



5G 时代 4G/5G 共天馈面解决方案

余勇昌¹, 张典², 丁明玲¹

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630;
2. 中国电信集团有限公司广州艾特实验室, 广东 广州 510630)

摘要: 4G 建设时期, 存在站点天面资源紧缺、无法新增抱杆、物业协调困难等问题, 因此, 5G 时代在现有站点上新增抱杆的需求较难实现, 如何实现 4G/5G 天线共天馈面及快速部署异常紧迫。探讨了 4G/5G 共天馈面的解决方案, 提出一种适合中国电信单抱杆场景网络建设的天馈面解决方案, 可以解决 5G 网络建设中无法新增抱杆、物业协调困难的问题。由于不增加天面资源, 可减少铁塔租金, 降低网络运营成本, 同时可实现 5G 网络部署简化、便捷、高效。

关键词: 4G/5G 共天馈面; 单抱杆; 无源一体化集成; 无源+有源一体化集成

中图分类号: TN919

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021043

Solution of common antenna of 4G/5G in 5G Era

YU Yongchang¹, ZHANG Dian², DING Mingling¹

1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China
2. Information Technology Lab of China Telecom Group Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: During the 4G construction period, there were problems such as lack of antenna coverage resources at the base station site, and difficulty in coordination with residential property management. In 5G era, it is difficult to add poles at existing sites. Therefore, it is urgent to propose a solution of common antenna of 4G/5G, and to deploy quickly. The solution of 4G/5G common antenna was discussed, and a suitable solution for China Telecom's single pole network construction was proposed. It can reduce the cost of the tower renting and network operation. At the same time, it can prove the convenience and efficiency of 5G network deployment.

Key words: 4G/5G common antenna, single pole, passive All in One, passive + active All in One

1 引言

随着网络建设的不断推进, 多系统、多制式的技术特征导致天面数量不断增加, 中国电信现有 CDMA800、FDD1800、FDD2100 等制式的网

络覆盖, 未来 4G/5G 协同组网将成为 5G 发展的必然趋势。在未来的较长一段时间内, 多系统将同时共存, 多套系统的天线将会同时占用天面资源。多运营商共用、多系统共存等因素的存在将会进一步导致天面空间受限、站点承重受限以及

安装环境受限三大挑战。随着 2020 年 5G 的大规模部署, 天面资源的紧张程度将会进一步加剧。

2 5G 时代天馈面资源现状

本文对中国电信的省公司进行了调研, 以中国电信股份有限公司苏州分公司 (简称苏州电信) 为例, 分析天馈面资源的现状。苏州电信进行 5G 试点前, 其天馈面资源调查统计分析如下: 共统计了 50 个站点, 其中 41.5% 站点为楼面抱杆站, 4.4% 站点为普通楼面塔, 36.0% 站点为普通地面塔, 15.3% 站点为景观塔, 如图 1 所示。其中城区塔站占比 58.52%, 塔站中单天面 (一个方向单天面) 占比 34.01%, 如图 2 所示。

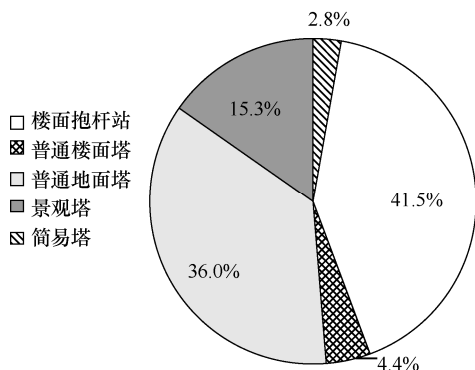


图1 苏州电信天面资源分类调查情况

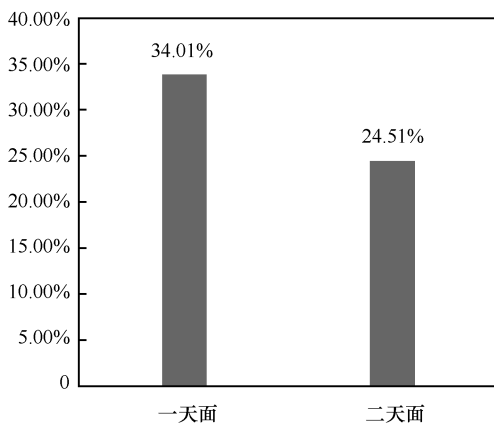


图2 苏州电信城区塔站天面情况

从以上站点分析结果可知, 苏州电信城区站点 34.01% 站点为单天面部署站点, 且天馈抱杆长度有限, 一般只能装配长度在 2.0 m 以下的天线。

如图 3、图 4 所示。

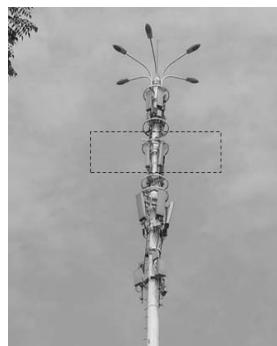


图3 苏州电信的单管站



图4 苏州电信的楼顶塔站

图 3、图 4 站点均为铁塔公司的站点, 中国电信站点均布局在第二层, 单天面情况多数集中安装在这类单管塔及楼顶塔站。

图 5 站点为电信单独部署站点, 为单天面站点, 由于抱杆高度受限, 一个抱杆上还需要安装 RRU (remote radio unit, RRU), 只能放置 2.0 m 长的天线, 无法在现有抱杆上再增加天面。



图5 苏州电信的楼顶站



另外,苏州新增站点 23 个,其中 2 个站点(占比 9%)因居民投诉被迫拆除。后期通过对广州、成都、无锡等地实地勘察,各地勘察情况均与苏州勘察情况类似,其中广州某试点区域规划部署 42 个站点,其中 13 个站点(占 31%)因物业反对而无法新增抱杆,如图 6 所示。

广州试点区域42个站点天面勘察情况

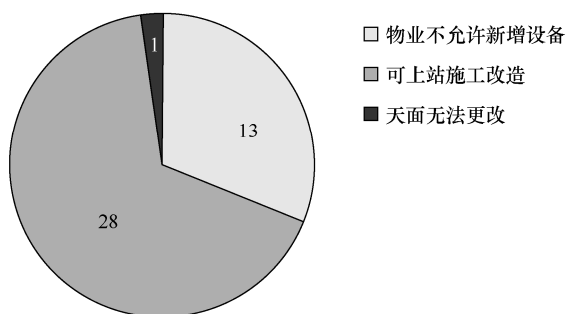


图6 广州试点区域 42 个站天面勘察情况

从以上天面资源情况调查统计分析可知,多数站点为单天面情况,无法新增天面资源。另外,部分站点存在物业协调难、新增站点难的问题,未来 5G 天线部署将面临较大挑战。

3 5G 时代单天面部署解决方案

对于双天面场景,可通过一副多端口天线收编现有频段,为 5G 天线腾挪一个天面抱杆,部署难度不大。针对铁塔单管、楼顶站等单抱杆场景,在增加部署 3.5 GHz MM (massive MIMO, MM) 天线时,有下面几种可能的方案。

腾挪方案:将现有的天面腾挪给 5G MM 天线,原有天线整合为一副集束天线,如图 7 所示。

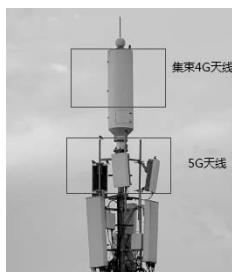


图7 铁塔楼顶站-腾挪方案(集束替换原有天线)

加长抱杆:加长原有抱杆使其可进行双天面部署(垂直切分),如图 8 所示。

新增抱杆:直接将单抱杆站点改造成双抱杆站点(水平切分),如图 9 所示。

天面 1:1 替换:用一副 4G/5G 融合的天线替换原有的 4G 天线,如图 10 所示。

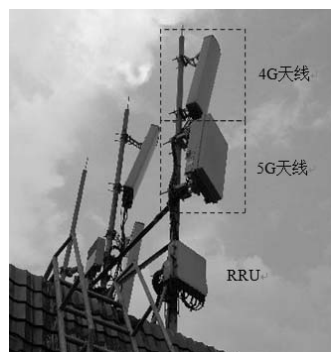


图8 电信楼顶站-加长抱杆方案(垂直切分)

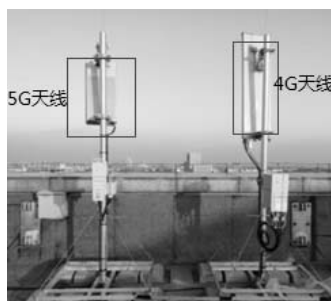


图9 电信的楼顶站-新增抱杆方向(水平切分)

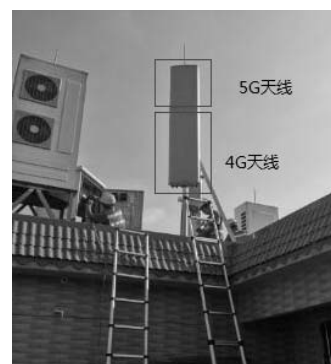


图10 电信的楼顶站-天面 1:1 替换

由上面的分析可知,单天面情况下在增加 3.5 GHz MM 天线部署时,共有 4 种可能的方案,每种方案各有优缺点,现对每种方案根据不同的场景进行分析对比见表 1。

表1 各方案单抱杆场景适用性对比

方案	单抱杆场景适用性场景		
	铁塔单管站	铁塔楼顶站	电信楼顶站
腾挪方案	不适用（顶部无法安装集束天线）	适用（但将增加原有抱杆迎风面积、承重）	不适用（原有抱杆较细，无法安装法兰盘）
新增抱杆	适用（现有布局仍有部分空间新增抱杆）	不适用（天面紧密无法新增）	适用（现有布局仍有位置新增抱杆）
加长抱杆	不适用（遮挡其他运营商）	不适用（造成天面互相遮挡）	适用（可靠性不足）
天面 1:1 替换	适用（以新换旧，易于实现）	适用（以新换旧，易于实现）	适用（以新换旧，易于实现）

天面 1:1 替换方案实现了 4G/5G 共天馈面，简称此方案为“All in One”方案，即将 4G、5G 全部集合到一个天线内部。

从表 1 可以看出，天面 1:1 替换的方案适用于单天面的各场景，其他方案无法完全适用每种单抱杆场景。下面对各应用场景适用方案、主要投资成本、时间成本进行对比分析，详见表 2、表 3。

通过对比可知，天面 1:1 替换适用各类场景，同时能减少铁塔租金等运营成本。同时，天面 1:1 替换，减少了物业协调时间及物业协调的费用，可快速建网抢占市场。因此，本文建议根据表 4

的不同场景选择相应的方案。

由于 5G 天线产品形态存在差异，因此 All in One 方案存在多种可能的类型及架构，不同的方案的架构存在各自优缺点，以下将详细介绍不同 All in One 方案的架构设计、阵列设计、端口设计及不同设计方案优缺点。

4 All in One 共天面解决方案

4G 时代天线为无源天线，5G 时代天线的形态主要有天线与 RRU 合为一体的 AAU（active antenna unit）方案和天线与 RRU 分离的无源天线

表2 各方案主要成本对比

方案	单抱杆场景改造成本（根据资料预估）		
	铁塔单管站	铁塔楼顶站	电信楼顶站
腾挪方案	/	更换集束天线成本	/
新增抱杆	工程费用（约 0.5 万元）	/	工程费用（约 0.5 万元）；物业协调费
加长抱杆	/	/	工程费用（约 0.3 万元）；物业协调费
天面 1:1 替换	更换天线成本	更换天线成本	更换天线成本

表3 各方案租金、施工周期成本对比

方案	单抱杆场景改造运营租金、时间成本（根据资料预估）		
	铁塔单管站	铁塔楼顶站	电信楼顶站
腾挪方案	/	铁塔租金：单站点约 0.35 万元/年	/
新增抱杆	铁塔租金：单站点约 0.35 万元/年；施工周期	/	物业租金，施工周期
加长抱杆	/	/	物业租金，施工周期
天面 1:1 替换	无租金及施工周期方面成本		



表 4 不同场景下方案选择原则

	场景	增加抱杆	腾挪	加长抱杆	天面 1:1 替换
铁塔单管站	天面 1:1 天线成本较大, 如相当或大于 2 年期租金成本	√	/	/	/
	天面 1:1 天线成本较低	/	/	/	√ (具备成本优势)
铁塔楼顶站	租金+集束天线成本+物业协调费与天面 1:1 天线成本相当	/	√	/	/
	租金+集束天线成本+物业协调费>天面 1:1 天线成本	/	/	/	√ (具备成本优势)
电信楼顶站	物业协调容易	√	/	/	/
	物业协调时间长/不能协调	/	/	/	√ (快速抢占市场)
	加长抱杆成本较低且可靠	/	/	√	/

注: “√”表示适用或具备优势、“/”表示不具备优势或不适用。

两种方案。因此, 2G/3G/4G/5G All in One 共天面解决方案存在两种情况: 2G/3G/4G/5G 全无源 All in One 方案和 2G/3G/4G 无源+5G 有源 All in One 方案。

4.1 2G/3G/4G/5G 全无源 All in One 方案

4.1.1 架构设计

在郊区和农村中低容量场景及城区高容量广覆盖场景, 可采用 8TR/16TR MIMO 5G 天线与 4G 天线整合为一副全无源 All in One 的天线, 其整体架构设计如下。

天线外形一体化设计, 内部可采用 2G、3G 或 4G (主要为 4G) 和 5G 天线堆叠设计的方式, 也可采用 4G 和 5G 天线融合设计方式, 最后分别与 2G、3G、4G、5G RRU 通过跳线连接。这种方式只需要更换一副无源 All in One 的天线、新增 5G RRU 即可实现 4G/5G 信号全覆盖。全无源 All in One 天线架构堆叠与融合设计如图 11 所示, 相比 4G 天馈面来说, 需要增加一个 RRU 器件, 从铁塔的租金计算来看, 需要增加约 10% 的年租金。

4.1.2 阵列设计

由于全无源 All in One 天线内部可采用 2G/3G/4G 和 5G 天线堆叠设计方式或采用 2G/3G/4G 和 5G 天线融合设计方式。因此, 天线阵列的设计存在下面两种形式, 鉴于目前铁塔天线迎风面积及尺寸要求, 天线长度应小于或等于 2.0 m,

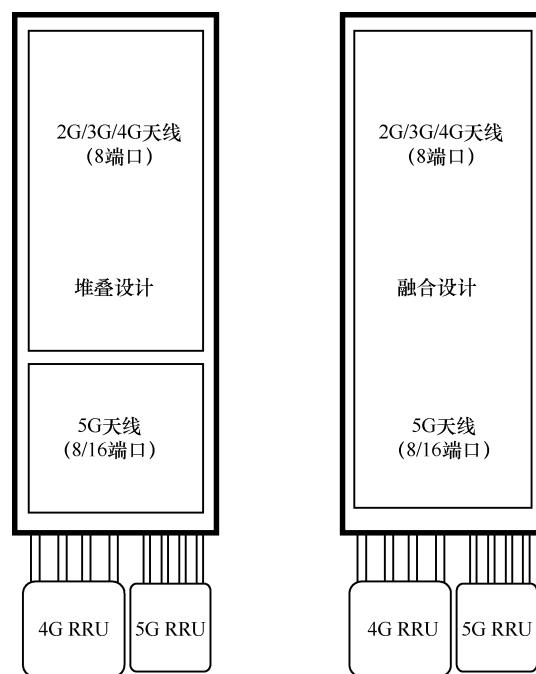


图 11 全无源 All in One 天线架构堆叠与融合设计

两种架构设计的天线内部阵列设计如图 12 所示。

堆叠架构阵列设计沿用传统天线阵列设计, 相当于将无源天线端口上移, 在下方堆叠 5G 的 3.5 GHz 频段 8/16 端口天线阵列。传统多频 8/16 端口已成熟, 仅在下方堆叠 3.5 GHz 频段阵列, 实现难度不大。但因天线总长度限制为 2 m, 下方堆叠 3.5 GHz 频段后, 800 MHz、1 800 MHz、2 100 MHz 等无源频段的的天线长度仅约 1.2 m, 如图 12 左边的堆叠架构-阵列设计所示。由于长度受限, 相应阵列数量会减少; 且由于低频段阵子布局

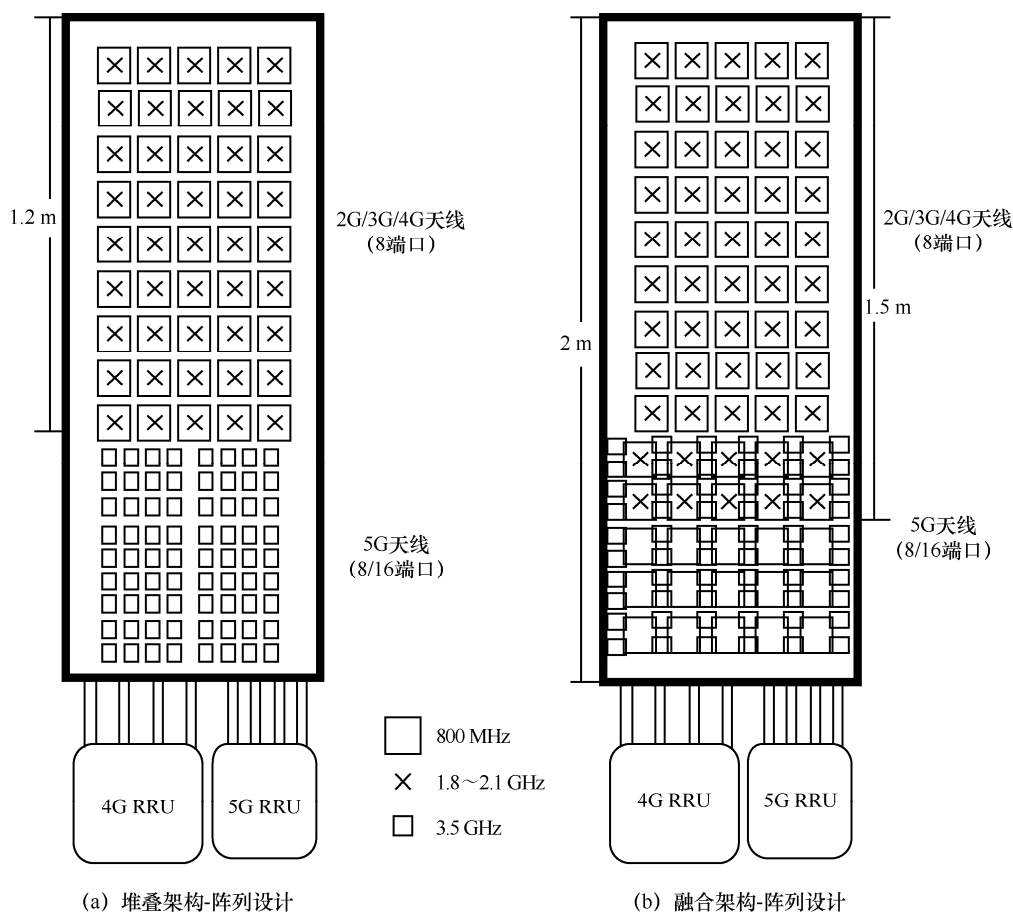


图 12 全无源 All in One 天线堆叠与融合设计阵列对比

在上方，主馈线加长，导致线路损耗增大，这两个因素会导致 800 MHz、1 800 MHz、2 100 MHz 等无源频段的增益下降，从而导致网络覆盖质量下降。

融合架构阵列是将 5G 8/16 端口天线阵列和无源天线端口阵列进行融合设计，如图 12 右边的融合架构-阵列设计所示，是将传统无源天线的长度保持不变（2 m），在下方采用和 5G 阵列融合的设计方式。由于阵列间距缩短，同时低频段阵子会遮挡 3.5 GHz 频段阵子，阵列间耦合会加强，导致端口间隔离度变差，需要对阵列进行去耦设计。对于 4G 频段，由于 800 MHz 天线长度可以达到 2.0 m，1 800~2 100 MHz 阵列长度约为 1.5 m，全无源 All in One 融合方案将保持增益基本不变，不影响网络覆盖。

4.1.3 端口设计

All in One 天线的端面接口数急剧增加，将达到 16/24 端口，端口数量增多，端面布局空间有限，如果按照现有 7/16 连接器，会导致端面布局过于紧凑，工程安装极为不便，可采用 4.3-10 连接器进行布局；而对于 3.5 GHz 频段 16 端口用 4.3-10 连接器布局过于紧凑，可以考虑采用集束连接头。

由于集束连接器的插针十分细小，无法承受过大的外力，在对接时，如果公接头和母接头产生相对移动，容易导致插针的弯曲甚至断裂，并且插针体积较小，外焊接线缆时不方便，焊接质量无法保证。因此，建议选用业界新推出的可靠性较高的 MQ4、MQ5 连接器作为 All in One 天线端口连接器，使 All in One 中的 5G 天线和 4G 等无源天线端口满足工程安装的可靠性要求。



MQ4、MQ5 连接器与 RRU 连接示意图如图 13 所示。

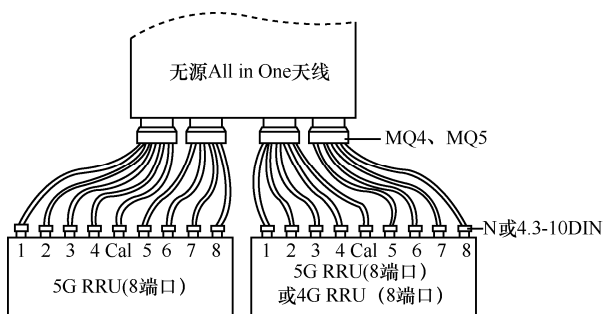


图 13 MQ4、MQ5 连接器与 RRU 连接示意图

4.1.4 全无源 All in One 方案选择

通过以上分析,两种架构的天线主要区别在振子设计,融合方案需将不同频段阵子进行嵌套,而堆叠方案类似纯物理堆叠。堆叠方案实现相对容易,而融合方案阵子间距小,阵子间耦合增加,需要进行去耦处理,实现技术难度相对较大,两种方案详细对比见表 5。

从表 5 可以看出两种架构 All in One 方案中,融合方案技术难度大,同时成本会高于堆叠方案,但是可获得一定增益收益。

4.2 2G/3G/4G 无源+5G 有源 All in One 解决方案

4.2.1 架构设计

目前 5G 试验网主要是天线与 RRU 合为一体

的 AAU 有源方案。要实现单天面场景下网络部署,需将 2G/3G/4G 无源天线(主要为 4G)与 5G AAU 集合到一起的无源+有源 All in One 方案,整体架构设计如图 14 所示。

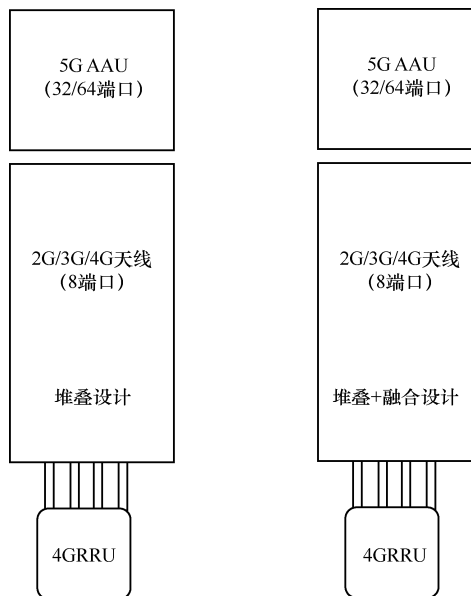


图 14 无源+有源 All in One 堆叠、融合设计架构

天线一体化设计,由于 5G AAU 体积、重量均大于无源天线,难以封装于无源天线罩内部,所以只能采用物理堆叠的方式。而天线总体长度受限,堆叠后将导致无源天线的长度变短,低频段阵子减少,因此必须采用堆叠+融合的方式将 4G 无源天线阵子与 5G AAU 进行一体化设计,以保证

表 5 两种架构 All in One 方案对比

对比点	方案	
	4G+5G 堆叠方案	4G+5G 融合方案
技术可实现性	现有技术堆叠,可实现	新技术,部分厂商可实现
增益指标	800 MHz : 相比融合方案低约 2 dB ^[1] 2 100 MHz: 相比融合方案低约 0.8 dB ^[2] 3.5 GHz 频段 8 端口: 与单独天线相当	800 MHz : 与现有天线增益相当 2 100 MHz: 与现有天线增益相当 3.5 GHz 频段 8 端口: 与单独天线相当
成本	低于融合方案	高于堆叠方案(阵子增加,研发初期成本高)

注: [1]、[2]增益值差异是根据架构设计+纯理论计算得出的结果。

式(1): 天线方向性系数 $D=10 \times \log(28000 / (2\theta \times 0.5 \text{水平} \times 2\theta \times 0.5 \text{垂直}))$;

式(2): 垂直波宽与长度的关系 $2\theta \times 0.5 \approx 0.886 \times \lambda / L$;

式(3): 天线增益与方向性系数的关系 $G=D \times \eta$ (D 为方向系数, η 为效率)

低频段的增益,实现无源+有源 All in One 方案。

4.2.2 阵列设计

无源+有源 All in One 架构的天线外形为堆叠设计,5G AAU 阵列存在两种设计架构:独立设计及融合设计。鉴于目前铁塔天线迎风面积及尺寸要求,天线长度应小于 2.0 m,两种架构设计的天线内部阵列设计如图 15 所示。

堆叠架构阵列设计(如图 15 左边所示),天线阵列设计难度不高,只需要在 4G 天线阵列上方堆叠 3.5 GHz MM 阵列。但此种设计方式带来的问题是低频阵列(800 MHz)和中频阵列(1 800 MHz 和 2 100 MHz)的长度不满足(长度约只有 1.2 m),从而导致增益下降。

堆叠+融合架构阵列设计(如图 15 右边所示),5G MM 天线阵列和 4G 天线阵列融合设计,将低频段(800 MHz)阵列延伸到 5G MM 阵列中,设计难度较大。该方案阵列间距缩短,同时低频

段阵子会遮挡 3.5 GHz 频段阵子,阵列间耦合增加,导致端口隔离度变差,需要进行去耦设计。该设计 800 MHz 天线振子的长度可以达到 2.0 m,1 800~2 100 MHz 阵列长度约为 1.2 m,All in One 融合后低频段(800 MHz)增益将不会降低。

4.2.3 端口及级联设计

无源+有源 All in One 的架构是基于堆叠+融合的设计方式,该方案除了将有源 AAU 和无源天线阵列组合到一起外,同时需要将融合于 AAU 内部的低频阵子与 4G 天线阵列相连,4G 移相器和馈电网络集成于 4G 天线内部。

有源和无源模块需要做防水处理,需要将射频接头通过外加防水线缆进行 5G AAU 和无源天线的上下级联。考虑到防水及接头美观要求,级联接头建议采用 MQ4 连接器,该连接器满足防水性能要求,同时施工简单。堆叠+融合方案级联设计如图 16 所示。

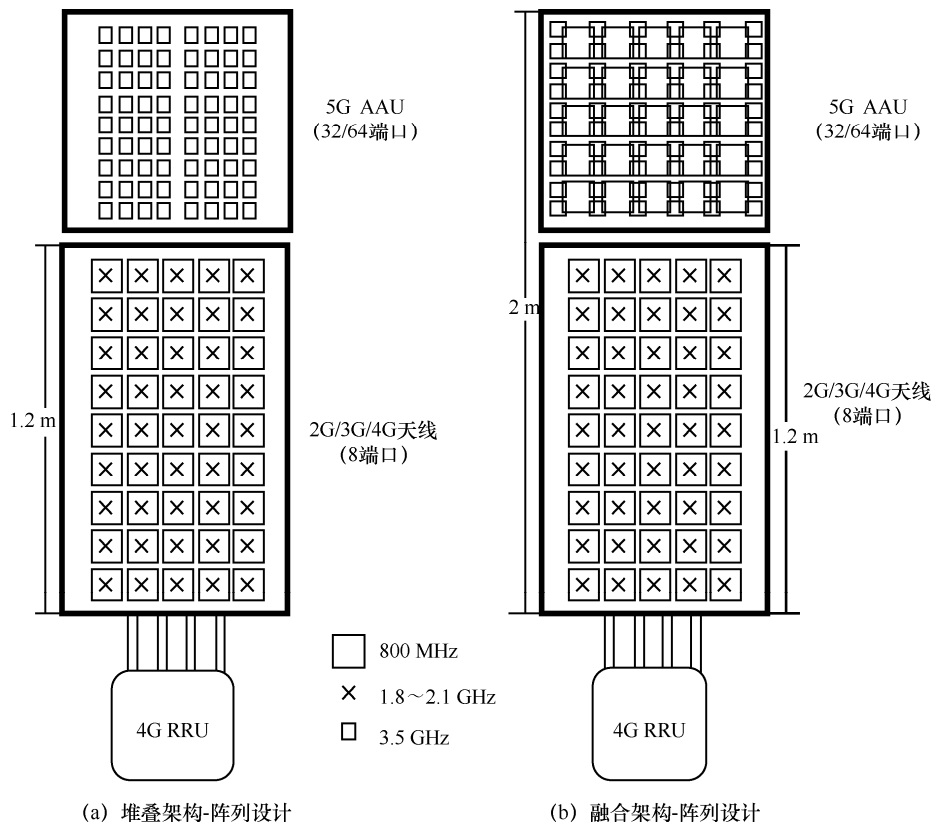


图 15 2G/3G/4G/5G 无源+有源 All in One 堆叠架构+融合阵列设计

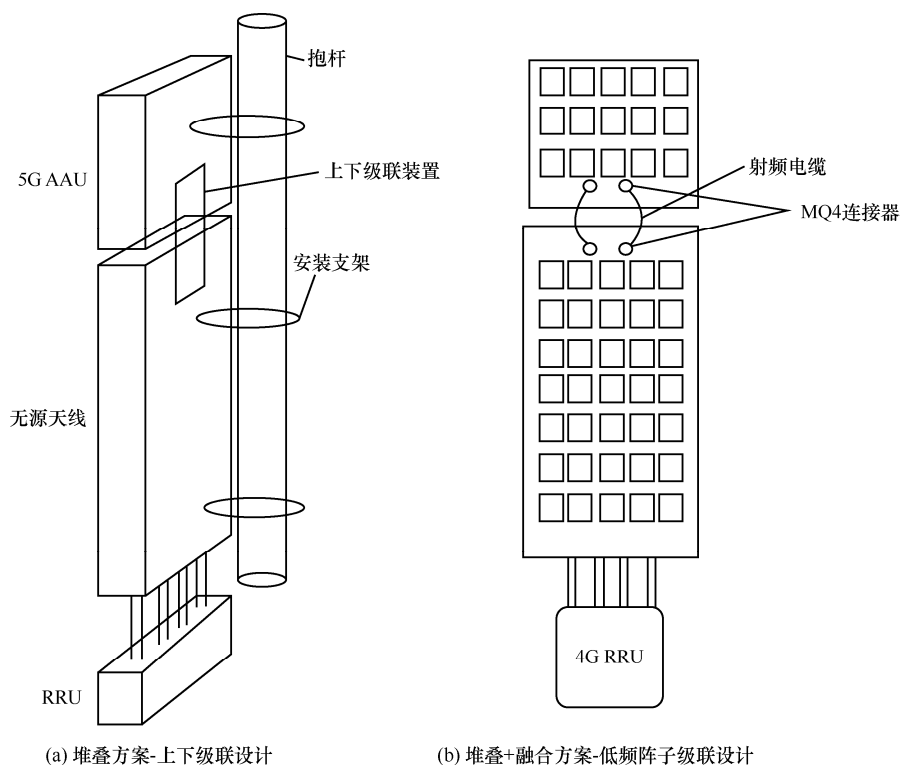


图 16 无源+有源 All in One 级联设计

4.2.4 无源+有源 All in One 方案比较

通过以上分析,两种不同架构的天线设计从外形来看,主要区别是堆叠+融合方案需要将不同频段阵子进行嵌套,阵子间距小,阵子间耦合增加,需要去耦处理,实现技术难度相对较大;而堆叠方案属于纯物理堆叠,实现较容易。两种方案详细对比见表 6。

从表 6 可以看出两种架构 All in One 方案中,堆叠+融合方案技术难度大,成本较高,但可维持增益基本不变。

5 All in One 面临的问题及解决建议

通过以上分析可知,All in One 天线可能存在以下问题及解决建议,见表 7、表 8。

表 6 不同阵列设计方案对比

对比点	方案	
	4G+5G 堆叠方案	4G+5G 堆叠+融合方案
技术可实现性	现有技术堆叠,可实现	新技术,将预计只有部分厂商能实现
增益指标	800 MHz: 相比融合方案低约 2 dB ^[1]	800 MHz: 与现有天线增益相当
	2 100 MHz: 相比现有 4G 方案低约 0.8 dB ^[2]	2 100 MHz: 相比现有 4G 方案低约 0.8 dB (可通过将此频段振子类似 800 MHz 阵子融合嵌套于 3.5 GHz 频段振子,以维持增益不下降)
	3.5 GHz 频段 8 端口: 与单独天线相当	3.5 GHz 频段 8 端口: 与单独天线相当
成本	低于 堆叠+融合方案	高于堆叠方案 (阵子增加,需要上下阵子级联,成本高)

注: [1]、[2]增益值差异是根据架构设计+纯理论计算计算得出的结果:

式 (1): 天线方向性系数 $D=10\times\log(28\,000/(2\theta\times0.5\text{水平}\times2\theta\times0.5\text{垂直}))$;

式 (2): 垂直波宽与长度的关系 $2\theta\times0.5\approx0.886\times\lambda/L$;

式 (3): 天线增益与方向性系数的关系 $G=D\times\eta$ (D 为方向系数, η 为效率)

表7 全无源 All in One 天线存在的问题及解决建议

类别	存在的问题	解决建议
性能指标方面	4G 和 5G 天线阵子间距缩小, 相互间耦合增加, 导致隔离度及方向图畸变	可采用去耦相关技术, 同时对传统 4G 低频阵子进行研究, 减少其对 3.5 GHz 频段阵列的影响
	5G 阵子及移相器引入会影响 4G 天线互调指标	对 5G 阵子及移相器引入而引起的互调指标降低进行定位分析, 从结构材料方面进行优化, 降低其对传统 4G 天线的影响
网络优化方面	全无源 All in One 后, 4G、5G 天线可能需要设置不同机械下倾角, 牺牲了每类天线的灵活度。	需要增加 5G 天线或者 4G 天线的电下倾调节能力, 要求 4G 天线与原有 4G 天线倾角范围持平, 5G 天线电下倾调节范围增加。

表8 无源+有源 All in One 天线可能存在的问题及解决建议

类别	可能存在的问题	解决建议
性能指标方面	4G 和 5G 天线阵子间距缩小, 相互间耦合增加, 导致隔离度及方向图畸变	可采用去耦相关技术, 同时对传统 4G 低频阵子进行研究, 减少其对 3.5 GHz 频段阵列的影响
	融合的低频阵列与 5G AAU 集成在一起, 对 4G 低频阵列互调产生影响	对 5G 阵子及移相器引入而引起的互调指标降低进行定位分析, 从结构材料方面进行优化, 降低其对传统 4G 天线的影响
	1.8 GHz 和 2.1 GHz 增益下降问题	可考虑将 1.8 GHz 和 2.1 GHz 阵列融合于 5G AAU 阵列
机械结构方面	4G 和 5G AAU 堆叠后一体化机械结构如何解决	需设计重量轻、强度大、成本可控的新型支架, 同时继续优化 AAU 设计, 降低整体天线重量。后续需要设计专有测试用例对其可靠性进行评估
工程安装方面	整体重量增加, 天线重量分配不均, 天线工程安装难度大, 超过现有抱杆承重	对站点进行基础加固, 安装时可采用“滑轮”方案提升安装效率
可靠性方面	融合于 5G AAU 的低频阵列受 AAU 发热影响	选择耐高温的天线阵列, 并进一步解决 5G AAU 功耗、散热问题
网络优化方面	4G、5G 天线可能需要设置不同机械下倾角, 牺牲了每类天线的灵活度	需要增加 5G 天线或者 4G 天线的电下倾调节能力, 要求 4G 天线与原有 4G 天线倾角范围持平, 5G 天线电下倾调节范围增加

6 结束语

本文根据 5G 时代天馈面资源现状, 对 5G 时代单天面场景部署的解决方案进行了详细分析, 提出了一种适合中国电信单抱杆网络建设场景的 2G/3G/4G/5G All in One 共天馈面解决方案。

All in One 解决方案根据应用场景主要分为全无源 All in One 和无源+有源 All in One 两种类型, 针对以上两种 All in One 类型, 本文对其架构、阵列设计、端口/级联设计及可能存在的问题及相应解决建议进行了深入分析和总结, 验证了 All in One 方案的可行性。

参考文献:

- [1] 肖伟宏. 5G 时代基站天线行业发展趋势及产品形态[J]. 电信技术, 2019(1): 105-106.
- [2] XIAO W H. Development trend and product form of base station antenna industry in 5G period[J]. Telecommunications Technology, 2019(1): 105-106.
- [2] 陈金戈, 袁鹏, 许建新, 等. 5G 共站配套改造方案分析及建议[J]. 邮电设计技术, 2019(12): 29-34.
- CHEN J G, YUAN P, XU J X, et al. Analysis and suggestion of 5G common station supporting transformation scheme[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(12): 29-34.
- [3] 龚戈勇, 丁远. 5G 基站天馈系统解决建设方案的研究[J]. 信息技术与信息化, 2019(1): 141-143.
- GONG G Y, DING Y. 5G base station antenna system solution construction scheme research[J]. Information Technology and Informatization, 2019 (1): 141-143.
- [4] 丁远, 柴思锋. 运营商 5G 无线网部署方案探讨[J]. 信息技术与信息化, 2019(10): 131-134.
- DING Y, CHAI S F. Discussion on 5G wireless network deployment scheme for operators[J]. Information Technology and Informatization, 2019 (10): 131-134.



- [5] 罗宏. 5G 工程建设中天馈解决方案研究[J]. 广东通信技术, 2019, 39(10): 13-16.
LUO H. Research on antenna coverage resources in 5G engineering construction[J]. Guangdong Communication Technology, 2019, 39 (10): 13-16.
- [6] 龚戈勇, 刘洋. “后 4G”时期基站天馈系统整合方案探讨[J]. 电信技术, 2019(5): 44-46.
GONG G Y, LIU Y. Discussion on the integration scheme of base station antenna system in the later stage of 4G construction[J]. Telecommunications Technology, 2019(5): 44-46.
- [7] 崔波, 张帆, 孙兵, 等. 5G Massive MIMO 天馈建设方案探讨[J]. 广东通信技术, 2019, 39(12): 39-43.
CUI B, ZHANG F, SUN B, et al. 5G Massive MIMO antenna construction scheme[J]. Guangdong Communication Technology, 2019, 39 (12): 39-43.
- [8] 陈小勇, 霍励, 郭云领. 5G 无线通信网天面资源解决方案研究[J]. 计算机产品与流通, 2019(1): 71.
CHEN X Y, HUO L, GUO Y L. Research on the solution of 5G wireless communication network antenna coverage resources[J]. Computer Products and Circulation, 2019(1): 71.
- [9] 冯琳琳, 林琳, 邓安达. 4G 与 5G 网络协同组网策略研究[J].

电信科学, 2019, 35(S1): 51-54.

FENG L L, LIN L, DENG A D. Research on strategy of 4G and 5G network cooperative networking[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(S1): 51-54.

[作者简介]



余勇昌 (1976—), 男, 博士, 中国电信股份有限公司研究院实验室运营中心副主任, 主要研究方向为无宽带接入网及无线传感器网络等。

张典 (1986—), 男, 中国电信集团有限公司广州艾特实验室工程师, 主要从事无线产品技术研究及评测工作。

丁明玲 (1978—), 女, 现就职于中国电信股份有限公司研究院, 主要研究方向为无线接入网、电信城域网、骨干网的网络架构等。