

# 边缘计算产业发展研究报告

(2024 年)

中国信息通信研究院云计算与大数据研究所

2024年11月

---

## 版权声明

---

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

## 前 言

随着 5G、物联网的规模化部署，数据从集中式云数据中心向更靠近用户的边缘数据中心或边缘设备转移，边缘计算由于其独特的低时延、高性价比优势，逐渐从概念走向应用落地。

近年来我国边缘计算相关政策陆续出台，《算力基础设施高质量发展行动计划》提出“要促进边缘算力协同部署。加快边缘算力建设，支撑工业制造、金融交易、智能电网、云游戏等低时延业务应用，推动‘云边端’算力泛在分布、协同发展”。随着国家政策支持力度加码，边缘算力建设迈入高速增长期，边缘应用场景逐渐延伸，边缘市场规模不断增长，边缘计算成为备受瞩目的算力服务模式。

本研究报告基于边缘计算市场和产业应用现状，以产业发展为主题，对边缘计算的生态建设、市场情况、核心技术和典型应用场景进行梳理，详细阐述边缘计算在各行业中的应用和价值，并总结未来边缘行业发展新机遇和新挑战，希望能为产业各界提供借鉴和参考。

边缘计算相关产业、技术正处于高速发展阶段，我们的认识有待深化迭代，望请各界批评指正、共同探索。

# 目 录

一、 政策和市场双重驱动边缘计算加速发展.....	1
(一) 全球各国政策布局加速，边缘计算成为新焦点.....	1
(二) 产业市场生态蓬勃发展，边缘计算迎来新机遇.....	7
二、 边缘计算关键技术创新演进.....	13
(一) 软硬一体边缘基础设施呈高度集成架构.....	13
(二) 物联网边缘计算高效连接边端设备.....	15
(三) 边缘云原生高度适配应用场景.....	17
(四) 边缘安全逐渐走向完善.....	18
(五) 边缘 AI 进一步融合创新.....	20
(六) 边缘算力互联网持续探索.....	22
三、 边缘计算应用领域不断拓展.....	23
(一) 工业生产.....	23
(二) 政务.....	24
(三) 公共交通.....	25
(四) 车联网.....	27
(五) 金融.....	29
(六) 互动娱乐.....	30
(七) 电力.....	32
(八) 零售.....	33
(九) 农业.....	35
四、 边缘计算产业协作全面深化.....	36
(一) 开源生态协同加深.....	36
(二) 标准体系初步建立.....	38
(三) 技术融合深化应用加速.....	39
五、 边缘计算面临挑战和未来展望.....	41
(一) 面临挑战及建议.....	41
(二) 发展趋势.....	43

## 图目录

图 1 中国边缘计算产业图谱(2024) .....	10
图 2 边缘软硬一体设备分层架构图 .....	14
图 3 基于云边端协同的物联网边缘计算框架 .....	17
图 4 边缘 AI 计算平台框架 .....	10
图 5 边缘算力网络框架 .....	23
图 6 边缘计算在各行业应用占比 .....	39

## 表目录

表 1 地区发布边缘计算推进政策摘录 .....	3
表 2 边缘计算在各行业推进相关政策摘录 .....	5
表 3 边缘计算开源项目 .....	37

## 一、政策和市场双重驱动边缘计算加速发展

### （一）全球各国政策布局加速，边缘计算成为新焦点

多年来“边缘计算”一直被视为云计算的下一个前沿方向，作为云计算技术和应用的延伸，其更高的响应效率和更分散的基础设施能够支持智能制造、自动驾驶、人工智能等众多行业的规模化实践。

边缘计算已被全球多个国家纳入战略规划体系。自 2020 年以来，全球主要发达国家开始布局边缘计算技术产业发展。近两年来，越来越多的国家提出战略规划，将边缘计算看做是信息通信技术前沿方向，通过出台一系列国家级政策推动和支持边缘计算深入探索和稳步实践。2024 年 2 月，美国白宫发布《关键和新兴技术清单（2024）》，本次清单以 2022 年《关键和新兴技术国家战略》为基础，对其中关键和新兴技术领域列表作了更新和调整，并具体列出了各领域内的核心技术子领域清单，其中先进计算领域包含边缘计算与设备技术。2023 年 7 月，欧盟通过了《Web4.0 和虚拟世界的倡议》的新战略，提出了要加快云计算、边缘计算等基础设施的建设，以更好的服务 Web4.0 产业的发展。2022 年，韩国科学技术信息通信技术部宣布将对 5G 边缘计算等项目投入 480 亿韩元。2020 年，日本启动“后 5G 信息通信系统基础强化计划”，大力支持边缘计算、先进半导体制造等领域技术研发和应用。

我国顶层政策持续加码支持边缘基础设施和边缘应用建设。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中提出要“建设高速泛在、天地一体、集成互联、安全高效

的信息基础设施，增强数据感知、传输、存储和运算能力”。《“十四五”国家信息化规划》提出要“统筹建设面向区块链和人工智能等的算力和算法中心，构建具备周边环境感应能力和反馈回应能力的边缘计算节点，提供低时延、高可靠、强安全边缘计算服务”，把边缘计算建设列为重点国家规划推进，尤其是面向近场计算场景的边缘算力建设。

《“十四五”数字经济发展规划》提出“加快实施‘东数西算’工程，推进云网协同发展，提升数据中心跨网络、跨地域数据交互能力，加强面向特定场景的边缘计算能力，强化算力统筹和智能调度”，建议在边缘计算基础设施之上，加强多节点算力之间的协同运作和智能调度。工信部、中央网信办、教育部、国家卫生健康委、中国人民银行、国务院国资委等六部门联合印发的《算力基础设施高质量发展行动计划》提出“要促进边缘算力协同部署。加快边缘算力建设，支撑工业制造、金融交易、智能电网、云游戏等低时延业务应用，推动‘云边端’算力泛在分布、协同发展”。《深入实施“东数西算”工程 加快构建全国一体化算力网的实施意见》提出“探索开展城市算力网建设，实现国家枢纽节点算力资源与城市算力需求高效供需匹配”，为边缘算力建设提出计划指导。

各地区发布边缘计算基础设施推进相关政策。近年来，全国各省、市陆续出台支撑政策，推动建设本地边缘计算基础设施，引导边缘计算在特定领域的应用实践，加速建设云、网、边、端一体化协同算力系统。

表1 地区发布边缘计算推进政策摘录

发布地区	发布日期	政策文件	政策内容
贵州	2023年4月	《推动全省工业领域数字化改造加快工业互联网创新发展导向目录(2023—2025年)（试行）》	支持企业 OT 网络建设。包括工业设备设施或在制品的数字化、 <b>网络化改造。合理部署边缘计算节点</b> ,增强信息交互和边缘处理能力,利用工业以太网、工业无源光网络(PON)、工业无线、时间敏感网络(TSN)、边缘计算等新型网络技术
河南	2023年4月	《2023年河南省大数据产业发展工作方案》	打造一批新型数据中心和边缘数据中心,探索形成一批大数据产业技术规范 and 标准,灵活部署边缘计算中心,建设边缘计算城市节点, <b>构建城市内边缘算力供给体系</b>
湖南	2023年3月	《湖南省“智赋万企”行动方案(2023—2025)》	建设特定场景的 <b>边缘计算设施</b> , <b>推动边缘计算与云计算部署</b> ,突破数字孪生、边缘计算、区块链、智能制造等集成技术
江西	2023年1月	《江西省未来产业发展中长期规划(2023-2035年)》	加快提升技术创新能力,加强边缘计算、人工智能、AR/VR(增强现实/虚拟现实)等新兴技术领域研究。统筹建设协同集约的算力基础设施。 <b>科学布局一批算力中心、边缘计算节点、区块链节点等</b> ,建设智能高效的融合基础设施,支撑智能发展的行业赋能能力
北京	2022年11月25	《2023年北京数字经济促进条例》	强化算力统筹、智能调度和多样化供给, <b>提升面向特定场景的边缘计</b>



	日		算能力，促进数据、算力、算法和开发平台一体化的生态融合发展
广州	2022年 8月9日	《广州市数字政府改革建设“十四五”规划》	推进以5G MEC（多接入边缘计算）为核心的城市边缘算力和城市5G网络、传输网络以及物联感知终端体系的协同规划建设
贵州	2022年 7月22日	《加快推进“东数西算”工程建设全国一体化算力网络国家（贵州）枢纽节点的实施意见》	推动算力向用户端延伸。根据用户和业务需求，在靠近用户的城镇、产业园区以及商业楼宇，就近就地，适度合理部署中小型城市数据中心和小微型边缘数据中心，满足用户对极低时延和极佳体验的新型业务需求
上海	2022年 6月12日	《上海市数字经济发展“十四五”规划》	建设基于边缘计算、TSN（时间敏感网络）等新一代技术的工业互联网园区网络
云南	2022年 4月27日	《云南省“十四五”新型基础设施建设规划》	支持边缘数据中心建设，打造一批满足低时延、高可靠要求的边缘计算应用场景
深圳	2022年 2月21日	《深圳市推进新型信息基础设施建设行动计划（2022-2025年）》	布局边缘计算设施。面向低时延、高可靠应用场景需求，结合5G、工业互联网、车联网等应用实际，构建城市内的边缘算力供给体系。融合建设存算一体的边缘数据中心，推动边缘数据中心间的组网互联，促进云计算、边缘计算和网络协同发展
河北	2021年 11月13日	《河北省科技创新“十四五”规划》	开展智能化装备、工业协议解析、边缘计算系统、工业无线通信、工

	日		业大数据分析、工业安全防护等技术研发
天津	2021 年 8 月 19 日	《天津市加快数字化发展三年行动方案（2021-2023 年）》	推动分布式云边端设施协同有序发展，优先在数据量大、时延要求高的应用场景集中区域部署集网络、存储、计算于一体的边缘计算中心，打造技术超前、规模适度的边缘计算节点布局
山东	2021 年 7 月 17 日	《山东省“十四五”数字强省建设规划》	加快布局边缘计算资源池节点，规模部署 MEC（移动边缘计算），形成云计算与边缘计算协同发展态势
浙江	2021 年 6 月 30 日	《浙江省“十四五”数字经济发展规划》	构建云边协同的算力设施。以杭州为核心、宁波、温州、金义协同布局一批大型以上数据中心，重点建设绿色低碳及云化数据中心。在重点应用场景按需部署集网络、存储、计算为一体的边缘数据中心节点

来源：公开资料整理

各行业陆续出台相关政策，支持行业应用在云边端一体化协同发展。工业互联网、物联网、车联网、数字政府等多细分领域出台政策推动产业与边缘计算深度融合，加快特定领域的边缘应用实践。

表 2 边缘计算在各行业推进相关政策摘录

关联行业	印发部门	政策文件	政策内容
工业	工业和	《工业互联网创新发展	实施工业互联网企业内网标杆计

互联网	信息化部	行动计划（2021-2023年）》	划。支持工业企业综合运用5G、时间敏感网络（TSN）、边缘计算等技术，提升生产各环节网络化水平
	工业和信息化部	《关于推动工业互联网加快发展的通知》	鼓励相关单位在时延敏感网络、边缘计算、工业智能等领域加快技术攻关
	工信部、发改委等八部委	《“十四五”智能制造发展规划》	加快工业互联网、物联网、5G、千兆光网等新型网络基础设施规模化部署，鼓励企业开展内外网升级改造，提升现场感知和数据传输能力
车联网	工业和信息化部	《车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》	加快推动多接入边缘计算、网络功能虚拟化等技术在产业中的应用
物联网	工信部、科技部等八部委	《物联网新型基础设施建设三年行动计划（2021-2023年）》	加快边缘计算、数字孪生、IPv6等技术研发与应用
通信	工信部	《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023年）》	按需推进“双千兆”用户发展。支持地方和相关企业结合边缘云下沉部署，构建“网络+平台+应用”固移融合、云网融合的“双千兆”业务体系
元宇宙	工信部、文旅部、教育部	《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025年）》	建设云边一体、算网一体、智能调度、绿色低碳的新型算力，为元宇宙超高内容拟真度、实时交互自由度提供算力保障。发展元宇宙信任基础设施，试点去中心

			化场景应用，支撑元宇宙可信存储需求
大数据	工信部	《十四五”大数据产业发展规划》	促进前沿领域技术融合，推动大数据与人工智能、区块链、边缘计算等新一代信息技术集成创新。在数据存储加工环节，着重推动高性能存算系统和边缘计算系统研发，打造专用超融合硬件解决方案

来源：公开资料整理

## （二）产业市场生态蓬勃发展，边缘计算迎来新机遇

### 1. 边缘计算市场规模稳步增长

边缘计算市场规模连续多年保持快速增长态势，产业前景广阔。从统计数据来看，边缘云市场占整体边缘计算比重较大，根据 IDC 最新发布的《中国边缘云市场跟踪研究,2023H2》报告显示，2023 年下半年，中国边缘云市场规模总计 62.6 亿元人民币，同比增长 36.1%，而 2022 上半年，边缘云市场规模为 30.7 亿元人民币，2021 年全年该数据仅为 50.4 亿元人民币。从市场数据上看，边缘云市场近年一直处于活跃期，增长速度可观，市场空间广阔，更多的应用场景和实践在探索。

另外一组数据显示，边缘计算服务器市场规模同样增长可观，根据 IDC 发布的《中国半年度边缘计算市场（2023 全年）跟踪》报告显示，中国边缘计算服务器市场在 2023 年仍保持稳步增长，全年定制边缘专用服务器市场规模达到 2.4 亿美元，较 2022 年同比增长

16.8%。

从边缘服务器和边缘云市场统计数据能够清晰看出，中国的边缘计算市场处于稳步增长阶段。自 2020 年以来，边缘计算市场快速扩张，多年年均增长率超过 40%。从应用层面，随着物联网、轻量化本地计算、音视频分发、边缘 AI、云游戏/云渲染等领域的快速发展，大量的数据生产、处理和传输需要在边缘侧进行，垂直领域的需求扩张推动边缘计算能力持续加强；从建设层面，由于近年来 5G 的规模化部署和使用，带动制造、港口、采矿、电力、交通等行业边缘计算发展，加速 IT、CT、OT 深度融合。总体来说，边缘计算产业从应用和建设两端共同发力推动市场稳步扩张，越来越多的服务提供商入局，布局边缘计算以把握新一代信息技术发展的重大机遇。

## 2. 边缘计算分类逐渐明晰

**边缘计算种类繁多，分类逐渐明晰。**根据用户时延、网络位置、算力供给规模等多种因素，边缘计算种类可分为云服务延伸边缘、电信网络边缘、现场边缘、设备边缘四种类别。

**云服务延伸边缘。**此类边缘计算是从云服务延伸而来的模式，一般在次中心区域提供广域覆盖边缘计算资源，包括公有云边缘区域、CDN 边缘区域。其中，公有云边缘区域是基于云厂商在次中心区域建设的大规模、分布式的云数据中心，加上自身积累的云相关软硬件技术，为用户提供标准的边缘云服务；CDN 边缘是从 CDN 服务扩展而来的边缘计算模式，依托 CDN 已经建设的广泛分布的各级缓存节点，通过对其虚拟化改造，以提供云计算服务。由于规模大、覆盖范

围广等特点，云延伸边缘计算服务具有等同于公有云的按需使用、灵活计费、高可靠性等优势，但此类边缘计算服务也具有较高的成本。

**电信网络边缘。**此类边缘计算技术由电信运营商主张较多，充分利用运营商网络的边缘接入点，根据需求建设差异化网络边缘服务，典型运用如 5G MEC 平台。MEC 边缘是与 5G 通信网络同时构建的云网一体化边缘计算平台，承载各类算力业务的同时，也可使用 5G 网络中就近转发、开放、网络切片等特定的网络能力，在低时延、云网融合等方面具有天然的技术优势。电信网络边缘计算可按需实现软硬一体、混合云部署等不同形式的交付。

**现场边缘。**此类边缘计算更靠近业务现场，适用于实时计算场景，大多数情况可按需部署。现场侧边缘计算通过本地部署形式直接构筑在用户本地位置，可以提供极低时延、适度定制、高性价比的边缘计算、网络传输和存储服务。

**设备边缘。**此类边缘计算是为适配物联网技术和应用产生的，比传统边缘计算平台更加轻量级，基础功能是数据传输和预处理。部署更靠近 IoT 设备端，能够使大量终端设备便捷、快速的入算、入云，继而使用各类云服务，例如，IoT 数据采集、海量存储导入云端、本地云端混合云等实现物联网数据和应用的深度连接。

### 3. 边缘计算服务商市场策略各有侧重

边缘计算市场参与者众多，服务提供商中以云服务商、电信运营商、设备供应商、软件及解决方案供应商为主。服务类型横跨硬件设备、云服务、物联网边缘计算、边缘安全、边缘 AI、边缘加速、边缘

数据等方向，根据中国信通院《中国边缘计算产业图谱（2024）》显示，边缘计算市场主要参与者在边缘硬件和边缘云方向表现较为火热，多数大型厂商在新方向如边缘 AI 侧有所尝试，具体如下图 1 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 1 中国边缘计算产业图谱(2024)

云计算服务商在边缘产业积极布局，生态和产品占有先发优势。基于云计算优势，国内外云服务提供商加速向边缘侧扩展其云化技术。国外来看，亚马逊从 2016 年最早推出 AWS Greengrass 边缘物联平台后，持续发展 Loacl Zones、Outposts 等边缘计算服务，通过增加与智能物联网、5G 通信、AI 等新兴技术的融合度拓展边缘计算的应用场景。微软早在 2017 年就将其公有云 Azure 的服务能力下沉到边缘，推出 Azure Stack、Azure IoT Edge 等产品，并通过 Azure Arc 实现云边混合基础设施统一管理，并支持将数据库、容器集群等服务部署在

边缘。国内来看，阿里云通过将中心云能力扩展到边缘，推出边缘节点服务 ENS，提供广域覆盖的边缘节点资源；除此之外，阿里云基于 K8s 开发了 OpenYurt 开源框架，通过云原生方式应用下沉到边缘部署。腾讯云推出边缘安全加速平台 EdgeOne，依托全球边缘节点和多年安全技术积累，可提供动静态智能加速、TCP/UDP 四层加速、DDoS/CC/Web/Bot 防护等在内的安全加速一体化服务。火山引擎边缘云以云原生技术为基础底座，融合通用算力、异构算力和边缘网络，基于覆盖全国各省市和运营商的边缘节点，就近提供计算、存储、网络等资源服务，同时提供面向 AI 场景的边缘智能服务。华为云提供边缘云产品，将中心云的能力延伸至用户所需边缘位置；开源云边协同框架 Kubeedge，提供大规模的边缘节点管理能力。天翼云在边缘云、边缘一体机能力矩阵基础上，提供边缘渲染、云电竞等场景化服务。移动云通过边缘智能云、边缘智能小站等产品，构建“云网边协同”能力。除了大型云计算服务商的云下沉策略外，国内涌现了一批创新的边缘云服务提供商。网心科技通过将分散、异构、多层级的各类边缘计算资源集合起来，基于智能调度和云原生，高效盘活全社会海量的闲置资源，通过共享+自建，构建了一张超百万量级节点的边缘混合网络。

电信运营商充分利用网络优势，布局边缘算网融合。随着 5G 加速商用，5G+边缘计算产业进入快速发展期，电信运营商得以充分利用自身分布广泛的基础网络资源，将网络接入端扩展成边缘计算节点，形成边缘云网一体化融合的独特优势。中国移动建设广泛覆盖网络边



缘的计算节点，提供全栈服务能力，重点打造基于边缘基础设施的应用服务，发挥云网融合优势，通过云电脑等典型应用为产业上下游提供一体化边缘解决方案。中国电信自主研发 MEC 边缘云，将网络能力和业务能力联合编排至网络边缘侧，在低延时、大带宽、数据安全等典型场景深度应用，依托 MEC 边缘云，重点开展特定场景的技术突破和生态共建，例如超高清视频、VR/AR、云游戏等场景；中国联通积极探索移动网络和边缘计算结合潜力，打造融合通信、大数据、网络能力三位一体的 5G 边缘计算体系，通过兼容底层异构基础设施、开放 5G 网络增强能力面向工业、视频、车联网等领域推出系列精确匹配场景的边缘计算产品服务。

**边缘计算设备供应商提供边缘基础设施服务能力。**设备供应商以其网络技术和硬件技术积累在边缘计算市场中占据极大优势，不断扩充边缘侧“计算+网络”融合能力。浪潮、新华三均推出边缘超融合一体机，实现边缘算力敏捷部署、数据就近接入、本地智能处理，同时，集成 AI 智能、物联网平台、数据平台等多项能力，实现边缘设备快速场景化部署；中兴、华为分别开展 MEC 融合创新，不断探索移动网络与边缘计算技术协同边界，提供多种 MEC 解决方案以适应不同场景需求，在电力、制造、农业、医疗等传统行业广泛应用，加速企业的数字化转型。

**边缘计算软件厂商通过将应用下沉，赋能垂直行业应用。**边缘软件供应商专注于自身业务领域，具有极强的垂直应用特点，将自身软件应用移植到边缘基础设施，扩展垂直领域的边缘场景应用落地。

EMQ 围绕消息、流处理、协议转换三个方面分别推出了轻量级消息接入中间件 EMQ X Edge、轻量级边缘流式数据处理引擎 EMQ X Kuiper 和工业协议网关软件 EMQ X Neuron 产品，打造针对物联网边缘计算的完整能力矩阵。谐云基于容器技术打造云边端协同系统，支持多种边缘节点接入，提供算力下沉、多种设备协议接入、数据就近处理等能力，为安防、工业物联网、智慧交通等应用提供边缘智能计算。

## 二、边缘计算关键技术创新演进

5G、物联网、AI 等技术的实践应用，推动边缘计算从云计算的补位角色走向主流，在技术方面有创新性探索与发展，边缘计算正在加速迈向广泛普及和深度应用的新阶段。

### （一）软硬一体边缘基础设施呈高度集成架构

为应对业务发展而带来的服务和用户数量增加，边缘计算需要满足快速灵活部署需求。软硬一体边缘基础设施利用超融合等软硬一体技术切实做到将计算能力扩展到生产现场，将算力下沉至极端边缘和用户所需的任何位置，并且无需传统意义上的大型数据中心环境，对生产侧环境要求友好。

边缘软硬一体基础设施整体呈现高度集成的架构。软硬一体技术能够集成各类服务器、交换机等硬件设备，结合厂商自身的云管理或轻量级虚拟化技术，根据业务需要进行功能裁剪或轻量化定制，提供适度定制化交付能力的边缘服务，直接在靠近数据产生的源头侧构建便捷、可扩展、按需使用的边缘计算服务，如下图 2 所示。因此，在

面向不同的应用场景时，可以灵活集成不同的硬件设备以提供多种计算形态，例如通过软件定义的方式实现 ARM、X86 等异构架构的资源池化，提高资源利用率与灵活性。

软硬一体边缘基础设施，例如边缘一体机、边缘网关等，可按用户需求提供定制化边缘服务能力，包括不同规格和模式的计算、存储、网络、安全基础设施服务，以及中间件、数据库、场景化软件等上层服务和应用。软硬一体边缘基础设施还可根据业务需求设计出尺寸小、功耗低、计算密度高等不同特点的硬件设备，快速接入现有环境，为边缘业务快速部署和铺开提供便利，同时，业务发展后的扩容、升级和维护也得以快速实现。



来源：中国信息通信研究院

图 2 边缘软硬一体设备分层架构图

在边缘计算场景持续丰富、多样化的场景下，边缘软硬一体技术会向着深度场景化定制方向发展。例如可编程网络硬件能够有效进行功能卸载，实现提供 TB 级流量汇聚能力；异构硬件通过对硬件规模、物理环境、性能、安全等需求定制化满足不同应用场景的高性

能需求；智能网卡网络加速和数据处理能力，不仅能够卸载边缘网络处理任务，还可以通过其内置的计算能力直接参与数据计算和处理，从而大幅提升边缘设备的计算能力和网络效率。未来，通过面向高性能场景的裸金属硬件设备定制、面向终端云化场景的高性能设备定制、面向大流量场景的网络设备定制等方案，满足高性能、大流量、广域物联、边缘 AI 推理等不同场景业务需求。

## （二）物联网边缘计算高效连接边端设备

数字经济时代，物联网正在加速成为虚拟世界和现实世界的融合媒介。边缘计算伴随着物联网技术的发展展现出迅猛扩张的态势，一方面，边缘计算能够为物联网提供成本更低、效率更高的算力资源；另一方面，边缘计算能够实现数据便捷接入、汇聚、流转，帮助物联网应用快速落地实践。作为中间层平台，边缘计算在终端设备和中心云之间起到承上启下的作用，让物联网系统能够更加高效和灵活的运转。

中心云物联网平台对所有边端进行集中式管理，这种架构在海量终端设备存在的场景下存在巨大的管理挑战，当物联网设备达到一定数量时，管理平面遇到难以逾越的瓶颈，在很多中大型企业中很难适用。边缘云物联网平台在客户现场能够具备独立的集群管理能力，中心云的断连不会影响到边缘云的自运行、业务处理，基于 Kubernetes 构建的集群管理，管理节点和工作节点都是可以下沉部署到边缘云上，云边断连不影响集群管理调度。而传统的云边协同架构，将管理节点部署在中心云，工作节点部署在边缘云，这样云边断连时会导致集群

调度等能力的丢失。

边缘网关最靠近客户的业务现场，与生产设备、传感器、仪器仪表等终端设备通过串口或网口实现连接，利用 AIoT 的技术把端侧数据提取，与边缘云或中心云进行数据协同。云边端数据协同方式，能够有效采集生产数据，通过边缘云减少直接云端的数据传输压力，边缘云可以直接在客户现场就近管理端，不依赖中心云，实现边端自治。

物联网与边缘计算融合技术在探索中不断创新发展。终端设备由于地理位置分散、网络环境复杂，接入和管理面临各种问题，面向物联网的边缘计算平台则致力于解决终端设备的异构连接场景难点。物联网设备类型众多，包括各类摄像头、传感器，接入方式包括 IP 和非 IP 连接协议，国内外企业和开源组织近年来陆续发起不同垂直领域的物联网边缘计算开源项目，例如，EdgeX Foundry 是由戴尔/EMC 和 VMware 发起、在 LF Edge 发展的、面向工业物联网边缘计算开发的微服务框架，支持多种连接协议、多节点管理，可以部署在网关设备上，为各种物联网设备和传感器提供连接并管理能力；Apache Edgent 是一个实时流数据处理框架，由 IBM 捐赠给 Apache 软件基金会，同样可以嵌入到网关设备中，能够对终端设备和传感器采集的连续数据流进行实时分析，有效降低数据传输成本和数据反馈时间；eKuiper 是轻量级物联网边缘分析、流式处理开源软件，能够部署在极端边缘设备上，提供数据实时分析能力。如下图 3 所示，物联网边缘计算依托云边端协同架构构建。



来源：中国信息通信研究院

图 3 基于云边端协同的物联网边缘计算框架

### （三）边缘云原生高度适配应用场景

云原生理念自引入国内以来，对云计算产业带来了深远的影响，改善了我国云服务简单粗暴的供应方式、增加了企业的用云深度和科学性。随着计算能力从中心下沉到边缘，节点数量剧增、单节点能力减弱、覆盖范围增加，轻量、灵活的云原生技术体系天然匹配以上边缘场景，屏蔽不同架构的底层基础设施，提供全局资源的统一管理和应用协同，得以在边缘计算中深度应用。边缘云原生技术是将云原生概念和相关技术适配至边缘场景，从而形成区别于中心云云原生的新框架，其中技术体现以边缘容器为主，为边缘算力扩展、云边协同运算、边端设备管理提供独到的解决方案。

边缘容器相比于中心云容器技术通常表现出三个特点，第一，组件有所裁剪，实现容器管理组件和管理通道的轻量化和敏捷化，以“最小化”交付适应边缘受限的物理条件，使其能够构筑在极端紧张的边

缘基础设施之上，提供不影响性能的同时保证资源利用率的容器集群能力；第二，研制云边协同技术，通常实现中心管控、边缘作业的工作模式，将管理能力上载至云端，充分利用边缘资源的全部计算能力，同时，实现边缘适度自治和边缘单元化管理，提升系统的可靠性和可扩展性；第三，在原生 K8s 基础上继续开发适配大规模边缘节点的容器管理组件，提升规模化边缘节点的管理效率和运维效率，以适应爆发式增长的边缘接入节点，同时，也在边缘进行大规模的应用分发、流量治理等层面进行技术探索和实践。

边缘函数服务是近年来各边缘服务提供商加大研发投入的领域之一，是 Serverless 架构的一种服务形态，能够让边缘用户无需关注基础设施，仅聚焦于业务代码实现。利用 Serverless 的技术，可以实现不同功能的脚本编写，复用相同的运行模块，减少资源的消耗。

可以预见，边缘云原生通过容器、函数等技术持续降低用户使用和运维边缘算力复杂度，帮助用户专注于业务，将在智能制造、智慧城市、医疗健康、金融科技、游戏娱乐等领域得到广泛应用。

#### （四）边缘安全逐渐走向完善

伴随着边缘计算应用范围逐渐扩展，也带来了新的安全挑战。如何提供覆盖全边侧范围的安全防护体系是边缘计算提供商和安全厂商持续关注的问题，因此，需要建立完善的安全管理体系和标准，加强边缘数据和网络的安全管理和保护，同时，需要不断加强边缘安全技术的研发和创新，包括数据加密、访问控制、安全审计等方面。

相比于中心云侧，边缘侧面临着多种异构服务器、复杂网络环境、

网关节点薄弱、终端设备大量接入等多维度的风险因素。在网络安全层面，将 DDoS、Web、CC、Bot 等安全防护功能直接从数据中心下沉到边缘，一方面保护了部署在边缘的服务高效稳定运行，另一方面，充分利用边缘节点分布式特性，大量的攻击流量在边缘节点被清洗和过滤，大幅减少各种攻击流量对于主干网络的冲击；在数据安全层面，数据加密传输、数据安全存储、敏感数据处理和敏感数据监测等关键技术能力，保障边缘数据全生命周期安全；在应用安全层面，通过应用隔离、APP 加固、权限和访问控制、接口安全管理、应用审计、漏洞检测等安全防护措施，全面提升边缘侧应用的安全性。由于边缘计算规模受限，分配给边缘侧的安全资源，相比于数据中心或中心云侧更少，因此在将集中式架构中使用的安全防护能力，延伸到边缘侧的时候，往往需要进行精简和瘦身，以适配边缘计算资源利用的经济性要求。

除了在基础资源、数据、应用等层面加固安全防护措施之外，边缘安全还需要注重网关、物联网设备、各种节点的统一编排管理，在物理解除攻击、接口调用、访问、MEC 平台等方面加强安全技术研究。

**边缘安全不仅局限于边缘侧本身，还要从云边端协同的角度共同构筑安全。**从端侧来看，边缘网关对生产设备或系统进行现场对接时，通过串口或网口对接的非安全协议，必须要先转变成安全协议，确保边端通讯前基于安全协议对数据加密；边缘网关大多部署在客户侧，存在不可预测的暴力破解风险，所以要禁止用户绕开鉴权通道，后台访问本地数据。从边侧来看，边缘云面临的风险更大，接收从中心云



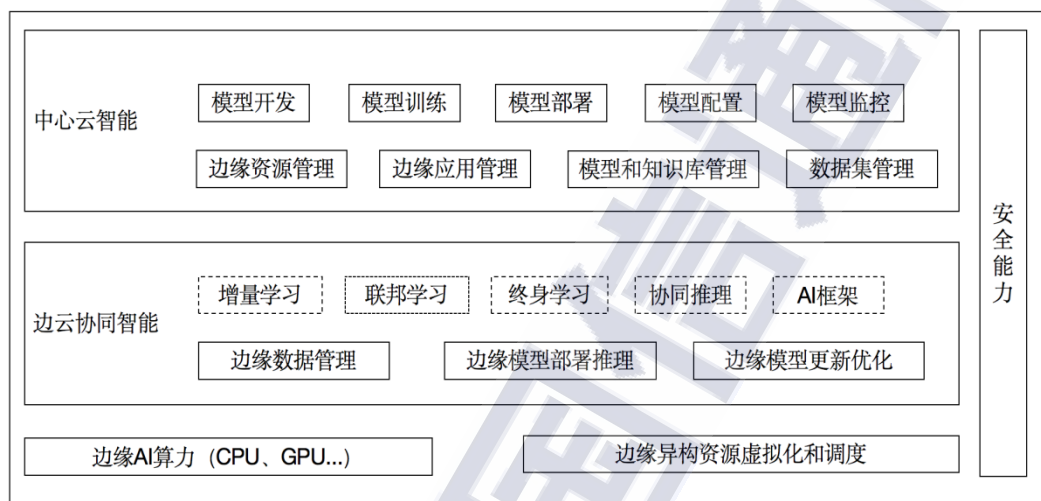
下发的应用，部署前要先做完整性校验，利用云边签名机制防篡改，加强应用安全分发的安全；基于安全芯片，对云边通道的鉴权信息或敏感信息进行硬件加密，防止被恶意登录；云边通道、边端通道，区分管理通道、数据通道，保证数据通道的安全加密、通道隔离。从云侧来看，中心云侧重安全态势感知，基于端、边的数据，实时、分析数据异常，可视化监控应用，边缘云和边缘网关的权限管理，分模块协同管控。

### （五）边缘 AI 进一步融合创新

国家“人工智能+”行动背景下，基于云边协同架构的“集中式大规模训练、边缘分布式推理”人工智能新范式，能够有效降低推理时延和成本，提升数据安全和隐私性，推动 AI 技术泛在化实践应用。

**边缘 AI 通常利用边缘节点本身的云边协同特性，将算法模型部署在云、边进行协同训练和推理。**例如，在工业生产和智慧交通领域，AI 模型训练的数据样本主要来自于终端侧的数据采集和上报到边缘侧的汇聚数据，在边缘节点部署 AI 模型进行推理后，对数据样本进行自动推算，通过将异常推理数据发送到中心云，由人工或其他系统辅助标注样本，进行模型的增量学习。联邦学习可以支持多个计算节点并行进行模型训练，对训练产生的中间模型参数上传至云端，云端进行参数聚合，再将参数下发到边缘节点，结合边缘本地的样本进行下一轮训练。协同推理能力在边缘节点部署 AI 浅层模型，在中心云部署深层模型，推理请求首先由边缘节点的浅层模型处理，如果推理结果的置信度较高，则直接返回推理结果，否则发送到云端由深层模

型处理，为应对边缘 AI 的最新需求和场景，边缘 AI 计算平台应运而生。边缘 AI 计算平台是集成了边缘计算能力、AI 推理能力、云边协同智能管理调度、全局运营运维、安全能力为一体的综合服务平台，能力分布如下图 4 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 4 边缘 AI 计算平台框架

未来边缘计算融合 AI 技术协同发展存在多技术路线，边缘 AI 也面临着亟待解决的技术挑战。在边缘 AI 软硬平台方面，面向多样化边缘场景仍需探索高性能、低功耗边缘 AI 芯片、边缘 AI 服务器，以及通过分布式异构算力调度实现最大化资源利用效率是需要解决的问题；在模型方面，虽然在边缘进行数据处理和推算能够大大减少数据传输延迟和能源开销，但是边缘资源碎片化、零散化依然是边缘 AI 推理和训练的痛点，仍需探索如何实现高质量数据采集，实现模型轻量化、分布式协同训练推理等，提升模型准确性；在安全方面，由 AI 带来的隐私保护问题不容小觑，加之边缘地理位置分散，数据泄露风险点位增加，训练和推理数据的合理性和隐私性需要技术创新重点关

注。在创新方面，边缘 AI 在大模型等技术创新应用，通过在边缘侧部署垂直或行业大模型，助力企业在充分发挥边缘算力价值。

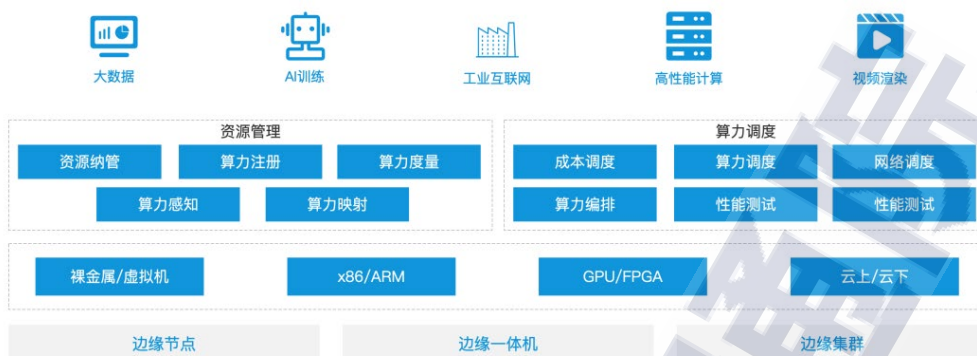
## （六）边缘算力互联网持续探索

我国算力规模已居世界领先地位，但大量算力资源闲置，算力资源利用率和效率仍待提升。工信部等十一部门联合印发《关于推动新型信息基础设施协调发展有关事项的通知》提出推进算力互联互通，探索构建算力互联网。随着低时延、低成本、数据安全、边缘 AI 推理算力需求逐步增加，边缘算力互联网通过不同地域、不同类型、不同主体的边缘算力互联互通和统一管理调度，促进边缘算力资源标准化互联、应用和数据高效流动互通，助力形成全国一体化算力互联网。

边缘算力互联网作为算力互联网的重要分支，产业各界对其潜在能力和未来发展均广泛看好。边缘算力互联网突破面向多元异构边缘算力的智能化感知、规模化管理和跨层级调度等关键技术，结合网络链路情况和用户需求，提供更加精确的计算、存储、网络等资源的分发、调度，从而实现整网资源的最优化配置和使用。未来，边缘算力互联网将向着提高计算效率和性能、满足更复杂的计算任务需求、适应人工智能发展的方向演进。

边缘算力互联网核心技术包含边缘算力资源管理和算力调度两部分，如图 5 所示。随着边缘计算的推广实施加快，工业互联网、车联网等应用场景的逐步成熟，对边缘算力互联网的技术研究将进一步加大投入，在算力的充分利用、边缘的安全性、网络的深度利用等方

面持续深耕。



来源：中国信息通信研究院

图 5 边缘算力互联网框架

### 三、边缘计算应用领域不断拓展

#### （一）工业生产

在工业生产领域，边缘应用种类繁多且贯穿于各个工业环节，不同应用对边缘计算的能力需求有一定差异性，工业环节通过边缘部署应用后，能够大幅提升生产效率、减低生产成本，同时，从工厂 IT 系统建设角度，可以将已有的软硬件 IT 基础设施再利用，整合工厂自有的零散 IT 系统。

边缘计算在工业生产领域的应用离不开与工业传感器等终端设备的联合使用，在生产现场，传感器将收集到的生产数据汇聚上传至边缘计算平台，边缘计算平台进行后续的处理、分析、识别操作，实时反馈给生产系统或上传至云端储存。

#### 专栏 1 智能制造新基建应用

某工厂项目针对生产线中不同型号工件的除水工序进行智能化改造，基于边缘计算平台开发 AI 视觉能力，智能识别待除水工

件的型号并操作机械臂，执行预设的指令进行吹水工作，将工件空洞、凹坑中的水吹干，同时基于 3D 摄像头实时监控工件位置，一旦变化则停止机械臂操作。

该项目基于 5G MEC 平台建设，构建边边协同技术，实现基于 AI 的工业制造特定工序的自动化。边边协同服务采用云原生思想设计并开发，以容器化形式分发部署，底层采用 Kubernetes 编排引擎管理，屏蔽底层各类异构硬件环境，同时，采用 ServiceMesh 框架 Istio，对协同流量进行治理。

基于 5G MEC 实现工业生产现场中特定工序的自动化。将云计算平台从网络内部迁移到网络边缘，提升工业生产现场的响应速度，有效抑制网络拥塞，提升用户体验并促进业务创新。提出并实现了 MEC 平台上的边边协同解决方案，并实现了针对 AI 算法应用的算力调度协同，加速 AI 计算过程，提高资源利用率，降低 IT 总拥有成本，降低能耗，响应国家碳达峰碳中和的政策方针。

## （二）政务

将政府服务能力下放到更靠近用户的位置，是提升行政办公效率和政府服务覆盖面的重要实践路径。政务 IT 基础设施作为数字政府建设的基石，在服务一体化、社会治理智能化升级的需求驱动下，面临更多的即时响应、快速反馈的要求，边缘计算将赋能政务场景打造一体化智能协同政务解决方案。

### 专栏 2 边缘计算助力智慧乡村建设

某数字乡村项目通过边缘软硬一体化交付，提供包含计算、

存储、网络、管理在内的多类基础资源服务。

云平台部署在乡村内，采用整机柜一体化交付模式，支持云端应用分发和数据回传，提供一体化的应用分发、交付、管控的云边协同能力，同时可以由市政务云统一管理。

智慧村居是通过边缘一体机设备部署的数字乡村大脑，整体分为村居管理平台、智能服务平台和数据资源平台。村居管理平台可以对整个智慧社区的服务运营、采集到的信息、社区积分等情况进行统一的查看和管理；智能服务平台通过对边缘节点的纳管，提供将云上应用延伸到边缘节点的能力，联动边缘节点和云端的数据，满足远程管控、数据处理、分析决策、智能化的诉求；数据资源平台是汇聚政务服务业务信息库，共享利用基础信息资源库，实现数据资源共建共享。

该案例依托边缘计算和云边协同技术，以边缘一体机为载体，将政务数据服务向乡村快速拓展落地，助力乡村信息化、数字化、智能化治理改造。

### （三）公共交通

公共交通诸如铁路、公路、水运、海事等领域，因为其数据的多样性和处理的实时性需求，成为近年来边缘计算逐步大量应用的行业领域之一。

公共交通系统采集到的数据多种多样，例如，毫米波雷达数据、监控视频数据、激光雷达数据等，大量复杂数据需要在交通现场进行

融合、训练、以及决策。以桥梁主动防撞预警和地铁沿线施工保护为例，数字化系统被要求实时地实施预警和控制动作。首先，各类传感器在现场收集了大量实时监控数据，并借助实时数据智能化分析判断交通现场的安全隐患，例如，往来船舶偏航、超速、超高等异常行为识别，保护区周围存在危及地铁行驶安全的生产作业行为识别等；其次，在形成判断的基础上实时控制现场的告警、处置设备进行联动；最后，平台端能够进行同步风险管控应急处置，数据也能在后台进行积累、方便业务系统的查看和业务数据清洗。

传统的技术解决方案往往是将传感器数据通过专有网络接入数据中心机房进行处理。而交通领域的业务现场往往具有地域跨度大，传送距离远的特点。以传统的架构手段往往面临巨大的建设和维护成本。

边缘计算对于交通领域的赋能，往往体现在决策准确性优势、决策实时性优势和建设成本更轻量化的优势上。

### 专栏 3 浙江沪杭甬高速公路云边一体化改造

浙江沪杭甬高速公路股份有限公司通过前期选型，引入云操作系统和云管理平台对现有业务系统实施云边一体化改造，重塑数字技术基础架构并大幅提升系统可用性及运维管理水平，为业务优化创新提供全方位的保障。

该项目通过在收费站点部署边缘云平台，对各站点物理服务器环境实施云化管理，实现对相关资源的全面监控，并实时与中心云平台进行数据同步，方便管理员及时发现和解决问题，为近

终端设备的收费系统提供高效稳定业务运行环境，支撑对道路通行数据和业务应用数据的实时处理和分析；也助力管理员优化资源利用率，例如，按业务负载情况对云化资源进行灵活调配，在满足业务发展需求的同时更好地提升资源效能；与此同时，由高一级的区域管理中心云负责监控和管理下属各收费站的业务数据，包括边缘云节点运行状态、资源使用情况及日志等，实现全局资源统筹管理、调配。

通过构建沪杭甬高速公路云边端一体化数字技术基础架构，实现对全省各区域中心、收费站的基础设施资源集中纳管，并基于三级用户体系实现统一管理，优化全省站点运维管理复杂度高、可靠性弱等问题，通过云计算技术对 IT 部门的运维工作实施数字化转型改造，并为后续的业务弹性扩展、资源动态编排调度等打下良好的工作基础。

#### （四）车联网

车联网服务涉及到的层级繁多，车联网系统通常采用多层次部署架构，边缘侧业务与中心业务和路侧设备协同，共同完成辅助驾驶或自动驾驶任务。

路侧设备通常部署在道路沿线，与其他交通设施或系统配合，一起完成交通信息感知、数据采集、数据汇聚，同时，通过移动通信网络将数据上传至边缘计算平台，边缘平台加载实时计算、AI 算法、事件感知等应用，为道路和车辆进行路况的实时反馈，满足车联网自动驾驶、远程驾驶、辅助驾驶等不同种类业务需求，有效降低车联网业



务部署成本。

#### 专栏 4 5G+车联网应用示范基地项目

某“5G+车联网”应用示范基地基于边缘云、区域云和中心云三级架构设计打造的 5G+车联网应用示范基地，实现人、车、路、网、边、云一体化。

边缘计算节点距离路端设备更近，部署了车路协同主要业务系统，包括多源融合感知、高精地图分发、交通事件感知和下发等对时延要求较高的业务。边缘节点通过 5G 核心网 UPF 下沉同时支持光纤和 5G 两种接入方式。大量路侧设备（视频、雷达、RSU 等）数据对实时性要求高，在边缘计算节点处理，非高实时性业务在区域云处理，全局业务数据在中心云处理，高效实现了车路协同、降低了系统对传输资源的需求。基于自动驾驶技术，车路协同技术，5G/MEC 技术及 AI 感知技术，打造了 5G 无人公交，支持安全停靠、盲区预警、车速跟随、绿波通行、行人避让、车辆调度等核心应用，实现无人公交的常态化运营；打造远程驾驶系统，由无人车、5G/MEC 网络、车路协同服务平台、远控系统等组成，实现人车协同共驾；同时，依托于高精地图技术，平台实时采集和感知园区道路交通参与者和道路基础设施信息，实现了交通流的数字孪生。

通过 MEC 本地化分流，实现云端应用下沉、路侧计算上移，边缘云资源弹性拓展，统一监控维护。实现全流程 80-100ms 商业服务闭环，拓展支持更多的跨视距车路协同、地图更新、5G 云代

驾等刚需业务，整体建设和维护成本将降低 50%。

## （五）金融

在金融业，许多银行、券商利用云边端融合技术在运营、营销、安防、风控领域进行实践探索，部署并试点相关的应用和平台，并通过融合人工智能、物联网等技术探索云边端一体化在金融业的应用场景。

银行业是信息化和数字化开展的最早的行业之一，各大银行都在不同程度上运用了多样化的云资源和云技术，随着云技术不断深入发展，银行业也在云原生、边缘计算、物联网等新兴领域展开探索。

银行业普遍具有超大规模的边缘设备储备，依托大规模的设备进行深度数字化转型，提升产品、营销、渠道、运营、安防、风控、决策等全面数字化转型和线上线下一体化深度融合是产业内的主流趋势。

### 专栏 5 某银行大规模异构边缘节点管理实践

某银行存在大量遍布在各个网点的边缘节点纳管难题亟待解决，包括传统资源管理方案难以支持大规模的边缘网点管理需求、虚拟机和容器管理调度不能融合、多主体统一管理困难、由资源分散带来的应用程序开发困难等问题。

该银行引入边缘计算体系，采用“云边协同、统一纳管、中心管控、边缘自治”中心思想解决以上痛点。通过云边协同的“智慧中枢”为整个体系提供核心业务逻辑，将边缘设备上报结果进行数据加工处理后，转发给对应的下游业务系统；统一纳管借助容

器技术和 Kubernetes 编排管理能力实现，解决边缘设备异构严重、服务管理需求复杂问题；中心管控将应用资源以及节点资源权限进行控制，实现统一创建、纳管、删除和升级边缘节点能力；边缘自治从组织结构、数据同步、边缘调度等多个层面提供边缘自治运行能力，在网络异常时,仍可以保证集群及节点服务的持续运行，同时确保网络恢复后能够重新连接及同步，以确保业务的连续性。

通过构建边缘计算体系，该大型银行实现物联网、边缘计算设备与业务系统互联，探索实现十余个业务场景试点应用并取得良好业务效果；实现客户活动区域检测、超柜代客操作、加钞间行为检测等网点业务场景的自动化识别，平均准确率 85%，在异常入侵、环境火焰、金库异常行为等安防及风控场景智能识别中，平均准确率达 90%以上，从服务、管理两方面实现降本增效。

## （六）互动娱乐

互动娱乐是以音视频直播、在线游戏等领域为代表的新兴行业。云游戏是以云计算为基础的游戏方式，本质上为交互性的在线音视频流，在云游戏模式下，游戏在云端服务器上运行，并将渲染完毕后的游戏画面或指令压缩后通过网络传送给用户。由于中心云距离游戏用户地理位置较远，网络传输时延长，而游戏又是时延敏感型业务，往往云游戏应用普遍选择离用户更近的区域级节点或边缘节点承载业务。

边缘计算+云游戏能够实现更加灵活的算力资源纳管和更低延迟的游戏反馈，同时，边缘计算的应用能够有效降低云上资源成本和能源开销，当前阶段许多端游和手游均选择云游戏方式实现更高性价比和更好游戏体验。

### 专栏 6 某云游戏平台建设项目

基于广泛覆盖的边缘计算节点构建了一站式边缘云游戏服务平台，包括软件和硬件支撑、云游戏内容挖掘、云游戏平台服务等功能。

该边缘云游戏系统包括虚拟化基础设施、边缘云平台及管理、内置游戏云化、视频编解码、AI 推理、视频云等 PaaS 能力以及边缘业务能力编排组件，实现完整的游戏云化能力，具备高性能的视频编解码、游戏渲染等能力，基于 GPU 模拟运行 PC、游戏主机、手机系统环境，覆盖所有游戏内容品类，同时对云游戏直播实现高效分发，带给游戏玩家与爱好者完美的操控体验和代入体验。在游戏体验方面，可支持 4K@120fps 的串流质量，超低延迟的操作交互，操控环路延迟低于 50 毫秒，5G 网络下可以实现 20 毫秒内的电竞级低延迟体验；自适应码流传输，降低带宽需求；广泛适配蓝牙、USB 手柄和外接键鼠设备。

该项目通过一站式边缘云游戏解决方案支持游戏渲染、视频编解码、AI 推理等复杂场景，融合手机、PC、游戏主机等硬件平台能力，极大简化边缘支撑难度；同时，跨平台支持 ARM、X86 等内容生态，可基于通用计算 GPU 模拟 Android 运行环境，实现

多种应用场景的融合支持；通过对游戏引擎和超高清视频编码做深度优化，大幅降低硬件成本及电力功耗；边缘云部署模式大幅降低机柜和带宽成本。

## （七）电力

电力行业利用数字技术对电网系统各环节进行智能化升级，赋能新型电力系统建设。输电、变电、配电与调度作为电网生产部门和调度部门的主要环节，其数字化转型关系着“源网荷储”的协调互动。输电：加强输变电路线防灾、减灾、实时在线监测、推广状态检修；变电：智能一次设备、智能变电站、推广变电站无人值守；配电：提高供电可靠性、提升配网自动化、调控一体化和智能化水平；调度：配合配电网进行实时监测优化，辅助电网运营智能化决策。

新能源发电站位置分散且地处偏远，管理维护难，人工巡检难。基础设施要从“可用”向“好用”升级，为电力行业自主可控提供云边协同底层支撑。发电侧新能源投资持续攀升，新能源厂站建设需要借助边缘计算实现分布式管理、智能化运维、自适应自治。

输电线路、变电站建设无人值守、集中监控，设备精益化管理机制，提升巡检效率。配电物联网通过对低压台区设备全状态量感知与管控，可提升供电可靠性。电网侧新型电力系统建设，面临大规模设备接入，边缘要具备高可靠、可控可管。

### 专栏 7 智慧电力厂站案例

某大型电力企业利用边缘计算、大数据、物联网等技术，打造网-省-地三级部署、云边协同的边缘计算平台，远程统一运维管理，

实现无人值守或者少人值守，降低运营成本，打破各厂站原有烟囱式建设模型，解决数据标准化、平台共享化等难题构筑智慧电力厂站。

该电力系统存在几十套垂直子系统，运维信息分散、场站管理范围大、设备种类多、智能化程度不高、巡检压力大、预测预警能力不足、故障诊断定位周期长等问题。同时，总部与站端系统协同弱，导致站内故障时远程诊断难以开展，站间数据共享不足，应用与平台捆绑，厂商替换成本高，新功能上线慢。

基于边缘计算构建以站级为中心的云边端协同平台，实现总部-省-厂站的三级架构，采用分布式管理系统，软硬件资源实时监控，帮助客户统一资源管理；基于虚拟化平台、容器平台一键流水线部署，应用统一分发部署、升级、统一配置；支持远程安全运维、本地自治运维，满足不同业务场景的灵活搭配诉求；应用与平台解耦，减少重复模块开发，加速应用上线，无缝兼容云原生应用的集群管理；支持与云上应用商店的流水线对接，满足 AI 应用在边缘站点的推理执行。

通过引入云边协同的边缘计算平台实现前端智能，算法按需加载，后端解析，1 路算力为多路摄像机提供图片解析服务，建设成本最高可降低 40%；集团-分公司-厂站三级协同，统一分布式设防、算法按需下载、数据按需订阅，提升全网协同实战效能。

## （八）零售

零售业的边缘应用相当广泛，部署在零售店现场，与多种 IoT 设备互联，帮助零售店实现智能化的日常管理、库存管理、运营提示，通过融合 AI 算法，还可以实现无人结算、人流量分析、货物关注度分析、防止货物丢失等深度分析。

通过采集各种 IOT 设备上的文本、音频、视频数据，通过部署在零售店内的应用平台进行数据整理、分析，并返回结果，通知相关柜员，可以实现设备和人员之间的完美交互，帮助提升管理效率、提升客户体验和满意度，从而提升零售企业的竞争力。

### 专栏 8 边缘计算助力零售行业

某零售行业边缘计算实践项目以一套边缘计算服务器在零售场景实现多种应用数据接入和分析，例如，部署智能货架应用以实现自动检测货物的种类和数量，部署智能推车应用以实现自动检测货物的种类、数量、重量等货物信息，同时能够向边缘服务器发起查询价格请求，由服务器计算出价格返回信息。

部署在零售店的摄像头也可以将视频流直接传送到该边缘服务器上，实现实时监控和分析，既可以进行偷盗行为监测，也可以进行客户流量分析统计，通过提醒将柜员引导到客户流量大的地方，能够大幅提高服务质量。

硬件方面，该项目采用多节点的超融合架构的边缘服务器，能够实现多应用之间的隔离并保证服务质量，同时，服务器具备较强的环境耐受度，能适应自然环境的温度变化、灰尘影响、湿度变化等问题。软件方面，采用流式数据处理平台部署于边缘服务

器上，以处理大量的视频流数据。

## （九）农业

边缘计算在农业领域具有广泛的应用前景。通过在农业生产现场部署边缘计算设备，可以实时采集和处理各种农业数据，如土壤湿度、温度、光照、作物生长状况等。这些数据经过边缘计算平台的分析和处理后，能够为农民提供精准的农业决策支持，例如合理灌溉、施肥、病虫害防治等，从而提高农业生产效率和质量。

例如，在智能灌溉系统中，边缘计算设备可以根据土壤湿度传感器采集的数据，实时控制灌溉设备的开关，实现精准灌溉，避免水资源的浪费。在病虫害防治方面，边缘计算设备可以通过图像识别技术对作物进行实时监测，及时发现病虫害的迹象，并发出预警信息，提醒农民采取相应的防治措施。

边缘计算还可以与农业物联网相结合，实现农业设备的远程控制和管理。农民可以通过手机或电脑等终端设备，随时随地监控农业生产现场的情况，并对农业设备进行远程控制，提高农业生产的智能化水平。

### 专栏 9 边缘计算在农业精准灌溉中的应用

某农业园区引入边缘计算技术，实现精准灌溉。园区内部署了多个传感器，实时采集土壤湿度、温度、光照等数据，并将这些数据传输到边缘计算设备。边缘计算设备对数据进行分析处理，根据预设的灌溉策略，精确控制灌溉设备的开关，实现按需灌溉。例如，当土壤湿度低于设定阈值时，边缘计算设备会自动开启灌



溉设备，进行灌溉；当土壤湿度达到设定上限时，自动关闭灌溉设备，停止灌溉。这样可以避免水资源的浪费，提高灌溉效率。同时，边缘计算设备还可以结合天气预报数据，预测未来的土壤湿度变化趋势，提前调整灌溉计划，进一步优化灌溉效果。通过边缘计算的应用，该农业园区实现了精准灌溉，水资源利用率提高了 30%，农作物产量也得到了显著提升。

## 四、边缘计算产业协作全面深化

### （一）开源生态协同加深

随着边缘计算的快速发展，产业内涌现出非常多的边缘计算相关的开源项目，这些开源项目隶属于不同的开源组织，面向不同的使用场景提供解决方案，且随着技术的不断发展，新的项目不断涌现。

EdgeGallery 聚焦 5G 边缘计算场景，通过开源协作构建起 MEC 边缘的资源、应用、安全、管理的基础框架和网络开放服务的事实标准，并实现同公有云的互联互通。KubeEdge 将 Kubernetes 原生的容器编排和调度能力拓展到边缘，并为边缘应用部署、云与边缘间的元数据同步、边缘设备管理等提供基础架构支持。K3s 是一个轻量级的 Kubernetes 发行版，针对边缘计算、物联网等场景进行了高度优化。StarlingX 是一个完整、高可靠、可扩展的边缘云软件堆栈，它将新服务与许多其他开源项目结合到一个整体边缘云软件堆栈中，为边缘计算、工业物联网和电信应用构建一个有弹性的边缘云基础设施。K0s 是一种轻便且安全可靠的 Kubernetes 发行版，能够在裸机和边缘计算

环境中运行,旨在为现有的 K3s 提供一种新的选择。根据边缘计算部署形态（云服务延伸边缘、电信网络边缘、现场边缘、设备边缘）区分,不同的开源项目适配如下:

表 4 边缘计算开源项目

项目名称	简介	隶属开源组织(或公司)	云服务延伸边缘	电信网络边缘	现场边缘	设备边缘
EdgeGallery	由华为、腾讯、信通院、中国移动、中国联通、九州云、紫金山实验室、安恒联合发起,捐献给 LF,目前处于 Linux 基金会的 LF Edge Icebox 阶段的开源项目。项目目的是打造一个符合 5G 边缘“联接+计算”特点的边缘计算公共平台,实现网络能力(尤其是 5G 网络)开放的标准化和 MEC 应用开发、测试、迁移和运行等生命周期流程的通用化	LF Edge		√	√	
KubeEdge	由华为云开源的云原生边缘计算平台项目。KubeEdge 将 Kubernetes 的能力从中心云扩展到边缘,并为云和边缘之间的网络,应用部署和元数据同步提供基础架构支持	CNCF			√	√
K3S	由 Rancher Labs 发布的一款开源、极轻量的 Kubernetes 发行版,通过了 CNCF 一致性认证,适用于在资源有限的环境中运行 Kubernetes。K3s 主要用于部署在资源受限的边缘计算场景中,也可以在本地运行以进行 Kubernetes 测试或开发	CNCF			√	√
StarlingX	OIF 基金会的顶级项目,StarlingX 平台是一个完整、高可靠、可扩展的边缘云软件堆栈,它将新服务与许多其他开源项目结合到一个整	OpenStack Foundation		√	√	

	体边缘云软件堆栈中，为边缘计算、工业物联网和电信应用构建一个有弹性的边缘云基础设施。					
K0S	由 Mirantis 发起的极简 Kubernetes 发行版，k0s 通过自行编译 Kubernetes 源码生成 Kubernetes 二进制文件，然后在安装后将二进制文件释放到宿主机再启动的方式，在保持原生 Kubernetes 的功能情况下，实现轻量化的部署	Mirantis			√	√

来源：公开资料整理

## （二）标准体系初步建立

我国边缘计算政策环境不断完善，工信部印发《关于推动工业互联网加快发展的通知》、《工业互联网网络建设及推广指南》、《国家车联网产业标准体系建设指南》等文件，大力推进边缘计算在各领域的技术研究和标准体系建设。

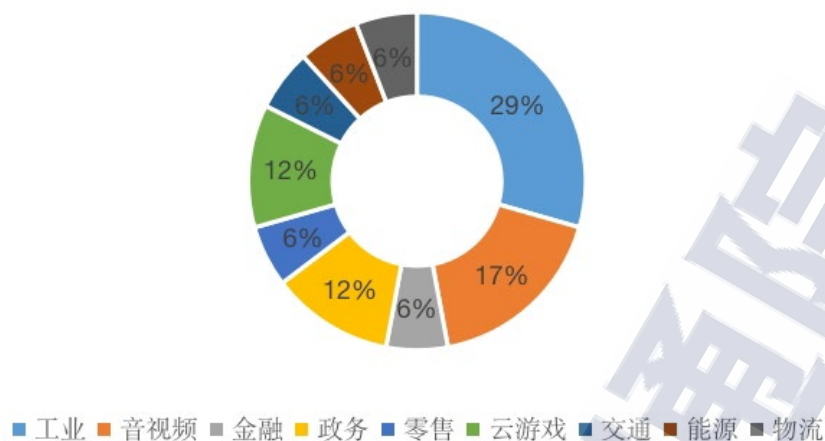
国内外标准组织高度关注边缘计算领域标准化工作，在边缘计算架构设计和关键技术方面均研制了相关标准文档，ITU-T 在研《IoT requirements for edge computing》规范了物联网边缘计算的架构设计；ETSI 研制《MEC Management: Application lifecycle, rules and requirements management》拟定了 MEC 平台的能力规范，除此之外，ETSI 在早前还发布了关于边缘计算平台架构、边缘计算技术需求、边缘计算应用程序编程接口（API）准则、边缘计算应用程序（APP）使能、边缘云平台管理、基于网络功能虚拟化（NFV）的边缘云部署等标准。算力度量是边缘计算标准体系中的一个重要组成部分，通过

制定统一的算力度量框架和指标体，用于评估边缘计算节点或系统的计算能力，实时准确地反映算力的实际情况，对于推动边缘计算产业的发展具有重要意义。

中国通信标准化协会（CCSA）也将边缘计算作为重要的工作内容，从不同角度对边缘计算技术进行标准化。从平台和边缘云角度，《边缘云服务信任能力要求》、《面向 5G 的 MEC 边缘云平台能力要求》规范了边缘云和平台的整体架构设计。从应用角度，工业互联网、车联网、5G MEC 等相关领域均有对边缘计算的场景化需求标准，例如，《工业互联网边缘计算 边缘节点模型与要求》系列标准、《基于边缘计算的工业视频安检应用场景与业务需求》标准等。

### （三）技术融合深化应用加速

随着边缘计算的服务类型扩展，用户部署在边缘的业务应用快速增长，多个行业在边缘计算都有应用标杆案例，据中国信通院连续三年的云边协同创新实践案例征集结果表明，边缘计算在工业、音视频、政务、云游戏、金融等行业应用较多，如下图 6 所示，工业应用占比达到 29%，排名第二的音视频领域应用占比达 17%，充分证明边缘计算在传统领域和新兴领域均有显著应用优势。



来源：中国信息通信研究院

图 6 边缘计算在各行业应用占比

**时延敏感型**业务如音视频、云游戏是边缘计算应用最早，也是最广泛的场景，通过将原本运行在中心云端的运算下沉至离用户更近的位置，能够得到更迅速的反馈，为终端用户提供更好的观看和游玩体验，同时，将原本在骨干网络传输的视频、音频、图片数据大量下沉至边缘，也能有效纾解骨干网带宽压力；**现场计算型**业务需求由物联网、车联网、工业互联网快速部署实践带来，也是边缘计算应用比较深入的场景，由部署在流水线或道路侧的摄像头或传感器设备采集数据，汇聚在边缘计算平台进行现场处理和分析，结果实时反馈给现场，实现实时质检和反馈能力；**本地部署型**业务由于数据监管要求，政务、金融等行业用云存在敏感数据不外泄的需要，将边缘基础设施部署于企业本地机房，敏感数据贮存在本地，同时，本地和其他分支云保持体验一致的管理能力，既满足了数据本地存储的需求又减轻运维压力。

随着边缘计算产业发展，边缘软、硬件技术均有极大优化精进。在**基础设施层面**，已经发展出软硬一体技术体系，通过高度集成的硬件基础设施和管理平台软件组合成能够一体化交付的边缘基础设施，

提升了边缘计算部署的便捷性，以更轻量化的方式支持边缘应用加速实践；在边缘服务层面，边缘计算与其他信息通信技术融合，构成了“边缘+AI”、“边缘+物联网”、“边缘+5G”等服务体系，精确匹配不同应用场景的独特需求；在边缘应用层面，边缘基础设施结合云原生技术，提供面向应用的边缘云，有效屏蔽底层异构的基础设施，用户只需关注自身业务应用的开发。

## 五、边缘计算面临挑战和未来展望

### （一）面临挑战及建议

#### 1. 边缘原生创新场景仍需探索，应用深度广度不足

当前边缘计算应用场景大多仍是从中心云场景延伸而来。随着互联网连接和数据指数级增长，互联网用户的体验和网络效率面临极大挑战，对云服务提出了更高的要求，边缘计算相比于云计算在实时计算、大带宽等场景上更具优势，因此，当前边缘应用场景仍类场景为主。同时，边缘侧由于资源等因素，数据库、容器、安全等能力部署仍面临一定挑战，政企用户对于边缘计算使用需求和场景仍处于探索阶段。

**垂直领域应用场景仍需探索。**从实践中看，垂直领域应用场景在视频 AI 识别、边缘数据采集存储等局部典型场景，以单点形式部署。锁定应用行业的特征场景从而扩大边缘计算的应用面，如何探索更多高价值应用场景，是产业内当前广泛面临的问题。

建议强化政策指导，以市场需求为导向，引导产业链积极开展边缘算力应用试点，聚焦重点领域共性应用场景，打造一批可复制可

推广的边缘算力创新应用示范标杆，“以用促建”，加快边缘算力应用推广落地。

## 2. 边缘服务稳定性有待提升，安全能力仍需加强

**稳定可靠方面**，边缘节点通常资源受限，且所处位置和网络环境复杂，跨网络环境、跨地理位置条件下大规模节点管理、应用部署、数据管理、业务系统持续性运行、协同能力等关键技术稳定性仍面临挑战，并且在性能方面缺乏有效测试验证标准和测试工具。

**安全保障方面**，与集中式云资源相比，边缘计算单点物理资源受限、部署环境/业务复杂多样、成本受控等，在边缘节点物理安全、网络安全、数据安全、应用安全、安全管理等方面能力较弱，仍需强化云边统一安全管理、动态风险识别能力，实现快速防御、及时阻断恶意入侵行为。

建议技术提供商提升边缘服务稳定性和安全性建设水平，行业组织联盟、标准化机构制定统一标准化测试验证方法，开展大规模边缘算力管理与服务稳定性技术验证，建立边缘系统稳定性与安全性综合评估体系，构建“可信”边缘算力服务。

## 3. 边缘系统互联互通存在阻碍，仍缺少标准化方案

**在政企 IT 系统建设方面**，目前大部分企业提供的边缘计算服务呈现异构多样化，在开放接口、数据接入、传输协议、网络接入等方面各厂商差异性较大，导致用户将边缘计算系统与现有 IT 基础设施集成复杂度较高，在资源、数据、运维等方面统一管理难度较大。内部 IT 基础设施管理和使用复杂度提升，导致在规模化部署进度缓慢。

在行业应用场景方面，不同行业场景对边缘计算部署要求不一，如工业、园区、矿山、交通等各业务现场对数据采集、管理模式、边缘 AI 算法、带宽、时延、成本等要求各异，目前尚未建立各细分领域的标准参照体系，以满足不同行业的定制需求，往往需要应用不同的解决方案进行大量重复验证和适配，导致投入成本高、复制推广效果差等问题，缺乏标准化场景化解决方案。

建议加强制定边缘算力互联互通行业标准，在资源、数据、应用、管理等方面实现标准化互操作方案。持续构建不同行业场景标准化方案，鼓励产业链探索合作协同，打造面向边缘场景定制化、一体化方案。

## （二）发展趋势

### 1. 边缘基础设施向分布式算力布局演进发展

在政策和市场双重驱动下，边缘计算基础设施加速建设，呈现分布式布局。一方面，一系列国家顶层政策文件出台，全面部署、统筹推进算力基础设施建设，要求优化算力基础设施布局，引导通用数据中心、超算中心、智能计算中心、边缘数据中心等合理梯次布局；另一方面，随着 5G、物联网、工业互联网等产业实践和规模化部署，越来越多的生产数据需要在现场进行实时处理，集中式数据中心无法满足在超高清视频、车联网、工业互联网等场景下的计算时延、带宽成本需求，海量分散、异构的边缘基础设施资源被建设，在低时延、低成本、多样化的实践场景中展开应用。通过边缘算力互联互通，实现“中心、区域、边缘”等不同层级的算力资源



互联、业务互通，中心云负责云边端算力全局管理和大规模数据计算处理，边缘进行数据快速接入和实时智能计算，终端实现泛在感知，通过云边端算力资源高效协同调度能力，提供低时延、成本可控、体验最优的分布式算力服务为未来演进趋势。

## 2. “中心训练、边缘推理”加速人工智能应用实践

随着我国“人工智能+”行动规模化应用实践，AIGC（生成式人工智能）、大模型技术不断创新，AI推理需求将大幅增长。边缘计算凭借“低时延、低成本、广分布、高安全”等优势，通过“中训边推”等创新模式，突破算力跨主体、跨架构、跨区域等复杂场景下应用瓶颈，降低工业互联网、智慧城市、交通、医疗、能源、文娱、元宇宙等场景人工智能应用推理时延和成本，为人工智能技术的普及和普惠发展提供了坚实的支撑。

## 3. 云边端管理运维向智能化自动化演进发展

云边端一体化算力平台能够屏蔽底层分散的异构资源，向上提供应用统一运行环境、实现设备统一管理、业务敏捷部署、时延带宽成本降低、数据安全存储，基于云边端数智的IT新底座通过整合设备接入、数据管理、人工智能、组件开发、云边端协同、生态开放等能力，对接企业内部业务系统，为业务场景提供统一应用和运营管理，将成为各行业数字化转型的基础性平台，实现对各行各业数字化转型与智能化升级的深度赋能。随着云边端算力的复杂程度加深，管理运维难度呈指数级提升，以人力为基础的手动运维难以满足保证复杂系统正常运行，以及故障快速恢复的需要，云系统需

要具备“智能化运维”能力，在基础设施、算力资源、网络、应用、数据、安全等方面全方位提供自动化运维保障能力，保证云、边、端各类算力经济、高效、稳定的正常运作。

#### 4. 边缘云服务模式向 Serverless 形态演进发展

理想的云计算形态是算力按需随用，边缘云也不例外，Serverless 架构能够让企业开发人员专注业务应用和代码，而无需关注服务器状态，摒弃繁杂的机器管理和成本考量，实现真正的弹性计算。未来，随着边缘算力更加多样化、零散化，无服务器模型也许会替代以虚拟服务器为核心而构建企业 IT 系统。

## 编制说明

随着国家政策支持力度加码、市场规模不断增长、技术与应用不断深化落地、产业生态日益完善繁荣，边缘计算正在加速迈向广泛普及和深度应用的新阶段。为了全面对边缘计算产业发展进程进行梳理、总结实践经验、引导产业健康发展，中国信通院启动《边缘计算产业发展研究报告（2024年）》编制工作。编制过程中，中国信通院广泛吸收边缘计算建设现有研究成果，深入调研国内主流边缘计算市场参与者，召开多次公开研讨会，先后走访多家企业，并面向业界征集边缘计算场景先锋实践案例，获益颇多。在此表示感谢（排名按拼音顺序）：

阿里云计算有限公司、安超云软件有限公司、北京火山引擎科技有限公司、戴尔（中国）有限公司、广州忘平信息科技有限公司、贵州白山云科技股份有限公司、华为云计算技术有限公司、浪潮云信息技术股份公司、蚂蚁科技集团股份有限公司、南方电网数字平台科技（广东）有限公司、上海道客网络科技有限公司、深圳市网心科技有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、天翼云科技有限公司、浙江九州未来信息科技有限公司、中移（杭州）信息技术有限公司、中移（苏州）软件技术有限公司。

中国信息通信研究院 云计算与大数据研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300095

传真：010-62304980

网址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)

