

第 1 章 通信与电子信息工程专业简介

通信工程（也称作电信工程，旧称为远距离通信工程、弱电工程）是电子工程的一个重要分支，是电子信息类专业，同时也是其中的一个基础学科。该学科关注的是通信过程中的信息传输和信号处理的原理和应用。该学科学习通信技术、通信系统和通信网等方面的知识，学生毕业后能在通信领域中从事研究、设计、制造、运营工作，以及在国民经济各部门和国防工业中从事应用通信技术与设备开发等工作。电子信息工程是一门应用计算机等现代化技术进行电子信息控制和信息处理的学科，主要研究信息的获取与处理，以及电子设备与信息系统的的设计、开发、应用和集成。本章主要对通信与电子信息工程专业进行简单的介绍。

1.1 通信工程专业简介

通信工程是电子工程的一个重要分支，该学科是信息科学技术发展迅速并极具活力的一个领域，尤其是数字移动通信、光纤通信、Internet 网络通信，使人们在传递信息和获得信息方面达到了前所未有的便捷程度。通信工程具有极广阔的发展前景，也是人才严重短缺的专业之一。通信工程研究的是如何以电磁波、声波或光波的形式，把信息通过电脉冲从发送端（信源）传输到一个或多个接收端（信宿）。接收端能否正确辨认信息，取决于传输中的损耗高低。信号处理是通信工程中一个重要的环节，其包括过滤、编码和解码等。

通信工程专业主要研究信号的产生、信息的传输、交换和处理，以及在计算机通信、数字通信、卫星通信、光纤通信、蜂窝通信、个人通信、平流层通信、多媒体技术、信息高速公路、数字程控交换等方面的理论和工程应用问题。从 19 世纪美国人发明电报之日起，现代通信技术就已经产生。为了适应日益发展的技术需要，通信工程专业成为了大学教育中的一门学科，并随着现代技术水平的不断提高而得到迅速发展。

作为通信工程专业的学生，不仅应抱着严谨、踏实、刻苦的学习态度，还需要有较好的数理基础、较强的逻辑思维能力及动手能力。通过学习通用电子仪器的使用，如示波器和频谱分析仪等，逐步掌握更多通信实验设备的操作技巧，自己制作电子小设备，如实验课上可以亲手设计并制作电子计算器、数字电子时钟、抢答器、遥控玩具车等很多有趣的电子产品，会很有成就感。运用所学的知识制作出具体的实物，这种快乐的学习经历是其他专业的学生难以体验到的。通信专业的就业前景非常好，就业范围也很广，毕业后可从事无线通信、大规模集成电路、智能仪器、应用电子技术领域的研究和设计工作，以及通信工程的研究、设计和技术开发工作。从 2G、3G 到 4G、5G，都离不开通信人员的辛勤劳动与汗水，他们将主导数字时代的发展潮流。

1.2 电子信息工程专业简介

电子信息工程专业是集现代电子技术、信息技术、通信技术于一体的专业。该专业培养掌握现代电子技术理论、通晓电子系统设计原理与设计方法,具有较强的计算机技术、外语能力和相应工程技术应用能力,面向电子技术、自动控制和智能控制、计算机与网络技术等领域,具有宽口径、高素质、德智体全面发展的具有创新能力的高级工程技术人才。

近几年,我国的电子信息产业有了很大的发展,特别是随着中国—东盟自由贸易区、京津冀协同发展、雄安新区的建设的构建,为我国加快发展带来了前所未有的机遇。“十三五”期间,京津冀地区大力发展以电子信息产业为代表的高新技术产业,加快社会信息化建设步伐,建立电子政务、公共信息服务、企业基础信息共享与交换平台,运用高新技术改造和提升传统工业,发挥信息化对工业的倍增和催化作用。我国把南宁、桂林、北海建设成为三大电子信息产业基地,通过基地建设,发挥集聚、辐射和带动效应,引导电子信息产业良性、快速地发展,引领传统工业走上“高速路”。随着广州、上海和北京电子信息产业基地的建设,需要大量电子信息类专业的技术应用型人才。

电子信息工程专业主要是学习基本电路知识,并掌握用计算机等技术处理信息的方法。首先,要有扎实的数学知识,对物理学的要求也很高,尤其是电学方面的知识;其次,要学习许多电路知识、电工基础、电子技术、信号与系统、计算机控制原理和通信原理等基本课程。电子信息工程专业的学生需要自己动手设计、连接一些电路并结合计算机进行实验,对动手操作和使用工具的要求也是比较高的,如自己连接传感器的电路,用计算机设置小的通信系统。此外,还会参观一些大公司的电子和信息处理设备,理解手机信号、有线电视是如何传输的等,在老师指导下还能有机会参与大的工程设计。电子信息工程专业的学生要喜欢钻研、思考,善于开动脑筋,发现问题。

随着社会信息化的深入,各行业大都需要电子信息工程专业人才。学生毕业后可以从事电子设备和信息系统的设计、应用开发及技术管理等工作。该专业是前沿学科,现代社会的各个领域及人们日常生活等都与电子信息技术有着紧密的联系。全国各地从事电子技术产品的生产、销售和应用的单位很多,随着改革步伐的加快,这样的单位会越来越多。为促进市场经济的发展,培养一大批具有高等学历、能综合运用所学知识和技能,适应现代电子技术发展的要求,从事与本专业相关的产品及设备的生产、安装调试、运行维护、销售及售后服务,以及新产品技术开发等应用型技术人才和管理人才,是社会发展和经济建设的客观需要,市场对该类人才的需求也会越来越大。

相对来讲,本科生和研究生就业的差别比较大,本科生毕业做研发的比较少,做技术支持和售前市场或者售后支持的比较多,而研究生毕业做研发的比较多。从行业来讲更是广泛,有去运营商单位就业的,如移动、网通;有去外企就业的,如西门子、朗讯;有去国企就业的,如国家无线电监测中心、中国空间技术研究院等,有去大公司就业的,如华为、联想、中兴;还有去小公司做研发的,以及做公务员的。总的来讲,电子信息工程专业的就业前景不错,但是创业的人员较少。

1.3 通信工程专业的历史演变

通信工程专业创建于1958年,目前是各理工类大学的热门专业之一。该专业是教育部特色专业,也是工业和信息化部重点专业,该专业具有硕士学位和博士学位授予权。

通信产业的高速发展促进了高等教育中通信工程专业的快速发展,从1998年教育部制定本科专业规范,明确了通信工程专业及其培养目标以来,许多高等学校规范了原来相关的通信专业,或新开办了通信工程专业,在2004年公布的中国高等学校本科专业排名中,有177所高等学校的通信工程专业参加了该专业排名。

通信工程专业主要培养通信与电子信息工程领域中从事信息科学研究、无线通信系统设计、通信设备研制及电信网络运营管理等方向的高级研究及工程技术人才。其主要就业方向包括国家航天及电子信息高技术科研单位,国家电信企业,中外合资、外国独资的通信技术开发和通信设备生产企业,以及国有或民营通信及电子信息技术开发和通信设备生产企业等。

1.3.1 古代通信方式及特点

在远古的时候,我们的祖先就已经能够在一定范围内借助呼叫、打手势或采取以物示意的办法来相互传递一些简单的信息,至今在我们的生活中仍然能找到这些方式的影子,如旗语(通过各色旗子的舞动来传达信息)、号角、击鼓传信、灯塔、船上使用的信号旗、喇叭、风筝、漂流瓶、信号树、信鸽和信猴、马拉松长跑项目等。

我国是世界上最早建立有组织地传递信息系统的国家之一。驿传是早期有组织的通信方式,就是通过骑马接力送信的方法,将文书一个驿站接一个驿站地传递下去。驿站是古代接待传递公文的差役和来访官员途中休息、换马的处所,它在我国古代运输中有着重要的地位和作用,在通信手段十分原始的情况下,担负着政治、经济、文化和军事等方面的信息传递任务。例如,位于中国信息文化发源地之一的嘉峪关,其火车站广场的“驿使”雕塑手举简牍文书,驿马四足腾空,速度飞快,就是对当时驿传的形象描绘。到宋代时,所有的公文和书信机构总称为“递”,并出现了“急递铺”。急递铺的驿马颈上系有铜铃,在道上奔驰时,白天鸣铃,夜间举火,撞死人不负责,并且铺铺换马,数铺换人,风雨无阻,昼夜兼程。南宋初年抗金将领岳飞,就是被宋高宗以十二道金牌从前线强迫召回临安的,而这类金牌就是急递铺传递的金字牌,含有十万火急的意思。

现代常用来形容边疆不平静的“狼烟四起”,就是古代通信的一种方式。新疆库车县克孜尔尕哈的汉代烽火台遗址,为我们展现了距今两千多年前我国西北边陲“谨侯望,通烽火”的历史遗迹。烽火通信如图1.1所示。

烽火通信作为一种原始的声光通信手段,是通过烽火及时传递军事信息的,远在周代时就服务于军事战争。烽火台的布局十分重要,它分布在高山险岭或峰回路转的地方,而且必须是要三个台都能相互望见,以便于传递信息。从边境到国都及边防线上,每隔一定距离就筑起一座烽火台,台上有桔槔,桔槔头上有装着柴草的笼子,敌人入侵时,烽火台一个接一个地燃放烟火传递警报,一直传到军营。每逢夜间预警,守台人会点燃笼中柴草

并把它举高，靠火光给邻台传递信息，称为“烽”；白天预警则点燃台上积存的薪草，以烟示急，称为“燧”。古人为了使烟直而不弯，以便远远就能望见，还常以狼粪代替薪草，所以别称狼烟。为了报告敌兵来犯的多少，采用了以燃烟、举火数目的多少来加以区别。各路诸侯见到烽火，马上派兵相助，抵抗敌人。



图 1.1 烽火通信

古人也常常利用动物通信，如信鸽传书、鸿雁传书、鱼传尺素、青鸟传书、黄耳传书等就是古人利用动物通信的最好典范。有“会飞的邮递员”美称的鸽子，是人们使用最广泛的传信动物。同鸿雁传书一样，鱼传尺素也被认为是邮政通信的象征。在我国古诗文中，鱼被看作传递书信的使者，并用“鱼素”“鱼书”“鲤鱼”“双鲤”等作为书信的代称。古时候，人们常用一尺长的绢帛写信，故书信又被称为“尺素”。捎带书信时，常将尺素结成两条鲤鱼的样子，故称双鲤。书信和“鱼”的关系，其实在唐代以前就有了。在东汉蔡伦发明造纸术之前，没有现在的信封，写有书信的竹简、木牍或尺素是夹在两块木板里的，而这两块木板被刻成了鲤鱼的形状，两块鲤鱼形木板合在一起，用绳子在木板上的三道线槽内捆绕三圈，再穿过一个方孔缚住，在打结的地方用极细的黏土封好，然后在黏土上盖上玺印，就成了“封泥”，这样可以防止在送信途中信件被私拆。黄耳传书讲的是用一只名为“黄耳”的家犬递送家书的故事，这可以认为是我国第一代狗信使。

除此之外，还有用竹筒传书以及用竹筒、骨片、鱼符、虎符、木牌、铜牌、金牌等方式传递信件的方法。

我国古代还有一些传递秘密信息的方法，套格就是其中的一种。其明文是普普通通的一封信，报平安或老友叙旧之类，可以公开，解密是用一张同样大小的纸，在纸上面的不同位置挖洞，覆盖到原信上，读从洞里露出来的字就是另外有含义的秘密信息。类似的通信方式还有藏头诗等。

古代的通信方式虽然非常简单和原始，但它同近代战争时期所用的五光十色的信号弹和信号灯光等，以及现代复杂的军事通信具有同样重要的作用。它基本上满足了当时人们的生活需要，但和不断发展的社会对通信的需求产生了越来越严重的矛盾。随着火药的问世和内燃机的诞生，人类从农业时代开始跨入工业时代，也拉开了近代通信的序幕。

1.3.2 近代通信方式及特点

进入 19 世纪之后,人类在科学技术上取得了一系列重大进展。1814 年 7 月 25 日,由乔治·斯蒂芬森制造的第一辆火车开始运行;1819 年,美国的“萨凡纳”号轮船横越大西洋成功,以及 6600hp (马力, $1\text{hp}=735.499\text{W}$) 东方巨轮的下水等,都标志着一个“高速”时代的到来,近代通信就是在这样的背景下发展的。近代通信的革命性变化,是把电作为信息载体后发生的,电流的发现对通信产生了不可估量的推动作用,引领了以电报、电话的发明为代表的第一次信息技术革命。

1. 电报的发明

19 世纪 30 年代,不少科学家在法拉第电磁感应理论的启发下,开始了利用电来传送信息的试验。俄国外交家希林格和英国青年库克等都相继制造出了电报机。但在众多的电报发明家中,最有名的还要算萨缪尔·莫尔斯。莫尔斯是一名享誉美国的画家。1832 年,莫尔斯对电磁学产生了浓厚兴趣,1834 年,他利用电流一通一断的原理,发明了用电流的“通”和“断”来编制代表字母和数字的代码,人称“莫尔斯电码”。后来他在助手维尔德的帮助下,制成了举世闻名的莫尔斯电报机。1843 年,在美国国会的赞助下,莫尔斯修建了从华盛顿到巴尔的摩的电报线路,全长 64.4km。1844 年 5 月 24 日,在座无虚席的国会大厦里,莫尔斯向巴尔的摩发出了人类历史上的第一份电报:“上帝创造了何等的奇迹!”。电报是利用架空明线来传送的,所以这是有线通信的开始。电报的发明拉开了电信时代的序幕,由于有电作为载体,信息传递的速度大大加快了。“嘀~嗒”一声(1s),它便可以载着信息绕地球 7 圈半,这是以往任何通信工具所望尘莫及的。电报机原理图如图 1.2 所示。

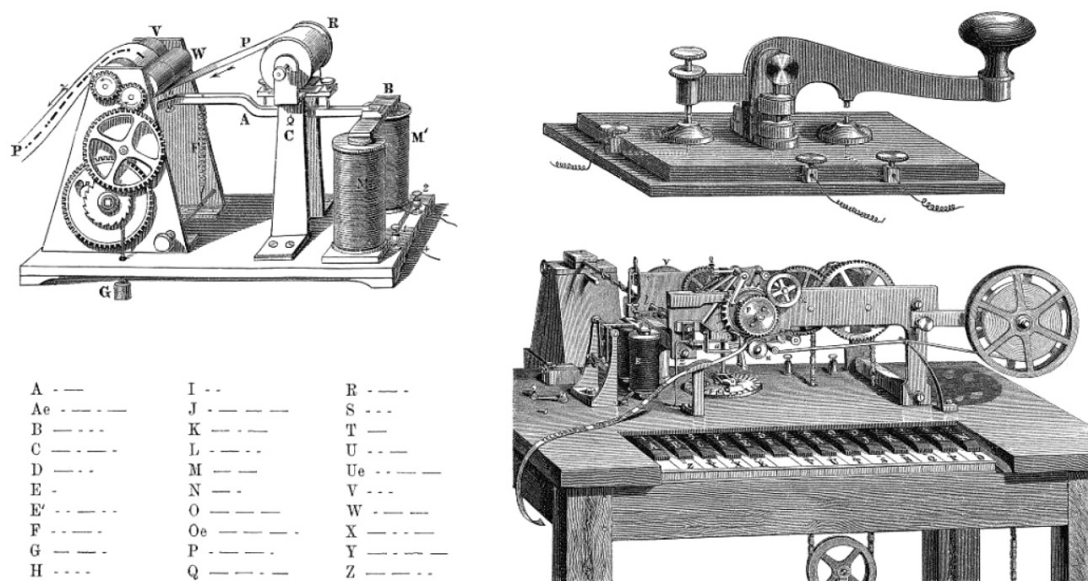


图 1.2 电报机原理图

1873 年, 华侨商人王承荣从法国回国后与王斌制造出了我国第一台国产电报机, 并呈请清政府创办电报。他说: “中国之驿站、烽火虽速, 究不如外国之电报瞬息可达千里”。1952 年, 北京电信局申请建设北京电报大楼, 于 1956 年 5 月动工兴建, 1958 年 9 月 29 日建成竣工。2017 年 6 月 16 日, 北京电报大楼一层的营业厅正式关门, 北京唯一一个电报业务窗口搬迁至西城区复兴门内大街 97 号的长话大楼一层。北京电报大楼见证了电报的兴起和没落。

2. 电话的发明

电报传送的是符号, 发送一份电报, 必须先将报文译成电码, 再用电报机发送出去。在收报一方, 要经过相反的过程, 即先将收到的电码译成报文, 然后再送到收报人的手里。这不仅手续麻烦, 而且也不能及时进行双向信息交流。针对电报的这些不足, 永不知倦的科学家们又进行了新的开拓, 开始探索一种能直接传送人类声音的通信方式, 这就是现在无人不晓的“电话”。

1876 年, 亚历山大·格雷厄姆·贝尔利用电磁感应原理发明了电话, 预示着个人通信时代的开始, 如图 1.3 所示。1876 年的 3 月 10 日, 贝尔在做实验时不小心将硫酸溅到腿上, 他疼痛地呼喊他的助手: “沃森先生, 快来帮我啊!” 谁也没有料到, 这句极为普通的话, 竟成了人类通过电话传送的第一句话音。当天晚上, 贝尔含着热泪, 在写给他母亲的信件中预言: “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!”

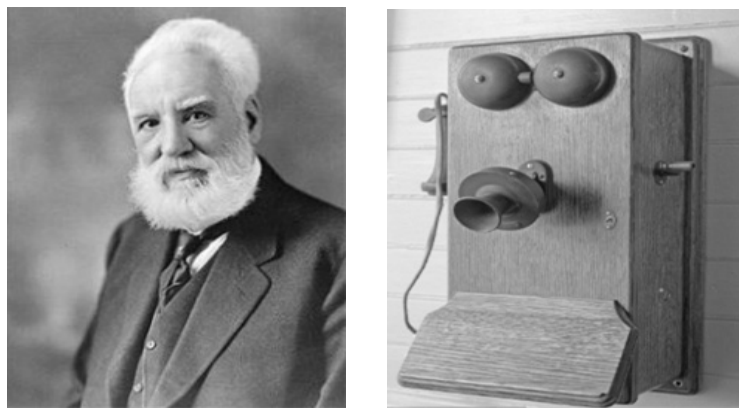


图 1.3 贝尔及其发明的电话机

1879 年, 第一个专用人工电话交换系统投入运行。电话传入我国是在 1881 年, 英籍电气技师皮晓浦在上海十六铺沿街架起了一对露天电话, 花费 36 文钱可通话一次, 这是我国的第一部电话。1882 年 2 月, 丹麦大北电报公司在上海外滩扬子天路办起了我国第一个电话局, 用户有 25 家。同年夏天, 皮晓浦以“上海电话互助协会”名义开办了第二个电话局, 有用户 30 余家。1889 年, 安徽省安庆州候補知州彭名保自行设计了一部电话, 包括自制的五六十种大小零件, 成为我国第一部自行设计制造的电话。最初的电话并没有拨号盘, 所有的通话都是通过接线员进行, 由接线员为通话人接上正确的线路, 如图 1.4 所示。电话的发明让人们可以随时用附近的电话与等候在另一端的亲友进行可靠、清晰的对话。这一发明的社会价值是不言而喻的, 人们开始大规模架设电线, 敷设电缆, 以求尽可能地扩大通信的范围和覆盖率。



图 1.4 1898 年上海的电话交换局

3. 无线通信的兴起

电报和电话的相继发明,使人类获得了远距离传送信息的重要方法。但是,电信号都是通过金属线传送的,线路架设到的地方信息才能传到,遇到大海、高山等无法架设线路的地方,也就无法传递信息,这就大大限制了信息的传播范围。因此人们又开始探索不受金属线限制的无线通信。

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的。那么,谁是无线通信的“报春人”呢?为无线电通信立“头功”的是著名的英国科学家麦克斯韦。1864年,麦克斯韦发表了电磁场理论,成为人类历史上第一个预言电磁波存在的人。1887年,德国物理学家赫兹通过实验证实了电磁波的存在,并得出电磁能量可以越过空间进行传播的结论,这为日后电磁波的广泛应用铺平了道路。但遗憾的是,赫兹却否认了将电磁波用于通信的可能性。

麦克斯韦和赫兹等人点燃的“火炬”照亮了青年发明家的奋斗之路。1895年,20岁的意大利青年马可尼发明了无线电报机。虽然当时的通信距离只有30m,但他闯进了赫兹的“禁区”,开创了人类利用电磁波进行通信的历史。1901年,无线电波越过了大西洋,人类首次实现了隔洋远距离无线电通信。两年后,无线电话实验成功。由于在无线电通信上的卓越贡献,1909年,35岁的马可尼登上了诺贝尔物理学奖的领奖台。

无线电通信为人类通信开辟了一个潜力巨大的新领域——无线电通信领域,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得到了广泛应用,如图1.5所示。近一个世纪以来,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”,拯救了不计其数的生命,挽回了巨大的财产损失。例如1909年1月23日,“共和号”轮船与“佛罗里达号”相撞,30分钟后,“共和号”



图 1.5 1912 年,航船上使用的无线电报装置

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，使相撞的两艘船上的 1700 条生命得救。类似的事例不胜枚举。

但是，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“处女航”时与冰山相撞，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，它与冰山相撞后发出的 SOS 信号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，如图 1.6 所示。“泰坦尼克号”的悲剧使人们明白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中，特别是在第二次世界大战中发挥了巨大的威力，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、美等国的军队中得到了广泛应用，被人称为“千里眼”，如图 1.7 所示。之后，雷达也被广泛应用于气象、航海等民用领域。

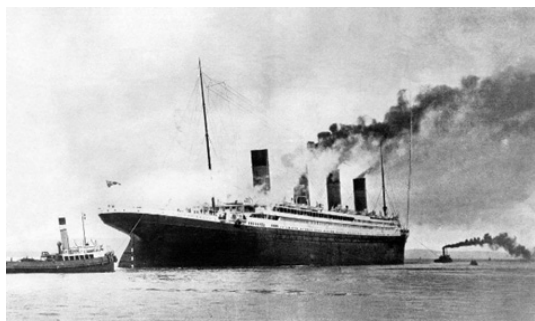


图 1.6 泰坦尼克号

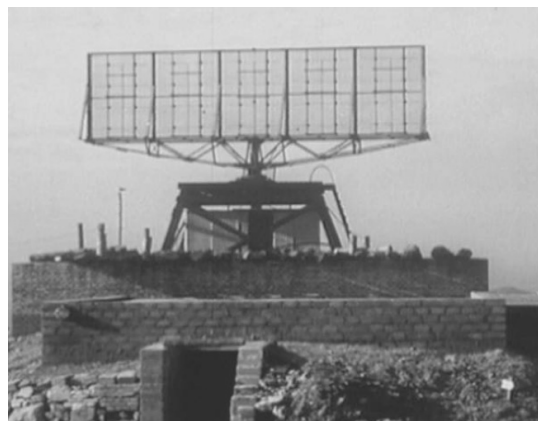


图 1.7 二战中英国使用的雷达

4. 广播与电视的发明

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，继英国工程师弗莱明发明真空二极管之后，美国人福雷斯特又制造出了世界上第一个真空三极管，如图 1.8 所示，它解决了电信号的放大问题，为无线电广播和远距离无线电通信的实现铺平了道路。

1906 年，美籍加拿大人费森登在纽约附近设立了世界上第一个广播站。在这一年的圣诞节前夕，他的广播站播放了两段讲话、一支歌曲和一支小提琴协奏曲，这是历史上第一次无线电广播，如图 1.9 所示。真正的无线电广播是从 1920 年开始的。1920 年 6 月 15 日，美国匹兹堡的 KDKA 电台广播了马可尼公司在英国举办的“无线电电话”音乐会，这是商业无线电广播的开始。这种载着声音飞翔的电波逐渐被用于战争中，在第一次和第二次世界大战中，发挥了很大的威力。

1925 年，英国人贝尔德发明了机械扫描式电视接收机，如图 1.10 所示。这一年的 10 月 2 日，贝尔德用他发明的电视在伦敦赛尔弗里奇百货商店做了一次现场表演。1927 年，英国广播公司试播了 30 行机械扫描式电视，从此便开始了电视广播的历史。

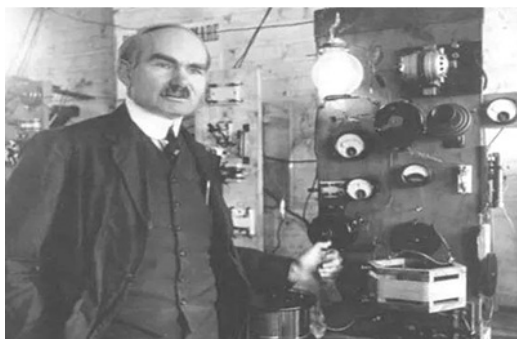


图 1.8 李·德·福雷斯特及其制造的真空三极管



图 1.9 历史上第一次无线电广播

1935 年,英国广播公司用电子扫描式电视取代了贝尔德发明的机械扫描式电视,这标志着一个新时代由此开始,如图 1.11 所示。

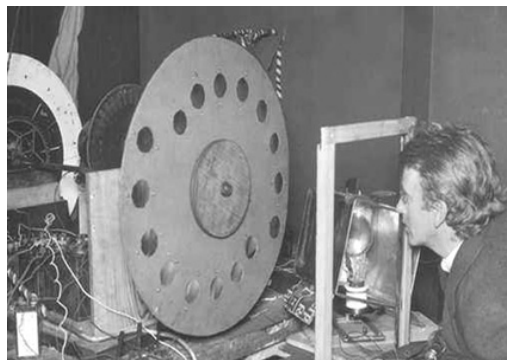


图 1.10 贝尔德发明的机械扫描式电视接收机



图 1.11 1936 年,电视机现场直播柏林举办的第六届奥运会

1958 年 5 月 1 日,我国第一座电视台(中央电视台的前身)——北京电视台开始试验播出。创办之初,由于设备限制,电视台覆盖面只限北京地区(半径 25km),电视观众也很有限,因为拥有电视机者极少。此后,上海、哈尔滨等城市也相继创办了电视台,到 1960 年,全国的电视台、试验台和转播台达 29 座。到 1979 年,全国各省、自治区、直辖市都建起了彩色电视台。至 1987 年,全国有各级电视台 366 座,办有 405 套节目,每天播出节目 2328h。1985 年起,利用国家发射的通信卫星,可以把中央电视台的节目直接传送到新疆、西藏等边远地区。可以看到,虽然我国电视业务起步晚,但是发展非常迅速。

1.3.3 现代通信的特点及未来通信的发展趋势

电话、电报从发明的时候起,就开始改变着人类的经济和社会生活。但是,只有在以计算机为代表的信息技术进入商业化以后,特别是互联网技术进入商业化以后,才完成了近代通信技术向现代通信技术的转变,通信的重要性日益增强。1946 年,世界上第一台通用电子计算机问世,如图 1.12 所示。伴随着计算机技术发展的 4 个阶段,即从 20 世纪 50 年代到 80 年代的主机时代、80 年代的小型机时代、90 年代的 PC 时代及 90 年代中期开始的网络时代,通信技术也经历了飞速发展的过程。

1947 年,晶体管在贝尔实验室问世,为通信器件的发展创造了条件;1948 年,香农提出了信息论,建立了通信统计理论;1951 年,直拨长途电话开通;1956 年,敷设越洋通信电缆;1958 年,美国发射第一颗通信卫星;1959 年,美国的基尔比和诺伊斯发明了集成电路,从此微电子技术诞生;1962 年,美国发射第一颗同步通信卫星,开通国际卫星电话,脉冲编码调制进入实用阶段;1967

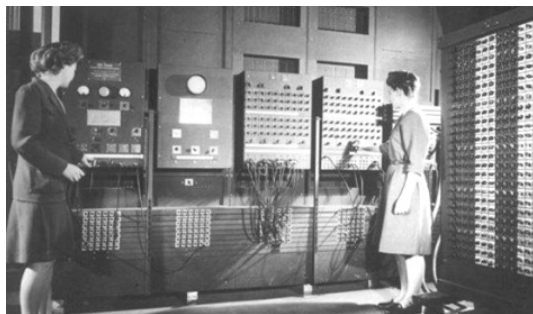


图 1.12 第一台电子计算机

年,大规模集成电路诞生,一块米粒般大小的硅晶片上可以集成 1000 多个晶体管的线路;1977 年,美国和日本科学家制成了超大规模集成电路,30mm² 的硅晶片上集成了 13 万个晶体管。微电子技术极大地推动了电子计算机的更新换代,使电子计算机拥有了前所未有的信息处理功能,成为现代高新科技的重要标志。

20 世纪 60 年代,彩色电视机问世,阿波罗宇宙飞船登月,数字传输理论与技术得到迅速发展;20 世纪 70 年代,商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信系统投入使用。为了解决资源共享问题,单一计算机很快发展成计算机联网形式,实现了计算机之间的数据通信和数据共享,一些公司制定了计算机网络体系结构。通信介质从普通导线、同轴电缆发展到双绞线光纤导线和光缆。电子计算机的输入、输出设备也飞速发展起来,扫描仪、绘图仪、音频视频设备等,使计算机如虎添翼,可以处理更多的复杂问题。

20 世纪 80 年代,开通了数字网络的公用业务,而个人计算机和计算机局域网也相继出现,并且网络体系结构国际标准也陆续制定完成。多媒体技术的兴起,使计算机具备了综合处理文字、声音、图像、影视等各种形式信息的能力,日益成为信息处理最重要和必不可少的工具;20 世纪 90 年代,蜂窝电话系统开通,各种无线通信技术不断涌现,光纤通信得到迅速普遍的应用,国际计算机互联网得到极大发展。程控电话、移动电话、可视电话、传真通信、数据通信、互联网络电子邮件、卫星通信和光纤通信等都为我们的生活带来了极大的方便,这一时期,通信的发展达到了前所未有的高度。至此,我们可以认为:以微电子和光电技术为基础,以计算机和通信技术为支撑,以信息处理技术为主题的信息技术(Information Technology, IT)正在改变着我们的生活,数字化信息时代已经到来。

随着人类对通信要求的进一步提高及光纤与宽带 IP 等相关技术的成熟发展,通信技术目前已从单纯的语音通信进入多媒体通信时代,多媒体通信将成为 21 世纪人类通信的基本方式。多媒体通信是多媒体技术和通信技术的有机结合,突破了计算机、通信和电视等传统产业间相对独立发展的界限,它在计算机的控制中,对独立的信息进行集成的产生、处理、表现、存储和传输。通信提供给人们的服务将由单一媒体提供的传统的单一服务方式,如电话、电视、传真等,发展为数据、文本、图形、图像、音频和视频等多种媒体信息,以超越时空限制的集中方式作为一个整体呈现在人们眼前。3G、4G 技术的出现正是源于用户对多媒体业务越来越广泛的需求。多媒体通信无疑将会在很大程度上提高人们的生活水平,改变人们的生活和工作习惯,并将是未来通信的发展方向。

社会需求往往是推动技术向前发展的动力。就拿电子邮件来说,在通信技术发达的今天,相信我们并不陌生。电子邮件,简单地说就是通过 Internet 邮寄的信件。与过去通过邮局邮寄信件相比,它的成本比邮寄普通信件低得多,而且投递无比迅速,不管多远,最

多只要几分钟。电子邮件使用起来也很方便,无论何时何地,只要能上网,就可以通过 Internet 发电子邮件,这些电子邮件可以是文字、图像和声音等各种形式。同时,我们也可以打开自己的邮箱阅读别人发来的邮件,可以得到大量免费的新闻、专题邮件,并轻松地实现信息搜索,这是任何传统的方式都无法比拟的。正是由于电子邮件使用简易、投递迅速、收费低廉、易于保存、全球畅通无阻等特点,使电子邮件被广泛应用,使人们的交流方式得到了极大的改变。

对于当下的通信方式来说,相信大部分人最先想到的是即时通信软件 QQ、微信及早已普及的智能手机和个人计算机。这些以高新技术为基础的通信方式极大地改善和方便了人们的生活。但是现代通信不仅仅是这些单一的电信通信、数字通信、IT 产业及电子产品制造业等高新技术通信,同时也包含邮政通信、传真、电报等传统的通信方式。其中,邮政通信是以实物传递为基础,通过对文字、图片或实物的空间转移来传递信息。

在日常生活中,我们始终离不开通信。不论是原始的烽火传军情、飞鸽传书,还是先进的电子邮件,虽然只是技术上的天壤之别,但它们传递信息、交流信息的目的始终不变。伴随着科学技术的发展,通信技术也会飞速发展,人们的交流也会越来越广泛,通信与人类的关系也将越来越密切。

1.4 通信的地位和作用

现代通信是人类科技进步的产物。美国学者阿尔文·托夫勒在 20 世纪 80 年代出版的《第三次浪潮》一书曾在世界范围内引起强烈反响,他把到目前为止的人类社会发展历程视为三次革命浪潮,第一次浪潮是农业革命,第二次浪潮是工业革命,第三次浪潮就是信息技术革命。由 20 世纪中叶开始的信息技术革命的冲击波,把世界推进到 21 世纪的信息时代。世界各国都把通信和信息技术革命这一强大的冲击波,视为争夺和抢占 21 世纪领先地位的关键武器。各国都在集中力量发展信息搜索处理、信息存储传递、信息分析、信息使用及集成,大力开发信息资源,生产高附加值的通信产品,组建信息化军队及开展军事上的信息科技竞争,以图迅速大幅度地增强和提高国力和军力。

为此,许多发达国家提出了纲领性信息科学发展计划,在高科技的舞台上“称雄称霸”,如美国的战略防御计划、欧盟的尤里卡计划等,其推出这些计划的核心就是信息技术。这些计划的推出大大促进了信息技术的发展及整个科学技术的进步。美国前国务卿舒尔茨曾经提出,战略防御计划实质上是一个巨大的信息处理系统,它是智力和科学影响处理世界事务方法的一个明显事例,信息革命正在改变国家之间财富和实力的对比。尤里卡计划中也指出,信息技术将为其他领域的进步铺平道路,已经成为现代工业国家决定性的基础结构。不积极研究、发展信息技术,实际上等于放弃成为现代工业国家。人们已经深刻认识到,以信息技术为核心的新技术将会推动经济和社会形态发生重大变革。因此,研究、发展、学习、应用通信和信息技术已成为当今社会的浪潮,此浪潮浩浩荡荡冲击到每个角落,渗透到了每个家庭。

NII 国家基础结构行动计划是由 1993 年美国克林顿政府提出的,俗称为信息高速公路。中国科学院对 NII 的解释是这样的:由大量相互作用的信息要素(通信网、计算机系统、信息与人)构成的开放式、巨型、综合的网络系统,覆盖整个国家,能以 Gbit/s 级的速率

传递信息，以先进的技术采集信息综合处理信息并供全社会成员方便地利用信息，因此它是现代化社会的国家信息基础设施。从信息应用层面上看，NII 可简单地用图 1.13 来表示。

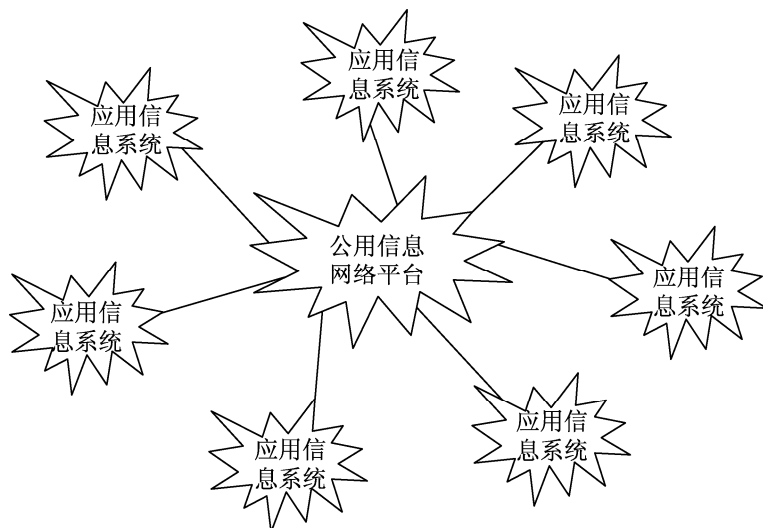


图 1.13 NII 结构示意图

从图 1.13 中可以看出，NII 由公用信息网络平台和各种不同的应用信息系统构成，利用现代通信手段和技术来拓展、完成各种信息功能。公用信息网络平台是信息的核心，各种应用信息系统都需要通过该平台进行传输，解决远距离信息交流的问题。

当然，在日常生活中，与人们生活息息相关的通信应用有很多，所涉及的领域也相当广泛。

1.5 通信在各行业中的应用

通信行业是一个城市乃至一个国家的命脉，依靠通信技术，各行各业才能够实现结合与连接。诚如“2015 年世界电信和信息社会日”的主题“电信与信息通信技术：创新的驱动力”所倡导，当前信息通信技术在经济社会发展中已经逐渐占据主要战略地位。尤其是随着“互联网+”的概念深入人心，移动宽带、光纤宽带、云计算、物联网、大数据等新一代信息通信技术的飞速发展，ICT 技术的应用正渗透到世界的每一个角落，为各行各业的创新带来了无限可能。

1.5.1 通信在日常生活中的应用

通信与人们的日常生活密切相关，寄送信件、发行报刊、打电话、拍电报、听无线电收音机广播、看电视等都离不开通信。人们已经习惯了通过电话（固定座机电话、移动电话等）与人联系，通过电视和网络获取信息。随着科学的不断发展，新的通信方式如卫星通信、电视电话等逐渐进入了人们的生活。

1. 电视广播通信

目前人们收看的电视节目一般都用同轴电缆传送到家，称之为有线电视（CATV）。有线电视为模拟制式，采用载波传送。由于模拟信号具有抗干扰性差、带宽窄、信号处理困难等缺陷，当前正在进行数字化改造，以实现全数字化的电视节目传送。现有的模拟家用电视机必须采用机顶盒进行数模转换（D/A）才能接收，实现数字传输后，电视的画面、音质、可接收频道数目等都会得到极大的改善。目前我们收看到的各省、市的“卫视”，是数字卫星直播电视网的简称，都是从数字卫星直播电视网中接收并转换的，它通常是指利用同步卫星通信系统，专门传送电视信号，并直接为家庭或集体单位传输电视广播节目的一种专用网。卫星电视广播覆盖面广，受地形条件影响小，在世界上特别是我国，成为村村通电视的主要途径。

在卫星电视网中，卫星是起重要作用的设备，特别是广播卫星覆盖的频率资源是有限的，因此国际电信联盟（ITU）不断地制定卫星电视传输的相关标准和有关规则。目前，我国卫星电视节目分配在亚洲1号、亚洲2号、中卫6号及鑫诺1号等多颗卫星上。从频段上看，各省、市从原来使用卫星通信的C波段向现在普遍采用的Ku波段发展，或向更高频段发展。例如，中央电视台的CCTV-2、3、5、6、8等5套电视节目，利用鑫诺1号的Ku波段播出，采用MCPC（多路单载波）卫星制式；广东、福建等20多个省、市的卫星电视节目，利用亚洲2号卫星采用ETSI（European Telecommunications Standards Institute，欧洲电信标准协会）卫星制式传送。数字卫星电视均采用MPEG-2/DVB-S标准（一种压缩标准），并采取了有条件接收加密技术。

数字卫星广播电视网采用的是点对面的覆盖方式，一般是单向传输，这种“卫视”专网主要由以下几部分构成，如图1.14所示。

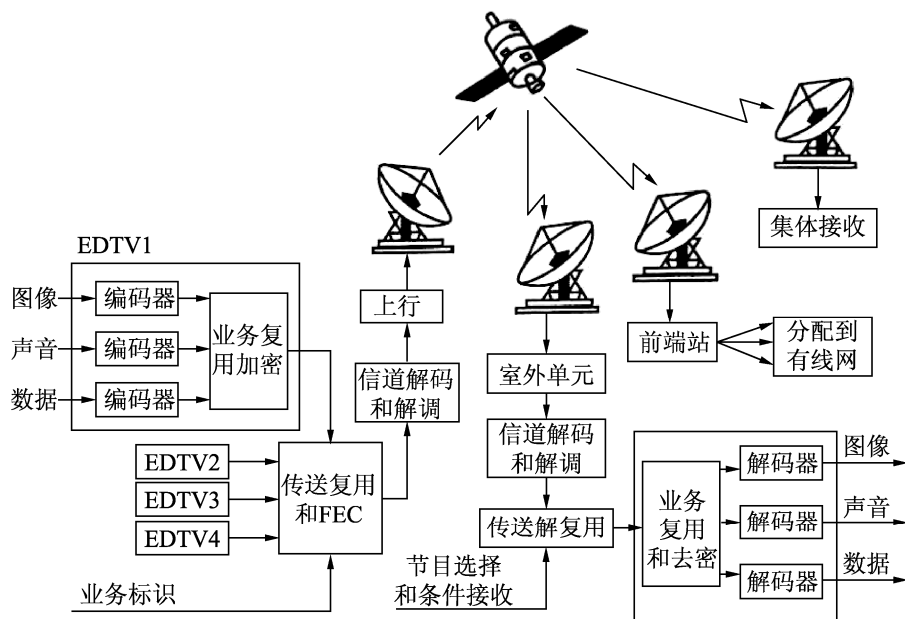


图 1.14 数字卫星广播电视网

卫视网通常利用同步卫星通信系统传送电视信号，并直接为人们提供电视广播节目。

在数字卫星直播电视网中, 传送的信号是经过数字压缩处理后的数字电视基带信号, 分为图像信号和电视伴音信号, 分别经压缩编码后传送, 其压缩编码是国际标准 MPEG2。在我国, 信号传输标准为 DVB-S 数字卫星电视标准, 此标准实际上是指数字卫星电视广播的信道编码和调制的标准, 经 MPEG2 压缩编码处理的图像和伴音的数字电视信号, 通过传送复用、适配能量扩散、外编码、卷积交织、内编码的数字卫星电视传输的基带信号处理, 最后形成数字卫星电视基带信号, 并经调制器进行调制后送入发射设备。

2. 家庭信息网

我们通过网络可以在家中上网聊天、进行股市交易、发送和收取电子邮件, 可以在家中网上办公、网上交易、网上购物, 通信在日常生活中的应用使得家庭信息网络应运而生。

信息家电、智能家居技术或者家庭信息化都是相近的概念, 指的是将微处理技术尤其是嵌入式技术、通信技术引入到传统的家居、家电中, 用于安全防范、智能控制等各种家庭服务, 这已经成为当今计算机及通信研究应用的热点之一。在实现信息家电的几个关键技术中, 采用何种家庭网络控制平台来实现家电的互连、信息共享与控制以及与外界的信息交换, 是其中的关键技术之一。由于家庭网络具有连接设备多、传输信息种类多及布局随机等特点, 所以一般采用无线局域网或宽带技术进行通信, 并通过家庭网关等设备与外界连接。

无线局域网适合大型、高速的网络应用, 尤其是同现有的以太网集成容易, 技术成熟, 一般在家庭中可用于家庭办公设备之间无线连接, 以及无线局域网与有线网之间进行连接。

蓝牙技术具有短距离、低成本等特点, 尤其是容易构建 Ad-Hoc 网络以实现移动式计算/通信设备、智能终端等设备之间的共享信息, 因此特别适合用来实现家庭信息网络布局。

如图 1.15 所示为家庭信息网示意图, 家用电器、便携式设备等可以通过无线网卡实现相互通信和数据共享, 包括如下几种形式。

(1) 分布在家庭各处的台式计算机、笔记本计算机、PDA、数码相机等智能设备, 通过无线接入点、无线网卡、集线器或交换机等组成无线网络, 可以实现文件或图像等的传输和个人信息管理等家庭办公功能, 并通过 Internet 接入设备连接到 Internet 上。用户可以在办公室或者外地通过计算机、手机等实现远程数据传输和共享, 并能充分利用 Internet 提供的个人定制服务。

(2) 计算机与其附属设备之间可以利用红外和蓝牙技术实现无线连接, 如主机和键盘、鼠标等附件之间, 计算机与打印机、PDA、手机等之间实现点对点的通信。

(3) 家用电器之间也可以采用蓝牙技术组成 Ad-Hoc 网络, 如 DVD、音响、电视、遥控器之间的连接和控制, 手机、无绳电话与座机等之间进行通信方式的切换等。

(4) 随着计算机技术、通信技术的发展, 家电的智能化水平也越来越高。例如, 家电具有自检测、自诊断功能, 能够通过网络进行远程控制、诊断维修及下载更新软件进行升级; 能自动进行水、电、气等数据的抄表, 以及实现灯光、温度的自动控制调节; 能够实时进行家庭安全监控、报警, 以及进行远程医疗诊断服务等。

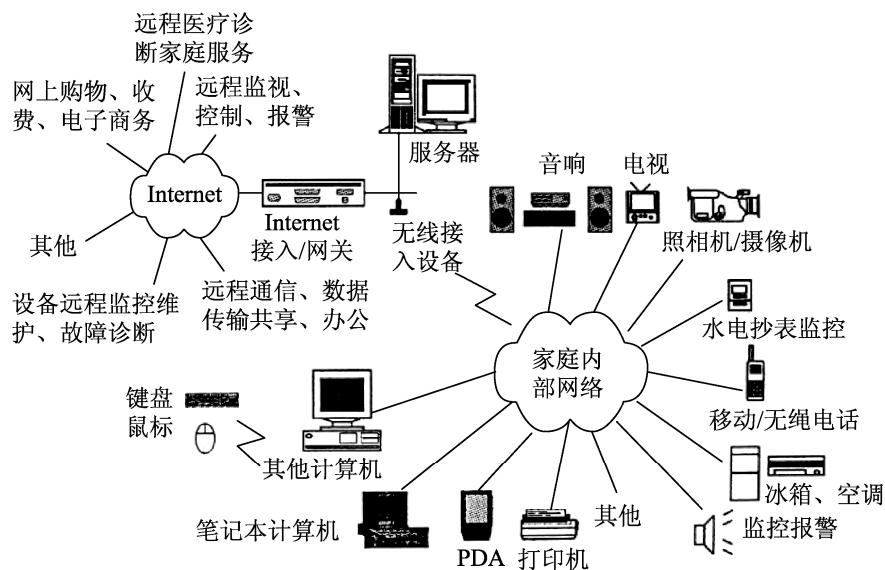


图 1.15 家庭信息网示意图

3. 校园网

校园网是广泛建立在各大学、中学、小学的计算机通信网，用于学校的教学、宣传、办公管理和科研工作，是实现网络教学、办公自动化和信息管理查询等服务的基础。如图 1.16 所示为某高校校园网的示意图。

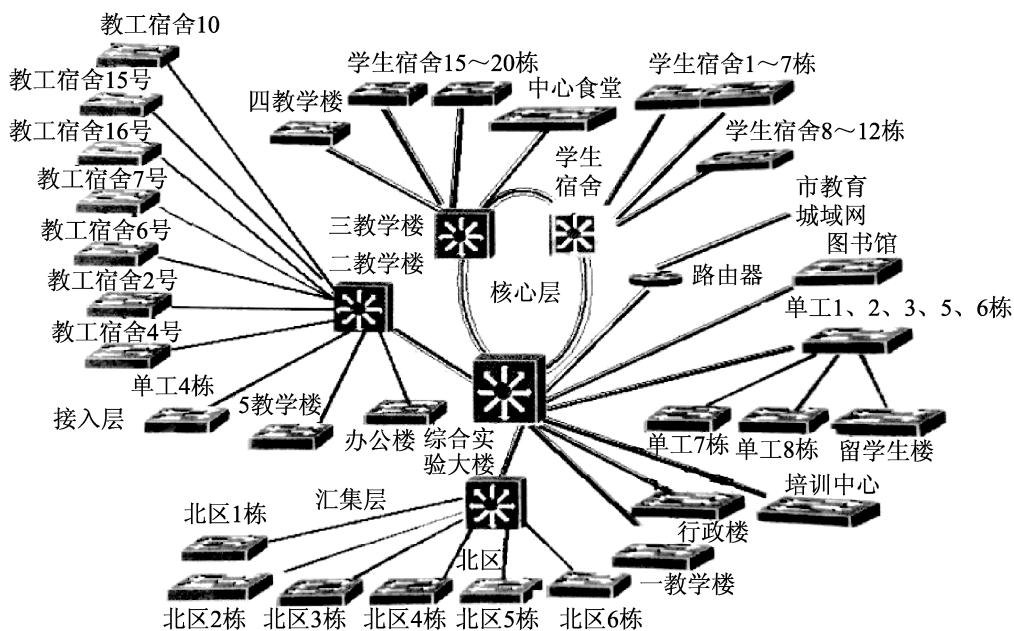


图 1.16 某高校校园网示意图

校园网络能将学校范围内的教室、实验室、教师宿舍和学生宿舍、各部门办公室等数千台计算机连接起来，通过该网络，教师和学生可以实现学籍管理、选课、网上查阅

资料、发布或查看通知等各项教学活动。整个网络采用三层管理结构，即核心层、汇集层和接入层。

核心层采用光纤分布式数据接口（FDDI）作为骨干网，采用 1000M 光纤（多模光纤）连接和 64~128M 包交换能力（PPS）的以太网核心交换机进行交换，用于实现 IP 业务的汇集和交换。核心层由 3 个骨干节点组成，分布在综合实验大楼、学生宿舍新区和三教学楼，三台核心交换机分别用两条千兆以太网链路相连，三点组成环网，其他节点通过汇集层交换机与核心层三节点进行星型连接。汇集层采用交换能力为数兆的交换机，向上利用光纤连接骨干节点，向下根据距离的大小采用不同的传输介质连接接入层节点：100m 内采用普通的同轴电缆或屏蔽双绞线，100m 外采用光缆连接。每个接入点又通过交换机、集线器连接到各宿舍、教室或办公室。

校园网经过路由器可与城市的城域网或广域网进行接口，也可和公用电话网、数据网接口。整个校园网络覆盖了全校所有的教学、科研和办公建筑物，开通了 E-mail、FTP、Telnet、WWW、BBS 及会议电视、视频点播等网络服务功能，实现校园内计算机联网、信息资源共享，并与国内外计算机网络互联，为学校的教学、科研和管理工作提供网络环境支持和服务。

4. 城市交通监控网

城市交通监控网是对城市中的各种车辆运行状态进行监控的网络。在城市各街道站点设立监控点（红、绿灯及摄像机等），由这些监控点采集信号并用光纤或电缆通过局域网或信号集中器通信接口（EI）与多点控制器（MCU）相连接，并传送到主控室（指挥部调度中心）及电视监视屏上，如图 1.17 所示。

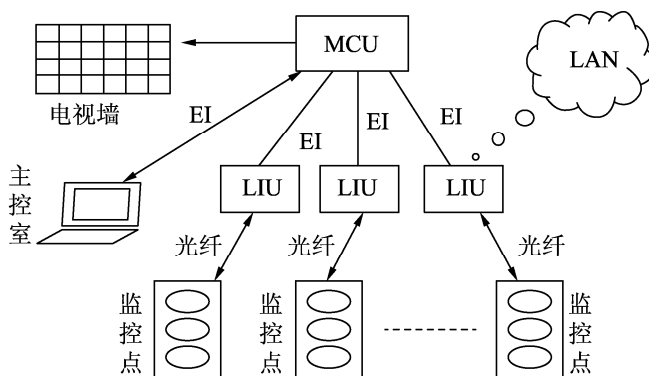


图 1.17 城市交通监控网组成示意图

这里采用比较简单的单向监控中心传输网络，只实现监视的作用，因此又称为监视网，其是由各监视点的摄像机采集信号并将信号传输到监视中心进行储存然后在屏幕上观看。这种网络应用范围相当广泛，许多宾馆、银行的安全和保卫工作一般都采用这种单向传输的信息监视网络。也有对各道口的违章车辆、事故进行控制，对车辆进行调度的具有双向功能的网络，称为监控网。例如，对红绿灯进行控制或对车辆进行调度、指挥控制等。这种网络有复杂的也有简单的，比如一些小区住宅的监控网，就能实现各用户对来客的监视、通话和开门等控制功能。

5. 高速公路信息网

高速公路信息网是对高速公路及在公路上运行的车辆进行现代化管理的信息网络，实现对在道路上行驶的车辆进行远程监控，特别是对高速公路的进出口、隧道、桥梁等各收费站点的监视、控制及通信联络等功能。它由监视系统、检测传感装置、读卡及收费系统、各信号显示装置、控制栏杆及中央控制室等部分组成。这些设备的信息传输一般都用数字光纤通信系统及电缆系统共同完成，主要实现与 SDH (Synchronous Digital Hierarchy, 同步数字体系) 公网互连互通。如图 1.18 所示，图中的 SONETLY 系统即为 SDH 早期（美国）的光同步数字系统。

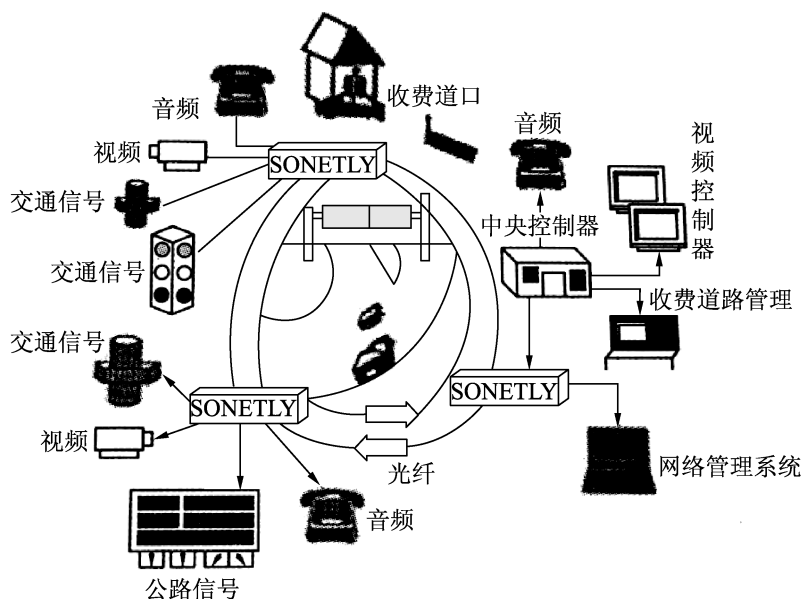


图 1.18 高速公路信息网功能结构图

根据 ITU-T 的建议定义，SDH 为不同速度的数字信号的传输提供相应等级的信息结构，包括复用方法和映射方法，以及相关的同步方法组成的一个技术体制。

高速公路信息网一般用 SDH 系统组成环网，如图 1.19 所示。高速公路信息网络各节点传输信息一般为 2Mbit/s 或 1.544Mbit/s 等。

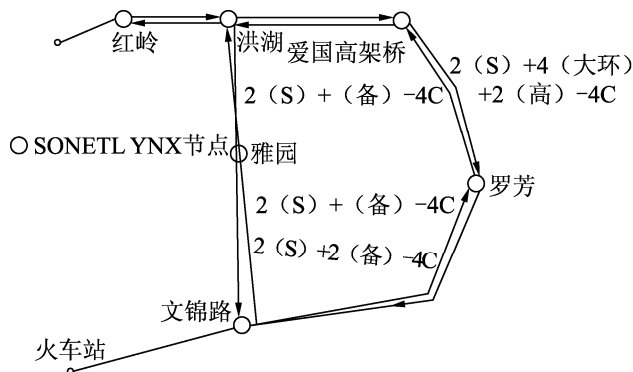


图 1.19 某市某部分高速公路信息网

6. GPS系统及交通管理信息网

GPS (Global Positioning System) 是利用导航卫星进行测时、测距以构成全球定位系统, 现在国际上已公认将这一全球定位系统简称为 GPS。该系统属于非同步卫星通信系统的范畴, 是一种单方向的面覆盖卫星通信系统。它由定位卫星、GPS 地面监控站及众多的 GPS 接收机用户三大部分组成, 如图 1.20 所示。

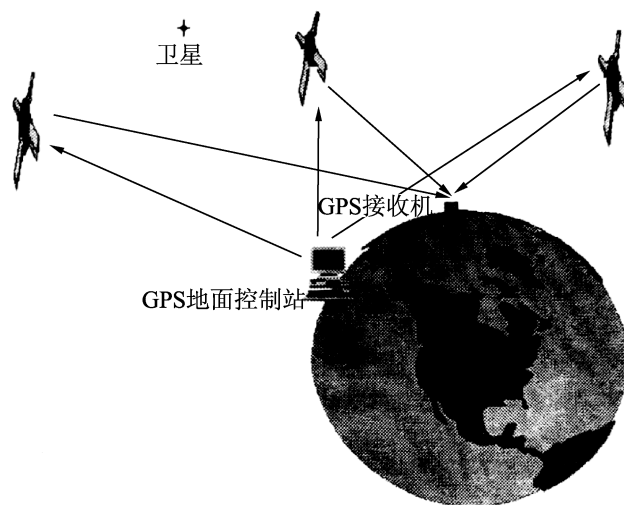


图 1.20 GPS 系统示意图

GPS 系统有 (21+3) 颗卫星, 其中 21 颗为主用卫星, 3 颗为备用卫星, 其运行在微椭圆形轨道上, 运行周期为 12h。GPS 卫星定位系统可发出全球性、全天候、连续的卫星测控信号, 地面可同时接收 4 颗卫星的信号, 给用户实时提供三维位置、三维速度和高精度的时间信息, 从根本上满足了人类在地球上的导航、定位及精度授时 (如通信系统中的定时信号) 等需求, 可以满足不同用户的特殊要求。例如, 海洋监测、石油勘探、浮标建立、海轮出港引航、沙漠中定位导向、飞机着陆导航、武器投掷定点、导弹飞行定位、海上协同作战、空中交通管制; 军队的各种车辆、坦克、步兵、炮兵、空降兵的指挥与调动; 民用中的汽车及交通运输的调度、指挥及物流系统的监控管理; 人们日常生活中的旅游、探险等。实践证明, GPS 的应用前景广阔, 对人类的影响极大。美国政府和军界对 GPS 高度重视, 不惜投入巨资建立这一工程。

继美国之后, 俄罗斯推出了 GLONASS 系统, 欧洲也推出了伽利略 (Galileo) 卫星导航系统, 我国已建成北斗卫星导航系统, 加强了这方面的研究和应用。

中国北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 是我国自行研制的全球卫星导航系统, 也是继 GPS、GLONASS 之后的第三个成熟的卫星导航系统。北斗卫星导航系统 (BDS) 和美国 GPS、俄罗斯 GLONASS、欧盟 GALILEO 是联合国卫星导航委员会已认定的供应商。北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段三部分组成, 可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度和高可靠的定位、导航、授时服务, 并具短报文通信能力, 已经初步具备区域导航、定位和授时能力, 定位精度 10m, 测速精度 0.2m/s, 授时精度 10ns。20 世纪后期, 中国开始探索适合国情的卫星导航系统发展道路,

逐步形成了三步走发展战略：2000 年年度，建成北斗一号系统，向中国提供服务；2012 年年度，建成北斗二号系统，向亚太地区提供服务；2020 年，建成北斗三号系统，向全球提供服务。2035 年前还将建设更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系。

北斗卫星导航系统具有以下特点：

- ❑ 北斗系统空间段采用三种轨道卫星组成的混合星座，与其他卫星导航系统相比高轨卫星更多，抗遮挡能力强，尤其在低纬度地区其性能特点更为明显。
- ❑ 北斗系统提供多个频点的导航信号，能够通过多频信号组合使用等方式提高服务精度。
- ❑ 北斗系统创新融合了导航与通信能力，具有实时导航、快速定位、精确授时、位置报告和短报文通信服务 5 大功能。

随着北斗系统建设和服务能力的发展，相关产品已广泛应用于交通运输、海洋渔业、水文监测、气象预报、测绘地理信息、森林防火、通信系统、电力调度、救灾减灾、应急搜救等领域，逐步渗透到人类社会生产和人们生活的方方面面，为全球经济和社会发展注入新的活力。

7. 应用GPS技术的交通信息网

交通工具是动态的，要对其进行管理、调度、指挥，必须对它运动的状况进行远距离监测和定位，利用 GPS 定位信号与地面的公用通信网或专网及地理信息系统（GIS）就能实现这一目标。目前这种方式已经在许多领域和部门得到了应用，如公安系统的警车和邮政运输车辆等，其工作原理如图 1.21 所示。运行中的车辆装配了 GPS 接收机，利用 GPS 系统对其位置进行跟踪、定位并与地理信息系统（GIS）配合，利用通信公网或专网的通信接口可实时地对其车辆进行监控管理，并可在监视器上实时显示此车辆的具体位置及车上的情况，便于调度、指挥、运行安全监控以改善交通状况，提高运输效率。

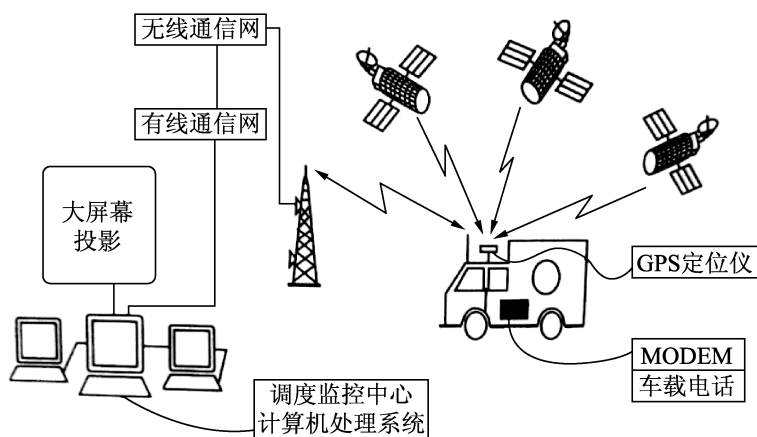


图 1.21 利用 GPS 技术的交通信息网示意图

1.5.2 通信在工业中的应用

随着通信技术、计算机技术和传感器技术的发展与普及，工业生产的信息化得到了快

速发展,表现在宏观上是生产的全球化、开放化,计算机集成制造系统、虚拟工厂、供应链管理等的概念涌现出来,分布在全球的各企业之间、企业各部门之间利用信息技术完成从市场调研、设计、制造到销售和售后服务一系列的任务。另一方面,在工厂生产现场,机器人、流水线、自动化检测与控制装置的采用使生产现场十分复杂,它们相互间必须通过信息网连接实现通信以协调工作,因此信息网络已成为现代工业企业不可缺少的部分。由于工厂生产现场的特殊性和复杂性,所采用的通信手段也具有多样性,其中应用最多或者说发展的趋势是串行通信、现场总线技术和工业以太网等。

1. 电力信息主干网

电力信息主干网是专为电力行业现代化而组建的信息网络,它是基于网络化的电力生产、电力控制、电力市场的电力信息系统,集办公、语音等信息服务为一体的专用宽带信息网络。电力信息主干网由全国和各省、自治区、直辖市的主干网组成,如某省的电力光纤主干网,其结构如图 1.22 所示。其主干网主要由 SDH 光传输系统自愈环网组成,分为三层:第一层为 SDH2.5GP 主干网,它由中部双环网及中南部、东部和运城环网等组成;其第二层为 155Mb 的主干网,主要由 SDH 环网组成;第三层为 155Mb 的辅助网,由主干光缆沿途各 220kV 变电站及各地分公司的 SDH155Mb 光设备,利用主干光缆增加 155Mb 光接口方式互连构成。各层网络的节点设备相互独立,并独立占用主干光缆纤芯。2.5Gb 与 155Mb 的主干网络节点设备在 500kV 变电站与 220kV 枢纽变电站同站布置,并采用 155Mb 光接口互连构成一个立体的主干网络。

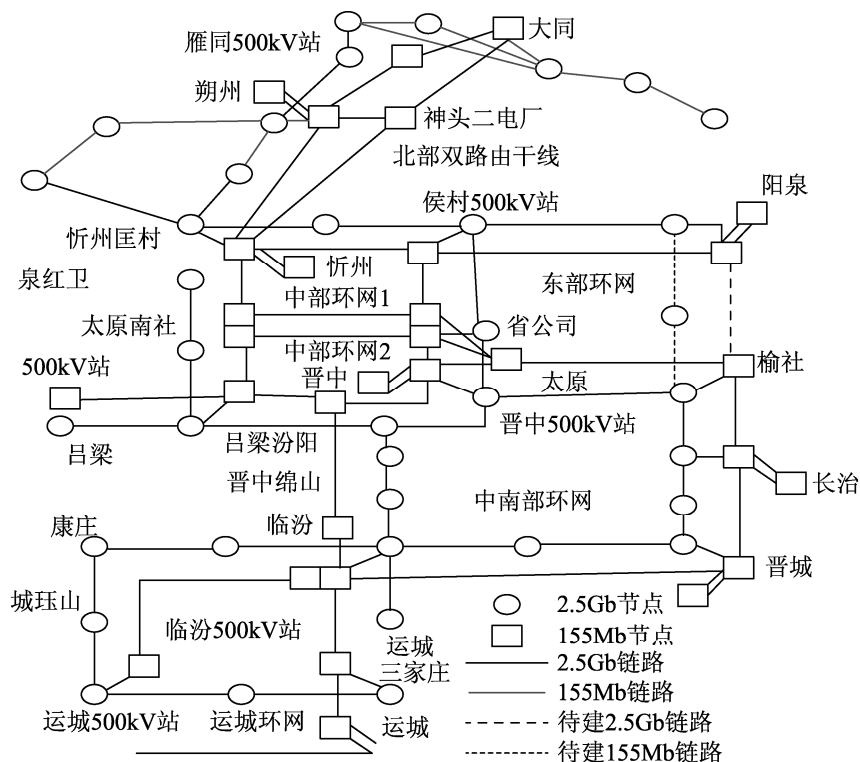


图 1.22 某省的电力光纤主干网络结构示意图

这里的主干光缆与一般的通信网光缆不同,它是以架设在 220kV 高压输电线上的特殊 OPGW 光缆为主,兼有对输电线路保护地线的作用。它可充分利用电力杆塔资源,经济性、可靠性高,是电力信息网特有的宝贵资源。此网络的建立,可满足本区域内电力公司的调度自动化、营销自动化、财务自动化、办公自动化等信息化管理需求,并具有扩容功能。在保障电网安全运行的应用上可实现全省 220kV 以上等级输电线路纵联保护双光纤的通信。

2. 利用GSM短消息实施对电力的监控

利用 GSM 网的短消息数据传输信道可构建一个虚拟网络,实施对远程电力用户的监控,原理如图 1.23 所示。该网络主要是由远程客户终端用户(RCT)、供电局监控中心(SC),以及利用短消息的数据传输信道(SMS)三大部分组成的一个依托公用网短消息传输数据信息的电力远程监控网络。该网络可实时采集电力用户的电流、电压、有功功率、无功功率和告警信息,并通过短消息上传到主控站中心,通过中心的数据处理后可对远程用户的用电进行抄表及控制。

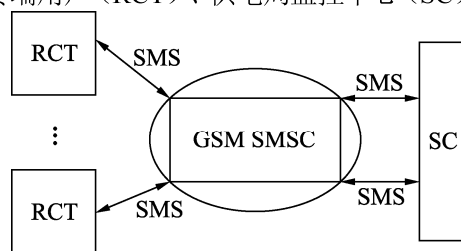


图 1.23 利用 GSM 网构建的电力远程监控网

3. 用电力线组建的小型专用信息网

电力线通信专网是在电力输送网(线)的基础上实现电力通信网络内部各节点之间与其他通信网络之间通信的系统。它是一线两用,既是输电线又是通信线,各种家用电器均可作为网络终端。此种网络在功能和业务上与其他现有通信网络相融合,可实现远程网络教学、网络医疗和保健、网络视频及语音通信、网络娱乐、安全防范等各方面的服务。

用电力线组建的小型专用信息网的网络物理结构采用 OFDM(正交频分复用)调制/解调技术的 PLC 专用传输芯片,可支持最大 100Mbit/s 的传输速率。其设备主要由多路选择路由器、家电网络接口、跨度变压器等硬件设备及专用 PLC 应用软件组成,并构成虚拟专用网(PLC-VPN)、Internet 接入网(PLC-AN)等。

4. 工厂自动化网络体系结构

在大型工厂内,各生产设备之间物理位置分布较远,它们在工作原理、控制方法上差别很大,但相互之间的联系越来越紧密。工业自动化系统中广泛采用工业控制计算机、可编程控制器、可编程调节器、嵌入式技术的智能设备等进行自动化生产,这些智能设备可能同时安装在同一工厂、车间乃至设备上。它们之间需要共享数据、分工协调,共同完成复杂的生产任务,组成既分散又集中的控制系统,在系统内部实现功能的层次化、分散化。即各控制对象物理位置分布、控制系统功能分散、危险分散,同时控制功能又分层集中,利用网络将各设备、控制系统和控制系统的各个部分如直接数字控制、现场操作、计算机监督控制、分析计算和管理系统等有机地结合起来,实现工厂各级自动化生产与管理,这样作为低层的控制网络和高层的管理网络,相互融合并统一到计算机集成制造系统(CIMS)中。

由于工业现场的特殊性,对网络有其特殊的要求,并且不同应用场合需要不同,CIMS 需要的网络是由异构的多层子网构成,因此工业局域网与普通的局域网有一定的差别,长

期以来还没有统一的标准,以 IEEE 802 为标准的通信协议是普通局域网的通信协议。美国国家标准局为工厂计算机控制系统提出了 NBS 分层模型,从其国际上公认程度和应用范围来看,几乎成为事实上的标准协议。NBS 分层模型把工厂计算机控制系统或称通信控制网络分为六层,每层具有限定的通信要求和处理能力,自上向下分别为公司级、工厂级、区间级、单元级、设备级和装置级。

早期的工厂自动化系统按 NBS 模型以分离方式组织,而上下级各层网络之间没有联系。美国通用公司制定了“制造业自动化协议(Manufacturing Automation Protocol)”即 MAP,其介质访问控制方式为令牌总线(Token Bus)的宽带 LAN,以 ISO/OSI 七层模型为基础,在现有 ISO 及 IEEE 802 委员会等公布的各种网络标准中,选择某几种协议形成自己的 MAP 规约供 NBS 六层模型各级使用。MAP 根据 NBS 各级通信要求,特别是实时性的要求分为 3 种体系结构,即全 MAP、增强体系结构(EAP MAP)和塌缩体系结构(MINI MAP),它们都局部采用或改进了 OSI 七层模型的部分层。

5. 现场总线与工业以太网

工厂自动化中,各厂家设备尤其是现场检测、执行器难以实现互连、互操作和互换,因而难以与外界实施信息交换。20 世纪 80 年代出现了现场总线技术(即网络拓扑中的总线型网),将专用微处理器植入传统的测控装置内,使其具有了数字计算和数字通信能力;采用双绞线等作为总线,将现场设备连接成网络系统,按公开规范的通信协议,使现场设备之间、测控装置与计算机之间实现数据传输与信息交换,实现全分布式自控系统,构成现场总线控制系统 FCS(Fieldbus Control System)。

现场总线是连接智能现场设备和自动化系统(如过程自动化、制造自动化、楼宇自动化等)的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。现场总线网络是工厂最低层次的网络,具有实时性高、低速、可靠性高的特点,通常采用简化的 OSI 参考模型,针对自动化的特殊应用,一般在应用层上还添加用户层用于实现自动控制的功能块(一些标准的控制软件模块)。现场总线的传输介质可以是双绞线、同轴电缆、光纤或电源线等。通信方式同样也有主从方式、令牌环方式和 CSMA 等方式中的一种或几种。

目前现场总线有很多类型,IEC 公布了 8 个现场总线标准,分别适用于不同的领域。例如,基金会现场总线(FF)是当前最全面、最完善、被认为是国际通用的现场总线标准,作为德国国家标准和欧洲标准的 Profibus,以及主要应用于汽车电控和离散控制领域的 CAN 总线等。

以太网用于工业控制可以有效利用高速发展的通用网络技术,从工厂或公司的设计、管理、销售、Internet 应用到生产现场应用,实现系统的集成和综合自动化。目前自动化领域提出的“一网到底”就是指将以太网技术应用到生产企业的各个层次。

由于以太网仅提供了 OSI 参考模型中的物理层和数据链路层协议,在商业应用中由公共的协议保证互操作性,而工业应用中要在其上为工业控制领域的 TCP/IP 定义公共的应用层协议,实现数据传输和网络管理功能,这样就产生了基于控制和信息协议的新型以太网——工业以太网,使以太网贯穿于控制系统的各个层次,实现从设备层到管理层的直接通信,真正实现企业控制、管理的无缝集成。目前在一些要求不是很高的工业控制或远程监控系统中已经出现了采用标准的 Web 技术、通过 Internet 实现远程数据采集和控制的系统。

目前将工业以太网用于工厂全面的自动化还处于初级阶段,通常仍利用以上各种网络

技术来分层实现工厂自动化。针对不同网络的特点，目前大多数工业企业仍采用两层或多层的网络结构以满足需要，实现集成。

图 1.24 所示为利用包括现场总线在内的控制网络在工业自动化中的一个解决方案。

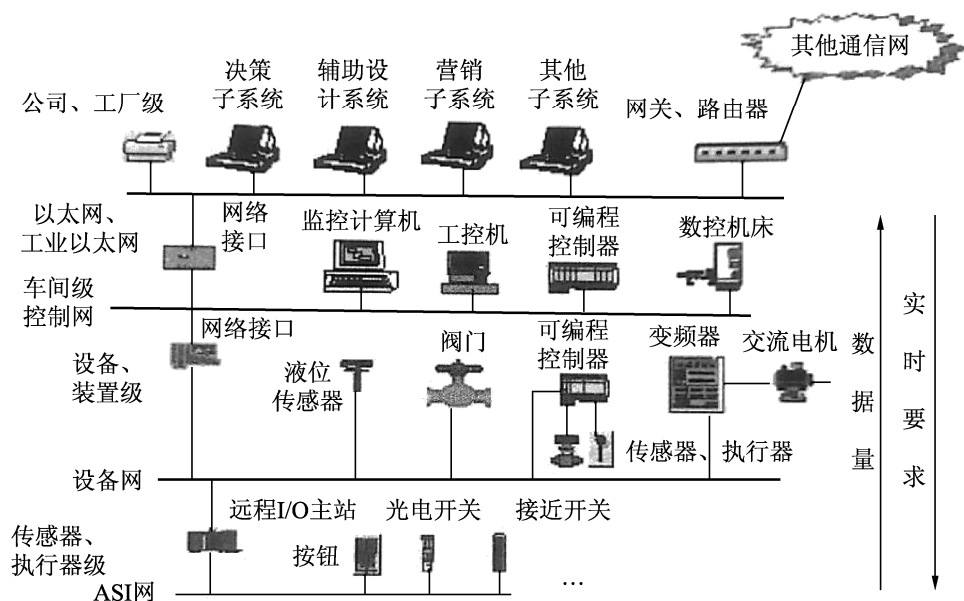


图 1.24 工业控制网络

在图 1.24 中，针对不同场所的通信要求，分别利用各种网络将工厂的计算机、生产设备装置连接起来，实现自动化控制、信息集成。

(1) 利用以太网或工业以太网，将分布在相同或不同区域的公司各部门互连或与其他公司互连，用以传输如订货、设计、销售、生产监控和管理等各方面的信息，特点是数据量大，实时性要求不高。

(2) 控制网是一种性能介于以太网和设备网之间的一种高速工业控制局域网，一般采用令牌环或令牌总线形式，速度较高，具有一定的时间确定性，用于连接 PLC、数控机床、机器人、监控站等要求数据量较大、实时性较强的设备。

(3) 设备网是一种成本较低、传输速率不高但时间确定性最好的网络，适合传送变化快且短小的数据，因此适用于现场或设备上带有网络通信功能的传感器、执行器或通信量不大的智能设备装置，如 PLC、变频器、智能检测元件等。

(4) 远程 I/O 或 ASI 即传感器执行器接口，是最低层现场自动化网络，因为连接控制网或设备网的技术和成本要求较高，ASI 网是运用于双工位（开关量）的执行器和传感器的低成本网络，通过 ASI 电缆（一种简单的双芯屏蔽电缆），以总线的形式连接主站和从站（专用）。总线循环速度快，对传感器和执行器无其他特别要求，适合于分布在较广区域的传感器和执行器。

6. 天然气输配管通信系统

天然气是重要的工业原料，也是城市能源供应的重要组成部分，与石油、化工、供水等系统一样，利用智能仪器仪表、计算机并结合通信技术，实时监控、采集、控制、调节

天然气输配系统中的各项参数并进行恰当的管理调度，对于安全生产、节约能源和保障正常的生产和生活具有重要的意义。

图 1.25 所示为某城市天然气输配监控管理网络，整个输配系统由调度控制中心、天然气储配站、配气站、调压站等组成。在天然气从气源或上一级站出来，经过储存、调压、气量分配直到输送到各个用户的全过程中，监控管理网络完成各种参数的检测、传送数据到上级处理单元进行分析处理、将控制命令传送到各执行器进行自动控制等功能。

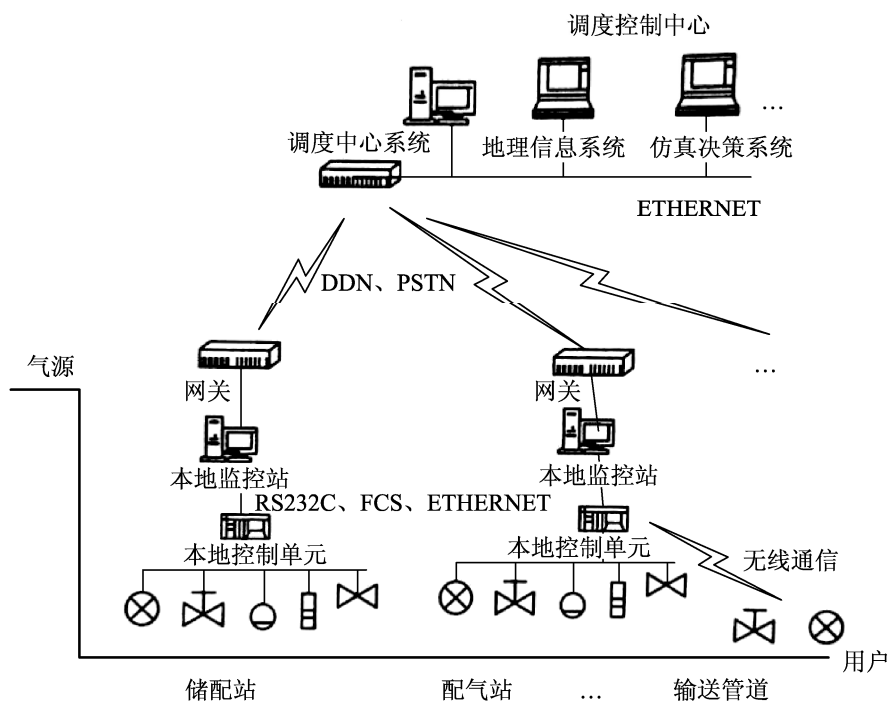


图 1.25 天然气输配网络监控系统

调度控制中心利用数据采集与监控系统（SCADA）结合 GIS、仿真系统，通过广域网与各监控站点通信，获取燃气管网运行的实时数据，实现遥测、遥信、遥控和远程调度及仿真、预测和决策功能。各局域网子系统及相互间采用 100/100Mbit/s 以太网通信。

从调度控制中心到本地监控站的广域网通信，采用租用专业通信公司的信道，以 DDN、PSTN 等方式，实现远程数据的传递和交换。通信结构采用星形拓扑结构，调度中心采用主从通信的轮询方式要求子节点发送检测和报警信息。考虑到可靠性等，通常采用以 DDN 为主信道、PSTN 为备用信道的冗余通信拓扑结构。

本地监控层由远程控制单元、可编程控制器及智能仪表、传感器、执行器等组成，完成本地各监控点的温度、流量、压力、泄漏浓度等数据的采集和动作执行的控制，并将数据通过通信网络发送到调度控制中心，也可以接收调度控制中心下传的控制命令。本地监控站内各组成部分可利用串行、现场总线等各种通信方式，如果有分布在户外较分散区域的检测、执行单元，还可以利用无线通信方式传送数据。

1.5.3 通信在军事方面的应用

1. 军事中的通信

随着现代军事技术和军事改革的日益深入和扩大,信息技术在现代战争中所发挥的作用愈发重要。例如,美国两次对伊拉克发动战争,最终使得伊拉克政权更迭。在这两次对伊拉克的战争中,无线通信传输系统起着不可估量的作用。不论是单兵作战还是集体行动,对前线信息的及时把握和反馈,是美军制胜的关键。

第一次世界大战期间,主要资本主义国家军队都相继使用中、长波电台,并逐步用于陆、海、空军的作战指挥中,为军事通信增添了新的现代化手段。在第二次世界大战中,新式电子通信装备,如短波、超短波电台、无线电接力机、传真机、多路载波机、通信飞机等电信设备大量运用于战场,并趋于小型化、动态化。第二次世界大战以后,科学技术的迅速发展,尤其是20世纪40年代中期电子计算机的问世并与通信装备的有机结合,引发了第一次信息革命,极大地促进了通信技术的发展,使军事通信面貌发生了巨大变化。迅速发展的微电子技术、电子计算机技术,以及包括激光、传感器、人工智能等新技术在内的信息技术,又将军事通信推进到了一个崭新的境地。

军事通信内容的革新,使军事通信技术得到了飞速发展,接力通信、微波通信、散射通信、地(海)缆通信、卫星通信、光纤通信、移动通信和数据通信等相继投入使用,使军事通信发生了显著变化。

20世纪前期,军事通信保障在时间上表现为“长”,以小时为数量级,建立通信或沟通联络少则几小时,多则几十小时;在通信空间上表现为“窄”“小”,通信联络以地为主,覆盖面积最多为数千平方千米。第二次世界大战中,部队机动速度明显增快,作战地域明显增大,战场由本土作战到跨国作战直至洲际作战,军事通信在建立时间上大为缩短,以分钟为数量级,在空间上不断扩展,覆盖面积增大为数百万平方千米,范围发展到空中和海上。这一时期的军事通信追求的是在任何作战空间,以最快的速度(分钟级)建立通信联络。

随着战略性武器的大量出现和运用,战争在时间上进一步缩短,在空间上进一步扩大。光通信、卫星通信、数字通信技术的发展,使军事通信时空观也随之发生了变化,通信时效已是实时信息传递或近乎实时的信息传递(以秒为数量级),通信已能覆盖全球任何一个角落,包含地下、地上、空中和太空等各个方面。这时军事通信追求的是全球的、多维的、实时的信息传递。

在20世纪60年代以前以火力制胜的战争中,尽管军事通信的地位越来越重要,保障系统越来越先进,但军事通信始终是一种独立的勤务保障体系。直到20世纪70年代以后,随着信息技术的发展,以信息技术为核心的高技术群孵化出新一代的信息化装备,并成为主宰现代战场的主导性武器。在战场上,任何武器装备离开军事通信就不能发挥其效能和作用,任何指挥控制系统离开军事通信就不能正常运转。军事通信已经从过去独立于武器装备之外的保障单元,发展成为现代一体化武器装备的重要组成部分,从过去从属于作战指挥的独立保障体系,发展成为现代直接融入指挥控制系统的重要要素。

从受战场控制发展到有效控制战争,军事通信从冷兵器时期的击鼓鸣金传信,到热兵

器时代的电话、电报传递信息,军事通信作为战场情报和指挥信息的“传话筒”,始终受战场进程的控制。随着军事革命的发展,信息化战争形态逐步显现出来。在信息化战争中,通过以“信息流”控制“能量流”和“物质流”来提高武器的效能和部队的战斗力,尤其是军事通信解决了战场信息实时传递、武器控制横向一体化,情报、通信、指挥、控制后勤支援等功能一体化问题后,信息在战争中的作用有了质的飞跃。高效快速的通信系统,使信息得以快速地传递、交换、处理,从而保证战场信息系统的整体运作,使各种武器装备、各个分系统释放出十倍甚至百倍的能量。军事通信开始从“传话筒”发展为“倍增器”,从传递战场导引命令发展为传递战场控制信息。

军事通信从保障战斗力生成发展为成为重要的战斗力。军队战斗力发展历史表明,不论是从冷兵器战斗力发展到热兵器战斗力的第一次革命性质变,还是从热兵器战斗力发展到核武器战斗力的第二次革命性质变,军事通信都是战斗力生成的保障要素。随着信息时代的到来,军事通信成为现代战争制胜的关键。在信息化战争中,由于通信在整个信息系统中起着连接诸军兵种、贯穿全过程的作用,加之通信系统覆盖范围大、环节多,在作战中,攻击敌方信息传输系统特别是该系统的薄弱环节和关键设施,破坏敌方指挥控制能力,使敌方指挥员无法了解战场情况,失去控制信息权,成为战争的首要目的。海湾战争、科索沃战争可称为信息化战争,以美国为首的多国部队和北约之所以能以小的代价取得战争胜利,正是在战争先期就使伊军和南联盟的通信系统陷于瘫痪、指挥失灵的结果。20 世纪军事革命的发展,战争形态的演变,使军事通信从过去在战争中“跑龙套”的“配角”,逐步进化成在现代战争中“主打”的“主角”,从以往在战争“后台”默默无闻的“无名英雄”逐步发展成为在现代战争“前台”冲锋陷阵的“信息斗士”。

2. 军事通信的新技术——移动自组织网络

在现代战场上,各种军事车辆之间、士兵之间、士兵与军事车辆之间都需要保持密切的联系,以实现统一指挥、协同作战。由此,美国军方在 20 世纪 70 年代的无线分组网基础上研究开发了移动自组织网络 MANET (Mobile Ad Hoc Network)。MANET 因其特有的无须架设网络设施、可快速展开、抗毁性强、使用灵活、投资少等特点,成为了数字化战场通信的首选技术。美国军方已经研制出了大量的无线自组织网络设备,并且这些设备在美国对伊拉克的战争中得到了应用,发挥了重要的作用。

移动自组织网络是一种无中心的无线网络,这种分布式或自组织的网络节点之间不需要经过基站或其他管理控制设备就可以直接实现点对点的通信。而且当两个通信节点之间由于功率或其他原因导致无法实现链路直接连接时,网内的其他节点可以帮助中继信号实现网络内各节点间的相互通信。由于无线节点是在随时移动的,因此这种网络的拓扑结构也是动态变化的。

在军事上采用的移动自组织网络的示意图如图 1.26 所示。

移动自组织网络可以分成两种结构:平面结构和分级结构。在平面结构中,所有节点的地位平等,所以又称为对等式结构,每一个节点都需要知道到达其他节点的路由,其节点复杂、网络简单、可扩充性差。而在分级结构中,网络被划分为簇,每个簇由一个簇头和多个成员节点组成,簇头节点负责簇间业务的转发。为了实现簇头之间的通信,需要有网关节点(同时属于两个或多个簇的节点)的支持。簇头和网关形成了高一级的网络。低级节点的通信范围较小,而高级节点要覆盖较大的范围,使网络节点功能简化。簇头可以

动态改变、可扩充性好，但簇头可能会造成通信瓶颈。

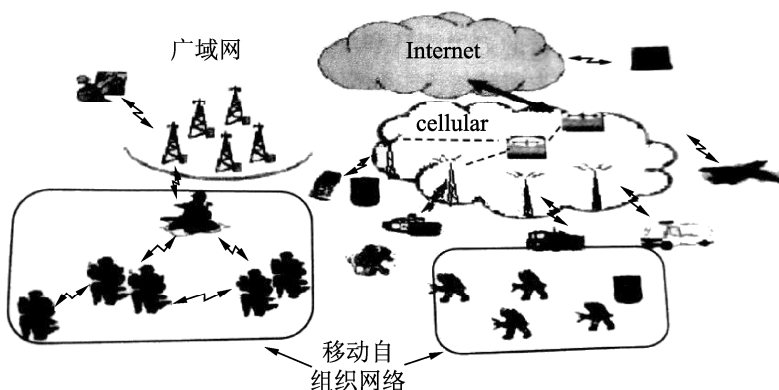


图 1.26 军事通信中的移动自组织网络

在网络规模较大时，通常采用分级结构。考虑到成本和效率，一般可以将整个网络划分为三级，分别对应于普通节点、地面骨干节点和空中中继节点。网络结构的三个层次具体描述如下：

(1) 位于地面的自组织网络节点构成第一层网络。该层包括各种普通移动节点和骨干节点，并且以骨干节点为簇头，将网络划分成多个簇。在每个簇内，由骨干节点负责管理和协调簇内的普通节点，并且可以采用合理的信道接入机制来支持数据访问的可靠性，同时可以在簇间使用 CDMA 技术来增加网络的空间重用率。

(2) 地面移动骨干网络作为第二层。为了解决网络规模较大时可扩展性较差的问题，引入地面骨干网络作为网络的第二层。例如抢险指挥车、战场上的装甲车、通信车等可以作为骨干节点，在一个区域内，它们可以借助定向天线技术构成高速的、点到点的无线连接。

(3) 空中骨干网络作为第三层。该层主要用来维护相距较远的骨干网络之间的通信，并且在地面骨干节点失效时可以充当地面骨干网络的备份通信设施，从而提高整个网络的可靠性。

通过这种三层的立体式网络体系结构，可以为各种临时和紧急应用场合提供一种可靠性较强、易于管理、灵活的通信支撑平台。

移动自组织网络源于军事应用，经过 30 多年的研发，应用目标已经扩大到了家庭网络、抢险救灾紧急服务中组建的临时网络及个人无线移动通信网络等广大的民用领域。

3. 通信在航空航天中的应用

在航空航天领域中，远离地面的飞机、飞船和卫星等必须随时与地面控制中心保持联系，接受地面信息的控制和服务，否则飞机不能正常降落，飞船和卫星不能进入正确的轨道。通信系统就是保障航空航天正常运行的神经网络，起着非常重要的作用。由于航空航天领域的特殊性，其主要的通信手段是无线通信。其主要任务有：远距离测量飞行器的各种参数，将这些参数进行远距离传输送回地面中心，将地面中心的控制指令发送到飞行器上对它进行远程控制。

航空航天领域中的通信系统是一个庞大的系统，下面以航天中的测控系统为例来介绍

其通信系统。

神舟六号载人飞船发射成功是让中国人骄傲的一件大事，其中通信技术发挥着至关重要的作用。神舟六号飞船系统共有七大系统：发射场系统、运载火箭系统、航天员系统、载人飞船系统、测控通信系统、飞船应用系统和着陆场系统。作为七大系统之一的测控通信系统，始终掌管着“神舟”飞船的“一举一动”，从它的发射“启程”开始，航天测控通信网就通过强大的捕捉机构和能力，始终对“神舟”号飞船的运动和工作状态进行着严密的测量和控制。在飞船发射、绕地飞行、返回的各个阶段，火箭、飞船的推进舱、轨道舱、返回舱内大量的仪器仪表和执行机构都需要同地面进行实时通信，以传送数据、接受指令和进行控制。载人飞船的通信具有远距离、大范围、通信对象速度高的特点，并且还存在着高温、高机械冲击、高电磁辐射干扰等恶劣环境，对测控通信系统有很高的要求。

载人飞船传输信号采用无线电通信来保持与地面的紧密联系，测控网主要由轨道测量、遥控、预测火箭安全控制、航天逃逸控制计算机系统及监控设备船地通信和地面通信设备等组成。该通信网将测距、测角、测速、遥控、语音传输、图像传输和数据传输等功能综合为一体，可以减少船载和地面站的设备，极大地提高信息传输的效率和设备的利用率，还可通过国际联网、地缘优势互补提高地面站的使用率，降低费用支出。神舟六号测控网由3个中心、9个测控站、4条测控船组成高实时、高可靠、高覆盖的信息网，实质就是卫星移动检测通信控制系统。其中，3个中心分别是：

(1) 北京航天指挥控制中心：飞船的遥测，外测数据接收、处理和显示，遥控指令和数据注入，实时轨道计算和确定，返回控制监视和搜救指挥等。

(2) 酒泉卫星发射中心：神舟六号载人航天飞船发射地。

(3) 西安卫星测控中心：我国航天测控网的管理机构，由中心计算机系统、指挥和显示系统、通信系统三部分组成，与渭南、青岛、喀什、厦门、和田、卡拉奇（巴基斯坦）、马林迪（肯尼亚）、纳米比亚等固定测控站，以及着陆场站、远洋测量船基地的远望一、二、三、四号测量船共同组成航天测控网。中心计算机系统可同时完成对不同轨道六颗卫星的测量控制，是我国航天测控网的神经中枢。

- ❑ 远望一号：执行测控任务，对飞船实施太阳帆板展开的控制与监视，并快速计算初轨参数；
- ❑ 远望二号：执行测控任务，担负飞船数十圈次的测控任务和留轨舱跟踪测控，实施飞船变轨这一高难度的遥控指令；
- ❑ 远望三号：执行测控任务，承担飞船返回指令的发送任务，在飞船围绕地球运行到预定圈次时，远望三号要对飞船实施调姿、轨道维持、轨道分离及返回制动等一系列关键的指令；
- ❑ 远望四号：执行测控任务，完成测控通信任务，弥补测控盲圈。

以上的测控网络在完成其载人飞船安全返回后就可以终止，这是一种高性能、高可靠性的专用的临时信息网络。类似的还有应急处理如抗灾抢险等临时组建的信息网，这种网络主要是完成通信的联络，一般由卫星、微波或其他无线通信系统组成，在完成其历史使命后便被终止或取消。

1.6 通信发展的不足

虽然现代通信方式多样且便捷，但却也不可避免地存在一些不足和弊端。

1. 5G技术仍然面临许多挑战

5G 网络已经到来，它将对人们使用移动技术的方方面面产生巨大影响。5G 的速度更快，延时更低，从理论上讲，从智能手机到自动驾驶汽车等各个领域，5G 网络都会开辟新的应用范围。但即使有了像 5G 网络这样复杂的技术，依然还会面临很多难题和挑战：

(1) 无线设备器件的挑战。5G 网络为了追求更高的吞吐量和更低的空口用户面延时，采用更短的调度周期及更快的 HARQ 反馈，对 5G 系统和终端要求更高的基带处理能力，从而对数字基带处理芯片工艺带来更大挑战。

(2) 多接入融合的挑战。移动通信系统从第一代到第四代，经历了迅猛的发展，现实网络逐步形成了包含多种无线制式、频谱利用和覆盖范围的复杂现状，多种接入技术长期共存成为突出特征。在 5G 时代，同一运营商拥有多种不同制式网络的情况将长期存在，多制式网络将包括 4G、5G 及 WLAN。如何高效地运行和维护多种不同制式的网络，不断减少运维成本，实现节能减排，提高竞争力，是每个运营商都要面临和解决的问题。

(3) 网络架构的挑战。5G 多网络融合架构中将包括 5G、4G 和 WLAN 等多个无线接入网和核心网。如何进行高效的架构设计，如核心网和接入网锚点的选择，同时兼顾网络改造升级的复杂度、对现网的影响等是网络架构研究需要解决的问题。

(4) 数据分流的挑战。5G 多网络融合中的数据分流机制要求用户面数据能够灵活高效地在不同接入网中传输。

(5) 灵活、高效承载技术的挑战。承载网络的高速率、低延时、灵活性需求和成本限制：5G 网络带宽相对 4G 预计有数十倍以上的增长，导致承载网速需求急剧增加，25Gb/50Gb 高速率将部署到网络边缘，25Gb/50Gb 光模块低成本实现和 WDM 传输是承载网的一大挑战。

2. 网络安全仍然有待加强

计算机网络和无线通信网络作为现代通信的重要组成部分，毋庸置疑为人们的工作、生活和学习带来了极大便捷。借助网络，人们可以更加方便地进行信息的交换和传递。然而与此同时，却也不可避免地面临着诸多网络安全隐患。现在网络上存在着较多的非法网站和钓鱼网站，一些缺乏自我保护意识的用户会刻意登录这些网站，这就给了网络病毒极大的传播机会，也是间接纵容了网络犯罪的发生。政府虽然也加大了对网络的管理与整治，但仍然很难做到彻底地根除网络安全隐患。这就需要用户树立较强的网络安全意识，同时加强计算机网络安全。

3. 通信相关法律仍需完善

众所周知，如今的网络上存在着许多安全隐患，各种网络违法行为早已屡见不鲜。其中一部分原因是由于法律的不健全而被不法之徒钻了空子，但由此也可以看出现在的通信

技术在法律方面存在着许多的漏洞，完善相关的法律迫在眉睫。随着通信技术的不断发展、进步，相应的法律一定会越来越完善，网络安全也会极大加强。其实现在的通信技术不足之处还有很多，随着科技的不断进步，新型通信技术将会如雨后春笋般出现，而各种弊端也将会随之而来。相信在不远的未来，这些残留的及新出现的问题将迎刃而解，通信的未来一片光明。

1.7 习 题

1. 简述通信工程和电子信息工程专业的特点。
2. 简述现代通信的特点。
3. 简述未来通信的发展趋势。
4. 试举几个日常生活中通信工程应用的场景。
5. 简述通信发展的不足。