



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴  
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

# 中国联通

## 空天地一体化通信网络白皮书

中国联通  
2020 年 6 月

---

# 目录

1 空天地一体化通信网络概述 .....	3
2 非地面网络与地面移动网络相互赋能.....	5
2.1 卫星网络.....	5
2.2 HAPS/HIBS 网络 .....	7
2.3 非地面网络与地面移动网络相互赋能.....	8
3 MEC 与区块链在空天地一体化通信网络中的应用 .....	10
3.1 空天地一体化组网与 MEC 相互赋能 .....	10
3.2 基于 MEC 的卫星与地面网络融合组网架构 .....	12
3.2.1 地面 MEC 融合组网架构 .....	12
3.2.2 星上 MEC 融合组网架构 .....	14
3.2.3 机载 MEC 融合组网架构 .....	15
3.2.4 船载 MEC 融合组网架构 .....	16
3.2.5 区块链+MEC 融合组网架构 .....	17
4 空天地一体化通信网络典型应用场景.....	17
4.1 大时空尺度确定性业务.....	17
4.2 泛在接入.....	19
4.3 海洋与空间立体通信.....	20
4.4 业务增强与优化.....	21
5 中国联通空天地一体化网络发展挑战与推进计划.....	25
5.1 挑战.....	25
5.1.1 网络结构.....	25
5.1.2 通信设施与设备 .....	25
5.1.3 空口与网络管理技术 .....	25
5.2 空天地一体化通信网络发展建议 .....	26
5.3 中国联通空天地一体化通信网络推进计划 .....	27
5.3.1 中国联通空天地一体化通信网络愿景 .....	27
5.3.2 推进计划及工作进展 .....	28

# 1 空天地一体化通信网络概述

互联网流量的爆炸式增长、海量终端的接入需求，以及工业控制、远程医疗对时延和可靠性的高要求，催生了 5G 通信技术，也将通信能力从移动性、时延、用户感知速率、峰值速率、连接数密度、流量密度、能源效率等七个方面带来了质的飞跃。在全球 5G 如火如荼地发展的同时，6G 也悄然来临。6G 的驱动力来源于商业需求和社会需求，涉及政治、经济、法律、环境、教育、医疗等多个方面，促使 6G 在更复杂多样的应用场景中，提供更极致的性能体验。

未来 6G 移动通信系统的特点将是智联万物。6G 网络将突破地形地表的限制，扩展到太空、空中、陆地、海洋等自然空间，真正实现全球全域的“泛在连接”。并通过多种接入方式的协同传输、对多个系统资源的统一管理，提高整体资源的利用效率。

6G 将为人类和万物提供情景感知的智能服务。6G 的服务对象将从人类、机器、物体扩展至虚拟世界，实现实际物理世界与虚拟世界的连接与协作，利用 AI 技术感知用户需求，提升用户体验，形成认知增强与决策演进的智能网络，满足人类精神与物质的全方位需求。

6G 网络的极致性能体验，一方面迫切需要新的无线关键技术，采用新型编码技术、超大规模天线、太赫兹和可见光通信技术，从信道编码机制、天线阵列设计、天线架构与系统集成、频谱资源与光学领域等多个角度进行探索、创新与优化，不断提高无线空口的性能指标。

另一方面，6G 需要构建跨地域、跨空域、跨海域的空天地一体化网络，实现真正意义上的全球无缝覆盖。未来的空天地一体化网络关注的是融合，典型的一体化网络由三部分组成：由各种轨道卫星构成的天基网络，由飞行器构成的空基网络，以及传统的地基网络，其中地基网络又包括蜂窝无线网络、卫星地面站和移动卫星终端以及地面的数据与处理中心等。网络的整体愿景结构如图 1 所示，并具有如下特点：

- 不同轨道的卫星系统统一规划
- 多网络深度融合，采用统一的空口技术和核心网架构，并与 MEC 和网络切片结合，减少高空通信时延
- 多层次覆盖，提供多重业务类型
- 海量用户无感知、极简的泛在接入
- 端到端统一编排调度，实现智能的业务体验

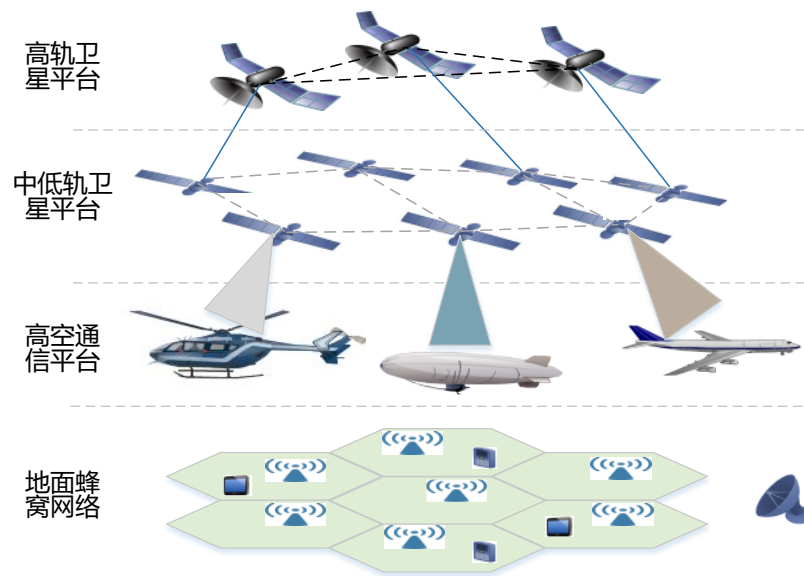


图 1.1 空天地一体化通信网络

## 2 非地面网络与地面移动网络相互赋能

天基通信网络（卫星通信网络）和空基通信网络（HAPS/HIBS 等）构成了目前主要的非地面网络。

### 2.1 卫星网络

典型的卫星通信系统由地面部分、空间段和空地间链路三个主要部分构成。地面部分一般包括各类信关站、卫星测控中心及相应的卫星测控网络、网络控制中心。空间段由一颗或多颗卫星及其星间链路（ISL）组成，负责信息的接收、转发，部分卫星具备信号的再处理能力。用户段由各种用户终端构成，包括了手持终端、IOT 终端，以及可以固定或车载船载的甚小口径终端（VSAT）。

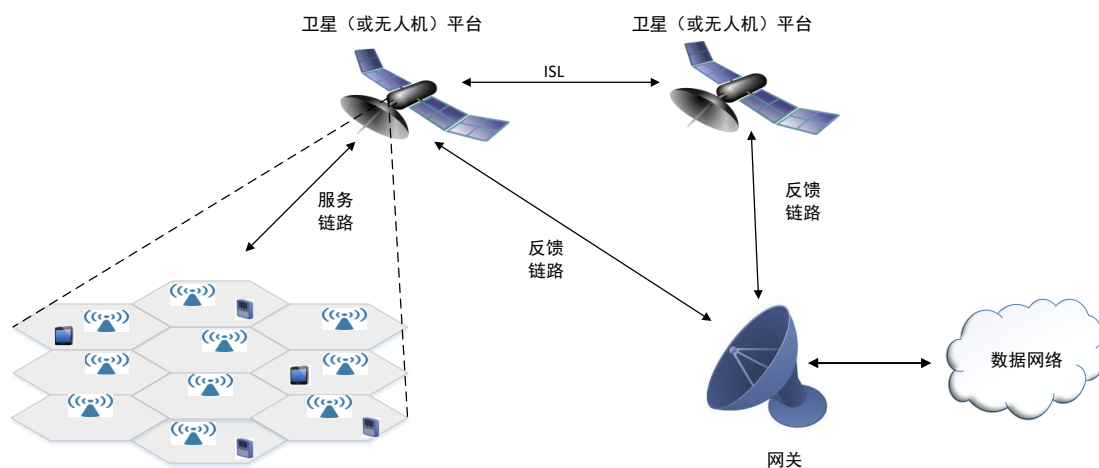


图 2.1 卫星通信网络图示

目前主要有高轨卫星、中轨卫星、低轨卫星三类，典型高、中、低轨卫星通信系统的特征如下表 1 所示。高轨卫星单颗星覆盖范围广，覆盖范围相对地面固定，单颗星最大可覆盖地球 42% 的面积，一般 3-4 颗卫星即可完成除极地地区的全球覆盖。高轨卫星正在向高通量方向发展，利用 Ka 频段丰富的频谱资源及多波束和频率复用技术，提高了卫星频率利用率和数据吞吐量。目前高轨卫星系统容量可达 50Gbps，系统成本为 30 亿美元，卫星技术和通信体制较为成熟。但高

轨卫星的传输时延大，时延超过 500ms，卫星设计、制造和发射的门槛高，系统容量低，适合传统卫星广播业务。

中轨道卫星单颗星覆盖面积与高轨卫星相比要小很多，轨道高度 2000km-20000km 的中轨卫星，覆盖面积约为地球表面积的 12%-38%，需要十几颗到几十颗卫星构成星座，完成全球覆盖。中轨卫星定位于提供高带宽、低成本、低延迟的卫星互联网接入服务，造价成本为 12 亿美元，传输时延约为 150ms，系统容量可达 15Gbps。

低轨卫星单颗卫星成本低，覆盖范围较小，需要多颗卫星组成大型卫星星座完成全球的覆盖。星座设计总容量可达几十 Tbps。低轨卫星轨道高度小于 2000km，由于轨道高度低，低轨卫星传输时延也较小，通常在 30ms 左右。目前低轨卫星的发展趋势为：小型化、低成本、更密集组网、单独成形可控制波束，采用小型化、轻量化设计降低制造和发射成本，组网更加密集以提供更大的系统吞吐量，并采用波束成形和波束调形功能将功率、带宽、大小和视轴动态地分配给每个波束，最大限度地提高性能并最大限度地减少对高轨卫星的干扰。

大型低轨卫星星座是当前卫星通信系统的重要发展趋势，通过增加卫星数量可以大幅提升系统容量。目前多个国家提出了低轨卫星计划，频谱资源竞争激烈。软银、沃达丰、乐天等地面运营商也直接投资了低轨卫星星座。

表 1 为典型卫星通信系统的网络能力特征，相比 5G 网络：

- 低轨卫星的总容量低于地面 IMT 系统；
- 低轨卫星可提供的容量密度低于 5G NR 城区宏站，与广覆盖宏站相当；
- 按照峰值容量计算，低轨卫星的容量成本大于地面 IMT 系统。

可见卫星覆盖不受地形束缚，覆盖成本低，未来低轨卫星网络可能在地面网络覆盖不足的区域有较大竞争力。

表 2.1 典型卫星通信系统特征

	高轨卫星 1	中轨卫星	低轨星座 11
轨道高度	35860km	8062km	1110-1325km 320-580km
卫星数量	4	12	4409
系统通信容量	50Gbps	16Gbps	350Tbps
端到端时延	500ms	约 150ms	约 30ms
系统容量密度	23.24bps/km2	26.14 bps/km2	17M bps/km2
容量成本	6 千万美元/Gbit	1375 万美元/Gbit	1.84 万美元/Gbit

## 2.2 HAPS/HIBS 网络

空基通信高空通信平台（HAPS/HIBS）将无线基站安放在长时间停留在高空的飞行器上来提供电信业务，它使用已有的通信技术，可以与地面终端直接通信。HAPS/HIBS 具有服务覆盖范围广、受地面因素影响小、布设机动灵活等优势，可有效弥补地面网络的不足。

HAPS/HIBS 升空高度为 20km 时，覆盖范围半径可达约 50km，采用 4 面台或 5 面台天线，将其覆盖范围划分为 4~5 个小区，小区边缘传播空口时延约为 180us，覆盖范围内的时延差为 12.8us。HAPS/HIBS 的网络容量主要由平台的载荷决定，其中系留式气球和飞艇的载荷比较大，通常为几百千克，预计可以搭载 1 个宏站设备。以 3.5GHz 5G NR 宏小区（100MHz 带宽）基站，系留气球或飞艇上的 HIBS 单小区峰值速率可达 5Gbps，单基站峰值速率可达 20/25Gbps。

HAPS/HIBS 可以以较低的成本覆盖大面积区域，以飞行器的制造成本为 2.5

---

<sup>1</sup> 预计 2025 年达到的星座能力

亿人民币，折旧期限为 10 年，每小时维护成本为 500 美元，覆盖半径为 50km 为假设进行估算，HAPS 单位 G 比特的成本为 132.5w 美元/年，单位面积的覆盖成本是 5G 基地的千分之 6.7，覆盖中国全境的成本约为 96 亿美元/年。HAPS/HIBS 传输链路通常存在视距传输信号，信号能量损耗小，传输质量高，可以与普通手机终端直接通信，是地面网络的有效延伸。

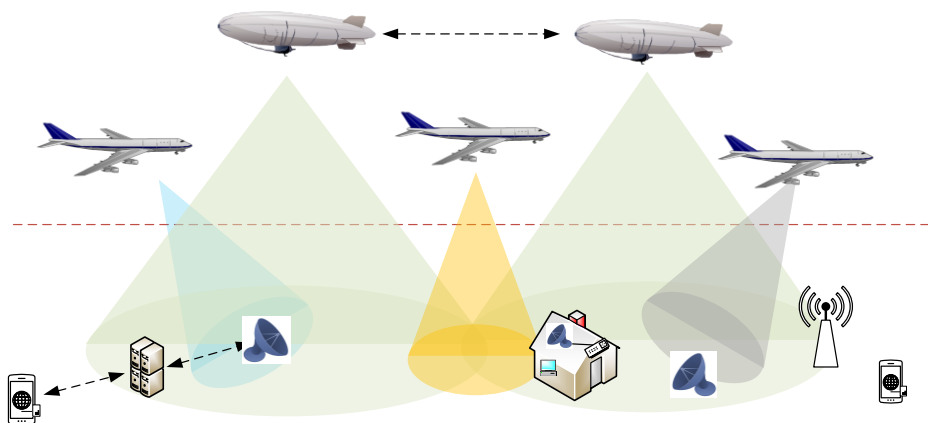


图 2.2 空基网络结构示意图

## 2.3 非地面网络与地面移动网络相互赋能

非地面网络与地面移动网络拥有各自的优势和劣势。地面移动网络的优势在于强大计算能力、大数据存储能力、高数据传输速率、低时延、城郊低成本覆盖以及支持海量连接，在人口相对聚集的地区可以有效提升社会与经济的数字化程度。但是在偏远地区的地面网络铺设困难，成本高昂，且地面网络会受到地形和地理灾害限制。

而非地面网络可以突破地表限制，实现全球全域的无线覆盖和大时空尺度的快速通信服务。卫星网络具有天然的广播特性，覆盖范围内的链路损耗与时延相对一致，避免了地面移动蜂窝网络中的“远近”效应，用户具有相近的体验速率。在偏远地区，非地面网络具有比地面网络更低的覆盖成本与容量成本。但其传播时延高，并且无法完成深度覆盖和城区容量承载。



空天地一体化的通信网络有助于运营商实现低成本的全域泛在覆盖,挖掘全新应用市场;有助于消弥数字鸿沟,促进数字化社会经济的和谐发展。地面移动网络提供基础的大数据存储与处理能力,并利用高数据传输速率提升大部分陆地区域的数据传输的效率;非地面网络提供偏远地区、海洋、空域等立体覆盖能力,协助地面网络实现全域泛在覆盖。深度融合的空天地一体化网络可以充分利用卫星、HAPS/HIBS 和地面 5/6G 网络各自的特点与优势,实现用户的极简极智泛在接入和全域时敏服务。

空天地一体化通信网络是未来 6G 网络的重要发展趋势,目前正处于发展初期,3GPP 与 ITU 等均已开展了相关的研究。

## 3 MEC 与区块链在空天地一体化通信网络中的应用

非地面网络引入了高时延特性，且卫星的容量成本远高于地面网络，因此有必要引入 MEC 技术，实现业务的本地分流与处理，从而规避非地面网络的高时延和高容量成本。此外，由于空天地一体化通信网络包含了卫星、HAPS/HIBS、卫星网络地面段、地面蜂窝移动网络等多个网元，地面网关、数据中心、边缘计算等多样化的计算处理节点，涉及不同运营商之间的能力开放与共享，因此可以借助区块链技术，建立可靠、高效的网络接口与安全保障机制。

### 3.1 空天地一体化组网与 MEC 相互赋能

MEC (Multiple-access Edge Computing/Cloud)，多接入边缘计算或多接入边缘云，其概念范畴与集中式部署中心云相对，将云化基础设施和服务能力从中心云下沉至业务边缘。空天地一体化网络对 MEC 能力需求主要包括降低时延、节省后向带宽、缓存、内容分发、图像渲染、算力资源和区块链能力等方面。

#### (1) 降低时延

在空天地一体化网络中，相对于地面网络传输距离而言，卫星与地面之间的传输距离要大很多，传输时延也会显著增加。因此，通过引入 MEC 设备减少地面网络传输时延或者避免星地节点间不必要的通信交互，可以在保障业务连续性的同时有效降低业务传输时延。

#### (2) 节省后向带宽

在业务具有较强本地化特色的垂直行业中，如视频监控类业务，数据采集源与数据需求都在相同的地域范围，并且通常具有较高的带宽需求。在空天地一体化网络中，本地采集的大量业务数据先上传到远端云化数据中心集中存储再下发给本地数据显示终端，需要占用大量的卫星中继或地面回传带宽。如果将远端云化数据中心能力下沉到数据采集终端、数据显示终端或业务数据流转的本地范围，

可以节省大量卫星中继或地面回传带宽。

### （3）缓存

缓存是保证业务流畅性，提升用户体验的关键。在空天地一体网络边缘部署 MEC 缓存能力，不仅可以依据用户业务需求对网络资源和集中式云化数据中心服务能力进行预判和反馈，缓解空天地一体网络传输性能抖动对用户业务体验的影响，而且可以通过将业务数据缓存、处理所需的硬件能力从空天地一体网络终端侧迁移至空天地一体网络边缘侧，在保障业务服务质量的同时实现硬件资源区域共享，显著降低终端硬件成本。

### （4）CDN 内容分发

CDN 内容分发是一种面向海量数据提供高交互、低时延服务能力的新网络内容服务体系。CDN 的本质是基于内容访问、分发和服务的应用模式。传统 CDN 技术将数据请求和分发回溯到中心云，很难满足高交互性业务对超低时延的需求，给空天地一体网络也带来了极大压力。引入 MEC 之后，CDN 能力进一步下沉到空天地一体网络边缘，使能高带宽内容边缘分布式部署，有效降低空天地一体网络卫星中继与地面回传成本及中心节点压力，从而大幅降低时延，提升用户体验。

### （5）图像渲染

视频图像业务与其他垂直行业业务不同，除了需要业务数据进行网络传输之外，通常还需要对其进行编解码、编排、几何变换、投影变换、透视变换等特殊数据处理，需要配备价格高昂的图像处理器 GPU 等硬件。基于配备 GPU 能力的 MEC 平台，可以将集中式部署云化数据中心图像渲染等处理能力下沉到空天地一体网络边缘，在压缩传输时延的同时显著降低终端设备硬件成本。

### （6）算力资源

随着智能化应用的不断普及，数据、算力和算法成为实现业务智能的“铁三角”。在空天地一体网络边缘，数据采集终端将采集到的原始数据上传到 MEC 平台进行数据清洗、融合，MEC 进一步基于计算平台中嵌入的算法库对数据进行

计算处理、训练、推理、执行，这些都需要 MEC 平台提供强大的算力。

### （7）区块链能力

随着空天地一体业务应用的日益普及，传统的集中式应用服务架构面临的信任危机愈发强烈。集中式空天地一体架构中，所有网络主体、网络行为和网络数据的可信、安全和完整是由单一主体控制的应用服务数据中心或第三方认证机构提供。因此，当集中式部署的应用服务数据中心和第三方认证机构受到网络攻击或控制主体单方面恶意篡改时，整个空天地一体网络的信任机制便形同虚设。

作为一种分布式架构技术体系，区块链以牺牲存储效率为代价来保证链上数据可信防篡改，同一条链上的所有节点存储相同的账本数据。不同节点之间为了达成有效的共识，需要通过多次广播机制传递交易数据和验证消息，随着同一条链上节点规模扩大，共识算法的执行将消耗更多的网络带宽和计算资源。因此，区块链技术是一种对存储资源、计算资源和网络资源有较高的要求。通过引入 MEC 和空天地一体基础设施为区块链技术提供丰富的存储计算资源，通过卫星广播、组播技术和丰富的可变带宽资源为区块链节点间消息同步提供有力保障。

MEC 作为部署在空天地一体业务边缘的算力资源，将核心网计算、存储、加速、内容、安全等能力下沉到空天地一体网络边缘，在降低业务传输时延的同时可有效缓解业务数据对空天地一体网络带宽的需求，弥补卫星与地面移动融合组网场景中星地链路传输时延较大、星地链路带宽受限、卫星载荷受限、星地链路切换频繁等问题。

## 3.2 基于 MEC 的卫星与地面网络融合组网架构

### 3.2.1 地面 MEC 融合组网架构

在卫星与地面 MEC 移动网络融合组网架构依据卫星网络定位不同可以分为 RAN 侧卫星接入和核心网侧卫星回传两种架构。在基于地面 MEC 融合组网架构中，MEC 作为部署在业务边缘的算力资源，将核心网计算、存储、加速、内容、安全等能力下沉到网络边缘，在降低业务传输时延的同时可有效缓解业务数据对

地面核心网带宽需求。

### (1) RAN 侧卫星接入

在卫星链路与地面 MEC 移动网络融合组网架构中，5G/卫星双模终端可以通过卫星链路和 5G NR 链路两种无线方式网络，普通 5G 终端如果想要接入卫星链路，需要卫星终端完成网关和中继等功能，把 5G 终端信号转换成卫星信号并放大信号功率。信关站是比卫星终端功能更强大的地面卫星信号收发设备，通常与地面移动网络核心网设备相连。UPF 作为用户平面功能网元，可以选择业务服务是由网络边缘的 MEC 提供或是核心数据中心连接的远端业务服务器提供。该架构中，MEC 部署在地面移动网络边缘，通过缓存、本地分流、算力下沉到用户边缘，降低业务传输时延、节省核心网带宽，提升业务质量。

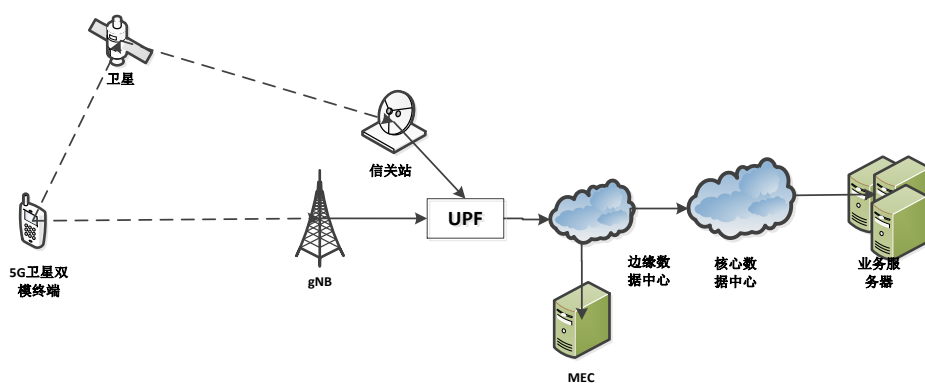


图 3.1 RAN 侧卫星接入融合地面 MEC 网络架构

### (2) 核心网侧卫星回传

在卫星链路与地面 MEC 移动网络融合组网架构中，卫星链路除了作为 RAN 侧接入链路，还可以作为一种中继回传方案。UPF 作为用户平面功能的关键节点，具备对 5G 终端业务本地分流的能力，如果网络边缘的 MEC 能够满足终端业务要求，UPF 则将业务请求分流到 MEC；如果 MEC 不能满足终端业务要求，UPF 可以通过地面核心网和卫星链路两种方案连接远端业务服务器。该架构中，卫星链路长距离中继回传、地面 MEC 本地服务和核心网远端服务是三种不同的核心网 QoS 方案。

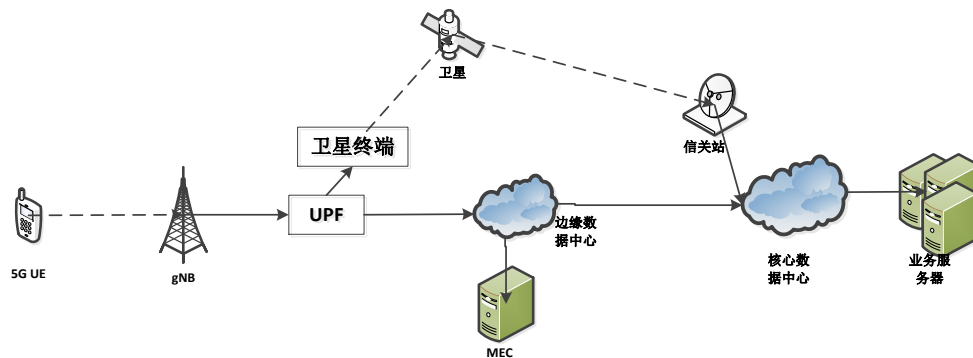


图 3.2 核心网络卫星回传融合地面 MEC 架构

### 3.2.2 星上 MEC 融合组网架构

MEC 除了部署在地面核心网络边缘，还可以部署在卫星或飞行器上，但是受卫星或飞行器载荷限制，星上 MEC 通常采用轻量化部署模式，即基于 NVF 技术在边缘一体机或边缘网关集成 MEC 和 UPF 能力。计算、内容分发等能力从核心网下沉到卫星节点，可有效减少卫星与地面核心网之间频繁的星地链路传输，显著降低端到端业务传输时延的同时，可有效节省星地链路业务数据传输带宽需求。

#### (1) RAN 侧接入星上 MEC

在 RAN 侧接入星上 MEC 架构中，星上轻量化 MEC 将地面核心网远端服务下沉到卫星节点，空中卫星终端和地面 5G/卫星双模终端接入卫星链路后，依据星上 MEC 能力，通过星上 NVF-UPF 选择由星上轻量化 MEC 提供业务服务或是由地面核心网络连接的业务服务器提供服务。该网络架构在地面核心网络架构基础上，通过信关站引入卫星/RAN 接入链路，并且将轻量化 MEC 平台部署在卫星节点，并基于 NVF 在 MEC 平台上实现 UPF。

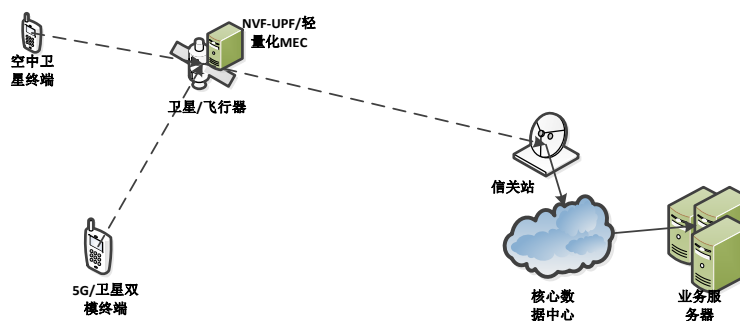


图 3.3 RAN 侧接入星上 MEC 网络架构

## （2）卫星回传星上 MEC

在卫星回传星上 MEC 架构中，卫星链路同样是作为一种中继回传方案，与传统卫星中继回传方案不同，本网络架构中，MEC 平台通过轻量化配置部署在卫星节点，并基于 NVF 实现星上 UPF 网元。UPF 网元依据地面 5G/卫星双模终端业务需求和星上 MEC 能力，选择星上轻量化 MEC 平台或地面核心网远端业务服务器为 5G 终端提供服务。该架构在卫星中继回传场景的基础上，通过部署星上轻量化 MEC 平台，进一步降低业务传输时延和中继回传带宽。

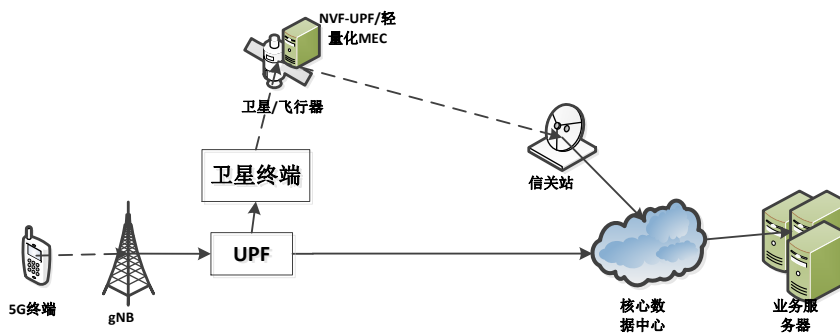


图 3.4 卫星回传星上 MEC 网络架构

## 3.2.3 机载 MEC 融合组网架构

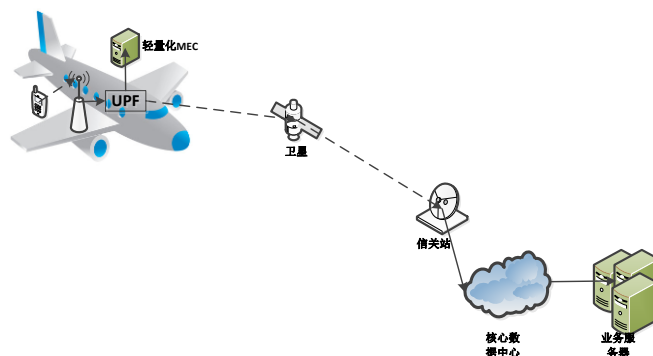


图 3.5 机载 MEC 融合组网架构

在机载 MEC 融合组网架构中，轻量化 MEC 平台及虚拟化 UPF 都部署在机载服务器上，计算、内容分发等能力从核心网下沉到用户终端所在的飞机等飞行器上，实现基于 MEC 的局域组网。UPF 网元依据机上用户业务需求和机载轻量化 MEC 平台能力，选则机载 MEC 或地面移动网络远端服务器为用户提供服务。利用机载 MEC 为机上用户提供本地服务，不仅可以保证业务时延，而且可以有效减缓星地链路带宽需求。

### 3.2.4 船载 MEC 融合组网架构

与机载 MEC 融合组网架构类似，船载 MEC 融合组网架构中，MEC 平台及虚拟化 UPF 都部署在网络边缘的船载服务器上。但是，由于船上载荷能力通常远大于机上载荷能力，因此，船载 MEC 平台可以部署采用轻量化部署方案也可以采用非轻量化部署方案。UPF 网元依据机上用户业务需求和船载 MEC 平台能力，选则船载 MEC 或地面移动网络远端服务器为用户提供服务。利用船载 MEC 为机上用户提供本地服务，不仅可以保证业务时延，而且可以有效减缓星地链路带宽需求。

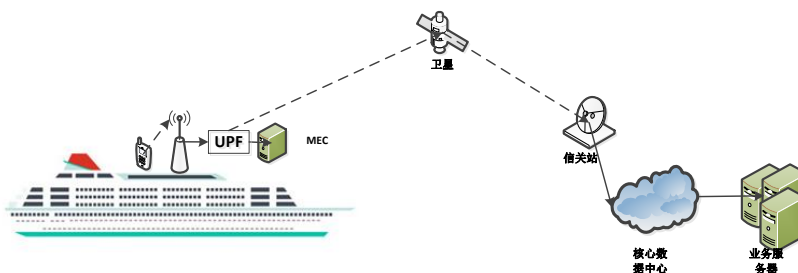


图 3.6 船载 MEC 融合组网架构



### 3.2.5 区块链+MEC 融合组网架构

在共建共享区块链网络中，采用地面存储计算与卫星广播消息融合的两层网络架构。全节点在 MEC 中存储完整链上信息，轻量化节点通过访问相邻全节点 MEC 平台存储的完整链上信息，完成区块生成、验证等操作。

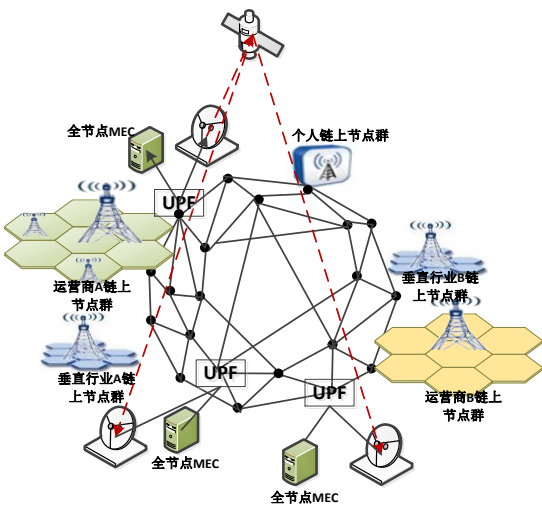


图 3.7 区块链+MEC 融合组网架构

## 4 空天地一体化通信网络典型应用场景

借助非地面网络的特点，空天地一体化通信网络可以突破地形限制，为公众和行业提供真正无缝泛在的高速业务体验。面向行业客户，空天地一体化通信网络传输覆盖广、不受地理环境限制、时延抖动小、可靠性高的特性可以为行业客户提供专网服务。对于个人用户，空天地一体化通信网络扩大了地面通信网络覆盖范围，可以提供多样化的语音和数据业务。

### 4.1 大时空尺度确定性业务

#### （1）证券金融领域

证券金融等行业，交易场所分散，对通信保密要求高，同时一些结算类业务对时延抖动敏感。针对大宗货物交易或证券交易中高频电子交易场景，采用低轨

卫星进行直线传播将有效降低时延。例如纽约-上海的长距离传输，理论上采用卫星轨道高度 500km 左右的低轨卫星，时延可以控制在 100ms 之内，而目前通过海底电缆的传输时延约 120ms-150ms。对于金融电子交易，1ms 的时延可能会影响上百亿美元的交易。此外海底光缆非常脆弱，容易遭到地震、海啸、船只甚至鱼类的破坏。

## （2）大时空尺度数据分发

车联网、物联网场景中需要大量广播数据分发适合采用卫星和 HAPS/HIBS 进行实现。卫星和 HAPS 的覆盖范围大，通过一跳就可为大范围内的通信节点提供信息传输，相比地面多跳传输更具优势，可用于远距离实时通信及大范围的信息同步和数据分发。

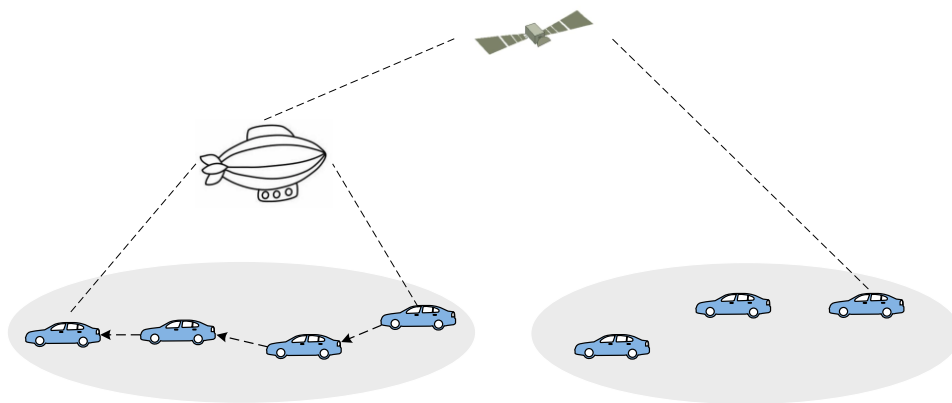


图 4.1 基于空天地一体化的大时空尺度信息同步场景

## （3）区块链安全加固场景

作为一种分布式架构技术体系，区块链以牺牲存储效率为代价来保证链上数据可信防篡改，同一条链上的所有节点存储相同的账本数据。不同节点之间为了达成有效的共识，需要通过多次广播机制传递交易数据和验证消息。目前，链上节点间数据同步是通过将逻辑广播消息向邻居节点随机转发的模式实现的，但是，消息数据的广播仍然需要占用多个物理信道，因此，消息数据同步的带宽资源消耗和链上节点间同步时延抖动是衡量区块链数据同步性能的关键指标。因此，利用卫星广播链路实现链上节点消息数据广播可显著降低网络带宽需求，减小节点间数据同步时延抖动。

## 4.2 泛在接入

### （1）低成本广覆盖接入

卫星、HAPS/HIBS 通信可以作为地面网络的补充和低成本广域覆盖，作为语音和物联网的打底网，解决偏远地区用户的宽带上网和位置导航服务。以 HAPS/HIBSHIBS 系统为例，青海省全省人口为 608 万，按照用户激活率 20%，并发率 10%，则青海省全省激活用户总数为 121.6 万，并发数为 12.16 万。按照单个 HIBS 基站 50km 覆盖半径计算，可通过 92 个 HIBS 基站覆盖青海省全境。按照每个 HAPS 搭载一个 5 面台基站计算，可支持的 RRC 连接数为 36.8 万，同时可调度 18.4 万用户，可满足全省用户的通信业务需求。而按照基站的覆盖半径为 2km 计算，覆盖青海省需要建设约 5.75w 个基站。

### （2）应急通信

由于卫星、HAPS/HIBS 通信具覆盖面广，不受地理环境和自然灾害等影响，十分适合作为应急保障通信网络。特别是在地震、洪涝等自然灾害导致地面网络阻断情况下，卫星、HAPS/HIBS 通信可以快速部署，终端机动灵活，第一时间打通通信链路，为抢险救灾构建高效可靠的指挥调度及信息传输通道。

### （3）专网业务

对于一些有建设专网需求，且分支机构分散的企业，特别是跨国/跨地区的头部企业，采用空天地一体化通信网络构建专网，有利于打破地理限制，统筹业务，提供高可靠性网络保障，实现集团公司的全球业务管理。

### （4）泛在接入本地分流场景

基于 MEC 的空天地一体化通信网络可以为海岛、沙漠、高山、港口等偏远地区提供泛在接入能力，将视频监控等业务数据上传到网络边缘 MEC。依据业务需求，MEC 平台为边缘用户提供本地业务分流能力。MEC 平台直接部署在网络边缘，大大降低了网络传输时延。结合视频自动化分析、集装箱自动化调度、安防监控等相关应用，为吊桥、集装箱、运输车辆、园区安防、环境数据采集等

提供高清视频监控。

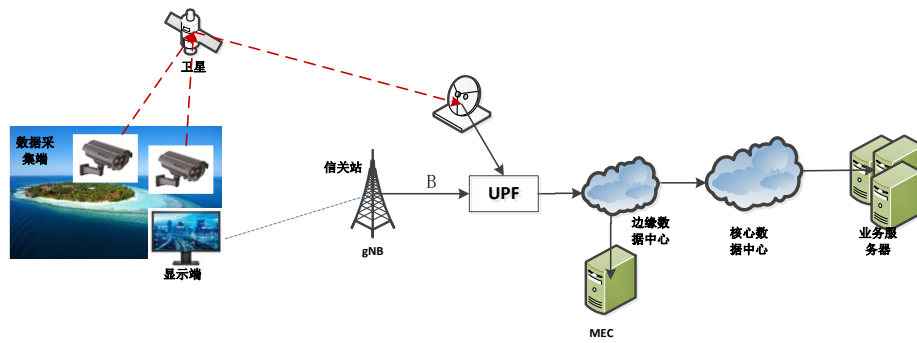


图 4.2 泛在接入本地分流场景

## 4.3 海洋与空间立体通信

### (1) 基础立体通信

通过在近海区域及飞机航线沿线部署建设非地面网络,可有效实现近海区域船只和飞机上终端设备的通信。HAPS 气球的覆盖半径为 50km,通过两个气球的中继,可以覆盖近海 200km 范围内的船只和飞机。按照中国大陆海岸线长度为 18000km 估算,360 个气球即可实现中国整体海岸线近海 200km 范围内船只和客机的通信。

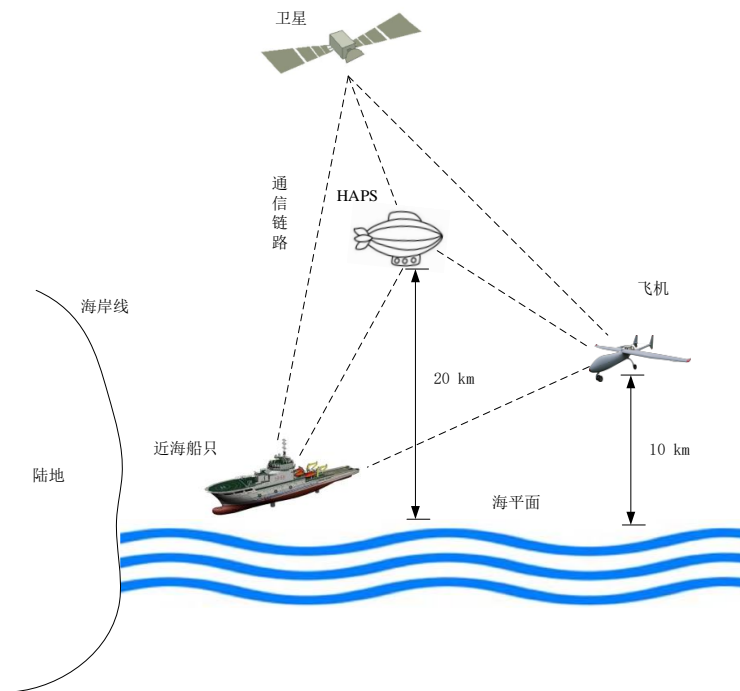


图 4.3 海洋与空间立体通信场景

## （2）机载云服务

在机载服务器上部署轻量化的 MEC 和 vUPF，与机上用户在相同的局域网络中。基于机载 MEC 平台预存储的业务可以为机上用户提供局域网络范围的云点播服务，并建立机上局域网络云社交服务，为机上用户提供内部社交支撑能力。基于机载 MEC 下沉的计算能力，可以为机上用户提供云视频渲染和云游戏交互等业务。若机载轻量化 MEC 平台能力不足以满足用户业务求，机载 vUPF 通过卫星链路向地面网络远端服务器请求业务支撑能力。

## （3）船载云服务

与机载服务场景类似，在船载服务器上部署 MEC 和 vUPF，实现云点播、社交、视频渲染及云游戏交互等业务。与机载 MEC 平台轻量化部署策略不同，船上可以配置更多硬件资源部署 MEC 平台，MEC 平台的能力也可以更为全面。

# 4.4 业务增强与优化

## （1）基于 CDN 的卫星广播场景

在基于 CDN 的卫星广播场景中, RAN 侧发挥卫星网络覆盖范围广的广播业务优势, 有效节省下行空口带宽。核心网侧将 CDN 与 MEC 相结合, 在全网范围内基于 CDN 技术按内容分发业务数据, 并缓存在网络边缘 MEC 平台, 有效缓解网络拥塞和业务响应速度, 改善用户体验质量。

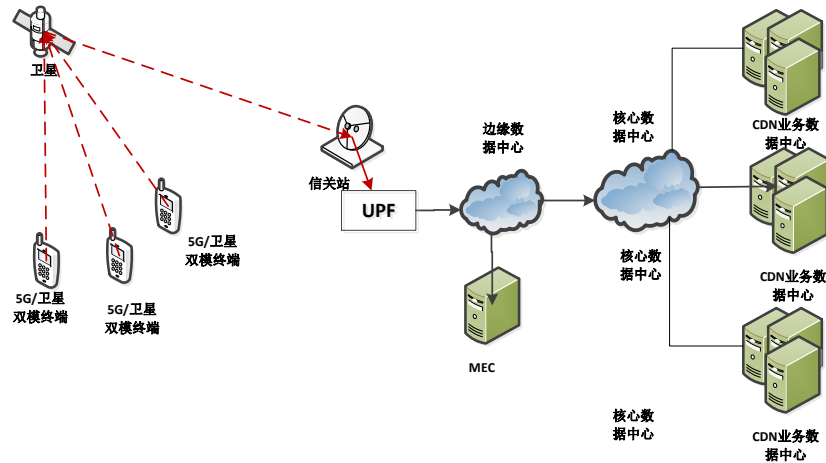


图 4.4 基于 CDN 的卫星广播场景

## (2) 双连接业务增强场景

通过业务多路合并充分利用卫星链路和地面移动网络的互补性能增益。以视频业务为例, 视频文件基本帧 (I 帧、P 帧) 是视频业务的基础数据, 编解码压缩比较大, 传输带宽需求较高, 而视频文件增强帧 (B 帧) 是提升视频业务质量的增强数据, 编解码压缩比较小, 传输带宽需求较小。依据业务需求特性和 MEC 平台业务数据缓存状态, 决策仅采用地面移动网络传输视频业务基础数据 (I、P 基本帧), 还是将地面移动网络传输视频业务基础数据与卫星链路传输视频业务增强数据 (B 增强帧) 进行合并, 提供时延、带宽和用户体验最优的 RAN 侧双连接业务增强合并策略。

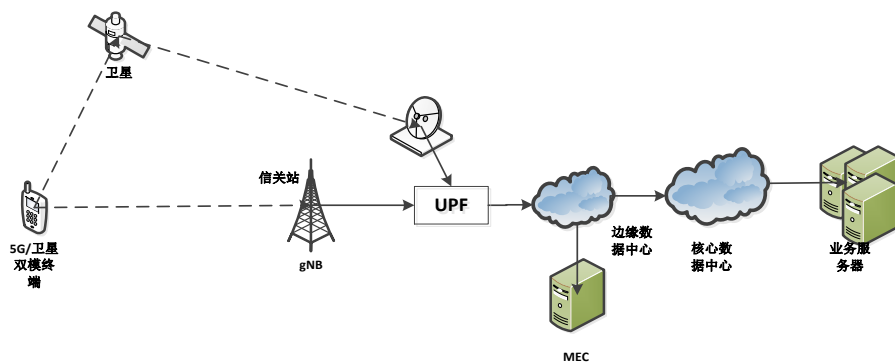


图 4.5 RAN 侧双连接业务增强场景

### (3) 广覆盖算力下沉场景

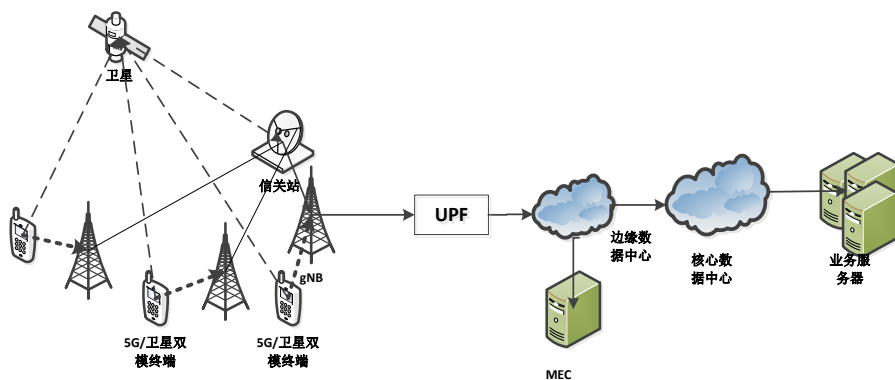


图 4.6 广覆盖算力下沉场景

在广覆盖算力下沉场景中，RAN 有卫星链路和地面 5G NR 两条无线接入方式。在 RAN 侧，即可以依据业务 QoS 需求和两条无线链路质量，提供不同 QoS 的差异化空口接入服务，又可以采用卫星网络提供底层接入覆盖与地面 5G 网络提供热点服务相结合的模式，充分利用卫星网络覆盖范围广和 5G 网络带宽时延的优势，实现无缝覆盖，泛在接入。为了进一步降低地面核心网传输时延，本方案中将核心网算力下沉到网络边缘，丰富本地业务算力资源，降低终端硬件成本，提供面向低时延保障的算力能力。

### (4) 本地分流与中继回传融合组网场景

在本地分流与中继回传融合组网场景，UPF 作为用户平面功能的关键节点，

具备对 5G 终端业务本地分流的能力，如果网络边缘的 MEC 能够满足终端业务要求，UPF 则将业务请求分流到 MEC；如果 MEC 不能满足终端业务要求，UPF 可以通过地面核心网和卫星链路两种方案连接远端业务服务器。该架构中，卫星链路长距离中继回传、地面 MEC 本地服务和核心网远端服务是三种不同的核心网 QoS 方案。

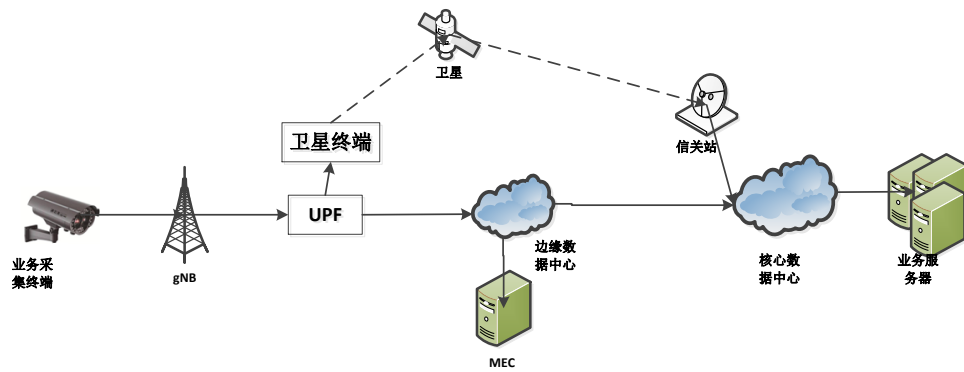


图 4.7 本地分流与中继回传融合组网场景



## 5 中国联通空天地一体化网络发展挑战与推进计划

### 5.1 挑战

#### 5.1.1 网络结构

与传统的通信网络相比，空天地一体化网络涉及多个通信系统，节点繁多复杂；且部分接入节点具有很强的移动性，如低轨卫星的过顶时间只有几到几十分钟，因此需要低时延、高效率、健壮的网络结构和灵活的功能节点部署方案以应对接入节点的频繁切换。同时由于多个通信系统的运营者不同，因此需要设计安全、可靠、高效的网络接口，以实现网络的深度、安全融合。

#### 5.1.2 通信设施与设备

可以预见到未来的通信设备将面临以下挑战：

- 适应空天地海复杂的通信环境；
- 支持多频多模；
- 由于受到卫星和 HAPS/HIBS 平台的载荷限制，需要进行小型化、轻量化、高能效的设备研发；
- 便携、高能效、绿色集约的终端等。

为了应对以上挑战，空天地一体化通信网络需要共享的关键技术及产业链，设计模块化、灵活可变的设备结构，以适应不同的应用环境和功能要求，并且需要研发高能效和小型化的设备形态。

#### 5.1.3 空口与网络管理技术

真正实现系统融合的空天地一体化通信网络，采用统一的空口技术体制、资

源共享。

#### ➤ 动态频率共享与干扰消除

相比现有独立的各个通信网络，未来一体化的通信网络空口链路更为复杂多样，每条链路上都有很大的数据速率需求，而无线电频率资源是有限的。因此需要考虑智能、高效的频率共享与干扰消除方法。

#### ➤ 天线与射频

将地面移动通信技术应用到非地面网络，需要适应高空、太空向地面的覆盖需求；同时与传统卫星相比，高通量卫星与低轨卫星的覆盖方式也发生了变化，采用点波束复用的方式进行覆盖，因此非地面网络接入站点的天线波束赋形与射频技术都需要重新设计。

#### ➤ 智能接入与移动性管理

与地面通信网络相比，卫星网络整体容量较小，单星容量有限，为保证用户体验，卫星通信系统需设计适宜的用户接入和切换策略。这包括为用户选择合适的卫星波束及适宜的卫星信道。同时，由于低轨卫星系统的卫星相对于地面高速移动，每颗卫星服务的时长可能只有数十秒，一次业务中可能包括多次卫星切换。卫星系统切换可分为同一卫星内波束间的切换和不同卫星的波束间的切换，以及跨地面站之间的切换。此外，还可能会涉及空、天、地不同通信系统间的切换。

#### ➤ 高时延、高多普勒频移的影响

空-地链路在几十至上千公里量级，远超过地面蜂窝移动通信的站间距，带来了无法避免的高时延；接入节点的快速移动，导致多普勒频移会更加严重。因此需要攻克很多空口技术难题从而解决上述问题，如：链路同步控制、星-地多波束/多连接传输、新波形设计与多址设计、星-地高效重传设计等等。

## 5.2 空天地一体化通信网络发展建议

虽然业界对于未来 6G 定义的讨论才刚刚开始，但是 6G 网络将突破地面限

制向空、天、地、海多维扩展已基本成为共识。非地面网络具有明显的覆盖优势和大时空尺度通信优势,可以帮助运营商提供低成本的普遍服务及扩展现有的通信服务,实现收入增长;但另一方面空天地一体化通信网络尚有待攻克的关键技术和硬件通信设施部署等问题。因此,随着各项关键技术的发展,针对空天地一体化通信网络分阶段发展建议如下:

#### (1) 不同制式的网络互连互通, 优化业务传输

针对现有的高、中轨卫星系统和 5G 地面网络,设计开放、安全的网关接口、实现网络之间的互连互通,通过优化业务和网络策略,实现业务的 QoS 保障。引入 MEC,实现本地业务分流和业务处理,规避非地面网络的高时延和高传输成本。

#### (2) 相同的技术体制, 实现业务高效传输

非地面网络采用与地面 5G 相同或相近的网络架构与关键技术,通过共享产业链,提升空天地一体化通信网络的研发效率,降低整体组网成本。通过部分设备合设,如核心网合设、关口站与基站合设等方式,实现网络资源和网络策略的快速互通,从而达到业务高效传输的目的。

#### (3) 空天地一体化融合组网, 实现业务统一调度与支持

所有平台采用统一的空口技术体制、网络架构,进行统一的资源管理和动态频率共享,实现统一的业务调度与编排。通过模块化的设备、云化的计算处理能力,引入区块链等技术,实现空-天-地网络的设备和计算处理能力的复用共享,进一步降低网络部署与运营成本,实现绿色、集约、健壮的网络部署。

## 5.3 中国联通空天地一体化通信网络推进计划

### 5.3.1 中国联通空天地一体化通信网络愿景

空天地一体化通信网络的实现需要空天地一体化通信网络各项关键技术的不断突破和进展、设备形态与功能实体划分与共享逐步明确、新业务应用场景部

署方案逐步成型，最终推动空天地一体化网络的应用成熟落地。联通做为地面运营商，将充分利用自身的地面网络、大数据及计算资源优势，以应用需求为牵引，与产学研合作伙伴一起，积极构建空天地一体化通信网络合作平台，凝聚 IMT、航天和航空等多方面产业力量，打造空天地一体化生态体系，共同推动空天地一体化网络产业链的成熟。

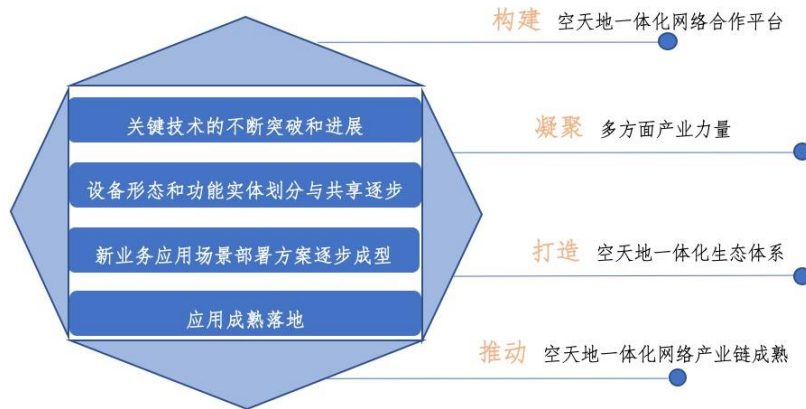


图 6.1 中国联通空天地一体化通信网络发展愿景

### 5.3.2 推进计划及工作进展

根据目前太空天地一体化通信网络产业进展情况，中国联通提出了空天地一体化通信网络长期推进计划：第一段的时间点为 2019-2025 年，主要工作是与国内产学研机构和组织建立多种形式的合作关系，跟进、参与和推动空天地一体化通信网络的关键技术发展，以此为基础与业界共同推进国内外通信标准的制定；第二阶段的时间节点为 2020 年-2024 年，主要工作是研究 5G 与非地面网络融合的应用部署、设备形态和技术要求，逐步成型 5G 与非地面网络融合的相关标准，推动 5G 与非地面网络融合的通信技术应用落地；第三阶段的时间节点为 2022 年-2025 年，主要目标是面向 6G 与低轨卫星星座，持续推进空天地一体化通信网络关键技术研究与发展。

联通计划在未来一两年内从关键技术研究及标准化推动、技术交流与产业合作平台、现有非地面网络能力下的业务与应用研究和试验演示项目等四方面同时开展相关推进工作。

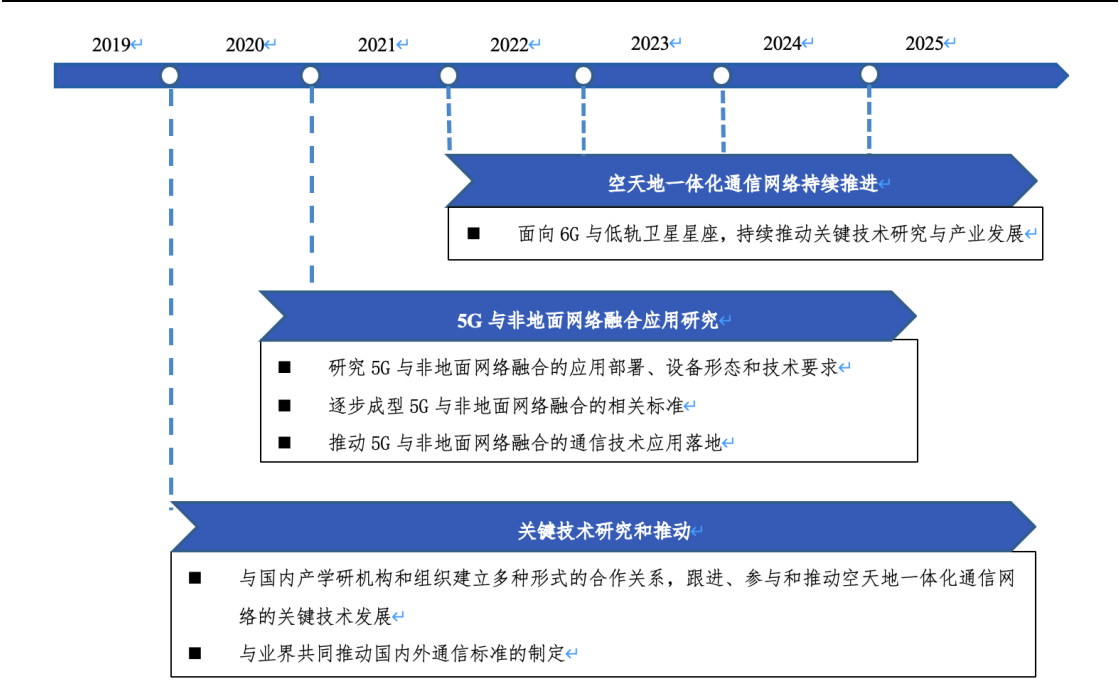


图 6.2 中国联通空天地一体化通信网络长期推进计划

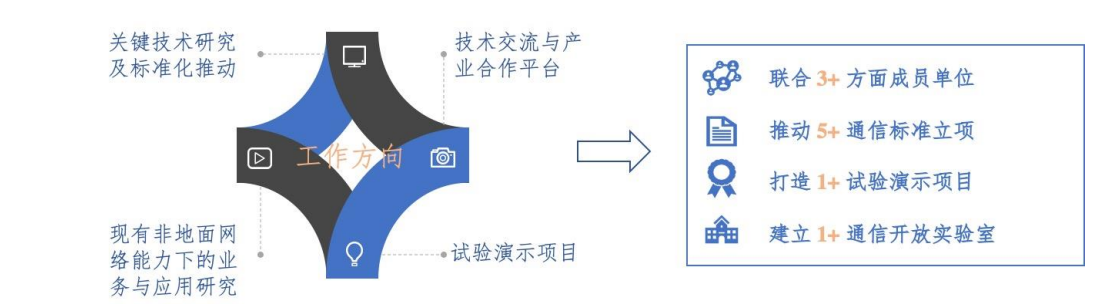


图 6.3 中国联通空天地一体化通信网络推进工作方向

关键技术研究及标准化推动方面，亟待开展对空天地一体化通信网络关键技术、应用场景规划和网络部署方案等方面的研究工作，为空天地一体化通信技术标准化工作启动做好技术储备。该方向工作目标是聚焦关键技术方向，不断增强自主创新研发能力，形成相关空天地一体化通信关键技术的核心专利与标准，为未来 6G 标准化做好技术储备和专利布局，提高空天地一体化通信网络技术核心竞争力。联通已在空天地一体化通信关键技术、应用场景等方向开展预先研究工作，基于前期预研成果形成本白皮书的主要内容，并牵头组织空天地一体化通信网络相关技术标准的立项。后续将继续聚焦关键技术与标准化推进工作，逐步成型中国联通的空天地一体化通信企业标准，并引导和推动空天地一体化通信技术行业标准和国际标准的制定。

技术交流与产业合作平台方面，需要运营商积极跟踪产业链发展动态，由需求应用出发，与高校、科研院所、器件和设备厂商联合，推动产学研用结合，引导空天地一体化通信产业链发展。联通在该方向已开始启动空天地一体化通信网络应用愿景和技术需求研究，并与国内相关产学研机构和组织以技术专利标准化合作和业务应用示范能多种形式开展技术合作，共同构建技术交流创新平台。

现有非地面网络能力下业务与应用研究方面，需要针对现有非地面网络在关键技术问题、组网技术和应用性能等方面展开更深入的研究，为空天地一体化通信网络提供技术参考，以达到充分发挥非地面网络优势的目的，拓展空天地一体化网络的部署场景和应用范围。联通在该方向已经建立了空天地一体化通信开放实验室，进一步研究现有非地面网络能力下的业务与应用的性能优势，使能多样化的空天地一体化网络部署方案。

试验演示项目方面，亟待开展空天地一体化通信试验演示，进行空天地一体化通信应用和网络解决方案的研究。通过试验应用，构建空天地一体化产业体系，形成成熟的解决方案、丰富的应用案例和牢固的合作关系，推动空天地一体化通信网络产业链成熟。联通已经成果打造空天地一体化通信网络试验演示平台，并将依托该项目推进空天地一体化通信网络原型机系统研发和试点应用尝试，为未来空天地一体化通信网络应用落地提供技术参考。

全球陆续开始启动 6G 研究计划，国家已开始在政策支持和产业引导等方面逐步加大支持力度，进行倾向性布局，推动空天地一体化通信等技术产业发展。中国联通作为运营商，会紧跟国家产业政策和发展布局，紧抓未来五到十年产业发展窗口期，在关键技术研究及标准化推动、技术交流与产业合作平台、现有非地面网络能力下的业务与应用研究和试验演示项目等四方面同时发力，保证中国联通未来 B5G/6G 网络的先进性。