



# 5G时代的边缘计算： 中国的技术和市场发展





GSMA代表全球移动运营商的共同权益。GSMA在更广泛的全球移动生态系统中连结着750多家移动运营商和将近400家企业，其中包括手机与终端制造商、软件公司、设备供应商、互联网企业，以及相关行业组织。GSMA每年在巴塞罗那、洛杉矶和上海举办业界领先的MWC大会，以及Mobile 360系列区域会议。

更多有关GSMA信息，请阅览[www.gsma.com](http://www.gsma.com)

或关注Twitter：[@GSMA](#)，微信公众号：[GSMA\\_MWCS](#)

GSMA智库（GSMA Intelligence）是全球通信移动运营商获取数据、分析和预测结果的权威来源，也是权威行业报告和研究的发行机构。

从阿富汗到津巴布韦，GSMA智库的数据覆盖了全球各个国家的所有运营商集团、网络和移动虚拟网络运营商，是目前最准确、最完整的行业指标集，内容包括每天更新的数以万计的数据点。GSMA智库提供的数据被各大运营商、供应商、监管机构、金融机构和第三方行业参与者用于指导战略决策和长期投资规划，被视作业界参考指标，并作为权威口径在传媒发布。

GSMA智库的分析师和专家团队围绕一系列行业主题，定期发布前瞻性的研究报告。

官网：[www.gsmaintelligence.com](http://www.gsmaintelligence.com)

联系我们：[info@gsmaintelligence.com](mailto:info@gsmaintelligence.com)



边缘计算产业联盟（Edge Computing Consortium，英文缩写ECC），成立于2016年11月30日，由华为技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、Intel、软通动力信息技术（集团）有限公司、ARM六家单位联合发起成立，在自愿、平等、互利、合作的基础上，汇集国内外边缘计算产业相关的企、事业单位、社团组织、高等院校、科研院所等，自愿结成的跨行业、开放性、非营利性的社会组织。旨在汇聚产业界力量，促进相关主体之间的交流和深度合作，促进供需对接和知识共享，共建边缘计算产业生态，面向商业成功，有效推进边缘计算产业发展。截止2019年底，成员单位共254家。

详细章程等请见：[http://www.eccconsortium.net/。](http://www.eccconsortium.net/)

## ECC贡献者

石红芳	边缘计算产业联盟秘书长
翁志强	边缘计算产业联盟副秘书长
吕明	边缘计算产业联盟专家委员会
郎巍峰	边缘计算产业联盟专家委员会
孙凝	边缘计算产业联盟秘书处

## 作者

Pablo Iacopino GSMA智库生态研究总监

David George GSMA智库咨询业务负责人

Yiru Zhong GSMA智库物联网及企业业务首席分析师

## 贡献者

庞策 GSMA大中华区战略合作总经理

关舟 GSMA大中华区公共政策总经理

吕晶晶 GSMA大中华区助理项目经理

---

本报告分别从技术、应用、市场前景、机会、商业模式、政策法规多个角度，剖析了边缘计算生态的现状和未来发展。在重点关注中国之前，本报告将先从全球角度出发进行概述。

---

虽然边缘技术可以部署在任何移动网络或固定网络上（并与之集成），但5G才是推动绝大多数边缘计算应用的网络接入技术。因此，本报告聚焦5G网络中的边缘计算，旨在为中国边缘技术利益相关方解决面临的关键问题。

为更好地了解中国生态圈对于边缘计算发展及机遇的看法，我们针对中国边缘计算开展了一次专项调查。为此我们收集了这一新兴生态中关键企业的最新洞察和观点，其中包括中国三大运营商、网络设备供应商、云和边缘技术专家、技术人士以及来自多个垂直行业的公司。调查结果和公司意见汇总如下。

---

GSMA对以下各方提供的重要洞察表示感谢：

九州云	大唐移动	诺基亚
白山云	爱立信	中国科学院沈阳自动化研究所
中国信息通信研究院	海尔工业智能研究院	新松机器人
中国移动（成都）产业研究院	和利时	舜宇智能科技
中移物联网有限公司	地平线	网宿科技
中国移动研究院	华为	中兴通讯
中国电信	爱奇艺	
中国联通	东软	

## 边缘计算的定义

本报告所指“边缘计算”为一系列边缘计算技术（包括硬件和软件），相比完全基于云的传统模型，边缘计算技术能让存储、计算、处理和网络更接近生成或使用数据的设备。这些技术包括边缘节点、本地边缘、云边

缘、边缘云、边缘网关、边缘负载和边缘应用。对于移动网络来说，“接近”是一个相对概念，它可以是比较近的位置（即在传输网中），也可以是客户所处的位置（无论在用户设备内部还是在用户驻地）。



# 目录

---

<b>1</b>	<b>报告摘要</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>推动边缘计算发展的背景和全球趋势</b>	<b>8</b>
2.1	边缘技术的驱动因素	9
2.2	边缘计算的定义	11
2.3	全球新兴边缘计算生态	13
2.4	全球挑战：从商业模式到物理位置	19
<b>3</b>	<b>中国边缘计算：为全球领先地位奠定基础</b>	<b>20</b>
3.1	边缘计算发展势头在中国生态中日渐强劲	21
3.2	中国边缘计算的独特背景	23
3.3	推动中国边缘计算发展的关键角色	26
3.4	技术视角：在移动网络中部署边缘计算的关键问题	34
3.5	边缘计算在中国的应用：主要应用场景和初具商用规模时间表	42
3.6	中国边缘计算生态面临的机遇和挑战	56
3.7	中国运营商边缘计算的商业模式	62
3.8	物联网边缘计算：为数字化添砖加瓦	65
<b>4</b>	<b>政策法规：为中国边缘部署创造有利环境</b>	<b>70</b>
<b>5</b>	<b>未来愿景推动中国边缘计算大规模发展</b>	<b>72</b>

---

# 1 报告摘要



## 随着全球移动产业迈向5G，边缘计算在全球获得空前关注

相比完全基于云的传统模型，新的场景需要更为去中心化的计算和组网方式，这推动了边缘计算从概念阶段向早期部署过渡。美国、欧洲、中国和亚太发达市场的电信运营商、网络供应商和云服务公司正在试点并发行早期商用产品。目前，边缘技术试点大多在4G或早期5G网络上进行，但移动生态圈希望借助5G的逐步部署，推动更大规模的边缘部署。

部分算力从云端迁移到边缘，很大程度上可以视为以运营商为中心的技术转移，这种技术转移基于以往网

络软件化和虚拟化等的发展成果，并在5G部署中发挥作用。继协力定义移动边缘计算（MEC）及相关标准之后，业界开始大力探索MEC技术在各种行业应用中的价值，并希望通过MEC和5G技术进一步加深连接和计算的融合。

尽管边缘计算各项试点持续有所进展，但围绕最佳边缘位置、边缘投资规模以及实际商业模式，仍有一些关键问题亟待解决。

## 中国的独特前景：在边缘计算、5G和物联网领域均处于领先地位

根据实验网和早期商用部署的速度，显然，中国产业生态力求在边缘计算发展中发挥主导作用。众多公司正全力推动边缘计算的发展，其中三大电信运营商以及华为、中兴、诺基亚、爱立信等主要网络供应商发力最大。边缘计算生态的合作也在本地产业组织（ECC、CAICT、CCSA、5G DNA）和国际组织（ETSI、3GPP、GSMA）的推动下不断扩大。

中国政府致力于将中国打造为新型技术强国，而工业4.0是推动数字化进程的主要驱动力，为5G和物联网的发展提供支撑。中国拥有全球最大、最发达的物联网市场，三大运营商制定了宏大的5G规划，包括计划从2020年推出的5G SA网络。中国在5G和物联网领域的领先地位为边缘计算产业发展创造了良好的产业环境，运营商处于该产业的核心地位。

## 中国的技术视角：5G的确定性和边缘位置的不确定性

尽管各方一致认为5G将是推动中国边缘计算部署的关键接入技术，但就边缘的具体位置以及不同行业场景所需的边缘技术看法不一。

许多受访公司表示，针对智能工厂、智慧港口和智慧园区等，应就近部署边缘技术以支撑关键应用，为其提供超低时延、实时处理分析、安全可靠网络等一体的最优运行环境。如果需要覆盖更广范围的应用场景，包括智慧城市、自动驾驶、云/边缘沉浸式游戏以及通过移动终端接入和使用的其他服务，那么以区

域或市为颗粒度来部署边缘基础设施将更加经济有效，在这些场景下，中国运营商通过快速部署5G并结合网络切片技术，可以提供所需的网络能力。

关于边缘位置并没有统一的答案。边缘位置的确定取决于多种因素，诸如各种边缘计算应用的具体要求（时延、带宽、实时分析能力、传输数据量、安全性）、技术（边缘配置、云和设备之间的距离等）以及业务需求（实际需求、经济性）。

## 中国边缘计算应用：自动驾驶、智能制造、游戏将引领潮流

边缘计算最适用的场景需至少满足以下一项（或全部）：超低时延（通常小于10毫秒的往返时间），实时计算、渲染和分析的实时处理，大容量数据传输，确定性组网。除了技术要求之外，安全和数据保护也是推动边缘计算的关键因素。众多场景需要具备上述网络能力，但应用时间有所不同。

- 受访公司反映，**真正的自动驾驶汽车**对边缘计算的需求最大。然而，要达到4级或5级自动驾驶，需要进一步完善立法层面和提高车辆技术，并大量投资道路基础设施建设，因此预计在中国，自动驾驶相关的边缘计算会于2023~2025年才开始初具商用规模。
- 工业4.0**提供了一系列有发展潜力的边缘应用场景。中国经济高度依赖工业领域发展（占GDP的41%），因此提高生产率至关重要。高度自动化成功取决于能够满足高精确度阈值和实时分析

的低时延网络连接。要实现这一目标，需要结合5G、切片以及部署在工厂附近（理想情况是部署在工厂内部）的边缘计算基础设施。目前，智能工厂和智慧港口已经初显发展势头。

- 基于边缘和AR/VR技术的游戏和电子竞技**预计会在2021~2022年间得到强劲发展，但这需要更广泛地部署边缘计算基础设施。考虑到游戏的实时性，要保障固定用户体验所需的时延则需相应的5G技术和边缘计算能力。云对于一些沉浸体验要求更高的应用来说可能太远，另一方面从空间和设计的角度将所有计算能力内置在设备中也是不可行的。考虑到所涉及的内容，在边缘节点存储内容还会提升回传网的利用效率。现场活动直播（如智慧体育场）、现场电视制播也能从5G和边缘计算中受益，且不需要进行大范围的边缘侧部署。

## 边缘计算为中国生态带来新的机遇和挑战

近90%的受访公司认为边缘计算是5G时代创收的机会。但就边缘计算带来的机遇和挑战而言，各公司考虑的出发点不尽相同。

- 电信运营商**——中国移动、中国电信和中国联通认为，边缘计算发挥了5G优势，是面向行业和企业数字化转型的下一个超越连接的市场机会。三大运营商的云市场份额比阿里、腾讯小，因此可通过网络切片来探索新的应用场景，以及发挥云、边缘、核心电信网络的集成优势从而为运营商提供更广阔的发展空间。此外，向第三方开发者开放5G网络也是一种商业机会，在网络边缘孵化5G业务生态。

- 网络设备供应商**——随着边缘计算、人工智能（AI）等新技术与核心网和接入网的融合规模不断加大，复杂性不断增长，华为、中兴、诺基亚、爱立信等企业将日渐成为中国运营商和有意部署边缘计算的云服务公司的关键合作伙伴，特别是针对基于现有电信基础设施设计的符合3GPP标准的边缘计算基础设施。供应商面临的挑战在于，不仅要设计真正无缝的端到端网络转型解决方案，还要在更大范围内创造新的B2B2B市场模式（供应商-运营商-企业），促进ICT和垂直行业之间的联接。



- **主要云服务提供商**——对于阿里、腾讯和其他云服务公司而言，边缘计算是对其云能力和云服务产品的扩展。这些公司与中国各行各界企事业单位广泛建立了合作关系，并拥有丰富的云资源以供使用。然而，紧紧围绕5G技术构建的边缘计算架构

也带来了新的挑战，将云服务企业带入一个分布式计算的新领域，特征包括大规模的移动互联设备以及需要边缘/云深度协同编排。与此同时，云服务提供商正在寻求将边缘计算技术应用到基于互联网的消费者业务中（例如云游戏）。

## 中国运营商的商业模式：仍在探索

中国运营商预计分三步部署边缘计算，这也反映了5G网络逐步部署的态势以及行业和企业的数字化速度。

- **第一波（2018~2020年）：实验网及定制化小规模部署。**在这一阶段，边缘部署主要涉及专门的场景，旨在满足智慧港口、智慧园区和智能工厂的需求，边缘基础设施大多就近部署在现场。市场教育是吸引企业的关键。
- **第二波（2021-2023年）：初具商用规模。**随着中国运营商大规模部署5G网络（GSMA智库预测，截止2023年底5G网络将覆盖中国60%的人口），自动驾驶、体育赛事和游戏等边缘计算应用也将进行更多探索，边缘基础设施部署在基站汇聚点附近、区县/市区、区域数据中心。
- **第三波（2024年以后）：成为主流。**随着5G技术的成熟，5G设备成本的降低，以及移动行业和企业之间的协作加深，边缘计算部署的规模将逐渐得到扩大。自动驾驶和智能制造技术的进一步发

展创造了更有利的环境，边缘部署的需求也随之增加。随着规模增长，边缘计算的经济性以及效率都得到提高（如纳米处理），市场接受度也随之提升。

边缘计算的收入模式仍在摸索阶段。对中国运营商来说，提供仅具备连接功能的边缘计算场景能带来的收入不高。一种更有趣（也更可能）的发展方向是，运营商来负责部署和管理解决方案所需的边缘基础设施，并提供相应的网络连接、设备和IT服务。此外，运营商也可以向其他公司提供边缘托管或共享业务。向价值链上游延伸，运营商可以选择全栈模式（连接、设备、IT服务、平台和智能分析），成为全面覆盖企业客户边缘相关业务的合作伙伴。拥有领先的边缘计算平台，意味着运营商可以向第三方提供边缘IaaS和边缘PaaS解决方案，以及各种终端用户应用所必需的连接、计费和网络相关服务。这是价值高地，同时也是竞争最激烈的领域，云和ICT公司都瞄准了这个产业机会。

## 推动中国边缘计算的发展和规模：关键措施

边缘计算的最新进展，加上中国生态定位新技术前沿的明确目标，为进一步发展边缘计算奠定了坚实的基础。然而，要发掘边缘计算的长期潜力，还需要开展大量工作。我们已经确定了 7 项关键措施，如果这些

措施付诸实施，将推动未来 5 年中国边缘技术的发展和应用。其中许多措施涉及整个边缘计算生态，而有些措施则针对特定种类的公司。

### 技术发展

明确边缘计算的最佳部署模式，  
推动边缘标准化

将边缘计算整合到更广义的5G  
网络投资规划中

解决云/边缘计算以及更广义的  
5G网络相关的高能耗成本问题

### 市场推广

产业协同进一步下沉，拓展边缘计算与垂直行业间的探讨

利用企业对边缘计算的认知，  
推动边缘计算新试点和部署

提升媒体娱乐、智慧城市产业  
对边缘计算的关注度

### 政策法规

考虑到边缘技术部署的独特性质和挑战，建立清晰明确的产业政策



# 中国边缘计算：市场和数字

## 1800亿美元

### 5G CAPEX

2018-2025年间，中国运营商在移动市场的资本投入将达2500亿美元，其中1800亿美元用于5G网络建设。全球近20%的5G网络投资在中国。

## 19亿

### 授权蜂窝物联网连接

中国是迄今为止全球最大、最发达的物联网市场。预计到2025年，中国将有19亿授权蜂窝物联网的连接。中国四分之三的企业已经部署了物联网，属全球最高。

## 53%

### 企业探索边缘计算能力的兴趣

GSMA智库企业物联网调查显示，约有一半中国企业认为边缘计算对其未来物联网的部署具有吸引力，而在美国和欧洲，这一比例低于40%。

## 4.9

### 边缘计算对真正无人驾驶汽车的重要性

中国生态圈（即受访公司）表示，在分析的近50个应用场景中，自动驾驶（4级和5级）对边缘计算的需求最大，得分4.9（评分范围1~5）。但预计2023-2025年才能开始扩大规模。

## ~90%

### 对边缘计算创收的期望

近90%的公司认为边缘计算是5G时代创收的机会。三分之二的受访者希望通过提升运营效率创造价值。

## 7

### 推动边缘计算发展和规模化需要采取的措施

这七项措施可分为三大类：技术发展、市场推广、政策和监管。大部分措施涉及中国所有边缘计算利益相关者。

# 2

# 推动边缘计算发展 的背景和全球 趋势



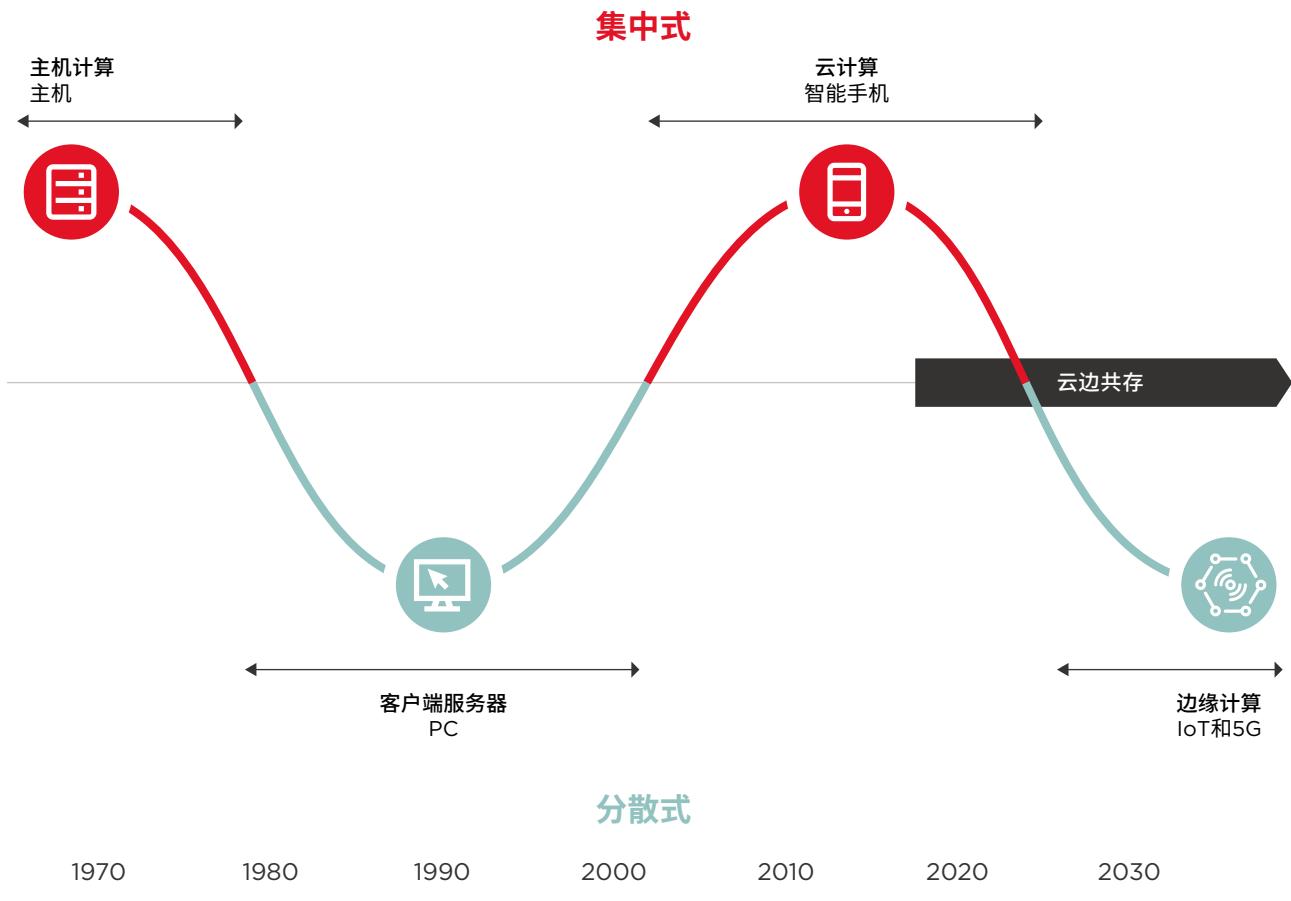
## 2.1 边缘技术的驱动因素

在过去40年里，算力和处理在集中式架构和分布式架构之间交替往复。21世纪，随着互联网、企业IT和智能手机的大规模商用，激起了以大型集中服务器群为基础的云计算浪潮。一些公司成为这个领域的领导者，即所谓的超大规模云计算玩家，包括亚马逊、微软和谷歌。近年来，其他公司也加入了这一市场，并正在迅速扩大规模，包括IBM、Oracle以及中国的阿里巴巴和腾讯。

尽管边界很难严格定义，但可信迹象表明，边缘计算这一新浪潮正在发展，这标志着算力和资源靠近客户部署的分布式转型将成为趋势。本质上讲，这表示业务模式从以网络为中心转变为以工作负载为中心，本地化成为首要原则。但这并不是非此即彼的情况，集中式云数据中心将继续存在，且整体容量仍可能继续扩大，但新的需求（如物联网和企业）以及5G时代超低时延业务的潜力正在将计算拉近最终用户。

图2-1

### 历史计算周期



来源：GSMA智库

边缘计算的发展综合考虑以下几个方面：

- **容量**——如果将大量连接设备产生的越来越多的数据传输到位置较为集中的云服务上，需要超大带宽和回传容量。<sup>1</sup>而边缘计算和本地数据处理可以减少需要传输的数据量。
- **成本**——就带宽问题而言，远距离传输大量数据也会产生成本。此外，很多设备产生的大量数据可能无关业务，因此不需要传输到中央处理。
- **分析**——数据是数字经济的基础资产。要具备将数据转换为实时（或近实时）分析和操作的能力

力，需要将处理和计算功能的位置转移到更接近生成或使用数据的设备。

- **安全**——许多公司可能不希望敏感数据离开现场或自有服务器。围绕数据隐私的国家法律法规也是一个影响因素。
- **时延**——虽然5G比4G时延更低，但要在远距离和多跳网络中实现极低时延会很困难。
- **弹性**——边缘计算能比集中模式提供更多的通信路径。这种分布可以更好地保障数据通信的弹性。

<sup>1</sup> GSMA智库预测，截止2025年底，全球将有约90亿移动连接（手机和仅支持数据业务的终端）以及近250亿IoT连接（蜂窝和非蜂窝业务）。



## 2.2 边缘计算的定义

计算向本地化、分布式的整体转型趋势会影响整个ICT生态。从电信行业或者更具体地从电信运营商的角度来看，边缘计算最初被称为移动边缘计算

(MEC)。欧洲电信标准协会(ETSI)对MEC的定义如下：

99

移动边缘计算在移动网络的边缘、无线接入网(RAN)的内部以及移动用户的近处提供了一个IT服务环境以及云计算能力。

2017年，MEC的定义被修正为“Multi Access Edge Computing”，这反映的一个事实是，边缘部署实际上可以利用包括固网在内的一系列接入技术。虽然本报告的重点是5G网络中的边缘计算潜力，但边缘应用的前景并不仅限于未来5G的发展。

MEC使网络功能更靠近最终用户，使运营商能够将网

络逐渐开放给第三方，使企业可以在智能工厂、智慧港口、智慧医院等场所构建专网环境。这些业务场景通常涉及多种应用，要求网络在边缘位置提供超低时延和强大的处理、计算和存储能力。数据无需回传至网络中心，而是在本地完成处理、存储和下发。5G MEC技术还支持连接和计算集成，提高与最终用户的交互效率。

### 移动网络中边缘计算部署的“边缘”在哪里？

与完全基于云的传统模式相比，边缘系统架构将存储、计算、处理和组网等云功能推近生成或使用数据的设备。对于移动网络来说，“接近”是一个相对概念，它可以是比较近的位置（即在传输网中），也可以是客户所处的位置（无论在用户设备内部还是在用户驻地）。图2-2为移动网络中边缘的简化图。

关于边缘位置并没有统一的答案。边缘位置的确定取决于多种因素，诸如各种边缘计算应用的具体要求（时延、带宽、实时分析能力、传输数据量、安全性）、技术（边缘配置、云和设备之间的距离）以及业务需求（实际需求、经济性）。边缘计算的模式可能因市场而异，反映了如频谱许可或数据隐私法规等地方因素。第3章深入分析了决定边缘位置的各项因素。

图2-2

### 移动网络中边缘的简化图



来源：GSMA智库



## 2.3 全球新兴边缘计算生态

边缘计算仍处于起步阶段。然而，在美国、中国、欧洲和亚太地区的一些发达市场，正在扩大相关的试点和小规模部署。鉴于边缘计算的潜在影响和转型性质，移动和云生态中的许多公司正在探索早期阶段的边缘计算，宣布各自的试点计划和项目。

世界上越来越多的电信运营商有些正在开展边缘计算试点，有些则在推行边缘商用产品和解决方案（见表2-3）。<sup>2</sup>尽管当前试点大多在4G或早期5G网络上进

行，但移动行业希望借助5G的逐步部署，推动更大规模的边缘部署。

理论上，边缘计算可以和运营商部署的5G网络以及软件定义网络（SDN）、网络功能虚拟化（NFV）等软件控制技术适配地非常好，这些技术以分布式的方式运行某些虚拟网络功能（包括在网络边缘）。得益于此，边缘技术也可能受益于5G时代虚拟网络的网络能力，从而充分挖掘分布式计算的潜力。

<sup>2</sup> 如需详细了解中国运营商的边缘部署情况，参见中国边缘计算一节。



表2-1

## 电信领域的边缘计算活动

### 美国

#### AT&T

AT&T正在商用其面向企业客户的MEC平台，包括定制化解决方案。其平台可潜在应用于多个行业。在零售业，AT&T携手Badger Technologies（零售自动化解决方案供应商）探讨MEC和5G技术如何帮助零售商处理本地门店的大量数据。这可以推动机器人在商店中的应用，同时帮助零售商自主决定哪些敏感数据应该留在店内。

AT&T Foundry拥有专门的边缘计算社区，可以与整个技术生态内的合作伙伴一起，洞察AT&T基础设施的发展情况，帮助AT&T客户开发潜在的边缘服务和解决方案。

微软与AT&T有着多年合作关系，将微软Azure云的全球规模与AT&T的国内5G功能相结合，旨在进一步扩展边缘部署，加速边缘计算应用（如游戏）的开发。

#### Verizon

Verizon已经开发了自有的边缘计算平台，计划2019年底投入商用。在纽约的早期测试显示其平台时延低于10ms。Verizon希望将边缘计算技术主要部署在城市和工业区，同时使用自己的数据中心和第三方数据中心。但在其他地方复制这种模式需要在整个网络中部署边缘资产，这会导致成本增加。

Verizon正与企业客户以及创新中心和孵化实验室的当地初创企业密切合作，开发低时延应用。同时Verizon还在开展一系列试点。通过位于网络设施中的MEC设备，人脸识别应用就能在使用该应用的网络边缘进行信息分析（而不是通过多跳传输直到最近的中央数据中心）。试点的结果是，相比通过中央数据中心，设备工程师通过MEC能够以两倍速度成功地识别出个体。

#### CenturyLink

CenturyLink（一家面向企业的固定网络运营商）计划对边缘计算网络进行“数亿美元的投资”，

先从全美100个地方开始。这些设施将提供时延不高于5ms的本地业务。



## 欧洲

### BT

BT的“网络云”项目，计划将其云平台扩展到英国100多个地方。这一计划将降低BT网络时延并使能新业务。BT云平台边界将延伸到城域之外，扩展到BT在英国运营的部分中心局点。目前，BT拥有近1200个本地端局，它们可以作为第一汇集点。

据报道，BT计划在其移动子公司EE的5G商用元年，将平均时延从30ms降低到20ms。中期目标是低于10ms，以此使能一组新的5G应用，如动态机器人和无人机业务。借助其新架构，BT还可以通过多种访问技术提供服务。

### Deutsche Telekom

德国电信此前表示，将于2019年初采用旗下MobiledgeX公司开发的技术，成功部署全球首个公共移动边缘，将现有网络运营商资源聚合到应用云容器中。德国电信已授权MobiledgeX访问德国境内正在进行现网应用测试的6个站点。

MobiledgeX正在构建“中间件”，让第三方应用在运营商的边缘计算资产上运行。德国电信也已启动业务试点，其中包括为一款名叫MagentaGaming的云游戏。该业务将于2020年投入商用。

### Telefónica

MEC是Telefónica总体网络演进战略的重要组成部分，是Telefónica向全融合、虚拟化和软件定义网络（称为开放访问网络（OPA）和Unica计划）转型的组成部分。作为Unica计划的一部分，Telefónica正在完成其数据中心的虚拟化，当前重点工作为中心局点。Telefónica围绕如何广泛部署边缘能力展开了一系列探讨，从长远来看，这可能反映市场的发展情况。

Telefónica正在为客户搭建现网试点案例，其中云游戏于2019年第二季度推出，第一季度推出混合存储业务。利用其边缘能力，Telefónica近期商用了扩展现实（XR）内容。

## 亚太地区

### Telstra

Telstra与Ericsson、澳大利亚联邦银行合作，通过在5G网络上测试端到端银行解决方案，探索金融行业边缘计算应用和网络能力。通过类

似试点，可以预测未来银行网点将呈现什么形态，以及基于5G的边缘计算如何帮助减少目前银行网点所需的网络基础设施。

### Korea Telecom

KT在韩国主要城市的8个地点部署了边缘计算。KT表示，初始阶段主要是为各地的5G设备

提供服务。KT还表示计划通过MEC中心支持自动驾驶汽车、智慧工厂和AR/VR业务的部署。

### Rakuten

日本乐天（Rakuten）表示，作为虚拟化网络建设的一部分，将进行大规模边缘部署，计划提供4000种边缘业务。尽管在初始阶段，边缘计

算资源将主要用于支撑公司核心移动业务的交付，但在2020年其5G网络商用之后，乐天将可以探索并开发第三方应用和业务。

各大云业务公司也在努力推动全球边缘计算的发展（见表2-4）。<sup>3</sup> 略为讽刺的是，曾经推崇向集中计算转型的大型云服务提供商现在则在寻求向分布计算模式转型。但有一点很重要的区别是，云从业者并不希

望基于云的业务被取代。相反，他们是对本节前面概述的一些驱动因素做出反应，尤其是将海量数据的传输和处理从客户位置转移到中央云的挑战。

<sup>3</sup> 如需详细了解中国云从业者的当前部署情况，参见中国边缘计算一节。

表2-2

## 各大云服务公司的边缘计算活动

### 主要云公司

#### AWS

Amazon于2017年推出其首个商用边缘产品AWS IoT Greengrass，该产品将AWS业务无缝扩展到边缘设备，使这些设备对各自产生的数据进行本地处理，同时使用云上管理、分析和存储。

Amazon还开发一种数据迁移和边缘计算设备AWS Snowball Edge，用于数据本地存储和大规模数据传输。该设备可以部署在客户现场，内置存储和计算功能。它不仅可以实现在本地环境和AWS云之间的数据传输，还可以按需承载

本地处理和边缘计算的工作负载。AWS称这些设备还可以部署在网络连接受限或没有网络连接的荒地、临时或移动环境中。

Amazon还提供现场运行AWS基础设施的AWS Outposts。它专为网联环境设计，可用于支撑因低时延或本地数据处理需求而必须留在本地的工作负载。企业可以从公有云获取惯用的、相同的本地AWS业务。

#### Microsoft

Microsoft将智能边缘定义为一组不断扩展的网联系统和设备，它们在靠近最终用户、数据、或两者兼有的位置收集和分析数据。通过Microsoft的Azure Stack，客户可以在各自的数据中心小规模地复制云环境，Microsoft也是首批使用这项技术的公司之一。对于没有数据中心的地方，另一种解决方案是物理移动数据，比如通过存储容量超大的“数据盒子”产品，这些“盒子”会定期运至Microsoft，实现数据云上提取和处理。相比之下，Azure数据盒子边

缘实现互联网上传输数据、在边缘执行计算。

2019年Microsoft发布的Azure SQL Database Edge，旨在通过高度可用及安全的SQL引擎来解决边缘侧数据和分析的需求。开发人员可以在统一的编程面上对SQL数据库进行开发，并在本地、云或边缘运行相同的代码。此外，通过Azure SQL Database Edge，开发者可以构建即使在完全断网的边缘场景下也能运行在边缘设备上的AI应用。

#### Google

Google推出的应用平台Cloud Anthos，使企业能够改造现有应用，构建新的应用，并随时随地（包括本地）运行这些应用，确保了本地应用和云环境的一致性。Google对源代码开源，意味着兼容不同厂商的硬件和应用程序。

随着云端训练的AI模型越来越需要边缘运行，Google也推出了Edge TPU解决方案支撑AI边缘运行。Edge TPU是对Cloud TPU和Google Cloud业务的补充，提供端到端基础设施（云到边，硬件+软件），用于部署客户基于AI的解决方案。Edge TPU方案性能高、功耗低、安装空间小，使能AI高精度边缘部署。

Ericsson、华为、Nokia、中兴和Cisco等主要电信网络厂商在边缘计算领域非常活跃，一方面扮演试点和部署所需的边缘计算技术供应商的角色，另一方面作为寻求边缘部署的运营商和云服务公司的合作伙伴。<sup>4</sup>

对于运营商而言，这种合作是更大层面上网络转型战略的一部分，旨在构建5G时代智能、自动化和高效的网络。

除了规模较大的厂商以外，许多小公司也开始部署边缘网络和解决方案。EdgeMicro是一家边缘计算公司，目前正在美国开发边缘微型数据中心，未来可能扩展到欧洲、中东、非洲以及拉丁美洲。公司初期的

重点是开发可外场部署的集装箱式六机柜微型数据中心。公司的愿景是，让成千上万个与网络无关的小型模块化数据中心站在通信铁塔和市区屋顶上提供多租户共享业务。

基础设施公司Vapor IO组织创建了动态边缘联盟（KEA），KEA是一个由硬件、软件和网络公司组成的行业工作小组，致力于实现边缘计算易用性，将边缘计算利益相关者与最终用户联系起来。Vapor IO正在搭建边缘共享节点的分布式网络，这些节点处于微型模块化数据中心，可以部署在网络中的关键位置，包括通信铁塔和天线站点。

---

<sup>4</sup> 如需详细了解网络设备厂商在中国的部署情况，参见中国边缘计算一节。



## 2.4 全球挑战：从商业模式到物理位置

由于现在处于发展前期，越来越多的试点和项目仍聚焦于开发边缘计算的潜力。而实际商业模式和实际的应用场景在很多情况下则仍不明确。边缘的完整定义依然不明确，特别是关于计算资源的部署位置和边缘基础设施的规模没有统一观点。

当然，很多运营商和云从业者的发展蓝图是不一样的。例如，BT目前重点关注英国市场上约100个边缘节点，而Google则建议，其云游戏平台Stadia等业务在每个市场可能需要数百个节点。欧洲某大型运营商的一位高管表示，其公司的边缘部署计划不太可能覆盖几百个以上节点，因为时延要求决定了没必要在每个本地中心局点设立边缘节点。

运营商仍需充分确定各自的商业模式，一种选择是向第三方提供共站基础设施，以满足Google、Amazon和Microsoft等公司的需求。然而，云从业者已经在构建自己的边缘基础设施（或使用第三方供应商的设施），同时许多小型企业和铁塔服务商也正在开发自己的边缘计算解决方案，通常是相互协作，即不仅提供物理空间和硬件，还提供业务服务。传统上关注网络功能/能力的基础设施与更关注计算和存储性能的基础设施之间存在边界模糊不清的问题，这可能加剧边缘生态中不同参与者之间的竞争。

除了本地对数据安全和隐私的关注和规定以外，确定边缘位置的关键因素还包括特定业务或应用所需的时延水平，以及实时或近实时处理和分析的需求。一些运营商表示，在选定的主要城市部署有限的边缘设

备，可以让整个覆盖范围的时延控制在20ms。然而，为保障关键业务的网络时延不超过5ms（理论上通过5G是可以实现的），必然需要更广泛地部署边缘节点。为了证明所需的大量增资是合理的，又牵扯到特定用例和商业模式的问题。

要部署边缘基础设施，就需要大量投资，但在应用场景和商业模式仍然较为模糊的情况下，要确定这种投资是否合理是对运营商的一个挑战。从边缘互联到全虚拟化5G网络，可能需要协同考虑经济和战略因素。两者都需要更分散的处理能力，而要实现5G超低时延的潜力，则需要算力靠近设备。边缘计算的发展可能分多个阶段，而我们目前正在经历边缘部署的初始阶段。随着需求和应用场景的发展，区域和城域数据中心已经在许多市场得到更广泛的建设，并逐步向更多边缘位置转移。

随着计算向边缘发展，一些实际存在的挑战亟待解决，尤其是目标站点更具挑战性的时候，比如迁向信号发射塔而非企业站点。这些挑战包括供电、安全、业务保障和缺乏具备适当技能的现场工作人员（这个问题对当地企业局点和信号发射塔来说都可能是个挑战）。讽刺的是，这些同时也是导致公司将其服务器和软件从自有的、本地的数据中心迁移到远程服务器群的原因。虽然目前有一些举措来应对这些挑战，但这可能会成为实现完全分布式、真正本地化的边缘基础设施的最大障碍。但同时，它也可能是电信运营商（拥有大量驻地工作人员和一系列安全的物理站点）能够获取明显竞争优势的领域。

# 3 中国边缘计算： 为全球领先地位 奠定基础



## 3.1 边缘计算发展势头在中国生态中日渐强劲

虽然边缘计算在中国还处于起步阶段，但发展迅速，特别是近两年来进展更加明显，使得中国在试点、早期部署和生态合作方面领先于其他主要国家和地区。

### 边缘计算试点和项目展露势头

目前，国内各从业者积极投身尚在起步阶段的边缘计算，其中包括三大运营商、主要网络设备提供商（Ericsson、华为、Nokia和中兴）以及中国大型云服务企业（阿里巴巴、腾讯和百度）。众多小型ICT公司、云和边缘技术专业公司、垂直行业也纷纷加入，寻求边缘新业务和解决方案的机会。这份名单很长，而且成员会越来越多。本文关于本报告一节罗列了参与我们调查的所有成员。

中国运营商是这个领域最活跃参与者之一。中国移动

2019年边缘计算蓝图涵盖了300项具体的边缘措施，包括测试节点评估、开放API接口以及携手合作伙伴推广边缘商业应用。自2018年以来，中国联通在20个省市开展了60多项MEC试点和商用项目。中国边缘计算产业联盟（ECC）<sup>5</sup> 数据显示，分布在40个城市的100多个MEC试点项目覆盖多个行业和应用场景，包括智慧园区、智能制造、AR/VR、云游戏、智慧港口、智慧矿山、智慧交通，这充分证实了发展的迅猛势头。

### 生态合作呈上升趋势

中国国内不乏边缘计算论坛和行业工作小组，参与者包括运营商、网络厂商、其他生态参与者、政府机构以及全球/本地行业协会，如欧洲电信标准协会（ETSI）、边缘计算产业联盟（ECC）、第三代合作伙伴计划（3GPP）、中国信息通信研究院（CAICT）、中国通信标准协会（CCSA）、5G确定性网络联盟（5G DNA）和GSMA。

ECC在促进产业协作、促进创新、提升边缘计算意识和早期应用方面发挥着重要作用。ECC成立于2016年，成员单位超过230家，覆盖几乎所有主要行业，同时成立技术标准、测试、安全、市场推广等工作

组。2019年9月，ECC与网络5.0产业与技术创新联盟（N5A）签署合作协议，共同成立边缘计算基础网络联合工作组（ECNI），推动边缘计算产业发展。

开源项目也在增加。2017年11月，中国移动、中国电信、中国联通以及其他科技公司联合在开放数据中心标准推进委员会（ODCC）上发布了面向电信应用的开放电信IT基础设施（OTII），旨在构建适合5G网络边缘计算部署的开放、统一的服务器解决方案。<sup>6</sup> OTII边缘服务器将分布于大量边缘局点和接入中心局点，并已在一些实际试点中投入使用。

<sup>5</sup> 2016年，六家大公司和组织共同创建了ECC，包括：华为技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、Intel公司、ARM公司和软通动力信息技术（集团）有限公司。

<sup>6</sup> ODCC由百度、腾讯、阿里巴巴、中国电信、中国移动、CAICT和Intel公司共同创建，旨在中国创建一个开放的数据中心平台，推动行业基础设施标准化发展。

2018年10月，中国移动成立了边缘计算开放实验室，旨在提供行业合作平台，促进边缘计算生态的跨行业发展。截至2019年初，开放实验室共有34家合作伙伴，与各领域合作伙伴共开展15个测试平台项目，其中包括4个智慧城市项目、6个智能制造项目、4个直

播和游戏项目、1个车联网项目。Akraino和StarlingX是另外两个主要的开源边缘计算项目，由运营商、企业和开发人员组成的开放社区提供支持，他们试点软件并通过文档和用例参与社区活动。

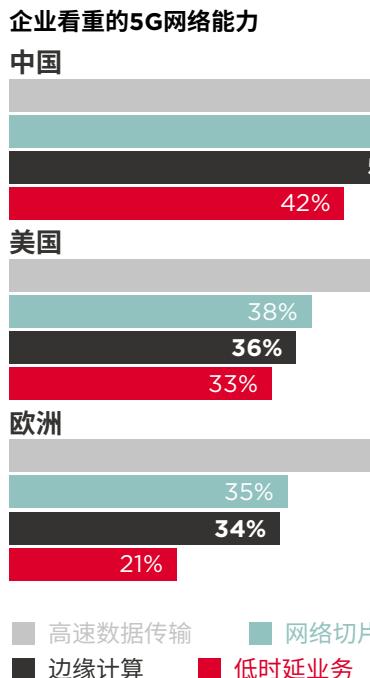
## 中国企业对边缘计算的认知日益提高

GSMA智库全球企业物联网调查显示，76%的中国企业计划在未来部署物联网时采用5G技术。<sup>7</sup> 虽然在许多国家，5G的速度增益似乎是其最引人注目的能力，但中国企业（相对于其他区域）对5G能够提供的其他网络能力（包括网络切片、边缘计算、低时延）有更强的认知（见图3-1）。中国企业规模越大，5G的物联网能力对其就越有吸引力。

中国运营商早期的合作和试点促进了这种认知的提高，企业广泛使用边缘计算能力的意愿就证明了这一点。约有一半的中国企业认为其未来物联网部署需要具备边缘能力，而在美国和欧洲，这一比例不到40%。制造业和运输业尤为突出，与平均水平相比，这些行业的公司更期望通过探索边缘计算技术助力业务发展。

图3-1

### 企业看重的5G能力



### 边缘计算对垂直行业的吸引力（中国）



问题：下列哪些5G能力将促使你所在组织在未来的物联网部署中更具竞争力？  
回答者所占百分比（可多选）

来源：《2018年Q4 GSMA智库企业物联网调查》

<sup>7</sup> IoT之于商业：2019年GSMA智库关于解决方案要求的企业观点



## 3.2 中国边缘计算的独特背景

尽管美国、亚太地区发达市场及欧洲正呈现强劲的边缘计算试点势头，但以下因素使得中国的前景尤为引

人注目。这些因素将决定边缘计算在未来5年是否会规模商用。

### 5G取得重大进展——接入技术将推动边缘部署和应用场景

中国将5G列为国之重事，5G网络将推动经济更大范围的数字化转型。中国三大运营商继2018年底获得全国5G中频频谱（2.6GHz、3.4-3.6GHz、4.8-4.9GHz），并于2019年6月获得5G商用牌照之后，正在迅速推进5G建设。2019年已建成超过13万个5G基站（中国移动5万、中国联通4万、中国电信4万），覆盖中国50多个城市，其中北京、上海、广州等城市核心城区实现连续覆盖。2020年，三大运营商将继续扩展5G覆盖到所有地市。

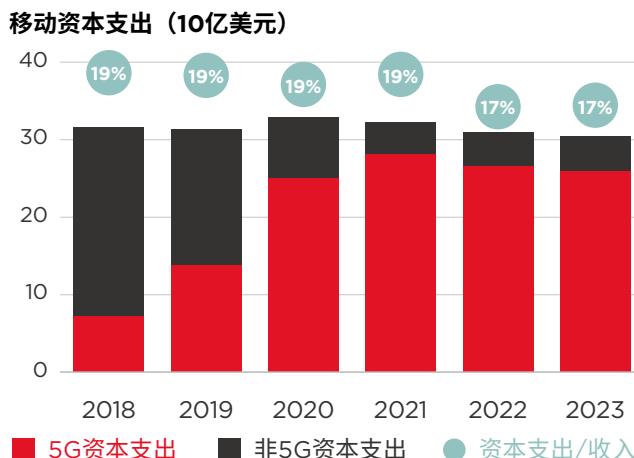
GSMA智库预测，到2025年，中国将拥有全球最大的5G消费用户市场，5G用户数将接近8亿，占全国移动连接数的50%。为满足5G业务对网络的需求，2018年

至2025年，中国运营商将投资2500亿美元用于移动网络资本支出，其中1800亿美元将用于5G网络。中国将占全球近20%的5G网络投资。

三大运营商也明确表示，将推出5G SA网络来支持一系列行业应用，这将推动中国成为SA部署和商用市场的领导者，推动全球设备和终端兼容SA的生态建设。5G是边缘计算的关键，不仅将成为边缘部署的主要接入技术，而且是探索应用场景的强大驱动力。第3.5节中讨论的许多边缘计算应用场景都要求超低时延、实时处理和实时分析能力以及大量的数据传输，由此可见建设5G SA网络为边缘计算在中国的部署提供了良好环境。

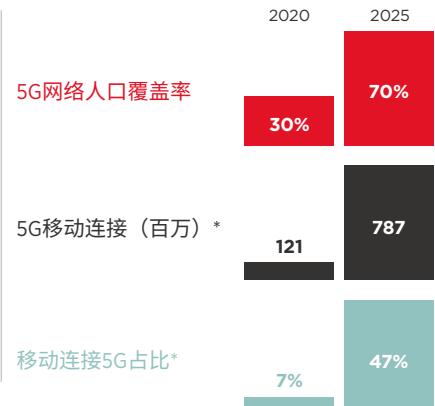
图3-2

#### 中国5G前景



\*不包括授权的蜂窝物联网和固定无线。5G覆盖和商用情况为年底数据。

#### 5G覆盖和商用情况



来源：GSMA智库

## 中国政府致力将中国打造为新技术和工业4.0的领先国家

“中国制造2025”战略计划是推动数字化演进的重要力量。近几年来，中国已经成为测试和使用新技术的领先国家，这包括早期的边缘计算应用。得益于全球最大的数字消费群体（截止2019年年底，全国移动互联网用户近9亿）、具有竞争力的成本优势和巨大的经济体量，中国生态系统正在提升其技术领导力和创新能力，在移动和移动领域之外催生了大量初创企业

和创新公司。与其他新兴技术一样，边缘计算需要一个创新和合作的生态系统。

许多国家政府都希望本国在21世纪20年代达到技术创新的前沿水平，但中国工业的规模（中国GDP的41%来自制造业，而美国为19%）以及以移动为中心的服务与商业生态系统的建立，使中国拥有部署5G时代边缘计算的有利环境。

## 运营商计划更大规模地超越连接服务

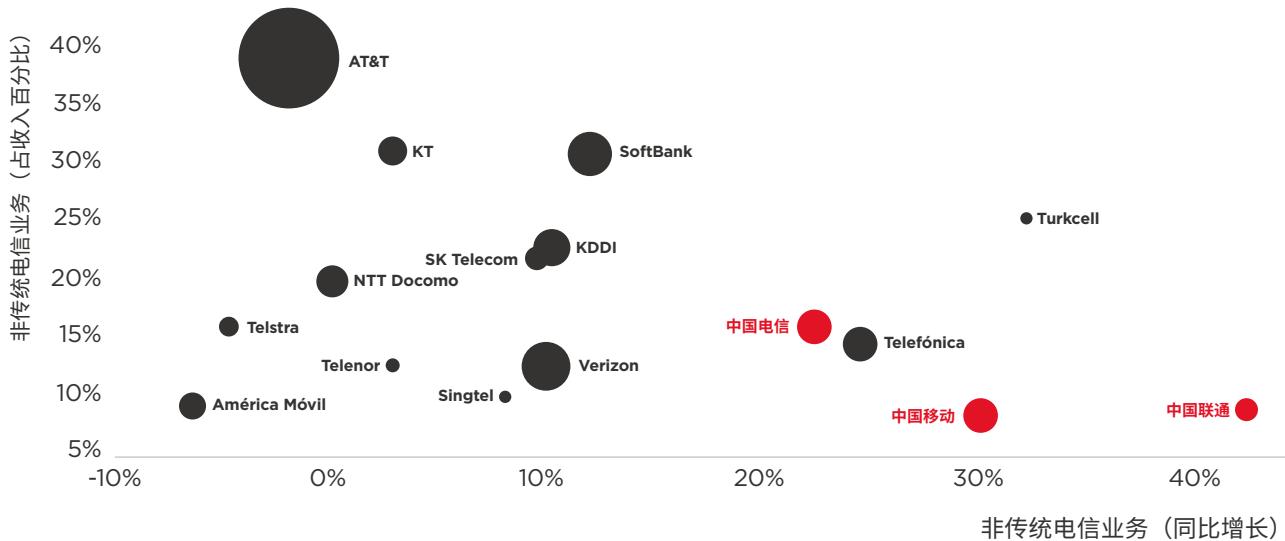
对于全球大部分主要运营商而言，核心移动业务和固定业务占收入的80~90%，而非传统电信业务占收入的10~20%。也存在一些例外情况，例如AT&T、韩国电信和日本软银SoftBank（非传统电信业务的收入占比分别约为40%、30%），其非传统电信业务收入源于并购而非来自有机增长。

中国运营商在非传统电信业务收入增长率上保持领先。2018年，非传统电信业务（消费者和企业）为

中国三大运营商创造了1440亿人民币（折合220亿美元）的总收入，同比增长约30%。这其中包括付费电视、节目和广告、物联网、企业解决方案以及包括金融、支付和生活方式在内的更广泛的数字业务领域。中国移动、中国电信和中国联通都寄希望于行业和企业的数字化转型，以期在连接之外增加未来收入，将核心网、云和边缘的融合定位为企业数字化运营和服务的关键使能技术。

图3-3

### 2018年核心电信业务以外的收入



来源：公司集团数据和GSMA智库重新分类和预测数据。根据财政年度报告周期计算的年度数据。AT&T：截止2019年6月的过去12个月（以反映时代华纳自2018年第三季度100%全面整合入AT&T）。SoftBank：SoftBank+Yahoo日本。气泡大小反映2018年非传统电信业务收入。



## 物联网全球领先，边缘计算解决方案市场前景广阔

中国是目前全球最大、最发达的物联网市场。中国授权蜂窝物联网连接约占全球三分之二（2019年），即超过10亿。此外，四分之三的中国企业已经部署了物联网，全球占比最高。中国也是推动全球物联网市场发展和增长所需技术的主要供应商，包括传感器、微芯片和其他组件。

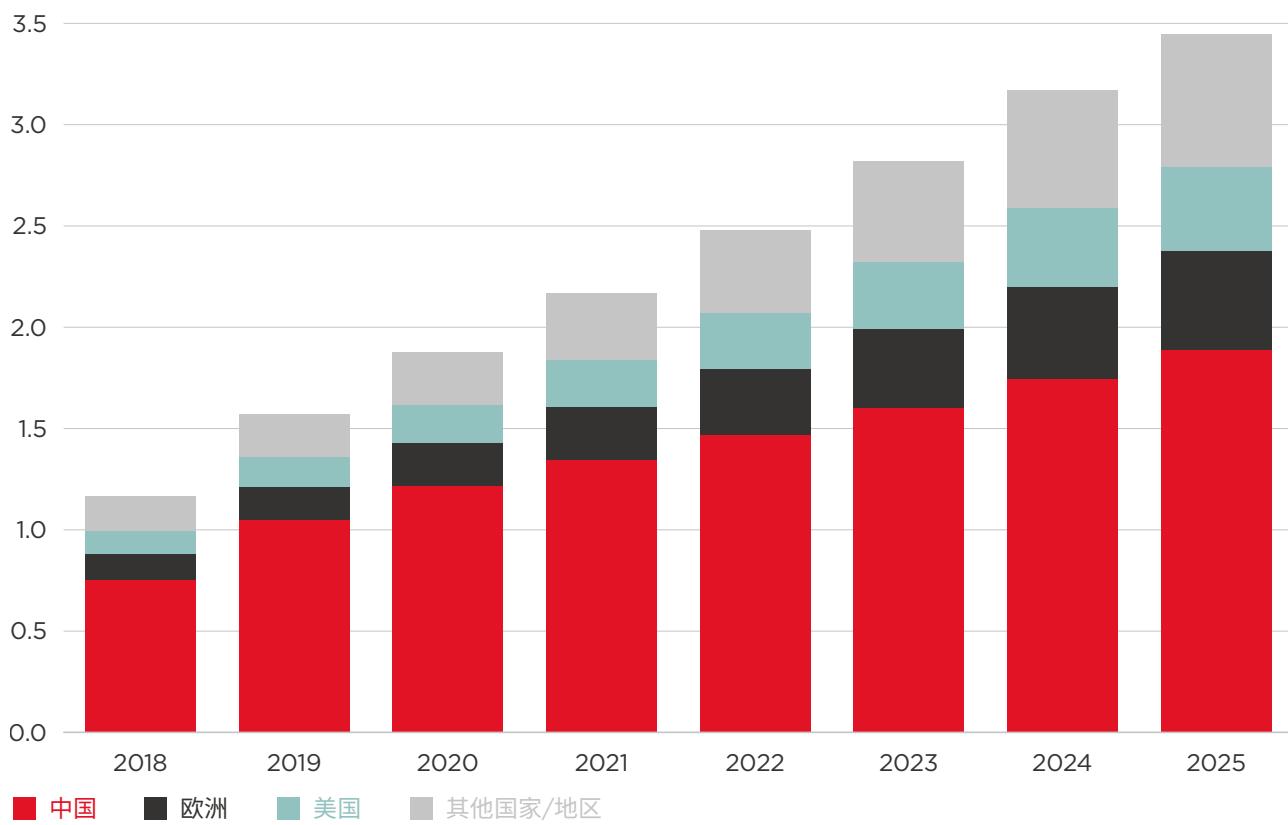
从收入来看，2018年中国三大运营商共创造物联网收入110亿人民币（折合17亿美元），其中三分之二来自

中国移动。物联网收入以本币计增长约50%，主要来自于连接持续增长和NB-IoT的推动。虽然这在中国运营商总收入中占比很小（2018年约为1%），但企业物联网是超越连接边界的重要驱动力。中国在物联网和边缘计算领域的领先地位为部署边缘技术提供了有利环境，特别是对于需要将大量数据进行存储、处理和分析而更接近用户的物联网场景，以加快分析和响应的速度。

图3-4

### 全球授权蜂窝物联网连接

(十亿)



来源：GSMA智库

### 3.3 推动中国边缘计算发展的关键角色

许多中国企业投入项目、建立合作关系并参与行业论坛和倡议，积极推进边缘计算的发展。

企业调研发现，由于5G和边缘计算紧密关联，网络设备供应商（华为、中兴、诺基亚、爱立信等）和中国三大运营商在边缘计算早期阶段起到了显著推动作用（见图3-5）。

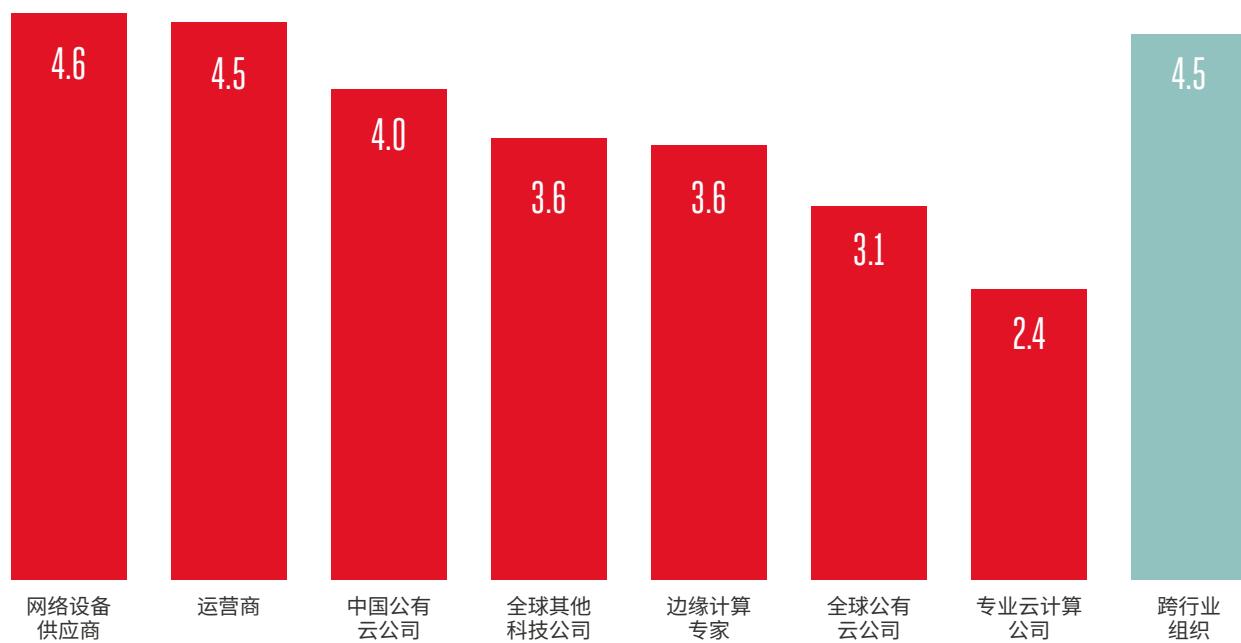
中国云收入排名前两位的云公司（阿里巴巴、腾讯），以及百度等正在采取重大举措，寻求在新兴的边缘计算中扩展云能力和云产品。许多边缘计算平台

已投入商用，阿里主推边缘节点服务（ENS），百度和腾讯也分别推出OpenEdge和Smart Edge Connector。阿里占据云市场最大份额，百度创新推出ABC（人工智能、大数据和云计算）发展战略，即以人工智能为中心，广泛应用边缘技术。此外，百度重点打造自动驾驶，融合了边缘云计算以及人工智能的广泛应用。

跨行业组织发挥关键作用，积极推动行业发展与协作，在中国边缘计算推动力调查中斩获4.5高分，其中多数调研企业已意识到行业论坛及工作组对新型生态系统的重要价值。

图3-5

#### 推动中国边缘计算技术发展的公司类型



问题：谁在推动当前中国边缘计算技术的发展？评分范围为1-5分，其中1分代表“影响较小”，5分代表“显著影响”。

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

**中国移动**

中国移动正在实施网络转型计划，旨在将人工智能、物联网、大数据、云和边缘计算等技术融入5G网络，实现联接与数字化服务的结合，提供定制服务能力。

中国移动的电信云架构分为核心云和边缘云，覆盖了从核心集中到边缘分布的数据中心/机房。根据业务需要，边缘云可以部署在地市、区县两级，甚至更低地区层级。为了结合5G网络，跨场景、跨行业开展边缘计算业务的试点，中国移动已经预留了上百个边缘节点。

从商业角度来看，中国移动物联网公司（中国移动全资子公司）推出了OneNET集中式云平台，支持汇聚多种网络环境和协议下物联网设备的数据。第三方应用程序和分析服务可通过一系列API和应用程序模板访问存储数据。许多增值服务功能允许将不同类型的服务集成到端到端解决方案中，其中包括应用于工业场景的OneNET Edge。OneNet Edge为企业客户提供大规模低时延应用。物联网设备和应用可在本地

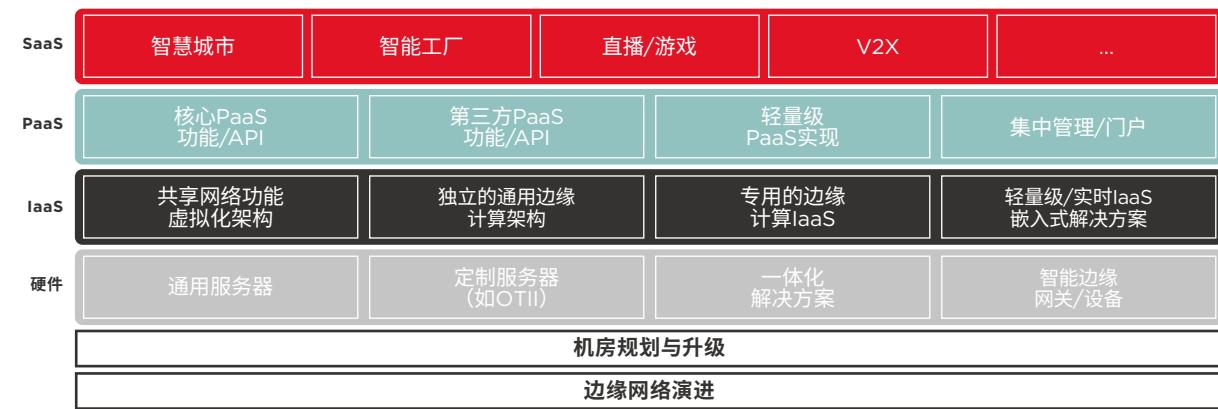
实时监控和管理，实现实时决策，免受数据采集和存储位置的约束。

2019年2月，在MWC Barcelona（巴塞罗那世界移动大会）上，中国移动发布了《边缘计算技术白皮书》，从运营商的角度阐述了边缘计算及其技术路标。<sup>8</sup>中国移动边缘计算“Pioneer 300”先锋行动展示了2019年边缘计算具体措施和目标：1)评估100个可部署边缘计算设备的测试节点；2)面向边缘云计算能力开放100个API；3)引进100家边缘计算合作伙伴，推动商业应用落地。

如图3-6所示，中国移动的边缘计算系统规划包含服务与应用（SaaS）、PaaS能力、IaaS设施、硬件设备、站点规划、边缘网络演进。边缘计算的PaaS、IaaS和硬件平台需要设计成兼容两种应用生态系统，即公有云应用和原生边缘应用。对于边缘计算部署的不同位置，上述领域均有望自定义地选择所用技术。

图3-6

### 中国移动边缘计算技术系统规划



来源：中国移动

<sup>8</sup> 2019年2月《中国移动边缘计算技术白皮书》

## 中国电信

云网一体化是中国电信在5G时代的重要战略支柱。中国电信正在建设新一代云网一体化操作系统，包括全云化5G核心网和多接入边缘计算（MEC）。

从商业角度看，中国电信面向企业客户推出了全云化、全纤化的5G云网一体化解决方案。中国电信2019年上半年云收入（50.30亿人民币，约7.2亿美元）高于2018年全年（44.80亿人民币，约6.8亿美元），同比增长近100%。

中国电信大力推动边缘计算在各领域移动网络的发展，参与国际标准的制定，携手华为、中兴、腾讯等合作伙伴开展研发和测试，并在石油、天然气、港口、媒体和娱乐等领域，进行试点和小规模部署。

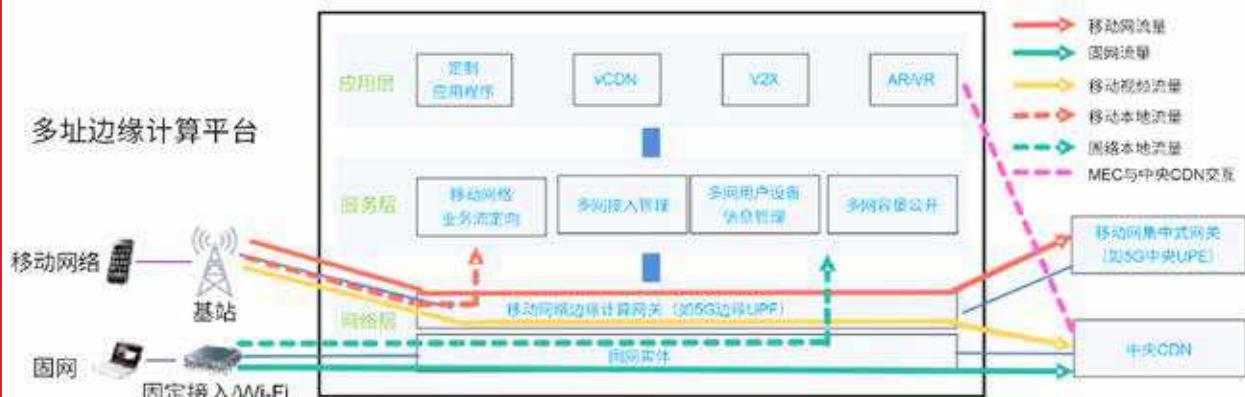
过去12个月中，中国电信投资建设边缘计算和网络切片平台，使其与云资源及5G网络充分融合，帮助有本地化需求的企业客户构建专用网

络。5G将成为核心驱动力。运营商正在快速建设5G网络，2019年底共建成4万座5G基站，利用5G网络升级到独立组网（SA），使能5G网络能力，例如基于SA的边缘计算和网络切片等。5G+“云边协同”为企业提供卓越的网络和计算能力。运营商已呈现多种边缘计算应用场景，如工业互联网、车联网、校园/企业园区以及VR直播等。

中国电信提供广泛的移动和固网业务（二者收益相当），并规划将边缘计算应用于移动和固网业务。更具体地说，为缓解网络流量造成的回传压力，并保证固网和移动网用户体验一致，中国电信正在构建统一的MEC，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（传输和内容交付网络-CDN）。中国电信面向FMC的MEC架构如图3-7所示。<sup>9</sup> 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CDN资源提升用户体验，实现内容的智能分发。

图3-7

### 中国电信面向FMC的MEC架构



来源：中国电信

<sup>9</sup> 资料来源：《2018年中国电信5G技术白皮书》

## 中国联通

作为5G时代集约化、敏捷化、开放化战略的一部分，中国联通围绕“贴近用户、云化、连接、协同、计算、能力”的“6C”理念，推出“CUBE-Edge”智能边缘业务平台。<sup>10</sup>

1.0版本于2018年发布，后续升级到2.0。如图3-8所示，CUBE-Edge业务平台包括硬件资源层、虚拟化层和平台能力层，为开发者提供灵活的平台能力和丰富的API接口，使其应用于各行各业。

中国联通正在以DC为中心的全云化网络上构建MEC边缘云架构，实现边缘技术与云的融合。管理面集中部署，业务面下沉，与通信云融合。边缘云与公有云和私有云对接，实现云边协同。市级边缘DC应用于广覆盖业务，如VCDN、AR、VR、视频监控、云游戏等。区级边缘DC满足大规模数据本地化和低时延需求，适用于车联网、智能体育场等应用。

图3-8

### 中国联通MEC边缘云平台架构



来源：中国联通

<sup>10</sup> 《2019年中国联通CUBE-Edge 2.0及行业实践白皮书》

云边融合是关键。云计算（公有云、私有云）聚焦于非实时、长周期的大数据分析，而边缘计算聚焦于实时、短周期的数据分析，将大部分数据推送到网络边缘，加快处理速度，减少等待时间和网络带宽消耗。

中国联通参与了从智能制造到智慧城市和港口等多个行业的边缘相关项目和举措，并与百度、腾讯、中兴、英特尔等多家公司建立了边缘合作关系。2018年，中国联通在中国15个省市开展MEC边缘云试点项目，包括北京、上海、浙江、福建、广东、湖北、重庆、山东、河南、河北、江苏、四川、天津、辽宁、湖南等地。自2018年以来，MEC在20个省份启动了60多个试点和商用项目，旨在与全国31个省份的更多行业伙伴合作。

## 网络设备供应商

### 华为

华为提供多种边缘计算产品和能力，例如MEC技术，Intelligent EdgeFabric（IEF）和边缘专用COTS等。边缘计算属于广泛的网络产品组合，并与这些产品日益集成，包括RAN、核心网络、公有云和IT基础设施等。

华为将MEC定位为实现5G边缘计算的关键解决方案。华为的MEC技术融合互联和计算，通过动态网络资源调整，保障以应用程序为中心的边缘计算体验。实现边缘应用程序的灵活、简易部署和管理，使能高性能计算。通过云-网络-边缘协同，各MEC节点均与控制面互连，实现集中资源管理和业务编排。

华为的5G MEC支持多种边缘业务场景，应用于一系列商业应用和试点中，包括智慧园区，智慧工厂，智慧港口，智慧农业和智慧交通等。随着5G网络覆盖范围扩大，5G MEC解决方案将协助更快、更便捷地构建专网，加快智慧港口、智慧采矿、智能制造和AR/VR等应用的商业化步伐。

除了在2016年推进边缘计算产业联盟（ECC）建立和2019年构建5G DNA之外，华为还采用了开放源代码计划，包括KubeEdge，一个将本地应用程序编排功能扩展到边缘主机的开放平台。云和边缘都是完全开源的，即使与云断连，边缘也可以运行。

### 中兴通讯

2019年10月，中兴通讯推出全融合边缘云平台Common Edge，包括MEC能力开放平台、轻量级边缘云、全系列边缘服务器。它支持并集成移动和固定网络（4G、5G和Wi-Fi），构建统一的固定和移动融合平台。Common Edge解决方案已经应用于智慧电网、工业制造、车联网、媒体与娱乐、公共安全、农业等众多领域。

中兴通讯还凭借其Slice Store for MEC解决方案在边缘计算大会上荣获“最具商用潜力的边缘计算概念”大奖。Slice Store帮助运营商将边

缘基础设施和边缘网络能力开放给垂直行业和OTT供应商。此外，中兴已经宣布计划将10%以上的收入投入研发，重点投入5G芯片和边缘计算上。

在中国，中兴通讯与运营商在不同领域有着广泛的合作关系和项目，例如制造、娱乐直播、游戏、沉浸式旅游等领域。在制造领域，2019年10月中国电信浙江分公司和中兴通讯使用5G独立站点，开展5G网络切片、边缘计算和智能制造试点，帮助Bluetron新建5G智能工厂。

## 电信网络供应商

### 爱立信

爱立信成立了Edge Gravity（全资）公司，旨在为运营商和边缘技术供应商打造生态系统的边缘计算解决方案。Edge Gravity边缘云平台将服务供应商的最后一公里网络接入专用的全球爱立信网络，快速部署低时延的本地化计算和存储的新服务及应用程序。该生态系统支持技术试验，帮助筛选出最佳的未来边缘计算服务技术。Edge Gravity生态圈涵盖中国电信、中国联通在内的全球85家运营商。

爱立信还推出了基于NFVI的边缘解决方案Edge NFVI，旨在优化分布式工作负载和边缘计算应用。Edge NFVI允许流量通过分布式网络移动，在低成本和高吞吐率前提下，满足低时延要求。统一管理云原生应用，单一平台运行虚拟网络功能。

在中国，爱立信携手生态伙伴，在智慧工厂和智慧交通等行业，测试并部署早期的边缘技术。2019年上海MWC期间，爱立信和中国移动联合演示了5G独立网络下的远程手术演示和AGV原型机。

### 诺基亚

诺基亚2018年推出首个边缘云数据中心解决方案。Nokia AirFrame Open Edge服务器属于广泛的AirFrame数据中心解决方案组合，促进运营商根据数据流量类型、时延和吞吐量需求，优化网络资源并智能分配全网负荷。Nokia AirFrame Open Edge服务器采用开放架构，采用超小型化结构，支持在站点部署。

诺基亚与中国边缘计算生态圈合作多年，在多领域测试新技术能力，如工业自动化、智慧城市、物联网、AR/VR等面向消费者的应用等。在汽车领域，诺基亚、中国联通、腾讯和英特尔在2017年上海梅赛德斯-奔驰文化中心共同

打造了网络边缘云系统。在游戏领域，2019年MWC Barcelona期间，诺基亚和中国移动通过基于AI的5G网络，以及O-RAN架构和诺基亚边缘云计算平台，联合展示了云VR游戏的应用。诺基亚和中国移动寻求广泛合作，持续构建一个集成AI和边缘云计算能力、开放、智能的无线网络架构。

诺基亚和中国联通共同协作，为沈阳宝马工厂打造了专用LTE网络，将诺基亚虚拟化MEC解决方案部署在中国联通的4G网络，为智能制造提供低时延支撑。

## 中国云企业

### 阿里巴巴

阿里云已推出边缘计算平台边缘节点服务(ENS)，旨在推动阿里云CDN边缘的消费者和企业用例。ENS依靠部署在靠近终端和用户的边缘节点来提供计算分发平台服务。这使客户能够在边缘上运行其业务模块，并通过云边缘协同效应建立分布式边缘架构。它提供了低时延和低成本，并减轻了中心的压力。

阿里云正在与合作伙伴共同努力，在中国开展边缘计算试点和落地，覆盖智慧城市、物流、

自动驾驶等多个行业。2018年9月，阿里巴巴和英特尔宣布推出联合边缘计算平台，该平台是面向物联网应用的开放架构，将英特尔的软件、硬件和最新的AI技术与阿里云的物联网产品（包括Link Edge和AliOS物联网）相结合。

2019年，阿里云宣布已完成中国30个省份300多个边缘计算节点的部署，正在部署边缘芯片、边缘设备、边缘计算平台和操作系统。

### 腾讯

2019年6月，在上海KubeCon期间，腾讯云发布了可自定义的边缘计算解决方案TSEC (Tencent Smart Edge Connector)，为应用提供从边缘到云的智能协同。TSEC采用MEC技术，与5G网络融合，为消费者和行业应用提供低时延和高带宽。

鉴于腾讯在游戏领域的地位，其重点发展云和边缘游戏、AR/VR、超高清视频和直播。2019年8月，腾讯云在中国国际数码互动娱乐展览会发布腾讯云游戏解决方案，为全球游戏开发者

和平台提供一站式工具。IaaS层的边缘技术使得腾讯通过国家边缘计算数据中心进一步缩短玩家与服务之间的距离。

腾讯一直在与多家中国公司合作，发展边缘计算技术。2019年MWC上海展期间，腾讯、中兴和中国移动联合展示了基于3GPP 5G SA标准的5G云游戏端到端切片和MEC系统。腾讯的微信团队与英特尔合作，优化了其在车内和车内语音识别系统中使用的语音识别工作负载。

### 百度

百度云采用ABC（即AI、大数据和云计算）发展策略，帮助企业实施数字化计划。边缘计算作为云资源和更接近最终用户的处理的扩展，适合这种策略。

2019年初，百度发布了开源边缘计算平台OpenEdge，允许开发者构建自己的边缘计算系统，将云计算延伸到自己的边缘设备

上。OpenEdge旨在收集和分发数据，执行AI推理，并与云同步。OpenEdge是百度智能边缘平台BIE的一部分，运行在百度云上。

百度和中国移动已形成战略合作伙伴关系，在AI、大数据、5G等新技术领域展开合作，并共同探索自动驾驶和物联网领域的合作机会。此外，还与华为和中国移动合作开展5G试验。

许多其他公司和机构，如小型网络供应商、ICT企业、专业云&边缘技术公司、以及研究机构，正在共同推进云计算在制造、自动驾驶、媒体等领域发展。

### 参与调研的其他公司

<b>九州云</b>	九州云为企业SaaS应用开发开放堆栈平台，提供私有云、IDC门户、企业应用商店等解决方案。
<b>白山云</b>	贵州白山云是CDN提供商，提供端到端的云管理服务，包括缓存服务器、数据和Web内容交付平台、安全等。
<b>中国信息通信研究院</b>	通信研究院是工信部下属的科研机构。它通过多方面支持各产业发展，这包括计划、政策、标准、测试和认证。
<b>大唐移动</b>	大唐移动专注于推进TD-SCDMA及相关TD-LTE技术的商用化，为20多个省的运营商提供TD网络解决方案和综合业务。大唐移动也是第五代移动通信国际标准和技术的引领者和推动者。
<b>海尔工业智能研究院</b>	海尔是消费电子和家电产品的跨国制造商，已转型为智慧家庭生态圈的物联网合作伙伴。
<b>和利时</b>	和利时是一家自动化控制和IT解决方案提供商，专注于流程自动化、工厂自动化、铁路运输自动化和工程管理。
<b>地平线</b>	北京地平线为智能移动和物联网开发AI芯片和解决方案。它允许系统集成商和公司开发基于AI的物联网解决方案，用于智慧城市、智慧零售和智能机器人。
<b>爱奇艺</b>	爱奇艺是一个在线视频平台，提供原创电影、授权电影和其他高清媒体内容。
<b>东软集团</b>	东软集团是一家软件技术和IT服务的供应商，提供行业和产品工程解决方案、相关软件产品和平台、以及IT服务。
<b>中国科学院沈阳自动化研究所</b>	中国科学院沈阳自动化研究所是一家研究机构，设有11个研究部门，研究领域涉及机器人、空间自动化、自主水下机器人和数字工厂等。
<b>新松机器人自动化有限公司</b>	新松是中国科学院下属的一家高科技机器人公司，专注于提供机器人行业智能产品和服务。
<b>宁波舜宇智能科技</b>	宁波舜宇智能科技专注于研究与开发智能制造相关的前沿技术，重点打造智能数字工厂。该公司根据不同行业和企业的需求，配置相应的产品和解决方案。
<b>网宿科技</b>	网宿科技主要研究大数据、云计算等关键技术。它提供内容分发网络、定制化互联网数据中心、云安全、云和边缘计算等服务。

## 3.4 技术视角：在移动网络中部署边缘计算的关键问题

从技术角度来看，中国生态系统正在从第一波试验网和小规模部署中汲取经验。解决最优边缘部署架构关键问题仍需时间，其中包括边缘的位置和跨行业服务应用所需的边缘技术的规模等关键问题。还需要实现云、边缘和电信网络的无缝集成，以及边缘技术与其企业应用程序的集成。鉴于中国边缘生态系统显示出了向前推进的明确意图，当下需要做的是做好基础性工作。

得益于网络软件化和网络虚拟化等发展成果，在中国移动、中国电信和中国联通的移动网络中部署边缘技术，是与其更高层面的网络转型战略相关的。过去几年，三家运营商都在加速网络云化转型，增强软件定

义组网（SDN）和网络功能虚拟化（NFV）能力。在5G时代，核心网虚拟化进程将加速，让运营商得以支持更快的业务发放速度，增强一系列网络操作。

云和边缘在某种程度上看似是竞争关系，需要争夺运营商网络投资预算和资本支出分配。但实际上，这两种技术是相辅相成的。构建云边协同的云边基础设施，将助力5G时代新服务交付模式，实现计算和智能能力在网络各层之间的最优分配。最终目标是以低成本的方式提供端到端的5G网络，满足客户对可靠性、时延和带宽的要求，让应用开发者和内容供应商轻松访问业务。

### 在中国，哪些接入技术将最广泛地应用于边缘计算应用？

在调查中，5G被视为关联最密切的边缘计算接入网络（见图3-9）。受访者一致认为，5G将广泛应用于边缘用例，支持率远远高于其他网络接入技术。GSMA智库全球边缘计算调查（2018年）也曾强调，5G是边缘用例的领先技术，但是与4G和固网差异较小。这个调查结果不仅反映了中国5G网络部署的快速，也反映了中国将利用5G技术推动行业和企业数字化转型的雄心。

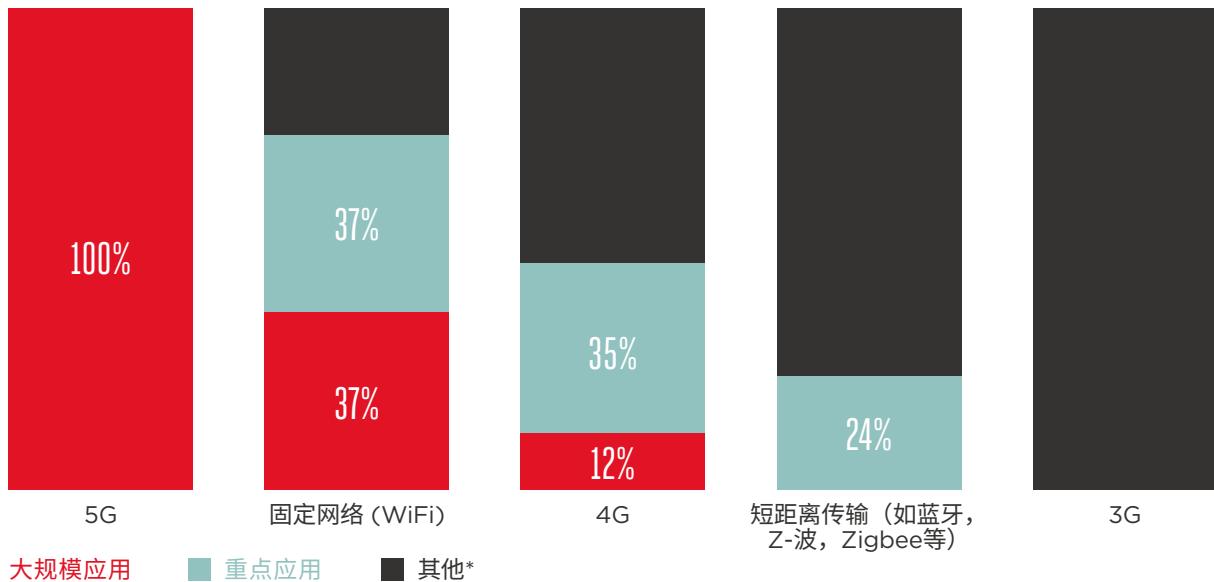
早期的边缘技术是在4G背景下进行探索的，但在生态系统中，人们普遍认为5G网络的逐步部署将在未来边缘部署和应用方面发挥关键作用。未来4G和5G网络将在中国长期共存和互补。在建设5G的同

时，4G将继续支持边缘的试点和落地，并可用于不需要超低时延或实时（或近实时）数据处理的边缘计算场景。

尽管5G是最相关的接入技术，但分布式边缘在蜂窝之外也有其作用。超过70%的受访公司认为，固定网络也将（广泛地）用于边缘计算场景。由于接入技术和应用场景的多样性，固定网络、短距离接入技术（如Zigbee、LoRa）、时延敏感网络（TSN）和其他以太网技术（PROFINET IRT和EtherCAT）可以作为5G接入技术的重要替代或补充。接入技术也可能不是排他性的，对于特定的边缘计算节点，不同接入技术的业务可以共享相同的IT资源。

图3-9

## 中国边缘计算接入技术



问题：从长远来看（2025年），哪些接入技术将为中国边缘计算应用提供最广泛的连接？受访者占比\*“其他”是“适度应用”、“少量应用”和“极有限应用或完全不应用”的总和。

资料来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 边缘在哪里部署？

对于移动网络的最佳边缘位置，没有一刀切的答案。各网络设备供应商（及运营商）对最佳位置有不同的见解，侧面反映了场景的多样性。影响因素众多，包括边缘计算应用的具体要求（时延、带宽、实时分析、传输数据量、安全性）以及技术（边缘配置、与云和设备的距离）和业务（实际需求、经济性）等因素。图3-10提供了需要衡量的因素，具体项取决于实际用例。

许多受访公司表示，一些边缘应用应该于本地部署，例如智慧工厂、智慧港口、智慧电网和智慧园区的边缘应用。鉴于需要本地化服务的行业应用是中国边缘计算的重要场景（这也是中国独有的），这个调查结果在预想之中。这也许反映出这样一个事实，即许多早期的边缘计算业务都是为私有企业定制化部署的。智慧工厂、智慧园区等大型场所也涉及大量设备入网，需要密切关注并协同控制。当企业扩展设备数量时会涉及边缘计算，需要多个具备边缘计算能力、支持海量数据实时处理、且拥有增强分析能力的平台。

在大多数情况下，在终端设备上部署边缘技术是不可

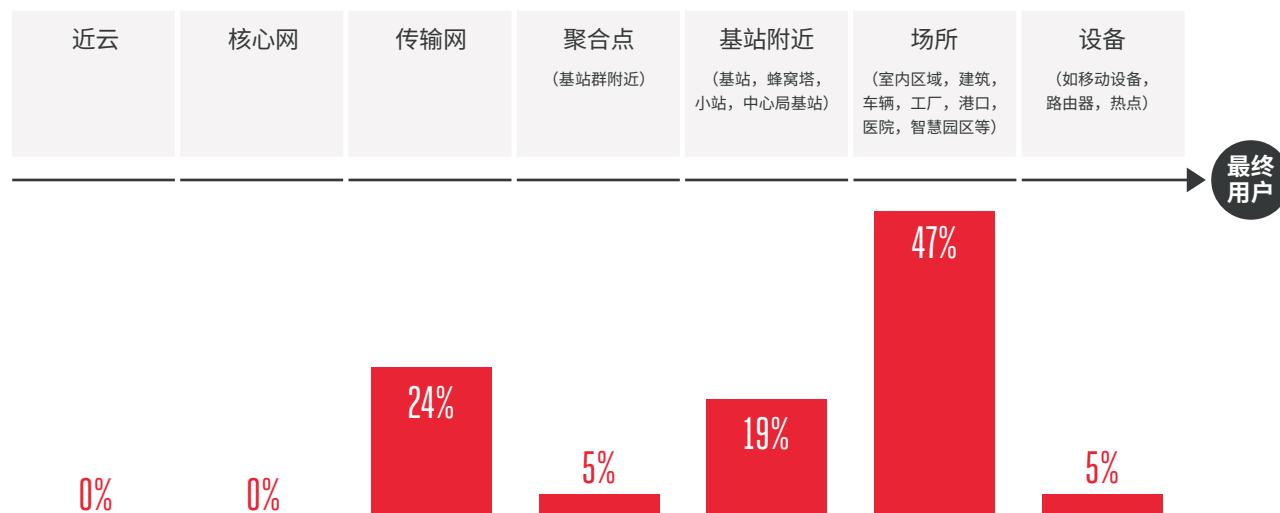
行的，因为大量的应用处理会使终端设备（尤其是低端设备）过载，还会影响电池寿命。终端设备可以对数据进行预处理，但随后需要将数据发送到最近的本地边缘计算中心或核心网进行进一步处理。

区级或市级边缘基础设施部署不仅更经济，且应用范围更广，包括智慧城市、自动驾驶、云/边缘沉浸式游戏以及其他移动接入和消费业务。在此类场景下，边缘基础设施将部署在靠近基站的位置（部分场景中，基站与MEC都部署在智慧园区中），或者汇聚点（靠近基站群）。边缘本地部署或靠近基站/汇聚点部署，符合MEC部署模型。中国运营商结合网络切片，快速推出5G，为边缘计算应用提供所需的一系列能力，包括大带宽、高速率、低时延以及安全可靠的网络。

在许多应用中，相比超低时延要求的关键应用或实时处理分析场景，边缘技术也许离最终用户较远。即使定制化本地部署边缘基础设施和技术，也不应将专用场景视为必然，而需考虑若干因素，包括部署成本及效益。

图3-10

## 国内移动网络边缘位置

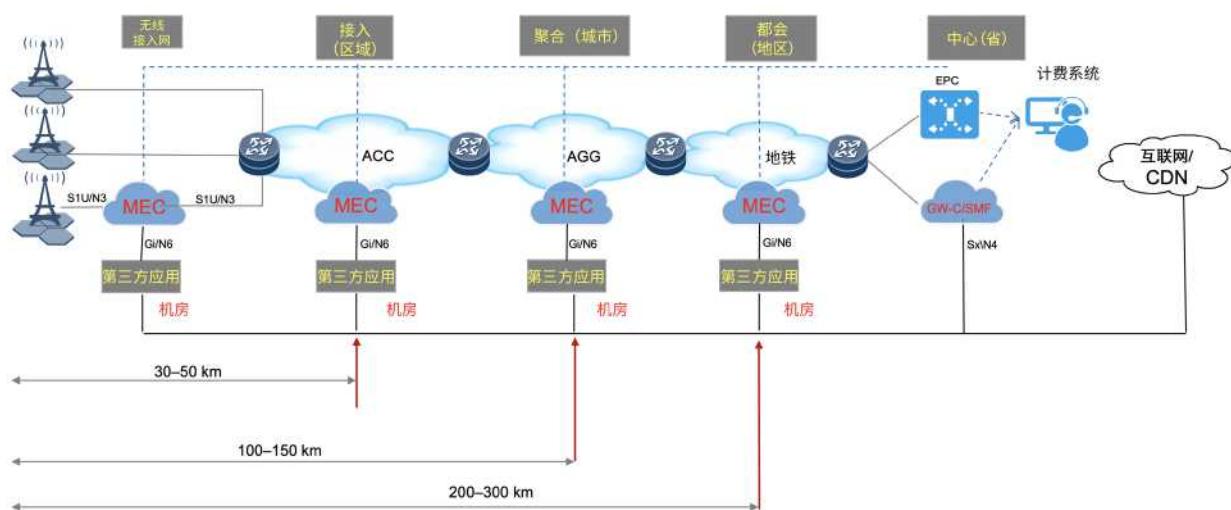


问题：（仅针对移动网络中的边缘计算）你认为哪里是部署边缘的最佳位置？受访者占比

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

图3-11

## 中国的移动网络MEC部署场景及分层分级



来源：ECC

## 推动边缘计算在中国的部署和应用有哪些最重要的增益？

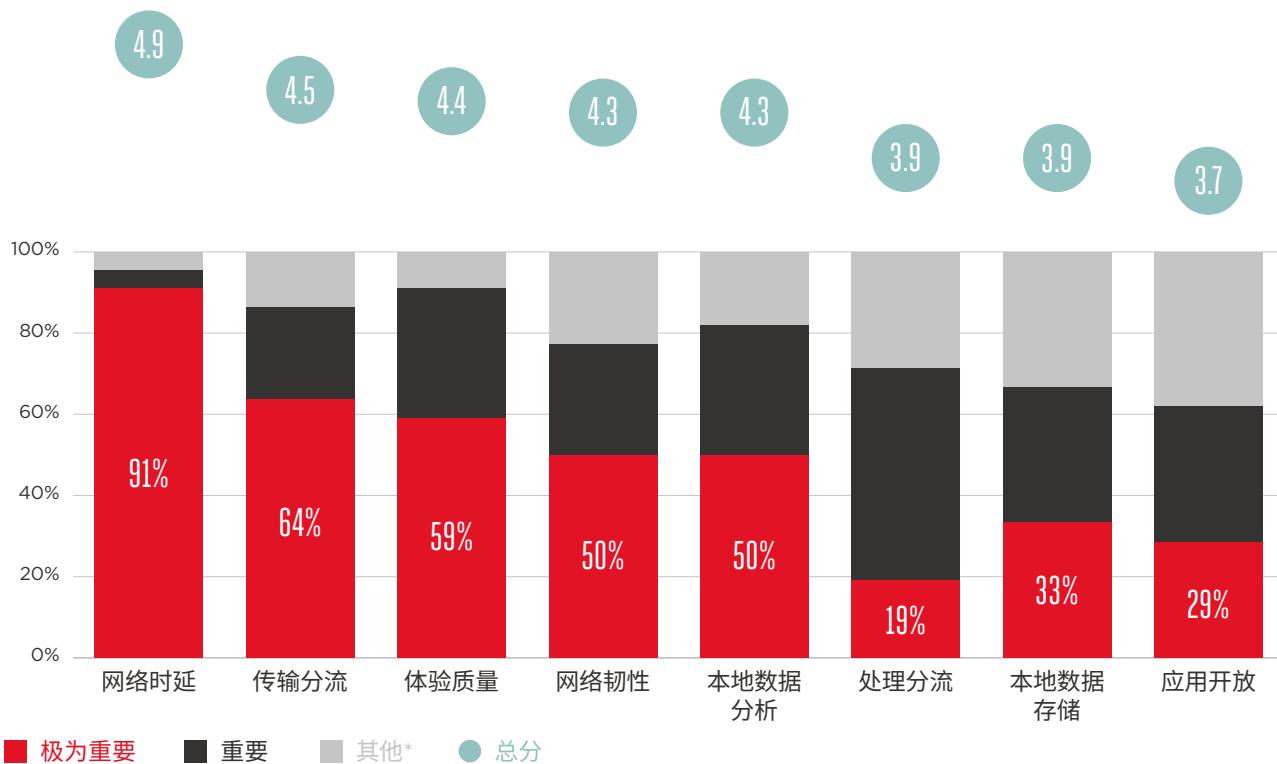
超低时延是最大增益。超过90%的受访公司表示，在移动网络的边缘技术背景下，网络时延至关重要（见图3-12）。这符合人们对于5G将成为中国最相关的边缘接入技术的普遍期望。LTE平均时延达25ms，而5G标准要求响应时延降低至1ms，甚至低于1ms。

用户体验质量是一个有关低时延、网络韧性以及处理分流的指标。其重要性体现在AR/VR的沉浸式游戏等消费娱乐场景和企业需求中，在工业和医疗领域中尤为明显。传输分流也是一项主要增益。5G大带宽伴随着海量回传需求，通过从边缘交付服务，即从边缘（与核心相对）直接将流量路由到互联网，有效降低回传流量。

开放应用排在最后，但这种情况可能会随着着边缘技术和5G规模的扩展而相应发生改变。开放应用可推动公网和专网用户访问应用。传统上，运营商核心网不像公有云资源一样支持开放接入，而5G技术聚焦这一问题，承诺为丰富的第三方用户提供接入服务。边缘计算可以实现该能力，尤其是在企业部署场景下。MEC技术允许开放网络，其中包括在用户附近运行外部API。在媒体和娱乐领域，内容不属于提供服务的运营商（如社交网络的AR内容），而边缘服务器上一定存在互联点，供第三方托管或缓存内容。这也是开放边缘计算API的原因。

图3-12

### 推动边缘计算在中国部署和应用的重要增益



问题：根据对推动边缘计算在中国移动网络部署和应用的重要性，对以下边缘增益项目行排序。受访者占比和总分。总体评分从1分（重要性很有限）到5分（极其重要）。\*其他是指“中等重要”、“略微重要”和“重要性很有限”的总和。

数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 谁是中国边缘硬件、工作负载和应用的部署者/管理者？

边缘硬件包括使能边缘服务和应用程序的边缘节点、云边缘、边缘云和边缘网关。由于节点可以驻留在多个位置，需要多方共同部署。单个公司也许需要与其他利益相关方合作来建立节点。在中国边缘计算生态系统中，中国三大运营商被认为将部署和管理大多数的边缘硬件，且云公司和网络设备供应商也将大规模参与其中（见图3-13）。

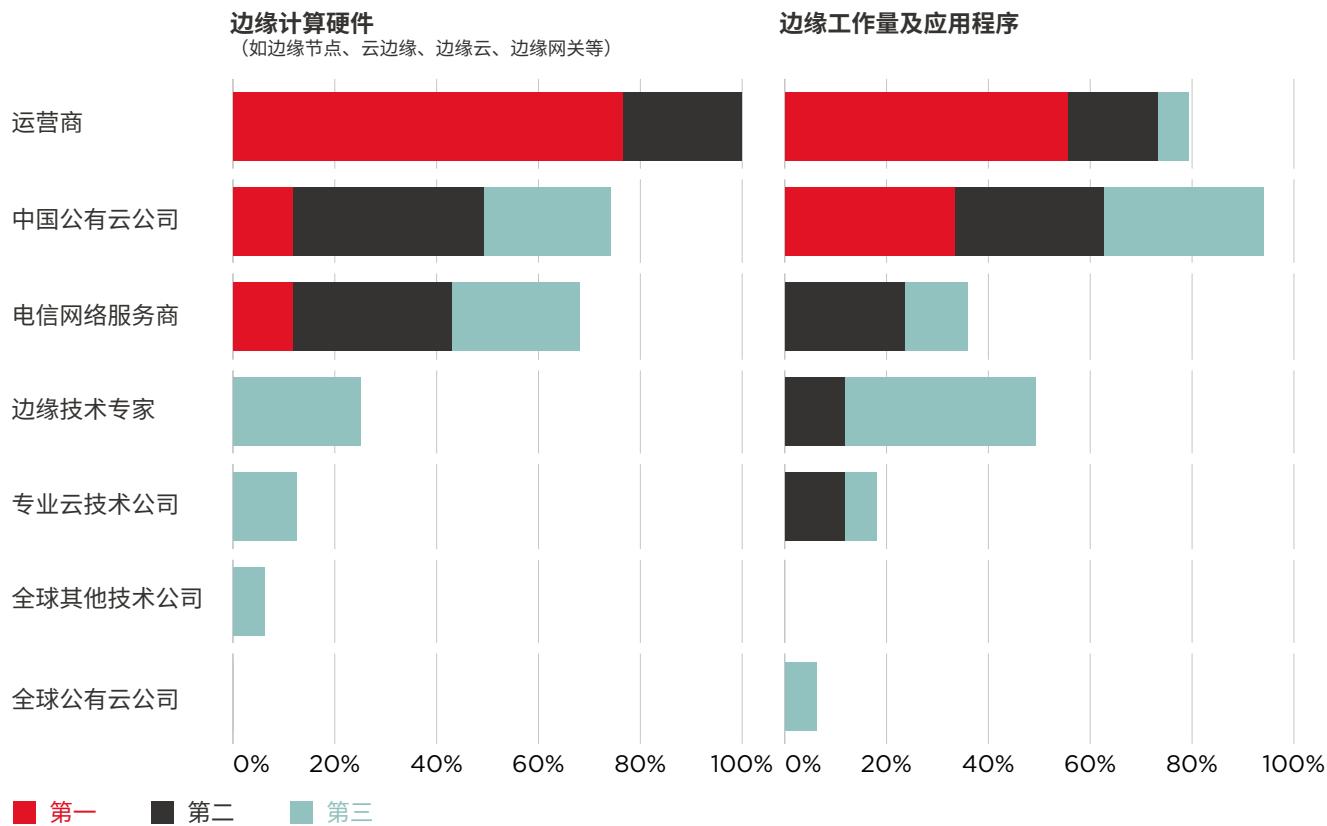
根据企业调研发现，中国运营商坐拥庞大的移动基础设施和网络资源，再加上成熟的网络运营团队，使其处于领导边缘硬件的部署和管理的有利地位。运营商期望在2020年加速推出独立组网的5G网络，这也被视为一种优势。实际上，许多其他技术和业务因素将

决定运营商（或其他边缘利益相关者）在多大程度上部署和管理边缘硬件及其位置。运营商也需要一个有利的生态系统来做到这一点，而网络设备供应商是其最密切的合作伙伴。

中国的运营商和公有云公司都被视为部署和管理边缘工作负载以及应用的最佳候选者，这使得形势更加平衡。对于运营商而言，履行这一职责，并提供端到端的解决方案将是部署边缘节点的自然扩展。中国云提供商（阿里、腾讯）已经是事实上的企业云服务提供商，拥有众多优势，例如他们拥有丰富的云资产，在以往中心云提供服务的经验，以及大量的企业用户。

图3-13

### 在移动网络中部署和管理边缘技术



问题（仅针对移动网络中的边缘计算）：1) 谁将在中国部署/管理数量最多的边缘硬件（例如边缘节点、云边缘、边缘云、边缘网关）使能边缘服务？2) 谁将在中国部署/管理数量最多的边缘工作负载和应用程序？受访者占比

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 中国未来将部署多少个边缘节点？

未来部署边缘节点的数量（这也取决于前文分析的边缘位置）是确定边缘计算中整个生态系统投资的关键因素。由于该技术仍处于早期阶段，且所需的边缘硬件数量最终受边缘计算应用场景发展的影响，中国（与其他主要国家）目前还没有明确的数据信息。

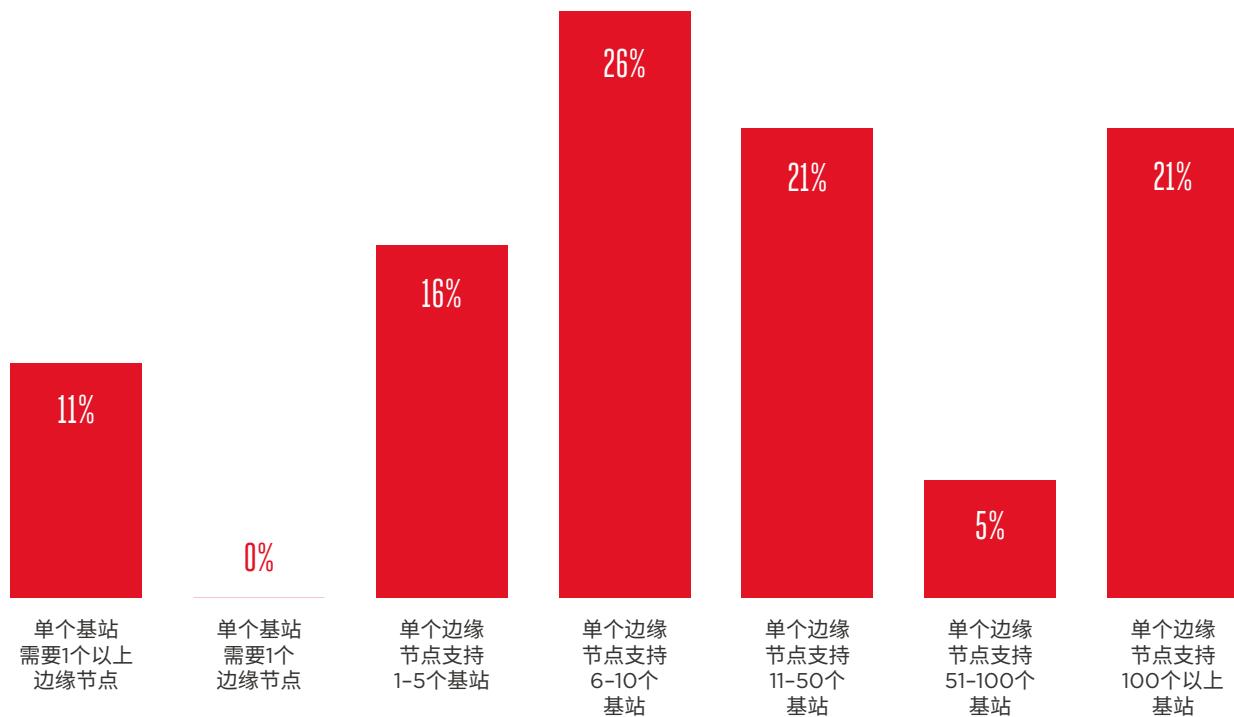
即便在五年的时间内，这种不确定性依然存在，调研结果分布在四个选项中（见图3-14）。近半数的公司期望一个边缘节点支持6到50个基站，表明从长远来看许多边缘节点将部署在靠近基站或汇聚点（基站群）的地方。许多小区/聚集/城市核心站点的物理空间是有限的，为附加设备供电可能较为困难。部分地

区，MEC设备的失窃风险也会更高，因此安全成本可能会上升。从成本角度来看，一个边缘站点支持更多的基站，可以显著降低部署边缘技术的总成本，但是如果分布式边缘云深入到企业内部，边缘节点的数量可能会超过基站的数量。

有一种潜在场景（反映部署成本、应用和业务环境的考虑因素）是一个边缘节点支持有限数量的基站（如少于10个基站）用于智慧园区或类似“封闭”环境的应用，而一个边缘节点支持50个以上（或100个）的基站则可供公共使用。

图3-14

### 中国基站、边缘节点



问题：长远来看（截止2025年），单个边缘节点将支持多少个基站？受访者占比

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 对于中国的边缘计算应用，哪些移动网络功能最重要？

如图3-15所示，大多数移动网络能力对于大量边缘计算应用来说都很重要。这就解释了为什么大多数能力得分都很高，从3.2到4.3不等（等级1~5）。然而，受访公司强调以下能力和服务质量（更普遍地被应用），对于边缘计算应用而言最重要。

- **下行吞吐率**（4.3分）排名高于其他所有能力。在移动网络中，保证下行链路高速率非常重要，特别是对于自动驾驶（L4级和L5级）及其周围的驾驶基础设施、远程驾驶（远程操作）以及媒体和娱乐应用程序（现场电视制作和广播，以及AR/VR提供支持的沉浸式游戏和电子竞技等）。
- **确定性通信**（4.2分）对于自动驾驶、工业和车辆自动化、远程手术和关键任务应用等对时延和可靠性敏感的用例日趋重要。这些应用属于更广泛类别的超高可靠性超低时延通信（URLLC），要求提升上层功能的时间精度和确定性，使时延、丢包率和抖动保持在一定区间内。
- **时延敏感性**（4.2分）对于云/边缘游戏和电子竞技、远程手术、高精度制造、自动驾驶（自动驾驶车辆、远程驾驶）等场景至关重要。然而，有些服务具有时延容忍度（例如，一些与自动驾驶决策无关的联网车辆特性），这意味着实时或近实时数据传输和处理不是特别重要。时延容忍度使服务交付更具灵活性。例如，一旦移动网络系统有足够的资源，就可以在非高峰时间，甚至以固定的间隔（例如每日或每周的特定时间）交付服务。
- **隔离级别**（4.2分）尤其是与网络切片关联，是5G网络的重要性能。对于通过公共网络基础设施在私有网络切片上运行的业务，隔离或成为主要的网络要求。在这种场景下，每个虚拟网络切片都应该与其他网络切片隔离运行。某些边缘计算应用也可能具有特定的安全和隐私要求，例如存储或传输机密数据（个人数据或企业数据）的应用程序。在这些情况下，隔离的网络切片可以最大限度地降低数据外泄的风险，确保受保护（加密和认证）数据的有效传输。隔离对于工业应用案例尤其重要，典型案例可以参照在能源和石油及天然气领域的应用。

图3-15

## 移动网络能力对于中国边缘计算应用至关重要



问题：请根据对中国边缘计算应用的重要性，对以下移动网络能力进行排名。受访者占比和总分。评分范围为1-5分，其中1分代表“极不重要”，5分代表“极为重要”。

\*其他是“一般重要”、“不太重要”、“极不重要”的总和。

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

### 3.5 边缘计算在中国的应用：主要应用场景和初具商用规模时间表

中国的生态系统正在测试各种场景和各垂直行业的边缘技术。但是，更大规模部署边缘计算将取决于对边缘计算能力的实际需求。

5G和边缘计算应用场景似乎是重叠且相互支撑的。事实上，一些边缘计算的主要应用场景将在很大程度上依赖5G，而许多5G应用将独立于边缘计算而发展，因为它们可能不需要边缘能力。大规模使用边缘计算仍然存在不确定性，但我们的调查帮助阐明了中国生态系统内的期望。



## 中国对边缘计算需求最多的场景

边缘计算最适用的场景需至少满足以下一项（或全部）：超低时延（通常小于10毫秒的往返时间），实时计算、渲染和分析的实时处理，大容量数据传输，确定性组网。除了技术要求之外，安全和数据保护也是推动边缘计算的关键因素。

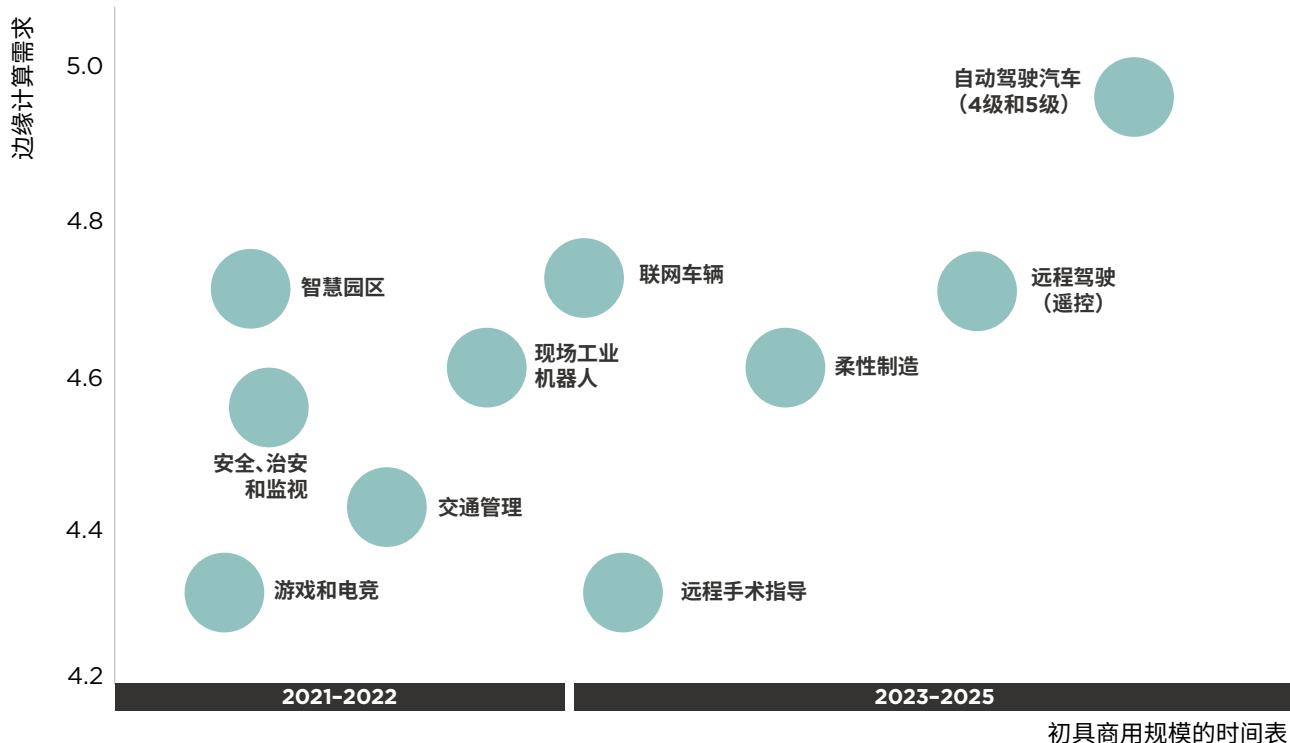
边缘计算缩短了通信节点间的物理距离，显著降低时延，使能实时渲染和分析，并大幅提高带宽。将核心功能置于边缘还可以更高效地传输海量数据，从而减少网络运营支出。然而，对于一些对时延不太敏感的场景，聚合分析比实时分析更重要，或者当高质量数

据传输比海量数据传输更重要时，使用传统的全云化方案更经济有效。

我们邀请了中国企业就10多个行业中近50个潜在的边缘计算应用场景分享他们的观点。图3-16所示为10个对边缘计算需求最大的应用场景（基于中国的生态系统），以及这些应用场景初具商用规模的时间表。排名前十的场景多数来自汽车和制造行业，此外还包括智慧园区，游戏和电子竞技，远程手术指导以及智慧城市的应用。图3-18展示了所有应用的分析结果。

图3-16

### 中国排名前十的边缘计算应用场景



问题：在中国，以下哪些应用案例对边缘计算的需求最大？边缘计算在中国什么时候会实现规模部署？评分范围为1-5分，其中1分代表“不太需要或完全不需要”，5分代表“极度需要”。

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 自动驾驶汽车最需要边缘计算，但要具有商用规模需要一定时间

自动驾驶汽车得分高于其他边缘计算场景，获4.9分（总分1至5分）。4级或5级自动驾驶汽车依靠车载计算机持续处理大量数据并做出自动驾驶决策，如亚秒级决策。基于云的解决方案不支持紧急情况下的实时处理，因此将通过边缘计算和C-V2X技术，增强车载计算机，提供自动驾驶所需的能力，从而实现与更广泛的生态系统的交互（请参见图3-17）。

中国是首批部署C-V2X的国家之一，已启动20多个C-V2X项目。虽然在早期阶段由4G网络支撑C-V2X的试点和发布，但5G将增强C-V2X并支持更大规模部署。然而，仍存在一些待解决的边缘位置相关问题。车辆本身也可作为一个小型边缘节点，但比较昂贵且难以实现规模化部署。由于自动驾驶的汽车只能在预

设或预测试区域内应用，因此大多数讨论都着眼于管制区域内的边缘节点，例如，5G互联的区级边缘计算中心。

自动驾驶汽车是边缘计算的主要场景，但初具商用规模预计将在2023年至2025年实现。4级和5级自动驾驶汽车（自动驾驶出租车、自动公共汽车和自动货车）要实现大规模商业化部署，将面对许多挑战，包括立法和公众认知。<sup>11</sup>中国的交通环境比较复杂，应用时间可能会延缓。除了自动驾驶之外，边缘计算正在车联网背景下进行探索，如车载娱乐设施内容缓存（包括车载AR/VR服务）和智慧城市中的实时交通监控和分析。

图3-17

### 自动驾驶车辆的自动化水平和5G-V2X角色



来源：GSMA移动智库、SAE和NHTSA

11 文档描述了中国最新的自动驾驶立法、要求和发展。

参见链接<https://hsfnotes.com/cav/2019/10/01/china-advances-passenger-carrying-road-tests-of-self-driving-vehicles/>



## 制造业的数字化和自动化为边缘计算提供了一系列应用场景

中国排名前十的边缘计算应用场景中，两项来自制造领域，即现场工业机器人和柔性制造。<sup>12</sup> 这些都是中国工厂数字化转型大趋势的一部分，旨在提高生产效率和质量检测的准确性，并降低工厂运营和管理成本。中国经济高度依赖工业领域发展（占GDP的41%），因此提高生产率至关重要。

高科技制造（工业4.0）向自动化流程的转变，关键依赖于低时延连接，以实现精确阈值和实时分析。5G的理论往返时延标准为低于1毫秒，且网络切片可以有效保障QoS，这对工厂而言具有吸引力。为了实现该时

延标准，边缘计算基础架构的服务器应部署在工厂附近（工厂内最佳）。此外，工厂中应用各种设备（摄像头、机器人、机器和传感器等），大多数设备需要相互协同。在边缘场景中，工厂设备收集的数据通过无线网络传输到边缘平台，边缘平台与工厂管理系统对接。

最终目标是建立自动化工厂。长盈精密技术公司作为一家中国手机厂商，为这种目标提供了早期模板，其90%的生产线已实现自动化机器人操作。

## 2021年至2022年游戏和电竞将成为首批初具商用规模的边缘计算应用场景

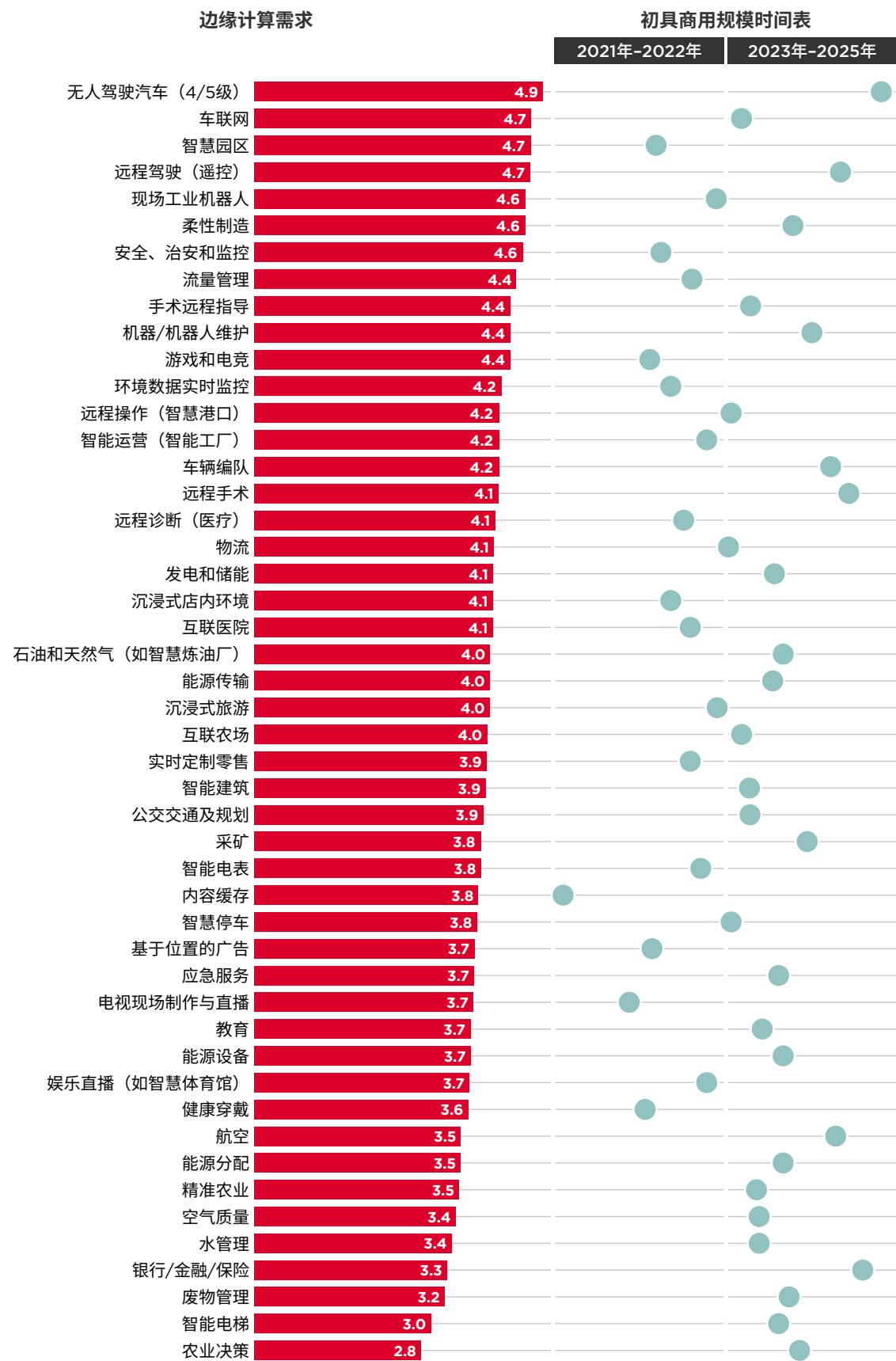
企业调研发现，对边缘计算相关消费者的两大增益是通过AR/VR增强了游戏体验（4.5分，总分1至5分），带来了更强大、更丰富的电子竞技能力（4.2分）。随着游戏和电子竞技的沉浸性、交互性和数据密集性提升，对边缘计算的需求来自三方面：超低时延降低延迟，实时处理使能实时内容，以及更接近用户位置的海量处理数据。

沉浸式游戏具有实时性，最佳的用户体验需要5G和边缘负载带来的低时延。云功能对于一些更具沉浸性的应用来说也许传输距离长、延时久，从空间和设计的角度来看，在设备中放置所有的计算能力也是不可行的。此外，如果将大部分计算任务分流到边缘，VR/AR设备无需要求很高的质量。考虑到所涉及的内容，在边缘存储内容也可提高回传效率。

<sup>12</sup> 现场工业机器人包括自动或半自动机器人，执行高精度日常操作（制造、仓储、存量跟踪）。柔性制造涉及一系列特性，如机器和机器人虚拟控制，远程实时或近实时制造，简单配置控制网络，和实时编排和远程控制。

图3-18

## 中国边缘计算的潜在场景



问题：在中国，以下哪个场景对边缘计算的需求最大？中国边缘计算什么时候实现规模商业部署？评分范围为1-5分，其中1分代表“不太需要或完全不需要”，5分代表“极度需要”。

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》





# 媒体与娱乐

通信运营商

边缘计算解决方案示例

智慧旅游

中国移动

2019年9月，中国移动、CAS-VISION和华为联合推出5G MEC+科技文旅商用项目，打造技术与文化融合的新型旅游模式。

该项目是中国移动探索5G和MEC技术在文化旅游领域应用的一部分。“奇幻光影森林”项目采用5G网络技术和华为鲲鹏（基于ARM服务器CPU）计算平台运行。通过鲲鹏与传感器实时交互，实现灯光效果与虚拟场景的实时融合。移动网络取代固定网络，使能实时数据传输，加快行动速度，保障数据安全可靠。

云/边缘游戏、体育赛事

中国联通

中国联通已在上海和广东部署了云游戏解决方案，将MEC边缘业务平台部署在移动网络边缘，更贴近终端，并将分布式服务器连接到5G MEC边缘云平台。

终端（智能手机或游戏设备）通过gNodeB或5G NR访问MEC边缘服务平台上的本地应用程序内容。视频转码，图形计算和云游戏渲染等功能在本地运行。业务流无需经过核心网并在云端处理。主要优势为降低时延，提升视频体验，且消除了下载和更新大型游戏安装包的需要。

中国移动

2019年8月，中兴通讯与中国移动山西分公司通过基于MEC的集成5G Live TV解决方案，联合直播了第二届全国青年运动会。本次直播的端到端时延控制在1秒内，为场外观众带来实时比赛体验。这是未来如何联合5G、MEC和8K/VR/AR视频技术，现场直播体育赛事的示例。

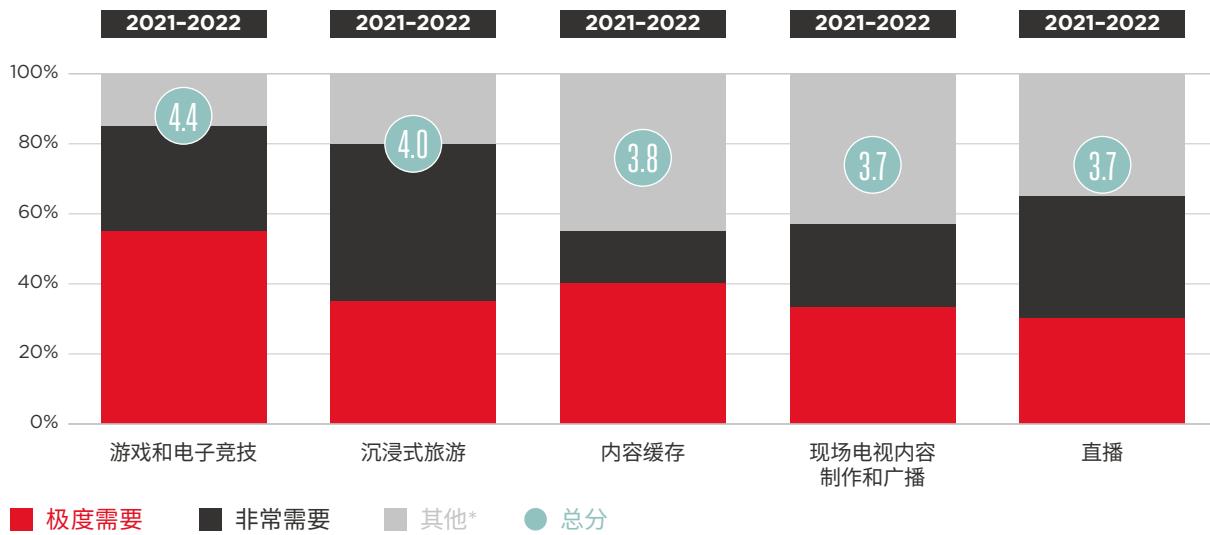
2017年，中国移动北京分公司与华为宣布，将在北京南站启动基于MEC的智慧场馆试点项目。中国移动可以将特定的视频内容源集成到智慧场馆的边缘网关中。



# 媒体与娱乐

## 调研结果

### 媒体和娱乐



**初具商用规模时间**

问题：在中国，以下哪个场景对边缘计算的需求最大？中国边缘计算什么时候实现大规模部署？受访者占比和总分。评分范围为1-5分，其中1分代表“不太需要”或“完全不需要”，5分代表“极度需要”。\*其他是“一般需要”、“不太需要”、“完全不需要”的总和。

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》



# 制造业与港口

## 运营商

### 边缘计算解决方案示例

#### 智能制造

##### 中国电信

2019年10月，中国电信浙江分公司联合中兴通讯为Bluetron推出5G切片制造解决方案。通过一个5G独立站点用于试验5G网络切片，边缘计算和智能制造解决方案，助力电子制造商Bluetron建立新的5G智能工厂。通过切片和边缘技术（如生产线上部署的工业摄像机、边缘计算网关等），降低视频数据传输的时延、抖动和丢包率，保证视频传输的带宽和质量，提高视频分析结果的准确性和实时性。

##### 中国移动

2019年6月，爱立信和中国移动通过5G独立组网展示了AGV原型机，如AGV如何通过5G网络帮助产品测试自动化。AGV应用系统部署在边缘云。边缘计算的转发平面，用于本地引流。AGV应用程序可以利用边缘云的强大计算能力来对测试数据进行深度分析，提高效率并集成来自其他制造系统的数据。

#### 中国移动

GSMA、中国移动、华为、汇萃视觉、和海尔等公司完成了将边缘计算、5G网络和机器视觉部署到制造环境中的概念验证。

华为与中国移动在海尔工厂内部实现连接5G的MEC架构，以最低的时延实现了大量图像处理，从而确保生产线无延迟。边缘服务器用于承载来自汇萃视觉的机器视觉应用，所有数据处理均在生产设施内进行。

华为MEC平台（MEP）能够动态地分配和调整可用资源，使机器视觉应用能够始终以最高效率运行，并有效管理服务器上的数据处理工作量。此外，MEP还可以将数据分析报告发送给最终用户进行跟踪。5G支持用户面和控制面分离，实现高效MEC部署。在此场景中，5G网络功能可以下移到生产线，从而降低时延，提高数据包交付的可靠性。

在概念验证的整个过程中已记录了许多优势，包括缩短实施时间，减少所需的空间和资源（相比存量解决方案）以及改善产品质量监控。

#### 智慧港口

##### 中国联通

中国联通在福州江阴港、青岛港、天津港等地建设智慧自动化港口。这包括使用MEC和移动网络来部署全连接、低时延、大带宽网络。

MEC平台直接部署在港口，大幅降低网络传输时延。该解决方案还通过自动视频分析，集装箱自动调度，安防等应用，为桥梁、集装箱和运输车辆提供高清视频监控。

在生产环境中，可通过远程操作起重机运送集装箱，为港口提供智慧服务，试验控制在毫秒级以实现工业操控。MEC充分集成各种港口运输要素，协同港口应用，提升港口的运营效率、用户体验、以及数据安全。

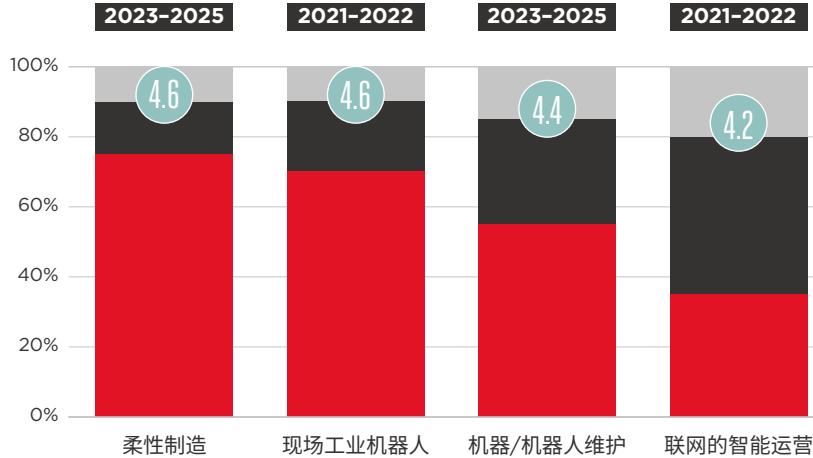




# 制造业与港口

## 调研结果

### 制造业



### 港口



■ 极度需要 ■ 非常需要 ■ 其他\* ● 总分  
初具商用规模时间

问题：在中国，以下哪个场景对边缘计算的需求最大？中国边缘计算什么时候实现大规模部署？受访者占比和总分。总分从1到5，其中1为“不太需要”或“完全不需要”和5为“极度需要”。\*其他是“一般需要”、“不太需要”、“完全不需要”的总和。

数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》





# 汽车

## 运营商

### 边缘计算解决方案示例

#### 自动驾驶

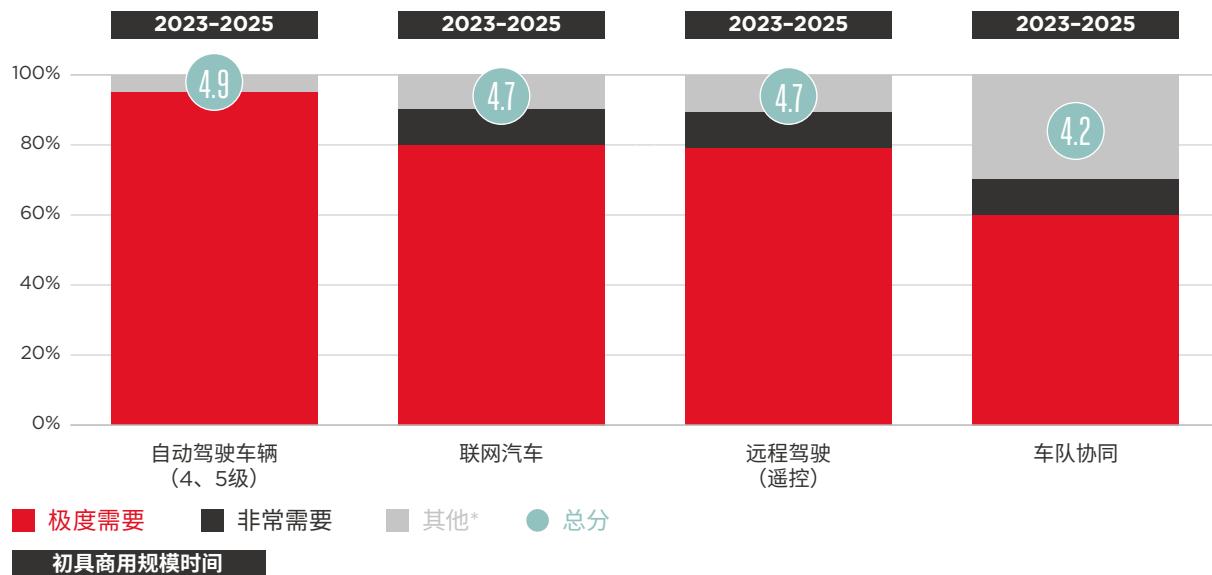
##### 中国联通

2018年，中国联通与吉利汽车在浙江省签署合作协议，通过专线集成中国联通的MEC和4G/5G网络与吉利汽车的私有云平台，推动无人驾驶和一系列车辆分析功能。

该解决方案支持高速实时上传车辆监控视频和驾驶动态，帮助汽车制造商准确分析和掌握汽车关键部件的运行状态以及驾驶行为，并高速实时推送动态高清地图和导航信息，为驾驶员提供精准的驾驶辅助。

#### 调研结果

##### 汽车



问题：在中国，以下哪些场景对边缘计算的需求最大？中国边缘计算什么时候实现大规模部署？受访者占比和总分。总分从1到5，其中1为“不太需要”或“完全不需要”和5为“极度需要”。\*其他是“一般需要”、“不太需要”、“完全不需要”的总和。

资料来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》



# 其他行业

## 运营商

### 边缘计算解决方案示例

#### 石油和天然气

##### 中国电信

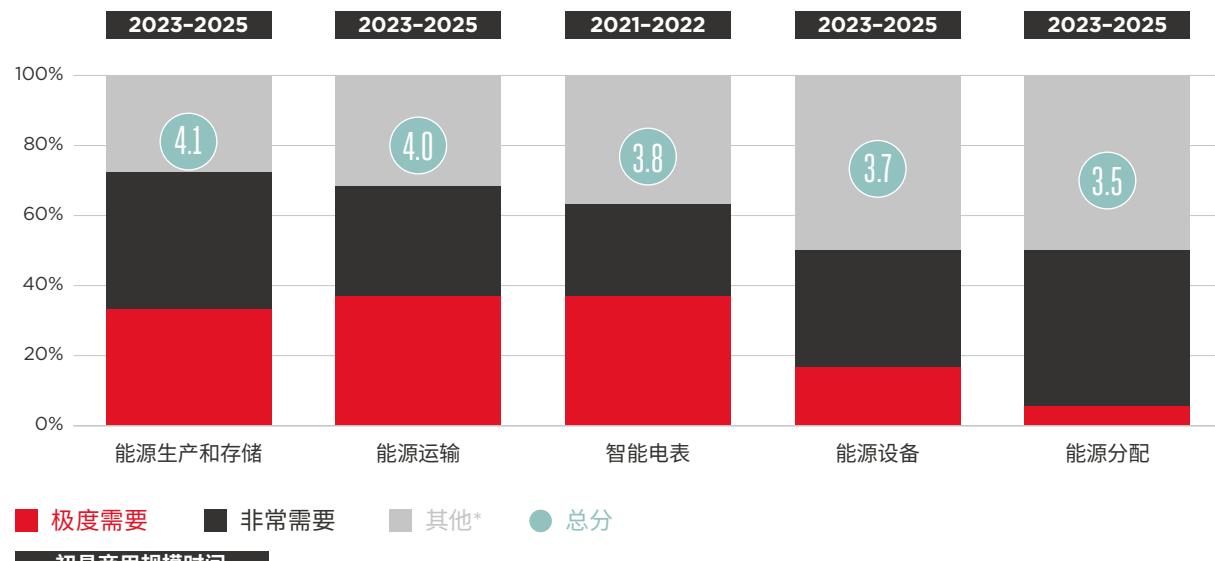
中国电信正在携手镇海炼化公司 (ZRCC) (中国最大的综合能源和化工公司之一，中国石油化工股份有限公司的子公司)，建立MEC网络。这也是打造宁波智慧炼油厂大型项目的一部分。

中国电信MEC网络将以华为的云/边缘技术为基础，采用云原生架构，将网络功能和第三

方应用置于网络边缘，使应用和内容处理更贴近用户。中国电信计划采用华为技术开展视频监控、移动办公、现场数据采集和传输等业务。MEC网络建成后，镇海炼化公司的注册用户即可同时访问企业专网和公网。项目第一阶段采用4G+MEC构建虚拟专网。第二阶段考虑集成4G和5G，其中4G在初始阶段是主要载体，而5G是热点的补充。

## 调研结果

### 能源



问题：在中国，以下哪些应用案例对边缘计算的需求最大？边缘计算在中国什么时候会实现规模部署？受访者占比和总分。总分从1到5，其中1为“不太需要”或“完全不需要”和5为“极度需要”。\*其他是指“需求一般”、“需要小”和“需要很小或完全没需求”的总和。

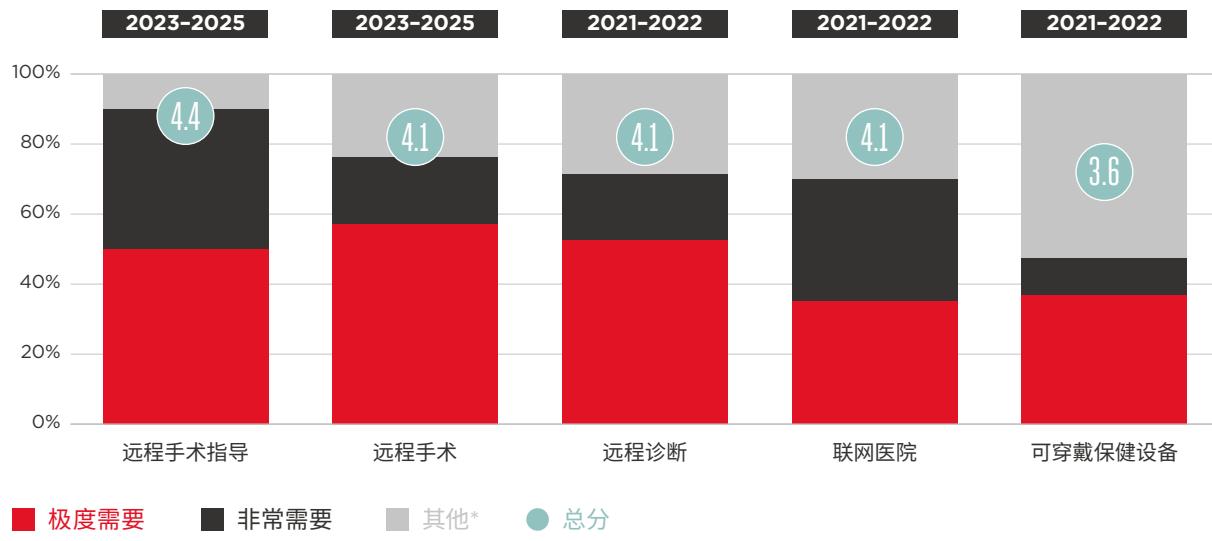
数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》



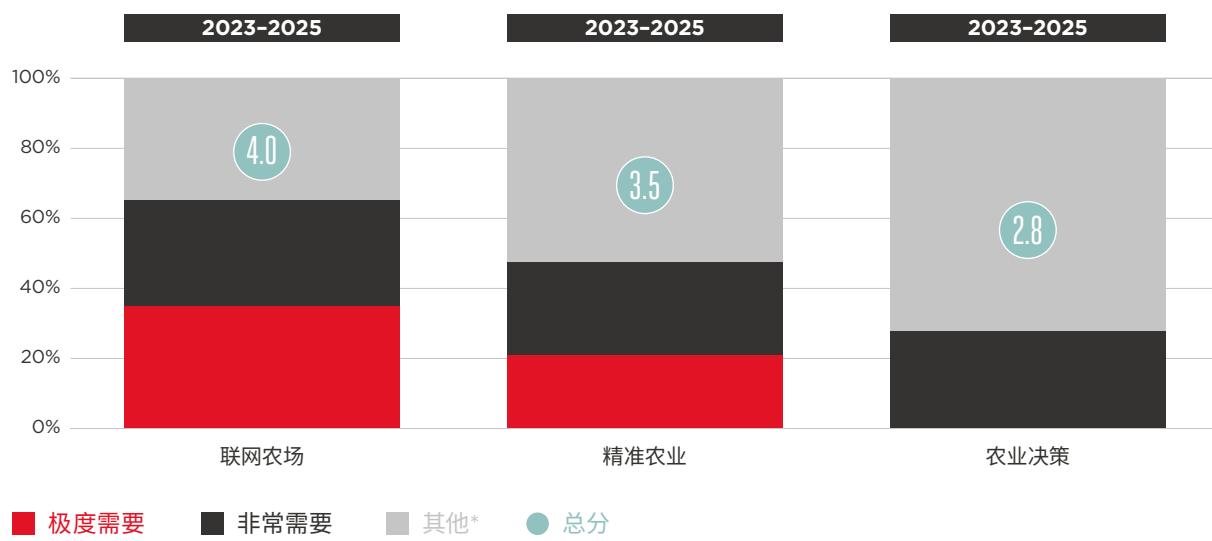
# 其他行业

## 调研结果

### 医疗



### 农业



问题：在中国，以下哪些应用案例对边缘计算的需求最大？边缘计算在中国什么时候会实现规模部署？受访者占比和总分。总分从1到5，其中1为“不需要”或“完全不需要”和5为“极度需要”。\*其他是指“需求一般”、“需要小”和“需要很小或完全没需求”的总和。

数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》



## 3.6 中国边缘计算生态面临的机遇和挑战

从试验和初步部署的速度来看，很多中国公司正在探索边缘计算早期商机。然而，不同类别的公司会从不同的角度来看待边缘计算的机遇和挑战。

### 按公司类型划分的机遇和挑战

#### 主要云服务提供商：阿里巴巴、腾讯和百度

对于主要云提供商来说，边缘技术非常适合用于延伸其云能力和产品，以便为一些场景提供服务。这些场景要求存储、计算和网络更靠近产生或处理数据的设备。三家云公司均具备商用的边缘计算平台（阿里巴巴ENS、百度OpenEdge和腾讯TSEC），其中阿里云已在全国30个省份成功部署300多个边缘计算节点。各大云提供商在着手边缘计算之前，已经与中国各行业的企业有过合作，积累了经验和丰富的云资源。然而，边缘计算生态圈越来越多地以5G作为建设基础，对云公司提出了新的挑战，并将这些公司带入一个涉及更大规模移动连接和设备的分布式计算新世界。

从技术角度来看，云-边协同是新挑战之一。云提供商需要加入去中心化的生态圈，而这种生态圈为分布式存储/处理和更加本地化的数据访问提供动力。云-边高度协同才能将云处理扩展到不同的边缘站点，这对云提供商为终端用户提供无缝体验的能力提出了挑战。

这种云-边协同对于远程手术、高精制造、自动驾驶等依赖实时数据处理和决策的应用来说极为重要。因此，云提供商需要与边缘基础设施提供商和运营商密切合作，构建集成的云-边-网接口，确保为企业提供一致的服务质量。在某些场景下，可以选择将提供商的设备放在一个地方，或将应用托管在电信运营商的云-边-网基础设施中。

#### 主要网络设备供应商：爱立信、华为、诺基亚和中兴

对中国电信市场的龙头设备商而言，边缘计算为提高他们在5G生态圈的市场地位提供了新的机会，为未来网络架构增添了额外一层技术。随着边缘计算、AI等新技术融入核心和接入网络的规模和复杂度不断提升，对于希望将边缘计算以更大规模融入到网络转型路线图的中国运营商而言，愈发需要把设备商视作其合作伙伴。

爱立信、华为、诺基亚和中兴正与中国运营商、云公司、应用开发商等密切合作，推动边缘计算在各垂直行业的部署。设备商面临的挑战是，不仅要设计出真正无缝、端到端且适用所有云和边缘场景的网络转型解决方案，而且要发展出更大规模的B2B2B（设备商-运营商-企业）新模式，助力ICT行业与垂直行业的合作。



## 运营商：中国移动、中国联通和中国电信

由于拥有优质网络和平台资源以及部署5G网络的决心，中国运营商是探讨边缘计算的核心参与者。在很大程度上，从云到边缘的部分算力迁移可以被视为以运营商为中心的技术转变。如果对生态系统的期待得以实现，中国三大运营商将部署和管理最大数量的边缘硬件，并承担绝大多数边缘工作量，那么运营商将有机会在边缘价值链中发挥越来越大的作用。边缘计算还非常契合正在实施的网络云化战略，让中国运营商在云市场中的地位得以增强。以中国移动为例，其目标是在三年内成为中国一流的云服务提供商。

找到合适的边缘计算商业模式，是中国运营商面临的最大挑战之一。下一章节会就这项挑战以及边缘部署和收入模型所要考虑的因素进行讨论。

## 其他边缘计算玩家：小型网络设备商、云和边缘专业公司、初创企业和开发者

对于许多正处于边缘价值链中的其他中国公司而言，通过为特定场景提供所需的边缘技术（硬件、软件），甚至提供新的服务模式，边缘计算可以给这些公司带来新的机遇，让他们能和省市级中小企业以及国内运营商进行合作。尽管那些完全专注于计算（边缘、云或二者兼具）的企业具备更好的敏捷度和创新性，但对他们而言，提供端到端的解决方案可能依然是一项挑战。未来五年，这些企业成功与否，很大程度上取决于他们在边缘计算上开发的速度和规模。

边缘计算为开发者带来了新的机遇和挑战。机遇，不仅在于开发标准边缘API（即MEC API）上运行的新应用程序，还在于开发与端和云协同的定制应用程序。与设计在中心化架构上运行的传统编程模型相比，边缘计算需要转向能兼容多种系统的新工具和编程语言。与传统的、完全基于云的开发相比，边缘计算的开发可能会更复杂，因为开发者需要处理新的边缘参数、设备类型和网络需求。

---

## 新收入与运营效率的对比

中国关于边缘技术的思考中，新收入占据主导，近90%的受访公司将边缘计算视为5G时代创造增量收入的机会（图3-19）。大多数公司期望通过提供边缘计算所需的边缘技术（硬件、软件和平台），向终端用户提供边缘服务和应用程序来产生新的收入。边缘计算除了对新收入有直接贡献外，它对传统核心业务而言，无论是云还是电信，都有间接益处。技术生态系统正在不断发展，通过构建可运用的新技术能力，提供更广泛的服务，有助于强化市场竞争力。

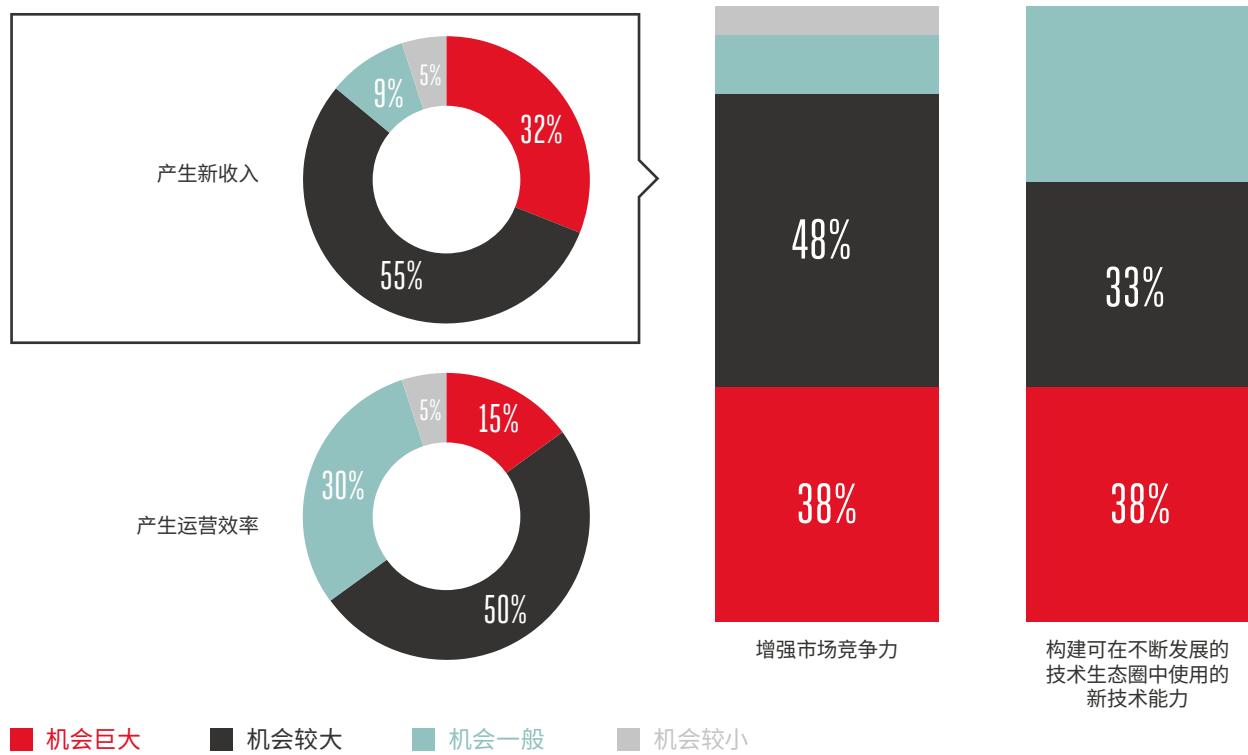
边缘计算作为创造运营效率的工具似乎机会不大，但只是相对而言。有创造新收入的希望通常是所有新技术存在的理由，这并不意外。然而，三分之二的受访

公司也期待边缘计算能在运营效率提升上创造价值。

对中国运营商而言，网络资本支出和网络运营成本是最大的单项现金支出源，约占总收入的45%（三家运营商合计）。其中，约20%是资本支出，约25%是运营成本。因此，部署边缘来辅助优化网络运营并以经济有效的方式提供服务，与实施增加收入的新举措一样重要。一个明显的基本原理就是要提升网络成本效率。随着物联网和5G时代流量负载的增加，可在边缘处理的数据量越大，到中心云服务器的传输成本越低。实际上，这不是二选一的问题，增量价值将同时来自新收入和运营效率。

图3-19

### 中国边缘计算机会：新收入与运营效率的对比



问题：贵公司可在中国移动网络有关边缘计算获得的主要机会有哪些？  
受访者占比

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

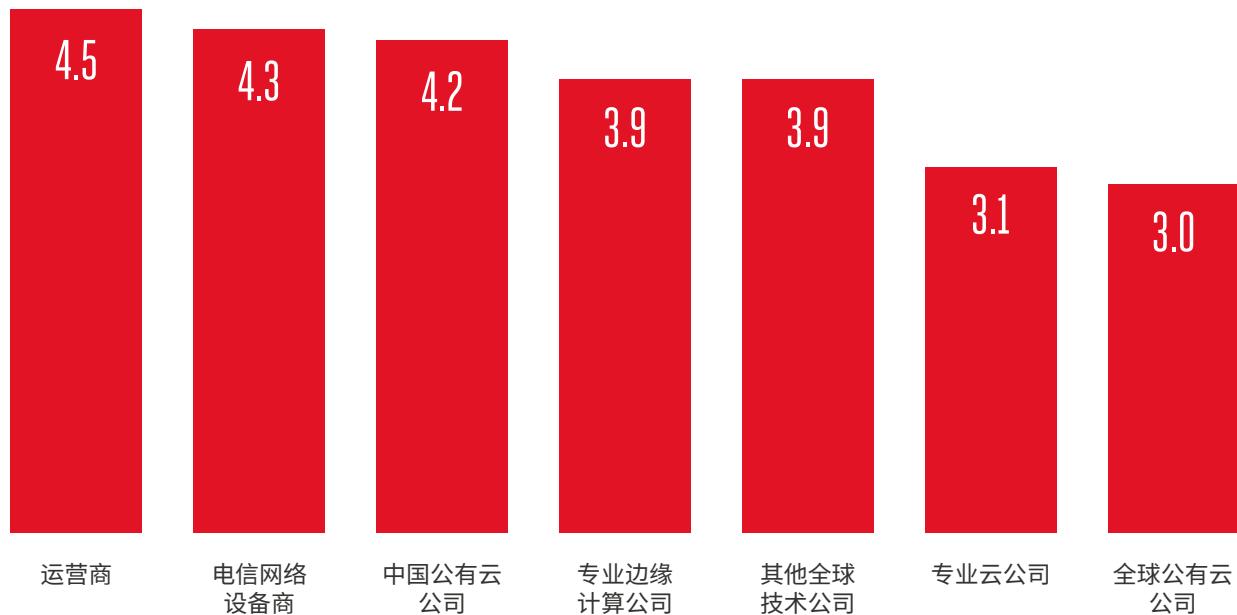
## 中国边缘计算创收：谁受益，何时受益？

中国边缘业界有着广泛共识，那就是许多业内人士能在新生的边缘计算收入中分一杯羹，而运营商、网络

设备商和公有云公司将站在最前列。不过一致认为，利用边缘产生大规模收入仍需要时间。

图3-20

### 中国边缘计算相关收入机会



问题：长期来看，谁能获得中国边缘计算最高占比的收入？综合得分，评分范围为1-5分。

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

要把中国边缘计算相关的长期收益机会按大小进行排列是很困难的。该技术仍处于早期阶段，围绕应用和商业模式存在一系列开放式问题。另外，关于边缘计算收入，主要有两方面的考虑——其中一方面是边缘计算基础设施的初始部署（大部分是一次性组件加维护），另一方面则是边缘平台所交付的相关边缘服务，如分析、安全和存储（经常性收入来源）。

通过对对中国云计算市场<sup>13</sup> 规模以及受访公司分享的观点和数据进行深层次分析后显示，到2025年，中国边缘计算产业年收入规模可能达到70-130亿人民币（10-20亿美元），不到云计算收入的5%。从长远来看，其中一家受访公司认为在最佳情形下，边缘计算产生的

年收入将达到云计算年收入的30%。假设这种情景在15-20年后实现，可以推测边缘收入将在21世纪30年代初达到400-500亿人民币（60-70亿美元）。

还有一个问题，边缘计算到底是增量，还是云的替代品？鉴于边缘计算是为了在边缘支持新应用，至少在起初五年内，它最有可能成为一种补充，并且替代作用仅限于几个领域。云计算（公有云和私有云）侧重于非实时、周期长的大数据分析，而边缘计算侧重于实时、周期短的数据分析。

也很难预测中国运营商能够在这一潜在边缘收入（即21世纪30年代初达到400-500亿人民币或60-70亿美

<sup>13</sup> 中国信息通信研究院（CAICT）发布的白皮书显示，从2018年到2022年，中国的云计算收入将从960亿人民币（140亿美元）增长到2900亿人民币（420亿美元）。公有云将成为增长的主要驱动力，预计将在2022年达到1730亿人民币（250亿美元），增长4倍。私有云的增长相比较慢，预计将在2022年达到1170亿人民币（170亿美元），增长2倍。

元的预计）中占多少比例。在云市场，中国运营商整体收入占比可能达到10%左右（其中中国电信占比最大）。由于边缘计算生态圈将主要以5G为中心，运营

商在新生边缘收入中扮演着重要角色，其占比可能会高于10%。

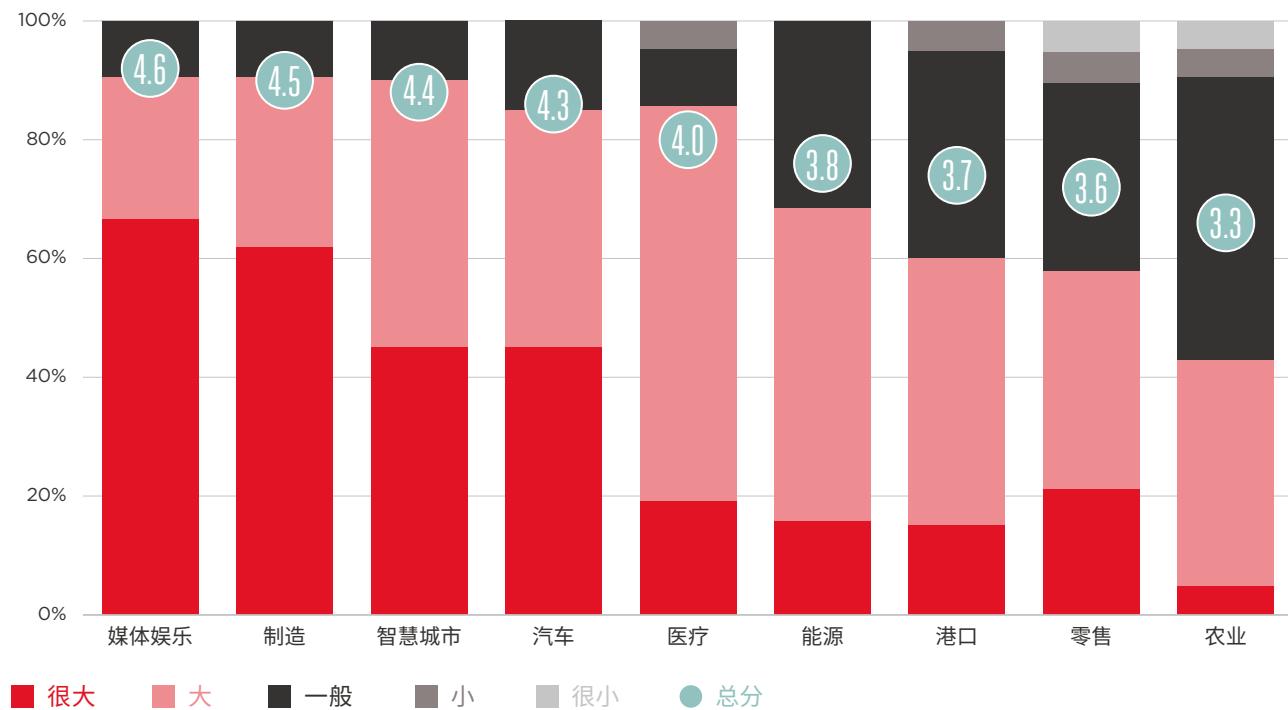
## 按行业细分收入机会

中国业界将媒体娱乐业和制造业排在边缘应用的前两位，智慧城市产业和汽车业紧随其后（图3-21）。这可能反映了一系列行业特定因素或宏观经济因素，这些因素将成为边缘计算部署的基本驱动力（例如5G网络覆盖和应用以及工业物联网的增长）或行业数字化转型势头扩大的标志。

中国政府踌躇满志，立志要在新技术和工业4.0时代中领跑全球，这对边缘计算的发展同样起到了至关重要的作用：在“中国制造2025”战略规划中，制造业和汽车业是关键行业。产业联盟的出现，促进了跨领域合作，形成另一种驱动力。值得一提的产业联盟有边缘计算产业联盟（ECC）、5G汽车协会（5GAA）和工业互联网产业联盟（AII）。

图3-21

### 中国边缘计算相关收入机会



问题：以下哪个行业为中国边缘计算提供了最大的收入机会？受访者占比和总分。评分范围为1-5分，1为“收入机会很小”，5为“收入机会很大”

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 在中国实现边缘计算落地的主要障碍

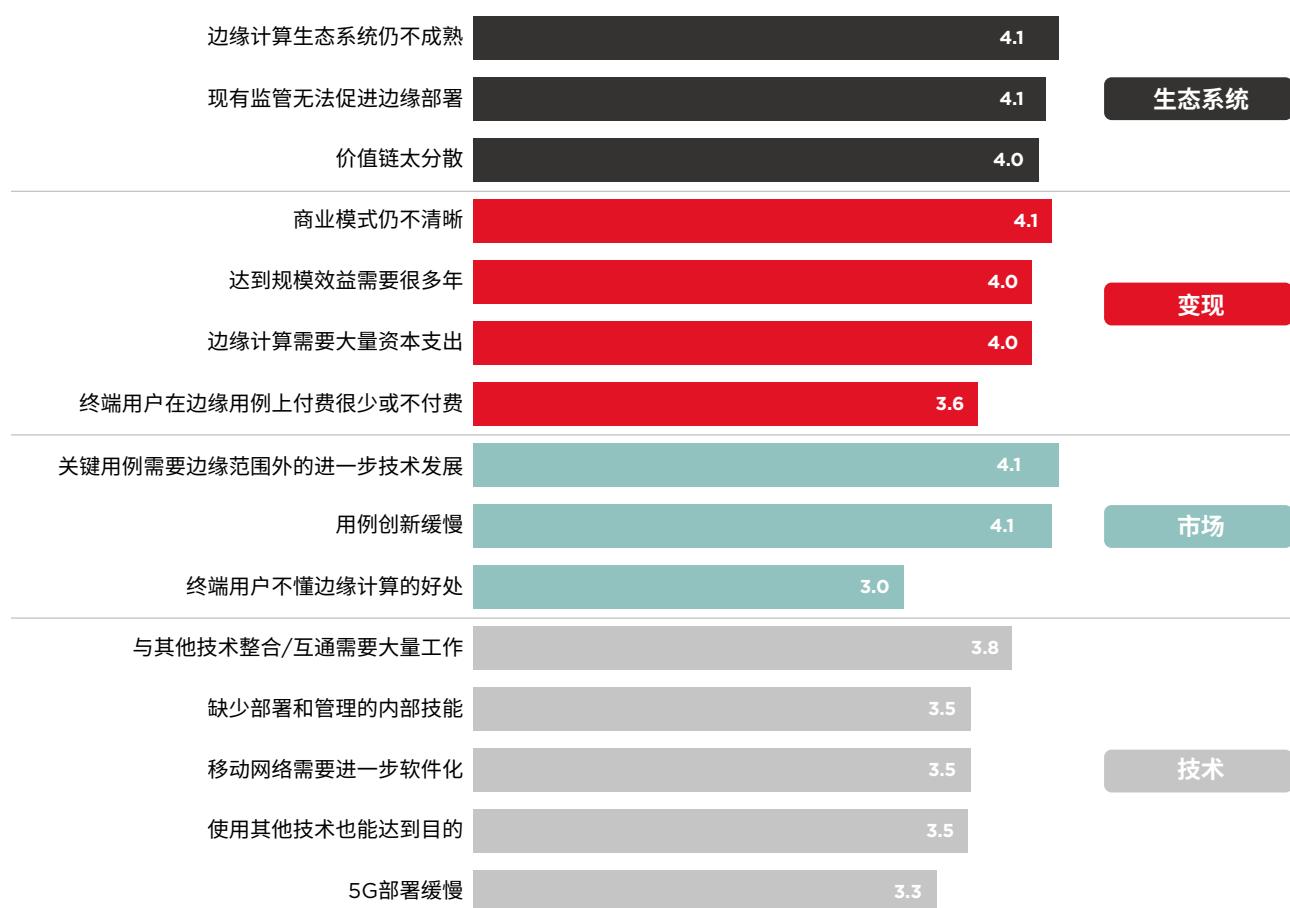
正如其他新兴技术，中国业界自然会将边缘计算生态系统的不成熟性视为最大的障碍之一（见图3-22）。边缘计算技术仍处于早期阶段，边缘计算利益相关方正在从第一波试验中学习，许多应用也仍在探索研究中。价值链也是分散的，不同类别的利益相关方针对边缘技术有不同的战略和路线图。将ICT行业与垂直行业连接起来需要时间，特别是能源和医疗等监管严格的企业。

变现和商业模式的不确定性是另一个关键障碍。边缘计算为5G时代增加了额外的网络投资，未来5年甚至更长时间内将有可能迎来收入规模性增长。

边缘计算相关应用的市场接受度还将取决于一些关键应用场景（如自动驾驶和沉浸式现实）的技术发展。车辆自动驾驶从第3级到第4级的缓慢发展或缺乏专门为AR、VR设计的商业化可用内容是明显拖慢边缘计算部署的因素。从技术角度来看，存在一系列障碍和开放式问题，但总体而言，与变现和生态系统/市场发展有关的障碍相比，这些障碍得分更低。这表明，业界普遍有信心利用现有的技术和人工技能，推动与其他技术的融合，同时，这其实也是中国更广泛生态推动5G网络作为边缘计算赋能技术和驱动因素的结果。

图3-22

### 在中国的移动网络中扩展边缘计算规模商用的障碍



问题：对于在中国的移动网络中扩展边缘计算规模商用，以上因素造成的障碍达到了什么程度？评分范围为1-5分，1为“障碍很小”，5为“障碍很大”

来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

## 3.7 中国运营商边缘计算的商业模式

对中国三大运营商而言，边缘计算商机主要来自企业和行业的数字化趋势逐渐扩大。

在很大程度上，边缘计算的商机可被视为更广阔的5G垂直行业市场机遇的子集，而5G在边缘计算应用中扮演着使能者和驱动者的双重角色。从实践角度来看，中国运营商为此不仅需要部署高速、低时延的5G网络，还需要部署一些服务5G时代相关应用所需的边缘计算技术。在某些商机中，可能需要在企业内部署本地边缘硬件以便实现定制化应用（如智能工厂、智慧园区及智慧港口），而在其他情况下，可能需要从更接近中心区域的边缘节点交付企业特定的服务和应用程序（如沉浸式游戏、智慧城市和自动驾驶）。

从收入角度来看，企业市场对中国运营商来说并不陌生。然而，迄今为止，运营商主要致力于为企业提供固定和移动连接，并辅以一系列管理服务和ICT解决方案。中国移动称其占运营商企业市场近40%的份额（2018年数据），而其企业收入占其业务总收入的12%，但大部分企业收入来自语音和数据流量。中国市场近期趋势表明，企业连接收入增长缓慢，新业务产生的收入仍然过低，不足以影响运营商整体财务状况。

展望未来10年，中国运营商需要一个新的企业市场增

长点。5G为各行业和各企业实施更大规模的数字化转型提供了契机，从而扩展业务边界，不再局限于连接业务。这就涉及提供优质的基础设施，如边缘计算和网络切片，以及连接业务以外的其他新业务，新的挑战应运而生。首先，对于中国运营商来说，连接业务以外的企业业务是一个相对较新的市场，因此，部署好用于全面服务企业的各种能力（5G独立网络、网络切片、边缘计算、频谱）需要时间。一些更有前景的边缘计算应用，如自动驾驶和智能制造，在连接业务和平台范围外也需要更成熟的技术。

其次，对于寻求提高自身运营及服务数字化比例的中国企业而言，边缘计算将ICT领域中基于基础设施的两大产业（云计算和电信）推上了竞争的舞台。提供定制的网络功能是服务不同垂直行业关键所在，但阿里巴巴、腾讯、百度和其他云厂商正在瞄准同一个商机。中国三大运营商的云市场规模小于阿里巴巴和腾讯，因此从云、边缘和核心电信网络（移动及固定）的融合中提炼出新的应用场景更有前景。网络切片通过为特定企业客户（如智慧工厂或智慧港口）保留已定义的网络容量切片从而提供更多可能性。中国已经有此类措施的先例。将5G网络本身开放给第三方开发者则是另一个商机，目的是在网络边缘催生5G业务开发的生态系统。

### 边缘计算将分阶段部署

中国运营商的边缘部署可能会分为三个阶段进行，反映了5G网络的逐步部署情况、行业和企业数字化转型

速度以及边缘计算成熟度。



## 第一波（2018年-2020年）：试验及小规模定制部署

中国移动、中国电信和中国联通在2018-2019年进行了大量边缘计算试验，为进一步商用打下重要基础。2020年各行业边缘计算部署验证增多，部分测试转为小规模部署。在这个阶段，边缘计算的部署大多是私有及定制化应用，专门设计用于满足企业需求，如智慧港口、智慧园区或智能工厂，而且边缘技术主要在本地部署。像现场直播（智慧体育场）这类公共应用的测试验证及示范也会出现在这一阶段，不过规模有限。

市场教育是这个阶段的关键所在。这不仅要用一种中国企业可理解的技术语言解释边缘计算的优势，而且要阐述边缘计算的部署是如何令一些公司受益，例如边缘计算可解决一些技术痛点。边缘计算的有用性不是既定的，而是在每个应用场景下才能得以彰显。从网络角度来看，中国运营商需要把5G作为边缘计算应用的主导接入技术，展示5G相比固定网络（Wi-Fi 6）等替代技术的诸多优势。

## 第二波（2021年-2023年）：初具商用规模阶段

在这个阶段，5G网络的普及程度越来越高（预计截止2023年底，5G网络覆盖率超过60%的人口），第一阶段的私有边缘计算设施部署开始在更大规模上产生效益。除了本地定制的边缘计算应用之外，自动驾驶、

体育赛事和游戏等公共应用也将进行更多探索，边缘计算基础设施部署在区域或城市，靠近基站或汇聚基站。在这个阶段边缘计算应用程序的成本较高，因为要在分散计算负载的可用租户较少的情况下运营大量微型数据中心。

## 第三波（2024年及以后）：成为主流

到2025年末，中国5G人口覆盖率预计将超过70%。5G技术的成熟、5G设备成本的降低、移动产业与企业的良好合作将推动扩大边缘计算部署规模。随着5G基站数量增加，可以更广泛地部署边缘计算，并且可以越来越多地用于公共边缘计算应用场景。

自动驾驶（自动驾驶从3级跃升至4级）和智能制造（AI赋能场景）的进一步技术发展会创造更有利的环境以及对边缘部署的需求。例如，当自动驾驶车辆作为一种新型移动即服务模型（位于预定义驾驶区域内的自动驾驶出租车）兴起时，部署和使用边缘计算的商机显著增加。

在这个阶段，随着规模的扩大，边缘计算的经济性得到提升，为了提高效率而进行升级（如纳米处理），并且市场接受度也有所提高。尽管中国运营商比云厂商拥有更多的网络资源，但由于边缘站点部署数量大幅增加，他们也面临着挑战，那就是如何在保证应用不断发展和终端用户应用程序可用性的同时，确保低成本上线（如自主维护和能耗成本）。

图3-23

## 中国运营商边缘计算部署的三个阶段



来源：GSMA智库

## 边缘计算收入模式仍在制定中

在边缘计算发展早期，很少有（即使有也很少披露）运营商边缘计算业务定价和收入分成模式。这里我们通过一个增量路径来考察中国运营商面临的三种可能场景：

**仅提供连接**——在此场景下，运营商不参与边缘计算基础设施部署（即云、边缘计算服务公司和/或电信网络供应商为特定边缘计算应用构建基础设施），运营商仍然有机会提供边缘计算应用所需的连接，以及一些可能需要的设备。对于这些中国运营商来说，这是一个低收入场景，他们在整个边缘计算业务收入商机中所占份额相对较低。连接费用可以按设备、数据使用量或两者的组合进行收取。在所有场景下，连接收入都是基准线，因为中国其他大多数边缘计算业务利益相关方没有能力（或意愿）在边缘计算价值链的连接层面上进行运营。

**提供边缘计算部署、连接和服务**——在此场景下，中国运营商部署和管理特定应用所需的边缘计算基础设施（自行部署和管理或与其他云提供商和/或电信网络供应商合作），并提供所需的连接、设备和IT服务（存储和维护）。这里的收入模型包括与边缘计算部署相关的一次性费用（可能通过“成本加利润”的方法确定）外加服务费用。由于边缘计算的前期成本可

能很高，因此定价可能高于云计算。也可以选择向其他公司提供边缘托管和共址服务，这是一些国际运营商正在采取的做法。

**全栈：边缘计算部署、连接、服务和平台**——中国运营商可以向价值链上游延伸，采用全栈模式。这是一种全方位服务，不仅提供配套设备和连接服务，更重要的是，还提供平台。拥有领先的平台意味着中国运营商可以向第三方提供边缘IaaS和边缘PaaS解决方案。连接可收取费用，也可作为更大服务包的一部分进行提供，这种场景下，中国运营商成为管理其客户边缘计算基础设施相关运营的综合合作伙伴。

价值更高的举措可包括提供免费连接，并以服务打包费名义对访问边缘计算平台进行数据管理和分析的操作进行收费。这种端到端模型涉及运营商对所有数据传输和分析的处理。例如，在汽车市场，运营商可以与第三方（如汽车制造商或车辆信息服务提供商）合作，基于边缘计算开发车联网平台和B2B协议，分享平台交付的部分服务（如数据分析、安全和车载信息服务）。这是边缘计算价值最高的领域，也是竞争最激烈的领域，中国许多云公司和企业级软件即服务公司都瞄准了这同一个商机。



## 3.8 物联网边缘计算：为数字化添砖加瓦

中国拥有全球最发达的物联网生态系统，连接数量和企业部署规模均居全球领先地位。预计到2025年，中国授权蜂窝物联网连接量将达到19亿。随着中国企业在物联网部署方面不断推进，边缘计算为服务和应用程序的数字化升级提供了新能力。具体来说，边缘计算将用于解锁或增强所有需要本地计算和数据存储的物联网应用，以及自动、实时或近实时分析和决策所需收集和处理的大量数据。对于想要应用边缘计算技术的企业而言，虽然各类公司都可以发挥关键合作伙伴的作用，但在本次调查中，最热门的潜在合作伙伴依然是运营商。

物联网与非物联网边缘计算应用的边界并不清晰。本次调查表明，大多数公司并没有明确区分边缘计算的通用应用场景和专门为物联网场景设计的应用场景。这一点并不意外，因为第3.5节中分析的许多场景都包

含了至少一个物联网元素，不论是物联网设备、应用还是平台。然而，在向边缘计算过渡的过程中，物联网应用和其他应用在边缘计算需求和设计上有着重要的区别。

物联网需要支持大量设备，其中很多设备非但没有自己专用的计算和存储资源，还会产生大量需要处理和存储的数据。因此，物联网设备与边缘计算之间的关系不同于其他连接设备。例如，AR、VR设备或智能手机至少能处理最小量的数据，并且它们的算力会继续提高和演进。从边缘计算设计的角度来看，这是有影响的，因为边缘计算必须执行更广泛的任务。例如，在某些应用中，物联网应用可能需要独享边缘资源，而非物联网边缘应用并不需要这种独有的资源占用。此外，许多物联网应用都是关键任务，因此需要部署边缘计算来支持这些关键应用。



## 边缘计算已在中国物联网领域开始部署，预期在2020年迎来各行业的进一步部署

从若干应用场景的技术测试，到客户化定制项目中的部署，许多受访公司已经以各种形式参与了物联网的边缘计算部署。其中，智能工厂、智慧港口和智慧城市起到了带头作用（见表3-1）。专门为具有边缘计算特征的物联网所设计的平台也越来越多，如中国移动物联网公司的OneNET、中兴的ThingxCloud、华为的

OceanConnect以及阿里巴巴和英特尔推出的联合边缘计算平台等。

尚未部署物联网边缘计算的公司预计在2020年至2022年间进行部署。物联网边缘计算发展早期，试验和小规模部署主要依赖于4G网络和MEC，但是现在的期望是利用新兴的5G来进行更大规模的部署。

表3-1

### 中国物联网领域边缘计算应用

	 智能工厂	 智慧港口	 智慧城市
受访公司强调的边缘计算赋能的商机（举例）	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高机器人、机器和智能工厂设备的实时远程维护能力</li> <li>根据无线电波、摄像头、磁铁或激光提供的导航信息，实现自动驾驶车辆的实时运行</li> <li>通过传感器和机器人实现基于AI的生产设备检验</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>为港口管理提供实时本地化的视频分析</li> <li>强化高清视频监控系统，监控港口基础设施和移动资产</li> <li>汇聚港口内采集的数据，改善港口管理和运营</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通过智能摄像头网络实现实时行人再识别</li> <li>支持基于AI的视频和历史数据分析，加强事故早期侦测，发现盲点，阻止事故发生</li> <li>实现自动驾驶C-V2X特性</li> </ul>
边缘位置	大多本地部署	大多本地部署	从城市级边缘中心到设备（摄像头）的各种位置
受访公司强调的预期收益（举例）	<ul style="list-style-type: none"> <li>优化生产效率</li> <li>减少意外故障停机时间</li> <li>节省运营和维护成本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通过数据和自动化优化港口流程</li> <li>解决港口和物流链其他部分之间的瓶颈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>实现不侵犯隐私的人脸识别</li> <li>提升城市道路安全度</li> <li>提高民用应急反应能力</li> </ul>

数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》



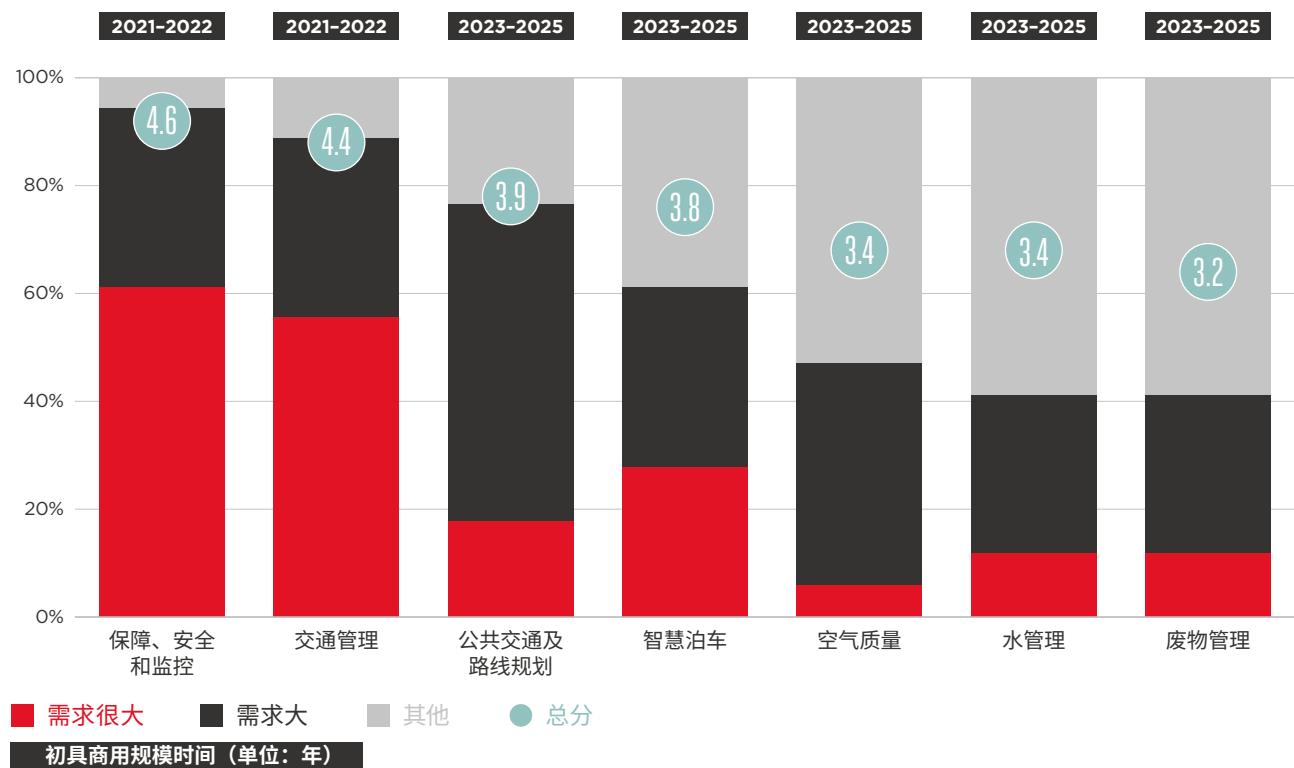
智慧城市为边缘计算在中国的部署提供了广阔的市场前景。在智慧城市相关榜单排名前两位的边缘计算应用（图3-24），同样在跨领域综合榜单中排名前十。响应中国“十三五”规划，一些关于智慧城市的倡议应运而生。例如，2017年，深圳燃气、中国电信、华为、金卡联合试点NB-IoT燃气表，同时，中国移动在云南、贵州成功试点智慧停车解决方案。中兴上海世博会智慧城市项目，采用中兴多层物联网平台架构，提供智慧路灯、空气质量监测等解决方案。此外，GSMA智库正在与移动行业合作，建立物联网大数据生态圈，通过通用API将来自多个来源的统一数据集提供给开发者和第三方。通过中国运营商的贡献，中国空气质量和天气数据集已可用。

关于保障、安全和监视的具体应用（4.6分），地平线公司还阐明了在不侵犯个人隐私的情况下进行人脸识别的可能性。它们的解决方案是将AI嵌入芯片，集成在高清摄像机中，实现公共安全场景人脸识别的精准和高效。通过使用边缘计算实现行人再识别（通过使用匿名数据集进行人脸识别），地平线做到为客户克服隐私顾虑，符合法律要求。

交通管理也将受益于边缘计算能力（4.4分）。大唐移动已经与厦门公交集团合作，共同打造了一套厦门BRT 5G智能网络系统，用于V2X。MEC与C-V2X融合，提升车辆安全和交通管理水平，助力厦门智慧交通。

图3-24

## 边缘计算中国智慧城市应用案例



问题：在中国，以下哪个场景对边缘计算的需求最大？边缘计算在中国什么时候会实现规模部署？受访者占比和总分。总分从1到5，其中1为“需求很小或完全没需求”、5为“需求很大”。\*其他是指“需求一般”、“需要小”和“需要很小或完全没需求”的总和。

数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》

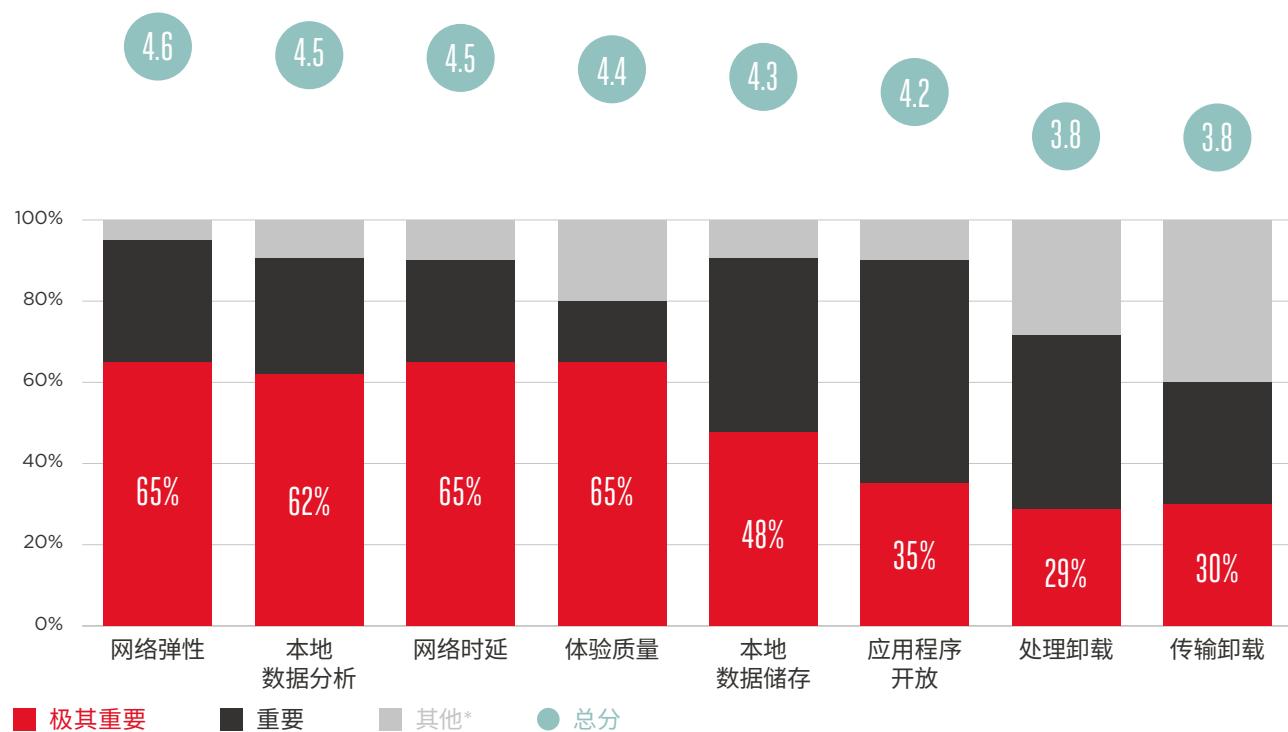
## 推动边缘计算在中国物联网部署和应用所带来的最重要价值

受访公司认为，网络弹性，即处理连接到同一网络的海量物联网设备的一个关键因素，是最重要的增益所在（图3-25）。推动物联网边缘计算应用与一般边缘计算应用（物联网和非物联网）的价值最大差异在于本地数据分析和本地数据存储，而两大价值在物联网边缘计算应用情景下得分都较高。这一点不足为奇，

因为智能工厂、智慧港口和智慧城市中的许多物联网应用高度依赖大量数据接入和强大的处理能力，以实现实时洞察和决策。与中心云相反，在物联网设备附近存储和处理数据，可以增强或解锁新的物联网应用。

图3-25

### 推动边缘计算在中国物联网部署和应用的重要价值



问题：根据对推动中国的移动网络中边缘计算部署和应用的重要程度，对以上边缘计算收益进行排名。受访者占比和总分。总体评分从1分（重要性很有限）到5分（极其重要）。“其他是指“中等重要”、“略微重要”和“重要性很有限”的总和。

数据来源：《2019年GSMA智库关于中国边缘计算的调查》



## 推动边缘计算在中国物联网未来部署的几个因素

中国业界普遍认为边缘计算将在未来物联网中发挥重要作用。不过，有些公司强调，未来依旧面临着若干挑战，而想要获得持续成功，就得具备一些要素。

**云-边融合** 企业可能要求混合部署，而不是两种极端情况，即完全基于云的解决方案（由公有云资源赋能）或完全基于边缘计算的解决方案（由私有和公共边缘计算资源支持）。这给边缘计算技术的所有供应商增加了技术复杂性，特别是在早期阶段，因为云和边缘计算资源需要整合。随着这些企业继续推行各自的数字化战略，它们需要一条平稳的技术路线，这条路线会在云的基础上向外延伸，逐步涵盖在边缘获取特定收益所需的那些边缘计算能力。

**被视为促进剂的功能和数据安全** 很多受访者表示，如果企业需要更及时、更安全地使用相关数据，那么

大多数物联网平台都需要将现有配置升级，实现边缘计算的能力。中国移动的OneNET Edge是朝着这个方向迈出的积极一步，它能够让准确采集不同设备、制造商和格式的不同数据集变得简单，从而大规模运行实时分析和增强型AI分析。而且，随着AI增加了处理更多数据并生成分析的可能性，确保边缘赋能的物联网应用从一开始就满足数据安全和隐私要求是一项重要的事。

**互通性** 随着企业越发依赖边缘计算来进一步增强其物联网解决方案，边缘计算与内部IT系统集成将进入一个新的维度。为了加快新业务的部署和上市时间，大多数受访公司都参与了关于物联网应用不同边缘计算接口、协议和接入技术标准化的讨论。未来物联网平台需要兼容各种设备，支持多协议接入、确定性网络接入、远程部署和更新，甚至离线操作。

# 4 政策法规：为中国边缘计算创造有利环境



此次边缘计算调查反映出当前中国政策框架面临的一些共同挑战，监管问题也是扩大边缘计算部署的最大障碍之一。要重点指出的是，这并非共识。一些受访者表示，实际上目前在部署边缘计算方面遇到的政策障碍其实很少。而主要挑战包括以下几点：

- 适用于边缘数据中心的国家和地方政府法规几乎完全基于中心化云数据中心的法规而设定，这是为了确保云数据中心合理和节能化的部署。因此，它们通常不适用于边缘配置。按照定义，这些边缘配置规模更小、数量更多，而且能耗要求也不同。
- 边缘计算部署的各个部分缺乏明确的标准，可能会阻碍规模化应用。虽然有很多中国和国际机构、行业协会和业界人士参与边缘计算标准的制定，但现实情况是，市场仍然高度分散，协调工作十分繁重。
- 在处理具体垂直行业问题时，存在一个特殊的挑战，关于用户和行业数据的使用、處理及传输，许多行业都有自己的政策。这些障碍会鼓励能源或警察安防等垂直行业各自开发运行在私有网络上的解决方案，而不是在公共网络上运行更开放的解决方案。

关于最后一点，中国《网络安全法》应该确保数据安全和隐私方面政策法规的一致性。然而，仍旧需要运营商、其他业界人士与垂直行业一道合作，确保解决方案满足任何特定业务的服务水平协议或其他运营要求。

中国业界还强调了一些政策和监管措施，这些政策和监管措施应该有助于应对上述挑战：

- 政策制定者应推动边缘计算在标准制定和监管政策制定方面的发展。这包括在应对能效挑战的同时，保证更低的电费，以帮助推动边缘计算基础设施的部署。
- 政策制定者应与行业协会和联盟密切合作，开发标准的边缘计算技术、接口和应用程序。

综上所述，可明显看出，达成一致标准并形成全面的、端到端视角的边缘生态对于开发可扩展、与时俱进的技术，从而确保积极可观的长远发展态势而言至关重要。尽管中国市场规模庞大，还是建议通过国际合作建立相关标准，以进一步推动边缘解决方案的扩展和应用。在全球许多市场，发展边缘计算能力的一个共同挑战，是需要制定更加专门性的法规，符合边缘计算部署的特点和挑战。边缘计算设施通常要遵守适用于大型数据中心的法规和安全要求，因此即便这些标准和法规可能不合适，甚至可能阻碍边缘计算基础设施的使用，也必须要遵守相同的标准和法规。

# 5 未来愿景： 推动中国边缘计 算大规模发展





边缘计算的最新进展，以及中国业界明确希望走在新技术前沿的意图，都是未来发展的坚实基础。然而，要兑现边缘计算的长期潜力，需要各个公司和整个中国业界一起努力。

受访公司强调了一些举措。结合前文所分析的主要发展障碍和GSMA智库的观点，得出七项关键举措。这七项关键举措如果得以实施，将有助于推动边缘计算未来五年在中国的发展和应用。其中许多举措关系大

多数边缘计算利益相关者，而有些举措则是针对个别类型的公司。这些举措可分为三大类：技术发展、市场接受度和政策法规。

## 发展建议

## 具体举措

### 技术发展

#### 1 确明最适合边缘计算的部署模式，推动边缘标准化。

虽然中国自身规模足以制定本地规则和开展部署，但全球层面的协作是关键，特别是对于全球化的行业而言。

针对网络和设备规格、边缘技术接口、互通性、云-边协同、数据存储安全要求、访问和分析、标准API，确立统一的举措。

#### 2 将边缘计算融入更广阔的5G网络投资路线图，让边缘不再被视为单一应用平台，而是未来5G网络架构的重要组成部分。

在这种情况下，MEC和5G的结合会更加自然。

为边缘部署分配特定的预算，用于推进技术试验、商用部署和拓展应用场景的工作以及商业模式的探索。

在边缘计算重点需求区域扩大5G独立组网的部署。

### 设备商

将边缘计算定位为网络转型产品的关键层，与其他技术（SDN、NFV、5G、AI、网络切片）结合部署。

#### 3 解决云和边缘计算以及5G网络相关的高能耗成本问题。

在商业模式可行情况下，考虑共享部分或联合开发边缘基础设施，以减少边缘资源的大规模建设。建设运维以及能源成本过高，可能会限制边缘计算的应用。

### 中国政府

采取5G和边缘计算用电优惠政策。

## 市场推广

### 4 产业合作升级，将边缘计算讨论范围扩展到各 垂直行业。

让更多垂直行业的公司参与进来是关键，因为边缘计算的应用还将取决于关键用例中其他技术的发展(例如：自动驾驶和沉浸式现实技术)。

组织新论坛和研讨会，同时推动边缘技术供应商之间，以及供应商和终端用户企业之间的讨论。这些论坛和研讨会应该增加对边缘机会和商业模式场景的讨论。

### 5 借助企业对边缘计算的认知，推动边缘计算新 试点和部署。

相比美国和欧洲企业，中国企业对边缘计算能力的认知度更高。

围绕技术解决的具体痛点，提供第一波试点中边缘部署如何使企业受益的切实证据。边缘计算的有用性不是理所当然的，而是需要在每个应用场景下得以体现。

## 运营商

将5G确立为边缘计算应用案例的领先接入技术，展示5G相对于固网（Wi-Fi 6）等替代技术的优势。

### 6 增加对目前关注度较低的潜在边缘计算应用案 例的关注，如媒体和娱乐、智慧城市等。

## 媒体业者

与边缘计算利益相关者探索边缘技术在媒体服务和应用的机会、所需投资、商业模式和部署时间表。

## 各地市政府（智慧城市）

推动更多关于边缘计算在智慧城市潜在应用的讨论，并将早期边缘部署纳入政府多年计划中。

## 政策法规

### 7 建立内容明确、关注点更集中于边缘计算且考 虑到边缘部署独特性质和挑战的法规，以此支 撑边缘计算的发展。

## 政策制定者和监管者

与行业协会紧密合作，不仅要推动边缘技术标准化（见举措1），还要推动就当前公有云监管应如何发展以实现边缘计算场景的讨论。



创建一个支持技术发展和促进创新的有利生态环境，将最终决定中国乃至全球边缘计算部署的速度与规模。2020年及以后，GSMA将继续聚集全球移动产业的所有利益相关方支持产业合作，以及边缘计算的进一步发展，工作重心包括：标准和规范、以5G为核心的技术发展、频谱以及政策法规。GSMA智库还将继续通过行业讨论和研究，密切关注全球边缘计算的发展进程，包括试验、部署、应用、业界倡议，以及其他有助于在消费者和垂直行业扩展边缘计算的其他工作。



## GSMA总部

Floor 2  
The Walbrook Building  
25 Walbrook  
London EC4N 8AF  
United Kingdom  
电话: +44 (0)20 7356 0600  
传真: +44 (0)20 7356 0601

