

团 体 标 准

T/SCSTXXH 1—2025

四川省低空覆盖 5G 数字蜂窝移动通信 网络设计规范

**Design Specification for 5G Digital Cellular Mobile Communication Network
Coverage in Low-Altitude Areas of Sichuan Province**

2025-10-31 发布

2025-10-31 实施

四川省通信学会 发布

目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 术语.....	1
3 5G 低空覆盖组网.....	2
3.1 低空覆盖面临的挑战.....	2
3.2 网络部署模式.....	3
3.3 网络能力要求.....	3
4 5G 低空覆盖规划方法.....	4
4.1 地对空无线传播模型.....	4
4.2 频率规划.....	5
4.3 覆盖规划.....	5
4.4 容量规划.....	7
4.5 站址规划.....	7
5 5G 低空覆盖设计规范.....	8
5.1 设备选型与配置.....	8
5.2 设备安装要求.....	10
5.3 天线挂高要求.....	11
5.4 天线方位角要求.....	11
5.5 天线机械倾角要求.....	12
5.6 配套要求.....	12
本标准用词说明.....	13

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》。

无人驾驶飞行器（Unmanned Aerial Vehicle）简称无人机，其应用前景广泛，能够支持交通业、能源、公共事业等诸多领域的解决方案，是中国制造 2025 十大重点发展领域中的新一代信息技术产业之一。近年来无人机发展迅猛，行业越来越成熟，产业链也越来越完善。

为了指导工程技术人员完成 5G 低空覆盖基站设计，本设计规范编制组经广泛调查研究，通过分析无人机的应用场景和通信需求（主要聚焦于 3000 米以下低空空域），开展基于 5G 网络的低空覆盖测试，提供面向无人机的低空覆盖组网方案，验证 5G 网络对于无人机通信需求的满足度，并阐述网络规划、设计建议，制定本《四川省低空覆盖 5G 数字蜂窝移动通信网络设计规范》，旨在指导初次接触低空覆盖通信网络建设的设计人员进行工程设计。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由四川省通信学会负责归口管理。

本文件起草单位：

中国移动通信集团四川有限公司、中通服咨询设计研究院有限公司、成都理工大学、中国电信股份有限公司四川分公司。

本文件主要起草人员：苟浩淞、代泽均、朱健、姚光乐、王洪辉、贾勇、赵仕波、彭鹏、庞璐、李瑞佳、张高毅、韩飞。

四川省低空覆盖 5G 数字蜂窝移动通信网络设计规范

1 范围

1.0.1 本设计规范对于 5G 低空覆盖基站如何落地、如何做好设计进行系统描述。对 5G 低空覆盖基站设计规范进行总结提炼，明确设计要点，指导设计人员完成高品质设计。

1.0.2 本规范使用范围：运营商 5G 室外低空覆盖基站设计。

1.0.3 共性要求：5G 低空覆盖基站设计必须符合国家有关法律法规和现行最新工程建设标准规范的要求，其中国家工程建设强制性标准必须严格执行。本设计意见与国家有关标准（规范）、法律法规相矛盾时，应按国家标准（规范）、法律法规的相关规定办理。

1.0.4 执行意见的要求：本设计规范对 5G 低空覆盖基站设计的要求具有通用性。对于具体的工程项目，执行本设计规范指导意见时应根据项目的内容和设计范围可以对本规定的条文进行合理的取舍，并不违反本设计规范指导意见的要求。

2 术语

序号	英文缩写	英文名称	中文名称
1	5G NR	5th Generation new radio	5G新空口
2	AAU	Active Antenna Unit	有源天线单元
3	CQI	Continuous Quality Improvement	信道质量指示
4	CPE	Customer Premise Equipment	客户前置设备
5	CoMP	Coordinated Multiple Points Transmission	多点协作传输
6	HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	混合自动重传请求
7	LOS	Line of Sight	视距
8	MEC	Multi-Access Edge Computing	多接入边缘计算
9	MCS	Modulation and Coding Scheme	调制与编码策略
10	Massive MIMO	Massive Multiple Input Multiple Output	大规模天线技术
11	RSRP	Reference Signal Receiving Power	参考信号接收功率
12	RI	Rank Indicator	秩指示
13	SR	Scheduling Request	调度请求
14	SSB	Synchronization Signal and PBCH block	同步信号和PBCH块
15	SS SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio	信号与干扰加噪声比
16	SS RSRP	Synchronization Signal Reference Signal Power	同步信号参考信号强度
17	UPF	User Plane Function	用户面功能
18	UAV	Unmanned aerial vehicle	无人驾驶航空器

3 5G 低空覆盖组网

“低空”，通常指的是 3000 米高度以下的空域，在这一空域内飞行的飞行器主要包括民用客运飞行器和无人驾驶航空器。其中，无人驾驶航空器（UAV, Unmanned aerial vehicle），简称“无人机”，是利用无线遥控和程序控制的不载人飞机，具有体积小、成本低、操控方便、易于使用等特点。在 5G 网络的助力下，无人机终端和远控单元能够分别通过 5G 网络进行数据回传和对无人机进行飞行控制，从而实现无人机高清图传、超视距控制、精准定位、状态监控、安全飞行等业务。

3.1 低空覆盖面临的挑战

3.1.1 传统 5G 天线零位问题分析

用于地面覆盖（天线主瓣角向下）的传统基站做低空无人机覆盖，会存在天线零位问题。定向天线有多个旁瓣，通过天线零位相互分开。在天线零位方向（旁瓣之间的间隔）几乎不发射无线电波。

当无人机在服务小区的天线零位区域，此时可能被其它小区的旁瓣覆盖，从而发生切换，由于旁瓣存在多个天线零位区域，这样会带来频繁的切换。

旁瓣零位覆盖场景大概率存在信号强度突降导致连接链路故障问题，当由一个旁瓣提供服务的无人机在空中移动时，其信号强度可能会发生急剧下降，容易导致链路故障。

3.1.2 5G 网络低空同频干扰

由于覆盖低空的 5G 基站与低空 5G 终端之间大多为视距传播，造成低空空域信号较为杂乱，易出现无主服务小区，造成低空 5G 终端接收到的下行干扰较大，在部分区域可能出现终端无法解调，出现断线失联问题，如果无人机长时间处于该区域甚至会导致无人机降落或返航。下图中显示了低空中的无人机因信号的 LOS 传播特性，接收到了来自多达十几个的邻区信号，导致下行平均 SS SINR 急剧下降至 0dB 左右。

为降低干扰，可以采取以下措施：优化同频 5G 基站的小区发射功率、方位角、天线机械倾角和 SSB 波束权值、对低空 5G 终端实行上行功率控制等。在基站侧，采用 Massive MIMO 形成较窄波束对准服务用户，采用协作传输的方式来减少干扰，如利用 CoMP（Coordinated Multiple Points Transmission, 多点协作传输）技术，协调多个小区在时、频、空、码、功率域的资源使用情况。

3.1.3 5G 网络小区关联模式影响

基于地面不同高度的最强接收功率的小区关联模式，会随高度的变化发生显著变化，理想情况下，地面上的小区关联模式是一个很好界定的连续区域，在该区域内最好的小区通常是最靠近无人机的小区，但随高度变化时，天线旁瓣开始出现，信号最好的小区可能不再是最靠近无人机的小区，在这种特殊情况下无人机与小区的关联模式变得碎片化，导致邻区关系复杂难以有序规划。

在无人机飞行过程中，如果遇到主服务小区频繁切换，将可能导致终端接入困难、吞吐量低、掉网等问题。为避免服务小区频繁切换，可对无人机飞行路线上的邻区切换关系设置切换迟滞、小区特定偏置等切换参数。需要注意的是，如果 5G 基站兼顾覆盖地面用户和低空业务，由于切换参

数通常属于小区级参数，调整切换参数可能会影响到大网用户，建议可通过切片方式区分不同的业务和用户，对不同切片采用不同的切换参数。

3.2 网络部署模式

无人机终端和地面控制终端均通过 5G 网络进行数据传输和控制指令传输，并通过业务服务器加载各类场景的应用。其中 5G 网络提供了从无线网到核心网的整体网络解决方案，以适配各种复杂应用场景的网络实现。对于低空的 5G 网络覆盖，主要有以下两种网络部署模式：

模式一：基于 5G 公网为空中 5G 终端提供独立切片，UPF（User Plane Function）下沉到飞行航线管理平台附近，用户面数据在本地转发，控制面走公网通道。这种部署方式能够最大程度地复用地面 5G 基站，节约建网成本。适用于无人机飞行高度低于或接近地面公网天线高度的场景，适用的飞行高度有限。

模式二：部署专门对空覆盖的 5G 基站，保证了覆盖地面用户的基站与覆盖空中基站之间的物理隔离，适用于无人机飞行高度远高于地面公网天线高度的场景。如果频段资源允许，建议覆盖低空业务的 5G 网络与覆盖地面用户的 5G 网络采用异频组网，这将有利于消除两个网络之间的同频干扰，保障网络中的无线信号质量。

当低空业务的分布密度不密集时，运营商比较倾向于利用已建的 5G 公网对低空进行兼顾覆盖，以节约投资成本。随着低空业务的分布密度增大和经营收益的增加，运营商新建空中覆盖专网的意愿会增强。

3.3 网络能力要求

在上行/下行速率要求方面，目前低空无人机的业务类型多为高清或超高清图片/视频回传业务，对下行业务速率要求较低，通常为几百 kbps~1Mbps 左右。上行速率要求则通常为几 Mbps~100Mbps 左右。如果对于某类低空上行大带宽业务，现有 5G NR 网络无法满足该业务的上行容量需求，可以通过采用多频多层组网、载波聚合、1D3U 帧结构等技术实现上行大带宽。

在时延要求方面，向低空无人机发送 Command & Control 信息要求较低的时延，基于无人机搭载的 5G 终端回传的视频所进行的无人机远程人工接管飞行业务，也需要尽可能减少视频回传的时延。通常，对于 5G 网络中视频回传业务的端到端时延要求为<200ms，对于控制类信息的端到端时延要求为<20ms。为满足无人机实时操控和高清视频实时回传的需求，建议在网络侧（如园区机房中）部署边缘云 MEC（Multi-Access Edge Computing，多接入边缘计算），可提供分流、计算、存储的一体化服务。MEC 与云端无人机业务平台有效协同，可使端到端时延小于 20ms。

在可靠性要求方面，低空业务对于可靠性的要求较高，无人机飞行路径上任何一处的信号丢失都会对无人机自身飞行及其所承载的业务稳定运行造成影响。通常，对于视频回传业务的可靠性要求为>=99.9%，对于控制类信息传输的可靠性要求为>=99.99%。

其他有助于实现低时延高可靠的技术还包括：采用低码率 MCS/CQI 映射表、设置保守的 MCS/RI（Rank Indicator，秩指示）、HARQ 重传增强、降低 SR（Scheduling Request，调度请求）周期、智能预调度等。在网络负载较高情况下，还可以采取为低空业务分配切片的方式来优先保障业务的

资源需求。低空无人机场景中的常见业务类型简介及其对 5G 网络的上行/下行速率、时延等的要求如下表所示：

表 1 常见的低空无人机业务对 5G 网络性能的要求

场景	无人物流		无人机植保		无人机巡检/安防/救援	无人机测绘		无人机高清直播	无人机编队飞行
业务属性	自动飞行	人工接管飞行	喷洒农药	农业土地勘测	巡检/安防/救援	图像回传	激光测绘	实时视频直播	无人机编队飞行表演
业务描述	定位信息、配送任务的下发、无人机状态上报等	在紧急情况下基于高清/超高清视频回传对无人机进行人工操控飞行	定位信息下发、无人机飞行状态上报等	定位信息下发、无人机飞行状态上报、超高清的土地勘测图片回传等	定位信息下发、无人机飞行状态监控、高清/超高清视频回传、无人机远程操控等	定位信息下发、无人机飞行状态监控、实时高清/超高清图像回传等	定位信息下发、无人机飞行状态监控、无人机低空多镜头摄影获取超高清立体影像数据、自动生成三维地理信息模型并上传至云端等	定位信息下发、无人机飞行状态监控、无人机远程操控、高清/超高清视频回传等	无人机状态监控、通过地面基站给每一台无人机发布指令、进行任务分配、航迹规划、编队控制等
上行速率	300kbps	高清：4~6Mbps(1080P) 超高清：20~25Mbps(4K)	300kbps	超高清：20~25Mbps(4K)	高清：4~6Mbps(1080P) 超高清：20~25Mbps(4K)	高清：4~6Mbps(1080P) 超高清：20~25Mbps(4K)	80~100Mbps(8K)	高清：4~6Mbps(1080P) 超高清：20~25Mbps(4K) 80~100Mbps(8K)	1Mbps
下行速率	300kbps	300~600kbps	300kbps	600kbps	300~600kbps	300~600kbps	600kbps	300~600kbps	1Mbps
业务端到端时延	<200ms	<200ms	<200ms	<200ms	<200ms	<200ms	<200ms	<200ms	<200ms
控制端到端时延	<20ms	<20ms	<20ms	<20ms	<20ms	<20ms	<20ms	<20ms	<20ms
定位精度	<0.5m	<0.5m	<0.5m	<0.1m	<0.5m	<0.1m	<0.1m	<0.5m	<0.1m
覆盖高度	100m	100m	10m	200m	100m	100m	200m	<100m	<200m
典型覆盖区域	城区、郊区、农村	城区、郊区、农村	农村	农村	巡检：基础设施等 安防：需要被安全保障的区域 救援：灾害、事故等发生区域	城区、郊区、农村	城区、郊区、农村	城市、旅游景区	城市

4 5G 低空覆盖规划方法

4.1 地对空无线传播模型

“低空”的高度范围通常为 0~3km，覆盖低空的基站天线如果安装在位置较高且主瓣方向上无遮挡的地方，则基站天线与低空终端之间通常是视距传播。由于地球表面对无线电波的反射作用，基站天线和低空终端天线之间还存在着反射路径，因此地对空覆盖的无线传播模型可简化为双射线模型。（如图 4-1 所示）。

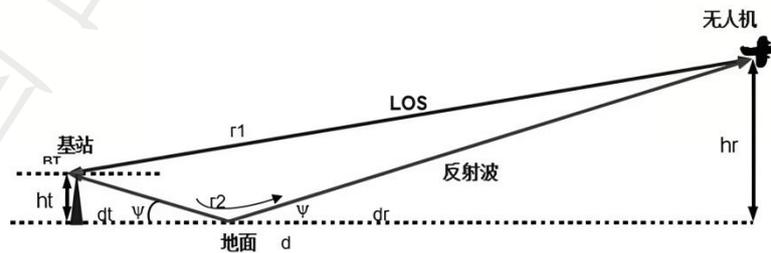


图 1 地对空覆盖双射线传播模型示意图

为便于在链路预算和仿真软件中应用地对空传播模型，将双射线模型进行了简化。根据实测发现地对空传播模型的曲线与自由空间的传播模型曲线很接近，因此可以用自由空间传播模型来近似双射线模型。考虑到双射线模型计算结果的波动性，在自由空间传播模型的基础上加上一定的波动裕量 $M(\text{dB})$ ，得到地对空的传播模型的表达式如下：

$$\text{Path Loss(dB)}=32.45(\text{dB})+20*\log(\text{dkm})+20*\log(\text{fMHz})+M(\text{dB})$$

通过对测试数据进行拟合，得到以上模型中的波动裕量 M 的初始设置值 6dB。M 的数值可以根据具体频段的实测数据进行拟合和修正。

4.2 频率规划

当覆盖低空业务的 5G 基站采用与覆盖地面用户的 5G 网络相同的频段时，在 3000 米高度的低空区域，5G 终端会接收到多个来自远处基站的信号，造成对主服务小区的干扰，导致低空区域内的 5G 网络覆盖质量较差。同时，低空 5G 终端还可能接收到来自地面用户的干扰信号，并且该干扰随着地面 5G 用户数量的增加而增大，严重时可能导致无人机业务异常。另一方面，低空 5G 终端上行到其周边多个小区大多为 LOS 视距传播，低空 5G 终端会对其周边邻区覆盖范围内的地面用户带来上行干扰。

对于以上因覆盖低空业务的 5G 基站与覆盖地面用户的 5G 基站采用同频的场景，需要通过合理的规划和优化，控制覆盖低空的各 5G 小区的信号覆盖范围，既要避免信号覆盖不连续或出现覆盖盲区，又要避免信号过覆盖而干扰到其他小区。在频段资源允许的条件下，建议覆盖低空的 5G 网络与覆盖地面的 5G 网络采用异频组网，以消除同频干扰。例如，利用 3.4GHz 100MHz 带宽频段覆盖地面，利用 3.5GHz 100MHz 带宽覆盖低空，以消除两张网络之间的同频干扰，提升 5G 网络对于低空的覆盖质量。

减少同频干扰的另一种方式是规划专用频率系统，即专网模式，该专用频率只在一定地域和空域范围内被用于覆盖低空的 5G 基站所使用，其他基站则采用不同的频率。

4.3 覆盖规划

覆盖规划是根据低空业务的上行/下行速率要求或 SS RSRP 要求，通过链路预算计算得到满足这些要求时的小区理论覆盖半径 R，然后计算得到满足目标覆盖区域面积 S 内业务需求所需的 5G 小区的数量 N 覆盖。

现有低空无人机承载的业务类型大多为视频回传类业务，小区理论覆盖半径主要基于小区边缘上行速率的要求进行计算。以电信 3400~3500MHz 频段、100MHz 带宽的 5G NR 网络、基站为 64TR AAU、5G 终端为 2T4R CPE 场景为例，计算得到了当低空业务的小区边缘上行速率要求分别为 5Mbps、10Mbps、.....100Mbps 等 10 种速率时所分别对应的小区理论覆盖半径，如下表所示。

表 2 5G 网络覆盖低空场景中对应不同小区边缘上行速率要求的小区理论覆盖半径链路预算结果

参数	单位	3.5G NR 64R										
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	100
数据速率	Mbps	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	100
载波频率	GHz	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
信道带宽	MHz	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
子载波间隔	kHz	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
上行比例	#	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
总资源块数	#	273	273	273	273	273	273	273	273	273	273	273
eNodeB/gNodeB 天线配置	#	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R	64T64R
UE (用户设备) 天线配置	#	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R	2T4R
已用资源块数	#	243	192	240	270	240	256	270	270	270	270	270
MCS (调制与编码策略) 索引	#	0	4	5	6	8	9	11	12	13	14	14
调制阶数	#	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
传输块大小	#	8738	17476	26214	34953	43691	52429	61167	69905	78643	87381	87381
发射 (Tx) 相关参数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UE 发射功率	dBm	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	23
UE 天线增益	dBi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
多流损耗	dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
发射等效全向辐射功率	dBm	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	21
接收 (Rx) 相关参数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
热噪声密度	dBm/Hz	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174
eNodeB/gNodeB 噪声系数	dB	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
所需信噪比	dB	-8.34	-4.2	-3.38	-2.57	-0.86	0	2.2	2.95	3.71	4.46	4.46
所需灵敏度	dBm	-99.92	-96.8	-95.01	-95.69	-92.49	-91.35	-88.92	-88.17	-87.41	-86.66	-86.66
eNodeB/gNodeB 天线增益	dBi	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
上行干扰余量	dB	2	2	2	2	3	4	6	7	9	11	11
线缆损耗	dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
物联网 (IoT)	dB	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
3GPP 环境建议值	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
穿透损耗	dB	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
额外损耗	dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
慢衰落标准差	dB	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
小区面积覆盖概率	%	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
阴影衰落余量	dB	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
切换增益	dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
室外最大允许路径损耗	dB	123.32	120.21	118.42	117.1	114.9	112.76	108.33	106.58	103.82	101.07	99.07
室外小区覆盖半径	km	5	3.49	2.83	2.43	1.88	1.46	0.85	0.67	0.45	0.27	0.14
室外站间距	km	7.5	5.23	4.25	3.64	2.82	2.19	1.27	1.01	0.68	0.41	0.25
eNodeB/gNodeB 天线高度	m	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
用户设备高度	m	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

通过链路预算计算得到满足低空业务上行速率的小区理论覆盖半径 R 之后，根据单个三扇区站点的覆盖面积 S 计算公式 ($S = \frac{9}{8} \sqrt{3} R^2 \approx 1.95 R^2$) 计算得到 S 的数值，然后用无人机飞行空域的水平面截面的面积 $S_{\text{水平面}}$ 除以 S ，就得到满足低空业务的覆盖需求（上行速率要求和 SS RSRP 要求）所需要的三扇区 5G 基站的理论数量 $N_{\text{覆盖}}$ ，即： $N_{\text{覆盖}} = S_{\text{水平面}} / S$ 。

覆盖低空业务的 5G 网络的最终规划站点数量 N ，取覆盖规划得到的 5G 基站数量 $N_{\text{覆盖}}$ 和容量规划得到的 5G 基站数量 $N_{\text{容量}}$ 两者中的较大者。

站间距 = 1.5 倍理论覆盖半径

$$ISD (\text{inter-site distance}) = 1.5R$$

单个三扇区站点的覆盖面积

$$S = \frac{9}{8} \sqrt{3} R^2 \approx 1.95 R^2$$

4.4 容量规划

容量规划是指当目标覆盖区域内同时有多个 5G 终端发起业务（例如视频回传业务）时，基于小区的平均上行吞吐率能力，计算当满足目标覆盖区域内所有 5G 终端的业务时，需要的 5G 基站的数量 N 容量。容量规划主要包括两方面的内容：

(1) 考察当满足目标覆盖区域内所有终端的业务需求（通常为上行速率需求）时，所需要的某种类型 5G 小区的数量 N 容量。

(2) 考察在一个 5G 小区的覆盖范围内（理论覆盖半径可以根据目标覆盖区域内各类业务的上行速率要求，通过链路预算计算得到），可能同时发起的各类业务的上行容量需求之和，并考察一个 5G 小区的平均上行吞吐率能力能否满足其覆盖范围内所有 5G 终端业务的上行容量总需求。

对于同时有室外和室内用户，以及仅有室外用户的这两种场景，小区的上行平均吞吐率（或下行平均吞吐率）的系统仿真结果差异不大，因此这两种场景均可采用下表作为容量规划的参考依据。

表 3 常用 5G NR 基站的小区上行&下行平均吞吐率

频段	载波带宽	载波功率	基站通道	UE 通道	UE 发射功率 (dBm)	上行 MIMO	小区平均上行吞吐率 (Mbps)	下行 MIMO	小区平均下行吞吐率 (Mbps)
2.6GHz	100MHz	200W	64T64R	2T4R	26	2*64	170	64*4	1056
	100MHz	200W	32T32R	2T4R	26	2*32	138	32*4	805
	100MHz	8*25W	8T8R	2T4R	26	2*8	119	8*4	372
4.9GHz(2.5ms 双周期)	100MHz	200W	64T64R	2T4R	26	2*64	204	64*4	859
	100MHz	80W	8T8R	2T4R	26	2*8	99	8*4	294
4.9GHz (1D3U)	100MHz	200W	64T64R	2T4R	26	2*64	407	64*4	430
	100MHz	80W	8T8R	2T4R	26	2*8	198	8*4	147
3.5GHz(2.5ms 双周期)	100MHz	160W	64T64R	2T4R	26	2*64	206	64*4	821
	100MHz	160W	32T32R	2T4R	26	2*32	167	32*4	625
	100MHz	8*20W	8T8R	2T4R	26	2*8	144	8*4	281
3.5GHz (1D3U)	100MHz	160W	64T64R	2T4R	26	2*64	411	64*4	411
	100MHz	160W	32T32R	2T4R	26	2*32	335	32*4	313
	100MHz	8*20W	8T8R	2T4R	26	2*8	288	8*4	141
2.1GHz	40MHz	4*60W	4T4R	1T4R	23	1*4	62	4*4	130
	40MHz	4*60W	4T4R	2T4R	23	2*4	90	4*4	130
	40MHz	8*45W	8T8R	1T4R	23	1*8	82	8*4	161
	40MHz	8*45W	8T8R	2T4R	23	2*8	107	8*4	161

4.5 站址规划

通过覆盖规划和容量规划得到了满足低空目标区域内业务的 5G 网络的基站数量 N 之后，接下来即可进行 5G 网络的站址规划。站址规划过程中的一些注意事项如下：

(1) 为提高存量站址的利用率，减少新建基站的资金成本，在规划选址时应尽量选择存量站址。

(2) 利用 Google Earth 等工具对可利用存量站址所在区域的地形地貌进行综合分析，从中筛选出合适的站址。

(3) 为避免覆盖低空的基站天线被遮挡，对于地势较平坦的区域，选择高出周边建筑物一定高度的站址；对于丘陵或山区，优先选择有地势优势、相对海拔更高的站址。

(4) 各站址之间尽量形成较理想的拓扑结构；为确保实现较好的覆盖效果，实际站址的位置与规划站址位置之间的距离应小于 R (R 为小区理论覆盖半径)。

(5) 如果 5G 网络的规划拓扑结构中的某一规划站址在实际环境中没有对应的存量站址可加以利用，此时可考虑新建站址以满足 5G 网络的拓扑结构要求。

5 5G 低空覆盖设计规范

5.1 设备选型与配置

当前覆盖低空的 5G 商用网络还较少，运营商希望利用现有的 5G 公网 64T64R AAU 基站，通过部署 SSB 波束方案，实现利用 5G 公网基站兼顾覆盖地面 5G 用户和低空 5G 终端的目的。

5G Massive MIMO 大规模天线阵列增加了天线在垂直面的自由度，通过调整水平面和垂直面上的波束的数量和形状，使 5G Massive MIMO 基站能够根据目标覆盖区域的位置、范围大小等特点灵活地对空域进行覆盖。

对于利用现有的 5G 公网基站兼顾覆盖低空的场景，可以采用“SSB 1+X”波束配置方案来实现对空域和地面的同时覆盖。

“SSB 1+X”中的“1”代表 1 个功率增强的水平宽波束，该波束水平波宽为 65° ，为达到 7/8 波束水平覆盖的效果，通常通过 power boosting 的方式获得 6dB 的增益，“X”代表多个可灵活配置的垂直波束 ($X=0、1、2、3$)。

表 4 “SSB 1+X” 各种具体波束配置方案

序号	整体波束方案相关参数			子波束方案相关参数			
	波束方案	水平波宽 (°)	垂直波宽 (°)	“1”波束的方位角范围 (°)	“X”波束的方位角范围 (°)	数字下倾角范围 (°) (“1”波束/“X”波束)	垂直波宽 (°)
1	水平 8 波束 (或 7 波束)	65	6	-20,-10,0,+10,+20	/	0~15/Null	6
2		90		/	/		
3	1+0	45	6	-30,-20,-10,0,+10,+20,+30	/	0~15/Null	6
4		65		-20,-10,0,+10,+20	/		
5		90		/	/		
6	1+1	65-65	12	-20,-10,0,+10,+20	-20,-10,0,+10,+20	0~15/-6~9	6
7		65-45			-30,-20,-10,0,+10,+20,+30		
8		65-30					
9		65-20					
10	1+1+1	65-65	18	-20,-10,0,+10,+20	-20,-10,0,+10,+20	0~15/-12~3	6
11		65-45			-30,-20,-10,0,+10,+20,+30		
12		65-30					
13		65-20					
14	1+1+1+1	65-65	24	-20,-10,0,+10,+20	-20,-10,0,+10,+20	3~15/-15~-3	6
15		65-45			-30,-20,-10,0,+10,+20,+30		
16		65-30					
17		65-20					

对于无人机飞行高度基本固定的场景，“X”通常设置为“1”，如果无人机有多个不同高度的飞行航线/飞行区域，无法利用 1 个“X”波束完全覆盖所有高度的飞行航线/飞行区域，此时可以通过在垂直方向设置多个（X=2、3）具有不同倾角的波束来实现对多个不同高度的飞行航线/飞行区域的覆盖。“X”波束的倾角可根据无人机的飞行高度 H 和 5G 小区的覆盖半径计算得到。

“X”波束的上倾角计算示意图如下图所示：

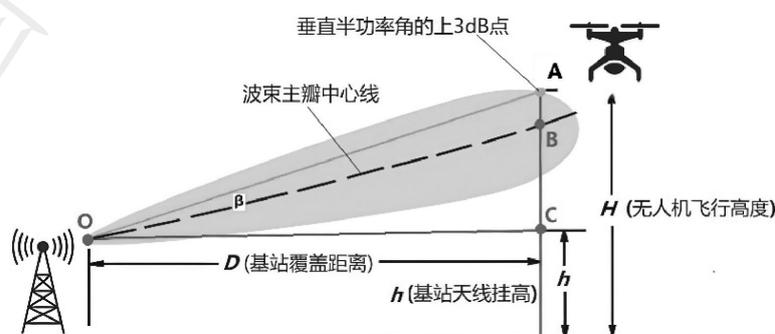


图 2 覆盖低空的 SSB “X” 波束上倾角计算示意图

如上图所示，为了使“X”波束的大部分能量都辐射在目标覆盖区域内，并减少对相邻小区的

干扰，在设置“X”波束的上倾角时，使波束的主瓣半功率点对准目标覆盖区域的边缘。

以 SSB 1+1 波束方案为例，如上图所示，覆盖低空空域的“SSB 1+1”波束方案中的“X”波束（ $X=1$ ，水平波瓣宽度 65° ，垂直波瓣宽度 $\beta=6^\circ$ ）的上倾角计算公式如下：

上倾角 $\alpha = \arctan((\text{无人机飞行高度 } H - \text{基站天线挂高 } h) / \text{基站覆盖距离 } D) + \text{基站天线机械下倾角} - 1/2 * \beta$ （ β 为“X”波束的垂直波瓣角）

在上式中，“基站覆盖距离 D ”是指满足低空 5G 终端上行速率要求和一定 SS RSRP 要求的小区理论覆盖半径 R ，其数值可通过链路预算获得。

5.2 设备安装要求

在选择在屋面站或地面塔站建设时，5G 基站天线可安装于铁塔平台抱杆或屋面抱杆上。对低空空域进行 5G 覆盖的场景主要有屋面抱杆、角钢塔、单管塔等，通过调整天线螳螂臂来调整天线的下倾角覆盖低空空域。由于需对低空区域进行覆盖，需将原天线可伸缩调整天线倾角的螳螂臂安装于天线下部，使天线朝天空覆盖。三种场景的天线安装如下：

（1）屋面抱杆安装 5G 天线覆盖场景

新增 5G AAU 天线安装于屋面抱杆上，根据站址的实际站高情况调整天线螳螂臂来调整天线倾角来覆盖低空空域。



图 3 屋面抱杆安装 5G 天线

（2）角钢塔安装 5G 天线覆盖场景

新增 5G AAU 天线安装于角钢塔平台天线抱杆上，根据站址的实际站高及情况调整天线螳螂臂来调整天线倾角来覆盖低空空域。

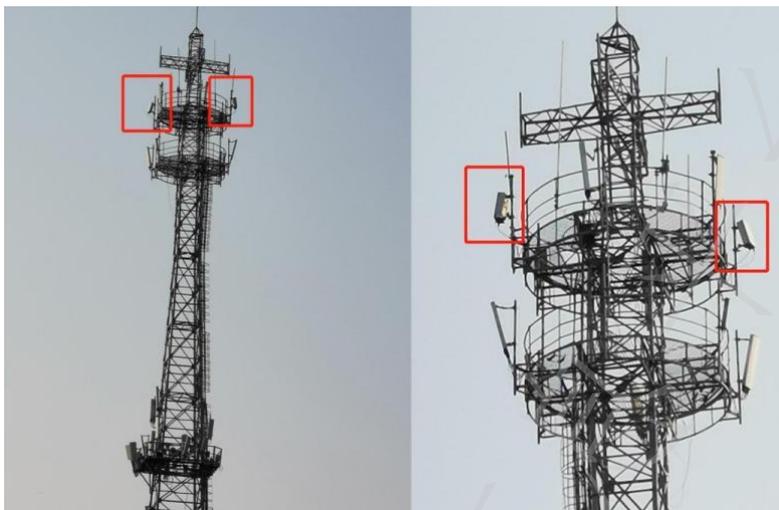


图 4 角钢塔安装 5G 天线

(3) 单管塔安装 5G 天线覆盖场景

新增 5G AAU 天线安装于单管塔平台天线抱杆上，根据站址的实际站高情况调整天线螳螂臂来调整天线倾角覆盖低空空域。

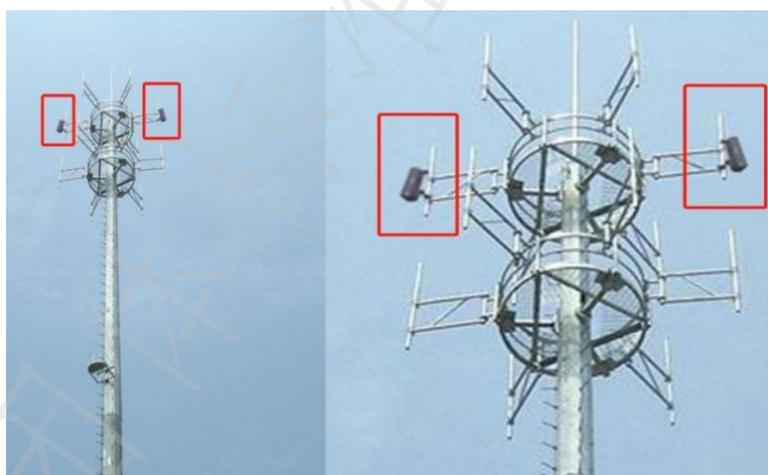


图 5 单管塔安装 5G 天线

5.3 天线挂高要求

为保证对低空目标区域的覆盖效果，5G 基站天线挂高应高于周边建筑物平均高度至少 2m，且天线主瓣方向上无遮挡；同时各 5G 基站的天线挂高应基本一致，以避免在低空目标区域形成越区覆盖。

5.4 天线方位角要求

对于要求连续覆盖的低空目标区域，规划各 5G 基站采用标准指向的 3 扇区形式（即相邻 2 个扇区之间的方位角相差 120° ），并且 3 个扇区的天线主瓣方向均指向低空目标区域；同时，尽可能保证 5G 网络中所有站点的对应扇区的方位角一致。

5.5 天线机械倾角要求

对于利用覆盖地面用户的 5G 64T64R AAU 基站兼顾覆盖低空的场景，基站天线的机械下倾角继承 5G 公网的设置，以保证基站对地面用户的良好覆盖；同时，利用“SSB 1+X”波束方案，通过合理设置朝向低空覆盖的“X”波束，实现 5G 公网基站对于低空业务的兼顾覆盖。

对于利用 5G 专网覆盖低空的场景，可以将 64T64R AAU 的机械倾角设置为上倾，并使天线主瓣半功率点对准目标覆盖区域的边缘。如果无人机有多个不同高度的飞行航线/飞行区域，无法利用天线主瓣完全覆盖所有高度的飞行航线/飞行区域，此时可以通过合理设置“SSB1+X”波束方案中“X”波束的数量及其上倾角，来实现对不同高度飞行航线/飞行区域的覆盖。

5.6 配套要求

兼顾建设成本、方案可行性、现网影响等多方面因素，择优选择利旧或改造原有塔桅、收编原有天线腾退抱杆、换址新建等塔桅建设方案。按照总拥有成本（TCO）最优原则进行电源配套方案选择，综合考虑低空基站建设及扩容的功耗要求，降本增效要求以及后期运营维护需求。

本标准用词说明

1 为便于执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必、须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：

正面词采用“可”反面词采用“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行的，写法为“应符合.....的规定”或“应按.....执行”。