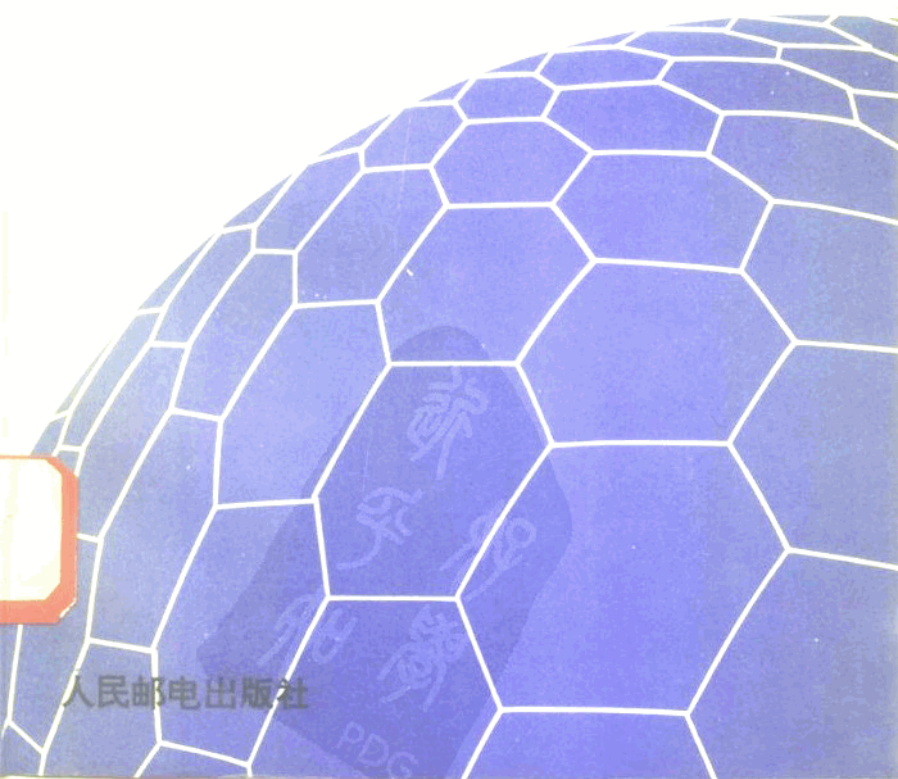


移动通信工程 设计

周月臣 编著



人民邮电出版社

前 言

当前我国的改革开放和经济建设正处于一个重要的历史阶段，邮电通信也处于大发展的关键时刻。从现在起到 2000 年是我国邮电通信发展的重要时期。按邮电部的要求，我们要争取提前一年完成“八五”计划。在此基础上再用三五年时间，基本建成我国通信基础网，适应社会对通信基本业务的需求，并提供国民经济信息化所需的通信手段和条件，到本世纪末，将建成一个规模、容量居世界前列，技术水平先进，网路运行高效，服务质量优良，安全可靠的适应社会多层次要求的现代化通信网。

我国邮电部门自 1984 年 1 月上海开办全国第一个公用无线电寻呼台，1987 年广州开通了第一个 900MHz 蜂窝模拟移动通信系统。近年来，移动通信发展迅速。当今的移动通信是集最新的微电子技术、计算机技术和通信技术于一体的先进通信手段。它本身具有交换、传输、终端设备，可以独立成为一个系统向用户提供移动通信业务，与公用网结合则可扩大更大的服务范围，并可通过联网自动漫游功能实现跨省跨地区跨国的移动通信。所以，这种新的通信手段、新的通信业务一出现就受到了市场上各种用户的欢迎。在移动通信领域一直呈现出持续快速增长态势。

80 年代开始网路向综合业务数字网方向发展，并从窄带 ISDN 迅速走向宽带化、智能化和个人化。面对信息时代，通信网的理想要求称作“5 个 W”，即保证任何人（whoever）随时（whenever）随地（wherever）能同任何人（whoever）实现任何方式（whatever）的通信。因此，要求在技术上逐步实现“全球一网”（oneglobe, onenetwork）。在这一美好的进程中移动通信系统将起着重要的基础性作用。

为适应当前和今后移动通信迅速发展要求，必须十分重视人员的培训。可以说，当前移动通信技术人员无论在人员的素质上还是在数量上都不能满足发展要求，所以，加强人员教育培训已是一件十分紧迫和重要的任务。为了实现通信现代化，提高服务水平，不断消化吸收和开发移动通信方面不断出现的新技术和新业务，必须重视人才培养，这是一项战略性任务。

南京邮电学院教育面向通信发展，面向企业需要，面向通信现代化，面向未来，较早开始了移动通信系统方面的培训、教学工作，并编写了一套移动通信培训教材。这套教材包括无线寻呼系统、移动通信系统、GSM 数字蜂窝移动通信系统、移动通信交换原理及信号方式、移动通信工程设计、移动通信的相关设备等。这套书的特点是：

- (1) 内容新颖、实用，适合教学。
- (2) 内容相互配套，基本上包括了移动通信中的关键技术。

人民邮电出版社编辑出版这套培训教材是一件十分有意义的工作。它的正式出版将对从事通信领域工作的同志们带来求知的方便，带来智慧，带来工作效益。

邮电部移动通信局
杜宝良

编者的话

目前,我国移动通信发展异常迅速,全国许多城市 and 地区都已组建了移动通信系统,还有大量的城市 and 地区也将很快组建移动通信系统。在移动通信的发展建设中,电信部门的广大技术人员迫切需要了解移动通信工程设计方面的有关知识。为满足广大读者的这种需要,作者结合多年的教学和工作经验,编写了这本《移动通信工程设计》。

本书根据移动通信专业的特点、要求,结合当前移动通信技术的发展和设备广泛应用的状况,介绍了有关移动通信工程设计中所必须涉及的理论、技术和具体工程设计、实施等方面的内容。全书共分七章:第一章着重介绍了移动通信工程的实施过程,以使读者对移动通信系统的工程设计有一个全面的了解;第二章详细论述了各种环境条件下的电波传播特性与场强预测方法,以便为后面的系统设计打下一个坚实的基础;第三章介绍有关移动通信系统的容量预测原理、方法以及通信概率的计算方法;第四章主要介绍移动通信系统的设计过程中所必须遵循的有关技术标准和质量指标;第五章着重结合具体的工程设计实例,比较详细地论述了移动通信系统的设计过程中对每个较大技术问题的确定原则或计算方法。因本章涉及的内容较广,篇幅较大,因而是本书的重点,故讲授时建议作重点处理;第六章介绍移动通信系统工程运行与维护管理过程中应遵循的基本原则和所必须做的各项具体工作;考虑到当前国内数据通信迅速发展,本书将在最后一章中简要介绍有关数据移动通信系统的工程设计问题。书中每章结尾均附有复习题,以便帮助读者加深对正文内容的理解。

本书是在南京邮电学院“移动通信工程设计”课程所用的讲义基

基础上,根据无线电工程专业对本课程教学大纲的要求改编而成的。本书既可作为邮电高等院校移动通信专业专科教材,也可作为对从事移动通信工作的管理和技术人员进行在职培训的教材。

本书在编写过程中参考了书末所列参考文献,还得到了南京邮电学院无线电工程系及移动通信教研室同志的关心和帮助。对于在编写工作中给予支持的参考文献作者、领导和同事们,作者谨表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 移动通信系统工程的实施过程	5
1.2.1 方案可行性研究与论证	6
1.2.2 工程设计	7
1.2.3 工程运行	8
复习题.....	8
第二章 电波传播特性与场强预测	10
2.1 概述.....	10
2.2 固定无线电通信的电波传播特性.....	12
2.2.1 自由空间的电波传播特性与损耗计算.....	12
2.2.2 光滑(无覆盖物)平地上的电波传播特性与损耗计算	15
2.2.3 光滑球形地上的电波传播特性与损耗计算.....	20
2.2.4 非光滑地上的电波传播特性与损耗计算.....	26
2.2.5 其它因素对电波传播特性的影响.....	36
2.3 陆地移动无线电通信的电波传播特性及其损耗计算.....	42
2.3.1 概述.....	42
2.3.2 陆地移动无线电通信的电波传播特性及损耗计算.....	44
2.4 无绳电话系统的电波传播特性.....	60
2.4.1 室内传播特性.....	62
2.4.2 室外(市区)近距离内的传播特性.....	64
2.5 其它移动环境下的无线电波传播特性.....	64

2.5.1 海上移动无线电波传播特性·····	64
2.5.2 航空移动无线电波传播特性·····	66
2.6 环境噪声和多径传播对接收质量的影响·····	67
复习题·····	70
第三章 移动通信系统的容量预测与通信概率计算 ·····	72
3.1 系统容量预测·····	72
3.1.1 系统用户量预测·····	72
3.1.2 系统话务量估算·····	77
3.1.3 无线信道呼损率与信道数的估算·····	79
3.1.4 移动电话交换机处理能力的估算·····	81
3.2 通信概率计算·····	84
3.2.1 基站覆盖区边缘处通信概率的计算·····	85
3.2.2 无线覆盖区的区内通信概率的计算·····	89
3.2.3 流动基站(或移动台)与移动台通信时的通信概率计算 ·····	91
复习题·····	93
第四章 移动通信系统的设计技术标准与质量指标 ·····	94
4.1 通信概率·····	94
4.2 话音质量与信噪比标准·····	94
4.3 频率配置标准·····	96
4.3.1 工作频段划分·····	96
4.3.2 频道间隔·····	100
4.3.3 双工收发频率间隔·····	101
4.3.4 频道的分组方式·····	101
4.4 编号方式·····	109
4.4.1 小容量移动通信网的自动接续编号方式·····	109
4.4.2 大、中容量蜂窝式移动通信网的编号方式·····	109
4.5 移动通信网进入固定公众电话网的接口技术要求·····	113
4.5.1 单基站小容量移动通信网的接口技术要求·····	113

4.5.2 大、中容量蜂窝式移动通信网的接口技术要求·····	116
复习题·····	118
第五章 移动通信系统的工程设计·····	119
5.1 基本工作方式的确定·····	119
5.1.1 同频单工制·····	119
5.1.2 异频单工制·····	120
5.1.3 异频双工制·····	122
5.2 系统容量的确定·····	123
5.3 工作频段的确定与信道配置原则·····	124
5.3.1 工作频段的确定与信道配置原则·····	124
5.3.2 信号监测音与数字色码信号的配置·····	127
5.4 网络结构的确定·····	129
5.4.1 无线覆盖区及服务区的构成与基本网络形式·····	132
5.4.2 常用专用网的网络结构·····	136
5.5 无线移动电话网进入公众市话网的接入方式的选择·····	142
5.5.1 用户线接入方式·····	142
5.5.2 市话中继线接入方式·····	144
5.5.3 移动电话汇接中心方式·····	146
5.6 中继方式的确定·····	147
5.6.1 中继传输方式·····	147
5.6.2 中继线数的确定·····	149
5.7 避免电磁干扰的设计考虑·····	150
5.7.1 信道设备本身产生的干扰及其对策·····	151
5.7.2 移动通信系统内部产生的干扰及其对策·····	152
5.7.3 各移动通信系统间产生的干扰及其对策·····	156
5.8 无线频道的选择方式·····	156
5.8.1 循环定位方式·····	157
5.8.2 循环不定位方式·····	158
5.8.3 循环分散定位方式·····	159

5.8.4 可控式分组循环分散定位方式	159
5.8.5 共用呼叫频道方式	160
5.9 无线电路的设计考虑与计算	162
5.9.1 移动无线电路的设计考虑与计算	162
5.9.2 固定无线电路的设计考虑与计算	171
5.10 移动通信系统的场强测试	178
5.10.1 概述	178
5.10.2 测试原理	179
5.11 设备选型原则	191
5.11.1 一般原则	192
5.11.2 对专用网设备的某些特殊考虑	192
5.11.3 对公众网设备的某些特殊考虑	194
5.12 施工设计	196
5.12.1 站址建设考虑	196
5.12.2 天线架设方式	199
5.12.3 电源供给系统的设计考虑	202
5.12.4 防雷接地系统的设计考虑	203
5.13 网络设计实例	204
5.13.1 珠江三角洲蜂窝式移动电话网的设计考虑	205
5.13.2 小型专用移动电话网的设计考虑	220
复习题	236
第六章 移动通信系统的工程运行与维护管理	237
6.1 设备测试与系统试验	237
6.1.1 单机指标测试	237
6.1.2 系统连接及试验	257
6.1.3 系统试运行	259
6.2 设备维护与管理	259
复习题	261
第七章 移动数据通信系统的工程设计	262

7.1 移动数据信道的误码特性	262
7.1.1 概述	262
7.1.2 瑞利衰落等因素引起的误码特性	263
7.1.3 降低误码率的方法	267
7.2 移动数据通信系统的工程设计	274
7.2.1 一般设计考虑	274
7.2.2 覆盖范围的预测	275
复习题	275
附 录	
附录一 英(美)制与公制的度量换算表	276
附录二 巴尔姆表	277
附录三 概率积分表(误差函数表)	284
附录四 基于爱尔兰公式的中继线负载能力(全利用度)表	293
附录五 发射的标志	305
参考文献	308

第一章 绪 论

1.1 概述

移动通信,顾名思义就是通信的一方或双方在运动中实现通信。也就是说,至少有通信的一方处于运动之中或暂时停留在某一非预定位置上。它可包括移动台(在汽车、火车、飞机、轮船等移动体上)与移动台之间的通信、移动台与固定台之间的通信以及移动台通过转接台与其它移动台或固定台之间的通信。

在无线电由 18 世纪末问世至今的近一个世纪中,移动通信大体上经历了几个不同的发展阶段:即本世纪的 20 年代~40 年代的早期发展阶段,主要是研究短波范围内电波传播的特点,在此基础上建立了一些适用于局部范围内的专用移动通信系统,如美国底特律的 2MHz 警察移动通信系统等。在 40 年代中期至 60 年代初期,主要是解决移动电话系统与公用市话网之间的接续问题。在此基础上,公用移动通信业务开始问世。尽管这种接续还是人工的,但是经过美国圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话网后,英、法、德等国也都相继很快研制出了公用移动电话系统。在 60 年代中期至 70 年代中期,主要是在改进和完善移动通信系统的性能,包括直接拨号、自动选择无线信道等,同时还解决自动接入公用电话网的问题。其典型设备有美国的 IMTS(包括 MJ—150MHz 和 MK—450MHz)系统和德国的 B 网络。在 70 年代中期至今的发展阶段中,主要是利用迅速发展且已日趋成熟的现代微处理技术和超大规模集成技术来进一步

武装移动通信设备,解决设备小型化、多功能化的问题。在此基础上,出现了以同频复用和大容量、全地域自动接入公用交换网为主要特征的小区制蜂窝式移动通信系统。

从80年代开始,移动通信技术日趋成熟,应用范围不断扩大。在这种情况下,怎样根据不同用户要求、不同地理环境和气候条件、不同设备技术,设计和组建出技术上合理、经济上高效,既适宜于当前充分应用,又便于满足将来发展需求的各种制式的移动通信网,则是摆在许多移动通信设备应用者面前的一个重要课题。然而,如上所述,由于这种移动通信系统所涉及到的技术经济问题比较复杂,因此,实际上它是一个复杂的系统工程。对此,我们必须对移动通信的下述特点要有足够清楚的认识:

第一,移动通信必须采用无线信道传输方式。这是由于移动通信中至少有一方处于运动状态,显然,使用有线传输信道是不合适的,因此,只有采用无线电波来传播信息,即无线信道。随之而来的移动通信信道设备的构成、设计方法等均必须具有无线的特点,如除收发信机外,还须配备有天线、双工器等一系列特殊设备及其设计考虑等。关于这一点在有关移动通信设备的书中已有详细介绍,故不再赘述。

第二,信道传输特性不仅十分复杂,而且很不稳定。众所周知,移动台是经常处于不断运动状态之中的,因而导致接收到的信号幅度和相位将随时间、地点而不断发生变化。尤其是陆地移动通信,遭受地形、地物的影响极大。此外,多径传播造成的衰落、建筑物阻挡造成的阴影效应(即阴影衰落)和运动产生的多谱勒频移等,均会导致接收信号极不稳定。根据理论分析和场强实测表明,这种情况下的接收信号场强瞬时值变化往往可达数百倍以上。另一方面,移动台的工作环境是处于时刻变化之中的,它所受到的外部噪声和干扰情况也是不断变化的。毫无疑问,如果一旦移动通信网络的频率配置设计不当,则由此可能造成的外部噪声和干扰问题变得十分严重。例如,城市的工业干扰和汽车发动机的火花干扰,电台多、频率拥挤所产生的

邻道干扰、互调干扰和同频道干扰等。由此可见,移动通信的电波传播条件是十分恶劣的,只有在充分了解和分析移动信道特性的基础上,才能合理地设计和组建出满足各种要求的移动通信系统。基于这一点,在本书中首先要了解的一个内容就是移动通信的电波传播特性及各种工业和电器干扰对移动通信的影响。

第三,无线信道频率资源非常有限。众所周知,频率作为一种资源本身就是有限的,由于受各种条件限制,可作为移动通信的频率范围就更加有限了。根据国际无线电咨询委员会(CCIR)规定和我国的实际情况,并考虑到未来发展需要,国家无线电管理委员会将我国的陆地移动通信可用的频率范围作了如下划分:

29.7~48.5MHz

64.5~72.5MHz (与广播共用,以广播业务为主)

72.5~74.6MHz

75.4~76MHz

137~144MHz

146~149.9MHz

150.05~156.725MHz

156.8375~167MHz

167~223MHz(以广播业务为主,固定、移动业务为次)

223~235MHz

335.4~399.9MHz

406.1~420MHz

450~470MHz

566~606MHz

798~960MHz(与广播共用)

由此可见,现阶段移动通信的频率范围仅限于 25~1000MHz 内的部分频段,如果再考虑到电波传播特性、外部噪声和天线等诸因素的影响,真正适合当前作陆地移动通信的只有 150MHz、450MHz 和 900MHz 三个工作频段。显然,面对这样频率资源极为有限,而移

动用户数却在日益剧增的实际情况,怎样解决频谱资源的有效利用、合理地进行系统设计和分配频率是移动通信工程设计理论研究和实际电路设计的又一重要课题。

在陆地移动通信中,之所以只规定采用 VHF/UHF 这两个频段,主要有下述三个方面的原因。其一,从电波传播特性来看,这两个频段主要靠视距传播,根据地球曲率半径、一般天线的架设高度及发射功率、接收机灵敏度等因素确定的视距传播范围约为几十公里,而大部分车辆的日常行动半径也在这个范围之内。并在离开本区后,可再次重复使用同一频率,即可实现频率资源的有效利用。其二,天线高度适宜于移动通信使用。因为最适宜于移动台携带的简便天线是 $\lambda/4$ 鞭状天线,显然,频率太低,天线太长,不便于携带,频率太高,只适宜采用方向性强的面状天线,不适于移动通信中使用。其三,随着城市工业和交通的发展,城市噪声电平增加,但它们大都处于 VHF/UHF 频段以下,因此,采用 VHF/UHF 频段,其抗干扰能力将随着工作频率的增高而改善量增加。

第四,移动通信技术的综合性很强。众所周知,移动通信是在综合应用了各种通信技术的基础上发展起来的。它涉及到无线电收发信机、天线、空间电波传播、有线信道、交换技术、终端技术、通信网络等。因此,作为移动通信系统的工程设计,怎样综合考虑现有各种技术及其设备的有机配合,以求得在满足规定性能的条件下获取最佳的性能价格比也是本书重点研究和讨论的一个问题。

第五,对设备性能要求高。通常移动通信设备都载于汽车、飞机、轮船等移动体上或随人身携带。这就要求不仅在保证电气性能的前提下力求体积小、重量轻、省电、操作简单、维护方便,而且还要保证能在振动、冲击、高、低温等恶劣环境下正常可靠地工作。它是在进行系统设计的设备选型阶段必须慎重、综合考虑的一个重要问题。

从上述移动通信的主要特点可以看出,作为系统工程的设计人员主要应该掌握的内容。然而,移动通信技术的发展方兴未艾,作为移动通信系统的设计人员还必须时刻把握住本门学科的发展趋势,

以便将当前技术与发展方向、当前要求与长远设计方案融为一体。鉴于当前移动通信技术正朝着综合网化、集群化、数字化、微型化和标准化方向发展,在进行系统设计时必须充分注意到这一点。

所谓综合网化,就是将所建立的系统逐步变成一个使汽车电话、火车电话、船舶电话、航空电话等联接成全国、甚至跨国的海陆空综合移动通信系统,除经营电话业务外,还可扩展为数据、传真、图像等多种非话业务,最终成为综合业务数字网(ISDN)的组成部分。

所谓集群化,就是将各个部门自建的小容量专用系统组建成一个统一的覆盖整个地区的中继调度系统,实现频率范围共用、交换控制统一(各部门只需建立简单的控制)。不仅可以节省资金、提高频谱利用率,还可减少干扰,提高通信质量。

所谓数字化,就是努力使设计、组建的移动通信网络具有随着移动通信数字技术发展而可逐步转化成为数字移动通信系统的能力,以最终实现电话与非电话业务的综合化。

所谓微型化,就是随着超大规模集成电路技术的迅速发展,以使未来移动台的体积小于 100cm^3 ,重量小于 200g ,可以很方便地实现全球范围内的个人通信。

所谓标准化,就是建立和遵守全球范围内的通信技术标准,以组建成国际统一的通信网络,使各国均按照公认的协议传递信息,实现全球通信。国际无线电咨询委员会(CCIR)就是一个建立这种标准的国际机构。

1.2 移动通信系统工程实施过程

如上所述,一个移动通信系统的实现是一个复杂的系统工程。其实施过程主要包括方案可行性研究与论证、工程设计和工程运行等三个阶段,并分别简述如下。

1.2.1 方案可行性研究与论证

对移动通信的需求是经济发展到一定程度的必然结果,反过来,一个移动通信系统的建立又将促进经济的更快发展。因此,一旦某个城市(或某个地区)经济发展到有较多的用户提出移动通信要求时,就应当根据该城市的经济发展趋势和城市建设发展规划以及用户的基本要求,深入现场作初步调查,并结合对城市环境条件、地形、地貌概况,写出一个初步的综合性调查报告。其中用户的基本要求一般包括如下几个方面:

一、主要用途:有公用与专用两种,前者相当于市话网、长途网的延伸,后者常作汽车调度、火车调度、警察消防指挥系统等。

二、业务种类:有移动电话及非话的数据传输、传真等多种业务类型。

三、工作方式:有同频单工、异频单工和异频双工等。

四、系统容量:统计、预测近期、中期、远期的用户数,以便确定不同时期的系统容量。

五、覆盖范围:即根据不同时期的系统容量,以确定不同时期的服务半径大小。

六、服务质量:满足各用户所需的无线频道呼损率、信号质量、通信概率及成功呼叫概率。

七、传播环境:移动通信各用户所处的城市或农村的地形、地貌特征及环境噪声情况等。

八、设备要求:功能、体积、重量及式样等。

然后,在所要求的服务区内进行必要的信号场强和干扰场强的初步测试(当缺乏测试条件时,可用通话试验来代替),以便了解服务区内有关频段的电波传播情况与干扰分布情况,为无线基站选址和初选工作频段等提供依据。

最后,在综合上述情况的基础上,从经济、技术、使用、城市发展多方面进行分析,提出建设该城市(或该地区)移动通信系统方案的

可行性论证报告。并同时作出初步的经济概算,以供投资部门参考。

1.2.2 工程设计

一旦建设移动通信系统的方案可行性论证报告经有关部门批准付诸实施后,紧接着就是进行全面的系统工程设计,以便提供整套的系统设计技术文件。设计的主要内容应包括如下几个方面。

一、系统制式的设计考虑。如确定工作方式、网络结构、接口和信号方式、编号计划、业务区的区域构成、调制方式、发射标志、无线频道选择方式、话音质量等。它们有的与现有通信网络情况、设备配置有关,有的涉及到国家标准(或 CCIR 规定),有的关系到与周围城市(或地区)通信网络联网问题,均应根据实际情况,在遵守国家有关规定的前提下,综合考虑后而予以确定。其具体细节将在后面相关章节中详细介绍。

二、确定系统业务量与系统容量。这是系统设计的最基本参数之一,应从多方面进行广泛深入的调查,以便使系统规模尽可能与当前的实际需要和长远规划相符合。

三、合理选择工作频段,认真进行信道配置。在确定网络结构的前提下,应对近期和远期使用的频率作出统一安排,避免在短期内进行重复建设。为了申请所需的频率,应向当地无线电管理委员会提供规划设计书。

四、无线电路设计。在满足覆盖范围、通话质量和通信概率等用户要求的基础上,根据传播环境选择相应的传播模式来进行传播预测,以确定系统的工作参数,如基站天线高度、增益、发信机输出功率、接收机灵敏度、多频道共用方式以及移动台天线高度、增益、发信机输出功率、接收机灵敏度等。

五、勘察传播环境,进行现场测试。通过在移动环境中获得的实测场强来检查上述有关设计、计算的正确与否。同时可利用其结果来进一步验证各种场强预测模式的正确性。

六、设备选型。应保证被选设备的功能和主要性能指标均符合