

算网融合技术与产业白皮书

(2023 年)

算网融合产业及标准推进委员会

2024年10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、深信服科技股份有限公司、浙江省新型互联网交换中心有限责任公司、中盈优创资讯科技有限公司、安徽省大数据中心、中国科学院声学研究所、中移（苏州）软件技术有限公司、迈普通信技术股份有限公司、中国电信研究院、凌锐蓝信科技（北京）有限公司、中国科学院计算机网络信息中心、中电科普天科技股份有限公司、联智科技（北京）有限公司、浪潮通信信息系统有限公司、广州链安科技有限公司、山东省计算中心（国家超级计算济南中心）、浪潮通信技术有限公司、苏州盛科通信股份有限公司、杭州安恒信息技术股份有限公司、浪潮网络科技（山东）有限公司、上海缔安科技股份有限公司

主要撰稿人

(排名不分先后)

穆域博、韩淑君、张寒月、柴瑶琳、毕立波、党小东、陈敬、
杨志刚、夏炜、何峻、宋刚、钱军波、顾晨辉、刘伊莎、任荣、谷
耀、石胜兵、李金光、戴超、曾剑峰、李剑锋、王紫程、高娴、林
巍、王巍、李雪婷、李鑫、郝文杰、钱岭、赵立芬、尤佳莉、刘磊、
马博韬、刘弢、张玮、谭立状、刘扬、张静、李俊、申罕骥、沈林
江、初宇飞、李泉、许春涛、林茂、张华洪、顾玮、张光治、何明
阳、杨峰、梁晖、杜翠凤、付鸿雁、成伟、王俊杰、陈炬、涂诗怡、
黄涵穗

前 言

数字经济时代，智能计算、高新能计算、5G、6G、零信任等新兴 ICT 技术快速发展，智慧工厂、智慧交通、智慧园区等多样化业务场景不断涌现，驱动“高算力、大连接、强安全”算力网络需求持续攀升。算网融合聚焦“计算”+“网络”协同发展，整合异构计算、网络、存储等多种资源进行统一调度和智能编排，构建融合、智能、安全的新型服务模式，对于产业来说意义重大。算网融合不仅能够驱动新一轮的内生性经济增长，为宏观经济形势注入投资新动能，还可以助力关键技术实现突破，培育产业发展链条，赋能地方经济实现全面转型。

本白皮书分析算网融合产业发展趋势，聚焦“计算网络化”、“网络计算化”、“算网数据一体化”和“算网安全”四个层面，总结算网融合发展现状，最后，提炼算网融合发展机遇和挑战，明确了生态建设任务。

白皮书仍然存在诸多不足，恳请各界批评指正。

目 录

一、算网融合发展概述	3
(一) 各国持续细化算网战略, 指引行业应用创新升级	3
(二) 算网融合市场快速增长, 算力互联成为投资新热点	5
(三) 算网融合产业模式逐渐成型, 标准体系更加健全	7
(四) 算网基础设施部署适度超前, 体现区域经济新方向	10
二、网络计算化推进网络智能演进	14
(一) 并网计算整合底层资源, 算力感知纳管成为抓手	14
(二) 移动算网加速 6G 发展, 智能感知调度成为焦点	17
(三) 算力网络感知应用需求, 智能操作系统能力提升	19
三、计算网络化牵引算力全面互联发展	22
(一) 无损网络+大模型推动智算中心全面升级	22
(二) IPv6+云平台助力高性能算力服务互联互通	25
(三) 边缘计算+AI 提供一体化行业解决方案	28
四、算网数据一体化激发数据要素价值	30
(一) 算力网络面临数据挑战, 数据要素成为重要锚点	31
(二) 数据存储构筑算力产业底座, 助力算网行稳致远	34
(三) 隐私计算兼顾数据流通及安全, 算网数据一体化实践	35
五、算网安全构筑全方面安全保障体系	37
(一) 零信任精细化管理算网资源访问, 产品成熟落地部署	37
(二) 强化算网设备固件安全管理, 筑牢算网安全屏障	39
(三) 区块链引入多层防护措施, 构建可信协同的新模式	41
六、挑战及建议	43
(一) 挑战	43
(二) 建议	45

图 目 录

图 1 我国主要城市算网融合发展政策	5
图 2 零信任关键技术	38

一、算网融合发展概述

（一）各国持续细化算网战略，指引行业应用创新升级

各国加快算网融合产业建设部署，“算力+网络”成为各国抢占数字经济新赛道的重要手段。美国持续加强国际合作和前沿技术研发创新，将算网融合作为巩固其在科技创新领域地位和数字经济发展的**重要支撑**。2024年2月，美国OSTP更新第三版“关键和新兴技术清单”，清单将先进计算、先进网络感知和特征管理、人工智能、集成通信和网络技术等18类技术领域列为美国国家科技政策和技术发展的重要发展方向。2024年5月，美国国务院发布《美国国际网络空间和数字政策战略》，强调美国将加强和建设国家合作伙伴的数字和网络能力，旨在以数字团结合作，提高美国在数字技术和网络空间的全球影响力。韩国、日本不断加大投资研发力度，将推动国家数字化和智能化发展作为长期战略目标。2023年3月，韩国制定《第一次国家研发中长期投入战略》，指明了未来5年国家研发预算的战略投入目标与方向，其中包括开发人工智能、5G/6G、数字基础设施、信息安全、自动驾驶等数字核心技术，促进产业数字化转型。2023年11月，日本发布《统合创新战略2023》，从战略高度推动全光网络、5G、量子、混合能源等尖端技术研发，以第六期基本计划期间政府投资30万亿日元、官民总投入120万亿日元为目标，使日本成为国际研发活动的引领者。欧盟以提升欧洲竞争力为目标，先后发布数字路线图、计划，支持欧洲的数字化转型。2023年3月，欧盟推出《2023-2024年数字欧洲工作计划》，提出投入1.13亿欧元用于改善云服务安全性、创设人工智能实验及测试设施以及提升各个领域的数据共享水平。2024

年3月，欧盟发布《“地平线欧洲”2025~2027年战略规划》，提出2021~2027年，“地平线欧洲”核心数字技术投资至少130亿欧元，加快推进欧洲数字化转型。

我国将算网融合作为国家发展的重点领域之一，持续出台多项利好政策，推进算网融合建设布局。2024年《政府工作报告》中提出，适度超前建设数字基础设施，加快形成全国一体化算力体系，培育算力产业生态。2024年1月，多部门联合印发《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，指出深入推进5G、算力基础设施、工业互联网、物联网、车联网、千兆光网等建设，前瞻布局6G、卫星互联网、手机直连卫星等关键技术研究，构建高速泛在、集成互联、智能绿色、安全高效的新型数字基础设施。2024年9月，工信部等十一部门发布《关于推动新型信息基础设施协调发展有关事项的通知》，提出基础电信企业要加强算网协同规划，建设国家数据中心集群之间、区域数据中心与国家数据中心集群间的直联网络，增加光缆网络连通度。各省市积极响应国家政策措施，多地将算网融合列入地方发展规划，加快培育算网融合产业生态。2024年7月，杭州印发《支持人工智能全产业链高质量发展的若干措施》，强调围绕打造人工智能全产业链算力底座、模型基石和数据支撑，培育高性能芯片、高速光网络、高性能液冷服务器、人工智能算法、多模态数据集等一批细分领域产业集群。2024年10月，天津发布《进一步支持滨海新区高质量发展的若干政策措施》中提出，培育壮大战略性新兴产业，支持国家超级计算天津中心参与全国一体化算力网建设。

发布时间	省市	政策名称	主要内容
2023.10	上海市	《上海市进一步推进新型基础设施建设行动方案（2023-2026年）》	将“新网络、新算力、新数据、新设施、新终端”五个方面划分为重点领域，提出“建设云网协同的高性能算力基础设施”“构建泛在互联的高水平网络基础设施”等多项保障措施。
2024.1	吉林省	《关于促进吉林省新能源产业加快发展的若干措施》	深入开展新基建投资专项行动。适度超前布局建设智能算力基础设施，加快培育元宇宙、大模型产业生态。
2024.3	广东省	《广东省算力基础设施高质量发展行动暨“粤算”行动计划（2024-2025年）》	到2025年，算力规模达到38EFLOPS，智能算力占比达到50%；打造“城市内1ms、韶关至广深3ms、韶关至全省5ms”时延圈。
2024.4	安徽省	《安徽信息通信业关于做好算力网络建设发展工作的指导意见》	到2025年底，基础电信运营企业算力网络计算力、运载力、存储力水平不断提升，基本建设形成布局合理、绿色集约、互联互通、算力规模与我省数字经济发展需求相适应的算力网络发展格局。
2024.8	郑州市	《郑州市城市算力网建设三年行动计划（2024—2026年）》	到2026年，全市城市算力网络建成并高效运行，实现算力资源的统筹纳管与供给，全面融入全国一体化算力网。

图 1 我国主要城市算力网融合发展政策

（二）算力网融合市场快速增长，算力互联成为投资新热点

1. 算力网融合规模持续增长

随着人工智能应用、大模型训练的需求爆发，我国算力规模保持高速增长稳定增长。根据中国信息通信研究院研究统计，2023年全球计算设备算力规模为1369EFlops，我国达450EFlops，全球占比三分之一，增速近50%。细分领域，我国超算算力需求仍保持稳定的增长态势，从2016年以来，中国超算市场规模一直保持25%左右增长率，预计2021-2025年复合年均增长率为24.1%，2025年中国超算服务市场规模将达到466亿元¹。人工智能时代的开启，驱动我国人工智能产业进入高速发展期。2023年中国人工智能产业规模为2137亿元，随着AI大模型带来的产业加成比例逐渐增加，预计2028年我国人工智能产业规模将高达8110亿元，2023年-2028年复合增长率达30.6%²。

¹ 沙利文研究测算

² 艾瑞咨询研究院统计

网络建设上，我国已经建成全球最大的光纤和移动宽带网络。截至2024年8月底，全国光纤接入（FTTH/O）端口数量达11.48亿个，较去年净增5343万个；10G PON千兆光网端口数达2707万个，同比上年增长405.4万个。网络连接用户规模不断扩大，截至2024年8月底，三大电信运营商固定宽带接入用户达到6.59亿户，较上年净增2307万户。我国5G网络覆盖日益完善，持续夯实万物互联基础底座。截至2024年8月底，我国5G基站数量已经达到404.2万个³，5G定制化基站、5G轻量化技术实现商用部署，5G网络已经覆盖所有市城区、县城区，并稳步向重点场所纵深推进。

全国算网基础设施建设布局持续完善。截至2023年底，三大基础电信运营商为公众提供的机架数为97万架，净增长量是上的两倍，对外提供的公用基础算力达到26EFlops。我国围绕国家算力枢纽、数据中心集群布局新建干线光缆数量约为130条，并启动400G全光省际骨干网建设，加速推进算力网络一体化建设⁴。

2. 算网融合下算力互联成为新趋势

（1）超算互联网

国家数字化转型深入推进，高算力、大连接、强安全应用场景不断涌现，带来持续攀升的算网融合需求。超算互联网以互联网思维运营超算中心，提供灵活高效、开放共享的统一算力资源及服务，实现以服务为中心的超算业务托管和计算结果交付的新算力供给模式。

（2）智算互联网

³ 工信部数据

⁴ 工信部数据

以大模型为代表的新一轮AI推动智能算力发展，AI大模型的快速迭代对算力、运力、存力提出更高的要求。智算互联网依托灵活智能的网络架构，实现网络资源的动态分配和调整，满足不同规模的AI大模型训练和推理任务需求。

（3）中国算力网

中国算力网以构建自主创新的算力网络技术体系，推进算力网络建设为目标，结合新一代通信网络技术和计算技术，以‘鹏城云脑’网络智能重大科技基础设施为核心枢纽节点，建设资源无感接入、任务统一调度和可持续发展运营模式的新型数字基础设施，为全社会提供统一的高质量算力服务，并为东数西算建设提供有力支撑。

（4）算力互联网

面向算力应用与算力调度需求，算力互联网通过在互联网体系架构上构建统一应用层算力标识符，依托算网云调度操作系统和高性能传输协议，强化全光网、弹性网络、异构计算能力，支持智能感知、实时发现、按需获取能力，构建算力互相连接、灵活调用的逻辑网，实现算力资源的灵活调度和高效利用。

（三）算网融合产业模式逐渐成型，标准体系更加健全

在产业各方的积极参与下，算网融合产品的业务形态逐渐成型。**算力服务的业务形态包括算力租赁、算力合作和模型服务。**

算力租赁：人工智能大模型的快速发展带动算力租赁需求大幅增长，依托租赁的方式为企业或个人提供所需算力，用户可以根据实际需求调整服务器、虚拟机等计算资源规模，无需投入成本、时间、精力去购买

和维护计算设备，有效降低了投资和运营成本，同时降低了企业应用开发和部署门槛，为用户带来较高的灵活性。

算力合作：算力合作指不同企业、机构在算力资源上共享合作，当前算力产业存在投资高、建设周期长、维护复杂等现象，通过开展算力合作，一方面可以整合各方资源，实现算力资源的优化配置和高效利用；另一方面，能够有效降低企业算力建设成本，推动中小企业的加入和发展。

模型服务：模型服务面向人工智能应用需求，将提前训练好的AI模型提供给用户使用，通过模型服务让用户快速构建自己的AI应用，提高业务效率和创新力，目前在图像识别、语音识别、自然语言处理等领域得到广泛应用。

传输方面，数据专线作为一种高效的网络解决方案，被广泛应用于**数据中心互联、超算数据传输等关键业务领域**。数据专线服务提供商依托丰富的网络资源基础，向客户提供电路租用和维护服务。用户可以根据网络需求自由选择带宽，建立高速、安全、稳定的专用数据通道环境，以承载和传输各类业务。

数据方面，分布式数据存储依托**高效、灵活、可扩展的特性，成为数据重要基础底座**。分布式数据存储将数据分散在多个节点上，相比传统集中式存储方式能够提高数据的读写性能，数据处理速度和效率大幅提高。目前，分布式数据存储的产品形态包括一体机、纯硬件和纯软件。一体化交付模式存在价格偏高、运维效率低等问题，纯硬件交付主要用于敏感数据存储场景，成本较高，一体机与纯软件的解耦交付模式能够实现存储产品的按需灵活配置，基于低成本和高效运维的特性，将成为未来分布式存储的重要发展趋势。

安全方面业务形态主要包括网络安全产品、网络安全服务和网络安全硬件等。算网安全是一个复杂的系统工程，包括数据安全、平台安全、应用安全等多个方面，覆盖底层架构、业务运行、安全交易等全生命周期安全闭环。安全服务提供方依托自身资源，根据用户需求为用户提供安全、可信、合规的安全保障能力。

在标准建设上，产业各方面向算网融合在医疗、教育、零售等领域的典型场景培育和应用创新，持续加强技术攻关和创新研究，积极参与算网融合相关标准的研究与制定，持续完善算网融合标准体系，算网融合标准体系更加健全，为我国技术与产业发展奠定基础。

专栏 1 优秀案例

1. 济南超算在2022年联合多家单位，共同推进超算互联网二期工程，研制算网操作系统，支持多超算/数据中心异构计算、存储、网络资源统一纳管及资源调度。2023年研制上线基于软件定义广域网（SD-WAN）的超算互联网网络服务质量保障系统，通过弥补传统宽带或专线互联不足，有效降低部署成本并且提高服务质量。
2. 浪潮通信的“算力网络+行业大模型”一体化创新应用，面向多模态、多场景、多行业，以云、边、端等泛在异构算力为基础，将算力网络的统一管控、智能调度能力与大模型算法相结合，提供跨域融通、弹性按需的一体化服务。
3. 凌锐蓝信的锐聚通移动边缘智能聚合传输系统，以边缘智能为先导，结合云边端一体化思路，提供边缘参数收集、云端智能分析与AI模型训练、导入边缘智能优化生产线的一整套安全智能解决方案。

专栏 2 标准体系

1. 中国三大运营商、设备商、服务器厂商等在CCSA成功发布行业标准《算力网络总体技术要求》，主要规定了算力网络的总体技术架构和技术要求，包括算力网络的总体架构和接口描述，以及算力服务技术要求、算力路由技术要求、算网编排管理技术要求等。
2. 中国信息通信研究院联合多家单位在CCSA立项行业标准《IP承载网网络韧性技术要求及评估方法》，目前已经入送审阶段，主要规定了IP承载网网络基础设施韧性的基本定义、网络韧性等级分级标准、网络韧性评估总

体框架和网络韧性能力评估标准等。

3. 中国信息通信研究院、华为、中国电信在ITU立项了《Future network resilience use cases and capability requirements》，主要面向未来网络中的网络韧性场景及能力要求展开研究。

4. 中国移动牵头联合多家单位编制《算力网络 算网编排管理技术要求》，目前已完成报批稿，主要包括算力网络编排管理总体功能架构，算力网络编排管理各功能模块技术要求及算网编排管理层和其它层协同技术要求等内容。

5. 中国移动、中国信息通信研究院、华为、中兴牵头《算力网络 算力路由协议要求》，目前已完成报批稿，主要针对算网一体融合协同调度优化需求，规定了算力路由协议的总体功能要求，算力路由感知和通告协议要求，算力路由协议数据面技术要求和算力路由协议的管理面技术要求等内容。

（四）算网基础设施部署适度超前，体现区域经济新方向

算力基础设施加快部署，数据中心机架规模稳步增长，截至2024年6月，我国在用数据中心机架总规模超过830万标准机架⁵。随着IDC行业的快速发展，数据中心产业进入蓬勃发展期，数据中心规模不断扩大，预计2024年我国数据中心市场规模将达到3048亿元⁶。

算间互联成为算力基础设施发展新趋势。AI大模型带来爆发式增长的算力需求，单一集群受限于物理空间、散热、带宽和时延等因素，扩展性受到限制。算间互联技术通过高速网络连接多个数据中心或计算集群，构建大规模算力资源池，实现算力资源的共享和灵活调度，为行业提供低时延、大带宽、高可靠的数据传输方案。

数据中心逐渐加快绿色化转型进程。我国数据中心用电量和二氧化碳排放量持续增长，节能优化和能源替换成为绿色发展的主要途径。在

⁵ 2024 中国算力大会工信部发展司副司长赵策发言

⁶ 中商产业研究院

东数西算政策引导和液冷、储能、储能、高压直流等新能源技术加速应用普及背景下，数据中心绿色低碳进程步伐逐渐加快。

算网融合技术的发展推动数据中心智能运维程度不断提高。当前，数据中心规模不断扩大，承载的业务和数据量成倍增长。智能运维工具保障数据中心运维的流程化和标准化，有效提高数据中心运行效率和智能化程度。

云化、虚拟化成为研究热点。云计算的普及和发展，推动传统数据中心加速重构，向云化、虚拟化转变，数据中心可扩展性、灵活性明显增强，自动化管理水平逐渐提高，运营成本大幅降低。

专栏 3 当前算力基础设施建设情况（部分）

1. 2023年1月1日，国内首个量子人工智能计算中心——太湖量子智算中心在无锡市滨湖区揭牌。将依托国家超级计算无锡中心的技术力量，打造“量子一经典”混合架构平台，提供量子人工智能应用所需算力、数据和算法服务的公共算力新型基础设施。
2. 2023年1月10日，宁波市首个人工智能超算中心正式上线运营。该项目未来二期计划迭代升级，达到300P（FP16）半精度人工智能算力和15P（FP64）双精度高性能计算算力规模的综合型人工智能超算中心。
3. 国家（杭州）新型互联网交换中心为例，采用“政府指导下的企业联合建设运营”的创新模式，同时全方位接入互联网企业、云计算企业等多个主体，目前已跻身全球交换中心TOP 10%。一是交换节点和交换网络进一步扩张，2023年，节点总数增加50%，省内地市实现双核多星全覆盖。二是总流量与活跃率双提升，接入企业数由155家增加到234家，峰值流量由2.4Tbps增加到5.17Tbps。三是算网融合业务进一步深入，成功发布浙江省一体化算力服务平台，依托中立、开放的定位，以算力专网为基础，汇聚各类异构算力资源，构建跨行业、跨地区、跨层级的算力服务资源池，实现多元异构算力资源的融合调度和弹性供给，已签约省内算力供给方12家，接入算力资源池23个。
4. 2023年4月，中国联通研究院、广东联通携华为建成全栈自主创新 AI 智算中心，据悉，这个智算中心拥有超过2000台华为昇腾 AI 服务器，以及一系列高性能的计算和存储设备，能够支持各种各样的 AI 应用和业务场景。
5. 腾讯智慧产业长三角（合肥）智算中心采用腾讯第四代T-Block等高端模

块化技术建设，为合肥数字经济发展提供“硬支撑”。

6. 2023年1月智算中心雪湖绿洲发布，建成后每秒浮点运算可达67亿亿次，存储带宽每秒2T，通信带宽每秒800G。

7. 2023年3月百度智能云（济南）智算中心，是百度落地山东的首个“智算中心基地”，将作为云计算、IOT、大数据、人工智能四大先导产业高地，向整个山东以及华北华东区域辐射。

网络基础设施建设持续推进，三大运营商加速升级完善网络基础设施。截至2024年上半年，中国移动已累计在超过280个城市进行5G-A商业部署，千兆网用户覆盖住户达到4.38亿户。中国电信践行全光网2.0理念，积极推进400Gbps全光高速网络规模部署，已建设全球最大规模的基于ROADM的全光交换网络。中国联通持续推进网络创新升级，已经在超过百个城市实现5G-A商用部署，千兆网10GPON占比达79%，并已经开展50GPON试点⁷。

网络应用与服务向智能化迈进，以5G/6G、IPv6+、人工智能为代表的创新技术向工业互联网、电子商务、数字文娱等应用场景加速拓展，催生新产业、新模式、新业态。

网络治理框不断完善。人工智能等重点领域的监管框架和原则逐步明确，多部门协同治理的格局逐渐成型，推动新技术领域向制度化、标准化迈进。

专栏 4 当前网络基础设施实践和布局情况(部分)

1. 2023年10月，华为宣布完成5G-A全部功能测试，在5G-A上下行超宽带技术、容量和时延方面取得关键进展，并首次将端到端跨层协同技术应用在5G-A宽带实时交互上。
2. 2024年，天津联通携手华为在天津港完成了全国首个港口场景通感一体

⁷ 德电咨询

能力验证。

3. 中兴通讯联合业界伙伴成立5G+工业确定性网络实验室,成功构建5G TSN端到端网络,并结合中兴通讯南京滨江智能制造基地的小站测试产品云化PLC业务场景,成功验证5G TSN网络的确定性能力。

4. 2024年,腾讯开源多模态模型VITA上线超算互联网,支持快速免费下载权重文件。

5. 中国移动北京科技创新产业园计划将优先布设6G试验网络,搭建公共实验平台等基础设施,重点支持6G商用的原型产品、新业务及新应用,提供全方面的开发、验证、培育与孵化服务,支撑6G技术的标准化与产业化,实现从原型系统到商用系统的快速迭代。

数据基础设施建设有序推进。2019年至2023年我国数据基础设施市场规模逐步上升,近几年增速明显。2023年我国数据基础设施市场规模为156亿美元,预计2024年市场规模将达到211亿美元⁸,市场前景广阔。

数据基础设施日益先进成熟,加速与实体经济融合。工业互联网已覆盖全部工业大类,融入49个国民经济大类,各行业跨领域协同发展成主流趋势。

数据基础设施制度逐渐完善。国家数据局成立以来,持续加强数字基础设施政策保障,聚焦数据产权、数据流通交易、收益分配、安全治理等重点领域,先后出台多项政策文件,健全数据基础制度体系。

专栏 5 当前数据基础设施实践和布局情况 (部分)

1. 中国电信通过“灵泽2.0数据要素平台”和数据要素生态联盟”,实施了五大战略举措,包括构建高质量数据集、拓展数据产品、打造AI融合大数据平台等。

2. 国家信息中心提出了数据授权流通信任服务基础设施(DTS),基于国家电子政务外网升级,建立合规可信的数据授权传递机制,实现数据提供者与使用者之间的安全数据传递,增强数据流通的信任度。

3. 中国电子构建了政府主导的数据金库,实现了数据和数据元件的内外网流通与共享,形成了市、省、国家三级的数据节点体系。

4. 上海数据集团有限公司和华为技术有限公司联合提出城市数据空间CDS(City DataSpaces)理念提出“1+4+2”统一基础架构,涵盖数据资源到

⁸ 沙利文、观知海内信咨询

数据交易的分层体系CDS构建了安全可信和合规可控的城市数据空间基础设施，促进了城市数据的有序流动和价值挖掘。

5. 中国移动基于隐私计算、区块链、低代码开发等技术，构建跨行业、跨区域、跨机构的数据要素流通基础设施—数联网(DSSN, DataSwitching Service Network)，并发布业界首个数据要素流通白皮书《数联网DSSN白皮书》并成立DSSN协同创新实验。

6. 2024年10月，全球数源中心（中国·南沙）数据基础设施南沙融通大厦正式揭牌，中心将汇聚物品的全生命周期数据，在数据要素流通、数据权益分配、产业开放生态、数字治理创新等方面形成领先示范，推动全球数据价值生态建设。

二、网络计算化推进网络智能演进

网络计算化以提供网络服务为核心，通过网络连接海量设备，感知异构算力资源。用户接入网络后自动获取计算、存储、网络等资源，依托网络对算网业务的需求感知和智能决策，提高用户体验。

（一）并网计算整合底层资源，算力感知纳管成为抓手

并网计算作为一种新型的多方资源整合模式，通过高速网络将分散在不同地理位置、由不同主体拥有或运营的多种类型、不同规模的计算资源整合起来，形成对外统一运营的算力池，为客户提供高效灵活的算力服务。这种模式能够充分利用各种闲置的计算资源，提高整体的计算效率，但底层资源种类繁多，在性能、架构、操作系统等方面存在差异，对资源整合管理带来挑战。通过引入算力感知纳管作为并网计算的核心环节，可以实时感知和评估网络中算力的服务状态，支撑系统智能地调度任务，确保资源的最优配置和使用，并对底层算力资源的全面监测和有效管理，从而实现资源的动态调度和高效利用，提高整个系统的灵活性和稳定性。

并网计算在整合底层资源中扮演着至关重要的角色。具体来说，它的作用主要体现在以下几个方面：

1. 实现资源的泛在连接：通过并网计算，可以将分散的计算资源连接起来，使得这些资源可以被广泛地访问和使用。这种连接不仅提高了资源的可访问性，还使得资源的分配和利用更加灵活和高效。

2. 提供一体化的资源供给：并网计算整合底层资源后，可以形成统一的资源池，这样用户就可以根据需要随时获取所需的计算资源，而无需关心资源的具体位置或类型。这种模式极大地简化了资源的管理和使用流程。

3. 支持按需应变的资源获取：随着业务需求的不断变化，用户对计算资源的需求也在不断变化。并网计算能够智能地响应这些需求变化，动态地调整资源分配，以满足不同时间点的计算需求。

4. 促进产业规模的持续扩大：随着算网服务的普及，相关的产业布局也在加快，产业规模不断扩大，产业模式不断创新。这为算网服务的发展提供了良好的市场环境和发展动力。

5. 支撑创新应用场景的发展：并网计算整合的底层资源为各种智能化场景提供了必要的计算支持。例如，大模型、科学模拟、元宇宙等新技术的应用需要大量的计算资源，而并网计算提供的资源可以有效地支撑这些技术的行业渗透和落地。

6. 推动数字化转型：在数字化时代，企业和组织需要处理大量数据，进行复杂的计算任务。并网计算整合的底层资源为这些任务提供了强大的支持，推动了行业的数字转型过程。

面向聚合多方算力资源、提供算力资源一体化服务的需求，需要在多方算力之上建立可实现多方算力服务统一接入、适配、管理的高效的监控和调度系统。

这个系统需要具备以下几个特点：一是实时性，能够快速响应算力资源的变化；二是智能化，能够基于历史数据和算法预测资源的使用趋势；三是自动化，能够在资源出现异常时自动进行诊断和恢复。通过这样的系统，管理者可以全面掌握算力资源的使用情况，及时调整资源分配策略，避免资源的浪费或短缺。

并网计算接入模式包括运营层对接、编排管理层对接、云原生算力纳管，具体说明及对比分析如下：

（1）运营层对接

运营层对接模式下，算网运营系统对接第三方运营系统平台，通过调用第三方算力运营平台 API 接口实现算力并网；

（2）编排管理层对接

构建标准算力服务能力模型及API，并将各算力管理系统厂家的专用API与标准API进行适配映射，实现北向单点调用，南向多点可运行的效果；

（3）云原生算力纳管

底层系统在裸金属或虚机上部署K8S容器，通过统一的K8S容器化部署消除底层多样算力系统的差异化，通过K8S API对容器资源进行管理调度。

（4）分类对比

并网计算模式	商业模式	并网对象	标准化方向
运营层对接	电商	智算、超算等	标准 API、算力分级

编排管理层对接	集成	大中型三方云	标准 API、算力度量、算力分级
云原生算力纳管	赋能	小型三方云	云原生接入、算力度量、算力分级

表 1 并网计算模式分类对比

（二）移动算网加速6G发展，智能感知调度成为焦点

6G移动算力网络作为一种新型网络架构，融合算力和网络，具备智能、高效、可靠的服务能力，依托高计算能力和边缘计算技术，实现数据处理和分析的实时性和本地化，被广泛应用于自动驾驶、远程医疗、工业自动化等场景。通过网络切片和动态资源调度，能够适配不同业务场景，根据场景需求进行算网资源的按需调度和灵活分配。随着5G-Advance新技术特性的逐步应用，移动通信网络的服务能力不断增强，产学研界持续推进6G技术研究及标准化工作。

为满足大规模AI智能体、元宇宙、自动驾驶等应用场景对算力及网络的需求，在6G移动通信网络中引入算网协同机制逐步成为共识。目前IMT-2030 (6G) 推进组、6GANA等组织已提出将“移动算力网络”及“网络内生算力”作为6G移动通信网络中的新特性并归纳出相关的技术需求，包括6G网络对计算资源及服务的感知、管理、调度、数据传输、质量保障等多个方面，并对策略控制、会话控制、认证鉴权等提出了新的能力要求。基于智能化、敏捷化的算网基础设施，在下一代通信网络中向用户提供按需随取的算网融合服务，并动态保障服务质量，释放云网边端资源潜力。

专栏 6 6G 移动算力网络标准发展现状

1. 在国际电信联盟 ITU-T、IMT-2030 (6G) 推进组致力于研究 6G 中算力网络的框架和关键技术。
2. 中国电信在 ITU-T 牵头开展了国际标准“6G 网络架构及关键技术”相关工作，同时于 2022 年 12 月底，发布了《6G 愿景与技术白皮书》，提出 P-RAN 的网

络架构。

3. ITU-T SG13 Q22 的在研标准 ITU-T Y. ICN-INP 中提出了 IMT2020 及未来网络中(后 5G 和 6G 网络), 使用 ICN 网络节点能力支撑网内计算处理的需求和框架, 网络节点通过局部状态感知和节点间协同交互, 实现对网络状态和算力资源的智能感知; 基于资源 ID 和 ICN 节点的智能感知能力, 实现算网一体化的协同寻址和路由转发, 完成基于 ICN 的移动算网智能感知调度。
4. 2023 年, 在工业和信息化部指导下, IMT-2030(6G) 推进组组织了 6G 技术试验工作。中信科移动通信技术股份有限公司配合参与 6G 关键技术的研究与验证, 完成了 2023 年 6G 技术试验网络技术的原型样机测试验证。其中, 测试验证原型样机包括 6G 分布式自治网络原型样机、6G 移动算力网络关键技术原型样机、6G 数据服务关键技术原型样机, 试验测试成果具备技术创新性, 为 6G 网络关键技术的可行性提供参考。
5. IMT-2030 年在 2023 年 6 月发布了全球 6G 愿景框架建议书, 除了在 5G 基础上进一步提升网络能力, 同时提出了通感融合, 通智融合, 泛在通信三大技术场景。IMT-2030 在 2023 年 11 月发布了 Recommendation ITU-R M. 2160, 进一步明确了 6G 的发展框架, 关键技术, 其中, 移动网融合算力能力已在业内形成广泛共识。

专栏 7 6G 移动算力网络产业发展现状

1. 在 IMT-2030(6G) 推进组组织了 6G 关键技术概念样机测试中, 中兴通讯开展并参与了全部 5 大类概念样机测试, 包括: 6G 分布式自治网络及数字孪生网络概念样机、6G 算力网络关键技术概念样机、6G 太赫兹关键技术概念样机、6G 通信感知一体化关键技术概念样机、6G 智能超表面技术关键技术概念样机, 在相关技术指标体现了较好的功能和性能。
2. 在 2023 年 12 月 28 日的 IMT-2030(6G) 推进组组织了 6G 移动算力网络关键技术测试中, 中国联通联合浪潮通信技术有限公司完成相关测试, 重点验证了 6G 移动算力网络中的关键技术, 包括网络架构、算力调度、数据传输等。通过模拟实际应用场景, 对原型样机的性能进行了全面评估。测试结果表明, 所验证的 6G 移动算力网络关键技术具有良好的性能表现, 能够满足未来 6G 网络的需求。
3. 北京中科海网科技有限公司, 基于算网一体化路由关键技术, 构建了 SEANet 广域创新算网服务基础设施, 目前已应用于大科学数据“东数

西算”等多个场景，并获 2022 年算网基础设施优秀产品及方案奖。

（三）算力网络感知应用需求，智能操作系统能力提升

算力网络的应用需求感知是指算力网络能够根据上层应用的特点和变化，动态调整和调度计算资源的能力。算力网络感知应用需求来自于科研计算、工业制造、医疗诊断、金融分析、车联网等多个领域，它们对算力的规模、速度、稳定性等方面都有着不同的要求。算力网络需要通过先进的感知技术，实时分析应用需求的变化，从而合理分配和调度资源，确保算力的高效利用。行业需求与行业属性紧密关联，通常有以下特征：

（1）多样性：不同行业和场景下应用类型繁多，对计算资源、网络资源的需求差异巨大。比如，科学研究需要大规模并行计算和高吞吐传输，而金融分析则强调数据处理的速度和准确性；智能制造追求实时计算与控制的融合，而智慧城市则要求海量数据的传输、整合与分析。因此，算力网络需具备高度灵活性和可扩展性，以满足各行业多样化的计算和网络需求。

（2）动态性：应用需求随时间、场景等因素变化而不断演进，算力网络需实时调整其资源配置和服务模式，以确保能够灵活应对各种应用需求的变化。通过实时监控和智能调度，算力网络能够准确捕捉需求变化，并快速调整计算资源的分配和优化，从而为用户提供更加稳定、高效和个性化的算网服务。

（3）不确定性：应用的爆发式增长导致算力需求波动，使得准确预测和应对变得异常困难。这种不确定性要求算力网络具备强大的弹性和

自适应能力，能够迅速响应需求变化，通过动态扩展来平衡供需关系，确保在算力需求高峰时能够稳定供应，而在需求低谷时则能有效节约资源，从而为用户提供稳定可靠的算力服务。

（4）调度高效性：大规模算力网络中，需要提高任务调度效率，降低通信开销。通过采用先进的调度算法和通信技术，可以优化任务分配和资源利用，减少任务等待时间和数据传输延迟。这不仅能够提升算力网络的整体性能，还能为用户提供更加高效的算网服务。

（5）安全性：随着算力网络的开放性增强，保障系统的安全稳定运行，为应用提供安全可靠的算网服务。

智能操作系统作为算力网络的大脑，面向各类算网客户和实际业务，其能力的提升对于支撑核心业务的安全稳定运行至关重要，其主要能力如下：

（1）构建应用需求模型：通过大数据分析、机器学习等技术，构建应用需求模型，模型包括应用的计算需求、存储需求、网络需求等信息，以便算力网络智能操作系统能够根据这些信息自主学习和适应应用需求的变化，实现对应用需求的精准预测和资源调度。

（2）实现应用感知：通过IPv6的可编程空间，在业务报文中内嵌应用信息和需求，同时在网络侧进行标记识别，实现低成本的差异化应用需求感知。

（3）打造弹性调度策略：根据应用需求的变化，采用弹性调度策略，动态调整算力资源。例如，当某个应用需要进行大规模数据处理时，网络会自动分配更多的计算资源以满足需求；而当需求减少时，资源又可以被重新分配给其他应用，从而避免资源浪费。

(4) 实现多云协同：实现多云平台之间的资源共享，满足应用的多样性需求。例如，根据用户的使用习惯和偏好，算力网络可以自动调整算力服务，提供更加贴心的用户多云体验。

(5) 优化调度算法：研究更高效的任务调度算法，提高算力利用率。根据应用的特点和需求，自动调整网络配置和计算策略，以优化应用的性能。这可能包括调整数据传输路径、优化计算算法、提高数据处理速度等，以确保应用能够高效运行。

(6) 保障算网安全：通过采用多层次的安全防护机制、加强数据加密和身份认证等措施，算力网络能够有效抵御各类网络攻击和安全威胁，确保数据的机密性、完整性和可用性。同时，建立完善的安全管理体系和应急响应机制，能够及时发现和处理潜在的安全风险，保障算力网络的持续稳定运行，为用户提供安全可靠的计算服务。例如，在感知应用需求的同时，算力网络还需要确保数据和资源的安全性。这包括对数据进行加密、实施访问控制、防止未经授权的数据访问等，以保护用户数据不受威胁。

专栏 8 国内厂商智能操作系统汇总（部分）

1. 阿里云弹性伸缩（Alibaba Cloud Auto Scaling）、腾讯云弹性伸缩（Tencent Cloud Auto Scaling）、华为云智能调度（Huawei Cloud Intelligent Scheduling）、京东云资源编排（JD Cloud Resource Orchestration）等解决方案致力于解决对上层业务应用的感知，对资源进行自动化调整优化，以提高资源利用效率、保障核心业务稳定运行。
2. 北京中科海网科技有限公司自主研发了可用于算力网络的网络协议，支持在报文中携带传输和算力调度需求，算力网络调度节点通过识别报文的相关字段，完成对应用需求的准确感知，结合当前网络、算力等资源状态，实现算网一体化智能调度，整体提升网络带宽效能和算力资源利用率。
3. 2023 年 10 月，中国移动开启了“算网大脑”的全网试商用，全面开启算

力网络 2.0 新征程；为了应对不断上涨的算网业务需求，提升算网业务体验，未来移动算网大脑将通过智能融入，进一步提升算网大脑能力。

4. 2021 年，中国联通发布“联通智慧大脑”，致力于建成有行业标志性、引领性的类脑化智能中台与超算化云网引擎，构架起高速泛在、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。
5. 2023 年 6 月，中国电信发布算力分发网络平台“息壤”，“息壤”是天翼云自主研发的基于云原生和跨域大规模调度技术的算网调度平台，核心技术包含算力度量，算网感知，算力调度等。

三、计算网络化牵引算力全面互联发展

计算网络化以计算服务为核心，基于高质量互联网络连接算力软硬件资源为各个位置的用户提供各类个性化的服务，实现计算资源由“端”变“网”，形成全网覆盖的算力供给。

（一）无损网络+大模型推动智算中心全面升级

智算中心已成为产业升级和经济增长的重要抓手，对于智算中心而言，算力是核心，而网络是基础，网络的带宽、延迟、可靠性等，成为制约算力释放的关键因素。尤其是ChatGPT、Sora等AI大模型和多模态人工智能技术发展，需要远超以往的强大算力集群来满足，智算中心迈入 2.0 时代，智算中心网络也面临新的技术挑战与发展趋势。

1. 无损网络创新驱动，智算中心效率全面升级

无损网络是指在数据传输过程中不会丢失数据或降低数据质量的网络技术，采用高带宽、低延迟的传输方式，保证数据的完整性和可靠性。智算中心作为大规模数据处理和分析的核心场所，需要大量的数据传输

和网络通信。无损网络技术可以有效地提升数据传输效率，保证数据在各个节点之间的快速传输。

当前无损网络技术以RoCE和IB为主，RoCE技术基于以太网传输协议，网络设备具有很好的兼容性。IB基于专有协议，对网络设备具有一定的要求。智算中心正逐步将无损网络技术集成到其基础设施中，通过采用高效的传输协议和算法，从而在数据传输过程中减少丢包和错误，确保数据的完整性和准确性。

无损网络的应用对于支持大数据分析、机器学习、人工智能等计算密集型任务至关重要，因为这些任务对数据质量有着极高的要求。无损网络技术推动了智算中心向更高级别的智能化和自动化发展。通过智能化的网络管理，智算中心能够实现对数据流动的实时监控和动态调整，以适应不断变化的计算需求。自动化则进一步减少了人为干预，提高了运营效率和系统的可靠性。

此外，无损网络与新兴技术的融合，如边缘计算、云计算、人工智能等，正在成为智算中心发展的新趋势。这些技术的结合不仅提升了数据处理能力，还增强了智算中心对复杂问题的解决能力，进一步推动了智算中心在各行各业的广泛应用。

2. 大模型应用驱动，智算中心规模升级

随着AI模型参数规模从千亿增长到万亿，AI训练面临投入成本和长训练周期的挑战。AI系统由训练和推理两个基础组成，对算力和网络的要求不同。并行计算为大模型训练提供了有力的支持，AI大模型并行计算模式要求万卡集群规模，当前产业界数据并行、流水线并行、张量并行等多种并行计算方式。多种并行计算模式对于网络的要求主要可以用“三超”网络来概括，即：“超大规模、超高带宽、超强可靠”，以保

障网络稳定、可靠运行。智算中心也将会在无损网络技术和AI应用中，进一步向着“三超”特性发展。

为满足大模型训练与推理需求，智算中心配置了必要的硬件加速器，如GPU和TPU，这些加速器对于处理复杂的神经网络计算至关重要。随着大模型的不断涌现和应用范围的扩大，智算中心也面临着资源优化和扩展的挑战。为了更高效地支持大模型的运行，智算中心正在不断优化其资源分配策略，提高计算资源的利用率。

为满足日益增长的计算需求，智算中心也在不断扩展其计算能力和存储容量。智算中心的发展不仅仅局限于硬件设施的升级，还包括技术创新和服务模式的演进。例如，通过采用容器化技术和微服务架构，智算中心能够更加灵活地部署和管理大模型。此外，智算中心也在探索新的服务模式，如算力即服务（CaaS），使得用户可以根据实际需求灵活购买和使用计算资源。大模型应用与智算中心的发展相辅相成，随着大模型参数规模越来越大，训练效率要求越来越高，进一步推动了智算中心在规模的全面升级。

3. 交换机绿色节能，长期收益稳定

当前，智算中心正经历着效率和规模的双重提升，传统的扩展方式往往采用大量的交换机，即光电转换设备来实现，这种扩展方式虽然在初期能够带来显著的算力增长，但随着规模的不断扩大，其边际效益逐渐递减，即每单位新增投入所带来的算力提升越来越少，正逼近传统集群式扩展的天花板。

在此背景下，OCS交换机（Optical circuit switch）组网技术以其高效、灵活和可扩展的特点，成为了未来网络组网的新选项。OCS技术利

用光网络的高速传输和MEMS交换能力，能够更好地满足日益增长的数据传输需求，同时优化网络资源配置，提高整体网络的能效比。

通过采用OCS交换机组网，我们不仅能够突破传统集群式扩展的局限，还能够构建更加绿色、智能、高效的网络环境，为未来的数字化转型和智能化升级奠定坚实的基础。

专栏 9 产业智算中心无损网络方案

1. 英伟达的 NVIDIA® Spectrum™-X 是第一个专为提高 Ethernet-based AI 云的性能和效率而设计的以太网平台，基于 Spectrum-4 以太网交换机与 NVIDIA BlueField®-3 DPU 网卡构建，针对 AI 工作负载进行了端到端优化。
2. 中国移动全调度以太网技术方案 GSE，面向智算中心规模建设和 AI 大模型发展及部署需求，打造无阻塞、高带宽及超低时延的新型智算中心网络。
3. 亚马逊 SRD 技术（Scalable Reliable Datagram）旨在利用现代商业化的多租户数据中心网络（具有大量网络路径），同时克服它们的局限性（负载不平衡和无关流冲突时的不一致延迟）。
4. 中科海网 RoSEAN（RDMA over SEANet）解决方案采用自主 SEANet 网络协议，封装 InfiniBand 传输协议，提供 RDMA 服务。
5. 谷歌的 Google Falcon 是在 2023 OCP 峰会上提出的一套面向未来 AI 时代的网络传输技术栈，包括低延迟的拥塞控制（例如 Swift），流量整形（例如 Carousel），或快速重传等技术能力。
6. UEC 联盟为人工智能基础设施打造超大以太网，面对人工智能工作负载预计将对网络提出前所未有的性能和容量要求，UEC 将进一步完善以太网规范，以提供一系列核心技术和功能。

（二）IPv6+云平台助力高性能算力服务互联互通

IPv6面向未来互联网的规模需求，不仅能支持海量设备的无缝接入，还能通过各种技术和协议改进，确保高效、安全的数据传输。随着IPv6在全球范围内的广泛部署，这些优点将进一步促进物联网、云计算、大数据等领域的发展。IPv6+是IPv6技术的进一步增强与扩展，它是在IPv6

协议基础上引入了一系列SRv6、SDN等新技术和新功能，能够满足未来互联网对于更大规模连接、更高服务质量、更强安全性和更好可管理性的需求。

在算力网络中，云平台能够管理和调度计算资源，它负责将硬件设施抽象化为可动态分配和按需使用的计算能力。在算力网络中，云平台作为核心组件，负责打通云端与边缘、终端之间的算力壁垒，实现从数据中心到边缘节点的全链条算力资源的统一管理和高效调度，以满足各种场景下的计算任务需求。

IPv6+技术体系与云平台深度融合，发挥各自技术优势，可以从网络基础架构、传输效率、资源调度、安全防护、边缘计算等多个层面深度赋能高性能算力服务，构建更加智能、高效、安全、可扩展的高性能算力服务体系。例如在高性能计算、大数据处理等场景下，可以通过IPv6+技术实现不同算力中心之间的高速互联互通，根据高性能计算任务和大数据处理的工作负载特点，云平台能够通过SRv6技术和网络切片技术智能调度和优化数据在网络中的传输路径，确保高带宽、低延迟的数据传输，从而满足高性能计算和实时大数据处理的需求。

此外在某些情况下，部分计算任务被动态调度至边缘节点进行处理，利用IPv6的大规模地址空间和高效率数据传输能力，边缘计算的结果可以迅速回传至算力中心，实现计算任务的分布式执行和结果的及时汇集。

IPv6+技术与云平台的深度融合赋能主要体现在如下六个方面：

(1) 地址管理：IPv6的海量地址空间允许云平台为每一个算力资源（如虚拟机、容器或函数）分配唯一的全局地址，实现更精细的网络管理与控制。云平台可以根据需求动态分配IPv6地址给临时或永久的算力资源，支持大规模的并发连接和算力接入。

(2) 资源调度：使用SRv6技术，云平台可以实现基于IPv6的灵活路径选择和流量工程，优化数据在算力中心之间或边缘算力节点的传输路径，降低延迟并提升网络效率，这对于高性能计算服务中的数据交互至关重要。

(3) 网络功能虚拟化：IPv6+技术支持网络切片和服务质量技术，云平台可以通过网络切片为不同的高性能计算服务提供定制化的网络连接服务，保证不同计算任务所需的服务质量和资源保障，例如为实时性要求较高的HPC任务分配优先级高的网络资源。

(4) 边缘计算：IPv6+技术能够帮助云平台实现云边协同，将部分计算任务下沉至边缘节点，利用IPv6的长距离传输能力和短时延特性，缩短数据传输距离，提高计算响应速度，为高性能计算提供近实时的服务。

(5) 安全防护：通过IPv6的内置安全机制（如IPsec），云平台可以提供端到端的数据加密和身份认证服务，确保高性能计算服务在广域网络传输中的安全性。同时，IPv6+技术还可以配合云平台强化隐私保护，防止数据泄露。

(6) 智能运维：结合IPv6+的先进网络管理技术，云平台能够实现网络状态的智能监控和自动化运维，如故障检测、资源调度、流量调控等，进一步提升高性能算力服务的可用性和稳定性。

超算互联对网络通信连接要求极高，还需要高可靠、低成本、灵活调用算力资源。IPv6可以在超宽、广连接、安全、自动化、确定性和低时延六个维度全面提升超算互联网的IP网络能力，有效优化国内超算的算力分布和应用，形成支撑数字中国建设的“高速路”。基于IPv6的超算互联网可将全国众多超算中心连接起来，广泛连接产业生态中的算力

供给、应用开发、运营服务、用户等高性能计算领域的供需端，构建一体化超算算力网络和服务平台，促进不同超级计算中心之间的异构集成，最终实现大型专业超级计算资源、高校超级计算资源和其他相关社会资源在IPv6基础设施上的部署，并通过算力和服务平台的合理调度，以及市场化的运营体系实现算力资源统筹规划。

（三）边缘计算+AI 提供一体化行业解决方案

边缘计算是一种将数据处理和存储功能放置在接近数据源头的地方的计算模式，与传统的集中式云计算相对。边缘计算能够提供低延迟、高带宽、隐私保护等优势，特别适用于园区网络这种需要快速响应、大规模连接的场景。人工智能作为边缘计算的重要支撑，通过机器学习、深度学习等技术，可以使边缘设备具备智能感知和决策能力，从而实现更高效的数据处理和管理。边缘计算与人工智能的结合，不仅能够提升园区网络的性能和灵活性，还能够实现智能化的网络管理和运维。

1. 边缘计算+AI助力行业大模型落地

边缘计算与AI的融合正在推动一场技术革新，这种融合使得数据管理和智能分析更加接近数据源，即“边缘”。边缘计算通过在网络边缘节点上进行数据处理，减少了数据在网络中的传输距离，从而显著降低了延迟，提高了响应速度。这对于需要实时或近实时处理的应用场景尤为重要。

同时，边缘计算还有助于减少带宽使用，提高数据安全性，因为敏感数据可以在本地处理，不必传输到云端。人工智能技术的发展为边缘计算提供了强大的数据处理能力。通过机器学习和深度学习算法，边缘设备能够进行复杂的数据分析和决策制定。这种智能化的边缘计算不仅

能够处理简单的数据过滤和转发任务，还能够执行更高级的图像识别、语音识别和预测分析等功能。边缘计算与人工智能的融合开启了诸多技术可能性，为各行各业提供了更加高效、智能和安全的一体化解决方案。

2. 边缘计算+AI推动场景应用智能化发展

智能物联网 (IoT)：物联网设备的广泛应用生成了庞大的数据流量，而边缘计算通过在设备本地即时处理这些数据，不仅有效减轻了中心服务器的处理压力，还增强了用户隐私的保护。结合人工智能技术，物联网设备得以实现全面的自我诊断与自我维护功能，从而显著提高了运维的效率和智能性。这种融合边缘计算与AI的先进技术，使得物联网设备能够更加智能地监控自身状态，预测潜在故障，并自动执行必要的维护任务，优化了整体的运行性能和用户体验。

自动驾驶汽车：自动驾驶汽车需要快速处理大量传感器数据以做出即时决策，边缘计算提供了必要的低延迟和高可靠性，AI提供了智能、正确的操作选择。边缘计算与AI的一体化解决方案，确保了车辆在各种复杂环境下都能够做出准确反应，极大提升了行车的安全性和效率。此外，边缘计算与AI的结合还能够支持自动驾驶汽车的持续学习和自我优化，使其随着时间的推移而不断提高性能和智能水平，为未来的智能交通系统奠定坚实基础。

智能制造：在工业4.0的背景下，边缘计算能够实现生产线的实时监控和优化，提高生产效率和产品质量。通过在生产线的边缘节点部署计算能力，可以即时处理和分析由传感器和机器生成的大量数据，从而快速识别和解决生产过程中可能出现的问题，使得生产决策更加敏捷和精确。结合AI技术，还能够通过机器学习算法对生产流程进行智能优化。AI可以分析历史数据和实时数据，预测设备故障，自动调整生产参数，

确保生产线的稳定运行和最佳性能。边缘计算与AI的结合一体化解决方案，通过灵活的数据分析和快速响应，富裕生产线高度的灵活性和定制能力，不仅提升了客户满意度，也为制造商带来了更大的市场竞争力。

3. 云边协同是边缘计算+AI能否落地的关键

随着边缘计算+AI一体化解决方案的持续落地，“边缘计算+AI”正在引领行业解决方案向更加一体化和智能化的方向发展。在这种模式下，边缘计算提供了接近数据源头的计算能力，而AI则赋予了系统智能分析和决策的能力。在部署这样的系统时，需要综合考虑边缘计算、边缘AI和网络中心的协同工作机制，确保云边协同的有效性。

云边协同是这一架构中的关键，它涉及到云计算资源与边缘计算节点之间的紧密合作和资源共享。通过云边协同，可以实现数据处理的最优分配，将一部分计算任务下沉到边缘节点，从而减少数据传输的延迟和网络负载，提高整体系统的响应速度和处理效率。同时，算力网络的云边协同还意味着在云端和边缘之间实现算力资源的灵活调度和优化配置，确保无论在云端还是边缘，都能发挥出最大的计算效能，满足不同应用场景的需求。

四、算网数据一体化激发数据要素价值

数据作为新型生产要素，是指在信息化、数字化时代背景下，各类信息数据经过采集、加工、分析、解读后，以其特有的形式和内容参与到经济社会活动中，对生产力的提升、生产关系的变革以及经济形态的发展起到基础性、支撑性和战略性作用的一种新型资源。算网数据一体化以数据服务为核心，依托高质量互联网和大数据、人工智能等技术，

对数据进行统一采集、统一管理和统一应用，以数据的服务化、可视化实现数据内部统一，跨区域、跨平台、跨领域共享和对外开放。

（一）算力网络面临数据挑战，数据要素成为重要锚点

1. 数据要素驱动算力网络发展

数据要素不仅驱动算力网络在规模、架构、技术等方面的持续创新与升级，还深刻影响了各行业的业务模式、决策方式以及整个数字经济的市场格局与规则体系，成为推动算力网络乃至数字经济持续发展的重要引擎。数据要素与算力网络的深度融合也呈现出智能化升级、分布式与边缘计算深化融合、数据安全与隐私保护强化、跨域数据融合与共享标准化、绿色低碳建设等趋势，推动数字基础设施向高效、安全、开放、可持续演进。

（1）催生新的算力需求：随着大数据、人工智能、物联网等技术的应用普及，数据生成速度与规模呈指数级增长。海量、高频、多源的数据处理需求促使算力网络不断扩容和升级，以满足实时分析、深度学习、边缘计算等复杂任务的算力需求。数据的爆发式增长直接驱动了对更高性能、更大规模、更灵活部署的计算资源的需求，推动算力网络从集中式向分布式、云边端协同的方向演进。

（2）优化算力资源配置：数据要素的流动性和可塑性使得算力网络能够根据数据的来源、性质、处理需求等因素，动态调整和优化算力资源的分配。例如，通过数据热度分析、预测模型等手段，预测数据处理高峰时段和地点，实现算力资源的按需调度和就近处理，减少数据传输延迟，提高计算效率。此外，数据的标签化、索引化处理有

助于实现数据与算力的精准匹配，进一步提升算力利用率。

(3) 促进技术创新与融合：数据要素的丰富性和复杂性推动了算法、软件、硬件等领域的技术创新。为了高效处理不同类型、结构、规模的数据，算力网络需要不断引入先进的数据处理框架、分布式计算平台、专用加速硬件（如 GPU、TPU 等）以及容器化、微服务化等技术架构。同时，数据要素也促进了云计算、边缘计算、物联网等技术的深度融合，形成云边端协同的新型算力网络架构。

(4) 赋能行业数字化转型：数据要素作为行业知识的载体，通过算力网络的高效处理与分析，为各行业提供深入洞察与决策支持，加速数字化、智能化转型进程。例如，在制造业中，通过实时数据分析优化生产流程、预测设备故障；在金融服务业中，利用大数据风控模型提升信贷审批效率、防范欺诈风险；在智慧城市中，整合多源城市数据实现精细化管理与服务。

(5) 推动数据市场与生态构建：数据要素的市场化进程加速了数据交易、数据服务等新兴业态的发展，催生了数据交易所、数据服务平台等市场载体。算力网络作为数据流通、处理的核心基础设施，为数据要素的定价、交易、共享提供了技术支持与安全保障，助力构建数据要素市场的规则体系与监管框架，推动形成健康、活跃的数据要素生态。

2. 数据助力数字经济发展面临多重挑战

当前，算力网络在推动数字经济快速发展的同时，也面临着一系

列挑战，其中数据问题尤为突出，其重要性主要体现在以下几个方面：

(1) 数据安全与隐私保护：随着数据量的爆炸性增长和跨地域、跨系统的广泛流动，数据安全风险显著增大。黑客攻击、数据泄露、非法数据交易等事件频发，严重威胁个人隐私、企业机密乃至国家安全。如何在保障数据高效利用的同时，确保数据在采集、存储、传输、处理全生命周期中的安全性，防止敏感信息被滥用或泄露，是算力网络面临的重要挑战。

(2) 数据质量与一致性：大数据的价值在于其能够提供深度洞察和决策支持，但数据质量直接影响到这些价值的实现。原始数据可能存在缺失、错误、冗余、不一致等问题，如果未经有效清洗、校验和整合，可能导出误导性结论，影响业务决策的准确性。此外，分布式算力网络环境下，数据在多个节点间同步更新时保持一致性也是一大难题。

(3) 数据主权与跨境流通：在全球化的背景下，数据跨境流动日益频繁，各国对数据主权的重视程度不断提高，纷纷出台数据本地化存储、跨境传输限制等法规政策。如何在尊重各国数据主权、遵守相关法律法规的前提下，实现数据的有效跨境流通和共享，避免“数据孤岛”现象，是算力网络需要应对的重大法律与政策挑战。

(4) 数据标准与互操作性：不同行业、不同系统产生的数据往往遵循不同的标准和格式，导致数据难以无缝集成和互操作。缺乏统一的数据标准和接口规范，会增加数据整合的成本，降低算力网络的整

体效率。建立和推广跨领域、跨平台的数据标准与互操作框架，对于提升数据利用效率至关重要。

(5) 数据权属与利益分配：数据作为一种新型生产要素，其权属问题尚未在全球范围内形成共识。谁拥有数据、谁有权使用、收益如何分配，这些问题关系到数据市场的公平竞争和社会公正。明确数据权属规则，构建合理的数据价值分配机制，对于激发数据要素市场活力、促进算力网络健康发展至关重要。

(二) 数据存储构筑算力产业底座，助力算网行稳致远

人工智能、区块链、深度学习、数字孪生等新技术的不断涌现，数据量爆发式增长，驱动数据存储从简单的物理存储向复杂的数字化存储演变。数据存储承担数据保存、管理、处理和传输的重任，对于保障数据的完整性、可用性和安全性至关重要，在算网融合产业中发挥更加重要的作用。

1. 数据存储筑牢算网融合产业基础底座

提供高效的数据处理能力。数据存储系统通过优化存储架构、采用先进的存储技术和算法，提高了数据的读写速度和吞吐量，提升算网融合处理更大规模的数据集的能力，满足高性能计算的需求。同时，数据存储系统还支持数据压缩、去重等技术，降低了存储成本，提高了存储效率。

实现数据的高效管理和调度。数据存储系统通过元数据管理、数据生命周期管理等功能，实现了数据的高效管理和调度。元数据管理提供了数据的分类、标签、索引等功能，数据能够被快速定位和检索。数据

生命周期管理根据数据的价值和使用频率，对数据进行合理的存储和备份策略，确保数据的长期保存和可用性。

提供可靠的数据安全保障。数据存储系统通过加密、备份、恢复等技术手段，为算网融合产业提供了可靠的数据安全保障。通过加密技术可以保护数据的机密性，防止数据在传输或存储过程中被泄露。通过备份和恢复技术可以确保数据在遭受破坏或丢失时能够迅速恢复，保障业务的连续性。

2. 数据存储技术在算网融合产业中的应用

在大数据分析和人工智能领域，大数据平台需要处理和分析海量数据，需要采用分布式存储系统和高效的存储算法来提高数据的处理速度和吞吐量。同时，通过采用加密和去标识化等技术手段，能够保护数据的机密性和隐私性。

云计算和边缘计算作为算力产业的重要组成部分，需要利用数据存储技术来保障数据的可靠性和可用性。云计算平台采用分布式存储系统来存储用户的数据和应用程序，提供高可用性和可扩展性。边缘计算通过将数据存储技术部署在网络的边缘节点上，实现对数据的实时处理和传输。

物联网和智能制造领域需要依托数据存储技术来支撑数据的采集、存储和分析。物联网设备对数据实时采集和传输要求较高，需要采用高效的数据存储和传输协议来保障数据的实时性和可靠性。智能制造领域通过将数据存储技术与工业控制系统相结合，增强了生产数据的实时监控和分析能力。

（三）隐私计算兼顾数据流通及安全，算网数据一体化实践

算网融合通过网络连接分布式计算节点，对数据进行分发传输，实现自动化部署、负载均衡、最优路由等服务，算力和网络的融合打破了传统的安全边界，为算网融合带来新的安全挑战。一方面算力节点在云、边、端多源泛在分布，各算力节点的互联互通增加了安全暴露面，存在网络攻击、数据泄露等风险。另一方面数据在算网融合中的跨节点、跨层级流通，面临用户隐私数据、算网业务数据、算力交易数据丢失、篡改、泄露等数据安全挑战。通过在算网融合中引入隐私计算技术，实现算力节点隐身“不可知”、网络攻击“不可达”、算网系统“不可控”，建立算网安全一体化防护机制。

1. 隐私计算在算网融合场景中的应用

隐私计算是一种在保护数据隐私的前提下进行数据处理和分析的技术。它通过对数据进行加密、脱敏、匿名化等处理，使得数据在传输、存储和处理过程中不被泄露或滥用，为算网安全提供了有力的保障。

(1) 数据传输和存储安全：通过加密技术和隐私保护策略，隐私计算技术确保了数据在传输和存储过程中的安全性，防止了数据泄露的风险。

(2) 数据处理安全：算网融合场景下，隐私计算通过多方安全计算、联邦学习技术，确保数据提供方不泄露原始数据前提下，对海量数据和算力资源进行聚合计算，实现数据“可用不可见”，解决数据流通与融合过程中多方数据融合难的问题。

(3) 资源访问控制：通过身份认证和访问控制等技术，确保算力网络中的资源只能被合法用户访问和使用。在算网融合中，计算资源和网络资源往往由不同的运营商和管理者负责，通过身份认证和访问控制等技术，可以确保这些资源的安全性和可靠性。

2. 隐私计算为多个领域提供算网安全保障

隐私计算技术被广泛应用于多个领域，以确保数据的安全性和隐私性。在金融领域，金融机构需要处理大量用户敏感数据，如个人信息、账户数据、交易记录等。隐私计算技术可以对这些数据进行加密和处理，确保用户的隐私得到充分保护的同时，满足金融机构数据共享和交易的需求。在医疗领域，医疗机构需要处理大量患者的个人健康信息，如病历、检查结果、用药信息等。隐私计算可以确保这些敏感数据的安全性，同时为医疗机构之间的数据共享和交流提供技术支持，进一步促进医疗行业的发展。在公共安全领域，隐私计算技术可以实现人员追踪、异常检测等功能，提升公共安全监测水平，同时保护个人隐私信息不被泄露。

五、算网安全构筑全方面安全保障体系

（一）零信任精细化管理算网资源访问，产品成熟落地部署

1. 零信任关键技术

数字时代，云、大、物、智、移等新一代信息技术与产业应用加速融合，算网基础设施日趋成熟。与此同时，数字化的发展下传统网络边界逐步消失，安全问题和挑战也日益突出。零信任是一种新型“去边界化的网络安全架构”，基于默认所有连接不可信，需要进行认证、授权和持续校验的策略，在主体和客体间重新构建信任边界，通过精细化访问控制、持续信任评估等方式，保障数据安全。

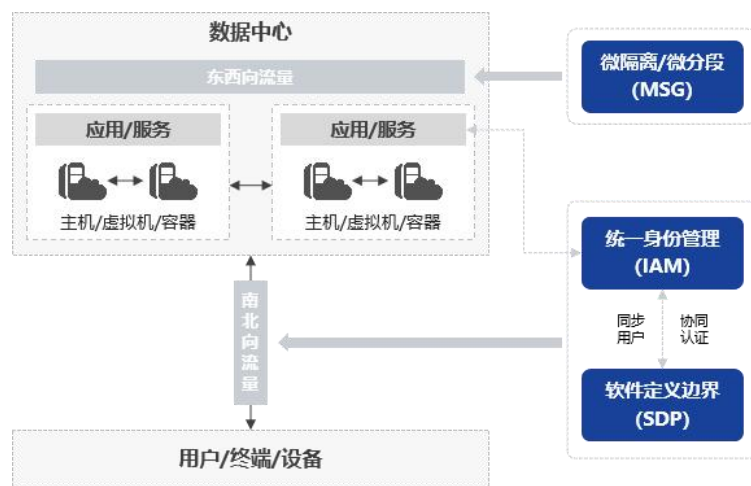


图 2 零信任关键技术

当前国内零信任相关产品参考NIST《零信任架构》中提出的SDP（软件定义边界）、IAM（身份访问管理）和MSG（微隔离或微分段）三个技术路，每条路线有其适用的安全场景，解决特定的安全问题。技术特征上，SDP聚焦多维度信任评估与业务访问控制；IAM聚焦用户信息管理和认证鉴权；MSG聚焦主机隔离与内部流量的拓扑绘制。场景匹配上，SDP和IAM主要聚焦与人机访问，或者物联网终端访问场景，MSG主要聚焦主机访问，即应用/服务之间的横向访问。

2. 零信任在各行业的落地应用

经过多年的发展，零信任相关产品方案日趋成熟，IDC对中国零信任市场份额的调研显示，零信任网络访问解决方案市场规模达到267百万美元，增长30%，市场进入高速发展期，零信任产品方案已经广泛在政务、金融、能源、互联网、通信、制造、教育、医疗、交通等行业场景落地应用。

政务行业中，随着政务数据的集中与开放，数据泄露、安全攻击等安全威胁日益凸显，数据安全成为政务信息化建设的重中之重，引入零信任方案可以加强数据访问的安全性和精细管理。基于零信任架构在政

务大数据平台中的应用，通过暴露面收缩、精细化的访问控制、对接入终端的持续信任评估，显著降低了外部入侵、数据泄露等风险；通过建立统一的用户身份管理平台和政务应用的跨网访问保护，满足政务一网通办趋势下应用的随时随地安全、合规接入政务云平台，支持远程和移动办公需求，显著提高工作效率。

金融行业中，因其数据的高价值性，一直是网络攻击的主要目标，对内部系统安全和数据安全具备极高要求。一方面，业务移动化、跨区域访问频繁，如何安全地允许员工访问内部资源成为一大挑战，另一方面，金融行业数据泄露风险较大，需要采用对金融数据的敏感性要求极高的安全保护措施。零信任架构在金融行业的应用，可以采用SDP技术隐藏系统暴露面，对跨网访问实现网络隔离，根据用户行为和设备状态动态调整访问权限，通过跨网访问的隔离与保护手段，提升了业务访问的便利性，同时长期看，减少了因安全事件导致的潜在损失。

（二）强化算网设备固件安全管理，筑牢算网安全屏障

1. 算网设备固件安全问题日益凸显

算网是一张覆盖端、边、管、云的复杂网络，业务系统和设备的多样性和大规模，存在着算网设备固件资产和漏洞管理上的重大风险，给整个算网的安全稳定运行带来了严重威胁。这主要源于以下几个方面的原因：

一是开发过程安全意识不足。固件开发涉及到底层硬件和软件的交互，许多边缘嵌入式设备的固件在设计和开发过程中没有充分考虑安全性，可能存在代码缺陷、加密算法不安全等问题。此外，部分设备的固件可能使用了不安全的第三方库，在一定程度上增加了安全漏洞隐患。

二是传统检测分析方法失效。底层硬件平台的复杂异构性是固件分析面临的巨大障碍，通用的X86平台静/动态检测方案无法适用于MIPS、ARM、PPC、RISC-V等多平台架构，架构方面的差异导致了传统方法的不可移植性；加上算网设备的固件通常考虑了加密和混淆等安全措施，也进一步增加了对固件实施安全检测的难度。

三是安全认证机制尚未成熟。一方面归因于业界对嵌入式设备的固件安全重视程度。关于固件安全认证的标准和规范尚未完善，缺少统一的指导原则和标准要求，这使得在实施认证机制时缺乏明确的参照和准则；另一方面，相关监管政策尚未出台，导致认证机制的建立受到一定的制约。以上因素共同作用，使得对固件的安全认证机制的发展尚未成熟。

2. 加强算网设备固件安全管理

面对当前固件安全存在的诸多挑战，必须站在产业发展的战略高度，采取切实有效的措施加以应对。算网设备安全管理主要包括以下几个方面：

一是引入严格的安全审计机制，加强固件开发管理。在从源头上提升固件的安全性，确保固件在设计和开发阶段就充分考虑并融入各种安全措施。厂商应建立完善的开发流程和标准，加强在需求分析、设计、编码、测试、发布等环节制定严格的编码规范和安全管理，确保开发人员遵循最佳的安全实践，避免在代码中引入安全漏洞。其次，引入严格的安全审计机制也是加强固件开发管理的关键一环。利用专用的审计工具对固件开发过程进行全面、系统的检查和评估，发现潜在的安全漏洞和隐患，并提出相应的修复建议。通过安全审计确保固件在设计、编码、测试等各个环节都符合安全要求，从而降低固件遭受攻击的风险。

二是运用先进静态动态相结合的逆向技术，突破现有方案限制。逆向技术是一种通过对目标系统进行研究和分析，以推导出其内部结构和功能的技术手段。静态分析是逆向工程的重要组成部分，通过静态分析，了解固件的逻辑流程、函数调用关系以及关键数据的存储位置等。在固件安全领域，需要突破传统方案的限制，发展出能够适配不同硬件架构的静态动态结合的逆向技术，深入地了解固件的安全机制，发现潜在的安全漏洞。推动逆向工程技术在固件安全分析领域的运用，可以更全面地了解固件的安全机制，发现潜在的安全漏洞并完成精确的定位，找出漏洞的根源和攻击路径，为漏洞修复和安全加固提供强有力的支持。

三是构建固件安全认证流程，出台相关标准规范。设立专门的认证机构，对市场上的固件进行安全检测和认证，只有通过认证的固件才能被允许在算网设备上运行，从而有效遏制恶意固件的传播。认证机构应具备专业的技术团队和先进的测试手段，能够独立、公正地进行固件安全检测和认证工作。认证流程包括申请受理、资料审查、安全测试、结果评定等环节。在申请受理阶段，审核申请者的资质和提交的固件信息；在资料审查阶段，对固件的设计文档、源代码等进行详细审核；在安全测试阶段，利用专业的反编译测试工具对固件进行全面检测；在结果评定阶段，根据测试结果判定固件是否符合安全标准，对符合要求的固件颁发认证证书。同时监管单位应出台相关标准规范，明确固件的安全要求、测试方法、评估准则等，为认证机构提供明确的指导和依据。同时，标准规范还应与国际接轨，借鉴和吸收国际先进经验，不断提升算网边缘设备的固件安全认证水平，筑牢算网安全屏障。

（三）区块链引入多层防护措施，构建可信协同的新模式

1. 区块链构建算网融合可信基石

区块链是一种分布式账本技术，具有去中心化、不可篡改、安全可靠、透明可追溯等显著特点。区块链采用了先进的加密技术，如哈希函数、数字签名等，保证了交易的隐私性和数据的安全性。透明可追溯性使得区块链上的每一笔交易都可以被追溯和查看，所有参与者都能够看到相同的账本信息，增加了交易的透明度和信任度。区块链的去中心化摆脱了传统数据库由一个中心化的机构进行管理和维护的方式，这使得区块链能够抵抗单点故障和恶意篡改，提高了系统的可靠性和安全性。在算网融合的背景下，引入区块链技术可以为系统构建多层防护措施。

通过区块链技术，对算网融合架构中管理和控制相关的操作与行为、以及算网融合业务中的交易过程行为和数据，进行有效的记录、跟踪、管控，从而构建可信的算网空间，已在实际业务场景中得到较好地验证。在算网底层安全框架上，基于分布式的身份管理和安全认证，是作为后续部署安全隔离、隐秘传输等安全机制的基础；在算网业务交易过程中，基于智能合约实现算网业务交易过程的安全和可信管理，保证公共交易空间中业务开展的安全性和可信性；在操作审计和业务交易溯源上，基于区块链技术的新型日志和交易数据记录系统，保证了算网操作行为和业务行为的不可篡改性和不可抵赖性。

2. 区块链技术在算网交易平台中的应用

算网交易平台中包含了算力网络资源信息、用户信息，以及交易订单等重要商业信息，保护交易用户的隐私信息至关重要。区块链使用密码学算法确保数据在传输和存储过程中的安全性。结合零知识证明和同态加密等技术，进一步提升数据的隐私保护能力，确保用户数据的机密

性。结合数字身份认证和生物识别技术，可以建立安全、可信的身份认证体系，防止身份盗用和伪造。

基于区块链的不可篡改特性，对算网融合架构中管理和控制相关的操作与行为、以及算网融合业务中的交易过程行为和数据进行有效的记录、跟踪，保证算力交易数据管理和流通的安全性和可信性，基于行为进行安全审计和分析，有效提高系统整体的安全防护能力。具体来说，区块链的共识机制通过不同类型的共识算法，确保分布式网络中所有节点对账本状态的一致性，从而防止数据篡改和双重支付等攻击行为。通过智能合约来自动执行算网交易，智能合约是一种自动执行的代码，它可以在区块链上实现预定条件下的自动化操作。

区块链技术通过引入多层防护措施，为算力互联网构建了一个可信、协同的新模式。虽然区块链技术在算力互联网产业中展现出巨大的潜力，但其应用过程中仍面临一些挑战。例如，区块链的扩展性和性能问题，隐私保护与数据共享的平衡，监管合规问题等。此外，区块链技术的标准化和互操作性也是实现大规模应用的关键。随着技术的不断进步和完善，区块链将在算力互联网产业中发挥越来越重要的作用，推动产业的创新和发展。

六、挑战及建议

（一）挑战

1. 技术基础薄弱，技术标准尚不完善

当前，算网融合已经进入建设应用的关键阶段，但在技术创新研究上仍处于薄弱阶段。一是网络通信技术、算力调度、算力交易等关键技

术亟待突破。以网络通信为例，大模型训练等AI任务对于网络通信的时延和带宽有极高的要求，网络质量严重影响AI任务计算效率，当前的AI任务大部分均在单个集中资源池中进行计算，少有跨资源池甚至跨数据中心的并行计算场景。这将导致各个数据中心的零散算力资源无法得到有效利用，不利于提升算力资源的整体利用率。长距离的跨域智算网络下的分布式算力资源并行计算是当前行业尚未突破的科学问题之一。二是计算和网络核心技术大部分掌握在西方手中，我国算网关键技术自主可控能力不足。计算能力方面，我国在高端芯片制造工艺、多核集成数量等方面面临技术瓶颈；网络能力方面，我国通信协议技术体系存在安全短板，基于IP协议体系构建的通信网络被广泛使用，IP协议已被证明存在网络安全漏洞，难以保障网络环境的安全可信，因此建立自主可控的算力网络技术体系势在必行。三是标准研究亟需完善。算网融合在整体架构、安全机制、融合技术要求等方面的标准研究尚未形成共识，需要完善技术标准体系建设。

2. 产业生态不成熟，商业模式尚不清晰

算网融合产业涉及设备提供商、网络服务提供商、算力服务提供方、安全厂商等众多参与方和多个细分领域，整体产业链条规模庞大、复杂交错。目前算网融合正处于高速创新建设阶段，市场混乱、无序竞争等问题频发，产业链规范发展不足。此外，当前算网融合的商业模式，更多的仍然是类似于传统通算领域的多云管理模式，有的是采用云平台之间的相互调用，有的则是通过平台进行供需收集进而进行线下匹配，尚未形成面向用户直接进行算力和网络联合决策，涉及数据传输、算力资源匹配、任务分割迁移等复杂场景的商用模式。首先在技术上还存在一

些瓶颈，其次在需求上跨域调度的场景需求还未爆发，目前的商业需求更多的仍然是在单个算力集群进行计算的需求。

3. 高端人才缺失，人才培养机制亟需完善

当前，算网融合领域面临着严重的人才短缺问题。一是因为算网融合包括计算和网络两大领域，涵盖算法、芯片设计、操作系统等多个研究方向，对研究人员知识储备和技术能力具备较高要求，市场上跨专业、跨领域、跨产业的复合型人才极其稀缺。二是我国教育体系相对滞后，美国已经通过政策引导、制度规范、市场调节等手段，形成完备的高端人才培养机制。我国针对算网融合的相关课程和培训体系尚不完善，教育体系尚未跟上算网融合的发展步伐，导致人才培养与市场需求脱节，进一步加剧了人才短缺问题，制约算网融合领域的技术创新和突破。三是当前在知识产权保护、科技成果转化等方面存在的问题，影响了企业的创新积极性和人才吸引力。

（二）建议

1. 加强核心技术攻关，推动技术标准研制

一是加强算网融合核心技术资金投入和技术研发力度，探索成立算网融合国家重点实验室，充分发挥多方协作优势，联合企业、高校院所等研发力量，强化算力感知、算力度量、网络感知与路由等核心技术攻关。二是积极响应国家自主可控号召，通过推进上下游产业链合作研发、制定统一产品认定标准、加强技术共创共享、推进软硬件统一适配和多场景应用落地等多方面举措，构建国产算网融合生态圈，推动算网融合产业的高质量发展。三是面向算网融合产业发展需求，围绕算力调度、算力度量与交易、网络感知等关键技术，加快开展标准研制和测试评估

工作。同时积极参与国内国际标准研制，提升我国在国际算网融合领域的话语权和影响力。

2. 全面布局产业建设，打造规范健康的产业生态

一是建立健全算网融合领域的监管机制和评估体系。加强对智算中心、超算中心、互联网交换中心等新型基础设施的监管和评估工作，确保其安全、高效运行；打造适配政府、金融、教育等行业领域的多维度算网融合测试评估产业平台，促进科技成果转化与应用。二是鼓励龙头企业发挥带动作用，通过整合产学研用各环节优势，搭建高质量服务平台，培育协同合作的产业生态；同时，加强与国际先进企业的合作与交流，引进先进技术和管理经验，提升我国算网融合产业的国际竞争力。三是加快推进落实东数西算重大工程，探索跨行业、跨产业的算网融合联合示范应用，通过建立“东数西算”典型示范场景和应用标杆，促进产业链融合创新。

3. 加快人才培养力度，健全高端人才培养机制

一是加强政策引导，政府、高校应聚焦算网融合关键领域，通过发布教育政策传递教育理念，引导算网融合领域教育实践；应制定优惠政策加强人才引进，通过提供优厚的薪酬福利、良好的工作环境和发展前景等方式，吸引国内外优秀人才投身算网融合领域的发展。二是加强高等教育和职业教育体系建设。立足算网融合发展现状，通过新增、删除、合并学科等方式，增强云计算、人工智能、安全等学科交叉的广度和深度，不断适应数字社会发展需求。此外，高校应联合企业搭建教育培训平台，通过设立专项基金、建设实训基地等方式，培养一批具有创新精神和实践能力的人才队伍。三是面向地方数字产业需求，建立适配于地方数字经济发展和人才培育成长的算网融合人才培养工程，采用项目和

人才联合招引的手段，以数字产业为基础打造算网融合人才“蓄水池”，加强产才融合。

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

