



普通高等教育“十三五”规划教材

国家级特色专业 · 通信工程 · 核心课程规划教材

通信工程专业导论

*Introduction to Communication
Engineering Discipline*

◆ 樊昌信 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材

国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

通信工程专业导论

樊昌信 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要为刚进入通信工程专业学习的大学一年级学生介绍通信工程技术的全貌,使之对今后将要学习的专业建立初步的认识。本书从通信的范畴开始,讲述通信的发展过程,通信工程的基本概念,通信工程的主要技术,以及各种通信网的技术原理。特别对当前发展迅猛的移动通信网、互联网和物联网等给予着重阐述。本书还对通信工程专业本科所学的各门课程内容给予了简要介绍。为了适合刚入学的新生阅读,本书的叙述避免使用高等数学做定量分析,尽量做到深入浅出。本书也适合中等和高等专科学校学生作为教材或阅读,也可以作为非通信工程专业的学生选修课程的教材或参考书,以及作为对通信工程技术有兴趣的各界人士的业余读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

通信工程专业导论 / 樊昌信编著. —北京: 电子工业出版社, 2018.7

ISBN 978-7-121-34258-5

I. ①通… II. ①樊… III. ①通信工程—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 107769 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 邹凤麒 王 博 段丹辉

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.25 字数: 392 千字

版 次: 2018 年 7 月第 1 版

印 次: 2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 35.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88254525, hantp@phei.com.cn。

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》顾问委员

迟惠生 (北京大学)

冯重熙 (清华大学)

吴伟陵 (北京邮电大学)

谢希仁 (解放军理工大学)

程时昕 (东南大学)

李承恕 (北京交通大学)

吴诗其 (电子科技大学)

袁保宗 (北京交通大学)

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》编审委员

主任委员 樊昌信 (西安电子科技大学)

副主任委员

顾畹仪 (北京邮电大学)

彭启琮 (电子科技大学)

王希勤 (清华大学)

吴镇扬 (东南大学)

李建东 (西安电子科技大学)

王金龙 (解放军理工大学)

王传臣 (电子工业出版社)

张思东 (北京交通大学)

委员

安建平 (北京理工大学)

陈咏恩 (同济大学)

段哲民 (西北工业大学)

范平志 (西南交通大学)

酆广增 (南京邮电大学)

顾学迈 (哈尔滨工业大学)

李建东 (西安电子科技大学)

刘 璐 (山东大学)

仇佩亮 (浙江大学)

唐向宏 (杭州电子科技大学)

王金龙 (解放军理工大学)

王祖林 (北京航空航天大学)

韦 岗 (华南理工大学)

徐昌庆 (上海交通大学)

张思东 (北京交通大学)

朱光喜 (华中科技大学)

鲍长春 (北京工业大学)

邓建国 (西安交通大学)

樊昌信 (西安电子科技大学)

方 勇 (上海大学)

顾畹仪 (北京邮电大学)

康 健 (吉林大学)

李晓峰 (电子科技大学)

彭启琮 (电子科技大学)

唐朝京 (国防科技大学)

田宝玉 (北京邮电大学)

王希勤 (清华大学)

王传臣 (电子工业出版社)

吴镇扬 (东南大学)

张德民 (重庆邮电大学)

郑建生 (武汉大学)

朱秀昌 (南京邮电大学)

教材建设是高等学校组织教学和进行学科建设的重要内容。

为贯彻落实教育部“质量工程”的具体工作，把课程、教材建设与资源共享提上新的高度，电子工业出版社充分发挥在电子信息领域的教育出版优势和独树一帜的品牌影响力，适时推出了这套“国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材”。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点：

- (1) 专业特色鲜明：以本科通信工程专业的专业核心课程为主线。
- (2) 注重先进性、系统性、教学适用性：基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。
- (3) 配套教学支持：每本教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版教学辅导书。

(4) 质量保证：本套教材特别吸纳或整合了以下优秀资源：

- ① 多数教材来源于优秀教材的修订和再版，包括教育部“十五”、“十一五”等历届国家级规划教材、国家级或省部级获奖教材、历届全国统编教材等。
- ② 多数作者为著名教材作者、国家级/省级教学名师、国家级/省级优秀教学团队负责人。
- ③ 其他优秀教学资源，如国家级/省级精品课程、国家级教学示范中心等组织编写的、体现相应课程或课程群特色的配套教材。

为做好本套教材的编写、出版工作，我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问，并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院（系）的院长（系主任）成立教材编委会，从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

我们坚信：一流的教师队伍，一定有一流的教学理念和方法；一流的教学内容，需要配备一流的教材，从而体现一流的教学管理和教学质量。

前 言

人们通常认为世界是由物质、能量和信息组成的。人类社会的构成必须依赖人们之间的信息交流。在原始社会中，人们之间依靠声音、手势（肢体语言）和表情等进行信息交流，是直接的信息交流。在进入文明社会后，随着人们活动范围的逐渐扩大，出现了利用工具间接交流信息，例如烽火，这就是通信的起源。通信是人们利用工具间接传递信息。早期的通信简单地利用光、声传递信息，或者直接用人力、畜力传送信息。直至十九世纪人类发明了电磁现象后，开始研发了电通信（即电信），包括有线电报通信、无线电报通信、有线电话通信、无线电话通信，直至今日的蜂窝网移动通信、光纤通信、卫星通信和互联网等。

随着电信技术和应用的迅速发展，为了培养电信工程技术方面的高等人才，在世界各国的高等学校中，于 20 世纪初逐步设立了有关的专业；当年培养电信工程技术方面人才的专业是设置在电机（气）工程系（Electrical Engineering Department）中，并且还称为专业。例如，我国清华大学于 1934 年起在电机工程学系中设置了电力组和电讯组。电力是指利用电能去做功，例如用电动机去带动机床，因此通常称其为“强电”；电讯则是指利用电信号传输信息，电只是信息的载体，不需要用其能量，故通常称其为“弱电”。在我国各高等学校中设立“电机工程学系电讯组”的体制一直持续到 1952 年。此后，随着技术的发展，电机工程学系中电力和电讯领域内的技术内容日益增多，电机工程学系随之逐渐发展分裂成为多个系，系中又分设若干专业，通信工程专业就是其中之一。

通信工程专业关注的是通信过程中的信息传输和信号处理的原理及其应用。通信工程专业讲授通信技术、通信系统和通信网等方面的基础理论和专业知识，培养从事通信理论、通信设备、通信工程及通信网的研究、设计、制造、运营和管理的高级人才。

本书主要为刚进入通信工程专业学习的大学一年级学生介绍通信工程技术的全貌，使之对今后将要学习的专业建立初步的认识。本书从通信的范畴开始，讲述通信的发展过程，通信工程的基本概念，通信工程的主要技术，以及各种通信网的技术原理。特别对当前发展迅猛的移动通信网、互联网和物联网等给予着重阐述。本书还对通信工程专业本科所学的各门课程内容给予了简要介绍。为了适合刚入学的新生阅读，本书的叙述避免使用高等数学做定量分析，尽量做到深入浅出。本书也适合中等和高等专科学校学生作为教材或阅读，也可以作为非通信工程专业学生选修课程的教材或参考书，以及作为对通信工程技术有兴趣的各界人士的业余读物。

本书的第 1 章和第 2 章主要是介绍通信技术的发展历史。第 3 章和第 4 章讲解通信工程的基本概念和主要技术；这两章是为初学者介绍通信和通信技术入门知识和使初学者建立通信工程的基本概念，是需要重点学习的内容。第 5 章至第 14 章讲述各种通信网的组成和工作

原理。第 15 章对通信工程专业开设的各门课程做简要介绍,使读者对其预先有概括全面的了解。书中将注释和参考资料用二维码标注,读者可以扫二维码获得有关内容。

本书各章之间基本上没有密切关联,便于有选择地学习和阅读。例如第 1 章和第 2 章可以自学或跳过;第 9 章、第 10 章和第 11 章的内容都是关于互联网的,但是可以只学第 9 章,而略去第 10 章和第 11 章不学。关于各种通信网的其他章节,也可以根据不同学校和专业不同的特点,选学其中部分章节。

本书由樊昌信编著,参加本书编写的还有陆心如教授、周战琴女士。本书的编写自始至终得到电子工业出版社及韩同平编审的大力支持和鼓励,并得到西安电子科技大学的支持,在此一并表示感谢。书中存在的不当和错误之处,敬请读者批评指出,不胜感谢。欢迎将来信发到: chxfan@xidian.edu.cn (来信请务必注明真实姓名、单位、职务和地址,在校学生请注明所在院系和年级;否则不予回复。)

编著者

于西安电子科技大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)	2.13 小结	(20)
1.1 早期的运动通信	(1)	习题	(20)
1.2 早期的光通信	(2)	第 3 章 通信工程的基本概念	(21)
1.3 早期的声通信	(5)	3.1 消息和信息的概念	(21)
1.4 通信的范畴	(5)	3.1.1 信息	(21)
1.5 通信工程与通信工程教育	(6)	3.1.2 信息量	(21)
1.6 小结	(7)	3.2 信号的概念	(22)
习题	(7)	3.2.1 模拟信号	(22)
第 2 章 早期电通信	(8)	3.2.2 数字信号	(23)
2.1 静电电报	(8)	3.2.3 信号传输速率	(24)
2.1.1 静电的发现和检测	(8)	3.3 模拟通信和数字通信	(24)
2.1.2 静电电报	(8)	3.4 信号频谱的概念	(25)
2.2 电磁电报的肇始	(9)	3.5 无线电频带的划分	(27)
2.3 指针电报机	(9)	3.6 信道的概念	(29)
2.4 莫尔斯电报机和莫尔斯电码	(10)	3.6.1 有线信道	(29)
2.4.1 莫尔斯电报机	(10)	3.6.2 无线通信	(29)
2.4.2 莫尔斯电码的国际标准	(11)	3.7 信道特性对信号传输的影响	(32)
2.4.3 用莫尔斯电码发送汉字	(11)	3.7.1 恒参信道	(32)
2.4.4 莫尔斯电码的应用	(12)	3.7.2 变参信道	(34)
2.5 印字电报	(13)	3.7.3 信道中的干扰	(34)
2.6 波多电报机	(13)	3.8 通信系统的质量指标	(35)
2.6.1 波多电报机的原理	(13)	3.9 小结	(36)
2.6.2 波多电报机的改进和推广	(14)	习题	(37)
2.7 电传打字机	(14)	第 4 章 通信工程的主要技术	(38)
2.8 电话通信的发明	(15)	4.1 调制与解调	(38)
2.8.1 电话机的发明	(15)	4.2 模拟信号数字化	(39)
2.8.2 电话交换机的发明	(16)	4.2.1 什么是数字信号	(39)
2.9 有线电话通信的发展	(16)	4.2.2 模拟信号数字化过程	(41)
2.10 有线通信线路	(17)	4.3 同步	(42)
2.11 无线电报通信	(18)	4.3.1 位同步	(42)
2.12 无线电话通信	(19)	4.3.2 群同步	(42)

4.3.3 网同步	(42)	6.2.1 无线集群通信的功能	(70)
4.4 多路复用	(43)	6.2.2 无线集群通信的特点	(70)
4.5 多址	(44)	6.3 地面基站蜂窝网	(71)
4.6 差错控制和纠错编码	(44)	6.3.1 蜂窝网的小区划分和频率规划	(72)
4.7 信源压缩编码	(46)	6.3.2 蜂窝网的组成	(73)
4.8 天线	(47)	6.3.3 蜂窝网的发展概况	(73)
4.8.1 线天线	(47)	6.4 卫星基站蜂窝网	(79)
4.8.2 面天线	(47)	6.5 小结	(80)
4.8.3 天线的主要性能	(48)	习题	(81)
4.9 通信安全和保密编码	(49)	第7章 光纤通信	(82)
4.9.1 密码学	(49)	7.1 概述	(82)
4.9.2 单密钥密码	(50)	7.1.1 光纤通信的发展历程	(82)
4.9.3 公钥密码	(50)	7.1.2 光纤通信的优点	(84)
4.9.4 两种简单密码	(51)	7.2 光纤通信技术	(84)
4.9.5 通信安全的重要性	(51)	7.2.1 光发射器	(85)
4.10 小结	(52)	7.2.2 光接收器	(85)
习题	(53)	7.2.3 光纤	(86)
第5章 固定电信网	(54)	7.2.4 光放大器	(87)
5.1 电信网的发展历程	(54)	7.3 光纤通信的技术性能	(88)
5.2 固定电话网	(54)	7.3.1 系统指标	(88)
5.2.1 概述	(54)	7.3.2 工作波段	(88)
5.2.2 公共交换电话网的结构	(55)	7.3.3 光纤的传输容量	(89)
5.2.3 公共交换电话网的交换	(56)	7.4 小结	(89)
5.2.4 公共交换电话网的业务	(60)	习题	(90)
5.3 电话网中的非话业务	(60)	第8章 数据通信网综述	(91)
5.3.1 调制解调器	(60)	8.1 概述	(91)
5.3.2 宽带调制器	(61)	8.2 数据通信网的发展	(93)
5.4 有线电视网	(64)	8.2.1 数据通信网的诞生	(93)
5.4.1 概述	(64)	8.2.2 远程终端网	(93)
5.4.2 工作原理	(64)	8.2.3 计算机网	(93)
5.4.3 机顶盒	(65)	8.2.4 计算机网互连	(95)
5.5 小结	(66)	8.2.5 高速互联网	(96)
习题	(67)	8.3 互联网	(96)
第6章 移动通信网	(68)	8.3.1 概述	(96)
6.1 概述	(68)	8.3.2 互联网的历史	(97)
6.1.1 移动通信的概念和分类	(68)	8.3.3 互联网的管理	(98)
6.1.2 移动通信的发展历程	(68)	8.3.4 互联网的基础设施	(98)
6.2 无线集群通信系统	(70)	8.3.5 互联网的新应用	(103)

8.4 小结	(105)	11.1.3 广播信道的数据链路层	(132)
习题	(106)	11.2 物理层	(135)
第 9 章 互联网的体系结构	(107)	11.2.1 物理层协议规定的内容	(135)
9.1 体系结构概念	(107)	11.2.2 RS-232-C 标准	(135)
9.1.1 数据通信过程和协议	(107)	11.3 小结	(136)
9.1.2 体系结构的层次概念	(107)	习题	(137)
9.1.3 OSI 和 TCP/IP	(108)	第 12 章 个人网	(138)
9.2 体系结构各层功能	(109)	12.1 概述	(138)
9.2.1 应用层	(109)	12.1.1 个人网的种类	(138)
9.2.2 运输层	(109)	12.1.2 无线个人网的特点	(138)
9.2.3 网络层	(110)	12.1.3 蓝牙	(138)
9.2.4 数据链路层	(111)	12.1.4 红外	(139)
9.2.5 物理层	(111)	12.2 蓝牙通信	(139)
9.2.6 类比	(112)	12.2.1 起源和名称	(139)
9.3 小结	(112)	12.2.2 性能	(139)
习题	(113)	12.2.3 应用	(140)
第 10 章 互联网 TCP/IP 体系结构		12.2.4 设备	(141)
协议 (I)	(114)	12.3 红外通信	(141)
10.1 应用层	(114)	12.3.1 概述	(141)
10.1.1 域名系统	(114)	12.3.2 性能	(141)
10.1.2 文件传送协议	(115)	12.3.3 应用	(142)
10.1.3 万维网的协议	(115)	12.4 体域网	(142)
10.1.4 电子邮件	(117)	12.4.1 概述	(142)
10.1.5 基于万维网的电子邮件	(120)	12.4.2 原理	(143)
10.2 运输层	(120)	12.4.3 应用	(143)
10.2.1 运输层协议	(120)	12.5 小结	(143)
10.2.2 运输层的主要功能	(120)	习题	(144)
10.3 网络层	(122)	第 13 章 物联网	(145)
10.3.1 网络层的功能	(122)	13.1 概述	(145)
10.3.2 虚拟 IP 网	(122)	13.2 物联网的发展	(146)
10.3.3 IP 协议	(124)	13.3 物联网的应用	(146)
10.4 小结	(127)	13.4 物联网的关键技术	(147)
习题	(127)	13.4.1 条形码	(147)
第 11 章 互联网 TCP/IP 体系结构		13.4.2 射频识别技术	(150)
协议 (II)	(129)	13.4.3 近场通信	(154)
11.1 数据链路层及局域网	(129)	13.4.4 传感器	(156)
11.1.1 点对点信道的数据链路层	(129)	13.5 小结	(157)
11.1.2 点对点协议 PPP	(130)	习题	(158)

第 14 章 全球卫星定位系统·····	(159)	15.3 专业基础课程·····	(168)
14.1 概述·····	(159)	15.3.1 电路类课程·····	(168)
14.2 基本定位原理·····	(160)	15.3.2 电场类课程·····	(172)
14.2.1 二维空间中的定位·····	(160)	15.3.3 系统类课程·····	(174)
14.2.2 三维空间中的定位·····	(160)	15.3.4 计算机类课程·····	(176)
14.3 差分定位原理·····	(162)	15.4 专业课程·····	(177)
14.3.1 位置差分原理·····	(162)	15.4.1 通信原理·····	(177)
14.3.2 伪距差分原理·····	(162)	15.4.2 天线与电波传播·····	(178)
14.3.3 载波相位差分原理·····	(163)	15.4.3 计算机通信网·····	(179)
14.4 小结·····	(163)	15.4.4 多媒体通信·····	(180)
习题·····	(163)	15.4.5 扩频通信·····	(180)
第 15 章 通信工程专业·····	(164)	15.4.6 卫星通信·····	(181)
15.1 概述·····	(164)	15.4.7 信息论基础·····	(182)
15.2 基础课程·····	(165)	15.4.8 信源编码基础·····	(183)
15.2.1 大学物理与高等数学·····	(165)	15.4.9 信道编码基础·····	(184)
15.2.2 复变函数论·····	(166)	15.4.10 网络安全理论与技术·····	(185)
15.2.3 线性代数·····	(167)	15.4.11 通信系统仿真·····	(186)
15.2.4 离散数学·····	(167)	15.5 小结·····	(186)
15.2.5 概率论与数理统计·····	(168)	习题·····	(186)

第1章 绪论

在人类进入文明社会后，就有了语言和文字，并且有了交流语言和文字的需求。语言和文字是靠听觉和视觉感知的。或者说，两者分别是声和光信号。声光信号可以在发送者和接收者之间直接传递，也可以通过某种媒介传送。通过信件，或者用产生声波、光波信号的工具传送消息，都属于通信范畴。

1.1 早期的运动通信

信件最早用人力、驿马、信鸽等传送，这称为运动通信。中国是世界上最早建立组织机构传递信息的国家之一，邮驿历史长达 3000 多年。在春秋时期，人们把传递文书的机构叫做“邮”。邮距为 25 千米，是一个成年人当天能步行往返的距离。设立专供传递文书人员中途暂息和住宿的地方，后来即称为驿站（图 1.1.1）。驿站这一场所秦汉时已经完善。秦始皇统一中国后设置的“十里一亭”是行政架构，但是在交通干线上它还兼有传送公文的通信功能，被称为“邮亭”，是以步行传送信件的通信机构。汉初改人力步行递送为骑马快递，并规定“三十里一驿”，传递区间由春秋时的 25 千米扩大为 150 千米。唐代诗人杜牧的诗句“一骑红尘妃子笑，无人知是荔枝来。”讽刺唐玄宗为了爱吃鲜荔枝的杨贵妃，动用国家驿站和驿马，从南方运送荔枝到长安。证明这时已经用驿马代替步行送信了。到了宋朝，按照沈括在《梦溪笔谈》里的说法，邮驿传递主要有三种形式：一是步递，二是马递，三是“急脚递”。步递用于一般文书的传递，是接力步行传递。这种传递速度较慢。马递用于传送紧急文书，速度较快。



图 1.1.1 驿站和驿马

今日信件的传送主要是靠现代交通工具，例如飞机、火车和汽车等，驿站已经被“邮局”取代（图 1.1.2），但是在偏远地区，例如中国西藏的一些山区，信件传递到收信人的最

后一段距离，有时还是要靠步行或马匹。



(a) 2008年北京国际新闻中心邮局



(b) 珠峰邮局



(c) 柬埔寨邮局



(d) 阿拉斯加北极邮局

图 1.1.2 世界各地的邮局

信鸽是因为鸽子有天生的归巢本能，进而培育发展其这种能力，利用它来传递信息。古代罗马人奥维德（Ovid，公元前 43 年至公元后 17 年）曾记述了一个叫陶罗斯瑟内斯的人，把一只鸽子染成紫色后放飞，让它回到家中向父亲报信，告知他自己在奥林匹克运动会上赢得了胜利。古代中东地区，统治者诺雷丁（Nour-Eddin）苏丹，在公元 1167 年于巴格达和叙利亚之间建立起一个信鸽通信网。古代埃及的渔民，每次出海捕鱼时多带有鸽子，以便传递求救信号和渔汛消息。

相传我国西汉初年（公元前 206 至公元前 202 年）楚汉相争时，被项羽追击而藏身废井中的刘邦，放出一只鸽子求援而获救。五代后周王仁裕（公元 880—956 年）在《开元天宝遗事》中辟有“传书鸽”章节，书中称：“张九龄少年时，家养群鸽，每与亲知书信往来，只以书系鸽足上，依所教之处，飞往投之，九龄目为飞奴，时人无不爱讶。”可见我国唐代已利用鸽子传递书信。另外，张骞、班超出使西域时，也利用鸽子来传递信息。至 19 世纪初叶，人类对信鸽的利用更为广泛，著名的滑铁卢战役的结果就是由信鸽传递到罗瑟希尔德斯的。信鸽的飞行距离可达 1500 千米，甚至 2000 千米。现代信鸽的主要用途是比赛。

1.2 早期的光通信

中国古代的烽火台用光信号传送消息，周幽王（公元前 781 至 771 年在位）烽火嬉诸

候的故事是大家所熟知的。在《史记》中记载的这个故事，虽然其真伪仍存争议，但是它无疑是古代应用烽火作为光通信的见证，证明中国远在 2800 年以前就在军事上采用了光通信，而且是世界上接力通信的起源，它利用一系列烽火台（图 1.2.1）的烽火接力传递“敌情”。这种非常原始的光通信只能传递有无敌情这两种消息，所以它也是今日广泛应用的二元（二进制）通信的始祖。

古代希腊将军、政治家、历史学家波利比奥斯（Polybius）（图 1.2.2）曾经在公元前三世纪时描述过一种希腊人在公元前四世纪发明的水力信号系统（图 1.2.3）的设计，这种系统曾经在第一次迦太基战争时在西西里岛和迦太基城之间用于传递消息。



图 1.2.1 烽火台



图 1.2.2 波利比奥斯



图 1.2.3 水力信号系统

这种信号设施包括分别放在两个山头上的相同的水桶。两个水桶灌满了水，但不相连接，桶内各漂浮着一根直立的木棍，棍上在不同高度刻有一些规定的编码，例如第一个刻度表示“骑兵来了”，第二个刻度表示“重装备步兵来了”，第三个表示“轻装备步兵来了”，第四个表示“船来了”，等等。在开始发送消息时，发送方先用火炬通知另一山头上的接收方，使双方同时打开在水桶底部的水龙头，当桶中水位下降到木棍上露出所需的刻度时，发送方降下火炬，双方即同时关闭水龙头。于是能看到发送方火炬的时间长度就知道了和预定的编码相关的消息。

这种系统也属于利用光信号传输信息的系统，其通信距离也受视线距离的限制，并受气候的影响，传递消息的速度也较慢，但是能传递的消息数量比烽火台系统多一些。

波利比奥斯还描述过一种能传递全部希腊字母的信号传输系统。在每个通信站上建立两面墙。每面墙大约 2.1 米长、1.8 米高，两墙相距约 1 米。在每面墙顶上放置 5 个火炬。用一个矩形矩阵规定一种编码，如表 1.2.1 所示。字母 A 在每面墙上用点燃 1 个火炬表示，字母 B 用在右墙上点燃 1 个火炬及在左墙上点燃 2 个火炬表示，等等。

这种编码方法后来在法国人克劳德·查普（Claude Chappe）（图 1.2.4）发明的臂板信号系统（Semaphore）中得到了发展。1792 年克劳德·查普在一个学校中建造了第一个臂板信号装置模型，用以和在 1 英里

表 1.2.1 波利比奥斯用的希腊字母编码表

		左 墙				
		1	2	3	4	5
右墙	1	A	B	Γ	Δ	E
	2	Z	H	Θ	I	K
	3	Λ	M	N	Ξ	O
	4	Π	P	Σ	T	r
	5	Φ	X	Ψ	Ω	

之外的另一学校中的兄弟通信。这种装置改进以后于 1794 年被法国政府采用，在巴黎和里尔间 230 千米的距离上设置许多中继站以传递军事消息。这种方法比用驿马远距离送信快得多，而且一旦建立后长期运作的费用也便宜得多。因此，采用这种信号系统在法国曾经建立了一个含有 556 个站的覆盖全国的信号网络，总距离达 4800 千米，用于军事和民事通信。然而，这种系统需要熟练的工作人员和每隔 10 到 30 千米建立一个昂贵的信号塔，它竞争不过后来出现的电信号通信，至 1880 年最后一条民用臂板信号线路就被放弃了。

图 1.2.5 示出改进后的这种臂板信号装置。它用一根 4.6 米长的横臂放在一根立杆上，在横臂的两端各有一根 2 米长的短臂。横臂和短臂都可以用绳子和滑轮以 45° 间隔调整其角度，这样就能用不同的角度位置表示 196 ($7 \times 7 \times 4$) 种不同的字母、数字和其他符号。

这种通信装置后来在俄罗斯、法国和德国也得到应用。俄罗斯用 220 个信号塔，间距 10 至 16 千米，从普鲁士边境经华沙到圣彼得堡，建立了 1900 千米的臂板信号线路，雇用了 1300 名工作人员。德国在 1832 年建立了从柏林经波茨坦、马格德堡、科隆和科布伦茨到特里尔的臂板信号站线路，花费了 170 000 (德国银) 元。在法国，从巴黎到土伦建立了一条有 120 个站的 760 千米长的臂板信号线路。传输速率为每分钟一个信号，从巴黎到土伦的传输时间为 10 到 12 分钟。

1795 年英国海军部采用了一种由乔治·墨瑞勋爵 (Lord George Murray) 发明的 6 窗光信号系统，如图 1.2.6 所示。此图中示出一个矩形框架上装有 6 块带水平轴的镶板，每块镶板高 1.5 米。它们可以翻转并停留在水平和垂直两个位置上。每块镶板可以独立翻转，所以可以代表 64 种符号。英国海军部于 1795 年 9 月采用了这种系统，在伦敦和迪尔之间建立了 15 个站。从伦敦到迪尔传输消息需要 60 秒。至 1808 年在下列线路上建立了使用这种系统的 56 个站：伦敦—迪尔和希尔内斯，伦敦—大雅茅斯，伦敦—朴茨茅斯和普利茅斯。至 1816 年 3 月它被海军部关闭，改用性能更好的改进型臂板信号系统。



图 1.2.4 克劳德·查普

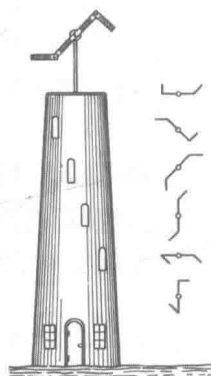


图 1.2.5 臂板信号装置

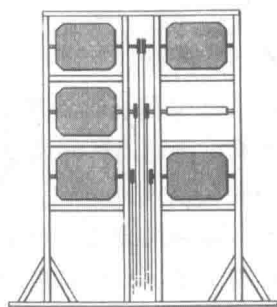


图 1.2.6 6 窗光信号系统

臂板信号系统也被其他一些国家采用过，例如葡萄牙、加拿大、丹麦、瑞典和美国。这种系统的主要缺点之一是在夜晚不能使用，中国更古老的烽火台虽然只能传递一个简单的信号，但是却能够昼夜工作，白天用“狼烟”，黑夜用火光。

以上介绍的是历史上出现过的主要几种利用光信号作为媒介的原始通信工具。它们传输消息慢、传输距离短、受天气影响大、不可靠且传递的消息有限。此外，旗语 (图 1.2.7)、灯塔 (图 1.2.8)、日光反射信号机 (heliograph) (图 1.2.9) 等都是利用光信号传送消息的手段。



图 1.2.7 旗语



图 1.2.8 灯塔



图 1.2.9 日光反射信号机

1.3 早期的声通信

除了光信号通信外还有声信号通信。中国古代用声信号在战场上传递消息的记载最早见荀卿（约公元前 313 年—公元前 238 年）（图 1.3.1）的著作《荀子·议兵》：“闻鼓声而进，闻金声而退。”，“闻鼓声”中的“鼓”指战鼓（图 1.3.2），“闻金声”中的“金”指军队中用的乐器“钲”（图 1.3.3）。这些都是原始的声通信。在中国古代战场上，击鼓前进，鸣金收兵是主要的指挥手段之一。所以在战国末期的荀卿年代，中国已经将声信号通信用于战场。它和烽火类似，也只能传递两种消息：“进”和“退”。此外，号角、哨声等也是人们常用的声信号。



图 1.3.1 荀卿

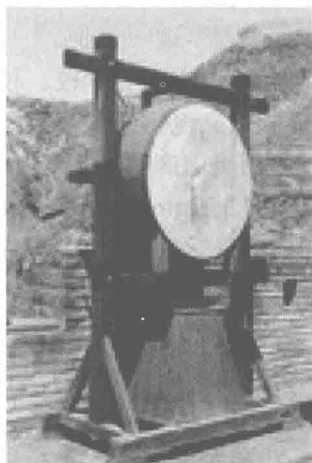


图 1.3.2 古代战鼓



图 1.3.3 战国虎纹铜钲

1.4 通信的范畴

人们之间面对面地直接交流消息，不属于我们这里讨论的通信范畴。“通信”一词翻译成英文是“communication”，但是 communication 的含义不仅是中文的“通信”，它还包括人和人之间的直接消息交流。在国外，有不少大学设有 communication 系或专业，它是属于社会科学的专业，专门研究各种人们之间的语言通信和非语言通信。非语言通信除了书写通信外，还包括例如触觉（图 1.4.1）、手势（图 1.4.2）、表情（图 1.4.3）、眼神（图 1.4.4），等

等。这就是说，中文“通信”和英文“communication”不是一一对应的关系。但是“通信工程”和“communication engineering”是一一对应的。



图 1.4.1 触觉



图 1.4.2 手势

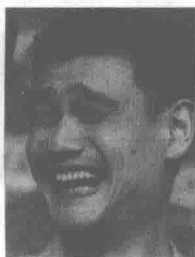


图 1.4.3 表情



图 1.4.4 眼神交流

自从发明电的应用以来，应用电技术进行通信的手段得到迅速的发展。电话和电报通信已经有一百多年的历史，但是用纸张作为媒介的邮件至今还是必须的通信手段。我国目前仍然存在邮政局，它负责用非电方法传送邮件；并且今日的邮件包括函件和包裹两类。传送函件的目的是传送信息，而传送包裹的目的是传递物质。所以今日邮件的内涵已经超出了通信的范畴，不过传送包裹不在我们今后将要讨论的通信范畴之内。

1.5 通信工程与通信工程教育

上述烽火台是古代的通信工程，现代通信工程基本上都是应用电技术解决通信问题的工程，并且在高等学校中出现了“通信工程”这一专业。

在清末民初时，中国向西方学习开始设立高等学校。校中的院系也主要是参照西方的经验设置。例如，清华大学于1932年秋成立电机工程学系，在该系内于1934年秋成立电力和电讯两组。这时课程设置和教材都采用美国麻省理工学院（MIT）电机工程学系的模式。顺便说明：“电机工程学系”翻译自英文“Department of Electrical Engineering”，简称“电机系”。1952年全国院系调整后，全面向苏联学习，院系设立和教材皆参照苏联模式和从俄文翻译而来。经过十年的中断，至1976年恢复高考后，我国高校的体制和教材又逐步转至向英美学习。在中国高校中，经过24年的中断应用英文后，英文的“Department of Electrical Engineering”被翻译成为“电气工程系”了。

电力和电讯两个领域又分别称为“强电”和“弱电”。强电主要是利用电的能量代替人力去做功，弱电则主要是利用电的传导迅速的特点去传输和处理信息。到1950年代以后，电的应用，无论是在强电还是弱电方面，都有着惊人的迅猛发展。特别是在弱电方面，由于半导体、计算机和激光等新兴技术的发明和应用，弱电的应用不仅是在通信方面。一些新兴的领域不断产生，例如雷达、导航、遥控、遥测、计算和声呐，等等。在通信方面，需要传输的内容不仅是文字和声音了。传统的电报和电话业务，远远不能满足人们的需求，出现了传真、电视、数据传输等领域。由于弱电领域的内容迅速扩张，以及1952年后学习苏联的学校体制，在高校中弱电逐渐从电机系中的电讯组蜕变成许多系或专业，例如无线电系、计算机系、半导体专业、通信工程专业、雷达专业，等等；电力组和电讯组的名称从此就消失了。

通信工程专业属于电子信息类，它涵盖信息的传输、处理和存储的全部理论和技术。