

浓缩、精练、难度适中  
讲述中国人自己的4G技术

“十二五”  
国家重点图书出版规划项目

TD-LTE: Technical Standards and Practice 4G 丛书

# TD-LTE

## 技术标准与实践

□ 高峰 高泽华 丰雷 焦卫平 张兵 编著

“十二五”  
国家重点图书出版规划项目

TD-LTE: Technical Standards and Practice 4G 丛书

# TD-LTE

## 技术标准与实践

□ 高峰 高泽华 丰雷 焦卫平 张兵 编著

人民邮电出版社  
北 京

# 前言

2000 年, TD-SCDMA 标准正式被 ITU 采纳为国际第三代移动通信标准, 经过几年的发展以及 2009 年、2010 年的规模化商用部署, TD-SCDMA 已经在我国基本实现了全国性的覆盖。作为其后续演进技术, TD-LTE 的商用化也进展顺利。目前, 我国正在加紧进行 TD-LTE 内场和外场测试, 并于 2011 年年初启动了上海、杭州、南京、广州、深圳、厦门 6 个城市的 TD-LTE 规模试验网建设。

作为 TD-SCDMA 的演进技术, TD-LTE 将进一步提升 TD 产业的市场竞争力和国际化发展能力, 自 2007 年年底 TD-LTE 标准提交以来, TD-LTE 的研发和产业化正在稳步进行, TD-LTE 系统、芯片、终端、测试仪表等产业链各个环节的研发已经全面展开, TD-LTE 完成了概念验证测试、实验室单系统的测试, 并且由多个系统厂家参加了 TD-LTE 的外场测试。短短的两年时间, TD-LTE 已经成为国际主流的新一代通信标准之一, 获得了国内外产业界各方的支持。

本书介绍了 TD-LTE 的标准及技术, 侧重无线方面且兼顾工程, 内容全面并且深入浅出, 适合对 TD-LTE 感兴趣的专业人士、工程技术人员以及通信信息领域大专院校学生进行阅读学习。全书共 10 章, 分为 5 部分, 安排如下: 第一部分为背景介绍, 包括第 1~2 章, 对 TD-LTE 的基本概念以及 TD-LTE 系统网络结构和接口进行基本介绍; 第二部分为第 3 章, 讲解 TD-LTE 的关键技术, 包括双工方式、多址方式、多天线技术等; 第三部分阐述空中接口理论, 是本书的重点, 涉及第 4~7 章, 对 TD-LTE 空中接口的协议栈结构、物理层规范及基本过程、移动性和无线资源管理进行详细介绍; 第四部分阐述 TD-LTE 网络的部署, 同为本书的重点, 主要讲述 TD-LTE 网络的工程规划方法及在室内建设 TD-LTE 分布系统的解决方法, 包括第 8~9 章; 第五部分内容为第 10 章, 讲解 TD-LTE 的后续演进技术 TD-LTE-Advanced, 并简单介绍其性能需求及关键技术。

本书由高峰、高泽华、丰雷、焦卫平、张兵等策划与编著, 文柳对全书进行统稿。高峰编写第 4、5、6、7 章, 高泽华编写第 1、2 章, 丰雷编写第 3、9 章, 焦卫平编写第 8 章, 张兵编写第 10 章。在本书编写过程中, 北京邮电大学通信网中心刘杰、王莉、余文萍、邹方曼、吴震宇、刘鑫、曹健、欧阳红升、阎龙、曾潇、严勤文协助进行全书资料收集和整理工作, 并完成对全书的文字校对和部分内容编写工作, 对其辛勤劳动表示感谢。同时, 本书编写过程中得到了中国移动通信集团设计院有限公司北京分公司张明、宗海峰、林海涛、赵建军、刘鲲汉等技术专家的支持和帮助, 他们对本书内容的取舍、主次均有启发和帮助, 在此表示

衷心的感谢。

本书作者分别来自北京邮电大学信息与通信工程学院通信网中心、网络与交换国家重点实验室及中国移动通信集团设计院有限公司北京分公司，在书稿撰写过程中得到了相关单位同事、领导的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限以及编写时间仓促，加之 TD-LTE 网络技术发展日新月异，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 8 月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 TD-LTE 系统概述               | 1  |
| 1.1 移动通信系统的发展                   | 1  |
| 1.1.1 第一代移动通信系统                 | 1  |
| 1.1.2 第二代移动通信系统                 | 2  |
| 1.1.3 第三代移动通信系统                 | 2  |
| 1.1.4 第四代移动通信系统                 | 3  |
| 1.2 移动通信标准化组织                   | 4  |
| 1.2.1 ITU                       | 4  |
| 1.2.2 3GPP                      | 5  |
| 1.2.3 3GPP2                     | 5  |
| 1.2.4 CCSA                      | 6  |
| 1.3 TD-LTE 技术特点                 | 6  |
| 1.3.1 TD-LTE 系统主要<br>技术特点       | 6  |
| 1.3.2 TD-LTE 与 FDD-LTE<br>系统的对比 | 9  |
| 1.4 TD-LTE 标准的演进                | 9  |
| 1.4.1 概述                        | 9  |
| 1.4.2 TD-LTE 标准的提出              | 9  |
| 1.4.3 TD-LTE R8 版本              | 10 |
| 1.4.4 TD-LTE R9 版本              | 10 |
| 1.4.5 TD-LTE 的未来演进              | 10 |
| 参考文献                            | 11 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 2 章 TD-LTE 网络结构和<br>接口 | 12 |
| 2.1 TD-LTE 系统结构          | 12 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| 2.2 空中接口协议栈     | 13 |
| 2.2.1 控制平面协议    | 13 |
| 2.2.2 用户平面协议    | 14 |
| 2.3 S1 接口协议栈    | 15 |
| 2.3.1 S1 接口用户平面 | 15 |
| 2.3.2 S1 接口控制平面 | 15 |
| 2.3.3 主要功能      | 16 |
| 2.4 X2 接口协议栈    | 16 |
| 2.4.1 X2 接口用户平面 | 16 |
| 2.4.2 X2 接口控制平面 | 17 |
| 2.4.3 主要功能      | 17 |
| 参考文献            | 17 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 3 章 TD-LTE 系统关键技术         | 18 |
| 3.1 TDD 双工方式                | 18 |
| 3.2 多址传输方式                  | 19 |
| 3.2.1 下行多址传输                | 19 |
| 3.2.2 上行多址传输                | 20 |
| 3.3 MIMO 技术                 | 22 |
| 3.3.1 发射分集                  | 22 |
| 3.3.2 波束赋形<br>(Beamforming) | 25 |
| 3.3.3 空时预编码                 | 28 |
| 3.3.4 下行多用户 MIMO            | 31 |
| 3.3.5 上行多用户 MIMO            | 33 |
| 3.4 AMC 链路自适应技术             | 34 |
| 3.4.1 信道调制和编码技术             | 34 |
| 3.4.2 AMC 基本过程              | 34 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.5 HARQ 混合自动重传 .....  | 35 |
| 3.5.1 HARQ 类型 .....    | 35 |
| 3.5.2 HARQ 基本过程 .....  | 37 |
| 3.6 小区干扰抑制和协调 .....    | 39 |
| 3.6.1 小区间干扰随机化 .....   | 39 |
| 3.6.2 小区间干扰消除 .....    | 40 |
| 3.6.3 小区间干扰协调/回避 ..... | 40 |
| 参考文献 .....             | 42 |

## 第 4 章 TD-LTE 空中接口

|                        |    |
|------------------------|----|
| 协议规范 .....             | 43 |
| 4.1 空中接口结构概述 .....     | 43 |
| 4.2 信道的定义和映射关系 .....   | 43 |
| 4.2.1 物理信道 .....       | 44 |
| 4.2.2 传输信道 .....       | 44 |
| 4.2.3 逻辑信道 .....       | 45 |
| 4.2.4 相互映射关系 .....     | 46 |
| 4.3 媒体接入控制层 .....      | 47 |
| 4.3.1 MAC 层功能概述 .....  | 47 |
| 4.3.2 MAC 层关键过程 .....  | 48 |
| 4.4 无线链路控制层 .....      | 55 |
| 4.4.1 RLC 层功能概述 .....  | 55 |
| 4.4.2 服务模式 .....       | 56 |
| 4.5 分组数据汇聚层 .....      | 61 |
| 4.5.1 PDCP 层功能概述 ..... | 61 |
| 4.5.2 数据传输过程 .....     | 63 |
| 参考文献 .....             | 68 |

## 第 5 章 TD-LTE 系统物理层

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 规范 .....                 | 69  |
| 5.1 物理层概述 .....          | 69  |
| 5.1.1 协议结构 .....         | 69  |
| 5.1.2 物理层功能 .....        | 69  |
| 5.2 TD-LTE 无线传输帧结构 ..... | 70  |
| 5.3 物理信道处理流程 .....       | 72  |
| 5.3.1 上行物理信道处理流程 .....   | 72  |
| 5.3.2 下行物理信道处理流程 .....   | 90  |
| 5.4 传输信道编码与复用 .....      | 118 |
| 5.4.1 信道编码基本过程 .....     | 118 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.4.2 上行传输信道与<br>控制信息 ..... | 129 |
| 5.4.3 下行传输信道与<br>控制信息 ..... | 132 |
| 参考文献 .....                  | 135 |

## 第 6 章 TD-LTE 系统物理层

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 基本过程 .....             | 136 |
| 6.1 小区搜索与同步 .....      | 136 |
| 6.1.1 配置同步信号 .....     | 136 |
| 6.1.2 时间同步检测 .....     | 138 |
| 6.1.3 频率同步检测 .....     | 138 |
| 6.1.4 小区同步维持 .....     | 139 |
| 6.2 随机接入 .....         | 140 |
| 6.2.1 随机接入过程 .....     | 140 |
| 6.2.2 随机接入前导序列结构 ..... | 143 |
| 6.2.3 随机接入响应鉴权 .....   | 144 |
| 6.3 功率控制 .....         | 145 |
| 6.3.1 下行功率控制 .....     | 145 |
| 6.3.2 上行功率控制 .....     | 146 |
| 参考文献 .....             | 152 |

## 第 7 章 TD-LTE 系统移动性和

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 无线资源管理 .....         | 153 |
| 7.1 移动性管理 .....      | 153 |
| 7.1.1 概述 .....       | 153 |
| 7.1.2 小区选择/重选 .....  | 153 |
| 7.1.3 小区切换 .....     | 156 |
| 7.2 RRM 无线资源管理 ..... | 164 |
| 7.2.1 概述 .....       | 164 |
| 7.2.2 资源分配 .....     | 164 |
| 7.2.3 接入控制 .....     | 167 |
| 7.2.4 负载均衡 .....     | 168 |
| 7.2.5 干扰协调 .....     | 169 |
| 参考文献 .....           | 170 |

## 第 8 章 TD-LTE 无线网络规划

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 8.1 TD-LTE 无线网络规划概述 .....       | 171 |
| 8.1.1 TD-LTE 无线网络<br>规划思想 ..... | 171 |

|       |                             |     |
|-------|-----------------------------|-----|
| 8.1.2 | TD-LTE 无线网络<br>规划特点 .....   | 172 |
| 8.2   | TD-LTE 无线网络规划流程 .....       | 175 |
| 8.3   | 网络建设需求分析 .....              | 177 |
| 8.3.1 | 基本数据采集 .....                | 177 |
| 8.3.2 | 无线网络覆盖目标 .....              | 177 |
| 8.3.3 | TD-LTE 无线网络建设<br>指标要求 ..... | 179 |
| 8.3.4 | TD-LTE 无线网络<br>建网策略 .....   | 180 |
| 8.4   | 无线网络规模估算 .....              | 180 |
| 8.4.1 | TD-LTE 无线网络<br>覆盖分析 .....   | 181 |
| 8.4.2 | TD-LTE 网络容量估算 .....         | 195 |
| 8.5   | 规划站点勘察 .....                | 198 |
| 8.5.1 | 站点勘察内容 .....                | 198 |
| 8.5.2 | 站点选址注意事项 .....              | 199 |
| 8.5.3 | 勘察数据整理 .....                | 199 |
| 8.6   | 无线网络仿真分析 .....              | 200 |
| 8.6.1 | 无线网络仿真流程 .....              | 200 |
| 8.6.2 | ANPOP 软件 .....              | 201 |
| 8.7   | 无线网络参数设计 .....              | 202 |
| 8.7.1 | TD-LTE 无线网络<br>设备配置原则 ..... | 202 |
| 8.7.2 | TD-LTE 无线网络<br>频率规划 .....   | 202 |
| 8.7.3 | TD-LTE PCI 码资源<br>规划 .....  | 205 |
| 8.7.4 | 邻区规划 .....                  | 205 |
|       | 参考文献 .....                  | 206 |

## 第 9 章 TD-LTE 室内分布

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
|       | 系统建设 .....                    | 208 |
| 9.1   | TD-LTE 室内覆盖综述 .....           | 208 |
| 9.1.1 | TD-LTE 室内分布系统<br>建设基本原则 ..... | 208 |
| 9.1.2 | TD-LTE 室内分布系统<br>建设指标要求 ..... | 208 |
| 9.2   | 室内分布系统组成 .....                | 209 |
| 9.2.1 | 室内分布系统信号源 .....               | 209 |
| 9.2.2 | 室内分布系统                        |     |

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
|       | 分布方式 .....                    | 210 |
| 9.2.3 | 室内分布系统<br>设备组成 .....          | 210 |
| 9.3   | TD-LTE 室内覆盖规划方案 .....         | 214 |
| 9.3.1 | TD-LTE 室内覆盖规划<br>思路 .....     | 214 |
| 9.3.2 | TD-LTE 室内分布系统<br>覆盖性能分析 ..... | 214 |
| 9.3.3 | TD-LTE 室内分布系统<br>容量性能分析 ..... | 216 |
| 9.3.4 | TD-LTE 与其他系统的<br>干扰分析 .....   | 217 |
| 9.4   | TD-LTE 室内覆盖解决方案 .....         | 221 |
| 9.4.1 | TD-LTE 室内建设模式 .....           | 221 |
| 9.4.2 | TD-LTE 的 3 种双路<br>建设方案 .....  | 221 |
| 9.4.3 | TD-LTE 双路室分<br>建设场景讨论 .....   | 223 |
|       | 参考文献 .....                    | 225 |

## 第 10 章 TD-LTE 的演进技术

|        |                                            |     |
|--------|--------------------------------------------|-----|
|        | TD-LTE-Advanced .....                      | 226 |
| 10.1   | IMT-Advanced .....                         | 226 |
| 10.1.1 | IMT-Advanced 背景<br>介绍 .....                | 226 |
| 10.1.2 | IMT-Advanced 技术<br>方案 .....                | 227 |
| 10.1.3 | IMT-Advanced 特性<br>要求 .....                | 228 |
| 10.2   | TD-LTE-Advanced .....                      | 229 |
| 10.2.1 | TD-LTE-Advanced 与<br>IMT-Advanced 关系 ..... | 229 |
| 10.2.2 | TD-LTE-Advanced<br>技术需求 .....              | 229 |
| 10.2.3 | TD-LTE-Advanced<br>关键技术介绍 .....            | 230 |
|        | 参考文献 .....                                 | 236 |

|           |     |
|-----------|-----|
| 缩略语 ..... | 237 |
|-----------|-----|

# 第 1 章

## TD-LTE 系统概述

### 1.1 移动通信系统的发展

现代蜂窝移动通信所具有的移动性和个人化服务特性，适应了信息时代的需要，自诞生以来都表现出旺盛的生命力和巨大的市场潜力。截止到 2010 年底，全球移动通信普及率为 76.8%，中国移动通信普及率为 64.2%，中国移动通信普及率已有巨大提高，但距世界平均水平尚有距离。

与其他技术相比，移动通信的换代特性更为明显，几乎是每十年研发一代，再十年部署运营一代，同时研发下一代。自 1968 年贝尔实验室提出蜂窝移动通信系统概念以来，移动通信已经经历了三代系统的演变，目前正处于二代与三代混合运营阶段(截止到 2011 年 7 月底，3G 渗透率为 9.4%)，并正在向着第四代系统迈进。

移动通信技术的发展历程，回顾起来可以分为 4 个阶段，见表 1-1。

表 1-1 移动通信系统的发展历程

| 1G                                                                                                  | 2G                                                                                                                                   |                                         | 3G                                                                                                                           | 3.9G/4G                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模拟通信                                                                                                | 数字通信                                                                                                                                 |                                         | 多媒体业务                                                                                                                        | 宽带移动互联网                                                                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• 模拟调制技术</li><li>• 小区制</li><li>• 硬切换</li><li>• 网络规划</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 数字调制技术</li><li>• 数据压缩</li><li>• 软切换</li><li>• 差错控制</li><li>• 短信息</li><li>• 高质量语音业务</li></ul> |                                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• 多媒体业务</li><li>• &gt;&gt;100kbit/s 数据速率</li><li>• 分组数据业务</li><li>• 动态无线资源管理</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 随时随地的无线接入</li><li>• 无线业务提供</li><li>• 网络融合与重用</li><li>• 多媒体终端</li><li>• &gt;&gt;10Mbit/s 数据速率</li><li>• 基于全 IP 核心网</li></ul> |
| AMPS<br>TACS<br>NMT-450<br>NTT                                                                      | GSM<br>IS-136<br>PDC<br>IS-95A                                                                                                       | HSCSD/GPRS<br>IS-136+<br>EDGE<br>IS-95B | WCDMA<br>TD-SCDMA<br>CDMA 2000<br>Wibro                                                                                      | 1X EV<br>HSPA/HSPA+                                                                                                                                                 |
| kbit/s                                                                                              | 9.6~14.4kbit/s                                                                                                                       |                                         | (1.144~2)~10Mbit/s                                                                                                           |                                                                                                                                                                     |
|                                                                                                     |                                                                                                                                      |                                         | ~100Mbit/s/1Gbit/s                                                                                                           |                                                                                                                                                                     |

#### 1.1.1 第一代移动通信系统

第一代移动通信技术（1G，1<sup>st</sup> Generation）是指采用蜂窝技术组网、仅支持模拟语音通信的移动电话标准，其制定于 20 世纪 80 年代，主要采用的是模拟技术和频分多址（FDMA），

Frequency Division Multiple Access)技术。以美国的高级移动电话系统(AMPS, Advanced Mobile Phone System), 英国的全接入移动通信系统(TACS, Total Access Communications System)以及日本的全向通信系统(JTACS, Japanese Total Access Communication System)为代表。各标准彼此不能兼容, 无法互通, 不能支持移动通信的长途漫游, 只能是一种区域性的移动通信系统。

第一代移动通信系统的主要特点是:

- ① 模拟语音直接调频;
- ② 多信道共用和 FDMA 接入方式;
- ③ 频率复用的蜂窝小区组网方式和越区切换;
- ④ 无线信道的随机变参特征使无线电波受多径快衰落和阴影慢衰落的影响;
- ⑤ 环境噪声和多类电磁干扰的影响;
- ⑥ 无法与固定电信网络迅速向数字化推进相适应, 数据业务很难开展。

### 1.1.2 第二代移动通信系统

由于模拟移动通信系统本身的缺陷, 如频谱效率低、网络容量有限、业务种类单一、保密性差等, 已使得其无法满足人们的需求。20 世纪 90 年代初期开发了基于数字技术的移动通信系统——数字蜂窝移动通信系统, 即第二代移动通信系统(2G, 2<sup>nd</sup> Generation)。第二代移动通信系统主要采用时分多址(TDMA, Time Division Multiple Access)技术或者是窄带码分多址(CDMA, Code Division Multiple Access)技术。最具代表性的是全球移动通信系统(GSM, Global System of Mobile communication)和 CDMA 系统, 这两大系统在目前世界移动通信市场上占据着重要的份额。

GSM 是由欧洲提出的第二代移动通信标准, 较其他以前标准最大的不同是其信令和语音信道都是数字式的。CDMA 移动通信技术是由美国提出的第二代移动通信系统标准, 其最早被军用通信所采用, 直接扩频和抗干扰性是其突出的特点。第二代通信系统的核心网仍然以电路交换为基础, 因此, 语音业务仍然是其主要承载的业务, 随着各种增值业务的不断增长, 二代系统也可以传输低速的数据业务。目前第二代移动通信系统正在被广泛地使用。

第二代数字移动通信有下述特征。

- ① 有效利用频谱。数字方式比模拟方式能更有效地利用有限的频谱资源。随着更好的语音信号压缩算法的推出, 每信道所需的传输带宽越来越窄。
- ② 高保密性。模拟系统使用调频技术, 很难进行加密, 而数字调制是在信息本身编码后再进行调制, 故容易引入数字加密技术。
- ③ 可灵活地进行信息变换及存储。

### 1.1.3 第三代移动通信系统

尽管基于语音业务的移动通信网已经足以满足人们对于语音移动通信的需求, 但是随着社会经济的发展, 人们对数据通信业务的需求日益增高, 已不再满足以语音业务为主的移动通信网所提供的服务。第三代移动通信系统(3G, 3<sup>rd</sup> Generation)是在第二代移动通信技术基础上进一步演进, 以宽带 CDMA 技术为主, 并能同时提供语音和数据业务。

3G 与 2G 的主要区别是在传输语音和数据速率上的提升, 它能够在全球范围内更好地实现无线漫游, 并处理图像、音乐、视频流等多种媒体形式, 提供包括网页浏览、电话会议、

电子商务等多种信息服务, 同时也要考虑与已有第二代系统的良好兼容性。目前国内支持国际电联确定的 3 个无线接口标准, 分别是中国电信运营的码分多址接入系统 2000 (CDMA2000, Code Division Multiple Access 2000), 中国联通运营的宽带码分多址 (WCDMA, Wideband Code Division Multiple Access) 和中国移动运营的时分同步码分多址 (TD-SCDMA, Time-Division Synchronous Code Division Multiple Access)。

TD-SCDMA 由我国信息产业部电信科学技术研究院提出, 采用不需配对频谱的时分双工 (TDD, Time Division Duplexing) 工作方式, 以及 FDMA/TDMA/CDMA 相结合的多址接入方式, 载波带宽为 1.6MHz, 对支持上下行不对称业务有优势。TD-SCDMA 系统还采用了智能天线、同步 CDMA、自适应功率控制、联合检测及接力切换等技术, 使其具有频谱利用率高、抗干扰能力强、系统容量大等特点。WCDMA 源于欧洲, 同时与日本几种技术相融合, 是一个宽带直扩码分多址 (DS-CDMA, Direct Sequence CDMA) 系统。其核心网是基于演进的 GSM/通用无线分组业务 (GPRS, General Packet Radio Service) 网络技术, 载波带宽为 5MHz, 可支持 384kbit/s~2Mbit/s 不等的数据传输速率。在同一传输信道中, WCDMA 可以同时提供电路交换和分组交换的服务, 提高了无线资源的使用效率。WCDMA 支持同步/异步基站运行模式、采用上下行快速功率控制、下行发射分集等技术。CDMA2000 由高通公司为主导提出, 是在 IS-95 基础上的进一步发展, 分为两个阶段: CDMA2000 1xEV-DO (Data Optimized) 和 CDMA2000 1xEV-DV (Data and Voice)。CDMA2000 的空中接口保持了许多 IS-95 空中接口设计的特征, 为了支持高速数据业务, 还提出了许多新技术: 前向发射分集, 前向快速功率控制, 增加了快速寻呼信道、上行导频信道等。

第三代移动通信具有如下基本特征。

- ① 具有更高的频谱效率、更大的系统容量。
- ② 能提供高质量业务, 并具有多媒体接口: 快速移动环境, 最高速率达 144kbit/s; 室外到室内或步行环境, 最高速率达 384kbit/s; 室内环境, 最高速率达 2Mbit/s。
- ③ 具有更好的抗干扰能力, 这是由于其宽带特性, 可以通过扩频通信抵抗干扰。
- ④ 支持频间无缝切换, 从而支持多层次小区结构。
- ⑤ 便于 2G 向 3G 的过渡、演进, 并与固网兼容。

#### 1.1.4 第四代移动通信系统

尽管目前 3G 的各种标准和规范已冻结并获得通过, 但 3G 系统仍存在很多不足, 如采用电路交换, 而不是纯 IP 方式; 最大传输速率达不到 2Mbit/s, 无法满足用户高带宽要求; 多种标准难以实现全球漫游等。正是由于 3G 的局限性推动了人们对下一代移动通信系统——4G (4<sup>th</sup> Generation) 的研究和期待。第四代移动通信系统可称为广带接入和分布式网络, 其网络结构将是一个采用全 IP 的网络结构。4G 网络采用许多关键技术来支撑, 包括: 正交频分复用 (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 技术, 多载波调制技术, 自适应调制和编码 (AMC, Adaptive Modulation and Coding) 技术, 多输入多输出 (MIMO Multiple Input Multiple Output) 和智能天线技术, 基于因特网协议 (IP, Internet Protocol) 的核心网, 软件无线电技术以及网络优化和安全性等。另外, 为了与传统的网络互联需要用网关建立网络的互联, 因此 4G 将是一个复杂的多协议网络。

第四代移动通信系统具有如下特征。

① 传输速率更快。对于大范围高速移动用户（250km/h）数据速率为 2Mbit/s；对于中速移动用户（60km/h）数据速率为 20Mbit/s；对于低速移动用户（室内或步行者），数据速率为 100Mbit/s。

② 频谱利用效率更高。4G 在开发和研制过程中，使用和引入许多功能强大的突破性技术，无线频谱的利用比第二代和第三代系统有效得多，而且速度相当快，下载速率可达到 5~10Mbit/s。

③ 网络频谱更宽。每个 4G 信道将会占用 100MHz 或是更多的带宽，而 3G 网络的带宽则为 5~20MHz。

④ 容量更大。4G 将采用新的网络技术（如空分多址技术等）来极大地提高系统容量，以满足未来大信息量的需求。

⑤ 灵活性更强。4G 系统采用智能技术，可自适应地进行资源分配，采用智能信号处理技术对信道条件不同的各种复杂环境进行信号的正常收发。另外，用户可使用各式各样的设备接入到 4G 系统。

⑥ 实现更高质量的多媒体通信。4G 网络的无线多媒体通信服务将包括语音、数据、影像等，大量信息通过宽频信道传送出去，让用户可以在任何时间、任何地点接入到系统中，因此 4G 也是一种实时的、宽带的、无缝覆盖的多媒体移动通信。

⑦ 兼容性更平滑。4G 系统应具备全球漫游，接口开放，能跟多种网络互联，终端多样化以及能从第二代平稳过渡等特点。

⑧ 通信费用更加便宜。

---

## 1.2 移动通信标准化组织

### 1.2.1 ITU

ITU——国际电信联盟，英文全称是：International Telecommunications Union，简称国际电联。国际电信联盟是于 1865 年成立的制定国际电信标准的专门机构，也是联合国机构中历史最长的一个国际组织。

ITU 的宗旨是：维持和扩大国际合作，以改进和合理地使用电信资源；促进技术设施的发展及其有效地运用，以提高电信业务的效率，扩大技术设施的用途，并尽量使公众普遍利用，协调各国行动。ITU 的原组织有全权代表会、行政大会、行政理事会和 4 个常设机构：总秘书处，国际电报电话咨询委员会（CCITT，International Consultative Committee on Telecommunications and Telegraph），国际无线电咨询委员会（CCIR，International Radio Consultative Committee），国际频率登记委员会（IFRB，International Frequency Registration Board）。CCITT 和 CCIR 在 ITU 常设机构中占有很重要的地位，随着技术的进步，各种新技术、新业务不断涌现，它们相互渗透、相互交叉，已不再有明显的界限。如果 CCITT 和 CCIR 仍按原来的业务范围分工和划分研究组，已经不能准确地反映电信技术的发展现状和客观要求。1993 年 3 月 1 日，ITU 第一次世界电信标准大会（WTSC-93）在芬兰首都赫尔辛基隆重召开。ITU 的改革首先从机构上进行，对原有的 3 个机构 CCITT、CCIR、IFRB 进行了改组，取而代之的是电信标准部门（TSS，即 ITU-T）、无线电通信部门（RS，即 ITU-R）和电信发展部门（TDS，即 ITU-D）。

电信标准部门(TSS, Telecommunication Standardization Sector): 由原来的 CCITT 和 CCIR 从事标准化工作的部门合并而成。主要职责是完成电联有关电信标准方面的目标, 即研究电信技术、操作和资费等问题, 出版建议书, 目的是在世界范围内实现电信标准化, 包括公共电信网的无线电系统互连以及实现互连所应具备的性能。

无线电通信部门(RS, Radiocommunication Sector): 核心工作是管理国际无线电频谱和卫星轨道资源。ITU-R 的主要任务也包括制定无线电通信系统标准, 确保有效使用无线电频谱, 并开展有关无线电通信系统发展的研究。此外, ITU-R 从事有关减灾和救灾工作所需无线电通信系统发展的研究, 具体内容由无线电通信研究组的工作计划予以涵盖。

电信发展部门(TDS, Telecommunication Development Sector): 成立的目的在于帮助以公平、可持续和支付得起的方式普及信息通信技术(ICT, Information and communications technology), 将作为促进加深社会和经济发展的手段。ITU-D 的主要职责是鼓励发展中国家参与电联的研究工作, 组织召开技术研讨会, 使发展中国家了解电联的工作, 尽快应用电联的研究成果; 鼓励国际合作, 向发展中国家提供技术援助, 在发展中国家建设和完善通信网。

### 1.2.2 3GPP

第三代合作伙伴计划(3GPP, The 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project)于1988年成立, 是由欧洲的 ETSI、日本的 ARIB 和 TTC、韩国的 TTA 以及美国的 T1 合作成立的通信标准化组织。3GPP 的主要工作是制订以 GSM/GPRS 核心网为基础, 通用无线陆地接入(UTRA, Universal Terrestrial Radio Access)频分双工(FDD, Frequency Division Duplexing)为 WCDMA 技术, TDD 为 TD-SCDMA 技术为无线接口的第三代技术规范。3GPP 的主要目标可分为两方面: 一是为了充分挖掘 GSM 的技术潜力, 研发了多种 GSM 改进型技术, 如通用分组无线业务(GPRS, General Packet Radio Service)和增强数据速率 GSM 演进(EDGE, Enhanced Data rates for GSM Evolution)等; 二是为了保持 3GPP 标准的长期竞争力, 3GPP 还不断地推进 UTRA 技术的增强和演进, 研发了高速下行分组接入(HSDPA, High Speed Download Packet Access)、高速上行分组接入(HSUPA, High Speed Uplink Packet Access)、演进型 HSPA(HSPA+)和演进型 UTRA(E-UTRA, Evolved UTRA)技术。

3GPP 的组织机构分为项目合作和技术规范两大职能部门。项目合作部(PCG, Project Coordination Group)是 3GPP 的最高管理机构, 负责全面协调工作; 技术规范部(TSG, Technical Specification Group)负责技术规范制定工作, 受 PCG 的管理。技术规范部(TSG)主要分为 4 个部门:

TSG GERAN (GSM/EDGE RAN): 负责 GSM/EDGE 无线接入网技术规范的制定;

TSG RAN: 负责 3GPP 除 GSM/EDGE 之外的无线接入技术规范的制定;

TSG SA (业务与系统方面): 负责 3GPP 业务与系统方面的技术规范制定;

TSG CT (核心网及终端): 负责 3GPP 核心网及终端方面的技术规范制定。

### 1.2.3 3GPP2

第三代合作伙伴计划 2(3GPP2, The 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project 2)于 1999 年 1 月成立, 由北美 TTA、日本的 ARIB、日本的 TTC、韩国的 TTA 4 个标准化组织发起, 主要工作是制定以 ANSI-41 核心网为基础, CDMA2000 为无线接口的第三代技术规范。3GPP 和

3GPP2 两者实际上存在一定竞争关系, 3GPP2 致力于以 IS-95 向 3G 过渡。

3GPP2 下设 4 个技术规范工作组: TSG-A, TSG-C, TSG-S, TSG-X, 这些工作组向项目指导委员会 (SC) 报告本工作组的工作进展情况。SC 负责管理项目的进展情况, 并进行一些协调管理工作。3GPP2 的 4 个技术工作组分别负责发布各自领域的标准, 各个领域的标准独立编号。

### 1.2.4 CCSA

中国通信标准化协会 (CCSA, China Communications Standards Association) 于 2002 年 12 月 18 日在北京正式成立。该协会是国内企事业单位自愿联合组织起来的, 经业务主管部门批准, 国家社团登记管理机构登记, 开展通信技术领域标准化活动的非营利性法人社会团体。协会采用单位会员制, 广泛吸收科研、技术开发、设计单位、产品制造企业, 通信运营企业, 高等院校, 社团组织等参加。

协会的主要任务是为了更好地开展通信标准研究工作, 把通信运营企业、制造企业、研究单位、高等院校等关心标准的企事业单位组织起来, 按照公平、公正、公开的原则制定标准, 进行标准的协调、把关, 把高技术、高水平、高质量的标准推荐给政府, 把具有我国自主知识产权的标准推向世界, 支撑我国的通信产业, 为世界通信作出贡献。中国无线通信标准研究组 (CWTS 后更名为 CCSA) 于 1999 年 6 月在韩国正式签字同时加入 3GPP 和 3GPP2, 成为这两个当前主要负责第三代伙伴计划的组织伙伴。在此之前, 我国是以观察员的身份参与这两个伙伴计划的标准化活动。

## 1.3 TD-LTE 技术特点

### 1.3.1 TD-LTE 系统主要技术特点

3GPP 长期演进 (LTE, Long Term Evolution) 项目是关于 UTRA 和 UMTS 地面天线接入网 (UTRAN, UMTS Terrestrial Radio Access Network) 改进的项目, 是对包括核心网在内的全网的技术演进。LTE 也被通俗地称为 3.9G, 具有 100Mbit/s 的峰值数据下载能力, 被视作从 3G 向 4G 演进的主流技术。LTE 是一个高数据率、低时延和基于全分组的移动通信系统, 具体的目标主要包括以下内容。

① 实现灵活的频谱带宽配置, 支持 1.25~20MHz 的可变带宽。

② 在数据速率和频谱利用率方面, 实现下行峰值速率 100Mbit/s, 上行峰值速率 50Mbit/s; 频谱利用率为 HSPA 的 2~4 倍, 用户平均吞吐量为 HSPA 的 2~4 倍。

③ 提高小区边缘传输速率, 改善用户在小区边缘的业务体验, 增强 3GPP LTE 系统的覆盖性能。

④ 用户面内部 (单向) 延迟小于 5ms, 控制平面从睡眠状态到激活状态的迁移时间低于 50ms, 用户设备 (UE, User Equipment) 从待机状态到开始传输数据, 时延不超过 100ms (不包括下行寻呼时延)。

⑤ 支持增强型的多媒体广播和组播业务 (MBMS, Multimedia Broadcast Multicast Service)。

⑥ 降低建网成本，实现低成本演进。

⑦ 取消电路交换（CS，Circuit Switching）域，采用基于全分组的包交换，CS 域业务在分组交换（PS，Packet Switching）域实现，语音部分由网络电话（VoIP，Voice over Internet Protocol）实现。

⑧ 实现合理的终端复杂度，降低终端成本并延长待机时间。

⑨ 实现与 3G 和其他通信系统的共存。

TDD 模式第三代移动通信长期演进（TD-LTE，TDD-Long Term Evolution）系统为了满足 LTE 对系统容量、性能指标、传输时延、部署方式、业务质量、复杂性、网络架构及成本等方面的需求，在网络架构、空中高层协议及物理层关键技术等方面做出了重要革新。

### （1）网络架构概述

2006 年 3 月的会议上，3GPP 确定 LTE 接入网络主要由演进型 UTRAN 基站（eNode B，evolved Node B）和接入网关（AGW，Access Gateway）组成，采用扁平架构，简化网络接口，优化网元间功能划分，如图 1-1 所示。

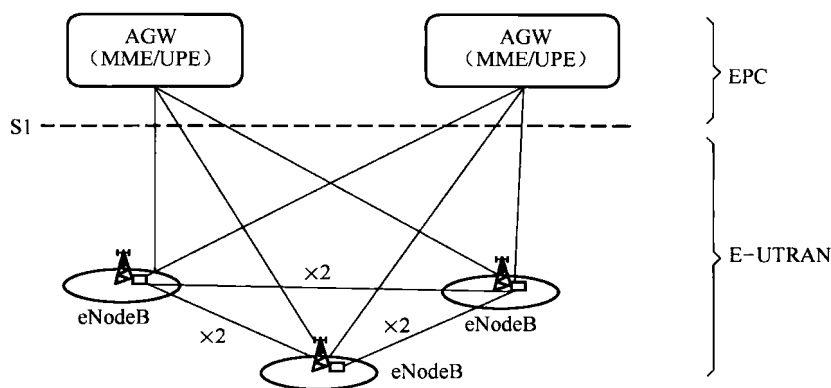


图 1-1 LTE 网络架构图

演进后的 LTE 系统接入网络更加扁平化，趋近于典型的 IP 宽带网络结构。网络架构比较大的变化是仅支持分组交换域，接入网络为单层结构。eNode B 是 E-UTRAN 的唯一节点。eNode B 在 Node B 原有功能基础上，增加了无线网络控制器（RNC，Radio Network Controller）的物理层、接入访问控制（MAC，Medium Access Control）层、无线资源控制（RRC，Radio Resource Control）、调度、接入控制、承载控制、移动性管理和相邻小区无线资源管理等功能，提供相当于原来的无线链路控制（RLC，Radio Link Control）/MAC/物理层（PHY，Physical Layer）以及 RRC 层的功能。eNode B 之间通过 X2 接口采用网格（mesh）方式互连，每个 eNode B 又和演进型分组核心网（EPC，Evolved Packet Core network）通过 S1 接口相连。S1 接口的用户面终止在服务网关（Serving GW，S-GW）上，S1 接口的控制面终止在移动性管理实体（MME，Mobility Management Entity）上。

### （2）物理层技术

LTE 物理层采用带有循环前缀（CP，Cyclic Prefix）的正交频分多址接入（OFDMA，Orthogonal Frequency Division Multiple Access）作为下行多址方式，上行采用基于正交频分复

用（OFDM）传输技术的单载波频分多址（SC-FDMA, Single Carrier FDMA），其特点为峰均比低，子载波间隔为 15kHz。OFDM 技术将少数宽带信道分成多数相互正交的窄带信道传输数据，子载波之间可以相互重叠。这种技术不仅可以提高频谱利用率，还可以将宽带的频率选择性信道转化为多个并行的平坦衰落性窄带信道，从而达到抗多径干扰的目的。这两种技术都能较好的支持频率选择性调度。

多天线技术。LTE 系统将设计可以适应宏小区、微小区、热点等各种环境的 MIMO 技术，基本的 MIMO 模型是 2×2 天线配置，基站最多可支持 4 天线，移动台最多可支持 2 天线。在上行传输中，一种特殊的被称为虚拟（Virtual）MIMO 的技术在 LTE 中被采用。通常是 2×2 的虚拟 MIMO，两个 UE 各自有一副发射天线，并共享相同的时频域资源。这些 UE 采用相互正交的参考信号图谱，以简化基站的处理。下行 MIMO 可支持多用户 MIMO（MU-MIMO, Multiple-User MIMO）。单用户 MIMO 和多用户 MIMO 之间的切换，由 eNode B 半静态或动态控制。

LTE 物理层还包括一些其他技术，后面的章节将进行详细叙述。

（3）空中高层协议栈技术特点

在 TD-LTE 空中高层协议栈总体架构方面，与现有的 UTRAN 系统差别不大。E-UTRAN 主要对信道映射方式、RRC 的协议状态进行了简化，优化了相关的控制信令流程，从而减少了控制平面和用户平面的传输时延，并针对分组数据包传输的特点，通过对资源分配和调度机制进行优化，进一步提升了传输效率。

在 LTE 系统中，由于直接采用了共享信道设计的方式，逻辑信道和传输信道的映射关系得以简化。TD-LTE 系统中的上、下行信道的映射关系如图 1-2 所示。

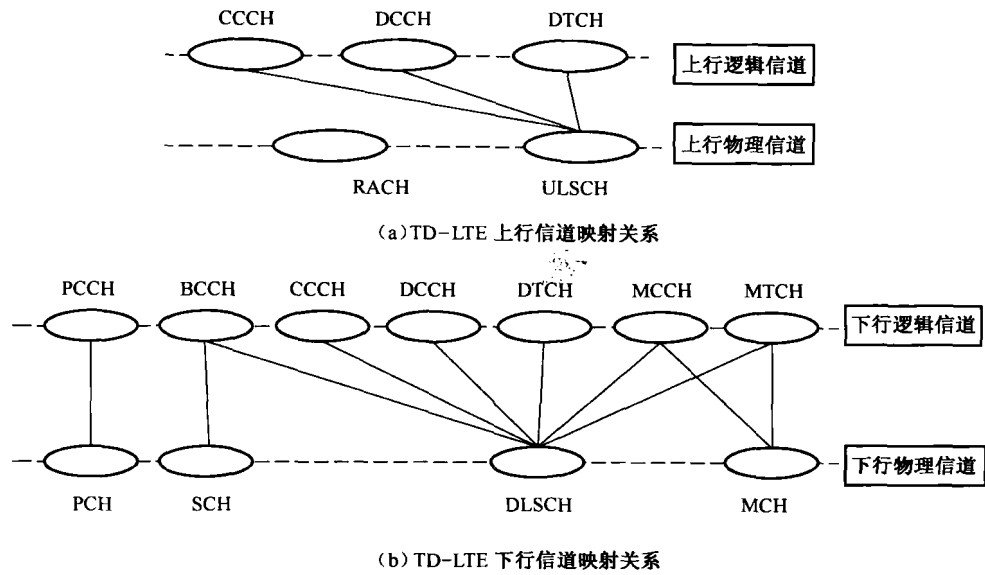


图 1-2 TD-LTE 系统中上、下行信道映射关系

TD-LTE 系统对 RRC 的状态进行了简化，由原来 UTRAN 的 5 个状态简化为两个状态：空闲状态和 RRC 连接状态。因此，减少了各个 RRC 状态中移动性管理的工作量和状态之间的转移，降低了系统的复杂度。

另外, LTE 系统进一步优化了 RRC 的信令结构和流程。通过一条控制消息实现了多个控制功能替代 UTRAN 系统中多种控制消息的方式, 将 RRC 协议具有的控制功能进一步收敛, 提高了控制效率, 缩短了控制的时延。

### 1.3.2 TD-LTE 与 FDD-LTE 系统的对比

LTE 系统定义了频分双工 (FDD) 和时分双工 (TDD) 两种双工方式。FDD 是指在对称的频率信道上接收和发送数据, 通过保护频段分离发送和接收信道的方式。TDD 是指通过时间分离发送和接收信道, 发送和接收使用同一载波频率不同时间隙的方式。时间资源在两个方向上进行分配, 因此基站和移动台必须协同一致进行工作。

TDD 方式和 FDD 方式相比有一些独特的技术特点: 能灵活配置频率, 利用 FDD 系统不易使用的零散频段; 不需要对称使用频率, 频谱利用率高; 具有上下行信道互易性, 能够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。

但是, TDD 双工方式相比较于 FDD, 也存在明显的不足: TDD 方式的时间资源在两个方向上进行分配, 因此基站和移动台必须协同一致进行工作, 对于同步要求高, 系统较 FDD 复杂; TDD 系统上行受限, 因此 TDD 基站的覆盖范围明显小于 FDD 基站; 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; 另外, TDD 对高速运动物体的支持性不够。

## 1.4 TD-LTE 标准的演进

### 1.4.1 概述

当前, 全球无线通信正呈现出移动化、宽带化和 IP 化的趋势, 移动通信行业的竞争极为激烈。基于 WCDMA 无线接入技术的 3G 移动通信技术已逐渐成熟, 正在世界范围内被广泛推广应用。随着宽带无线接入概念的出现, 无线保真 (WiFi, Wireless Fidelity) 和全球微波互联接入 (WiMAX, Worldwide Interoperability for Microwave Access) 等无线接入方案迅猛发展, 为了维持在移动通信行业中的竞争力和主导地位, 3GPP 在 2004 年 1 月启动了长期演进计划 (LTE, Long Term Evolution), 以实现 3G 技术向超 3G 移动通信系统 (B3G, Beyond 3<sup>rd</sup> Generation) 和 4G 的平滑过渡。LTE 计划是 3GPP 最近几年启动的最大科研项目, 目标是在相当程度上推动 3G 技术的发展, 并满足人们未来十年对于移动通信的技术要求。3GPP 设计的主要目标是满足低时延、低复杂度、低成本的要求, 从而实现更高的用户容量、系统吞吐量和端到端的服务质量保证。

3GPP 的标准化进程分为两个阶段: 研究项目 (SI, Study Item) 阶段, 预计 2006 年 6 月完成, 主要完成目标需求的定义, 明确 LTE 的概念, 完成可行性研究报告, 但由于一些问题没有解决, 研究阶段推迟到 2006 年 9 月才结束; 第二阶段: 工程项目 (WI, Work Item) 阶段, 完成 LTE 的标准化工作, 同时与 LTE 相配合的新一代移动 (SAE, System Architecture Evolution) 项目 SI 也开始进行。

### 1.4.2 TD-LTE 标准的提出

TD-LTE 是 TDD 版本的 LTE 技术, FDD 长期演进 (FDD-LTE, FDD- Long Term Evolution)

是 FDD 版本的 LTE 技术。TDD 和 FDD 的差别就是 TDD 采用的是不对称频率的时分双工方式，而 FDD 是采用对称频率的频分双工方式。TD-LTE 是我国拥有自主知识产权的国际标准，是 TD-SCDMA 的后续演进技术，是一种专门为移动高宽带应用而设计的无线通信标准，沿用了 TD-SCDMA 的帧结构。

TD-SCDMA 向 LTE 的演进路线为，首先是在 TD-SCDMA 的基础上采用单载波的 HSDPA 技术，速率达到 2.8Mbit/s，而后采用多载波的 HSDPA，速率达到 7.2Mbit/s；接着到 HSPA+ 阶段，速率将超过 10Mbit/s，并继续逐步提高它的上行接入能力，最后从 HSPA+ 演进到 TD-LTE。TD-LTE 的技术优势体现在速率、时延和频谱利用率等多个领域，使得运营商能够在有限的频谱带宽资源上具备更强大的业务提供能力。另外，在 TD-LTE 的标准化过程中，还要考虑和 TD-SCDMA 的共存性要求。

### 1.4.3 TD-LTE R8 版本

3GPP 于 2008 年 12 月发布 LTE 第一版 (Release 8)，R8 版本为 LTE 标准的基础版本。目前，R8 版本已非常稳定。R8 版本重点针对 LTE/SAE 网络的系统架构、无线传输关键技术、接口协议与功能、基本消息流程、系统安全等方面均进行了细致的研究和标准化。

在无线接入网方面，将系统的峰值数据速率提高至下行 100Mbit/s、上行 50Mbit/s；在核心网方面，引入了纯分组域核心网系统架构，并支持多种非 3GPP 接入网技术接入统一的核心网。

从 2004 年年底概念提出，到 2008 年年底发布 R8 版本，LTE 的商用标准文本制定及发布整整经历了 4 年时间。对于 TDD 的方式而言，在 R8 版本中，明确采用 Type 2 类型作为唯一的 TDD 物理层帧结构，并且规定了相关物理层的具体参数，即 TD-LTE 方案，这为其后续技术的发展，打下了坚实的基础。

### 1.4.4 TD-LTE R9 版本

2010 年 3 月发布第二版 (Release 9) LTE 标准，R9 版本为 LTE 的增强版本。R9 版本与 R8 版本相比，针对 SAE 紧急呼叫、增强型 MBMS (E-MBMS, Enhanced MBMS)、基于控制面的定位业务，以及 LTE 与 WiMAX 系统间的单射频切换优化等课题进行标准化。

另外，R9 版本还开展了一些新课题的研究与标准化工作，包括公共告警系统 (PWS, Public Warning System)、业务管理与迁移 (SAM, Service Alignment and Migration)、个性回铃音 (CRS, Color Ring System)、多分组数据网络 (PDN, Packet Data Network) 接入及 IP 流的移动性、Home (e) Node B 安全性，以及 LTE 技术的进一步演进与增强 (LTE-Advanced) 等。

### 1.4.5 TD-LTE 的未来演进

2008 年 3 月，在 LTE 标准化接近完成之时，一个在 LTE 基础上继续演进的项目——先进的演进型 LTE (LTE-A, LTE-Advanced) 项目又在 3GPP 拉开了序幕。LTE-A 是在 LTE R8/R9 版本的基础上进一步演进和增强的标准，它的一个主要目标是满足 ITU-R 关于 IMT-A (4G) 标准的需求。同时，为了维持 3GPP 标准的竞争力，3GPP 制定的 LTE 技术需求指标要高于 IMT-A 的指标。

LTE 相对于 3G 技术，名为“演进”，实为“革命”，但是 LTE-A 将不会成为再一次的“革