

第九章 TD-LTE 室内分布系统建设

9.1 TD-LTE 室内覆盖综述

随着移动通信建设步伐的不断加快、移动用户的飞速增加，在大中城市的室外地区已经基本可以做到无缝覆盖。为了提高网络质量、提高用户满意度、增加话务量，室内覆盖分布系统建设已成为解决网络深度覆盖的重点手段。TD-LTE 作为我国第四代移动通信的自有技术，对于室内分布系统的建设应在网络建设初期就给予足够重视，加大投资力度，形成立体化的网络建设模式。

9.1.1 TD-LTE 室内分布系统建设基本原则

目前 TD-LTE 网络正处于试验商用阶段，在进行室内分布系统建设时应综合考虑网络性能、改造难度、资源情况、投资成本等选择最佳建设模式，应遵循以下基本原则：

- 体现TD-LTE的优越网络性能特点并保证网络质量；
- 不影响现网系统的安全性和稳定性；
- 需要对现有室分系统进行改造时，应尽量减小改造量，降低对于现网的影响；
- 在频率资源足够的情况下室内外应尽量采用异频组网的方式；
- 确保室内分布系统提供良好的室内覆盖，同时要控制好室内信号，避免对室外构成强干扰，同时利于室内外主服务信号的切换及重选；
- 分布系统建设应综合考虑GSM、TD-SCDMA、WLAN和TD-LTE共用的需求，应保证TD-LTE和其他通信系统间的隔离度要求，避免产生系统间强干扰；
- TD-LTE室内覆盖工程应按照“多天线、小功率”的原则进行建设，电磁辐射必须满足国家和通信行业相关标准。

9.1.2 TD-LTE 室内分布系统建设指标要求

在进行 TD-LTE 室内分布系统网络建设时，可遵循以下指标要求：

- 覆盖指标
室内 RSRP 值大于等于-105dBm 的概率大于 90%。
- 可接通率
要求在无线覆盖区内的 90%位置，99%的时间移动台可接入网络。
- 呼叫阻塞
要求无线信道呼损率不高于 2%。
- 边缘速率
单小区 20MHz、10 用户同时接入时，小区边缘用户速率约 1Mbps (DL) /250Kbps(UL)。
- 服务质量
数据业务的块差错率 BLER 小于 10%。
- 承载速率
在室内单小区 20MHz 组网，要求单小区平均吞吐量满足 20Mbps (DL) /5Mbps(UL)；

若实际隔离条件不允许，可以按照单小区 10MHz、双频点异频组网规划，单小区平均吞吐量满足 10Mbps（DL）/2.5Mbps(UL)。

- 室内信号的外泄要求

室内覆盖信号应尽可能少地泄漏到室外，要求室外 10m 处应满足 RSRP 小于等于 -110dBm 或室内小区外泄的 RSRP 比室外主小区低 10dB。

9.2 室内分布系统组成

室内分布系统由信号源和天馈分布系统组成，针对不同的覆盖区域类型，选择不同的信号源、分布系统建设方式。信号源和分布系统组合主要有以下几种形式：

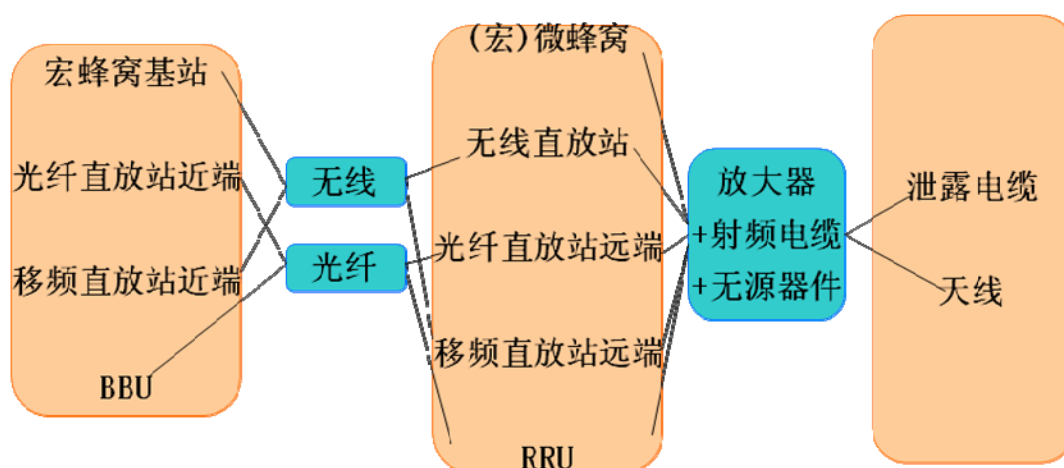


图 9-1 信源和分布系统组成

9.2.1 室内分布系统信源

室内分布系统的信号源类型通常有以下几种：

- 宏基站
优点：覆盖面积大，扩容方便，质量很好
缺点：建设成本高，对机房要求高
适用场景：大话务量楼宇
- 微基站
优点：安装灵活，建设成本低
缺点：不利于加站扩容，依赖于干放
适用场景：中小规模楼宇
- 直放站
优点：安装灵活，施工简单，建设成本低
缺点：干扰较大，不能增加容量，覆盖面积小
适用场景：封闭性好的小规模楼宇
- RRU
优点：覆盖面积大，扩容方便，光纤铺设，损耗小、施工方便，质量好
缺点：需要裸光纤，RRU需要接电源，建设成本较高
适用场景：附近有施主基站的楼宇

9.2.2 室内分布系统分布方式

室内分布系统的分布方式通常有以下几种：

- 同轴分布系统(无源)

优点：技术成熟，价格便宜，应用广泛；元器件通用；无需供电，可靠性高，易于维护；不受光、热、尘埃和湿度等影响；交调和噪声性能良好；系统动态范围大，且不会产生上行噪声

缺点：天线输出功率需要精确计算；馈线损耗较大，传输长度受限

适用场景：是一种较为灵活的通用室内覆盖系统，但系统设计较为复杂。一般适用于中小型楼宇

- 同轴分布系统(有源)

优点：设计与施工简单方便，信号强度动态可调，系统具有良好的可扩展性

缺点：系统涉及多个有源器件，造价较高。有源器件可靠性低，互调产物多，有噪声积累，需要实时监控和维护

适用场景：频段窄，多系统兼容困难需要供电，故障率高、系统维护麻烦、有噪声积累，造价高

- 光纤分布系统

优点：传输损耗小，传输距离长；光纤重量轻，体积小，便于施工

缺点：引入光电转换模块，动态范围较小，远端需要供电，维护复杂

适用场景：在远距离传输时，引入光线分布天线系统

- 泄漏电缆分布系统

优点：场强分布均匀，可控性高；频段宽，多系统兼容性好

缺点：造价高，传输距离近

适用场景：地铁、隧道等特定区域

9.2.3 室内分布系统设备组成

室内分布系统的设备大致可分为有源器件与无源器件两种。常用的无源器件有功分器、耦合器、合路器、电桥、衰减器、负载、馈线、天线等；常用的有源器件宏蜂窝、微蜂窝、RRU、干线放大器等。

（1）功分器

功分器是一种将一路输入信号能量分成两路或者多路输出相等能量的器件。功分器的基本分配路数为 2、3、4 路，通过它们的级联可以形成多路功率分配。按结构分可分为腔体功分器和微带功分器。其主要电气参数有：

- 分配损耗

指的是信号功率经过理想功率分配以后和原输入信号相比减小的量。比如二功分是 3dB，三功分是 4.8dB，四功分是 6dB。

- 插入损耗

器件直通损耗，其计算公式为所有路数的输出功率之和与输入功率的比值，或者单路的实际直通损耗减去理想的分配损耗。插入损耗一般取值范围：腔体 0.1dB 左右，微带根据 2、3、4 功分不同分别约为：0.4~0.2dB，0.5~0.3dB，0.7~0.4dB。

- 隔离度

指的功分器输出各端口之间的隔离，通常2、3、4功分约为18~22dB，19~23dB，20~25dB。

- 驻波比

指的是输入/输出端口的匹配情况，由于腔体功分器的输出端口不是 50 欧姆，所以对于腔体功分器只在输入端有驻波比要求，一般为 1.3~1.4，有些为 1.15。微带功分器对每个端口都有要求，一般输入：1.2~1.3，输出 1.3~1.4。

- 功率容限

指的是此功分器可以长期（不损坏）通过的最大工作功率容限，一般微带功分器是 30~70W，腔体功分器 100~500W。

（2）耦合器

耦合器的作用是将信号不均匀的分为主干端和耦合端（也叫直通端和耦合端）。按耦合度分有有 5dB、6dB、7dB、10dB、15dB、20dB、25dB、30 dB、35dB、40dB 等。按结构分有腔体和微带耦合器。其主要电气参数有：

- 耦合度

信号经过耦合器，从耦合端输出的功率和输入信号功率的差值。理想的是 5dB、6dB、7dB 等，但实际上有个波动范围，比如标称 6dB 的耦合器，实际耦合度可能是 5.5 dB~ 6.5dB 之间。

- 耦合损耗

由于一定能量传输到耦合端，而引起主干线输出功率的减小，减小的值就是耦合损耗。

- 主线损耗

为耦合损耗+插入损耗。

- 方向性

指的是输出端口和耦合端之间的隔离度的值再减去耦合度的值所得的值。

- 插入损耗、驻波比、功率容限等指标定义类似功分器

（3）合路器

合路器的作用是将几路信号合成起来，分为同频合路器和异频合路器。

异频合路器是将两个不同频段的信号功率进行合成，我们一般所说的合路器都是异频合路器。异频合路器具有插损低（只有零点几 dB），功率容量大，隔离度大（大于 70~90dB），温度稳定性好等特点。

同频合路器又称为电桥，主要应用于同频段内不同载波间的合路应用。我们一般常用的有两进一出电桥和两进两出电桥。两出的电桥的两个输出口功率相等，所载信息一致，均可进入分布系统使用。

（4）衰减器和负载

衰减器主要用途是调整电路中信号大小，改善阻抗匹配，可以分两种类型：固定的和可变的，工程上多采用固定衰减器。在工程测试中用频谱仪测试信号强度时，就要在频谱仪输入口加衰减器，以免烧坏频谱仪。衰减器是一个消耗多余功率的器件，在实际工程中应用很少。负载是一种特殊的衰减器，衰减度为无限大，可用来防止系统空载，在实际工程中应用也很少。

（5）馈线

馈线是室分系统中使用量最大的器件设备。目前室内覆盖系统中基本使用 3 种馈线：7/8，1/2，1/2（超柔），根据表皮材料的不通分为普通和阻燃两种。7/8、1/2 馈线的规格参数如表

9-1 所示

表 9-1 各系统频段表

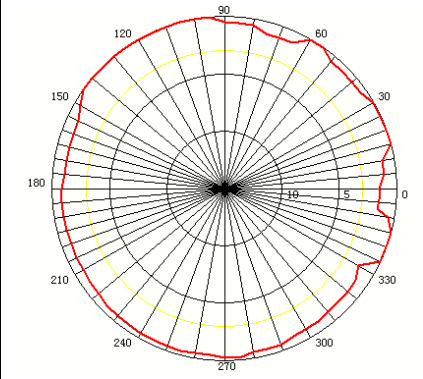
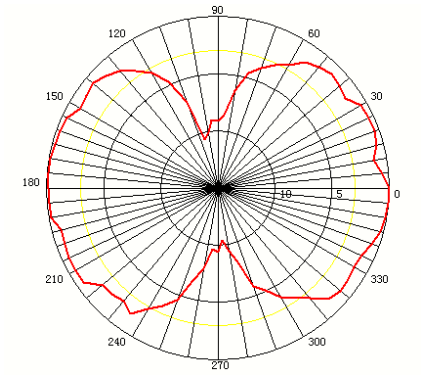
馈线规格		1/2" 馈线	7/8" 馈线
尺寸(mm)	内导体外径	4.8mm	9mm
	外导体外径	13.7mm	24.7mm
	绝缘套外径	16mm	27.75mm
特性阻抗 (Ω)		50 ± 1	50 ± 1
频率上限 (GHz)		<8	<5
一次最小弯曲半径		<70mm	<120mm
百米损耗(dB)	900MHz	<6.88	<3.87
	2000MHz	<10.7	<6.1

(6) 天线

天线是将传输线中的电磁能转化成自由空间的电磁波或将空间电磁波转化成传输线中的电磁能的设备，天线的主要指标有：增益、带宽、极化方式、波瓣角（垂直和水平）、前后比、驻波比。分布系统主要应用的天线种类有：全向吸顶天线，定向壁挂天线，定向八木天线等。

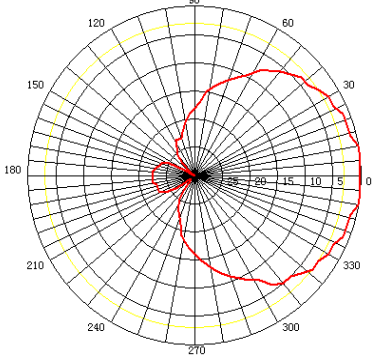
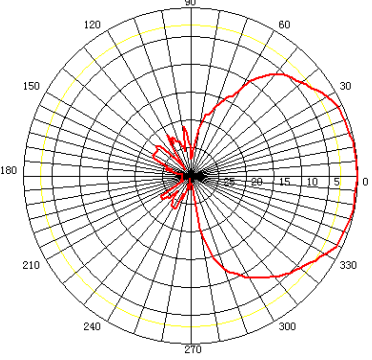
全向吸顶天线在室内分布系统应用中主要安装在天花板上，增益一般为 3dBi，主要用于常规区域的覆盖。

表 9-2 全向吸顶天线规格及参数

规格	全向吸顶天线
半功率角	360°
特性阻抗	50 Ω
极化方式	垂直极化
增 益	3dBi
最大输入功率	100W
水平方向图	垂直方向图
	

壁挂天线(定向板状天线)在室内分布系统中，主要用于电梯以及长廊的覆盖，和全向天线的区别是波束集中，前后比高，增益高（一般为 7dB 左右）；有时用于控制信号室外泄漏。

表 9-3 定向板状天线规格及参数

规格	定向板状天线
半功率角	55° -75°
特性阻抗	50Ω
极化方式	垂直极化
增益	5-7dBi
最大输入功率	100W
水平方向图	垂直方向图
	

(7) 干线放大器

干线放大器简称干放,其作用是在室内覆盖信号源功率不够的主干末端对信号功率进行放大,以满足覆盖的要求。但干放会抬升基站接收机底噪声,在使用时需引起注意。

9.3 TD-LTE 室内覆盖规划方案

9.3.1 TD-LTE 室内覆盖规划思路

在进行室内分布系统建设时,应主要以容量和覆盖作为考虑因素,遵照相关流程进行。首先,系统需求即容量规划,是系统设计的基础,只有了解了用户数量和各制式的渗透率,才能确定出各制式的频段规划和小区规划。其次,是覆盖规划,通过链路传播损耗等确定出信源输出功率和覆盖半径等。然后根据以上两部分计算出各系统的干扰,确定合路方式,确定天线间距离和位置,最后完成整个系统规划。图 9-2 所示的就是整个设计流程图:

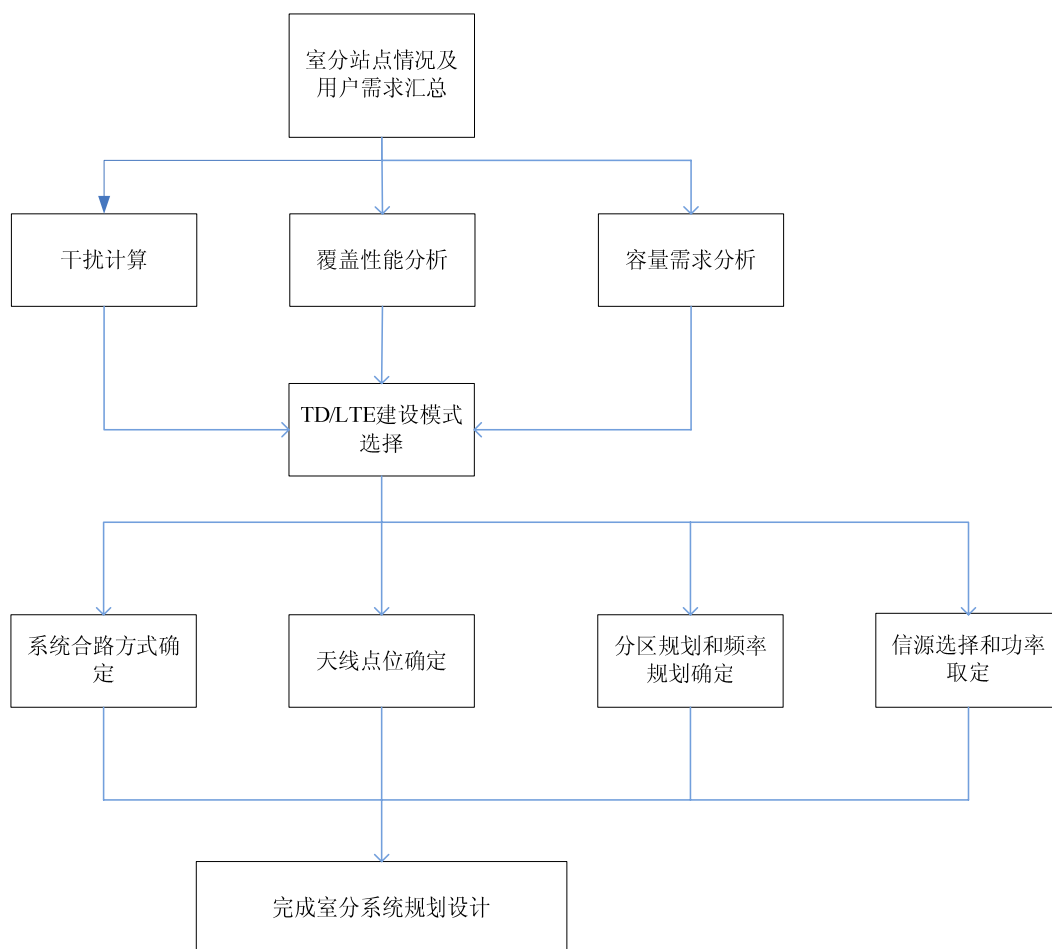


图 9-2 室内分布系统综合建设流程

本章内容着重从覆盖、容量以及干扰三个角度出发进行阐述。

9.3.2 TD-LTE 室内分布系统覆盖性能分析

在室内传播环境中，用户移动距离小，或走动灵活，或静止不动，且空间狭小，各种随机因素使得传播环境非常复杂而多变。室内无线环境的主要特点是传输功率小，受不同空间因素的影响较大，而且覆盖距离小。由于不同建筑的室内布置，人员流动，建筑材料，空间分配，功能应用和建筑规模等各方面的差异，使得传播环境千变万化。即使站在同一建筑物的不同位置，同一位置的不同时间点，传播环境也会不同，甚至信道状况迥然不同。如果在这种情况下，每一个建筑物都采用实际测量的方式进行性能优化，代价就会非常巨大，也没有必要。所以，无线室内传播模型的出现就帮助了解室内传播信道的特征以保证无线通信系统得到很好的可以让用户放心使用的性能。一般，无线传播模型分为两种，一种是确定性模型，一种是经验模型。

所谓确定性模型，也叫定点模型，是根据电磁波传播理论来描述室内无线传播模型，不用测量采集数据，只需要在应用时设定室内环境的具体细节参数来预测内部的信号传播。例如，“火山”系列是由法国的希华德尔公司开发出的射线追踪模型，它可以应用于室内，室外，对各种参数进行精确预测。但是，一些复杂的尺寸有限的结构，如墙角，射线追踪就无法发挥其优势，准确预测散射区域。

经验模型是基于公式，需要输入数据进行计算，方便使用，主要包括数学模型，统计模型和其他一些模型。数学模型基于数学公式，统计模型基于测量数据。经验模型不能提供精

确的定点信息，但是应用比较方便，不是全部集成于某一个软件中，比较好进行科学研究分析。故本文决定采用经验模型进行分析。

在一般的室外网络规划设计中，主要有两个阶段可以用到传播模型。一个是链路预算过程中，需要估算最大传播损耗和小区覆盖半径，这个阶段使用的模型只是用于计算最大损耗和覆盖半径，不需要十分精确的数据，所以，一般用统计模型。另一个阶段是在基站数量，覆盖区域等确定情况下，预测覆盖区域的场强分布，需要尽可能精确的信息，一般用数学模型，通过预测结果调整站址，基站数量，分布系统等。但是在室内，由于建筑物千变万化，同时预测他们的结构和材质等信息，实现难度非常大，所以，一般就省掉，只分析第一个阶段，运用传播模型估算最大传输损耗，来确定最大可安装的传输介质的长度。因此，室内传播模型一般采用统计型的经验模型。

(1) 衰减因子模型

衰减因子模型适用于建筑物内传播预测，其包含了建筑物类型影响以及阻挡物引起的变化。这一模型灵活性很强，预测路径损耗与测量值的标准偏差约为 4dB。衰减因子模型为

$$\bar{L}(d) = \bar{L}(d_0) + 10\gamma_{SF} \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + FAF \quad (9-1)$$

式 (9-1) 中， γ_{SF} 表示同层测试的指数值（同层指同一建筑楼层）。如果对同层存在很好估计计算 γ ，则不同楼层路径损耗可通过附加楼层衰减因子 (FAF, Floor attenuation factor) 获得。或者在公式 (9-1) 中，FAF 由考虑多楼层影响的指数所代替，也即

$$\bar{L}(d) = \bar{L}(d_0) + 10\gamma_{MF} \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (9-2)$$

式 (9-2) 中， γ_{MF} 表示基于测试的多楼层路径损耗指数。

室内路径损耗等于自由空间损耗加上附加损耗因子，并且随着距离成指数增长。对于多层建筑物，有

$$\bar{L}(d) = \bar{L}(d_0) + 20 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \alpha d + FAF \quad (9-3)$$

式 (9-3) 中， α 为信道衰减常数，单位为 dB/m，取值为 0.62。

近地参考距离 d_0 取 1m，则第一项的损耗为 40.75dB。

由于大楼的不同，故楼层衰减因子 FAF 也会有不同，需要模拟测试才行。

故总的损耗为 $L = 40.75 + 20 \lg(d/d_0) + 0.62d + FAF$ ，取距离 d 为 10m，得损耗为 66.95+FAF dB。我查的一个资料上他们测试了一个大楼的 FAF 为 24dB，按此数值则总的损耗为 90.95dB。

(2) Keenan-Motley 模型

马特内-马恩纳 (Keenan-Motley) 模型用于模拟室内路径损耗。这是一个实验模型，用以考察从发射机到接收机路径中，由墙壁和地板造成的损耗。模型预测的路径损耗 (dB) 为

$$L = L_0 + 20 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \sum_{j=1}^J N_{w_j} L_{w_j} + \sum_{i=1}^I N_{f_i} L_{f_i} \quad (9-4)$$

式 (9-4) 中, L_0 表示在参考点 (1m 处) 上的损耗, N_{w_j} 和 N_{f_i} 表示发射信号穿过不同种类的墙和地板的数量, L_{w_j} 和 L_{f_i} 代表不同种类的墙和地板相对应的损耗因子。这些参数的建议值为

$$L_f = 12\text{dB} \sim 32\text{dB}, L_w = 1\text{dB} \sim 5\text{dB}$$

近地参考距离 d_0 取 1m, 则第一项的损耗为 40.75dB。

设电磁波穿透的楼层数为一层, L_f 取值为 20dB, 则第三项的损耗值为 20dB。

设电磁波穿透的墙壁数为一层, L_w 取值为 3dB, 则第四项的损耗值为 3dB。

故总的损耗为 $L = 63.75 + 20\lg(d/d_0)$, 取距离 d 为 10m, 得损耗为 83.75dB。

(3) 多墙模型

为了更好地符合测量, Keenan-Motley 模型可以通过包括关于穿过地板数目的非线性函数来修正。路径损耗为

$$L_{pico} = L_{FS} + L_C + L_f N_f^{E_f} + \sum_{j=1}^J N_{w_j} L_{w_j} \quad (9-5)$$

式 (9-5) 中, L_{FS} 表示发射机和接收机之间的自由空间损耗, L_C 是一个常量, 一般为 37dB, L_{w_j} 表示穿过类型 j 的墙的损耗, N_{w_j} 表示在发射机和接收机之间类型 j 的墙的数目, N_f 表示发射机和接收机之间地板的数目, L_f 表示穿过相邻地板的损耗, 指数 E_f 为

$$E_f = \frac{N_f + 2}{N_f + 1} - b \quad (9-6)$$

式 (9-6) 中, b 是一个根据经验确定的常量。典型值为

$$L_f = 18.3\text{dB}, J = 2, L_{w_1} = 3.4\text{dB}, L_{w_2} = 6.9\text{dB}, b = 0.46$$

其中, L_{w_1} 是穿过窄墙 (小于 10m) 的损耗, L_{w_2} 是穿过宽墙 (大于 10m) 的损耗。

其中 $L_{fs} = 32.45 + 20\lg d + 20\lg f$, d 的单位为 km, f 的单位为 MHz。将 TD-LTE 的频段为 2.3GHz 代入得 $L_{fs} = 99.6846 + 20\lg d$, 注意 d 的单位为 km。

L_C 一般为 37dB。

设电磁波穿透的楼层数为一层, L_f 取值为 18.3dB, 则第三项的损耗取值为 18.3dB。

设电磁波穿透的墙壁数为一层, 为窄墙, 则取 $L_{w_1} = 3.4\text{dB}$, 则第四项的损耗取值为 3.4dB。

故总的损耗 $L = 158.3846 + 20\lg d$, 注意 d 的单位为 km。取 d 为 10m, 得损耗为 119.4495dB。目前室内传播模型用的比较多的是衰减因子模型, 但是需要附加楼层衰减因子, 这需要

具体考虑楼层情况，并需要通过模拟测试来修正其取值。现在的大楼设置天线的时候每层都有，因此选择环境的时候都是用的一层墙面和一层楼层，在这样的条件下，多墙模型考虑的东西更全面些，可作为主要的参考经验模型。

9.3.3 TD-LTE 室内分布系统容量性能分析

TD-LTE 室内覆盖容量性能的主要影响因素有：固定的配置和算法的性能，包括单扇区频点的带宽、发射机功率、网络结构、天线技术、小区覆盖半径、频率资源调度方案、以及小区间干扰协调算法等；对 TD-LTE 系统资源分配和调制编码方式选择有重要影响的实际网络整体的信道环境和链路质量等。在进行容量性能分析时，通常采用系统仿真和实测统计数据相结合的方法，得到小区吞吐量和小区边缘吞吐量。

从 TD-LTE 可调度用户数的角度上看，其数量主要取决于上、下行控制信道的容量。上行调度用户数主要受限于 PRACH（物理随机接入信道）、PUCCH（物理上行控制信道）、SRS（探测用参考信号），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。

9.3.4 TD-LTE 与其他系统的干扰分析

在进行 TD-LTE 室内分布系统建设时，常常会遇到多系统共存的情况，因此首先必须弄清楚多技术制式之间的干扰，才能利用相应的技术手段进行抑制，系统间干扰通常主要包括杂散干扰、阻塞干扰及交调干扰。本章节讨论的移动通信系统中一共有 10 个频段：GSM 上行/下行，DCS 上行/下行，TD-SCDMA（A、E、F），TD-LTE（2.3G、2.6G），WLAN。各个频段的频率分布表如表 9-4：

表 9-4 各系统频段表

系统名称	使用频率				备注
GSM900	上行：	889MHz-909MHz	下行：	934MHz-954MHz	含上下行各 1MHz 的 EGSM 频段
DCS1800	上行：	1710MHz-1735MHz	下行：	1805MHz-1835MHz	
TD-SCDMA A	2010MHz-2025MHz(A 频段)， 1880MHz-1900 MHz(F 频段)， 2320 MHz-2350 MHz(E 频段)				A 频段为室内分布主要频段，近期容量不足时以 F 频段补充，2011 年待 E 频段设备成熟后以 E 频段补充
TD-LTE	2350MHz-2370 MHz（2.3GHz频段）， 2570 MHz-2620 MHz（2.6GHz频段）				鉴于目前TD-LTE试验网中室内分布采用 2.3GHz频段，本章节内容中如无特别标识，TD-LTE频段主要指 2.3GHz频段
WLAN	2400~2485 MHz（2.4GHz 频段）， 5725~5850 MHz（5.8GHz 频段）				鉴于目前室内分布支持频段为 800~2500MHz，本文中如无特别标识，WLAN 频段主要指 2.4GHz 频段

(1) 杂散干扰

杂散干扰对系统最直接的一个影响就是降低了系统的接受灵敏度,在分析杂散干扰时主要考虑其他系统的带外杂散落在本系统工作带宽内的功率对抬升本系统工作带宽内系统低噪的影响。一般把 3dB 作为一个标准,如果比本系统工作带宽中的空间热噪声低,则该杂散对本系统的接收灵敏度没有产生影响;如果杂散功率高于相应带宽内的热噪声功率,则系统的接收灵敏度将会受到一定程度的影响。下面,从各系统的带外杂散以及热噪声功率的角度进行分析各系统之间的杂散干扰,相应提出对于合路器通道的隔离度的指标要求。

由各系统信道内的热噪声功率 $P=KTB$, 可得:

$$N_n = -174 + 10\lg(B_w) + N(Hz) \quad (9-7)$$

其中 N 为噪声系数。

下面以 TD-LTE 与 GSM900 之间的杂散干扰分析为例, 具体计算如下:

● TD-LTE对GSM900的杂散干扰:

目前 GSM 基站接收站的噪声系数都能做到 5dB, 接收机的天线口的等效底噪为:

$$N_{GSM} = -174 + 10\lg(f) + N = -116dBm / 200kHz$$

其中, f 为载波带宽, 单位为 Hz; N 为噪声系数, 单位为 dB。

一般要求落入 GSM900 接收机的杂散必须小于接收机底噪 9dB, 即

$$P_{e(GSM)} = N_{GSM} + I / N_{max} = -116-9=-125dBm / 200kHz$$

根据相关标准可以得到各系统在其他系统的频段上的杂散发射指标:

表 9-5 各系统杂散干扰指标

带 外 杂 散 (dB) 各系统	TD-SCD MA	DCS1800	GSM900	TD-LTE	系 统 热 噪 声 功 率
TD-SCDMA /1.6MHz	——	-85	-86	-85	-107
DCS1800 /200KHz	-95	——	-95	-95	-116
GSM /200KHz	-95	-57	——	-95	-116
TD-LTE /3.84MHz	-80	-80	-80	——	-103

TD-LTE 对 GSM900 系统的杂散辐射功率要求在此频段带外的杂散应不超过 -98dBm/100kHz, 即-95dBm/200kHz, 所以隔离度应为:

$$L = I_{TD-LTE} - P_{e(GSM)} = -95 - (-125) = 30dB$$

● GSM900对TD-SCDMA的杂散干扰:

利用同样的原理我们可以计算 GSM900 落入 TD-LTE 核心频段的杂散强度。根据 TD-LTE 底噪计算:

$$N_{TD-LTE} = -174 + 10\lg(f) + N = -103dBm$$

则隔离度要求为:

$$L = I_{GSM} - P_{e(TD-LTE)} = -80 - (-103) = 23dB$$

不同厂家的设备在该频点的性能可能存在较大的差异，尤其是一些早期的 GSM、DCS 设备，如果有共同基站站址的需求，则必须仔细测量 GSM900、DCS1800 设备落入 TD-LTE 接收频段的杂散指标。

根据类似的方法，可以计算出各系统合路所必须满足的抗杂散干扰的端口隔离度指标：

表 9-6 杂散干扰导致的各系统隔离度指标

干扰系统 受干扰系统	TD-SCDMA	DCS1800	GSM900	TD-LTE
TD-SCDMA/1.6MHz	——	30	30	32
DCS1800/200KHz	30	——	30	30
GSM/200KHz	30	68	——	30
TD-LTE/3.84MHz	23	23	23	——

(2) 阻塞干扰

阻塞干扰与接收方接收机的带外抑制能力有关，涉及载波发射功率、接收机滤波器特性等，接收方接收机将因饱和而无法工作。具体来说，当 GSM、DCS1800、TD-SCDMA、TD-LTE、WLAN 信号或其频率组合成分落在这几个系统中某基站接收机接收信道带宽之外，却仍能进入该基站接收机，当干扰大于标准中所规定的干扰电平，就会引起接收机灵敏度的下降，恶化接收机的性能，这时就引起了阻塞干扰。对于整个系统的阻塞干扰信号的抑制，只能通过多频合路器的通道隔离度来实现。消除阻塞干扰对多频合路器的通道隔离度要求并不高，只要隔离度能满足杂散干扰的要求，就一定能满足阻塞干扰的要求。

下表列出了各系统之间满足的抗阻塞干扰的隔离度的指标：

表 9-7 阻塞干扰导致的各系统隔离度

干扰系统 被干扰系统	GSM900	DCS1800	TD-SCDMA	WLAN	TD-LTE
GSM900	——	64	25	86	35
DCS1800	74	——	33	84	43
TD-SCDMA	31.7	27	——	84	58
WLAN	84	84	84	——	88
TD-LTE	32	32	32	88	——

从上表可以看出，如果 POI 系统的隔离度超过 90dB，那么就可以满足各个系统的隔离度的要求。如果 POI 系统的隔离度在 80-90dB 之间，TD-SCDMA，GSM，TD-LTE 不会对系统产生不可接受的干扰，但是需注意 WLAN 系统所带来的影响。由于现在各种设备和器件基本上都可以满足 90dB 隔离度的要求。所以，各系统的不同信号可以同时接入 POI 系统，互相之间不会产生很大的影响。

(3) 互调干扰

当多频信号通过某四端网络后，由于四端网络的非线性，必然会产生谐波分量和各频率的组合分量，其中通常称 $2f_1$ ， $2f_2$ ， $f_1 \pm f_2$ ，.....频率分量为二阶互调产物；称 $f_1 \pm 2f_2$ ， $2f_2 \pm f_1$ ， $f_1 \pm f_2 \pm f_3$ ，.....等频率分量为三阶互调产物。这些互调产物如果正好落在合路系统的某上行信道内，无法用滤波器滤除（因为与上行信号频率相同）而造成干扰。产生互调干扰最严重的部分是有源器件，包括发射机、接收机、放大器，也包括一些无源器件，如合路器、电桥等。另外包括电缆接头、天线本身、泄漏电缆等也存在一定的非线性因素，这些都是产生

互调产物的可能来源。根据不同频段的组合，得到会对信号产生交调干扰的频段汇总如下：

- 下行信号落入上行信道内的交调干扰：

表 9-8 下行对上行的交调干扰

序号	干扰频段f1	干扰频段f2	干扰频段f3	干扰频率组合	被干扰频段
1	GSM下行			2f1	TD-SCDMA(F)
2	GSM下行	DCS1800下行	TD-LTE	f1-f2+f3	DCS1800上行

- 上行信号落入下行信号的交调干扰：

表 9-9 下行对上行的交调干扰

序号	交调干扰组合
1	有GSM900上行与LTE（2.6G）之间共路
2	有TD A频段时，尽量避免DCS上行与TD（ E频段）（2320-2350）合路

（4）干扰分析结论

最终天线隔离度的要求需要考虑杂散干扰和阻塞干扰的综合影响，取其中最严格的隔离要求，如表 9-10 所示：

表 9-10 天线隔离度要求

被干扰的系统 干扰源	GSM 900	DCS 1800	TD-SCD MA(A)	TD-SC DMA(F)	TD-SCDM A(E)及 TD-LTE(2. 3GHZ)	TD-LT E(2.6G HZ)	WLAN
GSM900		46	31	31	31	32	83
DCS1800	38		31	31	31	32	83
TD-SCDMA(A)	36	44		31	31	32	88
TD-SCDMA(F)	36	44	31		31	32	88
TD-SCDMA(E)及 TD-LTE(2.3 GHZ)	35	43	58	58		32	88
TD-LTE(2.6 GHZ)	35	43	58	58	31		88
WLAN	92	88	87	87	87	88	

9.4 TD-LTE 室内覆盖解决方案

9.4.1 TD-LTE 室内建设模式

（1）单路模式

单路建设模式基本上为在新建或在原有的分布系统上直接耦合 TD-LTE 系统，每楼层使用一个通道，上行链路采用 SISO 方式，下行链路采用 1*2 SIMO 的方式，如图 9-3 所示：

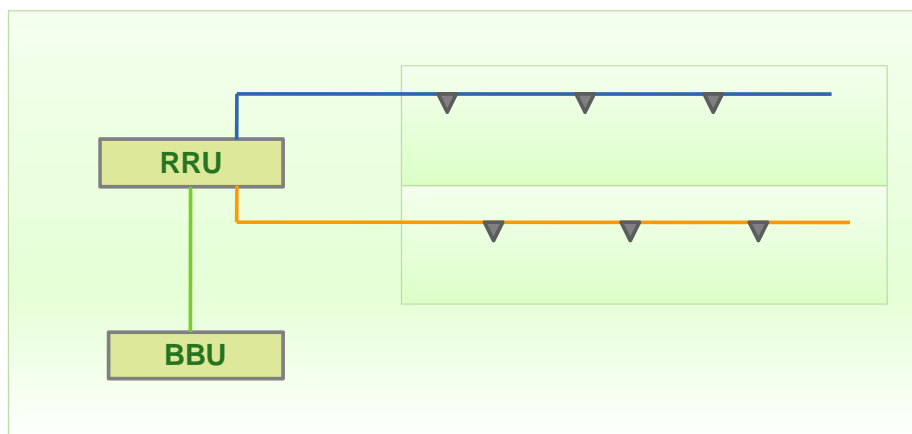


图 9-3 单路模式

(2) 双路模式

双路建设模式是指新建或在原有的分布系统上增加天线点和分布电缆以每楼层双通道的方式进行建设，两路天线相隔一定距离以满足空间不相关性的要求。在双路模式下，上行链路采用 1*2 SIMO 方式，下行链路采用 2*2 MIMO 的方式，如图 9-4 所示：

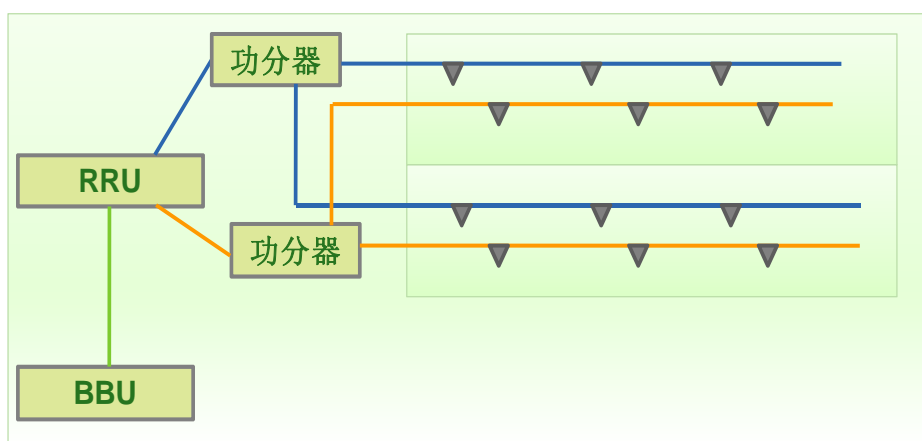


图 9-4 双路模式

由于双路建设模式可以实现 MIMO 的性能优势，据试验网测试结论可知双路小区的平均吞吐量是单路小区的 1.6 倍左右，因此从性能的角度出发，在典型室内场景建设中多采用双路的建设方案，下面章节对其进行重点讨论。

9.4.2 TD-LTE 的三种双路建设方案

总的来说，TD-LTE 的双路建设方案可以总结为三大主要方式。一种为两路新建，独立新建两路分布系统，需新建两套室内天馈线系统。第二种方案为一路新建，一路改造，即一个通道通过合路器公用源分布系统，另一个通道独立新建一路分布系统。第三种是改造源分布系统，单路系统，一个通道通过合路器共用原分布系统，另外一个通道新建一路分布系统。下面就各种方式的可行性，优缺点，应用场景等方面进行比较分析。

(1) 两路新建

在不改动原有分布系统天馈线的基础上，额外增加两路天馈线系统，TD-LTE 独立使用新建馈线。优点是与其他通信系统相对独立，对于后期如引入更加先进的技术或者手段时

改造比较方便。进一步来说，由于新建的系统可以使得空间隔离度最大限度的规避多系统合路产生的干扰风险。缺点是网络改造量和投资均非常大，对于已有分布系统的建筑，新增两路天馈线的系统实施难度大。所以这种情况仅适用于合路存在严重干扰并且具备新增两路天馈线条件的场景应用。

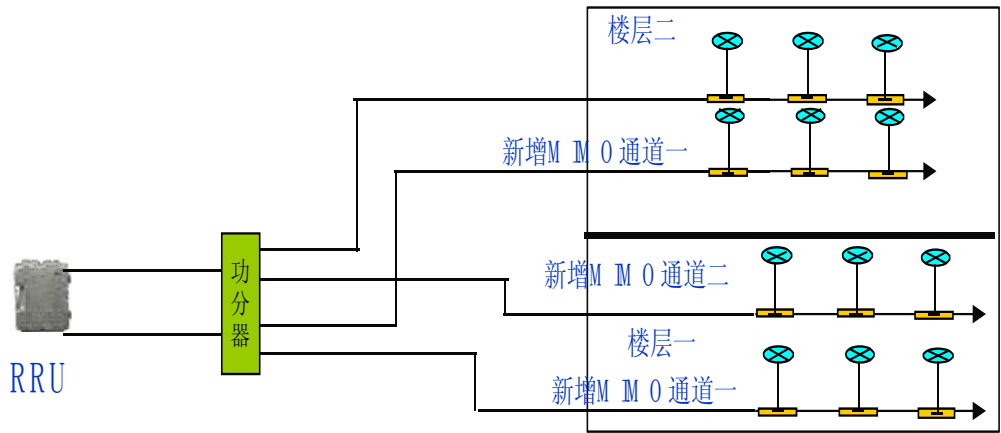


图 9-5 两路新建

（2）一路新建，一路合路

在不改动原有系统天馈线的基础上，新增加一路天馈系统，TD-LTE 一路接入新建馈线，另一路与原室分系统合路，前提是室分无源器件的频段范围涵盖了 TD-LTE 频率。根据下面章节中的干扰分析和覆盖性能分析，在合路器隔离度指标满足覆盖要求的情况下，对于器件满足要求的系统，天线工作频率范围要求为 800M~2500M，可以直接支持 TD-LTE 系统，就不用担心干扰隔离的要求，而且还充分利用现有的室分系统，较大减少了工程协调量和投资，大大节省了成本。一般在工程条件允许的情况下都采用此方式。

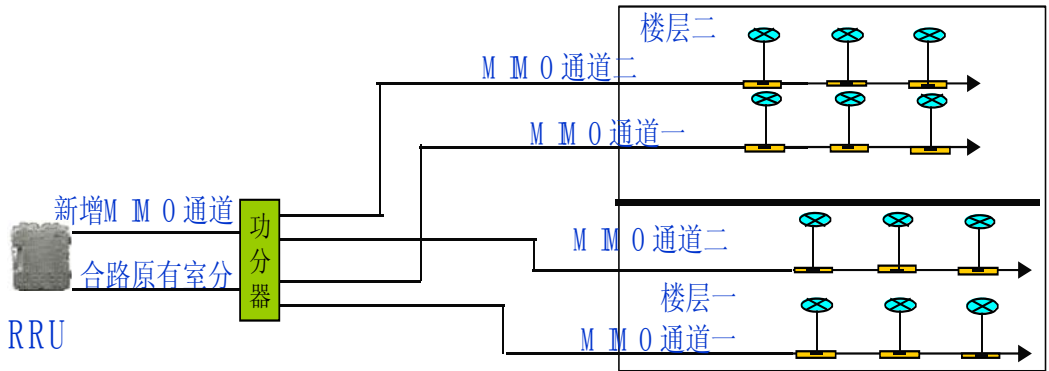


图 9-6 一路新建，一路合路

（3）改造原分布系统

需要在原分布系统合路处更换合路器，由于增加了一路信号，而且频率范围发生了改变，需要更换功能更加优越满足要求的合路器等设备。施工主要在机房，弱电井等区域施工，工程实施难度小，施工量小，但是容量提升空间小，可能无法满足未来的用户需求，因为一定的容量宽限是我们在网络规划中必须考虑的一个方面，为了以后用户的增加，通过小区分裂等方式满足未来需求。

经过以上分析可以得出结论，一般场景下 TD-LTE 网络建设都用一路新建，一路合路的方式进行，具体怎样合路还需要具体的建筑进行不同的分析。除非是干扰非常严重或者全新

并且有足够的投资成本的建筑可以考虑使用新建两路，单纯改造原有的分布系统不能满足容量的需求。下面主要针对这种建设模式进行讨论：

9.4.3 TD-LTE 双路室分建设场景讨论

根据上面关于建设方案讨论及干扰的分析，综合考虑现网的用户需求，TD-LTE 的主要建设场景可根据常规容量、容量需求较大、及重视 WLAN 吞吐量提升来进行不同的合路建设方式，下面分别进行讨论。

（1）常规容量

TD-LTE 室内建设的 80% 以上的系统采用这种双路系统，一路为两级合路结构，即 GSM900 进行 M 级功分耦合后与 TD-SCDMA A 频段以及 LTE 一级合路，再经共分耦合后与 WLAN 二级合路；另一路为 LTE 单独创建。这种建设方式对一级合路器的要求比较高，需要满足更宽频带的指标要求。

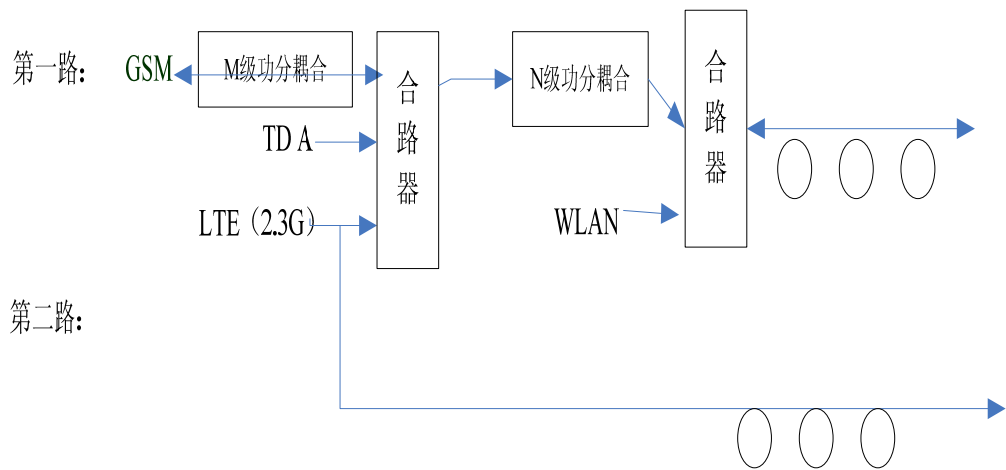


图 9-7 常规容量需求建设方法

在一些室内分布系统的实际应用中，由于 WLAN 在最初建设时采用的 3 端口的合路器（TD-SCDMA, WLAN, GSM），因而为了提高设备利用率，可采用以下两路系统建设方式：一路为两级合路结构，TD-SCDMA 频段与 TD-LTE 一级合路经 N 及共分耦合，GSM900 经 M 级功分耦合，与 WLAN 进行二级合路；另一路为 LTE 单独新建，需要新增 TD-SCDMA A 频段与 LTE 的合路器。此种方式对二级合路器的端口隔离度有相应的要求，该值取定采用的方法为前一节所介绍的理论结合参考场景的实地 CW 测试来进行，建设示意图如下所示：

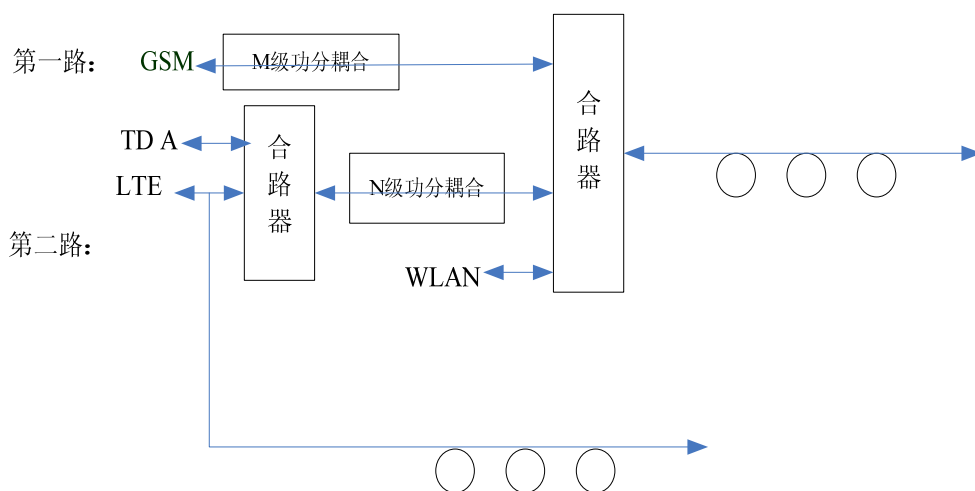


图 9-8 常规容量需求建设方法（WLAN 采用 3 端口合路器）

这里需要注意的一个问题是，在上述的双路建设方法中，TD-LTE 双通道中有一路具有功分耦合器件，而另外一路没有，这可能会导致两路的功率存在差异，影响网络的性能，在建设时需要有效考虑覆盖侧重点或采用一定资源优化方法。

（2）WLAN 吞吐量提升

在一些特殊室内的场景，由于移动通信系统网络容量本身比较有限，需要更进一步借助 WLAN 网络来实现数据流量分流，以增强网络整体吞吐量。针对这种情况通常将 WLAN 与 LTE 共同建在新的一路中，实现 802.11n MIMO 的性能，建设方式如下图所示。

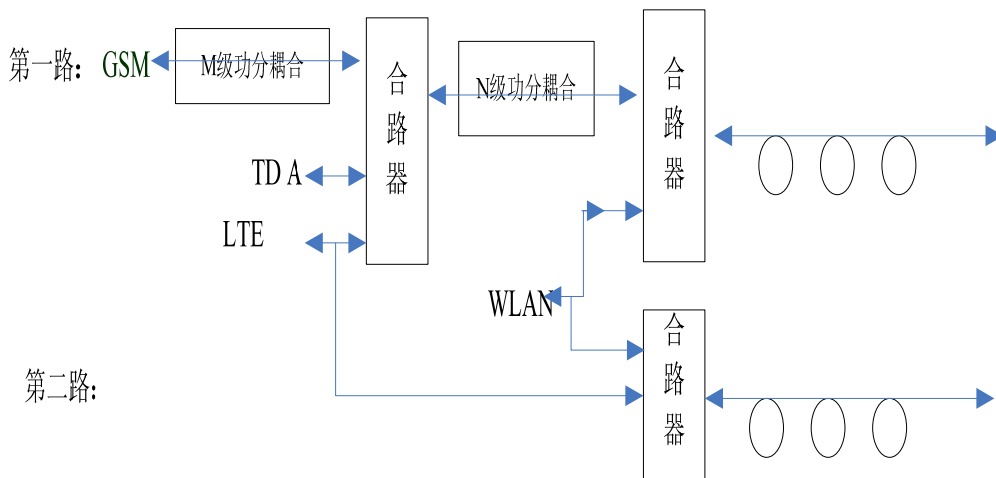


图 9-9 WLAN 吞吐量提升需求建设方法

同样，若 WLAN 在采用 3 端口合路器，因而为了提高设备利用率，可采用以下两路系统建设方式：一路为 TD-SCDMA 频段与 TD-LTE 一级合路经 N 级功分耦合，GSM900 经 M 级功分耦合，与 WLAN 进行二级合路；另一路为 LTE 单独新建。这种方式需要新增 TD-SCDMA 频段与 LTE 的合路器，同时对 2 级合路的要求比较高。

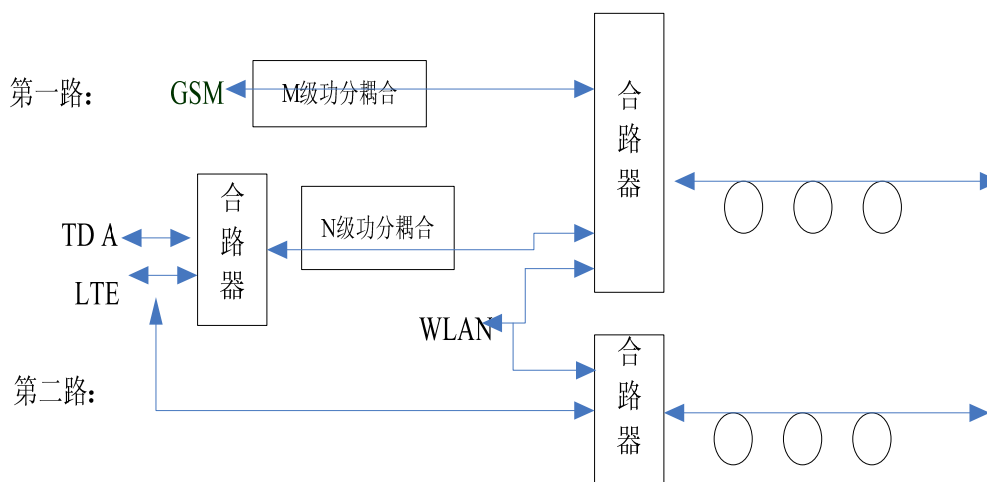


图 9-10 WLAN吞吐量提升需求建设方法（WLAN采用3端口合路器）

（3）容量需求较大

在室内分布系统建设时，还会遇到一些对于容量需求比较高的场景，比如大型的写字楼，特别是政府机构（有保密频段限制），对数据传输速率要求较高。在这种情况下通常会将DCS1800，TD-SCDMA 其它频段共同馈入建设，来增强系统的容量。具体方式为一路采用GSM900 以及 DCS1800 一级合路后经 M 级功分耦合，TD LTE 经 N 级功分耦合后与 WLAN 二级合路，另一路为 TD-SCDMA 频段，TD-LTE 经一级合路后，经 N 级功分耦合与 WLAN 二级分路。

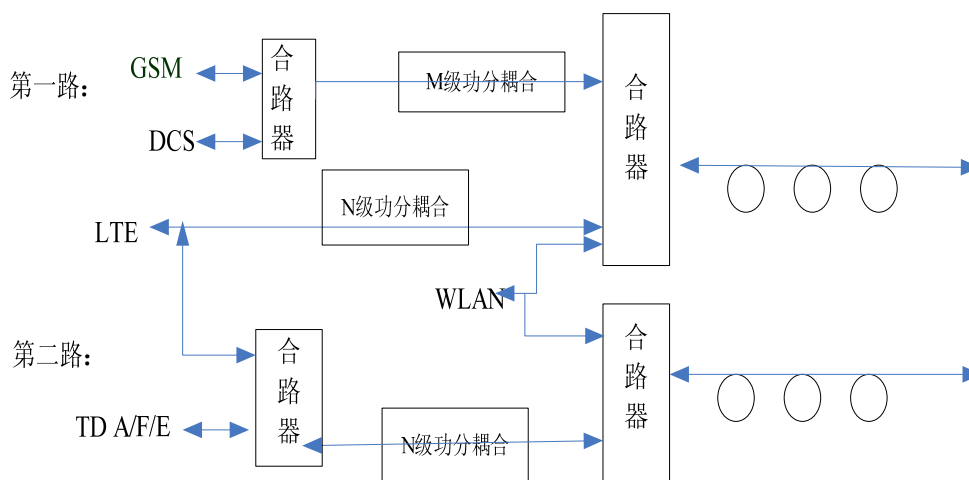


图9-11 容量需求较大的建设方式

参考文献:

- [1] 沈嘉、索世强、全海洋等，3GPP 长期演进（LTE）技术原理与系统设计[M]，北京：人民邮电出版社，2008
- [2] 弓丞，移动通信系统的发展历程和展望[Z]，科技资讯，2007（26）
- [3] 啜钢、王文博、常永宇、全庆一等，移动通信原理和系统[M]，北京：人民邮电出版社，2009
- [4] 李建东、郭梯云、邬国扬等，移动通信（第四版）[M]，西安：西安电子科技大学出版社，

2006

- [5] 唐海, LTE-Advanced 标准技术发展[M], 通信技术与标准, 2011.1
- [6] 王映民, 孙韶辉等, TD-LTE 技术原理与系统设计[M], 北京: 人民邮电出版社, 2010.6
- [7] 孙天伟, 3GPP LTE/SAE 网络体系结构和标准[J], 广东通信技术, 2007.2
- [8] 中国移动北京公司四网融合室内覆盖系统设计指导书[M], 中国移动通信集团, 2011
- [9] TD-LTE 无线网络规划[R], 中国移动通信集团设计院无线所
- [10] TD-LTE 室内覆盖系统规划思路和建设方案[R], 中国移动通信集团设计院
- [11] 曲嘉杰、龙紫薇, TD-LTE 容量特性及影响因素[J], 电信科学, 2009 (1)
- [12] 陆健贤、叶银法、卢斌等, 移动通信分布系统原理与工程设计[M], 北京: 机械工业出版社, 2008
- [13] 中国移动广东公司新全球通大厦 TD-GSM-CMMB-LTE 四网合一设计方案[R], 中兴通讯。
- [14] GB 9410-1988, 中国通信通用天线技术规范[S]
- [15] 刘亚瑟、陶三明, TD+CMMB 室内覆盖系统及其频谱资源分析[J], 信息通信, 2009 (5)
- [16] 陈新富、杨波, TD 与 GSM 融合组网方案[J], 电信科学, 2009 (8)
- [17] 杨大成等, 移动传播环境理论基础、分析方法和建模技术[M], 北京: 机械工业出版社, 2003.8
- [18] Bhag Singh Guru、Huseyin R. Hiziroglu, 电磁场与电磁波[M], 北京: 机械工业出版社, 2000
- [19] 张威, GSM 网络优化原理与工程[M], 北京: 人民邮电出版社, 2003