

通信

投资建议： 强于大市（维持）

上次建议： 强于大市

更快的 PCIe 6.0、更快的 1.6T 光模块

► Blackwell 架构全面采用 PCIe 6.0

2024年3月，英伟达在GTC大会上发布了基于“Blackwell”架构的GB200、HGX B200和HGX B100，其中GB200集成2个Blackwell系列GPU和1个Grace CPU，支持内部NVLink v5和PCIe 6.0。PCIe带宽比“Hopper”架构扩大了一倍。英伟达发布的产品Datasheet显示，目前“Blackwell”架构的服务器暂时配置PCIe 5.0网卡，其中：DGX SuperPOD NVL72搭载了72张Blackwell GPUs，网络配置为72张单端口400G的ConnectX-7网卡，需要配置72个基于NDR的400G光模块；DGX B200搭载了8张Blackwell GPUs，配置了8张ConnectX-7网卡，需要配置4个基于NDR的800G光模块（2×400G）。

► PCIe 6.0 产业链助力 1.6T 光模块在 2024 年交付

PCIe 6.0 是 PCIe 问世以来变化最大的一次，改用 PAM4 脉冲调幅信令，1b/1b 编码，并配套 FEC 前向纠错机制。我们整理了 Synopsys、Keysight、Nubis Communications、中际旭创、Alphawave、Amphenol 等产业链公司 2023-2024 年主要的 PCIe 6.0 产业进展：Synopsys 展示与英特尔 PCIe 6.0 测试芯片互操作性；Alphawave 和 Keysight 合作测试 PCIe 6.0 控制器；中际旭创展示 Alphawave PCIe 6.0 子系统和 LPO OSFP 光模块；Amphenol 展示了 OSFP-XD PCIe 直连电缆进行高宽带、低延迟通道解决办法。Alphawave 表示，产业界为 2024 年首批商用 PCIe 6.0 设备的到来做好了准备。

► PCIe 7.0 有望引入光通信

PCI-SIG 光学工作组于 2023 年 8 月成立，旨在使用光学连接技术可能扩大 PCIe 的应用领域，例如云计算、高性能计算和量子计算等。2024 年 4 月 PCI-SIG 发布了 PCIe 7.0 的 0.5 版，将最高数据速率提高到 128GT/s，并保留了与前几代规范的兼容性、6.0 的 Flit 编码和 PAM4 信号，且将物理层的总线频率提高了一倍。我们认为 PCIe 7.0 有望引入光通信，为光芯片、光器件带来新的增长机会。

► 投资建议：关注 1.6T 光模块投资机会

首先，PCIe 6.0 产业进展有望帮助 1.6T 光模块在 2024 年具备交付条件，并配合英伟达 Blackwell 产品实现规模交付。我们建议关注确定受益 AI 需求的光模块、光引擎供应商：中际旭创、天孚通信、新易盛。同时，建议关注 PCIe 6.0 产业链，以及 PCIe 7.0 引入光通信带来的带来的芯片、光器件新需求。

风险提示：PCIe 发展不及预期的风险，AI 算力需求不及预期的风险，行业竞争加剧的风险。

相对大盘走势



作者

分析师：张宁

执业证书编号：S0590523120003

邮箱：zhangnyj@glsc.com.cn

分析师：张建宇

执业证书编号：S0590524050003

邮箱：jyzhang@glsc.com.cn

联系人：李宸

邮箱：lichy@glsc.com.cn

相关报告

- 1、《通信：边缘AI兴起，AI模组受益》2024.07.07
- 2、《通信：重点关注确定受益AI和国产算力需求的核心标的——通信行业 2024 年度中期投资策略》2024.06.28

正文目录

1. PCIe 6.0 助力 1.6T 光模块交付	3
1.1 Blackwell 架构全面采用 PCIe 6.0.....	3
1.2 Blackwell 早期产品选择兼容 PCIe 5.0.....	3
1.3 PCIe 6.0 有望在 2024 年商用.....	4
1.4 PCIe 7.0 有望引入光通信.....	6
2. 投资建议：关注 1.6T 光模块投资机会	7
3. 风险提示	7

图表目录

图表 1：英伟达 Hopper 架构和 Blackwell 架构中的 PCIe 配置	3
图表 2：Quantum-X800 Q3400-RA 交换机	3
图表 3：ConnectX-8 智能网卡	3
图表 4：DGX SuperPOD NVL72 Datasheet	4
图表 5：DGX B200 Datasheet	4
图表 6：PCIe 1.0-7.0 速率表	4
图表 7：InfiniBand Roadmap	4
图表 8：PCIe 标准推进时间表	4
图表 9：PCIe 1.0-7.0 技术演进	5
图表 10：PCIe 产业进展汇总	5
图表 11：PCIe 市场规模	6
图表 12：PCIe 各地区市场接受度	6
图表 13：PCI-SIG 对 PCIe7.0 的要求	6
图表 14：Synopsys PCIe 7.0 产品示意图	7
图表 15：Cadence PCIe 7.0 产品示意图	7

1. PCIe 6.0 助力 1.6T 光模块交付

1.1 Blackwell 架构全面采用 PCIe 6.0

2024 年 3 月，英伟达在 GTC 大会上发布了基于“Blackwell”架构的 GB200、HGX B200 和 HGX B100，其中 GB200 将集成 2 个 Blackwell 系列 GPU 和 1 个 Grace CPU，支持内部 NVLink v5 和 PCIe 6.0。PCIe 带宽比“Hopper”架构扩大了一倍。

图表1：英伟达 Hopper 架构和 Blackwell 架构中的 PCIe 配置

平台	产品型号	PCIe 带宽配置
Hopper	H100	PCIe Gen5: 128GB/s
	GH200	PCIe5.0 X16
	ConnectX-7	PCIe5.0 X16
Blackwell	B100	PCIe Gen6: 256GB/s
	B200	PCIe Gen6: 256GB/s
	GB200	2x 256 GB/s Gen6
	ConnectX-8	PCIe6.0

资料来源：英伟达官网，国联证券研究所

与 Blackwell 适配的 Quantum-X800 InfiniBand 平台带来确定的 1.6T 光模块需求。其中 Quantum-X800 系列的 Q3400-RA 4U 交换机通过 72 个 OSFP 光模块提供 144 个 800G 端口。ConnectX-8 智能网卡升级到 XDR 800Gb/s, 同时后向兼容 NDR 400Gb/s, HDR 200Gb/s。ConnectX-8 智能网卡可以使用 4*224G 的 800G 光模块。

图表2：Quantum-X800 Q3400-RA 交换机



NVIDIA Quantum-X800 Q3400-RA
InfiniBand switch

资料来源：英伟达官网，国联证券研究所

图表3：ConnectX-8 智能网卡



资料来源：英伟达官网，国联证券研究所

1.2 Blackwell 早期产品选择兼容 PCIe 5.0

截至 2024 年 6 月 30 日，英伟达官网公布的“Blackwell”系列产品的 Datasheet 显示，目前“Blackwell”架构的服务器暂时配置 PCIe 5.0 网卡，其中：

DGX SuperPOD NVL72 搭载了 72 张 Blackwell GPUs，网络配置为 72 张单端口 400G 的 ConnectX-7 网卡，需要配置 72 个基于 NDR 的 400G 光模块；

DGX B200 搭载了 8 张 Blackwell GPUs，配置了 8 张 ConnectX-7 网卡，需要配

置 4 个基于 NDR 的 800G 光模块 (2×400G)。

图表4: DGX SuperPOD NVL72 Datasheet

Technical Specifications	
	72-GPU NVLink Domain (NVL72)
FP4 AI	1,440 PFLOPS
FP8 AI	725 PFLOPS
FP16 AI	362 PFLOPS
GPU	72x NVIDIA Blackwell GPUs in Grace Blackwell Superchips
GPU Memory HBM3e	13.3TB
Total Fast Memory	30.2TB
Interconnect	72x OSFP single-port NVIDIA ConnectX®-7 VPI with 400Gb/s InfiniBand 36x dual-port NVIDIA BlueField®-3 VPI with 200Gb/s InfiniBand and Ethernet

资料来源: 英伟达官网, 国联证券研究所

图表5: DGX B200 Datasheet

DGX B200 Technical Specifications	
GPU	8x NVIDIA Blackwell GPUs
GPU Memory	1,440GB total, 64TB/s HBM3e bandwidth
Performance	72 petaFLOPS FP8 training and 144 petaFLOPS FP4 inference
NVIDIA® NVSwitch™	2x
NVIDIA NVLink Bandwidth	14.4 TB/s aggregate bandwidth
System Power Usage	~14.3kW max
CPU	2 Intel® Xeon® Platinum 8570 Processors 112 Cores total, 2.1 GHz (Base), 4 GHz (Max Boost)
System Memory	2TB, configurable to 4TB
Networking	4x OSFP ports serving 8x single-port NVIDIA ConnectX-7 VPI > Up to 400Gb/s InfiniBand/Ethernet 2x dual-port QSFP112 NVIDIA BlueField-3 DPU > Up to 400Gb/s InfiniBand/Ethernet

资料来源: 英伟达官网, 国联证券研究所

我们认为 Blackwell 服务器暂时配置 ConnectX-7 网卡, 与 PCIe 6.0 的整体进度有关。其中英伟达 ConnectX-7 400G 网卡采用 InfiniBand NDR, 双向速率为 800Gbit/s, 需要 PCIe 5.0 ×16; 英伟达 ConnectX-8 800G 采用 InfiniBand XDR, 双向速率为 1600Gbit/s, 需要 PCIe 6.0 ×16。

图表6: PCIe 1.0-7.0 速率表

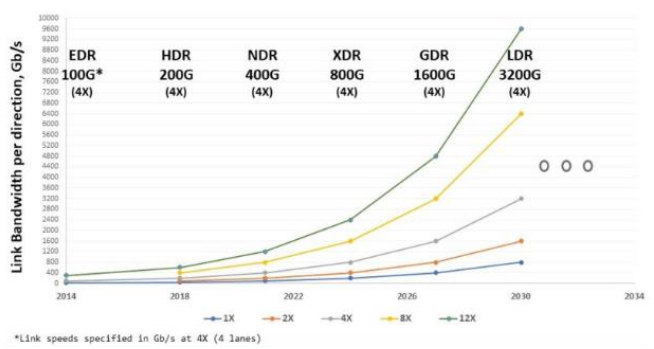
• Flexible to meet needs from handheld/client to server/HPC
• Max Total Bandwidth = Max RX bandwidth + Max TX bandwidth
• 35 Permutations yielding 11 unique bandwidth profiles
• Encoding overhead and header efficiency not included

Specifications	Lanes				
	x1	x2	x4	x8	x16
2.5 GT/s (PCIe 1.x +)	500 MB/S	1 GB/S	2 GB/S	4 GB/S	8 GB/S
5.0 GT/s (PCIe 2.x +)	1 GB/S	2 GB/S	4 GB/S	8 GB/S	16 GB/S
8.0 GT/s (PCIe 3.x +)	2 GB/S	4 GB/S	8 GB/S	16 GB/S	32 GB/S
16.0 GT/s (PCIe 4.x +)	4 GB/S	8 GB/S	16 GB/S	32 GB/S	64 GB/S
32.0 GT/s (PCIe 5.x +)	8 GB/S	16 GB/S	32 GB/S	64 GB/S	128 GB/S
64.0 GT/s (PCIe 6.x +)	16 GB/S	32 GB/S	64 GB/S	128 GB/S	256 GB/S
128.0 GT/s (PCIe 7.x +)	32 GB/S	64 GB/S	128 GB/S	256 GB/S	512 GB/S

* data rate supported by this and subsequent spec revisions. Copyright © 2024 PCI-SIG. All Rights Reserved.

资料来源: PCI-SIG, 国联证券研究所

图表7: InfiniBand Roadmap



资料来源: InfiniBand Trade Association, 国联证券研究所

2024 年 PCI-SIG 公布了 PCIe 6.0 和 PCIe 7.0 的最新进展情况。PCIe 6.0 深度一致性测试计划在 2025 年完成, PCIe 7.0 的最终规格计划于 2025 年发布。

图表8: PCIe 标准推进时间表

Specification Revision	Version 1.0 of Specification Completed	Compliance Program Live
PCIe 4.0	October 2017	August 2019
PCIe 5.0	March 2019	April 2022
PCIe 6.0	January 2022	Preliminary Q2'2024 Integrators List 2025
PCIe 7.0	Projected for 2025	Projected for 2028

资料来源: PCI-SIG, 国联证券研究所

1.3 PCIe 6.0 有望在 2024 年商用

PCIe 技术标准自 2003 年推出 PCIe 1.0 以来，经历了一系列重要的迭代。每一代标准的发布，如 PCIe 2.0、3.0、4.0 和 5.0，都显著提升了传输速率。2021 年发布的 PCIe 6.0 标准将单向传输速率提升至 64 GT/s，而最新的 PCIe 7.0 标准则预示着 2025 年将实现 128 GT/s 的单向传输速率，开启高速互连的新时代。

PCIe 6.0 是 PCIe 问世以来变化最大的一次，改用 PAM4 脉冲调幅信令，1b/1b 编码，单个信号就有能四种编码(00/01/10/11)状态，比之前翻番，允许承载最高 30GHz 频率，并配套 FEC 前向纠错机制，纠正链路中的信号错误，保障数据完整性。

图表9: PCIe 1.0-7.0 技术演进

Revision	Max Data Rate	Encoding	Signaling
PCIe 7.0 (2025)	128.0 GT/s	1b/1b (Flit Mode*)	PAM4
PCIe 6.0 (2022)	64.0 GT/s	1b/1b (Flit Mode*)	PAM4
PCIe 5.0 (2019)	32.0 GT/s	128b/130b	NRZ
PCIe 4.0 (2017)	16.0 GT/s	128b/130b	NRZ
PCIe 3.0 (2010)	8.0 GT/s	128b/130b	NRZ
PCIe 2.0 (2007)	5.0 GT/s	8b/10b	NRZ
PCIe 1.0 (2003)	2.5 GT/s	8b/10b	NRZ

资料来源: PCI-SIG, 国联证券研究所

2023 年 9 月，Synopsys 展示了业界首个与英特尔 PCIe 6.0 测试芯片互操作的 PCI Express 6.0 IP;

Alphawave 于 2023 年 12 月和 Keysight 合作测试了 PCIe 6.0 控制器，成功达到了 64GT/s 的上限、2024 年 3 月和中际旭创联合展示了 Alphawave PCIe 6.0 子系统和 LPO OSFP 光模块、2024 年 6 月和 Amphenol 合作展示了 OSFP-XD PCIe 直连电缆在 Alphawave PAM4 SerDes PHY 控制下进行高宽带、低延迟通道解决办法。Alphawave 表示，这为 2024 年首批商用 PCIe 6.0 设备的到来做好了准备。

图表10: PCIe 产业进展汇总

公司	PCIe 产品	近期关键进展
Synopsys	PCIe6.0 PHY IP	2023 年 9 月 19 日，新思科技 PCIe 6.0 IP 和英特尔支持 PCIe 6.0 测试芯片成功实现互操作，展示了 64GT/s 的链路稳健性和多种速度变化。
Keysight	P5570A PCIe6.0 协议分析仪	2023 年 12 月 15 日，Alphawave 与 Keysight 演示 PCIe 6.0 子系统器件与 Keysight PCIe 6.0 协议训练器之间的互操作性。
Nubis Communications	Nubis XT 1600 线性光学引擎	2024 年 2 月 1 日，在 DesignCon 2024 上，Nubis Communications 和 Alphawave 在展示通过 Nubis XT1600 线性光学引擎能够直接驱动和接收 PCIe 6.0 的数据流量。

中际旭创	1.6T-DR8 OSFP 光模块	2024年3月24日,在OFC 2024上,Alphawave和InnoLight合作展示用于高性能AI设施的OSFP LPP0和PCIe 6.0子系统解决方案。
Alphawave	PiCORE-64 PCIe 控制器	2024年6月12日,在PCI-SIG DevCon上演示Alphawave的硅就绪PipeCORE PCIe IP在支持PCIe 7.0标准方面的尖端功能。
Amphenol	Mini Cool Edge IO 连接器	2024年6月12日,在PCI-SIG DevCon上,Alphawave介绍PCIe 6.0子系统解决方案,支持Amphenol的OSFP-XD PCIe直连电缆。

资料来源:各公司官网,国联证券研究所整理

PCIe 产业市场规模收益 AI 需求,有望持续增长。根据 Technavio 预测,2023 年至 2028 年,PCIe 市场预计将以每年 28.22% 的速度增长,达到 537.4 亿美元,并预计在 2033 年达到 1233 亿美元。按地区划分,全球 PCIe 市场分为北美、亚太地区、欧洲、南美、中东和非洲,在预测期内北美将占市场增长的 40%。

图表11: PCIe 市场规模



资料来源: Technavio, 国联证券研究所

图表12: PCIe 各地区市场接受度



资料来源: Technavio, 国联证券研究所

1.4 PCIe 7.0 有望引入光通信

2024年4月PCI-SIG发布了PCIe 7.0的0.5版,将最高数据速率提高到128GT/s,并保留了与前几代规范的兼容性、6.0的Flit编码和PAM4信号,且将物理层的总线频率提高了一倍。这可将扩展PCIe产品路线图,包括数据密集型应用和市场,800千兆以太网、人工智能和机器学习、高性能计算(HPC)、量子计算、超大规模数据中心和云。

图表13: PCI-SIG对PCIe7.0的要求

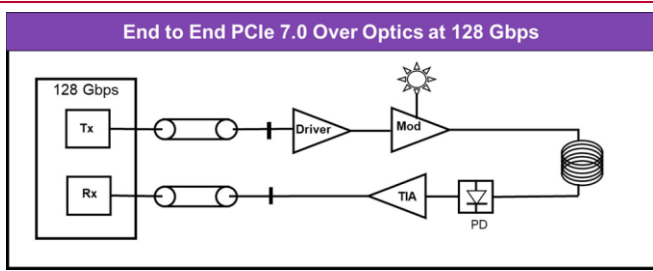
目标
通过 x16 配置提供 128 GT/s 的原始比特率和高达 512 GB/s 的双向比特率
利用 PAM4 (具有 4 级脉冲幅度调制) 信号
关注通道参数和覆盖面
继续实现低延迟和高可靠性目标
提高电源效率
保持与所有前几代 PCIe 技术的向后兼容性

资料来源：PCI-SIG 官网，国联证券研究所

PCI-SIG 光学工作组于 2023 年 8 月成立，旨在使用光学连接技术可能扩大 PCIe 的应用领域，例如云计算、高性能计算和量子计算等。与通过传统铜线传输相比，这有望实现更高的吞吐量、更低的延迟和更低的能源需求。

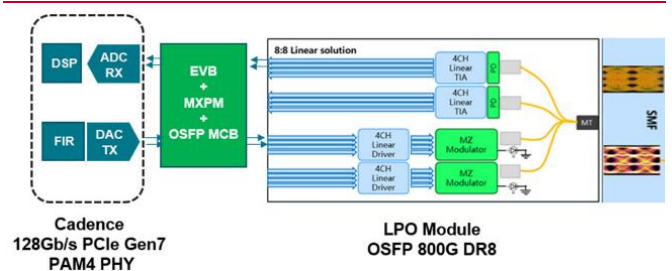
在 2024 年 6 月的 PCISIG 大会上，Synopsys 使用 OpenLight 光子 IC 以 128Gb/s 运行的 Synopsys PCIe7.0 PHY IP，提供业界唯一完整的 PCIe 7.0 IP 解决方案；Cadence 展示了 PCIe 7.0 子系统测试芯片板，可以通过外部环回模式配置的非重定时光电链路，成功地发送和接收 128GT/s 信号，并留有多个数量级的余量；Rambus 推出了适用于高性能数据中心和 AI SoC 的 PCIe 7.0 IP 产品组合，包括 PCIe 控制器、重定时器和多端交换机；Alphawave 展示了用于快速实施下一代 PCIe 7.0 规范的 IP 子系统解决方案，并展示了支持 DSP 的 PAM4 SerDes 技术。

图表14: Synopsys PCIe 7.0 产品示意图



资料来源：Synopsys 官网，国联证券研究所

图表15: Cadence PCIe 7.0 产品示意图



资料来源：Cadence 官网，国联证券研究所

2. 投资建议：关注 1.6T 光模块投资机会

首先，PCIe 6.0 产业进展有望帮助 1.6T 光模块在 2024 年具备交付条件，并配合英伟达 Blackwell 产品实现规模交付。我们建议关注确定受益 AI 需求的光模块、光引擎供应商：中际旭创、天孚通信、新易盛。

同时，建议关注 PCIe 6.0 产业链，以及 PCIe 7.0 引入光通信带来的带来的芯片、光器件新需求。

3. 风险提示

PCIe 发展不及预期的风险, AI 算力需求不及预期的风险, 行业竞争加剧的风险。

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。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后 6 到 12 个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的 6 到 12 个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A 股市场以沪深 300 指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准；韩国市场以柯斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表指数涨幅 20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于 5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~5%之间
	行业评级	卖出	相对同期相关证券市场代表指数跌幅 10%以上
		强于大市	相对同期相关证券市场代表指数涨幅 10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表指数跌幅 10%以上

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属国联证券股份有限公司（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“国联证券”）。未经国联证券事先书面授权，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国联证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，国联证券不因收件人收到本报告而视其为国联证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但国联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，国联证券及/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，国联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。

国联证券的销售人员、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。国联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。国联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，国联证券可能会持有本报告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，投资者应当考虑到国联证券及/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。

版权声明

未经国联证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、转载、刊登和引用。否则由此造成的一切不良后果及法律责任有私自翻版、复制、转载、刊登和引用者承担。

联系我们

北京：北京市东城区安定门外大街 208 号中粮置地广场 A 塔 4 楼

无锡：江苏省无锡市金融一街 8 号国联金融大厦 12 楼

电话：0510-85187583

上海：上海市浦东新区世纪大道 1198 号世纪汇二座 25 楼

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6009 号新世界中心大厦 45 楼