下载日志已记录，仅供内部参考

星间激光通信：太空“光纤”，低轨星座标配

国防和航空航天

■ 星间激光通信专题研究

姓名	电话	邮箱	登记编号
杨天昊(分析师)	010-83939791	yangtianhao@gtht.com	S0880523080010
蔡天舒(研究助理)	010-83939788	caitianshu@gtht.com	S0880126050024

评级： 增持

相关报告

国防和航空航天《我国民营航天首次组网成功，商业闭环框架落地》2026.09.20

国防和航空航天《我国多型主战飞机首次国外亮相，美伊冲突持续升级》2026.09.15

国防和航空航天《现役主战飞机首次国外参展，外贸确定性持续提升》2026.09.14

国防和航空航天《工信部发布通信十五五规划，卫星互联网确定性提升》2026.09.14

国防和航空航天《长六丙遥一运载火箭发射，中埃开展“文明之鹰-2026”空军联合训练》2026.09.04

本报告导读：

星间激光通信是商业航天领域高确定性的赛道，现已迈向组网应用阶段，光通信可共享地面产业链，ATP 系统是核心关键。

投资要点：

- **星间激光通信正成为低轨星座主流组网方案。**星间激光通信以激光为载波，实现卫星与卫星之间高速数据传输。由于低轨卫星单星地面覆盖范围有限、地面站全球部署受限，星间链路是低轨星座商业化组网的重要支撑。星间激光通信凭借其带宽大、体积小、功耗低、抗干扰、无频谱管制等优势，已成为低轨星座商业化落地的刚需。“星间激光+星地微波”已成为当前低轨卫星互联网星座的优选组网架构。我国 GW、千帆、鸿鹄等星座规模庞大，星间激光通信累计市场空间可达千亿级，远期叠加遥感卫星、天基算力等星座组网需求，赛道天花板有望进一步抬升。
- **ATP 系统是星间激光通信的核心关键环节。**星间激光通信终端主要由通信收发系统、ATP 系统两大模块组成。1）通信收发系统承担激光产生、信号调制、光功率放大、光电探测、信号解调等功能。核心元器件包括窄线宽激光器（DBF/EML）、光调制器（MZM/EAM）、掺铒光纤放大器（EDFA）、探测器（PIN/APD）、通信基带（DSP）。主流技术体系与地面光纤通信同源，可在成熟光学器件产业链基础上迁移，产业化基础较好。2）ATP 系统（捕获指向跟踪系统）核心任务是在高速运动的卫星平台之间建立并维持激光通信链路，实现微弧度量级的光束精准对准与稳定跟踪。核心元器件包括 CPA 粗指向机构（伺服转台）、FPA 精指向机构（FSM 快反镜）、光学天线（望远镜）、跟踪探测器（CMOS/QD）、电控（FPGA/DSP）等。该系统是光通信上天的核心技术壁垒，在终端整体价值量中占比较高。
- **竞争格局可分为科研院所+初创企业+上市公司三类。**1）科研院所主体包括航天五院 504 所/杭州东方红激光通信、航天九院 704 所/航天电子、上海光机所/上光通信、西安光机所/中科天塔等，技术积淀深厚，工程化与在轨验证能力突出，在星网工程等国家级大型星座项目中已形成成熟配套体系。2）初创企业包括极光星通、蓝星光域、氦星光联、英田光学等，在高速相干技术研发、产业化降本等方面发展迅速。3）烽火通信等地面光通信上市公司，则依托成熟地面光通信产业链，推动芯片、器件、模块乃至终端产品向星载场景迁移，规模化优势突出。**我们认为十五五期间，随着低轨卫星互联网星座建设加速，星间激光通信产业有望放量，建议重点关注具备 ATP 系统自研能力的终端整机龙头企业和具备宇航级光通信技术迁移能力的地面光通信龙头企业。推荐标的：航天电子；关注标的：烽火通信。**
- **催化剂：**低轨卫星互联网星座批量招标落地；十五五规划政策落地；高速相干等技术突破及在轨验证成功。
- **风险提示：**星座建设节奏不及预期；技术迭代及在轨验证不及预期；市场竞争加剧；低轨星座商业化不及预期。

下载日志已记录，仅供内部参考

目录

1. 低轨星座商业化主流标配，星座组网需求确定性高.....3
1.1. 卫星通信两大技术路线：微波通信和激光通信.....3
1.2. 星间通信是低轨星座重要支撑，优选激光通信.....4
1.3. 低轨卫星互联网标配，累计市场规模可达千亿.....5
2. 星间激光通信发展迅速，核心指标对标地面光通信.....7
2.1. 星间激光通信技术现已迈向工程组网应用阶段.....7
2.2. 星间激光通信系统组成：ATP 系统是关键核心.....9
2.3. 产业链三层架构清晰，三类市场主体同台竞技.....12
3. 投资建议：关注终端整机龙头和地面光学通信龙头.....14
4. 风险提示.....15

下载日志已记录，仅供内部参考

1. 低轨星座商业化主流标配，星座组网需求确定性高

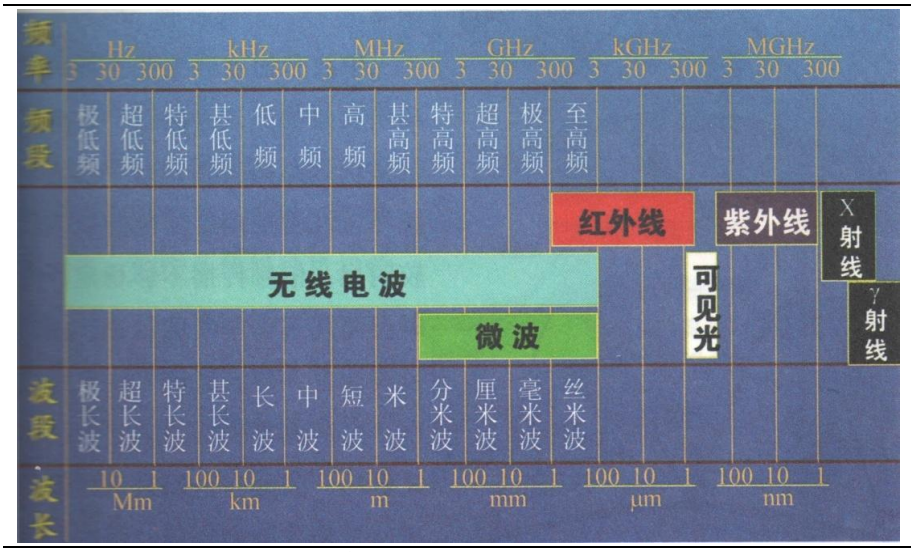
1.1. 卫星通信两大技术路线：微波通信和激光通信

卫星通信可分为微波通信和激光通信两类方案。两者均依托电磁波传递信息，但载波频率差异巨大，工程实现路径完全不同。

1）微波通信：载波频率较低，归属于无线电范畴。依靠电子元器件生成射频信号、通过天线进行信号收发。主流频段包括：S 波段（2GHz–4GHz，多用于火箭、卫星天地测控）、Ku 波段（12GHz–18GHz，传统高通量卫星通信）、Ka 波段（26.5GHz–40GHz，低轨卫星高速通信）。

2）激光通信：载波频率较高，归属于光学范畴。依靠光学器件产生激光信号，通过捕获跟踪瞄准系统（Acquisition Tracking Pointing，简称 ATP 系统）进行光束对准与传输。主流波段为 1550nm 近红外波段，同地面光纤波段，也是当前激光通信首选波段。

图1：电磁波谱的划分



数据来源：国家无线电监测中心官网

表1：无线电频率划分规定

字母代码	雷达		空间无线电通信	
	频率范围（GHz）	举例（GHz）	标称频段	举例（GHz）
L	1-2	1.215-1.4	1.5GHz 频段	1.525-1.710
S	2-4	2.3-2.5 2.7-3.4	2.5GHz 频段	2.5-2.690
C	4-8	5.25-5.85	4/6GHz 频段	3.4-4.2 4.5-4.8 5.85-7.075
X	8-12	8.5-10.5	-	-
Ku	12-18	13.4-14.0 15.7-17.3	11/14GHz 频段 12/14GHz 频段	10.7-13.25 14.0-14.5
K（注）	18-27	24.05-24.25	20GHz 频段	17.7-20.2
Ka（注）	27-40	33.4-36.0	30GHz 频段	27.5-30.0
Q/V	-/40-75	-/59.3-64	40/50GHz 频段	37.5-43.5 43.5-47 47.2-50.2 50.4-52.4
E	-	-	60-90GHz 频段	-
W	75-110	76-77	-	-

注：对于空间无线电通信，K 和 Ka 频段一般只用字母代码 Ka 表示；相应代码及频段范围非正式标准，仅作简化称呼参考之用。
数据来源：中华人民共和国无线电频率划分规定，国泰海通证券研究

下载日志已记录，仅供内部参考

1.2. 星间通信是低轨星座重要支撑，优选激光通信

星间通信是低轨星座商业化落地的重要支撑。按照链路位置划分，卫星通信分为星地通信、星间通信两大应用场景：星地通信为卫星与地面站或用户终端之间传输链路；星间通信为卫星与卫星之间传输链路。传统航天以中高轨卫星居多，轨道高度高、单星地面覆盖范围广，仅依靠星地链路就可基本实现全球连续覆盖，对星间通信依赖程度较低。商业航天以低轨卫星为主，单星地面覆盖范围有限，在无星间链路组网支撑时，卫星仅能在过境地面站的短暂窗口期完成数据通信，且地面站难以实现全球大规模部署，因此星间通信成为低轨星座商业化落地的重要支撑。

星间激光通信具有带宽大、体重小、功耗低等多重优势。目前卫星通信主要采用射频微波通信方式，但是微波的波长较长，天线尺寸较大，从而系统的体积和质量大，功耗较高。随着数据容量的不断增大，各国将星间通信的研究转向了光波段，激光的波长比微波小 3～5 个数量级，其极高的时空相干特性使得星间激光通信具有如下特点：

1）可用带宽大、速率高：通信系统中，载波频率越高，承载带宽越大。光载波中心频率高达10^{16}Hz，即使在1%的承载效率下可用带宽也高达100THz，其可用带宽是射频微波的万倍以上。参照地面光纤通信系统单通道传输速率的技术演进历程，未来星间激光通信链路单波速率有望达到 Tbit/s 量级。

2）体重小、功耗低：由于激光波长比微波波长小、方向性好且能量集中，可以有效降低收发机功耗。激光通信系统所需的光学天线、收发机等器件比微波通信系统尺寸小、质量轻，更容易满足星上有效载荷小型化、轻量化、低功耗的要求。

3）抗干扰能力强：微波通常采取一对多的通信方式，容易被相似波段信号干扰且容易被窃取和破解。激光光束发散角小、束宽极窄、方向性好，在空间中不易被捕获和监听，具有较强的保密性，可有效提高抗干扰防窃听能力。

4）无频谱管制：因微波散角大，易对邻近接收器产生干扰，且用于航天行业的波段频率日益枯竭，ITU 对微波频率有着严格管制。激光通信发散角小，抗干扰性强，其频率资源的使用不受限制。

表2：星间微波通信与星间激光通信特性对比

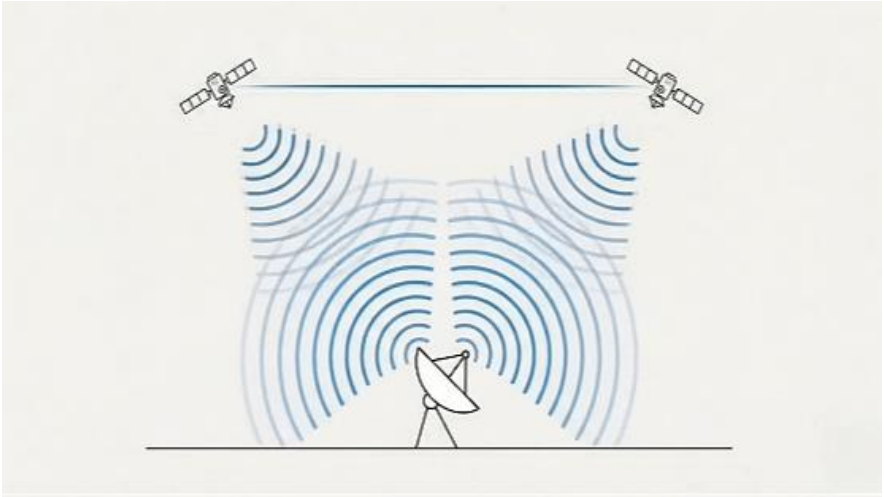
特性	星间微波通信	星间激光通信
电磁波长	30mm~3m	0.7~1.6μm
可用带宽	较大（40GHz）	极大（100THz）
频带管制	有	无
传输速率	低（300Mbit/s）	极高（400Gbit/s）
抗干扰能力	一般	强
信号聚焦性	一般	好
功耗尺寸	大	小
持续演进潜力	弱	优
产业规模	较小	大

数据来源：《卫星互联网星间激光通信的分析及建议》（陈山枝等，2024），国泰海通证券研究

星间激光+星地微波”是低轨卫星互联网星座的优选架构。星间采用激光链路构建天基高速骨干网，依靠激光大带宽、轻量化、无频谱管制的优势完成星座内数据中继，大幅减少地面信关站部署规模；星地链路选用成熟微波体制，规避大气云雾、雨衰导致星地激光链路可用度不足的工程短板，兼顾大容量传输与全天候通信稳定性。“星间激光+星地微波”是当前产业共识，也是美国星链、我国星网共同采用的技术路线。

下载日志已记录，仅供内部参考

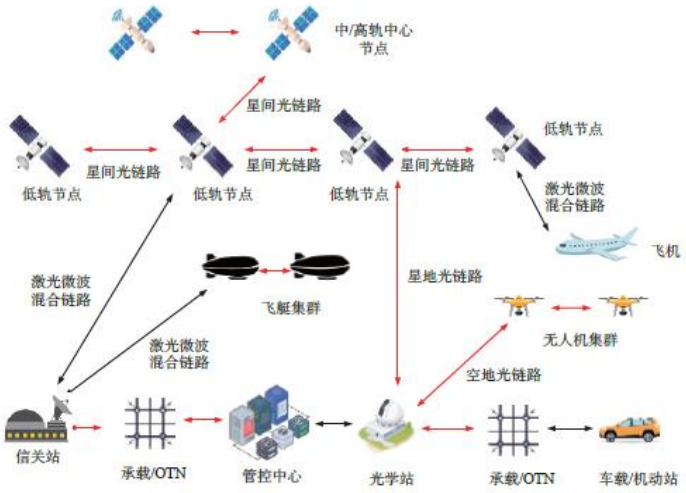
图2：“星间激光+星地微波”示意



数据来源：极光星通公众号

通信行业十五五规划明确提出发展 100G 及以上星间激光通信。在工信部发布得《信息通信行业发展“十五五”规划》中，专栏 4“星地融合发展”明确提出“支持星间链路、星上处理等核心能力”；重点任务 5“加强关键核心技术攻关”明确提出“加强星地高效传输、星间组网和路由等卫星通信关键技术攻关”；专栏 7“信息通信产业固基强链”明确提出“加快 100G 及以上高速星间、星地光通信设备研发”，为星间光通信设备研发提出“100G 及以上”量化的指标要求。

图3：空天地一体网络组网结构



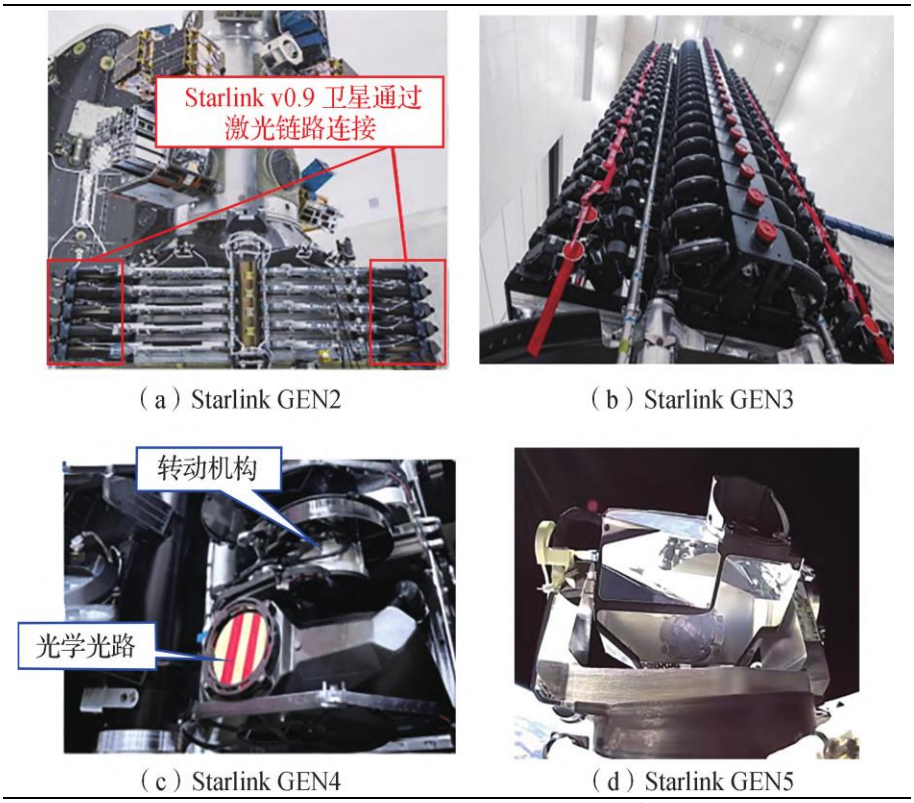
数据来源：《面向星地融合的光通信：激光通信终端研究进展和发展建议》（乔元哲等，2026）

1.3. 低轨卫星互联网标配，累计市场规模可达千亿

国内外低轨卫星互联网星座基本标配星间激光通信终端。1）SpaceX 星链：自星链 V1.5/V2Mini 起搭载星间激光通信终端，V2Mini 单星配置 3 台星间激光终端，单链路速率 100~200Gbps；新一代星链 V3 卫星单星配备 6 台高速空间激光器，单链路传输速率可达 400Gbps。2）中国星网：一代试验星为低速（约 10G 量级）非相干方案、非每星标配；二代组网星单星约配置 4 台星间激光终端、单链路速率 100Gbps 级。3）垣信千帆星座：GEN1 初代以透明转发为主、暂未配星间激光终端；GEN2 起加配星间激光终端、单链路传输速率向 100Gbps 级演进。

下载日志已记录，仅供内部参考

图4：美国星链激光通信终端



（a）Starlink GEN2　（b）Starlink GEN3

（c）Starlink GEN4　（d）Starlink GEN5

数据来源：《低轨巨星座高速激光通信关键技术探讨》（谢腾等，2025）

仅按国内卫星互联网星座建设需求测算，累计市场规模即可达千亿元。我国现有 GW 星座、千帆星座、鸿鹄星座三大卫星互联网星座。中国星网的 GW 星座规划发射 12992 颗卫星，垣信卫星规划发射 15000 颗卫星，鸿鹄星座规划发射 10000 颗卫星。假设三大星座全部规划卫星完成组网，总共 3.8 万颗。假设单星配置 4 台激光通信终端、单台终端 100 万元，累计市场规模可达 1520 亿元。此外，遥感卫星、算力卫星等同样存在星间激光通信组网需求，将进一步抬升星间激光通信赛道的市场天花板。

表3：我国卫星互联网星座规划总数

星座名称	所属国家	运营公司	规划总数
GW 星座	中国	中国星网	12992 颗
千帆星座	中国	垣信卫星	15000 颗
鸿鹄-3	中国	鸿擎信息	10000 颗

数据来源：新华社，国泰海通证券研究

下载日志已记录，仅供内部参考

2. 星间激光通信发展迅速，核心指标对标地面光通信

2.1. 星间激光通信技术现已迈向工程组网应用阶段

全球激光通信发展历经 60 余年，现已迈向工程组网应用阶段。激光通信技术于 20 世纪 60 年代诞生于美国，经过前期应用探索、技术试验与理论研究、在轨验证等发展阶段，现已迈向规模化研制和工程组网应用阶段。美国、欧洲、日本较早开展卫星激光通信研究，美国在高速数传、商业星座组网及终端小型化方面优势显著，依托 STARLINK、TBIRD、LCRD 等项目实现技术落地；欧洲率先完成星间激光通信在轨试验，建成 EDRS 商用中继系统并大力发展立方星轻量化光终端；日本聚焦微小卫星激光终端研发，依托 SOTA、SOLISS 完成星地与高低轨链路充分验证。

我国已实现 400Gbps 星间传输能力，技术指标对标地面光纤通信主流水平。我国自 20 世纪 90 年代开展技术攻关，实现后发快速追赶，已全面覆盖星地、星间各类链路，高速相干通信技术达到先进水平，依托墨子号、实践系列、吉林一号、千帆星座等项目持续推进低轨星座激光组网建设。目前，我国空间激光通信技术已跻身国际前列，核心传输能力持续突破。2025 年 3 月，极光星通自主研制的 LT-II 型激光通信终端搭载光传 01/02 试验星，实现 640km 距离下 400Gbps 星间通信，终端跟踪误差小于 5μrad，且兼容相干与非相干双通信体制，速率指标对标地面光纤通信主流水平。

表4：国内外主要卫星激光通信在轨技术验证计划情况

国家/地区	年份	计划/星座	机构	链路类型	通信波段/nm	数据速率/bps	调制方式
美国	2000	OCD-I	JPL	LEO-GND	844	500M	IM/DD
美国	2005	OCD-II	NASA	LEO-GND	1550	2.5G	IM/DD
美国	2014	OPALS	NASA/JPL	ISS-GND	1550	50M	IM/DD
美国	2021	LCRD	NASA/MIT/JPL	LEO-GND	1550	2.88G	DPSK
美国	2022	TBIRD	NASA/MIT	LEO-GND	1550	100G/5k	PM-QPSKPPM
美国	2023	ILLUMA-T	NASA/GSFC	LEO-GEO	1550	1.2G	DPSK
美国	2024	Starlink	SpaceX	LEO-LEO	—	100G	—
欧洲	2001	SILEX	ESA	LEO-GEOGEO-GND	847/819	50M/2M	IM/DDPPM
欧洲	2006	LOLA	ESA	GEO-机载	819/847	50M/2M	2PPMOOK
欧洲	2008	LCTSX	DLR	LEO-LEO	1064	5.6G	BPSK
欧洲	2016	EDRS-A	ESA	GEO-GEO	1064	1.8G	BPSK
欧洲	2019	EDRS-C	ESA	GEO-GEO	1064	1.8G	BPSK
欧洲	2021	OSIRISv4	DLR	LEO-GND	1550/1590	100M	—
欧洲	2025	EDRS-D	ESA	GEO-GEO	1064/1550	3.6~10G	BPSK
日本	1995	ETS-VI	NICT	GEO-GND	830/514.5	1.024M	PPM
日本	2005	OICETS	JAXA	LEO-GEO	847/819	49.372M/2.084M	NRZPPM
日本	2009	OICETS	JAXA	LEO-GEO	847/815	49.372M/2.084M	NRZ2PPM
日本	2014	SOTA	NICT	LEO-GND	976/1549	10M/1M	OOK
日本	2019	SOLISS	JAXA	ISS-GND	1550	100M	—
日本	2021	HICALI	NICT	GEO-GND	1560	10G	DPSK
日本	2024	LUCAS	JAXA	GEO-LEO	1560/1530	1.8G/50M	RZ-DPSKIM/DD
中国	2011	海洋二号	哈工大	LEO-GND	1550	504M/2M	IM/DD
中国	2016	墨子号	上光所	LEO-GND	1550	5.12G/20M	DPSK16PPM
中国	2017	实践十三号	哈工大	GEO-GND	1550	5G	IM/DD
中国	2018	北斗三号	上光所/504 所/704 所	GEO/MEO/IGSO-GND	1550	1G	BPSK
中国	2020	实践二十号	504 所	GEO-GND	1550	10G	QPSK
中国	2021	多媒体 β	上光所	LEO-LEO	1550	10G	OOK
中国	2023	吉林一号 02A04 星	空天院	LEO-GND	1550	10G	OOK

下载日志已记录，仅供内部参考

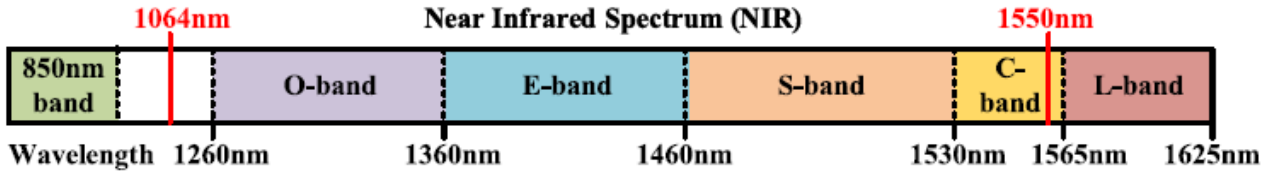
中国	2023	卫星互联网技术试验星	中国星网	LEO-GNDLEO-LEO	1550	5G	BPSKQPSK
中国	2024	吉林一号 02A01/02 星	空天院	LEO-LEO	1550	100G	OOK
中国	2024	威海壹号	哈工大	LEO-GND	1550	40G	—
中国	2025	千帆星座	微小等	LEO-LEO	—	10G	—
中国	2025	卫星互联网低轨 02 组卫星	中国星网	LEO-LEO	—	100G	—
中国	2025	光传 01/02 试验星	极光星通	LEO-LEO	—	400G	—

注：JPL=美国喷气推进实验室，NASA=美国国家航空航天局，MIT=麻省理工学院，GSFC=戈达德太空飞行中心，ESA=欧洲空间局，DLR=德国航空航天中心，NICT=日本信息通信研究机构，JAXA=日本宇宙航空研究开发机构，哈工大=哈尔滨工业大学，上光所=中国科学院上海光学精密机械研究所，504 所=中国空间技术研究院西安分院，704 所=北京遥测技术研究所，空天院=中国科学院空天信息创新研究院，微小=上海微小卫星工程中心，GND=地面，LEO=低轨，GEO=高轨，Lunar=月球轨道，ISS=国际空间站，SSO=太阳同步轨道，MEO=中轨，IGSO=倾斜地球同步轨道，IM/DD=强度调制/直接探测，DPSK=差分相移键控，PM-QPSK=偏振复用正交相移键控，PPM=脉冲位置调制，OOK=通断键控，BPSK=二进制相移键控，NRZ=非归零调制，RZ-DPSK=归零差分相移键控

数据来源：《卫星激光通信技术研究现状与发展趋势》（赵思骁等，2026），国泰海通证券研究

1550nm 已成为全球主流波段，本质是对地面光纤产业链的复用。近红外波段按波长划分为若干频段，需根据实际部署环境与任务需求选择合适的通信载波。为降低太阳背景噪声与散射的影响，当前星间激光通信波长主要考虑在 500nm~2000nm 范围内选择。由于地面工业激光器件多以 1550nm 为标准体系，将通信技术从地面迁移到太空时，选择 1550nm 波长成本更低。因此，日本 JDRS 数据中继系统与美国 LCRD 激光通信中继演示采用 1550nm 波长通信，后续型号任务继续沿用该波长体系。此外，随着技术发展，各国通信系统正朝兼容化方向发展，即同时支持 1064nm 与 1550nm 两种波长。

图5：近红外光谱中的光波长分布



数据来源：《A Survey on Laser Space Network:Terminals, Links, and Architectures》（Rui Li, et al.，2022）

相干探测已成为高速星间激光通信的主流技术方向。星间激光通信调制体制可分为非相干与相干两大类。从发展趋势看，随着低轨卫星互联网向百 Gbps 乃至 Tbps 级升级，相干体制已逐步成为星间激光通信的主流技术方向。

1）非相干体制：以光强承载信息，典型制式包括通断键控（on-offkeying，OOK）等，接收端采用 APD 直接探测，具有硬件结构简单、成本低、技术成熟度高等优点，但接收灵敏度较低，易受太阳背景光干扰，频谱效率有限，单链路速率上限约 40Gbps，传输距离通常在 2000km 以内。

2）相干体制：以光相位或偏振承载信息，典型制式包括二进制相移键控（binaryphase-shiftkeying，BPSK）、四相移相键控（quadraturephase-shiftkeying，QPSK）调等，接收端通过本振激光与信号光混频实现相干探测，灵敏度较非相干体制可提升 1~2 个数量级，在相同条件下通信距离更远，抗背景光干扰能力更强。同时，相干探测能够结合高阶调制和波分复用技术，更有利于提升通信容量和频谱效率，单链路速率可突破 400Gbps，传输距离可达万公里以上。

下载日志已记录，仅供内部参考

表5：星间相干探测技术与直接探测技术比较

指标	星间相干探测	星间非相干探测
传输距离	>10000km	<2000km
灵敏度	相干比非相干高 1～2 个数量级	-
调制格式	支持强度、相位、偏振、时间、频率等多维度调制检测	仅支持强度、时间维度上的调制检测
传输速率	>400Gbit/s	~ 40Gbit/s
高低轨互通	支持	不支持
成熟度	技术成熟，长距场景	技术成熟，短距场景

数据来源：《卫星互联网星间激光通信的分析及建议》（陈山枝等，2024），国泰海通证券研究

星间激光通信已成为全球低轨巨星座建设的核心技术，各巨星座网络已加速把星间激光链路从演示验证推向规模化工程阶段，其激光通信终端也将向高速、低成本、高可靠、小型化、标准化的方向发展。

表6：国内外星座激光通信性能对比表

星座/系统	在轨状态（规模）	星间链路速率	链路可用度（要求）	建链时间（PAT 捕获）/s	链路保持时间	视场/指向精度	工程成熟度特征
Starlink（SpaceX）	9000+激光终端（2024）	100~200Gb/s	≥99%（运营状态）	10~20	1-10h 级连续保持	±（1~3）°/μrad 级	唯一已实现万级批产与全球运营的星间光链路体系
PWSA（SDA）	多批次轨道部署中	2.5~10Gb/s	≥97%（战术级需求）	≤15	数十分钟～数小时	微弧度稳定指向+抗扰动设计	强调抗毁性、保密性与跨厂商光链路互联
Kuiper（亚马逊）	试验星+量产开始	100Gb/s（1000km 验证）	≈95%（试验阶段）	20~30	数十分钟级验证	±（2~4）°	模块化终端平台，可替换升级，重视企业级覆盖稳定性
GW（中国星网）	规划组网，部分星在轨	5~100Gb/s	≥95%（设计目标）	≤15	小时级运行预期	±（1~3）°/μrad 级指向	定位全球覆盖、高可靠骨干干传，星上调度在演进
G60（中国上海）	分阶段建设	最高 100Gb/s	≥95%（工程规划）	≤15	小时级连续通信	多轨面视场与快速切换能力	强调低时延大带宽与星上智能调度
“极光”（极光星通公司）	已完成功能/性能在轨验证	10/100/400Gb/s（已验证）	≥98%（公开试验结果）	≤10（已实测）	百小时级稳定保持（主动中止）	高闭环 PAT，抗抖动能力强	国内成熟度最高的商用星间激光终端体系
“三体”之江实验室	规划阶段	100Gb/s 级（相干+WDM）	—	—	—	面向分布式在轨计算场景优化	战略型高通量、智能化空间网络验证星座

数据来源：《低轨巨星座高速激光通信关键技术探讨》（谢腾等，2025），国泰海通证券研究

2.2. 星间激光通信系统组成：ATP 系统是关键核心

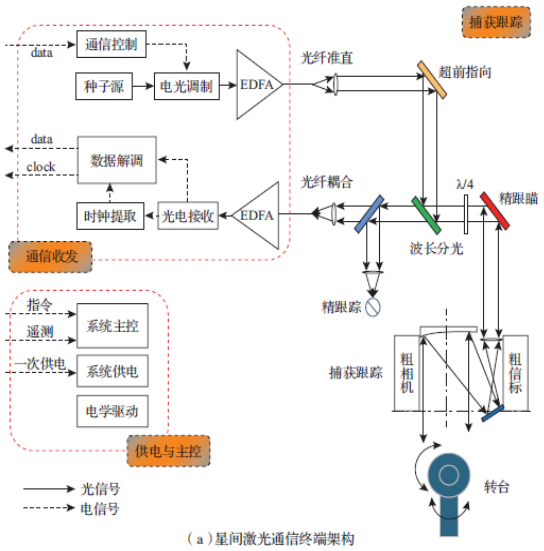
星间激光通信终端是涵盖光、机、电等多领域的复杂系统。核心功能依托 ATP 系统、通信收发系统两大系统实现，此外还有星载路由、供电控制、结构热控等系统。

图6：Mynaric 公司 MK3 激光通信终端

图7：星间激光通信终端架构

下载日志已记录，仅供内部参考



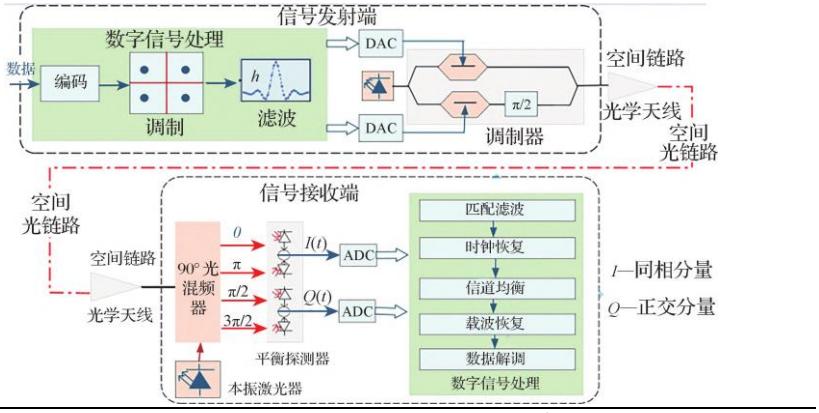


数据来源：《面向星地融合的光通信：激光通信终端研究进展和发展建议》（乔元哲等，2026）

数据来源：《低轨巨星座高速激光通信关键技术探讨》（谢腾等，2025）

通信收发系统可分为发射端、星间链路和接收端三大部分。1）发射端以窄线宽激光器作为光源，配合高速调制器完成相干调制；光源输出信号经由掺铒光纤放大器（EDFA）进行功率放大后，通过大口径发射光学器件输出微弧度级发散角光束，送入星间自由空间链路。2）星间链路依靠高精度 ATP 系统保障窄光束在数百至数千千米传输距离下稳定建链；系统采用粗指向□精跟踪双环控制架构，可实现稳态跟踪精度。3）接收端采用相干接收体制，主要由本振激光器、光混频器与高速光电探测器组成。接收光信号与本振光完成拍频之后，由高速 ADC 完成模数转换，送入全数字相干 DSP 处理单元，依次实现偏振解复用、载波恢复、符号定时、相位跟踪以及信道自适应均衡。

图8：星间高速相干调制解调系统组成



数据来源：《低轨巨星座高速激光通信关键技术探讨》（谢腾等，2025）

通信收发系统可共享地面光通信产业链，但需解决太空环境带来的差异。通信收发系统承担激光产生、信号调制、光功率放大、光电探测、信号解调等功能。核心元器件包括窄线宽激光器（DBF/EML）、光调制器（MZM/EAM）、掺铒光纤放大器（EDFA）、探测器（PIN/APD）、通信基带（DSP）。该系统主流技术与地面光纤通信同源，可在成熟光学器件产业链基础上迁移，产业化基础较好。但由于卫星孤悬于太空并处于高速移动状态，受太空极端环境的影响，星间激光通信在传输介质、系统环境、节点移动性、链路稳定性、能源供给、存储处理、系统运维等方面与地面光纤通信系统存在显著差异。

表7：星间激光通信与地面光纤通信的差异

对比项	星间激光通信	地面光纤通信

下载日志已记录，仅供内部参考

传输介质	自由空间	光纤光缆
系统环境	极端温度、强烈震动、高强度辐射等	机房环境，相对稳定
节点移动性	卫星高速运动，收发机需要精准跟瞄	静止状态
链路稳定性	受太空环境、卫星运动及跟瞄精准度影响	受环境影响较小
能源供给	受制于太阳帆板面积、星载电池及星蚀现象	稳定充分
存储处理	能力弱	能力强
系统运维	困难	容易

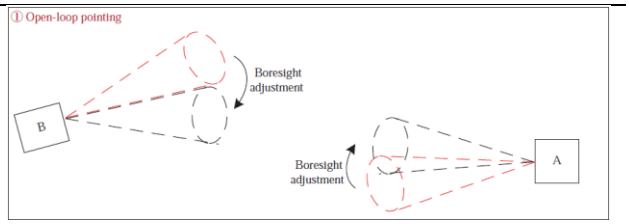
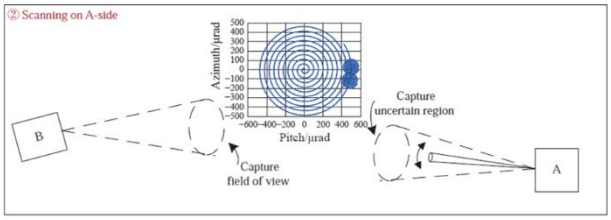
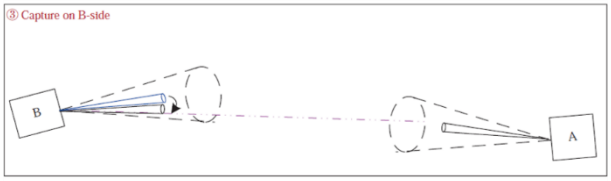
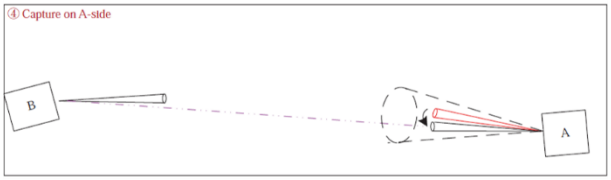
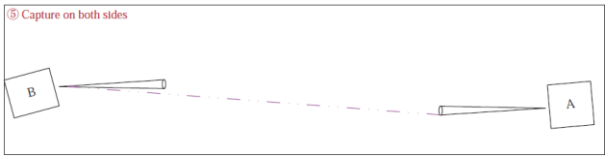
数据来源：《卫星互联网星间激光通信的分析及建议》（陈山枝等，2024），国泰海通证券研究

ATP 系统是空间激光通信链路建立与稳定维持的核心关键。建链过程分为开环指向、主动端扫描、被动端捕获、主动端捕获、双端互捕、稳定跟踪等步骤。核心元器件包括 CPA 粗指向机构（二维伺服转台）、FPA 精指向机构（FSM 快反镜）、光学天线（望远镜）、跟踪探测器（CMOS）、电控（FPGA）等。该系统是光通信上天的核心技术壁垒，在终端整体价值量中占比较高。

1）粗跟踪系统：带宽较低、动态范围大，承担扫描及大范围视场跟踪任务。粗跟踪系统的技术难点体现在低速高精度工况下，需要抑制转台轴系摩擦、补偿电机齿槽力矩波动；解决途径主要包含两种：一是在数字控制器中引入先进控制算法抵消扰动，提升控制精度；二是优化机械加工工艺，降低轴系摩擦。

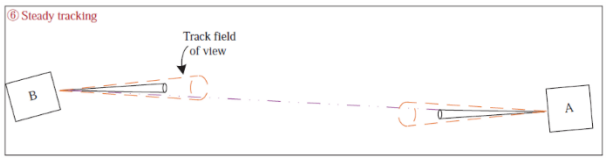
2）精跟踪系统：带宽高、视场小，一方面补偿粗跟踪的残余误差，另一方面抑制高频扰动，ATP 系统整体跟瞄精度主要由精跟踪系统决定。精跟踪系统主要应对星上振动带来的高频干扰，其带宽通常达到粗跟踪系统的 10 倍，对光电探测器采样频率提出较高要求。当前精跟踪系统常用光电探测器为电荷耦合器件、位置敏感器以及四象限探测器。

表8：信号光捕获跟踪过程

主要步骤	具体动作	过程示意图
开环指向	主动端、被动端激光终端均根据链路卫星星历（卫星的轨道的计算值）和本地卫星平台的姿态信息计算出跟踪指向引导数据，控制光学天线视轴以数字引导跟踪方式实现对对方终端的开环指向跟踪	
主动端扫描	主动端激光终端按照扫描策略，控制光学天线视轴在设置的捕获不确定区域内扫描，并在扫描路径的每个点上通过抖动扫描形成一个等效宽波束信号光，降低平台微振动引起的漏扫概率	
被动端捕获	被动端激光终端信号光捕获探测器探测到主动端激光终端的信号光后，根据信号光探测角误差和超前瞄准角值，调整视轴跟踪瞄准主动端	
主动端捕获	主动端激光终端信号光捕获探测器探测到被动端激光终端的信号光后，停止扫描，根据信号光探测角误差和超前瞄准角值，调整视轴指向，跟踪瞄准被动端	
双端捕获	双方均捕获到对方信号光后，均根据信号光捕获探测器反馈的信号光探测角度误差实时调整视轴指向，进入稳定双端捕获状态	

下载日志已记录，仅供内部参考

稳定跟踪	双方根据信号光捕获探测器输出的角误差将目标引入相干跟踪探测器视场，完成捕获状态向跟踪状态的切换，并根据平衡探测器是否探测到光信号进行跟踪点校正，建立稳定跟踪。稳定跟踪后，双方均关闭信号光强度调制，开启信号光相位调制，按通信速率要求向对方发射固定数据的调制信号光



数据来源：《激光星间链路发展综述：现状、趋势、展望》（李锐等，2023），国泰海通证券研究

2.3. 产业链三层架构清晰，三类市场主体同台竞技

星间激光通信产业链呈“上游器件制造—中游终端集成—下游卫星应用”三层结构。上游提供光芯片、光器件、光学元件、宇航级电芯片等核心元器件；中游是产业链价值量最集中环节，包含 ATP 系统、通信收发系统与终端整机集成，需实现光机电热多学科融合，攻克光束跟瞄、相干光收发、基带 DSP 处理等工程难题；下游是卫星制造平台和卫星运营商，包含通信、遥感、导航、算力等客户，是星间激光通信终端的核心需求方。

竞争格局可分为科研院所+初创企业+上市公司三类。科研院所可分为航天系统和中科院系统，航天系统技术来源于型号任务载荷需求，中科院系统技术来源于光学工程基础研究延伸，技术积淀深厚，工程化与在轨验证能力突出，在星网工程等国家级大型星座项目中已形成成熟配套体系。初创企业在高速相干技术研发、产业化降本等方面发展迅速。上市公司要是地面光通信产业链相关企业依托成熟地面光通信产业链，推动芯片、器件、模块乃至终端产品向星载场景迁移，规模化优势突出。

科研院所及体系内产业化平台：在轨工程底蕴深厚，是当前国内星间激光通信的主力供给方。1）航天体系内，五院 504 所（西安分院）国内较早完成高速相干激光终端在轨试验，具备星载载荷、天线、激光终端一体化系统集成能力；航天九院 704 所依托航天电子上市平台，推进星间激光终端产能建设，北斗三号星间激光链路载荷已经在轨落地。五院新设杭州航天东方红激光通信作为专业化产业化载体，承接院内激光通信成果转化与批量研制任务，目前处于批产体系搭建阶段。2）中科院体系中，上海光机所、西安光机所是国内空间激光通信技术源头单位。上海光机所较早开展星地相干激光通信在轨验证，在激光光源、光学系统、相干体制底层技术长期积累，并孵化上光通信作为市场化转化平台；西安光机所拥有二十余年星载激光载荷研制经验，建成星载激光通信智能产线，依托成果转化平台中科天塔推进产品商业化落地。院所体系优势在于空间环境适应性、型号可靠性、全链路系统验证经验充足；短板在于传统体制下批量降本、快速迭代相对受限，产业化子公司承担面向商业星座的量产交付任务。

商业航天初创企业：聚焦新一代高速相干终端，以快速在轨验证形成差异化突破。极光星通、氦星光联、蓝星光域、英田光学等民营厂商，以低轨商业星座为核心目标市场，组织架构灵活，产品迭代速度较快。极光星通完成国内星间 400Gbps 高速相干链路在轨试验；氦星光联为三体计算星座配套激光终端，完成多链路在轨建链验证；蓝星光域布局多轨道终端产品谱系，建成批产基地；英田光学依托精密光学积累完成终端入轨验证，规划终端量产基地。民营企业的核心优势在于相干 DSP、高速基带等前沿技术快速落地，成本目标贴近商业星座大规模采购需求；短板在于长期在轨履历相对有限，大规模量产的空间可靠性仍需更多在轨数据持续验证。

传统光通信上市公司：依托地面光通信产业链迁移，主打终端+组网一体化方案。烽火通信作为地面光通信龙头，将成熟的光调制、相干 DSP、基带、路由技术向星载场景迁移，可同时提供星间激光通信终端与星载路由产品，适配卫星星座 Mesh 组网需求。公司相关产品已完成在轨验证，但星载激光业务当前营收体量较小，尚处于培育阶段。其核心优势在于光通信器件、基

下载日志已记录，仅供内部参考

带算法产业链成熟，有利于实现相干终端核心元器件国产化配套；挑战在于空间辐照、宽温、振动等空间环境适应性需要持续开展航天级鉴定。

下载日志已记录，仅供内部参考

3. 投资建议：关注终端整机龙头和地面光学通信龙头

星间激光通信是商业航天领域高确定性的赛道。我们认为十五五期间，低轨卫星互联网星座进入规模化建设加速期，将直接带动终端需求集中放量；远期来看，遥感卫星组网、天基算力网络等场景亦将持续催生发展需求，赛道长期天花板不断抬升。**建议重点关注具备 ATP 系统自研能力的终端整机龙头企业和具备宇航级光通信技术迁移能力的地面光通信龙头企业。**

推荐标的：航天电子；**关注标的：**烽火通信。

表9：相关标的估值表

代码	简称	收盘价（元）	总市值（亿元）	EPS（元）			PE			评级
		2026/9/29		2025A	2026E	2027E	2025A	2026E	2027E	
600879.SH	航天电子	13.66	451	0.07	0.11	0.14	198	122	97	增持
600498.SH	烽火通信	36.28	493	0.36	1.00	1.29	101	36	28	-

数据来源：iFinD 一致预期，国泰海通证券研究

下载日志已记录，仅供内部参考

4. 风险提示

星座建设节奏不及预期：卫星互联网星座建设节奏与发射进度不及预期；终端招标启动时点晚于预期，或单批次采购规模低于规划；遥感卫星、算力卫星等新增组网需求落地不及预期。

技术迭代及在轨验证进度不及预期：相干体制、百 Gbps 级传输、小型化终端等技术路线仍在迭代，若在轨验证、可靠性考核或工程化进度慢于预期，可能延缓技术从试验向规模化应用的过渡。

市场竞争加剧：终端环节参与者快速增加，可能导致单台终端价格下降速度快于成本改善速度，行业盈利能力不及预期。，可能导致价格竞争加剧、毛利率承压。

低轨星座商业化落地不及预期：我国卫星互联网下游应用生态与用户付费意愿不及预期，星座运营方资本开支收缩，进而影响上游终端与器件的需求释放节奏。

下载日志已记录，仅供内部参考

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格

分析师声明

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，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

本报告仅供国泰海通证券股份有限公司（以下简称“本公司”）授权客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。

本报告的信息来源于已公开的资料，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。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌。过往表现不应作为日后的表现依据。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。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。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，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构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中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

本公司利用信息隔离墙控制内部一个或多个领域、部门或关联机构之间的信息流动。因此，投资者应注意，在法律许可的情况下，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。在法律许可的情况下，本公司的员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告作为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎决策。

本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“国泰海通证券研究”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息或进而交易本报告中提及的证券。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议，本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

评级说明

投资建议的比较标准

投资评级分为股票评级和行业评级。

以报告发布后的 12 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后的 12 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的沪深 300 指数涨跌幅为基准。

	评级	说明
股票投资评级	增持	相对沪深 300 指数涨幅 10%以上
	谨慎增持	相对沪深 300 指数涨幅介于 5%～10%之间
	中性	相对沪深 300 指数涨幅介于-5%～5%
	减持	相对沪深 300 指数下跌 5%以上
	无评级	对于个股未来市场表现与基准指数相比无明确观点
行业投资评级	增持	明显强于沪深 300 指数
	中性	基本与沪深 300 指数持平
	减持	明显弱于沪深 300 指数

国泰海通证券研究所

地址 上海市黄浦区中山南路 888 号 邮编 200011 电话 （021）38676666