

中国联通天地一体融合通信愿景 白皮书

中国联通
2023年10月

目录

1 发展需求与现状分析	2
1.1 天地一体发展需求	2
1.2 天地一体化的发展现状	2
1.3 应用场景和发展预测	3
1.3.1 深井型价值应用场景	3
1.3.2 海量型价值应用场景	4
1.4 标准研究现状	5
2 发展路径与愿景目标	8
2.1 天地一体融合通信发展路径	8
2.2 天地一体融合通信愿景	8
3 关键技术问题分析	12
3.1 网络架构与组网模式	12
3.2 频率规则及频谱方案研究	14
3.2.1 手机直连的频率	14
3.2.2 频谱方案研究	15
3.3 无线技术	16
3.3.1 信道模型	16
3.3.2 链路预算	16
3.3.3 关键技术	17
3.4 终端技术	18
3.5 QoS 保障	20
3.6 跨国业务实现	21
4 总结与展望	22

01

1 发展需求与现状分析

1.1 天地一体发展需求

近年来，低轨（LEO）卫星互联网的迅猛发展，不仅对传统卫星通信产生了巨大的冲击，还对传统地面移动通信技术的发展提出了新的挑战。宽带卫星互联网融合卫星网络和地面网络，已经成为无线通信领域的新焦点和新赛道。为了应对低轨宽带卫星互联网的国际竞争，也为了在后续卫星互联网发展占频保轨，我国在积极推动天地一体加速发展。

国家政策上，国务院立足国际竞争和国家安全，在“十四五”系列规划中提出建设高速泛在、天地一体网络，加速构建天地一体基础设施；发改委从战略新兴产业发展的角度，将卫星互联网纳入“新基建”；工信部则强调天地一体深度融合，推进卫星通信系统与地面信息通信系统深度融合。地方政府层面，国内多个省份 10

余个地方政府将空天信息产业、卫星应用及卫星互联网产业划为重点，提出了具体的发展目标及相关政策举措。

从技术发展上看，卫星制造、卫星发射和卫星通信技术的迅速发展，为天地一体的发展准备了条件。首先，卫星制造技术和卫星发射技术，如一箭多星、火箭回收等，极大降低了卫星制造和卫星发射技术的成本，为建设大规模低轨卫星星座提供了有力支撑。其次，星上处理、星间链路和相控阵等先进的卫星通信技术则为终端直联卫星实现宽带通信提供了技术基础。最后，3GPP 等标准组织针对卫星通信特点进行了时频同步和移动性等研究，制定了一系列的解决方案逐步推进地面网络和卫星网络形成深度融合。

从通信市场与业务发展看，大众用户和行业用户对星地融合的天地一体通信需求也越来越强烈。大众用户面向个人移动通信需求不断演进，期待实现无缝覆盖与随时随地接入；行业用户面向应急、交通、海洋覆盖、泛在低空等场景，也需要通过天地一体化的网络提供泛在连接。

1.2 天地一体化的发展现状

海外低轨卫星互联网应用已初具规模。当前以 SpaceX、AST SpaceMobile 和 Lynk 为代表的卫星公司，纷纷部署低轨卫星互联网建设，并积极探索手机直连，与多个国家和地区的移动运营商建立合作伙伴关

系。SpaceX 与美国的 T-Mobile、澳大利亚 Optus 等运营商合作，推出星链直连手机业务；AST SpaceMobile 公司与美国 AT&T 运营商合作，通过使用 BlueWalker3 卫星，实现双向语音通话；Lynk 已与全球 30 多个移动通信运营商签订了手机直连卫星服务商业协议。

除运营商以外，地面终端产业链也在积极推动卫星应用。苹果公司与 GlobalStar 合作，为 iPhone 14 系列、15 系列提供紧急 SOS 技术；高通也宣布与铱星合作，为智能手机提供卫星服务。

我国尽管是世界第二大在轨有效卫星的拥有国，但低轨通信卫星和国际一流水平尚有差距，处在积极发展、积极追赶的阶段。在卫星星座建设方面，当前已有多家卫星公司提出低轨星座计划；地面运营商积极开展天地一体关键技术研究及技术验证，探索演进方向；终端产业链也在积极寻求卫星通信解决方案，目前华为 Mate60 系列手机已基于高轨卫星实现卫星短报文/语音业务。

1.3 应用场景和发展预测

借鉴顾客价值定位理论，从市场规模和对卫星的需求刚性两个维度对天地一体各类应用场景进行评估，将其分为浅层型、海量型、深井型、低储量四个类型价值业务。运营商可重点挖掘需求刚性高、市场空间大的深井型和海量型两大类应用场景，在高价值领域打造高品质的天地一体融合

通信业务。

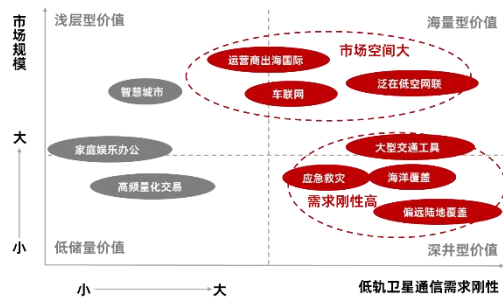


图 1-1 天地一体融合业务场景分类

1.3.1 深井型价值应用场景

深井型价值应用场景对卫星通信依赖性较高，属于天地一体融合通信业务的刚需型场景，主要应用场景包括：

◆ 应急救灾场景

应急救灾是最为刚性的应用场景之一。天地一体网络利用空天的独立通信和抗毁能力，不依赖地面通信网络和电力系统而独立工作，在应急救灾领域具有不可替代的独特优势。传统应急救灾场景主要包括为应急部门提供应急通信、灾害预警、救援等。随着低轨星座部署及终端直连技术的发展，应急通信服务对象有望从 B 端转向 C 端用户，网络通信容量的不断提升将更好的支持高并发场景的个人应急通信场景实现。2022 年全国受灾 1.12 亿人次，约占总人口的 10%，按应急通信服务费和渗透率估算，个人客户应急通信市场规模可达 140 亿元/年。

◆ 大型交通工具场景

大型交通工具场景主要是在民航客机、远洋游轮、国际列车等交通工具上借助天

地一体网络的全球无缝覆盖特性，让舱内用户无论在天上、海里、深山中都能随时随地通过 WiFi 接入享受通信服务，保障用户服务连续性；随着手机直连卫星技术的成熟，实现舱内与地面通信一样的服务体验。数据显示，目前我国民航机载 WiFi 普及率仅为 5%，商业化运营大有可为。2022 年底，我国民航飞机架数为 4165 架，预计到 2030 年以机载 WiFi 渗透率和每架飞机流量费估算，机载通信费用规模有望超 20 亿元/年。再加上远洋游轮、国际列车等卫星通信场景，大型交通工具通信需求有望为运营商带来约百亿级市场增量。

◆ 海洋覆盖场景

海洋覆盖场景将是未来天地一体业务的广阔蓝海市场。当前中远海网络覆盖不足是制约智慧海洋发展的瓶颈，随着天地一体网络的成熟中远海覆盖盲区消弭，智慧海洋应用将加速普及。海洋覆盖场景涉及渔业、能源、旅游、执法、观测等多个垂直行业领域。其中近海旅游、海水养殖、海洋执法多为高并发、大带宽常态连接业务需求，而中远海风电场、油气平台、海上牧场多为基础语音和数据通信需求。在政企端市场空间最大的场景为海洋渔业及海洋能源，据估算 ICT 信息化市场规模可达百亿级。在个人客户端市场空间较大的场景主要有滨海旅游、渔民、船员通信等，这些领域也有望带来百亿级的市场增长空间。

◆ 偏远陆地场景

偏远陆地覆盖主要针对沙漠、森林、草原、高山等野外无人区域进行补盲，面向野外施工的工人、草原放牧的牧民、喜好户外旅行的深度驴友等对野外通信需求较高的个人用户群体，提供“无所不在”的泛在通信服务。据有关数据测算，目前野外施工人群约 500 万，牧民约 800 万，深度驴友约 600 万，天地一体个人通信刚需群体规模约 2000 万，按卫星通信流量费估算刚需群体的市场规模约为 120 亿元/年。随着技术的不断发展，卫星通信功能将融入更多的智能手机中，为更多公众客户在偏远场景提供更广泛的通信选择，将有望为运营商带来新增长级。

1.3.2 海量型价值应用场景

海量型价值应用场景属于新兴市场，可扩展空间规模大，有望带来较可观的收益，主要应用场景包括：

◆ 车联网场景

卫星车联网主要可应用在无人驾驶、房车旅行、部件远程管理等民用场景及战车、指挥车等军用场景。由于车联网包括车与人、路、网络等多要素的有机联系，对数据管理和网络的复杂性、灵活性、健壮性要求更高。天地一体网络广覆盖、低时延、高可靠等特点可高效无缝为车联网处理海量数据、提供高精度定位、全自动化保障，提升复杂环境的感知能力。数据显示，未来 10 年我国低轨星座+车联网的设备和运营市场整体行业规模预计可达近

三千亿元，其中运营服务超 1600 亿元。截至今年 6 月底我国汽车保有量 3.28 亿辆，预估到 2030 年以卫星车载通信渗透率和车载套餐费用估算，车联网通信费用规模可达 230 亿元/年。

◆ 泛在低空网联场景

泛在低空网联场景主要包括无人机物流、娱乐直播等商业应用场景和应急指挥调度、信息采集报送等救灾民生场景。天地一体网络可有效弥补地面通信基站覆盖的不足，在偏远地区为低空飞行器提供无缝覆盖的网络，保障更加稳定的飞行服务。随着终端直连技术成熟，通过复用地面终端产业链，可解决当前终端模组成本高、体积大、功耗大的缺点，为小型无人机应用带来新发展空间。据预测，2025 年运营商可主导参与的低空市场规模达 360 亿元。截至今年 8 月，国内实名登记的民用无人机已超 110 万架，以现阶段蜂窝网物联网产品价格预估，2030 年民用无人机终端直连卫星通信费用规模约为 6 亿元/年。

◆ 运营商出海国际业务场景

随着天地一体网络的形成，提供出海国际通信业务可成为运营商的增量应用场景。该场景不仅可面向国外旅行、海外短期工作等高价值用户提供境外漫游服务；同时可面向一带一路、非洲等欠发达地区及国家开展盲区覆盖，提供通信运营服务。2019 年出境游人数达 1.55 亿人次，预计到 2030 年按单次出境流量费和手机直连渗透率比例进行估算，市场规模近百亿元。由

于境外卫星业务落地权的获取是运营商出海业务发展的关键，可优先面向一带一路国家与目标落地国协调政策，突破关键环节打造示范后推动大规模应用。当前一带一路国家约 44 亿人口，以用户渗透率和通信月资费进行估算，则每年通信市场规模将达数千亿元。

1.4 标准研究现状

天地一体化网络融合地面网络和卫星通信，能够提供更加广阔和多样化的通信服务。但长期以来，卫星通信与地面移动通信系统独立组网，标准体制、架构协议等方面存在高度差异性，各卫星体系之间仍保持一定独立性，不利于未来天地一体无缝覆盖网络的建设。ITU、3GPP、CCSA、ETSI、SaT5G 等国内外标准组织或联盟纷纷投入空天地一体化网络的研究中，积极推进 5G 星地融合技术发展和相关标准制定，解决卫星网络与 5G 点网络融合的标准化问题，为卫星互联网产业的标准演进做出了巨大贡献，也将为 6G 星地融合研究奠定了技术基础。

◆ ITU

国际电信联盟（ITU）是联合国主管信息通信技术事务的专门机构，主要负责全球卫星轨道和频谱资源的分配和管理，以及卫星业务、场景需求的研究。ITU-R SG1 频谱管理组负责无线电频谱资源和卫星轨道的全球资源的研究和管理，探索新的可用频率，进行全球无线电频谱和卫星轨道

划分，规划和协调卫星频轨资源分配。世界无线电通信大会（WRC）由国际电信联盟（ITU）发起，对频谱分配的引领作用，并为全球的移动通信发展提供基础资源保证。

在卫星标准化工作方面，主要在 ITU-T SG13 和 ITU-R SG4 两个研究组开展研究工作。ITU-T SG13 工作组 2020 年开面向 IMT-2020 的固移卫网络融合课题研究，重点研究固移卫网络融合需求、框架、移动性和连接管理等方面；2023 年 4 月，启动面向 IMT-2030 的 6G 空天地一体化标准研究。ITU-R SG4（卫星业务研究组）制定卫星网络覆盖的业务类型及典型应用场景、定义卫星通信与 5G 结合需解决的核心问题等。在 2015 年发布的 5G 愿景建议书中明确提出了 5G 地面网络与卫星网络相互协同合作，为用户提供随时随地服务的愿景；2019 年 7 月发布的 Report ITU-R M.2460 “卫星系统融入下一代接入技术的关键因素”中阐明了 5G 卫星网络的常见应用场景包括中继到站、小区回传、动中通或者混合多播；2022 年 9 月，ITU-R 发布“5G 卫星无线电接口愿景与需求报告书”并制定 5G 卫星的三大主要应用场景要求：增强移动宽带，海量机器类通信和高可靠通信，5G 卫星标准化相关工作稳步推进。

◆ 3GPP

3GPP 是 5G 标准化组织，聚焦于 5G 地面移动技术和卫星通信系统的融合，开展 NTN 标准化的研究，把卫星通信纳入 5G 网络，解决 5G 空口支持 NTN 的关键问题。

3GPP R14 正式启动对 NTN（non-terrestrial network，非地面网络）的研究，R14 版本的 TS 22.261 中，将卫星作为 5G 接入技术的一个分支，探讨卫星在 5G 系统的应用。R15 定义了 NTN 网络部署场景及信道模型，评估了卫星相关接入网协议和架构，并在 SA2 定义了卫星接入 5G 网络的 3 类用例，即连续服务、泛在服务及扩展服务。R16 在 RAN1/RAN2/RAN3 研究 NR 支持非地面网络的解决方案，包括架构、物理层设计和高层协议。R17 版本发布 5G NTN 第一个标准规范，制定基于新空口技术的终端与卫星直接通信技术，重点研究在透明转发网络架构下的终端直连技术；包括 IoT NTN 和 NR NTN 两个工作组，IoT NTN 侧重支持卫星物联网业务，NR NTN 则研究 5G NR 框架下的手机直连，提供低速率数据服务和语音服务。R18 阶段，3GPP 进一步对 NTN 增强技术进行研究，研究内容包含 UE 位置管理、移动性增强、覆盖增强、UPF 上星等。基站与核心网上天的星上处理、跳波束等技术将在 R19 进一步研究，面向 6G 统一空口体制的研究也将在后续阶段逐步展开。

◆ CCSA

CCSA 中国通信标准化组织主要负责卫星通信的行业标准制定，天地一体化标准体系建设主要在 TC5（无线通信技术工作委员会）和 TC12（航天通信技术工作委员会）两个工作组开展，致力于卫星系统与地面

蜂窝系统的融合，实现广域、连续和泛在接入服务。TC12 成立于 2019 年，研究内容涉及基于 5G 的卫星互联网总体要求、天地一体化协同组网系统架构、基于光交换的空间组网技术研究、卫星网络与边缘计算网络融合组网技术等。

TC5 聚焦产业需求，先后通过核心网、物联网和卫星终端多项立项研究，全面推进 5G 卫星互联网标准制定。其中 5G 非地面网络的核心网技术要求（第一阶段）行业标准立项，研究卫星核心网与地面核心网的互联互通要求；基于非地面网络（NTN）的物联网窄带接入（NB-IOT）等五项系列行业标准立项，包括接入网总体技术要求、卫星接入节点设备技术要求、卫星接入节点设备测试方法、终端设备技术要求和终端设备测试方法，为我国构建天地一体的窄带物联网奠定了重要的基础；卫星终端方面，通过了“Ka 频段卫星通信地球站相控阵天线技术要求”及配套的测试方法两项行业标准立项，开展对卫星相控阵天线标准的研究。

◆ ETSI

ETSI 欧洲电信标准化协会是欧盟批准建立的一个非赢利性的电信标准化组织，下设 13 个技术委员会，TC SES 卫星地面站及系统技术委员会负责卫星通信领域研究，致力于为全球范围内的卫星通信提供标准化的解决方案。2020 年 6 月的 ETSI TR 103 611 技术报告对于将卫星网络和高空通信平台 HAPS 无缝融入到 5G 网络架构进行

了研究，并对进行必要的标准化活动。

◆ SaT5G

SaT5G 成立于 2017 年，成员单位涉及卫星行业生产厂家、运营商和高校，包括 AVA、SES、空客、iDirect、BT、萨里大学等 16 家单位，重点研究卫星网络体系架构、关键技术及仿真验证等与 5G 网络的融合通信技术。参与研究卫星与 5G 融合的国际标准制定工作，在 3GPP 和 ETSI 中，推动多项卫星 5G 融合的标准化工作。2019 年 6 月成功进行 5G 卫星系列业务演示，如通过卫星和地面传输路径接入 5G 网络，为 4K 视频用户提供了增强的质量体验。

02

2 发展路径与愿景目标

2.1 天地一体融合通信发展路径

天地一体融合通信逐步向更深层次的融合阶段发展，大体可划分为三个阶段的融合层次。

第一阶段是业务融合阶段，该阶段主要特征是星地网络相互独立，核心网间通过网关互联，实现业务互通。卫星网络与地面蜂窝网络的架构、体制、频率相互独立，卫星核心网与蜂窝核心网通过网关对接，实现两张网络业务的互联互通，用户需要使用卫星网络专用终端接入卫星网络，或者通过卫星中继模式使用 WIFI 接入卫星网络。卫星网络主要作为地面网络的补充，

或中继链路。

第二阶段是体制融合阶段，该阶段主要特征是星地网络在空口体制和频率融合。不同类型单模/多模终端可分别或者同时通过天基/地基接入网络，卫星提供蜂窝空口转发，实现超远覆盖，从用户角度实现一部终端能够接入卫星网络和地面网络，实现星地网络的体制融合。

第三阶段是深度融合阶段。该阶段主要特征是星地网络深度融合，构建全球无缝覆盖、网元按需分布式部署、满足随遇接入、为用户提供星地一致性业务体验的立体网络。卫星网络和地面网络在空口，架构等进一步深度融合，实现天地一体组网，网元按需分布式部署。卫星网络与地面实现产业深度融合，星地在芯片、终端实现产业链共享。卫星网络与地面网络在服务保障实现深度融合，用户实现星地网络漫游，获得一致性业务体验。

2.2 天地一体融合通信愿景

2.2.1 总体愿景

中国联通以构建地基网络为基础，天基网络（含通信/导航/遥感卫星）为补充的立体网络结构为目标，建设蜂窝网络和卫星网络一体发展、全域无缝覆盖、通导遥有机结合、全场景泛在连接的天地一体深度融合通信基础设施，面向公众、行业提供数据、语音等宽带通信业务，追求“永远在线、永不失联”的服务和应用体验。

天地一体融合通信总体愿景以“两全两融合”为基本特征，即海陆空全域覆盖、全场景泛在连接、高中低融合发展、星地间有机融合。

天地一体将进一步提升网络覆盖的广度和深度，提供跨地域、海域、空域、天域的多维立体网络覆盖，用户使用统一终端在陆地、空中、海洋等不同区域之间接受各类应用服务，享受无缝切换、无缝漫游，真正实现永远在线、永不失联。

天地一体将充分扩展业务场景多样性，满足人、物联网设备、飞机、无人机、船舶等各类服务主体，随时随地享有安全可靠、无限泛在的网络连接和应用服务的需求，天地一体融合可以将业务场景全面扩展到陆海应用和空间应用，提供全场景泛在连接。

天地一体充分融合卫星网络能力，广泛利用和发挥卫星作用，不同类型、不同功能、不同轨道高度的卫星与蜂窝网络多种网络节点实现互联互通，实现通信、导航、遥感等数据和业务有机融合，为用户提供融合创新应用。

天地一体深度融合地面蜂窝网络和卫星网络，以地基网络为基础，天基网络为补充，建设天地一体深度融合通信基础设施，使用统一的网络架构，遵循统一的技术体制，在网络架构、无线接入、终端能力、智能管理等方面实现统一融合，形成统一融合、多维立体的天地一体深度融合系统。

2.2.2 网络架构愿景

天地一体融合通信系统基于分层立体架构建立，由地面基础设施、陆海应用层、空间应用层和空间基础设施组成。同时采用高低频协同组网，多站型混合部署等方式，满足不同区域的差异化覆盖需求，打造全域无缝一张网，提供业务应用服务和基础设施服务。

在地面基础设施层，主要包括两种类型的基础设施，一类是支持不同技术的接入设备：如卫星信关站、地面蜂窝基站、Wi-Fi 接入设备、LAN 接入设备、ATG 基站等；另一类是核心网、承载网、数据中心、控制中心等通用共享传输和管理设施。地面接入设备根据不同区域的场景条件和业务需求进行部署。

在陆海应用层和空间应用层，主要包括天地一体提供服务的应用场景，按照不同区域可以分为陆地/海洋区域和空间区域。

在空间基础设施层，主要包括组成天基网络的各类型卫星，按照运行轨道可以分为低轨卫星 LEO、中轨卫星 MEO、高轨道卫星 GEO；按照卫星类型和功能可以分为通信卫星、导航卫星和遥感卫星。各类卫星在卫星网络中发挥不同作用，融合接入、协同覆盖，为不同场景的陆海应用和空间应用提供相应的服务。

2.2.3 应用场景愿景

天地一体面向应用分为两类，分别是陆海应用和空间应用。

陆海应用是为陆地和海洋区域的用户

和设施提供服务，通常集中在海拔高度 150 米以内的区域，陆海区域可以分为偏远地区、农村地区、城镇地区、海洋地区、跨国地区等五大类型，各类区域分别提供多种具体应用场景，如野外作业、智慧农业、智慧城市、远洋运输、一带一路、国际漫游等。空间应用是为空中各类飞行器提供服务，通常集中在海拔高度 150 米到 100 千米的区域，主要包括无人机、热气球直播、直升机警用安防、应急救援、民航飞机等不同应用场景。

各类应用场景共同发展，相互结合，也可能复合交叉应用，共同服务于天地一体无缝覆盖、广泛连接的要求。如在前述七大典型应用场景中，大型交通工具宽带通信、海洋覆盖、偏远陆地覆盖、车联网、运营商出海国际业务等属于陆海应用，泛在低空网联属于空间应用，而应急救援则可能两类应用同时存在，如应急通信车属于陆海应用，而应急通信无人机属于空间应用。

2.2.4 融合发展愿景

天地一体融合通信系统以天基网络和地基网络的深度统一融合为必然趋势和发展目标，其主要内涵和特征包括统一融合的网络架构，统一融合的空口技术、统一融合的终端能力和统一融合的智能管理。其中统一融合的网络架构是指融合地面网络和卫星网络架构，采用统一的系统逻辑架构和具体实现架构，将天基通信网络和地基通信网络进行一体化的设计和部署；统一融合的空口技术是指卫星通信和地面移动通信共享同样的空口接入技术架构，兼容多样化的无线接入方式，为终端统一智能接入提供条件；统一融合的终端能力是指基于统一空口构造一体化终端，终端天线技术和射频技术具备适应多频段的能力，用户可以在不同网络中自主切换和漫游，具有连续一致的业务体验；统一融合的智能管理是指统筹调度系统无线资源，统一进行业务管理、运营管理、应用管理，实现跨网络跨业务的优质高效管理。



图 2-1 天地一体融合通信发展愿景

03

3 关键技术问题分析

天地一体网络的业务类型分为卫星中继模式和手机直连模式，卫星中继模式主要面向固定卫星、通过卫星中继设备进行转接；手机直连面向大众用户提供应急等场景的泛在连接，是天地融合演进方向。手机直连能够促进地面与卫星产业链的融合，推动卫星网络的快速规模化发展，但手机直连卫星受限于手机发射功率、天线尺寸，需要解决远距离、高动态传输的链路损耗问题。本章节关键技术将重点聚焦手机直连方向，探讨一系列技术方案。

3.1 网络架构与组网模式

天地一体网络架构主要分为卫星中继和终端直连卫星两种典型方式，其中，终端直连卫星模式包括基于私有协议的传统终端直连、3GPP NTN 终端直连、存量商用终端直连，实现分场景覆盖及网络互补。

◆ 卫星中继模式

卫星中继模式由用户终端、特定场景设备、天基网络、陆基网络，用户接入地面基站/WiFi 组成，通过专用的卫星用户站连接卫星，卫星是作为链路回传。适用于用户集中、行动路线明确的场景部署，来

替代有线光纤回传，目前已成熟应用在特殊场景覆盖、应急通信等行业领域。

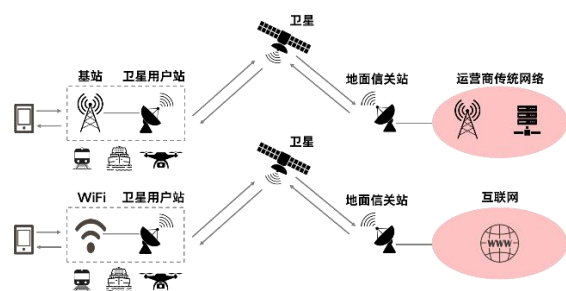


图 3-1 卫星中继网络架构

卫星中继方案相对来说产业成熟，卫星及配套设备商较多，地面运营商主要是卫星资源的租赁者，虽然前期成本较高，时延及容量受限，但随高通量及低轨卫星的发展，成本逐渐降低，规模性应用会增

多。

◆ 传统终端直连模式

蜂窝手机联合在轨已商用星座，在手机侧增加卫星通信芯片来连接卫星，卫星与蜂窝核心网通过网关对接，实现互联互通，卫星与蜂窝网架构、体制、频率相互独立。

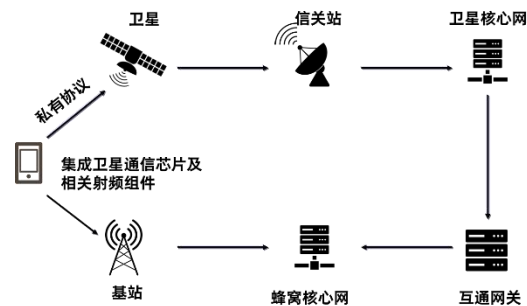


图 3-2 传统终端直连架构

传统终端直连主要与在轨卫星合作，频率牌照无需申请，蜂窝基站与核心网无改动，终端侧通过多模形式升级及部署互通网关，具有部署快的优势，能快速解决蜂窝盲区应急通信以及偏远地区的小包物联数据采集需求。但目前受限于在轨卫星的能力，仅能解决短信、语音和窄带业务，难以满足宽带业务要求，产业方面也受限于封闭的通信体制，规模小，成本高。

◆ 3GPP NTN 终端直连模式

3GPP NTN 组网场景是未来天地一体融合通信的重要组网模式，包括透明转发和再生转发两种网络架构。

● 基于透明转发的 NTN 网络架构

透明转发 NTN 网络架构下，透明转发载荷可以看作是网络侧的中继节点，它改变上行射频信号的频率载波，在下行链路

传输之前对其进行滤波和放大，但所负载的信号波形不发生变化，而信关站只是透传信号，不同的透传卫星可以连接相同的地面基站。

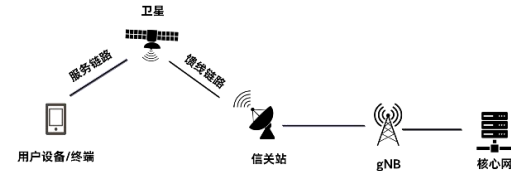


图 3-3 透明转发 NTN 网络架构

● 基于再生转发的 NTN 网络架构

再生转发 NTN 网络架构下，再生转发载荷是在上行射频信号在下行链路上传输之前对其进行转换和放大的有效载荷，相当于在卫星上拥有部分基站及核心网功能，主要包括 DU 上星、基站上星、UPF 上星、简化核心网上星等几种模式。

同时，卫星有效载荷还可提供卫星间的星间链路，UE 可以通过星间链路接入核心网，不同卫星上的 gNB 可能会连接到地面上相同的核心网。

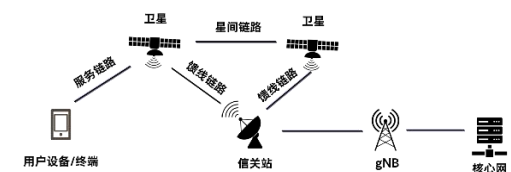


图 3-4 再生转发 NTN 网络架构

NTN 网络架构下，卫星与蜂窝空口体制融合、频率融合，具有统一的通信协议，可以复用蜂窝通信产业能力，潜在发展前景较好。结合低轨宽带星座，能提供宽带通信能力，面向公网用户（toC）实现广域连续覆盖，面向特殊场景（toB）提供航空、海洋等场景全球宽带接入以及宽带物联等

应用。其中，两种模式特点如下：

透明转发模式下，UE 可通过直连卫星接入地面基站与核心网，适用于信关站辐射范围内的偏远地区个人用户应急通信、无地面覆盖地区补充覆盖等场景。但受地理因素或者政治因素的限制，部分地区无法部署信关站，进而无法实现全球覆盖。

再生转发模式下，UE 通过星载基站、星载核心网接入地面网，可在无信关站地区通过星间链路进行转发，实现灵活路由全球无缝覆盖。

◆ 存量手机终端直连模式

存量手机终端直连模式是不改变手机终端，通过定制卫星和基站来适配蜂窝终端和空口协议，实现存量手机接入卫星网络。

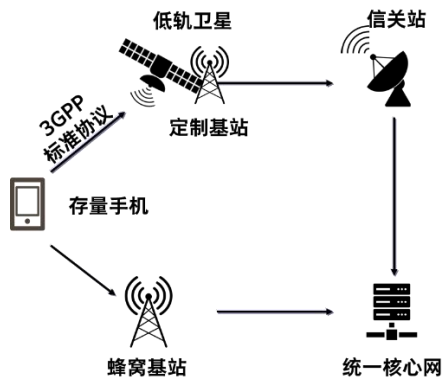


图 3-5 存量手机终端直连网络架构

存量终端直连模式无法利用在轨星座，需使用地面蜂窝频率，解决频率许可及牌照问题，同时需定制化星座设计及卫星基

3.2.1 手机直连的频率

根据频率规则，手机直连所用频率根据不同体制下的不同解决思路，形成目前

站设计，实现难度较大，成本高，但适用于网络建设初期，NTN 业务渗透率低时，能快速推广卫星业务。

未来，天地一体融合通信网络将逐步发展成天基多层子网和地面蜂窝多层子网等多个异构网络的融合，并从多体制逐步实现统一，具有多层立体、动态时变的特点。构建融合的天地一体化信息网络需解决多层复杂跨域组网导致网络架构设计问题，大尺度空间传播环境导致的传输效率低问题和卫星的高速运动会导致的网络拓扑高动态变化等问题；并根据业务需求和网络状态，智能生成组网策略，完成选路等功能配置和优化，实现星地网络的无缝切换，保障业务连续性与可靠性，实现资源高效调度和智能管控。

3.2 频率规则及频谱方案研究

从卫星频率使用规则看，卫星频率和轨道资源属全世界共有，其使用权的获取不由一个国家单方面决定。世界各国须遵守国际电信联盟（ITU）的有关规则，以卫星网络资料为基本管理单元，主要依照“先登先占”的原则竞争使用。目前，可用于卫星移动通信的业务频率资源有限，需要对新增卫星移动通信系统的频谱方案进行研究。

三条频率技术路径：

◆ 专用卫星移动通信系统技术体制的使用频率

主要使用 ITU 为卫星移动业务划分的 L 和 S 频段频段，代表公司有代表的包括铱星、全球星，海事卫星、天通等。海事卫星等系统使用 1525-1559/1626.5-1660.5MHz，1610-1626.5/2483.5-2500MHz，铱星、全球星等系统使用 1610-1626.5/2483.5-2500MHz 频段，天通系统使用 1980-2010/2170-2200MHz。

◆ 现有地面蜂窝系统的使用频率

该方案面向低轨道通信系统，主要使用地面基础电信运营商频率。通过《无线电规则》4.4 条款申报卫星网络资料，并承诺不干扰现有无线电业务，也不寻求无线电干扰保护。主要典型代表包括 AST、Lynk 以及 Space X 等。AST 公司采用 UHF（663-

960MHz）、S 频段（1710-2360MHz）作为用户链路，Lynk 公司则使用 UHF（617-960MHz）频段在美国以外地区开展相关业务，Space X 与 T-Mobile 合作使用其 PCS（1910-1915/1990-1995MHz）频段。

◆ 3GPP NTN 技术体制的使用频率

基于 3GPP NTN 技术方案既支持低轨道通信模式也支持静止轨道通信模式，其卫星通信频段使用在 3GPP 标准化的卫星移动频段，目前主要为 L 和 S 频段，而对于 FR2 频段，3GPP 正在讨论和评估 Ka 波段优先级最高，其上行链路为 17.7-20.2GHz，下行链路为 27.5-30GHz。该频段较高，不适合用于手机直连卫星。

表 3-1 NTN FR1 卫星频段

NTN 卫星频段	UL 上行频段 (卫星接入点接收/UE 发射)	DL 下行频段 (卫星接入点发射/UE 接收)	双工方式
n256	1980MHz-2010MHz	2170MHz-2200MHz	FDD
n255	1626.5-1660.5MHz	1525-1559MHz	FDD
注释：NTN 卫星频段从 n256 开始降序编号			

3.2.2 频谱方案研究

发展天地一体手机直连卫星系统，最关键的是需要解决频率资源的问题，目前可用于卫星移动通信的业务的频率资源有限，需要进行新的可用频率研究。主要途径为新增卫星移动业务的频率资源和借用地面蜂窝系统的频率资源。

新增卫星移动业务的频率需要世界无线电大会的研究与论证；借用地面蜂窝系统的频率资源方面，则存在着合规性以及

干扰问题。对于借用地面蜂窝系统的频率资源的合规性，最合适的方式是通过设立新的 WRC 议题的方式修改无线电规则，使其合法化。对于借用地面蜂窝系统的频率资源的干扰问题，则需要进行星地频谱共享和干扰规避的研究。减少干扰最直接的方法是空间隔离，即把相同的频率资源分配给地理上相距较远的地面蜂窝和卫星系统使用，通过一定的物理空间隔离实现干扰规避。如地面蜂窝基站周围标记“电子

围栏区域”，此区域内不允许卫星波束照射，进行两者的空间隔离，实现地面与卫星网络的互补覆盖。

3.3 无线技术

与地面网络不同，手机直连无线技术面临更多的挑战，需要对传输信道模型特征、链路预算，以及时频增强、HARQ 增强和波束管理增强等关键技术进行研究。

3.3.1 信道模型

天地一体通信传输距离远，空口链路损耗较大，较难满足建筑内通信需求，主要考虑室外环境。根据频段不同，将考虑几种用户环境：开放、农村、郊区、城市和密集的城市。

在 3GPP TR 38.811 研究报告中给出了非地面网络信道的频率和运动范围定义，即支持 0.5GHz 至 100GHz 频率范围，典型的频率包括 6GHz 以下频率和 Ka 频段，对于 Ka 频段，上行链路频率约为 30GHz，下行链路频率约为 20GHz；应对可进行卫星通信的飞行器，需支持 1000 公里/小时移动速率。

通常卫星轨道几百公里至几万公里高，与地面蜂窝通信信道相比，非地面网络信

道具有超大路径损耗、超高时延等特征，特别对于低轨卫星还存在超大频偏等特征。此外，相比地面信道，地空通信中波束几乎无角度扩散，且反射径相对较少。3GPP TR38.811 定义了 CDL 和 TDL 模型表征非地面网络空间链路。

3.3.2 链路预算

利用链路预算可分析天地一体网络空口环境上行/下行覆盖性能评估，得到地空通信环境下的链路性能。在手机直连卫星通信模式，影响链路性能的关键因素包含：

工作频率，影响传播损耗，随工作频率升高，传播损耗增大，链路性能变差。此外，不同频率受到大气影响（如雨衰）差异大，面向手机直连卫星通信时宜采用 Sub6GHz（如 L 或 S）频段。

卫星轨道，影响传播损耗，随着轨道高度升高，空间传播损耗增大，链路性能变差，面向手机直连卫星通信时宜采用低轨卫星。

卫星发射/接收，影响上下行接收能力，增大卫星天线口径是提升手机直连卫星通信链路性能的有效手段。

手机发射/接收，影响上下行接收能力，优化终端天线方案，可提升终端接收能力，但受限与手机终端尺寸，提升空间较小。

表 3-2 链路预算参数

SET1+Option2	DL			UL		
链路	LEO-600	LEO-1200	GEO	LEO-600	LEO-1200	GEO
频点/MHz	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00	2100.00

带宽/MHz	10.00	10.00	10.00	0.36	0.36	0.36
发射功率/dBm	44.00	50.00	48.00	23.00	23.00	23.00
发射天线增益/dB	30.00	30.00	51.00	0.00	0.00	0.00
EIRP/dBm	74.00	80.00	99.00	23.00	23.00	23.00
轨道高度/Km	600.00	1200.00	35768.00	600.00	1200.00	35768.00
路径损耗/dB	154.41	160.43	189.91	154.41	160.43	189.91
接收天线口功率/dBm	-85.81	-85.83	-96.31	-136.81	-142.83	-172.31
噪声系数/dB	7.00	7.00	7.00	4.00	4.00	4.00
G/T	-31.60	-31.60	-31.60	1.10	1.10	19.00
CNR	11.19	11.17	0.69	7.33	1.31	-10.28

如表 3-2，参考 3GPP TR38.821 卫星参数和信道指标，利用链路预算评估在 S 波段频率下，手机直连不同类型卫星时的链路性能。手机与低轨卫星直接通信具备可行性，理论上可支持语音、数据业务等，但手机直连静止轨道卫星通信时，链路质量较差。

3.3.3 关键技术

天地一体通信相对地面蜂窝网络覆盖具有超有时延、超高运动速度，以及超大链路损耗等特征，原有蜂窝空口无法兼容地空通信，需对无线链路性能增强。

◆ 时频增强

天地一体通信超远距离带来较大空口传输时延，此外，低轨卫星围绕地球超高速运动，引起较大频偏，对用户接入、链路性能造成较大的影响，时频补偿是天地一体通信需解决的重要问题。

3GPP R17 提出了增强方案，用户终端需具备 GNSS 能力，同时卫星广播自己的星历信息。这样可以计算用户到卫星的时延

及频率补偿。

时间同步，由于用户难以知道地面信关站位置，无法单方实现全链路时延的时间提前，协议引入公共定时提前量和参考点，根据 GNSS 获取的用户自身位置和卫星星历确定用户与卫星间的传输时延，再以公共定时提前量修正，即为用户需要补偿的定时提前，参考点到信关站部分的时延由网络侧补偿。

对于频偏补偿，用户终端利用 GNSS 获取自身的位置信息，同时网络侧通过网管获取卫星星历信息并广播给用户。根据星历信息可以对卫星的位置和速度进行估计，然后就可以计算用户到卫星的时延和频偏，并进行上行频率预补偿。对于卫星到地面信关站链路，由网络侧自行完成频率补偿。

◆ HARQ 增强

HARQ 即混合自动重传请求是一个蜂窝通信中重要功能，提升了链路自适应工作

模式下的链路可靠性。地面蜂窝网 HARQ 往返时间通常低于 10 毫秒，而天地一体地空通信环境因距离带来的传播时延较大，甚至高达上百毫秒，所以地空通信时 HARQ 过程时间较长，影响链路性能，目前主要有两种解决方案，一种是增加 HARQ 进程，补充 HARQ 往返时间过长造成的等待，该方案主要用于时延相对较短的低轨卫星通信；针对与 GEO 卫星通信时百毫秒以上的超长往返时延，可以采用禁用 HARQ 反馈流程方案避免停等，依赖更高层重传提升可靠性。

◆ 波束管理增强

现有的卫星通信系统大多使用固定的波束来覆盖。例如传统 GEO 通信卫星，铱星、OneWeb 等 LEO 通信星座等。但地球表面海洋、陆地地形多样，用户分布不均，传统固定波束覆盖资源利用率较低，此外，固定波束覆盖也难以满足天地一体网络融合共存时的天地网络间的干扰协调。采用灵活可调的非固定波束覆盖设计可精细化波束管理，如覆盖范围可变的点波束或者按需覆盖的跳波束方案等，优化卫星网络资源利用率。

◆ 宽窄波束设计

为了提高波束效率，可使用星载相控阵天线赋形技术，参考地面 5G 的天线赋形技术，将控制数据与业务数据分别承载在不同波束上，如宽波束负责窄带控制信令接入，窄波束用于业务数据收发，提升业务数据传输能力。此外，利用星载相控阵天线的赋形能力，也可以根据地面用户地

面用户分布、业务需求等实时调整覆盖波束，按需调整覆盖区域的波束增益，采用大半径波束广域覆盖卫星通信需求低的区域，集中波束覆盖卫星业务需求较高的区域。

◆ 跳波束设计

卫星波束是功率受限系统，面对不均匀的卫星用户分布，恒定波束覆盖造成大量的卫星功率浪费，可采用按需服务的跳波束方案提升卫星效率。利用星载相控阵少量点波束轮询，周期性扫描卫星需覆盖的全部波位，卫星功率可集中在少量点波束按需覆盖，减少功率浪费。跳波束的轮询模式可能会造成部分用户无法的到实时服务，卫星波束轮询和资源调度还需要深度结合，保证业务质量。

3.4 终端技术

终端是天地一体系统与用户连接的关键环节。随着天地一体应用的拓展，天地一体终端将呈现泛在化、多样化的特点。根据应用场景的不同，天地一体终端形态主要有三种：手持式如消费类智能手机、物联网终端及 VAST 终端（甚小口径终端）。消费类智能手机可进行数据业务及语音业务；物联网终端以低成本低功耗为特征，进行窄带数据连接；VAST 终端可作为卫星宽带接入节点提供一定范围内的通信如车载卫星通信、船载卫星通信、机载卫星通信。为实现卫星通信，终端除了支持 NTN 空口基本接入协议，还可在终端节能、天

线、AI 等方面进行增强。

◆ 终端节能

卫星通信的应用场景多为偏远地区，尤其是智能手机和物联网设备电池续航能力有限，对终端功耗极其敏感。低轨卫星通信涉及卫星超高速运动下的小区频繁切换，进一步增加了终端功耗。因此，终端节能技术研究对于用户体验意义重大。天地一体终端功耗优化可从硬件设计之初对整机硬件方案进行优化，通过提升电路集成度来降低整机功耗。在软件层面上，天地一体终端通信模块可以沿用地面蜂窝通信的常用功耗优化思路来实现终端节电，如非连续接收（DRX）、节电模式（PSM）、唤醒信号（WUS）或 RRM 测量放松。由于 R17 阶段 NTN 终端默认支持 GNSS，应考虑 GNSS 定位对终端功耗的影响，尤其在非连续卫星网络覆盖的场景下，包括改进长连接时间内的 GNSS 运行以及降低空闲时段的 GNSS 功耗。

◆ 天线优化

天线增强天线设计与用户体验直接相关。随着智能终端越来越轻薄化、小型化，留给天线设计的可用空间也在逐渐缩小，这也进一步影响了天线的性能。智能手机受设备体积的限制，通常采用线极化天线，天线增益小于 0dbi。要提升天线性能，除了传统的提升天线效率，还可以考虑使用圆极化天线来减少极化损失；或根据不同的手握场景进行动态调整天线参数；此外还可在天线方向性追踪能力等方面进行突

破。而对于 VAST 终端，由于不受天线体积的影响，可采用抛物面和相控阵天线实现定向增益，且可以实现 33dbm 以上的发射功率，因此能实现较高的通信性能。

发射机性能增强：发射功率的大小影响着卫星通信上行链路质量。目前 FDD 频段手机的最大发射功率为 23dbm，如研发更大发射功率的终端将会带来 PA 体积的增加，并且需要对手机天线、功放等关键器件进行较大的技术创新。需要关注的是，增大发射功率也会带来终端功耗的增加，同时也需要考虑对 SAR 值的影响。

总体来说，要在智能手机上做天线技术和发射功率的增强，对手机研发来说难度极大，也是终端厂家技术突破的重要方向。

◆ AI 增强

人工智能技术的加速发展正在逐渐改变终端用户体验。在天地一体场景下，终端的人工智能增强可以在以下方面展开探索：

1) 网络选择/切换：终端根据用户模型及网络性能，智能地选择可用的网络进行连接和切换，如 4G、5G、卫星通信等，以确保获得最佳的网络性能。

2) 智能网络加速：终端通过数据压缩、缓存和预取等技术来优化网络性能，提高数据传输速度和效率。

3) 智能电源管理：终端能够智能地管理电池，延长电池寿命，包括自动休眠、应用程序能源优化和屏幕亮度控制等。

4) 智能天线优化: AI 智能侦测用户手部使用习惯, 配合机器学习以及算法的不断优化, 可以更准确地侦测使用场景, 判断天线的使用状态, 动态调谐天线, 提升用户体验。

5) 其他: 智能感知、智能语音和图像识别、位置感知、自动更新、远程管理和自动连接其他智能设备等。

3.5 QoS 保障

星地异构网络存在拓扑高动态、星地能力高差异、资源强受限等特征, 难以保障低时延、高可靠、一致性的差异化网络服务, 需要从星地融合 QoS 流统一编排管理、星地融合 QoS 指标参考体系、星地融合 QoS 保障技术等方面探索星地异构联合 QoS 保障系统架构及关键技术, 建立灵活管控、按需适变、高效保障 QoS 保障方法。

◆ 星地融合 QoS 指标

随着星地异构网络高度融合发展, 为满足高差异性业务承载、一致性业务体验的需求, 星地异构网络需要提供端到端全局一致性 QoS 保障机制及 QoS 指标体系, 以保证业务传输及用户体验, 实现业务需求面向网络资源需求的准确描绘及映射。

长期以来卫星系统和地面移动通信系统具有独立网络架构和功能实体。由于两者承载业务类型差异, 卫星系统和地面移动通信系统具有独立的业务质量保障体系及指标, 如何合理描述端到端一致性 QoS 指标存在体系融合难题。同时, 星地异构

网络架构复杂、具有多层多域网络特性, 如何进行全局 QoS 指标定义并向多层多域网络分解、实现业务指标向网络资源映射存在极大挑战。

◆ 星地融合 QoS 流统一策略编排管理

星地异构网络具有星座拓扑高动态、卫星节点资源受限、星间链路异构等特征, 为星地融合 QoS 流统一策略编排管理带来了挑战。一方面在时间尺度上, 卫星节点的高速移动, 导致相对地面用户的天基资源类别、数量等随时间呈现高动态性; 另一方面在空间尺度上, 星间、星地链路跨度大, 物理资源的动态变化, 难以实时在虚拟资源池中实时更新, 进而影响控制器资源调度的精确性。

基于星地融合 QoS 流统一策略编排管理, 首先针对业务流进行流分类、流行为识别, 将流行为和流动作进行统一编排, 如流量统计、流量过滤、重标记等, 将流分类和流行为绑定起来, 形成完整的流策略编排。

◆ 星地融合 QoS 保障技术

星地融合网络中, 涉及到不同卫星、地面站和用户终端之间的通信, 需要进行跨系统星地融合 QoS 保障。跨星地系统融合 QoS 保障技术可实现:

1) 资源共享与调度: 跨星地系统的全面打通使得不同星座之间的资源可以进行共享和调度; 从而优化整体网络资源的利用效率, 提高整体性能;

2) QoS 协调与保证: 不同星座之间的

QoS 需求可能存在差异，并且星地融合网络需要统一的 QoS 协调机制来满足用户的服务质量要求。通过跨星地系统的全面打通，可以实现 QoS 参数的统一协调和调整，确保网络中各个星座之间的服务质量得以平衡，提升用户体验。

3.6 跨国业务实现

不同于地面蜂窝网络，卫星星座可实现全球组网，具备提供全球服务的能力。但卫星业务在海外的实现，受限于各国不同频率许可、运营许可和数据出境管理等政策，需获得当地政府卫星业务许可。卫星小区的覆盖大，可能跨越个国家 / 地区，难以通过卫星网络确定 UE 的可靠位置，甚至难以确定 UE 所在的国家，对网络接入限制、数据出境、计费 and 紧急呼叫及公共预警等服务上形成挑战。

3GPP 研究了通过 AMF 进行 UE 位置验证的方案，为 NTN 跨境服务等提供标准技术支持。在初始 PLMN 接入过程中进行 UE 位置验证，确定 UE 所处的国家，接入与 UE 所处国家相同的网络中，保障天地一体化网络提供适用于 UE 所处国家或地区监管要求的卫星网络服务。

04

4 总结与展望

天地一体是未来网络发展的重要目标，是移动通信和卫星通信融合发展的必然趋势，当前天地一体发展以网络融合和业务融合为主，随着技术的发展和需求的深化，未来将向网络、业务、终端、资源、管理等全面深度融合，地海空天全域覆盖的天地一体融合通信网络演进，广泛满足多种陆海应用和空间应用需求。

天地一体目前还处于较为初级的发展阶段，面临多方面的挑战，包括网络架构、频率资源、空口传输、终端能力等技术方面的问题和产业协同、运营挑战、产业链共同发展等产业方面的问题，还需要产业各方广泛动员，积极投入，尽快实现技术和产业双突破。面向未来，中国联通将携手产业合作伙伴，服务国家推进天地一体新基建战略大局，共同推动天地一体加速发展，体系化开展关键技术研究、标准化推进、科研环境构建、技术试验验证、国产化引领等方向布局，形成完备的天地一体技术体系和研发实力，构建真正意义上的立体全域覆盖的天地一体网络，为用户提供天基地基网络共享、随时随地任意接入的一体化通信体验，实现天地一体全面深入融合的远景目标。

《中国联通天地一体融合通信愿景白皮书》编写委员会

总策划：魏进武、周澄华、刘化雪

主编：周晶、王泽林、李福昌、谢鹰、张作凤、杨锦州、石玉龙

编委员会成员：

高一维、刘会、朱斌、崔航、黄娅、郝芸霞、熊雄、刘煜、赵欢、朱子园、丁志东、温锋、刘湘华、肖征荣、金明星

附录

更新记录

版本号	主要修订内容	更新日期
V1.0	分析天地一体发展需求和现状，制定中国联通天地一体融合通信愿景，分析关键技术问题	2023.10

略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
LEO	Low Earth Orbit	低轨道
MEO	Medium Earth Orbit	中轨道
GEO	Geostationary Earth Orbit	同步轨道
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划

ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准化协会
CCSA	China Communications Standards Association	中国标准化协会
WRC	World Radiocommunication Conferences	世界无线电大会
IMT	International Mobile Telecommunications	国际移动通信
NTN	Non-Terrestrial Networks	非地面网络
HARQ	Hybrid Automatic Repeat-reQuest	混合自动重传请求
DU	Distributed Unit	分布单元
UPF	User Plane Function	用户面功能
AMF	Authentication Management Function	认证管理功能
WUS	Wake Up Signal	唤醒信号
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
DRX	Discontinuous Reception	不连续接收
RRM	Radio Resource Management	无线资源管理
PA	Power Amplifier	功率放大器
SAR	Specific Absorption Ratio	比吸收率
QoS	Quality of Service	服务质量



中国联通
China unicom