

2022

# 十大科技趨勢

Top Ten Technology Trends of Damo Academy



# 卷首语

一个世纪以来，数字科技的演进推动了人类的技术进步与产业发展。我们当前正在经历数字科技最快发展的阶段，数字化、网络化、智能化让数字世界与物理世界的融合与协同更加紧密。

从现实世界走向虚实融合的世界。云网端的协同发展下，端侧将诞生更多繁荣的新物种，比如以 VR、AR 为代表的虚拟现实技术相结合的多种终端，将在下一代互联网的催化下，改变人与科技互动的方式。通过模拟真实世界的时空，解决真实世界的需求，如远程教育、远程医疗、远程办公等，消除地理空间的限制。

从实验室走向产业应用。以云为核心的数字技术体系，将 AI、大数据、大规模算力等技术与资源集成在一起，并通过云这个数字化的操作系统，让个体、企业、科研院所都可以低门槛、普惠的方式快速的调用技术资源。让各类前沿技术从实验室通过云走到现实中，如 AI 工程化、AI for Science、预训练模型都在原有的基础上，将人工智能运用到生物医药、天文气象、工业制造等各行各业的实际问题中。

共同走向可持续发展的未来。全球正面临日益紧迫的环境保护问题，每一个人都需要深刻的意识到，绿色低碳需要在人们的生活点滴、生产的各个环节去推动节能减排，而数字科技是这过程中必不可少力量，包括从无纸化办公、数据中心节能技术、到工业生产能耗优化等多个方面去努力。

以科技，达到我们共同美好的未来。

张建锋

阿里巴巴达摩院院长 | 阿里云智能总裁

## 序言一

数百年来，以数据驱动的开普勒范式和以第一性原理驱动的牛顿范式是科学研究的两大基本范式。当下正在蓬勃兴起的 AI for Science 有可能促使两种既有范式的深度融合，激发一场新的科学革命。《达摩院 2022 十大科技趋势》将 AI for Science 列为重要趋势，无疑是看到了人工智能和传统科研结合带来的巨大潜能。我希望它能帮助推动更多科研工作者投身其中，加速这场科学革命的进程。

科学研究有两大基本目的：一是寻求基本规律，二是解决实际问题。在量子力学建立之时，狄拉克就预言说寻求基本规律的任务已大体完成，但因为其数学问题太复杂，用基本原理来解决实际问题非常困难。直到上世纪 50 年代电子计算机开始投入使用，以及微分方程数值方法的出现，人类才第一次大规模实现了从基本原理出发解决实际问题的能力，并由此构建起了现代工业和技术赖以生存的基础。

但很多问题依然非常难以求解，比方说各类多体问题，药物和材料设计、蛋白质折叠、湍流、塑性力学和非牛顿流体力学等。这些难题的根本根源是“维数灾难”：随着自由度的增多，问题的复杂度呈指数级增长。

我从 80 年代开始研究算法，一直在尝试解决这些问题。尤其是在多尺度模型和算法方面，我持续了多年的努力，但总是觉得难以找到真正的突破口。2011 年我写了一本多尺度模型方面的书。本来是想在山穷水尽之际转行到更需要科研人力投入的大数据领域，但我没想到的是，机器学习恰恰是我们过去缺乏的工具。从 2014 年起，我即投身于机器学习与科学计算的结合。去年我们一个以年轻人为主力的团队利用机器学习方法在量子力学精度的分子动力学模拟方面取得了重大突破，把可处理体系的规模从 1000 个原子提高到 1 亿个原子，并因此获得了 2020 年戈登贝尔奖。这是我们第一次看到机器学习、科学计算、高性能计算三大工具的结合所带来的广阔空间。AlphaFold 2 的成功，更是让我们看到了数据驱动的方法所能带来的革命性的改变。

这个空间和改变给我们带来的将是新的科学工具的发展和新的科研模式的构建。它也将推动科学研究从小农作坊模式转变到大平台模式，即由整个科学家群体共同努力构建基础模型、基础算法和工具。这样的大平台将极大地提升整体科研的效率。在这一方面，DeepModeling 开源社区已经迈开了非常可喜的一步。

AI for Science 带来的不仅仅是几个点上的突破，而是科研方法的全面改变。要适应这样一个新的环境，科学家们需要更深入地了解 AI，才有可能用好 AI。企业积累了大量 AI 研发能力和资源。它们不仅可以提供学界所急缺的计算资源，还能够帮助打造基础科研工具。无疑，学界和业界需要更多协作，秉持开源开放的精神，消除门户之见，打造 AI for Science 的科研共同体。

达摩院十大科技趋势或许就是这种努力之一。我期待达摩院牵头的这种努力，能够加快信息科学和传统科学的深度融合。也期待 AI for Science 不只是一个新的浪潮，而是一个全新的科学时代。

鄂维南

北京大学、普林斯顿大学教授

## 序言二

著名物理学家卢瑟福提到“科学家不是依赖于个人的思想，而是综合了几千人的智慧，所有的人想一个问题，并且每人做它的部分工作，添加到正建立起来的伟大知识大厦之中。”科学不应该是束之高阁的学问，应该让更多有志者能够理解、能够共同参与进来，让科学变成科技，让科技变成产品，真实地改善人类生活的方方面面。

达摩院作为企业的研发机构，关注的科学课题都更加接近实际问题，在今年达摩院发布的十大科技趋势中可见一斑，有离生活更近的趋势，譬如人工智能改变医疗的方式，让一般人能够享受到精度更高、体验更好的医疗服务；也有离产业更近的趋势，譬如柔性感知机器人的产业化，让机器人技术能够被使用到更广泛的场景中。这些科技趋势让大众了解到科技正在解决什么问题，而这些解决实际问题的科技发展，让大众更能直接感受科技带来的美好。

科幻成真总是激动人心的，如同《回到过去》电影中预言的视频通话、3D眼镜、指纹辨识等技术，在今天已经真切地改变人类的生活。同样地，达摩院十大科技趋势在今天看来只是预测，我衷心希望在未来群策群力的努力下，这些预测都能成为现实，让科技成为社会进步的重要力量。

王元卓

中国科学院计算技术研究所研究员，科普作家

# 方法论阐述

《达摩院 2022 十大科技趋势》采用了“定量发散，定性收敛”的分析方法，整个分析流程分为两部分：“定量发散”是对科学领域做广泛而全面的定量分析，抽取其中的热点领域并挖掘重点突破的技术；“定性收敛”是对突破的技术点进行梳理，通过与领域专家充分的论证，找出多个技术点代表的趋势，总结对未来的预判。

## 一 定量发散

以公开论文库和公开专利库作为基础数据进行分析，从 236 个领域中筛选出 159 个应用与基础科学领域，基于论文与专利数量的绝对值与增长率，筛选出在学界与产业界需要重点关注的领域。本次总计分析了 770 万篇论文及 8.5 万份专利，时间跨度为 2018 年 1 月到 2021 年 10 月。

在筛选出的重点领域中运用 NLP 技术分析相关领域论文（特别是被高频引用的论文）内容，找出过去 12 个月内被高频提及的关键词，并调查关键词背后的代表技术，挖掘可能驱动技术发展的关键要素，以此作为下一阶段分析的重要基础。

## 二 定性收敛

通过访谈专家和组织研讨会，对热点领域内的技术发展方向进行讨论总结，最后结合专家观点与技术情报提炼科技趋势候选清单。本次共计访谈了近百位产、学、研、用领域的专家和战略科学家。

最后，达摩院专家委员会组织了多轮讨论，基于影响力、技术可行性、社会价值等因素的综合考量，最终选出了代表 2022 的十大科技趋势。

# 目录

## 范式重置

---

### AI for Science 6

人工智能成为科学家的新生产工具，催生科研新范式

### 大小模型协同进化 8

大模型参数竞赛进入冷静期，大小模型将在云边端协同进化

### 硅光芯片 10

光电融合兼具光子和电子优势，突破摩尔定律限制

## 场景变革

---

### 绿色能源 AI 12

人工智能助力大规模绿色能源消纳，实现多能互补的电力体系

### 柔性感知机器人 14

机器人将兼具柔性和类人感知，可自适应完成多种任务

### 高精度医疗导航 16

人工智能与精准医疗深度融合，助力诊疗精度与效率提升

## 未来互联

---

### 全域隐私计算 18

破解数据保护与流通两难，隐私计算走向全域数据保护

### 星地计算 20

卫星及地面一体化的通信与计算，促进空天地海全面数字化

### 云网端融合 22

云网端融合形成新计算体系，催生云上新物种

### XR 互联网 24

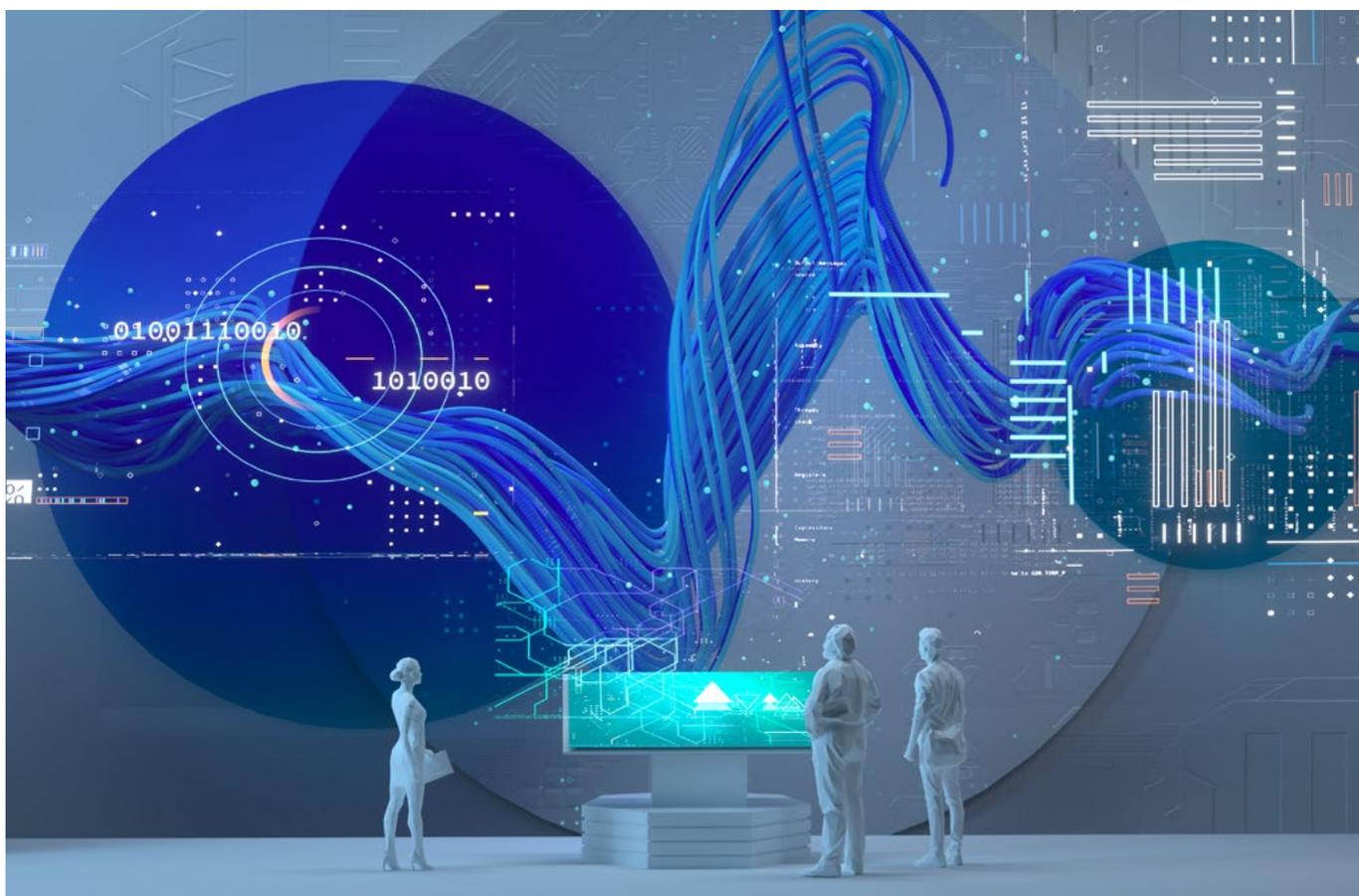
XR 眼镜会成为重要交互界面，引领下一代互联网发展

# AI for Science

人工智能成为科学家的新生产工具，催生科研新范式

## 概要

实验科学和理论科学是数百年来科学界的两大基础范式，而人工智能正在催生新的科研范式。机器学习能够处理多维、多模态的海量数据，解决复杂场景下的科学难题，带领科学探索抵达过去无法触及的新领域。人工智能不仅将加速科研流程，还将帮助发现新的科学规律。预计未来三年，人工智能将在应用科学中得到普遍应用，在部分基础科学中开始成为科学家的生产工具。



## 趋势解读 |

科学研究是在星辰大海里探索未知，科学发现漫长而偶然，重大突破仰赖大科学家的贡献，如牛顿、爱因斯坦、杨振宁等，尽管众多科学家不懈投入，科学发展的速度仍受到一定限制。

计算机科学改变科研的路径是从下游逐渐走向

上游。起初计算机主要用来做实验数据的分析与归纳。后来科学计算改变了科学实验的方式，人工智能结合高性能计算，在实验成本与难度较高的领域开始用计算机进行实验的模拟，验证科学



家的假设，加速科研成果的产出，如核能实验的数字反应堆，能够降低实验成本、提高安全性、减少核废料产生。近年，人工智能被证明能做科学规律发现，不仅在应用科学领域，也能在基础科学领域发挥作用，如 DeepMind 使用人工智能来帮助证明或提出新的数学定理，辅助数学家形成对复杂数学的直觉。

人工智能将成为科学家继计算机之后的新生产工具，一是带来效率的显著提升，人工智能将伴随科研的全流程，从假设、实验到归纳总结，让科学家不需要像过去一样十年寒窗才能产出科学成果，而是能在一生中保持高产；二是让科学不再依赖少数天才，人工智能对科学研究产生猜想，让科学家就其中有意义有价值的部分进行实验与证明，让更多人能够参与到科学研究中。

人工智能在各科研领域中的应用节奏将有所区别，在数字化程度高、数据积累好、问题已经被清晰定义的领域中将推进地更快，如生命科学领域，AlphaFold2 运用生命科学积累的大量数据，通过基因序列预测蛋白质结构，对泛生命科学领域产生了深远的影响。另一方面，在复杂性高、变量因子

多的领域，人脑难以归纳总结，机器学习可发挥优势在海量多维的数据中找到科学规律，如流体力学等。

人工智能与科研深度结合仍然需要解决三个挑战，一是人机交互问题，人工智能与科学家在科研流程上的协作机制与分工需要更加明确，形成紧

密的互动关系；二是人工智能的可解释性，科学家需要明确的因果关系来形成科学理论，人工智能需要更容易被理解，以建立科学与人工智能之间的信任关系；三是交叉学科人才，专业领域

科学家与人工智能专家的相互理解程度低，彼此互相促进的障碍仍然较高。

我们预测在未来的三年内，人工智能技术在应用科学中将得到普遍应用，在部分基础科学中开始成为研究工具。



# 大小模型协同进化

大模型参数竞赛进入冷静期，大小模型将在云边端协同进化

## 概要

超大规模预训练模型是从弱人工智能向通用人工智能的突破性探索，解决了传统深度学习的应用碎片化难题，但性能与能耗提升不成比例的效率问题限制了参数规模继续扩张。人工智能研究将从大模型参数竞赛走向大小模型的协同进化，大模型向边、端的小模型输出模型能力，小模型负责实际的推理与执行，同时小模型再向大模型反馈算法与执行成效，让大模型的能力持续强化，形成有机循环的智能体系。



## 趋势解读

谷歌的 BERT、Open AI 的 GPT-3、智源的悟道、达摩院的 M6 等大规模预训练模型取得了重要进展，大模型的性能有了飞跃性提升，为下游的 AI 模型提供了发展的基础。然而大模型训练对资源消耗过大，参数数量增加所带来的性能提升与消耗提升不成比例，让大模型的效率受到挑战。

大模型的发展将进入冷静期，大模型与相关联的小模型协同将是未来的发展方向。大模型沉淀的知识与认知推理能力向小模型输出，小模型基于大

模型的基础叠加垂直场景的感知、认知、决策、执行能力，再将执行与学习的结果反馈给大模型，让大模型的知识与能力持续进化，形成一套有机循环的智能系统，参与者越多，受惠者越多，模型进化的速度也越快。

新的智能体系带来三个优势：一是让小模型更容易获取通用的知识与能力，小模型专注在特定场景做极致优化，提升了性能与效率；二是解决了过去大模型数据集过于单一的问题，小模型在真实场景回收的增量数据，让大模型有再进化的元素；三是全社会不需要重复训练相似的大模型，模型可以被共享，让算

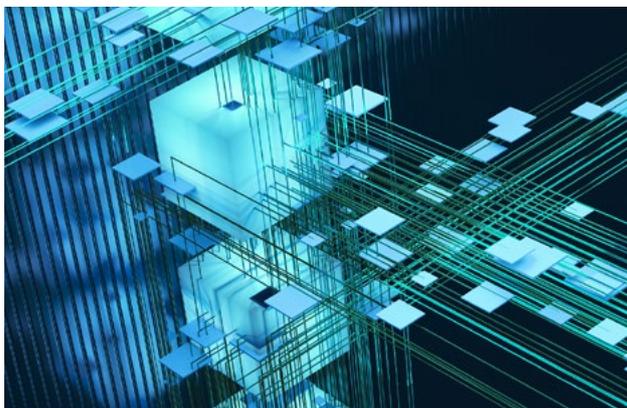
力与能源的使用效率最大化。

在协同进化的智能系统下，复杂系统内部可以更有机的融合，如城市治理的场景，大脑是治理中枢，边端是各路摄像头及边缘设备。边端的摄像头将看到的数据进行学习，将学习的结果反馈给治理中枢，治理中枢再赋能给其他类似场景的摄像头，形成有机进化的系统。

新的智能体系需要克服三个挑战，一是大模型与知识常识的融合，将以规则存在的知识利用起来，提升模型通用能力的同时也降低训练所需的数据量，让大模型

从数据驱动走向知识与数据融合驱动；二是大小模型的协同机制，包含大模型的知识与能力向小模型降维迁移的有效性、小模型的小样本学习向大模型的升维融合、不同维度数据的清洗与治理等；三是大模型的可解释性，对大模型依赖上升的同时，信任决定是否能被广泛使用。

我们预测在未来的三年内，在个别领域将以大规模预训练模型为基础，对协同进化的智能系统进行试点探索。在未来的五年内，协同进化的智能系统将成体系标准，让全社会能够容易地获取并贡献智能系统的的能力，往通用人工智能再迈进一大步。



大规模预训练模型

参数规模 (亿)



根据公开数据整理

# 硅光芯片

光电融合兼具光子和电子优势，突破摩尔定律限制

## 概要

电子芯片的发展逼近摩尔定律极限，难以满足高性能计算不断增长的数据吞吐需求。硅光芯片用光子代替电子进行信息传输，可承载更多信息和传输更远距离，具备高计算密度与低能耗的优势。随着云计算与人工智能的大爆发，硅光芯片迎来技术快速迭代与产业链高速发展。预计未来三年，硅光芯片将承载绝大部分大型数据中心内的高速信息传输。



## 趋势解读 |

电子芯片发展逼近摩尔定律极限，集成技术进步趋于饱和，高性能计算对数据吞吐要求不断增长，亟需技术突破。

光子芯片不同于电子芯片，技术上另辟蹊径，用光子代替电子进行信息传输，可以承载更多的信息和传输更远的距离。光子彼此间的干扰少、提供相较于电子芯片高两个数量级的计算密度与低两个数量级的能耗。相较于量子芯片，光子芯片不需要改变二进制的架构，能够延续当前的计算机体系。光子芯片需要与成熟的电子芯片技术融合，运用电子芯片先进的制造工艺及模块化技术，结合光子和电子优势的硅光技术将是未来的主流形态。

硅光芯片概念诞生于 40 年前，在本世纪初，核心技术的突破奠定大规模商用的基础。硅光芯片近期技术的快速迭代及高速增长的商业化需求，归因于云计算与人工智能的大爆发，由于光子传输速率与计算密度的优势，硅光芯片被用于光通信和光计算的场景中。在通信场景，由于大型分布式计算、大数据分析、云原生应用让数据中心内的数据通信密度大幅提升，数据移动成为性能瓶颈。传统光模块成本过高，难以大规模应用，硅光芯片能够在低成本的前提下有效提高数据中心内集群之间、服务器之间、乃至芯片之间的通信效率。

在计算场景，据 OpenAI 统计，自 2012 年，每 3.4 个月人工智能的算力需求就翻倍，摩尔定律带来的算力增长已无法完全满足需求，硅光芯片更高计算密度与更低能耗的特性是极致算力的场景下的解决方案。

硅光的挑战来自产业链和工艺水平。硅光芯片的设计、量产、封装等环节尚未标准化和规模化，进而导致其在产能、成本、良率上的优势还未显现。光计算的精度低于电子芯片，限制了应用场景，集成度也需要提高来提升算力。近期产业需求的爆发，推动了硅光芯片产业链的发展，在光子元器件、硅光制程上都有重大突破，给硅光芯片商业化奠定了基础。



值得关注的是，光通信与光计算是相辅相成的，光通信中的光电转换技术会在光计算中得到应用，光计算中要求的低损耗、高密度的光子集成技术也会进一步促进光通信的发展，将来数据计算和传输都可能在光域完成。

光电融合是未来芯片的发展趋势，硅光子和硅电子芯片取长补短，充分发挥二者优势，促使算力的持续提升。未来三年，硅光芯片将支撑大型数据中心的高速信息传输；未来五到十年，以硅光芯片为基础的光计算将逐步取代电子芯片的部分计算场景。

在 2021 年数据中心内部流量  
占数据中心总流量<sup>11</sup>



自 2012 年人工智能算力需求<sup>12</sup>

3.4 个月 翻倍

# 绿色能源 AI

人工智能助力大规模绿色能源消纳，实现多能互补的电力体系

## 概要

风电、光伏等绿色能源近年来快速发展，也带来了并网难、消纳率低等问题，甚至出现了“弃风”、“弃光”等现象。核心原因在于绿色能源存在波动性、随机性、反调峰等特征，大规模并网可能影响电网的安全稳定运行。人工智能技术的应用，将有效提升电网等能源系统消纳多样化电源和协调多能源的能力，成为提升能源利用率和稳定性的技术支撑，推动碳中和进程。预计未来三年，人工智能技术将帮助电力系统实现大规模绿色能源消纳，实现电力系统的安全、高效、稳定运行。



## 趋势解读 |

绿色能源大规模并网后，风电与光伏发电的波动性、随机性、反调峰等特性将对电网的稳定性和可控性造成冲击，需要提高绿色能源并网、输送、消纳和安全运行的能力。根据国家能源局测算，中国统一可再生能源电力消纳责任权重需要从 2021 年的



28.7% 提升至 2030 年的 40%，风电、太阳能发电总装机容量届时将达到 12 亿千瓦以上。

人工智能技术在发电功率的精准预测、电力优化调度、电站性能评估、故障监测和风险管理等方面将发挥不可替代的作用，带来三大突破：

一是精准的功率预测，大数据和神经网络的算法应用，将提升气象预报的准确性，减少新能源发电功率预测的误差。特别是在远距离、跨区域的绿能消纳上，人工智能技术通过对电力天气预报的预测和分析，调节发电功率，动态优化电力系统发电策略，保障电网稳定运行。

二是智能的调度控制，在电力调度端，深度学习、大数据驱动技术和机理仿真技术融合，将帮助电力调度系统持续优化控制策略，增强风电、光伏、水电和储能的多能源协调能力，实现多能互补，解决用电高峰期和低谷期电力输出不平衡的问题。绿能的大规模并网对电网交直流混联、源网荷储交互的灵活重构、运行优化与决策也提出了更高要求。未来，人工智能技术将支撑我国绿色能源进入增量主体阶段。

三是自动化的故障响应，基于大数据和深度学习做电网设备的实时监测，有助于快速提取故障特征，

大幅提升电力系统的故障识别能力和响应速度。随着技术融合的加深，未来有望实现毫秒级的自动化预警监测和控制。

绿色能源的大规模开发和利用已经成为当今世界能源发展的主要方向。在高比例绿色能源并网的趋势

下，传统电力系统难以应对绿色能源在大风、暴雨、雷电等天气下发电功率的不确定性，以及复杂故障及时响应的应对能力。在运行监测过程中，参数核验和故障监测仍需要大量的人工参与，故障特征提取困难，识别难度大。针对大规模绿色能源并网在稳定、运行和规划上面临

的各种挑战，以人工智能为主的新一代信息技术将对能源系统整体的高效稳定运行提供技术保障和有力支撑。

人工智能与能源电力的深度融合，将推动大规模新能源发电、并网、输送、消纳和安全运行，完成对能源系统的升级改造。我们预计在未来的三年内，人工智能技术将帮助电力系统实现大规模绿能消纳，能源供给在时间和空间维度上能够互联互通，网源协调发展，弹性调度，实现电力系统的安全、高效、稳定运行。

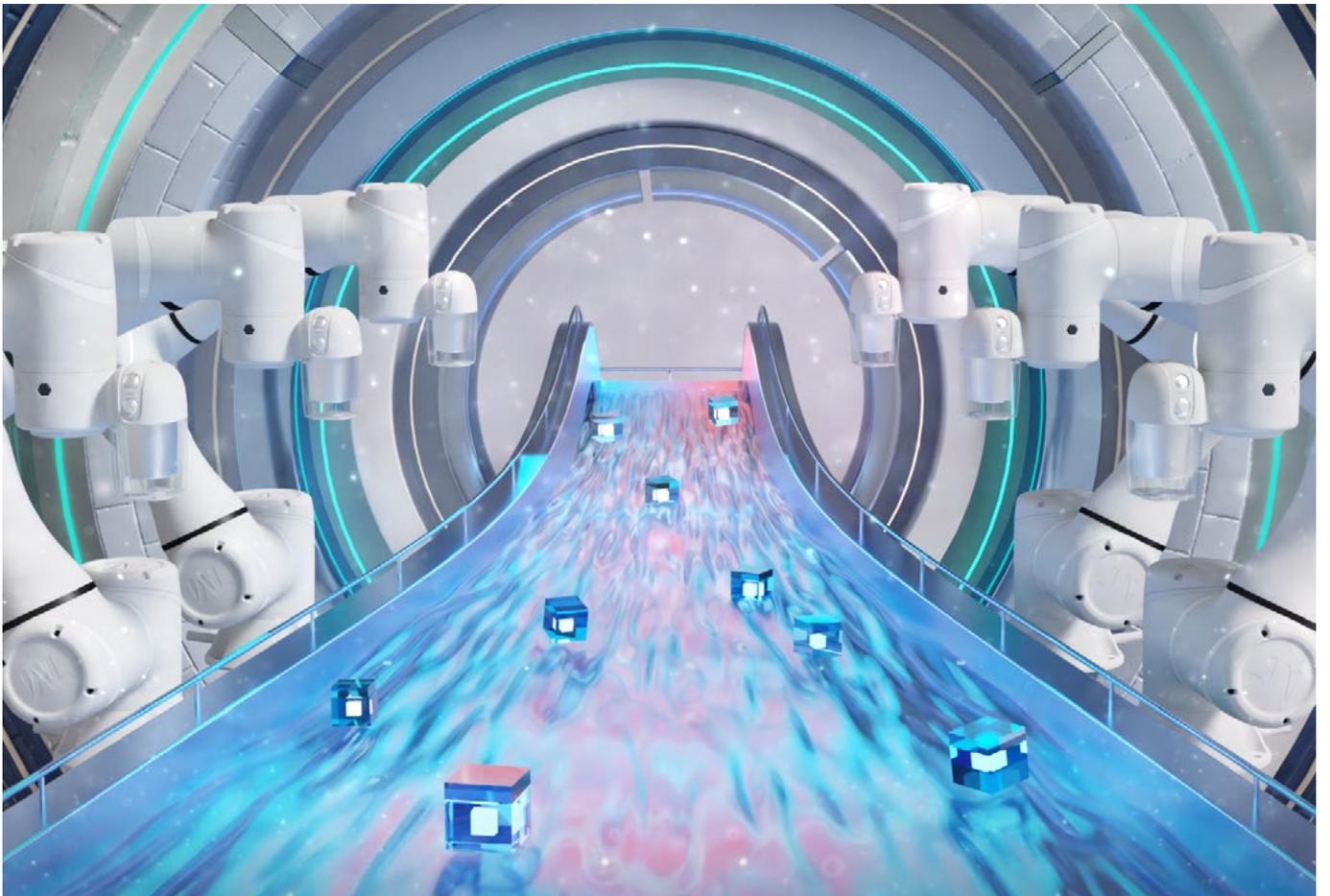


# 柔性感知机器人

机器人将兼具柔性和类人感知，可自适应完成多种任务

## 概要

传统机器人依赖预编程，局限于大型生产线等结构化场景。近年来，柔性机器人结合柔性电子、力感知与控制、人工智能技术，获得了力觉、视觉、声音等感知能力，应对多任务的通用性与应对环境变化的自适应性大幅提升。机器人将从大规模、标准化的产线走向小规模、非标准化的场景。预计未来五年，柔性感知机器人将逐步替代传统工业机器人，成为产线上的主力设备，并在服务机器人领域开始规模化应用。



## 趋势解读 |

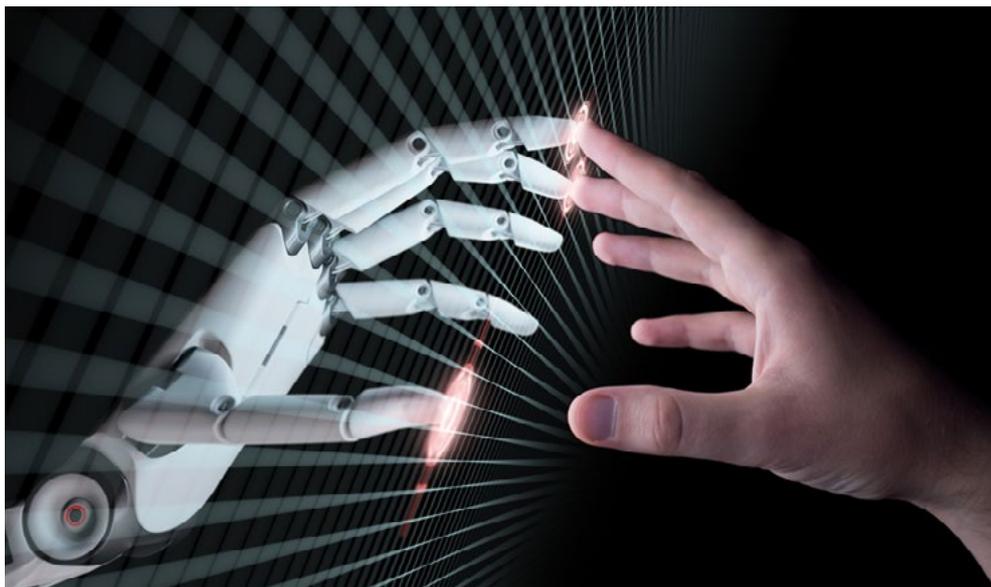
机器人是技术的集大成者，在过去硬件、网络、人工智能、云计算的融合发展下，技术成熟度有了飞跃式地进展，机器人朝向多任务、自适应、协同化的路线发展。

柔性机器人是重要的突破代表，具有柔软灵活、可编程、可伸缩等特征，结合柔性电子、力感知与控制等技术，可适应多种工作环境，并在不同任务中进行调节。近年柔性机器人结合人工智能技术，使得机器人具备感知能力，提升了通用性与自主性，降低对预编程的依赖。

柔性感知机器人增加了对环境的感知能力（包含力、视觉、声音等），对任务的迁移能力增强，不再像传统机器人需要穷举可能性，并且可执行依赖感知的任务（如医疗手术），拓展机器人的适用场景。另一个优势是在任务中的自适应能力，面向突发变化能够及时反应，准确地完成任务并避免问题发生。

在工业机器人领域，柔性感知机器人的出现让机器人从大规模标准化走向小规模非标准化的产线，柔性感知机器人在任务间的转换能力强，同时智能化后降低了使用门槛。在疫情影响下招工难度不断提升，柔性感知机器人有望帮助补足用工缺口。

在服务机器人领域，柔性感知机器人极大改善



人机交互的体验与安全性，通过感知人的行为，更柔软地产生反应，使得服务机器人可实现与人更自



然地交互。

柔性感知机器人的另一个发展方向是可移动性，与 AGV（自动导航机器）结合，可在更大范围中实现自主性与弹性，也为机器间与人机协作创造更多可能。

柔性感知机器人需要克服三大挑战：一是机器人领域的智能水平受制于端侧算力与小样本学习的有效性，有赖于云端协同的突破；二是柔性机器人的精度受制于材料的刚性，执行任务的准确性较低，有赖于可变材料的突破；三是柔性机器人的成本，

有赖于工艺优化及通用化使得价格具备竞争力。

我们预测，未来五年内，柔性机器人将充分结合深度学习带来的智能感知能力，能面向广泛场景，逐步替代传统工业机器人，成为产线上的主力设备。同时及服务机器人领域实现商业化，在场景、体验、成本

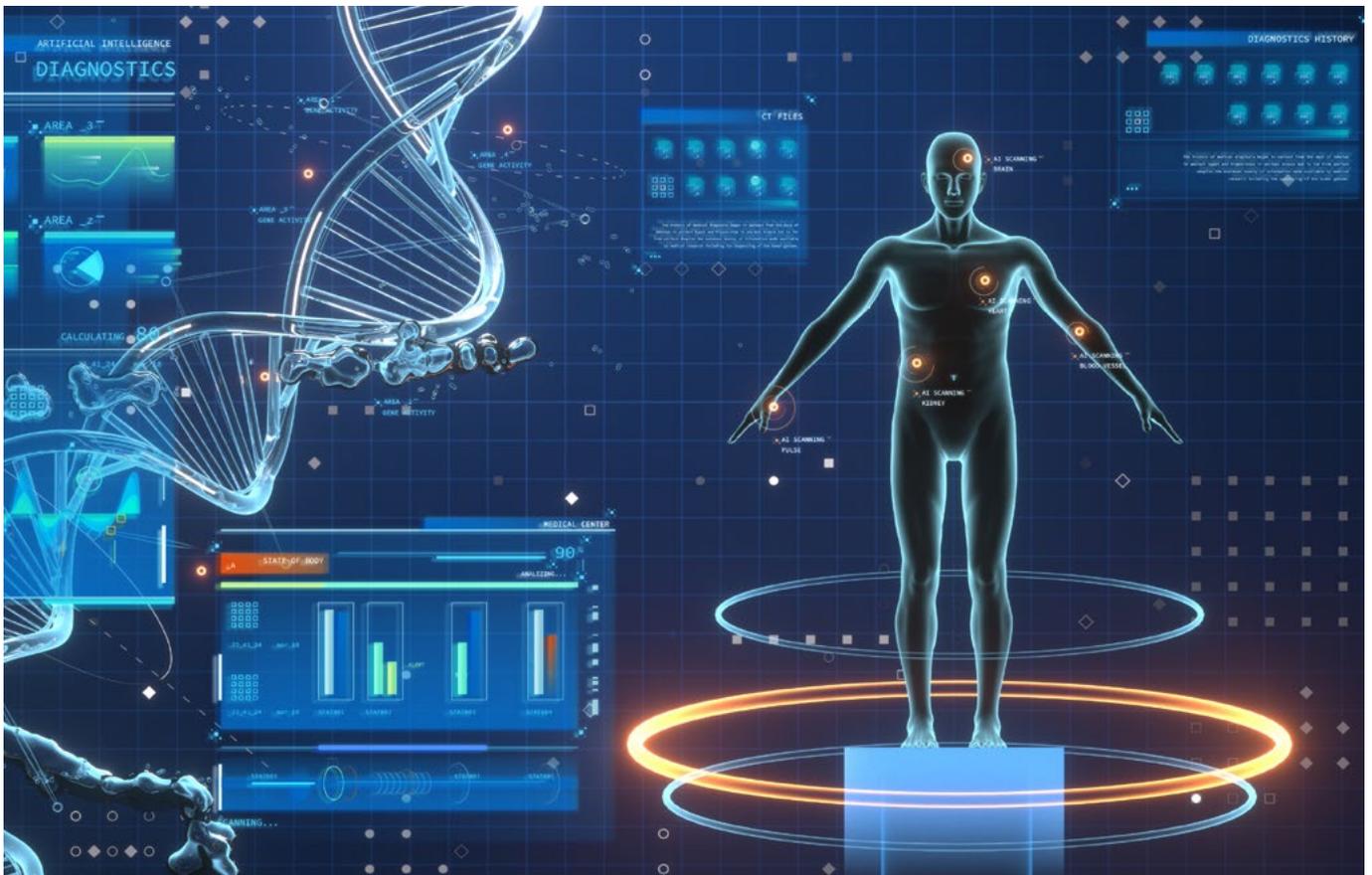
方面具备优势，开始规模化应用。

# 高精度医疗导航

人工智能与精准医疗深度融合，助力诊疗精度与效率提升

## 概要

传统医疗依赖医生经验，犹如人工寻路，效果参差不齐。人工智能与精准医疗深度融合，专家经验和新的辅助诊断技术有机结合，将成为临床医学的高精度导航系统，为医生提供自动指引，帮助医疗决策更快更准，实现重大疾病的可量化、可计算、可预测、可防治。预计未来三年，以人为中心的精准医疗将成为主要方向，人工智能将全面渗透在疾病预防和诊疗的各个环节，成为疾病预防和诊疗的高精度导航协同。



## 趋势解读 |

传统医学方法在疾病的早筛、诊断、预后、治疗中存在局限性，体现在确诊准确率和诊疗效率、精度和效果等多方面。人工智能有望将医疗专家的经验 and 新的辅助诊断技术有机结合，在满足临床设计目标的基础上不断进化，凭借良好的人机交互能力，与医生协同互信，真正成为医生不可或缺的帮手。

人工智能技术已被证明可与基因检测、靶向治疗、免疫治疗等新技术研究有效结合，改变了单纯依赖医生经验的诊断模式，以肿瘤为例：在早筛和确诊环节，人工智能技术的应用从单一癌种走向全癌种的精准早筛。使用人工智能影像分析，医生可找到癌细胞的踪迹，改变传统仅用肉眼观测癌细胞的诊断模式。通过对样本大数据做标志物的整合和分析，可实现大批量人群的自动化筛查。同时，人工智能还能自动生成多模态放射病理诊断和综合评估报告，辅助医生决策，提升癌症早诊率、治疗率，降低恶性肿瘤的死亡率。根据英美国家的统计，使用人工智能技术做乳腺癌的早期筛查，阳性误诊率分别降低了5.7%（美国）和1.2%（英国）。

在治疗环节，人工智能技术将改善传统癌症治疗方式，对肿瘤的处理不再是简单的手术切除与否，而是可以明确是否复发、转移，做到比肉眼看得更准，让治疗过程透明简单。基于临床数据的分析，人工智能在放疗与化疗的个体情况检测和靶向用药方面也将发挥关键作用。此外，人工智能将在肿瘤特异性免疫治疗过程中，持续提升预测抗原的精度。特异性的细胞免疫治疗是最具潜力的肿瘤治疗方法，需要通过肿瘤特异性识别来做抗原预测，人工智能代替人工实验来筛选海量的



异常抗原肽和免疫细胞受体的空间结构，完成医生无法完成的工作。

在预后环节，人工智能技术改变了以往单纯依赖专家经验的预测方式，实现了基于临床数据指征的精确计算，能够指引预后，降低风险。

高精度医疗导航的主要挑战是标准化、规范性和可解释性，可解释性是建立人工智能和医生的互信关系、推动产业化的先决条件。

未来三年，以人为中心的精准医疗将成为主要方向，全面渗透在疾病预防和诊疗的各个环节，成为疾病预防和诊疗的高精度导航协同。而随着因果推理的进一步发展，可解释性有望实现突破，人工智能将为疾病的预防和早诊早治提供有力的技术支撑。



# 全域隐私计算

破解数据保护与流通两难，隐私计算走向全域数据保护

## 概要

数据安全保护与数据流通是数字时代的两难问题，破解之道是隐私计算。过去受制于性能瓶颈、技术信任不足、标准不统一等问题，隐私计算尚只能在少量数据的场景下应用。随着专用芯片、加密算法、白盒化、数据信托等技术融合发展，隐私计算有望跨越到海量数据，数据源将扩展到全域，激发数字时代的新生产力。预计未来三年，全域隐私计算技术将在性能和可解释性上有新的突破，或将出现数据信托机构提供基于隐私计算的数据共享服务。



## 趋势解读 |

在数字经济时代，数据成为核心生产要素，但与此同时，数据确权、数据法规、隐私保护意识、数据安全保障等因素，已成为跨组织间数据的共享与价值挖掘必须面对的课题。

隐私计算融合密码学、人工智能、芯片设计等学科，以多方安全计算、差分隐私、可信计算为代表技术，可在保证数据隐私不泄露的情况下实现计算分析，为跨组织的数据共享提供可行的模式。然而性能瓶颈、技术信任不足、标准不统一等问题，让隐私计算尚只能在少量数据的场景下应用。

隐私计算将迎来三方面的突破，让隐私计算能被大规模应用：一是性能与效率的跨越式提升，包含同态加密的算法突破，降低加解密的算力需求、软硬一体的加速芯片，针对多方安全计算和联邦学习场景进行性能优化、更多第三方提供可信执行环境(TEE)等。二是隐私计算技术的白盒化，提升技术的可解释性进而强化信任度，通过开放集成能力，降低跨技术、跨模型的集成壁垒。三是数据信托机构的出现，作为可信第三方提供技术与运营，加速组织间的数据共享。

隐私计算的技术突破将推动数据计算由私域走向全域，分析的精度与深度也随着可用的数据量增加而提升，在某些对数据量强依赖的领域效果更显著，如商业分析、风险控制、学术研究、人工智能、精准营销等。另一方面，全域隐私计算技术成熟后，有望成为数据共享的标准，数据流通的风险将大幅降低，数据所有者与数据保管者的责任边界更加明确，安全程度也更加可衡量。

除了技术之外，隐私计算最大的不确定性来自于运营模式和合规标准。运营模式尚未形成完整的体系，让数据提供方有足够的诱因共享数据，同时保障数据质量让数据使用方有意愿付出费用。就合规标准而言，

隐私计算的合规红线并不明确，让技术发展存在较大的不确定性，技术与标准需要在发展过程中不断地相互促进。



我们预测在三年内，全域隐私计算将在性能和可解释性上有新的突破，并开始出现数据信托机构提供基于隐私计算的数据共享服务。在未来的五到十年，全域隐私计算将改变现有的数据流通方式，新型业务也将在全域数据的基础上诞生，提升全社会以数据为核心的生产效率。



# 星地计算

卫星及地面一体化的通信与计算，促进空天地海全面数字化

## 概要

基于地面网络和计算的数字化服务局限在人口密集区域，深空、海洋、沙漠等无人区尚是服务的空白地带。高低轨卫星通信和地面移动通信将无缝连接，形成空天地海一体化立体网络。由于算随网动，星地计算将集成卫星系统、空中网络、地面通信和云计算，成为一种新兴的计算架构，扩展数字化服务的空间。预计未来三年，低轨卫星数量会迎来爆发式增长，卫星及其地面系统将成为新型计算节点。



## 趋势解读

近年，全球连接及数字化的需求不断增加，不再只是服务人口密集的区域，也延伸到深空、海洋、沙漠等无人区，单靠地面网络和计算已无法有效满足需求。星地计算将卫星系统、空中网络、地面通信和云计算集成，成为一种新兴的计算架构。

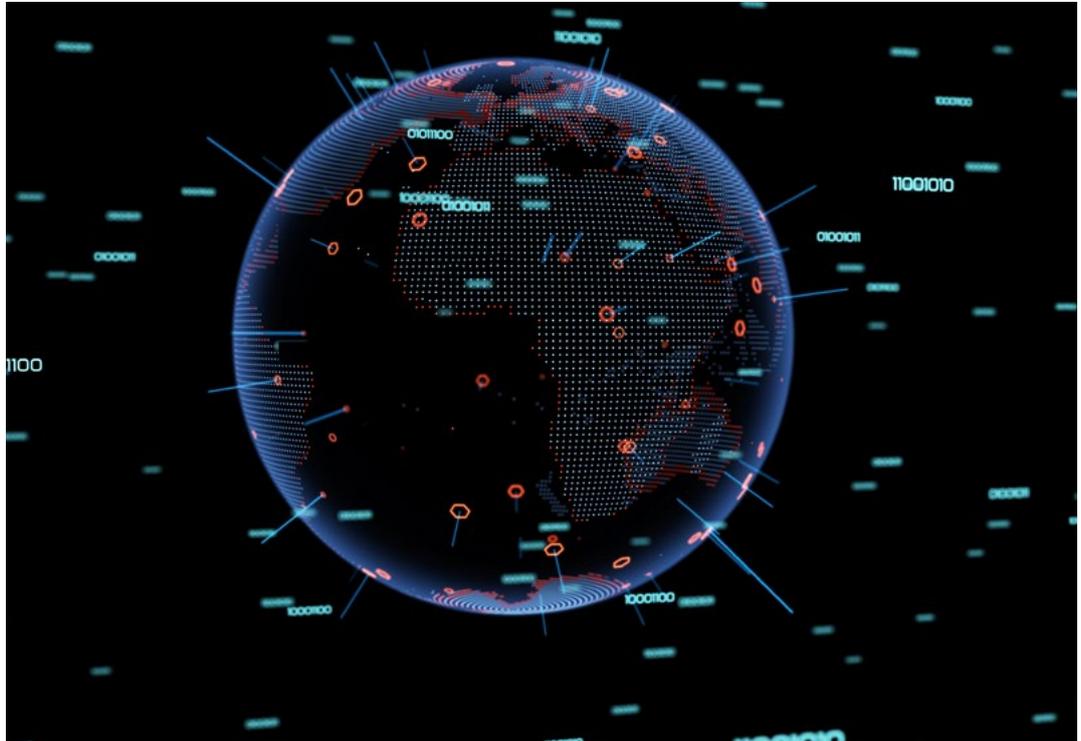
空中网络和地面通信系统无缝对接，以及技术能力不断迭代升级，将为全球各类应用提供高性能、低成本、高可靠、无处不在的数字化连接，降低获取连接的复杂度，并全面提升连接质量。

算随网动，泛在互联网不同连接场景下将会产生新的算力需求，促进和催生更丰富多元的算力，在多种计算任务中发挥作用，从而满足不同行业、不同场景下的数字化需求，全面提升各行各业的运行质量。

星地计算通过空、天、地、海广覆盖的网络连接实现全息泛在的智能高速宽带通信和全域计算服务，促进万物互联，将有效解决偏远地区、航海航空的通信需求，低延时广覆盖的网络将促进云端端的进一步融合，为各种极端场景带来新型应用的可能。从产业视角而言，人与设备在线更容易，意味着更深更广的数字化与智能化，将极大程度催化组织的全局智能。

星地计算在实现上仍面临较多难题：一是空天地一体化通信问题。面向种类繁多、结构复杂的泛在互联网的各种业务需求，传统卫星通信的简单技术体制、静态处理机制、薄弱产业基础都难以适用。二是星群计算问题。天上星间信息传输光变电和电变光的发热

问题还未被解决，制约了星间信息传输的效率。三是星地产业融合问题，地面硬件技术（如芯片）应用到卫星上仍然面临较大的环境适应问题（宇宙射线、空间干扰等），需要新的制造工艺突破。



我们预计在未来三年，低轨卫星数量会迎来爆发式增长，与高轨卫星共同组成卫星互联网。在未来五年，卫星互联网与地面网络将无缝结合形成天地一体的泛在互联网，卫星及其地面系统成为新型计算节点，在各类数字化场景中发挥作用。

根据公开数据整理



# 60倍

全球低轨卫星数量预计增长

# 云网端融合

云网端融合形成新计算体系，催生云上新物种

## 概要

新型网络技术发展将推动云计算走向云网端融合的新计算体系，并实现云网端的专业分工：云将作为脑，负责集中计算与全局数据处理；网络作为连接，将多种网络形态通过云融合，形成低延时、广覆盖的一张网；端作为交互界面，呈现多元形态，可提供轻薄、长效、沉浸式的极致体验。云网端融合将促进高精度工业仿真、实时工业质检、虚实融合空间等新型应用诞生。预计未来两年，将有大量新型应用在云网端融合的新计算体系中运行。



## 趋势解读 |

云计算发展经历了两个层次，第一层是基础设施云化，云计算取代了传统数据中心，算力与数据向端迁移。第二层是架构云原生，运用云原生的先进架构，让应用走向容器化与无服务器化。在连接技术高速发展的背景下，

云计算开始走向第三层，云、网、端的协作关系发生变化，走向云网端融合的新体系架构。

新的体系架构下，云网端将专业分工。云作为体系中的“脑”，负责计算与数据处理，具备更好的计算效率、体系化的数据处理以及高精、高效、高覆盖的人工智能平台能力。

网作为体系中的连接系统，光纤、5G、卫星互联网等技术通过云融合，形成低延时、广覆盖的一张网，连接各种形态的云和端，让云网端形成更有机地整体。



可能性，如高精度的工业仿真；在网侧，由网连接的分布式的算力将促进更多低延时的边缘计算应用，如实时的工业质检；在端侧，云网端进行协同与交互，催生如云电脑、云游戏等新型应用。

云网端融合的体系需要克服两个挑战，一是网络技术的突破，由于在新的体系中网络扮演着关键角色，网络质量、成本与覆盖都将成为体系发展的制约条件，新型网络技术（如5G与卫星互联网）需要不断以应用需求为导向进行技术优化迭代并以多种手段开展覆盖建设。二是信息安全，数据在云上处理，对数据加



端作为体系中的交互界面，可大幅简化非必要的计算和数据资源，更专注在用户体验上，如轻薄、长效、沉浸式体验等，端的形态将更多元，覆盖各类场景下的交互需求。通过云网端协同，将在一种端上完成多样场景，在多种端上有一致的体验。

云网端的融合将更高效地促进新型应用的诞生。在云端，应用将不受过去装置资源的限制，释放更多

密、数据治理、安全计算、隐私计算等安全技术的要求更高。

我们预测在未来两年内，将有大量的应用场景在云网端融合的体系运行，伴随着更多依云而生的新型设备，带来更极致、更丰富地用户体验。

# XR 互联网

XR 眼镜会成为重要交互界面，带动下一代互联网发展

## 概要

随着端云协同计算、网络通信、数字孪生等技术发展，以沉浸式体验为核心的 XR（未来虚实融合）互联网将迎来爆发期。眼镜有望成为新的人机交互界面，推动形成有别于平面互联网的 XR 互联网，催生从元器件、设备、操作系统到应用的新产业生态。XR 互联网将重塑数字应用形态，变革娱乐、社交、工作、购物、教育、医疗等场景交互方式。预计未来三年，外形与重量接近普通眼镜的新一代 XR 眼镜将产生，成为下一代互联网的关键入口。



## 趋势解读 |



互联网的发明引领了数字时代的发展，互联网的更新迭代也对产业的格局产生巨大影响。移动互联网让手机取代个人电脑，操作系统和应用生态也发生了极大变化，而随着 VR、AR 为代表的虚拟现实技术产业化，下一代的 XR 互联网将对数字时代产生巨大影响。

XR 互联网将改变用户的信息感知和获取方式，最大的特征是由二维平面走向三维立体的沉浸式体验，信息会以自然的方式被获取，让用户所见即所得。

构筑 XR 互联网需要四大要素：硬件（如 XR 眼镜等）、内容（如娱乐、购物、社交等）、人工智能（如空间感知、数字孪生）、基础设施（如 5G、云计算等）。四大要素中硬件和内容会率先发展，硬件是获取数据与用户交互的基础，也是互联网平台的载体。XR 眼镜会成为 XR 互联网的重要入口，同时云网端协同将改变眼镜的形态，使其向着体积更小、重量更轻、响应速度更快的方向发展。内容则以娱乐社交和办公场景开始，再逐渐发展至购物、教育、医疗等对远距互动有一定需求的场景。

XR 互联网改变了人与科技互动的方式，一是模拟真实世界的时空，解决真实世界远距移动的问题，如远程教育、远程医疗、远程办公等，克服地理空间的限制。二是创造真实世界不存在的时空，解决真实世界不完美的问题，如游戏、社交等，让用户能够重新建立自我认可，并以接近真实世界的方式进行交互。XR 互联网也将重塑现有的产业结构，催生一批从元器件、设备、操作系统到应用的

新产业生态。

XR 互联网处于发展初期，技术上最大的挑战是实现高度沉浸式体验：一是 AR、VR、MR 眼镜等终端在算力、分辨率、体积和功耗有较大提升空间。二是当前的体验技术注重

视觉和听觉，而触觉、嗅觉、味觉等体验技术仍有待突破。最后是隐私风险，个体数据作为支撑其持续运转的核心要素，数据资源合规收集、储存、分析与管理的机制尚待探讨。

我们预计未来三年内会产生新一代的 XR 眼镜，融合 AR 与 VR 的技术，利用端云协同计算、光学、透视等技术将使得外形与重量接近于普通眼镜，XR 眼镜成为互联网的关键入口，得到大范围普及。



## 参考文献

- [1] Tunyasuvunakool, K., Adler, J., Wu, Z. et al. Highly accurate protein structure prediction for the human proteome. *Nature* 596, 590–596 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03828-1>.
- [2] M. Ziatdinov, et al., “Building and exploring libraries of atomic defects in graphene: Scanning transmission electron and scanning tunneling microscopy study,” *Sci. Adv.* 5:eaaw8989 (2019). DOI: 10.1126/sciadv.aaw8989.
- [3] Basu, S., Kumbier, K., Brown, J. B., & Yu, B. (2018). Iterative random forests to discover predictive and stable high-order interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(8), 1943-1948.
- [4] Chang, M.C., et al. Accelerating neutron scattering data collection and experiments using AI deep super-resolution learning (arXiv:1904.08450, 2019).
- [5] R. Bommasani, D.A. Hudson, E. Adeli, R. Altman, S. Arora, S. von Arx, ..., P. Liang, On the opportunities and risks of foundation models, Center for Research on Foundation Models (CRFM) — Stanford University (2021)
- [6] S. Avin, R. Gruetzemacher, J. Fox, Exploring AI Futures Through Role Play, The 2020 AAAI/ACM Conference on AI for Ethics and Society (2020)
- [7] S. Baum, B. Goertzel, T. Goertzel, How long until human-level AI? Results from an expert assessment, *Technological Forecasting and Social Change*, 78 (1) (2011), pp. 185-195.
- [8] Xu Han, Zhengyan Zhang, Ning Ding, Yuxian Gu, Xiao Liu, Yuqi Huo, Jiezhong Qiu, Liang Zhang, Wentao Han, Minlie Huang, et al. 2021a. Pretrained models: Past, present and future.
- [9] J. Lin, A. Yang, J. Bai, C. Zhou, L. Jiang et al., “M6-10t: A sharing delinking paradigm for efficient multi-trillion parameter pretraining,” arXiv:2110.03888, 2021.
- [10] OpenAI, AI and Compute, 2018
- [11] Cisco, Global Index, 2018
- [12] Riccardo Marchetti, Cosimo Lacava, Lee Carroll, Kamil Gradkowski, and Paolo Minzioni, "Coupling strategies for silicon photonics integrated chips [Invited]," *Photon. Res.* 7, 201-239 (2019)
- [13] Rudolph, T. Why I am optimistic about the silicon-photonics route to quantum computing. *APL Photonics* 2, 030901 (2017).
- [14] 国家能源局, 《关于征求 2021 年可再生能源电力消纳责任权重和 2022-2030 年预期目标建议的函》, 2021.
- [15] B. K. Bose, "Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid and Renewable Energy Systems—Some Example Applications," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 11, pp. 2262-2273, Nov. 2017, doi: 10.1109/JPROC.2017.2756596.
- [16] S. Ramachandran, "Applying AI in Power Electronics for Renewable Energy Systems [Expert View]," in *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 7, no. 3, pp. 66-67, Sept. 2020, doi: 10.1109/MPEL.2020.3012009.
- [17] ABB, Industry Survey, 2021.
- [18] International Federation of Robotics, Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots, 2021, 12-16.
- [19] Jackson, A., Mentzer, N., Kramer, R., & Zhang, J. (2017, June). Maker: Taking soft robotics from the laboratory to the classroom. Paper presented at the Make It! Event during the 2017 ASEE Annual Conference & Exposition, Columbus, OH. Retrieved from <https://peer.asee.org/27741>

- [20] Wang, Z., Chen, M.Z.Q., & Yi, J. (2015). Soft robotics for engineers. *HKIE Transactions*, 22(2), 88-97.
- [21] Allied Market Research, AI in Healthcare Market, 2021.
- [22] McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature* 2020; 577: 89-94.
- [23] U.S. Food & Drug Administration. Evaluation of automatic class III designation for Osteo Detect. (2018). Available at: [https://www.accessdata.fda.gov/cdrh\\_docs/reviews/DEN180005.pdf](https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/reviews/DEN180005.pdf). (Accessed: 2nd October 2019)
- [24] Gartner, Top Strategic Technology Trends for 2022, 2021
- [25] 中国信息通信研究院, 隐私计算白皮书 (2021), 2021
- [26] SIA, 2020 Top-level global satellite industry findings, 2021
- [27] CHEN S Z, SUN S H, XU G X, et al. Beam-space multiplexing: practice, theory, and trends, from 4G TD-LTE, 5G, to 6G and beyond[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2020, 27(2): 162-172
- [28] PORTILLO I D, CAMERON B, CRAWLEY E F. A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband[J]. *Acta Astronautica*, 2019, 6(159): 123-135.
- [29] Patterson, D.P., 1998, March. Teledesic: a global broadband network. In *Aerospace Conference*, 1998 IEEE (Vol. 4, pp. 547-552).
- [30] Uptime Institute, Annual Data Center Survey, 2020
- [31] Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2016–2021 VNI Cisco - CISCO White paper, 2017
- [32] A. R. Biswas and R. Giaffreda, "IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges," 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2014, pp. 375-376, doi: 10.1109/WF-IoT.2014.6803194.
- [33] IDC, IDC 全球增强与虚拟现实支出指南, 2020
- [34] Gartner, Hyper Cycle for Emerging Technologies, 2021
- [35] Cisco, 2018 Cisco Complete VNI Forecast and Trends Update, 2018
- [36] Dionisio, J. D. N., Burns, W. G., & Gilbert, R. (2013). 3D Virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 45(3), 34.
- [37] Girvan, C. (2018). What is a virtual world? Definition and classification. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1087–1100.

# 致谢

## 陈本美

新加坡工程院院士、  
香港中文大学教授

## 鄂维南

中国科学院院士，北京大学教授、  
普林斯顿大学教授

## 郭安源

华中科技大学教授

## 黄非

达摩院研究员

## 金鑫

北京大学研究员

## 李雅亮

达摩院高级技术专家

## 陆盈盈

浙江大学研究员

## 戚肖宁

达摩院高级科学家

## 沈文忠

上海交通大学特聘教授、“长江学者”  
特聘教授，APS/IEEE Fellow

## 谭平

达摩院 XR 实验室主任

## 王小川

搜狗创始人

## 谢崇进

阿里巴巴首席通信科学家、  
OSA/IEEE Fellow

## 杨红霞

达摩院资深技术专家

## 张含望

新加坡南洋理工大学南洋助理教授

## 张兆翔

中国科学院自动化研究所研究员

## 周志华

南京大学教授、欧洲科学院外籍院士

## 陈劲

清华大学教授

## 杜子东

中国科学院副研究员

## 郭雷

中国科学院院士、中国科学院国家  
数学与交叉科学中心主任

## 黄高

清华大学助理教授

## 李飞飞

达摩院数据库与存储实验室主任、  
IEEE Fellow

## 梁文华

广州医科大学附属第一医院（国家呼吸  
医学中心）副主任医师、副研究员

## 吕乐

达摩院医疗 AI 实验室主任、  
IEEE Fellow

## 邱剑

阿里云高级技术专家

## 施尧耘

达摩院量子计算实验室主任

## 唐杰

清华大学教授、IEEE Fellow

## 王奕快

阿里云产品专家

## 谢源

达摩院计算技术实验室主任、  
ACM/IEEE/AAAS Fellow

## 杨强

加拿大皇家科学院、工程院院士、  
香港科技大学新明工程学讲席教授

## 张丽清

上海交通大学教授

## 赵慧婵

清华大学副教授

## 丁博麟

达摩院资深技术专家

## 方新

第三世界院士，中国科学院研究  
生院管理学院教授

## 过敏意

欧洲科学院外籍院士、上海交通  
大学讲席教授、IEEE Fellow

## 贾扬清

达摩院 AI 平台实验室主任、阿里云  
计算平台事业部高级研究员

## 李默

新加坡南洋理工大学教授、  
IEEE Fellow

## 林宝军

中国科学院微小卫星工程中心研究员

## 马涛

达摩院研究员、阿里云基础软件部  
操作系统负责人

## 薛宇

华中科技大学教授

## 司罗

达摩院自然语言智能实验室主任

## 王刚

达摩院自动驾驶实验室主任

## 王元卓

中国科学院计算技术研究所研究员

## 薛澜

清华大学文科资深教授、  
清华大学苏世民书院院长

## 姚柳佚

达摩院技术专家

## 张铭

达摩院 XG 实验室主任

## 周傲英

华东师范大学教授，“长江学者”  
特聘教授

## 董子龙

达摩院高级技术专家

## 甘璐

华中科技大学教授

## 华先胜

达摩院城市大脑实验室主任、  
IEEE Fellow

## 金榕

达摩院机器智能技术实验室主任

## 李小龙

达摩院研究员

## 刘笔锋

华中科技大学教授、教育部新世纪  
优秀人才、华中卓越学者特聘教授

## 苗春燕

新加坡工程院院士、南洋理工大  
学校长讲席教授

## 任奎

浙江大学求是讲席教授、ACM/  
IEEE Fellow

## 宋晓刚

中国机械工业联合会执行副会长

## 王权

上海科技大学助理教授

## 吴帆

上海交通大学教授

## 鄢志杰

达摩院语音实验室主任

## 印卧涛

达摩院决策智能实验室主任

## 张亚勤

中国工程院外籍院士，清华大学  
智能科学讲席教授

## 周靖人

达摩院智能计算实验室主任，  
IEEE Fellow

# 编纂委员会

## 指导组

张建锋：阿里巴巴达摩院院长，阿里云智能总裁

程立：阿里巴巴达摩院常务副院长，阿里巴巴集团首席技术官

## 工作组

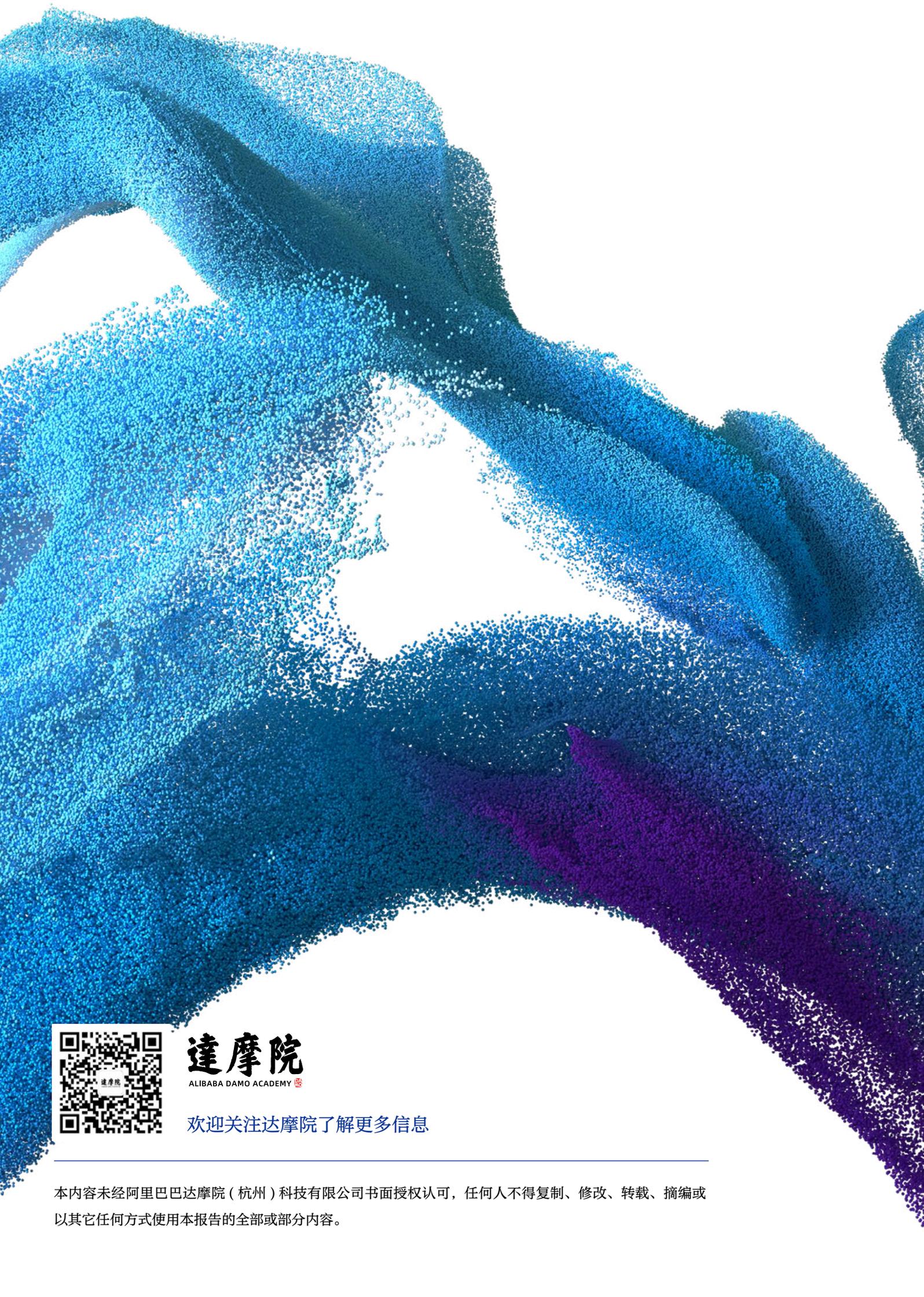
刘湘雯（组长）：阿里巴巴达摩院秘书长，阿里云智能副总裁

常婉宜、陈騫、本云、程弢、段佳惠、郭路瑶、何飞、荆海峰、李贝、李晨宇、李俊平、李宁、李盛锦、李亚英、李战胜、李钊、刘湘琳、刘洋、麻芑、马晓、邱彼特、苏智、唐佩、汤苏文、童冰、童宗法、王传鑫、王婧璇、吴凌世化、肖成、杨柳林、余东昇、张冰、张师华、郑昊、郑宇化、仲博文、钟曜戎、朱迅垚、朱智敏、资洋、宗婷婷

## 翻译组

邴孝娟、樊敏、荆慧雅、NAIK, HIONG GUO、单依依、王娇、魏之婷、张彩霞、张佳杰、张宁、赵洁





達摩院

ALIBABA DAMO ACADEMY

欢迎关注达摩院了解更多信息

---

本内容未经阿里巴巴达摩院（杭州）科技有限公司书面授权认可，任何人不得复制、修改、转载、摘编或以其它任何方式使用本报告的全部或部分内容。