



算网基础设施研究报告

(2022 年)

算网融合产业及标准推进委员会

2022年12月

版权声明

本白皮书版权属于算网融合产业及标准推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：算网融合产业及标准推进委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



参与编写单位

(排名不分先后)

中国信息通信研究院、浪潮通信技术有限公司、浙江省新型互联网交换中心有限责任公司、浪潮通信信息系统有限公司、广东省云桥通网络科技有限公司、中盈优创资讯科技有限公司、山东省计算中心(国家超级计算济南中心)、上海缔安科技股份有限公司、迈普通信技术股份有限公司、上海有孚网络股份有限公司、联智科技(北京)有限公司、中国科学院计算机网络信息中心、安徽省大数据中心、中国电信股份有限公司研究院、奇安信科技集团股份有限公司、中国科学院声学研究所

主要撰稿人

(排名不分先后)

穆域博、韩淑君、张寒月、王紫程、高娴、武帅、张士聪、顾晨辉、程鸿柳、初宇飞、李泉、肖红梅、王黎、宋刚、何峻、蔡旭晖、张玮、谭立状、刘国正、陈炬、田昊、尤佳莉、刘玉、董琴、王钦雅、臧云峰、谷峰、闫钢、付鸿雁、李俊、申罕骥、吴海博、刘扬、王巍、李华楠、李鑫、王茜、赵福辰

前 言

近年来，随着云计算、高性能计算、人工智能等新型信息技术快速发展，传统产业与新型技术加速融合，“计算”+“网络”的融合型基础设施已经成为智能社会不可或缺的关键组成部分。

算网基础设施是推动国家数字化转型的重要力量。2022年，国家“东数西算”工程八大枢纽节点陆续进入建设实施阶段，提高了产业界对算网基础设施的关注。当前，算网基础设施成为信息通信产业发展的新锚点。

为规范算网基础设施建设和发展，本白皮书从算网基础设施的概念内涵、参考架构、关键技术、应用场景等层次逐一展开分析，提炼产业发展现状，归纳产业生态结构，最后给出发展算网基础设施的挑战与建议。

当然，白皮书仍然存在诸多不足，恳请各界批评指正。

目 录

一、算网基础设施概述	1
(一) 定义与内涵	1
(二) 主要特征	2
(三) 顶层设计与政策布局	4
二、算网基础设施体系架构	6
(一) 参考架构	6
(二) 关键技术体系	11
(三) 发展路径	14
三、算网基础设施产业生态发展	17
(一) 产业生态参与方	17
(二) 典型应用场景	17
四、挑战和建议	22
(一) 挑战	22
(二) 建议	23

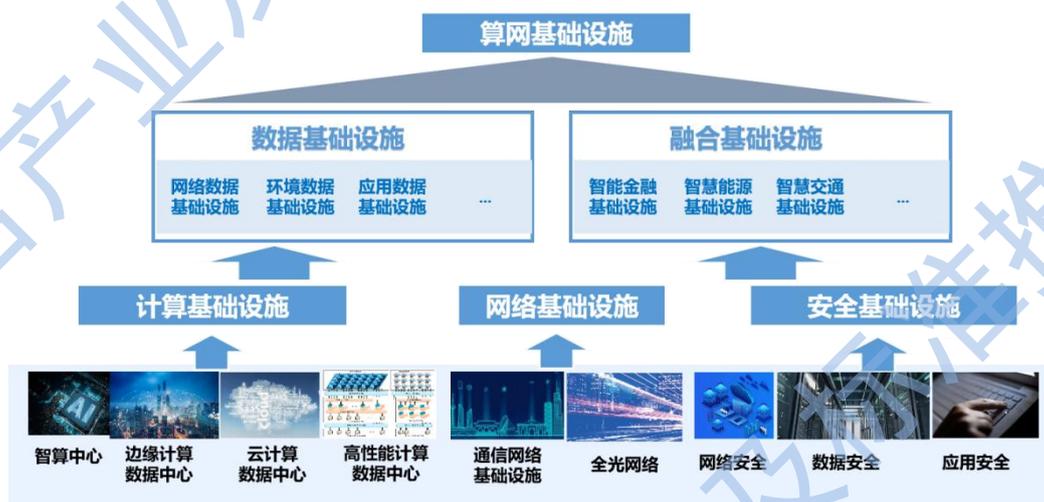
图 目 录

图 1 算网融合基础设施架构图	1
图 2 算网基础设施建设地方政策	6
图 3 算网基础设施关键技术体系	12
图 4 算网基础设施发展路径	15

一、算网基础设施概述

(一) 定义与内涵

算网基础设施以云计算数据中心、智能计算中心、高性能计算园区等算力设施为支点，依托5G、物联网、工业互联网、卫星互联网等网络设施，融合人工智能、大数据、零信任等新技术，实现海量数据的安全流通、处理及存储，支撑政府、教育、医疗、交通及垂直行业新场景新应用，助力数字经济升级转型，是一种超融合的信息基础设施的典型实现。



来源：中国信息通信研究院

图 1 算网融合基础设施架构图

算网基础设施包含了计算基础设施、网络基础设施、安全基础设施、数据基础设施以及融合基础设施。其中，计算基础设施、网络基础设施以及安全基础设施是基础底座，数据基础设施和融合基础设施则是赋能智能场景和行业应用的能力引擎。

（二）主要特征

面向“大连接、高算力、强安全”的数字发展需求，算网基础设施继承了新型信息基础设施基础性、通用性、公共性的特征，同时赋能智慧制造、智慧金融、智慧交通等智能化应用场景新的服务模式，助力各行各业数字化升级。

算网基础设施具有以下四个典型特征：

● 融合

算网基础设施将计算、网络、数据等多种资源要素进行融合，包括硬件融合、网络融合、计算融合、应用数据融合。

硬件融合：网络传输数据时，利用网卡、交换机、路由器等网络传输设备实现数据处理和简单的切片计算，有效减少数据往返时延。以智能物流为例，物流公司实时采集监控货物的位置和状态、车辆的位置和状况，为了实现实时的监控和预警服务，可以使用硬件融合技术，如将网络交换机和路由器上集成DPU，可以实现数据处理和传输的并行，减少传输和处理时间。

网络融合：以光纤网络为基石，IP网络为底座，结合5G行业网络、卫星传送技术、云网络及网络切片等网络技术能力，构建融合统一的网络能力开放体系，为行业用户提供敏捷弹性的端到端的按需网络服务。

计算融合：结合高性能计算、云计算、边缘计算及端计算等多种计算范式，并通过对物理设备的差异性、异构性的抽象与屏蔽，为垂直行业用户提供统一的算力资源获取方式，实现以服务为中心的算网业务托管和计算结果交付的新算力供给模式。

应用数据融合：将多种数据资源整合起来，提供更多元化和高质量的数据资源，通过数据源融合、数据处理融合、数据服务融合及数据安全融合，实现数据资源的共享、优化和增值，提高数据的利用价值和效率，推动智慧金融、智慧交通、智慧医疗等行业数字化转型。

- **协同**

算网基础设施要实现**计算、通信及应用**多个层面的协同。在计算层面基于分布式计算、微服务、无服务器计算等新兴计算模式提供高可靠、高可用且易用的计算平台，使能云边端算力协同应用的开发、运营及维护，助力分布式计算应用生态的发展。在网络层面基于统一的网络能力开放体系，开放多种标准化的网络服务API，帮助应用开发方构建ICT融合业务应用。在计算与网络协同方面，则通过算力网络、IPv6+等新一代网络协议提供计算业务与网络业务的协同优化和统一供给。

算网协同代表着传统集中算力资源进一步下沉到分布式的边缘计算场景中，是一种面向泛在算力需求场景的算力服务解决方案。在算网协同体系下，网络不再是一种单纯的云计算联接服务，而是等同于一种算力资源服务。

- **智能**

算网基础设施通过融合协同的控制及管理平面，实现对计算及网络要素的统一监控及调度管理，也为智能分析和智能决策提供了基础。通过引入大数据、人工智能、机器学习等技术，对算网各项配置参数及资源调度进行深度优化决策，可以进一步提高算网基础设施的业务性能及运行效率，提供高效、稳定、安全和绿色节能的算网服务，高效、稳定和安全，为行业数字化转型和智能化发展提供有力支撑。

算网基础设施建设是我国智能社会发展的重要方向，小到生活中的每一次人脸识别、视频播放，大到引力波发现、天气预测、高端制造、金融发展等，算网基础设施在国家治理、社会民生、传统产业升级改造、国内国际市场拓展等更多领域发挥重要力量。

● 安全

随着新兴应用的不断诞生，传统的安全技术已经不足以支撑新兴技术的安全威胁，算网基础设施结合零信任安全技术、区块链溯源特性、以及安全即服务等新型的安全技术，实现对环境、应用以及基础网络数据的安全保障，构建新型算网基础设施安全架构，打造算网基础设施一体化安全服务体系。

数据安全：采用以隐私计算为代表的安全技术，从底层硬件、基础层、算法应用层部署，在保证原始数据安全和隐私性的同时，完成对数据的计算和分析任务。

应用安全：算网应用安全采用以区块链为代表的安全技术，有效提高系统整体的安全防护能力，实现算力交易数据的安全和可信管理，保证算力交易数据管理和流通的安全性和可信性。

网络安全：网络设施安全采用以零信任为代表的安全技术，打破了网络位置和信任间的默认关系，构建身份与访问管理系统，隔离算网融合各安全段，提供网络节点隐身保护，能够最大限度保证资源被可信访问，提升系统的整体安全性。

（三）顶层设计与政策布局

数字经济明确“算网融合”发展新目标。2022年1月，国务院印发《“十四五”数字经济发展规划》的通知，通知中明确提出“推

进云网协同和算网融合发展、有序推进基础设施智能升级”。2022年6月，国务院《关于加强数字政府建设的指导意见》中指出，整合构建结构合理、智能集约的平台支撑体系，适度超前布局相关新型基础设施，全面夯实数字政府建设根基。2022年12月，国家发展改革委发布《“十四五”扩大内需战略实施方案》，明确指出加快构建全国一体化大数据中心体系，布局建设国家枢纽节点和数据中心集群，加快实施“东数西算”重大工程。

算网基础设施成为城乡及社区智能化发展新抓手。2022年1月，国务院办公厅关于印发《“十四五”城乡社区服务体系建设规划的通知》指出，深入组织开展智慧社区、现代社区服务体系试点建设，鼓励社会资本投资建设智慧社区，运用第五代移动通信(5G)、物联网等现代信息技术推进智慧社区信息基础设施建设。2022年2月，国务院办公厅转发国家发展改革委等部门《关于加快推进城镇环境基础设施建设指导意见》的通知，指出推进数字化融合，充分运用大数据、物联网、云计算等技术，推动城镇环境基础设施智能升级。

自顶向下，各级政府纷纷中长期规划建设。2022年4月，河北省人民政府办公厅转发省发展改革委等部门《关于加快推进城镇环境基础设施建设实施方案的通知》指出，推进数字化融合，充分运用大数据、物联网、云计算等技术，推动城镇环境基础设施智能升级，提升基础设施现代化水平。2022年6月，山东省人民政府《关于印发基础设施“七网”建设行动计划的通知》指出，依托数字孪生、建筑信息模型(BIM)、智能建造等技术，推动智慧公路、智慧港航、智慧铁路、智慧机场、智慧城市轨道交通建设，促进综合交通基础设施全要素、全周期数字化和网联化。

河北	《关于印发河北省数字经济发展规划（2020-2025年）的通知》	新疆	《新疆维吾尔自治区5G通信基础设施专项规划（2021-2025年）》
吉林	《吉林省新基建“761”工程方案》	甘肃	《甘肃省数字政府建设总体规划（2021-2025）》
北京	《关于北京市2021年国民经济和社会发展计划执行情况与2022年国民经济和社会发展计划的报告》	内蒙古	《内蒙古自治区人民政府办公厅关于印发自治区“十四五”数字经济发展规划的通知》
山东	《山东省数字基础设施建设指导意见》	青海	《关于印发2022年青海省促进数字经济发展工作要点的通知》
江苏	《关于加快新型信息基础设施建设扩大信息消费的若干政策措施》	四川	《关于印发重庆都市圈发展规划的通知》
上海	《上海市数字经济发展“十四五”规划》	云南	《云南省人民政府关于印发云南省“十四五”新型基础设施建设规划的通知》
浙江	《关于印发浙江省新型基础设施建设三年行动计划（2020—2022年）的通知》	广东	《关于印发支持韶关建设国家老工业城市和资源型城市产业转型升级示范区若干意见的通知》
海南	《关于印发海南省政府数字化转型总体方案（2022—2025）的通知》	重庆	《关于印发重庆市城市基础设施建设“十四五”规划（2021—2025年）的通知》

来源：中国信息通信研究院

图 2 算网基础设施建设地方政策

二、算网基础设施体系架构

（一）参考架构

算网基础设施为算网融合提供计算、网络、存储等资源的物理承载，实现网络、计算以及数据资源的池化，一体化管理调度资源池，提供网络传输能力、异构计算能力以及数据分析能力，赋能智能场景，加速千行百业数字化升级。

1 计算基础设施

计算基础设施是应对当前数据时代下，算力需求持续增长、算力供需不平衡、全局利益效率低的重要手段。5G、工业互联网、物联网、大数据、人工智能等新型技术正在进一步与新型基础设施融合部署，算力需求的持续增长，使得对数据中心的需求不断加强。2022年，我国统筹

布局计算基础设施，推进一体化大数据中心体系建设，推动算力产业向高效、绿色方向发展，持续为数字经济赋能。工信部数据显示，截至2022年底，三家基础电信企业为公众提供服务的互联网数据中心机架数量达81.8万个，全年净增8.4万个，自用数据中心机架数比2021年末净增16万个，对外提供的公共基础算力规模超18EFLOPS¹。

计算基础设施通过构建异构算力资源池，实现算力资源的统一管控。**“异构”体现在多个层面**，在应用部署层面，算力资源池的部署方式包括云计算数据中心、边缘计算数据中心、人工智能数据中心、高性能计算数据中心等，这些部署场景下的算力资源管控方式各不相同，调度模式多种多样，因此将这些分散异构的算力资源统一纳管、统一调度是构建算网基础设施的前提条件。在算力芯片层面，随着国产化架构的CPU、GPU、NPU、MLU等芯片的推广部署，算网基础设施还需要为这些异构算力芯片提供良好的支持。通过算力原生等新兴技术为上层业务提供统一的运行环境，丰富国产化芯片架构的软件生态，使能业务的灵活部署和迁移。

计算基础设施总算力约90%来自于各类数据中心设施提供的算力，包括人工智能算力、超算算力以及基础算力三种类型。人工智能算力方面，随着AI算力需求的增加和新基建政策的推动，AI算力进入需求加速期，而传统算力受效率、功耗和成本的限制提升缓慢，且用于AI专属计算性价比较低。按照AI基础架构规模增速来看，未来AI算力增速将达到60%以上。超算算力方面，随着产业升级和企业数字化转型加快，高性能算力需求不断旺盛，超算中心也将在“十四五”期间迎来新发展阶段。基

¹ 工业和信息化部 2022年通信业统计公报

础算力方面，未来随着5G、工业互联网建设推进，边缘算力需求将日益迫切，数据中心建设部署将进一步向边缘下沉。

2 网络基础设施

网络基础设施是算网基础设施的传输底座，包含5G移动通信网络、PON全光网络、确定性承载网络，并引入以算力网络、SD-WAN、SRv6、IPv6+等为代表的网络计算化技术为行业用户提供统一的按需连接服务和算网协同能力。网络基础设施作为连接用户、数据、算力的“主动脉”，旨在通过一体化的高质量网络，汇聚各类算网基础设施和算力需求企业，为计算基础设施、安全基础设施和数据基础设施等其它算网基础设施和算力需求企业提供扁平高效的专用网络传输平面，提高算网基础设施的网络能级和专网数据流通效率，实现算力、数据的高效承载与流通。

为满足“大带宽、低时延、高可靠、敏捷拆建”的需求，算网基础设施在新型设备应用及组网结构优化等方面进行了创新。总结来说，网络基础设施具有以下特点：

- **安全共享**。开放网络入口，网络基础设施具备“一点接入，多点连通”特点，提升网络利用率，减少重复建设投资，降低中小企业参与门槛，有利于算网融合产业集约化发展。
- **技术中立**。网络基础设施涉及多参与主体、多网络边界，牵涉复杂的技术选型和商业利益，因此在技术及方案选择中应中立开放，能够更好地拉通相关产业上下游，促进算网融合参与主体更高效、经济地进行互联和更开放、公平地进行流量数据交换，有利于实现普

惠化，释放产业价值。

- **常态监管：**作为国家关键信息基础设施，应按照主管部门要求，建成全方位安全监测体系，保障在国家监管下的网络安全、信息安全及数据安全，解决数据绕转等互联互通问题，提高算力数据流通效率，提升算网基础设施的网络能级和互联互通疏导效率。

3 安全基础设施

安全需求日益迫切，推动新型安全技术加速创新和升级。随着元宇宙、人工智能、卫星互联网、工业互联网等新型技术和应用的快速发展，基础设施安全的物理边界被不断打破。一方面，为实现泛在的计算互联，进行云、网、边、端算力资源的高效协同，位于网络边缘的设备或用户终端处于相对不安全的物理环境。另一方面，为高效支撑上层智能场景和应用，大量类型各异的服务共享底层的计算、网络和数据资源，若某个服务被攻击，将影响和波及其他服务的安全运行。

安全基础设施是新型基础设施建设部署的重要保障。以零信任、区块链、隐私计算等为代表的安全技术，在网络安全、应用安全、数据安全等维度重构安全体系架构，成为算网基础设施安全防御的重要支撑。

以算网基础设施对上层应用提供服务能力为例，接入的应用或用户种类众多，一方面存在攻击者伪装成用户接入网络，发动DDos等攻击行为，造成服务系统瘫痪；另一方面攻击者可以通过对算力资源和数据资源发动攻击，进而影响提供服务的安全性。因此，需要设置合理的用户接入安全认证和授权策略，保证接入用户的合法性，避免攻击者伪装成服务使用用户接入网络并发动攻击；此外，还需要对为用户提供服务相

关的算力资源加强安全认证，对数据资源增强隐私保护，保证提供服务的安全性和可靠性。

4 数据基础设施

数据基础设施是算网基础设施的核心要素，主要用于网络数据、环境数据、应用数据等数据资源的存储，实现数据的采集与接入、数据存储与计算、数据分析与管理以及数据服务等功能。

数据的生产、采集和存储是各企业研究的重要方向，**智能化、安全的数据基础设施是传统IT基础设施面向数字化演进的必备条件**。随着社会数字化、智能化加速发展，新技术如AI、5G、IoT的广泛应用，和数据的爆发式增长，也让数据类型越来越多样化。例如，人工智能技术被广泛应用于数据领域应用，大幅度降低了大规模集群的运维难度；分布式存储技术适用于块、文件、对象和HDFS等不同的存储协议，推动不同类型不同来源的数据集中存储方向演进；全闪存和SCM等新型存储介质的创新发展打破了存储不再成为系统的性能瓶颈；GPU、NPU、ARM等非x86架构芯片的升级、迭代推动算力多样性发展。

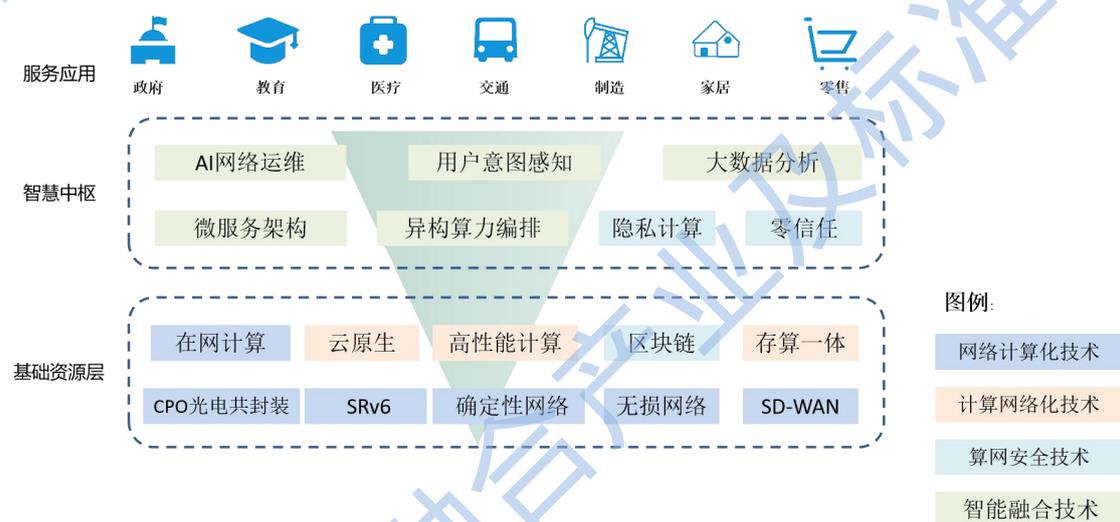
数据基础设施应用场景包括生产交易、数据湖等。生产交易涉及运营商Billing/CRM、金融核心、企业ERP等场景，要求数据高效、安全处理，数据基础设施结合数存融合、软硬协同、人工智能、智能无损网络等信息技术，从而实现计算、网络、存储资源的灵活传输和拓展，提高服务效率。数据湖则是涉及政务大数据、交通大数据等场景，基于打破“数据孤岛”的需求，实现数据跨系统、跨域传输的需求，对数据基础设施提出数存融合、算力下沉、协议互通等能力要求。

5 融合基础设施

融合基础设施主要是指与垂直行业特定需求匹配的能力基础设施，深度应用互联网、大数据、人工智能等技术，支撑传统行业基础设施转型升级，进而形成的融合基础设施。算网基础设施提供多种通信业务和计算业务，其中通信业务包括各类核心网网元及路由转发网元，在提供可靠的通信业务体验的同时，还可利用设备上的空闲资源对外提供边缘计算及在网计算类服务。依托通用架构设计的算网基础设施可以实现基于虚拟机及容器技术的灵活业务编排及动态调度，在CDN、边缘视频、边缘AI等业务场景中可以提供更实时可靠的算网融合服务。

融合基础设施聚焦各垂直行业的数字化、智能化转型需求，建立行业服务模型，为行业用户提供统一的标准化接口，实现灵活的服务。以智慧政府为例，融合基础设施可以统筹协调交通、教育、医疗、金融等部门，通过建立统一的数据共享交换平台，推进智慧交通综合体、智慧安防、智慧教育、智慧医疗等项目的建设部署，推动城市服务能力升级。

(二) 关键技术体系



来源：中国信息通信研究院

图 3 算网基础设施关键技术体系

算网基础设施关键技术能力包含一系列的计算网络化技术、网络计算化技术、算网安全技术以及智能融合技术，增强算网安全能力，实现算力网络协同融合。

网络计算化技术是网络实现提升算力效率、连接异构算力的重要技术，包含光电共封装（CPO）、在网计算（INC）、基于IPv6转发平面的段路由（SRv6）、确定性网络、无损网络、软件定义广域网（SD-WAN）技术。依托传送网高速全光接入，结合光电共封装技术实现传输资源的灵活调度和实时处理，与此同时，SD-WAN与SRv6技术形成新一类网络Overlay+Underlay协议栈，实现基于业务需求的在网计算，向上对接泛在调度，构建应用感知、确定性保障的差异化网络服务。

表1 网络计算化关键技术及能力简介

关键技术	技术能力简介
SD-WAN	SD-WAN集中控制平台将用户的应用系统和网络有机地联系起来，实现广域网从被动网络变为主动网络，具备开放的网络架构、可视的状态呈现、全局的控制调度、简化的运维部署、灵活的编程定制等能力，动态保障应用的服务质量和用户体验。
SRv6	SRv6技术支持可编程和可定制的网络流量控制和服务质量保障，应用于数据中心、边缘计算、5G网络等各种场景，通过时延、带宽等智能选路，实现自动跨域连接和分钟级业务发放，保障业务SLA。
CPO	CPO-光电共封装技术通过在一个插槽上装配网络交换芯片和光模块，形成芯片和模组的共封装，实现了在高算力需求下的高效可靠和低功耗，被广泛应用于高传输速率数据中心。
确定性网络	确定性网络技术可实现确保网络传输的稳定性、可靠性和实时性，满足对网络传输时延、抖动等严格的要求，适用于工业自动化、机器人控制、医疗设备、航空航天等对网络性能有较高要求的应用场景。

计算网络化是将算力资源进行分布式调度管理，提升算力资源利用率的重要技术，包含云原生、高性能计算以及存算一体等技术。基于层次化的算力度量及管理技术，形成标准可量化的能力度量模型，同时，赋能算网数据感知，实现算力节点的有效算力实时上报。

表2 计算网络化关键技术及能力简介

关键技术	技术能力简介
云原生	云原生技术使组织能够在新式动态环境（如公有云、私有云和混合云）中构建和运行可缩放的应用程序。云原生技术使用微架构和容器等技术，将算力资源进行池化管理，灵活调整算力节点的位置及资源，提高应用部署的灵活性，扩展算网服务的物理范围。
存算一体	存算一体技术在进行数据存储的同时计算，大幅度提高运算效率，实现计算和存储的低功耗和高效率。存算一体高访存、高并发的特性有效适用于人工智能场景，未来随着大算力领域的不断扩展，存算一体技术产品和应用有望成为高算力领域发展的重要支撑。
高性能计算	高性能计算是指利用聚集起来的计算能力来处理标准工作站无法完成的数据密集型计算任务，包括仿真、建模和渲染等。高性能计算平台满足高算力需求任务高速传输和数据的并行处理，通过云化的接口为个用户提供高效灵活的算力服务。

算网安全实现算网基础设施中数据、应用及物理设备的安全，包含隐私计算、区块链以及零信任等技术。算网基础设施基于多源、泛在的算力节点以及数据分散到多方节点计算的机制，为攻击者提供了更多的途径，从而带来网络攻击、数据泄露等风险。算网安全技术采用隐私计算、安全编排、零信任、内生安全、全程可信等技术共同打造一体化安全内生防护机制，保障算网服务安全可信的进行。

表3 算网安全关键技术及能力简介

关键技术	技术能力简介
隐私计算	隐私计算涵盖多方安全计算、差分隐私、可信计算为代表的安全技术，有效保障了数据隐私不泄露的情况下实现计算分析、共享、计算等功能，保证了数据

	的“可用、不可见”，为用户提供安全可信的服务保障。
区块链	区块链作为新型安全技术的重要组成，包含分布式网络、加密技术、智能合约等多种技术，基于自身高可靠性、不可伪造、可追溯性、公开透明的特性，被广泛用于监督管理、多方合作等应用场景中。
零信任	零信任打破了网络位置和信任间的默认关系，构建身份与访问管理系统，隔离算网融合各安全段，提供网络节点隐身保护，能够最大限度保证资源被可信访问，提升系统的整体安全性。

智能融合实现算网资源和应用的跨域拉通和部署，向上为算力交易和数据流通新型算网服务的构建提供能力支撑，包含人工智能网络运维、用户意图感知、大数据分析、微服务架构、异构算力编排等技术，将计算、网络、存储深度融合，实现各类资源的统一编排和调度，构建按需定制、灵活高效的服务环境，实现多技术要素融合能力供给，为用户提供灵活、高效、便捷的算网服务。

表4 智能融合关键技术及能力简介

关键技术	技术能力简介
AI网络运维	基于智能互联环境的基础基本形成，对算网基础设施的运维可以将AIOps中融合DevOps工具，进而实现更快的数据采收、更直观的可观察性和更深的数据分析，达到AI网络运维的目的。
用户意图感知	用户意图感知即依托大数据、机器学习等技术，对用户意图在网络上进行持续跟踪，跟踪、整理、分析、预判用户意图，从而更好的满足用户需求。

（三）发展路径

随着技术不断演进，各类设施和产品不断升级，ICT行业将朝着“计算网络化”和“网络算力化”的方向不断演进，算网基础设施已经成为协同“计算”+“网络”技术全面发展的重要抓手。

	发展路径		
	第一阶段 基础设施升级改造	第二阶段 算力与网络协同	第三阶段 计算与网络智能融合
主要特征	网络基础设施和算力基础设施升级改造	网络、计算及存储资源协同编排调度	算网基础设施智能化、开放化，赋能垂直行业
关键技术	算力计量、SD-WAN、SRv6	算力路由、算力调度、算网资源编排管理	算力交易、算网安全、分布式算网服务调度算法
厂商及产品	关键技术研究；存算一体产品研发	集中智能化的算力管控平台	弹性按需、安全高效的算网服务
预期成果	出现“杀手锏”级应用；完善技术标准体系；	形成具有云、边、端网络资源协同编排调度的域内或行业应用平台	灵活的算网服务交易机制；健康稳定的生态链

来源：中国信息通信研究院

图 4 算网基础设施发展路径

● **基础设施升级改造**：此阶段主要是基础设施从基础架构、设备、平台等方面进行升级和创新，计算网络化技术和网络计算化技术进行独立的创新演进。计算网络化技术将计算模式创新和应用性能创新、突破作为主要发展方向，对应的基础设施将提升计算效率作为算网网络化基础设施的主要研究方向。网络计算化以满足多样化场景需求为目标，深入研究网络架构和网络协议的创新和迭代，形成以连接泛在算力为主要发展方向的网络计算化基础设施。与此同时，算网安全技术不断成熟，安全产品和方案落地部署，将会形成具有自主知识产权和核心技术的算网安全设施。

● **算力与网络协同**：此阶段演进目标旨在打破多元算力协同的壁垒，实现计算与网络的统一协同。通过一体化全面感知网络实现对计算、网络、存储等资源的统一编排调度，为用户提供去中心化的多元算力高效协同的新型服务模式。随着算网协同的不断成熟，

将形成具有计算能力的信息通信网络，即依托算力感知、算力调度等新型技术，持续优化算力和网络资源，通过网络和算力的感知和调度，实现“云-边-端”的泛在多元算力协同。

● **智能融合阶段：**此阶段的演进目标旨在实现网络智能原生，即在人工智能、大数据、区块链等技术的快速发展背景下，基础设施实现智能化升级，计算基础设施、网络基础设施、安全基础设施深度融合，形成体系化的技术标准和工程实践，更加成熟的业务模型，更加高效的算力支撑，更加广泛的人-物和物-物的连接，加强物理世界和信息世界的联动，通过信息技术实现沉浸式虚拟体验，实现高度精准的数字孪生，为用户提供分布式意图感知智能服务。

三、算网基础设施产业生态发展

(一) 产业生态参与方

随着我国数字经济的升级和发展，算网融合在业界得到广泛关注和参与。目前已经形成以电信运营商为主导、第三方IDC厂商加速发展、云服务厂商强势进入的多元格局。**电信运营商：**电信运营商包括基础电信运营商和增值电信运营商，当前，基础电信运营商将多接入边缘计算MEC作为网络服务升级的重要抓手，依托自身网络资源、机房等优势，通过“5G+MEC”的集成方案，为用户提供更加安全、智能、可靠的新型服务模式。增值电信运营商依托自身网络建设和运营方面的优势，引入新型信息技术和业务模式，赋能自动驾驶、家庭娱乐、视频直播等应用场景，为用户提供多层次的增值网络服务。

算力服务供给商包括云计算服务提供商、高性能计算服务提供方、边缘计算服务提供方、IDC厂商、CDN服务提供方、解决方案提供方等，涉及华为、阿里、腾讯云、浪潮等多家企业。算力服务供给商紧随运营商位列数据中心行业第二梯队，依托自身运维能力强，高效率，服务多样化的优势，可按需提供IDC基础服务+智能DNS、智能灾备、CDN等增值服务的定制化解决方案，为用户提供低时延、高效率、类型多样的算力服务。

(二) 典型应用场景

1 “东数西算”工程

“东数西算”工程是我国“十四五”时期信息通信领域重要的算力和网络提升工程，是国家在节能降耗、能效提升等方面的综合考量，通

过构建数据中心和网络协同、融合的新型算力网络，将东部算力需求有序引导到西部地区，优化数据中心布局，促进东西联动，实现算力的高效调度和使用，全面赋能经济发展。

“东数西算”是算网基础设施的典型应用场景，算网基础设施通过算力和网络深度融合，在全国范围内进行算力共享和算力资源负荷跨域调度，实现算力资源的统一调度、绿色低碳、降本增效的效果。目前针对“东数西算”工程，业界重点从“东数西存”、“东视西渲”、“东数西训”这三类场景开展应用试点。

依托算网基础设施，高速数据传输网络将极大减少算力枢纽节点之间的数据绕转时延；在网络结算上，数据中心集群内也将探索合理的网络结算机制，以降低节点内的数据中心服务器资源使用成本，从而降低未来下游企业或终端对于云服务的使用成本。

2 科学计算

科学计算指通过先进的计算技术包括高性能计算、并行处理算法等来解决高精度、高密度的计算问题，主要应用于重大科学研究、军事、学术领域。科学计算基础设施是一种计算网络化基础设施，其场景业务模型错综复杂，被广泛地应用于核武器研究和核材料储存仿真、生物信息技术、医疗和新药研究、计算化学、天气和灾害预报、工业过程改进和环境保护等许多领域。

科学计算典型场景包括：紧耦合负载场景、松耦合负载场景、以及数据密集负载场景。这三种典型场景各有特点，紧耦合负载场景对算力和网络需求量大，对IO要求相对较低，相关应用包括CAE仿真；松耦合负载场景强调计算能力，计算节点间没有网络通讯，对IO要求适中，相关

产品应用包括金融风险分析、动漫渲染、科学研究等；数据密集负载场景中数据需求量大，通常是PB级别，相关产品应用包括生物基因测序、天气预报、天文科研领域。科学计算场景对算力和网络时延等方面都有较高的要求，面对大规模科学计算任务，基于算网基础设施，能够实现海量数据的快速处理，及时从数据中发现价值、实现价值。

3 卫星通信

卫星互联网指将人造地球卫星作为中继站转发或发射无线电信号，来实现两个或多个地球站之间的通信联结，即卫星通信。**卫星通信基础设施是一种网络计算化基础设施。**卫星互联网是算网基础设施的重要组成部分，依托低时延、低成本、广覆盖、宽带化的特性，能够实现大范围覆盖，能够实现最大18100km通信距离。在太空领域无论高轨同步卫星还是低轨星座，与地面网络的协同组网在全球都尚处于技术验证阶段。因此，空天地一体化应用成为我国走向智能经济和信息化时代的关键一步，卫星加入组网则是5G Advance和6G的主要突破之一。

4 智能家居

随着5G、AI、云计算、大数据等技术的快速发展，各项智能设备逐渐走入人们生活之中。大多数智能家居都配备了各种物联网设备、集线器和传感器，它们可通过家庭网络/网关进行通信，产生数量巨大、类型多样的家居数据，因此**智能家居基础设施是一种数据基础设施。**

智能家居场景中，算网基础设施通过算力调度、用户意图感知、隐私计算等新兴技术，优化算力和网络的感知和连接，对算力资源和网络资源进行感知、度量和编排，为用户提供多层次、多粒度、交互性的服务体验。

家居场景不同于办公、安防、医疗等领域，私密性极强，但同时也是终端最多、最容易遭受攻击的场景，数据处理本地化需求逐渐提升，因此智能家居也是算网安全基础设施重要应用场景。据IDC FutureScape预测，随着消费者对于智能家居安全防护意识的提升，离线语音和面部识别本地化将会快速发展。目前，百度AI人脸离线识别SDK已经过了多轮升级迭代，可实现离线RGB活体检测、离线近红外活体检测、离线对比识别、离线人脸库管理等功能；虹软ArcSoft旗下的视觉引擎也同样支持离线人脸识别、人证核验；讯飞开放平台可提供离线命令词识别服务，基于嵌入式离线识别引擎，零流量实时响应，实现快速稳定的本地化语音服务。

5 智能融合场景

算网基础设施融合人工智能、大数据分析技术，面向交通、医疗等行业的信息化需求，形成多行业的融合基础设施。

车路协同是通过在云端、路端、车端加装一系列计算设备、感知设备、通信设备、显示设备，保证交通安全，提高通行效率，从而形成的安全、高效和环保的道路交通系统。不同于一些专注单车智能自动驾驶企业的发展路径，车路协同通过大量来自车端和路端的雷达、传感器，以及通信设备、云端计算的“高级辅助”，全方位实施车车、车路动态实时信息交互，实现人车路的有效协同，克服出行过程中可能遇到的各种问题，实现更加自动化的交通。

专栏 1 车路协同通信模组产业动态

在通信芯片方面，华为发布了支持包括LTE-V2X在内的多模4.5G LTE调制解调芯片Balong 765；高通发布了支持PC5单模的9150LTE-V2X芯片组。

在通信模组方面，大唐高鸿发布了业界首款LTE-V商用通信模组DMD31，并发布量产车规级模组DMD3A；高新兴推出了支持LTE-V2X的车规级通信模组GM556A。华为也推出了测试用LTE-V2X基

站：上海诺基亚贝尔则将提供LTE+MEC的基站产品。

在医疗领域，通信技术的升级将网络时延从50-100毫秒缩短到1至10毫秒，几乎可以做到完全同步。基于更快速度、更低时延、更稳定的连接形成智慧医疗高新技术，将增加医疗的方式、扩大医疗覆盖区域，促进医疗整体水平提升。例如，通过5G网络将院前120急救与院内专科急救相结合，建立事件发生地到医院急救中心的网络信息双向传输系统；大型综合医院的多院区、不同医院院间互联以及应急救治网络体系，从局域单元通过5G网络形成协同的网络连接，前期基于原有的平台架构进行拓展和升华。

四、挑战和建议

（一）挑战

当前，算网基础设施已经成为协同“计算”+“网络”技术全面发展的重要能力底座。算网供应方和需求方共同推动产业成熟发展。供应侧通过整合内外部资源，优化产业供给能力。需求侧推动算网服务面向国家治理、传统产业等多个领域智能升级，实现算网服务的多元性，共同促进产业生态繁荣。但是，算网基础设施建设仍处于发展部署阶段，全面普及仍存在挑战。

挑战一：算网基础设施缺少顶层设计，算力设施和网络设施尚未实现全面融合协同发展。算网基础设施建设尚未形成统一规划，网络设施缺乏对计算服务和智能应用的感知性，阻碍网络的赋能效应。算力建设和分布缺少顶层设计，当前，我国聚焦数据中心建设和5G、人工智能等技术创新，各级政府针对特定技术领域发布文件，启动相关工程项目，政策制定呈现地域化、碎片化。

挑战二：算网基础设施产业赋能不均衡，行业应用效果不明显。算网基础设施在消费互联网、零售等轻产业占比较高，在传统工业部署较低，算网基础设施对制造业数字化转型升级助力不明显。与此同时，算网基础设施使用门槛较高，产业生态呈现规模庞大、产业链条繁杂交错等特征，实施方案难以实现跨厂商、跨应用、跨地域的集成和交互，企业无法直接使用算网资源，因此需要通过算网服务的方式提供算力服务。

挑战三：算网基础设施空间分布不平衡，地域供需匹配待加强。一线城市算网基础设施发展部署较多，农村等偏远地区算网基础设施可获

得性、服务公平性有待加强。当前，中西部地区算力过剩，中西部地区应用需求不足，导致供给余量较大，“东数西算”模式尚未形成规模，造成资源闲置和浪费。

（二）建议

建议一：加速技术研究和标准研制，保障核心技术先进性和自主性。进行算网基础设施技术研究和标准研制，聚焦算力调度、算网智能编排以及算力交易等技术难点，加快应用基础理论和关键技术攻关，形成自主知识产权的标准规范，加速推出自主可控的设备和产品，打造算网试点工程应用示范标杆，做到核心技术在手。

建议二：有序推进算网基础设施建设，推动智能融合算网服务升级。坚持“需求引领，适度超前”的部署原则，抓牢“东数西算”工程重大机遇，统筹通用算力、智能算力以及高性能算力等多元算力，加快支撑智能应用的算网基础设施规划和建设。融合人工智能、区块链、大数据等技术应用，升级算网平台能力，构筑高效算网融合能力底座。

建议三：构筑良性算网生态闭环，打造高效权威产业交流平台。优化产业结构，加强算力体系建设、完善算网大脑顶层设计，提高算网基础设施安全可靠。建设技术验证和应用创新平台，加速开展复合性试验以及标准落地实施和产业应用推广。打造测试评估产业平台，开展测试评估方法等体系的研制，建立算网基础设施成熟度评估模型，构建算网融合设施测评体系。

算网融合产业及标准推进委员会

算网融合产业及标准推进委员会（TC621）

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300090

传真：010-62304980

网址：www.ccnis.org.cn

