

高等学校教材

移动通信

黄健 赵宗汉



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书较系统地叙述了有关移动通信的基本理论和组网技术。除绪论外,全书共分五章,即移动通信环境中电波传播特性及场强计算方法;移动通信系统的调制技术;移动通信系统中的噪声、干扰特性及指标计算方法;移动通信网的构成方法、容量计算、信令形式及交换控制技术;移动通信系统介绍。全书以模拟调频系统为主,也介绍了数字系统的有关概念。

本书是高等工科院校通信专业和无线电技术专业的教材,也可作有关工程技术人员的参考资料。

高等学校教材
移 动 通 信
黄 健 赵宗汉
责任编辑 景 虹

西安电子科技大学出版社出版

西安电子科技大学印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 15 12/16 字数 379 千字
1988 年 12 月第 1 版 1988 年 12 月第 1 次印刷 印数 1-4000

ISBN7-5600-0054-9/TN·0022

定价: 3.15 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、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评建议,共同为不断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

本教材由无线电技术与信息系统编审委员会通信编审小组评选审定并推荐出版。

教材内容是根据编审小组审定的编写大纲要求，侧重移动通信的基本理论和基本概念，并结合阐述了工程技术中的有关问题。在具体系统和技术上，侧重目前已付之实现的系统，对一些带有发展趋向的内容也作了介绍。

本课程参考教学时数为 45 学时，全书共分五章，第一章讲电波传播特性及场强计算，重点是讲清楚移动通信中的多径效应和阴影效应，讲清不同地形地物条件对信号值的影响，图表计算只需简单介绍一下即可。本章还讲了分集技术的概念，特别是从相关性的角度去讲解分集原理，以帮助读者弄清分集技术的实质。第二章是调制技术，内容安排上尽量避免跟其它课程重复，侧重从抗多径效应和有效利用频谱的角度来分析各种调制技术的性能及其应用，讲述了数字调制方法和扩频技术。第三章是噪声和干扰，本章是从系统设计的角度来选择和安排有关内容的，既有一定的基本概念，又有工程实用性。第四章是组网技术，包括移动通信网的结构形式、通信容量和信道数的确定、信令形式及交换监控技术等。最后一章介绍具体系统，本章选编了几种有代表性的系统，有关系统设备的功能和构成也有所介绍。阅读此章，可帮助读者加深对前四章内容的理解，建立完整的系统概念。绪论部分有关移动通信基本概念可放在课程开始时讲，而发展趋向部分，可在课程结束时讲解。

移动通信涉及的理论和技术很广，由于篇幅有限，不可能一一详述，教学过程中可视情作些补充。

本书由上海交通大学陈中生副教授主审。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误之处，欢迎广大读者指正。

编 者

目 录

绪论	1	参考文献	58
第一章 移动通信电波传播特性及场强计算		第二章 调制方式	
§ 1-1 无线电波在自由空间的传播	12	§ 2-1 加性白噪声信道中频率调制性能	59
§ 1-2 超短波在光滑平面上的传播特性	14	(一) 宽带调频与窄带调频	59
§ 1-3 地球曲率和大气折射的影响	18	(二) 调频制抗噪声性能	62
(一) 视线距离	18	§ 2-2 多径衰落信道中调频信号特性	66
(二) 地球曲率和大气折射对反射		§ 2-3 单边带调制	70
公式的修正	19	(一) 比较发射机信息功率	70
(三) 球形地面扩散作用对反射		(二) 比较接收机带宽	70
公式的修正	20	(三) 比较门限电平	71
§ 1-4 粗糙不平坦地面电波传播特性	20	§ 2-4 数字调角系统性能	77
§ 1-5 多径衰落和阴影效应	24	(一) 信噪比与误码率	77
§ 1-6 多径延时和相关带宽	30	(二) 占有频谱及带宽	78
§ 1-7 陆地移动通信传播损耗		(三) 多进制	80
实验图表算法	33	(四) 衰落信道下数字调制	82
(一) 地形地物的分类及天线有效高度	33	§ 2-5 窄带数字调制	85
(二) 准平滑地形市区场强中值		(一) 最小移频键控(MSK)	87
——基准场强中值	33	(二) 受控调频(TFM)	89
(三) 地物状况修正值	35	(三) 预调基带高斯滤波最小移频键控	
(四) 不规则地形的修正	36	(GMSK)	93
(五) 幅度衰落的修正	38	§ 2-6 扩展频谱系统	95
(六) 建筑物穿透损耗的预测	39	(一) 扩频系统信息处理技术	99
§ 1-8 任意地形的信号中值的预测	40	(二) 多址工作能力和抗干扰能力	100
(一) 计算自由空间信号值	40	(三) 编码技术	101
(二) 预测基准信号中值	40	参考文献	101
(三) 任意地形地物情况下的接收功率	40	第三章 外部噪声和干扰	
§ 1-9 分集技术	41	§ 3-1 人为噪声	105
(一) 空间分集	42	§ 3-2 邻道干扰和邻道选择性	107
(二) 场分量分集	44	(一) 载波边带辐射比的确定	107
(三) 极化分集	46	(二) 调制边带的抑制	109
(四) 角度分集	47	(三) 发射机边带噪声干扰	111
(五) 频率分集	48	(四) 接收机邻道选择性	112
(六) 时分分集	49	§ 3-3 近端对远端比干扰	113
(七) 合并技术	49	§ 3-4 同频干扰	114
§ 1-10 限定空间的电波传播	54	§ 3-5 互调干扰	117

(一) 最小频道数的无互调信道组	119	(二) 关于信道间隔的确定	181
(二) 发射机互调	122	(三) 收、发信机频率间隔的问题	184
(三) 接收机互调	125	§ 4-10 无线区的电路计算	185
§ 3-6 移动台发射机的自动 功率控制(APC)	128	(一) 系统信号质量指标的确定	185
(一) 阶梯幅度的确定	129	(二) 接收机允许的最小 输入信噪比 S_i/N_i	186
(二) APC 系统控制范围和 阶梯数的计算	129	(三) 噪声和衰落的影响	186
§ 3-7 码间干扰	132	(四) 接收机允许的最小输入功率中值 $P_{\min}$ 和台间电波传播损耗中值 L_A 的计算	187
参考文献	134	(五) 基地台天线有效高度或覆盖 区域半径的计算	188
第四章 移动通信组网技术	135	参考文献	188
§ 4-1 无线电话的工作方式	135	第五章 移动无线电通信系统	189
§ 4-2 大区制移动通信网	138	§ 5-1 无线电呼叫系统	189
(一) 同频传输地点分集的技术要求	139	(一) 工作频率的选择	189
(二) 准同步传输技术(QS 传输)	140	(二) 服务区域	190
(三) 准同步系统中位置的确定	141	(三) 信号形式问题	191
§ 4-3 小区制通信网的构成方法	143	(四) 调制方式	194
§ 4-4 移动通信网络的结构及信道结构	148	(五) 系统设备	194
§ 4-5 信令	150	§ 5-2 公用汽车无线电话系统	195
(一) 模拟信令	151	(一) NTT 中容量电话系统	196
(二) 音锁	155	(二) AMPS 系统	203
(三) 数字信令	156	§ 5-3 专用无线移动通信系统	211
§ 4-6 多信道共用	156	(一) 系统结构与特点	212
(一) 话务量、呼损率和用户量	163	(二) 控制台无线设备	214
(二) 信道自动选择方式	166	(三) 控制台无线线路控制设备 和监控设备	217
§ 4-7 控制与交换	167	(四) 用户无线电话设备	226
§ 4-8 移动网和市话网的接口方式	177	§ 5-4 内部移动通信及无绳电话	229
(一) 移动通信交换局作为 市话局的分局	177	(一) 内部移动通信的概念	229
(二) 移动交换局作为市话局 的小交换机接入基地台	177	(二) 无绳电话系统	231
(三) 移动用户作为市话局用户 线的延伸	178	(三) 泄漏同轴电缆构成的通信系统	235
§ 4-9 频率的使用	179	§ 5-5 铁路列车无线电话系统	238
(一) 通信网的信道分配	179	参考文献	244

绪 论

移动通信一般是指移动体与固定地点,或者移动体相互间通过有线和无线信道进行的通信。就系统构成来说,移动通信可以分为两大类:一类是移动无线电通信(Mobile Radio),移动体间不具备选址的功能,系统构成较为简单,大多数专业移动通信网属于此类;另一种称为移动电话(Mobile Telephone),陆地公众汽车电话系统即为此类系统的典型。它可实现移动目标间的选址通信,还可实现移动用户与市话网有线用户间通话,甚至还能进行国内和国际长途自动拨号,在技术上涉及到有线通信、无线通信及计算机控制和交换等方面内容,是20多年来迅速发展起来的一种新型通信网。

与定点无线电通信相比,移动通信具有如下特点:

(1) 由于移动台是在迅速运动之中,特别是陆地移动通信系统,移动台往往运动于建筑群或其它障碍物中,接收信号强度受地形、地物的影响很大,由于多径传播造成的瑞利衰落,电平幅度起伏可达30dB以上。并由于运动中多径的变化,产生附加调幅和调相。建筑物的遮挡还带来信号阴影衰落。所以说,移动通信电波传播条件是十分恶劣的,研究电波传播的规律,是合理设计移动通信的前提。

(2) 由于移动台在运动中,所以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

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

多普勒频移导致附加调频噪声。

(3) 由于移动通信网是多电台、多波道通信系统,因而,通信设备除受城市噪声(主要是车辆噪声)干扰外,电台干扰(同频干扰、互调干扰等)较为突出。所以,抗干扰措施在移动通信系统设计中显得很重要。

(4) 移动台的位置不停变化,接收机与发射机间的距离不断改变,导致接收信号电平的不变化,这就要求接收设备具有很大的动态范围。

(5) 在移动通信系统中,用户数和可利用波道数的矛盾特别严重,它不能靠采用复用设备和增加线路容量来解决。为此,除开发新频段之外,还需采用各种有效利用频率的措施,诸如缩小波道间隔、多波道共用、频率重复使用等。

(6) 由于移动台不停运动的特点,为了实现可靠而有效的通信,必须采用位置登记和波道切换等跟踪交换技术。

现代社会有三种基础结构:即传递能量的能源、转移人和物的运输、传递信息的通信,而移动通信则是运输与通信二者高度发展相互结合的产物。尽管从1895年无线电波传播实验成功开始,移动通信就具备了实现的前提,但它的发展是随着汽车、火车、轮船、飞机及宇宙飞船交通工具的发展而同步发展的。反过来,移动通信技术进步又大大提高了交通运输的效率、速度和安全。广泛应用移动通信和其它通信工具可以大量节省能源。如果整个社会信息化,交通能源可节省40~60%。因此,移动通信业务已引起人们的广泛重视。60年代开始,一些技术先进的国家就着手试验移动电话网,70年代中期,

移动通信网系统已逐步成熟,各种实用的通信系统相继出现,并且由于微型计算机、单片机及大规模集成电路进入了移动通信系统,使移动通信智能化、自动化、数字化有可能得以实现,使成网技术以及各种新的体制都得到不断发展。

我国移动通信是从军事移动通信即战术通信起步的。民用移动通信发展较晚,大致分为早期、74系列、80系列三个阶段,50年代末到70年代中主要用于公安、邮电、交通、渔业等少数部门,1974年才开放了四个民用波段,制定了通用技术条件,开始研制频道间隔为50 kHz和100 kHz的74系列产品。1980年制定了波道间隔为25 kHz的性能指标、测试方法和环境要求等部颁标准,开展了80系列设备的研制。近年重视了国外先进技术的引进,必将促进我国移动通信技术的更快发展。

目前国际上对民用移动通信需要量有以下几种预测方法:

(1) 以人均移动台普及率为依据预测。日本80年代初期人均电台普及率估计为2.8~3.6%,至2000年预测为26%。美国80年代初期为6.8%,至1990年预测为16%。我国按照2000年达到国际上80年代初的水平,以2.8%估测,届时累积移动电台数需3360万台,考虑到我国经济实力及普通电话普及率,此预测数偏大。

(2) 以人均国民生产总值为依据预测。1982年美国人均国民生产总值为13160美元,日本为10080美元,我国为310美元。按照每部移动台需要承担的国民生产总值计算,美国为19.3万美元/台,日本为27.7万美元/台,我国约为62万美元/台,预计2000年我国人均国民生产总值可达1000美元,人口增至12亿,按上述数字预测,届时移动电台总数将依次为621万、433万、194万。

(3) 以公用电话普及率为依据预测。公用电话普及率是随着国民生产总值的增长而提高的。日本1982年电话普及率为52%,美国为79%。移动台与电话机之比,日本约为7%,美国约为8.6%。我国按邮电部的规划至2000年电话普及率为2.8%,以此计算,届时电台总数为235~289万台。

(4) 以交通工具数为依据预测。根据各类汽车、火车、船舶与飞机等交通工具发展总数,乘以各类交通工具的电台率来估测所需电台总数。严格讲,还要加上寻呼机、个人电台等预测数。

电波是人类的宝贵财富,为了有效利用有限的频率资源,对频率的分配和使用必须实行统一的国际和国内管理,否则就会造成相互干扰。为统一各国频率分配和使用,国际上成立了国际电信联盟(ITU)。关于国际频率分配方案已在国际电信条例无线通信规则中有明确规定,并用分配表固定下来。这种分配方案允许随着技术的发展和电波的需要,通过一定的国际会议(国际无线电咨询委员会,简称CCIR会议)进行修改。按照现行的无线电通信规则,对于10 kHz到40 GHz的频带,将世界划为三个区域。第一区域是欧洲和非洲,第二区域是南北美洲,第三区域是亚洲和大洋洲。第三区域移动通信频率如表1所示。我国由全国无线电管理委员会对整个频段进行统一规划,1980年规定移动通信频率为以下频段:

29.7~48.5 MHz;	64.5~72.5 MHz(与广播共用);
72.5~74.6 MHz;	138~149.9 MHz;
150.05~156.7625 MHz;	156.8375~167 MHz;
223~235 MHz;	335.4~399.9 MHz;

406~420 MHz;
560~606 MHz;
1427~1535 MHz;
4400~4990 MHz;

450~470 MHz;
798~960 MHz(与广播共用);
1668.4~2690 MHz;
.....

表 1 第三区移动通信频率分配

频率(MHz)	应用领域	频率(MHz)	应用领域
0.014~0.01995	海	10.005~10.100	空
0.02005~0.160	海	10.150~11.175	陆、海
0.325~0.415	空	11.175~11.400	空
0.415~0.495	海	12.230~13.200	海
0.495~0.505	陆、海、空遇险呼叫	13.200~13.360	空
0.505~0.535	陆、海、空	13.410~13.600	陆、海
1.606~1.800	陆、海、空	13.800~14.000	陆、海
1.800~2.000	陆、海	14.350~14.990	陆、海
2.000~2.065	陆、海、空	15.010~15.100	空
2.065~2.107	海	16.360~17.410	海
2.107~2.170	陆、海、空	17.900~18.030	空
2.170~2.1735	海	18.780~18.900	海
2.1735~2.1905	陆、海、空遇险呼叫	19.680~19.800	海
2.1905~2.194	海	20.010~21.000	陆、海、空
2.194~2.495	陆、海、空	21.924~22.000	空
2.505~2.850	陆、海、空	22.000~22.855	海
2.850~3.155	空	23.000~23.200	陆、海
3.155~3.400	陆、海	23.200~23.350	空
3.400~3.500	空	23.350~24.000	陆、海
3.900~3.950	空	24.000~24.890	陆
4.000~4.438	海	25.010~25.070	陆、海
4.438~4.650	陆、海	25.070~25.210	海
4.650~4.750	空	25.210~25.550	陆、海
4.750~4.995	陆	26.100~26.175	海
5.060~5.450	陆、海	26.175~27.500	陆、海
5.450~5.480	空、陆	27.5~28	陆、海、空
5.480~5.730	空	29.7~50	陆、海、空
5.730~5.950	陆、海	54~74.3	陆、海、空
6.200~6.525	海	75.2~100	陆、海、空
6.525~6.765	空	117.975~136	空
6.765~7.000	陆	136~138	陆、海
7.300~8.100	陆	138~144	陆、海、空
8.100~8.815	海	146~149.9	陆、海、空
8.815~9.040	空	150.05~156.7625	陆、海、空

156.7625~156.8375	航海遇险呼叫	2300~2500	陆、海、空
156.8375~328.6	陆、海、空	2500~2690	陆、海
335.4~399.9	陆、海、空	3400~3500	陆、海、空
401~406	陆、海	3500~4200	陆、海
406~406.1	移动卫星	4400~4990	陆、海、空
406.1~430	陆、海	4990~5000	陆、海
440~450	陆、海	5850~7300	陆、海、空
450~960	陆、海、空	7300~7900	陆、海
1427~1429	陆、海	7900~8400	陆、海、空
1429~1535	陆、海、空	8400~8500	陆、海
1535~1544	航空移动卫星	10000~10450	陆、海、空
	(星—地球)	10500~10550	陆、海、空
1544~1545	移动卫星(星—地球)	10550~10680	陆、海
1545~1559	航空移动卫星	10700~12750	陆、海
	(星—机)	12750~13250	陆、海、空
1626.5~1645.5	航海移动卫星	14330~14500	陆、空
	(地球—星)	14500~15350	陆、海、空
1645.5~1646.5	移动卫星(地球—星)	17700~18600	陆、海、空
1646.5~1660.5	航空移动卫星	18600~18800	陆、海
	(地球—星)	18800~19700	陆、海、空
1660.5~1690	陆、海	19700~21200	移动卫星(星—地球)
1700~1710	陆、海	21200~22000	陆、海、空
1710~2290	陆、海、空	22000~22500	陆、海
2290~2300	陆、海		

移动通信网需要使用各种设备,概括起来说,有收发信机、交换控制设备和终端设备。就无线电台设备而言,对不同的系统也有不同的形式。从使用角度看,有无线话筒、袖珍铃话机、便携式话机、车载式话机、基台无线电台和无线接力机。按功能可分为按键通话方式、双工通话方式、多信道存储方式及无线呼叫接收机等形式。其中,按键通话方式主要适用于出租汽车、交警等无线系统;双工通话方式主要适用于汽车和船舶无线电话系统。

发射机的技术特性包括以下内容:

1. 载波输出功率

发射机载波输出功率是指无调制时馈送给测试负载的平均功率,采用调频或调相制的发射机载波输出功率与有无调制无关。

2. 频率稳定度和准确度

频率稳定度是指由于环境条件(温度等)的变化,在一定时间间隔内额定频率变化的程度,通常用相对值表示。而准确度是指标称值和实际值的误差。

3. 邻道功率

邻道功率是指发射机在规定的调制状态下工作时,其输出落入相邻信道通带内的功率,主要包括边带辐射和边带噪声两部分。通常用邻道功率和载波功率比来表示。

4. 寄生辐射

发射机寄生辐射是指有用频率以外的一切寄生频率辐射。包括载频高次谐波和晶振的高次谐波。

5. 发射机辐射带宽

发射机辐射带宽定义为包含总辐射能量 99% 的带宽。为了减小邻道干扰,在移动通信网中,必须严格限制辐射带宽。

6. 发射机互调

当发射机输出端耦合了其它发射机的信号时,由末级非线性而产生互调干扰。

7. 调制特性

发射机的调制特性包括调制灵敏度、调制频率特性和调制线性。调制灵敏度是指发射机在标准调制时所需 1 kHz 音频调制信号的电动势值。“标准调制”是指最大调制度的 60%。调制频率特性即发射机的音频响应,是指调制信号电平恒定时,频偏(FM)或相位移(PM)与调制信号频率之间的关系。调制线性是指规定的调制频率(1 kHz)时,已调波的频偏(FM)或相位移(PM)与调制信号电平关系的线性度。

接收机的主要技术特性包括有:

1. 灵敏度

灵敏度是表示接收机接收微弱信号的能力。它有几种不同的定义方法:

(1) 相对灵敏度——接收机达到规定的输出信噪比时输入端所需最小信号电平。

(2) 可用灵敏度(信纳比灵敏度)——在接收机输入端加入标准测试信号(调制频率 1 kHz,频偏为最大频偏的 60%,中心频率为接收机额定频率),输出端得到 12 dB 的信纳比 $(S + N + D) / (N + D)$ (D 为失真),且输出功率不小于额定音频输出功率的 50%,此时测试信号电压值即为可用灵敏度。

(3) 抑噪灵敏度——使没有输入信号时的接收机输出噪声电平下降 20 dB 所需的输入未调射频电压值。它反映了接收机输出噪声与载波电平的关系。

(4) 静噪开启灵敏度——它是指静噪控制置于门限位置时,为使接收机静噪电路开始工作所需的输入标准测试信号的电压值。

2. 邻道选择性

邻道选择性是指接收机接收有用信号而抑制邻近波道的干扰信号的能力。接收机邻道选择性主要决定于中频滤波器的选择性。但是,当邻道强干扰进入高放、混频级时,将引起阻塞和倒易混频,从而造成干扰。为了能反映接收机抑制此类干扰能力,应采用双信号测法确定邻道选择性。

3. 调制接收带宽

为了不失真地传输信号,接收机中频带宽应根据发射机的发射带宽、发射频率和接收机本振频率的偏差以及滤波器中心频率偏差来决定。调制接收带宽综合反映了上述因素,其测试方法是:在接收机输入标准测试信号,并将它的电平调整到比可用灵敏度电平高 6 dB 且输出信纳比大于 12 dB。然后加大输入信号频偏,直至接收机输出信纳比回复到 12 dB 为止。此时,输入信号频偏的二倍就定义为调制接收带宽。

4. 互调抑制比

当两个以上干扰信号同时进入接收机, 由于前端电路的非线性而产生互调干扰。所谓调抑制比, 就是指接收机抑制互调干扰的能力。

5. 寄生响应抗拒比

寄生响应抗拒比是指接收机抗拒单个干扰信号在接收机输出端造成寄生响应的能力。由于这类干扰信号的频率分布很广, 必须在很宽的频率范围测试它们的影响。中频抗拒比和镜频抗拒比也可单独给出。

CCIR478—3 建议对 25~1000 MHz 陆地移动通信设备技术特性推荐为如下内容:

1. 发射机特性

1) 发射类型及所需带宽

A3E 类: 6 kHz

F3E 类: 16 kHz(30 和 25 kHz 波道间隔)(我国 80 系列为 20 kHz);

≤16 kHz(频段≤160 MHz, 波道间隔 20 kHz);

14 kHz(频段>160 MHz, 波道间隔 20 kHz);

8.5 kHz(波道间隔 12.5 kHz)。

2) 频率容限(频率稳定度)

在规定的温度范围内和电源电压范围内, 载频误差不应超过表 2 给定值。

表 2 各频段容差

频 段 (MHz)	波道间隔 (kHz)	相对值 (10^{-6})	绝对值 (kHz)
35	20,25,30	20	0.7
	12.5	—	—
80	20,25,30	20	1.6
	12.5	12	1.0
160	20,25,30	10	1.6
	12.5	8	1.3
300	20,25,30	7	2.1
	12.5	—	—
450	20,25,30	5	2.25
	12.5	3	1.35
900	20,25,30	3	2.7
	12.5	—	—

3) 邻道功率

当信道间隔为 25 和 30 kHz 时:

25~500 MHz, 在 16 kHz 带宽内比载波功率至少低 70 dB(我国规定 < 10 μ W);

500~1000 MHz, 在 16 kHz 带宽内比载波功率至少低 65 dB。

当信道间隔为 20 kHz 时:

在 14 kHz 带宽内比载波功率至少低 70 dB(最大频偏 4 kHz)或 60 dB(最大频偏

5 kHz)。

当信道间隔为 12.5 kHz 时:

在 8.5 kHz 带宽内比载波功率至少低 60 dB。

4) 传导寄生发射

在等于发射机标称输出阻抗的非电抗负载测量时, 对于发射机载波功率 ≤ 25 W 的场合, 在离散频率上的寄生发射不应超过 $2.5 \mu\text{W}$, 对于载波功率大于 25 W 的场合, 任一寄生发射电平比载波功率至少低 70 dB。

我国 80 系列标准规定对于基地式不大于 -60 dB, 其它均不大于 $25 \mu\text{W}$, 比 CCIR 推荐值差 10 dB。

5) 机壳辐射

CCIR 建议规定不大于 $25 \mu\text{W}$, 我国未作具体规定。

2. 接收机特性

1) 参考灵敏度

给定输出参考信噪比, 参考灵敏度应小于 $2.0 \mu\text{V}(\text{c.m.f.})$ 。我国 80 系列标准规定: 小于 167 MHz 时, 可用灵敏度不大于 $0.6 \mu\text{V}(\text{c.c.})$, 450 MHz 频段不大于 $1.0 \mu\text{V}(\text{c.c.})$ 。当源阻抗等于接收机输入阻抗时, 闭路电压(c.c.)等于电动势(c.m.f.)的一半。

2) 邻道选择性

当信道间隔为 20、25 和 30 kHz 时, 不应低于 70 dB; 信道间隔为 12.5 kHz 时, 不应低于 60 dB。我国 80 系列标准便携式电台比上述值差 10 dB, 袖珍式差 20 dB, 其它均与 CCIR 推荐值相当。

3) 射频互调

互调抗拒比不应低于 70 dB。

4) 寄生响应

在离接收机标称频率大于一个信道间隔处, 寄生响应抗拒比不应小于 70 dB。

5) 传导寄生发射

在有匹配负载的天线端测量任意离散频率的寄生发射功率不应超过 2.0 nW 。

6) 机壳辐射

低于 70 MHz 的离散频率上不应超过 10 nW , 高于 70 MHz 低于 1000 MHz 时, 不超过 $10 \text{ nW} + 6 \text{ dB/倍频程}$ 。

我国对(5)(6)未作具体规定。

3. 基地台特性

1) 工作频段及全双工收发频率间隔

CCIR 推荐值列于表 3, 我国规定值列于表 4。

在实际使用中, 可以不是给定的值, 可以根据不同情况而定。

2) 有效辐射功率和天线高度

CCIR 建议各国根据所需通信范围和通信质量、工作频段、服务区地形等因素考虑。为了减少相互干扰, 辐射功率和天线高度不要大于实际需要。我国规定无线电输出功率一般分为 0.5 W 以下, 2 W, 3.5 W, 5 W, 10 W, 15 W, 25 W, 少数中心台或基地台最大输出功率一般不超过 50 W。

3) 多波道电台的最大转换范围约为工作频率的 1%。

4) 天线系统

天线系统一般为垂直极化。我国也有个别台站, 为了避免同址干扰而采用水平极化的。

由于篇幅限制, 本教材不详细阐述移动通信电台方面的内容。现反过来概述一下移动通信系统的主要理论和技术问题以及它们的发展动向。

表 3 CCIR 推荐值

频段 (MHz)	频率范围 (MHz)	收发最小频率间隔 (MHz)
35	26.1~50	4
80	68~88	3
160	146~174	3
300		4
450	450~470	5
900	806~960	45

表 4 我国规定值

频段名称	频率范围 (MHz)	收发频率间隔 (MHz)
A	27~38	
B	40~48.5	
C	72.55~74.5	
	139.075~141.55	
D	146.025~147.25	5.7
	150.05~167	
E	403~420	
	450~470	10
	879~898.975	
	924~943.975	45

1. 电波传播与天线技术

研究电波传播特性是设计移动通信网的基础和前提。由于多径效应引起信号深衰落, 电路设计时必须在中值电平上附加一个保护值, 网与网之间必须有一段重叠才能保证过网。

在推测传播特性方面, 最有名的是“奥村曲线”。现还在研究该曲线的修正, 以便提高推测精度, 扩大适用范围。为发展携带电话业务, 人们正在深入分析 UHF 到亚微波频段的室内传播特性。为准确地计算这些复杂的传播特性, 要将传播路径特性输入数据库, 用计算机自动计算。

多径电波之间的延迟时间差限制了数字传输的速度, 因而研究电波延迟特性是实现数

字化的关键之一。

天线的形式目前主要是半波偶极子等线状天线, 适合批量生产的印刷天线, 随着频率和性能的提高, 也开始得到应用。

对于基地台天线, 为更有效地利用频率, 正在研究具有波束倾斜分集功能的天线。今后, 随着进一步小区化以及业务种类的多样化, 基地台天线的装设条件将会多变, 因此也需要各种定向小型天线。

对于移动台天线来说, 最大的研究课题是小型化, 目前国外正研制的有倒 F 型、缝隙型等各种天线, 对于移动台天线, 特别是携带用天线, 除了天线本身特性之外, 最大问题是分析各种使用状态下增益和方向性下降原因。目前正以汽车和人体为模型, 进行数据分析和各种试验。

2. 信号传输技术

目前国际上对移动通信中信号传输技术的研究, 主要包括以下内容。

1) 窄带模拟传输

由于调频的抗噪声和抗干扰性能好, 设备结构也简单, 所以已被广泛应用于 VHF 和 UHF 频段陆地移动通信系统。但为了提高频率利用率, 实现窄带传输是重要的课题。频道间隔要从目前的 20 kHz~25 kHz 的窄带调频进一步缩窄到 10 kHz~12.5 kHz 的超窄带调频(SBFM), 必须解决高稳定度的晶振和高性能滤波器等关键问题, 还要研究降低邻道杂散干扰技术和克服由于频偏减小而带来的解调增益下降的问题。所以, 要结合分集接收、干扰检测、话音数据信号同时传输技术, 研究更完善的模拟调频传输。

单边带通信已用于衰落速度比较缓慢的短波海上移动通信。从原理上分析, SSB 占用频带窄, 适用于 VHF/UHF 频段, 目前在 VHF 中应用 5 kHz 单边带技术已经成熟。

2) 高效数字传输

为了实现移动通信数字化, 国际上正着力于以最大限度地有效利用频率为中心的数字传输技术的研究, 包括话音低速编码技术、窄带高效的调制解调技术、分集技术及差错控制技术。

由于要兼顾编码速率和通话质量, 故 8~16 kbit/s 的编码速率是当前的研究主流。在这个领域中, 着重研究了分段编码(SBC)、残差激励线性预测编码(RELP)、具有自适应比特分配的自适应预测编码(APCAB)等方式。

作为等幅条件下谋求窄带化的调制方式, 有 TFM、GMSK、4 电平调频、CCPSK、PLL-PSK、倍速二进制调频等。结果表明, 在 25 kHz 的移动无线信道中, 传输速率可达 16 kbit/s。最近研究的动向是补偿发送系统的非线性, 以便提高效率。

在系统化技术方面, 与模拟传输系统一样, 目前以单载波单信道配置的数字化为主, 今后将利用数字信号的优点, 采用时分多址连接(TDMA)和分组传输技术来提高总的效率。另外, 还对扩频技术的用途作了研究。

3. 控制与交换技术

移动通信网的另一个重要问题是交换、监视和控制(有时统称为监控问题)。

为了提高无线信道的利用率, 在信道控制中, 一般采用信道选取方式。为了进一步简化设备、提高通信质量, 有待研究的课题有控制信道的组成及其配置方法, 控制规约等。

信道控制方法有两种, 一是设置控制信道, 二是多台同时发送技术。汽车电话采用方

法一并兼用二, 无线寻呼则用方法二。

控制信道配置有多种方法。由于在设计上对频率的有效利用、控制可靠性、设备简化等方面侧重点不同, 即使同是汽车电话, 各国所采用方式也各不相同。大容量系统中, 在不同的无线区, 采用同步时分的方法使用同一控制信道。

由于移动通信的特点, 移动网交换机具有与固定网不同的交换功能(见第四章)。

监视功能是指基地台有一监视接收机, 监视移动台信号电平, 当其衰退至规定值, 而相邻区电平又大于规定值 5 dB 时, 就作过网处理。

美国的 AMPS 为两级管理, 它用 ESS-4 程控交换机(10 万门)改装成移动交换机, 许多控制部分放在基地台。而日本的 MT-800-M 则在交换机与基台间加了一级移动控制台(MCS), 将交换功能与控制功能分开。在 MCS 的控制区域均使用同一频率控制信道。它有寻呼、选取和控制三种功能, 语言信道可直接传到交换机进行交换, 但这种交换受控制台控制。

集群系统(Trunking System)是一种正在广泛宣传和推广的移动通信系统, 它以系统中心控制台为核心, 控制台有交换和控制台的双重功能。

日本提出一种不用基台的移动通信系统, 称为多信道选取技术。

4. 移动通信服务方向的发展

从固定电话的发展来看, 移动通信的发展形式有两种: 一种是保持电话形式, 增加电话服务功能, 即通信形式发展; 另一种是开发和提供非电话服务。

电话服务将以各种移动通信技术的进步为背景, 向以下两个方向发展: 一是最终实现“无论何时何地都能使用的电话”——携带电话; 二是实现各种移动通信设备共用, 标准统一。

作为实现携带电话的方法, 可考虑发展现有的移动通信系统, 即: ①无线寻呼, ②无绳电话, ③汽车电话。

建立综合的移动通信系统, 涉及到无线电频率、电台设备和控制交换设备。由于覆盖范围和电波传输特性上的差异, 要实现频率和基地台共用是困难的。由于利用形态上的差异, 要实现一体化结构移动台也是困难的。可以统一的只有控制台和交换台。

非电话服务包括传真、数据、消息和图像, 就是将固定通信中的业务扩展到移动通信中去。在各种移动通信与综合信息通信网络系统相结合的时代, 就会实现多种通信方式和各种信息传输手段的组合, 提供各种各样信息服务。要直接把综合信息通信网的非话音通信服务扩展到移动通信中, 必须研究移动通信数字化技术。

5. 电台的小型化和集成化

要使电台小型化, 必须实现电路大规模集成化。中频电路、基带电路和控制电路为主的集成化进展迅速, 对放大器、混频器等高频电路也进行了集成化研究, 但小型化的进展不大。

6. 国际标准化

有关移动通信技术的国际标准化活动的主要组织是 CCIR 和 IEC(国际电工委员会), 表 5 列出了 CCIR 关于移动通信建议, 建议取得进展的有海事卫星通信、船舶电话、陆地传播特性等。最近正对汽车电话、无线寻呼二号码、数字移动通信技术、海上传播特性等项建议, 以及无绳电话及飞机电话的特性展开激烈的讨论。

IEC 则负责设备的测试方法和试验方法的标准化活动,移动通信标准化由主管整个无线通信的技术委员会(TC-12)下属组织之一——移动无线分技术委员会(SC 12F)负责。

表 5 CCIR 关于移动通信的建议

陆地移动通信	建议	25~1000 MHz 的设备特性和管理频道划分原则
		未来国际无线寻呼系统的技术和工作特性
		国际无线寻呼标准码和格式
	新议案	数字调制方式
		数据传输速率
		公共移动通信系统的位置登记
船舶电话	建议	信道间隔为 25 kHz 的 VHF 频段无线电话设备的特性
		自动连接 VHF / UHF 频段船舶电话系统
		自动连接 VHF / UHF 频段船舶电话系统中的海岸台识别和位置登记程序
海事卫星通信	建议	标准模拟线路
		标准模拟线路的噪声指标
		电话线路综合传输特性
		船用手持电话机的侧音传输衰减等效值
		50 波特电信传输质量标准
		50 波特电信传输质量接口标准
航空	建议	所需信噪比和最小电场强度
	建议	VHF、UHF 及 SHF 频段的航空业务
VHF、UHF 频段的陆地移动业务		
传输特性	新议案	30 MHz 频段以上的海上移动业务