

基于楼宇价值多维分析的 5G 室内覆盖低成本建设方案研究

Research on Low Cost Construction Scheme for 5G Indoor Coverage
Based on Multidimensional Analysis of Building Value

胡 洋¹, 陈 茜², 吴晓乐³, 张 鹏¹ (1. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033; 2. 中国联通北京分公司, 北京 100033; 3. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)

Hu Yang¹, Chen Xi², Wu Xiaole³, Zhang Peng¹ (1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Unicom Beijing Branch, Beijing 100033, China; 3. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘 要:

5G室内覆盖已成为通信运营商网络竞争力的核心评价维度。因5G室分建设成本高、收益低,因此在投资有限时应根据楼宇价值进行低成本建设。提出一种基于楼宇价值多维分析的5G室内覆盖低成本建设方案研究方法,并根据楼宇价值分级结果,梳理当前常见的5G室分低成本建设手段,总结典型场景下低成本建设策略及TCO成本对比,并结合案例分析了其实施效果。

关键词:

5G;室内覆盖;低成本建设;楼宇价值

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.06.007

文章编号:1007-3043(2025)06-0034-06

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

5G indoor coverage has become a core evaluation dimension for communication operators' network competitiveness. Due to the high construction cost and low returns of 5G indoor distribution, low-cost construction should be carried out based on the value of the building when investment is limited. It proposes a research method for low-cost construction of 5G indoor coverage based on multidimensional analysis of building value. Based on the classification results of building value, common low-cost construction methods for 5G indoor distribution are sorted out, and low-cost construction strategies and TCO cost comparisons in typical scenarios are summarized. Implementation effects are also presented through case studies.

Keywords:

5G; Indoor coverage; Low cost construction; Building value

引用格式:胡洋,陈茜,吴晓乐,等. 基于楼宇价值多维分析的5G室内覆盖低成本建设方案研究[J]. 邮电设计技术,2025(6):34-39.

1 概述

经过6年的高速发展,我国已建成全球规模最大、技术最先进的5G网络体系。当前全国累计部署5G基站超四百万个,已实现乡镇以上的连续覆盖和农村的热点覆盖。然而,在城市化进程加速推进的背景下,城市楼宇高密度化、建筑结构复杂化趋势显著,这导致5G中高频信号穿透损耗加剧,室内弱覆盖区域持续增多。5G室内覆盖对用户感知的影响越来越大,已成

为运营商网络竞争力的核心评价维度^[1]。

5G室内分布系统(以下简称室分)面临着网络架构复杂度高、频谱穿透损耗高和设备功耗高的三高困境,进而导致建设和维护成本高^[2]。5G室分业务量也呈二八分化特征,约20%高价值场景承载75%以上的业务流程^[3]。为此,在投资受限时应结合楼宇特征和业务需求,灵活选择室内覆盖低成本建设手段。本文提出一种基于楼宇价值多维分析的5G室内覆盖低成本建设方案研究方法,对不同楼宇价值开展评价分析,选择差异化场景的低成本建设手段,进而提高资源利用率和整体投资效益。

收稿日期:2025-05-06

2 5G室内覆盖楼宇价值的多维分析法

2.1 楼宇价值四维度排序评价法

以运营商室分楼宇库为基础,叠加规划期新建楼宇、固移融合商务楼宇及小区、铁塔室分已覆盖楼宇、友商4G/5G已覆盖楼宇等信息,梳理出全量室分覆盖需求。采用刚性和弹性机制对楼宇进行分类,刚性场景采用名单制管理,弹性场景通过多维度排序进行楼宇价值判断。

结合工信部的十大重点场景和本运营商重点核查确认的问题点,将地铁、交通枢纽、高等学校、医疗机构、文旅景区、政务中心、重点商超、商务楼宇及酒店、高价值住宅小区、移网质量提升双闭环问题点、市场/客服部门确认的VIP投诉等设置为刚性场景;其他场景根据楼宇重要性、5G终端、4G业务次数、4G业务量等四维度评价排序后设置为弹性场景^[4]。

在四维度评价排序时,分别给予4G业务量、4G业务次数、楼宇类型、5G终端配置权重为20%、20%、30%、30%,同时按照不同的规则设置A档、B档、C档并赋分,最终设定价值区间:高价值[70,100]、中价值[55,70)、低价值[0,55)。其中刚性场景直接纳入高价值楼宇,弹性场景按照四维度排序(见图1)。

2.2 基于MR采样点的楼宇价值评估分析法

在四维度排序评价体系的基础上,可引入周期性MR(Measurement Report)采样点和用户采样点级位置信息及友商相关信息的OTT(Over The Top)MR数据,

形成基于MR采样点的楼宇价值评估分析法^[5-6]。

周期性MR数据是用户终端自动上报的测量报告数据,通常3天的采样点数据量就能覆盖所有用户分布区域,因此实时性更好,也能满足数量和遍历性要求。OTT MR数据是基于多种互联网应用获取的测量报告数据,是在用户终端APP上嵌入SO模块采集无线网络相关信息,通过互联网上传到数据采集平台^[7]。OTT MR数据采样点信息包含时间戳、位置信息、终端信息、移网运营商信息、移网网络基础信息、移网服务小区测量值、移网邻区测量值、宽带运营商信息、宽带网络基础信息、宽带测量值等各类关键字段。

在基于MR采样点的价值评分方法体系中,设置价值、投诉、覆盖、竞对、场景等评分指标,具体方案如表1所示。因此可在四维度价值排序方法的基础上,进一步应用基于MR采样点的楼宇价值评分方法,可将楼宇精准区分为高价值、中价值高业务、中价值中业务、低价值中业务、低价值低业务5类(见图2)。

3 5G室内覆盖低成本建设方案

5G室内覆盖应分场景差异化制定建设方案,高价值场景建设数字化室分或传统DAS确保用户感知,低价值场景应合理选用低成本建设方案,压降投资、提升效益;在控制运营成本上,应尝试通过采用低能耗设备、引入节能新技术、提升绿电使用等方式,进一步降低5G碳排放,确保TCO最优。

本文重点针对低价值和中价值场景,灵活选择室

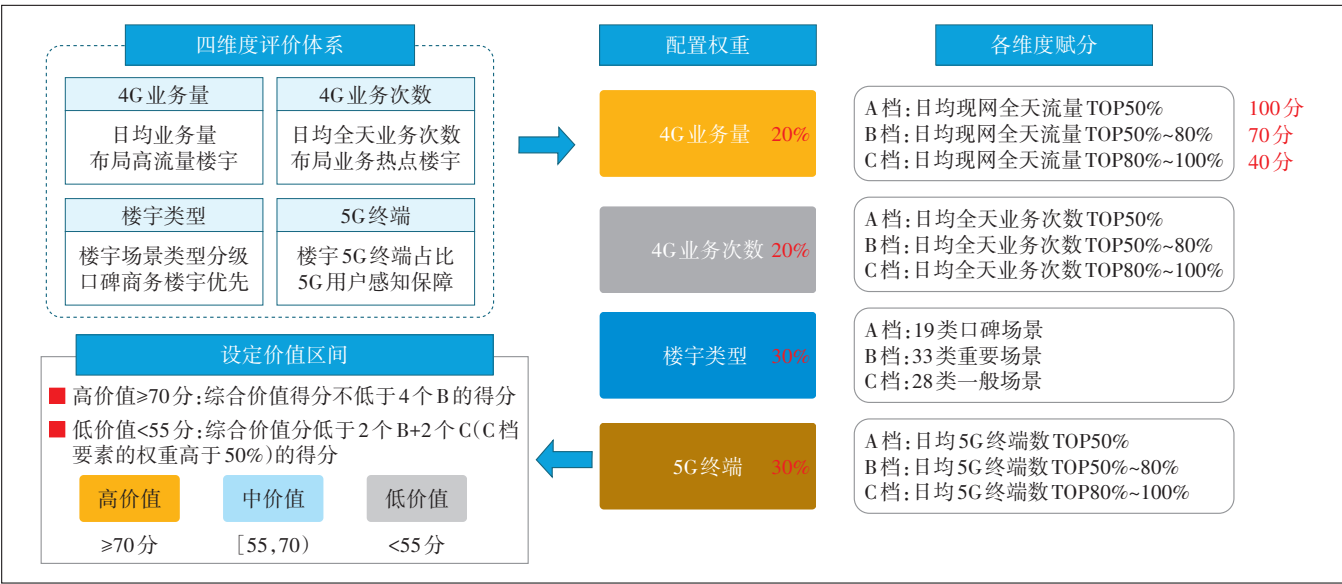


图1 四维度排序评价法

表1 基于MR采样点的楼宇价值评估分析法

评分指标	分值	基于MR采样点的楼宇价值评分细则
价值	60	业务量:将己方MR总采样点由高向低排序,排序的TOP20%、TOP20%~50%、TOP50%~100%分别设为40分、25分、10分
		楼宇人流量:将3家运营商的MR总采样点由高向低排序,排序的TOP20%、TOP20%~50%、TOP50%~100%分别设为20分、15分、10分
投诉	10	近半年内投诉数据,一条投诉加2分,最高加10分
覆盖	10	按照4G+5G弱覆盖比例由大到小进行排序,排序在TOP20%的加10分,在TOP20%~50%的加6分,在TOP50%~100%的加2分,弱覆盖比例低于10%的不加分
竞对	10	采用OTT数据,按照人有我无采样点由多到少进行排序,排序在TOP20%的加10分,在TOP20%~50%的加6分, TOP50%~100%加2分
场景	10	按场景重要性打分

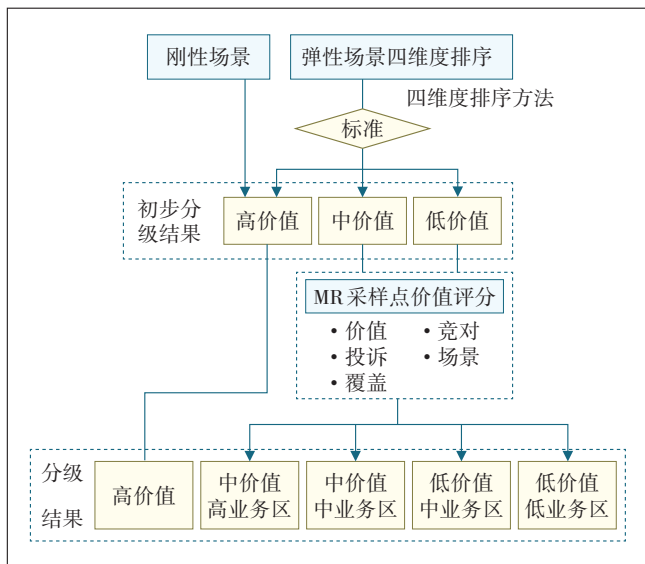


图2 四维度排序与基于MR采样点的多维分析法

内覆盖低成本建设手段,并对常用的低成本建设手段和能力进行分析。

3.1 5G室分低成本建设手段

5G室内低成本建设手段多样,按系统组网形态,主要分为扩展型小基站、低成本5G基站(一体化站、分布式站)、企业级皮站、移频MIMO、微分布、直放站、双路耦合室分等^[8-11]。

a) 扩展型小基站。室内扩展型小基站由基带单元、扩展单元和远端单元构成,部署灵活,支持5G单模或4G/5G双模。远端单元以毫瓦级设备为主,覆盖效果好,适用于多种场景,建设成本低。

b) 低成本5G基站。低成本5G基站包括一体化站与分布式站。一体化基站采用基带射频一体机设

计,支持PON/IPRAN回传,免机房部署,单通道发射功率超40 W,可覆盖超1万m²区域,适用于中低流量楼宇及电梯、地下停车场场景,设备成本较传统基站降低30%~40%。分布式基站由BBU与大功率RRU组成,支持多小区扩展,2.1 GHz NR在4TR/2TR配置下单用户速率可达400 Mbit/s,适用于楼宇对打覆盖及室内分布系统,成本约节约30%。两者通过灵活组网和频段适配,实现低成本快速布网。

c) 企业级皮站。企业级皮基站是高度集成的小功率5G基站,支持4G/5G双模及PON/IPRAN回传,体积小,可挂墙或桌面安装或外接室分。2TR设备在200 m²办公环境穿透单墙时,RSRP覆盖率达100%,单用户速率达310/670 Mbit/s。适用于8 000 m²以下的商超补盲、电梯、地下停车场及投诉热点等中小场景。其PON回传及低功耗设计,比传统室分方案成本降低30%以上,单站设备成本仅需万元级,支持快速开通。

d) 移频MIMO室分。移频MIMO技术通过改造现有2G/3G/4G无源室分系统,利用移频管理单元将5G信号下变频至原有分布系统支持的中低频信号与现有信号合路传输,远端机恢复原频段并实现单缆双通道MIMO覆盖,解决传统室分不支持5G高频段的问题。适用于已部署无源室分的中低价值楼宇,通过复用现有馈线资源,与传统方案相比,能显著降低5G室分部署成本。

e) 微分布直放站。微分布系统由信源、射频近端机和远端机构成,支持同轴、光纤、无线3种传输方式,适配5G单模或4G/5G双模。同轴微分布在2TR模式下,5G峰值速率超600 Mbit/s,单个远端机覆盖面积达500~600 m²,适用于5 000 m²以下的中小场景,单位造价仅为数字室分的30%。光纤微分布支持高功率远端机外接室分系统,适用于地下停车场场景,造价为传统方案的60%。无线微分布通过无线中继放大宏站信号覆盖电梯,单梯成本低至2 000元,适合电梯较少场景;电梯群则可采用光纤+无线中继混合方案,综合成本降低40%。3类方案均具备快速部署、低能耗及灵活组网优势,可满足中低流量区域的低成本覆盖需求,尤其适配商办楼宇、停车场及电梯等封闭场景。

f) 直放站。光纤直放站与无线直放站是低成本扩展5G覆盖的2种方案。光纤直放站通过光纤传输数字信号,最大拉远距离可达10 km。双通道光纤直放站支持MIMO,速率接近主设备,但共享宏网容量导致平均速率较低,适用于低容量室分及住宅楼对打场

景,典型配置成本较主设备低40%~50%,单站节省约3万元。无线直放站通过无线耦合信源信号,无需光纤,仅支持单通道SISO,适用于无RRU且光纤敷设困难的地下停车场、电梯等封闭场景,单套成本仅为RRU的5%~10%,单站总成本节省7~7.5万元。两者均提供多频段配置,兼顾4G/5G覆盖需求,但光纤方案覆盖能力更强,无线方案则侧重灵活部署。

g) 双路耦合室分。双路耦合室分是一种低成本MIMO改造方案,通过新增主干馈线及替换双路耦合器,在单路无源室分基础上实现双流传输,使业务速率提升60%~80%。该方案利用不同楼层信号的正交特性,使终端识别双流通道,支持700~3 700 MHz频段。改造后2.1 GHz频段可实现5G双流覆盖,下行峰值达200 Mbit/s,上行达80 Mbit/s,同时兼容4G双流。适用于3层以上的物业场景。改造只需增加主干线并更换耦合器,相比传统双路方案,可节省80%以上的成本,同时具有低能耗、施工快等优势。

3.2 5G室分低成本建设手段对比

本节结合实际工程造价估算出5G室分主要建设

手段的单位面积TCO(含建设成本和10年运营成本),详细对比了扩展型小基站、低成本5G基站、移频MIMO等多种5G室分建设手段在普通楼宇、低价值楼宇、未部署3G/4G室分楼宇等不同场景的能力与成本(见表2)。从表2可以看出,各手段在TCO成本节约、理论速率上表现各异,如扩展型小基站成本可降低40%,上/下行速率可达1 500/375 Mbit/s;低成本5G基站可降低2~3万元成本,上/下行速率可达600/200 Mbit/s;移频MIMO成本降低50%~60%,上/下行速率可达600/200 Mbit/s。因此,在实际应用中,应综合考虑不同场景的综合带宽、通道数、网络速率,科学选取5G室内覆盖方案,在满足业务需求的前提下,降低TCO成本。

4 常见场景5G室内覆盖低成本建设案例

由于需要5G室分覆盖的楼宇规模大、场景多、业务需求不均衡,如果全部新建3.5 GHz DAS或集采型数字化室分等手段,则投资过大、效益较低。为解决这个问题,可通过楼宇价值评估,制定差异化解决方案

表2 典型场景下5G室分低成本建设手段的能力和成本对比

典型场景	场景特点	价值业务分类	5G室分建设手段		频段/GHz	通道数	TCO成本节约(相对传统数字室分)	理论下行峰值速率/(Mbit/s)	理论上行峰值速率/(Mbit/s)
8 000~20 000 m ² 普通楼宇	相对开阔商超	高价值/中价值中高业务区	扩展型小基站	100 MHz@4T4R	3.5	4TR	降低40%	1 500	375
	多隔断普通写字楼、医院			100 MHz@2T2R(三点位)	3.5	2TR	降低40%	750	375
	室内外结合校园场景			100 MHz@2T2R	3.5	2TR	降低40%	750	375
	小于2万m ² 普通楼宇	中价值中业务区	低成本5G基站	一体化大功率站	3.5	2TR	降低约2~3万元	600	200
已部署3G/4G室分的低价值楼宇	高/中价值楼宇	高价值/中价值中高业务区	移频MIMO	-	3.5	2TR	约低50~60%	600	200
	2.1 GHz NR重耕改造	低价值中业务区	双路耦合室分	-	2.1	-	费用节省80%以上	200	80
	室分楼宇对打	低价值低业务区	光纤直放站	-	2.1	2TR/1TR	降低约3万元	200	80
未部署3G/4G室分楼宇/补热	中价值楼宇	中价值中业务区	低成本5G基站	分布式大功率站	3.5	2TR	降低约2~3万元	600	200
	小于8 000 m ² 的办公楼层		企业级皮基站	-	3.5	2TR	设备单价较低	670	310
	小千平米的小型楼宇		微分布	同轴微分布	3.5	2TR	降低70%	600	250
	点状补热	低价值中业务区	企业级皮基站	-	3.5	2TR	设备单价较低	670	310
	补盲		光纤直放站	-	2.1	1TR	降低约3万元	200	80
	住宅楼间对打	低价值低业务区	低成本5G基站	分布式大功率站	2.1	2TR	降低约2~3万元	400	200
电梯、地下停车场场景	室分无分布	低价值中业务区	低成本5G基站	一体化大功率站	2.1	2TR	降低约2~3万元	400	200
			企业级皮基站	-	3.5	2TR	设备单价较低	670	310
	室分无信源	低价值低业务区	无线直放站	-	2.1	1TR	降低约7~7.5万元	200	80
			微分布	无线微分布	2.1	1TR	降低40%	200	80
				光纤微分布	3.5	1TR	降低40%	300	150

案,使室分的建设更加精准高效。基于某省级运营商的楼宇价值分类结果,统计发现中价值的典型场景为8 000~20 000 m²普通楼宇;低价值的典型场景为电梯、地下停车场等场景。为此,选取2个经典案例,对5G室内覆盖低成本方案进行重点介绍。

4.1 中高价值楼宇场景

某地一楼宇为商场+酒店+休闲娱乐为一体的商业楼宇,地上9层,地下2层,总建筑面积约为2.16万m²,现网有4G DAS室分系统,业务密度中等,具备实施改造条件。基于MR采样点的楼宇价值评估体系,业务场景可分级为高价值或中价值高业务区。为考虑低成本方案,该楼宇选择移频MIMO作为建网方式。

移频改造共新增了1台5G RRU、4台近端机,47个远端机(有源天线),原有(800~2 300 MHz)耦合器、功分器、天线更换为(800~3 600 MHz)馈电耦合器、功分器、远端机(有源天线),建设完成后5G覆盖效果良好,SS-RSRP为-65 dBm~-85 dBm,SINR为25~35 dB,上/下行峰值速率超过196/750 Mbit/s,上/下行平均速率约为101/503 Mbit/s。通过与不同建设手段和楼宇面积的成本单价对比分析发现(见图3),总体投资比集采数字化室分系统节省25%~35%。

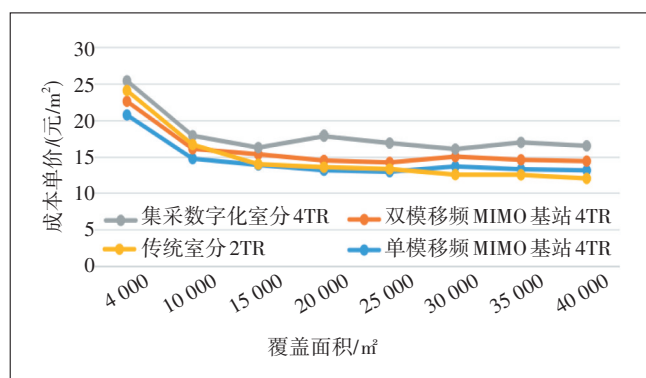


图3 不同建设手段和楼宇面积的成本单价对比分析

4.2 低价值场景

某地一社区共有20栋楼,40~50部电梯,前期没有单独做4G/5G覆盖,电梯内基本没有5G信号,4G信号偏弱,存在频繁切换现象;地下有负1层停车场,总面积约为26 000 m²,该区域有开阔的汽车停车区域,也有多隔断的电瓶车充电、机房、保洁活动等区域,前期只有4G覆盖(40 W直放站),没有5G信号。

试点采用光纤微分布+无线中继方案(见图4),使用了1台光纤近端机、1台光纤扩展远端机、2台无线远端机和2台光纤远端机,通过无线耦合室外信源对

其中84#楼2部电梯和负1层地下停车场约一半区域进行覆盖。

a) 电梯部分。光纤近端机和远端机安装在电梯井楼顶机房里,光纤近端机通过射频线缆连接板状天线拉到室外,耦合室外宏站信号。光纤远端机射频端口分别通过射频馈线连到2部电梯井顶部天线,天线方向朝下。电梯轿厢顶部安装无线中继,射频输入口连接定向天线/对数周期天线方向朝上,射频输出口连接天线朝下覆盖电梯轿厢。

b) 地下停车场部分。安装在负1层的2台光纤远端机通过光纤接入电梯井楼顶机房的光纤近端机,2台光纤远端机分别覆盖地下停车场2个区域:1台光纤远端机+无源室分(24面全向吸顶天线),覆盖有一定隔断的地下停车场约9 000 m²;1台光纤远端机+4面射灯天线,覆盖开阔地下停车场约9 000 m²的区域。

建设完成后,电梯场景和地下停车场场景均实现了4G/5G上下行单流覆盖。电梯和地下停车场场景覆盖测试结果如表3和表4所示。

5 结束语

本文总结了一种基于楼宇价值多维分析的5G室内覆盖低成本建设方案研究方法,梳理楼宇的价值、网络、投诉、竞对、场景等多维评价数据,先后按5G室内覆盖楼宇四维度排序法、基于MR数据的评估分析法进行分级,高效输出楼宇价值的评估结果。根据楼宇价值分级结果,梳理当前常见的5G室分低成本建设手段,总结典型场景下低成本建设策略及TCO成本对比。结合相关案例,为分场景下的5G室内覆盖低成本建设提供参考。本文总结的低成本建设方案,可有效应对在投资有限时精细匹配价值场景的5G网络建设,进而降低TCO成本,提高投资效益。

参考文献:

- [1] 张伟,陈金戈,袁鹏,等. 5G低成本建设方案研究[J]. 邮电设计技术,2024(1):34-39.
- [2] 杨可可,郭昱炜,李小萍,等. 5G网络低成本建设方案研究[J]. 广东通信技术,2024,44(11):6-10.
- [3] 石静静,刘海啸,耿旭,等. 基于扇区级精准规划的多手段低成本建网方案研究及应用[J]. 广东通信技术,2024,44(6):24-29.
- [4] 陈玲,张鹏,龙青良,等. 基于多维价值评估的楼宇分类体系及场景化解决方案[J]. 邮电设计技术,2023(2):54-57.
- [5] 周灿,史文祥,王森,等. 基于OTT MR数据的规建维优营分析体系研究[J]. 邮电设计技术,2024(10):42-48.

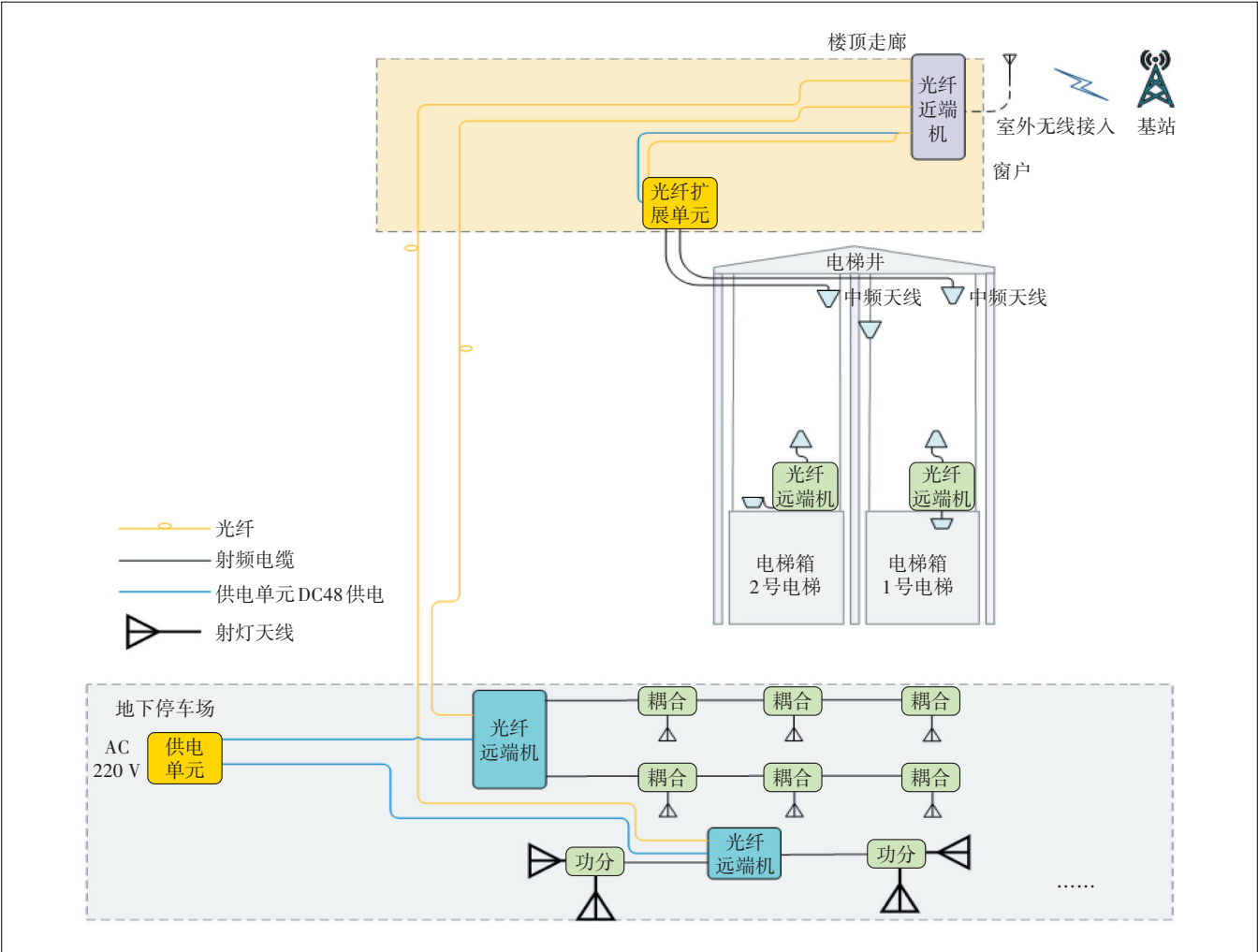


图4 中高层电梯和地下停车场综合覆盖组网

表3 电梯场景覆盖测试结果

网络类型	电梯	楼层	平均RSRP/dBm	平均SINR/dB	平均下载速率/(Mbit/s)	平均上传速率/(Mbit/s)
5G	1号	-1	-82.98	4.21	51.00	10.56
		34	-65.86	6.76	91.87	12.94
	2号	-1	-90.00	5.39	48.05	9.69
		34	-62.00	9.65	44.74	13.15

表4 地下停车场场景5G覆盖测试结果

覆盖区域	面积/m ²	平均RSRP/dBm	平均SINR/dB	平均上传速率/(Mbit/s)	平均下载速率/(Mbit/s)	RSRP占比
射灯天线区域	9 521	-74.71	7.55	10~30	40~70	≥90 dBm: 90%以上; -90~-100 dBm: 7.6%
无源室分区域	8 785					

[6] 田桂宾,赵培,姜书敏,等. 利用MR数据精确定位5G弱覆盖区域方案研究[J]. 电信科学,2024(S2).

- [7] 李冠华,洪沛,杨国锋. 基于基站定位的栅格级5G用户网络覆盖洞察分析方法[J]. 中国新通信,2021,23(16):3-4.
- [8] 张杰. 浅谈安徽省农村5G低成本建设运营方案[J]. 通讯世界,2024,31(5):151-153.
- [9] 何桂东,陈毅雯,李智,等. 基于5G直放站的老旧多层居民区覆盖组网方案探讨[J]. 邮电设计技术,2024(1):29-33.
- [10] 余雯娟. 5G双路耦合低成本建设方案应用研究[J]. 长江信息通信,2024,37(3):216-218.
- [11] 余海波,蔡立昌,曾祥明. 住宅小区5G室分系统低成本建设方案的探讨[J]. 广西通信技术,2021(4):37-40.

作者简介:

胡洋,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划、移动通信新技术研究工作;陈茜,高级工程师,硕士,主要从事移动网络规划、移动通信创新业务等工作;吴晓乐,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络规划研究工作;张鹏,高级工程师,硕士,主要从事移动网络规划、移动通信新技术研究等工作。