

分析师: 唐月

执业证书编号: S0730512030001

tangyue@ccnew.com 021-50588666-8020

盘点我国在超算领域进展与机遇

——超算行业专题研究

证券研究报告-行业专题研究

同步大市 (首次)

计算机相对沪深 300 指数表现

发布日期: 2019 年 07 月 31 日



相关报告

1 《网络安全行业半年度策略: 等保 2.0 落地, 网络安全行业开启新征程》 2019-06-20

2 《计算机行业月报: 上涨不易, 且行且珍惜》 2019-02-19

3 《计算机行业专题研究: 商誉减值规模大增, 严重侵蚀行业利润》 2019-01-31

联系人: 李琳琳

电话: 021-50588666-8045

传真: 021-50587779

地址: 上海浦东新区世纪大道 1600 号 18 楼

邮编: 200122

投资要点:

- **超算是各国竞相角逐的科技制高点, 也是国家综合科技实力的体现。**正因为超算的重要性, 美国对超级计算机的出口一直十分谨慎, 也因此加强了我国政府发展超算的决心。
- **近二三十年来, 我国超算产业已经取得了长足的进步。**在运算速度方面, 多年占据 TOP500 榜首, 虽然近期 Summit 再次夺冠, 但是按照各国 E 级超算的研发进度, 我国有望在 2020 年重回世界之巅。同时, 随着神威太湖之光的问世和天河 2 号的升级完成, 我国已完成芯片国产化的突破, 但在芯片性能和生态上与美国仍有明显的差距。
- **在 TOP500 的榜单背后, 我国超算的应用和能耗问题成为当前业界更为关心的问题。**2016 年以来中国凭借神威·太湖之光上承载的应用, 多次问鼎了戈登·贝尔奖, 标志着我国在超算的应用软件研制水平和应用水平已得到了显著提升。同时, 高速成长的 AI 对计算力的需求逐步凸显, 有望让超算焕发新的活力。而在能耗方面, 以曙光为代表的企业已经在液冷技术方面取得了较大的突破, 但是在 E 级超算的设备能耗方面, 仍有待在半导体工艺上取得进一步的突破。
- **乐观看待 2019 年 6 月的出口管制。**在中美贸易摩擦日益频繁的国际大环境下, 短期来看出口禁令对企业的冲击难以避免。但是长期来看, 中国在超算领域技术能力和投入的决心已经一次次获得了历史的验证。随着不稳定因素的凸显, 国内加强产业自主化的决心也愈加坚定, 对于扶持脆弱的产业生态来说是一次难得的机遇。
- **建议重点关注 2020 年 E 级超算的推出和 AI 与超算的结合给行业带来的投资机会。**

风险提示: 美国实体清单范围进一步扩大; 国内主机生态系统建设进度低于预期。



内容目录

1. 近二三十年来中国在超算领域取得了长足的进步	3
2. 美国实体清单再次指向中国超算领域	4
3. 运算速度：中国有望在 2020 年重回世界之巅	6
3.1. 年中超算 TOP500 公布，继续呈现中美竞争格局	6
3.2. 中国超算厂商占据了 TOP500 榜单 6 成以上市场份额	8
3.3. 中美日将开启在 E 级超算的角逐，中国有望率先研制成功	9
4. 国产化：已完成国产芯片突破，但芯片性能和生态差距仍然明显	10
4.1. 4 大国产化超算的芯片路线	10
4.2. 在英特尔、英伟达垄断格局下，国产化亟待进行生态上的突破	13
5. 应用：人工智能应用或将带来新机遇	14
5.1. 近年来，中国超算在应用方面也取得了重要突破	14
5.2. 人工智能时代，超算正焕发新活力	14
6. 能耗：E 级超算在功耗上仍然面临巨大的挑战	15
6.1. E 级超算的设备能耗问题仍然亟待解决	15
6.2. 曙光的液冷技术在降低 PUE 值方面取得了较大突破	16
7. 行业投资策略	17
8. 风险提示	18

图表目录

图 1：近 10 年 TOP500 榜首及其算力 (TFlop/s)	5
图 2：2015H-2019H 中美两国超算入围榜单的计算机数量	6
图 3：ISC19 全球 TOP500 榜单前 4 名情况	7
图 4：全球 TOP500 中各国超算数量占比	7
图 5：全球 TOP500 榜单各国算力占比	8
图 6：2018 年中国 TOP100 榜单入榜厂商分布	8
图 7：2019H 全球超算厂商入围 TOP500 榜单的计算机数量	9
图 8：2019H 全球超算厂商入围 TOP500 榜单的计算机整体性能	9
图 9：ISC19 全球 Green500 榜单情况	16
图 10：曙光使用浸没式液体相变冷却技术的硅立方	17
表 1：超级计算机与通用服务器主要区别	3
表 2：中国超算发展史	3
表 3：进入美国实体清单的相关超算企业	4
表 4：3 大 E 级原型机基本情况	10
表 5：申威处理器芯片技术路线	11
表 6：飞腾芯片技术路线	12
表 7：中国入围戈登·贝尔奖的应用名单	14
表 8：2018 年戈登·贝尔奖入围名单	15
表 9：超算产业链的主要上市公司及相关情况	18

1. 近二三十年来中国在超算领域取得了长足的进步

超级计算机是各国竞相角逐的科技制高点，也是国家综合科技实力的体现。超级计算机主要用途包括模拟核试验、处理卫星图片、解密码等，应用领域已经覆盖了互联网大数据、工程计算、工业仿真、气象海洋、生命科学、石油物探等。由于很多情况不能实测，只能模拟，超级计算机在飞行器设计等领域更是起到至关重要的作用。

表 1: 超级计算机与通用服务器主要区别

	超级计算机	通用服务器
用途	专用性: 主要提供国家高科技领域和尖端技术研究所需的运算速度和存储容量	通用性: 面向所有需要信息技术的场景
架构	并行计算: 针对密集型任务进行任务分解, 以获得更高的计算性能	分布式: 统筹分散的硬件、软件和数据资源, 通过软件实现资源共享和业务协同
成本	用高成本追求高计算性能	通过云计算实现规模经济, 讲究成本效益

资料来源: 中原证券

正因为超级计算机的重要性，美国对超级计算机的出口一直十分谨慎。上世纪 80 年代，中国石油工业部物探局重金购买了一台 IBM 大型机。美方要求机器要放在玻璃房子里，方便美方 24 小时监控，不得随便入内。监控日志要定期交美国审查，计算机启动密码和机房钥匙也要由美方控制。

“玻璃房子”事件给了我们深刻的教训，但正是在这样的刺激下政府加大了发展超算的决心，我国在超级计算机领域进步迅猛。1983 年 12 月“银河”问世，成为了我国第一台算力在每秒 1 亿次以上的计算机；1993 年曙光一号研制成功，实现了从向量型计算机向并行型计算机的突破；2009 年 10 月，我国首台千万亿次超级计算机“天河一号”宣布研制成功，2010 年升级以后的天河 1A 成为了全球最快的超级计算机；2013 年 6 月，天河 2 号夺冠 TOP500 榜单，并持续 6 届占据榜首；2016 年 6 月，使用我国自主芯片的神威·太湖之光刷新超算算力榜单，作为全球第一台运行速度超过 10 亿亿次/秒的超级计算机，接过了天河 2 号手中的桂冠。按照国际常规，20 年超级计算机计算速度提高 100 万倍，而我们提高了 5000 多万倍。

表 2: 中国超算发展史

时间	主机	理论性能 TFlop/s	实测性能 TFlop/s	研制单位	简介
1983	银河-I			国防科技大	我国第一台算力在每秒1亿次以上的计算机
1993	曙光一号			国家智能计算机研究院开发中心	我国第一台 SMP(对称式多处理机)结构计算机, 863 计划的重大科研成果, 在其诞生后三天, 美国宣布解除 10 亿次计算机对中国的禁运
1995	曙光 1000		0.002,5	国家智能计算机研究院开发中心	达到了 20 世纪 90 年代前期的国际先进水平
1998	曙光 2000			中科曙光	达到了 90 年代同期国际先进水平, 有些方面如

					机群操作系统、集成化并行编程环境和服务器聚集软件等已处于国际领先水平
2004	曙光 4000A	11.264	8.061	中科曙光	国内首台每秒运算超过10万亿次的超级计算机，并代表中国首次进入全球超级计算机TOP 500排行榜，位列第十位 使用了AMD皓龙处理器
2008	曙光 5000	230	180.6	中科曙光	使中国成为继美国之后第二个能制造和应用超百万亿次商用高性能计算机的国家 使用了AMD皓龙处理器
2009	天河 1 号	1,206	563.1	国防科大	第一台国产千万亿次超级计算机，使中国成为继美国之后世界上第二个能够自主研制千万亿次超级计算机的国家
2010	曙光 6000	2,984.3	1,271	中科曙光	我国首台过千万亿次的超级计算机系统，2010年第35届全球超级计算机500强排名中名列第二
2010	天河 1 A	4,700	2,507	国防科大	天河1号的升级产品，成为当时世界上最快的超级计算机
2012	神威蓝光	1,100	738	国家并行计算机工程技术研究中心	首次实现了超算CPU和操作系统的全部国产化（8704片申威1600，搭载神威睿思操作系统）
2013	天河 2 号	54,902.4	33,862.7	国防科大	六度蝉联TOP500排行榜首位
2016	神威太湖之光	125,435.9	93,014.6	国家并行计算机工程技术研究中心	实现了 CPU、操作系统、高速互连网络等核心软硬件的全面国产化（CPU 申威 26010 由 260 个核心构成）
2017	天河 2A	100,678.7	61,444.5	国防科大	使用国产加速器 Matrix 2000 取代原本的英特尔 Xeon Phi 加速器进行升级，性能几乎翻番

资料来源：TOP500，中原证券

2. 美国实体清单再次指向中国超算领域

在 2019 年 6 月 TOP500 颁布后，美国紧接着于 6 月 21 日将 5 家中国实体列入了出口管制实体清单，涉及到中科曙光、海光、海光旗下两家公司（成都海光集成电路、成都海光微电子）及江南计算技术研究所。此次被列入实体清单的中国企业，主要业务都与超级计算机有关。

表 3：进入美国实体清单的相关超算企业

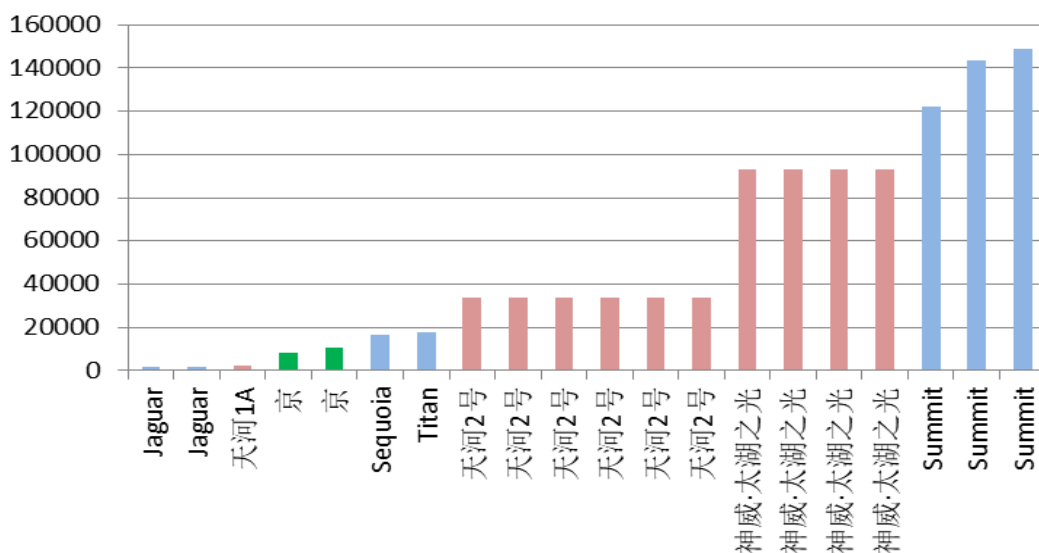
单位	时间	背景
国家超级计算长沙中心	2015.4.9	天河一号部署单位
国家超级计算广州中心	2015.4.9	天河二号A部署单位
国家超级计算天津中心	2015.4.9	天河一号A部署单位
国防科技大学（NUDT）	2015.4.9	天河系列超算研制单位

无锡江南计算技术研究所	2019.6.18	申威芯片研制单位
中科曙光	2019.6.18	曙光E级原型机研制单位
海光	2019.6.18	海光Dhyana芯片研制单位
成都海光集成电路公司	2019.6.18	海光Dhyana芯片研制单位
成都海光微电子技术公司	2019.6.18	海光Dhyana芯片研制单位

资料来源：中原证券

然而这不是美国第一次向超算领域开展出口管制。早在 2015 年 4 月 9 日，美国商务部决定禁止向中国 4 家机构（国家超级计算长沙中心、国家超级计算广州中心、国家超级计算天津中心和国防科技大学）出售 intel 的至强处理器和至强 Phi 加速器。而当时天河 2 号已经连续 4 次登顶 TOP500 榜首，并计划使用 Intel 芯片进行系统升级，将计算力从 55PFlop/s 升级到 100PFlop/s，因而美国在当时对天河 2 号的研制单位和天河系统落地数据中心发出了禁令。

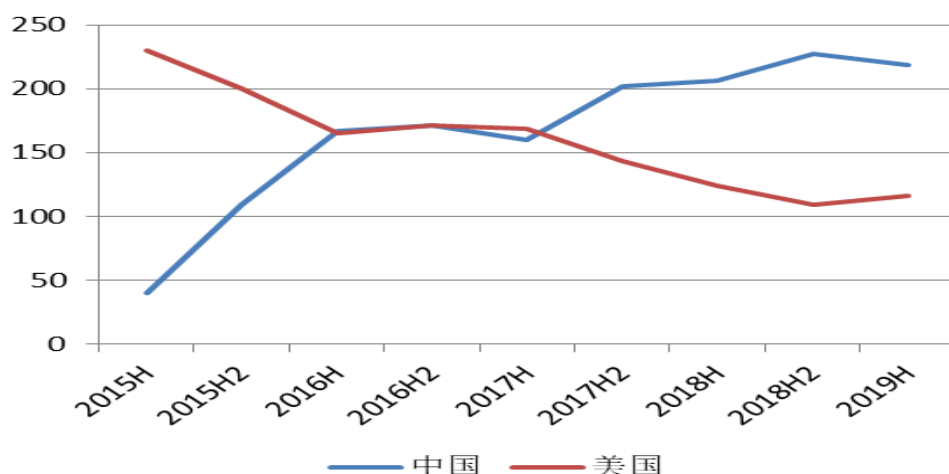
图 1：近 10 年 TOP500 榜首及其算力（TFlop/s）



资料来源：TOP500，中原证券

2019 年的禁运的原因我们认为可以概括为几个方面：（1）在最新的 TOP500 排名中，中国入榜超算数量继续呈现绝对领先优势；（2）中国 3 大机构的 E 级原型机已经问世，有望在 2020 年完成 E 级超算的研发，再次超越美国；（3）中国本次推出的 E 级超算原型机中芯片已经实现全面国产化；（4）曙光获得的 AMD 的 Zen 架构授权并已经实现量产，同时其先进的全浸没液冷技术也极可能用于正在研发的 E 级超算中；（5）中美贸易摩擦的背景下，美国对中国在科技领域的领先和超越的趋势越发敏感，意图全方面阻碍这一进程。

图 2：2015H-2019H 中美两国超算入围榜单的计算机数量



资料来源：TOP500，中原证券

2015 年的美国禁令全面推动了中国超算的国产化进程。2016 年神威太湖之光采用自主研发的 SW26010 众核芯片登顶 TOP500；2017 年天河 2 号使用国产的 Matrix-2000 加速卡替换 Intel 至强 Phi 完成了升级；2018 年天河 3 号 E 级超算原型机问世，从 CPU（飞腾），到加速器芯片（Matrix2000plus），到互联接口芯片、路由芯片全都采用国产货，新型的计算处理、高速互连、并行存储、服务处理、监控诊断、基础架构等硬件分系统全都是国产原创设计，系统操作、并行开发、应用支撑和综合管理等软件分系统全面国产可控。因为失去了中国市场，intel 至强 Phi 加速器在 2017 年 8 月停产退市。

乐观看待 2019 年的出口管制。此次禁令出台后，我们预计对于全面推行自主体系的江南计算技术研究所不会有实质性影响。但考虑到海光、中科曙光和 AMD 的关系的特殊性，以及 Intel 芯片在超算商业化领域的绝对优势，中短期对曙光及海光的影响仍有较大的不确定性。但长期来看，中国在超算领域技术能力和投入的决心已经一次次获得了历史的验证，本次出口管制必然会进一步促进我国超算国产化向商业化应用领域的进一步蔓延。

3. 运算速度：中国有望在 2020 年重回世界之巅

3.1. 年中超算 TOP500 公布，继续呈现中美竞争格局

2019 年 6 月 17 日，第 53 届全球超算 TOP500 名单在于德国法兰克福举办的“国际超算大会”（ISC）上发布。自 1993 年起，每半年全球高性能计算领域会召开一次盛会——6 月国际超算大会（ISC）和 11 月的全球超算大会（SC），期间会发布超算 TOP500 榜单、戈登·贝尔奖、Green500 等奖项，是全球超算领域的焦点。

全球最快的超级计算机仍然被美国占据。部署在美国能源部旗下橡树岭国家实验室的 Summit 及利弗莫尔实验室的 Sierra 占据榜单前两位，中国的“神威·太湖之光”和“天河二号 A”位列第三、第四。从超算芯片角度来看，Summit 和 Sierra 都使用的是 IBM POWER9

系列，神威·太湖之光使用的是我国自主的申威 CPU，而天河二号 A 仍然采用的是 Intel 至强系列。

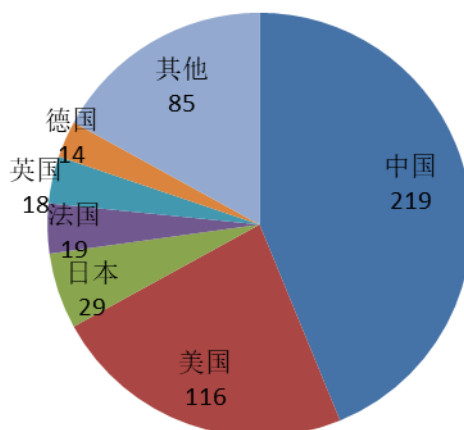
图 3: ISC19 全球 TOP500 榜单前 4 名情况

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096
2	Sierra - IBM Power System S922LO, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438
3	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCPC National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
4	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000, NUDT National Super Computer Center in Guangzhou China	4,981,760	61,444.5	100,678.7	18,482

资料来源：TOP500，中原证券

从今年的获奖数量情况来看，中国进一步夯实了相对美国的领先地位。在算力前 500 名单中，中国占 219 台，美国占 116 台。自 2017 年底，中国超越美国以后，目前在 TOP500 榜单中占比数量约达到美国两倍，领先优势明显。

图 4: 全球 TOP500 中各国超算数量占比



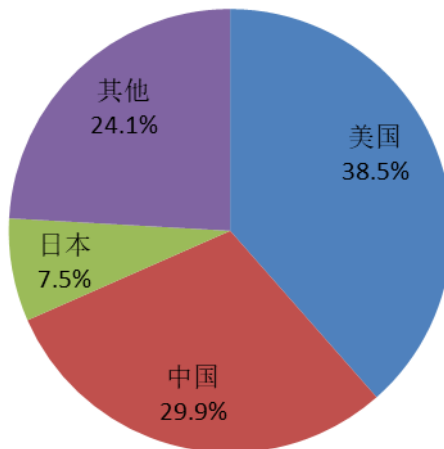
资料来源：TOP500，中原证券

从计算力的角度来看，美国仍然稳居榜首。在 TOP500 的榜单中，美国占据 38.4% 的计算性能，中国占据 29.9% 的份额，仍较美国有较大差距。但是这一短暂的优势有望随着 2020 年



中国 E 级超算的问世而发生逆转。

图 5：全球 TOP500 榜单各国计算力占比

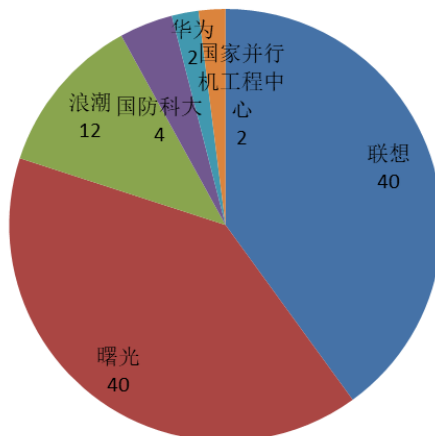


资料来源：TOP500，中原证券

3.2. 中国超算厂商占据了 TOP500 榜单 6 成以上市场份额

从 2018 年我国超算 TOP100 榜单来看，联想和曙光分别占 40 台，并列第一，之后分别是浪潮 12 台、国防科大 4 台、华为 2 台、国家并行机工程中心 2 台，已经完成全面的国产化。

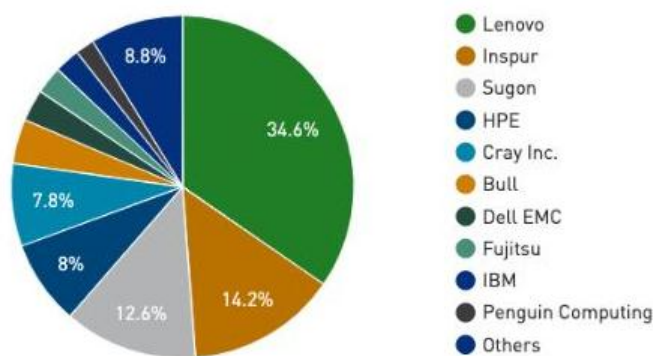
图 6：2018 年中国 TOP100 榜单入榜厂商分布



资料来源：TOP100，中原证券

在全球前 500 的超算当中，中国厂商已经占据了数量上的绝对优势。三大服务器品牌联想、浪潮、曙光分别贡献了 173 台、71 台、63 台，总计 307 台，远超中国 219 台的市场占比，出口份额进一步增大，占据了全球 6 成以上的市场份额。

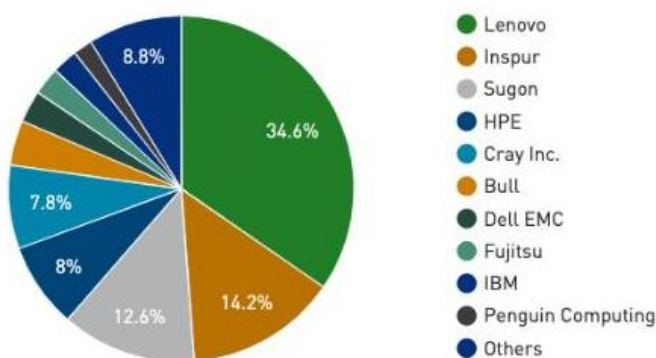
图 7： 2019H 全球超算厂商入围 TOP500 榜单的计算机数量



资料来源：TOP500，中原证券

通过 TOP500 厂商性能和数量的对比，我们可以看出厂商市场定位状况。其中 IBM 以 12 台服务器占据了 13.3% 的总体性能，而三大国产厂商中单台性能从高到低分别为联想、曙光、浪潮，都低于 TOP500 的平均水平。

图 8： 2019H 全球超算厂商入围 TOP500 榜单的计算机整体性能



资料来源：TOP500，中原证券

3.3. 中美日将开启在 E 级超算的角逐，中国有望率先研制成功

作为国家“十三五”高性能计算的专项课题，中科曙光、国防科大和江南计算技术研究所同时获批进行了 E 级超算的原型机系统研制项目。2016 年至 2018 年是中国 E 级超算规划中的第一步——原型机研发。原型系统是主要验证核心关键技术的可行性，包括 CPU、互连通信、存储架构、能效比等，并不追求峰值。这一阶段完成后，三家的 E 级超算将进行 PK，通过“赛马机制”确定其中两家并制造出两台真正的 E 级超算。

截止 2018 年 10 月，3 家机构的 E 级原型机都已经完成交付，同时在 2018 年中国高性能计算机 TOP100 排行榜中位列前十。同时 3 大 E 级原型机使用的都是国产处理器，已经在国产化方面取得了长足的进步。

表 4: 3 大 E 级原型机基本情况

主机	研制单位	落产地	交付时间	TOP100 排名 实测性能/理论性能 (TFlop/s)	配置
神威 E 级原型机	国家并行计算机工程技术研究中心	国家超级计算济南中心	2018.8	第四 2,556 3,130	处理器: 申威 26010+ 操作系统: 申威睿智 处理器、网络芯片组、存储和管理系统等核心器件全部为国产化
天河三号 E 级原型机	国防科大	国家超级计算天津中心	2018.7	第六 2,469 3,146	处理器: 飞腾 加速器: 迈创 Matrix 2000+ 操作系统: 麒麟 高速互联通信: 天河
曙光 E 级超算原型机	中科曙光	国家超算上海中心和 国家超算深圳中心	2018.10	第九 2,274 3,198	处理器: 海光 X86 架构 加速器: 海光 DCU 加速器 6D-Torus 交换系统 全浸式相变冷却技术 超融合自适应集群操作系统

资料来源: 中原证券

中国有望在 2020 年研发完成首台 E 级超算, 重回 TOP500 榜首。从全球 E 级超算的研发计划来看, 中国计划在 2020 年推出首台 E 级超算; 美国也公布了多个采用不同架构的 E 级超算计划, 希望于 2021 年交付首台 E 级超算; 日本基于超算“京”研发的 E 级超算“后京”原本计划在 2020 年部署, 之后相关项目人称部署可能会延迟 1-2 年; 欧盟则预计在 2021-2022 年交付首台 E 级超算。

4. 国产化: 已完成国产芯片突破, 但芯片性能和生态差距仍然明显

4.1. 4 大国国产化超算的芯片路线

在超算芯片的国产化方面, 我国近年来如雨后春笋, 呈现多点开花的格局, 主要可以分为 4 大厂商阵营:

● 申威 (江南计算技术研究所)

为了解决超算和国防的芯片自主化问题, 总参谋部第五十六研究所 (无锡江南计算技术研究所) 于 2003 年开始着手设计高性能芯片。其推出的申威处理器源于 DEC 的 Alpha 21164 (属于 RISC 指令集), 得到了国家“核高基”的专项资金支持, 成为了我国具有完全自主知识产权的处理器系列。

申威处理器是我国超算领域国产化攻坚战最重要的力量。2012 年神威·蓝光问世, 使用

了 8704 片申威 1600，首次实现了超算 CPU 和操作系统的全部国产化。2016 年使用 40960 片申威 26010 处理器神威·太湖之光成为了全球第一台运行速度超过 10 亿亿次/秒的超级计算机，再次证明了我国自主芯片的研发能力。2018 年，神威 E 级原型机问世，其使用的申威 26010+ 处理器也被曝光。

表 5：申威处理器芯片技术路线

型号	时间	核心数	主频	制造工艺	其他
SW-1	2006	单核	900MHz	130nm	
SW-2	2008	双核	1.4GHz	130nm	
SW1600	2010	16 核	1.1GHz	65nm	64位，浮点性能140GFlop/s 神威·蓝光应用了8704个SW1600处理器
SW1610	2012	16 核	1.6GHz	40nm	最大功耗50W，浮点性能200GFlop/s，用于服务器，支持中标麒麟操作系统
SW410	2012	4 核	1.6GHz	40nm	用于PC，支持中标麒麟操作系统
SW-5	2014	260 核			浮点性能超过1TFlop/s，核内Linpack效率93%，并有很高的性能功耗比
SW26010		260 核	1.45GHz		64位，浮点性能3.06TFlop/s，达到国际领先水平 神威·太湖之光使用了40960个申威26010处理器
SW26010+		260 核			申威26010处理器的升级版 神威E级原型机使用的处理器

资料来源：中原证券

● 飞腾（国防科大）

与申威的路线不同，国防科技大学的飞腾先后尝试了 X86、Epic（VLIW）、SPARC、ARM 四个指令集。在 Sun 将 UltraSPARC T2 开源后，国防科大对其进行了仿制和改良，走上了独立自主的技术路线。研发出的 FT-1000 和 FT-1500 分别应用在了天河 1A 和天河 2 中作为计算节点前端芯片，FT-1500 的性能和工艺当时在国内已经领先。

而后由于自主芯片在产业化实践中面临了重重困难，2011 年飞腾决定放弃生态羸弱的 SPARC 架构，转而走向了 ARM 阵营，并于 2012 年得到了 ARM 指令集授权。2014 年 10 月，飞腾第一款 ARM 架构的 CPU，FT-1500A 面世，再一次站到了国产 CPU 的巅峰。2015 年飞腾团队设计出了“火星”，成为世界上第一款基于 ARM 架构的 64 核 CPU，2016 年得到样片水平相当于 2014 年 Intel 服务器芯片水平，获得了业界广泛关注。2017 年，优化升级后的 FT-2000+问世，大幅降低了整机构建成本。而国防科技大研发的 E 级超算天河三号也将使用飞腾 FT2000+或者后续型号 CPU 进行国产替代。

2017 年底 Matrix-2000 DSP 用于天河 2A 升级方案，替换了被美国政府禁售的 Intel PHI 加速器，在性能提升到 100P 的同时，功耗几乎没有增加。2018 年升级后的 Matrix-2000+又成为了天河三号 E 级原型机的加速器。

表 6：飞腾芯片技术路线

型号	类型	架构/时间	核心数	主频	制造工艺	其他
FT-1000	CPU	SPARC	8 核	1GHz	65nm	十一五核高基重大专项 性能与2006年Intel/AMD主流的多核处理器相当 天河1A使用了2048片飞腾1000作为计算节点前端处理器 2011年浪潮推出首批基于飞腾处理器的通用服务器
FT-1500	CPU	SPARC	16 核	1.8GHz	40nm	浮点性能144G Flop/s，功耗65W 天河2号使用了4096片飞腾1500作为计算节点前端处理器
地球 FT-1500A	CPU	ARM+小米 2014	16 核		28nm	功耗35W
火星 FT-2000	CPU	ARM+小米 2016	64 核	2GHz	28nm	理论浮点性能512G Flop/s，功耗120W 相当于2014年Intel服务器芯片水平 世界上第一款基于ARM架构的64核CPU
FT-2000+	CPU	ARM 2017	64 核	2.4GHz	16nm	浮点性能588.8G Flop/s，功耗96W spec2006实测性能达到了2014年Intel至强E5主流服务器CPU的水平，是当时国内最高性能的服务器CPU，整机构建成本比使用FT-2000低50%
YHFT-QDSP	DSP	2004		350MHz	130nm	双精浮点11.2Gflops，功耗2.99W
Matrix-2000	DSP		16 核	1GHz	40nm	双精浮点2.4T，功耗为200W 2017年底用于天河2A升级方案，替换被美国政府禁售的PHI
Matrix-2000+	DSP					天河三号E级原型机的加速器

资料来源：中原证券

● 禅定（海光）

中科曙光国产化路线中使用的是 X86 架构 AMD 的 Zen 内核处理器。2016 年 4 月，AMD 宣布将与中科曙光旗下的天津海光成立合资公司，授权其生产服务器处理器。AMD 获得了 2.93 亿美元的授权费，同时中方获得了其 2017 年才发布的 Zen 架构授权，对中方来说是以白菜价获得了最先进的 X86 架构。2018 年海光 Dhyana（禅定）X86 处理器开始量产，主要用来配套中科曙光的服务器，或是国产性能最强的芯片。2019 年 AMD 宣布不会与海光公司签订新的授权协议，与后者的合作仅限于第一代 Zen 架构授权，而后海光和中科曙光被列入美国实体清单，后续中科曙光能否进行自主设计和进行芯片的更新尚存在很大的不确定性。

● 鲲鹏（华为）

国产服务器第四只力量来自华为，采用的也是 ARM 架构。2019 年 1 月 7 日，华为推出了鲲鹏 920，最多 64 核心，支持 8 通道 DDR4 内存及 PCIe 4.0 协议，最高频率 3.0Hz，7nm 工艺，是同时期最强的 ARM 服务器芯片。同时值得注意的是鲲鹏 920 采用的是 ARM 架构授权，比华为麒麟系列手机芯片的内核授权方式有了更大的自主权，同时因为华为获得了 ARMv8 的永久授权，所以不会受到美国相关禁令的影响。考虑到华为在芯片、服务器和云服务领域的全产业链布局，长期来看华为鲲鹏的发展也值得期待。

除了以上 4 大的芯片阵营，中科院旗下的龙芯、寒武纪，阿里平头哥旗下的玄铁也是我国服务器芯片国产化的重要力量。

4.2. 在英特尔、英伟达垄断格局下，国产化亟待进行生态上的突破

英特尔的 CPU 芯片和英伟达的 GPU 仍然占据绝对领先优势。英特尔的 CPU 在最新 TOP500 榜单中仍然占据主导地位，该公司的芯片出现在 95.6% 的超算系统之中。另有 7 台超算系统选择了 IBM Power 系列处理器、3 台系统选择了 AMD 处理器。另外，全球超算 TOP500 名单上共有 133 个系统采用了加速器或协处理器技术，其中 125 个使用了英伟达 GPU。由于 GPU 的浮点性能远高于 CPU，基于 CPU+GPU 的异构运算架构成了 Green500 中高能效服务器的热门架构。在前 25 台 Green500 超算中，有 22 台使用了英伟达 GPU 加速卡。Top500 中排名前两位的 Summit、Sierra 也都是选用了 IBM Power 处理器+英伟达 GPU 的架构。

对比中国在超算运算速度的水平，国产超算芯片与美国的差距仍然明显。国内半导体国内处理器制造工艺整体落后 1-2 代，处理器的单核性能和主频较低。随着摩尔定律的逐渐失效，全球半导体产业面临发展瓶颈，同时也给像中国这样的芯片领域的后来者提供了更多赶超机会。随着中芯国际 14nm 制程量产，12nm 工艺也取得突破，也将助力国产芯片的发展进程。

我国商用超算目前仍然以采购国外芯片、系统和应用软件为主，亟待生态上的突破。在拥有了国产芯片和单点技术突破之后，生态仍然是中国超算自主化进程中最大的短板。包括软件生态、开发工具的完备，从底层到上层完整的教育传承和人才积累，都是需要多年沉淀进行积累的，这也成为了后来者打破原有竞争格局最大的障碍。正是意识到生态的重要性，2019 年 7 月华为正式宣布将在未来 5 年内投资 30 亿元来发展鲲鹏产业生态，飞腾放弃生态羸弱的 SPARC 架构转投向 ARM 阵营，海光选择了主流的 X86 架构路线。国内几大超算芯片设计厂商，根据自身商业化程度的不同，在自主可控和芯片生态之间进行不同的权衡和取舍，呈现出了多元化的格局。

随着中美贸易摩擦的持续推进，进一步坚定了华为、阿里等企业发展自主芯片的决心。华为通过推出自有鲲鹏芯片、泰山 ARM 服务器、云服务的模式，可以快速实现芯片的应用，加快换代升级的步伐，有望复制麒麟芯片的成功路径。而阿里通过自身系统的建设，最先在国内完成了去 IOE 的进程，也成为国产化推进的鲜活案例。因而，我们认为巨头在向芯片领域的渗透后，或将成为我国核心领域变道超车的核心力量。

5. 应用：人工智能应用或将带来新机遇

5.1. 近年来，中国超算在应用方面也取得了重要突破

近年来中国的超算应用水平也取得了重大突破，软实力也位居世界前列。设立于 1987 年的“戈登·贝尔奖”被誉为超算领域的诺贝尔奖，是国际超算应用领域的最高学术奖项，通常会在当年 TOP500 排名前列的超算应用中获得，成立以来一直被美国和日本垄断，直到 2016 年中国凭借神威·太湖之光上运行的“全球大气非静力云分辨模拟”，首次获得戈登·贝尔奖。在超算的硬件之外，我国在超算的应用软件研制水平和应用水平也得到了显著提升。

而后在 2017 年，运行在神威·太湖之光上的“15-Pflops 非线性地震模拟实现 10Hz 场景描述”再次获得了戈登·贝尔奖。同时，神威·太湖之光自问世以后，以其为载体的应用已经先后 6 次入围了戈登·贝尔奖的提名，2 次获奖。

表 7：中国入围戈登·贝尔奖的应用名单

年份	荣誉	超算	应用	简介
2016	获奖	神威·太湖之光	全球大气非静力云分辨模拟	
	提名	神威·太湖之光	高分辨率海浪数值模拟	
	提名	神威·太湖之光	钛合金微结构演化相场模拟	
2017	获奖	神威·太湖之光	15-Pflops 非线性地震模拟实现 10Hz 场景描述	首次实现对唐山地震发生过程的高分辨率精确模拟
	提名	神威·太湖之光	全球气候模式的高性能模拟	
2018	提名	神威·太湖之光	“神图”图计算框架	面向超大规模异构系统架构的新一代图计算系统

资料来源：中原证券

未来，随着我国对基础科研重视程度的逐步提升，高校、科研院所、军工企业等传统客户对超算需求还有很大的提升空间。当前美国普通高校科研院所约有 30% 的工作与超算相关，而国内高校的平均水平不到 10%，还有大量的超算应用亟待发掘。

5.2. 人工智能时代，超算正焕发新活力

未来人工智能（AI）有望成为超算的主流应用之一。超级计算机的传统应用主要集中在气象预测、石油勘探、CAE 仿真、新材料研究、新药发现、基因测序等工程计算和科学计算领域，主要采用了封闭式的计算场景。而近年来，高速成长的 AI 市场对计算力的需求逐步凸显，而超算强大的计算性能正好契合 AI 的需要。当前 10 亿亿次的算力已经很好地满足了传统科学计算领域的需求，而随着 E 级超算的问世，超算与云计算、大数据、人工智能等新兴应用领域的结合有望推升出更大的数据处理的需求。

传统超算要满足人工智能的计算需求，还需要在架构和算法上进行一系列升级。从精准医疗到自动驾驶，随着 AI 的应用不断深入，包括 Intel、浪潮在内的一系列超算领域的厂商都将

AI 与 HPC 的融合作为产品发展的一个重要的研究方向。2018 年全球最强大、最智能的人工智能超算 Summit 问世，2018 年 8 月问世的神威 E 级超算原型机也首次在国产超级计算机上构建了人工智能软件生态链，这标志着超算与人工智能技术结合成为大势所趋。

从 2018 年的戈登·贝尔奖的入围情况来看，入围应用中人工智能相关的项目占据了半壁江山，其中“利用高可扩展深度学习理解极端天气事件”更是获得了当年的可扩展性与时效奖，这表明人工智能与超算结合已经愈来愈紧密。

表 8：2018 年戈登·贝尔奖入围名单

应用	超算	荣誉	领域
应用超级计算机来应对药物流行病	Summit	持续峰值性能奖	基因组学计算，是高性能计算与生物信息学、医学的结合
利用高可扩展深度学习理解极端天气事件	Summit	可扩展性与时效奖	气候变化研究领域，是科学计算与人工智能技术的结合
量子色动力学模拟	Summit	提名	传统科学计算
城市震害模拟	Summit	提名	非结构有限元计算中的大规模线性方程组求解问题，也是人工智能技术在传统计算中应用
电子显微镜数据处理的高效异构计算	Summit	提名	深度学习的大规模训练问题
“神图”图计算框架	神威·太湖之光	提名	探索了在超级计算机上如何开展极大规模图数据的高效处理

资料来源：中原证券

6. 能耗：E 级超算在功耗上仍然面临巨大的挑战

随着各国相继展开 E 级超算的研发，超算在运算速度在不断提高，但仍然面临功耗墙、编程墙、可靠性墙和访存墙等应用难题，其中功耗上的挑战更是首当其冲。2020 年全国数据中心总耗电量预计将达到 2962 亿千瓦，对比 2018 年城乡居民用电总量 9685 亿千瓦这个数据来看，数据中心持续增长的用电问题已经不容小觑。

从数据中心的节能路径来看主要有两条路线：（1）降低超算等 IT 设备的功耗；（2）降低数据中心的 PUE 值（数据中心总设备能耗/IT 设备能耗）。

6.1. E 级超算的设备能耗问题仍然亟待解决

从顶级超算的 Green500 排名来看，我国与美国在超算功耗还有比较大的差距。在公布 TOP500 之外，超算大会为了表彰在节能方面做出突出贡献的公司，还将 TOP500 的超算重新排名，按照能耗比公布了 Green500 榜单。作为 TOP500 排名第一的超算，Summit 在 Green500 也排名第二，能效比高达 14.719；而神威·太湖之光能效比仅为 6.051，还有很大的提升空间。



然而，即使是以 Summit 的功耗比，距离目前业界提出的 E 级超算 30 兆瓦的目标还有很大的差距，还需要在半导体工艺上做进一步的突破。

图 9: ISC19 全球 Green500 榜单情况

TOP500							
Rank	Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Power (kW)	Power Efficiency (GFlops/watts)	
1	469	DGX SaturnV Volta - NVIDIA DGX-1 Volta36, Xeon E5-2698v4 20C 2.2GHz, Infiniband EDR, NVIDIA Tesla V100, Nvidia Corporation United States	22,440	1,070.0	97	15.113	
2	1	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	10,096	14.719	
3	8	AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) - PRIMERGY CX2570 M4, Xeon Gold 6148 20C 2.4GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Infiniband EDR, Fujitsu National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	391,680	19,880.0	1,649	14.423	
4	393	MareNostrum P9 CTE - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, NVIDIA Tesla V100, IBM Barcelona Supercomputing Center Spain	18,360	1,145.0	81	14.131	
5	25	TSUBAME3.0 - SGI ICE XA, IP139-SXM2, Xeon E5-2680v4 14C 2.4GHz, Intel Omni-Path, NVIDIA Tesla P100 SXM2, HPE GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	135,828	8,125.0	792	13.704	
6	11	PANGAEA III - IBM Power System AC922, IBM POWER9 18C 3.45GHz, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, NVIDIA Volta GV100, IBM Total Exploration Production France	291,024	17,860.0	1,367	13.065	
7	2	Sierra - IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	7,438	12.723	
8	43	Advanced Computing System(PreE) - Sugon TC8600, Hygon Dhyana 32C 2GHz, Deep Computing Processor, 200Gb 6D-Torus, Sugon Sugon China	163,840	4,325.0	380	11.382	
9	23	Taiwania 2 - QCT QuantaGrid D52G-4U/LC, Xeon Gold 6154 18C 3GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Quanta Computer / Taiwan Fixed Network / ASUS Cloud National Center for High Performance Computing Taiwan	170,352	9,000.0	798	11.285	
10	385	Huawei G5500, Xeon E5-2650v4 12C 2.2GHz, NVIDIA Tesla V100, 100G Ethernet, Huawei Technologies Co., Ltd. Telecom Company China	23,904	1,154.8	107	10.778	

资料来源：Green500，中原证券

6.2. 曙光的液冷技术在降低 PUE 值方面取得了较大突破

从降低 PUE 值的角度来看，最重要的问题是找到合适的散热方式，降低数据中心冷却的功耗。有数据显示数据中心的冷却占机房总功耗的 40%左右，我国传统数据中心的 PUE 值在

2-3 之间。为了降低 PUE 值，大量数据中心选择建在水资源丰富、气候凉爽的偏远地区，但是对于大部分的企业来说，这样远离客户、远离主干网络、失去运维便捷性的解决方案，仍然存在种种弊端，并不是最可靠、可行的。

传统的风冷制冷手段正在逐渐被液冷技术取代。液冷技术主要分为冷板式液冷和全浸没式液冷两种，冷板式液冷目前已经得到了较多的商业应用（神威·太湖之光也采用了冷板式冷却系统），而全浸没式液冷才是液冷技术发展的终极目标。

在液冷技术领域，中科曙光走在了行业前列。2015 年，曙光率推出了国内首款标准化量产的冷板式液冷服务器，并在当年完成了国内首个冷板液冷服务器大规模应用项目；2017 年曙光又交付了国内首套商用全浸没液冷服务器，并在 2019 年完成了国内首个浸没式液冷服务器大规模应用项目。2018 年 11 月的美国 SC2018 超算大会上，曙光预发布了硅立方高性能计算机，2019 年 6 月的 ISC2019 大会上，曙光又展示了新一代硅立方超级计算机，PUE 值小于 1.04，单机柜功率进入 160KW 时代，大幅提升了超算的计算密度。同时，曙光推出的 E 级超算原型机也采用的是全浸没式液冷技术，为 E 级超算能耗难题的解决提供了新的解决思路。

图 10：曙光使用浸没式液体相变冷却技术的硅立方



资料来源：《新华日报》，中原证券

7. 行业投资策略

近二三十年来，我国超算产业已经取得了长足的进步。在运算速度方面，多年占据 TOP500 榜首，虽然近期 Summit 再次夺冠，但是按照各国 E 级超算的研发进度，我国有望在 2020 年重回世界之巅。同时，随着神威太湖之光的问世和天河 2 号的升级完成，我国已完成芯片国产化的突破，但在芯片性能和生态上与美国仍有明显的差距。

在 TOP500 的榜单背后，我国超算的应用和能耗问题成为当前业界更为关心的问题。2016

年以来中国凭借神威·太湖之光上承载的应用，多次问鼎了戈登·贝尔奖，标志着我国在超算的应用软件研制水平和应用水平已得到了显著提升。同时，高速成长的 AI 对计算力的需求逐步凸显，有望让超算焕发新的活力。而在能耗方面，以曙光为代表的企业已经在液冷技术方面取得了较大的突破，但是在 E 级超算的设备能耗方面，仍有待在半导体工艺上取得进一步的突破。

在中美贸易摩擦日益频繁的国际大环境下，短期来看出口禁令对企业的冲击难以避免。但是长期来看，中国在超算领域技术能力和投入的决心已经一次次获得了历史的验证。随着不稳定因素的凸显，国内加强产业自主化的决心也愈加坚定，对于扶持脆弱的产业生态来说是一次难得的机遇。

建议重点关注 2020 年 E 级超算的推出和 AI 与超算的结合给行业带来的投资机会。

表 9：超算产业链的主要上市公司及相关情况

代码	公司	涉及产业链环节	简介
603019.SH	中科曙光	超算、芯片	产品涉及超算、通用服务器和存储三大类型，是国内三大 E 级超算的研发机构，同时持有了海光 36.44% 的股权。海光拥有 AMD 旗下 Zen 架构授权，并已经实现芯片量产。
000977.SZ	浪潮信息	超算	产品涉及超算、通用服务器和存储三大类型，全球第三中国第一的服务器生产厂商，中国第一款关键应用主机的生产厂商，服务器行业 JDM 模式的引领者。
000066.SZ	中国长城	芯片	公司拟收购大股东中国电子拟将旗下华大半导体和中国振华持有的天津飞腾 13.54% 和 21.46% 的股权，天津飞腾是国防科大天河系列超算所用芯片研发单位。
预科创板上市	寒武纪	芯片	国内 AI 芯片龙头，前期已经在华为手机中得到了较好的应用。
0992.HK	联想集团	超算	全球最大的 PC 生产厂商，全球第五大服务器生产厂商，全球 500 强企业，产品涉及 PC、服务器、手机、工作站等在内的移动互联网终端。

资料来源：中原证券

8. 风险提示

- 1、美国实体清单范围进一步扩大；
- 2、国内主机生态系统建设进度低于预期。



行业投资评级

强于大市：未来6个月内行业指数相对大盘涨幅10%以上；

同步大市：未来6个月内行业指数相对大盘涨幅-10%至10%之间；

弱于大市：未来6个月内行业指数相对大盘跌幅10%以上。

公司投资评级

买入：未来6个月内公司相对大盘涨幅15%以上；

增持：未来6个月内公司相对大盘涨幅5%至15%；

观望：未来6个月内公司相对大盘涨幅-5%至5%；

卖出：未来6个月内公司相对大盘跌幅5%以上。

证券分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券分析师执业资格，本人任职符合监管机构相关合规要求。本人基于认真审慎的职业态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑，独立、客观的制作本报告。本报告准确的反映了本人的研究观点，本人对报告内容和观点负责，保证报告信息来源合法合规。

重要声明

中原证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本报告由中原证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作并仅向本公司客户发布，本公司不会因任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告中的信息均来源于已公开的资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证所含的信息不会发生任何变更。本报告中的推测、预测、评估、建议均为报告发布日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收益可能会波动，过往的业绩表现也不应当作为未来证券或投资标的表现的依据和担保。报告中的信息或所表达的意见并不构成所述证券买卖的出价或征价。本报告所含观点和建议并未考虑投资者的具体投资目标、财务状况以及特殊需求，任何时候不应视为对特定投资者关于特定证券或投资标的的推荐。

本报告具有专业性，仅供专业投资者和合格投资者参考。根据《证券期货投资者适当性管理办法》相关规定，本报告作为资讯类服务属于低风险（R1）等级，普通投资者应在投资顾问指导下谨慎使用。

本报告版权归本公司所有，未经本公司书面授权，任何机构、个人不得刊载、转发本报告或本报告任何部分，不得以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。未经授权的刊载、转发，本公司不承担任何刊载、转发责任。获得本公司书面授权的刊载、转发、引用，须在本公司允许的范围内使用，并注明报告出处、发布人、发布日期，提示使用本报告的风险。

若本公司客户（以下简称“该客户”）向第三方发送本报告，则由该客户独自为其发送行为负责，提醒通过该种途径获得本报告的投资者注意，本公司不对通过该种途径获得本报告所引起的任何损失承担任何责任。

特别声明

在合法合规的前提下，本公司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头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问等各种服务。本公司资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告意见或者建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到潜在的利益冲突，勿将本报告作为投资或者其他决定的唯一信赖依据。