



5G 时代，向上突破、向下整合

研究院副总经理：林全

曾任华为供应链管理工程师，广证新三板研究副团队队长等职。

电话：0755-83068383-8816

E-mail:linquan@jiyechangqing.cn

TMT 研究部电子行业研究员：陈凯

厦门大学经济学硕士，知名券商投行、研究所经历，研究覆盖半导体、LED、物联网等 TMT 领域细分行业。

电话：0755-83068383-8137

E-mail:chenkai@jiyechangqing.cn

TMT 研究部电子行业研究员：李亚乔

中国科学院上海硅酸盐研究所材料工程硕士，曾任中芯国际 IC 验证工程师，拥有三年 IC 设计后端验证脚本开发经验。

电话：0755-83068383-8127

E-mail:liyqiao@jiyechangqing.cn

基业常青经济研究院携国内最强大的一级市场研究团队，专注一级市场产业研究，坚持“深耕产业研究，助力资本增值，让股权投资信息不对称成为历史”的经营理念，帮助资金寻找优质项目，帮助优质项目对接资金，助力上市公司做强做大，帮助地方政府产业升级，为股权投资机构发掘投资机会，致力于开创中国一级市场研究、投资和融资的新格局！

特别声明：

作者保证本报告中的信息均来源于合规的渠道，研究逻辑力求客观、严谨；报告的结论是在独立、公正的前提下得出，并已经清晰、准确地反映了作者的研究观点。除特别声明的情况外，在作者知情的范围内，本报告所研究的公司与作者无直接利益相关。特此声明。

- **市场空间：5G 商用驱动射频前端快速增长，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元**

射频前端承载射频信号的处理功能，是现代无线通信的硬件基础。射频前端负责信号传输、转换、处理等功能，决定移动终端可以支持的通信模式、接收信号强度、通话稳定性、发射功率等重要性能指标，直接影响终端用户体验。

5G 商用将使联网终端数及射频模块价值量大幅增加，射频前端迎来量价齐升机会。5G 可实现高速率、低时延通信，使物联网、自动驾驶等场景逐渐成为可能，联网终端数亦将实现海量提升，对射频前端模块的需求大幅增加；5G 时代，通信技术升级将推动手机终端射频系统的全面革新，射频前端模块中包括滤波器、功放、射频开关、低噪声放大器在内的器件用量和价值量将会大幅上升。

射频前端市场年复合增速超 14%，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元。Yole Development 数据显示，2017 年手机射频前端市场规模 150 亿美元，预计 2023 年将达到 352 亿美元，年复合增速达 14%。

- **竞争格局：完成兼并整合的国际大厂商受益行业增长，国内加强射频产业链建设有望渐次突破**

国外厂商垄断射频前端器件供应，集成化趋势进一步加强产业集中度。在射频前端各子器件领域，前五大厂商合计占比均超过 90%，而近几年的并购整合更是加强了产业集中度，加剧寡头垄断的竞争局面。5G 通信下，射频前端的复杂度逐渐提高，将射频子器件进行整合，向模块化、集成化和整体射频解决方案方向发展，射频方案的整体价值进一步提升是当前产业的发展趋势。

国内加强产业链建设，技术工艺逐渐向中高端领域突破。国内射频产业起步较晚，多是 Fabless+Foundry+封测的垂直整合模式分工协作，国内近年来加强相关产业链建设，整个射频器件产业逐渐崛起，设计企业以紫光展锐、唯捷创芯为代表，晶圆代工厂有三安光电、海特高新，以及长电科技等封测厂商。

- **核心竞争力：先进工艺技术、强产业资源整合能力**

先进的产品技术、制造工艺和系统封装助力企业渗透高端应用领域。5G 对射频前端各子器件的性能、体积和成本要求提升，拥有先进的产品技术方有机会进入高端领域；核心器件以化合物半导体为主，其制造工艺决定产品性能，同时将难以集成的器件系统性封装，可有效减小射频前端模块体积，是终端射频模块的发展趋势。

产线齐全、具备模组能力、深度绑定基带厂商可构筑行业强话语权。基于射频前端模块化的发展趋势，拥有齐全产线和模组能力的厂商有望以一体化的射频前端解决方案获得竞争优势；基带与射频前端的协同至关重要，对前端市场有较大影响力，与基带厂商深度绑定可构建强市场生态。

- **投资策略：关注向上突破——向中高端市场渗透、向下整合——与射频模组和方案厂商有深度协作的国内射频器件企业**

国内具备较强研发能力的企业将有机会逐渐由低端向中高端领域渗透，同时将有机会向模组和方案厂商供货并进入其产业资源圈，推荐关注唯捷创芯、宜确半导体。

- **风险提示：**

技术研发不及预期；市场拓展不达预期。



内容目录

1 5G 商用驱动射频前端增长趋势确定，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元.....	4
1.1 射频前端承载射频信号的处理功能，是无线通信的硬件基础.....	4
1.2 5G 商用将使联网终端数及射频模块价值量大幅增加，射频前端迎来量价齐升机会.....	6
1.3 射频前端市场年复合增速超 14%，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元.....	8
2 完成兼并整合的国际大厂商受益行业增长，国内加强射频产业链建设有望渐次突破.....	9
2.1 国外厂商垄断射频前端器件供应，集成化趋势进一步加强产业集中度.....	9
2.2 性能决定滤波器终端应用，Avago、Qorvo 等厂商垄断高端市场.....	10
2.3 射频功放制程工艺特殊，IDM 厂商占据市场核心地位.....	12
2.4 国内产业链建设逐渐完备，射频器件企业有望渐次突破.....	15
3 先进技术工艺、强产业资源整合能力构建行业核心竞争力.....	16
3.1 先进技术工艺和系统性封装打造强产品力.....	16
3.2 产线齐全、具备模组能力的厂商构建行业壁垒.....	16
3.3 深度绑定基带厂商，构筑行业强话语权.....	17
4 投资策略：关注向上突破——向中高端市场渗透、向下整合——与射频模组和方案厂商有深度协作的射频器件企业.....	18
5 风险提示.....	18



图表目录

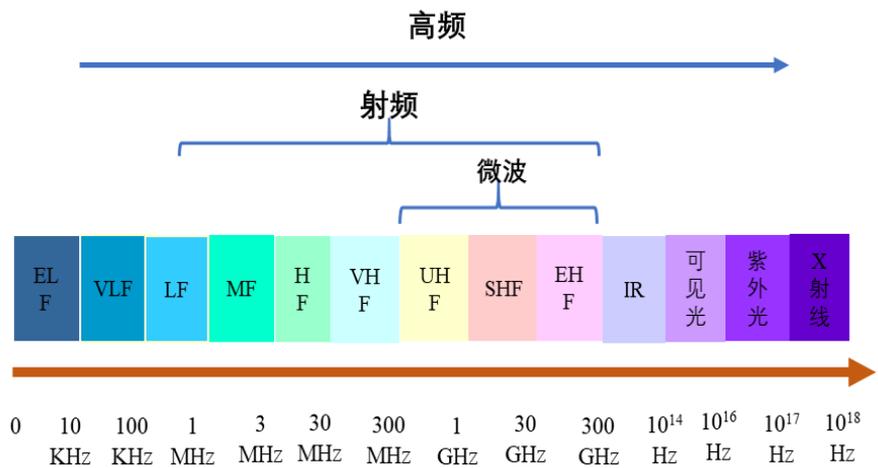
图表 1 电磁波频谱划分	4
图表 2 射频和微波典型应用与频率范围	4
图表 3 典型无线电发射机和接收机系统构成	5
图表 4 射频前端器件种类及功能	6
图表 5 5G 相关应用场景	6
图表 6 2014-2022 年国内物联网市场规模 (亿元)	6
图表 7 5G 通信下手机射频前端器件数量变化	7
图表 8 智能手机射频前端模块平均价值量 (美元)	7
图表 9 历代 iPhone 手机射频前端模块价值量	7
图表 10 预计 2023 年射频前端各器件市场空间 (亿美元) 及增速	8
图表 11 各主要厂商在苹果手机射频前端市场占比	9
图表 12 射频行业并购整合	9
图表 13 射频前端相关模组及器件集成度	10
图表 14 滤波器核心参数	10
图表 15 金属腔体和陶瓷介质滤波器技术原理及核心参数对比	11
图表 16 SAW 和 BAW 滤波器核心参数对比	11
图表 17 SAW 滤波器全球市场份额	12
图表 18 BAW 滤波器全球市场份额	12
图表 19 国内主要滤波器企业	12
图表 20 功率放大器核心参数	13
图表 21 射频功放制作材料、工艺及优劣势对比	13
图表 22 全球功放企业市场份额	14
图表 23 国内主要的 PA 企业	14
图表 24 射频前端器件产业链	15
图表 25 全球主要射频厂商产品能力	16
图表 26 高通在射频前端领域的竞争优势	17
图表 27 高通射频前端方案涵盖范围	17
图表 28 全球基带芯片市场份额	17

1 5G 商用驱动射频前端增长趋势确定，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元

1.1 射频前端承载射频信号的处理功能，是无线通信的硬件基础

射频指的是可辐射到空间的电磁波，属于无线电波的较高频段。射频（Radio Frequency，简称 RF），意为可以辐射到空间的电磁波的发射频率，是一种高频交流变化电磁波的简称（本为无线电频率，简称为“射频”），频率范围在 300KHz~300GHz 之间。频率在 1KHz 以内的电磁波是为低频，高于 10KHz 的称为高频，射频（300K-300GHz）是高频的较高频段，通常包括了 VHF（甚高频）、UHF（特高频）及微波（300M-300GHz，射频的较高频段）。

图表 1 电磁波频谱划分



资料来源：《射频微波电路设计》，基业常青

射频是无线通信信号的载体，被广泛用于无线通讯、导航、识别及探测等各种无线通信领域。射频作为无线通信信号的载体被广泛应用于无线通信的各个领域，如以蜂窝与无线通信网络为基础的陆上语音和数据通信、陆上和基于卫星的广播系统、用于货运和物流业务的射频识别（RFID）系统及导航系统的 GPS 等。

图表 2 射频和微波典型应用与频率范围

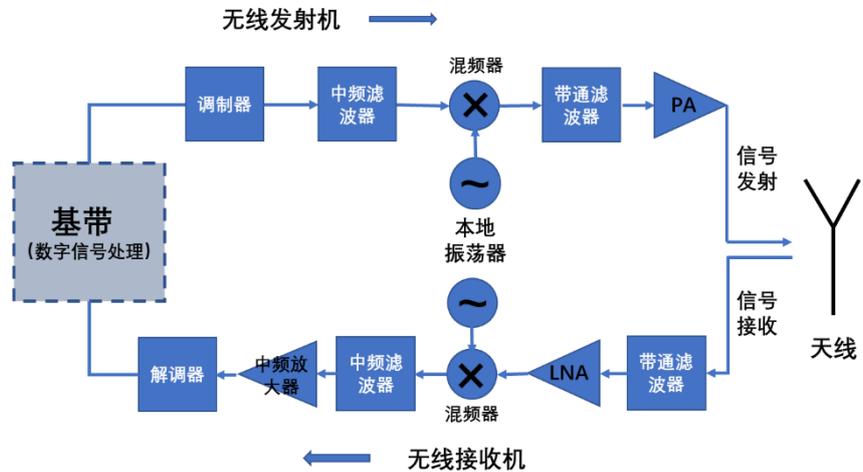
项目	缩写	全称	频段
蜂窝移动电话	GSM 900	全球移动通信系统	880-960MHz
	GSM 1800	全球移动通信系统	1.71-1.88GHz
	UMTS	通用移动通信系统	1.92-2.17GHz
	Tetra	集群无线电	440-470MHz
无线网络	WLAN	无线局域网	2.45GHz、5GHz
	蓝牙	近距离无线电	2.45GHz

导航	GPS	全球定位系统	1.2GHz、1.575GHz
识别	RFID	射频识别	13.56MHz、868MHz
			2.45GHz、5GHz
无线电广播	FM	模拟广播发射机网络	87.5~108MHz
	DAB	数字语音广播	223~230MHz
	DVB-T	数字电视广播-陆上系统	470~790MHz
	DVB-S	数字电视广播-卫星系统	10.7~12.75GHz
雷达应用	SRR	汽车短距离雷达	24GHz
	ACC	自适应巡航控制雷达	77GHz

资料来源：《射频微波电路设计》，基业常青

射频前端即无线电系统的接收机和发射机，可实现信号的传输、转换、处理等功能，是无线通信的硬件基础。无线电接收机是将叠加到射频或载波上的信号转换到较低频率上，以便将其直接送到扬声器或进一步数字化处理；发射机则是将基带信号叠加或调制到一个 RF 载波上，以便将其辐射到自由空间。射频前端（Radio Frequency Front End, RFEE）模块位于无线电系统的天线（信号接收和发射）和基带（数字信号处理）之间，是信号传输、转换和处理的桥梁。射频前端的性能直接决定了移动终端可以支持的通信模式、接收信号强度、通话稳定性、发射功率等重要性能指标，直接影响终端用户体验。

图表 3 典型无线电发射机和接收机系统构成



资料来源：《射频微波电路设计》，基业常青

射频前端由功放、滤波器、射频开关等器件构成。射频前端包括滤波器、低噪声放大器、功率放大器、天线开关、双工器等器件，通过许多子系统级联以实现电磁波信号发送和接收的目的，在多模/多频终端中发挥着核心作用。其中，滤波器的功能是提供频率可选择性、消除干扰信号；放大器通过提高信号接受幅度和需要发射的信号的功率来管理噪声电平；双工器负责 FDD 系统的双工切换及接收/发送通道的射频信号滤波；射频开关负责接收、发射通道之间的切换。

图表 4 射频前端器件种类及功能

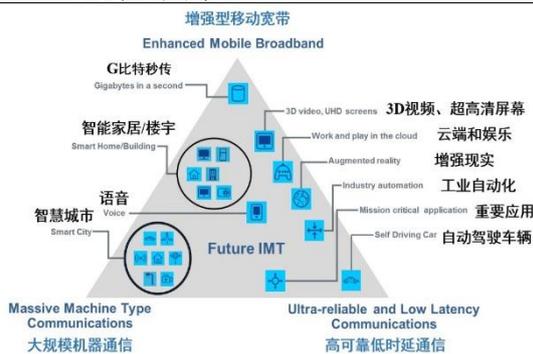
器件种类	功能
滤波器	1) 将有用的信号与噪声分离, 提高信号的抗干扰性及信噪比; 2) 滤掉不感兴趣的频率成分, 提高分析精度; 3) 从复杂频率成分中分离出单一的频率分量。
低噪声放大器 (LNA)	主要用于将接收通道中的小信号放大、降低噪声影响。
功率放大器 (PA)	提升信号的功率电平、放大发射通道的射频信号, 决定手机的通话质量、信号接收能力、续航时间等。
双工器	负责 FDD 系统的双工切换及接收/发送通道的射频信号滤波
开关 (Switch)	负责接收、发射通道之间的切换。

资料来源: 电子技术设计, 基业常青

1.2 5G 商用将使联网终端数及射频模块价值量大幅增加, 射频前端迎来量价齐升机会

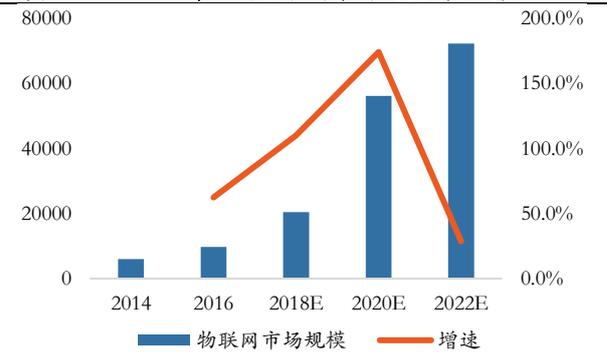
5G 可实现高速率、低时延通信, 使物联网、自动驾驶、VR/AR 等应用场景逐渐成为可能。5G 商用越来越远, 其增强型移动宽带、大规模机器类通信和超高可靠与低延迟通信功能将使得物联网、超高清视频、车联网、工业互联网、AR/VR 等应用场景的实现成为可能, 亦将使联网终端数实现大幅增长, 对射频模块的需求也相应大幅增加。据 Juniper Research 发布的数据显示, 物联网连接设备的数量将在 2020 年达到 385 亿个, 届时人均设备连接数将达到 5.1 个。此外, Gartner 预计 2020 年联网设备数量将达到 260 亿个, 通讯设备商 Cisco 和 Ericson 则预计设备连接数将达到 500 亿个。

图表 5 5G 相关应用场景



资料来源: 公开资料, 基业常青

图表 6 2014-2022 年国内物联网市场规模 (亿元)



资料来源: 中国产业信息网, 基业常青

5G 通信将大幅增加手机射频前端的器件数量。为了获得手机通信速率的大幅提升, 5G 将引入 Sub-6GHz 和 6GHz 以上频段通信, 同时需要利用 MIMO 技术由现有的 2 通道通信向 4~8 通道通信演进, 将推动手机终端射频系统的全面升级, 预计射频前端模块中包括滤波器、PA、Switch&Tuner、低噪声放大器 (LNA) 等在内的器件数量将会大幅增加。

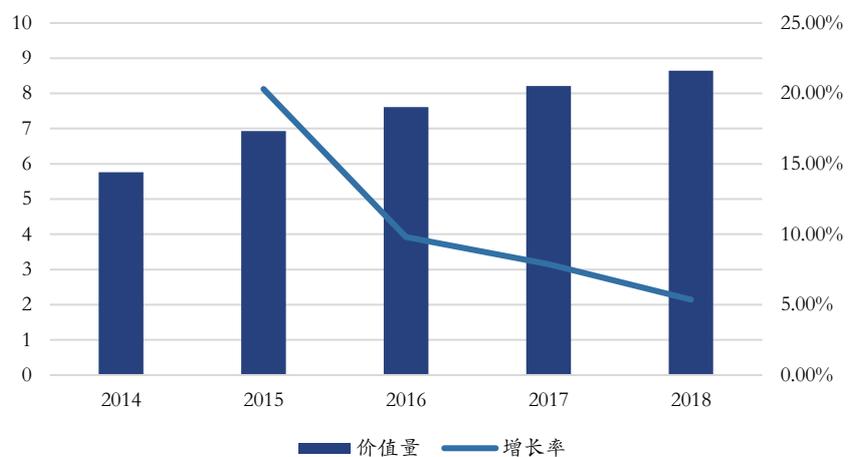
图表 7 5G 通信下手机射频前端器件数量变化

器件种类	数量变化
滤波器	为添加新频段通信功能, 需要提升滤波器数量, Skyworks 预计从 4G 到 5G, 滤波器数量平均将由 40 只上升到 50 只。
PA	为实现从 2 通道向 4 通道通信, PA 数量预计将可能翻倍提升。
Switch&Tuner	射频开关和调节器同天线通道数相关, 4G 到 5G 终端开关数量可由 10 只升至 30 只。
LNA	LNA 市场的增长主要来自分集模组的应用, PA 模组集成以及新增天线的应用。

资料来源: 公开资料, 基业常青

手机需支持的无线连接协议越来越多, 通信技术革新带来手机射频前端价值量持续上升。手机从最初仅支持单一通信系统, 到当前的 2G、3G、4G、WiFi、BT、NFC、FM 等 7 个以上的通信系统, 射频前端的价值量一再提升。如 2G 手机的射频前端价值量不足 1 美元, 而可实现全球 4G 通信的智能手机, 其射频前端价值量已超过了 16 美元, 5G 时代将超过 20 美元。根据 Qorvo 的数据, 智能手机射频前端平均价值量已由 2014 年的 5.8 美元上升至 2018 年的 8.6 美元。

图表 8 智能手机射频前端模块平均价值量 (美元)



资料来源: Qorvo, 基业常青

iFixit 的苹果手机拆机报告显示, 历代 iPhone 手机的射频器件, 包括滤波器组、PA 模组、射频开关、射频收发器、Wi-Fi/BT/FM 模组等模块的价值量不断攀升, 而射频前端模块的总价值量已经上升至 35.5 美元。

图表 9 历代 iPhone 手机射频前端模块价值量

发布时间	机型	单机射频前端价值 (美元)
2013.09	iPhone 5s/c	14.7
2014.09	iPhone 6/6 Plus	19.9
2015.09	iPhone 6s/6s Plus	21.3
2016.09	iPhone 7/7 Plus	26.4

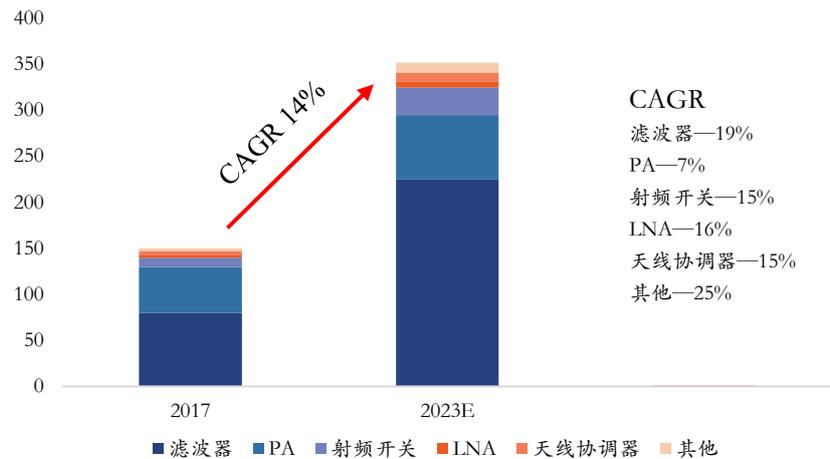
2017.09	iphone 8/8 Plus/X	28.6
2018.09	iphone XS/XS Max/XR	35.5

资料来源：公开资料，基业常青

1.3 射频前端市场年复合增速超 14%，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元

射频前端未来数年有望实现快速增长，至 2023 年市场空间将达到 350 亿美元。Yole Development 的数据显示，2017 年手机射频前端市场规模为 150 亿美元，预计 2023 年将达到 350 亿美元，年复合增速为 14%。其中，滤波器市场规模最大，预计从 2017 年的 80 亿美元增长至 2023 年 225 亿美元，年复合增速达 19%；功率放大器市场规模仅次于滤波器，2017 年为 50 亿美元，预计 2023 年将增至 70 亿美元，年复合增速为 7%；射频开关市场规模位居第三位，2017 年为 10 亿美元，预计 2023 年将达到 30 亿美元，年复合增速在 15%；低噪声放大器 2017 年市场规模 2.46 亿美元，预计 2023 年将达到 6.02 亿美元，年复合增速约 16%。

图表 10 预计 2023 年射频前端各器件市场空间（亿美元）及增速



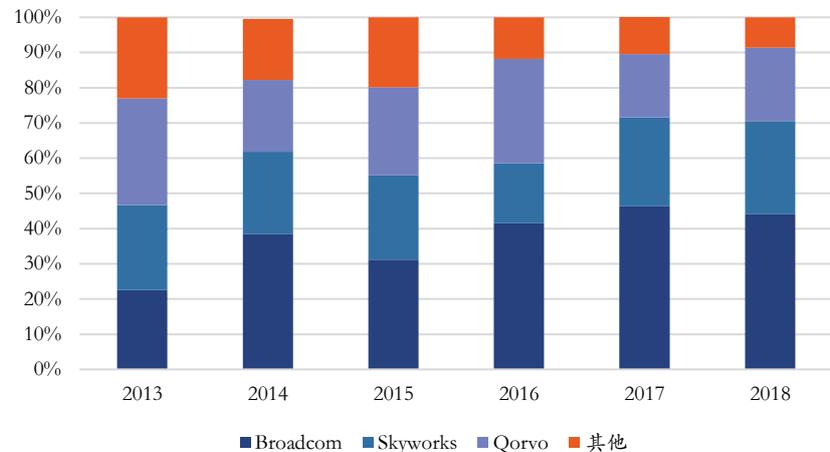
资料来源：Yole Development，基业常青

2 完成兼并整合的国际大厂商受益行业增长，国内加强射频产业链建设有望渐次突破

2.1 国外厂商垄断射频前端器件供应，集成化趋势进一步加强产业集中度

美日厂商垄断高端射频前端器件供应，台湾、中国大陆厂商立足中低端，努力向高端市场切入。射频前端领域设计及制造工艺复杂、门槛极高，以Broadcom/Avago、Qorvo、Skyworks、Murata、TDK为代表的美日IDM厂商拥有较强的产品和模组制造能力，优势明显，当前占据绝大部分市场份额，尤其是在智能手机领域；中国大陆及台湾厂商以Fabless和晶圆代工模式为主，强调产业分工协作，其中台湾企业在晶圆代工、封装测试等中下游环节占据重要位置，大陆厂商在技术、专利、工艺等方面与国际大厂存在差距，主要供应中低端PA、滤波器、射频开关等产品。随着射频前端产业链逐渐向中国转移，国内厂商加紧技术工艺突破，努力向高端市场迈进。

图表 11 各主要厂商在苹果手机射频前端市场占比



资料来源：Yole Development，基业常青

射频厂商兼并整合，射频前端模块化、集成化和提供整体射频解决方案渐成趋势。随着5G支持的频带数量增加，射频前端的复杂度也逐渐提高，将滤波器与PA、开关等射频器件进行整合，向模块化、集成化和整体射频解决方案方向发展，同时提高射频方案的整体价值成为当前产业发展趋势。近年来，国际大厂通过整合兼并加强平台建设，以提供射频前端模组产品，当前射频器件巨头厂商基本都具备滤波器、功放、开关、低噪放等器件的设计、制造及模组生产能力。

图表 12 射频行业并购整合案例

产业并购整合案例

产品、模组/方案能力说明

2012年, Murata 收购 Renesas PA 业务。	提供滤波器、PA 等射频前端核心部件, 整合自身射频产品平台。
2014年, RFMD 与 TriQuint 合并成 Qorvo。	IDM 巨头合并, 可提供 PA、开关、SAW/BAW 及射频前端模组。
Skyworks 先后收购 Panasonic 和 MEMS solution。	可提供 PA、TC-SAW、FBAR, 增强自身射频前端模组开发能力。
2015年, Avago 以 370 亿美元收购 Broadcom。	IDM 巨头收购, 具备射频前端全产品和模组供应能力。
2016年, Qualcomm 与 TDK 联合成立 RF360。	基带厂商与射频器件厂商结合, 获取声表面波滤波器、射频前端模块技术, 具备手机终端通信系统全产品供应能力。
2017年, 联发科收购洛达科技。	可提供射频前端模块, 完善自身平台。

资料来源: 公开资料, 基业常青

图表 13 射频前端相关模组及器件集成度

模组	集成的器件	集成度
ASM	天线和开关	低
FEM	滤波器和开关	低
Div FEM	集成 FEM 的分集模组	中
FEMiD	集成 ASM 和双工/滤波器	中
PAiD	集成 PA 和双工	中
SMMB PA (3G/4G)	支持单模式多频带的 PA 模组	中
MMMB PA (3G/4G)	支持多模式多频带的 PA 模组	中
Tx Module (2G)	集成 PA 和开关的发射模组	中
PAMiD	集成 MMMB PA 和 FEMiD	高
LNA Div FEM	集成 Div FEM 和 LNA	高

资料来源: Skyworks, 基业常青

2.2 性能决定滤波器终端应用, Avago、Qorvo 等厂商垄断高端市场

带宽宽度、插入损耗、抗干扰能力是评价滤波器性能的关键指标。滤波器通过电容、电感、电阻等元器件的组合移除信号中不需要的频率分量, 同时保留需要的频率分量, 从而保障信号能在特定的频带上传输, 消除频带间相互干扰。性能(带宽宽度、插入损耗、抗干扰能力等)是滤波器选择过程中需要重点考虑的因素, 同时需综合考虑尺寸和成本。

图表 14 滤波器核心参数

参数	功能
中心频率 (Center Frequency)	用来计算滤波器通带带宽, 一般取通带或带阻滤波器左、右相对下降 1dB 或 3dB 边频点之和的一半。

截止频率 (Cutoff Frequency)	指低通滤波器的通带右边频点及高通滤波器的通带左边频点, 通常以 1dB 或 3dB 相对损耗点来标准定义。
通带带宽 (BW _x dB)	需要通过的频谱宽度, 通常用 X=3、1、0.5 即 BW ₃ dB、BW ₁ dB、BW _{0.5} dB 表征滤波器通带带宽参数。
插入损耗 (Insertion Loss)	滤波器对电路中原有信号带来的损耗, 以中心或截止频率处损耗表征。损耗越小, 则通过滤波器的有效信号强度越大, 滤波器的性能就越好。
带内驻波比 (VSWR)	衡量滤波器通带内信号是否良好匹配传输的一项重要指标。
阻带抑制度	衡量滤波器选择性能好坏的重要指标, 该指标越高说明对带外干扰信号抑制的越好。
延迟 (Td)	指信号通过滤波器所需要的时间, 数值上为传输相位函数对角频率的导数, 即 $T_d = df/dv$ 。
品质因素 (Q 值)	指电感在某一频率的交流电压下工作时, 所呈现的感抗与其等效损耗电阻之比。Q 值越高, 则滤波器的通带带宽越窄, 无效信号越少, 表明其滤波能力越好。

资料来源: 电子技术设计, 基业常青

5G 时代, 介质滤波器和体声波滤波器在体积、损耗和频率方面更具优势, 将分别主导基站和终端市场。目前, 基站用滤波器以金属腔体滤波器为主, 工艺较为成熟、稳定性好、价格较低。随着 5G 时代新天线技术的应用, 天线数量增加, 相应的滤波器的数量也在增加, 对滤波器的体积、发热等方面提出了更高的要求, 而陶瓷介质滤波器因其具有体积小、损耗低、Q 值高及工作频率稳定性好等优点, 未来有望成为行业主流。

图表 15 金属腔体和陶瓷介质滤波器技术原理及核心参数对比

滤波器种类	技术原理	损耗	体积	Q 值	带外抑制	适用场景
金属腔体滤波器	电磁波在同轴腔体滤波器中震荡	大	大	低	高	频率范围广
陶瓷介质滤波器	电磁波谐振发生在陶瓷介质材料内部	小	小	高	低	器件体积要求高

资料来源: 公开资料, 基业常青

在手机等终端领域, 一方面对滤波器的体积要求更高 (数量增加), 而声学滤波器采用半导体微加工工艺, 可实现低成本、小体积; 另一方面, 5G 通信要求滤波器能适应更高的频率, 体声波滤波器 (BAW) 相比声表面波滤波器 (SAW) 具有更低的损耗、更高的 Q 值, 在 2GHz 以上的高频领域更有优势。

图表 16 SAW 和 BAW 滤波器核心参数对比

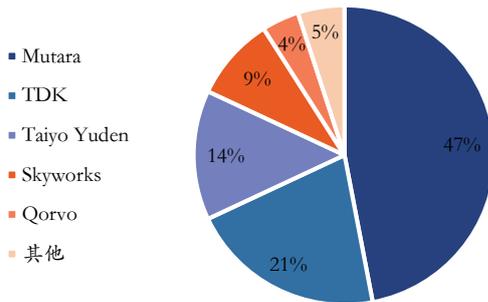
滤波器种类	频段范围	插入损耗	功率阈值	体积
SAW	2.5GHz 以下	低	低	小
BAW	2-20GHz	很低	高	很小

资料来源: 公开资料, 基业常青

5 家国际巨头厂商占据绝大部分终端市场份额, Avago 更是几乎独占 BAW

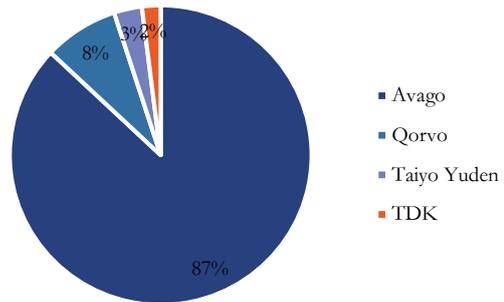
滤波器市场。目前，全球终端市场的滤波器供应较为集中，主要为美日国际巨头垄断，前5大厂商市场份额达到95%。在BAW滤波器方面，只有Avago、Qorvo等少数几家企业掌握量产技术，光Avago一家便占据全球87%的市场份额；SAW滤波器方面，也基本被Murata、TDK、Taiyo Yuden等日本厂商垄断，三家合计占有85%以上的市场份额。

图表 17 SAW 滤波器全球市场份额



资料来源：中国产业信息网，基业常青

图表 18 BAW 滤波器全球市场份额



资料来源：中国产业信息网，基业常青

国内滤波器产业尚处于发展早期，不论是在技术层面还是在整个产业的配套方面差距明显。国内在滤波器领域起步较晚，主要厂家是研究院所和一些民营企业，如麦捷科技、德清华莹电子、中电26所、中电55所、无锡好达电子、北京长峰（航天二院）、中讯四方、中科飞鸿（具有中科院声学所背景）等；BAW滤波器目前仅有中电26所、天津诺斯微在FBAR（薄膜体声波）方面有完整的产线，其他还有汉天下和RDA都在进行FBAR的开发，但尚无完整的工艺线。

图表 19 国内主要滤波器企业

企业名称	企业基本情况
麦捷科技	公司投资4.5亿元增资SAW滤波器业务，目前公司产品已通过MTK和展讯技术平台认证，并实现批量出货，主要供货给国内手机品牌。
中电26所	国内唯一拥有齐全的SAW滤波器技术的单位，产品包括SAW、TC-SAW、FBAR滤波器，也是国内少有的能为中兴/华为提供声表面滤波器厂商。
中电55所	国内较早使用铌酸锂、钽酸锂等压电晶体制作声表面波滤波器产品的企业之一。
德清华莹	公司专注铌酸锂晶体的声表面波滤波器，是国内唯一同时拥有材料、器件、模块的企业。
无锡好达电子	公司拥有国内最大、最先进的声表面波滤波器产线，主要产品为声表面波滤波器、双工器、谐振器等，应用于手机、基站等领域。

资料来源：公开资料，基业常青

2.3 射频功放制程工艺特殊，IDM厂商占据市场核心地位

高输出功率和效率是射频功放的核心。功率放大器位于发射机的末级，功能是将已调制的频带信号放大到所需要的功率值，再送到天线中发射，保

证一定区域内的接收机可以收到满意的信号电平，并且不干扰相邻信道的通信。功放是整个通讯系统芯片组中除基带主芯片之外最重要的组成部分，手机的通话质量、信号接收能力等都由功放决定，其核心性能参数为输出功率，理论上功率越大，通信质量越好，但高功率必然带来高功耗，因此在保证拥有足够输出功率同时还要兼顾效率的提升。

图表 20 功率放大器核心参数

性能参数	指标意义
工作频率	功放的重要指标，影响输出功率和增益。
输出功率	功放的核心性能指标，通常用饱和输出功率的大小来衡量，大小根据实际应用而定，移动终端一般为 0.3~0.6W，基站一般为 10~100W。
效率	功放的核心性能指标，一般与输出功率结合在一起衡量，提高效率对移动通信终端比较重要，可以延长续航时间。
线性度	反映功放的非线性效应，影响信号质量。
功率增益	输出功率/输入功率，表征功放的放大特性。

资料来源：《无线通信射频电路技术与设计》，基业常青

材料及制造工艺决定射频功放的性能，化合物半导体 PA 仍将是主流。射频功放的制作材料历经三代半导体材料（硅、锗，砷化镓、磷化铟，碳化硅、氮化镓、锗化硅）到碳纳米管、石墨烯等特殊材料，GaAs PA 基于其高击穿电压、高输出功率等特性成为当前主流，CMOS PA 由于性能及成本原因，目前只用于低端市场。Qorvo 预计 5G 来临之后，8GHz 以下，GaAs PA 仍是主流，8GHz 以上 GaN 有望率先在基站市场成为主力。此外，功放还是射频器件中相对独立的领域，是手机射频系统里难以集成的元器件。

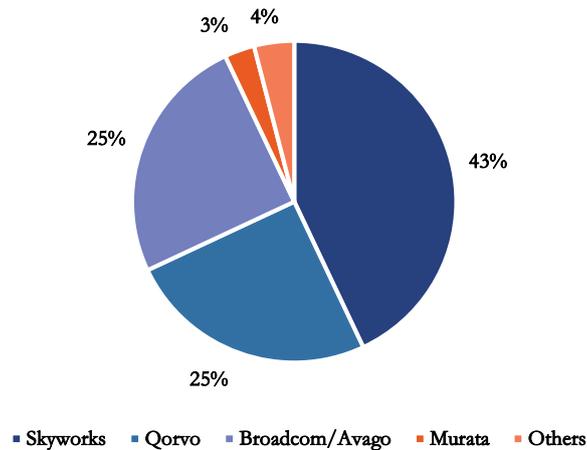
图表 21 射频功放制作材料、工艺及优劣势对比

材料	制造工艺	工艺对比	应用领域
Ge(锗)、Si(硅)	CMOS 工艺	工艺成熟，硅晶圆相对便宜，易于集成射频控制逻辑单元；但设计复杂，研发投入成本高，且硅基功放的线性度、输出功率、效率等方面性能较差，同时有膝点电压高、击穿电压低、硅基衬底的电阻率低等缺点。	多用于 2G 手机和低端 WiFi 领域。
GaAs(砷化镓)、InP(磷化铟)	GaAs 工艺	高功率、高效率（略低于 GaN），工艺成熟，兼具成本与性能优势。	当前射频 PA 的主流，广泛用于手机/WiFi 等消费电子领域。
SiC(碳化硅)、GaN(氮化镓)、SiGe(锗化硅)、SOI(绝缘层上硅)	GaN 工艺	具有极高的功率、效率和增益，工艺复杂，成本高。	多用于远距离信号传送或高功率（雷达、基站收发台、卫星通信）和军用电子等特殊应用。
碳纳米管(CNT)	——	具有物理尺寸小、电子迁移率高、电流密度大和本征电容低等特点。	是纳米电子器件的理想材料。
石墨烯	——	具有很高的电子迁移速率、纳米数量级的物理尺寸、强度等优秀的电学及机械性能。	未来射频芯片高频领域的热门材料。

资料来源：公开资料，基业常青

全球 PA 市场绝大部分份额被 Skyworks、Qorvo、Broadcom 等 IDM 厂商占据。由于 GaAs/GaN 化合物 PA 工艺的独特性和高技术壁垒，当前市场呈现出 IDM 巨头垄断的局面，前三大厂商 Skyworks、Qorvo、Broadcom/Avago 合计市场份额超过 90%。GaAs PA 的代工龙头为台湾的稳懋，其主要客户除了高通、RDA 等 Fabless 企业外，还包括 Broadcom/Avago、Murata、Skyworks 等 IDM 企业。

图表 22 全球功放企业市场份额



资料来源：公开资料，基业常青

国内射频功放集中在中低端领域，高端市场有待突破。国内射频功放公司有近 20 家，以 Fabless 企业为主，主要有 RDA/紫光展锐、中科汉天下、唯捷创芯等，产品集中在 2G/3G 射频 PA 领域，总体市场份额偏小。

图表 23 国内主要的 PA 企业

企业名称	射频产品	企业相关情况
RDA/紫光展锐	PA、滤波器	老牌 PA 厂商，已与展讯合并，打造基带加射频前端的平台型公司。公司产品涵盖 2G/3G/4G 移动通信基带芯片、射频芯片、射频前端（PA 模组和滤波器为主）等，公司是全球第十大 Fabless 厂商。
唯捷创芯	PA	由前 RFMD 人员成立，专注于射频与高端模拟 IC，主要产品是 GaAs PA，广泛应用于 2G/3G/4G 手机及其它智能移动终端。
智慧微	PA	由前 Skyworks 人员成立，是全球首家量产可重构多频多模射频前端的芯片公司，拥有可重构 SOI+GaAs 混合工艺，产品包括 MMB PA、物联网/WiFi 射频前端。
国民飞镓	PA、前端模组	由国民技术射频事业部独立而来，公司深耕 PA 领域，目前已拥有国内最完整的 4G 射频方案。
中科汉天下	PA	国内领先 2/3/4G 射频前端和 SoC 芯片供应商，产品包括手机射频前端/PA、物联网芯片等，芯片年出货量达 7 亿颗。
宜确半导体	PA、Switch、LNA	由前锐迪科高管成立，已完成 5G FEM 芯片中主要功能模块的验证，包括 Sub-6GHz 以及 mmWave 两个频段的 PA、LNA、Switch、

		Filter 等。
中普微	PA	产品涵盖 GSM、W-CDMA、TD-CDMA、CDMA2000 以及快速演变的 TD-LTE，提供 2G/3G/4G 全面的射频前端解决方案。

资料来源：公开资料，基业常青

2.4 国内产业链建设逐渐完备，射频器件企业有望渐次突破

国内射频器件设计+代工+封测产业链逐渐完备。射频前端器件领域由于设计及制造工艺复杂,国际上以 IDM 企业为主,代表厂商为 Skyworks、Qorvo、Broadcom/Avago 等产业巨头;国内射频产业起步较晚,有实力建产线的射频厂商不多,更多的是采取 Fabless+Foundry+封测厂的垂直整合模式分工协作,国内近年来加强相关产业链建设,整个射频器件产业逐渐崛起,设计企业以 RDA/紫光展锐、唯捷创芯为代表,晶圆代工厂有三安光电、海特高新,以及长电科技等封测厂商。

图表 24 射频前端器件产业链



资料来源：公开资料，基业常青

国内企业立足低端市场，集成化及技术变革趋势下有望实现向高端领域突破。对于国内射频产业来说，高端市场短期进入门槛很高，产品质量与验证周期均长，在产业壁垒逐步堆高的前提下，只有先从低端市场做起，依靠成本和市场服务优势占据一定的市场份额，积累起相对应的人才和技术，才有机会向中高端产品延伸。5G 来临的时候，一部分模组厂商可以在技术进行迭代器件快速通过技术引进或者相关公司收购快速进入行业；另一部分有资金优势的企业可以通过 Fabless+Foundry 的方式快速介入代工行业，国内的企业多数在工艺改造和成本管控方面具有优势，可通过此路径加快技术工艺的突破。

3 先进技术工艺、强产业资源整合能力构建行业核心竞争力

3.1 先进技术工艺和系统性封装打造强产品力

先进技术工艺打造强产品力，助力企业渗透高端应用领域。滤波器、PA、LNA、射频开关等射频子器件多采用 MEMS、化合物半导体、SOI、SiGe 等非标准硅基工艺制造，工艺水平即决定了器件的基本性能及终端应用。以滤波器为例，过去几年中，以 Broadcom/Avago 为代表的厂商面对通讯市场对高选择性滤波器的技术需求，加大高性能的 TC-SAW 及 FBAR 滤波器产品的研发力度，使其滤波器产品的频率选择性大大提高，解决了单机中通讯频段增多带来的抗干扰技术难题，市场份额进一步扩大，同时通过专利构建了更强的行业壁垒。此外，射频前端产业代工壁垒较高，且通常存在先进产能供给不足等问题，有自己的产线（拥有制造工艺）或有可靠 Fab 合作伙伴的国内厂商在市场中将更具竞争力。

单个射频器件封装微小化，系统性封装是当前射频前端器件集成模组化的主流实现方式。鉴于手机内部空间有限，而其使用的滤波器和双工器等射频器件数量迅速上升，同时由于滤波器、PA 是非硅基工艺，难以集成 SoC，因此在设计时需要平衡器件的体积与性能，从而带来射频器件的变化与升级。而 5G 时代采用高频的毫米波段对应更小尺寸的射频元件，其封装复杂度大幅提升，对封装过程中的连线、垫盘和通孔等结构精密度要求更高，避免妨碍到芯片上的射频功能，现阶段系统性封装是射频前端模组化的最优方案。

3.2 产线齐全、具备模组能力的厂商构建行业壁垒

射频前端集成化趋势明显，拥有齐全产线、具备模组能力的企业构筑行业壁垒。射频前端集成化不仅可以降低成本、提高性能，还可以为客户提供综合产品方案和服务，是必然趋势。相比单一器件企业，产线齐全的厂商不仅能提高客户服务能力和客户黏性，还有利于布局价值和壁垒更高的前端模组产品。如 2014 年 RFMD 和 TriQuint 合并成立 Qorvo，RFMD 擅长功放，TriQuint 的优势则在 SAW 和 BAW 方面，合并后的 Qorvo 不仅保持其在滤波器和功放领域的竞争优势，更可提供深度融合的射频前端模组。

图表 25 全球主要射频厂商产品能力

公司	国家/地区	商业模式	模组能力	滤波器	PA	LNA	开关	调谐	包络	基带
Qualcomm	美国	Fabless	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Broadcom/Avago	美国	IDM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Qorvo	美国	IDM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Skyworks	美国	IDM	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

Murata	日本	IDM	✓	✓	✓	✓	✓
TDK	日本	Fabless	✓	✓	✓	✓	
Taiyo Yuden	日本	Fabless	✓	✓			
MTK	中国台湾	Fabless			✓	✓	✓
紫光展锐	中国大陆	Fabless	✓	✓	✓	✓	✓
宜确半导体	中国大陆	Fabless			✓	✓	✓
唯捷创芯	中国大陆	Fabless	✓		✓		✓

资料来源：公开资料，基业常青（✓表示可提供相关产品）

目前，国际大厂均在进行产业资源整合，打造自身模组能力，Qualcomm与TDK成立合资企业RF360后，是当前唯一做到射频前端和基带全覆盖、拥有完整射频系统解决方案的厂商。国内多数厂商专注单类器件产品，通过切入模组厂商供应体系抢占中低端市场份额，除紫光展锐外，鲜有覆盖多产线的射频前端企业。

图表 26 高通在射频前端领域的竞争优势

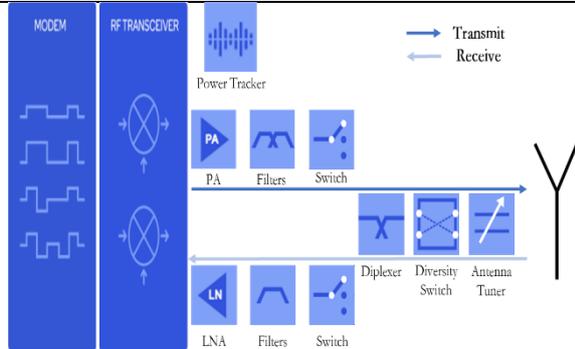
齐全的射频前端产品	SAW、TC-SAW、BAW、PA、Switch、LNA、天线调谐。
模组集成	拥有先进的系统级封装能力，可提供射频前端集成化方案。
通讯系统解决方案	结合自己的基带芯片，提供整套通讯系统解决方案。

资料来源：公开资料，基业常青

3.3 深度绑定基带厂商，构筑行业强话语权

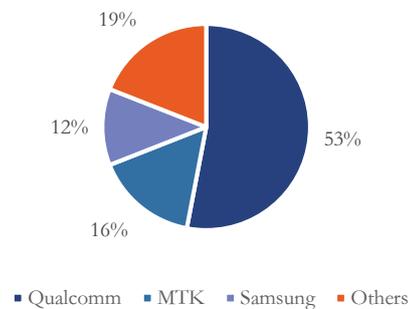
基带芯片与射频前端具有很强的协同性，基带市场的高集中性对前端市场有较大影响力。由于基带芯片决定了射频前端所支持的模式和频段，因此，集中度更高的基带领域对射频前端市场的重要性不言而喻，基带厂商如Qualcomm可借用基带市场的优势捆绑销售射频模组，直接参与全产业链的生产、销售，加剧行业竞争的同时再度强化行业壁垒。根据Strategy Analytics的数据，2017年全球基带芯片市场规模达212亿美元，其中Qualcomm一家即占有53%的市场份额。

图表 27 高通射频前端方案涵盖范围



资料来源：Qualcomm，基业常青

图表 28 全球基带芯片市场份额



资料来源：公开资料，基业常青



4 投资策略：关注向上突破——向中高端市场渗透、向下整合——与射频模组和方案厂商有深度协作的射频器件企业

5G 商用带来射频模块价值量和使用数量的大幅增加，射频前端迎来量价齐升机会，2023 年全球市场有望达到 350 亿美元，年复合增速超 14%。与此同时行业头部垄断效应越发明显，特色工艺为主、IDM 模式盛行的情况下，短期内国内企业突围难度加大。

长期来看，伴随着国内半导体产业链配套的逐渐成熟，我们认为国内厂商中具备较强研发能力的企业有望从低端向中高端领域渗透，同时将有机会向射频模组和方案厂商供货并进入其产业资源圈，推荐关注兼具技术实力和平台资源的唯捷创芯、宜确半导体。

5 风险提示

(1) 技术研发不及预期：技术工艺决定射频前端各子器件性能，国内企业在技术研发、工艺积累方面还存在不足，若企业技术研发不及预期，将影响产品推出，进而影响市场表现；

(2) 市场拓展不达预期：射频前端领域市场极为集中，国际大厂在分立器件和模组方面优势巨大，国内企业在高端应用领域面临较大的市场拓展压力。



投资评级

类别	级别	定义
公司 投资 评级	推荐	企业未来发展前景看好，具有较高的投资价值和安全边际
	谨慎推荐	企业未来发展有一定的不确定性，但仍具正向的投资价值
	中性	企业未来发展不确定性较大，投资价值尚不明朗
	回避	企业未来发展形势严峻，不建议投资
	(不评级)	企业的相关信息资料较少，不足以给出评价
行业 投资 评级	推荐	预计下一个完整会计年度，行业规模增速为 20%以上
	谨慎推荐	预计下一个完整会计年度，行业规模增速为 5%—20%之间
	中性	预计下一个完整会计年度，行业规模变动幅度介于±5%之间
	回避	预计下一个完整会计年度，行业规模降速为 5%以上
	(不评级)	行业的相关数据不可得，或无法可靠预测

免责条款

本报告信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述企业的投资决策。我公司及其雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。我公司或关联机构可能会持有报告中所提到的企业的权益并进行交易，还可能为这些企业提供或争取提供投资银行业务服务。本报告版权归基业常青经济研究院所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登。

基业常青经济研究院

基业常青经济研究院携国内最强大的一级市场研究团队，专注一级市场产业研究，坚持“深耕产业研究，助力资本增值，让股权投资信息不对称成为历史”的经营理念，帮助资金寻找优质项目，帮助优质项目对接资金，助力上市公司做强做大，帮助地方政府产业升级，为股权投资机构发掘投资机会，致力于开创中国一级市场研究、投资和融资的新格局！