



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

移动通信

(第三版)

◎章坚武 编著

YIDONGTONGXIN

浙江省省级精品课程配套教材



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

移动通信

(第三版)

章坚武 编著

浙江省省级精品课程配套教材

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

移动通信是当前发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。本书共分为七章，主要内容
包括概述、移动通信网、移动通信的电波传播、数字调制技术、GSM 数字蜂窝移动通信系统与
GPRS、CDMA 数字蜂窝移动通信系统以及第三代移动通信系统(3G)。

本书是作者近十年来为本科生、研究生讲授“移动通信”课程教学经验的总结，在选材上参考
了最新的文献，因而在内容上充分反映了当代移动通信技术的最新进展，在讲述上内容全面系
统，结构严密，概念清晰，理论与工程相结合，可读性强。

本书可作为高等院校通信以及电子信息专业学生的教材，也可作为从事移动通信以及相关专
业工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信/章坚武编著. —3 版.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2012.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5606-2726-7

I. ① 移… II. ① 章… III. ① 移动通信-高等学校-教材 IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 282147 号

策 划 马乐惠

责任编辑 许青青 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2012年3月第3版 2012年3月第11次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19.5

字 数 452千字

印 数 52 001~58 000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978-7-5606-2726-7/TN·0638

XDUP 3018003 - 11

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入 21 世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电大学、吉林大学、杭州电子科技大学、桂林电子科技大学、北京信息科技大学、深圳大学、解放军电子工程学院等 10 余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类专业教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映 21 世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力;在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

高等学校计算机、信息工程类专业 规划教材编审专家委员会

主任：杨震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院院长、教授）

韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）

计算机组

组长：韩俊刚（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）

王小华（杭州电子科技大学计算机学院教授）

孙力娟（南京邮电大学计算机学院副院长、教授）

李秉智（重庆邮电大学计算机学院教授）

孟庆昌（北京信息科技大学教授）

周娅（桂林电子科技大学计算机学院副教授）

张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

信息工程组

组长：张德民（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

方强（西安邮电学院电信系主任、教授）

王晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、教授）

胡建萍（杭州电子科技大学信息工程学院院长、教授）

徐祎（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）

唐宁（桂林电子科技大学通信与信息工程学院副教授）

章坚武（杭州电子科技大学通信学院副院长、教授）

康健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

蒋国平（南京邮电大学自动化学院院长、教授）

总策划：梁家新

策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

第三版前言

本书自第二版出版至今四年多过去了,在这四年里,随着我国电信改革的不断深入,运营商的进一步重组,3G 牌照的发放,移动通信技术继续保持着日新月异的发展势头。尽管在这期间,本书被很多学校采用为授课教材,并且在 2008 年由作者主讲的“移动通信”课程被评为浙江省省级精品课程,进一步促进了本课程课件的完善及相关实验项目的改革,但是在相关技术及应用大发展的背景下,作者认为有必要对本书进行进一步完善与修改。

本次修订在整体结构上未做大的改动,教学安排与第二版相同,但舍去了一些过时的内容,修正了第二版中的错误,增加了一些新技术与新的发展变化。其中,第 1 章增加了 WiMAX(全球微波互联接入);第 2 章舍去了用第一代模拟移动通信系统来进行原理描述的内容,增加了叙述更为全面的移动性管理和无线资源管理技术的相关内容;第 7 章中结合当前 3G 的全面建设与发展,对 3G 的内容进行了更新,并增加了长期演进(LTE)的相关内容。

本书的讲课学时根据各学校的要求不同可进行灵活设置(一般安排在 50 学时左右)。

本书配套的实验教材《移动通信实验与实训》也由西安电子科技大学出版社出版,欢迎大家使用。

在本次修订过程中,肖明波教授、张品副教授、曾嵘副教授、姚英彪副教授、李杰讲师、许方敏讲师、骆懿实验师等同仁参与了讨论及修订工作,研究生张磊、颜欢也参与了部分修订工作,在此一并表示感谢。

本书的修订与完善得到了 2010 年度“通信工程”国家特色专业建设点、2011 年度“通信工程”教育部“卓越工程师教育培养计划”试点专业、2010 年度“通信与信息安全”浙江省省级实验示范中心建设点、2008 年“移动通信”浙江省省级精品课程建设等项目的经费支持。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎读者指正(E-mail: jwzhang@hdu.edu.cn)。

作 者

于杭州电子科技大学

2011 年 9 月

第二版前言

移动通信技术的发展日新月异，从本书第一版面世至今虽然不到五年，但移动通信技术的发展，特别是第三代移动通信的发展十分迅速，因此对本书进行修改与补充已十分必要。

本次修订在书的整体结构上与第一版相同，教学安排也与第一版相同，主要是舍去了一些过时的内容，修正了第一版中的错误，增加了一些新技术与最新的发展变化。第4章数字调制技术中增加了 OFDM 调制技术内容，第7章中对 3G 的内容进行了全面的更新。

在本次修订过程中，张品副教授、李杰讲师、曾嵘讲师、姚英彪讲师、冯忠娜讲师等同仁参与了讨论及部分修订工作，在此表示感谢。

由于编著者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎读者指正(E-mail:jwzhang@hdu.edu.cn)。

编著者
于杭州电子科技大学
2007年7月

第一版前言

“移动通信”是通信工程专业的一门主要的专业课程。编著者从 1996 年开始为本科生讲授“移动通信”课程，为研究生讲授“移动通信与个人通信”课程，使用过多本《移动通信》教材和国外原版书籍。1999 年 9 月编著者完成了《移动通信》讲义的编写工作，并在多年的教学实践中，不断对教材充实改进，力求使之成为既能够系统、全面反映移动通信技术新进展，又适合高校本科教学、理论与工程相结合的《移动通信》教材。该教材被列入 2001 年度浙江省第二批重点教材后备出版教材。

本书共分七章，第 1 章概述，主要介绍移动通信及其特点，移动通信的工作方式，移动通信系统的组成、使用频率、多址方式，移动通信系统的发展历史，我国移动通信发展现状，移动通信系统发展的主要技术问题及发展方向；第 2 章移动通信网，主要介绍移动通信体制，移动通信系统结构，移动通信网的频率配置，蜂窝移动通信网络的频率规划，多信道共用技术，移动通信交换技术，信道自动选择方式；第 3 章移动通信的电波传播，主要介绍 VHF、UHF 频段的电波传播特性和电波传播特性的估算(工程计算)；第 4 章数字调制技术，主要介绍线性调制技术，恒包络调制技术，“线性”和“恒包络”相结合的调制技术，扩频调制技术，在多径衰落信道中的调制性能分析；第 5 章 GSM 系统与 GPRS，介绍 GSM 电信业务，GSM 结构，GSM 较模拟网的优势，GSM 网络接口，GSM 的编号、鉴权与加密，GSM 无线信道，GSM 呼叫方案，并介绍了 GPRS；第 6 章 CDMA 系统，介绍 CDMA 空中接口协议层、CDMA 前向信道、CDMA 反向信道、功率控制、CDMA 系统的容量、CDMA 登记和 CDMA 切换；第 7 章介绍第三代移动通信系统及其关键技术。

在本书的编写过程中，研究生罗彬进行了部分文字输入和绘图工作，西北工业大学的张歆博士审阅了全稿，在此特表谢意。

由于编著者水平有限，书中不当之处敬请读者指正。

编著者

2002 年 10 月

于杭州电子工业学院

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信及其特点	1
1.2 移动通信的工作方式	2
1.3 移动通信系统的组成	4
1.4 移动通信系统的频段使用	5
1.5 多址方式	6
1.5.1 移动通信系统中的多址方式	6
1.5.2 移动通信系统中不同多址方式的频谱效率	8
1.6 其他常用技术	8
1.6.1 均衡技术	9
1.6.2 分集技术	10
1.6.3 信道编码技术	11
1.7 移动通信系统的发展	12
1.7.1 全球移动通信的发展历程	12
1.7.2 从 2G 向 3G 发展	15
1.7.3 WiMAX(全球微波互联接入)	17
1.7.4 我国的移动通信发展历程	18
1.8 第四代移动通信(4G)标准及现状	20
1.8.1 第四代移动通信系统中的关键技术	21
1.8.2 第四代移动通信的研发状况	21
思考题与习题	24
第 2 章 移动通信网	25
2.1 引言	25
2.2 移动通信体制	25
2.2.1 大区制移动通信网	25
2.2.2 小区制(蜂窝)移动通信网	26
2.3 移动通信的信道结构	27
2.3.1 话音信道	28
2.3.2 控制信道	28
2.4 蜂窝移动通信系统的频率配置	29
2.5 移动通信环境下的干扰	30
2.5.1 同频道干扰	30
2.5.2 邻频道干扰	31
2.5.3 互调干扰	31

2.5.4	阻塞干扰	33
2.5.5	近端对远端的干扰	33
2.6	蜂窝移动通信网络的频率规划	33
2.6.1	等频距分配法	33
2.6.2	信道分配策略	35
2.7	多信道共用技术	36
2.7.1	话务量与呼损	36
2.7.2	每个信道能容纳的用户数	39
2.8	移动性管理	40
2.8.1	位置管理	40
2.8.2	切换管理	54
2.9	无线资源管理技术	59
2.9.1	功率控制	59
2.9.2	接入控制	60
2.9.3	负载(拥塞)控制	60
2.9.4	信道分配	61
2.9.5	分组调度	61
	思考题与习题	61

第3章 移动通信的电波传播 63

3.1	VHF、UHF频段的电波传播特性	63
3.1.1	直射波	63
3.1.2	视距传播的极限距离	63
3.1.3	绕射衰减	64
3.1.4	反射波	64
3.1.5	多径衰落	65
3.1.6	阴影衰落	66
3.2	电波传播特性的估算(工程计算)	67
3.2.1	Egli John J. 场强计算	67
3.2.2	奥村(Okumura)模型	67
3.2.3	Okumura - Hata 方法	77
3.2.4	微蜂窝系统的覆盖区预测模式	78
	思考题与习题	80

第4章 数字调制技术 81

4.1	引言	81
4.1.1	影响数字调制的因素	81
4.1.2	数字调制的性能指标	81
4.1.3	当今蜂窝系统、PCS(个人通信系统)和无绳电话采用的主要调制方式	82
4.2	线性调制技术	83
4.2.1	二进制相移键控(BPSK)	83
4.2.2	差分相移键控(DPSK)	84
4.2.3	正交相移键控 QPSK(4PSK)	86
4.2.4	偏移四相相移键控(OQPSK)	88
4.2.5	$\pi/4$ - QPSK	89

4.3 恒包络调制技术	94
4.3.1 最小频移键控(MSK)	94
4.3.2 高斯滤波最小频移键控(GMSK)	103
4.4 “线性”和“恒包络”相结合的调制技术	110
4.4.1 M 维相移键控(MPSK)	111
4.4.2 M 维正交振幅调制(QAM)	112
4.4.3 M 维频移键控(MFSK)	114
4.5 正交频分复用(OFDM)技术	115
4.5.1 正交频分复用的原理	115
4.5.2 子载波调制	117
4.5.3 正交频分复用的 DFT 实现	120
4.5.4 OFDM 的特点	121
4.5.5 OFDM 系统的关键技术	122
4.6 扩频调制技术	123
4.6.1 PN 码序列	124
4.6.2 直接序列扩频(DS-SS)	124
4.6.3 跳频扩频(FH-SS)	126
4.6.4 直扩的性能	126
4.6.5 跳频扩频的性能	128
4.7 在多径衰落信道中的调制性能分析	129
4.7.1 在慢速平稳衰落信道中的数字调制性能	129
4.7.2 在频率选择性移动通信信道中的数字调制技术	132
思考题与习题	134
第 5 章 GSM 数字蜂窝移动通信系统与 GPRS	135
5.1 引言	135
5.2 GSM 的电信业务	136
5.2.1 承载业务	137
5.2.2 电信业务	137
5.2.3 补充业务	138
5.3 GSM 结构	139
5.3.1 移动台(MS)	139
5.3.2 基站(BS)及基站收发信机(BTS)	140
5.3.3 基站控制器(BSC)	141
5.3.4 发送编码器和速率适配器单元(TRAU)	141
5.3.5 移动业务交换中心(MSC)	141
5.3.6 归属位置寄存器(HLR)	141
5.3.7 访问者位置寄存器(VLR)	142
5.3.8 鉴权中心(AuC)	143
5.3.9 设备识别寄存器(EIR)	143
5.3.10 操作和维护中心(OMC)	143
5.4 GSM 较模拟网的优势	143
5.4.1 GSM 系统在抗瑞利衰落及干扰方面的优势	144
5.4.2 GSM 系统与 TACS 系统的性能比较	144

5.5 GSM 网络接口	145
5.5.1 空中接口(Um)	145
5.5.2 A - bis 接口	145
5.5.3 A 接口	146
5.5.4 PSTN 接口	147
5.5.5 移动应用部分(MAP)	147
5.6 GSM 的编号、鉴权与加密	148
5.6.1 编号和路由	148
5.6.2 鉴权与加密	152
5.7 GSM 无线信道	154
5.7.1 频域分析	154
5.7.2 时域分析	154
5.7.3 话音编码(Speech Coding)	155
5.7.4 信道编码(Channel Coding)	156
5.7.5 交织(Interleaving)	156
5.7.6 调制	156
5.7.7 信道组成(Channel Organization)	157
5.7.8 不连续发送和话音激活检测	159
5.7.9 定时前置和功率控制	160
5.7.10 移动台接入	161
5.8 GSM 呼叫方案	162
5.8.1 移动台开机后的工作	162
5.8.2 小区选择	162
5.8.3 位置登记和位置更新	163
5.8.4 建立通信链路	163
5.8.5 起初信息过程	164
5.8.6 鉴权	164
5.8.7 加密	164
5.8.8 位置更新过程	164
5.8.9 通信链路的释放	165
5.8.10 移动台主叫	165
5.8.11 移动台被呼	167
5.8.12 切换	168
5.9 GSM 的跳频技术	170
5.9.1 跳频系统的工作原理	170
5.9.2 跳频系统的特点	171
5.10 通用分组无线业务 GPRS	171
5.10.1 GPRS 标准制定的过程与阶段	172
5.10.2 GPRS 网络的网络结构	173
5.10.3 GPRS 网络的分层结构	174
5.10.4 增强型 GPRS	183
思考题与习题	184

第 6 章 CDMA 数字蜂窝移动通信系统	185
6.1 引言	185
6.1.1 CDMA 技术的标准化	186
6.1.2 CDMA 系统的特点	187
6.2 CDMA 空中接口协议层	190
6.3 CDMA 前向信道	190
6.3.1 前向业务信道	191
6.3.2 前向广播信道	197
6.4 CDMA 反向信道	199
6.4.1 接入信道	200
6.4.2 反向业务信道	202
6.5 功率控制	208
6.5.1 反向开环功率控制	210
6.5.2 反向闭环功率控制	210
6.5.3 前向功率控制	212
6.6 Rake 接收机	212
6.7 CDMA 系统的容量	214
6.7.1 干扰对 CDMA 容量的影响	214
6.7.2 提高 CDMA 通信系统容量的有效技术——智能天线技术	215
6.8 CDMA 登记	220
6.8.1 漫游的决定因素	221
6.8.2 开机登记	221
6.8.3 关机登记	221
6.8.4 时钟周期登记	221
6.8.5 基于距离的登记	222
6.8.6 基于区域的登记	222
6.8.7 基于参数改变的登记	222
6.9 CDMA 切换过程	222
思考题与习题	223
第 7 章 第三代移动通信系统(3G)	224
7.1 概述	224
7.1.1 IMT-2000 和 3G 的三大标准	225
7.1.2 3G 的三大标准的演进路径	228
7.1.3 3G 业务	229
7.1.4 全球 3G 业务发展情况	232
7.2 WCDMA	232
7.2.1 WCDMA 系统的网络结构	232
7.2.2 WCDMA 空中接口的物理信道结构	236
7.2.3 HSDPA 和 HSUPA	246
7.3 cdma2000	248
7.3.1 cdma2000 的特点	248
7.3.2 cdma2000 系统的网络结构	250
7.3.3 cdma2000 空中接口	252

7.4 TD-SCDMA 261

7.4.1 TD-SCDMA 发展历程 261

7.4.2 TD-SCDMA 关键技术和技术优势 263

7.4.3 TD-SCDMA 网络结构 267

7.5 3G 三种主流标准的方案性能比较 273

7.6 LTE 概述 274

7.6.1 LTE 提出的历史背景 274

7.6.2 LTE 的需求 275

7.6.3 LTE 的关键技术 276

7.6.4 LTE 协议综述 277

思考题与习题 281

附录 缩略词 282

参考文献 295

第 1 章 概 述

1.1 移动通信及其特点

移动通信是指移动用户之间或移动用户与固定用户之间进行的通信。

随着社会的发展,科学技术的进步,人们希望能随时随地、迅速可靠地与通信的另一方进行信息交流。这就是我们要介绍的移动通信。这里所说的“信息交流”,不仅指双方的通话,还包括数据、传真和图像等通信业务。

正是由于移动通信能让人们随时随地、迅速、可靠地与通信的另一方进行信息交流,为人们更有效地利用时间提供了可能,因而随着电子技术,特别是半导体、集成电路和计算机技术的发展,移动通信得到了迅速发展。应用领域的扩大和对性能要求的提高,促使移动通信在技术上和理论上向更高水平发展。20 世纪 80 年代以来,移动通信已成为现代通信手段中一种不可缺少且发展最快的通信手段之一。

与其他通信方式相比,移动通信具有以下基本特点:

(1) 电波传播条件恶劣。在陆地上,移动体(如汽车)往来于建筑群或障碍物之间,其接收信号是由直射波和各反射波多径叠加而成的。由于多径传播会造成瑞利衰落,因此电平幅度起伏深度达 30 dB 以上。

(2) 具有多普勒频移效应。由于移动台在运动中,因此会产生多普勒频移效应。频移值 f_d 与移动台运动速度 v 、工作频率 f (或波长 λ)及电波到达角 θ 有关,即

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos\theta \quad (1-1)$$

多普勒频移效应会导致附加调频噪声。

(3) 干扰严重。由于移动通信网是多无线电台(包括基站、移动台)、多波道通信系统,通信设备除受城市噪声(主要是车辆噪声)干扰外,无线电台干扰(同频干扰、互调干扰)较为突出,因此,抗干扰措施在移动通信系统设计中显得尤为重要。

(4) 接收设备动态范围大。由于移动台的位置不断变化,接收机和发射机(基站)之间的距离不断变化,因此导致接收机接收信号电平不断变化。这就要求接收设备具有很大的动态范围。

(5) 需要采用位置登记、越区切换等移动性管理技术。由于移动台不停地运动,因此为了实现可靠而有效的通信,必须采用位置登记和频道切换等移动性管理技术。

(6) 综合了各种技术。移动通信综合了交换技术、计算机技术和传输技术等。

(7) 对设备要求苛刻。移动用户常在野外,环境条件相对较差,因此对其设备(尤其对

专网设备)的要求相对苛刻。

移动通信系统按用途、频段、制式和入网方式等的不同,有不同的分类方法。例如,按用途和区域,可分为陆地、海上、航空移动通信系统;按经营方式或用户性质,可分为公共网(简称公网)、专用网(简称专网);按基站配置,可分为单区制、多区制、蜂窝制;按与地面固定网的连接方式,可分为人工、半自动、全自动;按信号性质,可分为模拟、数字移动通信系统;按多址方式,可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)和空分多址(SDMA)等;按用户的通话状态和频率使用的方法,可分为单工制(Simplex)、半双工制(Half Duplex)和双工制(Duplex)。

1.2 移动通信的工作方式

移动通信按照用户的通话状态和频率使用的方法,可分为三种工作方式:单工制、半双工制和双工制。

1. 单工制

单工制分为单频(同频)单工和双频(异频)单工两种,见图 1-1。

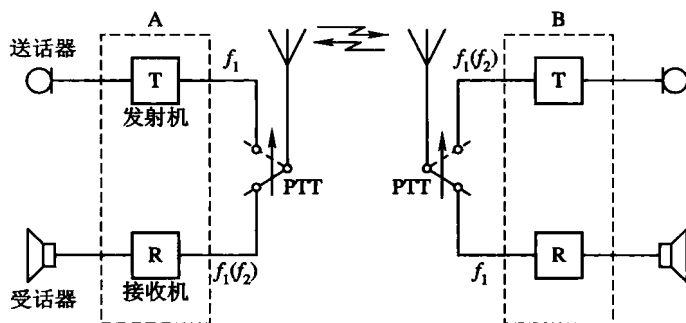


图 1-1 单工通信方式

1) 同频单工

同频是指通信双方使用相同的工作频率(f_1);单工是指通信双方的操作采用“按一讲”(PTT, Push To Talk)方式。平时,双方的接收机均处于守听状态。如果 A 方需要发话,可按下 PTT 开关,发射机工作,并使 A 方接收机关闭。这时,由于 B 方接收机处于守听状态,因此可实现由 A 至 B 的通话;同理,也可实现 B 至 A 的通话。在该方式中,电台的收发信机是交替工作的,故收发信机不需要使用天线共用器,而是使用同一副天线。这种工作方式的优点是:① 设备简单;② 移动台之间可直接通话,不需基站转接;③ 不按键时发射机不工作,因此功耗小。其缺点是:① 只适用于组建简单和甚小容量的通信网;② 当有两个以上移动台同时发射时就会出现同频干扰;③ 当附近有邻近频率的电台发射时,容易造成强干扰,通常为了避免干扰,要求相邻频率的间隔大于 4 MHz,因而频谱利用率低;④ 按键发话,松键受话,使用者不习惯。

2) 异频单工

异频是指通信双方使用两个不同频率 f_1 和 f_2 。这种方式中通信双方的操作仍采用

“按一讲”方式。由于收发使用不同的频率，因此同一部电台的收发信机可以交替工作，也可以收常开，只控制发，即按下 PTT 发射。其优缺点与同频单工基本相同。在无中心转信台转发的情况下，电台需配对使用，否则通信双方无法通话，故异频单工方式主要用于有中心转信台转发(单工转发或双工转发)的情况。所谓单工转发，即中心转信台使用一组频率(如收用 f_1 ，发用 f_2)，一旦接收到载波信号即转去发送。所谓双工转发，即中心转信台使用两组频率(一组收用 f_1 ，发用 f_2 ；另一组收用 f_3 ，发用 f_4)，任一路一旦接收到载波信号即转去发送。

由于收发频率有一定保护间隔，提高了抗干扰能力，中心转信台的加入使通信区域得到了有效扩大，因此，这种方式常用于组建有几个频道同时工作的专用网(专网)。

2. 半双工制

图 1-2 中，通信一端(A)采用双工制，而移动台(B)采用单工制，这种方式称为半双工制。半双工制的优点是：① 移动台设备简单，价格低，耗电少；② 收发采用不同频率，提高了频谱利用率；③ 移动台受邻近电台干扰小。其缺点是移动台仍需按键发话，松键受话，使用不方便。

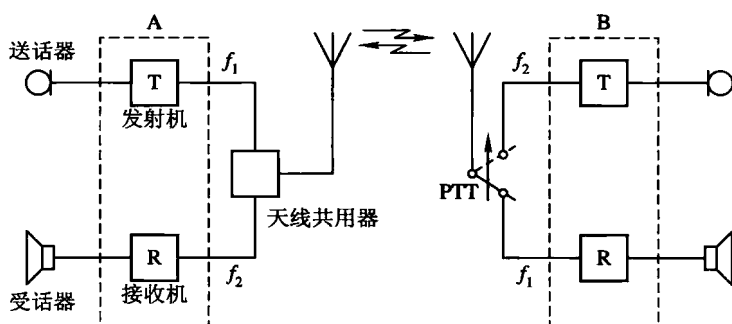


图 1-2 半双工通信方式

由于收发使用不同的频率，因此移动台(B)的收发信机可以交替工作，也可以收常开，只控制发，即按下 PTT 发射。半双工制主要用于移动台接入有线网(如市话网)，A 作为有线网接入点。

3. 双工制

双工制有频分双工(FDD，也称异频双工)和时分双工(TDD，也称同频双工)两种方式。

频分双工制如图 1-3 所示，是指通信的双方，即收发信机均同时工作，任一方在发话的同时，也能收听到对方的话音，无需按 PTT 开关，类同于平时打市话，使用自然，操作方便。频分双工制的优点是：① 收发频率分开，可大大减小干扰；② 用户使用方便。其缺点是：① 移动台在通话过程中总是处于发射状态，因此功耗大；② 移动台之间通话需占用两个信道；③ 需双工器，体积较大，价格较贵。在无中心转信台转发的情况下，采用频分双工制的电台需配对使用，否则通信双方无法通话。

同频双工制采用时分双工(TDD)技术，是近年来发展起来的新技术。在这种方式中，收发双方采用相同的载频，但处于不同时间隙收发，而从基带的角度来看，收发两端保持时间上连续的双工通信状态。采用 TDD 技术可省去双工器。