

通信

证券研究报告
2019年03月05日

边缘计算：5G 应用核心平台，产业链空间广阔

投资评级

行业评级

强于大市(维持评级)

上次评级

强于大市

作者

唐海清

分析师

SAC 执业证书编号：S1110517030002
tanghaiqing@tfzq.com

容志能

分析师

SAC 执业证书编号：S1110517100003
rongzhineng@tfzq.com

姜佳讯

联系人

jiangjiaxun@tfzq.com

行业走势图



资料来源：贝格数据

相关报告

- 《通信-行业专题研究:通信行业哪些领域潜在科创板机会》 2019-03-04
- 《通信-行业点评:三部委力推超高清视频, 传输+承载+应用迎来大机遇》 2019-03-03
- 《通信-行业研究周报:MWC 5G 进展迅猛, 科创板有望提振板块估值》 2019-03-03

投资要点:

5G 引入三大应用场景, eMBB(高速移动通信)、mMTC(大规模机器通信)、URLLC(低时延高可靠), 为克服传输网的性能瓶颈, 边缘计算成为 5G 网络的核心网络技术之一。

为进一步拓展运营商网络价值, 避免管道化, 运营商和整个 5G 产业联盟确定了面向 eMBB、mMTC、URLLC 三大应用场景的商用目标。三大应用场景对网络性能的要求有显著差异, 但为控制 CAPEX, 运营商必然选择一张承载网+网络切片/边缘计算技术, 实现在最少的资本投入下最丰富的网络功能。在 5G 时代, 承载网的带宽瓶颈、时延抖动等性能瓶颈难以突破, 引入边缘计算后将大量业务在网络边缘终结, 是实现 5G 网络功能的核心技术。

边缘计算伴随 5G 应用发展, 长期成长空间广阔。产业链逐步成熟, 等待 5G 商用和应用落地。

5G 时代, VR/AR、车联网、工业互联网等领域对边缘计算带来刚性需求, 边缘计算产业链发展迅猛, 关键技术和产品逐步成熟。5G 作为新经济和科技浪潮的核心基础设施, 商用进展顺利, 期待 5G 商用落地, 大量新应用蓬勃发展将推动边缘计算产业链长期持续成长。

投资建议:

边缘计算逐步进入实质推进阶段, 受益 5G 应用落地长期拉动, 产业链各环节有望长期受益, 建议关注:

1) 边缘计算业务实质性推进龙头: 网宿科技(CDN 龙头, 与联通成立合资公司布局边缘计算);

2) 边缘计算带来网络设备增量需求: 中兴通讯(主设备龙头, 发布边缘计算服务器产品)、星网锐捷(企业网设备龙头)、烽火通信(传输网设备龙头)、剑桥科技(网络设备 OEM/ODM/JDM 优质标的)等;

3) 边缘机房带来温控、动环监控增量需求: 佳力图(精密温控龙头)、英维克(精密温控龙头)、创意信息(子公司邦讯信息国内动环监控龙头)等;

4) 边缘计算推动小基站快速落地, 小基站设备及站址资源重点受益: 三维通信(微信变现龙头, 布局灯杆 5G 小基站站址资源)、华体科技(景观照明、智慧路灯龙头)、中国铁塔(港股)、京信通信(港股小基站龙头)等;

5) 边缘计算带动物联网应用快速发展: 移为通信(位置追踪产品全球龙头)、拓邦股份(智能控制器龙头, 物联网重要环节)、高新兴(物联网模块龙头)、日海智能(模组+平台全面布局)、广和通(物联网模组重要厂商)、宜通世纪(物联网管理平台龙头)等。

风险提示: 技术研发风险, 下游应用低预期, 行业竞争加剧

重点标的推荐

股票代码	股票名称	收盘价	投资评级	EPS(元)				P/E			
				2017A	2018E	2019E	2020E	2017A	2018E	2019E	2020E
300017.SZ	网宿科技	12.99	增持	0.34	0.33	0.39	0.53	38.21	39.36	33.31	24.51
002396.SZ	星网锐捷	22.00	增持	0.81	1.06	1.28	1.50	27.16	20.75	17.19	14.67
000063.SZ	中兴通讯	31.65	买入	1.09	-1.55	1.29	1.62	29.04	-20.42	24.53	19.54
603912.SH	佳力图	16.95	增持	0.39	0.55	0.72	0.87	43.46	30.82	23.54	19.48
603679.SH	华体科技	29.28	买入	0.52	0.90	1.50	2.15	56.31	32.53	19.52	13.62
002115.SZ	三维通信	12.98	增持	0.09	0.39	0.61	0.84	144.22	33.28	21.28	15.45

资料来源: 天风证券研究所, 注: PE=收盘价/EPS

内容目录

1. 边缘计算是 5G 应用核心支撑技术平台	4
1.1. 5G 硬件层面技术突破主要集中在无线侧	4
1.2. 为实现更强的网络功能，边缘计算成为 5G 传输网核心技术之一	5
1.3. 边缘计算根据使用场景不同部署在 5G 网络不同层次	8
1.4. 边缘计算是 CDN 的进一步演进，CDN+云计算形成核心技术	9
2. 边缘计算跟随 5G 应用落地，有望长期受益	11
3. 边缘计算产业链各环节快速成熟，规模部署即将起航	15
3.1. 通信运营商借边缘计算摆脱管道化趋势	16
3.2. 通信设备商	17
3.3. 第三方专业厂商	18
3.3.1. 专业 CDN 厂商	18
3.3.2. 云计算厂商	18
4. 边缘计算核心受益标的	19

图表目录

图 1：5G 新空口（5G NR）关键新技术	4
图 2：5G 光传送传输网络结构	5
图 3：5G 三大应用场景对网络性能的要求	5
图 4：5G 承载网架构演进	6
图 5：底层网络进步带来应用和商业模式的升级	6
图 6：边缘计算节点部署方式	7
图 7：边缘计算节点部署方式	7
图 8：边缘计算和 5G 网络功能接口的融合	8
图 9：边缘计算在接入侧部署方案	8
图 10：5G 网络结构演进	9
图 11：CDN 网络结构和流量导向	10
图 12：边缘计算本地分流业务结构和流量导向	10
图 13：中国移动 BOSS 系统结构	10
图 14：集中式数据中心处理特性与边缘计算节点处理特性比较	11
图 15：5G 应用丰富	11
图 16：2020-2030 年中国 5G 直接和间接经济产出（单位：亿元）	12
图 17：5G 直接经济产出结构（单位：亿元）	12
图 18：基于边缘计算的视频跨层优化	13
图 19：基于边缘计算的 VR/AR 实现方案	13
图 20：基于边缘计算的视频监控智能分析方案	14
图 21：基于边缘计算的 V2X 应用方案	14
图 22：基于边缘计算的工业控制应用方案	14

图 23: 全球和中国移动数据流量增长趋势 (单位: 倍)	15
图 24: 全球和中国移动终端及物联网连接数	15
图 25: 边缘计算产业链结构.....	15
图 26: 运营商收入增长与网络流量增长相背离.....	16
图 27: 中国移动与专业厂商共同布局的边缘计算垂直领域试验计划	16
图 28: 边缘计算机房布局和设备配置	17

1. 边缘计算是 5G 应用核心支撑技术平台

1.1. 5G 硬件层面技术突破主要集中在无线侧

5G 为实现高速率、低时延和多样化的网络应用场景，引入大量新技术，但从硬件技术升级的幅度看，空口技术得到大幅提升，但传输网技术提升幅度相对有限。5G 在空口（无线侧）的技术升级巨大，具体来看：

引入大规模阵列天线（Massive MIMO）：相比 4G 的 2T2R、4T4R 等 MIMO 技术，5G 采用 64T64R 甚至更高阶的 128T128R 大规模阵列天线，增强波束赋形能力，抑制干扰、提升信道增益；

新的信道编码（LDPC、Polar 码等）：相比 4G 时代常见的 Turbo 码，5G 数据信道引入低密度奇偶校验（LDPC）编码、控制信道引入极化（Polar）编码，提高编解码速率，降低时延；

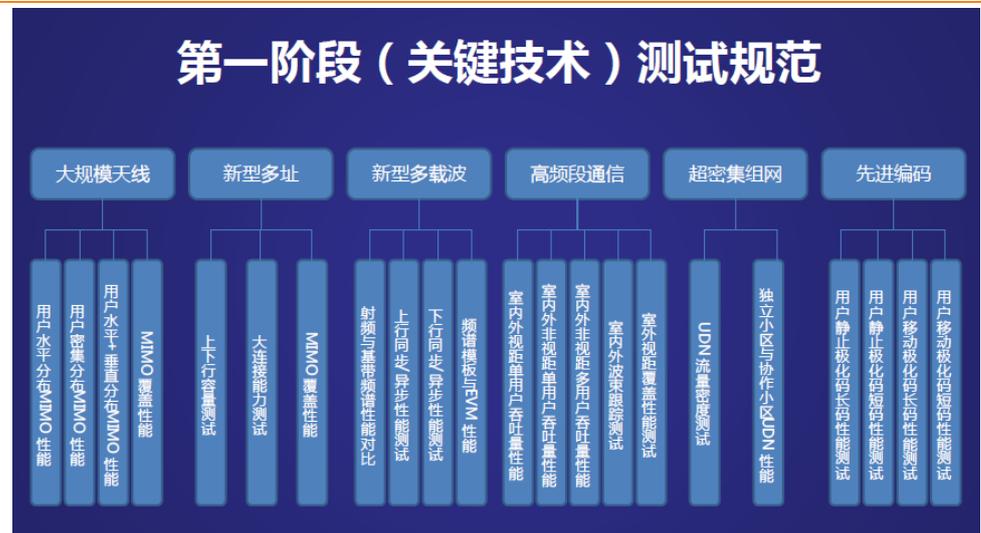
更宽的频谱带宽（100M 连续频谱带宽）：4G 的 20M 提升到 5G 的 100M 连续带宽，更宽的频谱信道吞吐量更大；

新的调制技术（QAM/QPSK 等之外，增加更高阶 QAM 调制和 BPSK 调制等）：更高阶的调制技术有利于降低峰均功率比、提高低数据率信号的功放效率、增加符号数提升系统容量；

更高效的复用技术（CP-OFDM、F-OFDM 等）：降低干扰、简化系统设计、适应更多应用场景不同的网络性能要求。

毫米波技术：高频段的毫米波通信峰值速率和系统容量大幅提升，实现热点覆盖。

图 1：5G 新空口（5G NR）关键新技术



资料来源：IMT-2020《5G 无线技术试验进展及后续计划》，天风证券研究所

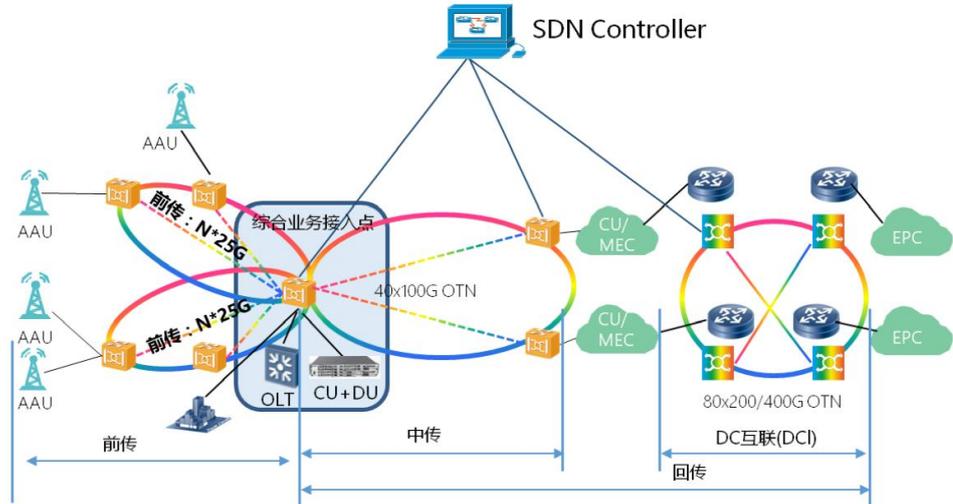
相比之下，5G 在传输网的硬件技术升级相对有限。无线信号经过基站天线接收后，通过光通信网络进行回传和长距离传输。在传输侧，5G 时代硬件技术提升相对有限，传输网硬件设备仍然以高层交换机、网关、光模块、光纤光缆等为主。其中：

交换机的核心是 CPU、DSP 等信号处理芯片，随着摩尔定律逐步失效，芯片性能提升的难度和研发周期显著提升，在信号处理芯片层面实现路由交换、数据吞吐速率的大幅提升难度较高；

光模块的核心是激光器芯片和信号处理芯片，在电信级应用中，中长距离传输需要解决散

热、功耗、波长色散等问题，激光器芯片和信号处理芯片均面临极大技术升级瓶颈。目前电信中远距离光模块仍然以 100G 速率为主，5G 后期可能引入 200G/400G 光模块，但目前技术仍不成熟，一种替代性技术路线是使用 FlexE 技术，将多个 100G 光模块传输信道虚拟成 200G/400G/800G 甚至更高速率的传输信道，但仍然需要占用多个交换机端口，对实际网络容量和网络性能的提升空间有限。

图 2：5G 光传送传输网络结构



资料来源：中国电信《5G 时代光传送网络技术白皮书》，天风证券研究所

1.2. 为实现更强的网络功能，边缘计算成为 5G 传输网核心技术之一

5G 拓展三大应用场景，在无线侧通过硬件/软件技术的大幅提升，契合不同应用场景的网络性能需求，但在传输侧，由于硬件技术升级空间有限，必须通过网络结构的优化满足 5G 时代新应用对网络性能的要求。5G 面向大带宽 (eMBB)、大规模连接 (mMTC)、超低时延高可靠 (URLLC) 三大应用场景，需要提供不同的网络性能。在无线侧有大量新技术实现对不同应用场景的支撑，但传输网络侧，硬件技术提升有限的情况下，需要对网络架构进行革新。

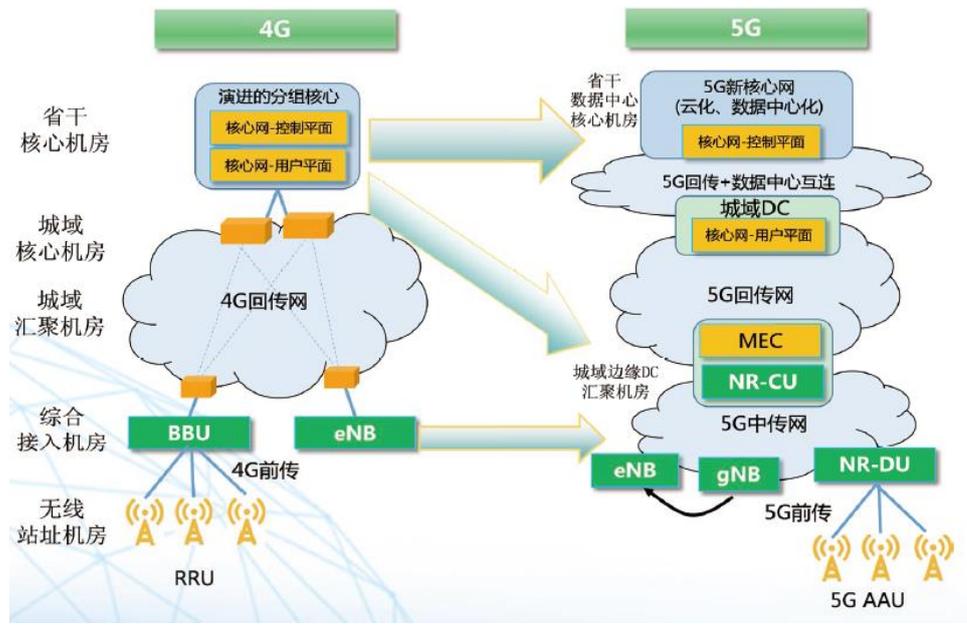
图 3：5G 三大应用场景对网络性能的要求



资料来源：IMT-2020《5G 承载需求白皮书》，天风证券研究所

5G 承载网引入资源池云化、控制平面/用户平面分离等新架构，解决传输侧对 5G 不同应用场景的支撑问题，其中边缘计算是最核心的新技术之一。传统网络结构中，网元具备完整的功能，每个网元需要单独进行配置，网元间关系相对刚性。5G 三大应用场景对网络性能要求各不相同，因此 5G 时代网元功能解耦，控制平面保留在核心网层面，城域网、回传网和接入侧前传网的网元只进行用户平面数据的转发和处理，网元之间资源可以灵活调配，实现不同的网络功能。

图 4：5G 承载网架构演进



资料来源：IMT-2020《5G 承载需求白皮书》，天风证券研究所

随着网络底层技术的不断革新，新的应用和商业模式推陈出新，5G 面向的三大应用场景，未来将催生大量新应用，对网络性能产生更高要求。5G 时代，eMBB 场景将带动 VR/AR、超清视频、超清直播等应用的落地；mMTC 场景将带动广域物联网、智慧家居、智慧城市等应用的成熟；URLLC 场景有望带来自动驾驶、工业互联网、能源互联网等新技术和应用的落地。随着这些下游应用的成熟，对网络能力又提出更高的要求，必须通过新的网络技术才能满足大量新应用的需求。

图 5：底层网络进步带来应用和商业模式的升级

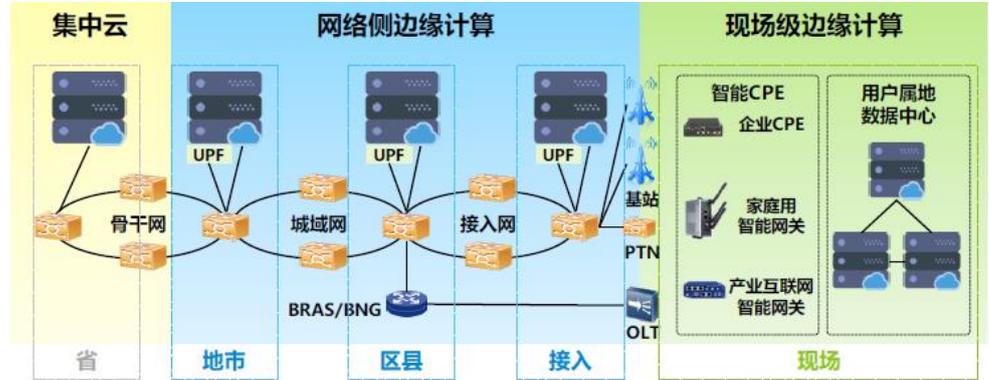


资料来源：IMT-2020《5G 远景与需求白皮书》，天风证券研究所

边缘计算技术就是解决不同应用带来的多样化网络需求的核心技术之一，在靠近接入网的机房增加计算能力，将能够 1) 大幅降低业务时延、2) 减少对传输网的带宽压力降低传输成本、3) 进一步提高内容分发效率提升用户体验。传统网络结构中，信息的处理主要

位于核心网的数据中心机房内，所有信息必须从网络边缘传输到核心网进行处理之后再返回网络边缘。5G 时代，传输网架构中引入边缘计算技术，在靠近接入侧的边缘机房部署网关、服务器等设备，增加计算能力，将低时延业务、局域性数据、低价值量数据等数据在边缘机房进行处理和传输，不需要通过传输网返回核心网，进而降低时延、减少回传压力、提升用户体验。

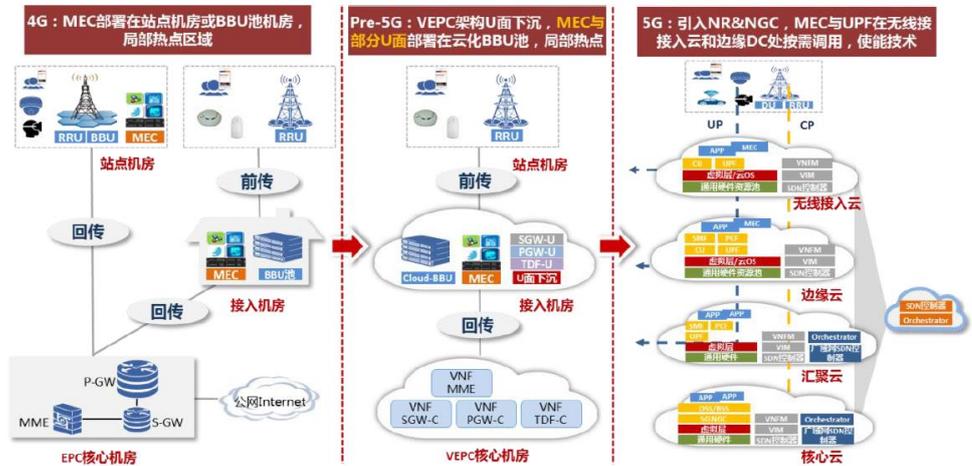
图 6：边缘计算节点部署方式



资料来源：中国移动《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

为实现边缘计算，需要在更底层的网络节点增加计算和转发能力，运营商组网结构将逐步演进，边缘计算能力持续提升。边缘计算是 5G 时代引入的新技术，但其架构开放，也可以部署应用于 4G LTE 网络。运营商将在现有网络结构上平滑演进，最终实现低层网络节点计算能力的全面覆盖，边缘计算能力持续提升。

图 7：边缘计算节点部署方式



资料来源：中国联通《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

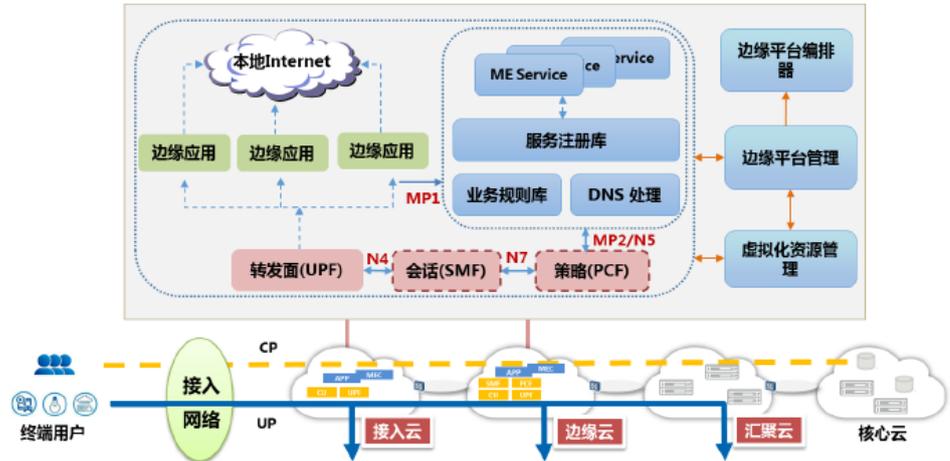
具体来看：

1) 4G 阶段：在基站和核心网之间的 S1 接口增加边缘计算节点，实现业务数据的分流。在热点地区边缘计算可以部署在基站接入侧，本地业务从基站经过边缘计算节点分流至本地服务器，降低回传网负载。在 BBU 池化的场景下，边缘计算可以部署在 BBU 池机房，提升边缘计算的业务复用率，降低对设备资源的需求。

2) Pre-5G 阶段：随着网络虚拟化技术的成熟，5G 接入机房实现虚拟化改造，基站 BBU 虚拟化后形成 Cloud-BBU，部署在接入机房的数据中心，核心网元完成控制和转发的分离，网关节点分离成控制面网元(SGW-C、PGW-C 和 TDF-C)和转发面网元(SGW-U、PGW-U、TDF-U)，转发面网元可部署在接入机房，控制面网元部署在核心网机房。边缘计算节点与转发面网元以及 Cloud-BBU 一起部署在接入机房的数据中心。

3) 5G 阶段: 5G 网络架构以数据中心为基础设施, 以云化为基础平台, 形成四个云中心: 无线接入云、边缘云、汇聚云和核心云。边缘计算基于 5G 网络架构, 分别使用 5G UPF 和 PCF 的网络功能实现分流功能和分流策略控制。5G 网络通过 PCF 将分流策略配置给 SMF, 然后经过 SMF 发送到基站及 UPF, 实现 UPF 的分流功能, 将业务分流到 MEC 服务器。由于 5G 网络引入 UPF 和 PCF 的新网元, 边缘计算通过 UPF 和 PCF 实现部署, 因此能够解决边缘计算的计费问题和策略问题, 使边缘计算能够真正实现商用化,

图 8: 边缘计算和 5G 网络功能接口的融合



资料来源: 中国联通《边缘计算技术白皮书》, 天风证券研究所

1.3. 边缘计算根据使用场景不同部署在 5G 网络不同层次

5G 业务场景众多, 不同业务场景对信息处理和转发的需求差异较大, 因此边缘计算也将部署在不同的网络层次, 实现对各种业务的针对性支持。5G 网络中可以按需将边缘计算节点部署在接入云、边缘云或汇聚云。1) 对于低时延 (URLLC) 场景, 边缘计算需要部署在靠近基站的接入云; 2) 对于大流量热点 (eMBB) 场景, 边缘计算可以部署在边缘云提高复用率; 3) 对于广域大连接 (mMTC) 场景, 边缘计算可部署在更高的汇聚云, 实现大范围覆盖区域内的业务需求。

具体来看:

对于低时延场景, 边缘计算节点部署在 CU 机房。5G 基站接入 DU/CU 机房, 其中 DU 主要实现物理层、转发层等业务, CU 处理更高层网络协议。边缘计算节点在最靠近基站的节点部署, 能够就近处理本地业务, 为用户提供超低时延 (<4ms) 的服务, 但相应的, 边缘计算节点的业务覆盖范围较小, 导致难以支持高速移动应用, 因此更适用于移动性低、但对时延敏感的业务, 如 VR/AR 等。

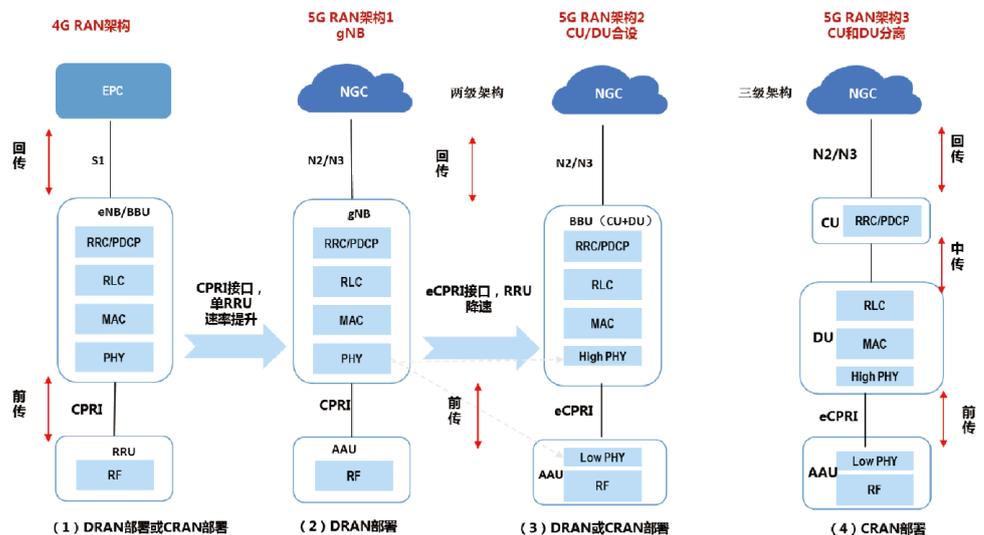
图 9: 边缘计算在接入侧部署方案



资料来源: 中国联通《边缘计算技术白皮书》, 天风证券研究所

对于移动性和时延兼顾的业务或大流量业务，边缘计算节点可部署在边缘云机房，通过接入环与 CU 连接，或直接与 CU 共同部署在边缘云，与 DU 通过中传网络连接。5G 回传网由 DU 和 CU 组成，早期 CU/DU 可合设在接入机房，远期 CU/DU 分离，DU 靠近接入侧而 CU 靠近汇聚层。在相对接入侧更高的边缘机房部署边缘计算节点，能够协同更大范围内的基站网络资源，同时时延可控，因此适合于移动速度快、时延有一定要求的业务，如车联网等。

图 10：5G 网络结构演进



资料来源：IMT-2020《5G 承载需求白皮书》，天风证券研究所

对于大流量、广覆盖业务，边缘计算节点可部署在汇聚层机房。边缘计算节点与核心网转发面 UPF 共同部署在汇聚层，能够覆盖更大网络范围，同时仍可以在较低网络层次终结业务流量，降低对传输网的带宽压力。适合于传统大流量应用（超高清视频等）、大连接应用（物联网等）。

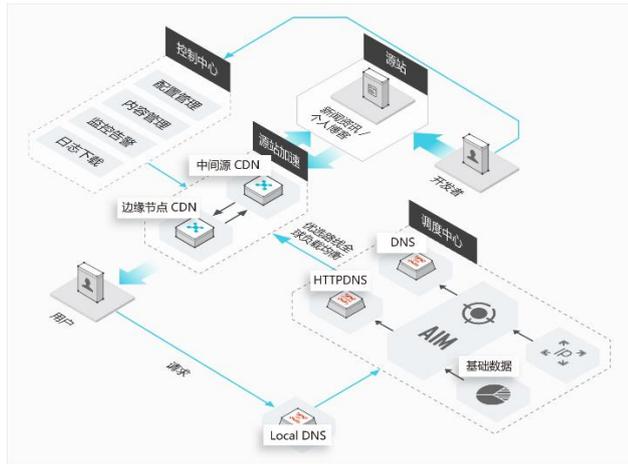
可以看到，边缘计算节点的部署位置不同，将带来覆盖范围、时延、移动性等的不同性能指标，根据不同的应用场景，可综合业务性能需求，在控制面管理编排系统的统一控制下完成最佳业务部署，实现网络资源的灵活调配。

1.4. 边缘计算是 CDN 的进一步演进，CDN+云计算形成核心技术

从网络功能上看，边缘计算与 CDN 有一定相似性，在大流量时代，CDN 平台也将顺应潮流升级为边缘计算平台。CDN（内容分发网络）通过分散部署在城域网层的大量具备存储和转发功能的节点（缓存服务器、网关、DNS 策略、负载均衡算法等），将远程站点的热数据在网络边缘侧进行缓存，用户进行数据请求时，通过 DNS 策略将用户请求转到 CDN 缓存节点，通过 CDN 节点向用户就近发送数据，大幅降低网络拥堵和延迟。CDN 节点未缓存的内容则将用户导向源站请求数据。

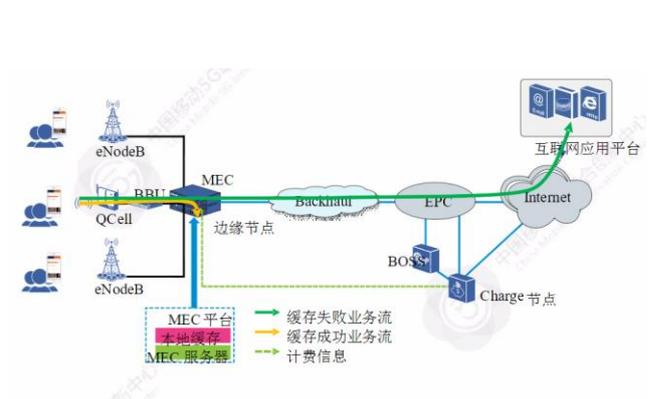
5G 边缘计算最基础的应用场景——本地分流业务和 CDN 的业务模式类似。在本地业务突发、传输资源不足的热点区域，传输扩容难度较大，通过部署边缘计算无线缓存进行业务保障，降低传输网扩容压力。具体来看，边缘节点将核心网上互联网应用内容数据提前缓存至接入侧边缘计算节点，用户请求数据时，成功缓存的业务从边缘计算缓存服务器直接向用户发送，同时将计费信息等发送到 BOSS 支撑系统；为缓存的业务流，则经过回传网向核心网请求数据，从位于核心网的互联网应用平台数据中心将数据发送给用户。边缘计算本地分流业务的技术路线与 CDN 基本一致，仅增加了鉴权、计费信息向 BOSS 系统传输等环节。

图 11: CDN 网络结构和流量导向



资料来源: 阿里云官网, 天风证券研究所

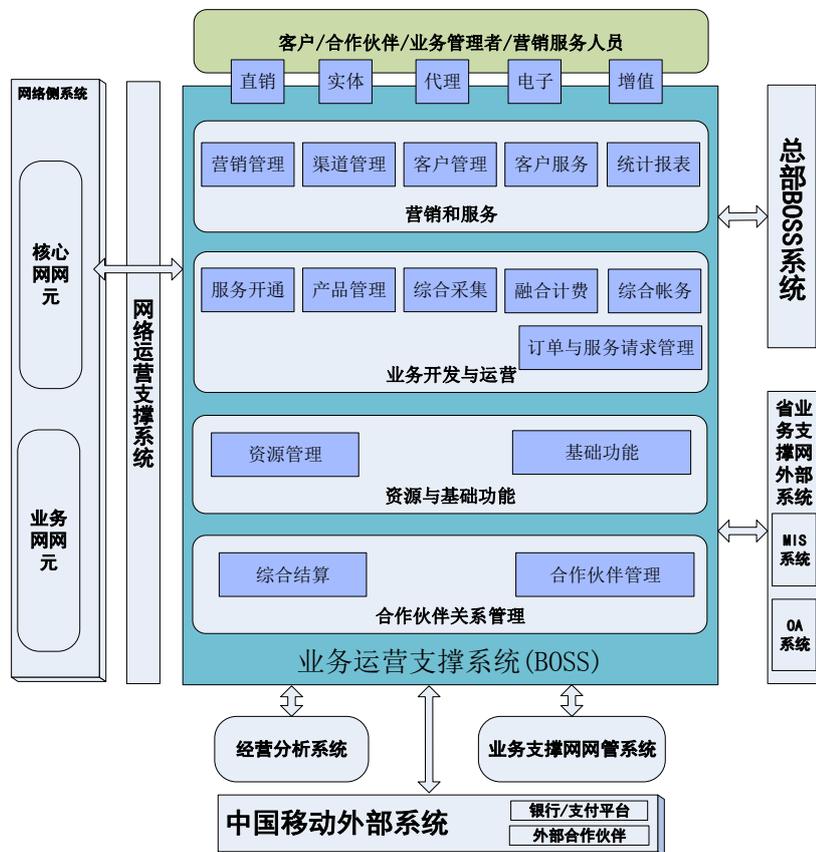
图 12: 边缘计算本地分流业务结构和流量导向



资料来源: 中国移动 5G 联合创新中心, 天风证券研究所

CDN 技术从 1998 年以来已经经过超过 20 年的发展, 技术较为成熟, 但系统诞生以来主要支撑固网业务, 并未专门针对移动网络进行优化。固网端在鉴权、计费等领域需求较弱 (宽带用户每年按带宽付费), 而移动网络需要通过 BOSS 系统进行计费管理等 (移动数据用户每月按实际使用流量付费)。未来边缘计算平台在 CDN 基础上, 要对网络功能接口进行调整, 更适应移动网络的运营需求, 接入运营商 BOSS 系统实现业务和计费管理, 实现面向 5G 的升级。

图 13: 中国移动 BOSS 系统结构



资料来源: 亚信科技产品介绍, 天风证券研究所

另一方面，边缘计算还要在 CDN 技术和网络架构上增加数据处理能力，实现数据分流、业务边缘处理的目标。边缘计算将原有云计算中心的部分或全部计算任务迁移到数据源的附近执行，根据大数据 3V 特点，即数据量(Volume)、时效性(Velocity)、多样性(Variety)，边缘计算模型相较传统集中式大数据处理更具优势，且随着数据量的激增，其优势将越发明显。随着 5G 应用逐步落地，数据类型变得更加复杂多样，感知数据急剧增加，数据处理的实时性要求较高。因此 5G 时代需要将原有云中心的计算任务部分迁移到网络边缘设备上，以提高数据传输性能，保证处理的实时性，同时降低云计算中心的计算负载。

传统云计算架构无法克服传输性能问题，边缘计算则在网络边缘、数据源附近进行数据处理，将计算、存储、传输和自我管理融合在一起，实时响应，极大地提高数据采集和进行高级应用的效率。5G 网络中，对实时性要求较高、对存储要求有限的将大部分通过边缘计算节点进行处理和分发，而对计算能力极高、对存储空间要求很大的数据，才需要返回到传统的集中式数据中心进行处理和存储。集中式数据中心和边缘计算平台相结合，是高效率、低成本支撑 5G 多种应用场景的长期发展方向。

图 14：集中式数据中心处理特性与边缘计算节点处理特性比较

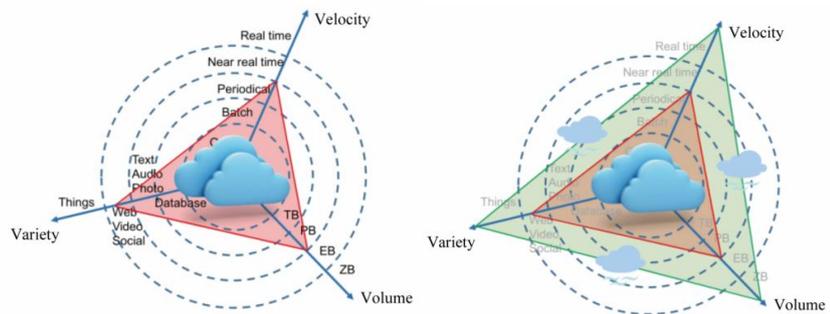


Fig. 3 Big data processing platform V1.0

图 3 集中式大数据处理

Fig. 4 Big data processing platform V2.0

图 4 边缘式大数据处理

资料来源：《边缘计算：万物互联时代新型计算模型》，天风证券研究所

2. 边缘计算跟随 5G 应用落地，有望长期受益

5G 网络建设逐步完成后，大量新应用有望迅速落地。移动通信网络已经极大改变了人类的生活，但人类对更高性能的通信能力的追求从未停止，随着流量爆炸性增长、海量设备连接，大量新应用和商业模式持续落地。可以预见的未来，VR/AR、自动驾驶、智能家居、工业互联网等应用将在 5G 时代进入规模商用阶段。

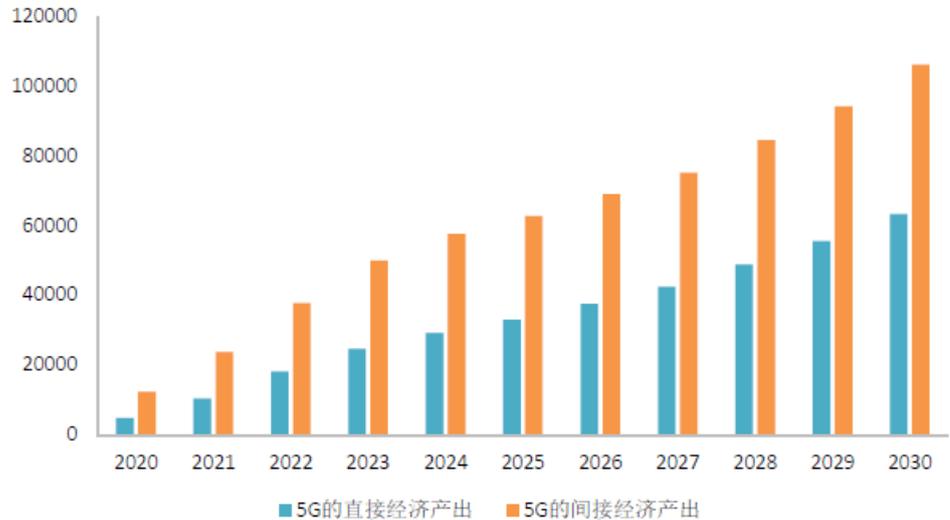
图 15：5G 应用丰富



资料来源：IMT-2020《5G 愿景与需求白皮书》，天风证券研究所

根据中国信通院《5G 经济社会影响白皮书》预测，2030 年 5G 带动的直接产出和间接产出将分别达到 6.3 万亿和 10.6 万亿元。在直接产出方面，按照 2020 年 5G 正式商用算起，预计当年将带动约 4840 亿元的直接产出，2025 年、2030 年将分别增长到 3.3 万亿、6.3 万亿元，十年间的年均复合增长率为 29%。在间接产出方面，2020 年、2025 年、2030 年，5G 将分别带动 1.2 万亿、6.3 万亿和 10.6 万亿元，年均复合增长率为 24%。

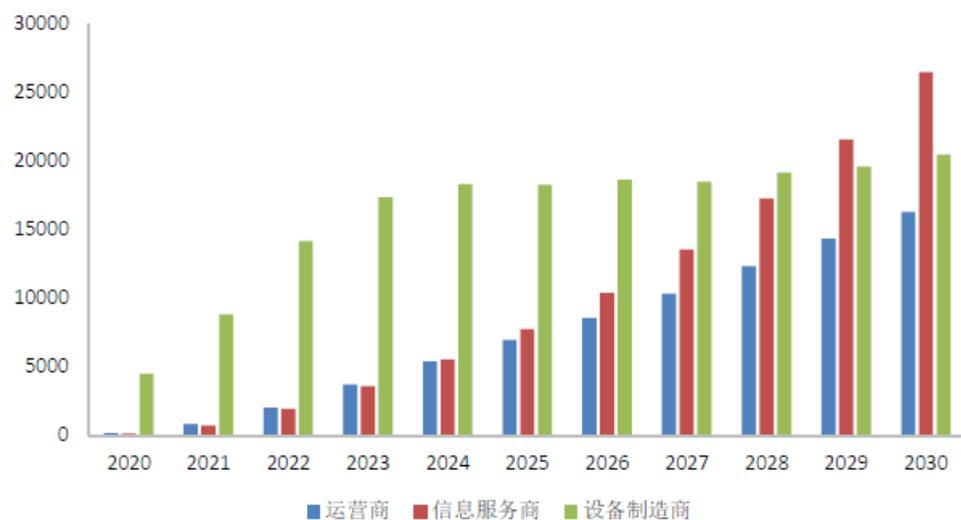
图 16：2020-2030 年中国 5G 直接和间接经济产出（单位：亿元）



资料来源：信通院《5G 经济社会影响白皮书》，天风证券研究所

具体结构上看，与边缘计算相关的网络设备和信息服务经济产出占比达到万亿规模。在 5G 商用初期，5G 网络设备投资带来的设备制造商收入将成为 5G 直接经济产出的主要来源。在 5G 商用中期，来自用户和其他行业的终端设备支出和电信服务支出持续增长，预计到 2025 年，上述两项支出分别为 1.4 万亿和 0.7 万亿元，占到直接经济总产出的 64%。在 5G 商用中后期，互联网企业与 5G 相关的信息服务收入增长显著，成为直接产出的主要来源，预计 2030 年，互联网信息服务收入达到 2.6 万亿元，占直接经济总产出的 42%。边缘计算受益于 5G 应用的快速落地，将对设备商和信息服务商带来长期增量市场空间。

图 17：5G 直接经济产出结构（单位：亿元）

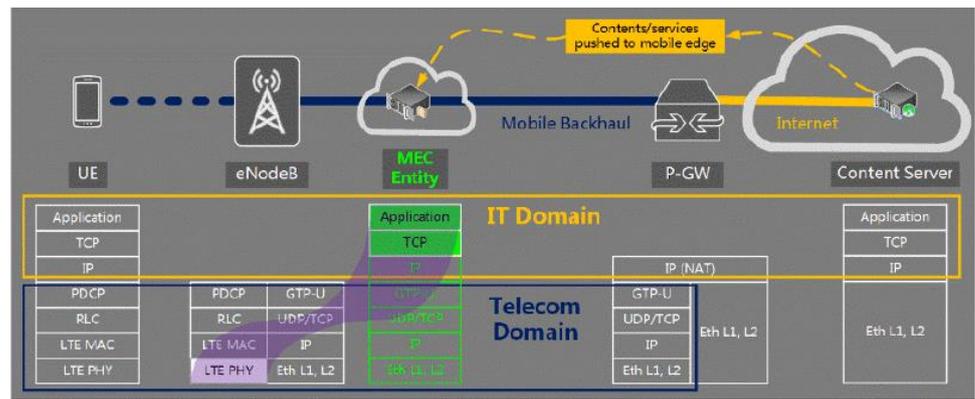


资料来源：信通院《5G 经济社会影响白皮书》，天风证券研究所

从 5G 具体应用看，边缘计算有望大量应用在流量本地化 QoS 优化、VR/AR、视频监控、车联网、工业互联网等领域。

1、流量本地化 QoS 优化：传统 CDN 向移动端和边缘侧进一步演进。传统移动网络中，数据和传输管道缺乏交互，用户所处环境的空口资源和无线信道质量变化较快，难以实时动态调整应用层参数以适配无线信道的变化。边缘计算节点位于传输和接入之间，可以获得业务层 TCP 信息，也可以获得接入侧无线信道信息，进而通过双向跨层优化提升用户体验。同时边缘节点的下沉将进一步降低移动回传网的流量压力，同时通过全局 DNS 系统在控制平面实现流量向边缘 CDN 节点的调度。

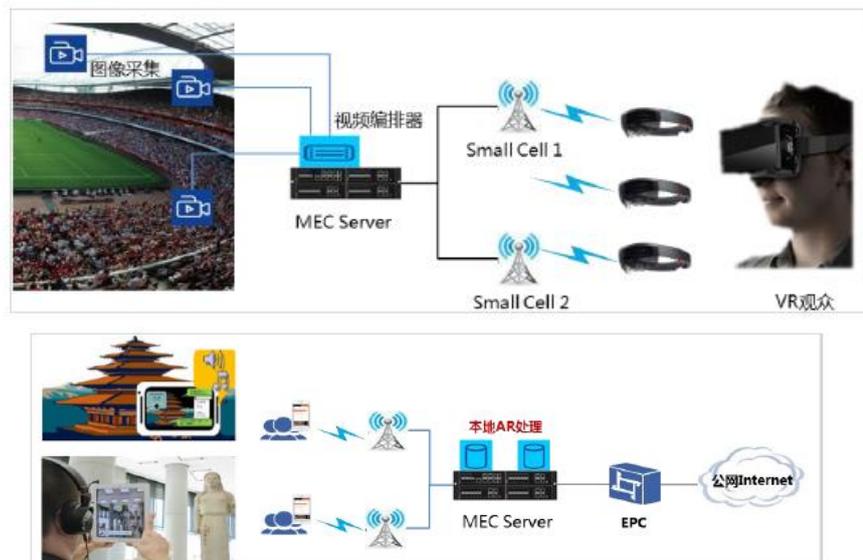
图 18：基于边缘计算的跨层优化



资料来源：中国联通《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

2、VR/AR：VR/AR 的沉浸式体验对时延提出极高要求以克服眩晕感，同时传统方案中需要在终端安装巨大的 APP 来实现 VR/AR 场景的体验，对移动终端的内存、续航能力等带来很大的负担。通过部署在接入侧的边缘计算节点，可以将 VR/AR 场景按需传输给终端用户，节约本地存储空间，同时大幅降低时延。同时，靠近用户的边缘计算节点能够确定用户位置，实现基于位置的 AR 内容匹配，未来有望探索全新的就近内容提供和广告等商业模式。

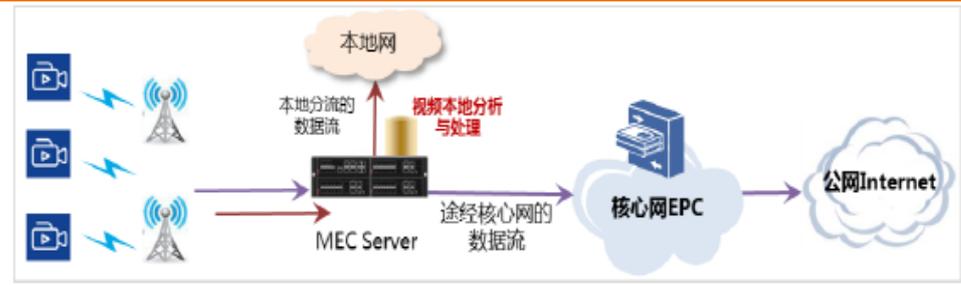
图 19：基于边缘计算的 VR/AR 实现方案



资料来源：中国联通《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

3、视频监控与智能分析：视频监控的回传流量较大，而且大部分画面是无价值或低价值的，将数据本地存储或实时回传都不具有经济性。通过边缘计算平台，可以对视频内容进行预分析和处理，过滤低价值内容，将高价值内容进行回传，在核心网数据中心进行运算处理和存储，从而大幅节约传输资源，优化存储资源，提升信息分析效率。

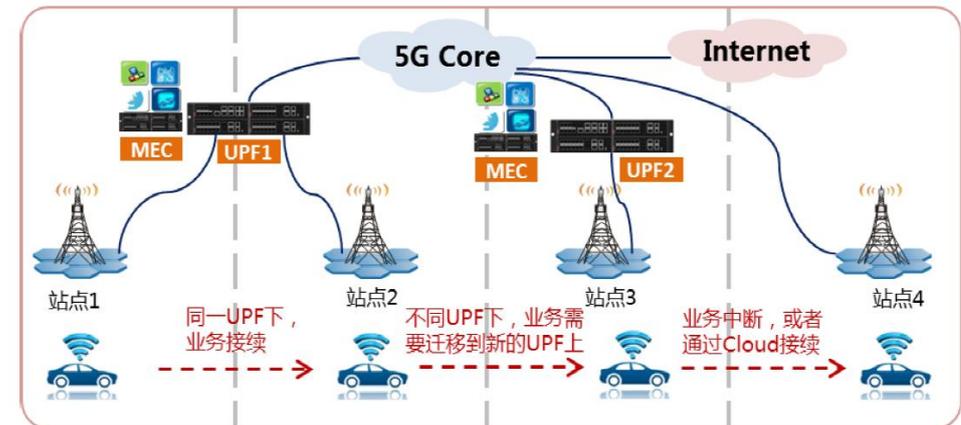
图 20：基于边缘计算的视频监控智能分析方案



资料来源：中国联通《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

4、**车联网**：5G uRLLC 场景下对 V2X 的时延要求为 20ms 以下，对自动驾驶的时延要求为 5ms 以下，边缘计算是实现超低时延的必备解决方案。边缘计算能够解决低时延问题，但由于车辆快速移动特性，需要不同小区的基站协同连续接入，5G 网络提供三种不同的连续性会话业务模式，运营商根据网络环境选择适合策略，网络可根据签约信息、本地配置和应用请求等，为应用配置适合的服务模式，实现边缘计算业务的连续性。边缘计算节点需要与运营商网络结构和业务模式策略紧密配合，才能完成复杂的 5G 应用支撑。

图 21：基于边缘计算的 V2X 应用方案



资料来源：中国联通《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

5、**工业控制**：大量工业厂区/园区对无线通信有越来越强的需求，结合蜂窝网络和基于边缘计算的本地化工业云平台，可在工业 4.0 时代实现机器和设备相关生产数据的实时分析和本地分流，实现生产自动化，提升生产效率。

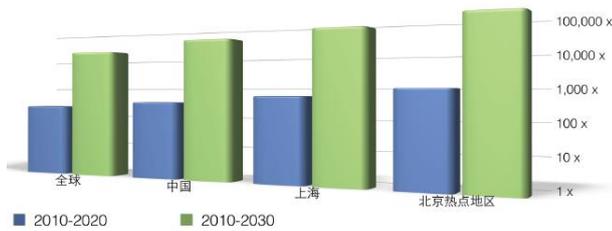
图 22：基于边缘计算的工业控制应用方案



资料来源：中国联通《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

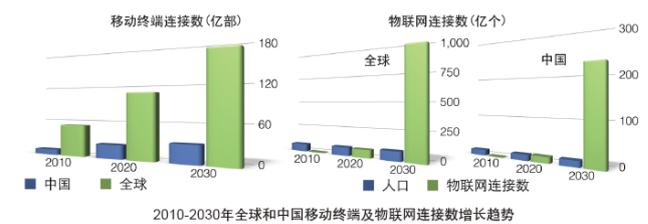
随着 5G 网络建设落地、商用持续推进，各类新应用有望快速落地，边缘计算作为 5G 业务重要的支撑平台，有望长期持续受益。根据中国 5G 推进组 IMT-2020 (5G) 预测，中国移动数据流量增速有望超越全球平均水平，北京上海等热点区域增长率有望更高。移动终端和物联网设备连接数也将快速增长。流量和应用量的增长将带来边缘计算的长期需求增量。

图 23：全球和中国移动数据流量增长趋势（单位：倍）



资料来源：IMT-2020《5G 愿景与需求白皮书》，天风证券研究所

图 24：全球和中国移动终端及物联网连接数



资料来源：IMT-2020《5G 愿景与需求白皮书》，天风证券研究所

3. 边缘计算产业链各环节快速成熟，规模部署即将起航

移动边缘计算的产业链核心是电信运营商，由运营商进行底层网络建设和机房规划，边缘计算节点内使用的设备主要依靠电信设备商，边缘计算业务的支撑和运营可以以运营商为主导、或者运营商开放 5G 网络和边缘计算平台端口引入第三方专业厂商，或直接与第三方专业厂商合作建设运营边缘计算网络。

(1) **电信运营商**：电信运营商是边缘计算产业链的核心。电信运营商提供 5G 基础网络资源，根据不同的应用场景制定边缘计算解决方案和部署策略。具体到边缘计算的部署上，由于边缘计算与业务流程密切结合，运营商在行业应用上积累有限，可以开发网络端口，引入第三方专业厂商进行合作，共同部署、运营、管理边缘计算平台。

(2) **电信设备商**：边缘计算依赖专用服务器、网关等设备。边缘计算节点相比传统数据中心机房更加分散、单体规模较小，环境温湿度控制等偏弱，对服务器、网关以及配套的光模块等的可靠性、功耗和成本控制要求更高。

(3) **第三方合作商**：运营商在垂直行业应用领域经验相对有限，边缘计算与行业应用紧密结合，因此运营商可能向第三方合作商开放边缘计算端口，提供底层资源，由专业厂商提供应用层面的服务。或者运营商可以直接与第三方合作，共同建设和运营边缘计算平台。

图 25：边缘计算产业链结构

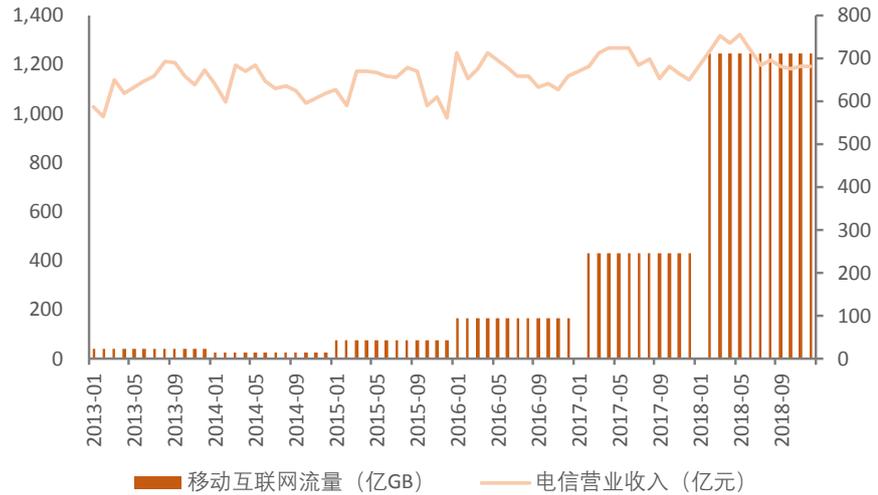


资料来源：天风证券研究所制图

3.1. 通信运营商借边缘计算摆脱管道化趋势

在提速降费的大趋势下，运营商陷入增量不增收的管道化瓶颈，单纯依靠流量收费的边际效应递减。虽然当前传统和移动互联网领域新应用蓬勃发展，网络流量增速持续高速增长，但第三方增值服务商通过 OTT 等模式（如使用微信电话，可以不用交电话费）挤压运营商盈利空间，同时增值服务商变现渠道较多，因此分享了大部分电信行业整体利润空间。运营商单纯依靠出售流量形成收入，逐步陷入管道化，无法分享增值服务和运营环节的利润空间，因此虽然流量持续高速增长，但是在提速降费、同质化竞争加剧的大趋势下，运营商的营收增长面临较大压力。

图 26：运营商收入增长与网络流量增长相背离



资料来源：wind，天风证券研究所制图

进入 5G 时代，边缘计算将成为运营商摆脱管道化的重要战场。边缘计算成为 5G 网络的重要组成部分，运营商势必主导边缘计算的发展，同时运营商通过边缘计算将能够进入流量之外的增值服务领域，分享更大利润空间。边缘计算需要根据不同网络环境配置不同的策略，因此必然与运营商核心网络深度结合，运营商在产业链中占据主导地位。同时，运营商在行业垂直应用上不具备技术储备优势，未来可能以开放基础网络端口的方式向专业第三方行业垂直应用龙头厂商开放边缘计算节点资源，共同运营，分享边缘计算带来的广阔市场空间。

图 27：中国移动与专业厂商共同布局的边缘计算垂直领域试验计划

编号	试验床名称	领域	合作单位
1	基于移动边缘计算的智慧城市视频网联服务平台	智慧城市	浪潮
2	基于 Niagara 的智慧楼宇	智慧城市	Tridium
3	基于中移动边缘计算服务架构的中建集团七层足尺实验智慧建造试点	智慧城市	中国建筑
4	边缘智能在智慧城市的应用	智慧城市	阿里巴巴
5	基于 TSN 与 vPLC 的数字产线	智能制造	华为
6	基于 Wise-PaaS 的工业柔性制造	智能制造	研华
7	智慧工厂试验床	智能制造	爱立信
8	智眸：面向智能制造的自动化检测方案	智能制造	联想
9	基于 OpenIL 的工业视觉应用	智能制造	恩智浦
10	工业互联网新型组网试验(opcu&tsn)	智能制造	赛特斯
11	边缘计算在 CDN 的应用	直播游戏	腾讯
12	基于边缘计算的 5G 快游戏	直播游戏	咪咕
13	基于边缘计算的 8K 360° VR 视频直播	直播游戏	Intel
14	边缘云 12K VR 全景视频点播	直播游戏	浙江移动
15	边缘计算在车联网的应用	车联网	百度

资料来源：中国移动《边缘计算技术白皮书》，天风证券研究所

从国内运营商进展看，三家运营商在边缘计算领域布局的思路有所差异，中国移动以能力开放引入第三方垂直应用合作厂商为主，中国联通探索引入社会资本通过合资公司建设边缘计算平台，中国电信的策略类似中国移动，打造开放平台拓展外部伙伴。

1、中国移动：2019 年 MWC 大会上中国移动发布 Pioneer 300 先锋行动，总体技术组发展边缘计算总体架构、行业标准及开源项目的研究，并成立边缘计算开放实验室，首批 34 家合作伙伴在各行业探索解决方案。

2、中国联通：2019 年 MWC 大会上中国联通发布《CUBE-Edge 2.0 及行业实践白皮书》，2018 年中国联通已在全国 15 个省市开展了 MEC 边缘云试点。2019 年中国联通与网宿科技成立的合资公司云际智慧挂牌成立，重点拓展边缘计算业务。

3、中国电信：MEC 技术与产业峰会上中国电信网络技术和规划部总工程师表示，中国电信将充分利用已有的 1800 个 CDN 节点，通过端局 DC 化改造，在运营商网关/设备引入边缘计算。同时电信重点打造边缘计算开放平台 ECOP，拓展外部合作伙伴，合作伙伴超过 12 家。

3.2. 通信设备商

边缘计算的功能实现需要服务器和网关等设备，以及配套的温控、动环监控等设备。边缘机房与核心数据中心条件有很大区别，可能无法满足传统通用服务器的部署和运行需求。

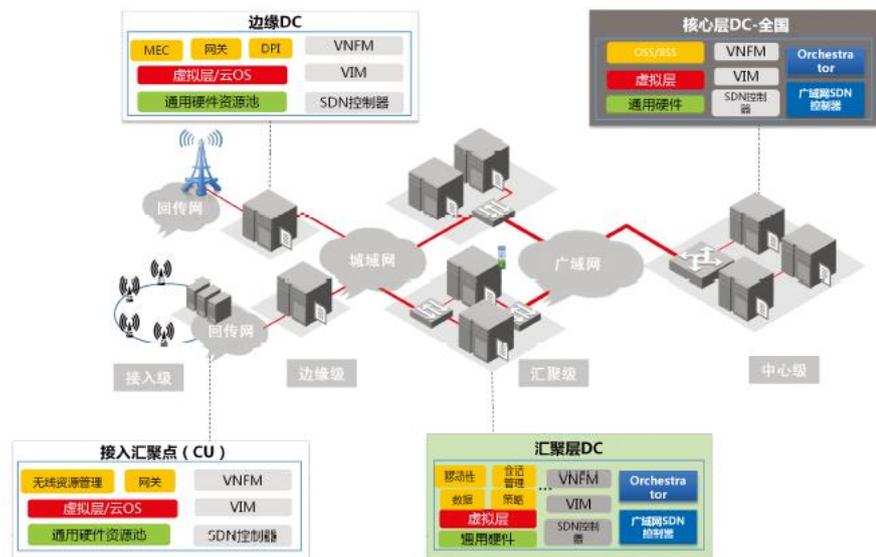
1) 机架空间限制。传输和接入机房机架多为 600mm 深，少部分为 800mm，数据中心服务器机柜更多为 800mm 深。

2) 环境温度稳定性。边缘机房规模较小，制冷系统稳定性无法达到传统数据中心机房的标准，机房温度可能达到 45° C 以上。

3) 机房承重、抗震、电磁兼容性等限制。边缘机房的承重标准普遍低于数据中心，抗震等级、电磁兼容性、空气质量等条件也较传统数据中心机房更低。

另一方面，边缘计算对服务器的性能有不同要求，需要服务器有一定计算和存储能力，还有大量异构计算需求，对硬件性能、运维管理有较高要求。为满足多 PCIe 设备应用场景下的性能和稳定性，服务器主板设计将采用 NUMA Balance 设计。面向垂直行业还需要引入边缘计算网关，为各类行业现场需要的基础网络功能和协议提供接口，实现行业垂直领域的现场部署。

图 28：边缘计算机房布局和设备配置



资料来源：IMT-2020《5G 网络架构白皮书》，天风证券研究所

3.3. 第三方专业厂商

3.3.1. 专业 CDN 厂商

边缘计算可以看做 CDN 和云计算的结合，专业 CDN 厂商已经有大量分散的 CDN 节点资源和技术储备，在边缘计算领域有一定优势，在边缘计算领域布局进度很快。具体来看：

1、Akamai：Akamai 是 CDN 技术的创始人，是全球 CDN 行业龙头。Akamai 在 2003 年就与 IBM 合作边缘计算，2018 年 6 月 Akamai 与 IBM 在其 WebSphere 上提供基于边缘 Edge 的服务。

2、网宿科技：网宿科技是国内 CDN 龙头，18 年 6 月北京邮电大学联合网宿科技共同发起成立了“边缘计算与网络系统联合实验室”，18 年 9 月公司变更前期定增资金用途，新增“网宿计算能力共享平台”、将社区云项目变更为“面向边缘计算的支撑平台”，2019 年 1 月公司与联通成立的边缘计算合资公司正式挂牌成立，在边缘计算建设和运营等领域取得实质性进展。

3、Limelight：Limelight 是北美主要 CDN 厂商之一，在 2018 年上半年在其 CDN 网络上推出了增强版的 EdgePrism OS 软件，允许用户在边缘端进行本地内容输入和交付。

3.3.2. 云计算厂商

在行业垂直领域有深厚积淀的云计算厂商也是边缘计算重要的参与方。边缘计算和云计算有一定竞争关系，会将部分在传统云数据中心处理的内容在边缘进行处理。同时边缘计算与云计算又有一定协同性，云计算厂商尤其是 SaaS 厂商针对行业垂直应用有深刻理解，边缘计算节点需要处理智慧城市、工业互联网、车联网等领域，在城市管理、工艺流程管理、车辆管理等领域已经有大量技术储备的 SaaS 厂商有望在边缘计算领域实现技术的迁移。具体来看：

1、微软：在 18 年 Build 大会上，微软全球 CEO 正式向中国市场推出了微软混合云解决方案 Azure Stack。在 2018 年度举行的微软开发者大会上，微软通过发布关于使用语音、摄像头以及人工智能技术的新一代边缘计算工具引导更多开发人员，将业务重心从 Windows 操作系统转移到智能边缘计算方面来。微软还宣布与高通建立合作伙伴关系，合作构建一个运行 Azure IoT Edge 的可视化人工智能开发人员工具包。

2、亚马逊：亚马逊 AWS 17 年年底发布的 Greengrass 软件可以“将 AWS 无缝扩展到设备上，以便它们可以对其生成的数据进行本地操作，同时仍使用云端进行管理、分析和长期存储”。2018 年 4 月，AWS 的边缘计算平台 AWS Greengrass 以机器学习推理支持的形式进行了改版，凭借 Greengrass 对机器学习的最新支持，客户将能够构建自己的 DeepLens 设备，并在边缘进行推理。

3、Google：谷歌在 2017 年发布了全新的边缘计算服务 Cloud IoT Core，协助企业连接及管理物联网装置，以及快速处理物联网装置所采集的数据。18 年 5 月谷歌在加州山景城召开一年一度的 I/O 大会。谷歌大会全程围绕 AI 技术展开，并发布了一款针对家电和其他设备设计的独立 Android 系统，和微软 AI 不同，谷歌全转向了边缘计算。

4、阿里：阿里云 2018 年战略布局边缘计算，未来的核心战略是“云+边+端”三位一体的计算模式。18 年 3 月阿里云推出首个 IoT 边缘计算产品 Link Edge，可被用于 AI 实践，在发布时已经有 16 家芯片公司、52 家设备商、184 款模组和网关支持阿里云物联网操作系统和边缘计算产品。同时阿里在 2019 年 MWC 大会上加入中国移动开放实验室，负责边缘智能在智慧城市的应用项目。

4、腾讯：腾讯云在 18 年上半年采取了“CDN+云”的路线让 CDN 具备智能计算的能力，但尚未推出基于边缘的开放框架，仅仅是在腾讯具有优势的视频直播、游戏、智能鉴黄等大场景上的探索。同时腾讯在 2019 年 MWC 大会上加入中国移动开放实验室，负责边缘计算在 CDN 的应用项目。

5、**百度**：百度云在 2018 年百度云天工发布“智能边缘”，并开启邀请制测试。百度云天工将云端的数据管理与计算功能以软件的方式放在设备端上，将智能计算能力带向离数据源更近的地方，与云端计算良好协同，让设备变得更加智能。同时百度在 2019 年 MWC 大会上加入中国移动开放实验室，负责边缘计算在车联网的应用项目。

4. 边缘计算核心受益标的

1、边缘计算实质性布局龙头标的：

- **网宿科技**：与联通成立合资公司布局边缘计算业务，边缘计算作为 5G 核心技术之一，势必由运营商主导，公司强化与联通合作，有望在边缘计算领域占据先发优势。同时公司 CDN 主业价格战见底，CDN 主业企稳，出售 IDC 进一步聚焦主业，同时大幅强化公司资金实力、改善财务结构，交易完成后有望带来 7 个亿投资收益。不考虑出售 IDC 的投资收益，预计公司 19-20 年净利润分别为 9.5、12.8 亿元，对应 19 年 33 倍市盈率。

2、边缘计算带动网络设备需求，龙头标的重点受益：

- **中兴通讯**：网络设备龙头，MWC 大会发布边缘计算服务器，中兴与英特尔联合展示了该服务器在视觉识别领域的应用。中兴通讯作为全球主设备龙头之一，5G 最直接受益。BIS 事件影响基本消除，公司经营全面恢复，未来合规性风险较低。预计公司 19-20 年净利润分别为 54.2、67.9 亿元，对应 19 年 24 倍市盈率。
- **星网锐捷**：企业网络设备龙头之一，在服务器、交换机、网关等产品技术积累深厚，边缘计算领域大有可为。公司目前企业网设备稳步增长，云桌面、娱乐系统等新业务整合顺利，预计 19-20 年净利润 7.5、8.7 亿元，对应 19 年 17 倍市盈率。
- **其他相关标的建议关注**：烽火通信（传输网设备龙头厂商，边缘计算有望带来需求增量）、剑桥科技（网络设备小而美厂商，收购 Macom 和 Oclaro 日本光模块工厂拓展光模块生产能力）等。

3、边缘机房对温控、动环监控等设备产生巨大新增需求：

- **佳力图**：精密温控龙头，产品广泛应用在云计算、电信数据机房，客户涵盖通信、互联网、金融等领域，云计算+5G 将带动机房温控产品需求长期持续成长。公司凭借成本、定制化、快速响应等优势，市场份额有望进一步提升。预计公司 19-20 年净利润为 1.5 亿和 1.8 亿元，对应 19 年 24 倍市盈率。
- **其他相关标的建议关注**：英维克（精密温控龙头之一，数据中心温控、新能源汽车空调等领域持续拓展）；创意信息（行业大数据重点公司，子公司邦讯信息是国内机房动环监控龙头，边缘计算机房带来广阔需求）等。

4、边缘计算将带动 5G 应用蓬勃发展，小基站和站址资源需求凸显：

- **三维通信**：传统网络优化、维护区域龙头，外延布局微信生态变现，支撑业绩持续高速增长。5G 时代布局智慧灯杆资源，有望成为运营商小基站部署站址，分享 5G 市场红利。预计公司 19-20 年净利润 3.4、4.7 亿元，对应 19 年 21 倍市盈率。
- **华体科技**：景观照明龙头，智慧路灯产品持续推进，有望成为 5G 重要小基站部署模式，拓展 5G 站址运营业务，长期受益 5G 小基站深度覆盖建设。预计公司 19-20 年

净利润 1.5、2.2 亿元，对应 19 年 20 倍市盈率。

- **其他标的建议关注：**中国铁塔（港股）、京信通信（港股小基站龙头）等。

5、边缘计算将带动 5G 下游物联网等应用快速成熟，重点关注物联网相关产业链：

- **移为通信：**基于位置追踪物联网终端产品龙头厂商，全球市场持续突破，预计 19-20 年净利润 1.7、2.1 亿元，对应 19 年 36 倍市盈率。
- **拓邦股份：**智能控制器龙头，物联网产业链重要环节，预计公司 19-20 年净利润 3.2、4.5 亿元，对应 19 年 19 倍市盈率。
- **高新兴：**物联网、智慧城市、软件解决方案全面布局，物联网模组运营商份额领先。预计公司 19-20 年净利润 6.8、8.3 亿元，对应 19 年 25 倍市盈率。
- **日海智能：**物联网模组+管理平台+应用平台全面布局，成功进入运营商市场。预计公司 19-20 年净利润 3.0、4.3 亿元，对应 19 年 28 倍市盈率。
- **其他标的建议关注：**广和通（物联网模组重点标的）、宜通世纪（物联网管理平台龙头）等。

风险提示：技术研发风险，下游应用低预期，行业竞争加剧、运营商资本开支低于预期等

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益 -10%-10%
		卖出	预期股价相对收益 -10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅 -5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅 -5%以下

天风证券研究

北京	武汉	上海	深圳
北京市西城区佟麟阁路 36 号	湖北武汉市武昌区中南路 99 号保利广场 A 座 37 楼	上海市浦东新区兰花路 333 号 333 世纪大厦 20 楼	深圳市福田区益田路 5033 号平安金融中心 71 楼
邮编：100031	邮编：430071	邮编：201204	邮编：518000
邮箱：research@tfzq.com	电话：(8627)-87618889	电话：(8621)-68815388	电话：(86755)-23915663
	传真：(8627)-87618863	传真：(8621)-68812910	传真：(86755)-82571995
	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com