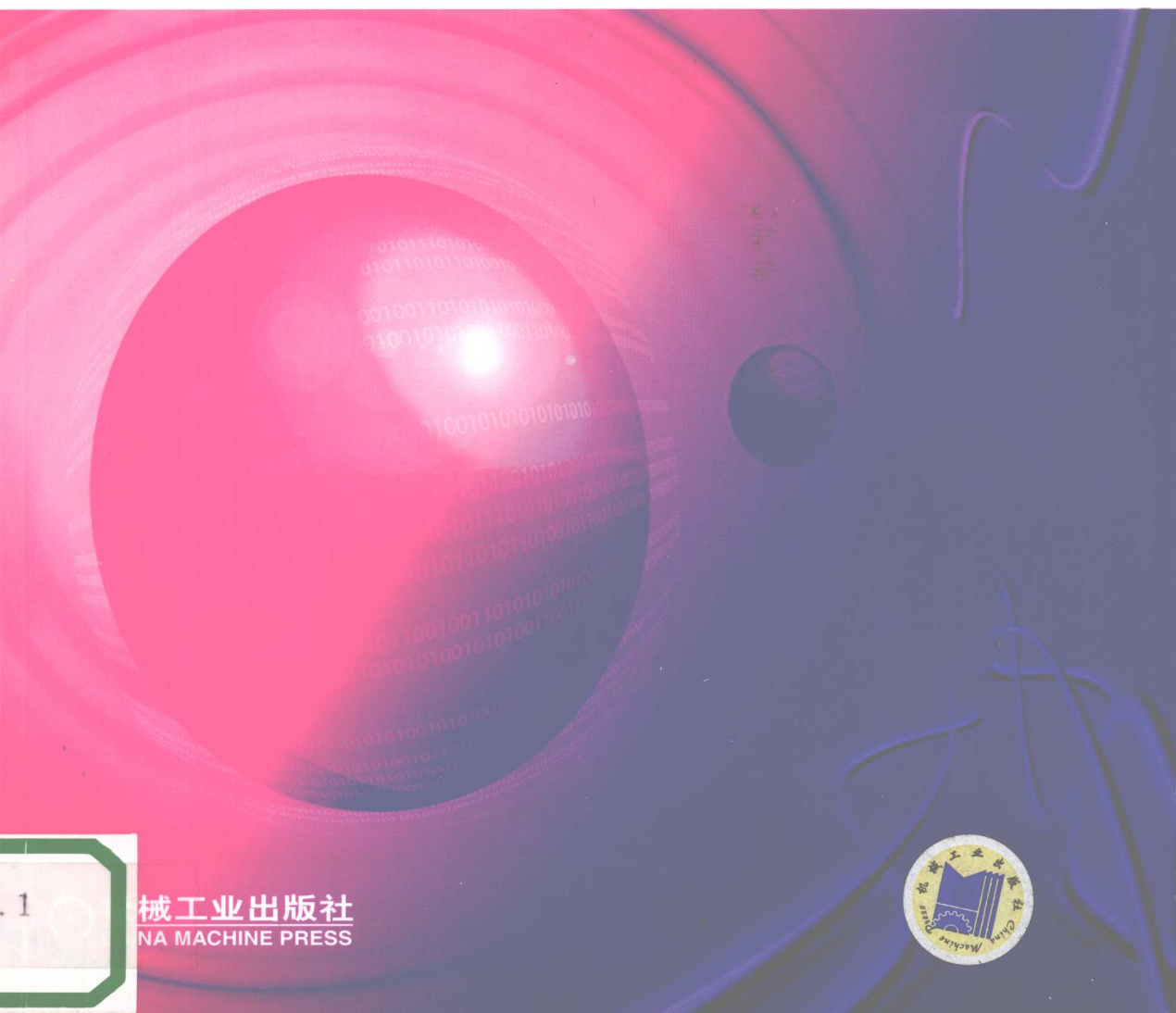


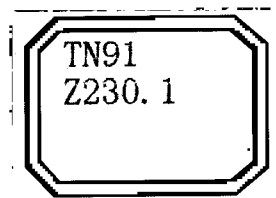
通信技术基础

张有光 林国钧 柳海燕 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





通 信 技 术 基 础

张有光 林国钧 柳海燕 编



机 械 工 业 出 版 社

本书以深入浅出的方式,概要地介绍了通信的发展历史和通信的基本概念,包括电话网络、微波通信系统、光纤通信系统、卫星通信系统、移动通信系统以及数据交换。读者通过阅读本书,可以对现代通信手段和通信基本概念有一个比较系统的了解。

本书可供想了解通信知识的读者作为入门性参考书,也可以作为校际公共选修课的教材。

图书在版编目(CIP)数据

通信技术基础/张有光等编. —北京:机械工业出版社, 2005 (2006.7 重印)

ISBN 7-111-17547-6

I. 通... II. 张... III. 通信技术—基本知识
IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 116787 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:张沪光 版式设计:冉晓华 责任校对:唐海燕

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

169mm×239mm·5.875 印张·227 千字

4001—6000 册

定价:16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线(010)88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

由于当代通信技术的迅速发展,通信已经渗透到各行各业,并深刻改变了人们的生活和工作方式,使得许多非专业人士和在校大学生迫切希望了解当今通信方面的知识。作者结合通信技术的发展,并在多年教学与科研实验的基础上编写了此书。

本书首先介绍基本概念、通信方式的产生和发展历史,然后介绍系统的组成和原理、主要特点、工作过程以及主要的应用领域等,还在每章的最后给出小结、推荐读物和思考题。

本书共分7章,第1章概要介绍通信的产生,通信的基本要求以及基本通信系统组成。第2章介绍电话网,包括电话、交换机的产生和发展历史,电话网的组成,电话业务和非电话业务,电话的工作过程。第3章介绍了微波通信和扩频通信的发展历史,微波通信系统的组成、微波通信的主要特点、微波中继通信在电信网络中的位置,微波通信系统的应用情况,扩频通信的基本原理、主要特点以及应用。第4章介绍了光纤通信系统的产生和发展历史,光纤通信系统的组成和基本原理,光纤通信新技术以及光纤通信的应用。第5章介绍卫星通信的发展历史,卫星通信系统的组成和基本原理,卫星通信的主要特点,卫星通信的工作过程,几种卫星通信系统以及卫星通信的应用领域。第6章介绍了公众移动通信系统的产生和发展历史,移动通信的系统组成和基本原理,移动通信的主要特点,移动通信的工作过程,还介绍了WAP、GPRS以及第三代移动通信。最后一章介绍了分组交换、帧中继和ATM交换的产生和发展历史,三种交换网络的主要特点、基本原理以及应用范围。

本书第1、7章以及每一章的小结、推荐读物和思考题由张有光编写,第2、3、5、6章由林国钧编写、第4章由柳海燕编写。全书由张有光统稿,全书的文字编排和插图的绘制由柳海燕完成。

由于时间和作者水平有限，难免有错误和遗漏之处，希望同行和读者批评指正。

编 者

2005 年 8 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 通信的诞生	1
1.2 通信的基本概念	3
参考文献	4
第2章 电话及电话通信网	5
2.1 基本概念及名词解析	5
2.2 电话的诞生及基本原理	6
2.3 电话交换技术的诞生与发展	8
2.3.1 交换的必要性	8
2.3.2 步进制自动电话交换机	10
2.3.3 纵横制自动电话交换机	11
2.4 程控交换机	11
2.4.1 交换中的线路复用技术	12
2.4.2 程控交换机原理简述	14
2.4.3 程控交换机的优越性	17
2.4.4 我国程控交换机发展历史	18
2.5 电话网的组成、结构及应用	19
2.6 非语音业务在电话网中的应用	22
2.6.1 图文传真业务	22
2.6.2 综合业务数字网 (ISDN)	23
2.6.3 非对称数字用户线环路 (ADSL)	26
2.6.4 IP电话	29
本章小结	30
思考题	30
参考文献	30
第3章 微波通信	31
3.1 微波通信概论	31

3.1.1 微波通信的基本概念	31
3.1.2 微波通信的主要特点	32
3.2 无线电波的传播特性	32
3.3 微波通信发展简史	33
3.4 我国微波通信发展历史	34
3.5 微波通信系统组成与频率特点	35
3.5.1 微波通信系统的组成	35
3.5.2 微波天线	37
3.5.3 抛物面天线	39
3.5.4 微波馈线系统	40
3.5.5 微波通信系统的频率设置	40
3.5.6 微波信道传输	42
3.5.7 数字微波通信系统的构成与特点	46
3.6 微波扩频通信	49
3.6.1 扩频通信发展历史	49
3.6.2 扩频通信的基本概念	49
3.6.3 扩频通信的特点	52
3.6.4 扩频通信工作原理及工作方式	53
3.7 微波通信发展趋势	56
本章小结	57
思考题	57
参考文献	57
第4章 光纤通信	58
4.1 基本概念	58
4.2 光纤通信的历史	58
4.2.1 原始的光通信	58
4.2.2 近代光电话	59
4.2.3 光纤通信的起源	59
4.2.4 我国光纤通信发展历史	61
4.3 光纤传输原理与特性	61
4.3.1 光纤结构及光波传播	62
4.3.2 光纤的传播模式	64
4.3.3 光纤信号的衰减	65
4.3.4 光纤的三个“窗口”	67
4.3.5 光纤通信的特点	69

4.4 光纤通信系统的组成	70
4.4.1 光源	70
4.4.2 光发射机	72
4.4.3 光中继器	72
4.4.4 光接收机	73
4.5 光纤通信新技术	74
4.5.1 波分复用技术 (WDM)	74
4.5.2 掺铒光纤放大器 (EDFA)	74
4.5.3 全光网络	75
本章小结	77
思考题	77
参考文献	78
第5章 卫星通信	79
5.1 卫星通信概况	79
5.1.1 基本概念	79
5.1.2 卫星通信的主要优点	79
5.1.3 卫星通信的主要缺点	80
5.1.4 卫星通信的技术特点	80
5.2 卫星通信发展历史	82
5.3 我国卫星通信的简史	84
5.4 卫星通信系统的组成	85
5.4.1 天上的卫星	86
5.4.2 卫星地球站	88
5.4.3 地面遥测与测控站以及监控管理系统	91
5.5 卫星通信工作过程	91
5.6 移动卫星通信	92
5.6.1 移动通信卫星的特点	92
5.6.2 移动通信卫星的组成	93
5.6.3 移动卫星通信的分类	94
5.6.4 几个典型的移动卫星系统介绍	96
5.7 VSAT 卫星通信网	101
5.7.1 VSAT 卫星通信的诞生	101
5.7.2 VSAT 卫星通信的特点	102
5.7.3 VSAT 网络的通信业务范围	102
5.7.4 VSAT 网络的组成	103

5.7.5 我国 VSAT 应用情况	104
5.7.6 VSAT 网络的发展前景	105
本章小结	106
思考题	107
参考文献	107
第 6 章 公众移动通信系统	108
6.1 移动通信基本概念	108
6.1.1 基本概念	108
6.1.2 移动通信的主要特点	110
6.2 移动通信发展历史	110
6.3 移动通信系统的多址接入技术	115
6.4 全球移动通信系统 (GSM)	117
6.4.1 GSM 数字移动电话系统组成	117
6.4.2 移动通信系统的主要功能	120
6.4.3 全球移动通信信道	121
6.4.4 全球移动通信系统工作过程	124
6.4.5 无线应用协议 (WAP)	128
6.4.6 通用分组无线业务 (GPRS)	131
6.5 CDMA 数字移动电话系统	135
6.5.1 CDMA 数字移动电话系统的特点	135
6.5.2 国内外的 CDMA 技术应用	136
6.5.3 CDMA 与 GSM 移动电话系统	136
6.6 第三代移动通信系统	136
6.6.1 IMT-2000 的设计目标	137
6.6.2 IMT-2000 的频带划分	137
6.6.3 IMT-2000 的主要业务	138
6.6.4 我国的 TD-SCDMA	138
6.7 无线市话系统 (俗称“小灵通”)	139
本章小结	140
思考题	141
参考文献	141
第 7 章 数据交换	143
7.1 数据通信基本概念	143
7.2 数据交换网的发展历史	144
7.2.1 分组交换网的发展历史	144

7.2.2 帧中继的发展历史	145
7.2.3 ATM 技术的发展历史	145
7.2.4 我国分组交换的历史	146
7.3 分组交换系统简介	147
7.3.1 分组交换基本原理	147
7.3.2 分组交换业务	150
7.3.3 分组交换接入方式和终端类型	152
7.3.4 分组交换的主要特点	153
7.3.5 分组交换的应用	153
7.4 帧中继技术	155
7.4.1 帧中继基本原理	155
7.4.2 帧中继技术应用	156
7.4.3 帧中继网络的用户接入	158
7.4.4 帧中继的主要特点	159
7.5 ATM 交换技术	161
7.5.1 ATM 产生背景	161
7.5.2 ATM 的基本原理	162
7.5.3 ATM 的主要特点	164
7.5.4 ATM 与 IP	165
7.5.5 ATM 交换网络的主要应用	167
本章小结	168
思考题	169
参考文献	169
附录 英文缩略语对照	170

第1章 绪 论

电话机、手机和上网现在已经非常普及了。电话机,在20世纪90年代初期我国还只是大城市少部分家庭才能拥有,如今在许多乡村也已经普及了。手机发展速度就更快了,今天生活在城市里的人没有手机的倒成了少数。十几年来,通信的发展速度在我国十分惊人。通信正在快速地改变着人们的生活、学习和工作方式。1999年财富论坛将信息产业列为四大朝阳产业之首,到2003年,信息产业已成为我国第一大产业。

通信产业的快速发展引起了大家的极大兴趣。什么是通信、通信的目标是什么、通信系统的组成方式、通信发展的趋势,这些都是大家很想了解的问题。

1.1 通信的诞生

自从有了人类活动,人们就开始寻求各种方法来扩展自身的感知范围,因此就有了“千里眼”和“顺风耳”这样的神话。在我国的古代,就曾经利用烽火台传送边疆警报。当我们登上长城时,还能够看到烽火台的遗迹。无独有偶,在古希腊,曾经用火炬的位置表示字母符号,一站一站地传送信息。这种借助光线传播方法来扩展人类视距范围的方法,已有几千年的历史,甚至今天在一些特殊场合还在使用。类似地,利用击鼓鸣金来报时和传递作战命令,这是一种扩展人类语音传播范围的方法。历史上还出现过用信鸽、旗语、驿站等传送消息的方法。这些扩展人类感知范围的方法是最原始的通信方式。

然而这些原始的通信方式,在传输距离、速度、可靠性与有效性等方面都存在严重的缺陷。比如烽火台传送边疆警报,虽然可以采用一站一站接力传送来延伸距离,但是随着距离的延伸,导致传输时间直线增加(每个烽火台点火需要时间),另外传送的信息内容十分有限(只能给出边疆警报)、不能全天候使用(雾天无法使用)、可靠性较差(容易受到其他烟火的干扰而误报)。因此烽火台传送信息这一方式的应用范围极为有限,只能用于传送边疆警报的场合,无法推广到其他应用场合。

直到19世纪初,人们开始利用电信号传输消息,通信才发生了根本性的变化。1837年,莫尔斯发明了电报码,他利用“点”(接通电路时间较短)、“划”(接通电路时间3倍于“点”的时间)、“空”(断开电路)的不同组合来表示各种字母、数字和标点符号(简称字符),这种方式称为莫尔斯电码。1837年莫尔斯

发明了电报机,1844年莫尔斯在华盛顿到巴尔的摩相距64km距离上成功地实现了电报码的传送。它可以传送任意文字内容,每秒钟能够传送几个字符,在电报机之间采用电信号的方式(光速)进行传送,也即在很短时间内能将信息从电报机的一端传送到另一端。只要一对电报机及其连线正常,在任何时候都可以传送电报,不再受天气影响。与原始的通信方式相比,电报通信无论在传输距离、传输速度,还是在传输可靠性和有效性方面产生了极大的变化。因此很快被应用于军事、商业等许多领域,电信业务也随之应运而生。电报通信业务的产生,使得铁路调度成为可能,大幅度地提高了铁路的运输效率,成为推动铁路发展的重要因素之一。同样,由于电报通信业务大大提高了新闻的时效性,成为新闻事业繁荣的重要因素。

但久而久之,人们对电报通信又有点不满足了。因为发一份电报,需要先拟好电报稿,然后再译成电码,交给报务员发送出去;对方报务员收到报文后,先把电码译成文字,然后投送给收报人。这样虽然电报机之间传送的速度很快,但是原始信息发送者到最后接收者的全过程中,由于包含较多的人工手续,使得实际传递时间较长,达到几小时甚至更长时间。要得到对方的回电,还需要等更长的时间。这里我们可以看到,电报通信与面对面交流存在较大差距。

1876年电话的发明改变了这一状况。电话,只要人们对着电话机直接说话,电话机能够将语音信号转变为电信号,然后沿着导线传送到接收方,接收方的电话机再将电信号还原成语音信号,接收者就能够听到语音。这样相距很远的两个朋友就可以像面对面一样进行交流,十分方便。电话代表着效率上的一次飞跃,人们不必再去写信、拍电报,然后等待回音。因此在随后的几年里,电话取得了迅速的、无与伦比的商业成功。今天电话机已经成为人们工作、生活中不可缺少的通信工具。在城市、城镇几乎达到家家都有,每天少不了打电话的程度。

电报的广泛使用和电话的普及,可以归结为几个方面的因素:

- 1) 使用方便 电话无论男女老少一学就会,拿起电话拨完电话号码接通以后就可以通话。电报虽然比电话要麻烦,但是与原始的通信方式相比还是方便、优越得多。
- 2) 传递快速 电话无论有多远,只要有电话线能接通,就可以实时地传送,也即我们在打电话时几乎感觉不出距离的远近。同样,两台电报机之间电报码的传递速度极快,距离对通信也几乎没有影响。
- 3) 信息量大 与烽火台传送边疆警报方式相比,无论是电报还是电话,能够传送的信息量要大得多,不仅可以传递是否有警报,而且可以传递警报的细节。
- 4) 传输距离远 电报和电话通信,虽然发明初期传输距离很近,但随后很快突破了距离的限制。今天可以实现全球任何两个地方之间的通信。

5) 传输可靠 对电话通信方式来说,只要线路不出故障就可以全天候的通信。传输的内容也可以做到几乎没有错误。如今天我们打电话时,声音很清晰。

6) 费用合理 用户在使用通信手段时,费用肯定是一个需要考虑的因素。费用低,则用户多且使用量也会大一些,如使用 IP 电话,长途电话费较低,今天打长途电话聊天已经非常普遍。不像十几年前那样,没有大事就不会打长途电话。

正是电报、电话这两种通信方式,在以上几个方面与原始的通信方式相比有本质的区别,才有 100 多年以来电信事业的快速发展,并对现代社会产生深远的影响。电报、电话的这些特点是从用户角度说的,大家可以从使用电话的经验中体会到的。实际上,以上六个方面的特点也是用户对所有通信系统的基本要求。

为了使电报、电话或者说新的通信手段达到和超越以上六条要求,将面临许多技术挑战,如传输距离、通信容量、传输质量等。面对这些挑战,人们做出了种种努力,取得了辉煌的成就。

1.2 通信的基本概念

电信网络体系可以简单分为终端、传输和交换三个部分,如图 1-1 所示。

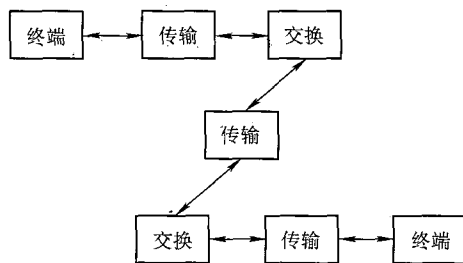


图 1-1 基本电信网络示意图

就传统的电话网来说,终端就是电话机,电话机到用户交换机之间的传输线路就是普通电话线,而交换机之间传输线路(也称中继线路)为同轴电缆,而交换则由交换机来实现。100 多年来,终端、传输和交换都得到了快速的发展。

首先在传输技术方面,由于 20 世纪 40 年代无线方式的微波中继接力通信技术的发展,逐渐在一些场合(难以架线、难以维护或者自然灾害频繁)代替同轴电缆,微波中继通信在 50 年代成为长途通信中的重要传输手段。在一些重要场合,为了提高通信网络的可靠性,有线通信与微波通信互为备用,共同承担电信的传输任务。60~70 年代卫星通信商用化以后,首先成为国际长途通信的主要

传输手段,并逐渐扩展到国内长途通信的一些场合。到80年代以后,光纤通信成为长途通信的主要手段,不但在国内长途通信,而且在跨洋通信方面承担主要任务。这样通信网络根据传输的性能要求、地理气候条件、经济条件等多种因素来选择传输手段。

在终端到交换机之间的传输方面,从最初的只有固定电话连线一种,发展到固定无线本地环路和蜂窝移动通信等多种方式。无线本地环路方式是传统固定通信方式的一种补充,在一些新建小区和用户比较分散的乡村发挥着重要的作用。而蜂窝移动通信,包括第一代、第二代和第三代移动通信,也可以看成是一种接入方式,因为它通过无线基站进入固定通信系统。它与前两者相比,其特殊性在于终端的移动性,移动通信为用户提供了其他通信方式无法比拟的方便性,因此发展十分迅速。

在交换技术方面,电话网络中的交换从最初的人工交换、步进制交换、纵横制交换,发展到程控交换。电话交换是采用电路交换方式,也就是说通信链路是由拨号呼叫建立的,在通话没有结束之前一直维持同样的带宽资源。随着计算机的产生和发展,数据通信应运而生,而数据的交换则需要借助于分组交换方法,它最初采用X.25协议,然后逐渐发展到帧中继、ATM以及交换多兆位数据业务。目前它们在通信网络中发挥着重要的作用,各种交换技术的发展和运用,大大提高了网络资源的利用率。电话网和计算机网络最初是独立发展的,但由于中继传输和交换机的数字化,这两种网络逐渐走向融合,它们可以都采用同样的数据传输设备,只不过上一层的数据通信协议存在差别而已。从业务角度来说,最明显的例子是IP电话,通过市话网然后进入因特网再经过接收方的市话网,也就是说没有经过长途电信网而完成了长途通话。另外窄带和宽带ISDN业务,更是两种网络融合的见证。

有关它们的基本概念和工作原理,详细介绍请参看后面的各个相关章节。

参 考 文 献

下列文献[1]是一本科普读物。文献[2]对于数字蜂窝移动通信的发展历史和主要的技术有很好介绍。文献[3]是一本现代通信技术入门性教科书,内容较为全面,比本书要更为深入一些。文献[4]是一本高职的教科书,内容没有文献[3]全面。

- 1 季亚明主编. 通信的今天和明天. 北京: 科学出版社, 2000
- 2 G. 卡尔霍恩著. 数字蜂窝移动通信. 何英姿等译. 北京: 人民邮电出版社, 1997
- 3 纪越峰编著. 现代通信技术. 北京: 北京邮电大学出版社, 2002
- 4 高健主编. 现代通信系统. 第2版, 北京: 机械工业出版社, 2005

第2章 电话及电话通信网

自从电话机发明以后,朋友之间不出家门也能聊天的梦想成为了现实。从1876年电话的问世直至今今天,电话仍然是拥有用户数量最多、使用频率最高、成本较低的通信手段。随着通信技术的快速发展,电话通信网的容量越来越大,质量越来越高,并且在电话通信网上开展了多种数据通信业务,如图文传真业务(FAX)、综合业务数字网(ISDN)、IP电话、宽带接入等业务。

2.1 基本概念及名词解析

1) 电话终端 日常使用的电话机,能够实现语音与电信号之间的转换。

2) 电话交换机 根据用户信号(摘机、挂机、拨号)自动进行话路的接通与拆除的设备,它是电话网的核心。电话交换机经历了人工、步进制、纵横制发展到程控交换。从交换机的用途角度,交换机可以分为用户交换机和汇接交换机。

3) 传输线路 用户与交换机之间采用两线传输,收发两个方向使用同一对导线;交换机与交换机之间的传输线路称为中继线路,采用同轴电缆、微波、卫星和光纤等通信手段。每一路语音的传输带宽,模拟的为4kHz,数字的为64kbit/s。

4) 电话网络 成千上万部电话机之间相互通话,需要将每一部电话机连接到交换机上。一个大城市需建立多个电话分局,分局间采用局间中继线互连。分局数量很多时,需要建立汇接局,汇接局与所属分局以星形连接,汇接局之间是全互连的。分局之间通话需要经过汇接局转接。为了使不同城市用户能互相通话,需要建立长话局,长话局与市话分局(或者汇接局)间以长、市中继线相连。不同城市的长话局、长话汇接局间用长途中继线相连。

5) 综合业务数字网(ISDN) 俗称“一线通”。在一条电话线上实现语音、数据、传真等多种业务,数据传输速率可以达到128kbit/s。

6) 非对称数字用户线环路(ADSL) 俗称宽带上网,可以利用现有的电话线实现512kbit/s甚至更高的上网速率,并且上网不影响普通的电话业务。

7) IP电话 借助因特网来实现长途电话通信,可以大大节省长途电话的费用。

2.2 电话的诞生及基本原理

说到电话,自然要提到电话的发明者——亚历山大·贝尔。贝尔于1847年3月3日出生于苏格兰的爱丁堡。他的父亲和祖父都是著名的语音学家。他们在聋哑人中间工作过很多年,对人体发声器官的构造、功能和人的听觉特点等都有深入的研究。贝尔的父亲还创造出一套借助手势、口型来表达思想感情的“哑语”,给聋哑人带来很大的方便。贝尔生活这样的环境里,从小受到熏陶,对语音的传递产生了浓厚的兴趣。这为他后来发明电话打下了很好的基础。

1867年,贝尔20岁时在爱丁堡大学毕业。他又进了伦敦大学继续深造,还是攻读语音学。1871年在贝尔24岁时,他移居到美国马萨诸塞州的波士顿,开始了他的语音学和对有线电报的研究工作。

1837年,莫尔斯发明了有线电报,他利用点、划、空三种方式的适当组合,形成一种代码表示字母和数字,用来表达人类的语言信息,这就是著名的莫尔斯电码。

有线电报的发明,把人们想要传递的信息以30万 km/s 的速度传向远方。这是人类信息史上划时代的创举。但久而久之,人们又有点不满足了。

这种有线电报传递的具体过程如下:拟好电报稿——译成电码——交报务员发送出去——对方报务员收到报文——电码译成文字——投送给收报人。当收报人收到报文需要答复发报人时,仍要重复上面的过程。由此可见,有线电报虽然两个电报机之间传送的速度30万 km/s,但是传递过程中手续繁多,不能实时地进行双向信息交流,缺陷是明显的。

贝尔萌生了一个大胆的设想:在讲话的时候,如果能够使电流强度的变化模拟出声波的变化,那么用电流传递语音不就能够实现了吗?这个思想成了贝尔后来设计电话的理论基础。

他决心动身去华盛顿,向约瑟夫·亨利请教。亨利是电学史上一位很杰出的人物。他曾经同法拉第互相独立地发现电磁感应现象,即磁场发生变化时产生电流,电流运动或电场变化也可以产生电磁场。物理学中电感的单位就是用他的名字“亨利(H)”命名的。事实上,贝尔发明电话依据的就是电磁感应原理:声音的振动引起电流的波动,电流的波动又让电话机上的电磁铁磁场发生变化。贝尔忐忑不安地向这位73岁的老科学家谈了自己的设想之后,亨利饶有兴趣,称赞贝尔具有“伟大发明的创意”。当谈到自己缺乏继续进行这项研究的电学知识时,亨利告诉他两个字:“去学”。亨利的鼓舞给了贝尔从事电话研究的信心。贝尔回到波士顿,遵照亨利的指示,像莫尔斯当年一样,专心致志的读起电学来。他的业余时间全用在电学的研究上。

贝尔最初的设计是这样的：在一个圆筒底部蒙上一张薄膜，薄膜中央垂直连接一根炭棒，插在硫酸液里，人讲话会引起空气的振动，这种振动导致电话送话器上的薄膜（振动膜通常由一块钢片制成）跟着振动，振动膜的振动使电磁铁的磁场发生变化，接着在电磁感应的作用下，磁场变化使电话线中的电流强度发生波动。换句话说，磁场的变化最终引起电话另一端受话器的电流波动；而受话器这一端进行的是和送话器完全相反的过程。这样就实现了用电流传递声波。但是这次通话试验还是没有成功。

贝尔和他的助手沃森找到了失败的原因是他们的送话器和受话器灵敏度都太低了，所以声音微弱，很难辨别。吉他的共鸣启发了聪明的年轻人。贝尔马上设计、制造了一个音箱，用来提高送话器和受话器的灵敏度。

试验开始了，他们架好了电线。贝尔在实验室里，关严了门窗。沃森在隔着几个房间的另一头，把受话器紧紧贴在耳边。准备完毕，贝尔一面调整机器，一面对着送话器呼唤起来。沃森屏息静气地听着，受话器里的声音起初细如游丝，后来突然清晰地传出贝尔的喊声：“沃森先生，快来呀！我需要你！”。原来贝尔在操作机器的时候，不小心把硫酸溅到腿上，由于疼痛，他情不自禁地对着话筒呼唤求助。这是人类通过电话机传送的第一句话！沃森听到以后，惊喜万分，急忙呼唤贝尔的名字：“贝尔！我听见了！听见了！”。这时候两人欣喜若狂，互相大喊起来，互相拥抱起来。历史记下了这难忘的时刻：1875年6月2日。电话终于制作成功了，神话变成了现实。在试验成功当天晚上，贝尔写给母亲的信中预言：“朋友们各自留在家里，不用出门也能互相交谈的日子就要到来了！”

电话的基本工作原理是当发话者拿起电话机对着送话器讲话时，声带的振动激励空气振动，形成声波。声波作用于送话器上的振动膜，而振动膜的振动改变了碳粒的密度，也就是改变了电阻，从而改变了导电性能。这样，把人的声音转换成能够在导线中传输的电信号成为现实。这个电信号沿着电话线传送到对方电话机的受话器内，而受话器作用与送话器刚好相反，电信号使振动膜振动，把电信号转化为声波，通过空气传至人的耳朵中。图2-1是电话机的基本原理示意图。

在试验成功以后不久，贝尔的岳父哈伯德于1876年2月14日在贝尔毫不知情的情况下到专利局替他申请了电话发明专利。该专利申请于1876年3月3日也就是他29岁生日那天核准生效，并于3月7日正式公布专利权。这项专利号为美国专利174465号的发明后来成为商业史上最赚钱的发明之一。有趣的是在贝尔递交专利申请书的一天的几个小时后，另一位电话发明家格雷也递交了专利申请。因两者电话机的送话器在原理上雷同，因而格雷便向法院提出起诉。一场争夺电话发明权的诉讼案便由此展开，并一直持续了十多年。最后，法院根据贝尔的磁石电话与格雷的液体电话有所不同，而且比格雷早几个小时提交了专利申请等这些因素，做出了贝尔胜诉的判决，电话发明权案至此画上句号。尽管如