


华晟经世“一课双师”校企融合系列教材

LTE网络 规划与优化

主编

张国喜 王 辉
黄安民 姜善永

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

华晟经世“一课双师”校企融合系列教材

LTE网络 规划与优化

主编

张国喜 王 辉
黄安民 姜善永

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

LTE网络规划与优化 / 张国喜等主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2019. 10
华晟经世“一课双师”校企融合系列教材
ISBN 978-7-115-51716-6

I. ①L… II. ①张… III. ①无线电通信—移动网—高等学校—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第168828号

内 容 简 介

本书全面介绍了LTE网络规划与优化的基本原理及应用操作。全书共7章,分为基础篇、进阶篇和拓展篇3篇:基础篇包括第1章和第2章,主要介绍了LTE移动通信原理、LTE关键技术和天线;进阶篇包括第3章~第5章,主要介绍了LTE无线网络规划、LTE数据采集和LTE测试数据统计与分析;拓展篇包括第6章和第7章,主要介绍了LTE专题优化和5G展望。本书是LTE网络规划与优化的参考工具书,突出实际应用,可以作为电子信息类相关专业的应用型本科、高职高专以及工程技术人员的学习教材。

-
- ◆ 主 编 张国喜 王 辉 黄安民 姜善永
责任编辑 贾朔荣
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>
涿州市京南印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17 2019年10月第1版
字数: 414千字 2019年10月河北第1次印刷
-

定价: 66.00元

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

反盗版热线: (010)81055315

本书是华晟经世教育面向 21 世纪应用型本科、高职高专学生以及工程技术人员所编写的系列教材之一。本书以经世教育服务型专业建设理念为指引，同时贯彻 MIMPS 教学法、工程师自主教学的要求，遵循“准、新、特、实、认”5 字开发标准：“准”即理念、依据、技术细节都要准确；“新”即形式和内容都要有所创新，表现、框架和体例都要新颖、生动、有趣，具有良好的用户体验，让人耳目一新；“特”即要具有应用型的特色和企业的特色，体现出校企合作在面向行业、企业需求人才培养的特色；“实”即实用、切实可用，既要注重实践教学，又要注重理论知识学习，编写一本理实结合、平衡的实用型教材；“认”即编写一本教师、学生、业界都认可的教材。我们力求使抽象的理论具体化、形象化，减少学习的枯燥感，激发学生的学习兴趣。

本书在编写过程中，主要形成了以下特色。

(1) “一课双师”校企联合开发教材。本书是由经世教育工程师，青海师范大学、贺州学院、井冈山大学教师协同开发，融合企业工程师丰富的一线工程经验、高校教师深厚的理论功底与丰富的教学经验，共同打造紧跟行业技术发展、精准对接岗位需求、理论与实践深度融合以及符合教育发展规律的校企融合教材。

(2) 以“学习者”为中心设计教材。教材内容的组织强调以学习行为为主线，构建了“学”与“导学”的内容逻辑：“学”是主体内容，包括项目描述、任务解决及项目总结；“导学”是引导学生自主学习、独立实践的部分，包括项目引入、交互窗口、思考练习、拓展训练。本书强调动手和实操，以实现任务为驱动，做中学，学中做。本书还强调任务驱动式的学习，可以让我们遵循一般的学习规律，由易到难、循环往复、融会贯通；同时加强实践、动手训练，在实操中使学习更加直观和深刻；融入最新技术应用，结合真实应用场景，解决现实性客户需求。

(3) 以项目化的思路组织教材内容。本教材项目化的特点突出，大量的项目案例，理论联系实际，图文并茂，深入浅出，特别适合于应用型本科院校、高职、高专以及工程技术人员自学或参考。篇章以项目为核心载体，强调知识输入，从任务的解决与训练，到技

能输出；采用项目引入、知识图谱、技能图谱等形式还原工作场景，展示项目进程，嵌入岗位、行业认知，融入工作的方法和技巧，传递一种解决问题的思路 and 理念。

在编写本书的过程中，我们得到了华晟经世教育集团、青海师范大学、贺州学院、井冈山大学领导的关心和支持，更得到了钟长发、黄天明、任连君以及广大教育同仁的无私帮助和家人的温馨支持，在此向他们表示诚挚的谢意。由于编者水平和学识有限，书中难免存在不妥和错误之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者
2018 年 8 月

基础篇

第1章 探究LTE移动通信原理	2
1.1 任务一：初识 LTE	2
1.1.1 LTE 概述	3
1.1.2 无线技术向 LTE 的演进	4
1.1.3 LTE 主要设计目标	6
1.1.4 LTE 网络架构	10
1.1.5 任务回顾	13
1.2 任务二：解析 LTE 关键技术及信道结构	13
1.2.1 LTE 技术亮点及优势	13
1.2.2 多址技术	14
1.2.3 多天线技术	17
1.2.4 自适应的调制与编码	25
1.2.5 混合自动重传技术	26
1.2.6 小区间干扰抑制技术	27
1.2.7 自组织网络 (SON) 技术	31
1.2.8 LTE 帧结构	31
1.2.9 LTE 物理信道与信号	34
1.2.10 任务回顾	36
1.3 项目总结	37

1.4 拓展训练	37
第2章 认识天线	38
2.1 任务一：研习天线电气性能参数	38
2.1.1 天线原理	39
2.1.2 天线参数	40
2.1.3 天线覆盖范围	44
2.1.4 dBm 与 dB	46
2.1.5 任务回顾	47
2.2 任务二：天线选型与天馈系统应用分析	47
2.2.1 室外宏站天线选型	48
2.2.2 室分天线与美化天线	50
2.2.3 4G 天线与 2G/3G 天线的区别	52
2.2.4 天馈系统构成	53
2.2.5 任务回顾	56
2.3 项目总结	57

进阶篇

第3章 初探LTE无线网络规划	60
3.1 任务一：LTE 网络的覆盖规划与容量规划	61
3.1.1 LTE 无线网络规划流程与网络指标	61
3.1.2 LTE 覆盖规划	63
3.1.3 LTE 容量规划	68
3.1.4 任务回顾	73
3.2 任务二：LTE 网络参数规划	74
3.2.1 LTE 小区 ID 规划	74
3.2.2 LTE TA 规划	74
3.2.3 LTE PCI 规划	75
3.2.4 LTE PRACH 规划	75

3.2.5	任务回顾	76
3.3	任务三：LTE 网络邻区规划	77
3.3.1	邻区的作用	78
3.3.2	邻区规划的原则	78
3.3.3	邻区规划的方法	78
3.3.4	任务回顾	79
3.4	任务四：牢记 MapInfo 工具	80
3.4.1	MapInfo 简介	80
3.4.2	常用菜单功能简介	80
3.4.3	网络规划应用场景	81
3.4.4	任务回顾	84
3.5	任务五：应用 Google Earth 工具	85
3.5.1	Google Earth 简介	85
3.5.2	Google Earth 基本功能	85
3.5.3	Google Earth 在网络规划中的常用操作	86
3.5.4	任务回顾	88
3.6	任务六：应用 Excel 工具	89
3.6.1	函数应用基础	90
3.6.2	函数输入方法	90
3.6.3	常用函数介绍	91
3.6.4	任务回顾	94
3.7	项目总结	95
3.7.1	项目回顾	95
3.7.2	项目总结	96
第4章	玩转数据采集	97
4.1	任务一：研习 DT 的基本概念与相关参数	97
4.1.1	LTE 网络优化概述	98
4.1.2	LTE 无线网络评估基本概念	102
4.1.3	DT、CQT 测试的相关概念和规范	104
4.1.4	DT、CQT 测试相关参数	108
4.1.5	任务回顾	111

4.2	任务二：室外 DT 语音测试	113
4.2.1	室外 DT 语音测试参数导入	113
4.2.2	室外 DT 语音测试过程	115
4.2.3	任务回顾	119
4.3	任务三：室外 DT 数据测试	120
4.3.1	室外 DT 数据测试参数导入	120
4.3.2	室外 DT 数据测试过程	120
4.3.3	单站验证	125
4.3.4	任务回顾	129
4.4	项目总结	130
第5章 LTE测试数据统计与分析		131
5.1	任务一：认识 LTE KPI 及对应解决思路	132
5.1.1	接入性指标解析	132
5.1.2	移动性指标解析	134
5.1.3	保持性指标解析	135
5.1.4	任务回顾	137
5.2	任务二：攻克覆盖优化	137
5.2.1	覆盖类指标	138
5.2.2	弱覆盖分析	138
5.2.3	越区覆盖分析	140
5.2.4	无主导小区分析	142
5.2.5	任务回顾	142
5.3	任务三：处理 MOD3 干扰与导频污染	143
5.3.1	MOD3 干扰	143
5.3.2	导频污染	144
5.3.3	任务回顾	146
5.4	任务四：CXA 平台操作	146
5.4.1	CXA 概述	146
5.4.2	CXA 测试数据报表的实现	147
5.4.3	测试报告 CXA 截图的实现	151
5.4.4	任务回顾	156

5.5	任务五：撰写数据分析报告	157
5.5.1	单站验证报告	157
5.5.2	簇优化报告	157
5.5.3	任务回顾	169
5.6	项目总结	169
5.7	拓展训练	170

拓展篇

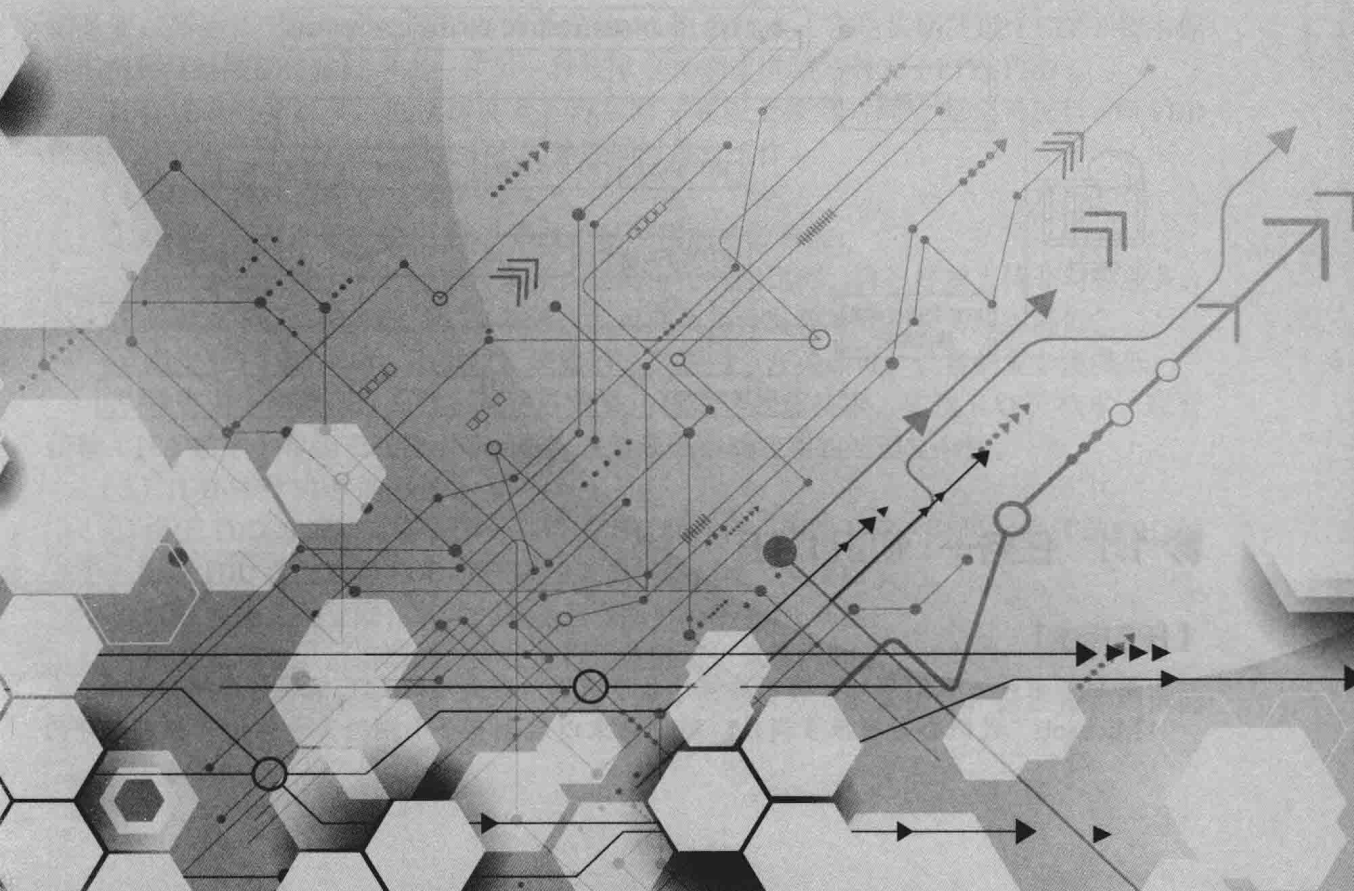
第6章	挑战LTE专题优化	172
6.1	任务一：初识LTE基本信令流程	173
6.1.1	承载介绍	173
6.1.2	LTE各信令流程	174
6.1.3	任务回顾	186
6.2	任务二：探究LTE接入专题优化	187
6.2.1	UE开机流程与随机接入	187
6.2.2	LTE初始接入流程	190
6.2.3	LTE接入问题分类	195
6.2.4	LTE接入问题案例分析	200
6.2.5	任务回顾	200
6.3	任务三：解析LTE切换	201
6.3.1	切换概述	202
6.3.2	LTE切换相关参数及优化思路	207
6.3.3	LTE切换问题案例分析	210
6.3.4	任务回顾	218
6.4	任务四：LTE网络掉话分析	219
6.4.1	掉话基本概念及相关流程	219
6.4.2	LTE掉话原因分析	224
6.4.3	LTE掉话分析流程及案例分析	231
6.4.4	任务回顾	234

6.5 项目总结	235
第7章 展望5G移动通信网络	236
7.1 任务一：初识 5G 基本概念与应用场景	236
7.1.1 5G 背景	237
7.1.2 5G 基本概念	237
7.1.3 5G 应用场景	240
7.1.4 任务回顾	242
7.2 任务二：探究 5G 频谱和关键技术	242
7.2.1 5G 频谱	242
7.2.2 5G 关键技术	243
7.2.3 任务回顾	247
7.3 任务三：回顾 5G 标准化进展	248
7.3.1 5G 标准化历程	248
7.3.2 任务回顾	249
7.4 项目总结	250
附录：CXT测试软件熟悉	251

基础篇

第1章 探究LTE移动通信原理

第2章 认识天线





第1章 探究 LTE 移动通信原理

项目引入

初春的上午，阳光明媚。实习生 Jack 站在网优工程师 Michael 的办公桌旁。

Jack：“您好，我是要跟您学习的 Jack，请您多多关照。”

（Michael 打量了一下站在身边的小伙子）

Michael：“你好，欢迎你的到来，希望在这段时间里，你会有所收获，有所提高。”

（Michael 搬了把椅子，示意 Jack 坐下）

Jack：“早就听说您是位资深的网规网优工程师，我一定会虚心向您学习的。请问我们从哪里开始学习呢？”

Michael：“要想学好网规网优，对通信基础知识的学习是必不可少的。现在我们就来一起学习 LTE 移动通信的原理吧。”

LTE 移动通信原理是 LTE 网络规化与优化的基础，为以后考取无线网络优化工程师认证提供知识储备。

接下来就和 Jack 一起学习 LTE 移动通信原理吧……

知识图谱

项目 1 知识图谱如图 1-1 所示。

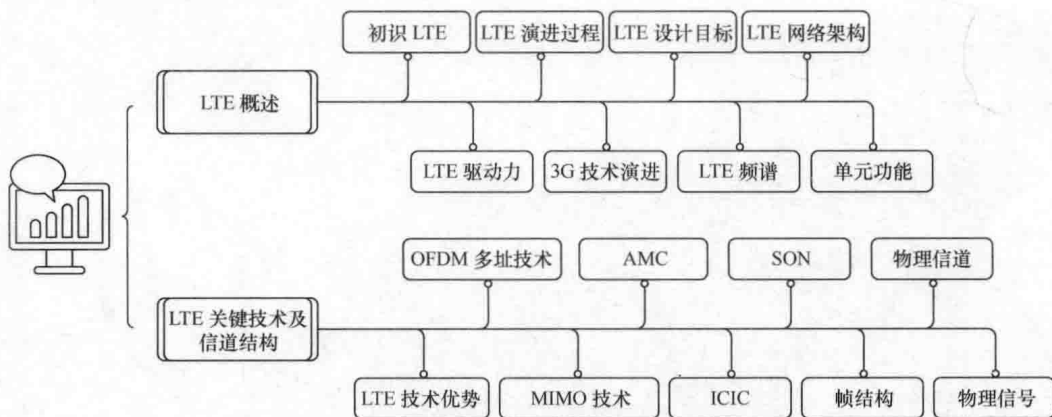


图 1-1 项目 1 知识图谱

1.1 任务一：初识 LTE

【任务描述】

Jack：“老师，我们来到公司以后做什么事情呢？需要用到 LTE 概述部分的知识吗？”

Michael：“我们公司有很多岗位，培训结束以后会有个小测验，看你们掌握哪部分的

知识比较好，通过成绩来安排岗位。概述的知识肯定是有用的，它会告诉你 LTE 是什么，怎么来的，有什么功能，如何实现这些功能。这些知识方便你们以后的工作，还关系到以后个人能力提升的考试。”

1.1.1 LTE 概述

在电视中、网站上和大街上，随处可以看到电信运营商的广告，如图 1-2 所示。

那我们经常听到的 LTE 是什么呢？真的就是 4G（第四代移动通信技术）吗？

1. LTE 的定义

LTE（Long Term Evolution，长期演进）是由 3GPP 主导制定的无线通信技术，是基于 GSM/EDGE 和 UMTS/HSPA 技术的高速无线通信标准。

3GPP 当年制定了两大演进计划：LTE 和 SAE（System Architecture Evolution，系统架构演进）。LTE 负责无线接口的演进，SAE 负责系统架构的演进。LTE 关注的核心是无线接口和无线组网架构的技术演进问题，它使用不同的无线接口以及核心网络的改进来增加容量和速率。

LTE 通常被称作 4G LTE，正如 LTE Release 8 和 Release 9 协议所规定的一样，LTE 不符合 4G 无线业务的技术标准。

2. LTE 制式

LTE 分为 TDD-LTE 和 FDD-LTE 两种制式。

长期演进时分双工（LTE-TDD）也称为 TDD-LTE，是由中国移动、大唐电信、华为、中兴、诺基亚、高通、三星和爱立信等共同开发的 4G 电信技术。它是长期演进（LTE）技术标准的两种移动数据传输技术之一，另一种技术是长期演进频分双工（LTE-FDD）。

TDD 代表时分双工，也就是说上下行在同一频段上按照时间分配交叉进行；而 FDD 代表频分双工，是上下行分别处于不同频段同时进行工作。

（1）TDD 相对 FDD 的优势：

- ① 频率可灵活配置，使用 FDD 系统不易使用的零散频段；
- ② 可以通过调整上下行时隙转换点，提高下行时隙比例，可很好地支持非对称业务；
- ③ 具有上下行信道一致性，基站的收发可共用部分射频单元，设备成本降低；
- ④ 接收上下行数据时，不需收发隔离器，只需一个开关即可，设备的复杂度降低；
- ⑤ 具有上下行信道互易性，可更好地采用传输预处理技术，如预 RAKE 技术、联合传输（JT）技术、智能天线技术等，能有效地降低移动终端的处理复杂性。

（2）TDD 相对 FDD 的不足：

- ① 由于 TDD 方式的时间资源分别给了上行和下行，因此其发射时间大约只有 FDD 的一半，如果 TDD 要发送和 FDD 同样多的数据，就要增大发送功率；
- ② TDD 系统上行受限，基站的覆盖范围明显小于 FDD 基站；
- ③ TDD 系统收发信道同频，无法进行干扰隔离，系统内和系统间存在干扰；
- ④ 为避免与其他无线系统之间的干扰，TDD 需预留较大的保护带，保证整体频谱的



图 1-2 某运营商 LTE 网络广告

利用效率。

3. LTE 产生的驱动力

移动宽带化和宽带无线化的融合为 LTE 的产生奠定了技术基础,如图 1-3 所示。无线接入网的网元之间使用 IP 技术进行数据传输,即移动通信网 IP 化是二者融合的网络基础。通信网实现 IP 化所需的最重要的技术基础是 IP 网支持 QoS 保证,即将 IP 网效率高的优点和通信网 QoS 保证的特点结合起来。

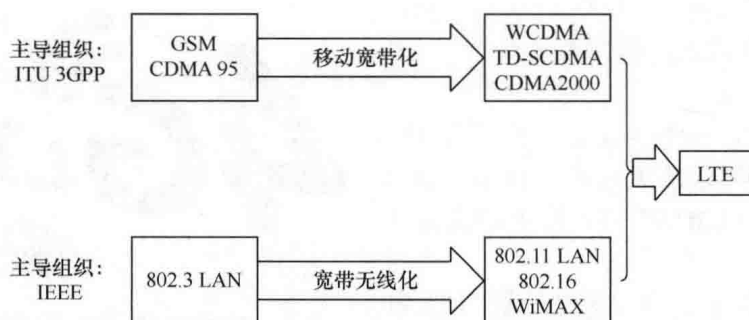


图 1-3 移动宽带化和宽带无线化的融合

随着通信、广电、互联网技术的融合,通信产业的价值链从封闭走向开放,无线通信业务数据化、多媒体化成为必然,数字洪流的时代已悄然来临。未来,无线通信的主体不只是人与人,还会扩展到人与物、物与物之间,这为 LTE 的发展奠定了坚实的市场基础。

3GPP 要把 LTE 打造成为未来较长时间内领先的无线制式,最直接的压力来自 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, 全球微波接入互操作)。

当时,3GPP 制定的 3G WCDMA 可以实现上行 128kbit/s、下行 14.4Mbit/s 的速率,IEEE 制定的 WiMAX (802.16) 在 20MHz 带宽情况下,可以实现上行 30Mbit/s、下行 70Mbit/s 的速率。虽然 IEEE 的 WiMAX (802.16) 宣称的速率只是理论上的极限速率,但也给 3GPP 对 WCDMA 未来的信心带来了重大的负面影响。于是,3GPP LTE 的产生如箭在弦上,不得不发。

除了应对 WiMAX 阵营的竞争这个主要的原因外,增加收入和降低网络成本也是发展 LTE 的原因所在。

1.1.2 无线技术向 LTE 的演进

移动通信发展的最终目标是实现任何人可以在任何时候、任何地方与其他任何人以任何方式进行通信的目标。蜂窝移动通信系统从 20 世纪 70 年代发展至今,根据其发展历程和发展方向,可被划分为 4 个阶段,即:第一代,模拟蜂窝通信系统,简称 1G;第二代,数字蜂窝移动通信系统,简称 2G;第三代,IMT-2000,简称 3G;第四代,IMT-Advanced,简称 4G。

1. 移动通信网络的演进过程

移动通信从 2G、3G 到 4G 的发展过程,是从低速语音业务向高速多媒体业务发展的过程。3GPP 正逐渐完善 R8 的 LTE 标准:2008 年 12 月,R8 LTE RAN1 被冻结;2008 年 12 月,R8 LTE RAN2、RAN3、RAN4 完成功能冻结;2009 年 3 月,R8 LTE 标准完成,此协议的完成能够满足 LTE 系统首次商用的基本功能。无线通信技术发展和演进的过程如图 1-4 所示。

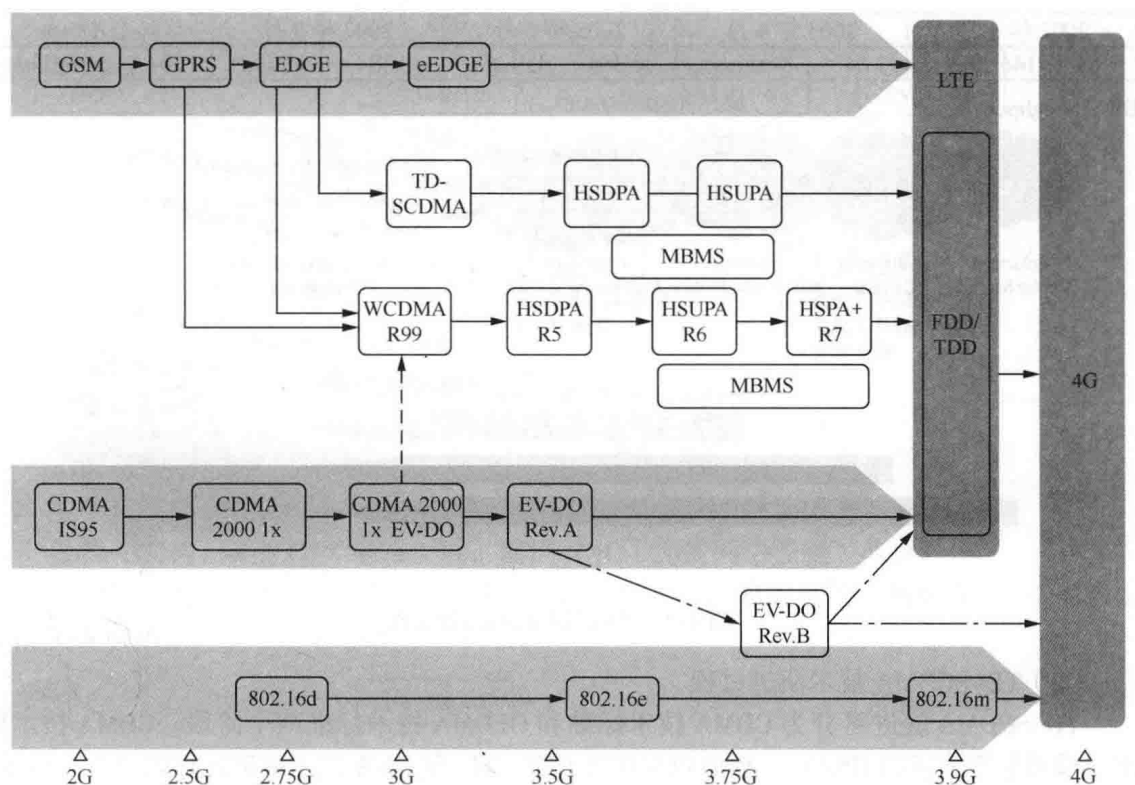


图 1-4 无线通信技术的发展和演进

2. 3G 技术演进过程

1985年，国际电信联盟（ITU）提出了第三代移动通信系统的概念，当时被称为未来公共陆地移动通信系统（FPLMTS）。后来，考虑该系统预计在2000年左右开始商用，且工作于2000 MHz频段，ITU于1996年在采纳相关建议的基础上，将FPLMTS更名为国际移动通信系统（IMT-2000）。

目前，国际上最具代表性的第三代移动通信技术标准有3种，分别是：CDMA2000、WCDMA、TD-SCDMA。其中，CDMA2000和WCDMA属于FDD方式；TD-SCDMA属于TDD方式，并且其上下行工作于同一频率。

3种3G制式的对比见表1-1所示。

表1-1 3种3G制式的对比

比较项目	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA
继承基础	GSM	窄带CDMA	GSM
同步方式	异步	同步	同步
码片速率	3.84Mchip/s	1.2288Mchip/s	1.28Mchip/s
系统带宽	5MHz	1.25MHz	1.6MHz
核心网	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP
语音编码方式	AMR	QCELP、EVRC、VMR-WB	AMR

(1) WCDMA 技术演进过程

WCDMA的技术演进过程如图1-5所示。

2002年3月	2003年4月	2005年6月	2007年9月	Next decade
64 ~ 144kbit/s	64 ~ 384kbit/s	0.384 ~ 4Mbit/s	0.384 ~ 7Mbit/s	20+ ~ >50Mbit/s

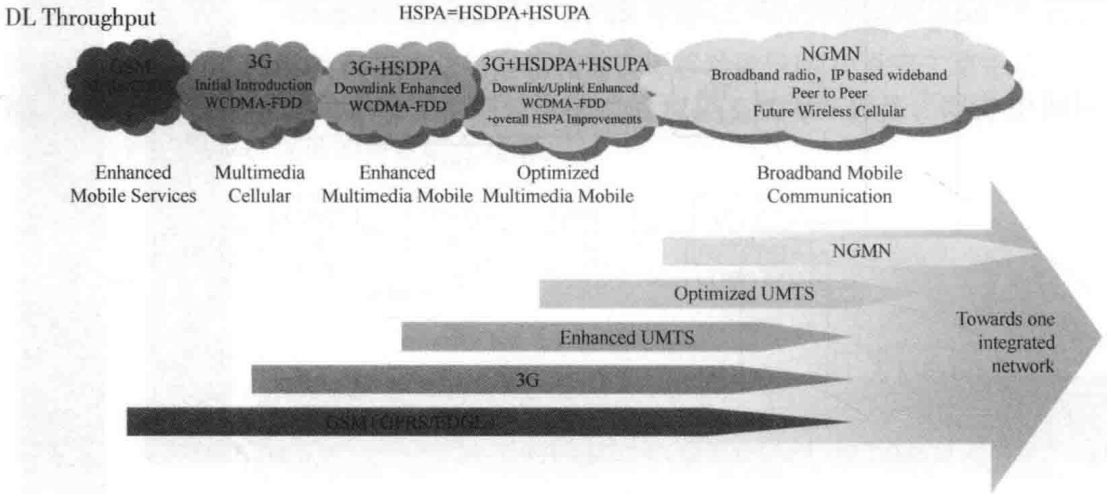


图 1-5 WCDMA 技术演进过程

(2) TD-SCDMA 技术演进过程

TD-SCDMA 演进可分为 CDMA 技术标准和 OFDMA 技术标准两个阶段。CDMA 技术标准阶段可平滑演进到 HSPA+, 频谱效率接近 LTE。TD-SCDMA 技术演进过程如图 1-6 所示。

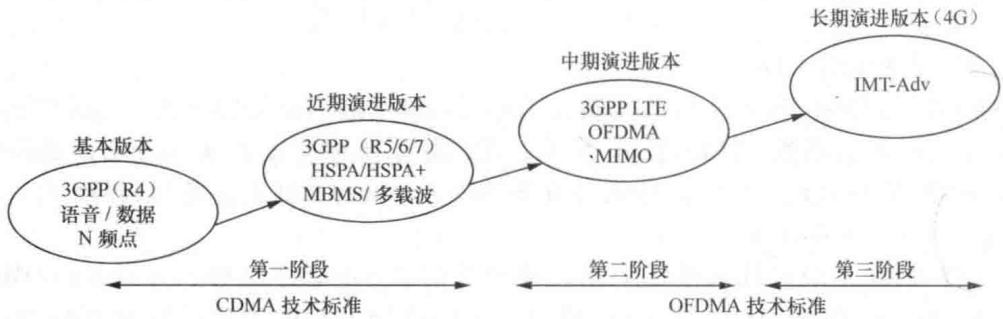


图 1-6 TD-SCDMA 技术演进过程

(3) CDMA 2000 技术演进过程

CDMA one 是基于 IS-95 标准的各种 CDMA 产品的总称, 所有基于 CDMA one 技术的产品的核心技术均以 IS-95 作为标准。CDMA2000 1x 在 1.25MHz 频谱带宽内, 单载扇提供 307.2kbit/s 高速分组数据速率, 1xEV-DO Rev.0 提供 2.4Mbit/s 的下行峰值速率, Rev.A 提供 3.1Mbit/s 下行峰值速率。CDMA2000 技术的演进过程如图 1-7 所示。

1.1.3 LTE 主要设计目标

前文提到 3GPP 要把 LTE 打造成为未来较长时间内领先的无线制式, 那么如何确保其在 10 年内保持领先呢? 3GPP 要求 LTE 需要具备以下几个技术目标。

- ① 宽带灵活配置: 可以分配多种速率的带宽 (1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz、20MHz)。
- ② 峰值速率更高: 上行 50Mbit/s, 下行 100Mbit/s。