



开放数据中心委员会  
Open Data Center Committee

# 边缘计算技术白皮书



开放数据中心委员会  
Open Data Center Committee

# 目录

<b>1 边缘计算新基础设施</b>	<b>1</b>
1.1 边缘新算力	1
1.1.1 边缘服务器	2
1.1.2 边缘一体机	3
1.1.3 边缘网关	5
1.1.4 模块化边缘服务器	6
1.1.5 浸没式液冷边缘服务器系统	7
1.2 边缘网络架构	9
1.2.1 移动网的边缘计算网络架构	9
1.2.2 固定网的边缘计算网络架构	12
1.2.3 固移融合的边缘计算网络架构	13
1.2.4 园区/厂区网的边缘计算网络架构	15
1.3 边缘数据中心	16
1.3.1 边缘数据中心定义	16
1.3.2 边缘数据中心形态	18
1.3.3 边缘站点关键问题	20
<b>2 边缘计算服务</b>	<b>23</b>
2.1 云计算服务	23
2.2 基于边云协同的边缘计算服务	23
2.3 AI 中台化服务	24
2.4 视频中台化服务	25
2.5 5G 边缘计算服务	26
<b>3 边缘计算系统</b>	<b>28</b>
3.1 边缘计算系统架构	28
3.2 边缘计算资源层	29
3.2.1 边缘算力能力	29
3.2.2 边缘网络能力	29
3.2.3 边缘存储能力	30
3.3 边缘计算调度层	31
3.3.1 云边/边边协同能力	31

3.3.2 边缘自治能力 .....	34
3.3.3 边缘网络调度能力 .....	35
3.3.4 多级集群能力 .....	35
3.4 边缘运维管理层 .....	38
3.4.1 监控管理能力 .....	38
3.4.2 告警管理能力 .....	38
3.4.3 日志管理能力 .....	39
3.4.4 监控信息获取能力 .....	40
<b>4 边缘计算安全 .....</b>	<b>42</b>
4.1 边缘基础设施安全 .....	42
4.2 边缘计算平台安全 .....	42
4.3 边缘计算服务安全 .....	42
4.4 边缘计算应用安全 .....	42
<b>5 边缘计算应用和场景 .....</b>	<b>44</b>
5.1 视频类场景 .....	44
5.1.1 AR/VR/XR .....	44
5.1.2 云游戏 .....	44
5.1.3 高清视频直播 .....	44
5.2 行业服务场景 .....	45
5.2.1 智能制造 .....	45
5.2.2 智慧园区 .....	46
5.2.3 智慧安防 .....	47
5.2.4 智慧交通 .....	47
5.2.5 城市配送 .....	48
<b>6 边缘计算标准研制方向建议 .....</b>	<b>50</b>
<b>7 工作展望 .....</b>	<b>52</b>

# 前言

在新基建浪潮的带动下，AI、5G、物联网等技术应用潜力迸发，产业化市场服务向纵深发展，带来了信息流量和计算要求的巨大的变化。根据预测，5G将进一步刺激视频类富媒体流量的发展，移动视频流量每年增长45%，到2023年占总体移动数据流量的73%。全球互联网数据量逐年提升，其中40%流量都将由物联网产生，进而带来了对数据分析和处理的极大需求。

边缘计算能够在靠近用户或数据源的位置提供网络、计算、存储服务，不仅能够实现流量的本地化处理，以降低对远端数据中心的流量冲击，而且能够提供低时延和高稳定的应用运行环境，有利于计算框架在终端和数据中心间的延展，有助于实现场景需求、算力分布和部署成本的最佳匹配。

白皮书从边缘计算的完整技术栈出发，从边缘计算新基础设施、服务特征、系统架构和应用场景几个方面分别对边缘计算的基础设施发展、新的服务能力、弹性技术架构进行描述，提供对边缘计算技术和服务的全视角剖析。

本文件感谢以下起草单位（排名不分先后）：百度、中国电信、中国信通院、腾讯、阿里巴巴、中国移动、京东、美团、英特尔、浪潮、富士康

起草人（排名不分先后）：陈刚、吴秋材、孔德超、吕航、李佳聪、丁圣勇、吴美希、许可欣、陈炜、冯佳新、陈共龙、李显才、韩天、李锴、陈国峰、李永伟、唐广明、李岩、张骏、陈羿函、孙波、付长昭、郭利文、吴佳鸿

# 边缘计算技术白皮书

## 1 边缘计算新基础设施

### 1.1 边缘新算力

根据 Omdia 的调研数据，在 2019 年全球发货的 1190 万台 DC 服务器中，有 240 万台部署在边缘，比 2018 年增长了 8%，总收入达 147 亿美元。随着物联网连接设备数量的增长，低延迟、多链接、高带宽的新兴业务以及数据本地化安全处理需求，将驱动边缘部署服务器的市场持续快速增长。预计到 2024 年，边缘服务器的市场份额将达到 28%。部署在边缘环境的服务器形态百花齐放，目前部署在边缘环境的服务器形态主要包括塔式、机架式、刀片式、HCI 和开放式计算服务器等，部署在边缘环境的服务器形态发展趋势如图 1-1 所示。

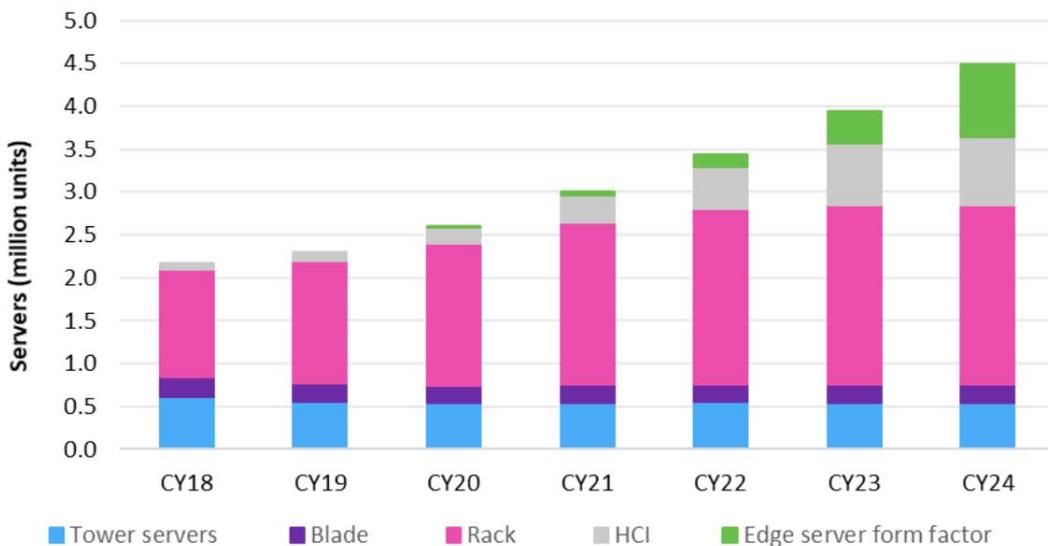


图 1-1 部署在边缘环境的服务器形态发展趋势

根据 IDC 数据显示，2020 年上半年，中国边缘计算服务器的整体市场规模为 11.13 亿美元（约合人民币 72.78 亿元），同比增长 20.6%，预计近 5 年中国边缘计算服务器市场年复合增长率将达到 18.8%。国内边缘服务器形态也

呈现多样性发展，包括盒子、机架、刀片、户外一体机以及浸液一体机等。

随着互联网提供商、电信网络提供商及企业等在典型新型业务领域的垂直布局发展趋同，边缘新算力将驱动业务定义系统构架融合，进一步孵化新形态的算力系统，实现一套系统构架满足多业务和跨领域的客户需求。同时，在云边协同日趋主流的大背景下，边缘新算力形态将推动解决边缘中心混合云构架TCO（Total Cost Ownership）优化，以应对跨互联网提供商、电信网络提供商及企业部署环境等新型算力需求挑战。

### 1.1.1 边缘服务器

边缘服务器是部署在边缘环境的具有数据中心等同算力的服务器。边缘服务器具有体积较小、环境适应性更优、支持多种安装方式、快速前维护和统一管理接口等技术特点，对于推动未来边缘计算业务快速发展、减少边缘设备部署及运维成本等具有重要意义。

在边缘服务器规模化部署过程中，规格标准的统一与规范至关重要。2017年，开放数据中心委员会（ODCC）发起了面向电信应用的开放电信IT基础设施项目（OTII），形成运营商行业面向电信及边缘计算应用的深度定制、开放标准、统一规范的服务器技术方案，边缘服务器的应用场景和技术特性都有明显特征。

边缘服务器应用场景的主要特征如下：

1) **环境条件复杂**：边缘场景的环境条件相比标准机房更为恶劣，且不同边缘场景间的差异同样较大，标准难以统一。部署空间较小，通信机房机架深度主要为600mm、少部分达到800mm，整体较标准机架浅，在办公室、工厂场景甚至没有机架环境。环境温度不稳定，边缘机房的制冷系统不稳定，机房温度可高达45°C以上、也可低至0°C以下。机房承重有限，边缘机房称重能力普遍低于数据中心承重标准。人机共存，边缘计算设备部署更贴近用户，保安室、配电室等场景中设备会与人员部署在同一区域，人机共存对设备有更高要求。

此外，部署于边缘机房的服务器还可能面临抗震、电磁兼容和防噪等要求较高以及机房空气质量欠佳等限制。

2) **性能需求多变**：不同类型的边缘计算对服务器的性能提出不同的要求，需要服务器支持在较大范围内可变的计算和存储能力。例如：边缘 AI 推理对多种扩展加速卡/GPU 的需求，ICT 融合场景中对多网口大流量转发的需求，边缘数据中心中对数据存储容灾的需求等。

3) **运维管理难度大**：针对同一业务，边缘服务器可能分散部署在全国各地不同区域，需要有强大的管理运维能力，部分场景运维人员甚至难以到达现场，对设备的运维难度与运维成本提出了较高的要求。

边缘服务器的主要技术特性如下：

1) **物理形态及环境适应性**：为满足边缘计算的环境要求，服务器做出服务器深度 $\leq 450\text{mm}$  等针对性的设计方案；开关、指示灯、硬盘、线缆等采用前维护；风扇能够支持热插拔，保证在线清理或更换；散热优、功耗少、噪音低；可能需要支持在更宽温度范围，并可能需要满足 B 级 EMC、抗震等需求。

2) **灵活的可扩展性**：硬盘需支持 HDD/SSD/NVME SSD 等存储形式，灵活应对不同数据容量及类型；兼容支持多种内存，将内存的容量，温度适应性，掉电保护等功能做到可根据场景选配；处理器性能及功耗可根据功能需求选配；异构计算方面通过配置基于 Asic、FPGA、智能网卡或其它硬件加速方案卸载部分 CPU 功能，以节约 CPU 资源并提高处理效率。

3) **运维管理统一便捷性**：边缘服务器需要有统一完善的管理接口要求以减少带外管理系统带来大量适配工作，以更加有效的管理服务器；边缘服务器应尽量降低对运维人员水平的要求，使运维操作尽量简单，以提高运维效率；边缘服务器 BMC 具备基本故障诊断及上报能力，并提供硬件平台自愈方案。

### 1.1.2 边缘一体机

边缘一体机是集成边缘服务器节点、交换机、存储、PDU、配电、机架空

调等多种设备的整机柜产品，以整机柜形式为最小产品颗粒度，在工厂集成业务所需机柜内设备，并预装客户应用软件，可实现 IT 设备快速边缘部署及业务快速上线，并能在无机房场景部署边缘应用。边缘一体机主要组成部分包括服务器、交换机、配电箱、PDU、UPS、电池包、机架式空调、应急风扇、监控显示屏、监控主机、动环侦测网关、烟感侦测器、温湿度侦测器、水浸侦测器、照明、前后门开关侦测器等。

边缘一体机应用场景的主要特征如下：

1) **适应非机房环境**：部分客户可能没有标准机房，没有适合放置边缘服务器的机架。港口、社区、门店等需要将算力下沉到较小室内的节点，也不便部署标准机架。

2) **算力需求大**：边缘场景对算力的需求随着应用的发展和数据的爆发会持续快速上升，未来在一些空间较小的边缘场景也会产生相对较大的算力要求，需要以较高的密度部署边缘计算节点。

3) **独立部署需求**：为了数据安全和关键业务不掉线，部分边缘设备需要独立部署独立运维。

4) **现场部署难度大**：矿区、油井等部分行业客户的部署场景较为复杂，无法现场交付部署。

边缘一体机的主要技术特性如下：

1) **体积小**：为满足边缘业务场景的灵活部署需求，边缘一体机的体积需较小，推荐柜体深度 $\leq 600\text{mm}$ 、柜体高度 $\leq 24\text{U}$ ，且方便在不同物理空间移动，支持整机柜运输，并配备提手和滚轮。需集成制冷系统、供电系统、智能监控系统及 IT 设备等形成移动数据中心，可快速部署及交付，也可搭配云产品形成软硬一体化产品，满足客户全场景部署及应用需求。

2) **高可靠**：针对环境恶劣的边缘场景，边缘一体机需要高度密闭，利用机架空调进行内循环，屏蔽外界的灰尘与水雾等不利条件。边缘一体机的材质

需采用高强度钢板，配合结构件，提供足够的结构可靠性。

4) **模块化**：针对不同的性能需求，边缘一体机内部设备需要模块化选配，需支持 1U/2U 边缘服务器、千兆/万兆交换机、部分通信设备、机架空调、配电模块等。

4) **远程运维**：边缘一体机内部的设备需支持远程管理运维，机柜本身需配备动环监控系统，对机柜物理信息实时监控，提供第一时间的故障报警与运维提示。

边缘一体机各组成部分具有如下技术特性：

1) **计算存储**：边缘一体机支持标准 1U/2U/4U 服务器产品，支持滑轨或 L 型托架安装方式。

2) **网络**：边缘一体机应支持通用 1U/2U 等主流交换机产品安装，预留理线托盘及理线架，便于整机柜内部网络线缆部署。

3) **动环**：具备动环侦测能力，配备动环侦测网关、烟感侦测器、温湿度侦测器、水浸侦测器、照明、前后门开关侦测器，配置备监控平台，支持现场，网页，邮件或其他终端设备读取。

4) **散热**：整机柜中可安装空调，供风量需满足满配散热需要，压缩机及风机均为变频模式调节，平均 EER $\geq$ 3.0，适应 220V $\pm$ 15%、50 $\pm$ 3Hz 供电条件，寿命需十年以上。机柜前后门封闭，形成机柜内独立循环，可部署在复杂环境。

5) **备电**：一体机配备高可用性 UPS，结合大容量电池包，保证服务器电力连续不间断。通过配电箱隔离电气设备，保护 UPS、空调、服务器 PDU 以及机柜监控主机。

### 1.1.3 边缘网关

边缘网关又称便携式服务器，是部署在行业近场端的接入设备，主要提供数据采集、数据处理、网络交互和协议转换等功能，具有体型小巧、灵活性高、环境适应性强的特点，搭载轻量级技术支持，为边端提供算力，实现敏捷、智

能和可靠的万物互联。

边缘网关的主要技术特性如下：

1) **灵活的环境适配能力。**边缘网关具有体型小、环境适应性强的特点。设备可以通过放置、壁挂、堆叠、导轨等方式部署在近端场景，占据空间极小。为应对恶劣天气环境，边缘网关设备需要具有较强的防水、防尘、支持宽温的能力，保证严苛环境下的稳定运行。

2) **开放的计算生态平台。**支持不同的计算平台，根据应用场景和 IT 平台选择适配的计算芯片，实现垂直行业信息化平滑过渡。为支持智能分析应用，边缘网关可具备一定的 AI 能力，根据场景和网络模型配置不同的异构计算能力，可支持 PaddlePaddle、Tensorflow、Caffee、Mxnet 等主流神经网络开源框架。在服务器或者 PC 上已实现的推理网络可快速部署至边缘网关平台，无需单独适配开发，通过统一的工具链，实现全生态无障碍互通。

3) **多样的通信接入方式。**面对边缘端多变的网络布局，边缘网关需支持以太网、PON 接口、4G、5G、WiFi、LoRa、ZigBee 等多种网络接入方式，以接入感知终端和云数中心。边缘网关还需支持 CAN、RS482、D010 等接口，全方位覆盖城市、工业、专网、能源等多种应用场景。

4) **丰富的适配应用场景。**基于以上能力，边缘网关有丰富的计算能力和强大的场景适配性。针对不同场景的特性，可选择不同的计算平台、算力和接口，赋能 5G 通信、智能制造、网联汽车、城市治理、物联网等市场，为高清直播、智慧社区、智能交通等人多的场景提供强大的数据传输和决策响应能力，帮助智能油井、AI 质检、低速载货、无人驾驶等人少的场景降本增效。

5) **支持多种供电方式。**工业级应用场景支持输入直流电源 9V-36V (DC-in)，商业应用场景支持 DC12V AC 电源适配器接头 (DC Jack for AC-DC adapter)，符合各种工商业供电需求。

#### 1.1.4 模块化边缘服务器

模块化边缘服务器架构设计核心是解耦服务器各个功能模块，通过模块化的设计和模块复用，以期降低成本、缩短开发周期等。模块化设计可以在以下方面展开：

1) **需求拆分**：不同客户对于系统的性能、配置有着不同的需求，需求和配置的不同就意味的不同的设计架构，即使其中大部分的设计是相同的，如果不进行模块化，任何设计的变更都需要重新进行，模块化可以把重复的功能拆分开来，再根据不同的需求进行重新组合，这样既加快了开发进度，又减少了不必要的重复设计。例如：可以把单个 CPU 进行拆分，对于 1S 的需求，设计一个 CPU 模块结合 Carrier 模块即可，对于 2S 的需求，设计二个 CPU 模块结合 Carrier 模块即可，此时 CPU 模块就可以复用减少重新设计。

2) **成本控制**：整板设计复杂性取决于功能模块的数量以及单板的工艺复杂度。单板的工艺复杂度影响因素包括高速信号速率、信号密度，特殊工艺要求等，主要由单板上的 CPU 模块等单一模块所决定，对于不需要同样复杂的其他功能模块部分，是一种极大的浪费。如果进行模块化设计，就可以避免这种不必要的浪费。将单板中工艺复杂的部分和相对简单的部分进行剥离，根据各自功能模块的要求进行设计，最大限度地优化了成本，同时模块可以复用，进而减少了重复设计，进一步降低了成本。例如将最复杂的 CPU 模块单独设计，CPU 模块的面积可能只占总体面积的 40%，其他 60%的部分使用低成本的工艺方案，成本降低是很可观的。

3) **灵活布局**：各个部分模块化以后，每个模块的面积会减小，可以根据实际的机箱结构和尺寸灵活地进行布局，以适应不同尺寸、不同厚度、不同结构的机箱。灵活布局满足小型化、高密度的应用需求，在空间敏感的应用场景具有很大的优势。

### 1.1.5 浸没式液冷边缘服务器系统

浸没式液冷边缘服务器系统是将边缘服务器放置在密闭的腔体再利用浸

没冷却的方式将热导到腔体表面的鳍片进行整机散热，可大幅缩小部署空间并提升能源效率，系统具备 IP65 防尘防水能力、更强的恒温控制能力、更低的维护需求，此外采用环保介电液体还可减少环境污染。5G 带动智慧城市、自动驾驶和智能制造等行业的发展，边缘服务器的应用场景变得更加多元与苛刻，浸没式液冷边缘服务器系统需具有更强的场景适应力。为满足自动驾驶、GPS 和 WiFi 等不同类型技术应用的需求以及边缘 AI 推理应用对异构计算的需求，边缘服务器须满足多元化的性能需求。

浸没式液冷边缘服务器系统应用场景的主要特征如下：

1) **更严峻的应用场景。**空间需求小，浸没式液冷边缘服务器系统可独立部署于非机房环境下，并且能减少风扇的使用，从而大幅降低部署空间的需求；防尘防水要求高，由于浸没式液冷边缘服务器系统部署位置不局限于室内，甚至可与基地台搭配建设在电线杆上、高楼壁等复杂多变的户外环境，需满足严苛的防尘防水要求；温度波动范围宽，浸没式液冷边缘服务器系统应用场景复杂多变，在部分应用场景中高温达 55 °C、低温至 -15 °C，需具备更宽的温度适应性；恒温控制要求高，户外环境中的阳光直射与风雨吹拂将引起强烈的温度震荡，浸没式液冷边缘服务器系统需要更强的恒温控制能力，使系统保持在稳定的温度；人机共处，为了加快边缘数据的处理与传输速度，边缘节点的部署将更接近使用者，设备将从机房走进办公室、便利店或监控室等日常生活场所，部署日常生活场所的节点在噪音、安规、电磁兼容等方面有更高要求。

2) **多元化的性能需求。**为了满足自动驾驶技术应用对 GPS 和 WiFi 模块的需求、边缘 AI 推理应用对异构技术的需求等不同类型的性能需求，浸没式液冷边缘服务器系统须具备可调节的计算能力、储存能力和扩充模块。

浸没式液冷边缘服务器系统的主要技术特性如下：

1) **物理形态及环境适应性：**较小的物理尺寸，为了满足多元化系统部署场景需求，浸没式液冷边缘服务器系统具备较小的物理尺寸，全系统深度建议

小于 700 mm；全天候适应力，浸没式液冷边缘服务器系统的密闭腔体设计屏蔽了环境因素对服务器和介电液体的影响，全系统防尘防水等级达到 IP65 要求，适应多变气候形态与剧烈的温度波动（-25 °C ~ 55 °C）；恒温控制能力，当浸没式液冷边缘服务器系统处于户外无风或太阳直射等导致液体温度过高的环境时，启动系统强制对流系统对系统进行散热，当系统处于零下低温环境时，启动系统升温机制进行加热，以达到恒温控制的目的，推荐采用自然对流散热机制为主、强制对流散热为辅的对流系统，以减小户外系统能耗和噪声，灵活的场景适应力，浸没式液冷边缘服务器系统支持宽温、低噪声、小尺寸、抗震、A 级 EMC 等需求，因此在应用场景的选择上更加多元。

2) **灵活的可扩展性**：支持英特尔志强可扩展处理器单 CPU 平台，支持多种内存形态与配置，支持 HDD/SSD/ NVME/ M.2 等多形式的存储，支持 RS485/RS232 等多种工业标准，配备 Wifi、4/5G 和 GPS 模块等。

3) **较低的维护需求**：边缘服务器常被放置于高耸的电线杆、高楼壁等难以维护的场所，产品设计过程中重点考虑如何大幅提升电子组件寿命，浸没式液冷边缘服务器系统中服务器浸没于密闭腔体内的不导电液体，能完全隔绝组件与水气、灰尘等外界污染源的接触，此外服务器中无活动电子组件的设计排除了电子组件震动损害，大幅降低系统维护需求。

4) **节能高效**：传统气冷服务器系统使用风扇散热，约 1/4 的全系统功耗用于驱动风扇，浸没式液冷边缘服务器系统的散热模式是通过外机箱鳍片的构造与自然对流对系统进行散热，大幅减少风扇使用，达到节能高效散热目的。

## 1.2 边缘网络架构

边缘网络架构完成了边缘计算站点在网络拓扑上的定义，进而为用户提供就近的接入服务，主要包括移动网、固定网、固移融合及园区/厂区网等场景。

### 1.2.1 移动网的边缘计算网络架构

移动网是主要为移动业务提供的网络接入服务。将移动网接入边缘计算节

点后，可在距离用户最近的位置提供业务本地化以及业务移动性能力，进一步缩短业务时延，提高业务分发并改善终端用户体验。随着 AI 应用的发展以及 5G 网络的部署，远程手术、车路协同等需要接入边缘计算来缩减等待时间的智能应用正在逐渐兴起，其接入方式如图 1-2 所示。

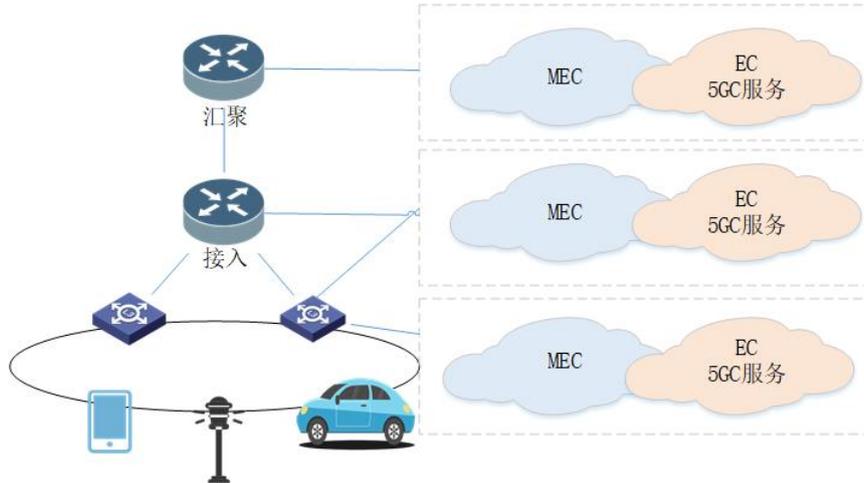


图 1-2 移动网接入边缘计算节点的网络架构

移动边缘计算（MEC）将 IT 服务环境和云计算在网络边缘相结合，提高边缘网络的计算和存储能力，减少网络操作和服务交付时延，提升用户服务质量体验，目前 MEC 已经作为关键技术被纳入 5G 标准。MEC 把无线网络和互联网有效融合，同时在无线网络侧增加计算、存储、处理等功能，构建开放式平台以植入应用，并通过无线 API 开放无线网络与业务服务器之间的信息交互，进一步进行业务融合，将传统的无线基站升级为智能化基站，从而具备减小业务传输时延、控制网络拥塞、提升用户体验等优点。

在 4G EPC 架构中，MEC 服务器有两种部署方式：一种部署在无线接入网侧，即部署在 eNode 节点后，可方便监听和获取基站侧的无线信息，但需要解决合法监听和安全问题；另一种方式部署在核心网侧，靠近 PGW。4G EPC 网络架构下的 MEC 部署方式如图 1-3 所示。

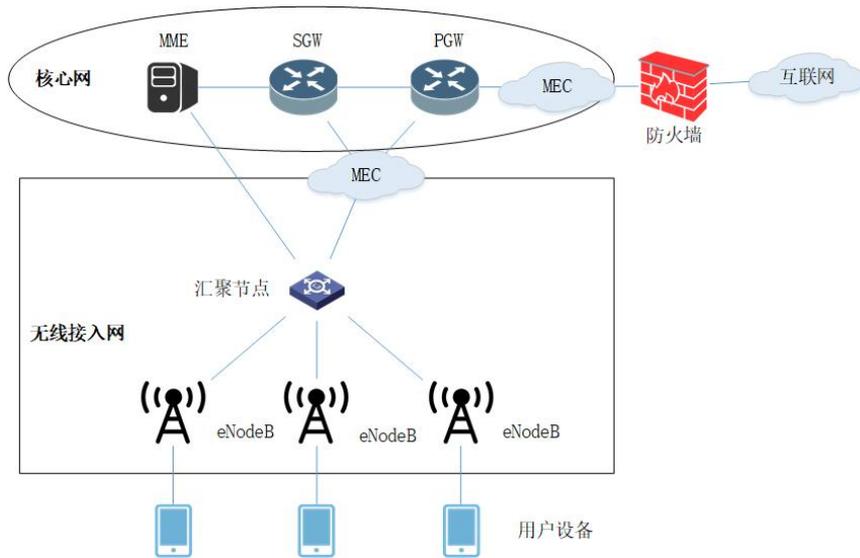


图 1-3 4G EPC 网络架构下的 MEC 部署方式

在 5G 架构下，MEC 服务器有两种部署方式：一种方式可以部署在一个或多个 eNode B 后，使数据更靠近用户侧，用户设备发起的数据业务经过 eNode B、MEC 服务器可到达互联网，该部署方式需要进一步解决计费 and 合法监听问题；另一种方式可以部署在用户平面网关后，用户设备发起的数据业务经过 Node B、网关、MEC 服务器后到达互联网，该部署方式的时延比前者略高。5G 网络架构下的 MEC 部署方式如图 1-4 所示。

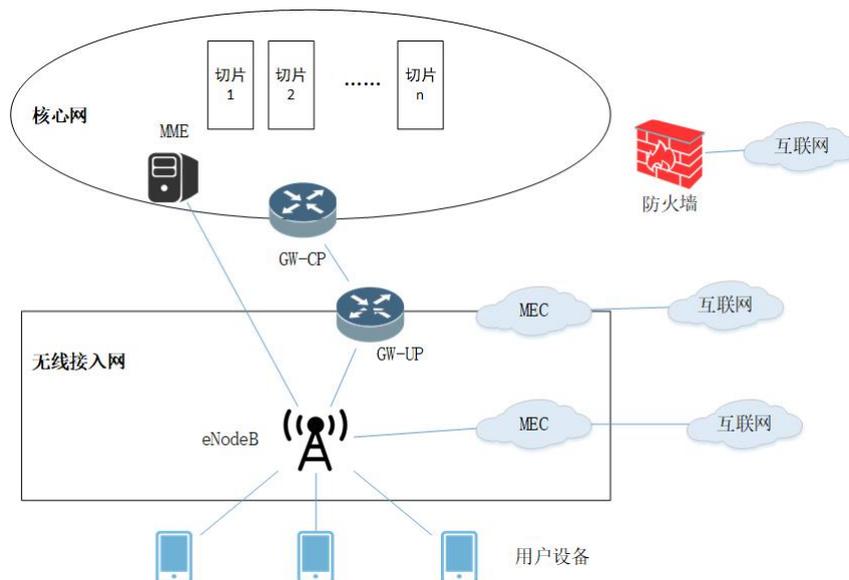


图 1-4 5G 网络架构下的 MEC 部署方式

MEC 在移动网络边缘提供计算、存储和网络资源，可以极大地降低处理时

延，实现绿色通信，提升用户服务质量体验。但是，在实现大规模应用之前，MEC 及各种基于 MEC 的解决方案还存在以下问题和挑战：

1) **移动性问题**：当用户从一个 MEC 服务器切换到另一个 MEC 服务器上时，如何保持移动终端与应用间的业务连接。在特定场景下，MEC 还需要支持用户设备在移动边缘系统与外部云之间的迁移。

2) **安全及计费问题**：在当前网络架构下，计费功能由核心网负责。移动边缘计算平台将网络服务功能“下沉”到网络边缘，在网络边缘就可以进行计算卸载，导致计费功能难以实现。

3) **隐私保护问题**：在基于 MEC 的通信中，针对内容共享和计算协作等问题，必须考虑用户的隐私保护。另外，在个人微云等私有网络场景下，也必须考虑隐私保护的问题，因此有必要在 MEC 网络中加入隐私保护实体。

### 1.2.2 固定网的边缘计算网络架构

固网主要为固定电话、宽带和 PSTN 等业务提供网络接入服务。通过将业务节点与固网专用设备部署在一起，可实现固网接入边缘计算节点，形成固网边缘计算网络。通过固网接入边缘计算节点的网络架构，计算能力节点可以部署在从端到边的各个环境中，为多个行业赋能，使业务在本地形成闭环，大幅度降低系统响应时延，缩减 IDC 带宽成本的消耗。固网接入边缘计算节点的网络架构如图 1-5 所示。

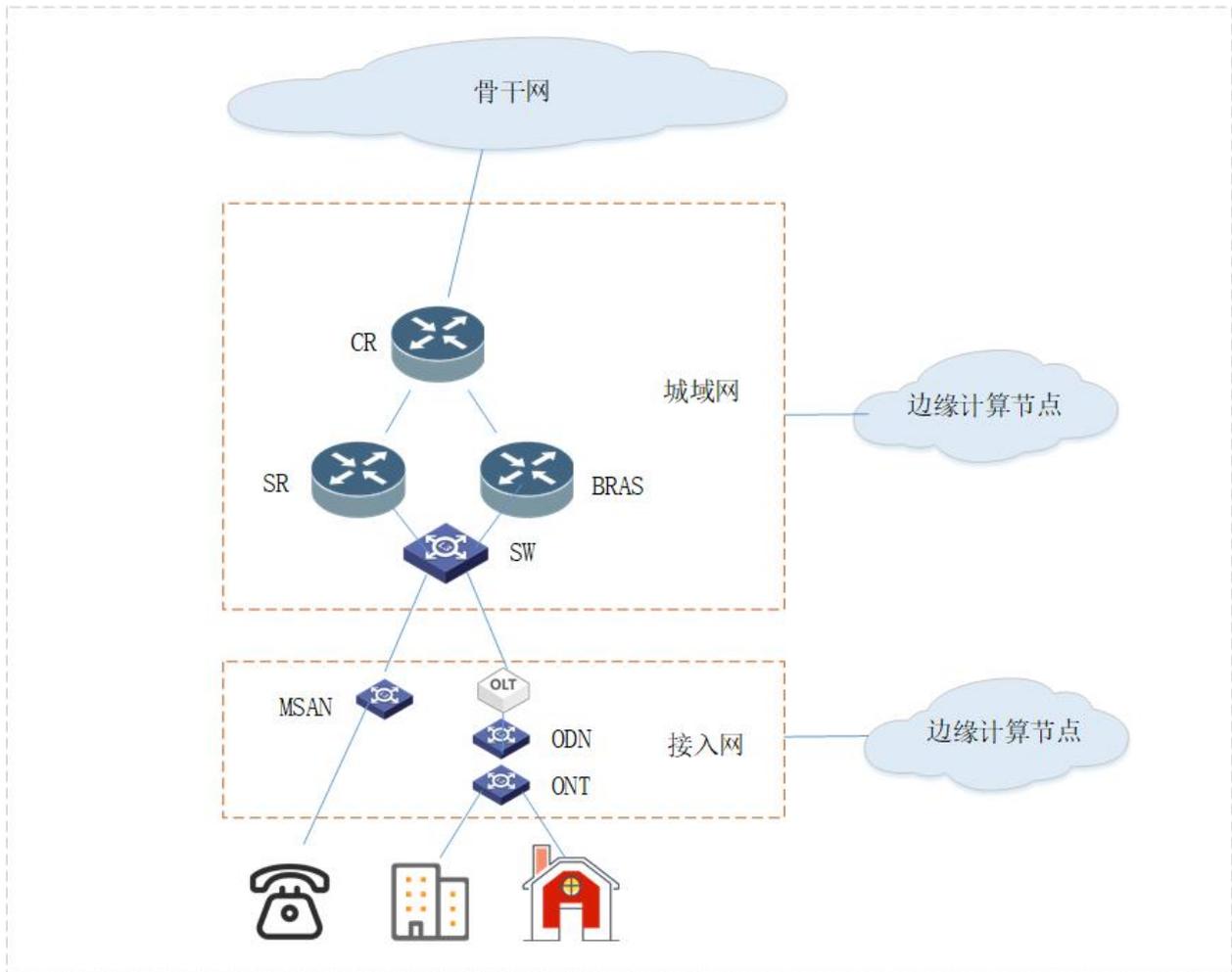


图 1-5 固网接入边缘计算节点的网络架构

基于固网的边缘计算主要承载 CDN 等内容计算和服务业务，为固网宽带用户提供视频、游戏等娱乐服务。通过固网的边缘计算节点，将源视频等业务服务器中的内容自动分发到分布式部署的边缘服务节点，通过应用流量调度技术将用户请求自动引导至最优服务节点，从而有效提升用户的业务访问质量。同时固网的边缘计算节点的资源是云化的，内涵和外延都将超越传统的 CDN 业务，形成云边协同、多业务融合的计算和服务节点。同时在网络服务上，可以将家庭宽带网关的功能上移到边缘服务节点，通过边缘节点的网络服务的承载降低家庭侧设备的复杂度和算力需求，构建更加快捷、高效及低成本的网络服务。

### 1.2.3 固移融合的边缘计算网络架构

边缘计算应支持移动网和固定网同时接入，多种接入方式可以为垂直行业提供灵活的网络接入以及高带宽、低时延的无缝连接承载网络。通过利用现有固网资源优势，实现固定和移动网络的边缘融合。边缘计算管理平台可以根据服务类型或需求，灵活地将流量分配到不同的网络，从而通过多网络共享边缘计算资源提升用户体验，实现算力的智能分发。固移融合的边缘计算网络架构如图 1-6 所示。

边缘计算固移融合对网络的需求主要集中在移动网和固网共 MEC 节点和平台，使得同一业务通过不同网络接入的流量可在同一节点处理，同时保障时延以及带宽等需求，为满足该场景需求，网络需具备以下能力：

1) **灵活的业务分流能力：**网络需要能够灵活的基于用户号码、目的 IP、业务 URL 等方式配置分流规则，将目标用户流量分流至边缘计算平台。

2) **精准的业务调度能力：**网络能够结合边缘计算节点分布、网络带宽、资源负载和传输路径等因素选择最优路径，将业务调度至最合适的边缘计算平台。

3) **云边协同能力：**网络能提供中心云和边缘云之间的资源、安全、应用、业务以及不同地域之间等多方面的协同。

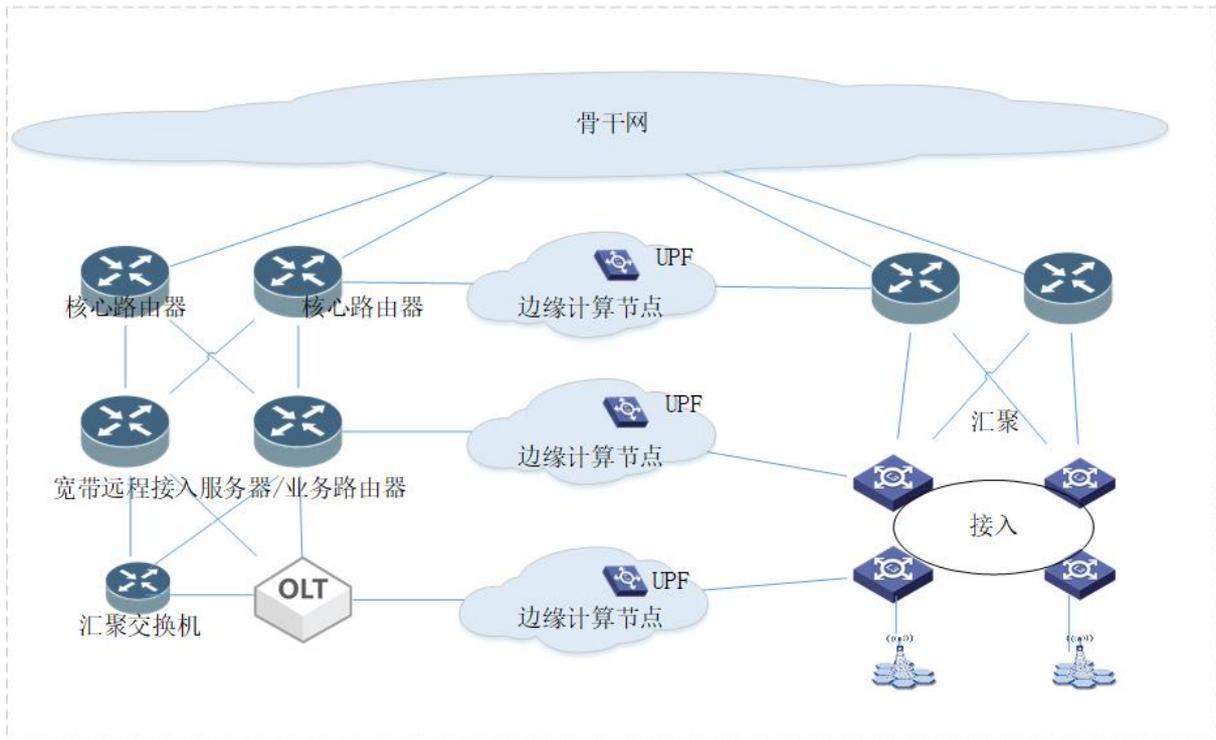


图 1-6 固移融合的边缘计算网络架构

#### 1.2.4 园区/厂区网的边缘计算网络架构

园区/厂区网为专有网络，主要为行业客户在园区/厂区内部提供网络连接。在传统的云计算环境中，园区/厂区网因设备数量少、性能低等原因处理业务能力有限，存在如下问题：

1) **业务时延高**：在云计算网络环境中，需要将园区/厂区内的数据传送至云端，由云端的计算存储系统对数据进行加工处理，增加了数据处理时延，无法满足园区内低时延的业务需求。

2) **网络负载大**：由于计算能力在云端，需要将数据实时传送到云端，因数据量较大，会造成网络负载过大。

3) **数据安全性低**：因园区/厂区用户将数据上传到云端，网络传输时间过长，增加数据泄露和代码被不被信任第三方劫持的风险。

为了解决上述问题，可以进入边缘计算与园区/厂区网融合，同时随着 5G 的部署以及企业应用的快速发展，可以支持更多的高带宽、低时延的业务，越来越多的园区/厂区需要部署边缘计算节点来支撑办公或生产业务的运行，如

园区/厂区的人脸识别、生产场地监控、智能门禁、视频监控、数据采集分析等业务，园区/厂区专网接入边缘计算节点的网络架构如图 1-7 所示。

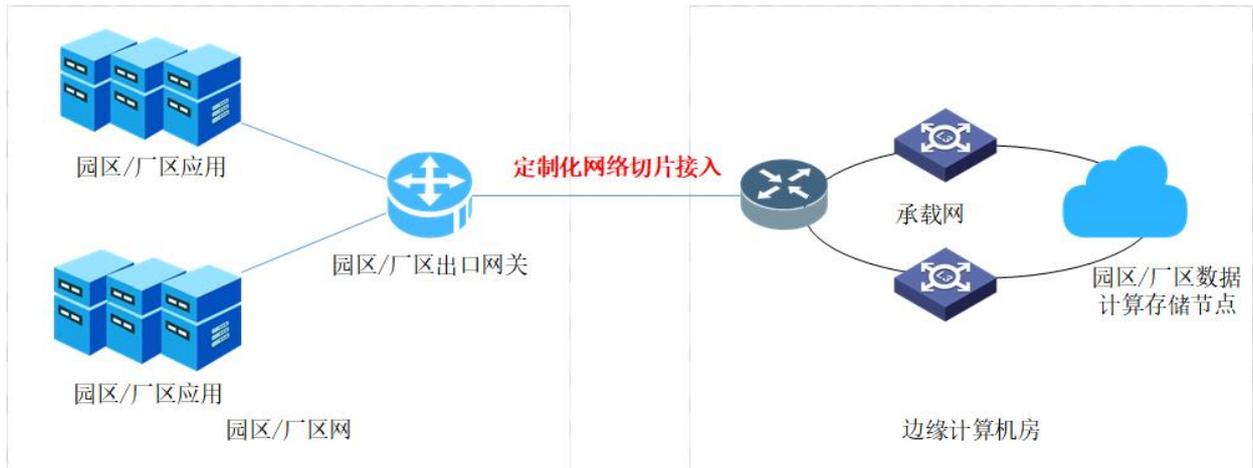


图 1-7 园区/厂区专网接入边缘计算节点的网络架构

园区/厂区网和运营商网络融合为边缘计算请求者提供最近的边缘节点服务，可以帮助园区/厂区提升网络运营效率，智能化升级安防能力，提高园区住户体验，具有如下优势：

- 1) **业务时延低**：园区/厂区内可快速将数据上传至边缘计算节点，并及时收到计算结果，降低园区/厂区内智能业务系统的响应时延。
- 2) **园区智能化**：在边缘计算节点上完成对园区数据智能分析，如分析视频监控数据，实时感知入侵、人流大等异常事件，降低园区人力管理成本。
- 3) **管理便捷**：边缘计算节点上的应用可通过全生命周期管理，能做到无缝升级。

## 1.3 边缘数据中心

### 1.3.1 边缘数据中心定义

边缘数据中心是部署在网络边缘侧的新型基础设施，在靠近用户的网络边缘侧构建业务平台，提供存储、计算、网络等资源，将部分关键业务应用下沉到网络边缘，以减少网络传输和多级转发带来的带宽与时延损耗。边缘计算的基础设施包括但不限于分布式 IDC、运营商 MEC、客户自建节点、工业网关、

家庭网关等边缘设备及对应的基础设施环境。边缘计算架构如图 1-8 所示，基本架构由集中式云数据中心的“云数据中心-用户端”两层结构演变为边缘计算的“云数据中心-边缘数据中心-用户端”三层结构。

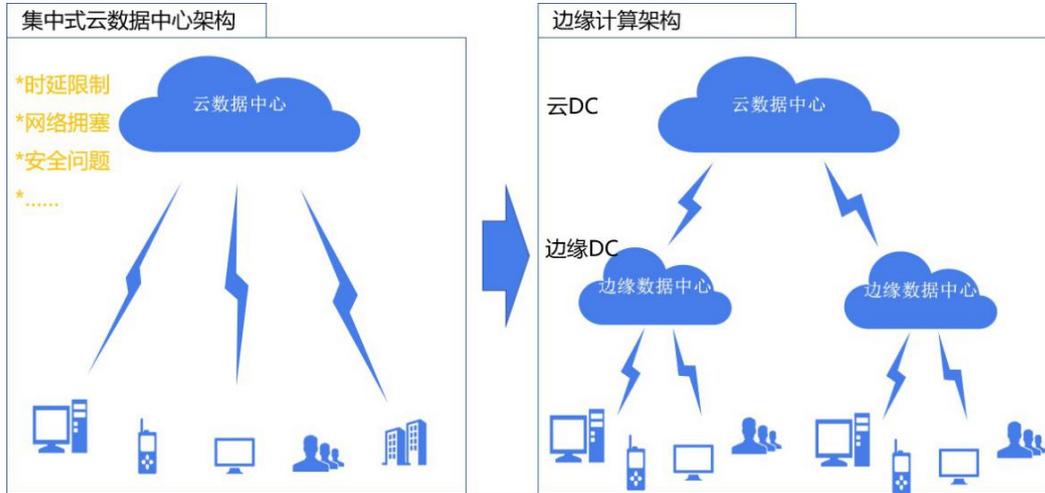


图 1-8 边缘计算架构

边缘数据中心、边缘计算与边缘云相互关系如图 1-9 所示，三者相辅相成、相互支撑。基于边缘数据中心的可靠资源，提供网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台，利用高效的边缘计算能力，就近提供边缘云服务。边缘数据中心在靠近用户的网络边缘提供基础设施资源，支持边缘计算对本地化、实时性的数据进行分析、处理、执行以及反馈，从而对云计算能力进行补充。借助边缘计算，数据可以在边缘数据中心进行处理，从而节省到传统集中式数据中心的通信等待时间。

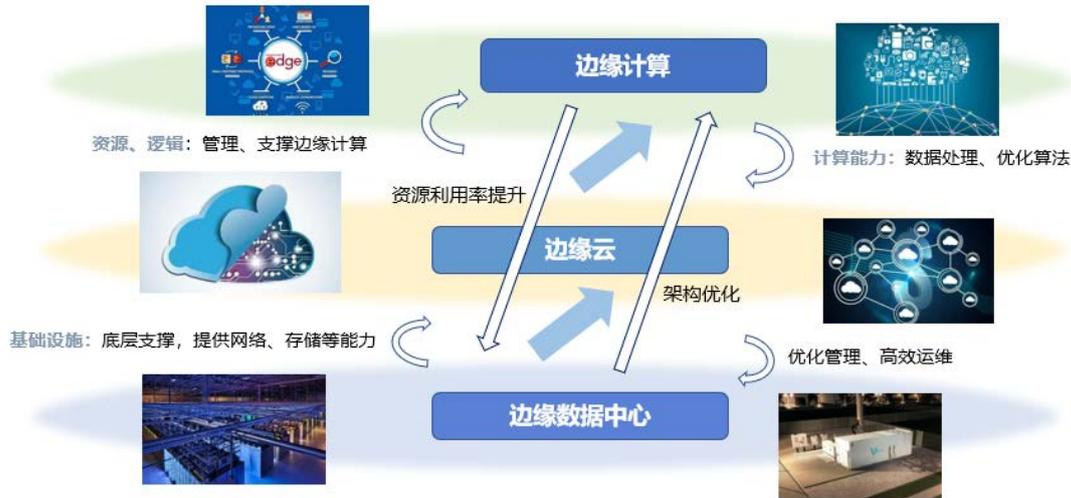


图 1-9 边缘数据中心、边缘计算与边缘云相互关系

### 1.3.2 边缘数据中心形态

广义的边缘数据中心可以根据不同的位置进一步划分为云边缘数据中心和端边缘数据中心，相应的下沉边界也不尽相同。5G 技术的发展开启了万物互联时代，端边缘数据中心基本距离用户数百到数千米，可以下沉到 5G 基站，甚至可以下沉到用户“身边”，端边缘数据中心的形态可以为一体柜设备形态。云边缘数据中心距离用户十几公里，可以下沉到接入网，其在形态上与传统小型数据中心类似。两类边缘数据中心具体的下沉边界要根据场景与应用来确定。边缘数据中心的位置分类如图 1-10 所示。

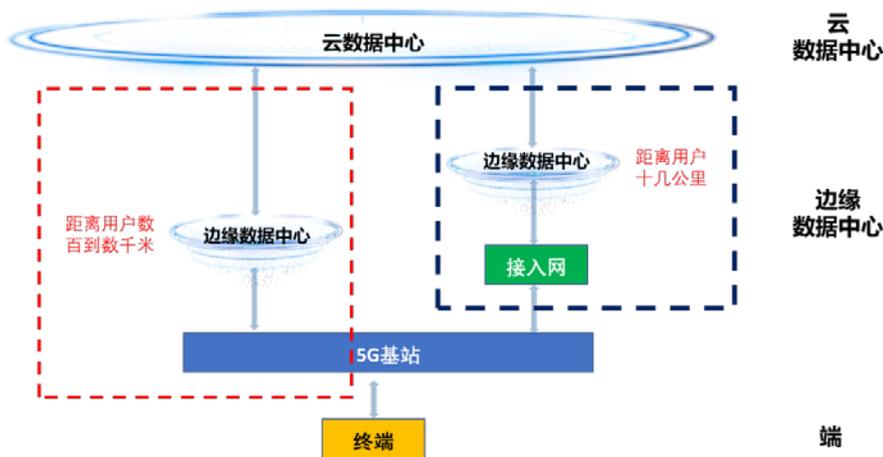


图 1-10 边缘数据中心的位置分类

广义的边缘数据中心可以根据不同的外形进一步划分为机房形态和设备

形态。机房形态的边缘数据中心类似于小型的传统数据中心，具有供配电、暖通等系统。设备形态的边缘数据中心包括一体柜等，一般是预制化、标准化的即插即用一体柜，可以放置在普通建筑物内，或者放置在路边公用设施附近。此外，Nawab F、Agrawal D、El Abbadi A 提出的“游牧数据中心(Nomadic Data Centers)”，是一种可移动的小型、便携式边缘数据中心，也属于设备形态的一种。未来边缘数据中心的形态发展将呈现如下几方面的特征：

1) **模块化**：模块化部署是边缘数据中心发展的重要方向。目前，Vapor IO、EdgeMicro、BaseLayer 等国外边缘数据中心企业都采用了模块化部署方式。Vapor IO 的边缘数据中心主要采用集装箱式，在内部部署高密度 IT 机架，可以支持高达 150kW 的电力容量；EdgeMicro 在塔楼等地点部署数百个模块化边缘数据中心，灵活提供边缘算力所需的机架规模；BaseLayer 的边缘数据中心通过模块化的方式仅需 120 天左右就可以在任何地域实现快速部署。模块化部署的思路机架、供配电、制冷等子系统。2020 年初 ODCC 发布的巴拿马电源项目成果，对供配电系统走向收容集成的标准化模块部署是一项重要突破。微模块产品示例如图 1-11 所示。



图 1-11 微模块产品示例

2) **预制化**：预制化将是边缘数据中心发展的另一个重要方向，端边缘数据中心通常可以采用一体柜产品的形式进行部署，云边缘数据中心可以采用微

模块产品的形式进行部署。一体柜产品可采用 24U 或 42U 规格，可容纳多台服务器，占地面积小，产品预制完成后，客户根据需要进行采购及部署，可快速交付、即插即用，适用车联网、智慧城市、视频监控等靠近用户的应用场景。微模块产品是由一排或两排机架通过封闭通道形成的小型机架集群，由配电柜、制冷设备、监控、IT 设备等组成，可配备独立的供配电、制冷、监控、布线、安防等系统，规模灵活、预制化和可快速上线的微模块产品非常适合作为边缘数据中心部署。



图 1-12 仓式边缘数据中心示例

3) **标准化**：预制化势必带来标准化，边缘数据中心将走上标准规格、标准配电、标准制冷、标准测评等标准化发展之路。以测评为例，传统数据中心在完成各项子系统安装之后开展验收测评，在数据中心稳定运行一段时间之后开展 PUE、安全性、可用性等测评。标准化测评是把相关测评项目设置为数据中心产品的出厂参数，在安装和运行之前开展验收、PUE、安全性、可用性等项目测评。用户直接在标准化边缘数据中心产品中根据业务需求选型，然后快速上线，同时保障了产品质量和业务效率。

### 1.3.3 边缘站点关键问题

在云边端三层架构中，位于边和端的数据中心都可以称为边缘数据中心，但两者的部署情况和作用、规模也因部署的层级不同而有所差异。位于边缘的

数据中心又称雾计算，一般为二级城市接入节点，或者企业分布式接入站点，这一类数据中心的特点类似汇聚层，规模因需求而议，一般部署于运营商通信机房等区域，或者企业办公大楼内，选址一般受运营商机房或者建筑选址规范限制。

另一类边缘数据中心为“端”一级架构，规模一般较小，通常为数台服务器或者 1~2 个机柜，这类数据中心的特点是更贴近用户端，选址一般受网络条件影响较大。

以下将着重探讨分析第一类边缘数据中心对于距离、温度、噪声和空气污染方面的关键要求。

1) **距离**：由于一些特定设施会给数据中心的运行带来影响，例如机场附近有强电磁干扰、车流会引起震动、工厂会产生粉尘油烟有害气体等，会给数据中心带来很多潜在的危险，因此，传统的云计算数据中心对于与航线、高速和地铁的距离等都有明确的要求。

对于边缘节点来讲却是另一种情况。例如对无人驾驶或者高铁覆盖等场景来说，会希望边缘节点与高速公路和铁路的距离更近一些，从而提供更低的网络时延。那么高速和高铁的震动对边缘节点带来的影响就需要进行更多的测试与评估，并使用更多的手段来避免距离因素产生的影响。

服务器对震动的耐受度很低，在很大程度上是因为很多主要电子和机械部件怕震动。当机械硬盘以 7200r/m 或者 5400r/m 的速率高速旋转的时候，一旦有震动，在磁盘和磁头接触的地方就会产生坏道，严重的会导致硬盘直接报废。未来，在这种场景下进行部署时，固态硬盘可能将是更优的选择。

2) **温度**：TIA942 中明确提出数据中心的运行温度是 20~25℃；我国的通信行业标准 YDT 2441-2013《互联网数据中心技术及分级分类标准规定》，R3 和 R2 级别的主机房温度（工作时）为 20℃~27℃。这么规定的主要原因是因为服务器的耐热能力有限，更高的温度会带来指数级上升的故障率和指数级

下降的性能。在云计算数据中心的运行过程中，由于规模化等因素，对环境温度控制的会比较好，但是对于边缘节点来说情况就比较复杂。特别是对于一些工业领域的边缘节点，运行环境很难控制得如此精确，多数的环温会在行业标准的上限甚至更高。2012年，英特尔提出的高温数据中心包含了高温节能服务器、功耗和散热感知调度等创新技术，其中高温服务器无需空调制冷可以在 $35\sim 47^{\circ}\text{C}$ 的环温下稳定运行。2017年，新加坡的 Infocomm Development Authority (IDA) 表示，他们正在与多家业内厂商合作，评估“热带数据中心”的可行性，在这种数据中心内，测试的环境温度将高达38摄氏度，环境湿度达到90%以上。

**3) 噪声和空气污染：**由于边缘节点部署紧邻应用场景，其中一部分会跟居民区和办公区的位置非常靠近。在这种情况下，边缘节点产生的噪声和空气污染就成了需要考量的一个重要方面。随着近代工业的发展，环境污染也随着产生，噪音污染就是环境污染的一种，已经成为对人类的一大危害。噪音污染与水污染、大气污染被看成是世界范围内三个主要环境问题。

正常的服务器在全功率高效运行时风扇转速很快，其产生的声音和空气风声加上硬盘声音，将导致服务器噪音很大而且无法避免。数据中心的制冷室外机也会产生一定的噪声。如何避免这些噪声对附近居住办公产生影响是需要研究的问题，可能拆除了风扇的液冷服务器将成为一种部署选择。

铅酸和锂电池是数据中心常用的电池类型。铅酸电池是一种电极主要由铅及其氧化物制成，电解液是硫酸溶液的蓄电池。当蓄电池充电将达到顶点时，充电电流只被用来分解电解液中的水，此时，电池正极产生氧气，负极产生氢气，它们都是易燃易爆气体。锂电池主要依靠锂离子在正极和负极之间移动来工作。不仅其内部的电解液有毒，电解液和电极发生反应产生的二氧化碳、一氧化碳和氢气，遇空气极易自燃。这种气体的产生对边缘节点的安全运行以及周边环境的安全将产生很大的影响。

## 2 边缘计算服务

### 2.1 云计算服务

云计算是一种通过网络将可伸缩、弹性的共享物理和虚拟资源池以按需自服务的方式供应和管理的模式，是一种将集群计算能力通过互联网向内外部用户提供服务的互联网新业务，是传统 IT 领域和 CT 领域技术进步、需求推动、商业模式变化共同促进的结果，使 ICT 资源具备可运营能力。云计算具备 IaaS、PaaS 和 SaaS 三大服务模式，以及公有云、私有云、社区云和混合云四大部署模式。

边缘计算是云计算向边缘的延伸，二者互为补充、协同工作。云计算作为通用信息基础设施，主要面向低实时、长周期、高价值密度型数据的存储、计算和分析任务。边缘计算则主要面向时间敏感、短周期、低价值密度型数据的存储和处理分析，旨在满足海量设备的数据和流量处理对时延、QoS、QoE、安全、能耗等方面的要求。云计算可依赖边缘计算作为数据采集单元，更好的支撑云端应用。边缘计算可协助云计算，实现计算能力的进一步细化分工，将部分资源和服务下沉到边缘位置，丰富业务类型，优化服务处理，提升服务质量和用户体验。

### 2.2 基于边云协同的边缘计算服务

边缘计算具备 IaaS、PaaS 和 SaaS 三大服务模式，支持多样化的部署模式，是涉及边缘 IaaS、边缘 PaaS 和边缘 SaaS 的端到端开放平台。边缘 IaaS 与云端 IaaS 实现资源协同，边缘 PaaS 和云端 PaaS 实现数据协同、智能协同、应用管理协同、业务编排协同，边缘 SaaS 与云端 SaaS 实现服务协同。

不同于整合大量资源的云计算平台，边缘计算平台是一个分布式的平台，包含了各种协议和功能。边缘节点应能提供计算、存储、网络、虚拟化等基础设施资源，应具有本地资源调度管理能力，应能与云端协同。边缘节点接受并执行云端资源调度管理策略，包括边缘节点的设备管理、资源管理以及网络联

接管理。边缘计算平台的主要技术特征如下：

1) **数据协同**：边缘计算平台负责终端数据采集，对数据进行初步处理与分析，并将处理结果以及相关数据上传至云端。边缘计算平台与云计算平台在数据层面协同，支持数据在边缘与云端可控有序流动，形成完整的数据流转路径，高效低成本对数据进行生命周期管理与价值挖掘。

2) **智能推理**：能按照 AI 模型执行推理，按需实现分布式智能。

3) **管理调度**：边缘计算平台能提供应用部署与运行环境，对本节点多应用的生命周期管理调度。

4) **应用实例**：能提供模块化、微服务化的应用/数字孪生/网络等应用实例。

5) **SaaS 服务**：能按照云端策略实现部分 SaaS 服务，与云端 SaaS 协同实现面向客户的按需 SaaS 服务。

## 2.3 AI 中台化服务

随着信息化、智能化服务深入，通过边缘计算提供智能化服务的市场需求日渐增长。边缘计算贴近用户服务现场、场景丰富。通过边缘计算 AI 中台服务满足智能化应用对 AI 模型的并发调用和管理。AI 中台化服务的主要技术特征如下：

1) **AI 算法仓及托管服务**：根据业务场景需求，支持对多种 AI 算法的精确管理，包括模型灰度、模型部署、模型流量监控、模型调用次数等算法服务功能。在 AI 服务生命周期中，提供按需的 AI 算法部署、AI 服务注册、AI 服务发现和 AI 服务编排功能，以直观方式来对 AI 算法编排信息做出直观呈现及应用效果预览。

2) **高性能计算设备虚拟化**：通过对 GPU、NPU、XPU 等底层 AI 高性能硬件的虚拟化管理，结合云原生容器平台，精确实现对 AI 算力的最优调度，确保算力使用效率最大化，提高能效比。通过对资源使用情况、算力需求、任务

优先级等进行智能调度，确保算力使用效率最大化。主要工作包括 AI 算子的动态部署、动态启停，低优先级流水线任务的自动暂停与恢复等。

3) **智能化运算支撑**：基于边缘计算 PaaS 能力，AI 中台提供分布式部署架构，实现算力、算法和数据的统一调度和统一监控。在 AI 中台化服务提供过程中，能够实时提供预警信息，实现智能运算能力平台的自动化运维和智能化运营。在算法引擎调度服务之上，提供 AI 服务。

4) **AI 生产服务**：对 AI 模型生产识别的结果，进行事件的标准化处理，包括事件的高性能接收、事件的模板化规则处理、事件的智能化跟踪分析、事件的精准订阅和快速发布等，将 AI 结果形成具体的决策，打造高效决策能力。

## 2.4 视频中台化服务

边缘计算在高清视频直播和点播场景下能充分发挥高带宽、低时延的业务特性。边缘计算平台提供丰富多样的计算资源和存储形态能使内容上传速度大大提升，满足边缘视频源站场景下对视频流的接入和存储需求。视频中台化服务能够完成视频流量通过边缘节点的就近接入。视频中台化服务的主要特征如下：

1) **视频接入**：支持国标、ONVIF 等主流视频接入协议，提供网络摄像头等视频采集设备的信息接入、认证和鉴权等服务，支持边缘计算节点的视频流量卸载。

2) **视频处理**：提供合流、转码、抽帧、分片、审核、加密、弹幕处理等视频处理功能，通过边缘节点处理实现更低带宽及更高清晰度。

3) **视频分发**：提供边缘计算智能流量调度能力，支持用户根据流量属性将任务智能“路由”到最近边缘节点进行处理，实现流量调度的最佳实践，支持边缘视频源站、弹幕分发、超低延迟直播等多场景应用。

4) **视频存储**：支持边缘计算按需选择存储点，联合中心和边缘存储资源做灵活配置。配合视频分片等处理功能，提供对象存储、文件存储、时序数据

库联动等多项能力。

5) **视频管理**：提供对视频的应用管理和监控管理功能。在视频应用管理中，可做到对视频的时移回看、录播查询和智能截图，建立视频库资源索引，完成模糊快速搜索。在监控管理中，实现视频接入信息、质量信息、资源占用信息和服务 Portal 等状态信息的监控，提供全生命周期的检测。

## 2.5 5G 边缘计算服务

2014 年，欧洲通信标准化协会（ETSI）成立移动边缘计算行业规范工作组（MEC-ISG），截至目前发布多项白皮书、技术标准，包括术语、需求、架构等，ETSI-MEC 服务器平台架构如图 2-1 所示。根据 MEC-ISG 的研究，MEC 服务器平台包括三层架构，具体包括：

1) **第一层**：是 MEC 托管基础架构，主要包括 MEC 硬件资源、MEC 虚拟化层。

2) **第二层**：是 MEC 应用平台，主要包括 MEC 虚拟化管理器，提供 IaaS 功能，针对应用提供灵活高效、多租户的运行和托管环境；MEC 应用平台服务，为上层运行于 MEC 服务器的应用提供基础设施、无线网络信息、流量卸载等中间件服务。

3) **第三层**：是 MEC 应用服务，主要基于网络功能虚拟化 VM 应用架构，将 MEC 功能组件进一步组合封装成本地分流、无线缓存、增强现实技术、业务优化、定位等虚拟的应用，并通过标准接口开放给第三方业务应用或软件开发商，实现无线网络的能力开放与调用。

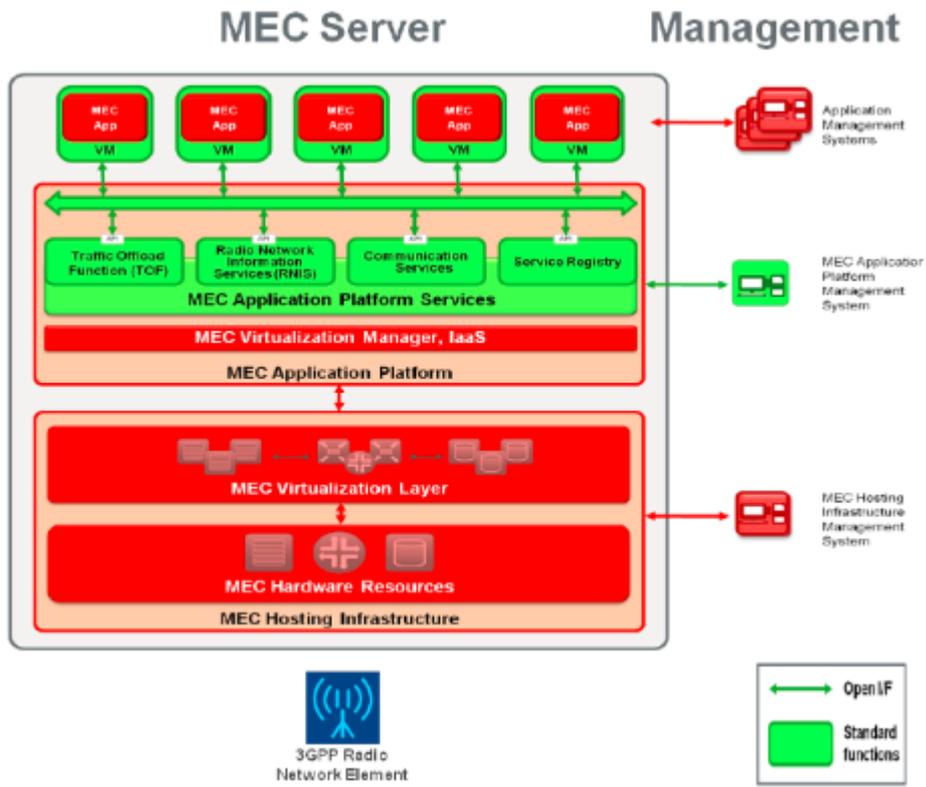


图 2-1 ETSI-MEC 服务器平台架构

## 3 边缘计算系统

### 3.1 边缘计算系统架构

边缘计算系统完成了边缘计算站点中计算、存储、网络资源的组织、编排和管理，提供了统一的系统化服务。边缘计算系统是对边缘基础设施的平台能力封装，也为上层边缘服务提供了平台化支撑。边缘计算系统架构如图 3-1 所示。

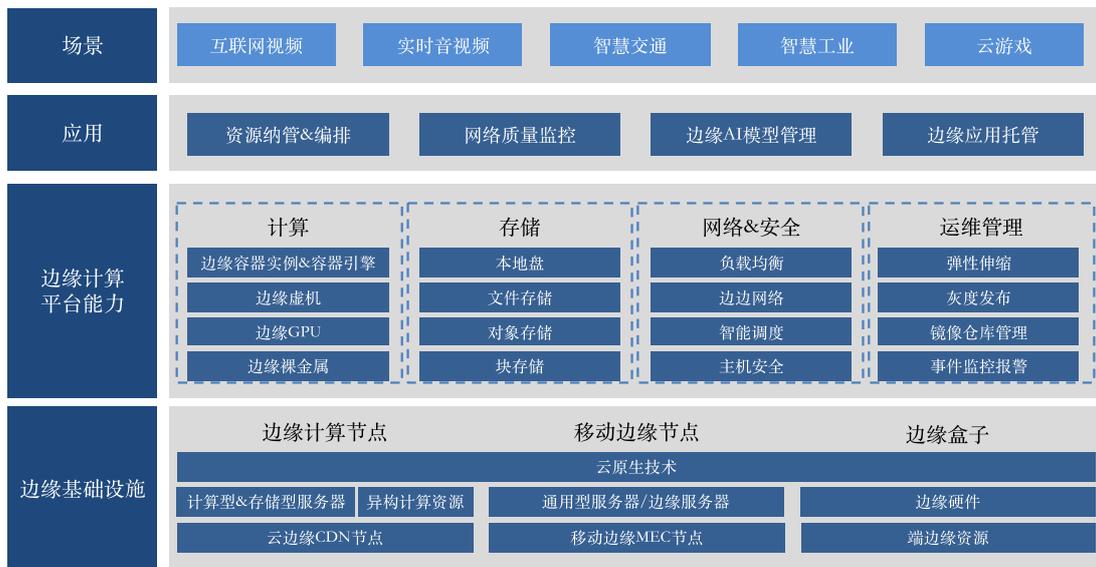


图 3-1 边缘计算系统架构

边缘计算系统需要综合考虑云边协同能力、边边协同能力、边缘自治能力、边缘网络调度能力、多级集群管理能力等多方面的需求，还将兼顾边缘云管的智能化需求。

云管平台在多边缘云环境下支持对域内多个虚拟机云平台、容器云平台、存储资源池等的统一集中化管理。边缘云管平台示意如图 3-2 所示。边缘云管平台北向通过标准化 API 及门户界面提供边缘云集中管理和边缘云服务能力，可接受上层管理系统及业务系统调用。边缘云管平台南向通过标准接口对接边缘云资源池，汇聚并纳管边缘云资源及能力，包含边缘节点资源及服务能力的部署、生命周期管理、配置和监控运维等，中心云统一通过边缘云管理平台展现边缘云资源情况与服务能力。当云边协同等管理需求情况下，可以通过中心

云运营管理平台将任务发送给边缘云运营管理平台，边缘云运营管理平台将任务调度到对应的边缘云节点。

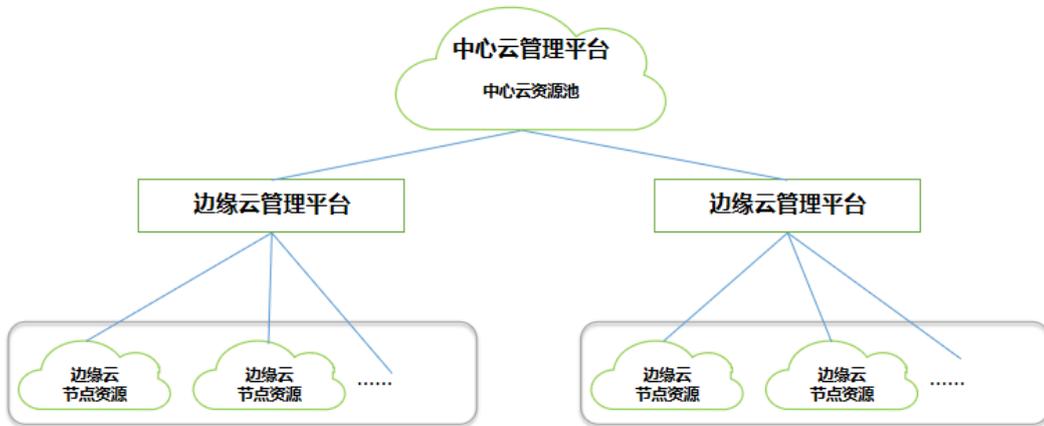


图 3-2 边缘云管平台示意图

## 3.2 边缘计算资源层

### 3.2.1 边缘算力能力

边缘计算实现了对边缘算力资源的统一管理。边缘算力能力要求，包括但不限于：

- 1) 具备算力云化的基础能力，包括虚拟机、容器、裸金属、GPU/XPU AI 加速单元
- 2) 支持提供多种形态算力和不同架构，包括通用型、计算型、存储型、内存型、高主频型、本地 SSD 型、大数据型、GPU 加速型、超融合型
- 3) 支持虚拟机各类性能优化机制，包括 vCPU 拓扑管理、vCPU Cache 优化、NUMA、大页内存调优、CPU/内存热插、GPU/XPU/FPGA 设备透传
- 4) 支持各类容器部署架构，包括通用容器、安全容器、轻量级容器、AI 容器、Serverless 服务
- 5) 支持各类算力资源的自动开通能力，包括虚拟机、容器等虚拟化资源开通和裸金属资源的开通
- 6) 支持支持节点级别和实例级别的弹性伸缩，以及快速升级；支持灵活

的集群管理模式

- 7) 支持安全可靠的镜像管理服务，支持多类型镜像管理，包括服务共有镜像、开源社区共有镜像、用户私有镜像

### 3.2.2 边缘网络能力

边缘计算系统中应当具备边缘网络能力，具体要求包含但不限于以下项目：

- 1) 应当支持物理网络中的弹性 IPv6 的分配、释放、地址属性修改、查询等能力
- 2) 应当支持物理网络中的 HA，提升边缘计算系统的鲁棒性
- 3) 应当支持虚拟网络中的 SRIOV (Single Root I/O Virtualization) 功能，实现边缘虚拟机通过直接内存访问 (DMA) 技术与硬件网络适配器直接通信
- 4) 应当支持虚拟网络中的数据平面开发套件 (DPDK, Data Plane Development Kit) 功能，提高边缘计算系统的数据处理性能和吞吐量
- 5) 应当支持智能网卡的功能，提升边缘计算系统的虚拟化性能
- 6) 应当支持网络中的负载均衡功能，提供安全快捷的流量分发服务，自动分配访问流量到边缘计算系统中的多台边缘计算机上，扩展系统的服务能力并消除单点故障
- 7) 应当支持私有网络服务，实现不同边缘网络间的完全逻辑隔离，提供自定义网络环境、路由表、安全策略等
- 8) 应当支持基于 NAT 网关的 IP 地址转化服务器，提供 SNAT 和 DNAT 能力，可为私有网络内的资源提供安全、高性能的 Internet 访问服务

SDWAN 应支持多种连接方式、支持在多种连接间动态选择链路、支持简单的 WAN 管理接口、支持 WAN 优化、弹性等功能，在边缘侧 SDWAN 应当支持但不限于以下功能：

- 1) 应当支持边-边路由互通和控制面监控

- 2) 应当支持边-云协同可靠链路传递
- 3) 应当支持边-边互联网加速路径传递

### 3.2.3 边缘存储能力

边缘存储设备是边缘侧主要的存储资源载体，根据存储类型的不同，具体能力要求如下：

- 1) 应支持多种形态的存储服务，包括对象存储、块存储和文件存储
- 2) 应支持多种持久化存储方案和数据共享服务，包括云磁盘、本地盘、本地独占盘，支持统一的虚拟化接入方案
- 3) 应支持灵活的存储卷创建、存储卷挂载、弹性扩缩容能力，为用户提供统一的服务体验
- 4) 应支持高可用的多副本存储服务，提供低延时的副本顺序读写、随机读写以及小文件读写
- 5) 应支持存储数据的加密服务和多级数据校验，提供数据安全性

## 3.3 边缘计算调度层

### 3.3.1 云边/边边协同能力

#### ● 边云/边边协同能力

边缘计算业务的需求体验不断提出新的要求，相当一部分业务对时延的要求非常高，因此，会尽量部署在客户场景现场，这样就给业务部署带来新的挑战：

- 1) 难以保持一致的云上开发部署体验
- 2) 边缘节点天然的规格多样化，带来业务应用适配的困难
- 3) 缺失实时精准的边缘节点健康诊断能力

边缘计算云边/边边协同，从基础能力到业务应用，分为 3 个协同展开，分别是通道协同、应用协同、运维协同。

## ● 通道协同

边缘计算云边协同的基础能力是通道协同，应考虑两个维度：

- 1) 公共云/中心云 $\leftrightarrow$ 边缘节点
- 2) 边缘节点 $\leftrightarrow$ 边缘节点

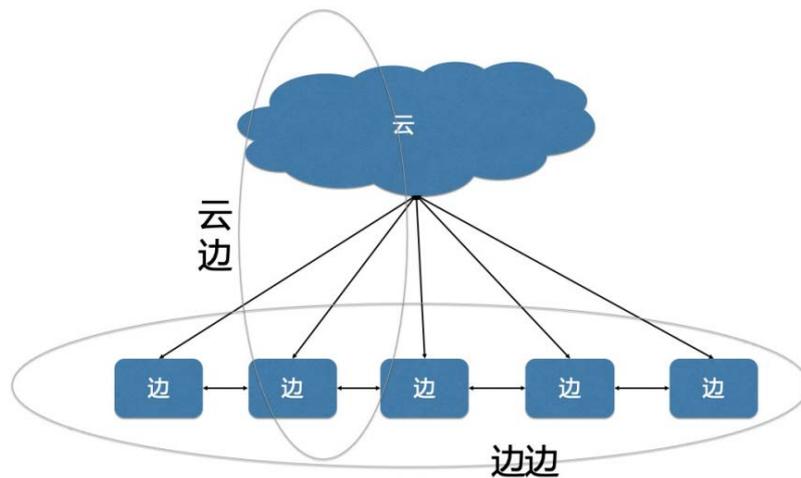


图 3-3 边缘计算云边/边边通道协同架构

云边通道协同要求：

- 1) 适应不同级别链路稳定性，断链自动重启恢复
- 2) 链路数据安全性
- 3) 链路质量监控

边边协同，应具备如下能力：

- 1) 边缘节点间支持动态分组
- 2) 边缘组具备自动选主能力
- 3) 可配置的边缘节点通信隔离
- 4) 相比云边，具有更低交互低时延

## ● 应用协同

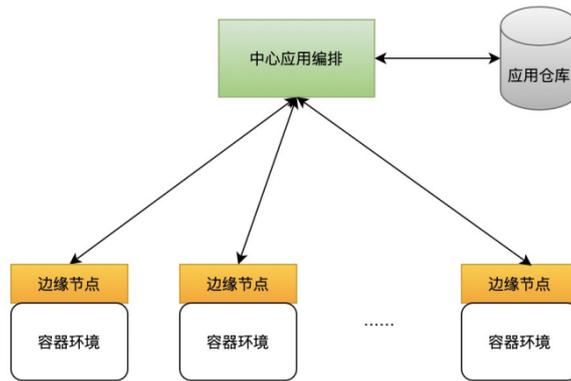


图 3-4 边缘计算云边/边边应用协同架构

边缘节点多样化，但应保持业务开发良好体验，具备如下能力：

- 1) 支持中心侧容器化部署/删除边缘节点应用
- 2) 具备边缘业务应用全生命周期管理，实现应用自动扩缩容
- 3) 可查看应用列表和基本信息，应用状态可视化
- 4) 支持应用分组，部署策略能力
- 5) 支持同一应用部署到不同节点
- 6) 支持不同应用部署到不同的节点
- 7) 支持用户自定义应用镜像上传

异构计算已成边缘节点标配，应当在多样化边缘节点平滑应用迁移，具备如下能力：

- 1) 支持边缘节点异构计算能力抽象和接口归一
- 2) 具备中心感知边缘节点能力，动态编译适应边缘节点差异
- 3) 提供云端生成异构计算服务能力，并能推送到边缘节点

● 运维协同

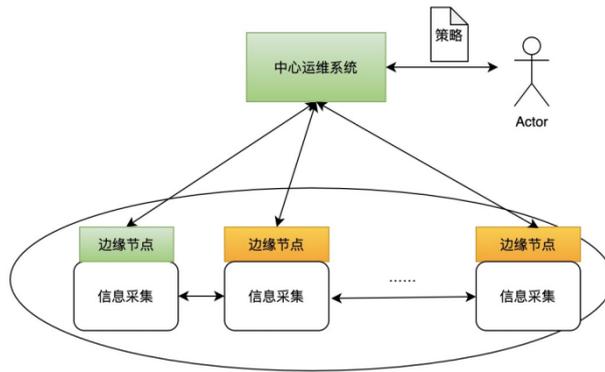


图 3-5 边缘计算云边/边边运维协同架构

与传统数据中心运维模式不同，边缘计算运维具有如下特点：

- 1) 边缘节点分布广，难以集中运维
- 2) 边缘节点部署环境相对较差，且不容易近场运维

业务应用的高可用性，应当通过完善的云边协同的运维体系来保障，具备

如下能力：

- 1) 中心和边缘松耦合架构设计
- 2) 具备统一中心管控，能够纳管多级边缘节点
- 3) 边缘节点的健康状态实时反馈，且应具备故障预测与恢复能力
- 4) 具备大数据智能分析能力，实现边缘设备智能化诊断
- 5) 具备从中心侧登录容器、查看日志、往容器上传下载文件能力
- 6) 应具备中心与边缘运维操作鉴权机制
- 7) 支持云端查看/采集边缘节点业务日志、事件
- 8) 支持运维网络通路，保证防火墙或数据中心内的监控和日志数据被外网访问
- 9) 运维应当支持边缘分布式，实现中心侧失联后运维自治

### 3.3.2 边缘自治能力

在断网或弱网环境下，边缘计算调度层应支持集群粒度、节点粒度的边缘自治，确保自治后的节点不再调度，边缘节点内的亲和性调度或者虚拟边缘单

元内的亲和性调度。由于目前断连会把相应资源驱逐，边缘计算平台应当具备如下能力：

1) **服务保持**：当断网或网络异常时，边缘计算调度层应当支持集群粒度、边缘节点粒度的自治，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。

2) **网络自动恢复**：边缘计算调度层应当支持网络的自动恢复，以确保边缘的自治能力。

3) **应用自动迁移**：边缘计算调度层应当支持应用在集群内部、边缘节点间的自动迁移，以保证业务的连续性。

4) **集群间迁移**：边缘计算调度层应当支持应用在集群间的迁移，以保证业务在不同集群间迁移时的连续性。

### 3.3.3 边缘网络调度能力

边缘计算调度平台应具有边缘网络的调度能力，以支持将不同的终端/业务数据分流至边缘平台并提供差异化的网络管控及调度。边缘计算平台对于边缘网络的调度能力可包括本地分流、位置服务、带宽管理、以及网络切片能力等。

#### ● 本地分流

边缘计算调度平台应具有本地分流能力，以支持将匹配到的不同终端/业务的数据分流至本地业务服务器，具体的可包括：

- 1) 支持根据业务源 IP 地址、源 IP 掩码、目的 IP 地址、目的 IP 掩码等网络层协议信息执行本地分流；
- 2) 支持根据业务的端口号、协议类型等传输层协议信息执行本地分流；
- 3) 支持根据业务的应用层协议类型如 HTTP、DNS、MQTT 等执行本地分流，同时能够根据协议中的特殊字段值执行分流，如对于 DNS 数据能够根据报文域名将数据分流至本地 DNS 服务器；

- 4) 支持根据用户签约信息对特定用户会话执行本地分流；
- 5) 当用户移入特定分流区域时，应能够根据 DNN+位置信息对用户数据执行本地分流

#### ● 位置服务

边缘计算调度平台应支持为边缘平台内部业务或者外部实体提供位置服务，以满足业务对于终端的位置信息的订阅需求，具体位置服务能力可包括：

- 1) 支持提供特定终端的定位信息查询的能力；
- 2) 支持对目标终端进行周期定位跟踪，并提供终端的周期定位信息订阅；

#### ● 带宽管控

边缘计算调度平台应支持带宽管理能力，对于分流至边缘的数据按照不同的粒度提供差异化带宽管控，具体的带宽管控能力可包括：

- 1) 流量监管：应支持基于流级、业务级的数据分类及流量监控，支持数据的调度管控、拥塞管理、拥塞避免等能力；
- 2) 带宽保障：应支持对于高优先级业务/用户数据可通过如资源预留等方式来提供带宽保障；
- 3) 带宽限制：应支持通过限制流量的方式限制数据流的比特率不超过特定带宽阈值；

对于数据的带宽管控粒度，可以划分为以下级别：

- 1) 业务级别带宽管控：对于所有分流至边缘的数据，针对不同的业务数据提供如上的带宽管控能力；
- 2) 用户级别带宽管控：对于不同的用户数据提供用户级别的带宽管控，具体可细化为会话级、QoS 流级的带宽管控；

#### ● 网络切片

网络切片通过资源隔离、资源预留等方式构建端到端虚拟专用网络。边缘计算调度平台应支持网络切片的调度能力，以支持高优先级业务的端到端的网

络质量保障，具体可包括：

- 1) 支持对于具有不同 SLA 切片的快速的订购和开通；
- 2) 支持对于切片内签约的业务及用户进行差异化的质量保障，包括资源隔离、QoS 等；
- 3) 支持切片资源监控，对接运营商网络进行灵活的切片扩缩容管控；

### 3.3.4 多级集群能力

边缘计算场景下节点数量多、分布广，节点增删现象频繁，不可避免地需要同时部署和运营多个集群来满足容灾、隔离、稳定性等要求。边缘计算多集群管理应具备以下联邦、分层等管理能力：

- 1) **API**：支持统一管理多集群的 API 接口资源，简化多集群管理。
- 2) **灵活调度**：支持工作负载根据预设调度策略在多集群间的部署和分散，支持多维度、可插拔、自定义的调度机制，满足资源需求、可用区和故障域隔离要求。
- 3) **快速迁移**：支持应用在不同集群中的快速迁移，提升服务灵活性和可靠性。
- 4) **低延迟**：支持跨集群的服务发现，满足用户就近业务接入的需求，降低延迟。
- 5) **可扩展**：支持单一集群向多集群快速加入和纳管，集群具备可扩展性。
- 6) **运维管理**：支持多集群间拓扑层级自定义，满足集群部署运维层级管理需求。
- 7) **联邦管理**：支持具有不同控制面类型的多集群联邦，提供统一的多集群管理能力。
- 8) **容灾**：支持多集群间的故障容灾，任一集群发生故障时，能进行故障隔离，不引起扩散。

## 3.4 边缘运维管理层

### 3.4.1 监控管理能力

监控是保证边缘业务可用性及故障感知的首要技术手段之一，高效、完善、覆盖面全的监控管理能力是边缘业务可靠运行的基石和保障。边缘运维监控管理能力，包括但不限于以下项目：

- 服务及实例监控

监控管理应该支持对边缘 IaaS、边缘节点的服务、实例进行实时监控。具体要求包括但不限于以下项目：

- 1) 应当支持对边缘集群、边缘节点的服务进行监控；
- 2) 应当支持对边缘集群、边缘节点的实例进行监控；

- 软硬件资源监控

运维管理层应当能够对边缘集群、边缘节点使用的各类资源进行监控统计，应当支持对资源查询和过滤，如：

- 1) 应当支持对设备物理服务器信息进行统计，包括服务器配置信息、运行数据等信息。
- 2) 应当支持对集群内计算节点、存储节点、管理节点等信息进行统计；
- 3) 应当支持对虚拟机信息进行统计，包括虚机名称、CPU 使用率、内存使用率、存储使用率、宽带上行平均值、宽带下行平均值等信息；
- 4) 应当支持对容器信息进行统计，包括部署信息、运行状态、健康状态等信息。

- 环境监控及告警

运维管理层应当能够对边缘集群、边缘节点上的系统运行环境进行定期检查，发现影响运行的异常情况时，发出告警信息。具体要求包括但不限于以下

项目：

- 1) 应当支持对虚拟化系统（虚机 or 容器）运行环境进行监控；
- 2) 应当支持对物理设备进行监控。

### 3.4.2 告警管理能力

#### ● 告警规则配置

运维管理层应当能够针对告警规则配置进行管理，具体要求包括但不限于

以下项目：

- 1) 应能够提供说明文档，以帮助运维人员对告警规则进行操作；
- 2) 应能够对告警规则进行检索和查询；
- 3) 应能够从严重级别、影响范围等对告警进行分类分级；
- 4) 应能够新增、删除、修改告警规则；
- 5) 应能够对告警规则进行设置，包括告警阈值、告警静默及屏蔽等。

#### ● 告警分类分级

- 1) 严重：用户有感，且需立即处理的报警，除常规报警方式外，须配置报警升级方式（如电话、短信、微信等）
- 2) 轻度：用户无感，且需立即处理的报警，除常规报警方式外，须配置报警升级，无需电话、短信等通知
- 3) 通知：用户无感，且无需立即处理的报警，无需配置报警升级，此类告警主要用于追查故障原因

#### ● 告警事件处理

运维管理层应当能够对各边缘 IaaS、边缘节点的告警事件进行处理，具体要求包括但不限于以下项目：

- 1) 应能够显示所有边缘 IaaS、边缘节点的告警事件信息；
- 2) 对于正在处理中的告警事件，应能够显示告警处理记录、告警实例详

- 细信息，并提供相应查询功能，方便运维人员查询告警处理情况；
- 3) 对于已经处理后的告警事件，应能够查询告警事件的详细记录；
  - 4) 对于出现故障的告警，可以通过告警回溯功能；
  - 5) 对于出现的故障可以提供根因分析能力，指出大致的故障原因；
  - 6) 可以综合过往的告警数据，生成动态基线，替代原有的固定阈值告警方式。

### 3.4.3 日志管理能力

运维管理层应当为运维人员提供日志管理的能力。

- 日志记录

日志管理应支持对服务日志的记录和备份。

- 日志查询与检索

日志管理应支持日志检索的功能，包括但不限于以下项目：

- 1) 应支持从中心发起的的日志查询请求；
- 2) 应支持从边缘集群发起的的日志查询请求。

- 定时上报

运维管理层应支持定时上报（云端存储+云端查询）

- 远程检索、按需上传

运维管理层应支持按需上报、远程检索（边缘存储+云端查询）

### 3.4.4 监控信息获取能力

- 信息采集方式

应支持但不限于 snmp、grpc 等设备信息采集协议。

- 信息传输方式

应支持但不限于裸光缆、传输、点到点专线、ipsec vpn、公网网关等方

式。

- 信息传输安全

- 1) 需考虑边缘节点到云端信息传输过程中的数据安全性；
- 2) 需要对边缘节点的设备访问安全进行控制；
- 3) 需要具备发现边缘节点异常行为的能力；
- 4) 需要具备快速处理边缘节点异常的能力。

## 4 边缘计算安全

边缘计算是一个新兴的领域，涉及全新的边缘基础设施、边缘计算服务、边缘计算平台，以及边缘智慧园区、城市配送等非常广泛的边缘创新应用，不论是横向还是纵向都涉及到非常多的领域及非常多的接口，这无疑为边缘安全增加了面临的风险。为保障业务安全可靠运行，边缘计算安全应当考虑边缘基础设施、边缘计算平台、边缘计算服务、边缘计算应用等系统各层的层内安全和层间安全。

### 4.1 边缘基础设施安全

边缘新基础设施包含边缘新的硬件基础，基础设施安全是边缘计算安全的基本保障。应当支持边缘硬件如边缘服务器、边缘一体机、边缘网关、模块化服务器的硬件安全，应当支持边缘硬件从开机启动到运行整个过程中的硬件安全、系统安全、接入安全等物理环境安全。

### 4.2 边缘计算平台安全

边缘计算平台是整个系统的核心，也是业务安全可靠运行的重要保障。支持算力、存储和网络等边缘资源安全，如虚拟机安全、容器安全、网络安全等。支持边缘自治、云边/边边协同、网络编排调度、多级集群管理等调度安全。支持边缘的监控、告警、日志、协同、计费等运维管理安全。

### 4.3 边缘计算服务安全

边缘计算服务涵盖 IaaS 和 PaaS 资源层，是平台及应用安全运营的前提。支持边缘云计算资源服务安全。支持 AI 中台服务安全，如 AI 的生产服务、AI 算法仓及算法仓托管服务安全。支持视频中台服务安全，如视频的接入、处理、分发、存储安全等。支持移动边缘计算 MEC 的基础架构、应用平台及应用服务安全。

### 4.4 边缘计算应用安全

边缘计算应用和场景涉及视频类、流量服务类、城市配送类及诸多行业，面临非常多的接口及 API。支持由防火墙保护的隔离网络。支持完善的用户身份标识、鉴别和授权机制。支持访问控制功能，根据安全策略控制用户对边缘资源的访问。支持资源的真实性验证和完整性校验，对应用的异常行为检测等。

## 5 边缘计算应用和场景

### 5.1 视频类场景

#### 5.1.1 AR/VR/XR

在 AR/VR/XR 场景下，需要借助高速稳定的网络，将云端、边缘端的显示输出和声音输出经过编码压缩后传输到用户如头盔等头显设备上。对于需要通过头戴设备与云端应用进行实时互动的强交互性业务，对网络带宽、时延则提出了更高的要求。边缘计算算力下沉、高带宽、低时延的特性能够较好的解决 AR/VR/XR 的需求。AR/VR/XR 场景下，边缘计算主要支持以下功能：

- 1) **渲染**：应当支持边缘侧的实时渲染处理能力和计算能力。
- 2) **传输和显示**：应当支持 AR/VR/XR 视频流的稳定传输和高精度显示。
- 3) **带宽和时延**：应当支持大带宽，例如带宽  $\geq 100\text{Mbps}$ 。应支持较低的端到端时延，例如  $\text{MTP} \leq 20\text{ms}$ 。
- 4) **处理**：应当支持对视频流的编解码、转码、存储和实时推流等功能。

#### 5.1.2 云游戏

云游戏场景中，用户对延迟和视频质量要求都较高。云游戏的基本体验要求响应延时在 70ms 以内，对一些 MOBA (Multiplayer Online Battle Arena, 多人在线战术对线游戏) 类游戏的时延要求将更高。在高分辨率和高帧率的要求下，码率需要在 20Mbps 甚至更高。边缘计算系统低时延、高带宽、低成本的特性能够较好地云游戏的诉求。在游戏场景下，边缘计算主要支持以下功能：

- 1) **渲染**：应当支持渲染处理功能。
- 2) **传输**：应当支持高带宽的高清视频传输功能。
- 3) **智能协同**：应当支持对虚拟化资源、数据、网络等的智能化云边协同功能。

#### 5.1.3 高清视频直播

高清视频直播场景下的互动直播、极速直播、灵动课堂、电商直播、互联

网医疗等实时互动业务，需要在边缘侧提供实时消息、实时码流加速、小于400ms的端到端时延、超大规模并发、音视频质量保证等服务及功能。边缘计算在算力、带宽、时延和SLA方面较好的解决高清视频直播业务的需求。在高清视频直播场景下，边缘计算主要支持以下功能：

- 1) **传输**：应当支持对大带宽的传输能力。
- 2) **并发**：应当支持分布式和超大规模并发的能力，支持十万、百万人实时互动大频道、能够应对10倍以上负荷，轻松应对用户流量突增。
- 3) **兼容**：应当对多平台终端兼容，如iOS、Android、Windows、macOS、Web、小程序、RTOS、等等开发平台，适配海量终端和外设，保证业务一致性体验。

## 5.2 行业服务场景

### 5.2.1 智能制造

边缘计算在智能制造及工业互联网领域的应用，主要依靠靠近数据产生的源头，利用就近的算力、网络、存储资源为工业生产数据信息化提供便利。在智能制造及工业互联网场景下，边缘计算主要支持以下功能：

- 1) **AI视觉**：应当支持工业AI视觉服务，如统一的视觉设备管理框架、一体化AI视觉模型服务、视觉设备与模型渲染、AI模型管理与检测。
- 2) **数字孪生**：应当支持数字孪生工厂服务，如工业物联总线服务、工业网关及数据建模、工业数据存储及处理、工业数据机器学习处理、工业流式计算及大数据、工业数据可视化。
- 3) **工业仿真**：应当支持工业环境仿真服务，如工业制造流程参数量化分析、系统级参数AI进化学习及自动调优、虚拟实验室系统仿真、工业AR仿真及教学等。
- 4) **智能服务**：应当支持工业互联网商业智能服务，如行业知识图谱、智能问答与检索、全流程托管图谱生产的策略环节等。

## 5.2.2 智慧园区

边缘智慧园区建设需要利用新一代信息与通信技术来感知、监测、分析、控制、整合园区各个关键环节的资源，在此基础上实现对各种需求做出智慧的响应，使园区整体的运行具备自我组织、自我运行、自我优化的能力。智慧园区边缘计算分层架构如图 5-1 所示。在边缘智慧园区场景中，边缘计算主要支持以下功能：

1) **海量网络连接与管理**：支持各类传感器、仪器仪表、控制器等海量设备的网络接入与管理，支持 RS485、PLC 等接口，支持 Modbus、OPC 等协议，确保联接稳定可靠、数据传输正确，可基于软件定义网络 SDN，实现网络管理与自动化运维。

2) **实时数据采集与处理**：支持车牌识别、人脸识别、安防告警等智慧园区应用的实时数据采集与本地处理需求，实现快速响应。

3) **本地业务自治**：支持楼宇智能自控、智能协同等应用的本地自治需求。在北向网络联接中断的情况下，能够实现本地业务自治，继续正常执行本地业务逻辑，并在网络联接恢复后，完成数据与状态同步。

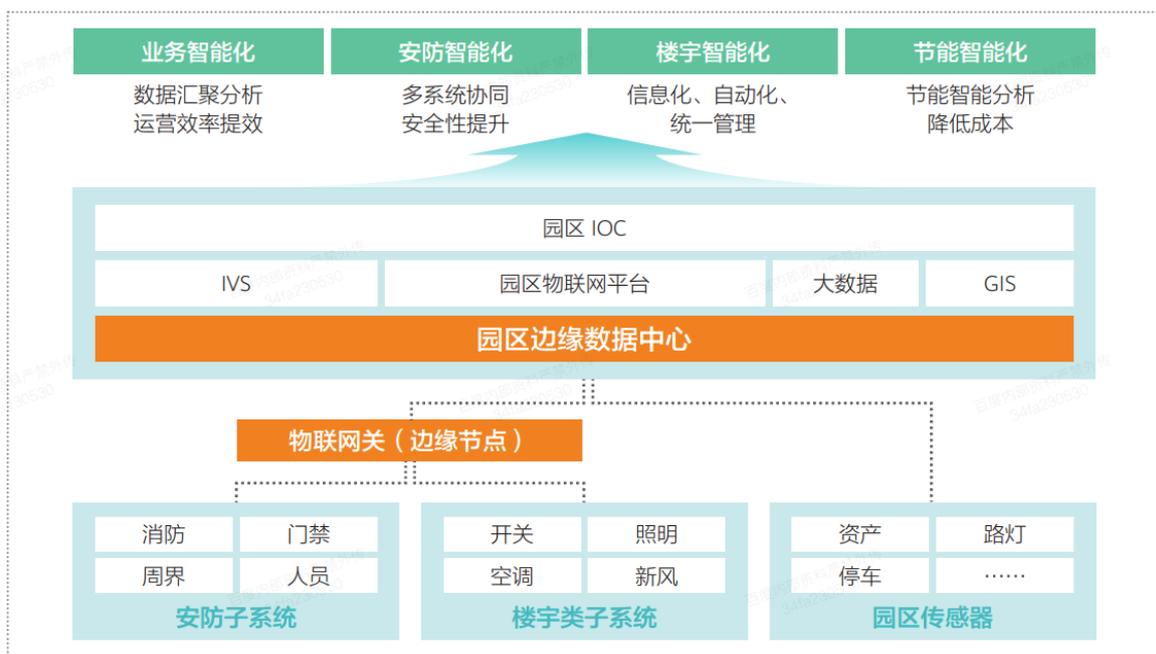


图 5-1 智慧园区边缘计算分层架构

### 5.2.3 智慧安防

在智慧安防场景中，需要汇集各类数据，根据汇聚的数据进行分析、预测，其中数据包括社会群体数据、IOT 感应设备等。边缘智慧安防架构如图 5-2 所示。智慧安防从架构上大致可分为四层：采集层、感知层、网络层和应用层，在此类场景下边缘计算也可发挥重大价值。



图 5-2 边缘智慧安防架构

在智慧安防、智慧城市等应用中，边缘计算应当满足其在高清视频传输、存储、编解码及 AI 算法推理等方面的需求。在智慧安防场景中，边缘计算主要支持以下功能：

1) **接入**：边缘计算应当支持海量设备如高清智能摄像头、抓拍机的接入，应当支持视频流、半结构化图片等的接入，在视频接入模块应当支持协议网关、接入认证、流分发及接入处理等功能。

2) **处理**：边缘计算应当支持高清视频在边缘的存储、传输、转码、抽帧、结构化等功能。

3) **智能**：边缘计算应当支持 AI 算法在边缘的推理分析及支持 AI 模型仓库服务，应当对未来可能存在的 AI 训练功能提供一定的兼容能力。

4) **应用**：边缘计算应当支持针对视频的 SaaS 服务，如用户管理、直播、回看、告警管理、设备管理、监控大屏、计费服务等。

### 5.2.4 智慧交通

在智慧交通场景下，涉及交通及行人安全，不论是车侧、路边基础设施、行人还是中心云端，都对网络的时延、带宽及边缘部署的算力有非常苛刻的要求。车路协同及边缘计算系统应当满足车、路、人、云在时延、带宽、算力、QoS 等方面的要求。V2X 架构如图 5-3 所示。在智慧交通场景中，边缘计算主要支持以下功能：

- 1) **低延迟**：应当支持低延迟的端到端数据交互。
- 2) **高带宽**：应当支持高带宽的高清监控数据传输。
- 3) **智能**：应当支持 AI 算法及 AI 中台在边缘侧的部署、推理及未来可能的训练能力。
- 4) **异构**：应当支持异构平台和 GPU、FPGA 等视频和网络加速卡的部署。

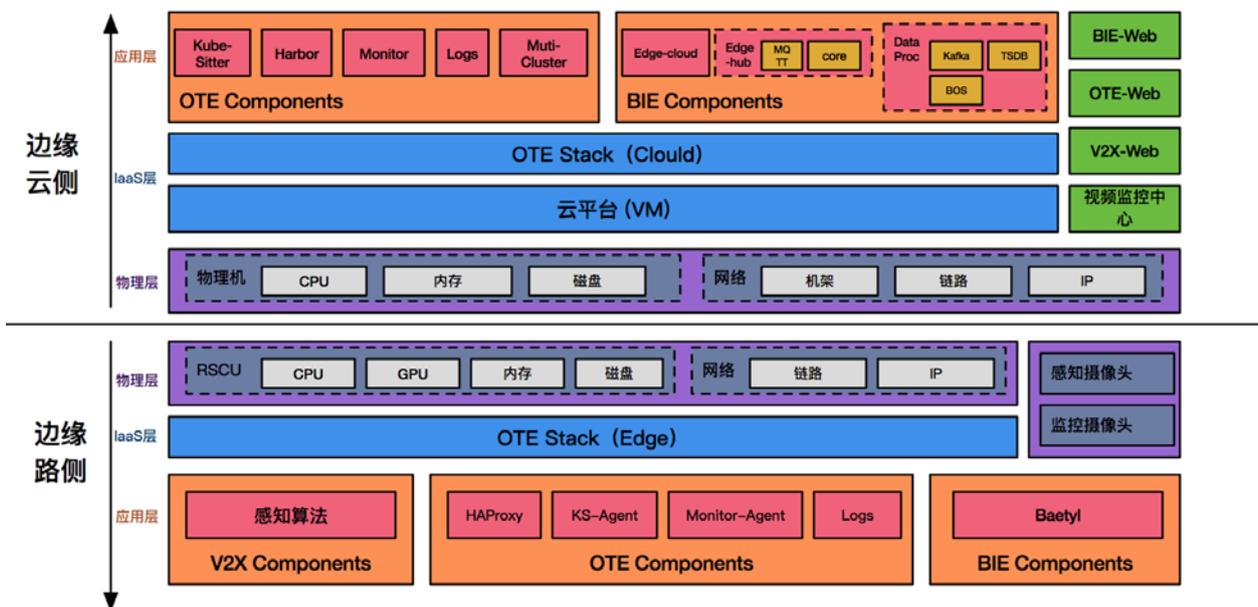


图 5-3 V2X 架构

### 5.2.5 城市配送

从配送场景来看，可以主要划分为干线配送、支线配送以及末端配送三个场景。其中末端配送是外卖、快递、B2C 零售、生鲜果蔬等即时配送业务的主要配送场景。

在城市配送场景中，为保证物品准确、高效送达，需要收集视屏、图片、

GPS 定位等各类数据，同时对获取的数据进行快速分析、预测，在极短的时间内完成对行驶路径规划、自动驾驶场景对行人车辆的规避等动作。在此场景下，边缘计算的优势能得到很大体现。城市配送应用场景如图 5-4 所示，在架构上主要分为 3 层：

1) **配送终端**：主要完成数据采集和行为反应。数据主要采集摄像头反馈的视屏、雷达、GPS 定位等反馈的现场环境信息。同时按照配送设备的安全感知与预测模块实现准确配送的路径规划。

2) **站点**：对配送设备上报的数据进行汇总。对视屏流量进行分析，提取关键信息上报云中心，同时对站点下辖配送设备进行统一调度和管理。

3) **云中心**：对核心数据进行汇总存储。通过各站点上报的数据进行分析，完成 AI 推理模型和参数计算，实现统一管理和优化调度。

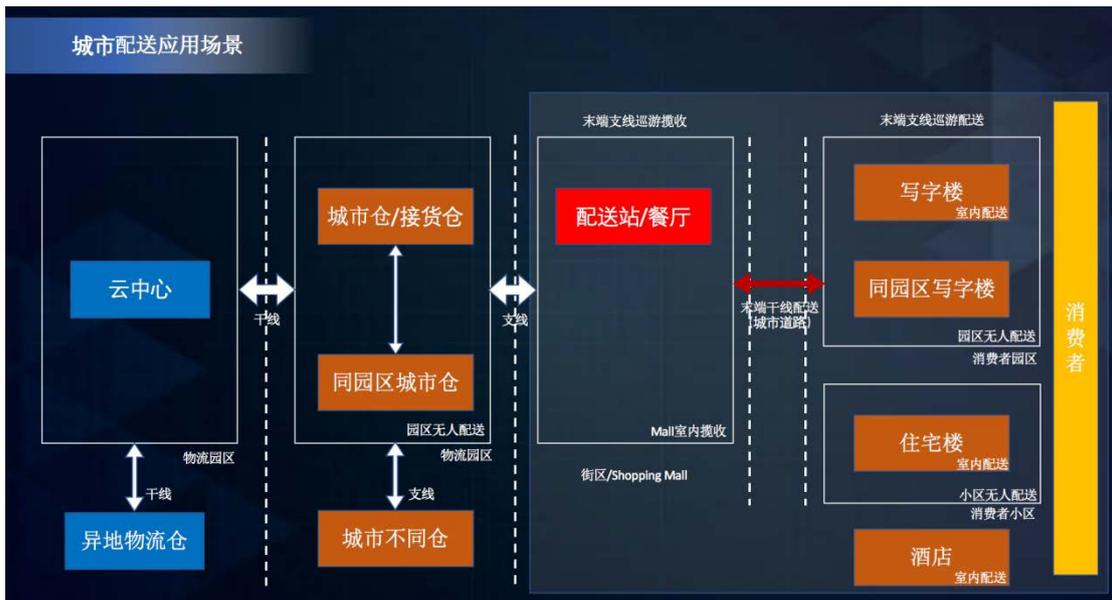


图 5-4 城市配送应用场景

## 6 边缘计算标准研制方向建议

融合了 5G、AI 及 IoT 等技术的边缘计算，未来将深入影响零售、交通、制造、消费等各行各业的发展。边缘计算涉及到海量的终端设备、边缘节点，是数据采集、数据汇聚、数据集成、数据处理的前端，而这些设备往往存在异构性，来自于不同的生产厂商、数据接口、数据结构、传输协议、底层平台等。因此，搭建边缘计算标准体系，加强边缘计算的技术标准和规范建设，出台规范和引导产业发展的相关标准迫在眉睫。

边缘计算标准体系框架如图 6-1 所示，具体由“1 边缘计算基础设施”、“2 边缘计算平台”、“3 边缘计算服务”、“4 边缘计算应用”、“5 边缘计算安全”等五个子体系构成。“1 边缘计算基础设施”包括“边缘计算、边缘存储、边缘网络和边缘数据中心”等内容，是边缘计算系统的基础设施层。“2 边缘计算平台”包括“边缘计算资源管理、边缘计算编排调度、边缘计算运维管理”等内容，是边缘计算系统的平台层。“3 边缘计算服务”包括“边缘中台服务、边缘平台服务”等内容，是边缘计算系统的服务层。“4 边缘计算应用”包括“边缘计算行业应用和边缘计算典型场景应用”等内容，是边缘计算的应用层。“5 边缘计算安全”覆盖基础设施层、平台层、服务层和应用层的层内安全以及层间安全，是边缘计算系统的安全保障。

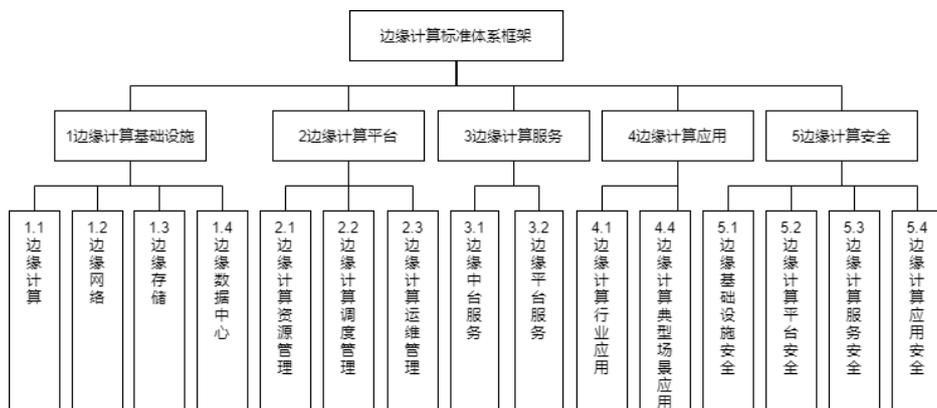


图 6-1 边缘计算标准体系框架图

边缘计算标准体系中各子体系的标准研制方向建议见表 6-1。

表 6-1 边缘计算标准研制方向建议

一级体系	二级体系	标准研制方向
边缘计算基础设施	边缘计算	边缘服务器、边缘一体机、边缘网关、边缘盒子、模块化边缘服务器、浸没式液冷边缘服务器、路边计算单元等
	边缘存储	边缘存储型服务器等
	边缘网络	移动边缘、固网边缘、固移融合边缘、专网边缘等
	边缘数据中心	边缘数据中心、接入终端网关等
边缘计算平台	边缘计算资源管理	边缘计算资源管理平台等
	边缘计算编排调度	边缘计算编排调度平台等
	边缘计算运维管理	边缘计算节点运维管理、边缘计算设备运维管理、边缘计算资源运维管理等
边缘计算服务	边缘中台服务	边缘AI中台、边缘数据中台、边缘视频中台等
	边缘平台服务	边缘网络质量平台、边缘流量调度平台、自动化部署、微服务架构等
边缘计算应用	边缘计算行业应用	边缘智能制造、边缘智慧安防、边缘智慧交通、边缘智慧农业、边缘工业互联网等
	边缘计算典型场景应用	视频场景、流量服务场景等
边缘计算安全	边缘基础设施安全	边缘基础设施层安全等
	边缘计算平台安全	边缘计算平台层安全等
	边缘计算服务安全	边缘计算服务层安全等
	边缘计算应用安全	边缘计算应用层安全等

## 7 工作展望

边缘计算是与云计算相生相伴的一种技术，并且与人工智能、5G 和大数据等技术高度联接。因此，边缘计算技术的研发和应用应与云计算、人工智能、大数据和新一代通信技术等协同发展。

随着边缘计算技术的不断发展和应用渗透，边缘计算可以服务智能制造、智慧安防、智慧交通、城市配送、家庭消费、智慧医疗、智慧农业、能源、保险等多个行业。因此，需创新服务模式，加快相关核心技术的研发，促进边缘计算技术成熟度的提升，以满足各行业具体需求。

边缘计算本身由海量的终端设备构成，而众多智能终端如采用统一的开源操作系统，便可形成边缘计算的开源生态环境。利用开源生态来维持核心代码，形成业界认可的技术接口、关键功能、发展路径等，将会给各厂商提供均等的发展机会。ODCC 作为开放生态的倡导者，我们将促进边缘计算与 5G、AI 和云计算等技术的深度融合，加强边缘计算的开源生态建设。



[WWW.ODCC.ORG.CN](http://WWW.ODCC.ORG.CN)

