

# 仿真推演 验证 5G 规划效果

与军事领域的“兵棋推演”类似,网络规划是一个不断探索求真的过程,其解决问题的典型路径为定义问题、提出假设、建立模型、验证假设和落地实施,可借助数据建模、链路预算和仿真推演 3 把利器来解决 5G 网络规划中链路级与系统级的覆盖、容量和质量等技术问题,从而找到最优的解决方案,进一步支持项目决策和网络部署。

## 3.1 数据建模

在信息化浪潮中,数据是一种无形的资产,谁掌握了数据,谁就占有了先机,数据的重要性不言而喻。数据分析是解决方案的重要组成部分,应以问题为导向,找准用户痛点,挖掘业务需求,在此基础上,建立数据模型,洞察事物本质,进一步提出解决方案,最终推动项目落地。

### 3.1.1 认识数据

#### 1. 数据结构

在计算机的世界里,数据是忠实的史官,数据是形、信息是质,朴素的数字符号“0”和“1”便是表示、记录和传递信息的主要载体,因此,数据可泛指所有能够输入计算机并被计算机程序处理的信息符号的集合,可直观地表现为文字、表格、声音、图形、视频等多种形式。

##### 1) 按结构形式划分

在现实的世界里,我们所能捕捉的信息量是极其丰富的,透过眼睛可以看到的世界是立体的、直观的,然而,从现实物理系统向虚拟数字空间反馈信息时,能够被我们抽象、转码、输出为结构化数据的信息往往是有限的,更多的非结构化数据如同“黑盒”一般沉默在各类存储设备中无法发挥其应有的价值。与现实世界相对应,计算机系统中的数据可分为结构化数据和非结构化数据。

##### (1) 结构化数据。

结构化数据是指能够使用固化、统一的二维表结构进行逻辑表达和实现的数据,它严



格地遵循数据格式和长度规范,主要通过关系数据库进行存储和管理,例如,5G网管系统中以关系数据库形式存储的基站信息、工程参数、性能指标等数据便是结构化数据。

在关系数据库中,数据库是一系列关联表的集合,而数据表则是数据的矩阵,表现为一张由行和列编织成的栅格状表格,其中的数据对象对应表格文件中的记录(或行),数据属性则是对应表格文件中的字段(或列),用于刻画和反映现实世界中被测量对象的关键特征,如图3-1所示。



图 3-1 关系数据库结构示意图

## (2) 非结构化数据。

非结构化数据则是指数据结构不规则、不完整,并且不符合任何预定义的数据模型,无法使用二维表结构来直观表达和记录的数据,存储于非关系数据库中。据统计,在现实世界中非结构数据占数据总量的80%以上,而且非结构化数据的格式和标准是多样的,更难被采集、查询和存储,使其价值被静默地“雪藏”起来了。例如,5G垂直行业应用中的各类图像、音频、视频信息等。

随着5G时代的到来,数据的采集、存储、转发和处理能力得到了大幅提升,同时,得益于云计算、数据挖掘、人工智能、图像识别等新技术的强力助推,非结构化数据的价值将会被进一步挖掘出来,例如,短视频应用便是围绕非结构化数据提供产品和服务的。可以预见,未来非结构化数据将呈现更丰富的世界。

### 2) 按数据类型划分

对于结构化数据,在理解数据维度和度量的基础上,可将其分为定性数据与定量数据、连续数据与离散数据等数据类型,以便进一步分析和处理。

#### (1) 数据维度和度量。

数据维度和度量是数据分析领域的两个基本概念,数据维度是指观察数据的角度,数据度量是以数据维度为基础纵向延伸和衡量统计结果的值。一般来讲,一个数据集可由一组或多组数据维度及其对应的数据度量构成。

□ 数据维度:即数据字段,主要用于刻画数据对象的属性或特征。例如,位置信息维度可包括“经度”“纬度”“详细地址”等。在5G网管和营账系统中,数据维度通常

与一个或多个指标关联起来详细记录和刻画用户画像,描述用户使用何种终端,于何时、何地发生了何种业务行为,产生了多少业务量,如图 3-2 所示。

- 数据度量:是一种特殊的数据维度,用于描述被观测数据的统计值,数据度量与数据维度是相关联的,离开数据维度单独谈数据度量是无意义的。例如,在表征位置信息的“经度”维度中,其数据度量的取值范围为  $0\sim 180^\circ$ 。

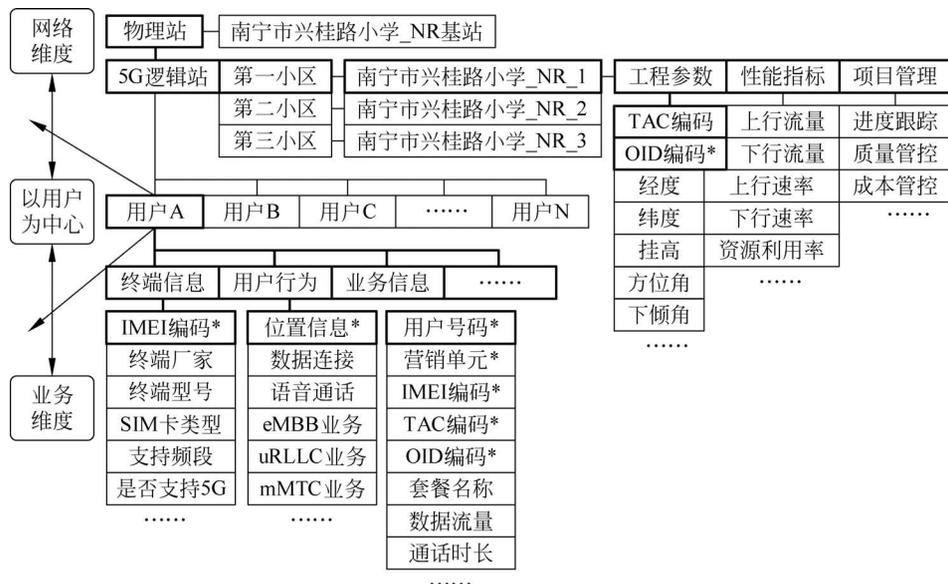


图 3-2 5G 基站关联数据的逻辑关系

## (2) 定性数据与定量数据。

与问题定性和定量分析相对应,定性数据不具有数的大部分性质,其主要性质与文字符号类似,而定量数据则具备数的大部分性质,可使用数来表示。

- 定性数据:指一组用于表示事物性质、规定事物类别的文字型数据,除分类和排序外,不支持数学运算。例如,“5G 支持频段”包括 N1、N3、N26、N78 等可枚举的、离散的 5G 频段信息。
- 定量数据:指一组用于表示事物属性的数值型数据,支持数学运算。例如,“5G 数据流量”的取值范围为 0 至无穷大的任意实数,对其进行求和运算便可得到指定颗粒度的数据流量之和。

## (3) 连续数据与离散数据。

可根据区间属性的可能取值的个数将其细分为离散数据和连续数据。

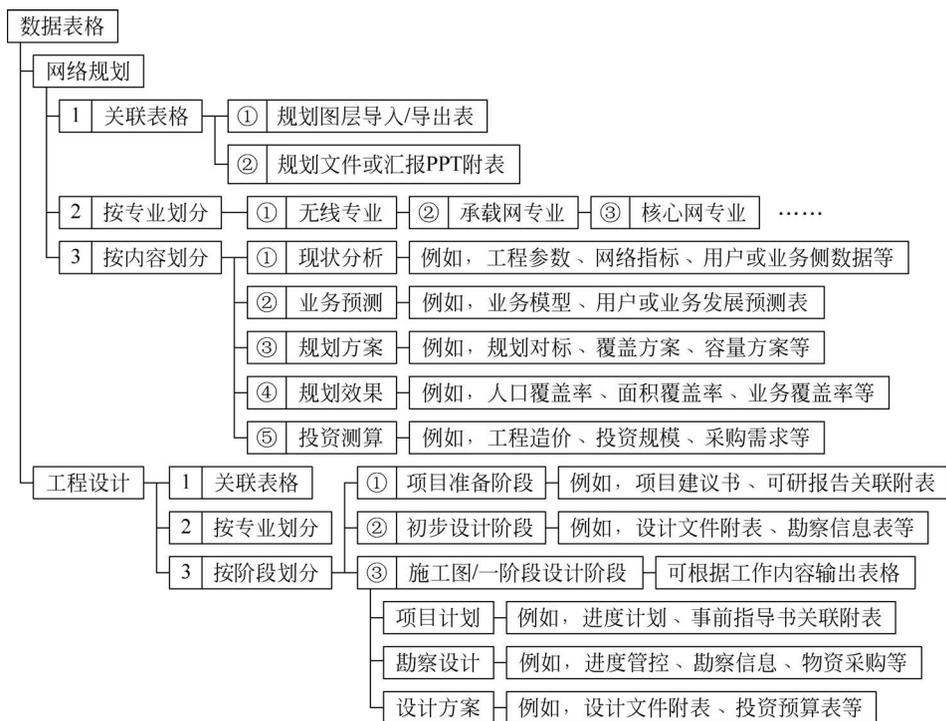
- 离散数据:具有有限的取值,常用于数据分类或计数,例如,“是否支持 5G”的取值范围只能是“是”或“否”。
- 连续数据:具有连续的、无限的取值,常用于数据测量,其取值为无限区间。例如,“通话时长”的取值范围为 0 至无穷大的任意实数。

## 2. 数据管理

作为数字经济时代最核心的资源,数据的重要性是不言而喻的,抛开数据库、编程技术等要素不谈,应学会建立一套适合自身需要的数据管理方法论及思维体系,从而快速高效地解决海量数据的数据组织、模板编制、信息表达、数据查询等工作问题。

### 1) 表格结构

主要解决海量数据表的组织和归档问题。在开展工作前,从源头上建立一张数据资源结构图,可按不同专业、不同阶段、不同内容及其关联表格等类型划分,建立系统的、固化的表格模板,并长期跟踪、收集和更新数据信息,如图 3-3 所示。



### 2) 数据模板

主要解决的是每张数据表格的规范性管理问题,一张汇总表对应  $N$  张数据详表。每张数据表应编制规范、来源真实、统计科学,每张数据表应包含使用说明、数据汇总表及数据详表,其中,使用说明中应明确填报要求、统计时间及相关负责人,解决好“由何人、于何时、如何填报”的问题;数据汇总表和数据详表应以问题为导向统计和展现各维度的基础数据及其汇总结果,解决好数据真实性、统计科学性、数据前后一致性的问题,如图 3-4 所示。

### 3) 数据速查

主要解决海量数据快速查询的问题。可按不同专题内容、重要程度及使用频率,从每张数据统计表中抽取数据并组织成一张基础数据速查表。数据速查表主要由使用说明、目

	A	B	C	D	E	...
1	标题行	字段A	字段B	字段C	字段D	...
2	记录1					
3	记录2		单元格			
4	记录3					
5	...					
6						
7						
◆	使用说明	数据汇总	数据详表			

图 3-4 数据表格设计和命名的方法

录索引和各专题汇总表组成,需要指出的是,各专题汇总表仅保存数据结果,详细清单可在各专题统计表中查询,如图 3-5 所示。

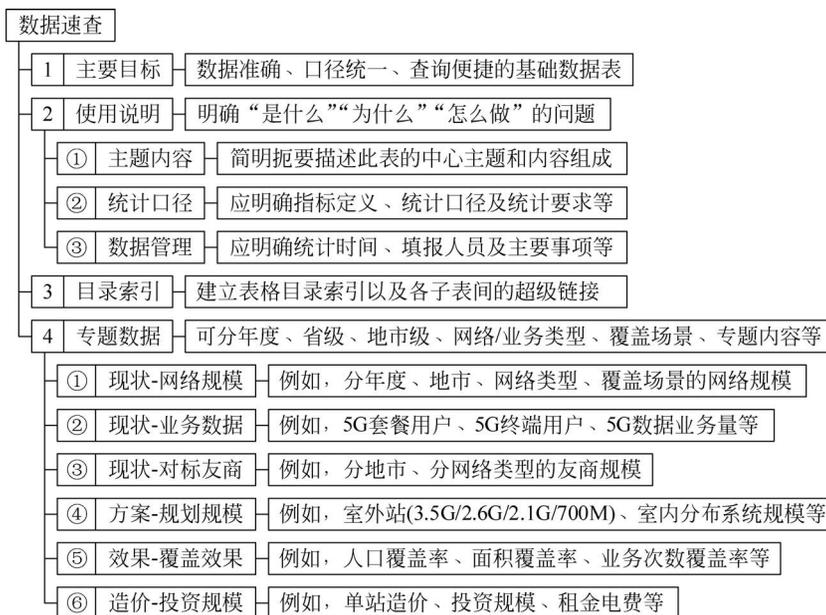


图 3-5 数据速查表结构和梳理的方法

### 3. 数据挖掘

数据是形,信息是质,认识数据和管理数据的落脚点在于应用数据,应学会用数据说话,从海量大数据挖掘过程中发现问题、分析问题和解决问题,从而进一步地获取价值信息、理解事物规律和支撑项目决策。

#### 1) 数据分析

数据分析可理解为以问题为导向,选取合适的工具或方法获取、处理和分析数据,从中探索并发现事物规律、获取有价值的信息,进一步支撑项目决策的过程。区别于数据挖掘,数据分析的目标是明确的,始于需求识别,按需收集数据和选择方法,先建立假设,后验证假设,用数据说话,最终得出明确的结论,如图 3-6 所示。

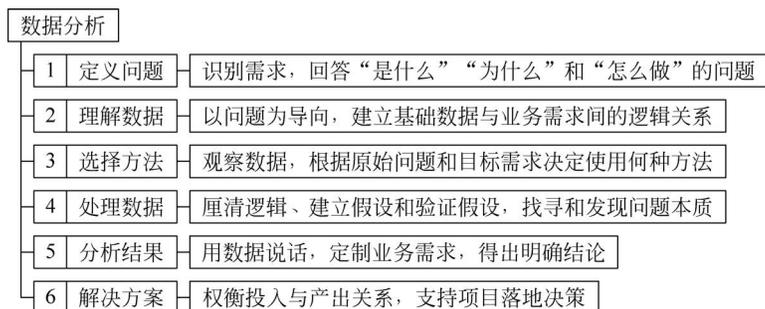


图 3-6 数据分析方法和流程

## 2) 数据挖掘

数据挖掘则是指通过算法和模型从大数据中挖掘出隐含的、先前未知的且具有价值的信息的过程, 主要侧重解决数据分类、聚类、关联、预测和异常检测 5 类问题。根据跨行业数据挖掘标准流程(CRISP-DM)的定义, 数据挖掘可分为商业理解、数据理解、数据准备、建立模型、模型评估和模型发布 6 个标准化过程, 如图 3-7 所示。

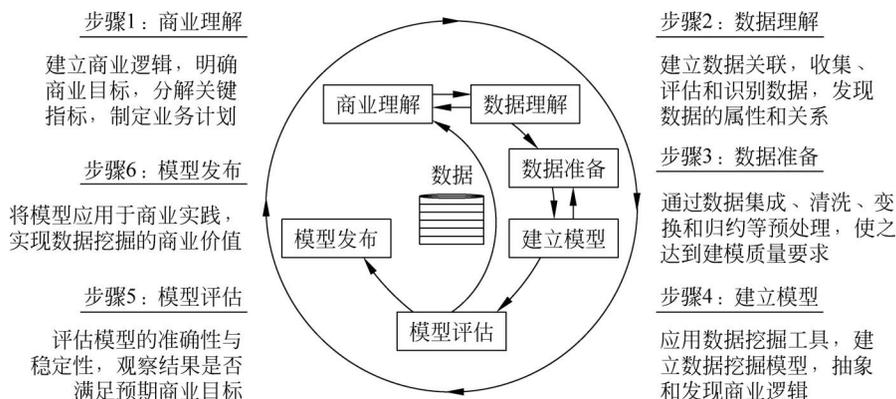


图 3-7 跨行业数据挖掘标准流程

## 3.1.2 数据分析

数据分析是解决 5G 工程项目问题的主要手段之一, 可结合不同的应用场景选择合适的工具来解决对应的问题, 例如, Excel、SPSS Modeler、Python 编程、Origin 等工具。本节主要探讨和分享 5G 规划方案编制时的数据获取、数据分析及数据呈现等工作技能。

### 1. 数据获取

俗话说,“巧妇难为无米之炊”, 获取数据是开展数据分析的前提条件, 前者侧重数据准备、收集和整理, 从而使数据更易于分析; 后者则是利用获得的数据, 选取合适的方法, 分析和输出相应的结果。

#### 1) 工作思路

数据获取需重点解决 3 个问题, 一是做什么, 明确数据统计的目的、统计口径和关键指



标；二是怎么做，理顺工作思路、规范数据结构、制定数据模板和收集数据样本；三是好不好，开展数据质量评估和验证，重点关注数据完整性、规范性和准确性等内容。

## 2) 数据模板

一般情况下，数据模板应包括使用说明、数据汇总表和数据详表 3 部分，其中，使用说明表中应明确编制要求、建立表格目录和规范参考字段等信息；数据汇总表则呈现主要指标及其统计结果，而数据详表则用于统计更小颗粒度的样本值及其指标项。

以业务数据获取为例，可结合业务需求和预期结果，提取某市指定周 7×24h 小区级上行/下行 RLC 层用户面流量数据，其关键字段包括省份、城市、时间、对象编号、对象名称及 RLC 层用户面流量等，如表 3-1 所示。

表 3-1 某市指定周 7×24h 小区级数据流量统计表

省份	城市	时 间	对象编号	对象名称	上行 RLC 层用户面流量_KB	下行 RLC 层用户面流量_KB
XX 省	XX 市	2023-04-17 00:00:00	110_11731468_1	基站小区_1	13184.39	195904.65
XX 省	XX 市	2023-04-17 00:00:00	110_11731468_2	基站小区_2	14066.98	138836.39
XX 省	XX 市	2023-04-17 00:00:00	110_11731468_3	基站小区_3	672.42	7463.95

## 3) 数据校验

获取完整且准确的数据是数据分析的前提条件，应对统计填报、现场采集、系统提取、网络爬取等方式获得的基础数据进行校验，从源头上解决好数据采集质量问题。例如，可将地市作为颗粒度，对提取的数据汇总分析、制作折线图 and 观察业务趋势，如图 3-8 所示。

- 数据流量忙时主要分布在中午 12:00—14:00、晚上 22:00—24:00，流量闲时则主要分布在凌晨 2:00—6:00；业务变化趋势与南方城市工作、生活作息规律基本吻合。
- 工作日(4月17日—4月21日)的数据流量大于周末(4月22日—4月23日)的数据流量。

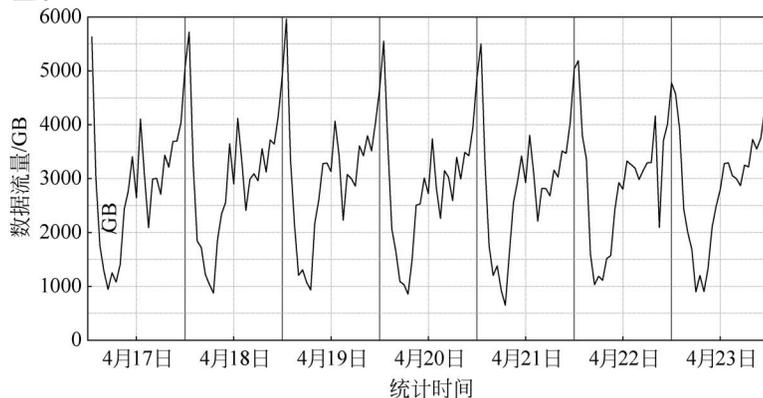


图 3-8 某市指定周 7×24h 数据流量变化趋势图

## 2. 数据分析

数据预处理是开展数据挖掘工作的第1步,其主要目的是通过对获取的数据进行数据集成、数据清理、数据变换和数据归约等操作来提高数据挖掘模式的质量。本节主要分享使用 SPSS Modeler 工具来解决 5G 网络问题点挖掘中 MR 数据预处理的问题。

### 1) 任务描述

以目标为导向,带着问题找答案,其主要任务是输出一份规整的 MR 数据表和一套直观的 MR 弱覆盖图层。MR 弱覆盖图层常见的表现形式为扇区图和栅格图,其中,扇区图对应的属性表应包含站址位置、MR 弱覆盖扇区指向、MR 弱覆盖评估结果等基本信息,如图 3-9 所示。



图 3-9 MR 数据预处理结果的地理化呈现

### 2) 工作思路

坚持以问题为导向,理顺工作思路,将概念翻译成图、将操作实例化,在实践中发现问题和解决问题,可将 MR 数据预处理问题拆解为软件可执行的操作技法,如图 3-10 所示。

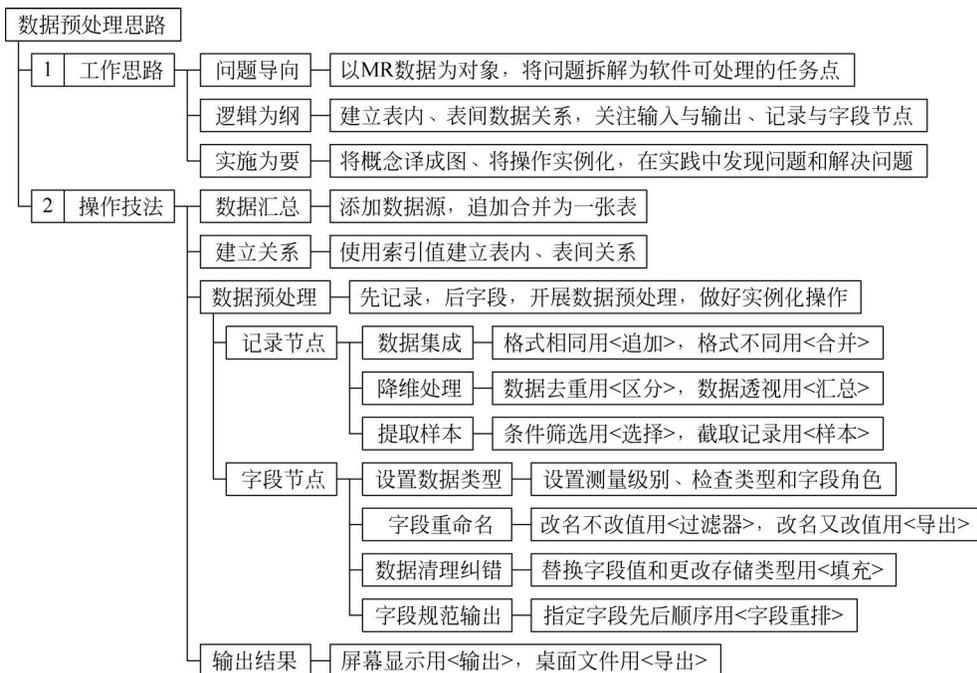


图 3-10 MR 数据预处理的工作思路

### 3) 操作方法

IBM SPSS Modeler 是一款以数据流为主线、拖曳式快速数据建模的工具,可有效支撑 5G 网络规划中网络、用户、业务和终端等方面的数据挖掘工作。该软件主要由菜单栏、工具栏、工作窗口、节点选项板、流管理器、工程管理等模块组成,“节点”是其关键模块,得“节点”者得 Modeler。

- 流:可理解为流程,做一件事的若干步骤或环节。做一件事的流程由起因、经过和结果 3 部分组成,对应到 Modeler 软件中,由数据源输入,经过节点处理,最终输出预期的成果,如图 3-11 所示。
- 节点:节点便是做一件事的“节骨眼”,是其关键的环节。在 Modeler 软件中,主要节点包括源节点、过程节点和输出节点,其中,过程节点主要由记录节点、字段节点、图形节点和建模节点组成。
- 记录和字段:可从一张数据表出发,记录对应行(或记录、样本),字段对应列(或字段),数据预处理对象便是数据表的行与列,经过数据集成、数据清理、数据归约和数据变换等操作步骤,最终输出一份规整的数据表。

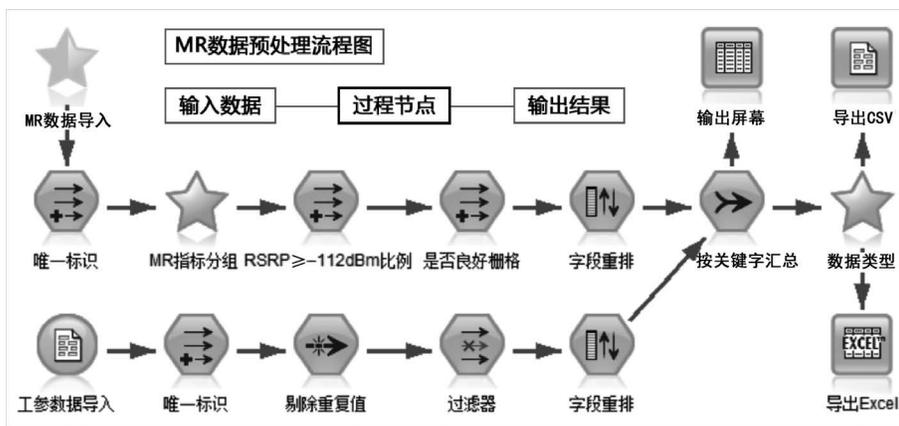


图 3-11 使用 Modeler 构建 MR 数据预处理流程图

主要目标是使用 Modeler 构建流,并输出一份规整的 MR 数据表。这份数据表至少应包含 3 部分信息,即站点信息、小区信息及对应的 MR 弱覆盖分析结果,其主要操作步骤分为数据汇总、数据关联、数据预处理及输出结果等环节。

第 1 步:添加数据源,追加合并为一张表。

- 添加源节点:获取原始的 MR 数据表后,主要完成从变量文件中读取数据、建立节点间的连接、将若干张表追加合并为一张表等操作。
- 设置变量文件:添加变量文件,可根据行列界定符读取 MR 数据文件,学会使用数据预览功能,确保每条操作结果与预期相吻合。
- 构建流:将变量文件、追加节点拖曳到工作窗口中,右击连接源节点和目标节点,同时,设置各节点的参数和连接关系。

第2步：多表操作，使用唯一标识建立表间关系。

索引值(唯一标识、关键字)是建立关系数据库(表)之间联系的“纽带”。例如，MR数据是网络指标，若要添加工程参数(例如，方位角)，则需使用“导出”节点创建唯一标识(连接符为“><”)，建立表间关系后，可使用“合并”节点来引用关联数据表中的各种数据，如图3-12所示。

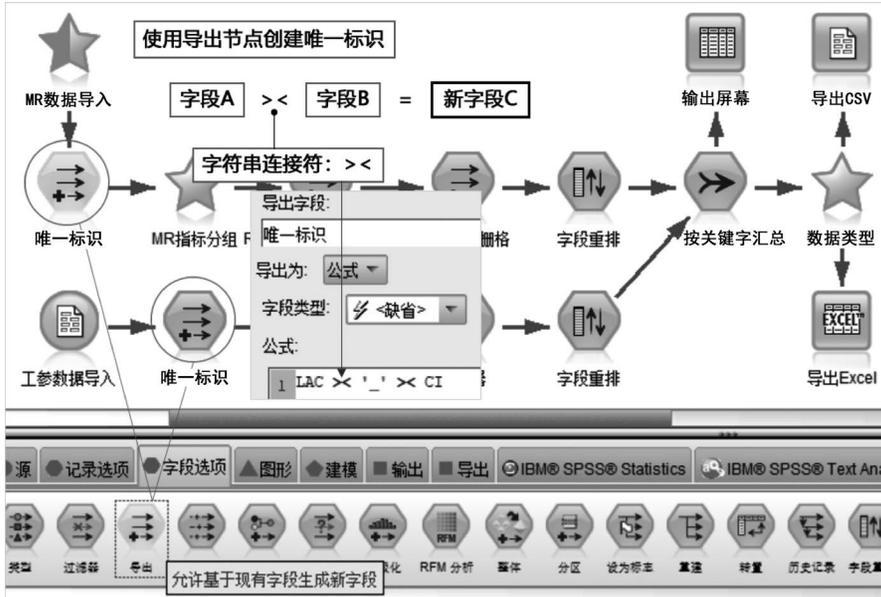


图 3-12 使用导出节点创建唯一标识的操作方法

第3步：使用记录选项，开展数据集成、数据降维、数据提取及数据排序等操作，其中，解决问题的诀窍可总结为关联性思考、实例化应用和图形化理解。

① 关联性思考：例如，建立与熟悉的 Excel 软件的关联思考，可快速了解和掌握 Modeler 软件的操作要领，如表 3-2 所示。

表 3-2 Modeler 软件主要记录节点的操作要领

分类	节点名称	操作要领	对应 Excel
数据集成	追加	将结构相同的数据集添加到前一个数据集的末尾	合并表格
	合并	使用关键字段连接多个数据集，创建一个包含全部或部分输入字段的输入记录	VLOOKUP 函数
数据降维	区分	按照关键字段剔除数据集中的重复记录，例如，包含或丢弃首个记录	删除重复项
	汇总	用于对数据集进行降维处理，将一系列输出记录替换为摘要表格	数据透视表
数据提取	选择	按指定条件选择或丢弃数据流中的部分记录	筛选
	样本	按照提取前 N 条、N 中选 1、随机 %、聚类或分层等方式选择或废弃部分记录	—
数据排序	排序	根据一个或多个字段值按升序或降序对记录进行排序	升降序、自定义排序

② 实例化应用：以“合并”节点为例，其主要功能与 Excel 软件中的 VLOOKUP 函数相类似，使用“关键字”来建立和获取不同数据表中指定字段数据，例如，使用唯一标识 (LAC\_CI)，从网络工参表中关联和添加经纬度、方位角等数据，如图 3-13 所示。

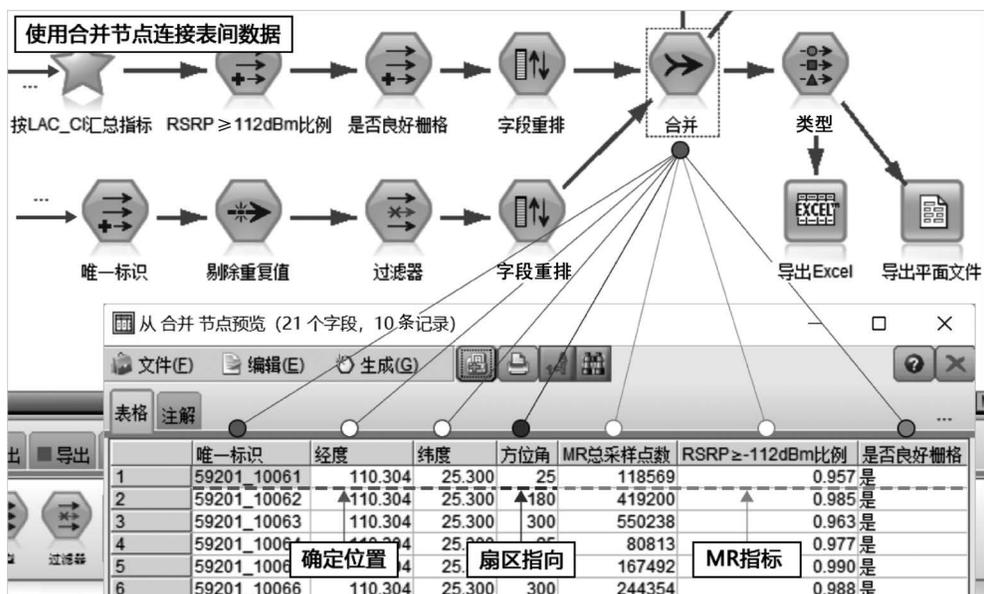


图 3-13 使用合并节点建立表间联系的操作方法

③ 图形化理解：在“合并”节点中使用关键字合并时会遇到“内部连接”“完全外部连接”“部分外部连接”“反连接”等新概念。实际上，这些概念与数学中集合的交集、并集、差集概念类似，可将概念翻译成图并结合实例化数据予以验证，以便加深对概念的理解，如图 3-14、图 3-15 所示。

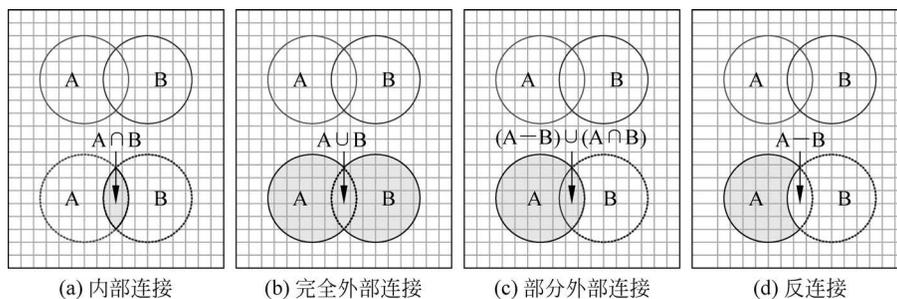


图 3-14 Modeler 合并节点中数据连接关系示意图

第 4 步：使用字段选项，设置数据类型、字段重命名、数据清理、字段排序等操作。

字段选项的主要操作对象是字段名称和字段属性值，其中，字段名称可重命名/移除字段、基于旧字段派生新字段、字段排序等；字段值可设置类型、修正错漏值、字段匿名化等，如表 3-3 所示。

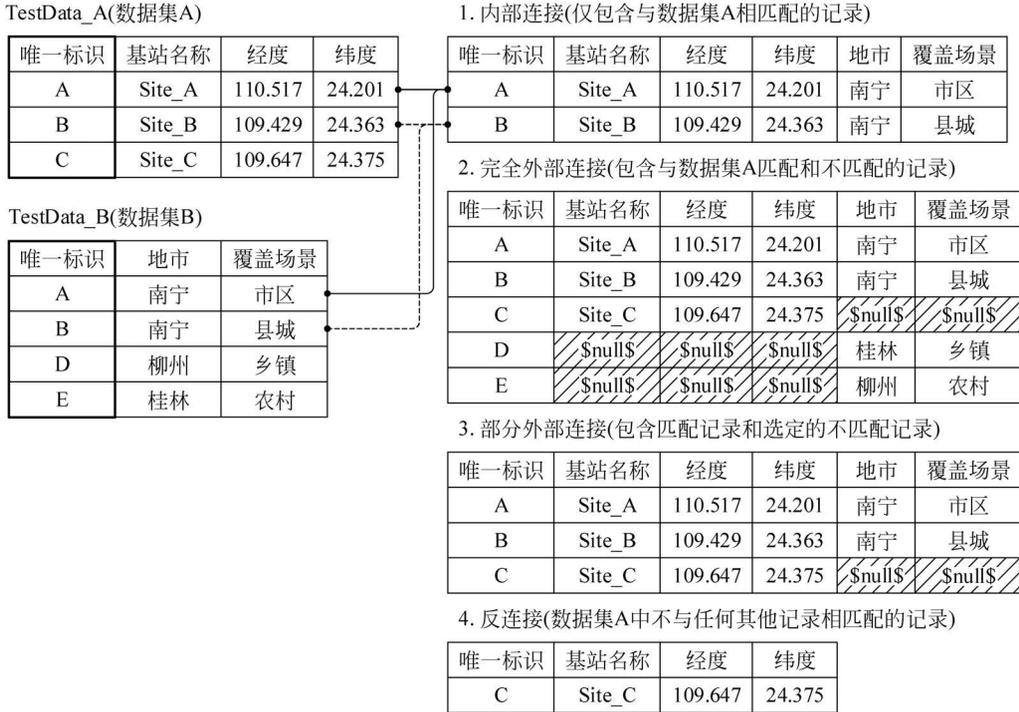


图 3-15 Modeler 合并节点中数据连接实例化

表 3-3 Modeler 软件主要字段节点的操作要领

节点名称	操作要领
类型	允许确定和控制字段元数据,包括格式、枚举值等
过滤器	允许重命名或删除指定的字段
导出	允许基于现有字段派生出新的字段
填充	允许使用新值替换现有字段中的值
字段重排	允许更改字段的排序次序
重新分类	允许按照规则重新分类设置值
匿名化	允许对机密数据的字段名称或字段值进行掩饰
分级化	允许按照规则将现有连续字段的值重新分级划分
分区	允许生成分区字段、切割数据样本供模型构建使用
设为标志	允许从指定字段的分类值中派生出标志字段
重建	允许根据名义字段或标志字段的值生成多个字段
转置	允许交换行与列中的字段

以派生新指标为例,可使用“导出”节点基于现有字段派生新字段及其属性值,例如,使用“导出”节点中“导出为公式”的操作方法,将RSRP指标分区间汇总统计和派生出新字段,如图3-16所示。

第5步:输出MR弱覆盖评估结果表、图层及解决方案。

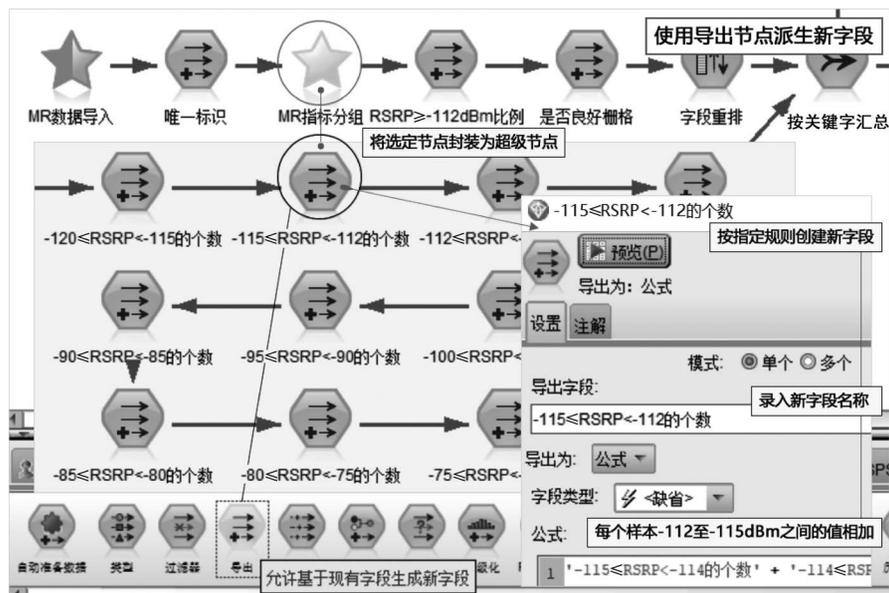


图 3-16 使用导出节点派生新字段的操作方法

区分“输出节点”和“导出节点”，将评估结果输出到屏幕或导出为 CSV 文件，如图 3-17 所示。

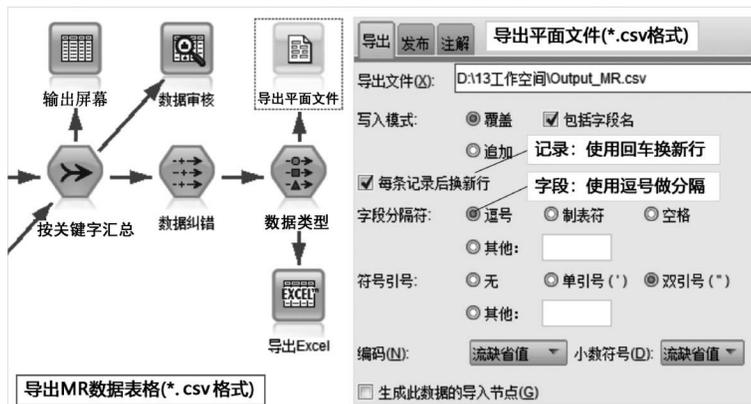


图 3-17 导出 MR 数据表格的操作方法

最终,输出的 MR 数据预处理结果表和制作 MR 弱覆盖扇区图层,如表 3-4 所示。

表 3-4 MR 数据预处理结果表

唯一标识	经度/(°)	纬度/(°)	方位角/(°)	MR 总采样点数	RSRP ≥ -112dBm 比例	是否良好栅格
59241_10061	110.30848	25.34034	25	118569	95.73%	是
59241_10062	110.30848	25.34034	180	419200	98.48%	是
59241_10063	110.30848	25.34034	300	550238	96.29%	是

### 3. 数据呈现

在 5G 数据分析中,数据是源、逻辑是根、呈现是皮,数据呈现便是以简洁的图表形式向读者直观地传递信息的过程,应以问题为导向、以数据为驱动做足数据图表逻辑性、简洁性和自明性的文章。可根据作图目的和数据逻辑来决定准备哪些基础数据、使用什么图表类型,其主要数据逻辑可分为事物构成、分类比较、变化趋势、分布格局等,例如,可使用密度云图表示用户、终端、业务分布格局。

#### 1) 事物构成

可使用饼图、堆积柱状图等图表类型来描述事物结构组成、属性特征等信息,例如,研究对象的投资结构、指定场景的指标体系等,如图 3-18 所示。

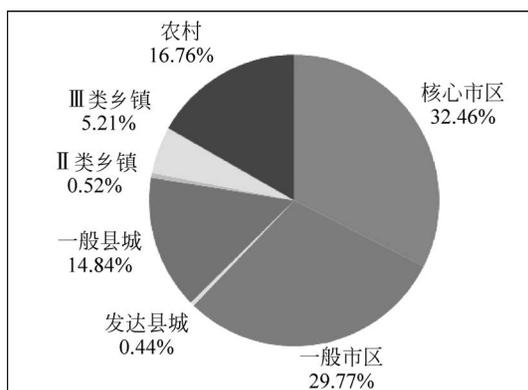


图 3-18 使用饼图表示事物构成的方法

#### 2) 分类比较

可使用柱状图、条形图等图表类型描述不同时间、空间及分类事物之间分类、关联和比较的逻辑关系,例如,分析不同场景下事物的异同、高下或变化情况,如图 3-19 所示。

#### 3) 变化趋势

可使用折线图、面积图等图表类型来描述事物短期、中长期的变化趋势,例如,观测点前后的指标变化、规划期内业务发展预测等,如图 3-20 所示。

#### 4) 分布格局

可使用散点图、专题地图等图表类型来描述不同事物的相关性或分布关系,例如,话务密度云图、终端聚类分布图等,如图 3-21 所示。

### 3.1.3 数据挖掘

数据建模是一项贯穿 5G 网络规划全过程的基本技能,其典型的应用包括网络问题发现、终端分布评估、价值用户挖掘、网络容量分析等方面。以 5G 网络问题点挖掘为例,进一步阐述 MR 数据分析中涉及的定义问题、准备数据、建立模型、数据挖掘、输出结果和提出方案等多个环节的操作方法。



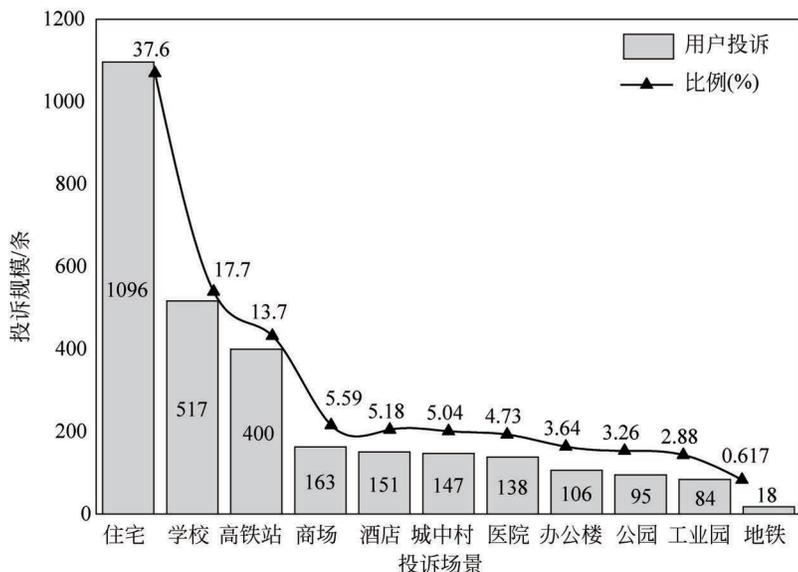


图 3-19 使用柱状图比较事物的方法

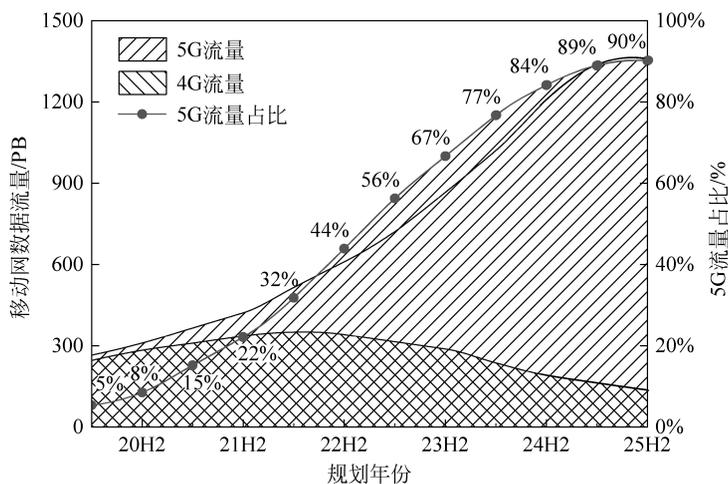


图 3-20 使用折线图和面积图表示变化趋势的方法

## 1. 准备工作

### 1) 数据来源

在 5G 网络规划中,可借助 MR 数据、DT/CQT 测试数据、投诉数据等各种数据源来梳理 5G 网络存在的问题点,并通过问题点圈选、归集和排序,最终按照规划和建设原则输出问题点库和解决方案库。相比 DT、CQT、投诉等数据,MR 数据能更客观、快速、准确且低成本地反映无线网络质量,从而真实地还原用户体验情况,其优劣势如表 3-5 所示。

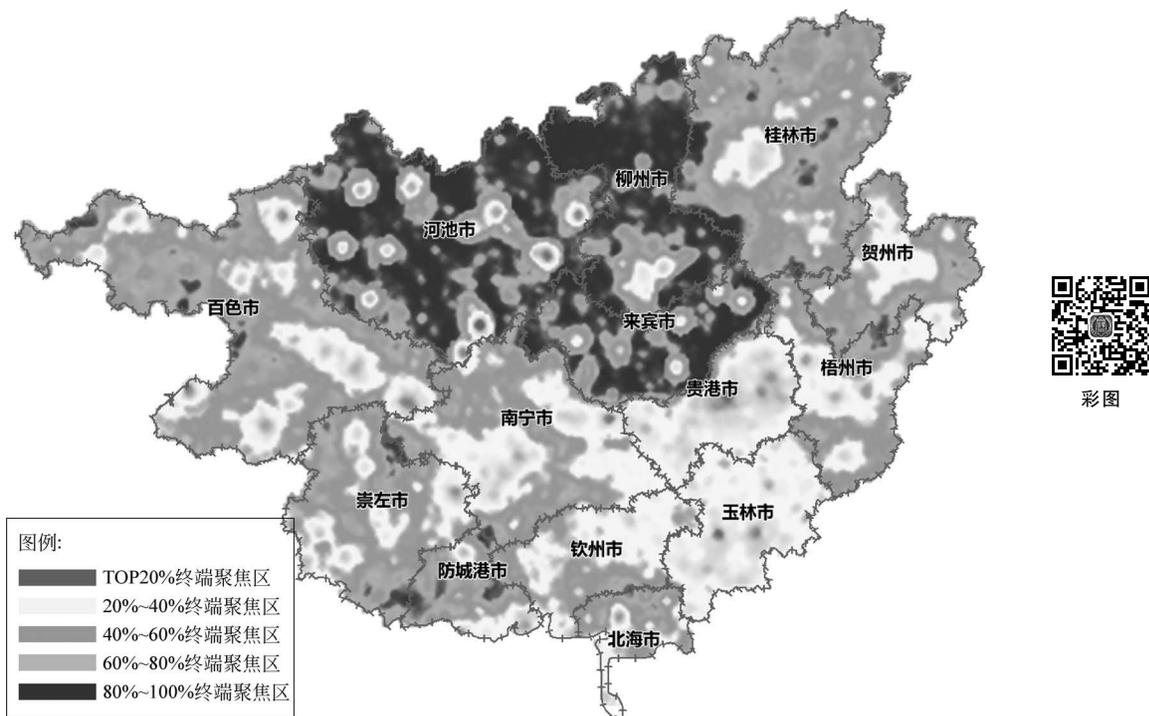


图 3-21 使用密度云图表示分布格局的方法

表 3-5 网络问题点分析及其优劣势对比

项目	获取方式	应用场景	优势	劣势
路测	驱车测试	高铁、高速、城区道路等	直观反映道路沿线信号覆盖	1. 局部抽样存在偶然性 2. 无法反映室内用户真实感知 3. DT 测试耗时费力
拨测	打点记录	住宅小区、建筑物内部	直观反映建筑物内部信号覆盖	1. CQT 测试耗时费力且效率低 2. 无法适应大规模快速网络部署节奏
投诉	用户上报	全域(含无信号区)	真实反映用户体验情况	1. 被动的用户感知采集方式 2. 无线网络质量问题反馈往往滞后
MR	基站上报	基站信号覆盖区内	实时精准反映无线环境质量自动直接反映用户真实感知	1. 精准定位困难,用户位置由 TA 值反推估算 2. MR 数据量大,问题点挖掘技术要求高

如何从海量数据中梳理问题、建立模型、形成对策和直观呈现是 MR 数据分析的一项重大挑战,可将 MR 数据挖掘结果以扇区化、栅格化及混合模式呈现,如图 3-22 所示。

## 2) 输出要求

在 5G 网络问题点梳理中,应重点解决两个问题,一是问题点圈选标准,例如,统计口径、图例设置、应用场景、圈选标准和评估方法等;二是解决方案输出原则,应坚持“先优后劣再建设”“先宏后微再细分”的规划原则,分优先级匹配不同场景的解决方案,其输出成果

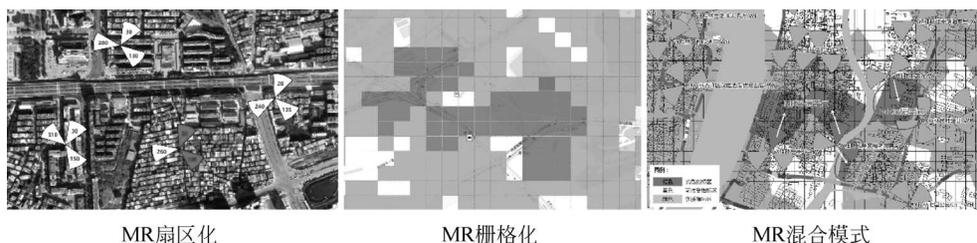


图 3-22 典型的 MR 数据呈现结果示例

包括 5G 网络问题清单、解决方案库、问题点图层及相关支撑数据,如表 3-6 所示。

表 3-6 5G 网络问题点库输出清单

地市	问题点编号	场景	中心经度 / (°)	中心纬度 / (°)	MR 数据	DT 数据	CQT 数据	用户投诉	对标友商	其他说明
A	NN-0001	市区	110.52502	22.47139	是	否	否	否	否	5 个连续 MR 栅格弱覆盖 (50m × 50m 步长、SS-RSRP ≤ -112dBm)
B	NN-0002	市区	110.17123	22.61564	否	是	否	否	是	市区 SS-RSRP ≤ -112dBm 且弱覆盖路段 ≥ 300m
C	NN-0003	县城	109.98745	22.25970	否	否	是	否	否	大型超市室内收银处 SS-RSRP ≤ -112dBm
D	NN-0004	县城	108.36720	22.77706	否	否	是	否	否	VIP 用户投诉 5 起且周边站距 ≥ 400m
E	NN-0005	乡镇	108.44058	22.81117	否	是	否	否	否	参数优化
F	NN-0009	农村	108.33610	22.76103	否	是	否	否	否	邻区优化

对应匹配解决方案如表 3-7 所示。

表 3-7 5G 网络问题点对应解决方案

地市	问题点编号	场景	中心经度 / (°)	中心纬度 / (°)	解决手段	基站需求 / 站	室内分布系统需求 / 套	其他说明
A	NN-0001	市区	110.52502	22.47139	新建基站	1	0	利旧 4G 存量站
B	NN-0002	市区	110.17123	22.61564	新建基站	1	0	利旧 4G 存量站
C	NN-0003	县城	109.98745	22.25970	新建室分	0	1	传统 DAS 改造
D	NN-0004	县城	108.36720	22.77706	新建基站	1	0	利旧 4G 存量站
E	NN-0005	乡镇	108.44058	22.81117	优化解决	0	0	接入问题
F	NN-0006	乡镇	108.36720	22.77706	优化解决	0	0	切换问题
G	NN-0007	农村	108.30564	22.79460	优化解决	0	0	无法驻留 5G
H	NN-0009	农村	108.33610	22.76103	优化解决	0	0	弱覆盖

## 2. 模型方法

为了从海量 MR 数据中挖掘和呈现网络问题点,结合 MR 扇区化和栅格化特点,可将 MR 定位问题转换为寻找最大概率用户感知弱区问题,应用数据挖掘及网格聚类方法,提出精准的网络覆盖方案。建模思路为,遵循分层处理、逐层映射的评估原则,将评估模型分为数据处理层、指标映射层及地理呈现层,经过各层数据扇区化和栅格化处理后,建立对应的指标映射关系,运用网格聚类分析方法,最终形成 5G 网络问题点的地理化呈现和最大概率

劣质指标格局判别,如图 3-23 所示。

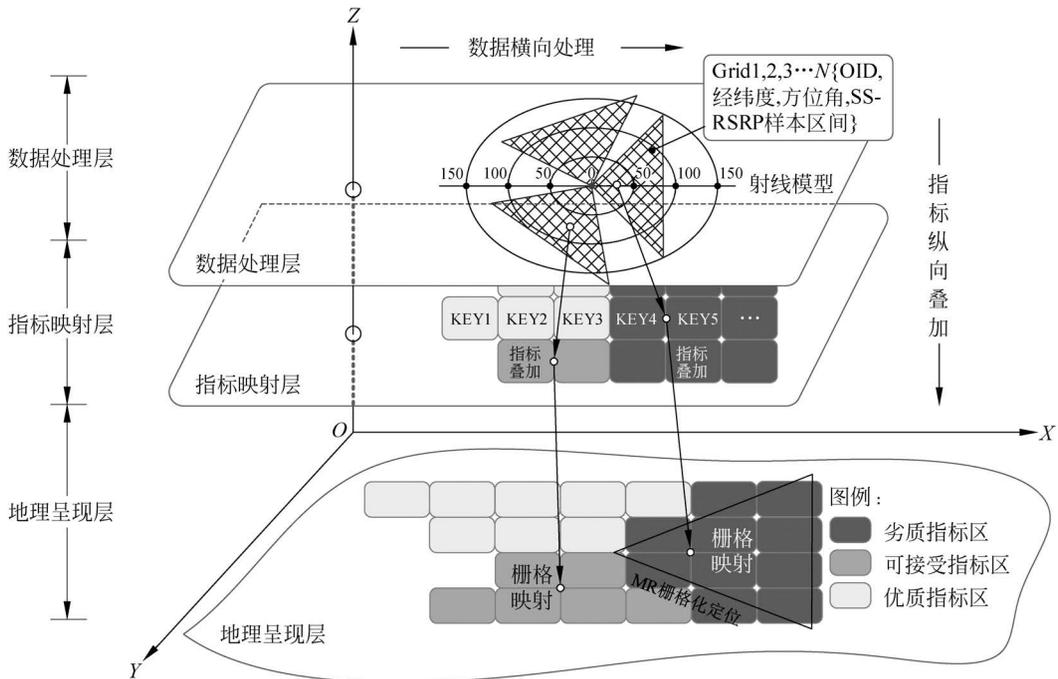


图 3-23 MR 数据精准评估模型

问题点精准定位是 MR 数据格局判别的关键,基于上述模型,反推和测算 MR 事件发生位置,进而模拟和还原用户真实体验,将指标格局分为优质的、可接受的和劣质的指标。各层数据评估思路如下:

(1) 数据处理层:厘清两条主线,一是结合不同区间 RSRP 值、TA 值的指标范围,运用网络仿真工具,校正传播模型,获得扇区化的最佳信号覆盖区,若发生信号弱覆盖,则大概率会发生在该区域内;二是结合 MR 采样点的统计步长,以  $50\text{m} \times 50\text{m}$  为单位栅格尺寸,对最佳信号覆盖区进行栅格化处理,形成若干小颗粒度的栅格,与指标映射层的特征库相匹配,从而建立起纵向指标映射关系。

(2) 指标映射层:构造与数据处理层相匹配的关键特征库,对不同场景赋予不同的权重,形成类似滤镜功能的人口分布、建筑物分布的特征映射图层,为 MR 数据纵向叠加和地理呈现提供更精准的问题定位。

(3) 地理呈现层:将处理结果精准定位、网格聚类 and 地理呈现,形成直观的劣质指标区、可接受指标区和优质指标区,使 MR 数据空间分布和评估判别变得更直观、更简单、更轻松。

### 3. 应用案例

在数据挖掘中,主要的聚类方法包括划分法、层次法、密度法和网格法。根据上述模型,基于网格聚类法可快速输出问题点和解决方案库,其评估流程包括数据获取、数据预处理

理、指标构造、叠加分析、网格聚类、格局判别及输出方案等环节,如图 3-24 所示。

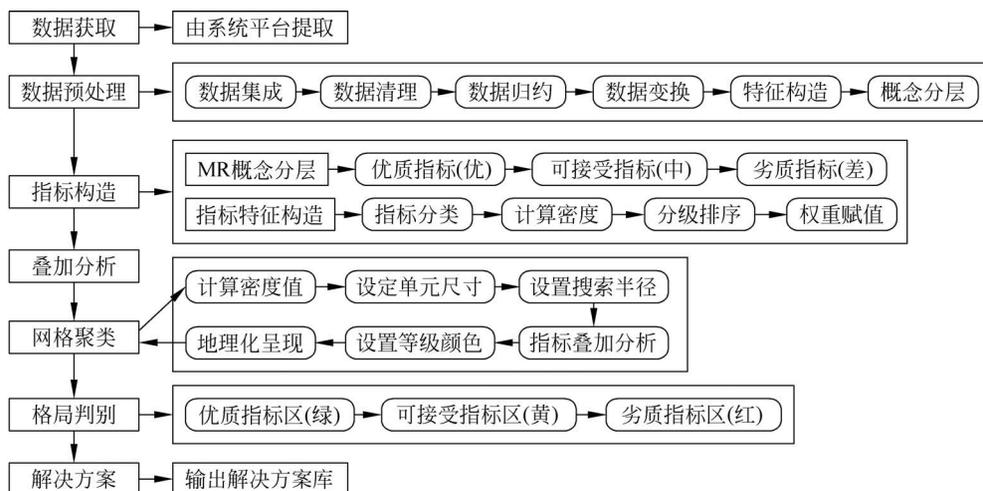


图 3-24 MR 数据评估流程方法

### 1) 获取数据

在开展数据提取前,应明确统计口径、数据格式及提取模板,指定对接人员和反馈时限,并从系统平台中提取解析后的 MR 数据,如图 3-25 所示。

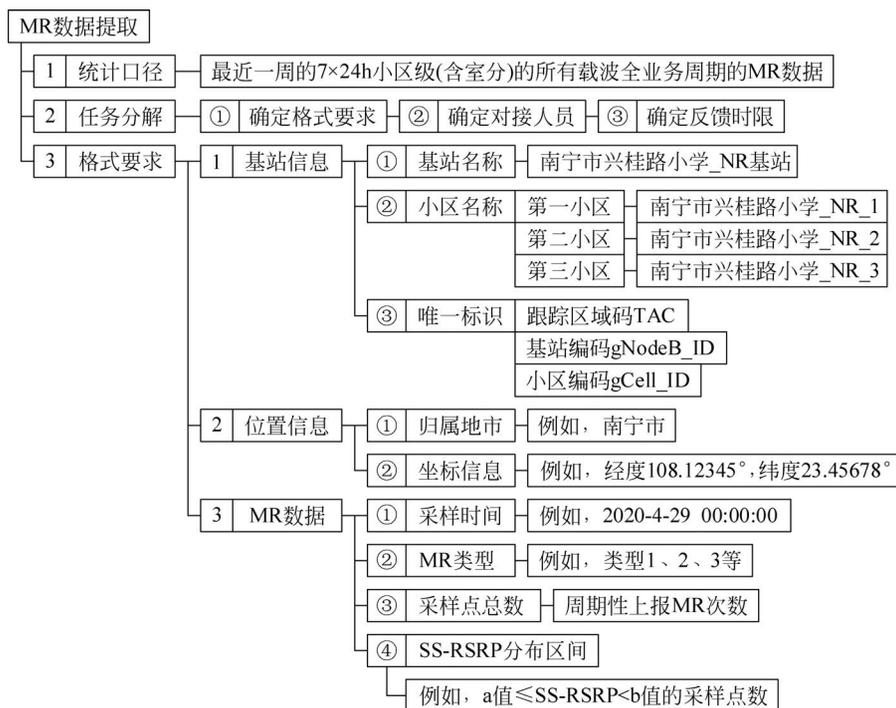


图 3-25 MR 数据提取流程方法

## 2) 数据预处理

开展数据预处理工作是提高数据质量和分析效率的重要步骤,主要由数据集成、数据清理、数据归约、数据变换、特征构造和概念分层等环节来确保数据的完整性、准确性和一致性,如图 3-26 所示。

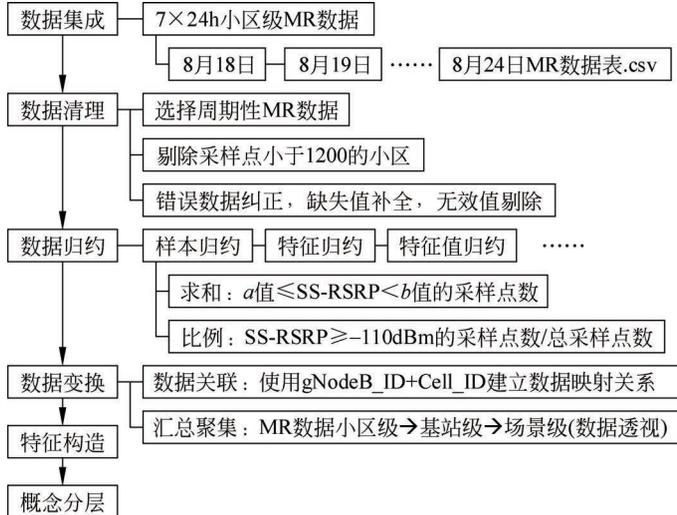


图 3-26 MR 数据预处理流程方法

## 3) 指标构造

假设人口密度大、建筑物密集的覆盖场景用户使用终端上报 MR 数据更多,为了更精准地寻找用户感知弱区,指标构造旨在建立一套与数据处理层相匹配的关键特征库和地理化图层,其主要流程包括场景划分、计算密度、分级排序、权重赋值等环节。

(1) 场景划分: 结合地形地貌、功能特征、人口分布、建筑分布等覆盖场景特征,梳理、细化和划分出 32 种不同的覆盖场景,如表 3-8 所示。

(2) 计算密度: 对人口分布及建筑物分布进行综合评估,获取不同场景的典型人口密度和建筑物密度值。以居民小区为例,对  $50\text{m} \times 50\text{m}$  为栅格进行典型指标评估。

□ 楼宇典型人口: 每层典型户数  $\times$  每户典型人数  $\times$  典型楼层数  $\times$  典型单元数。

□ 典型建筑物密度: 建筑物面积/标准栅格面积( $50\text{m} \times 50\text{m}$ )。

(3) 指标排序: 对典型人口密度和建筑物密度进行综合评估、指标加权分析和指标排序,构建出细化场景的重要等级排序。

(4) 赋予权重: 对细化场景进行等级划分和指标权重赋值。例如,对细化场景进行等级划分,划分为重要等级 A、B、 $\dots$ 、F 等 6 个等级,并对其进行指标权重赋值,对应赋值 1, 0.8,  $\dots$ , 0.1 等 6 个指标值。

(5) 等级划分: 将扇区化和栅格化处理后的 MR 数据与指标映射层数据进行分层叠加,从而构造出概念分层的地理呈现层数据。

表 3-8 覆盖场景划分及其指标构造示例

覆盖类型	场景分类	场景细化	典型人口密度/ (人/平方千米)	典型建筑物密度 (建筑物面积/标准栅格面积)	权重 分档	权值 指标
面覆盖(适用市区、县城及乡镇镇区等面状区域)	生产服务型功能区域	行政办公区	1364	0.48	B	0.8
		商业金融区	4721	0.74	A	1
		文化娱乐区	2335	0.51	B	0.8
		工业研发区	1527	0.13	C	0.6
		旅游休闲区	1192	0.16	C	0.6
		教育科研区	2945	0.62	A	1
	基础设施型功能区	居住区	4320	0.49	A	1
		医疗卫生区	3271	0.57	A	1
		物流园区	1146	0.4	C	0.6
		交通枢纽区	5213	0.68	A	1
		体育场馆区	2479	0.44	B	0.8
		城市设施服务区 (水、电、气、热等)	838	0.29	D	0.4
	特殊型功能区	军事设施区	689	0.15	D	0.4
		人防建设区	124	0.03	F	0.1
	线覆盖(适用高铁、动车、高速等线状区域)	交通干线	跨省高铁	1080	0	D
省内高铁			1060	0	D	0.4
动车线			1040	0	D	0.4
跨省高速			1024	0	E	0.2
省内高速			820	0	E	0.2
环城高速			450	0	E	0.2
国道			360	0	F	0.1
省道			280	0	F	0.1
县道			230	0	F	0.1
普通铁路			180	0	F	0.1
	水运航道	105	0	F	0.1	
点覆盖(适用城区外景点、校园、行政村等点状区域)	旅游景点	5A 级景区	1438	0.41	B	0.8
		4A 级景区	1151	0.25	C	0.6
		3A 级景区	719	0.16	D	0.4
		3A 级以下景区	432	0.08	E	0.2
	农村	行政村	1984	0.42	B	0.8
		自然村	1185	0.25	C	0.6

#### 4) 网络聚类

将经叠加分析后的 MR 概念层数据对应映射和定位到地理化图层中,输出直观的“劣质指标区”“可接受指标区”“优质指标区”地理图层,在此基础上,根据网络问题点评估方法,形成针对性的网络问题点库和解决方案库。

(1) 寻找最佳信号覆盖区：使用网络仿真手段建构和获取与MR小区相匹配的最佳信号覆盖区图层，如图3-27(a)所示。

(2) 栅格化最佳信号覆盖区：使用地理信息软件建构和获取栅格化的最佳小区图层，按 $50\text{m}\times 50\text{m}$ 步长划分栅格，对每个基站的最佳信号覆盖区进行归集编号、指标导入、栅格归类等操作，得到一张附带MR数据的栅格化最佳覆盖区图层，如图3-27(b)所示。

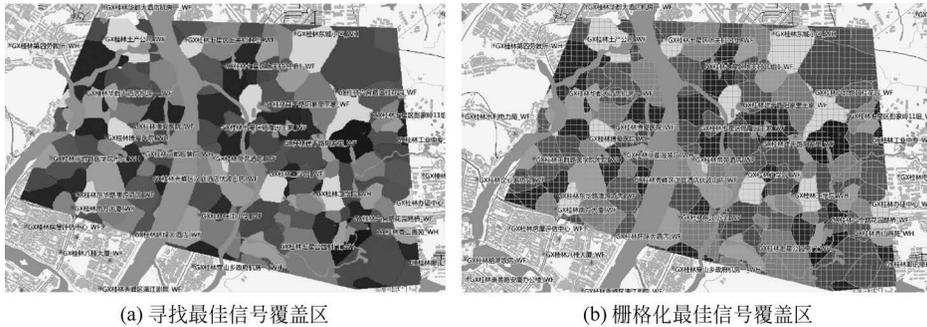


图 3-27 最佳信号覆盖区栅格化处理示意图

(3) MR 网格聚类分析：将构造的栅格化MR数据映射到最佳信号覆盖区中，按照“劣质指标区”“可接受指标区”“优质指标区”的分级划分进行网格聚类分析，如图3-28(a)所示。

(4) 特征过滤与格局判别：在上述图层的基础上，映射和叠加关键特征库及其地理图层，将最大概率的用户感知弱区从网格聚类结果中筛选出来，从而直观地呈现MR劣质指标分布格局，为5G网络问题点圈选提供参考依据，如图3-28(b)所示。

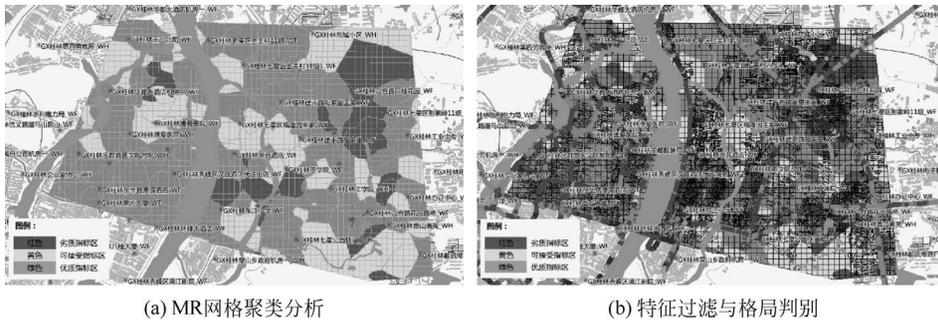


图 3-28 MR 网格聚类与格局判别示意图

## 5) 方案输出

结合网格聚类结果，对劣质指标区进行格局判别和问题定位，有针对性地提出相应的解决方案。在桂林城区场景中，桂林帝苑酒店第二小区、桂林东江小区第一小区、桂林福隆园唐家第一小区重叠区为MR弱覆盖区域，按照“先维后优再建”“先宏后微再室内”的建设原则，建议优先考虑通过调整天线方位角、下倾角、挂高和系统参数等优化手段解决问题，其次，结合现场无线传播环境，选取合理的站址新建宏站、微站或室分等建设手段解决问题，如图3-29所示。

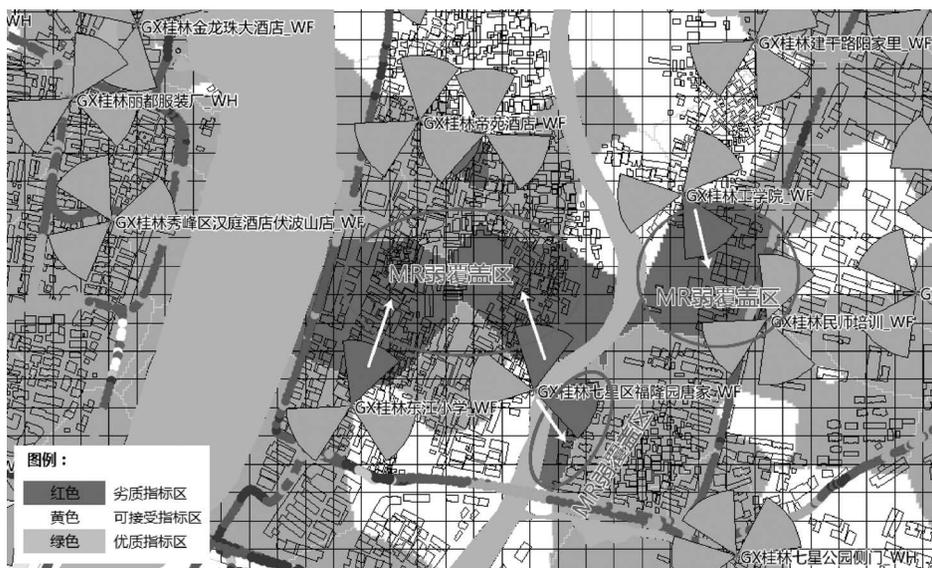


图 3-29 MR 问题点分析案例示意图



24min

## 3.2 链路预算

链路预算是评估基站覆盖能力的主要方法,也是开展无线网络规划的基础性工作。在 5G 网络规划中,主要可通过链路预算、网络仿真、试点验证等方式获得 5G 单站覆盖半径和典型站距,其中,链路预算是对发射端与接收端之间各种增益、损耗及工程余量进行分析,获得满足覆盖要求所允许的最大路径损耗,在选用合适的无线传播模型的基础上,计算得出单站最大覆盖半径。

### 3.2.1 工作原理

链路预算的主要目的是确定上下行链路发射端与接收端之间的最大允许路径损耗(MAPL),并结合不同覆盖场景的无线传播模型计算出单站覆盖半径、覆盖面积及覆盖区域站点需求规模,如图 3-30 所示,其中,最大允许路径损耗计算公式如下:

最大允许路径损耗  $PL_{max}$

$$\begin{aligned}
 &= \text{基站发射功率(dBm)} + \text{基站天线增益(dBi)} - \text{馈线损耗(dB)} - \\
 &\quad \text{穿透损耗(dB)} - \text{植被损耗(dB)} - \text{雨/雪损耗(dB)} - \\
 &\quad \text{阴影衰落余量(dB)} - \text{干扰余量(dB)} - \text{人体损耗(dB)} - \\
 &\quad \text{热噪声功率(dBm)} - \text{UE 噪声系数(dB)} + \text{UE 天线增益(dB)} - \\
 &\quad \text{解调门限 SINR(dB)}
 \end{aligned} \tag{3-1}$$

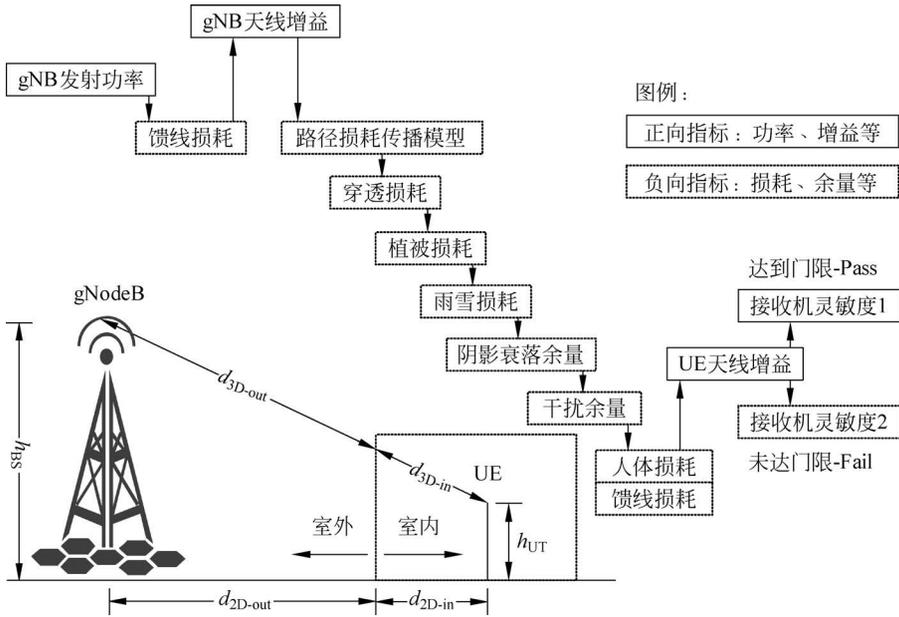


图 3-30 下行链路预算工作原理

由链路预算和传播模型可得出单站最大覆盖半径  $R$ ，并按照标准的移动蜂窝结构(正六边形)计算出单站最大覆盖面积  $S$ ，在此基础上，由覆盖区域面积与单站覆盖面积之比，可计算出覆盖区域内所需站点总规模，如图 3-31 所示，其中，单站覆盖面积计算公式为  $S = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$ ， $R$  为单站最大覆盖半径。

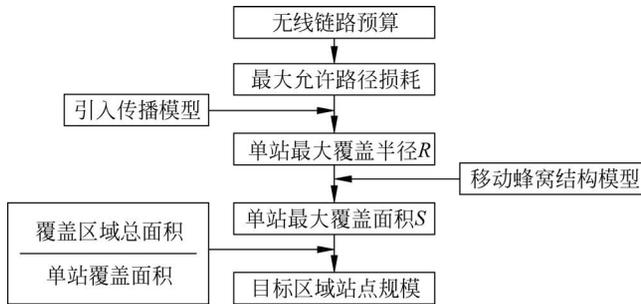


图 3-31 规划站点规模估算方法

### 3.2.2 传播模型

无线电波无形无影，最让人捉摸不透，却是信息传递的“天使”，透过天线的“窗口”优美地飘向远方，可从电磁波的工作原理、频率特性、覆盖能力和传播模型等方面来认识无线电波和开展链路预算。

## 1. 工作原理

在移动通信系统中,天线扮演着收发信机与外界传播介质的“桥梁”的角色,其主要作用是将发信机输出的射频信号能量以电磁波的形式从天线辐射出去,当天线接收到电磁波信号后,通过馈线或光纤将“翻译”出来的信息传递给收信机,如图 3-32 所示。

(1) 当两根导线距离很近时,理想导线上产生的感应电动势相互抵消,辐射到两根导线之外的能量很小。

(2) 当两根导线张开一定角度后,由于两根导线的电流方向相同,产生的感应电动势方向相同,向外辐射的能量较大。

(3) 当张开导线的长度与波长可比拟时,导线上的电流就大大增加,因而就能形成较强的辐射。

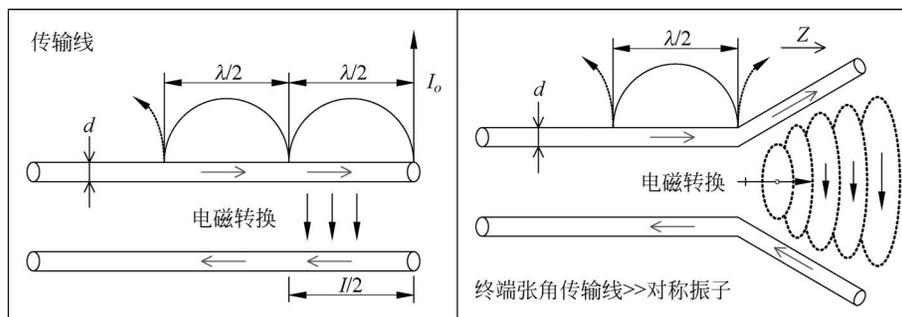


图 3-32 电磁辐射工作原理示意图

## 2. 电波特性

了解无线传播特性是开展网络规划优化的基础,电磁波可分为电波和光波,按其频率或波长的不同可划分为无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和  $\gamma$  射线,其中无线电波主要是指频率在 3kHz~300GHz 范围内的电磁波,如图 3-33 所示。应当指出的是,并非所有频段都适合用于移动通信,公众移动通信业务主要使用的是特高频、超高频或极高频等频段,例如,低频的 700MHz/800MHz/900MHz、中频的 1.8GHz/2.1GHz/2.6GHz、高频的 3.5GHz/4.9GHz 等。

可发挥高频的容量优势、低频的覆盖优势,通过链路预算、模拟仿真和测试验证等方式进一步确定 5G 单站覆盖范围,从而推动 5G 网络规模部署和商业应用。

(1) 广覆盖优先用低频段: 频率越低,波长越长,绕射能力越强,传播损耗越小,单站覆盖范围越广;反之,频率越高,波长越短,绕射能力越弱,单站覆盖范围极大收缩。正因如此,700MHz 被称为“黄金频段”,其单站覆盖能力是中高频的数倍,成为各家运营商竞相争取的宝贵频率资源。在 5G 网络规划中,可充分发挥低频段的覆盖优势,以有限的投资解决城郊、农村、交通干线等场景的广覆盖问题。

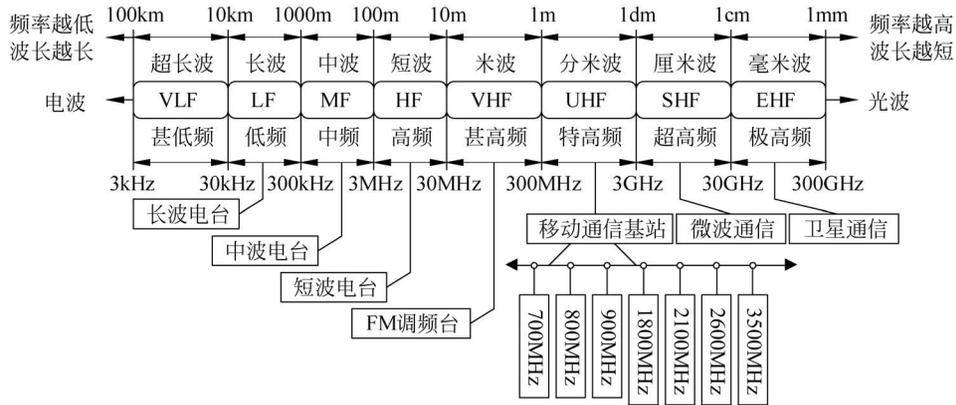


图 3-33 不同频段的无线电波特性及其主要用途

(2) 容量需求优先用中高频段：低频段(指 1GHz 以内)可用且连续的频率资源非常有限,应当指出的是,5G 建网初期,低频段仍承载着 2/3/4G 的数据和语音业务,频率重耕非常困难;相对来讲,中高频段(指 1.8GHz/2.1GHz/2.6GHz/3.5GHz 等)频率资源较为丰富,可用带宽大且系统容量大,可满足市区、县城及镇区不同场景的容量需求覆盖。

### 3. 传播模型

不同频段的无线电波的传播方式和特性不尽相同,主要受到无线传播环境、电波波长及相关障碍物阻挡等因素影响,除了直射方式外,无线电波具有反射、绕射和散射等传播方式。在 5G 网络规划中,往往会将传播环境抽象和简化为不同场景的无线传播模型,例如,3GPP Uma 模型、Cost231-Hata 模型、Aster 3D 射线跟踪模型等,如图 3-34 所示。

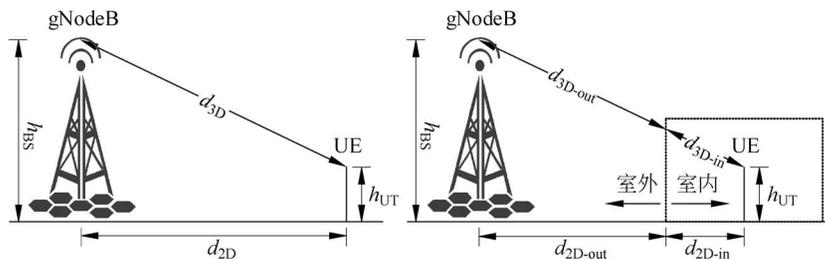


图 3-34 抽象和简化的无线传播模型

可查阅标准协议 3GPP TR 38.901,此标准协议给出了城市宏蜂窝 (UMa)、城市微蜂窝街道 (UMi-Street Canyon)、室内分布 (InF)、室内热点办公区 (InH-Office) 和农村宏蜂窝 (RMa) 共 5 种模型,每种模型又分为可视 (LOS) 和不可视 (NLOS) 场景,适用频段为 0.5~100GHz,其中城区和郊区室外宏站无线传播模型 (UMa) 如表 3-9 所示。

表 3-9 城区和郊区室外宏站无线传播模型(UMa)

场景	传播模型	慢衰落标准差/dB	适用范围和天线高度
视距	$PL_{UMa-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km \end{cases}$ $PL_1 = 28.0 + 22lg(d_{3D}) + 20lg(f_c)$ $PL_2 = 28.0 + 40lg(d_{3D}) + 20lg(f_c) - 9lg((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$\sigma_{SF} = 4$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$
非视距	$PL_{UMa-NLOS} = \max(PL_{UMa-LOS}, PL'_{UMa-NLOS})$ $(10m \leq d_{2D} \leq 5km)$ $PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08lg(d_{3D}) + 20lg(f_c) + 0.6(h_{UT} - 1.5)$	$\sigma_{SF} = 6$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$
	$PL = 32.4 + 20lg(f_c) + 30lg(d_{3D})$	$\sigma_{SF} = 7.8$	

其中,PL 为最大路径损耗(dB);  $f_c$  为工作频率(GHz);  $h_{UT}$  为移动台天线有效高度(m);  $h_{BS}$  为基站天线有效高度(m),UMa 模型默认为 25m;  $d_{2D}$  为基站与移动台的水平距离(m);  $d_{3D}$  为基站天线与移动台天线的直线距离(m)。

### 3.2.3 站距预算

站距预算主要解决两个问题:计算最大路径传播损耗和代入传播模型求出覆盖半径。可将站距预算模型和无线传播模型做成小工具,分别设置好系统参数、发射机参数、接收机参数、额外损耗及余量等基本参数,在此基础上,计算出不同场景的最大路径传播损耗和单站覆盖半径。

#### 1. 系统参数

系统参数设置主要包括覆盖场景、信道类型、工作频率、系统带宽、小区边缘速率等参数,如表 3-10 所示。

表 3-10 一般城区场景的系统参数设置

指标	计算公式	一般城区/郊区		说明
信道类型	—	上行	下行	
用户环境	—	eMBB		
工作频率/MHz	—	3500~3600		
系统带宽/MHz	—	100	100	
边缘速率/Mb/s	$a$	1	50	参考规划目标要求
分配的 RB 数	$b$	32	273	上行 RB 与上下行时隙配比有关
子载波数	$c = b \times 12$	384	3276	每个 RB 有 12 个子载波
实际占用带宽/MHz	$B = c \times 30/1000$	11.5	98.3	每个子载波 30kHz, $\mu = 1$

主要参数说明如下。

(1) 覆盖场景:根据覆盖区域的规划指标要求的不同,将覆盖场景划分为密集城区、一

般城区及郊区、农村等场景,其对应不同的小区边缘速率及配置需求。

(2) 用户环境:根据用户分布场景,可将用户环境分为室内、室外环境,针对室外环境可细分出 eMBB(大带宽)、uRLLC(低时延)、mMTC(超密连接)三大应用场景。

(3) 工作频率:5G 具备全频段接入能力,可结合不同的业务和覆盖需求来发挥不同的频率优势,国内已授权或试点用于 5G NR 公众通信频率如表 3-11 所示。

表 3-11 国内已授权或试点用于 5G NR 公众通信频率

使用者	NR 频段号	上行频段(基站接收/UE 发射)	下行频段(基站发射/UE 接收)	带宽/MHz	双工模式	备注
中国广电	n28	703~743MHz	758~798MHz	40/40	FDD	频率重耕
中国电信	n5	824~835MHz	869~880MHz	11/11	FDD	频率重耕
中国联通	n8	904~915MHz	949~960MHz	11/11	FDD	频率重耕
中国电信	n1	1920~1940MHz	2110~2130MHz	20/20	FDD	频率重耕
中国联通	n1	1940~1965MHz	2130~2155MHz	25/25	FDD	频率重耕
中国移动	n41	2515~2675MHz	2515~2675MHz	160	TDD	频率重耕
中国电信/联通/广电	n78	3300~3400MHz	3300~3400MHz	100	TDD	
中国电信	n78	3400~3500MHz	3400~3500MHz	100	TDD	
中国联通	n78	3500~3600MHz	3500~3600MHz	100	TDD	
中国移动	n79	4800~4900MHz	4800~4900MHz	100	TDD	
中国广电	n79	4900~4960MHz	4900~4960MHz	60	TDD	

(4) 工作带宽。

为实现频谱资源的灵活配置,5G NR 系统设计了可变的系统带宽,用户可根据实际需求配置不同的传输带宽,例如,20MHz(NR 2.1G)、40MHz(NR 700M)、100MHz(NR 3.5G)等,如表 3-12、表 3-13 所示。

表 3-12 Sub-6GHz 频段 5G NR 载波带宽与子载波间隔

SCS/kHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz	25MHz	30MHz	40MHz	50MHz	60MHz	70MHz	80MHz	90MHz	100MHz
	$N_{RB}$												
15	25	52	79	106	133	160	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	189	217	245	273
60	N/A	11	18	24	31	38	51	65	79	93	107	121	135

表 3-13 毫米波频段 5G NR 载波带宽与子载波间隔

SCS/kHz	50MHz	100MHz	200MHz	400MHz
	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$	$N_{RB}$
60	66	132	264	N/A
120	32	66	132	264

(5) 小区边缘速率:是在小区边缘所要求达到的目标吞吐率要求,例如,NR 覆盖小区边缘,应该提供下行 50Mb/s、上行 1Mb/s 的速率。

## 2. 发射机参数

发射机参数设置包括 UE/gNB 最大发射功率、单用户最大发射功率、每个天线通道的

发射增益、馈线损耗和人体损耗等参数,如表 3-14 所示。

表 3-14 一般城区场景的发射机参数设置

指 标	计 算 公 式	一般城区/郊区		说 明
		上行	下行	
信道类型	—	上行	下行	
UE/gNB 最大发射功率/W	$d$	0.2	200	终端: 23dBm(NSA)/26dB(SA) 基站: 53dBm(200W)
单用户最大发射功率/dBm	$e = 10 \times \lg(d/c \times 10^3)$	-2.83	17.86	
每个天线通道的发射增益/dBi	$f$	0	25	
馈线损耗/dB	$g$	0	0	AAU 无馈线损耗
人体损耗/dB	$h$	0	0	
有效全向辐射功率/dBm	$i = e + f - g$	-2.83	43	

主要参数说明如下。

(1) UE/eNodeB 最大发射功率: 查阅设备产品手册,典型的 gNB 最大发射功率为 200W,即 53dBm,而 UE 最大发射功率为 0.2W,即 23dBm。

(2) 单用户最大发射功率: 下行发射功率一般分配在系统带宽的各个 RB 上,并由用户对频率资源占用情况计算得到,其计算公式如下:

$$\text{单用户最大发射功率} = \text{最大发射功率} - 10 \times \lg(\text{可分配的子载波功率}) \quad (3-2)$$

(3) 每个天线通道的发射增益: gNB 天线增益由单 TRX 天线增益和波束赋形增益组成,典型的单 TRX 增益为 10dBi,64T64R 波束赋形增益为 15dBi; UE 天线增益可忽略不计,即取 0dBi。

(4) 馈线损耗: 馈线损耗与馈线长度、工作频段、馈线类型等参数有关,例如, NR 3.5G 设备主要采用 BBU+AAU 组网方式,BBU 与 AAU 采取光纤直驱,馈线损耗取 0dB。

(5) 人体损耗: NR 系统主要承载数据业务(不支持 VoNR 情况下),其人体损耗可忽略不计,即取 0dB。

(6) 有效全向辐射功率: EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)用来衡量发射机发射信号的能力及干扰的强度,其计算公式如下:

$$\text{EIRP} = \text{单用户最大发射功率} + \text{每个天线通道的发射增益} - \text{发射端的馈线损耗} - \text{发射端的人体损耗} \quad (3-3)$$

### 3. 接收机参数

接收机参数设置包括解调门限 SINR、接收机噪声系数、接收机灵敏度、天线增益、馈线损耗、人体损耗、干扰余量、最小接收信号电平参数,如表 3-15 所示。

表 3-15 一般城区场景的接收机参数设置

指 标	计 算 公 式	一般城区/郊区		备 注
		上行	下行	
信道类型	—	上行	下行	
解调门限 SINR/dB	$j$	-3	-3	与编码方式有关
接收机噪声系数/dB	$k$	3.5	7	

续表

指 标	计 算 公 式	一般城区/郊区		备 注
热噪声功率/dBm	$l$	-174	-174	
每子载波接收机灵敏度/dB	$m = j + k + l + 10\lg(30 \times 10^3)$	-129	-125	
天线增益/dBi	$n$	25	0	
馈线损耗/dB	$o$	0	0	
人体损耗/dB	$p$	3	3	
干扰余量/dB	$q$	3	8	
最小接收信号电平/dBm	$r = m - n + o + p + q$	-148	-114	

主要参数说明如下。

(1) 解调门限 SINR: 是指接收机能够有效解调信号的最低信噪比要求,其主要影响因素包括上下行调制编码方式(MCS)、误码率(BLER)、MIMO 方式及 HARQ 设置等。一般地, SINR 值取决于接收机的设计,并从系统仿真结果中取得。

(2) 接收机噪声系数: 它是用来表征接收机性能的关键参数,为输入端信噪比与输出端信噪比的比值。接收机噪声系数由系统带宽和 gNB 容量等因素决定。

(3) 接收机灵敏度: 是指接收端能够接收到射频信号的最小门限,其主要影响因素包括无线传播环境、覆盖目标质量要求、小区边缘数据速率、接收机噪声系数等,其计算公式如下:

$$\text{接收机灵敏度 RxSen} = \text{解调门限 SINR} + \text{接收机噪声系数 NF} + \text{热噪声功率谱密度 NP} + \text{所用带宽 } N \quad (3-4)$$

其中,热噪声功率谱密度 NP 等于玻耳兹曼常数  $k$  与绝对温度  $T$  的乘积,为  $-174\text{dBm/Hz}$ ,即  $\text{NP} = 10\lg(290 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 103) = -174\text{dBm/Hz}$ ,而所用带宽  $N$  的计算公式为  $N = 10\lg 30 \times 1000$ ,其中  $30\text{kHz}$  为子载波间隔。

(4) 干扰余量: 受 NR 小区间干扰的影响,当 NR 系统负荷增大时,小区覆盖范围会随着负荷的增加而减小,因而在链路预算中需考虑并预留一定的干扰余量。

(5) 最小接收信号电平: 是指接收端能够正确解调有用信号的最小接收信号强度要求,具体计算公式如下:

$$\text{最小接收信号电平} = \text{接收机灵敏度} - \text{天线增益} + \text{馈线损耗} + \text{人体损耗} + \text{干扰余量} \quad (3-5)$$

(6) 天线增益、馈线损耗、人体损耗: 可参考发射机中的相关参数进行设置。

#### 4. 额外损耗及余量

额外损耗及余量主要包括室内穿透损耗、阴影衰落余量等基本参数,如表 3-16 所示。

表 3-16 一般城区场景的额外损耗及余量设置

指 标	计 算 公 式	一般城区/郊区		说 明
穿透损耗/dB	$s$	26	26	不同的场景,穿透损耗有差异
大规模 MIMO 垂直增益	$t$	0	0	测算覆盖半径,暂不考虑垂直增益

续表

指 标	计算公式	一般城区/郊区		说 明
雨雪损耗/dB	$u$	0	0	
边缘覆盖概率/%	$v$	90%	90%	
阴影衰落标准差/dB	$w$	6	6	参考 3GPP 38.901
阴影衰落余量/dB	$x$	7.7	7.7	
植被损耗/dB	$y$	0	0	
OTA 损耗/dB	$z$	4	4	

主要参数说明如下。

(1) 室内穿透损耗：穿透损耗用来表征由于地形地貌和建筑物阻隔造成的用户终端从室内(或车内)到基站之间的无线信号衰落,如表 3-17 所示。

表 3-17 室内穿透损耗的典型取值

穿透损耗/dB	700MHz/800MHz /900MHz	1.8GHz	2.1GHz	2.6GHz	3.5GHz	4.9GHz	24GHz	26GHz	28GHz
典型值	18	21	22	23	26	28	36	37	38
混凝土	20	23	24	25	28	30	58	62	65
砖	6	8	9	10	11	12	20	21	22
石膏板	2	3	4	5	6	7	18	19	20
木	2	3	4	5	6	6	7	8	8
普通玻璃	2	2	2.5	2.5	3	3	7	7	7.5
特种玻璃	23	23.5	23.5	24	24	24	30	31	31.5

(2) 阴影衰落余量：因无线电波在传播过程中受到建筑物、山体及地物等阻碍而产生的阴影效应,故在站距预算中考虑一定通信概率下,用于预留对抗阴影衰落的余量,即阴影衰落余量。

(3) OTA 损耗：在实际通信网络中,当终端与基站的最佳接收和最佳发射方向存在偏差时,终端的发射功率和接收灵敏度存在一定的损失,整机的辐射性能下降。终端的这种辐射性能损失称为 OTA(Over The Air)损失。

(4) 雨雪损耗、植被损耗等：结合实际的无线传播环境取值。

### 5. 最大允许路径损耗

站距预算的最终目标就是确定上下行无线链路中发射端和接收端天线之间的最大允许路径损耗值,其计算公式如下:

$$\text{MAPL} = \text{发射端有效全向辐射功率 EIRP} - \text{最小接收信号电平} + \text{其他增益} - \text{其他损耗} - \text{其他余量} \quad (3-6)$$

### 6. 覆盖半径

结合站距预算中最大允许路径损耗 MAPL 的结果,采用城市宏蜂窝(UMa)无线传播模型进行覆盖半径的预测,其计算公式如下:

$$d_{3D} = 10^{((PL'_{UMa-NLOS} - 13.54 - 20\lg(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5))/39.08)} \quad (3-7)$$

其中,  $PL'_{UMa-NLOS}$  为非视距的最大路径损耗(dB),由站距预算模型计算得出;  $f_c$  为工作频率(GHz),已知条件为 3.5GHz;  $h_{UT}$  为移动台天线有效高度(m),UMa模型默认为 1.5m;  $h_{BS}$  为基站天线有效高度(m),UMa模型默认为 25m;  $d_{3D}$  为基站天线与移动台天线直线距离(m),为所需计算的值。

典型的 gNB 和 UE 天线高度如表 3-18 所示。

表 3-18 一般城区场景的最大路径损耗与小区半径计算

指 标	计 算 公 式	一般城区/郊区	
最大路径损耗/dB	$PL = i - r - s + t - u - x - y - z$	107	119
传播模型	—	UMa-NLOS	
基站天线有效高度/m	—	25	25
终端天线有效高度/m	—	1.5	1.5
街道宽度	—	20.0	20.0
建筑物平均高度	—	20.0	20.0
小区半径/m	—	<b>131.3</b>	<b>269.3</b>

## 7. 典型站距

可通过站距预算、模拟仿真和试点验证 3 种方法获取不同频段的 5G 单站覆盖站距,其主要解决思路如下。

(1) 站距预算: 结合不同的覆盖场景、传播模型和业务模型,获得 5G 基站上下行链路发射端与接收端之间的最大允许路径损耗,可估算出市区、县城、乡镇及农村等不同场景的单站覆盖能力,如表 3-19 所示。

表 3-19 不同频段的 5G 基站典型覆盖站距

工作频段	密集市区/m	一般市区及县城/m	郊区及乡镇/m	农村/m
700MHz/800MHz/900MHz	500~700	700~1000	1000~2000	2000~3500
2.1GHz	400~500	500~700	700~1000	1200~2000
2.6GHz	350~450	450~600	600~900	1000~1600
3.5GHz	250~350	350~500	500~800	800~1200
4.9GHz	200~300	300~400	400~600	600~1000

(2) 模拟仿真: 站距预算是单站覆盖能力的估算,模拟仿真则是系统级覆盖能力和干扰协调的综合评估。可使用蒙特卡洛仿真方法,建立和校正 5G 无线传播模型,输入网络、用户、终端和业务数据,最终输出 5G 最佳小区覆盖预测和干扰协同评估结果。

(3) 试点验证: 在 5G 大规模部署前,可建立单站试点、连片试点和地市试验局等方式搭建真实的 5G 网络运行环境,辅以路测(DT)、拨测(CQT)、测量报告(MR)等数据分析手段来验证不同覆盖场景、业务需求和网络负荷下的单站覆盖范围。



31min

## 3.3 仿真推演

网络仿真是评估和验证 5G 规划效果的主要手段之一,通过网络仿真可有效地发现 5G 网络规划中存在的覆盖、容量和质量等技术问题,进一步输出高质量的 5G 规划方案,从而有效地避免网络存在的“先天性缺陷”及精准地指引规划落地实施。本节主要介绍使用 Atoll 仿真软件开展 5G 网络覆盖仿真分析,其主要步骤包括制作工参、数据建模、模型校正、仿真预测和方案调优等工作环节。

### 3.3.1 仿真软件

Atoll 是一款主流的无线网络仿真软件,支持 NR、LTE、UMTS、GSM 等多种无线接入技术,可有效地支持 5G 网络建模、覆盖预测、网络规划及优化等功能。

#### 1. 软件界面

了解软件界面,固定常用工具。Atoll 软件主要分菜单栏、工具栏、控制面板、地图窗口和状态栏等模块,可将常用的功能模块固定在工具栏或控制面板上,并将学习重心放在掌握关键模块和解决主要问题上,例如,标准工具、地图工具、窗口工具、矢量工具、无线规划等工具,如图 3-35 所示。



图 3-35 Atoll 仿真软件模块组成示意图

#### 2. 软件菜单

认识软件菜单,建立连贯思路。Atoll 软件菜单栏由文件、编辑、视图、文档、工具、窗口和帮助菜单组成,其主要功能如表 3-20 所示。

表 3-20 Atoll 软件的菜单栏及其功能说明

工具名称	对应中文	功能说明
File	文件	新建、打开、保存和关闭工程,以及导入地图
Edit	编辑	撤销、重做、剪切、复制、粘贴数据或对象
View	视图	刷新、移动、缩放,调出网络、GEO、参数、事件、图例等面板,调出工具栏、状态栏、标尺等模块
Document	文档	仿真运算、数据导入、坐标系统设置、单位设置等
Tools	工具	查找站点,CW 测试、路测数据、点分析、微波分析等专业工具
Window	窗口	新建、重置、选取窗口图层
Help	帮助	帮助主题及其他

以任务为牵引,将软件功能及其关联操作连贯起来,落实到每个具体的问题上,例如,在 Atoll 创建工程时,可将新建、保存、关闭和导入等基本操作“串联”起来,图 3-36 所示。

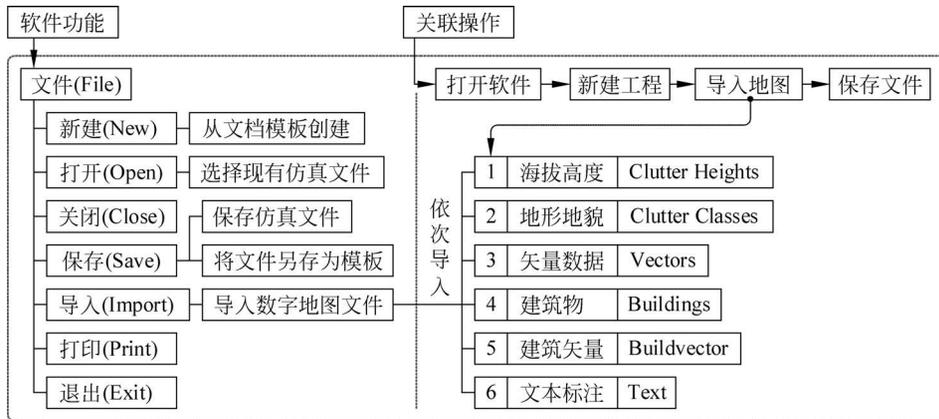


图 3-36 认识 Atoll 软件的文件菜单

### 3. 工具栏

调出工具栏,了解操作技法。可建立学习地图,将主要工具、功能模块做成思维导图或清单表格形式,以便快速查阅和高效使用,例如,将工具栏中的常用工具做成清单表格,对标准工具、地图工具、窗口工具、矢量编辑和无线规划等功能深入学习,如表 3-21 所示。

表 3-21 Atoll 软件的工具栏及其功能说明

工具名称	对应中文	功能说明
Standard	标准	对应文件和编辑菜单,包括新建、打开、保存、导入、复制、粘贴、剪切、撤销等功能
Map	地图	对应视图菜单,包括刷新、选择、移动、缩放、标尺、查找、比例尺等功能
Window	窗口	对应视图菜单,可调出侧边栏的网络、GEO、参数、事件、图例等工具
Vector Editor	矢量编辑	新建和选择向量,新建点,绘制多边形、直线、矩形等对象并对其进行合并、删除、相交或分割等编辑操作

续表

工具名称	对应中文	功能说明
Radio Planning	无线规划	对应工具菜单,包括分层选取、新增基站和天线、点分析、邻区分析、计算、强制计算等功能
Microwave Link Planning	微波链路规划	对应工具菜单,包括新建链路、中继、多跳链路、点对多网络、微波链路分析、信道编排等功能
Transport Layer	传输分析	对应工具菜单,包括新建节点、段落、传输层分析、带宽计算器等功能
Add-ins	插件	例如,小区面积计算、多层预测、导出到谷歌地球等

#### 4. 控制面板

善用控制面板,设置关键参数。由“视图”菜单栏调出,固化于软件侧边栏上,常用功能包括网络设置、GEO 配置、参数配置、图例和事件等模块。

(1) 网络设置:属于常用模块,主要完成 Sites/Transmitters/Cell 数据导入、覆盖预测、网络建模及相关分析,如表 3-22 所示。

表 3-22 Atoll 软件的网络设置模块及其功能说明

一级目录	对应中文	主要选项及说明
Sites	基站参数	由基站表(Sites)导入,包含基站名称、经纬度、备注信息等
4G/5G Transmitters	4/5G 发射机参数	由扇区表(Transmitters)和小区表(Cells)导入,包含扇区(小区)名称、经纬度、频段、天线类型、挂高、方位角、下倾角、传播模型、设备参数及小区参数等
Predictions	覆盖预测	覆盖预测工具,例如,最佳小区、最佳波束覆盖图、覆盖分析、干扰分析、上下行吞吐量分析等
ACP-Automatic Cell Planning	自动小区规划(ACP)	小区规划分析,例如,站点选择、覆盖和容量优化
Simulations	模拟分析	网络建模分析,例如,蒙特卡洛仿真
Multi-point Analysis	多点分析	特定用户组(小区)分析,例如,定位掉话、低吞吐量等问题
4G/5G Interference Matrices	4/5G 干扰矩阵	4/5G 干扰分析
CW Measurements	CW 测试	开展 CW 测试校正传播模型
4G/5G Drive Test Data	4/5G 路测数据	使用路测数据校正传播模型
Links	链路	不同通信链路分析,例如,微波链路、传输链路、点对多分析
KPIs	KPI 指标	KPI 指标分析
UE Traces	终端轨迹	终端轨迹分析

(2) GEO 配置:属于常用模块,主要完成地形地貌、地理高程、向量数据、区域划分等地理数据导入和管理,如表 3-23 所示。

表 3-23 Atoll 软件的 GEO 配置模块及其功能说明

一级目录	对应中文	主要选项及说明
Terrain Sections	地形剖面	按可见度划分,例如, $VISIBILITY < 0, 0 \leq VISIBILITY < 100, VISIBILITY \geq 100$

续表

一级目录	对应中文	主要选项及说明
Zones	区域划分	用于设置过滤、计算和输出区域,包括过滤区、聚焦区、运算区、热点区、打印区、导出区等
Traffic Maps	业务地图	—
Weighting Maps	权重地图	—
Geoclimatic Parameters	地理气候参数	—
Population	人口地图	—
Clutter Heights	地理高程	由地图导入,例如,buildings. bil
Clutter Classes	地形地貌	由地图导入,含城区和农村场景的不同类型建筑、交通干线、森林、绿地、水域等
Buildvectors	建筑物向量	由地图导入,不同类型建筑物轮廓
Vectors	向量数据	由地图导入,含城市道路、高铁、高速、水域、边界等向量数据
Text Data	文本标注	由地图导入,含城市、县城、城镇、村庄、交通线等标注信息
Digital Terrain Model	数字地形模型	由地图导入,例如,nn50dem. bil
Online Maps	在线地图	—

(3) 参数配置:属于常用模块,主要完成业务参数、4/5G 网络参数、传播模型等参数配置及模型校正,如表 3-24 所示。

表 3-24 Atoll 软件的参数配置模块及其功能说明

一级目录	二级目录	主要选项及说明
业务参数	业务类型	5G 数据、宽带、互联网、机器连接、视频通话、语音通话
	移动性类型	50km/h、90km/h、静止、步行
	终端类型	2G 手机、3G 手机、3G+智能手机、4G 智能手机、5G 智能手机、物联网设备
	用户配置	5G 用户、商务用户、标准用户
	业务环境	密集城区、一般城区、郊区、农村
4/5G 网络设置	基站模板	5G NR 宏站/微站、4G LTE 宏站/微站、NB-IoT 宏站
	频率	带宽、载波参数
	UE 类别	例如,UE Category 1、2、3 等
	无线设备	5G NR、4G LTE、NB-IoT 等
	调度	例如,按最大载干比、按需求分配、按平均分配、按循环分配
	小区参数	分域参数、分组参数
无线网设备	网络分层	宏站层、微站层
	天线	不同基站天线,例如,65deg 18dBi 0Tilt 1900/2100MHz
	3D 波束赋型	3D 波束赋型建模、波瓣图
	塔放	例如,默认 TMA 设备
	馈线	例如,1/2 英寸(1 英寸=2.54 厘米)馈线、7/8 英寸馈线
	发射机	例如,默认 eNode-B 设备

续表

一级目录	二级目录	主要选项及说明
无线网设备	接收机	例如,默认设备
	干扰协同系数	—
微波设置	—	频率、性能、配置、数据模板、传输链路类型等模块
微波设备	—	制造商、无线设备、天线、馈线及电磁兼容等模块
KPI/终端 轨迹参数	—	KPI 定义、终端轨迹地图等模块
传播模型	—	不同无线传播模型,例如,SPM、Cost-Hata、Aster 等

(4) 其他模块：包括任务、事件、图例、站点浏览等模块，其中事件模块用于记录网络仿真过程中的各种事件和错误信息，图例模块则用于呈现仿真预测图中各类指标的图例信息。

### 3.3.2 仿真预测

仿真预测是 5G 网络规划、设计、优化和建设的重要验证手段，可直观地预测网络性能和趋势，发现网络存在的覆盖、容量和干扰等问题，其主要操作步骤分为准备数据、创建工程、导入工参、配置模型、仿真预测和仿真调优等环节。

#### 1. 仿真流程

对移动通信系统性能进行计算机仿真及评估是网络付诸实施前的规划阶段的重要评估手段，例如，可采用 Atoll 仿真软件和校正的传播模型，使用蒙特卡洛仿真方法建立最佳小区覆盖预测，如图 3-37 所示，主要仿真流程如下。

(1) 仿真数据收集：包括仿真地图数据、设备数据、天馈数据及相关传播模型等参数。

(2) 仿真数据输入：制作和输入 Sites 表、Transmitters 表、Cells 表等仿真数据。

(3) 仿真参数调整：对输入仿真数据进行调整和校正，例如，对传播模型进行校正。

(4) 仿真预测和运算：导入话务环境模型，设置话务环境、用户行为、手机终端、NR 系统服务等网络参数并进行网络仿真。

#### 2. 创建工程

以创建“NR 3.5G 网络仿真”的工程文件为例，其主要步骤分为创建工程、加载地图、设置坐标系统和地图样式等，如图 3-38 所示。

##### 1) 创建工程

主要做法是使用工程模板来创建仿真工程，工程模板内置一组默认的网络基础配置参数，可极大地提高工作效率和减少出错概率。

使用模板创建工程的路径为 File→New→From a Document Template...，根据 5G 网络仿真需要选取“5G Multi-RAT”工程模板并勾选“5G NR”作为无线接入技术。

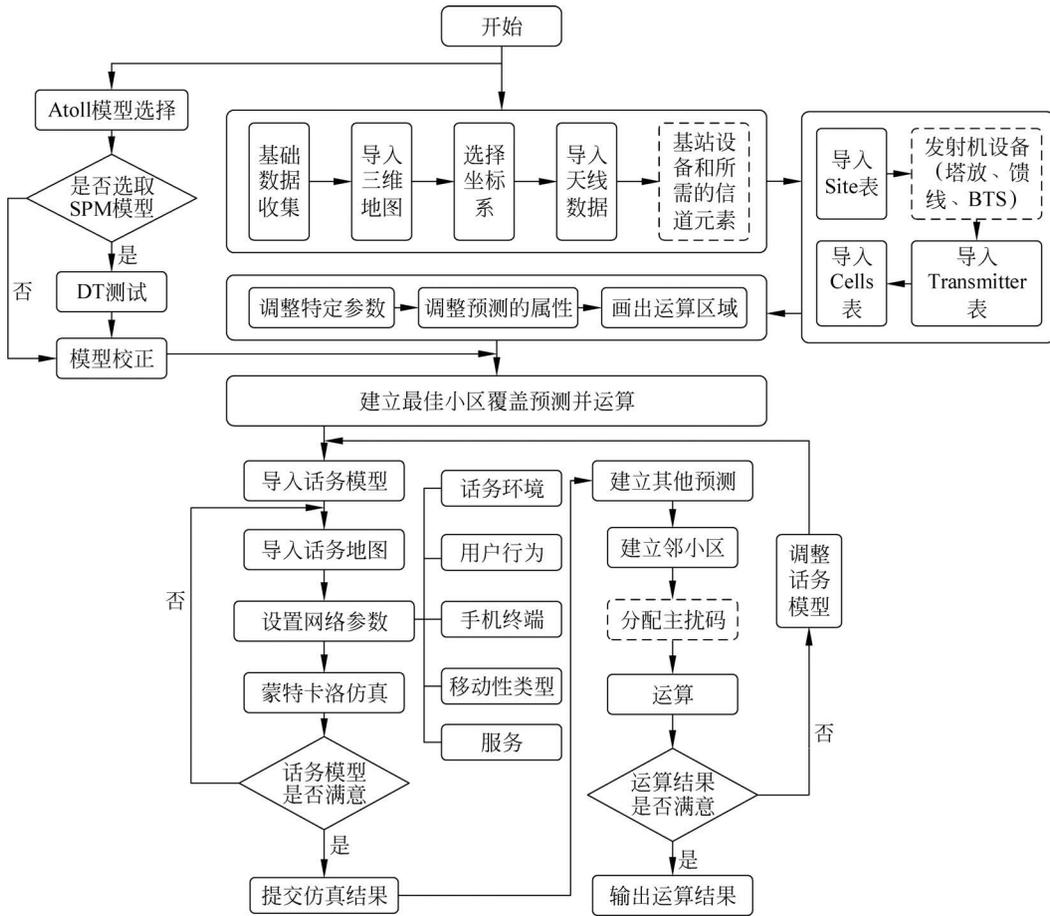


图 3-37 5G 网络仿真流程示意图

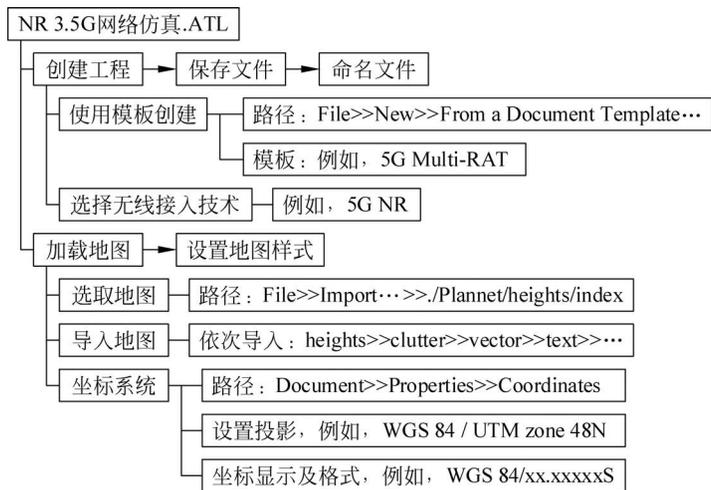


图 3-38 创建工程文件的操作步骤

## 2) 加载地图

(1) 电子地图: 在 Atoll 仿真中, 常使用 Planet 数据文件格式的高精度电子地图, 其精度包括 5m、20m、50m、100m 等, 对应的地图数据包括 Clutter、Height、Vector、Buildings、Buildvector 和 Text 等, 如表 3-25 所示。

表 3-25 电子地图文件描述及其对应关系

序号	中文名称	英文名称	对应 Atoll	文件描述	备注
1	海拔高度	Height	Altitudes	栅格格式, 海拔高度数据	
2	地形地貌	Clutter	Clutter classes	栅格格式, 地物覆盖数据, 例如, 城区、绿地、水域、森林等	
3	向量数据	Vector	Vectors	向量格式, 线性向量数据, 例如, 边界、道路等	
4	建筑物	Buildings	Clutter heights	栅格格式, 三维建筑物数据	5m 精度地图
5	建筑物向量	Buildvector	Vectors	向量格式, 建筑物向量数据	5m 精度地图
6	文本标注	Text	Text data	文本格式, 信息标注, 例如, 地名、路名等	

(2) 地图信息: 打开对应的地图文件夹, 可从索引文件(index.txt)中获取地图的边界和精度信息, 例如, 读取 index 文件信息 dem.bil 224202.20 226517.20 2523281.10 2525581.10 5, 其中 dem.bil 指向该 dem 高程数字地图文件; 224202.20 226517.20 为地图东西边界坐标, 2523281.10 2525581.10 则为地图南北边界坐标, 单位为 m, 是以大地原点为参考的, 我国的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇北流村, 具体位置位于北纬  $34^{\circ}32'27.00''$ , 东经  $108^{\circ}55'25.00''$ ; 最后的数字 5 是指该电子地图为 5m 精度地图, 如图 3-39 所示。

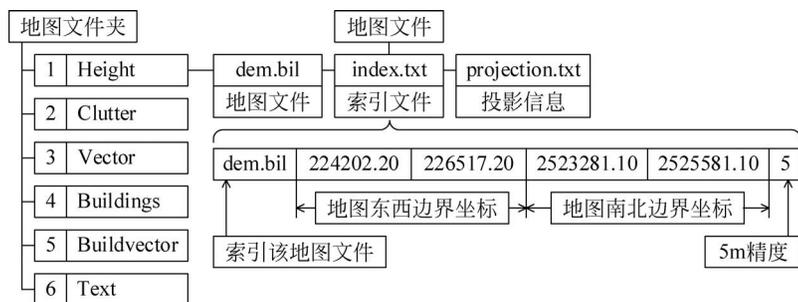


图 3-39 电子地图文件信息解读

## 3) 选择坐标系

选择正确的坐标系可确保导入的电子地图、仿真工参及相关参数的一致性, 避免出现电子地图与站址布局的偏移问题。选择 Atoll 软件的文档菜单, 打开路径为 Document → Properties, 其设置方法如图 3-40 所示。

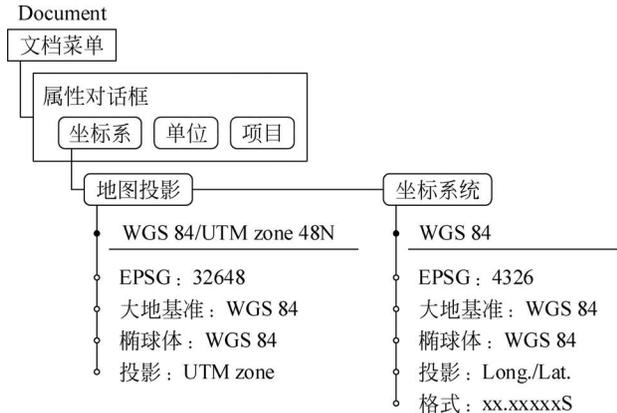


图 3-40 投影系统和显示系统的设置方法

#### 4) 地图样式

(1) 地图设置：选择 Atoll 软件的视图菜单，打开路径为 View→Geo Explorer→Clutter Classes Properties，可根据当地实际和工程经验设置数字地图的标准偏差、室内损耗、MIMO 参数及地图样式等参数值，其中地形地貌样式的参考样式如表 3-26 所示。

表 3-26 地图中地形地貌样式的设置方法

图 例	对应中文	颜色(RGB 值)	说 明
Dense_Urban	密集城区	238,238,238	与城乡规划对应，主要依据人口、建筑物密度，以及商业活动活跃度划分
Urban	一般城区	244,244,244	同上
SubUrban	郊区	192,220,192	城市外围人口较多的区域，商业活动少，住宅相对分散
Village	村庄	192,220,192	农村或城郊区域人口居住相对集中的自然村落
High_Buildings	高层建筑	128,128,128	城市内(含市区、县城)高度大于 40m 的建筑物
Ordinary_Regular_Buildings	普通规则建筑物	128,128,128	城市内(含市区、县城)高度为 20~40m 的建筑物
Parallel_Regular_Buildings	平行规则建筑物	128,128,128	城市内(含市区、县城)平行排列、街道规则且高度低于 20m 的建筑物
Irregular_Large_Buildings	不规则大型建筑	128,128,128	城市内(含市区、县城)不规则排列、面积较大且高度低于 20m 的建筑物
Irregular_Buildings	不规则建筑物	128,128,128	其余不规则的建筑物
Urban_OpenArea	城市开阔地	240,243,250	例如，城市内的广场、公园等
SubUrban_OpenArea	郊区开阔地	240,243,250	除高铁、高速、国道、铁路及道路外，城市郊区中植被覆盖稀少或荒芜的区域，含荒山、荒地、荒滩、露天矿等

续表

图 例	对 应 中 文	颜色(RGB 值)	说 明
Green_Land	绿地	244,244,244	城市内(含市区、县城)低矮、混杂植被覆盖的区域
Wet_Land	湿地	180,235,175	潜水面与植被混杂覆盖的区域,含池塘、沼泽、水田、滩涂、岩滩、沙砾滩等
Forest	森林	57,182,46	林木覆盖率大于 60%的面状区域
Water	水域	125,254,255	水域覆盖区域,含河流、水库、湖泊、河口等
Sea	海域	178,206,254	海水覆盖区域,含海洋、港湾等
Dense_Avenue	城区主干道	253,188,6	城市道路网骨架和交通动脉
Avenue	城区道路	253,188,6	除城区主干道外的街道
Road_Area	道路面积	253,188,6	城区道路配套设施
High_speed_Railway	高速铁路	204,174,174	设计时速 200km 以上的客运专用铁路
Railway	铁路	204,174,174	除高速铁路外,供火车行驶、客货两用的轨道线路

(2) 仿真运算区: 主要用于划定运算范围和归类覆盖场景,可通过手工绘制、导入图层等方式获得,其导入路径为 View→Geo→Zones→Computation Zone,如图 3-41 所示。

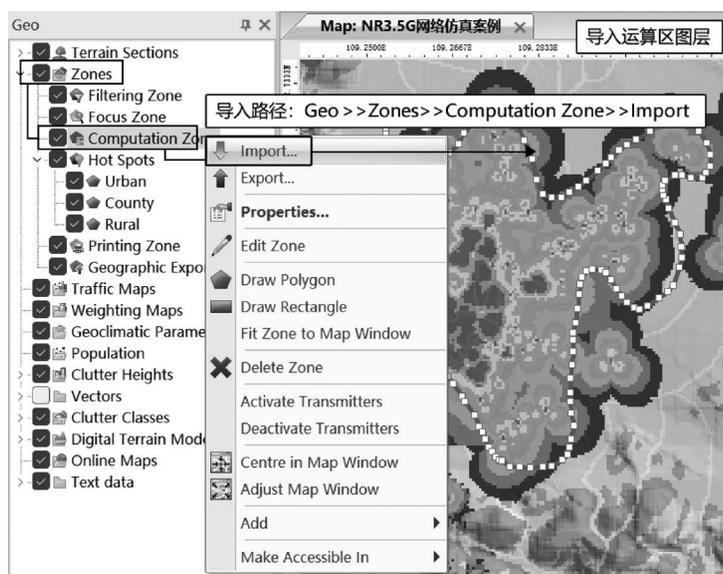


图 3-41 导入运算区图层的操作方法

- ❑ 划定运算范围: 界内参与运算,反之不参与。
- ❑ 归类覆盖场景: 与导入图层对应,方便后期数据统计,其导入路径为 Hot Spots→Vector Import→Fields to be imported。
- ❑ 坐标系统调整: 保持工程文件与导入图层坐标系统相统一,其调整路径为 Computation Zone→Vector Import→Coordinate Systems→Change。

### 3. 制作工参

从工程实操角度看,5G网络仿真分3步,一是制作工参与校正模型,二是创建工程与仿真预测,三是效果分析与优化调整,其中,制作工参是5G网络仿真的基础性工作,在开展网络仿真前,应批量制作和配置仿真工参数据,主要涉及3张表,即Sites表、Transmitters表、Cells表,分别对应站址级、扇区级和小区级(载波级)工程参数。

#### 1) 站址参数表

从网络规划成果中,可获得站址规划参数表,主要参数包括站址位置、站址类型、场景、挂高、方位角、下倾角、频段、设备配置等,如表3-27所示。

表 3-27 站址规划基础参数表

地市	基站名称	小区名称	经度/(°)	纬度/(°)	场景	挂高/m	方位角/(°)	下倾角/(°)	频段/GHz	设备配置	站址类型
A市	SiteA	SiteA_1	110.151981	22.648959	市区	20	0	7	NR 3.5	64TR	现网
A市	SiteA	SiteA_2	110.151981	22.648959	市区	20	110	7	NR 3.5	64TR	现网
A市	SiteA	SiteA_3	110.151981	22.648959	市区	20	220	7	NR 3.5	64TR	现网
A市	SiteD	SiteD_1	110.323843	22.676483	农村	20	80	3	NR 2.1	4TR	新增
A市	SiteD	SiteD_2	110.323843	22.676483	农村	20	200	3	NR 2.1	4TR	新增
A市	SiteD	SiteD_3	110.323843	22.676483	农村	20	330	3	NR 2.1	4TR	新增

#### 2) Sites 表

Sites表对应站址级工参数据,例如,站址名称、站址位置、站址分类及相关参数,如表3-28所示。

表 3-28 Sites 表的填写方法

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Name	基站名称	—	必填,例如,南宁市那考河小学
Longitude	经度	(°)	必填,例如,110.151981
Latitude	纬度	(°)	必填,例如,110.151981
Altitude (m)	海拔	m	从数字高程地图中读取
Comments	备注	—	可按场景、频段、类型划分
Support Height (m)	支撑物高度	m	例如,50m
Support Type	支撑物类型	—	例如,建筑物屋顶、支撑式塔架、独立式塔架、管状塔架等
Alias	别名	—	
Max No. of UL CEs	最大上行CE数	—	256
Max No. of DL CEs	最大下行CE数	—	256
Max Iub UL Backhaul Throughput (kb/s)	Iub接口最大回传吞吐量(UL)	kb/s	12288
Max Iub DL Backhaul Throughput (kb/s)	Iub接口最大回传吞吐量(DL)	kb/s	12288
Equipment	设备名称	—	例如,5G NR Radio Equipment

续表

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Max No. of EV-DO CEs per Carrier	每载波最大 EV-DO CE 数	—	96
Max Backhaul Throughput (DL) (kb/s)	最大回传吞吐量(DL)	kb/s	950 000
Max Backhaul Throughput (UL) (kb/s)	最大回传吞吐量(UL)	kb/s	950 000

### 3) Transmitters 表

Transmitters 表对应扇区级工参数据,主要由 4 组参数组成,包括基本参数、设备参数、天线参数、传播模型等,其中,基本参数主要涉及站址下挂的扇区数据,例如,扇区位置、无线接入技术、使用频段、对应载波及相关信息,如表 3-29 所示。

表 3-29 Transmitters 表中基本参数的填写方法

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Site	站点名称	—	必填,例如,南宁市那考河小学
Transmitter	扇区名称	—	必填,例如,南宁市那考河小学_1
DX(m)	—	m	0
DY(m)	—	m	0
Use Absolute Coordinates	是否使用绝对坐标	—	必填,1 表示勾选,0 表示取消
Longitude	经度	(°)	必填,例如,110.151981
Latitude	纬度	(°)	必填,例如,22.648959
Radio Access Technology	无线接入技术	—	必填,对应 Station Templates 表,例如,5G NR
Layer	网络分层	—	必填,对应 Layers 表,例如,Macro Layer
Frequency Band	频段名称	—	必填,对应 Bands 表,例如,n78/LT
Carrier	载波名称	—	必填,对应 Carriers 表,例如,100 MHz -NR-ARFCN 636667
Shared Antenna	共享天线	—	按需配置
Shared pattern	共享模式	—	按需配置
Max Range (m)	最大范围	m	例如,800m
Comments	备注	—	可按场景、频段、类型划分

设备参数主要涉及发射机类型、主设备信息、发射及接收损耗等数据,如表 3-30 所示。

表 3-30 Transmitters 表中设备参数的填写方法

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Active	是否激活扇区	—	必填,1 表示勾选,0 表示取消
Transmitter Type	发射机类型	—	必填,默认设置作为服务小区和干扰源,即 Intra-network (Server and Interferer)
Transmitter Equipment	主设备名称	—	必填,对应 Radio Network Equipment → Transmitter Equipment 中的模型,例如,Default eNode-B Equipment
TMA Equipment	塔放名称	—	不涉及

续表

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Feeder Equipment	馈线名称	—	不涉及
Transmission Feeder Length (m)	发射馈线长度	m	因BBU-RRU使用尾纤连接,默认0m
Reception Feeder Length (m)	接收馈线长度	m	同上
Transmission losses (dB)	发射损耗	dB	光纤传播损耗可忽略不计,可取0dB
Reception losses (dB)	接收损耗	dB	同上
Noise Figure (dB)	基站噪声系数	dB	必填,一般取值范围为5~7dB,例如,取4dB
Miscellaneous Transmission Losses (dB)	其他发射损耗	dB	按需配置
Miscellaneous Reception Losses (dB)	其他接收损耗	dB	按需配置

天线参数主要涉及天线类型、天线挂高、方位角、下倾角、波束模型、天线通道数等数据,如表3-31所示。

表3-31 Transmitters表中天线参数的填写方法

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Antenna	天线类型	—	按需配置,对应Radio Network Equipment→Antennas中的模型,例如,NR 2.1G使用的65deg 18dBi 0Tilt 1900/2100MHz
Height (m)	天线挂高	m	必填,若位于建筑物上,则需加上天面高度和所在平台高度
Azimuth (°)	天线方位角	(°)	必填,根据覆盖目标设置,例如,120°
Mechanical Downtilt (°)	机械下倾角	(°)	必填,由下倾角公式计算,例如,6°
Additional Electrical Downtilt (°)	电子下倾角	(°)	按需配置
Beamforming Model	波束赋型模型	—	必填,对应Radio Network Equipment→3D Beamforming Models中的模型,例如,NR 3.5G使用的Default Beamformer
Number of Transmission Antennas	发射天线数量	—	必填,例如,通道数64TR对应填64
Number of Reception Antennas	接收天线数量	—	同上
Number of Power Amplifiers (DL)	下行功放数量	—	按需配置,例如,1个

传播模型与控制面板中Parameters(参数)→Propagation Models(传播模型)中的模型相对应,可选取不同的传播模型、设置最大路损距离、计算精度等数据,如表3-32所示。

表3-32 Transmitters表中传播模型的填写方法

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Main Propagation Model	主选传播模型	—	必填,与Propagation Models模型对应,例如,Standard Propagation Model
Main Calculation Radius (m)	对应的计算半径	m	必填,计算和限定扇区路损的最远距离,例如,城区2000m

续表

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Main Resolution (m)	对应的计算精度	m	必填,与地图精度保持一致,例如,5m/20m/50m
Extended Propagation Model	备选传播模型	—	按需配置
Extended Calculation Radius (m)	对应的计算半径	m	按需配置,应大于主选传播模型中的计算半径
Extended Resolution (m)	对应的计算精度	m	按需配置

#### 4) Cells 表

Cells 表则是更小颗粒度的工参数据,对应小区(载波)级数据,主要涉及载波激活状态、使用频点号、PCI 编码、最大发射功率、最低电平门限、信道参数集、业务参数集及网络负荷模型等数据,如表 3-33 所示。

表 3-33 Cells 表的填写方法

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Name	小区/载波名称	—	默认载波名称为扇区名称+(载波编号),例如,南宁市那考河小学基站_1(0),载波编号自 0 开始;亦可手动设置
Transmitter	扇区名称	—	与 Transmitters 表对应,例如,南宁市那考河小学基站_1
Active	是否激活载波	—	1 表示勾选,0 表示取消
ID	载波编号	—	与 CELL ID 对应
Order	在扇区内部显示的顺序	—	例如,1
Carrier	载波频点号	—	对应 Carriers 表,例如,100 MHz-NR-ARFCN 636667
Channel Allocation Status	信道分配状态	—	分 3 种状态 Not Allocated(未分配)、Allocated(已分配)、Locked(锁定)
Physical Cell ID	物理小区 ID	—	使用 AFP 模块自动分配 PCI,PCI=PSS ID+3×SSS ID,可用范围为 0~1007
Physical Cell ID Domain	PCI 可用范围域	—	—
PSS ID	PSS ID 号(主同步信号)	—	由 PCI 自动配置,可用范围为 0~2(共 3 个)
PSS ID Status	分配 PSS ID 给小区的状态	—	分 3 种状态: Not Allocated(未分配)、Allocated(已分配)、Locked(锁定)
SSS ID	SSS ID 号(次级同步信号)	—	由 PCI 自动配置,可用范围为 0~335(共 336 个)
SSS ID Status	分配 SSS ID 给小区的状态	—	与 PSS ID Status 选项相同
Reuse Distance (m)	最小复用距离	m	例如,10 000m
Max Power (dBm)	最大发射功率	dBm	例如,53dBm

续表

字段名称	中文名称	单位	填写说明
SSS EPRE (dBm)	SSS 信道单 RE 上的功率值	dBm	例如,17.8dBm
PSS EPRE Offset/SSS (dB)	PSS 信道相对 SSS 信道单 RE 的功率偏置	dB	按默认值,例如,3dB
PBCH EPRE Offset/SSS (dB)	PBCH 信道相对 SSS 信道单 RE 的功率偏置	dB	按默认值,例如,0dB
PDCCH EPRE Offset/SSS (dB)	PDCCH 信道相对 SSS 信道单 RE 的功率偏置	dB	按默认值,例如,0dB
PDSCH EPRE Offset/SSS (dB)	PDSCH 信道相对 SSS 信道单 RE 的功率偏置	dB	按默认值,例如,0dB
Layer	网络分层	—	例如,Macro Layer
Cell Type	小区类型	—	可选项为主小区 PCell、辅小区 SCell(DL)、辅小区 SCell (UL)
Min SS-RSRP (dBm)	最低电平门限值	dBm	RSRP 低于该门限值视为无覆盖,例如,-140dBm
Cell Individual Offset (dB)	小区特定偏置	dB	按默认值,例如,3dB
Cell Selection Threshold (dB)	小区选择门限	dB	例如,4dB
Handover Margin (dB)	切换门限	dB	例如,4dB
Cell Edge Margin (dB)	小区边缘电平	dB	例如,0dB
SS/PBCH Numerology	SS/PBCH 参数集	—	可选项为 0(15kHz)、1(30kHz)、3(120kHz)、4(240kHz),例如,NR 3.5G 选取 1(30kHz)
SS/PBCH Periodicity	SS/PBCH 发射周期	—	可选项为 5ms、10ms、20ms、40ms、80ms、160ms,例如,NR 3.5G 选取 10ms
SS/PBCH OFDM Symbols	SS/PBCH OFDM 符号数	—	可选项为 {2,8}+14n[Lmax=4]、{2,8}+14n[Lmax=8]、{4,8,16,20}+28n[Lmax=4]、{4,8,16,20}+28n[Lmax=8]、{4,8,16,20}+28n[Lmax=64]、{8,12,16,20,32,36,40,44}+56n[Lmax=64],例如,NR 3.5G 选取 {4,8,16,20}+28n[Lmax=8]
PDCCH Overhead (OFDM Symbols)	PDCCH 开销(OFDM 符号)	—	按默认值,例如,1
Traffic Numerology	业务参数集	—	可选项为 0(15kHz)、1(30kHz)、2(60kHz Normal CP)、2(60kHz Extended CP)、3(120kHz),例如,NR 3.5G 选取 1(30kHz)
TDD DL OFDM Symbols (%)	TDD 下行 OFDM 符号占比	%	例如,85%

续表

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Radio Equipment	无线设备	—	对应 4G/5G Network Settings 中的模型, 例如, 5G NR Radio Equipment
Scheduler	调度算法	—	按默认值, 可选项为 Max C/I(最大载干比)、Proportional Demand(按比例)、Proportional Fair(取平均)、Round Robin(取循环)
Diversity Support (DL)	下行支持的 MIMO 模式	—	按需配置, 可选项为 none、Transmit Diversity、SU-MIMO、MU-MIMO
Diversity Support (UL)	上行支持的 MIMO 模式	—	按需配置, 可选项为 none、Receive Diversity、SU-MIMO、MU-MIMO
Number of MU-MIMO Users (DL)	下行平均 MU-MIMO 用户数	—	例如, 200 户
Number of MU-MIMO Users (UL)	上行平均 MU-MIMO 用户数	—	例如, 100 户
Max Number of Users	小区最大同时连接用户数	—	例如, 1000 户
Number of Users (DL)	下行连接用户数	—	例如, 500 户
Number of Users (UL)	上行连接用户数	—	例如, 500 户
Traffic Load (DL) (%)	下行负载	%	例如, 50%
Traffic Load (UL) (%)	上行负载	%	例如, 50%
Max Traffic Load (DL) (%)	最大下行负载	%	例如, 100%
Max Traffic Load (UL) (%)	最大上行负载	%	例如, 100%
Beam Usage (DL) (%)	下行波束利用率	%	0 0.01 1 0.09 2 1.11 3 1.54 4 0.74 5 1.52 6 0.02 7 0.04 8 1.12 9 0.51 10 0.49 11 0.96 13 0.34 14 2.67 15 0.4 16 0.19 17 0.13 19 0.02 20 0.49 21 0.8 22 0.7 23 0.56 25 0.04 26 0.34 27 0.92 28 0.49 29 0.91 30 0.01 31 0.01 32 1.5 33 1.3 34 0.56 35 0.8 36 0.14 37 1.24 38 2.9 39 1.35 40 0.83 41 0.82 43 0.02 44 0.3 45 0.21 46 0.37 47 0.71 49 0.04 50 0.09 51 0.34 52 0.18 53 1.08 54 0.06 55 0.18 56 13.17 57 21.55 58 17.62 59 15.46
Beam Usage (UL) (%)	上行波束利用率	%	同上
UL Noise Rise (dB)	上行底噪抬升	dB	例如, 3dB
Additional DL Noise Rise (dB)	额外下行底噪抬升	dB	按需配置, 例如, 0.5dB

续表

字段名称	中文名称	单位	填写说明
Additional UL Noise Rise (dB)	额外上行底噪抬升	dB	按需配置,例如,0dB
Fractional Power Control Factor	路损补偿因子	—	例如,0.8
PRACH Preamble Format [Max Cell Radius]	PRACH 前导码格式[最大小区半径]	—	按需配置
Number of Required PRACH RSI	PRACH RSI 需求数量	—	最小值为 1
PRACH RSIs	PRACH 根序列	—	按需配置
PRACH RSI Domain	PRACH RSI 可用范围域	—	按需配置
PRACH RSI Allocation Status	PRACH RSI 分配状态	—	分 3 种状态: Not Allocated(未分配)、Allocated(已分配)、Locked(锁定)
PRACH Resource Blocks	PRACH 资源块数量	—	按需配置
PRACH subframes	PRACH 子帧数量	—	按需配置
PRACH RSI/Cell Size Mapping	PRACH RSI 到小区覆盖大小尺度	—	按需配置
Max number of 4G/5G neighbours	4/5G 最大邻区数	—	例如,0
Max number of inter-technology neighbours	与其他技术间最大邻区数	—	同上
Comments	备注	—	与 Sites 表、Transmitters 表对应

#### 4. 导入工参

一般情况下,可采取先导出数据模板,填写和补充后再批量导入的方式实现仿真工参的快速导入,主要涉及 Sites 表、Transmitters 表、Cell 表、Bands/Carriers 表、Antennas 表等数据表格操作,如图 3-42 所示。

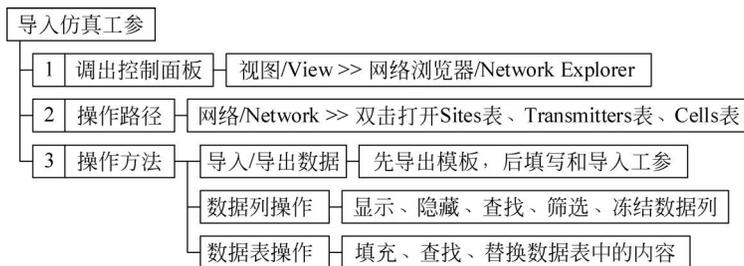


图 3-42 导入仿真工参的操作方法

##### 1) 基础工参表

依次导入 Sites 表、Transmitters 表、Cells 表,这 3 张工参表的导入主要涉及增、删、改、

查 4 项操作,对应数据的导入/导出、筛选排序、数据填充、查找替换等工具。以 Sites 表操作为例,其操作要领如下。

(1) 如何导入: Sites 表导入路径为“网络/Network→站点/Sites→双击/打开对话框→导入/Import→选择文件导入”,导入时应注意保持源表和目标表字段的一致性,若目标表对应列出现< Ignore >字样,则表示源表找不到相匹配的导入信息,应手工选取对应的目标表字段,如图 3-43 所示。

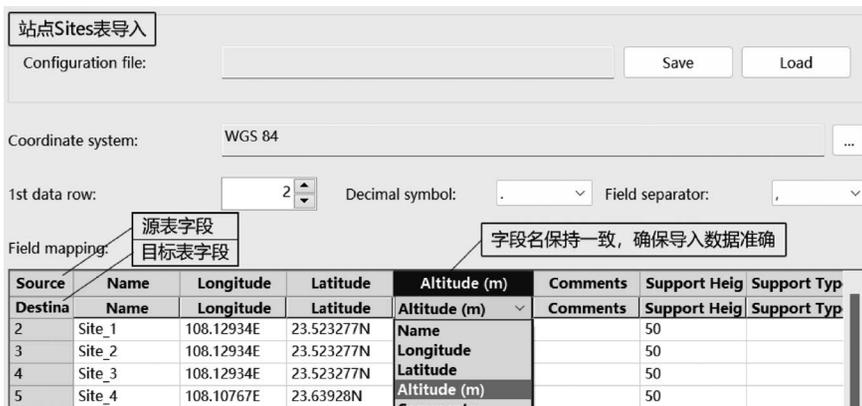


图 3-43 导入站点 Sites 表的操作方法

(2) 如何删除: 与 Windows 系统中软件操作方法类似,分 3 步,第 1 步,选中首行;第 2 步,按住 Shift+鼠标左键选中的最后一行;第 3 步,选中状态下按住 Delete 键直接删除,如图 3-44 所示。

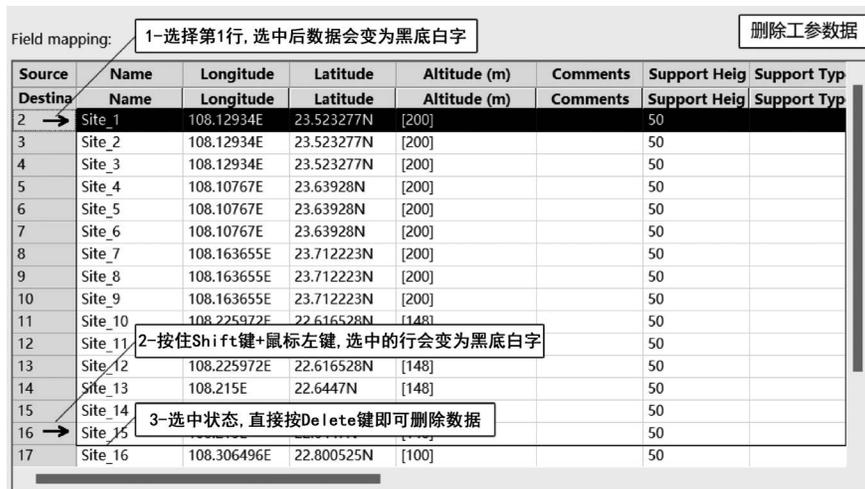


图 3-44 删除工参数据的操作方法

(3) 如何修改: 分特定数据修改或数据批量修改两种方式,特定数据修改可使用“查找替换”工具,输入查找内容和替换为数据直接替换即可,如图 3-45 所示;数据批量修改可用

到筛选、填充工具,先筛选出相关分类数据,填好第1个单元格,然后按住 Shift 键+指定列最后一个单元格,选中状态下按住快捷键 Ctrl+D,即可向下批量填充了。



图 3-45 查找替换数据的操作方法

(4) 如何判断: 如何判断导入操作是否正确、数据是否完整? 分4步,第1步,导入地图和工参后,按 F5 键刷新地图和文件夹中的数据;第2步,刷新后,导入的站点和扇区数据会根据图例重新加载,图形由黑色变为彩色,圆点为站点、扇形为扇区;第3步,找任意站点、扇区,双击调出属性对话框,抽样检查,观察数据是否准确和完整;第4步,若出现大规模单扇区,则可能是由导入数据时字段未对齐导致的,应检查工参表数据是否缺失、导入时操作是否正确,如图 3-46 所示。

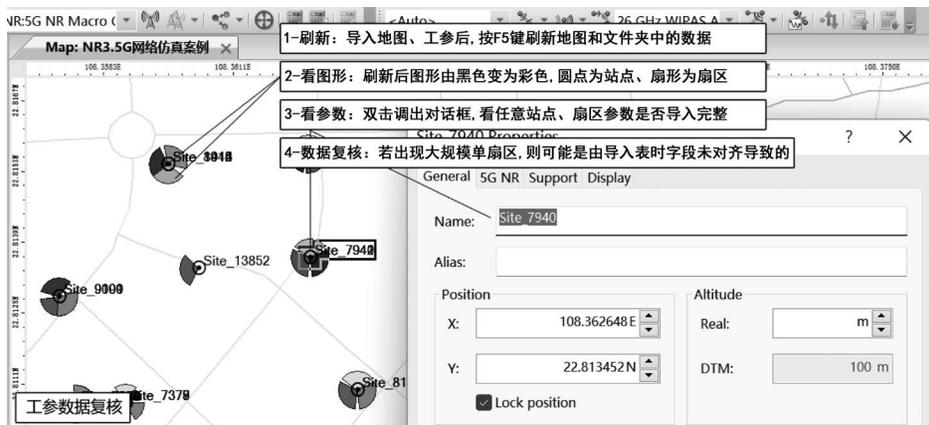


图 3-46 工参数据复核的判断方法

## 2) Bands/Carriers 表

与频率规划相对应,主要是确定仿真所使用的频段、频点号、上下行带宽等参数,分3步操

作,第1步,根据公式制作工具;第2步,查找关联参数;第3步,使用工具生成 Bands/Carriers 表。

第1步:可使用 5G 频率与频点号转换关系计算工具获得相关参数,如表 3-34 所示。

表 3-34 5G 频率与频点号转换关系计算表

序号	参数	参数说明	单位	输入/输出	备注
1	$F_{REF}$	$F_{REF}$ 为中心频率	MHz	3550	
2	$F_{REF-Offs}$	$F_{REF-Offs}$ 可通过查表获得	MHz	3000	
3	$\Delta F_{Global}$	$\Delta F_{Global}$ 和 BAND 有关,查表获得	kHz	15	
4	$N_{REF}$	$N_{REF}$ 为输入的 5G 下行绝对频点号	—	636667	$=ROUND(((D2 - D3) \times 1000) / D4 + D6, 0)$
5	$N_{REF-Offs}$	$N_{REF-Offs}$ 可通过查表获得	—	600000	

第2步:结合 3GPP 标准协议,查找关联的参数,如表 3-35 所示。

表 3-35 全局频率栅格的 5G 频点号参数表

Frequency range/MHz	$\Delta F_{Global}/kHz$	$F_{REF-Offs}/MHz$	$N_{REF-Offs}$	Range of $N_{REF}$
0~3000	5	0	0	0~59 999
3000~24 250	15	3000	600 000	600 000~2 016 666
24 250~100 000	60	24 250.08	2 016 667	2 016 667~3 279 165

第3步:计算、固化和导入典型的 Bands/Carriers 表。

Bands 表的导入路径为 Parameters→4/5G Network Settings→Bands,如表 3-36 所示。

表 3-36 典型的 5G 频段参数表

Name	Reference Frequency/MHz	Name	Reference Frequency/MHz
n28/GD	703	n78/DX	3400
n1/DX	2110	n78/LT	3500
n1/LT	2130	n78/DL	3400
n1/DL	2110	n78/YD	4800
n41/YD	2515	n78/YD	4900
n41/YD	2515	n78/YG	4800
n78/DLG	3300		

Carrier 表的导入路径为 Parameters→4/5G Network Settings→Carrier,如表 3-37 所示。

表 3-37 典型的 5G 载波参数表

Name	Frequency Band	Duplexing Method	Centre Frequency (DL) /MHz	Centre Frequency (UL) /MHz	Total Width (DL) /MHz	Total Width (UL) /MHz	ARFCN
30MHz-NR-ARFCN 143600	n28/GD	FDD	718	773	30	30	143 600
20MHz-NR-ARFCN 424000	n1/DX	FDD	2120	1930	20	20	424 000
20MHz-NR-ARFCN 428000	n1/LT	FDD	2140	1950	20	20	428 000

续表

Name	Frequency Band	Duplexing Method	Centre Frequency (DL) /MHz	Centre Frequency (UL) /MHz	Total Width (DL) /MHz	Total Width (UL) /MHz	ARFCN
40MHz-NR-ARFCN 426000	n1/DL	FDD	2130	1940	40	40	426 000
60MHz-NR-ARFCN 509000	n41/YD	TDD	2545	2545	60	60	509 000
100MHz-NR-ARFCN 513000	n41/YD	TDD	2565	2565	100	100	513 000
100MHz-NR-ARFCN 623333	n78/DLG	TDD	3350	3350	100	100	623 333
100MHz-NR-ARFCN 630000	n78/DX	TDD	3450	3450	100	100	630 000
100MHz-NR-ARFCN 636667	n78/LT	TDD	3550	3550	100	100	636 667
200MHz-NR-ARFCN 633333	n78/DL	TDD	3500	3500	200	200	633 333
100MHz-NR-ARFCN 723333	n78/YD	TDD	4850	4850	100	100	723 333
60MHz-NR-ARFCN 728666	n78/YD	TDD	4930	4930	60	60	728 666
160MHz-NR-ARFCN 725333	n78/YG	TDD	4880	4880	160	160	725 333

### 3) 业务和网络参数

在控制面板中的“参数/Parameters”选项卡中设置或导入业务参数、4/5G网络设置、无线网络设备、传播模型等配置参数,可打开对应的参数表导出、修改和导入基本的参数,例如,提供一组宏站和微站的默认参数,如表3-38所示。

表 3-38 宏站和微站的 Station Templates 表参数设置

字段名称	中文名称	宏站小区默认参数	微站小区默认参数
Number of sectors	扇区数量	3	1
Layer	网络分层	Macro Layer	Small Cell Layer
Carrier	载波频点号	50MHz-NR-ARFCN 621667	100MHz-NR-ARFCN 2054999
Physical Cell ID	物理小区 ID	0	0
Radio Access Technology	无线接入技术	5G NR	同左
Active	是否激活扇区	TRUE	同左
Height (m)	天线挂高	30	7
Azimuth (°)	天线方位角	0	0
Mechanical Downtilt (°)	机械下倾角	0	0
Main Propagation Model	主选传播模型	(Default model)	(Default model)
Main Calculation Radius (m)	对应的计算半径	10 000	500
Main Resolution (m)	对应的计算精度	50	5
Extended Propagation Model	备选传播模型	(none)	同左
Transmitter Type	发射机类型	Intra-network (Server and Interferer)	同左
Beamforming Model	波束赋型模型	Default Beamformer	同左

续表

字段名称	中文名称	宏站小区默认参数	微站小区默认参数
Transmitter Equipment	主设备名称	Default eNode-B Equipment	同左
Transmission Feeder Length (m)	发射馈线长度	0	0
Reception Feeder Length (m)	接收馈线长度	0	0
Miscellaneous Transmission Losses (dB)	其他发射损耗	0	0
Miscellaneous Reception Losses (dB)	其他接收损耗	0	0
Noise Figure (dB)	基站噪声系数	5	10
Transmission losses (dB)	传播损耗	0	0
Reception losses (dB)	接收损耗	0	0
Number of Transmission Antennas	发射天线数量	64	64
Number of Reception Antennas	接收天线数量	64	64
Additional Electrical Downtilt (°)	电子下倾角	0	0
Number of Power Amplifiers (DL)	功率控制单元数量 (DL)	1	1
Cell Individual Offset (dB)	小区特定偏置	0	0
Cell Selection Threshold (dB)	小区选择门限	0	20
Cell Type	小区类型	1	1
Diversity Support (DL)	下行支持的 MIMO 模式	7	7
Additional DL Noise Rise (dB)	额外下行底噪抬升	0	0
Traffic Load (DL) (%)	下行负载	100	100
Max Traffic Load (DL) (%)	最大下行负载	100	100
Reception Equipment	接收设备	5G NR Radio Equipment	同左
Handover Margin (dB)	切换门限	0	4
Interference Coordination Support	干扰协调支持	0	0
Max number of 4G/5G neighbours	4/5G 最大邻区数	16	16
Max number of inter-technology neighbours	与其他技术间的最大邻区数	16	16
Max Power	最大发射功率	50	34
Min RSRP	最低电平门限值	-140	-140
PBCH EPRE Offset/RS (dB)	PBCH 信道相对 RS 信道单 RE 的功率偏置	0	0
PDCCH EPRE Offset/RS (dB)	PDCCH 信道相对 RS 信道单 RE 的功率偏置	0	0

续表

字段名称	中文名称	宏站小区默认参数	微站小区默认参数
PDCCH Overhead (OFDM Symbols)	PDCCH 开销(OFDM 符号)	1	1
PDSCH EPRE Offset/RS (dB)	PDSCH 信道相对 RS 信道单 RE 的功率偏置	0	0
PSS EPRE Offset/SSS (dB)	PSS 信道相对 SSS 信道单 RE 的功率偏置	3	3
Number of Required PRACH RSI	PRACH RSI 需求数量	10	1
PUCCH Overhead (PRBs)	PUCCH 开销(PRB数)	4	4
RS EPRE per Port	每端口的 RS 信道单 RE 功率值	15	5
Scheduler	调度算法	Proportional Fair	同左
SS EPRE Offset/RS (dB)	SS 信道相对 RS 信道单 RE 的功率偏置	0	0
SS/PBCH Numerology	SS/PBCH 参数集	0 (15kHz)	3 (120kHz)
SS/PBCH Periodicity	SS/PBCH 发射周期	10ms	10ms
SS/PBCH OFDM Symbols	SS/PBCH OFDM 符号数	{4, 8, 16, 20} + 28n [Lmax=4]	{4, 8, 16, 20} + 28n [Lmax=64]
Special Subframe Configuration	特殊子帧配置	0	0
Cell-edge Noise Rise (UL) (dB)	小区边缘上行底噪抬升	0	0
Diversity Support (UL)	上行支持的 MIMO 模式	7	7
Additional UL Noise Rise (dB)	额外上行底噪抬升	0	0
Max PUSCH C/(I+N) (dB)	PUSCH 信道最大信噪比	20	20
Fractional Power Control Factor	路损补偿因子	1	1
Max Noise Rise (UL) (dB)	最大上行底噪抬升	6	6
Traffic Load (UL) (%)	上行负载	100	100
Max Traffic Load (UL) (%)	最大上行负载	100	100
UL Noise Rise (dB)	上行底噪抬升	0	0
Traffic Numerology	业务参数集	2 (60kHz Normal CP)	3 (120kHz)
TDD DL OFDM Symbols (%)	TDD 下行 OFDM 符号占比	50	50

## 5. 传播模型选择

传播模型可分为统计性模型和决定性模型,其中,统计性模型可使用测试数据分析得到,仿真运算量相对较小且对地图精度要求不高,包括 Cost-Hata 模型、SPM(Standard Propagation Model)模型等;决定性模型即射线跟踪模型,在 1km 范围内较为准确,包括

Myriad 模型、ASTER 模型等。上述模型均适合宏蜂窝场强预测。

Atoll 提供了多个缺省的传播模型供用户使用,其中, Cost-Hata、SPM 和 Aster 是最常用的模型,而且这 3 个模型都可以被自动传播模型校正。在 5G 网络仿真中,传播模型参数可在无线参数模板导入时一并导入,也可在 Atoll 仿真软件中修改及调整。

在选择传播模型前,应结合实际情况予以模型校正后使用,建议在精度为 5m 的地图中优先选择 ASTER 射线跟踪模型,在精度为 20m 或 50m 的地图中优先选择 SPM(Standard Propagation Model)模型或 Cost-Hata 模型,其设置路径如图 3-47 所示。

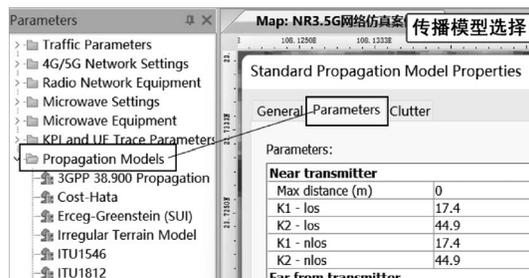


图 3-47 传播模型选择方法

## 6. 仿真预测

仿真预测分 3 步,选择预测类型、设置预测属性、导入运算区并开启运算,其中,仿真运算区图层可使用 Mapinfo 或 QGIS 软件提前制作,Atoll 软件可导入 (\*.tab) 格式的图层数据。

(1) 选择仿真类型: 路径为“网络/Network→覆盖预测/Predictions→选取预测类型”,例如,选取 Coverage by Signal Level (DL),对应覆盖电平值,如图 3-48 所示。

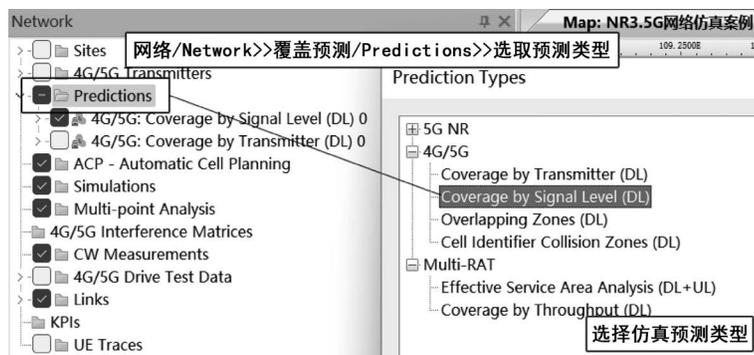


图 3-48 选取仿真预测类型的方法

(2) 预测属性设置: 例如,设置默认传播模型、计算精度和路损缓存路径等,如图 3-49 所示。

(3) 导入运算区、开启仿真运算: 将制作好的仿真运算区图层导入 GEO 对应的文件夹中,同时在对应的仿真预测类型上右击,开启仿真运算,如图 3-50 所示。



图 3-49 设置默认模型和路损缓存路径的方法



图 3-50 设置仿真运算区和开启仿真的方法

### 3.3.3 仿真输出

#### 1. 仿真报告

仿真分析报告主要分为项目概况、规划目标、仿真流程、参数配置、网络结构评估、仿真结果输出及主要结论等章节,可针对特定区域输出仿真预测图和仿真报表进行仿真调优和方案修正,其中,仿真分析报告结构如图 3-51 所示。

Atoll 软件可输出的仿真结果主要分三类,一是覆盖预测图,二是统计性图表,三是点分析结果,可用于宏观与微观、定性与定量相结合来研判格局、定位问题和优化调整规划方案,其输出方法如图 3-52 所示。

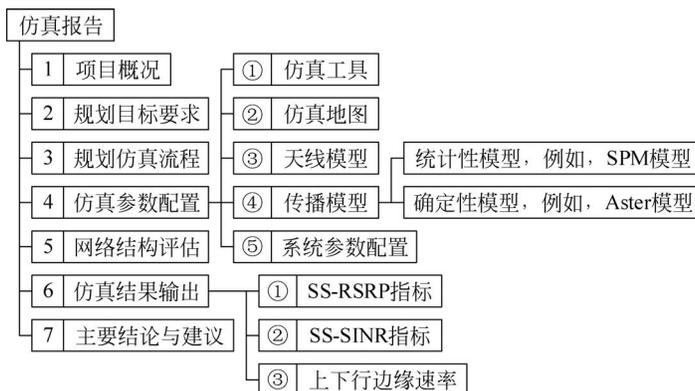


图 3-51 5G 网络仿真报告结构示例



图 3-52 输出覆盖预测结果的方法

## 2. 仿真预测图

以栅格状的渲染云图形式,直观呈现网络覆盖格局,精准定位网络问题点。可输出网络规划中常用的 ArcGIS、QGIS、MapInfo、Google Earth 等软件所支持的 ArcView Files(\*.shp)、MapInfo Files(\*.tab)、Google Earth Files(\*.kmz)等文件格式,以及 BMP、PNG、TIFF、JPEG 等多种图片格式,如图 3-53 所示。

## 3. 仿真图表

仿真图表主要用于定量分析仿真结果是否满足规划要求,例如,可通过对标 4G 现状或竞争对手的  $SS-RSRP \geq -112\text{dBm}$  比例来做出判断。通过在仿真预测指标上右击调出“显示直方图”对话框来获得统计性图表,其主要输出形式为柱状图、累积曲线及相关数据表,并将其转换为绝对值、百分比等形式,如图 3-54 所示。

## 4. 统计表格

在 5G 网络仿真中,仿真报告表是量化分析指标的主要工具之一,其输出结果应符合网络资源和覆盖能力指标的预期,主要从两个方面分析,一是对标 4/5G 现网规模和友商覆盖能力;二是对比现状和规划后 SS-RSRP、SINR、上下行速率等指标的改善(或恶化)情况,查找问题根因和提出解决方案,给出统计图表范例,如表 3-39 和表 3-40 所示。

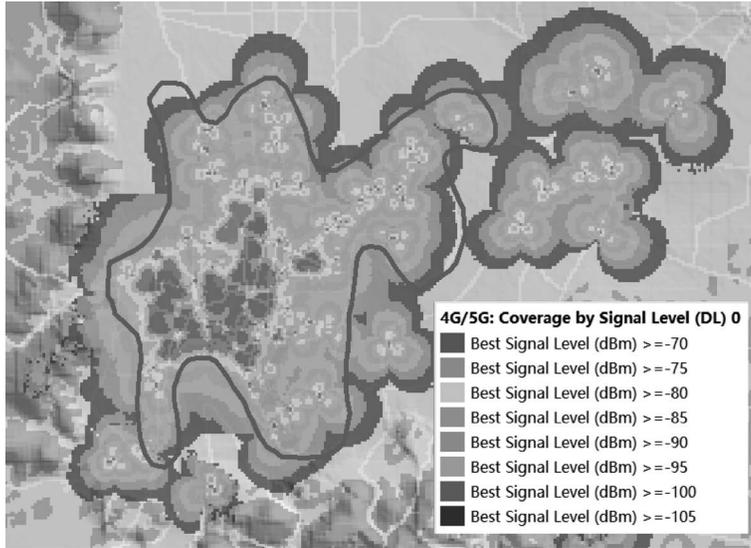


图 3-53 5G 网络 SS-RSRP 指标仿真预测图

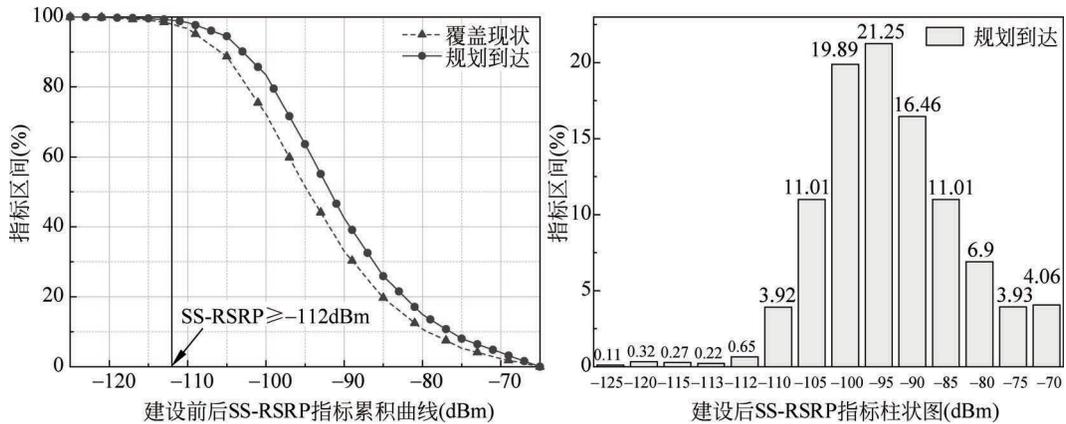


图 3-54 建设前后 SS-RSRP 指标的仿真结果

表 3-39 5G 建设前后网络规模对标分析

地市	仿真面积		网络规模(站)			
	仿真面积/km <sup>2</sup>	有效面积占比/%	现状规模	本期新增	规模达到	对标友商占比/%
A 市	17 463.13	78.85	4500	573	5073	86.71
B 市	17 386.00	62.69	4450	412	4862	99.43

表 3-40 5G 现状与规划仿真指标对比分析

地市	SS-RSRP $\geq -112$ dBm 占比/%				SS-SINR $\geq 0$ dB 占比/%					
	对标友商	现状覆盖	规划到达	本期提升	对标友商	现状覆盖	规划到达	本期提升	对标差距	
A 市	87.70	69.75	82.25	12.50	-5.45	92.54	83.65	90.46	6.81	-2.08
B 市	78.64	75.80	80.75	4.95	2.11	88.22	87.40	89.25	1.85	1.03