

高等学校教材

# 现代通信 技术基础

蒋青 主编  
蒋青 吕翊 李强 编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

TN91/109

2008

高等学校教材

通信工程专业教材

通信工程专业教材

# 现代通信 技术基础

蒋青 主编  
蒋青 吕翊 李强 编

## 内容简介

本书针对非通信类专业学生文化背景和素质层次各异的特点,以面向应用为目标,综合介绍现代通信领域涉及的通信技术的基本知识,以应用技术和近年来涌现的新技术为主,简化理论推导,着眼于通信技术的特点以及该技术在通信系统中的应用。

全书共分9章,内容包括绪论、通信传输技术、信道与信道复用、现代数字交换技术、光纤传输网技术、移动无线通信技术、Internet技术、多媒体通信技术、现代通信网。

本书可作为高等学校非通信类专业本科学生的教材,也可供相关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术基础/蒋青主编;蒋青,吕翊,李强编.

北京:高等教育出版社,2008.2

ISBN 978-7-04-023118-2

I. 现… II. ①蒋…②蒋…③吕…④李… III. 通信技术-高等学校-教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第203287号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 夏慧煜 封面设计 赵阳 责任绘图 朱静  
版式设计 张岚 责任校对 王效珍 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 北京明月印务有限责任公司

开本 787×960 1/16  
印张 25.75  
字数 480 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2008年2月第1版  
印次 2008年2月第1次印刷  
定价 29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23118-00

21 世纪是通信信息时代,网络、手机、计算机等与我们的生活息息相关,通信技术是信息化社会的技术支柱,各行各业都在广泛地应用通信技术。高校学生、工程技术人员和技术管理人员应能适应这一巨大变化,承担向信息化社会过渡的任务。目前,不仅传统电子、通信与信息工程等专业设置了“现代通信技术”课程,而且许多非通信专业也开设“现代通信技术基础”课程,目的是让学生建立通信系统以及通信技术的基本概念,以适应信息时代发展的需要。

编写此教材的目的是使非通信类专业的学生学习、了解通信技术的基本知识和技能,让学生建立整个通信系统全程全网的概念,拓宽视野,掌握通信技术领域的新成就,了解通信技术的发展动向。

本书的编写遵照“现代通信技术基础”课程教学大纲的基本要求。编者结合多年来积累的教学经验,编著《现代通信技术基础》一书,力求体现如下特色及编写基本要求:

① **符合高校非通信专业培养方案的要求。**针对非通信类专业学生文化背景和素质层次各异的特点,以面向应用为目标,综合介绍现代通信领域涉及的通信技术的基本知识,以应用技术和近年来涌现的新技术为主,简化理论推导,着眼于通信技术的特点以及该技术在通信系统中的应用。

② **注重系统性。**对通信技术的基本原理、技术特点及其应用,进行较为全面、系统的介绍,随着通信新技术的出现,教学内容与时俱进。

③ **强调实践性。**在介绍基本原理的同时,结合物理概念的表述,通过实例进行讲解,加强基本训练,营造思维空间,以培养学生分析问题和解决问题的能力。

④ **增强可读性。**为便于学生学习,教材编写由浅入深,循循善诱,叙述简明扼要、层次分明,重点突出。

本书首先介绍通信技术发展简史,并对整个通信系统与通信网进行概括性的介绍,之后分章对通信传输技术、信道与信道复用、现代数字交换技术、光纤传输网技术、移动无线通信技术、Internet 技术、多媒体通信技术、现代通信网等进行了全面系统的介绍。各章内容均按相

应技术的发展与现状、基本理论的构成、实际应用以及新技术的发展动向来阐述。

本书可作为高等学校非通信类专业本科学生的教材,也可供相关工程技术人员参考。

本书由蒋青担任主编并负责统稿。蒋青编写第1、2、3、4、6、7章;吕翊编写第5、9章;李强编写第8章。

南京邮电大学张力军教授担任本书的主审,对本书进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵意见和修改建议;在编写过程中得到高等教育出版社的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者

2007年5月

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....           | 1  |
| 1.1 通信技术的历史演进 .....      | 1  |
| 1.2 通信的基本概念 .....        | 11 |
| 1.2.1 消息、信号和信息 .....     | 11 |
| 1.2.2 通信系统的组成 .....      | 19 |
| 1.2.3 通信系统的分类 .....      | 22 |
| 1.2.4 通信系统的主要性能指标 .....  | 23 |
| 1.3 通信网概述 .....          | 25 |
| 1.3.1 通信网的概念 .....       | 25 |
| 1.3.2 通信网的组网结构 .....     | 27 |
| 1.3.3 通信网的质量要求 .....     | 28 |
| 1.4 通信技术的社会作用和发展趋势 ..... | 29 |
| 1.4.1 通信技术的社会作用 .....    | 29 |
| 1.4.2 通信技术的发展趋势 .....    | 31 |
| 思考题与习题 .....             | 32 |
| 第 2 章 通信传输技术 .....       | 34 |
| 2.1 引言 .....             | 34 |
| 2.2 模拟信号的数字化 .....       | 34 |
| 2.2.1 抽样定理 .....         | 35 |
| 2.2.2 量化 .....           | 39 |
| 2.2.3 脉冲编码调制 .....       | 44 |
| 2.3 离散信源编码 .....         | 49 |
| 2.3.1 信源编码的相关概念 .....    | 49 |
| 2.3.2 即时码及其构成 .....      | 51 |
| 2.3.3 编码效率 .....         | 54 |
| 2.3.4 几种常用的变长码编码方法 ..... | 55 |
| 2.4 差错控制 .....           | 61 |
| 2.4.1 差错控制的基本概念 .....    | 61 |
| 2.4.2 差错控制的基本原理 .....    | 63 |
| 2.4.3 简单的差错控制编码 .....    | 64 |
| 2.4.4 线性分组码 .....        | 67 |

|            |                       |            |
|------------|-----------------------|------------|
| 2.4.5      | 循环码 .....             | 73         |
| 2.4.6      | 卷积码 .....             | 76         |
| 2.4.7      | 其他几种常用的差错控制编码方法 ..... | 76         |
| 2.5        | 调制技术 .....            | 78         |
| 2.5.1      | 调制的基本概念 .....         | 78         |
| 2.5.2      | 模拟调制 .....            | 80         |
| 2.5.3      | 脉冲调制 .....            | 86         |
| 2.5.4      | 数字调制 .....            | 87         |
| 2.5.5      | 几种新型数字调制技术 .....      | 98         |
| 2.6        | 数字信号的基带传输 .....       | 99         |
| 2.6.1      | 基本概念 .....            | 99         |
| 2.6.2      | 数字基带信号的常用波形和码型 .....  | 100        |
| 2.6.3      | 数字基带传输研究的主要问题 .....   | 104        |
|            | 思考题与习题 .....          | 107        |
| <b>第3章</b> | <b>信道与信道复用 .....</b>  | <b>110</b> |
| 3.1        | 通信信道 .....            | 110        |
| 3.1.1      | 有线信道 .....            | 110        |
| 3.1.2      | 无线信道 .....            | 116        |
| 3.1.3      | 通信信道特性 .....          | 122        |
| 3.2        | 信道复用 .....            | 125        |
| 3.2.1      | 频分复用(FDM) .....       | 126        |
| 3.2.2      | 时分复用(TDM) .....       | 128        |
| 3.2.3      | 码分复用(CDM) .....       | 131        |
| 3.2.4      | 数字复接技术 .....          | 131        |
|            | 思考题与习题 .....          | 136        |
| <b>第4章</b> | <b>现代数字交换技术 .....</b> | <b>137</b> |
| 4.1        | 概述 .....              | 137        |
| 4.1.1      | 交换的概念 .....           | 137        |
| 4.1.2      | 交换方式的分类 .....         | 139        |
| 4.2        | 电路交换 .....            | 140        |
| 4.2.1      | 电路交换的基本过程 .....       | 140        |
| 4.2.2      | 电路交换技术的发展历程 .....     | 141        |
| 4.2.3      | 数字程控交换原理 .....        | 145        |
| 4.2.4      | 多速率电路交换和快速电路交换 .....  | 158        |
| 4.3        | 存储/转发交换 .....         | 159        |
| 4.3.1      | 报文交换 .....            | 159        |
| 4.3.2      | 分组交换 .....            | 160        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4.3.3 快速分组交换——帧中继 .....     | 164 |
| 4.4 ATM 交换 .....            | 165 |
| 4.4.1 ATM 的基本概念 .....       | 165 |
| 4.4.2 ATM 的异步交换原理 .....     | 167 |
| 4.4.3 ATM 交换的特点 .....       | 169 |
| 4.5 IP 交换 .....             | 170 |
| 4.6 软交换 .....               | 172 |
| 4.7 光交换 .....               | 174 |
| 思考题与习题 .....                | 176 |
| <b>第 5 章 光纤传输网技术</b> .....  | 178 |
| 5.1 光纤通信 .....              | 178 |
| 5.1.1 基本概念 .....            | 178 |
| 5.1.2 光纤的导光原理 .....         | 184 |
| 5.1.3 光纤的传输特性 .....         | 186 |
| 5.1.4 光端机 .....             | 186 |
| 5.2 SDH 光传输网 .....          | 193 |
| 5.2.1 SDH 的基本概念和特点 .....    | 193 |
| 5.2.2 SDH 的速率与帧结构 .....     | 197 |
| 5.2.3 SDH 的复用结构和步骤 .....    | 200 |
| 5.2.4 SDH 网络 .....          | 203 |
| 5.3 光纤通信新技术 .....           | 209 |
| 思考题与习题 .....                | 211 |
| <b>第 6 章 移动无线通信技术</b> ..... | 212 |
| 6.1 数字微波通信 .....            | 212 |
| 6.1.1 基本概念 .....            | 212 |
| 6.1.2 数字微波通信系统的组成 .....     | 214 |
| 6.1.3 微波通信的应用与发展 .....      | 217 |
| 6.2 卫星通信 .....              | 218 |
| 6.2.1 基本概念 .....            | 218 |
| 6.2.2 卫星通信系统的组成 .....       | 222 |
| 6.2.3 卫星通信的应用 .....         | 227 |
| 6.3 移动通信 .....              | 236 |
| 6.3.1 基本概念 .....            | 236 |
| 6.3.2 数字移动通信的基本技术 .....     | 241 |
| 6.3.3 GSM 数字蜂窝移动通信系统 .....  | 245 |
| 6.3.4 CDMA 数字蜂窝移动通信系统 ..... | 256 |
| 6.3.5 GPRS 技术 .....         | 261 |



|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 6.3.6 数字移动通信的发展 .....               | 265 |
| 6.4 无线局域网 .....                     | 272 |
| 6.4.1 基本概念 .....                    | 272 |
| 6.4.2 无线局域网的组成 .....                | 273 |
| 6.4.3 无线局域网标准简介 .....               | 276 |
| 思考题与习题 .....                        | 278 |
| <b>第7章 Internet 技术</b> .....        | 280 |
| 7.1 Internet 概述 .....               | 280 |
| 7.1.1 Internet 的概念 .....            | 280 |
| 7.1.2 Internet 的起源和发展 .....         | 280 |
| 7.1.3 Internet 的应用 .....            | 283 |
| 7.2 Internet 基础——计算机网络 .....        | 284 |
| 7.2.1 计算机网络 .....                   | 285 |
| 7.2.2 开放系统互连(OSI)参考模型 .....         | 286 |
| 7.2.3 网络互连 .....                    | 290 |
| 7.3 TCP/IP .....                    | 291 |
| 7.3.1 TCP/IP 的概念 .....              | 291 |
| 7.3.2 TCP/IP 模型 .....               | 292 |
| 7.4 Internet 地址表示技术 .....           | 293 |
| 7.4.1 IP 地址 .....                   | 293 |
| 7.4.2 Internet 的域名系统 .....          | 296 |
| 7.5 Internet 提供的主要服务 .....          | 299 |
| 7.5.1 电子邮件(E-mail) .....            | 299 |
| 7.5.2 远程登录(Telnet) .....            | 302 |
| 7.5.3 文件传输协议(FTP) .....             | 303 |
| 7.5.4 WWW 服务 .....                  | 305 |
| 7.5.5 其他 Internet 服务 .....          | 308 |
| 7.5.6 Internet 发展面临的主要问题和解决方案 ..... | 311 |
| 7.6 移动 IP 基本知识 .....                | 313 |
| 7.6.1 移动 IP 概述 .....                | 313 |
| 7.6.2 移动 IP 的网络结构 .....             | 314 |
| 7.6.3 移动 IP 的工作过程 .....             | 317 |
| 思考题与习题 .....                        | 318 |
| <b>第8章 多媒体通信技术</b> .....            | 319 |
| 8.1 多媒体通信概述 .....                   | 319 |
| 8.1.1 媒体和多媒体的基本概念 .....             | 319 |
| 8.1.2 多媒体信息的主要类型 .....              | 320 |

|              |                    |            |
|--------------|--------------------|------------|
| 8.1.3        | 多媒体通信及其主要特征 .....  | 321        |
| 8.1.4        | 多媒体通信业务类型 .....    | 322        |
| 8.1.5        | 多媒体通信的应用 .....     | 323        |
| 8.2          | 多媒体音频技术 .....      | 324        |
| 8.2.1        | 声音信号及数字化 .....     | 324        |
| 8.2.2        | 数据量与声音质量 .....     | 325        |
| 8.2.3        | 音频压缩编码技术 .....     | 325        |
| 8.3          | 多媒体图像视频技术 .....    | 330        |
| 8.3.1        | 数字图像基本概念 .....     | 330        |
| 8.3.2        | 图像数据压缩编码技术 .....   | 333        |
| 8.3.3        | 图像数据压缩国际标准 .....   | 338        |
| 8.4          | 多媒体通信系统 .....      | 344        |
| 8.4.1        | 电视会议系统 .....       | 344        |
| 8.4.2        | IP 电话系统 .....      | 350        |
| 8.5          | IP 多媒体子系统 .....    | 353        |
| 8.5.1        | IMS 的发展状况 .....    | 353        |
| 8.5.2        | IMS 的特点 .....      | 354        |
| 8.5.3        | IMS 的体系结构 .....    | 356        |
| 8.5.4        | IMS 提供的典型业务 .....  | 359        |
| 8.5.5        | IMS 与软交换的比较 .....  | 361        |
|              | 思考题与习题 .....       | 362        |
| <b>第 9 章</b> | <b>现代通信网 .....</b> | <b>364</b> |
| 9.1          | 引言 .....           | 364        |
| 9.2          | 通信网的结构描述 .....     | 364        |
| 9.3          | 基本通信网 .....        | 365        |
| 9.3.1        | 电话网 .....          | 365        |
| 9.3.2        | 智能网 .....          | 371        |
| 9.3.3        | 数据通信网 .....        | 372        |
| 9.3.4        | 数字数据网 .....        | 374        |
| 9.3.5        | 综合业务数字网 .....      | 375        |
| 9.4          | 接入网 .....          | 379        |
| 9.4.1        | 接入网概述 .....        | 379        |
| 9.4.2        | 接入网的种类 .....       | 380        |
| 9.4.3        | 有线接入方式 .....       | 381        |
| 9.4.4        | 无线接入方式 .....       | 382        |
| 9.4.5        | 以太网接入方式 .....      | 383        |
| 9.5          | 现代通信网的支撑网 .....    | 384        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 9.5.1 同步网 .....           | 384 |
| 9.5.2 电信管理网 .....         | 386 |
| 9.6 下一代网络 .....           | 388 |
| 9.6.1 下一代网络(NGN)概述 .....  | 388 |
| 9.6.2 基于软交换的下一代网络 .....   | 390 |
| 9.6.3 现有网络向下一代网络的演进 ..... | 392 |
| 思考题与习题 .....              | 393 |
| 附录一 部分英文缩写词对照表 .....      | 394 |
| 附录二 关于电平の説明 .....         | 400 |
| 参考文献 .....                | 401 |

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 通信技术的历史演进

通信是信息交换与传递的手段。自从地球上有了人类以来,人与人之间便有了信息的交流。远古时代,人们利用表情或手势进行思想交流,后来人类发明了语言,可以用来表达更丰富的思想和信息,但语言的交流只能面对面地进行。文字的创造、印刷术的发明,使信息能够超越时间和空间的限制进行传递。

在电用于通信之前,人类就开始采用不同的方式向远处传递信息。在中国古代战争中采用的烽火台、旌旗、金鼓等就是传递信息的方式。早在 2 700 多年之前,中国就已出现了用烽火传递信息的通信方法。当时在边防线上,每隔一定距离就筑起一个高高的土台,称为烽火台。

台上高高竖起一根吊杆,杆的上端吊有一个放满易燃柴草的笼子。一旦发现敌人入侵,士兵就立即点燃柴草,以浓烟和火光报警,于是白天冒浓烟,黑夜闪火光。这虽然只是一种简单的视觉通信方法,但效率比派人送信还是要高得多。图 1-1 为烽火台的实例。



图 1-1 烽火台

用烽火台传递信息的方法虽然有一定的效率,但它只能传递事先约定的信息,而且要筑许多烽火台,传递的路线因此就相对固定。所以在古代,信息的传递主要还是靠专人来完成,这就是“驿使”的开始。但是无论是人还是马,一次能移动的距离都是有限的,为了尽快传递,每跑一段适当的距离后,便要将所传递的信息交给下一个人,或换上另一匹马再接着跑。这种通信方式不可能具有时效性,并且受天气、道路、人员、马匹等方面的影响很大,一环有错,信息传递就会耽搁。“驿使”作为一种制度一直延续下来,演变发展成今天的邮政通信。

千百年来,突破信息传递的空间和时间障碍,快速而准确地传递信息,一直是人们梦寐以求的目标。中国著名的古典神话小说《封神演义》中就有对“顺风耳”、“千里眼”等奇特功能的描写,幻想着人类能穿越时空,听到对方的声音,看

到对方的身影。今天,现代通信技术的发展使人类这一神奇的幻想变成了现实。

## 1. 莫尔斯和电报

现代通信技术起源于 1838 年塞缪尔·莫尔斯(Samuel Morse)发明的有线电报。电报通信是把发报人需要发送的文字变成电信号,通过电路迅速传到远方,然后再恢复为文字,交给收报人。电报的发明缩短了人们之间的距离,从而推动了人类文明的进步。也许你认为发明电报的莫尔斯是一位杰出的电磁学家吧,但实际上莫尔斯当时是一位画家。那么画家又是如何发明出电报的呢?

1832 年秋的一天,一艘名为“萨利”号的邮船,满载着旅客和邮件,从法国北部的勒阿弗尔港启航,乘风破浪,驶向纽约。当时画家莫尔斯就在这艘船上,和他同乘这艘船回国的还有一位名叫杰克逊的美国医生,这位医生是位电磁学爱好者。一天晚饭后,杰克逊在餐桌上向莫尔斯等旅伴们展示了一个很奇异的东西——电磁铁(在马蹄形铁块上缠上互相绝缘的导线),并滔滔不绝地讲起了它的原理:当导线通电后,铁块就产生吸引力,能吸引铁钉和铁屑,线圈的圈数愈多或通过的电流愈大,吸引力就愈强,电流一旦中断,磁性就消失。

杰克逊绘声绘色的一席话,好像磁石吸铁那样,紧紧地吸住了莫尔斯的心。莫尔斯问医生:“电流通过导线的速度有多快?”杰克逊告诉他:“速度非常惊人,不论导线多长,电流几乎一瞬间就能通过。”

餐桌上的所见所闻,引起了这位画家的极大兴趣,从而改变了他后半生的生活轨迹。在莫尔斯的脑海里涌起了新奇的联想和构思——如果让电流沿导线传输信号,岂不是能在瞬息之间将消息传往千里之外吗?莫尔斯决心去探索这个秘密。经过反复实验,美国人莫尔斯终于在 1838 年发明了世界上第一台电报机。不久他用“点”、“画”、“空白”的不同组合设计了莫尔斯电码。莫尔斯因此被称为“电报之父”。1845 年,华盛顿至巴尔的摩的电报线路开通,莫尔斯发出了人类第一份长途电报:“上帝创造了何等的奇迹”,从此揭开了人类通信史上新的一页。

## 2. 贝尔与电话机

如果说电报的发明是人类文明史上的一个重要起点的话,那么电话的发明则是人类通信史上的一个重要里程碑,从此,人类社会就伴随着电话及电话交换技术发展的脚步而进步。

早在 1867 年,德国人飞利浦·赖思(Philipp Reis)就发明了能够通话的电话机,但是他一直没有申请电话发明专利。美国的伊莱沙·格雷(Elisha Gray)虽然和贝尔同年发明了电话,但由于格雷申请电话发明专利比贝尔晚了两个小时,所以也只能榜上无名。

贝尔 1847 年生于英国的苏格兰,他的父亲和祖父都从事聋哑人的教育工

作。1874年,贝尔全家迁居美国。由于受家庭的影响,贝尔从小就对语言学有浓厚兴趣。一次,他在做电报实验时,偶然发现一块铁片在磁铁前振动而发出了微弱的声响,并且这个声音通过导线传到了远处。这件事启发了贝尔的灵感:如果人的声音能以电的形式传递,那么相隔千里的两个人岂不实现了面对面的交谈?于是,他开始深入研究,并做了大量的实验,最后他终于成功了。1876年3月10日,贝尔在做实验时,一不小心将硫酸溅到了自己的腿上,他疼痛地叫了起来:“沃森先生,快来帮我啊!”当时他的助手托马斯·沃森(Thomas Watson)正在他们实验的电话线路另一端,这句话通过电话机立刻传到了沃森的耳朵里。这句极普通的话成为人类通过电话传送的第一句话音而被载入史册。图1-2和图1-3所示分别为贝尔和他发明的电话机。



图 1-2 贝尔

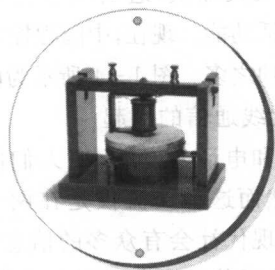


图 1-3 贝尔发明的电话机

在贝尔发明电话机的基础上,美国发明家托马斯·爱迪生(Thomas Edison)利用电磁效应,制成了炭精送话器、受话器,使电话机有了重大改进。这种电话机通过炭精送话器,使炭精粒的密合程度(即电阻的大小)随发话人声音的变化而变化,在电话回路中产生变化的电流,这种随声音变化而变化的电流通过电话线路,在受话器产生电磁感应还原为声音振动,使受话人听到发话人的声音。这种原始的炭精送、受话器的工作原理一直使用至今。

早期的电话机称为磁石式电话机,磁石式电话机可不像现在使用的电话机那么小巧,使用也不方便。它内部装有一个磁石式手摇发电机,并备有干电池作为通话电源。打电话时,先摇动电话机上安装的磁石发电机,与电话接线员通话,告诉接线员要与哪个地方通话。接线员将线接通,然后再讲话。讲话完毕后,再通知接线员把线拆除,很不方便。

1889年,阿尔蒙·B·斯特罗杰(Almon B. Strowger)发明了第一台无需话务员接线的自动交换机,它标志着电话及电话交换技术开始走向自动化。自动电话机上装有一个可以旋转的拨号盘,打电话时,只需拨动对方的电话号码,不必再与接线员对话了。

到20世纪60年代,出现了现在使用的按键式电话机。用这种电话机打电

话时只要根据电话号码依次按相应的数字键即可,十分快捷方便。随着技术的发展,电话机的品种越来越丰富,电话机的外形变得更加新颖独特,功能也越来越多样、先进。

电话发明到今天已经有 100 多年了,但它依然是当今社会人们的主要通信工具,这充分显示了它的强劲生命力。据统计,全世界已经敷设的电话通信电缆已达百万千米,这个长度相当于地球到月球距离的 3 倍,如果计算电缆芯线的长度,将超过地球到太阳的距离。

100 多年来,电话从人工接续发展到自动接续,从机械式结构发展到半电子、准电子、电子结构,再发展到今天由电子计算机操纵的程控方式,在技术上发生了翻天覆地的变化。不仅电话的接续速度大大加快,通话质量明显提高,而且还增加了许多新的电话功能。现在,中国程控电话已经开通的服务功能就有几十项之多。图 1-4 所示为电话机演变的实例图。

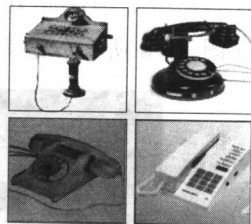


图 1-4 电话机演变的实例图

### 3. 无线通信的兴起

电报和电话的发明,使人们的信息交流变得既迅速又方便,然而这种交流仅是在两个人或较少的群体之间进行的。现代社会有众多的信息需要及时让各处的人们共享,无线通信的兴起满足了人们的这种愿望。

无线通信与早期的电报、电话通信不同,它不是依靠有形的金属导线,而是利用无线电波来传递信息。早在 2 000 多年前,人类就已发现了电和磁这两种自然现象,然而长期以来,人们只知道摩擦生电、静电、瞬时放电这些简单的电现象;至于磁,则被看做是某种物质所具有的特殊性质。

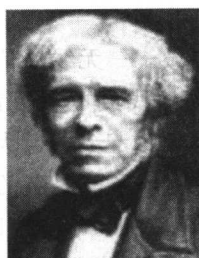
1820 年,丹麦物理学家奥斯特(Oersted)偶然把一根导线同一枚磁针并排放置,当电流通过导线时,他十分惊讶地发现,磁针几乎转了  $90^\circ$ ,而当电流以相反方向通过时,磁针向相反方向偏转。这个发现当时在科学界引起了轰动,因为这说明电能生磁。这是人类第一次发现电与磁之间有联系。

电流能使磁针偏转的奥斯特实验传遍了欧洲科学界,也传到了一位名叫法拉第(Faraday)的英国物理学家的耳中。他听到这个消息后,脑海里马上产生这样一个念头:电流既然可以产生磁,那么磁能否产生电流呢?为了验证他的想法,法拉第历经十多年的探索与实验,终于在 1831 年得出了当一个永久磁铁与一根导线作相对运动时,会在导线中产生电流的结论。这就是物理学上著名的电磁感应定律。

继法拉第之后,对电磁理论做出决定性贡献的是著名英国物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell)。从 1858 年开始,麦克斯韦专注于电磁理论的研究。他利用 19 世纪 20 年代和 30 年代数学家在理论力学方

面的研究成果,把法拉第的观点用数学语言表达出来,于1864年提出了总结电磁现象的两组方程,预言了电磁波的存在。麦克斯韦在他发表的一篇题为《电与磁》的论文中明确地提出,电能生磁,磁又能生电,循环往复,电和磁便能以波动形式向远处传播,这就是电磁波。而且电磁波的传播速度和光的传播速度是相等的,都是 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。他还指出,实际上通常的可见光不过是波长在一定范围内的特殊电磁波。这样,光学、电学和磁学就融为一体,使物理学第一次完成了伟大的综合。

1887年德国青年物理学家赫兹(Hertz)通过实验的方法证实了电磁波的存在,他在实验中还发现了电磁波在空间具有与光相同的直线传播、反射、折射等性质。图1-5所示为早期研究电磁理论的法拉第、麦克斯韦和赫兹。



法拉第



麦克斯韦



赫兹

图1-5 早期研究电磁理论的三位科学家

1894年,意大利的工程师马可尼(Marconi)和俄国科学家波波夫(Popov)在麦克斯韦电磁理论和赫兹电磁波实验的基础上,采用电磁波作为传播媒介,分别发明了能够快速、远距离传送信息的无线电报,开创了人类现代通信事业的新纪元。图1-6所示为无线电通信的创始人马可尼、波波夫。图1-7为早期无线电报设备实例图。



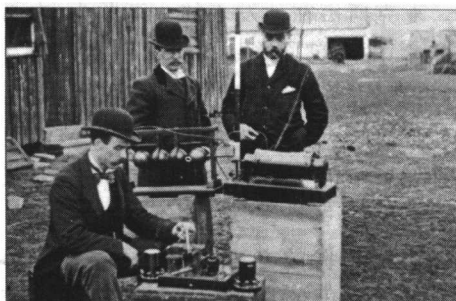
马可尼



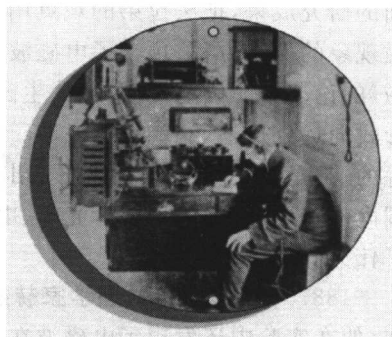
波波夫

图1-6 无线电通信的创始人





1895年,波波夫展示的无线电报接收机



1912年,航船上装用的无线电报设备

图 1-7 早期无线电报设备实例图

无线电通信为人类通信开辟了一个潜力巨大的新领域——无线通信领域,用无线电波传播信息不仅极大地降低了有线通信面临的架线成本和覆盖面问题,也使人类通信开始走向无限空间。无线通信在海上通信中起到了巨大作用,一个多世纪以来,用莫尔斯代码拍发的遇险求救信号“SOS”成了航海者的“保护神”,拯救了不计其数人的性命,挽回了巨大的财产损失!例如 1909 年 1 月 23 日,轮船“共和”号与“佛罗里达”号相撞,30 分钟后,“共和”号发出的“SOS”信号被航行在该海域的“波罗的海”号所截获。“波罗的海”号迅速赶到出事地点,使相撞两艘船上的 1700 条生命得救。类似的事例不胜枚举。

但是,反面的教训也是十分沉重的。1912 年 4 月 14 日,豪华客轮“泰坦尼克”号在作处女航时因船上电报出了故障,导致它与外界的联系中断了 7 个小时,在它与冰山相撞后发出的“SOS”信号又没有及时被附近的船只所接收,最终酿成了 1500 人葬身海底的震惊世界的惨剧。“泰坦尼克”号的悲剧告诉人们,通信与人类的生存有着多么密切的关系!

无线电技术很快地被应用于战争。特别是在第二次世界大战中,它发挥了巨大的威力,以至于有人把第二次世界大战称为“无线电战争”。其中特别值得一提的便是雷达的发明和应用。

1935 年,英国皇家无线电研究所所长沃森·瓦特等人研制成功了世界上第一部雷达。20 世纪 40 年代初,雷达在英、美等国军队中获得广泛应用,被人称为“千里眼”。后来,雷达也被广泛应用于气象、航海等民用领域。图 1-8 所示为第二次世界大战中使用的雷达。

#### 4. 广播、电视的发明

19 世纪,人类在发明无线电报之后,便进一步希望用电磁波来传送声音。要实现这一愿望,首先需要解决的是如何把电信号放大的问题。1906 年,继英