

新大话信息通信丛书

# 大话

(第2版)

# 移动通信网络规划

马华兴 董江波 等◎编著



本书改编于“通信人家园”  
2010年度热帖“无线网络规划心法”

该帖的点击量  
已经突破**1800000**次

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

新大话信息通信丛书

# 大话

(第2版)

# 移动通信网络规划

马华兴 董江波 等◎编著

常州大学图书馆  
藏书章

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

大话移动通信网络规划 / 马华兴等编著. — 2版

— 北京: 人民邮电出版社, 2019. 8

(新大话信息通信丛书)

ISBN 978-7-115-50989-5

I. ①大… II. ①马… III. ①移动通信—网络规划

IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第051631号

## 内 容 提 要

本书是一本介绍移动通信网络规划的专业科普图书, 主要讲解了如下几个问题: 网络规划是什么? 为什么要做网络规划? 网络规划有哪些事可以做? 怎样才能做好网络规划? 如何扮演好规划咨询师的角色? 网络规划今后的发展在何方? 为解答这些问题, 本书从概念、管理、方案、人、建模、容量、覆盖、频率、仿真、参数、场景、演进多个角度做了细致入微的讲解。

本书可供从事通信网络规划设计、优化和维护的技术人员及相关管理人员阅读, 也可供高校通信专业的师生阅读参考。

---

◆ 编 著 马华兴 董江波 等

责任编辑 李 强

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京市艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 21

2019年8月第2版

字数: 366千字

2019年8月北京第1次印刷

---

定价: 99.00 元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

# 再版前言

《大话移动通信网络规划》第1版出版已将近10年时间，我没想到这本书能在网络规划这个很小的圈子里快速普及，很多通信设计院、运营商规划优化部门、设备商网络规划部门的员工都会买一本，甚至不少通信专业的毕业生都会买。

而今，通信网络取得了较大发展，通信技术已经是以LTE为主的4G技术，因而我应人民邮电出版社邀请，再版此书。

本书和其他网络规划图书的最重要区别是，以规划为主，技术为辅，技术为规划服务。所以，书的前半部分通通在讲怎么完成一个网络的规划，更多从项目、方案、沟通的角度来讨论规划。我们尽量用通俗浅显的语言说清楚一个网络规划工程师的工作到底是什么样的，会从个人能力培养的角度来看待这个职业。

后半部分，我们还拉回技术，将涉及无线网络规划的方方面面：覆盖、容量、频率、仿真、参数、场景，都分析了一遍。我们尽量向上归纳，不站在某个具体技术上分析，而是从中找出2G/3G/4G的共通点进行讨论，这样纲举目张，一通百通，能从本质上洞察网络规划的特点、要点和难点。

最后，本书讲述了未来通信网络中网络规划的难点。特别是到了物联网和人工智能应用的5G乃至6G网络，传统的网络规划方法会面临新的挑战，网络规划工程师的职业生涯也会面临新的挑战，由此开启一个新的展望。

新版的内容主要增加了4G(LTE)网络的技术理念和涉及覆盖、容量、仿真、频谱和参数的规划理念、思路和方法。其中，原稿大部分内容未做改动，在各个章节增加了4G网络规划的案例。

本书的主要作者为董江波和我。董江波博士从事通信网络规划方法研究、规划软件开发、仿真软件开发十余年，是3G、4G乃至5G网络规划研究的资深专家，负责编写了书中所有涉及4G技术的规划思路和方法；我2012年之前从事通信网络规划的工程设计、标准制定、项目管理和团队管理，对通信网络规划的整体流程、工程师的工作定位、网络规划的项目管理有丰富的经验，负责编写书中的多数章节。本书第8章由李文琦先生和马文华



博士编写。

最后，感谢人民邮电出版社李强编辑给予我们的鼓励和支持；感谢中国移动通信集团设计院有限公司高鹏副院长对本书的大力支持；感谢一起从事网络规划的领导和同事：马文华、李文琦、赵培、高峰、袁静、何继伟、朱文涛，通过与他们的沟通，我感到非常愉悦，也学到了很多知识；感谢在论坛上和其他角落关注我的人们。

本书的内容有很多个人主观的感悟和见解，由于笔者水平有限，时间仓促，书中会有很多不足之处，欢迎读者批评指正。

马华兴

2019年2月

# 目 录

第 1 章 规划：控制心中的不确定 .....	1
1.1 抛开网络谈规划：规划为哪般 .....	2
1.2 蜂窝网络的特点：2G、3G、4G 及未来 .....	5
1.2.1 × 分多址——移动通信系统变革之源 .....	5
1.2.2 蜂窝结构，今天的巨星，明天的传说 .....	10
1.2.3 网元：移动通信网络的“五脏六腑” .....	12
1.3 移动通信网络规划的“三魂七魄” .....	15
1.3.1 容量 .....	17
1.3.2 覆盖 .....	19
1.3.3 质量 .....	21
1.3.4 整合 .....	22
1.3.5 人 .....	23
第 2 章 项目和项目管理 .....	25
2.1 移动网络规划是“项目” .....	26
2.1.1 什么是“项目” .....	26
2.1.2 移动网络规划项目分类 .....	26
2.2 移动网络规划项目管理的特点 .....	28
2.3 第 $N$ 只眼看过程 .....	30
2.3.1 工程建设维度 .....	31
2.3.2 网络维度 .....	32



2.3.3	操作维度	34
2.3.4	管理维度	35
2.3.5	人际维度	36
2.4	调研——重要的开局	37
2.4.1	调研准备阶段	37
2.4.2	现场调研阶段	42
2.4.3	调研后落实阶段	44
2.5	计划赶不上变化——变更了怎么办	45
2.5.1	变更是网络规划的特色	45
2.5.2	应对变更有规律无规矩	46
<b>第3章 方案：令人称道的蓝图</b>		<b>51</b>
3.1	方案架构和组合	52
3.1.1	一套完备的方案模块	52
3.1.2	怎么我组成“变形金刚”，你组成“哆啦A梦”	56
3.2	如何设计解决方案	59
3.2.1	客户的想法 VS 我们的想法	60
3.2.2	设计几个方案最靠谱	63
3.2.3	幸福从比较中来——方案比较	66
3.2.4	模板和个性	70
3.3	方案演示之道	72
3.3.1	演示准备“5W1H”	72
3.3.2	脱颖而出的机会——现场演示	75
3.3.3	玩转答辩和技术交流	77
3.3.4	守正出奇	80



第4章 人是万物的尺度：规划设计的人 .....	81
4.1 你是谁——“网络规划魔法师” .....	82
4.2 还有哪些“干系人” .....	85
4.2.1 “干系人”分类 .....	85
4.2.2 干系人分析：他们关心什么 .....	87
4.3 满意——满足需求 .....	89
4.3.1 需求、问题和满意 .....	89
4.3.2 需求背后的本质——需求获取 .....	93
4.3.3 需求沟通 .....	96
4.4 冲突：回避还是面对 .....	98
4.4.1 冲突的必然 .....	98
4.4.2 冲突的来源 .....	98
4.4.3 冲突的解决 .....	99
4.4.4 冲突管理 .....	100
4.5 开会：沟通的重要手段 .....	101
4.5.1 会议——备受争议的话题 .....	101
4.5.2 会议分类和要点 .....	103
4.5.3 有效的会议 .....	105
第5章 网络规划方法原理：矛盾的平衡 .....	107
5.1 建模：不是建造航模 .....	108
5.1.1 模型与建模 .....	108
5.1.2 怎么建模 .....	110
5.1.3 移动通信网络规划中的重要建模 .....	112
5.2 概率：自欺欺人的学科 .....	115
5.2.1 随机事件 .....	115



5.2.2	无线网络中的概率	116
5.2.3	概率分布	117
5.2.4	随机过程	124
5.3	统计: 描述规律的“谎言”	127
5.3.1	描述网络的方法: 统计	127
5.3.2	移动通信网络规划的统计	128
5.3.3	如何用统计讲故事——统计要素	130
5.3.4	如何把故事讲生动——统计的展示	133
5.4	测试: 挑错和证明	138
5.4.1	网络测试的目的	138
5.4.2	测试的分类	139
5.4.3	测试计划	141
5.4.4	测试效果: 信度和效度	143
<b>第 6 章</b>	<b>容量: 供需配置</b>	<b>145</b>
6.1	业务模型: 标准人的业务量	146
6.1.1	业务模型	146
6.1.2	业务分类	146
6.1.3	业务量属性	148
6.2	业务预测: 预言家	151
6.2.1	预测什么	151
6.2.2	业务预测的基本方法	151
6.3	网络能力: 供给	154
6.3.1	移动通信的“资源”: 无线电频率	154
6.3.2	什么能作供给单元	155
6.3.3	并发用户数	156



6.4	供需匹配的平衡 .....	157
6.4.1	由排队而来的问题 .....	157
6.4.2	让仿真站出来 .....	161
6.5	容量规划评估：值不值 .....	163
6.5.1	容量评估——标价打分 .....	163
6.5.2	用什么评估容量 .....	164
6.6	提升容量：把饼变厚 .....	166
6.6.1	降低内部干扰 .....	166
6.6.2	找新的资源 .....	168
第7章	覆盖：无限接近 100% .....	169
7.1	覆盖目标：严丝合缝 .....	170
7.1.1	无缝隙 .....	170
7.1.2	覆盖率和通信概率的澄清 .....	171
7.1.3	衡量覆盖的关键指标 .....	172
7.2	传播模型：电磁波“在路上” .....	173
7.2.1	模拟电波的空间之路 .....	173
7.2.2	传播模型分类：确定 PK 统计 .....	176
7.2.3	那些值得纪念的模型 .....	177
7.2.4	传播模型修正：建设有本地特色的传播模型 .....	180
7.3	链路预算：做个无线电波“会计” .....	184
7.3.1	链路预算是“电波财报” .....	184
7.3.2	链路预算的关键项 .....	184
7.3.3	链路平衡和受限 .....	190
7.4	覆盖规划的问题：不足和有余 .....	191
7.4.1	覆盖问题的现象和解决 .....	191



7.4.2	听到炮火最前线的声音：优化	194
7.5	覆盖的利器——天线	194
7.5.1	天线参数	194
7.5.2	天线分类	201
7.5.3	天线在覆盖规划中的战法	204
<b>第8章</b>	<b>频谱</b>	<b>205</b>
8.1	频谱街900号，最佳地块	206
8.1.1	频谱一条街：频谱图	206
8.1.2	频谱需求的估算	207
8.2	干扰	209
8.2.1	系统间干扰：不要进我的地盘	209
8.2.2	干扰评估	210
8.2.3	干扰解决方案	220
8.3	电磁辐射：公众的担忧	222
8.3.1	电磁辐射的生物效应	222
8.3.2	电磁辐射限值标准	224
8.3.3	电磁辐射评价	226
8.3.4	网络规划中的应对	229
<b>第9章</b>	<b>仿真：网络的兵棋推演</b>	<b>233</b>
9.1	仿真的价值：搞个网络“沙盘”	234
9.1.1	怎么评价网络	234
9.1.2	仿真的好处	235
9.2	仿真分类，单挑和打群架	237
9.2.1	确定性仿真和随机性仿真	237



9.2.2	链路级仿真和系统级仿真 .....	238
9.2.3	静态仿真和动态仿真 .....	242
9.3	移动网络规划仿真方法 .....	245
9.3.1	仿真方法论 .....	245
9.3.2	蒙特卡洛法 .....	248
9.3.3	把地图放进去 .....	255
9.4	网络规划仿真流程：“吃草挤奶” .....	258
9.4.1	输入什么“草” .....	259
9.4.2	生产线的处理 .....	261
9.4.3	输出什么“奶” .....	263
<b>第 10 章</b>	<b>参数：软实力 .....</b>	<b>265</b>
10.1	工程参数 .....	266
10.1.1	站址参数 .....	266
10.1.2	天线参数 .....	267
10.2	无线参数 .....	268
10.2.1	位置区和跟踪区 .....	268
10.2.2	切换和重选 .....	272
10.3	簇规划 .....	277
10.3.1	移动通信网的“村落”：簇 .....	277
10.3.2	频率规划 .....	278
10.3.3	码规划 .....	278
10.4	统计参数 .....	279
10.4.1	话统分析方法 .....	279
10.4.2	利用率指标 .....	280
10.4.3	网络接入指标 .....	281



10.4.4	呼叫保持指标	283
10.4.5	切换管理指标	284
<b>第 11 章</b>	<b>场景规划：封印结界</b>	<b>285</b>
11.1	鳞次栉比	287
11.1.1	密集城区之阵	287
11.1.2	见招拆招	290
11.2	宅	291
11.2.1	室内的“宅”特性	291
11.2.2	室内分布系统	292
11.2.3	室内的网络规划	294
11.3	尖峰时刻	300
11.3.1	什么叫“尖峰”	300
11.3.2	见招拆招	301
11.4	火车情结	306
11.4.1	高速“结界”的特点	306
11.4.2	见招拆招	309
11.5	BBU+RRU：池和云	311
11.5.1	基站的近端和远端	311
11.5.2	池和云	314
<b>第 12 章</b>	<b>蜂窝网络规划的演进</b>	<b>315</b>
12.1	网络演进的挑战	316
12.2	信息化、AI 化取代电子化	318
12.2.1	规划信息化	318
12.2.2	规划产品化	319



12.3 规划者的“转职” .....	320
12.4 规划搭台，优化唱戏 .....	321
12.4.1 规划 + 优化 = 网络质量 .....	321
12.4.2 规划、优化工程师的意义感 .....	322

*Chapter 1*

第 1 章

**规划：控制心中的不确定**



## 1.1 抛开网络谈规划：规划为哪般

谈到规划，很多名言谚语就浮现在脑海里：“凡事预则立，不预则废”强调规划的重要性；“不谋万世者不足谋一时，不谋全局者不足谋一域”强调规划的全面性和长远性；然而，也有些俗语对规划颇有讥讽色彩，“计划赶不上变化”“规划鬼话，纸上画画，墙上挂挂……”所有言辞反映了人们对“规划”的重视与无奈的矛盾心理。

规划是对未来的发展计划。抛开通信网络不谈，几乎所有人所参与的事情都需要规划，国家战略规划、市政规划、产品规划、人生规划、职业规划……反观这所有的规划，我们是否发现一个特点，即规划必须要跟未来挂钩。设计师们今天辛苦成就的规划却要为明天的现实负责，难免会受到诟病和非议了。

移动通信网络为什么要规划？更广义层面问：人类做的这么多事为什么要规划呢？以下是本人私自揣测的原因。

原因之一是人类本能使然。规划的古意是规而划之，即按某种规律对事物进行归类划分。生养过小孩的人会发现小孩子在2岁左右会有一段时间的“秩序敏感期”，他会将所有的东西都划出归属来，比如哪个椅子是谁专门坐的，哪些书是爸爸的，哪些书是妈妈的……一旦大人们没按他心中的秩序来执行时，比如他认为某个椅子是妈妈坐的，结果爸爸坐在上边了，那么他就会十分焦虑，甚至发怒抓狂、嚎啕大哭。这是本能，最好的办法是尊重他的“规划”，不评价也不强化，过一段时间这个敏感期自然过去。如果在这时不尊重他的秩序感，那么有可能造成在他成人后心理边界上的混乱，要么任人欺凌，要么极度霸道。

原因之二在于反熵过程。人类社会发展这几十万年的过程是反熵过程的典型案例。而规划则是反熵过程的前奏，通过规划，将原本混乱的世界变得井然有序，社会由此逐步演化。通信网络规划一样如此，不经过规划的网络定会服从熵增规律而越发混乱，而规划则是对网络反熵的一次次努力。这样，通信网络在规划、设计、优化的长期过程中保持稳定、可控及和谐，满足了各价值环节获取收益的需求，最终满足了广大用户通信的需求。

原因之三在于对未来不确定性的恐慌。必须承认，未来从来都是不确定的。这几年科技的发展速度呈现指数级增长，未来的不确定性更是与日俱增。设想一下，如果电梯里没



有所在楼层的显示，那将是一种什么景象呢？不知道自己到了哪一层，不知道下一层在何方，也不知道什么时候到达目的楼层，你的安全感一点点消失，很恐怖吧（这是很多恐怖小说的经典情景再现）？再提一个问题：我们会对你所关心的未来某事提供三个选择：“知道好消息”“知道坏消息”“不想知道任何消息”。相信大家都会选择好消息。但是如果只有两个选择：“知道坏消息”和“不想知道任何消息”呢？你会选择哪一个呢？心理学家对此进行过实验，结果很有趣，很多人对不确定事件比坏消息更感到紧张，“知道的魔鬼要比不知道的魔鬼好”。规划则是在告诉人们未来是什么样的，降低未来的不确定性，以平息人们对不确定性的恐惧，就是在“控制心中的不确定”。

众所周知，移动通信网络规划必须依赖于移动通信系统的技术体系、技术特点和设备特点。如针对 2G 的网络规划设计就需要熟悉 GSM 的网络架构、GSM 信道、频率对网络容量的影响，要掌握 GSM 网络  $C/I$  的计算，了解 GSM 的复用方式；而针对基于 CDMA 的 3G 系统规划设计则需要掌握 3G 系统网络架构，熟悉码分多址、软切换、导频、网络参数、网络自干扰的特点；对于 LTE 的 4G 网络还要掌握 MIMO、多载波聚合、异构网络、调度算法等关键技术对网络的影响。同时，还要了解网元设备、天馈系统、直放站、分布系统等不同类型的设备特点。

问题又来了，只掌握这些内容是否就真能完成一个网络规划，是否就能达到网络建设运营的目的，是否就能让客户、用户及其他相关人员满意呢？

通过多年的无线网络规划，我们逐步发现，无线网络规划与其说是一门科学，不如说是一门艺术，是结合通信技术、通信设备、项目管理、消费行为、用户心理乃至经济学等很多学科领域于其中的艺术。用辩证法的说法：科学和艺术是对立统一的。说起科学就总会与逻辑、计算、可量化、可统计这些“硬”概念扯到一起，而谈到艺术则会想到感受、情绪、冲动、灵性等“软”感受。移动网络规划本来是一个以通信技术为核心的工作，不同的是，“规划”本身就代表了个性、创造性、人性的特点，我们真正服务的不是网络，不是技术，而是一个个活生生的人。再者，移动通信网络技术本身也不单单是科学，网络技术本身也是服务于人的。所以，科学是一种哲学的存在。

历史上比较有名的规划当属《隆中对》。抛开《隆中对》战略上正确与否，让我们来做一次牵强的解读，看看这里边“规划”的奥妙。

《隆中对》是诸葛亮与刘备首次见面的谈话内容。《三国志》所记载的内容言简意赅，