



新一代光信息技术

潘 炜
西南交通大学

目录

- 一、**光信息**技术发展趋势
- 二、新一代**光通信**技术
- 三、新一代**光网络**技术
- 四、新一代**光传感**技术
- 五、新一代**光计算**技术

一、通信行业技术发展趋势

《十四五信息通信行业发展规划》

<p>专栏10 移动通信核心技术创新和产业推进工程</p> <p>1. 体系化推进信息通信技术标准建设和完善。参与新一代信息通信技术标准制定，把握产业链上下游，产学研用结合发力，加强标准体系顶层设计并持续推进制定。</p> <p>2. 加强 4G 增强、5G 轻量化、6G 预研等研究，突破关键技术并实现商用。</p> <p>移动通信</p> <p>3. 推动 5G 产业快速成熟。加强 5G 产品研发，加速 5G SA 商用，网络部署快速成熟，助力完成 5G 商用部署早中期，推动 5G 产业规模化应用，加速 5G 网络化应用，促进 5G 行业应用规模化、定制化、差异化发展。</p> <p>4. 开展 4G 基础理论及关键技术研发，开展 4G 增强、融合应用研究和关键技术攻关。鼓励企业深入开展 4G 前沿技术研究，开展未来产业预研，积极开展 4G 标准研究，形成一批 4G 核心研究成果。</p> <p>加速5G应用、构建6G愿景</p>	<p>专栏6 卫星通信建设及北斗卫星导航系统规模化应用工程</p> <p>1. 加快卫星通信建设。统筹高中低轨卫星网络协调发展，实现 5G 地面蜂窝通信和卫星通信融合，初步建成覆盖全球的卫星信息网络，开展卫星通信应用开发和试点示范。</p> <p>2. 加速北斗应用推广。卫星通信 推动北斗在移动通信网络、物联网、车联网、工业互联网、公共安全等领域，参与北斗高精度定位地基增强站共建共享，充分发挥现有通信网络基础设施规模化、网络化优势，科学制定地基增强站建设规划，提高定位精度利用效率。</p> <p>3. 加强卫星频率与轨道资源管理和利用。制定相关领域卫星频率及轨道资源使用规划，加强集中统一管理，做好申报、协调、登记和维护等工作。</p> <p>5G与卫星通信融合、北斗应用</p>	<p>专栏3 千兆光纤宽带网络部署工程</p> <p>1. 加快千兆光纤网络部署。在城市及重点乡镇区域规模部署 10G-PON OLT 设备，持续推进城镇老旧小区光分配网千兆接入能力改造。按需升级家庭和小企业网关设备，优化家庭室内光纤通信。</p> <p>2. 丰富千兆光纤应用。光纤通信 推动云化虚拟现实（Cloud VR）、超高清视频等新业务发展，引导用户向千兆速率宽带升级。</p> <p>3. 开展千兆网络能力及用户体验监测评估。加强技术手段建设，形成覆盖全国的光纤网络能力和“端到端”用户体验综合监测平台，具备分区域、分时段、全网段监测能力。</p> <p>部署10G PON（千兆网络）</p>
<p>专栏8 数据中心高质量发展工程</p> <p>1. 统筹数据中心区域布局。鼓励在一线城市周边地区建设热数据聚集区，在能源充足、气候适宜、自然火灾少的地区建设大型和超大型数据中心吸引冷数据聚集，推动数据聚集区“只进不出”模式。鼓励在中西部地区建设数据中心。</p> <p>2. 推进数据中心与数据中心 云化数据中心协同、跨地域协同互连，提升数据中心能效水平，提升绿色节能降耗水平。在区域数据中心集群内，以及数据中心集群内建设工业互联网网络，提升工业互联网数据外联能力。</p> <p>3. 持续推进数据中心绿色发展水平。鼓励新建大型超大型数据中心采用液冷、水冷等高效制冷方案；鼓励使用高效制冷、分布式供电等高效供电方案；应用模块化机房、高效能比 IT 设备等，鼓励可再生能源利用率高、绿色节能建设绿色数据中心。鼓励在数据中心开展绿色节能改造，鼓励数据中心运营方加强内部能效数据监测和管理，提高能源利用效率。</p> <p>完善数据中心大平台、数网协同</p>	<p>专栏9 工业互联网创新发展工程</p> <p>1. 开展制造业工业互联网内网建设。鼓励内网建设，提升企业网络安全水平，支持工业制造应用 5G、时间敏感网络（TSN）、边缘计算等新型网络架构建设内网建设，加快工业制造网络升级改造，提升工业制造网络带宽能力。打造 100 个工业互联网内网建设标杆，在 200 个重点行业打造 500 个工业互联网内网建设标杆。</p> <p>2. 完善工业互联网平台体系。鼓励平台创新发展，提升工业互联网平台服务能力，支持工业互联网平台创新发展。</p> <p>3. 加强工业互联网安全体系建设。提升工业互联网安全防护能力，开展工业互联网安全攻防演练。</p> <p>4. 开展工业互联网融合应用试点示范。鼓励工业互联网融合应用试点示范，提升工业互联网融合应用水平。</p> <p>5. 加快工业互联网标准体系建设。提升工业互联网标准体系建设水平，推动工业互联网标准体系建设。</p> <p>建设5G+工业互联网平台</p>	<p>专栏5 移动物联网部署工程</p> <p>1. 优化移动物联网网络覆盖。提高固定 NB-IoT 基站，深化 LTE-Cat 网络覆盖，结合标准建设和产业成熟度，加快 5G 网络 mMTC 场景建设，持续提升网络性能，应用优化，提高网络服务水平，实现移动物联网终端设备数量 20 亿。</p> <p>2. 加快移动物联网平台体系建设。鼓励平台创新发展，提升移动物联网平台服务能力，支持移动物联网平台创新发展。</p> <p>3. 拓展移动物联网应用。在移动物联网应用领域开展创新应用，鼓励移动物联网应用，鼓励产业基础扎实的地方建设国家移动物联网产业基地，带动移动物联网应用规模化应用和产业发展成熟。</p> <p>4. 建立移动物联网发展监测指标体系和监测机制。提升移动物联网发展情况，为业务迁移、应用拓展、产业发展提供评估支撑。</p> <p>加快5G网络mMTC场景建设</p>

一、通信行业技术发展趋势

5G-A 启动商用

- 10倍网络能力提升
- 支持千亿物联
- 毫秒级时延
- 厘米级高精定位

6G 技术收敛

- 沉浸式通信
- 通感融合
- AI通信融合
- 超连接、泛连接

算力网 智能拓展

- 计算资源感知度量
- 网络计算联合路由
- 全局算网优化
- 以网强算

光网络 全光加速

- 50G PON商用
- 万兆网接入
- 400G 省际网开工
- 全光底座

数实融合 融通深入

- 互联网3.0
- 混合式元宇宙
- 分布式算存
- 数字/物理空间交互

AI技术 全面渗透

- 深度神经网络模型
- 全域应用
- 通信服务升维
- 通信支撑算力资源

数字生活 智慧升维

- 智慧家庭
- 数字生活服务
- 全屋光纤 (FTTR)
- 分布式边缘AI

新型工业 通信赋能

- 数字化场景构建
- 新质生产力
- 数实融合应用
- 安全管理

2024

2029

一、光信息技术发展趋势

光通信技术

信息传输主干，支撑大容量、低延时、高安全的数据传输。

光网络技术

万物连接主干，承载人与人、物与物、人与物信息交互。

光传感技术

认知节点，采集反馈人与环境特征信息。

光计算技术

处理节点，支撑高效、快速、节能的计算能力。



光信息技术是支撑通信产业发展的重点技术领域

一、光信息技术发展趋势

通信



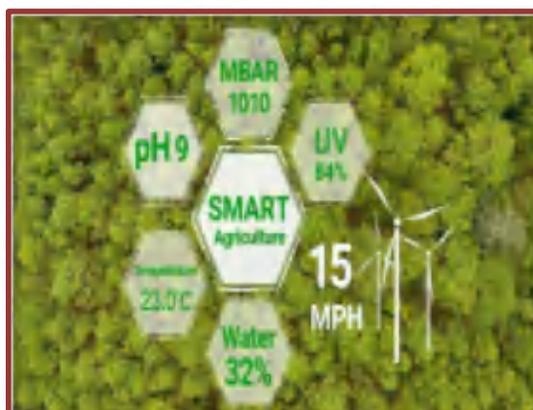
- 可见光通信
- 光量子通信
- 短距高速光互连
- 自由空间光通信

网络



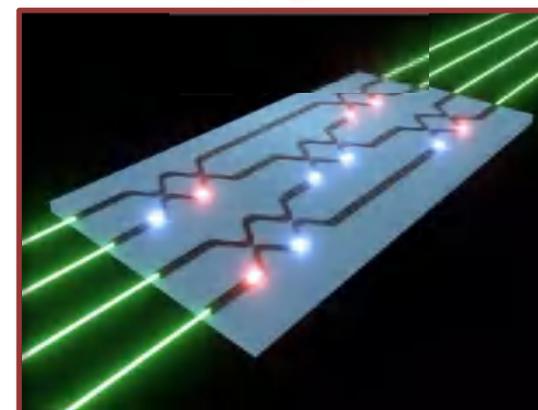
- 全光算力网络
- 软件定义光网络
- 智能光网络

感知



- 通信传感一体化
- 激光雷达
- 光学健康监测

计算



- 光学神经网络
- 光量子计算机
- 全光处理器

新一代**光信息技术**重点发展方向



二、新一代光通信技术

自由空间光通信

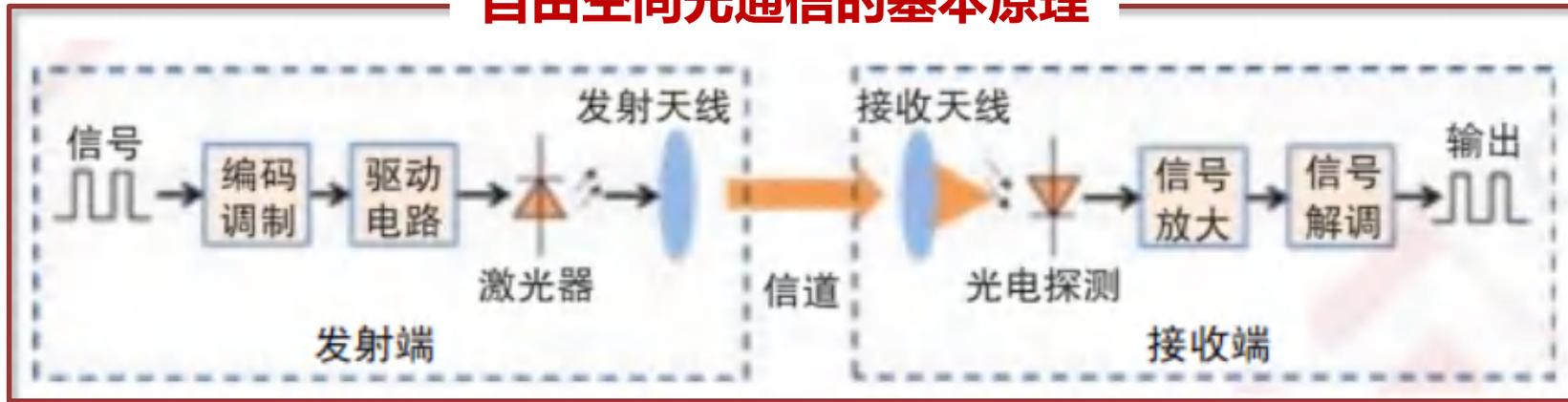
可见光通信

光量子通信

短距光互联

2.1 自由空间光通信 - 原理与应用

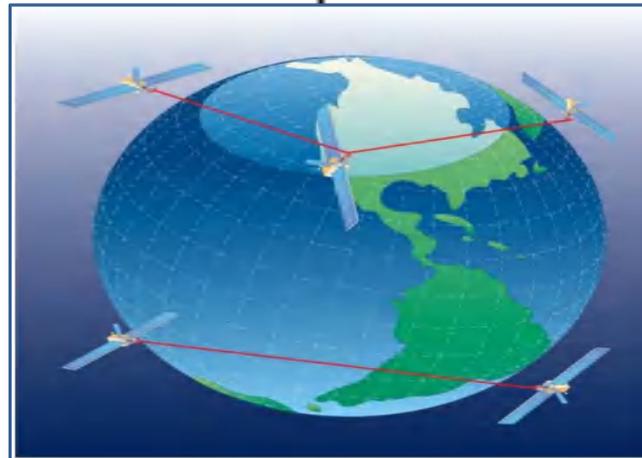
自由空间光通信的基本原理



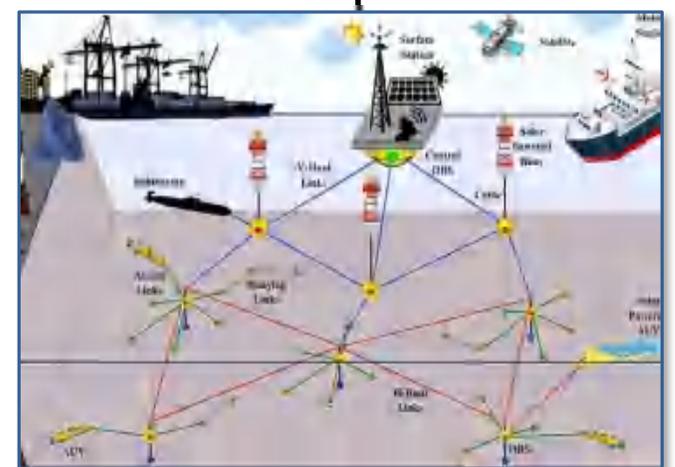
自由空间光通信的应用方向



近地激光通信



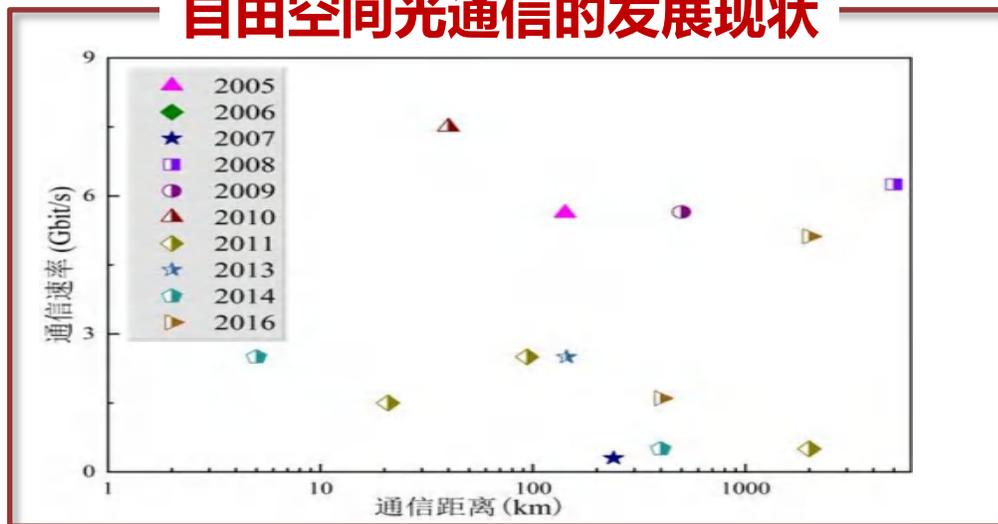
卫星 (深空) 激光通信



水下激光通信

2.1 自由空间光通信 - 发展历程

自由空间光通信的发展现状



星载自由空间光通信的发展现状



通信速率

结合高阶调制技术，短距离 (<1 km) 情况下传输速率达Tb/s。

通信距离

随着高功率激光器的发展，可实现Gbit/s速率条件下的千公里级传输。

星地链路速率

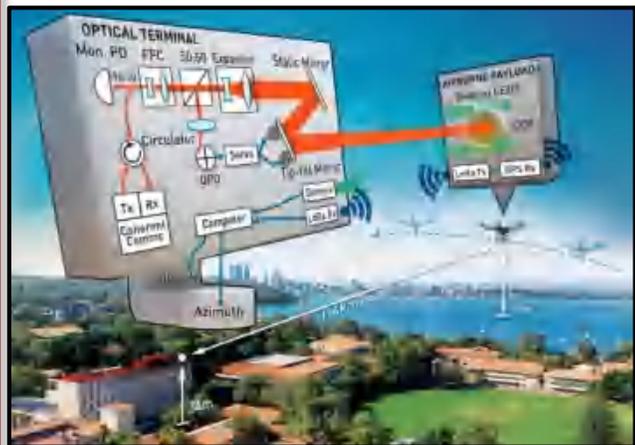
随着高速调制解调和传输技术的快速发展，未来星地链路速率有望达到 100 Gb/s 量级。

低轨星间组网

依托“一对多”收发天线及动态路由技术，实现低轨星间光通信组网。

2.1 自由空间光通信 - 发展趋势

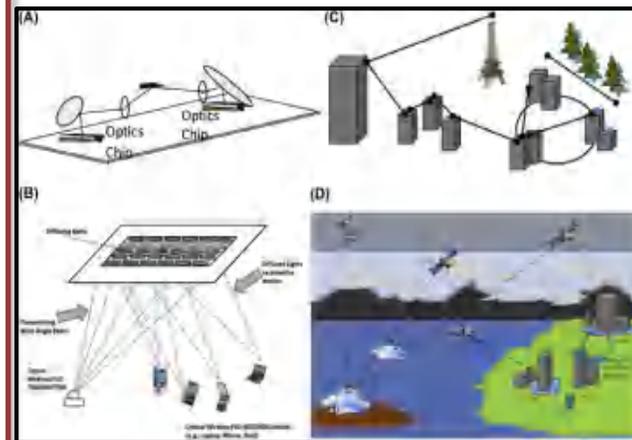
高速化



技术路径
高阶调制
多维复用

目标
Tb/s传输速率

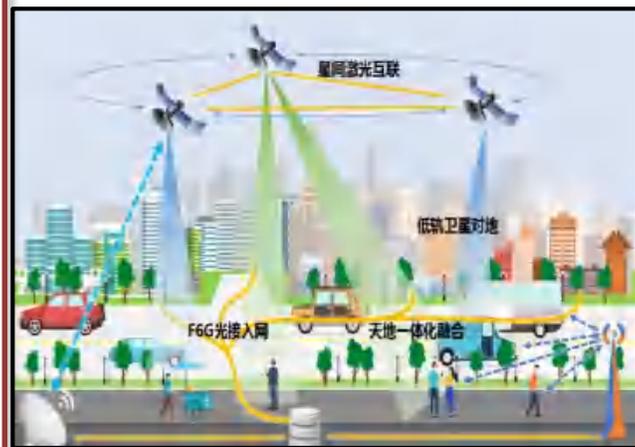
多用途



技术路径
路径损耗补偿
定位追踪

目标
深空、水下及
地面接入

网络化



技术路径
一对多天线
动态路由

目标
天基宽带
传输网络

一体化

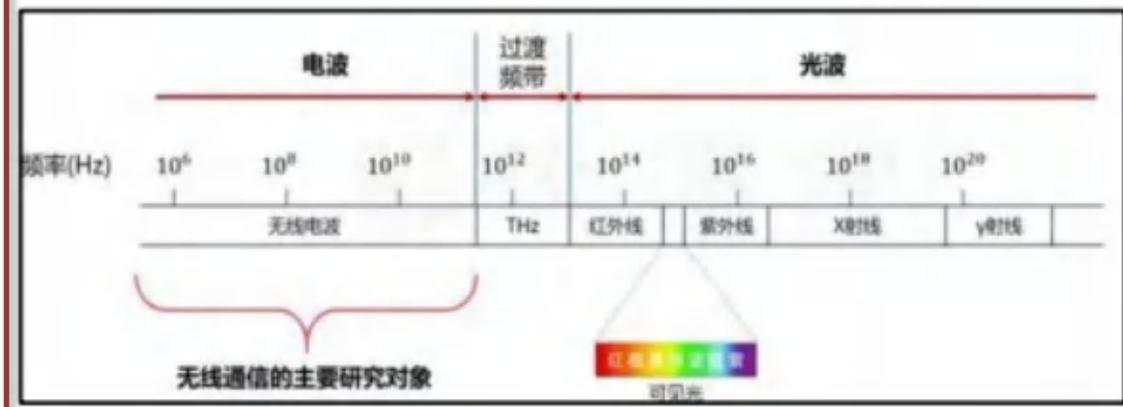


技术路径
激光测距
微波光子

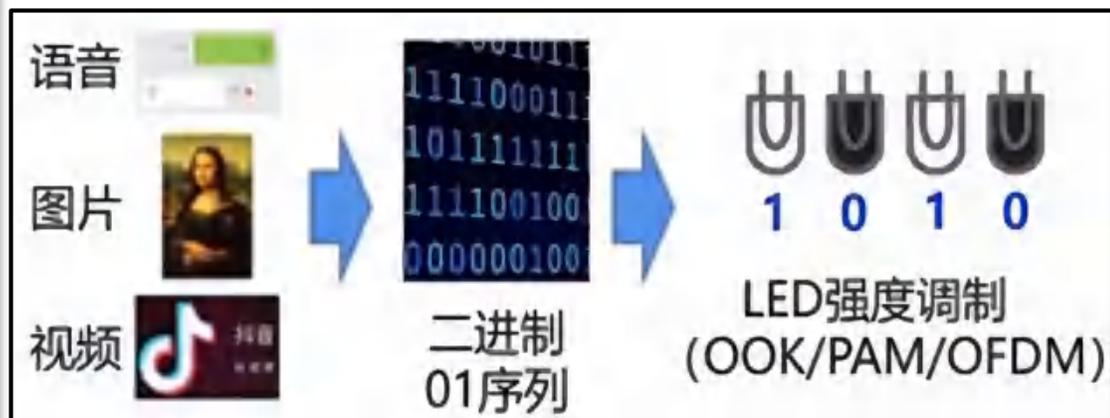
目标
测距与通信
一体化系统

2.2 可见光通信 - 原理及优势

射频频谱资源有限、频谱资源枯竭



基本原理



- ◆ **强度调制/直接检测**：LED驱动信号必须为实值且非负
- ◆ **交流信号+直流偏置**：在确保有效照明的基础上进行通信

可见光通信 vs. 射频通信

频谱**资源丰富**且不受限
(射频频谱的 10^4)

射频频谱资源**濒临枯竭**
且使用收到限制

基于已有LED照明设施
建设**成本低、能耗低**

需要专门设备，部署
成本相对较高

无电磁辐射，且
对**电磁干扰免疫**

有电磁辐射，且
易受**电磁干扰**影响

视距传输，具有天然
物理层**安全和私密性**

非视距传输，物理层
低安全和非私密性

多小区密集组网，
区间干扰强

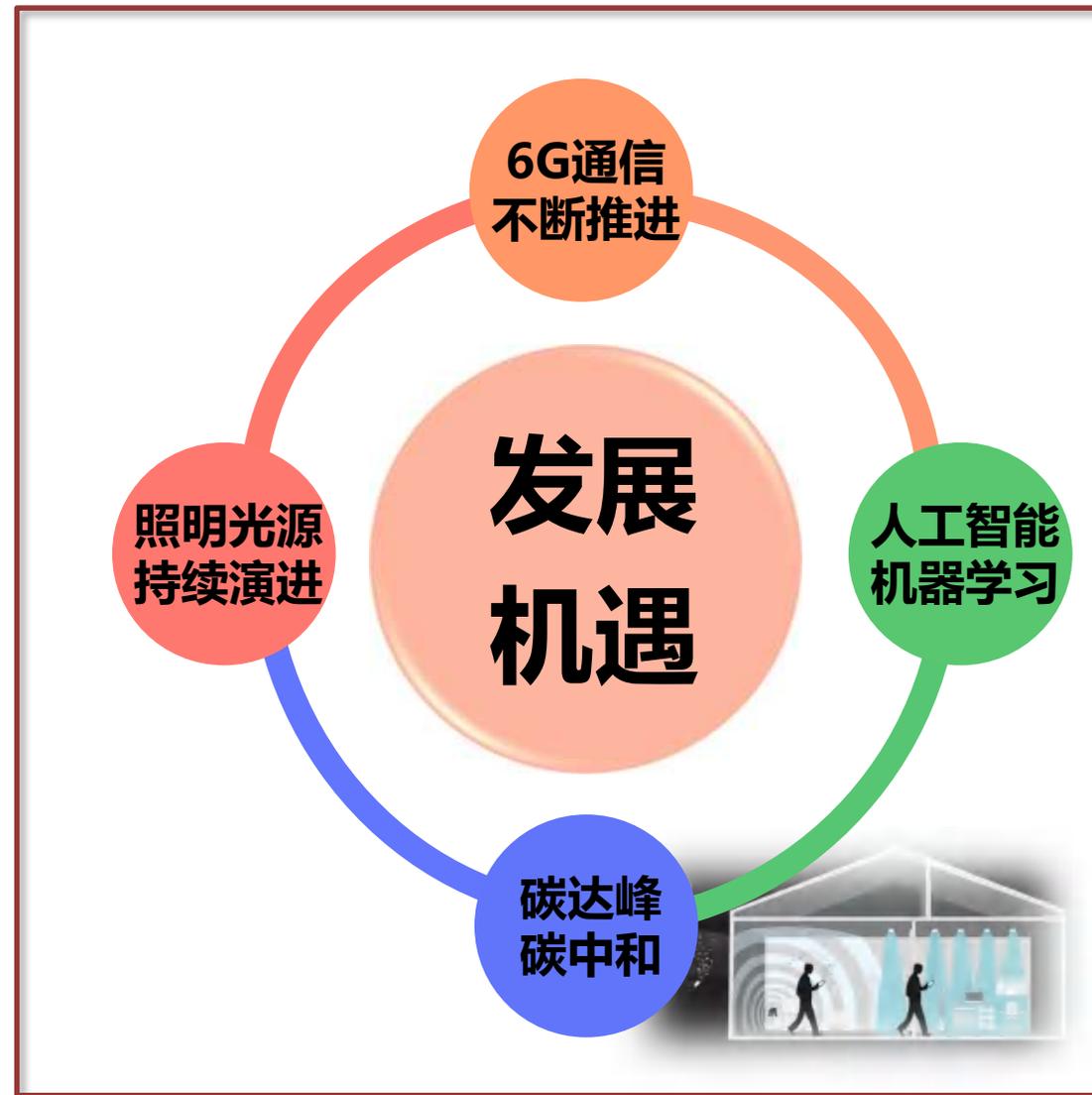
非密集组网，
区间干扰低

2.2 可见光通信 - 应用方向

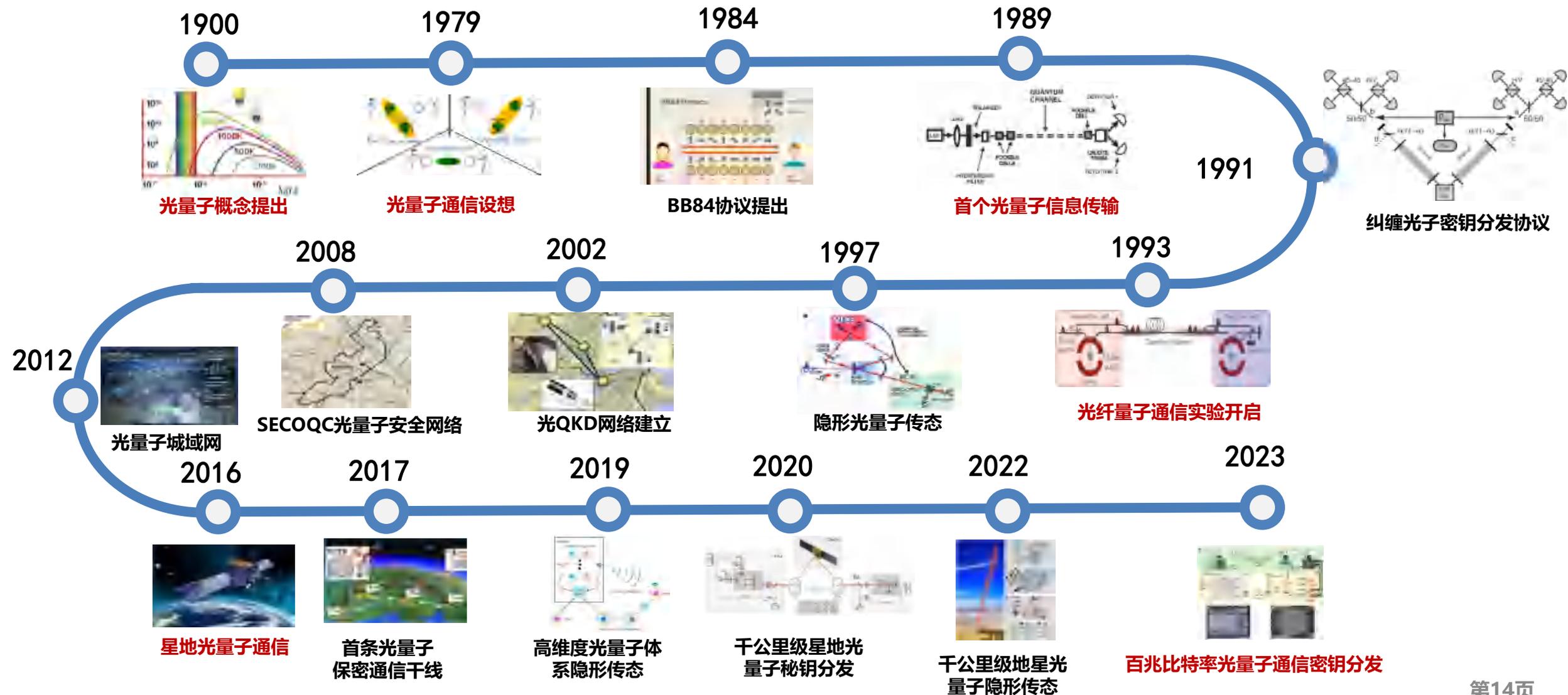


应用场景：智慧工厂，仓储物流，电梯物联网，智慧海洋，化工厂，核电站，医疗，AR/VR及车联网等

2.2 可见光通信 - 挑战与机遇

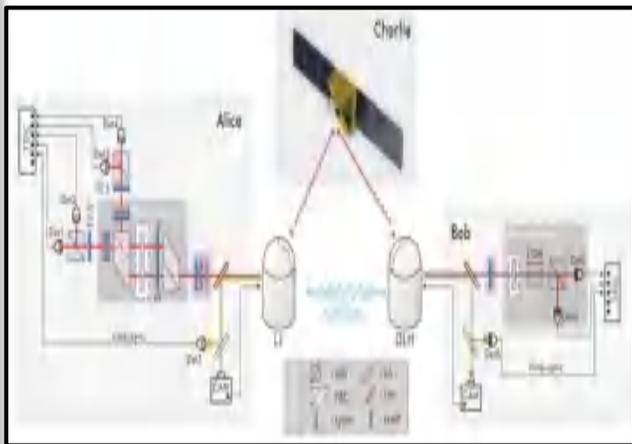


2.3 光量子通信 - 发展历程



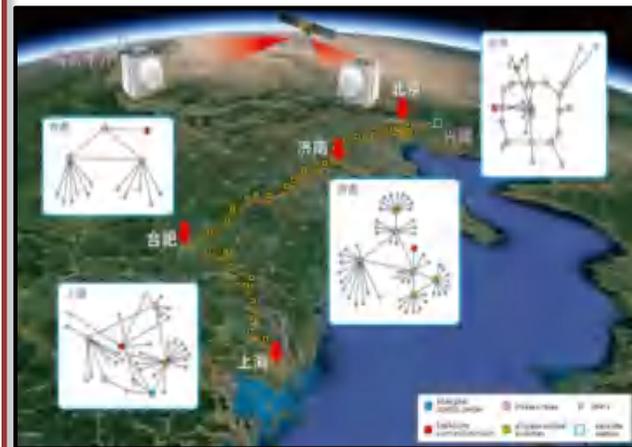
2.3 光量子通信 - 关键技术

高速光量子密钥分发



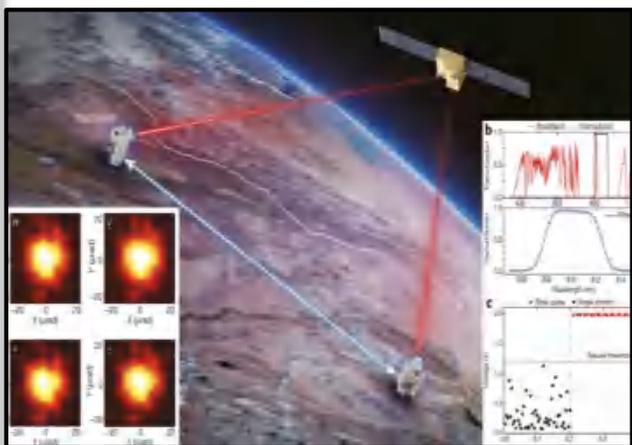
通过基于诱骗态光量子密钥生成和分发，**建立超远距离量子信道。**

广域光量子通信网络



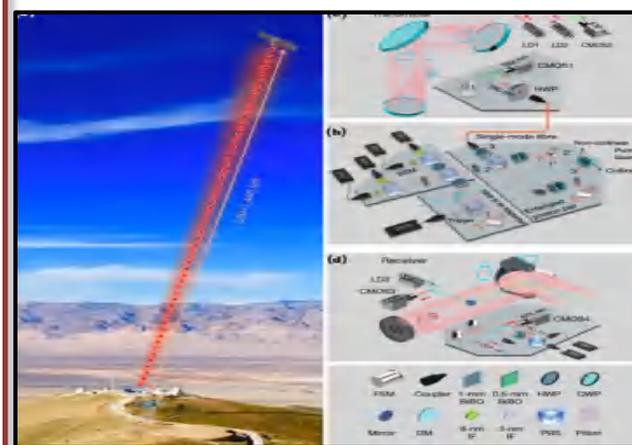
通过光量子密钥生成和分发及卫星中转，**建立广域量子通信网络。**

光量子纠缠分发



空间尺度量子力学完备性检验，**检验量子纠缠正确性。**

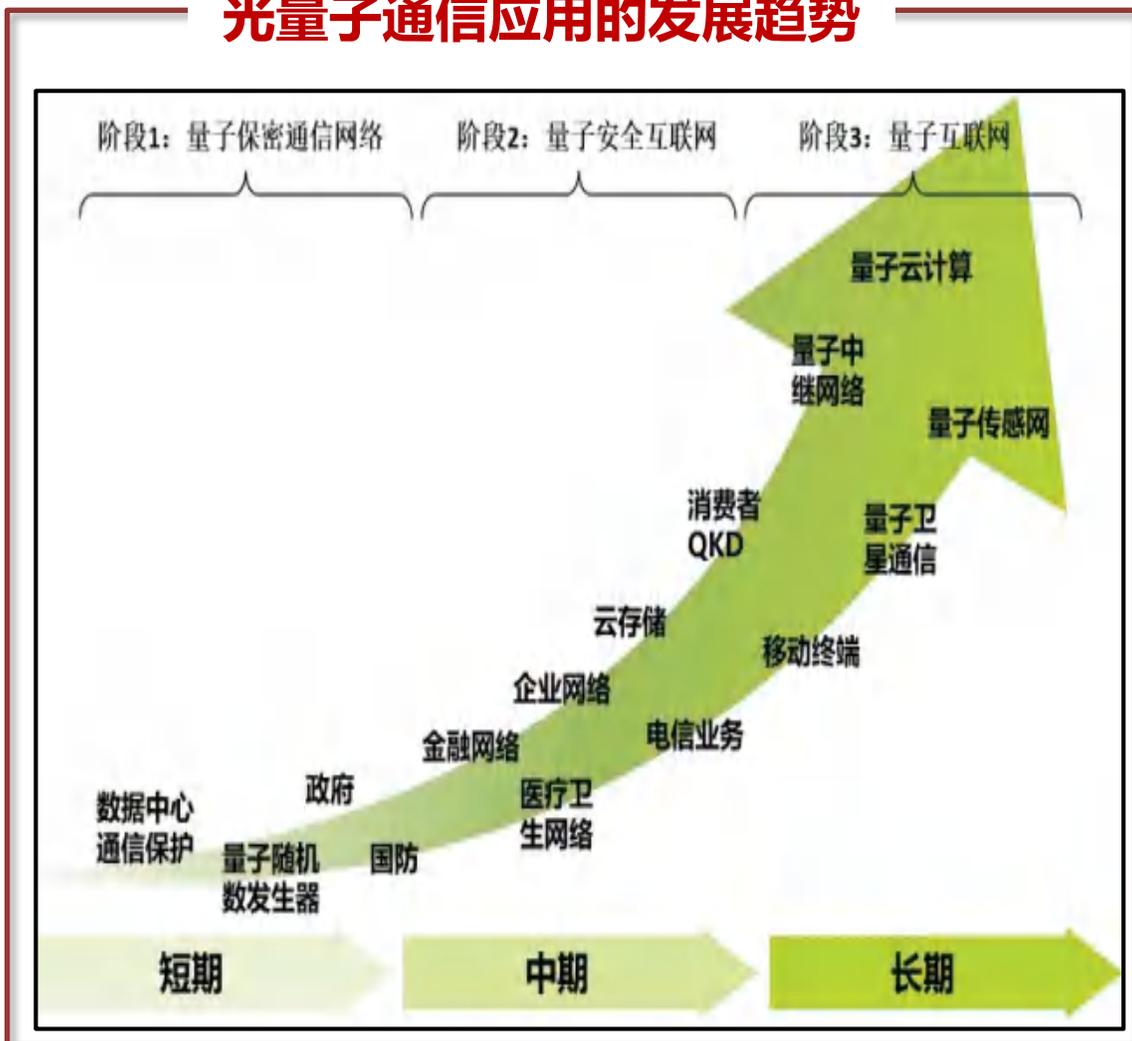
光量子隐形传态



将量子纠缠特性作为**通信信道**使用，从而实现任意未知量子态的传输。

2.3 光量子通信 - 发展趋势

光量子通信应用的发展趋势



短期发展

应用主要集中在利用QKD链路加密的**数据中心防护**、**量子随机数发生器**，并延伸到**政务、国防**等特殊领域的安全应用。

中期发展

随着QKD组网技术成熟，终端设备趋于**小型化、移动化**，QKD还将扩展到**电信网、企业网、个人与家庭、云存储**等应用领域。

长期发展

随着量子技术的继续突破，通过量子通信网络将量子计算机和量子传感器连接，还将产生**量子云计算、量子传感网**等一系列全新的应用。

2.3 光量子通信 - 发展趋势

光量子通信产业链的发展方向



上游产业链发展

主要为量子通信的**元器件、光纤、终端**，与欧美发达国家相比我国存在先天的发展弱势，国内能够提供核心设备的公司并不多。

中游产业链发展

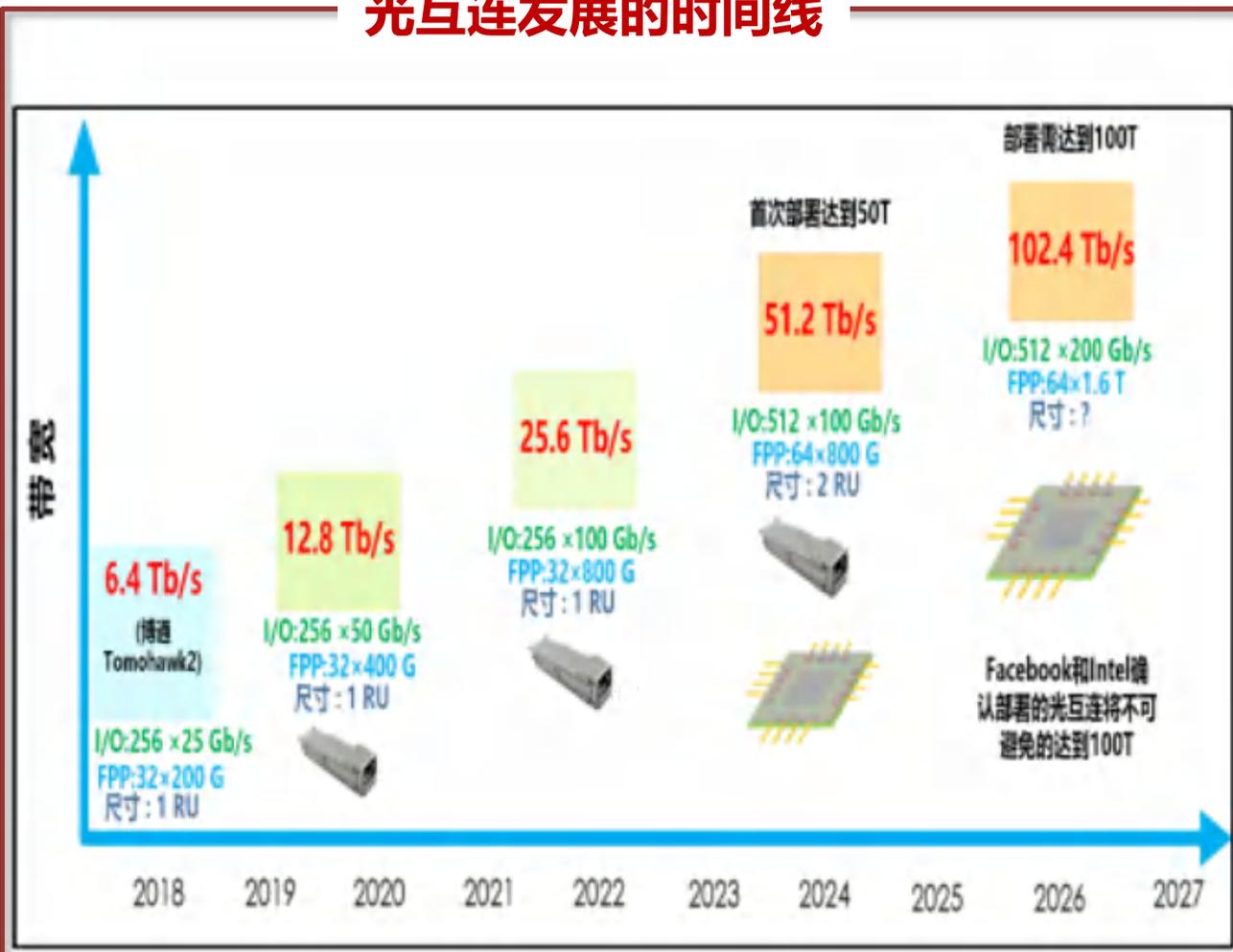
主要包括**网络传输干线提供商**和**系统集成商**，以量子保密通信“京沪干线”技术验证及应用示范项目为例。

下游产业链发展

主要是各种行业应用，如**金融、军事、政务、商务**等领域，提供的产品包括量子电话、基于量子保密技术的IDC、量子白板等。

2.4 光互连 - 发展历程

光互连发展的时间线



光互连优势

光互连由于光信号之间**无感应、无干扰、速率高、密度大、无需接地**等诸多优点，被用来逐步替代电互连。

光互连发展需求

要求光器件**体积小、密度高、精度高**。

光互连发展现状

目前可插拔光互连模块的传输带宽达到**51.2Tb/s**，通过64×800G多通道芯片实现，未来需达到**102.4Tb/s**水平。

2.4 光互连 - 应用方向

超级计算机



应用方式

板上互连
板间互连
架间互连
局间互连

大型核心路由器



应用方式

光背板
片上互连
片间互连
波导互连
光纤互连

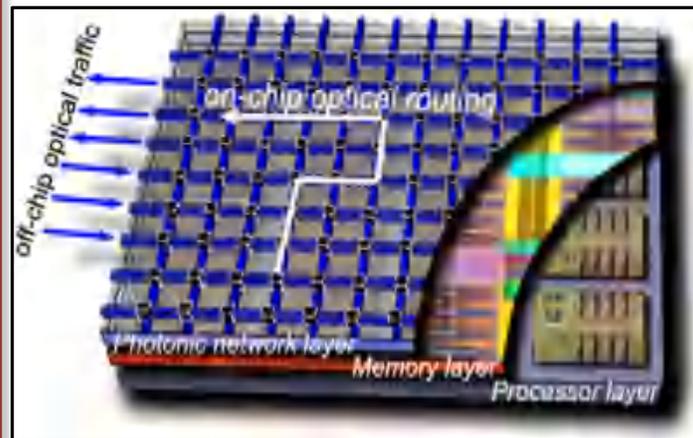
数据中心



应用方式

光交叉
光背板
框间互连
板上互连
板间互连

超高速大容量光处理设备

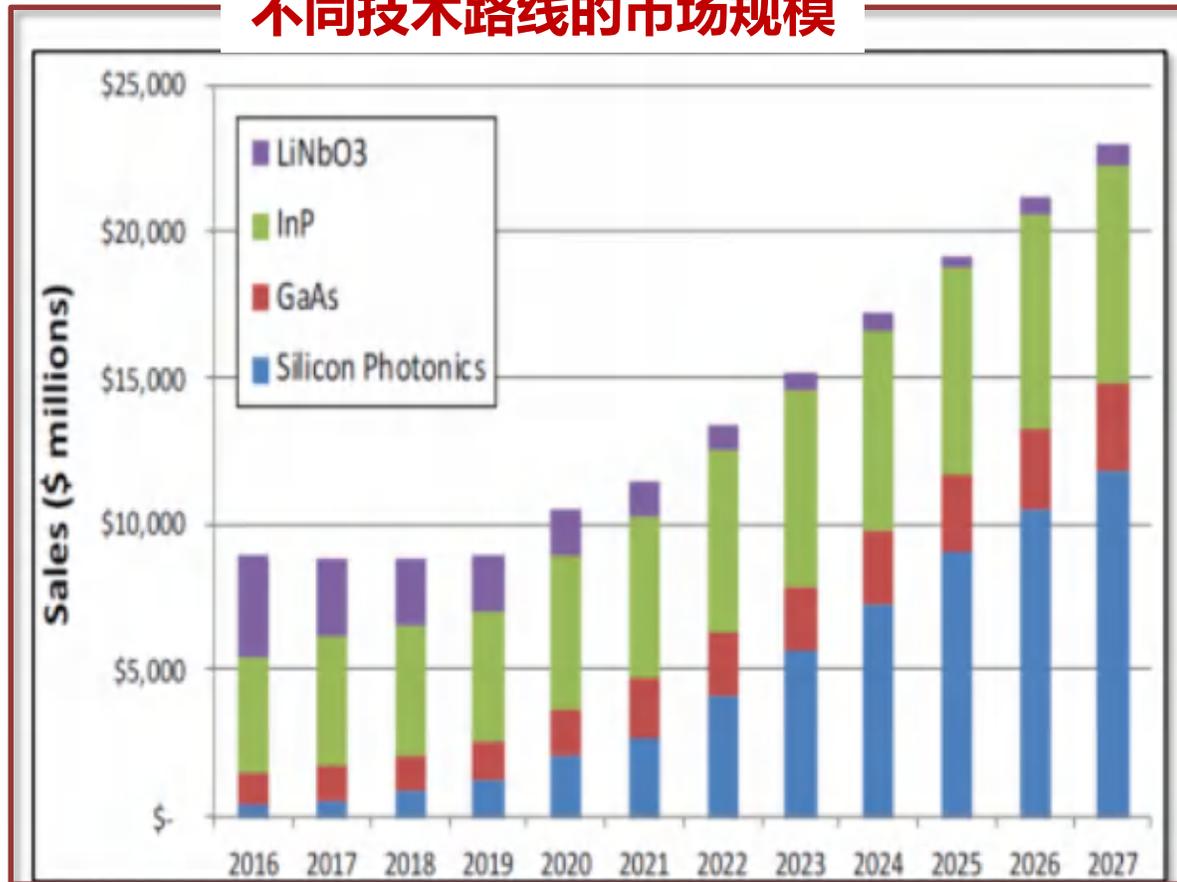


应用方式

光交叉
光背板
片上互连
波导互连
板上互连
光纤互连

2.4 光互连 - 发展趋势

不同技术路线的市场规模



光互连技术路线

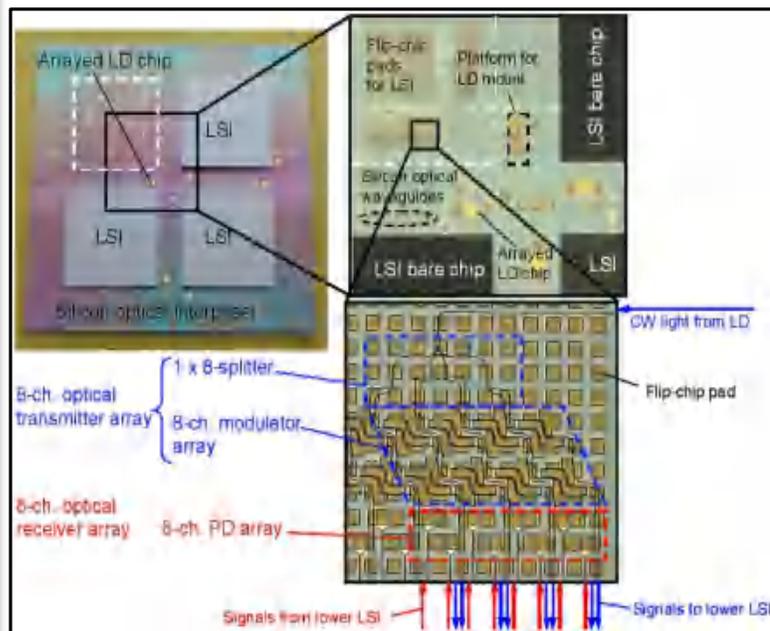
现有光互连模块由**铌酸锂 (LiNbO3)**、**磷化铟 (InP)**、**砷化镓 (GaAs)** 以及**硅基光子 (Silicon Photonics)** 工艺制成。

光互连市场预期

由于硅基光子工艺兼容电芯片的CMOS工艺，带来了**良品率高、尺寸小、功耗低、工艺成熟**等优势。在未来可以预见硅基光子工艺的光互连模块将会占据光互连模块市场的主要规模。

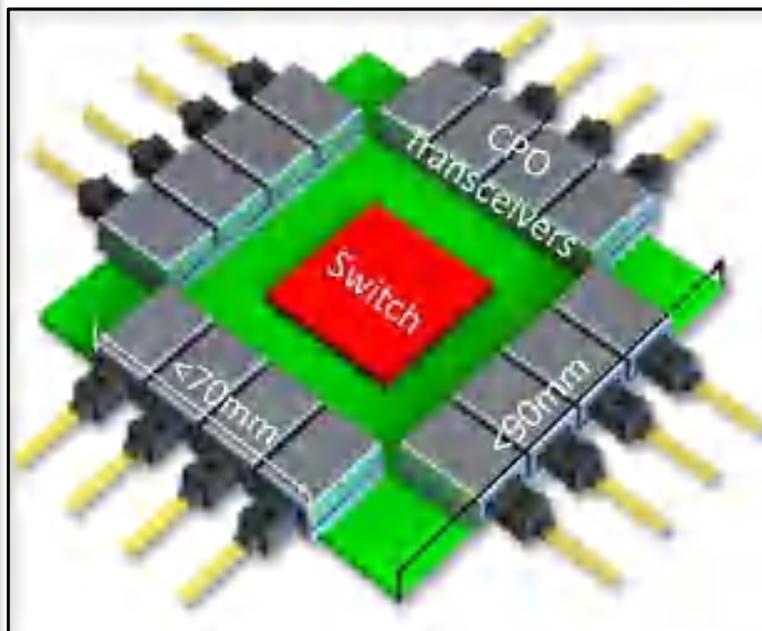
2.4 光互连 - 面临挑战

光电芯片设计



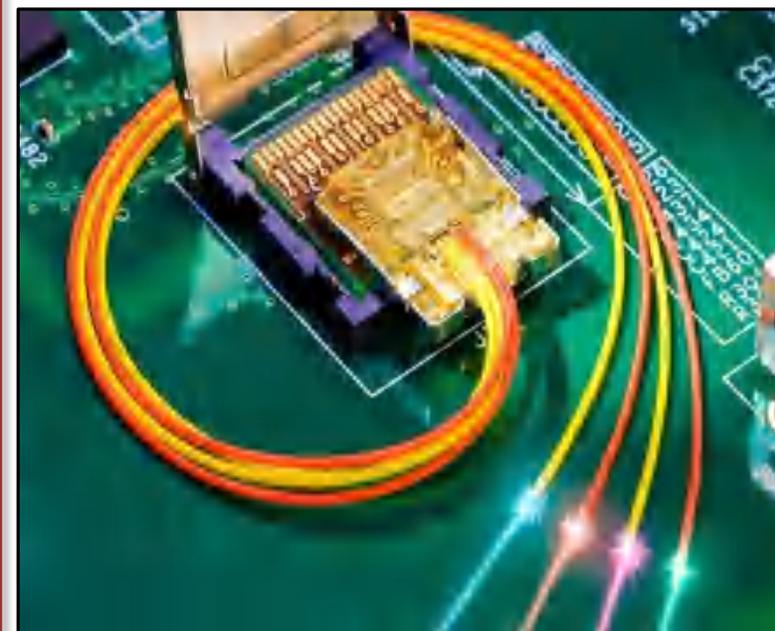
由于光互连的场景要求，用于收发的光电器件必须占据较小的空间甚至需采用**3D封装**方式进行设计，因此对各种**高密度**光电芯片的设计要求较高。

连接器设计



为了应对新一代光互连模块的发展需求，光互连模块连接器的设计需要实现**高密度**、**高带宽**的要求。另外，光纤和光器件之间的**耦合技术**也颇具挑战。

封装及散热技术



光互连模块中的光电芯片可能采用**3D集成**，需用**TSV**等方法，且放置空间十分狭小，**散热**是巨大的挑战。另外，光互连模块**封装成本**也值得考虑。

三、新一代光网络技术

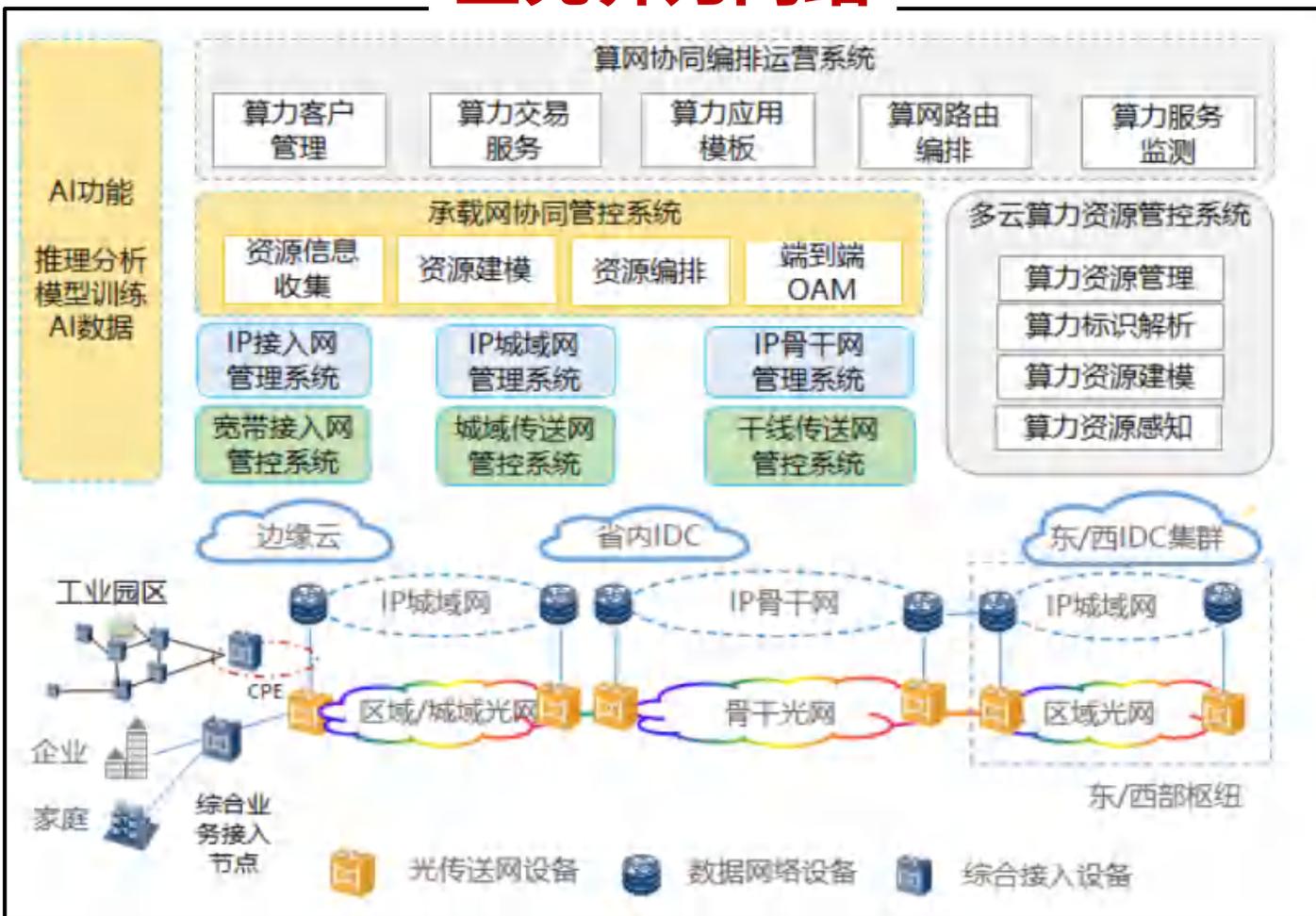
全光算力网络

软件定义光网络

智能光网络

3.1 全光算力网络

全光算力网络



功能目标

实现高效的跨区域算力资源调度，为泛在算力资源提供运力保障。

支撑基础

超大带宽、超长距离、超低时延、超高安全、超高可靠的全光连接。

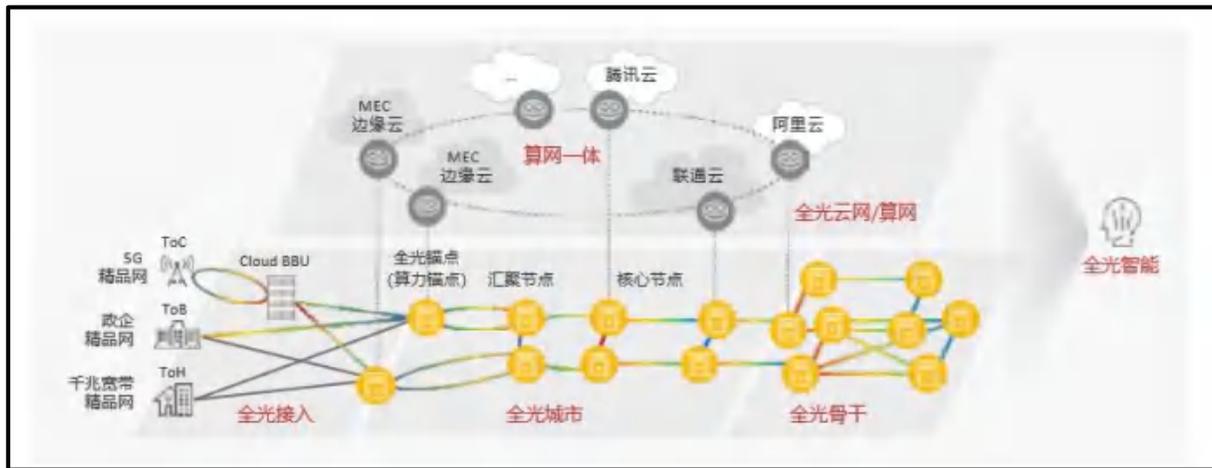
关键技术

超100G传输技术，全光算力锚点，开放光网络技术。

国家战略

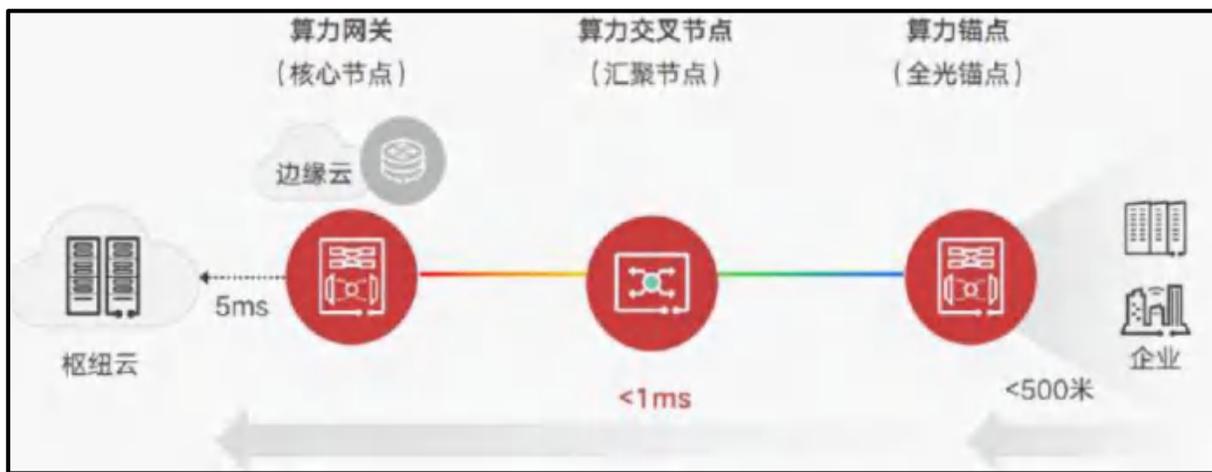
支撑“东数西算”战略。

3.1 全光算力网络 - 未来发展趋势



提升全光底座基础承载能力

超100G传输技术;
频谱扩展技术;
全光交叉技术 (OXC) ;



实现高速泛在光接入

全光算力锚点覆盖;
用户算力多样化就近接入;
城市内时延1ms;

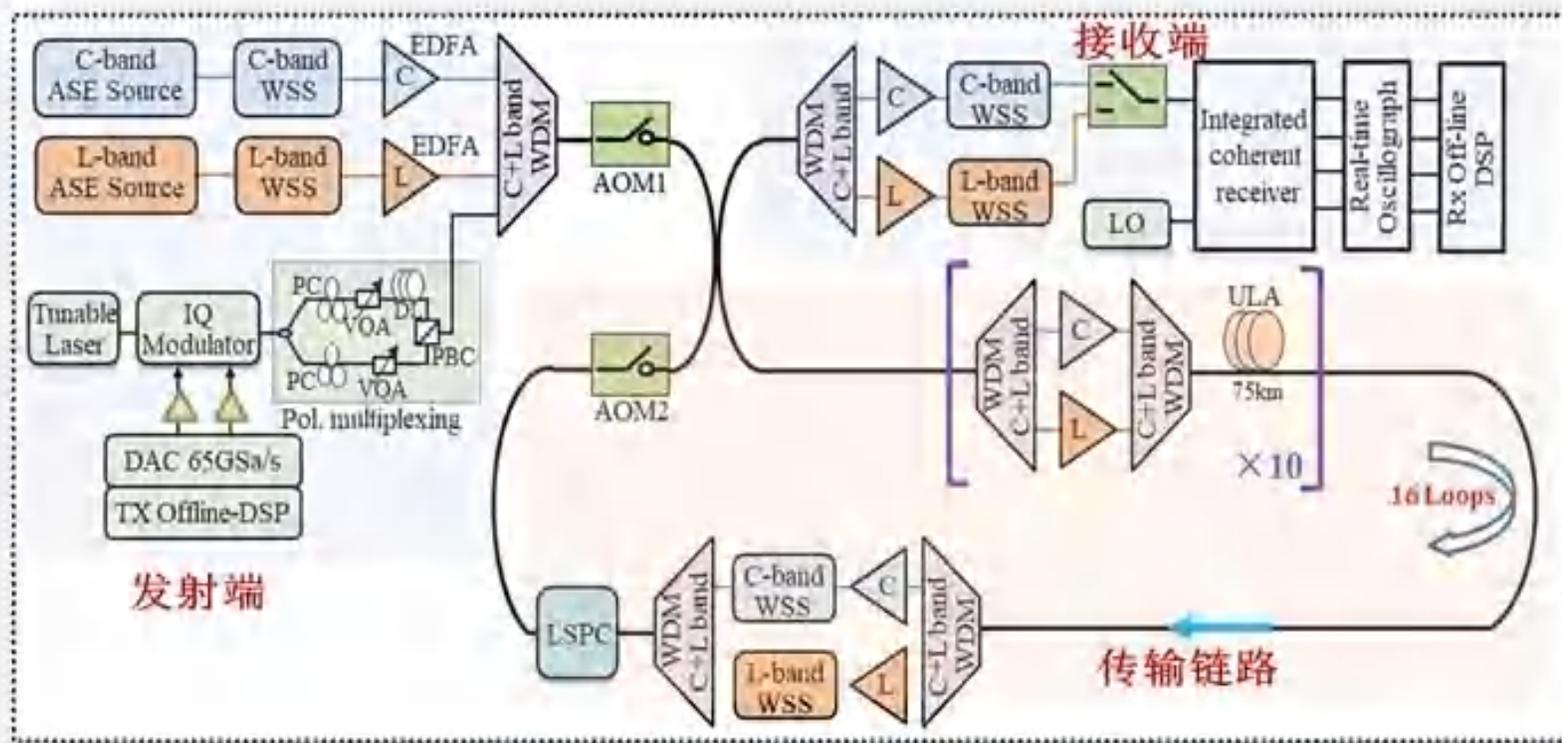
3.1 全光算力网络 - 研究成果

西南交通大学在国家重点研发计划项目“宽带微波光子信号调控核心器件与技术”支持下，面向“城域、骨干、跨洋”三大应用场景，基于具有自主知识产权的关键器件，构建了超长距离光纤传输系统。

□ 大带宽相干光收发芯片

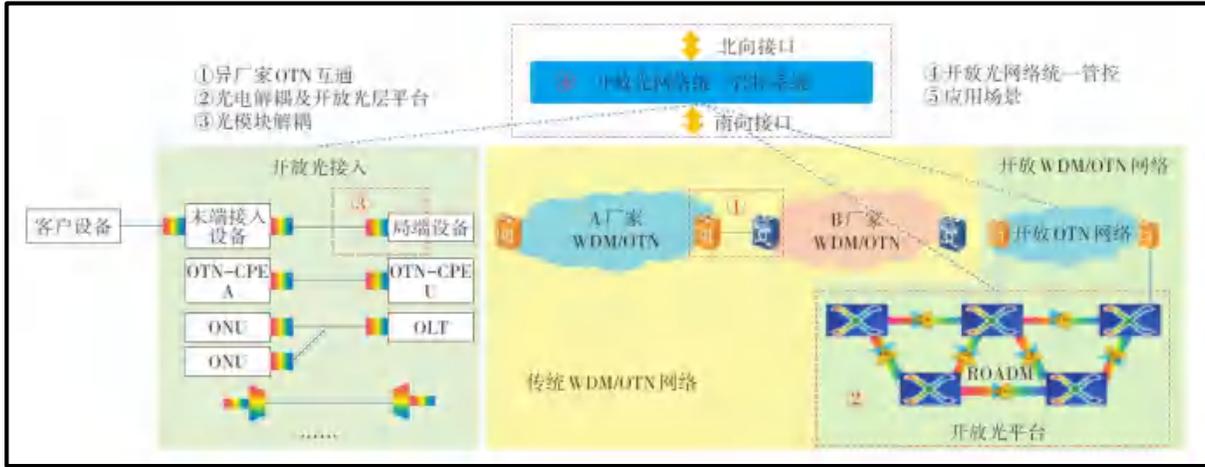
□ 超低损大有效面积光纤

□ 超波段光放大器件



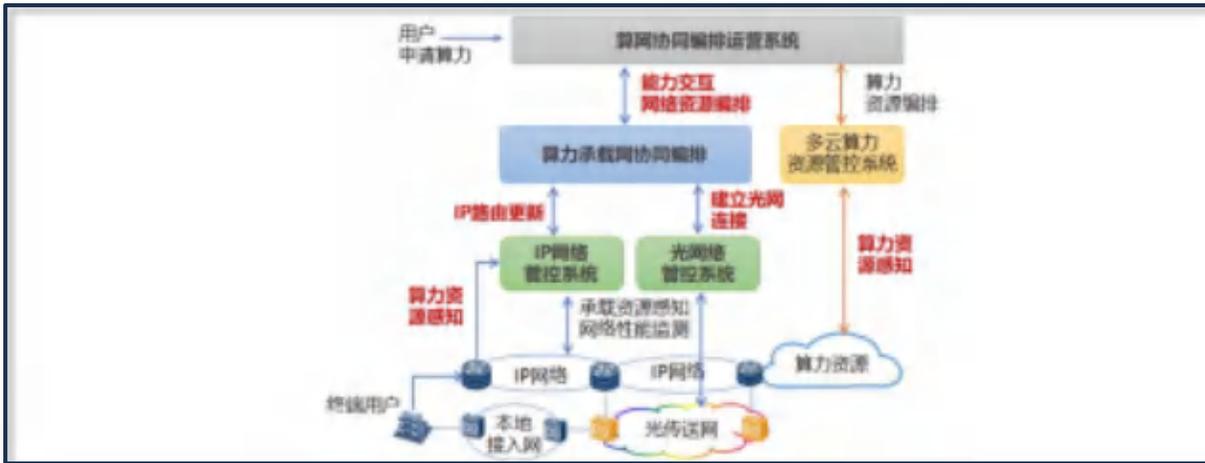
12万公里超长距超大容量跨洋光纤传输系统 (国内最高传输容量距离积纪录, 国际第二)

3.1 全光算力网络 - 未来发展趋势



推进光网络开放解耦

异厂家光网络互通;
光电, 光模块解耦;
开放光网络统一管控;

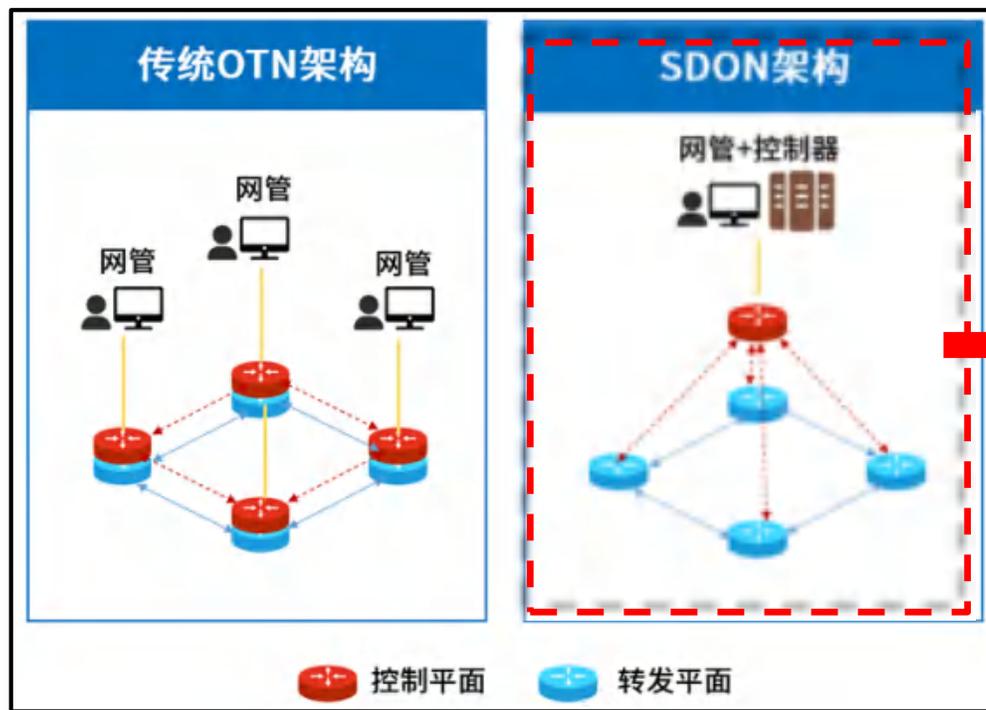


提供高品质网络连接

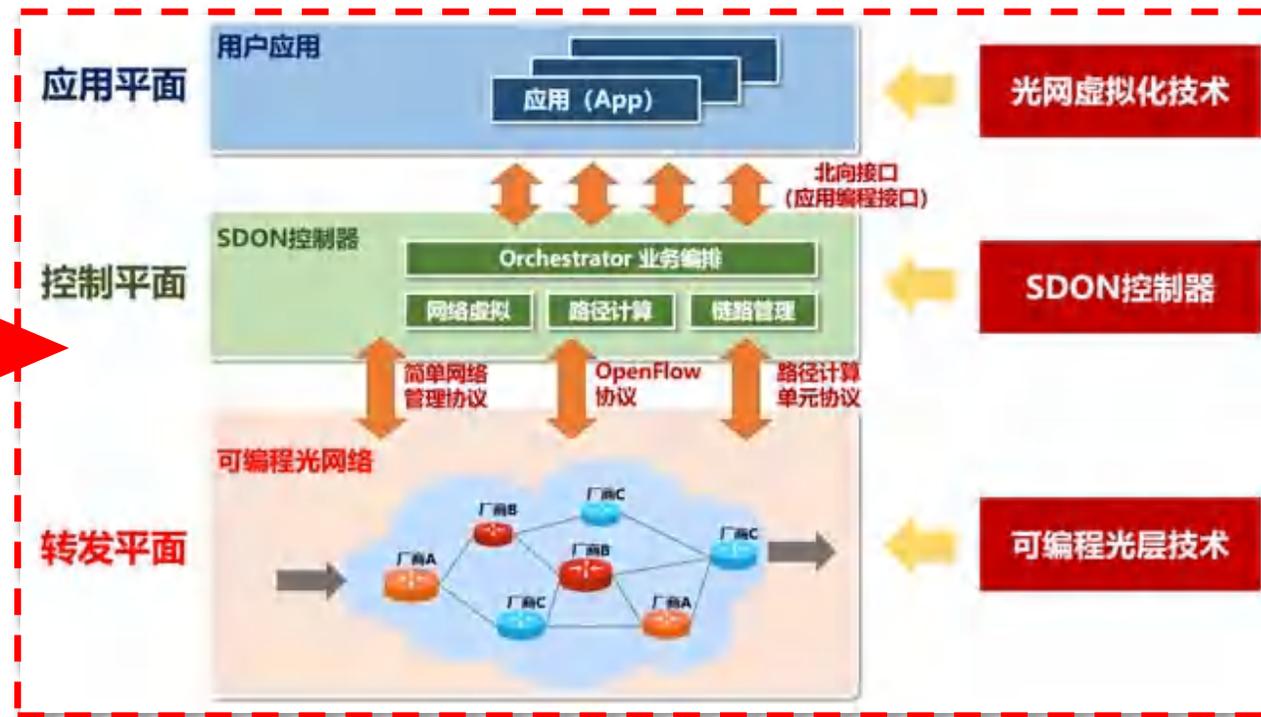
IP+光网络灵活传输技术;
为使用各类算力应用的用户
按需分配资源;

3.2 软件定义光网络 - 原理与技术

软件定义光网络（SDON）是一种利用软件定义网络原理来**管理和控制**光传送网络的技术。

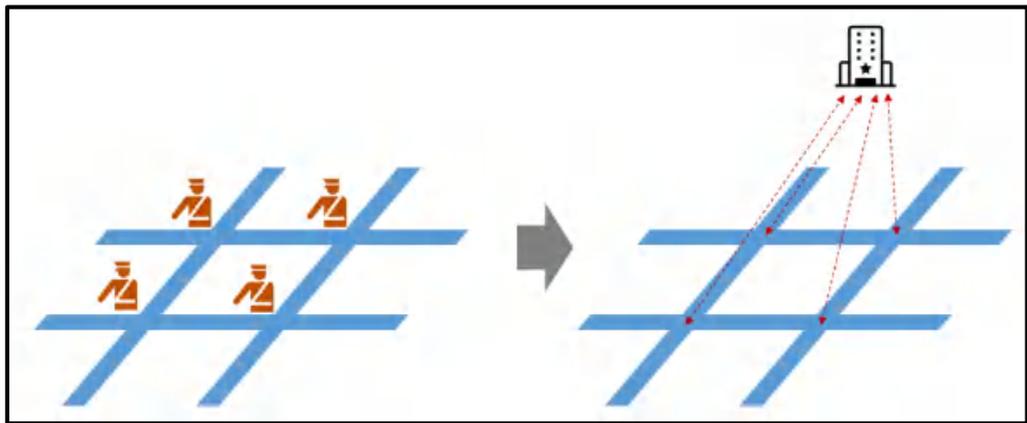


将网络节点的控制和转发平面分离，引入控制器，将**网管功能合入控制器**，实现对整个光网络的**集中统一调度**。



软件定义光网络的三个关键技术为：**光网虚拟化技术**，**SDON控制器**，**可编程光层技术**。

3.2 软件定义光网络 - 应用方向

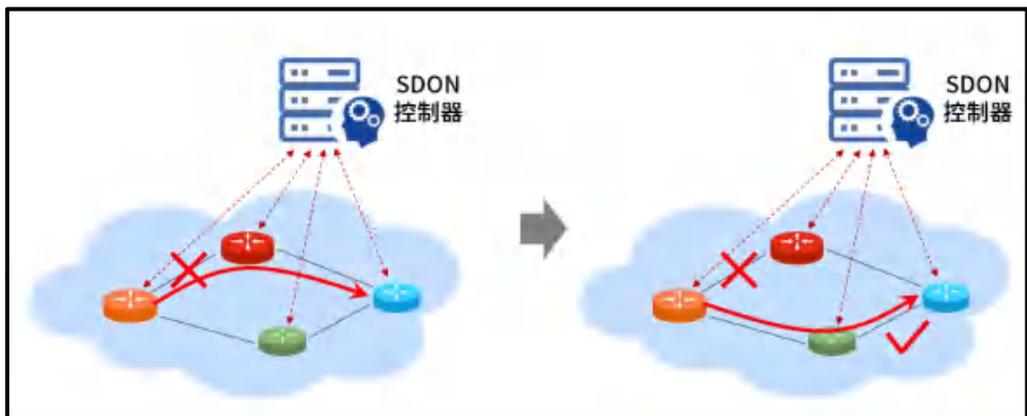


提升运维效率，降低运维成本

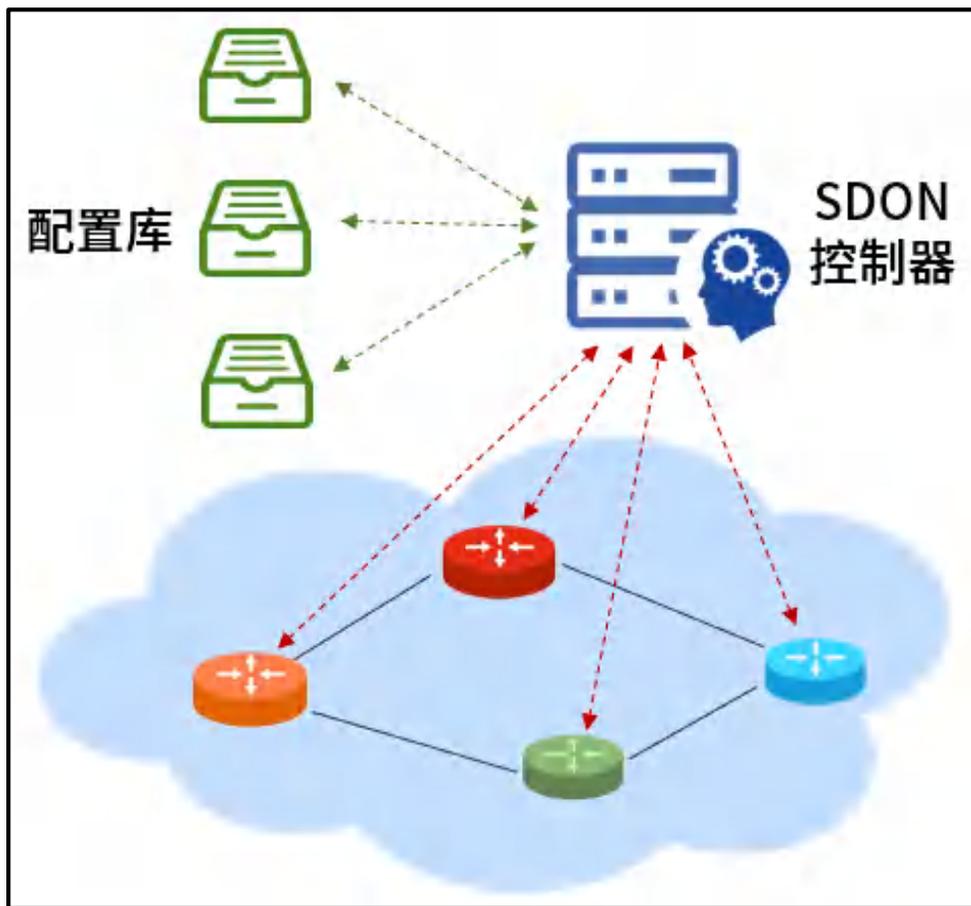
- 将底层网管能力收拢集中；
- 实现光网络从“人工静态网管配置”向“实时动态智能控制”演进；

动态路径保护，通道灵活减配

- 监控光网络运行状态，为故障节点与通路规划新路径；
- 50ms 内实现快路径切换，减小业务影响；



3.2 软件定义光网络 - 应用方向



业务快速开通与预约开通

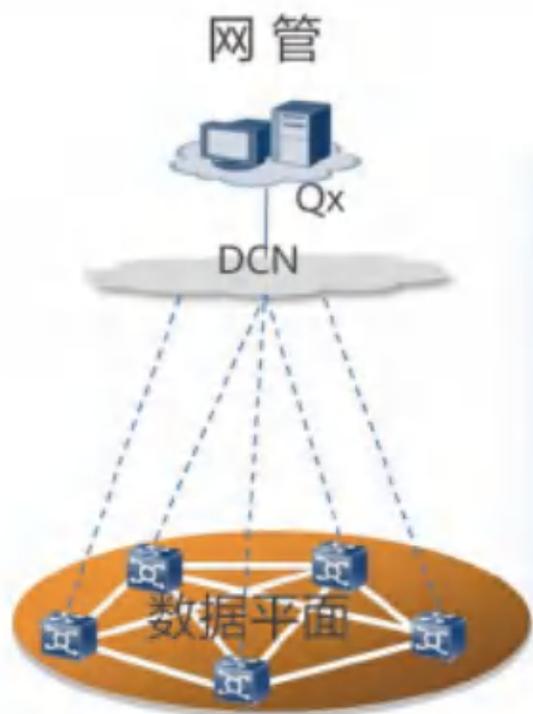
- 将**AI算法**引入到SDON控制器中，能够快速给出可用路由，加速业务开通；
- 根据日志分析，建立业务配置库，调用或参考该配置库，加速业务配置；
- 支持对**带宽“自动调制”**，节约资源，降低成本；
- 提前配置，定时发布，实现业务自动上线；

3.3 智慧光网络 - 发展历程

纯静态手工管理

自动发现，业务自愈

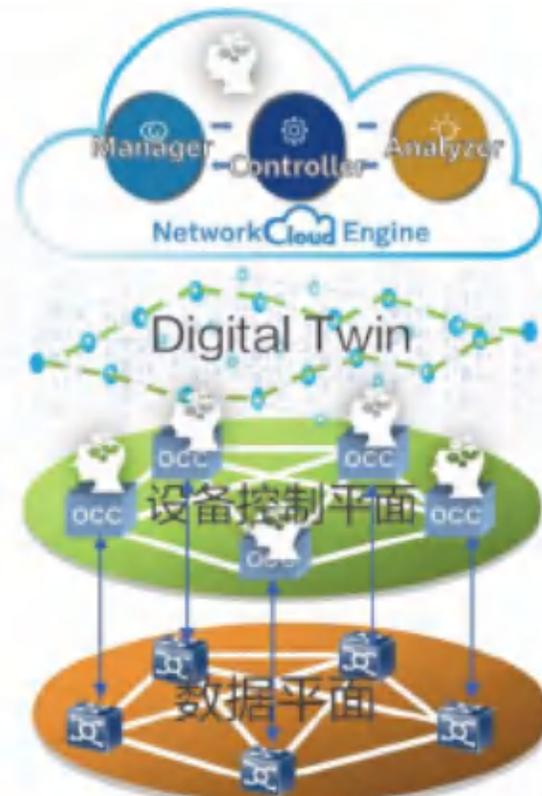
全生命周期自动化智能化



演进



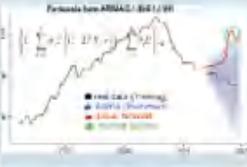
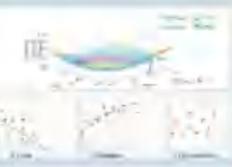
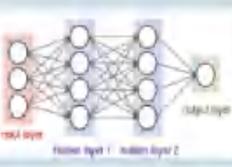
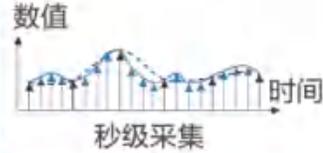
演进



随着用户需求的变化，传输网络软件架构逐步演变为一种集成了管理、控制和分析的多层智能模式，能够实现更高层次的自动化和智能化。

3.3 智慧光网络 - 技术支撑

智慧光网络所需技术支撑

<p>算法</p>	<p>时间序列预测 算法模型</p> 	<p>光层调测强化学习寻优算法</p> <p>评估 下发</p> <p>反馈back</p> <p>深度神经网络最优功率增益模型</p>	<p>回归类 算法</p> 	<p>神经网络 算法</p> 	<p>聚合类 算法</p> 
<p>数据</p>	<p>光参采集频率更高，更精准复现光网模拟信号</p> 	<p>采集大数据</p> <p>400+ 光参</p> <p>更快速采样：秒级/次</p> <p>更准确采样：OSNR、SOP等参数直接测量。</p>	 <p>数据湖</p>	<p>数据湖：海量数据存储，训练算法模型</p> <p>50万+ 现网光网设备全球部署，积累丰富应用大数据。</p>	
<p>算力</p>	<p>边缘智能（设备侧）</p> <ul style="list-style-type: none"> 基于华为昇腾310，极致高效计算低功耗AI芯片及加速板卡，提供10倍以上计算能力； 处理实时性要求高的数据和应用。 		<p>云端智能</p> <ul style="list-style-type: none"> 基于华为昇腾910，计算密度最大的单AI芯片（256Tvs业界最佳125T）； 处理实时性要求不高的数据和应用。 		

□ 算法

智能化关键的使能技术；
监督学习，无监督学习模型。

□ 数据

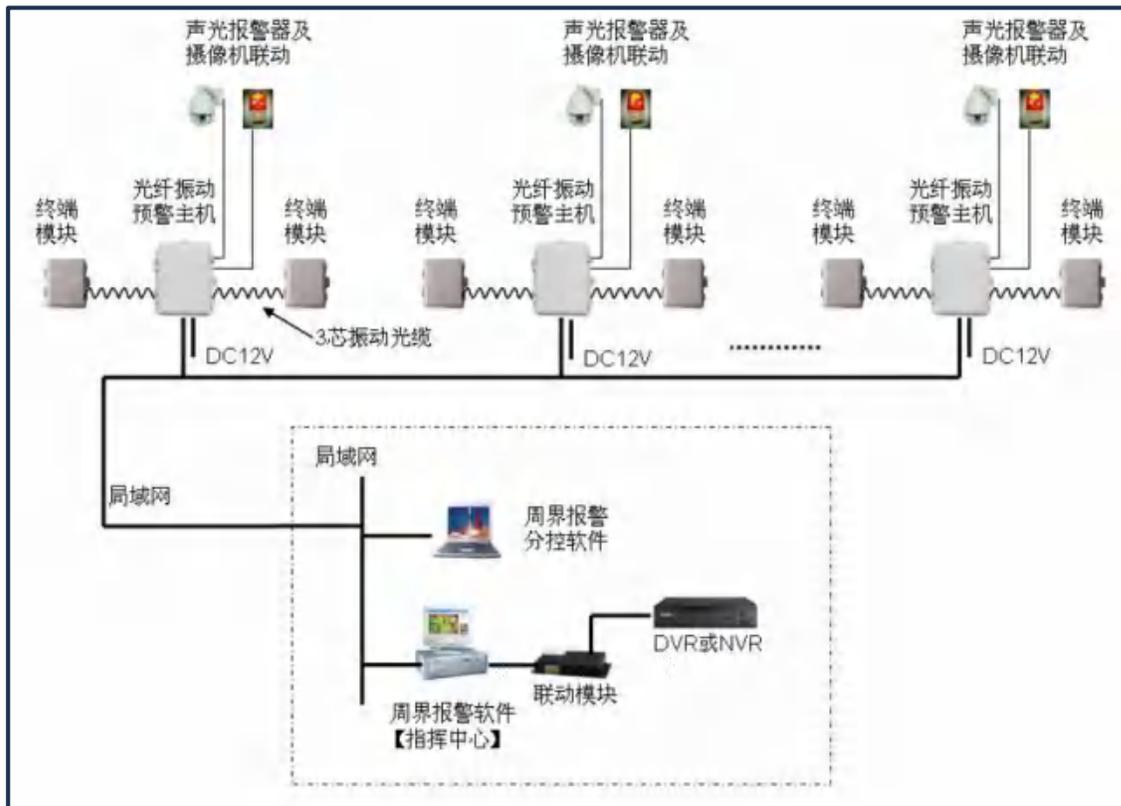
通过光学传感器，采集光网特征参数；
存储数据，训练算法模型；

□ 算力

边缘计算；
云端计算；

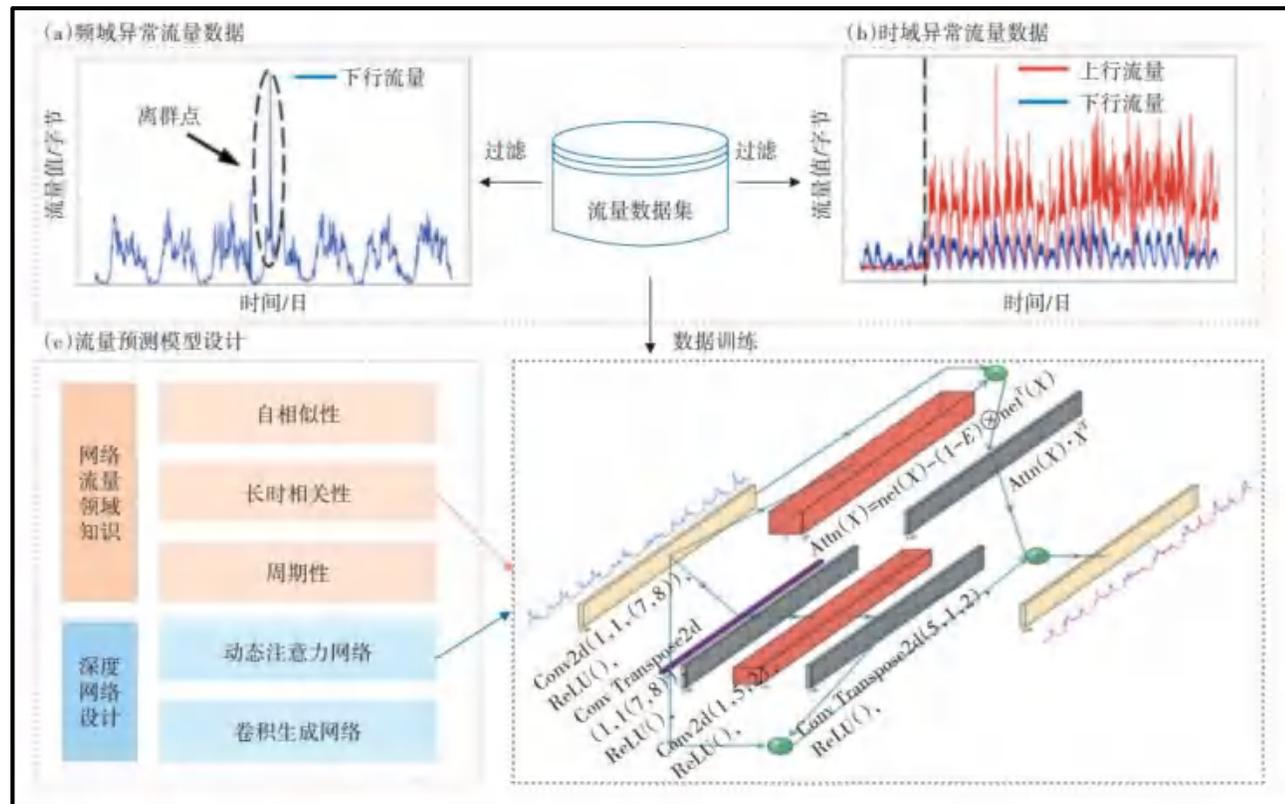
3.3 智慧光网络 - 应用方向

光缆外破预警



利用AI与光纤传感技术，实现对光缆周围环境情况进行监控和分析，对破坏事件准确定位，快速精准指导抢修工作。

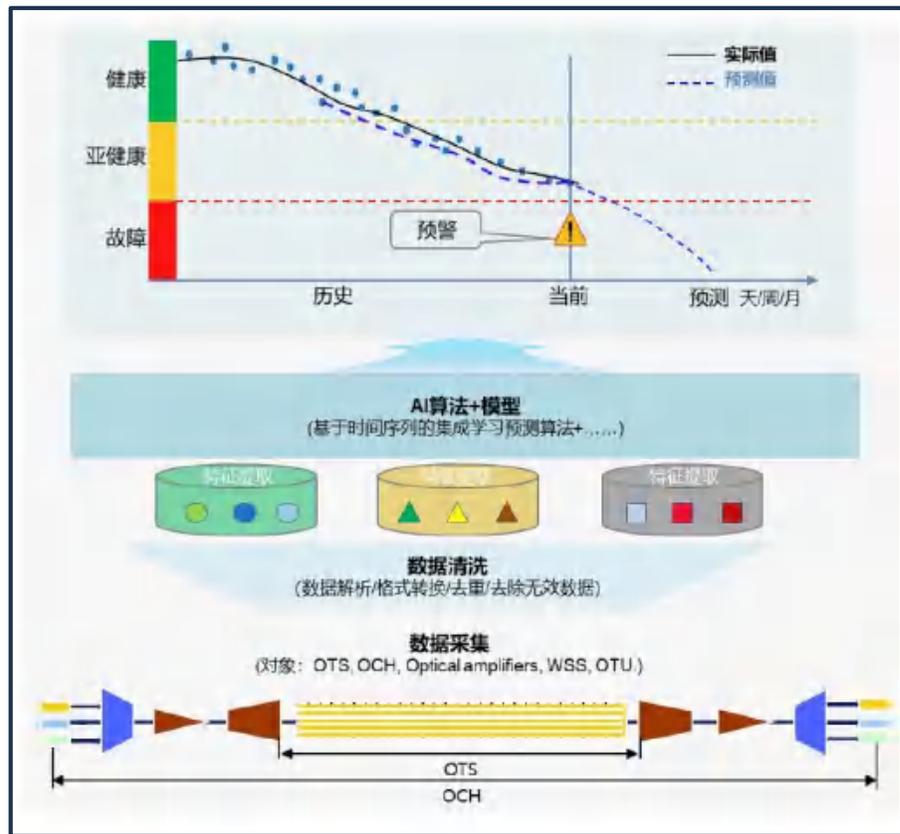
光网络流量预测



利用人工智能技术对光网络中的历史流量数据进行特征学习，预测未来的光网络流量变化，提前进行网络规划，带宽分配等，降低运行成本。

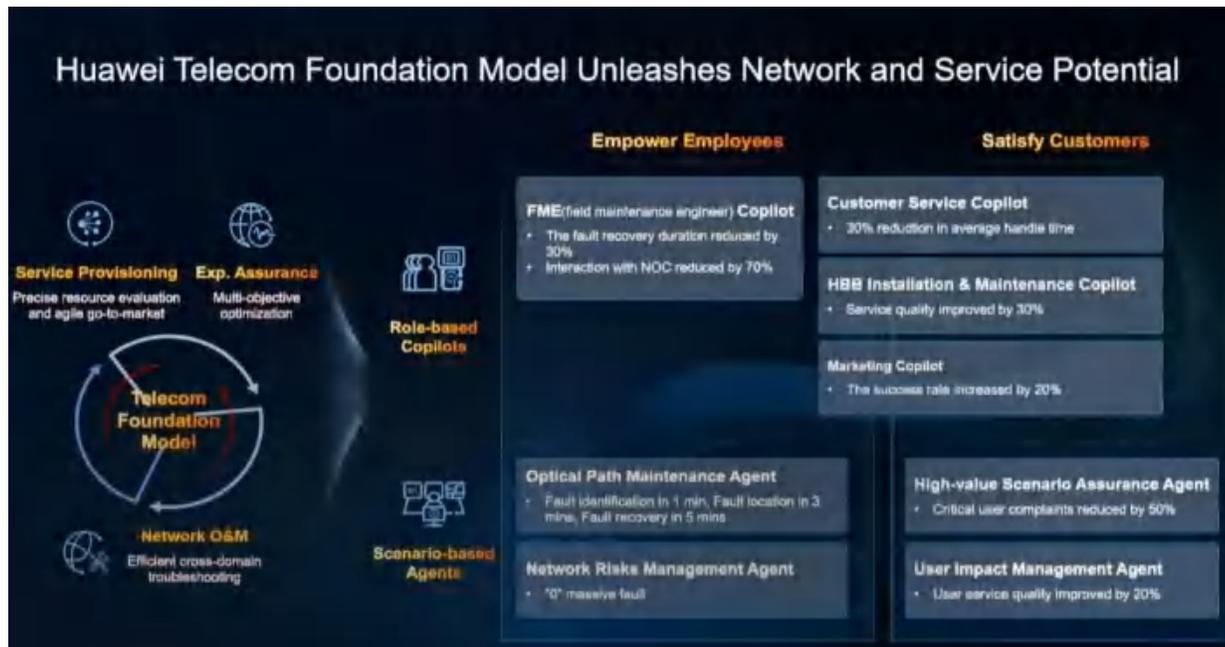
3.3 智慧光网络 - 应用方向

健康度预测



通过分析光网络运行数据，AI模型可预测光网络性能劣化和潜在故障，实现故障的早期预警。

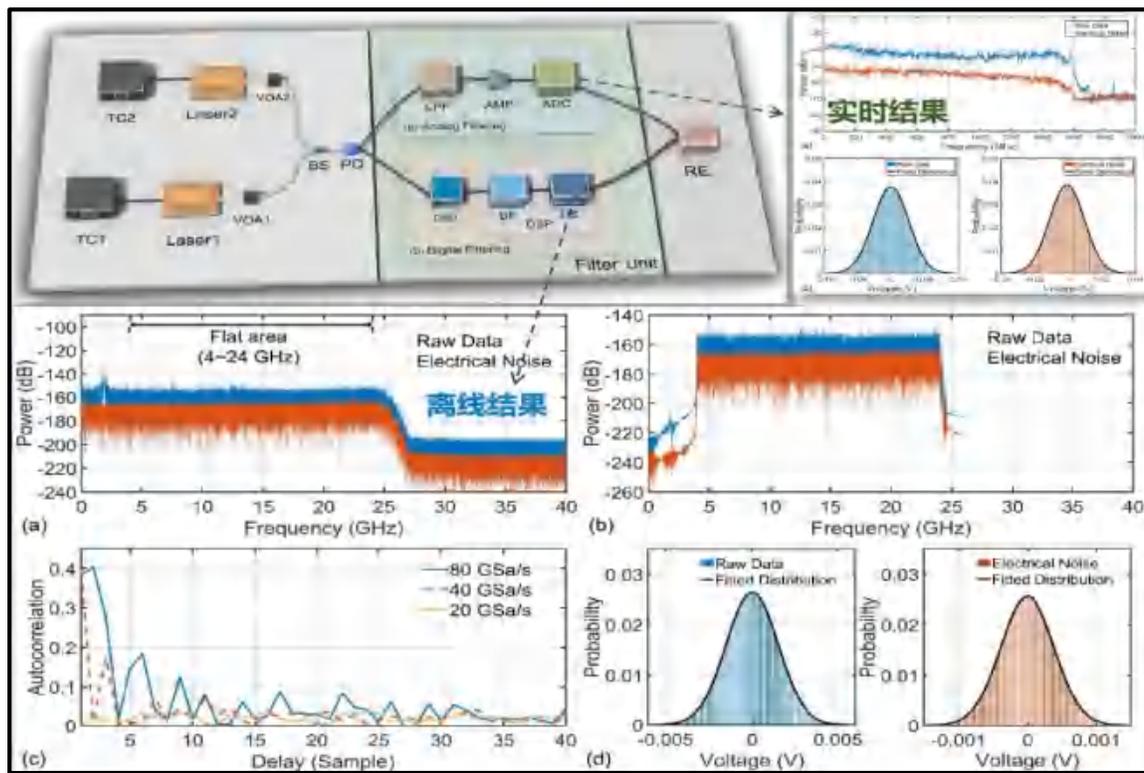
通信大模型



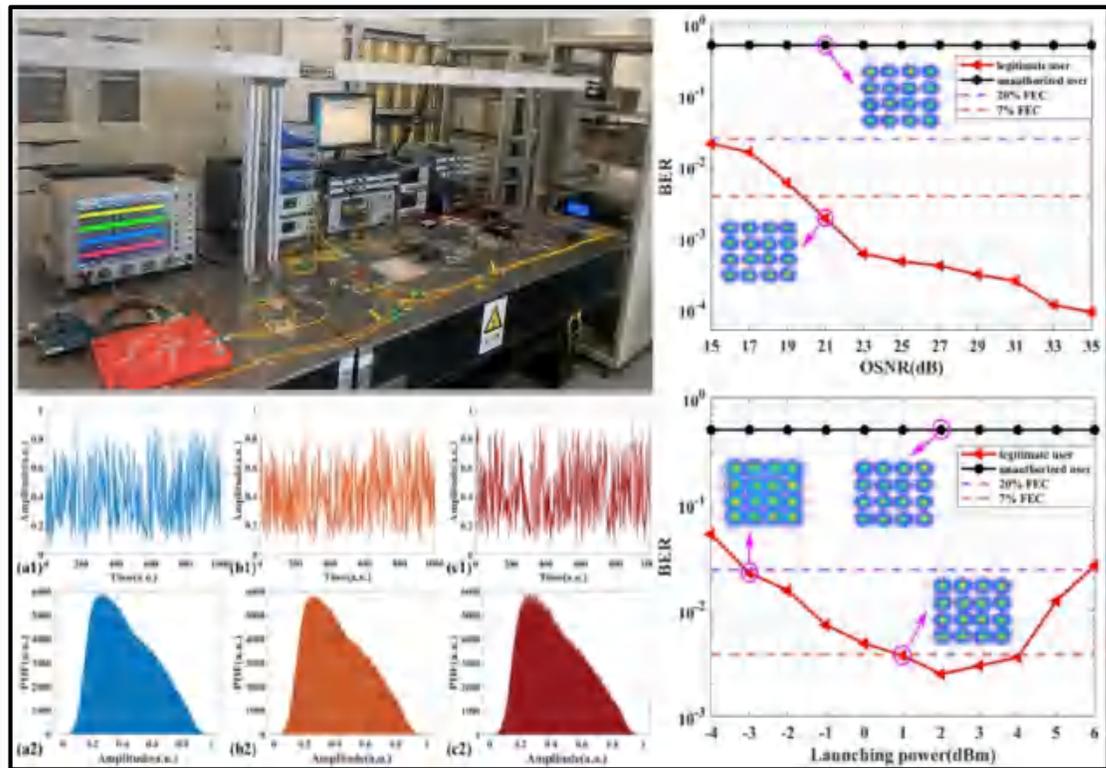
通信大模型面对不同的业务场景，实现最优的资源调度，高效的网络运维，加快光网络智能化转型。

3.3 智慧光网络 - 应用方向

西南交通大学在国家自然科学基金联合基金支持下，研究了激光混沌物理层安全传输新机制及支撑技术，实现了**高速长距离混沌保密光纤传输系统**。



基于激光器相位噪声的超高速物理真随机数生成

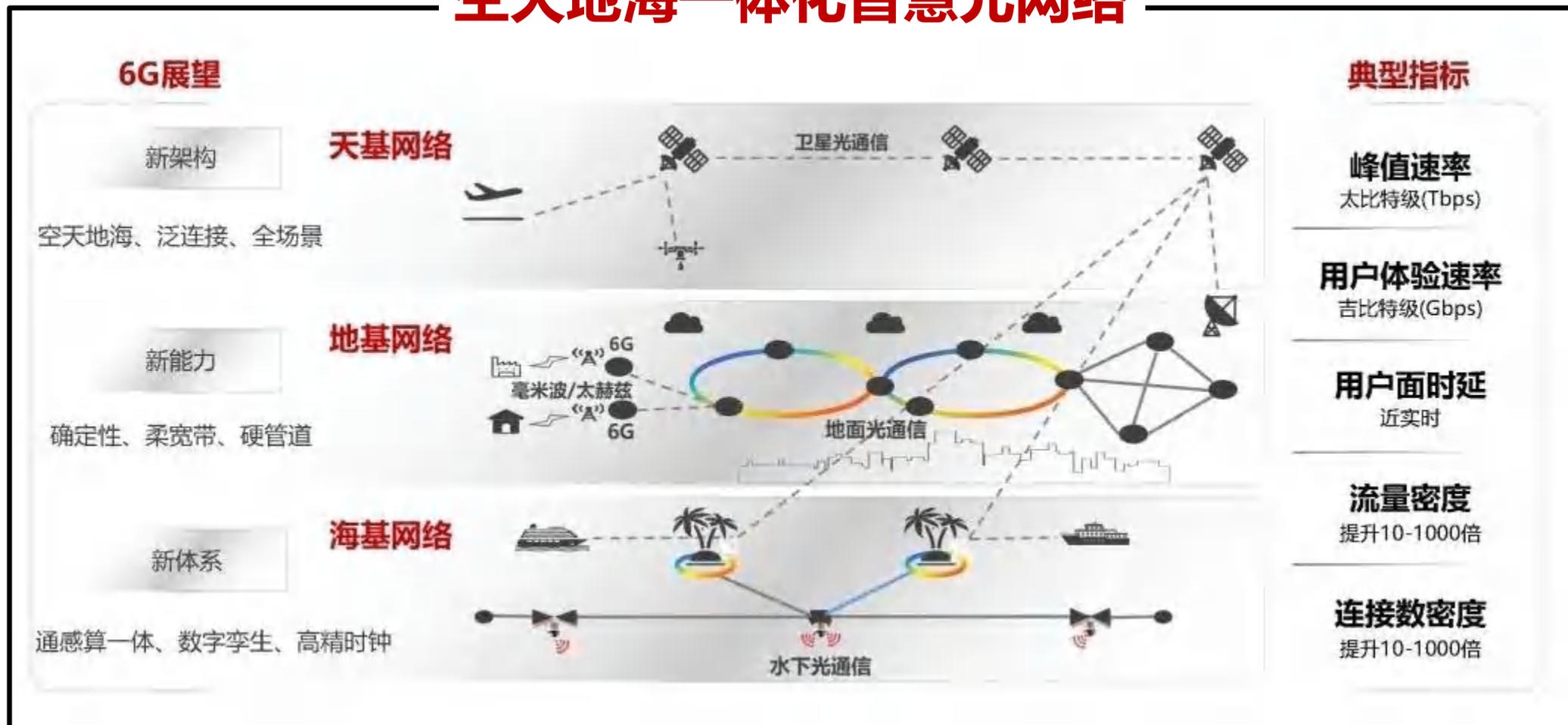


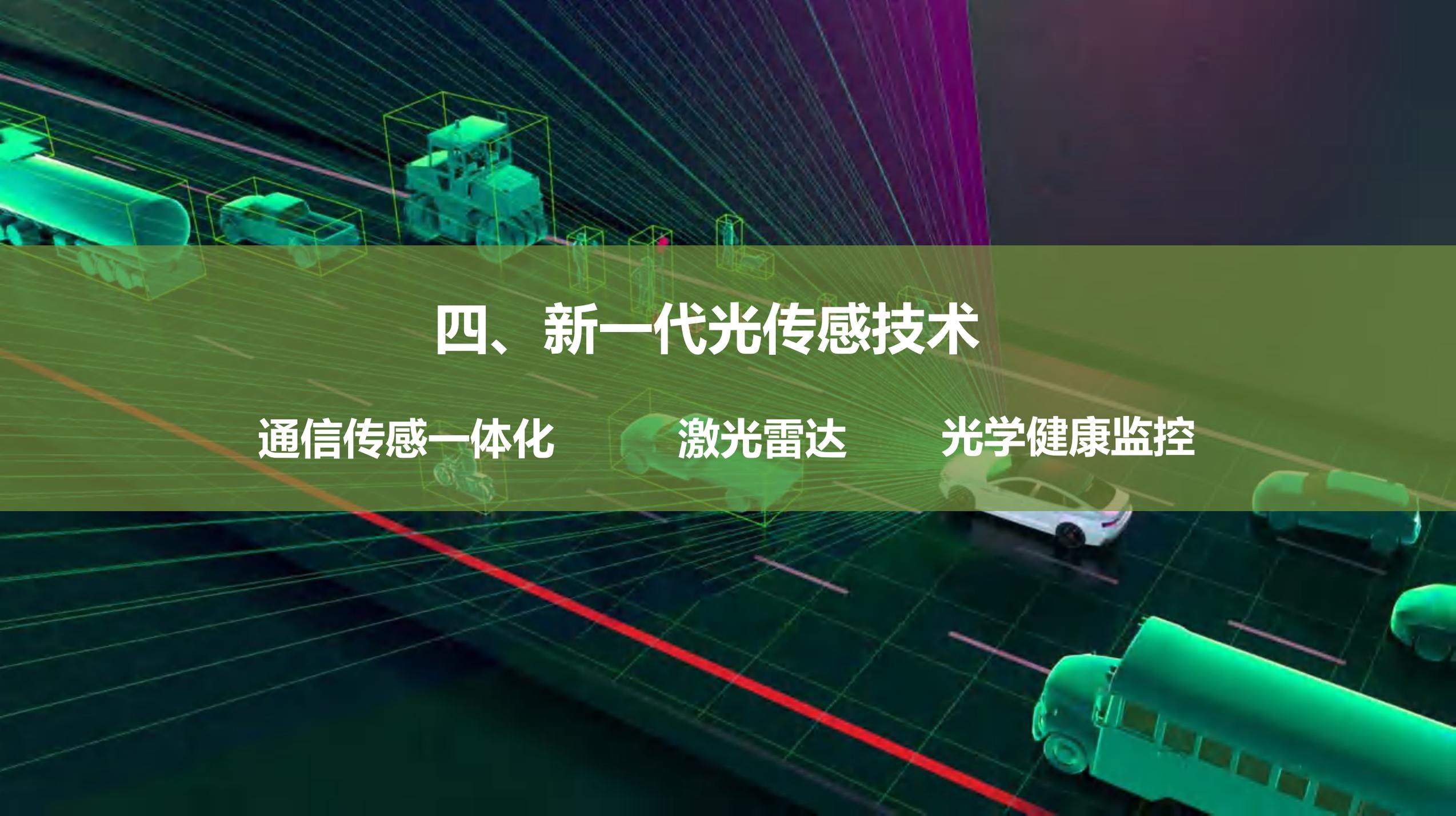
高速长距离混沌保密传输系统

3.3 智慧光网络

- 未来发展趋势

空天地海一体化智慧光网络





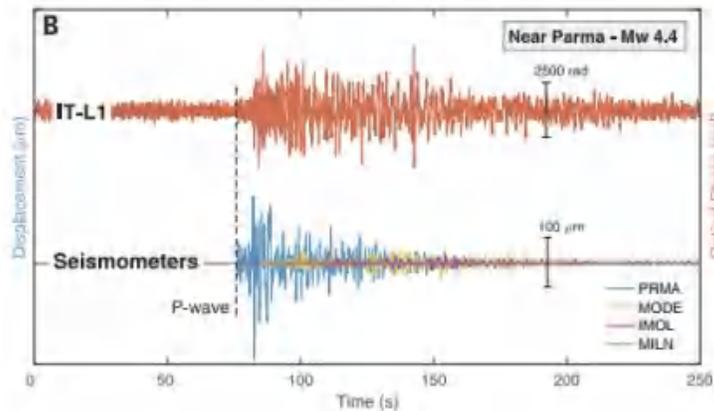
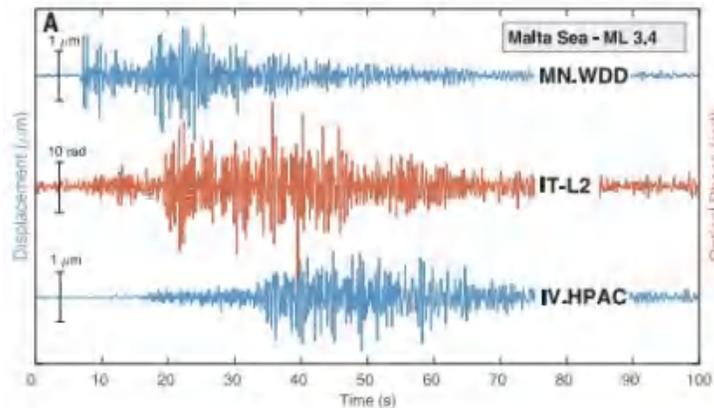
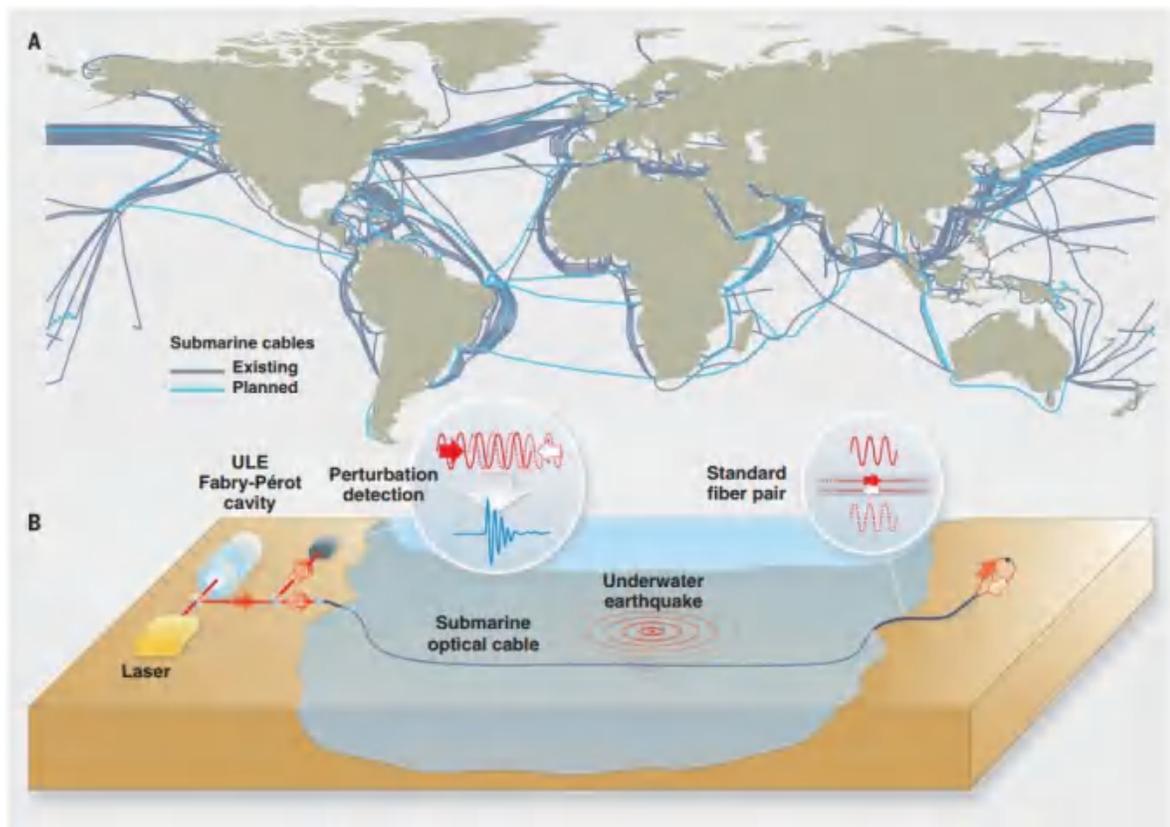
四、新一代光传感技术

通信传感一体化

激光雷达

光学健康监测

4.1 通信传感一体化 -研究现状



英国国家物理实验室在Science上发文，利用海底通信光缆实现了海底震动的实时监测。

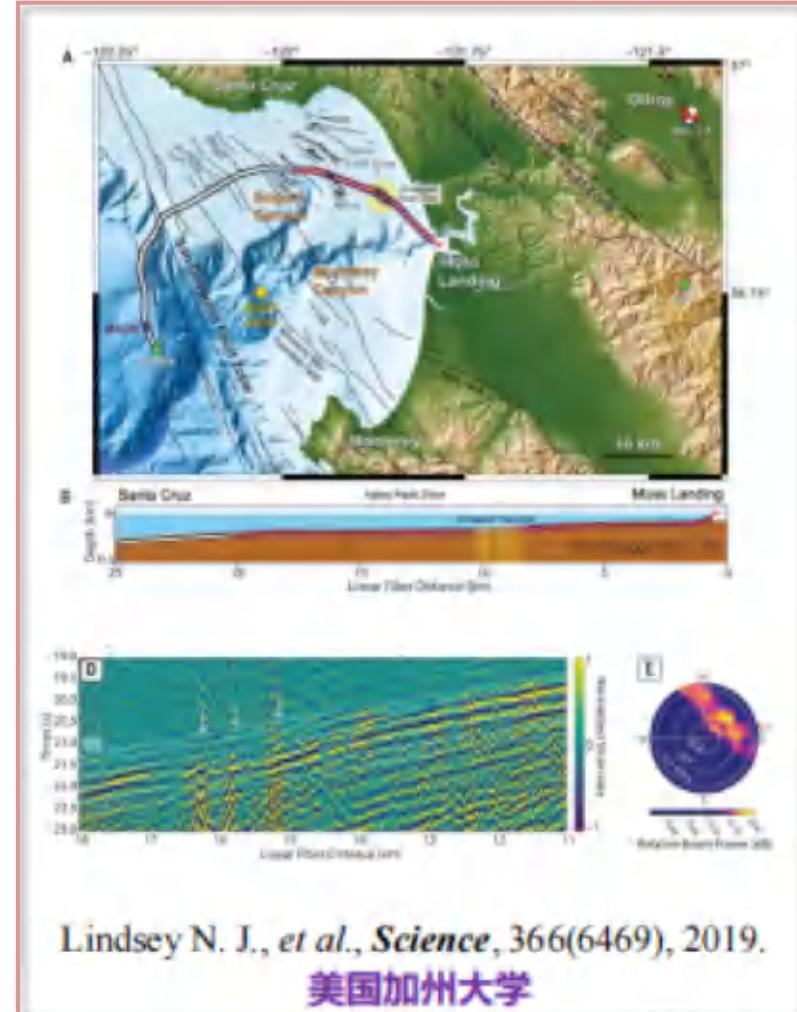
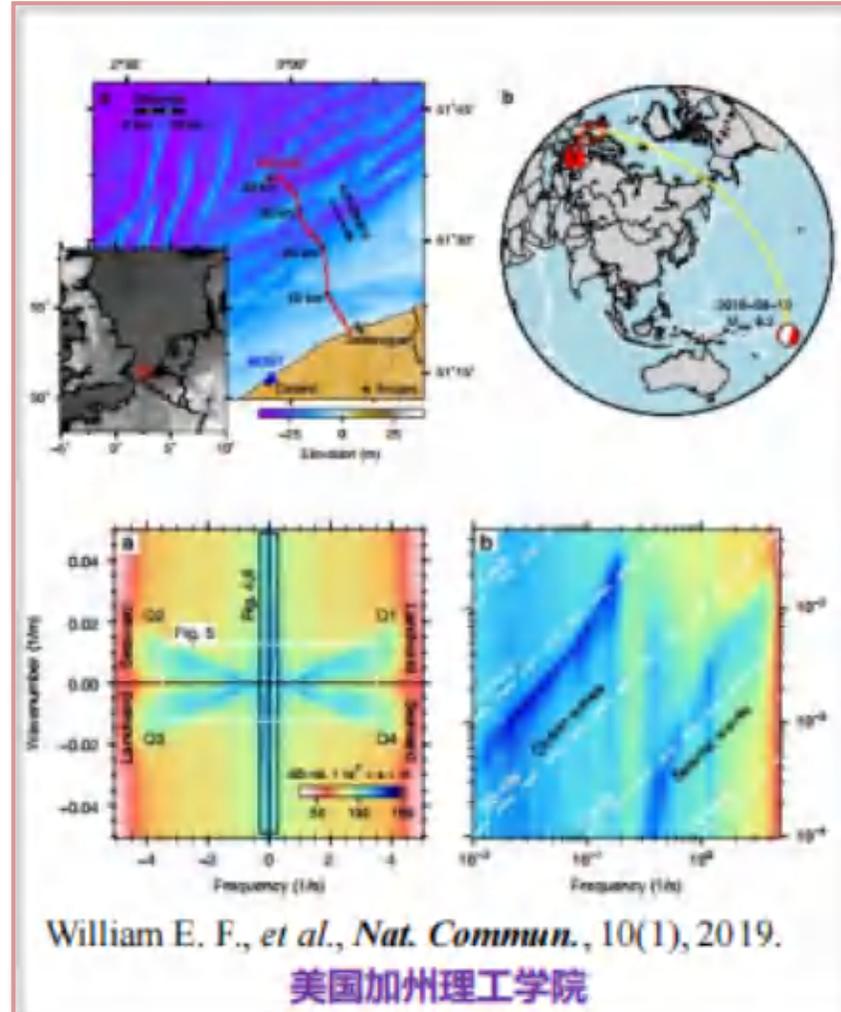
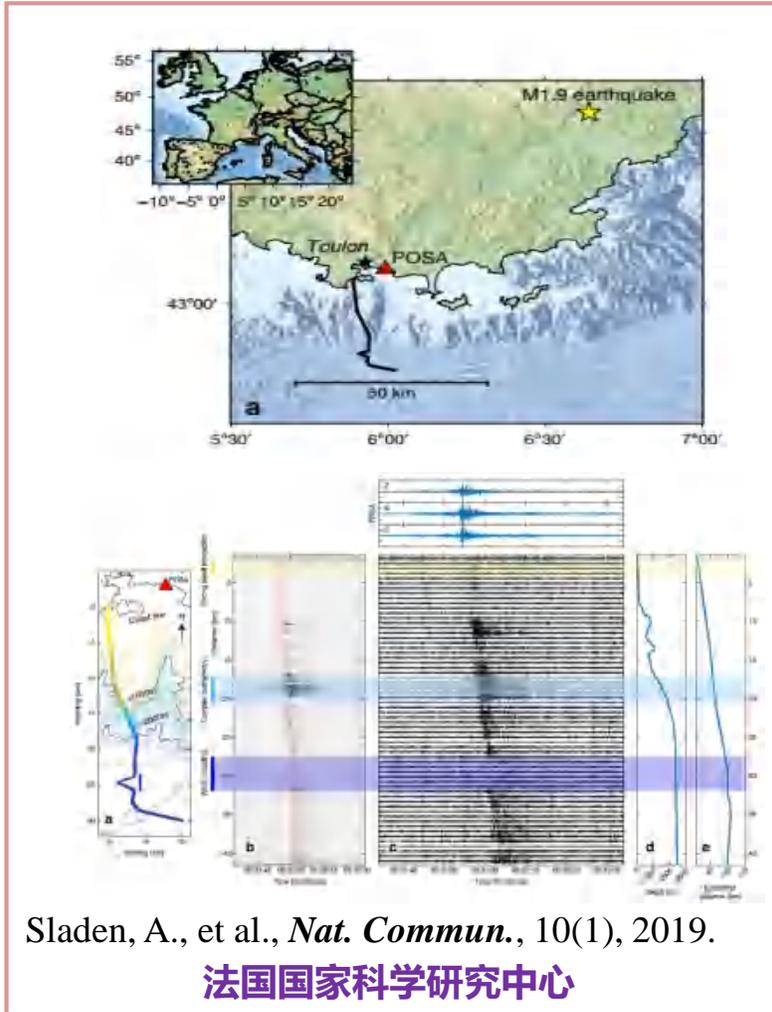
□ 利用暗光纤实现传感

□ 双光纤干涉

□ 整体感知，无法多点定位

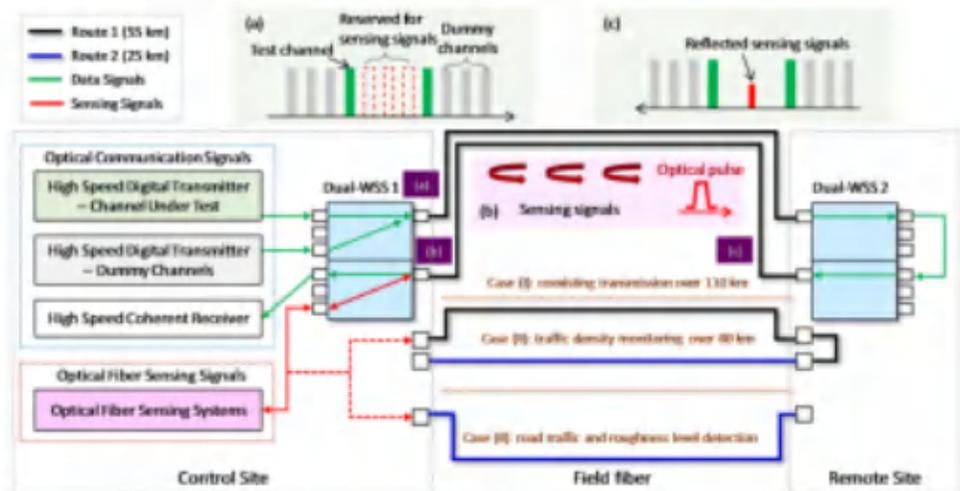
4.1 通信传感一体化 -研究现状

各研究机构纷纷跟进，分别利用“单脉冲-啁啾脉冲-拉曼放大”实现通信光纤传感功能。

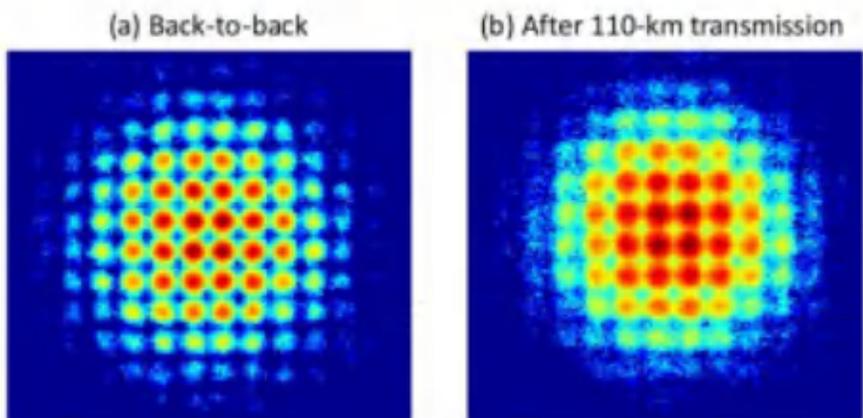


4.1 通信传感一体化 - 研究现状

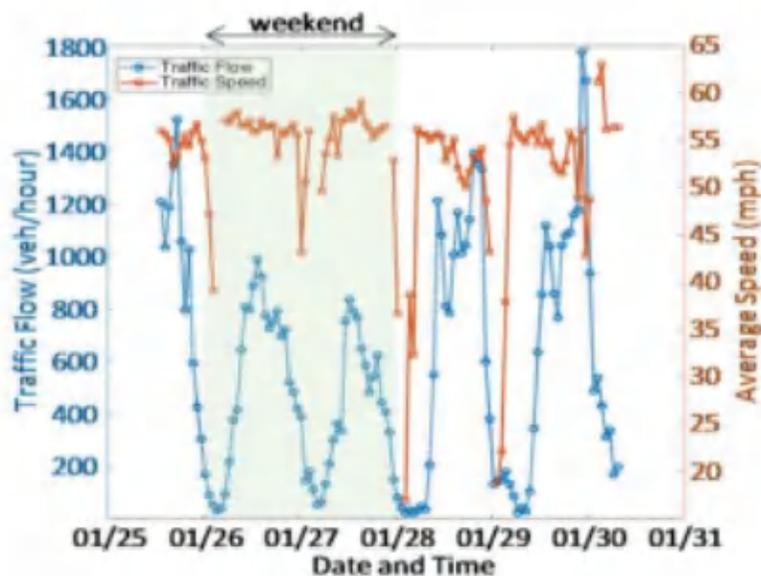
采用路底铺埋的通信光纤同时实现通信与传感功能



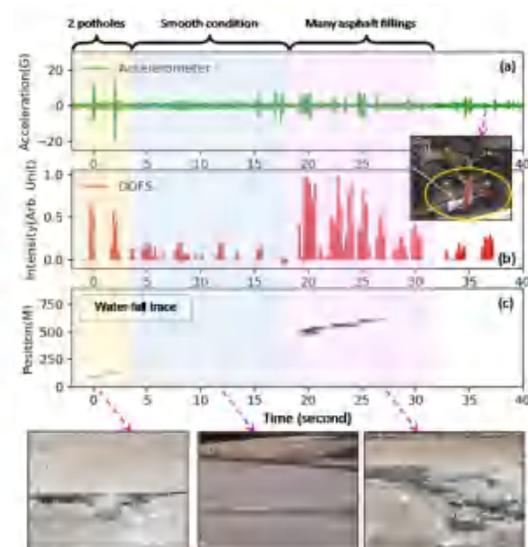
采用信道分离的方式实现通信传感一体化



通信性能



基于传感的车流量监控



道路平顺度测量

4.1 通信传感一体化 -研究现状

西南交通大学联合南加州大学开展合作研究，提出了一种在光纤中实现传感和通信一体化的技术方案，工作发表于国际顶刊。

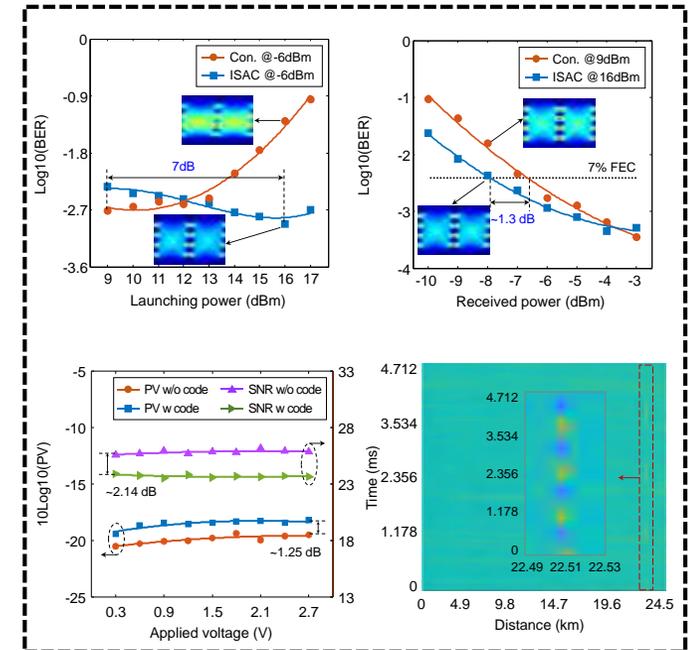
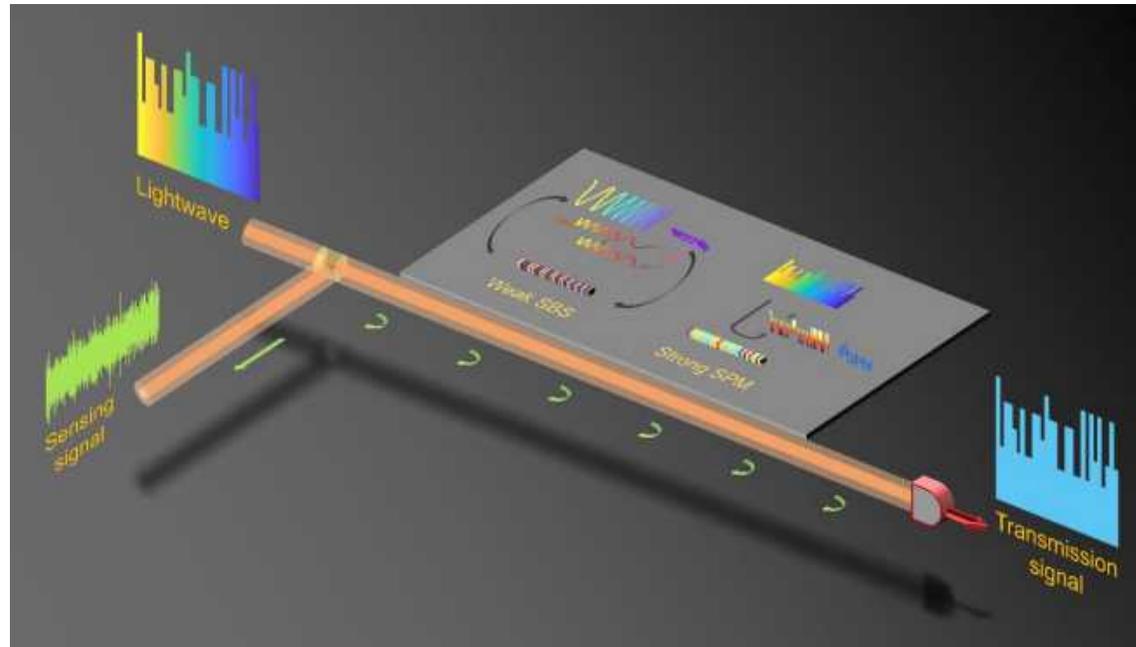
Nature子刊，中科院一区，影响因子20.257，封面文章

- H. He, L. Jiang, Y. Pan, A. Yi, X. Zou, W. Pan, **A. E. Willner**, X. Fan, Z. He, L. Yan, “Integrated sensing and communication in an optical fibre,” *Light: Science and Applications*, 12(1), 25, 2023.

光纤通信和传感一体化融合



Light封面论文



实验测试结果

4.1 通信传感一体化 -未来发展方向

“空天地海” 全覆盖

光纤通感一体化作为无线通感的有效补充手段



- **无线：**自由空间（空、天）
- **光纤：**封闭空间（地、海）

应用场景：

- 地质活动
- 城市结构成像
- 智慧城市
- 智慧海洋

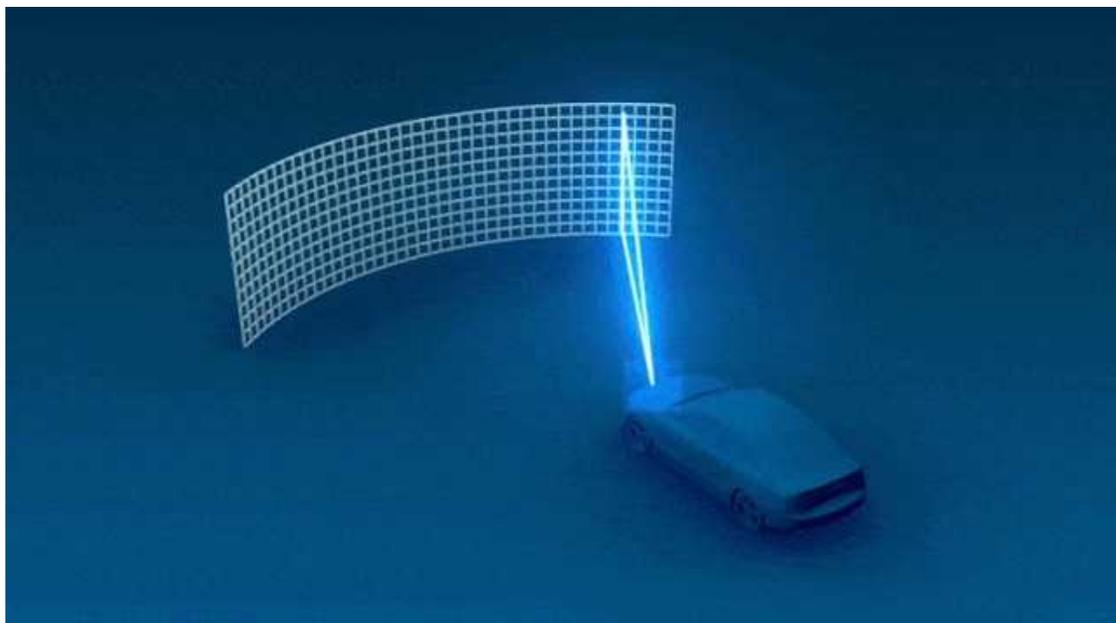
4.2 激光雷达 - 国内外发展历程



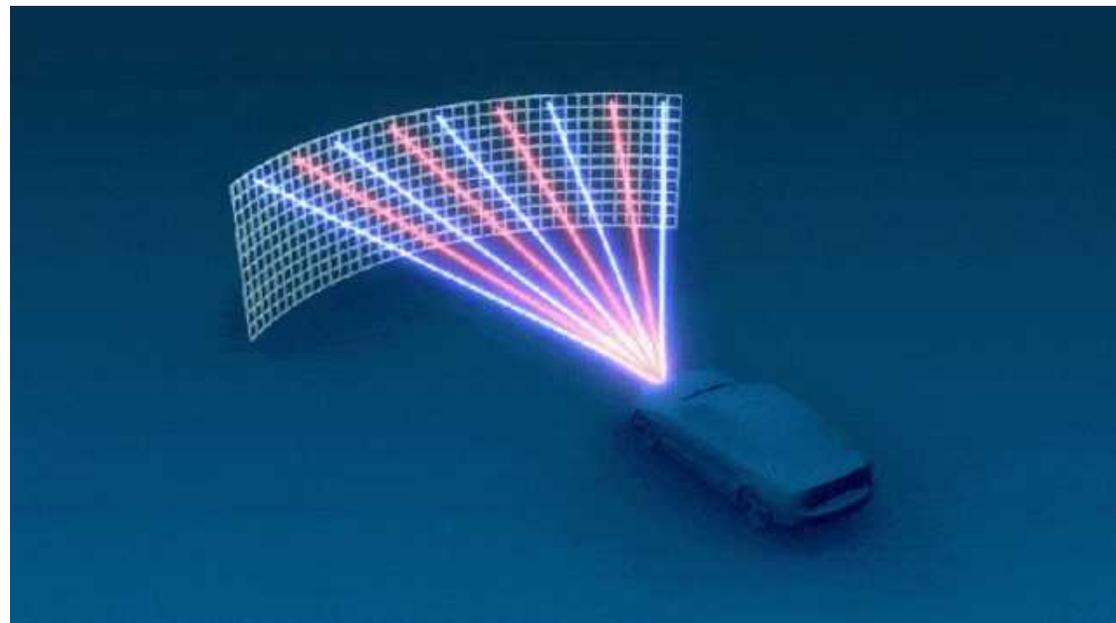
激光雷达自1960年出现，持续朝着更小体积、更高刷新速度、更远探测距离及更低成本方向发展。

4.2 激光雷达 - 自动驾驶

激光雷达由**激光发射、激光接收、信息处理、扫描系统**四大基础系统构成，通过短时间内获取大量的位置点信息，根据这些信息实现三维建模。



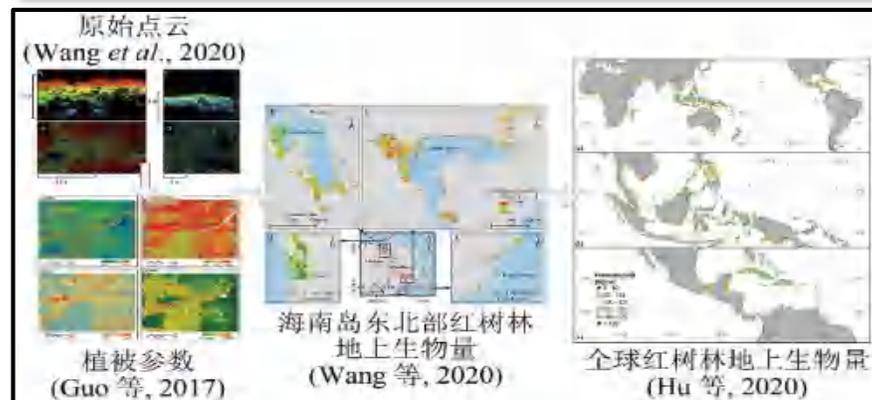
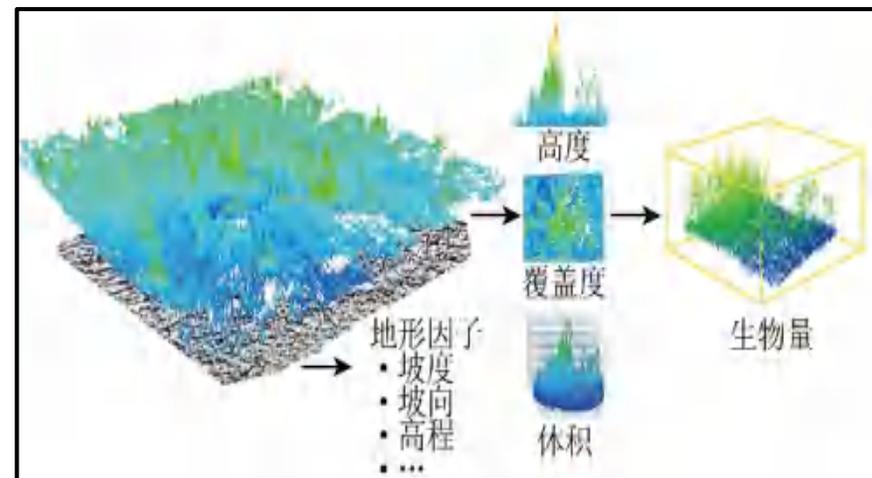
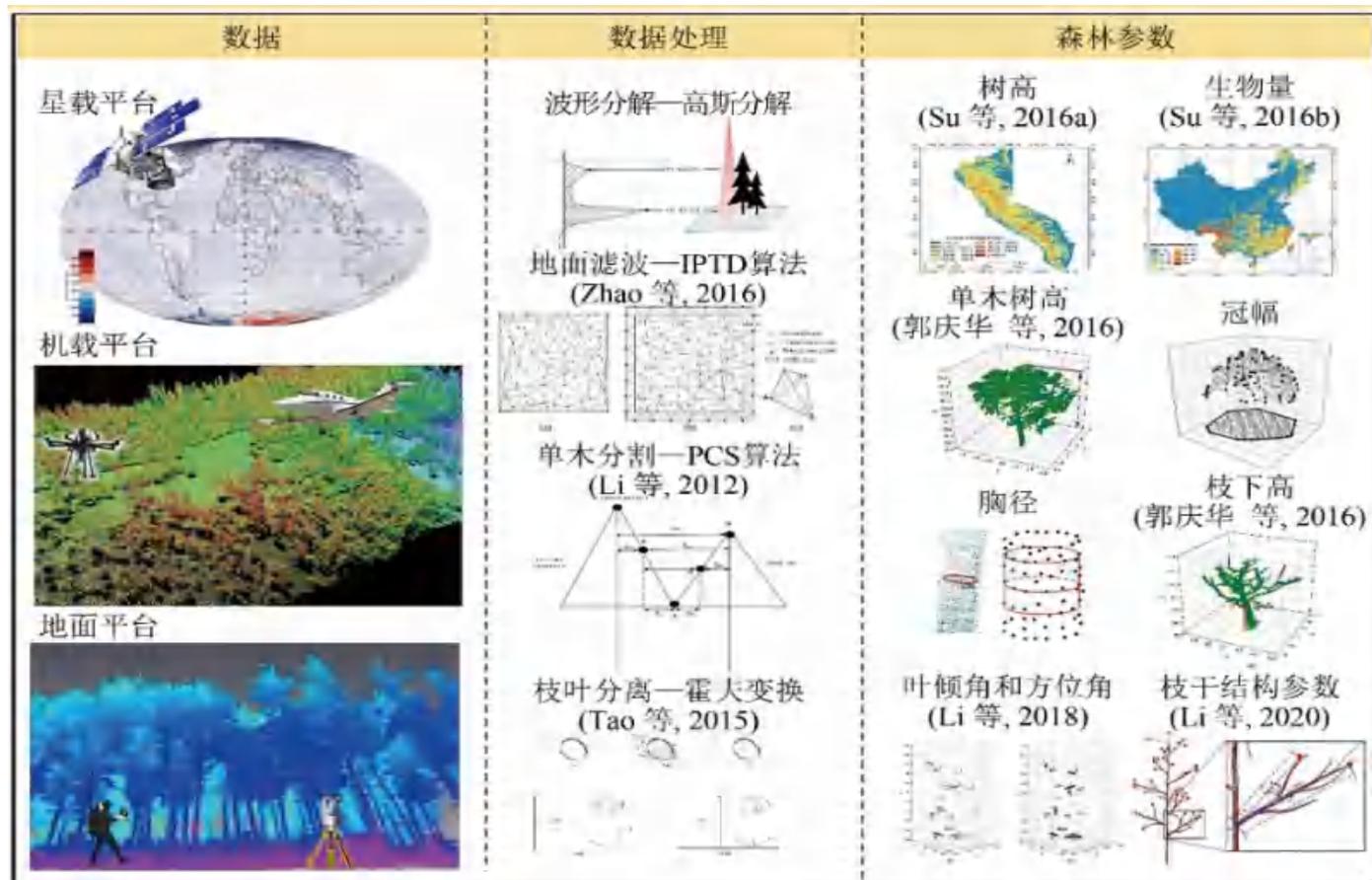
传统机械激光雷达采用激光器结合机械旋转部件，实现动态扫描。



纯固态激光雷达仅由激光器和阵列天线组成，通过光学相控阵技术实现激光方向偏转。

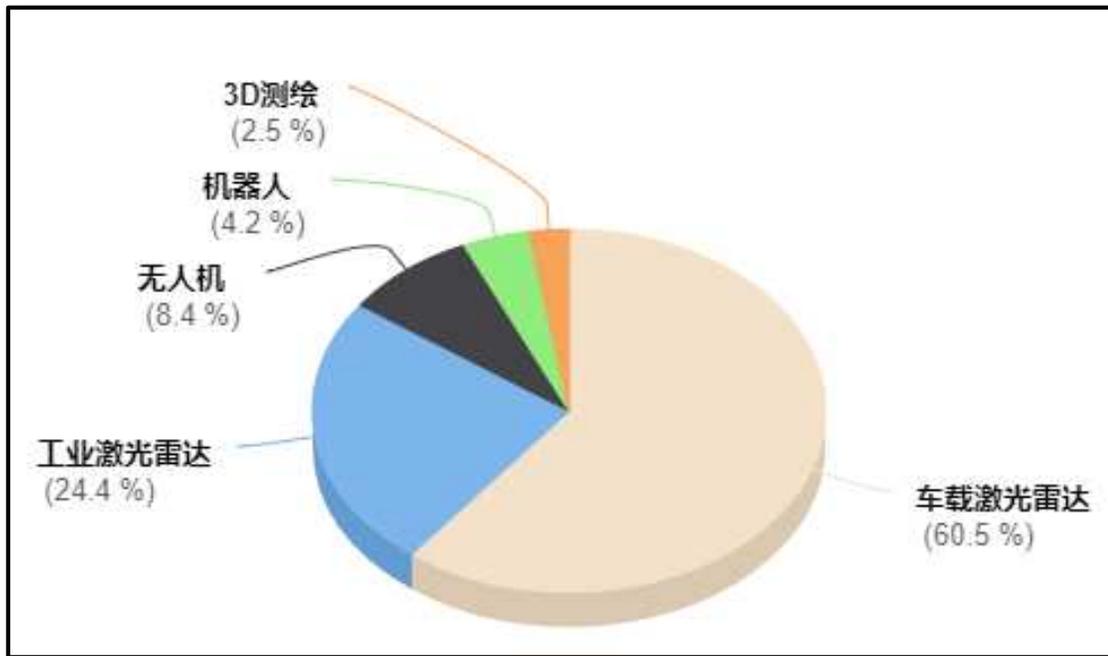
4.2 激光雷达 - 国土资源监测

使用激光雷达实现地质地貌三维遥感观测，构建空天地一体化的自然资源调查监测技术体系。



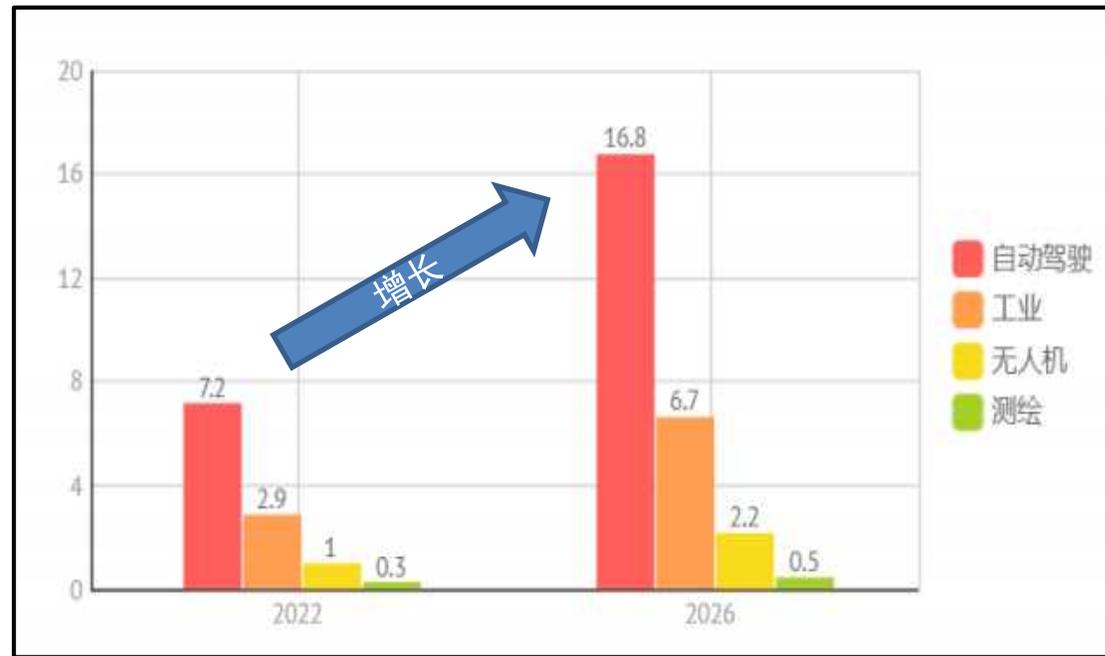
4.2 激光雷达 - 市场预测

激光雷达市场占比



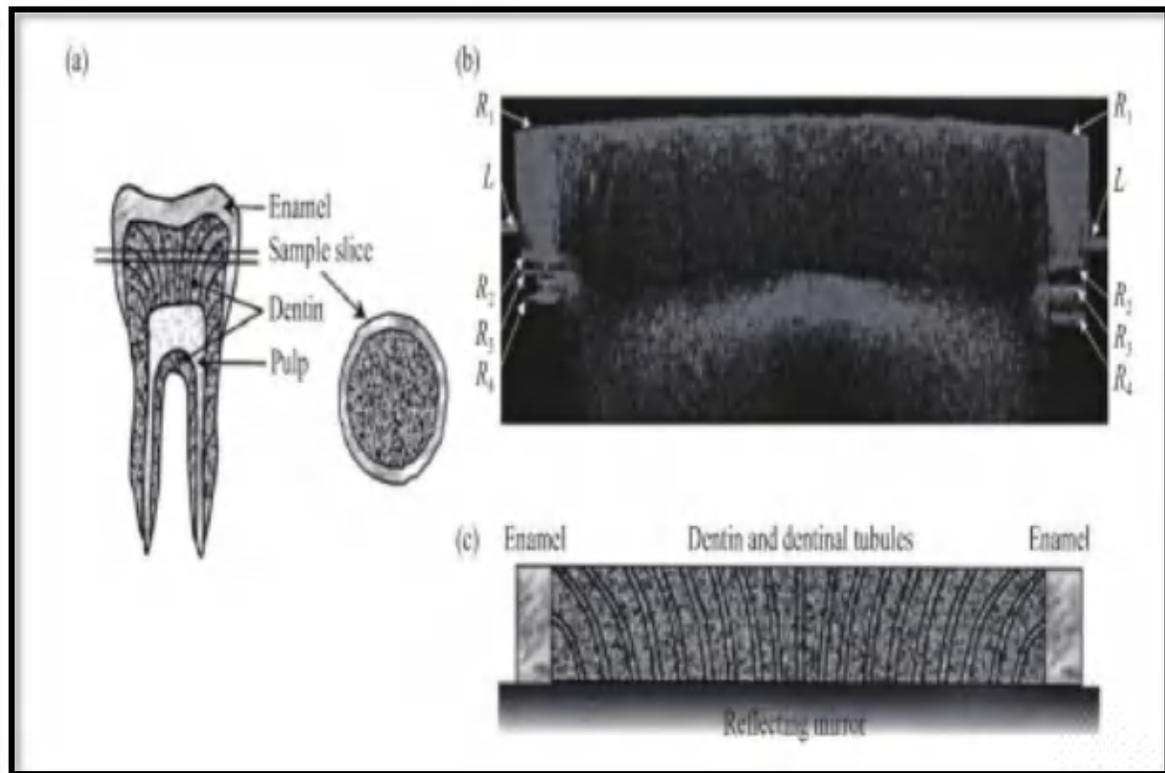
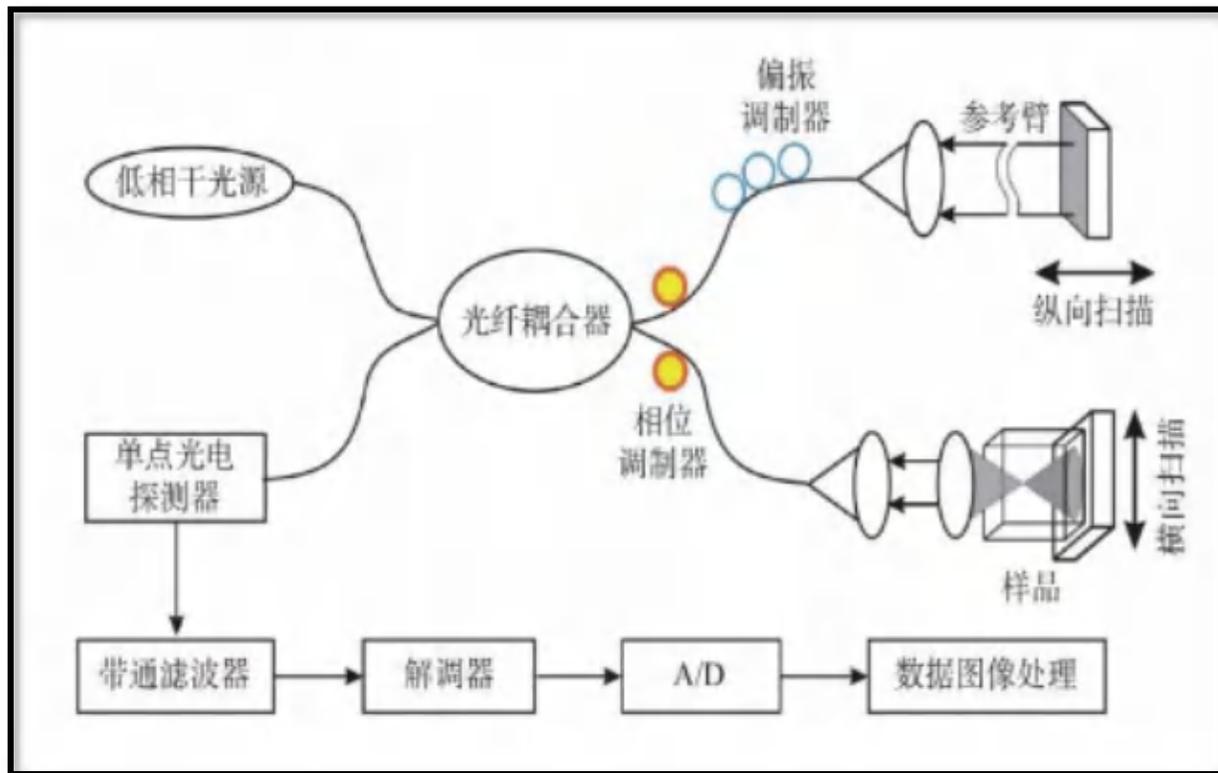
激光雷达应用于自动驾驶、工业、无人机、机器人和3D绘图等终端市场中。其中，**自动驾驶领域**的市场规模占比最大，占比**超过60%**

激光雷达市场规模预测 (十亿美元)



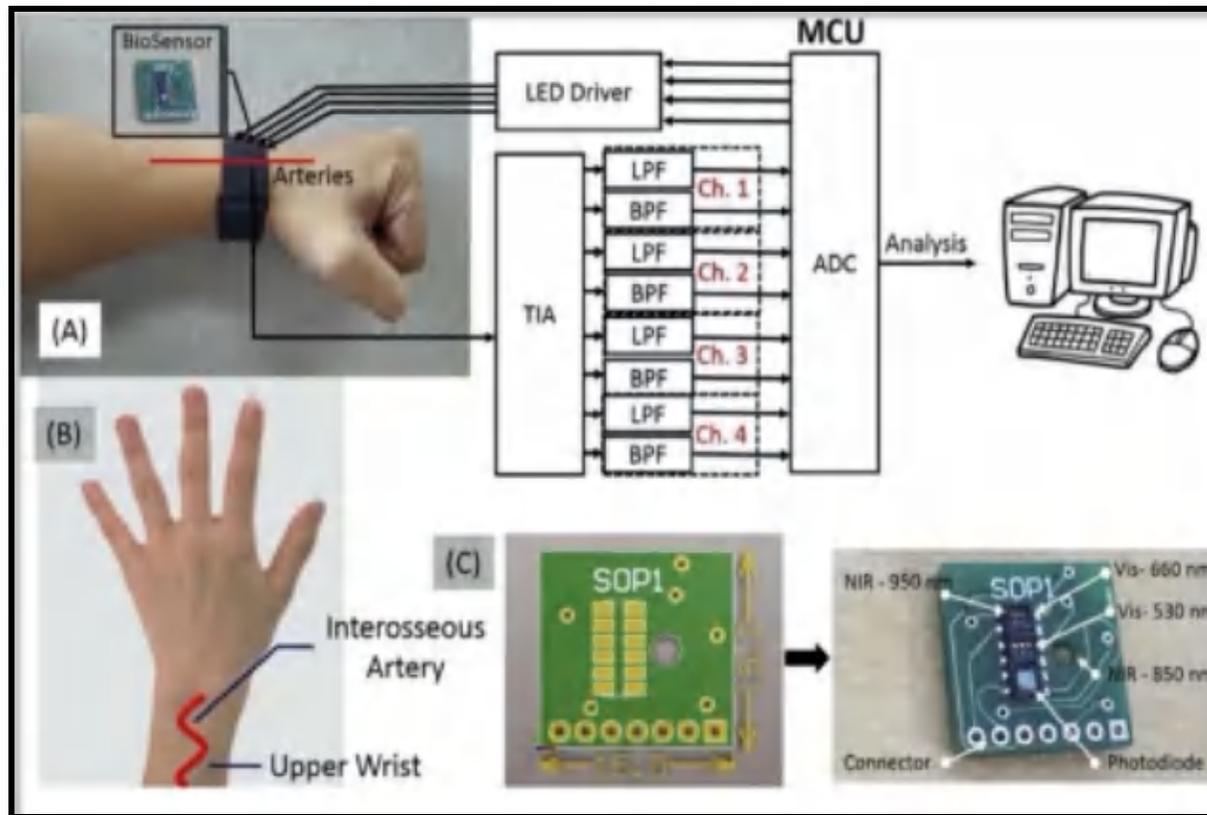
预计自动驾驶领域激光雷达市场规模将从**72**亿美元增长到**168**亿美元。

4.3 光学健康监测 - 光学相干断层扫描

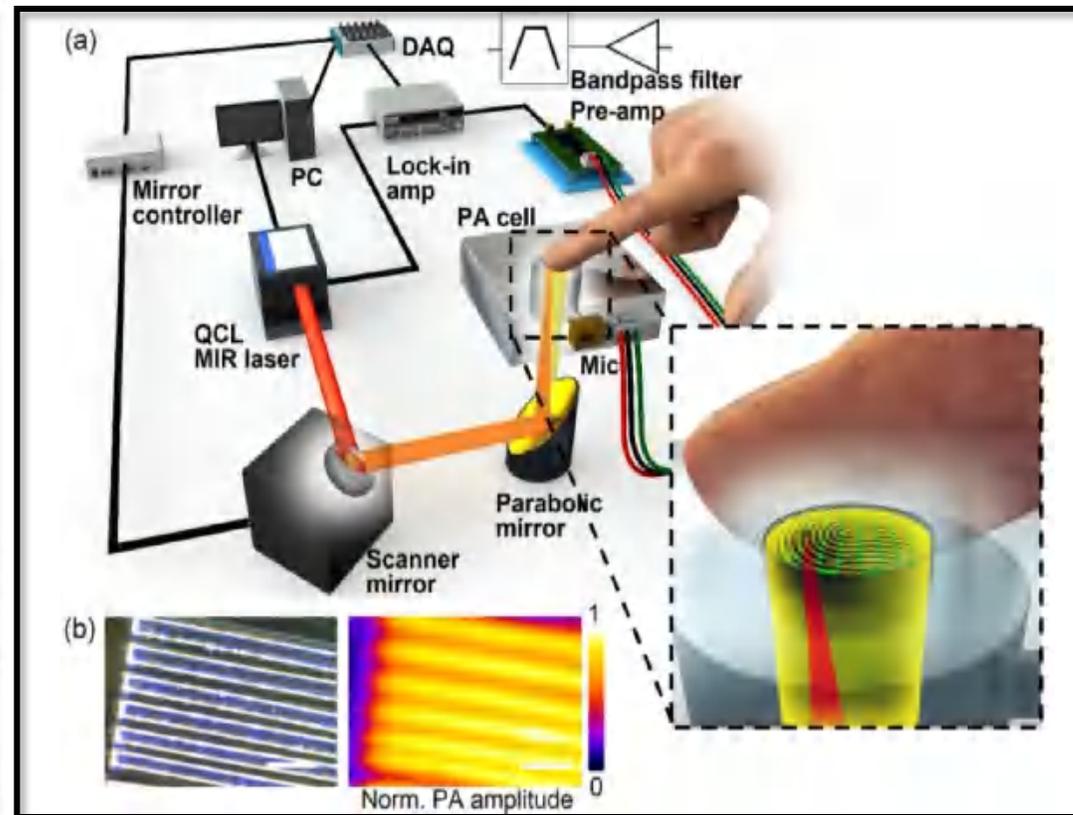


光学相干断层扫描基于**部分相干干涉**实现时频信号分析，具有**大视场组织检查**、**高分辨率检查**等优势。主要应用于视网膜，皮肤科，牙科和脑科等人体器官检查。

4.3 光学健康监测 - 血糖监测

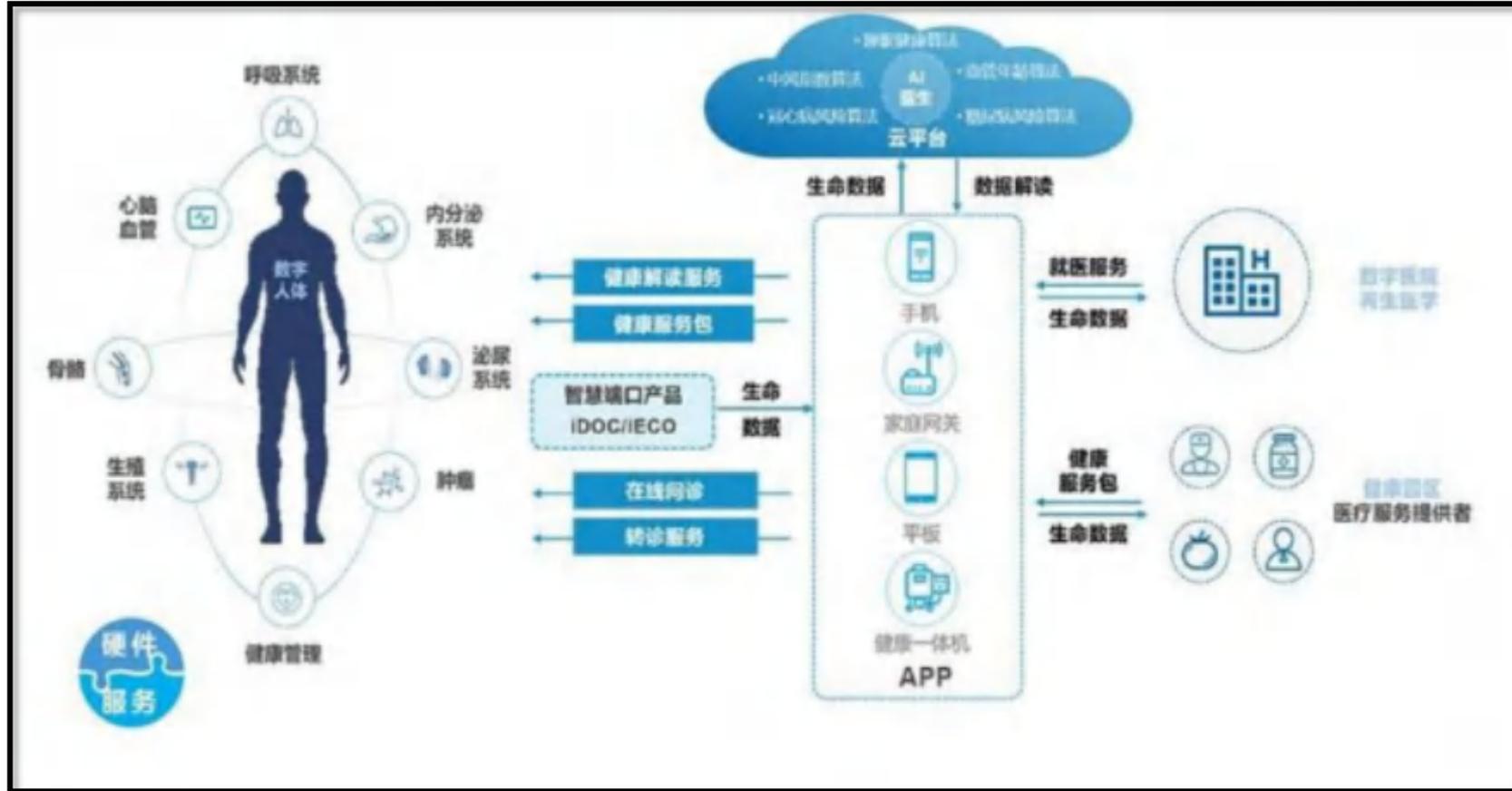


近红外 (NIR) 光谱是一种分光光度技术，用于获取有关生物组织样本及其成分的定量数据。NIR测量可以使用**传输和反射模式**。通过**检测近红外光**来估计血糖水平。



光声光谱是一种依赖于发射后产生的声波的技术，短激光脉冲穿过样品来测量其发色团的浓度，通过**检测浓度峰峰值的变化**监测血糖。

4.3 光学健康监测 - 未来发展趋势



□ 产品趋势：
数据云端化

□ 应用趋势：
智慧医疗
远程诊断

□ 商业模式：
增值云服务



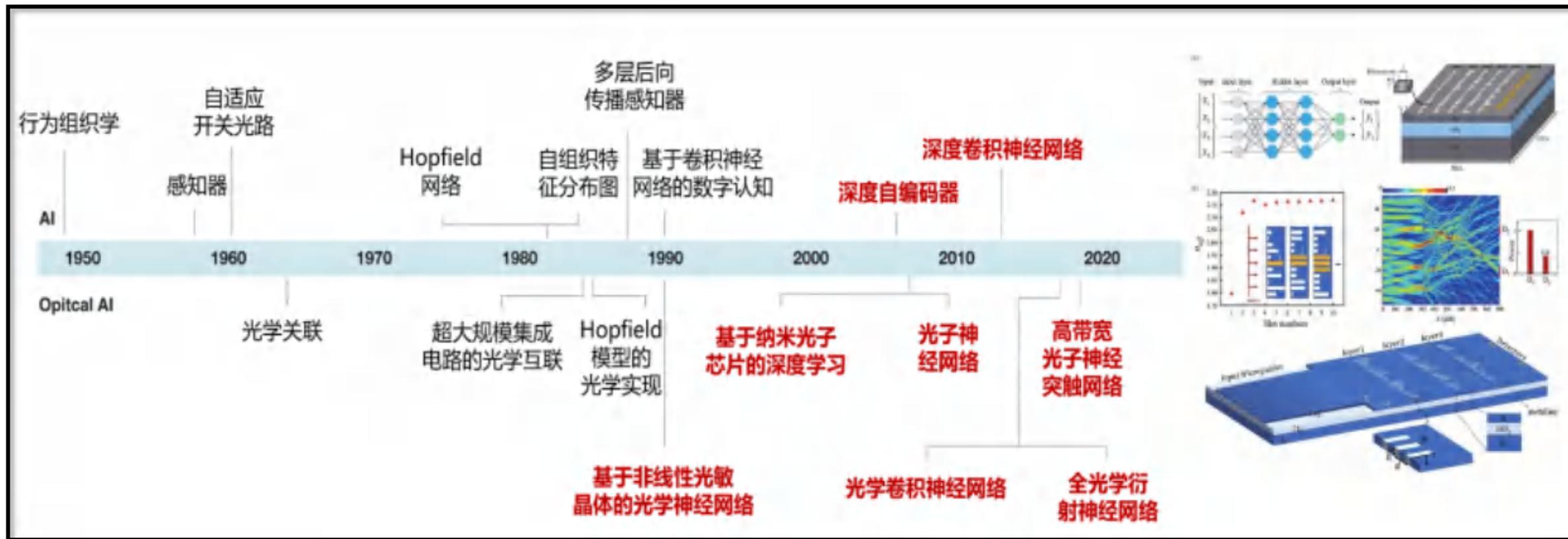
五、新一代光计算技术

光学神经网络

光量子计算机

全光处理器

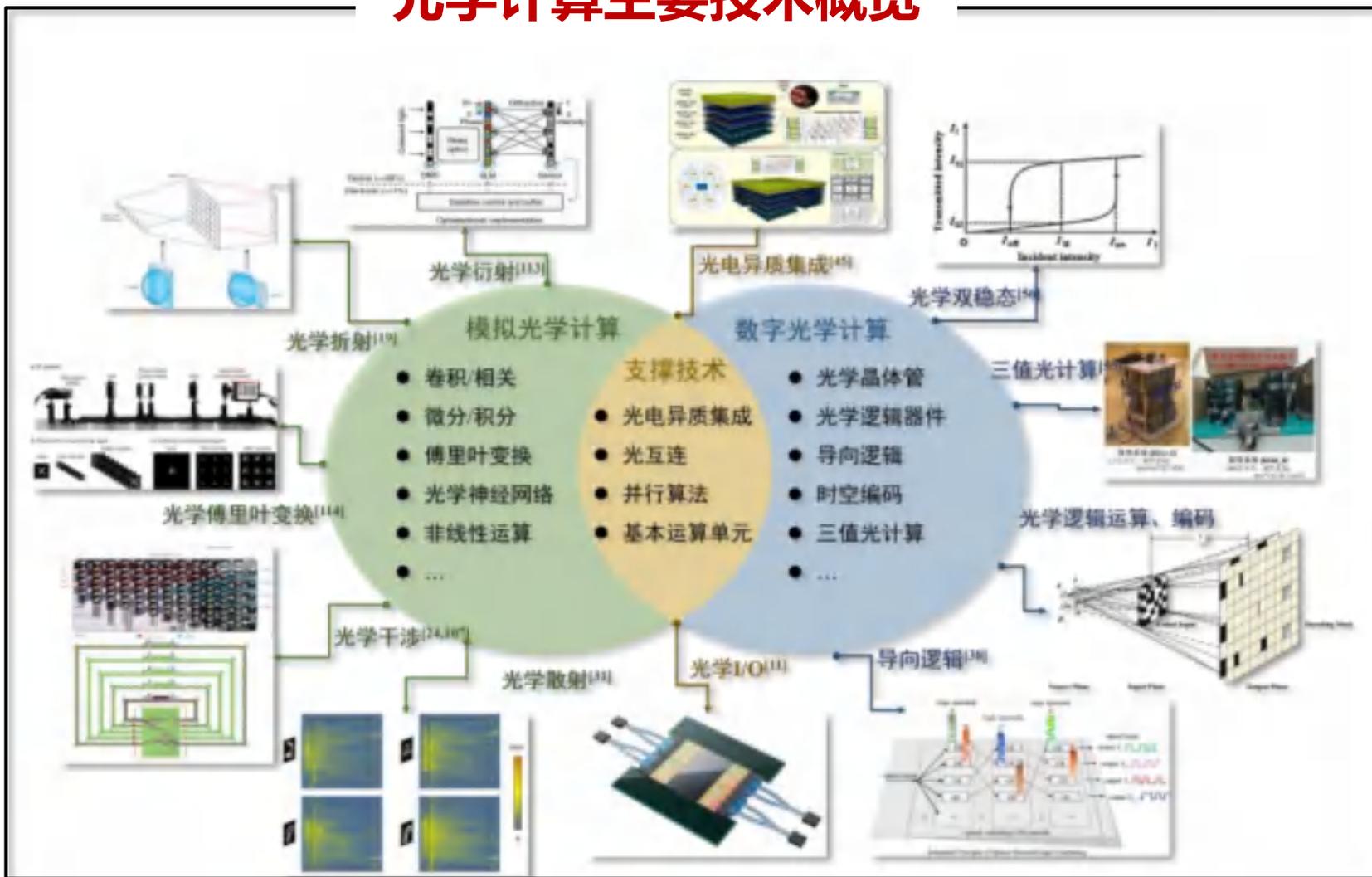
5.1 光学神经网络 – 发展历程



光子计算具有**高带宽、低损耗、低延时、可高度并行**的优势，有望在多方面解决目前人工智能应用中面临的**能耗和计算效率**挑战。

5.1 光学神经网络 – 技术概览

光学计算主要技术概览



发展模式

模拟和数字光计算模式

理论支撑

波动力学和量子力学

面临挑战

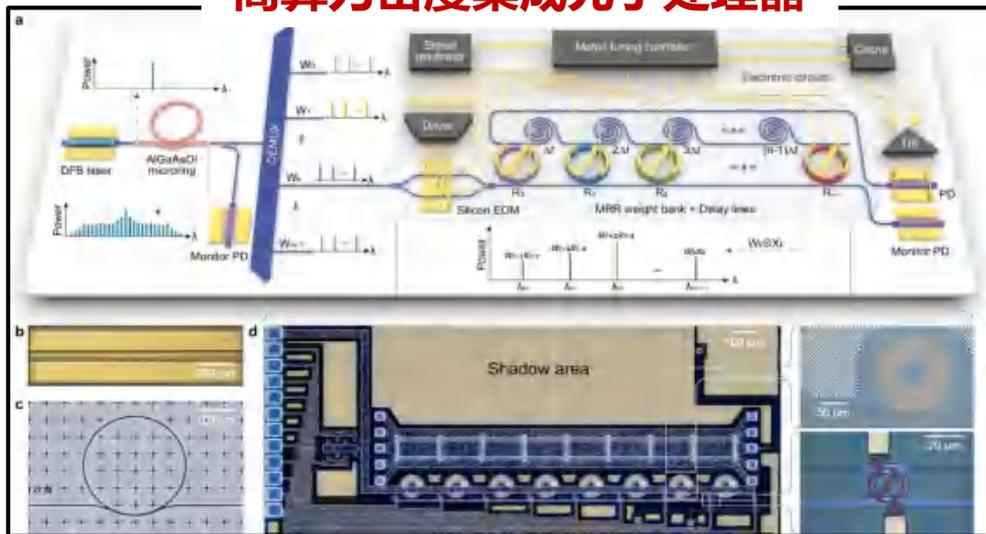
集成化、调制能力仍需提升

未来趋势

全光神经网络和光电混合神经网络

5.1 光学神经网络 – 应用现状

高算力密度集成光子处理器

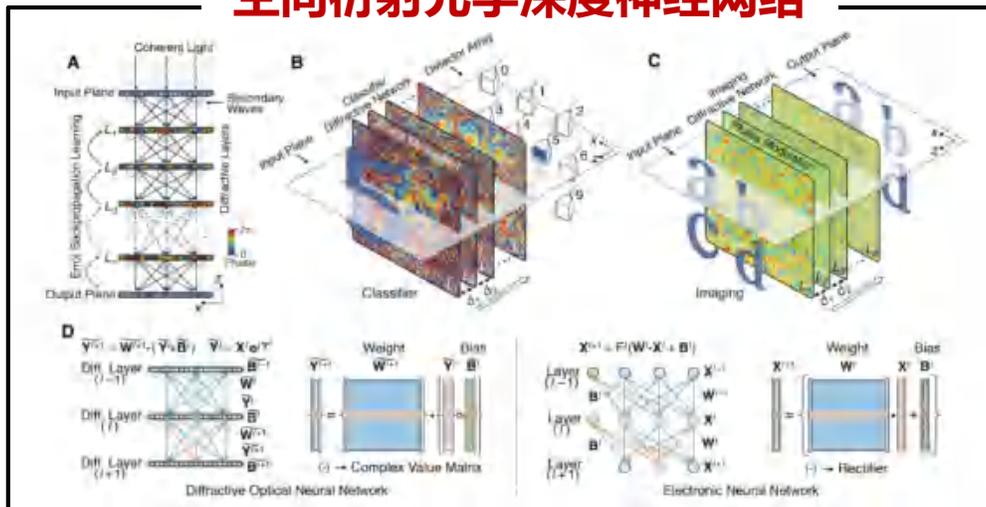


- 实现多波长并行光计算系统校准和超高精度权重加载

光电子处理器的算力密度高达 **1.04 TOPS/mm²**;

图像边缘检测质量和识别的准确率 **96.6%**。

空间衍射光学深度神经网络

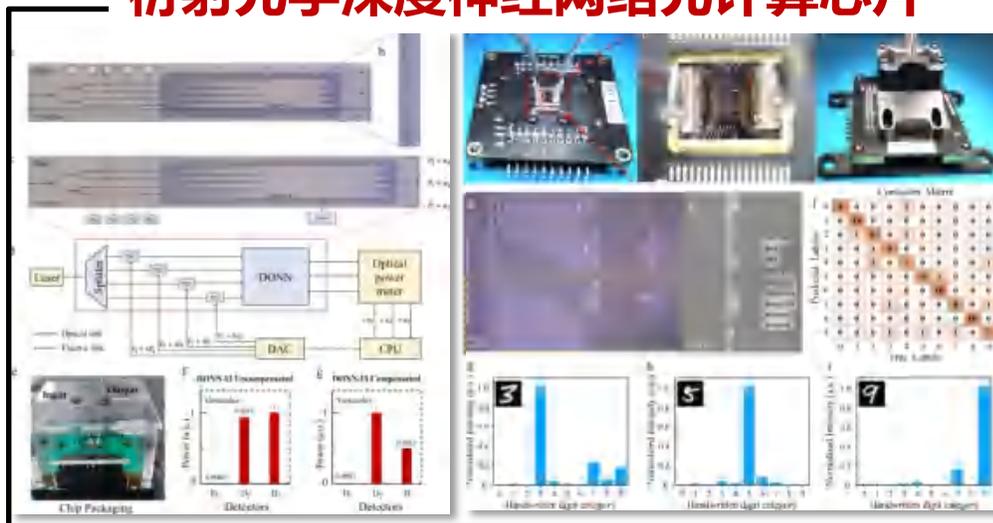


- 实现基于衍射深度神经网络的全光机器学习架构

手写数字数据集（MNIST）进行了实验验证，分类准确率可达**91.75%**。

5.1 光学神经网络 – 应用现状

衍射光学深度神经网络光计算芯片



- 片上实现集成衍射光子神经网络，提高计算单元的集成度

DONN光计算芯片其计算吞吐量 1.38×10^4 TOPS；

芯片算力密度 10^{16} FLOPS/mm²；
芯片能量消耗约为 10^{-17} J/FLOP。

Hummingbird商业计算卡

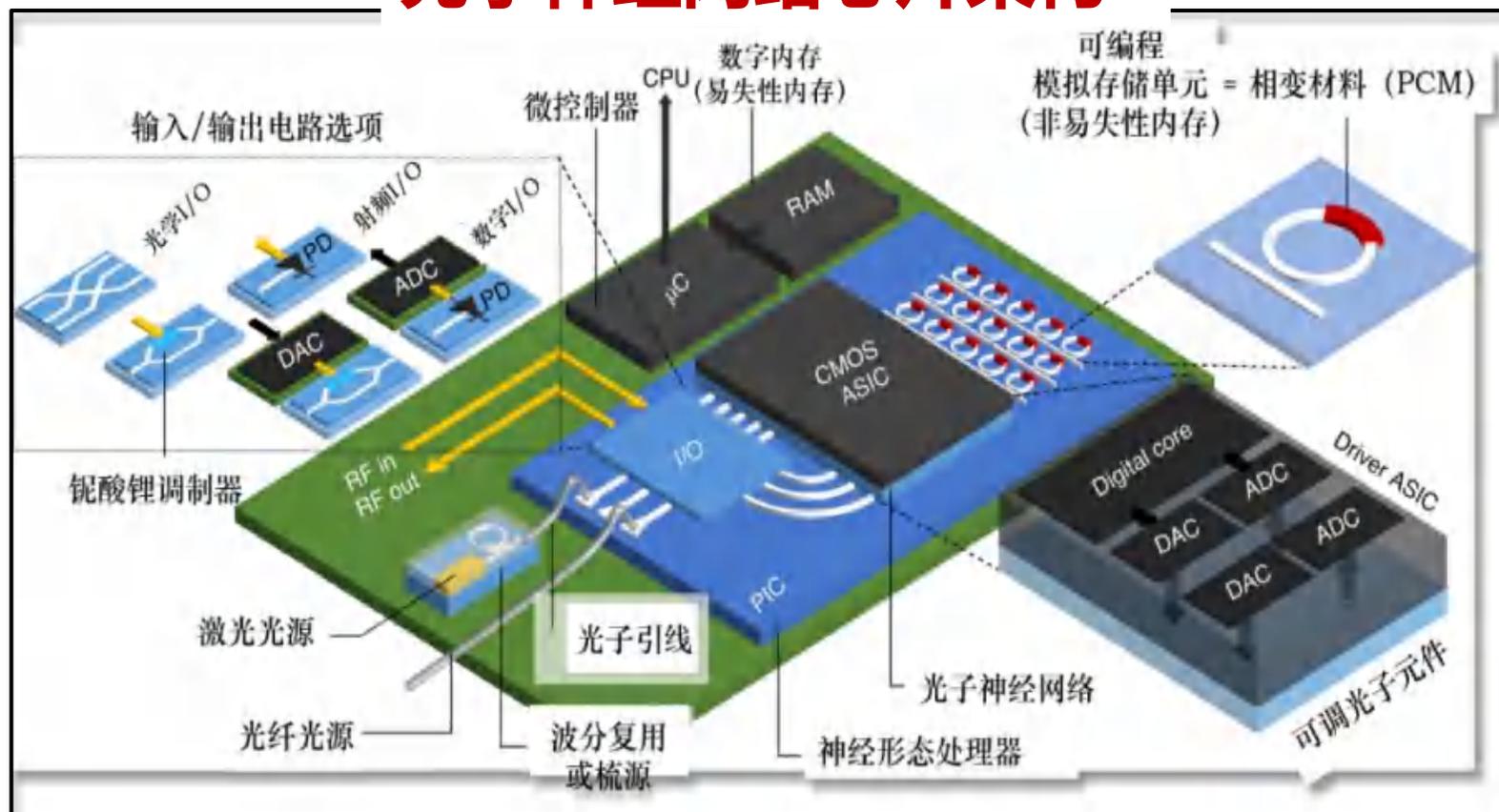


- 实现特定领域人工智能（AI）工作负载的片上光网络（oNOC）处理器

可实现8个通道波长的高功率光输出；
采用光罩拼接技术，具有良好的可扩展性。

5.1 光学神经网络 – 未来发展趋势

光学神经网络芯片架构



□ 产品趋势:

- 光电子器件共同封装
- 开发工具产业链
- 光电融合异构计算

□ 应用趋势:

- AI 云端计算领域
- 光电混合计算加速卡
- 药物开发、材料合成



5.2 光量子计算机 – 发展历程

早期研究

- 2011年，光量子处理器单元(布里斯托大学);
- 2016年，散射玻色子采样演示(罗马第一大学);
- 2017年，玻色取样光量子计算原型机(中科大)

光量子计算机发展趋势



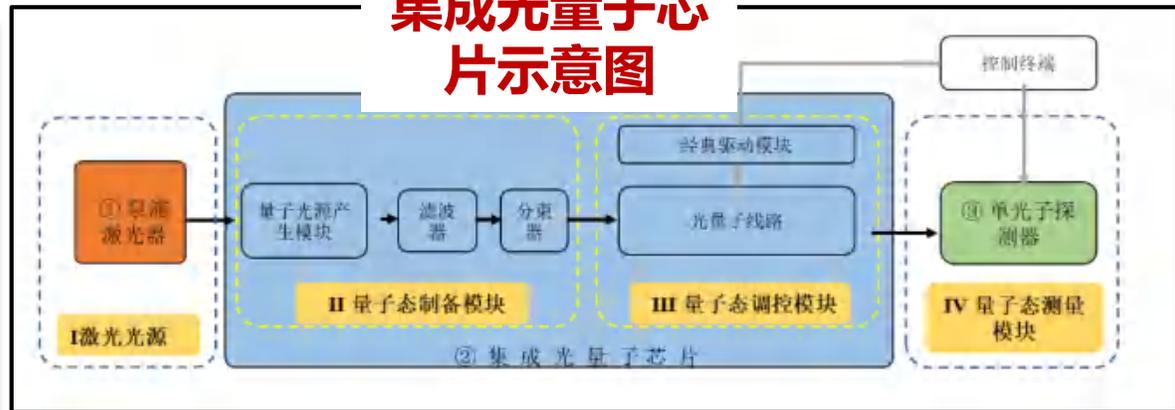
光量子计算可分为逻辑门光量子计算和非逻辑门光量子计算。**逻辑门光量子计算**是当前主流方案，并用于构建**通用光量子计算平台**

5.2 光量子计算机 – 基本架构

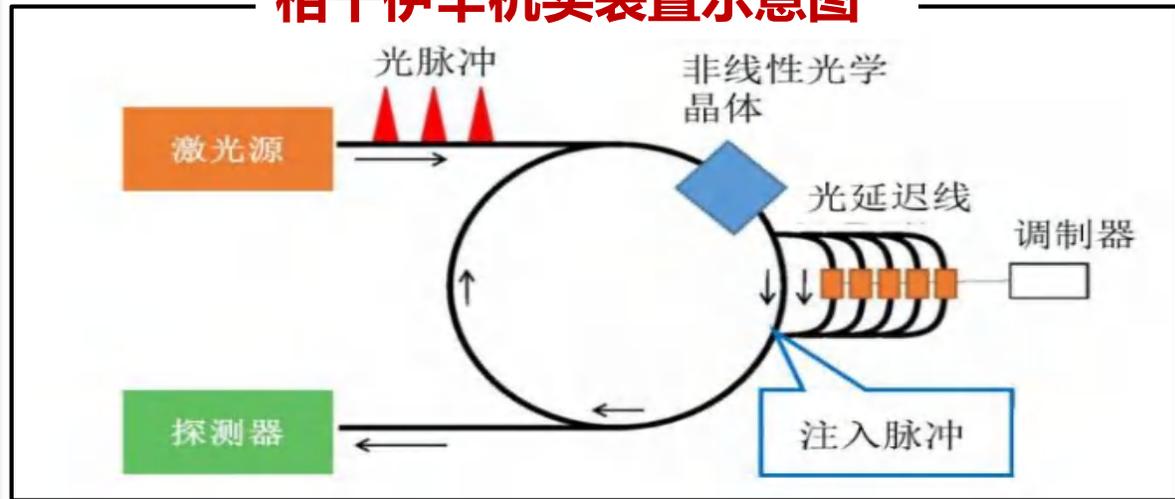
光量子计算机基本结构



集成光量子芯片示意图



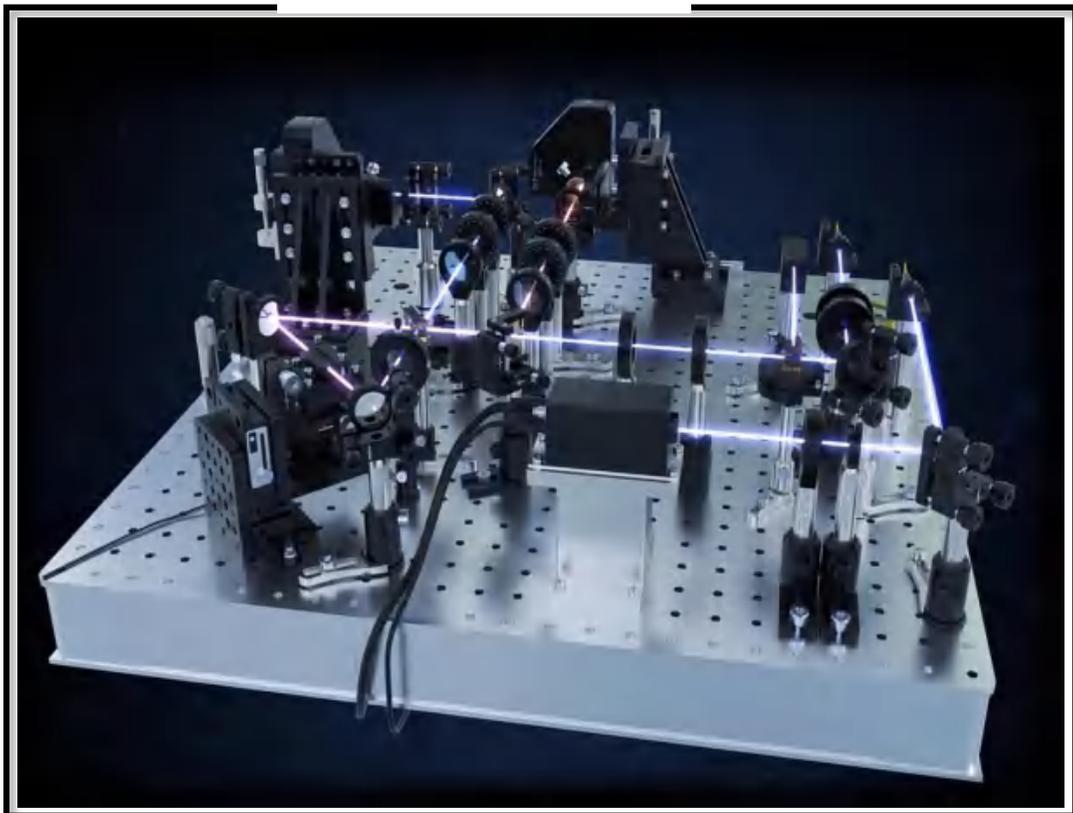
相干伊辛机实装置示意图



光量子计算平台具有光量子比特相干时间长、平台易扩展等优点，同时也存在光子不易存储、难操控等缺点。

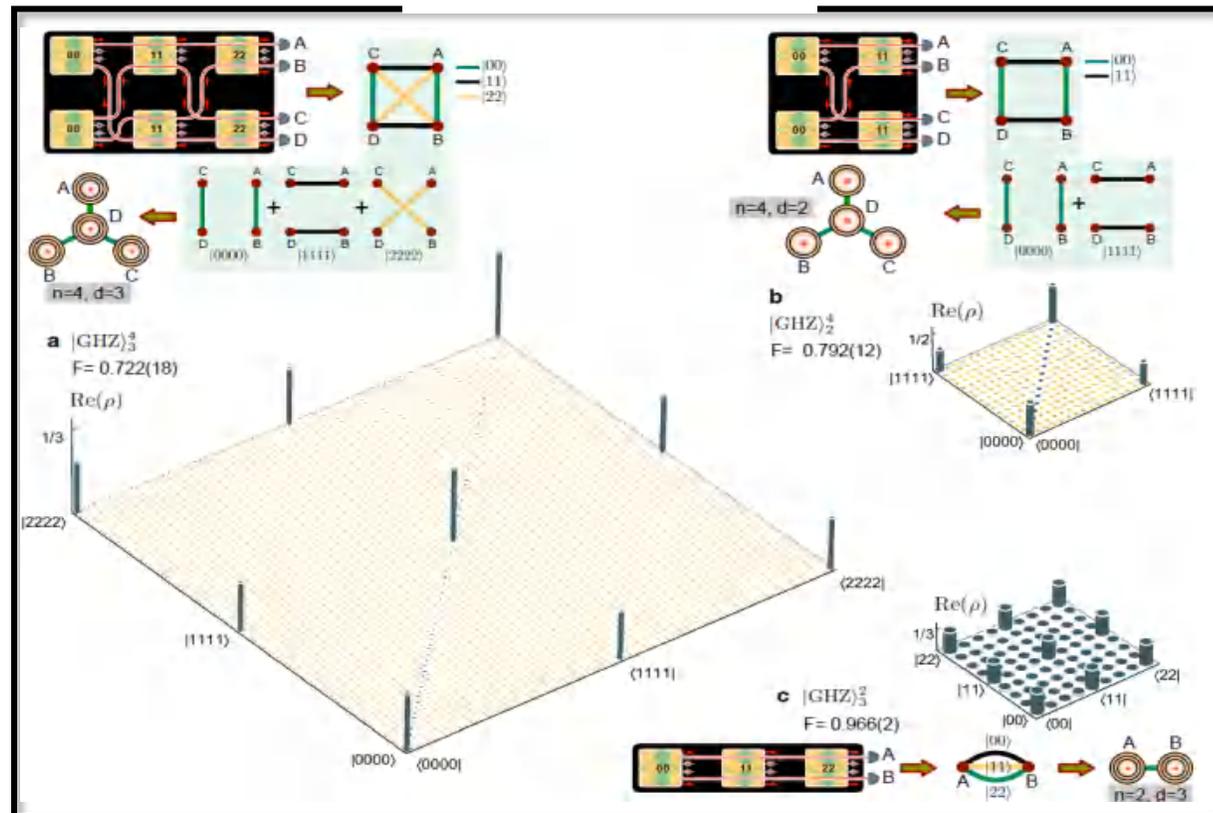
5.2 光量子计算机 – 应用现状

量子态制备模块



基于Sagnac 干涉仪方案的商用量子光源
可以实现超高品质和超高亮度的量子光源，量
子光源亮度大于50万对/每秒。

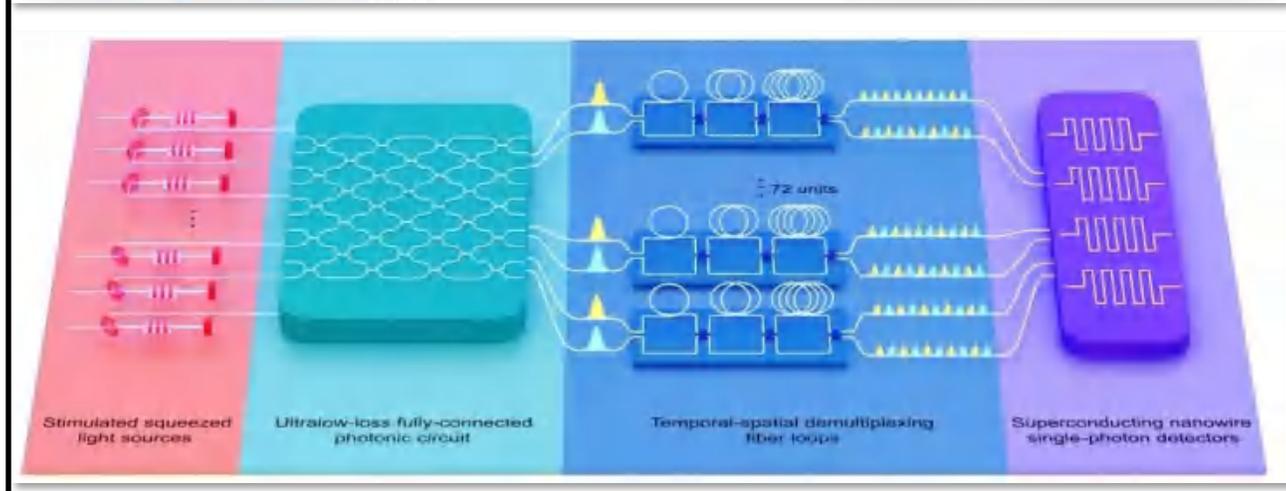
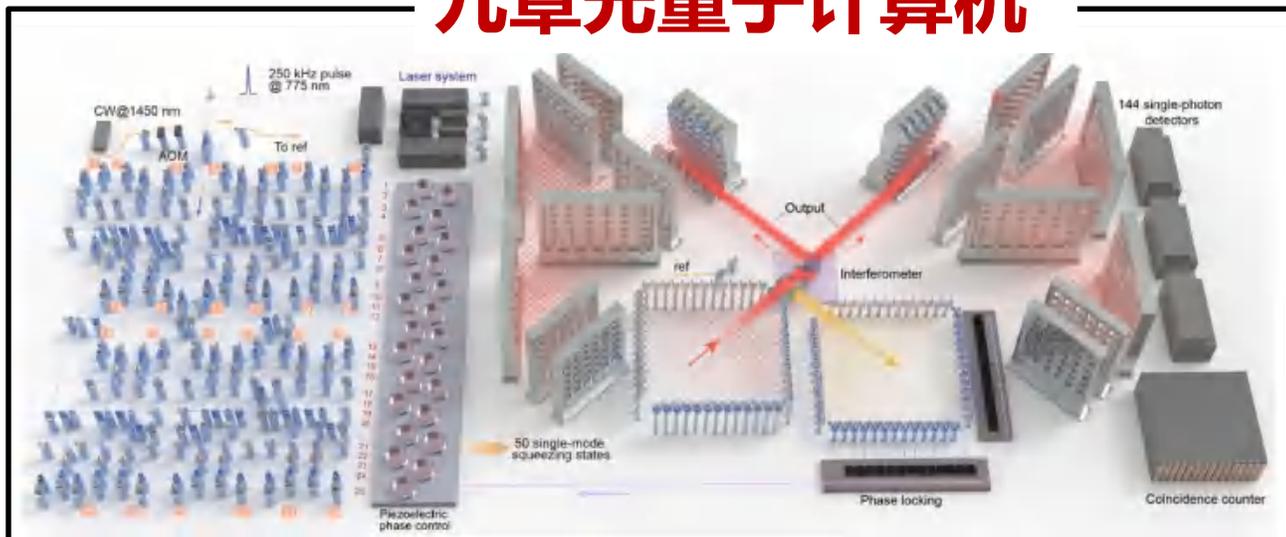
量子态调制模块



基于图论的可编程玻色取样量子计算芯片
有望为化学分子模拟、图优化求解、量子辅助
机器学习等提供有效解决方案。

5.2 光量子计算机 – 应用现状

九章光量子计算机



理论支撑

通过构建高保真度的准光子数可分辨探测器，提升光子操纵水平和量子计算复杂度，并用于处理**高斯玻色取样**问题进行验证。

研究成果

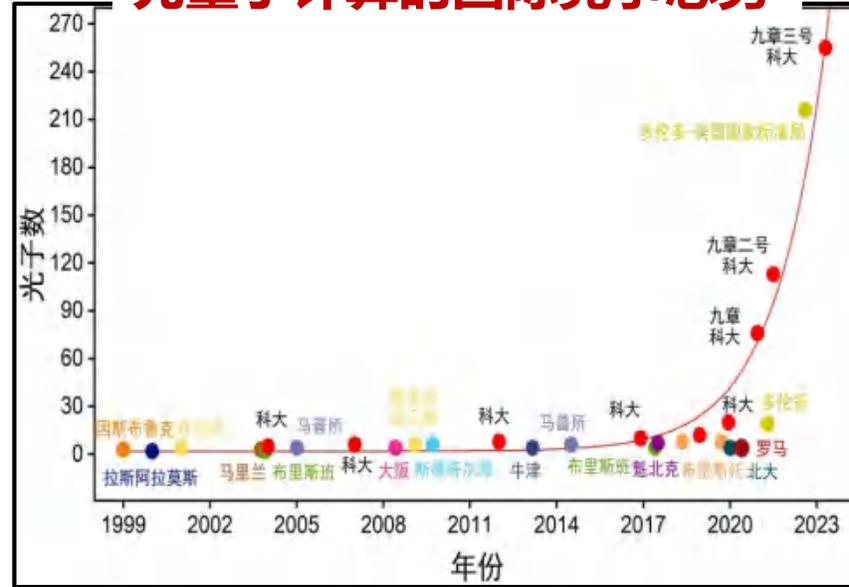
“九章三号”在**百万分之一秒**时间内所处理的最高复杂度的样本，需要当前最强的超级计算机“前沿”花费**超过二百亿年**的时间。

5.2 光量子计算机 - 产业现状

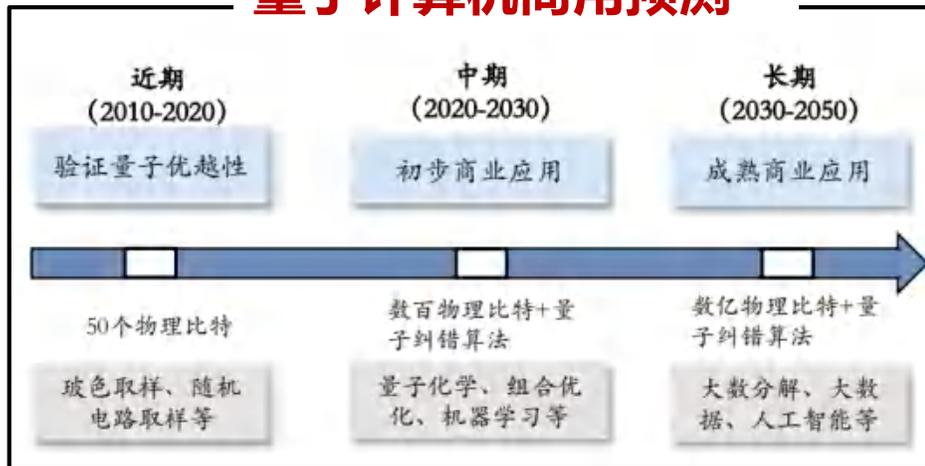
量子计算机产业链图谱



光量子计算的国际竞争态势



量子计算机商用预测



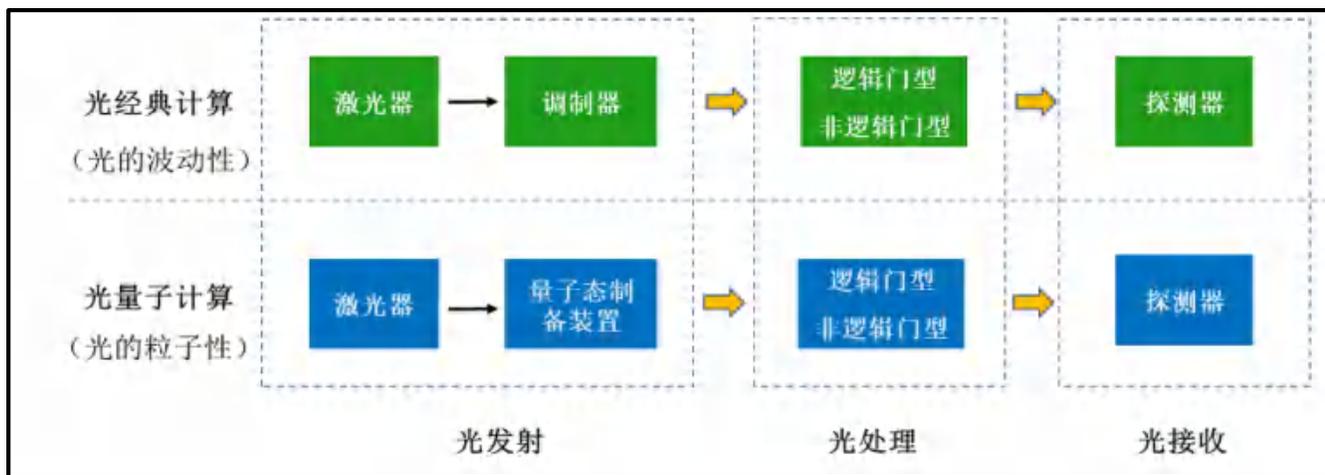
量子生态



- 现阶段光量子计算仍处于实验室研发的**初级阶段**。
- 核心参与者不多，科研与市场活跃度呈现**增长趋势**，未来将有更多企业/科研机构加入。

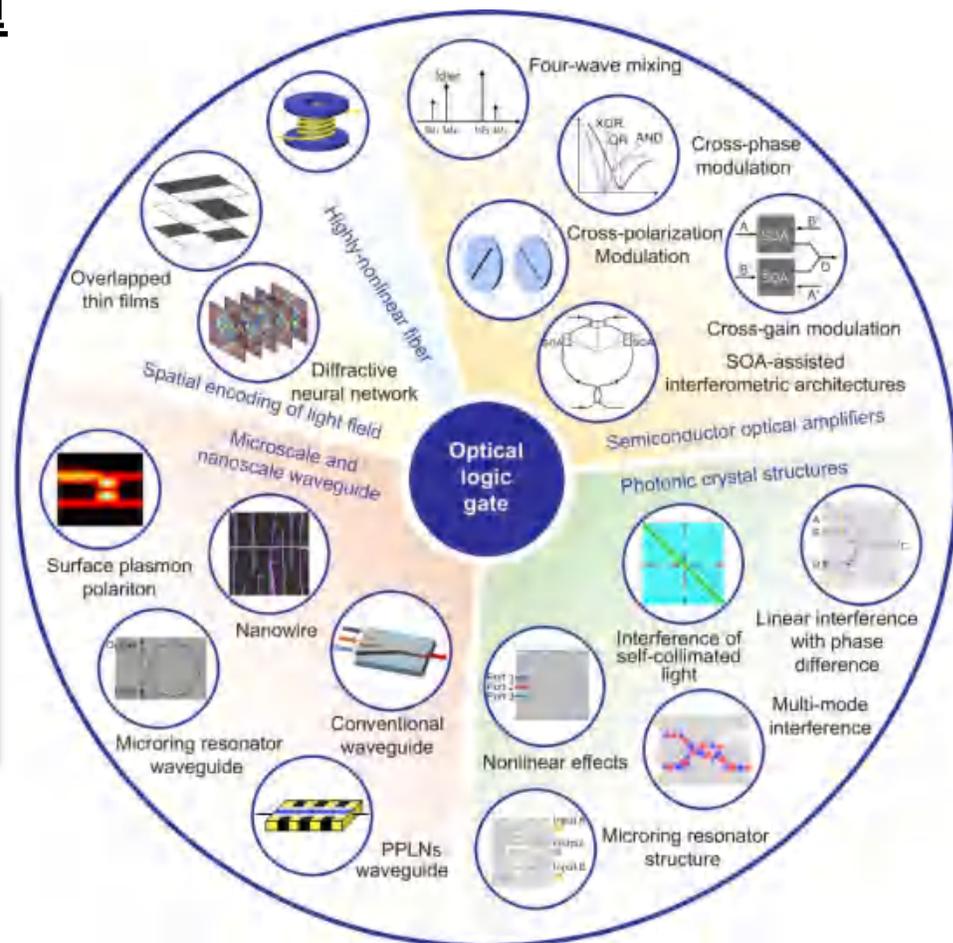
5.3 全光处理器 - 基本原理

光处理器在光经典计算和光量子计算领域占有重要地位，光处理器可分为**逻辑门型**和**非逻辑门型**。



光学非逻辑门实现方案: 搭建光学系统直接进行模拟, 如用光学系统实现神经网络中的各个神经元

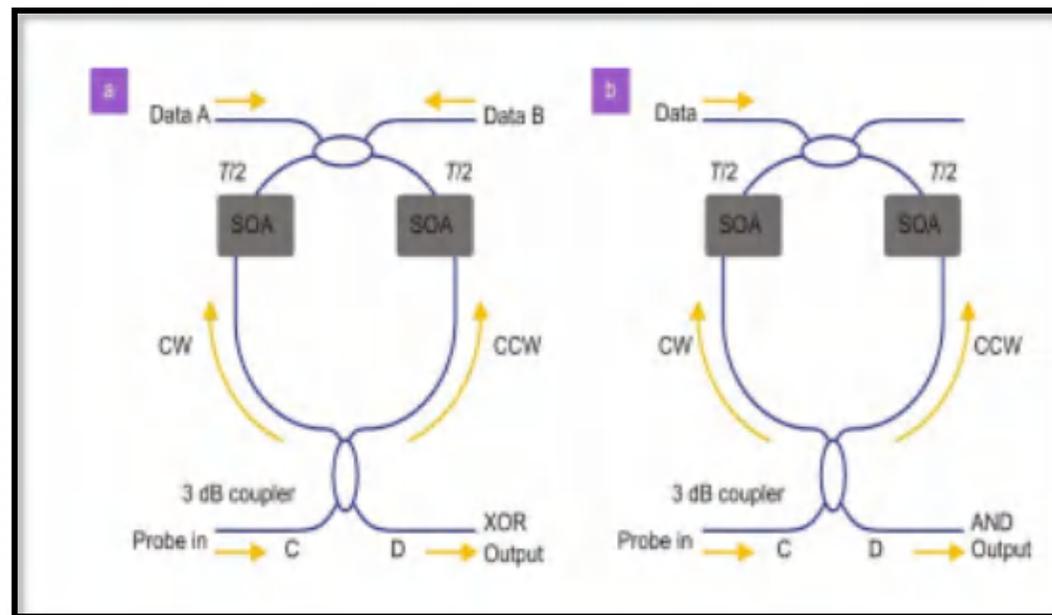
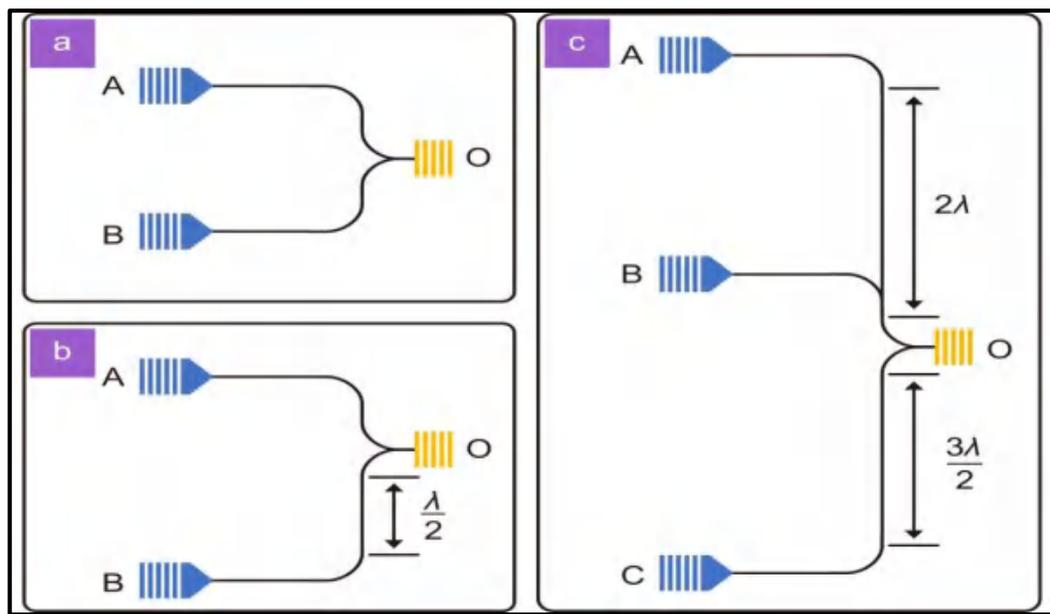
全光逻辑门实现方案: 半导体光放大器、高非线性光纤、微纳光波导



各种不同的光学逻辑门实现方案

5.3 全光处理器 – 应用现状

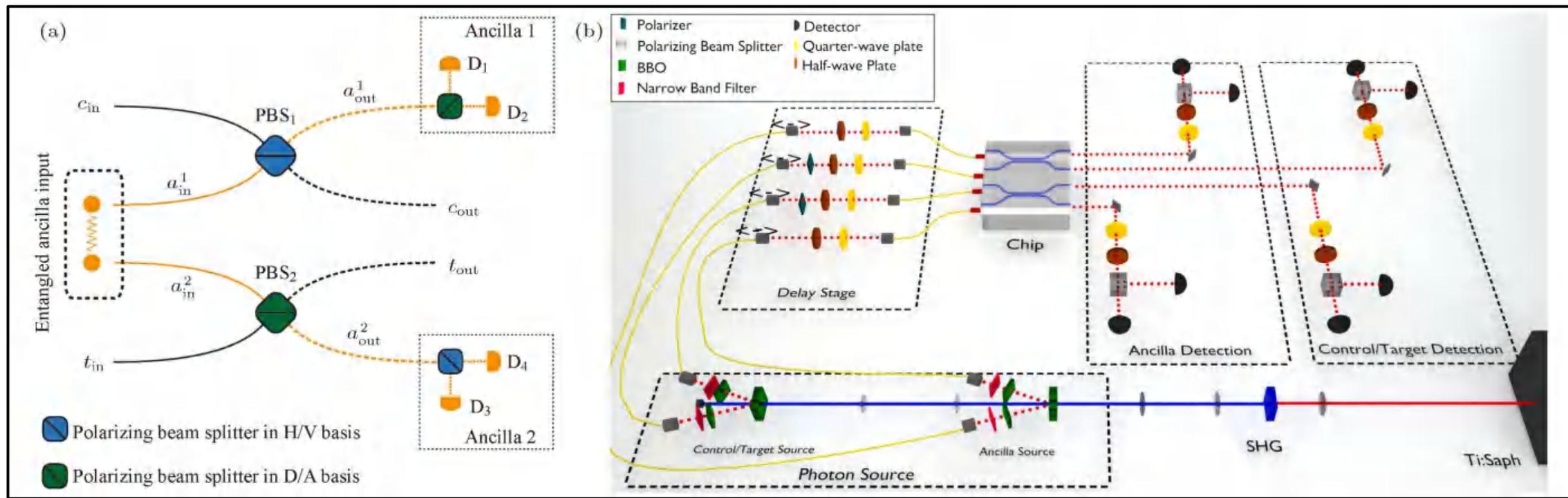
光场具有振幅、相位、时间、空间、频率、偏振等各个维度，都可以用来表示信息，而光学上反射、折射、干涉、衍射等各种**光学效应**可以用来**对信息进行处理**，通过**光子器件**可以实现各种**光学逻辑门操控**。



基于具有波导路径长度差异的线性干涉的光逻辑门：**(a) 或门**；**(b) 异或门**；**(c) XNOR 门**

SOA 辅助 Sagnac 配置：**(a) XOR 门**；**(b) 与门**

5.3 全光处理器 – 应用现状



通过飞秒激光写入波导处理偏振编码量子位的能力，可以在两个光子之间产生**偏振纠缠**，实现片上**受控非门**的现象



谢谢聆听!