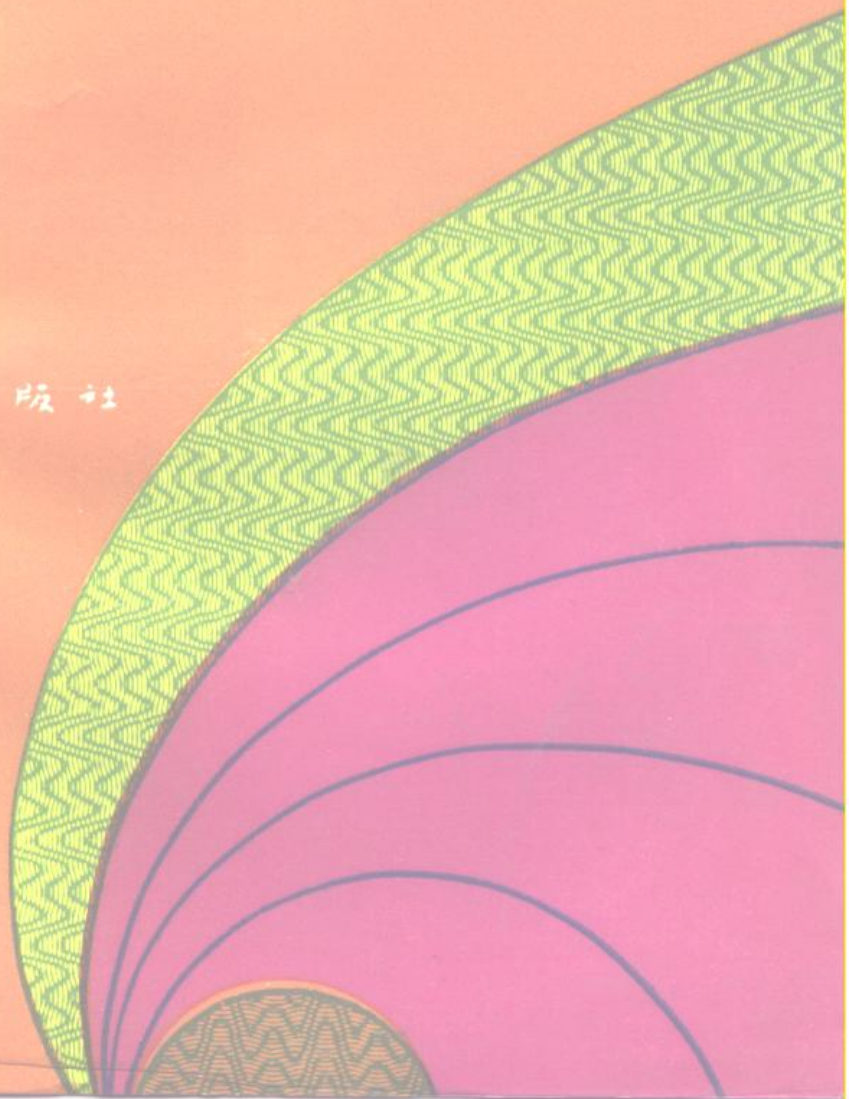


移动无线电 通信理论及应用

刘友学 等编

人民交通出版社



TN 927.5
L76

376820

移动无线电通信理论及应用

Yidong Wuxiandian Tongxin
Lilun Ji Yingyong

刘永福等编

人民交通出版社

(京)新登字091号

01146/14
内 容 提 要

本书是一本有关移动通信工程理论与应用的专业书,重点介绍移动通信工程设计的基础理论、参量分析和计算,介绍民用和军用大容量移动无线电通信发射机、接收机和天线系统的设计和研制。全书共分为14章,前4章介绍移动通信工程概貌、统计通信基础知识、系统技术规范和移动通信环境;第五、六、七章讨论移动无线电传播中的新概念;第八、九章讨论接收信号包络和相位;第十、十一、十二、十三章讨论移动通信系统的一些基本设计参量;第十四章讨论干扰问题。

本书可供交通通信、电子通信、公路运输、铁路运输、航海和航空有关专业的工程技术人员、研究人员阅读参考,也可作为高等院校通信工程专业高年级学生和研究生的教材。

移动无线电通信理论及应用

刘友学 等编

插图设计:秦淑珍 正文设计:乔文平 责任校对:戴瑞萍

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京顺义小店印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:12.375 字数:332.64千

1993年6月 第1版

1993年6月 第1版 第1次印刷

印数:0001—2000册 定价:15.00元

ISBN 7-114-01589-5

TN·00000

前 言

移动通信是研究用无线电通信方法实现处在运动状态下陆、海、空用户通信的一门学科。它是通信领域中一个很重要的最新科技成果。现代科学技术的迅速发展，创造了现代的物质文化生活。大量的汽车、火车、船舶、飞机和宇宙航行器是现代生活的必需品。现代社会有如此巨大的机动性，更要求有迅速、可靠、畅通的移动通信与之配合，加强联系，沟通情况，协调分散在广大地区上各个移动体之间的紧密相关的活动。因此，发展移动通信，对加速我国社会主义建设、加速科学技术现代化、加速国防现代化以及保卫社会主义祖国都是非常重要的。

移动无线电通信出现的历史并不长，但它的发展极为迅速，世界上许多工业发达国家已在广泛使用。为了适应我国移动无线电通信迅速发展的需要，我们参考了国内外有关的各种资料，编写了《移动无线电通信理论及应用》一书，力图向广大科技工作者介绍移动通信系统和设备的基础理论和工程设计。

移动无线电通信包括陆地移动通信、航海移动通信和航空移动通信。这三种移动通信方式在技术上既有共同点又有不同点。限于篇幅，本书在内容安排上，在介绍它们的共同点时，对陆地移动通信略有侧重。

本书中的理论和分析侧重于移动-固定无线电通信线路。这里介绍的通信线路设计是根据30MHz至1GHz移动无线电话系统蜂房式方案的要求进行的。工作频率高于1GHz的系统必须考虑湿度和气候等大气条件的影响，而对工作频率低于1GHz的系统，这些影响很小。工作频率低于30MHz的系统，路径损耗和信号衰落是不严重的；但在无线电频谱领域内仅有少数频率可供移动通信使用，所以本书的内容主要着眼于30MHz至1GHz频带

范围内的移动无线电通信。

移动无线电通信技术尚处在发展时期，所涉及的范围相当广泛，由于我们水平所限，书中错谬之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 移动无线电通信概论	(1)
§ 1.1 移动无线电通信在国民经济和军事中的作用和地位.....	(1)
§ 1.2 移动无线电通信的分类及其应用.....	(5)
§ 1.3 移动无线电通信的特点	(12)
§ 1.4 移动无线电通信中的主要技术问题	(14)
§ 1.5 移动无线电通信的发展概况和发展趋势	(17)
第二章 统计通信理论基础	(25)
§ 2.1 统计方法	(25)
§ 2.2 平均值	(27)
§ 2.3 遍历过程	(28)
§ 2.4 累积概率分布	(29)
§ 2.5 概率密度函数	(30)
§ 2.6 常用的概率密度函数	(34)
§ 2.7 电平交叉率	(39)
§ 2.8 衰落的持续时间	(42)
§ 2.9 相关函数	(42)
§ 2.10 功率谱密度和连续谱密度.....	(46)
§ 2.11 采样分布.....	(48)
§ 2.12 置信区间.....	(50)
§ 2.13 错误概率.....	(51)
第三章 系统技术规范	(53)
§ 3.1 名词术语和功能的定义	(53)
§ 3.2 美国移动台技术规范	(55)

§ 3.3	美国基地台技术规范	(68)
§ 3.4	世界上不同蜂房式系统的技术规范	(80)
第四章	移动无线电信号环境	(82)
§ 4.1	移动无线电通信媒质	(82)
§ 4.2	传播路径损耗	(85)
§ 4.3	由散射体产生的多径衰落	(88)
§ 4.4	热噪声和人为噪声特性	(97)
§ 4.5	延迟扩展	(103)
§ 4.6	相干带宽	(106)
§ 4.7	800~900MHz频带中的多径衰落现象	(108)
第五章	平滑地形上的路径损耗	(110)
§ 5.1	用模型分析法预报路径损耗	(110)
§ 5.2	光滑地形上的传播损耗	(113)
§ 5.3	起伏地形上的传播损耗	(117)
§ 5.4	天线高度影响	(123)
§ 5.5	计算传播路径损耗的规则	(126)
§ 5.6	预报传播路径损耗的模型	(128)
第六章	丘陵地形上路径损耗和一般预报方法	(136)
§ 6.1	以模型分析为基础的路径损耗预报	(136)
§ 6.2	绕射损耗	(142)
§ 6.3	决定路径损耗斜率的程序	(147)
§ 6.4	路径净空标准	(149)
§ 6.5	场强预报	(150)
§ 6.6	信号门限预报	(155)
§ 6.7	信号覆盖区预报	(155)
第七章	系统射频设计对信号传输的影响	(158)
§ 7.1	天线设计的影响	(158)
§ 7.2	天线方向性的影响	(161)
§ 7.3	天线图型波纹的影响	(164)

§ 7.4	高增益天线的影响	(169)
§ 7.5	移动无线电环境中电磁场的独立性	(170)
§ 7.6	无线电波极化的影响	(174)
第八章	接收信号的包络特性	(179)
§ 8.1	短期衰落与长期衰落	(179)
§ 8.2	短期衰落的模型分析	(182)
§ 8.3	累积概率分布	(184)
§ 8.4	电平交叉率	(191)
§ 8.5	求衰落平均持续时间	(200)
§ 8.6	以时间间隔为基础的移动接收信号的包络相关	(202)
§ 8.7	以时间和空间间隔为基础的包络相关	(204)
§ 8.8	以频率和时间间隔为基础的移动接收信号的包络 相关性	(207)
§ 8.9	以空间间隔为基础的基地台接收信号的包络相关 性	(209)
§ 8.10	功率谱分析	(212)
第九章	接收信号的相位特性	(214)
§ 9.1	与移动无线电信号有关的随机变量	(214)
§ 9.2	相位相关特性	(221)
§ 9.3	随机调频特性	(225)
§ 9.4	喀咧噪声特性	(230)
§ 9.5	模拟模型	(235)
第十章	调制技术	(239)
§ 10.1	系统应用	(239)
§ 10.2	移动无线电调频	(239)
§ 10.3	数字调制	(254)
§ 10.4	扩展频谱系统	(262)
§ 10.5	跳频差分相移键控系统	(263)
§ 10.6	跳频差分相移键控的差错率和系统效率	(267)

§ 10.7	频谱的效率和每个蜂房的信道数·····	(272)
§ 10.8	改良单边带系统·····	(273)
第十一章	分集方式 ·····	(276)
§ 11.1	移动无线电系统功能设计——分集方式·····	(276)
§ 11.2	宏观分集方式——适用于不同场地的天线·····	(277)
§ 11.3	微观分集方式——适用于同场地的天线·····	(278)
§ 11.4	空间分集·····	(279)
§ 11.5	场分量分集·····	(283)
§ 11.6	极化分集·····	(283)
§ 11.7	角度分集·····	(284)
§ 11.8	频率分集·····	(286)
§ 11.9	时间分集·····	(290)
第十二章	合成技术 ·····	(292)
§ 12.1	宏观分集合成技术·····	(292)
§ 12.2	微观分集合成技术·····	(294)
§ 12.3	前检测和后检测合成·····	(295)
§ 12.4	选择性分集合成·····	(297)
§ 12.5	开关合成·····	(303)
§ 12.6	最大比值合成·····	(305)
§ 12.7	等增益合成·····	(312)
§ 12.8	馈电合成技术·····	(324)
§ 12.9	前馈合成·····	(324)
§ 12.10	反馈合成(格兰任德合成)·····	(328)
§ 12.11	多支路天线阵的合成技术·····	(330)
第十三章	信号处理 ·····	(336)
§ 13.1	移动无线电系统功能设计——信号问题·····	(336)
§ 13.2	比特流波形分析·····	(338)
§ 13.3	比特同步和帧同步·····	(348)
§ 13.4	音节压缩扩张·····	(350)

第十四章	干扰问题	(354)
§ 14.1	干扰的影响	(354)
§ 14.2	同频道干扰	(354)
§ 14.3	邻近频道干扰	(365)
§ 14.4	近-远比干扰	(370)
§ 14.5	互调干扰	(371)
§ 14.6	符号间干扰	(376)
参考文献		(379)

第一章 移动无线电通信概论

§ 1.1 移动无线电通信在国民经济和军事中的作用和地位

移动无线电通信是一种利用无线电设备在运动中进行的通信。移动无线电通信线路可以由多个通信终端组成。在由两个通信终端构成的移动无线电通信线路中，有一个终端或全部终端在运动中，或者有一个暂时停留在没有规定的地点，或者其中有一个实际上是在固定不动的终端的情况下，在这样一些终端之间进行的通信称为移动通信。这个定义适用于移动体与移动体以及移动体与固定体之间的通信。而移动体与移动体之间的通信，有时由于移动体本身的无线电设备的通信距离很近，不能直接与较远距离上移动体通信，因此，常常采用移动体-固定体-移动体之间构成的无线电通信方式。“移动体”一词泛指一切运动体，例如陆地上的车辆、海上的船舶、空中的飞机以及宇宙中的航天器等。凡是由它们构成的无线电通信系统，统称为移动无线电通信系统，简称移动通信系统。

移动无线电通信系统的基本组成如图1-1所示。通常包括：

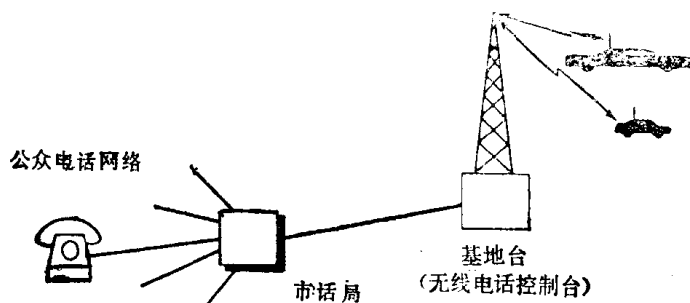


图1-1 移动无线电通信系统组成示意图

一个或数个基地台（我们把装备在固定地点的无线电通信设备称为固定台或基地台）；

若干个移动台（我们把汽车、船舶、飞机、火车等移动体装备的无线电通信设备称为移动台）；

控制台（可以是单独的，也可以和基地台合在一起）。

先进的移动无线电通信系统使用起来是很方便的，就象市内打电话一样方便。现在我们用图1-1说明移动无线电通信系统工作过程。

坐在汽车内的乘客（或司机）利用汽车移动无线电话机，拨动市内电话用户的电话号码，发出无线电信号。无线电信号经基地台接收机接收后，并不能直接进入市内电话线路。因为由移动台到基地台属于无线电路，而由基地台进入市内电话线路属于有线线路，所以需要经控制台内的转接设备，将无线电信道转接为有线信道，然后接入市内电话局，再由市内电话局将来自移动台的电话接入用户电话机。这个转换过程只用极短时间即可完成。此时，汽车内乘客便可与市内电话用户通话了。

当市内某一地点的用户，需要与市内某一车辆通电话时，此时汽车可以在行驶中，也可以停在某处，通电话的动作过程正好与上述过程相反，每一辆汽车分配一个类似于电话总局的普通电话号码。市内电话用户拿起话筒，按规定拨车辆移动台的电话号码，经有线线路，接至市内电话局，再通过电缆接至基地台的控制台，经过有线无线转接设备，基地台分配一个信道，按发来的电话号码，接通所需的车辆移动台，从而实现了市内用户与车辆用户之间的无线电话通信。倘若汽车用户正在与别的用户通话，那么市内用户会从耳机听到忙音信号，与市内有线电话一样，只要稍等片刻，可以再次拨动车辆电话号码，使用起来是很方便的。

船舶电台与海岸电台间的无线电话通信，飞机电台与地面基地台间的无线电话通信，航天器电台与地面基地台间的无线电话通信，其基本工作原理与汽车移动无线电话通信类同，只要将图

1-1 中的汽车，换为相应的船舶、飞机或航天器，其通信工作原理也就一目了然了。

移动无线电通信在现代社会生活中起着愈来愈重要的作用。现代社会生活的重大特点之一在于它的机动性，在于它出现了大量的汽车、卡车、公共汽车、船舶、飞机以及航天器。据美国1970年统计，它拥有1.12亿辆汽车、卡车和公共汽车；600万艘机动船；16万架飞机和290万辆火车头。与当时美国2.03亿人口比较，约每1.8人有一辆汽车或卡车、公共汽车；每1300人有一架飞机，每7000人有一辆火车头。从这一些数据中，我们清楚地看出现代社会的巨大机动性，所以它要求有迅速、可靠、畅通的移动通信与之配合，协调分散在广大地区的各个移动体之间的紧密相关和有秩序的活动，使社会活动更有效率和秩序。

军事移动通信是现代化军队的重要组成部分。例如军用飞机编队飞行或攻击目标；军舰、快艇出海巡逻或进行战斗；步兵、坦克兵、炮兵、工程兵等陆军兵种在对敌作战时，都要用通信设备与自己的指挥部门保持经常的联系，报告情况，听取指示和命令等。所以我们可以认为，武器威力虽然日益强大，但如没有统一、迅速、可靠的通信系统，要想充分发挥武器的作用也只能是一句空话。

移动通信在现代社会生活中的重要作用，还可用4个方面的通信业务来说明。

1. 陆地移动通信业务

1) 公安民警部门、消防队和防空、防震、防灾部门使用的公众安全和紧急通信；

2) 汽车、出租汽车、公共汽车、载重汽车和铁路火车使用的调度运输通信和公众通信；

3) 工业部门对沉重设备和公用事业操作使用的指挥通信，施工作业时的安全通信；

4) 政府官员、企业管理人员、医生、演员和个人等使用的

移动通信。

2. 航海移动通信业务

- 1) 海上船舶使用的安全、紧急和遇险通信;
- 2) 协调和指挥使用的港口和锚地区域的通信;
- 3) 协调和指挥使用的海上和内河船舶通信;
- 4) 船员和乘客的公众通信。

3. 航空移动通信业务

- 1) 飞机使用的安全、紧急和遇险通信;
- 2) 协调和指挥使用的航空通信;
- 3) 协调和指挥使用的地面操作通信;
- 4) 飞机乘员和乘客的公众通信。

4. 军事移动通信业务

1) 包含在战略通信中。战略通信是指一个包括移动通信、有线载波通信、无线短波通信、微波接力通信、散射通信、卫星通信等的组网通信。移动通信是其中的重要组成部分。

2) 包含在战术通信中。战术通信是包括陆军背负电台、车载电台、海军舰艇电台、航空兵电台、侦察兵用小型电台以及战术单位使用的各种移动电台等的军事通信。

移动通信具有许多不同的业务，经国家主管部门认可的就有20多种。业务种类的不同，对移动通信系统的要求也不一样。通常，要求移动通信系统能够按照给定的业务等级，在某一最大距离上为特定数量和类型用户提供可靠的通信。在进行移动通信系统设计时，应当以业务要求为设计的依据。在设计具有特种用途的移动通信系统时重要的是考虑特种用途的要求。

特种用户的要求往往差别很大，例如，公安民警部门和消防队使用的安全和紧急通信系统应比出租汽车车队用的类似系统具有更高的通信可靠性与快速性。虽然每种业务的特殊要求可能存在着明显的差别，但是我们还是可以设计出满足全部业务的一般要求的和可以采用的“标准”设备。只要通过从许多行之有效

的方案中选出一个“标准”基地台或一个“标准”移动台，稍为增加不多的费用，对它们进行相应的改装，就可满足各种业务的特殊要求。然而，虽然有许多方案可以提供使用，但是欲想选择一个“最佳”系统，还是要给工程师带来一定困难。

在我们从事“最佳”系统设计过程中，会遇到许多互相矛盾的因素。这些因素是指使用要求、系统性能、可靠性、工作频率、发射机功率、接收机灵敏度、天线增益、天线高度、环境噪声、体积、重量和费用等。设计人员需要充分权衡利弊，在满足主要指标的情况下，适当地修改对其它指标的要求。

移动无线电通信为人们的工作、生活提供了极大的便利，并在社会生产上，使厂矿企业、公司、机关的劳动生产率和工作效率得到提高；在军事上保证着军事指挥和联络畅通。它在国民经济中和军事中的作用及地位正广泛地为人们所认识和重视，因此发展十分迅速。

§ 1.2 移动无线电通信的分类及其应用

对移动通信进行分类的方法有多种。有按服务部门来分类，有按通信距离来分类，有按所使用的频段来分类，也有按传送的信号制式来分类，还有按技术系统来分类的，现简要说明如下：

移动通信按服务部门可分为：陆上移动通信、海上移动通信、航空移动通信和军事移动通信等 4 大类。每一类又可按其使用部门细分为若干类。

陆上移动通信可细分为：汽车移动通信、铁路列车移动通信、高速公路移动通信、警察和消防用移动通信、生产作业和安全移动通信、企业和机关内部移动通信以及个人便携式移动通信等。

海上移动通信可细分为：远洋移动通信、内海移动通信、内河移动通信以及海上作业移动通信等等。

航空移动通信可细分为：航空交通管制通信、航运管理通信、

民用远航飞机通信以及宇航器移动通信等等。

移动通信按通信距离可分为：近距离通信、中距离通信、远距离通信以及全球通信等等。

移动通信按所传送的信号制式可分为：模拟信号移动通信以及数字信号移动通信。普通的电话、传真、电视电话等属于模拟信号通信；电报和数据属于数字信号通信。模拟信号经过数字化处理也可形成数字信号，因而有数字电话、数字传真、数字电视电话等数字信号通信。

尽管分类方法较多，但从技术方式上来说，不外乎以下几种：

1. 民用频带无线电话(包括步谈机)：它是一种双向无线电台；它适用于近距离个人或企业无线电通信以及近距离目标和设备的控制。目前美国已大量使用民用频带电台，世界上也有许多国家使用。民用频带电台必须在国家无线电频率管理委员会分配的民用频带内工作。例如，美国分配的民用频带电台的工作频率为 $26.96 \sim 27.41\text{MHz}$ 或 27.255MHz 。既可用于汽车和家庭无线电话机，又可用于步谈机。大多数发射机都是调幅的，功率不允许超过 4W ，共有40个信道。该系统不向用户提供保密措施。

图1-2是一种内部无线电话系统示意图。通信业务范围不

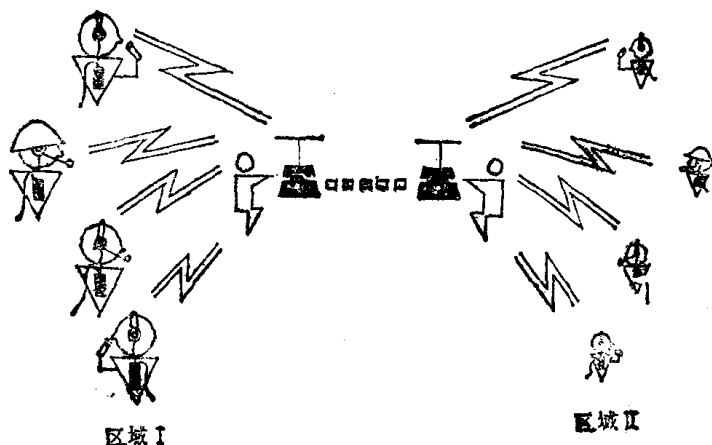


图1-2 内部无线电话系统示意图

大，仅提供与4个工作人员之间的通话。通常这种系统由一个基地台和4个移动台组成，因此它只能与4个移动台通信。倘若需要与许多工作人员之间通信，就要多设几个基地台，每一个基地台带4个移动台，组成一个内部无线电话网。

2. 无线电调度系统：它主要用于车队与车辆之间的通信。普通的无线电调度系统用一个信道工作，许多车辆共用一个无线电信道。调度员管理车队的活动，主要通过基地无线电台，向车队中的车辆司机发布指示，告诉司机当前运动路线和后续工作的运行路线。调度员听取所有司机发来的电话和汇报情况，并及时给予答复，如图1-3所示。在这个系统中，任何一个司机都可以听到调度员与其他司机的谈话，但司机仅能与调度员谈话。在一些无线电通信网络中，用户与用户之间可以在一个开放的信道上，通过基地台收发信机相互谈话。军事通信中就使用这种通信工作方式。

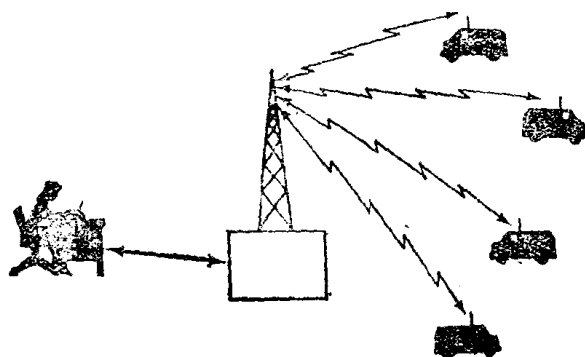


图1-3 普通无线电话调度系统示意图

3. 无线电播叫(寻呼)系统：它由一个基地台发射机和若干台播叫接收机组成。系统工作时，由发出呼叫的单位或个人用电话经过电话局，通知基地台话务员，需要播叫的个人姓名或代码，然后由话务员通过基地台发射机发出播叫信号，呼叫某个或某几个携带接收机的用户，如图1-4所示。