



工业和信息化部电信研究院
China Academy of Telecommunication Research of MIT

4 G技术和产业发展白皮书

(2014年)

TD-LTE工作组

工业和信息化部电信研究院

2014年12月

版权声明

本白皮书版权属于 TD-LTE 工作组, 并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的, 应注明“来源: TD-LTE 工作组”。违反上述声明者, 本院将追究其相关法律责任。

前 言

2008 年，第四代移动通信 LTE 技术成为国际主流的新一代宽带无线移动通信标准。在工业和信息化部统一领导下，我国成立了由运营商、国内外研发制造企业和科研支撑机构等组成的 TD-LTE 工作组，开展了 TD-LTE 标准研究、研发和产业化、试验验证、国际推广等各方面工作，为 TD-LTE 标准发展、产业链打造和成功商用发挥了不可替代的作用。

目前全球 LTE 商用网络已达 354 个，用户超过 3.9 亿，成为史上发展速度最快的移动通信技术。2013 年 12 月中国移动、中国电信和中国联通获得 4G/TD-LTE 牌照，我国 4G 开始商用。2014 年 6 月，中国电信、中国联通又启动 TD-LTE 和 LTE FDD 混合组网试验。截至 2014 年 10 月，我国已建成全球最大规模的 4G 网络，4G 用户达到 5777 万，位居世界第二。

伴随全球 4G 商用发展，LTE 标准继续向 LTE-Advanced（简称 LTE-A）演进，以实现更高峰值速率和系统容量。TD-LTE 工作组持续推进 LTE-A 等新技术的试验验证。

本白皮书重点介绍 2013 年以来 LTE/LTE-A 技术和产业进展情况，并对当前国内外业界关注的热点问题进行讨论。

目 录

1	4G 技术发展	01
1.1	LTE 标准产生的背景	01
1.2	4G/LTE-A 技术发展	02
1.3	LTE-A 关键技术	04
2	4G 增强技术试验	12
2.1	LTE-A 技术试验	12
2.2	LTE 语音解决方案研究与验证	18
2.3	NanoCell 产业化进展和试验	22
2.4	LTE 终端一致性测试工作	24
3	4G 产业发展	27
3.1	4G 商用进展及趋势	27
3.2	4G 频谱分配情况及发展趋势	35
3.3	4G 网络设备发展趋势	40
3.4	4G 芯片产业发展趋势	43
3.5	测试仪表发展	45
4	4G 发展热点问题	49
4.1	VoLTE 发展面临的挑战	49
4.2	TD-LTE/FDD 融合发展	51
4.3	“全下行”对 TD-LTE 的挑战	57
4.4	运营商面临的 OTT 挑战及流量经营	59
5	结束语	62

图表目录

图表 1: LTE/LTE-A 技术发展·····	02
图表 2: 双连接控制面和用户面网络架构·····	11
图表 3: TD-LTE-A 技术试验的整体工作计划·····	13
图表 4: TD-LTE-A 技术试验规范清单·····	14
图表 5: LTE-A 各关键技术的测试内容·····	16
图表 6: 单终端载波聚合下行理论峰值速率·····	18
图表 7: NanoCell 技术试验规范列表·····	22
图表 8: NanoCell 系统架构图·····	23
图表 9: 代码开发情况汇总·····	25
图表 10: TD-LTE 终端一致性测试系统及公司·····	25
图表 11: 载波聚合测试例验证情况·····	26
图表 12: aSRVCC 测试项目验证情况·····	26
图表 13: 全球 4G 网络数量增长趋势·····	28
图表 14: 全球 4G 用户数量增长趋势（单位：亿）·····	28
图表 15: 各地区 4G 用户比例（2014.10）·····	29
图表 16: 全球 LTE FDD 牌照采用的频谱·····	36
图表 17: 全球 TD-LTE 牌照采用的频谱·····	36
图表 18: 我国 4G 频谱分配情况·····	38
图表 19: 2G 频谱向 4G 重耕的“正循环”·····	40
图表 20: 我国各种制式 4G 手机进网款累计数（截至 2014 年 10 月）·····	44
图表 21: 系统测试类仪表·····	45
图表 22: LTE 模拟外场环境示意图·····	46
图表 23: TD-LTE/LTE FDD 双模组网运营商的混合组网策略·····	53
图表 24: TD-LTE/FDD 融合组网技术发展的三个阶段·····	54

1 4G 技术发展

1.1 LTE 标准产生的背景

3GPP 是 3G 时代占主流地位的国际移动通信标准化组织。2004 年底，3GPP 的运营商成员面对日益增长的移动宽带数据需求和 WiMAX 等新兴无线宽带技术标准的挑战，为了保持 3GPP 标准在业界的长期竞争优势，推动 3GPP 设立了 LTE（Long-Term Evolution，长期演进）标准化项目。

项目自 2005 年初正式启动，历时近四年，于 2008 年 12 月完成了 LTE 第一个版本的技术规范，即 R8。LTE 面向移动互联网应用设计，基于 OFDM（正交频分多址）、MIMO（多输入多天线）、等核心技术，并采用了扁平化、全 IP、全分组交换的新型网络架构，实现了无线传输速率和频谱效率的大幅提升，被看作移动通信技术的一次革命性的全面创新。R8 LTE 在 20MHz 系统带宽的情况下，下行峰值速率超过 300Mbps，上行峰值速率超过 80Mbps。

之后，为了 LTE 技术的进一步演进，并满足国际电信联盟（ITU）对 IMT-Advanced 的技术需求，3GPP 在通过 R9 对 LTE 标准进行局部增强后，于 2009 年启动了 LTE 演进标准——LTE-A 的研究和标准化工作，并相继完成了 R10、11 和 12 版本。其中，R10 版本的 LTE-A 标准支持 100MHz 带宽，峰值速率超过 1Gbps，于 2010 年 9 月被国际

电信联盟（ITU）正式接受为 IMT-Advanced（4G）国际标准。

自 2008 年第一个版本发布以来，LTE 得到了移动通信产业界最广泛的支持，已成为事实上的全球统一 4G 标准。LTE 包括 TD-LTE 和 LTE FDD 两种双工方式，其中我国首先提出并最先形成国际标准的 TD-LTE 已成为全球非成对频谱部署宽带移动通信系统的最佳技术选择。在 2010 年，我国提交的 TD-LTE 的演进版本 TD-LTE-A 和 LTE-A FDD 一起，被接受为 4G 国际标准。

1.2 4G/LTE-A 技术发展

2008 年，为了实现 LTE 技术的进一步演进，并满足 ITU 对 IMT-Advanced（即 4G）的技术需求，3GPP 启动了 LTE-A 的研究和标准化工作。LTE-A 的第一个版本 R10 已被 ITU 接纳为 4G 国际标准。之后 LTE-A 又相继形成 R11、12 两个演进版本，目前 3GPP 正在开展 R13 的研究工作。LTE/LTE-A 各版本技术演进情况如图表 1 所示。



图表 1 LTE/LTE-A 技术发展

R10 是 LTE-A 第一个版本，引入了载波聚合、中继 Relay 技术、异构网干扰消除等技术，并在 LTE 技术上增强了多天线技术，进一步提升了系统性能，最大支持 100Mhz 带宽，支持 8×8 天线配置，系统

峰值吞吐量提高到 1Gbps 以上。其标准化工作于 2011 年 3 月完成。

R11 在 R10 基础上进一步支持了协作多点传输 CoMP 技术，通过同小区不同扇区间协调调度或多个扇区协同传输提高系统吞吐量，特别是小区边缘用户的吞吐量。同时，设计了新的控制信道 ePDCCH，实现了更高的多天线传输增益，并降低了异构网络中控制信道间干扰。通过对载波聚合技术的增强，支持了时隙配置不同的多个 TDD 载波间的聚合。

R12 是 LTE-A 最新版本，主要标准化工作已完成，预计将于 2014 年底冻结。LTE R12 针对室内外热点等场景进行了优化，称为 Small Cell，国内称为 LTE-Hi 或小小区增强。LTE-Hi 技术可以提升系统频谱效率和运维效率，采用的关键技术包括更高阶调制（256QAM）、小区快速开关和小区发现、基于空中接口的基站间同步增强、宏微融合的双连接技术、业务自适应的 TDD 动态时隙配置等。R12 还进一步优化了多天线技术，包括下行四天线传输技术增强、小区间多点协作技术增强等，并研究了二维多天线的传播信道模型，为后续垂直赋形和全维 MIMO 传输技术研究做了准备。R12 还支持了终端间直接通信，可以利用终端间高质量通信链路，提升系统性能。

R13 阶段刚刚启动，将继续向提升网络容量、增强业务能力、更灵活使用频谱等方面发展。目前，已确定 R13 将开展垂直赋形和全维 MIMO 传输技术、LTE 许可频谱辅助接入（LAA）、面向低成本低功耗广覆盖物联网优化等技术的研究和标准化工作。

1.3 LTE-A 关键技术

LTE-A 是由一系列基于 LTE 的增强技术构成的，包括载波聚合、增强多天线、多点协作传输（CoMP）、中继（Relay）、下行控制信道增强、物联网优化、终端直通（D2D）、垂直波束赋形（3D-MIMO）、基于 LTE 的热点增强（LTE-Hi）等技术。

（1）载波聚合技术

无线通信技术中，提升系统吞吐量的最直接途径是使用更多的频谱资源，而由于 LTE-A 需要和 LTE 保持后向兼容，因此每个载波带宽不能大于 20MHz。因此，为在 LTE 基础上实现更大的传输带宽，LTE-A 设计了将多个连续或非连续的成员载波合并传输的载波聚合（Carrier Aggregation, CA）技术。

LTE-A 从 R10 开始支持载波聚合功能，并在后续版本中逐步增强，支持多种载波聚合类型，提供灵活的多载波使用方案。R10 首先支持 FDD 下行频带内和频带间载波聚合、FDD 上行频带内载波聚合和 TDD 频带内的载波聚合。R11 中引入了 FDD 上行频带间载波聚合、TDD 频带间载波聚合和时隙配置不同的多个 TDD 载波间聚合，以更灵活地利用 TDD 载波资源。为了更高效地利用运营商拥有的 FDD 和 TDD 频谱，R12 又设计了 FDD 和 TDD 间的载波聚合技术。

（2）增强多天线技术

多天线（MIMO）技术是 LTE/LTE-A 提高单载波数据传输性能的主要手段之一。LTE-A 在 LTE 技术基础上，对多天线技术进行了增强，

以进一步提升系统吞吐量。多天线技术包含下行和上行多天线技术：

● 下行多天线技术

相对 LTE R8 下行最多支持四流的多天线传输，LTE-A 将多天线配置扩展到了八流，下行单用户峰值速率提高一倍。同时，也进一步优化了四天线传输方案，以提升四天线系统的性能。另外，还增强了多用户 MIMO 技术，以支持最多四个用户的空分复用，可以实现每个用户不超过两层、总层数不超过四层的多用户 MIMO 传输。通过多用户 MIMO 透明传输增加调度灵活性，使用户可以在单用户 MIMO 和多用户 MIMO 间动态转换。

● 上行多天线技术

考虑到终端复杂度和成本等因素，LTE R8 上行仅支持终端单天线发送。随着提升上行频谱效率的需求日益强烈，LTE-A 将上行多天线技术扩展到支持 4×4 天线，可以实现 4 倍的峰值速率。此外，多个用户可以通过“虚拟 MIMO”方式实现上行多用户 MIMO 传输，与下行多用户 MIMO 类似，上行多用户 MIMO 对用户也是透明的。

(3) 多点协作传输 (CoMP) 技术

CoMP 技术是对传统单基站 MIMO 的补充和扩展，可以通过基站间协同传输，改善小区边缘用户的吞吐量。

CoMP 有 3 种实现方式：

“协调调度/波束赋形”和“动态传输点选择”方式是用于同一个基站下不同扇区间的 CoMP 操作的。这两种方式在同一时刻只有一个接入点与用户进行通信，其中协调调度是指系统侧根据干扰等信息在

多个接入点间实现联合的调度；而动态传输点选择是系统在不同时刻为终端选择不同的传输点发送数据。

“联合传输”方式则是单个用户数据通过多个协作基站并行传输，基站间通过共享数据及信道回馈信息、调度信息等，联合为目标用户提供服务。由于 FDD 系统中联合传输所需的信令设计复杂，LTE-A FDD 系统不支持联合传输技术，而 TD-LTE/TD-LTE-A 系统可利用信道互易性实现联合传输技术。

LTE R11 首先支持了下行协调调度/波束赋形和动态传输点选择。LTE R12 支持不同基站间的协调调度/波束赋形，在基站间非理想回传链路上传输有限的调度信息、资源分配信息和回传链路时延等信息，实现基站间的多点协作传输。

上行 CoMP 主要是多个小区同时接收一个 UE 发出的数据，也称为联合接收，即多个小区将接收到的数据进行联合处理以提高终端数据的解调性能。上行 CoMP 对标准影响较小，易于产品实现和商用。

（4）中继（Relay）技术

中继是通过快速、灵活地部署一些节点、通过无线的方式与基站连接、以提高系统容量和改善网络覆盖的技术。LTE-A 中的 Relay 技术主要用于增强网络覆盖，为了最小化中继技术对标准的影响，LTE-A 中继站具有独立的小区 ID，即对于用户来讲，中继站是一个基站；对于基站来讲，中继站是一个用户。

（5）下行控制信道增强技术

为了充分利用多天线技术带来的频谱效率提升效果，并且保证良

好的覆盖性能，LTE R11 版本中引入了增强的下行控制信道设计。增强下行控制信号在原数据信道的位置发送，与数据信道频分复用，以获得波束赋形和分集增益。而且更细的颗粒度、更灵活的资源划分，也更易于实现小区间控制信道的干扰协调。

（6）物联网优化技术

物联网具有连接数量巨大、数据传输率低、时间容忍度高等特性，与传统的人人通信特性截然不同，对面向高速率、大数据量、即时通信等传统需求优化的移动通信技术提出了挑战。为此，LTE-A 标准针对物联网进行了优化和增强。

在 R10 和 R11 阶段，LTE-A 主要解决了大量 MTC 设备同时接入导致的接入网侧随机接入拥塞问题。LTE-A 系统采用 ACB（Access Class Barring）和 EAB（Extended Access Barring）结合的双层控制机制解决接入拥塞问题，终端从系统广播信息获得接入限制等级信息，并结合自身的接入等级决定是否发起随机接入，同时网络可以根据当前的拥塞状况拒绝或接受终端接入。

在 R12 和 R13 阶段，3GPP 重点研究了低成本、低功耗、覆盖增强的技术方案。首先，通过小带宽、低天线配置、低发射功率、低传输块设计、发送射频指标等方式支持低成本的 MTC 终端；其次，通过重复传输、功率提升、跨载波调度、跳频等方式实现了 15dB 的覆盖增强。最后，针对低成本、覆盖增强等需求，研究了通过降低激活发射/接收时间、减少测量时间/测试报告/反馈信令/系统消息捕获/同步捕获时间等方式降低功耗的技术。

（7）终端直通（D2D）技术

终端直通，即不通过基站的终端间直接通信技术。该技术可以自主发现周围设备，利用终端间良好的信道质量，实现高速的直连数据传输，且功率开销较低。

LTE R12 开展了 D2D 的研究和标准化，主要针对公共安全场景，重点研究了终端之间的发现机制和终端之间广播通信技术。D2D 设计了全新的终端间空中接口，D2D 通信占用上行频域资源或时域资源进行直接通信，与“终端—基站”通信时分复用。

（8）垂直波束赋形（FD-MIMO）技术

利用有源天线，基站天线波束的下倾角可以自适应调整，在水平维波束赋形的基础上，垂直维也可以形成波束赋形，称为垂直波束赋形/FD-MIMO。该技术有利于在密集的城市环境中实现对不同楼层的室内覆盖，更好地实现小区内和小区间干扰协调，以支持高阶的多用户 MIMO。

LTE R12 中对 3D-MIMO 的信道建模进行了研究，形成了完整的 3D-MIMO 信道模型。目前，R13 刚刚启动垂直波束赋形/FD-MIMO 传输技术的预研，开始研究小于 64 端口的 FD-MIMO 传输技术。

（9）基于 LTE 的热点增强（LTE-Hi）技术

LTE-Hi 由我国率先提出，经过两年多的国际沟通合作，基于 LTE 的热点增强技术方向获得国际共识，并成为 3GPP R12 阶段最重要的研究内容之一。3GPP 结合室内/室外热点场景的信道传播特性和热点密集网络部署特性开展 LTE-Hi 研究，对 LTE/LTE-A 技术进行增强，

主要包含两个方面：频谱效率提升和运维效率提升，具体包括更高阶调制、小区快速开关和小区发现、基于空中接口的基站间同步增强、业务自适应的 TDD 动态时隙配置、宏微融合的双连接技术等。

● 高阶调制

在室内和热点场景下，LTE-Hi 基站覆盖范围小，终端距离 LTE-Hi 基站更近，并且考虑到室内和热点部署中存在干扰小区较少的场景，相比于蜂窝用户，小小区用户的信干噪比较高。因此，LTE-Hi 中引入了 256QAM 等更高阶的调制技术，为高信噪比用户提供更高的频谱效率。在设备实现中，需考虑设备发送端 EVM 和接收端 IQ 接收不平衡对更高阶调制性能的影响。

● 小区快速开关和小区发现

考虑到室内和热点场景下，用户业务量变化大并且基站部署较密集，小区快速开关使得系统可以根据用户业务情况，快速打开和关闭若干小小区，降低小小区间干扰，同时节省耗电。小小区快速开关主要定义了一系列过程：小区开启时 eNB 及 UE 进行正常的数据及控制信号发送，一旦有事件触发小区进行关闭，小区发送相关消息，然后进入关闭状态；处于关闭状态的小小区继续发送发现信号，以确保终端可以快速发现到这些处于关闭状态的小小区；当处于关闭状态的小小区收到触发指令时，进入开启状态。为了支持这些过程，3GPP 定义了小区发现信号、无线资源管理测量和上报等机制。

● 基于空中接口的基站间同步增强

考虑到 LTE-Hi 室内系统难以通过室外 GPS 穿透方式获得同步的

情况，设计了基于空中接口的室内基站间同步。空口同步增强是一种基于空口侦听的多层级结构的同步增强技术，主要包括新的监听参考信号设计和格式，并支持运营商间同步机制。

● 业务自适应的 TDD 动态时隙配置

随着异构组网方式的引入，不同的基站类型可以有不同的工作频率和不同的覆盖范围。不同 TDD 基站在时隙配比选择上可以有一定的灵活度。业务自适应的 TDD 动态时隙配置技术可以在干扰可控的情况下，动态调整 TDD 时隙，以更好适配上下行业务负荷，从而提高频谱利用率。

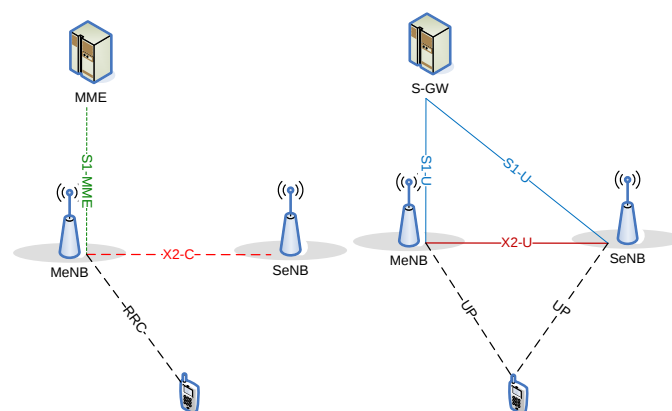
LTE-Hi 的物理层控制信道，可以实现约 40ms 的 TDD 动态时隙配置周期。针对小区间时隙不对齐时的上下行干扰问题，通过小区分簇和上行功率控制进行干扰控制。小区分簇的干扰控制中，簇和簇之间通过 X2 接口交互小区分簇、时隙配置及干扰等信息，簇根据业务流量和交互的信息，选择相同的 TDD 时隙配置。上行功率控制技术可以通过开环和闭环功控，提升被干扰终端的上行发射功率，使基站正确接收上行数据。

● 宏微小区双连接

双连接是指蜂窝与小小区异频重叠覆盖时，宏蜂窝提供基础覆盖，负责移动性管理，小小区负责提升数据传输容量。此技术可以提升移动鲁棒性，减少频繁切换带来的信令开销。双连接涉及到宏微小区间用户面协议和控制面协议的分离，也称为 C-U 分离方案。

如图表 2 所示在双连接系统中，控制面 MME 实体仅与宏蜂窝

MeNB 存在接口，小小区 SeNB 和 MeNB 之间通过 X2 接口连接，这样可以避免终端维护两个 RRC 连接，降低终端复杂度。且 SeNB 对 MME 不可见，可以避免对核心网信令面的影响。



图表 2 双连接控制面和用户面网络架构

双连接系统的数据面存在 1A 和 3C 架构两种协议架构。1A 架构中 MeNB 和 SeNB 都有独立的 PDCP、RLC、MAC 和 PHY 层，MeNB 和 SeNB 均从 MME 直接获得数据，对 MeNB 和 SeNB 间 Backhual 性能要求比较低，协议影响小。3C 架构中，SeNB 只有 RLC、MAC 和物理层，MME 下发的数据需要通过 MeNB 转发，这对 MeNB 和 SeNB 间 Backhual 性能要求较高，空中协议改动较大，但可以实现 MeNB 和 SeNB 的同时数据传输，提升用户吞吐量，且 SeNB 对核心网不可见，对核心网影响小。

2 4G 增强技术试验

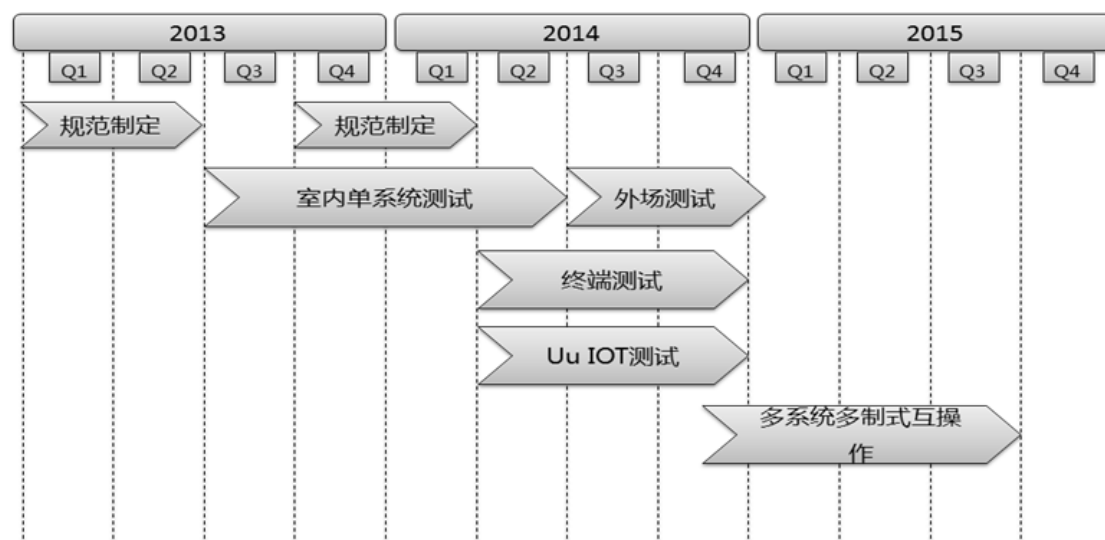
2008 年以来，在工业和信息化部的统一领导下，经过 TD-LTE 试验的推动，TD-LTE 产业取得了突破性进展，在国际上形成了广泛影响力。从 2013 年下半年开始，TD-LTE 工作组继续组织实施 TD-LTE-A 增强技术试验、LTE 语音解决方案技术试验、NanoCell 技术试验等工作，同步推进 LTE-A 终端一致性研究验证和国际化推广等工作，以保障 TD-LTE-A 增强技术的持续创新和演进发展。

2.1 LTE-A 技术试验

2.1.1 试验计划安排

TD-LTE-A 技术试验主要针对 3GPP R10 版本引入的 LTE-A 增强技术，包括载波聚合（CA）、下行增强多天线技术（下行 TM9）、上行增强多天线技术（上行 TM2 和上行多用户 MIMO）等主要功能。

2013 年下半年，TD-LTE 工作组制定了 TD-LTE-A 技术试验的整体工作计划（如图表 3 所示），包括试验规范研究制定、单系统测试、终端芯片测试和 IOT 测试等环节。



图表 3 TD-LTE-A 技术试验的整体工作计划

2.1.2 试验内容和规范

(1) 依托 TD-LTE 工作组规范组开放平台制定试验规范

从 2013 年中开始，依托 TD-LTE 工作组规范组这一开放平台，组织 TD-LTE-A 技术研究与规范制定；截至 2014 年 10 月底，先后召开了 12 次规范组会议，参会代表来自中国移动等运营企业、系统设备厂家、终端芯片和终端设备厂家、工业和信息化部电信研究院等单位。通过广泛的技术讨论，先后完成了载波聚合、增强多天线技术、中继 Relay、增强小区间干扰协调 eICIC 等 LTE-A 关键技术的设备规范与测试规范，共计 12 项；其中系统设备系列规范 7 项、终端设备系列规范 5 项。规范清单如图表 4 所示：

图表 4 TD-LTE-A 技术试验规范清单

规范名称
TD-LTE-A 技术试验基站设备技术要求 第 1 部分：载波聚合与 MIMO 增强
TD-LTE-A 技术试验基站设备技术要求 第 2 部分：增强小区间干扰协调（eICIC）
TD-LTE-A 技术试验基站设备技术要求 第 3 部分：中继
TD-LTE-A 技术试验基站设备测试方法 第 1 部分：载波聚合与 MIMO 增强
TD-LTE-A 技术试验基站设备测试方法 第 2 部分：增强小区间干扰协调（eICIC）
TD-LTE-A 技术试验基站设备测试方法 第 3 部分：中继
TD-LTE-A 技术试验基站设备测试方法 第 4 部分：载波聚合与 TM9 的结合
TD-LTE-A 技术试验终端设备技术要求
TD-LTE-A 技术试验终端设备测试方法 第 1 部分：载波聚合
TD-LTE-A 技术试验终端设备测试方法 第 2 部分：增强 MIMO
TD-LTE-A 技术试验终端设备测试方法 第 3 部分：增强小区间干扰协调（eICIC）
TD-LTE-A 技术试验 Uu 接口互操作测试规范

（2）综合考虑 LTE-A 技术与产业发展、网络、运营需求，确定试验内容与规范要求

载波聚合方面，R10 LTE-A 标准支持 TD-LTE 频带内连续载波、频带内非连续载波以及频带间的载波聚合，对聚合的载波必须支持下行链路聚合（称为下行载波聚合）、并可支持上行链路聚合（称为上行载波聚合）。通过聚合载波频率资源，下行载波聚合可提高用户的下行数据速率，上行载波聚合可提高用户的上行数据速率。考虑到系统、终端芯片在载波聚合功能上的研发进展，技术试验重点针对频带内连

续载波的下行载波聚合开展测试；上行载波聚合、频带内非连续载波聚合和频带间的载波聚合在技术试验规范中作为可选要求。

下行增强多天线技术方面，R10 LTE-A 标准增强了下行多天线技术，引入了新的 MIMO 传输模式 TM9，最高支持 8×8 单用户 MIMO（SU-MIMO）和 8×4 多用户 MIMO（MU-MIMO）。但根据系统、终端芯片在增强下行多天线技术上的研发进展，技术试验确定 8×2 单用户 TM9 为必选要求，更高阶的单用户 MIMO 和多用户 MIMO 为可选要求。TM9 的具体实现机制上，根据是否需要终端向基站反馈预编码信息（指 PMI/RI 反馈），TD-LTE-A 系统中又有基于 PMI/RI 反馈预编码传输（称为码本方式）、非 PMI/RI 反馈波束赋形传输（基于 TDD 互易性的波束赋形，称为非码本方式）这两种方式。技术试验规范制定过程中，对 TM9 的码本方式、非码本方式进行了深入的分析、仿真和评估，最终达成一致，确定 TM9 的这两种实现方式均作为必选要求以应用于各自适用的场景。另外，针对下行载波聚合，试验规范明确提出了 CA 与 TM9 组合应用的要求，即在聚合的两个载波上均能采用 TM9 传输模式。

上行增强多天线技术方面，R10 LTE-A 标准在 LTE 终端上行单天线发送技术基础上进行了增强，支持上行单用户双流传输（即上行 TM2 传输模式），并增强了上行多用户 MIMO（MU-MIMO）。上行单用户双流传输（上行 TM2 传输模式）技术可在相同的系统带宽上将用户的上行数据速率提高一倍，但需要终端硬件支持双路发射通道。考

虑到系统特别是终端芯片的研发进展，技术试验中确定上行增强多天线技术为可选要求。

针对载波聚合（CA）、下行增强多天线技术（下行 TM9）、上行增强多天线技术，试验测试规范主要从功能、性能、射频指标这三大类确定相应的测试内容（见图表 5）。其中，对载波聚合包括功能测试、性能测试和基站射频指标测试；对 TM9、CA 与 TM9 组合包括功能测试和性能测试（引入 TM9 不影响基站射频指标）；上行增强多天线的功能、性能和射频指标测试均作为可选。

图表 5 LTE-A 各关键技术的测试内容

		功能测试	性能测试	射频指标测试
载波聚合 (Band 38 连续载波下行 CA)		√	√	√
下行 增强 多 天线	TM9（单载波）	√	√	
	CA 与 TM9 组合	√	√	
上行增强多天线 (可选)		√	√	√

（3）组织关键技术的性能仿真研究，为试验规范制定提供依据、为测试提供参考指标。

为充分评估 LTE-A 各项关键技术的性能，为制定技术试验规范提供技术依据，并为测试验证提供性能参考指标，2013 年下半年起，TD-LTE 工作组规范组组织部分公司对下行 TM9、上行 TM2、上行

MU-MIMO 等技术在使用 IMT-A 和 SCM-E 两种信道模型和不同终端移动速度时的链路级性能进行仿真，统一了仿真参数与假设、对仿真平台进行了校正，并通过仿真结果的多轮次比对和讨论，最终输出公共的仿真结果，作为性能测试的参考依据。参与全部或部分仿真工作的有大唐移动、华为、爱立信、中兴、诺基亚通信、上海贝尔、普天等公司。

2.1.3 试验完成情况与测试结果

(1) 8 家系统、1 家终端芯片开展了频带内两个连续载波的下行载波聚合测试，实现情况普遍良好

从 2013 年下半年开始，大唐移动、爱立信、中兴、华为、上海贝尔、普天、烽火的 TD-LTE-A 系统陆续完成或基本完成了频带 Band 38 (2570~2620MHz) 内 20MHz+20MHz 两个连续载波的下行载波聚合测试，诺基亚通信部分完成测试。总体上，TD-LTE-A 基站支持两个连续载波的下行聚合，基本功能实现情况良好，帧结构分别取上下行比例配置 1、配置 2 时单终端的实测下行峰值速率均可达到理论值(见图表 6)，测试中基站设备工作稳定；综合来看，系统已基本具备载波聚合商用的条件。

海思基带芯片 Balong720 采用 28nm 工艺，支持 3GPP R10 协议标准，TD-LTE-A 模式支持 20MHz+20MHz 两个连续载波的下行聚合。帧结构分别取上下行比例配置 1、配置 2 时，单终端的实测下行峰值

速率均可达到理论值（见图表 6）。

图表 6 单终端载波聚合下行理论峰值速率

帧结构	上下行比例配置 1、特殊 时隙配置 7	上下行比例配置 1、特殊 时隙配置 7
20MHz+20MHz 载波聚合 的下行峰值	160Mbps	220Mbps
注：上述峰值速率按 Category 6 等级终端、子帧内控制信道占用 1 个 OFDM 符号（即 CFI=1）计算。		

（2）8 家系统开展了下行 TM9 测试，大部分实现情况良好

大唐移动、爱立信、中兴、上海贝尔、普天、烽火、华为的 TD-LTE-A 系统陆续完成或基本完成了单载波上 8x2 单用户 TM9 测试，支持码本、非码本这两种方式，基本功能实现情况良好、性能测试总体符合指标要求；诺基亚通信完成了码本方式的测试。

在 CA 与 TM9 组合应用上，仅个别公司进行了功能测试。

（3）上行增强多天线（上行 TM2 和上行 MU-MIMO）作为可选试验内容，少数系统上开展了部分测试

大唐移动、爱立信、上海贝尔系统上开展了上行增强多天线技术的部分测试。在实验室采用终端模拟器进行的上行 TM2 双流测试，相比 R9 的上行单流能显著提高上行峰值速率与吞吐量。

2.2 LTE 语音解决方案研究与验证

由于 LTE 网络采用统一的分组域架构，不再支持传统的电路域语音业务，只能提供 IMS 控制下的 VoIP 语音业务，即 VoLTE 语音解决

方案。

因此，基于现有 2G/3G/4G 网络基础上，形成了三种不同的语音解决方案：双待机终端方案、CSFB 和 VoLTE。TD-LTE 工作组对上述三种语音解决方案研究制定了相应的测试规范，开展了全面研究和验证，为我国 4G 商用中语音方案选择策略及时提供了技术参考依据。

2.2.1 双待机语音解决方案

双待机语音解决方案的实质是使用 3G/2G 网络来提供语音业务，LTE 网络提供数据业务。双待机终端可以同时待机在 LTE 网络和 3G/2G 网络，同时从 LTE 和 3G/2G 网络接收和发送信号。

为保障我国 TD-LTE 商用初期尽早引入智能手机，TD-LTE 工作组早在 2011 年就组织制定有关技术规范，推动单芯片多模、双芯片多模的方案开发，对多款双待机芯片方案进行功能、射频干扰性能、耗电等多方面测试。

2.2.2 CSFB 语音解决方案

CSFB 方案是指在用户需要进行语音业务的时候，从 LTE 网络回落到 3G/2G 的电路域重新接入，并按照电路域的业务流程发起或接听语音业务。

TD-LTE 工作组组织开展 CSFB 方案的多种技术方式的性能研究，包括：LTE 回落到 3G 网络、2G 网络，采用 R8 版本、R9 版本、

R8+DMCR 等，组织爱立信、华为、诺西、大唐、中兴等八家系统和高通、海思两款芯片进行 CSFB 测试。

2.2.3 VoLTE 语音解决方案

VoLTE 语音解决方案是采用 IMS 作为业务控制层系统，EPC 作为承载层，在 LTE 网络里提供和电路域性能相当的语音业务，是全 IP 条件下端到端语音解决方案。

为推动 VoLTE 产业发展，主要由中国移动牵头先后开展了实验室、外场试点和国际互通与漫游测试。

（1）实验室测试

在实验室模拟环境对 VoLTE 端到端业务流程、核心网单设备性能和功能以及 IOT 等内容分阶段展开测试：

第一阶段进行 LTE 端到端测试和终端 IOT 测试，内容包含 VoLTE 基本功能、VoLTE 基本音视频业务、补充业务、增值业务、计费等。

第二阶段集中对 VoLTE 流程涉及的核心网设备进行性能和功能验证，包括设备及各业务平台的安全测试、电信级测试、绿色测试、设备性能测试、KPI 指标测试以及功能测试等，验证了设备和业务平台的商用可行性，推动设备性能完善和功能升级。

第三阶段针对 VoLTE 流程涉及的所有打开接口验证不同厂家设备及平台间互操作能力，包括 VoLTE 基本功能、基本音视频业务、补充业务、计费、异常处理等内容。

实验室测试为现网试点测试扫清障碍,推动了设备及平台的成熟,为 VoLTE 的商用夯实了技术及网络基础。

(2) 外场试点

为全面验证 VoLTE 端到端组网能力,网元、终端的功能、性能及稳定性,为全网 VoLTE 网络建设工作积累建设和运维经验,2014 年 2 月底中国移动启动 VoLTE 现网试点工作,选取广东、浙江、江苏、福建、湖南等 5 省,涵盖主流核心网、业务平台、无线、支撑以及终端设备企业共 20 家,以语音和消息类业务能力验证为重点,同时进行重要智能/增值业务的测试工作。为此,中国移动组织编写了 4 本测试分册,涉及业务能力、网络功能、无线功能及性能、终端功能、计费、业务开通和网管安全 7 大方面 18 类测试内容,共计 1152 个测试项,基本全面覆盖端到端基础业务流程。

截至 2014 年 10 月,已完成一阶段音视频呼叫相关功能测试和总结,VoLTE 的成熟度和商用能力已得到初步验证。

(3) 国际互通与漫游试验

为验证 VoLTE 业务国际互通与漫游能力,中国移动与韩国 SKT、KT、印度 Reliance、荷兰 KPN 等国外运营商之间进行了多次 VoLTE 国际漫游与互通试验或演示,以验证 VoLTE 业务质量和 VoLTE 商用终端功能,测试 VoLTE 国际漫游过程中链路承载质量,评测对 VoLTE 业务的影响,做好 VoLTE 商用后的国际互通、漫游准备,为后续实现 VoLTE 全球漫游积累了重要的实践经验。

2.3 NanoCell 产业化进展和试验

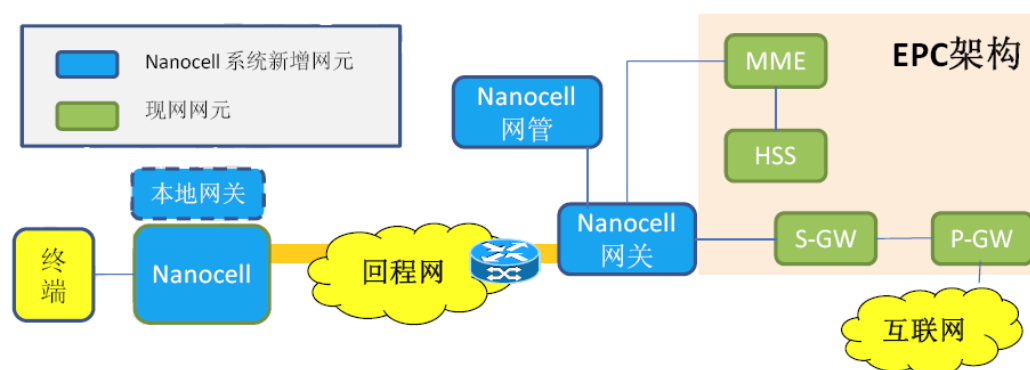
随着移动数据业务的高速增长以及室内无线传输需求的不断增加，对移动网络密集覆盖容量要求日益突出。除了在采用宏基站进行室外连续覆盖和室内浅层覆盖、采用微基站进行道路等区域性覆盖之外，在室内分布系统部署困难或容量不足的场景，部署 NanoCell 这类安装简单、站点简洁、部署灵活的小型化设备，可以实现快速室内补盲和快速增加局部热点区域的网络容量。Nanocell 功率会略高于家庭基站，允许接入用户数量高于家庭基站，适合布署在小企业等宏网络的深度覆盖能力不足的场景中。

结合中国移动对 NanoCell 技术的要求，TD-LTE 工作组于 2014 年下半年开展 Nanocell 的相关工作，研究和制定 Nanocell 规范（见图表 7），开展 NanoCell 设备测试和异厂家间互操作测试。

图表 7 NanoCell 技术试验规范列表

序号	规范名称
1	Nanocell 技术试验——基站设备技术要求
2	Nanocell 技术试验——基站设备测试方法
3	Nanocell 技术试验——网关设备技术要求
4	Nanocell 技术试验——网关设备测试方法
5	Nanocell 技术试验——网关设备和基站设备 S1 接口互操作测试规范

Nanocell 端到端测试环境如图表 8 所示，被测设备是 Nanocell 基站设备和网关设备，其余网元设备由实验室配套。



图表 8 NanoCell 系统架构图

网关设备和 NanoCell 基站设备的互操作是本次测试的重点，具体测试内容包括 S1 接口基本功能、FTP 上传下载业务、NanoCell 基站接入认证功能和网关接入功能测试。

京信、三元达、中兴和思科的网关设备和京信、三元达和中兴的 NanoCell 基站设备在中国移动完成单设备测试和互操作测试。

大唐、智达康、傲天动联、博威四家网关设备和大唐、飞烽、智达康、广达集团、博威、超讯、烽火、傲天动联、Airspan、华为十家 NanoCell 基站设备在完成单设备测试后，在 MTNet 参加了互操作测试。

截止到 2014 年 11 月底，完成了中兴、大唐、京信、智达康、思科的网关设备和京信、中兴、大唐、智达康、飞烽的 NanoCell 基站设备之间共 12 个互操作组合测试。其它组合的测试还在进行。

阶段测试结果表明，网关和 NanoCell 基站设备的功能基本完善，仍需进一步完善协议一致性和安全认证方面的互操作。协议一致性问题主要是各厂家对 S1 协议存在理解不一致的地方；安全认证类问题主要是 NanoCell 基站和网关之间的 IPSec 安全认证过程安全证中存在

书无法识别、EAP-AKA 算法鉴权失败等现象。

2.4 LTE 终端一致性测试工作

TD-LTE 工作组下设 LTE 终端一致性工作小组，对口相应国际组织，负责持续推进 TD-LTE-A 等终端一致性测试工作。

（1）标准研究方面

TD-LTE 终端一致性测试标准主要包括射频性能、协议一致性、无线资源管理（RRM）三个方面。在前期完成 R8 和 R9 版本基础上，3GPP RAN5 近期完成了 R10 全部及 R11 大部分项目（WI），并开始逐步向 R12 版本转移。

R10 主要针对 LTE 载波聚合、aSRVCC、NIMTC、增强下行多天线、上行多天线传输、非载波聚合 eICIC、增强 MBMS、E-UTRAN MDT 等开展终端测试要求和方法的标准化工作。

R11 已完成带内和连续带间载波聚合、SIMTC、ZUC、ePDCCH、Enhancement MDT、新增 TD-LTE 特殊时隙配比等终端测试要求和方法的标准化工作。目前尚遗留 CoMP、rSRVCC、非载波聚合 eICIC 增强等工作，将于近期完成。

R12 将主要对 bSRVCC、下行三载波聚合、覆盖增强等项目展开研究和标准化工作。

（2）终端一致性测试用例开发和测试仪表研发

目前，R8 到 R11 版本中 TDD 相关 TTCN 测试用例开发进展情况，

如图表 9 所示。

图表 9 代码开发情况汇总

Release	Title	GCF TDD WI	TTCN 开发数	R5 标准数
R8	-	091/092/095/096/097/ 099/151/195/tbc	457	488
R9	-	150/151/156/169/174	61	68
R10	CA	162	15	32
	aSRVCC	172	0	15
	EPS Enhancements InterRAT E-U (MDT)	183	0	2
	EPS Enhancements InterRAT E-G (MDT)	184	1	2
	eICIC (Rel-10)	-	0	4
	eMBMS (Rel-9 & 10)	-	9	11
	LTE Rel-10	-	4	4
	MDT (Rel-10)	-	13	21
	NIMTC (Rel-10)	-	4	6
R11	ZUC	173	5	5
	TDD_SSC	191	0	4

当前参与终端一致性测试系统开发的公司如图表 10 所示。

图表 10 TD-LTE 终端一致性测试系统及公司

仪表测试系统	仪表公司
射频一致性测试系统	罗德施瓦茨、安立、AT4 等
协议一致性测试系统	安耐特、罗德施瓦茨、安立、AT4 、 大唐联仪、星河亮点、中创信测等
无线资源管理(RRM)一致性测试系统	罗德施瓦茨、安立、AT4、星河亮点等

(3) 终端一致性测试用例和仪表验证进展

由全球认证论坛（GCF）认可的第三方实验室使用准商用终端对仪表平台进行测试验证。R8、R9 版本已完成测试验证，R10 主要开展了载波聚合和 aSRVCC 的验证。FDD 载波聚合主要面向带间聚合，TDD 以带内聚合为主；TDD 的 aSRVCC 进展稍滞后于 FDD。具体如图表 11、12 所示。

图表 11 载波聚合测试例验证情况

双工模式	频段 1	频段 2	验证完成度
FDD CA	Band1	Band5	97%
	Band1	Band19	92%
	Band1	Band21	22%
	Band1	Band26	97%
	Band2	Band13	53%
	Band3	Band8	97%
	Band3	Band19	92%
	Band3	Band20	58%
	Band19	Band21	22%
TDD CA	Band38	-	74%
	Band39	Band41	31%
	Band39	-	18%
	Band40	-	79%
	Band41	-	79%

图表 12 aSRVCC 测试项目验证情况

项目	频段及双工模式	验证完成度
Single Radio Voice Call Continuity in alerting phase (aSRVCC); E-UTRA	FDD Band 01	82%
	FDD Band 03	82%
	FDD Band 19	82%
	TDD Band 38	21%

3 4G 产业发展

全球的移动互联网市场经过 3G 时代培育，已经进入爆发期，为 LTE 发展提供了充足的需求动力。LTE 初期发展速度远超当年的 3G 网络，成为历史上发展速度最快的移动通信技术。LTE 网络在全球的迅速铺开促进了 LTE 产业链的发展和成熟。

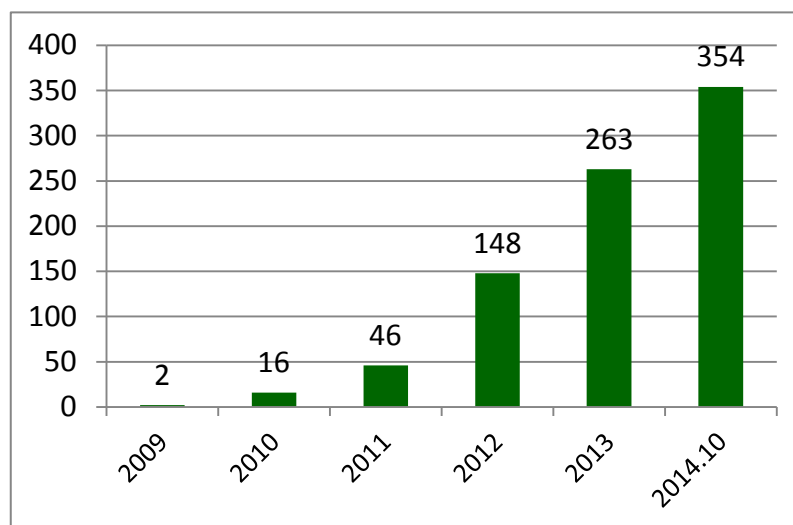
TD-LTE 也成为全球移动宽带的主流技术标准之一，得到了全球产业链的广泛认可和支持。

3.1 4G 商用进展及趋势

3.1.1 全球 4G 商用总体情况

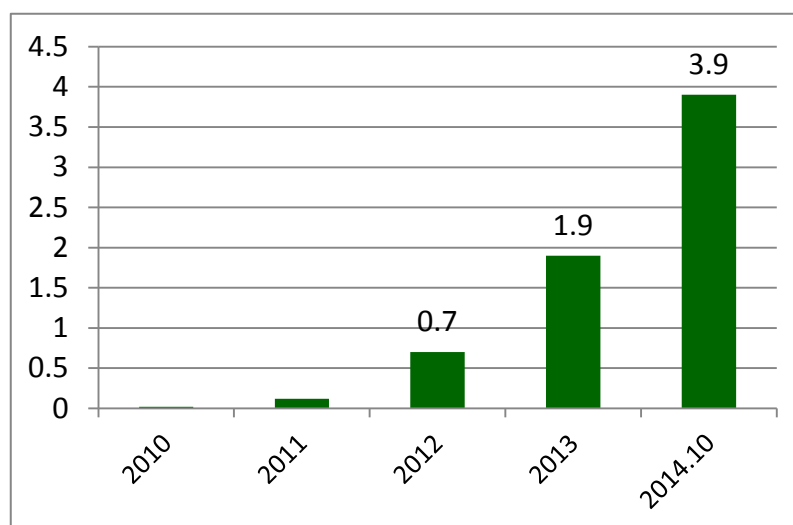
4G 与移动互联网的结合，将成为未来十年 ICT 产业发展的核心引擎。截至 2014 年 10 月，全球共有 119 个国家和地区开通 354 个 LTE 商用网络，已超过 3G 网络的一半，成为史上发展速度最快的移动通信技术（全球 4G 网络数量增长趋势如图表 13 所示）。人们对随时随地、随心所欲的个性化信息交互的内在精神需求，造就了移动互联网业务过去十年的爆炸性成长。而 3G 陈旧的技术架构和有限的带宽已经成为限制宽带移动应用发展和普及的“技术瓶颈”，4G 由于采用了针对移动数据传输的新架构新设计，将使移动互联网需求得到进一步释放。2013 年全球移动数据流量增长率为 70%，而韩国部署 4G 两年内移动数据流量就增长 60 多倍，可见 4G 和移动互联网的“相互催化

作用”的惊人威力。



图表 13 全球 4G 网络数量增长趋势

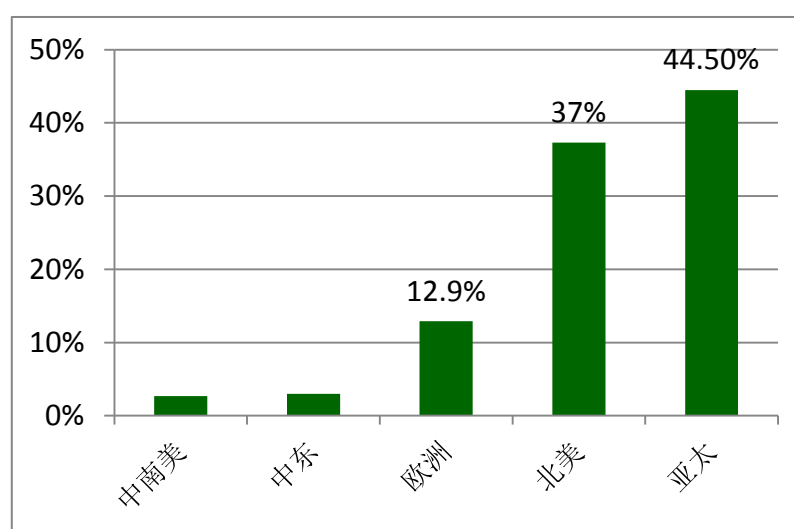
截至 2014 年 10 月底,全球 LTE 用户总数达到 3.9 亿。过去 5 年 4G 用户数量增长趋势如图表 14 所示。



图表 14 全球 4G 用户数量增长趋势（单位：亿）

移动互联网发展活跃重塑 4G 时代全球移动通信版图（全球各地区 4G 用户分布情况如图表 15 所示）。2G 发展最好的欧洲在 3G/4G 时

代出人意料地衰落为“后进地区”，截至 2014 年 10 月只拥有全球 4G 用户的 12.9%，经济危机等原因造成欧洲市场对新型移动应用需求低迷。亚太和北美作为移动互联网发展最为充分的地区，占据了 4G 用户 81.8% 的份额。其中，北美地区但由于人口有限，市场已趋于饱和，再难有大的增长。而亚太地区以 44.5% 的比例，已经超过北美，成为 4G 用户最多的地区，且未来发展潜力仍然巨大。据市场调研公司 Analysys Mason 近日的报告显示，2015 年亚太发达地区通过 LTE 接入移动网络的比例超过 3G，达到 53%，预计 2018 年这一比例将达 70%。



图表 15 各地区 4G 用户比例 (2014.10)

在全球范围内，4G 终端迅速走向成熟。智能手机价格和 3G 的差别已不明显，人民币千元机、美元百元机已大量出现。截至 2014 年 10 月上旬，全球 LTE 终端达到 2218 款，较 7 月份增长 329 款。其中，智能手机 1045 款、路由器（包括个人热点）559 款、USB 调制解调器/上网卡 191 款、模块 163 款、平板电脑 207 款、笔记本电脑/上网本

37 款、PC 卡 1 款、Femtocell 13 款、相机 2 款。截至 2014 年 10 月 12 日，TD-LTE 终端达到 644 款，比 7 月增长 114 款。其中，智能手机 269 款、路由器（包括个人热点）215 款、Dongles 85 款、模块 37 款、平板电脑 31 款、Femtocell 6 款、Camera 1 款、智能手机比上月增长 85 款，超越路由器成为 TD-LTE 款式最多终端。

3.1.2 我国 4G 商用进展及趋势

我国已于 2014 年 6 月 4G 网络规模跃居世界第一，10 月三大运营商 4G 基站数量已接近 80 万个。根据中移动公开的数据，中国移动已建设的 TD-LTE 基站数量已超过 57 万个，4G 网络已经覆盖 29 省 300 多个主要城市，基本实现县级以上城市和发达乡镇覆盖，人口覆盖率达到 75%，并与美国、香港等 27 个国家和地区实现 4G 漫游。中国联通和中国电信自 2014 年 6 月起启动 TD-LTE/FDD 混合组网试验，目前已分别在 40 个城市开通了 4G 网网络，中国联通半年报披露的 4G 基站数据 10 万左右，2014 年计划建设 18 万个 FDD 基站，计划在 2015 年建设 15 万个 FDD 基站，实现地市、县市区、镇、国省道沿线、高速公路沿线、高速、快速铁路沿线的“沃 4G”连续覆盖。根据已公布的数据，中国电信 4G 基站约为 9 万个，计划 2015 年在 100~120 个城市做 4G 厚覆盖，剩下的城市薄覆盖。中国电信和中国联通已申请第三批 TDD/FDD 混合组网 4G 试验，计划新增 237 个城市，正等待批复。

我国即将成为全球最大 4G 市场，为我国构建在全球移动通信产业的领导地位提供了难得机遇。2014 年，中国成为全球 4G 发展的最大亮点，我国启动 4G 商用短短 10 个月时间，已经成为 4G 发展新的核心。截至 2014 年 10 月，我国 4G 用户达 5777 万，占全球 14.8%，预计在 2015 上半年将成为全球最大 4G 市场。中国移动 4G 客户数已突破 5000 万，提前 60 余天完成年度客户发展计划。中国电信移动用户数于第三季度当季止跌回升，净增 133 万户。中国联通 9 月 3G/4G 用户数新增 113 万，但两个运营商的 4G 实际用户数，中国电信和中国联通已连续几个月未加披露。

总结中国 4G 快速发展的经验：一是产业界积极参与 4G 国际标准化并成为 LTE 标准的主要制订者之一；二是组织推动 TD-LTE 研发并构建了全球化的 4G 产业链；三是用最快的速度实现全国布网，促进竞争，消除发展瓶颈，实现了终端多样化和资费的降低。

中国 4G 市场崛起必将改变移动通信乃至 ICT 产业的世界格局，使我国居于全球 4G 技术和应用创新的核心，这是创造历史的难得机遇。

3.1.3 4G 业务与运营发展趋势

4G 用户业务数据量大大超过 3G。根据国外市场研究公司 Mobidia Technology 的智能手机流量分析报告，LTE 用户所消耗的数据量大大超过 3G 用户。报告显示，2014 年前 4 个月，香港地区 LTE 用户的平

均数据使用量几乎是 3G 用户的两倍。日本、韩国和美国成为每 LTE 用户月均数据使用量最高的市场。

实际上，LTE 发展较快的运营商，LTE 数据流量早已超过 3G。例如美国运营商 Verizon，于 2010 年底商用 LTE，2013 年 7 月宣布网内 57% 的移动数据流量由 LTE 传送。2012 年 9 月底，该公司曾宣布来自 LTE 网络的数据流量占比为 35%，而其 3G 网络实现这一指标用了 8 年，而 LTE 仅用 2 年。

虽然 4G 网络容量大幅提升，但由于用户对数据带宽需求的快速提升，Wi-Fi 网络仍然承担着卸载数据的重要角色。在所有主要的 LTE 市场，Wi-Fi 数据仍占所消耗的移动数据总量的 75%~90%。这表明，目前用户使用基于蜂窝的流量更多地是出于移动的简便性，而多数情况下处理较大的数据流量，则是用 Wi-Fi 完成的。

M2M 与 LTE 融合或将成为运营商 4G 业务发展热点。随着 LTE 商用网络进程的加快，LTE 的大宽带、大速率和低时延特性将大大推进 M2M 服务和相关应用的发展。据 GSA 估算，到 2014 年底，全球 M2M 的连接数将从 2013 年的 1.95 亿增加至 2.5 亿。而到 2019 年，LTE 的 M2M 将成为主流，估计有 20% 以上活跃的 M2M 终端将以 LTE 方式连接。当全球的移动运营商面临语音和短信收入下降的困境时，M2M 或许将成为整个产业瞩目的下一个焦点。在 LTE/M2M 结合的概念下产生的几种典型业务包括车载信息娱乐系统、远程安全业务、远程医疗服务、基于位置的业务等。

4G 运营商瞄准“大数据分析”等新兴商业模式。随着运营商的“管道化”趋势日益明显，部分 4G 运营商看好在云平台上的大数据存储和大数据分析业务，认为其将成为未来新业务拓展的重要方向。运营商认为，基于自己连接所有终端的网络基础，运营商具有构建云存储和云计算中心、开展大数据存储和分析业务的先天优势。而 LTE 网络提供的带宽优势使 3G 时代难以实现的“用户与云端之间”、“云与云之间”的大量数据交换成为可能，使运营商可以通过“移动云”随时随地地收集、存储用户数据，从而掌握开展“大数据”业务所需的庞大资源。

4G 带来我国移动数据套餐资费的大幅下降。中国移动最低 4G 月套餐资费 58 元，包括 1GB 流量，套餐外流量 0.29 元/MB，远远低于 3G 资费水平。中国电信针对 4G 手机业务推出了一款自由定制的个人化套餐，最低门槛为每月消费 19 元，包括 127 分钟通话，或 284 条短彩信，或 157M 流量，套餐外每 MB 流量最低 0.1 元。中国联通目前门槛最低的是 4G 沃派的 16 元套餐，包含 60 分钟通话时长和 200M 流量，套餐外流量标准是 0.2 元/MB。中国移动 10 月 1 日起将面向全球 143 个国家和地区推出“3 元/6 元/9 元流量包”，其中 18 个国家和地区可以“30 元/60 元/90 元流量包天随便用”，27 个国家和地区已支持 4G 漫游。

3.1.4 LTE-A 商用情况

众多运营商开始升级 LTE 网络以提升系统容量和传输速率,2014 年 LTE-A 网络部署获得全球性进展。根据 GSA 统计,截至 2014 年 10 月,全球已有 14 个国家的 21 家运营商推出了基于载波聚合技术的 LTE-A 商用网络,包括日本、韩国、美国、法国、捷克、澳大利亚、韩国和俄罗斯等,另有超过 79 家运营商正在开展网络部署或试验。近日,全球众多运营商宣布商用或者试验 LTE-A 网络,大幅提高了 4G 网络传输速率,LTE-A 商用步伐逐渐加快。例如,新加坡运营商 SingTel 近日宣布开通 LTE-A 网络,并与华为联合发布命名为 E5786 的 LTE-A 移动宽带设备,能够提供高达 300Mbps 的超高速数据传输,SingTel 承诺所有拥有兼容设备的 4G 客户将能够使用 LTE-A 服务,且无需额外付费;澳洲电讯宣布利用 700MHz 频段上的 20MHz 频谱,在弗里曼特尔、埃斯佩兰斯等地进行 LTE-A 商用,并从 2015 年 1 月开始在一系列城市和地区中心部署更多 700MHz LTE-A 服务。目前,LTE-A 全部主要是通过载波聚合实现,同时结合了其他增强功能,诸如增强 MIMO、干扰管理和异构网络等,目前 LTE-A 网络最高速率可达到 450Mbps,平均速率可达到 225Mbps 及以上。同时,沙特阿拉伯的运营商 STC 推出目前全球唯一一个 TDD LTE-A 网络。

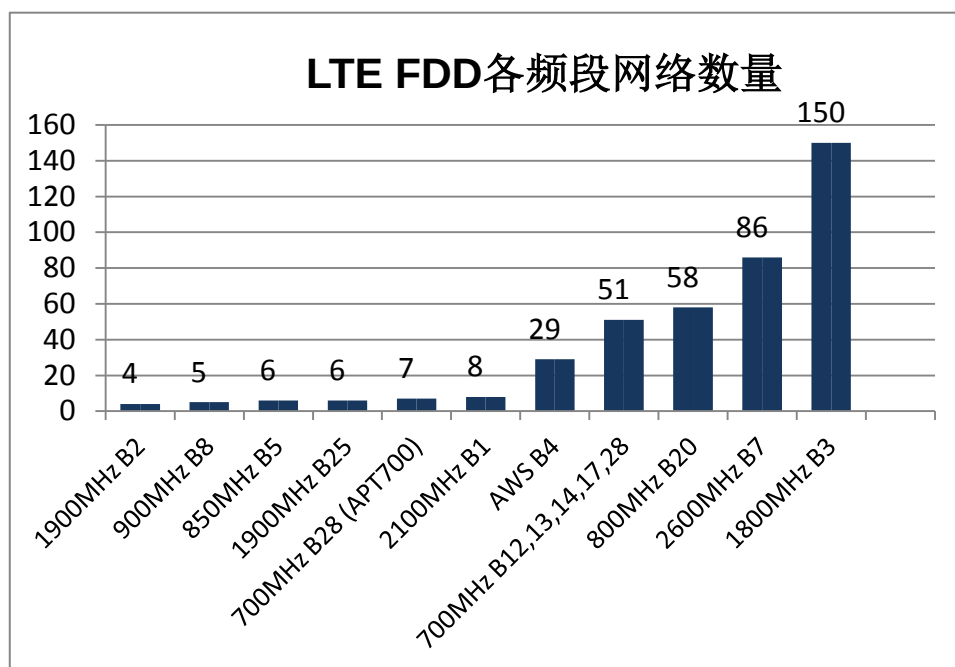
韩国是 LTE-A 商用网络推进最为激进的国家,韩国三大运营商均已推出基于载波聚合的 LTE-A 服务,全国已经拥有 LTE-A 基站将近

21 万个，占韩国 LTE 基站的 47%，也就是说韩国有将近一半 LTE 基站都已升级为 LTE-A 基站。其中，韩国电信在 LTE-A 基站规模上遥遥领先，拥有近 10.80 万座，占其 LTE 基站的比重高达 85%，SK 电讯拥有 6.39 万座，LG U+则拥有 3.76 万座，占其 LTE 基站的比重分别为 37%和 26%。

3.2 4G 频谱分配情况及发展趋势

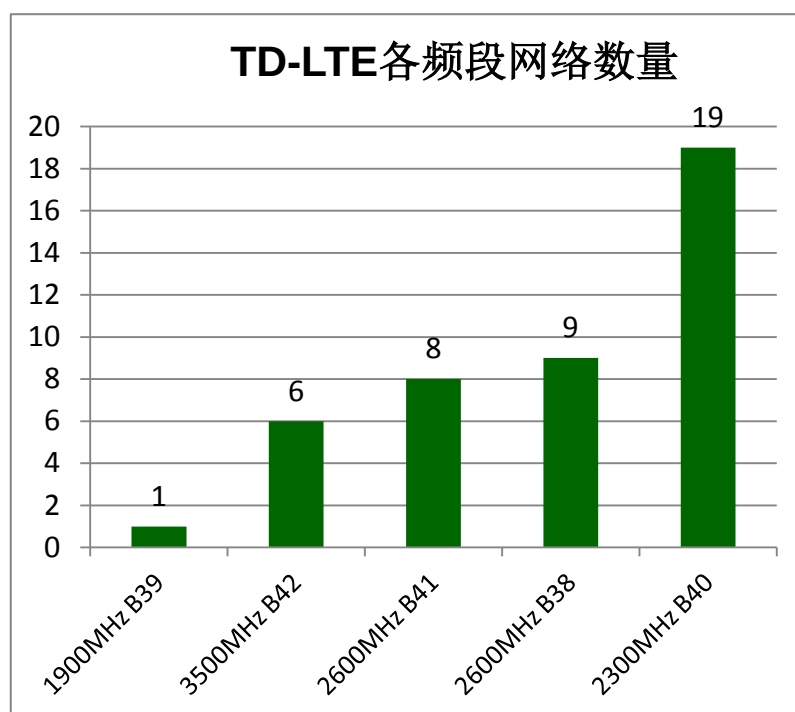
3.2.1 全球 4G 频谱分配现状和趋势

各国政府把 4G 看作争抢 ICT 科技和产业制高点的重要战场，积极分配优质、足量频谱促进 LTE 的发展。全球 LTE FDD 牌照采用的频谱如图表 16 所示，1.8GHz、2.6GHz 和 700~800MHz 成为主流。其中 1.8GHz 频谱在包括日本、韩国、澳大利亚和德国等 60 多个国家和地区用于 LTE FDD 部署，成为采用运营商最多、国际漫游能力最强的 4G 频段。



图表 16 全球 LTE FDD 牌照采用的频谱

TD-LTE 采用的频谱如图表 17 所示。TD-LTE 网络目前集中在 2.6GHz 和 2.3GHz 频段，3.5GHz 等新频谱也已开始分配，运营商持续增多。



图表 17 全球 TD-LTE 牌照采用的频谱

运营商意识到移动互联网时代“频谱为王”，为了获得与 4G 技术捆绑的新频谱资源，也成为积极部署 4G 技术的动因之一。另外，在 4G 时代，传统 FDD 运营商也开始重视 TDD 频谱，希望利用 TDD 频谱扩展其下行 4G 带宽。

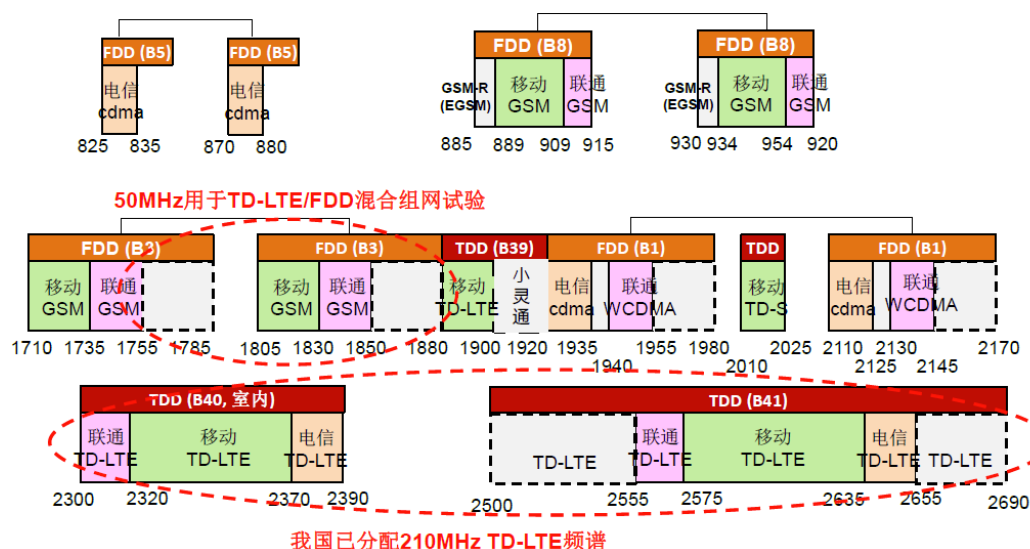
低频段成为 4G 发展最重要的频谱资源之一。在全球发布的 4G 牌照中，采用 1GHz 以下频谱的牌照占 35.8%。且作为大型运营商实现 4G 大覆盖和室内穿透的骨干频谱。除了欧美等早已开始分配 1GHz 频段用于 4G 外，亚洲 APT700 频段的 LTE 网络商用也进展顺利，已有六家运营商开通 LTE 商用网络。继 2014 年 2 月全球 700MHz 产业联盟的成立拉开了 APT700 商用部署序幕之后，亚太/大洋洲地区国家的运营商纷纷开始了实质性部署，以借助 APT700 的广覆盖性，加快 LTE 全国覆盖的进程，并降低运营商的建网成本。截至 2014 年 7 月底，全球已经有六家运营商推出 APT700 频段的 LTE 商用网络，全部都是 LTE FDD，即 3GPP Band 28(上行：703-748 MHz，下行：758-803 MHz) LTE 网络，六个运营商分别为巴布亚新几内亚的 Digicel、台湾的远传电信和台湾移动、新西兰沃达丰、澳大利亚的 Telstra 和 Optus。新西兰电信宣布 2014 年 8 月底将推出 APT700 LTE 商用网络。目前，已有 11 家终端厂商推出了 33 款 APT700 终端，其中包括智能手机、平板电脑、CPE 和 MiFi 热点等。

面向未来，全球业界正在积极为 4G、5G 发展寻找更多的频谱资源。2015 年世界无线电通信大会（WRC15）将于 2015 年 11 月召开，

此次大会在必要时将修改国际无线电规则，随着用户对移动数据服务需求的不断增加，移动行业渴望获得尽可能多的频谱，此次大会将是一次很好的契机。近日，全球移动通信协会（GSMA）呼吁各国政府开始对明年的 WRC 大会做出计划，加紧制定计划，分配更多频率用于移动宽带。目前，很多有关分配更多的频谱用于移动宽带的讨论已经开始。

3.2.2 我国 4G 频谱分配现状和趋势

我国为 4G 分配了大量频谱。我国已为 4G TD-LTE 商用分配 210MHz 频谱，并在 TD-LTE/FDD 混合组网试验中使用了另外 50MHz 频谱（如图表 18 所示），从频谱数量上处于全球领先地位。



图表 18 我国 4G 频谱分配情况

但在全球范围内，4G 频谱需求仍然巨大，4G 网络逐渐从热点、浅层覆盖走向广域、深度覆盖，现有频谱还难以满足长期、健康、全

球化大发展的需要。尤其是可实现优良覆盖和低组网成本的 1GHz 以下低频段频谱已成为 4G 发展最重要的频率资源之一，往往被作为最重要的 4G 广覆盖的基础频段，承载了最大数量的用户。截至 2014 年 10 月，全球 354 张 4G 商用网络中，有 127 张采用的频谱位于 700MHz~1GHz 频段，占 35.8%。另外，2G 频谱的重耕也成为 4G 获得低频段资源的一个重要途径。2013 年全球 2G 用户已经出现了 1 亿的负增长，为 2G 频谱重耕创造了条件。全球多家国际运营商已提出 2G 网络的关闭时间节点，以腾出更多频谱用于发展 4G 网络。澳洲电信近日表示，将于 2016 年底之前关闭现有的 GSM 网络，并把此前用于 2G 的部分 900MHz 频段用于 4G 网络；AT&T 也提出了在 2016 年底关闭其 2G 网络、将其频谱用于 3G 和 4G 网络的计划。目前，2G 用户向 3G/4G 网络的迁移已经开始。

重耕 2G 频谱可以推动“2G 的逐渐退网、向 4G 演进”的正循环：只要通过 4G 网络高速率、低资费的优势分流一部分 2G 用户或数据负载，就可以挤出少量 2G 频谱，部署较小带宽（如 5MHz）的 4G 网络。4G 得以在低频段部署后，可以显著改善 4G 覆盖和服务质量，从而更好地吸引 2G、3G 用户升级到 4G，加速 2G 网络负载的分流，腾出更多的 2G 频谱，进而实现低频段 4G 网络的扩容，进一步增强 4G 网络的竞争力。这样，就可以形成“2G 频谱重耕→扩容低频段 4G→提高 4G 竞争力→加速 2G 用户迁出→2G 频谱进一步重耕”的正向循环（如图表 19 所示），最终实现 2G 的全部退网和向 4G 的整体重耕。



图表 19 2G 频谱向 4G 重耕的“正循环”

随着我国 4G 用户的快速增长，未来也可以考虑增加频谱分配的灵活性，根据运营商的 2G 频谱资源现状，逐步开展 2G 网络的平滑重耕，实现 1GHz 以下的 4G 网络部署。目前，可紧密协调产业，提前开展相关频段的产品研发和产业化工作，做好重耕准备。

3.3 4G 网络设备发展趋势

3.3.1 4G 核心网设备发展趋势

LTE 系统采用了一系列新的网络技术：全 IP 的 EPC 网络更加扁平化，简化了网络协议，降低了业务时延；原有的核心网电路域消失，由分组域和 IMS 网络给用户 提供 话音业务；同时，支持 3GPP 系统接入，也支持 CDMA、WLAN 等非 3GPP 网络接入。

但是，面向移动互联网时代的新机遇新挑战，移动运营商对核心网络提出了更高的要求，包括：降低 CAPEX 和 OPEX、提升网络开放性并快速提供业务的需求；提升网络智能、加强网络控制能力的需求；提升网络负载分担、容量统筹调度、核心控制网络扩展性的需求等。因此，更加灵活开放的网络架构、低成本建网和海量业务提供能力以及快速业务部署能力，成为 4G 核心网发展的重要趋势。而要构

建这样的能力，4G 核心网应具备智能、通用、开放、以用户为中心等关键特征。

在目前 4G EPC 网络架构下，很难统筹部署网络感知能力，无法感知网络负载情况、用户分布情况，无法对网络进行动态的智能调整或快速的业务部署，用户新的需求很难很快得到满足。而 SDN（Software Defined Networking，软件定义网络）和网络虚拟化的理念可以很好地满足目前移动核心网络发展的新需求，通过将虚拟化、SDN 等技术引入到移动核心网，实现网络部署能力的提升、网络部署成本的降低和运营能力的增强。

3.3.2 4G 无线网设备发展趋势

4G 时代基站产品将向硬件平台共享化、产品小型化、型态多样化方向发展，具体发展趋势包括：

SDR（软件无线电）技术的商用，推动多制式融合基站的发展。 SDR 技术可以使不同技术体制共享同一套硬件平台，这意味着同样的硬件模块可以配置为 GSM、WCDMA、CDMA、LTE 等多种制式，甚至支持一个硬件两种制式。硬件平台共享化大大降低运营商网络演进的成本和运维成本。

基站产品的小型化成为趋势。大容量 BBU 硬件、宽频 RRU、无线射频前端的宽带化、宽带功放等器件的发展，将提高产品的集成度，推动基站产品的小型化。

场景覆盖的优化和大容量的需求，催生基站的多样化。为满足室内深度覆盖、室外热点地区、高铁等场景覆盖的需求，各种形态的基站共同组成 LTE 异构网络，满足不断提高的覆盖和容量需求。

射频部件与天线紧密结合的有源天线是发挥无线信道的空间资源的最佳方式，成为移动通信领域的研究热点。基站天线是移动通信系统的重要组成部分，其特性直接影响整个无线网络的整体性能。天线正在逐步向宽带化、多频化、电调化、一体化和有源化方向发展。与无源天线相比，LTE 有源阵列天线将射频部件与天线一体化设计，在实际组网应用中可以灵活改变水平与垂直波束指向，从而根据用户以及业务的变化，动态调整网络的配置，优化网络结构，提高客户感受，提高网络部署的灵活性，降低建网投资。

CRAN 成为 4G、5G 无线接入网络架构的发展方向之一。CRAN 是将目前网络中大量物理固化的 BBU 信号处理资源转化为可动态共享的信号处理资源池，在更大的范围内实现蜂窝网络小区处理能力的即取即用和虚拟化管理，从而提高网络协同能力、大幅降低网络设备成本、提高频谱利用率和网络容量。当然，CRAN 在技术实现上还面临着一些挑战，包括：集中基带池与射频远端的信号传输问题；集中基带池技术方案的成熟度和建设成本问题；通用处理器性能功耗比问题等。经过我国推动，大规模集中式基带池研究工作已接近完成，基带池虚拟化正处于样机研发阶段，BBU-RRU 接口数据压缩、面向 C-RAN 的低功耗通用处理器平台的研发工作也将在 2015 年启动。如

果 C-RAN 涉及的核心技术问题能够在近两年内全面攻克，将有望引入到未来的 4G 或 5G 网络架构中。

3.4 4G 芯片产业发展趋势

4G 芯片成为移动芯片产业发展最主要方向。据咨询公司 SA 的统计和预测，2014 年 LTE 芯片出货量有望接近 5 亿片，占移动通信芯片总出货量的 35%，三年累计平均增长率 83.6%。4G 芯片市场已经成为移动芯片主流企业的必争之地和市场存活的关键因素。

多模多频仍是近期 4G 终端芯片研发的核心需求。移动通信 2G/3G/LTE 等多制式将长期并存，全球各个国家和地区通信制式的多样化及频段组合的多样化也会长期存在。终端芯片支持 5 模甚至 6 模十个频段以上将是芯片企业满足市场需求和最大化规模效益的主要方向。在此基础上，针对区域市场的按需裁剪和定制化开发使得 LTE 终端的制式组合呈现更为复杂和多样化的特征。

如图表 20 所示，截止 2014 年 10 月，在国内获得进网许可的 634 款 4G 手机共有 11 种模式组合。TD-LTE/TD-SCDMA/GSM 三模、TD-LTE/ LTE FDD/WCDMA/GSM 四模制式、TD-LTE/LTE FDD/cdma2000 /CDMA 1x/GSM 五模制式三类手机占比最高。

图表 20 我国各种制式 4G 手机进网款累计数（截至 2014 年 10 月）

电话机	支持网络制式	小计
仅支持 TD-LTE	TD-LTE/TD-SCDMA/GSM 三模制式	443
	TD-LTE/TD-SCDMA/WCDMA/GSM 四模制式	42
	TD-LTE/WCDMA/GSM 三模制式	5
	TD-LTE/cdma2000/CDMA 1X/GSM 制式	1
	TD-LTE/cdma2000/CDMA 1X 制式	1
	小计	492
同时支持 TD-LTE 和 FDD LTE	TD-LTE/LTE FDD/WCDMA/GSM 四模制式	57
	TD-LTE/LTE FDD/cdma2000/CDMA 1X/GSM 五模制式	52
	TD-LTE/LTE FDD/TD-SCDMA/WCDMA/GSM 五模制式	19
	TD-LTE/LTE FDD/cdma2000/CDMA 1X 四模制式	9
	TD-LTE/LTE FDD/TD-SCDMA/WCDMA/cdma2000/CDMA 1X/GSM 七模	4
	TD-LTE/LTE FDD/WCDMA/cdma2000/CDMA 1X/GSM 六模	1
	小计	142
总计		634

LTE-Advanced 成为下一步 4G 芯片研发和演进的主要方向，并推动芯片工艺和技术水平进一步升级。LTE-Advanced 可有效地提高移动终端芯片的数据传输速率，更好的满足快速增长的移动互联网业务需求。为满足 LTE-A 的技术要求，基带和射频芯片需提升对大数据量的接收和处理能力，同时需平衡成本和功耗性能。虽然 28nm 工艺可较好满足 LTE 类型 3（Cat3）和类型 4（Cat4）终端芯片的需求，但从功耗、性能和芯片面积角度，更高能力等级（Cat6 及以上）的终端芯片对 20nm 甚至 16nm 工艺节点提出了要求。

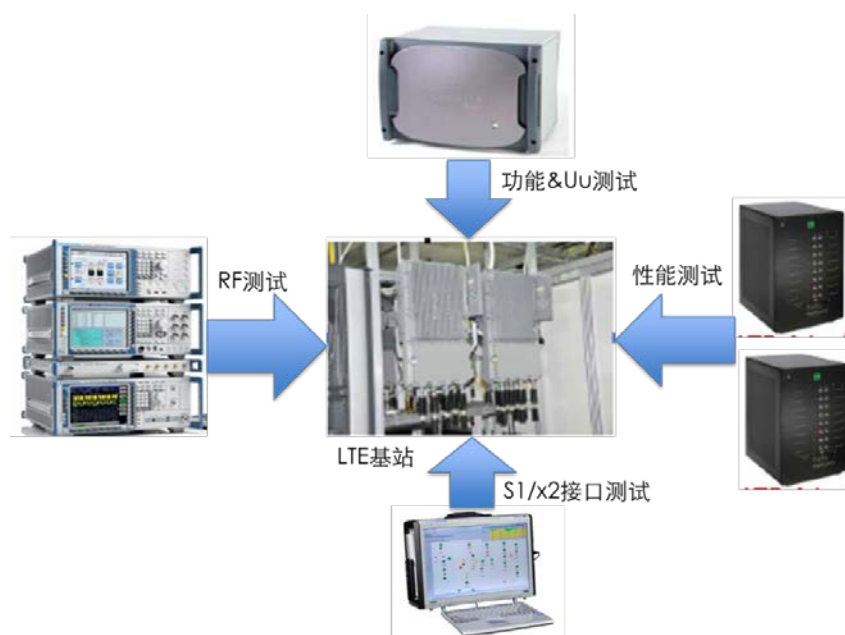
芯片集成和一体化设计成为 4G 芯片发展的新趋势。随着终端支持的频段数量不断增加，射频芯片需要提供更多的发射/接收通道，并

集成更多的射频前端器件。体积、性能、干扰成为越来越大的技术挑战。前端器件宽频化、集成化（PA、开关、滤波器等）设计，成为射频前端器件的发展趋势。基带芯片和应用处理器共同构成的片上系统（SoC）方案,基带和射频一体化方案，将继续在降低芯片成本和终端设计难度发挥重要作用。

3.5 测试仪表发展

3.5.1 面向技术和系统测试类仪表

用于宽带无线系统测试的仪表可分为四类：用于射频指标测试的射频类测试仪表，用于性能测试的信道模拟类仪表，用于接口协议测试的协议类仪表，用于辅助测试的测试终端模拟器。系统测试类仪表如图表 21 所示。

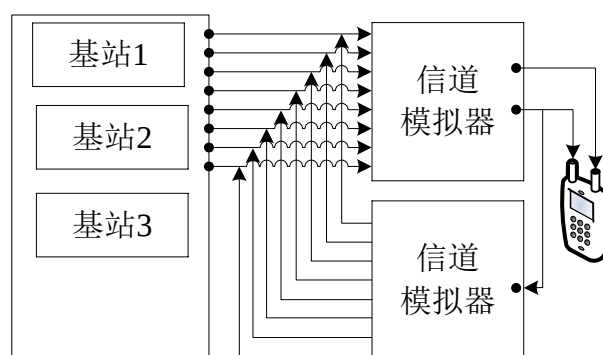


图表 21 系统测试类仪表

信道模拟器在 4G 性能测试中越来越重要。多天线是 4G 系统最重要的核心技术，LTE-A 和 5G 等宽带无线技术也将采用更多天线和更高阶 MIMO，信道模拟器将在性能测试中扮演日益重要的角色。

测试终端模拟器成为 4G 系统测试不可或缺的工具。由于 LTE 采用了扁平化架构，无线子系统部分只有基站一个网元，空口协议全部由基站内部处理，4G 系统无法在网络侧对空口协议进行监测，需要采用测试终端模拟器。另外，由于系统设备的推出时间会早于商用终端，因此系统设备早期的测试只能依赖于测试终端。

构建模拟外场测试系统为 4G 性能测试提供了一种新方案。利用信道模拟器在实验室与测试基站配合构成 LTE 模拟外场测试系统，旨在通过基站与终端之间添加与外场相同的信道衰落，模拟外场多小区实际环境，测试外场的切换成功率、平均吞吐量等关键无线指标。这套系统可以成为 4G 系统和终端性能测试的便利化、量化的有效手段。模拟外场测试系统如图表 22 所示。



图表 22 LTE 模拟外场环境示意图

LTE 模拟外场环境旨在通过基站与终端之间添加与外场相同的信

道衰落，模拟外场的切换成功率、平均吞吐量等关键无线指标。

3.5.2 4G 网络建设和优化类仪表

(1) 路测仪表

面向网络建设和优化的仪表包括路测系统（含路测软件、路测终端和扫频仪）、网规工具、网优工具和空口监测仪表等。这类仪表需要在实际外场测试中不断调试、验证，才能逐渐成熟。

2011 年在 TD-LTE 技术试验和规模试验早期，路测系统在关键无线参数测量、KPI 指标计算和分析方法等方面存在很大差异，一致性较差。TD-LTE 工作组循序渐进组织了 3 轮技术试验，组织厂家对数据进行分析，规范和统一各厂家对参数的理解，最终实现了路测终端测量准确度相差小于 3db，路测系统行为规范符合度达到 90% 以上的目标，推动了多家路测终端、软件和扫频仪间的适配，同时完善了路测系统的标准。

支持 LTE-A 的网络规划和优化工具，已经有部分企业完成开发，初步用于 LTE-A 试验网络的验证和优化。但在产品的标准化、测试模型和测试技术准确度上，需投入更大的力量，提升实际用户应用与理论分析的符合度，提高提高网络部署效率和效果。

(2) 空口监测仪表

由于 LTE 网络架构的扁平化，3G 网络中 Iub 接口监测的数据需要在 LTE 的 Uu 口进行监测，LTE 空口监测仪表成为继路测、扫频仪、

频谱分析仪等之外的一种新型综合监测和分析仪表。空口监测仪表在 2G/3G 发展过程中经验积累较少，技术复杂度较高，在此类仪表定位尚不甚清晰、技术能力有待提升的情况下，其市场发展前景仍有待探索。

3.5.3 4G 终端测试类仪表

面向终端的主要测试仪表包括终端一致性测试系统和终端综测仪两类仪表。

LTE 终端一致性测试系统包含射频（RF）、协议（Protocol）和无线资源管理（RRM）三个重要部分，对终端行为、场景、接口和性能进行测试，全面验证 LTE 终端产品的一致性及与网络的互通性。随着技术的发展和标准的演进，快速支持 LTE-Advanced、VoLTE/RCS 业务、支持 WIFI、蓝牙、定位等一系列智能终端周边一致性测试能力，是终端一致性测试系统的主要发展方向。

LTE 终端综测仪可以模拟基站与终端之间建立无线连接，同时进行发射机和接收机测量，完成 LTE 终端生产过程中对最关键射频指标的验证，保证终端出厂时符合基本要求。随着终端支持多模的需求越来越高，多模集成、快速自动化测试能力、适应更多多芯片方案是 LTE 终端综测仪的未来发展趋势。

我国企业在 4G 终端一致性测试系统和终端综测仪的仪表研发上取得了较快的进展。

4 4G 发展热点问题

4.1 VoLTE 发展面临的挑战

VoLTE 是运营商 4G 语音的终极解决方案。VoLTE 通过 IMS 系统的控制，VoLTE 解决方案可以提供和电路域性能相当的语音业务及其补充业务，包括号码显示、呼叫转移、呼叫等待、会议电话等。VoLTE 是全 IP 条件下端到端的语音解决方案，涉及终端、无线、PS、IMS、CS 各技术域，旨在替代电路域话音，因此实现复杂。

VoLTE 解决方案中，EPS 采用专门的 IMS APN 来提供语音业务，为信令和语音数据使用特定 QCI 的“承载”，从而保障给语音业务较高的 QoS。IMS 系统 IMS 域主要完成 CSCF 呼叫控制等功能。通常还需要 PCC 架构实现用户业务 QoS 控制以及计费策略的控制。

VoLTE 语音解决方案的核心思想是采用 IMS 作为业务控制层系统，EPC 仅作为承载层。借助 IMS 系统，不仅能够实现语音呼叫控制等功能，还能够合理、灵活地对多媒体会话进行计费。运营商可以基于用户的 QoS，针对用户业务的不同内容（比如是 VoIP 会话还是一次网页浏览或者是一条即时消息等），提供不同的资费标准。另外，IMS 定义了为业务开发商使用的标准接口，通过这些接口使得运营商能够在多厂商环境下提供业务，避免绑定在单一厂商来获取新业务。

VoLTE 的发展进程落后于预期。VoLTE 作为 4G 语音的终极解决

方案，曾一度被认为两年前就会得到运营商的大规模部署，但是时至今日，VoLTE 的发展速度却严重落后于预期。

据 GSA 统计，截至 2014 年 9 月，全球 324 家 LTE 运营商中只有 11 家提供 VoLTE 商用业务。在今年以前，部署 VoLTE 的运营商只集中在韩国、新加坡、香港的几家中小型运营商中，其中韩国市场 VoLTE 发展得最好，SK 电讯的 VoLTE 用户数在 2013 年 11 月已经达到 800 万，占其 LTE 用户的 60%。直到最近，AT&T、NTT DoCoMo、T-Mobile 等几家大型运营商才开始加入 VoLTE 运营行列，但只是在几个城市小范围的运营。

虽然从长期看，VoLTE 是 4G 运营商的统一发展趋势。但从运营商发展 VoLTE 的动机分析可以判断：在短期内，不同运营商仍将根据其各自需求对 VoLTE 抱持差异化的发展态度，VoLTE 在全球范围将与电路域话音长期共存。咨询机构的预测比前两年相对保守，据 Strategy Analytics 预测，2018 年全球 VoLTE 用户可望突破 8 亿，VoLTE 用户产生的通话时长将占全球移动用户总通话时长的 10%。

运营商部署 VoLTE 的可能动机包括：应对 OTT 和管道化挑战；提高话音 QoS；加速对 2G/3G 的替代，向 4G 单一网络演进；加速 2G/3G 频谱重耕，获得低频段的 FDD 频率。

但是冷静分析，OTT 取得的成功更多是商业模式的成功，即使部署 VoLTE 这样的 IP 话音业务，也不一定能扭转运营商的竞争劣势。而大部分用户使用话音业务的要求仅在于信息传递，对 VoLTE 占优势

的高清话音并没有显著的需求，富通信（RCS）业务也尚未发展出成功的应用方向。在替代 2G/3G 方面，不同运营商则需求不同：cdma 运营商希望通过部署 VoLTE，加速其向 4G 单一网络演进的步伐；而大部分 WCDMA 运营商则相当长时间内仍将以 3G 为基础网络，并不急于向 4G 单一网络演进。在 2G/3G 频谱重耕方面，主要是低频段和 FDD 频谱匮乏的运营商，希望尽快部署 VoLTE 加速频谱重耕进程。

另外，运营商在部署 VoLTE 时，仍需解决运营商间 IP 通信互操作、芯片/终端统一规范和解决方案、安全性、网络覆盖不足、核心网 IMS 改造难度、终端普及度等问题。

综上所述，预计在短期内，大规模商用 VoLTE 的仍将是少数运营商，大部分运营商仍将持观望态度。在全球范围内 VoLTE 仍将和电路域话音业务长期共存。

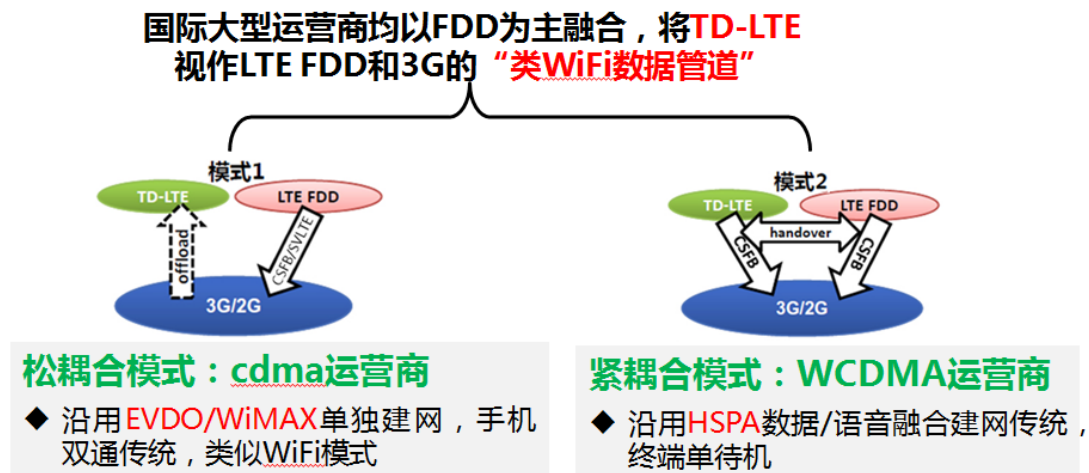
4.2 TD-LTE/FDD 融合发展

4.2.1 TD-LTE/FDD 融合发展趋势

TD-LTE 与 LTE FDD 共享相似的核心技术，全球主要系统、芯片、终端生产商均共用大量研发资源开展 TD-LTE 和 LTE FDD 研发，为全球 4G 产业“融合共赢”发展提供了可能。截至 2014 年 10 月，全球 40 个 TD-LTE 网络中 13 个为 LTE TDD/FDD 融合网络。TD-LTE 凭借产业链的日益成熟和与 LTE FDD 融合发展的便利，不仅促使诸多只有 TDD 频谱的中小型运营商向 TD-LTE 演进，也吸引了日、美等相对

大型的运营商（这些运营商通常同时拥有 FDD 和 TDD 频谱）采用 TD-LTE 技术，与 LTE FDD 进行融合组网。日本软银先行启动 TD-LTE 商用，目前已经部署 4 万多个基站，覆盖日本 97% 的人口，已拥有近 300 万用户，随后也部署了 LTE FDD 网络，双网同时运营。美国 Sprint 则先部署了 LTE FDD 网络，后于 2013 年启动 TD-LTE 商用网络建设，计划在全国主要城市部署 3.8 万 TD-LTE 宏基站和一定数量的微基站，作为 LTE FDD 网络的补充。

从长远来看，TD-LTE 与 LTE FDD 是否能够形成“和谐互补，长期共赢”的融合组网策略，对 TD-LTE 的长期国际化发展前景将产生深远影响。现在国际上主要有两种 TD-LTE、LTE FDD、3G 混合组网模式。如图表 23 所示，一种方式是 LTE FDD 网络和 3G 紧耦合，TD-LTE 作为数据网络的模式。尤其是那些原来在其 TDD 网络部署 WiMAX 的运营商（如 Sprint、KDDI 等），原 WiMAX 网络就被看作 3G FDD 系统（如 WCDMA、cdma2000）的数据通道，且和手机的 Wi-Fi 功能使用方法类似，并未实现与 3G 的互操作。第二种是 TD-LTE、LTE FDD、3G 紧密融合组网，实现 TD-LTE、LTE FDD 与 3G 的互操作；及 TD-LTE 与 LTE FDD 之间的数据业务切换，并共享核心网，甚至共享部分基站设备。



图表 23 TD-LTE/LTE FDD 双模组网运营商的混合组网策略

3G 时代采用 cdma 的运营商通常都选择模式一，因为 cdma 技术一直采用双通的技术体制，在向 3G 演进的时候，EVDO 完全是另外一张网络，终端上实际上有两套通信机制，形成了双待双通的通信模式。后来，cdma 运营商使用 WiMAX 拓展了数据通道时，延用了独立建网、独立运营、终端双通的方式来接入。到了 4G 时代，有一些 cdma 运营商在 LTE FDD 和 cdma 之间实现了单待机。但是对于 TD-LTE，运营商还是沿用了独立建网、终端双待双通的方式。这种方式的优点是 TD-LTE 网络可以独立优化，移动性管理上来说比较简单；但缺点是形成了两个网络，成本比较高，终端耗电比较高。

WCDMA 运营商通常选择模式二，就是完全融合的方式。这是因为在 3G 时代，HSPA 就采用了一种将话音和数据融合组网的技术路线。4G 时代高通等芯片厂商又率先支持了 WCDMA 和 LTE FDD 及 TD-LTE 的单待机模式，因此 WCDMA 运营商通常采用 TD-LTE、FDD 和 3G 完全融合的组网方式。工作在这种方式的终端比较省电，且由

于只建设一张网络而可以节省建网成本，缺点是多模网络的优化相对比较复杂。

国际大型运营商将 TD-LTE 定位于热点覆盖，而不建设全覆盖的网络，使 TD-LTE 网络规模明显小于 LTE FDD，因而用户数量和产业规模也相应较小，不利于 TD-LTE 在国际上长期健康发展。软银目前的 TD-LTE 用户的数量只有其 LTE FDD 的约 1/10。

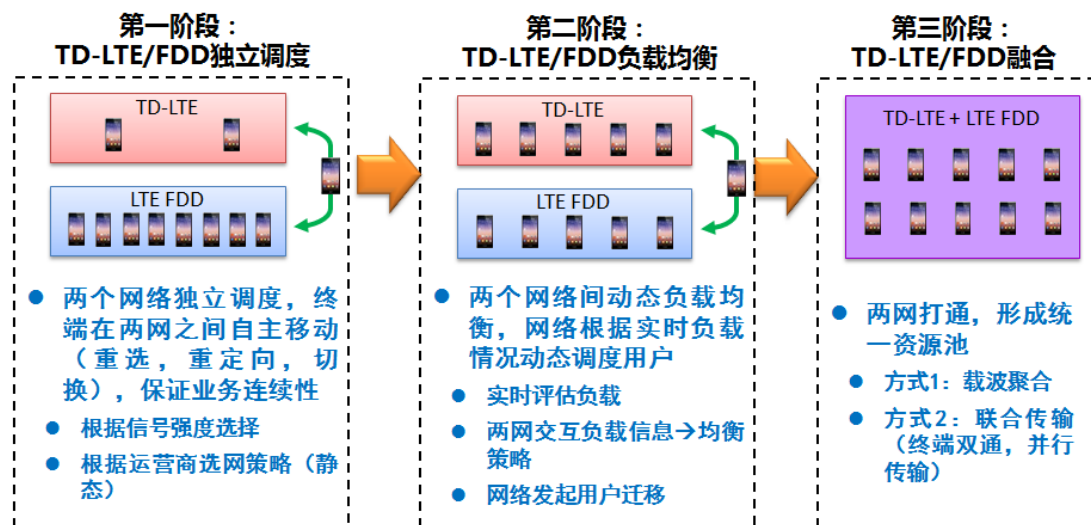
4.2.2 TD-LTE/FDD 融合发展技术

TD-LTE/FDD 融合组网技术的发展可分为三个阶段（如图表 24 所示）：

第一阶段：TD-LTE/FDD 独立调度。

第二阶段：TD-LTE/FDD 负载均衡。

第三阶段：TD-LTE/FDD 联合传输。



图表 24 TD-LTE/FDD 融合组网技术发展的三个阶段

（1）TD-LTE/FDD 独立调度

这是目前运营商实现的阶段，即 TD-LTE、LTE FDD 独立建网，两个网络各自独立调度。在当前网络出现覆盖不足时，终端在两网之间自主移动（重选，重定向，切换），并保证业务连续性。这种情况下，运营商可采用静态选网策略，如将 TD-LTE 的切换门限设置为低于 LTE FDD，引导终端优先接入 TD-LTE 网络。但是，这种方法无法动态地调整 TD-LTE 和 LTE FDD 网络的负载，只能实现最基本的融合组网。

（2）TD-LTE/FDD 负载均衡

负载均衡是自组织网络（SON）技术的一个技术特性，可以实现两个网络之间的动态负载均衡，即网络根据 TD-LTE 和 LTE FDD 网络的实时负载情况动态调度用户。首先对 TD-LTE 和 LTE FDD 网络的负载进行实时评估，然后通过 X2 接口在两网间交互负载信息，形成具体的均衡策略，最后网络根据策略发起用户迁移，将高负载网络中的部分用户主动迁移到低负载网络。

负载均衡可作为运营商 TD-LTE/FDD 融合组网的第二阶段。运营商在各制造商的网络设备之间统一了“负载评估信息”的格式和交互方式后，即可逐步实现。

（3）TD-LTE/FDD 载波聚合

融合组网的最终阶段是实现 TD-LTE 和 LTE FDD 网络的联合处理，即将两网打通，形成统一资源池，进行联合调度。

联合处理的第一种方式是 TD-LTE/FDD 载波聚合，即 TD-LTE 基站和 LTE FDD 基站同时与终端通信，将 TDD 频谱和 FDD 频谱聚合使用，与 TDD 内、FDD 内载波聚合类似。这种方式的优点是终端只

需要一个收发信机（WTR），成本较低；并可以同时提高峰值速率，实现完全动态的负载均衡。这种方式的缺点是只能用于 TD-LTE/FDD 基站同站址的情况，这种情况下可以通过高速背板在 TD-LTE 基带板和 LTE FDD 基带板之间实时分解、合并数据，实现载波聚合。同时，这种方式只能实现相同厂家 TD-LTE 和 LTE FDD 基带之间的载波聚合，不同厂家的基带信号很难实现聚合。

（4）TD-LTE/FDD 联合传输

联合处理的第二种方式是 TD-LTE/FDD 联合传输，即 TD-LTE 基站和 LTE FDD 基站分别独立传输，终端包含两套收发信机（WTR），分别和 TD-LTE 和 LTE FDD 基站通信，只在应用层实现两个基站的数据分解和合并。这种方式的优点是既支持 TD-LTE/FDD 基站同厂家、同站址场景，也可用于异厂家、异站址场景。且 TD-LTE、LTE FDD 可独立调度，保持了灵活性。这种方式的缺点是双通终端需要实现两个 WTR，复杂度高、耗电量大。且只能实现 TD-LTE 和 LTE FDD 之间的半静态负载均衡。

TD-LTE/FDD 融合组网技术需要分阶段逐步实现，尤其是载波聚合和联合传输技术，尚未在 3GPP 完成标准化。但从目前开始深入研究各种融合组网技术的应用场景和应用策略，是非常必要的。

负载均衡技术可作为目前运营商的实现目标，关键是基于 3GPP 规范统一各网络设备商之间的 X2 接口负载评估和协商协议，并组织互操作测试和试验，以验证技术的功能和性能，可作为我国近期开展的 TD-LTE/FDD 混合组网试验的一项重要攻关内容。载波聚合和联合

传输技术各有适用的应用场景，一般同时运营 LTE FDD 和 TD-LTE 网络的大型运营商的网络中通常两种场景均会出现：在新建站点，可以实现 TD-LTE/FDD 基站共站址，这种情况下更适合采用载波聚合方式，以实现 FDD/TDD 动态联合调度；但很多运营商的 TD-LTE 网络历史上是作为一个独立网络建设的，如日本软银的 TD-LTE 网络是在原有 PHS 网络升级而来，KDDI、Sprint 的 TD-LTE 网络演进自原 WiMAX 网络，和其 LTE FDD 并不共站，则更适合采用联合传输方式实现 TD-LTE/FDD 融合。我国运营商预计在部分站址共用的同时，也会有部分区域采用不同的拓扑部署 TD-LTE 和 LTE FDD，因此这两种技术也都是需要的。建议在混合组网试验中对这两种技术进行预研，研究基于这两种技术的组网技术和网规网优方案。

4.3 “全下行”对 TD-LTE 的挑战

4.3.1 “全下行”问题产生的背景

3.5GHz 频段较宽，对扩展 TD-LTE 全球产业规模具有重要意义。随着全球 3.5GHz 频谱的陆续分配，这一频谱成为重要的 TDD 全球化频率。欧洲在 3.5GHz 频段推荐使用 TDD 模式，但也可以用 FDD；日本将在 2014 年内分配 3.5GHz 频谱，并已确定为 TDD 模式，目前处在咨询阶段；美国 3.5GHz 尚在军方手中，需要采用频谱共享（LSA）的方式使用。此外，英国和巴西也将该频段分配为 TDD 频谱。目前，全球已经有 6 家运营商在 3.5GHz 部署了 TD-LTE 网络，另有十几家运营商正在部署或已发布商业计划，已有多款 TD-LTE 终端和系统设

备支持 3.5GHz 频段。

随着移动互联网业务对 4G 网络容量需求的不断增长，部分 LTE FDD 运营商开始考虑如何利用手中的 TDD 频谱，实现对其 LTE FDD 网络的补充。LTE FDD+TDD 的联合运营成为很多运营商面临的重要课题。从 2013 年 6 月开始 3GPP 也启动了 FDD+TDD 联合运营的项目。FDD 频谱上下行带宽对称，对目前不均衡的上下行业务量分配比例的适应能力差，FDD 下行频谱难以满足下行业务量需求，部分 FDD 运营商希望将 TDD 频谱全部用于下行，分流下行业务量。

日本在 2013 年底开始征集 3.5GHz 频谱的使用方式，各运营商反馈“建议 3.5GHz 采用 TDD 模式，且运营商间不设保护频带”。该频谱预计在 2014 年底正式发放。日本都科摩（NTT Docomo）公司计划在频谱发放后马上商用，并在 2014 年初开始在 3GPP RAN 全会上开始积极推进“TD-LTE 引入全下行配比”的技术方案和立项。

4.3.2 我国对“全下行”方案的分析和态度

“全下行”方案固然有利于 FDD 运营商简化网络架构，降低终端要求，控制 FDD/TDD 融合组网成本，但对 TD-LTE 运营和产业发展将产生如下负面影响：

（1）与现有 TDD 系统设计原则不符，影响 TDD 频谱的使用。全下行配比由于没有上行发送，与 TDD 定义冲突，而且使用该配比的频点将不能独立支持终端的接入，与现有的 TDD 系统设计原则不符。现阶段一旦引入 TD-LTE 全下行配比，将对现有 TDD 频谱使用带

来直接冲击。3.5GHz 是未来 TDD 最重要的全球化频段，日本是较早大部署该频段的国家，一旦采用全下行方式使用该频段，将对 3.5GHz 频段全球使用带来不好的示范效应。

(2) 对频谱管制带来困难。目前，全球的频谱分为 FDD、TDD，某些地区有全下行频谱的划分。但如果在 TDD 中引入全下行，管制机构发放的 TDD 频谱，运营商可不经任何程序，就将 TDD 频谱直接用作全下行，这将给管制机构的监管带来很大的困扰。

(3) 造成运营商间共存问题,严重影响常规 TD-LTE 网络的部署。TD-LTE 支持运营商间无保护带的频谱使用方式，当运营商间采用无保护带部署时，若一个运营商使用全下行配比，邻频运营商采用现有 TD-LTE 时隙配比，全下行网络会直接干扰邻频运营商的终端接入网络，给邻频运营商带来“生死问题”。

(4) 影响 TD-LTE 产业发展。由于全下行配比没有上行发送，一旦引入标准，会存在多个 TD-LTE 终端和终端解决方案的风险，这对处于发展阶段的 TD-LTE 产业产生不利的影响。

基于上述分析，我国认为“TD-LTE 引入全下行配比”对现阶段 TD-LTE 全球化推进会产生不利影响，反对在 3GPP 的相关立项动议。

4.4 运营商面临的 OTT 挑战及流量经营

在全球范围内，OTT 的快速发展对基础电信业造成较大影响。一方面，随着 OTT 业务的普及，移动话音的通话时长和收入增长率大幅下滑，短信业务量和收入更是呈现负增长的态势。另一方面，数据量

少、突发性强、在线时间长的移动即时通信业务大量占用电信网络信令资源，严重时可能导致运营商网络瘫痪。这些都推动电信行业从“话音时代”向“数据时代”过渡，从“话音经营”向“流量经营”转型。

根据 Juniper Research 发布的最新报告称，截至 2014 年 10 月，全球各地的网络运营商语音和短信流量收入减少 140 亿美元，较 2013 年同比下降 26%；2014 年上半年，美国移动运营商数据业务收入已首次超过语音。工业和信息化部统计的数据显示，2014 年以来，三大运营商移动话音业务收入比重全面下降，而非话音业务收入则稳步增长。截至 2014 年 9 月底，中国移动语音和短彩信业务继续下滑，总通话分钟数比上年同期下降 0.3%，短信使用量比上年同期下降 20.2%，而移动数据流量比上年同期增长 98.6%。

2014 年 11 月 10 日，腾讯发布“微信电话本 3.0”版本，支持高清免费通话功能，依托微信超过 5 亿的庞大用户群体，该应用上线后迅速攀升到 Appstore 的下载排行榜榜首，而且由于注册用户过多，还导致腾讯的服务器拥塞，微信电话本的登录、注册、短信验证等功能出现问题。微信电话本的工作原理是用户通过绑定手机号码和微信好友，在双方均安装微信电话本应用的前提下，可在无线数据网络的环境下实现微信好友间的通话，无线数据网络可以是蜂窝网络（即 2G/3G/4G），也可以是 Wi-Fi 网络。微信电话本的实质就是 VoIP，是基于数据流量的语音通信，若双方均在 Wi-Fi 环境下可实现通话免费，而有一方在蜂窝网络环境下就需要花费数据流量。因此，微信电话本并非免费的。目前，在蜂窝网络环境下使用微信电话本通话一分钟

消耗约 300k 流量，根据基础电信运营企业的流量资费，微信电话本的每分钟话费约 0.03~0.15 元。对比基础电信企业的话费套餐，使用微信电话本在蜂窝网络环境下通话产生的费用并不存在明显的价格优势。而且微信电话本的通信质量、用户体验相对于传统电话业务仍差距较大。微信电话本在 Wi-Fi 环境下，通话质量相对较好，如果用户的位置发生变化，从 Wi-Fi 切换到 2G/3G 等蜂窝网络，容易出现通话延迟、中断，甚至直接挂断。

实际上，自从进入 4G 时代以来，**电信运营商就开始与移动互联网、OTT 企业由直面竞争转向合作共赢，就移动流量开展合作，探索新型商业模式。**国际上，运营商和移动互联网企业积极探索流量合作，B2B2C 数据流量合作成为运营商 4G 时代新的营收方式，具体方式体现在 OTT 服务商打包购买数据流量，补贴用户使用其 OTT 服务的流量费或免流量费。AT&T 为亚马逊自主品牌手机用户提供 Sponsored Data 计划，允许 SP 替移动用户的数据流量买单；德国电信为 OTT 合作伙伴提供标准化平台；SKT 为手机游戏 Lineage 提供无限免费接入；环球电信和 Facebook 联合推出数据流量免费；ESPN 与运营商谈判补贴用户数据流量。

5 结束语

在工业和信息化部的统一领导下，遵循全球 4G 技术和市场的发展规律，TD-LTE 工作组坚持不懈的组织 TD-LTE 及其增强技术的技术试验，推动 TD-LTE 研发产业化与商用发展紧密衔接，为 TD-LTE 产业链壮大和国际化发展发挥了重要作用。

2015 年，TD-LTE 工作组将继续开展包括 LTE-Hi、Nanocell、3D MIMO、有源天线、LTE MBMS、IPv6 等新技术的试验验证和研发产业化推进工作。

世界移动通信产业的格局正在悄然改变，中国已居于全球 4G 技术创新、产品研发和市场应用的核心地位，让我们把握这一难得机遇，携手努力，推动中国和全球 4G 产业发展获得更大的成功！

工业和信息化部电信研究院

地 址：北京市海淀区花园北路52号（100191）

联系人：胡 泊 010-62300159 hupo@catr.cn