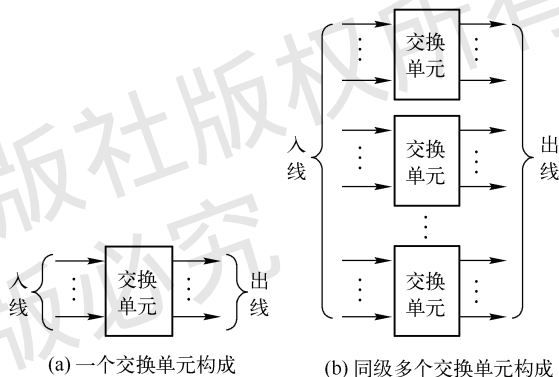


图 2-8 单级交换网络结构

单级交换网络结构简单，但难以满足用户容量和端口互连要求。早期，由于电子器件的限制，基本交换单元很难既做到大容量又实现低成本。而对于一个交换网络来说，交叉接点数的多少与网络部件的经济性直接相关。因此，在满足连接能力要求的情况下，交换网络设计应尽量控制交叉接点数量。对于一个 $M \times N$ 的单级交换网络，其交叉接点数目为 $M \times N$ 。当入线数与出线数较大时，交叉接点数会变得很大。例如，当 $M=N=16$ 时，则 16×16 的单级网络的总的交叉接点数为： $16 \times 16=256$ 。

现将该 16×16 的单级网络用一个两级网络来代替，每一级为 4 个 4×4 的单级网络，如图 2-9 所示。入线和出线数仍然是 16，对于每一条入线和出线，都存在一条连接通路，与 16×16 的单级网络完成的功能是一样的，但其交叉接点总数为： $4 \times 4 \times 8=128$ ，可见多级网络有利于减少交叉接点总数。

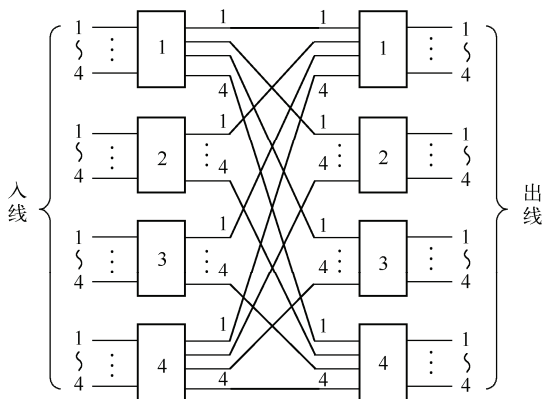


图 2-9 两级交换网络示意图

2. 多级网络

如果一个交换网络中的交换单元可以分成 K 级 ($K=1, 2, 3, \dots$), 并且网络的所有入线都只与第 1 级交换单元的入线连接, 所有第 1 级交换单元的出线与第 2 级交换单元的入线连接, 所有第 2 级交换单元都与第 1 级和第 3 级交换单元连接, 依此类推, 第 K 级交换单元的出线作为整个交换网络的出线, 则称这样的交换网络为多级 (K 级) 交换网络。

多级交换网络的拓扑结构可用三个参量来表示, 分别是每个交换单元的容量, 交换单元的级数, 级间交换单元间的连接通路数 (又称为链路数)。

多级交换网络与单级交换网络相比, 优点是减少了交换网络总的交叉接点数目, 降低了交换网络的复杂度; 缺点是入线与出线的连接需通过多级交换单元之间的级间链路, 增加了交换网络搜寻空闲链路的难度, 相应地增加了交换网络控制的复杂性。另外, 多级交换网络也存在内部阻塞问题。

2.1.3 网络阻塞与 CLOS 网

交换网络通常由多级交换单元组成, 因而从交换网络的入线到出线将经由网络内部的级间链路。若出、入线空闲, 但由于网络内部链路被占用而无法接通的情况, 称为交换网络的内部阻塞。显然, 可以通过增加级间的链路数量来降低内部阻塞的概率。当链路数量大到一定程度时, 内部阻塞概率将等于零, 即成为无阻塞的交换网络。

1. 内部阻塞

单级交换网络不存在内部阻塞, 相同容量的多级交换网络由于内部交叉接点数比单级交换网络大大减少, 因而会出现内部阻塞。图 2-10 所示为一个 $nm \times nm$ 的两级交换网络, 它的第 1 级由 m 个 $n \times n$ 的交换单元构成, 第 2 级由 n 个 $n \times m$ 的交换单元构成, 第 1 级同一交换单元的不同编号的出线分别接到第 2 级不同交换单元的相同编号的入线上。交换网络的 nm 条入线中的任何一条均可与 nm 条出线的任何一条接通, 因此从功能上相当于一个 $nm \times nm$ 的单级网络。

但第 1 级的每一个交换单元与第 2 级的每一个交换单元之间仅存在一条链路, 假设当第 1 级 1 号交换单元的 1 号入线与第 2 级 2 号交换单元的 2 号出线接通时, 第 1 级 1 号交换单元的任何其他入线就无法再与第 2 级 2 号交换单元的其他出线接通了。这就是内部阻塞。按照数据通信的观点, 网络内部阻塞也可称为冲突, 即不同入线上的信息试图同时占用同一条链路。

2. 无阻塞网络 (CLOS 网络)

多级交换网络可减少总的交叉接点数, 降低构造成本但带来了网络内部阻塞。如何解决多级网络的内部阻塞问题呢? 下面以空分交换网络为例进行说明。

为了减少交叉接点总数而同时具有严格的无阻塞特性, Clos C 提出了严格无阻塞条件, 这就是著名的 CLOS 网络。下面以 3 级 CLOS 网络为例, 阐述 CLOS 的无阻塞条件。

如图 2-11 所示, 输入级和输出级各有 r 台 $n \times m$ 接线器, 中间级有 m 台 $r \times r$ 接线器。每一个交换单元 (接线器) 都与下一级的各个交换单元 (接线器) 有连接且仅有一条连接, 因此任意一条入线与出线之间均存在一条通过中间级的路由。 m, n, r 是整数, 决定了交换单元和交换网络的容量, 称为网络参数, 记为 $C(m, n, r)$ 。

假定输入级第 1 台接线器的某条入线要与输出级第 r 台接线器的某条出线建立连接。在最不利的情况下, 输入级第 1 台接线器的 $(n-1)$ 条入线和输出级第 r 台接线器的 $(n-1)$ 条出线均已被占用, 而且这些占用是通过中间级不同的接线器完成的。也就是说, 最不利的情况是,

可选择的中间链路已被占用 $(n-1)\times 2$ 条,为了确保无阻塞,至少还应存在一条空闲链路,即中间级至少要有 $(n-1)\times 2+1=2n-1$ 台接线器。于是可以得到,3级 $C(m, n, r)$ CLOS网络严格无阻塞的条件是: $m\geq 2n-1$ 。

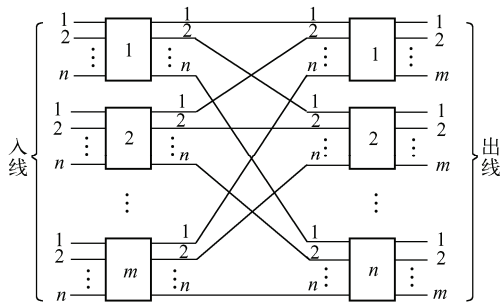


图 2-10 $nm\times nm$ 两级交换网络

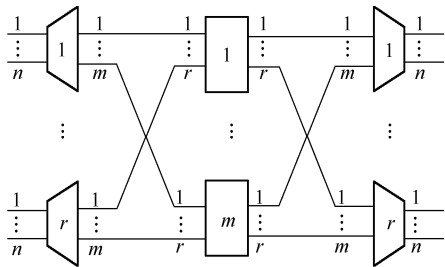


图 2-11 3级 CLOS 网络

当输入级每台接线器的入线数不等于输出级每台接线器的出线数,且分别为 $n_{\text{入}}$ 和 $n_{\text{出}}$ 时,则严格无阻塞的条件为: $m\geq (n_{\text{入}}-1)+(n_{\text{出}}-1)+1=n_{\text{入}}+n_{\text{出}}-1$ 。

3级以上的多级 CLOS 网络和无阻塞原理与 3 级类似,只要将 3 级网络的中间一级代之以 3 级 CLOS 子网,就可构成 5 级 CLOS 网络。依此类推,使用子网络嵌套的方法,可构建更大容量的 CLOS 网。

2.1.4 同步时分交换网络

在电路交换方式中,对同步时分复用信号进行信息交换的交换网络称为同步时分交换网络,在数字程控交换系统中,又称为数字交换网络(DSN)。同步时分交换网络由时间交换单元、空间交换单元这两种基本交换单元组成。

有关同步时分交换网络的组成及工作原理,将在 2.3 节详细讨论。

2.2 数字程控交换机硬件结构

数字程控交换机是典型的电路交换系统,它由硬件和软件组成。本节主要介绍硬件结构,如图 2-12 所示,数字程控交换机分为话路系统和控制系统两部分。

2.2.1 话路系统

话路系统由用户级、选组级、各种中继接口、信号部件等组成。

1. 用户级

用户级包括本地用户级和远端用户级。本地用户级一般位于母局,远端用户级设置在距母局较远的用户集中点。

(1) 本地用户级

本地用户级是用户终端与数字交换网络(选组级)之间的接口电路。用户级将每个用户产生的话务进行集中,然后送至数字交换网络,从而提高用户级和选组级之间链路的利用率。对模拟用户终端,用户级还要将模拟语音信号转换成数字信号。

用户级又称用户模块,其基本结构如图 2-13 所示。各组成单元功能如下:

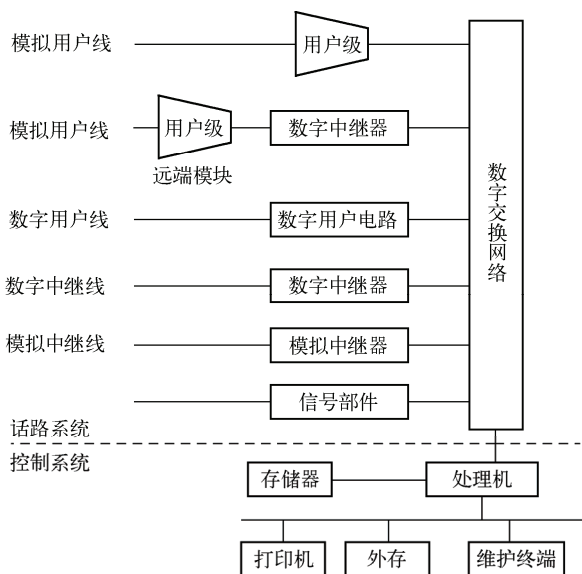


图 2-12 数字程控交换机硬件结构

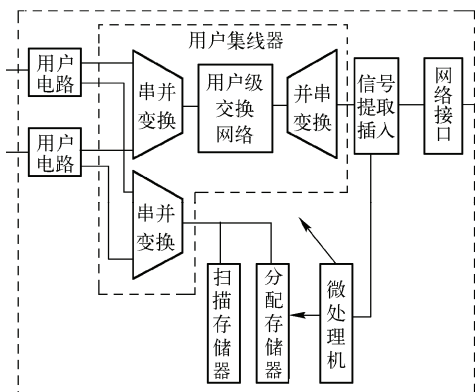


图 2-13 用户模块结构

- 用户电路，用户线与交换机的接口电路；
- 用户集线器，负责话务集中与疏导；
- 信号提取和插入电路，负责将信令信息从信息流中提取出来（或插入进去）；
- 网络接口，用于实现与数字交换网络的信号适配；
- 扫描存储器，用于暂存从用户电路读取的状态信息；
- 分配存储器，用于暂存向用户电路发送的控制指令。

用户集线器具有话务集中功能。按照统计规律，每个用户忙时话务量约为 0.12~0.20Erl，相当于忙时约有 12%~20%的用户被占用。如果每个用户电路直接与数字交换网络相连，不利于提高接口电路和数字交换网络的利用率。因此，采用用户集线器，将用户线话务集中后接入数字交换网络。

用户集线器一般采用时分接线器，其出端信道数小于入端信道数。入端信道数和出端信道数之比称为集线比。如 480 个用户共用 120 个信道，则集线比为 4 : 1。

由于交流信号（如振铃、直流馈电等）不能通过采用微电子器件的交换网络，因此应由交换网络以外的用户电路实现。归纳起来，数字程控交换机的用户电路包括下列 7 项功能：

① 馈电 B (Battery Feed)。馈电电压一般为 -48V。通话时馈电电流在 20~100 mA 之间。

② 过压保护 O (Over-voltage Protection)。数字程控交换机的过压、过流保护一般包括两级。第一级保护在用户线入局的配线架上，通过保安单元实现，主要用于防止雷电。由于保安单元在雷电袭击时仍可能有上百伏的电压输出，为防止高压对交换机内集成元器件的损伤，用户电路中还要完成第二级过压和过流保护。

③ 振铃控制 R (Ringing Control)。振铃信号送向被叫用户，用于通知被叫有电话呼入。铃流电压一般较高，其标称值为 75±15V、25Hz 的交流电，振铃节奏为 1s 通，4s 断。高电压不能通过交换网络，因此，铃流一般通过继电器或高压集成电子开关向用户话机提供，并由微处理机控制铃流的通断。当被叫摘机时，交换机应立刻检测到，继而进行截铃和通话接续处理。

④ 监视 S (Supervision)。用户话机的摘、挂机状态是通过监视用户线上直流环路电流的有、无来实现的。用户挂机空闲时，直流环路断开，馈电电流为零；反之，用户摘机时，直流

环路接通，馈电电流在 20mA 以上。

⑤ 编译码和滤波 C (Codec & Filters)。数字程控交换机只能对数字信号进行交换处理，因此，模拟用户电路需要完成话音信号的模/数和数/模变换，这是由滤波和编译码电路实现的。

⑥ 混合电路 H (Hybrid Circuit)。数字交换网络采用四线制（接收和发送各用一对线），而用户线采用二线制。因此，在用户线和编译码器之间应进行二、四线转换，以实现二线双向传输的模拟话音信号与四线单向传输的数字信号的转换；同时根据用户线路阻抗大小调节平衡网络，达到最佳平衡效果。这就是混合电路的功能。

⑦ 测试 T (Test)。对用户电路和外部线路进行测试是交换机维护管理的重要工作。测试工作可由外接的测试设备来完成，也可利用交换机的测试程序进行自动测试。测试故障包括混线、断线、接地、与电力线相碰、元器件损坏等，测试是通过测试继电器或电子开关为用户接口电路或外部用户线提供的测试入口而实现的。

图 2-14 所示为模拟用户电路的功能方框图。除了上述基本功能外，某些特殊用户电路还具有极性转换、衰减控制、计费脉冲发送等功能。

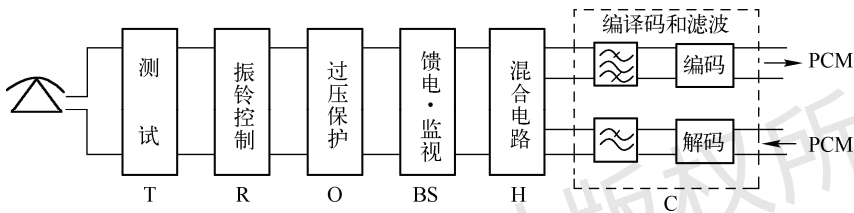


图 2-14 用户电路功能方框图

在数字程控交换机中，直接与数字用户终端连接的用户接口电路，称为数字用户电路。常见的数字用户终端有数字话机、个人计算机、数字传真机及数字图像设备等。为了可靠地实现数字信号的发送和接收，数字用户电路应具备码型变换、回波抵消、均衡、扰码和解扰、信令提取和插入、多路复用和分路等功能。当然，数字用户电路还应与模拟用户电路一样，设置过压保护、馈电、测试等功能。当数字用户终端本身具备工作电源时，用户电路可以免去馈电功能。数字用户电路的基本功能方框图如图 2-15 所示。

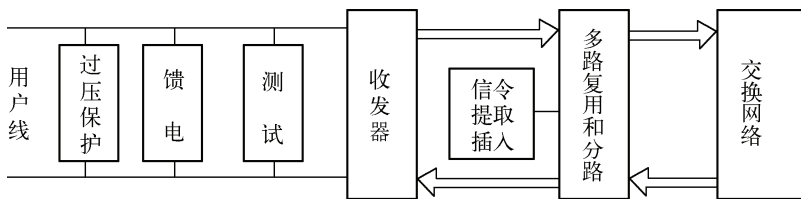


图 2-15 数字用户电路的基本功能方框图

(2) 远端用户级

远端用户级是指装在距离电话交换机较远的用户集中点上的用户设施，其基本功能与本地用户级相似，包括用户电路和用户集线器。由于远端用户级实现了话音信号的模/数和/数模变换，因此，它直接以数字中继线方式连接本地交换机。远端用户级也可称为远端模块。

2. 选组级

选组级又称为数字交换网络，它是话路系统的核心设备，交换机的信息交换功能主要是通过它来实现的。有关数字交换网络的内容，将在 2.3 节详细介绍。

口和中继接口电路中。各种音信号、双音多频地址信号、多频地址信号体现在如图 2-12 所示的信号部件中。铃流发生器单独设置，通常设置在用户模块中。除铃流信号外，其他音信号和多频信号都以数字形式直接进入数字交换网络，并像数字话音信号一样交换到所需端口。

对于采用共路信令（如 NO.7 信令）的交换机，图 2-12 中的信号部件还包括信令终端，完成 NO.7 信令的链路级（第二级）功能，第一级功能由数字中继完成，高层功能包含在交换机的控制系统中。

2.2.2 控制系统

现代数字程控交换机的控制系统大多采用多处理机结构，如何配置这些处理机存在多种方案，从而形成了不同的控制结构或控制方式。

1. 处理机的控制结构

(1) 集中控制

早期交换机大都采用这种控制方式。设交换机的控制系统由 n 台处理机组成，实现 f 项功能，每一项功能由一个程序来提供，系统有 r 个资源。如果在该系统中，每台处理机均能控制全部资源，也能执行所有功能，则这个控制系统采用集中控制方式，如图 2-18 所示。

集中控制的主要优点是：处理机掌握整个系统的状态，可以控制所有资源；控制功能的改变一般通过修改软件实现，比较方便。但这种控制的最大缺点是：软件要包括各种不同特性的功能，规模庞大，不便于管理；系统较脆弱，一旦出故障会造成全局中断。

(2) 分散控制

在如图 2-18 所示控制结构中，如果每台处理机只能控制部分资源，执行部分功能，则这个控制系统采用分散控制方式。在分散控制中，各处理机可按容量分担或功能分担的方式工作。

容量分担方式是指每台处理机只分担一部分用户的全部呼叫处理任务。按这种方式分工的各处理机所完成的任务都是一样的，只是所服务的用户群不同。容量分担方式的优点是其扩展性好；缺点是每台处理机都要具有呼叫处理的全部功能。

功能分担方式是将交换机的各项控制功能分配给不同的处理机完成。处理机之间的功能可以静态分配，也可以动态分配。功能分担方式的优点是每台处理机只承担一部分功能，可以简化软件设计，若需增强功能，也易于实现。缺点是在容量小时，也必须配齐全部处理机。

目前使用的大中型交换机大多采用具有分散控制特点的分级控制方式。

分级控制按控制功能的高低配置处理机。对于层次较低、处理任务简单但工作量繁重的控制功能，如用户扫描、摘挂机及脉冲识别等采用外围处理机（或用户处理机）。对于层次较高、处理较复杂的控制功能，如号码分析、路由选择等，采用呼叫处理机承担。对于复杂度高、执行频次较少的故障诊断和维护管理等功能，采用主处理机完成。这样一般形成三级控制结构，如图 2-19 所示。

这种三级控制结构按功能分担方式分别配置外围处理机、呼叫处理机和主处理机。每一级又可采用容量分担方式：如外围处理机按用户群配置，如几百个用户配置一套；呼叫处理机因要处理外围处理机上报的信息，故呼叫处理机可根据外围处理机的数量进行配置；对于主处理机一般只配置一套即可。也可将呼叫处理机和主处理机合设，构成二级控制结构。

(3) 分布式控制

分布式控制是指数字交换机的全部用户线和中继线被分成多个终端模块（用户模块或中继模块），每个终端模块都有一套控制单元。在控制单元中配备微处理机，包括所有呼叫控制和交换控制在内的一切控制功能都由微处理机完成，每个终端模块基本上可以独立进行呼叫处理

工作。如 S1240 数字程控交换机就采用这种控制方式。分布式控制方式具有以下优点：

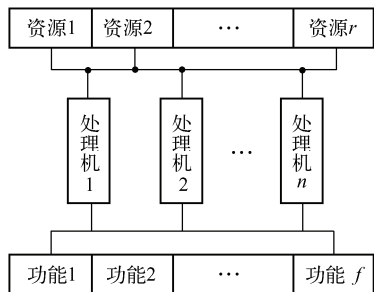


图 2-18 集中控制结构

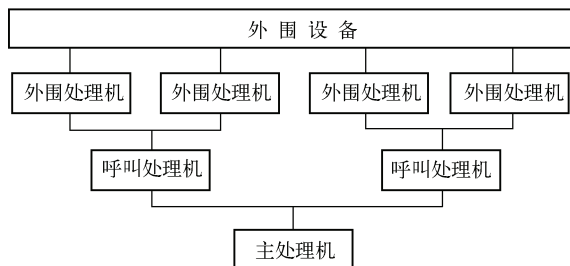


图 2-19 三级控制结构

① 业务适应能力较强。增加新功能或新业务时可引入新的组件，新组件中带有相应的控制设备，从而对原系统设备影响较小。

② 能方便地引入新技术，且不必重新设计交换机的整体结构，也不用修改原来的硬件。

③ 可靠性高，发生故障时影响面较小，如只影响某一群用户或只影响某些性能。

但采用分布式控制方式时，微处理机数量相对较多，微处理机之间的通信比较频繁，使各处理机真正用于呼叫处理的效率降低，同时也增加了软件系统的复杂性。

2. 处理机的冗余配置

为了确保控制系统安全可靠，数字程控交换机的控制系统通常采用双机冗余配置，配置方式有微同步、负荷分担和主备用方式。

(1) 微同步方式（同步双工方式）

如图 2-20 所示，两台处理机均接收从外围设备来的信息，但只有处理机 A 向外围设备发送指令。两台处理机独立进行工作，同时从外围设备接收同样的信息进行处理，每执行完一条指令，通过比较器进行比较。如果结果相同，继续执行下一条指令。一旦发现不一致，两台处理机立即中断正常处理，各自启动检查程序。如果发现一台有故障，则退出服务，以做进一步的诊断，而另一台则继续工作。如果检查发现两台均正常，说明是由于偶然干扰引起的出错，处理机恢复原有工作状态，处理所得结果只由主用机向外围设备发出控制信息。

微同步工作方式的优点是发现错误及时，中断时间很短（20ms 左右），对正在进行的呼叫处理几乎没有影响。其缺点是双机进行指令比较需要占用一定机时，降低了处理机的效率。

(2) 负荷分担（话务分担）方式

如图 2-21 所示，处理机 A、B 都从外围设备接收信息进行处理，各自承担一部分话务负荷，独立进行工作，发出控制指令。为了沟通工作情况，它们之间有信息链路及时地交换信息。为了防止两台处理机同时处理相同任务，它们之间设有“禁止”电路，避免“争夺”现象。两台处理机各自具有专用的存储器，一旦某一处理机出现故障，则由另一台处理机承担全部负荷，无须切换过程，呼损很小。只是在非正常工作时，单机可能有轻微过载，但时间很短，一旦另一台处理机恢复运行，便会恢复正常。

负荷分担方式的优点是两台处理机都承担话务，因而过载能力很强。其缺点是为了避免资源同抢，双机互通信息也较频繁，这使得软件比较复杂，且负荷分担方式不如微同步方式那样较易发现处理机硬件故障。

(3) 主备用方式

如图 2-22 所示。A、B 两台处理机共用存储器，在任何情况下只有其中一台处理机（A 或 B）与外围设备交换信息，即一台主用，一台备用。主用机承担全部外围设备的话务负荷，当

主用机出现故障时，进行主/备用机倒换。

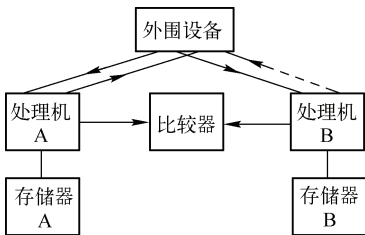


图 2-20 微同步方式结构图

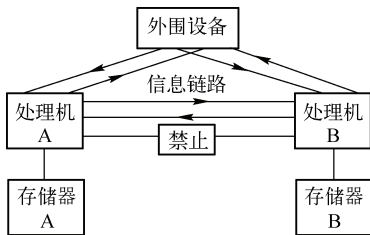


图 2-21 负荷分担方式结构图

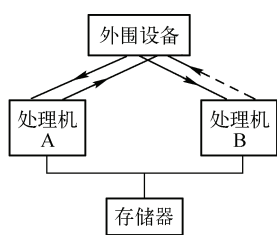


图 2-22 主备用方式结构图

主备用方式有冷备用（Cold Standby）与热备用（Hot Standby）两种。冷备用时，备用机中没有保存呼叫数据，在接替主用机时从头开始工作，会丢失大量呼叫。通常采用热备用方式，备用机根据原主用机故障前保存在存储器中的数据进行工作，可随时接替主用机。

3. 处理机之间的通信

通过前面的介绍，我们知道数字程控交换机普遍采用多处理机控制方式。为了完成呼叫处理、维护和管理任务，通常需要多台处理机协同工作，因此，采用怎样的通信方式，在很大程度上影响着系统的处理能力和控制系统的可靠性。选择一种合理、高效和可靠的多处理机通信方式是设计控制系统时必须考虑的问题。

多处理机间通信既可以通过内部的数字交换网络实现，也可采用专用网络通信方式，如采用总线结构、环形结构、以太网结构等。下面简要介绍几种常见处理机间的通信方式。

(1) 通过 PCM 信道进行通信

利用交换机内部的 PCM 信道进行通信，具体实现方法包括：

① 利用时隙 16 进行通信。在数字通信系统中，时隙 16 用于传输局间的信令，传输线上的信息在到达交换局时，中继接口提取时隙 16 的信令进行处理。而交换机内部的时隙 16 是空闲的，可以用作处理机间的通信信道。如 F-150 数字程控交换机就是利用时隙 16 来传送用户处理机（LPR）和呼叫处理机（CPR）之间的通信信息的。

这种通信方式不需要增加额外的硬件，软硬件实现比较简单，但这样的单一信道结构限制了通信的速率，一般用于通信量不大的情况。

② 直接通过数字交换网络的 PCM 信道进行通信。这种方式与前者不同的是，不再限制特定的通信信道，通信信息和语音信息同样经过数字交换网络进行传送。例如，在 S-1240 交换机中，内部 PCM30/32 系统除了时隙 0 和时隙 16 具有特殊用途外，其他 30 个时隙既可传送语音/数据，也可以传送处理机间的通信信息。为了区分信道中信息的类型，一般通过标志进行识别。用这种方式能进行远距离通信，但缺点是需要占用交换网络的信道资源，开销也较大，降低了交换网络的使用效率。

(2) 采用计算机局域网结构方式

计算机局域网具有不同的结构方式，下面介绍在数字程控交换机中采用的几种方式。

① 总线结构

多台处理机之间通过共享的总线进行通信，总线结构具有两种基本实现方式：紧耦合系统和松耦合系统。这两种方式都要共享一组总线，因此必须有决定总线控制权的判决电路，处理机在占用总线前必须判别总线是否可用。对于紧耦合系统，多处理机之间通过共享存储器进行通信。在这种结构中，所有处理机和存储器都连在一条公共的分时复用线上，发端处理机将通信信息写入存储器，收端处理机可直接从共享存储器读取信息。对于大型系统，如果处理机较多，

那么总线可能成为通信的“瓶颈”，因此，可采用多总线结构。紧耦合系统具有较高的通信效率，但对处理机间的物理距离有严格的限制。

对于松耦合系统，多机之间是通过输入/输出接口来实现通信的。在这种方式下，一台处理机把参与通信的另一台处理机当做一般的输入/输出端口，这些端口可以是并行口，也可以是串行口，这种方式适用于通信信息量和速率都不是很高的场合。

② 环形结构

在大型数字程控交换系统中，尤其是在分散控制的系统中，处理机的数量较多，且处理机之间处于平级关系，可以采用环形结构互连。利用令牌来实现信道的分配和使用，完成多机之间的信息通信。

③ 以太网结构

以太网是一种采用具有冲突检测的载波监听多路访问（CSMA/CD）技术，适于多机通信环境，因其技术成熟，器件成本低，因此，在国产大型程控交换机中得到广泛应用。与总线结构相比，以太网的通信距离可达百米以上。

2.3 数字交换网络及工作原理

2.3.1 数字接线器

在数字程控交换机中，来自用户或模拟中继线的话音信号首先在接口电路实现数字化，并通过同步时分复用将数字话音信息复用到 PCM 复用线上，然后接入内部数字交换网络。为实现不同用户之间的话音信息交换，数字交换网络必须完成不同时隙内容的交换，即将数字交换网络某条输入复用线上某个时隙的内容交换到指定输出复用线上的指定时隙。

时隙交换的简化示意图如图 2-23 所示。设有一条 PCM 复用线进入数字交换网络，该复用线上有 32 个时隙，输入时隙 TS2 中的信息 A 被搬移至输出时隙 TS18，输入时隙 TS18 中的信息 B 被搬移至输出时隙 TS2，即 PCM 输入复用线上某一时隙的信息经过交换网络后被转移到了 PCM 输出复用线上的另一时隙。因此，人们将 PCM 输入复用线上任一时隙的信息编码转移到输出复用线上另一编号时隙的控制过程称为时隙交换。

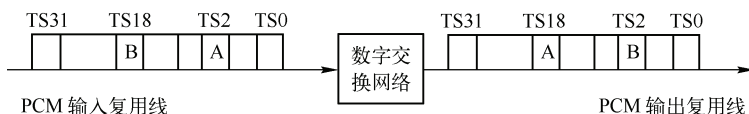


图 2-23 时隙交换示意图

对于大容量的交换机，接入到数字交换网络上的 PCM 复用线不止一条，如图 2-24 所示。这就要求数字交换网络还必须实现复用线之间的信息交换。如在图 2-24 中，第 1 条 PCM 复用线上 TS1 的信息 A 被交换到了第 n 条 PCM 复用线的 TS1，第 n 条 PCM 复用线中 TS22 的信息 B 被交换到了第 1 条 PCM 复用线的 TS16。

因此，数字交换网络应具有下列基本功能：

- ① 完成同一复用线上不同时隙之间的信息交换；
- ② 完成不同复用线之间同一时隙的信息交换。

这两种基本的交换功能分别是由不同的数字接线器实现的，一种是时间接线器（T 接线器），另一种是空间接线器（S 接线器）。下面介绍这两种接线器的工作原理。

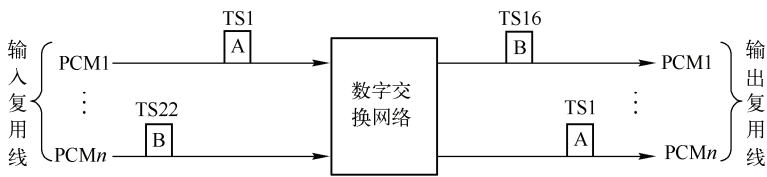


图 2-24 复用线之间的时隙交换示意图

1. 时间接线器

时间接线器 (Time Switch) 又称为时间交换单元, 简称为 T 接线器, 其功能是完成同一条 PCM 复用线上不同时间隙之间的信息交换。

时间接线器主要由话音存储器 (SM, Speech Memory) 和控制存储器 (CM, Control Memory) 组成, 如图 2-25 所示。SM 用于存储数字语音信息, 以便延时; CM 用于存储语音时隙地址, 以便控制延时。

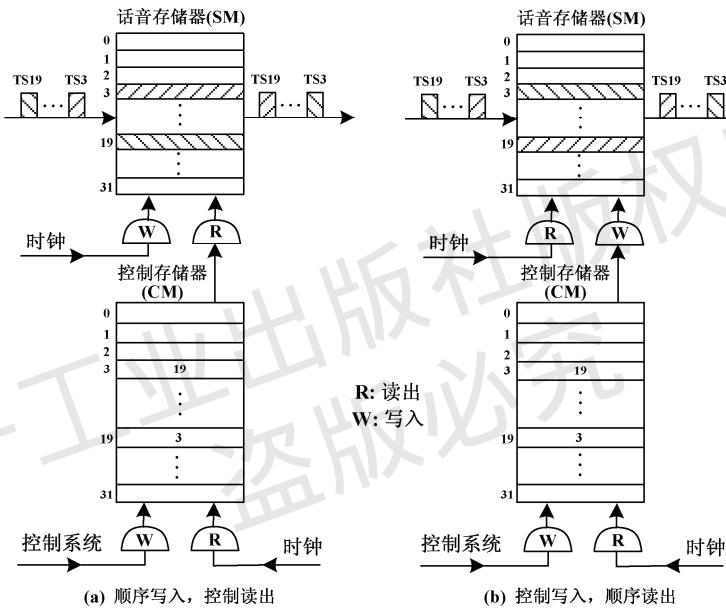


图 2-25 T 接线器的组成和工作原理

T 接线器中 SM 的存储单元数由输入复用线每帧的时隙数决定, SM 中每个存储单元的位数则取决于每个时隙中所含的码位数。假设图中 PCM 复用线每帧有 32 个时隙, 则 SM 容量应为 32 个单元, 每一时隙有 8 位码, 则 SM 每一存储单元至少要存 8 位码。

CM 的存储单元数与 SM 的存储单元数相等, 但每个存储单元只需存放 SM 的地址码。图中只需存 5 位码, 因为 IM 的地址只有: $2^5=32$ 。

如图 2-25 所示, T 接线器的工作方式有两种: 一种是“顺序写入, 控制读出”方式; 另一种是“控制写入, 顺序读出”方式。顺序写入和顺序读出中的“顺序”是指按照输入或输出复用线上时隙的编号顺序, 可由时钟脉冲电路来控制 SM 的写入或读出地址; 而控制读出和控制写入的“控制”是指按 CM 中已规定的内容来控制 SM 的读出或写入。至于 CM 中的内容则是由交换机控制系统写入的。

下面先介绍第一种方式, 即“顺序写入, 控制读出”的工作原理。

如图 2-25 (a) 所示, T 接线器的输入线和输出线各为一条 32 个时隙的 PCM 复用线。如

果占用 TS3（第 3 时隙）的用户 A 要和占用 TS19 的用户 B 通话，在 A 讲话时，就应把 TS3 的话音信息交换到 TS19 中去。在时钟脉冲控制下，当 TS3 时刻到来时，把 TS3 中的话音信息写入 SM 的第 3 号存储单元内。由于此 T 接线器的读出是受 CM 控制的，当 TS19 时刻到来时，从 CM 中读出地址为 19 的单元内容“3”，以这个“3”为地址去控制读出 SM 第 3 号存储单元的话音信息。这样就完成了把 TS3 中的话音信息交换到 TS19 中去的任务。

由于 PCM 数字通信采用四线制，即发送和接收分开，因此数字交换需要同时在两个方向进行交换。因此，在 B 用户讲话 A 收听时，就要把 TS19 中的话音信息交换到 TS3 中去，这一过程与 A 到 B 相似，即在 TS19 时刻到来时，把 TS19 中的话音信息写入 SM 地址为 19 的存储单元内，并在 CM 控制下的下一帧 TS3 时刻，读出这一话音信息。

根据上述介绍，可知 T 接线器在进行时隙交换时，被交换的话音信息要在 SM 中存储一段时间，这段时间小于 1 帧（ $125\mu\text{s}$ ），也就是说在数字交换会带来一定的时延。另外也可看出，话音信息在 T 接线器中需每帧交换一次。假设 A 和 B 两用户的通话时长为 2min，则上述时隙交换的次数达 96 万次，即 $(2 \times 60) / (125 \times 10^{-6}) = 9.6 \times 10^5$ 。

对于“控制写入，顺序读出”的工作原理，与“顺序写入，控制读出”相似，所不同的只是 CM 用来控制 SM 的写入，SM 的读出则是按输出复用线上的时隙编号（或 SM 地址顺序）顺序读出即可。

对于 T 接线器，不论是顺序写入，还是控制写入，都是将复用线上每个输入时隙的话音信息对应存入 SM 的一个存储单元，其实质是通过空间位置的变换来实现时隙交换，所以 T 接线器可以看做是按空分方式工作的。弄清这一概念，对掌握 T 接线器的工作原理是有帮助的。

2. 空间接线器

空间接线器（Space Switch）又称为空间交换单元，简称 S 接线器，其作用是完成不同时分复用线之间同一时隙的信息交换。

如图 2-26 所示，S 接线器由交叉接点矩阵和控制存储器组成。

图 2-26 表示 2×2 的交叉接点矩阵，它有 2 条输入复用线和 2 条输出复用线。控制存储器的作用是对交叉接点矩阵进行控制，控制方式有以下两种。

① 输入控制方式，如图 2-26（a）所示。按输入复用线来配置 CM，即按每一条输入复用线来配置 CM，由这个 CM 来决定该输入 PCM 线上各时隙的编码，要交换到哪一条输出 PCM 复用线上去。因此，CM 中各存储单元存放的是输出线号。

② 输出控制方式，如图 2-26（b）所示。按输出 PCM 复用线来配置 CM，即每一条输出复用线有一个 CM，由这个 CM 来决定哪条输入 PCM 线上的时隙编码，要交换到这条输出 PCM 复用线上来。因此，CM 中各存储单元存放的是输入线号。

现以图 2-26（a）为例来说明 S 接线器的工作原理。设输入 PCM_0 的 TS1 中的话音信息要交换到输出 PCM_1 中去，当时隙 1 时刻到来时，在 CM_0 的控制下，输入复用线 0 与输出复用线 1 的交叉接点闭合，使输入 PCM_0 的 TS1 的话音信息直接转送至输出 PCM_1 的 TS1 中去。同理，在该图中把输入 PCM_1 的 TS14 的话音信息，在 CM_1 控制下，输入复用线 1 与输出复用线 0 的交叉接点闭合，送至 PCM_0 的 TS14 中去。因此，S 接线器完成了不同 PCM 复用线之间的信息交换，但是在交换中其话音信息所在的时隙位置并没有改变，即它只能完成同一时隙内的信息交换。故 S 接线器不能单独使用。

在图 2-26（a）中，假定 PCM_0 的 TS0, TS2, TS4, …时隙中话音信息需要交换到输出 PCM_1 的 TS0, TS2, TS4, …时隙中去，则在 CM_0 的控制下，输入复用线 0 与输出复用线 1 之间的交叉接点在一帧内就要闭合、断开若干次。因此在数字交换中，空间接线器的交叉接点是以

时分方式工作的。这与空分交换中空分接线器的工作方式不同。

对于图 2-26 (b) 所示的输出控制方式的 S 接线器的工作原理，与上述输入控制方式的工作原理是相同的，不再赘述。

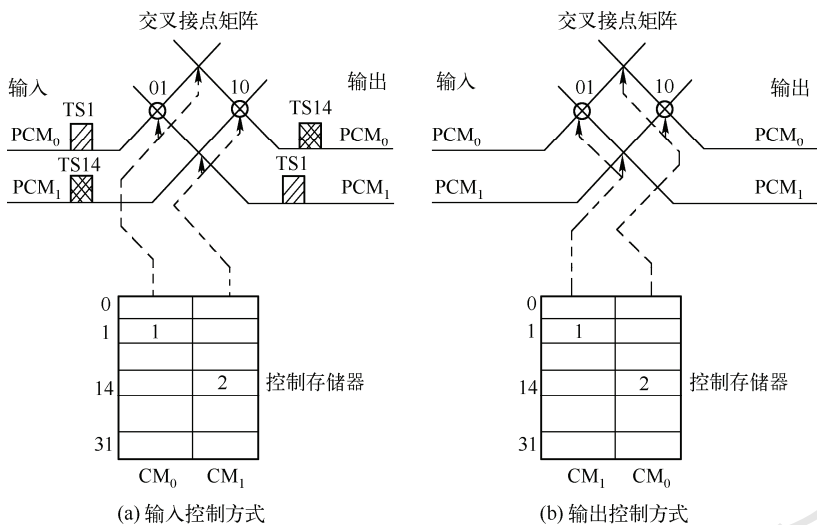


图 2-26 S 接线器的组成和工作原理

上面介绍的时间接线器和空间接线器都是以 PCM 基群速率为例的，但在实际的数字交换网络中，为了满足一定的容量要求，在交换器件允许的条件下，一般要尽可能提高 PCM 的复用度（复用线上每帧包含的时隙数）。这就需要在交换前，将多路 PCM 低次群复用成高次群信号，然后一并进行交换。在完成交换后，还要将复用的信号还原到 PCM 低次群信号。同时需要注意的是：在时间接线器和空间接线器的工作过程中，在交换器件内部存储和交换的都是并行的数字信号，因此，在复用线上传输的 PCM 串行码在交换前、后必须经过串并变换和并串变换。在数字程控交换机中，串并、并串处理通常与复用、分路过程结合起来实现。

2.3.2 数字交换网络

数字交换网络的功能是完成任意入线和任意出线之间的时隙交换。对于不同容量的交换机，数字交换网络具有不同的组网结构。最简单的只有一个单级 T 接线器，对于大型网络可以由 T 接线器组成多级网络，也可以与 S 接线器结合，构成 T-S-T、T-S-S-T、T-S-S-S-T、S-T-S、S-S-T-S-S 等结构，以适应大、中型数字交换机的容量需要。下面以大量应用的 T-S-T 为例，介绍数字交换网络的工作原理。

1. T-S-T 数字交换网络

T-S-T 数字交换网络为三级交换网络，两侧为时间接线器，中间为空间接线器。这是一种较为典型的时分交换网络。

(1) T-S-T 交换网组成

假设输入与输出时分复用线各有 10 条，说明两侧各需 10 个 T 接线器，左侧为输入，右侧为输出，中间由空间接线器的 10×10 的交叉接点矩阵将它们连接起来，如图 2-27 所示。

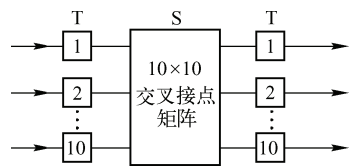


图 2-27 TST 网络结构示意图

如果每一时分线的复用度为 512，那么每个 T 接线器中有一个 512 个单元的话音存储器

一个具有 512 个单元的控制存储器。因此，每个 T 接线器可完成 512 个时隙之间的交换。

空间接线器具有 10×10 的交叉接点矩阵，完成 10 条出、入线之间的交换。并有 10 个控制存储器，每个控制存储器也应有 512 个单元。

这样，这一 T-S-T 网络可完成 5120 个时隙之间的交换。

(2) T-S-T 的工作原理

以图 2-28 为例，说明 T-S-T 的工作原理。输入侧 T 接线器的话音存储器用 SMA 表示，控制存储器用 CMA 表示，输出侧 T 接线器话音存储器与控制存储器分别用 SMB 和 CMB 表示，空间接线器的控制存储器用 CMC 表示。该图输入、输出侧各用三套 T 接线器，每线的复用度为 32。

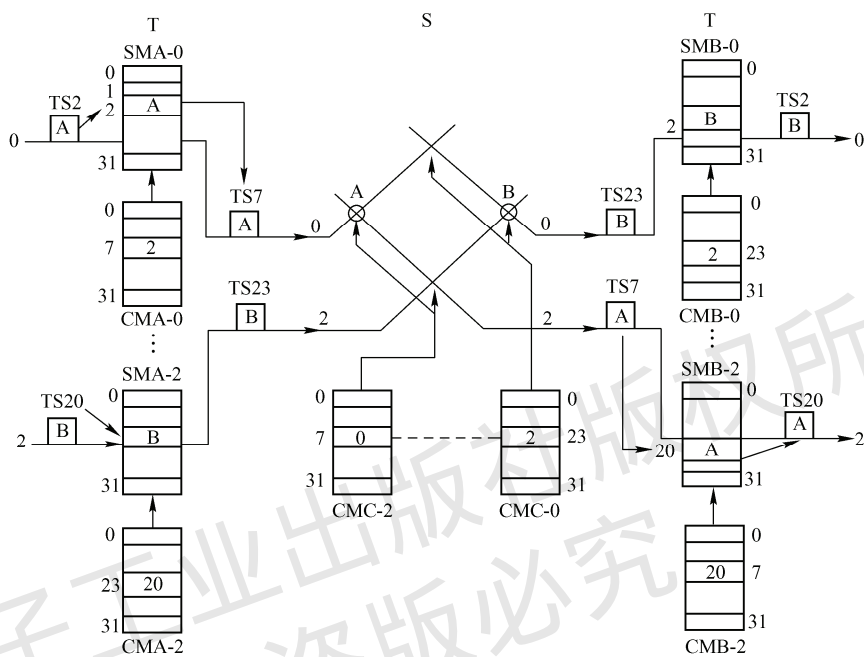


图 2-28 T-S-T 网络的组成和工作原理

现假设输入侧 T 接线器采用顺序写入、控制读出工作方式，输出侧 T 接线器则采用控制写入、顺序读出的工作方式，空间接线器采用输出控制方式。如要求输入线 0、时隙 2 与输出线 2、时隙 20 之间进行交换接续，T-S-T 如何完成交换工作呢？

按 T 接线器假设的工作方式，应将输入线 0、时隙 2 的内容写入 SMA-0 中的 2 号存储单元内。在哪个时隙（又叫内部时隙）输出呢？这应取决于 CPU 控制设备在各存储器中寻找到的空闲路由。所谓空闲路由，即从各级接线器的控制存储器看，输入侧 CMA-0、输出侧 CMB-2 及中间的 CMC-2 同时都有一个相同的空闲单元号，如选择入线 0 与出线 2 的交叉点 A 的闭合时间为时隙 7，那么必须是 CMA-0、CMB-2 及 CMC-2 的 7 号存储单元都空闲，才可使入线 0、时隙 2 与出线 2、时隙 20 进行交换。如现在需将入线 0、时隙 2 的信息送到出线 2、时隙 20 中，这时，CPU 应设置各控制存储器的内容：向 CMA-0 的 7 号单元内写入 2，向 CMC-2 的 7 号单元内写入 0，向 CMB-2 的 7 号单元内写入 20。

这些任务完成后，意味着内部时隙 7 到时，交叉接点 A 闭合，因此，CMA-0、CMB-2、CMC-2 同时起作用，做以下动作：顺序读出 CMA-0 内 7 号单元中的内容 2，并以此作为 SMA-0 的读出地址，将原来存在 SMA-0 内 2 号单元中的信息读出，转移到中间时隙 7 上；同时，CMC-2 在时隙 7 相对应的单元读出内容 0，控制输入线 0 和输出线 2 接通，即 A 接点闭

合, 这样就把时隙 7 的话音信息经过交叉接点 A 送到输出线 2 上; 与此同时, 在 CMB-2 控制下, 把沿着空间接线器输出线上送来的信息, 写入 SMB-2 的 20 号存储单元。在 SMB-2 顺序读出时, 便在时隙 20 读出 SMB-2 的 20 号单元内所存的信息。该信息就是原输入线 0、时隙 2 的内容, 即完成了入线 0、时隙 2 的信息交换到出线 2、时隙 20。

上述交换只实现了单向信息传送, 而用户之间的通话信息必须双向传送, 所以交换网络应建立双向通路。由于 PCM 传输采用四线制, 如果上述通路表示 A 用户到 B 用户, 那么还需建立一条 B 用户到 A 用户的通路。为简化控制, 可使两个方向的内部时隙具有一定的对应关系。B 至 A 方向的通路通常采用反相法, 即来、去两方向的时隙通路相差半帧, 两个方向的通路同时示闲、示忙。这个半帧是指双向通路内部时隙之间的关系。如某一方向选用的内部时隙号为 x , 则另一个方向所用的内部时隙号为 $(x+n/2)$ 。其中, n 为复用线上信号的复用度。

本例中 A 至 B 选用内部时隙 $x=7$, 那么 B 至 A 方向必定要选 $7+32/2=23$, 即时隙为 23。如果按上式计算大于或等于 n , 则应减去 n 。例如某一方向选用内部时隙 30, 那么另一方向按上式计算为 $30+32/2=46$, 大于 30, 所以需将 46 减去 30, 得到另一方向的内部时隙数为 16。这样的做法可使 CPU 一次选定两个方向的通路, 避免二次操作, 从而减轻 CPU 的负担。另外还为输入侧 T 接线器和输出侧 T 接线器的控制存储器的合并创造了条件。至于如何实现为输入侧和输出侧 T 接线器的控制存储器的合并, 这里就不介绍了, 有兴趣的读者可以自己分析。

除确定内部通路外, 还需指出一点, 上述 A 至 B 通路, 输入线 0、时隙 2 为输入时隙, 它是 A 用户的发话时隙; 输出线 2、时隙 20 为输出时隙, 它是 B 用户的受话时隙。那么, B 至 A 的通路确定后, 又如何确定 A 用户的受话时隙与 B 用户的发话时隙呢? 由于交换网络本身是单方向的, 因此发话时隙总在输入侧, 受话时隙总在输出侧, 所以安排 B 至 A 方向的 B 用户发话时隙及 A 用户受话时隙的原则是: 线号及时隙号都不变, 只是换个方向而已。本例 B 用户发话时隙应为输入线 2、输入时隙 20, A 用户的受话时隙为输出线 0、输出时隙 2。

B 至 A 方向话音信息的传送应由 CMA-2、CMB-0、CMC-0 协助完成, CPU 控制向这三个控制存储器写入有关信息, 如图 2-28 所示。

当双方通话完毕拆线时, CPU 将各控制存储器相应单元的内容清除, 释放相关资源。

上面叙述 T-S-T 的工作原理时假设输入侧 T 接线器采用顺序写入控制读出, 输出侧 T 接线器采用控制写入顺序读出方式。如果将输入侧和输出侧 T 接线器的工作方式对换一下, 那么 T-S-T 又该如何工作呢? 读者可以自行研究, 这里不再赘述。

2. 数字交换网络芯片

生产交换芯片的专业厂家较多, 如加拿大的 Mitel 公司、意大利的 SGS 公司、美国的 Motorola 公司等。Mitel 公司早期生产的 MT8980、MT9080 芯片, 可接 8 条和 16 条 PCM 母线, 完成 256×256 和 1024×1024 的交换。对于大型数字程控交换机, 1024 个时隙是远远不够的, 当需要构建大型交换网络时, 可用多芯片组合构成大容量的数字交换网络。

随着大规模集成电路技术的进步, 单片交换芯片的容量已越来越大, 如卓联半导体公司生产的数字交换芯片 ZL50075 能完成 $32K \times 32K$ 的交换。显然, 大容量数字交换芯片的出现从根本上改变了数字交换网络的组网结构。可以设想, 对于大型数字程控交换机, 可能不再需要那么复杂的交换网络, 从理论上讲, 一片大容量的交换芯片也许就足够了。

2.4 数字程控交换机软件系统

数字程控交换机是由电子计算机控制的实时信息交换系统, 它主要由硬件和软件系统两大

部分组成。随着微电子技术的发展，硬件成本不断下降，而软件系统的情况则完全不同。一个大型程控交换机容量可达数十万门，其软件工作量十分庞大。因此，程控交换机的成本、质量（如可靠性、话务处理能力、过负荷控制能力等）在很大程度上取决于软件系统。

2.4.1 交换软件组成与特点

交换软件包括支援软件和运行软件两大部分。其中，支援软件又称脱机软件，是一个支撑软件开发、生产及维护的工具和环境系统。运行软件又称联机软件，是指交换机工作时运行在各处理机中，对交换系统的各种业务进行处理的软件的总和。运行软件的组成如图 2-29 所示。

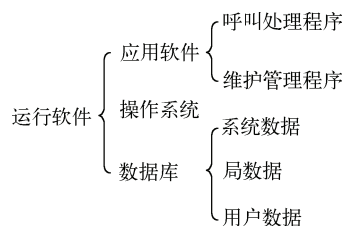


图 2-29 程控交换软件组成

1. 应用软件

应用软件包括呼叫处理程序和维护管理程序。其中：

呼叫处理程序负责整个交换机所有呼叫的建立与释放，以及新业务性能的提供。主要完成交换状态管理、交换资源管理、交换业务管理和交换负荷控制等功能。

维护管理程序的主要功能是，协助实现交换软件、硬件系统的更新，计费管理和监视交换机的工作情况，以确保交换机的服务质量。同时要实现交换机的故障检测、故障诊断和恢复等功能，以保证交换机可靠工作。

运行软件各组成部分所占的大致比例如图 2-30 所示。

2. 操作系统

操作系统用于对交换机所有软、硬件资源的管理和调度，并为应用软件提供运行环境支持。其主要功能是任务调度、存储器管理、时间管理、通信支援、故障处理（包括系统安全和恢复），以及外设处理、文件管理、装入引导等。

3. 数据库

数据是描述交换机软硬件配置和运行环境的基础信息，运行软件处理的全部数据由数据库管理系统统一进行管理，以便采取有效措施保证数据的完整性、安全性和并发性。数字程控交换机数据库所涉及的数据如下。

（1）局数据

局数据用于描述交换机的配置及运行环境，反映交换局在网络中的地位（或级别）和连接关系。它包括硬件配置、编号计划、中继信号方式等。局数据随不同交换局而异。

（2）用户数据

用户数据用来描述用户的情况，每个用户都有其特有的用户数据。

用户数据包括用户号码、端口物理地址、用户业务类别、用户终端类别、出局权限、计费类别、用户业务权限等信息。

（3）系统数据

这部分数据与交换机的部署无关，具有较强的通用性。由设备制造厂家根据设备数量、组网形态、存储器地址分配等有关数据在出厂前预设。

在数字程控交换机中，所有有关交换机的信息都可以通过数据来描述，如交换机的硬件配置、运用环境、编号方案、用户和资源（如中继、路由等）的当前状态、接续路由等。

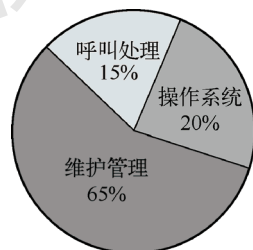


图 2-30 运行软件各部分所占比例示意图

4. 程序设计语言

大容量数字程控交换系统的设计需要众多技术人员合作完成，为了提供一个良好的软件开发环境，ITU-T 建议了三种程序设计语言，这就是规范描述语言（SDL，Specification and Description Language）、CHILL 和人机对话语言（MML）。

（1）SDL

SDL 用于在系统设计阶段对交换机的功能和行为进行描述。原则上，SDL 既能说明一个待设系统应具有的功能和行为，又能描述一个已实现系统的功能和行为。这里，“行为”是指系统在收到输入信号时的响应方式。

SDL 有图形表示和语句表示两种形式。在系统设计和程序设计初期，SDL 用于概括地描述设计者的思路、程序功能结构，以及与周围环境（硬件和软件）的联系等。它比一般的计算机高级语言更抽象，更概念化，也更适合对系统进行宏观描述。

（2）CHILL

CHILL（CCITT High Level Language）是 1980 年 11 月 CCITT 正式建议的用于交换软件的标准程序设计语言，主要用于软件的编程和调试阶段。CHILL 包括以下三个基本部分：以“数据语句”描述的数据对象；以“操作语句”描述的动作；以“结构语句”描述的程序结构。

CHILL 具有通用性强、可靠性高、处理能力强，应用灵活等特点，可满足编写操作系统、接口和特殊数据处理（如位处理）等设计需要；具有良好的结构性，便于模块化设计；而且易学易用。

当然，C 语言也是交换软件设计常用的一种高级编程语言，C 语言的结构和指针功能强，适于编制实时控制程序，在交换软件设计中得到了广泛应用。如美国 AT&T 公司生产的 5ESS、我国华为公司生产的 C&C08、中兴通讯公司生产的 ZXJ10 等交换机都采用了 C 语言。

（3）MML

MML（Man-Machine Language）是一种交互式人机对话语言，用于程控交换系统的操作、维护、安装和测试。这种语言的书写形式与自然语言接近，便于理解和使用。

MML 包括输入语言与输出语言。输入语言用于对交换机下达指令。输出语言是交换机的输出信息，在输出信息中又分非对话输出（自动输出）和对话输出（应答输出）。非对话输出为特定事件（如告警）出现或预设任务（如话务统计）结束后的自动输出。对话输出是对指令的响应，当操作人员输入的指令被交换机正确执行后，即显示“指令成功执行”的信息及指令执行的相关结果；若指令有错或系统无法执行时则输出拒绝执行的原因。

5. 交换软件的特点

数字程控交换软件具有下列特点：

① 规模大。大型程控交换机的软件通常有数十万乃至百万条以上语句，其软件开发量达数百人年。随着新业务的引入，功能的不断完善，其软件工作量不断增大。

② 实时性强。程控交换机是一个实时系统，它要求能及时收集各个用户的当前状态数据，并对这些数据及时加以分析处理，实时做出相应的反应，不能因为软件的处理能力不足而造成呼叫失败。例如在收号时，必须及时对到来的号码进行识别，否则将造成错号。

③ 多重处理。在一个大容量的程控交换机中，用户数量众多，会出现多个用户同时发出呼叫请求，以及同时多个用户进行通话等情况，而且每个用户会有各种不同的任务要求处理，这就要求交换机能够在“同一时刻”执行多种任务，也就是要求软件程序要有多重处理性，或者说，要有在一个很短的时间间隔内处理众多任务的能力。

④ 高可靠性。对一个交换机来讲,其可靠性指标要具有 99.98%的正确呼叫处理率及在 40 年内系统中断运行时间不超过 2 小时。即使在硬件或软件系统本身故障的情况下,系统仍能保持可靠运行,并能在不中断系统运行的前提下,从硬件或软件故障中恢复到正常运行。这就要求必须有诸多保证软件可靠性的措施。

⑤ 维护要求高。交换软件具有相当大的维护工作量,其原因是:任何软件系统的设计都不可能一开始就是完善的,需要加以改进;随着技术的发展,需要不断引入新功能或对原有功能进行改进和完善;交换业务的发展会引起用户组成、话务量的变化;此外,通信网的发展可能对交换局提出新的要求等。一般而言,在整个软件生存周期内,总成本的 50%~60%需要用于软件维护。因此,提高软件的可维护性,对于提高交换机的服务质量,降低成本,具有十分重要的作用。

2.4.2 操作系统

数字程控交换机的操作系统是一个实时多任务操作系统,其特点是实时性强、可靠性高,能支持多任务并发处理。虽然不同类型的交换机,其操作系统的体系结构各不相同,但它们的主要功能大致相同,一般包括任务调度、存储器管理、I/O 设备管理和文件管理等。下面从程控交换的角度来简要阐述操作系统的主要功能和呼叫处理对操作系统的要求。

1. 基本功能

概括地说,程控交换操作系统的功能是管理所有资源,并对应用程序的执行提供支援。程控交换操作系统的基本功能如下。

(1) 程序的执行管理

程控交换机是一种需要并发处理的实时系统,同时会有多个呼叫等待处理,这些呼叫可能处于相同的或不同的接续阶段,都需要在处理机的呼叫处理程序控制下完成接续任务。而且,程控交换机的应用软件除了呼叫处理程序以外,还有维护管理程序,都可能发出要求处理的请求。因此,操作系统必须具有程序的执行管理和任务调度功能,按实时要求来调度各程序的执行。为便于程序的执行管理,程序要划分为几种不同的优先级。

程序的执行管理实际上就是对处理机的管理。也就是说,每当一个任务执行完毕,必须确定应将处理机分配去执行哪一个任务。

(2) 存储器管理

随着呼叫的发生和接续的进展,有许多动态数据需要暂存,如主叫用户的设备码、主叫所拨的被叫号码、所选用的通路时隙号等。为提高存储效率,交换机将这些动态数据的存储区作为公用资源进行管理。

存储器可按用途划分为各种类型的存储块。例如,呼叫控制块(CCB, Call Control Block),每个呼叫分配一个,记录与此呼叫有关的信息;时限控制块,每当提出时限监视要求时分配一个控制块,存入要求者的身份、时限的类型和时长等内容;在同一处理机或不同处理机的软件模块间进行通信时,还需要分配消息缓冲区(MB, Message Buffer)。

上述存储块作为公用资源,需要进行统一的分配和回收处理,这就是存储器管理的任务。

(3) 时间管理

时间也是一种资源,可由操作系统统一管理。简单地说,时间管理用来监视各种时限是否已到,以便及时用于程序调度、通话计费、运行管理中的日历和时钟的管理。

各种时限要求主要来自呼叫处理。呼叫处理中出现的时限要求有绝对时限和相对时限两种类型。绝对时限用来监视某个未来的绝对时刻,例如,叫醒服务要监视用户所要求的叫醒时间。

相对时限用来监视某个未来的时刻，即以提出要求的时间作为参考点来计算时间，例如，对久不拨号的监视，是从用户听到拨号音开始计算的，在一段时间（如 30s）内不拨号就是时限已到。

应注意的是，操作系统中时间管理的功能主要是监视时间，至于时限到达后的处理则应包含在提出时限要求的程序中或启动专门的处理程序。

（4）通信支援

程控交换机常采用多处理机控制方式，在处理机之间需要传送各种信息以完成呼叫处理等功能。各处理机之间通常不具有公用存储器，而是采用松耦合方式，操作系统应该对机间通信给予必要的支援，例如判断信息应由哪个处理机接收。

有的程控交换机也将这种松耦合方式应用在同一处理机的各个软件模块之间，各软件模块不设公共存储区，而采用消息机制作为软件模块间通信的方法。这种方法可以提高可靠性，并有利于软件模块化。因此，操作系统必须支持软件模块间的通信，完成通信控制功能。

（5）故障处理

为确保交换机的可靠运行，操作系统应具有系统监视、故障处理和恢复功能。

2. 实时处理

交换系统中各种任务的实时性要求并不相同。例如，对摘、挂机的识别处理，稍时延几个毫秒关系不大，用户一般不会感觉有等待时间；而对于拨号脉冲的接收、识别、计数，则要求在 8~10ms 之内就应处理完毕，否则就会收错号。为了做到这一点，交换机必须对话路系统进行监视，以识别外部事件的发生。事件代表输入请求，交换机根据输入的要求，经过处理后通过输出指令进行响应，这是一种激励响应机制。输入/输出都有时间限制，满足特定的时限要求，即为实时处理。

实时处理常采用的方式有定期扫描、中断和队列等。定期扫描常用于对外围设备的监视。中断多用来启动定时要求较严格的程序，常见的中断有定时中断、I/O 中断和故障中断等。队列多用于启动对实时性要求不很严格的一般性程序。

3. 多重处理

所谓多重处理，简单地说就是在同一时间内对多个工作任务同时进行处理。多重处理的基础是处理机的工作速度应远远高于交换动作速度，因而可将处理机的时间分割使用，对交换设备来说就好像同时被驱动一样。

（1）多重处理原理

一次呼叫从发生到结束要经历几分钟或更长时间，而要求处理的时间是很短的，即处理机对用户摘机、挂机、拨号等事件的分析和对交换设备驱动进行控制所花费的时间。因此，处理机每处理完一个任务，并不需要一直等待用户或设备动作完毕，再转去处理另一任务，也不必长期对某一呼叫进行监视，而是同时处理许多任务，这里“同时”是从宏观上来看的。在微观上，处理机在某一很短时间内只能执行某一任务，这样就充分发挥了处理机高速工作的特点。这种对处理机进行时间分割运用，就形成了一台处理机“同时”处理若干个呼叫的多重处理，如图 2-31 所示。

（2）多重处理的控制方法

在执行多重处理时，系统会有许多任务同时要求处理，因而需要安排这些任务的执行顺序，分配处理机资源，同时还包括对系统内发生的异常情况进行处理等。

① 任务排序

对于同时需要处理的多个任务，如何安排执行顺序，解决资源竞争，具有多种解决方法。

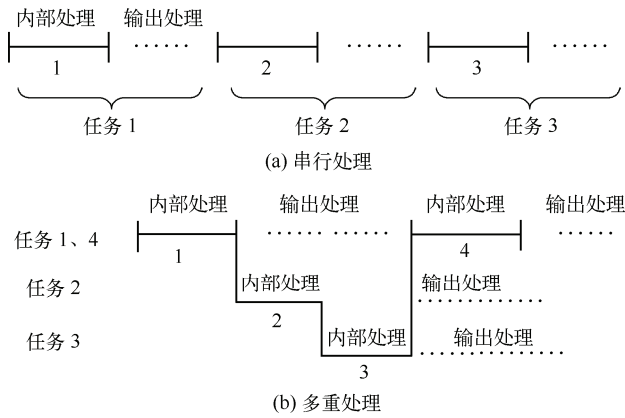


图 2-31 串行处理和多重处理

如按所处理任务的性质进行划分：对执行时间要求较严的任务，按周期执行；对执行时间要求不严的，按一般任务执行；对偶发性任务，可按需即时执行。

其他划分方法还包括：按照任务到达的先后顺序，按照处理时间短的优先，按照执行周期短的优先，按照处理结果对整机影响大的优先等。

对于上述几种方法需要综合考虑。在实际的交换系统中往往是几种方法的组合。

② 任务时间分配

在决定了优先顺序的基础上，如何分配处理机的时间，也是提高设备效率，完成多重处理的主要问题之一。常用的控制方法有两种。

一种方法是通过一个管理程序按规定的的时间间隔去查询任务队列，并根据需要更换处理的任任务，这种方法适用于周期性任务或实时性要求高的处理任务。

另一种方法是从处理程序的角度来分配任务时间，这种方法适用于实时性要不高、处理时间较长、处理更换不频繁的批处理任务。

③ 任务的更换处理

在按优先顺序进行多重任务处理时，往往要使处理机从一个处理转到另一个处理。任务切换方法有硬件控制和软件控制两种。

硬件控制即中断控制，具体方法有：人工操作控制台上的中断控制开关，硬件故障输出，计时器溢出，访问中断指令等。多为强制中止，这时需要对中断点进行保护处理，以便以后能够恢复。

软件控制则多为在任务执行完毕后自动判断转移条件，并进行任务更换。

(3) 多重处理的形式

① 多道程序。多道程序运行表现为多道作业和多道任务同时运行。例如，输入程序、输出程序和分析处理程序同时运行，呼叫处理程序和维护管理程序同时运行，呼叫处理程序和故障处理程序同时运行等。

② 多重并行处理。执行同一道程序时，同时对 N 个事件进行处理，即群处理。主要用于同一时间数量较多的处理。

2.4.3 程序的分级与任务调度

程控交换软件的基本特点是实时性和多任务并发处理。因此，在对程序的执行进行管理时，必须预先安排好各种程序的执行计划，在特定时刻，选择执行最合适的处理任务。如何按照

计划依次执行各种程序以满足实时性要求，一种有效的方法就是将程序划分成不同的优先级。

1. 程序的分级

典型的程序执行级别包括下列三级。

① 故障级。故障级程序是负责故障识别、紧急处理的程序。其任务是识别故障源，隔离故障设备，切换备用设备，进行系统重组，使系统恢复正常状态。故障级的级别最高，以保证交换系统能立即恢复正常运行。由于故障的发生是随机的，故在出现故障时应立即产生故障中断，调用并执行故障处理程序。

② 周期级。周期级程序是指具有固定执行周期，每隔一定时间就由时钟定时启动的程序，也称时钟级程序。为确保周期级程序的执行，交换机的时钟电路（如 CTC 芯片）向处理机发出定时中断请求（时钟中断）。基准时钟周期一般为 4ms 或 5ms。各周期级程序执行周期的确定原则是：既要能满足实时性要求，又要满足执行周期为基准时钟周期的整倍数要求。

③ 基本级。基本级程序是指没有严格时间限制的程序。其对实时性要求不太严格，多为一些分析程序，如数字分析、路由选择，以及维护管理程序等。

基本级程序的级别最低，这些程序的执行稍有时延影响不大。在交换机正常运行时，一般只有周期级和基本级程序的交替执行。当时钟中断到来时，首先执行周期级程序，周期级程序执行完毕后才转入基本级程序。如图 2-32 所示，基本级程序执行完毕到下一次时钟中断到来，存在一些空余时间。由于话务负荷的变化，空余的时间有长有短。在话务高峰时也可能出现基本级尚未执行完毕，就发生时钟中断的情况，此时不仅没有空余时间，而且有的基本级程序还未执行，这就要推迟到下一周期去执行。但在正常话务负荷下，不应经常出现无空余时间的情况。如果经常出现超负荷，就说明处理机处理能力不够。

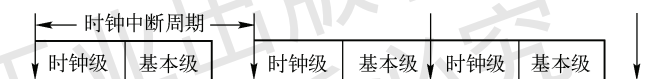


图 2-32 时钟级与基本级的执行

在程控交换机中，还可将故障级、周期级和基本级程序再进行细分。如将故障级程序再分为高（FH）、中（FM）、低（FL）三级，对应于严重程度不同的故障。将周期级程序分为高（H）、低（L）两个级别，高级别对时间的要求比低级更为严格，如拨号脉冲扫描、局间信令的发送和接收等属于高级，而对话路设备和输入/输出设备的控制程序属于低级。基本级程序也可划分为多个队列等。

2. 任务调度

周期级和基本级程序的执行次序是由任务调度程序控制的。如任务调度程序控制周期级程序中的高（H）、低（L）级和基本级（B）的启动，故有三种相应的调度控制程序。首先被启动的是 H 级控制程序（HLCTL，High Level Control Program）。HLCTL 首先启动最优先的 H 级程序，执行完一个任务后返回至 HLCTL，HLCTL 再启动下一个 H 级程序，逐项进行直到本周期需要执行的 H 级程序都执行完毕。然后转入 L 级控制程序（LLCTL），LLCTL 启动 L 级程序，在 L 级任务都完成后，再转入基本级控制程序（BLCTL），以控制基本级程序的执行。如基本级程序包括三个队列，则先从第一队列（BQ₁，Basic Queue1）开始执行，随后执行第二队列（BQ₂，Basic Queue2），最后执行第三队列（BQ₃，Basic Queue3）的程序。

任务调度过程如图 2-33 所示。如果在执行低级程序时，遇到 4ms 周期到来，即使 L 级或基本级任务尚未执行完，也要被中断，以优先执行 H 级任务，然后执行 L 级任务，随后执行被中断的基本级任务，最后再依次执行 BQ₁、BQ₂、BQ₃ 的任务。

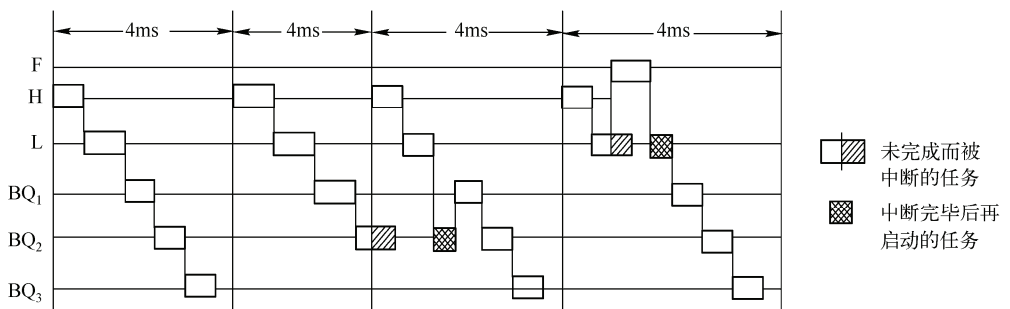


图 2-33 任务调度与程序的执行示例

3. 时钟级程序的调度

时钟级调度程序的功能是确定每次时钟中断时应调度哪些时钟级程序运行，以满足各种时钟级程序的不同时限要求。通常以时钟中断为基准，采用时间表作为调度依据。常用的有比特型时间表和时区型时间表两种类型，下面主要介绍比特型时间表调度时钟级程序的基本原理。

(1) 时间表的结构

比特型时间表的结构如图 2-34 所示。其由四个部分组成：时间计数器（HTMR）、有效指示器（HACT）、时间表（HTBL）和转移表（HJUMP）。

时间表纵向对应时间，每往下一行代表增加一个时间单位，实际上相当于一个时钟中断的周期。时间表横向代表所管理的程序类别，每一位代表一种程序，总位数即计算机字长，故一张时间表可容纳的程序类别数等于字长。当时间表某行某位填入 1 时，表示执行该类程序；填入 0 表示不执行该类程序。

时间计数器 HTMR 的任务是软件计数，按计数值为索引取时间表的相应单元。

有效指示器 HACT 表示对应比特位程序的有效性，为“1”表示有效，为“0”表示无效。其作用是便于对时间表中某些任务进行暂时删除（抑制执行）和恢复。

转移表 HJUMP 也称为任务地址表，其每个单元分别存放着任务（程序）的入口地址。

(2) 时间表的工作过程

每次时钟中断到来时，调度程序首先从时间计数器中取值，然后将时间计数器加 1，并判断时间计数器加 1 后其值是否等于时间表行数，若等于时间表行数，则将时间计数器清 0；然后以原时间计数器的值为指针，依次读取时间表的相应单元，将该单元的内容与 HACT 的内容做“与”运算，再进行寻“1”操作。寻到 1，则转向该位对应程序的入口地址，执行该程序，执行完毕返回时间表，再执行其他为“1”的相应程序。当被处理单元寻 1 完毕时，则转向基本级程序。在时间表的最后一个单元的最后一位，将时间计数器清 0，以便下一周期重新开始。

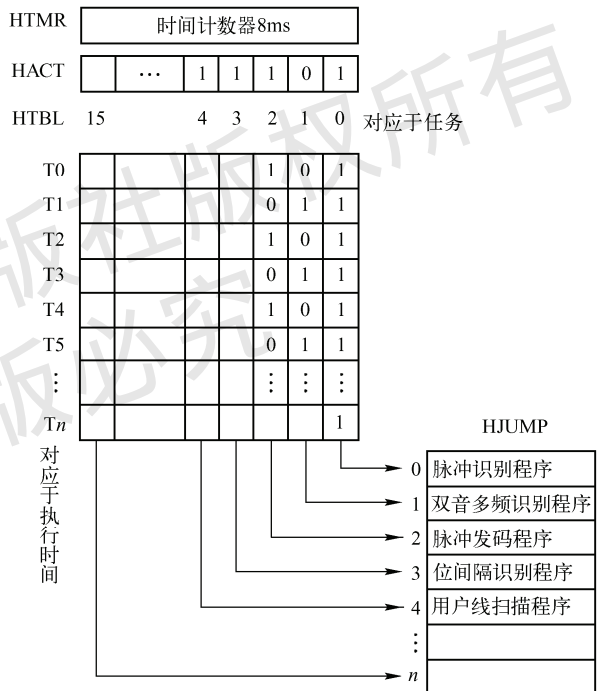


图 2-34 比特型时间表的结构

在调用过程中，后续程序的执行时刻取决于前面程序是否被启动执行，因此，对运行时限严格要求较高的程序应排在比特表的前边，而对时限要求较低的可相应排在后边。时间表的时间间隔应小于所有程序对最小时限的要求，时间表的行数等于各程序执行周期与最短周期之比的最小公倍数。为使 CPU 在各时间间隔周期的负荷均衡，应使每行中所含程序数大致相同。

由于各种程序的执行时限差异较大，而且对时间精度要求不同，因此，实际应用时可根据需要设置多个时间表，以满足程序的调度要求。

4. 基本级程序的调度

基本级程序中一部分具有周期性，同样可用时间表进行调度。而对没有严格时限要求的程序，可采用队列调度法，同一级程序的调度可采用先到先服务的调度原则进行处理。

5. 故障级程序的调度

故障级程序的调度是由故障级中断控制的，一般不通过操作系统调度。当交换系统出现故障时，中断源触发器发出故障级中断请求，处理机一旦识别到故障中断，立即中断正在执行的周期级和基本级程序，而优先执行故障级处理程序。

故障处理程序包括故障识别、主/备设备切换以及恢复处理等。故障处理的过程如下：

(1) 当交换系统发生故障时，启动中断源触发器产生故障中断，以中断正在执行的程序，将中断时的原有状态保存到存储器，启动故障处理程序。

(2) 故障处理程序启动故障识别和分析程序，对故障进行识别和分析判断。当判明有故障的设备后，就进行故障隔离，切换故障设备，重新组成可以正常工作的系统，这一过程称为系统再组成。最简单的系统再组成是进行主/备用转换。

(3) 恢复处理

系统再组成后应恢复正常的呼叫处理，这是由恢复处理程序来完成的。对于一般的故障中断，恢复处理程序将根据中断点信息恢复呼叫处理程序的运行。

(4) 随即启动诊断测试程序，对切换下来的设备进行诊断测试，维护人员根据诊断结果进行相应的处理。

故障设备修复后，由维护人员输入命令，使修复的设备进入可用状态，返回工作系统中。

2.5 呼叫处理原理

呼叫处理程序是最能体现数字程控交换机特色的软件，在呼叫处理过程中，交换软件的实时性和并发性都有体现。呼叫处理程序在交换机运行软件中所占比重并不多，但其运行十分频繁，占用处理机的时间最多。本节从呼叫接续的一般过程出发，着重讨论呼叫处理程序控制接续的基本原理。

2.5.1 接续过程与状态转移

1. 一次呼叫的接续过程

一个正常的呼叫过程包括：主叫摘机、听拨号音；拨被叫用户号码；被叫听振铃音、主叫听回铃音；被叫摘机应答，主被叫开始通话；主、被叫任一方挂机，另一方听忙音后挂机。

对应于用户的这些操作，交换机完成下列接续动作。

(1) 监视主叫摘机呼叫：交换机检测到主叫摘机时，查阅主叫用户数据，以区分是同线电话、普通电话、投币电话等。并根据话机类别（按键或号盘话机），准备相应的收号器。

(2) 送拨号音, 准备收号: 交换机寻找一个空闲收号器以及它和主叫端口间的空闲路由; 寻找并建立主叫用户和信号音发生器间的连接通路, 向主叫用户送拨号音; 同时, 监视收号器的输入信号, 准备收号。

(3) 收号: 收号器接收主叫用户所拨号码; 收到第一位号后, 停送拨号音; 对收到的号码进行存储; 收号完毕将拨号数字送至号码分析程序。

(4) 号码分析: 交换机收到拨号数字后, 进行内部处理, 分析本次接续是本局还是出局。下面按本局接续来说明。

(5) 接至被叫用户: 测试并预占空闲路由, 包括: 向主叫用户送回铃音路由; 控制向被叫用户电路振铃; 预占主、被叫用户之间的通话电路。

(6) 向被叫振铃: 向被叫用户送铃流, 向主叫用户送回铃音; 同时监视主、被叫状态。

(7) 被叫应答通话: 被叫摘机应答, 交换机停振铃和回铃音; 并建立主被叫用户间的通话电路。启动计费设备, 开始计费; 同时监视主、被叫状态。

(8) 话终(主叫先挂机): 主叫先挂机, 交换机释放通话电路, 停止计费; 向被叫送忙音。

(9) 话终(被叫先挂机): 被叫先挂机, 交换机释放通话电路, 停止计费; 向主叫送忙音。

这就是交换机完成的一个完整的呼叫接续过程。从控制角度看, 如果把交换机外部的变化, 诸如用户摘机、拨号、中继占用等, 都称为事件, 则呼叫处理的基本功能之一就是收集所发生的事件(输入), 并对收到的事件进行处理(分析处理), 最后发送控制指令(输出)。交换机的接续过程, 就是由中央处理机根据话路系统发生的事件做出相应的处理来实现的。

2. 状态迁移和有限状态机

分析交换机对一个呼叫的接续过程可以看出, 呼叫处理从开始到结束可分为若干个阶段, 每个阶段(等待输入信号的变化)都可用一个稳定状态来标识, 如空闲、送拨号音、收号、振铃、通话等。在某个稳定状态下, 如果输入信号发生变化, 在处理机完成相应处理后, 状态发生转移。因此, 可以把输入信号的变化看成事件, 而把状态转移看成结果, 事件与结果之间存在一定的对应关系, 但这种关系由于以下原因变得十分复杂。

(1) 在不同状态下发生同一事件, 可能导致不同的结果。如同样是摘机, 但在“空闲”状态下的摘机, 呼叫处理完成后将转移到“送拨号音”状态; 而在“振铃”状态下的摘机, 呼叫处理完成后将转移到“通话”状态。

(2) 在同一状态下发生不同事件, 可能导致不同的结果。如在“振铃”状态下, 收到主叫挂机信号, 需做中途挂机处理, 呼叫处理完成后将转移到“空闲”状态; 而在“振铃”状态下收到被叫摘机信号, 则需做通话接续处理, 呼叫处理完成后将转移到“通话”状态。

(3) 在同一状态下发生同一事件, 也可能导致不同的结果。如在“空闲”状态下, 收到主叫摘机信号, 如果处理机找到空闲收号器以及空闲路由, 则向主叫送拨号音, 呼叫处理完成后将转移到“送拨号音”状态; 如没有空闲的收号器或空闲路由, 则向主叫送忙音, 呼叫处理完成后将转移到“空闲”状态。

实际的呼叫处理是一系列复杂的控制过程, 涉及所有可能的事件和相关状态, 因此, 系统设计时需要对手叫处理过程进行抽象, 通过建立有限状态机(FSM, Finite State Machine)模型, 并采用SDL语言来对手叫处理过程进行描述。有限状态机是一个事件驱动的数学模型, 其处理条件和相关动作的逻辑都被定义在一个表中, 该表描述了应用程序中所有可能的处理状态, 及驱动应用程序从一个状态转到另一状态的事件。在呼叫处理过程中, 呼叫处理进程根据其当时的状态和接收到的事件信号进行相应的处理, 然后转移到下一个稳定状态等待新的信号到来。随着呼叫的不断进行, 对手叫进行处理的进程总是走走停停, 不断地从一个稳定状态进

入另一个稳定状态，并在状态转移中执行具体的任务作业，直到呼叫处理结束。

由于有限状态机具有规范的结构，可以减少程序的差错，提高软件设计的自动化程度。同时，便于软件的调测、修改和新功能的引入，有利于实现程序设计的模块化。因此，FSM 在程控交换软件的设计中得到广泛应用。

2.5.2 呼叫处理程序的结构

在呼叫处理过程中，处理机对连续的控制仅体现在对事件的检测以及状态迁移过程中的作业执行。作业中有对处理机内部数据的处理、对硬件的驱动，向其他处理机发送信号和形成新的事件以触发新的状态转移，每次状态的迁移都终止于一种新的状态。我们将引起状态迁移的原因称为“事件”，处理状态迁移的工作称为“任务”。识别启动原因的处理实际就是监视处理，即输入处理。输入处理程序简称为输入程序；根据输入信息，查找和分析相关数据以确定执行何种任务的程序叫做分析程序；控制状态迁移的程序叫做任务执行程序。在任务执行中把与硬件动作有关的程序，从任务执行中分离出来，作为独立的输出程序。另外，任务执行又分前后两部分，分别称为“始”和“终”。呼叫处理程序结构如图 2-35 所示。

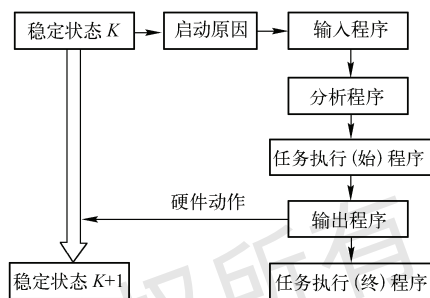


图 2-35 呼叫处理程序结构

把任务分成“始”和“终”的原因是为了实现软、硬件的协同，如需占用话路系统的某个部件，在硬件动作之前软件先要使它示忙，以免被其他呼叫占用。硬件动作后，还必须由软件继续进行监视。如需释放刚才被占用的部件，在软件驱动硬件复原后，应将该部件的软件映射状态修改为空闲。

在呼叫处理程序中，输入程序和输出程序与硬件动作有关，称为输入/输出程序。与硬件没有直接关系的程序，如分析和任务执行（始、终）程序，仅是处理机的分析处理，称为内部处理程序。由此可知交换动作的基本形式是：首先由输入程序识别外部事件并分析输入信息，决定执行哪一个任务，然后执行该任务（始）；输出程序驱动话路设备动作，使它转移到另一个稳定状态，此后再执行任务的剩余部分（终）。

上述各种处理，归纳起来可分为三种类型。

① 输入处理，通常在时钟中断控制下按一定周期执行，主要任务是发现事件而不是处理事件。完成收集话路设备的状态变化和有关信令信息的任务，各种扫描监视程序都属于输入处理。输入处理是靠近硬件的低层软件，实时性要求较高。

② 分析处理，是呼叫处理的高层软件，与硬件无直接关系，如数字（号码）分析、通路选择、路由选择等。分析处理程序的一个共同特点是通过查表进行一系列的分析、译码和判断。程序的执行结果可以是启动另一个处理程序，或者启动输出处理。

③ 输出处理，是与硬件直接有关的低层软件。输出处理与输入处理都要针对一定的硬件设备，可合称为设备处理。扫描是处理机输入信息，驱动是处理机输出信息，扫描和驱动是处理机在呼叫处理过程中与硬件相联系的两种基本方式。

因此，呼叫处理过程可以看成是输入处理、分析处理和输出处理的不断循环过程。

2.5.3 呼叫处理程序的实现

呼叫处理程序包括用户扫描、信令扫描、数字分析、通路选择、路由选择、任务执行与输

CPU 从 DTMF 收号器采集号码信息一般采用查询方式。首先读状态信息 SP，若 SP=0，表明有 DTMF 信号送达，可以读取。若 SP=1，则不读取。其扫描识别过程和前面识别摘挂机的方法一样，这里不再重复。DTMF 收号原理如图 2-38 所示。DTMF 按键信号的持续时间一般大于 40ms，因此用 16ms 扫描周期即可满足识别要求。

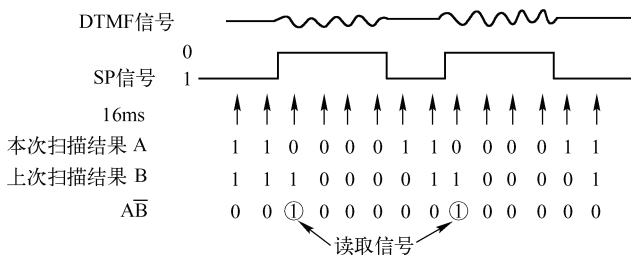


图 2-38 双音频号码接收原理

3. 数字分析

数字分析属于分析处理程序。按照分析的信息不同，可分为去话分析、数字（号码）分析、来话分析和状态分析 4 类分析程序。下面主要介绍数字分析程序的实现原理。数字分析的主要任务是根据收到的被叫号码（通常是前几位）判定接续类型（本局还是出局）。从译码的角度来看就是根据不同的呼叫源、主叫用户的拨号数字等参数为索引查找相关的局数据，从而得到一次呼叫的路由索引、计费索引、最小号长及最大位长和呼叫的释放方式等数据。数字分析的主要方法如下。

(1) 表格展开法

如图 2-39 所示，数字分析程序根据收到的号码逐位检索各级表格，最后得到所需的分析数据。表格分为多级，每一级表格由若干个记录组成，每个记录设有一个标志位：0 表示继续查表，此时所得记录为指向下一级表头的指针；1 表示结束，记录内容给出检索结果。

(1) 表格展开法

(2) 对键法

对键法数字分析的结构如图 2-40 所示，这种方法是将收到的拨号数字作为一个关键值，在查表时，将它与表格中的每一个表项的固定字段进行比较，这个固定字段被称为“键孔”。当键与键孔数据完全相符时，即得到分析结果。具体实现时，对表格的检索可以采用两种方式，一是对分检索，即依次检索各表项，当表格较长时，检索时间较长；二是对分检索，即在表格检索时，首先搜索表格中部，然后根据检索值与键孔值的大小关系再检索表格上半部或下半部。对分检索速度较快，但要求表格必须按序排列。

(2) 对键法

对键法数字分析的结构如图 2-40 所示，这种方法是将收到的拨号数字作为一个关键值，在查表时，将它与表格中的每一个表项的固定字段进行比较，这个固定字段被称为“键孔”。当键与键孔数据完全相符时，即得到分析结果。具体实现时，对表格的检索可以采用两种方式，一是对分检索，即依次检索各表项，当表格较长时，检索时间较长；二是对分检索，即在表格检索时，首先搜索表格中部，然后根据检索值与键孔值的大小关系再检索表格上半部或下半部。对分检索速度较快，但要求表格必须按序排列。

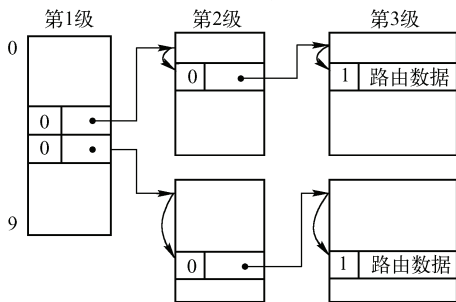


图 2-39 表格展开法分析结构

键孔域	分析结果记录
...	分析结果记录1
...	分析结果记录2
...	分析结果记录3
...	分析结果记录4
⋮	⋮
...	分析结果记录n

图 2-40 对键法数字分析的结构

4. 路由选择

路由是网络中任意两个交换局之间的信息传送途径。它可以由一个电路群组成，也可以由多个电路群经交换局串接而成。路由选择也称选路，是指一个交换局呼叫另一个交换局时在多个传送信息的途径中进行选择。具体地，对于交换机而言，路由组织结构一般分为四个层次：

- 路由块：表示到达指定局向的路由的集合，包括首选路由和一个或多个迂回路由；
- 路由（索引）表：表示直接连接两个交换机的若干个中继群的组合；

- 中继线群：表示直接连接两个交换机的具有相同特性的中继线的集合，这些特性是指信令方式，接续方向及电路的优劣等；
- 中继线：直接连接两个交换机之间的中继线路。

路由选择基于数字分析的结果。数字分析结果包含多种数据，如路由索引、计费索引、还需接收的号码位数等。其中，路由索引用于路由选择，即确定中继线群并从中选择一条空闲中继线；计费索引用来检索与计费有关的表格，以确定呼叫的计费方式和费率等。

当数字分析的结果为出局呼叫时，分析结果给出对应局向的路由块编号，进而利用路由（索引）表在指定的路由块中选择一条空闲中继线。路由选择查表示意图如图 2-41 所示。根据数字分析得到路由索引（RTX），查找路由索引表，得到两个数据：一个是中继线群号（TGN），另一个是迂回路由索引（NRTX）。首先在所选的中继线群中选择空闲中继线，如果全忙，则利用 NRTX 继续检索路由索引表。

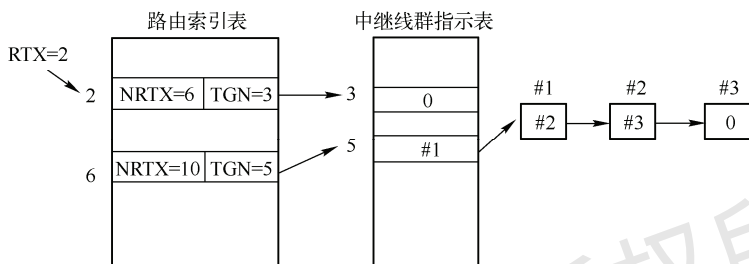


图 2-41 路由选择查表示意图

图 2-41 表明，从数字分析得到 RTX=2，用 2 检索路由索引表，得到 NRTX=6，TGN=3，用 3 检索中继线群指示表，其内容为“0”，表示对应于 TGN=3 的路由全忙。为此，再用 NRTX=6 查路由索引表，得到 NRTX=10，TGN=5，用 5 再次检索中继线群指示表，得到的不是“0”而是“#1”，表示该中继线群有空闲中继线。至此，路由选择结束。

5. 通路选择

通路选择在数字分析和路由选择后执行，其任务是在交换网络指定的输入端和输出端之间选择一条空闲的通路。呼叫处理程序执行通路选择的依据是链路的忙闲状态表。一条通路常常由多级链路串接而成，如经过用户级→选组级→用户级，这些串接的链路段都空闲才算是一条空闲通路。通路选择一般采用条件选试，即对网络全局做出全盘观察，在指定的入端与出端之间选择一条空闲通路。

为了进行通路选试，处理机必须存有交换网络的忙闲表（网络映像）。现以 F150 数字程控交换机的 T-S-T 网络为例，说明交换网络的通路选择过程。

(1) T-S-T 网络及其网络映像

F150 选组级网络结构如图 2-42 所示。初级 T 接线器（PTS）最多可达 64 个，每个 T 接线器的出入时隙数为 1024，次级 T 接线器（STS）的个数和复用时隙数与输入初级 T 接线器的相同，故中间 S 级接线器最大为 64×64。对应的一个 PTS、STS 和 S 级组成一个网络模块， NW_i 和 NW_k 分别表示第 i 个网络模块和第 k 个网络模块。

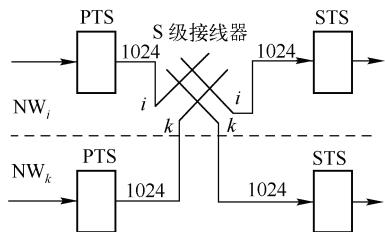


图 2-42 F150 选组级 T-S-T 网络

每个网络模块有 64 个字的网络映像，即忙闲表，表示内部时隙（ITS）的忙闲状态，如图 2-43 所示。32 个字用于 PTS，存入 PTS 出线上 1024 个 ITS 的忙闲状态；另外 32 个字用于 STS，存入 STS 入线上 1024 个 ITS 的忙闲状态。每个字 32 位，32×32 对应于 1024 个 ITS。

用 $T_9 \sim T_0$ 表示 ITS 编号, $T_9 \sim T_5$ 表示 ITS 在忙闲表中的行号, $T_4 \sim T_0$ 表示位号。

(2) T-S-T 网络的通路选择

通路选择时, 出、入端位置已确定。假设入线在 NW_i , 出线在 NW_k , 由此可确定要用哪两个模块或一个模块(出、入端属于同一个模块的情况)。

32 行 ITS 可任意选用, 但为了均匀负荷, 可设置一个行计数器 WC, 初值为 31, 每选 1 次减 1。根据 WC 的值, 取 NW_i 和 NW_k 的相应一行进行群处理的逻辑“与”运算。

对于每次接续, 要建立正向和反向两条通路。对于主叫到被叫的正向通路而言, 涉及 NW_i 的 PTS 忙闲表和 NW_k 的 STS 忙闲表应为:

$$(NW_i \text{ 忙闲表第 } WC \text{ 行}) \cdot (NW_k \text{ 忙闲表第 } WC+32 \text{ 行})$$

式中, WC+32 表示跳过 NW_k 的 PTS 忙闲表的 32 行而进入 STS 忙闲表的第 WC 行。

以上逻辑“与”的两项内容如图 2-44 所示。如果逻辑“与”结果不等于 0, 表示存在空闲时隙, 可用寻 1 指令从最右端起寻找第 1 个“1”, 其所在位号加上行号(WC)即得到所选中的 ITS 的号码。

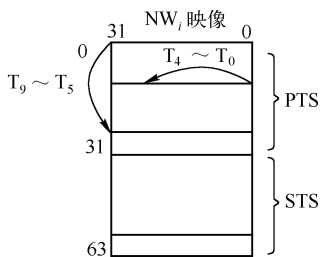


图 2-43 内部时隙忙闲表

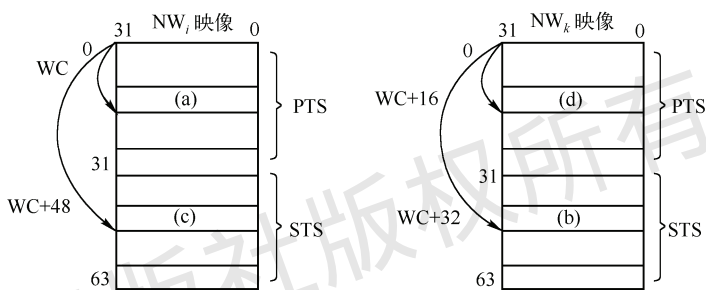


图 2-44 通路选择运算示意图

对于被叫到主叫的反向通路, 采用反相法确定。将半帧的时隙数 512 换算到网络映像中为 16 行, 故涉及 NW_k 的 PTS 忙闲表和 NW_i 的 STS 忙闲表应为:

$$(NW_k \text{ 忙闲表第 } (WC+16) \text{ 行}) \cdot (NW_i \text{ 忙闲表第 } WC+48 \text{ 行})$$

式中, WC+48 表示跳过 NW_i 的 PTS 忙闲表的 32 行而进入 STS 忙闲表的第 WC+16 行。实际上, 当 ITS 都是差半帧成对地使用双向通路时, 若正向有空闲通路, 则反向也必然有对应的空闲通路。一旦选中某一通路后, 应在有关的忙闲表中将各个 ITS 置忙。如果逻辑“与”为 0, 则表示这一行全忙, 继续在下一行检索空闲通路, 直到最后一行。

6. 任务执行与输出处理

任务的执行分为动作准备、输出处理和终了处理三个阶段。输出处理就是控制话路设备动作的处理, 也称为输出驱动。如驱动数字交换网络的通路建立或释放, 驱动用户电路振铃继电器的动作等。在动作准备阶段, 首先是准备硬件资源, 如选择空闲设备并进行预占。编制启动或复原硬件设备的控制字, 以及准备状态转移。输出处理即根据编制好的控制字进行输出, 对话路设备进行驱动。在输出驱动完成以后, 要进行终了处理。终了处理是在硬件动作完成并转移至新状态后, 软件对相关数据进行修改, 使软件符合已经动作的硬件的状态变化。如对已复原设备在忙闲表中示闲。

2.6 交换机主要技术指标

1. 性能指标

性能指标是评价交换机呼叫处理能力和交换能力的指标, 可以反映交换机所具备的技术水

平。具体有以下指标。

(1) 话务负荷能力

话务负荷能力是指交换机在一定的呼损情况下，忙时承担的话务量。程控交换机能够承受的话务量直接由交换网络可以同时连接的话路数决定。目前，大型局用交换机的话务量指标通常可达到数万爱尔兰。

(2) 呼叫处理能力

话务量所衡量的是交换机话路系统能够同时提供的话路数目。交换机的话务能力往往受到控制设备的呼叫处理能力的限制。控制系统的呼叫处理能力用 BHCA 来衡量，这是一个评价交换系统设计水平和服务能力的重要指标。影响 BHCA 值的因素较多，包括交换系统容量、控制结构、处理机能力、软件结构、算法等。甚至编程语言都与之相关。

(3) 设备最大容量

交换机能够提供的用户线和中继线的最大数量，是交换机的一个重要指标。局用交换机中，数字交换网络一般能够同时提供数万条话路，这些话路可以用来连接用户线和中继线。由于用户线的平均话音业务量较小，一般在 0.2 Erl 左右，即同时进行呼叫和通话的用户占全部用户的 20%，因此交换机的用户模块都具有话务集中（扩散）的能力，这样就可以使交换机的话路系统连接更多的用户线。很多局用交换机能够连接的用户线达十万线以上，而中继线也可以达到数万线。

2. QoS 指标

(1) 呼损指标

呼损率是交换设备未能完成的呼叫数与用户试呼数的比值，简称为呼损。这个比率越小，交换机为用户提供的服务质量就越高。

在实际考察呼损时，要考虑到在用户满意服务质量的前提下，使交换系统有较高的使用率，这是相互矛盾的两个因素。因为若要让用户满意，呼损就不能太大；而呼损小了，设备的利用率又较低。因此要进行权衡，从而将呼损确定在一个合理的范围内。一般认为，在本地电话网中，总呼损在 2%~5% 范围内是比较合适的。

(2) 接续时延

接续时延包括用户摘机后听到拨号音的时延和用户拨号完毕听到回铃音的时延。前一个时延反映了交换机对于用户线路状态变化的反应速度以及进行必要的去话分析所需要的时间。当该时延不超过 400ms 时，用户不会有明显的等待感觉。后一个时延反映了交换机进行数字分析、通路选择、局间信令配合以及对被叫发送铃流所需要的时间，一般规定平均时延应小于 650 ms。

3. 可靠性指标

可靠性指标是衡量交换机维持良好服务质量的持久能力。

数字程控交换机的可靠性通常用可用度 A 和不可用度 U 来衡量。

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

$$U = 1 - A = \text{MTTR} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

对于采用冗余配置的双处理机系统，其平均故障间隔时间可近似表示为：

$$\text{MTBF}_D = \text{MTBF}^2 / (2 \text{MTTR})$$

相应地，双机系统的可用度可近似表示为：

$$A_D = \text{MTBF}^2 / (\text{MTBF}^2 + 2 \text{MTTR}^2)$$

一般要求局用交换机的系统中断时间在 40 年中不超过 2 小时，相当于可用度 A 不小于

99.9994%。要提高可靠性，就要提高 MTBF 或降低 MTTR，这样就对硬件系统的可靠性和软件的可维护性提出了很高的要求。

有关话务量、呼损及交换机呼叫处理能力的工程计算参见附录 A。

2.7 电话通信网

2.7.1 网络组织

电话通信网简称为电话网，其全称是公众交换电话网（PSTN，Public Switched Telephone Network），是采用电路交换技术的电信网，具有分级网和无级网两种组网结构。在分级网中，每个交换中心（交换局）根据其地位和作用被赋予一定的等级，不同等级的交换中心采用不同的连接方式，低等级交换中心一般要连接到高等级交换中心。在无级网中，每个交换中心的等级是相同的，各交换中心采用网状网或不完全网状网相连。就全国范围内的电话网而言，很多国家采用等级结构。低等级的交换中心与所属区域高等级的交换中心相连，形成多级汇接辐射网即星状网；而最高等级的交换中心之间可直接相连，形成网状网。因此，分级电话网一般是复合型网络。

我国电话网采用分级结构，包括长途电话网和本地电话网两大部分。其中，长途电话网曾长期根据行政区划采用四级（大区、省、市、县）结构，随着网络和技术的发展，长途光缆的敷设和本地电话网的建设，我国长途电话网的等级结构已由四级逐步演变为两级（一级长途中心 DC1、二级长途中心 DC2），整个电话网相应地由五级演变为如图 2-45 所示三级结构。其中长途网由 DC1 和 DC2 组成，本地网由端局 DL 和汇接局 Tm 组成。

1. 长途电话网

我国长途电话网的两级结构及网路组织示意如图 2-46 所示。

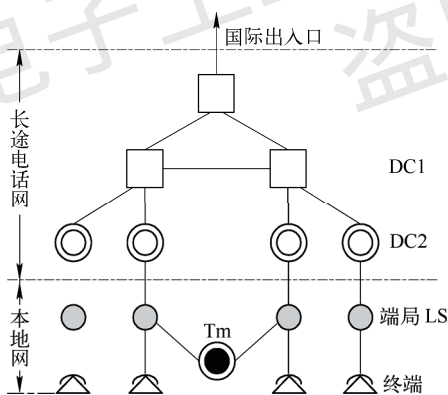


图 2-45 我国电话网三级结构

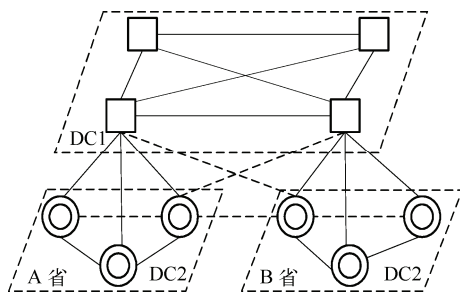


图 2-46 我国长途电话网结构示意图

(1) 一级长途交换中心

一级长途交换中心 DC1 设在各省会城市，主要职能是疏通和转接所在省的省际长途来话、去话业务，以及所在本地网的长途终端业务。

(2) 二级长途交换中心

二级长途交换中心 DC2 设在各地市，主要职能是汇接所在本地网的长途终端业务。

DC1 之间以网状结构互连，形成省际平面（高平面）。DC1 与所属省内各地市 DC2 之间以星状结构相连，省内各 DC2 之间以网状或不完全网状相连，形成省内平面（低平面）。同时，

根据话务流量流向，DC2 也可与非从属的 DC1 之间建立直达电路群。

需要说明的是，较高等级的交换中心可具有较低等级交换中心的功能，即 DC1 可同时具有 DC1、DC2 的功能。随着长途业务量的增长，为保证网络安全可靠、经济有效地疏通话务，允许在同一本地网内设置多个长途交换中心。当一个长途交换中心汇接的忙时话务量达到 6000~8000 Erl (或交换机满容量时)，且根据话务预测近两年长途话务量将达到 12000 Erl 以上时，可设第二个长途交换中心；当已设的两个长途交换中心所汇接的话务量达到 20000 Erl 以上时，可引入多个长途交换中心。直辖市本地网设一个或多个长途交换中心时，一般均设为 DC1 (含 DC2 功能)。省 (自治区) DC1 所在本地网设一个或两个长途交换中心时，均设为 DC1 (含 DC2 功能)；设三个及以上长途交换中心时，一般设两个 DC1 和若干个 DC2。地市级本地网设长途交换中心时，均设为 DC2。

由于两级长途电话网简化了网络结构，也使长途路由选择得到了简化，但仍然应遵循尽量减少路由转接次数和少占用长途电路的原则，即先选直达路由，次选迂回路由，最后选择由基于路由构成的最终路由。

2. 本地电话网

本地电话网是指在同一个长途编号区范围内的电话通信网，是由该地区内所有交换设备、传输系统和用户终端设备组成的电话网。本地电话网简称为本地网。

本地网交换局主要包括端局和汇接局。端局通过用户线直连用户终端，仅有局内交换和来话、去话功能。根据组网需要，端局以下还可设远端模块、用户集线器和用户交换机 (PABX) 等用户设施。汇接局用于汇接本汇接区的本地和长途电话业务。由于本地网属于同一个长途编号区，因此，本地网内的电话呼叫不需要拨打长途区号。在同一个长途编号区内可根据需要设置一个或多个长途交换中心。但长途交换中心及长途电路不属于本地网范畴。

目前，我国本地网一般采用如图 2-47 所示的两级结构。图中，LS (Local Switch) 是端局。TM (Tandem) 是汇接局，用于汇接各端局间的话务。SSP 是智能业务交换点，是电话网 (PSTN) 或综合业务数字网 (ISDN) 与智能网的连接点，SSP 可以检测智能业务呼叫，当检测到智能业务时向业务控制点 (SCP) 报告，并根据 SCP 的指令完成对智能业务的处理。SCP 是智能网的业务控制核

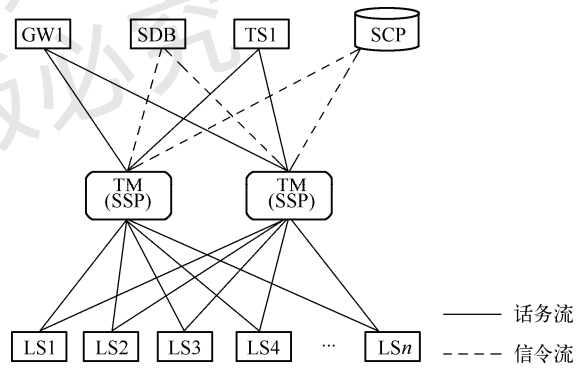


图 2-47 本地网组网结构示意图

心，SCP 接收从 SSP 送来的智能业务触发请求，运行相应的业务逻辑程序，查询相关的业务数据和用户信息，向 SSP 发送控制指令，控制完成智能业务。SDB 是集成的用户数据库，用于存储用户基本信息和业务签约信息等。GW 是关口局，用于疏通到其他运营商的来、去话业务。TS 是设置在本地网的长途交换中心，其功能是汇接所在本地网的长途终端话务。

本地网内，一般设置一对或多对汇接局，各汇接局之间设置低呼损直达电路群。各端局到汇接局也设置低呼损直达电路群，各端局双归属到两个汇接局的中继电路群采用负荷分担方式工作。

3. 路由计划

(1) 路由的基本概念

在电话网中，路由是指源节点到目的节点的一条信息传送通路。可以由单段链路组成，也

可由多段链路经交换局串接而成。所谓链路，是指两个交换局之间的一条直达电路或电路群。

局间电路是根据不同的呼损指标进行分类的。所谓呼损是指在用户发起呼叫时，由于网络或中继等原因导致呼叫损失的情况。按链路上所设计的呼损指标不同，可将电路分为低呼损电路群和高效电路群。低呼损电路群上的呼损指标应小于 1%，低呼损电路群上的话务量不允许溢出至其他路由。即在选择低呼损电路进行接续时，若电路拥塞不能进行接续，也不再选择其他电路进行接续，故该呼叫被损失。因此，在网络规划时，要根据话务量计算所需的电路数，以满足呼损指标要求。而对于高效电路群则没有呼损指标，通过的话务量可以溢出至其他路由，由其他路由再进行接续。

按照呼损不同，路由可分为低呼损路由和高效路由，其中低呼损路由包括基干路由和低呼损直达路由。若按照路由选择顺序，则还有首选路由和迂回路由之分。

下面简要介绍这些基本概念。

① 基干路由。基干路由由具有上下级汇接关系的相邻等级交换中心之间以及长途网和本地网的最高等级交换中心（指 DC1 局或 TM）之间的低呼损电路群组成。基干路由上的低呼损电路群又叫基干电路群。电路群的呼损指标是为保证全网的接续质量而规定的，应小于 1%，且话务量不允许溢出至其他路由。

② 低呼损直达路由。直达路由是指由任意两个交换中心之间的电路群组成的，不经过其他交换中心转接的路由。低呼损直达路由由任意两个等级的交换中心之间的低呼损直达电路组成。两个交换中心之间的低呼损直达路由可以疏导局间终端话务，也可以疏导由这两个交换中心转接的话务。

③ 高效直达路由。高效直达路由是由任意两个等级的交换中心之间的高效直达电路组成的。高效直达路由上的电路群没有呼损指标，其上的话务量可以溢出至其他路由。同样地，两个交换中心之间的高效直达路由可以疏导其间的终端话务，也可以疏导由这两个交换中心转接的话务。

④ 首选路由和迂回路由。当一个交换中心呼叫另一交换中心时，对目标局的选择可以有多个路由。其中第一次选择的路由称为首选路由，当首选路由遇忙时，就迂回到第二路由或者第三路由。此时，第二路由或第三路由称为首选路由的迂回路由。迂回路由一般由两个或两个以上的电路群转接而成。对于高效直达路由而言，由于其上的话务量可以溢出，因此必须有迂回路由。

（2）路由选择

路由选择也称选路（Routing），是指交换中心根据呼叫请求在多个路由中选择一条最优的路径。对一次电话呼叫而言，直到选到了可以到达目标局的路由，路由选择才算结束。

电话网的路由选择可采用等级制选路和无级选路两种结构。所谓等级制选路是指路由选择是从源节点到目标节点的一组路由中依次按序进行，而不管这些路由是否被占用。无级选路是指在路由选择过程中，被选路由无先后顺序，且可相互溢出。

为配合路由选择，交换机路由表的设置具有固定路由计划和动态路由计划两种方式。固定路由计划是指交换机的路由表一旦生成后就在相当长的一段时间内保持不变，交换机按照路由表内指定的路由进行选择。若要改变路由表，须由人工进行修改。而动态路由计划是指交换机的路由表可以动态变化，通常根据时间、状态或事件而定，如每隔一段时间或一次呼叫结束后改变一次。这些改变可以是预先设置的，也可以是实时进行的。

不论采用什么方式进行选路，都应遵循一定的原则。在分级电话网中，一般采用固定路由计划，等级制选路结构，即固定等级制选路。下面以我国电话网为例，介绍长话网和本地网的路由选择原则。

依据我国《自动交换电话（数字）网技术体制》要求，长途网的路由选择原则如下：

① 网中任一长途交换中心呼叫其他长途交换中心时所选路由由局向最多为三个。

② 路由选择顺序为先选直达路由，再选迂回路由，最后选最终路由。

③ 在选择迂回路由时，先选择直接至受话区的迂回路，后选择经发话区的迂回路由。所选择的迂回路由，在发话区是从低级局往高级局的方向（自下而上），而在受话区是从高级局往低级局的方向（自上而下）。

④ 在经济合理的条件下，应使同一汇接区的主要话务在该汇接区内疏通，路由选择过程中遇低呼损路由时，不再溢出至其他路由，路由选择即终止。

本地网的路由选择原则如下：

① 先选直达路由，遇忙再选迂回路由，最后选基干路由。在路由选择中，当遇到低呼损路由时，不允许再溢出到其他路由上，路由选择结束。

② 在本地网中，原则上端到端的最大串接电路数不超过三段，即端到端呼叫最多经过两次汇接。当汇接局间不能个个相连时，端至端的最大串接电路数可放宽到四段。

③ 一次接续最多可选择三个路由。

2.7.2 编号计划

所谓编号计划，是指为本地网、国内长途网、国际长途网，以及一些特种业务、新业务等的各种呼叫所规定的号码编排和规程。编号计划是自动交换电话网正常运行的一个重要规程，交换设备应能适应各项接续的编号要求。

电话网编号计划遵循 ITU-T E.164 建议。目前，国际号码的最大位数不超过 15 位，我国国内有效电话用户号码的最大位长可为 13 位，目前我国实际采用了最大为 11 位的编号计划。除国家码由 ITU-T 规定外，长途区码和本地网号码的总位数和编号计划由一个国家或地区的电信主管部门规定。

1. 首位号码分配

第一位号码的分配规则如下：

① “0” 为国内长途全自动冠号；

② “00” 为国际长途全自动冠号；

③ “1” 为特种业务、新业务及网间互通的首位号码；

④ “2” ~ “9” 为本地电话首位号码，其中，“200”、“300”、“400”、“500”、“600”、“700”、“800” 为新业务号码。

2. 本地网编号

在一个本地网内，采用统一的编号，一般采用等位制编号，号长根据本地网的长远规划容量来确定，我国规定本地网号码加上长途区号的总长度不应超过 11 位。

本地网的用户号码包括两部分：局号和用户号。其中局号可以是 1~4 位，用户号为 4 位。如一个 8 位长的本地用户号码可以表示为：PQRS（局号）+ABCD（用户号）。

在同一本地网范围内，用户之间相互呼叫时拨统一的本地用户号码。如呼叫固定用户直接拨 PQRSABCD，如呼叫归属地 GSM 移动用户，则直接拨 138H0H1 H2H3ABCD 即可。

3. 长途网编号

（1）长途号码的组成

长途呼叫是指不同本地网用户之间的呼叫。呼叫时需在被叫本地网电话号码前加拨长途字

冠“0”和长途区号，即长途号码的构成为：0+长途区号+本地电话号码。按照我国的规定，长途区号加本地网电话号码的总位数最多不超过11位（不包括长途字冠“0”）。

（2）长途区号编排

将全国划分为若干个长途编号区，每个长途编号区分配一个固定的编号。长途编号可采用等位制和不等位制两种。等位制适用于大、中、小城市的总数在1000个以内的国家，不等位制适用于大、中、小城市的总数在1000个以上的国家。我国幅员辽阔，各地区通信发展不平衡，因此目前采用不等位制编号，采用2、3位的长途区号。具体编排的规则如下。

① 首都北京，区号为“10”。按照我国对电话号码的最大位长规定，其本地网号码最长可以为9位。

② 大城市及直辖市，区号为2位，编号为“2X”，X为0~9，共10个号，分配给10个大城市。如上海为“21”、广州为“20”、南京为“25”等。这些城市的本地网号码最长可为9位。

③ 省中心、省辖市及地区中心，区号为3位，按 $X_1X_2X_3$ 进行编排， X_1 为3~9， X_2 为0~9， X_3 为0~9。将全国分成7个编号区，分别以区号的首位3~9来表示，台湾省为“6”；区号的第二位代表编号区内的省；区号的第三位是这样规定的，省会为1，地市为2~9。如哈尔滨为“451”，拉萨为“891”。这些城市的本地网号码最长可以为8位。

④ 首位为“6”的长途区号除60、61留给台湾外，其余号码62X~69X共80个作为3位区号使用。

长途区号采用不等位的编号，不但可以满足我国对号码容量的需要，而且可以使长途电话号码的长度不超过11位。显然，若采用等位制编号，如采用2位区号，则只有100个容量，满足不了我国的要求；若采用3位区号，区号容量是够了，但每个城市的号码最长都只有8位，难以满足一些特大城市未来的号码扩容需求。

4. 国际长途电话编号

国际长途呼叫时需在国内电话号码前加拨国际长途字冠“00”和国家号码，即：00+国家号码+国内电话号码。其中，国家号码加国内电话号码的总位数最多不超过15位（其中不包括国际长途字冠“00”）。国家号码由1~3位数字组成，根据ITU-T的规定，全球共分为9个编号区，我国在第8编号区，国家代码为86。

2.7.3 网同步

1. 同步的基本概念

同步是指信号之间在频率或相位上保持某种严格的特定关系，就是它们相对应的有效瞬间以同一平均速率出现。

数字电话通信传递的是对话音信号进行PCM编码后得到的离散比特流，若两个数字交换设备之间的时钟频率存在偏差，或者由于在传输中叠加了相位漂移和抖动，就会使接收端产生码元丢失或重复现象，导致传输的比特流出现滑动损伤。为了降低滑码率，减小滑动损伤对电话业务的影响，并使到达各交换设备的数字码流都能实现有效的交换和传输，必须使网内各数字设备基于共同的基准频率，即实现时钟间的同步。

因此，数字电话通信网的同步是网中各数字交换设备时钟间的同步，这里的“同步”包括了比特同步和帧同步两层含义。比特同步又称位同步，它是最基本的同步，它的含义是收、发双方的时钟频率必须同频、同相，这样接收端才能正确接收和判决发送端送来的每一个码元，

一般的实现方法是接收端从收到的 PCM 码流中提取出发端时钟信息来控制收端时钟，以实现位同步。在数字通信中，对比特流的处理是以帧为单位进行的，在实现多路时分复用或进入数字交换机进行时隙交换时，都需要经过帧调整器，使比特流的帧达到同步，也就是帧同步。

2. 电话网的同步方式

电话网的同步是一种网同步，它和同步网是什么关系，首先我们应该弄清这两个容易混淆的概念。同步网是数字同步网的简称，它是一个由节点设备（各级时钟）和定时链路组成的物理网络。同步网的结构是面向基准频率的生成、传送、分配和监控，它的作用是为其他网络提供定时参考信号。而网同步是指将定时信号（频率或时间）分配到所有网元的方法。

同步网和各种业务网（如电话网）都要进行网同步。网同步包括很多方面的内容，如在同步网中，节点定时设备是如何同步的？采取主从同步，还是互同步？在业务网中，定时信号如何提取，又如何分配？

一般而言，对一个运营商来说，同步网只有一个（当采用分区同步时，可以有若干个同步子网）。而很多业务网都需要解决网同步问题。数字电话网的同步可采用准同步、主从同步和互同步三种方式。

我国数字电话网一般采用主从同步方式，各级电话交换中心的同步等级如表 2-1 所示。

表 2-1 数字电话网各级交换中心同步时钟等级划分及功能

类 型	第 一 级		基 准 时 钟	
长途网	第二级	A 类	国际局、一级和二级长途交换设备时钟	当具有多个长途交换中心时，应按它们在网内的等级相应地设置时钟
		B 类	三级和四级长途交换中心交换设备时钟	
本地网	第三级		汇接局和端局交换设备时钟	
	第四级		远端模块、PABX、数字终端设备时钟	

过去，二级时钟分为二级 A 类和二级 B 类，现在不再细分。这是由于随着网络结构的调整，三级和四级长途交换中心已不复存在。

3. 交换机的同步引入

在已配置大楼综合定时供给系统（BITS）的交换中心，数字交换机可直接从 BITS 设备引入定时信号。对没有设置 BITS 设备的交换中心，则按同步规划直接从上级业务局的数字码流中提取定时信号作为本局的时钟基准，实现与上级局的同步。

数字程控交换机同步信号的引入方式包括专线和业务线两种。对具有外同步定时输入接口的交换机，可采用专线方式引入定时基准信号；对于没有外同步定时接口的交换机，只能采用业务线方式，即通过数字中继接口从上级交换局引入定时参考信号。

本 章 小 结

本章从构建交换网络的基本部件——交换单元开始，通过几种典型的交换单元，如开关阵列、共享存储器型交换单元、总线型交换单元等的介绍，提示了它们的结构特性和工作原理。交换网络是由若干个交换单元按照一定的拓扑结构和控制方式构成的，它包含交换单元、拓扑结构和控制方式三个要素。本章重点介绍了交换网络的结构方式，阐述了单级网络、多级网络、内部阻塞等基本概念，并给出了无阻塞交换网络（CLOS 网络）的条件，以及如何利用 CLOS 网络构建多级无阻塞网络。

从硬件功能结构看，数字程控交换机包括话路系统和控制系统。话路系统由用户级、选组级、各种中继接口、信号部件等组成。控制系统是具有交换控制功能的处理机系统，通常采用多机控制方式，具有集中控制和分散控制两种控制结构，其中分散控制又可分为分级分散控制和分布式分散控制。为了提高交换机的可靠性，处理机必须采用冗余配置方式，如微同步、负荷分担和主备用方式。由于交换机存在多个处理机，因此还必须解决多机通信问题。各处理机之间的通信可采用 PCM 专用时隙或计算机网络结构方式实现。

数字交换网络 (DSN) 是数字程控交换机的核心接续部件，其功能是完成任意 PCM 时分复用线上任意时隙之间的信息交换。在具体实现时 DSN 应具备两种功能，即完成：同一时分复用线上不同时隙之间的信息交换；不同时分复用线之间同一时隙的信息交换。这两种基本功能分别由时间接线器和空间接线器实现。将时间接线器和空间接线器组合起来，可以构建大容量数字交换网络，实现任意 PCM 复用线上任意时隙之间的信息交换。DSN 具有多种组网结构，如单 T、T-S-T、T-S-S-T、T-S-S-S-T、S-T-S、S-S-T-S-S 等。

大型数字程控交换机的软件系统十分庞大，总体上可分为运行软件和支援软件两部分。运行软件又称联机软件，是交换机工作时运行在各处理机中，对交换机的各种业务进行处理的软件的总和。支援软件又称脱机软件，实际上是一个支撑软件开发、生产及维护的工具和环境软件的系统。根据完成的功能不同，运行软件系统分为操作系统、数据库和应用软件。操作系统用于对系统中所有软、硬件资源的管理和调度，并为应用软件提供运行环境支持，其主要功能包括任务调度、存储器管理、时间管理、通信支援、故障处理等。数据库实现了应用程序、数据结构和存取方法的相对独立，便于软件的模块化设计。交换机中的全部数据（系统数据、局数据、用户数据）都由数据库管理系统统一进行管理，以便采取有效措施保证数据的完整性、安全性和并发性。交换机应用软件主要包括呼叫处理程序和维护管理程序。呼叫处理程序用于控制呼叫的建立和释放，对应于呼叫处理过程，如用户和中继扫描、信令扫描、数字分析、通路选择、路由选择、输出驱动等。呼叫处理程序分为输入处理、分析处理和输出处理三种类型。维护管理程序的主要功能是协助实现交换机软硬件系统的更新、计费管理，监视交换机的工作情况以确保交换机的服务质量，以及实现交换机的故障检测、故障诊断和恢复等功能，以确保交换机的可靠运行。在交换机整个设计和维护管理过程中，CCITT/ITU-T 建议了三种程序设计语言，即 SDL、CHILL 和 MML。

为了满足各种交换程序对不同实时性的要求，将程序划分为不同的优先级，典型的程序分级包括故障级、周期级（时钟级）和基本级。故障级和时钟级都是在中断驱动下执行的，基本级是在时钟级程序执行完毕后才执行的。交换机通常采用比特型时间表来启动时钟级的程序，用队列来调度和管理基本级程序。呼叫处理程序是数字程控交换机完成呼叫处理任务的核心程序，每一个呼叫处理过程就是处理机监视、识别输入信号、执行任务和输出指令的不断循环过程。实际的呼叫处理是一系列复杂的控制过程，涉及所有可能的事件和相关状态，因此，系统设计时需要呼叫处理过程进行抽象，通过建立有限状态机 (FSM) 模型，并采用 SDL 来对呼叫处理过程进行描述。呼叫处理程序包括输入处理、分析处理和输出处理，因此，呼叫处理过程可看成这三者不断循环的过程。

交换机性能指标主要包括交换机忙时能够承受的话务负荷、呼叫处理能力和交换机能够接入的用户和中继最大容量等。其中，话务负荷能力和最大忙时试呼次数是评价交换机设计水平和服务能力的重要指标。交换机服务质量指标主要包括呼损指标和接续时延。交换机可靠性指标用来衡量交换机维持良好服务质量的持久能力，通常用可用度和不可用度来衡量。

电话通信网的组网结构分为分级网和无级网。我国电话网采用分级结构，包括长途电话网和本地电话网。长途电话网也采用两级结构，根据长途交换中心在网路中的地位和作用不同，

将长途交换中心分为 DC1 和 DC2。本地网交换局主要包括端局和汇接局。端局通过用户线直接连接用户，汇接局用于汇接本汇接区内的本地或长途电话业务。路由是电话网的重要组成部分，路由选择也称选路，它是指交换机根据呼叫请求在多个路由中选择最优的路径。电话网的路由选择可以采用固定等级制选路和动态无级选路两种结构，我国电话网采用固定等级制选路策略。路由选择总体原则是：先选直达路由，遇忙再选迂回路由，最后选基干路由。编号是寻址的基础，编号计划是指为本地网、国内长途网、国际长途网，以及一些特种业务、新业务等的各种呼叫所规定的号码编排和规程。我国电话网编号计划是根据 ITU-T E.164 建议和我国的具体情况制定的。

在数字电话网中，网同步是确保网络服务质量的基础。同步是指信号之间在频率或相位上保持某种严格的特定关系，网同步是指将定时信号（频率或时间）分配到所有网元的方法。数字电话网的同步方式有准同步、主从同步、互同步等方式，我国一般采用主从同步方式，交换机的同步引入方式包括专线方式和业务线方式。

习题与思考题

- 2.1 典型的基本交换单元有哪些？它们具有什么特点？
- 2.2 试比较单级网络与多级网络的优缺点。
- 2.3 交换网络的内部阻塞是怎样产生的？
- 2.4 无阻塞网络的条件是什么？
- 2.5 简述数字程控交换机的硬件组成及其基本功能。
- 2.6 数字程控交换机模拟用户电路应具备哪些基本功能？
- 2.7 简述控制系统处理机的几种冗余配置方式。
- 2.8 简述控制系统处理机之间的几种通信方式。
- 2.9 简述数字程控交换机的软件组成及各部分的功能。
- 2.10 简述复用器和分路器的功能，并说明为什么要进行串并变换？
- 2.11 简述时间接线器和空间接线器的基本工作原理。并说明同步时分交换网络的构建方法。
- 2.12 呼叫处理主要包括哪几种处理？分别完成怎样的任务？
- 2.13 试画图说明用户摘、挂机识别的原理。
- 2.14 简述数字程控交换机软件系统的特点。
- 2.15 按照实时性要求的不同，交换机中的呼叫处理程序可分为哪几个级别？
- 2.16 简要说明时间表调度的工作原理。并用时间表实现下列程序的调度：
(1) 10ms (2) 20ms (3) 50ms (4) 40ms
画图说明时间表的结构，并说明如何确定时间表的容量和系统中断周期。
- 2.17 简述数字程控交换机的性能指标和服务质量指标。
- 2.18 简述我国长途电话网的组网结构和各级交换中心的职能。
- 2.19 电话网中，低呼损路由与高效路由的区别是什么？
- 2.20 什么是本地电话网？本地电话网的路由选择原则是怎样规定的？
- 2.21 数字电话网为什么需要网同步？简述网同步方式。
- 2.22 简述交换机的同步引入方式。