

中国移动创新系列丛书



- 全景展示 TD-LTE 技术的**精髓**
- 浓缩产业发展的**精华**
- 建设 TD-LTE 网络的**宝典**

TD-LTE 是影响世界通信产业格局的
重大革新！

TD-LTE

应用与实践

李正茂 王晓云 主编

黄宇红 刘光毅 丁海煜 杨光 刘佳 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国移动创新系列丛书



TD-LTE

应用与实践

李正茂 王晓云 主编

黄宇红 刘光毅 丁海煜 杨光 刘佳 副主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

TD-LTE应用与实践 / 李正茂, 王晓云主编. — 北京:
人民邮电出版社, 2014. 1
(中国移动创新系列丛书)
ISBN 978-7-115-33643-9

I. ①T… II. ①李… ②王… III. ①码分多址移动通信—通信技术 IV. ①TN929. 533

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第266605号

内 容 提 要

本书系统地探讨了 TD-LTE 的网络部署与应用中的关键问题, 包括 TD-LTE 的频率分布与使用方案, 网络规划关键问题, 系统内与系统间的干扰和优化, 室外多天线应用与优化, 室内覆盖解决方案, TDD 与 FDD 的融合组网, 无线网络优化, CSFB 及数据业务多网互操作的参数配置, 基站与终端产品的设计与实现等内容。

本书的作者全程经历了 TD-LTE 从标准制定、技术试验、规模试验、扩大规模试验到预商用网络建设的全过程。本书凝聚了作者多年实践的汗水与心血, 内容详实, 系统、全面, 是从事移动通信技术研究、标准制定、产品研发、网络规划与优化、系统运营与维护的工程技术及管理人员, 以及高等院校相关专业师生不可多得的参考书与教科书。



-
- ◆ 主 编 李正茂 王晓云
 - 副 主 编 黄宇红 刘光毅 丁海煜 杨 光 刘 佳
 - 责任编辑 李 静
 - 责任印制 杨林杰
 - ◆ 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>
北京天宇星印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12 2014 年 1 月第 1 版
字数: 270 千字 2014 年 1 月北京第 1 次印刷
-

定价: 48.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

序 一

作为通信行业的工作者，我们深刻体会到我们生活在一个十分幸运的时代，这个行业的高速发展，一次又一次地给予了我们突破创新、改变生活、创造历史的机会，而我们也通过不懈的努力使信息产业逐步成为了对全社会具有重大影响力的行业。

在 2005 年左右，我们就关注到一个新的重要趋势正在形成，“移动互联网”，它绝不是简单的互联网的移动化，它将带来整个行业乃至人们生产、生活的全新变化，将开启人们远远没有意识到的巨大的业务需求。由此，新一轮的产业技术变革，高性能、低成本的 LTE 技术应运而生。当时我还在原信息产业部工作，主管频谱资源、产业和运营，我们从标准形成之初就以开放的态度与国际同行共商 LTE 的发展，提出了 LTE 发展的三大理念：一是充分重视 TDD 频谱资源的利用，发挥 TDD 技术在移动互联网应用上的优势；二是实现 LTE TDD 和 FDD 融合发展，面向对称和非对称频谱的高效利用，形成包括 TDD 和 FDD 在内的一套融合的解决方案；三是开放合作，打造全球化的融合产业链，形成规模优势，带动全球通信产业发展。

LTE 的发展理念得到全球产业的认同和积极响应，成为合作共赢的典范。首先，TDD 频谱的重要意义已经成为共识。全球已发放了 600 多个 TDD 频谱使用许可，不仅在中国，而且在美国、日本、印度、欧洲、巴西等全球各地，TD-LTE 在全面大规模部署中。其次，TD-LTE 产业已经成熟，尤其是终端芯片方面取得重大进展令人鼓舞，标志性的 28nm 芯片已经推出。目前全球已经发布的 TD-LTE 终端已有 270 多款，在全球出货量已经超过 500 万。最后，TDD 与 FDD 的融合发展已经成为全球移动通信的重要发展方向，尤其是做到了运营网络的融合，基于融合组网方案的商用网络已经在欧洲和亚洲开通。

中国移动目前正在开展大规模的商用网络部署，在这样一个关键节点，总结 TD-LTE 前期的试验成果，并广泛推广至 TD-LTE 商用准备的最前线，将是对中国 4G 成功商用的最有力支持。本书的作者团队常年奋战在 TD-LTE 扩大规模试验的第一线，在 TD-LTE 网络规划、建设、组网、优化、多网互操作、新技术和新产品应用方面拥有丰富的实战经验。本书内容正是这些经验的全面整理与系统总结，通过大量数据准确地把握技术细节，包含了应用创新的深刻体会，对于 TD-LTE 商用具有非常实际的指导意义。

奚国华

中国移动通信集团公司董事长
2013 年 12 月

序 二

自 2007 年我国主导确立了 TD-LTE 国际标准以来，TD-LTE 研发和产业化经过了艰难的历程。目前，TD-LTE 已形成全球企业广泛参与、较为完整的产业链。TD-LTE 国际市场推广也取得实质性进展，全球商用网络部署已达数十个。

在 TD-LTE 发展过程中，中国移动充分发挥了运营商需求牵引的作用，积极参与标准制定，及早明确需求，广泛运营创新，大力推广应用，特别是在 TD-LTE 技术试验的基础上，牵头开展了规模技术试验及扩大规模试验。中国移动协同产业界众志成城，攻坚克难，完成了 2 万个站点、上万个测试例的测试任务，验证了创新技术的性能，积累了网络建设和运营经验。发放了友好用户，经过真实用户参与的网络质量和用户体验测试，进一步改进产品及提升网络性能，带动应用开发和培育市场。在进一步加快产业发展的同时，中国移动以 GTI 为平台，通过对外的展示和交流，起到了很好的国际示范作用，大大促进了 TD-LTE 的国际化发展。

中国移动在 TD-LTE 标准制定、产品策划及网络建设与应用方面进行了深入的研究，特别是通过 TD-LTE 扩大规模试验，面向未来的大规模商业应用，进行了系统、深入和全面的摸索与研究，积累了大量的技术产品攻关、网络建设和运营经验。

中国移动的专业技术人员将自己对 TD-LTE 网络建设和优化的深刻理解和实践经验撰写成书，并奉献给广大读者，必将进一步加深大家对 TD-LTE 的理解，促进 TD-LTE 在中国乃至在全球的快速应用和发展。

闻库

工业和信息化部通信发展司司长

2013 年 11 月

前 言

TD-LTE 作为我国主导的 4G 主流技术,在继承和发展了 TD-SCDMA 独有特点和技术优势的同时,实现了与 FDD LTE 的融合发展,集成了适用于宽带移动通信传输的众多先进技术,如 MIMO、OFDM、自适应调制编码、频率选择性调度、小区间干扰协调、更加扁平的网络架构、控制面和用户面分离等技术,实现了系统容量和用户体验的极大提升。TD-LTE 已经成为未来 TDD 技术发展的全球统一 4G 标准。

TD-LTE 的发展经历了标准推进、技术试验、规模试验和扩大规模试验等阶段。在标准推进阶段,TD-LTE 实现了自身设计的优化与完善,实现了 TD-LTE 标准与 FDD 制式的同步发展,以及 TDD/FDD 可双模共芯片的目标,从而为其全球化发展奠定了基础。通过技术试验和规模试验,TD-LTE 建立了完整、健壮的产业链,加快了从芯片、终端到基站的端到端产品成熟;通过扩大规模试验,面向规划、优化、建设、组网、互操作、新技术和新产品,TD-LTE 全面开展了面向商用网络建设与运营的研究、测试与验证工作,基本奠定了 TD-LTE 规模商用的产业和技术基础,并在不断探索和研究新技术引入的发展方向。

本书作者全程参与了 TD-LTE 标准的制定以及 TD-LTE 产业化进程中的测试与研究,对 TD-LTE 的相关问题都有深入的理解。本书的内容凝聚了整个产业多年 TD-LTE 技术攻关的重要成果,深入探讨了 TD-LTE 的频率分布与使用方案,网络规划关键问题,系统内与系统间的干扰和优化,室外多天线应用与优化,室内覆盖解决方案,TDD 与 FDD 的融合组网,无线网络优化,CSFB 及数据业务多网互操作的参数配置,基站与终端产品的设计与实现等内容。在内容编写上,本书尽量做到内容翔实,深入浅出,使其具有很强的可读性和可用性。

本书由中国移动通信集团公司李正茂副总裁和中国移动通信集团技术部王晓云总经理主持编写,由黄宇红、刘光毅、丁海煜、杨光、刘佳统稿与审稿。参加本书编写工作的人员主要有:第 1 章——李新、李男、姜大洁、潘喆、王大鹏、刘建华、徐晓东、陈翼翼;第 2 章——李新、周伯慧、李秋香、徐晓东、刘磊、曲嘉杰;第 3 章——李新、许宁、曲嘉杰、崔航、姜大洁、毛剑慧、沈晓冬、何丽峰;第 4 章——潘喆、王大鹏、刘婧迪、李男;第 5 章——曹锦阳、马欣、王军;第 6 章——刘建华、李新、许灵军;第 7 章——邵华、李新、王东、毛剑慧、杨宁;第 8 章——余立、江鹏、梁燕萍、周桂寅、左一平、王小奇;第 9 章——韩延涛、武欣、周彦;第 10 章——许灵军、王军、王东、程广辉、闫渊、赵琳、王小旭、江海涛。同时,感谢为本书的编写和出版做出大量贡献的其他同事与人民邮电出版社的编辑同志,希望本书的内容能让需要的读者朋友受益。

目 录

第 1 章 TD-LTE 频率及使用方案	1
1.1 全球 TDD 频谱分配	1
1.2 室外宏基站间频率使用方案	3
1.2.1 传统的频率使用方案	4
1.2.2 移频组网 (FSFR) 方案	4
1.2.3 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网方案	5
1.2.4 不同频率使用方案的性能比较	5
1.3 室外宏基站与室外小基站间频率使用方案	6
1.4 室外宏基站与室内基站间的频率使用方案	7
1.5 小结	8
参考文献	8
第 2 章 TD-LTE 无线网络规划关键问题	9
2.1 无线网络预规划关键问题	9
2.1.1 基于链路预算的网络规模估算	10
2.1.2 覆盖规划指标	16
2.1.3 容量规划关键问题	19
2.2 关键参数规划	22
2.2.1 时隙规划	22
2.2.2 PCI 规划	24
2.3 小结	25
参考文献	26
第 3 章 TD-LTE 系统内干扰与优化	27
3.1 TD-LTE 的同频组网设计	27
3.1.1 广播/控制信道同频组网设计	27

3.1.2	业务信道同频组网设计	28
3.2	TD-LTE 重叠覆盖问题及优化	28
3.2.1	重叠覆盖的来源	29
3.2.2	重叠覆盖对网络性能的影响	31
3.2.3	TD-LTE 重叠覆盖的优化方法	32
3.3	TD-LTE 干扰抑制技术	34
3.3.1	小区间干扰协调 (ICIC)	34
3.3.2	eICIC	38
3.3.3	SFN	39
3.3.4	CoMP	39
3.4	远距离同频干扰问题及解决	41
3.4.1	物理和气象的结合——成因分析	42
3.4.2	远距离同频干扰解决方案	43
3.5	小结	46
	参考文献	47
第 4 章	系统间干扰	48
4.1	系统间干扰概述	48
4.1.1	干扰原因及类型	48
4.1.2	系统间干扰关键指标	50
4.1.3	干扰场景	50
4.1.4	系统间干扰规避准则和隔离措施	51
4.1.5	系统间干扰的分析方法	52
4.1.6	系统间干扰排查方法	52
4.2	通用的系统间干扰共存分析举例	53
4.2.1	基站间干扰的确定性计算分析	53
4.2.2	终端间干扰分析	54
4.2.3	基站与终端间干扰的仿真分析	55
4.3	E 频段 TD-LTE 与其他系统间的干扰共存分析、排查及规避方案	56
4.3.1	E 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰共存分析	56
4.3.2	E 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰排查方法	57
4.3.3	E 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰规避方法	58
4.4	D 频段 TD-LTE 与其他系统间的干扰共存分析、排查及规避方案	58
4.4.1	D 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰共存分析	59
4.4.2	D 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰排查方法	60
4.4.3	D 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰规避方法	60

4.5 F 频段 TD-LTE 与其他系统间的干扰共存分析、排查及规避方案	61
4.5.1 F 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰共存分析	61
4.5.2 F 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰排查方法	63
4.5.3 F 频段 TD-LTE 与其他系统间干扰规避方法	65
4.6 小结	66
参考文献	68
第 5 章 TD-LTE 室外多天线应用方案	69
5.1 多天线应用概述	69
5.2 多天线技术应用方案的比较	70
5.2.1 网络性能比较	70
5.2.2 工程施工	74
5.3 TD-LTE 多天线建设方案的选择	75
5.3.1 新建 8 通道	75
5.3.2 新建 2 通道	76
5.3.3 与 TD-SCDMA 系统共天线方案	76
5.4 智能天线技术的工程优化	77
5.4.1 智能天线阵列的优化设计	78
5.4.2 8 天线阵列的广播信道发送方案	80
5.4.3 智能天线的信息化管理	81
5.4.4 TD-LTE 与 TD-SCDMA 共天馈方案	83
5.4.5 Ir 接口压缩	86
5.4.6 集束接口	86
5.4.7 基站的天线校准	88
5.5 多天线增强技术	89
5.5.1 传输模式自适应	89
5.5.2 上行多用户 MIMO	90
5.5.3 下行多用户 MIMO	90
5.6 小结	91
参考文献	92
第 6 章 TD-LTE 室内覆盖方案	94
6.1 TD-LTE 室内覆盖解决方案概述	94
6.1.1 室外覆盖室内方案	95
6.1.2 室内分布系统方案	97
6.1.3 室内放装方案	101

6.2	TD-LTE 室内分布系统部署关键问题	102
6.2.1	室内分布系统链路预算	103
6.2.2	单双极化天线对比	104
6.2.3	MIMO 单极化天线间距	104
6.2.4	通道功率不平衡	105
6.2.5	TD-SCDMA 室分系统升级支持 TD-LTE	106
6.3	小结	108
	参考文献	109
第 7 章	LTE FDD 和 TDD 融合组网	110
7.1	LTE FDD 和 TDD 融合组网的基础	110
7.2	LTE FDD 和 TDD 融合组网系统架构	111
7.3	LTE FDD 和 TDD 端到端产品融合方案	111
7.3.1	融合的 FDD/TDD 终端	111
7.3.2	基站产品融合	112
7.4	LTE FDD 与 TDD 融合组网的实现方案	113
7.4.1	基于覆盖的互操作	114
7.4.2	基于负载均衡或业务需求的切换	114
7.4.3	联合传输	114
7.5	LTE FDD/TDD 融合组网中的互操作方案	114
7.5.1	空闲态重选	114
7.5.2	连接态互操作	116
7.6	小结	118
	参考文献	118
第 8 章	TD-LTE 无线网络优化	119
8.1	TD-LTE 无线网络优化的主要内容	119
8.2	LTE 无线网络优化分析手段	120
8.2.1	传统路测 (DT) 和拨打测试 (CQT)	121
8.2.2	基于扫频仪测试数据的网络结构分析	121
8.2.3	基于网管指标的网络优化	122
8.2.4	基于全量数据的优化分析系统	125
8.3	自组织技术在 LTE 网络优化中的应用	130
8.3.1	自组织技术的驱动力及概念	130
8.3.2	网络自优化	134
8.4	小结	142

第9章 CSFB 及数据业务多网互操作参数配置	143
9.1 概述	143
9.2 CSFB 方案及参数配置	143
9.2.1 CSFB 基本方案及参数配置	144
9.2.2 CSFB 简化方案及参数配置	146
9.2.3 CSFB 复杂方案说明	146
9.3 数据业务多网互操作方案及参数配置	146
9.3.1 空闲态小区重选参数配置	147
9.3.2 重定向参数配置	150
9.3.3 切换参数配置	153
9.4 小结	153
第10章 TD-LTE 基站及终端产品设计与实现	154
10.1 TD-LTE 基站产品设计需求及挑战	154
10.1.1 TD-LTE 基站产品设计需求	154
10.1.2 TD-LTE 基站设计面临的挑战	156
10.2 TD-LTE 基站产品类型	158
10.2.1 TD-LTE 基站产品分类及主要应用场景	158
10.2.2 基站站型特点及主要指标	159
10.3 TD-LTE 基站产品设计关键问题	160
10.3.1 BBU 产品设计需求以及实现中的关键问题	161
10.3.2 RRU 产品设计需求以及实现中的关键问题	163
10.3.3 Ir 接口设计需求以及实现中的关键问题	165
10.4 TD-LTE 终端产品设计	166
10.4.1 终端形态	167
10.4.2 终端能力	170
10.4.3 LTE 多模多频段终端	171
10.4.4 LTE 终端语音解决方案	176
10.4.5 LTE-Advanced 对终端的挑战	178
10.5 小结	179
参考文献	180

第 1 章

TD-LTE 频率及使用方案

频率是不可再生的稀缺资源，是移动通信技术应用的基础。本章详细介绍全球 TDD（Time Division Duplexing，时分双工）频率的规划与使用情况，以及不同场景下的频率使用方案，包括室外宏基站间、室外宏基站与室外小基站间、室外宏基站与室内基站间的频率使用方案，分析和对比不同的频率使用方案对 TD-LTE（Time Division Long Term Evolution，时分长期演进）室外组网性能的影响，并结合不同的场景和频率资源，给出了 TDD 频率使用的建议。

1.1 全球 TDD 频谱分配

移动通信服务的核心是保障用户随时随地接入网络并获得需要的服务。语音时代如此，移动互联网时代更是如此。良好的网络覆盖和充足的带宽，对实现业务的连续性、体验的一致性和保障用户体验非常关键。通常，传播特性较好的低频段的带宽有限，主要适合提供基础覆盖（2GHz 频段以下，尤其是 1GHz 以下频段）；传播特性较差的高频段的频谱较为充足，主要适合提供容量扩展（2GHz 频段以上）。因此，将低频段和高频段结合使用是保障业务发展和用户体验的重要手段之一。

根据频率使用方式的不同，LTE 包含 FDD（Frequency Division Duplexing，频分双工）和 TDD 两种制式，其中 FDD 则使用对称频率，即上行和下行使用不同的频率，二者之间预留一定的双工间隔，而 TD-LTE 使用非对称的频率，即上行和下行共享同一频率，通过不同的时间来区分，上下行之间预留一定的保护和转换时间。

国际标准化组织 3GPP（3rd Generation Partnership Project，第三代合作伙伴计划）为 LTE 定义了 64 个工作频段，其中，频段 1~32 为 FDD 频段，频段 33~64 为 TDD 频段。具体的频段编号、带宽、频率范围情况如图 1-1 所示。主要移动通信业务发达区域或国家的 LTE 频率情况如下。

- 欧洲：已规划 LTE 频率 1 025MHz，其中，FDD 有 540MHz，TDD 有 485MHz；FDD 频段有 Band 1、3、7、8、20；TDD 频段为 Band 33、34、38、42、43¹。
- 美国：已规划 LTE 频率 611MHz，其中，FDD 有 417MHz，TDD 有 194MHz；FDD

¹ 欧洲 3400~3600MHz 存在 FDD、TDD 两种，分别对应 Band22 和 Band42，文中仅考虑了 TDD 规划方式。

频段有 Band 2、4、5、12、13、14、17、23、24、25、29、30（部分频段正在 refarming 存在重叠）；TDD 频段为 Band 41。

频段编号	制式	频谱数量	上行 (MHz)	下行 (MHz)
Band1	FDD	2×60MHz	1920~1980	2110~2170
Band2	FDD	2×60MHz	1850~1910	1920~1990
Band3	FDD	2×75MHz	1710~1785	1805~1880
Band4	FDD	2×45MHz	1710~1755	2110~2155
Band5	FDD	2×25MHz	824~849	869~894
Band6	FDD	2×10MHz	830~840	875~885
Band7	FDD	2×70MHz	2500~2570	2620~2690
Band8	FDD	2×35MHz	880~915	925~960
Band9	FDD	2×35MHz	1749.9~1784.9	1844.9~1879.9
Band10	FDD	2×60MHz	1710~1770	2110~2170
Band11	FDD	2×25MHz	1427.9~1452.9	1475.9~1500.9
Band12	FDD	2×18MHz	698~716	728~746
Band13	FDD	2×10MHz	777~787	746~756
Band14	FDD	2×10MHz	788~798	758~768
Band17	FDD	2×12MHz	704~716	734~746
Band18	FDD	2×15MHz	815~830	860~875
Band19	FDD	2×15MHz	830~845	875~890
Band20	FDD	2×30MHz	832~862	791~821
Band21	FDD	2×15MHz	1447.9~1462.9	1495.9~1510.9
Band22	FDD	2×80MHz	3410~3490	3510~3590
Band23	FDD	2×20MHz	2000~2020	2180~2200
Band24	FDD	2×34MHz	1626.5~1660.5	1525~1559
Band25	FDD	2×65MHz	1850~1915	1930~1995
Band26	FDD	2×35MHz	814~849	859~894
Band27	FDD	2×17MHz	807~824	852~869
Band28	FDD	2×45MHz	703~748	758~803
Band29	FDD	11MHz	N/A	717~728
Band30	FDD	2×10MHz	2305~2315	2350~2360
Band31	FDD	2×5MHz	452.5~457.5	462.5~467.5
...				
Band33	TDD	20MHz	1900~1920	1900~1920
Band34	TDD	15MHz	2010~2025	2010~2025
Band38	TDD	50MHz	2570~2620	2570~2620
Band39	TDD	40MHz	1880~1920	1880~1920
Band40	TDD	100MHz	2300~2400	2300~2400
Band41	TDD	194MHz	2496~2690	2496~2690
Band42	TDD	200MHz	3400~3600	3600~3800
Band43	TDD	200MHz	3600~3800	3600~3800
Band44	TDD	100MHz	703~803	703~803

图 1-1 国际标准化组织 3GPP 定义的 LTE 工作频段

- 日本：已规划 LTE 频率 540MHz，其中，FDD 有 400MHz，TDD 有 140MHz；FDD 频段有 Band 1、3、8、11、18、19、21、28；TDD 频段为 Band 34、39、41²。

- 韩国：已规划 LTE 频率 350MHz，其中，FDD 有 260MHz，TDD 有 90MHz；FDD 频段有 Band 1、3、8、26；TDD 频段为 Band 40。

- 澳大利亚：已规划 LTE 频率 758MHz，其中，FDD 有 590MHz，TDD 有 168MHz；FDD 频段有 Band 1、3、5、7、8、28，TDD 频段为 Band 33、38、40。

- 巴西：已规划 LTE 频率 543MHz，其中，FDD 有 493MHz，TDD 有 50MHz；FDD 频段有 Band 1、2、3、5、7、8；TDD 频段为 Band 38。

- 中国：已规划 LTE 频率 687MHz，其中，FDD 有 342MHz，TDD 有 345MHz；FDD 频段有 Band 1、3、8（以及 2×10MHz 的 CDMA 频率），TDD 频段为 Band 34、39、40、41。

2011 年 9 月，沙特运营商 Mobily 率先在全球商用 TD-LTE，正式启动 TD-LTE 全球商用进程。据全球移动设备供应商协会（The Global mobile Suppliers Association，GSA）统计，截至 2013 年 10 月，全球范围内已有澳大利亚运营商 NBN Co. 和 Optus、巴西运营商 On Telecomunicacoes 和 Sky Brasil Services、加拿大运营商 Sasktel、中国香港运营商 China Mobile Hong Kong、印度运营商 Bharti Airtel、日本运营商 Softbank、尼日利亚运营商 Spectranet、阿曼运营商 Omantel、波兰运营商 Aero2、俄罗斯运营商 Megafon、MTS 和 Vainakh Telecom、沙特运营商 Mobily 和 STC、南非运营商 Telkom Mobile、西班牙运营商 COTAMurcia4G、斯里兰卡运营商 Dialog Axiata、瑞典运营商 3 Sweden 和乌干达运营商 MTN、英国运营商 UK Broadband、美国 Sprint，共 23 个商用 TD-LTE 网络，覆盖亚洲、欧洲、北美、南美、大洋洲的 18 个国家。³

另外，对于同时拥有 TDD 和 FDD 频率的运营商，同时部署 LTE FDD 和 TD-LTE 网络已经成为一种趋势，如中国移动香港有限公司、Hi3G（瑞典）、Omantel、Aero2、Megafon、MTS、STC、Dialog、Axiata 和 Sprint 等都采用了这种部署方式。

1.2 室外宏基站间频率使用方案

TD-LTE 系统可以灵活支持 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz 的传输带宽，同时结合载波聚合功能，可以支持多种带宽的灵活聚合。

LTE 系统的下行链路和上行链路分别采用了 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, 正交频分多址) 和 SC-FDMA (Single-carrier Frequency Division Multiple Access, 单载波频分多址) 技术，同一时刻多个用户可使用不同频率的子载波，系统可以为各个用户分别分配信道条件较好的子载波，从而可以获得频率选择性增益，提高小区吞吐量。一般来讲，带宽越大，这种频率选择性增益也越高。同时，对于单个用户来说，系统带宽越宽，用户能够感受到的数据速率越高，用户的体验就越好。因此，在频

² 日本 LTE FDD 和 TDD 部分频段实际只规划了 3GPP 标准频段中的部分频率，以实际规划频率为准计算。

³ 频率使用和网络建设是动态变化的，最新信息可登录 GTI 官方网站 www.lte-tdd.org 进行查询。

谱资源允许的情况下，小区频点带宽可以采用较大的配置，如 20MHz。

运营商拥有的频率资源情况以及建网目标，将决定运营商的网络部署实际采用何种频率使用方法。对于 LTE，可以采用传统的同频和异频组网。还可以采用移频组网。不同的频率使用方式带来的实际网络性能也不同。本节将详细介绍和对比不同的频率使用方式及其对网络性能的影响。

1.2.1 传统的频率使用方案

典型的频率使用方法有以下两种。

- **同频组网**：即一个网络内的所有小区使用相同的频点。同频组网时，小区间干扰较大，特别是处于小区边缘的用户受同频干扰较严重，吞吐量较低；其优点在于此种方案的整体频率利用率较高。对于同频组网，可以进一步采用 ICIC（Inter-Cell Interference Coordination，小区间干扰协调）等技术来降低或规避小区边缘的同频干扰（ICIC 将在第 3 章详细介绍）。

- **异频组网**：即小区间采用不同的频点。例如，一个基站的 3 个小区采用不同的频点。这种频率使用方式的优点是小区间干扰较小，网络规划较简单，缺点是整体频率利用率较低。异频组网适用于室外可用总带宽较多或者建网初期的情况，各小区可以使用不同的 20MHz 带宽，来获得较高的单小区平均及边缘吞吐量。

两种频率资源使用方案分别如图 1-2 和图 1-3 所示。

小区 A、B、C 均使用同一
20MHz 频率

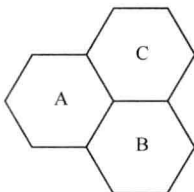
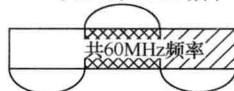


图 1-2 同频组网示意

小区 C 的 20MHz 频率



小区 A 的 20MHz 频率 小区 B 的 20MHz 频率

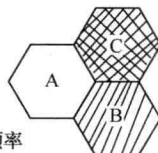


图 1-3 异频组网示意（以频率复用因子 3 为例）

1.2.2 移频组网（FSFR）方案

移频组网（Frequency Shifted Frequency Reuse, FSFR）方案^[1]打破了沿袭 2G、3G 的传统的相邻小区频点设置“要么完全频段重叠”、“要么完全频段隔离”的思路。为了更通俗易懂地阐述本方案，下面以 40MHz 总带宽为例进行说明。

40MHz 带宽时，FSFR 频率分配方案如图 1-4 所示：把 40MHz 带宽分成 3 个两两之间部分重叠的 20MHz 子带，然后把 3 个子带分别分给网络中的小区。在此基础上，小区负载较轻时，各小区优先使用自己独占或相对独占的频带资源；在负载较重时，每个小区都可以使用各自分得的 20MHz 带宽，此时，还可以考虑为小区边缘用户分配“独占”频带以避免干扰（相当于在此基础上还实现了 ICIC）。

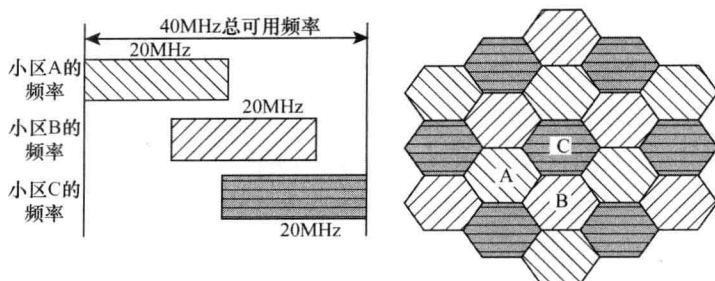


图 1-4 40MHz 带宽 FSFR 频率分配示意 (S1/1/1 典型方式)

为了保证 FSFR 组网方案的部署和应用, 应注意以下两个问题。

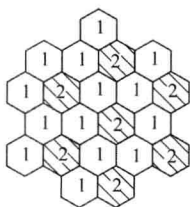
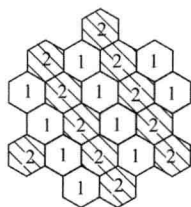
- 为确保部分异频组网能正常工作, 基站的射频带宽需覆盖整个异频组网所需的工作频段, 该射频带宽通常大于系统单载波带宽 (TD-LTE Release8 标准规定最大系统带宽为 20MHz)。

- 3GPP 在射频规范里^[2]规定了载波中心频点必须是 100kHz 的整数倍, 因此, 部分异频组网时各个小区的中心频点之间的偏移量也必须是 100kHz 的整数倍。

1.2.3 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网方案

$2 \times 20\text{MHz}$ 异频组网存在多种不同的方案, 图 1-5 所示是现有的一种传统的 $2 \times 20\text{MHz}$ 异频组网方案。在该种方案中, 不同频点小区的受扰程度不同, 频点 2 小区的第一圈 6 个邻区中不存在同频小区, 而频点 1 小区的第一圈 6 个邻区中存在 3 个同频和 3 个异频小区, 因而频点 1 小区受到的干扰将高于频点 2 小区。用户驻留在不同的频点时, 将有较大的业务体验差异。

$2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网方案采用更加均匀的频率复用方案, 如图 1-6 所示。在该方案中, 每个小区均具有相同数量的同频和异频邻区, 各个频点的受扰程度较为均匀, 用户在不同频点的业务体验也比较均衡。

图 1-5 传统 $2 \times 20\text{MHz}$ 组网示意图 1-6 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网示意

1.2.4 不同频率使用方案的性能比较

下面以 40MHz 总带宽和 S1/1/1 部署方式为例, 对 20MHz 同频组网、40MHz FSFR 组网、2 频点均匀复用的 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网进行比较。

在 3 种方案中, 每个用户最大只能使用一个 20MHz 的载波, 因此 3 种方案的下行单用户的理论峰值速率相同。

3 种方案的小区平均吞吐量、平均频谱效率、边缘平均吞吐量、边缘频谱效率的测试比较结果见表 1-1。测试在 19 个 TD-LTE 基站的城区连片区域内进行, 频点为 2.6GHz, 下行 70% 的频率资源上模拟加扰。从表中可以看出, 相比 20MHz 同频组网方式, FSFR 无论对于小区平均吞吐量还是对于小区边缘吞吐量都能带来可观的增益, 但是相应的代价是频谱资源利用率有所下降。

表 1-1 40MHz FSFR 和 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网与 20MHz 同频组网方式性能测试比较

频率使用方案	平均吞吐量	平均 频谱效率	边缘平均 吞吐量	边缘平均 频谱效率
20MHz 同频组网	100%	100%	100%	100%
40MHz FSFR 组网	170%~180%	85%~90%	202%	101%
$2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网	175%~186%	87%~93%	230%	115%

另外, 40MHz FSFR 整体测试性能和频谱效率与 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网接近, 在网络初期容量需求较少时, 可考虑采用 $2 \times 20\text{MHz}$ 受扰均匀异频组网或 40MHz FSFR 方案。而当获得的频率为 30MHz、35MHz、45MHz、50MHz 时, 因为 $n \times 20\text{MHz}$ 的异频组网无法满足每小区使用互不重叠的 20MHz 带宽, 此时可采用 FSFR 组网。

实际网络应采用何种频率方案进行组网, 需综合考虑所获得的频率情况、业务发展需要等因素来确定。

1.3 室外宏基站与室外小基站间频率使用方案

根据 1.1 节的介绍, 国内 TD-LTE 现阶段可使用的频段较高, 不过, 当用于密集城区覆盖的时候, 由于站址建设条件、网规网优能力等因素的限制, 部分区域将面临 TD-LTE 信号覆盖不足的问题; 而另一方面, 即使在信号覆盖较好的区域, 当业务量需求较高时, 需增加频点或者站点数量, 此时还将面临高昂的设备成本和施工成本问题。对于上述两种场景, 采用小基站(基站总发射功率低于 10W 的一体化基站, 包括微站、微微站等基站类型)将是一种很好的解决覆盖补盲及容量扩展的方案。小基站与室外宏基站总体上存在同频、异频两种频率规划方案, 与应用场景紧密相关。

1. 室外补盲场景

当小基站与宏基站同频时, 需重点关注小基站和宏基站间的同频干扰问题。由于小基站建设难度低于宏基站, 一般可更靠近补盲区域, 区域内小基站信号强度将明显高于周围宏基站信号。但当小基站覆盖控制不好时, 容易在宏基站边缘产生新的同频干扰区域, 降低宏基站小区边缘的信号质量。可通过调整小基站天馈、功率等参数控制信号覆盖范围, 或者通过宏基站和小基站联合规划、优化等手段, 降低宏基站与小基站间的同