

5G 系列报告之二：5G 传输网络投资大周期启动，支撑百倍流量需求 增持（维持）

2018 年 08 月 05 日

证券分析师 侯宾

执业证号：S0600518070001

021-60199793

houb@dwzq.com.cn

证券分析师 孙云翔

执业证号：S0600518010002

021-60199793

sunyx@dwzq.com.cn

投资要点

■ **5G 是我国的关键核心技术创新领域，依然是通信产业确定性最高的发展机遇：**1) 5G 拥有核心需求和可观经济效益：5G 将人、事、物的连接需求抽象为三大类场景，将能够满足智能家居、超高速通信、超高清视频、工业自动化、无人驾驶、VR/AR/MR 等所有领域的规模部署和应用创新的需求，并有望掀动 ICT 又一波新浪潮。此外，5G 的建设和运营将大幅带动经济总产出、就业机会，提升经济活力。2) 产业扶持力度不断扩大：面对 5G 和物联网技术带来的可观机遇，各国政府都积极推进，不断加码相关政策。我国自上而下，不断提高关键核心技术创新能力的重要性，5G 有望成为我国核心技术的突破。

■ **传输网络是 5G 的大动脉，传输网络设备需求大幅提升，投资窗口日渐临近。**5G 基站带宽需求大幅提升，预计将达到 LTE 的 10 倍以上。为了满足 5G 网络高带宽需求，5G 承载网络将应用大量高带宽高性能的光传输设备，我们预计 5G 时代整个传输设备市场规模将超过 1300 亿元。同时 5G 网络承载业务类型相比于 4G 网络将有大幅提升，运营商资本开支预计相比 4G 时期提升 50% 以上，我们认为传输设备领域 5G 时代将最先受益。

■ **多项重要催化剂到来，5G 网络即将迎来大规模建设时期。**5G 产业迎来“技术标准+频率划分+产业联盟”催化，中长期成长逻辑进一步夯实。5G SA 功能于 2018 年 6 月冻结，产业化推进顺利。我国有望近期确定 5G 频率分配。各运营商、设备商加紧产品展示和产业联盟构建，5G 落地加速。我们认为 2019 年开始 5G 传输网络的规模投资将逐步开展，烽火通信作为 5G 传输设备核心供应商，将大幅收益。

■ **投资建议：**1、光系统设备，光传输网络龙头子版块，重点布局烽火通信，建议关注中兴通讯。2、光交换及光器件，光通信上游赛道，重点关注中际旭创、新易盛、光迅科技、博创科技。3、光网络集成，建议关注烽火通信、太辰光、瑞斯康达。4、光纤光缆，运营商部署 5G 网络重点投资领域，建议关注长飞光纤光缆、亨通光电、烽火通信、中天科技、特发信息。

■ **风险提示：**1、运营商收入端持续承压；2、国家对 5G、物联网等新兴领域扶持政策减弱；3、5G 标准化和产品研发进度不及预期。

行业走势



相关研究

1、《通信行业：扩大和升级信息消费计划出炉，持续看好 5G 大周期》2018-08-13

2、《通信行业：LoRa 技术助力物联网快速发展，从逆周期投资角度看 5G 投资》2018-08-06

3、《通信行业：中移动年中追加投资，持续关注 5G 传输网络投资周期的影响》2018-07-23

内容目录

1. 5G 是我国的关键核心技术创新领域，依然是通信产业确定性最高的发展机遇.....	4
1.1. 5G 产业发展能带来高性能网络能力以及可观的经济效益	4
1.2. 产业政策扶持力度大，抢占全球 5G 产业第一阵营	7
2. 传输网络是 5G 的大动脉，具有投资窗口	9
2.1. 5G 是超宽带网络，传输网络设备需求大幅提升	9
2.2. 5G 网络承载方案分析	11
2.2.1. 5G 前传承载方案	12
2.2.2. 5G 中传/回传承载方案	16
2.3. 5G 网络规划部署在即，传输网络投资窗口将打开	20
3. 多项催化剂接连发生，5G 网络即将迎来大规模建设期.....	21
3.1. 5G 技术标准冻结，产业化推进顺利	21
3.2. 5G 频率分配进行中，我国有望近期落定	22
3.3. MWC 各家加紧产品展示和产业联盟构建，有助于 5G 落地加速	22
4. 投资建议	23
5. 风险提示	24

图表目录

图 1: 5G (IMT-2020) 与 4G (IMT-Advanced) 的关键能力对比	5
图 2: 物联网在城市中的主要应用	6
图 3: 5G 将被应用到生产生活的各个方面	6
图 4: 5G 典型应用场景	7
图 5: 5G 直接和间接经济增加值贡献 (万亿元)	7
图 6: 5G 直接经济产出结构 (亿元)	7
图 7: 中国 5G 技术研发试验有序推进	8
图 8: 5G 时代光传输承载网示意图	10
图 9: 5G 传输设备需求量预测 (万)	10
图 10: 5G 传输设备投资规模预测 (亿)	10
图 11: 5G 综合承载网架构示意图	11
图 12: 5G 前传的 3 种不同场景: (a)小集中(b)P2P 大集中(c)环网大集中	12
图 13: 光纤直连方案架构图	13
图 14: 无源 WDM 方案架构图	13
图 15: 无源 WDM 方案故障定位示意图	14
图 16: 光源集中无源 DWDM 方案示意图	14
图 17: 有源 WDM 方案点到点架构图	15
图 18: 有源 WDM 方案环网架构图	15
图 19: 城域 OTN 网络架构匹配 5G 承载需求示意图	16
图 20: 分组增强型 OTN+IPRAN 组网方案示意图	17
图 21: 端到端分组增强型 OTN 方案示意图	17
图 22: 网络切片承载方案示意图	18
图 23: 5G 中期中小型 DC 互联方案	19
图 24: 5G 后期中小型 DC 互联方案	19
图 25: 三大运营商历年投资分析	20
图 26: 5G 技术标准进程示意图	21
图 27: 三大运营商历年投资分析	23
表 1: 5G 及物联网相关产业政策	8
表 2: 典型的 5G 单个 S111 基站的带宽需求估算	9
表 3: 5G 传输网络领域公司	23

1. 5G 是我国的关键核心技术创新领域，依然是通信产业确定性最高的发展机遇

5G 即第 5 代移动通信技术，是继 4G 之后正在研究的最新一代通信技术。5G 将大幅提升用户的上网速度，并在数据传输中呈现出明显的低时延，高可靠、低功耗的特点。随着 4G 进入规模商用阶段，面向 2020 年及未来的 5G 已成为全球研发热点。5G 将成为物联网发展的推进器，提供用户所需的连接灵活性，和提供驱动标准物联网构建模块通信所需的核心工具。

1.1. 5G 产业发展能带来高性能网络能力以及可观的经济效益

业务需求引导 5G 技术标准，5G 网络出现的意义包括：

1、5G 使系统性能呈现指数级提升

尽管关于 5G 的具体标准和参数尚未定论，但 ITU 已经发布了 5G 的参数标准，其中对比 4G 的主要提高如下：5G 的速度将达到 4G 的 100 倍（1Gbps），和 GoogleFiber 相同，峰值速率达到 20Gbps。意味着用户下载 8GB 的 HD 电影只需要 6 秒，而 3G 网络下需要 70 分钟，4G 网络需要 7 分钟。

- ▶ 延迟降低 50 倍至 1 毫秒，对比 4G 网络的延迟一般为 50 毫秒。
- ▶ 网络容量大幅增加，可达到 10Mbps/平方米
- ▶ 连接密度从目前的 10 万/平方公里增至 100 万/平方公里
- ▶ 能耗大幅降低，使用 5G 网络的物联网设备续航时间可达到 10 年。

为了实现上述需求，5G 将引用新的频段，使用新的技术，并构建全新的网络架构和网络拓扑：

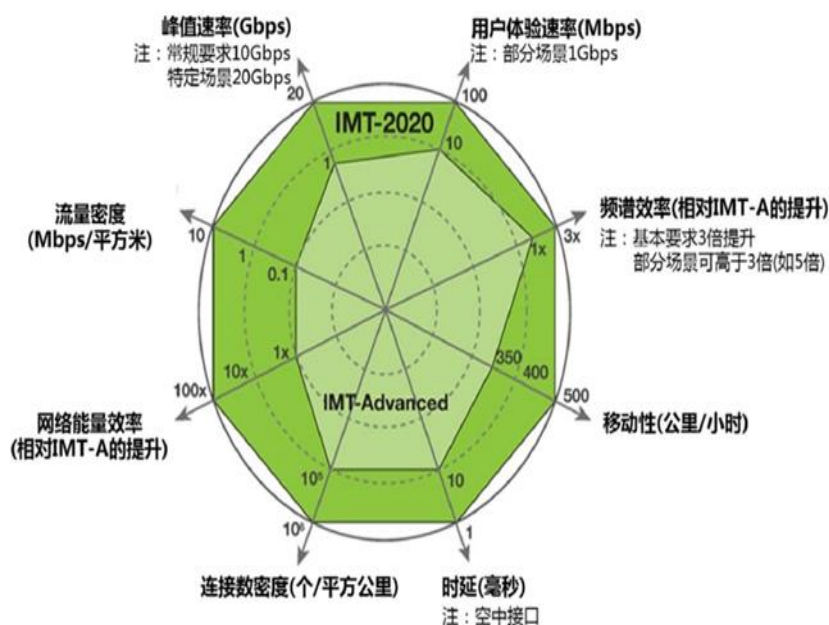
▶ 新的频段：5G 将采用高频波段以增加带宽，FCC 已经于去年 7 月投票通过增加总计 11GHz 的高频频段用于 5G 通信，其中包括 3.85GHz 的授权频段（27.5~28.35GHz、37~38.6GHz、38.6~40GHz）及 7GHz 的非授权频段（64~71GHz），达到此前美国移动网络的所有授权频段总和的 16 倍。高频频谱的使用将大大增加移动设备中 RF（射频）内容和芯片复杂性，约 3~4 倍。

▶ 新的技术：主要是利用波束成形及大规模 MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）天线阵列等技术，大幅提高 5G 的频谱效率（bps/Hz），达到 LTE 的数倍至数十倍。大规模天线阵列是基于多用户波束成形的原理，在基站端布置大量天线，对数十个目标调制各自的波束，通过空间信号隔离，在同一频率资源上同时传输数十条信号。这种对空间资源的充分挖掘，可以有效利用宝贵而稀缺的频带资源，从而提升网络容量。此外，由波束成形形成的信号叠加增益将使得每根天线只需以小功率发射信号，从而避免使用昂贵的大动态范围功率放大器，减少了硬件成本。实际上，该技术还能够通过大规模天线的波束成形弥补高频波段易衰减、易吸收的劣势。

▶ 新的网络架构和网络拓扑：使用 SDN（软件定义网络）/NFV（网络功能虚拟化）实现网络架构，并大量使用 Small Cell（小基站/小蜂窝）构建网络。SDN/NFV 作为一

种新型的网络架构与构建技术，提倡将控制与数据分离、软件化及虚拟化，将能够灵活部署网络，有利于简化基础设施、降低延迟及运营成本、增加可靠性等。Small Cell 则主要针对高频波段推出。由于大量新增频谱处于 20~100GHz 的高频频段，因此网络覆盖性能较弱，意味着网络密度将需要显著提升，Small Cell 将成为唯一真正的解决途径。

图 1：5G（IMT-2020）与 4G（IMT-Advanced）的关键能力对比



数据来源：ITU，东吴证券研究所

2、万物智联下连接数快速增长，应用场景更加广泛。

物联网是智慧城市中非常重要的元素，它支撑着整个智慧城市系统。物联网为智慧城市提供了坚实的技术基础，也为智慧城市提供了城市的感知能力，并使得这种感知更加智能，可以说智慧城市是物联网的靶心。

5G 网络的开放性使其成为普适性的网络基础设施。5G 网络将使用服务器、存储和交换机等通用性硬件，取代传统网络中专用的网元设备，由软件实现网元设备功能，同时，通过灵活的网络切片技术，实现多个行业和差异业务共享网络能力，进一步提升网元设备利用效率和集约运营程度。提供应用程序编程接口（API），对第三方开放基础网络能力，根据第三方的业务需求，实现按需定制和交互，尤其是引入移动边缘计算，通过与内容提供商和应用开发者的深度合作，在靠近移动用户侧就近提供内容分发服务，使应用、服务和内容部署在高度分布的环境中，更好地支持低时延和高带宽的业务需求。

5G 能够进一步的加强宽带带宽，缩短响应时间，从而服务消费者；5G 通过 FWA 能够解决最后一公里的电缆光纤问题；5G 助力物联网，能够将新的设备联入到网络当中，带来全新的应用。

图 2：物联网在城市中的主要应用



数据来源：金融界，东吴证券研究所

图 3：5G 将被应用到生产生活的各个方面



数据来源：015IMT-2020(5G)PROMOTIONGROUP，东吴证券研究所

3、5G 网络的功能升级将显著契合物联网的需求

“IMT-2020”对 5G 网络提出了 8 点基本要求，其中明确对传输速度、延时特性及控制性作出了具体规划：

高速度-5G 通信平均速度可以达到 1Gbps/s、峰值网速可以达到 20Gbps/s，是 4G 平均网速的 50-200 倍。这样的网速已经可以很好的完成物联网时代大数据传输需求。

低延时-5G 设备延时仅 1ms，相对 4G 网络大幅改善。非常契合在对信息传递精度要求高的领域(如工厂生产线、自动驾驶汽车或增强现实等)。

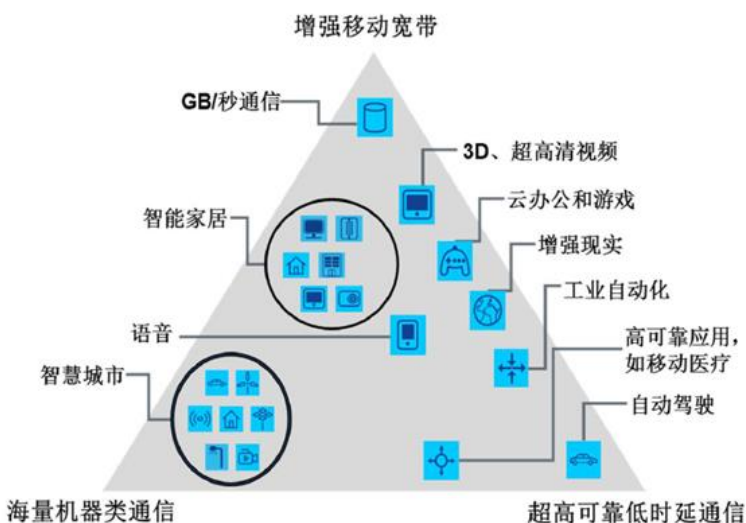
多终端控制-通过分布式基站的部署及更优越的天线性能，5G 网络连接密度可以达到 106 设备/km²，是 4G 网络连接密度的 10 倍以上。

除以上三点外，5G 网络在网络流量效能、流量密度、频谱效率、移动性能等指标上也远优于 4G 网络。

4、5G 是经济社会数字化转型的关键使能器

未来，5G 与云计算、大数据、人工智能、虚拟增强现实等技术的深度融合，将连接人和万物，成为各行各业数字化转型的关键基础设施。一方面，5G 将为用户提供超高清视频、下一代社交网络、沉浸式游戏等更加身临其境的业务体验，促进人类交互方式再次升级。另一方面，5G 将支持海量的机器通信，以智慧城市、智能家居等为代表的典型应用场景与移动通信深度融合，预期千亿量级的设备将接入 5G 网络。更重要的是，5G 还将以其超高可靠性、超低时延的卓越性能，引爆如车联网、移动医疗、工业互联网等垂直行业应用。

图 4：5G 典型应用场景



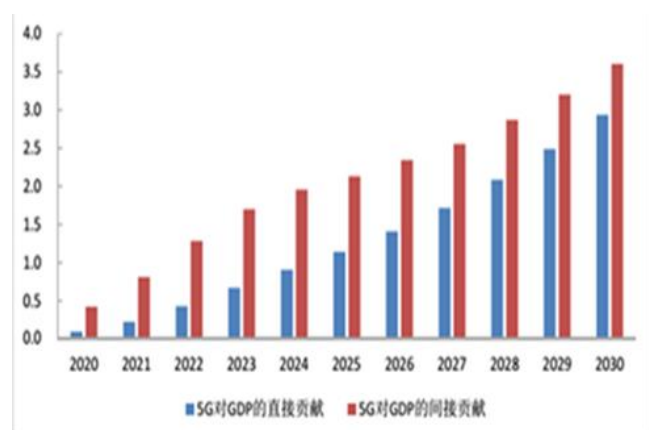
数据来源：ITU，东吴证券研究所

5、5G 能带来可观的经济效益

根据中国信通院《5G 经济社会影响白皮书》预测，2030 年 5G 间接拉动的 GDP 将达到 3.6 万亿元。按照产业间的关联关系测算，2020 年，5G 间接拉动 GDP 增长将超过 4190 亿元；2025 年，间接拉动的 GDP 将达到 2.1 万亿元；2030 年，5G 间接拉动的 GDP 将增长到 3.6 万亿元。十年间，5G 间接拉动 GDP 的年均复合增长率将达到 24%。

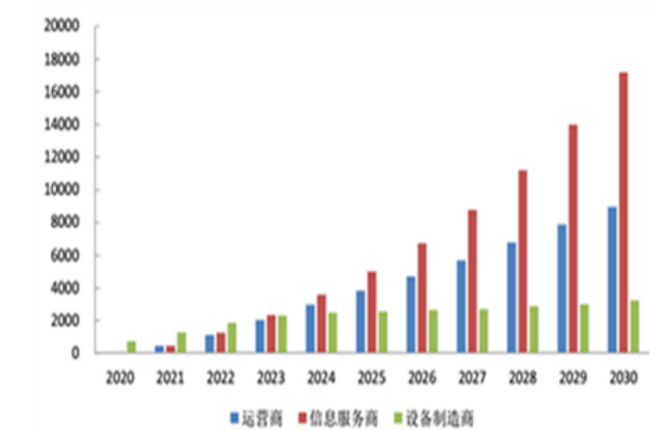
预计 2030 年电信运营商流量收入所产生的 GDP 约 9000 亿元，占当年 5G 对 GDP 总贡献的 31%，各类信息服务商提供信息服务将产生约 1.7 万亿元的 GDP，占当年 5G 对 GDP 总贡献的 58%。

图 5：5G 直接和间接经济增加值贡献（万亿元）



数据来源：中国信通院，东吴证券研究所

图 6：5G 直接经济产出结构（亿元）



数据来源：中国信通院，东吴证券研究所

1.2. 产业政策扶持力度大，抢占全球 5G 产业第一阵营

ITU 确定了 5G 标准时间表，欧美日韩等均制定了 5G 推进计划，我国成立了

IMT-2020 (5G) 推进组。5G 技术研发试验的关键技术验证、技术方案验证、系统验证 3 个步骤有序推进，目前处在技术方案验证阶段，有望在 2018 年后进入第二阶段，即 5G 产品研发试验。

透过我国在 5G 技术和产业领域的发声和努力，我们关注到相比于以往 2G/3G/4G 网络时代，我国越来越占据主动性，甚至逐渐占据主导。2017 年 10 月 26 日，工信部党组书记、部长苗圩主持召开党组会，集体学习党的十九大和十九届一中全全会精神，提出要坚决贯彻党的十九大决策部署，加强网络信息基础设施建设，加快 5G、工业互联网等重大技术研发应用。

图 7：中国 5G 技术研发试验有序推进



数据来源：C114、中国信通院等，东吴证券研究所整理

面对 5G 和物联网技术带来的可观机遇，各国政府都积极推进，不断加码相关政策。美国 and 德国等工业强国分别以《先进制造战略》和《工业 4.0 战略》为战略目标，借助 5G 技术提升国家制造业竞争力。我国将关键核心技术当做国之重器，要求切实提高我国关键核心技术创新能力，把科技发展主动权牢牢掌握在自己手里，为我国发展提供有力科技保障。

表 1：5G 及物联网相关产业政策

5G 及物联网相关产业政策	科技创新及制造强国相关政策
中央财经委员会第二次会议：提高关键核心技术创新能力，为我国发展提供有力科技保障	关键核心技术是国之重器，对推动我国经济高质量发展、保障国家安全都具有十分重要的意义，必须切实提高我国关键核心技术创新能力，把科技发展主动权牢牢掌握在自己手里，为我国发展提供有力科技保障。
《国家“十三五”规划》：2020 年启动 5G 商用	《省级制造业创新中心升级为国家制造业创新中心条件》：贯彻落实《中国制造 2025》，加快推进制造业创新体系建设
《2017 年全市经济和信息化工	《产业关键共性技术发展指南（2017 年）》：增强关

作报告》：北京将启动 5G 试点工作；三大运营商推进 5G 研发与实验	键环节和重点领域的创新能力，实现中国制造向中国创造转变
《2016 年政府工作报告》：促进大数据、云计算、物理网广泛应用	《2017 年工业转型升级（中国制造 2025）资金（部门预算）项目指南》：保障转型升级的资金需求
《智能制造工程实施指南》：加速标准化实施，明确财税金融支持。	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018-2020 年）》：加快人工智能产业发展，推动人工智能和实体经济深度融合
《关于加快推进“互联网+政务服务”工作的指导意见》：提出“创新应用互联网、物联网、云计算和大数据等技术	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018-2020 年）》：加快人工智能产业发展，推动人工智能和实体经济深度融合
《关于全面推进移动物联网（NB-IoT）建设发展》的通知	
《2017 年政府工作报告》：深入实施《中国制造 2025》，加快大数据、云计算、物联网应用	《产业关键共性技术发展指南（2017 年）》：增强关键环节和重点领域的创新能力，实现中国制造向中国创造转变

数据来源：C114、工信部、中国财经等，东吴证券研究所

2. 传输网络是 5G 的大动脉，具有投资窗口

2.1. 5G 是超宽带网络，传输网络设备需求大幅提升

5G 基站应用超大带宽、高阶 MIMO、帧结构增强等一系列技术手段，使得单站的带宽承载能力突飞猛进。5G 频谱将新增 Sub6G 及超高频两个频段。Sub6G 频段即 3.4GHz~3.6GHz，可提供 100~200MHz 连续频谱；6GHz 以上超高频段的频谱资源更加丰富，可用资源一般可达连续 800MHz。因此，更高频段、更宽频谱和新空口技术使得 5G 基站带宽需求大幅提升，预计将达到 LTE 的 10 倍以上。

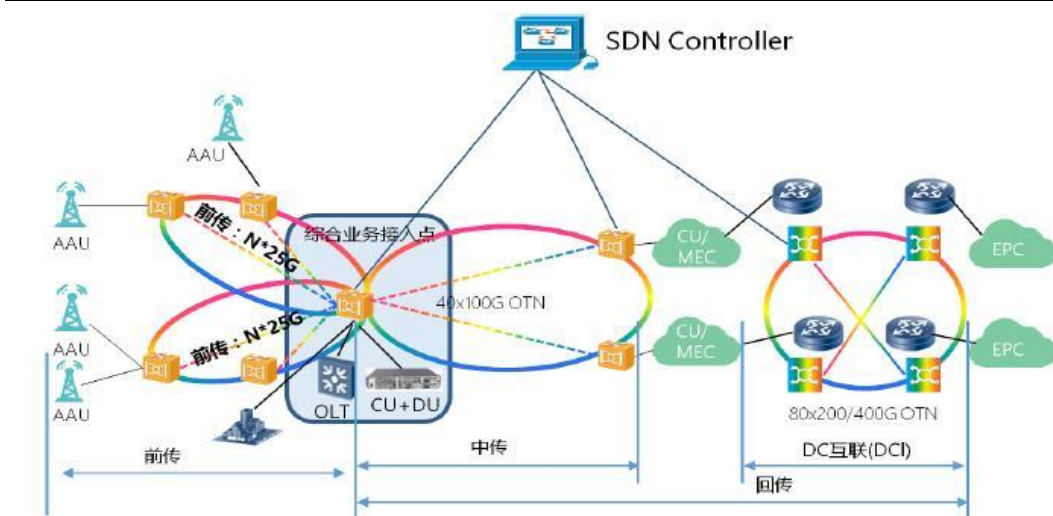
表 2：典型的 5G 单个 S111 基站的带宽需求估算

关键指标	前传	中传&回传（峰值/均值）
5G 早期站型：Sub6G/100MHz	3*25Gbps	5Gbps/3Gbps
5G 成熟期站型：超高频/800MHz	3*25Gbps	20Gbps/9.6Gbps

数据来源：中国电信，东吴证券研究所

5G 网络架构相比于 4G 有了一定的调整和优化，承载网络由前传、中传、回传三部分组成，应用了大量高带宽高性能的光传输设备。

图 8：5G 时代光传输承载网示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

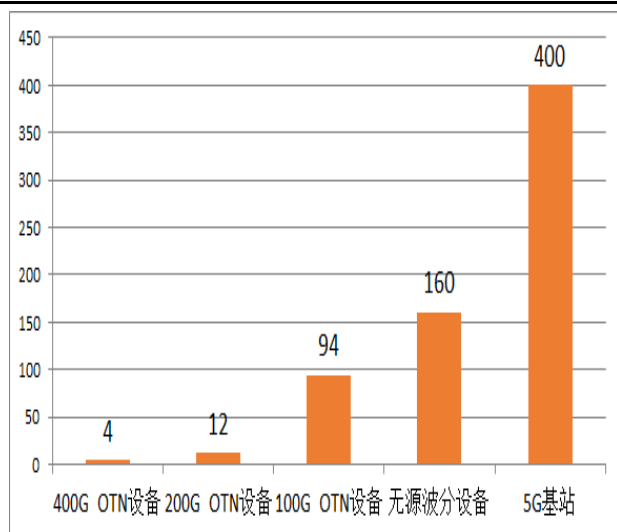
为了满足 5G 网络高带宽需求，我们估算 5G 时代传输设备投资规模将大幅提升。我们基于以下假设对未来光传输设备市场规模做简单估算：

1. 5G 时期的基站数量与 4G 时期基本保持一致，大约在 380 万个，到 5G 全覆盖将会达到 400 万个。

2. 网络各层的对应关系大概为：接入层收敛比 8:1，汇聚层收敛比 4:1，区域核心层收敛比 2:1。

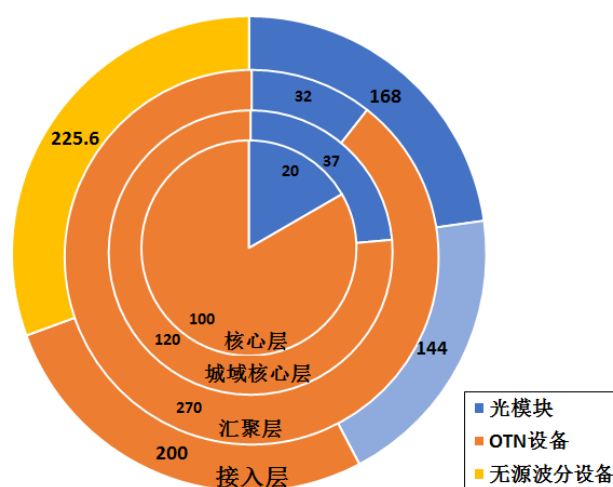
3. 前传环节 50% 使用设备承载（即 200 万个基站），无源波分占比 80%，OTN 占比 20%（OTN 成本较高）；50% 使用光纤承载。

图 9：5G 传输设备需求量预测（万）



数据来源：中国电信，东吴证券研究所

图 10：5G 传输设备投资规模预测（亿）



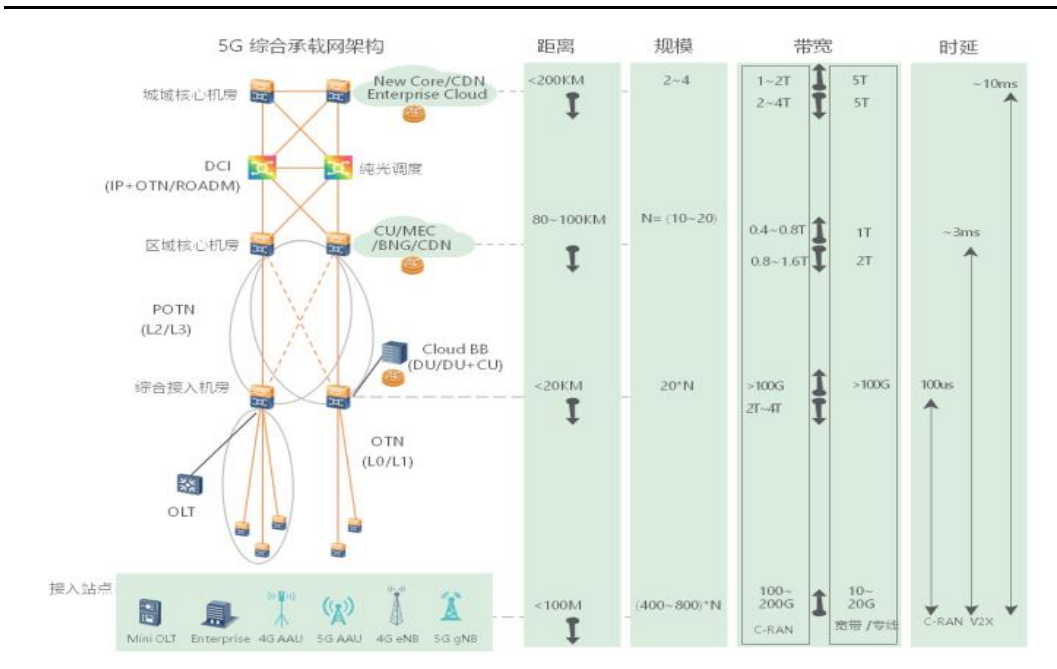
数据来源：中国电信，东吴证券研究所

5G 时代整个传输设备市场规模将超过 1300 亿元，相比于 4G 时代有较大提升，传输设备领域内的公司将迎来新的发展机遇。

2.2. 5G 网络承载方案分析

5G 承载网是一个移动/宽带/云专线架构趋同的综合承载网，需要具备数 10G~100G 承载和 1~2 倍站点带宽演进、极低时延、高精度时钟架构基础的能力，支持移动&专线&宽带综合承载灵活演进能力，同时末梢设备具备即插即用部署能力。5G 承载网向综合承载的网络架构模型总结如下：

图 11：5G 综合承载网架构示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所

1) 5G 无线&核心网功能节点位置与当前宽带承载趋同：5G Newcore 与 FBB 的 CR 位置相当，MEC/MCE 与 BNG (Broad band Network Gateway, 宽带网络业务网关) 位置相当，Cloud BB 和 OLT 位置相当；

2) 云化架构特征趋同：BNG 云化与 MEC 同处一朵云，因此 CDN 的位置可以放到城域核心 CR 的位置或下沉到 BNG，原 CR/CDN 调度功能由 DCI 取代，CDN 内容被移动/宽带共享，通过 DCI 互联网层实现内容同步，可以提升移动用户达到宽带用户的视频等业务体验（宽带视频客户多会触发 CDN 内容下移，移动客户主要视频 CDN 访问点在 New Core，通过融合架构可以让移动视频客户从 MEC 访问 CDN）。

3) 城域专线覆盖趋同：OTN 设备下沉到 OLT (Optical Line Terminal, 光线路终端)、BBU 等综合业务接入机房后，通过光纤直驱、SDH (Synchronous Digital Hierarchy, 数字同步体系)/CPE (Customer Premise Equipment, 客户终端设备)/OTN 等末端小设备，接入最后 1~2 公里，提供大客户专线业务，支持业务快速开通、端到端 SDH/OTN 硬管道业务，构建超低时延精品城域专线网络。BNG 仍然部署在区域核心机房，后续逐渐虚拟云化部署；OLT 通常部署在综合接入机房，也有小型化 OLT 部署在用户小区。

4) 业界两种主流网络融合趋势，汇聚层以上都是综合承载：一种架构是汇聚（OLT/Cloud BB）以上综合承载，接入独立承载；另外一种架构是骨干和城域端到端综合承载。

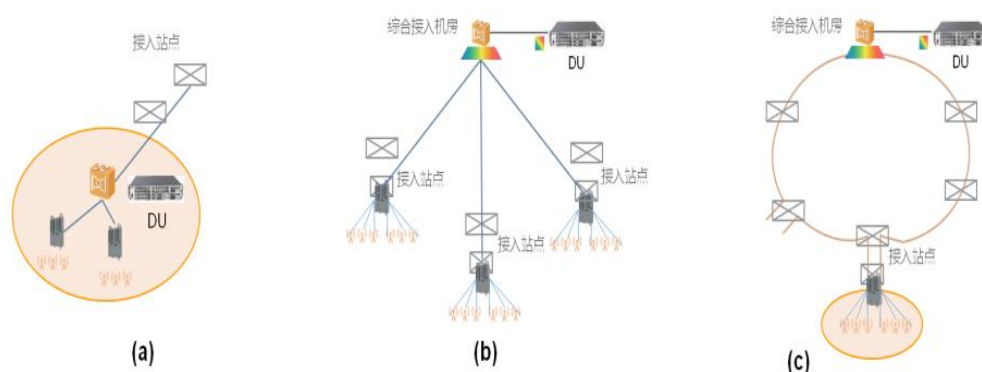
2.2.1. 5G 前传承载方案

5G 初期主要是 eMBB 业务的应用，基本沿用 4G 时代一个站点带 3 个 AAU 的方式。5G 成熟期将根据实际业务流量的需求，既有低频站点基础上增加高频 AAU 的方案、也有扩展低频 AAU、新建高频基站等方案，扩展网络容量。

1、5G 前传典型组网场景

根据 DU 部署位置，5G 前传有大集中和小集中两种典型场景：（1）小集中：DU 部署位置较低，与 4G 宏站 BBU 部署位置基本一致，此时与 DU 相连的 5GAAU 数量一般小于 30 个（<10 个宏站）。（2）大集中：DU 部署位置较高，位于综合接入点机房，此场景与 DU 相连的 5GAAU 数量一般大于 30 个（>10 个宏站）。进一步依据光纤的资源及拓扑分布以及网络需求（保护、管理）等，又可以将大集中的场景再细分为 P2P 大集中和环网大集中。

图 12：5G 前传的 3 种不同场景：(a)小集中(b)P2P 大集中(c)环网大集中



数据来源：中国电信，东吴证券研究所

(a)所示为小集中的场景，其特点是导入端可用光纤数目不少于 AAU 的数目，DU 放置在某个站点机房内，和该站点机房附近的 AAU 通过导入光纤实现连接。

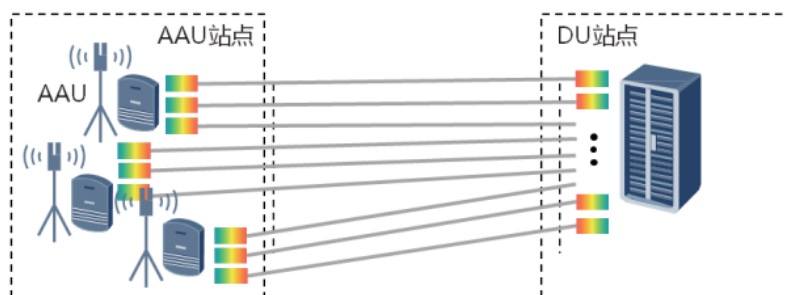
(b)所示为 P2P（Point to Point，P2P）大集中的场景，其特点是接入骨干层的光纤拓扑为树型结构，适合采用点到点 WDM 组网。DU 池放置在综合接入机房，便于对 DU 池进行集中维护。

(c)所示为环网大集中的场景，其特点是接入骨干层的光纤拓扑为环形结构，适合采用 WDM 环形组网，从而进一步节省光纤资源。

2、光纤直连方案

下图示出的是光纤直连的方案，即 BBU 与每个 AAU 的端口全部采用光纤点到点直连组网。

图 13：光纤直连方案架构图



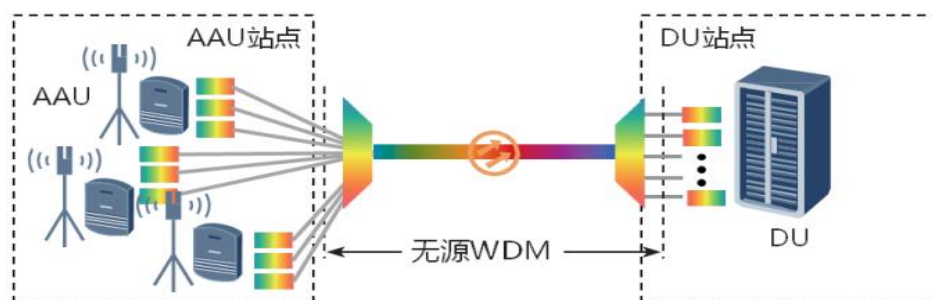
数据来源：中国电信，东吴证券研究所

光纤直连方案实现简单，但最大的问题就是光纤资源占用很多。5G 时代，随着前传带宽和基站数量、载频数量的急剧增加，光纤直驱方案对光纤的占用量不容忽视。因此，光直驱方案适用于光纤资源非常丰富的区域，在光纤资源紧张的地区，可以采用设备承载方案克服光纤资源紧缺的问题。

3、无源 WDM 方案

无源波分方案采用波分复用（WDM）技术，将彩光模块安装在无线设备（AAU 和 DU）上，通过无源的合、分波板卡或设备完成 WDM 功能，利用一对甚至一根光纤可以提供多个 AAU 到 DU 之间的连接。根据采用的波长属性，无源波分方案可以进一步区分为无源粗波分（CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplexing）方案和无源密集波分（DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing）方案。

图 14：无源 WDM 方案架构图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

相比光纤直驱方案，无源波分方案显而易见的好处是节省了光纤，但是也存在一定的局限性，包括：

（1）波长通道数受限

虽然粗波分复用（CWDM）技术标准定义了 16 个通道，但考虑到色散问题，用于 5G 前传的无源 CWDM 方案只能利用前几个通道（通常为 1271nm~1371nm），波长数量有限，可扩展性较差。

（2）波长规划复杂

WDM 方案需要每个 AAU 使用不同波长，因此前期需要做好波长规划和管理。可

调谐彩光光模块成本较高，但若采用固定波长的彩光光模块，则对波长规划、光模块的管理、备品备件等等带来一系列工作量。

(3) 运维困难，不易管理

彩光光模块的使用可能导致安装和维护界面不够清晰，缺少 OAM (Operation, Administration, and Maintenance, 运行管理和维护) 机制和保护机制。由于无法监测误差，无法在线路性能劣化时执行倒换。

(4) 故障定位困难

无源 WDM 方案出了故障后，难以具体界定出问题的责任方。下图所示为无源波分方案的故障定位示意图，可见其故障定位的复杂度。

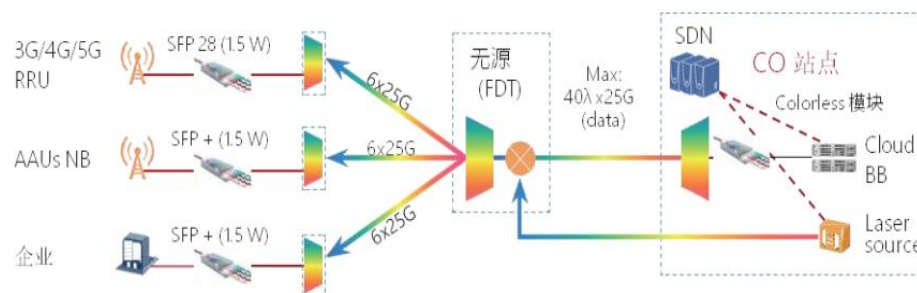
图 15：无源 WDM 方案故障定位示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

相比无源 CWDM 方案，无源 DWDM 方案显然可以提供更多的波长。但是更多的波长也意味着更高的波长规划和管控复杂度，通常需要可调激光器，带来更高的成本。目前支持 25Gb/s 速率的无源 DWDM 光模块还有待成熟。

图 16：光源集中无源 DWDM 方案示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

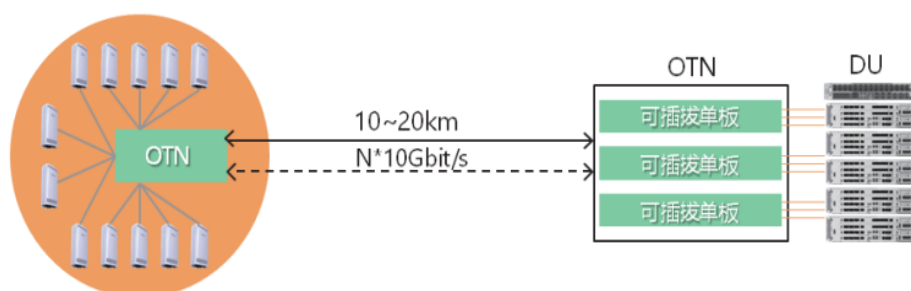
为了适应 5G 承载的需求，基于可调谐波长的无源 DWDM 方案是一种可行方案，另外基于远端集中光源的新型无源 DWDM 方案也成为业界研究的一个热点。

4、有源 WDM/OTN 方案

有源波分方案在 AAU 站点和 DU 机房配置城域接入型 WDM/OTN 设备，多个前传信号通过 WDM 技术共纤光纤资源，通过 OTN 开销实现管理和保护，提供质量保证。接入型 WDM/OTN 设备与无线设备采用标准灰光接口对接，WDM/OTN 设备内部完成

OTN 承载、端口汇聚、彩光拉远等功能。相比无源波分方案，有源波分/OTN 方案有更加自由的组网方式，可以支持点对点及组环网两种场景：

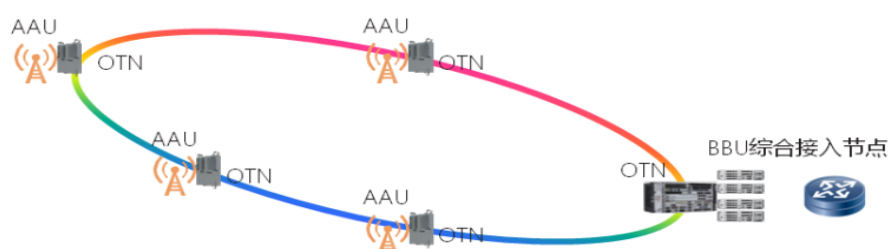
图 17：有源 WDM 方案点到点架构图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

上图所示为有源方案点到点组网架构图，同样可以支持单纤单向、单纤双向等传输模式，与无源比方案相比，其光纤资源消耗相同。

图 18：有源 WDM 方案环网架构图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

除了节约光纤以外，有源 WDM/OTN 方案可以进一步提供环网保护等功能，提高网络可靠性和资源利用率。此外，基于有源波分方案的 OTN 特性，还可以提供如下功能：

- 1) 通过有源设备天然的汇聚功能，满足大量 AAU 的汇聚组网需求。
- 2) 拥有高效完善的 OAM 管理，保障性能监控、告警上报和设备管理等网络功能，且维护界面清晰，提高前传网络的可管理性和可运维性。
- 3) 提供保护和自动倒换机制，实现方式包括光层保护（如 OLP，Optical Line Protection，光线路保护）和电层保护（如 Subnetwork Connection Protection，子网连接保护）等，通过不同管道的主一备光纤路由，实现前传链路的实时备份、容错容灾。
- 4) 具有灵活的设备形态，适配 DU 集中部署后 AAU 设备形态和安装方式的多样化，包括室内型和室外型。对于室外型，如典型的 FO(Full Outdoor，全室外)解决方案能够实现挂塔、抱杆和挂墙等多种安装方式，且能满足室外防护（防水、防尘、防雷等）和工作环境（更宽的工作温度范围等）要求。
- 5) 支持固网移动融合承载，具备综合业务接入能力，包括固定宽带和专线业务。

当前有源 WDM/OTN 方案成本相对较高，未来可以通过采用非相干超频技术或低成本可插拔光模块来降低成本。同时，为了满足 5G 前传低成本和低时延的需求，还需要对 OTN 技术进行简化。

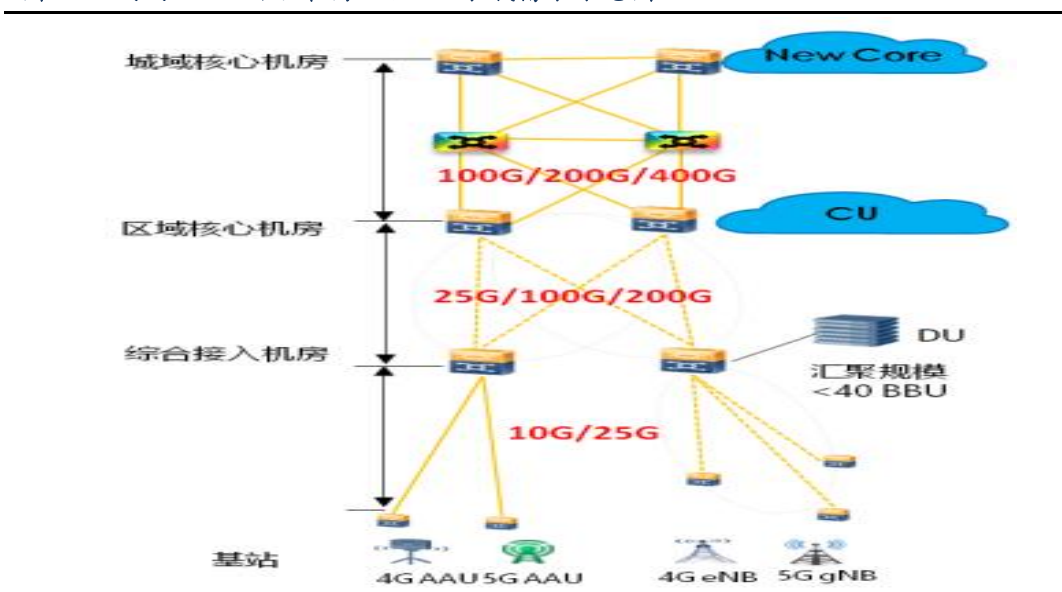
2.2.2. 5G 中传/回传承载方案

5G 中传和回传对于承载网在带宽、组网灵活性、网络切片等方面需求基本一致，因此可以采用统一的承载方案。

中传/回传承载网络架构

城域 OTN 网络架构包括骨干层、汇聚层和接入层，如下图所示。城域 OTN 网络架构与 5G 中传/回传的承载需求是匹配的。

图 19：城域 OTN 网络架构匹配 5G 承载需求示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

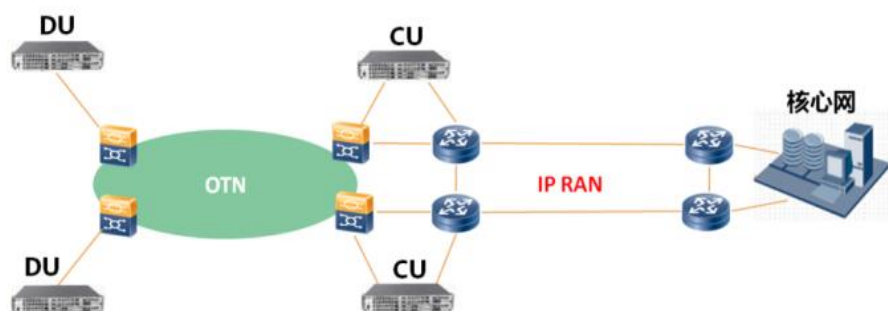
基于 OTN 的 5G 中传/回传承载方案可以发挥分组增强型 OTN 强大高效的帧处理能力，通过 FPGA（Field Programmable Gate Array，现场可编程门阵列）、专用芯片、DSP（Digital Signal Processor，数字信号处理）等专用硬件完成快速成帧、压缩解压和映射功能，有效实现 DU 传输连接中对空口 MAC/PHY 等时延要求极其敏感的功能。同时，对于 CU，一方面分组增强型 OTN 构建了 CU、DU 间超大带宽、超低时延的连接，有效实现 PDCP 处理的实时、高效与可靠，支持快速的信令接入。而分组增强型 OTN 集成的 WDM 能力可以实现到郊县的长距传输，并按需增加传输链路的带宽容量。

基于 OTN 的 5G 中传/回传承载方案可以细分为以下两种组网方式：

（一）分组增强型 OTN+IPRAN 方案

在该方案中，利用增强路由转发功能的分组增强型 OTN 设备组建中传网络，中间的 OTN 设备可根据需要配置为 ODUk 穿通模式，保证 5G 承载对低时延和带宽保障的需求。在回传部分，则继续沿用现有的 IPRAN（IP Radio Access Network，IP 化无线接入网）承载架构。

图 20：分组增强型 OTN+IPRAN 组网方案示意图



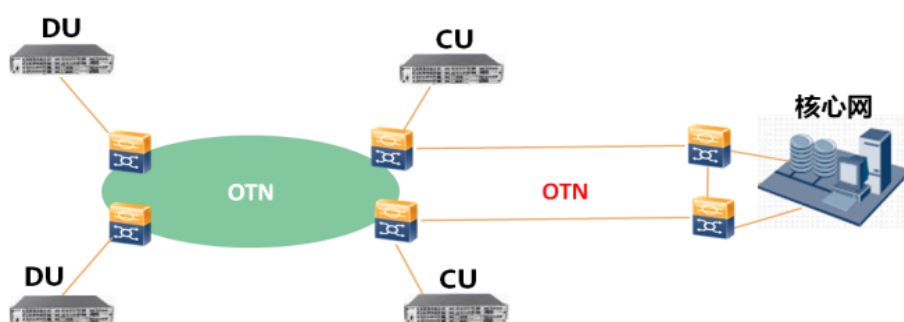
数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

为了满足 5G 承载对大容量和网络切片的承载需求,IPRAN 需要引入 25GE、50GE、100GE 等高速接口技术,并考虑采用 Flex E(Flexible Ethernet, 灵活以太网)等新型接口技术实现物理隔离,提供更好的承载质量保障。

（二）端到端分组增强型 OTN 方案

该方案全程采用增强路由转发功能的分组增强型 OTN 设备实现,与分组增强型 OTN+IPRAN 方案相比,该方案可以避免分组增强型 OTN 与 IPRAN 的互联互通和跨专业协调的问题,从而更好地发挥分组增强型 OTN 强大的组网能力和端到端的维护管理能力。

图 21：端到端分组增强型 OTN 方案示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

网络切片承载方案

从本质上来看,网络切片就是对网络资源的划分。而光传送网具有天然的网络切片承载能力,每种 5G 网络切片可以由独立的光波长/ODU 通道来承载,提供严格的业务隔离和服务质量保障。具体到 5G 网络切片的承载需求,分组增强型 OTN 可以提供一层和二层的网络切片承载方案。

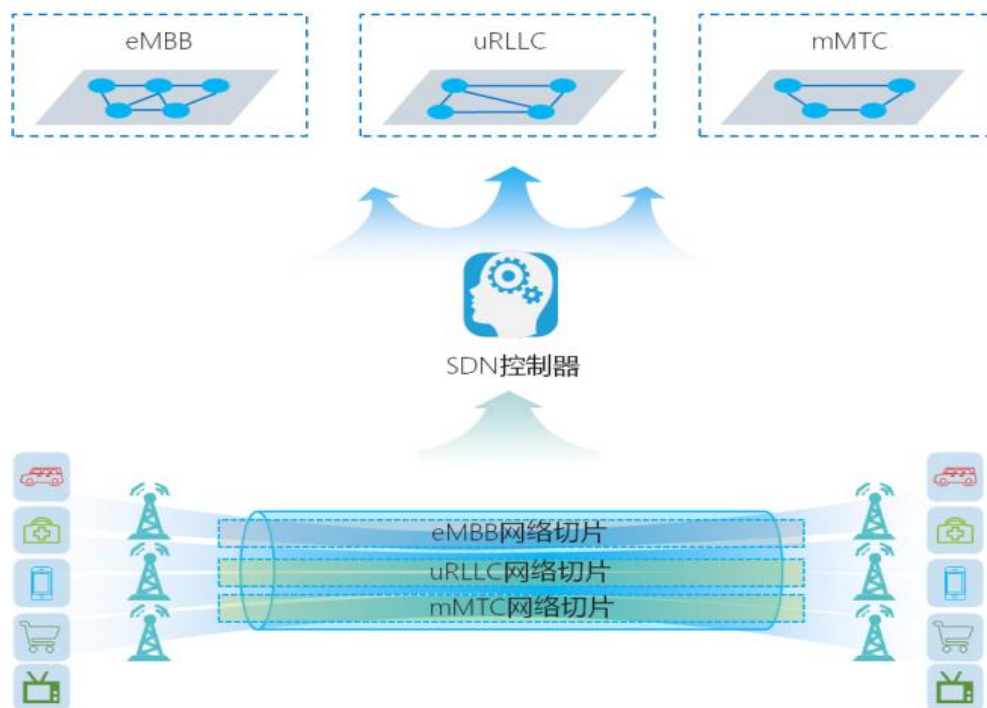
（一）基于一层网络切片承载方案

主要基于 ODU flex 进行网络资源划分,可以将不同的 ODU flex 带宽通过通道标识划分来承载不同的 5G 网络切片,并可根据业务流量的变化动态无损调整 ODU flex 的带宽。也可以通过物理端口进行承载资源的划分,需要将物理端口对应的所有电层链路都进行标签隔离处理,实现较简单,粒度较大。

(二)基于二层网络切片承载方案

该方案通过 MPLS-TP 标签或以太网 VLANID (Virtual Local Area Network, 虚拟局域网) 划分隔离二层端口带宽资源, 即逻辑隔离。采用不同的逻辑通道承载不同的 5G 网络切片, 同时通过 QoS 控制策略来满足不同网络切片的带宽、时延和丢包率等性能需求。

图 22: 网络切片承载方案示意图



数据来源：中国电信，东吴证券研究所整理

其中一层网络切片承载方案的切片间业务属于物理隔离, 不会相互影响。二层网络切片承载方案的切片间业务是逻辑隔离, 不同切片间业务可以共享物理带宽。可根据 5G 不同网络切片的性能需求选择不同的承载方案。OTN 网络切片承载方案可以结合 SDN (Software-defined Networking, 软件定义网络) 智能控制技术, 实现对网络资源的端到端快速配置和管理, 提高网络资源使用效率, 提升业务开通效率和网络维护效率。并通过开放北向接口, 采用如 VTNS (Virtual Transport Network Service, 虚拟传送网业务) 向上层 5G 网络提供对光传送网资源的管控能力。

5G 云化数据中心互联方案

如前所述, 5G 时代的核心网下移并向云化架构转变, 由此产生云化数据中心互联的需求, 包括: (1) 核心大型数据中心互联, 对应 5G 核心网 New Core 间及 New Core 与 MEC 间的连接; (2) 边缘中小型数据中心互联, 本地 DC 互联承担 MEC、CDN 等功能。

(1) 大型数据中心互联方案

大型数据中心作为 5G 承载网中 New Core 核心网的重要组成部分, 承担着海量数据长距离的交互功能, 需要高可靠长距离传输、分钟级业务开通能力以及大容量波长级

互联。因此需要采用高纬度 ROADM 进行 Mesh 化组网、光层一跳直达，减少中间大容量业务电穿通端口成本。同时，还需要结合 OTN 技术以及 100G、200G、400G 高速相干通信技术，实现核心 DC 之间的大容量高速互联，并兼容各种颗粒灵活调度能力。在网络安全性的保障上采用光层、电层双重保护，使保护效果与保护资源配置最优化：光层 WSON（Wavelength Switched Optical Network，波长交换光网络）通过 ROADM 在现有光层路径实现重路由，抵抗多次断纤，无需额外单板备份；电层 ASON（Automatically Switched Optical Network，自动交换光网络）通过 OTN 电交叉备份能够迅速倒换保护路径，保护时间<50ms。

（2）中小型数据中心互联方案

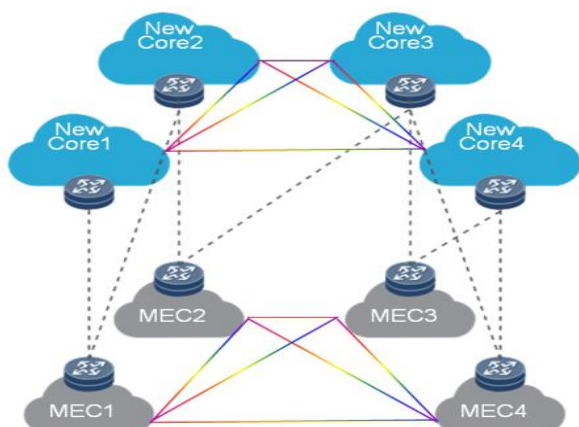
随着 5G 发展，中小型数据中心互联方案可考虑按照以下 3 个阶段演进：

1) 5G 初期，边缘互联流量较小，但接入业务种类繁多，颗粒度多样化。可充分利用现有的分组增强型 OTN 网络提供的低时延、高可靠互联通道，使用 ODUk 级别的互联方式即可。同时，分组增强型 OTN 能够很好地融合 OTN 硬性管道和分组特性，满足边缘 DC 接入业务多样化的要求。

2) 5G 中期，本地业务流量逐渐增大，需要在分组增强型 OTN 互联的基础上，结合光层 ROADM 进行边缘 DC 之间 Mesh 互联。但由于链接维度数量较小，适合采用低维度 ROADM，如 4 维或 9 维。考虑到边缘计算的规模和下移成本，此时 DCI 网络分为两层，核心 DCI 层与边缘 DCI 层，两层之间存在一定数量的连接。

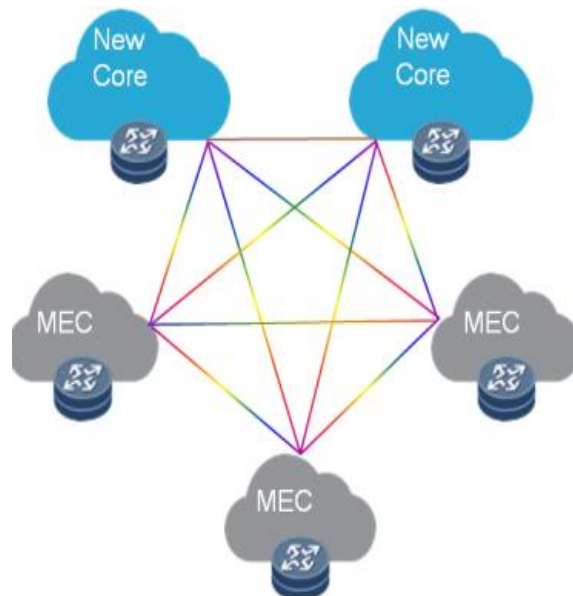
3) 5G 后期，网络数据流量较大，需要在全网范围内进行业务调度。此时需要在全网范围部署大量的高纬度 ROADM（如 20 维，甚至采用 32 维的下一代 ROADM 技术）实现边缘 DC、核心 DC 之间全光连接，以满足业务的低时延需求。同时采用 OTN 实现小颗粒业务的汇聚和交换。

图 23：5G 中期中小型 DC 互联方案



数据来源：中国电信，东吴证券研究所

图 24：5G 后期中小型 DC 互联方案



数据来源：中国电信，东吴证券研究所

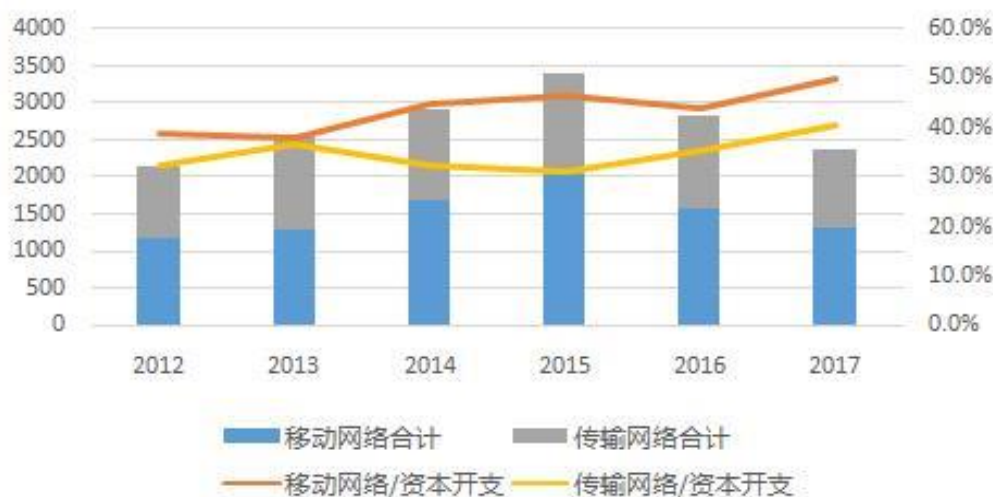
2.3. 5G 网络规划部署在即，传输网络投资窗口将打开

5G 网络承载的数据容量和业务类型相比于 4G 网络将有大幅提升，也能创造更多产业价值。运营商也必须为升级网络付出更多成本，资本开支预计相比 4G 时期提升 50% 以上。

预计三大运营商资本开支规模 2018 年维持在 3000 亿人民币以上，2019 年开始相对于 2018 年将有可观的提升，2020 年将因为大规模部署 5G 基站而保持快速增长。考虑到各家运营商 4G 网络部署已经接近尾声，而 5G 网络标准尚未完全冻结，因此 5G 基站产品还未能最终量产，2018-2019 年运营商投资方向在哪，这是一个重要的问题。

我们关注过去 6 年三家运营商资本开支，移动网络投资和传输网络投资大体上反向波动（2017 年相对比较特殊，移动获得 NB 网络牌照大规模部署 NB 网络叠加，电信全面部署 LTE800 网络导致移动网络投资增长）。运营商移动网络投资金额和占比与每年新建基站数量正相关，在基站新增较大的年份（如 2012、2014）移动网络投资规模和占总投资中的占比均有所提升；在基站新增较少年份（如 2013、2016）移动网络投资占比呈现下滑趋势。与之对应的是，运营商传输相关投资与基站新增规模负相关，这有两个原因：1、运营商平衡每年资本开支规模，在移动网络投资较多的年份会控制传输网络投资规模；2、运营商通常会选择大规模部署基站之前的年份对传输带宽做储备，在大规模部署基站之后的年份做必要的扩容，因此传输网络投资周期与移动网络投资周期保持交错。

图 25：三大运营商历年投资分析



数据来源：wind、运营商年报，东吴证券研究所整理

注：各家运营商统计口径不完全相同，移动网络投资选取移动通信网（中国移动）、移动网络（中国联通）、移动网络（中国电信）；传输网络投资选取传输网（中国移动）、基础设施及传送网（中国联通）、宽带网络建设（中国电信）。

我们认为，5G 时代传输网络投资将提升，传输设备最先受益。

过去的一年多时间，4G 用户数保持快速增长，数据流量增速超过 100%，对网络带宽形成较大压力。运营商有足够的动力采购传输设备，扩容传输网络，运营商数千亿的

投资将包含较多传输网络投资比例，这将对光传输设备厂商形成较大利好。

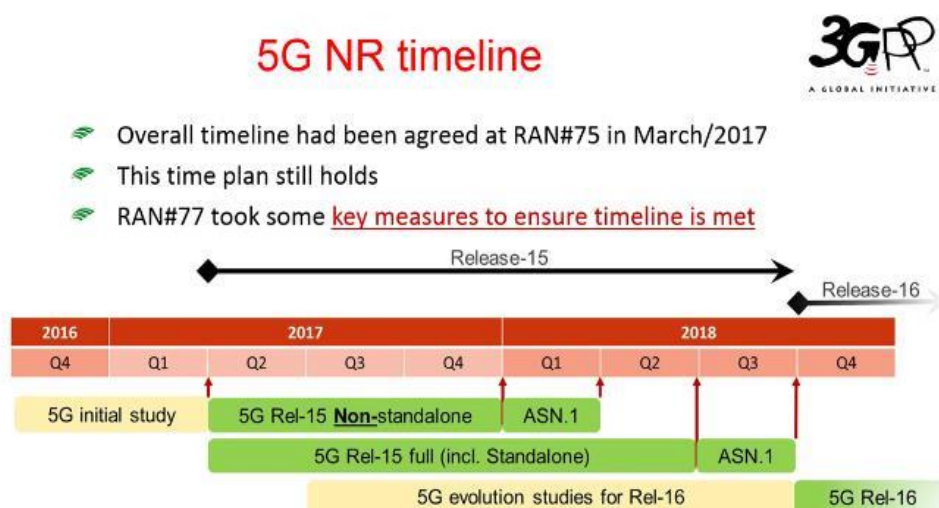
3. 多项催化剂接连发生，5G 网络即将迎来大规模建设期

5G 产业迎来“技术标准+频率划分+产业联盟”催化，中长期成长逻辑进一步夯实，预期 2019 年开始 5G 传输网络的规模投资将逐步开展，烽火通信作为 5G 传输设备核心供应商，将大幅收益。

3.1. 5G 技术标准冻结，产业化推进顺利

2018 年 6 月 13 日 20:18(北京时间 2018 年 6 月 14 日 11:18),在美国圣地亚哥,3GPP 全会(TSG#80)批准了第五代移动通信技术标准(5G NR)独立组网功能冻结。此次会议,大约有 500 余家系统厂商、终端厂商、芯片厂商、仪表厂商及垂直行业厂商参加。此次 SA 功能冻结,不仅使 5G NR 具备了独立部署的能力,也带来全新的端到端新架构,这意味着 5G 正式可以进入到商用阶段。

图 26: 5G 技术标准进程示意图



数据来源：3GPP，东吴证券研究所整理

此次独立组网标准冻结，让 5G 确定了全新的网络架构和核心网，其将让网络向 IT 化、互联网化、极简、服务化转变。

在 IT 化上，全软件化的核心网，实现统一的 IT 基础设施和调度。功能软件化、计算和数据分离是代表性的技术。传统“网元”重构为 5G 的“网络功能”，以“软件”的形式部署，充分发挥云化、虚拟化技术的优势。将处理逻辑和数据存储分离，更便于提升系统的可靠性、动态性、大数据分析的能力。

互联网化方面，从固定网元、固定连接的刚性网络到动态调整的柔性网络。服务化架构(SBA: Service-based Architecture)、新一代核心网协议体系(基于 HTTP2.0/JSON)是其代表性技术。SBA 的设计是由模块化、可独立管理的“服务”来构建。服务可灵活调用、灰度发布，实现网络能力的按需编排和快速升级。传统电信特有的接口协议代之以互联网化的 API 调用使得 5G 网络更加开放、灵活。

极简方面，极简的转发面提高性能，集中灵活的控制面提升效率。C/U 分离（控制面和用户面分离）、新型移动性及会话管理是其代表性技术。通过 C/U 分离一方面实现控制面集中部署、集中管控、集中优化，另一方面实现用户面功能简化，实现高效、低成本的大流量的数据转发。移动性管理和会话管理解耦，使得终端可以按需建立会话连接，节省了网络的地址和存储资源。同时，针对不同的终端类型定义了多种类型的移动性管理，简化了终端和网络的状态。

服务化上，从通用化服务到个性化、定制化服务。网络切片（Network Slicing）、边缘计算（Edge Computing）是其代表性技术。网络切片提供定制化、逻辑隔离、专用的端到端虚拟移动网络（包括接入网、核心网），是 5G 面向垂直行业实现服务可保障的基本技术形式。而边缘计算将网络的功能应用靠近用户部署，使得极致的低时延、本地特色应用成为可能，是 5G 满足如智能工厂等垂直行业业务需求的重要基础。

我们认为，5G 技术标准冻结，有利于 5G 产业链加速成熟，推出符合 5G 要求的网络 and 终端产品，5G 产业进展符合预期。

3.2. 5G 频率分配进行中，我国有望近期落地

频率资源是 5G 网络发展的核心基础资源，各国政府都对 5G 频率分配投入了相当的重视。我国频率使用政策属于频率主管部门授权使用类型和使用年限的制度，与西方国家一般采用的拍卖制相对应。我国频率主管机构对无线频率的分配，即可等同于外国的频率拍卖。

目前我国在 5G 核心频率分配上属于全球领先水平，仅落后于 4 月完成 5G 频率拍卖的英国和 6 月完成拍卖工作的韩国。

我们认为，国内 5G 核心频率分配即将落地（预计就在近期）将为 5G 网络部署奠定基础，保障运营商按期推进 5G 建网。频率分配方案确定后，各家运营商在试点城市加快完成网络部署，有利于为后续大规模 5G 建网积累站点规划、站点配置、网络优化等多方面经验，有利于我国 5G 产业加速发展。

3.3. MWC 各家加紧产品展示和产业联盟构建，有助于 5G 落地加速

6 月 27-29 日，2018 世界移动大会-上海成功召开，随着 5G 独立组网（SA）标准正式冻结，5G 的加速发展在全产业已经成为共识。

运营商：中国移动发布《5G 终端产品指引》，就目前 5G 终端面临的现状、需要突破的四大难题以及对 5G 终端技术的建议进行了深度的分析；中国联通举行 5G 及网络转型发布会，明确表示将基于最新冻结的 5GSA（独立组网）标准建设 5G 网络，2020 年正式商用；中国电信正式发布《中国电信 5G 技术白皮书》，这是全球运营商首次发布全面阐述 5G 技术观点和总体策略的白皮书。

设备商：华为、爱立信、诺基亚等厂商纷纷推出 5G 网络设备和组网方案，华为展示端到端 5G 商用产品、爱立信展示 5GAI 云无人机、诺基亚上海贝尔展示基于 Air Scale 的 5G NR，5G 设备领域技术进入全面成熟阶段。

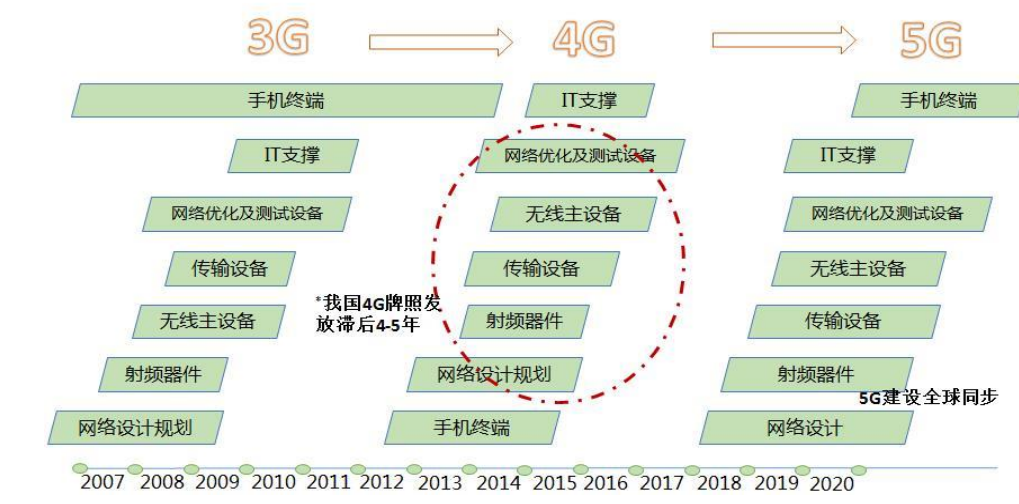
应用端：工业互联网、VR/AR、智能驾驶、智能医疗等都在高速成长期，5G 网络将成为新经济核心基础设施，推动各类新应用快速发展。

此外在 MWC 大会, 各家加强 5G 合作, 联通华为签署 5G 战略合作, 移动成立 5G 联合创新中心, 推动 GTI5G 通用模组产业合作计划, 5G 产业获得强强联合的联盟支持。

4. 投资建议

5G 产业发展是标准的【网络规划设计-上游器件-网络设备-网络优化支撑-终端】的过程, 符合网络建设全生命周期的基本原则。我们基于这个过程制定了 5G 投资时钟, 投资节奏大概与网络发展周期相近。与之对比的是 4G 产业投资节奏, 由于我国 4G 牌照发放和网络建设滞后国外 4-5 年, 当我国开启 4G 建设时主流的 4G 终端产业链已经成熟, 因此我国 4G 网络规划建设和设备采购的时点落后于手机终端。

图 27: 三大运营商历年投资分析



数据来源: C114、中国信通院等, 东吴证券研究所整理

我们坚定看好 5G 光传输网络领域投资机会, 主要建议关注四类标的。

- 1、光系统设备, 光传输网络龙头子版块, 重点布局烽火通信, 建议关注中兴通讯。
- 2、光交换及光器件, 光通信上游赛道, 重点关注中际旭创、新易盛、光迅科技、博创科技。
- 3、光网络集成, 建议关注烽火通信、太辰光、瑞斯康达。
- 4、光纤光缆, 运营商部署 5G 网络重点投资领域, 建议关注长飞光纤光缆、亨通光电、烽火通信、中天科技、特发信息。

表 3: 5G 传输网络领域公司

全光网	光系统设备	烽火通信、中兴通讯
	光纤光缆	长飞光纤光缆、亨通光电、烽火通信、中天科技、特发信息
	光交换及光器件	中际旭创、新易盛、光迅科技、博创科技
	光网络集成	烽火通信、太辰光、瑞斯康达

数据来源: C114、wind、中国信通院等, 东吴证券研究所整理

5. 风险提示

1、运营商收入端承压，被迫削减建网规模或者向上游压价，通信设备商以及光器件厂商面临订单不足以及产品单价下滑，导致受影响的公司营收增长放缓，毛利率下滑。

2、国家对 5G、物联网等新兴领域扶持政策减弱，运营商部署 5G/NB-IoT 网络意愿减弱，资本开支下滑超出预期，通信设备、光纤光缆以及光器件等集采不达预期，相关厂商面临订单不足的风险。

3、5G 标准化和产品研发进度不及预期，通信设备商无法在 2018 年底向电信运营商提供可供试验的 5G 产品，影响运营商部署 5G 的时间节点，商用部署时间推迟，上游企业继续承压。

4、杀手级高流量应用迟迟不能面世，数据流量增速下滑，网络运营商收入增长乏力、扩容网络意愿不足，导致上游企业面临订单不足。

5、运营商削减对物联网模块的补贴，削减对 5G 终端的补贴，网络建设速度不及预期，物联网下游需求不及预期，导致物联网应用推广进程及产业链发展变缓。

6、国内通信设备、终端、纤缆厂商运营成本提升，毛利率降低，产品竞争力下降，相关厂商价格竞争激烈，导致相关公司盈利能力不达预期。

7、汇率波动，出口型企业面临较大汇兑损失，影响其经营业绩。

免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准,已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下,本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议,本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下,东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易,还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险,投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息,本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性,也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更,在不同时期,本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有,未经书面许可,任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载,需征得东吴证券研究所同意,并注明出处为东吴证券研究所,且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准:

公司投资评级:

买入:预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在 15% 以上;

增持:预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于 5% 与 15% 之间;

中性:预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于-5% 与 5% 之间;

减持:预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于-15% 与 -5% 之间;

卖出:预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在-15% 以下。

行业投资评级:

增持:预期未来 6 个月内,行业指数相对强于大盘 5% 以上;

中性:预期未来 6 个月内,行业指数相对大盘-5% 与 5%;

减持:预期未来 6 个月内,行业指数相对弱于大盘 5% 以上。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街 5 号

邮政编码: 215021

传真: (0512) 62938527

公司网址: <http://www.dwzq.com.cn>