

移动通信

移动通信

张亦明 编

N92

黑龙江科学技术出版社

内 容 简 介

本书全面地论述了移动通信的理论和系统设计方法。

全书共分十章，即移动通信概述；移动通信的电波传播；无线电话机和天线共用器；外部噪声和干扰；移动无线区域组成和传播电路计算；信令（号）和交换；频率管理和有效利用频率技术；移动通信系统；数字移动通信；卫星移动通信。全书以移动通信系统内容为主，以模拟调频移动通信系统为重点。

本书是高等院校工科通信专业、无线电技术专业教材，也可供从事这方面工作的科技人员参考。

封 面 设 计：韩 寒

移 动 通 信

张亦明 编

黑龙江科学技术出版社出版

（哈尔滨市南岗区建设街 35 号）

黑龙江新华印刷厂附属厂印刷·黑龙江省新华书店发行

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 200 千字

1985 年 9 月第 1 版·1985 年 9 月第 1 次印刷

印数：1—4.440 册

书号： 15217·181 定价：2.10 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应为社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由无线电技术与信息系统编审委员会通讯编审小组评选审定，并推荐出版。

该教材由天津大学张亦明编写，南京工学院程时昕担任主审，编审者均依据通讯编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为 45 学时。本书以移动通信系统为主要内容。全书共分十章。其主要内容有：移动通信的概述；移动通信的电波传播；无线电话机和天线共用器；外部噪声和干扰；移动无线区域组成和传播电路计算；信令(号)和交换；频谱管理和有效利用频率技术；移动通信系统；数字移动通信；卫星移动通信。本书的难点是和工程设计有关的内容，讲授时应注意先讲清概念，再给出工程计算方法。计算公式和图表以满足工程计算需要为限度，避免过多的数学分析，突出对学生工程设计能力的培养。

由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 移动通信概述.....	(1)
第一节 移动通信的工作方式.....	(2)
第二节 移动通信系统的组成和特点.....	(3)
第三节 移动通信的发展简况.....	(4)
第四节 主要技术动向和发展趋势.....	(6)
思考题	(7)
第二章 移动通信的电波传播.....	(8)
第一节 陆上移动通信的电波传播.....	(8)
第二节 限定空间的电波传播.....	(20)
第三节 海上、航空移动通信的电波传播简述.....	(22)
思考题和练习题.....	(23)
第三章 无线电话机和天线共用器.....	(24)
第一节 无线电话机概述.....	(24)
第二节 发射机.....	(26)
第三节 接收机.....	(29)
第四节 微处理器和集成技术在无线电话机中的应用	(32)
第五节 天线共用器.....	(35)
思考题和练习题.....	(40)
第四章 外部噪声和干扰.....	(41)
第一节 人为噪声.....	(41)
第二节 互调干扰.....	(42)
第三节 邻道干扰.....	(50)
第四节 同频干扰.....	(53)
第五节 移动台发射机的自动功率控制 (APC)	(57)
思考题和练习题.....	(58)
第五章 移动无线区域组成和传播电路计算	(59)
第一节 移动无线区域组成与划分.....	(59)
第二节 移动通信网络结构及交换控制区域.....	(63)
第三节 电波传播电路计算.....	(64)
思考题和练习题	(72)
第六章 信令 (号) 和交换.....	(73)
第一节 信令方式.....	(73)

第二节	音频码滤波器.....	(77)
第三节	交换系统.....	(80)
第四节	移动电话网和市话网的连接方式.....	(83)
第五节	呼叫过程.....	(85)
	思考题和练习题.....	(87)
第七章	频谱管理和有效利用频率技术.....	(88)
第一节	频谱管理技术.....	(88)
第二节	有效利用频率技术.....	(91)
	思考题和练习题.....	(100)
第八章	移动通信系统.....	(102)
第一节	无线呼叫系统.....	(102)
第二节	便携式移动电话系统.....	(106)
第三节	地面移动电话系统.....	(107)
第四节	自动车辆监视系统.....	(111)
第五节	限定空间移动通信系统.....	(112)
	思考题和练习题.....	(114)
第九章	数字移动通信.....	(115)
第一节	低速话音编码.....	(115)
第二节	窄带数字调制方式.....	(118)
第三节	数字信号的传输.....	(124)
	思考题和练习题.....	(130)
第十章	卫星移动通信.....	(131)
第一节	卫星移动通信的有关问题.....	(131)
第二节	卫星移动通信系统.....	(134)
	思考题.....	(136)
	主要参考资料.....	(137)

第一章 移动通信概述

通信就是信息交换。随着社会的发展，人们对通信的要求越来越高，一直期望着早日实现通信的理想目标，即无论何时何地都能及时可靠地实现与任何人之间的通信联系。为此，在大力发展固定通信的同时，更需要积极发展移动通信。

移动通信就是处于移动状态的通信对象之间的通信。它包括移动用户之间的通信、固定用户与移动用户的通信。旨在实现移动通信的技术系统称为移动通信系统。

移动通信系统采用无线方式，具有机动、灵活的特点。因为它能适应现代战争战场速变的需要，故在军事通信中占有重要的地位。另外，人们在社会生产和社会活动中，例如外出作业或旅行时，也需要随时与单位或与家里保持通信联系，以便及时处理工作事务或紧急问题。显然，民用移动通信对提高工作效率、节省劳力、减少能源消耗和提高经济效益都具有重要的意义。

十几年来，移动通信技术发展很快，以致有人将移动通信、数据通信、有线电视并列为七十年代三大新兴业务。由于半导体集成电路、计算机和微处理器的应用，大大促进了移动通信设备的小型化、轻量化和自动化，促进了系统向大容量和多功能发展。这就为移动通信的技术更新和推广应用奠定了基础。

目前，移动通信按活动范围可分为航空移动通信、海上移动通信和陆上移动通信；按服务对象可分为公共移动通信和专业移动通信。陆上移动通信的需求量大，用户多，应用广，技术上也较为复杂。现在，大容量公共汽车电话系统在一些国家正走向商品化，不久将成为国家通信网的重要组成部分；无线呼叫系统在某些国家已普及应用；各种类型的专业移动通信系统已卓有成效地应用于各行各业，其服务对象和应用部门大致如表1—1所示。预计今后若干年内，移动通信业务将有更大的发展，并将在整个通信业务中占据更加重要的地位。

表 1—1 民用移动通信业务的服务对象和部门

公共安全移动业务	工商业移动业务	交通运输业务
消防	地质勘探	铁路
医疗救护	矿山开采	公路
森林保护和采伐	商业贸易	汽车运输调度
道路维修	电网调度	出租汽车调度
警察治安	煤气事业	海上航运
政府机关工作	石油工业	内河航运
应急通信（如水灾台风、地震）	其它	机场调度
气象		其它
其它		

第一节 移动通信的工作方式

移动通信的工作方式按通话状态和频率使用方法可分为三类，即单工制、半双工制和双工制。

1. 单工制

单工通信系统根据使用频率的情况又可分为同频单工和双频单工两种，如图 1—1a 所示。同频单工是指基地台（或移动台）和移动台使用相同的工作频率的系统，它的操作采用“按一讲”方式。通常双方的接收机均处于守听状态，如果基地台 A 需要发话，可按压装在 A 方送话器近旁的发话按钮，即可关掉接收机 A 而使发射机 A 工作。这时，因 B 方接收机 B 处于守听状态，因而可实现由 A 至 B 的通话；同理，也可实现由 B 至 A 的通话。由于在该方式中，同一部电台的收发信机是交替工作的，故收发信机可使用同一副天线，而不需使用天线共用器。早期的战术电台常使用此种方式，只要在有效通信范围之内，若干个电台均可相互通信。这种通信方式设备简单、功耗小，但操作不便。例如，发话时必须按压“按一讲”按钮，发话完毕，就应立即放开按钮，使之恢复为守听状态。另外，若在同一地区多个电台使用相邻的频率，相距较近的电台间将产生严重的干扰而影响通信，一个基地台更不能使用几个邻近的频率同时工作。双频单工是指通信双方使用两个频率 f_1 、 f_2 (图 1—1a)。在移动通信中，基地台和移动台收、发使用两个频率实现双向通信，这两个频率通常称为一个波道。若基地台设置多部发射机和

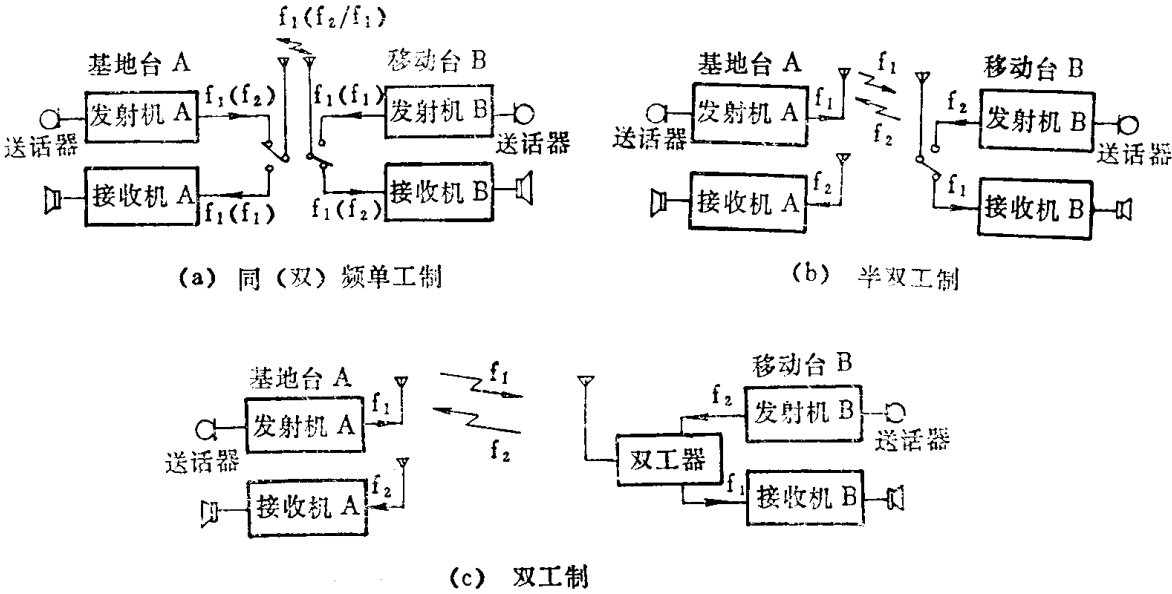


图 1—1 移动通信的工作方式

多部接收机且同时工作，则可将接收机频率设置在某一频段，而将发射机频率设置在另一频段，只要这两个频段有足够的频距（或称频差），借助于滤波器等选频器件就能排除发射机对接收机的干扰。经过如此安排，一个基地台便可以使用多个相互邻近的波道同时工作，从而增加了系统的通信容量。单工制适于用户数量很小的专业移动通信系统。

2. 半双工制

在这种方式中，信息的双向传输使用两个频率 f_1 、 f_2 ，如图 1—1b 所示。基地台 A

的收发信机同时工作，收、发信机可以用分开的两副天线，也可以通过天线共用器合用一副天线。移动台B的工作方式是双频单工，它通常处于守听状态，仅在发话时才按照发话按钮，切断接收机B而使发射机B工作。由于基地台双工工作，移动台单工工作，故称为半双工制。这种方式的优点是：只要 f_1 、 f_2 有足够的频距，并采用一定的收发隔离措施，就能避免发射机对接收机的干扰，故基地台可以多波道工作。此外，移动台的功耗小，设备简单。这种方式的缺点是操作仍不够方便。和单工制一样，它主要用于专业移动通信系统。

3. 双工制

所谓双工制是指基地台、移动台都能双工工作(图 1—1c)，即任一方在发话的同时也能收听对方的话音，无需“按—讲”开关，与普通市内电话的使用情况类似，操作方便。但是，采用这种方式，在使用电台的过程中不管是否发话，发射机总是工作的，故电能消耗大，这一点对以电池为电源的移动台很不利。为此，在某些系统中移动台发射机仍采用“按—讲”方式，而移动台接收机总是工作的。这种系统称为准双工系统，它可以和双工系统兼容。目前准双工方式已获得广泛的应用，如公共移动通信，警察、应急、调度等专业移动通信等。

总之，以上各种工作方式各有优缺点，对于某种移动通信系统来说，选用何种工作方式应视实际需要而定。

第二节 移动通信系统的组成和特点

移动通信系统应根据业务性质和用户情况设计。一个典型的移动通信系统的组成示意图如图 1—2 所示。它由一个控制交换中心、若干个基地台、中继线以及许多移动台

(移动用户) 组成。控制交换中心的主要功能是信息的交换和整个系统的集中控制管理。在基地台和移动台设有收、发信机和天线等设备，每个基地台都有一个可靠通信的服务范围，称为无线区(或小区)。无线区的大小主要由发射机功率和基地台天线的有效高度决定。多个无线区相互邻接排布就能扩大系统的服务

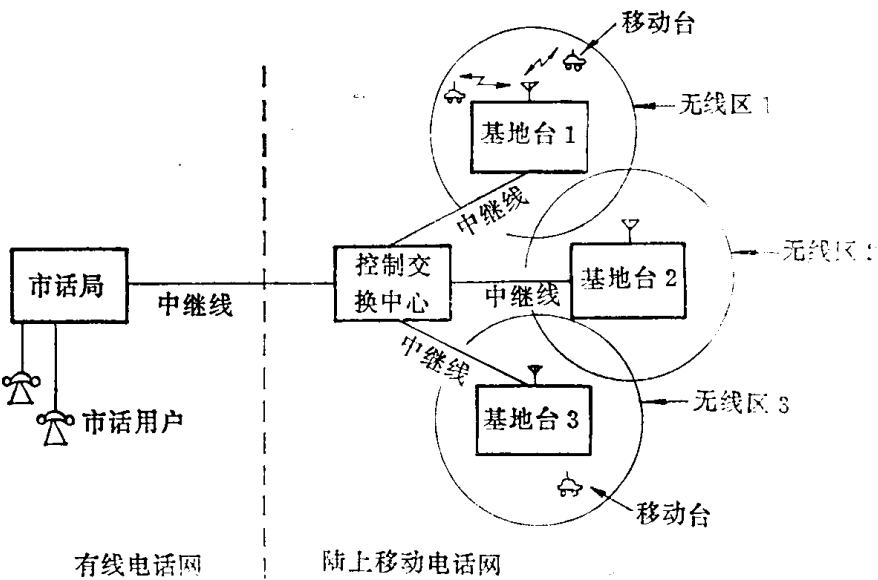


图 1—2 移动通信网的组成

面积。由图 1—2 可见，经过基地台、控制交换中心和中继线转接传输信号，就能在整个服务区内实现任意两个移动用户之间的通信联系，从而构成一个自成系统的移动电话

网。控制交换中心再经过中继线和市话局连接，就能实现移动用户和市话用户之间的通信联系，从而构成一个有线、无线结合的公共移动通信网（或专业移动通信网）。

移动通信具有如下特点：

(1) 在移动通信（特别是陆上移动通信）中，由于移动台在不断运动，因而导致接收信号强度和相位随时间、地点而不断变化。受地形、地物的影响，电波多径传播造成的瑞利衰落、建筑物等造成的阴影衰落（或称阴影效应）和运动产生的多卜勒频移等均使接收的信号极不稳定。所以说，移动通信的电波传播条件是十分恶劣的。只有充分研究电波传播的规律，才能进行合理的系统设计。

(2) 在移动通信中，基地台往往设置若干个收、发信机，移动台的地区分布密度也不固定，通信距离也是随时变化的。这些因素往往会使通信中的干扰变得很严重。最常见的干扰有互调干扰，邻道干扰等。此外，若电台处于城市环境，各类脉冲干扰也较大。因此，在系统设计时，应根据不同形式的干扰，采取不同的抗干扰措施。

(3) 移动通信，特别是陆上移动通信（如汽车电话）的用户数量大，为缓和用户数量大和可利用的波道数有限的矛盾，除开发新频段之外，还应采取各种有效利用频率的措施，如缩小波道间隔、多波道共用等。频谱拥挤问题是影响移动通信发展的关键问题之一。

(4) 由于在广大区域内的移动台是不规则运动的，而且不通话的移动台发射机是关闭的，它与交换中心没有固定的联系。因此，要实现通信，交换中心首先应知道移动台所在的位置，以便决定由哪一个基地台和该移动台建立联络并分配给它一个合适的波道。为此，需要采用所谓“位置登记”技术。另外，在通话过程中，移动台可能从一个无线区进入另一个无线区，为保持正常通话，需要随时监测信号质量的降低情况并及时转换基地台和话音波道，这称为通话中的“波道转换”。因此，在大容量移动通信系统中需要采用复杂的“跟踪交换”技术。

(5) 移动台应有小型、轻量、低功耗和操作方便的特点。同时，在有振动和高、低温等恶劣的环境条件下，要求移动台能够稳定可靠地工作。

第三节 移动通信的发展简况

从本世纪二十年代至今，移动通信在技术、设备和服务规模等方面都取得了巨大的进展。移动通信的发展进程大致可划分为三个阶段。第一阶段是由二十年代到四十年代中期，这是移动通信的早期发展阶段。在此期间，初步进行了一些传播特性的测试，在短波的几个频段上进行了一系列通信实验，出现了警车、船舶等专用的简单移动通信系统。第二阶段是从四十年代后期到六十年代后期。在此期间，美国、荷兰、西德、日本以及英、法等国相继建立了各种用途的移动通信系统，业务涉及到船舶、飞机、火车、汽车等各个方面。从技术上看，五十年代中期，实现了移动电话系统和公共电话网的连接，但接续是由话务员完成的。六十年代中期，出现了用户直接拨号的自动交换系统。例如，1964年美国建立的1MTS系统，就已经实现了自动拨号交换和移动台波道的自动选择。从六十年代末至今可视为移动通信发展的第三阶段，即新体制的论证、实验和

应用阶段。随着移动通信系统的广泛使用,用户不断增加和可用波道数目有限之间的矛盾愈来愈尖锐,显然,解决这一矛盾的自然途径是开发新的频段和研究有效利用频率的新体制。日本、美国都开发了 800MHz 频段,并且研制了区域式移动电话系统。例如,日本研制的“陆上移动电话系统”(LMTS),于 1976 年进行了现场试验,证明整个系统的功能良好的;美国研制的“先进移动电话系统”(AMPS)获得成功(于 1979 年进行了业务实验和系统性能的综合测试),将在 25 个主要城市投入商用。这两个系统采用了先进的移动通信技术和交换技术,能够有效地利用频谱,灵活地适应用户不断增加的需求。它们是当前移动通信技术发展水平的代表。这两个系统的主要性能如表 1—2 所示。

表 1—2 美国 AMPS 和日本 LMTS 系统的主要性能指标

		AMPS	LMTS
通 信 系 统	话音接续	全双工	全双工
	话音质量	在 90% 以上业务区内, 射频 S/N > 18 分贝, 与公共电话质量基本相同	在 76% 的业务区内可懂度 > 80%
	呼损率	2%	3%
	交换	按钮拨号, 全自动交换	按钮拨号, 全自动交换
射 频 系 统	无线区	城市 大区半径 8~10 英里, 小区 半径 1 英里	城市 小区半径 5 公里 郊区 大区半径 10 公里
	射频频段	移动台发 825~845MHz 基地台发 870~890MHz	800MHz 频段
	用户数	几十万	十万
	带宽	20MHz × 2 (收、发)	25MHz × 2 (收、发)
	波道间隔	30kHz	25kHz
	波道数	666	500 × 2
	调制	窄带调相	窄带调相
	频率稳定度	基地台 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 移动台 $\pm 2.5 \times 10^{-6}$	2×10^{-6}
	发射机输出功率	基地台 45W 移动台 12W	25W 5W
交 换 和 控 制 系 统	跟踪交换	基地台接收信号电平和监测音延时测量起 动话音波道交换	基地台 S/N 监测启动话音波道交换
	无线信令方式	建立波道中用数字信号, 话音波道中用数 字信号和单音信号	建立波道中用数字信号, 话音波道中 用数字和单音信号
	寻呼的选择	移动台扫描建立波道	等待呼叫波道
	话音波道选择	由移动交换中心分配	由移动控制台分配

从设备的进展来看,三十年来,已经过多次更新。五十年代的电子管电台发展到六十年代的晶体管电台,七十年代则进展为集成电路电台。电台的体积、重量、耗电等方面都有明显的改进。以日本制造的电台为例,1955 年与 1970 年对比,重量前者是后者

的 20 倍, 体积是后者 30 倍, 电流消耗(相同电压时)在接收状态是后者 40 倍, 发射状态是后者 6 倍。

近十几年来, 移动通信的发展更为迅速。预计八十年代移动通信年增长率可达 10~15%。

第四节 主要技术动向和发展趋势

1. 开发新的应用频段

在移动通信中, 目前主要使用甚高频(VHF)的 150MHz 频段和特高频(UHF)的 450MHz 频段。但是, 在一些国家中, 随着用户量的增长, 这两个频段已处于通信容量的饱和状态。为适应移动通信业务的发展, 美日等国早已着手开发并使用 800~900MHz 频段, 其中包括新频段电波传播特性的研究及新频段通信设备和系统的研制。目前, 正在研究 1~2GHz 频段的开发问题。

2. 更有效地利用频率

无线电频率是人类的宝贵财富。应努力提高频率利用率, 使已开发的频段最大限度地为用户服务。有效利用频率的方法有:

(1) 波道窄带化。波道窄带化是把每个无线电波道占用的带宽变窄, 以便增加给定频段的波道数。在移动通信的发展过程中, 对于通常采用的调频(调相)或调幅方式, 已两次压缩了波道间隔。目前常用的波道间隔是 25kHz。我国 80 系列规定, 把原来的 100kHz 波道间隔改为 25kHz。

目前, 正在探索在移动通信中使用单边带技术的可行性, 试图将波道间隔压缩到 5kHz。

(2) 采用小区体制和频率复用。将一个大的业务区划分为许多无线区(或称小区), 每个无线区使用一组波道频率, 利用特高频电波传播特性, 相距一定距离的无线区允许使用相同的波道组工作, 这称为同波道复用。适当地减小无线区的半径, 便可增加同波道复用的次数, 因而可大大提高频率利用率。

(3) 采用多波道共用方式。多波道共用是在一个无线区中所有移动台共用若干个无线波道, 即无线区内的任一用户都可以占用某一空闲波道通话。只有当无线区中的全部波道都被占用时, 才会出现被迫“等待”的情况。采用多波道共用方式能够有效地提高波道利用率(详见第七章)。

3. 移动通信的数字化

数字通信具有抗干扰能力强、保密性好、经济等特点, 又适于各种信息的综合传输和交换, 对新业务的适应能力也较强, 所以, 移动通信的数字化是发展方向。为此, 需要研究话音低速编码方法、窄带数字调制方法和数字信号的传输特性。

4. 采用集成电路、微处理器和计算机

集成化的通信设备具有体积小、重量轻、价廉、可靠性高等优点, 采用 CMOS 集成电路还可以降低功耗, 因此, 通信设备的集成化也是一个重要的发展方向, 尤其是移动设备的集成化更具有实际意义。

随着微处理器的普及，它在移动通信中的应用也与日俱增。移动台的辑逻单元采用微处理器，能够实现多种控制功能。使用微处理器还能有效地完成系统的控制交换功能，这对组成经济的、可扩充的、自动化的移动通信系统具有十分重要的意义。

5. 卫星移动通信的研究

卫星移动通信是一种很有前途的通信方式，它已用于海上移动通信。目前正在探索利用卫星建立国内移动通信网的最佳方案。

随着技术的进步，移动通信系统正向着增加容量、扩大服务面积、提高服务质量和降低成本的方向发展。目标是在一国或跨国的范围内，实现综合业务的移动通信网。

思考题

1. 何谓移动通信？它在人们的社会生产和生活中有何应用价值？试举一、二个实例说明。
2. 要组建一个汽车运输无线调度网，实现总调度室和外出车辆之间的通话，你考虑选用什么工作方式为好？为什么？
3. 试述移动通信网的基本组成和移动通信的特点。
4. 移动通信主要的技术发展动向是什么？你对移动通信的发展作何估计？

第二章 移动通信的电波传播

陆上移动通信、海上移动通信和航空移动通信的传播条件不同，它们的传播特性也不同。就目前常用的 VHF、UHF 频段来说，电波传播方式主要是空间波，即直射波、反射波的合成波。

对于陆上移动通信，通常移动台的天线高度仅超出地面 1~4 米，显然，电波传播受地形地物的影响极大。另外，在运动状态下通信，电波传播路径时刻变化，影响电波传播的地形地物也时刻变化，与固定通信相比，移动通信的电波传播特性显得更为复杂，故自由空间或平面大地上的电波传播衰耗计算公式，除特殊情况外，一般不再适用此种传播条件。为了掌握各种地形地物条件下的电波传播特性，通常是作大量的传播实验，找出统计的传播规律，即找出各种地形地物条件下的传播衰耗（或接收场强）和距离、频率以及和天线高度之间的关系，绘出陆上移动通信的传播特性计算图表，从而获得准确预测接收信号强度的方法。

电台运动时，它和道路周围地形地物的相对位置不断变化，也就是与多径传播所形成的驻波场在作相对运动，因此接收信号强度（或传播衰耗）必定大幅度地随机起伏。为了研究的方便，我们首先给出场强中值的定义，它是指信号强度大于它的概率为 50% 的场强。然后将场强的变动分为瞬时值变动和中值变动。由于这两种变动都是随机的，因此要想掌握其变动特性，必须研究它们的统计分布规律和标准偏差。知道了中值，又知道在中值基础上的信号强度的变动情况，就能完全掌握电波传播的特性。

本章将从电波传播电路计算的实际需要出发，首先讨论电波传播衰耗中值的计算方法，然后再介绍瞬时值和中值变动的统计分布，最后给出计算实例。

第一节 陆上移动通信的电波传播

一、地形、地物的分类与定义

（一）地形的分类与定义

从计算电场强度中值（或传播衰耗中值）出发，大致可将地形分为“准平滑地形”和“不规则地形”两种。所谓“准平滑地形”是指在传播路径的地形剖面图上，其表面起伏高度在 20 米以下，起伏缓慢，峰点和谷点之间的水平距离大于波动表面高度的地形。在以公里计的量级内，其平均地面高度的变化也在 20 米以内。除此以外的地形，称为“不规则地形”。不规则地形按其状态又分成丘陵地形、孤立山岳、倾斜地形和海陆混合地形四类。它们的地形参数将在计算相应衰耗的章节中给出。

由于天线总是架设在某种地形或地物上的，故天线本身的高度在通信中并无多大实际意义。所以，有必要定义一个“天线有效高度”。图 2—1 是定义基地台（或中心台、固

定台) 天线有效高度的示意图。设从基地台天线设置点起 3~15km 距离内(若实际传播距离小于 15km, 则直接用实际传播距离) 的平均地面海拔高度为 h_{ga} , 又设基地台天线附近地形的海拔高度和实际架设天线高度之和为 h_{ts} , 则基地台天线的有效高度 $h_b = h_{ts} - h_{ga}$ 。以下凡基地台天线高度均指天线有效高度。而移动台天线高度 h_m 则是指路面以上的高度。

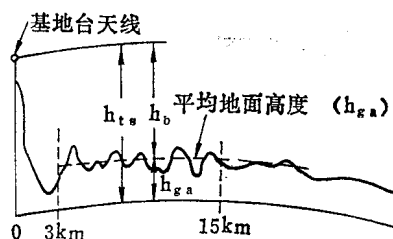


图 2—1 基地台天线有效高度 h_b 的定义

(二) 地物(即地面障碍物)的分类与定义

不同的地物造成不同的传播条件, 故应按照地物的密集度和屏蔽度分类。

1. 开阔地

在电波传播方向上无高大树木、建筑物等障碍物, 呈开阔状的地面, 如农田、荒野、广场等称为开阔地。

2. 郊区地

是指在移动台近处有障碍物但不稠密的地区。例如, 树木、房屋稀少的田园地带等。

3. 市区地

是指大厦和两层以上建筑物稠密的地区。例如, 城市、建筑物和茂盛大树混合密集的大村庄、大的市镇等。

这些地区之间都可能有过渡区。了解以上三类地区的传播情况之后, 过渡区的传播情况自然可以大致地估计出来。

二、准平滑地形上的电波传播特性

(一) 市区传播衰耗中值的预测

由电波传播理论和实验可知, 在城市街道地区, 电波传播衰耗取决于传播距离 d , 工作频率 f 、基地台天线有效高度 h_b 、移动台天线高度 h_m 、以及街道的走向和宽窄等。在大量实验、统计分析的基础上, 可作出信号传播衰耗中值的预测曲线簇, 如图 2—2 所示。利用这些曲线簇能够预测准平滑地形上、城市街道地区的传播衰耗中值或场强中值。因为在计算其它各种地形地物的传播特性时, 通常以准平滑地形的市区场强中值作为基准, 所以也可称它为基准场强中值。

图 2—2a 表明基本衰耗中值和频率、距离的关系。它是在基地台天线有效高度为 200 米, 移动台天线高度为 3 米时, 以自由空间衰耗为 0dB 求得的信号基本衰耗中值 $A_m(f, d)$ 。换句话说, 曲线上读出的基本衰耗中值大于自由空间衰耗的数值 (d, f 相同)。而自由空间的传播衰耗可以按下式计算:

$$L_{bs} = 32.45 + 20 \lg f + 20 \lg d \quad (\text{dB}) \quad (2-1)$$

式中 d ——收发天线间的距离, 单位: 公里;

f ——工作频率, 单位: 兆赫。

分析图 2—2a 可知, d, f 相同时, 市区的传播衰耗中值大于自由空间衰耗, 而且随

着频率和距离的增加而迅速增加。

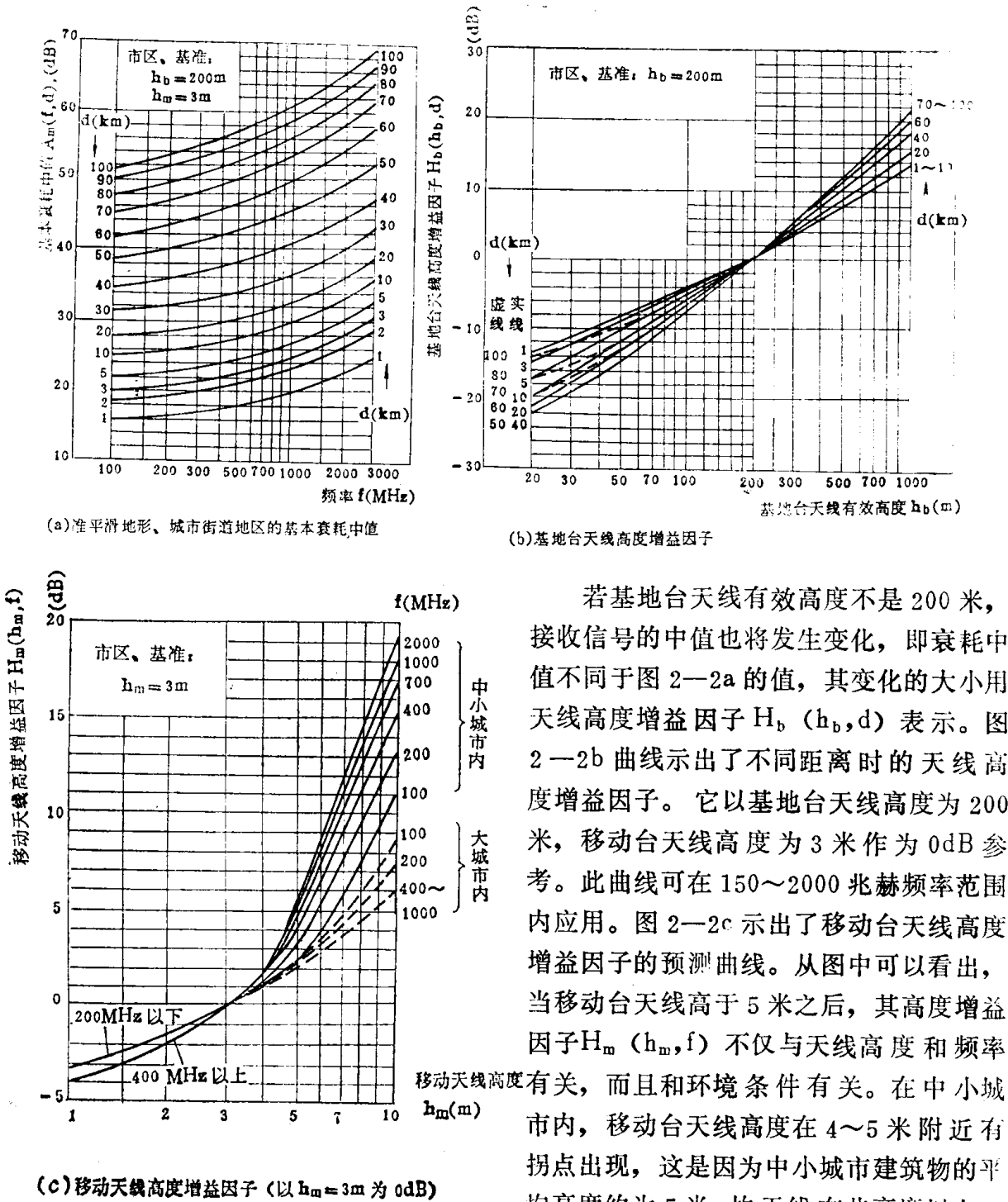


图2—2 准平滑地形、市区传播衰耗中值的预测曲线

另外，市区的场强中值还和街道的走向（相对于电波方向）有关。特别是在与电波传播方向平行的街道（即纵向路线）和与电波传播方向垂直的街道（即横向路线）上的

场强中值有明显的差别。在纵向路线上的场强中值高于基准场强中值，而在横向路线上的场强中值低于基准场强中值。图 2—3 给出了它们相对于基准场强中值的修正值曲线。

(二) 郊区和开阔地的衰耗中值的预测

郊区的建筑物一般是分散、低矮的，故传播条件优于市区。郊区场强中值和基准场强中值之差称为郊区修正因子 K_{mr} ，它随频率和距离而变化的关系如图 2—4 所示。由图可见，郊区的传播衰耗中值比市区要小，而且工作频率越高，修正因子 K_{mr} 越大。另外， K_{mr} 与基地台天线有效高度的关系不大。它与距离的关系是：在 20 公里以上， K_{mr} 大体为固定值；在 20 公里以下时，距离越近， K_{mr} 越大，说明传播条件越好。

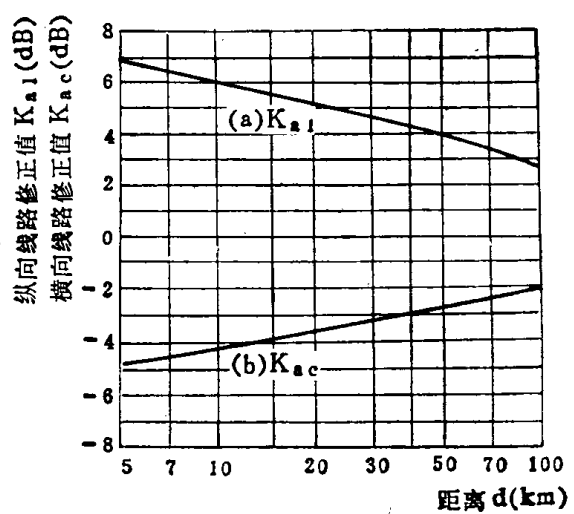


图 2—3 市区纵向路线(a)和横向路线(b)场强中值对基准中值的修正值

图 2—5 表示开阔地、准开阔地的场强中值相对于基准场强中值的修正值计算曲线。图中， Q_o 曲线表示开阔地修正因子，而 Q_r 曲线表示准开阔地（开阔地与郊区间过渡地区）的修正因子。由图 2—5 可见，开阔地的传播条件比市区、郊区都好。在同样天线高度和距离的情况下，开阔地典型的接收信号中值比市区约高出 20dB。

要想求出郊区或开阔地收发天线间的信号衰耗中值，应先求出相应的市区信号衰耗中值，然后，减去由图 2—4 或图 2—5 查出的修正因子的 dB 数即可。在通信距离较近

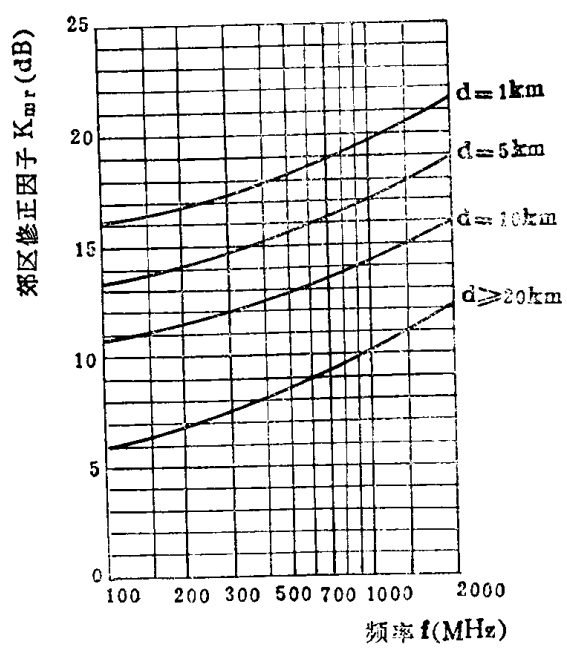


图 2—4 郊区修正因子

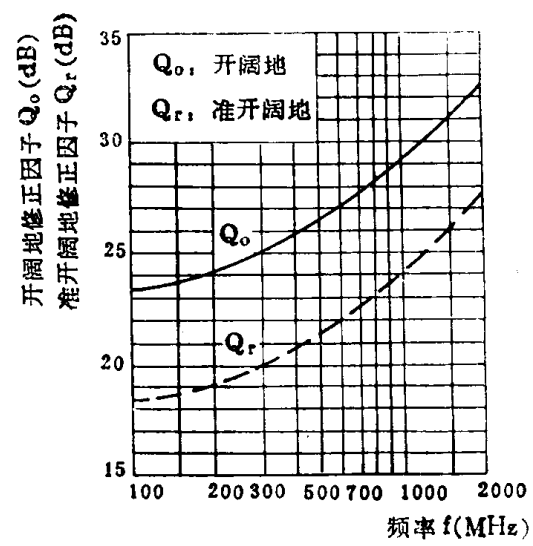


图 2—5 开阔地、准开阔地修正