

数字经济专题报告之十四：硅基光子赋能 AI，助飞新算力时代

通信行业

1、根据斯坦福大学人工智能研究所发布的《2019 人工智能指数报告》，深度人工智能的浮点计算量呈现惊人的增长，约每 3.4 个月就翻一倍，远超过摩尔定律的增长速率。数据量急速增长，对于硬件系统的信息处理销量、延迟和能耗提出了更高的要求。通过二进制拓展的微电子处理器存在计算效率的瓶颈。面对海量数据的人工智能应用，如自动驾驶、机器视觉、自然语言处理等，往往需要专门的加速硬件，如图像处理单元和专用集成电路等，进行高强度实时的人工智能处理。

硅基光电计算是后摩尔时代维持计算性能快速发展的关键潜在技术。硅基光电子互连可以赋能高要求的数字芯片阵列（如 GPU、CPU 和 ASIC 存储芯片等），改变高性能计算系统的整体架构，以实现高带宽和高能效的通信。

2、光子计算产业链：硅基光电子产业目前依旧处于初创期，技术来源 MIT 等科研院所，海外重点初创公司包括：Lightmatter 等。

国内光子算数（上市公司股东铭普光磁）、曦智科技、苏州熹联（Sicoya）等公司在硅基光电子工艺平台，通过光-电协同设计，结合先进封装技术实现硅基光电子计算。

另外，由于硅本身为间接带隙材料无法直接发光，作为光源，发光效率低硅基光电子激光器依旧无法完成集成，相关高速激光器产业链也有望受益于硅基光电子计算的快速发展，**相关上市公司包括源杰科技、光迅科技、仕佳光子等。**

3、通信板块观点

- 1) 低估值、高股息，必选消费属性强的电信运营商（A+H）板块：中国移动、中国电信、中国联通；
- 2) 低估值成长依旧的主设备：紫光股份（华西通信&计算机联合覆盖）、中兴通讯；
- 3) 东数西算产业链中 IDC、光模块板块：光环新网、奥飞数据、新易盛、天孚通信、光迅科技、中际旭创等；
- 4) 高成长物联网模组及能源信息化板块：移远通信、朗新科技（华西通信&计算机联合覆盖）、威胜信息等；
- 5) 10G-PON 及家庭宽带设计产业链：平治信息、天邑股份等；
- 6) 其他个股方面：海格通信（北斗三号渗透率提升）（华西通信&军工联合覆盖）、新雷能（华西通信&军工联合覆盖）、TCL 科技（面板价格触底）（华西通信&电子联合覆盖）、七一二（军工信息化）、金卡智能（华西通信&机械联合覆盖）等

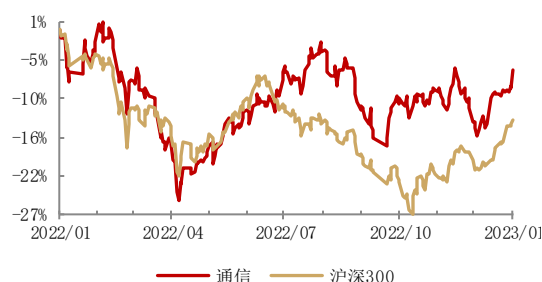
4、风险提示

底层相关技术发展缓慢，算力软硬件生态应用发展不及预期。

评级及分析师信息

行业评级：推荐

行业走势图



分析师：宋辉

邮箱：songhui@hx168.com.cn

SAC NO: S1120519080003

联系电话：

分析师：柳珏廷

邮箱：liujt@hx168.com.cn

SAC NO: S1120520040002

联系电话：

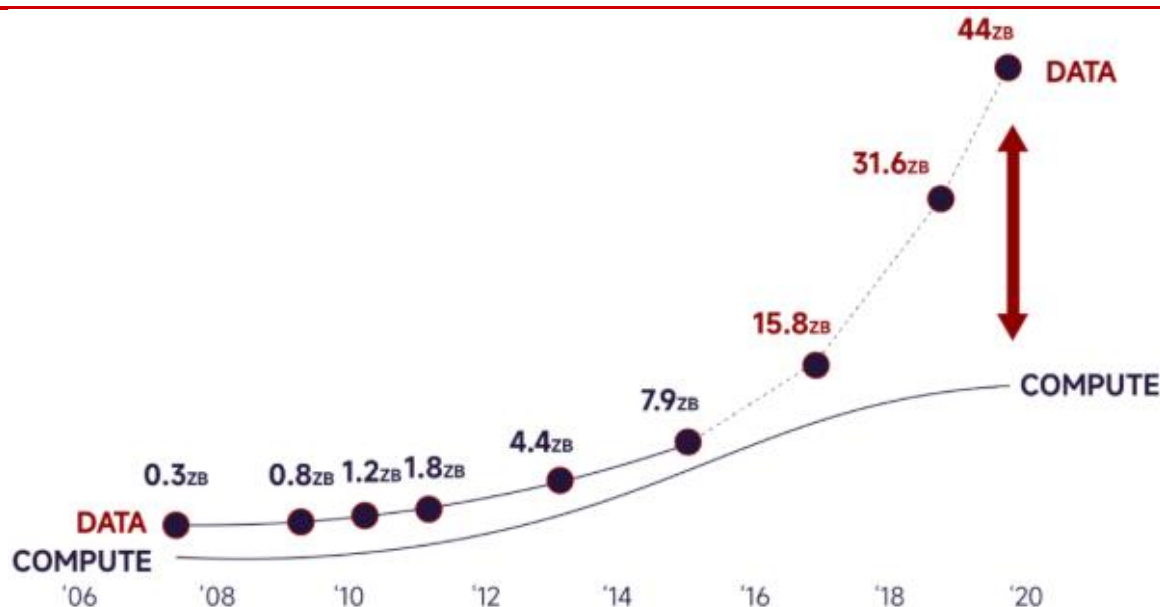
1. 硅基光子赋能光神经网络，助飞新算力时代

1.1. 硅基微电子摩尔定律趋于失效

硅基光电计算是后摩尔时代维持计算性能快速发展的关键潜在技术。传统的硅基微处理器基于冯·诺依曼二进制逻辑架构，通过简洁、经典、易于扩展的二进制逻辑运算和存储单元等，实现复杂多样化的计算机硬件系统。

单个芯片的晶体管数量呈现指数级增长，近年来由于微加工技术的瓶颈和量子隧穿效应等物理因素的制约，摩尔定律增速逐渐变缓，面临失效的困境。同时，受限于铜导线带宽和硅基晶体管器件的频率响应极限，微处理器的时钟频率逐渐趋于饱和，开始通过多核心并行计算提升处理器性能。但是受制于阿姆达尔定律，并行计算存在理论上性能提升极限。

图 1 算力已经赶不上数据的增长



资料来源：驭数科技，华西证券研究所

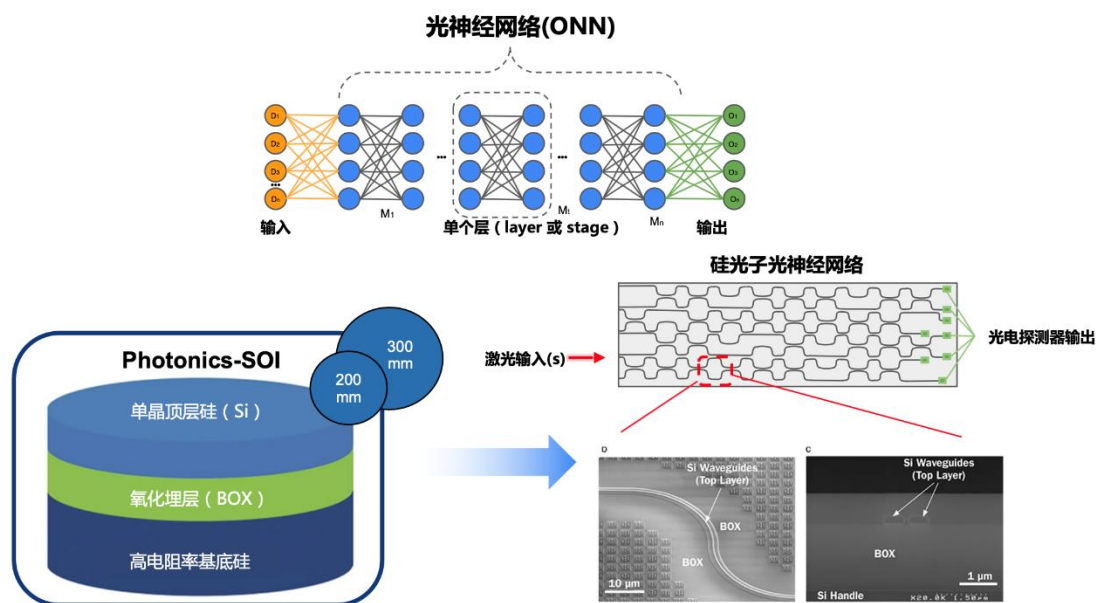
根据斯坦福大学人工智能研究所发布的《2019 人工智能指数报告》，深度人工神经网络的浮点计算量呈现惊人的增长，约每 3.4 个月就翻一倍，远超过摩尔定律的增长速率。数据量急速增长，对于硬件系统的信息处理销量、延迟和能耗提出了更高的要求。通过二进制拓展的微电子处理器存在计算效率的瓶颈。面对海量数据的人工智能应用，如自动驾驶、机器视觉、自然语言处理等，往往需要专门的加速硬件，如图像处理单元和专用集成电路等，进行高强度实时的人工智能处理。

1.2. 光计算的兴起

在硅基微电子处理器性能瓶颈和计算需求的双重压力下，后摩尔时代需要寻找新的物理机制，实现进一步高性能、高效率的计算处理。光具有多方面优势，可以构筑新的计算物理机制，实现部分特殊问题的快速计算。光的优势具体体现在低损耗、低延迟、超宽频、多维调制等方面，通过光强度、幅度、相位、模式、波长、角动量等不同的电磁波维度，实现复杂的光场变换、等效映射、复杂模拟和高速互联等，在特定的计算应用和场景中发挥突出的计算性能，是后摩尔时代具有潜力的高性能计算技术。

传统的光计算理念包括：50 年代开启的基于光学信息处理的光计算理论和系统研究；1996 年 Goodman 提出的斯坦福矩阵向量乘法器。在光学晶体管方面，包括 1975 年 McCall 等首次提出基于晶体双折射的光学晶体管器件；1976 年 Jain 等提出的基于二阶谐波产生的非线性光学晶体管；2019 年 Zasedatelev 等通过聚合物的等离激元效应增大光与物质的相互作用，实现了带增益可级联的全光晶体管，试图通过光的带宽优势实现超高频的数字或模拟信号的逻辑处理元件，组成全光计算机体系研究，颠覆并取代微电子的计算机。

图 2 利用级联互连的定向耦合器、分束器以及 MZI 干涉仪实现神经网络的 (ONN) 硅基光子器件



资料来源：Soitec, 华西证券研究所

1.3. 光电计算的算力与能耗分析

算力和能耗是光电计算中的核心问题。从实际应用的角度，需要对光电计算的算力和能耗进行深入评估。硅基光电计算芯片的直接竞争对手是进行大规模并行计算的专用集成电路芯片。

微电子芯片中一个重要的能效单位为 pJ/MAC 【乘加运算 multiply accumulate MAC 需要耗费 pJ 量级的能量】。这个指标涵盖了运算过程中的 I/O、控制、缓存、逻辑运算等计算硬件的整体指标。

硅基光电子矩阵运算的整体能耗，包括以下几个方面：

激光相干光源的能耗 【激光阈值克服，实现光电转换】

光电硬件系统 I/O 和数字信号本地缓存等能耗。【数据接口实现数据的 in 和 out 及数据信息本地缓存】

数模转换、模拟缓存等的能耗。

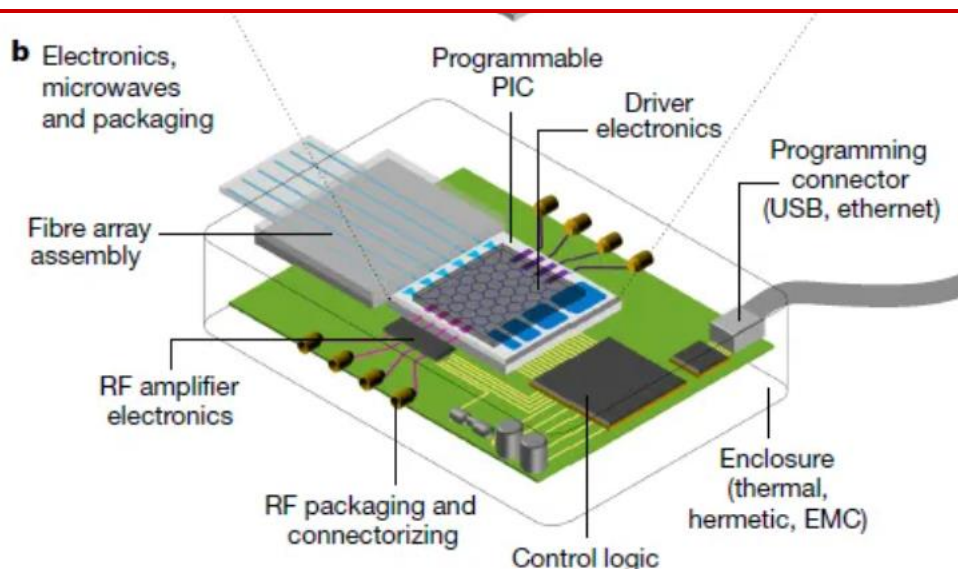
级联 MZI 光电网络动态运算的能耗。

光电探测器的光电转换、模数编码等提取运算结果所需的能耗，以及光电运算中模拟缓存电路等所需的能耗。

1.4. 硅基光电子计算产业链

硅基光子芯片目前通常是由 ECI 电芯片和 PCI 硅光芯片通过 2.5D 或 3D 封装堆叠组成。光学组件主要有光学神经网络计算芯片及激光器等部件组成，承担神经网络算法的线性计算和高通量数据搬运；电学组件包括电算力芯片主控板、数模转换器（Digital to Analog Converter, DAC）、模数转换器（Analog to Digital Converter, ADC）及相关驱动电路等部件组成。电学芯片承担神经网络算法中的部分非线性运算，并起到保存神经网络算法模型和权重、传输数据、控制光学芯片等功能。

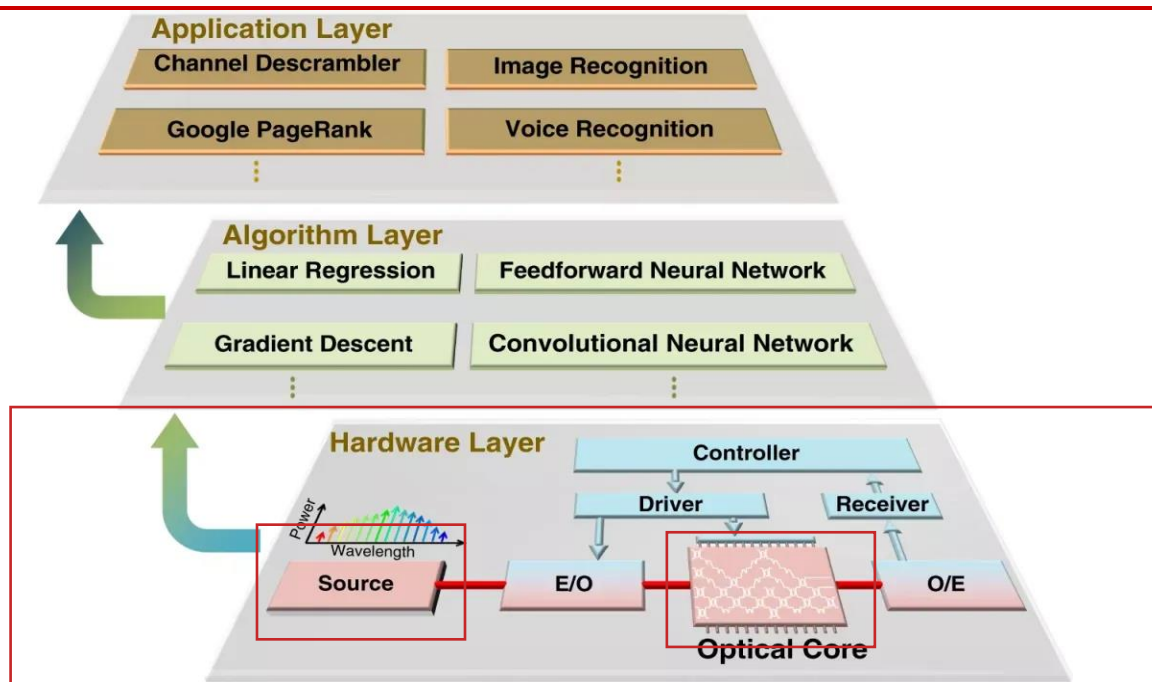
图 3 用于可编程光子芯片图



资料来源：高分子科学前沿，华西证券研究所

硅基光电芯片将数十到数百个光器件（包括片上光源、MZ 调制器、探测器、波分复用等）集成到同一芯片上，在数据收发端替代原有的电传输模块，可在降低能耗的同时大幅增加数据通量。其中，硅光调制器主要采用 MZ 结构实现对光的调制，即对光信号进行计算与编码。

图 4 光电混合 AI 计算芯片架构示意图



资料来源：知乎 ScienceAI, 华西证券研究所

硅基光电子产业目前依旧处于初创期，技术来源 MIT 等科研院所，海外重点初创公司包括：Lightmatter 等。

国内光子算数、曦智科技等公司在硅基光电子工艺平台，通过光-电协同设计，结合先进封装技术实现硅基光电子计算。

表 1 全球主要硅基光电子计算初创公司

序号	企业名称	创立时间	地点	产品类型	团队背景	投资方
1	曦智科技 Lightelligence	2017	中国	①光子计算引擎（同一芯片上万个光器件集成，MZI 路线）	①MIT②哥伦比亚大学③加州大学伯克利	经纬资本、中科创星等 融资已超过 10 亿人民币
2	Lightmatter	2017.9	美国 波士顿	①AI 光子加速器系统（光子核/图形处理器/RISC 核心/SRAM）；②异构高速互联芯片；③自有 Idiom 软件平台（神经网络能力的代码）；④同哈佛大学、波士顿大学合作的针对自动驾驶场景的 EPiC 系统（另集成传感器）	①MIT②谷歌	谷歌 Viking Global Investors
3	Optelligence	2020	美国	①光学卷积神经网络加速器 每秒 PB 级的大量信息——	①乔治华盛顿大学电气与计算机工程系	两位创始人 Sorger 和 Hamed Dalir 均从私人投资者获得上千万美元融资

			德州		②美国加州大学伯克利分校担任未来科学技术研究实验室	资本方背景：美国海军研究中心；美国陆军研究实验室
4	Ayar Labs	2015	美国加州	①TeraPHY™光 I/O 小芯片（对标电子 I/O 速度提升 1000 倍，功耗 1/10，对于铜缆替代）② The SuperNova™ 光源，提供多波长光源 重点合作单位：Intel、DARPA、NSTXL（国家安全技术加速器）Lumentum	①MIT	GLOBALFOUNDRIES, Intel Capital, MIT 校友基金等。2020.11，宣布完成由 Downing Ventures 和 BlueSky Capital 共同领导的 3500 万美元 B 轮融资
5	LightOn	2016	法国巴黎	光子协处理器/ LightOn Appliance 利用光子学将大规模通用数据处理成信息揭示的"草图。	德克萨斯 A&M 大学、巴黎狄德罗大学、巴黎索邦大学	公开信息中目前公司融资金额 500 万美元。
6	光子算数	2017	中国	以加速产业化为指向，兼顾布局技术创新与产业生态，产业化进展领先		中科创星

资料来源：公司官网，华西证券研究所整理

2. 投资机会逻辑

1) 根据斯坦福大学人工智能研究所发布的《2019 人工智能指数报告》，深度人工智能的浮点计算量呈现惊人的增长，约每 3.4 个月就翻一倍，远超过摩尔定律的增长速率。数据量急速增长，对于硬件系统的信息处理销量、延迟和能耗提出了更高的要求。通过二进制拓展的微电子处理器存在计算效率的瓶颈。面对海量数据的人工智能应用，如自动驾驶、机器视觉、自然语言处理等，往往需要专门的加速硬件，如图像处理单元和专用集成电路等，进行高强度实时的人工智能处理。

硅基光电计算是后摩尔时代维持计算性能快速发展的关键潜在技术。硅基光电子互连可以赋能高要求的数字芯片阵列（如 GPU、CPU 和 ASIC 存储芯片等），改变高性能计算系统的整体架构，以实现高带宽和高能效的通信。

2) 光子计算产业链：硅基光电子产业目前依旧处于初创期，技术来源 MIT 等科研院所，海外重点初创公司包括：Lightmatter 等。

国内光子算数（上市公司股东铭普光磁）、曦智科技、苏州熹联（sicoya）等公司在硅基光电子工艺平台，通过光-电协同设计，结合先进封装技术实现硅基光电子计算。

另外，由于硅本身为间接带隙材料无法直接发光，作为光源，发光效率低，硅基光电子激光器依旧无法完成集成，相关高速激光器产业链也有望受益于硅基光电子计算的快速发展，相关上市公司包括源杰科技、光迅科技、仕佳光子等。

3. 近期通信板块观点及推荐逻辑

3.1. 本周持续推荐：

- 1) 低估值、高股息，必选消费属性强的电信运营商（A+H）板块：中国移动、中国电信、中国联通；
- 2) 低估值成长依旧的主设备：紫光股份（华西通信&计算机联合覆盖）、中兴通讯；
- 3) 东数西算产业链中 IDC、光模块板块：光环新网、奥飞数据、新易盛、天孚通信、光迅科技、中际旭创等；
- 4) 高成长物联网模组及能源信息化板块：移远通信、朗新科技（华西通信&计算机联合覆盖）、威胜信息等；
- 5) 10G-PON 及家庭宽带设计产业链：平治信息、天邑股份等；
- 6) 其他个股方面：海格通信（北斗三号渗透率提升）（华西通信&军工联合覆盖）、新雷能（华西通信&军工联合覆盖）、TCL 科技（面板价格触底）（华西通信&电子联合覆盖）、七一二（军工信息化）、金卡智能（华西通信&机械联合覆盖）等。

3.2. 中长期产业相关受益公司

- 1) 设备商：中兴通讯、烽火通信、海能达、紫光股份、星网锐捷等；
- 2) 军工通信：新雷能、七一二、上海瀚迅、海格通信等；
- 3) 光通信：中天科技、亨通光电、中际旭创、天孚通信、新易盛、光迅科技等；
- 4) 卫星互联网：雷科防务、震有科技、康拓红外等；
- 5) 5G 应用层面：高鸿股份、光环新网、亿联网络、会畅通讯、东方国信、天源迪科等；
- 6) 其他低估值标的：平治信息、航天信息等。

4. 风险提示

底层相关技术发展缓慢，卫星应用发展不及预期。

分析师与研究助理简介

宋辉：3年电信运营商及互联网工作经验，6年证券研究经验，主要研究方向电信运营商、电信设备商、5G产业、光通信等领域；

柳珏廷：理学硕士，3年证券研究经验，主要关注云和5G相关产业链研究。

分析师承诺

作者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，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资 评级	说明
以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。	买入	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15%
	增持	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间
	中性	分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间
	减持	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间
	卖出	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15%
行业评级标准		
以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10%
	中性	分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间
	回避	分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10%

华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

华西证券免责声明

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。