

移动网络深度覆盖（室内、地下空间）建设的优化方案与成本分析

姜琳 王冰 左军

中国联合网络通信集团有限公司北京市分公司，北京，100038；

摘要：室内与地下空间因结构封闭、墙体阻隔，成为移动网络覆盖的薄弱环节，其覆盖质量直接影响用户日常通信体验与各类场景化应用落地。本文围绕该类空间的网络覆盖展开，先明确室内/地下空间覆盖的核心需求与建设难点；再针对性设计涵盖场景适配、组网优化、技术选型的覆盖建设优化方案，确保覆盖效果达标；最后从成本构成、成本管控两方面开展成本分析，在保障覆盖质量的前提下实现成本合理控制，为移动网络深度覆盖建设提供兼顾效果与经济性的路径。

关键词：移动网络；深度覆盖；室内/地下空间；建设优化方案；成本分析

DOI：10.64216/3080-1508.26.01.055

引言

当前，用户在室内空间（如写字楼、商场、居民区）与地下空间（如地下车库、地铁、地下商圈）的移动网络使用需求持续增长，无论是日常通话、手机上网，还是场景化业务（如地下付款、室内办公），均对网络覆盖提出明确要求。因此，实现此类空间移动网络的全域覆盖与质量达标，已成为移动网络建设的核心任务之一。室内与地下空间存在共性特征，给网络覆盖带来天然挑战：一是空间结构复杂，墙体、柱子分布密集；二是信号衰减快，传输过程中易被遮挡，强度快速下降；三是干扰信号多，各类电子设备、管线易对网络信号产生干扰。这导致室外基站信号难以穿透至室内及地下，无法满足覆盖需求；若单独部署覆盖设备，又会受限于空间狭小、施工条件苛刻等问题，推进难度较大。同时，此类空间的覆盖建设还需兼顾效果与成本：若一味追求覆盖全、信号好，过量部署设备、铺设线路，会导致前期建设成本与后期运维成本飙升，造成资源浪费；若为压缩成本减少设备、简化施工，又会出现覆盖盲区、信号卡顿等问题，无法满足用户需求。因此，制定科学的覆盖优化方案，同步做好成本测算，才能有效破解室内与地下空间的覆盖难题，支撑移动网络高质量发展。

1 移动网络室内/地下空间覆盖的核心需求与建设难点

明确室内与地下空间的覆盖核心需求，梳理建设过程中的突出难点，是后续设计适配方案的前提，可避免方案与实际脱节，减少建设过程中的问题与返工，保障

覆盖建设高效推进。

1.1 核心覆盖需求

室内与地下空间的移动网络覆盖，需围绕用户使用体验，满足三大核心需求，确保用户用网顺畅、无感知。第一，全域无盲区覆盖。需实现空间内各角落均有稳定信号，无论是写字楼的独立隔间、商场深处的店铺，还是地下车库远端车位、地铁换乘通道，均需保障信号持续在线，避免出现“无信号”“信号时断时连”的情况，确保用户在空间内任意位置都能正常接入网络。第二，信号质量达标。需支撑各类业务稳定运行，通话时无杂音、无回声、不中断，保障基础通信需求；看视频、刷网页、传文件时，网速稳定无波动，不卡顿、不反复缓冲，满足大流量业务需求；同时适配场景化需求，如地下商圈手机付款、地铁内移动办公，均需信号质量过关，避免业务中断造成影响。第三，信号切换平滑。需实现室内外、地下与地面之间的无缝过渡，当用户从写字楼走向地下车库、从地铁出站到地面时，手机信号能自动从室内/地下覆盖系统切换至室外基站，全程无感知，不出现通话中断、网速骤降等问题，保障用网连续性。

1.2 主要建设难点

室内与地下空间的覆盖建设，面临三大突出难点，不仅影响建设进度与覆盖效果，还会增加成本管控难度，需重点突破。第一，信号衰减严重，易形成盲区。此类空间多为封闭环境，且存在大量混凝土墙、人防墙等厚重墙体，网络信号传输时易被遮挡，强度快速衰减。室

外基站信号几乎无法穿透至室内及地下，必须部署专用覆盖设备；但即便部署专用设备，信号经过多道墙体、柱子阻挡后，仍会大幅减弱，在空间深处、角落等位置易形成新的覆盖盲区，难以实现全域覆盖。第二，施工与设备部署受限。室内空间需兼顾美观与用户正常活动，如写字楼、居民区需考虑装修风格，设备安装位置、线路走向不能破坏整体环境；施工时间需避开高峰，商场需避开营业时段，居民区需避开夜间休息时段，导致施工周期拉长。地下空间光线昏暗、空间狭窄，且内部遍布水电管线、人防设施，设备安装与线路铺设需避开这些设施，避免造成损坏，施工操作难度大，还易出现安全隐患。第三，成本与效果难平衡。这是建设过程中最核心的难点：若要保障覆盖全、信号好，需增加设备与天线数量，同时配套铺设更多线路、完善供电系统，不仅前期建设成本大幅上升，后期设备维护、电费支出等运维成本也会增加，易造成资源闲置与资金浪费；若为控制成本，减少设备部署、简化线路与供电，又会导致覆盖范围不足、信号质量下降，出现大量盲区，用户无法正常用网，最终导致建设成果失效，反而造成二次投入。

2 移动网络室内/地下空间覆盖的建设优化方案

针对上述核心需求与突出难点，传统“一套方案适用于所有场景”的模式已不再适用，易出现方案适配性差、效果不达预期等问题。因此，需从场景适配、组网优化、技术选型三个关键维度，设计针对性的建设优化方案，既实现“覆盖全域无盲、信号质量达标、设备易装易维”的目标，也为后续精准核算成本、平衡效果与成本打下坚实基础，推动覆盖建设高效、经济落地。

2.1 场景适配：分类设计覆盖模式

室内与地下空间在结构特征、人员密度、功能用途上存在显著差异，若采用统一覆盖模式，易出现设备冗余或信号不足的问题。需按场景类型分类，设计适配性覆盖模式，实现效果与成本的平衡。一是高密度室内场景，如大型商场、高层写字楼，此类场景面积广、楼层多、隔断密集，高峰时段人员集中，需保障信号均匀分布与多用户承载能力。采用“分布式室内分布系统+微站补盲”模式：在吊顶、墙面、立柱等位置部署多组小型天线，通过传输线路将信号集中分配至各天线，实现主要区域全域覆盖；针对电梯厅、卫生间等信号衰减严

重区域，额外部署微站，填补覆盖盲区，同时分担高峰时段的业务流量，保障网络流畅。二是中低密度室内场景，如居民区、小型办公楼，此类场景面积较小、人员密度低，用户核心需求集中于公共区域，部分住户室内信号薄弱，且建设成本敏感度高。采用“家庭基站+小型室分”模式：在楼道、小区广场等公共区域部署少量天线，覆盖公共空间；为室内信号薄弱住户配置小型家庭基站，安装便捷，可精准解决住户室内覆盖问题，兼顾效果与成本。三是地下空间场景，如地下车库、地铁，此类场景封闭性强、墙体厚重，信号衰减剧烈，地铁场景还需应对人员高速移动下的信号连续性需求。针对不同地下空间差异化设计：地下车库采用“漏缆+微站”模式，沿车道铺设信号传输与辐射一体化的漏缆，覆盖主要通行区域；在角落、转弯等漏缆信号薄弱处部署微站，消除盲区。地铁采用“专用隧道覆盖系统”，隧道内铺设漏缆保障列车行驶中的信号稳定；站台区域部署定向天线，实现站台全覆盖，同时打通隧道与站台的信号衔接，保障用户上下车时信号无缝切换。

2.2 组网优化：构建“室内外联动+动态协同”架构

传统室内与地下覆盖网络多为独立部署，与室外基站缺乏协同，既造成资源浪费，也影响用户切换体验，且运维依赖现场操作，效率低、成本高。需优化组网架构，构建“室内外联动+动态协同”模式，提升资源利用率与运维效率。一方面，打通室内外网络切换通道，实现资源协同调度。在室内外交界区域（如商场出入口、地下车库坡道），优化信号切换参数，搭建专用切换链路，保障用户移动时信号自动无缝切换，避免通话中断、网速骤降。依托统一调度系统实现室内外资源协同：高峰时段（如商场节假日、地铁早晚高峰），室内网络负荷过高时，调度室外基站空闲资源补充，同时引导部分室外用户接入室内网络，缓解室内压力；低谷时段，关闭部分冗余室内设备，降低室外基站功率，减少能耗与资源浪费。另一方面，采用“集中管控+分布式部署”模式。按覆盖需求将设备分布式部署于目标区域，保障信号精准覆盖；搭建统一管控平台，运维人员可远程实时监控所有设备运行状态与信号质量，无需现场巡检。发现信号薄弱或设备故障时，可远程调整设备功率、优化天线角度，多数问题无需现场操作即可解决，大幅提升运维效率、降低人工成本。

2.3 技术选型：优先选用适配性强、低成本的技术与设备

技术与设备选型需兼顾覆盖效果、施工难度与成本，避免选择“高价低效”产品，聚焦适配性与经济性。一是优选覆盖设备，侧重小型化、低功耗、易安装特性。室内天线选用超薄款，适配各类装修风格，无需大规模改造装修，降低施工难度；地下场景选用耐磨、信号稳定性强的漏缆，减少后期更换频率，降低运维成本。二是采用“光纤+无线回传”混合传输技术。核心区域（如商场主力店、地铁站台）采用光纤传输，保障信号稳定性；偏远补盲区域（如居民区角落微站）采用无线回传，无需复杂布线，降低施工成本。三是融入高效新技术。引入波束赋形技术，精准调控天线信号方向，将信号聚焦于目标覆盖区域，减少信号浪费与干扰，无需增加设备即可提升信号质量；推动多运营商设备共用，多家运营商共享一套覆盖系统，共同承担建设与运维成本，实现资源复用与多方共赢。

3 移动网络室内/地下空间覆盖建设的成本分析

在保障信号效果达标的基础上，需拆解成本构成、制定管控策略，实现覆盖建设的经济性。

3.1 核心成本构成拆解

明确成本构成是精准管控的前提，主要分为三类：一是前期建设成本，占比最高，包括设备采购费（基站、天线、漏缆、管控设备等）、施工费（布线、设备安装、装修改造，地下与高密度场景施工成本更高）、设计调试费（场景勘测、方案设计、设备参数调试）；二是后期维护成本，为长期持续性支出，包括设备维修费（故障维修、定期检修）、能耗费（设备运行电费，高密度场景能耗更高）、人工运维费（人员巡检、故障处理）；三是升级迭代成本，网络更新（如 4G 升 5G）时产生，包括设备更换费（淘汰老旧设备）、系统升级费（软件更新），地下场景因施工难度大，升级成本高于室内。

3.2 针对性成本管控策略

按建设、维护、升级三阶段制定管控策略，不影响信号效果的前提下降低成本。建设阶段，通过资源整合与施工优化控本：多运营商联合集中采购设备，获取批量折扣；公共场景（商场、地铁）联合建设，分摊费用。施工前加强与物业、管线部门沟通，避免返工；室内采

用模块化布线，减少装修改造，降低施工费。维护阶段，依托技术手段提升效率、减少支出：通过统一管控平台远程监控设备，减少现场巡检，降低人工成本；故障发生时精准定位问题，避免盲目排查，节省维修费；按人员密度动态调整设备功率，高峰开足、低谷调低，降低能耗费。升级阶段，提前规划减少重复投入：选用多网络兼容设备，升级时无需更换硬件，仅更新软件；地下与高层建筑施工时预留设备及布线接口，升级时无需重新开挖、安装，降低施工费。通过“成本拆解+分阶段管控”，可实现资源精准投入：建设时避免设备冗余与劣质选型，保障基础质量；维护时依托远程管控提升效率，降低人工与时间成本；升级时通过提前规划避免重复建设。既帮助运营商控制开支，将资源投向覆盖薄弱区域，也为用户提供稳定流畅的用网体验，实现运营商与用户的双赢，推动室内/地下空间网络覆盖质量提升。后续可结合实际场景动态调整策略，持续跟踪成本与效果变化，迭代优化方案。同时推动技术与模式创新，进一步降低建设运维成本，扩大覆盖范围，让移动网络在各类室内及地下空间均能稳定高效运行，更好满足用户多样化用网需求。

4 结语

移动网络室内/地下空间覆盖建设，需以“场景适配”为核心设计优化方案，通过分类覆盖模式、协同组网架构与适配性技术选型，解决信号衰减、施工受限等难点，保障覆盖全与质量优；同时需以“精准管控”为核心开展成本分析，拆解成本构成并针对性制定管控策略，平衡覆盖效果与经济性。这一过程既需贴合室内/地下空间的实际场景特点，避免方案脱离实际，也需兼顾长期运营成本，避免短期节省导致后续投入激增，最终实现移动网络深度覆盖“效果达标、成本可控”，为用户提供优质通信体验，支撑各类场景化应用落地。

参考文献

- [1] 范天伟,王慧东,王森,尤扬,郭希蕊.5G 农村广覆盖低成本建设方案研究,邮电设计技术,2023(10):6-11
- [2] 杨诚.新型数字化室分建设应用分析,中国新通信,2022,24(21):68-70
- [3] 吴晓乐,张鹏,范天伟,薛超粤,陈玲.基于 TCO 的 5G 室分场景化解决方案研究,邮电设计技术,2023(10):1-16