

算网基础设施成熟度研究报告

(2023 年)

算网融合产业及标准推进委员会 (CCSA-TC621)

算网融合产业及标准推进委员会

2024年10月

版权声明

本研究报告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研究报告文字或者观点的，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、中国电信研究院、中盈优创资讯科技有限公司、中移(苏州)软件技术有限公司、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、上海缔安科技股份有限公司、联智科技(北京)有限公司、安徽省大数据中心、浪潮通信技术有限公司、中国科学院计算机网络信息中心、中国科学院声学研究所、浪潮网络科技(山东)有限公司

主要撰稿人

(排名不分先后)

韩淑君、穆域博、张寒月、柴瑶琳、毕立波、党小东、陈敬、王巍、李雪婷、李鑫、简建勋、卢云扬、杨扬、郝文杰、钱岭、赵立芬、钱军波、顾晨辉、刘伊莎、沈林江、初宇飞、李泉、肖红梅、陈炬、林艺芳、涂诗怡、付鸿雁、刘扬、张静、王紫程、高娴、林巍、李俊、申罕骥、尤佳莉、刘磊、马博韬、石胜兵、李金光、戴超、刘淑凡

前 言

近年来，智能驾驶、智能制造、智慧金融等数字业务的快速发展，带动了算力和网络需求的持续扩张。算网基础设施以用户为中心提供最优资源服务与网络连接，成为我国“十四五”时期的关键信息基础设施。

本研究报告聚焦当前国际政策形势、应用需求驱动以及基础设施升级部署等方向，深度梳理算网基础设施技术趋势和产业现状，规范算网基础设施能力架构，提出算网基础设施成熟度模型。

因算网基础设施发展空间巨大，技术能力、服务和应用仍在不断演变，我们的研究和理解将随着算网基础设施的产业实践不断深化，本研究报告的内容观点依据当前认知水平提出，难免存在不足之处，恳请各界批评指正。

目 录

一、算网基础设施总体发展态势	1
(一) 算网基础设施成为数字化转型的坚实底座	1
(二) 算网基础设施已上升为各国信息战略的重要抓手	2
(三) 算网基础设施市场规模逐渐扩大	3
二、算网基础设施赋能数字经济效应持续增强	4
(一) 多样化算网场景对基础设施能力要求呈现差异化	4
(二) 算网基础设施架构逐渐清晰	10
三、算网基础设施成熟度评价体系	14
(一) 分级分类	14
(二) 指标体系	20
(三) 成熟度评估模型	23

算网融合产业及标准推进委员会 (CCSA TC621)

算网融合产业及标准推进委员会 (CCSA TC621)

图 目 录

图 1	基础设施能力模型	8
图 2	算网基础设施分层架构	11
图 3	算网基础设施成熟度模型	23

算网融合产业及标准推进委员会 (CCSA TC621)

算网融合产业及标准推进委员会 (CCSA TC621)

一、算网基础设施总体发展态势

（一）算网基础设施成为数字化转型的坚实底座

算网基础设施作为支撑数字时代差异化、智能化业务需求的信息基础设施，推动算力与网络的深度融合，以用户为中心提供最优资源服务与网络连接，已经成为我国“十四五”时期的关键信息基础设施。随着数字化的推进，算、网一体化的应用在各行各业加速落地推广，已涉足到医疗、教育、科研、就业、社区服务等各方面，它不仅支撑着各行各业的数字化进程，也是推动社会进步和经济增长的关键因素。

在制造业中，算网基础设施的应用使得企业能够实现智能制造和供应链优化。通过算网融合技术，企业可以建立算力节点协同机制，满足工业场景对算力的多样化需求，同时实现对算力资源的高效调配管理。基于工业算网对算力和网络的协同感知调度能力，企业在工业生产过程中能够实现工业机器人灵活、可靠的自适应作业。同时，算网基础设施的高效资源配置能力，使得企业能够根据市场需求快速调整生产计划，实现供应链的敏捷响应。

在医疗健康领域，算网基础设施支持远程医疗服务和智能诊断系统的发展。通过高速网络连接，医疗专家可以远程访问患者的医疗记录和实时数据，提供及时的诊断和治疗建议。

在金融服务行业，算网基础设施的安全性和稳定性为企业提供了坚实的数字基础。金融机构可以利用云计算和边缘计算技术，提供更加个性化和高效的客户服务。同时，通过实施零信任安全架构等先进技术，保障客户数据的安全和隐私。

此外，算网基础设施还在城市建设、能源管理、教育资源管理等多个领域发挥着重要作用。它不仅提升了城市管理的智能化水平，还促进了能源的高效利用和教育资源的均衡分配。

算网基础设施的建设和发展，为产业数字化和数字产业化提供了坚实的技术支撑和广阔的应用前景。随着技术的不断进步和创新，算网基础设施将继续为数字化转型提供强有力的支撑，推动数字经济的全面发展。

（二）算网基础设施已上升为各国信息战略的重要抓手

在全球数字化转型的大背景下，算网基础设施已经成为各国信息战略的核心内容和重要抓手。各国政府认识到，强大的算网基础设施对于支撑科技创新、促进产业升级、提升社会治理水平具有至关重要的作用。

中国在算网基础设施建设方面展现出了明确的战略意图和迅速的行动力。通过《关于推动新型信息基础设施协调发展有关事项的通知》、《信息化标准建设行动计划（2024—2027年）》、《关于推动未来产业创新发展的实施意见》等政策，中国正致力于构建高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的算网基础设施体系。这些规划不仅提出算网基础设施和建设规划，也注重全国一体化算力网整体建设布局，旨在推动数字经济的高质量发展。

美国加强政策统筹，加快完善数字生态系统。2024年7月，美国国际开发署（USAID）发布了未来十年的新数字政策，提出将获得 1460 万美元的新资金用于支持数字基础设施建设、数字知识和技术改进，以及隐私和安全保障等领域，通过技术创新推动数字经济可持续发展。同年9月，美国宣布成立“智算中心基础设施特别工作组”，旨在通过各种项目支持智算中心发展。

2023年3月，欧洲联盟及其成员国通过《2023-2024年数字欧洲工作计划》，提出将投入1.13亿欧元用于数字建设，重点包括数字基础设施建设、网络安全能力提升、云服务、数据及人工智能能力提升等。2024年3月，英国政府出台了《2024-2030数字发展战略》，政策强调大力投资建设先进的数字基础设施，并确保高速宽带和5G网络的普及覆盖，助力国家数字化转型。

算网基础设施已经成为全球各国信息战略的重要支柱。各国政府通过制定和实施一系列政策措施，不仅加强了算力资源的供给和网络的互联互通，也推动了算力技术的创新和应用。这些努力共同推动了全球数字经济的发展，同时也为各国在全球竞争中赢得了有利地位。随着技术的不断进步和应用的不断拓展，算网基础设施将继续在全球信息战略中发挥着越来越重要的作用。

（三）算网基础设施市场规模逐渐扩大

目前，我国算网基础设施行业的市场规模正在稳步扩大。受益于政策驱动和产业建设速度加快等因素的影响，近几年我国算力规模实现逐年增长，截至2024年6月，我国在用数据中心机架总规模达到830万标准机架¹。网络设施支撑能力持续增强，截至2024年3月底，我国累计建成5G基站364.7万个，5G用户普及率突破60%²。

政策投资方面，中国政府高度重视算网基础设施建设，并通过一系列政策推动市场的发展。“东数西算”工程自全面启动以来，项目总投资已超过4000亿元，直接推动市场规模的扩大。在此背景下，中国电信、中国联通和中国移动等基础电信运营商纷纷积极布局数据中心，并提供

¹ 2024 中国算力大会工信部发展司副司长赵策发言

² 国新办举行 2024 年一季度工业和信息化发展情况新闻发布会

算力服务，以支撑数字经济的发展，这也是推动市场规模增长的关键因素。

行业细分方面，数据中心、网络设备和云计算平台是算网基础设施行业的重要组成要素。数据中心涵盖数据存储、服务器和网络交换等关键环节，在新基建、数字化转型、数字中国愿景目标等政策背景下，我国数据中心行业市场规模快速增长，预计2024年市场规模将达3048亿元³。网络设备主要包括路由器、交换机和无线产品等，2023年中国网络设备市场规模为752亿元，尽管当前市场规模较小，但在云计算、大数据、人工智能等新技术推动下，预计2024年我国主要网络设备市场规模将达到823亿元⁴。而云计算平台行业，云计算作为行业发展最快的领域，2023年中国云计算市场规模已经达6165亿元，并预计到2024年将达到8378亿元，同比增长35.9%⁵。

随着数字化进程的深入推进，算网基础设施将继续在数字信息战略中发挥着越来越重要的作用，为数字经济的发展提供强大的动力。

二、算网基础设施赋能数字经济效应持续增强

（一）多样化算网场景对基础设施能力要求呈现差异化

1. 多样化场景对基础设施能力的要求

随着信息技术的飞速发展和数字化转型的深入推进，算网场景日益多样化、细分化，涵盖了云互联、大模型应用、智能应用、物联网等多

³ 《2022-2027年中国数据中心建设市场需求预测及发展趋势前瞻报告》

⁴ 《2024-2030年中国网络设备市场发展现状及潜力分析研究报告》

⁵ 《中国云计算行业市场前景及投资机会研究报告》

个领域。这些多样化的应用场景对算网基础设施提出了不同的要求，使得基础设施能力的差异化特征愈发明显。

（1）云互联

云互联指利用云计算技术连接不同云服务商的云资源，形成一个互联的、统一的、可管理的云资源池，帮助用户更方便的管理和调度各种计算资源，实现资源的高效利用和灵活配置。在云互联领域，涉及到科学计算、数字政府、数字渲染/元宇宙等多个方面，对算网的需求应用主要集中在资源的动态分配和管理上。计算密集型应用对于节点间通信时延有更高要求，存储密集型应用对出口带宽有更高要求，流媒体服务对带宽和时延的平衡性有要求，部分特殊互联网服务则对可靠性有更高要求。云平台需要能够支持大规模的计算任务，同时保证资源的高效利用和弹性扩展。这就要求基础设施具备高可用性、高可扩展性和高安全性等特点，这些计算层面和网络层面的能力增强可以为算网带来更灵活的应用场景。例如，数据中心的建设需要考虑到电力供应、散热系统、网络带宽等多个方面，以确保云平台的稳定运行和服务的连续性。

（2）大模型应用

大模型指具备大规模处理能力和复杂的计算结构的深度学习模型，通过用海量参数进行训练，让它可以处理更加复杂的任务和数据，已经在多个领域展现出广泛的应用价值。在大模型应用领域，算网的应用场景则更加注重数据的存储、处理和分析。模型训练需要处理海量的数据，并进行实时或准实时的分析，以支持业务决策和创新。因此，基础设施需要具备强大的数据处理能力和存储能力，同时还要支持多种数据格式和访问方式。此外，数据的安全性和隐私保护也是大数据领域不可忽视的问题，需要基础设施提供相应的安全保障措施。

（3）智能应用

智能应用能够通过人工智能、大数据等技术，来提高设备、系统、软件等智能化水平，这些应用能够理解、学习、推理以及适应用户的行为和需求，并具备自主处理任务的能力，提高任务处理效率和准确性。智能应用领域对算网基础设施的要求则更加复杂。智能应用涉及到深度学习、机器学习等多个方面，需要基础设施提供强大的计算能力和高效的算法支持。此外，由于智能应用的训练和学习过程需要大量的数据支持，因此基础设施还需要具备高效的数据传输和存储能力。同时，随着人工智能技术的不断发展，对基础设施的智能化管理和自动化运维也提出了更高的要求。比如智算中心在算力规模上有指数型增长，为了支撑智算中心的算力规模增长需求，对应的计算和网络设施都需要适配更新，避免成为算力增长的瓶颈。在智算中心内部，计算卡性能的持续增强和超大规模节点间互联的需求对计算网络的连接性能、吞吐量和传输可靠性管理都有更高的要求，智算网络从物理层、网络层到应用层都需要向下一代无损网络演进。

（4）物联网

物联网以互联网为载体，将各种物理设备、传感设备、软件进行连接和通信，实现自动化、智能化的互联互通。物联网领域的应用场景则更加广泛，涉及到智能家居、智能城市、工业物联网、智能驾驶、智能制造等多个方面。物联网应用需要基础设施支持大量设备的连接和数据传输，同时还要保证数据的实时性和准确性。因此，基础设施需要具备高并发、低延时的特点，同时还要支持多种通信协议和设备类型。此外，物联网应用还需要考虑到设备的能耗和成本问题，对基础设施的能效和成本控制也提出了更高的要求。为实现物联网智能互连的需求，对于边

缘接入场景，算网需要对边缘云的部署位置、边缘接入网络的服务质量、边缘云的互联通道以及边缘云到中心云上联通道的网络能力提供更高的保障。

在智慧家居场景中，在保护数据隐私及安全性的前提下为用户提供个性化、智能化服务成为对算网基础设施的关键需求。目前包括差分隐私、联邦学习等新技术不断演进，算网基础设施将提供有效支撑。

在智能制造场景中，数据不出园区、不出厂区是垂直行业客户对算网基础设施的关键能力要求。通过5G及F5G行业专网或网络切片为行业客户提供与公共通信网络隔离的网络连接，并利用智能化管控机制与端侧、边缘侧及云侧的算力资源高效协同，形成算网融合的基础设施平台，进一步保障提升智能制造业务应用的确定性和可靠性。

在科学计算场景中，科学计算应用程序将物理模型、计算方法和算法转变为数值模拟代码，越来越依赖于实际应用和高性能计算的交叉融合。通过搭建统一的高性能计算平台，满足各科研用户对超算的计算环境需求，保证不同科研用户的个性化使用。

2. 基础设施能力模型

为了满足不同应用场景的需求，我们需要根据不同领域的特点和要求，构建和优化相应的算网基础设施体系，具备资源即服务、平台即服务、应用即服务和安全即服务的模式。



图 1 基础设施能力模型

（1）资源即服务

资源即服务（Resource as a Service，简称RaaS）涵盖计算、存储和传输等多个方面，并通过计算、存储和传输等多方面服务化，为多样化的算网场景提供更加灵活、高效和安全的资源利用方式，推动算网业务的快速发展。

计算资源即服务（Computing as a Service）为用户提供按需获取的计算能力。无论是处理大规模数据、运行复杂算法还是构建高性能应用，用户都可以根据实际需求快速获取所需的计算资源，而无需担心硬件采购、部署和维护的繁琐过程，助力降低企业运营成本，提高计算资源利用率，推动业务快速发展。

存储资源即服务（Storage as a Service）为用户提供弹性可扩展的存储空间。随着数据量的不断增长，传统的存储方式已经无法满足企业的需求。通过存储资源即服务，用户可以轻松获取大量的存储空间，并根据业务需求进行动态调整，解决存储容量痛点，提供数据备份、恢复和容灾等功能，确保数据的安全性和可靠性。

传输资源即服务（Transmission as a Service）为数据的快速传输和共享提供了有力支持。在数字化时代，数据的流动和共享是业务发展

的关键。通过传输资源即服务，用户可以获取高效稳定的网络连接和数据传输能力，实现跨地域、跨平台的数据共享和协作，有助于提高企业协同效率和创新能力。

（2）平台即服务

平台即服务（Platform as a Service，简称PaaS）为开发者提供构建、部署和管理应用程序所需的全部基础设施和工具，大大降低应用开发门槛，并通过可视化、个性化的开发体验，加速算网应用创新，创造更多商业价值。

从数据的可视化分析到应用的实时监控，再到资源的动态调配，平台即服务将复杂的底层技术抽象化，为开发者提供了一个直观、易用的操作界面。不仅降低了技术门槛，赋能更多开发者参与生态应用搭建，提高了开发效率，缩短应用上线时间。

基于提供丰富API接口和定制化功能，开发者可根据用户需求和市场变化快速创新，同时通过数据分析和挖掘，深入了解用户行为和需求，提供更加精准、个性化的服务，提升客户满意度。

（3）应用即服务

应用即服务（Application as a Service，简称AaaS），通过构建统一的云端应用商店以订阅和访问等服务形式提供给用户，在不需要对应用进行改造的前提下实现应用快速上云。与应用软件即服务（Software as a Service，简称SaaS）相比，AaaS面向具有快速部署和管理应用需求的企业和个人用户，强调对应用的云端部署、管理和交付。SaaS面向企业、个人、各类组织等更广泛的群体，以Web方式为用户提供各种软件应用程序和服务，强调软件的即付即用和托管式自动更新和补丁管理。

应用即服务通过虚拟化技术，将运行在客户端的本地应用程序、数据等计算资源在云端或数据中心进行聚合和统一的标准化管理，支持用户在不同地点或使用不同终端都能在应用商店进行订阅和访问。

面向多种类应用存在的操作系统、浏览器等兼容问题，应用即服务通过按照操作系统、应用程序、数据对应用进行独立封装，保证应用的多样性和版本的兼容性。

(4) 安全即服务

安全即服务（Security as a Service，简称SECaaS）是保障数字化转型顺利进行的关键。在数字化时代，网络安全问题日益突出，企业面临着来自各方面的安全威胁。通过安全即服务，用户可以获取专业的安全防护能力，帮助企业及时发现和应对安全威胁，保护企业的核心业务和数据资产。

安全即服务将安全能力向云端服务转变，为企业提供灵活、可扩展的多种安全服务，包括防火墙、入侵检测、防病毒、数据加密等。企业可以结合自身业务需求和规模，在平台进行按需申请、即时开通，灵活调整服务的配置和性能，选择最适合自己的安全服务。

面向日益复杂的安全攻击，安全提供商采用持续监控、威胁情报共享等手段，帮助企业快速响应和处理不断变化的安全威胁，将传统被动防御的安全机制向主动防御和持续优化的方向改变，确保企业在安全威胁面前具备高度的警觉性和应对能力。随着大数据、云计算、人工智能等前沿技术的不断发展，安全服务将向智能化、自动化加快演变，为企业提供持续有效性和适应性的安全策略。

(二) 算网基础设施架构逐渐清晰



图 2 算网基础设施分层架构

由底至上，依次划分为资源层，平台层，应用层，运维管理层，同时增加安全层作为垂直系统支撑。能力要求架构在每个层级根据场景需求，列举关键能力要求，具体分析如下：

(1) 资源层

资源层是基础设施的最基础部分，包括算力基础资源和网络基础资源等，用于向上层提供资源支撑，在满足算网任务资源需求的同时，确保算网服务正常执行。资源层首先按照算力基础资源和网络基础资源划分。算力基础资源从算力构成、算力分配、算力分布三个维度进行划分，分别提出了以下能力要求：

- **异构计算**：通过分配任务或进行任务拆解，合理使用不同类型算力。异构包括软件异构和硬件异构，软件包括操作系统，虚拟化技术等，如 linux 系统，国产系统，虚拟机，容器，WASM 等，硬件包括硬件架构，芯片类型等，如 X86，ARM，RISC-V，CPU，GPU，NPU 等。

- 分布式计算：分布式计算从分配角度，将算力需求进行拆解并选择合适的算力节点进行承载，并进行计算结果的整合。
- 算力泛在：算力应覆盖云、边、端，未来空天地一体背景下，还应覆盖太空算力，根据需求选择适合位置算力承载任务。

网络基础资源从接入，传输，保障三个维度进行划分，分别提出了以下能力要求：

- 泛在接入：网络接入应该覆盖包括无线，固网所有类型，确保任意方式接入网络均可使用服务，如5G，卫星互联网，宽带等。
- 高速传输：一方面要构建高品质网络底座，如全光网络，400G/800G传输，提供基础保障，另一方面，结合 RMDA，SRv6，传输聚合等网络技术，进一步提升传输效率。
- 确定性网络：通过TSN、灵活以太网等技术，实现确定性网络，提供严格的服务质量保障。

(2) 平台层

平台层介于应用层与资源层之间，向上支撑算网应用构建，向下进行算网资源的纳管和感知，利用编排能力转化应用需求为资源需求，基于调度能力为应用分配合理算网资源。平台层作为整个系统编排调度的核心，支撑和提高基础算网融合业务为目标，需提供以下能力：

- 融合编排：应具备基于网络 and 算力需求，进行融合编排能力。
- 跨域调度：应通过跨域的资源调度能力，选择适合算力节点和网络传输资源。
- 资源纳管：应具备同时纳管不同节点算力和网络资源能力。
- 能力开放：应具备将算力和网络资源通过能力开放的方式，提供上层应用调用的能力。

- 动态感知：一方面应实时感知算力和网络资源状态，另一方面应实时感知任务执行状态。
- 智能辅助：通过融入人工智能技术，在资源纳管、编排调度，动态感知，能力开放等多方面提升执行效率，用户体验。

(3) 应用层

应用层基于平台能力进行开发或封装，面向最终用户，提供融合服务能力。应用层以算网融合应用为基础，降低用户负担为目的，应具备以下能力：

- 融合应用：应提供算网融合的应用服务，减少算网割裂导致为用户带来的不便。
- 任务式服务：基于用户希望的结果，自动进行任务编排调度，避免过程复杂性带来的用户心智负担。
- 行业应用：通过对行业需求的深入理解，提供面向行业的垂直应用。

(4) 运维管理层

运维管理层面向整个算网系统，提供包括监控、故障处理、数据备份、信息安全、系统升级等服务，确保整个系统稳定运行，并且在出现问题时能够及时响应处理。运维管理层以解决算网业务运维复杂性问题为目标，列举关键能力要求：

- 统一运维：应具备算与网同时运维能力，可同时对算与网进行维护管理。
- 资源可视：应具备资源可视能力，直观查看算与网的资源状态。
- 绿色节能：应基于绿色节能原则，进行算力与网络资源的精确控制，避免资源浪费。
- 智能运维：应通过融入人工智能技术，降低算网运维复杂性。

(5) 安全层

安全层针对算网基础设施的各个层面提供安全能力，确保端到端安全。安全层对垂直架构中的每个层级都需要提供安全支撑能力，应具备以下安全能力：

- 资源安全：为保障基础资源及系统不被入侵，窃取，破坏为目标，应提供如隐私计算，零信任网络等安全能力。
- 平台安全：为确保应用请求安全，调度编排下发安全，管理安全等为目标，应提供如用户身份验证，资源请求安全性识别，算网任务安全性评估等能力。
- 应用安全：为确保用户数据，隐私安全为目标，应提供如数据加密，最小化权限控制等安全能力。
- 管理安全：为确保运维管理系统不被破坏，入侵，篡改为目标，应提供如安全备份恢复，日志审计，系统防护能力，确保运维。

数字经济时代，算网基础设施面向各行各业数字化转型差异化、智能化需求，通过构建算与网深度融合的新型架构，实现算力节点和网络节点的统一纳管，能够动态实时感知资源状态，进而统筹分配和调度计算任务，传输数据，最终构建开放、高资源利用率、高能效的新型数字基础设施，全面赋能产业智能化改造和行业数字化转型。

三、算网基础设施成熟度评价体系

(一) 分级分类

算网基础设施的演进将经历三个阶段，从初级算网基础设施逐渐演变为算网协同基础设施，最终发展为算网融合基础设施：

(1) 初级算网基础设施阶段，此阶段的算网基础设施资源相对分散，尚未形成统一的资源池，主要聚焦算力和网络基础设施的部署方面，对于算力基础设施，主要是对通用算力、智能算力、超级算力等入网算力进行分类统计；对于网络基础设施，主要是针对现有四大互联网骨干网，运营商公共骨干网/城域网/光接入网、4/5G无线接入网、各类局域网在内的各种网络基础设施，评价当前互联网数据业务、语音业务等的综合服务能力。

(2) 中期算网协同基础设施阶段，聚焦算网基础设施协同感知能力，对算力资源、网络资源及多样化业务场景进行精准感知和协同调度。通过灵活调度机制，将业务按需分配至最优节点，确保算网资源实现一体化编排、集中运维及持续优化，以最大化资源利用效率。

(3) 远期算网融合基础设施阶段，这一阶段算力已经无处不在。为实现云、边缘计算及终端算力间高效的协同工作，需要构建统一的智能中枢，促进计算能力与网络能力深度融合。

1. 初级算网基础设施阶段

初级算网基础设施阶段主要从算力和网络的规模、种类、完备性等基础设施部署程度进行分级评估。

根据中国信息通信研究院的测算，2016年~2022年期间，中国算力规模平均每年增长46%，数字经济增长14.2%，GDP增长8.4%。从设备供给侧看，我国算力总规模达到202EFlops，保持50%以上的增速，其中智能算力规模已经达到104EFlops，增速达到85%，成为推动我国算力快速增长的关键驱动力。

以2022年为初级算网基础设施元年推算，按照2022年国内50.2万亿人民币的数字经济总量规模，当总体算力达到200EFlops量级时，算力和网络呈现协同发展的强烈需求和技术演进的整体态势。

算力从种类和完备性角度主要包括以下几种类型：

(1) 通用算力：由搭载CPU 芯片的通用服务器所提供的算力，主要用于基础通用计算，如：服务器、基础存储、移动计算、移动服务、基础物联网等。一般来说，通用云计算、边缘计算等均属于通用算力。

(2) 智能算力：是由 GPU、FPGA、ASIC 等非通用计算架构芯片打造的加速计算平台所提供的算力，主要用于和人工智能相关的大数据、训练、推演等计算，如智能语音、AI图像、AI视频、NLP属于智能算力。

(3) 超算算力：由超级计算机等高性能计算集群输出的计算能力为主，主要用于尖端科学领域、国防军工等领域的计算，天文探测、气象环保、电磁仿真、药物分子设计、基因分析等属于超级算力。

对于算网基础设施建设阶段，在满足整体算力体量的前提下，无需对各子类算力进行单独规模指标要求。随着初级算网基础设施阶段发展和成熟度的不断提升，高等级算力占比会呈现逐年提升的态势。

网络从网络普及性能角度主要对以下几类展开评估：

(1) 省际骨干出口带宽：指基础电信企业的各省骨干网出口带宽总量。

(2) 时延确定性网络：指在基于以太网为多业务提供端到端确定性服务质量保障，主要指标考虑时延、抖动、丢包率等。

(3) 高可靠性网络：指网络在大部分时间保持服务状态，极少出现中断或服务降级情况，该指标主要用来衡量网络的可用性水平。

2. 算网协同基础设施阶段

算网协同基础设施阶段，这一阶段的核心是“协同”，包括计算、通信、应用多个层面的协同。该阶段主要体现为物理层面数据中心与网络基础设施的协同规划与建设，以及打破多元算力协同壁垒，实现算力与网络在布局、运维、应用等维度上的统一协同。这个阶段依托算力感知、算力调度、IPv6+等新兴技术，持续优化算力和网络资源，实现算网资源的灵活互调与统一供给。

我国算网协同目标高度匹配“十四五”《算力基础设施高质量发展行动计划》中算力和网络相关关键指标体系的中期规划目标：

(1) 计算力：算力规模超过300 EFLOPS，智能算力占比达到35%，东西部算力平衡协调发展。

(2) 运载力：国家枢纽节点数据中心集群间基本实现不高于理论时延1.5倍的直连网络传输，重点应用场所光传送网（OTN）覆盖率达到80%，骨干网、城域网全面支持IPv6，SRv6等创新技术使用占比达到40%。

(3) 存储力：存储总量超过1800EB，先进存储容量占比达到30%以上，重点行业核心数据、重要数据灾备覆盖率达到100%。

(4) 应用赋能：打造一批算力新业务、新模式、新业态，工业、金融等领域算力渗透率显著提升，医疗、交通等领域应用实现规模化复制推广，能源、教育等领域应用范围进一步扩大。每个重点领域打造30个以上应用标杆。

除了算力、网络和应用等分类领域技术指标外，协同级分级指标也应该在本阶段重点体现：算+网的高度协同能力。

算网协同的调度能力，可以从轻算重网、算网平衡、重算轻网三大类应用场景来进行评估：

(1) 轻算重网场景：指对于算力需求相对较小，而网络传输需求相对较大的应用场景。典型的移动和固定ToC业务大部分都属于轻算重网场景，包括短信、语音、视频、HTTP网页、云存储、游戏、广播、组播等，这一类业务几乎全部承载在对算力要求相对较低的通用服务器或云核心网等物理设备中，属于核心算力业务，对算力本身的需求较低，可以不纳入考虑。

这类业务的调度能力主要体现在接入网、承载网、核心网、骨干网、数据网的承载能力和QoS保障能力，主要指标包括保障带宽、时延等级、时延抖动、丢包率等。

(2) 算网平衡场景：大部分边缘/分布式算力都属于算网平衡调度场景，该类场景以ToB应用为主，比如低时延园区/局域网、边缘大数据服务器、AR/VR服务器、车联网V2X、5G物联网等。这类业务对算力和网络均有特定要求，往往会通过专用边缘服务器+专用ToB网络/网络切片的端到端方案进行业务综合保障。

该类方案的核心诉求是“算力靠近用户、终端”、“网络按需部署、随业而动”，对应的指标主要是端到端时延、上行大带宽、确定性网络、数据安全等。

(3) 重算轻网场景：主要是指以AI、量子安全、神经网络、生物技术、超算科研等为主的计算类业务场景，该类场景对算力要求极高，而目标用户对网络要求一般来说相对较低，属于东数西算的主要应用场景。

由于计算量极大，对于智算网元、超算网元的需求更为强烈，该类场景对于算力考虑的成熟度指标包括：智算/超算的总体算力占比、单位算力能耗、分布计算能力、集群计算能力、骨干网省际出口带宽等。

3. 远期算网融合基础设施阶段

远期算网融合基础设施阶段，针对协同推理、区块共识等分布式计算应用场景，依托对算力资源和网络资源的全面感知，强化算力任务与数据传输的协同调度机制，促进算力与网络的深度融合，支撑未来网络生态中不断涌现的新模式与新服务。作为算网基础设施演进的关键一环，此阶段以“融合”为核心驱动力，并依托统一的智能中枢，实现算力与网络资源的一体化运营、统一编排和调度与统一的服务供给。

在算力侧，算力调度系统有效管理集群内的算力任务与容器化资源，通过综合考虑CPU、内存及网络带宽利用率等关键指标，利用不断优化的调度算法，提升集群整体资源利用效率。然而，当前网络资源信息的精细化程度尚显不足，缺乏精确的带宽、时延等关键参数，导致算力服务路径的可能不是最优化选择，类似的问题也在DNS域名解析过程中影响终端请求的响应效率。因此，未来需进一步细化网络资源信息的采集与管理，以优化算力服务的路径规划与用户体验。

在网络侧，针对AI分布式训练和HPC高性能计算场景，采用RDMA方案有效解决集群网络互联课题。针对数据中心间虚拟机迁移需求，采用VxLAN+EVPN作为Overlay的方案，结合SRv6等更具有潜力的网络技术，支撑算力和网络更好融合。

算网融合最重要的功能架构是智能中枢，目前中国三大运营商均已开始搭建智能中枢的架构体系，但部署方式和推进策略各有不同：

- 中国移动计划分阶段逐步推进包括算网感知、智能管理、协同编排、能力开放等能力的算网大脑建设，推动实现“算随业选、网随算动”的算网能力。
- 中国电信聚焦算力感知与评估、资源标识、资源整合、算力交易四大技术要点，加快推进智能中枢功能建设。

- 中国联通加速建设超算化云网引擎，支撑以高速泛在、云网融合、算网一体、安全可信、智慧敏捷为特色的场景化、智能化 中枢神经建设。

智能中枢作为算网协同功能的关键组成，正逐步成为电信行业三大巨头竞相角逐的战略高地。在强化感知、编排、调度、优化等核心能力的同时，智能中枢正向全面一体化、高度自动化及智能化方向加速演进，其产业演进或将显现两大显著趋势：一是业务场景的深度融合。未来智能中枢将紧密贴合实际业务需求，从理论框架的构建逐步过渡到解决实际问题的“量身定制”。二是体现在全产业链的深度融合与共创价值上。为在算网生态中占据主导地位，运营商需通过开放合作策略，运营商将利用自身优势赋能合作伙伴，促进产业链上下游的紧密协作，从单一的价值创造者转变为价值共创的推动者，与产业各界共同构建繁荣的生态系统。

（二）指标体系

根据三级分类内容的各项要求，指标定义及含义分解如下，表格数据依据产业调研和分析得出，仅供参考：

分类	指标名称	单位	基础建设阶段	算网协同阶段	算网融合阶段	备注说明
算力基础指标	算力总量	EFlops	100	300	500	
	通用算力占比	%	50%	45%	40%	
	智能算力占比	%	50%	54%	58%	
	超级算力占比	%	0%	1%	2%	
	存储总量	EB	500	1000	1500	
	算力种类	#	-	20	50	

	算力利用率	%	-	40%	60%	
	单位算力耗电	度/Pflops	2500	-	-	
网络基础指标	省际骨干出口带宽	Tbps	20	40	60	
	时延确定性网络	ms	20	10	5	两层含义：1. 低时延确定性，即有时延上限；2. 时延抖动确定性，即抖动上下限；
	高可靠性网络	%	99.9%	99.99%	99.999%	URLLC网络中对于UR的五个9定义
	整体丢包率	#	1.E-03	1.E-05	1.E-06	
算网协同业务指标 (轻算重网)	5G VoNR 语音占比	%	10%	30%	60%	
	高清以上视频(720p)占比	%	20%	70%	95%	
	云游戏市场占比	%	1%	7%	20%	
	AR/VR 业务占比	%	-	成熟行业应用	用户级APP	
	公有云存储市场规模	¥	30 亿	40 亿	60 亿	
算网协同业务指标 (算网均衡)	边缘计算市场占有率	%	1%	10%	30%	边缘算网协同成熟度指标
	5G 行业专网市场占有率	%	10%	30%	50%	
	5G 行业专网占有率	%	1%	10%	20%	
	企业/私有云市场占有率	%	15%	30%	40%	专网+私有云的行业应用成熟度
	下沉式核心网设备份额	%	10%	30%	50%	

	5G 上行大带宽	Mbps	10	100	1000	高清监控、车联网、机器视觉
		%				
算网协同业务指标 (轻网重算)	智能 AI 需求成熟度 (智算比例)	%	30%	49%	58%	前期可以参考智能算力市场占比, 后期可以根据企业级 AI 大模型的增长率推算
	超级计算需求成熟度 (超算比例)	%	0%	1%	2%	同上
	AI 训练计算量占比	%	70%	40%	30%	
	AI 推理计算量占比	%	30%	60%	70%	
算网技术融合指标	IPv6 用户渗透率	%	25%	40%	70%	
	移动 IPv6 总流量占比	%	30%	70%	90%	
	SRv6 应用成熟度		广域 VPN/网络切片	数据中心 vSwitch	卫星互联网/车联网	
	5G 终端的算力需求成熟度		云存储/在线视频	云游戏/AR/VR	AI 级应用	
	通感一体化的感知算力占比	%	0%	0%	5%	
	GPU 芯片关键技术					
智能中枢指标体系	网络编排能力 (定性)	-	-	-	SRv6 流量工程/TE 选路	
	算力调度种类	#	-	10	20	

网络切片管理能力	-	L1 级公众安全切片	L3 级行业独占切片	L4 级定制 SLA 行业切片
智能中枢基础设施成熟度	-	-	数据中心集中调度	分布式算网调度编排

表 1 算网基础设施成熟度指标体系

(三) 成熟度评估模型

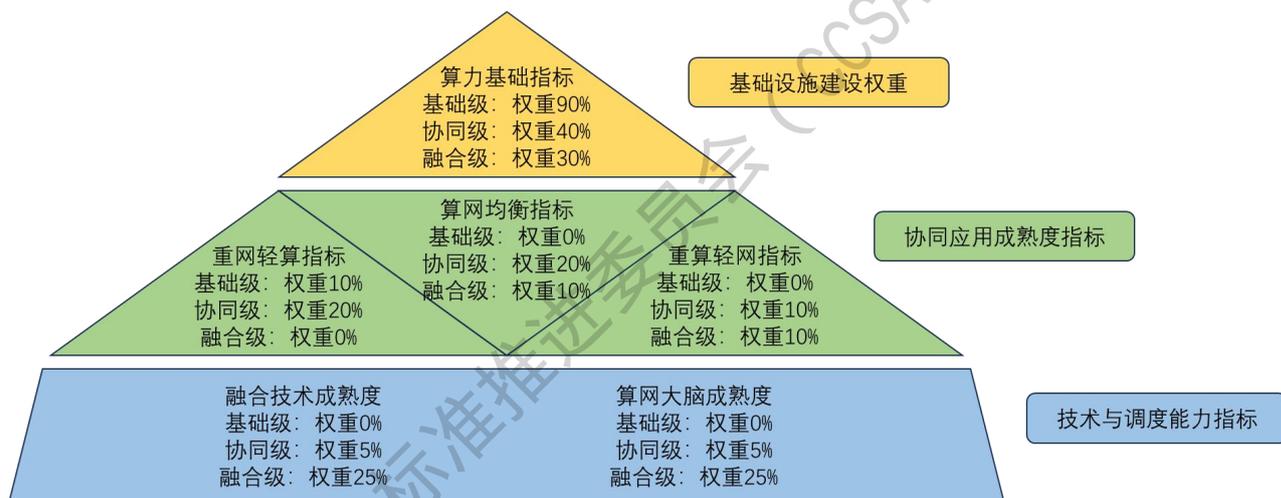


图 3 算网基础设施成熟度模型

(1) 基础算力建设阶段：指标体系中最重要的是算力和网络的基础设施总体规模，以及各自应用领域的基础能力，对于网络来说，一般仅考虑重网轻算的典型通信业务；对于算力来说，主要考虑计算、存储和硬件发展水平。

(2) 算力协同发展阶段：指标体系开始向算网均衡的企业级算力、边缘计算、5G ToB 专网等领域倾斜。初步考虑重算轻网的相关人工智能类业务的成熟度。最后也应该要兼顾算力基础设施的进一步发展水平。

(3) 算力融合高级阶段：指标体系应该全面向融合关键技术和算网基础设施调度/编排等智能中枢功能倾斜，降低甚至无需考虑通信领域应用权重。

基于对我国算网基础设施发展的分析，并综合中国移动、中国联通和中国电信等相关机构和企业对算网基础设施发展及相关指标体系的研究，结合算网基础设施总体技术架构和算网基础设施各个阶段的技术特点、发展问题、未来趋势等内容，从算力、网络、调度控制、融合服务、低碳节能和安全可控六个维度选取关键技术特征建立我国算网基础设施发展评估体系，全面客观地评价我国算网基础设施发展的状况。

算网融合产业及标准推进委员会 (CSA-TC21)

算网融合产业及标准推进委员会 (TC621)

地址：北京市西城区宣武门西大街 28 号大成广场

邮编：100053

网址：www.ccnis.org.cn

