TD-LTE 无线网络规划

无线网络规划设计目标是指导工程以最低的成本建造符合近期和远期话务需求，具有一定服务等级的移动通信网络。具体地讲，就是要达到服务区内最大程度的时间、地点的无线覆盖，满足所要求的通信概率；在有限的带宽内通过频率再用提供尽可能大的系统容量；尽可能减少干扰，达到所要求的服务质量；在满足容量要求的前提下，尽量减少系统设备单元、降低成本。

TD-LTE 作为 TD-SCDMA 系统的升级与演进，从原则上说，其网络与 TD-SCDMA 网络在系统规划流程上是相似的，都需要包括站点获取、初步堪查、系统设计、工程安装和测试优化等步骤。但是 TD-LTE 系统是基于 OFDM 技术的无线通信系统，在网络规划上必须考虑其特有的系统特性，以有效发挥 TD-LTE 系统高速率传输，高频谱效率的技术优势。同时，作为 TD-SCDMA 系统的未来演进的技术方向，TD-LTE 系统在网络规划上还需要规划设计者考虑 TD-SCDMA 系统现网实际部署情况，不仅要借鉴现有系统的规划方案，因地制宜规划建设 TD-LTE 网络，还需要兼顾系统间的共存与运营平衡问题，力求在规划设计上达到优良性能与低廉成本的完美结合。

8.1 TD-LTE 无线网络规划概述

无线网络规划是网络建设运营之前的关键步骤，主要是指根据实际的无线传播环境、用户业务需求、社会经济发展等多种因素，从“覆盖、容量、服务质量（Quality of Service，QoS）和成本控制”等方面对网络进行宏观配置。网络的覆盖、容量、QoS 这三个性能指标需要由无线系统中物理层关键技术、链路层控制协议、无线资源算法等各方面因素协同实现。

在 TD-LTE 系统中，要采用“N 次规划，分层建设”的网络规划原则。“N 次规划”保证了建网实施与市场需求同步，可避免资源浪费；“分层建设”保证了多次规划结果的相互独立，使网络能健康发展。

TD-LTE 系统采用了 OFDMA/SC-FDMA、MIMO、HARQ、链路自适应等一系列关键技术和无线资源算法，极大地提高了系统性能。同时，新技术的不断应用也给网络规划带来了各种新的挑战。

8.1.1 TD-LTE 无线网络规划思想

无线网络规划主要指通过链路预算、容量估算，给出基站规模和基站配置，以满足覆盖、容量的网络性能指标以及成本指标。

网络规划必须要达到服务区内最大程度无缝覆盖；科学预测话务分布，合理布局网络，均衡话务量，在有限带宽内提高系统容量；最大程度减小干扰，达到所要求的 QoS；在保证话音业务的同时，满足高速数据业务的需求；优化天线参数，达到系统最佳的 QoS；在满足覆盖、容量和服务质量前提下，尽量减少系统设备单元，降低成本。

网络规划是覆盖（Coverage）、服务（Service）、和成本（Cost）三要素（简称 CSC）的一个整合过程，如何做到这三要素的和谐统一，是网络规划必须面对的问题。一个出色的组网方案应该是在网络建设的各个时期以最低代价来满足运营要求：网络规划必须符合国家和当地的实际情况；必须适合网络规模滚动发展；系统容量以满足用户增长为衡量；要充分利

用已有资源，应平滑过度；注重网络质量的控制，保证网络安全、可靠；综合考虑网络规模、技术手段的未来发展和演进方向。

规划策略指导思想是覆盖点、线、面，充分吸收话务量。对于业务量集中的“点”，为重点覆盖区域，确保这些区域的覆盖称为“点”覆盖；对于业务量流动的“线”，把重点覆盖区域通过几条主要“线”连接在一起，保证用户满意度。确保这些区域的覆盖叫做“线”覆盖；对于业务量有一定需求的地区“面”，为了进一步提高用户的满意度，同时尽量吸收更多的用户，把次要“点”和次要“线”连接起来，确保这些区域在一定程度上的覆盖，称为“面”覆盖。

- “点”覆盖

指的是重点覆盖区域包括：（省）市政府办公地、运营商办公地（楼）、高级写字楼、高档宾馆区、高档住宅区、大型商场、集市和娱乐场所、医院、大专院校等重点覆盖区的楼上或以重点覆盖区为中心 50m 之内的站点。

- “线”覆盖

指的是主要商业街、市区主要交通干道、城际高速公路、机场公路等主要交通干道。

- “面”覆盖

在上述主要站点选择之后，进行覆盖区的覆盖。主要是把各个独立的主要站点连接起来，保证网络的连续覆盖。对位于普通的居民住宅区的次要站点，站点的选择根据住宅的疏密情况保持一致。

一个覆盖良好、性能完善的网络，不是一蹴而就完成的，是经过多次规划不断建设完成的；也不是只有宏蜂窝的广域覆盖，就能解决道路、热点和重点建筑的覆盖。在组网过程中要灵活使用宏蜂窝、微蜂窝、射频拉远、室内覆盖等不同的建设方案。

8.1.2 TD-LTE 无线网络规划特点

由于无线信道环境的复杂性，TD-LTE 系统的实际覆盖半径从几百米至几公里不等。在进行无线网络规划和设计时都需要进行链路预算以得到合理的无线覆盖预测结果。相比较于 TD-SCDMA 系统，影响 TD-LTE 覆盖的因素主要有以下几个方面。

8.1.2.1 TD-LTE 小区覆盖半径影响因素

TD-LTE 系统在通过链路预算进行覆盖规划设计时，需考虑 TD-LTE 系统的特性对于覆盖性能的影响。对于系统最大的覆盖范围，主要考虑 TD-LTE 系统的帧结构设计中的 GP 长度以及随机接入格式中的保护时间（Guard Time，GT）长度。

（1） GP 长度的影响

TD-LTE 系统和 TD-SCDMA 系统一样，在系统帧结构设计上都有特殊时隙结构设计，特殊时隙中包括 DwPTS、UpPTS 和中间的保护间隔 GP。TDD 系统的这种帧结构直接影响系统的最大覆盖半径。由于 TDD 的双工方式，TDD 系统的覆盖半径主要受限于上下行保护时隙之间的 GP 长度。

对于 TD-SCDMA 系统的帧结构，支持的理论最大覆盖半径大约为 11.25km（在不考虑信道的时延弥散影响的情况下）。如果需要覆盖更大的小区半径，必然需要牺牲一定的系统容量。

对于 TD-LTE 系统来说，特殊时隙内的 DwPTS 和 UpPTS 时间宽度是可配的，保护间隔 GP 的位置和时间长度也是可配的。相比采用固定保护间隔位置与长度设计的 TD-SCDMA

系统，这样的系统帧结构设计更灵活，极限情况下 TD-LTE 的小区覆盖半径为：当 GP=1 个符号，支持的小区半径为 10.7km；当 GP=10 个符号，支持的小区半径为 107km。目前 TD-LTE 试验网考虑特殊时隙 10:2:2 的常规配置，其小区覆盖半径达 21.43km，若特殊场景广覆盖需更大的覆盖半径，采用其他 GP 配置即可。

（2） GT 长度的影响

除 GP 外，TD-LTE 小区覆盖半径还受随机接入格式中的保护时间 GT 长度影响。TD-LTE 系统中给出了 5 种不同的随机接入前导结构（Preamble Format）。格式 0~3 是 TDD 系统和 FDD 系统所共有，而格式 4 为 TDD 系统所独有，该序列仅仅在特殊时隙 UpPTS 内发送，主要用于覆盖范围比较小的场景。不同前导结构所支持的小区覆盖半径如表 8-1 所示。

表 8-1 TD-LTE 不同前导结构支持的小区覆盖半径

Preamble Format	CP 长度（us/样点）	Preamble (us/样点数)	GT 长度（us/样点）	支持小区半径（km）
0	103.13/3168	800/24576	96.88/2976	14.53
1	684.38/21024	800/24576	515.63/15840	77.34
2	203.13/6240	1600/2x24576	196.88/6048	29.53
3	684.38/21024	1600/2x24576	715.63/21984	100.16
4	14.58/448	133.33/4096	9.38/288	1.41

综合考虑产品实现、覆盖能力、资源利用率、自主知识产权等因素，初期 TD-LTE 网络优先支持 Format0 和 4，覆盖可达 14.53km。后续若需支持更大的覆盖半径，采用其他随机接入格式即可。

8.1.2.2 覆盖目标的定义和多样性

在无线网络规划的前期，需要确定网络的覆盖要求和覆盖质量。对于 TD-SCDMA 系统，有典型的业务规划需求，例如 CS64。对于典型的业务，速率目标是固定的，再由确定的解调门限通过链路预算的方式，获得系统的覆盖半径。而对于 TD-LTE 系统，需要定义系统实现的吞吐能力需求，典型无线环境（如密集市区）容忍的调制解调方式，干扰容忍程度等，覆盖目标的定义比较丰富，可以采用如下覆盖指标。

（1） 区域边缘用户速率

在对 TD-LTE 覆盖规划时，可以为边缘用户指定速率目标，即在覆盖区域边缘，要求用户的数据业务满足某一特定速率的要求，例如 64kbps，128kbps，甚至根据业务需要，在某些场景可提出 512kbps 或 1Mbps 等更高的速率目标。只要不超过 TD-LTE 系统的实际峰值速率，TD-LTE 系统通过系统资源的分配与配置就能满足用户不同的业务速率目标要求。

由此可见，相对于 TD-SCDMA 系统速率业务不同的是，TD-LTE 系统业务速率目标的指定可以更加灵活。

（2） 区域边缘用户频谱效率

除了边缘用户速率这一覆盖目标，TD-LTE 系统规划也可以采用用户的频谱效率这一指标。

频谱效率定义为，通过一定传输距离的信息量与所用的频谱空间和有效传输时间之比。相对于用户的覆盖速率目标，频谱效率单位化了用户的传输时间资源和频率资源。因为 TD-LTE 的速率可以通过系统资源配置来满足，而 TD-LTE 系统资源是可以灵活配置的，例如时间资源可以通过设置时隙切换点来调整上下行时隙比例，频率资源可以通过资源分配算

法来为用户配置带宽。因此，以频谱效率为覆盖目标，可根据系统配置算法机制，将频谱效率指标转换为用户的速率指标，然后再通过用户的速率目标来规划覆盖。

（3） 区域边缘用户调制编码方式

TD-LTE 系统支持多种调制方式，包括 QPSK，16QAM 和 64QAM，还支持不同的编码速率。调制编码方式及编码速率也可以作为覆盖目标。因此调制编码方式与编码速率可以获得不同的用户频谱效率等级，也就体现了覆盖区域的用户速率等级。

调制编码方式不同，解调门限也不同，进而直接影响接收机灵敏度要求，导致覆盖范围发生改变。

8.1.2.3 系统带宽和调制方式的多样性

TD-LTE 系统进行覆盖规划时，对于边缘用户有确定的覆盖速率目标，这时需要选择合适的用户带宽和调制编码方式组合。

TD-LTE 系统规范定义了 6 种带宽，如表 8-2 所示。

表 8-2 TD-LTE 系统规范定义的 6 种带宽

信道带宽（MHz）	1.4	3	5	10	15	20
传输带宽（RB）	6	15	25	50	75	100

其中，RB 表示系统可调度的频率资源单位组，1 个 RB 由 12 个子载波组成。系统带宽配置，直接决定小区的理论峰值速率。在小区服务中，系统需要对用户分配带宽资源，用户带宽资源直接影响用户的数据速率。用户分配带宽由两个因素决定，一是激活用户数目，二是资源分配算法（如正比算法，轮循等）。

TD-LTE 系统支持多种调制方式，包括 QPSK，16QAM 和 64QAM，支持不同的编码速率。TD-LTE 系统采用自适应调制编码方式，根据信道质量指示（Channel Quality Indicator，CQI）来选择合适的调制方式，调制编码方式直接影响用户的数据速率。

选择的调制等级越低，系统要求的 SINR 解调门限越低，对系统接收机灵敏度要求越宽容，这样可支持越大的小区覆盖半径。反之，选择较高的调制等级会缩小覆盖半径。

但是并非调制等级越低对系统覆盖性能影响越好，实际上，在进行覆盖规划时，边缘用户都有确定的覆盖速率目标，如果考虑较低等级的覆盖方式，就需要增加较多的用户带宽。因为调制等级越低，单位符号可承载的比特数越少，只有增加可用带宽，才能满足确定的速率目标。而带宽增加的一个直接的影响就是导致接收机底噪水平升高，灵敏度降低，这又使得小区覆盖半径有缩小的趋势。

所以，TD-LTE 在进行覆盖规划时，需要选择合适的用户速率和调制编码方式组合。当载波带宽一定时，64QAM-3/4 调制方式下的基站接收机灵敏度比 QPSK 调制方式下的灵敏度低；当调制方式一定时，调制到较多带宽下的基站接收机底噪较高，灵敏度比较少带宽下的灵敏度低。

TD-LTE 系统支持多种编码调制方式与编码速率的组合。在覆盖区域内的实际应用中，TD-LTE 采用 AMC（Adaptive Modulation and Coding，自适应调制编码），以保证在覆盖区域内的用户能够根据无线环境的不同选择合适的调制方式，从而成功实现业务接入。

8.1.2.4 新技术带来的影响

TD-LTE 系统与 TD-SCDMA 系统都是时分双工系统，不同的是 TD-LTE 系统是基于 OFDM/OFDMA 技术，TD-SCDMA 系统基于 CDMA 技术。OFDM/OFDMA 技术与 CDMA

技术相比，具有频谱效率高、带宽扩展性强、频域资源分配方便、有利于改善射频功率峰均比的优点，同时也具有抗多径干扰和易与 MIMO 技术联合运用的优点。射频功率峰均比的改善，即可舒缓射频设备设计压力，又能够减小对邻近链路的干扰。

TD-LTE 系统关键技术总还有基于 MIMO 和智能天线的多天线技术。智能天线技术作为 TDD 模式的一个特征，不仅仅在 TD-SCDMA 系统，在 TD-LTE 系统当中也是非常重要的技术，因为频段的不断提高，速率的逐渐提高，对天线发射功率的要求不可避免，为了系统能够在将来实际的环境当中的架设和应用，智能天线技术被认为是一个必要的技术。MIMO 技术通过多天线提供不同的传输能力，提供空间复用的增益，对于需要覆盖的室内用户群而言很有意义。

8.2 TD-LTE 无线网络规划流程

TD-LTE 无线网络规划流程可以分成：网络需求分析、网络规模估算、站址规划、网络无线仿真、无线参数设计等 5 个阶段，具体流程如图 8-1 所示。

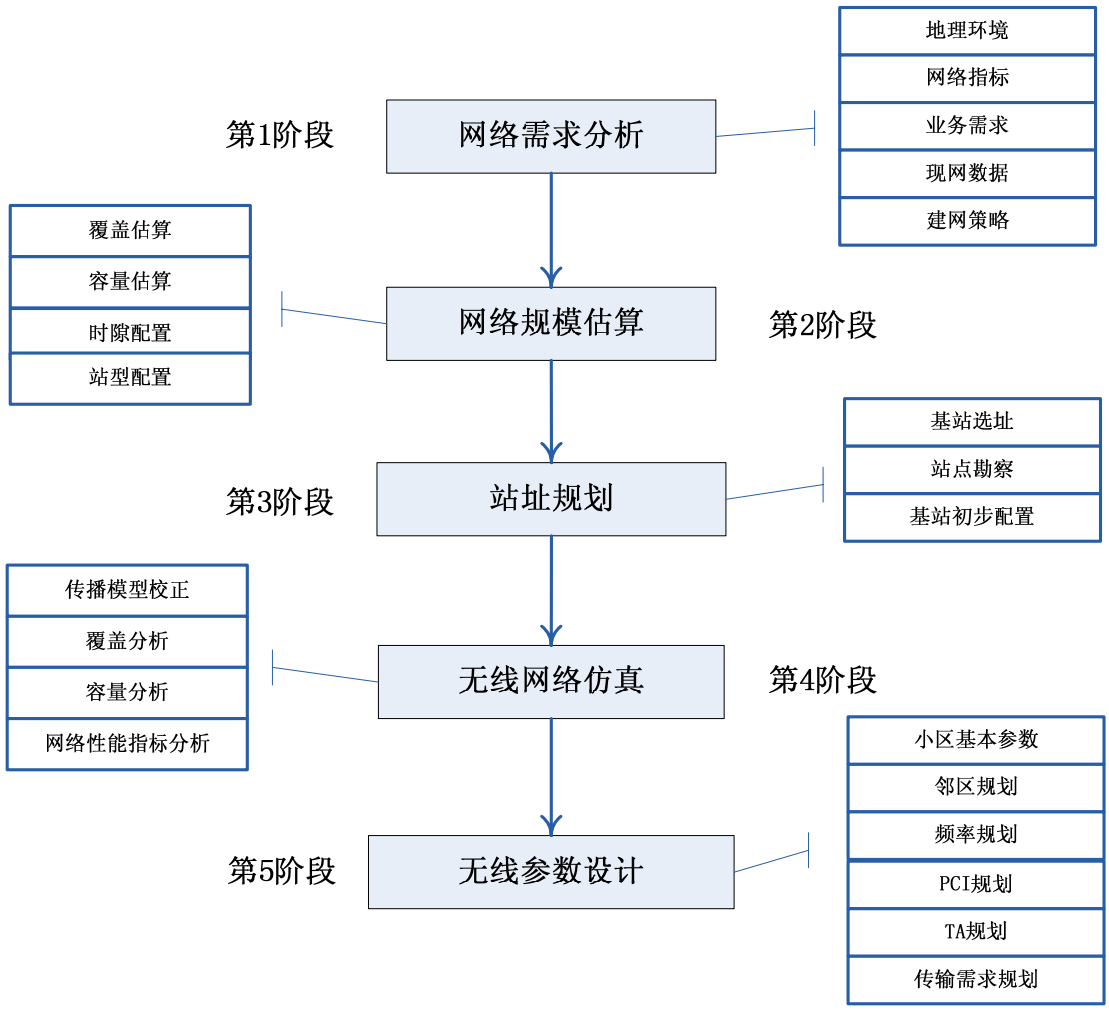

图 8-1　TD-LTE 网络规划流程

（1）网络需求分析：明确 TD-LTE 网络的建设目标是展开网络规划工作的前提条件，可以从行政区划分、人口经济状况、无线覆盖目标、所需容量目标和网络质量目标等几个方

面入手。同时注意收集现网 GSM/TD-SCDMA 站点数据及地理信息数据，这些数据都是 TD-LTE 无线网络规划的重要输入，对 TD-LTE 网络建设具有自导意义。

（2）网络规模估算：通过覆盖和容量估算来确定网络建设的基本规模，在进行覆盖估算时首先应了解当地的传播模型，然后通过链路预算来确定不同区域的小区覆盖半径，从而估算出满足覆盖需求的基站数量。容量估算则是分析在一定时隙及站型配置的条件下，TD-LTE 网络可承载的系统容量，并计算是否可以满足用户的容量需求。

（3）站址规划：通过网络规模估算，网络规划工程师估算规划区域内需要建设的基站数目及其基站位置，但实际上受各种条件的制约，理论站点并不一定可以设站，因而实际站点同理论站点并不一致，这就需要对备选站点进行实地勘察，并根据所得数据调整基站规划参数。其内容包括：基站选址、基站勘察和基站规划参数设置等。同时应注意利用原有 TD-SCDMA 站点进行共站址建设 TD-LTE，可否共站址主要依据无线环境、传输资源、电源、机房条件、天面条件及工程可实施性等方面综合确定。

（4）无线网络仿真：完成初步的站址规划后，需要进一步将站址规划方案输入到 TD-LTE 规划仿真软件中进行覆盖及容量仿真分析，仿真分析流程包括规划数据导入、传播预测、邻区规划、时隙和频率规划、用户和业务模型配置以及蒙特卡罗仿真，通过仿真分析输出结果，可以进一步评估目前规划方案是否可以满足覆盖及容量目标，如存在部分区域不能满足要求，则需要对规划方案进行调整修改，使得规划方案最终满足规划目标。

（5）无线参数设计：在利用规划软件进行详细规划评估之后，就可以输出详细的无线参数，主要包括天线高度、方向角、下顷角等小区基本参数、邻区规划参数、频率规划参数、PCI 参数等，同时根据具体情况进行 TA 规划，这些参数最终将做为规划方案输出参数提交给后续的工程设计及优化使用。

8.3 网络建设需求分析

TD-LTE 网络建设目标的确立需要经过全方位的思考、多角度的平衡，关键要考虑覆盖、容量、质量和成本四大要素之间的平衡。

8.3.1 基本数据采集

建设 TD-LTE 网络之前首先要明确该网络将会部署于什么样的环境当中，包括自然环境，社会环境，经济环境等方面，这涉及到网络性能、服务质量、投资效益等运营商比较关注的问题，因而需要采集一些基本数据，为分析建网目标提供理论依据。数据采集包括如下内容：

（1）地理环境特征

对网络建设区域内的地形，如平原、山地、丘陵等进行分类统计，并在地图上做出标记。对交通干线，如重要的国道、省道和城区内交通或商业比较繁忙的街道进行分类统计。对规划区域内的重要建筑物及楼宇，如市政单位、公共场所、居民区、商业区等也要分类统计。

（2）城市行政区划及面积统计

城区、郊区面积，乡镇、行政村和经济开发区统计。

（3）人口分布、组成和教育状况

（4）行业构成、生产总值统计

（5）站点布局及网络覆盖现状

（6）网络用户数

（7）语音和数据业务密度分布

8.3.2 无线网络覆盖目标

8.3.2.1 地物环境分类

无线网络规划中的区域分类指按一定的规则对有效覆盖区进行划分和归类，不同区域类型的覆盖区采用不同的设计原则和服务等级，以达到建网质量和建设成本的平衡，获得最优的资源配置。按照无线传播环境，移动服务区域一般可以分为密集城区、普通城区、城郊和农村 4 大类。

（1）密集城区

密集城区指大中城市的中心，特点是周围大多数建筑物高于 30m（10 层以上），区域内有较多的二十层以上的高层建筑物，建筑材料以钢筋混凝土和砖混结构为主。

商务区建筑物以商务楼为主，平均楼高在 45m 以上，建筑材料以钢筋混凝土框架结构为主。

城中村是密集城区内一种比较特殊的场合，其建筑以 5~9 层砖混结构的自建民宅为主，建筑密度极高，楼间距仅为 1~3m 左右。村中除了 2~4m 宽的小巷外，缺少市政道路。城中村的电磁传播环境非常恶劣。

（2）普通城区

普通城区一般地处市区，周围建筑物平均高度一般在 25~30m 之间，以居民小区（7 层以下中低建筑）为主，材料以砖混结构为主。

（3）城郊

城郊指城市的边缘地区，以 15m 以下砖混低矮楼房为主要建筑。周围建筑物平均楼间距约在 30~50m 之间。基站附近的建筑物一般分布比较均匀，建筑物之间有较宽的空间。

（4）农村

农村房屋以砖混结构为主，平均房高 4~6m，周围建筑物散落分布，建筑物之间或周围有较大面积的开阔地。

8.3.2.2 不同区域的业务覆盖需求

对于特定的业务覆盖类型，用于描述覆盖效果的主要指标是通信概率。通信概率是指用户在时间和空间上通话成功的概率，通常用面积覆盖率和边缘覆盖率来衡量。面积覆盖率描述了区域内满足覆盖要求的面积占区域总面积的百分比。边缘覆盖率是指用户位于小区边界区域的通信概率。在给定传播环境下，面积覆盖率与边缘覆盖率可以相互转化。面积覆盖率的典型值为 90%-98%，边缘覆盖率的典型值为 75%-80%。我国幅员辽阔，经济发展很不平衡，应针对不同覆盖区域、不同发展阶段，合理制定覆盖目标。

在覆盖方面，规划区域可以分为有效覆盖区和无效覆盖区。覆盖范围是指按需要实现无线网络覆盖的目标地区。在覆盖范围内，按照覆盖性质的不同，可以分为面覆盖、线覆盖和点覆盖。面覆盖是指室外大范围的覆盖，以实现整个区域的广覆盖；线覆盖是指对道路、河流等线状目标的覆盖；点覆盖是指对重点楼宇、地下建筑物等的深度覆盖。

TD-LTE 无线网络建设可以按照室外场景和室内场景分别进行规划。规划覆盖目标区为：城市中心商务区、中心商业区、政务区、高校园区、科技园区等数据业务需求密集的核心区

域；覆盖目标为在上述核心区域实现室外成片连续覆盖及重要楼宇的室内有效覆盖。

TD-LTE 室外覆盖场景分为商务区、居民区、园区、景区、乡村、特殊等六大场景 20 小类，TD-LTE 规模试验网阶段先期选择中心商务区、中心商业区、高校园区、科技园区进行建设，如表 8-3 所示。

表 8-3 TD-LTE 室外覆盖场景

类型	类型细分	LTE 规模试验
商务区	中心商务区	是
	中心商业区	是
	普通商务区	----
	普通商业区	----
居民区	密集居民区	----
	普通居民区	----
	平房区	----
	别墅区	----
园区	高校园区	是
	科技园区	是
	工业园区	----
景区	旅游景点	----
	度假村	----
	公园	----
乡村	乡镇	----
	村庄	----
特殊	山区	----
	江、河、湖、海	----
	高速公路	----
	高速铁路	----

TD-LTE 室内覆盖场景分为商业建筑、生活建筑、大型场馆、交通枢纽、特殊等五大场景 17 小类，TD-LTE 规模试验网阶段先期选择 5A 写字楼、政府办公楼、营业厅旗舰店、大型会展中心进行建设，如表 8-4 所示。

表 8-4TD-LTE 室内覆盖场景

类型	类型细分	LTE 规模试验
商业建筑	写字楼	5A 写字楼
	办公楼	政府办公楼
	酒店	----
	营业厅	旗舰店
	商场	----
	大卖场	----
生活建筑	居民楼	----
	宿舍楼	----
	医院	----
大型场馆	体育场馆	----
	会展中心	大型会展中心
交通枢纽	火车站	----

	长途汽车站	----
	机场	----
特殊	隧道	----
	地铁	----

8.3.3 TD-LTE 无线网络建设指标要求

无线网络建设要求形成分片连续覆盖，覆盖区域内的无线网络指标应达到试商用要求。无线网络的指标要求可分为以下几方面内容：

- 覆盖指标

宏站要求覆盖率满足 RSRP>-110dBm 的概率大于 90%；室内覆盖要求覆盖率满足 RSRP>-105dBm 的概率大于 90%。

- 小区吞吐量

在同频组网，实际用户占用 50%网络资源的条件下，单小区平均吞吐量达到 20Mbps/5Mbps（下行/上行）。

- 边缘速率

空载时，小区边缘用户可达到 1Mbps/250kbps（下行/上行）；网络负载 50%时，小区边缘用户可达到 500kbps/150kbps（下行/上行）。

- 性能指标

可接入率要求在无线覆盖区 90%位置内，99%的时间移动台可接入网络；块差错率目标值要求数据业务为 10%。

- 业务质量指标

在同频组网，实际用户占用 50%网络资源的条件下，无线接通率的基本目标>95%，挑战目标>97%；掉线率的基本目标<4%，挑战目标<2%；系统内切换成功率的基本目标>95%，挑战目标>97%。

8.3.4 TD-LTE 无线网络建网策略

8.3.4.1 TD-LTE 引入策略

第一阶段实现 TD-LTE 高速无线宽带接入业务的引入。在部分有需求的数据热点区域建设试验网，面向数据卡及 CPE 终端用户提供有限覆盖区域内基于高速无线宽带接入业务。

第二阶段实现基于手机终端的高速移动互联网业务、传统语音业务和宽带数据多媒体业务引入。力争 TD-LTE 网络覆盖大部分有需求的数据热点区域，面向个人、家庭、企业用户提供高速移动互联网业务。通过双模双待手机终端提供宽带移动互联网业务、移动多媒体数据业务、基于 2/3G CS 域传统语音业务，以及 IMS 多媒体业务，物联网业务。

第三阶段实现 TD-LTE 承载 VoIP 语音业务引入。网络覆盖大部分地区，实现接入与传输全 IP 化，通过 PS 域承载 VoIMS 方案实现话音支持能力。

8.3.4.2 TD-LTE 建网策略

2010~2011 年为规模试验阶段，在少数几个国内大中型城市进行规模试验网、演示网建设。实现覆盖区域热点连续覆盖，用于进行网络测试、功能验证；2012~2013 为局部商用阶段，重点覆盖城市的数据业务热点区域，主要考虑面向数据卡用户提供高速数据接入服务。2013 年后为规模商用阶段，在所有地市市区数据业务热点逐步引入 TD-LTE 网络；用户需要统筹考虑数据卡用户和手机终端用户，业务重点考虑数据业务，兼顾语音业务。

8.4 无线网络规模估算

无线网络规模估算包括无线覆盖规划、容量与资源配置核算两项基本内容。其中无线覆盖规划包括传播模型概述、无线链路预算分析、基站覆盖能力与网络规模估算；容量与资源配置规划包括业务模型分析、极限容量核算、时隙比例分配、资源配置核算。该部分是无线网络理论规划核心内容。

8.4.1 TD-LTE 无线网络覆盖分析

8.4.1.1 TD-LTE 覆盖特性

（1）目标业务为一定速率的数据业务，确定合理目标速率是覆盖规划的基础。

在 TD-LTE 网络中，不存在电路域业务，只有 PS 域业务。不同 PS 数据速率的覆盖能力不同，在覆盖规划时，要首先确定边缘用户的数据速率目标，如 500kbps、1Mbps、2Mbps 等，不同的目标数据速率的解调门限不同，导致覆盖半径也不同，因此确定合理的目标速率是覆盖规划的基础。

（2）LTE 资源调度更复杂，覆盖特性和资源分配紧密相关。

TD-LTE 网络可以灵活的选择用户使用的 RB 资源和调制编码方式进行组合，以应对不同的覆盖环境和规划需求。在实际网络中，用户速率和 MCS 及占用的 RB 数量相关，而 MCS 取决于 SINR 值，RB 占用数量会影响 SINR 值，所以 MCS、占用 RB 数量、SINR 值和用户速率四者之间会相互影响，导致 LTE 网络调度算法比较复杂。在进行覆盖规划时，很难模拟实际网络这种复杂的调度算法，因此如何合理确定 RB 资源、调制编码方式，使其选择更符合实际网络状况是覆盖规划的一个难点。

（3）传输模式及天线类型选择影响覆盖规划。

多天线技术是 LTE 最重要的关键技术之一，引入多天线技术后 LTE 网络存在多种传输模式（目前有 8 种传输方式）和多种天线类型（基站侧存在 2 天线和 8 天线等多种类型），选择不同种类传输模式和天线类型对覆盖性能影响较大。

（4）小区间干扰影响 TD-LTE 覆盖性能。

TD-LTE 系统引入了 OFDMA 技术，由于不同用户间子载波频率正交，使得同一小区内不同用户间的干扰几乎可以忽略，但 TD-LTE 系统小区间的同频干扰依然存在，随着网络负荷增加，小区间干扰水平也会增加，使得用户 SINR 值下降，传输速率也会相应降低，呈现一定的呼吸效应。另外，不同的干扰消除技术会产生不同的小区间业务信道干扰抑制效果，这也会影响 TD-LTE 边缘覆盖效果。因此如何评估小区间干扰抬升水平，也是 TD-LTE 网络覆盖规划的一个难点。

8.4.1.2　电波传播模型

移动通信信道是一个完全开放式的信道，其传播损耗从宏观范围看，主要取决于传播的环境和条件。传播损耗不仅取决于传播距离，而且还与传播中的地形、地貌、传播的载波频率，以及发、收天线高度等密切相关。因此，要想从理论角度给出一个确切、完整的公式来描述移动通信信道的特性非常困难，一般在工程上多采用一些经验公式与模型，这基本上能满足工程上的估算要求。

根据无线信道的传播特性和电波传播方式建立恰当的传播模型，准确地对传播损耗做出预测，是无线网络规划和优化的重要条件，会直接影响系统的覆盖和其他性能分析结果的准确性和可信程度。

由于 TD-LTE(规模试验网)的室外频段为 2570~2620MHz，室内频段为 2350~2370MHz，其所处频率较高，对以往的传播模型有的已不能支持，另外一些模型由于其建模分析较为完备，且可支持高达 2000MHz 的频率，因此在 TD-LTE 系统无线传播模型的分析时仍然可以使用。下面就对这些可以支持 TD-LTE 系统的无线传播模型进行介绍。

（1）COST 231-Hata 模型

COST 231-Hata 模型是 COST 工作委员会开发的 Hata 模型的扩展版本。

COST 231-Hata 模型路径损耗计算的经验公式为：

$$\begin{aligned} L(dB) = {} & 46.3 + 33.9\lg f_c - 13.82\lg h_{te} - \alpha(h_{re}) \\ & + (44.9 - 6.55\lg h_{te})\lg d + C_{cell} + C_{terrain} + C_M \end{aligned} \qquad (8\text{-}1)$$

式中，L 为传播路径损耗中值，单位为 dB；f_c 为电磁波工作频率，单位为 MHz；h_{te} 为基站天线有效高度，单位为 m；h_{re} 为移动台有效天线高度，单位为 m；d 为基站天线和移动台天线之间的水平距离，单位为 km；$\alpha(h_{re})$为有效天线修正因子，是覆盖区大小的函数；

$$\alpha(h_{re}) = \begin{cases} \text{中小城市} & (1.11\lg f_c - 0.7)h_{re} - (1.56\lg f_c - 0.8) \\ \text{大城市、郊区、乡村} & \begin{cases} 8.29(\lg 1.54h_{re})^2 - 1.1 & (f_c \le 300MHz) \\ 3.2(\lg 11.75h_{re})^2 - 4.97 & (f_c \ge 300MHz) \end{cases} \end{cases}$$

C_{cell} 为小区类型校正因子；

$$C_{cell} = \begin{cases} 0 & \text{城市} \\ -2\left[\lg(f_c/28)\right]^2 - 5.4 & \text{郊区} \\ -4.78(\lg f_c)^2 + 18.33\lg f_c - 40.98 & \text{乡村} \end{cases}$$

$C_{terrain}$ 为地形因子，单位为 dB。

C_M 为大城市中心校正因子，单位为 dB；

$$C_M=\begin{cases}0 & \text{中等城市和郊区}\\ 3 & \text{大城市中心地区}\end{cases}$$

COST 231-Hata 模型加入了大城市校正因子C_M，对于大城市中心地区的路径损耗统一增加了 3dB。

（2）COST 231-Walfisch-Ikegami 模型

从名称上可以看出，COST 231-Walfisch-Ikegami 模型（通常简称为 COST 231-WI 模型）与 COST 231-Hata 模型之间存在一定的关系。

在实际应用中发现，COST 231-Hata 模型在高楼密集的城区的预测值与实测值之间的误差比较大。为了改善高楼密集城区的链路计算，欧洲研究委员会进行了大量的现场实测和模型分析，同时参考了 Walfisch-Bertoni 模型和 Ikegami 模型的理论基础，将 COST 231-Hata 模型分成自由空间传播损耗、屋顶到街道衍射和散射损耗以及多次屏蔽三个部分。因此这种模型就被称为 COST 231-Walfisch-Ikegami 模型。由于它考虑了自由空间损耗、从建筑物顶到街面的损耗以及街道方向的影响，因此，它可以适用于发射天线高于、等于或低于周围建筑物的传播预测，并广泛适用于建筑物高度近似一致的郊区和城区环境。

COST 231-WI 模型参数如图 8-2 所示：

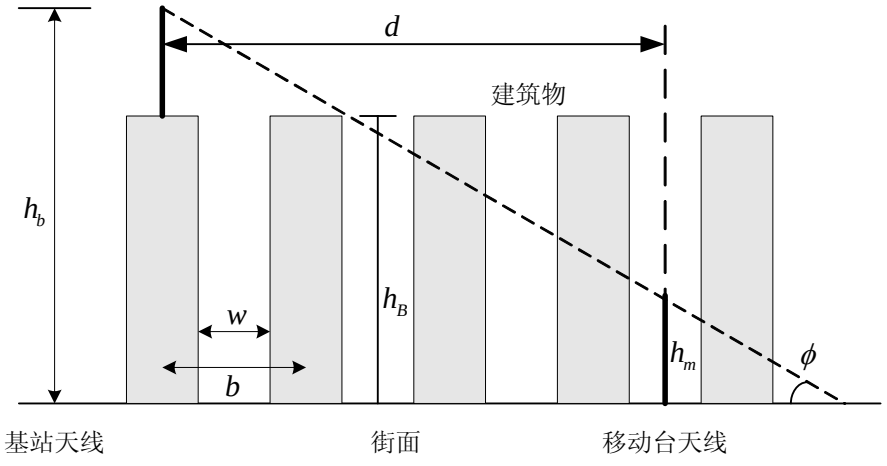

图 8-2 COST-231 WI 模型（NLOS）

图 8-2 中：

h_b：基站天线高出地面的高度，单位为 m，$4m \le h_b \le 50m$；

h_m：移动台天线高度，单位为 m，$1m \le h_m \le 3m$；

h_B：建筑物屋顶平均高度，单位为 m；

d：基站天线和移动台天线之间的距离，$0.2km \le d \le 5km$；

$\Delta h_b = h_b - h_B$：基站天线高出建筑物屋顶的高度，单位为 m；

$\Delta h_m = h_B - h_m$：移动台天线低于建筑物屋顶的高度，单位为 m；

b：相邻行建筑物中心的距离；

w：移动台所在的街道宽度；

ϕ：由街区轴线和连结发射机和接收机天线的夹角。

COST 231-WI 模型分为视距传播（Line Of Sight，LOS）和非视距传播（Non Line Of Sight，NLOS）两种情况来计算路径损耗。

（1）对于 LOS 情况，路径损耗类似于自由空间传播损耗公式：

$$L = 42.6 + 26\lg d + 20\lg f \tag{8-2}$$

（2）对于 NLOS 情况，即传播路径上有障碍物时，路径损耗公式为：

$$L = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{mds} & L_{rts} + L_{mds} \geq 0 \\ L_{fs} & L_{rts} + L_{mds} \leq 0 \end{cases} \tag{8-3}$$

式中，L_{fs} 是自由空间衰落损耗，L_{rts} 是由沿屋顶下沿最近的衍射引起的衰落损耗，L_{mds} 代表沿屋顶的多重衍射（除了最近的衍射）损耗。下面分别介绍这三部分损耗的计算方法：

a. L_{fs} 的计算公式为：

$$L_{fs} = 32.4 + 20\lg d + 20\lg f \tag{8-4}$$

式中，d 为无线传播路径长度，即收发天线之间的距离，单位为 km；f 为电磁波的工作频率，单位为 MHz；

b. L_{rts} 的计算公式为：

$$L_{rts} = -16.9 - 10\lg w + 10\lg f + 20\lg \Delta h_{Mobile} + L_{ori} \tag{8-5}$$

式中，w 为道路宽度，单位为 m；$\Delta h_{Mobile} = h_B - h_m$ 为基站天线所在位置处建筑物高度 h_B 与移动台接收天线 h_m 的差值，单位为 m；

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi & 0^\circ < \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35) & 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55) & 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases}$$

c. L_{mds} 的计算公式为：

$$L_{mds} = L_{bsh} + k_a + k_d \lg d + k_f \lg f - 9\lg b \tag{8-6}$$

式中：

$$L_{bsh}=\begin{cases}-18\lg\left(1+\Delta h_b\right) & h_b-h_B>0\\ 0 & h_b-h_B\le 0\end{cases}$$

$$k_a=\begin{cases}54 & h_b-h_B>0\\ 54-0.8\Delta h_b & h_b-h_B\le 0\text{且}d\ge 0.5km\\ 54-1.6\Delta h_b d & h_b-h_B\le 0\text{且}d<0.5km\end{cases}$$

$$k_d=\begin{cases}18 & h_b-h_B>0\\ 18-15\dfrac{\Delta h_b}{h_B} & h_b-h_B\le 0\end{cases}$$

$$k_f=\begin{cases}-4+0.7\left(\dfrac{f}{925}-1\right) & \text{中等城市和郊区}\\ -4+1.5\left(\dfrac{f}{925}-1\right) & \text{大城市中心}\end{cases}$$

上面公式中的k_d和k_f表示相互独立的多重衍射损耗，它们分别是距离d和频率f的函数。

（3）CCIR 模型

CCIR 模型综合考虑了自由空间路径损耗和地形引入的路径损耗对无线电波传播的影响。计算公式为：

$$\begin{aligned}L=&69.55+26.16\lg f_c-13.82\lg h_{te}-\alpha\left(h_{re}\right)\\&+\left(44.9-6.55\lg h_{te}\right)\lg d-B\end{aligned}\qquad(8\text{-}7)$$

由上述计算公式可以看出，此模型为 Hata 模型在城市传播环境下的应用，式中B为地物覆盖校正因子：

$$B=30-25\lg\left(\text{地物建筑物覆盖率}\right)$$

如果 15%的区域被建筑物覆盖，则

$$B=30-25\lg 15\approx 0dB$$

由此可以看出，CCIR 模型公式中的地物覆盖校正因子B和 Hata 模型中的小区类型校正因子C_{cell}所起作用是一样的，都是为了在公式中体现出建筑物密度对无线信号传输的影响。在 CCIR 模型中，传输损耗随着建筑物密度增大而增大。

（4）SPM 模型

现在很多的网络规划软件中经常使用标准传播模型，即 SPM（Standard Propagation Model）模型，它是建立在 COST 231-Hata 经验模型的基础上的。 其计算公式为：

$$\begin{aligned}Loss=&K_1+K_2\log_{10}d+K_3\log_{10}H_{Txeff}+K_4Diff_loss\\&+K_5\log_{10}H_{Txeff}\log_{10}d+K_6H_{Rxeff}+Clutter_Offset\end{aligned}\qquad(8\text{-}8)$$

式中，K_1为常数偏移，单位为 dB；K_2为与距离有关的衰落系数，单位为 dB；d 为发射天线与接收天线之间的距离，单位为 km；K_3为与发射天线有关的衰落系数，单位为 dB；H_{Txeff} 为发射天线高度，单位为 m；K_4为与衍射损耗有关的衰落系数，单位为 dB；$Diff_loss$ 为阻隔路径上的衍射造成的损耗，单位为 dB；K_5为与发射天线高度和距离都相关的衰落系数，单位为 dB；K_6为与接收天线高度相关的衰落系数，单位为 dB；H_{Rxeff} 为接收天线高度，单位为 m；$Clutter_Offset$ 为地貌引起的加权平均损耗，单位为 dB。

SPM 模型往往用于传播模型的校正，网络规划软件 Atoll 就支持这种模型。在校正时，常取系数默认值如表 8-5 所示。

表 8-5　SPM 模型系数默认值

系数	默认值	系数	默认值
K_1	23.5	K_2	44.9
K_3	5.83	K_4	1
K_5	-6.55	K_6	0
K_7	1		

8.4.1.3　传播模型校正

在 TD-LTE 网络中，传播模型是进行网络规划的重要工具，传播预测的准确性将大大影响网络规划的准确性。在实际工程中，使用的传播模型基本是经验模型，如 COST 231-Hata 模型、CCIR 模型和 SPM 模型等。在这些模型中，影响电波传播的主要因素，如收发天线距离、天线高度和地物类型等，都以变量函数的形式在路径损耗公式中反映出来。但是，在不同的地区，地形起伏、建筑物高度和密度以及气候等因素对传播影响的程度不尽相同，所以，这些传播模型在具体环境下应用时，对应的变量函数式各不相同，为了准确预测传播损耗，需要找到能反映本地无线传播环境的合理的函数式。

传播模型校正就是指根据实际无线环境的地形地貌、建筑物高度和密度、街道分布等本地环境特征，以及与无线电波环境有关的系统参数（如信号频率、基站天线高度等），校正现有经验模型公式，使其计算出的服务区内收发两点间的传输损耗更接近实测值。

一般传播模型校正分以下三步进行：

（1）数据准备

设计测试方案，进行车载路测，并记录收集本地的测试信号的场强数据。

（2）路测数据处理

对车载测试数据进行处理，得到可用于传播模型校正的本地路径损耗数据。

（3）模型校正

根据处理后得到的路径损耗数据，校正原有的传播模型中各个函数的系数，使模型的预测值和实测值的误差最小。

8.4.1.3.1 数据准备

（1）电子地图与地物类型

影响电波传播的因素很多，建筑物、树林、水域、开阔地分别有不同的修正因子。对于微蜂窝小区，街道的走向、立交桥的结构、建筑物的材料（如玻璃面建筑物便会产生严重的反射）也会对电波传播产生影响。所有这些因素使得无线传播的预测必须基于三维数字地图。数字地图是进行模型校正的必备工具，移动通信所用的数字地图包括地形高度、地面用途种类等对移动通信电波传播有影响的地理信息，是网络规划软件进行模型校正、覆盖预测、干扰分析、频率规划的重要基础数据。数字地图包含四层：数字高程模型（DEM 数据）、地面覆盖模型（DOM 数据）、线状地物类型（LDM 数据）、建筑物空间分布图（BDM 数据）。其中 DEM 层、DOM 层、LDM 层是必须数据，BDM 层一般只用于微蜂窝的研究以及 COST-231 WI 模型的研究。数字地图的精度为 100 m、50 m、20 m、5 m 四种。5 m 的地图主要用于微蜂窝，20 m 的地图用于城市，50 m、100 m 的地图一般用于郊区或者农村等开阔地。

对于应用最广的 20 m 精度数字地图，其典型地物可分为：水域、海面、湿地、郊区开阔地、城区开阔地、绿地、树林、40 m 以上高层建筑群、20~40 m 规则建筑群、20 m 以下高密度建筑群、20 m 以下中密度建筑群、20 m 以下低密度建筑群、郊区乡镇以及城市公园等。根据建筑物的不同高度，还可将建筑群划分为高层建筑、一般建筑、低矮建筑等种类。在实际测试中，需要根据电子地图地表覆盖类型，以及实际服务区的主要地物，对基站覆盖范围内的地物类型进行判断，以确定测试路线。

（2）电测设备

设备的设置在电测过程中十分重要，主要是准备相关的测试仪器和与之相关的测试资料。电测过程中需要用到的仪器有：车载接收机（RF 接收机、GPS 以及相应的控制设备和软件）、测试发射机、发射和接收天线、馈线、综合测试仪（功率计）、功率衰减器、笔记本电脑及相应的控制设备和软件。电测设备的逻辑连接图如图 8-3 所示。

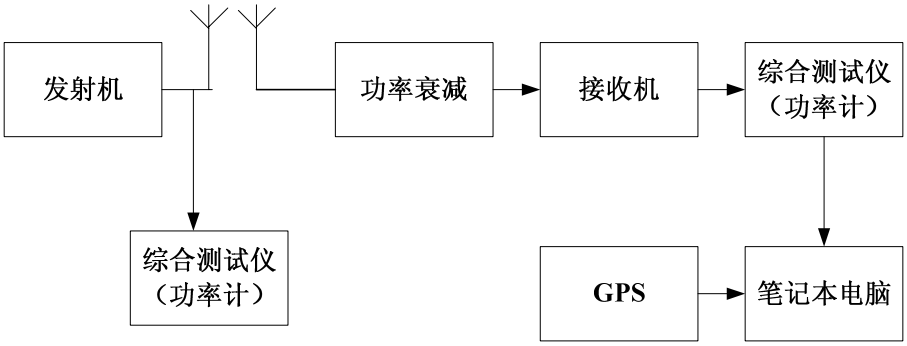

图 8-3 电测设备的连接图

（3）选择发射基站站点以及测试路线

站址的选择应按照如下的要求进行：

- 尽可能选择服务区内具有代表性的传播环境，对不同的电磁环境（如密集城区、一般城区、郊区等）需分别设置站点；对每一种电磁环境，最好有多个测试站点，以尽可能消除位置因素。
- 根据一般经验，在人口密集城市的测试站点数量应不少于 5 个；对于中小城市，一般 2 个测试站点即可，这主要取决于测试基站天线高度及其 EIRP（Effective Isotropic Radiated Power，有效各向同性辐射功率）大小。
- 选定的站址要使它能覆盖足够多的地物类型，以使得每一种地物类型通过模型校正后都能得到一个相应的 offset 值。条件必须能代表典型基站条件，包括天线挂高、周围地物地貌类型等。
- 作为测试站址，它的第一菲涅尔区必须无障碍物（因为第一菲涅尔区包含信号的场强占总的信号强度的 1/2）。

在实际中为了便于测试，可按以下标准来确定站址是否合适：

1）天线高度大于 20m；

2）测试站点的天线比周围（150~200m 以内）的障碍物高出 5m 以上。

3）作为站址的建筑物应高于周围建筑区的平均高度。

测试路线直接关系到测试数据的准确性，测试前要预先设置好路线。设定测试路线必须考虑以下几个方面的因素：

- 能够得到不同距离、不同方向的测试数据；在某一距离上至少有 4~5 个测试数据，以消除位置影响；尽可能经过各种地物；尽量避免选择高速公路或者较宽的公路。
- 接收机的天线需放置到车顶，以消除人体或者车体对信号接收的影响。
- 尽量选取路面的中间车道进行测试，且车速尽量恒定、不变道。
- 针对每个发射机位置，测试路线应尽可能囊括有典型意义的地形，同时测试路线应围绕发射机按螺旋型或者梅花型或“8”字型进行测试，以将所有的传播损耗的类型取样点采样。

（4）基站架设和数据采集

测试基站设备安装在选定的测试站址后，使用功率计测量天线口的发射功率和反射功率，计算出测试基站的有效辐射功率（EIRP）。计算公式如下：

$$EIRP = 10\log[P_Forward(mW) - P_Reflected(mW)] + Tx_Antenna_Gain + Rx_Antenna_Gain - Rx_Feeder_Loss \quad (8\text{-}9)$$

式中，P_Forward(mW) 为前向发射功率；P_Reflected(mW) 为反射功率；Tx_Antenna_Gain 为测试基站发射天线增益，单位为dB；Rx_Antenna_Gain 为测试接收机天线增益，单位为dB；Rx_Feeder_Loss 为测试接收机的馈线损耗，单位为dB。

基站设备安装调试正常后，记录下该基站的 EIRP。用 GPS 测量站址的经纬度；用三角测量法测量建筑物的高度。天线高度为建筑物高度加上天线桅杆高度以及天线本身长度的一半。用便携式测试设备扫频，以确认测试基站设备工作正常，并且周围无干扰信号。

将发射机置于预选位置点，并且把发射功率尽可能调大，同时发射频率设置必须选择一个干净的频点，此频点应该与运营商所工作的频点相一致。先将场强测试仪、GPS 和 PC 连接，同时先提取小段长度的样本数以确定车速；打开信号源及发射机，沿选定路线开车进行测试，此时 PC 能按照软件要求自动采集场强信号和 GPS 信号，并生成原始数据文件（该文件可以根据需要转为 word 或 excel 文件）。

（5）车载测试数据

在选定测试路线后，则可进行车载测试。车载测试的类型有两种，一种是 CW 测试，另一种是现网测试。

- CW 测试

CW 测试，即在典型区域架设发射天线，发射单载波信号，然后在预先设定的路线上进行车载测试，使用车载接收机接收并记录各处的信号场强。

CW 测试频率和环境选择方便，而且是全向单载波测试，因而较易于避免其他电波干扰和天线增益不同引起的测试误差，采集数据的准确性具有良好的保障，尤其适用于建网初期对传播环境的本地化预测，基于 CW 测试的传播模型校正结果可以为网络规划提供较准确的传播预测。

- 现网测试

现网测试，即在已经运营的网络中，在预先设定的路线上进行车载测试，通过车载测试手机收集接收并记录各个基站导频信号功率数据。

现网测试由于是在实际网络中获得路径损耗数据，测试数据真实的反映了宽带信号在本地无线环境中的传播，基于现网测试数据的传播模型校正结果尤其适用于为网络优化提供场强预测。

为了平均快衰落，得到本地接收信号均值的准确估计，对路测车速和设备采样数据具有严格的要求。工程上至少要求每 40 波长距离内记录 50 个点的瞬时接收功率，这时测试误差大约在 2~3dB。如果不能达到这个标准，本地接收信号均值的测量误差将增高，导致数据处理后得到的路径损耗误差增大。

假定测试信号频率为 875MHz，有：

$$\frac{50\text{个接收功率瞬时测量值}}{40\lambda}=\frac{50\text{个}}{14\text{米}}=3.65 \quad \text{个/米}$$

记这个测试标准为 C，可以得到车速 v（m/s）、前台测试设备的采样速率 R（个/s）和测试标准 C 的关系：

$$\frac{R}{v}>C, \quad \text{或} \quad v<\frac{R}{C}$$

例如，前台设备采样速率 R 为 50 个/s，即 20ms 测量一组导频的瞬时接收功率，则车速的要求：

$$v < \frac{R}{C} = \frac{50}{3.65} m/s \quad = \quad 13.7 m/s \quad \approx \quad 50 \quad km/h$$

可见，车速和前台设备采样速率密切相关，必须综合考虑。

8.4.1.3.2 数据处理

（1）路测数据格式转换

车载路测设备所记载的路测数据的格式一般为.txt 文件，但在一些规划软件中所支持的路测数据格式为.xls（Excel 文件）。因此在进行路测数据的处理之前，需要进行数据格式的转换。

（2）路测数据 GPS 调整

由于车载测试时记录的测试点的经纬度和电子地图对应点的经纬度不同，如果不对测试数据进行 GPS 调整，那么测试数据的位置将偏离它应该对应的电子地图的位置，这在校正中会影响对应位置地物的分布，所以必须调整测试数据的经纬度，使其和电子地图吻合。

（3）预处理

模型校正工作需要很多的测试数据，但是并非每一个测试数据对于校正都有很大的意义。比如考虑到接收机的灵敏度和实际意义，接收电平在-120dBm 以下的弱信号，以及接收电平高于-40dBm 的强信号应该舍掉；一些没有经纬度的数据或者经纬度上有漂移的数据也应该过滤掉。

数据处理要进行的另一项工作是数据的离散处理：由于 GPS 的采样频率比数据的采样频率慢，这样在同一个经纬度点上就有多个数据，通过按采样时间顺序对数据进行内插，从而将同一点上的多个数据平铺到取样时间所走的路线上，即完成了数据的离散操作。

（4）地理平均

地理平均是为了取得相应地段的信号中值，并用信号中值来计算路径损耗值（L）。这样做的目的是消除快衰落，保留慢衰落的影响，但是路段的长度也不宜取太长，太长了会把距离引起的慢衰落也平均掉。

目前普遍采用的处理方法主要有两种：方法一是将整个区域做栅格，栅格的边长为 6m，将落到每个栅格内的数据做算术平均，并以栅格的中心作为新的位置点；方法二是沿路径进行等间距分段，每段 6m，将每段内的数据进行算术平均，并统一选某点为平均值的位置点。

两种方法各有优缺点：方法一优点是简单易行，运算速度快，缺点是平均长度在 6～8.5m 之间变动；方法二优点是保证长度为 6m，但比较复杂，运算速度较慢。

鉴于两种方法的特点，一般工程建议采取方法二。

地理平均完的数据还需要进行必要的格式转换，以满足模型校正对文件格式的要求，之后就进入到模型校正工作。

（5）数据筛选

测试中由于人为或设备等一系列的因素，可能会记录到数值很大或很小的错误测量数据，另外，由于测试中行车的路线受街道和路况的限制，有可能跑出测试方案预定的测试区

域，为了防止这些数据对传播模型校正的影响，在校正前必须对路测数据进行筛选。

数据筛选的条件一般包括：

（1）最远、最近距离

一般滤除超过最远距离、小于最近距离的数据。一般默认值取为：最近距离 min=200m，最远距离 max=20000m；

（2）最大、最小接收信号电平

通过设定最大、最小接收信号电平，滤除电平范围以外的数据。一般默认值取为：最小接收电平 min=-120dBm，最大接收电平 max=-40dBm；

（3）所选地物类型

一般的规划软件支持地物类型的筛选功能，通过设定规划区域内地物类型的样点个数，小于这个门限的地物类型不参与校正，一般默认值取为 300；

（4）角度条件

根据用户的要求，一般规划软件支持用户通过设置（以天线方位角为参考的）一定角度范围内路测数据的筛选功能，一般默认值取为：最小角度 min=-180°，最大角度 max=180°，即默认值取天线范围内的所有数据。

综上所述，数据处理流程如图 8-4 所示。

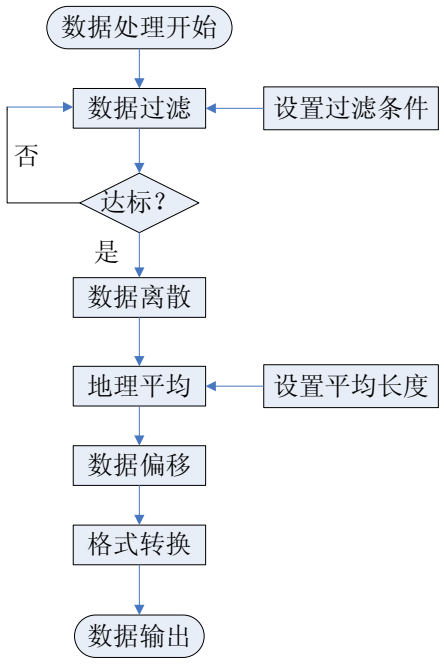

图 8-4　数据处理流程图

8.4.1.3.3 模型校正

（1）模型校正原理

传播模型在使用时，需要对其准确性和可靠性进行测试，或者根据地形地物校正公式中的具体修正因子，针对每个不同的模型，公式和参数不尽相同，故有不同的校正方法。由于各模型基本呈线性关系，而对于非线性的传播模型，可以考虑采用对数形式整体校正，得到

线性的表达式，由此，可以考虑采用多元线性回归法进行分析。

传播模型的校正问题实际上就是数学上的多元线性拟和问题。在实际的传播模型校正中，首先进行严格的数据准备，然后将所采集到的路测数据进行处理后，适当地设置收敛条件，采用曲线拟和的方法得到校正后的传播模型。

假定因变量 y 与自变量 x_1、x_2、…、x_m 共 n 组实际观测数据，如表 8-6 所示。

表 8-6　实际观测数据

变量 / 序号	y	x_1	x_2	…	x_m
1	y_1	x_{11}	x_{21}	…	x_{m1}
2	y_2	x_{12}	x_{22}	…	x_{m2}
⋮	⋮	⋮	⋮	…	⋮
n	y_n	x_{1n}	x_{2n}	…	x_{mn}

假设因变量 y 与自变量 x_1、x_2、…、x_m 之间存在线性关系，其数学模型为：

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \cdots + \beta_m x_{mi} \quad （i = 1, 2, \cdots, n） \tag{8-10}$$

式中，β_0、β_1、β_2、…、β_m 为上式的系数，为待确定的值。

设 y 对 x_1、x_2、…、x_m 的 m 元线性回归方程为：

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_m x_m \tag{8-11}$$

式中，b_0、b_1、b_2、…、b_m 为式（8-10）中 β_0、β_1、β_2、…、β_m 的估计值，并且 b_0、b_1、b_2、…、b_m 应满足实际观测值 y 与线性回归估计值 $\hat{y}$ 的偏差平方和最小。因此要满足：

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \cdots - b_m x_{mi} \right)^2 \tag{8-12}$$

式中，δ 为关于 b_0、b_1、b_2、…、b_m 的 $m+1$ 元方程。

根据高等数学知识求解式（8-12）的最小二乘解，可得各系数。

（2）具体应用

这里，以 SPM 模型为例讲解校正原理的具体应用。

SPM 模型的经验公式：

$$\begin{aligned} Loss = K_1 + K_2 \log_{10} d + K_3 \log_{10} H_{Txeff} + K_4 Diff_loss \\ + K_5 \log_{10} H_{Txeff} \log_{10} d + K_6 H_{Rxeff} + Clutter_Offset \end{aligned} \quad (8\text{-}13)$$

一个路测点的总路径损耗公式由 L_1, L_2, L_3 三部分构成， L_1 反映的是路径损耗的中值，L_2 反映的是 NLOS 的阴影衰落损耗，L_3 反映的是路径损耗中与地物类型、季节气候等有关的地形地貌分量。

$$L_1 = K_1 + K_2 \log_{10} d + K_3 \log_{10} H_{Txeff} + K_5 \log_{10} H_{Txeff} \log_{10} d + K_6 H_{Rxeff}$$

$$L_2 = K_4 Diff_loss \quad (8\text{-}14)$$

$$L_3 = Clutter_Offset = \sum_{i=1}^{18} O_i clu(i)$$

该校正方法要将传播模型的校正公式拆分成 L_1, L_2, L_3 三个部分，在每一次校正过程中就要分别对每一部分的校正参数应用多元线性回归法进行独立的计算，最后整合所有的校正系数，用整体的残差平方进行收敛判决。由此每一轮校正中都存在着内部的迭代，这就出现了三部分间相互估算、迭代顺序的问题。由于 L_1 反映的是路径损耗的中值损耗，变化较大，是校正的主体； $Clutter_Offset$ 反映地貌对路径损耗的影响，在保证 L_1 对各类地貌都适合的情况下，通过修正 $Clutter_Offset$ 来校正预测值在各类地貌上的准确性。因此，在校正过程中应首先重点校正路径损耗中值 L_1 ，使校正曲线的主体迅速向实测值靠拢，保证校正收敛的速度；而后再分别调整 L_2 和 L_3 。 L_2 、 L_3 的变化会影响到 L_1 的选取，因此校正需要不断地、反复地进行调整。

根据上面的分析以及传播模型公式特点和对存储的要求，采用迭代算法进行，在校正时按照下述顺序流程来进行迭代，每次迭代分为以下四步进行：

1. 调整路径损耗中值 L_1 中的系数，通过多元线性回归法求解各系数值，使路径损耗中值 L_1 的平均误差接近 0，并使其方差减小。

2. 根据第 1 步计算出的系数值来调整路径损耗随机分量 L_2 中的绕射损耗系数 K_4，通过多元线性回归法来计算 K_4 ，使 L_2 的平均误差接近 0。

3. 在第 1 步和第 2 步的前提下，通过多元线性回归法，调整 L_3 中各个 $Clutter_Offset$

的系数值，使得 L_3 的平均误差接近 0；从而得到了一次迭代之后的各个系数值以及各个 $Clutter_Offset$ 的校正值。

计算实测值与校正值的残差平方和，与收敛条件进行比较。满足则停止迭代，记录校正结果，若不满足，则用此次校正出的 K_4、$Clutter_Offset$ 为新一次迭代的初始值，重复步骤 1~3。

传播模型校正的流程可以用图 8-5 所示。

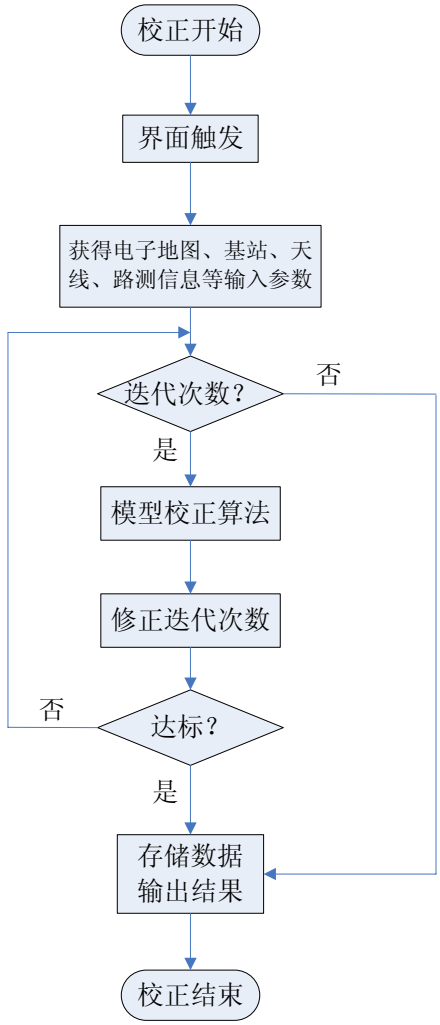

图 8-5 传播模型校正流程

8.4.1.4 无线链路预算分析

链路预算是通过对一条无线通信链路中的各种损耗和增益的核算，来计算出链路所能允许的最大空中损耗或小区最大覆盖距离。通过链路预算可以预先了解一个无线系统的上下行覆盖平衡性。

链路预算仍是评估 TD-LTE 无线通信系统覆盖能力的主要方法，通过链路预算，可以估算出各种环境下的最大允许路径损耗，从而估算出目标区域需要的 TD-LTE 覆盖站数。在进

行链路预算分析时，需确定一系列关键参数，主要包括基本配置参数、收发信机参数、附加损耗及传播模型。

8.4.1.4.1 TD-LTE 基本配置参数

基本配置参数主要包括 TDD 上下行时隙配置、特殊时隙配置、系统总带宽、RB 总数、分配 RB 数、发射天线数、接收天线数、天线使用方式等。具体说明如下：

（1）上下行时隙及特殊时隙配置：目前通常选择上下行采用 2:2 时隙配置，特殊子帧采用 10:2:2 配置。

（2）系统总带宽：TD-LTE 网络可灵活选择 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、20MHz 等带宽，目前通常选取 20MHz 带宽。

（3）RB 总数及分配 RB 数：20MHz 带宽 RB 总数为 100 个，考虑同时调度 10 个用户，边缘用户分配 RB 数为 10 个。

（4） 天线数量及天线使用方式：根据目前技术发展情况，天线主要采用 8 阵元双极化天线，边缘用户主要使用波束赋形方式。

8.4.1.4.2 收发信机参数

收发信机参数主要包括发射功率、天线增益、接头及馈线损耗、多天线分集增益、波束赋形增益、热噪声密度、接收机噪声系数、干扰余量、人体损耗、目标 SNR 等，具体说明如下：

（1）发射功率：下行方向，根据目前厂家设备的产品规划，在系统带宽为 20MHz 情况下取 46dBm（主要有两类产品 2 通道每通道 20W 和 8 通道每通道 5W），上行方向，终端功率可取 23dBm。

（2）天线增益：根据目前情况，8 天线 D 频段产品通常其增益为 15～17dBi。

（3）接头及馈线损耗：馈线损耗会降低接收机接收电平，从而对基站覆盖能力产生影响。对于 BBU＋RRU 产品，其发射天线馈线，接头和合路器损耗较小，一般取值在 0.5～1dB 之间。

（4）多天线分集增益、波束赋形增益：选择不同的发射模式，如发射分集或波束赋形，其增益有一些差异：

① 接收侧：基站为 8 天线取 7dB，终端为 2 天线取 3dB。

② 发送侧：

a) 终端为单天线发送，因此无发送分集增益；

b) 基站业务信道：8 天线，为波束赋形方式，增益取 7dB ；

c) 基站控制信道：8 天线和 2 天线相同，为发送分集方式，增益取 3dB。

（5）热噪声密度：取-174dBm/Hz。热噪声功率谱密度：热噪声功率谱密度的表示公式是 $N_0 = K \times T$ ，其中，K 是波尔兹曼常数，取值为 $1.38 \times 10^{-20} mW / K / Hz$ 。表征自由电子热运动能量与温度的关系，热噪声在整个频谱范围内均匀分布。T 指的是绝对温度（K），地面通信环境取标准室温 290K。故得：

热噪声功率谱密度

$$N_0 = K \times T = 1.38 \times 10^{-20} mW / K / Hz \times 290K = 4 \times 10^{-18} mW / Hz = -174 dBm / Hz \quad （8\text{-}15）$$

（6）接收机噪声系数：接收机输出的信噪比不但与噪声功率有关，还与输入信号的信噪比有关。一般情况下，系统中都用噪声系数（Noise Figure）来表示系统的噪声性能。噪声系数计算示意图如图 8-6 所示。图中$(S/N)_{in}$为输入信噪比，$(S/N)_{out}$为输出信噪比，NA 是接收机所产生的噪声功率，KP 是设备的增益。

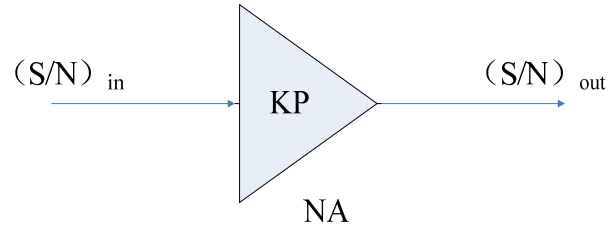

图 8-6 噪声系数计算示意图

由图 8-6 可得，$N_{out}=KP\times N_{in}+NA$，$S_{out}=KP\times S_{in}$，$(S/N)_{out}=S_{in}/(N_{in}+NA/KP)$。

噪声系数通常被定义为网络输入端信号信噪比和网络输出端信号信噪比之间的关系，其值越小说明系统硬件的噪声控制越好，可以通过式（8-16）计算：

$$NF=\frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}}=\frac{S_{in}/N_{in}}{S_{in}/(N_{in}+NA/KP)}=1+\frac{NA}{KP\cdot N_{in}}>1 \qquad (8\text{-}16)$$

从式（8-16）可看出，信号经过该设备后信载噪比变差了，这个变化量即为接收机的噪声系数。一般情况下 TD-LTE 基站侧噪声系数通常取 2～3dB，终端侧通常为 7～9dB。

（7）干扰余量：TD-LTE 系统小区间的同频干扰依然存在，网络负荷上升，小区间的干扰也会相应增加，从而影响 TD-LTE 边缘覆盖效果，在链路预算中通常采用干扰余量来反应了这一特点，干扰余量可分为上行干扰余量和下行干扰余量，通常要借助干扰公式和系统仿真平台得到。

（8）人体损耗：人体损耗是指 UE 离人体很近造成的信号阻塞及吸收所引起的损耗。人体损耗取决于 UE 相对于人体的位置。根据业务使用习惯，数据业务的人体损耗参考值为 0dB。

（9）目标 SINR：在 36.213-880 规范中， 定义了不同 MCS、RB 承载下的数据块数量，根据边缘速率，可以推导出数据块数量，然后找到承载的 RB 数量，就可以方便的查找出对应的 MCS，并根据具体 MCS 和 SINR 对应表格得到 SINR，MCS 和 SINR 对应关系需通过链路仿真得到。

8.4.1.4.3 收发信机参数

附加损耗主要包括设计规划中应考虑的其他损耗，主要有建筑物穿透损耗和阴影衰落余量。

（1） 穿透损耗：常见物体的穿透损耗如表 8-7 所示。通常市区建筑物穿透损耗典型值可取 15～20dB。

表 8-7 常见物体的 TD-LTE 穿透损耗值

序号	RF 障碍物	相对衰减度	范例	穿透损耗
1	木材	低	办公室分区	约 3-6dB

2	塑料	低	内墙	约 3-6dB
3	合成材料	低	办公室分区	约 3-6dB
4	石棉	低	天花板	约 3-6dB
5	玻璃	低	窗户	约 8dB 左右
6	水	中	湿木、养鱼池	约 8-10dB
7	砖	中	内墙和外墙	约 8-12dB
8	大理石	中	内墙	约 10-12dB
9	纸	高	壁纸	约 12-15dB
10	混凝土	高	楼板和外墙	约 12-20dB
11	承重墙	高	浇筑水泥墙	约 20dB
12	防弹玻璃	高	安全隔间	约 20dB 以上
13	混凝土楼板	高	楼层	约 30dB 以上

（2） 阴影衰落余量：在城区环境下，取 8dB 的阴影标准差，95%的区域覆盖率和 85%的边缘覆盖概率对应的阴影余量为 8.3dB。

8.4.1.5 TD-LTE 链路预算结果

综合考虑各种业务需求及 LTE 本身能力，目前初步定义的业务需求为空载时小区边缘用户可达到 1Mbps/250kbps（下行/上行）。基于这一业务需求，TD-LTE 链路预算分析结果如下。

（1）控制信道和业务信道覆盖能力对比

控制信道和业务信道链路预算结果对比如表 8-8 所示。

表 8-8 控制信道和业务信道链路预算结果对比表

项目	下行业务信道	上行业务信道	下行控制信道					上行控制信道			
	1Mbit/s，10RB，邻区空载	250kbit/s，10RB，邻区空载	PBCH	PDPCCH（8CCE）	PDPCCH（2CCE）	PCFICH	PHICH	PUCCH format 1a	PUCCH format 2	PRACH format 1	PRACH format 4
最大允许路径损耗（dB）	145.6	145.1	156.6	151.8	145.8	152.5	148.9	158.3	157.6	153.2	145.5

基于目前的覆盖目标（空载条件下，10 用户同时接入时，边缘单用户下行吞吐量大于 1Mbps），系统最大允许的路径损耗（不含穿透损耗）为 145.6dB，与之相对应的上行业务信道速率约为 250kbps，而其他控制信道覆盖能力均大于上述值，因此，可直接按照下行业务信道达到 1Mbps 的要求进行站址规划。

（2）满足边缘速率要求的链路预算结果

采用 COST231-Hata 模型（2.6GHz 频段），计算得到 TD-LTE 和 TD-SCDMA 密集市区、

市区的小区覆盖半径如表 8-9 所示。

表 8-9 TD-LTE 和 TD-SCDMA 小区覆盖半径对比表

类别	密集市区	市区
TD-LTE 覆盖半径(1Mbps，10RB，空载)(km)	0.33	0.43
TD-SCDMA CS64 覆盖半径（km）	0.35	0.45

通过对比可知，TD-SCDMA 网络 CS64 业务覆盖能力略强于 LTE 下行 1Mbps 要求的覆盖能力，因此 TD-LTE 如果要达到邻区空载、10 用户同时接入时、边缘单用户下行吞吐量大于 1Mbps 的覆盖目标，需要在 TD-SCDMA 现网站距的基础上增加少量站点。

（3）站址规划建议

综上所述，在现网 TD-SCDMA 网络 CS64 业务覆盖良好的区域，TD-LTE 网络基本可以采用直接叠加的方式进行规划，建成后的 LTE 网络可以满足邻区空载 10 用户同时接入时边缘单用户下行吞吐量大于 1Mbps 的覆盖目标，但考虑到今后商用网络的要求可能会有所提高，因此建议在具备条件的区域，可在 TD-SCDMA 网络的基础上适当增加站点，以缩小 TD-LTE 的平均站距，实现更高的边缘接入速率，TD-LTE 具体站间距建议为密集市区达到 0.45～0.55km，站址密度不小于每平方公里 5 个；一般市区达到 0.55～0.7km，站址密度不小于每平方公里 3 个。

8.4.1.6 站间距和网络规模理论估算

根据 TD-LTE 基站覆盖范围 R，计算满足覆盖要求的最少基站数量。按照基站类型可以分为全向站、定向站。定向站可以分为两扇区和三扇区基站。两扇区定向基站一般用来覆盖道路、河流等线状覆盖区域，计算其覆盖面积没有太大意义。

①全向站

全向站的蜂窝结构如图 8-7 所示。

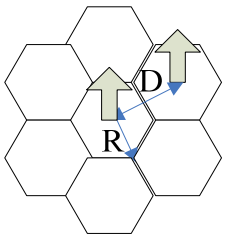

图 8-7 全向站的蜂窝结构

在图 8-7 中 R 为基站最大覆盖半径，D 为基站平均站间距。已知基站最大覆盖半径为 R，则基站平均站间距为 $D=\sqrt{3}\times R$，单基站覆盖面积 S 为：

$$S=3\sqrt{3}R^2/2 \qquad (8\text{-}17)$$

②三扇区定向站（三叶草）

三扇区定向站（三叶草）蜂窝结构如图 8-8 所示。

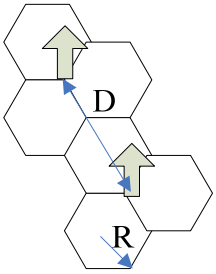

图 8-8 三扇区定向站（三叶草）蜂窝结构

如图 8-8 所示，已知基站最大覆盖半径为 R，则基站间平均间距为 D=0.5×R，单基站覆盖面积 S 为：

$$S = 9\sqrt{3}R^2 / 8 \qquad (8\text{-}18)$$

三叶草蜂窝结构在市区使用的比较普遍。

③三扇区定向站（六边形）

三扇区定向站（六边形）蜂窝结构如图 8-9 所示。

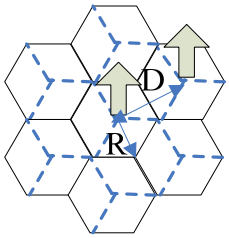

图 8-9 三扇区定向站（六边形）蜂窝结构

如图 8-9 所示，已知基站最大覆盖半径为 R，可以得到基站间平均间距为 $D = \sqrt{3} \times R$，单基站最大覆盖面积 S 为：

$$S = 3\sqrt{3}R^2 / 2 \qquad (8\text{-}19)$$

六边形蜂窝结构在乡镇农村使用的比较普遍。

eNode B 数目=规划区要求覆盖的面积/单站所能覆盖的面积。

8.4.2 TD-LTE 网络容量估算

8.4.2.1 影响 TD-LTE 容量性能的主要因素

TD-LTE 系统的容量由很多因素决定，首先是固定的配置和算法的性能，包括单扇区频点带宽、时隙配置方式、天线技术、频率使用方式、小区间干扰消除技术、资源调度算法等；其次，实际网络整体的信道环境和链路质量会影响 TD-LTE 网络的资源分配和调制编码方式选择，因此网络结构对 TD-LTE 的容量也有着至关重要的影响。

（1）单扇区频点带宽：TD-LTE 支持 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz、20MHz 带宽的灵活配置，显然采用更大的带宽，网络可用资源将更多，系统容量也将越大。

（2）时隙配置方式：TD-LTE 采取 TDD（时分双工）的双工方式，可以根据某地区上下行业务的不同比例，灵活配置上下行时隙配比，目前协议中定义了 7 种上下行时隙配置方式，这 7 种时隙配置方式中的特殊时隙又有 9 种方式可以选择，而选择不同的配置方式，其

上下行吞吐量将会有明显的差异。

（3）天线技术：TD-LTE 采用了多天线技术，使得网络可以根据实际网络需要以及天线资源，实现单流分集、多流复用、复用与分集自适应、单流波束赋形、多流波束赋性等，这些技术的使用场景不同，但是都会在一定程度上影响用户容量。

（4）频率使用方式：目前分析显示 TD-LTE 网络可以同频组网，但单小区配置相同带宽的同频组网系统的容量性能会差于异频组网系统，因此在实际运营时，应综合考虑频率资源情况、容量需求等因素确定频率使用方式。

（5）小区间干扰消除技术：TD-LTE 系统由于 OFDMA 的特性，系统内的干扰主要来自于同频的其他小区。这些同频干扰将降低用户的信噪比，从而影响用户容量，因此干扰消除技术的效果将会影响系统整体容量及小区边缘用户速率。

（6）资源调度算法：TD-LTE 采用自适应调制编码方式，使得网络能够根据信道质量的实时检测反馈，动态调整用户数据的编码方式以及占用的资源，从系统上做到性能最优。因此，TD-LTE 整体容量性能和资源调度算法的好坏密切相关，好的资源调度算法可以明显提升系统容量及用户速率。

（7） 网络结构：TD-LTE 的用户吞吐量取决于用户所处环境的无线信道质量，小区吞吐量取决于小区整体的信道环境，而小区整体信道环境最关键影响因素是网络结构及小区覆盖半径。在 TD-LTE 规划时应比 2G/3G 系统更加关注网络结构，严格按照站距原则选择站址，避免选择高站及偏离蜂窝结构较大的站点。

8.4.2.2 TD-LTE 容量评估指标

根据 TD-LTE 特性，其容量评估指标主要有同时调度用户数、同时在线（激活）用户数、小区平均吞吐量、小区边缘吞吐量及 VoIP 用户数，下面对上述几个指标进行简单说明：

（1）同时调度用户数：指系统每 TTI 可调度的用户数。

（2）同时在线（激活）用户数：指系统保持连接状态的用户数。

（3）小区平均吞吐量：指用户按照一定规律分布时，整个小区的平均吞吐量＝所有小区吞吐量之和/小区数。

（4）小区边缘吞吐量：指分布在小区边缘的用户吞吐量，在系统仿真时，边缘用户定义为对网络中所有用户按照用户吞吐量的大小降序排列，取 5%处的那个用户。

（5）VoIP 用户数：小区中容纳的 VoIP 用户总数。VoIP 用户数和带宽配置、控制信道资源和 VolP 调度算法相关。

8.4.2.3 TD-LTE 容量分析结果

（1）TD-LTE 调度用户数

TD-LTE 调度用户数主要取决于上/下行控制信道的容量。上行调度用户数主要受限于 PRACH 信道、PUCCH 信道、SRS 信号，下行调度用户数主要受限于 PCFICH 信道、PHICH 信道和 PDCCH 信道容量，综合各个控制信道容量分析结果，TD-LTE 在 20MHz 带宽下，最大可支持的调度用户数约为 80 个，但考虑到初期单用户速率需求较高且用户数不多，初期网络实际调度用户数在 10～20 个较为合适。

（2）TD-LTE 在线（激活）用户数

由于数据业务具有非持续性的突发特性，因此在线用户不需要每帧都进行调度，动态调度算法会保证在线用户在需要数据传输时及时地为用户分配实际的空口传输资源，同时在线用户数主要由业务特征及设备能力决定。从设备能力的范畴，TD-LTE 在 20MHz 带宽内，

单小区提供不低于 1200 个用户同时在线的能力。

（3）小区平均吞吐量及边缘吞吐量

从仿真结果分析，各厂家系统仿真的结果还是差异较大的，在 2.6GHz 频段、20MHz 带宽、站距 500m、每小区 10 个用户均匀分布的情况下，综合多个厂家的仿真结果平均值为：2 天线情况下，小区平均吞吐量为 7.8Mbps/16.4Mbps（上行/下行），边缘用户吞吐量为 0.2Mbps/0.4Mbps（上行/下行）；8 天线情况下，容量性能有所提升，小区平均吞吐量为 11.7Mbps/21.4Mbps（上行/下行），边缘用户吞吐量为 0.5Mbps/0.7Mbps（上行/下行）。

（4）VoIP 用户数

VoIP 容量定义为：某用户在使用 VoIP 进行语音通信过程中，若 98%的 VoIP 数据包的 L2 时延在 50ms 以内，则认为该用户是满意的。如果小区内 95%的用户是满意的，则此时该小区中容纳的 VoIP 用户总数就是该小区的 VoIP 容量。

假设 VoIP 用户采用半静态调度，不考虑控制信道限制，综合分析上下行信道，得到 20MHz 带宽下，VoIP 用户最大容量为 600 个左右。

8.4.2.4 TD-LTE 容量规划建议

TD-LTE 容量规划主要是考虑小区平均吞吐量，按照上述分析，规模试验网容量规划的建议值是，在同频网络、20MHz 带宽条件下，邻区占用 50%网络资源的条件下，单小区下行小区吞吐量达到 20Mbps。

8.5 规划站点勘察

站点勘察主要是指对基站站址进行勘察，确定具体的建站位置，设置基站工作参数。在站点勘察阶段，主要的困难在于获取理想的站址。站址获取的不理想，需要多轮站址勘测，最终把纸面站点落实到具体的地理位置。下面就站点勘察予以详细的介绍。

8.5.1 站点勘察内容

站点勘察内容包括获取经纬度信息、环境勘察、天馈安装勘察、天线挂高设计、天线方位角设计和天线下倾角设计等。下面详细介绍在进行各项勘察时所应完成的主要内容。

（1）获取经纬度信息

①在机房附近无遮挡的地方进行测量；

②GPS 手持机必须同时接收到四颗卫星以上的信号；

③在 GPS 显示读数稳定时再记录。

（2）环境勘察

①应观察并记录基站周围环境情况。观察周围有没有需要重点覆盖的地方（比如国道、省道、高速公路、繁华商业区等）；

②是否有高大建筑物的遮挡；

③是否有大面积的水面、树林（树木种类为落叶或者常青）等；

④认真观察周围环境，找一个相对较高的地方，以磁北为 0°，从 0°开始每隔 45°拍摄一张照片；

⑤按东南西北方向详细记录基站周围 300m 或 600m 内环境情况。

（3）天馈系统勘察

①观察并记录屋面或铁塔的位置；

②明确天线与机房所在地的相对位置；

③天线安装选位：

1）尽量远离其他发射系统，并保证天线足够的安装空间；

2）天线位置与其他发射塔有充分隔离，避免天线互对情况的出现；

3）与其他系统共站时，应考虑其他系统的干扰因素，保证必要的空间隔离，建议天线间水平隔离距离 2m，垂直隔离距离 1m。

（4）天线挂高

天线挂高即天线中心位置距地面高度，不同地理环境的天线挂高为：

①密集市区的天线挂高平均为 30~35m；

②一般市区的天线挂高平均为 35~40m；

③郊区及乡村等地天线挂高可较高，以获得较大的覆盖范围。

（5）天线方位角

①方位角指天线主瓣水平方向指向，主要基于基站所需覆盖区域确定。方位角以磁北为基准，测量时应使用防磁指南针；

②天线方位角指向方向应无近距离阻挡物。

（6）天线下倾角

①通过对基站预期覆盖范围及天线挂高等情况综合考虑，初步确定天线下倾角度；

②下倾角设计建议值：【（天线挂高/10）+1°】。

8.5.2 站点选址注意事项

在现场选址工作中需要注意以下问题：

①选择的站址位置越接近预规划站点位置越好，最好控制在预规划站点位置 100m 范围内；

②结合周围环境，在预规划站点附近选择站点 1 主 2 备或 1 主 1 备，并详细记录相关站址信息；

③站址宜选择在交通便利、供电可靠、可方便提供传输资源的地方；

④站址四周应该视野开阔，无高大建筑物遮挡，在选定站址前应确定站点所处位置地貌类型；

⑤站址覆盖区域内应尽量包含重点地区（如国道，省道，高速公路，繁华商业区等）；

⑥站点不宜选择在存放易燃、易爆物建筑物场所和大功率无线电台、雷达站附近；

⑦站址应选择在有适当高度的建筑物、高塔或其他地点，如果建筑物高度无法满足天线挂高要求时，应有屋顶设塔或地面设塔的条件；基站天线挂高应该高出周围建筑物平均高度 5~8m。如果站址位置太高，则需要足够的下倾以减小干扰，避免过覆盖；

⑧站址选择应该保证天线足够的安装空间；在选择非通信专用房屋时，应充分考虑楼面荷载情况，必要时应采取房屋加固措施；

⑨对于面积不大的盆地，可采用全向基站，站址宜选择在盆地中央；对于位于山坡上的覆盖区，基站宜设置在山坡底部，而不是山顶，天线挂高应足够；海域、草原等开阔区域基站站址尽量选择地势较高的地点或山顶；

⑩对于距离不太长的隧道，可在隧道两段设置基站，采用高增益、窄波瓣定向天线覆盖；如果距离过长，则考虑采用泄露电缆覆盖。

8.5.3 勘察数据整理

（1）勘察照片整理

为每个基站建立一个文件夹，文件夹名称为基站名称。拍摄 8 张基站勘察照片，分别命名为“0”、“45”、“90”、“135”、“180”、“225”、“270”、“315”，分别是从基站 0° 角开始顺时针方向旋转拍摄的照片，代表基站的北、东北、东、东南、南、西南、西、西北方向。如图 8-10 所示。

图 8-10 勘察照片整理

（2）勘查记录表整理

按统一的勘察表格式，填写每一基站勘察所得到的内容，填写正确后保存到该基站下的文件夹内。

8.6 无线网络仿真分析

TD-LTE 网络仿真是指，利用仿真软件辅助网络建设前的规划工作以及网络建设后的优化工作。前者是对规模估算结果的验证，通过仿真来验证估算的基站数量和基站密度是否能够满足规划区对系统的覆盖和容量要求，以及业务可以达到的服务质量，大体上给出基站的布局和基站预选站址的大致区域和位置，为勘察工作提供指导方向；后者则是针对网络建成运行后存在的各种问题，通过仿真寻求合适的途径以优化、完善网络性能。

一般说来，网络仿真的最终目的是通过仿真运算实现对于一个实际网络建设方案的检验，并且对网络结构和设备重要参数的取值进行优化调整。规划仿真是网络规划流程的重要组成部分，可为实际组网提供仿真上的依据。通过仿真，可以预先了解建成后网络的大致情况，如导频覆盖、最好小区、系统负载、切换区域等，对实际组网有重要的指导和借鉴作用。

8.6.1 无线网络仿真流程

无线网络仿真流程包括输入、运算和输出三个步骤。

- 输入

输入包括地图导入、天线导入、站点导入和参数配置。地图导入是输入规划区域的类型，如密集城区、一般城区、郊区、农村，自然环境，周围建筑物等；天线导入是输入天线的挂高，方向角，下倾角等；站点导入是输入站点所处位置，站点的配置等；参数配置包括覆盖率、用户接通率、切换成功率、拥塞率等。

- 运算

运算是指根据仿真分析得到的结果与欲达到的目标相比较，如果达到预期目标则将仿真结果输出，如果没有达到预期目标则调整参数，重新进行仿真，直到达到预期目标。

- 输出

输出是指将合格的仿真结果输出，供实际建站时参考。

无线网络其仿真流程如图 8-11 所示：

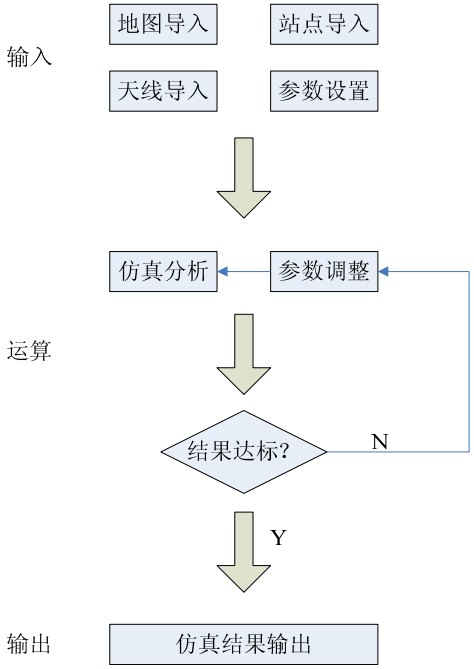

图 8-11 无线网络仿真流程

8.6.2 ANPOP 软件

ANPOP 软件全称为 Advanced Network Planning & Optimizing Platform，由中国移动集团设计院有限公司进行研发，并获国家“新一代宽带无线移动通信网科技重大专项”支持。通过深入研究 TD-LTE 网络特点及规划方法，合理进行各功能模块算法设计，辅以高效代码开发，坚持通过实际仿真进行全面测试，力求做到 ANPOP 正确性、高效性及完备性。ANPOP 主要功能如图 8-12 所示。

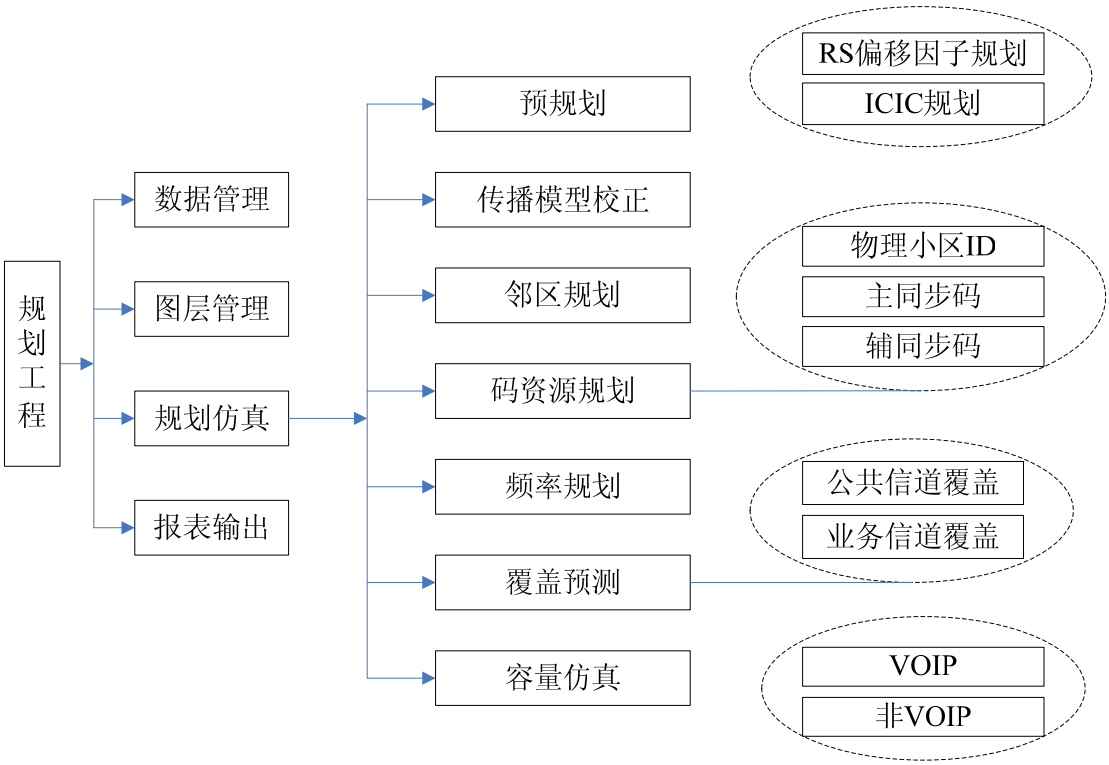

图 8-12　ANPOP 主要功能

目前，主要应用 ANPOP 进行北京、上海、广州、深圳、厦门、南京六个地市 TD-LTE 规模实验网规划仿真工作。

8.7　无线网络参数设计

网络参数设计包括频率规划、码资源规划、邻区规划等内容。

8.7.1　TD-LTE 无线网络设备配置原则

（1）　系统总带宽

系统可灵活选择 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、20MHz 等带宽进行组网，为了能够提高上下行分组数据速率并承载更多的话音业务、减少时延，在频谱资源允许的情况下，建议采用大带宽进行实际组网部署,目前通常选取 20MHz 带宽进行组网。

（2）　站型配置

宏基站：采用 2570~2620MHz 频率；原则上应采用三扇区配置，站型配置为 S111，载波带宽 20MHz。

室分基站：采用 2350~2370MHz 频率；原则上配置为 O1，载波带宽 20MHz。

时隙规划：对于新建 D 频段、E 频段的室外宏基站和室内分布系统站点，建议全部采用 DL:UL 为 2:2 的时隙配置，特殊子帧采用 10:2:2 配置；设备需要具备时隙调整的能力，便于进行不同时隙配置或交叉时隙干扰等验证项目。

（3）　宏站天线配置

建设方式：需独立新建 2.6G 天馈系统。

室外天线选择：主要采用 AFD 多频段 8 阵元双极化天线，并选择部分站点进行 8 通道

/2 通道天线、AFD/单 D 天线、小型化天线的性能对比测试。

（4） 室内分布系统

建设方式：为验证双路室分（MIMO）系统和单路室分系统的实际性能，在规模技术试验中选择部分室内分布系统采用双路室分（MIMO）建设方式；对于新建楼宇，采用新建双路方式建设；对于已建分布系统楼宇，根据业务需求量重要程度及工程实施难度，采用改造双路或改造单路方式建设。

（5） 时间同步

引入方式：共址 TD-LTE 基站原则上通过分路方式引入时间同步信号；新选 TD-LTE 基站优先采用北斗/GPS 双模引入时间同步信号；TD-LTE 基站应支持 1PPS+TOD 带外时间同步接口。

8.7.2 TD-LTE 无线网络频率规划

8.7.2.1 TD-LTE 网络的频谱规划

中国分配给 TD-SCDMA 及 TD-LTE 使用的频段包括四段，分别是 F 频段：1880~1920MHz；A 频段：2010~2025MHz；E 频段：2300~2400MHz，D 频段：2570~2620MHz。

其中，TD-LTE 可能使用 FED 频段，且 D 频段为 TD-LTE 专用频段，具体频段范围及应用场景如表 8-10 所示。

表 8-10 TD-LTE 可能应用的频段

	频率范围（MHz）	支持模式		应用场景		备注
		TD-LTE	TD-SCDMA	室外	室内	
F 频段	1880～1920	√	√	√		TD-LTE 频段若需要与邻频 FDD 或其他系统共存，还需考虑在合法使用频带内预留一定的频率隔离带，以符合国家频率使用要求，并保证异系统共存的性能。
A 频段	2010～2025		√	√	√	
E 频段	2300～2400	√	√		√	
D 频段	2570～2620	√		√	√	

由表 8-10 可知，TD-LTE 与 TD-SCDMA 既可以同频组网，也可以异频组网。同频组网时，TD-LTE 与 TD-SCDMA 可以同时采用 F 频段，目前；异频组网时，TD-SCDMA 采用 F、A 频段，而 TD-LTE 可以采用 D 频段。目前建议采用异频组网的方式进行 TD-SCDMA 及 TD-LTE 组网。

8.7.2.2 TD-LTE 网络的频率复用

TD-LTE 系统是基于 OFDM 或 OFDMA 多载波调制技术的系统，与 TD-SCDMA 系统通过码字来区分用户、让用户共享载频资源的机制不同，TD-LTE 系统通过时间或频率子信道来区分用户。TD-LTE 系统的频率规划需要考虑如何合理分配和复用有限的频段，解决减少小区间的干扰这一主要问题。

网络拓扑模型中，以共站址的 3 个扇区为一簇，一个簇结构中的三个扇区工作于同一系统带宽下，可以采用频率复用系数为 1 和 3 两种频率复用方法。频率复用系数为 1，即表示

一个簇结构中的三个扇区共同使用该系统带宽下所有子载波资源，即服务小区与相邻小区之间同频。而频率复用系数为 3，表示将该系统带宽分为不重叠的三组，分别由一个簇结构中的三个扇区分别调度使用，即服务小区与相邻小区之间保持异频。

下面分析异频和同频组网各自的优势：

（1）异频组网的优势

异频组网引发的干扰相对较小。相对于同频组网，异频组网的小区载干比 C/I 能力得到了很大提高。这意味着：

◆在同样覆盖的面积下，用户通信质量比较稳定，在获得同样频率资源单位的情况下，用户有更高的传输速率。同时，覆盖区域的边缘用户的峰值速率可获得提高。

◆覆盖范围相对较大，基于 C/I 能力的提高，基于边缘用户速率的提升，可使基站覆盖范围较大，相对节省网络投资。

（2）同频组网的优势

◆频谱利用率最高，节约频率资源：TD-LTE 系统采用时分双工工作方式，无需成对的上下行频段，而且无需上下行载波之间的保护隔离频率。采用同频组网能在最大程度上发挥 TD-LTE 系统频谱利用率高的优势，节省运营商频率资源支出费用。

◆简化频率规划：在网络设计、建设、扩容时频率规划非常简单。

TD-LTE 系统同频组网在实现上需要考虑组网系统的干扰问题。首先是小区内的干扰问题，基于现在已有的成熟的技术，小区内的干扰可以比较成功地消除或者避免。另外一个是小区间的干扰问题，这在以前的系统里面，也没有得到充分验证和成功解决。

不同的频率复用方式将会影响 LTE 系统的频谱效率及网络容量。从各种频率复用方式来看，半静态的频率协调管理机制将是 LTE 系统中主要采用的频率复用方式。这种频率复用方式主要特点如下：

◆小区中心区域频率复用系数为 1，即小区中心的用户占用整个系统带宽；

◆小区边缘区域频率复用系数随着网络负载情况动态进行调整，平均频率复用系数为 1/3；

◆小区不同区域其允许的终端发射功率会有所不同，边缘区域允许终端以更高的发射功率来传输数据。

通过上面的分析，可以在网络建设初期容量低、频率资源丰富的情况下采用复用系数为 3 的异频的组网方案，随着容量增加可以采用复用系数为 1 的同频组网方案，或者采用软频率复用方式以协调小区间的干扰问题。

8.7.2.3 TD-LTE 网络的频率干扰

（1）F 频段上 TD-LTE 与其它系统间干扰

TD-LTE 工作于 F 频段时，与 TD-SCDMA 应用于 F 频段是类似的，会与其它系统（包括 PHS、cdma2000、GSM900/1800 和 3G FDD 补充频段等）具有特殊的频率关系，它们之间的干扰情况较为复杂，如图 8-12 所示。

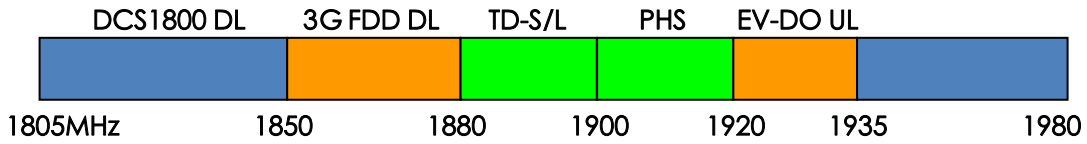

图 8-12 频谱分配情况

1、和小灵通系统的干扰

目前小灵通名义上占用 F 频段中的 1900～1920MHz，但实际的带外杂散非常高，对工

作于邻频 1880～1900MHz 的 TD 系统造成严重的杂散和阻塞干扰；(促进国家使用行政命令等手段迫使小灵通尽快退频是目前最有效的措施)

2、对 cdma2000 EV-DO 系统的干扰

电信的 cdma2000 EV-DO 系统的上行频段为 1920～1935MHz，当与 F 频段的 TD 系统共存共址时， 会受到 TD 基站下行杂散信号的干扰；(若需满足共址要求，则需要更多的过渡带，将大大损失 F 频段的频谱资源，建议不做此要求)

3、和 DCS1800 频段系统的干扰

目前移动和联通的 DCS1800 下行频率为 1805～1850MHz，但滤波器多为 1805～1880M 共 75M，与 F 频段的 TD 系统邻频，它们共存共址时，会对 TD 基站的上行链路造成杂散和阻塞干扰；(建议 TD-LTE 尽量工作于 F 频段高端，可一定程度减小 DCS1800 的杂散干扰，或者利用工程手段，如空间隔离和加装滤波器来规避干扰)

4、GSM900 系统的干扰

GSM900 系统的二次谐波和二阶互调会落在 F 频段，对 F 频段 TD 系统会产生干扰，尤其是共室分情况下；(建议通过频率规划、加严合路器指标、TD-LTE 末端合路以及分室分等措施来规避干扰)

5、和 3G FDD 补充频段系统的干扰

3G FDD 补充频段的下行频率为 1850～1880MHz，当与 F 频段的 TD 系统共存共址时，会对 TD 基站的上行链路造成邻频杂散和阻塞干扰；

（2）E 频段上 TD-LTE 与其它系统间干扰

E 频段主要用于室内覆盖，此时需注意多系统合路间的干扰。TD-LTE 与各系统间的干扰隔离度要求如表 8-11 所示：

表 8-11 干扰隔离度要求

系统	GSM900 DCS1800	TD-SCDMA	WCDMA	CDMA800 cdma2000	PHS*	WLAN
室外系统所需 MCL	46dB	30dB	33dB	33dB	66dB	86dB
室外天线间距（垂直 or 水平隔离）	0.4m/2m	0.17m/0.4m	0.2m/0.5m	0.5m/1.6m	1.1m/20m	--
室内共用室分的合路器要求	46dB	30dB	33dB	33dB	66dB	70dB(采用末端合路)
分室分天线间距	<0.1m	<0.1m	<0.1m	<0.1m	0.2m	1m

由表 8-11 可知，2.3G 的 TD-LTE 与 2.4G 的 WLAN 工作频段接近，且两者都以数据应用为主，相互干扰较为严重。因此在共场景下部署 TD-LTE 应尽量配置于 2.3G 低端频率，并提高 TD-LTE 终端的杂散和阻塞指标，以应对 WLAN 的干扰。

8.7.3 TD-LTE PCI 码资源规划

在 TD-LTE 的空中接口中，物理小区标识（Physical Cell Identity，PCI）用于小区识别和信道同步。PCI 的规划需要特别谨慎，如果相邻小区的 PCI 重复的话，这两个小区间的干扰将会大大增加，影响小区的吞吐量和切换性能。

PCI 是物理层上进行小区间多种信号和信道的随机化干扰的重要参数，由两部分组成：

- 小区标识分组号（N1CellID）
- 小区标识号（N2CellID）

其中，N1CellID 定义了小区所属的物理层分组，范围为[0,167]；N2CellID 定义了分组内标识号，范围为[0,2]。因此，PCI 的计算式为 PCI=3×N1CellID+N2CellID，范围为[0,503]，共 504 个可用值。

小区搜索时，UE 在中心频点周围尝试接收主同步信号（Primary Synchronization Signal，PSS），PSS 信号共 3 个，使用长度为 62 的频域 Zadoff-Chu 序列，每个 PSS 信号与一个 N2CellID 对应。随后 UE 进行辅助同步信号（Secondary Synchronization Signal，SSS）捕捉，SSS 信号有 168 种组合，与 168 个 N2CellID 对应。因此，捕获 PSS 和 SSS 信号后，就可以确定当前小区的 PCI=PSS+3×SSS。此外，SSS 在每一帧的两个子帧中所填的内容是不同的，进而可以确定是前半帧还是后半帧，完成帧同步。同时，CP 的长度也随着 SSS 的盲检成功而随之确定。

PCI 在规划时要求两跳范围内唯一，即某个小区的 PCI 与邻居的 PCI 不同，并且某个特定小区的所有邻居的 PCI 不同。网络内 504 个 PCI 是可以重用的，但必须保证前面的两个条件，具体可参见 TR36.902 中的 PCI 自动重选机制。

8.7.4 邻区规划

TD-LTE 的邻区规划与 TD-SCDMA 邻区规划原理基本一致，需综合考虑各小区的覆盖范围及站间距、方位角等信息进行规划。同时 TD-LTE 与 TD-SCDMA、GSM 等异系统间的邻区规划也需要关注。

在进行邻小区设置时，需要考虑多个方面的因素：一是服务质量，二是系统的负荷。如果定义过多的邻小区，将会导致信令负荷加重，而且受 UE 测试能力的限制，会导致测量的精度、测量的周期变大。邻小区过少会导致 UE 错过最佳目标小区，造成信号变差，通信质量下降。

（1）初始小区列表设置建议

最初的邻小区设置，应该在仿真的基础上进行（最好借助于最佳小区覆盖）。当一个小区与服务小区具有共同地理边界时，即可将其加入到邻小区列表中。该项功能一般的仿真软件都可以自动生成。如图 8-13 所示，对于服务小区 S 而言，其中邻小区有 1、3、4、5。而小区 2 由于没有和服务小区 S 具有共同的边界，所以自动生成的服务小区邻小区列表中没有小区 2。

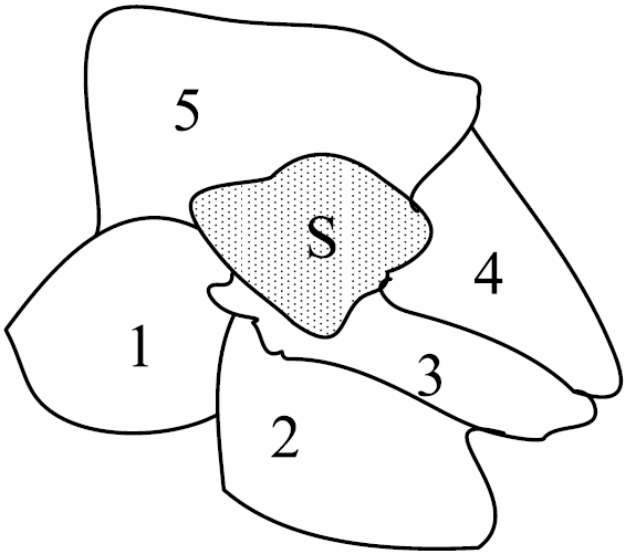

图 8-13　小区 S 的邻小区示意图

在图 8-13 中，服务小区 S 和小区 2 之间虽然没有共同边界，但是由于二者之间小区 3 的服务距离较小，所以在实际的网络中，应该把小区 2 作为小区 S 的邻小区进行配置。所以小区 S 最后的邻小区列表应为 1，2，3，4，5。

（2）对于丘陵公路类型的邻小区设置建议

在进行邻小区规划时，对于丘陵地带或者公路等地形需要认真考虑。例如虽然有些小区信号是相邻的，但是由于 UE 根本不可能在二者之间跨越，即使配置了邻小区，切换几乎是不发生的，即可在邻小区列表中删除掉。不过这些都需要在性能统计和实际测试的基础上进行调整。

（3）开阔地带邻小区设置建议

在城区的广场、公园等开阔地带，无线传播特性较好，如果服务小区较近，可把该地带周围的小区都加入到邻小区列表中。当然如果该地带距离服务小区较远，被多个小区分割时，该地带即按照通用方式进行邻小区配置，不再作为一个小区来考虑。同时要注意避免“乒乓切换”效应的产生。

参考文献

[1]万斌，高峰，李率信．TD-SCDMA 无线网络评估与优化[M]．北京：人民邮电出版社，2009

[2]刘宝昌，胡恒杰，朱强. TD-LTE 无线网络规划研究[J]. 电信工程技术与标准化，2010，1：16-20

[3]赵旭淞，张新程，徐德平，张炎炎．TD-LTE 无线网络规划及性能分析[J]．电信工程技术与标准化，2010，11：22-27

[4]胡恒杰，朱强，孟繁丽，刘煜鹏．TD-LTE 组网策略研究[J]．移动通信，2010，5：49-53

[5]胡恒杰，梁璟，朱强，刘煜鹏．TD-LTE 网络的引入策略研究[J]．移动通信，2010，

2：64-68

[6] 轩黎明，杨大成．基于导频信道进行传播模型校正的方法[J]. 无线电工程，2004，34（5）：13-14，33

[7]危峰等. 3G 传播模型校正方法研究[J]. 江苏通信技术，2007，23（4）：31-35

[8]刘伟宏. 特大城市密集城区 3G 核心频段传播模型的测试与校正[J]. 邮电设计技术，2006，1：26-30