

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会规划教材

通信原理与应用——系统案例部分

其他无线通信

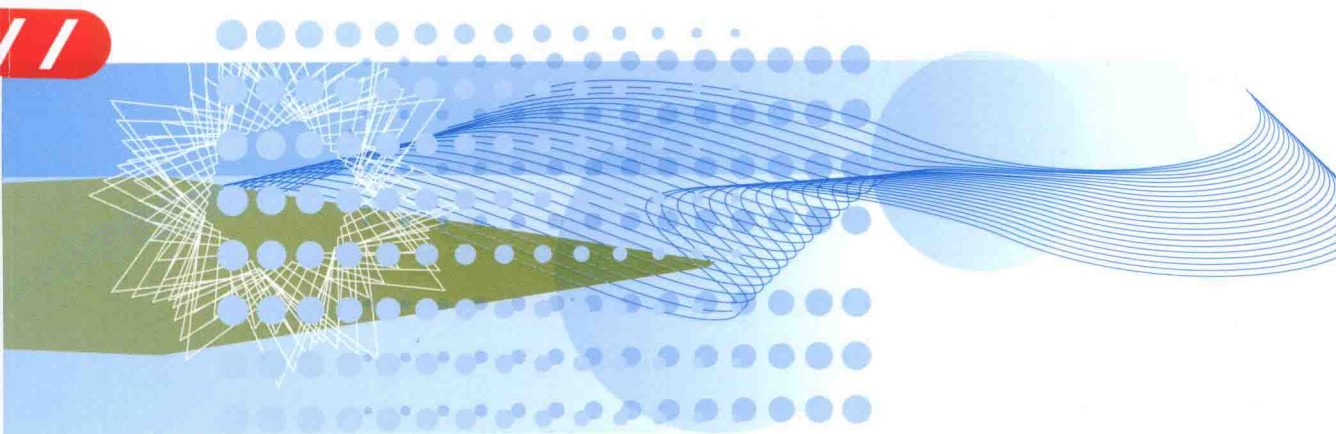
主 编 曹志刚

编 著 （按案例顺序）

程云鹏 王呈贵 王田甜

栗 欣 卢小峰 陈连平

主 审 谈振辉



高等教育出版社

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导

通信原理与应用——系统案例部分 其他无线通信

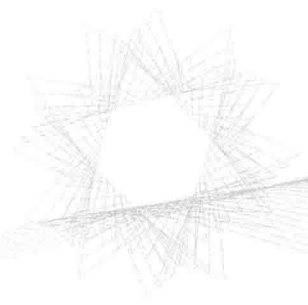
主 编 曹志刚

编 著 （按案例顺序）

程云鹏 王呈贵 王田甜

栗 欣 卢小峰 陈连平

主 审 谈振辉



TONGXIN YUANLI YU YINGYONG
XITONG ANLI BUFEN
QITA WUXIAN TONGXIN

内容简介

本书是《通信原理与应用——系统案例部分》的其他无线通信分册。

《通信原理与应用》是在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的系列教材,该教材分为基础理论部分和系统案例部分,将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写,旨在理论联系实际,学以致用。

系统案例部分按应用类别分为7个分册:移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信。本书是其中的其他无线通信分册,共收纳6个案例:短波通信、超短波通信、数字集群电话、无线对讲机、流星余迹通信、水声通信。

配套出版的基础理论部分内容包括:绪论、随机过程基础、模拟调制、数字信号基带传输、数字调制、模拟信号数字化、差错控制编码、复用与多址技术、无线通信传输新技术。

本书可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。教学中可以将系统案例与理论部分配合使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与应用.系统案例部分.其他无线通信/
曹志刚主编;程云鹏等编著. --北京:高等教育出版
社,2015.8

ISBN 978-7-04-042167-5

I. ①通… II. ①曹…②程… III. ①通信理论-高
等学校-教材②无线电通信-案例-高等学校-教材
IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 040004 号

策划编辑 吴陈滨
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 张江漫
责任校对 陈 杨

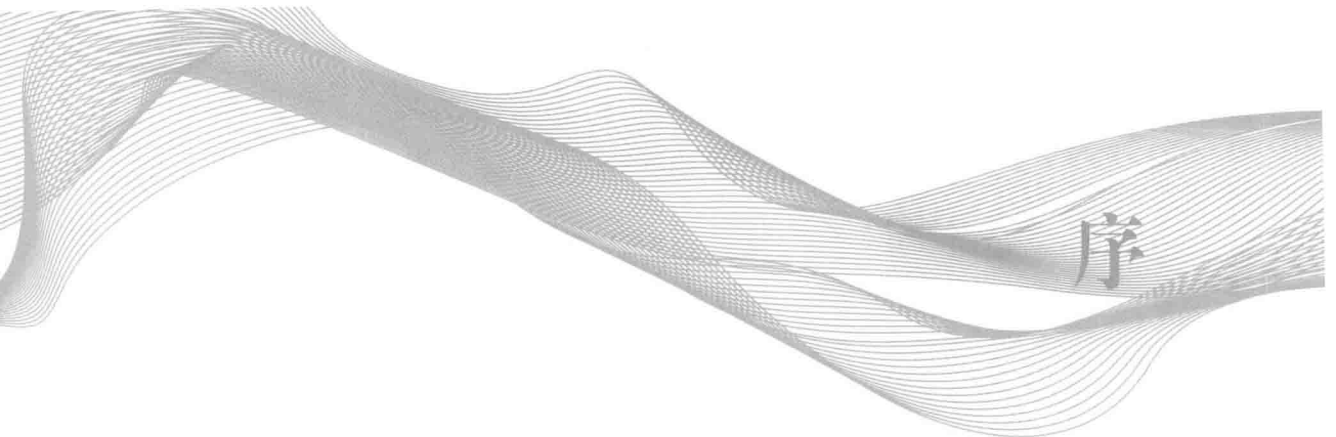
封面设计 王 晔
责任印制 毛斯璐

版式设计 杜微言

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 100120
印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 10.25
字 数 190千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2015年8月第1版
印 次 2015年8月第1次印刷
定 价 18.00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 42167-00



序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确指出:“高等教育承担着培养高级专门人才、发展科学技术文化、促进社会主义现代化建设的重大任务。提高质量是高等教育发展的核心任务,是建设高等教育强国的基本要求。”我国高等教育已经进入大众化教育阶段,成为工程教育大国,但还不是工程教育强国,还远不能满足当前经济建设和社会发展的需求。高等教育培养高素质工程技术人才是我国高等学校人才培养模式之一,并应置于重要的位置。高等教育培养出数量足够并且能够面向一线的优秀工程技术人员,这是中国高等学校,特别是高等工科院校不可推卸的历史责任,也是努力办好人民满意的教育、推动高等教育内涵式发展、深化教育领域综合改革和着力提高教育质量的具体实践。

国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展,对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求,而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业,也是近年来发展最快、在校人数最多的专业类之一。

为了适应高等工程教育改革,满足社会对电子信息类专业工程技术人才的需要,教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会根据教育部卓越工程师教育培养计划要求,针对中国高等工程教育存在的工程性、创新性和多样性缺失等问题,在认真开展了学科专业发展战略的研究和《高等学校电子信息科学与工程类本科指导性专业规范(试行)》的制定基础上,2010年从以信息与通信工程学科为特色的十余所重点高等院校和知名企业遴选了有丰富的工程实践背景和教材编写经验的40余位教授和专家,组织开展编写一套体现理论基础教学与工程应用案例协同教学理念的电子信息类专业核心课程教材,并使其具有权威性、工程性、创新性和示范性。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程涉及“通信原理与应用”“通信网络基础”和“数字信号处理”三门课程。从课程体系、教学大纲到三级目录,编写组在

广泛征求意见的基础上进行了深入的调查、分析和研究,并召开了十几次会议进行研讨。教材完稿后,又邀请相关课程领域的权威专家进行审稿。至此,第一批“高等学校电子信息类专业核心课程教材”将于2015年陆续问世。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的编写汇聚了全国相关课程优秀教育工作者和行业专家的丰硕教学和科研成果。教材内容注重体现理论基础性和工程应用性的协同。教材的理论基础严谨,概念清晰;教材的应用案例典型,特色鲜明。本系列教材有利于培养学生应用数理基础、科学与工程知识的能力,有利于培养学生根据需求设计部件、系统或过程的能力,有利于培养学生解决问题的能力,有利于激发学生提出问题的兴趣,有利于培养学生创新意识,增强学习主动性和积极性。

衷心感谢参与编写第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的学者和专家,正是他们高度的责任感和无私的奉献精神,使这套系列教材得以顺利出版。同时,也衷心希望这套教材能够在我国高等学校电子信息类专业课程教学中发挥积极的作用。

教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会(2001—2012年)

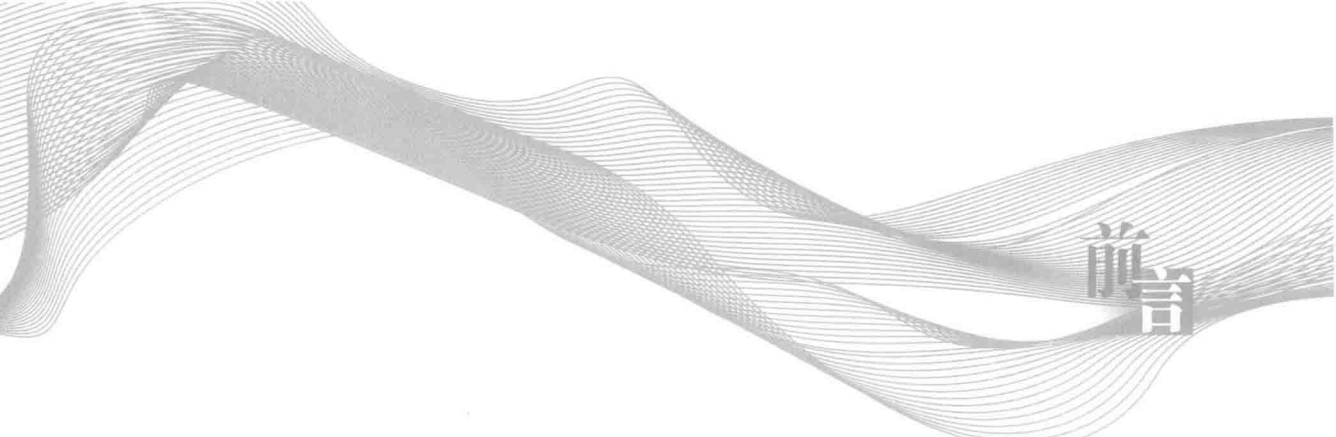
副主任委员

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会(2001—2012年)

主任委员

北京交通大学 谈振辉

2014年12月



前言

为贯彻落实走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人力资源强国的战略部署,实施《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》,教育部提出了卓越工程师教育培养计划。其主要目标是:面向工业界、面向世界、面向未来,培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势,增强我国的核心竞争力和综合国力。

以实施卓越工程师教育培养计划为突破口,促进工程教育改革和创新,全面提高我国工程教育人才培养质量,努力建设具有世界先进水平、中国特色的社会主义现代高等工程教育体系,促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。卓越工程师教育的核心是强化工程实践能力、工程设计能力与工程创新能力,为此需要大力改革课程体系和教学内容。

本书正是基于以上目标,在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的。由清华大学曹志刚教授担任主编、选题并统编定稿。

全书分两部分:基础理论部分和系统案例部分。将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写,在国内外同类教材中是一次尝试,旨在理论联系实际,学以致用,拓宽学生的工程知识。

基础理论部分共9章,第1章绪论,第2章随机过程基础,第3章模拟调制,第4章数字信号基带传输,第5章数字调制,第6章模拟信号数字化,第7章差错控制编码,第8章复用与多址技术,第9章无线通信传输新技术。以章次为序,分别由清华大学曹志刚(第1、7章)、东南大学宋铁成(第2、9章)、北京邮电大学杨鸿文(第3、5章)、清华大学陈巍(第4章)、西安电子科技大学张辉(第6、8章)编写。北京交通大学张立军参与了第7章部分内容的修改。清华大学白铂编写了第1章的1.2节。

北京交通大学谈振辉教授对基础理论部分全文进行了审阅。

系统案例部分按移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信等不同应用类别分为7篇,共收纳48个通信系统典型案例。案例作者由从事该领域研究和教学的高校和国内知名设备厂商中遴选,以案例编号为序,作者分别是:北京邮电大学杨鸿文,清华大学李云洲,北京邮电大学张欣、彭木根,北京交通大学孙强,北京邮电大学陈雪,中央民族大学陈根祥,北京交通大学李唐军,解放军理工大学甘仲民、李志强、李广侠、张更新,清华大学郑友泉、詹亚锋,南京邮电大学王文鼎,东南大学胡静,北京信威公司许瑞锋、唐春莺、余西西,南京邮电大学余兆明,北京邮电大学郭文彬,清华大学宋健,南京邮电大学朱晓荣,东南大学夏玮玮、徐平平、张在琛,西安电子科技大学李长乐,中国传媒大学韦博荣,清华大学薛永林,北京交通大学张立军、赵永祥,清华大学王昭诚、窦维蓓、唐昆、李晔,解放军理工大学程云鹏、王呈贵,中兴通讯股份有限公司王田甜,清华大学栗欣,西安电子科技大学卢小峰,西北工业大学陈连平。其中个别作者编写了多个案例。通信系统案例部分内容丰富,但篇幅较大。为读者使用方便,将系统案例部分按两种方式出版,一种是系统案例部分合订本;另一种是将系统案例部分分成7个分册出版,每篇自成一册。7个分册依序分别由清华大学王京、陈明华,北京大学项海格,北京邮电大学吴伟陵,东南大学沈连丰,清华大学林行刚,北京交通大学谈振辉担任评审。

限于本人水平,且作者众多,书中错误疏漏、文风不一在所难免,敬请指正。主编邮箱为 czg-dee@tsinghua.edu.cn。

本教材可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。

曹志刚

2014年9月于清华大学

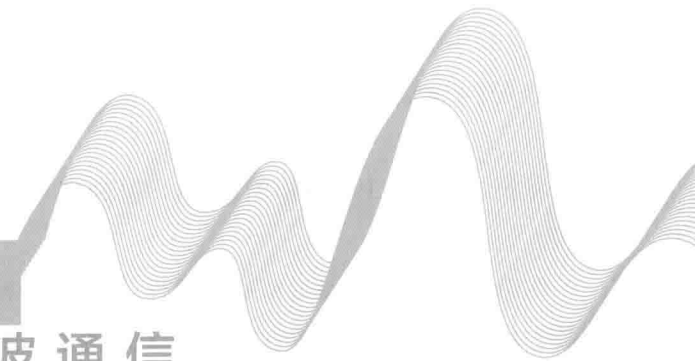
案例四十三 短波通信	1
43.1 短波通信概述	1
43.1.1 短波通信发展历程	1
43.1.2 短波信道特点与模型	2
43.1.3 短波数字通信系统	8
43.2 短波数字调制解调技术	12
43.2.1 短波数字调制解调器设计	12
43.2.2 短波调制解调器性能评价	14
43.2.3 短波调制解调器发展趋势	15
43.3 多载波并行波形	17
43.3.1 波形传输格式	18
43.3.2 基本参数与实现考虑	20
43.4 单载波串行波形	21
43.4.1 波形传输格式	22
43.4.2 基本参数与实现考虑	24
43.4.3 波形性能对比	25
参考文献	26
案例四十四 超短波通信	28
44.1 超短波通信概述	28
44.1.1 电波传播	29
44.1.2 信道特点	30
44.1.3 信道模型	31
44.2 超短波通信系统	35
44.2.1 系统组成	35

44.2.2 体系结构	38
44.2.3 调制解调	39
44.3 窄带 CPM 波形	39
44.3.1 CPM 信号	40
44.3.2 调制指数设计	45
44.3.3 传输格式	47
44.3.4 跳频 CPM 的考虑	50
参考文献	51
案例四十五 数字集群电话	53
45.1 数字集群电话系统概述	53
45.2 数字集群通信系统的组网	55
45.3 数字集群通信系统的组呼业务	58
45.3.1 组呼业务空中接口的单方向功能	59
45.3.2 语音压缩技术	59
45.3.3 信道编码技术	61
45.3.4 调制	64
45.4 数字集群通信系统的特点	64
参考文献	69
案例四十六 无线对讲机	71
46.1 无线对讲机概述	71
46.1.1 无线对讲机发展	71
46.1.2 无线对讲机种类	75
46.2 模拟无线对讲机	77
46.2.1 模拟无线对讲机原理	77
46.2.2 模拟无线对讲机组成	78
46.2.3 模拟无线对讲机标准	79
46.3 数字无线对讲机	80
46.3.1 数字无线对讲机原理	80
46.3.2 数字无线对讲机组成	87
46.3.3 数字无线对讲机标准	88
46.4 无线对讲机功能和应用	92

46.4.1 无线对讲机功能	92
46.4.2 无线对讲机应用	93
参考文献	97
案例四十七 流星余迹通信	99
47.1 流星余迹通信概述	99
47.1.1 流星余迹通信的基本原理	99
47.1.2 流星余迹通信的发展	100
47.1.3 流星余迹通信的特点	101
47.2 流星余迹通信信道模型	102
47.2.1 流星余迹的形成	102
47.2.2 流星余迹的分类	103
47.2.3 流星余迹的基本特点	104
47.2.4 流星余迹信道模型	106
47.3 流星余迹通信物理层传输关键技术	108
47.3.1 流星余迹通信的同步	108
47.3.2 信道与来波方向估计	111
47.3.3 调制解调	113
47.3.4 信道编译码和自适应传输	114
47.4 流星余迹通信链路层传输技术	118
47.4.1 链路结构及链路规程操作	118
47.4.2 链路层差错控制	119
47.4.3 链路传输性能参数	120
47.5 流星余迹通信的发展趋势	125
参考文献	125
案例四十八 水声通信	127
48.1 水声通信概述	127
48.1.1 水声通信系统的发展	127
48.1.2 水声通信信道特性	129
48.1.3 水声换能器	134
48.1.4 水声通信系统的结构	137
48.2 水声通信的调制技术	139

IV 通信原理与应用——系统案例部分 其他无线通信

48.3 水声通信实例	141
48.3.1 实例一:水声二次定位系统	141
48.3.2 实例二:水声调制解调器	144
参考文献	146
系统案例部分总目录	148



案例四十三

短波通信

短波通信是指利用高频(High Frequency, HF)进行的无线电通信,频率范围为 $3 \sim 30$ MHz,波长为 $100 \sim 10$ m,实际使用频率低端可达2 MHz左右。短波既可沿地表传播实现近距离通信,也可通过电离层反射以天波方式传播,实现中远距离通信,具有无中继传输、机动灵活、抗毁能力和快速恢复能力强等优点,广泛应用于军事、气象、远洋、外交和应急通信等领域。本案例首先介绍了短波通信的发展历程、信道特点与模型以及短波数字通信系统的组成、技术标准和体系架构;然后对短波数字调制解调技术进行了阐述,包括短波调制解调器的设计方法、性能评价以及技术发展趋势;最后以典型短波并行和串行波形为例,介绍了其传输格式、工程实现考虑以及性能指标情况。

43.1 短波通信概述

43.1.1 短波通信发展历程

1921年意大利首都罗马近郊发生了一场大火,短波求救信号被发现居然传到了几千公里外,实现了远距离通信,这掀开了短波通信的篇章。此后,人们开始研究短波电波传播规律,电离层反射理论、探测预测技术、高性能短波天线等,短波通信技术得到了迅速发展。1948年,香农(Shannon)发表了论文《通信中的数学理论》,为包含短波通信在内的信息技术的发展奠定了理论基础。在20世纪60年代之前,短波通信是中远距离无线通信的重要手段,用于传输话音和手

键报业务。但随着卫星通信的出现,因其稳定可靠的通信效果更受青睐,短波通信发展进入停滞期。

然而,实践证明卫星通信成本过高,用户容量有限,缺乏灵活性,特别在战争时期卫星容易受到敌方攻击,难以抵御强电磁干扰,曾被认为取代短波通信的情况并没有出现。相反,短波通信成本低、用户多、体积小、灵活性大、通信链路开通便捷,能够实现应急通信、移动通信,更重要的是电离层不易被摧毁。研究表明,即使在核爆条件下,也只是短时间内影响核爆区域的电离层,短波通信面对自然或战争的抗毁能力更强。

因此,从 20 世纪 70 年代末开始,短波通信重新受到重视,美军将短波通信作为第一线的指挥控制通信手段,并从 80 年代开始实施了一系列短波通信改进计划。近 20 年来,短波数字通信技术得到了蓬勃发展,以短波调制解调、自动链路建立为代表的新技术不断涌现,陆续出现了一些性能优良的短波通信系统,在世界上被广泛应用。

当然,短波通信也存在一些不足,如信道不稳定、频段窄、噪声和干扰严重等,这些因素影响通信效果,而且短波信道的开放性使得通信可能被侦测和干扰。因此,短波通信存在技术难度大、装备研制门槛高等特点。在国际上,短波通信技术标准和生产厂家主要集中在美、英、法、德等发达国家。近十年来,我国短波通信取得了巨大进步,诞生了许多新技术和新系统,部分功能和性能达到国际先进水平,呈现出较强的竞争力。

43.1.2 短波信道特点与模型

1. 短波电波传播

短波通信电波传播包括地波传播和天波传播两种方式。

(1) 地波传播

地波利用大地导电特性,沿地球表面进行传播。电波传播过程中受到大地吸收,会产生一定损耗,地面导电特性越好,吸收越少,损耗越少;频率越低,损耗越小,随着频率升高和距离增加,损耗迅速增大。此外,地波具有一定的绕射能力,与波长、地形起伏有关,波长越长,绕射能力越强,地形起伏越大,绕射能力越弱。因此,地波适合于低频率和近距离通信。

根据实际测量,当传播环境由于土向湿土或湖泊、海洋变化时,相对介电常数逐渐提高,导电特性增强,因此作为地波传输的一种特例,海面波传输效果最好。陆上传播距离通常约几十公里,海面波通信距离则可达 100 ~ 200 km。

(2) 天波传播

在地球高空的大气层中,由于太阳紫外线辐射、X 射线以及宇宙射线作用使大气分子电离,形成等离子体区域,称为电离层。电离层中自由电子能引起入射的短波电波发生折射,并最终将其反射回地面,形成短波天波通信。与地波传播相比,天波传播可实现中远距离通信,通信距离一般可达数百至几千公里,甚至全球通信。短波天波通信效果与电离层高低和电子密度有关,电离层电子密度分布不均匀,随高度变化,从低到高依次可分为 D 层、E 层、F 层。

① D 层

D 层作为最低层,高度范围是 60 ~ 90 km,一般白天出现,晚上消失。D 层的电子密度不足以反射短波,电波将穿透 D 层并遭到衰减,因此也称 D 层为吸收层。频率越低,衰减越大,且衰减量大于 E、F 层。

② E 层

E 层高度范围是 90 ~ 150 km,和 D 层类似,白天出现,中午电子密度最高,晚上逐渐消失。在 E 层 120 km 左右,偶尔出现电子密度非常高的区域,称为偶发 Es 层。虽然具有偶发特性,但一旦出现,对短波电波信号的反射非常强,可用于短波通信。实际应用中,一般采取先探测 Es 层、后快速通信的工作流程。

③ F 层

F 层是短波通信的主要电离层,高度范围约 150 ~ 1 000 km,用于反射短波电波,因而称为反射层。F 层中 200 km 以下区域称为 F1 层,白天存在,夜间消失,多出现在夏季;200 km 以上区域称为 F2 层,是主要反射层,一般电子密度白天大,夜间小。

电离层的传播特性会影响短波信号的传输,使信号产生畸变,且传播特性与季节、日夜、太阳黑子、地理位置变化有关;此外,受太阳局部扰动引起的电离层剧烈变化以及太阳耀斑导致的电离层突发骚动等影响,其反射和吸收能力也发生变化,使短波通信的稳定性难以保证。

图 43-1-1 给出了短波电波传播示意图,天波辐射较远,通过单跳或多跳到达,地波辐射较近,一般来说两个辐射区域相互不交叠,中间存在一个辐射较弱的寂静区域,传统上称为盲区。陆地上盲区与发射机的距离一般为几十至上百公里,对于海上通信,由于海面波传播较远,盲区现象不明显,实际试验表明甚至存在天波、地波混合情况。盲区并不表明一定无法通信,只是天波和地波辐射相对较弱,如果采用高性能天线,如近垂直天线,电波辐射可有效覆盖盲区,结合现代数字通信技术,完全可实现可靠通信。

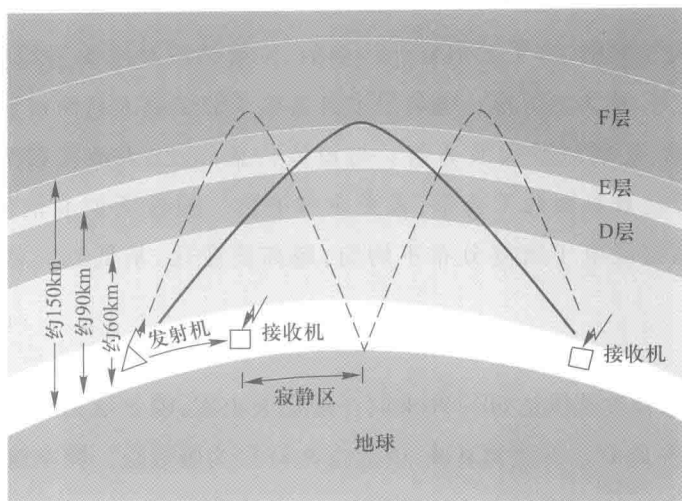


图 43-1-1 短波电波传播示意图

2. 短波信道特点

短波天波传播是短波通信的主要方式,影响其信号传输的因素主要有两个:一是电离层本身传播特性,二是各种噪声和干扰。

(1) 电离层传播特性

电离层对短波电波具有一定的反射和吸收能力,导致短波信号在传输过程中存在频率窗口、多径时延、衰落、多普勒频移与多普勒扩展等现象。

① 频率窗口:短波通信频率存在最高可用频率(Maximum Usable Frequency, MUF)和最低可用频率(Lowest Usable Frequency, LUF),其中 MUF 是电波返回地面和穿透电离层的频率临界值,若大于 MUF,电波穿透电离层。LUF 是指能够穿透 D 层而不被吸收的最低频率。由于 D 层晚上消失,与白天相比,夜间 LUF 更低。在实际通信中,工作频率配置在频率窗口范围内,一般分为日频和夜频,且夜频更低一些。

② 多径时延:短波电波在发射机和接收机之间存在多种传播途径,既可通过电离层和地面之间单跳或多跳到达,也可能出现天波和地波混合情况,这种多径传播现象不仅引起信号强度发生变化,而且信号传输时延也有差异。多径中最大传输时延与最小传输时延之差称为多径时延,多径时延会造成前后符号码元间的严重串扰,影响正常接收。多径时延与通信距离、工作频率、工作时刻有关,一般频率越接近 MUF 时延越小,多径时延范围为 0.5 ~ 8 ms;在通信距离为 200 ~ 300 km 时,多径时延较大,最大可达 8 ms 左右,几千公里远距离通信时延较小,典型多径时

延为 $2 \sim 3 \text{ ms}$ 。

③ 衰落:由于电离层特性变化,使接收信号幅度忽大忽小,这种现象称为衰落。衰落主要有两个方面的成因,一是吸收型衰落,由电子密度和高度变化引起电离层吸收特性改变,使接收信号电平缓慢变化,其变化周期从几分钟到几小时,称为慢衰落。慢衰落体现了衰落的长时间统计特性,季节、日夜、太阳黑子等变化均会引起慢衰落。改善慢衰落的措施是增加发射功率,补偿电离层传输损耗。二是干涉型衰落,由随机多径信号叠加相互干涉,引起信号幅度发生起伏,其衰落每分钟几次到几十次,称为快衰落。干涉衰落持续时间一般为 $4 \sim 20 \text{ ms}$,衰落深度一般为 20 dB ,偶尔可达 80 dB 。此外,由电波传播和接收天线极化一致性引起的极化衰落也属于快衰落,出现概率远小于干涉衰落。快衰落是设计短波数字通信系统需重点考虑的问题之一,克服措施包括交织、分集、编译码等。

④ 多普勒频移与多普勒扩展:电离层传输的多径效应不仅引起幅度衰落,还会导致相位起伏不定,电离层快速运动和反射高度变化使传输路径长度不断变化,也会造成相位的随机起伏。接收信号相位随时间不规则变化必然引起附加的频移,使信号频率结构发生畸变,呈现时间选择性衰落,因此称为多普勒频移。多普勒频移由多普勒效应引起,有别于收发信机晶振稳定度因素而导致的频率偏移现象,多普勒频移和收发信机频率偏移共同作用使得收发之间产生频差,因此收端必须考虑频差下的信号检测与同步、通信过程中的频差跟踪问题。典型频差考虑范围为 $\pm 75 \text{ Hz}$,变化速率一般小于 3.5 Hz/s 。此外,多普勒频移的变化会导致接收信号频谱的展宽,这种现象称为多普勒扩展,其范围一般为 $0.1 \sim 10 \text{ Hz}$,典型值为 $1 \sim 2 \text{ Hz}$ 。

(2) 噪声与干扰

短波信道中存在各种噪声和干扰,这是影响短波通信效果的一个重要原因。主要包括:

① 大气噪声:主要是天电干扰,由大气放电产生,如雷电、雷雨天气。天电干扰频谱很宽,强度随频率增高而减小,且随季节和昼夜变动,夏季高于冬季,夜间多于白天,具有一定的方向性,传播距离非常远。

② 人为噪声:主要是工业干扰,由各种电气设备、电力网、点火装置等产生。强度与位置密切相关,随频率增加而减少。实际测试表明: $5 \sim 6 \text{ MHz}$ 以下底噪声很高, 15 MHz 以上底噪声相对较小;在工业区和城市,人为噪声会明显超过大气噪声。

③ 电台干扰:主要指与工作频率相近的其他短波电台所造成的干扰。以短波广播电台为例,在 $6 \sim 26 \text{ MHz}$ 范围内,存在着大量的广播电台,发射机功率都非常大,不仅广播电台采用的频率不可再使用,而且明显抬高了附近频率的接收电平。考虑到短波信道的频率窗口效应,可用

频率有限,因此电台干扰严重制约了短波通信的频率选取和通信效果。

3. 短波信道模型

短波信道模型采用等效线性时变系统来描述,其数学表达式为

$$y(t) = x(t) \otimes h(t, \tau) + n(t)$$

其中 $\otimes$ 表示卷积, $x(t)$ 、 $y(t)$ 分别为输入和输出信号, $h(t, \tau)$ 表示信道的冲激响应函数,体现短波信道传播特性, $n(t)$ 表示加性干扰和噪声,主要包括高斯白噪声、大气噪声、人为干扰等。

(1) Watterson 模型

Watterson 模型是广泛使用的一种短波信道模型,由 Watterson C. C 等人于 1970 年提出并经过短波电离层传输特性试验验证,此后由 CCIR (Consultative Committee of International Radio, 国际无线电咨询委员会) 推荐,形成短波电离层信道模拟器规范 CCIR 549-2, 目前称为 ITU-R F. 520-2。Watterson 模型是一种典型的抽头增益延迟线模型,结构如图 43-1-2 所示,每个抽头相当于一种传输模式或一条可分离路径,每条路径增益包括幅度和相位两部分,通常服从瑞利衰落特性,建模为相互独立的复高斯随机过程,多普勒功率谱为高斯型。

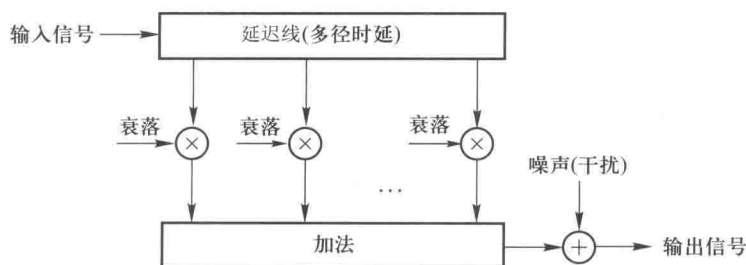


图 43-1-2 短波 Watterson 信道模型

Watterson 模型在信道统计特性比较平稳的环境中,能很好地反映短波信道传播特性,实现复杂度低,但其主要考虑信道短时间统计特性,没有反映信道中长期的变化,且适用信号带宽也受限,一般认为不超过 12 kHz,适合于短波窄带数字通信。在 Watterson 模型的基础上,美国 Harris 公司引入信道质量的中长期变化特性,对 Watterson 模型进行修正,使之更符合实际情况。

为了便于实际短波通信测试使用,CCIR 针对短波两径衰落信道,推荐了三种典型的信道参数,如表 43-1-1 所示,常用于评估短波数据传输波形的性能。美国 Rockwell Collins 公司的 MDM-3001 短波调制解调器除包含传输波形外,还具备短波两径衰落信道模拟功能,可灵活设置多径时延、路径增益、多普勒扩展、频偏大小、干扰类型以及信噪比等参数。