



全国高等职业教育规划教材

现代通信系统 第4版

高健 刘玉洁 唐升 编著

- ◆ 通俗易懂，回避繁杂理论，简述通信专业基础知识。
- ◆ 完整精练，涵盖各类系统，概览现代通信网络全貌。
- ◆ 推陈出新，紧跟行业步伐，展现通信发展最新动态。

电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

现代通信系统

第4版

高 健 刘玉洁 唐 升 编著



机械工业出版社

本书综合介绍了现代通信网络中包含的各种系统和设备, 共分为 6 章, 第 1 章介绍了程控交换系统, 第 2 章介绍了数据交换系统, 第 3 章介绍了宽带交换系统, 第 4 章介绍了移动通信系统, 第 5 章介绍了数字传输系统, 第 6 章介绍了用户接入系统。

本书可作为高职高专院校通信、电子和计算机类专业的教材, 也可供中等技术水平以上的电信工程技术人员学习使用。

本书配套授课电子教案, 需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载, 或联系编辑索取 (QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代通信系统 / 高健, 刘玉洁, 唐升编著. —4 版. —北京: 机械工业出版社, 2013.12

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-44407-7

I. ①现… II. ①高… ②刘… ③唐… III. ①通信系统-高等职业教育-教材 IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 246242 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王 颖

责任印制: 李 洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2014 年 1 月第 4 版 · 第 1 次印刷

184mm×260mm · 14.25 印张 · 351 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-44407-7

定价: 29.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材

电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

于宝明	尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
孙 萍	朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳
杨打生	杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文
季顺宁	罗厚军	胡克满	姚建永	钮文良	聂开俊
夏西泉	袁启昌	郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健
曹 毅	章大钧	黄永定	曾晓宏	谭克清	戴红霞

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 蔡建军

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

20 世纪以来,通信技术取得了飞速发展,从人工交换到自动交换,从市内传输到长途传输,从语音业务到综合业务,通信技术已渗入社会的每个角落。传统通信模式已被现代通信系统所取代,以宽带交换、光纤传输和移动通信为代表的现代通信系统构成了庞大而复杂的现代通信网,将整个世界紧密地联系在一起。

为了使学生在有限的学时内了解现代通信系统的原理、熟悉现代通信技术的概念、掌握现代通信网的组成,我们将以往单独设置的“程控交换”、“数据传输”、“移动通信”、“数字通信”、“光纤通信”、“卫星通信”和“用户接入网”等课程合并为一门综合课程,即“现代通信系统”。本书就是专门为这门课程编写的教材。

现代通信系统集成了电子信息技术、通信技术和计算机技术等多学科知识,需要具备一定的理论知识才能学习和掌握。传统教学方法是先学“通信原理”或“通信技术基础”这类纯理论课程,然后再学习“现代通信系统”这门实用课程。但本书采取了“需要就补,补够即可”的原则,在相应章节中加入了一些通信基础知识,并且回避了公式推导及逻辑分析。在介绍系统原理时,只讲框图或模块。这样,便满足了部分专业单独开设“现代通信系统”课程的需要。

本书全面介绍了现代通信系统的组成,既讲述了基本知识和基本原理,又介绍了新技术和新发展。相比第 3 版,第 4 版增补了近几年刚刚出现的一些通信新技术和新设备,如 LTE 技术、PTN 技术和 Wi-Fi 技术等;同时删除了部分陈旧内容,如综合业务数字网、数字微波系统等,章节组合重新作了调整。使用更加简洁、更加形象化的语言对系统原理进行了介绍,对技术概念进行描述,更加方便教师讲解和学生阅读。全书共分为 6 章,第 1 章介绍了程控交换系统,第 2 章介绍了数据交换系统,第 3 章介绍了宽带交换系统,第 4 章介绍了移动通信系统,第 5 章介绍了数字传输系统,第 6 章介绍了用户接入系统。

现代通信系统是一个完整的网络,任何通信设备如果离开了这个网,都是没有价值的。在学习过程中,要注意建立通信网的概念,强调只有组成一个网,各类通信设备才能发挥作用。要把系统和网络结合起来,学习某个系统之前要清楚这个系统在通信网中的位置与作用,同时要注意将前后章节贯穿起来(书中所有章节内容贯穿在一起就是一个完整的现代通信网络)。

本书可作为高职高专电子和计算机类专业的专业课教材,也可作为通信类专业的专业基础课教材,建议教学课时数为 70 学时。

本书的第 4 章由唐升编写,第 5 章及各章的实训由刘玉洁编写,其余各章节的内容由高健编写。高健负责全书的统稿工作。罗华斌担任本书的主审。

在本书的编写和修订过程中,得到了中国移动珠海分公司、珠海银邮光电技术公司和珠海东耀通信公司等多家企业的大力支持,在此深表感谢。

通信技术日新月异,包罗万象,本书在内容上难免有疏漏之处,恳请业内专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 程控交换系统	1	2.2.3 信道资源的分配方式	34
1.1 电话交换简介	1	2.2.4 X.25 协议标准	36
1.1.1 交换技术的发展	1	2.2.5 分组交换的管理功能	37
1.1.2 电话交换网的组成	3	2.3 帧中继	40
1.1.3 程控交换机的基本组成	4	2.3.1 发展帧中继的必要性	40
1.1.4 PCM 调制	6	2.3.2 帧中继技术概述	40
1.2 数字交换网络	8	2.3.3 帧中继协议	41
1.2.1 时分复用	8	2.3.4 帧中继网络	43
1.2.2 时隙交换	10	2.4 DDN 转接系统	44
1.2.3 多级组合交换网络	12	2.4.1 系统构成	44
1.3 用户电路	14	2.4.2 DDN 的优点	47
1.4 中继电路	16	2.4.3 DDN 的应用与发展	48
1.4.1 数字信号的常用码型	16	2.5 实训 帧中继的	
1.4.2 时钟提取	18	配置	49
1.4.3 码型变换	19	2.6 习题	53
1.4.4 帧同步和复帧同步	20	第 3 章 宽带交换系统	54
1.5 信令系统	22	3.1 ATM 交换	54
1.5.1 信令的概念	22	3.1.1 ATM 信元的结构	55
1.5.2 信令的编码方式	23	3.1.2 虚通道和虚信道	56
1.5.3 信令网	25	3.1.3 ATM 交换的基本原理	58
1.6 实训 程控交换机的		3.1.4 ATM 交换机的结构	60
开机启动	25	3.1.5 ATM 协议的参考模型	62
1.7 习题	27	3.2 ATM 与 IP 的融合	63
第 2 章 数据交换系统	28	3.2.1 互联网的形成	64
2.1 数据通信基础	28	3.2.2 融合方案	67
2.1.1 数据与语音的区别	28	3.3 IP 交换	69
2.1.2 数据通信的交换方式	29	3.3.1 IP 交换概述	69
2.1.3 数据通信系统的组成	30	3.3.2 IP 交换机原理	70
2.2 分组交换	31	3.4 MPLS 交换	72
2.2.1 分组交换方式	31	3.4.1 MPLS 基本概念	72
2.2.2 虚电路的建立与释放	32	3.4.2 MPLS 的专业术语	73

3.4.3	MPLS 的工作原理	74	4.8	习题	128
3.4.4	标记交换路由器结构	75	第 5 章	数字传输系统	129
3.5	软交换	76	5.1	数字信号的调制与复接	129
3.5.1	软交换概述	76	5.1.1	数字信号的调制	129
3.5.2	软交换网络体系结构	77	5.1.2	数字复接技术	131
3.5.3	软交换网络功能结构	80	5.2	光纤通信系统	133
3.5.4	软交换网络主要协议	82	5.2.1	光纤通信概述	133
3.6	实训 数据交换机房 的构建	83	5.2.2	光纤与光缆	134
3.7	习题	84	5.2.3	光纤通信系统的组成	139
第 4 章	移动通信系统	86	5.2.4	波分复用	142
4.1	移动通信简介	86	5.3	卫星通信系统	143
4.1.1	移动通信的特点	86	5.3.1	卫星通信概述	143
4.1.2	移动通信系统的分类	87	5.3.2	卫星通信系统的组成	146
4.1.3	移动通信系统的组成	88	5.3.3	通信卫星	147
4.2	移动通信的组网技术	88	5.3.4	地面站	151
4.2.1	频率管理	88	5.3.5	低轨道卫星通信系统	151
4.2.2	多址接入技术	90	5.4	SDH 传输系统	154
4.2.3	区域覆盖方式	92	5.4.1	SDH 的基本概念和特点	154
4.3	移动通信的交换控制技术	93	5.4.2	SDH 的帧结构	155
4.3.1	位置管理	93	5.4.3	SDH 网络设备	156
4.3.2	越区切换	94	5.4.4	SDH 的复用结构	159
4.3.3	漫游服务	96	5.5	基于 SDH 的多业务传送 平台	162
4.4	GSM 移动通信系统	96	5.5.1	概述	162
4.4.1	GSM 系统概述	97	5.5.2	以太网业务封装技术	164
4.4.2	GSM 系统结构	99	5.5.3	VC 级联技术	167
4.4.3	GPRS 系统	101	5.5.4	链路容量调整机制	168
4.5	第 3 代移动通信系统	103	5.5.5	MSTP 业务	169
4.5.1	CDMA 基本原理	104	5.6	PTN 传输设备	172
4.5.2	CDMA 2000 系统	107	5.6.1	PTN 的技术优势	172
4.5.3	WCDMA 系统	109	5.6.2	PTN 设备结构与技术 特点	173
4.5.4	TD-SCDMA 系统	111	5.6.3	PTN 的组网模式	175
4.6	第 4 代移动通信系统	115	5.7	实训 SDH 设备网元 配置	177
4.6.1	LTE 概述	115	5.8	习题	178
4.6.2	LTE 网络架构	117	第 6 章	用户接入系统	179
4.6.3	LTE 关键技术	119	6.1	基本概念	179
4.6.4	LTE 物理层概要	122	6.1.1	接入网的定义与定界	180
4.7	实训 移动通信基站 现场勘测	126			

6.1.2 V5 接口	181	6.3.1 无线本地环路系统	203
6.1.3 接入网采用的主要技术 ...	182	6.3.2 WLAN 与 Wi-Fi	204
6.1.4 接入网的分类	184	6.3.3 WiMax 技术与标准	212
6.2 有线接入网	184	6.4 实训 接入网机房的	
6.2.1 双绞线接入网	185	构建	217
6.2.2 光纤接入网	192	6.5 习题	218
6.2.3 混合接入网	200	参考文献	219
6.3 无线接入网	203		

第 1 章 程控交换系统

现代通信的起源可以说是从电话开始的，电话满足了人们相互之间进行信息交流的需要。如今，电话通信已经普及到千家万户。人们使用电话离不开电话交换机，交换机能够将任意两个电话用户接通。众多交换机连在一起就构成电话交换网，通过这个网，世界各地的电话用户可以相互通话。当前，电话交换已经普遍采用了程序控制技术和数字通信技术。本章我们就将简单介绍有关电话交换的基本情况，如交换机的发展过程、电话网的组成、交换原理以及交换机的硬件和软件结构等。

1.1 电话交换简介

电话交换的过程中要经过电话机、交换机以及电话交换网。电话交换技术的发展也是经历了这样的过程。一百多年来，这一技术得到了巨大的发展和广泛的应用，无论是在结构方面，还是功能方面，都已日趋成熟。

1.1.1 交换技术的发展

1875 年，美国人贝尔发明了电话。最初的电话通信只能在固定的两部电话机之间进行，如图 1-1a 所示。这种固定的两部电话机之间的通话显然不能满足人们对社会交往的需要，人们希望有选择地与对方通话，例如张三希望有选择地与李四或王五通话。为了满足张三的要求，就需要为他安装两部电话机，一部与李四相连，另一部与王五相连。同时，要分别架设从张三到李四和王五的电话线，如图 1-1b 所示。可以想象，按照这种方法，随着通话方数量的增加，要安装的电话机和要架设的电话线的数量将会迅速增加，显然是不可取的。因此，要想办法解决这个问题，也就是既要实现一方有选择地与其他各方通话，又要使配置的设备最经济合算、利用率高。



图 1-1 电话机间的固定连接

a) 两个用户时的连接情况 b) 3 个用户时的连接情况

为了解决上面提到的问题，人们想到建立一个电话交换站，所有电话机都与这个交换站相连，如图 1-2 所示。站里有一个人工转接台，转接台的作用是把任意两部电话机接通。当某一方需要呼叫另一方时，他先通知转接台的话务员，告诉话务员要与谁通话，话务员根据

他的请求把他与对方的电话线接通。这就解决了一方有选择地与其他各方通话的问题，而且连线也少。



图 1-2 电话机与电话交换站的连接

这种电话交换站的功能就是早期的电话交换，属于人工交换。人工交换依靠的是话务员的大脑和手。1878 年，美国人设计并制造了第一台磁石人工电话交换机。用户打电话时，需摇动磁石电话机上的发电机，发送一个信号给交换机，话务员提起手柄，询问用户要和谁通话，然后按用户要求将接线塞子插入被叫用户插孔，并摇动发电机，使被叫电话机铃响，被叫用户拿起话机手柄即可进行通话。通话完毕，双方挂机，相应指示灯灭，这时话务员将连接双方的接线塞子拔下，整个通话过程结束。

磁石人工交换机自身需要安装干电池来为碳粒送话器供电，加上手摇发电振铃的方法极不方便，为了解决这些问题，1882 年，出现了共电人工交换机和与之配套的共电电话机。与磁石电话机相比，共电电话机去掉了手摇发电机，也不用安装干电池，用户电话机的通话电源和振铃信号都由交换机集中供给，用户发呼叫和话终信号通过叉簧的接通与断开自动控制。

人工交换的缺点是显而易见的，速度慢、容易发生差错和难以做到大容量。如果能用机器来代替话务员的工作，那就能大大提高电话交换的工作效率，并且能大大增加交换机的容量，适应人们对电话普及的要求，这就引出了自动电话交换机的产生。

1892 年，美国人史端乔发明了第一台自动电话交换机，起名史端乔交换机，也叫步进制交换机，采用步进制接线器完成交换过程。步进制交换机是第 1 代自动交换机，以后步进制交换机又经过不断改进，成为 20 世纪上半叶自动交换机的主要机种，曾为电话通信立下汗马功劳。后来瑞典人发明了一种交换机，称为纵横制交换机，采用纵横制接线器。与步进制交换机相比有以下改进：入线数量和出线数量可以更多，级与级之间的组合更加灵活；其次，机械磨损更小，维护量相对更小；另外，它的接续过程不是由拨号脉冲直接控制的，而是由称为“记发器”的公共部件接收拨号脉冲，由称为“标志器”的公共部件控制接续。简单来讲，纵横制交换机的接续过程是这样的，用户的拨号脉冲由记发器接收，记发器通知标志器建立接续。

步进制交换机和纵横制交换机都属于机械式的，入线和出线的连接都是通过机械触点，触点的磨损是不可避免的，时间一长难免接触不良，这是机械式交换机固有的缺点。随着电子技术的发展，人们开始考虑改进交换机。从硬件结构上来说，交换机可分成话音通路部分和接续控制部分两大部分，对交换机的改造也要从这两部分入手。

计算机技术的产生和发展为人类技术进步、征服自然创造了有力的武器。随着计算机技术的发展，人们逐步建立了“存储程序控制”的概念。交换机中接续控制部分的工作由计算机来完成，这样的交换机就称为“程控交换机”。1965 年，世界上第一台程控交换机开通运行，它是美国贝尔公司生产的 ESS No.1 程控交换机。这种程控交换机的话路部分还是机械触点式的，传输的还是模拟信号，固有缺点仍没有克服，它实际上是“模拟程控交换机”。

后来出现了一种新的技术，使话路部分的改造出现了曙光，这就是脉冲编码调制技术，简称为 PCM。1970 年，世界上开通了第一台“数字程控交换机”，它就是在程控交换机中引入 PCM 技术的产物，由法国制造。数字程控交换机的话路部分完全由电子器件构成，克服了机械式触点的缺点。从此以后，数字程控交换机得到了迅猛的发展。目前世界上公用电话网几乎全部是数字程控交换机。数字程控交换机有许多优点，它可以为用户提供一些新型业务，如缩位拨号、三方通话和呼叫转移等。本章提到的程控交换机实际均是指数字程控交换机。

1.1.2 电话交换网的组成

随着社会经济的发展，人们不仅要进行本地电话交换，而且需要跟全国各地，甚至世界各地进行通话联系，这样就要考虑如何把各地的电话连接起来，也就是如何组建电话网。

如果现在想打一个国际长途电话，那么只要按照被叫号码拨足够的位数，就能与国外的某个用户通话。这样的通话由于距离很远，只经过一个交换机是不可能接通的，一定要经过多个交换机才能完成。图 1-3 是一次国际通话的连接示意图，广州用户连接在本地的一台交换机上，这个交换机称为“端局”。端局将用户的国际呼叫连接到“汇接局”，汇接局的作用是将不同端局来的呼叫集中后送到“长途局”。长途局与长途传输线路相连，它的任务是将呼叫送到长途传输线上。经过几个长途局中转后，这个呼叫就被送到北京的“国际局”，国际局是对外的出入口，国际局通过国际长途线路与日本东京的国际局连通，呼叫被接到东京的国际局以后，再经过东京的长途局转接到大阪的汇接局和端局，最后到达被叫用户。

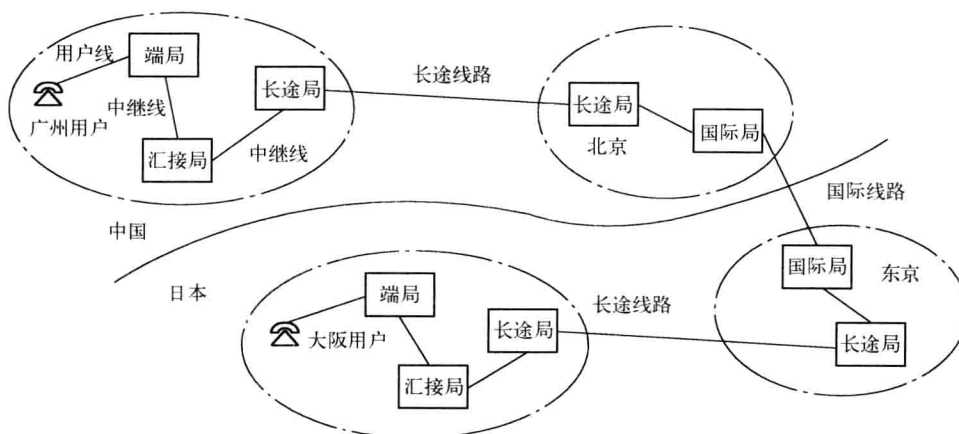


图 1-3 一次国际通话的连接示意图

交换局和交换局之间的连接电路称为“中继线”。由各类交换局和中继线就构成了电话交换网。最大的交换网是公用电话交换网（PSTN），它是由电信运营商经营、向全社会开放的通信网。此外，还有一些专用电话交换网，这些电话网是由一些特殊部门管理的（如公安、铁路、电力等部门），只为本部门服务，不对外经营。由于公用电话交换网很大，网络组成比较复杂，所以人们又把这个网划分为 3 部分。

- 本地电话网（或称为市话网）
- 国内长途电话网
- 国际长途电话网

图 1-4 是本地电话网组成的一个例子。本地网是指覆盖一个城市或一个地区的电话网，网内各用户之间的通话不必经过长途局。本地网内仅有端局和汇接局，端局是直接连接用户的交换局，汇接局不直接连接用户，它只连接交换局（如端局、长途局）。在本地网中，由于端局数量比较多，如果在每一个端局与其他端局之间都建立直达中继线，也称为“直达路由”，那么中继线的数量就会很多，敷设中继线的投资就会很大。另外，如果某两个端局之间用户通话的次数不多，这两个端局间中继线的利用率就不高。因此，在本地网中各端局之间不一定都有直达中继线，在下面两种情况时可能会有，即两个端局之间的通话量比较大或两个端局之间的距离比较近时。当端局之间没有直达中继线时，端局和端局之间的连接就要靠汇接局来建立，这称为“迂回路由”。如图 1-4 所示，两个端局之间可能直接连接，也可能通过一个汇接局或多个汇接局建立连接，每个汇接局之间都有直达中继线。

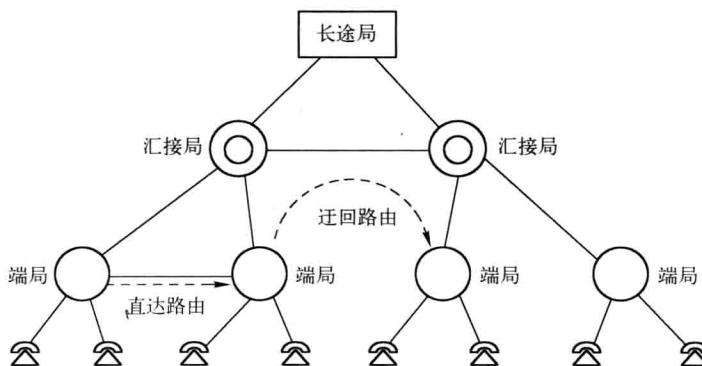


图 1-4 本地电话网组成的示意图

1.1.3 程控交换机的基本组成

程控交换机是指用计算机来控制的交换系统，它由硬件和软件两大部分组成，这里所说的基本组成只是它的硬件结构。图 1-5 是程控交换系统的基本组成框图，它的硬件部分可以分为话路子系统和控制子系统两个子系统。整个系统的控制软件都存放在控制系统的存储器中。

1. 话路子系统

话路子系统由交换网络、用户电路、中继电路和信号终端等几部分组成。交换网络的作用是为话音信号提供接续通路并完成交换过程；用户电路是交换机与用户线之间的接口电路，它的作用有两个，一是把模拟话音信号转变为数字信号传送给交换网络，二是把用户线上的其他大电流或高电压信号（如铃流等）和交换网络隔离开来，以免损坏交换网络；中继电路是交换网络和中继线之间的接口，中继电路除具有与用户电路类似的功能外，还具有码型变换、时钟提取和同步设置等功能。信号终端负责发送和接收各种信号，如向用户发送拨号音、接收被叫号码等。

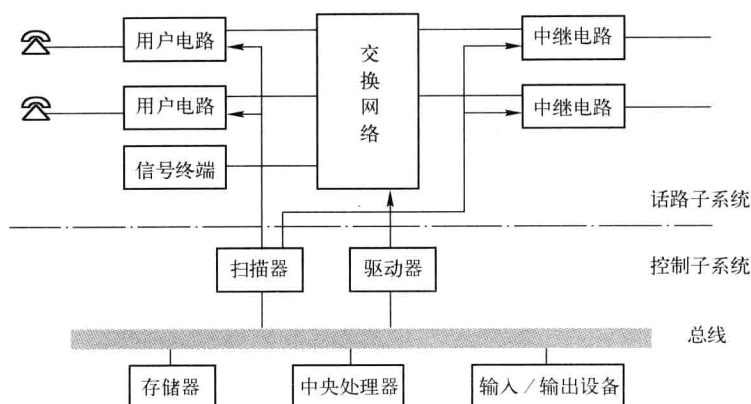


图 1-5 程控交换机的基本组成框图

2. 控制子系统

控制子系统的功能包括两个方面：一方面是对呼叫进行处理；另一方面对整个交换机的运行进行管理、监测和维护。控制子系统的硬件是由扫描器、驱动器、中央处理器、存储器和输入输出设备等几部分构成。扫描器是用来收集用户线和中继线信息（如忙闲状态），用户电路与中继电路状态的变化通过扫描器可送到中央处理器中；驱动器是在中央处理器的控制下，使交换网络中的通路建立或释放；中央处理器也称为 CPU，它可以是普通计算机中使用的 CPU 芯片，也可以是交换机专用的 CPU 芯片；存储器负责存储交换机的工作程序和实时数据；输入/输出设备包括键盘、打印机和显示器等，从键盘可以输入各种指令，进行运行维护和管理等，打印机可根据指令定时打印出系统数据。

控制子系统是整个交换机的核心，负责存储各种控制程序，发布各种控制命令，指挥呼叫处理的全过程，同时完成各种管理功能。由于控制系统担负如此重要的任务，为保证其安全可靠地工作，提出了集中控制和分散控制两种工作方式。

所谓集中控制是指整个交换机的所有控制功能，包括呼叫处理、障碍处理、自动诊断和维护管理等各种功能，都集中由一部处理器来完成，这样的处理器称为中央处理器（即 CPU）基于安全可靠起见，一般需要两片以上 CPU 共同工作，采取主备用方式；分散控制是指多台处理器按照一定的分工，相互协同工作，来完成全部交换的控制功能，如有的处理器负责扫描，有的负责话路接续。多台处理器之间的分工方式有以下几种：功能分担方式、负荷分担方式和容量分担方式。

3. 用户交换机

交换机按用途可分为局用交换机和用户交换机两类。局用交换机用于电话局所辖区域内用户电话的交换与局间电话的交换，一般端局和汇接局内采用的都是局用交换机。用户交换机也称为小交换机（PBX），用于单位内的电话交换以及内部电话与公共电话网的连接，它实际上是公共电话网的一种终端，可以将用户线与局用交换机连接，也可以将中继线与局用交换机连接。用户交换机与局用交换机之间的连接方式有多种，最常见的是半自动中继方式和全自动中继方式。

如何确定用户交换机和公用网之间的中继电路数量呢？首先要承认这样一个事实，就是

所有分机用户不可能在同一个时间内都与公用网上的用户通话，同一时间内只能保证部分分机用户与公用网用户通话。基于这个事实，两局之间的中继电路数量必然要小于分机用户的数量。在这个前提下，中继电路数量配置太多，将会造成不必要的浪费；中继电路数量太少，有可能造成分机用户经常打不出去或外部用户打不进来，这称为“呼损”，也就是呼叫失败。工程设计中常用“呼损率”来衡量呼损情况，它是一个百分比，是呼叫失败次数与总呼叫次数之比。在确定用户交换机和公用网之间的中继电路数量时，既要考虑减少呼损率，又要考虑提高电路利用率。一般分机用户呼出的呼损率不应大于 1%，公用网呼入的呼损率不应大于 0.5%。

1.1.4 PCM 调制

话音信号是模拟信号，送到数字程控交换机里后，必须转换为数字信号，即完成模数转换。模数转换技术有很多种，最常用的是 PCM，即脉冲编码调制，简称为 PCM 调制。它的任务就是把时间连续、幅值连续的模拟信号变换为时间离散、取值离散的数字信号，并按一定规律组合编码，形成数字信号。该过程由抽样、量化和编码 3 个步骤组成。

1. 抽样

抽样又称为取样，是指每隔一定的时间间隔抽取模拟信号的一个瞬时幅度值（称为抽样值或样值）。由此得出的一串在时间上离散的抽样值称为样值信号。抽样的实现是在信号的通路上加一个电子开关，按一定的速率进行开关动作。当开关闭合时，信号通过；当开关断开时，信号被阻断。这样，通过开关后的信号就变成了时间上离散的脉冲信号，如图 1-6 所示。

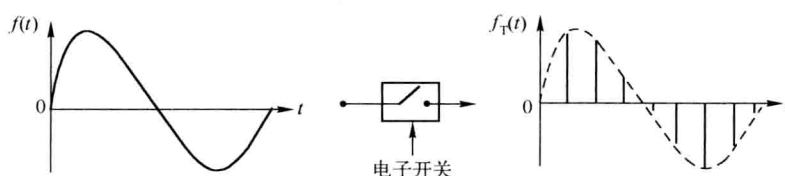


图 1-6 抽样的示意图

可能有人会问：采用这种方式，通话岂不会断断续续？其实这正是数字通信的特点。当我们通过抽样把话音这样连续的模拟信号变成断续的脉冲信号时，只要断续的速度足够快，用户听起来就不会有断续的感觉。这如同我们看电影一样，当胶片旋转的足够快，能够达到 1s 转过 24 张胶片时，人眼是感觉不到胶片有断续的。那么，1s 应该传送多少个脉冲才能让我们的耳朵感觉不到断续呢？下面的抽样定理告诉了结论。

抽样定理：一个模拟信号 $f(t)$ ，它所包含的最高频率为 f_H ，对它进行抽样时，如果抽样频率 $f_s \geq 2f_H$ ，则从抽样后得到的样值信号 $f_T(t)$ 可以无失真地恢复原模拟信号 $f(t)$ 。例如，一路电话信号的频带为 300~3400Hz，则抽样频率 $f_s \geq 2 \times 3400 = 6800\text{Hz}$ 。一般经常选定 $f_s = 2f_H = 8000\text{Hz}$ ， $T_s = 1/f_s = 125\mu\text{s}$ 。

2. 量化

模拟信号经过抽样以后，在时间上离散化了，但幅值（即抽样值）仍然可能出现无穷多种。如果要想用二进制数字完全无误差地表示这些幅值，就需用无穷多位二进制数字编

码才能做到，这显然是不可能的。实际上，只能用有限位数的二进制数字来表示抽样值。这种用有限个数值近似的表示某一连续信号的过程称为“量化”，也就是分级取整。例如，我们将-4V 到+4V 的抽样值分为 8 级，每级 1V，即-4~-3V 的都取为-3.5V，称为第 0 级，-3~-2V 都取为-2.5V，称为第 1 级，…，3~4V 都取为 3.5V，称为第 7 级。这样就把零散的抽样值整理为 8 个量化值（-3.5V，-2.5V，…，3.5V），对应为 8 个量化级（0，1，2，…，7）。图 1-7 示出的是采用取中间值法对模拟信号进行抽样、量化和编码时的结果。

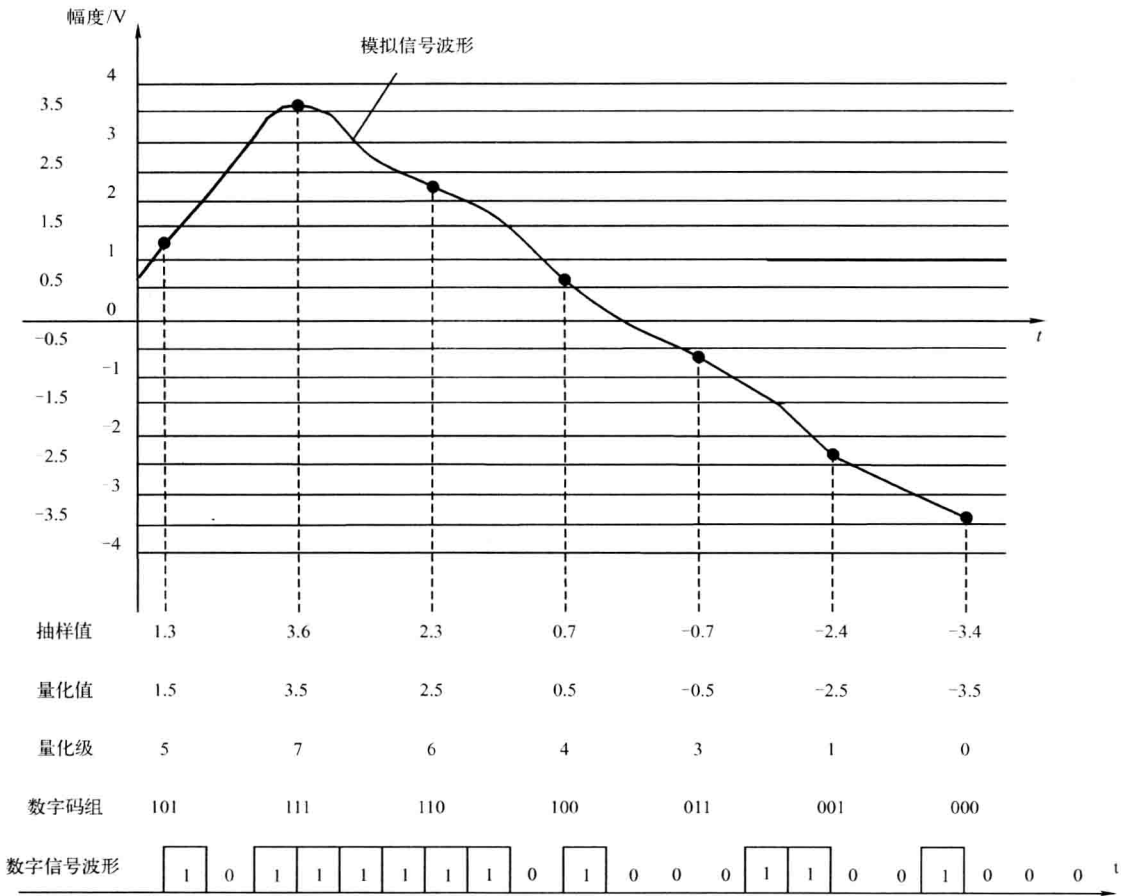


图 1-7 PCM 抽样、量化和编码的波形图

在以上介绍的量化方法中，量化前的信号幅度与量化后信号的幅度出现了不同。这一差值称为量化误差。量化误差在重现信号时将会以噪声的形式表现出来，我们称它为“量化噪声”。对于均匀分级的量化，其量化噪声也是均匀的，这样对于小信号的影响就会比较大，故要求减少小信号时的量化噪声，或者说要求减少小信号时的量化误差。一般来说可以有两种解决办法：一种是将量化级差分得细一些，这样可以减少量化误差，从而减少量化噪声，但是这样一来，量化级数多了，就要求有更多位编码及更高的码速，也就是要求更高的编码器，这样做不太合算；另一种办法是采用非均匀量化分级，就是说将小信号的量化级差分得

细一些，将大信号的量化级差分得粗一些，这样可以使得在保持原来量化级数的条件下，将小信号时的信噪比予以提高，从而减少对小信号的影响，这种作法称为“压缩扩张法”。

3. 编码

编码就是给每个已量化的电平赋予一个特定的二进制代码，如量化级 4 可用二进制码元“100”表示，量化级 6 可用二进制码元“110”表示。最常用的编码规则是自然码。表 1-1 给出了自然码的编码规则（以 3 位二进制数码为例）。

表 1-1 自然码的编码规则

量化值	0	1	2	3	4	5	6	7
编码	000	001	010	011	100	101	110	111

每一个量化级对应一个代码，量化级数 M 与代码位数 N 的关系是固定的，即 $M=2^N$ 。在数字电话通信中，标准编码位数 $N=8$ ，故量化级数应为 $M=2^8=256$ 。从前面已经知道，对话音信号进行抽样时的抽样周期为 $T_s=125\mu\text{s}$ ，这就意味着在这个周期里要传送 8 个二进制代码，这样每个代码所占用的时长为 $T_B=125/8=15.625\mu\text{s}$ 。

经过编码后就可以得到图 1-7 最下面所示的数字信号。由上可知，在数字通信传输中，信息可以用二进制代码来表示的。而二进制代码是用 1 和 0 这两种符号来代表的。这种在通信中传送的数字信号的一个波形符号被称为“码元”，它所包含的信息量称为比特（bit）。

在通信进入数字化时代后，不论信息是什么形式，是文字、数据、话音或是图像，其信息量都可以用比特为单位来表示。因此，比特已成为现代信息技术领域里应用最广的单位，甚至有人把今天的世界称为“比特世界”。在数字通信系统中，通常是用单位时间里传送信息量的多少来衡量系统的有效性，它反映了这个系统传送信息的能力，简称为传输速率或码速。所用的单位就是 bit/s（比特/秒）。它是数字传输的度量单位，常用的单位还有：kbit/s 和 Mbit/s。

1.2 数字交换网络

对于模拟信号来说，话音电路的交换就是物理电路之间的交换，也就是说在交换网络的入端和出端两条电路之间建立一个实际的连接即可。在程控交换机中，为便于传输与处理，常将多条话路信号复用在一起（一般是在一条传输线上复用 30 条话路），然后再送入交换网络。对于采用时分复用的数字信号来说，话音电路之间的交换就不那么简单了，因为在一条物理电路上顺序地传送着多路话音信号，每路信号占用一个时隙，要想对每路信号进行交换，就不能简单地将实际电路交叉连接起来，而是要对每一时隙进行交换。所以说，在数字交换网络中对话音电路的交换实际上是对时隙的交换。

1.2.1 时分复用

一条传输线路或一条通路只传输一路信号显然利用率太低，如何让多路信号共同在一条线路上传输，这就是多路复用技术。它的基本方法是使多路信号在进入同一条线路传送之后相互分离，互不干扰。常用的方法有频分复用、时分复用和码分复用。