

高等学校通信教材

gaodeng xuexiao tongxin jiaocai

◎ 桂海源 编

XIANDAI  
JIAOHUAN YUANLI

现代  
交换原理  
(修订本)



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校通信教材

# 现代交换原理

(修订本)

桂海源 编

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

现代交换原理 / 桂海源编. —修订本. —北京: 人民邮电出版社, 2005.5

ISBN 7-115-13405-7

I. 现... II. 桂... III. 通信交换 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 037025 号

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍程控数字交换系统的硬件、软件和信令技术。内容包括: 电话通信网的基本组成, 我国电话网的结构; No.7 信令系统的结构和功能; 程控数字交换系统的结构, 数字交换原理, 程控数字交换机的终端和接口; 程控交换软件的基本特点, 交换机运行软件的结构, 程控操作系统和呼叫处理程序的基本原理; 智能网的基本概念和结构; 窄带综合业务数字网; 宽带综合业务数字网的关键技术——ATM 的结构及工作原理; 多协议标记交换 MPLS 的原理以及综合业务交换机。

本书是高等院校教材, 也可作为通信工程技术人员的技术参考书。

高等学校通信教材

现代交换原理

(修订本)

- 
- ◆ 编 桂海源
  - 策划编辑 滑 玉
  - 责任编辑 须春美
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
  - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
  - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
  - 读者热线 010-67170985
  - 北京艺辉印刷有限公司印刷
  - 新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16
  - 印张: 21.75
  - 字数: 529 千字
  - 印数: 14 001 - 19 000 册
  - 2005 年 5 月第 2 版
  - 2005 年 5 月北京第 6 次印刷

ISBN 7-115-13405-7/TN · 2481

定价: 28.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

## 编 者 的 话

程控数字交换机通信技术、计算机技术和大规模集成电路的产物,是数字电话网、移动电话网和综合业务数字网中的关键设备,在电信网中起着非常重要的作用。以数字交换和数字传输为基础的数字电话网已能向用户提供良好的话音及相关新业务。近 20 年来,程控数字电话网在我国得到了飞速的发展。截至 2004 年 12 月,中国固定电话用户为 3.12 亿户,移动电话用户为 3.34 亿户。在今后几年内,传统电话业务仍将是电信市场的主业。虽然近几年来以 IP 为代表的信息技术得到了迅猛的发展,对传统的电信业带来了严峻的挑战。但是,在因特网上传送具有实时特性的话音业务的服务质量还存在一定的问题。在可以预见的未来,以数字交换和数字传输为基础的数字电话网仍将是向用户提供实时电话业务的基本技术手段。因此掌握程控交换机的基本原理,对从事通信工程的技术人员来说是十分必要的。

本书共分 8 章,第 1 章介绍了电话通信的基本原理,几种基本的交换方式及我国电话通信网的结构。是学习本教材的基础。

第 2 章至第 4 章分别讲述了信令技术、程控交换机的硬件结构、数字交换原理和交换机的软件。这是当前数字电话网中广泛采用的基本技术,是本教材的基本内容。第 2 章讲述了通信网中的信令技术,重点讲述了 No.7 信令系统的基本原理。第 3 章介绍了程控数字交换机的硬件结构及各部分功能,并详细讲述了数字交换的基本原理。第 4 章介绍了程控软件的基本特点、程控软件开发的过程及相关软件技术、交换机运行软件的基本组成及功能。

智能网是电信网发展的一个重要方向,智能网结构不但适用于固定电话网,也适用于移动通信、N-ISDN 和宽带交换。在第 5 章中介绍了虚拟用户交换机的实现原理,并对智能网原理和技术进行讨论,重点说明了智能网的概念、体系结构及智能网的基本组成和几种典型的智能网业务的实现和信令过程。

第 6 章介绍了窄带综合业务数字网 ISDN 的基本概念、协议结构及在 ISDN 设备的实现。

第 7 章介绍了宽带 ISDN 的关键技术——ATM。说明了 ATM 信元交换的基本原理,ATM 的协议结构,并说明了 IP 与 ATM 的结合,重点介绍了多协议标记交换 MPLS。

第 8 章介绍了用户通过 PSTN/ISDN 接入因特网的方式,讨论了因特网话务对 PSTN 的影响和解决方法,然后介绍了推动网络向下一代网络演进的主要因素、以软交换为核心的下一代网络的主要特点和向下一代网络演进的策略。最后介绍了下一代网络的分层结构和下一代网络各部件之间的标准协议。

在本次修订中,增加了向下一代网络发展的内容,介绍了以软交换为核心的下一代网络的结构及向下一代网络演进的策略。同时也增加了一些得到广泛应用的技术(如虚拟用户交换机的实现原理),对原教材中一些陈旧的内容进行了适当的压缩。

本教材的特点是:在每一章开始的学习指导中都简要介绍本章的要点,然后详细说明各部分的内容,在每一章的结尾都有小结,对本章的主要内容进行总结。通俗易懂,适合学员自学。

从全书的体系结构来看,第 1~5 章是本书的基本内容,在此基础上可选学第 6~8 章。在学习中应注意本书介绍的是一个完整的系统,应将学习的重点放在系统的组成、各部分的

功能和相互关系以及基本工作原理上，对具体电路及功能的技术细节不宜花费过多精力。

本书在编写过程中参考了附录中所列的相关书籍和资料，在此向这些书籍和资料的编写者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的不当之处难以避免，请读者批评指正。

桂海源

2005年4月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 电信交换基础 .....          | 1  |
| 1.1 电话交换的基本原理 .....         | 1  |
| 1.1.1 电话通信网的基本组成及功能 .....   | 1  |
| 1.1.2 电话机的基本组成及工作原理 .....   | 1  |
| 1.1.3 交换机的基本组成及其工作原理 .....  | 3  |
| 1.2 电话交换机的类型及发展 .....       | 4  |
| 1.3 主要的交换方式 .....           | 5  |
| 1.3.1 电路交换 .....            | 5  |
| 1.3.2 分组交换 .....            | 6  |
| 1.4 我国电话通信网的结构和编号计划 .....   | 7  |
| 1.4.1 长途电话网 .....           | 7  |
| 1.4.2 本地电话网 .....           | 8  |
| 1.4.3 编号计划 .....            | 9  |
| 思考题与练习题 .....               | 12 |
| 第 2 章 信令系统 .....            | 14 |
| 2.1 信令的基本概念和分类 .....        | 14 |
| 2.1.1 信令的基本概念 .....         | 14 |
| 2.1.2 信令的分类 .....           | 15 |
| 2.2 用户线信令 .....             | 16 |
| 2.2.1 用户话机发出的信令 .....       | 16 |
| 2.2.2 交换机发出的信令 .....        | 16 |
| 2.3 中国 No.1 信令 .....        | 17 |
| 2.3.1 线路信令 .....            | 17 |
| 2.3.2 记发器信令 .....           | 20 |
| 2.4 No.7 信令系统概述 .....       | 25 |
| 2.4.1 No.7 信令系统的特点和功能 ..... | 25 |
| 2.4.2 No.7 信令系统的结构 .....    | 26 |
| 2.4.3 信令单元的格式 .....         | 29 |
| 2.4.4 我国 No.7 信令网的结构 .....  | 32 |
| 2.5 消息传递部分 .....            | 35 |
| 2.5.1 信令数据链路 .....          | 35 |
| 2.5.2 信令链路功能 .....          | 36 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 2.5.3 信令网功能 .....                  | 39        |
| 2.6 电话用户部分 .....                   | 41        |
| 2.6.1 电话用户消息的格式 .....              | 41        |
| 2.6.2 常用电话用户消息的功能 .....            | 45        |
| 2.6.3 信令程序 .....                   | 47        |
| 2.6.4 No.7 信令与 No.1 信令的配合 .....    | 51        |
| 2.7 信令连接控制部分 .....                 | 64        |
| 2.7.1 信令连接控制部分 (SCCP) 的来源及目标 ..... | 64        |
| 2.7.2 SCCP 的基本功能及所提供的业务 .....      | 65        |
| 2.7.3 SCCP 消息的格式 .....             | 67        |
| 2.7.4 SCCP 的结构及路由控制功能 .....        | 70        |
| 2.7.5 无连接程序 .....                  | 74        |
| 2.8 事务处理能力 .....                   | 79        |
| 2.8.1 事务处理能力 (TC) 概述 .....         | 79        |
| 2.8.2 事务处理能力的基本结构 .....            | 80        |
| 2.8.3 事务处理能力消息格式及编码 .....          | 86        |
| 思考题与练习题 .....                      | 93        |
| <b>第 3 章 程控数字交换机的硬件系统 .....</b>    | <b>95</b> |
| 3.1 程控数字交换机硬件的基本结构 .....           | 95        |
| 3.1.1 采用分级控制方式的交换机的硬件基本结构 .....    | 95        |
| 3.1.2 全分散控制方式交换机的基本结构 .....        | 97        |
| 3.1.3 基于容量分担的分散控制方式的交换机的基本结构 ..... | 99        |
| 3.2 数字交换原理和数字交换网络 .....            | 101       |
| 3.2.1 语音信号数字化和时分多路通信 .....         | 101       |
| 3.2.2 数字交换的基本概念和基本接线器 .....        | 104       |
| 3.2.3 复用和分路、串→并和并→串变换 .....        | 108       |
| 3.2.4 数字交换网络 .....                 | 110       |
| 3.2.5 交换网络的阻塞计算 .....              | 116       |
| 3.3 数字程控交换机的终端与接口 .....            | 118       |
| 3.3.1 用户模块 .....                   | 119       |
| 3.3.2 中继器 .....                    | 123       |
| 3.3.3 信令设备 .....                   | 124       |
| 3.4 控制系统的一般结构 .....                | 127       |
| 3.4.1 处理机的冗余配置方式 .....             | 127       |
| 3.4.2 处理机的控制结构 .....               | 128       |
| 3.4.3 处理机之间的通信 .....               | 129       |
| 思考题与练习题 .....                      | 133       |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第4章 程控数字交换系统的软件</b>         | 134 |
| 4.1 程控交换软件的概述                  | 134 |
| 4.1.1 程控交换软件的基本特点              | 134 |
| 4.1.2 数据驱动程序的特点及其结构            | 137 |
| 4.1.3 有限状态机(FSM)和有限消息机(FMM)的概念 | 139 |
| 4.1.4 在交换软件设计中应用的三种类型的程序设计语言   | 140 |
| 4.2 运行软件的一般结构                  | 146 |
| 4.2.1 运行软件的基本结构                | 146 |
| 4.2.2 局数据和用户数据                 | 147 |
| 4.2.3 操作系统、呼叫处理程序以及维护管理程序      | 148 |
| 4.3 操作系统                       | 149 |
| 4.3.1 操作系统的层次结构和核心层处理流程        | 149 |
| 4.3.2 操作系统接口                   | 150 |
| 4.3.3 程序的优先级、各类程序的特点及驱动方式      | 152 |
| 4.3.4 时钟级程序的调度                 | 153 |
| 4.3.5 处理机占用率计算                 | 155 |
| 4.3.6 基本级程序的调度                 | 156 |
| 4.3.7 定时管理                     | 160 |
| 4.4 呼叫处理程序                     | 164 |
| 4.4.1 呼叫处理的基本原理                | 164 |
| 4.4.2 呼叫处理程序的基本组成及层次结构         | 167 |
| 4.4.3 呼叫处理中用到的数据               | 168 |
| 4.4.4 信令处理程序                   | 171 |
| 4.4.5 呼叫控制程序                   | 186 |
| 4.4.6 分析程序和资源管理程序              | 191 |
| 思考题与练习题                        | 197 |
| <b>第5章 智能网</b>                 | 199 |
| 5.1 新业务的传统实现方法                 | 199 |
| 5.1.1 虚拟用户交换机                  | 199 |
| 5.1.2 缩位拨号                     | 201 |
| 5.1.3 呼叫前转                     | 203 |
| 5.2 智能网的基本概念                   | 203 |
| 5.3 几种典型的智能业务                  | 207 |
| 5.3.1 被叫集中付费业务                 | 207 |
| 5.3.2 记账卡呼叫业务                  | 208 |
| 5.3.3 虚拟专用网业务                  | 208 |
| 5.3.4 个人通信业务                   | 209 |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 5.3.5 电话投票 .....                       | 209        |
| 5.4 智能网的结构 .....                       | 210        |
| 5.5 智能网应用部分 .....                      | 213        |
| 5.5.1 INAP 操作 .....                    | 213        |
| 5.5.2 信令发送顺序 .....                     | 215        |
| 思考题与练习题 .....                          | 217        |
| <b>第 6 章 窄带综合业务数字网 .....</b>           | <b>218</b> |
| 6.1 N-ISDN 概述 .....                    | 218        |
| 6.1.1 N-ISDN 的基本定义 .....               | 218        |
| 6.1.2 N-ISDN 的基本结构 .....               | 219        |
| 6.1.3 N-ISDN 的寻址和编号 .....              | 219        |
| 6.1.4 N-ISDN 提供的业务 .....               | 220        |
| 6.2 用户—网络接口 .....                      | 223        |
| 6.2.1 两种用户—网络接口 .....                  | 223        |
| 6.2.2 用户—网络接口的参考配置 .....               | 223        |
| 6.2.3 用户—网络接口的协议 .....                 | 225        |
| 6.3 N-ISDN 的局间信令 .....                 | 241        |
| 6.3.1 综合业务数字用户部分 (ISUP) 的功能 .....      | 241        |
| 6.3.2 ISUP 消息的结构 .....                 | 242        |
| 6.3.3 常用 ISUP 消息功能简介 .....             | 246        |
| 6.3.4 基本的呼叫控制过程 .....                  | 247        |
| 6.3.5 ISUP 与 TUP 的信令配合 .....           | 249        |
| 6.4 ISDN 设备 .....                      | 252        |
| 6.4.1 ISDN 交换机 .....                   | 252        |
| 6.4.2 第一类网络终端 (NT <sub>1</sub> ) ..... | 255        |
| 思考题与练习题 .....                          | 258        |
| <b>第 7 章 宽带 ISDN 的关键技术 ATM .....</b>   | <b>259</b> |
| 7.1 ATM 的基本概念 .....                    | 259        |
| 7.1.1 ATM 的发展背景 .....                  | 259        |
| 7.1.2 ATM 的基本工作原理 .....                | 260        |
| 7.1.3 ATM 信元的结构 .....                  | 262        |
| 7.1.4 与电路交换方式和分组交换方式的比较 .....          | 263        |
| 7.1.5 ATM 的特点 .....                    | 265        |
| 7.2 ATM 协议结构 .....                     | 266        |
| 7.2.1 B-ISDN 的协议参考模型 .....             | 266        |
| 7.2.2 物理层规范 .....                      | 268        |
| 7.2.3 ATM 层规范 .....                    | 271        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 7.2.4 ATM 适配层 AAL                | 280        |
| 7.3 IP/ATM 集成交换                  | 292        |
| 7.3.1 IP/ATM 集成交换概述              | 292        |
| 7.3.2 MPLS 的基本原理                 | 297        |
| 7.3.3 标签分配协议和基于限制路由的标签分配协议       | 299        |
| 7.3.4 MPLS 标记捆绑的驱动方式             | 305        |
| 思考题与练习题                          | 310        |
| <b>第 8 章 电信网与因特网的融合</b>          | <b>311</b> |
| 8.1 用户接入因特网的方式                   | 311        |
| 8.1.1 用户通过 PSTN/ISDN 网接入因特网的一般结构 | 312        |
| 8.1.2 接入服务器                      | 313        |
| 8.2 因特网话务对 PSTN 的影响及解决方案         | 315        |
| 8.3 电信网向下一代网络的演进                 | 317        |
| 8.3.1 推动网络向下一代网络发展的主要因素          | 317        |
| 8.3.2 下一代网络的特点                   | 318        |
| 8.3.3 向下一代网络的演进策略                | 318        |
| 8.3.4 混合交换机简介                    | 320        |
| 8.4 以软交换为中心的下一代网络结构              | 322        |
| 8.4.1 下一代网络的一般结构                 | 322        |
| 8.4.2 软交换技术的特点                   | 326        |
| 8.4.3 下一代网络的协议                   | 327        |
| 思考题与练习题                          | 329        |
| <b>附录 《现代交换原理》教学大纲</b>           | <b>330</b> |
| <b>参考文献</b>                      | <b>337</b> |

# 第1章 电信交换基础

本章介绍电话交换的基本原理，电话交换机的类型及发展，几种主要的交换方式以及我国电话通信网的结构和编号计划。

## 1.1 电话交换的基本原理

### 1.1.1 电话通信网的基本组成及功能

电话通信网的基本组成设备包括终端设备、传输设备和交换设备。

最简单的终端设备是电话机。电话机的基本功能是将人的话音信号转换为交变的话音电流信号，并完成简单的信令接收与发送。

传输设备的功能是将电话机和交换机、交换机与交换机连接起来。常用的传输介质有电缆、光纤等。

交换设备的基本功能是完成交换，即将不同的用户连接起来，以便完成通话。

当用户数很少时，可以采用各个相连的方法，再加上必要的控制开关可完成通话。当用户数很多时，这种方法显然不能实现，于是引入了交换机，每个用户都连接到交换机上，由交换机完成任意用户间的接续。

当电话用户分布的区域较广时，就要设置多个交换机，交换机之间用中继线连接。当交换的范围更广时，多个交换机之间要做到各个相连就很烦琐了，这时就要引入汇接交换机，形成多级交换网络。这样，用户只要接入到一个交换机，就能与世界上的任一用户通话了。

### 1.1.2 电话机的基本组成及工作原理

#### 1. 电话机的基本组成及功能

电话机的基本组成部分有通话设备、信令设备和转换设备。

通话设备：包括送话器、受话器以及必要的接口电路。其主要功能是完成声电转换和电声转换。

信令设备：包括发号的号盘和接收呼叫指示的振铃装置。其主要功能是完成信令的发送

和接收。

转换设备：如叉簧，其主要功能是在通话设备与振铃设备之间转换，接通或断开用户直流环路。

## 2. 电话机的基本工作原理

按照发出信号的方式，电话机可分为拨号脉冲电话机和双音多频（DTMF）电话机。

### （1）拨号脉冲电话机的工作原理

拨号脉冲电话机的原理图如图 1-1 所示。图中，拨号接点 D 是常闭接点，短路接点 M 是常开接点。下面简要说明拨号脉冲电话机在各种工作状态下与交换机的配合。

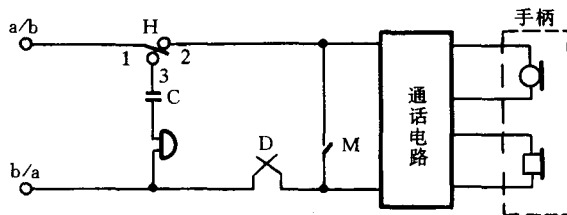


图 1-1 拨号脉冲电话机的原理图

① 挂机状态。在挂机状态下，叉簧的 1、3 接点闭合，1、2 接点断开，用户线的直流环路中串有隔直流电容 C，用户线直流环路断开。交换机通过检查用户线的状态，能检测到用户话机处于挂机状态。

② 振铃状态。在振铃状态下，电话机的连接情况与挂机状态相同，不同的是交换机的振铃发生器这时接入用户直流环路。由于振铃发生器发出的是 25Hz 的交流信号，该信号能通过隔直流电容，使电话机中的振铃装置发出振铃声。

③ 摘机状态。在摘机状态下，叉簧的 1、3 接点断开，1、2 接点闭合，用户线的直流环路闭合，向交换机发出摘机信号。

④ 拨号状态。采用直流脉冲拨号时，电话机的短路接点 M 闭合，拨号接点 D 根据用户拨号的数字，有规律地断开若干次，例如，如果用户拨的数字是 5，则拨号接点 D 断开 5 次，向交换机发出 5 个脉冲，代表各个拨号数字的脉冲串之间由位间隔分开。位间隔指分隔各个脉冲的一段较长的闭合时间。

### （2）双音多频（DTMF）电话机的工作原理

DTMF 电话机简化的原理图如图 1-2 所示。DTMF 电话机与拨号脉冲电话机的工作原理基本相同，其主要区别是拨号方式，DTMF 信号用高、低两个不同的频率代表一个拨号数字。DTMF 话机号盘频率编码如表 1-1 所示。

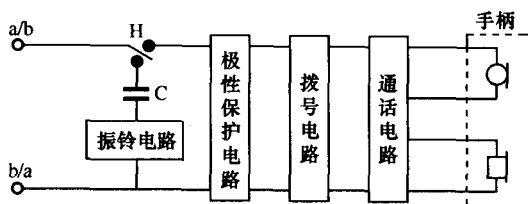


图 1-2 DTMF 电话机简化的原理图

表 1-1

DTMF 话机号盘频率编码

|       | 1209Hz | 1336Hz | 1477Hz | 1633Hz |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 697Hz | 1      | 2      | 3      | A      |
| 770Hz | 4      | 5      | 6      | B      |
| 852Hz | 7      | 8      | 9      | C      |
| 941Hz | *      | 0      | #      | D      |

DTMF 信号的频带范围在话音频带的范围内, 所以能通过交换机的数字交换网络在局间中继正确传输。

### 1.1.3 交换机的基本组成及其工作原理

#### 1. 交换机的基本组成及功能

交换机的硬件系统基本组成如图 1-3 所示, 它是由用户电路、中继器、交换网络、信令设备和控制系统这几部分组成的, 其功能如下。

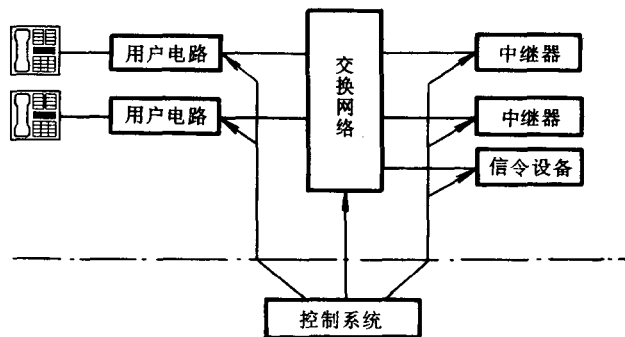


图 1-3 交换机的基本组成

- **用户电路**：用户电路是交换机与用户话机的接口。
- **中继器**：中继器是交换机与交换机之间的接口。
- **交换网络**：交换网络用来完成任意两个用户之间, 任意一个用户与任意一个中继器之间, 任意两个中继器之间的连接。
- **信令设备**：用来接收和发送信令信息。
- **控制系统**：控制系统是交换机的指挥中心, 接收各个话路设备发来的状态信息, 确定各个设备应执行的动作, 向各个设备发出驱动命令, 协调各设备共同完成呼叫处理和维护管理任务。

#### 2. 呼叫处理的基本过程

下面以本局呼叫为例, 简要说明呼叫处理的基本过程。

##### (1) 用户呼出阶段

在用户呼出阶段, 交换机按照一定的周期检查每一条用户线的状态。当发现用户摘机时,

交换机就根据用户线在交换机上的安装位置找到该用户的用户数据，并对其进行分析。如该用户有权发起呼叫，交换机就寻找一个空闲的收号器并通过交换网络将该用户电路与收号器连接，向用户送拨号音，进入收号状态。

#### （2）数字接收及分析阶段

该阶段是处理任务最繁重的一个阶段。在此阶段，交换机接收用户拨号。对于直流拨号脉冲方式，每次收到的是一个脉冲，并由信令接收程序将收到的多个脉冲装配为拨号数字；而对于 DTMF 信号，每次收到的是一个数字。当交换机收到一定位数的号码后将进行数字分析，从而确定呼叫的类型、路由等。当数字分析的结果是本局呼叫时，就通知信令接收程序继续接收剩余号码。

#### （3）通话建立阶段

当被叫号码收齐后，交换机根据被叫号码查询被叫的用户数据。若被叫空闲且未登记与被叫有关的新业务（如呼叫前转），交换机就在交换网络中寻找一条能将主叫用户和被叫用户连接的通路，并预先占用该通路，同时向被叫用户送振铃信号，向主叫用户送回铃音。

#### （4）通话阶段

当被叫用户摘机应答后，交换机停止向被叫用户送振铃信号，停止向主叫用户送回铃音，将交换网络中连接主、被叫用户的链路接通，同时启动计费，呼叫处理进入通话阶段。

#### （5）呼叫释放阶段

在通话阶段，交换机如果发现一方挂机时，就给另一方送忙音。当双方都挂机时，交换机就收回此次呼叫占用的资源，停止计费，呼叫处理结束。

从以上呼叫处理的过程看出，可将呼叫的全过程分为若干稳定状态，交换机每次对呼叫的处理，总是使呼叫由一个稳定状态转移到另一个稳定状态。

## 1.2 电话交换机的类型及发展

自从 1876 年贝尔发明电话以来，为适应多个用户之间电话交换的要求，出现了多种类型的交换机：人工电话交换机、机电制电话交换机和程控交换机。

人工电话交换机是由话务员完成转接的。

机电制电话交换机主要有步进制交换机和纵横制交换机。步进制交换机的基本特点是由用户话机发出的拨号脉冲直接控制交换机的步进选择器动作，从而完成电话的自动接续。纵横制交换机的出现，是电话交换技术进入自动化以后具有重要意义的转折点。纵横制的技术进步主要体现在两个方面：一是采用了比较先进的纵横接线器，杂音小，通话质量高，不易磨损，寿命长，维护工作量少；二是采用公共控制方式，将控制功能和话路设备分开，使控制部分可以独立设计，功能加强，灵活性提高，接续速度快，便于汇接和选择迂回路，实现长途自动化。公共控制方式的实现孕育着计算机程序控制方式的出现。

1965 年，美国开通了世界上第一台程控交换机，在电话交换机中引入了计算机控制技术，这是交换技术发展中具有重大意义的转折点。程控交换机可分为模拟程控交换机和数字程控

交换机。模拟程控交换机的控制部分采用计算机控制，而话路部分传送和交换的仍然是模拟的话音信号。20 世纪 70 年代开始出现了数字程控交换机，数字程控交换机是数字通信技术、计算机与大规模集成电路相结合的产物。与模拟程控交换机不同，数字程控交换机在话路部分交换的是经过脉冲编码调制（Pulse Code Modulation, PCM）后的数字化的话音信号，数字交换机的交换网络是数字交换网络，用户话机发出的模拟话音信号在数字交换机的用户电路上要转换为 PCM 信号。

数字程控交换机的主要优点如下。

① 能灵活地向用户提供多种新服务功能。

采用存储程序控制（SPC）技术，可以通过软件方便地增加或修改交换机软件，向用户提供各种新业务，如缩位拨号、闹钟服务、呼叫等待和呼叫前转等。

② 便于采用共路信令系统。

共路信令是指在交换系统的控制设备之间相连的信令链路上传送多条话路的信令，只有采用 SPC 方式，才能促进共路信令的实现和发展。

③ 体积小、重量轻、功耗低、可靠性高。

由于数字程控交换机一般采用大规模集成电路或专用集成电路，因而体积小、重量轻、功耗低、可靠性高。

④ 操作维护管理自动化。

使用软件技术，可以使交换系统的操作维护管理自动化，并可适应集中的维护操作中心和网络管理系统的发展。

我国的公用网是从 1982 年开始引进数字程控交换机的，经过近 20 年的努力，我国的数字电话网得到了很大的发展，基本上已实现传输数字化、交换程控化。截至 2004 年 12 月，我国固定电话用户已到 3.12 亿户。

## 1.3 主要的交换方式

现代通信网中采用的交换方式主要有电路交换方式和分组交换方式，ATM 交换、帧中继和 IP 交换采用的都是分组交换方式。

### 1.3.1 电路交换

电路交换是最早出现的一种交换方式。电话交换一般采用电路交换方式。电路交换方式是指两个用户在相互通信时使用一条实际的物理链路，在通信过程中自始至终使用该条链路进行信息传输，同时不允许其他用户终端设备共享该链路的通信方式。

电路交换属于电路资源预分配系统，即在一次接续中，电路资源预先分配给一对用户固定使用，不管电路上是否有数据传输，电路一直被占用着，直到通信双方要求拆除电路连接为止。

电路交换的特点如下。

① 在通信开始时要首先建立连接。

② 一个连接在通信期间始终占用该电路，即使该连接在某个时刻没有信息传送，该电路也不能被其他连接使用，电路利用率低。

③ 交换机对传输的信息不作处理，对交换机的处理要求简单，但对传输中出现的错误不能纠正。

④ 一旦连接建立以后，信息在系统中的传输时延基本上是一个恒定值。

综上所述，电路交换是固定分配带宽，连接建立以后，即使无信息传输也要占用电路，电路利用率低；要预先建立连接，有一定的连接建立时延，通路建立后可实时传送信息，传输时延一般可以不计；无差错控制措施，对数据传输的可靠性没有分组交换高；一旦通信建立，在数据传输过程中，一般不需要交换机进行处理，交换节点的处理负担轻。电路交换适合传输信息量较大且传输速率恒定的业务，如电话通信业务，但不适合突发业务和对差错敏感的数据业务。

### 1.3.2 分组交换

分组交换（Packet Switching）原来是为完成数据通信业务发展起来的一种交换方式，由于分组交换技术的迅速发展，现在利用分组交换技术不仅可以用来完成数据通信业务，也可以用来完成语音和视频通信。分组交换利用存储—转发的方式进行交换。在分组交换方式中，首先将需传送的数据报文划分为一定长度的分组，并以分组为单位进行传输和交换。在每个分组中都有一个3~10个字节的分组头，在分组头中包含有分组的地址和控制信息，以控制分组信息的传输和交换。

分组交换采用统计复用方式，电路的利用率较高。但统计复用的缺点是有产生附加的随机时延和丢失数据的可能。这是因为用户传送数据的时间是随机的，若多个用户同时发送分组数据，则必然有一部分分组需要在缓冲区中等待一段时间才能占用电路传送，若等待的分组超过了缓冲区的容量，就可能发生部分分组的丢失。

另外，在分组交换中普遍采用逐段反馈重发措施，以保证数据传送是无差错的。所谓逐段反馈重发，是指数据分组经过的每个节点都对数据分组进行检错，在发现错误后要求对方重新发送。

分组交换有两种方式：虚电路（面向连接）方式和数据报（无连接）方式。

#### 1. 虚电路方式

所谓虚电路是指两个用户在进行通信之前要通过网络建立逻辑上的连接。建立连接时，主叫用户发送“呼叫请求”分组，该分组包括被叫用户的地址及为该呼叫在出通路上分配的虚电路标识，网络中的每一个节点都根据被叫地址选择出通路，为该呼叫在出通路上分配虚电路标识，并在节点中建立入通路上的虚电路标识与出通路上的虚电路标识之间的对应关系，向下一节点发送“呼叫请求”分组。被叫用户如果同意建立虚电路，可发送“呼叫连接”分组到主叫用户。当主叫用户收到该分组时，表示主叫用户和被叫用户之间的虚电路已建立，可进入数据传输阶段。

在数据传输阶段，主、被叫之间可通过数据分组相互通信，在数据分组中不再包括主、被叫地址，而是用虚电路标识表示该分组所属的虚电路，网络中各节点根据虚电路标识将该

分组送到呼叫建立时选择的下一通路，直到将数据传送到对方。同一报文的不同分组沿着同一路径到达终点。

数据传送完毕后，每一方都可释放呼叫，网络释放该呼叫占用的资源。

虚电路不是电路交换中的物理连接，而是逻辑连接。虚电路并不独占电路，在一条物理线路上可以同时建立多个虚电路，以达到资源共享。

虚电路方式在一次通信过程中分为呼叫建立、数据传输和释放呼叫3个阶段，有一定的处理开销。一旦虚电路建立，数据分组按已建立的路径通过网络，分组按发送顺序到达终点。虚电路在每个中间节点不需进行复杂的选路，对数据量较大的通信有较高效率，但对故障较为敏感，当传输链路或交换节点发生故障时可能引起虚电路的中断。

ATM和帧中继采用虚电路方式。

## 2. 数据报方式

数据报方式是独立地传送每一个数据分组。每一个数据分组都包含终点地址的信息，每一个节点都要为每一个分组独立地选择路由，因此一份报文包含的不同分组可能沿着不同的路径到达终点。

数据报方式在用户通信时不需有呼叫建立和释放阶段，对短报文传输效率比较高，对网络故障的适应能力较强，但属于同一报文的多个分组独立选路，故接收端收到的分组可能失去顺序。

IP交换采用的是数据报方式。

# 1.4 我国电话通信网的结构和编号计划

我国的电话通信网采用分级网结构，包括长途电话网和本地电话网两大部分。我国的电话通信网过去长期采用五级网的结构，其中长途电话网长期采用四级网络结构。随着通信技术的进步、长途骨干光缆的铺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，整个电话通信网相应地由五级网向三级网过渡，即两级的长途交换中心和一级的本地交换中心。而且，将来的长途电话网将进一步演变为动态无级网结构，整个电话通信网也将由三个层面组成，即长途电话网平面、本地电话网层面和用户接入网平面。在这种结构中，长途网将采用动态路由选择，本地网也可以采用动态路由选择，用户接入网将采用环形网结构并实现光纤化和宽带化。

## 1.4.1 长途电话网

我国长途电话通信网过去采用四级辐射汇接制的等级结构，近年采用两级网结构。

根据长途交换中心在网路中的地位和所汇接的话务类型不同，长途电话二级网将国内长途交换中心分为两个等级：汇接全省转接（含终端）长途话务的交换中心为省级交换中心，用DC1表示；汇接本地网长途终端话务的交换中心用DC2表示。

长途电话二级网的等级结构及网路组织示意图如图1-4所示。