

第一章 概述

§ 1-1 自动电话交换机的发展及分类

一、自动电话交换机的发展

最早的自动电话机是在 1893 年问世的，那是史端乔发明的步进制自动电话交换机。但自动电话交换机的大量推广使用还是 20 世纪 20 年代开始的，一直到 50 年代前后，有人开始把电子元件应用到自动电话交换机中去，称为电子交换机。可是一直未能大量推广使用。

1946 年第一台存储程序控制的电子计算机的诞生，对现代科学技术的发展起了划时代的作用，震撼着各个领域。这一新技术也使得在电子交换技术中引入“存储程序控制”这一概念成为可能。

半导体的发明以及随之而来的微电子技术的迅速发展，冲击了 20 世纪 80 年代进展缓慢的机电制交换结构，使之走向电子化。

1965 年美国贝尔公司投产了第一台商用存储程序控制的电子交换机 ESSNO.1，标志着进入了电子交换机大量应用的阶段。

由于技术原因，一开始引用到电子交换机的电子技术是在控制部件中，而在通话电路中则长期以来仍保持机械接点。这里主要原因是在通话路由中对交叉接点的落差系数要求较高，而早期的电子元件还达不到这一点。只有在微电子技术进一步发展（如大规模集成电路的发展），以及数字技术的发展以后才开始了全电子交换机的迅速发展。

电子交换机实现了“存储程序控制”以后，使电子交换显示出巨大的优越性。因此各国电话交换的设计者普遍认为存储程序控制（简称程控）交换是当前最佳方式。

程控的主要优点是使网络获得最佳利用；选择路由、编号及计费的灵活性；减少机房面积与节电；节省安装和维护人员等。

20 世纪 60 年代初期以来，脉冲编码调制（PCM）技术在传输系统中的应用获得成功，对通话机质量和节约线路成本带来了好处。于是产生了将 PCM 信息直接进行交换的设想。因此，各国开始了研制 PCM 信息的交换系统。1970 年法国首先在拉尼翁开通了第一台数字交换系统 E₁₀，开始了数字交换的新时期。

数字交换机给今后实现综合业务数字网作好了准备，预期不久的将来数字电话交换系统将能扩大服务范围。目前已扩大到包括用户电报，图象和报文通信及计算机网络等领域，甚至能进行高速数据交换。

二、自动电话交换机的分类

1. 从信息传递方式上分

(1) 模拟交换机：它对模拟信号进行交换，包括机电式交换机，空分式电子交换机和脉冲调制（PAM）的时分交换机；

(2) 数字交换机：它对数字信号进行交换，这里的数字信号包括脉码调制（PCM）信号和增量调制（ ΔM ）信号。

2. 从控制上分

(1) 布线逻辑控制交换机（简称布控交换机）：这里指所有控制逻辑用机电或电子元件在做在一定的印板上时，通过机架的布线做成。这种交换机的控制部件做成后不好修改，灵活性很小。

(2) 存储程序控制交换机（简称程控交换机）：这是用数字电子计算机控制的交换机（一般都是电子交换机）。采用电子计算机常用的“存储程序控制”方式，放入存贮器，利用存贮器内所存贮的程序来控制整个交换机的工作，要改变交换机的功能，增加交换机的新业务，只要修改程序就可以了。这样提高了灵活性。

自动电话交换机还有其他分类方法，这里不一一介绍。

§ 1-2 程控交换机的结构、优越性及技术指标

一、程控交换机的基本结构

1. 结构

程控交换机的基本结构如图 1-1 所示，分为话路部分和控制部分。其话路部分和我们学过的纵横制交换机相比拟。而控制部分则是一台数字电子计算机，它包括中央处理机（CPU），存贮器和输入／输出设备。

交换网络可以是各种接线器（如纵横接线器，编码接线器、笛簧接线器等）、也可以是电子开关矩阵（电子接线器）。它可以是空分的，也可以是时分的。交换网络由 CPU 送控制命令驱动。

出中继电路和入中断电路是同其他电话交换机的接口电路，它传输交换机之间的各种通信信号，也监视局间通话话路的状态。

用户电路是每个用户话机专用设备，只为一个用户服务。它包括用户状态的监视和与用户直接有关的功能等。在电子交换机、尤其是在数字交换机中，用户电路的功能越来越加强了。

图中所示的中继器和用户电路的监视由相应的用户扫描电路和中继扫描电路完成。

这样就可以得出结论：程控交换机实质上是一台专门用于交换的计算机。

2. 数字程控交换机与模拟程控交换机的比较

程控数字交换机一次呼叫的连续过程，与程控模拟交换机的接续过程相似，但有以下几点不同：

(1) 用户线中的模拟信号经过用户电路后已变为数字信号，交换机所交换的都是数字信

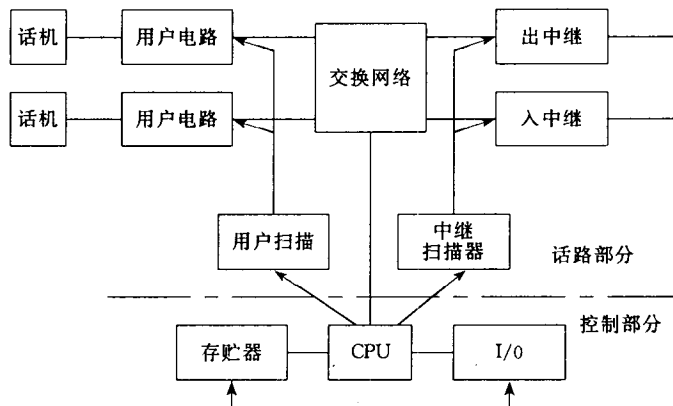


图 1-1 程控交换机结构图

号，至受话用户端经过用户电路后再恢复为模拟信号；

(2) 选择交换网络中的路由不是选择空闲链路，而是选择空闲时隙。选择的方法是在存贮中去选择；

(3) 向用户送直流电源和振铃电流都是在用户电路。监视用户拨号和用户挂机也都在用户电路。

二、程控交换机的优越性

程控交换机的产生和发展在技术上和经济上都带来了一系列优越性。

1. 在技术上的优越性

(1) 能提供许多新的用户服务性能：如缩位拨号、叫醒业务、呼叫转移等等。关于这一点，我们将在下一节详细介绍。

(2) 维护管理方便，可靠性高：程控交换机可以通过故障诊断程序对故障进行检测和定位。在发生故障时处理及时迅速，因此它在维护管理上和可靠性上带来了好处。

(3) 灵活性大：对于交换机外部条件的变化，新业务的增加比较方便。往往只要改变软件（程序和数据）就能满足不同外部条件（如市话局，长话局、汇接局或国际局等的不同需求）的需要，对于新业务的发展也带来了方便。

(4) 便于向综合业务数字网方向发展：通信网的最终发展方向是要建立一个高质量、高速度，高自动化的“综合业务数字网（ISDN）”。所谓“综合业务”是指话音，数据，电报，图象等各种业务都通过同一设备处理，而“数字网”则将上述数字化了的各种业务在用户间进行传输和交换。在综合业务数字网中，程控交换机是不可缺少的设备。

(5) 可采用公共信道信号系统：采用公共信道信号系统以后，不但可以提高呼叫接续的速度和提供更多服务性能，而且还可以提高通信质量。

(6) 便于利用电子器件的最新成果，使整机技术上的先进性得到发挥。

2. 在经济上的优越性

(1) 交换设备方面

①程控交换机主要采用电子器件，这样和纵横制相比较可以节省大量有色和黑色金属；

②程控交换机体积小，占用机房面积小；

③重量轻，可节省基建费用；

④耗电省；

⑤在集成电路大幅度降价的状况下，有可能大幅度降低程控交换机成本。

(2) 线路设备方面

程控交换机可以通过采用远端用户模块方式，节省用户线，降低线路设备的费用。

(3) 维护和生产方面

由于检测和诊断故障的自动化，减少了维护工作量、节省了维护人员。在制造中工艺也简单了，提高了生产效率。

三、评价程控交换机的技术指标

1. 话务量

话务量是用户占用交换机有效资源的一个宏观度量。它由用户呼叫次数（呼叫率）和平均通话时长两个参数确定。对于一定的时间单位，这两个参数的乘积就是话务量。其基本计算公式：

话务量 = 呼叫率 × 平均通话时长

话务量的基本单位是爱尔兰 (Erlang)，它表示在一个小时的时间内，用户呼叫的次数与平均每次通话时长相乘的结果。例如某个交换机在一小时内共发生了 360 次用户呼叫，平均每次通话时长为 4min，则在这一小时内交换机所承受的话务量为 24 爱尔兰，即

$$360 \times \frac{4}{60} = 24 \text{Erl}$$

如果以 100s 为核算话务量的时间单位 (即平均通话时长以 100s 单位), 则话务量的单位为每小时百秒呼, 简称为百秒呼 (CCS)。1h 等于 3600s, 因此 1 爱尔兰等于 36CCS。

2. 可用性

一台交换机的可用性 A 由下式表示；

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

对于双机系统的平均故障间隔时间 MTBF_D 可用下式表示：

$$\text{MTBF}_D = \frac{\text{MTBF}^2}{2\text{MTTR}}$$

则 可用性 A_D 为：

$$A_D = \frac{\text{MTBF}^2}{\text{MTBF}^2 + 2\text{MTTR}^2}$$

不可用性 U 为：

$$U = 1 - A = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \approx \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF}}$$

不可用性 U_D 为：

$$U_D = 1 - A_D = \frac{2\text{MTTR}^2}{\text{MTBF}^2 + 2\text{MTTR}^2} \approx \frac{2\text{MTTR}^2}{\text{MTBF}^2}$$

设一台处理机的 $\text{MTBF} = 2000\text{h}$, $\text{MTTR} = 3\text{h}$, 则预期的不可用性为：

$$U = \frac{3}{2000} = 1.5 \times 10^{-3}$$

10 年中的 1.6h。

$$U_D = \frac{2 \times 3^2}{2000^2} = 4.5 \times 10^{-6}$$

从上面计算表明，利用双机系统在 40 年内中断服务时间不超过 2h，而其平均故障间隔时间则为 70 年以上。

除此之外，一般还在存贮器中采取了一些措施，如采用错误校验码、存贮单元的备份等，以尽量减少因存贮器的出错而影响处理的可用性，但这将以降低速度为代价。

3. 处理能力 BHCA

衡量处理机处理能力大小的一个重要指标是忙时呼叫尝试 (Busy Hour Call Attempt—BHCA)，即忙时每小时能处理的呼叫次数。处理机的处理能力，取决于处理机的速度和指令功能，同时还取决于交换机的控制方式、用户信号方式、各种呼叫方式 (例如早释、本局呼叫、出局呼叫、入局呼叫) 所占的比例，以及程序编制的优劣等等。

型号一定的处理机，究竟能控制多大容量的交换机这是一个复杂的问题。要求得某种处理机的 BHCA 值，首先要测出每一次呼叫占用处理机的时间，由于处理机在进行实时操作和多重处理时，测出一个完整呼叫占用处理机的时间是较复杂的；其次还要知道处理机内部机耗包括调度管理程序、中断管理程序、软时钟、及扫描程序占用处理机的时间，这种时间越

短越好，一般不能超过全部处理时间的 40%。

例如某处理机内部机耗为 40%，考虑安全系统等因素 30%，呼叫平均占用处理机时间为 35.5ms，则该处理机的 BHCA 值为：

$$\text{BHCA} = \frac{3600 \times (1 - 40\% - 30\%)}{35.5 \times 10^{-3}} = 30422$$

但在实际中往往不是计算 BHCA，而是已知某处理机的 BHCA 后，根据用户平均话务量和平均通话时长，去求该处理机所能处理的最大用户数，即实装数。在分散控制系统中，控制是分级处理的。因此，单单从某一级处理机的 BHCA 去计算实装容量是较为困难的。在集中控制系统中，系统全部操作集中在一对 CPU 上，这时可以进行某种估算。

处理机可控制的用户数计算如下：

(1) 求出忙时每门呼叫次数

忙时每门呼叫次数 = $3600\text{s} \times \text{每秒平均话务量} / \text{平均通话时长}$

(2) 计算该处理机能控制的交换机门数

可控制的交换机门数 = $\text{BHCA} / \text{忙时每门呼叫次数}$ 。

以 I8086 为例。在时钟频率为 5MHz 时，其 BHCA 值在 27000 左右(六位拨号)。我国城市平均通话时长约为 50~60s，特殊情况 30 多秒。若每线平均话务量为 0.2 爱尔兰时，平均通话时长以 60s 估算：

忙时每门呼叫次数 = $3600 \times 0.2 / 60 = 12$ (次)

可控制的交换机门数 = $27000 / 12 = 2250$ (门)

§ 1-3 程控交换机的服务性能及选型考虑

一、服务性能

由于程控技术可以将许多用户和话局管理服务特性事先编成程序放在存贮器中，以备随时取用，这就使程控交换系统比原先任何形式的交换机来得有利，它大大扩充了各种服务性能，程控交换机有以下各种用户服务性能（随着程控交换机的发展，其功能越来越多）：

1. 给一般用户的服务

(1) 基本服务包括

① 自动电话呼叫服务，包括市内、长途、国际电话的自动拨号和自动计费；

② 接入到话务员，以便接至自动拨号所不能达到的用户和查询信息；

③ 接入到录音通知，用来查询信息；

④ 接入到特种服务；

⑤ 公用电话服务；

⑥ 捣乱用户跟踪；

⑦ 中间服务：这项服务对象主要是对未能达到所需号码的呼叫。它可以插入并转至话务员或电话应答机，或给出一种信号音，把相应信息通知给主叫用户。未能达到的原因可能有：电话号码已改，一组号码已重新编号，或交换局号改变，电话簿号码印错，拨入空号，拨入不使用的号码，中断路由故障、阻塞，用户暂时故障，由于未付费而暂停使用等等；

- ⑧ 缺席用户服务；
- ⑨ 呼叫禁止，用于设备有故障或用户未付费而暂停使用；
- ⑩ 用户观察，对申报有差错的用户进行观察。

(2) 补充服务

- ① 缩位拨号；
- ② 呼叫转移，或叫“电话跟我走”；
- ③ 遇忙转移，当被叫忙时，对该用户的呼叫自动转移至其他号码；
- ④ 无应答转移，当振铃不应答，经一定时间后转移至另一号码；
- ⑤ 叫醒服务；
- ⑥ 呼叫等待，给已接通呼叫的用户发一个等待音，表示又有人正在呼叫他，他可以作出选择，放弃原有呼叫而接受新呼叫还是保持原有呼叫；
- ⑦ 遇忙回叫；
- ⑧ 免打扰；
- ⑨ 热线服务，为使一台话机既可以有热线服务又可以作普通呼叫，采用定时方式。用户摘机，在一定时限内拨号，即作普通呼叫处理；在一定时限内不拨号，则作热线处理；
- ⑩ 限制呼叫；
- ⑪ 防止插入，有些用户线，譬如既有电话业务又有数据业务，则不允许插入别的信号（强行通话或呼叫等待音等）；
- ⑫ 会议电话，可能有几种方式：
 - a. 话务员召集的会议电话；
 - b. 用户控制并事先登记的会议电话；
 - c. 用户控制的临时性会议电话；
 - d. 可增加的会议电话，即可随时增加会议成员；
 - e. 集合会议电话，即事先安排若干用户在规定时间内各自呼叫同一号码，从而建立会议电话；
 - f. 用户安装呼叫计次表；
 - g. 及时呼叫计费通知。

2. 给各种小交换机用户的服务

这种服务是为满足商业团体对扩大和提高电话服务而规定的。

(1) 小交换机类型

- ① 人工和自动小交换机（PBX 和 PABX）；
- ② 其他各种用户交换机，如键控系统；
- ③ 集中式交换机（CENTREX）设备，这种设备为若干商业用户提供公用小交换机，而把服务性能集中到程控局中。对每一个商业用户来说，仍然是一台“单独的小交换机”。

(2) 小交换机的特殊服务性能

- ① 小交换机号连选；
- ② 夜间服务；
- ③ 直接拨入分机。

除了上述服务之外，还有为查询而保持呼叫，进行呼叫转移，多方会议电话待补充服务等。

(3) 集中式小交换机的服务性能

对于集中式小交换机的服务则应集中到公用交换局内，其中有一些服务性能和普通用户的服务性能相同，如直接拨入，缩位拨号，三方呼叫，自动回叫，呼叫等待，呼叫转移，热线服务等。此外，集中式小交换机的分机还具有有一些普通用户所没有的服务。如：

- ①直接拨出；
- ②同组中分机间的拨号；
- ③保留呼叫；
- ④多方会议电话；
- ⑤分机连选；
- ⑥优先分机；
- ⑦截取呼叫；
- ⑧呼叫限制等。

3. 在管理和维护上的新业务

程控交换机在对交换机的管理和维护上也发展了新的业务。

- (1) 规定服务等级；
- (2) 话务自动控制；
- (3) 话务自动统计；
- (4) 自动故障诊断；
- (5) 用户号码改变；
- (6) 计费 and 打印计费清单；
- (7) 自动设备测试；
- (8) 迂回路由寻找；
- (9) 遥控遥测无人局等。

二、选型考虑

不同型号的程控用户小交换机，有其不同的特性及适应范围，也各有其优缺点。迄今为止，还没有能包罗万象的交换设备。因此，用户在规划建立信息管理系统的方案及具体选择程控交换机型号时要把握以下几个方面：

1. 规划和建立信息管理系统的准则

对大多数机构而言，信息——语音、文字、数据或图象——是取得成功的必需资源，所以，选择管理信息的手段和系统就成为一个机构（不论大小、企业事业或政府部门）必须面对的最重要的战略性决定，这是一个极其复杂的任务。可简化为确定整个系统和每个组件必须达到的几个准则。

(1) 连贯性

由于办公设备、数据处理和电讯设备等等的爆炸性进展，设备过时已成为一个潜在的严重问题。每月甚至每日都会推出具有更大处理能力或增强了功能的新产品，而且其价格往往更低。最佳的信息系统应能保证连贯性，亦即所购置的机型能适应将来的发展而不会过时，它应能应付未来的需要和未来的发展以及目前的要求。例如，今天的数字交换机和步进制或纵横制交换机的交换技术都能贯连起来，或者至少能做到就地演变，加进新的硬件或软件以提供新的服务功能。

(2) 兼容性

最佳的机型应能使许多元件和子系统作为一个整体和谐地一起工作，即所选机型个性不能孤僻，它能同来自不同供应厂商和使用一系列不同的传输通道的计算机、文字处理机、打印机、通讯设备和其他终端，和睦地生活在一个管理信息系统的大家庭中，不要有排斥性。这就要求能使用不同的标准，否则它就无法对日益发展和扩充的综合信息系统作出贡献而遭淘汰。

(3) 适宜性

考虑人的因素，要使人机界面清晰，学习性强，一个极复杂的机型简单得连小孩也会使用，这种复杂是无形的，使用是简便的，换言之对用户是透明的。

(4) 可控性

使用者能用支配其信息管理系统的设计、结构来进一步的发展，用户应拥有各组件的选择权，使系统能适应其机构不断演变需要。从而使用户有效地管理其信息系统并保证系统本身达到最高的工作效率，并能系统提供操作特性，超负荷或有效容量，故障和维修要求的信息，使它能保持最佳工作状态。

(5) 廉价性

任何一个信息系统的最终和最重要的衡量标准即成本效率，或者称之为性能价格比，当然是用最少的钱买一个性能最好的机型为最佳。

2. 选型原则

(1) 必须根据本单位使用业务的需要来选择型号

目前和今后的 年 年内，电话通信仍将占据整个通信业务的主流。有些设备具有旅馆特点的性能；大多数设备已能组成综合业务数字通信网等非话音服务性能，增加这些性能也就会提高设备的价格。因此，要根据使用单位业务的需要来适当选机型。

由于目前交换机已做成可堆叠式，因此扩容已不是购买交换机的主要问题；所要考虑的重要问题：该型号的交换机功能扩展能力，能否适应当前飞速发展的通信网传送要求，接入能力等。

）所选产品要符合我国邮电部进网要求

由于各国通信网的技术体制、组网要求不同，有些程控小交换机不符合我国邮电部的进网要求。因此，如果盲目引进不合规范的产品，对今后连入市话程控网以及业务开发等都会带来麻烦。

(3) 要考虑供货厂商信誉和维修服务等因素

我国以前引进的程控小交换机，由于没有定点的维修单位，用户在维修方面也要自谋出路。有的厂家提供了良好的维修服务，例如可通过国际长途电话线，进行远端维修。但有的外商，要通过代理商维修，不仅修理周期长，也修得不彻底，故障经常存在。因此，用户选用程控小交换机时，要选择信誉较好，产品可靠，维修方便的机型。

§ 1-4 30/32 路 PCM 端机简介及 PCM 传输

一、30/32 路 PCM 端机简介

图 1-2 为 30/32 路 端机的简化框图。

1-2 30/32 PCM

PCM

3400Hz

TS₀)

TS₁₆

32

PCM

PAM

PAM

PCM

TS_c

1

下降都变慢，而且拖有很长的尾巴（见图 1-3）。测试时送 $4\mu\text{s}$ 宽的矩形脉冲经过市内电缆传输后，其波形分别因距离的增长而受到不同程度的变坏（见图 1-4）。

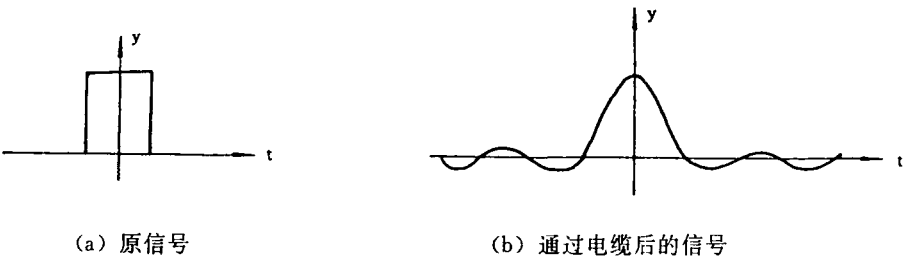


图 1-3 脉冲经过通信电缆后的波形变化

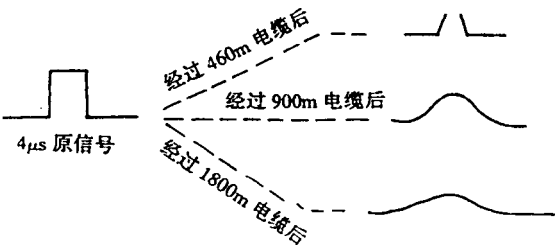


图 1-4 脉冲经过不同长度电缆的畸变

从图 1-4 可知，当信道距离增加到一定长度后，收端无法识别出收到的信码而无法通信。为了延长通信距离，在 PCM 信码传输中应每隔一定的距离加入一个再生中继器。传输基带信号的电缆信道再生中继系统如图 1-5 所示。

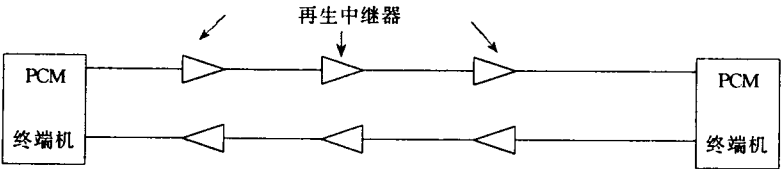


图 1-5 再生中继系统（基带信号）

（2）再生中继器的功能

再生中继器的方框图如图 1-6 所示，它是由均衡放大、定时提取和再生（判决）电路三个基本电路所组成。它的主要功能是：

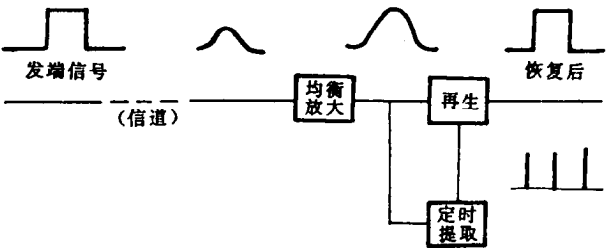


图 1-6 再生中继器方框图

①将已输入的失真信号，予以放大和均衡；
②从输入信码中提取时钟频率以获得再生（判决）电路的定时脉冲（或称再生位时钟）；
③将已经过放大的输入信号进行判决，使波形获得重新再生，恢复像发送端一样的脉冲形状。

（3）再生中继器的特点

在模拟信号传输系统中，随着增音段的数目增多，传输质量也随着变坏，这是因为增音机虽然把所接收的微弱信号放大，但也同时把所干扰的噪声也放大了，不具备像发端一样的标准脉冲波形的能力，因此其噪声干扰有累积的情况。

在数字传输系统中，采用了再生中继方式。再生中继器把输入信号经判决再生后，就将信号全恢复为标准的矩形脉冲，从而把噪声干扰清除掉，因此没有噪声的累积。这也就是数字通信抗干扰能力强的原因。

2. PCM高次群

目前 PCM通信方式发展很快，传输容量已由一次群 2048kb/s 的 30/32 路（也有 1544kb/s 的 24 路）发展到二次群的 120 路（也有 96 路的）、三次群、四次群，以至五次群……等等，传送信道除采用电缆（平衡电缆、同轴电缆）、微波中继外，已扩展到光缆，卫星通信等，除可开通电话、电报、传真等业务外，还可传输可视电话、彩色电视，高速数据等信息。不但可用于地面通信而且可用于宇宙通信，以及遥控、遥测等方面。

PCM 高次群通常采用若干个低次群号通过数字复用设备汇合而成。PCM 基群（一次群）有两种标准制式，即有 30/32 路制式和 24 路制式。前者为中国及欧洲国家使用，后者为日美等国使用。

在 30/32 系统中，每帧有 32 个时隙，每一时隙有 8 位码，取样频率为秒 8000 次，因此总数码率为 $8000 \times 32 \times 8 = 2.048 \text{ Mb/s}$ 。

在 24 路系统中，每帧有 24 个时隙，并且每帧内插入一个同步码（占用第 193 码位），所以其总数码率为 $8000 \times (24 \times 8 + 1) = 1.544 \text{ Mb/s}$ 。

（1）PCM 的一次群

30/32 路采用 13 折线近似于 $A=87.6$ 对数压扩律的压扩特性，话路数为 30 路（另有两路作其他用），输出码率为 2048kb/s，另一种是 24 路，采用 15 折线近似于 $\mu=255$ 对数压扩律的压扩特性，通话路数是 24 路，输出码率为 1544kb/s。

据有关资料分析，30/32 路制式的帧结构比较完善，如振铃用标志信号集中在时隙 16 内传送，便于用在集中传送信号方式的程控电子交换机中，而且每一路用 4b 来传输标志信号，因此，就可以满足长途交换中多种业务信号的需要。同步方式采用码组同步，同时恢复时间快，有利于传输数据。30/32 路制式国际上建议采用 13 折线近似于 $A=87.6$ 的压扩特性，在小信号时信噪比虽比采用 15 折线近似于 $\mu=255$ 的压扩特性的 24 路制式低 6 分贝，但在规定的语音动态范围内，仍能满足国际电路指标的要求，要实现这种压扩特性的电路也比 μ 特性容易些。现在国际电路上规定以 A 特性为准，国际通信必需的转换，其设备均由采用 μ 特性的国家解决。这样，从整个数字通信发展的系列来看，干线数字通信选用 30/32 路作基群（即一次群）也较有利。

30/32 路制式由于传输码率比 24 路的高。传输电缆衰耗和近端串话也较大。故在同样条件下，30/32 路中继距离要比 24 路短些，但是，由于 30/32 路制式一个系统的话数目比 24 路制式多 25% 所以综合计算结果，30/32 路制式在经济上仍较有利，但在技术上的复杂性以

及对元件精度要求则要比 24 路制式高一些。

(2) PCM 的高次群

在频分制模拟传输系统中，高次群系统都是由若干个低次群信号通过频率搬移迭加构成的。例如 60 路是由 5 个 12 路经过频率搬移迭加而成，1800 路是由 30 个 60 路经过频率搬移迭加而成。

在时分制数字传输系统中，高次群系统也可由若干个低次群数字信号通过数字复用设备汇总而成。

由于数字基群（通称一次群）国际上已建议有两种标准化的制式，即 2048kb/s 的 30 路和 1544kb/s 的 24 路制式，故数字信号的二次群也有两种。即以 30 路为基群的 8448kb/s 的 120 路制式及 24 路为基群的 6312kb/s 的 96 路制式，当然还有码率更快，路数更多的三次群以上的制式。

有关 30 路及 24 路一次群的技术数据见表 1-1，二次群及更高次群的复用示意图见图 1-7 与 1-8 所示。

在图 1-7 中可知，有两类多路复用方式。

- ①（一次）PCM 多路复用：用于模拟/数字或数字/模拟交换；
- ②（第二次）数字多路复用：把来自一次 PCM 多路复用的多路数字信号组合成单一数字信号，或反之。

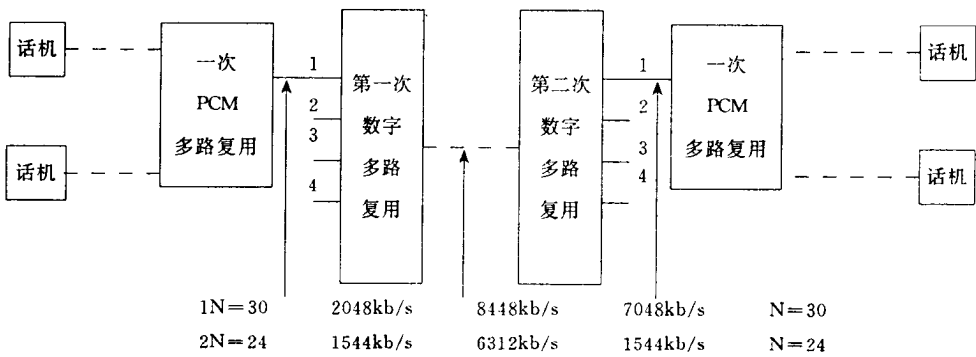


图 1-7 一次 PCM 信号的第二次复用

表 1-1 一次群技术数据举例

参 数	30 路制式	24 路制式
1. 话音频带	300—3400Hz	300—3400Hz
2. 采样速率	8000Hz	8000Hz
3. 采样数/采样	8	8
4. 时隙/帧	32	24
5. PCM 通路/帧	30	24
6. 输出比特速率	2048kb/s	1544kb/s
7. 编码律	A 律：A=87.6	μ 律： $\mu=255$

在图 1-8 中，由四个一次群复用成为一个二次群时，由于同步需要，其传输码率不能机械地认为是一次群的四倍（ $4 \times 2048 = 8192 \text{kb/s}$ ）而是要比它的四倍高一些，即为 $4 \times 2112 = 8448 \text{kb/s}$ 。以 30 路 PCM 为基础的多级复用时的数据速率和传输介质如表 1-2 所示。

表 1-2 以 30路 PCM 为基础的多级复用时的数据速率和传输介质

PCM 多路复用次数	数据速率 Mb/s	数据多路复用的话路数	对称电缆	新型对称电缆	微型同轴电缆	小型同轴电缆	普通同轴电缆	无线中继 12GHz	波导 1 20GHz	光缆
1	2.048	30	×	×						
2	8.448	120		×	×	×		×		×
3	34.368	480		×	×	×	×	×		×
4	139.264	1920				×	×		×	
5	约 565	7680					×		×	×

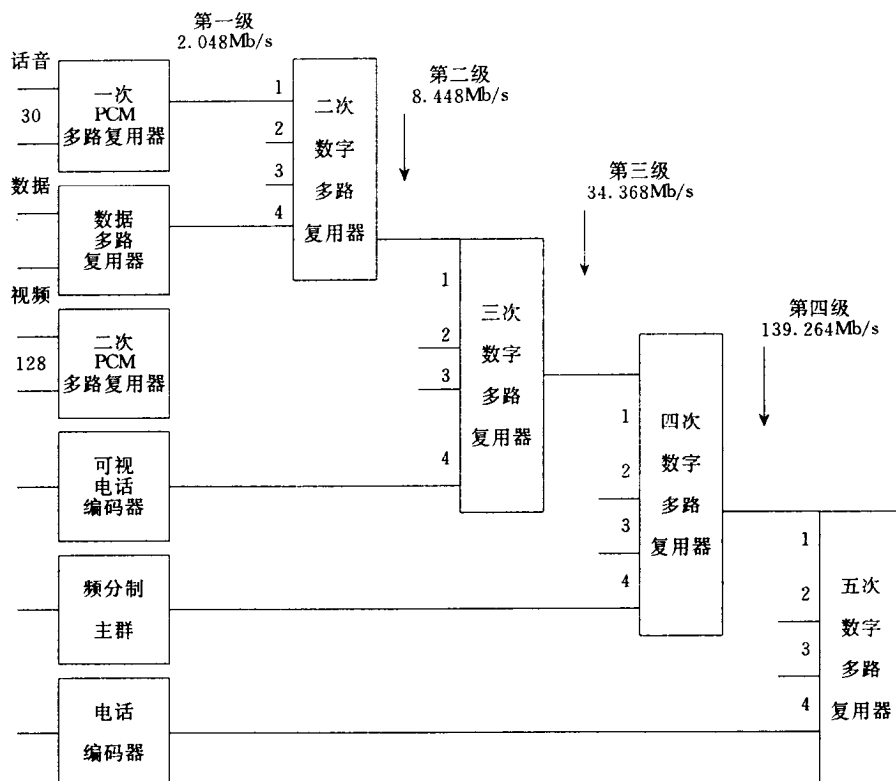


图 1-8 多级复用（以 30路为基准）举例

(3) 各国高次群的复接

由于基群有上述两种标准化制式，所以其高次群（二次群、三次群、……）也有两个系列，如表 1-3 所示。

表 1-3 高次群的复接系列

制 式 群 路 等 级	欧洲、中国		北美、日本	
	传输速率 kb/s	话路数	传输速率 kb/s	话路数
基 群	2048	30	1544	24
二 次 群	8448	120	6312	96
三 次 群	34368	480	32064 44736	480 (日) 672 (美)
四 次 群	139264	1920	97728 274176	1440 (日) 4032 (美)
五 次 群	564992	7680	397200	5760 (日)

§ 1-5 程控交换技术与交换机的发展

自从 1965 年美国首先应用程控交换机以后,一些发达国家竞相发展,从当前来看交换机采用存贮程序控制是公认的最好方式,在话路上则采用数字交换方式。20 世纪 70 年代法国首先推出数字交换机以来,各国也大力发展数字交换机。

一、国内外程控交换机发展情况

1. 国外程控交换机发展情况

(1) 美国:美国贝尔系统已装用程控交换机的电话局已超过 2800 个,约占 47%的用户和 60%的长途电话,1990 年时贝尔系统拥有的交换机已全部实现程控化。1979 年底,贝尔系统已有 2097 个程控局,其中有 37 个 ESSNO. 4 数字长途局。在 1981 年开通了 ESSNO. 5 数字市话交换机。普及率达 84%。目前,美国电话普及率已超过 90%。

(2) 日本:日本的通信事业在第二次世界大战后经历了艰苦的恢复过程,但经过 20 多年的努力,1978 年话机数比 1959 年增加 25 倍以上,目前,日本的电话普及已超过 80%。

日本生产程控交换机的公司较多,交换机型号也较多。如 D₁₀, D₆₀, D₇₀, ND 系列, FETEX 系列, NEAX 系列等。

(3) 法国:法国在 1970 年开通了世界上第一台数字程控交换机 E₁₀。1983 年采用程控交换机的电路已达到 700 万条,为总用户的三分之一。1992 年已全部采用程控交换机。

目前法国的程控交换机有两大系列: E₁₀-A, E₁₀-B、E₁₂ 的 MT20/25/30/35。

(4) 瑞典:瑞典电话普及率为 71.2%,占世界第等二位。他们在 20 世纪 70 年代中期就开始研制 AXE-10 程控数字交换机。1981 年投入使用。

(5) 新加坡:新加坡是东南亚的一个小国,商业、金融业和旅游业均很发达,所以通信也很发达,到 1990 年 4 月底,全国交换机总容量 123 万门,电话机主机 119 万部,用户小交换机及集团电话分机为 26 万部,全国电话机主机普及率(每百人)45 部,全国采用的统一的七位等位拨号,1995 年已全部实现程控数字化。

总之,世界各国相继研制生产出众多各具特色的程控数字交换机,比较有代表性的产品有:

ISDX	(英国 GPT 公司)
NO. 5ESS	(美国 AT&T 公司)
DBX-1200, 5000	(美国 STROMBERG-CARISON 公司)
SCX-120, 5000	(美国 TELEX 公司)
MSX	(美国 TAI 公司)
HARRIS-20-20	(美国 HARRIS 公司)
D60. 70	(日本 NTT 公司)
NEAX-61	(日本 NEC 公司)
PETEX-150	(日本富士通公司)
HDX-10	(日本公日立司)
F _{10B.S}	(法国 CIT-ALCATEL 公司)

MT-35	(法国 THOMSON公司)
ITT-1240	(比利时 ITT-BTM 公司)
S-1240	(中国、比利时、上海贝尔电话设备公司)
AXE-10	(瑞典 ERICSSON 公司)
MD-110	(瑞典 ERICSSON 公司)
SX-2000	(加拿大 MITEL 公司)
DMS-100, 200, 300	(加拿大 NORTHERN TELECOM 公司)
MSL-1	(加拿大 NORTHERN TELECOM 公司)
EWSD-601	(德国 SIEMENS 公司)
HICOM	(德国 SIEMENS公司)
SOPHOS	(何 兰 PHILIPS公司)

2. 我国程控交换机发展情况

我国自 20 世纪 80 年代起开始研制各种中、小容量程控交换机，但基本上处于初期阶段。其间从国外引进了大量程控交换机，在此基础上经过优选和定点，陆续建立了十条生产线。20 世纪 90 年代起，以大唐电信、中兴通讯为代表的集团公司已建立了多条容量超过 15 万门的大容量程控交换机生产线。就程控数字用户交换机而言，典型的小容量优选机型和生产厂家如表 1-4 所列。目前我国城市电话普及率已超过 55%，农村电话的普及率也在逐年提高。

表 1-4 我国引进部分程控交换机一览表

型号	ISDX	HARRIS —2020	MSX	HICOM300	MD—110	MSL—1	SOPHOS
国外生产 厂家	英国通用裴 利 斯 电 讯 (GDT 公司)	美国哈里斯 (HARRIS) 公 司	美国国际技 术 联 合 (TAI)公司	德国西门 子 (SIEMENS) 公 司	瑞典爱立信 (ERICSSON) 公 司	加 拿 大 北 方 电 讯 (NORTHERN TELECOM) 公 司	荷 兰 飞 利 浦 (PHILIPS) 公 司
国内生产 厂家	上海国际数 字 电 话 设 备 公 司 (前 520 厂)	广州有线电 厂,机电部 54 部	天津天芝通 讯公司	上海新光电 讯 厂,北 京 239 厂	北京有线电 厂	中国通广一 北电公司	中国振华电 子工业公司、 苏州有线电 厂,常德有线 电厂
容 量 (用 户 端 口)	M:—80 S:32—272 L:—2448 (多节点可达 10000 以上)	M:144—816 ML: 384—1920	100—2000 (可 扩 至 4800)	340:—256 370:—960 390:—5120 391:—20480	20:—144 40:—504 90:200 —10000	ST:30—600 NT: 200—1500 XT: 1000—7000	S ₅₀ :20—64 S ₁₀₀ : 64—128 S ₂₅₀ : 128—256 S ₁₀₀₀ : 256—2816 多节点可达 1000

二、程控交换技术的发展动态与趋势

- (1) 软、硬件的模块化。软件采用高级语言，尤其是 CCITT 建议的高级语言。软件设计和数据修改采用数据处理机；
- (2) 提高控制的分散程度，逐步走向分散控制方式；
- (3) 减少用户电路的体积降低其成本，提高用户电路的集成度；
- (4) 交换网络大部分采用 T 型网络结构，其存贮器的存取速度已能交换 1024 甚至 180K

时隙。使得交换网络成本低，体积小、布线少、控程简单；

(5) 应用大规模集成电路，微机处理已采用 32 位机甚至 64 位机；

(6) 加强支援系统的开发；

(7) 采用光纤技术；

(8) 进一步发展各种非电话业务，如数据传输、电话传真、用户电报、移动通信、无线电话、图文通信等等。这些业务直接综合到数字网中，就形成了综合业务数字网。

(9) 发展宽带接入技术，与 INTERNET 平稳接轨。

复习思考题

1. 自动电话交换机有哪些分类方法，每种分类包括哪些交换机？这些交换机之间有什么区别？
2. 程控交换机的基本结构是怎样的？简述其各主要构件的作用与功能？
3. 程控交换机在技术上有哪些特点？
4. 程控交换机在经济上有哪些优于模拟交换机的地方？
5. 什么是话务量？什么是可用性？什么是程控交换机的处理能力？
6. 程控交换机有哪些通用功能？什么叫呼叫转移、遇忙转移及无应答转移？
7. 我国目前对通话有哪几种计费方式？各有什么特点？
8. 你单位需购一台用户交换机，你打算从哪些方面考虑选择一台合适的交换机？
9. 试简述模拟信号实现数字化传输必须包括哪几个基本过程？
10. 扼要说明 30/32 路 PCM 端机的工作机理？
11. 什么是再生中继？它必须完成哪些功能？
12. 什么是 PCM 基群、一次群、二次群…… n 次群？基群传输速率是多少？为什么？
13. 试分别说明 A 律及 μ 律（一次群）的话音频带、采样速率、比特率/采样、每帧时隙数、每帧通路数、及传输速率是多少？
14. 描绘一个四次群的复用方框图？
15. 程控交换机今后发展的方向是哪些？

第二章 数字交换与数字交换网络

数字交换机的话路系统由数字交换网络和各种终端设备组成。它的主要作用是提供各个终端设备之间的连接通路和实现交换机与其外部环境的相互配合。数字交换机采用程控时分交换技术,传输和交换的是 PCM 化的数字信息。因而数字交换机的话路系统与以往我们所熟悉的模拟交换机的话路系统有着本质的区别。

§ 2-1 数字交换网络的基本结构和工作原理

一、数字交换网络

数字交换网络是数字交换的核心。在 PCM 编码中,用户占用不同的时隙,每一用户所占用的时隙是固定的,在进行交换时,即要完成时隙交换,这种时隙交换可能是同一个 PCM 通路上的不同时隙,也可能是不同 PCM 通路上的相同的时隙。因此在数字交换网络中采用了不同的接线器,T 型时分接线器和 S 型空分接线器,T 型接线器的主要功能是完成相同 PCM 通路的不同时隙的交换,S 型接线器的主要功能是完成不同 PCM 通路的相同时隙的交换。

二、数字交换网络基本原理

1. T 型时分接线器的工作原理

(1) 功能

T 型时分接线器是通过缓冲存储,控制读出或写入的方式来进行时隙交换的。T 型时分接线器常简称为 T 型接线器或时分接线器。

(2) 组成

T 型接线器一般由话音存储器 (SM) 和控制存储器 (CM) 等电路组成,见图 2-1。

话音存储器 (SM) 用来暂存经 PCM 编码后的数字话音信息,每个话路占用一个固定的时隙,用 8 比特位的编码信息来传送话音信息,每一个时隙将占用话音存储器的一个字节。传输的话音信息不可能在本时隙进行交换,必须“等待”一段时间,即等到所需要交换的时隙到来时,话音信息才送出去,举例来说,输入 PCM 时隙 TS_i 中的信息要和 TS_j 中的信息交换,则 TS_i 判定为信息必须缓存一下,待到 TS_j 时隙到来时才送出;同样, TS_j 送来的信息也要缓存一下,等到下一个 TS 时隙到来时才送出,这样 TS_i 的信息才和

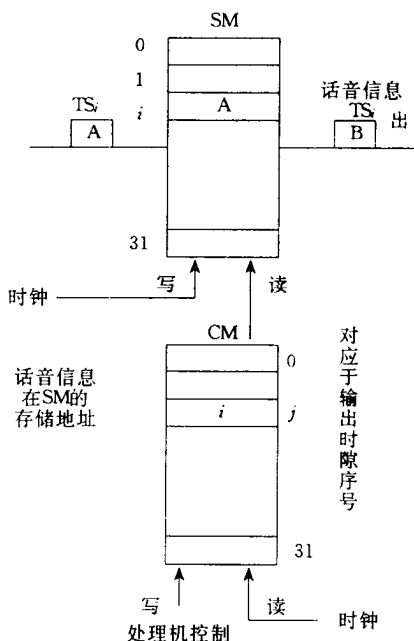


图 2-1 T 型接线器 (顺序写入)