



专题：卫星互联网

关于快速形成我国天地一体通信运营能力的思考

杨岭才

(中国电信集团卫星通信有限公司, 北京 100035)

摘要：天地一体通信网络是智能化综合性数字信息基础设施的必要组成部分，加快形成我国天地一体通信运营能力具有重要的现实意义。首先，分析了国内外天地一体通信能力研究现状以及距离产业应用的差距；然后，提出了一种基于枢纽港的天地云网融合能力体系，以及“业务融合、用户融合、终端融合、云网融合、全系统融合”的天地一体通信运营分阶段演进路线；最后，提出了天地一体通信运营能力形成需要重点突破的用户统一认证、多模多频智能终端、网络智能管理、资源统一编排调度等关键技术。

关键词：天地一体通信网络；云网融合；枢纽港；运营能力

中图分类号：TN92

文献标志码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022066

Thoughts on the rapid formation of China's space-ground integrated communication operation capability

YANG Lingcai

China Telecom Satellite Communications Co., Ltd., Beijing 100035, China

Abstract: The space-ground integrated communication network is an essential part of the intelligent and comprehensive digital information infrastructure. It is of great significance to accelerate the formation of China's space-ground integrated communication operation capability. Firstly, the domestic and overseas research status of the space-ground integrated communication capability, as well as the gap from industrial application was analyzed. Then, a space-ground cloud network integration capability system based on the hub port was proposed, and the phased evolution route of space-ground integrated communication operation of “business integration, user integration, terminal integration, cloud-network integration, and whole-system integration” was also proposed. Finally, the key technologies that need to be broken through were proposed in order to form the space-ground integrated communication operation ability, such as unified user authentication, multi-mode and multi-frequency intelligent terminal, network intelligent management, unified resource scheduling and so on.

Key words: space-ground integrated communication network, cloud-network integration, hub port, operation capability

0 引言

天地一体通信能力是深入贯彻总体国家安全

观、积极建设数字中国、全面落实网络强国的必然要求。2021年10月18日，习近平总书记在中央政治局第三十四次集体学习时强调，要加快建

专题策划人：孙智立，孟维晓，汪春霆

收稿日期：2022-03-07；修回日期：2022-04-11



设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施^[1]。《“十四五”国家信息化规划》中提出，要加快地面无线与卫星通信融合、太赫兹通信等关键技术研发^[2]。《“十四五”信息通信行业发展规划》中也提出，要推进卫星通信系统与地面信息通信系统深度融合，初步形成覆盖全球、天地一体的信息网络，为陆海空天各类用户提供全球信息网络服务^[3-4]。

本文立足运营网络与业务、服务经济社会发展，结合我国卫星、地面通信网络发展现状，提出基于枢纽港的天地一体通信网络架构，并据此系统规划天地一体通信运营能力发展路径，梳理其中需要解决的关键技术，从而为我国天地一体通信运营能力的快速形成提供建议，以期逐步实现天地一体通信网络的产业应用。

1 天地一体通信能力现状与瓶颈

天地一体通信网络以地面网络为依托、卫星通信网络为拓展，由地面网络和卫星通信网络相互融合而成。目前，地面移动通信 5G 系统、6G 系统都已考虑充分融合卫星通信，共同构建广域覆盖的天地一体通信网络，以满足用户无处不在的通信需求^[5]。国内外研究机构和学者对天地一体通信网络开展了大量的研究和探索，得到了很多有意义的成果，但当前天地一体通信网络整体上仍然处于起步阶段，距离产业化应用还有较大差距。

1.1 发展现状

国际上，国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）、第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）、欧洲电信标准学会（European Telecommunication Standards Institute, ETSI）、SaT5G 联盟等组织和相关单位已从系统架构、标准体系、演示验证等方面对卫星通信与 5G 融合的关键技术开展了研究，两者融合的标准制订工作也在稳步推进。

（1）ITU

针对卫星与地面 5G 融合，ITU 提出了中继站、小区回传、动中通、混合多播共 4 种场景，并对支持这些场景的关键技术进行了研究，包括智能路由支持、自适应流支持、网络功能虚拟化（network functions virtualization, NFV）/软件定义网络（software defined network, SDN）兼容等^[6]。针对面向 6G 的星地融合，ITU 重点关注卫星与地面网络空口设计的融合统一，相应的关键技术攻关已经开展，技术标准制订也在推进中^[7]。

（2）3GPP

3GPP 从 3GPP Release 14 (Rel-14) 开始研究卫星与地面 5G 融合的问题，旨在通过卫星与地面移动网络的优势互补实现更泛在的覆盖。其中，3GPP TR 38.913 提出了将卫星网络作为地面网络扩展的场景^[8]；3GPP TS 22.261 将卫星接入技术作为 5G 网络的基本接入技术之一，研究了 5G 网络系统必需的性能指标和基本功能要求^[9]。3GPP Release 15 (Rel-15) 非地面网络研究项目（NTN SI）研究了 NTN 部署场景和信道模型，发布了 3GPP TR 38.811，在引入新空口技术后对卫星网络的潜在应用进行了分析^[10]。3GPP Release 16 (Rel-16) NTN SI 提出了基于 5G 空口支持 NTN 的技术方案，开展了链路与系统级性能评估。3GPP Release 17 (Rel-17) 开展了 3 个 NTN 项目的标准化制订工作，包括 NR over NTN、IoT over NTN、5G ARCH_SAT，将完成第一个基于 5G 的卫星弯管透明转发技术标准^[11-13]。2021 年年底，3GPP Release 18 (Rel-18) 首批立项 27 个项目，其中之一便是继续开展天地一体增强研究，利用卫星的广覆盖特性辅助地面通信，3GPP 在 3GPP Rel-17 基础上进一步研究卫星通信和地面通信之间的移动性、业务连续性增强和高频段部署等问题。3GPP 标准演进计划如图 1 所示。

（3）ETSI

ETSI 提出了卫星网络和地面网络融合的相关标准。ETSI TR 103.124 明确了卫星网络和地面网

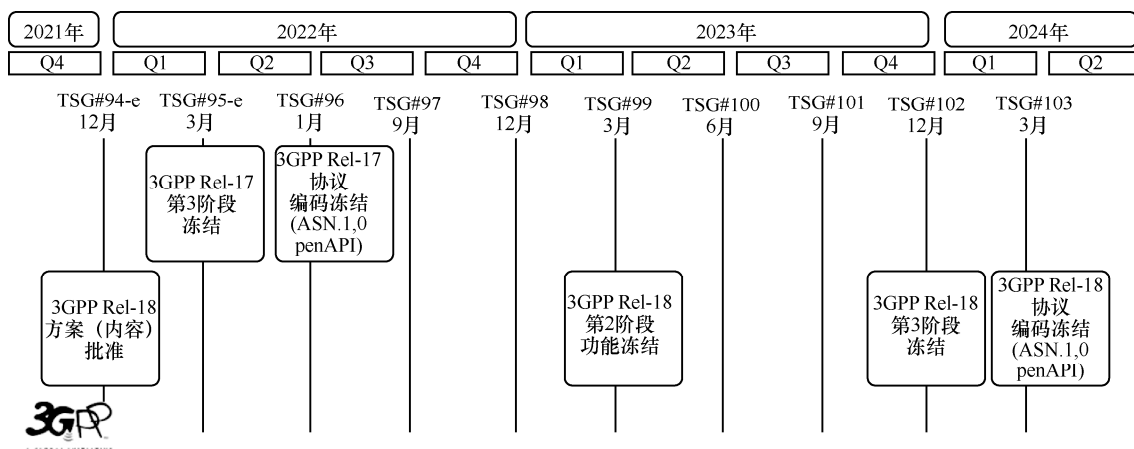


图1 3GPP 标准演进计划

络融合应用的场景^[14]。ETSI TR 103.263 确定了卫星通信引入认知无线电技术时应遵守的规则^[15]。ETSI TR 103.351 解决了偏远地区利用卫星网络回传时的无线接入流量分配问题^[16]。ETSI TS 102.357 则规范了卫星网络和地面网络共同提供宽带服务时的空中物理接口^[17]。

(4) SaT5G 联盟

SaT5G 联盟是由 SES、Avanti Communications、British Telecom、Thales Alenia Space、University of Surrey 等 16 家企业及研究机构组成的联盟,主要研究将卫星集成至 5G 网络的可行性方案,重点针对星地 5G 融合的网络架构研究、关键技术突破、实验室环境测试验证、标准制定等多个方面开展了工作。此外, SaT5G 项目利用由 SDN、NFV、移动边缘计算 (mobile edge computing, MEC) 和地球静止轨道 (geostationary earth orbit, GEO) 卫星组成的 Pre-5G 测试平台,演示了卫星与 3GPP 网络架构的融合,以及卫星回程功能、多媒体内容边缘分发功能等^[18]。

(5) 其他

除了上述组织,还有其他组织也在推动卫星和地面网络的融合,包括欧洲邮电管理委员会 (Confederation of European Posts and Telecommunications, CEPT)、电子通信委员会 (Electronic Communications Committee, ECC)、数字视频广

播 (Digital Video Broadcast, DVB) 组织和空间数据系统协商委员会 (Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS) 等^[7]。

我国相关单位也开展了一系列天地一体通信网络研究和试验工作。2016 年,科技部启动天地一体化信息网络重大项目研制,该项目同时列入国家“十三五”规划纲要以及《“十三五”国家科技创新规划》,并于 2019 年通过“天象”试验卫星,在轨验证了地面 5G 的 SDN 等关键技术^[18]。2019 年,中国通信标准化协会成立了航天通信技术工作委员会,开展星地一体化的研究工作。2021 年,中国卫通集团股份有限公司联合中国信息通信研究院开展了 5G 信号体制在 Ka 高通量卫星中的传输试验,银河航天与中国信息通信研究院联合开展了基于 5G 信号体制的低轨卫星星座技术体制试验,验证了卫星与 5G 在通信体制方面融合的可能性。此外,北京邮电大学联合运营商、设备研制单位和高校共同成立“天算联盟”,拟通过“天算星座”开展星载 5G 核心网、云原生卫星计算平台和星地组网等试验。

1.2 能力瓶颈

由于技术和市场等因素,过往数十年,地面通信系统和卫星系统按照各自的使用场景和网络特点,采用不同的系统设计、技术体制和运营模式,形成了相对独立的发展路径,这客观上决定



了建设、运营天地一体通信网络的复杂性。虽然国内外开展了大量的星地融合研究，但距离具备运营能力还有较大差距。

(1) 卫星系统的异构性决定了其相互融合的复杂性

长期以来，各个卫星通信系统分别发展，形成了“烟囱式”结构，根据功能属性、应用模式、轨道高度、工作频率、服务带宽和转发器类型等不同，采用不同的技术体系架构，系统之间相互独立，所属地面网络和终端设备不能互联互通，所属用户终端不能在不同的卫星系统间漫游迁徙、交互通信。以网络协议为例，对于基于透明转发器的卫星通信系统，发展之初针对物理层与链路层采用专用协议，随着业务 IP 化发展，逐渐形成了适应空间特点的基于 TCP/IP 的演进协议体系；而对于具备星上处理转发功能的卫星通信系统，则增加了与星载交换、卫星网络路由优化等相关的协议内容^[19]。因此，不同卫星通信网络的异构性决定了其相互融合的复杂性，实现完全一体融合必须在论证阶段体系设计时统筹考虑，对于已经建成运营的系统，只能从地面网络侧互联、终端侧聚合等角度研究具体的融合方法。

(2) 卫星通信网络与地面移动通信网络技术标准化程度的差异性决定了天地一体网络融合的复杂性

长期以来，卫星通信和地面移动通信相对隔离、分别发展，二者由于属性特点的差异采用不同的技术体制、协议体系，导致系统间独立封闭、信息交互融通能力差、发展程度不平衡^[20]。目前，地面移动通信网络已经形成了完备、规范的通信体制与协议体系，而卫星通信网络则差距较大。以卫星通信与 5G 网络融合为例，目前的 5G 商用网络以 3GPP Rel-15/Rel-16 版本为主，并不支持与卫星通信的融合，后续 3GPP Rel-17 版本也仅将卫星作为地面基站功能的延伸，工作在透明转发模式，或作为承载网提供回传服务，卫星通信网络和 5G 系统之间仍相对独立，远未达到系统层

面深度融合的要求。

(3) 卫星通信网络与地面移动通信网络相对分离的现实决定了天地一体通信网络运营、业务开通的复杂性

卫星通信网络之间、卫星通信网络与地面移动通信网络之间，网络资源管理相互独立，业务系统、支撑系统、终端方案和接口规范等各不相同，卡号、账号统一认证鉴权困难，端到端业务难以保证敏捷开通、柔性提供，远未达到系统层面深度融合、为用户提供无感的一致服务的要求^[21]。

2 基于枢纽港的天地一体通信网络

基于各类卫星均需要接入调用地面云网资源的现实需要，以及 B5G、6G 时代卫星作为中继和 MEC 节点的技术、业务演进趋势，本文提出一种基于枢纽港的天地一体通信网络架构，并据此实现天地一体通信业务、用户、终端和云网，最终实现全系统融合的发展路径。

2.1 系统组成

基于枢纽港的天地一体通信网络架构如图 2 所示，由空间段、地面段、用户段共同构建“天星、地网、枢纽港、云资源池”的天地云网融合能力体系，提供广域宽带接入、广域时敏连接、广域海量物联和广域高精度定位的服务。其中，枢纽港作为连接卫星云网与地面云网的关键，是在卫星网络接入地面网络地球站的基础上顺应天基计算、云网融合等技术发展趋势配套算力建设升级形成的，是打通因“天星”“地网”分离割裂而制约“天地一体”能力的关键设施。

(1) 空间段

空间段提供卫星资源池功能，整合自有、租用的各类 GEO、中地球轨道（medium earth orbit, MEO）、低地球轨道（low earth orbit, LEO）通信卫星资源形成资源池并对其进行统一管理，从而为陆海空天各类用户使用提供资源保障。卫星资源池采用 L、S、C、Ku、Ka 等频谱资源，规模可

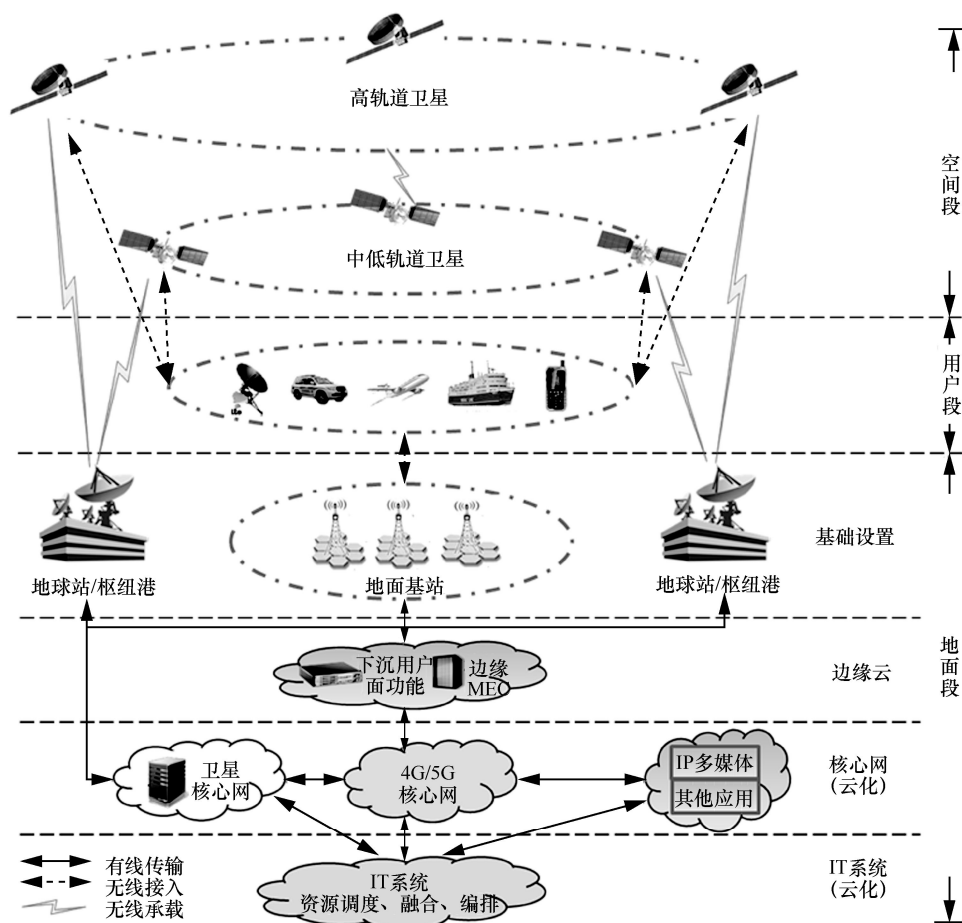


图2 基于枢纽港的天地一体通信网络架构

根据需要扩充或缩减，并通过多点波束天线对地覆盖提供移动或宽带服务。

卫星资源池不仅作为中继传输节点完成信号处理和业务、信令的空间路由转发；还可以随着存储、计算等卫星载荷技术提升以及星际互联发展，根据需要成为具备计算、存储等功能的边缘云节点；并能够在轨构建可重构算力单元，通过人工智能（artificial intelligence, AI）和多任务处理能力实现网络架构的智能自主动态演进和智能化管控，提升网络和算力的利用效率。卫星系统、地面通信和云计算系统将集成为星地算力网络，促进空天地海通信网络全面数字化^[22-23]。

（2）地面段

地面段由枢纽港、地球站等基础设施，以及核心网、IT系统、边缘云等共同组成。

枢纽港功能示意图如图3所示，对现有地球站升级形成连接天地云网、实现异构网络互联互通的能力，其主要能力包括以下几个。

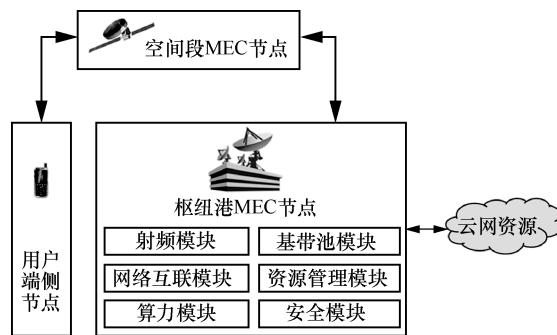


图3 枢纽港功能示意图

- MEC 算力处理：将云侧丰富的计算存储资源下沉至距离用户较近的网络边缘，使用户能够在边缘侧完成计算存储任务，降低



用户业务处理时延^[24]。

- 多频段信号收发：集成多频段的射频模块以完成与相应频段用户终端的信号收发。
- 多体制基带处理：采用基带池的方式完成各种技术体制的调制解调、加密/解密、交换、多路复用等功能。
- 网络互联互通：完成不同卫星网络之间及卫星网络与地面网络之间的协议转换、路由交换、信息交换等功能。
- 一体化资源管理：基于一致的资源调度协议实现卫星通信资源的一体化调度、编排、发送等。

核心网采用一体化方式部署于云计算平台上，通过天基或地基的不同途径接入用户的入网申请、认证、鉴权、业务寻呼、呼叫建立、无线承载建立和呼叫拆除等信令流程，并实现与其他网络的互联，处理网络边界上的信令交互、业务路由、业务承载建立和管理等；IT 系统也部署于云计算平台上，主要部署完成网络资源管理、用户业务申请受理、用户和订单管理和业务计费运营支撑功能。

（3）用户段

用户段包括陆、海、空、天等多种类型用户终端，通过集成多种频段、多种波形的天线和射频，在系统的统一管理下，实现不同卫星网络之间、星地网络之间的自动切换和漫游。

2.2 能力特点

基于枢纽港的天地一体通信网络能够实现一体化的供给、运营和服务，具有如下天地云网能力^[25]。

（1）陆海空天泛在连接

使用枢纽港连接卫星与地面云网，能够全面增强和拓展 5G 的增强型移动宽带（enhanced mobile broadband, eMBB）、超可靠低时延通信（ultra-reliable and low-latency communication, URLLC）、大连接物联网（massive machine-type

communication, mMTC）三大应用场景，提升网络连接的性能质量与覆盖范围，具备泛在立体覆盖的独特优势。

（2）能力融通双边赋能

既可赋能上游卫星网络接入、智能调用地面云网，又可赋能下游融合卫星和地面云网资源、DICT 的各类产品应用，面向最终用户提供基于天地云网的广域立体、随遇接入、智能敏捷的应用。

（3）云网边端高效协同

对天地云网资源统一定义、封装和编排，实现云侧、边侧和终端侧资源的高效分布和协同配合，支撑业务系统的实时、按需和动态部署，以及天地一体业务的统一受理、交付和呈现。

（4）数据算力资源融合

将边缘计算与卫星计算平台融合，使得卫星在轨可同时调用边缘和中心云资源，实现天地云网多层级算力的全域感知、统一管控调度和一致质量保障。

（5）天地一体智能内生

利用 AI 技术实现天地云网端到端的自主检测、自主决策和自主优化，并针对海量物联、广域覆盖等场景进行适应性改造，构建极简智能网络，提供广域泛在的智能服务。

（6）天星地网安全内生

聚合卫星网络与地面网络的安全协议与安全机制，构建全面、可靠和一体化的天地云网专属安全体系，实现自主驱动的安全防护力。

3 天地一体通信运营能力发展思路

考虑天地一体通信网络的复杂性，天地一体通信运营能力的形成不能一蹴而就，需要立足卫星、地面通信网络实际，在搞好体系设计的基础上分阶段逐步实现。基于上述天地一体通信网络架构，可按照“业务融合、用户融合、终端融合、云网融合、全系统融合”的演进路线图，推进天

地一体通信运营能力的发展^[26-27]。

(1) 业务融合

将各类通信卫星各自分离的传输资源统一整合为卫星通信资源池，并充分发挥卫星通信网络作为地面通信网络的补充、延伸作用，大力拓展卫星通信在全域感知、应急保障通信、立体化移动通信、偏远地区公众业务等应用场景及大时空尺度下的通信服务等应用，实现卫星和地面通信网络挖潜补全、提质增效，提供全区域、全维度和全业务的泛在服务。

(2) 用户融合

用户融合示意图如图 4 所示，使用同一用户身份（码号）提供服务，打通卫星、地面通信网络统一签约、鉴权、计费的运营通道，按需选择卫星或地面通信网络，实现用户不换卡、不换号的方便接入，并为天地一体核心网架构、业务支撑系统设计及终端和号卡规范制定、用户管理等积累经验。

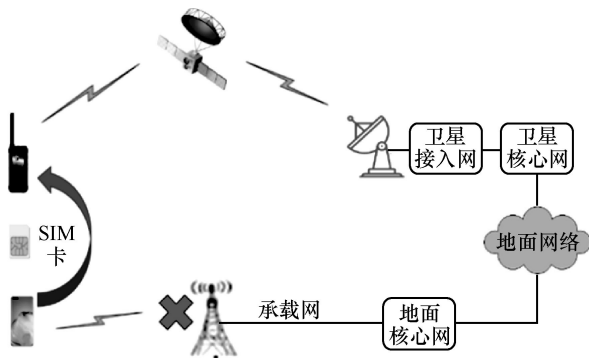


图 4 用户融合示意图

(3) 终端融合

终端融合示意图如图 5 所示，按照芯片化、多模化、智能化的发展思路，突破芯片一体化设计、高性能射频与天线、小尺寸低功耗快响应相控阵天线等关键技术，研制多模多频用户终端，实现不同频段之间、不同卫星之间及卫星通信与地面通信网络之间的快速切换，逐步实现用户终端的通用接入能力，提高天地一体通信网络使用的便捷性、可靠性和综合效能。

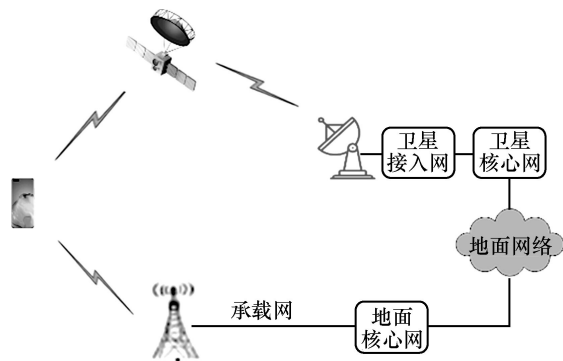


图 5 终端融合示意图

(4) 云网融合

以构建异构卫星和地面网络“一张网”为目标，升级地球站为枢纽港，实现统一网管、业务需求自动精准规划、网络资源高效智能一体化动态管理、移动边缘计算等关键能力，支撑天星、地网资源统一运管，在此基础上，结合用户业务需求和资源池使用情况推动各网络间的互联互通，确保用户在不同系统间的灵活接入、无感漫游。

(5) 全系统融合

基于上述不同阶段的融合成果，结合 B5G、6G 天地一体通信网络标准制定、试验验证的进展，进一步优化系统网络架构，逐步形成“天星、地网、枢纽港、云资源池”的天地云网融合能力体系，既可以无缝连接现有网络、满足现实的资源综合应用效益最大化需求，又可以引领未来通信网络的迭代发展。

上述路线图中，业务融合是天地一体通信网络发展的起步阶段，是浅层次的融合；用户融合、终端融合、云网融合是天地一体通信网络发展的深化阶段，是深层次的融合；全系统融合则是天地一体通信网络发展的最终形态，该阶段天地一体通信网络步入规范化、标准化建设发展轨迹。

4 需要解决的关键技术

天地一体通信运营能力形成需要重点突破天地一体用户统一认证、多模多频智能终端、网络智能管理、资源统一编排调度等关键技术。



(1) 天地一体用户统一认证技术

卫星通信网络和地面通信网络的业务系统、支撑系统、终端方案和接口规范等各不相同，所属用户无法实现相互认证，因此，需要研究用户使用异构网络时的全球用户识别卡（universal subscriber identity module, USIM）鉴权信息正确读取方案、鉴权和入网注册流程、核心网信令对接方式、签约和计费统一实施方案等，从而打通卫星、地面通信网络的统一运营通道，为用户提供无感的一致服务。

(2) 天地一体多模多频智能终端技术

由于卫星资源池的轨道特性不同，且其自身及和地面通信网络采用不同的频谱资源、体制标准，因此，使用不同的接入资源时，用户终端的芯片、射频设备、天线的功能和性能要求均不同。使用同一用户终端接入天地一体通信网络时，需要研究多制式终端芯片一体设计、智能接入路由选择、多频段自适应射频与天线设计等关键技术，并针对相控阵天线这一主要天线形态突破毫米波工艺偏差控制、宽带低噪声放大器、芯片低成本封装等关键技术，最终实现终端的小型化、低功耗、快响应。

(3) 天地一体网络智能管理技术

天地一体通信网络采用统一的网络架构，即在统一的逻辑架构、实现架构下将卫星通信和地面通信进行一体化设计，网络功能可柔性分割和智能重构，以适应卫星载荷资源有限和业务需求动态变化的特点，因此，需要研究天地一体网络智能管理技术，主要包括 3 个方面：移动性管理技术，针对接入低轨卫星导致频繁波束切换的现实问题，研究星地融合统一的移动性管理方案及切换策略，简化切换流程，降低信令开销，提高切换可靠性；高效组网机制，针对多重覆盖下的干扰问题，研究多星协作或星地协作下的高效组网机制，提升系统能量和频谱效率，同时研究卫星承载地面基站及核心网功能情况下的网络管理

方式，以缩短系统调度时延；智能化管理技术，针对天地一体通信网络节点多、拓扑时变、多层次异构的特点，研究网络拓扑结构智能规划技术，实现网络拓扑结构的按需部署和优化，研究路由策略智能决策技术，实现网络环境自主感知学习，提升端到端服务质量。

(4) 天地一体资源统一编排调度技术

资源统一编排调度是构建天地一体通信网络的重要技术保障，通过对系统资源统一调度、控制，能够实现网络全局优化和资源绿色集约。因此，需要研究统一的资源管理协议，根据用户业务需求和资源池的资源使用情况，为用户提供按需的通信服务；研究网络资源智能调度技术，根据忙闲分布、覆盖分布和容量分布等不同情况进行统筹调度，实现网络和算力的高效利用；研究一体化资源调度系统部署方案，构建统一的资源管理网，承载资源管理信息，提升资源管理效率。

5 结束语

天地一体通信网络是我国信息通信网络实现全球覆盖、随遇接入、按需服务、安全可信的必由之路，尽快形成我国天地一体通信运营能力具有重要的现实意义。本文立足我国通信网络现状，从运营角度提出“天星、地网、枢纽港、云资源池”的天地云网融合能力体系及分阶段演进路线图，不仅能够快速突破“天星”“地网”分离割裂的现状，而且通过关键技术的突破，能够实现 6G 系统相关研究内容的超前布局和验证，有效推进 B5G、6G 技术演进发展。

参考文献：

- [1] 新华社. 习近平在中共中央政治局第三十四次集体学习时强调把握数字经济发展趋势和规律推动我国数字经济健康发展[EB]. 2021.
The Xinhua News Agency. At the 34th group study session of the Political Bureau of the CPC Central Committee, Xi stressed grasping the development trend and laws of the digital economy to promote the healthy development of China's digital econo-

- my[EB]. 2021.
- [2] 中央网络安全和信息化委员会. “十四五”国家信息化规划[R]. 2021.
The Central Cyberspace Affairs Commission. National informatization plan in the 14th five year plan[R]. 2021.
 - [3] 工业和信息化部. “十四五”信息通信行业发展规划[R]. 2021.
Ministry of industry and Information Technology. Development plan of information and communication industry in the 14th five year plan[R]. 2021.
 - [4] 党博文. 收购海事卫星组织折射什么?[N]. 通信产业报, 2021(5): 23.
DANG B W. What does the inmarsat acquisition reflect? [N]. Communications Weekly, 2021(5): 23.
 - [5] 赵亚军, 郁光辉, 徐汉青. 6G 移动通信网络: 愿景、挑战与关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 49(8): 963-987.
ZHAO Y J, YU G H, XU H Q. 6G mobile communication networks: vision, challenges, and key technologies[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2019, 49(8): 963-987.
 - [6] 汪春霆, 李宁, 翟立君, 等. 卫星通信与地面 5G 的融合初探(一)[J]. 卫星与网络, 2018(9): 14-21.
WANG C T, LI N, ZHAI L J, et al. On the integration of satellite communication and ground 5G(I)[J]. Satellite and Network, 2018(9): 14-21.
 - [7] 沈学民, 承楠, 周海波, 等. 空天地一体化网络技术: 探索与展望[J]. 物联网学报, 2020, 4(3): 3-19.
SHEN X M, CHENG N, ZHOU H B, et al. Space-air-ground integrated networks: review and prospect[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2020, 4(3): 3-19.
 - [8] 3GPP. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies: TR 38.913 V15.0.0[S]. 2018.
 - [9] 3GPP. Service requirements for the 5G system: TS 22.261 V17.2.0[S]. 2020.
 - [10] 3GPP. Study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks: TR 38.811 V15.2.0[S]. 2019.
 - [11] 汪春霆, 翟立君, 徐晓帆. 天地一体化信息网络发展与展望[J]. 无线电通信技术, 2020, 46(5): 493-504.
WANG C T, ZHAI L J, XU X F. Development and prospects of space-terrestrial integrated information network[J]. Radio Communications Technology, 2020, 46(5): 493-504.
 - [12] 王胡成, 徐晖, 孙韶辉. 融合卫星通信的 5G 网络技术研究[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(5): 535-542.
WANG H C, XU H, SUN S H. Research of network technologies of 5G integrating satellite communication[J]. Radio Communications Technology, 2021, 47(5): 535-542.
 - [13] 孙韶辉, 戴翠琴, 徐晖, 等. 面向 6G 的星地融合一体化组网研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2021, 33(6): 891-901.
SUN S H, DAI C Q, XU H, et al. Survey on satellite-terrestrial integration networking towards 6G[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2021, 33(6): 891-901.
 - [14] ETSI. Satellite earth stations and systems (SES); combined satellite and terrestrial networks scenarios: TR 103.124 V1.1.1[S]. 2013.
 - [15] ETSI. System reference document (SRdoc); cognitive radio techniques for satellite communications operating in Ka band: TR 103.263 V1.2.1[S]. 2016.
 - [16] ETSI. Satellite earth stations and systems (SES); multi-link routing scheme in hybrid access network with heterogeneous links: TR 103.351 V1.1.1[S]. 2017.
 - [17] ETSI. Satellite earth stations and systems (SES); broadband satellite multimedia (BSM); common air interface specification; satellite independent service access point (SI-SAP) interface: primitives: TS 102.357 V1.2.1[S]. 2015.
 - [18] 郑重, 缪中宇, 郑寒雨, 等. 卫星通信与地面 5G 融合发展路线探讨[J]. 航天器工程, 2021, 30(5): 115-124.
ZHENG Z, MIAO Z Y, ZHENG H Y, et al. Discussion of integrated development roadmap for satellite communications and ground 5G[J]. Spacecraft Engineering, 2021, 30(5): 115-124.
 - [19] 张亚生, 孙晨华, 谷聚娟. 天地一体化网络协议研究[J]. 无线电工程, 2018, 48(3): 178-182.
ZHANG Y S, SUN C H, GU J J. Research on protocols of space-ground integrated network[J]. Radio Engineering, 2018, 48(3): 178-182.
 - [20] 孙晨华, 庞策. 低轨卫星互联网体系和技术体制研究发展路线思考[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(5): 521-527.
SUN C H, PANG C. Thoughts on the research and development route of the LEO satellite Internet system and technology system[J]. Radio Communications Technology, 2021, 47(5): 521-527.
 - [21] 姜华. 通信运营商在数字经济发展中的角色与担当初探[J]. 江苏通信, 2021, 37(6): 124-126.
JIANG H. The role of communication operators in the development of digital economy[J]. Jiangsu Communication, 2021, 37(6): 124-126.
 - [22] 唐清清, 李斌. 面向空天地一体化网络的移动边缘计算技术[J]. 无线电通信技术, 2021, 47(1): 27-35.
TANG Q Q, LI B. Overview of mobile edge computing in space-air-ground integrated network[J]. Radio Communications Technology, 2021, 47(1): 27-35.
 - [23] 贺晓赫, 侯绩玲, 梁旭文. 基于 SDN/NFV 的星地融合网络切片[J]. 移动通信, 2020, 44(9): 34-39.
HE X H, HOU H L, LIANG X W. Satellite-terrestrial integrated network slicing based on SDN/NFV[J]. Mobile Communications, 2020, 44(9): 34-39.
 - [24] 张玉迪. 移动卫星通信网络边缘计算架构研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
ZHANG Y D. Research on edge computing architecture of mobile satellite communication network[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2020.



- [25] 柯瑞文. 立足科技自立自强, 全面推进云网融合[J]. 中国产经, 2022(3): 62-65.

KE R W. Based on self-reliance in science and technology, comprehensively promote the integration of cloud network[J]. Chinese Industry and Economy, 2022(3): 62-65.

- [26] 汪春霆, 李宁, 翟立君, 等. 卫星通信与地面 5G 的融合初探(二)[J]. 卫星与网络, 2018(11): 22-26, 28.

WANG C T, LI N, ZHAI L J, et al. On the integration of satellite communication and ground 5G (II)[J]. Satellite and Network, 2018(11): 22-26, 28.

- [27] 汪春霆, 卢宁宁, 翟立君, 等. 卫星通信与地面 5G 融合技术初探(三)[J]. 卫星与网络, 2019(3): 30-35.

WANG C T, LU N N, ZHAI L J, et al. On the integration of sa-

tellite communication and ground 5G (III)[J]. Satellite and Network, 2019(3): 30-35.

[作者简介]



杨岭才（1975—），男，博士，中国电信集团卫星通信有限公司高级经济师、总经理，长期从事通信运营管理、市场经营组织、产品应用创新等工作。