

模块 3

规划 5G 无线网络

项目简介

5G 技术不仅可以让智能手机感知更好，还可以让其为用户提供新的沉浸式体验，如 AR (Augment Reality, 增强现实)、VR (Virtual Reality, 虚拟现实)，使得 5G 网络具有更快的数据传输速率、更低的时延和更低的成本。因此，在 5G 网络规划阶段，要遵循“以终为始、一步规划、分步实施”的总体思路，以 SA 连续组网、打造精品 5G 网络、领先 5G 网络为终极目标；深入分析资源现状，对存量站点进行详尽的可用性评估，明确可共享的存量站列表；立足于内部挖潜整合，利旧共享，不新增铁塔站址，降本增效，合理整合天面，积极获取和利用社会杆塔资源。同时，网络运维部门需要提早介入网络质量把控，对网络规划建设方案进行全面审核，为未来的网络运营、优化、维护奠定良好基础。

任务 3.1 5G 网络规划认知

【任务目标】

知识目标	(1) 掌握 5G 网络规划的基本流程 (2) 了解 5G 网络规划的原理
技能目标	分析 5G 网络规划的类型
素质目标	客观认识自我，了解自己的能力和、兴趣、特长，制定职业规划目标，并分析达到目标需要的条件
重点难点	重点：掌握 5G 网络规划的基本流程 难点：了解 5G 网络规划的原理
学习方法	自主学习法、对比学习法、归纳学习法、合作学习法

【情境导入】

从通信技术发展规律来看，5G 技术和产业发展成熟是一个长期过程。4G 网络将与 5G 网络长期并存、有效协同。中国电信将根据业务需求，将不同业务承载在适合的网络上。当前中国电信 4G 网络已实现全国连续覆盖，4G 网络已具备承载语音、数据、物联网全业务的能力。5G 网络使用初期覆盖不连续，语音业务通过回落到 4G 网络由 VoLTE 承载，5G 网络主要面向垂直行业和超高速率业务应用场景，通过与垂直行业的跨界融合，创造全新业态，开启商业模式转型，

开拓行业价值增长空间。

【任务资讯】



(图片) 5G 网络规划原则

3.1.1 5G 网络规划原则和目标

1. 5G 网络规划原则

5G 网络建设需要综合考虑业务需求、用户体验、技术方案的成熟性、UE 产业链支持、建设成本及收益等因素,充分利用 4G 网络已有投资,在保证业务需求和用户体验的基础上,降低 5G 网络建设和运营成本,规划时应遵循如下原则。

1) 业务引领原则

5G 网络规划时应重点关注基于业务需求的业务引领原则,避免盲目大范围建设 5G 网络,重点在垂直行业,品牌宣传区域,高流量、高价值区域进行部署,确保投资效益。

2) 服务差异化原则

服务差异化需求来自多个方面,主要是客户群的差异,包括公众客户和行业客户。服务差异化需求体现在客户的行为模式及对网络性能的要求上,也体现在客户的地理空间分布上。不同时期的服务差异化需求也会不同。在 5G 网络规划中宜采取多种模式、多种手段满足服务差异化需求,实现精细化建设。

3) 4G 网络与 5G 网络协同原则

该原则以满足客户需求为目标,4G 网络与 5G 网络形成有机整体,提供覆盖完善、用户体验佳的网络服务。在 4G 网络与 5G 网络协同时,5G 网络作为容量层叠加在 4G 网络上,语音业务通过回落到 4G 网络由 VoLTE 承载。

4) 共建共享原则

对于室外有竞争压力的区域,为打造服务差异化优势应考虑独立建设 5G 网络,对于低价值区域可考虑与其他运营商共建共享。对于室分区域,在 3300~3400MHz 频段获得批复的情况下,应考虑与中国联通采用共建共享方式进行 5G 网络建设,降低建设成本。但在初期 3300~3400MHz 频段暂未获得批复或后期容量不足的情况下,依据从紧的原则,可考虑使用 3400~3500MHz 频段。

5) 分阶段部署原则

基于技术的阶段性,5G 网络将分阶段部署,eMBB 场景先行,mMTC、URLLC 场景适时引入。基于部署区域,5G 网络应按照“先点后线再面”的原则,初期聚焦重点行业应用区域热点覆盖,不追求连续覆盖,充分利用现网站址资源快速建网。

6) 经济高效性原则

5G 网络频段高、带宽大、大规模天线等技术的引入带来站址密集、能耗增加、天线安装难、设备成本增加等一系列问题,面对这些问题,5G 网络的规划应遵循充分利用 4G 现网站址资源的原则,进行合适的设备选型,满足经济高效的目标。

2. 5G 网络规划目标

1) 建设目标

5G 以垂直行业应用孵化为主,实现热点连续覆盖;对营业厅、政府、机场、重大赛事场馆、重点商圈等品牌宣传区域,实现定点覆盖,提升用户认知。

2) 规划区域

5G 网络建设初期,以室外覆盖为主,在有明确业务需求的情况下,可以适当考虑室内覆盖。

《5G 网络规划指导意见》(2019 年版)中规定覆盖区域选择应以业务需求为导向、以品牌宣传为目标,聚焦城市的城区及垂直行业等区域和领域,重点在创新业务示范区,高流量、高价值区域,品牌宣传区域开展 5G 网络建设,在覆盖效果上,以满足业务需求为主,不盲目追求网络的大范围连续覆盖。覆盖区域选择原则如下。

(1) 对于垂直行业区域,重点选择有较好业务基础,具有明确的应用示范效益和合作需求或已签约的用户/行业用户数分布区域,重点是省级以上工业园、产业园等区域。

(2) 对于高流量、高价值区域,应根据对现网数据业务流量的精细分析,结合市场预测、竞争需求、覆盖场景等因素,对数据业务热点逐一进行评估,按照热点的优先级顺序逐级实现网络覆盖,重点是 4G 1.8G+2.1G 双载波覆盖区、PRB(物理资源块)利用率超过 50%等高价值区域。

(3) 对于品牌宣传区域,重点选择营业厅、业务演示厅、政府机关、重要交通枢纽、中央商务区等区域。

3.1.2 5G 网络规划流程

5G 网络规划主要分为 TOB(TO Business,面向企业客户)网络规划和无线网络规划。在 5G 网络规划中应先进行 TOB 网络规划,再进行无线网络规划。



1. TOB 网络规划

5G 是产业互联网的时代,5G TOB 业务呈现有别于 TOC(TO Customer,面向普通用户)或 TOC 的新商业模式,大致分为工业制造、智慧电网、媒体娱乐、医疗健康、车联网、智慧城市、智慧金融、智慧教育八大垂直行业。5G 为三大运营商带来较大的 TOB 增量业务,5G 的发展趋势将从消费互联网 C 端转向产业互联网 B 端,每一个应用场景的发展潜力巨大,有较大的开发空间,市场前景广阔。

TOB 网络规划流程分为三大步骤,如图 3-1 所示,具体内容如下。

1) 行业应用需求分析

识别行业应用需求,分析行业应用特点,把行业应用特点对应为客户对带宽、时延、连接数、可靠性等关键物理指标的要求,同时分析客户对边缘计算、网络切片、行业信息化应用的需求程度,为网络架构分析奠定基础。重点分析解决以下问题。

- (1) 该行业应用需求所在的地理区域。
- (2) 该行业应用需求具体属于哪个行业应用。
- (3) 关键物理指标要求(带宽、时延、连接数、可靠性等)。
- (4) 其他要求,如网络安全性、信息安全性、网络独享性等。

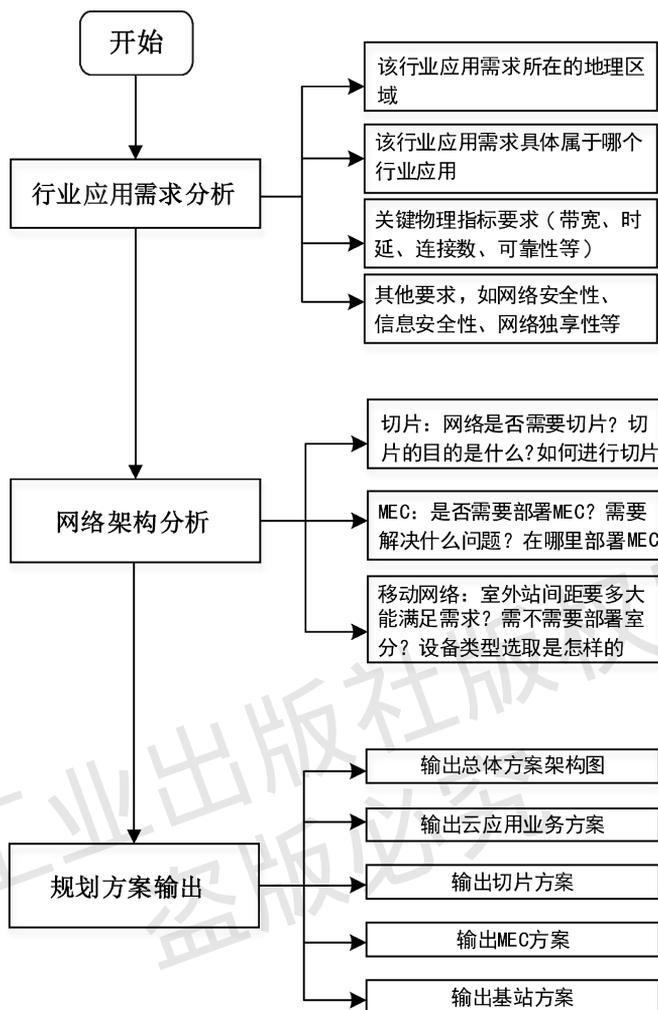
2) 网络架构分析

编制端管云用方案,核心点在业务应用、网络切片、MEC(Multi-access Edge Computing,多接入边缘计算)、移动网络等。重点分析解决以下问题。

- (1) 切片:网络是否需要切片?切片的目的是什么?如何进行切片?
- (2) MEC:是否需要部署 MEC?需要解决什么问题?在哪里部署 MEC?
- (3) 移动网络:室外站间距要多大能满足需求?需不需要部署室分?设备类型选取是怎样的?

3) 规划方案输出

规划方案输出包括输出总体方案架构图、输出云应用业务方案、输出切片方案、输出 MEC 方案、输出基站方案。



(图片) TOB
网络规划流程

图 3-1 TOB 网络规划流程

TOB 网络规划完成后，输出总体方案架构图、云应用业务方案、切片方案、MEC 方案、基站方案。其中，切片方案和 MEC 方案主要用于指导核心网络建设，而云应用业务方案和基站方案主要用于指导基站具体建设工作和无线网络规划。

2. 无线网络规划

无线网络规划流程如图 3-2 所示。

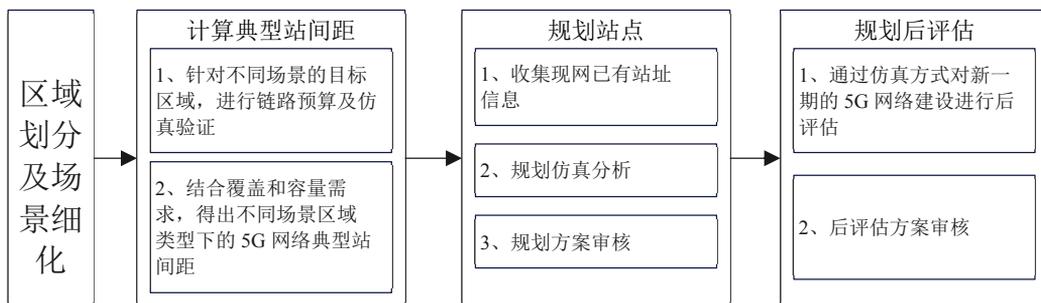


图 3-2 无线网络规划流程

1) 区域划分及场景细化

根据无线传播环境的不同,目标区域可划分为密集城区、普通城区、县城、乡镇等。通过电测和实际现网路测(Driver Test, DT)两种方式进行模式调校,得到划分区域的传播模型。各个区域划分情况可延续 4G 时期的区域划分。

2) 计算典型站间距

针对不同场景的目标区域,进行链路估算及仿真验证,同时考虑覆盖需求和容量需求,得出不同场景目标区域下的典型站间距,并结合现网 DT 和仿真进行验证。

在实际规划中,因为各个区域内地形、建筑物具有多样性,所以各个区域实际所需的拓扑结构不是理想的蜂窝结构,上述计算得出的典型站间距主要作为参考值。

目前结合外场测试初步结果和链路估算分析,若不考虑穿透损耗,室外基于 4G 1.8G/2.1G 1:1 部署,能满足 5G 室外 1Mbps 的上行边缘速率。

4G 2.1G 现有基站间的两站间距如表 3-1 所示。

表 3-1 4G 2.1G 现有基站间的两站间距

名称	密集城区	普通城区	县城	乡镇
4G 现网站间距/m	350~450	450~550	600~750	750~850

5G 2.6G 现有基站间的两站间距如表 3-2 所示。

表 3-2 5G 2.6G 现有基站间的两站间距

名称	密集城区	普通城区	县城	乡镇
5G 理论站间距/m	300~400	350~500	450~550	550~650

3) 规划站点

5G 网络建设初期,参照与室外 4G 1.8G/2.1G 1:1 的组网结构,原则上利用现网站址资源,不再新增站址。5G 和 4G 站址资源信息整理的内容主要包括站址经纬度、天线挂高、站间距、配套情况、周边其他运营商站点情况。

规划仿真分析:以簇为单位,利用规划站点清单进行仿真分析(仿真工参采用该区域对应的建筑物高度,方向角及下倾角采用常规配置),核查仿真结果是否能满足 5G 网络的覆盖要求。对重点区域要逐步推广立体仿真,具体仿真要求参见《5G 无线网络高精度仿真指导意见》。

站点规划完成后,输出规划站点清单、仿真报告和规划方案报告。

4) 规划后评估

完成新一期的 5G 网络规划后,分公司规划建设团队需要输出 Atoll 工程文件(包括工参、天线文件、业务模型、仿真结果等全套仿真文件)、初步规划方案报告。省市联合团队会对初步规划方案进行确认。5G 网络规划方案审核流程如图 3-3 所示。

完成新一期的 5G 网络建设后,分公司规划建设团队需要输出规划后评估方案(报告)、新一期台账、Atoll 工程文件(包括工参、天线文件、业务模型、仿真结果等全套仿真文件)。省市联合团队会对规划后评估方案进行审核确认。规划后评估方案审核流程如图 3-4 所示。

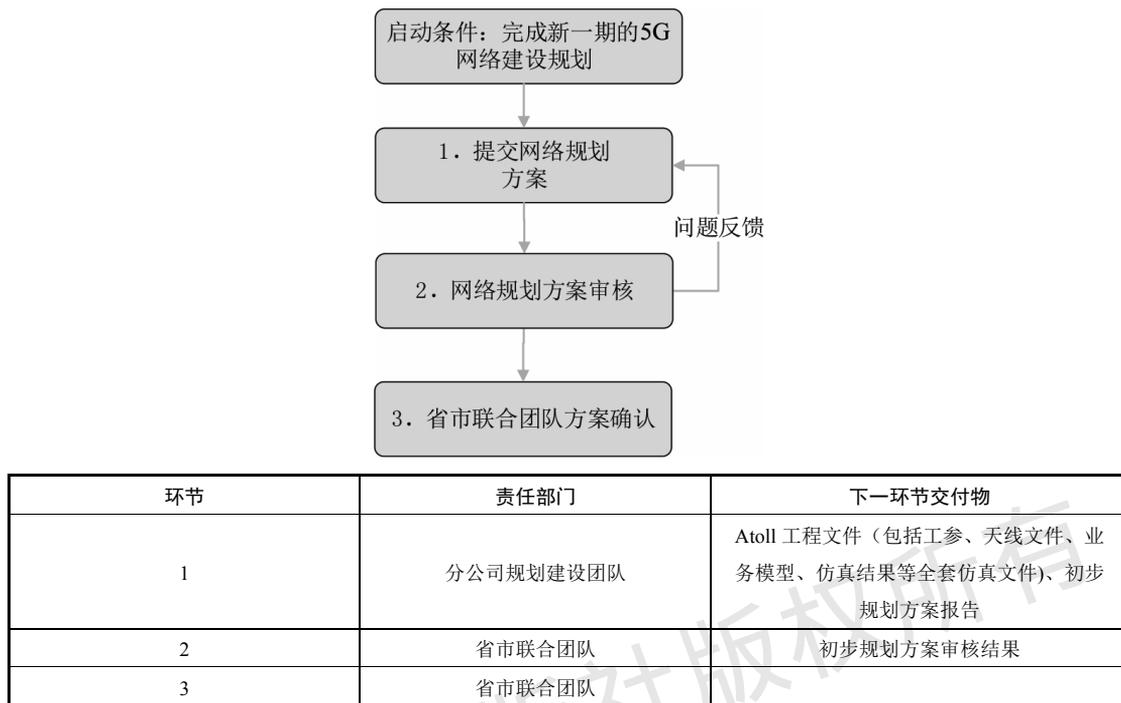


图 3-3 5G 网络规划方案审核流程

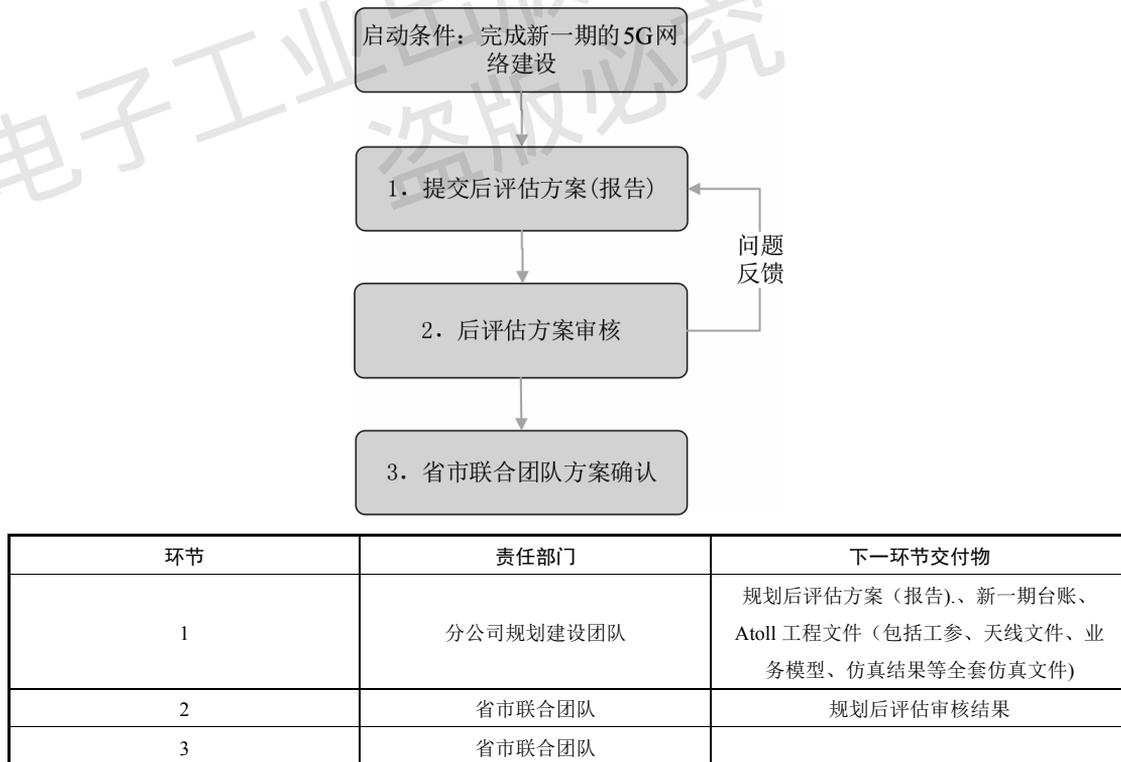


图 3-4 规划后评估方案审核流程

3.1.3 5G 网络规划建设标准

1. 5G 网络建设标准

5G 网络的建设标准是指运营商需要在一些网络领域执行的基本的性能标准。5G 网络建设满足这些标准,可以帮助运营商量化 5G 网络关键性能指标,加强用户对业务关键质量指标的理解,提升运营商整体业务的体验质量。

运营商需要在网络领域执行的基本的性能标准为时延、卡顿、丢包、带宽、最低速率。

当然,5G 网络的建设标准因业务或应用程序而异。流媒体视频对网络性能的要求与在线游戏或 VR 等更具交互性体验的业务是不同的。运营商的网络性能与其服务策略之间应该有密切的联系。

1) 5G 网络建设标准的作用

运营商有两条使用 5G 网络建设标准提供服务的路径。第一条路径是运营商从 5G 业务战略出发,根据建设标准设定网络要求,并按照要求建设网络。第二条路径则恰恰相反,即运营商先进行网络建设,然后测试网络性能,在满足性能标准的情况下部署业务。

Ovum 公司建议使用第一条路径,因为它给了运营商更多的控制权,有助于网络投资收益最大化。但使用第二条路径也并不会导致网络性能和运营商提供的服务止步不前,运营商可以继续改进网络性能,支持新业务。标准、建网、业务选择的关系如图 3-5 所示。



图 3-5 标准、建网、业务选择的关系

2) 网络标准的好处

按照统一的性能标准构建的 5G 网络可为用户提供高质量的业务,保证用户的满意度,防止用户流失到他网。这些可以为运营商及其 5G 网络营造良好的声誉,鼓励新的用户订阅,有助于 5G 投资变现。

在多供应商网络环境中,构建可量化的标准对运营商也大有裨益。运营商一般会选择多个无线、回传和核心网厂商。遵循通用的性能标准可以确保在整个运营商网络中保持一致的用户体验。同样,一家运营商也可以与采用同一套标准的其他运营商合作,为用户提供优质的服务,有利于形成充分保障性能的服务水平协议。

2. 5G 网络业务体验建网标准

随着 5G 技术与移动网络的演进,运营商业务从传统的电信业务开始逐步向更为丰富的数字化业务发展。在新的数字化业务发展的同时,运营商丰富的业务形态、多样的体验需求也对移动网络提出了新的挑战。基于此,移动网络需要从传统的电信业务建网模型向满足数字化业务体验需求的业务体验建网模型转换。

业务体验建网模型的核心包含业务特征分析、体验建模与标准化、体验拐点与基线、网络影响分析、体验建网标准、体验管理（可视、可管、可保证），可实现从用户体验模型到业务质量需求，再到网络能力基准的 EQN 三层映射建模，如图 3-6 所示。

有关部门对当前 5G 主流的 TOC 业务和 TOB 业务进行业务特征分析与体验建模，同时基于实验室与现网的大量实测数据，通过业务体验到网络能力的 EQN 三层映射建模，建立了表 3-3 所示的 5G 网络典型业务体验建网标准。

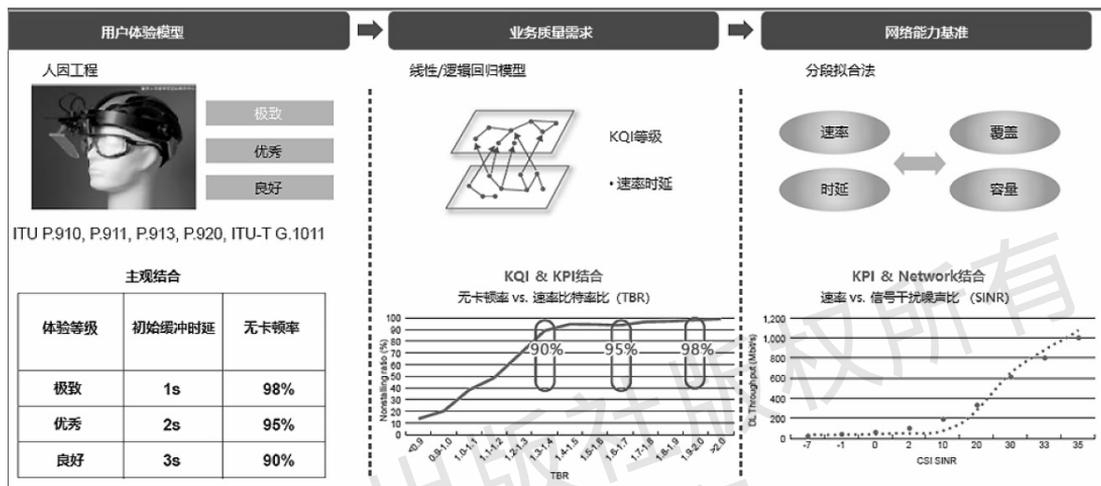


图 3-6 基于业务体验建网模型的体验建网标准

表 3-3 5G 网络典型业务体验建网标准

业务场景	典型应用案例	建网标准						
		UE 情况 (典型码率)	速率	丢包率	毫秒级峰值	时延	覆盖电平	覆盖质量
2C	4K 点播视频	5G CPE+TV 大屏 (VBR 15Mbps)	30Mbps (下行)	$10^{-3}\%$	N/A (不影响业务)	RTT<100ms	-113dBm	-2dB
	4K 直播视频	5G CPE+TV 大屏 (VBR 20Mbps)	40Mbps (下行)	$10^{-3}\%$ (有 FEC) $10^{-5}\%$ (无 FEC)	N/A (不影响业务)	RTT<100ms	-110dBm	-1dB
	4K 360 VR 全景视频 (巨幕影院、VR 演唱会)	VR 一体机 (VBR 40Mbps)	80Mbps (下行)	$10^{-3}\%$	N/A (不影响业务)	RTT<100ms	-108dBm	1dB
		手机+MiniVR/眼镜 (VBR 15Mbps)	30Mbps (下行)	$10^{-3}\%$	N/A (不影响业务)	RTT<100ms	-113dBm	-2dB
	8K FOV VR 视频 (2D)	VR 一体机+手机+MiniVR/眼镜 (VBR 50Mbps)	100Mbps (下行)	TCP 方式 $10^{-4}\%$ UDP 方式 $10^{-3}\%$	N/A (不影响业务)	RTT<25ms	-107dBm	2dB
	3D Cloud VR (游戏)	VR 一体机 (CBR 50Mbps)	100Mbps (下行)	TCP 方式 $10^{-4}\%$ UDP 方式 $10^{-3}\%$	500~700Mbps	RTT<25ms	-107dBm	2dB

续表

业务场景	典型应用案例	建网标准						
		UE 情况 (典型码率)	速率	丢包率	毫秒级 峰值	时延	覆盖 电平	覆盖 质量
2B	监控/无人机回传 (1080P)	高清摄像头+回传设备 (VBR 2.5Mbps)	5Mbps (上行)	10 ⁻³ % (有 FEC) 10 ⁻⁵ % (无 FEC)	16~20 倍 突发	RTT<50ms	-105dBm	3dB
	4K 新闻直播回传 (30fps)	LiveU 回传背包 (VBR 20Mbps)	40Mbps (上行)	10 ⁻² % (有 SRT) 10 ⁻⁵ % (无 SRT)	16~20 倍 突发	RTT<50ms	-95dBm	5dB
	4K 央视春晚直播回传 (50fps)	Cogent、数码视频回传背包 (CBR 42Mbps)	63Mbps (上行)	10 ⁻² % (有 SRT) 10 ⁻⁵ % (无 SRT)	16~20 倍突 发, 700~ 800Mbps	RTT<50ms	-91dBm	8dB
	8K 直播回传	澳视德 (CBR 120Mbps)	待构建	—	—	—	—	—
	5G 园区	—	待构建	—	—	—	—	—
	FWA 专线	—	待构建	—	—	—	—	—
	Cloud PC	—	待构建	—	—	—	—	—
	远程医疗/ 教育	—	待构建	—	—	—	—	—

【任务实施】

通过了解 5G 网络规划的目标和流程, 做好网络规划的准备工作的。学习者在职业规划过程中也要以自己设定的目标为导向, 全力以赴实现目标, 努力消除实现目标过程中的负面因素, 分清主次。

【任务评价】

任务点	考核点		
	初级	中级	高级
5G 网络规划原则和目标	熟悉 5G 网络规划原则	(1) 了解 5G 网络规划原则 (2) 了解 5G 网络规划目标	(1) 掌握 5G 网络规划原则 (2) 掌握 5G 网络规划目标
5G 网络规划流程	熟悉 5G 网络规划流程	(1) 了解 5G 网络规划流程 (2) 了解 5G 网络规划的 TOB 网络规划流程	(1) 掌握 5G 网络规划流程 (2) 掌握 5G 网络规划的 TOB 网络规划流程 (3) 掌握 5G 网络规划的无线网络规划流程

续表

任务点	考核点		
	初级	中级	高级
5G 网络规划建设网标准	熟悉 5G 网络建设标准的概念	(1) 了解 5G 网络建设标准的概念 (2) 了解 5G 网络建设标准的作用	(1) 掌握 5G 网络建设标准的概念 (2) 掌握 5G 网络建设标准的作用 (3) 掌握 5G 网络的业务体验建网标准

【任务小结】

5G 网络 规划 认知



【自我评测】

一、选择题

1. 以下 () 不属于 TOB 网络规划流程步骤。

- A. 行业应用需求分析
- B. 网络架构分析
- C. 规划方案输出
- D. 网络性能分析

2. 5G 网络业务体验建网标准中 2C 场景是指 ()。

- A. AR
- B. VR
- C. 高清视频
- D. 4K 直播视频

二、填空题

1. 基于部署区域, 5G 网络应按照_____的原则, 初期聚焦重点行业应用区域热点覆盖, 不追求连续覆盖, 充分利用现网站址资源快速建网。

2. 运营商需要在网络领域执行的基本的性能标准有_____、_____、_____、_____、_____。

3. 业务体验建网模型的核心包含_____、_____、_____、_____、_____、_____。

4. 在 5G 网络规划中宜采取_____、_____满足服务差异化需求, 实现精细化建设。



(文档) 自我
评测参考答案

三、简答题

简述 5G 网络规划的建网标准。

任务 3.2 5G 网络覆盖规划

【任务目标】

知识目标	(1) 掌握各种覆盖规划的流程和优缺点 (2) 了解链路估算的计算方式
技能目标	分析各种链路估算的使用场景
素质目标	学习者在制定计划的过程中, 会分析执行过程中的确定性影响因素和不确定性影响因素, 科学设定个人成长目标
重点难点	重点: 掌握各种覆盖规划的流程和优缺点 难点: 了解链路估算的计算方式
学习方法	自主查阅、类比学习、头脑风暴

【情境导入】

2023 年 9 月底, 我国新增 gNB 数达到了 318.9 万个, 5G UE 连接数也达到了 7.37 亿户, 千兆光网覆盖到了 5 亿户家庭, 建成全国首批 29 个“千兆城市”, 推动我国“双千兆”网络能力、用户水平和创新应用发展取得良好成效。“云网边缘”协同发展的工业互联网基础设施基本成型, “5G+工业互联网”在采矿、钢铁、电力等 10 个重点行业形成了远程设备操控、机器视觉质检等 20 个典型应用场景, 赋能千行百业转型升级成效显著。

【任务资讯】



(PPT) 传播模型

3.2.1 传播模型

传播模型可用于预测无线电波在各种复杂传播路径上的路径损耗, 是 5G 网络小区规划的基础。传播模型的准确与否, 关系到小区规划是否合理, 运营商是否可以以比较经济的价格满足用户的需求。传播模型的价值就是在保证规划结果精度的同时, 节省了人力、费用和时间。

1. 自由空间传播

1) 定义

自由空间传播是指收发天线间在自由空间条件(各向同性、无吸收、电导率为零的均匀介质)下传播的特性。

2) 传播损耗公式

传播损耗(单位: dB)公式如下。

$$PL = 32.44 + 20\lg f + 20\lg d$$

其中, d 为 UE 与基站之间的距离; f 为基站设备使用的频率。

从以上公式可以推导出以下结论。

(1) 当距离 d 加倍时, 自由空间传播损耗增加 6dB, 即信号衰减为原来的 1/4。

(2) 当频率 f 加倍时, 自由空间传播损耗增加 6dB, 即信号衰减为原来的 1/4。

2. 通用传播模型

1) 定义

通用传播模型在实际使用过程中需要考虑现实环境中各种地物、地貌对无线电波传播的影响, 以保证覆盖预测结果的准确性。因此, 在各种规划软件中, 人们一般都使用通用传播模型进行网络规划, 在使用前会根据各个区域的不同情况, 对模型参数进行校正。不同地物、地貌下的参考修正值如表 3-4 所示。

表 3-4 不同地物、地貌下的参考修正值

地物、地貌	传播损耗偏移量/dB	地物、地貌	传播损耗偏移量/dB
内陆水域	-1	高层建筑	18
海域	-1	普通建筑	2
湿地	-1	大型低矮建筑	-0.5
乡村	-0.9	成片低矮建筑	-0.5
乡村开阔地带	-1	其他低矮建筑	-0.5
森林	15	密集新城区	7
郊区	-0.5	密集老城区	7
铁路	0	城区公园	0

2) 传播损耗公式

传播损耗 (单位: dB) 公式如下。

$$PL = K_1 + K_2 \lg d + K_3 \lg H_{T_{\text{eff}}} + K_4 \cdot \text{Diffractionloss} + K_5 \lg(d) \lg H_{T_{\text{eff}}} + K_6 H_{R_{\text{eff}}} + K_{\text{Clutter}} f(\text{Clutter})$$

其中, K_1 为与频率相关的常数; K_2 为距离衰减常数; d 为发射天线和接收天线之间的水平距离; K_3 为基站天线高度修正因子; $H_{T_{\text{eff}}}$ 为发射天线的有效高度; K_4 为绕射损耗的修正因子; Diffractionloss 为传播路径上障碍物绕射损耗; K_5 为基站天线高度与距离的修正因子; K_6 为 UE 天线高度修正因子; $H_{R_{\text{eff}}}$ 为接收天线的有效高度; K_{Clutter} 为地物的修正因子; $f(\text{Clutter})$ 为地貌加权平均损耗。

3. 其他传播模型

有了自由空间传播和通用传播模型的传播损耗公式后, 人们需要考虑传播环境对无线传播模型的影响。确定某一特定地区传播环境的主要因素包括以下内容。

- (1) 自然地形 (如高山、丘陵、平原、水域)。
- (2) 人工建筑的数量、高度、分布和材料特性。
- (3) 在进行网络规划时, 一个城市通常会被划分为密集城区、普通城区、郊区、乡村等区域, 以保证预测的精度。
- (4) 该区域的植被特征和植被覆盖率, 不同季节的植被情况是否有较大的变化。
- (5) 天气状况 (如是否经常下雨、下雪)。
- (6) 自然和人为的电磁噪声状况, 周边是否有大型的干扰源 (如雷达)。
- (7) 基站设备使用的频率和 UE 运动状况, 在同一区域, 系统工作频率不同, 接收信号衰减

状况也不同，静止的 UE 与高速运动的 UE 的传播环境也大不相同。

常用传播模型如表 3-5 所示。



(视频) 传播模型

表 3-5 常用传播模型

模型名称	适用范围
Okumura-Hata	适用于 150~1000MHz 宏蜂窝
COST231-Hata	适用于 1500~2000MHz 宏蜂窝
Keenan-Motley	适用于 900MHz~800GHz 室内环境
Uma	适用于 0.5MHz~100GHz 城区宏蜂窝 (Urban Macro)
Umi	适用于 0.5MHz~100GHz 城区微蜂窝 (Urban Micro)
Rma	适用于 0.5MHz~100GHz 农村宏蜂窝 (Rural Macro)
InH	适用于 0.5MHz~100GHz 室内热点 (Indoor Hotspot)
通用传播模型	适用于 0.5MHz~100GHz 覆盖场景

1) Okumura-Hata 模型

(1) 定义。

Okumura-Hata 模型的应用频率为 150~1000MHz，适用于基站覆盖半径为 1~20km、发射天线高度为 30~200m、接收天线高度为 0~1.5m。该模型下的传播损耗公式是根据测试数据统计分析得出的经验公式，在 900MHz 的 GSM 中得到了广泛应用。

(2) 传播损耗公式。

传播损耗（单位：dB）公式如下。

$$PL = 69.55 + 26.16\lg f - 13.82\lg h_b + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg d - A_{hm}$$

其中， f 为频率； h_b 为基站天线有效高度； d 为发射天线和接收天线之间的水平距离；

$$A_{hm} = (1.1\lg f - 0.7)h_m - (1.56\lg f - 0.8)。$$

当 Okumura-Hata 模型应用于郊区和乡村开阔地带时，为了使预测结果更准确，需要对计算结果进行修正，相关公式如下。

$$PL_{\text{suburb}} = PL - 2 \times [\lg(f/28)]^2 - 5.4$$

$$PL_{\text{open}} = PL - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 40.94$$

2) COST231-Hata 模型

(1) 定义。

COST231-Hata 模型是 COST 工作委员会开发的 Hata 模型的扩展版本，其应用频率为 1500~2000MHz，适用于基站覆盖半径为 1~20km 的宏蜂窝，发射天线高度为 30~200m，接收天线高度为 1~10m。

(2) 传播损耗公式。

$$PL = 46.3 + 33.9\lg f - 13.82\lg h_b + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg d - A_{hm} + C_m$$

其中， f 为频率； h_b 为基站天线有效高度； d 为发射天线和接收天线之间的水平距离；

$A_{hm} = (1.1\lg f - 0.7)h_m - (1.56\lg f - 0.8)$ ； C_m 为大城市中心校正因子，大城市 $C_m = 3\text{dB}$ ，中等城市和郊区中心区 $C_m = 0\text{dB}$ 。

当 COST231-Hata 模型应用于乡村和乡村开阔地带时，为了使预测结果更准确，需要对计算结果进行修正，相关公式如下。

$$PL_{\text{quasi-open}} = PL - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 35.94$$

$$PL_{\text{open}} = PL - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 40.944$$

3) Keenan-Motley 模型

(1) 定义。

Keenan-Motley 模型适用于室内环境，包括视距 (LOS) 传播和非视距 (NLOS) 传播两种。

(2) 传播损耗公式。

传播损耗 (单位: dB) 公式如下。

LOS 传播下的传播损耗 (单位: dB) 公式为

$$PL = 20\lg d + 20\lg f - 28 + X_\sigma$$

NLOS 传播下的传播损耗 (单位: dB) 公式为

$$PL = 20\lg d + 20\lg f - 28 + L_{f(n)} X_\sigma$$

其中, X_σ 为阴影衰落余量, 取值与覆盖概率和室内阴影衰落标准差有关; $L_{f(n)} = \sum_{i=0}^n P_i$, P_i 为第 i 面隔墙的穿透损耗, n 为隔墙数量。

隔墙穿透损耗典型值如表 3-6 所示。

表 3-6 隔墙穿透损耗典型值

频率 /GHz	混凝土墙穿透损耗/dB	砖墙穿透损耗/dB	木板穿透损耗/dB	厚玻璃墙 (玻璃幕墙) 穿透损耗/dB	薄玻璃 (普通玻璃窗) 穿透损耗/dB	电梯门综合穿透损耗/dB
1.8~2	15~30	10	5	3~5	1~3	20~30

4) Uma 模型

(1) 定义。

Uma 模型是 3GPP 36.873 和 3GPP 38.900 协议定义的传播模型, 其应用频率为 0.5~100GHz, 适用于基站覆盖半径为 10~5000m 的城区宏蜂窝, 发射天线有效高度为 10~150m, 接收天线有效高度为 1.5~22.5m。该模型分为 LOS 传播和 NLOS 传播。

(2) 传播损耗公式。

LOS 传播下的传播损耗 (单位: dB) 公式为

$$PL = 22\lg d_{3D} + 28 + 20\lg f_c$$

NLOS 传播下的传播损耗 (单位: dB) 公式为

$$PL = 161.04 - 7.1\lg W + 7.5\lg h - \left[24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}} \right)^2 \right] \lg h_{BS} + [43.42 - 3.1\lg(h_{BS})](\lg d_{3D} - 3) + 20\lg f_c - [3.2(\lg 17.625)^2 - 4.97] - 0.6(h_{UT} - 1.5)$$

其中, f_c 为频率; d_{3D} 为基站天线到 UE 的距离; W 为平均街道宽度; h 为建筑物平均高度; h_{BS} 为天线绝对高度; h_{UT} 为接收机绝对高度。

在 Uma 模型的 LOS 传播中默认 $h_{BS}=25\text{m}$, $h_{UT}=1.5\text{m}$ 。

5) Umi 模型

(1) 定义。

Umi 模型是 3GPP 36.873 和 3GPP 38.900 协议定义的传播模型, 其应用频率为 0.5~100GHz,

适用于基站覆盖半径为 10~5000m 的微蜂窝，发射天线有效高度为 10m，接收天线有效高度为 1~10m。该模型分为 LOS 传播和 NLOS 传播。

(2) 传播损耗公式。

LOS 传播下的传播损耗（单位：dB）公式为

$$PL = 40\lg d_{3D} + 28 + 20\lg f_c - 9\lg d_{BP}^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2$$

NLOS 传播下的传播损耗（单位：dB）公式为

$$PL = 36.7\lg d_{3D} + 22.7 + 26\lg f_c - 0.3(h_{UT} - 1.5)$$

其中， f_c 为频率； d_{3D} 为基站天线到 UE 的距离； $d_{BP} = 4 h_{BS} h_{UT} f_c / c$ ， $c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ ； h_{BS} 为天线绝对高度； h_{UT} 为接收机绝对高度。

6) Rma 模型

(1) 定义。

Rma 模型是 3GPP 36.873 和 3GPP 38.900 协议定义的传播模型，其应用频率为 0.5~100GHz，适用于基站覆盖半径为 10~10000m 的农村宏蜂窝，发射天线有效高度为 10~150m，接收天线有效高度为 1~10m。该模型分为 LOS 传播和 NLOS 传播。

(2) 传播损耗公式。

LOS 传播下的传播损耗（单位：dB）公式为

$$PL = 20\lg(40\pi d_{3D} f / 3) + \min(0.03h \times 1.72, 10)\lg d_{3D} \\ - \min(0.044h \times 1.72, 14.77) + 0.002\lg(h)d_{3D}$$

NLOS 传播下的传播损耗（单位：dB）公式为

$$PL = 161.04 - 7.1\lg W + 7.5\lg h - [24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}}\right)^2] \lg h_{BS} + \\ (43.42 - 3.1\lg h_{BS})(\lg d_{3D} - 3) + 20\lg f_c - \{3.2[\lg(11.75h_{UT})]^2 - 4.97\}$$

其中， f_c 为频率； d_{3D} 为基站天线到 UE 的距离； W 为平均街道宽度，取值范围为 5~50m； h 为建筑物平均高度，取值范围为 5~50m； h_{BS} 为天线绝对高度； h_{UT} 为接收机绝对高度。

7) InH 模型

(1) 定义。

InH 模型是 3GPP 36.873 和 3GPP 38.900 协议定义的传播模型，其应用频率为 0.5~100GHz，适用于基站覆盖半径为 3~150m 的室内微蜂窝，发射天线有效高度为 3~6m，接收天线有效高度为 1~2.5m。该模型分为 LOS 传播和 NLOS 传播。

(2) 传播损耗公式。

LOS 传播下的传播损耗（单位：dB）公式为

$$PL = 16.9\lg d_{3D} + 32.8 + 20\lg f_c$$

NLOS 传播下的传播损耗（单位：dB）公式为

$$PL = 43.3\lg d_{3D} + 11.5 + 20\lg f_c$$

其中， f_c 为频率； d_{3D} 为基站天线到 UE 的距离。

 思考

通用传播模型与其他场景使用的传播模型有何区别？

同一场景能否同时使用两种传播模型进行不同模拟预算？

3.2.2 抗衰落技术

当预测无线电波在各种复杂传播路径上的路径损耗时，衰落是降低通信系统性能的主要原因。因此，对抗衰落可以采用多种技术，常用技术为分集。

分集就是利用两条或多条传播路径传输相同信息，并对收信机的输出信号进行选择或合成，用以减轻信号衰落影响的一种技术。

常用的分集有空间分集、极化分集、时间分集、频率分集、角度分集。

1. 空间分集

空间分集采用主、分集天线接收信号的方法解决信号衰落快的问题。空间分集天线如图 3-7 所示。基站的接收机分别对主、分集天线收到的信号进行处理，接收的效果由主、分集天线接收的不相关性保证。不相关性是指主集天线收到的信号与分集天线收到的信号不具有相同的衰落特性。空间分集要求主、分集天线之间的水平间距大于 10 倍的无线信号波长；或者采用极化分集，保证主、分集天线收到的信号不具有相同的衰落特性。

2. 极化分集

极化分集采用双极化天线（一根天线内有两个极化方向，衰落特性互不相关的两条路径 A 和 B 最终被合并成一路信号）来解决信号衰落快的问题。极化分集天线如图 3-8 所示。极化分集与空间分集相比，可以节省安装空间。在图 3-8 中，“V+H”表示垂直和水平信号，“\”和“/”分别表示+45°和-45°信号。

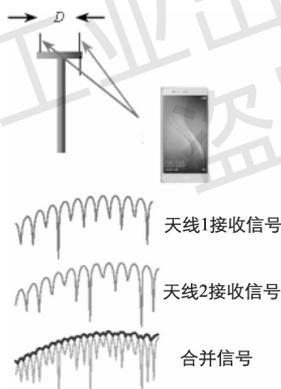


图 3-7 空间分集天线

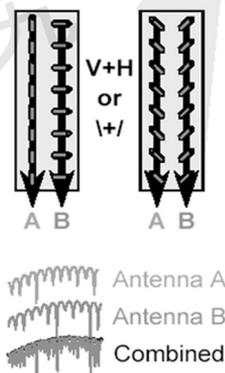


图 3-8 极化分集天线

3. 时间分集

时间分集采用符号交织、检错和纠错编码等方法来解决信号衰落快的问题。时间分集天线如图 3-9 所示。其中，不同编码所具备的抗衰落特性不一样。时间分集是当今移动通信广泛使用的技术之一。

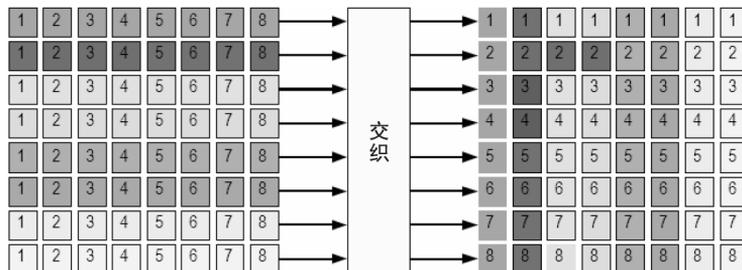


图 3-9 时间分集天线



(PPT) 抗衰落技术



(视频) MIMO 技术



(视频) 抗衰落技术

4. 频率分集

频率分集采用扩频方式来解决信号衰落快的问题。

频率分集所对应的理论基础：相关带宽，即当两个频率相隔一定间隔后，就可以认为它们的空间衰落特性是不相关的。当两个频率间隔大于 200kHz 时，移动通信频段就可获得这种不相关性。

5. 角度分集

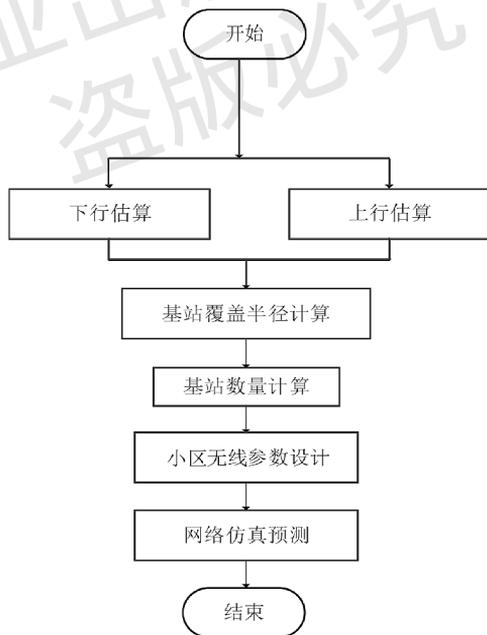
角度分集是指具有波束赋形功能的同一天线单元，其不同波束收发信号具有不相关性。

角度分集所对应的理论基础：由于地貌和建筑物等环境因素不同，不同路径到达接收机的信号可能来自不同方向。采用方向性天线可得到分集信号。

角度分集可通过智能天线实现。

3.2.3 覆盖规划流程

无线网络估算主要包括覆盖规划和容量规划。覆盖规划基于覆盖给出初始站点规模，信号从发射机到接收机，在传播的链路上会被放大（如天线增益）、衰减（如路径损耗）。其中，链路估算会额外考虑一些余量（如干扰余量、阴影衰落余量），最终的链路估算包括覆盖及容量平衡下初始站点的规模及配置。无线网络估算主要应用于网络预规划阶段，为技术交流、网络性能/规模评估提供参考，是无线网络建网前期的重要环节。基于预期的建网目标（如小区边缘速率、小区容量），计算同时满足覆盖、容量要求的小区半径，从而得到建网规模（如站点数）。5G 无线网络估算流程与 4G 相同。覆盖规划流程如图 3-10 所示。



(PPT) 覆盖估算

图 3-10 覆盖规划流程

拓展知识

覆盖规划流程中主要考虑以下方面。

- (1) 规划覆盖目标包括网络规划初期确立建网目标、覆盖范围、覆盖概率、室内覆盖程度。
- (2) 链路估算分上行、下行估算，业务信道和控制信道分别计算，并且需要考虑发射机、无线环境、接收机参数。

(3) 最大允许路径损耗分上行、下行最大允许路径损耗，业务信道和控制信道分别计算，取最小值（找瓶颈）。

(4) 覆盖半径。结合传播模型，由最大允许路径损耗求覆盖半径，并能得到基站覆盖范围。

(5) 基站数目是指规划覆盖面积与单基站覆盖面积之比。

3.2.4 上行估算和下行估算

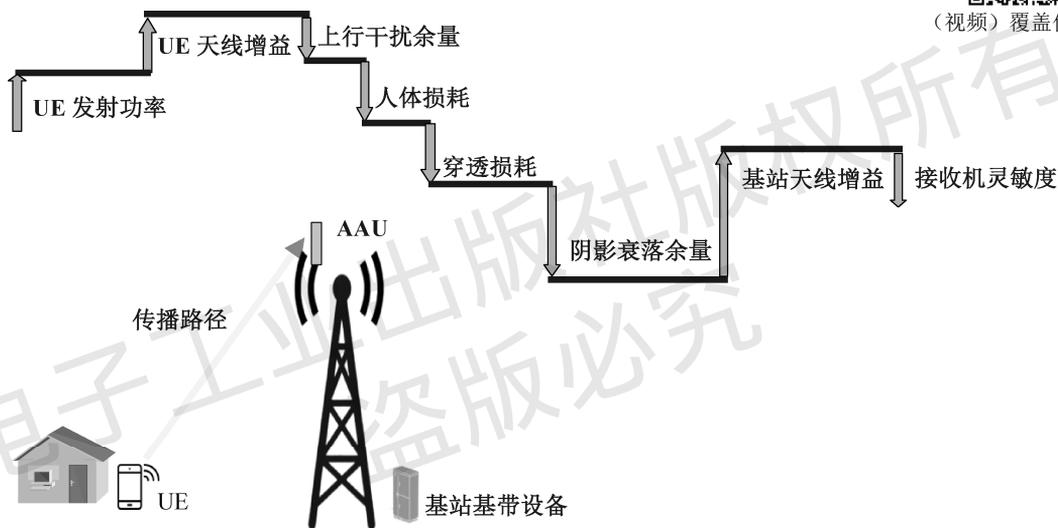
链路估算是通信系统用来评估网络覆盖的主要手段，通过对系统中上行信号和下行信号传播路径中的各种影响因素进行考察，对系统的覆盖能力进行评估，获得在保持一定通信质量下链路所允许的最大传播损耗，根据相应的传播模型可以计算出特定区域下的覆盖半径。

1. 上行估算和下行估算过程

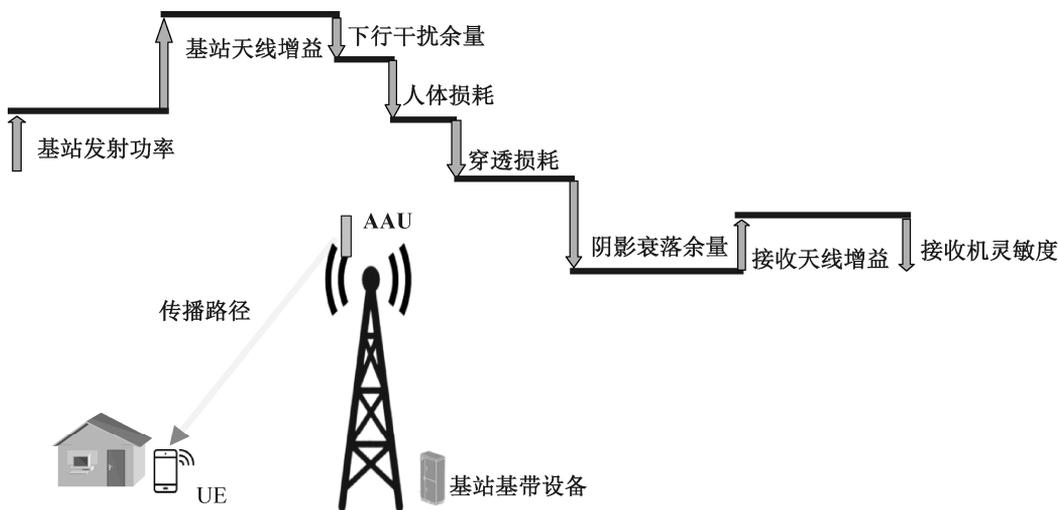
上行估算和下行估算过程如图 3-11 所示。



(视频) 覆盖估算



(a) 上行估算过程



(b) 下行估算过程

图 3-11 上行估算和下行估算过程

上行估算最大允许路损=终端发射功率+终端天线增益-上行干扰余量-人体损耗-穿透损耗-阴影衰落余量+接收天线增益-接收机灵敏度

下行估算最大允许路损=基站发射功率-10lg(子载波数量)+基站天线增益-下行干扰余量-人体损耗-穿透损耗-阴影衰落余量+接收天线增益-接收机灵敏度。

2. 链路估算影响因素

链路估算影响因素可以分为确定性因素和不确定性因素两大类。

1) 确定性因素

一旦产品形态及场景确定，相应的参数也就确定了，如功率、天线增益、噪声系数、解调门限、穿透损耗、人体损耗等。

(1) 下行等效全向辐射功率。

一个站点的发射功率通常被称为下行等效全向辐射功率。它从站点天线的角度反映发射功率水平。在 5G 系统中，使用 OFDM 进行资源分配。对不同带宽而言，接收灵敏度是不同的。所以在链路估算过程中，应该将单 RE 看作一个计算的统一标准。插入损耗是由各个接头带来的损耗，当采用 AAU (RRU 和天线一体化设备) 时，一般取 0dB，其余场景下一般取 3dB。下行等效全向辐射功率的计算公式如下。

下行等效全向辐射功率=基站每子载波发射功率+基站天线增益-线损-插入损耗

其中，基站每子载波发射功率=基站最大发射功率 (dBm) -10lg(子载波数)。以 100MHz、200W AAU 为例，每载波功率=53dBm-10lg(273×12)≈17.85dBm。

(2) 基站最大发射功率。

基站最大发射功率由 AAU/RRU 的型号及相关配置决定。典型配置下基站最大发射功率为 200W (53dBm)。

AAU5613 型号天线发射功率如表 3-7 所示。

表 3-7 AAU5613 型号天线发射功率

指标	3.5GHz	4.9GHz
频段	3.4~3.6GHz	4.8~5GHz
TRx	64T64R	64T64R
瞬时带宽/占用带宽	200MHz	200MHz
最大发射功率	200W	200W

(3) 天线增益。

由于 5G 采用 Massive MIMO 技术，因此天线增益通常为 10dB。波束赋形增益理论中 64 通道赋形天线下行可获得 18dB 的赋形增益。根据相关系统仿真与测试结果，天线增益一般取 15dB。

发射功率和单通道天线增益典型值如表 3-8 所示。

表 3-8 发射功率和单通道天线增益典型值

天线配置		基站最大发射功率/dBm	单通道天线增益/dBi	波束赋形增益/dB	电缆损耗/dB
频段/2.6GHz	64T64R AAU	53	10	14	0
	32T32R AAU	53	12	12	0
	16T16R AAU	53	15	9	0
	8T8R RRU	53.8	16	5	0.5
毫米波	4T4R	34	28	3	0

(4) 损耗。

① 馈线损耗。

馈线损耗包括馈线（或跳线）和接头损耗。

当 5G 采用 AAU 部署方式时，不需要考虑馈线损耗，当 5G 采用分布式基站时，从 RRU 到天线的一段馈线及相应的接头损耗通常取 1dB。馈线损耗和馈线长度、工作频带有关。馈线损耗数值如表 3-9 所示。

表 3-9 馈线损耗数值

基站线缆 类型	线缆尺寸 /英寸	基站馈线损耗 100m(dB)						
		700MHz	900MHz	1700MHz	1800MHz	2.1GHz	2.6GHz	3.5GHz
LDF4	1/2	6.009	6.855	9.744	10.058	10.961	12.09	14.29
FSJ4	1/2	9.683	11.101	16.027	16.57	18.137	20.118	24.11
AVA5	7/8	3.093	3.533	5.04	5.205	5.678	6.27	7.51
AL5	7/8	3.421	3.903	5.551	5.73	6.246	6.89	7.49
LDP6	5/4	2.285	2.627	3.825	3.958	4.342	4.828	5.526
AL7	13/8	2.037	2.333	3.36	3.472	3.798	4.208	5.238

② 人体损耗。

人体损耗是指 UE 离人体很近造成的信号阻塞和吸收引起的损耗。

语音业务的人体损耗取值为 3dB。数据业务以阅读、观看为主，UE 离人体较远，人体损耗取值为 0dB。相关测试结果表明，高频人体损耗与人和接收端、信号传播方向的相对位置及收发端高度差等因素相关，人体遮挡比例越大，损耗越严重，室外典型人体损耗约为 5dB。人体穿透损耗测试场景如图 3-12 所示。



图 3-12 人体穿透损耗测试场景

③ 穿透损耗。

穿透损耗是指当人在建筑物或车内打电话时，信号穿过建筑物或车体造成的损耗。

穿透损耗与建筑物结构和材料、电磁波入射角度、频率等因素有关，应根据目标覆盖区域实际情况确定。在实际商用网络建设中，穿透损耗余量一般由运营商统一指定，以保证各厂家规划结果可比较。

不同场景及频率下穿透损耗参考值如表 3-10 所示。

表 3-10 不同场景及频率下穿透损耗参考值

项目	900MHz	1800MHz	2.1GHz	2.3GHz	2.6GHz	3.5GHz	28GHz	39GHz
密集城区	18dB	19dB	20dB	20dB	20dB	26dB	38dB	41dB
普通城区	14dB	16dB	16dB	16dB	16dB	22dB	34dB	37dB
郊区	10dB	10dB	12dB	12dB	12dB	18dB	30dB	33dB
乡村	7dB	8dB	8dB	8dB	8dB	14dB	26dB	29dB

④ 植被损耗

对于低频段，植被较少密集城区的植被损耗可以不用考虑。

对于高频段，树木遮挡导致的衰减非常重要，植被较多区域建议取 17dB 作为典型植被损耗，具体值可根据场景实际情况进行选择。

28GHz 的不同场景中植被损耗如图 3-13 所示。

场景	场景示意	实测	典型值
一棵稀疏的树		5~10dB	8dB
一棵茂密的树		15dB	11dB (树中下部) 16dB (树冠)
两棵树 (一棵树的树梢+一棵树的树冠)		15~20dB	19dB
三棵树 (两棵树的树梢+一棵树的树冠)		20~25dB	24dB

图 3-13 28GHz 的不同场景中植被损耗

⑤ 雨衰损耗。

对于 Sub6G 频段、SUL (Supplementary Uplink, 辅助上行) 频段，不考虑雨衰损耗的影响。Above6G 高频段 (如 28GHz/39GHz 等)，在降雨比较充沛的雨区，当降雨量和传播距离达到一定值时，会带来额外的信号衰减，链路估算、网络规划设计需要考虑这部分影响。

根据实测结果，如果使用 28GHz 和 39GHz，且基站覆盖半径小于 500m，那么雨衰损耗取值为 1~2dB。

(5) 接收机灵敏度。

接收机灵敏度是指在分配的带宽下，不考虑外部的噪声或干扰，为满足业务质量要求而必需的最小接收信号电平。

接收机灵敏度=背景噪声+接收机噪声系数+要求的 SINR。

背景噪声即热噪声。热噪声是由传输媒质中电子的随机运动产生的。在通信系统中，电阻器及接收机产生的噪声均可以等效为热噪声。热噪声的功率谱密度在整个频率范围内都是均匀分布的，故其又称为白噪声。

接收机噪声系数是指当信号通过接收机时，由于接收机引入的噪声而使信噪比恶化的程度，在数值上等于基站放大器的输入信噪比与输出信噪比的比值，是评价放大器噪声性能好坏的指标，用 NF 表示。该值取决于各厂家基站或 UE 的性能。不同设备在不同频率下的噪声系数参考

值如表 3-11 所示。

表 3-11 不同设备在不同频率下的噪声系数参考值

项目	2.6GHz	3.5GHz	4.5GHz	28GHz	39GHz
基站	3dB	3.5dB	3.8dB	8.5dB	8.5dB
CPE	9dB	9dB	9dB	9dB	9dB
手机	7dB	7dB	7dB	10dB	10dB

(6) SINR。

SINR 的取值和很多因素有关，包括要求的小区边缘吞吐率和 BLER (Block Error Rate, 误块率)、MCS (Modulation and Coding Scheme, 编码调制方案)、资源块个数、上下行时隙配比 (TDD 模式)、信道模型、MIMO 的流数。人们结合这些因素通过一系列的仿真可以得出符合要求的 SINR。

2) 不确定性因素

链路估算还需要考虑一些不确定性因素的影响，如干扰余量、阴影衰落余量、雨雪影响等，这些因素不是随时随地都会发生的，应将其当作链路余量考虑。

(1) 干扰余量。

在进行链路估算时可通过干扰余量来补偿来自负载邻区的干扰。干扰余量针对背景噪声提出，和地物类型、站间距、发射功率、频率复用度有关。在 50% 邻区负载的情况下，干扰余量的一般取值为 3~4dB。

通常情况下，同一场景，站间距越小，干扰余量越大；邻区负载越高，干扰余量越大。

下行干扰余量模型如图 3-14 所示。在不同场景下，不同类型的基站在不同频率下的干扰余量如表 3-12 所示，其中 O2O 表示室内基站覆盖室内，室外基站覆盖室外；O2I 表示室外基站覆盖室内，室内基站覆盖室外。

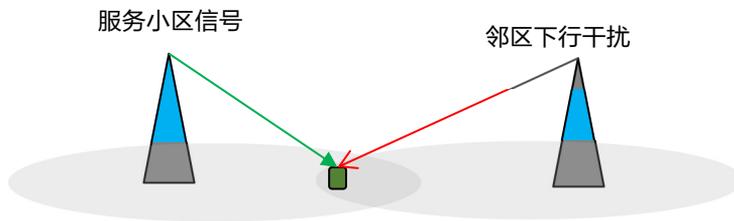


图 3-14 下行干扰余量模型

表 3-12 不同类型的基站在不同频率下的干扰余量

场景	O2O (频率为 3.5GHz)		O2I (频率为 3.5GHz)		O2O (频率为 28GHz)		O2I (频率为 28GHz)	
	上行干扰余量 /dB	下行干扰余量 /dB	上行干扰余量 /dB	下行干扰余量 /dB	上行干扰余量 /dB	下行干扰余量 /dB	上行干扰余量 /dB	下行干扰余量 /dB
密集城区	2	17	2	7	0.5	1	0.5	1
普通城区	2	15	2	6	0.5	1	0.5	1
郊区	2	13	2	4	0.5	1	0.5	1
乡村	1	10	1	2	0.5	1	0.5	1

 注意

表 3-12 的上、下行干扰余量基于下列假设。

- ① 3.5GHz 64T64R，连续组网。
- ② 28GHz 非连续组网：28GHz 频点的站点无法连续覆盖某一片区域。

(2) 阴影衰落余量。

阴影衰落符合正态分布。因为小区的理论边缘覆盖率只有 50%，所以人们为了满足小区需要的边缘覆盖率引入了额外的余量，称为阴影衰落余量。

阴影衰落标准差是从不同的簇类型获取的测量值，它代表距站点一定距离测得的 RF（无线射频）信号强度，该值在平均值周围呈对数正态分布。

典型场景的阴影衰落余量取值如表 3-13 所示。

表 3-13 典型场景的阴影衰落余量取值

名称	密集城区	普通城区	郊区	乡村
阴影衰落标准差	11.7dB	9.4dB	7.2dB	6.2dB
区域覆盖率	95%	95%	90%	90%
阴影衰落余量	9.4dB	8dB	2.8dB	1.8dB

 拓展知识

链路估算中相关参数的典型取值如表 3-14 所示。

表 3-14 链路估算中相关参数的典型取值

参数名称	类型	参数含义	典型取值
上下行时隙配比	公共	5G 支持灵活的上下行时隙配比	8 : 2
特殊时隙配比	公共	特殊时隙由下行符号、GP（保护间隔）和上行符号三部分组成，这三部分的时间比例等效为符号比例	10 : 2 : 2/6 : 4 : 4
系统带宽	公共	包括 5~100MHz	100MHz
		不同带宽对应不同的资源块个数	
人体损耗	公共	语音业务取值为 3dB，数据业务取值为 0dB（高频段需要考虑，中低频段忽略不计）	低频 0dB
终端天线增益	公共	UE 天线增益为 0dBi	0dBi
基站天线增益	公共	基站天线增益	18dBi
馈线损耗	公共	若采用 AAU，则不需要考虑馈线损耗，若 RRU 上塔，则只有跳线损耗	1~4dB
穿透损耗	公共	室内穿透损耗为建筑物紧挨外墙以外的平均信号强度与建筑物内部的平均信号强度之差，其结果包含了信号的穿透和绕射影响，和场景关系很大	10~30dB
植被损耗	公共	对于低频段，植被较少密集城区的植被损耗可以不用考虑；对于高频段，植被较多区域的植被损耗视场景选择	高频 17dB
雨衰损耗	公共	对于低频段，不需要考虑雨衰损耗；对于高频段，雨衰损耗视降雨量和基站覆盖半径选择	高频 1~2dB
阴影衰落标准差	公共	室内阴影衰落标准差的计算：假设室外路径损耗估计标准差为 X dB，穿透损耗估计标准差为 Y dB，则相应的室内用户路径损耗估计标准差 = $\sqrt{X^2 + Y^2}$	6~12

续表

参数名称	类型	参数含义	典型取值
边缘覆盖率	公共	小区边缘电平值大于门限的概率, 视运营商要求而定	90%
阴影衰落余量	公共	阴影衰落余量(dB)=边缘覆盖率×阴影衰落标准差(dB)	—
终端最大发射功率	上行	UE 的业务信道最大发射功率一般为额定总发射功率	23dBm/26dBm
接收机噪声系数	上行	基站放大器的输入信噪比与输出信噪比的比值	4dB
干扰余量	上行/下行	干扰余量随着负载增加而增加	—
基站发射功率	下行	基站总的发射功率(链路估算中通常指单天线), 下行 gNB 功率在全带宽上分配	53dBm

3.2.5 基站覆盖半径计算

由于大多数基站为全向辐射基站, 因此在计算基站覆盖面积前, 需要求得基站覆盖半径。因为基站覆盖半径主要由传播模型和最大路径损耗决定, 所以人们应该在进行网络规划过程中根据选择的传播模型及最大路径损耗值计算出基站覆盖半径, 以便进行后续基站建设工作。5G 传播模型的应用场景如表 3-15 所示, 其中常用的传播模型为 Uma 模型。



(视频) 基站覆盖半径计算



(PPT) 基站覆盖半径计算

表 3-15 5G 传播模型的应用场景

传播模型	应用场景
COST231-Hata 模型	频率范围: 1500~2000MHz 适用场景: 宏蜂窝组网 发射天线高度: 30~200m 接收天线高度: 1~10m
Uma 模型	频率范围: 0.5~100GHz 适用场景: 宏蜂窝组网 发射天线高度: 10~150m 接收天线高度: 1.5~22.5m
Umi 模型	频率范围: 0.5~100GHz 适用场景: 城市街道微蜂窝组网 发射天线高度: 10m 接收天线高度: 1~10m
Rma 模型	频率范围: 0.5~100GHz 适用场景: 宏蜂窝组网 发射天线高度: 10~150m 接收天线高度: 1~10m
SMP 模型	此模型由 DT 数据经模型校正后得到

以 Uma 模型的 NLOS 传播为例, 根据传播损耗公式可以得到 d_{3D} 公式如下。

$$\lg d_{3D} = \{ \text{最大允许路损} - 161.04 + 7.1 \times \lg W - 7.5 \times \lg h + [24.37 - 3.7 \times (h / h_{BS})^2] \times \lg h_{BS} - 20 \lg f_c + 3.2 \times (\lg 17.625)^2 - 4.97 + 0.6 \times (h_{UT} - 1.5) \} / (43.42 - 3.1 \times \lg h_{BS}) + 3$$

其中, f_c 为频率, d_{3D} 为基站天线到 UE 的距离, W 为平均街道宽度, h 为建筑物平均高度, h_{BS} 为天线绝对高度, h_{UT} 为接收机绝对高度。

根据上述公式, 可以得到 d_{3D} , 利用勾股定理, 可得出 d_{2D} , 即基站覆盖半径, 其平面示意图如图 3-15 所示。相应公式如下。

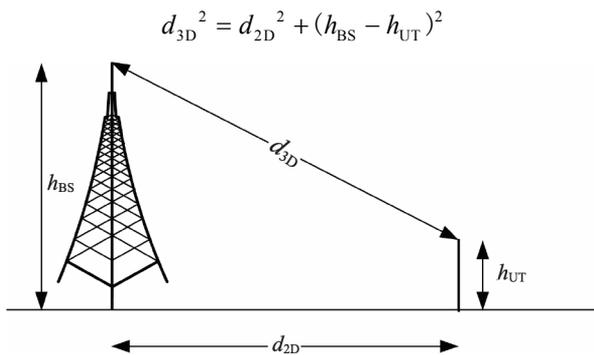


图 3-15 基站覆盖半径平面示意图

计算出基站覆盖半径后，人们应根据现场实际情况对其进行优化调整以满足用户需求。通过计算得出的基站覆盖半径只能作为实际建设工作过程中的指导数据。



(图片) 基站覆盖面积计算方式

3.2.6 基站数量评估

1. 基站覆盖面积

不同站型基站覆盖面积的计算方式不同。对于定向三扇区站点，假设基站覆盖半径为 R ，则站间距 $D=1.5R$ ，基站覆盖面积 $S=1.96R^2$ ，如图 3-16 所示。

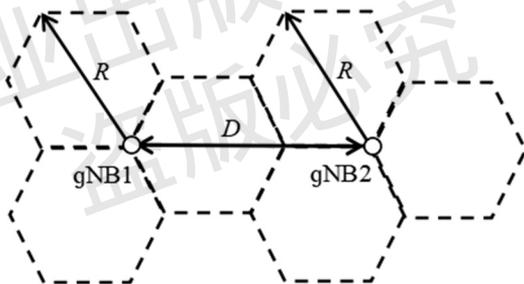


图 3-16 基站覆盖面积计算方式

2. 基站数量计算

假设某区域的面积为 M ，则该区域需要的基站数量 $N=M/(\lambda S)$ ，其中 S 为基站覆盖面积， λ 为扇区有效覆盖面积因子，一般为 0.8。

基站数量举例如表 3-16 所示。

表 3-16 基站数量举例

区域类型与覆盖要求	密集城区（三扇区）	城区（三扇区）	郊区（三扇区）
区域面积	36.95km ²	325.93km ²	236.68km ²
连续覆盖业务的基站覆盖半径	0.30km	0.52km	1.26km
连续覆盖业务的基站覆盖面积	0.18km ²	0.53km ²	3.11km ²
基站数量	257 个	769 个	96 个

思考

在面积 20km² 的城区，假设基站覆盖半径为 300m，则该区域基站数量和小区数量需要规划多少才能满足覆盖需求？

3.2.7 小区无线参数设计

在完成基站数量评估之后，进行网络仿真之前，需要对小区无线参数进行规划设计，主要内容包括 Massive MIMO 场景化波束设计、上下行时隙配比设计和 PCI 设计。

1. Massive MIMO 场景化波束设计

表 3-17 所示为 5G 支持的典型场景化波束配置。根据不同的覆盖场景选择不同的场景化波束配置，可以实现建网成本最低、覆盖最优的效果。

表 3-17 5G 支持的典型场景化波束配置

覆盖场景 ID	覆盖场景	场景介绍	水平 3dB 波宽	垂直 3dB 波宽	倾角 可调范围
场景 1	广场场景	非标准 3 扇区组网，适用于水平宽覆盖，水平覆盖比场景 2 大，比如广场场景和宽大建筑。近点覆盖比场景 2 略差	110°	6°	-2°~9°
场景 2	干扰场景	非标准 3 扇区组网，当邻区存在强干扰源时，可以收缩小区的水平覆盖范围，减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度最小，适用于低层覆盖	90°	6°	-2°~9°
场景 3			65°	6°	-2°~9°
场景 4			楼宇场景	低层楼宇，热点覆盖	45°
场景 5	25°	6°			-2°~9°
场景 6	中层覆盖广场场景	非标准 3 扇区组网，水平覆盖最大，且带中层覆盖的场景	110°	12°	0°~6°
场景 7	中层覆盖干扰场景	非标准 3 扇区组网，当邻区存在强干扰源时，可以收缩小区的水平覆盖范围，减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度相对于场景 1~场景 5 变大，适用于中层覆盖	90°	12°	0°~6°
场景 8			65°	12°	0°~6°
场景 9	中层楼宇场景	中层楼宇，热点覆盖	45°	12°	0°~6°
场景 10			25°	12°	0°~6°
场景 11			15°	12°	0°~6°
场景 12	广场+高层楼宇场景	非标准 3 扇区组网，水平覆盖最大，且带高层覆盖的场景。当需要广播信道体现数据信道的覆盖情况时，建议使用该场景	110°	25°	6°
场景 13	高层覆盖干扰场景	非标准 3 扇区组网，当邻区存在强干扰源时，可以收缩小区的水平覆盖范围，减少邻区干扰的影响。由于垂直覆盖角度最大，适用于高层覆盖	65°	25°	6°
场景 14	高层楼宇场景	高层楼宇，热点覆盖	45°	25°	6°
场景 15			25°	25°	6°
场景 16			15°	25°	6°

2. 上下行时隙配比设计

TDD (Time-Division Duplex, 时分双工) 系统需要设计上下行时隙配比。时隙配比定义了无线资源的上下行分配。FDD 系统不需要设计上下行时隙配比。5G 典型 (RAN2.1 版本) 的时隙配比主要有 2.5ms 单周期 4:1- DDDSU (Sub6G、Above6G); 2.5ms 双周期 7:3-DDDSUDDSUU (仅 Sub6G 支持); 5ms 单周期 8:2-DDDDDDDSUU (仅 Sub6G 支持)。其中, D 表示下行时隙; U 表示上行时隙; S 表示特殊时隙。

在实际应用中上下行时隙配比需要根据上下行业务需求统一规划。

3. PCI 设计

1) 定义

PCI 是 NR 小区的重要参数, 每个 NR 小区对应一个 PCI, 用于无线侧区分不同的小区。

2) 影响

PCI 会影响下行信号的同步、解调及切换。相邻小区不能分配相同的 PCI。若相邻小区分配了相同的 PCI, 则会导致 UE 在重叠覆盖区域无法检测到邻近小区, 影响切换、驻留。为 NR 小区分配合适的 PCI, 对 5G 无线网络的建设、维护有重要意义。

3) 组成

PCI 由辅同步码和主同步码组成, 辅同步码的取值范围为 0~335, 主同步码的取值范围为 {0,1,2}。PCI = 3×辅同步码+主同步码。PCI 的取值范围为 0~1007。

5G 的 PCI 无须考虑 PCI 模 3 干扰的问题, 实际取值根据网络组网情况进行规划。

3.2.8 网络覆盖仿真预测

在完成基站数量评估和小区无线参数设计后, 人们可以将站点信息和覆盖区域 3D 地图导入仿真软件中进行仿真预测。各地市传统的仿真软件各不相同, 这里不再举例说明。

人们根据仿真结果, 识别网络中弱覆盖区域后, 再次调整参数进行仿真预测, 直到仿真结果满足网络建设目标。

传统仿真结果如图 3-17 所示。

由于移动通信采用的频段为 300MHz~100GHz, 其波长与传播路径上的遮挡物 (如建筑物、山丘) 相比要小得多。电磁波的主要传播方式为直射、反射、衍射、散射。

5G 采用大量 Massive MIMO 天线, 在进行仿真预测时, 需要使用射线跟踪模型。



图 3-17 传统仿真结果

射线跟踪模型通过跟踪发射源在整个立体空间发射出的射线, 基于 UTD 和 GO 理论计算电磁波各种传播方式 (如反射、衍射、散射) 的影响, 找到发射点到接收点的有效路径, 并对所有

传播路径场强叠加确定接收点电平。

相对于传统仿真模型，射线跟踪模型具有精确的电磁波传播路径搜寻和反射、衍射能量计算能力，使得接收点电平预测准确性更高。

射线跟踪模型如图 3-18 所示。

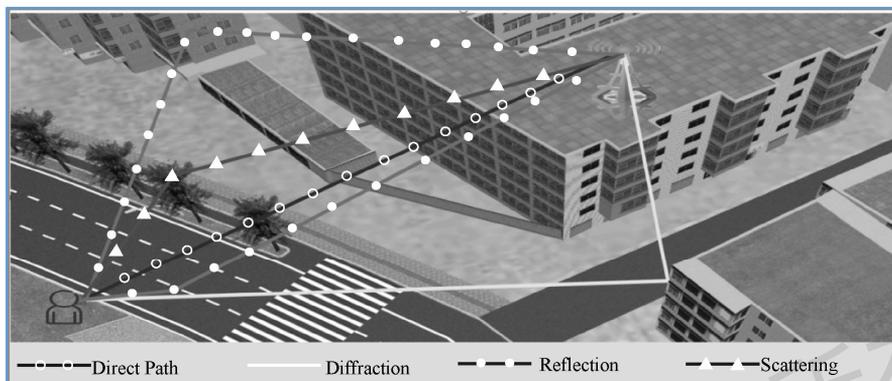


图 3-18 射线跟踪模型

【任务实施】

- (1) 扫描二维码“覆盖规划”，观看视频，了解 5G 网络覆盖规划的流程。
- (2) 学习者完成兴城市的覆盖规划，兴城市覆盖规划任务单见附录 A。
- (3) 引导学习者在制定计划的过程中，根据不同阶段的任务和个人的实际情况，分析执行过程中的确定性影响因素和不确定性影响因素，科学设定个人成长目标。

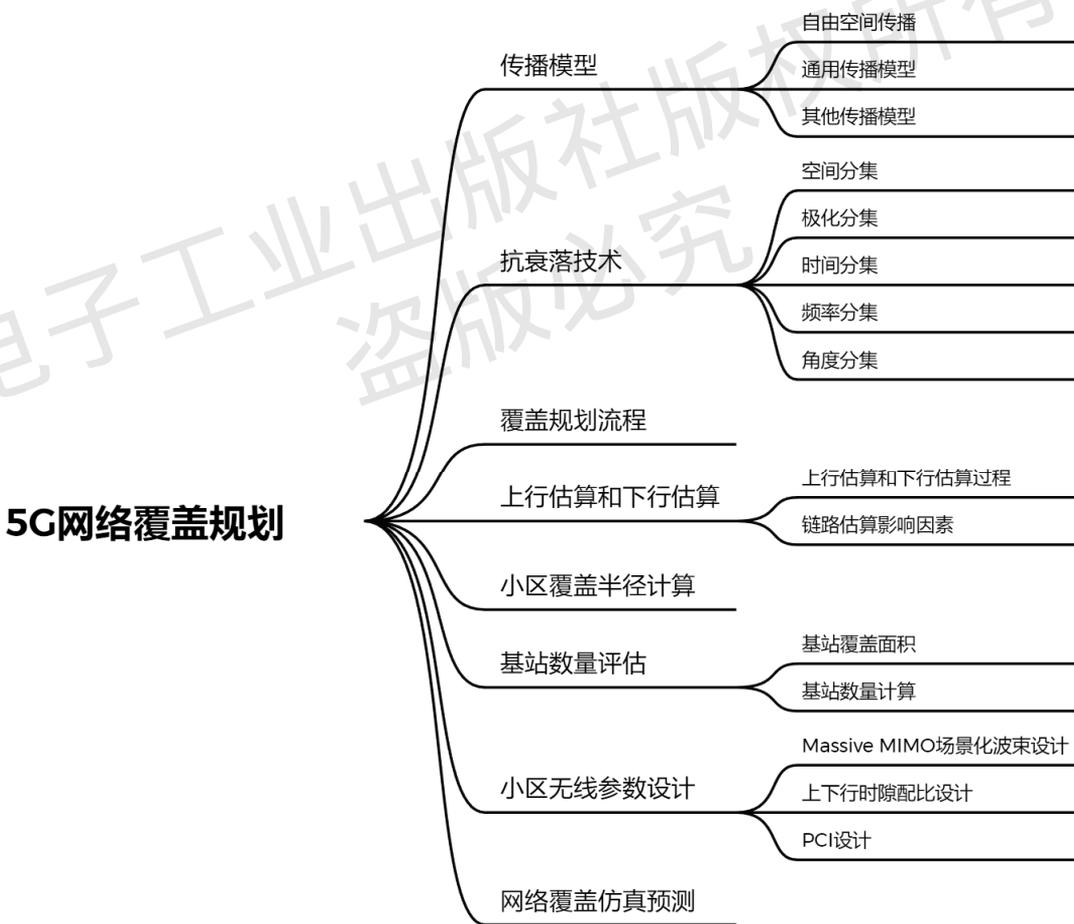
【任务评价】

任务点	考核点		
	初级	中级	高级
传播模型	熟悉传播模型的作用	(1) 了解传播模型的作用 (2) 了解不同传播模型的应用场景	(1) 掌握传播模型的作用 (2) 掌握不同传播模型的应用场景 (3) 了解不同传播模型的区别
抗衰落技术	熟悉分集的概念	(1) 了解分集的概念 (2) 了解抗衰落的不同技术	(1) 掌握分集的概念 (2) 掌握抗衰落的不同技术 (3) 了解抗衰落不同技术的原理
覆盖规划流程	熟悉覆盖规划的流程	(1) 了解覆盖规划的流程 (2) 了解覆盖规划的注意事项	(1) 掌握覆盖规划的流程 (2) 掌握覆盖规划的注意事项 (3) 课外查找一个覆盖规划的案例
上行估算和下行估算	熟悉上下行链路的概念	(1) 了解上下行链路的概念 (2) 了解上下行链路估算的影响因素	(1) 掌握上下行链路的概念 (2) 掌握上下行链路估算的影响因素 (3) 计算上下行链路损耗
基站数量评估	熟悉基站数量的计算公式	了解基站数量的计算公式	(1) 掌握基站数量的计算公式 (2) 根据已知条件，计算基站数量

续表

任务点	考核点		
	初级	中级	高级
小区无线参数设计	熟悉小区无线参数设计的内容	(1) 了解无线小区参数设计的内容 (2) 了解各参数设计的意义	(1) 掌握无线小区参数设计的内容 (2) 掌握各参数设计的意义 (3) 掌握各参数设计的方法
网络覆盖仿真预测	将站点信息和覆盖区域 3D 地图导入仿真软件, 观看仿真结果	(1) 将站点信息和覆盖区域 3D 地图导入仿真软件, 观看仿真结果 (2) 根据仿真结果, 识别网络中弱覆盖区域	(1) 将站点信息和覆盖区域 3D 地图导入仿真软件, 观看仿真结果 (2) 根据仿真结果, 识别网络中弱覆盖区域 (3) 再次调整参数进行仿真, 直到仿真结果满足网络建设目标

【任务小结】



【自我评测】

一、填空题

1. 链路估算的确定性因素包括_____、_____、_____，不确定性因素包



(文档) 自我评测答案

括_____、_____。

2. 常用的抗衰落技术有_____、_____、_____、频率分集、角度分集。

3. 移动通信网小区规划的基础是_____。

4. 5ms 单周期 8:2-DDDDDDDSUU (仅 Sub6G 支持), 其中 D 表示_____；U 表示_____；S 表示_____。

5. PCI 由辅同步码和主同步码组成, 辅同步码的取值范围为_____, 主同步码的取值范围为_____。

二、计算题

此处以 64T64R 的 AAU 为例进行相应链路估算。

(1) 频率以中国移动的 2.6GHz 为参考, 上下行时隙及特殊时隙配置: 5ms 帧结构, 时隙配比为 7:2 (DDDDDDDSUU), 特殊时隙配比为 6:4:4。

(2) 系统总带宽为 100MHz, 下行发射功率为 53dBm, 上行发射功率为 26dBm, 基站天线为 64T64R, UE 天线为 2T4R, 上行天线增益和下行天线增益分别为 25.5/28dBi。子载波间隔 SCS=30kHz, 资源块个数为 273, 子载波数=273×12=3276。

(3) 其他参数如下。

人体损耗: 2dB。

OTA (Over The Air, 空中损耗): 4dB。

阴影衰落余量: 8.3dB (按 95%的正态分布)。

穿透损耗: 15dB。

传播模型: Uma NLOS 模型或 SPM 模型。

计算该场景下的链路估算结果。

任务 3.3 5G 网络容量规划

【任务目标】

知识目标	(1) 掌握 5G 网络容量规划的流程 (2) 理解 UE 峰值速率的影响因素
技能目标	使用 Excel 完成给定区域的站点规模估算
素质目标	5G-A 的峰值速率最高可达 5G 的 10 倍, 科技创新带来美好生活, 学习者要不断学习技能, 突破自我, 担起建设科技强国的责任
重点难点	重点: 掌握 5G 网络容量规划的基本概念 难点: 分析 5G 网络容量规划的原理
学习方法	自主学习法、对比学习法、归纳学习法、合作学习法

【情境导入】

5G 三大业务场景分别为 eMBB、mMTC、uRLLC, 各业务场景的业务特征、覆盖场景、用户行为等相较于 4G 发生了很大的变化。根据 5G 协议制定的进度, 现阶段 R15 标准主要包含 eMBB 业务场景, R16 标准会包含 mMTC、uRLLC 业务场景, 但是容量规划的原理依然未发生较大的变化。



华为工程师访谈-5G 改变社会

【任务资讯】

3.3.1 5G 网络容量规划基本流程

5G 网络容量规划是指通过计算满足一定业务需求的无线资源占有数量，最终估算出所需要的载波配置和基站数量。5G 网络容量规划流程中估算的三要素为业务模型、无线资源占有数量和资源占有方式，也就是说 5G 网络容量规划的流程是在一定的业务模型下，按照一定的资源占有方式，求取无线资源占有数量，并满足一定容量能力的过程。

5G 网络容量规划的基本流程如图 3-19 所示。先通过区域内用户需求和业务模型分析得到该区域内业务总需求和单基站能力，再结合区域内业务总需求和单基站能力得到区域内基站总需求。所以，5G 网络容量规划主要是完成两部分的核算，即区域内业务总需求和单基站能力。

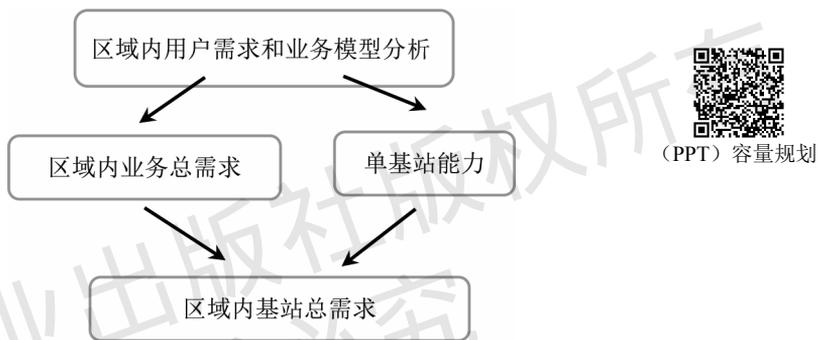


图 3-19 5G 网络容量规划的基本流程

3.3.2 区域内业务总需求

区域内业务总需求是指规划区域内用户的总业务需求，包括总吞吐量、总连接用户数和总激活用户数等。而一个区域的业务模型会直接影响该区域的总吞吐量。业务模型是在对用户使用网络可提供的各种业务频率、时长、承载速率进行统计的基础上得出的业务量模型。5G 网络承载的业务模型比 4G 网络广泛，需要根据各网络承载的业务模型进行增减，同时，业务模型与各运营商的业务发展策略及网络建设情况、用户的使用习惯、UE 成熟情况等有很大的关系，需要根据实际情况进行科学的统计、调整。区域内业务总需求计算公式如下所示。

上/下行区域忙时平均吞吐量=(上/下行单用户忙时速率×用户数×峰值转换系数)/1024

其中，用户数由该区域人口总数和手机渗透率决定，峰值转换系数一般取 0.6，单用户忙时速率通过该区域内单用户忙时各项吞吐量得到，其公式如下所示。

上/下行单用户忙时速率=(网页浏览单会话吞吐量+文件传输单会话吞吐量+电子邮件单会话吞吐量+P2P 文件共享单会话吞吐量+语音通话单会话吞吐量+视频电话单会话吞吐量+视频会议单会话吞吐量+流媒体单会话吞吐量+实时游戏单会话吞吐量)/3600 (各项吞吐量均是 1 小时内统计)

例 3.1 某区域为密集城区，常住人口 1036 万人，据运营商信息，本项目涉及的手机渗透率为 100%，运营商可使用的频段为 3.5GHz，可用的带宽为 100MHz。表 3-18 给出了该区域内单用户忙时各项上下行吞吐量，请分别计算该区域上下行忙时平均吞吐量（计算过程中的结果均保留两位小数）。

表 3-18 密集城区单用户忙时各项上下行吞吐量

业务类型	上行				下行				上行	下行
	激活速率 /Kbps	会话 时长/s	会话激活 比例	BLER	激活速率 /Kbps	会话 时长/s	会话激活 比例	BLER	单会话吞 吐量/Kb	单会话吞 吐量/Kb
网页浏览	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%	5684.5	22737.3
文件传输	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%	85266.7	454751.5
电子邮件	140.69	50	1	1%	750.34	45	1	1%	7105.6	11368.8
P2P 文件 共享	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%	303163.6	9095.03
语音通话	26.9	80	0.4	1%	26.9	80	0.4	1%	869.5	869.5
视频电话	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%	4421.3	4421.3
视频会议	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%	113690.9	113690.9
流媒体	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%	5683.6	864016.4
实时游戏	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%	11367.3	90952.7

解：下行单用户忙时速率=

$$(22737.3+454751.5+11368.8+9095.03+869.5+4421.3+113690.9+864016.4+90952.7)\div 3600 \approx 436.64$$

(Kbps)

上行单用户忙时速率=

$$(5684.5+85266.7+7105.6+303163.6+869.5+4421.3+113690.9+5683.6+11367.3)\div 3600 \approx 149.24$$

(Kbps)

区域忙时平均吞吐量（上行） $= (149.24 \times 10360000 \times 0.6) \div 1024 \approx 905933.44$ (Mbps)

区域忙时平均吞吐量（下行） $= (436.64 \times 10360000 \times 0.6) \div 1024 \approx 265054.25$ (Mbps)

3.3.3 单基站能力

单基站能力是指单基站所提供的容量，包括吞吐量、连接用户数和激活用户数。

5G NR 在继承了部分 LTE 原有技术的基础上，采用了技术演进和技术创新。例如，5G NR 继承了 LTE 的 OFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access，正交频分多址）和 SC-FDMA（Single-Carrier Frequency Division Multiple Access，单载波频分多址），但将 OFDM 升级为 F-OFDM；5G NR 继承了 LTE 的多天线技术，但 MIMO 天线的数目、用户容量及用户的流数比 LTE 更多。在调制技术上，5G NR 支持更高的调制方式 256QAM，同时在 LTE 的基础上进一步提升了系统带宽，当前支持的最大带宽为 400MHz，因此在速率方面，5G NR 比 LTE 要高的多。

1. 影响单基站容量因素

影响单基站容量的因素主要是频率带宽、Massive MIMO 和调制方式。

1) 频率带宽

根据香农公式可知信道容量与系统带宽和信噪比相关，系统带宽越宽，可携带的信息量越大。5G 使用频率可以分为低频 6GHz（FR1 频段）和毫米波段（FR2 频段），FR1 频段频率低，覆盖范围广，可以作为广覆盖频段，FR2 频段频率高，传播损耗较大，带宽较宽，可以

作为容量补充。

2) Massive MIMO

Massive MIMO 是 5G 的关键技术之一，对无线网络规划方法的影响也很大，将改变移动网络基于扇区级宽波束的传统网络规划方法。

Massive MIMO 不再是扇区级的固定宽波束，而是采用用户级的动态窄波束，以提升覆盖能力，同时，为了提升频谱效率，波束相关性较低的多个用户可以同时使用相同的频率资源，即虚拟 MIMO，从而提升网络容量。

Massive MIMO 的主要挑战是降低干扰，正是因为 Massive MIMO 每个天线阵列集成了更多的天线，所以如果能有效地控制这些天线，让它们发出的电磁波互相抵消或者增强，就可以形成一个很窄的波束，而不是全向发射，从而使有限的能量都集中在特定方向上传输，不仅使传输距离更远，还避免了信号的干扰。

3) 调制方式

随着现代通信技术的发展，特别是移动通信技术的高速发展，新的需求层出不穷，促使新的业务不断产生，因而导致频率资源越来越紧张。在有限的带宽里要传输大量的多媒体数据，频谱利用率成为当前至关重要的研究课题，由于该研究具有高频谱利用率、高功率谱密度等优势，因此其被移动通信广泛使用。

2. 单扇区吞吐量分析

UE 实际的峰值速率，除受到空中接口能力的约束外，还受到数据处理能力的约束。此外，TDD 空中接口还需要考虑上下行时隙配比。

单扇区上/下行平均吞吐量的计算公式如下所示。

单扇区上/下行平均吞吐量=子载波数量×调制阶数×MIMO×编码效率×(1-开销比例)×(上/下行符号数)÷1024÷1024×峰值转换系数

峰值转换系数一般取 0.6。

例 3.2 已知带宽为 100MHz，子载波间隔为 30kHz，帧格式为 5ms 单周期，结合表 3-19 给出的小区基站参数表，计算单扇区上/下行平均吞吐量。

表 3-19 小区基站参数表

参数名	上行取值	下行取值
最高阶调制方式	256QAM	256QAM
最大流数	2	4
上下行时隙配比	8:2	8:2
特殊时隙符号配比	6:4:4	6:4:4
最大资源块个数	273	273
控制开销比例	20%	20%
最大编码速率	92.5%	92.5%
峰值转换系数	0.6	0.6

解：1s 上行符号数=(2×14+4×1)×200=6400 (个)

1s 下行符号数=(7×14+6×1)×200=20800 (个)

单扇区上行平均吞吐量=273×12×8×2×0.925×(1-0.2)×6400÷1024÷1024×0.6≈142.05 (Mbps)

单扇区下行平均吞吐量=273×12×8×4×0.925×(1-0.2)×20800÷1024÷1024×0.6≈923.29 (Mbps)

3.3.4 区域内基站总需求

区域内基站总需求的确定分两步，第一步需要通过区域内业务总需求除以单扇区能力计算出总扇区数目，第二步因为一个基站有三个扇区，所以通过总扇区数目除以 3 估算该区域内基站数量。同时考虑到实际网络中的业务分布不均衡等因素，需要对相应的结构进行修正。区域内基站总需求估算公式如下所示。

$$\text{基站数量} = \text{上/下行区域忙时平均吞吐量} \div \text{单扇区上/下行平均吞吐量} \div 3$$

然而实际情况相对于上述步骤要复杂得多，因为同一区域不可能只有单一业务类型，如语音通话、视频通话、实时游戏等。因此，需要综合考虑各方面需求才能确定区域内基站总需求。而对于不同类型的设备，若设备型号不同，则小区上下行速率也不同，因此各种类型的设备需要配合使用才能满足区域内基站总需求。

【任务实施】

(1) 学习者完成武安市的容量规划，武安市容量规划任务单见附录 B。

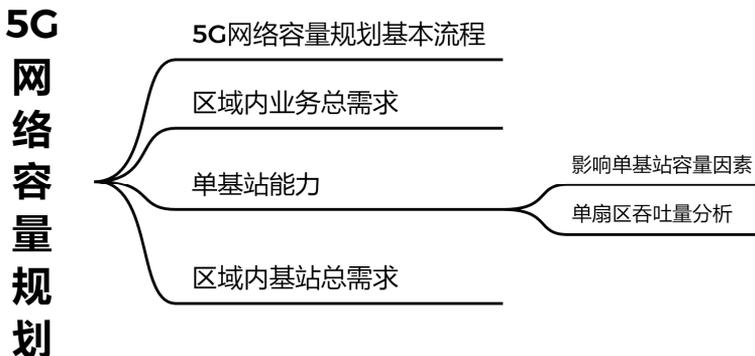
(2) 学习者分组讨论“UE 的峰值速率受到哪些因素影响”。

(3) 2024 年 4 月 24 日，中国移动西藏公司在珠穆朗玛峰区域开通首个 5G-A (5.5G) 基站，标志着世界最高峰区域迈入了 5G-A 时代。5G-A (5G-Advanced) 是增强型 5G，是 5G 迈向 6G 的技术演进。5G-A 的峰值速率最高可达 5G 的 10 倍，科技创新带来美好生活，学习者要不断学习技能，担起建设科技强国的责任，培养并树立学生的民族自豪感和行业自信心。

【任务评价】

任务点	考核点		
	初级	中级	高级
5G 网络容量规划基本流程	熟悉 5G 网络容量规划的基本流程	了解 5G 网络容量规划的基本流程	画出 5G 网络容量规划的基本流程
区域内业务总需求	熟悉区域内业务总需求的概念	(1) 了解区域内业务总需求的概念 (2) 了解区域内业务总需求的计算	(1) 掌握区域内业务总需求的概念 (2) 掌握区域内业务总需求的计算方法 (3) 掌握不同场景下区域内业务总需求的计算方法
单基站能力	熟悉影响单基站容量的因素	(1) 了解影响单基站容量的因素 (2) 学会单扇区吞吐量的分析方法	(1) 掌握影响单基站容量的因素 (2) 掌握单扇区吞吐量的分析方法 (3) 计算不同场景下单扇区的吞吐量
区域内基站总需求	熟悉区域内基站总需求估算公式	(1) 了解区域内基站总需求估算公式 (2) 了解区域内基站总需求确定步骤	(1) 掌握区域内基站总需求估算公式 (2) 掌握区域内基站总需求确定步骤 (3) 了解区域内基站总需求和区域内业务总需求及单基站能力的关系

【任务小结】



【自我评测】



(文档) 自我评测答案

一、选择题

- 下列 () 不属于影响单基站容量的因素。
 - 频率带宽
 - Massive MIMO
 - 调制方式
 - 基站站高
- 目前移动通信技术广泛使用的调制方式是 ()。
 - FSK
 - FM
 - QAM
 - AM

二、填空题

- 5G 网络容量规划主要是完成两部分的核算, 即_____和_____。
- 区域内业务总需求是指规划区域内用户的总业务需求, 包括_____、_____和_____等。
- Massive MIMO 不再是扇区级的固定宽波束, 而是采用用户级的_____, 以提升覆盖能力。

三、简答题

简述影响 gNB 容量规划的流程。

任务 3.4 5G 站点勘察

【任务目标】

知识目标	(1) 掌握 5G 站点勘察的工作流程 (2) 了解 5G 站点勘察的内容
技能目标	使用测试工具勘察身边的基站, 完成《站点勘察信息表》。参观基站机房, 现场绘制勘察草图
素质目标	教学人员通过 5G 站点勘察的工作流程, 把劳动教育融入教学过程中, 强化劳动和技能训练, 结合工作岗位任务, 进一步培养学习者的劳动情感、劳动观念和劳动能力, 为今后工作岗位要求奠定素质基础
重点难点	重点: 掌握 5G 站点勘察的工作流程 难点: 了解 5G 站点勘察的技术原理
学习方法	自主学习法、对比学习法、归纳学习法、合作学习法

【情境导入】

基站建设组网多采用混合分层网络,这样就可以保证 5G 网络的易管理、可扩展、高可靠性,能够满足基站的高速数据传输业务。同时由于 5G 主要实现数据业务传输,因此为了保证基站建设的良好性和完整性,基站需要适应高楼大厦、河流湖泊、山区峡谷的复杂应用环境。

【任务资讯】

无线网络勘察是对实际的无线传播环境进行实地勘察和观察,并进行相应数据采集、记录和确认工作。无线网络勘察的主要目的是获得无线传播环境情况、天线安装环境情况及其他共站系统情况,以提供给网络规划工程师、施工单位相应信息。

站点勘察是工程设计中的重要环节,勘察工程师需要按照理想站址实地察看,根据各种建站条件(如电源、传输、电磁背景、征地情况)将可能的站址记录下来,并综合其偏离理想站址的范围对将来小区分裂的影响、经济效益、覆盖区预测等各方面进行考虑,得出合适的建设方案,并取得基站工程设计中所需要的数据。

3.4.1 站点勘察

1. 站点勘察流程

站点勘察流程如下所示。

(1) 首先规划站点信息样表,表中包含站名、经纬度、站型、配置、网别、场景、覆盖目标等信息。

(2) 根据站点分布划分勘察小组,确定人员分配和车辆安排。根据工程进度要求的勘察完成时间,制订勘察计划。设计院每周统计汇报勘察进度。

(3) 各个小组准备好相关资料,根据勘察的原则和要求结合实地情况和建设条件,对站点信息进行细化并拟订基站建设方案。最终输出照片、选址信息表和草图并签字确认。

(4) 将拟订的基站建设方案展示出来,进行逐一评审。对于合理的站点标记为通过,对于存在疑问的站点进行调整或再选址。

(5) 拟订的基站建设方案通过评审后,将开始站址租赁工作。如果站址未租赁成功,那么可以在选址方案评审会中提出,会议审核修改解决方案或站点调整方案。

(6) 如果站址租赁成功,那么设计人员要去现场复核站址位置是否与原先拟定选址结果一致。设计人员根据站址的偏离度、设备和天线支撑物的安装类型、天线安装高度、估计建成后的覆盖效果等多方面因素,综合考虑站址是否满足规划的要求。对于满足要求的站址可以进行出图详勘,否则现场调整原先拟订的基站建设方案,由租赁人员继续租赁。

(7) 设计人员与租赁人员同去现场进行设计详勘。设计人员出图详勘时,要符合相应原则和规范。最终输出勘察表格和图纸。

(8) 对设计方案进行审核,主要审核方案的可实施性和方案的覆盖效果。

(9) 若设计方案审核不通过,则反馈给设计人员使其对方案进行修改,必要时再次进行现场出图勘察。

(10) 若设计方案审核通过,则进入建设施工流程。

(11) 对站点勘察相关信息进行整理并录入设计院勘察信息管理系统。

站点勘察流程如图 3-20 所示。



(PPT) 站点勘察

2. 站点勘察内容

站点勘察内容包括新建站勘察、扩容站勘察、搬迁站勘察。

1) 新建站勘察

新建站勘察包括选址勘察、已确定站址勘察。

勘察工程师在新建站勘察时应该确定基站实际位置及候选位置、站型和铁塔种类。

2) 扩容站勘察和搬迁站勘察

扩容站勘察应重点考虑是否增加机柜及是否整合天线。

搬迁站勘察：原有基站搬迁情况要考虑的事情多一些，如要考虑天馈变化、电源配置和机房产权等。

站点勘察内容如图 3-21 所示。

3. 站点勘察准备

1) 设备、工具和仪器的准备

在站点勘察中使用到的设备、工具和仪器包括便携电脑（电子地图）、数码相机、指北针、GPS 接收机、相关移动通信网络手机（有简单测试功能）、卷尺、望远镜（推荐）、便携测试设备（推荐）。确保每个设备都能正常工作，设备的电池电量充足，对设备的操作要熟练。

(1) 使用数码相机对环境拍照时应尽量站在同一地点拍摄。第一张照片从正北方向拍摄，以顺时针为方向，每隔 45° 视角拍摄一张，共计 8 张环境照片。

(2) 当发现站点周边有物体遮挡、其他运营商的天线或干扰源时，也要用数码相机单独拍摄记录。

(3) 阴雨天气要注意草图和数码相机，尽量不要沾上水。



(视频) 站点勘察

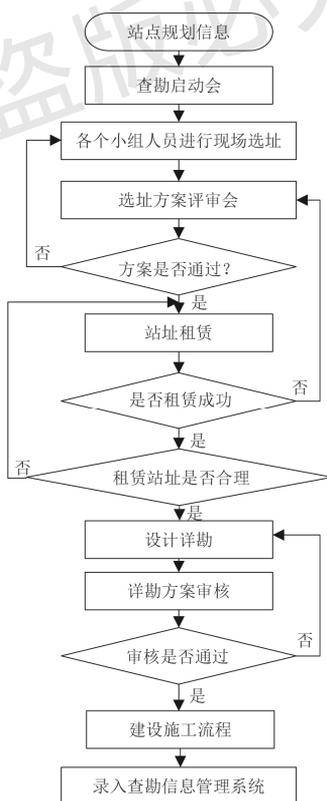


图 3-20 站点勘察流程

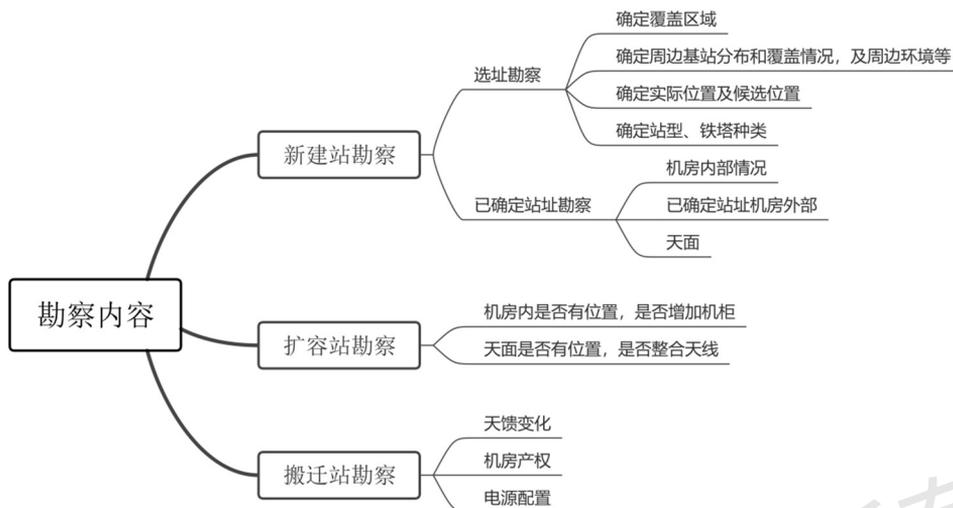


图 3-21 站点勘察内容

(4) 在使用 GPS 接收机时，要在较为空旷的位置并保证上空 5m 范围内无遮挡。在 GPS 接收机搜索定位的过程中，经纬度变化较大，此时记录不够准确，待等到精确定位误差在 5m 内方可记录经纬度。GPS 的制式设置为 WGS84 的格式，记录经纬度时采用整数加小数（单位：度）的方式，即 $\times\times\times.\times\times\times\times\times^\circ$ ，应保证小数点后为 6 位有效数字。

(5) 指北针除能测量方向外，还能测量坡度。根据反三角函数，由距离和夹角可以推算出建筑物或铁塔的高度。

(6) 由于指北针中的指针是磁性物质，因此在使用过程中读取数据时不要靠近铁物质也不要再在电磁场较复杂的地方测量数据，否则会引起较大的偏差。

2) 电脑端及手机端软件的准备

(1) 电脑端相关软件的使用。

- ① 熟练操作相关地图软件，如谷歌地球等。
- ② 熟练操作相关绘图软件，如中望 CAD、Visio 等。
- ③ 熟练使用基站勘察系统管理平台。

电脑端常用软件如图 3-22 所示。



图 3-22 电脑端常用软件

(2) 手机端相关软件。网优百宝箱如图 3-23 (a) 所示, 测速软件如图 3-23 (b) 所示, 奥维地图如图 3-23 (c) 所示。

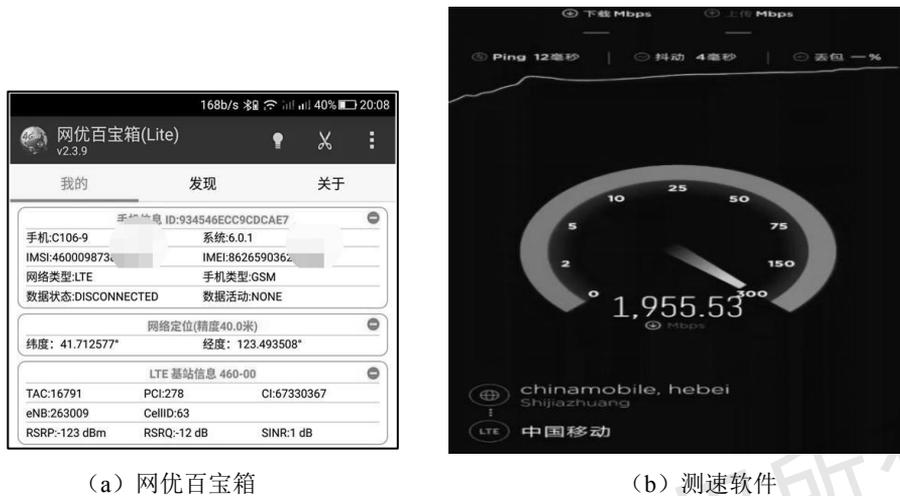


图 3-23 手机端相关软件

3) 材料的准备

(1) 了解相关人员联系方式, 如甲方项目负责人、运维人员、机房联系人 (有人值守机房) 的联系方式, 以便随时上报站点勘察过程中出现的问题。

(2) 掌握相关的设备信息。

- ① 设备尺寸: 宽、长、高。
- ② 设备重量: 满配重量。
- ③ 电源要求: 新增设备的供电类型 (交/直流)、供电路数、功耗 (电流)、熔断器/空气开关要求。

④ 设备面板: 涉及的与外部设备连接端口位置及数量信息。

(3) 图纸、资料。

对于现有机房，有机房图纸的要搜集机房平面图、网络拓扑图、设备面板图，并带好勘察纪要、勘察记录单。

(4) 全面了解工程概况。

工程概况包括工程情况、网络现状、本期建设规模等，做到心中有数。

(5) 掌握现有基站的信息。

现有基站的信息包括基站编号、基站名称、基站经纬度、基站配置、基站位置等。

(6) 地图资料。

地图资料包括勘察地区的地图册、MapInfo 格式的电子图等。

 注意：

在对站点进行勘察前不仅要以上材料准备齐全，还应通过分析已有材料，结合站点地理(如交通、地貌)情况，做出一个初步勘察计划(如人员安排、车辆安排)；到达站点后，结合局方意见再进一步修改勘察计划，做到有计划、有条理地完成勘察任务。

4) 站点勘察启动会

在对站点进行正式开始勘察前，所有相关人员应召开站点勘察启动会，会议内容主要包括以下几个方面。

(1) 勘察及配合人员落实。

(2) 车辆、设备准备。

(3) 制订勘察计划，确定勘察路线，如果需要勘察的站点比较多，可将人员划分成多组，同时进行勘察。

(4) 如果站点勘察涉及非运营商的楼宇或铁塔，那么需要向运营商确认是否可以到达楼宇天面或铁塔。

(5) 同运营商进行充分沟通后，确认运营商在本站址覆盖范围内的重点覆盖区域，勘察前应明确这些重点覆盖区域的电磁背景情况，必要时可进行电磁背景测试。

3.4.2 站点勘察原则



勘察工程师应根据现场调查工程施工因素判断该站址是否满足工程 (PPT) 站点勘察原则施工条件、是否符合通信工艺规范要求。站点选址示例一、二分别如图 3-24 和图 3-25 所示。



图 3-24 站点选址示例一

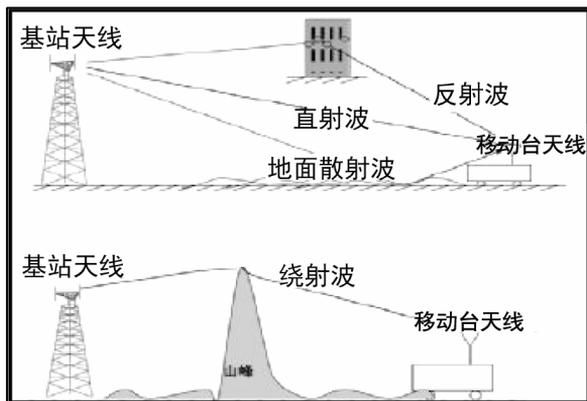


图 3-25 站点选址示例二

1. 满足运营商位置需求

站址勘察原则上应与运营商输出的经纬度一致。站址勘察的偏离度应满足“1235原则”，即密集城区 100m、普通城区 200m、郊区 300m、乡村 500m 内的区域（可根据业务需求、周边站间距等情况进行适当调整）。

2. 满足天线挂高要求

基站天线的可架设高度应满足运营商输出的天线挂高要求。一般来说，城区天线挂高应尽量比周围建筑物高 3~15m，以满足本小区覆盖和越区覆盖控制要求。

天线安装支撑物（如抱杆、塔台）应选择合理位置，确保天线主瓣方向 100m 内无明显阻挡。尤其应注意避免与其他网络抱杆天线产生交叉阻挡或对打。

3. 满足无线传播环境、干扰等要求

（1）新增室外站站址宜设在交通便利、供电可靠的位置；不宜设在大功率无线发射台、大功率电视发射台、大功率雷达站、有电焊设备、X 光设备、产生强脉冲干扰的热合机、高频炉的企业或医疗单位附近。

（2）站址不宜设在易燃、易爆的仓库和材料堆积场，以及在生产过程中容易发生火灾和爆炸危险的工业企业附近。

（3）站址不宜设在在生产过程中散发烟雾、粉尘、有害物质的工业企业附近。

（4）严禁将站址设在矿山开采区和易受洪水淹灌、易塌方的位置。

（5）在高压线附近设站时，铁塔与高压线间的距离必须在自身塔高以上，机房高度应在 20m 以上。

（6）在站址选择和天线安装支撑物的建设中，应充分考虑不同通信系统间的干扰因素，在满足高度要求的同时保证各频段天线间的干扰隔离要求。

4. 满足站址稳定性需求

站址位置尽量避开即将拆迁的道路、村庄等区域，如果确实需要在该区域建设站址，那么需要综合考量站址的经济性和必要性，在保证投入收益比的前提下尽量长久地维系站址稳定。

5. 其他要求

（1）当站址需要设在飞机场附近时，其天线高度应符合机场净空高度要求。

(2) 当站址需要设在道路附近时, 注意避让一些安全级别较高的、封闭性交通干线, 如高速公路、普通铁路、高速铁路、城际铁路, 至少与这些交通干线的垂直距离保持在安全范围内(塔总高度加避雷针和冗余距离)。

(3) 当站址设在现有楼房等建筑物顶时, 此类建筑物应符合安全防火、抗震等有关规定。

(4) 站址的选择要以解决覆盖目标为原则。按照规划方案设置站址。如果站址实际规划不合适, 可以考虑适当偏移, 但应保证原覆盖目标的覆盖效果。

(5) 为避免基站信号在发射方向上被阻挡。站址应设在周围比较开阔、无障碍阻挡的位置。

(6) 站址的选择要以节约为原则。尽量利用原有机房、建筑物、铁塔、电源、基站等已有资源, 使站址建设效益达到最优。

(7) 站址选择要考虑噪声、电磁辐射等对周边活动人群的影响。避免在小学、中学、医院、政府机关单位、军事管制区域等敏感内建设。

(8) 站址的建设不能破坏当地文物、自然水系、湿地、基本农田、森林和其他保护区的原貌。

拓展知识

铁塔选址要求如表 3-20 所示。

表 3-20 铁塔选址要求

序号	场景分类		建设方案	站间距/m	最低天线高度/m	天线层数	平均每层高度/m	通信杆高度/m
1	密集城区/普通城区	中低层居民区等	传统通信杆、3层平台	300	25	3	5	35
			美化通信杆、6层天线	300	25	6	1.7	35
		商业街、城市广场、公园等	美化通信杆、6层天线	600	15	6	1.7	25
		城市快速路	美化通信杆、6层天线	1000	20	6	1.7	30
2	郊区	市郊大型楼盘	美化通信杆、3层平台	1000	30~40	3	5	40~50
		开发区	美化通信杆、3层平台	1000	35	3	5	45
		市郊居民区/普通乡镇区	传统通信杆、3层平台	1000	35	3	5	45
3	道路	高速铁路	传统通信杆、3层平台	1200	35	3	5	45
		高速公路/国道/省道/客运铁路等	传统通信杆、3层平台	—	25~35	3	5	45
4	旅游区	景区	美化通信杆、3层平台	—	20~30	3	5	30~40

续表

序号	场景分类		建设方案	站间距/m	最低天线高度/m	天线层数	平均每层高度/m	通信杆高度/m
5	乡村	平原	传统通信杆、3层平台	2000	25	3	5	35
			传统通信杆、3层平台	大于2000以上	35	3	5	45
		丘陵/山区	传统通信杆、3层平台	—	15~35	3	5	25~45

机房建设要求如表 3-21 所示。

表 3-21 机房建设要求

序号	典型场景	优先建设方案	推荐面积/m ²
1	征地或租用费用合理，可长期稳定占用；客户装机位置和负荷大；有防盗要求、高风压、温差大的场景	土建机房	15~25
2	征地或租用费用合理，有潜在拆、移、改、扩需要；需在建筑物楼面建设；客户装机位置和负荷大；建设周期短的场景	彩钢板机房	10~20
3	中心城区、绿化带、景区、路边等征地建设困难或建设周期短的区域，需在建筑物楼面建设，客户装机位置和负荷较小，建设周期短的场景	一体化机房	5~15
4	中心城区、绿化带、景区、路边等征地建设困难或租期短，客户装机位置和负荷小，建设周期短的场景	室外机柜	—
5	城区、县城区等不具备自建机房条件，但有可利用建筑物的场景	租赁机房	15~20

3.4.3 天馈系统勘察原则

1. 天线基础原则

针对不同的覆盖区域类型、网络结构、建筑物平均高度确定基站天线（PPT）天馈系统勘察原则挂高。当某些山区由于地形的原因需要把基站建在山上时，要注意尽量选用定向天线或带电子下倾角的全向天线，避免一般全向天线带来的“灯下黑”现象。

基站天线有全向和定向之分，这是针对水平面内的方向性而言的。在垂直面内都是有方向性的天线。全向天线的增益一般为 6~9dBi；定向天线的增益一般为 9~16dBi。定向天线的增益是指在最大发射方向上的增益。一般在平原地区的山村、某种特殊地形建设的基站采用全向天线，在其他区域建设的基站基本上采用定向天线。



在用户密集城区，基站（不包括微蜂窝和室内分布式天线系统）一般采用 65° 定向天线，为避免互相干扰，天线增益不需要太高。在用户分布较集中且较少的普通城区，需要广覆盖的基站一般采用高增益的定向天线，并且需要合理设计天线的方位角和下倾角（电子下倾角或机械下倾角）。

天线性能指标如图 3-26 所示。



(视频) 天线的原理

(视频) 天线极化

图 3-26 天线性能指标

2. 避免干扰原则

为确保网络设计结构的规范性，最大可能地避开干扰，建议局部区域内各基站各扇区的天线方向保持一致，如都按照 $0^\circ/120^\circ/240^\circ$ 或 $30^\circ/150^\circ/270^\circ$ 来设计。但在海、河流、交通干线、城郊接合附近的基站，话务量不均衡的区域，高楼林立的城区，天线的朝向都需要做相应的调整。在大中城市中，不少街道两旁都有高大建筑物，为避免波导效应，附近基站的天线不能正对街道安装。

天线倾角根据具体情况确定，既要降低对同频小区的干扰，又要保证满足覆盖区域的范围，以免出现不必要的盲区；天线倾角过大时，必须考虑天线的前后辐射比，避免天线的后瓣对背后小区产生干扰或天线旁瓣对相邻扇区产生干扰。离水面较近的小区设计较大的天线倾角，防止对对岸产生干扰。

根据具体情况选择合适的馈线、合路器和塔放单元。

当信号在规则楼房的街道传播时，以反射方式行进，我们称之为“波导效应”。

3. 天线挂高原则

天线采用不同的架设方式就意味着天线的挂高不同，它与各自应用的场景和覆盖区域周围的建筑物的高度有关。

- (1) 应至少比周围主要建筑物高 $5\sim 15\text{m}$ 。
- (2) 同一基站不同小区的天线允许有不同的高度。
- (3) 对于地势较平坦的城区，天线挂高一般为 $25\sim 30\text{m}$ 。
- (4) 对于郊区的基站，天线挂高一般为 $40\sim 50\text{m}$ 。
- (5) 孤站高度不要超过 70m 。
- (6) 挂高不宜过高，否则易形成“塔下黑”。
- (7) 避免形成越区覆盖、同/邻频干扰等问题。
- (8) 一般天线挂高低于 15m 的属于超低站，高于 50m 的属于超基站。

4. 天线方位角原则

- (1) 尽可能保证城区各基站的三扇区方位角一致。
- (2) 天线的主瓣方向指向高话务密集区。
- (3) 相邻扇区交叉覆盖的深度不能太深，同基站相邻扇区天线方向夹角不宜小于 90° 。

(视频) 天线方向图

- (4) 天线主瓣避免正对反射性较强的建筑物。
- (5) 考虑磁偏角的影响, 以确定实际的天线方位角。
- (6) 天线主瓣覆盖方向 100m 内应无阻挡。
- (7) 为防止越区覆盖, 密集城区应避免天线主瓣正对较直的街道。



(视频) 天线倾角

5. 天线下倾角原则

- (1) 运用天线下倾技术可有效控制小区覆盖范围, 降低系统内干扰。
- (2) 天线下倾角必须根据具体情况确定, 达到既能降低相邻小区之间的干扰, 又能保证满足覆盖要求的目的。

(3) 天线下倾角的设计需要综合考虑基站发射功率、天线高度、小区覆盖范围、无线传播环境等因素。

不同场景下的天线下倾角规划如下。

(1) 密集城区天线下倾角规划。

当站高大于 25m 时, 建议采用内置 9° 电下倾天线, 机械下倾角根据周边站间距调整; 当站间距大于 200m 时, 总天线下倾角控制在 12° 左右; 当站间距小于 200m 时, 总天线下倾角控制在 $12^\circ \sim 15^\circ$ 。

当站高小于 25m 且站间距大于 200m 时, 建议采用内置 6° 电下倾天线, 总天线下倾角控制在 10° 以内; 当站间距小于 200m 时, 建议采用内置 6° 电下倾天线, 总天线下倾角控制在 $12^\circ \sim 14^\circ$ 。

(2) 郊区或城镇天线下倾角规划。

当站间距为 500~700m、站高小于 30m 时, 建议采用内置 3° 下倾角天线, 机械下倾角为 3° 。当站高小于 20m 时, 建议采用内置 $3^\circ/0^\circ$ 下倾角天线, 总天线下倾角控制在 $4^\circ \sim 6^\circ$ 。

当站间距为 1~2km 或更大时, 不考虑站高, 建议采用内置 0° 下倾角天线, 总天线下倾角控制在 4° 以内。



(视频) 天线增益

6. 天线波宽和增益选择

由于城区基站分布较密, 要求单基站覆盖范围小, 希望尽量减少越区覆盖的现象, 降低基站之间的干扰, 提高小区资源利用率, 原则上对天线有以下要求。

(1) 天线水平面半功率波束宽度的选择。

由于城区基站分布数量一般较多, 重叠覆盖和邻区干扰成为网络中一个很严重的问题, 因此为了减少相邻扇区的重叠区, 降低基站之间的干扰, 天线水平面半功率波束宽度应该小一些, 通常选用水平面半功率波束宽度为 65° 的天线, 一般不采用 90° 以上的天线。

(2) 天线增益的选择。

由于城区基站一般不要求大范围的覆盖距离, 因此建议选用中等增益的天线, 这样天线垂直面波束可以变宽, 以增强覆盖区域内的覆盖效果。同时天线的体积和重量可以变小, 有利于安装和降低成本。

建议城区天线增益选用 15dBi (900MHz)、15~18dBi (1800MHz)。如果要求城区边缘的基站覆盖距离较远, 可选择较高增益的天线, 如 17dBi、18dBi。

原则上, 在城区设计基站时, 应当选择具有固定电下倾角的天线, 天线下倾角的大小根据具体情况而定 (建议选 $6^\circ \sim 9^\circ$)。

7. 天线隔离度

为了降低成本、缩短建设周期，目前基站都采用共站址建设。如果不同通信系统基站之间主要存在杂散干扰、阻塞干扰的问题，那么就需要满足基本的天线隔离度。不同通信系统间的水平隔离度要求如表 3-22 所示。不同通信系统间的垂直隔离度要求如表 3-23 所示。

表 3-22 不同通信系统间的水平隔离度要求

单位：米

系统名称	GSM1 800 旧	GSM1 800 新	CDMA 1X/EV DO	UMTS 900	UMT S2100	TD- SCDMA(2 GHz、 2.3GHz)	LTE EDD (1.8GHz)	LTE FDD (2.1GHz)	TD-LTE (1.9GHz)	TD- LTE(2.6GHz、 2.3GHz)
GSM900 (旧基站 TS05.05)	1.7	0.7	8.47	1.51	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
GSM900 (新基站 TS45.005)	1.7	0.4	8.47	0.85	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
GSM1800 (旧基站 TS05.05)	—	—	0.4	1.7	1.7	59.7/3.8	2.4	2.4	59.7/3.8	2.4
GSM1800 (新基站 TS45.005)	—	—	0.4	0.4	0.4	59.7/3.8	0.4	0.4	59.7/3.8	0.4
CDMA1X/EVDO	—	—	—	0.85	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
UMTS900	—	—	—	—	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
UMTS2100	—	—	—	—	—	0.4	0.4	0.4	3.8 168.3/ 21.2	0.4
TD-SCDMA (2GHz、 2.3 GHz)	—	—	—	—	—	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
TD-SCDMA (1.9GHz)	—	—	—	—	—	—	3.8 67/ 21.2	0.4	0.4	0.4
LTE FDD (1.8GHz)	—	—	—	—	—	—	—	0.4	3.8	0.4
LTE FDD (2.1GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	3.8	0.4
TD-LTE (1.9GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4
TD-LTE (2.6GHz、 2.3GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
备注 说明	3.8 168.3/21.2	对于 2014 年之前的 WCDMA 旧设备，隔离距离需要 168 米，实际上估计需要 21.2 米；对于 2014 年以后的新设备，隔离距离需要 3.8 米								
	59.7/3.8	按照标准计算 DCS 与 F 频段需要 59.72 米的隔离距离，但实际情况可能需要的隔离距离相对较小，估计需要 3.8 米								
	3.8 67/21.2	对于 2012 年之前的中兴、大唐旧设备，隔离距离需要 67 米，实际上估计需要 21.2 米；对于 2012 年以后的新设备，隔离距离只需要 3.8 米								

表 3-23 不同通信系统间的垂直隔离度要求

单位：米

系统名称	GSM 1800 旧	GSM 1800 新	CDMA 1X/ EVDO	UMT S900	UMT S2100	TD- SCDMA(2GHz、 2.3GHz)	TD-SCDMA (1.9GHz)	LTE FDD (1.8GHz)	LTE FDD (2.1GHz)	TD-LTE (1.9GHz)	TD-LTE (2.6GHz、 2.3GHz)
GSM900 (旧基 站 TS05.05)	0.36	0.22	1.20	0.5	0.22	0.22	0.22	0.27	0.27	0.27	0.27
GSM900 (新基 站 TS45.005)	0.36	0.17	1.20	0.38	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
GSM1800 (旧基 站 TS05.005)	—	—	0.17	0.36	0.36	0.36	2.12/0.53	0.42	0.42	2.12/0.53	0.42
GSM1800 (新基 站 TS45.005)	—	—	0.17	0.17	0.17	0.17	2.12/0.53	0.17	0.17	2.12/0.53	0.17
CDMA1X/EVDO	—	—	—	0.38	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
UMTS900	—	—	—	—	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
UMTS2100	—	—	—	—	—	0.17	0.17	0.17	0.17	0.53 3.56/ 1.26	0.17
TD-SCDMA (2GHz、 2.3GHz)	—	—	—	—	—	—	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
TD-SCDMA (1.9GHz)	—	—	—	—	—	—	—	0.53 2.24/ 1.26	0.17	0.17	0.17
LTE FDD (1.8GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	0.53	0.17
LTE FDD (2.1GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.53	0.17
TD-LTE (1.9GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17
TD-LTE (2.6GHz、 2.3GHz)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
备注 说明	0.53 3.56/1.26		对于 2014 年之前的 WCDMA 旧设备，隔离距离需要 3.56 米，实际上可能只需要 1.26 米；对于 2014 年以后的新设备，隔离距离只需要 0.53 米								
	2.12/0.53		按照标准计算 DCS 与 F 频段需要 2.12 米的隔离距离，但实际情况可能需要的隔离度相对较小，估计需要 0.53 米								
	0.53 2.24/1.26		对于 2012 年前的中兴、大唐旧设备，隔离距离需要 2.24 米，实际上可能只需要 1.26 米；对于 2012 年后的新设备，隔离距离需要 0.53 米								

3.4.4 站点勘察报告



1. 站点勘察数据记录

现场站点勘察工作量大,涉及的内容较多,为避免数据丢失和忘记,需要 (PPT) 站点勘察报告做到以下两点。

(1) 保证在现场能够形成完整的勘察记录。

(2) 在每天勘察结束后,做到资料的及时整理与汇总。资料的整理包括照片整理、勘察记录的整理、填写基站现场勘察信息汇总表及其他要求的相关资料。

另外,在勘察设计工作中要坚持自己的正确意见,若确实需要按照建设单位意见确定基站,应及时向上级领导反馈。

待所分配站点全部勘察完毕后,应将勘察结果与各县市分公司负责人做简单汇报后方可离开。

1) 照片拍摄要求

站点勘察工作的基本要求是资料记录清晰、详细和准确,能够充分、详实地描述站点及其周围情况,指导施工设计,并可供其他的网络规划、设计人员参考,注意事项如下。

(1) 站点的整体拍摄。

到达站点,拍摄站点入口、所属建筑物或铁塔站点的整体结构(1~2张照片)。基站整体照片如图 3-27 所示。



(视频) 站点勘察报告

图 3-27 基站整体照片

(2) 站点周围情况照片。

从正北方向开始顺时针旋转,每隔 45° 拍摄一张照片,共拍摄 8 张。对主要障碍物可以根据情况增加拍摄,拍摄时并不是固定在某一点,而是根据具体天线安装位置,尽量从安装天线的位置在天面各个方向的边缘分别拍照,上一张照片与下一张照片应该有少许重叠。

应尽可能拍摄真实记录基站周围环境的照片,如图 3-28 所示,以及新建塔桅、机房位置、主要障碍物的照片,从不同角度拍摄塔桅及已安装天线的照片。



图 3-28 基站周围环境的照片

(3) 天面照片。

应拍摄天面及反映铁塔情况的照片，特别是天线安装平台及馈线路由所经区域的照片。基站天面照片如图 3-29 所示。

(4) 机房照片。

从机房 4 个角落拍摄照片，可视机房情况增加拍摄照片张数，建议按从整体到局部、从下至上、从外到内的顺序拍摄，建议重点拍摄全景、新机架位置、主要走线路径、原有馈线孔洞情况、新增馈线孔洞位置、地线排位置、各设备面板等，照片应清晰、全面。基站机房照片如图 3-30 所示。

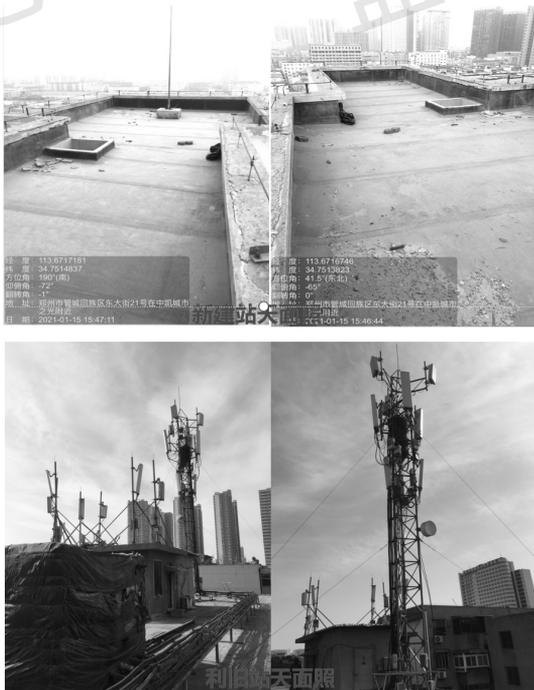


图 3-29 基站天面照片

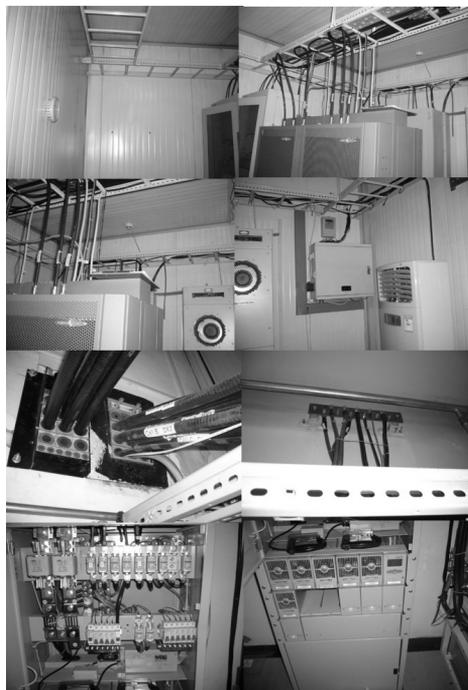


图 3-30 基站机房照片

 注意

后续的报告输出和方案设计需要的现场照片务必按要求拍摄,保证照片准确清晰且全面,少一张都不可以。

2) 经纬度及其他信息

在勘察现场后要做好详细记录,其中包含经纬度勘察(见图 3-31)、地址、站型、配置、信源设备类型、信源数量、机房类型、天支类型、天线数量、器件数量、天线方位角、天线下倾角、环境阻挡和干扰情况、电源类型、传输方式、楼宇建筑面积、楼宇层数、楼宇数量等信息。填写新建基站选址勘察信息表和新建基站详勘信息表。新建基站选址勘察信息表示例如表 3-24 所示。新建基站详勘信息表示例如表 3-25 所示。



图 3-31 经纬度勘察

 注意

经纬度记录要准确,精确到小数点后 6 位。