



智能世界 2030



构建万物互联的智能世界

序言



乔治·吉尔德

畅享未来智能世界，人们无需再排队等候，无需再重复单调乏味的工作，任何商品和服务都会在你最需要的时候即时送达。

未来全球数据将进入 YB 时代，智能和宽带将像空气一样无所不及，几乎所有家庭、车辆和个人都能享受万兆网络。

在这样的世界中，健康将可计算，诊疗将更高效，抗击癌症和疫情将取得显著成果。

在这样的世界中，我们可以用工业化的方式解决农业问题，打造不受气候和土地资源影响的农场，用数据换产量，解决全球饥饿问题。

在这样的世界中，无人驾驶汽车将开启第三空间，满足人们出行时的学习和娱乐等需求。无人驾驶革命将使能空中电动出租，带来出行新体验。

在这样的世界中，绿色、全光和数字化转型将打造更宜居、更人性化的全连接城市。全球 85% 的企业将借助牢不可破的区块链技术保护个人隐私安全，隐私增强计算将占总计算的一半以上。在云计算的加持下，未来的能源将更清洁、更智能。在数字可信的世界中，企业将更具韧性，柔性生产将更受青睐。

总之，未来将是一个智能世界。

作为世界领先的技术领导者，华为引领数字未来建设，并致力于展望未来创新趋势。《智能世界 2030》报告描绘了华为对于未来世界的美好愿景。

华为“智能世界”研究团队与 1000 多名来自各个行业的学者进行交流，悉心聆听数十家客户的想法，广泛征求合作伙伴的意见。研究团队分析了国际组织、科学期刊和咨询公司的大量数据，并结合华为自身的洞察和判断。研究团队组织了 2000 多场研讨会，让思想在交流中碰撞出智慧的火花。

这份报告以信息理论为指导，打通学科界限，融合多学科智慧。经济信息论认为，财富在最本质上是知识（山顶洞人毕竟当时也拥有我们今天所掌握的所有物质资源）。经济增长指的是“学习”，具体表现在所有竞争公司降低成本的“学习曲线”上。限制学习过程的是时间——当其他一切资源变得丰富时，时间依然有限。

这就是智能世界的愿景。持续学习是华为不断丰富实践知识的基础。有限的时间提醒我们避免浪费，促使我们提升效率和降低成本。

在这样的世界中，时间成本将用来衡量价值，工人为提供商品或服务所付出的时间将用于衡量产品和服务的价值。随着收入的增加和成本的降低，时间成本将成为衡量进步的一个普遍标准。

从这个衡量标准来看，我们生活在一个高速发展的时代。远古时期的人类醒来就要随时劳作以获取食物来维持生计，但我们现在为了获取食物只需要几分钟的时间。因此，我们有更多的时间进行发明创造，比如将本报告中描绘的愿景变为现实。

如果按照时间成本来衡量，经济增长至少是通常估计的两倍。虽然世界人口在过去 40 年增长 75%，但生活用品的时间成本却下降了 75%。此外，在过去 40 年，中国以每年近 12% 的增长高速发展，大幅领先世界其他国家。

正如本报告对未来的憧憬，华为等公司对未来的探索和展望为社会发展提供了源源不断的动力。

George Gilder
著名经济学家、未来学家



邬贺铨

当今世界，我们感受到工业化带来的经济社会发展，但同时也面临日益严峻的挑战。与老龄化、城镇化等伴随的是医疗需求激增、劳动力短缺、CO₂排放增加、城市交通拥堵、环境污染严重，去年以来的新冠疫情持续不断，异常气候导致灾害频发，这些都凸显现代社会的脆弱性。联合国提出到 2030 年应达到的 17 个可持续发展目标，以此来应对上述挑战，这些目标的实现依赖科技创新与政策法规，需要通过数字化和智能化转型来建设智能世界。

网络基础设施是信息化的基础，是未来社会的底座。未来世界对网络有何需求？全球互联网普及率现已超 52%，年均约增 3%，未来十年发展中国家的网民数还将持续增加，预计 2030 年全球互联网普及率可达 70%，而且网络连接数增加更快，目前连接物的数量已超过连接人的数量，过去十年全球物联网连接数年复合增长率达到 10%，2030 年物联网连接数将较网民数有数量级的增加。IDC 报告 2016~2020 年全球数据量年增 30%，可类推未来十年全球数据量将较现在增长 14 倍。

数据驱动宽带化，过去十年消费应用的平均接入带宽增长十倍多，未来十年万兆级接入将大量应用。网络应用的主体将从消费应用转到产业应用，低时延和确定性通信及精准定位是工业应用的特点，高安全高可靠和数据保护是产业应用的前提。

为了使网络能力能满足未来社会的要求，以 2030 为目标的未来网络技术研究已提前布局，取得初步成果，基于 IPv6 地址潜力可提供应用感知和随流检测能力，在此基础上可开发新的路由协议支持低时延高可靠服务，进一步通过灵活 IP 协议提升网络对业务的自适应性，已经提出了一些新型网络体系方案，针对性为不同应用需求提供确定性、内生安全与边界安全结合的高安全性、绿色化、智能化、泛在化的网络能力。

未来还将更深入融合 5G、云计算、物联网、大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术，更精准对业务应用意图的理解和对网络资源的优化高效利用，实现云网协同安全可信。

华为公司发布《智能世界 2030》报告，从医、食、住、行、城市、企业、能源和数字可信等八个领域展望 2030 年，通过利用新一代信息技术，让健康可计算、让生命有质量、让数据换粮食、让城市更宜居、让建筑更绿色、让出行更便捷、让产业更智能、让社会更可信。本报告列举了一些示范应用取得的效果，引用了国际知名机构对上述八大领域的预测数据，使十年后的远景清晰可见。

本报告还附有通信网络、计算、数字能源和智能汽车解决方案四份产业报告。本探索报告顾名思义是对未来的预判，但未来发展还有很多不确定性，本报告给出的预见仅是为科技工作者思考未来智能世界提供一个参考，鼓励创新思维，探索颠覆性技术应对未来社会的挑战。

赵军

中国工程院院士
中国互联网协会咨询委员会主任
中国标准化专家委员会主任



高文

人工智能在近十年取得了突破性进展，各类应用已经逐渐渗透到所有人的衣、食、住、行中，特别是在疫情期间发挥了巨大的作用，让世人共同见证了人工智能的普惠价值。中国的人工智能技术在数据规模和产业应用、青年人才储备方面具有优势，但在原创算法与核心元器件、开源开放平台方面还是短板。如何尽快补上短板，使得我国的人工智能发展可以健康发展、长久不衰，是我们需要认真思考与布局的大事。

本轮人工智能的蓬勃发展依赖于三个要素：数据、算法、算力。所谓算力就是超强的计算能力。人工智能的进步带来了远远超越摩尔定律的算力需求。以深度学习为例，从 2011 年兴起到现在，对于算力的需求一直是指数级增长的，每隔 3.4 个月算力需求翻一倍。2020 年，自然语言处理模型 GPT-3 参数量达到 1750 亿，算力需求是 3640PD（PD 代表以千万亿次每秒的算力计算一天所用的浮点计算量）；2021 年，鹏程·盘古——业界首个全开源 2000 亿参数中文预训练语言模型，使用 E 级 AI 算力的鹏城云脑 II 算了 50 天，算力需求达到了 25000PD；到 2023 年，这种巨量模型的算力需求能到百万 PD，这就对现有计算机和计算处理能力提出了严峻的考验。

AI 的发展离不开数据共享、算力共享、生态共享的大趋势。各算力中心之间如何在保障数据安全的前提下进行联动训练，探索打破隐私保护和数据挖掘相悖的方法，将是未来几年持续探索的话题。针对这个问题，联邦学习、AI 靶场等技术也先后面世，相信随着相关技术的逐渐成熟，保障数据安全与促进数据开发利用将不再是矛盾，可信的计算平台也会促进算力网络的进一步发展。

这份研究报告全面阐述了华为的研究发现，华为在计算产业的思考相信对关心计算产业发展的相关人士具有很好的启示和参考意义。

面向未来 5~10 年，人工智能将会有更广泛的应用，比如以 AI 为主导的 6G 智能感知网络、突破现有的机器图像系统的类脑视觉等等，让我们大家一起携手走向计算产业的美好未来。

A handwritten signature in black ink, appearing to read "高文" (Gao Wen).

中国工程院院士
鹏城实验室主任
北京大学博雅讲席教授



陈清泉

汽车的出现改变了世界，使人们出行更便捷、更自由，但现在的汽车也给城市带来了“疾病”，如空气污染、交通堵塞、能源不可持续等。因此，汽车必须被改变。未来 10 到 20 年间，我们将会迎来一场新的汽车革命。

汽车工业发展到现在已有百余年的历史，它的身体十分强壮，但它的大脑有些衰退。信息产业拥有强大的大脑，它们进入造车新势力，但它们的身体仍然不够强大。因此，要完成这个革命，这两个产业应该跨界融合，开发新一代汽车。这场汽车革命的核心内容是电气化、自动驾驶、汽车互联和共享，目的是以人为本，车、路、城智能化，以实现安全、舒适、低碳、环保、节能、高效的自由出行。

现在，中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，中国崛起的时间线恰逢人类社会迈入第四次工业革命时期。我们需要颠覆性地战略思考应对这次工业革命，突破传统的线性思维。“四网四流”融合就是以突破性的环形思维取代线性思维。“四网”指的是能源网、信息网、交通网、人文网；“四流”是指能源流、信息流、物质流、价值流。通过“四网四流”融合，可以将人的主观能动性和能源革命、信息革命、交通（出行）革命联动起来。其核心思想是，在人的先进思想（上层建筑）指导下，可以采用先进的信息（经济基础）技术，即将信息和云、5G、人工智能技术结合，从数据变信息，再通过数字化变知识、智能。然后将此智能和能源（经济基础）融合，产生智能能源，将废弃的能源变成有用的能源，同时促进碳中和，提高经济效益和生态效益。

这也是人—信息—物理系统三位一体的融合创新。通过建立人—机（信息）—物理系统形成新的生产关系，发掘第四次工业革命的数据红利所能带来的巨大生产力，并在前三次工业革命生产力总和的基础上爆发出指数级的增长。从电动汽车到智能汽车，从智能汽车到智能交通，从智能交通到智慧城市，再进入智能时代，我们可以产生很多附加值和价值机会。

新时代新征程，我们现在已进入能源革命时代。中国正面临着很大的环境压力，对新能源汽车的需求比任何国家都迫切，所以中国必须要走发展新能源汽车的道路。做好能源与互联网的融合发展，现在是最好的机遇。

由于新能源智能汽车是移动的分布式能源、储能和信息载体，通过联动汽车革命、能源革命和信息革命，以及‘四网四流’融合，特别是把能源流变成物质流，可以降低能源强度和碳排放强度，助推“碳中和”。“四网四流”融合通过已开发的智慧能源操作系统，将能源技术和信息技术结合起来，将能源技术与云技术、边缘计算、人工智能和大数据技术结合起来，实现增值效果。这将推动能源领域从第四次工业革命向第五次工业革命过渡。

智慧能源，除了安全、智能以外，最主要的是能否把原来没有用的能源变成有用的，从热力学来说就是把原来的上熵增变成熵减，或者说熵变成熵，其实质就是将原来无序的系统变成有序的系统。在汽车行业继续发展的同时，考虑到“碳中和”，才能行稳致远。

全球即将迈入智能汽车时代，未来世界汽车产业科技发展方向共识是绿色、互联、智能，其发展与变革需要以创新为驱动，也终将会从电动车延伸至人类整个出行方式的变革。要改变人类未来出行方式仅限于研发与制造还远远不够，更要致力于通过智能网联技术实现智捷交通，进而打造未来智慧城市，最终才能真正实现人类未来智能出行方式变革的目标。

汽车是互联网、大数据、人工智能与实体经济深度融合的典型应用，信息技术重新定义汽车，网联化、智能化是汽车的发展方向，智能网联汽车是智能交通的重要支柱。智能网联汽车带来技术、政策、法规等多方面的挑战，智能汽车的标准化还在进行中，智能网联汽车的创新永远在路上。希望我们以后的交通系统是舒适的、生态的、方便的和安全的。让我们共同努力！

陈清泉

世界电动车协会创始主席
中国工程院院士
英国皇家工程院院士



汪涛

无界探索，翻开未来

科技的发展速度，远远超越我们的想象。以 5G、云、AI 为代表的数字技术，不断突破边界，实现跨越式发展。技术的创新正从单一学科到跨学科交叉，从单点技术到跨技术协同，从垂直行业到跨行业融合，数字化、智能化的未来，正在加速到来。

今天，全球互联网把 46 亿人和 200 亿终端联接在一起，彻底改变了人们的生活和工作。互联网的规模仍在持续扩大，正在从消费互联网扩展到工业互联网，华为预测，到 2030 年，全球联接总量将突破 2000 亿，与此同时，企业网络接入、家庭宽带接入、个人无线接入突破万兆，迎来一个万兆联接的时代。

今天，每个人口袋里的一部智能手机的算力，已经远远超过当年阿波罗登月时主控计算机的能力。华为预测，到 2030 年，人类将进入 YB 数据时代，全球通用计算算力将达到 3.3ZFLOPS(FP32)，AI 计算算力将超过 105 ZFLOPS(FP16)，增长 500 倍。

站在下一个十年的起点，我们隐约能看到智能世界 2030 的雏形。2030 年，ICT 技术与人体生物数据相结合，使得“健康可计算”成为现实，人类将活得更健康，更有质量；“大数据 + 人工智能 + 农艺知识”相结合的科学决策体系，将构建一个可持续的普惠绿色饮食系统；全息通信和全屋智慧控制系统，将打造“懂你”的空间，让我们的居住的空间更加人性化；新能源和自动驾驶技术的高速发展，让人类开启住宅、办公室之外的“移动第三空间”；新型城市数字基础设施、云计算和区块链等数字技术，让城市更宜居、城市的治理更高效；协作机器人、AMR 自动移动机器人、数字员工等新型生产力将进入千行万业，这将重塑企业和交易模式，提升企业韧性；“源网荷储”全链路数字化的能源互联网，将系统性地减少碳排放，让绿色能源更加智能；区块链、数字水印、隐私增强等技术，为数字文明的可持续发展构建坚实基础。

基于对未来的不懈探索，过去三年，华为与业界 1000 多名学者、客户和伙伴深入交流，组织了 2000 多场研讨，集业界专家和华为专家的智慧，输出了面向下一个十年的思考——《智能世界 2030》报告。在宏观层面，提出了跨学科、跨领域的八大探索方向，阐述 ICT 技术如何解决人类发展面临的问题与挑战，为组织、个人带来哪些新机会；在产业层面，系统思考了通信网络、计算、数字能源以及智能汽车解决方案这四个领域的未来技术和发展方向。

三十多年前，我们把电话部署到了每一个家庭，丰富人们的沟通与生活；十多年前，我们把网络联接到每一个角落，共建全联接世界；今天和未来，我们致力于把数字世界，带入每个人、每个家庭、每个组织，构建万物互联的智能世界。我们坚信，一个波澜壮阔的智能世界正在加速到来。

想象力决定了我们的未来能走多远，行动力决定了我们到达未来有多快，预测未来最好的方式就是创造未来。在迈向智能世界 2030 的道路上，仍有大量的挑战需要跨越，让我们携起手来，勇于探索、持续创新，共同创造更美好的智能世界！

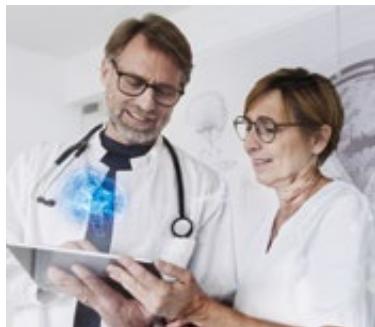


华为常务董事
ICT 产品与解决方案总裁

目录

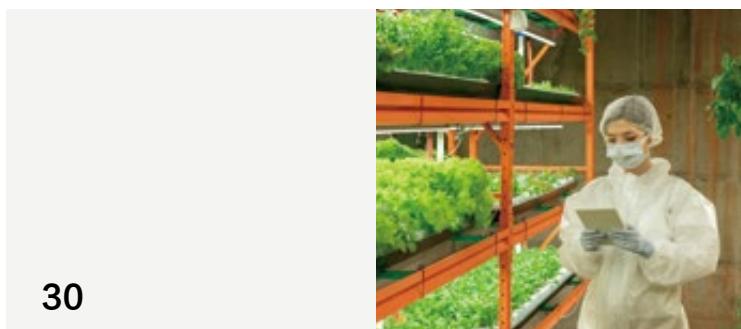
执行概要

14



展望一 医:
让健康可计算,
让生命有质量

18



展望二 食:
用数据换产量,
普惠绿色饮食

30



42



展望三 住:
新交互体验,
让空间人性化

54

展望四 行:
智能低碳出行,
开启移动第三度空间



展望五 城市：
城市新基建，
让城市有温度，更宜居

72



展望六 企业：
新生产力
重塑生产模式，
增强企业韧性

92

展望七 能源：
让绿色能源更智能，
呵护蓝色星球

108



展望八 数字可信：
数字技术与规则
塑造可信未来

128



144 产业趋势

146 未来网络场景

158 网络愿景与关键技术特征

169 倡议

170 附录A：缩略语



174 宏观趋势

175 未来计算场景

184 计算2030愿景及关键特征

206 计算2030倡议

207 附录



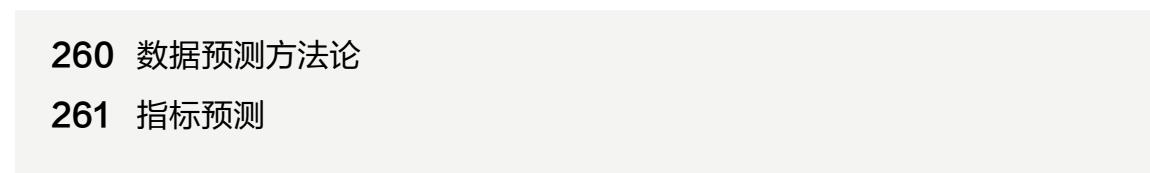
计算
2030



- 212** 以低碳可持续发展为导向的新一轮能源变革开启
- 216** 电力电子技术和数字技术成为驱动能源产业变革的核心技术
- 219** 能源进入数字能源时代，绿色低碳、数字智能，多流合一
- 226** 结束语



- 228** 前言：ICT赋能汽车产业智能化，帮助车企“造好”车，造“好车”
- 230** 产业趋势：汽车产业迎来变革浪潮，跨界合作助力商业共赢
- 235** 场景演进：把数字世界带入每一辆车，赋能产业实现智能驾驶、智慧空间、智慧服务和智能生产
- 238** 技术趋势：智能汽车增量部件持续为产业注入新活力



- 260** 数据预测方法论
- 261** 指标预测



执行概要

站在智能世界的入口，眺望 2030 年：人们希望进一步提升生命质量，普惠绿色饮食，改善居住体验；不再受出行拥堵和城市环境污染的困扰，无顾虑地使用绿色能源、享受各种数字服务；放心地将重复性的危险的工作交给机器人来完成，从而把更多时间和精力投入到有意义、有创意的工作和兴趣中去。为此，如何更好地满足人类社会发展的需求，成为各行各业持续探索的动力。

华为致力于把数字世界带入每个人、每个家庭、每个组织，构建万物互联的智能世界。在本报告中，我们从宏观趋势入手，通过对“医”、“食”、“住”、“行”、“城市”、“企业”、“能源”、“数字可信”八个维度在下一个十年的展望，来尝试描绘智能世界 2030 的美好图景。我们相信智能世界拥有无限可能，需要各行各业持续协作，不断探索，共创美好未来。

展望一 医：让健康可计算，让生命有质量

2030 年，人们以依托高灵敏的生物传感器、云端存储的海量健康数据，让健康可计算。人类将能实现主动预防，从“治已病”到“治未病”；借助物联网、AI 等技术，让未来的治疗方案将不再千篇一律；大型医疗设备更加便携化，实现居家远程医疗联动。

—— 华为预测，到 2030 年：



全球通用计算 (FP32) 总量将达 3.3 ZFLOPS，同比 2020 年增长十倍；



AI 计算 (FP16) 总量将达 105 ZFLOPS，同比 2020 年增长 500 倍。

展望二 食：用数据换产量，普惠绿色饮食

2030 年，人们可以利用农情多元数据图谱，实现精准农耕；通过对数据的收集，模拟作物生长发育所需的温度、湿度等要素，打造不受变化莫测气候影响的“垂直农场”；通过 3D 打印，获得符合个人健康需求且口感最佳的人造肉，真正实现从靠天吃饭过渡到靠数据吃饭。

—— 华为预测，到 2030 年：



全球联接总数达 2000 亿；



全球每年产生的数据总量达 1YB，相比 2020 年，增长 23 倍。

展望三 住：新交互体验，让空间人性化

2030 年，基于万兆家庭宽带、全息通信等技术，打造数字化的物品目录，通过自动配送，实现储住分离；构建智能管理系统，打造物与物的自动交互，让人类有可能在零碳建筑中工作和生活；基于下一代物联网操作系统，实现居家和办公环境的自适应，打造“懂你”的空间。

—— 华为预测，到 2030 年：



全球光纤宽带用户数量达 16 亿；



万兆家庭宽带渗透率达 23%。

展望四 行：智能低碳出行，开启移动第三空间

2030 年，出行将是多维的创新系统，基于自动驾驶技术的新能源汽车，能让我们拥有专属的移动第三空间；新型的载人飞行器不但能提升紧急救援效率，降低急救医疗物资的输送成本，甚至还能改变我们的通勤方式；通过定制高效地与他人共享出行方案，来提高交通工具的使用率，促进绿色出行。

而这背后需要安全稳定的自动驾驶算法，低成本可靠的各类传感器、高速稳定的空天地一体化网络，以及基于强大算力交通管理大脑。由此，打造电气化、自主化、共享化、网联化的低碳出行体验。

—— 华为预测，到 2030 年：

-  电动汽车占所销售汽车总量的比例达 50%；
-  整车算力超过 5000 TOPS；
-  智能汽车网联化 (C-V2X) 渗透率达 60%。

展望五 城市：数字新基建，让城市有温度，更宜居

随着新型数字基础设施的普及与应用，城市环境治理方案将进一步优化，资源的利用率和治理的效率将大幅提升，通过实现跨区的一网统管和一网通办平台，让居民将能享有更便利、人性的服务，生活在有温度，更宜居的城市中。

—— 华为预测，到 2030 年：

-  万兆企业 WiFi 渗透率达 40%。

展望六 企业：新生产力重塑生产模式，增强企业韧性

2030 年，数字化转型推动企业的进一步升级，协作机器人、自主移动机器人等新生产力融入企业；通过对生产、物流等环节的柔性化重塑，实现以人为中心的新生产模式；供应链将数字化的影响下，变得可视化、网状化，企业将拥有更强的韧性以应对变化万千的市场环境。

—— 华为预测，到 2030 年：

-  每万名制造业员工将与 390 个机器人共同工作；
-  有 100 万家企业会建设自己的 5G 专用网络（含虚拟专网）；
-  云服务占企业应用支出比例达 87%；
-  AI 计算占企业 IT 投资比例达 7%。



展望七 绿色能源更智能，呵护蓝色星球

2030 年，能源将更加绿色、更加智能。人们可以在近海、湖面部署新型能源电厂，利用虚拟电厂、能源云构建“源网荷储”全链路数字化的能源互联网，零碳数据中心和零碳站点将有望成为现实。

—— 华为预测，到 2030 年：



全球可再生能源产量占全球发电总量比例达 50%。

展望八 数字技术与规则塑造可信未来

2030 年，数字可信将成为社会基础设施的基本要求。区块链、AI 打假、隐私增强计算等技术与 GDPR、隐私安全保护法等数字规则，双管齐下，共建数字可信的智能世界。

—— 华为预测，到 2030 年：



50% 以上的计算场景将采用隐私增强计算技术；



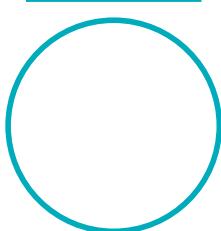
85% 的企业将采用区块链技术。





医

让健康可计算
让生命有质量





过去的十年，是人类健康发展充满“生命力”的十年，据 WHO (world health statistic 2021) 报告显示，全球人口寿命延长了 5 岁，人类预期寿命从 2000 年的 66.8 岁增加到 2019 年的 73.3 岁¹。这意味着活得长已经成为大多数人可以实现的目标，活得有质量将成为我们新的追求。

伴随着人口老龄化的加速，2030 年全球 60 岁以上人口占比将达到 16.5%²，人类对医疗的需求也将激增。WHO 的 2019 数据显示，全球卫生费用支出占生产总值的 10%，其增长快于全球经济的增长。WHO 也预测，2030 年全球护士缺口高达 570 万人³，医护人员总缺口高达 1800 万人⁴。

此外，慢性病和亚健康对人类生命质量的影响也在加剧。据《2021 世界卫生统计报告》，2019 年

全球前 10 大死因中，有 7 个为慢性非传染性疾病，因慢病导致的过早死亡率为 17.8%⁵。

同时，全球的医疗资源与人口增长分布形成剪刀差。根据联合国《世界人口展望 2019》显示，预计到 2050 年，非洲人口将达 24.9 亿，欧洲人口为 7.1 亿⁶，但从目前的医疗资源来看，仅德国的平均每千人医生数量是尼日利亚（非洲经济强国）的 10.5 倍⁷。

面向未来，如何降低医疗成本，丰富医疗资源和医疗形态，创造新的预防和治疗手段，将帮助解决看病贵，看病难的问题，让人们少生病，让生命更有质量。在下一个十年，创新的解决思路正在不断涌现。

► 探索方向一： 以计算识别隐患，从“治已病”转向“治未病”

根据 WHO 的研究显示，身体患病 60% 的因素和生活方式有关⁸，能否培养好的生活习惯是保持健康的重要前提。我们通过对健康状态的实时追踪和建模计算，来督促良好生活习惯的培养。把防病与日常生活习惯结合起来，在发病以前消灭病痛，从“治已病”转向“治未病”。

未来场景：构建健康知识图谱，让健康管理更实时高效

得益于互联网、物联网、AI 等技术的发展，以及可穿戴设备、家用监测设备等产品的普及，对个人健康建模不再是奢望。

具体来说，利用大数据、物联网等技术，实时分析用户身体指标数据、医学临床反应、健康诊疗结果等，形成健康知识图谱。通过对比分析，为用户提供定制的健康解决方案。我们还可以通过对营养、运动、睡眠等维度的干预，帮助用户逐渐改善不良生活方式，促进个人形成健康的生活习惯，从而少生病。比如业界有公司尝试构建饮食和疾病之间关系的健康知识图谱，可帮助用户改善睡眠质量，

进行有效的体重管理，全年接受健康管理的参与者平均每天睡眠增加 35 分钟，体重减轻约 1.5 公斤⁹。从而降低因不良生活方式导致的相关疾病的发生概率。

此外，我们甚至还可以将健康知识图谱与医疗知识图谱进行结合。这样，不但能绘制出患病的风险情况及未来发展趋势，让用户获得更准确的症状、药物、病情风险因素、医生诊断等信息；还可以帮助医生做出更迅速、更有针对性的诊断。

未来场景：传染病蔓延轨迹预测，让疾病预报更准确

利用自然语言处理等技术，持续收集并分析全球范围内关于重大公共卫生事件的新闻、报告和搜索引擎指数，从中提取有效数据，并进行科学建模和智能化判断分析，可以有效提升应对公共卫生事件的响应速度和决策能力。

ICT 技术也可以用在流行病、疫情等监控和预测上，比如说业界有公司使用自然语言处理和机器学习，从官方公共卫生组织、数字媒体、全球航空公司票务数据、牲畜健康报告和人口统计声明等多种公共数据来源中，分析了数十亿个数据点，可以 24 小时不间断地分析疾病的传播与蔓延情况¹⁰。

► 探索方向二： 以精准医疗，计算最佳治疗方案

合理的医学治疗方案能够使患者获得有效、安全、便捷的治疗。制定医疗方案，要根据患者的个体差异，实时追踪和评估症状、疗效，如果把复杂的临床症状比作数学题目，那么怎样在诸多可行的治疗方案中寻求最优解？关键答案或许在于“计算”。

未来场景：药效精确评估，从“千人一药”到“千人千药”

通常，制定一个有效的药物治疗方案需要综合考虑病患外部条件、药物匹配、用药时机、用药剂量、用药疗程和联合用药效果等因素，且还需不断根据诊疗情况实时完善，这给医生的诊断带来很大的挑战。在传统情况下，医生没有太多的时间，

去了解每个病人身体状况的方方面面，主要依赖专业知识和个人经验的判断，快速给出一个通用性的医疗方案。AI 通过学习成千上万的病理诊疗方案，并实时分析结合病人个体综合差异，可以帮助医生给出更具个性化的治疗方案。



新加坡研究机构创建了以人工智能技术驱动的药效精准评估平台，该平台可以快速识别每位患者的历史临床数据，针对患者自身情况给出建议的用药剂量和联合用药方案，并在此基础上对肿瘤

大小或肿瘤生物标志物水平进行修正。此外，这些数据还可用于患者疗程和后续治疗方案的制定等¹¹。

未来场景：AI 精准识别靶区，减少错杀健康细胞

个性化的精准医疗的价值，也在帮助对抗人类的天敌——癌症上。据统计，2020 年全球新发癌症病例 1,929 万例，死亡病例 996 万例¹²，预计 2030 年患癌病例仍将增加 75%¹³。通过科技的力量，提升癌症的诊疗效果，改善医疗质量，将帮助患者快速康复。

在传统的癌症放射治疗过程中，主要通过放射线对癌症部位进行照射，将癌细胞杀灭。但传统放疗的靶区设定范围较大，消灭癌细胞的同时也误伤了大量健康细胞，对人体伤害较大，易引发不良反应。

自适应放疗借助 AI 技术，在放疗过程中自动识别病灶位置变化，对放疗靶区的影像进行精密地勾画，以实现精准照射，从而减少对健康组织的损害。

目前 AI 精准识别靶区，已实现 CT、超声、MRI 等多种影像的靶区自动勾画。通过基于人工智能技术的配准功能，根据临床的需要，在不同器官和选择区域间进行自动配准，突破传统算法的精度和速度限制。AI 的应用将原来 2-3 小时的勾画环节缩短至分秒级，使得放疗对健康组织的损害量降低 30%¹⁴。



► 探索方向三： 家庭诊所，云边端计算协同，普惠医疗资源

科技对疾病的预防与治疗发挥价值的同时，也推动人类思考，是否每个人都能享有对于健康实时管理的医疗产品和个性化医疗服务。业界在积极尝试，通过云边端计算协同，实现远程医疗联动，便可让优质医疗资源可共享，同时还能让医疗服务不限于医院，而是扩展至社区、家庭。

未来场景：云上诊断，专家资源面对面

传统诊疗流程是病人至医院进行医学检查后，由医生现场诊断。但由于地域医疗资源分布不均，优质专家多集中在大城市，小城市和乡村医疗资源不足，常因诊断失误而贻误病情。

在未来，将传统影像设备的复杂处理逻辑放到云端，在云上为医生提供远程阅片及人工智能辅助诊断功能，并将医学影像、检验检查结果、病历等

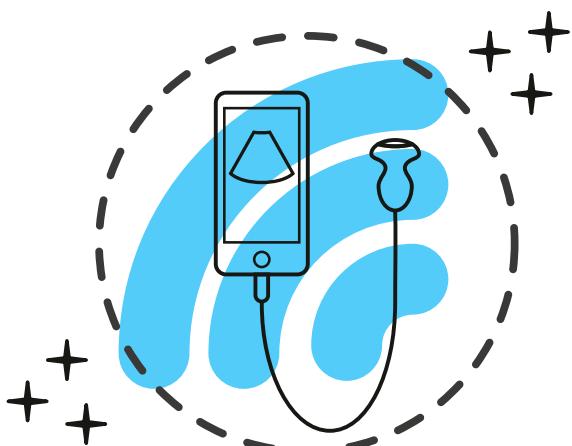
诊疗信息同步传输，患者只需面对屏幕，就可接受知名专家的云端诊疗服务。

通过“终端数据采集 +5G+ 云计算”方式，在社区医院与医学中心之间建立医学影像信息互联共享，患者在社区医院医疗设备上拍片后，自动或手动将影像文件上传至云端，由医学中心在云端阅片并出具报告。

未来场景：设备便携化，降低专业医疗检测的门槛

在元器件小型化、芯片化的技术推动下，原来只能在医院内使用的大型医疗设备，正在便携化方向发展，让移动化检查成为现实。

掌上超声：将超声波探头的性能集成到一个芯片中，通过智能手机应用进行超声信息采集，并结合云计算和深度学习等技术，实现实时复合成像和自动扫描等强大功能，打破时间和空间限制，让传统笨重的大型超声台式机所具备的功能在随身携带的轻巧手持设备上得以实现。使得原本医院一台十多万美金的大型超声仪器，变成几千美金就可以拥有的掌上设备¹⁵。





结语：

让健康可计算，让生命有质量

面向 2030 年，人类可以依托高度灵敏的生物传感器技术与智能硬件支持，实时跟踪身体各项指标，并建立个人的健康知识突破，从而实现自主驱动个人健康，减少对医生的依赖。

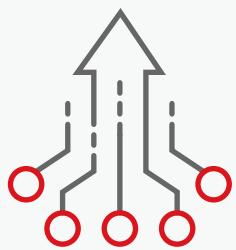
在 ICT 技术的驱动下，未来的治疗方案也将不再千篇一律。例如，强大的算力支持和高度智能的深度学习系统将在精准的药物治疗方案、靶区自适应放疗和康复机器人训练力量精准控制等方面有着深度应用等等。

通过精密的软硬件、强大的云边端计算能力和稳定的网络覆盖，使得便携化的医疗设备可以普及到在各个基层医院、社区、甚至家庭等多种场景，可以按需实时采集医疗数据并上传至云端处理中心，实现远程医疗联动。

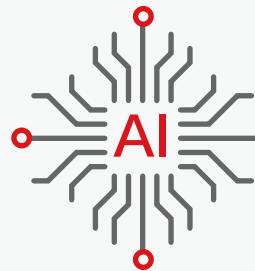
面向 2030，ICT 技术可以使得一系列提高人们健康水平与生活质量的应用场景正变得触手可及，这背后需要大量的计算来支撑。华为预测：到 2030 年，全球通用计算总量将达(FP32) 3.3 ZFLOPS，同比 2020 年增长十倍，AI 计算(FP16) 105 ZFLOPS，同比 2020 年增长 500 倍。



华为预测，到 2030 年：



全球通用计算(FP32) 总量
将达 **3.3 ZFLOPS**,
同比 2020 年 增 长 **10 倍**。



AI 计算(FP16) 总量
将达 **105 ZFLOPS**,
同比 2020 年 增 长 **500 倍**。

相关引用

- 1: WHO “World Health Statistics 2021”
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/342703/9789240027053-eng.pdf>
- 2: WPA “World Population Ageing 2015 Report”
https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2015_Report.pdf
- 3: WHO “State of The World's nursing 2020”
<https://www.who.int/zh/publications/i/item/9789240003279>
- 4: WHO “World will lack 18 million health workers by 2030 without adequate investment, warns UN”
<https://www.who.int/hrh/com-heeg/bmj.i5169.full.pdf>
- 5: WHO “World Health Statistics 2021”
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/342703/9789240027053-eng.pdf>
- 6: UN “World Population Prospects 2019”
<https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html>
- 7: 中国卫生健康委员会 《2019 中国卫生健康统计年鉴》
<http://www.nhc.gov.cn/mohwsbwstjxxzx/tjtjn/j/202106/04bd2ba9592f4a70b78d80ea50bfe96e.shtml>
- 8: Dariush D. FARHUD “Impact of Lifestyle on Health”
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4703222/#B1>
- 9: MIAO Health “Chronic disease management's digital future”
<https://www.nature.com/articles/d42473-021-00191-7>
- 10: Cory Stieg “How this Canadian start-up spotted coronavirus before everyone else knew about it”
<https://www.cnbc.com/2020/03/03/bluedot-used-artificial-intelligence-to-predict-coronavirus-spread.html>
- 11: Benjamin Kye Jyn Tan et al. “Personalised, Rational, Efficacy-Driven Cancer Drug Dosing via an Artificial Intelligence SystEm (PRECISE): A Protocol for the PRECISE CURATE.AI Pilot Clinical Trial”
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdgth.2021.635524/full>
- 12: UN “国际癌症研究机构: 2020 年全球新增 1930 万癌症患者 1000 万人因癌症去世”
<https://news.un.org/zh/story/2020/12/1073672>
- 13: CBS News “Global cancer cases projected to rise 75% by 2030”
<https://www.cbsnews.com/news/global-cancer-cases-projected-to-rise-75-by-2030/>
- 14: Manteia Tech http://www.manteiatech.com/pd_AccuContour.html
- 15: Butterfly Network, Inc. <https://www.butterflynetwork.com/>

主动预防

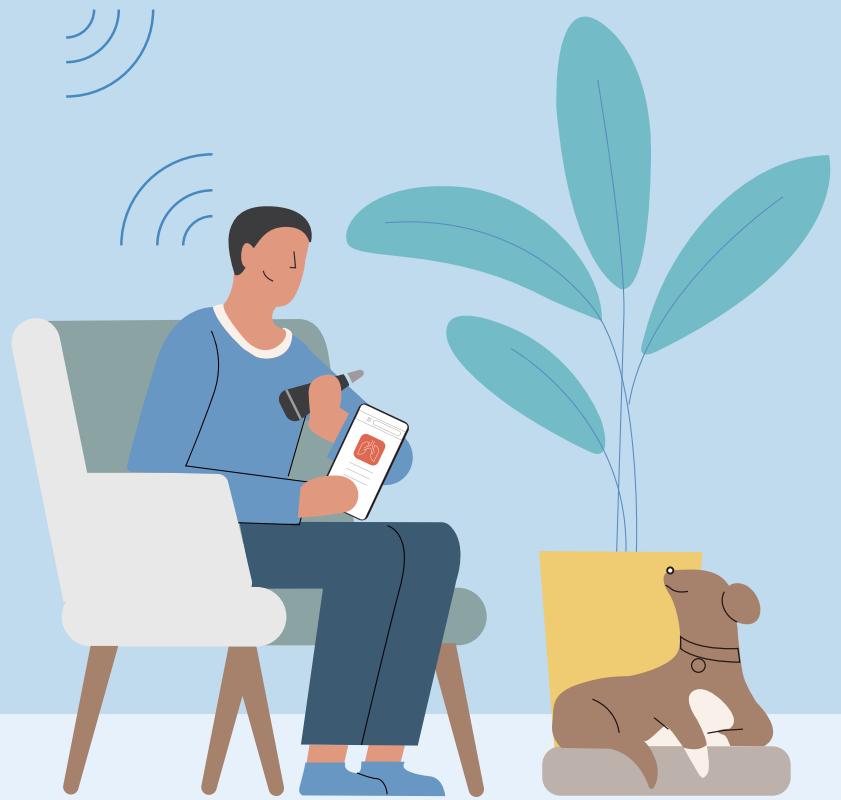


精准医疗





家庭诊所







食

用数据换产量
普惠绿色饮食



民以食为天，粮食是全世界最大的天，实现“零饥饿”被联合国列入 2030 可持续发展的目标之一。据统计，至今全球仍有超过 6.9 亿人在挨饿，预计到 2030 年，受饥饿影响的人数将超过 8.4 亿¹。

过去，为了解决粮食短缺的问题，人们主要看天吃饭，更多依赖于资源禀赋，比如气候、土壤条件，以及农业劳动力的补给等。但随着自然环境的变化、城市化进程的加速，仅依赖现有自然条件以及传统农业技术，很难支撑 2030 可持续发展目标的²达成：

农业从业者长期流失：根据国际劳工组织的数据，在全球范围内，从事农业工作的人的比例从 1991 年的 43.699% 下降到 2019 年的 26.757%³。

人均耕地面积减少：据世界银行数据显示，在 1968-2018 这 50 年间，全球人均耕地已从 0.323 公顷下降至 0.184 公顷，下降 43%⁴。

土壤农药污染严重：据统计，目前全球 64% 的农业土地（大约 2450 万平方公里）面临着农药污染的风险，其中 31% 的土地面临着高风险⁵。

与此同时，随着消费的升级，人们对于饮食的需求有了新的变化，从“好吃”转向“吃好”，越来越追求吃得健康，吃得放心。2018 年，中国获得食品行业绿色认证的产品数量达到 13,316 个，2019 年，这一数量增至 14,699 个，同比增长 10.4%⁶。绿色认证产品的背后是对种植环境和技术更高的要求。

在迈向 2030 年的进程中，挑战与需求并存，我们通过洞察看到，科技正在为农业赋能，帮助突破种植条件的限制，全面提升粮食的产量，让绿色食品进入每个普通人的餐桌。

► 探索方向一： 用精准的数据，让种庄稼不再只靠经验

正所谓“栽种有时，收获有时”(a time to plant and a time to pluck up that which is planted)。传统农业，适合播种的时节并不多，因而才制订了历法，以方便人们判断“农时”，即便有历法参考，人们依然需要个人经验来辅助。何时播种，何时施肥，何时除虫，若仅靠经验来判断，便会让农业生产有着极大不确定性和产生诸多浪费。

未来场景：精准农耕，构建农情多元数据图谱

在同一片大田中的两块土地，土壤的水分含量、营养情况、农作物的生长情况都可能不相同，而传感器和移动设备等既可远程管理农场，也能够做到实时监测土壤湿度、环境温度、作物状况，获得精准数据。在肥力高的地方进行密集种植，反之则稀疏种植。播种、给水、施肥、调种等一系列农艺措施都可基于多元数据进行灵活调整，让土壤和作物处于最佳匹配状态。以玉米为例，仅依据数据进行的自适应播种这一改变，就能带来每公顷300-600公斤的增产⁷。

精准农耕的前提，是对所收集数据的深入分析，形成农情多元数据图谱。基于云服务的农情图谱可以帮助农民迅速得到农作物在不同关键生长阶段的所需的土壤灌溉、肥力需求；还可结合地形的特征、气候预期、病虫害程度等信息进行产量预估、农作活动安排、预算管理等。多元数据图谱提供对农田的状态和农业生产过程的多维度实时监测与分析，在多变环境中做出敏捷而高效的预警，及时给予多种应对措施的建议、快速锁定损失区域并估算后期产量。从而降低突变环境因素对产量的影响，帮助农民及时止损。



► 探索方向二： 农场工厂化，让农业生产不再受自然环境的影响

精准农耕的确能够用数据来提高粮食产量，但在人口增加、人均耕地下降、农田受污染和气候变迁等大背景下，要想满足未来庞大的粮食需求，它不能当作唯一的解决方案。精准农耕是依据时刻变化的数据，来分析、计算，以判断最好的种植方案。然而，风云变幻难测，数据只能用于当下，这无法解决农业数据分析结果的迭代使用问题。

除“精准农耕”外，还可以将“农业工厂化”——打造“垂直农场”作为补充，在封闭环境下，模拟作物生长发育所需的环境要素。“垂直农场”不但可以收集数据，同时可以人为调控，确保庄稼始终在最合适的环境内。事实上，无论耕地稀缺的日本、韩国和新加坡，还是土地资源丰富的美国，都在积极发展“垂直农场”技术。

未来场景：智能垂直农场，打造未来农业新形态

农业工厂化的一个典型案例就是在室内种植的“垂直农场”，即用数据构建突破地域限制的标准化生长环境。在垂直农场里，从苗圃播种到施肥再到收割，每个环节都离不开对光照、温度、用水和营养输送等的精确控制，而数据就是掌握这

些植物生命密码的“钥匙”。它会在全链条的各个环节发力，因地制宜调整参数，为农作物构建起最为适宜的生长环境。

总体而言，垂直农场有几大优势：

◎ 无需农药，无需土壤，减低对农业用水的浪费：

垂直农场的模式下，通过营养液，利用水培或气雾栽培的方式，确保养分被植物高效吸收，残余养分，也可以和水一起回收。其所需用水不到传统种植方法的 10%，创造无污染的绿色农作物。

◎不受环境气候影响,始终确保新鲜农产品的理想生长条件:

在封闭的环境中,借助自动控制系统,打造一个植物生长的可控环境确保高品质蔬菜的大规模可靠生产。这样可以让蔬菜生产落地更多的地域和气候环境中。无论在屋顶、办公楼、废弃厂房、沙漠、水上、甚至地下室,都能搭建起“垂直农场”。

◎创造全球可复制的智能农业模式:

同一套 ICT 控制系统和数据模型,可在世界上任何一个地方得到几乎一致的生产效果。在垂直农场的模式下,我们可以模仿出,酿制最好年份红酒所用的葡萄的生长环境;在光照时间短又干燥的地区,也可以种植出喜温且不耐寒的车厘子。



业界公司的尝试显示,在 7,000 平方米的空间里,可实现蔬菜每 16 天收割一次,达到每年 90 万公斤的惊人产量⁸。

► 探索方向三： 餐桌上的 3D 打印，打造肉类食品的低碳方案

除粮食蔬菜外，肉类也是人类必不可少的食物来源。传统畜牧业不但低效，难以满足未来的肉类供应需求，而且容易对环境造成影响，据估算，畜牧业每年大约排放 71 亿吨二氧化碳当量，占人为温室气体排放总量的 14.5%⁹。甲烷是一种短暂但强大的温室气体，是仅次于二氧化碳的第二大气候变化“贡献者”，而人类引起的甲烷排放的大部分来自牲畜（全世界大约有 10 亿头牛）¹⁰。

随着全球人口持续成长，联合国粮食及农业组织（FAO）估计，2050 年全球对肉的需求将比现在增长 70%¹¹。因此，我们需要积极寻找新方式来解决肉类的获取问题。人造肉的探索也获得业界越来越多的关注。

未来场景：3D 打印人造肉，用数据培养绿色健康的肉食新形态

3D 打印是改善人造肉口感、外形、味道等质量因素以及规模化生产的重要技术之一，无论是使用植物蛋白还是动物细胞，都可以使用 3D 打印技术：在植物蛋白合成肉的过程中，可用 3D 打印技术来搭建纤维支架，尽量模仿天然肉的外观和口感；当用动物细胞来培育肉时，3D 打印将肌肉组织、脂肪等营养元素，一层层堆叠起来、最终形成人工肉。当前，通过 3D 打印技术，已经可以实现猪肉、鸡肉、牛排的等多种类型肉类的制作，且人造牛排的价格正向超市牛排趋近。





结语：

用数据换产量，应对人类粮食挑战

未来，人们可以利用物联网技术，监测与分析每一份土地环境、每一株农作物长势的实时状态，通过精准的数据来提升产量。我们还能够依靠历史数据来预测未来的种植环境变化，提前采取干预措施，降低减产风险。运用大数据 + 人工智能 + 农艺知识相结合的科学决策体系，实现精准的农事操作，如水肥一体化实现精准的施水施肥，通过无人机实现察打一体，实现精准施药。

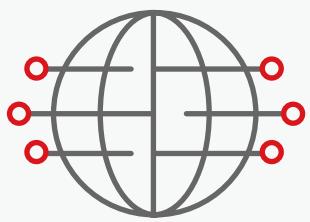
利用类似“垂直农场”这样的新种植模式，可以帮助我们通过数据来打造不受气候变化和自然地理环境影响，可全球复制的智能农业形态，普惠绿色饮食。

此外，每个人还可以按照自己对肉类的偏好，形成个性化的口感、营养成分的数据模型，通过 3D 打印，获得符合个人健康需求且口感最佳的人造肉。

面向 2030 年，我们通过 ICT 技术将更多的农田、农具、农作物等关键农业生产要素联接起来，收集并综合利用气候、土壤、农作物生长状态等多类数据，以提升粮食产量。华为预测：到 2030 年，全球每年产生的数据总量达 1YB，相比 2020 年，增长 23 倍；全球联接总数达 2000 亿；IPv6 地址渗透率达 90%。未来随着数据不断在农业中体现，我们将逐步构建一个更有弹性、更绿色的粮食系统。



华为预测, 到 2030 年:



全球联接总数达
2000 亿,
IPv6 地址渗透率
达 90%。



全球每年产生的数据
总量达 **1YB**,
相比 2020 年, 增长 **23**
倍。

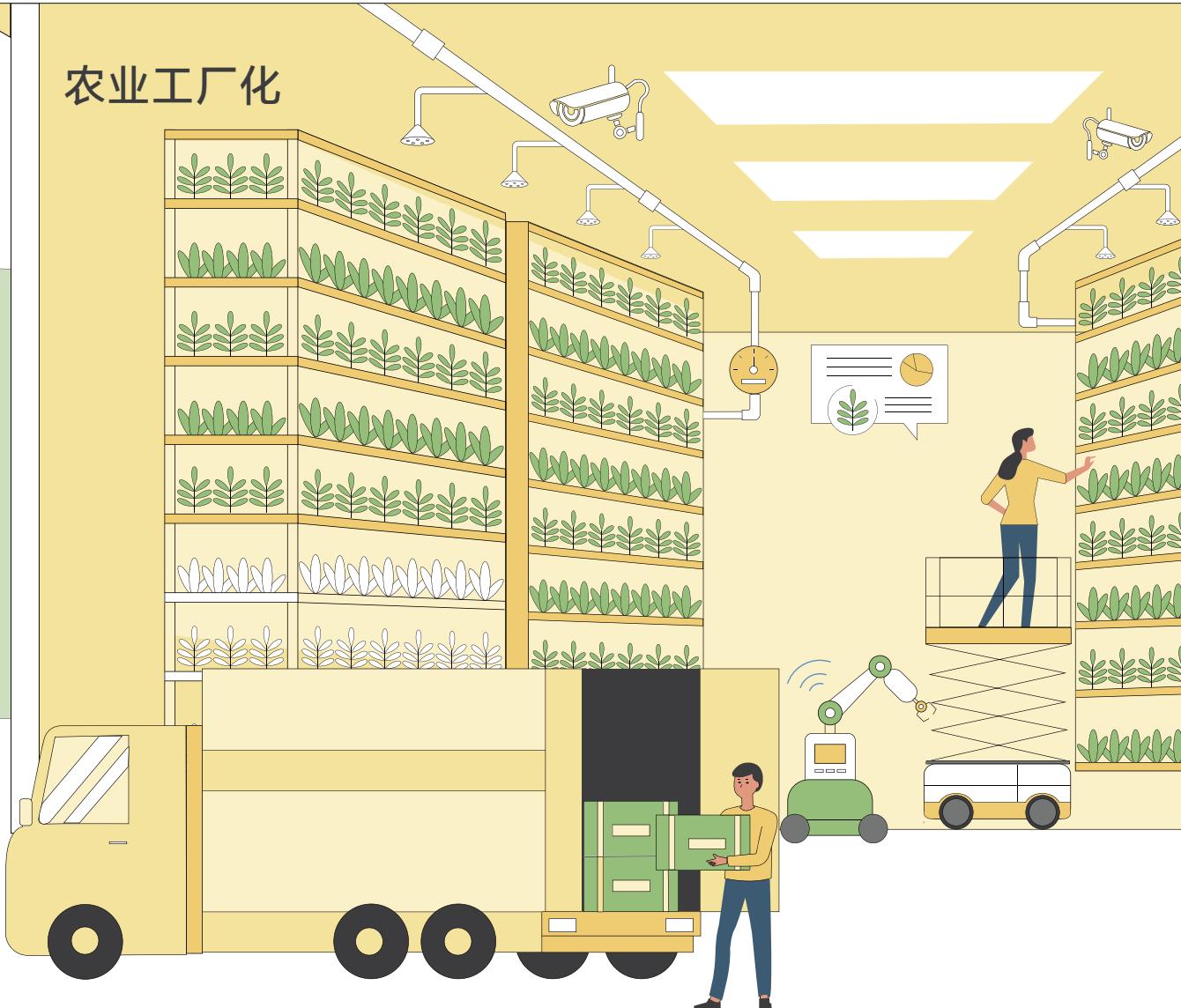
相关引用

- 1: UN <https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>
- 2: UN <https://www.cn.undp.org/content/china/zh/home/sustainable-development-goals.html>
- 3: International Labour Organization <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS>
- 4: World Bank <https://data.worldbank.org.cn/indicator/AG.LND.ARBL.HA.PC>
- 5: Fiona H. M. Tang et al. “Risk of pesticide pollution at the global scale”
<https://www.nature.com/articles/s41561-021-00712-5>
- 6: 观研天下《2021年中国绿色食品市场调研报告 - 行业运营态势与发展前景预测》
- 7: 新闻中国采编网, 大数据谋定农业发展路径 - 丰收节贸易会: 全球十大经典案例
http://www.xwzgcb.com/v.php?info_id=11309
- 8: AeroFarms <https://www.aerofarms.com/>
- 9: 联合国粮食及农业组织(FAO) 《全球温室气体排放评估与减排》
<http://www.fao.org/3/i3437zh/I3437ZH.pdf>
- 10: World Economic Forum “Study shows that feeding cows seaweed could help reduce methane emissions”
<https://www.weforum.org/agenda/2021/03/feeding-cows-seaweed-can-fight-methane-climate-change/>
- 11: 联合国粮食及农业组织(FAO) “WORLD AGRICULTURE TOWARDS 2030/2050”
<http://www.fao.org/3/ap106e/ap106e.pdf>

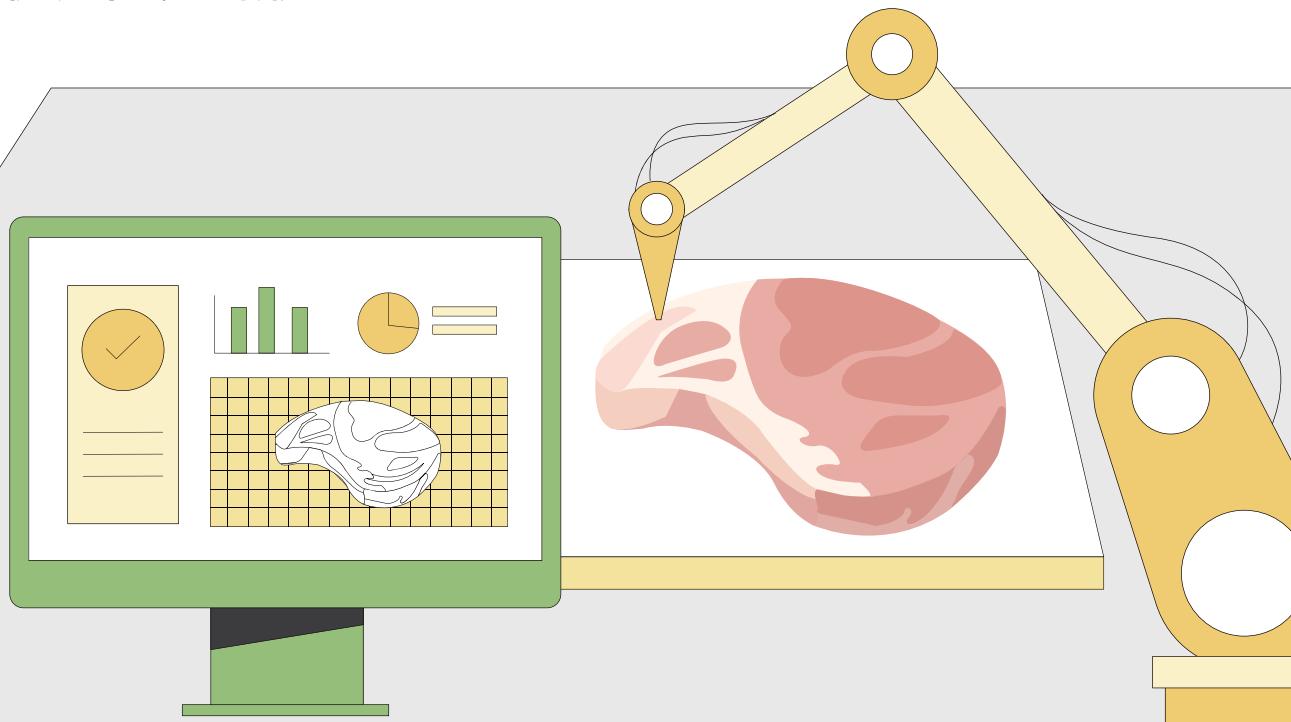
精准农耕端到端



农业工厂化



健康肉食新形态







住
新交互体验
让空间人性化



人类居住的发展，从岩洞到房屋，从乡村到城市，从活动到存储，是一部空间管理的历史。今天，工业化的发展极大丰富了物质资源，这给人们带来愉悦感的同时，也侵占了生活空间。据报道，平均每个美国家庭拥有 3000 件物品¹；每 10 名美国人中就有 1 人租用异地存储²；而在英国，平均每个 10 岁的孩子平均拥有 238 个玩具，但每天只玩 12 个玩具³。如何兼顾“买买买”的满足感以及对清爽生活空间的向往，给未来居住空间设计提出了新的思路方向。

据报告显示，2019 年全球建筑物运营所产生的二氧化碳排放量约为 10 GtCO₂，占全球能源相关二氧化碳排放量总额的 28%⁴。与此同时，全球每年新建筑还在快速增加。根据国际能源署（International Energy Agency）预测，到 2050 年，全球建筑面积平均每年将增加 55 亿平方米⁵；据联合国全球环境报告显示，到 2060 年，世界

预计将增加 2300 亿平方米（2.5 万亿平方英尺）的建筑，或相当于当前全球建筑存量的总面积。这相当于在未来 40 年中，每 34 天增加一个纽约⁶。因此，世界绿色建筑理事会提出为实现《巴黎气候协定》而呼吁两个目标：从 2030 年起，所有新增的建筑必须净零碳运行，到 2050 年，100% 的建筑必须以净零碳运行⁷。

同时，随着人们对居家体验个性化追求的不断增长，基于 ICT 技术的智能家居概念正被普及。据调研报告显示，近 80% 的千禧一代和 69.2% 的婴儿潮一代都对智能家居技术抱有积极的期待⁸。

在英国，目前 80% 的消费者已经意识到智能家居技术，在消费者对技术趋势的认知度上仅次于移动支付，而互操作性已经成为他们当下最大的购买考虑因素⁹。除此之外，对便利和安全的需求也驱动着人们对智能化空间的向往。

► 探索方向一： 新基建使能新社区设计理念，提供全局化服务

目前，随着智能门禁、智能消防监测、高空抛物报警、快递提醒等服务逐渐融入人们的生活，居民与社区行政之间的联系正由松散走向紧密。未来，随着物联网、万兆光纤等新型基础设施的触达，越来越多的新型社区理念不断涌现，为居民提供如社区虚拟团建、宠物智能管控等全局化的服务，促进居民与社区的一体化融合。其中有一些新颖的设计理念，就是为了解决储物与居住之间的矛盾，带给人们更清爽的居家体验。

未来场景：打造数字化的物品目录，通过自动配送，实现储住分离

为你家里的物品建立一个数字目录，甚至进行 3D 扫描，将不常用的物品寄存在小区统一的仓库中。如果在某个周末，你需要为即将参加的派对挑选一套晚礼服的时候，可以通过全息投影的方式，虚拟选择一套合适的搭配。只需轻轻一个点击，小区自动配送系统，就会通过机器人¹⁰ 或者楼宇

输送系统快速地将你所选择的衣物送上门¹¹。这套系统甚至可以用来打造小区的共用物品“图书馆”，当你临时需要一个低频率使用的工具（比如电钻）时，你可以通过搜索这个共用物品“图书馆”的在线物品目录清单，利用自动配送系统，远程借取和归还。



► 探索方向二： 智能管理系统打造物与物的自动交互，助力零碳建筑

根据世界绿色建筑理事会的定义，零碳建筑是指：一座高能效的建筑，其所有的运营能源都来自可再生能源，这些能源最好是现场产生，也包括场外产生，最终使得该建筑每年运营实现净零碳排放。当前，通过对建筑设计的改良和使用节能环保的新材料等可构建超低能耗的建筑¹²。在此之上，我们想要进一步向零碳建筑演进，除了使用绿色能源之外，ICT技术的深度应用，也是必备的一环。

零碳建筑的运营模式，将是一种基于无人化、感知型的新交互模式：

- 通过传感器实时监控并获取整个建筑的运营环境和条件数据；
- 物联网将照明、电表、水表、水泵、供暖、火灾报警器和冷水机组等核心系统与传感器和基于云的控制系统联系起来；
- 通过云端智能的复杂算法，实时数据，自动做出节能的运营决策，并下达指令，例如，楼宇自动化系统可以根据入住率了解何时打开和

关闭大楼中不同区域的空调，照明等，甚至电梯、通道和遮阳设备可以纳入系统管理的范围内。

除了环境效益之外，零碳建筑还能够提高舒适度，比如自动化系统将内部温度保持在宜人的水平，而出色的绝缘性能减少外部噪音污染；带来健康益处，比如保证充足的自然光，帮助人体增加维生素D的摄入、更好的睡眠和减少季节性抑郁。

未来场景：博物馆自动管理控制系统

目前，已有博物馆应用这一自动化控制系统实现了能源管理的系统化重构。通过布置3,000个数据点，它能实时采集和监测场馆内的各项环境数据，自动调节适宜展品陈列和参观者观展时的温光水气条件。经过这一系统性节能改造，实现了暖通空调、照明和用水效率升级，使博物馆温室气体排放减少35%，电力成本降低32%¹³。



► 探索方向三： 居家环境自适应化，打造“懂你”的空间

越来越多的人对于“空间”的期待已不再是简单的“有的住”，而是想拥有更好的体验。未来的房子将成为你的亲密伙伴，它会越来越懂你，并且心领神会，一切尽在不言中：疲劳一天回到家时，喜欢的灯光、音乐、香氛和电视节目自动开启；当走进厨房，冰箱会根据身体数据定制健康饮食计划；步入卧室，空调主动检测空气状况，将温度和湿度调节至最佳舒适状态。

构成舒适家居生活的显性因素包括可以直观感受到的温度、湿度、光线明暗和家居用品使用便捷度等；隐性因素通常则包括室内空气质量、住所安全性等。一个科学的系统能够实时调控以上综合因素，为你塑造一个感官和体验上的最优居住空间。



未来场景：全屋智能结合场景式交互，打造亲切自然的居家体验

丰富的智能家居设备和传感器，需要稳定可靠、高联接、高速全覆盖的网络，将收集到的数据传递到家庭智慧大脑。其中的AI引擎，将结合场景模型，对全屋环境、用户行为及系统设备实时地分布式处理和计算，以形成智能决策。然后，通过调节各类家居设备的运行和协同状态，以匹配用户的实时体验需求，最终给用户带来沉浸式、个性化、可成长的全场景智慧体验。而且，用户可以通过不同模式的交互，与智能家居系统进行互动：从传统的面板、APP交互到更智能的语言、手势交互，甚至无感交互。

多种多样的智能家居设备，通过不同的组合，形成多样化的智能场景。比如智能床、智能枕、卧室的照明、音效等系统的协同，为人体打造一个睡眠辅助系统，根据个体的生理健康特征和睡眠习惯，自动匹配床垫和枕头的软硬度；营造助眠的光环境，刺激褪黑素分泌；播放助眠音乐，舒缓心情；根据家庭环境中湿度、温度、氧气的浓度等指标，提供恒温、恒湿、恒净、恒氧的睡眠环境。在这个系统下，你睡觉的鼾声都是一种交互指令，被系统迅速识别，用于调节床垫和枕头来缓解打鼾症状；甚至你睡觉时翻滚的动作，也能用于调节温湿度¹⁴。



结语： 新交互体验，让空间人性化

构建智能化的社区新基础设施，通过 ICT 技术，将各智能设施产生的大数据汇集于统一的社区管理系统，依托系统进行社区实时全局化管理，让人们享受到更便利的生活服务。

应用绿色设计和清洁能源技术实现建筑零碳排放。当被动节能式设计无法满足日常需求时，通过节能管理系统进行主动干预，优化能源使用结构，精准调节室内环境，降低能耗。

5G+AIoT 技术助力智能家居系统实现自适应。全屋智能家居系统根据客户的需求定制，在更高速的网络和更精密的算法加持下，它可以自主感知用户在家中的即时性需求，提供更自然、更贴心的服务。

未来，通过传感器、物联网、人工智能等 ICT 技术，将从社区、建筑物和室内三个层面来对人们的居住环境进行改造，形成一套由外而内的全新的生活办公交互体验，打造“懂你”的个性化空间。

2030 年，人们的家中将遍布各类智能家居，生活、娱乐将被新的交互模式来重塑；楼宇将安装各种智能管控设备；社区也将拓展更丰富的智慧功能。而这一切都需要通过大带宽的联接来提供没有时延的居住体验。华为预测：到 2030 年，全球光纤宽带用户数量达 16 亿，万兆家庭宽带渗透率达 23%。



华为预测，到 2030 年：



全球光纤宽带用户
数量达 16 亿。



万兆家庭宽带
渗透率达 23%。

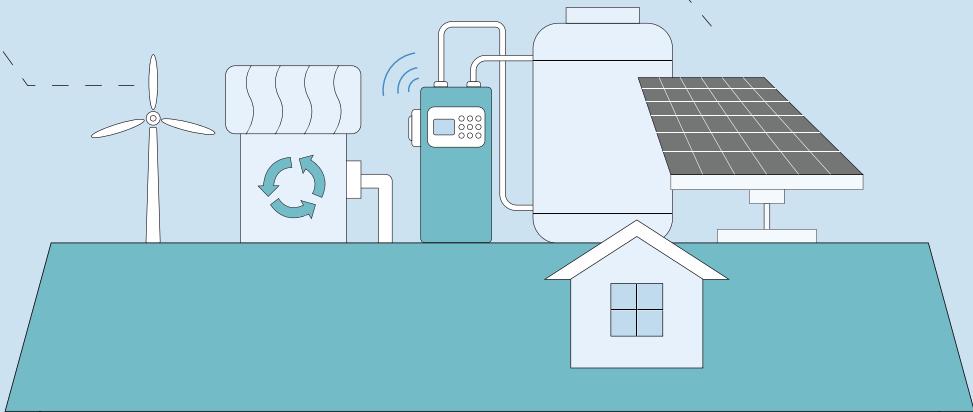
相关引用

- 1: Los Angeles Times <https://www.latimes.com> 《For many people, gathering possessions is just the stuff of life》
 - 2: New York Times <http://nytimes.stats.com/nba/scoreboard.asp> 《The Self-Storage Self》
 - 3: The Telegraph 《Ten-year-olds have £7,000 worth of toys but play with just £330》
<https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/retailandconsumer/8074156/Ten-year-olds-have-7000-worth-of-toys-but-play-with-just-330.html>
 - 4: UN Environment Programme, Global Alliance for Buildings and Construction
《2020 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION》
 - 5: IEA "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector"
https://iea.blob.core.windows.net/assets/beceb956-0dcf-4d73-89fe-1310e3046d68/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
 - 6: UN Environment "Global Status Report 2017"
https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf
 - 7: WGBC [https://www.worldgbc.org/news-media/every-building-planet-must-be-%E2%80%99netzero-carbon%E2%80%99-2050-keep-global-warming-below-2%C2%B0c-new](https://www.worldgbc.org/news-media/every-building-planet-must-be-%E2%80%99net-zero-carbon%E2%80%99-2050-keep-global-warming-below-2%C2%B0c-new)
- realtor.com "Smart Home Technologies Reshape Real Estate Preferences in 2020" <https://www.realtor.com/research/smart-home-technologies-reshape-real-estate-preferences-in-2020/>

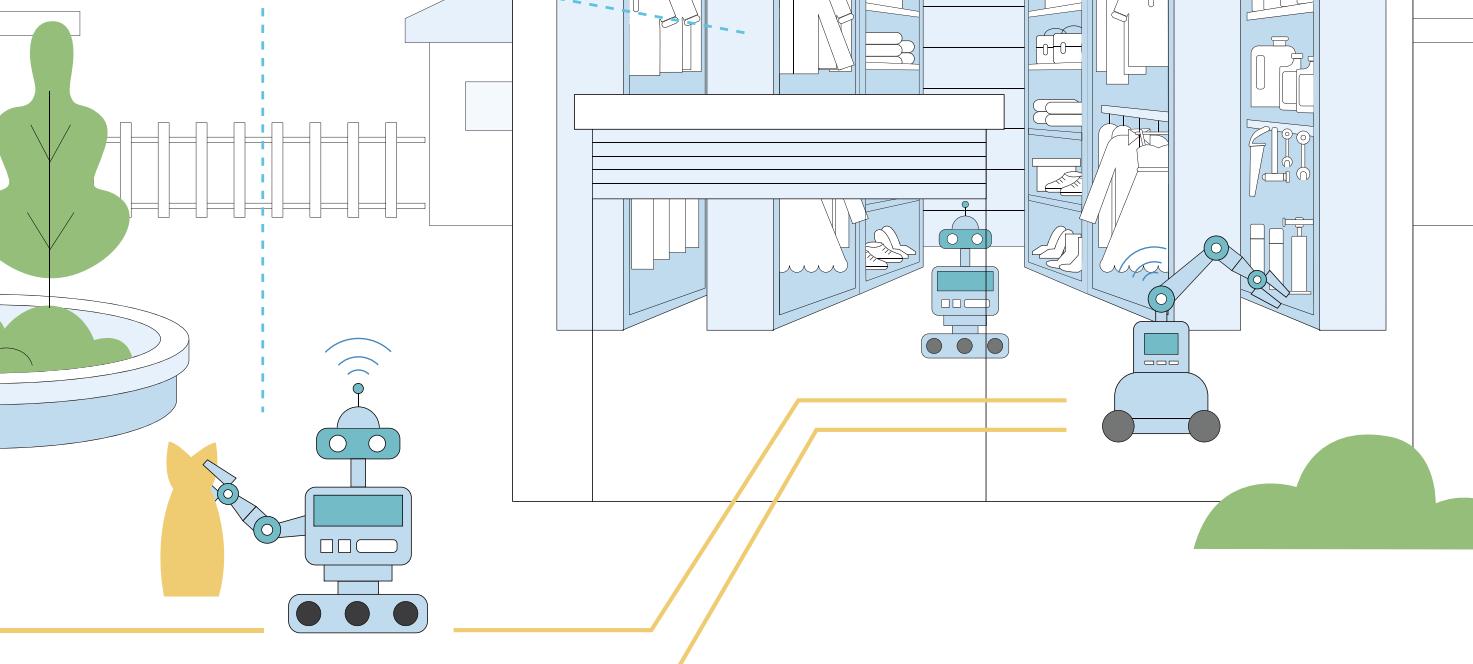
- 8: [realtor.com/research/smart-home-tech-2020/](https://www.realtor.com/research/smart-home-tech-2020/)
- 9: GfK <https://www.gfk.com/home> 《The state of the Connected Home 2021: a year like no other》
- 10: 亿欧智库 <https://www.iyiou.com/t/yiouzhiku/> 《2021 中国自动驾驶末端配送产业商业化应用研究报告》
- 11: Sidewalk Labs <https://www.sidewalklabs.com> 《Toronto Tomorrow A new approach forinclusive growth》
- 12: WGBC <https://worldgbc.org/thecommitment>
- 13: Siemens <https://new.siemens.com/cn/zh/products/buildings/references/victoria-museum-melbourne.htm> 《Siemens launches Victoria & Alfred's Melbourne Museum with a 330 sqm modular building system》
- 14: 华为 <https://consumer.huawei.com/cn/>



零碳建筑



储住分离

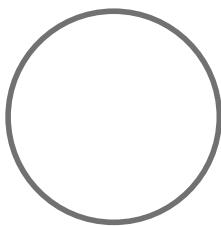






行

智能低碳出行
开启移动第三空间





当下，随着各类交通工具，特别私家车的普及，出行成为人类活动的重要组成环节：美国一直被誉为“长在车轮上的国家”，2020年全美车辆行驶里程为2.83万亿英里，相当于地球到太阳距离的3万多倍¹；在欧洲，每辆车每年行驶平均距离超过1万2千公里²。随着城市半径的扩大，越来越多的上班族每天面临着长距离通勤的挑战，中国每天承受超过60分钟极端通勤时间超过1千万人³。据研究表明，以载客里程和预计汽车保有量计算，到2030年，全球出行需求将增长70%⁴。由此可见，当前的交通系统仍面临着诸多挑战，比如：

出行效率降低，交通变得拥堵：在世界范围内，堵车发生的情况越来越频繁，也越来越严重。据统计，美国通勤者每年至少因堵车浪费54小时⁵。哥伦比亚首都波哥大是全球最拥堵的城市。2018年，平均每位波哥大司机因拥堵损失272小时（超过11天！）⁶。拥堵还会造成大量的经济损失。据统计，2019年，美国因交通拥堵损失的金额达到880亿美元⁷。

海量出行也给环境治理提出了更为严峻的挑战：根据国际能源署(IEA)统计数据显示，2020年，交通运输业占整体全球碳排放的26%，远超制造与建筑行业。随着汽车电气化进程不断加快，以及循环经济在汽车行业的推广，在2030年之前，每英里出行的碳排放最多将降低75%，非循环资源的消耗降低80%，加快低碳化发展⁸。

此外，除了无拥堵、低碳化的追求之外，未来的出行理念将会被重塑：人们出行前首要思考的问题将从“我怎么到达目的地”变成“我在路上做什么”，比如你可以在一个只属于自己的个人空间里，安安静静地追剧、聚精会神地工作，全身放松地享受座椅提供的按摩服务，从而得到了一种充分利用时间的满足感，让舟车劳顿不复存在。

想要支撑以上的出行的变化和需求，未来交通网络需要进一步升级。通过将ICT技术和出行要素（车、信号灯、行人等）联接起来，从而实现出行的各个环节从“主动”向“自动”转变。

► 探索方向一：电气化，使能绿色出行

随着出行耗能的不断增长，世界各国积极倡导低碳出行，交通领域的节能减排成为实施的关键。2021年7月，欧盟委员会正式推出了《欧洲绿色新政》(European Green Deal)，进一步明确了到2030年温室气体排放较1990年减少55%的目标，并计划在2050年实现碳中和。在交通领域，绿色新政提出，到2050年碳排放要比2021年减少90%，其中陆上交通贡献了欧盟20.4%的温室气体排放，是减排的重点。

为实现陆上交通的节能减排，各国积极推动新能源汽车（纯电动汽车、插电式混合动力汽车、燃料电池汽车）的发展，不少国家制定了燃油汽车退出时间表：欧盟设立了2030年乘用车、厢式货车排放分别减少55%和50%（此前目标分别为37.5%和31%）的目标，并首次提出2035年新销售汽车均为零排放汽车的目标，这意味着欧盟从2035年起禁售燃油车⁹；日本计划到2030年，国内市场新能源汽车销售量要占新车销售量的50%至70%¹⁰；中国提出传统燃油汽车将于2030年逐步退出市场¹¹。

未来场景 1：新能源加速绿色公共出行

城市公交、出租车、场地用车等公共领域的应用，拥有率先布局的优势，在很多城市取得了明显的进展，如中国深圳在2017年，全市超过16,000辆公交车全部实现了电气化，使其成为全球首个拥有100%电动公交车队的城市¹²；在欧洲，丹麦超过78%的新公共汽车采用的是新能源电动车；卢森堡和荷兰，大约三分之二的新公共汽车是零排放的¹³。

首先，公共交通工具的迭代更换率高，为新能源汽车的替换提供了一个统一规划、便于实施的契机。在国家的补贴政策下，通过合理的运维方案也能将电动车的运营成本接近甚至优于传统燃油车，降低新能源车的替换阻力。

其次，这类公共运营类的车辆，一直都有集中管理的场所，这些现成的场所可自然拓展为兼顾新能



源车充电的多功能场所,让充电难不成为制约公共交通领域电气化的瓶颈。

此外,相较于私家车,公共运营车辆每日运行时间长,产生更高的碳排放,对于其整体的电气化替代,将为交通领域的减排带来倍增效益。以北京市为例,2018年,全市7.1万辆纯电动私家车,累计节油0.89亿升,减少二氧化碳排放量19.9万吨;仅0.94万辆的电动出租车,就能累计节油0.65亿升,减少二氧化碳排放量14.5万吨¹⁴。

国际能源署的报告显示,尽管受疫情的影响,2020年全球汽车市场收缩了16%,但新登记的电动汽车达到了创纪录的300万辆,比前一年增长了41%,在使用的全球电动汽车数量超过1000万辆。其强劲势头一直在持续,2021年第一季度的销量达到去年同期水平的近2.5倍。与此同时,2020年,消费者在电动汽车上的支出又增长了50%,达到1200亿美元。而政府支持的补贴仅为140亿美元,连续第五年在总支出中所占比例下

降。这表明,尽管政府补贴仍能刺激电动汽车市场,但销售越来越多是由消费者的选择而驱动的。

预计到2030年,全球道路上的电动汽车、面包车、重型卡车和公共汽车数量将达到1.45亿辆。如果各国政府加快努力实现国际气候和能源目标,全球电动车辆将达到2.3亿辆¹⁵。此外,国际能源署还预测,到2040年,将有超过3亿辆新能源汽车投入使用,每天将减少300万桶石油消耗¹⁶。



未来场景 2: 新能源民航飞机试水

在降低环境污染以及运维费用的背景下,航空业积极布局新能源支线飞机和民用大客机。随着城市空中交通不断发展,航空业加速电气化进程,实现绿色发展。

在碳排放方面,2019年,航空业占全球人为二氧化碳排放总量的约2%。若不加以控制,预计到本世纪中叶,全世界将有25%的碳排放量来自于航空业¹⁷。

在运维及燃料支出方面,2018年,全球MRO成

本为690亿美元,占航空公司运营成本的9%,其中发动机的维护费用占42%(290亿)。2019年,全球航空业的燃料成本为1880亿美元,约占运营费用的23.7%。预计2028年,MRO将增长到1030亿美元¹⁸。

目前,新能源民航飞机的探索主要分为混合动力、纯电动和氢燃料驱动三类。除了节能环保、减低噪声等优势外,新能源民航飞机还有助于实现新的飞机设计理念,比如翼身融合技术。这种设计可以显著地减小飞机的阻力和能耗,并改善飞行性

能。此外，翼身融合技术还能增加飞机结构内部的容积，这些宝贵的空间可以增加更多的运载量。

2020 年 6 月，法国宣布投入 150 亿欧元，其中包括 15 亿欧元用于研发新能源民用大客机。法国计划在 2035 年实现新能源大客机首飞，将调动航空产业链中超过 1300 家公司参加该计划。为此，

法国已制定了清晰的路线图——首先是对空客的 A320 产品线进行改造，开发混合动力的 A320 “继承者”客机。A320 “继承者”的原型机将在 2026 年至 2028 年间亮相，并在 2035 年之前实现首飞。



► 探索方向二：自主化，打造移动第三空间

从畜力到机械，人类打造了拥有“强壮肢体”的交通工具；自动驾驶时代来临，标志着人类即将赋予交通工具“智慧大脑”。自动驾驶技术是影响出行方式的重要变量，将会重新定义出行体验，并将深刻影响交通行业的商业模式。

随着人工智能代替人类大脑成为交通工具的决策主体，司机的双手、双脚、双眼将从驾驶过程中被释放，使得娱乐、社交、消费、工作等场景在出行过程中被彻底打开，让交通工具成为人类的移动第三空间。

自动驾驶技术分为多个等级，多采用美国汽车工程师协会和美国高速公路安全管理局的分类标准。

该标准将自动驾驶的概念分为 L0—L5，L0 是没有自动驾驶的传统人类驾驶，L1—L3 主要起到辅助驾驶功能，L4—L5 代表车辆控制权可完全交给系统，不需要驾驶员操作。

自动驾驶技术涉及 ICT、制造、交通等多个领域，发展离不开产业间的协同，对经济发展起到催化作用。在规模化部署后，自动驾驶技术将显著提升道路交通的安全性和运输效率，在节能减排等方面也将展现出良好的社会效益和经济效益。根据美国研究报告，预计到 2050 年，自动驾驶将为美国创造大约 3.2—6.3 万亿美元的经济效益，其中社会效益和消费者福利接近 8000 亿美元¹⁹。

欧盟委员会在《通往自动化出行之路：欧盟未来出行战略》提出，2030年，欧盟步入完全自动驾驶社会的远景目标。该战略认为，当自动驾驶的部署完全融入到整个运输系统中，将会为实现“2050年，欧洲道路交通事故死伤人数为零的愿景”作出重大贡献²⁰。中国国家发展改革委员会等11部委

于2020年2月联合印发了《智能汽车创新发展战略》，提出到2025年实现有条件自动驾驶的智能汽车达到规模化生产，实现高度自动驾驶的智能汽车在特定环境下市场化应用，到2050年，全面建成中国标准智能汽车体系²¹。

未来场景1：自动驾驶汽车驶入“快车道”

随着自动驾驶汽车由L2、L3向L4、L5迈进，公交车、出租汽车、低速物流、垂直行业运输（物流车、矿车）或将率先实现自动驾驶商业化。

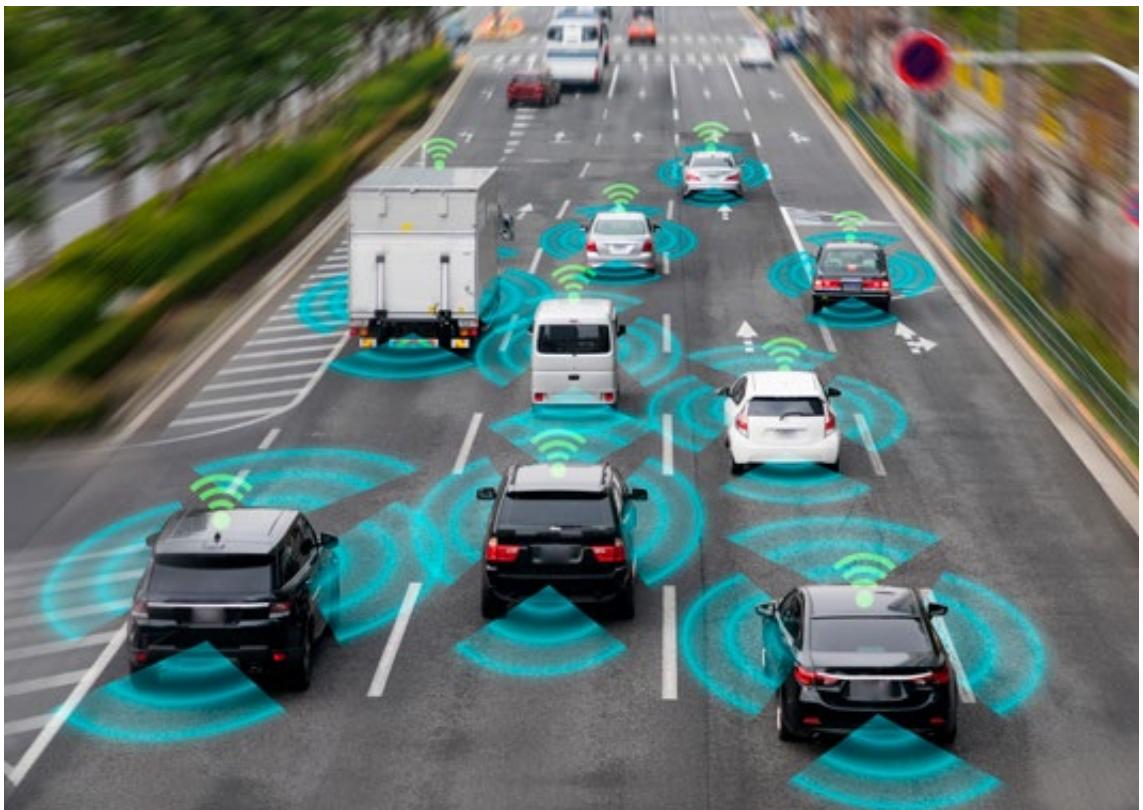
低速开放道路：自动驾驶汽车在物流配送、清洁消杀、巡逻等领域取得了积极的成果。无人物流配送具备道路场景简单、车速低、危险性小的优势，可以在公共道路提供安全的无人货物配送服务。低速无人驾驶小车在抗击疫情中为医疗物资运输配送、清洁消杀、巡逻测温等工作提供支撑，用实际行动检验了低速无人小车的应用价值，为进一步推广应用奠定了市场基础。

高速半封闭道路：重卡价格成本高，对传感器的价格相对不算敏感，可以通过增加激光雷达等传感器，有效提升车的感知性能；而且重卡更多用于高速运货场景，以及港口或物流园区，其行驶环境相对单一，路线较为固定。在复杂的城市道路几乎

见不到重卡的身影，降低了对自动驾驶系统所要处理的行驶环境的复杂度，此外，而且卡车司机成本高、还有易超负荷运载、超工时工作的风险。因此，重卡的自动化驾驶能够迅速帮助行业降低成本，提高效率，易于形成显著商业受益。据德勤《中国智慧物流发展报告》预测，无人卡车、人工智能等技术在未来十年左右逐步成熟，将广泛应用于仓储、运输、配送、末端等各个环节²²。

特殊封闭道路：在矿山、港口等环境中，自动驾驶同样扮演者越来越重要的角色。企业与港口合作进行自动驾驶集卡应用测试，其中部分企业实现了无人驾驶卡车在矿区多编组、夜间作业等。在中国上海洋山港，“5G+L4级智能驾驶重卡”车速最高达到每小时80公里，队列行驶间距缩短至15米。基于北斗系统厘米级定位，车辆在15秒内可实现一次误差仅为3厘米的精准停车，单点装卸效率提升了10%²³。





矿山场景的自动驾驶，将以安全与效率为两大核心关键词，率先创造经济价值。在自动驾驶模式下，矿卡、挖掘机、推土机等多种机械工程车辆协同作业。“指挥官”模式将代替“一矿卡一司机”的人员模式，一旦发生故障或者危险时，指挥人员可在控制中心开启远程接管模式，将车辆移至安全区域，并向周边车辆发送警告。

日常开放道路：自动驾驶出租车（Robotaxi）是自动驾驶公司服务出行的必然选择，也是实现商业闭环的最好出路之一。据调研报告显示，Robotaxi 可取代 63% 的网约车 / 出租车和 27% 的公共交通²⁴。

未来，自动驾驶技术将推动传统车体革新，让车内空间和布局更充满想象力，打造迎合不同场景的移动第三空间，甚至会颠覆现有行业的商业模式，如餐饮业。自动驾驶餐车可能是未来的标配，你和亲朋好友的聚餐可能是以全新的形式展开：预定好一顿午餐，自动驾驶餐车会准时把你们依次接上，根据需求规划好一条风景优美的行驶路线，在欣赏美景的同时，品尝美食，畅聊人生，打造真正属于你们包间。这样既避免了往返餐厅的交通，又保证了就餐期间的私密性。对于餐饮店而言，门店的大小不再制约它业务的大小，门店的位置不再制约它业务的范围，门店的生意也不受人流量的影响。

未来场景 2：城市空中交通

未来，空域是城市交通发展的重要资源，可以搭建高效的空中城市交通网络，将极大程度的释放路网资源，减少市民的出行时间，提高城市的物流效率和应急救援能力。

根据 NASA 在《城市空中交通空域整合概念和考虑因素》中的界定，在城市中用于客运或货运的、安全高效的有人驾驶、无人驾驶（空中）交通工具系统，由飞行器、指挥调度平台、导航与定位系统、充电系统、停机坪等构成。

电动垂直起降飞行器 eVTOL (Electric Vertical Takeoff and Landing) 的研发，吸引了全世界各种创新公司的投入，在全球范围内具有性能上的进展。目前而言，多家公司的四座飞行器都可以达到 100 公里左右的巡航里程²⁵。有公司在努力开发七座及以上的 eVTOL²⁶；也有公司在探索氢燃料的空中飞行器²⁷，以获得更长的续航里程（600 公里以上）。这一类新型飞行器未来潜在应用在



紧急医疗服务、城市空中客运 (UAM)、区域客运 (RAM)、空中货运、个人飞行器等多种场景模式。

空中应急救援系统：在过去的十年间（2010-2020），摩天大楼如雨后春笋般涌现于全球各大城市。未来十年，随着全球城镇化进程的提速，摩天大楼的建设仍将保持高热度。快速拔地而起的摩天大楼在给城市带来美丽风景线的同时，也增添了安全隐患。高楼消防、高楼医疗救援成为未来城市的新难题之一。空中应急救援系统的出现，使得消防和医疗救援力量能够快速到达高层实施灭火和人员救助，保障居民生命财产安全，成为摩天都市消防、医疗隐患的新解。

空中巴士 / 空中出租车：便捷、高效的交通体验已经成为都市人的核心需求之一。随着电池储能密度的提高，飞行器续航和承载能力的提升，eVTOL 有望成为改善市内交通体验的利器。目前，空中客运试点已经展开，2019 年，该领域的中国科技公司，在浙江启动了全球首个城市空中交通客运服务，将原本需要 40 分钟的道路交通行程缩短为 5 分钟的空中之旅²⁸。根据 NASA 的预测，2030 年空中巴士的载客总人数将高达 7.4 亿。

当然，为实现 UAM 这类的未来场景，需要高速稳定的空天地一体化网络连接和定位系统、低成本可靠的视觉传感器和激光雷达、安全稳定的自动飞行算法、以及高效实时的指挥调度平台。

► 探索方向三： 共享化，提升交通效率，促进低碳出行

未来，在交通管理系统的统一调配下，按照乘客的出行偏好，提供一键式量身定制的出行方案，并确保交通工具的高效共享，避免一车一人一行程的高碳出行方式。

未来场景：出行即服务（MaaS）打造一键式出行服务

国际道路运输联盟将 MaaS（出行即服务）定义为：将用户置于出行服务的核心位置，根据用户需求量身定制出行方案。MaaS 将不同出行方式整合，为用户提供一键式按需出行服务，通过单个应用程序和一次购买即可满足所有出行需求²⁹。

出行即服务系统的建设目标之一就是要提供一体化的、便捷的公共交通出行服务，提倡绿色出行。这类平台通过整合区域内各种交通（地面公交、轨道交通、共享汽车、共享单车）资源及城际交通（民航、高铁、长途客运）的出行方式，接入餐饮、住宿、购物、旅游等信息，基于公共交通智能调度、个人出行模式识别、绿色出行优先等，整合互联网的支付能力，实现出行行程预定、路径一键规划、公共交通无缝衔接、费用一键支付等功能，整体提升公众公共交通出行满意度，提高公众绿色出行良好体验。

欧盟很多的城市都在开展 MaaS 的示范，不同城市的集成度不一样，集成度涵盖设施的集成、票价的集成、支付方式的集成、信息通信的集成、管理体制的集成、出行服务的集成等不同方面。瑞典哥德堡、德国汉诺威、奥地利维也纳、芬兰赫尔辛基是最早探索 MaaS 的城市。这些城市充分发

挥数字化技术的优势，从整个系统层面优化公交车、网约车、自行车、城市配送等出行系统，进而孵化出很多新兴的出行服务企业，推动城市低碳发展³⁰。

对个人而言，在确保出行安全的前提下，减少出行费用，改善出行体验；对政府而言，可以优化交通基础设施的投资和管理，满足城市可持续发展的需求，提升市民满意度。此外还可以创造更多的出行服务商业机会，降低服务成本，扩大服务范围。最终实现调度一体化，资源共享化，体验人本化，出行低碳化。



► 探索方向四： 网联化实现安全、高效、规模化的自动驾驶

单车智能自动驾驶容易受到遮挡、恶劣天气等环境条件影响，在全量目标检测、轨迹预测、驾驶意图“博弈”等方面存在困难。而网联化通过信息交互协同、协同感知与协同决策控制，可以极大地拓展单车的感知范围、提升感知的能力，引入高维数据为代表的新的智能要素，实现群体智能。网联化可以从本质上解决单车智能自动驾驶遇到的技术瓶颈，提升自动驾驶能力，从而保证自动驾驶安全，扩展自动驾驶 ODD (Operation Design Domain，自动驾驶系统功能设定的运行条件，包括环境、地理和时段限制、交通流量及道路特征等)。

此外，经济性是自动驾驶规模商业化落地必须要面对的问题，高等级自动驾驶需要大量的车载传感器，一般一台 L4 级自动驾驶车辆需要 6~12 台

摄像头、3~12 台毫米波雷达、5 台左右激光雷达以及 1~2 台 GNSS/IMU 和 1~2 台计算平台，单车成本昂贵。网联化通过路侧感知和调度，把单车昂贵的设备成本降低，是自动驾驶规模化落地的必然趋势，是单车智能的演进方向³¹。

实现网联化，首先离不开网络的连续覆盖，当前全球移动通信服务仅覆盖了约 20% 的陆地面积，而陆地面积仅占全球面积的 29%，全球只有不到 6% 的面积被覆盖。在中国，超过 95% 的海洋面积尚未被移动通信网络覆盖³²。所以需要空天地立体网络提供全球连续覆盖。其次，随着车内，飞行器内用户大屏娱乐，全息会议的普及，仅靠地面网络无法给用户带来一致性的娱乐、办公体验，需要空天地立体网络提供大带宽、高可用的网络。



未来场景 1: 提供更安全, 更高效的调度服务

过去 10 年, 在繁忙的港口, 已经有先驱开始探索利用高架轨道对集装箱进行运输。集装箱被送到类似缆车的轨道中, “缆车系统”根据集装箱的目的地进行调度, 把集装箱送往铁路站点、卡车仓库, 甚至内陆城市的无水港, 以极低的成本, 极大

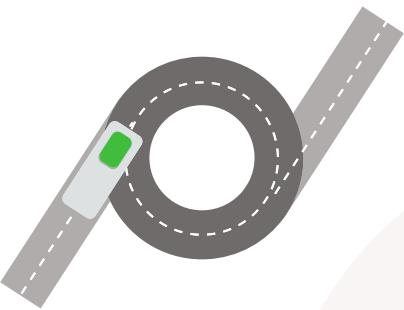
地提升了集装箱运输的效率。未来, 空天地立体网络将支撑无人车、无人机的“缆车系统”, 为每辆车、每一架飞行器提供更安全、更高效的调度服务, 实现规模化自动驾驶。

未来场景 2: 在空中拥有“家一样”的带宽体验

未来宽带将不仅仅在地面, 还将延伸到空中, 从小于千米高度的无人机、到万米高度的航空飞行器、数百公里高度的低轨航天飞行器都需要宽带连接。立体网络将由 100m 热点覆盖的小

站、覆盖半径 1~10Km 的宏站和覆盖半径大于 300Km~400Km 的低轨卫星共同组成, 分别为用户提供万兆、千兆、百兆的连续宽带体验³³。





结语： 智能低碳出行， 开启移动第三空间

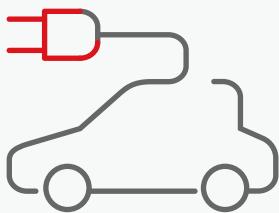
未来出行是一个多维的创新系统，通过电气化、自主化、共享化、网联化打造一个智能便捷低碳的出行体验，需要有新能源技术的创新应用，安全稳定的自动驾驶算法，低成本可靠的各类传感器、高速稳定的空天地一体化网络，以及基于强大算力交通管理大脑。

通过移动第三空间，重塑出行体验，孵化创新的出行服务，带动周边行业的商业模式的更新迭代。城市智能交通管理系统，优化资源配置，通过提升交通工具的共享效率，帮助缓解交通拥堵，降低出行带来环境污染，让不断激增的出行需求和环境对低碳的追求不再是一个矛盾体。

华为预测，到 2030 年，全球电动汽车占所销售汽车总量的比例达 50%，中国自动驾驶新车渗透率达 20%。整车算力超过 5000 TOPS；智能汽车网联化（C-V2X）渗透率达 60%。



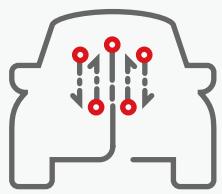
华为预测,到 2030 年:



全球电动汽车占所销售汽车
总量的比例达 **50%**。



中国自动驾驶新车
渗透率达 **20%**。



整车算力超过
5000 TOPS。



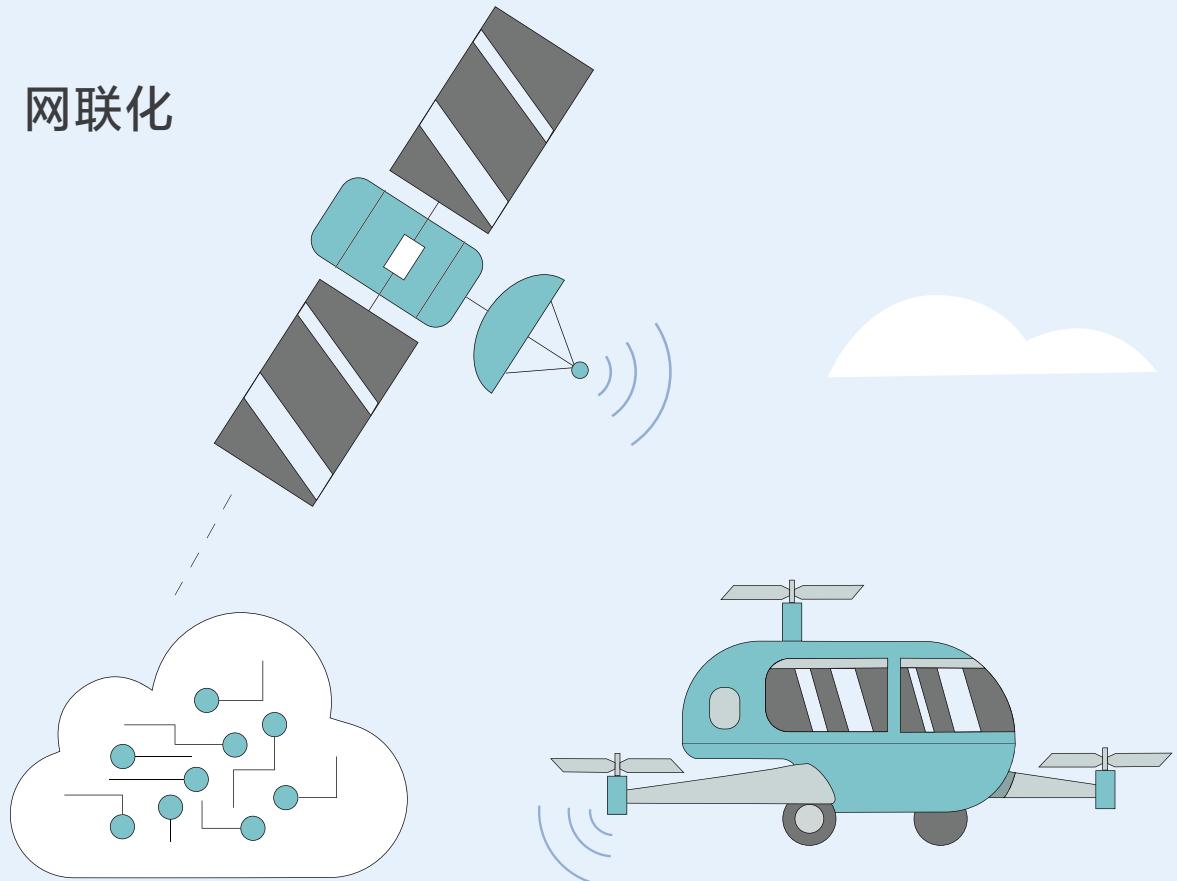
智能汽车网联化 (C-V2X)
渗透率达 **60%**。

相关引用

- 1: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration <https://highways.dot.gov/newsroom/us-driving-last-year-was-lowest-two-decades-new-data-show>
- 2: ACEA <https://www.acea.auto/fact/passenger-cars-what-they-are-and-why-they-are-so-important/>
- 3: 中国城市规划设计研究院 《2021年中国主要城市通勤监测报告》
<http://www.chinautc.com/upload/fckeditor/2021tongqinjiancebaogao.pdf>
- 4: WEF “Raising Ambitions: A new roadmap for the automotive circular economy”
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Raising_Ambitions_2020.pdf
- 5: AJ Willingham "Commuters waste an average of 54 hours a year stalled in traffic, study says"
<https://edition.cnn.com/2019/08/22/us/traffic-commute-gridlock-transportation-study-trnd/index.html>
- 6: INRIX "The INRIX Global Traffic Scorecard"
https://static.poder360.com.br/2019/02/INRIX_2018_Global_Traffic_Scorecard_Report__final_.pdf
- 7: INRIX <https://inrix.com/press-releases/2019-traffic-scorecard-us/>
- 8: WEF “Raising Ambitions: A new roadmap for the automotive circular economy”
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Raising_Ambitions_2020.pdf
- 9: EU “A European Green Deal”
https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- 10: Chowdhury Mahbubul Alam “Strategies of the Next Generation Vehicles (NGV) in Japan”
https://www.kitakyu-u.ac.jp/law/kenkyu/pdf/46-3_4choedhry2.pdf
- 11: 能源与交通创新中心《中国传统燃油汽车退出时间表研究》
<http://www.icet.org.cn/admin/upload/2019052339423961.pdf>
- 12: 深圳市交通运输局 “深圳9月实现公交100%纯电动”
http://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzx/gzdt/content/post_4317723.html
- 13: Pierre Dornier “Denmark, Luxembourg, Netherlands lead the way on emissions-free buses”
<https://www.transportenvironment.org/press/denmark-luxembourg-netherlands-lead-way-emissions-free-buses>
- 14: 新能源汽车国家大数据联盟等 《新能源汽车大数据蓝皮书》
- 15: IEA “Global EV Outlook 2021” <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- 16: IEA “World Energy Outlook” <https://www.iea.org/topics/world-energy-outlook>
- 17: 于占福 “航空运输及航空制造业碳中和发展之路探索”
http://att.caacnews.com.cn/zsfw/ysfw/202108/t20210811_58483.html
- 18: IATA <https://www.iata.org/>

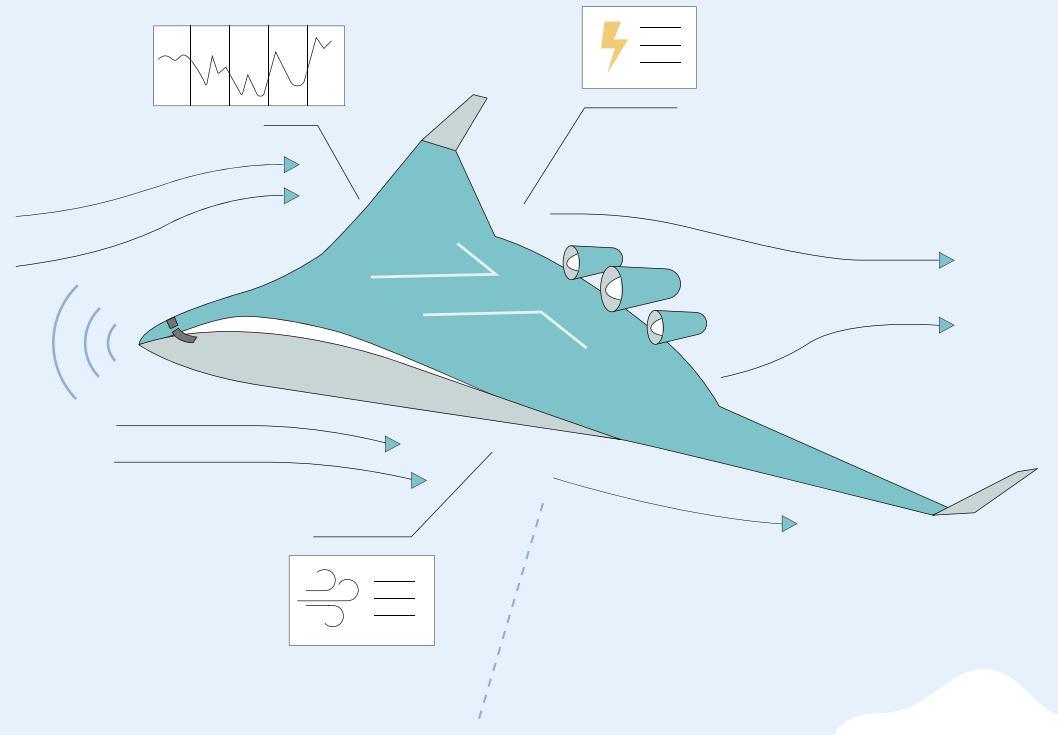
- 19: SAFE “America’s Workforce and the Self-Driving Future Realizing Productivity Gains and Spurring Economic Growth”
https://avworkforce.secureenergy.org/wp-content/uploads/2018/06/Americas-Workforce-and-the-Self-Driving-Future_Realizing-Productivity-Gains-and-Spurring-Economic-Growth.pdf
- 20: EU “On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future”
<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2018:0283:FIN:EN:PDF>
- 21: 中国国家发展和改革委员会 《智能汽车创新发展战略》
<https://www.ndrc.gov.cn/xgk/zcfb/tz/202002/P020200224573058971435.pdf>
- 22: 德勤《中国智慧物流发展报告》
<https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/about-deloitte/articles/pr-china-smart-logistic-whitepaper.html>
- 23: 上汽红岩 <https://www.hongyantruck.com/html/news/20200630/1219.shtml>
- 24: 清华大学交通研究所 , 文远知行 《中国首份 Robotaxi 乘客调研报告》
[https://www.weride.ai/static/ 中国首份自动驾驶出租车 \(Robotaxi\) 乘客调研报告 -65333c4d8c753aa16d8e00a1b4f5c1bd.pdf](https://www.weride.ai/static/ 中国首份自动驾驶出租车 (Robotaxi) 乘客调研报告 -65333c4d8c753aa16d8e00a1b4f5c1bd.pdf)
- 25: Volocopter “The Roadmap to scalable urban air mobility”
https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/20210324_Volocopter_WhitePaper_Roadmap_to_scalable_UAM_m.pdf
- 26: Lilium <https://lilium.com/>
- 27: Skai <https://www.skai.co/>
- 28: 亿航智能 <https://www.ehang.com/cn/>
- 29: IRU <https://www.iru.org/who-we-are/where-we-work/europe/maas-mobility-service>
- 30: ITS Deployment Evaluation <https://www.itskrs.its.dot.gov/its/benecost.nsf/ID/d1c266bdeefee830852581bb005d27be>
- 31: 清华大学智能产业研究院 , 百度 Apollo 《面向自动驾驶的车路协同关键技术与展望》
<https://apollo.auto/document/ 面向自动驾驶的车路协同关键技术与展望 .pdf>
- 32: Shanzhi Chen et al. “Vision, Requirements, and Technology Trend of 6G: How to Tackle the Challenges of System Coverage, Capacity, User Data-Rate and Movement Speed”
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9003618>
- 33: FG-NET-2030 “Network 2030 : A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond”
https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf

网联化



自主化





电气化

共享化







城市

城市新基建，
让城市有温度，更宜居



城市化是本世纪最重要的全球趋势之一。当前，全世界一半以上人口生活在城市地区，到 2030 年，这个比例预计将提升到 60%¹。以中国为例，据摩根斯坦利预测，中国的城市化率将从现有的 60% 提升到 2030 年的 75%，新增 2.2 亿人进入城市²。中国将形成以粤港澳、长三角为代表的 5 个超级城市圈³。届时，全球人口超一千万的城市也将增加至 43 座⁴。

随着城市化进程的加快，全球的城市管理都面临着城市规模增长与城市各种资源有限之间的巨大矛盾，并且城市在能源消耗，环境污染，交通堵塞，信息基础设施发展不均衡等方面的问题日益严重。

据联合国人居署的数据显示，全球城市平均消耗约 75% 的一次能源，且排放了全球温室气体总量的 50% 至 60%⁵。到 2030 年全球城市每年产生的废物总量将达到 25.9 亿吨⁶，每年向河流、湖泊和海洋排放的塑料将达到 5,300 万吨⁷。严重的空气污染导致世界各地每年 700 万人死亡⁸。

如何提升城市资源利用率，缓解城市规模增长与有限资源之间的矛盾成为城市未来需要解决的最重要需求。另一方面我们也看到 5G、云、AI、区块链、智能传感等各种新技术的快速进步，给未来城市发展带来了更多新的可能，城市场景也将成为各种新技术的最佳应用创新场所与孵化基地。

过去十多年来，世界各国都在加快城市的数字化进程，希望借助高科技手段探索城市的可持续发展路径。2020 年，全球投入试点的智慧城市数量将近 1000 个。其中，中国 500 个，欧洲 90 个，美国 40 个⁹。与此同时，面向智慧城市的投資金额也在逐年提升，2020 年相关投资接近 1240 亿美元，同比增长 18.9%¹⁰。显然，城市的数字化，智能化已成为全球领先城市探索城市可持续发展的最关键路径。

▶ 探索方向一：数字新基建，打造城市发展新引擎

城市的不断“膨胀”，给有限的资源供给，以及环境带来巨大压力，如何采用技术的手段大幅提升城市综合治理效率，实现城市治理的科学化、精细化，让有限的资源能够满足城市可持续发展的需求，是城市发展所面临的主要挑战。

传统的工业化时代，城市提供了水、电、气、道路等物理的公共基础设施，支撑了工业化城市的快速发展，面向未来，如何建设一个先进的城市数字新基建，为城市走向数字化、智能化提供加速度，无疑是城市未来场景探索的主要方向之一。

我们认为城市数字新基建主要应由四个方面组成，

自底向上，底层是遍布于城市各个角落的智能感知系统，能够实时、精准地感受到城市的脉搏，感受到城市的变化；第二层是智能联接，通过覆盖城市的高速有线、无线联接技术，将城市联成一个有机的整体；第三层是智慧中枢，是城市未来的“大脑”与决策系统，是海量数据的汇聚点，实现城市数据的全域共享，支撑AI价值最大化，实现城市治理的精细化、科学化、自动化；最上层是智慧应用，基于城市的数字新基建，面对不同的城市治理场景，需要打造一个完整的城市智慧应用生态体系，打通面向客户服务的最后一公里，为城市智慧化发展提供各种可能；这四个方面有机联接，相互支撑，共同形成一个城市智能体，支撑城市迈向全场景智慧时代。

未来场景：纳米传感，精准感知城市脉搏

城市数字化发展的基础是数据，而数据则来源于遍布在城市各个角落，各种各样的传感装置，如同人们需要通过视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉等来感知周边环境一样，城市也需要通过遍布于城市中的各种触角感知城市的变化，从而为城市数字化发展提供最基本的数据支撑。

美国《麻省理工学院技术评论》杂志把这种基于传感器技术的“感知城市”列为2018年全球十大突破性技术之一。

我们认为未来城市一方面将会从局部感知系统走向全域感知的网络，基于各种通信方式，将分散的各种传感节点联接起来，通过对海量数据的综合分析，形成对城市变化更为精准的判断。另一方面，传感技术本身的突破与发展也必将为“感知城市”带来跨越式的发展。

在所有的传感技术之中，一种低成本、微型化的纳米传感器技术有望成为推动新一轮传感技术革命的“颠覆性”技术，拥有可观的发展前景和巨大的应用潜力，未来纳米传感产品可以大量布撒，形成无线纳米传感器网络，使得城市的感知能力大大扩展，将为气候监测、健康检测、环境保护等各个领域带来革命性的变化。

通过纳米技术制作的传感器，尺寸小、精度高、性能会得到极大改善，纳米传感器是站在原子尺度上，极大地丰富了传感器的理论，推动了相应的制作水平，拓宽了应用领域。当前已在生物、化学、机械、航空等领域获得了很多广泛的应用。

石墨烯纳米气敏传感器：这是一种对气味非常敏感的传感器，气敏传感器上和气体接触的表面附着了一层纳米涂层作为敏感材料，用于改善传感

器的灵敏度和性能。这种传感器内置的金属有机薄膜能够收集气味分子，然后通过等离子纳米晶体将所捕获的化学信号放大，它不仅可以检测环境中最常见的二氧化碳，而且能够快速检测有害气体、有毒气体。美国一所大学研制成功利用石墨烯开发出新型的纳米涂层，他们将这种纳米薄膜集成到气敏传感器的电路中，与目前最好的使用碳基材料的传感器相比，对分子响应提高了 100 倍，大大提升了气体传感器的灵敏度¹¹。

不久的将来一小片传感器就能准确识别出空气中的有害气体，有毒气体，爆炸物等，从而大大提升城市对于工厂，边检等特殊场所的空气，爆炸物的危险感知能力；

纳米缝隙传感器：是一种能够识别特定频段声音

的传感器，其独特之处在于，传感器间的缝隙间距能够达到纳米级别，从而能够保证很高的声音传感灵敏度。研究人员们在粘弹性聚合物表面添加 20 纳米厚度的铂金层，搭建了传感器框架。通过让表面的铂金变型延展，上下层之间便产生了空隙，暴露出底层的聚合物，研究人员便能测量传感器表面的电导系数。实验中，针对音频的测试，在干扰噪音高达 92 分贝的实验环境中，纳米裂缝传感器的表现大大优于传统传声器，能够将特定频段音源准确地识别出来。当把纳米传感器放置在小提琴的表面，它能够精确的记录乐曲中的每一个音符，并且将其“翻译”给外接设备，输出电子乐曲。当把纳米裂缝传感器佩戴在手腕处，它甚至能精确地测量人体的心跳。可以预见，这种技术的突破未来将大大加强城市对于声音的感知能力¹²。



未来场景：全光城市，开启万兆互联时代

城市数字化转型离不开各行业海量的信息交换，当前以“5G、F5G、千兆 WiFi”为代表的新一代联接技术的发展，让城市真正开始走向高速网络的全域覆盖。而这些都离不开城市全光网络的支撑，通过构建城市的全光底座，加速城市运行体系与全光网等城市通信基础设施的全面融合，城市的业务创新将会从政务服务延伸至每个人，每个企业与每个家庭。

当前全球领先城市已经做了很多早期探索，全光城市初步展现出了巨大发展潜力与价值。

2021 年 4 月，中国上海发布了“全光智慧城市全球第一城”以 F5G 光网为底座，构建城市“1 毫秒”时延圈，实现全市光高速枢纽布局，为后续城市智慧化发展打下了一个坚实的网络基础¹³。

澳大利亚的阿德莱德市，已有多达 1,000 座建筑接入万兆网络，建筑内的企业能够以 10Gbps 的网速访问云端服务，为教育、视频、IT 和软件工程等行业带来了巨大机遇¹⁴。

我们相信，在全光城市基础设施的支撑下，未来网络联接容量，带宽，用户体验还将会有更加飞跃式地提升，上下行速率达到对称 10Gbps、时延降低

到微秒级、联接数提升 100 倍以上。

到 2030 年，城市将会进入到万兆联接的时代：万兆的企业接入，万兆的家庭宽带接入，万兆的个人无线接入体验。

未来的全光城市目标架构将包含四个组成部分：

全光接入：光联接延伸至家庭、楼宇、企业、5G 基站等城市全场景。全光传输向大型企业、楼宇、5G 基站等末端延伸，支撑各行业数字化转型，赋能 F5G+X，5G 2B 等行业应用扩展。

全光锚点：家庭宽带、政企、5G、数据中心等业务的汇接点，由全光网统一传送；实现多技术协同，支持各类业务的一跳入云。

全光交换：城市光网一跳直达。通过全光交叉等技术，打造立体化的全光网络，实现一跳直达、空间高速、云光协同等。

全自动运维：实时感知网络动态，主动运维，并能够进行预测性运维，从而实现网络资源弹性化，业务自动化、资源分配自动化，运维自动化。



未来场景：智慧中枢，城市从人治走向 AI 治理

可以预见在城市数字化转型过程中，随着城市全量数据的打通，融合，AI 必将会在城市的各个场景中发挥越来越重要的作用，城市将从基于人的经验治理走向基于 AI 的算法治理，从局部的智能走向全场景的智慧。



在这个技术进步的过程中，城市治理的理念会发生一些重要的变化：例如从被动服务走向主动服务，从粗放式管理走向精细化管控，从事后处理走向实时响应与预测、预防。

同时也会面临一些新的挑战：AI 会催生新的公共治理主体，算法权力凭借算法优势与海量数据支撑，逐渐融入进城市治理体系，反向推动城市治理的变革；AI 拓宽原有城市治理领域，散布在城市的各种感知单元，保障城市资源的精准，高效提供；AI 技术伦理，人工智能基于以人为本，公平公正等基本价值理念，不断纠正技术发展中存在的路径偏离。

我们认为无论是顺应城市治理思想的转变还是面对技术进步所带来的各种挑战，未来的城市都需要一个强大的智慧中枢平台，承上启下，并且能够

自主进化，它一方面汇聚来自于城市各个角落的海量数据，另一方面通过平台把数据转变成一种城市治理的先进能力，普惠千行百业，极大提升城市治理效率与用户服务体验。

日本丰田公司的早期探索：在丰田未来城市的规划中，每个房屋、建筑、车辆都配备有相应的传感器，这些数据会汇聚到一个城市的数据操作系统，通过这个系统将人、建筑物、车辆全部连接在一起。在获取各种信息之后，由 AI 分析人们所处环境状况，通过人工智能可以保证人车分流，也保证了道路上车辆与行人之间的绝对安全。另外除了诸如室内机器人之类的新技术外，居民在家中还可以通过 AI 技术来检查健康状况，可穿戴，家庭医用传感器会将数据传递给数据操作系统，从而指导改善个人的健康与生活¹⁵。

未来场景：智慧产业生态，让城市走向全场景智慧

基于海量，实时的城市感知数据，无处不在的高速联接，公共的智慧中枢平台，未来城市智慧应用的范围将会从服务政务，到服务产业发展，服务智慧生活，智慧将会以一种润物细无声的方式融入到城市的每个角落，在这个过程中，打造与共建一个围绕城市的智慧应用创新生态体系，打通服务客户的最后一公里将是城市新基建价值发挥的关键所在。



在这个方面，一些领先的城市也开始了早期的探索与实践，在中国，华为与深圳市光明科学城合作，计划共建一座“绿色、全光、智慧”的示范城区，加速智能制造、生命科学、全光网等城市重点产业的业务创新。

在这里将建设中国第一个生命科学与智能制造创新中心，打造科学城生命科学（EI Health）与智能制造（Fusion Plant）服务平台，通过吸引产业上下游生态，共同推动生命科学与传统制造产业向智能化的转型升级。

服务平台将为企业的业务创新提供支持服务：公共的大算力平台，海量的存储能力，针对生物医疗领域的影像分析，基因分析，药物研发数据分析等算法模型服务。针对工业企业的工业互联网服务，加速生物医疗，工业企业的数字化转型，推动相关智慧应用产业链的发展。

在城市新基建模式下，构建围绕城市的智慧创新生态链，在城市新基建与行业数字化创新之间架设起一座桥梁，最终达到生态服务产业，产业繁荣生态的创新发展态势，充分发挥出城市新基建的巨大价值，普惠千行百业，是城市未来走向全场景智慧的关键。

► 探索方向二：智慧政务服务，让城市更有温度

曾经何时，为了办理一件普通业务，我们在城市的各个职能部门之间来回奔走。今天，在中国的大多数城市，都有了统一的政务服务大厅，大多数业务能够得到统一的办理。疫情之后，我们发现，越来越多的政务服务可以能够通过手机进行无接触的办理。

以人为本的政务服务理念在中国以及全球领先的一些城市不断得到贯彻与落实，同时以云，AI，区块链等为代表的高科技也在不断进步，那么两者的结合，在未来产生会产生怎样的聚变效应，如何让人们在享受便捷城市服务的同时，感受到更多来自城市的温暖，将会是城市政务服务未来发展的主要方向。

未来场景：基于数据的主动精准服务

机器识别技术的出现使得非接触服务成为可能，今天在中国大多数发达省份，政务办理已不再需要去政府的服务大厅，通过手机就能够进行远程的自助服务，可以预见未来十年政务服务的数字化，智能化程度将会进入到更高的发展阶段。

一、数字身份认证将会得到全面普及，人们随时携带的身份证件，驾驶证，社保，银行卡等证件都将实现数字化，预计到 2027 年全球电子身份认证市场空间将达到 180 亿美金¹⁶。

二、数字信用作为城市数字化的基础能力，将重构公共服务的业务流程与客户体验。无证据书、刷脸看病、信用租车等一系列服务流程优化将大大提升市民的日常服务体验。

三、一站式电子政务将进入到全面普及阶段，未来所有的政务服务都将具备远程服务能力，能够支持无接触地远程办理，而固定的政务服务大厅将可能完成其历史使命，不复存在。

技术的发展会催生新的城市治理和服务方式，今天在中国很多城市出现的“一网统管”便是其典型的代表。以大数据、物联网技术为基础，综合城市

管理与市民需求，形成跨部门、跨层级、跨区域的运行治理架构。未来随着海量数据的不断积累与汇聚，人工智能技术的不断成熟，政务服务也必将会更多地向主动服务，精准服务的方向发展，大幅提升城市治理效率与市民的服务体验。

以智慧养老为例：上海的街道推行给独居的老人安装智能水表。在老人的同意下，通过实时监测独居老人的用水情况，12 小时内用水量一旦低于 0.01 立方米，街道的“一网统管”平台，就会接收到报警信息，并及时通知社区，社区志愿者就会第一时间上门查看老人的情况，通过这些智能设备的使用，使得社区对于独居老人的关怀做到细微之处，给老人的生活带来温暖¹⁷。



未来场景：基于区块链的数据共享

数据是城市数字化进程中最为重要的生产资料，而传统的数据共享模式存在基于中心服务模式，不利于数据开放、共享；数据交换过程中存在较高安全风险；标准规范体系不完善；数据访问安全控制，传输加密，访问行为审计等技术与方案分散，对接困难等诸多问题，导致城市政府部门之间，政府与企业之间的数据共享困难。

而区块链技术与云计算、大数据、人工智能等新兴信息技术充分融合，用以解决城市数字化过程中面临的数据可信流动、共享、使用等问题，拥有不可替代的优势。区块链由多方维护，采用多种密码技术保证传输和访问安全以适应不同场景需求，采用哈希指针连接以有效地防篡改，从而打造数据共享的安全可信载体，在数字政务等复杂的业务环境中，有助于便捷地建立部门间信任关系，极大促进跨部门数据的共享效率。

通过将区块链底层技术服务和城市数据化建设结合起来，研究区块链技术在城市信息基础设施、智慧交通、能源电力等各个场景的应用，将成为城市政务服务未来探索的重要方向之一。

迪拜作为世界上数字化进程最快的城市之一。正在积极实施最具创新性的想法，以期在未来将迪拜变成一个基于区块链的智能大都市。在其智慧城市计划中，一项正在开发的试点计划特别受到大家的关注：该计划利用区块链技术跟踪、运送和交付进口及出口货物。其主要理念是将其整合进城市的外贸领域，创建一个安全透明的平台。由于文件处理效率的提高，预计区块链系统的实施将节省约 15 亿美元和 2510 万工时，这将使政府机构摆脱排队的烦恼¹⁸。



► 探索方向三：智慧化环境治理，让城市更宜居

伴随着城市的发展，空气污染，二氧化碳排放，固体废物处理，水污染等城市环境问题日益严重，城市相应的环保基础设施的建设也远远落后与城市经济发展与人口的增长。未来如何解决城市发展与环境治理之间的矛盾，如何利用数字化，智慧化手段提升城市环境治理效率，让城市对于每一个人更宜居，将成为城市未来探索的重要方向之一。

未来场景：自动垃圾处理，让“无废”城市成为现实

城市每天会产生大量的固体废物，如何有效处理这些废物始终是困扰城市管理者的一大难题，而“无废城市”是以创新，绿色，共享城市发展理念为指引，推动绿色发展和生活方式，推进固体废物源头减量和资源化利用，将固体废物对环境的影响降至最低。

世界各国已纷纷开展“无废城市”计划：欧洲的循环经济一揽子计划，计划到 2030 年：城市垃圾回收率达到 65%，包装废弃物回收率达到 75%，减少城市废弃物填埋量最大至 10%，禁止填埋可回收的废弃物，推进产业集群，促进资源循环利用¹⁹；C40 联盟《迈向零废弃宣言》，计划到 2030 年各缔约城市人均市政废弃物产生量将比 2015 年减少 15%；废弃物填埋和焚烧处理量比 2015 年减少至少 50%；将废弃物回收率提高到 70%²⁰；而中国则在 2019 年启动了 11+5 的“无废城市”试点²¹，探索构建固体废物分类资源化利用体系。

伴随着世界各国建设“无废城市”发展目标，可以预见围绕固体废物处理的相关技术与创新将在未来将得到飞速发展，相关的探索与实践也会大量涌现。

韩国松岛未来城市项目利用负压抽吸技术，生活垃圾可以在家里通过地下管道输送到垃圾处理中心的自动垃圾处理系统；马来西亚有相关企业研

发了垃圾处理系统²²。通过地下管道，将垃圾投放站的城市固体垃圾，高速运至 2.5 公里以外的全封闭式垃圾箱内。再由拉臂式卡车在固定时间将垃圾箱运走清理。大幅度节省了垃圾收集的时间。

欧洲有公司研制的自动垃圾分拣机器人，利用人工智能的方式，自动识别传送带上的不同种类的垃圾，根据客户要求，对这些垃圾进行归类，再处理与利用，大幅提升了垃圾的分拣效率，机器人的分拣效率是普通工人的数倍，并且可以 7*24 小时连续不断地工作。有了这些垃圾分拣智能机器人的帮助，我们相信，未来城市废弃物分拣将有可能实现无人化，自动化，大幅提升城市垃圾的处理效率问题。

在人工智能技术的帮助下，未来城市废物收集，运



输, 分拣, 处理将会实现全流程信息化, 自动化与智能化, 智能的垃圾回收箱, 无人驾驶的垃圾运输车, 自动的垃圾分拣机器人, 自动化的垃圾回收利用装置等创新应用将会层出不穷, 从而实现城市

固体废物处理全流程的自动化, 无人化, 真正实现人类“无废”城市的理想。

未来场景：光谱检测，用光的技术让“生命之源”更清澈

水资源的不均衡, 水污染一直是困扰城市发展的重大问题, 全球城市一方面缺水, 全球近半人口(约36亿人)处于缺水状态²³; 另一方面, 市工业废水, 农业化学水污染等问题也日益严重。

当前全球大多城市的水资源管理和使用还多处在按照功能方式设置, 条块分割的状态, 未来城市会打通取水, 供水, 排水的全产业链条, 从系统化视角对水资源进行全局的优化, 重构城市涉水设施, 构建以AI为核心的城市智慧水系统。比如: 基于天气预测, 城市用水需求量预测, 优化取水, 供水与排水的各个环节, 利用精准的水资源生产与调度, 减少过程中所需的能耗, 实现城市水资源的最大化利用。

另一方面, 随着技术的进步, 各种先进技术都会应用到城市的水资源管理中, 在城市水资源保护过程中, 水质监测通常是一项重要内容, 特别是对工业废水的处理。传统检测技术一般是通过化学途径来实现, 不仅时间较长, 反应慢, 还易受到各种客观条件的制约。相比之下, 一种新型的光谱检测技术则规避了以上缺点, 它能够借助不同物质在光学频谱中独有的身份信息, 对水质状态进行有效、全过程的实时监测, 随时追踪污水处理状态。

在美国已有科研团队做出针对水质检测的光谱传感器, 通过传感器识别污水独有的光学特性, 确定污染物在光谱中的相应区域, 再通过与自然水域中水质的光学特性对比, 即可快速确定污水的存在与规模²⁴。

光谱技术还能够进一步与物联网、人工智能、云计算等分析技术融合。利用传感器监测收集水质数据, 再借助数据的深度挖掘与分析, 使得水质监测向全天候、高速、实时、自动化、智能化方向发展, 从而提高水源污染事件的预警效率。

更进一步, 光谱技术还可以利用人工智能等手段挖掘水质参数与处理工艺间的隐藏关系, 从而更科学地升级改造城市污水处理流程, 形成源头防控、过程监管、综合治理的闭环。



未来场景：AI 传感，实时的空气质量感知与治理

近年来，随着空气污染给人类健康造成的威胁日益严重，城市空气质量问题也开始引发人们越来越多的关注。世界卫生组织公布的数据显示，全世界有将近 90% 的城市空气质量没有达到该组织制定的安全标准，并且其污染的状况还在不断加剧，工业废气污染，燃煤污染，汽车尾气污染等城市空气污染已成为当今世界最主要的公共卫生挑战之一。

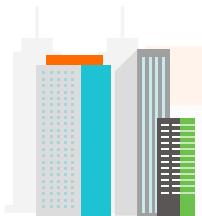
对城市而言，通过部署低成本，高可靠的空气质量监测传感网络，监测整个城市的空气质量气象参数，采取优化措施，改善环境质量成为大多数城市的必然选择。当前业界已有公司开发出高度集成的综合环境空气质量监测系统²⁵，集成的传感器和软件不仅能够测量城市环境中的环境污染物浓度，如 PM2.5、PM10、CO、NOx、SOx 和 O₃，还可以监测气象参数，如噪音、温度、湿度、环境压力、降雨和洪水，并通过无线通信方式将数据实时传输到云平台，从而使得城市的整体环境质量及重点区域环境质量能够得到有效，实时，可视的监控与管理。

未来随着传感技术与人工智能技术的结合，采用机器学习方法对传感器进行训练，使其不仅能够检测出周边的各项环境数据，并且能够基于训练好的模型对于周边环境变化有一个基本的判断，通过终端侧智能的提升，大幅提升城市对于环境的自主感知，实时感知能力。

例如：在疫情防治的过程中，我们可以利用 AI 传感技术减少病毒感染的风险。人的每次呼气，都会有小液滴散发到空气中，如果某人被感染，则呼吸道飞沫可将病毒传染给他人，环境湿度或者温度越低，气溶胶可以在空气中停留的时间就会越长，而人在这样的环境中被传染的概率就会越大，具备 AI 能力的传感系统能够通过对空气中 VOC，湿度，温度的测量，从而判断出当前的空气环境是否有利于病毒的传播，并且能够通过集中控制的通风，空调等系统，自动调整周边的环境，降低人类病毒感染的风险。

可以预见未来基于这些方面的创新应用将会大幅提升我们对空气质量的自主感知与优化能力，提升城市与我们周边环境的空气治理效率。





结语：

城市新基建，让城市有温度，更宜居

下一个十年，将是 5G, 光, AI, 云, 区块链, 智能传感等 ICT 技术快速发展的十年，城市将会进入到万兆联接的时代：万兆的企业接入，万兆的家庭宽带接入，万兆的个人无线接入体验，华为预测：到 2030 年，全球万兆企业 WiFi 的渗透率将达到 40%，全球万兆家庭用户渗透率将达到 23%。

城市与 ICT 技术的结合与聚变必将会在未来产生巨大的裂变效应，大幅提升城市资源的利用率，治理的效率，用户的体验，从而真正实现城市的可持续发展目标，让城市更有温度，更宜居。



华为预测, 到 2030 年:



全球万兆企业 WiFi

渗透率达 40%。

相关引用

- 1: UN “可持续发展目标” <https://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/cities/>
- 2: 摩根士丹利 《中国城市化 2.0: 超级都市圈》
- 3: 摩根士丹利 《中国城市化 2.0: 超级都市圈》
- 4: UN “The World’s Cities in 2018”
https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf
- 5: UN Habitat <https://unhabitat.org/topic/energy>
- 6: 中华人民共和国生态环境部 《李金惠：“无废城市”理念助推可持续发展》
https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcjssdgz/wfcsxwbd/yldg/201912/t20191203_745330.shtml
- 7: Amy Barrett, PA Science ” Annual plastic water pollution could reach 53 million tonnes by 2030”
<https://www.sciencefocus.com/news/annual-plastic-water-pollution-could-reach-53-million-tonnes-by-2030/>
- 8: UN <https://news.un.org/zh/story/2019/03/1029531>
- 9: 德勤 《超级智慧城市报告》 <https://www.henandaily.cn/content/2019/0504/163011.html>
- 10: IDC 《全球智慧城市支出指南》
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46016320an>
https://www.kitakyu-u.ac.jp/law/kenkyu/pdf/46-3_4choedhry2.pdf

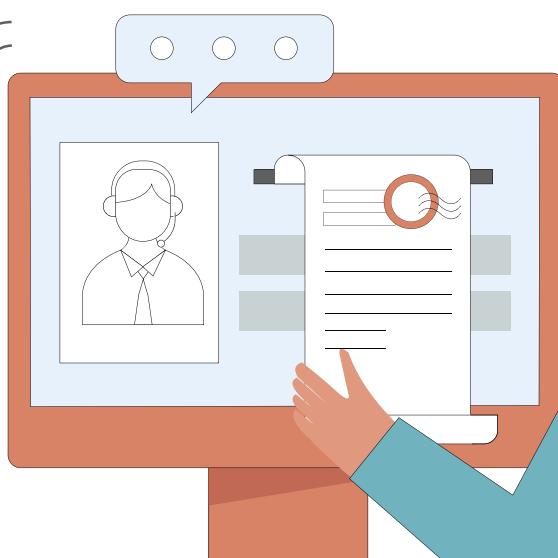
- 11: Mohammad Mehdi Pour et al. "Laterally extended atomically precise graphene nanoribbons with improved electrical conductivity for efficient gas sensing"
<https://www.nature.com/articles/s41467-017-00692-4>
- 12: Daeshik Kang et al. "Ultrasensitive mechanical crack-based sensor inspired by the spider sensory system" <https://www.nature.com/articles/nature14002>
- 13: 新华网 “这个“全光智慧城市全球第一城”，给了我们哪些启示？”
http://www.xinhuanet.com/info/2021-04/30/c_139916374.htm
- 14: Smartcitiesworld.net <https://www.smartcitiesworld.net/news/news/adelaide-ten-gigabit-network-connects-its-1000th-building-5781>
- 15: Woven Planet Holdings, Inc <https://www.woven-city.global/>
- 16: Shanhong Liu “Identity verification market value worldwide 2017-2027”
<https://www.statista.com/statistics/1036470/worldwide-identity-verification-market-revenue/>
- 17: 新华网 “科技“勿忘老”，0.01 立方米用水让我知道你很好”
http://www.xinhuanet.com/local/2020-12/10/c_1126846671.htm
- 18: Suparna Dutt D'Cunha "Dubai Sets Its Sights On Becoming The World's First Blockchain-Powered Government"
<https://www.forbes.com/sites/suparnadutt/2017/12/18/dubai-sets-sights-on-becoming-the-worlds-first-blockchain-powered-government/?sh=62ad8621454b>

- 19: EPRS "Towards a circular economy - Waste management in the EU"
https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS_STU%282017%29581913_EN.pdf
- 20: Jessica L. Leath "Is Bitcoin Reminiscent of Past Bubbles?"
https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Advancing-towards-zero-waste-declaration-Planned-actions-to-deliver-commitments?language=en_US
- 21: 中国生态环境部
https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcssjssdgz/wfcsxwbd/wfcsmtd/202003/t20200324_770316.shtml
- 22: Stream <https://stream-environment.com/what-we-do>
- 23: 联合国水机制 (UN-water) 《世界水发展报告》
- 24: USGS "Using optical sensors to detect sewage contamination in the Great Lakes"
https://www.usgs.gov/centers/umid-water/science/using-optical-sensors-detect-sewage-contamination-great-lakes?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- 25: Oizom <https://oizom.com/>

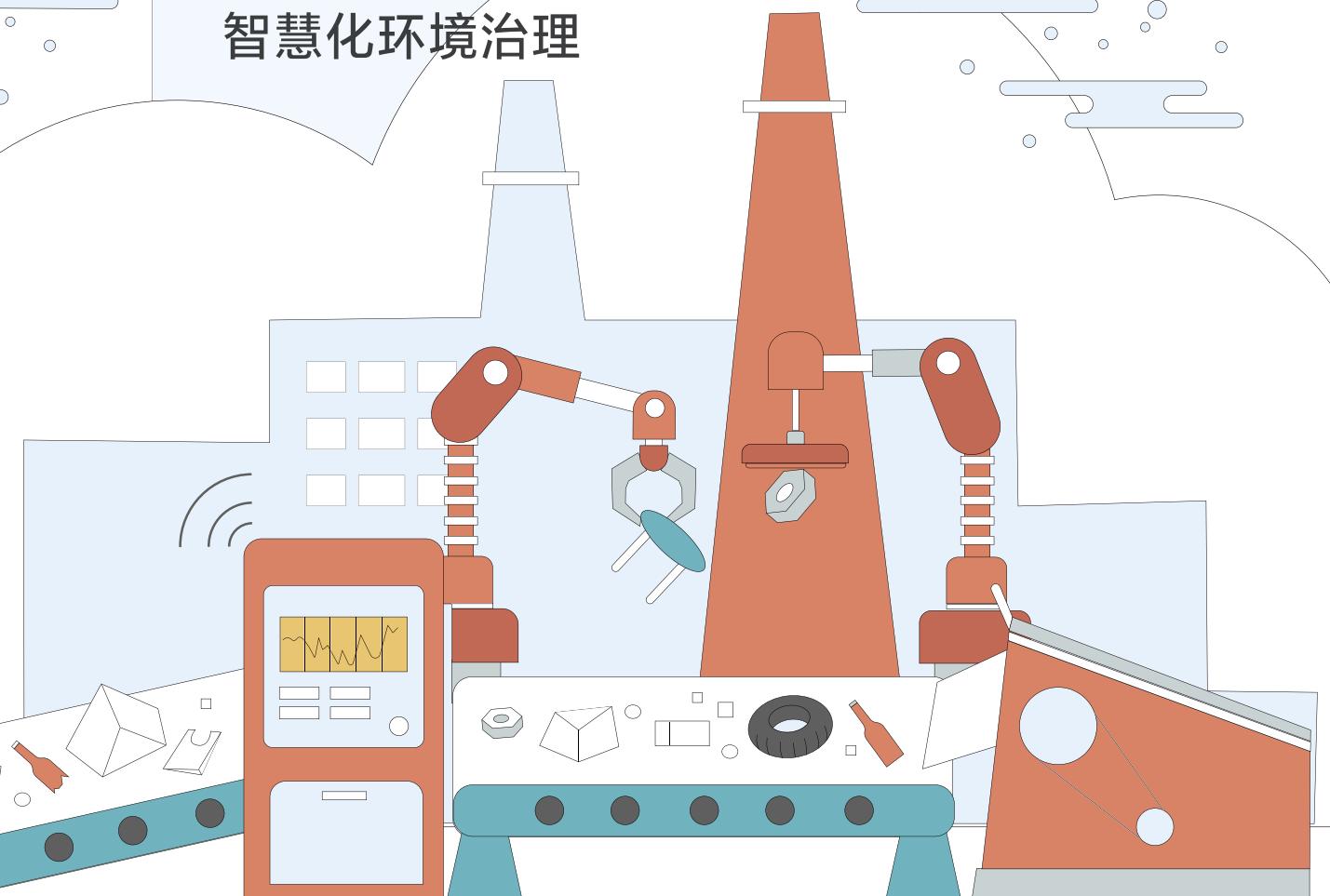
数字新基建



智慧政务服务



智慧化环境治理







企业

新生产力重塑生产模式
增强企业韧性



未来十年，全球人口老龄化呈不可逆趋势。联合国报告显示，2030 年 65 岁以上人口比例将超过 12%；25 岁以下人口占比从 2020 年的 41%，下降至 2030 年的 39%¹。人口老龄化导致世界出现巨大的劳动力缺口。到 2030 年，全球劳动力短缺超过 8,520 万人，超过德国目前的人口²。而劳动力与各国经济发展又有着十分紧密的联系。以制造业为例，到 2030 年，全球制造业面临 790 万工人的短缺，未实现产值 6071.4 亿美元³。

面向未来，消费需求的多样化也在影响着生产模式的变化，倒逼企业进行生产模式的革新。捕捉、激发并拉动越来越多样化的消费者需求成为企业做大、拓展业务必备的能力。未来的企业不但需要通过迅速响应新消费需求，推出功能创新的产品，如基于“一人经济”的发展，快速调整产品形态，

推出一人食套餐、迷你家电，甚至迷你 KTV 等；还要能从情感维度主动激发消费者的购买欲望，对产品的外表、形象、含义进行快速的组合设计，如在短期内定制出各类限量款或联名款。

此外，黑天鹅事件也在对企业的延续性提出了新的挑战。如新冠疫情在全球范围内爆发对经济产生负面影响，带来工厂停工、物资短缺等问题，以及对全球物流供应链产生冲击。据估计，2020 年因疫情原因，全球 GDP 损失了近 3.94 万亿美元的经济产出⁴。据调研数据显示，尽管世界不同地区的经济开始呈现复苏势头，但供应链中断是公司增长的最大风险，而且对其的担忧度也比之前更严重⁵。为此，如何增强产业链韧性的也成为尤为重要的问题，需要企业思考。

► 探索方向一： 无人化生产和服务，弥补劳动力缺口

企业需要及时把握商机，才能扩大业务，这就要求企业在收到紧急大单时，能够快速扩充产能。然而，越来越多的企业受制于劳动力短缺的问题，白白错失机会。这就需要企业通过新生产力来迅速补位。此外，人们也在尝试通过引入新生产力来帮助改善教育、医疗等领域长期以来资源分配不均、专业人才匮乏的问题。

未来场景：(动手)协作机器人

协作机器人是工业机器人的一种，最初目的是满足中小企业的定制化和柔性制造需求，符合未来制造业的发展趋势。相比传统的工业机器人，协作机器人更适合干人不想干的工作，比如分类，包装，挑拣等高重复性的工作。而且协作机器人有几个优势：

更安全：协作机器人更加轻巧智能，携带的传感器可以确保它一触即停。因此它也不需要像传统工业机器人那样，通过物理的防护围栏圈隔起来，而是通过虚拟数字围栏来限制其运动范围。这样，我们可以将其随需布置在生产线上的任意位置，与同一生产线上的工作人员亲密合作，共同完成任务。

更快速灵活地部署：传统工业机器人的移动路径和作业动作，需要专业人员通过特殊的编程器，用专有的编程语言，进行规划和编程，从而导致它的部署时间长，成本居高不下。而协作机器人通过人性化的编程，如拖动示教，自然语言和视觉指导，可以随时投放在新的岗位上，快速完成编程和调试，迅速执行任务。

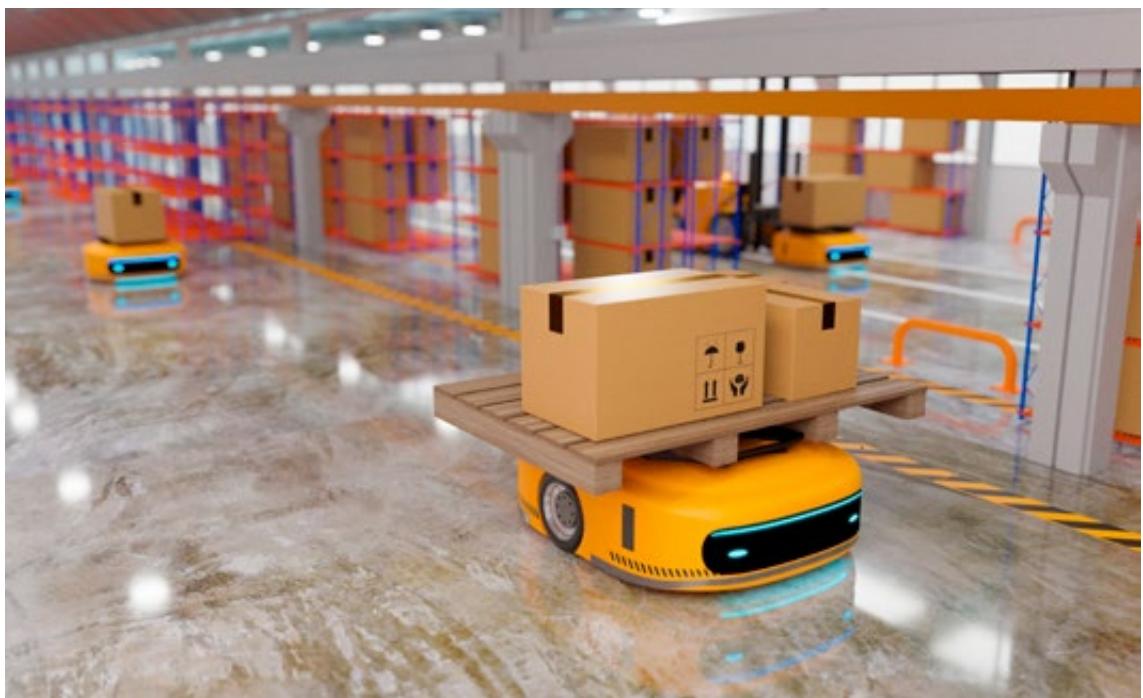
更低的 TCO, 更短的 ROI: 协作机器人的售价和每年的维修成本远低于传统工业机器人，在过去几年，协作机器人的平均售价下降了一半⁶。随着它的规模化普及，我们可期待协作机器人的成本将进一步降低，可被更多的企业采购，快速产生经济回报。

目前协作机器人在 3C 和汽车等制造领域应用最为广泛，同时，我们也看到它在医疗化验和检测的应用崭露头角，帮助医务人员减少重复、费时的工作流程如做尿液分析，也可以降低工作人员的传染风险如咽拭子采样。



未来场景：（跑腿）自主移动机器人

自主移动机器人(AMR)是制造业向柔性化、智能化发展的关键使能要素，改变企业的生产流程、仓储物流等重要环节。



自主移动机器人，一般需要具备丰富的环境感知能力、基于现场的动态路径规划能力、灵活避障能力、全局定位能力等。工业制造及物流领域的自主移动机器人，目前主要基于 SLAM (simultaneous localization and mapping, 同步定位与地图构建) 技术，实现自主导航，而不再需要任何标签来行驶⁷。

在生产线，自主移动机器人实现产线物流的自动化与无人化，比如生产任务下达的无人化；下料、取料和上料过程中，自主移动机器人与各类机台和设备的无人化对接；物料搬运的无人化。

在仓储领域，自主移动机器人主要用于货物的智能拣选、位移以及出入库，实现“货架到人”的拣选模式。管理控制系统根据订单信息指派的自主移动机器人，顶起订单货品所在货架自动搬运到操作台；根据订单信息将指定货位的货品取下，完成拣选后，机器人再将货架送回原来的位置。

此外，物料的配送和调度也不仅仅在厂房内部，也可以扩展到园区内的范围，比如在货物卸载之后，机器人就可以将货物自主入库；在厂房与厂房，仓库与仓库之间进行货物的搬运和出入库自动登记。在这种情况下，我们需要赋予机器人室外自主导航的能力，如激光导航，视觉导航以及卫星定位。

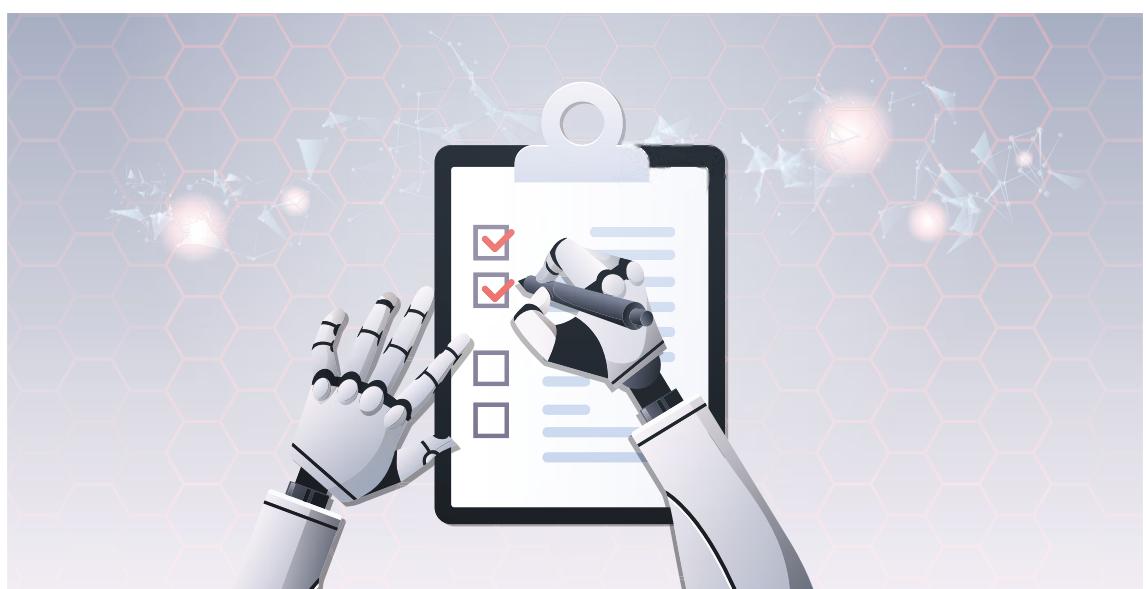
未来场景：AI 教员，实现因材施教

AI 教员，通过观察分析学生学习模式以及个体差异，突破过往千篇一律的教学内容和方式，提升教学质量，让因材施教成为可能。比如随着大数据、云计算、物联网、虚拟和增强现实等技术进一步发展，AI 辅助教育将能够更精细化地分解学习行为和教学行为，建立更完善、更精细化的教育模型；还能更有效地调用虚拟和增强现实技术，根据学生的个性喜好，打造能提升注意力的知识点的呈现和互动方式，让知识更有效地被学生接受。

对老师而言，AI 教员可将教师从重复枯燥的试卷批改、日常管理工作中解放出来，让他们专注于创

造教学研究、有更多的时间投入到与学生一对交流中；通过基于教学活动产生的大数据，辅助教师更好地把握教学情况，从而对教学方式、课程内容的组织给出关键性建议。

对学校而言，AI 教员可部署在任何地方，化身各个学科的特级教师，将优质的教育理念和内容，带入偏远地区。AI 教员可通过视觉、语音等多维方式与当地学生进行互动，避免由于师资不足，一个老师跨学科教四五门课的现象，弥补教学资源的匮乏，促进教育公平⁸。



► 探索方向二： 新生产模式满足个性化需求

在整个生产到消费的过程中，消费者的角色正发生着巨大的变化，决策点逐渐向上游迁移，可参与的环节会越来越广。比如，在传统的规模化生产时代，企业自己设计并完成生产，消费者从成品中进行挑选。随着企业对消费者的需求把握更为精准，所提供的产品品类越来越丰富，让消费者有了更大的挑选空间，然而这也造成库存的巨大问题。现阶段，电商、网红直播等新模式的兴起，让企业能够更直接且精准地把握实际需求量，从而及时调整生产数量，从根上避免产生库存；企业甚至能提

前规划好生产规模，避免产能过剩。

未来，消费者的意见和决策能够直接参与到生产中的设计环节，比如在柔性制造的过程中，可以通过模块化设计，让消费者自由组合搭配并决定所需生产的产品形态或款式，之后企业才启动生产。这样，整个生产模式开始真正进入个性化阶段，随着模块化的颗粒度越来越细，会带给消费者更高选择搭配的自由度，最终达成充分个性化的生产模式。

未来场景：ICT 使能柔性生产

为了能够适应多变的市场需求，在激烈的竞争中取得优势地位，企业必须更为积极地拥抱新的生产模式。因此，柔性生产、柔性制造系统等概念正越来越受更多企业的青睐。这种按需生产的先进生产方式，能够帮助提高企业的灵活性，提升他们在瞬息万变的市场需求面前的快速响应能力；帮助缩短产品的研发周期，降低研发成本；提高设备利用率、降低库存风险、提升资金周转率。以此，企业将更有能力把握市场机会，获得持续发展的生命力。

产品设计和产线规划的柔性化：当企业接到一个新品类的生产订单时，需要快速地进行产品的研发和设计，并对生产线所需的设备、工序、流程、规模等一系列要素进行快速调整，这里就需要通过 ICT 技术进行拟实生产，包括运用仿真、建模、虚拟现实等技术，对新的生产制造全过程进行模拟，降低新品开发和设计的成本，更精准地规划生产线的调整成本和生产能力。

任务分配的柔性化：不管是企业按照客户的个性化需求完成对产品的设计，还是客户直接参与产品的设计（如通过模块化让客户自发定义产品的最终形态），都需要一个智能的任务调度系统。该系统会根据工厂的生产能力、订单复杂度和交付时间需求，自动调整并给出一个最优的生产任务分配方案。当企业收到订单后，该系统会自动分析出订单中的所有可通用的模块部件以及需要定制的模块部件，并识别生产这些部件所需的全部工序和物料。通过统筹安排生产任务的发放、生产物料和工具的及时到位，确保充分发挥出工厂中所有设备和人员的最大生产效率，不让任何一个部件的生产成为订单交付的瓶颈。



设备生产能力的柔性化: 随着定制化需求和小批量订单越来越多时, 工厂需要实时切换各个设备生产工序。传统的生产设备往往因为需要专业人员通过特定的编程设备和语言来重新编码, 导致调整耗时长, 而无法满足企业的快速响应的需求。未来, 随着视觉编程、自然语言交互、行动捕获等 ICT 技术的渗透, 工厂能快速实现对生产设备功能的重新编程和定义, 以及时满足企业柔性化生产的需求。

物流管理的柔性化: 模块化是实现柔性生产的重要可行路径之一, 通过模块化生产出大量的成品

组件, 这就需要自动化的 ICT 手段来有效地进行仓储和物流管理, 避免漏发、发错、发混。以家具企业为例, 大规模的定制化下, 所产生的每一块板, 装饰条, 把手等都可能需要有一个属于它自己的识别码或 RFID, 来协助自动化的打包和装车规划, 以及运输和配送环节的全流程跟踪。

通过对制造业的柔性化改造, 我们可以将传统的货→场→人的“以产定销”链路, 转换为“人→场→货”这样的“以需定产”链路, 甚至还可以进一步压缩成“人→货”的短链路, 真正实现以人为中心的新生产模式。



► 探索方向三： 打造有韧性的智能供应系统，帮助企业应对突发性危机

近几年，“黑天鹅”事件频繁发生，对传统供应链提出新的挑战。企业面临各种不确定性因素的影响，更有意愿巩固自己的供应系统，增强其韧性，保障企业的正常运营。据调研显示，94% 的受访企业都声称新冠疫情导致其供应链中断，62% 的企业在长期情况下考虑寻找新的供应商⁹。越来越多的企业将打造一个有韧性、智能的供应链作为其最重要的战略布局之一。

未来场景：数字化技术让供应链可视化

供应链可视化就是利用 ICT 技术，采集、传递、存储、分析供应链中的上下游订单、物流以及库存等相关指标信息，以图形化的方式展现出来。供应链可视化可以有效提高整条供应链的透明度和可控性，从而大大降低供应链风险。

对于上游供货，通过对物料、设备等的追踪，实时显示其整体交付的程度，包括包装、入库、出库、质检等工序的状况，甚至可以追溯其生产流程中的各种状态。



对接物流系统中各种交通工具的运营数据，实时了解其运作状态，利用全球定位系统、人工智能、5G、IoT 等技术，在移动过程中有效的监控运输过程和货物状态。通过可视化调度中心，可随时整合

或分拆订单，并优化运输资源和路线。由此，帮助企业针对物流中可能出现突发事件，及时调整物流路线，确保物资的准时、安全地到达目的地。

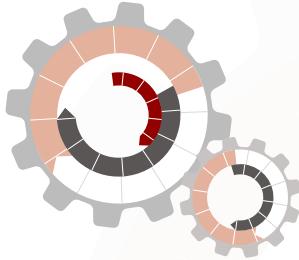
对仓库运营环境信息的实时监控，建立远程监控系统，通过各类传感器，用图像化呈现仓库的温度、湿度、灰尘、烟雾浓度等运维信息，一旦发生如火灾、漏水等前期征兆，可及时介入，避免物资

的损失。对货物出入库信息的实时追踪，随着货物的流通，通过 IoT、RFID、二维码等技术，自动识别并登记物品的信息，可在远端实时调取货物仓储的状态数据。

未来场景：由“供应链”向“供应网”转型

在传统供应链的模式下，链条上的每一个环节都是下一个环节正常运营的先决条件，但也会成为瓶颈。比如，当上游的原材料商的供应出现问题，下游厂商的生产必定受到影响，进而导致整个链条的低效运作，甚至瘫痪¹⁰。未来，随着云计算、物联网、大数据、人工智能等 ICT 技术的引入，供应链将向供应网转型，让每个环节所需的上游物资都有多重的供货备份，并可以通过多路径送达。通过加强企业内外部的互联互通，打造多触点的协同供应生态系统，杜绝链条中“最弱一环”效应。





结语：

生产力重塑生产模式，增强企业韧性

面向 2030 年，数字化转型推动企业的进一步升级。利用人工智能、传感器、物联网、云计算、5G、AR/VR 等技术来打造新生产力，弥补劳动力缺口，帮助企业把握新的业务商机，拓展企业边界。华为预测：到 2030 年，每万名制造业员工将与 390 个机器人共同工作，VR&AR 用户数达 10 亿。有 100 万家企业会建设自己的 5G 专用网络（含虚拟专网）；云服务占企业应用支出比例达 87%；AI 计算占企业 IT 投资比例达 7%。

未来，通过对产品设计、任务分配、设备功能、物流配送等环节的柔性化重塑，实现以人为中心的新生产模式。3D 打印技术的进一步完善和商业化普及，甚至可以直接省去模具制造、产线调整等环节，让消费者自己设计，自己生产，打造全新的个性化生产模式。供应链也将会在数字化的助力下，变得可视化、网状化，增强企业的韧性以应对变化万千的市场环境。



华为预测, 到 2030 年:



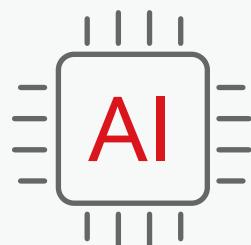
每万名制造业员工将与
390 个机器人共同工作。



云服务占企业应用支出
比例达 **87%**。



有 **100 万** 家企业
会建设自己的 5G 专用网络
(含虚拟专网)。

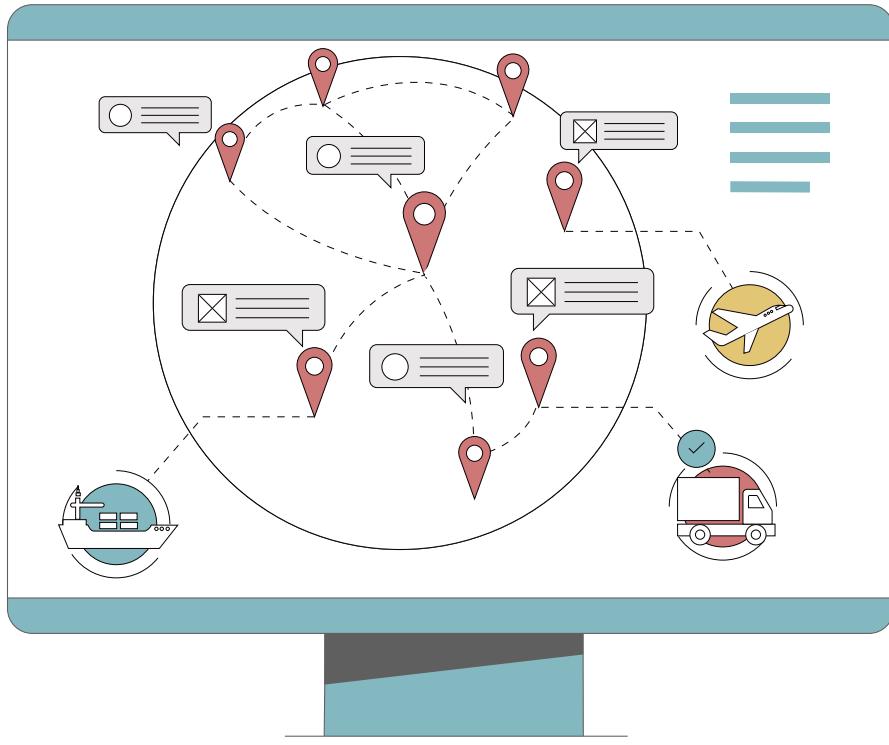


AI 计算占企业 IT 投资
比例达 **7%**。

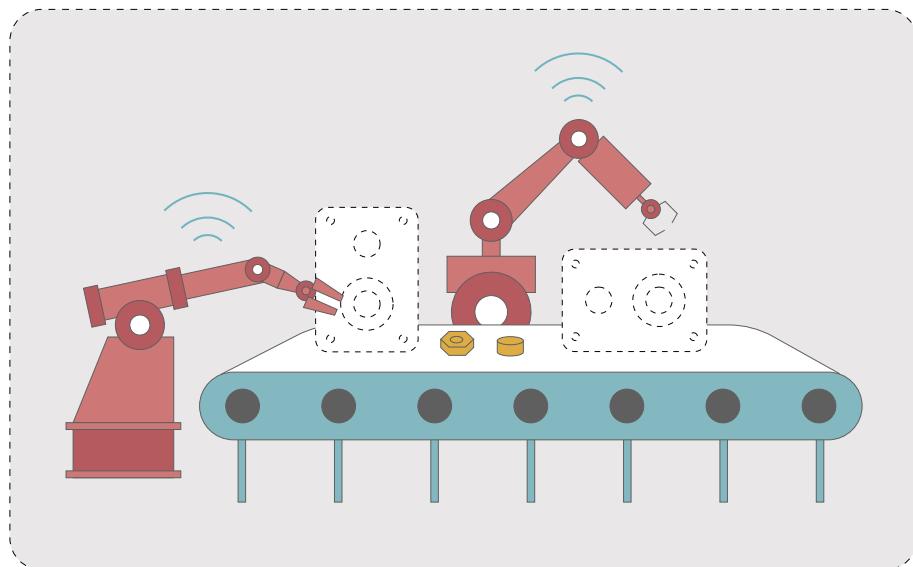
相关引用

- 1: UN "World Population Prospects 2019"
- 2: Korn Ferry "Future of Work---The Global Talent Crunch"
<https://www.kornferry.com/content/dam/kornferry/docs/pdfs/KF-Future-of-Work-Talent-Crunch-Report.pdf>
- 3: Korn Ferry "Future of Work---The Global Talent Crunch"
<https://www.kornferry.com/content/dam/kornferry/docs/pdfs/KF-Future-of-Work-Talent-Crunch-Report.pdf>
- 4: M. Szmigiera "Impact of the coronavirus pandemic on the global economy"
<https://www.statista.com/topics/6139/covid-19-impact-on-the-global-economy/>
- 5: McKinsey "Economic conditions outlook, June 2021"
<https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/economic-conditions-outlook-june-2021>

- 6: 前瞻产业研究院 《2020 年中国协作机器人行业市场现状与竞争格局分析》
- 7: 中国移动机器人产业联盟 《2020-2021 工业制造领域自然导航 AGV/AMR 产业发展研究报告》
- 8: 德勤 《全球教育智能化发展报告》
<https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/development-of-ai-based-education-in-china.html>
- 9: 安联研究 《全球供应链调查: 后新冠疫情时代的恢复力研究》
https://info.eulerhermes.com/rs/133-WKC-682/images/2020_10_12_SupplyChainSurvey-CN.pdf
- 10: 埃森哲 《数字化供应链的六大要诀》
https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-106/accenture-supply-chain-services-pdf.pdf

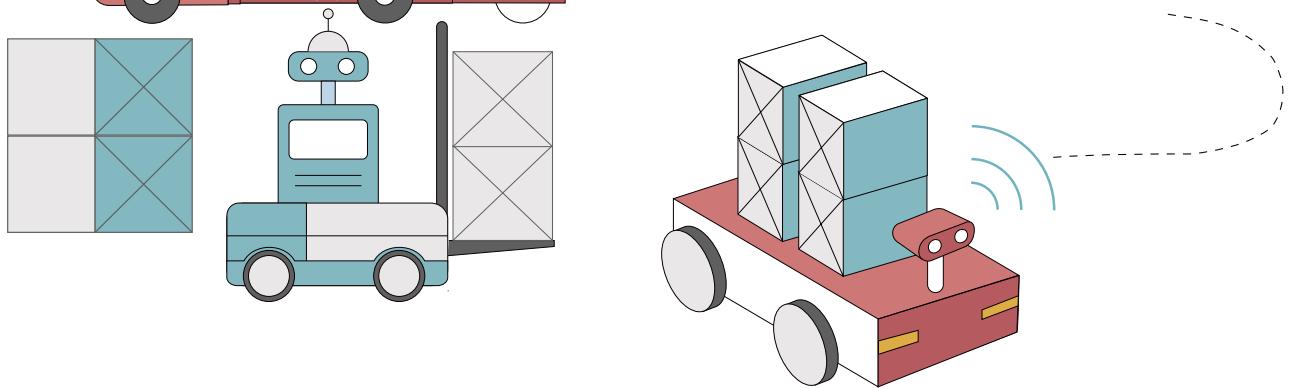
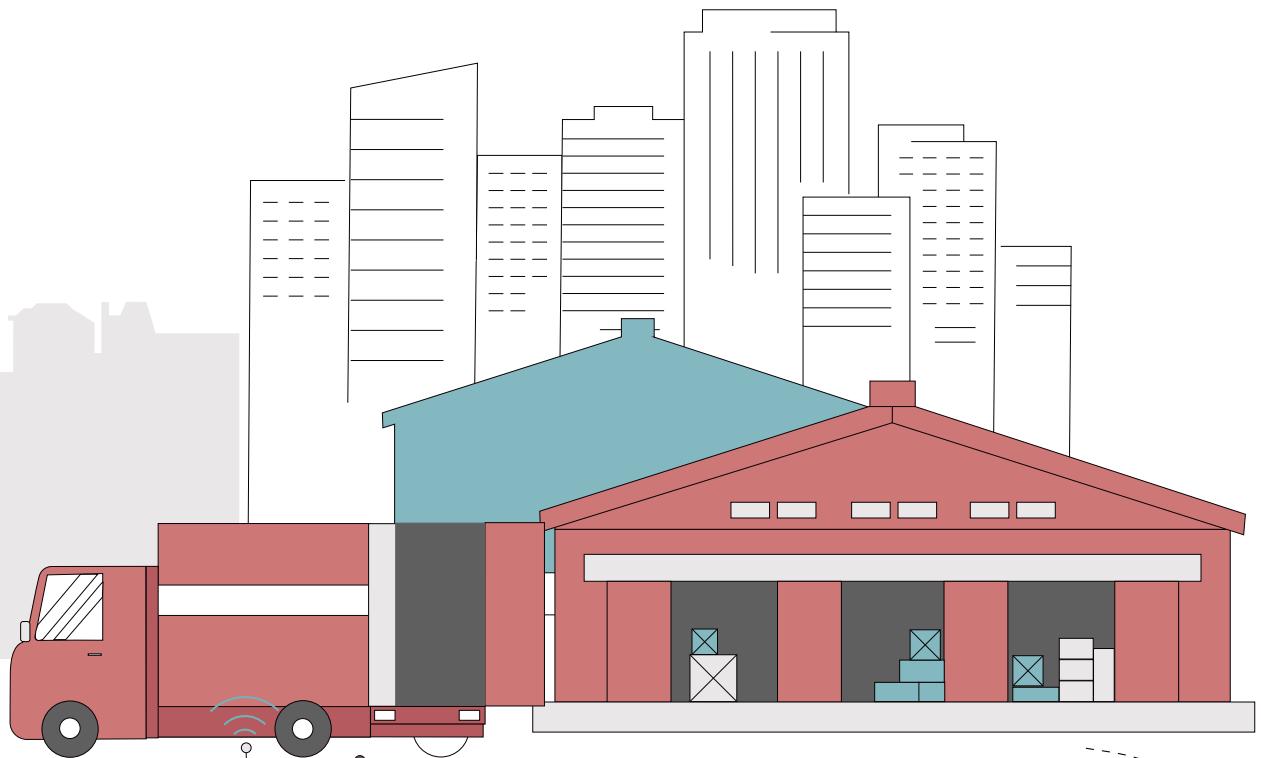


智能供应系统

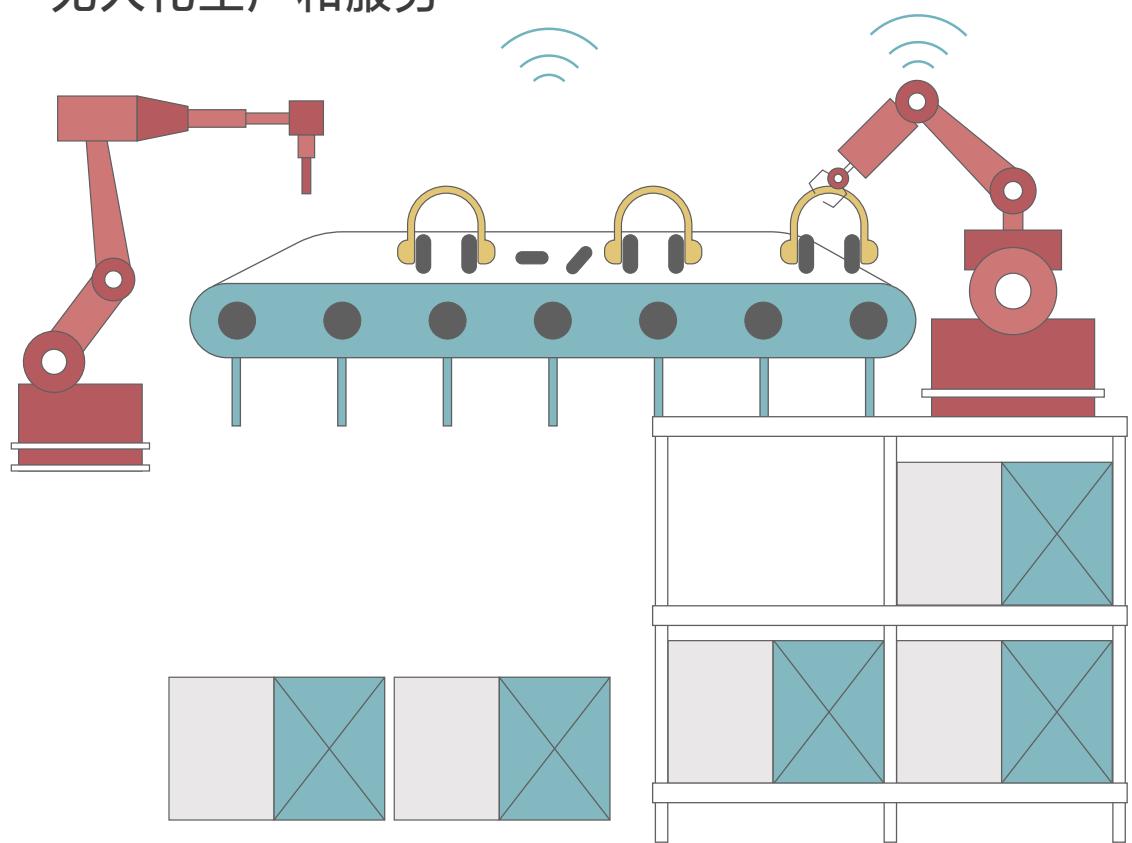


新生产模式





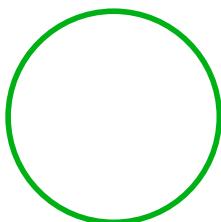
无人化生产和服务





能源

让绿色能源更智能
呵护蓝色星球





气候变化日益严峻。过去十年(2011-2020年)是人类有记录以来最暖的十年，全球平均温度比工业化前(1850-1900年)的水平约高1.2摄氏度¹，已经趋近人类社会可容忍、可控制的最高升温警戒线；全球二氧化碳平均摩尔浓度已经超过410ppm，即CO₂质量超过整个大气质量的万分之四，创造了有史以来的最高纪录²，海洋吸收每年排入大气的大约23%的人为二氧化碳排放量，导致海洋酸化在持续，影响海洋生物甚至整个海洋生态系统³；西伯利亚北极的广大地区2020年的温度高于平均值3℃，俄罗斯的维科扬斯克镇的温度达到北极圈有记录以来的创记录的38℃⁴；2010-2019年天气相关事件估计平均每年造成了2310万人流离失所⁵。气候变化和经济发展也密切相关。国际货币基金组织研究发现，对于年均温度25℃的中等收入和低收入发展中国家而言，升温1℃的会带来经济增长率下降1.2%的负面影响⁶。

面对气候变化对全人类社会的挑战，全球各国积极应对。2015年《巴黎协定》在第21届联合国气候变化大会上达成全球共识：将全球平均气温相比工业化前水平的增幅限制在远低于2℃，尽力将增幅限制在1.5℃水平，在本世纪下半叶实现人为排放量与清除量实现平衡。2020年9月，中国在联合国大会上提出中国双碳目标：力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值，并争取2060年前实现碳中和。根据联合国环境规划署《2020年排放差距报告》显示，要实现2℃目标，到2030年，年排放量必须比当前无条件国家自主贡献低150亿吨二氧化碳当量，如果未能在2030年之前大幅减少全球排放量，将不可能把全球温度升幅控制在1.5℃以下⁷。

实现全球的气候控制目标，需要从能源的供应、消费和固碳等多角度入手，全方位促进全球能源结构转型。在供应侧，尽可能用可再生能源替代化石

能源发电、制氢，实现生产侧清洁替代，转变能源生产方式。预计到 2030 年，可再生能源发电占比需从目前的 26% 上升到 42%⁸；在消费侧，消费端，力争在交通、工业、农业、建筑等绝大多数领域中用电力取代化石能源，实现消费侧电能替代，转变能源使用方式。预计到 2030 年，终端能源消费电力占比将从目前 20% 提升到 30%⁹；在固碳方面，通过生态建设、土壤固碳、碳捕集封存等组合工程去除不得不排放的二氧化碳。

此外，随着新能源在能源网络中渗透率的提高，传统的能源网络架构和产业结构面临新的挑战，新的范式将随之出现。同时伴随着能源网络复杂性的提高和行业数字化的进程的发展，ICT 技术成为脱碳解决方案的重要组成部分。如何进一步提高新能源的比例、如何适应新的能源结构、如何充分的发挥 ICT 技术的使能作用成为未来抑制全球变暖的关键问题。

► 探索方向一： 新能源，新部署：水上电厂

2020 年，全球可再生能源装机容量新增 45%，达到 280GW，其中光伏新增 162GW，增长率达到 50%，风能新增 114GW，增长率达到 90% 以上¹⁰。到 2050 年全球风能发电和太阳能发电将占全球总发电量的 60%¹¹。预计到 2030 年中国太阳能和风力发电总装机量将达到 12 亿千瓦以上¹²，中国非化石能源发电将达到整体的 50%¹³。德国可再生能源联合会 (BEE) 在其 2030 年景规划中，预

计到 2030 德国可再生能源份额将超过总电力需求的 77%¹⁴。但随着陆上风电、光伏项目的快速发展，土地紧缺、离用电负荷中心远、光伏高温下效率下降、生物多样性等问题开始出现，而近海因为其独特的地理和资源优势，特别是针对岛屿国家，将风能发电和光伏发电从陆地拓展到海上，正在成为风能电和光伏发电发展的新方向。

未来场景 1：海上风能，潜在的主力新能源

目前在欧洲部分国家，正在积极利用近海发电，其中英国和德国截至 2020 年海上风电装机容量超过 18GW，占全球海上风电的 51%¹⁵。丹麦也积极部署，其 2018 年 15% 的电力来自海上风能发电。即便如此，海上风能当前只提供全球电量的 0.3%¹⁶，还有巨大的发展空间，随着大量海上风电技术创新，安装和运营成本的下降，海上风能将迎来快速发展的阶段。

$$P=1/2 \rho A V^3 C_p$$

相比陆上风能，海上风能在风力、有效发电时间上面有天然的自然优势，同时技术创新让海上风力涡轮机尺寸、综合容量因数等方面都超出陆上风能。

根据风力涡轮机的电力输出等式,发电功率 P 与风速 V 的三次方成正比,与涡轮的扫轮面积 A 成正比。海上风况优于陆上,风流过粗糙的底表或障碍物时,风速的大小和方向都会发生变化,而海面粗糙度较小,距离海岸 10km 的海上风速通常比沿岸陆上高出 25%¹⁷。同时海上风湍流强度小,具有稳定的主导风向,机组承受的疲劳负荷较小,可以延长风电设备的使用寿命。而涡轮风机的扫略面积直接和风机的直径相关,2021 年海上涡轮机直径已经可以达到 164 米,发电容量达到 10MW,预计 2030 年海上风机直径可以达到 230~250 米,发电容量达到 15~20MW¹⁸。相比,陆上涡轮风机 2021 年直径约为 158 米,发电容量 5.3MW,预计 2025 年直径达到 170 米,发电容量 5.3 兆瓦¹⁹。海上风机的容量可以达到陆地风机容量的 3~4 倍²⁰。同时,海上很少有静风期,其发电时间往往能达到 3000 小时 / 年,远高于陆上的 2000 小时 / 年的发电时间,更能有效利用风电机组的容量²¹。而伴随着技术改进,海上风电的容量系数可以达到 40~50%,高于陆上风能,是光伏的 2 倍,在一些区域和燃气与燃煤相同²²。

这都让海上风电更具有基本负荷技术的特征²³。

当前全球范围内海上风力涡轮机部署位置主要还是在 80km 以内,水深小于 40 米的浅水区,通过单桩方式固定²⁴。而随着海上漂浮风电技术的应用,简化了涡轮机的安装,提供了比固定式更低成本的替代方案,进而可以进入到水深 60 米的海域。同时在距离海岸 80~150km 的距离,高压直流技术的成熟提供了更有成本竞争力的方案²⁵。这些创新技术都大大拓展了海上风电的潜在空间。

各项创新让海上风电的装机成本大幅降低,预计到 2040 年海上发电成本将比 2019 年下降 60%²⁶。欧洲海上风电很快会在成本上击败天然气发电,并与太阳能光伏和陆上风能持平²⁷。全球风能理事会 (GWEC) 预测,到 2030 年,全球海上风电装机量将从现在的 29.1 GW 升至 234 GW²⁸。未来五年海上风电的增长率将达到 31.5%²⁹。IEA 预计 2040 年海上风电将成为欧洲最大的电力来源³⁰。海上风电迎来快速发展时期。



未来场景 2: 漂浮光伏(FPV), 光伏产业新趋势

据国际能源署(IEA)发布的《Snapshot of Global PV Markets 2021》, 截止 2020 年底全球光伏累计装机容量达到 760.4GW³¹。2020 年, 光伏约占所有新增可再生能源总发电量的 42%³², 其中陆上大型光伏电站一直光伏产业的建站主要模式。但陆上光伏的发展也开始面临土地获取以及成本制约的问题, 同时陆上光伏在高温情况下会出现效率下降, 漂浮光伏成为新的部署模式。

水上漂浮式光伏电站可以利用近海海面、水塘、中小型湖泊、水库、蓄水池、采煤塌陷区形成的水上平台将光伏组件漂浮在水面进行发电。根据支撑结构差异, 漂浮光伏主要有薄膜型、淹没型、漂浮阵列型。其中薄膜型太阳能电池模块是一种由硫化镉、砷化镓等非硅材料制备成的微米量级厚度的光伏材料。这种材料基本形态为一层薄膜, 重量

轻, 不需要艰坚固的浮桥作为支撑结构; 淹没型可以安装或不安装浮桥; 漂浮阵列则需要刚性浮桥作为支撑。

与陆基光伏相比, 漂浮光伏不但可以节省用于农业用途的土地, 而且相比路基遮阳障碍物更少, 灰尘数量更少。同时由于海上风速较高, 以及水的存在, 水体的自然冷却潜力也会提高光伏的性能。2020 年荷兰乌得勒支大学的学者基于北海实际测试及研究论文表明, 由于海上相对湿度较高, 风速较高, 海上的漂浮光代表观温度远低于陆基光伏, 两个地点的平均环境温度差为 5.05 摄氏度, 但两个点的光伏面板表面温度差达到 9.36 摄氏度³³。全年发电量海上漂浮光伏比陆基光伏的年均产出能高出约 12.96%³⁴。



随着技术的不断成熟, 漂浮光伏将迎来快速发展时期。2021 年 7 月 14 日世界最大的内陆漂浮光伏系统之一——新加坡胜科登格漂浮太阳能电站正式竣工投运, 覆盖水面面积 45 公顷(相当于约 45 个足球场), 覆盖水面上累计安装了 12.2 万块太阳能板, 产能达 60 兆瓦³⁵。据 Rethink Energy

预计, 到 2030 年全球漂浮光伏的市场容量将超过 60GW³⁶。而漂浮光伏的全球潜力达到 400GW, 足以将太阳能光伏的现有装机容量翻一番³⁷, 随着技术的成熟, 漂浮光伏的部署速度在加速, 为可再生能源的全球扩打开了新的领域。

► 探索方向二： 能源互联网将打通“源网荷储用”，实现全网智能化

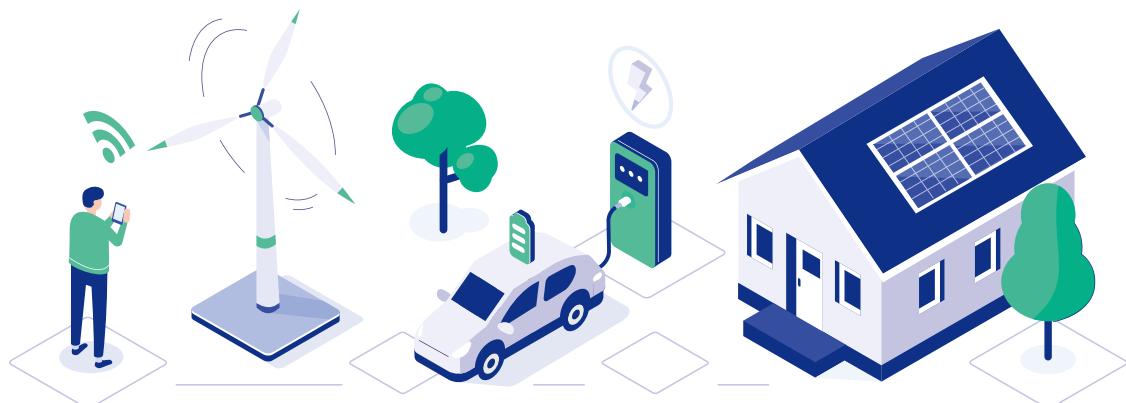
传统电力行业基本模式是大型发电厂集中发电，利用大规模输配电网将电能交付给消费者，同时保持发电和需求之间的平衡，消费者基于消费量进行付费。传统的电力系统灵活性只存在于生产侧，发电厂根据负荷变化调整发电量，并保证电网的稳定。随着可再生能源装机成本和 LCOE 的下降，可再生能源发电已经成为当今重要供电方案。未来的电力系统，分布式能源大量渗透，电力系统从集中式向分布式转变。电气化和数字化将重塑现有的范式。同时大多数可再生能源本质上是间歇性的，为了实现供需之间的平衡，必须让电力系统更加灵活，这都需要先进的 ICT 技术的支撑来实现。

未来场景 1：虚拟电厂，电力价值链新范式

虚拟电厂的出现打破了传统的发电厂和用电用户的边界，重构了电力系统的价值链。IRENA 对虚拟电厂（VPP）的定义为“一个依靠软件和智能电网远程自动调度和优化分布式能源资源的系统。在协调分布式发电、太阳能光伏、存储系统、可控和灵活的负载以及其他分布式能源资源时，VPP 可以提供快速的辅助服务，以取代基于化石燃料的电力”³⁸。

首先虚拟电厂对分布式异构能源进行聚合。这里

的分布式能源既包括新型可再生能源发电系统，如屋顶光伏、小型风力电站，也包括工业和家庭的各种负荷装置，如暖通空调系统、电力加热泵、电池制氢等。同时为了减少可再生能源不稳定性带来的影响，虚拟电厂还会接入传统化石能源发电装置，如小型的分布式燃气发电、小型水利发电、柴油发电机等。随着电动车、家用储能的发展，电动汽车、家庭储能也会成为虚拟电厂接入的异构能源的一部分。



商业上,未来虚拟电厂通过规模经济模式来实现各种分布式能源所有者单独无法形成的商业循环。分布式能源要参与到未来的能源市场中并盈利,需要具备对能源市场价格的实时跟踪能力,同时分布式新能源设备必须能够基于市场变化以及电网波动进行实时响应,这都需要在分布式能源中配置互联网络、边缘网关或边缘计算等ICT基础设施。同时要能够参与市场,会产生比如保险、合规等交易成本。这些新增成本都会阻碍分布式能源拥有者单独参与市场。而虚拟电厂通过汇聚大量的分布式能源,可以通过规模经济的方式来降低成本,实现盈利。虚拟电厂的商业模式可能会发展面向电网和面向用户两种模式。在面向电网的商业场景中,虚拟电厂将分布式的异构资源,通过打包的方式,面向电网提供电力服务。典型的服务如通过聚合的发电系统、储能装置、蓄冷/热等为电网提供频率响应。在这种情况下,虚拟电厂将聚合的分布式资源作为一个整体,通过向电网释放需求方灵活性而获得报酬。在面向用户的商业场景中,虚拟电厂通过对能源市场价格的跟踪,为用户提供削峰填谷充电服务,为用户节省充电费用。简言之,虚拟电厂通过将分散分布式能源资产统一起来,对分布式能源的进行远程自动化调度管理,对能源市场进行实时跟踪,作为一个整体为电网提供灵活性能力,让小型分布式资源的所有者不仅可以通过省电来节省成本,还可以通过提供电力服务来获益,同时也让新能源为主体的新型电力系统具备更大的灵活性。

随着虚拟电厂模式的兴起,软件公司、新能源公司、传统的化石能源公司、电力公司等等各种角色纷纷从不同的角度进入这个领域。一个典型案例是科技公司与南澳大利亚州政府合作,在1000多个低收入家庭安装了屋顶太阳能系统以及住宅蓄电池,并相互连接形成一个虚拟电厂³⁹。澳大利亚能源市场运营商AEMO 2021年发布了对该虚拟电厂模式的第一次审查,认为虚拟电厂模式通过及时的电池充电和放电,对关键的电网事故进行了频率响应,保持了电网稳定⁴⁰。同时除了帮助稳定电网外,安装了屋顶太阳能系统和住宅蓄电池的房主的电费下降幅度高达20%⁴¹。虽然虚拟电厂模式要取得最终成功还有技术、商业等各个领域的很多问题需要解决,但可以预期虚拟电厂在未来的电力系统价值链中必然有一席之地。



未来场景 2：能源云，能源互联网的操作系统

传统的能源网是典型的集中式架构，不断提高机组容量、电压等级、网络规模获得规模效益；能源的生产、输送、消费之间有着明显的界限，无法做到端到端统一的管理和调度；供电、供气、供热、供冷等不同的能源网络之间相互割裂，阻碍了综合能效的提高。随着分布式能源的部署，能源消费者具备生产能力，打破了能源生产、消费之间的界限，成为具有生产和消费的双重属性，需求侧响应变得前所未有的重要。同时多种能源的互联也可以提高能源综合效率，从而有助于可再生能源的消纳。因此，迫切需要一个综合平台来解决这个问题，而能源云则可能是应对这些挑战的一种解决方案。

能源云是一个跨领域的前沿概念，其内涵和外延

还在不断的发展。能源云可以认为是能源互联网的操作系统，典型特征包括融合、开放、智能等。

融合首先要实现电力系统的源、网、储、用的端到端的融合接入。源侧典型的接入实体既包括大量分布式新能源如太阳能、风能、生物能，也包括化石能源如燃气发电等；网侧最重要的接入实体是能源路由器。通过能源路由器实现能量流的自由流通；用侧则包括各种工商业负载和家庭负载，如暖通系统、电力热泵等；储侧既包括源、网、用的各种固定储能设备，也包括电动汽车等移动储能装置。除了实现电力系统的融合统一接入，能源云还要打破电、气、热、冷之间的界限，通过接入供热、供气、供冷等多种能源，构建综合能源融合系统，通过多能互补提高能源综合利用率。



在能源云的加持下,未来的能源互联网是一个民主的、开放的系统。能源云的用户将包括个体端(如电动车主、用户电源)、企业用户(如零碳园区、虚拟电厂等)和政府用户(如零碳城市等),用户数量将远远超过传统的能源客户。同时能源云也要能够和比如碳交易系统等第三方系统进行互联互通。因此能源云必须是一个生态开放的系统。在这个平台上向开发者开放各种能源数据,提供编程接口,由开发者针对不同场景实现各种应用。同时在平台上构建能源应用商店,通过应用商店面向不同用户进行分发,并完成开发者的商业循环。通过开放编程解耦实现和能源交易市场、碳市场等各种第三方生态系统互通,打造能源产业新商业模式。

要实现能源云的融合、开放,能源云必须是一个智能的平台。智能既体现在通过人工智能算法使能能源资产更智能,如通过AI控制光伏面板角度提升发电量等,也体现在能源云本身的智能上。能

源云基于海量接入的分布式能源数据和源网荷储用的端到端链路数据,构建数据资产,基于数据资产和大数据建模能力构建面向用户和开发者的数据平台。通过算法实现对分布式能源的生产预测、基于历史数据的负荷预测、动态需求响应、对能源市场价格的实时分析判断等。通过人工智能、大数据等智能高效的技术的加持,能源云的目标是实现能量在生产和消费者之间按需自由流动,最终实现整个能源系统的多能互补、绿色低碳、安全稳定。

2020年7月,欧盟推出1.8万亿欧元的经济复苏计划,重点支持欧盟绿色和数字化双转型⁴²。绿色和数字化成为推动经济转型的一对孪生技术。能源是数字世界的底座,数字化技术帮助能源产业更智能。通过数字化技术构建能源互联网操作系统,推动能源产业升级,加速能源产业的减排目标的实现。

▶ 探索方向三: 提倡ICT高效用电,加快节能减排步伐

盟在数字化战略“Shaping Europe’s Digital Future”中指出,通过数字化解决方案跟踪电力最需要的时间和地点,可以提高能源效率,减少化石燃料的使用⁴³。同时,ICT行业也需要经历自己的绿色转型。ICT行业估计占世界总用电量的5%-9%,排放总量的2%以上⁴⁴。数据中心和电信网络需要提高能效,重新利用废弃能源,并使用更多的可再生能源。欧盟提出了要求,在2030年前实现数据中心气候中性、高能效和可持续,电信运营商在环境足迹方面需要采用更透明度措施⁴⁵。

未来场景：打造低碳数据中心与低碳网络，加速“碳中和”进程

据 IEA 研究报告显示，自 2010 年以来，全球互联网用户数量翻了一番，全球互联网流量增长了 12 倍，数据中心和传输网络的耗电大幅上升，2019 年全球数据中心电力需求约为 200 TWh，约占全球最终电力需求的 0.8%⁴⁶。2019 年数据网络消耗约 250 TWh，约占全球用电量的 1%，其中移动网络占三分之二⁴⁷。中国 2030 年数据中心用电预计 will 达突破 4000 亿千瓦时，占全社会用电量的比重将升至 3.7%⁴⁸。而 PUE 每优化 0.1，可节省用电 250 亿度，减少碳排放约千万吨，若全部使用绿电，碳排放每年可以减少 3.2 亿吨⁴⁹。引入绿电和降低 PUE 成为低碳数据中心的关键举措。

为了降低数据中心和电信网络的碳排放，大型 ICT 公司一直是绿电的最大购买者。2019 年 Google、Facebook、Amazon、Microsoft 是全球绿电购买的前四大公司⁵⁰。2020 年亚马逊购买超过 5GW 成为全球最大的新能源买家，台积电、Verizon 则

上升到第三和第四的位置⁵¹。面向未来，谷歌提出在 2030 年实现全球实时零碳运营，将零碳的统计范围从年过渡到小时⁵²；Facebook 计划在 2030 年实现自身供应链范围内净零排放⁵³；微软则表示将于 2030 年实现负碳排放，并在 2050 年消除企业所有历史碳排放⁵⁴。

根据 Uptime 的调研显示，2020 年全球数据中心平均 PUE 为 1.59⁵⁵。这就意味着约 38% 的电力是用于冷却和其他辅助功能。随着越来越多高温服务器的投入使用，为了进一步降低冷却系统的能耗，通过采用自然空气冷却而不是传统的冷机和空调的方式成为降低 PUE 的有效方式。目前业界已经有很多尝试，比如使用 100% 海水为数据中心冷却系统供电⁵⁶；使用寒冷的室外空气来确保数据中心设备保持在最佳温度；通过将再海底建数据中心，将 PUE 低至 1.07⁵⁷。



除了引入可再生能源、自然冷却实现数据中心高效、节能，另外一个重要手段就是人工智能的应用。通过数据中心内的传感器收集温度、电量、泵速、耗电率、设定值等各种数据，再对这些数据做人工智能分析，用分析的结果调整数据中心的运行模式和控制阈值，从而实现降本增效。将人工智能用于数据中心冷却，实现将用于冷却的能量减少 40%⁵⁸；中国联通河南分公司引入华为的 iCooling@AI 解决方案通过融入了大数据、人工智能等，实现数据中心自动进行能效调优，实现数据中心 PUE 降低约 8%~15%⁵⁹。据 DCD 的报告，欧盟 Horison 2020 资助的位于瑞典 BTDC 研究项目，在自然冷却的同时，通过人工智能算法实现冷却系统、IT 负载、服务器风扇和温度协同，PUE 达到 1.01 的最高水平⁶⁰！随着 AI 等业务场景的成熟，数据中心的算力多样化将持续进步，数据中心功率密度不断提升，将大型数据中心作为一个整体，基于人工智能算法实现供电、服务器、负荷的协同创新可能成为下一步的创新方向，在支撑密度提升的同时，持续降低数据中心系统 PUE。

在通信网络方面，2020 年 2 月，国际电联、GeSI、GSMA 和 SBTi 制定了符合《巴黎协定》的基于科

学的途径，到 2030 年，ICT 行业需要将温室气体排放量减少 45%⁶¹。通信网络实现低碳绿色除了和数据中心类似引入绿电外，还可以通过光电混合、网络架构极简等手段实现更绿色，减少碳排放。

通信设备与计算设备同根同源，随着摩尔定律走向瓶颈，光电混合是结构性提升设备能效的发展方向，通过网络级、设备级、芯片级的光电混合技术，可以持续提升通信设备的能效，满足未来百倍容量增加能耗基本不变的绿色网络目标。另外传统通信网络按照专业划分，造成运营维护条块分割，已经越来越难以适应网络自动化和智能化的发展。未来网络需要按照业务本质进行架构重构，形成基础电信网、云网和算法三层极简网络架构。极简网络架构可以大幅降低自动驾驶网络的算法复杂度，降低对算力的需求，降低运维成本，从而实现网络的绿色低碳。

通过绿电引入、架构创新、人工智能算法应用等手段，数据中心和通信网络将会更加省电、高效，并最终真正实现零碳目标。



结语：

**ICT 让绿色能源更智能，
实现经济可持续发展**

到 2030 年，世界需要将排放量减少一半，以风能、光伏为代表的新能源正加速部署实现生产侧清洁替代，消费侧通过电气化实现电能替代。ICT 作为一个行业，除了自身需要节能减排以外，同时也在赋能其它行业来减少碳排放。华为预测：到 2030 年，全球可再生能源产量占全球发电总量比例达 50%；光伏装机达 3000GW，光伏度电价格低至 0.01 美元；80% 数字基础设施将通过绿能供电。

2030 年 ICT 将进一步使绿色能源更智能，并使各行各业进一步加大减排效果，实现全球经济的绿色低碳转型和可持续发展！



华为预测, 到 2030 年:



全球可再生能源产量
占全球发电总量
比例达 50%。

相关引用

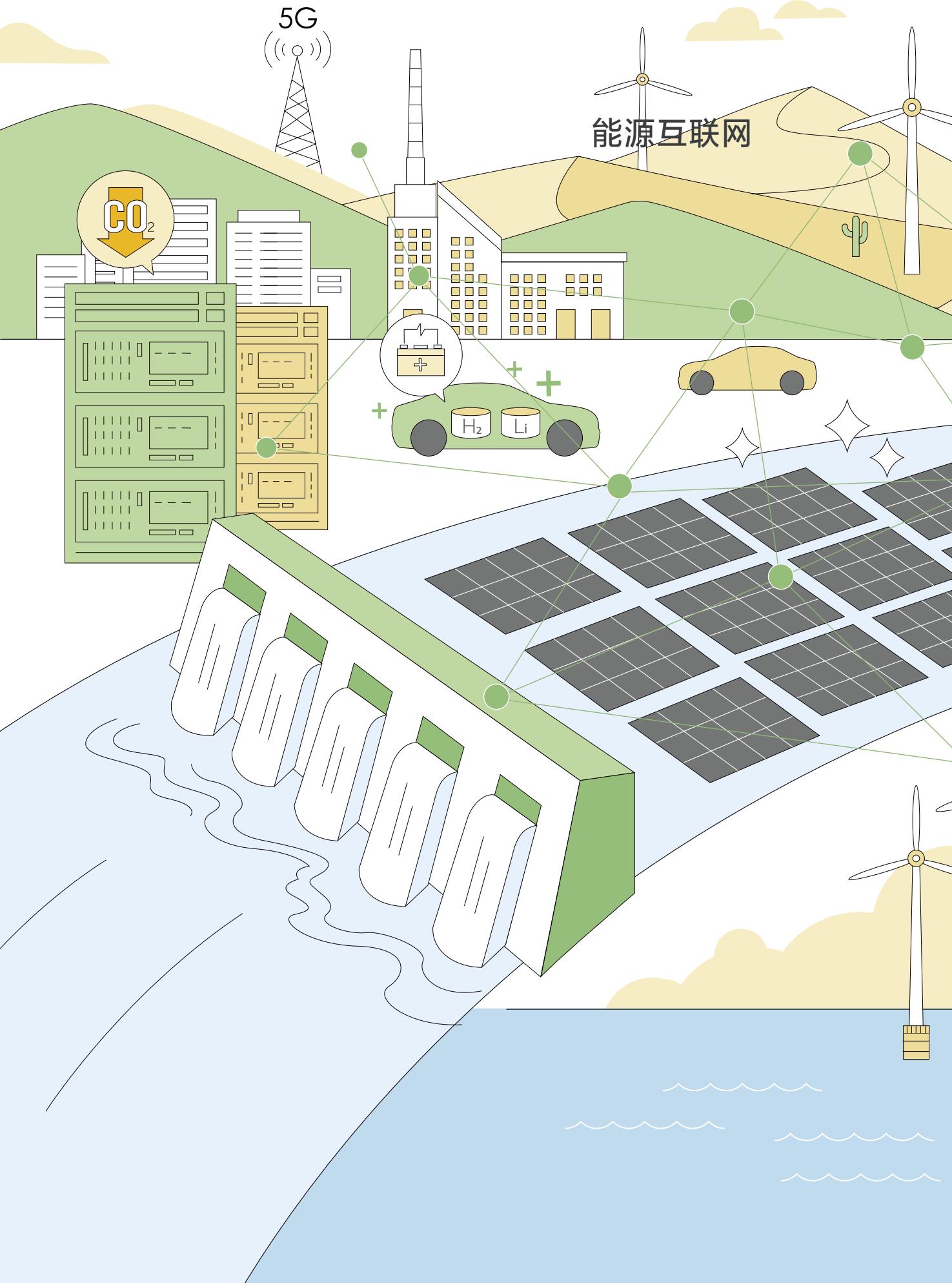
- 1: WMO “2020 was one of three warmest years record”
<https://public.wmo.int/en/media/press-release/2020-was-one-of-three-warmest-years-record>
- 2: WMO “WMO Greenhouse Gas Bulletin”
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21795#.YULmBJ0zZdh
- 3: UN <https://news.un.org/zh/story/2021/04/1082492>
- 4: WMO “Climate change indicators and impacts worsened in 2020”
<https://public.wmo.int/en/media/press-release/climate-change-indicators-and-impacts-worsened-2020>
- 5: WMO "The state of the Global Climate 2020"
<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
- 6: WMO "The Global Climate in 2015-2019"
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936
- 7: UNEP “emissions gap report 2020”
<https://www.unep.org/zh-hans/emissions-gap-report-2020>
- 8: IRENA "World Energy Transformation outlook 2021"
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf
- 9: RENA "World Energy Transformation outlook 2021"
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf
- 10: IEA "Renewable Energy Market Update: Outlook for 2021 and 2022"
- 11: IEA "Renewable Energy Market Update: Outlook for 2021 and 2022"
- 12: 中国政府网 http://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content_5570055.htm
- 13: 全球能源互联网合作组织 《中国 2030 年前碳达峰研究》
https://yhp-website.oss-cn-beijing.aliyuncs.com/upload/《中国 2030 年前碳达峰研究报告》_1616485155447.pdf
- 14: IRENA "Remap 2030,Renewable Energy Prospects:Germany"
- 15: Source:GWEC "Global Offshore Wind Report 2020"

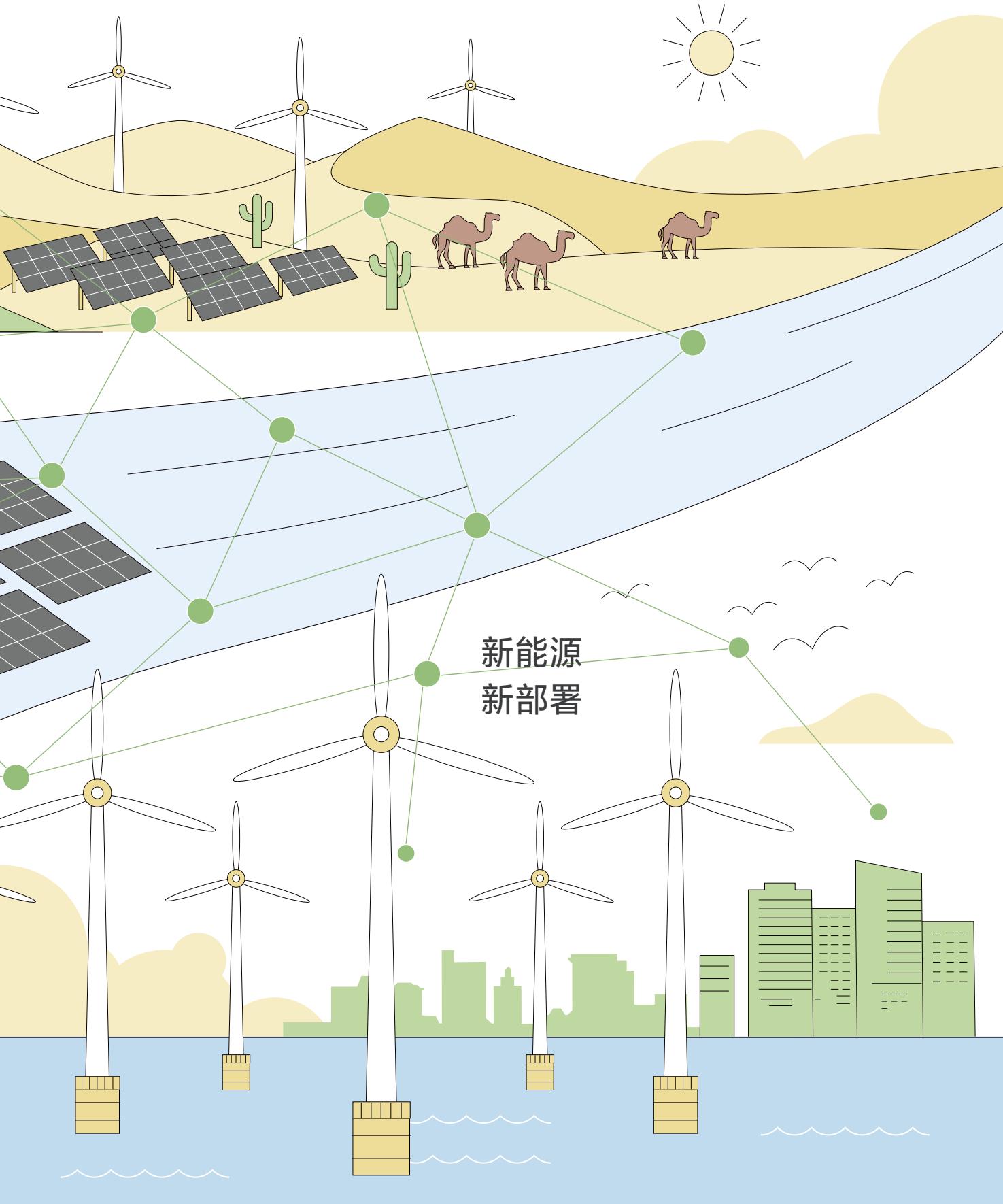
- 16: Source:IEA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 17: 郑崇伟等 “国内外海上风能资源研究进展”
http://www.haiyangkaifayuguanli.com/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20140607&year_id=2014&quarter_id=6&falg=1
- 18: GWEC "Global Offshore Wind Report 2020"
- 19: GWEC "Global Offshore Wind Report 2020"
- 20: IEA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 21: 赵振宙、王同光、郑源《风电机原理》
- 22: EA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 23: IEA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 24: IRENA "Future of wind 2019"
- 25: IRENA "Future of wind 2019"
- 26: IEA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 27: IEA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 28: GWEC "Global Offshore Wind Report 2020"
- 29: GWEC "GWEC Global Wind Report 2021"
- 30: IEA "Offshore Wind Outlook 2019"
- 31: IEA "Snapshot of Global PV Markets 2021"
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf
- 32: IEA "Snapshot of Global PV Markets 2021"
- 33: S. Zahra Golroodbari Wilfried van Sark "Simulation of performance differences between offshore and land-based photovoltaic systems"
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.3276>
- 34: S. Zahra Golroodbari Wilfried van Sark "Simulation of performance differences between offshore and land-based photovoltaic systems"
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.3276>

- 35: Chen Lin "Singapore unveils one of the world's biggest floating solar panel farms"
<https://www.reuters.com/business/energy/singapore-unveils-one-worlds-biggest-floating-solar-panel-farms-2021-07-14/>
- 36: Harry Morgan "Floating Solar set for 60-Fold boom by 2030"
<https://rethinkresearch.biz/articles/floating-solar-set-for-60-fold-boom-by-2030/>
- 37: WORLD BANK GROUP "Where Sun Meets Water Floating solar market report"
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31880>
- 38: IRENA "Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables"
- 39: Steve Hanley "Tesla Virtual Power Plant In Australia Outperforms Expectations"
<https://cleantechnica.com/2020/04/08/tesla-virtual-power-plant-in-australia-outperforms-expectations/>
- 40: Steve Hanley "Tesla Virtual Power Plant In Australia Outperforms Expectations"
<https://cleantechnica.com/2020/04/08/tesla-virtual-power-plant-in-australia-outperforms-expectations/>
- 41: Steve Hanley "Tesla Virtual Power Plant In Australia Outperforms Expectations"
<https://cleantechnica.com/2020/04/08/tesla-virtual-power-plant-in-australia-outperforms-expectations/>
- 42: EU https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_2088
- 43: European Commission "Shaping Europe's Digital Future"
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/06/09/shaping-europe-s-digital-future-counciladopts-conclusions/>
- 44: European Commission "Shaping Europe's Digital Future"
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/06/09/shaping-europe-s-digital-future-counciladopts-conclusions/>
- 45: IRENA "Future of wind 2019"
- 46: European Commission "Shaping Europe's Digital Future"
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf
- 47: IEA "Data Centres and Data Transmission Network"
<https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

- 48: 中国通信标准化协会 <http://www.ccsa.org.cn/detail/4319?title=“碳达峰”“碳中和”与数据中心的关系>
- 49: 蒋均牧 “以创新方案降低 PUE: 华为助力打赢数据中心绿色攻坚战”
<https://m.c114.com.cn/w3542-1166194.html>
- 50: IEA “Data Centres and Data Transmission Networks”
<https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>
- 51: Bloomberg NEF “Corporate Clean Energy Buying Grew 18% in 2020, Despite Mountain of Adversity”
<https://about.bnef.com/blog/corporat>
- 52: Google <https://sustainability.google/commitments/#>
- 53: Facebook <https://sustainability.fb.com/>
- 54: Microsoft <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>
HARRY MENEAR "The Uptime Institute releases annual data centre findings"
<https://datacentremagazine.com/data-centres/uptime-institute-releases-annual-data-centrefindings>
- 56: DatacenterDynamics "Google's Finland data center pioneers new seawater cooling"
<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/googles-finland-data-center-pioneers-newseawater-cooling/>
- 57: Peter Judge "Project Natick: Microsoft's underwater voyage of discovery"
<https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/project-natick-microsofts-underwater-voyage-discovery/>
- 58: Joe Devanesan "Has Google cracked the data center cooling problem with AI?"
[https://techwireasia.com/2020/05/has-google-cracked-the-data-centre-cooling-problem-with-AI?'](https://techwireasia.com/2020/05/has-google-cracked-the-data-centre-cooling-problem-with-AI?)
- 59: HUAWEI <https://www.huawei.com/en/technology-insights/cases/henan-unicom-icooling>
- 60: HARRY MENEAR "Hive partners with world's most efficient data centre, BTDC"
<https://datacentremagazine.com/it/hive-partners-worlds-most-efficient-data-centre-btdc>
- 61: ITU "ICT industry to reduce greenhouse gas emissions by 45 per cent by 2030"
<https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR04-2020-ICT-industry-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-by-45-percent-by-2030.aspx>

ICT高效用电









数字可信

数字技术与规则
塑造可信未来



人类总是能够不断的进步，靠的是大规模协作，而协作的根基是信任。在现行规则的商业世界里，需求的收集、客户的接触、企业的运作和管理、供应生态等环节的每一次互动，无不建立在信任的基础上。随着数字技术对这些环节的重塑，以及元宇宙等新概念的萌芽，建立数字信任成为组织最重要的战略目标之一。在数字化转型的加速驱动下，组织与组织之间、组织与客户之间以及组织内部的互动从物理世界迁移至数字世界，由此而产生的宝贵数字资产，一旦发生信息安全被破坏，或隐私被泄漏等事件，信任就会被打破，组织的业务运作、商业价值（如品牌、市值等）、声誉和公信力等都将陷入危险之境。

数字信任是一个复杂庞大的系统，包含隐私、安全、身份、透明、数据完整性以及治理和合规等关键领域¹。因此，组织不仅需要从多维度入手，还要通过不同的工具来实现数字可信，如区块链、隐私增强技术、人工智能等。新的技术应用，以及新的规则定义，将塑造可信的数字未来。

► 探索方向一：ICT 技术使能数字可信

数字资产为组织和个人带来了史无前例的快捷和便利，但同时也带来被窃取和盗用的高风险。数字资产的安全和完整性依赖于隐患预防、数字存证、隐私加密、数字鉴假等技术的应用。ICT 在打造数字信任上的探索，使得数据能够在可确权、可溯源、可验证的基础上实现交易与共享，从而帮助组织与个人在充分利用数据价值的同时，更好地管理数字资产，保护核心数据。

未来场景：基于区块链的智能合约

越来越多的企业希望对合同有一种可以更高效地制定、更中立地监督，更自动地执行的方案。据报告显示，2020 年，全球建筑工程类的平均纠纷金额达 5426 万美金，平均纠纷期为 13.4 个月²。这不仅对企业造成了经济上的损失，甚至还会影响企业的正常运营。

基于区块链技术的智能合约，是近几年来引起广泛讨论和探索的一个方向。智能合约的概念可以追溯到 1994 年，由 Nick Szabo 提出：以数字形式指定的一系列承诺，包括各方履行这些承诺的协议。因此，智能合约是一种旨在提供、验证及执行合约的特殊协议。但这个概念由于技术手段的缺乏，迟迟未能取得有效的进展，直到引入区块链技术。

基于区块链技术的智能合约以数字化的形式将合约条款写入区块链中，合约事务的保存和状态处理都在区块链上完成。代码本身解释了参与方的相关义务。它包含了有关交易的所有信息，可以在不需要第三方的情况下，当满足条件后就自动启动执行机制。由于区块链的分布式特性，保障智能合约的存储、读取、执行整个过程透明可跟踪、且不可篡改。此外，这样的智能合约还将帮助企业降低运营成本，提高合同执行效率，通过去中心化的技术手段，让合约免受第三方的干扰，让交易更精

准，更可靠。但也正因为区块链的特性，让这种智能合约的实施推广存在诸多挑战。比如说，如果在创建智能合约协议时，已经包含了错误，那么这个错误就无法被修改；此外，由于去中心化的智能合约，只受制于代码约定的义务，不容易通过法律监管。

基于区块链技术的智能合约在物流、电子商务、金融保险等多个领域有着巨大的潜在市场应用价值。据咨询公司预测，智能合约能将美国的个人房贷成本降低 480-960 美元 / 年；在美国和欧洲，将银行房贷运营成本降低 30-110 亿美金 / 年，将个人车险费降低 45-90 美金 / 年；帮助全球汽车保险公司降低保险理赔成本 210 亿美金 / 年³。



未来场景：AI 打假，维护组织声誉和公信力

既然 AI 越来越像人一样工作，那么 AI 假装成某些人也就不是难事。比如 AI 合成音视频的诈骗事件就在不断发生。《华尔街日报》报道，英国某能源公司的高管接到母公司 CEO 的电话，并向 CEO 指定的位于匈牙利的供应商账户转入了 24.3 万美元，经过调查发现这是一起由 AI 伪造语音的诈骗事件，该笔资金最终流向了墨西哥等地，所有的损失最后由保险公司承担⁴。

2020 年，英国第四频道官方账号在 Twitter 上分享了一则通过深度伪造技术（Deepfake）制作的英国女王圣诞致辞伪造短片。该频道遭到了众多媒体和网友的批评，指责其不尊重女王⁵。根据布鲁金斯学会（Brookings Institute）报告显示，“深度伪造”技术会削弱民众对整个公共机构的信任（source: Brookings Institute）⁶。

这些案例表明，仅凭人类自身或传统技术很难识别出利用数字技术手段伪造的音视频。而且这种 AI 伪造技术还在不断被滥用。一条解决这个问题的路径是利用 AI 技术来“以毒攻毒”。

基于深度学习的神经网络模型能够有效应用于自然语言、图像处理领域，正在向音视频理解方面延展，未来将广泛应用于区分真实的音视频和由 AI 深度合成的视频，例如 AI 技术通过对比两段视频画面中微小的差异或者音频中某一段波形与原音频不一致的地方来识别音视频是准确，从而鉴别音视频片段是否是通过 AI 技术深度合成；另外，基于机器学习和 API 的自动化防御系统，将利用鉴别器算法技术，及计算影响的网络因果推理等叙事模型，自动检测、判定和清除社交网络上的虚假信息，并通过追溯到数据源，为处理数字犯罪提供证据链。



未来场景：隐私增强计算

大数据时代，数据被称为“新原油”。但与原油不同的是，数据不会被消耗掉，因此，数据的价值可以被不同的组织在不同的场景和区域重复发掘利用。当然，数据共享也带来了安全和隐私方面的挑战：在机器学习的推动下，数据挖掘和分析等用途逐渐兴起，如何在保护数据隐私的前提下，允许多方进行数据协作，获取数据价值，对于像金融、医疗、零售等行业来说尤为重要。随着企业机构数据分析和数据仓库环境的日趋复杂化，传统的数据脱敏技术面临巨大压力，无法满足新时代的复杂要求，从而助推了人们对隐私增强计算(PEC)技术作为替代方案的兴趣。

隐私增强技术是个技术门类的统一术语，通常指在隐私信息采集、存储、以及在执行搜索或分析过程中对于保护和增强隐私安全性的数据安全技术。它一般用来保护用户的个人数据信息在不被滥用的前提下还能够保证数据被有效利用，充分



发挥其商业、科学和社会价值，为用户提供高效优质的服务。隐私增强计算技术的探索有很多种，比如说：

差分隐私：对基础数据通过添加随机生成的“噪声”，但同时保证更改后的数据仍然在执行任何计算时，达到统计或方向上的整体正确。通过混淆原数据的方法，防止任何个人的数据被别人直接共享。

同态加密：同态加密提供了一种不需要解密，直接对加密数据进行处理的功能。原始数据经过同态加密后，生成密文数据，经过计算处理，形成密文结果。然后通过同态解密，得到的计算结果与将原始数据直接计算处理所得到的计算结果一致。

联邦学习：主要解决的问题是，在进行机器学习时，满足企业各自数据不出本地的前提下，通过加密样本对齐，各自建立模型。在此基础上，再建立虚拟的联合模型。这个联合模型和通过传统方式直接将各方数据聚合到一起而训练出来的模型，在性能上基本一致。

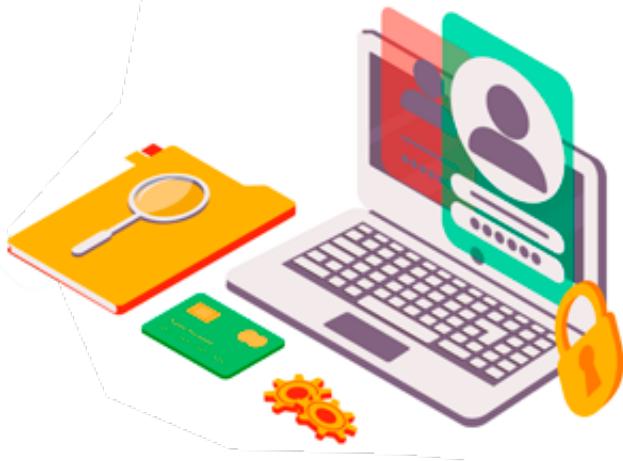
除了上述技术之外，隐私增强计算技术还有可信计算环境(TEE)、零知识证明(Zero-Knowledge Proof)、K匿名(K-Anonymity)、L-多样化(L-Diversity)等。未来，隐私计算将会包含更多迎来更多更优秀的算法，也会得到更广泛的应用，更好地兼顾隐私的保护和数据价值的发掘。

► 探索方向二：规则塑造数字可信

技术手段并不能完全解决信息泄露、网络诈骗等破坏数字可信的行为，还需要通过相关规则的制定，双管齐下帮助建立一个可信的智能世界。此外，个人数据安全的问题并非只是个体权利的保护，而且影响各国数字化战略的长远发展。目前，部分大平台拥有数据流量优势，容易成为数字巨头，滥用自身优势，收集、使用、扩散消费者的个人信息。这种趋势的蔓延，既会加深企业与客户之间的不信任度，又会加剧企业之间不平等竞争。这将不利于整个社会的健康发展。

未来场景：建立新的互联网个人信息调动机制

近年来，针对过度收集数据的规则制定和诉讼探索在不断推进。在公平交易的数字战略中，大数据背景下的个人信息的调动机制将会变得更加平衡，兼顾隐私权利和个人信息开发两个目的，在传统告知同意原则的基础上，强调主体对于个人信息的控制权。2021年，《个人信息保护法》正式发布，作为中国首部关于个人信息保护的专门法律，重申了个人信息保护工作的多项基本原则，包括公开透明、目的明确、最小必要。未来，个人信息调动机制将从规则框架上继续细化，为用户明确数据收集的场景、用途及风险。



未来场景：各国纷纷出台数据保护相关规则

GDPR 是目前世界上最严格的针对个人数据的隐私和安全法，由欧盟起草通过，正式生效于 2018 年 5 月 25 日。自生效以来，GDPR 总共收到了 28.1 万份数据泄露通知⁷。据统计数据显示，截至 2021 年 9 月 2 日，自 GDPR 生效以来，已开出了 841 张罚单，总计超过 12.87 亿欧元，其中最大一笔罚单高达 7.46 亿欧元⁸。

除 GDPR 之外，全球其他国家和地区也推出了数据保护相关的法律法规：2020 年，美国发布《联邦数据战略与 2020 年行动计划》，旨在保护数据完整性、确保流通数据真实性、数据存储安全性等基本原则；阿联酋和新西兰也分别出台《数据保护法》和《2020 年隐私法》，加强对数据安全及个人隐私保护的规则建设。

未来场景：数据反垄断趋势全球化

2019年，美国发起了对涉嫌垄断市场、抑制竞争、侵犯用户隐私的行为的巨头公司进行反垄断调查。

2020年5月27日，日本参议院正式通过《数字平台交易透明化法案》，该法案旨在规制特定数字平台，增加特定数字平台的公开义务。2021年1月19日，《(德国反对限制竞争法)第十修正案》正式生效，此次修法，在滥用相对优势地位行为的规制层面，拓展现行竞争规则的适用范围，以防范与遏制企业滥用相对优势地位的行为；2021年，中

国国务院制定发布《国务院反垄断委员会关于平台经济领域的反垄断指南》；由此可见，数据反垄断趋势正在全球蔓延。

未来，在反垄断法的不断完善和应用中，用户和第三方企业将从行业巨头手中获得更多的数据主权，避免大平台对个人隐私数据进行非法地获取、滥用及交易等侵犯数字安全、破坏公平竞争的行为，从而促进数字信用生态的建设。





结语：

共建数字可信的智能世界

面向 2030 年，人类可以借助区块链、人工智能等技术更好地保护个人隐私和数字资产，更精准地打击假新闻等数字造假行为，减少诈骗或数据盗用的隐患。隐私增强计算等技术为多方实现安全加密的数据共享，在不影响隐私安全的前提下，确保数据价值的流通。华为预测：到 2030 年，50% 以上的计算场景将采用隐私增强计算技术；85% 的企业将采用区块链技术。

同时，以 GDPR 为代表的数字安全领域法律和规则，以及数据反垄断趋势将会拓展至全球各地，进一步在个人与组织之间构建信用体系，加速组织在数字可信方面的合法合规进程。

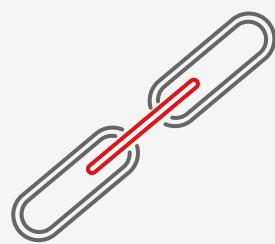
一个健全的数字可信生态需要多方共建。企业除了做好自身的防护和对合作方的管控，还可与相关机构合作，共同打击违反信息安全、数据垄断相关的违法行为，保护用户数据安全。企业还应该积极参与到加强全民数字技能的教育和培训中，提升公民数据安全和隐私意识，共建数字可信的智能世界。



华为预测，到 2030 年：



50% 以上的计算场景
将采用隐私增强计算技术。

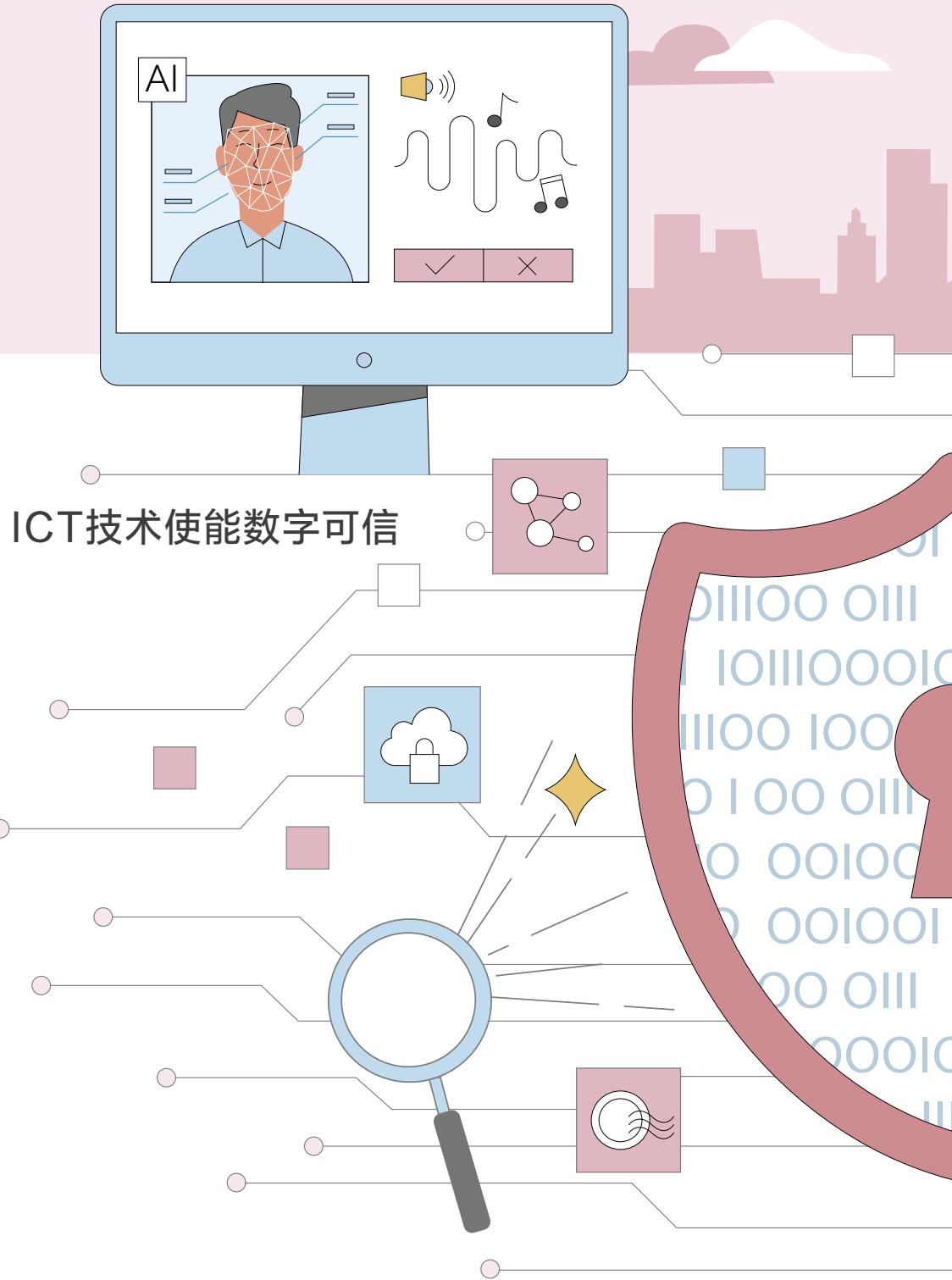


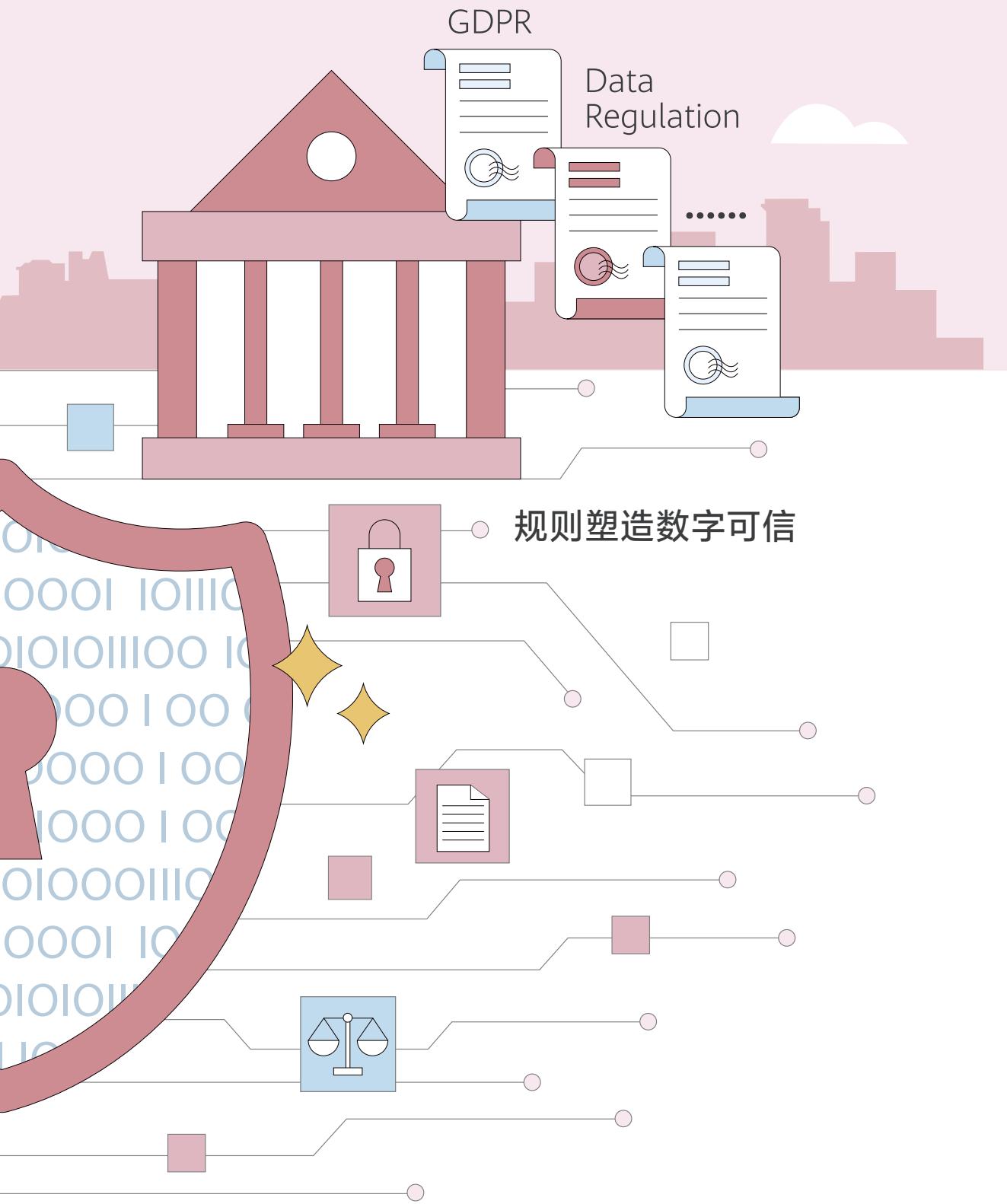
85% 的企业
将采用区块链技术。

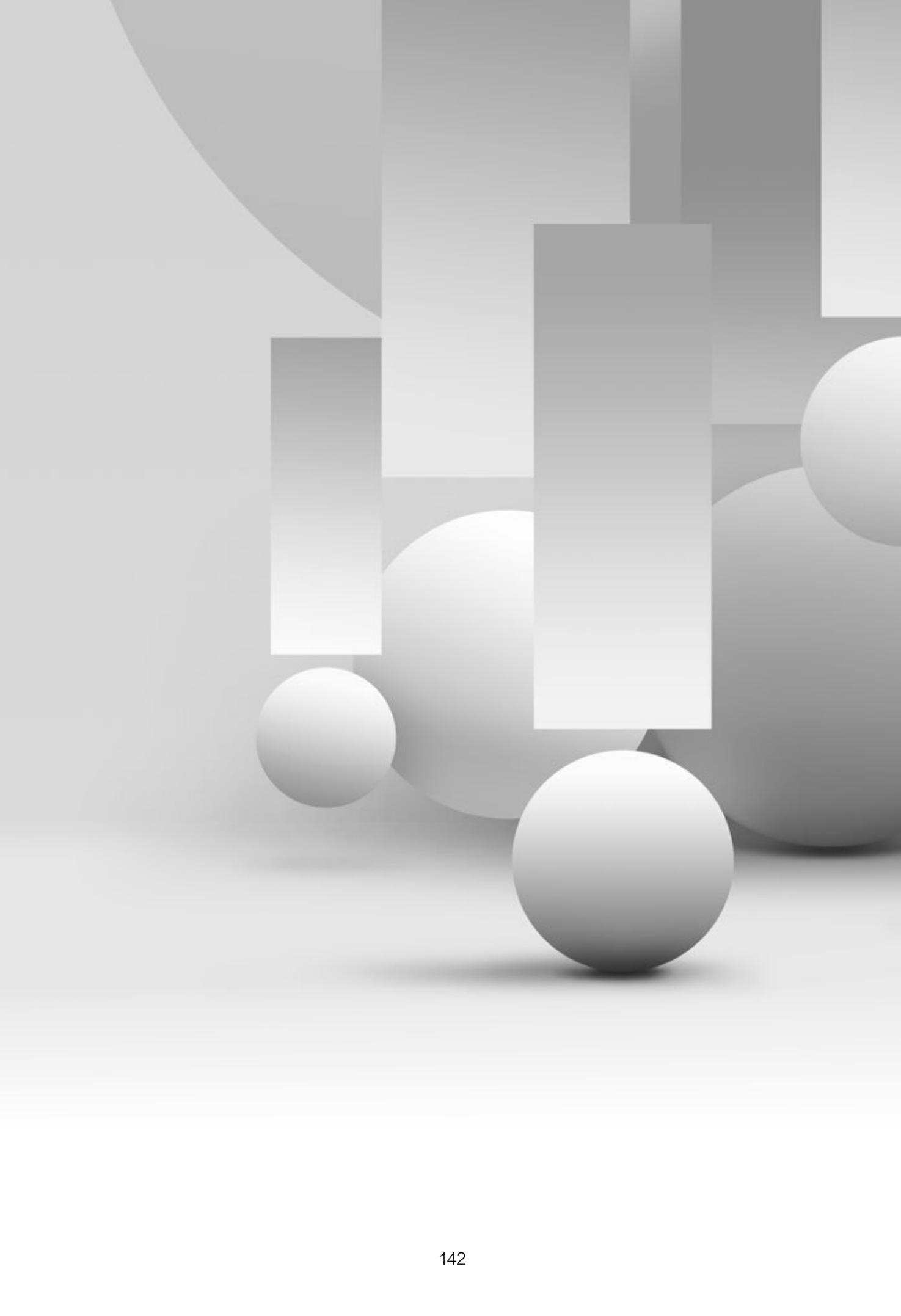
相关引用

- 1: Omar Abbosh, KELLY BISSELL "Reinventing the Internet to Secure the Digital Economy"
<https://www.accenture.com/cn-en/insights/cybersecurity/reinventing-the-internet-digital-economy>
- 2: ARCADIS "2021 Global Construction Disputes Report"
<https://www.arcadis.com/en-us/knowledge-hub/perspectives/global/global-construction-disputes-report>
- 3: Capgemini "Smart Contracts in Financial Services: Getting from Hype to Reality"
https://www.capgemini.com/at-de/wp-content/uploads/sites/25/2017/08/smart_contracts_in_fs.pdf
- 4: Catherine Stupp "Fraudsters Used AI to Mimic CEO's Voice in Unusual Cybercrime Case"
<https://www.wsj.com/articles/fraudsters-use-ai-to-mimic-ceos-voice-in-unusual-cybercrime-case-11567157402>

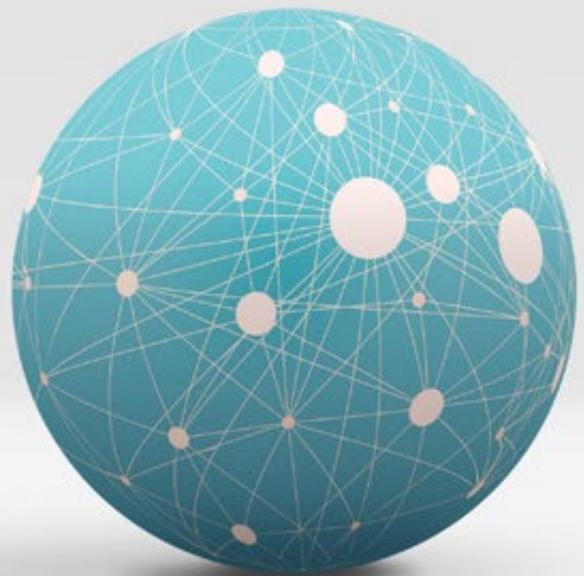
- 5: BBC "Deepfake queen to deliver Channel 4 Christmas message"
<https://www.bbc.com/news/technology-55424730>
- 6: William A. Galston "Is seeing still believing? The deepfake challenge to truth in politics"
<https://www.brookings.edu/research/is-seeing-still-believing-the-deepfake-challenge-to-truth-in-politics/>
- 7: DLA PIPER "DLA Piper GDPR fines and data breach survey: January 2021"
<https://www.dlapiper.com/en/uk/insights/publications/2021/01/dla-piper-gdpr-fines-and-data-breach-survey-2021/>
- 8: Privacyaffairs <https://www.privacyaffairs.com/gdpr-fines/>







通信网络 2030





产业趋势

今天，智能化已经成为全社会未来10年的主要发展方向，中国、欧盟、美国都发布了新的愿景。中国在“十四五”规划和2035年远景目标纲要中将行业智能化作为重要的发展方向，并围绕制造、能源、农业、医疗、教育、政务等给出了明确的发展目标。欧盟在其发布的《2030 Digital Compass》计划中提出2030年75%的企业将使用云计算、大数据和人工智能服务，90%以上的中小企业应具备数字技术的基本水平，并宣布为实现上述目标将加大能源和数字基础设施的投资。美国国家科学理事会（National Science Board）在其《2030愿景报告》（Vision2030）中也建议未来10年应加大对数据、软件、计算、网络的投资，以保持其在数字经济领域的竞争力。

行业智能化首先对企业网络的改造提出了明确的要求，在中国政府印发的《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023）》中提出，需要加快工业设备网络化改造、推进企业内网升级，推动信息技术（IT）网络与生产控制（OT）网络融合，

建设工业互联网园区网络；探索云网融合、确定性网络、IPv6分段路由（SRv6）等新技术的部署。在欧盟数字化欧洲工业（Digitising European Industry）的平台规划中，提出要将纳米光电子、AI、5G、IoT等作为未来工业网络领域的关键使能技术并加大投资，期望在未来获得领导地位。

面向行业智能化的需求，全球领先电信运营商纷纷行动起来，开始在不同程度上探索“联接+”的业务发展方向。中国移动提出5G+AICDE（AI、IoT、Cloud Computing、Big Data、Edge Computing）的发展战略。中国电信提出2030年要构建云网一体的融合架构。中国联通发布CUBE-Net3.0，明确提出联接+计算+智能的新发展方向。德国电信在2030展望中提出面向B2B业务要成为数字使能者（Digital Enabler），提供网络+IoT+云和数字化的综合服务。根据GSMA的调研，面向工业、金融、健康、能源、农业的B2B、云、IoT场景将成为全球电信运营商未来“联接+”最具发展潜力的领域。



畅想2030年，人们可以依托高灵敏的生物传感器与智能硬件，通过宽带网络实时获取及跟踪身体各项指标，并在云端安全存储海量历史健康数据，将有能力自主驱动个人健康，减少对医生的依赖，提高健康水平与生活质量。人们可以基于万兆家庭宽带、全息通信等新技术，实现更人性化的人机交互体验。人们将基于空地覆盖的立体网络，实现交通工具的网联化，满足自由出行、智慧出行和低碳出行的需求。人们可以利用无处不在的感知技术、有线/无线万兆宽带、普惠AI和面向千行百业的应用，构建更加宜居的城市数字基础设施。人们可以通过通信感知融合、自动化和智能化的技术实现高效的环境治理。人们可以利用协作机器人、AMR、数字员工等新型劳动力，结合工业互联网，使得从需求提出到生产交付的全过程更准确、更低成本，并提升制造产业的韧性。人们可以将能源物联网和智能电网相结合，构建“源网荷储”全链路数字化的绿色能源互联网，零碳数据中心和零碳站点也有望成为现实。人们可以将区块链、数字水印、AI打假、隐私增强的计算与内生安全的网络相结合，以保障数字安全可信。

面向2030年，通信网络将从连接百万人向连接千亿物的方向发展。首先，通信网络规模还将持续增长，导致网络管理更加复杂，需要网络更加智能，未来10年如何通过软件技术创新，实现在网络规模持续增加的情况下运营维护成本基本不变，将极具挑战；其次，工业、农业无人值守、自动驾驶等物联网场景对网络的覆盖能力、质量保障能力和安全可信提出更高的要求，未来10年如何通过协议和算法创新，实现网络能够承载多种业务，同时满足高质量和灵活性的要求将极具挑战；最后，由于摩尔定律放缓，量子计算等新技术还不成熟，计算、存储、网络能效的持续提升已经出现了瓶颈，未来10年如何通过基础技术创新构建一个绿色低碳的网络，实现网络容量增加数十倍的同时能耗基本保持不变将极具挑战。

通信网络已经成为推动未来世界发展的主导力量之一，与传统产业不同，通信网络经过近两个世纪的发展，依然看不到任何放缓的迹象，短短30年，通信技术就实现了从2G到5G的快速升级，从ADSL到千兆光纤家庭的规模部署，未来10年通信网络将持续探索新的场景和技术，迎接智能世界的全面到来！



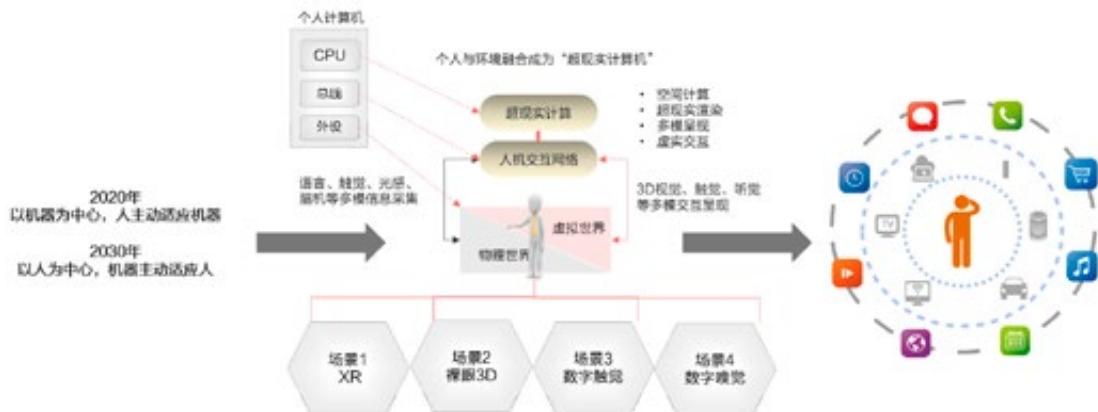
未来网络场景

从1837年摩尔斯发明有线电报到今天，通信网络从联接个人、家庭扩展到联接组织，通信网络需要不断被创新才能适应业务的多样性和快速变化。未来10年，通信网络将不仅要联接个人，还要联接与个人相关的各种感知、显示和计算资源；不仅要联接家庭用户，还要联接与

家庭相关的家居、车和内容资源；不仅要联接组织里的员工，还要联接与组织相关的机器、边缘计算和云资源，以满足智能世界丰富多样的业务需求。

随着网络联接对象的扩展，业务需求的变化，

图1 超现实人机交互体验





未来10年除了业界已有共识的5G向5.5G/6G、F5G向F5.5G/F6G、IPv4/MPLS向IPv6+、自动驾驶网络从L2向L5持续演进之外，各种新型的网络场景也将不断涌现。

下一代人机交互网络：以人为中心的超现实体验

当虚拟世界还是冰冷机器的时候，人机交互方式是人要主动适应机器，PC时代我们学习使用鼠标和键盘，智能手机时代我们学习使用触摸屏，传统汽车时代我们需要学习操作按键和旋钮。当虚拟世界达到高级智能阶段的时候，人机交互方式将转变为机器能主动适应人，机器（智能大屏、智能家居、智能汽车、智能外骨骼等）能够理解人的自然语言、手势、眼神，甚至脑电波，实现虚拟世界与物理世界更加自然的融合，为人大交互带来超现实的感官体验。（图1 超现实人机交互体验）

未来10年，通信网络需要支持XR、裸眼3D、数字触觉和数字嗅觉等全新的人机交互体验。这对通信网络提出更高的要求。

XR：虚实的完美结合，自然的交互体验

虚拟现实（Virtual Reality，VR，指已经包装好的视觉、音频数字内容的渲染版本）、增强现实（Augmented Reality，AR，指用其他信息或人工生成的内容，覆盖当前环境的图像）、混合现实（Mixed Reality，MR，AR的高级形式，虚拟元素融入物理场景中）、扩展现实（eXtended Reality，XR，由计算机技术和可穿戴设备生成的所有真实和虚拟环境及人机交互，包含了VR、AR和MR）业务以其三维化、自然交互、空间计算等不同于当前互联网终端的特性，被认为是下一代个人交互的主要平台。

2020年疫情造成社交隔离，激发了VR游戏、虚拟会议、AR测温等需求爆发，美国数字游戏发行平台Steam的VR活跃用户翻倍增长，一些厂家已经发布更加轻便的隐形AR眼镜，并计划在2年内上市。随着5G、WiFi 6、光纤等“三千兆”宽带的普及，未来10年XR业务将迎来快速发展期。据华为预测，2030年XR用户数将达到10亿。

中国信息通信研究院在《虚拟（增强）现实白

表1 XR业务对网络的需求

技术体系	技术指标	部分沉浸 2021	深度沉浸 2022-2025	完全沉浸XR 2026-2030
近眼显示	单眼屏幕分辨率	2K	4K	8K
	视场向 (FOV)	120°	140°	200°
	角分辨率 (PPD)	20	30	60
	可变焦显示	否	是	是
内容制作	360°全景视角分辨率 (弱交互)	8K	12K	24K
	游戏 (强交互)	4K	8K	16K
网络传输 (平均值)	弱交互 (Mbps)	90	290	1090
	往返时延: 弱交互	20	20	20
	往返时延: 强交互	5	5	5
	传输媒介	有线/无线	无线	
渲染处理	渲染计算	4K/90 FPS	8K/120 FPS	16K/240 FPS
		/	注视点渲染	
感知交互	眼球互动	/	眼球追踪	
	声音交互	沉浸声	个性化沉浸声	
	触觉交互	触觉反馈		精细化触觉反馈
	移动交互	虚拟移动 (行走重定向)		高性能虚拟移动

皮书》中，将XR的技术架构分为五个部分，包括近眼显示、感知交互、网络传输、渲染处理和内容制作，并对XR发展阶段进行了预测，得到了产业界一定的认同。（表1 XR业务对网络的需求）

当前，XR还处于部分沉浸体验阶段，主要表现为2K单眼分辨率、100-120度视场角、百兆码率、20ms MTP (Motion To Photons, 头动到显示画面) 时延，如果内容渲染全部在云端实现，20ms是保障不头晕的基础要求。

我们预测，2030年XR将达到完全沉浸体验，主要表现为8K单眼分辨率、200度视场角、千兆码率。如果全部渲染还在云端，则需要5ms的MTP时延，如果通过技术方式，将容易引起头晕的环境内容放在本地渲染，则时延只与内容的类型相关。如果是流媒体类弱交互内容，20ms

时延就可以满足要求；如果是游戏类强交互内容，则仍然需要5ms的时延。

因此，支持XR业务未来10年的发展，网络需要具备1Gbps带宽和5~20ms的网络时延能力。

裸眼3D：逼真的影像再现，全新的视觉体验

裸眼3D的技术实现主要包含三个环节：对3D物体的数字化、网络传输、利用光学或者计算重建显示。

根据显示方式不同，裸眼3D可以分成两大类。一类是光场显示 (Lenslet)，利用双眼视差产生3D视觉效果，包括视差障壁、柱状透镜、指向光源等多种技术。这些技术对观赏角度有苛刻要求，如果希望大面积使用需要结合对用户观看位置的实时捕捉，并动态地进行调节。第二类是空间光调制器 (spatial-light-

表2 裸眼3D对网络的需求

技术体系	技术指标	Lenslet (2021-2025)	SLM (2025-2030)
成熟度预判		规模成熟	少量应用
显示	尺寸	70寸大屏	10寸小屏~70寸大屏
	分辨率	16K	16K
网络传输	带宽	~1Gbps	10Gbps~1Tbps (10X10cm物体, 需要4K@60帧, 10Gbps)
	双向网络时延	弱交互: 20ms 强交互: 5ms	弱交互: 5ms 强交互: 1ms
	传输媒介	有线/无线	
交互设计	声音交互	跟踪位置, 空间声场	
	手势交互	手势识别	
	移动交互	跟踪位置, 空间计算	
可用性		声音: 3个9 图像: 5个9	

参考: 《IEEE1981.1 触觉互联网》、《Digital Holography and 3D Display》

modulator, SLM), 利用干涉方法将三维物体表面散射光波的全部振幅和相位信息存储在记录介质中, 当用同样的可见光照射全息图时, 由于衍射原理, 可以再现原始物体光波, 为用户提供“栩栩如生”的视觉感受。(表2 裸眼3D对网络的需求)

近几年, 基于光场显示的裸眼3D通过与用户位置感知和计算技术结合, 发展的很快, 一些厂商已经在展示相关的创新产品, 我们判断到2025年就会在娱乐、商业领域出现大量实用案例, 对带宽的需求在1Gbps左右, 对实时交互的要求较高, 在强交互下需要网络时延小于5ms, 商业应用需要5个9(99.999%, 1年内不能工作时间少于5分15秒)的网络可用性。

基于光学重建的全息技术近几年也出现一些突破, 业界已经诞生厚度10厘米、投影尺寸在

100平方厘米左右的产品原型。我们判断未来10年, 这类小型的全息产品将可以实现商用, 用于展会、教学和个人便携终端等场景, 对带宽的需求在10Gbps左右, 对时延的要求为1~5ms, 网络可用性要满足商业5个9的要求。真人级的全息产品对带宽的要求更高, 要超过1Tbps, 但是我们判断2030年还不具备规模商用的能力。

因此, 从裸眼3D的需求看, 未来10年网络需要支持每用户1~10Gbps带宽、1~5ms时延和5个9的可用性。

数字触觉: 多维的体感交互, 可触摸的互联网

IEEE在触觉互联网(tactile Internet)架构中, 将数字触觉技术分为用户层、网络层和化身层三个层面。用户层输入位置、速度、力度、阻

表3 数字触觉对网络的需求

交互方式	流量方向	流量类型	可靠性	网络时延 (ms)	带宽
机器控制	用户-化身	触觉	5个9	1-10	2Mbps
		视频	5个9	10-20	1-100Mbps
	化身-用户	声音	3个9	10-20	512Kbps
		触觉反馈	5个9	1-10	20Mbps (100 DOFs)
精细交互	化身-用户	触觉反馈	5个9	1-10	1~10Gbps (电子皮肤)
主动认知能力：网络层还需要支持性能动态监测、任务认知、3D地图构建等服务					

抗等信息，经过网络数字化后变成指令数据提供给化身层；化身层采集到触觉、听觉、本体感受数据，经过互联网提供给用户层，用于用户实时决策。

根据交互方式又可以划分为两大类：第一类是机器控制，应用场景如远程驾驶、远程控制等；第二类是精细交互，应用场景如电子皮肤、远程手术等。（表3 数字触觉对网络的需求）

机器控制在工业领域拥有大量应用场景，对网络可用性要求高于5个9，部分行业甚至要求达到7个9（99.99999%），根据不同业务场景，网络时延在1~10ms，带宽在100Mbps以内。

精细交互中基于柔性电子的电子皮肤是未来最具发展空间的场景，电子皮肤集成了大量精细的压力、温度等传感器。根据英国萨里大学（University of Surrey）的相关分析，每平方英寸电子皮肤就需要20~50Mbps的带宽，每个手掌需要1Gbps。在电子皮肤场景下，用户层不一定是人类，也有可能是智能机器，可以根据化身层的电子皮肤采集到的海量数据信息进行分析、计算和决策，对化身层进行控制。用户层也有可能直接通过脑机或者肌电神经接口与人

连接，实现沉浸式的远程交互体验。我们判断在精细交互的场景下，将需要1~10Gbps的网络带宽。

因此，从数字触觉的需求看，根据不同业务场景，网络需要支持每用户1~10Gbps的带宽、1~10ms时延和大于5个9的可用性。

数字嗅觉：深层的感官交互，可品味的互联网

人类的五种感官由远及近可以分为非接触的（视觉、听觉、嗅觉）和需要接触的（触觉、味觉）。与视觉和听觉比较，嗅觉是非接触体验中较深层次的感官。

数字嗅觉包含三个技术环节：气味的感知、网络传输、气味的重现。

气味的感知目前已经有一些应用案例，比如利用复合材料组成条形码，可以根据味道产生化学反应，并产生颜色的变化，然后通过深度卷积神经网络算法（DCNN）识别条形码与气味的关系，在一些特定场景，如危险品检测、食物新鲜度检测中已经有应用。气味的重现业界已经有一些商业化的产品，如VR气体发生器，可以使用5种气味墨盒，然后根据VR游戏场景释放

表4 家庭和出行对网络的需求

场景分类	商用时间	家庭			车
		业务	峰值带宽	往返时延	业务
影院	10年内	16K视频 (180英寸屏幕)	1.6Gbps	50ms	1.6Gbps, 20ms (16K XR)
游戏	10年内	360° 24K 3D VR/AR	4.4Gbps	5ms	4.4Gbps, 5ms (24K XR)
全息教学	10年内	10英寸全息	12.6Gbps	20ms	12.6Gbps, 20ms
全息会议	10到20年	真人级全息(70英寸)	1.9Tbps	1~5ms	12.6Gbps, 1~5ms (微缩全息,10英寸)
自动驾驶	10年内	家庭机器人	10cm定位	5个9可用性	5~20cm定位 5个9~6个9可用

相应的味道，如海洋、火药、木材、土壤等，在一些研究报告中也提出未来可以基于脑机接口更直接和准确地让人感知到气味。

我们将气味感知（电子鼻）与气味重现结合起来，可以构建一个不仅闻其声、观其影，还能知其味的数字嗅觉互联网。数字嗅觉对网络带宽和时延的需求目前还不清晰，但是对计算的需求比较明确。

综上，下一代人机交互网络将支持XR、裸眼3D、数字触觉、数字嗅觉等全新体验，对用户网络的需求将是带宽10Gbps、网络时延1ms、可用性要达到5个9。

住行合一网络：相同宽带体验的第三空间

在对未来自动驾驶汽车的畅想中，最具有吸引力的就是在汽车里面也可以享受到和在家庭环境一样的沉浸式影音娱乐、社交、办公体验，车内和家庭都将出现多屏、3D、全息的应用场景，家庭8K/16K大屏、车内MR将逐渐普及。

从5G/F5G/WiFi 6开始，移动和固定宽带基本上同步迈入千兆时代，这也支持了住行合一的体验实现。

自动驾驶的汽车在未来将成为家庭、办公室之外的“第三空间”，未来用户可以享受到从家庭到出行，再到办公室的连续宽带业务体验。

（表4 家庭和出行对网络的需求）

人们在家庭和办公室的业务场景包含大屏、多屏、3D、全息教学和XR。考虑到真人级全息会议在2030年普及率不高，家庭和办公业务的主流宽带需求还是1~10Gbps、时延小于5ms，未来家庭和办公网络将不仅提供宽带的无缝覆盖，还将支持居家办公、场所安全和机器人等全新生活场景。家庭网络基于通信感知融合能力，能够感知用户位置、室内空间、环境安全等，为人们构建一个更加人性化的居住和办公环境。

人们在移动第三空间（车内）的业务场景也将包含多屏、3D、全息教学和XR。未来10年，对网络带宽的主流需求是支持1Gbps~10Gbps，网

络时延也要小于5ms。考虑到自动驾驶依托网络的车路协同场景，对网络的可用性也提出了更高要求，可用性要大于5个9，并支持10cm的定位精度。

综上，面向未来家庭、办公室、自动驾驶汽车三个空间，需要构建住行合一的万兆网络新能力。

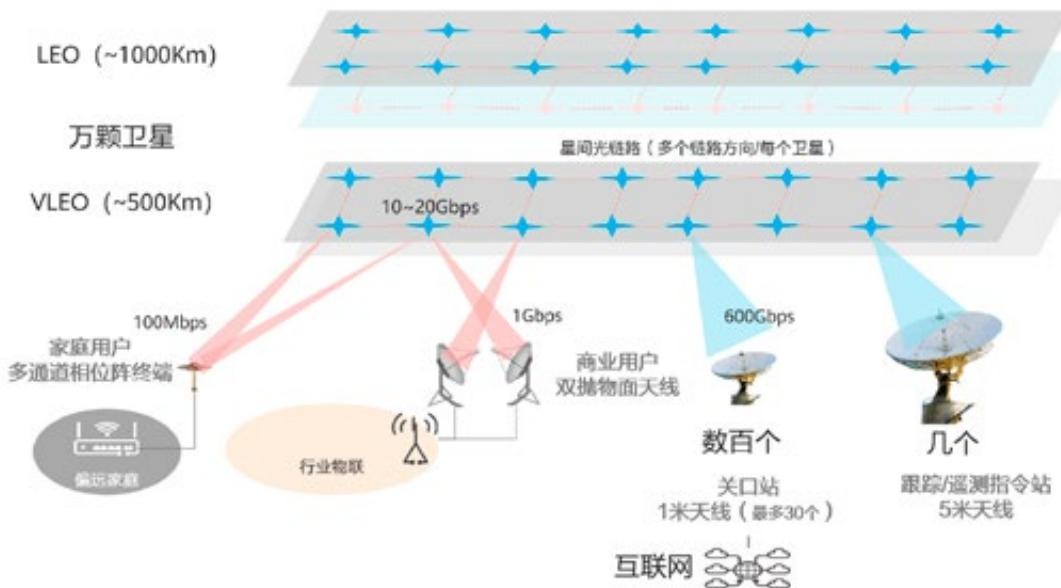
卫星宽带互联网：地面到空中的连续宽带覆盖

未来10年网联无人机将更加普及，并带来千亿规模的新产业空间，将出现更多的城市载人飞行器，数万颗低轨宽带卫星将运行在天空中。卫星宽带将具备规模商用能力，载人太空旅行和深海探索将成为热门的娱乐项目。宽带将成为生活不可分割的一部分，伴随着人类娱乐和生活的足迹，也伴随着工业、农业智能化的无人值守需求，走向海洋、大漠和天空，需要像空气一样随时可获取。一张由天空和地面交织的宽带网络，将为人类新生活体验、行业万物智能化提供服务。（图2 卫星宽带网络）

受频谱资源限制和干扰因素影响，单颗低轨卫星的实际峰值容量约10~20Gbps，假设1万颗卫星组成覆盖全球的卫星网络，分布在超低轨道（VLEO）到低轨道（LEO）的多个轨道平面上，每颗卫星与多个方向的卫星基于100Gbps以上的激光通信组成多路由星光传输链路，考虑到卫星实际经过的地区至少一半是海洋、沙漠等宽带需求极低的区域，实际全球宽带卫星网络有效容量将在100Tbps左右。在蜂窝网覆盖之外的地区，卫星宽带可面向使用多通道相位阵天线的消费者提供百兆宽带能力，向使用双抛物面天线的企业客户提供千兆宽带能力，并经过星光传输链路将数据传送到全球数百个关口站与互联网连接，相当于形成一张全球立体覆盖、时延在100ms以内的准4G网络。

目前低轨卫星宽带的终端天线尺寸还比较大，尚无法满足个人移动性的需求，主要场景是面向偏远地区的家庭、企业、轮船等，业界已经出现将卫星宽带作为回传链路与地面蜂窝网、WLAN网络结合，面向偏远地区的乡村或者企业提供宽、窄带覆盖的应用案例。未来随着卫星宽带的普及，有可能出现支持高移动性的卫

图2 卫星宽带网络





星宽带场景（终端），如网联汽车、小型化的个人终端等，满足人和物从家庭WiFi到城市蜂窝网，再到无缝覆盖的卫星网连续宽带体验需求。

工业互联网：面向智能制造、服务于人机协同的新网络

工业互联网（Industrial Internet）是信息通信技术与工业经济深度融合的新型基础设施，通过对人、机、物、系统等的全面连接，构建起覆盖全产业链、全价值链的全新制造和服务体系，为工业乃至产业数字化、网络化、智能化发展提供了实现途径。工业互联网体系包含工业控制、工业软件、工业网络、信息安全四个关键组成，其中工业网络是整个体系的基础。

传统工业网络基于ISA-95金字塔模型构建。这个架构已经存在了20多年，是一个服务于“以人为本”的制造体系。随着智能制造的发展，未来需要一个面向智能制造、“服务于人机（机器人）协同”的新架构。

新架构以人、机器人、智能平台（云/边缘计

算）三者对等构建，私有的工业总线将被支持实时性的通用化工业网络和开放的数据层所替代，智能平台将汇聚人和机器人的各项数据，实时分析和决策，支撑人与机器人工作的有效协同。

华为预测，2030年全球总联接数将会达到2000亿，其中无线、无源联接数约1000亿，基于有线、WiFi、短距通信的联接数约1000亿。工业领域除了海量的压力、光电、温湿度传感器外，大量的智能摄像头、智能汽车、无人机、机器人也将接入到网络中，工业网络将从传统的多种窄带技术走向更加通用化的宽带技术。

通用化的工业网络，将打破传统消费、办公和生产业务的边界，基于5G、TSN、IPv6+、工业光网等确定性宽带网络和切片技术实现融合承载，满足任意人/物（Any-Workforce）的互联，以及消费、办公和生产系统全要素上云的需求。

通用化的工业网络还将实现同厂家办公与生产系统之间、同行业不同厂家之间、不同行业相关业务之间的数据按需分享和工作无缝协同，

满足任意业务（Any-Workload）的宽带互联、多云数据共享需求。

通用化的工业网络将更加智能，面向无边界、移动性、跨行业、跨云需求，支持基于意图驱动的网络自动化管理和基于AI的主动式安全和隐私保护，满足任意地点（Any-Workplace）的业务安全可信的需求。

每个企业都存在多种业务类型，要求通用化的工业网络满足业务可用、安全、可信三类需求，如智能医疗包含远程诊疗、监测护理和远程手术等业务；智能电网包含视频巡检、电网控制和无线监测等业务；智能制造包含工厂环境监控、信息采集和操作控制等业务。（表5 智能化企业对网络的需求）

根据每种业务的典型带宽和时延要求，结合对2030年企业各种终端的数量预测，可以判断未来一个大中型企业需要100Gbps的网络带宽，单用户最大带宽要达到10Gbps，网络时延根据不同业务存在1ms/10ms/100ms多种需求，并存在网络安全、可信的需求。

算力网络：面向机器认知，联接海量用户数据与多级算力服务

通信网络带给社会的价值体现在其承载的业务，过去网络帮助人们建立了沟通渠道，承载了通讯服务；今天网络连接了端和云，带给了人们丰富的内容，承载了内容服务。

今天的网络还是面向人类认知设计的系统，例如视频内容的帧率选择考虑到人类对运动物体的视觉感知力，定义为30帧/秒，采集的音频也利用了人类认知系统的掩盖效应机制。对于人类的认知，这样的编码质量可以被认为是精细的质量，但是对于需要超越人类的用例则远远不够，如机器人的监控系统可以从超过人类可听频率的声音中检测到异常。普通人看到事件时的响应速度约为100ms，因此很多应用基于这个时延进行设计，但是人类之外的应用，如紧急停车系统，则需要进一步缩短响应时间。

相对于今天面向人类设计的网络，根据IOWNGF《面向2030愿景和技术研究报告》的分析，未来面向XR、机器视觉、自动驾驶等

表5 智能化企业对网络的需求

行业	业务类型	业务对网络的要求															
		每个企业的连接数量	业务可用（单用户、单业务）										安全		可信		
			带宽需求/单用户（Mbps）					业务时延需求（ms）					S1	S2	M1	M2	M3
			B1	B2	B3	B4	B5	T1	T2	T3	T4	T5	逻辑隔离	物理隔离	可机	可管	可运营
智能医疗	16K远程诊疗	10					1G										
	监测护理	2K															
	全息远程手术	5					10G										
智能电网	视频巡检	-															
	电网控制	-															
	无线监测	-															
智能制造	工厂环境	100															
	信息采集	10K															
	操作控制	1K															

参考 信通院《5G端到端切片行业SLA需求研究报告》

智能机器的网络将从四个方面提升性能：首先是增强感知力，能够捕捉物理世界更加精细、精确和多维度的数据，如在工业异常检测场景下，将视频采集的帧率提升到120帧/秒；其次是响应速度，如在面向机器控制的场景下，将端到端响应时间缩减到10ms；再次是支持资源的可扩展性，目的是在动态工作负载情况下实现网络和计算资源的高效利用，如支持资源动态线性扩展的能力；最后是能效，主要是提升计算资源的使用效率，需要将目前多数企业采取的固定配置的计算资源使用方式改变为云共享服务方式，未来进一步提升为事件驱动的无服务器模式，实现能效的大幅提升。

智能机器将产生更加精确的数据，包含网络时钟、地理定标（用于数字世界的精确建模），从而摆脱数据的处理和计算对于今天高度集中的互联网平台的依赖，应用程序将向以数据为中心转变，实现数据与计算、通信的解耦。

面向机器认知的网络，将需要适应海量的机器数据采集和传输、非常严格的时延要求，以及大量用户订阅的需求，可以根据系统整体状况

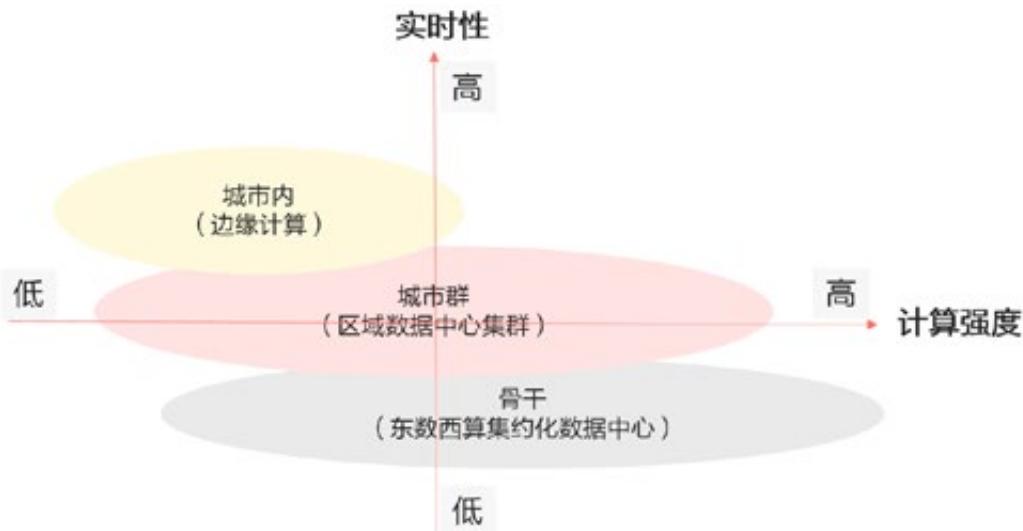
和重要程度的不同，控制数据发布者的数据生成和注入，可以在网络中的通信、计算节点之间存储和共享数据，可以提供精确的时间和位置标记，能够确保数据安全、隐私和完整性，支持数据在不同协议之间的代理服务，并可以跨越多个不同的网络。

随着摩尔定律的放缓，终端算力在超过128核之后，经济性将面临瓶颈，云数据中心受到传输带宽成本和时延的影响，也无法满足未来智能机器海量强实时业务的处理需求，面向机器认知的新型网络需要支持在边缘侧进行数据分析和处理，而不必将数据全部传到中心云。

未来网络将联接云、边、端，将海量机器数据传输到各级算力基础设施，根据不同业务1ms/10ms/100ms的时延要求，实时地将数据调度到城市内分布式的边缘计算、城市群的数据中心集群、骨干的集约化大数据中心等三级计算资源。（图3 面向机器数据服务的三级计算资源）

计算的效率、可信度与网络的带宽、时延、安全性、隔离度都存在相关性，计算与网络需要

图3 面向机器数据服务的三级计算资源





相互协同。主流运营商已经发布了计算与网络融合服务的新商业愿景，并提出了“算力网络”的全新理念，希望将云边端多样的算力通过网络化的方式连接与协同，实现多级算力服务的按需调度和高效共享。算力网络代表了从“面向人的认知”向“面向机器认知”的网络设计理念的重要变化。

中国政府在《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》中明确提出：

“随着各行业数字化转型升级进度加快，全社会数据总量爆发式增长，数据资源存储、计算和应用需求大幅提升，迫切需要推动数据中心合理布局、供需平衡、绿色集约和互联互通，构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系，促进数据要素流通应用，实现数据中心绿色高质量发展”，并提出要“通过引导数据中心集约化、规模化、绿色化发展，在国家枢纽节点之间进一步打通网络传输通道，加快实施‘东数西算’工程，提升跨区域算力调度水平”。

为支持算力网络标准工作的积极开展，ITU-T

开启Y.2500系列编号，以Y.2501 “Computing Power Network- framework and architecture” 为首个标准，将形成算力网络系列标准，并与中国通信标准化协会（CCSA）算力网络系列标准相互呼应，算力网络已经纳入了很多运营商6G与未来网络技术研究的范畴，是未来10年通信网络演进的关键场景。

认知网络：向高级智能进化的网络

学术界经常将物理世界的变化进行拟人化描述，以便于人们更容易理解技术对世界的影响。1877年德国哲学家卡普在《技术哲学纲要》中首次提出“工具和器物是人体器官投影”的概念和理论。1964年媒介理论家麦克卢汉在《理解媒介》一书中提出“机械技术时代是人类身体的延伸，电子技术时代是人类神经系统的延伸”的观点。1995年罗素在《地球脑的觉醒》（The Global Brain Awakens）一书中提出“人类的各种连接，正在使地球成为类人脑组织，地球正在觉醒”的观点。从身体到神经再到大脑，整个数字世界正在向着高等生命进化。



通信网络已经诞生一百多年，早期的电报网、模拟电话网已经消失或被替代。

过去50年，移动通信网、光通信网、数据通信网通过不断的代际演进，保持了蓬勃的生命力，与光纤管线、机房站点一起构成了网络强健的身体。

最近10年，网络最大的变化是出现了神经系统的进化。人的神经系统既包含实现自主应激反应、可以闭环管理的基础神经系统，也包含具备分析思考和主动认知能力的高级神经系统（大脑）。从软件定义网络（SDN）到自动驾驶网络（ADN），网络已经逐渐进化出了自己的基础神经系统。

未来10年，网络神经系统将向两个方向持续进化：一个方向是具备通信感知融合能力（无线感知、WiFi感知、光感知等），另一方向是还将进化出大脑，一个可以构建虚拟世界，并自主完成推理和决策的数字孪生系统，这将是网络进化为高等生命、具备认知智能的标志。

认知智能本身是一个工程与数学结合的问题，要求系统可实时感知各种外部和内部变化，通过自主分析预测，主动做出管理。

认知智能的构建将包含两个维度：时间维度和功能维度。

时间维度：根据历史信息（如T1、T2），通过学习，能够推测出未来（T3）的变化，典型的如L5自动驾驶网络，可以根据历史性能和告警，对将出现的性能劣化给出准确的预测。

功能维度：根据多个环境功能（如A、B）的信息，通过学习，能够判断出网络功能（如C）的变化，典型的如认知无线系统、网络安全等，可以根据用户位置、信道的变化预测出用户将发生的切换，可以根据报文的行为异常，判断安全态势的改变等。

认知网络概念的提出已经很多年，世界一些知名的大学、研究机构和公司都在进行相关研究，但一直没有突破性进展。认知技术最早用于无线网络，2004年IEEE成立了802.22标准组，是业界基于认知的第一个无线标准。近年来伴随着AI在多场景的突破，如在无人驾驶场景，基于实际道路的无人驾驶里程已经超过百万公里；在生产质量控制场景，借助AI视觉能够大大缩短质检时间；在农业场景，智能采摘机器人的采摘苹果效率可以达到人工的两倍以上等，通信产业也开始探索如何将AI应用于网络，希望在未来10年，借助AI和数字孪生技术的结合，在认知网络方面获得突破性进展，通过对多维度数据信息的分析、推理，大幅度提升对网络未知状态的预测和判断能力。

作为即将觉醒的数字世界的一部分，通信网络未来将具备融合感知能力和认知智能，像高等生命一样，四肢发达、感觉敏锐、头脑灵活。



网络愿景与关键技术特征

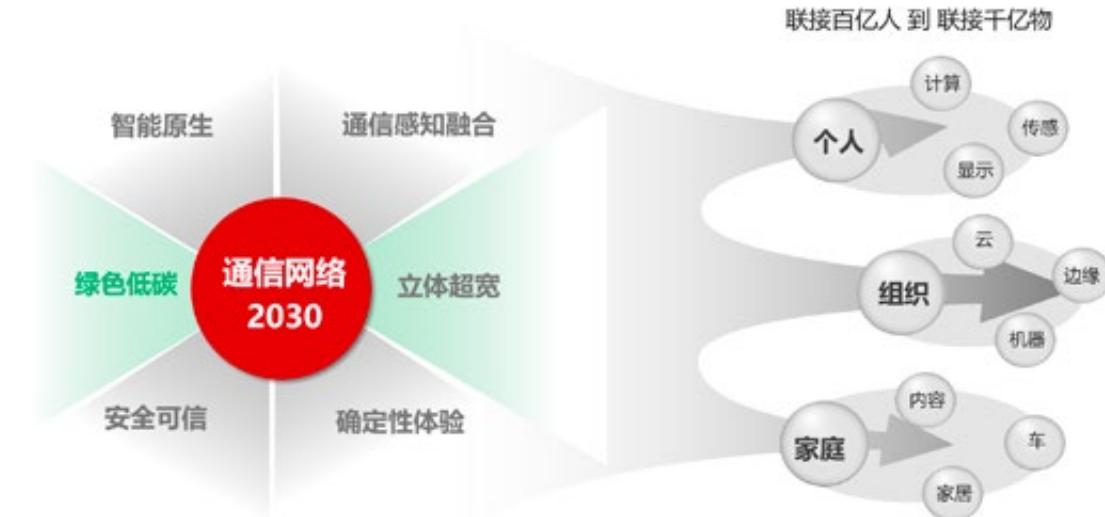
网络愿景

从联接百亿人到联接千亿物，一个智能原生、安全可信，具备确定性体验和通信感知融合能力的立体超宽、绿色网络是未来网络发展的方向。（图4 通信网络2030的愿景）

关键技术特征

通信网络2030具备6大技术特征和15项关键技术，每个关键技术又包含多项未来需要研究的技术点。（图5 通信网络2030的关键技术特征）

图4 通信网络2030的愿景





立体超宽网络

未来十年，网络性能将持续提升，从今天的3个千兆（5G/F5G/WiFi 6）增长到3个万兆（6G/F6G/WiFi 8）。根据华为预测，2030年全球人均月无线蜂窝网络流量增长40倍，达到600GB。全球千兆以上及万兆家庭宽带网络渗透率分别达到55%和23%，家庭月均网络流量增长8倍，达到1.3TB。网络接口将从400G升

级到800G/1.6T，单纤容量突破100T，在网络覆盖能力上要从地面走向空天地一体。

1) 空天地一体：无缝立体的连续宽带体验

未来宽带将不仅在地面，还将延伸到空中，从小于千米高度的无人机到万米高度的航空飞行器，再到数百公里高度的低轨航天飞行器都

图5 通信网络2030的关键技术特征



需要宽带连接。立体网络将由覆盖半径100m的小站、1~10Km的宏站和300Km~400Km的低轨卫星共同组成，分别为用户提供万兆、千兆、百兆的连续宽带体验。（图6 立体宽带网络）

在卫星与地面接入域，网络需要支持终端自由接入地面和空间网络；需要研究深衰落、大时延和高动态的新空口技术；需要研究面向负载均衡的星内、星间的波束赋形，将激活的用户均匀分配在不同波束中，实现资源高效利用；需要研究抗干扰技术，提升频谱复用率；需要研究全球巨量切换请求和复杂切换条件下的快速决策框架，以及基于有限地面站的移动性管理框架等技术。

在卫星之间传输域，不同轨道高度的卫星构成多层星座，每层星座内通过星间链路组网。同轨、同层、邻层卫星之间按需建设星间链路，形成空间立体网络。星间链路将采用激光、太赫兹等技术，支持100Gbps以上的带宽能力；需要研究工业产品如何航天化、相控阵列天线小型化、激光传输动态跟瞄等技术。

在网络的管理和控制域，包括运控中心、网管中心、信关站和融合的核心网，完成星网管理、用户管理和服务支撑等任务，需要研究地面关口站与星座网络间的新动态路由协议，支持空天地一体智能切换的超分布融合核心网等实现空天地一体化。

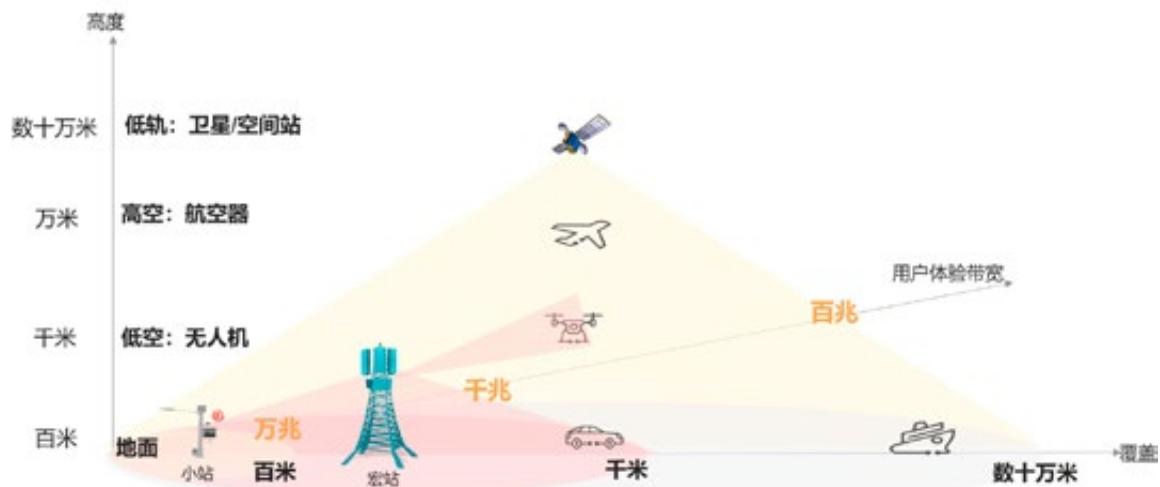
2) 3个万兆接入：个人、家庭、组织共同迈入万兆时代

未来10年，随着全球各国光纤网络的广泛部署，有线和无线将从今天的家庭、个人、园区三千兆共同迈入三万兆时代。

支持万兆家庭宽带，光接入网络预期需要用到200G PON的技术。传统用于WDM的相干检测技术将用于PON领域，可以显著提高接收器灵敏度，并支持更高频谱速率的调制格式，如QPSK、16-QAM等，实现更高的数据速率。

为实现万兆个人宽带能力，移动网络主要研究方向是Sub100GHz频谱的灵活应用和Massive MIMO的持续演进。目前3GPP R16标准中，

图6 立体宽带网络



5G NR已经定义了两个频率范围FR1和FR2，涵盖了从450MHz到52.6GHz的所有IMT频谱，正在定义的R17标准中，52.6GHz以上频谱用于5G NR已经成为了重要课题之一，这标志着100GHz以下频谱向5G全面演进已经成为业界共识。

为实现万兆园区宽带接入能力，未来还需要研究支持毫米波和高密度MIMO的下一代WiFi技术，正在定义的WiFi 7理论上可以支持万兆的用户接入能力，由于无线空口技术已经逼近香农极限，未来WiFi和移动网的发展都需要引入更大的频谱空间，而频谱又属于稀缺资源，业界也在讨论未来WiFi 8与6G融合的可行性。

3) 超宽全T网络：接入、骨干、数据中心网络全面进入T时代

综合考虑家庭、个人和企业场景人与物的宽带需求，在流量驱动下，未来网络接入层将出现T（Tbps， $1\text{Tbps}=1024\text{Gbps}$ ）级别的接口，骨干设备每槽位将支持40~100T的接入容量，数据中心将出现每槽位400T的网络设备。

2030年，运营商在千万人口规模城市的宽带通信网络，将在接入、骨干、数据中心网络多个环节进入全T时代。

为满足业务发展需求，数通设备需要研究800G/1.6T的高速以太网接口技术，和200G/400G接口相比，800G以太网是一个全新的技术，还没有完成标准化工作，目前有两种技术路线，一是继续采取可插拔的模式，二是采取光电合封的技术（CPO），两种技术路线未来都会占据一定的市场空间。预计超过800G的可插拔光模块将遇到功率和密度问题，光电合封的技术将成为主流选择。

同时骨干波分设备也需要突破单纤100T的长途

传输能力，未来需要一系列的技术突破才能满足新的需求，包括研究高波特率的电光调制器材料、从C波段扩展到L和S波段的新型光放大器技术等。

确定性体验

为满足家庭场景下办公和学习等业务需求、企业场景下安全和可靠性生产的需求，通信网络要能做到确定性体验。

1) 三级时延圈：**100ms/10ms/1ms**时延圈满足差异化业务诉求

未来10年，互联网流量模型将发生颠覆性的变化，从目前服务消费娱乐的“自上而下”内容流量转变为服务全行业智能化的“自下而上”数据流量，智能机器产生的大量数据需要在数据中心处理。为协调电力和算力的发展，构建全社会绿色算力，网络需要服务于未来数据中心的集约化布局，根据不同的业务需求，以用户为中心构建骨干、城市群、城市内三级时延圈，满足100ms、10ms和1ms的不同业务诉求，并可以根据业务属性通过网络层面直接进行实时调度，实现全社会算力的绿色和高效。

除了通过网络架构构建三级时延圈，对业务时延进行系统性保障，业界还需要对网络端到端的确定性技术进行研究。

无线接入的场景下，实时业务对空口瞬时速率要求高，但由于单载波多用户的复用而频谱受限，实时性很难得到保障。未来业界需要研究多载波聚合技术，通过载波配置和传输解耦，在多频段的广义载波内提升业务在时延约束下的带宽。

云化的无线核心网则需要研究实时操作系统（Real-Time OS），强化系统确定性调度框架，保障业务的实时性。

光纤接入的场景下，目前基于时分复用（TDM）的PON技术上行采取突发模式来防止冲突，难以满足低时延的要求，未来需要研究频分复用（FDMA）技术，允许多个ONT终端并发，从根本上保障低时延要求。

广域网络则需要改变目前尽力而为的转发机制，需要研究PHY、MAC层的协议改进，集成TSN、确定性IP的新技术，实现端到端时延可按需保障。

2) 端到端切片：为垂直行业打造更加适配的逻辑“专网”和服务

端到端切片为各行业提供独立运行、相互隔离的定制化专网服务，是服务垂直行业关键切入点。端到端切片是一种有SLA保障的网络虚拟化技术，在网络基础设施上隔离出不同的逻辑或物理网络，满足不同行业、不同业务的SLA诉求，包含无线切片、承载网切片、核心网切片技术及端到端的管理与服务。

无线切片技术：无线切片可分为硬切片、软切片。硬切片通过资源隔离实现，如为特定切片静态预留RB（Resource Block）、载波隔离等；软切片通过资源抢占实现，如基于QoS的调度、动态预留RB等。目前网络已经实现了基于优先级为不同切片提供速率保障，需要进一步研究针对不同切片提供最合适的PHY/MAC/RLC/PDCP层无线协议，比如针对URLLC（超可靠低延迟通信）切片提供具有低时延编码方式的PHY层、HARQ机制优化的MAC层。

承载网切片技术：承载网切片分为物理隔离、逻辑隔离。物理隔离技术有光层硬管道，通过不同的波长或单波长内的ODUk承载不同的业务；有MAC层的FlexE(Flex Ethernet)，通过时隙调度实现业务隔离。逻辑隔离技术有IP层SRv6 Slice-ID、流量工程（TE）、VPN等，通

过标签与网络设备资源预留方式实现业务逻辑隔离。未来业界需要进一步研究FlexE与TSN、DetNet的拥塞管理机制、面向时延的调度算法、高可靠冗余链路等技术的融合，提供有界时延和零丢包的物理切片技术、小颗粒度的FlexE接口等。

核心网切片技术：在5G SA架构中，微服务是核心网网络功能的最小模块化组件。未来业界需要结合三级时延圈的要求，支持将微服务按业务需求灵活编排形成不同的切片，并根据时延带宽需求，把切片微服务灵活部署在不同的网络位置。

端到端管理与服务：3GPP中定义了端到端的切片管理功能NSMF（Network Slicing Management Function），通过NSMF拉通各个子域NSSMF，形成端到端自动化切片，满足切片业务的弹性开通、扩缩容诉求。面向2030，业界需要进一步研究切片SLA的感知、精确度量和调度，实现切片的自动化闭环控制。此外，切片能力还需要面向垂直行业提供服务，让行业客户能够灵活按需定制，未来如何满足行业客户对切片的CRUD（Create/Read/Update/Delete）诉求，切片与客户专网、边缘业务的配置协同等问题，仍需继续研究增强。

3) 5个9高可靠：满足行业生产控制系统要求，使能企业全要素上云

传统企业和生产系统以“人”为中心，基于ISA-95金字塔模型构建，包含ERP、MES、SCADA、PLC等多个系统，未来智能化企业将以“人-物”协同为基础，构建云、边、物、人扁平化新架构。

当前企业云化主要需求是非实时的ERP和MES系统，对云网的可用性要求为3个9

(99.9%)。2030年，随着企业全要素上云，实时系统如SCADA、PLC对云网（边）的可用性要求将大于5个9。

提升无线接入网络可用性是未来主要研究方向，目前5G已经提供了URLLC的基础可靠性，在港口、煤矿等场景下可用性已经达到4个9 (99.99%)，未来移动网络将通过引入AI技术，更好地预测信道衰落特征，识别信道变化的包络，提升单位频谱可支持的URLLC连接数，通过智能化预测和干扰跟踪以及E2E协同等方式将移动网络可用性提升到5个9。

智能原生

1) 自动驾驶网络：网络向L4/L5高级智能化方向持续演进

自动驾驶网络作为网络神经系统发展的高级阶段，通过数据与知识驱动的智能极简网络，实现网络自动、自愈、自优、自治，使能新业务并实现极致客户体验、全自动运维、最高效资源和能源利用。

当前自动驾驶网络还处于L2~L3的发展阶段，具备部分和有条件自治的能力，系统可以根据

据AI模型在特定的外部环境中面向特定单元使能闭环运维。未来自动驾驶网络还将向高级智能持续演进，可以在更加复杂的跨域环境中，面向多业务实现整个生命周期的闭环自动化能力。（表6 自动驾驶网络的分级定义）

为了支撑自动驾驶网络向L4/L5等级演进，我们需要研究以下关键技术方向。

第一，在管理和运营层面，通过统一数据建模，使数据和功能/应用解耦，数据跨层保持一致性；构建网络的数字孪生，结合仿真技术实现对真实网络的分析和操控。具体业界需要对以下技术点进行研究。

基于目标的自适应决策架构：从传统面向功能实现的架构演进到基于目标的决策架构，构筑应对复杂不可预测环境的系统能力。需要重点解决如下几个关键挑战：系统多个目标之间可能相互冲突、提高环境的可预测性、自治系统与其他自治系统或人类一起协作。

模型驱动和数据驱动混合架构：模型驱动要求在设计阶段完成详尽的风险分析，识别各种有害事件，其优点是可信任、可解释，适用于关

表6 自动驾驶网络的分级定义

等级	L0: 人工运维	L1: 辅助运维	L2: 部分自治	L3: 条件自治	L4: 高度自治	L5: 完全自治
业务	不涉及	单个用例	单个用例	可选多个用例	可选多个用例	任意
执行	人工	人工/自动	自动	自动	自动	自动
感知	人工	人工	人工/自动	自动	自动	自动
分析/决策	人工	人工	人工	人工/自动	自动	自动
意图/体验	人工	人工	人工	人工	人工/自动	自动

参考：TMF 2020

键任务。数据驱动通过机器逐步取代人类的态势感知和适应性决策能力，应对复杂的不确定性场景，是迈向自动驾驶网络的第一步，其优点是性能高，缺点是与训练样本空间相关、可解释性差，当前仅适用于非关键任务。

基于语义的意图：自动驾驶网络自治系统间通过意图化接口极简交互，对外屏蔽内部差异化的实现过程，开箱即用。不关心彼此的实现，只关心结果的目标达成，实现系统间的解耦，包括用户意图、业务意图、服务意图和资源意图等四个类别。

网络数字孪生：在数据感知方面，研究高性能网络近似测量，实现近似零误差测量。在建模与预测层，构造高精度近似仿真模型，研究通过网络演算、排队论，提供有理论保障的SLA高性能仿真。在控制管理方面，通过快慢控制结构理论求解网络巨系统的资源分配与优化问题。

第二，在网元层面，从把AI用于运维到把AI用于网元算法和功能重构，实现AI Native网元。针对网元设备的实时状态数据，自动驾驶网络通过基于AI的实时分析和处理，可以动态补偿和优化参数，提高网络设备算法精确度，实现智能超宽带，如认知无线、认知光网络等，需要将设备计算能力提升十倍。

自动驾驶网络L4/L5能力达成不仅取决于软件系统的进步，还必须结合网络架构、协议、设备、站点和部署方案的简化，以极简架构抵消网络连接复杂性。

2) 边缘智能原生：通过云原生和AI技术重构智能边缘

在通信网络2030架构中，云核心网将综合云原生的灵活、开放以及AI面向业务的感知能力构

建边缘智能原生。

边缘智能原生要支持基于AI的业务感知能力：一方面，面向消费者的个人网络将针对全息全息类通信业务提供高效编解码、传输优化、体验保障、协同调度的能力。另一方面，面向行业的专用网络则可基于确定性操作系统，强化系统调度框架，为千行百业提供业务保障。如基于MEC的5G ToB + AI推理服务，以机器视觉处理为例，在边缘侧采用AI图像特征识别的处理方式，可以降低骨干传输带宽要求，并提高业务实时性。

边缘智能原生要支持Mesh互联和水平算力调度：网络将连接多级算力资源池，为实现算力的高效使用，网络将需要能够对各种算力资源进行感知。首先，算力感知要研究如何对AI业务的算力需求进行度量、建模。算力网络中计算芯片多种多样，如CPU、GPU、ASIC、TPU、NPU等，需要准确度量上述芯片的算力大小、适用的业务类型；其次，算力网络中的计算节点需要将其算力资源信息、算力服务信息、位置信息发送到网络节点，实现网络对算力、存储等多维度资源和服务的感知，需要研究新型算力路由控制和转发技术，如基于IPv6+的算力状态通告、算力需求感知和算力路由转发等；最后，网络不仅要感知算力，还要能够灵活匹配不同物联网终端的场景，根据华为预测，2030年全球IPv6的渗透率要超过90%，以满足万物互联的需求，需要研究层次化IPv6地址架构和超大规模的高速寻址和转发的创新技术，既满足轻量级协议需求，又能兼容传统IP网络，实现从数据到计算的全球可达。

通信感知融合：通信技术外延的全新领域

在1G至5G时代，通信和感知是独立存在的，例如4G通信系统只负责通信，雷达系统只负责测速、感应成像等功能。这样分离化设计存在

无线频谱与硬件资源的浪费，功能相互独立也会带来信息处理时延较长的问题。

进入5.5G/6G时代，通信频谱将迈向毫米波、太赫兹、可见光，未来通信的频谱会与传统的感知频谱重合，通信感知融合可以方便实现通信与感知资源的联合调度，从技术角度又可分为三类。

无线感知：5.5G新推出的三大场景之一就是融合通信感知（HCS），主要应用在车联网、无人机的自动驾驶场景，R16定义的定位能力在商用场景能达到米级精度，未来演进的目标是将定位精度提高到厘米级。同时随着无线向毫米波、太赫兹高频方向演进，未来通信感知融合也可以应用在智慧城市、气象预报、环境监测、医疗成像等场景。

无线通信感知技术还在起步阶段，未来业界需要加强基础理论研究，如通信感知折中优化理论；当前对0.3THZ以上频段的信道建模还处于空白状态，需要加强研究太赫兹远/近场传播模型，空间目标反射、散射、绕射模型，空间稀疏感知模型等；加强对高性能、低功耗射频芯片和器件的研究；加强对超大规模太赫兹阵列天线结构的研究；加强对高效分布协同感知算法的研究，如主动雷达照射、环境电磁调控、多点协同收发、目标成像、场景重建、信道反演等。

WiFi感知：802.11bf定义了WiFi的感知标准，可应用在室内、室外、车内、仓库、货场等场景，提供高精度定位、姿态/手势识别、呼吸检测、情绪识别、周界安防等功能。未来WiFi感知需要加强物理层技术研究，设计新的信号、波形、序列；需要加强MAC层技术研究，如CSI/SNR感知模式下，测量结果反馈与感知精度的折中；单/双/多站雷达模式下，节点间同步与协调；多协议（802.11az、802.11be、

802.11ay）的协作感知机制等。

光感知：光感知可以分为光纤传感和激光雷达感知。光纤传感主要应用在能源、电力、政府、交通等行业，感知温度、震动、应力的变化，提供火灾监控预警，设备/管线故障诊断，环境和设施受力监控等。激光雷达感知可应用于家庭和车场景，提供环境空间感知、高精度定位、姿态手势识别等功能。目前光纤传感在复杂的环境下经常出现较高的误报率，未来需要研究如何通过AI和大数据分析降低误报率。激光感知需要加强三维全景建模算法技术的研究，基于激光雷达感知数据，进行多雷达坐标系配准。

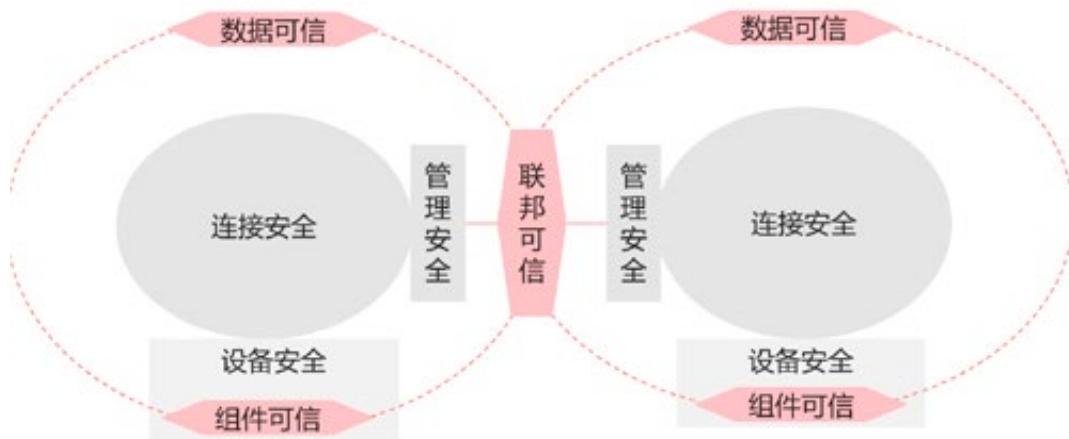
根据华为预测，2030年全球万兆企业WiFi渗透率将达到40%，F5G大中型企业的渗透率将达到42%，5G行业专网在大中型企业的渗透率将达到35%，通信网络在为企业提供宽带服务之外，还可以利用通信感知融合能力采集静态信息（空间环境、通信盲区、障碍物）和动态信息（人、车、物的位置、运动轨迹、姿态、手势等），进行数据建模，并基于数字孪生进行仿真、识别及预测变化，为千行百业赋能。通信感知融合是通信技术外延的全新领域，未来发展空间很大。

安全可信：6级安全可信框架筑网络安全新底座

一方面安全本身正在从传统集中式防护、外挂式的架构向网络内生安全新架构演变，另一方面从消费互联到工业互联将要求网络不仅安全，而且可信。

安全可信包含组件可信（芯片/操作系统）、设备安全、连接安全、管理安全、联邦可信、数据可信六个层次。其中设备安全、连接安全和管理安全属于网络安全的范畴，组件可信、数据可信和联邦可信属于可信的范畴，二者之

图7 具备六级安全可信框架的网络



间有侧重，也有协同。安全可信是一个系统工程，涉及跨平台可信操作系统和芯片、网络内生安全、云安全大脑、多智能体跨域可信联邦、数据差分隐私处理等层次化安全可信技术。（图7 具备六级安全可信框架的网络）

组件可信：可信的数据源是安全可信的基础，组件（芯片和操作系统）层面的可信执行环境（Trusted Execution Environment）是被广泛认知且应用的方案，未来网络将在网元设备中引入芯片级的可信计算技术，在网元底层基础上构建一个可信、安全的软硬件运行环境，实现从芯片、操作系统到应用的逐级验证，确保数据的真实性。

设备和连接安全：通过对通信协议和网络设备改造，在IPv6报文头部嵌入可信标识和密码凭证，网络设备可以基于标识的验证来确认请求的真实性和合法性，防止伪造与假冒，构建细粒度的接入验证和溯源能力。

管理安全：首先，未来网络要构建云网安一体化的安全服务架构，将各类安全功能组件化和微服务化，实现集约化编排，实现安全能力的

敏捷部署；其次，由于用户规模扩大和复杂度增加，安全策略的数量呈指数级增长，传统人工模式的规划管理将无法适应，未来需要研究流量与业务特征自学习及建模技术、基于特征模型的风险预测和安全策略编排技术、安全策略冲突检测及自动优化技术等。

联邦可信：为满足未来多网多云的安全可信要求，未来网络需要以区块链技术来构建网络基础数字资源（包含联接、计算等）的可信服务体系，通过分布记账、共识机制、去中心化的秘钥分配等，保证资源所有权和映射关系的真实性，防止匿名篡改、非法劫持等安全可信问题。

数据可信：网络在用户接入和业务感知点将接触到用户数据，必须在保障用户信息安全方面增强透明化的能力。业界需要研究对用户的ID、通信数据等信息强化加密传输的技术，并通过假名化、密态计算等技术最终实现用户信息全透明。

绿色低碳

1) 极简架构：通过基础网、云网和算网的极简



架构实现网络低碳

传统网络按照专业划分，造成运营维护的条块分割，已经越来越难以适应网络自动化和智能化的发展。未来网络需要按照业务本质进行重构，构建起基础网、云网和算网三层极简网络架构。

基础网：用于实现设备端口级互联，在100%光纤到站和支持全光交叉（OXC或者ROADM）的光底座基础上，构建接入（有线/无线）、交换、核心端到端网络，提供大带宽、低时延和高可靠的宽带服务，基于All-in-One全频谱天线、全融合核心网、极简协议、极简运维实现网络的绿色低碳。

云网：用于云和端租户级互联，基于端到端切片技术，Overlay在基础网络之上提供敏捷和开放、有SLA保障的虚拟网络，通过一网多用提升网络使用率，达到网络节能的目的。

算网：用于数据与算力的业务级互联，并为数据处理提供算力路由服务和可信保障，基于分布式、开放的协议构建，通过对数据的灵活调

度，实现多级算力基础设施的合理布局、绿色集约。

三层网络之间存在依赖性，算网为了实现数据与算力之间实时、弹性的连接，需要云网提供敏捷的虚拟管道建立能力和开放的可以按需驱动的接口，算网最重要的低时延和大带宽特征也需要基础网络的支持。

2) 光电混合：光电技术融合将带来通信网络设备架构及能效的深刻变化

通信网络产业中光与无线、数通等各专业技术传统上相对独立，但随着网络向高速、高频、高能效方向的发展，传统电子技术即将遇到距离、功耗等可持续发展的瓶颈，光电技术将出现融合的趋势。

未来10年，我们可以看到，为提升电子器件的高速处理能力并降低功耗，将出现芯片出光、光电合封等新产品形态；为了提升数通设备高速端口的传输距离，将引入光的相干技术；为降低基站的重量和功耗，将出现直接出光纤的新型天线；为实现低轨卫星之间的高速数据传

输，将采用激光替代微波；为满足水下移动设备的通信需求，将采用穿透力更高的可见光替代无线电波覆盖；为实现脑电波的准确探测，将采用透过率更高的远红外光技术。

光电混合是结构性提升设备能效的发展方向，预计到2025年之前，基于光总线的光电合封芯片就会实现商用。一些学术机构也正在研究可以替代电交换网的光Cell交换技术，预计到2030年之前将出现采用光总线和光Cell交换技术的设备级光电混合产品。在更远的未来，产业还将出现采用光计算和光RAM内核与通用计算内核混合的芯片级产品。

采用网络级、设备级、芯片级的三级光电混合技术，可以持续提升通信设备的能效，实现未来网络容量增加、能耗基本不变的绿色网络目标。

总结与技术展望

2030年将出现一个“多网多云”的世界，通过由人性化的万兆家庭网络、工业化的万兆园区网络、超现实体验的万兆个人网络和全球覆盖的卫星宽带组成的“立体网络”，百亿人和千亿物将接入公有云、行业云、电信云等多云共存的智能世界。

未来通信网络的基础层，将基于网络级、设备级、芯片级光电混合不断提升网络的能效；将通过端到端虚拟切片在基础网之上构建起打通专业网络的“断点”、面向不同租户需求、提供差异化SLA能力的云网层；将通过IP网络协议创新，面向智能业务需求，提供数据与算力之间高动态的算网层；通过三层极简网络、三级光电融合实现网络的绿色低碳。

未来通信网络将面向行业智能化的确定性业务体验需求，在用户到多级计算资源之间构建起

城市内1ms、城市群10ms、骨干100ms三级时延圈，并支持大于5个9的网络可用性，构建安全、可信的网络能力，支持全行业、全要素上多云的需求。

未来通信网络将支持智能原生，通过网元状态数据与AI结合，通过算法创新，逼近理论极限，将“不确定”变为“确定性”，提升网络性能；通过网络运维数据与AI结合、大数据分析和闭环优化，全面提升网络自动化水平和全场景服务能力；通过边缘智能原生，感知千行百业多样性的业务需求，提升业务体验。

未来通信网络将支持通信感知融合，通过无线、光等多模态感知技术，采集环境数据，与数字孪生技术结合，面向行业构建全新的融合感知服务能力。

20多年前，IP技术重构了通信网络转发架构。10多年前，云技术深刻影响了网络管理控制架构。未来10年，AI技术将嵌入网络各层架构，推动网络向高等智能体进化。为支持未来网络智能化的发展，网络将在联接技术的基础上增强计算能力，未来还将采用光电混合技术实现通信网络的绿色低碳。

综上所述，立体超宽、确定性、智能原生、通信感知融合、安全可信、绿色低碳是通信网络2030架构演进的方向。



倡议

著名科幻小说家，《神经漫游者》的作家威廉·吉布森曾讲过这么一句话：“未来已来，只是尚未流行”。智能世界虚拟与现实世界融合的关键技术AR是由英国海军60年前发明的，并被用于战斗机的瞄准器；而早在上世纪80年代麻省理工学院就已经成立了媒体实验室，致力于改变人与电脑的交互方式，实现人性化的数字体验。

通信技术与计算技术同根同源，1981年IBM推出首部个人电脑之后不到5年就诞生了首台路由器设备，通信设备与计算机的主要差异是增强了光、无线和网络协议接口。

影响通信网络未来发展的3个关键技术云、AI和光，也正在重构计算产业，除了我们熟悉的云和AI技术之外，最近10年，光技术也开始深度影响计算产业的发展。业界在光计算领域目前有两个研究方向：一是利用光学器件替代电子器件，构建光电混合计算机；二是利用其并行处理能力，

构建算力增强百倍、极低功耗的光学神经网络。未来网络在设计绿色低碳架构时也可以借鉴光在计算领域应用的经验。

对于目标网络，我们现在还无法用一个准确的关键词来完全代表。如果基于网络自身的能力，从泛在千兆到立体万兆，6G/F6G可能是关键词；如果基于网络外在的表现，从面向消费互联到面向工业互联，工业互联网可能是关键词；如果基于业务实质的变化，从面向人的认知到面向机器的认知，联接海量用户数据与多级算力服务，算力网络可能是关键词；如果基于底层技术变迁，从电子技术到光子技术，全光网络可能是关键词；如果基于网络智能的提升，从L3到L5的自动驾驶，认知网络或者数字孪生网络也可能是关键词。

未来10年，通信网络既充满想象空间，也存在很多不确定性，需要全产业共同努力，共同探索这些新技术方向，共建通信网络2030！

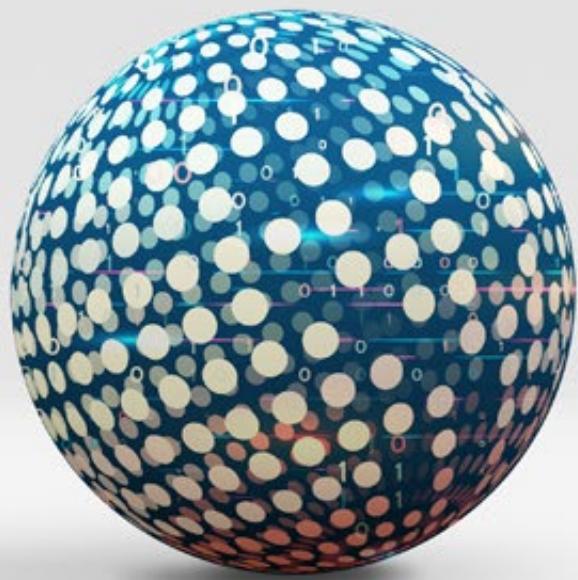
附录 A：缩略语

缩略语	英文全称	中文全称
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation of mobile communication	第五代移动通信
5G NR	5G New Radio	5G 新空口
5G SA	5G Standalone	5G 独立组网
5GtoB	5G to Business	5G 到企业
6G	6th Generation of mobile communication	第六代移动通信
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	非对称数字用户线路
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AMR	Automated Mobile Robot	自走机器人
ADN	Autonomous Driving Network	自动驾驶网络
API	Application Programming Interface	应用编程接口
AR	Augmented Reality	增强现实
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit	专用集成电路
B2B	Business to Business	企业到企业
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
CPO	Co-Packaged Optics	光电合封
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
CRUD	Create, Read, Update, Delete	增加、查询、更新和删除
CSI/SNR	Channel State Information/Signal-to-Noise Ratio	信道状态信息 / 信噪比
DCNN	Deep Convolutional Neural Network	深度卷积神经网络
DetNet	Deterministic Networking	确定性网络
DoF	Degrees of Freedom	自由度
E2E	End to End	端到端
ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划
F5G	5th Generation Fixed Network	第五代固网
F6G	6th Generation Fixed Network	第六代固网
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
FlexE	Flexible Ethernet	灵活以太

FOV	Field Of View	视场角
FPS	Frames Per Second	视频帧率
FR1/FR2	Frequency Range_1/Frequency Range_2	频率范围 1/ 频率范围 2
GPU	Graphical Processing Unit	图形处理单元
GSMA	GSM Association	GSM 协会
HCS	Harmonized Communication and Sensing	通信感知融合
IMT	International Mobile Telecommunications	国际移动通信
IoT	Internet of Things	物联网
IOWNGF	Innovative Optical and Wireless Network Global Forum	创新光和无线网络全球论坛
IPv6+	IPv6 enhanced innovation	IPv6 增强创新
ISA-95	International Society of Automation 95	国际自动化学会 95
ITU-T	International Telecommunication Union—Telecommunication Standardization Sector	国际电联电信标准化部门
LEO	Low-Earth Orbit	低轨
MAC	Media Access Control	媒体接入控制
Massive MIMO	Massive Multiple–Input Multiple–Output	大规模 MIMO
MEC	Multi-access Edge Computing	多接入边缘计算
MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
MR	Mixed Reality	混合现实
MTP	Motion-to-Photon	头动响应
NPU	Neural Processing Unit	神经处理单元
NSMF	Network Slice Management Function	网络切片管理功能
NSSMF	Network Slice Subnet Management Function	网络切片子网管理功能
ODUk	Optical channel Data Unit-k	光通道数据单元 k
ONT	Optical Network Terminal	光网络终端
PDCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚层协议
PHY	Physical Layer	物理层
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PON	Passive Optical Network	无源光网络
PPD	Pixel Per Degree	角度像素密度
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交幅度调制

QoS	Quality of Service	服务质量
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	四相相移键控
RAM	Random Access Memory	随机存取存储器
RB	Resource Block	资源块
Real-Time OS	Real-Time Operating System	实时操作系统
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	监控与数据采集
SDN	Software-Defined Network	软件定义网络
SLA	Service Level Agreement	服务水平协议
SLM	Spatial Light Modulator	空间光调制器
SRv6 Slice-ID	SRv6 Slice Identifier	SRv6 切片标识
TDM	Time Division Multiplexing	时分复用
TE	Traffic Engineering	流量工程
TOPS/W	Tera Operations Per Second/Watt	每瓦每秒万亿次运算
TPU	Tensor Processing Unit	张量处理器
TSN	Time Sensitive Networking	时延敏感网络
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication	超高可靠性超低时延通信
VLEO	Very Low-Earth Orbit	超低轨
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
VR	Virtual Reality	虚拟现实
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用
Wi-Fi 6	Wireless Fidelity 6	无线保真 6
Wi-Fi 7	Wireless Fidelity 7	无线保真 7
Wi-Fi 8	Wireless Fidelity 8	无线保真 8
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网
XR	eXtended Reality	扩展现实

计算 2030



前言

十年前，人类进入ZB^[1]数据时代，移动互联网、云计算、大数据刚刚起步；今天，这些技术已经深刻地改变人类社会，计算发挥了前所未有的作用。

2030年，人类将迎来YB^[1]数据时代，对比2020年，通用算力增长10倍、人工智能算力增长500倍^[2]。数字世界和物理世界无缝融合，人与机器实现感知、情感的双向交互；人工智能无所不及，帮助人类获得超越自我的能力，成为科学家的显微镜与望远镜，让我们的认知跨越微小的夸克到广袤的宇宙，千行万业从数字化走向智能化；计算能效将持续提升，走向低碳计算，帮助人类利用数字手段加速实现碳中和目标。

未来十年，计算将帮助人类跨入智能世界，这是一个波澜壮阔的史诗进程，将开启一个与大航海时代、工业革命时代、宇航时代等具有同样历史地位的新时代。



宏观趋势

计算经过半个世纪的发展，已经深深地融入了人类的生活和工作。未来10年，计算作为智能世界的基石，将持续推动社会经济发展和科学进步。

面向2030年，中国、欧盟、美国等均将计算作为战略方向重点布局。在中国十四五规划和2035年远景目标纲要中，将高端芯片、人工智能、量子计算、DNA存储等作为强化中国战略科技力量；在欧盟《2030数字指南针：欧洲数字十年之路》中，计划到2030年，75%的欧盟企业将充分运用云计算、大数据或人工智能，打造欧盟首台量子计算机；而美国，则再次提出“无尽前沿”，借助法案和拨款，推动美国在人工智能、高性能计算&半导体、量子计算、数据存储和数据管理技术等领域的领先性研究。

2030年，数字世界和物理世界无缝融合，人与

机器实现感知、情感的双向交互，计算具备模拟、还原、增强物理世界的能力，超现实体验将驱动计算走向边缘，云与边缘、边缘与边缘、虚拟与现实多维协同计算；人工智能将从感知走向认知，具备创造的能力，更加普惠并赋予万物智能；科学探索的边界将不断扩展，带来算力需求的快速增加，未来将出现100EFLOPS^[2]级的超级算力和智能的科学研究新范式；碳中和目标驱动计算走向绿色，未来将更好地匹配绿色能源和业务体验。

计算所依赖的半导体技术逐步接近物理极限，计算将迎来创新的黄金10年，软件、算法、架构、材料的创新和突破将开启智能、绿色、安全的计算新时代。预计2030年，全球数据年新增1YB；通用算力增长10倍到3.3ZFLOPS，人工智能算力增长500倍超过100ZFLOPS^[2]。



未来计算场景



更聪明的AI

行：AI智慧交通



智能交通领域，通过摄像头、雷达、气象传感器等采集各种数据，边缘完成车辆识别、交通事件识别、路面状况识别，生成局部路段的全息数据，并在云端形成城市级道路数字孪生，实现车道级实时路况、历史路况的全息呈现。通过云端策略计算，可以对每辆车、每条道路生成不同的交通指令，指挥车辆、调节交通信号，从而更高效、低碳的完成出行。预计2030年，全球道路上的电动汽车、面包车、重型卡车和公共汽车数量将达到1.45亿辆。每辆汽车行驶中产生的数据（一辆车平均每天行驶2小时，行驶中每秒上传的压缩数据将从现在的10KB升至1MB，10万辆车智能网联汽车每天需要传输的数据量大约为720TB）需要在汽车与城市之间频繁进行数据交换，借助智慧交通基础设施的海量数据存储和分析能力，城市通勤时间将得到大幅提升（日均通勤缩短15-30分钟），交通事故和汽车对城市碳排放量也随之大幅降低。以计算为核心，持续支撑交通的数字化升级和智慧化管理。大交通从“运力”时代进入“算力”时代是历史的必然选择，“算力”带来的交通安全、效率、体验的提升，必将释放出新的生产力，推动社会经济的发展。

行：AI无人驾驶

随着L4级的自动驾驶规模商用，数据被源源不断地送往数字孪生，AI在数字世界中不断学习训练，自动驾驶AI将变得越来越聪明，最终将在应对复杂路况、极端天气超越人类，实现更高级L5级的完全自动驾驶。智能驾驶算力需求增长会远超摩尔定律，随着边界案例（Corner Case）的不断积累，算力需求不断增长，到2030年L4+自动驾驶汽车的单车算力将达到5000T。智能驾驶将驱动将无监督学习或弱监督学习带入数据闭环中，利用车端快照获取的图片和视觉信息，实现自动化无监督的视频级AI机器学习训练。自动驾驶催生端云协同的计算需求，未来单个车厂的云端至少需要10EFLOPS以上的算力。

城：智慧城市

城市占据全球2%的面积，居住着超过全球50%以上的人口，消耗了全球2/3的能源、排放了70%的温室气体（250多亿吨二氧化碳）。城市的智慧化治理成为实现城市可持续发展的必然选择。智慧城市中的物联网传感器则持续生成城市运行的环境数据，未来，每一个物理实体都将有一个数字孪生，如城市楼宇、水资源、基础设施等将组成城市数字孪生，实现更加智能的城市管理。城市智慧治理将带来100倍的社会数据聚集，实现高效城市治理。



智慧能源基础设施借助数据的保存和分析能力将城市能源消耗中供需二者协调到一个系统中，以实时数据处理来实现城市能源的高效调度。例

如：通过城市能源的消耗数据绘制出城市实时能效地图，动态监控能源的使用情况，再针对性的进行能源调度，将居民高峰用电平均需求减少15%以上。

城市中每个居民息息相关的气象、海洋、地震等公共服务，背后也是依赖大量的数据计算处理。通过更多元、更大量的城市及自然环境数据，智慧公共服务将可以更好地预测天气、海洋和地震对城市生活的影响，从而使城市在面对极端事件时更具韧性。每个居民还可以通过这些智慧化的公共服务，结合自身地理位置等信息，以定制化的信息判断气候或突发事件对自身的影响。

数据是智慧城市高效运作的核心要素，如何对生成的海量数据进行有效管理和使用是智慧城市发展绕不开的主题。

更普惠的AI

医：AI精准医疗



在医疗领域，人工智能已经可以自动识别出微小的肺结节，与以往肉眼识别、手工标识相比可以节省医生大量的时间。未来人工智能将在更加复杂的问诊中，深入参与医生的病情推理过程，与医生“讨论病情”，为医生提供可解释的诊断依据和预期疗效分析。这将使得人工智能出方案、医生审核成为

普遍的诊疗模式。世界卫生组织估计到2030年，将出现1800万卫生工作者的短缺，人工智能将为人类应对这一挑战提供有力的帮助。

医：AI药物筛选



AI将更加透明，不再是一个黑盒，不仅会告知结论，同时也会告知如何得出结论的，让人类明白AI的思考过程，和人类建立彼此的互信。有了这样的基础，AI就可以在更广的范围内发挥更大的作用，帮助人类完成复杂的任务，比如：进行抗病毒药物筛选，AI会告诉我们选出药物的原因，而不是只给出一个药物列表（通常情况下，如果我们只是看到一个结果，将很难做出决策）。

教育：个性化教育



人类训练人工智能的过程，同时也是认识自己的过程，人工智能使得认识人类的智能、人脑的规律变

得更加重要，进而重新认识教育、改革教育^[3]。未来人工智能将改变人类自己的学习、认知的过程。如人工智能教员通过精细化地分析学生的行为、习惯、能力等，制定个性化的教学内容、计划和教学方式，学生的学习潜力将得到极大的挖掘，接纳新知识更多、更容易。

人工智能进入人类生活的方方面面，让我们更高效的思考、创作、学习，让优质稀缺的资源变得更加容易获得，将在精准医疗、创作设计、文化教育、老人护理、社区服务、自动驾驶等领域普惠每一个人。

更纵深地感知

预计到2030年，全球联接总数将达到两千亿，传感器的数量达到百万亿级，传感器持续不断地从物理世界采集数据，温度、压力、速度、光强、湿度、浓度等，为了让机器人具备“视觉、触觉、听觉、味觉、嗅觉”，需要更加多维的感知能力。数据量、时延等原因决定了产生感知的计算在边缘完成，边缘将具备智能的数据处理能力，例如模仿人类似乎工作的模拟信息处理技术等。未来，大量感知计算将在边缘完成，处理大约80%的数据。

感知智能让海量数据的采集、分析成为可能，让更多的行业获得感知自我的能力，并通过云端的数字孪生与物理世界形成协同，驱动行业的数字化创新。

食：智慧农业



未来将建立和完善天空地一体化的智能农业信息遥感监测网络、互联网、物联网、大数据、云计算。

人工智能等现代信息技术与农业深度融合，具备农业信息感知、定量决策、智能控制、精准投入、个性化服务的全新农业生产方式将逐步实现。智慧大田、智慧大棚、智慧养殖、智慧种植、喷药无人机等对边缘AI计算有广泛的需求。农业智能传感与控制系统、智能化农业装备和农机田间作业自主系统将加快发展农业电子商务、食品溯源防伪、农业休闲旅游、农业信息服务水平，农业将迎来全方位全过程的数字化、网络化、智能化改造。

企业：智能控制设备



人工智能技术将在生产系统中高度普及，融入企业作业各个环节，这将带来工厂作业模式、人员配置、部门区域协同等一系列的升级。未来10年，人工智能技术将给关键生产环节带来大幅的质量提升与成本收益。AI可以帮助制造企业实现控制层智慧化运营管理、贯通层海量数据分析挖掘以及感知层更低时延诊断预警。中国制造2025提出，制造业重点领域全面实现智能化，试点示范项目运营成本将降低50%，产品生产周期缩短50%，不良品率降低50%。比如，工厂的轴承故障诊断、钢炉热异常检测、电力设备的检修等深度学习场景，制造工厂可以通过AI技术进行更低时延的诊断预警，提高生产检测效率，缩短订单交付周期。

企业：生产机器人

未来，从操作机械到指挥机器，人类告别恶劣极端的工作环境。人工智能将参与企业更多的非操作性任

务，人与机器形成无缝的协作关系。从产品设计、生产、销售，到企业架构、员工的雇用和培训等各个环节，人工智能将驱动企业业务进行彻底的重塑。如企业采用人工智能对经济发展、社会热点事件等进行分析，判断行业外部及企业的发展趋势，或者根据分析结果优化生产计划、形成方案，为产品概念的开发提供决策建议；特别是在满足个性化需求的柔性生产中，人工智能的创造能力不仅能够按照定制要求设计，更能综合需求变化和产品使用数据生成新的产品设计。预计到2030年，每万名制造业员工将与390个机器人共同工作，机器准确理解人的指令、准确感知环境、做出决策建议与行动。



今天，无人值守的黑灯工厂已开始规模部署，人工智能驱动机器人忙碌于生产线和物流系统，在重复性高的场景中，机器让人类告别重复枯燥的工作。未来，机器将帮助人类处理非确定场景下危险、恶劣工作，人将从现场操作转变为远程指挥，在更加舒适的环境中工作，远离危险。

如在采矿业，中国提出了煤矿智能化发展的目标，到2025年大型煤矿和灾害严重煤矿基本实现智能化决策和自动化协同运行，并下重点岗位机器人作业，实现井下少人到井下无人，2035年建成智能感知、智能决策、自动执行的煤矿智能化体系。^[4]

从操作性工作到创造性工作，企业智能化重塑。未来人工智能深度参与人类的思考，与人形成互动，并呈现出推理的过程，成为可信任的智能，将在金

融、医疗、司法等需要高质量决策的复杂场景中发挥巨大作用。未来10年，通过对物理世界的不断学习，人工智能将更加聪明，从确定性场景到非确定性场景，在越来越多的任务领域中增强人类，帮助人类获得超越自我的能力。

超越现实的体验

住：智慧交互

今天，人工智能已经在帮助人类完成一些过去难以完成的任务。例如，通过手机摄像头可以识别出我们所不认识的植物，并能获取它的生活习性、栽培方法；机器人帮助增强人类的行动力，如外骨骼机器人辅助病人进行康复；家用机器人则能帮助老人陪伴、家务劳动等智能化工作。预计2030年，家用智能机器人使用率将超过18%。

人工智能参与人类的思考和创造过程，需要结果具备可解释性，并符合人类思考问题的逻辑，具备与人类使用自然语言无缝交流的能力，未来人工智能将实现从感知到认知、从弱人工智能到强人工智能的跨越。



当前人工智能在写诗、作画上进行了初级尝试，未来人工智能将完成更加复杂的创造性工作，如电影制作、艺术创作和工业设计等。人工智能能够提供高度定制化的内容服务，人们可以随时获得一幅定制的画作，一部定制的电影。比如在互动电影的观看过程中，观众可以在观影中通过不同的选择来影

响剧情走向，人工智能将完成每一条故事线的演绎和视频生成，因此相同的电影将产生不同的结局，整体内容也更加丰富。未来这种人类提出主题、人工智能实现细节的创作方式将极大地提升人类的创造力、丰富人们的生活。

住：AR/VR

数据将构建出众多的数字空间，旅游景点、全息会议、虚拟展会……这些数字空间与物理世界共同组成了一个虚实融合的世界。在虚拟旅行中游览“真实的”山川、流水；与千里之外的朋友促膝交谈；对话先哲，与王阳明一起悟道，与普鲁塔克探讨特修斯之舟；人与人、人与社会、人与自然、人与机器的交流方式将发生革命性的改变，未来人类的生活、工作和学习方式将重新定义。预计2030年，超过30%的企业在数字世界中运营与创新，各种虚实结合的AR（Augmented Reality，增强现实）/VR（Virtual Reality，虚拟现实）用户数达到10亿。

住：虚拟世界/元宇宙



数字世界与物理世界的无缝融合，能够准确感知和还原物理世界，在虚实结合的世界中理解用户的意图，体验将驱动计算走向边缘，云与设备、设备与设备、虚拟与现实多维协同计算。云端将实现物理世界的建模、镜像，经过

计算、加入虚拟的元素，形成一个数字的世界；边缘设备将具备听觉、视觉、触觉、嗅觉和味觉能力，人与设备之间实现实时交互；多维协同的计算将用户所处的环境整体变成一台超级计算机，计算环境信息、识别用户意图，并通过全息、AR/VR、数字嗅觉和数字触觉等技术进行用户呈现。

更精确地探索未知

今天，“高性能计算+物理模型”的方法已被广泛应用到众多的科学问题。未来，随着人类认知边界的不断扩展，量子力学、生命科学、地球大气、宇宙起源的研究，尺度从 10^{-21} 到 10^{28} 米，跨越微观世界到无垠宇宙，科学家需要处理的数据与计算量将爆炸性增长，数字世界算力的规模决定了物理世界探索的广度和深度。例如，2012年欧洲核子研究组织（CERN）大型强子对撞机（LHC）实验项目，全球超级计算机组成算力池，帮助科学家从近100PB数据中证明希格斯玻色子的存在；2027年底CERN将投入使用高光度大型强子对撞机(HL-LHC)，每秒发生约10亿次粒子碰撞，数据计算量将增加50-100倍^[5]，存储需求达到ZB级。2030年，计算将在更多的领域帮助科学家解决基础性问题。

自然：生态监测

未来人类将环境保护作为重点，将新型科学技术与设备结合人工智能，可有效解决环境恶化带来的温室效应，土壤沙化和盐碱化等各种环境问题的挑战。以大数据为基础，利用模型，可以较好地预测出不同管理措施下的结果，并不断反馈给算法模型，得出更好的治理模式。如精确定位污染源，预测污染扩散等。

自然：气象

未来天气预报不断发展为更加复杂的动力数值模式，以求更准确和提前预报天气。如气象

雷达质量控制、卫星数据反演及同化等气象数据处理；短时临近预报、概率预报、台风海洋天气预报、极端或灾害性天气预警、风暴环境特征分类、环境预报等天气气候分析；以局部短时天气预报为例，短时强降雨具有极大的破坏性，但受限于海量数据和巨大算力需求，很难实现准确预测。天气预报从当前的10公里的精度，提升到公里、次公里，数据规模和算力需求提升100~1000倍。预计2030年随着100EFLOPS级超级计算机的出现，更高精度气候模拟和天气预报将成为可能，人类能够更加从容的应对极端天气。

自然：地震预测/海洋预测

未来应用人工智能监测地震、实时估算地震震源等将极大提高预报的准确性。从地震记录推算地震震源机制是个计算耗时的过程，自1938年地震学家第一次开始推算地震断层面解，震源机制参数一直是个难题。采用人工智能方法有效地解决了这个复杂计算问题，应用地震大数据训练人工智能神经网络，可完善预报系统的准确性和可靠性，实现地震预报领域的突破。

自然：宇宙结构探测



宇宙大规模结构是重要的科学前沿领域，研究宇宙结构形成和时间演化，从而揭示宇宙的物质组成以及宇宙演化过程、暗物质、暗能量等宇宙学问题。传统的办法是根据物理理论，使

用超级计算机计算宇宙中各种大规模结构的演化，将其与观测数据进行对比，但是这需要对数十万到百万个宇宙论模型进行精确的计算，目前可观测的宇宙有2万亿个星系，万亿亿个星球，即使全球所有计算资源一起也难以完成。

更准确地模拟现实

企业：生产仿真100倍精度/风洞仿真

计算机风洞仿真已经成为飞机、高铁和汽车等高速运动产品的重要测试手段。但由于整机仿真计算量巨大，为了得到高精度的仿真结果，需要将测试系统分解成滑行轮胎、发动机等多个子系统，甚至发动机也要拆解成更小的系统，这对验证整机设计是否满足要求带来新的挑战。未来计算能力将提升2~3个数量级，风洞仿真有望实现更大级别子系统，甚至整机的高精度仿真测试。



医：AI新药探索

2013年诺贝尔化学奖授予了在开发多尺度复杂化学系统模型中做出突出贡献的科学家，评选委员会在声明中阐述道：对于化学家来说，计算机是与试管同等重要的工具，计算机对真实生命的模拟已成为当今化学领域中大部分新研究成果成功的关键因素。



组合量子力学/分子力学方法(QM/MM^[6])建模是当前研究酶催化机理最可靠的计算模拟方法之一，核心区域采用高精度QM模型、外围采用低精度MM模型，兼顾量子力学的精确性和分子力学的高效性。用该模型模拟0.2微米生殖支原体细胞2小时的生长繁殖过程，超级计算机Summit^[7]需要耗费10亿年。对于更复杂的人脑思维、记忆和行为研究，如模拟人脑在特定刺激下的反应，每一小时模拟Summit需要计算10²⁴年^[8]。

图灵奖得主吉姆·格雷(Jim Gray)将科学研究分为四类范式，即实验、理论、计算机仿真和数据密集型科学发现。今天，在生物、材料、化学、宇宙等演化复杂度极高的研究方向上，传统的计算方法面临变量数量、自由度增多带来的“维度灾难”挑战，算力需求呈指数级增长。

人工智能将为解决“维度灾难”开辟新的解决办法，为科学研究打开新的探索之道。例如，采用传统方法分析单个蛋白质的折叠结构，需要耗费科学家数年时间；通过人工智能学习已知的1.8万种蛋白质折叠结构，可以在几天内获得对未知蛋白折叠的原子精度模拟结果。这一成果使得癌症、老年痴呆等细胞内蛋白质结构变化引起的世纪难题的预防、治疗成为可能。2020年戈登贝尔奖^[9]的研究工作，利用人工智能实现了1亿原子规模模拟，比过去的同类工作计算空间尺度至少增

大100倍，同时计算速度提高至少1000倍，实现了传统方法无法模拟的大尺度计算，将精确的物理建模带入了更大尺度的材料模拟中^[10]。

未来科学计算将向着数据、计算、智能融合的方向发展，催生新的科学研究范式。通过人工智能学习已有知识、分析总结理论，在线迭代结合传统建模的方法将极大的提高科学探索效率，加速人类认知的不断扩展。

数据驱动的业务创新

企业：算力挖掘数据价值

云计算和大数据已经成为行业数字化的基础，驱动以管理效率提升为目标的数字化，其特点是优化生产关系，更好的匹配生产力和客户需求，如O2O (Online to Offline, 线上到线下) 服务、电商平台等。

企业：10倍的新业务开发需求

端边云全栈Serverless化成为支撑企业数字化、智能化转型中应用现代化改造的主流技术，基于云原生计算模式的编程语言、语言runtime、应用调度、运行、运维，成为构建全栈Serverless化、现代化软件的基础，实现全面应用上云，构筑10X的性能、效率、成本优势。

更高效的运营效率

企业：精细化的资源使用

云技术的广泛运用将使企业更加便捷地使用计算资源，新的计算技术可以让企业消费资源的粒度更小、调度的时间更短，这将大量减少企业计算资源的浪费。例如，在非云化时代，处理器仅有10%的利用率，容器技术则将这一比例提升到了40%以上，未来新的资源管理技术的广泛采用将进一步减少50%以上的资源浪费。

企业：软件定义运营



IT越来越成为企业生产系统的重要组成部分。互联网企业因为采用DevOps^[11]（敏捷开发和开发运维一体化）而变得敏捷高效。2030年，工业制造等传统企业将在更加复杂的产业链上下游环境中实现由软件定义的高效企业运营。

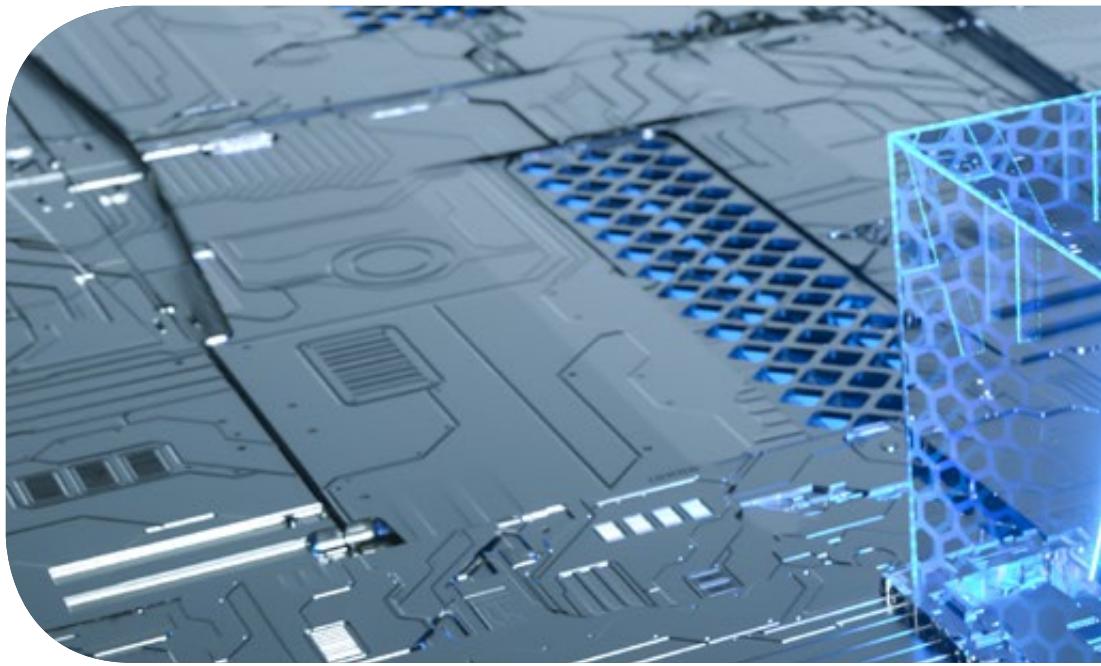
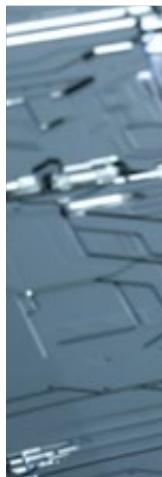
工业物联网将驱动全球的供应、制造、维护、交付和客户服务等业务流程实现广泛联接，各类公司将集体组成一个跨越全球的价值网络，企业的数字化转型将从内到外转移至整个产业链的优化与协同，对数据的依赖从企业自身的数据扩展到产业链的上下游甚至是整个社会。未来企业将通过软件处理跨组织复杂协同，通过软件快速定义业务的运营，比如，流程自动化机器人、无代码/低代码等开发技术，通过人工智能支撑的自然语言编写程序，调用机器人自动化软件的能力，申请各类服务资源，编排各种业务流程，普通员工即可完成工作流程的优化和问题的解决。

企业：低碳DC

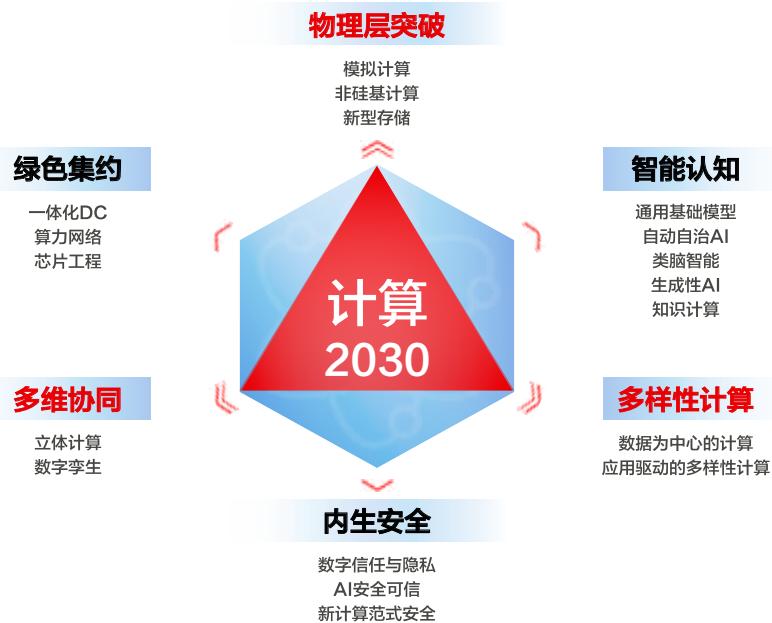
2030年，数据中心将在算力提升百倍的同时实现低碳的目标，企业将获得更加绿色的计算资源。创新计算架构的引入，计算能效将极大的提

升。例如，传统计算过程中超过60%能耗集中在数据迁移，而未来以数据为中心的计算将使得能效提升数十倍。模拟计算如量子计算、模拟光计算将逐步成为重要的算力来源，能源效率更能得到指数级的提升。

碳中和目标的驱动下，未来数据中心将受能源分布、算力需求分布的双重影响，计算架构将在更大的空间维度上发生变化，通过算力网络可以更好的匹配绿电、时延、成本的差异，实现全局最优的PUE（Power Usage Effectiveness，能源利用效率）与碳排放。可将人工智能训练、基因测序任务放到绿色能源丰富和气温较低的地区，工业控制应用、AR/VR放到靠近客户生产环境的地区。



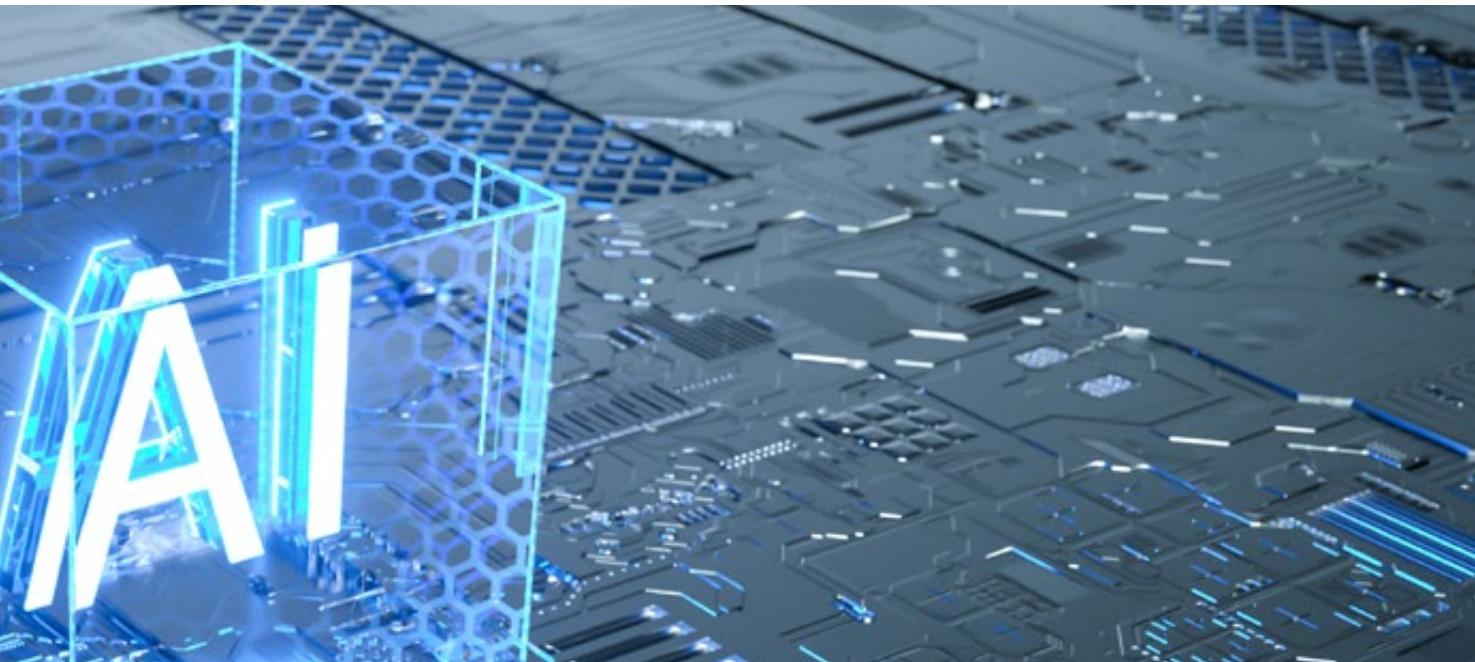
计算 2030 愿景及关键特征



智能认知

AI从感知走向认知是必然趋势，认知智能是人工智能技术发展的高级阶段，旨在赋予机器数据理解、知识表达、逻辑推理、自主学习等的能力，

使机器成为人类改造世界、提升能力的得力助手。在从感知智能到认知智能的发展过程中，语义及知识的表达和逻辑推理，是进行认知的重要手段，而多模态学习则是获得信息融合和协同的重要手段。通过构建多模态的大规模基础模型，



可以学习多种信息的融合表征，建立模态转换和协同关联，从而提高AI系统对于复杂环境的认知和理解能力，进而获得多场景多任务的AI应用能力。

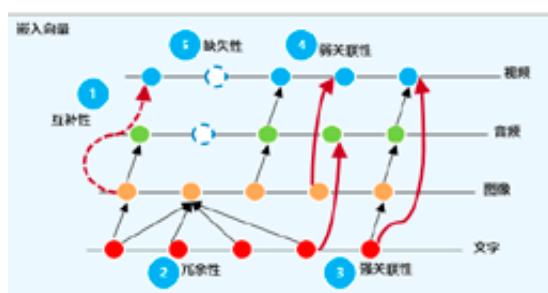
通用基础模型

AI从感知走向认知是发展趋势：人工智能从早期的计算智能，升级到现在的感知智能，并将逐步走向认知智能。机器在运算速度和存储方面具有一定的优势；感知智能方面，利用深度学习和大数据分析，机器在视觉、听觉、触觉等方面执行确定任务的能力上接近人类；认知智能使得机器具有类人的理解和推理等能力，成为人类认知世界，改造世界的有利工具。

从弱人工智能到强人工智能发展的路线上，提高机器解决问题的“泛化”能力，是重要的手段。在场景泛化、模态泛化、任务泛化等方面，通过大规模基础模型的领域通用方法，赋予AI系统解决多问题的能力。

多模态学习是构建基础模型的重要手段：多模态

首先要解决数据异构性问题，由此带来的一系列挑战包括：如何利用跨模态数据的互补性及冗余性做好表征学习；如何处理跨模态数据的强弱关联性做好表征学习后的向量关系映射；如何处理训练场景下某个或某类模态数据缺失后模型自适应的学习及迁移能力保障模型精度维持在可接受范围内；如何处理推理场景下某个或某些模态数据缺失后的模型拓扑路由提高推理增益等。从发展趋势看，多模态模型应具备跨模态自监督学习与通用知识迁移能力，可以使不同领域任务在多模态框架下实现统一。



- 高效表征学习
- 精准关系映射
- 自适应学习（训练）
- 模型拓扑路由（推理）

多模态学习将在以下关键领域实现突破：一是预训练数据标注技术，关联解译文本、音频和视频帧等；二是多流编解码技术，从单模态预训练模型到多模态关联编码，可实现多模态信息弱关联学习，解码器支持跨模态转换与生成任务；三是自监督学习技术，实现文本、语音、视觉等各模态信息的语义对齐及相互预测；四是下游任务微调技术，实现多模态语义理解、多模态生成等任务；五是多模态模型小型化技术。

自动自治AI

目前，深度学习的开发及应用并未突破主流监督学习的模式，数据清洗、数据标注，模型的设计、开发、训练和部署等都需要大量人力投入。迁移学习、小样本、零样本、自监督、弱监督、半监督、无监督及主动学习等新方法，将推动人工智最终实现“自治”，解决模型训练、迭代、设计对人工的依赖。未来AI自治使得模型更加归一，多种任务共享相同的模型结构，数据规模进一步扩大，不再需要人工干预，模型可以在线学习吸收新的数据知识，实现自身能力的迭代提升。数据规模扩大及在线学习将使模型的生产更加集约化，各行业的业务模型会汇聚成几个甚至一个超大模型。自治AI仍面临如下挑战：

1) 从依赖人工显式标注转向自监督，由训练过

程中转向执行过程中同步自反馈。

2) 目前模型学习到的表征都是自然产生的，多次训练的模型内在表征大相径庭，需要克服灾难性遗忘，在线持续学习，形成流式训练、训推一体。

3) 从人工设计多个模型匹配不同任务，到单模型学习多任务编码，在线按需切换。

类脑智能

当前的深度学习技术主要以数据驱动，严重依赖于大量的标签数据和超强算力，基于反向传播的训练算法，在模型鲁棒性、泛化能力和可解释性上都需要持续增强。类脑智能期望借鉴和模仿生物神经元的工作模式，通过构建功能更加丰富的神经元，具有事件触发、脉冲编码、时间和空间信息协同处理的能力；利用神经动力学原理，可实现短时可塑性和长期记忆，在开放环境中具备自适应调整和学习能力；借鉴生物脑的稀疏连接和递归特性，没有脉冲发放就不会产生计算，可大大减少能耗。如果能够突破相关技术，未来五到十年类脑计算可能会在很多计算任务中展现出性能和功耗方面的优势，并在智能终端、穿戴式设备、自动驾驶等领域得到应用。



由于当前对人脑学习机理的研究还不够透彻，其学习效率、运算精度相对深度学习还有差距。未来类脑智能需要从两个方向突破：一是自下而上，模拟生物脑中的脉冲神经网络，借助神经形态芯片实现一定规模神经元和突触，并在时序相关的应用中实现低功耗低时延；二是自上而下，从功能角度构建神经动力学理论和认知理论，并将其与人工智能结合，实现更鲁棒、更通用的智能。

生成性AI

生成性AI（Generative AI）技术作为最佳的自动化内容生产力要素，允许计算机抽象与输入（例如文本、音频文件或图像）有关的基础模式，使用它来生成期望的内容，可以用于身份保护、图像修复、音频合成、抗菌肽（AMP）药物研究等领域。

生成性AI与训练数据保持相似，而不是简单的复制，可将人类创意融入设计和创作过程。如结合3D游戏生成引擎，测试挑战智能体的视觉、控制、路线规划和整体游戏能力，加速智能体的训练。在生成性AI应用开发中，具有随时间动态改进、自我进化能力的生成模型是关键。

生成性AI具有如下挑战：

1) 某些生成模型（例如GAN, Generative Adversarial Network, 生成式对抗网络）不稳定且难以控制其行为，如生成图片的精确度不足，无法产生预期的输出，并很难判断原因。

2) 当前生成性AI算法仍需要大量的训练数据，不能创造全新的事物，这要依赖自我更新、自我进化的算法突破。

3) 恶意行为者可以将生成性AI用于欺诈目的，利用人工智能工具的本身漏洞进行远程攻击，导致数据泄露、模型篡改、虚假垃圾邮件等事件，对



网络信息安全形成极大威胁。

知识计算

人工智能在行业中的应用，要能够通过跨学科的领域专家知识进行综合决策，形成完善的知识抽取、知识建模、知识管理、知识应用的技术体系。未来十年知识计算将实现知识抽取从文本、结构化特征，到多模态知识对齐、抽取与融合，复杂任务知识抽取，跨领域综合知识抽取等复杂、多层次知识发展的跨越；知识建模则向垂直场景化、原子化、自动化、规模化知识图谱，进一步向垂直场景知识图谱与通用知识图谱的融合发展；知识的应用从简单的查询、预测，向因果推理、长距离推理、知识迁移等高阶认知方向发展。

知识计算的应用需要在算法上突破海量稀疏信息检索、不定长的知识引入、知识注意力（Knowledge Attention），大规模图式计算；在认知智能的训练模式上，需要突破训练推理时高频度知识检索、知识结合的训练特征提升等；在计算上，需要解决高频度的随机检索训练与推理，高速数据通路，诸如随机漫步(RandomWalk)、结构采样的图式计算等问题。

内生安全

计算云化打破了传统安全边界，传统基于信任域划分的外挂式安全防护方案已经无法应对各种新型攻击方法的挑战。安全应该具备内生的特点；1) 安全是系统的内生能力，是芯片、固件、软件必备的基本特性；2) 安全贯穿存储、计算、传输等数据处理的全过程，以抵御各环节安全攻击；3) 硬件构建安全信任根，由于系统权限分级的原因，安全功能需要基于硬件的最高特权来实现，才能在操作系统及应用上提供可靠的安全服务，并且通过硬件加速的方式来提升安全服务的性能。4) 安全开源开放，为了使安全服务能充分融入到各个业务软件中，安全服务应以开源开放的形式提供，让业务软件结合自身软件架构特点，将安全特性融入到业务中，从而保证业务安全。

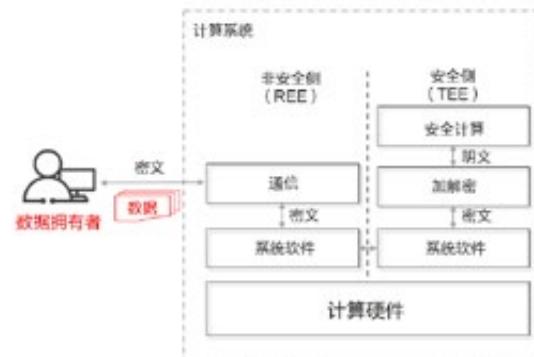
数字信任与隐私

数据处理的本质是算法施加算力于数据。如果这三个要素全部由数据所有者控制，则不涉及数字信任与隐私问题；但云计算导致要素分离，算法与算力都是由算力提供商提供，用户（数据拥有者）需要上传数据到云端处理，即使用户信任算力提供商，也无法信任算力提供商拥有特权的管理员。因此云计算场景下安全的主要挑战在于如何保护用户数据与隐私，需要重建数字信任体系。

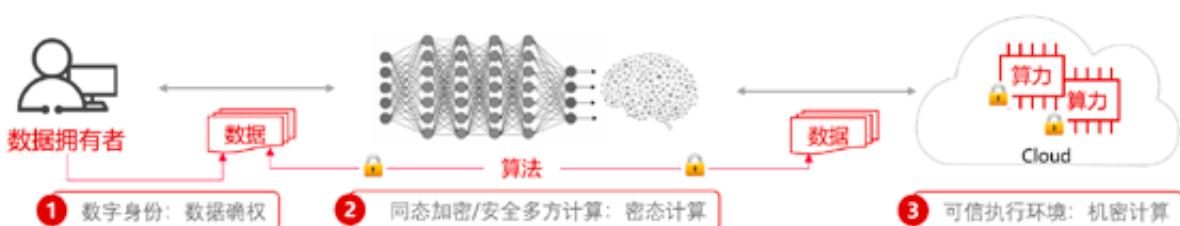
为重建数字信任体系各国政府相继出台数据保护法，为数字信任体系的建立确立了法律依据。同时，数字身份与隐私计算成为重建整个数字信任

体系的关键技术，其中数字身份是数据确权的基础，隐私计算可以在保护数据本身不对外泄露的前提下实现数据分析处理：

1) 基于TEE (Trusted Execution Environment，可信执行环境) 实现敏感数据处理的硬件隔离技术，主要挑战在于硬件安全隔离机制实现的完备性无法用数学证明，难以自证清白，存在安全漏洞风险。但和密码学技术相比，TEE对性能影响小，未来基于TEE的隐私计算将成为公有云、互联网以及企业重要业务的普遍需求，预计2030年50%以上的计算场景将使用该技术。



2.) 基于密码学的同态加密、安全多方计算技术因其安全性在数学上可证明，从而成为业界公认最理想的隐私计算技术。但主要挑战在于其性能比常规计算降低一万倍以上，需要大幅度提升才能满足应用需求。随着近似算法的成熟，同态加密、安全多方计算技术在人脸验证、健康数据分享等特定领域已获得应用。未来，突破基于硬件加速的同态加密、安全多方计算技术，将在金融、医疗等行业的





高安全应用场景获得广泛商用。

3) 多方计算的基础是多方之间共享秘密，如果通过零知识证明等密码学方法实现，性能开销非常大，利用TEE来实现多方之间的秘密共享，不但可以大幅提升多方计算性能，而且在信任TEE的基础上安全性可数学证明，未来有广泛的应用前景。

AI安全可信

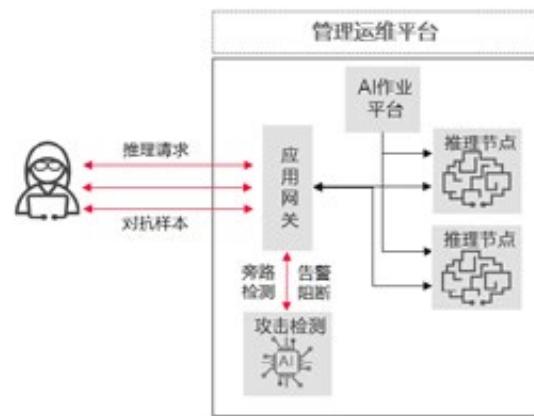
随着AI应用的普及，特别是在医疗、自动驾驶等关键领域的应用，AI面临日趋严峻的安全挑战：1) AI模型和训练数据是AI应用厂商的核心资产，如果保护不善可能被恶意逆向恢复。2) AI模型本身存在脆弱性，导致针对AI模型的闪避和药饵等攻击越来越多，在关键领域中使用的AI模型被攻击导致误判将带来严重后果。3) 因为人类对AI顾虑越来越大，AI伦理、取证成为新的安全挑战。

为应对AI日益严峻的安全挑战，AI监管合规与治理成为AI生态中各参与方的必选项，同时也需要创新的技术手段支持对多参与方的责任追溯，从而实现负责任的AI（responsible AI）：

1) AI模型与训练数据保护：AI模型与训练数据

需要通过加密、强制访问控制、安全隔离等手段保证AI模型与训练数据在收集、训练及使用阶段的全生命周期安全。核心挑战在于如何对NPU（Neural network Processing Unit，神经网络处理器）芯片的高带宽的内存数据进行实时的密态处理，并确保性能无损。未来需要突破高性能、低时延的内存加密算法，以及突破NPU片上的内存硬件加密引擎的架构设计，提供全生命周期的保护能力。

2) AI攻击检测与防护：通过增加外部对抗样本检测模型实现对数字闪避和物理闪避等AI攻击的识别，阻断攻击路径，防止AI模型受到攻击后产生误判。主要挑战在于持续的进行对抗训练以适应新的攻击类型，未来会出现针对AI攻击的独立安全产品与服务。



3) 除上述针对已知攻击手段所做的防御之外，也应增强AI模型本身的安全性，避免未知攻击造成危害。包括增强模型鲁棒性、模型可验证性以及模型可解释性。

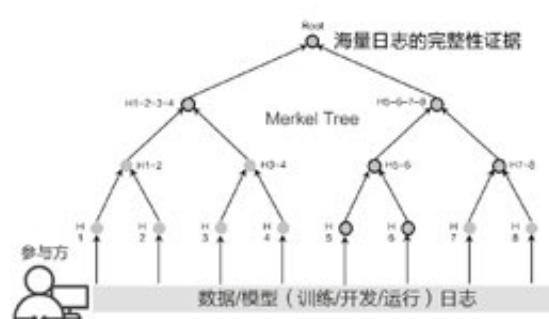
通过对抗训练，提高抗攻击能力是AI模型安全能力提升的主要技术路径；对抗样本的泛化能力，模型正则化将是需要突破的关键技术；未来对抗鲁棒性有望从当前较低的水平提升到80%。

未来针对小模型存在有效形式化验证方法，可证明模型的安全性；面对大模型的形式化验证还面临巨大的挑战。



为了防止AI带来业务法律风险或者逻辑风险，需要了解AI模型做出判断的依据。未来通过建模前的“数据可解释”，可以构建事前“可解释模型”。目前线性模型基本都具备可解释性。针对非线性模型，还将面临巨大的挑战，目前还无法做到AI模型的全局可解释，但是，对网络模型的分层可视化和局部可解释，将会是未来很长一段时间的可能实现的技术路径。

4) 为了满足AI监管要求，未来在AI模型运行过程中必须持续监控与审计，并通过区块链等技术保证审计结果可信，实现AI问题实时可追溯。



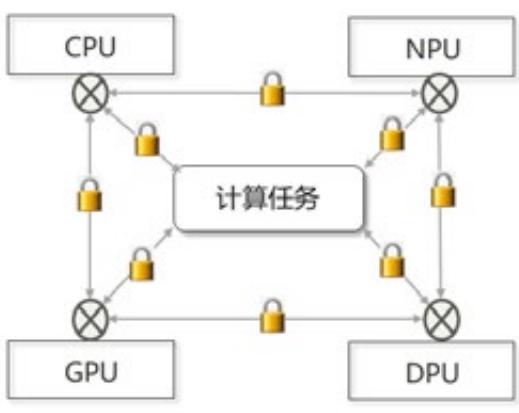
新计算范式安全

在以数据为中心计算场景下，算力下移，特别是内存计算PIM（Processing-In-Memory，内存内处理）将算力下移到内存，导致传统内存加密机制失效，无法部署基于硬件的隐私计算技术。即使在应用层加密数据、数据处理过程中，也将是明文状态，从而导致无法防止特权用户、进程窃取数据。针对这种场景唯一的选择是部署同态、多方计算等基于密码学的隐私计算技术，从而建立用户对于算力提供商的信任。

在多样性算力数据中心场景下，云化导致网络安全边界模糊，传统的基于边界的防护模式逐渐失去价值。针对这样的趋势，零信任安全架构^[12]通过强化访问策略、主动监测、加密等技术以应对环境不可信的安全挑战。零信任安全架构与多样性算力发展趋势相结合确定了未来多样性算力安全技术走向：

1) 安全与在网计算架构相结合：零信任架构打破安全边界后需要更细粒度的权限与访问控制，实现动态的身份验证和资源访问策略，软件实现将占用大量CPU资源；在网计算架构中融入正则表达式硬件加速机制，可以有效提升策略执行效率10~15倍。

2) 安全与多样性计算架构相结合：零信任架构假设网络环境不可信，无论在网络的任何位置，通信都应该加密，包括计算节点间、数据中心间。因此需要在多样性计算架构的每个xPU（x Processing Unit，泛指各种处理器）中融入加密通信的高性能硬件卸载能力，并支持后量子加密算法，以应对未来量子攻击风险。



- 访问控制点
- 加密通信

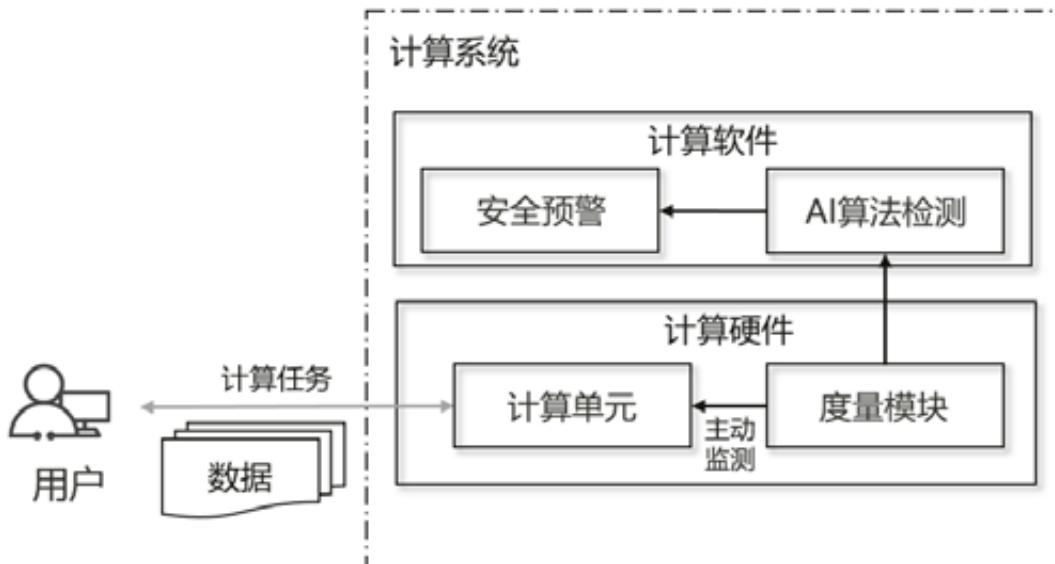
3) 安全与数据为中心的对等计算架构相结合：未来，在数据为中心的对等计算架构中，非易失性高性能的内存介质将会接入到系统的内存总线上，掉电后内存中残余的数据目前尚无加密机制，数据与隐私泄露风险将大幅度提升；在数据为中心的对等计算架构中如何实现数据安全将成为新的挑战。例如：在分布式集群系统中，面对跨数百计算节点共享的大内存，如何进行数据保护，实现内存访问的带宽性能下降逼近理论极限，<3%。

4) DC (Data Center, 数据中心) 级的动态度量和主动监测：当前的算力平台对系统中运行的计算任务通常并不感知，即使系统被攻击也无法有效区分恶意行为与正常计算。在DC场景下，如何实现计算设备对系统中的计算任务的深层感知，主动度量系统状态并监测计算任务，自适应地感知和防护潜在的恶意行为，保证算力安全、防止算力被盗用等，还面临诸多挑战。

绿色集约

全球数据中心能耗约占电力需求的1%，通用计算的总能耗每3年增长1倍，碳中和目标将驱动算力提升百倍的同时提升能源效率。在芯片上，新的封装和架构持续优化，不断提升算力密度和能源效率，芯片出光减少高频数据交换损耗。一体化数据中心利用人工智能实现供电、服务器、负荷的协同，形成更优的PUE，并不断挑战PUE极限，甚至向小于1发起挑战。通过算力网络将提供对等服务的分布部署的数据中心资源统一起来，更好匹配时延、绿电、成本等差异，达到全局最优的PUE和碳排放。

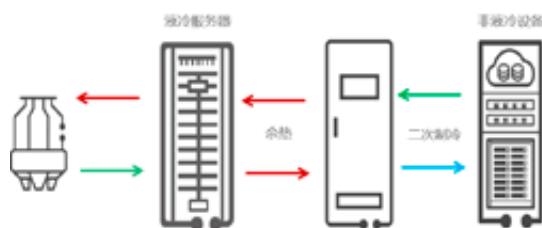
一体化DC



1) DC级全栈融合架构

随着人工智能、超算、云等计算场景的快速发展，未来将会出现百万级的数据中心。重点要解决端到端散热问题，灵活的硬件配置与资源使用效率问题，百万级的中心节点和海量的边缘设备的统一运维的问题。

一体化数据中心的能耗将超过百万瓦。需要持续优化数据中心的能效，才能满足各国的建设要求：包括去空调，去冷机，液冷技术普遍应用，围绕液冷的余热回收，如供热、二次制冷、发电等产业成为热点，新技术逐步完善并开始商用，PUE不断逼近1.0，甚至有望挑战小于1.0。随着芯片制程、封装技术的发展，AI、HPC (High-Performance Computing, 高性能计算) 等重算力芯片，芯片的热流密度超过150~200w/cm²，开始出现原生液冷芯片。AI技术普遍应用，DC级从供电、制冷、到芯片工作模式，结合业务调度和业务负载特点的全栈自动化协同优化。



数据中心供电路路径需要更短，更高效。2.5D、3D、WLC (Wafer Level Chip, 晶圆级芯片) 等新的封装技术使能的KA (Kiloampere, 千安培) 级芯片供电，需要有新工艺新器件新拓扑的创新。芯片超频大动态负载的功率波动，对服务器的供电设计带来挑战。液冷相对传统风冷在机房建设、服务器生产、交付、运维等流程和人员技能有更高的要求。冷板、液冷工质等核心部件需要在加工工艺、可靠性等方面持续提升适应海量部署要求。



芯片3D封装的普遍应用，芯片封装内部温升增加，占散热全路径温升接近50%，对散热提出了更高的要求。TIM (Thermal Interface Material, 热界面材料) 材料、冷板热阻需要降低50%，依赖材料、工艺的创新。WLC等大尺寸芯片封装，在冷板装配强度，共面度，可靠性也提出了挑战。进一步的散热解决方案是芯片封装技术和液冷技术的融合，去掉TIM层，液冷工质进芯片封装和DIE (裸片) 直接接触，带来DIE表面的强化散热处理，射流均流，长期冲刷腐蚀，封装密封等可靠性的挑战。

余热回收效率和水温强相关，而芯片散热、性能的考虑，要求水温又不能很高，如不超过65℃，低水温对余热回收系统在数据中心场景应用提出了更高的要求。余热二次制冷有望在2025年内规模应用，而余热发电当前效率小于5%，规模应用依赖关键技术的突破，如高ZT值新型发电材料等。同时余热回收需要稳定的热源，而液冷回水温度和芯片负载相关，需要结合业务调度，负载控制，液冷流量控制为余热回收系统提供稳定水温的热源。

DC级全栈的能效优化，需要DC内冷塔、水泵、CDU (Coolant Distribution Unit, 冷液分配装置) 、UPS (Uninterruptible Power Supply, 不间断电源) 、电表、服务器等需要开放状态监控和集中控制的接口，制定相应的接口规范。

灵活可变的硬件配置：业务种类多样化，处理器平台多样化，未来云计算/100E级超算数据中心IT资源的规模和复杂度都将大幅增加；从服务器为粒度的交付演变到以资源部件为粒度的交付方



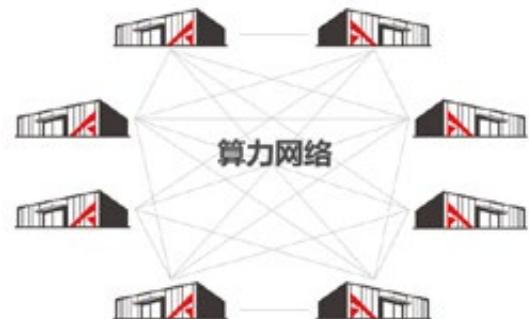
式，资源有效使用率从当前30%提升到70%；为了配合自动化运维和部件化供应，需要对硬件形态和软硬件接口制定规范。

自动智能的设备运维：中心机房百万级服务器规模，自动化可以数量级提升交付/运维的效率和准确度；庞大数量的边缘节点，集成自动化大幅降低人力和运营成本，提升故障处理能力；基于AI与大数据的复杂系统优化决策，自学习+自动化高效动态调整软硬件资源的配置和部署，提升IT资源和能源效率；疫情等突发事件都要求未来机房具备非接触式的交付和运维；随着工业4.0和AI的发展，自动化技术在加速成熟；智能无人的自适应数据中心（Adaptive DC）将开始逐步推广，实现DC与业务的无人、动态匹配。

算力网络

1) 跨地域的超级分布式数据中心

算力网络的核心思想是通过新型网络技术将地理分布的算力中心节点连接起来，动态实时感知算力资源状态，进而统筹分配和调度计算任务，传输数据，构成全局范围内感知、分配、调度算力的网络，在此基础上汇聚和共享算力、数据、应用资源。



算力中心呈现多层次，多管理域的布局。不同的算力中心间存在巨大的差异性，从资源的角度看，部署的应用类型、保存的数据集、算力的体系结构可能不同；从管理的角度看，管理策略、计费标准、碳排放标准可能不同。因此，算力网络的建设须面对不同算力中心间的高效协同，算力、数据、应用可信交易与管理机制设计，缺乏一体化标准等挑战，最终构建成为开放的、高资源利用率、高能效的计算基础设施。

2) 融合应用形成数字连续体

人工智能模型规模的不断提升，数据规模的激增以及科学计算对模拟精度与时效性需求的不断提升，一方面带来算力需求的激增，另一方面也在推动应用的变革。未来的分布式应用，将融合实时与非实时数据处理，模型的训练与推理、仿真与建模、物联网、信息物理系统等一起形成了

“数字连续体”，解决的单算力中心无法解决的问题，例如：结合了神经网络与实时数据的数字气象模型，可以提供高频率、高分辨率的短临天气预报，为国民生产生活提供保障；分布式的大模型利用多个算力中心的资源加速模型的训练过程。新应用程序的出现，将促进算力中心之间，以及算力中心与边缘计算的连接；算力中心将不再是独立的系统，而是形成相互联结的算力网络，多个组织的用户在多个算力中心共享算力和数据，完成复杂应用对计算和数据处理的需求。

3) 跨域算力中心协同调度

地理分布的多个算力中心将联结在一起，为新型分布式融合应用提供支撑。超大模型的训练可能需要协同多个算力中心的资源完成，复杂的融合应用可能利用不同算力中心的多种算力与数据集协同完成。应用的差异性、算力中心资源的异构性以及不同管理域的管理策略将给调度系统带来的新的挑战。调度系统需要感知应用所需算力与存储资源，感知应用所需数据的所在位置以减少数据移动开销，感知应用的通信模式以减少通信开销；调度系统还需要实时地感知不同算力中心资源的可用性与异构性，算力中心间的网络状态；此外，由于不同算力中心的资源定价、碳排放等标准的差异，调度系统还需要在性价比与能效比的约束下作出最优决策。需要调度系统具备全局的资源的发现能力、感知应用特征、感知算力中心的软硬件异构性，具备感知局部管理策略的能力，从全局视角，获得计算效率、数据移动效率与能耗效率的最优。

芯片工程

1) 2.5D Chiplet芯片封装集成技术持续提升芯片算力和产品竞争力

传统芯片受wafer（硅片）曝光尺寸限制（1 Reticle: 25mm*32mm），芯片Die的尺寸及Die良率提升受到严重技术瓶颈，直接制约芯片整体

性能提升及芯片成本降低。

2.5D Silicon/FO Interposer+Chiplet技术可以有效提升Die良率、降低芯片成本，堆叠集成实现更大规模芯片性能，且对于不同产品规格应用更加灵活。同时2.5D封装性对于传统封装板级互连方案单bit能耗降低至约1/2。

基于行业发展与超大规模芯片需求，预计2025年2.5D silicon/FO interposer 尺寸将超过4xReticle，未来封装substrate（基板）预计会超过110mm*110mm。更大尺寸的2.5D与substrate应用直接面临良率、交期、可靠性等一些列工程难题，融合创新基板架构需求迫切。

2) 3D芯片技术在芯片性能方面的综合表现远高于传统架构，预计提升数十倍

与传统2D/2.5D先进封装及异质集成芯片技术相比，3D芯片技术在互连密度及带宽、芯片尺寸、功耗性能、芯片综合性能方面优势显著，是解决未来高性能计算、AI等关键场景芯片与系统集成的核心技术。

3D芯片技术未来会从D2W（Die-to-Wafer，芯片到晶圆）->W2W（Wafer to Wafer，晶圆片对晶圆片），uBump->Hybrid Bonding->Monolithic 3D技术逐渐演进，应用场景将会广泛覆盖3D Memory on Logic、Logic on Logic及Optical on logic等，并且未来会逐步走向更多层异质堆叠。

3D芯片在堆叠工艺方面需要采用小于10 μ m甚至更小pitch超高密Bonding技术，3D芯片相对于传统2.5D封装在带宽及功耗性能优势显著，单bit功耗降低有望降低至1/10。更小尺寸TSV（Through Silicon Via，硅通孔）技术需要从材料、工艺基础技术深入持续探索；同时3D堆叠带来局部功耗密度和电流密度倍增，直接影响系统整体供电与散热路径。



3) 芯片出光，实现T级高带宽端口

高算力芯片(如xPU、Switch、FPGA等)的IO带宽越来越高，预计2030年，端口速率将达T级以上。随着单路速度提升，100/200G Gbps以上的高速串行通信带来功耗、串扰和散热挑战，传统光电转换接口将无法满足算力增长需要，芯片出光相比传统方案端到端能效有望降低至1/3。光电转换芯片和主芯片共封装(Co-packaged Optics)，替代可拔插光模块(Pluggable Optics)和板载光模块(On-board Optics)，芯片出光成为未来突破带宽瓶颈的关键技术。同时芯片出光面临PIC (Photonic Integrated Circuit, 光子集成电路)与EIC (Electronic Integrated Circuit, 电子集成电路) 3D封装，超大封装基板及OE (Optical Engine, 光引擎)集成，单芯片功耗密度提升等一系列工程技术挑战。

4) 大功耗芯片供电技术探索

算力需求与Chiplet技术持续推动芯片功耗提升，千瓦级芯片供电已经在望，万瓦级Wafer level芯片需要更加创新及高效的供电策略。高压单级变换、开关电容混合变换等新型供电架构配合低压氮化镓(GaN)功率器件和高频集成磁等工程技术的应用，可以进一步提升单板供电的端到端能

效和功率密度。

芯片48V高压直供是解决芯片供电瓶颈的关键技术路径。基板、封装承受高压的材料研究与工艺改进是芯片高压直供的前提，同时高效的片上电压转换技术与分核供电技术也是关键研究方向。

5) 未来芯片层面散热技术探索

随着计算芯片功耗的急速上升，散热已成为制约芯片性能提升的主要瓶颈之一，新型散热技术及材料亟待开发。通过开发高导热TIM1材料降低路径热阻，Lidless (无顶盖封装) 芯片散热、封装与芯片级先进液冷技术，有望为未来芯片提供千瓦级与万瓦级散热能力，为芯片性能的跨越式提升提供散热基础。芯片动态热管理技术与整机系统散热协同设计也是未来超大功耗芯片散热关键设计技术。

多样性计算

未来的计算，数据将在最合适的地方，以最合适的算力来处理，例如网络数据在DPU (Data Processing Unit, 数据处理单元) 上就近被处理，神经网络模型在NPU上训练；算力无处不在，硬盘、网卡、内存等外设开始逐渐具备数据

分析和处理能力。融合应用呼唤多样性计算的统一架构出现；当前各厂商工具的烟囱化，严重制约了多样性计算的发展。

数据为中心的计算

1) 对称计算架构（数据全内存处理）

冯诺依曼的经典架构，需要把数据搬到CPU进行处理，这种数据搬移消耗了大量的系统算力和能量，而且数据在处理和交换过程中，存在着大量的反复的内存格式，存储格式，传输格式的各种转换，这种格式转换消耗大量CPU时间，而且能率很低；同时受到硬件发展的制约，而数据爆发凸显了IO（Input/Output，输入输出），算力，网络等瓶颈，这些瓶颈都影响数据搬移的速度和处理效率，影响整体的系统能效。

对称计算架构通过内存池化，在数据全生命周期使用统一的内存语义进行数据处理和交换，甚至数据全在内存中进行处理。该架构可避免数据格式的转换，提高数据的移动速度，扩大应用的可使用内存，从而极大的提升整体系统数据处理能力，是未来提升计算效率的重要路径。实现该架构需要在多层次内存架构、大容量非易失性内存等关键技术上突破创新。

2) 泛在计算（外设智能化）

未来除了xPU各类算力之外，我们认为计算架构将走向泛在的近数据计算，数据在最合适的地方，以最合适的算力来计算，减少数据搬移，提高整体系统的性能。泛在近数据计算包括以下几个方向：

近内存计算，当前的瓶颈在于数据搬移的有效带宽受外部总线带宽约束，未来通过在DRAM（Dynamic Random Access Memory，即动态随机存取存储器）的控制电路上增加多并发的可编程计算单元，同时优化DRAM阵列结构提升内部

访问数据的并发度，实现DRAM内数据运算有效带宽的倍数级提升，打破内存墙造成的数据带宽瓶颈；

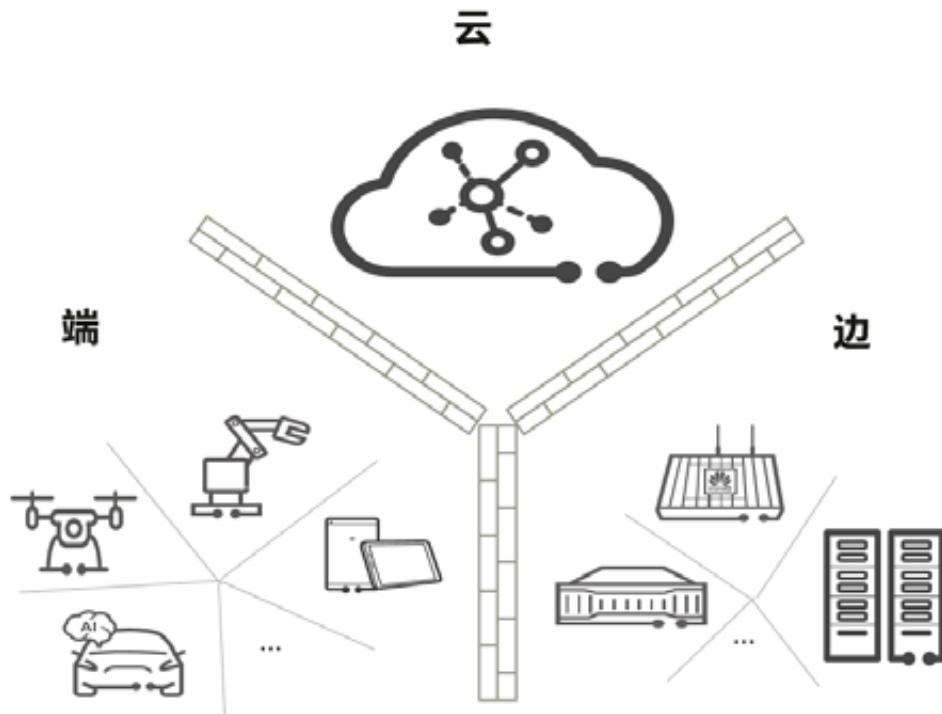
近存储计算，当前的方式是在SSD（Solid State Drive，固态硬盘）控制器上增加固化的数据加速单元（如压缩引擎）实现单一的数据处理功能，未来将演进到通过API（Application Programming Interface，应用程序接口）编程接口灵活调用SSD控制器内多种算子引擎，配合编译器实现更为灵活的算力卸载，在通用场景下大幅提升数据运算的能效比；

从基于SmartNIC（智能网卡）的在网计算演进到基于DPU的以数据为中心的计算架构，未来将实现灵活的可编程在网算力、开放的异构编程框架、业务驱动的在网计算范式。支持对存储、安全、虚拟化等的全面加速，支撑HPC+AI融合、大数据、数据库等分布式应用性能倍增。未来将进一步实现对整个DC计算资源的细粒度动态调度、高效交互。

3) 存算一体

存算一体是计算单元和存储单元紧耦合的一种方式，即存储介质既能做存储单元又能做计算单元，打破算力和存储的边界，有效改善功耗墙和内存墙，相比传统冯诺依曼架构有着预计十倍以上的能效提升。

基于SRAM（Static Random-Access Memory，静态随机存取存储器）、NOR Flash（非易失闪存）等成熟存储器实现的存算一体，将有望在2-3年内规模商用，在端侧、边缘侧的人工智能推理运算中展现出10倍能效优势。基于ReRAM（Resistive random-access memory，可变电阻式内存）、PCM（Phase Change Memory，相变存储器）、MRAM（Magnetoresistive Random-Access Memory，磁性随机存储器）等



新型非易失存储器的存算一体还在探索中，因其具有高性能、低功耗的特点，未来十年有望在数据中心侧实现突破。

存算一体大规模应用还需要在以下方向突破：

计算精度：由于器件的一致性、稳定性导致的误差，以及计算过程中存在的噪声，使得存算一体的精度相比数字计算有一定下降，需要结合电路特征优化算法，使得计算结果满足应用需求。

软件生态：存算一体是一种数据驱动的计算，需要将神经网络模型部署在合适的存储单元上，并通过数据流调度来控制整个运算过程，需要更加智能、高效、便捷的数据映射工具将不可或缺。

体系架构：当前新型非易失存储器的存算一体主要是基于向量乘矩阵的计算方式，常用于特定的机器学习应用（如神经网络推理、训练），难以扩展到其他的应用场景，且无法与现有的存储系统配合，进行数据的高效处理。未来需要突破从存储器件到编程模型，再到系统架构和应用的

“全栈协同设计”，使得存算一体架构走向通用。

4) 计算总线从板级走向DC级

随着算力和数据的成倍增长，以AI、HPC和大数据为主要业务的大型集中数据中心成为发展趋势。而连接整个数据中心的网络，相比节点内总线有巨大的时延、带宽“鸿沟”和厚重的网络软件栈开销，制约了算力的发挥。“内存语义”总线将高带宽、低时延和内存语义的轻量软件栈，从板级平滑扩展到全数据中心，实现全数据中心性能和能效比最优。

“内存语义”总线的最大挑战在于构建开放、平等、互通互操作性的总线、接口和协议标准，避免计算系统总线走向7国8制，限制计算性能发挥和规模构建。

应用驱动的多样性计算

以特定领域专用硬件、特定领域编程语言、开放式架构、原生安全架构为代表的新计算范式将会

成为下一代计算系统的主流。

1) 智能科学计算 (HPC+AI)

AI计算方法和AI算力架构持续突破，将机器学习与基于第一性原理的物理建模相结合的智能科学计算方法，正成为科学的一个新范式。未来十年，智能科学计算将深入到科学和技术创新的各个方面。如何将AI算法与科学计算高效融合，面临前所未有的挑战和机会。

在基本层面，面临新计算模式的计算框架和数学方法挑战。新的计算框架和方法，首先需要明确给定的问题是可通过AI方法被有效地解决。即，计算数学方法及框架需要满足可计算性、可学习性、可解释性。与此相应，在未来十年，软硬件基础设施也必须以数学和AI研究为基础，提供合适的实施、评估和测试体系。

在数据层面，通过AI方法加速科学、工程和制造需要大量不同的数据源。一，当前，不同领域科学问题来自仪器、模拟、传感器网络、卫星、科学文献和研究成果的数据源，在数据可获得和可共享性具备较大挑战。二、利用AI方法产生有效

的从物理原理出发和符合物理基本定律（比如对称性和守恒定律）的数据。这个挑战，需要领域科学家、AI专家、数学家、计算机科学家广泛的协同设计工作来跨越。

2) AI使能存储智能化

存储系统需要承载的业务诉求也越来越多样和复杂，既需要应对不断变化的多样化业务负载，又需要简化系统管理运维。

未来的存储系统需要基于AI实现主动管理和响应其内外部环境、持续学习、感知负载自适应响应、自动优化系统等智能化功能，获得资源分配、成本、性能、可靠性、易用性、功耗等综合收益，同时运维方式也需要基于AI从传统的人工运维向免人工智能运维逐步演进。

目前AI技术应用在存储系统的索引管理、自动调优、资源分配等方向已经取得一些进展，但仍需在以下四个方面进行突破：

负载域：从系统性能维度对IO 负载进行建模，分解出影响系统模块性能的关键指标及因素，精





确评估系统性能和模拟用户真实业务场景；

数据域：感知数据布局、感知数据生命周期和感知数据内容上下文等信息，提升数据访问性能、降低系统后台垃圾回收资源消耗和提升数据缩减率；

系统域：捕捉历史规律和模式、高效安置和调度计算任务、进行运行时优化，优化系统参数和资源配置、降低系统能耗、保证系统性能波动可控且不影响可靠性；

运行域：实现免人工运维、自动故障根因分析、系统亚健康检测自动预防与修复。

综合自顶向下的负载建模和自底向上的系统自学习技术使能存储智能化，实现具备性能自动调优、服务质量自动化控制、数据智能感知、规则与策略自学习、智能调度、低功耗控制、极简规划和配置、系统问题提前预测、故障根因自动分析的智能存储系统将成为重要的研究方向。

多维协同

多种计算、存储等设备分布在云、边、端不同的位置，将这些设备横向及纵向进行协同与协作，实现优势互补，形成立体计算。解决业务体验不好、算力分布不均、算力利用率低、信息孤岛等一系列的问题与挑战。

通过多维感知与数据建模技术，物理世界被镜像、计算、增强，形成孪生的数字世界；利用光场全息渲染、AI内容生成等技术，实现数字世界到物理世界的精确映射。结合时间与空间、虚拟与现实的多维协同，实现物理世界与数字世界的无缝融合。

立体计算

1) 边缘计算

未来是万物互联的智能世界，随着5G技术的成熟与应用，边缘计算开始在ICT行业广泛部署，预期2030年全球市场规模将从100亿美元增长到数千

亿美元，市场潜力巨大，影响边缘计算大规模应用的主要问题与挑战包括：边缘智能、边缘算力网络、边缘安全、边缘标准与开放生态等。

边缘智能：制造、电力、城市、交通、金融等垂直行业的智能化升级与改造，是边缘计算在这些行业规模应用的重要驱动因素，将带来爆发式的增长。需提供增量学习、迁移学习、硬件亲和的模型压缩、推理调度部署等AI基础能力开发套件，来解决跨行业的智能化共性问题；以及面向制造行业的复杂背景、弱对比、小样本、弱监督等应用特征提供开发套件，来解决智能制造的共性问题，其它行业依次类推。进而形成一整套功能完备的应用使能SDK（Software Development Kit，软件开发工具包）。

边缘算力网络：边缘设备因未来业务发展多样化的诉求，逐渐向小型化、移动化、低功耗的方向发展，算力、存储、带宽、时延等越来越成为瓶颈。全息及多维感知类业务对算力提出至少100倍于当前能力的要求，对存储提出100倍乃至1000倍于当前能力的要求，对网络带宽的诉求高达到10Tbit/s级别；智能制造、智慧电力、智能交通等行业基于自身的业务特点提出了毫秒级时延及确定性时延的要求。为了满足边缘加速、卸载和突破性能瓶颈的诉求，要求进行计算、存储、网络的协同与超融合，以及多样算力的有效利用，对边缘软、硬件架构带来新的挑战。

边缘安全：边缘设备在物理位置上通常离攻击者比较近，所处环境复杂，更容易遭到来自物理硬件接口、南北向业务接口、北向管理接口等的攻击。数据往往是用户的核心资产，丢失或被窃取可能使用户遭受重大损失。预计2030年将有80%的数据在边缘进行处理，需加强在边缘进行数据采集、存储、处理、传输过程中的安全与隐私保护；严格保护边缘应用、模型等核心资产的安全与隐私；避免因数据隐私保护形成数据孤岛，导致数据与AI算法在医疗、金融、工业等领域的潜

在价值无法充分发挥。

边缘标准与开放生态：面向不同行业应用的边缘设备在软硬件形态、算力、功能、接口等方面差异巨大，各厂商提供的私有软、硬件方案及接口协议，相互之间难以兼容互通，很大程度上影响了边缘计算的推广与普及。需要将边缘计算系统与软硬件框架，及相关的接口与协议标准化，并建立对应的测试验收标准，以促进边缘设备、软件与协议的兼容互通。同时面向各个行业建设开放生态，吸引更多厂商与合作伙伴的投入来共融共建。

2) 多设备协作

蚂蚁、蜜蜂等生物群体通过个体协作产生集体智能，多设备协作技术的目标正是寻求类似突破以提升多设备所形成系统解决问题的能力、整体性能、鲁棒性等。

多设备协作技术存在任务分担、结果共享、智能体等多种模式。任务分担模式是设备之间通过分担执行整个任务的子任务而相互协作；结果共享模式是设备通过共享部分结果相互协作，各设备在任何时刻进行的处理取决于当时该设备自身拥有或从其他设备收到的数据和知识；智能体模式是每个设备在独立性和自主性基础上的相互协作。

多设备协作技术面临多设备之间的合作与冲突消解、全局最优化、交互协作一致性等挑战。

合作与冲突消解：多设备协作过程中可能导致死锁或活锁，死锁使得多个设备无法进行各自的下一步工作，活锁使得多个设备不断工作却无任何进展，如何在交互过程中避免死锁或活锁，协调的机制和算法是系统的核心挑战。

全局最优化：多设备间根据局部信息的协作难

以达到协作的全局最优，采用全局视野的协作往往意味着通信量大，会给系统带来沉重的负担。如何高质量、高效率、高可靠、高安全取得全局环境的态势估计以此进行多设备的协同规划和协调，决定了多设备协作的效率与效果。

交互协作一致性：各设备通过网络通信获取其他设备信息，并以此调整自身的状态，实际系统中由于多设备间的通信连接不可靠或通信存在限制，如何解决由通信不确定性带来的协作一致性问题，决定了多设备协作系统的鲁棒性。

多设备协作技术强调多个设备之间的紧密群体协作，协作系统将从简单的合作与连接逐渐发展成独立自主的群体智能系统。

3) 端边云协同

智能制造、智慧城市、智能巡检、智能交通等AI和新兴数据密集型应用在快速发展，低时延响应、节约带宽成本、保护数据隐私安全等应用体验驱动计算向端边云协同发展，要实现一体化的计算架构，面临如下挑战。

任务协同：如何进行合理的计算任务划分将应用分割为多个子任务，并且进行子任务在端边云的部署与调度，比如子任务在端、边、云何处执行，何时执行，以及计算子任务跨云、跨集群、跨节点如何迁移均充满挑战。

智能协同：“云端训练、边缘推理”的模式正在走向端边云“合作式”的训练和推理，如何解决协同训练的精度和收敛速度问题，如何解决协同推理时延和准确率问题，如何解决端边云协同智能中存在的数据孤岛问题、小样本问题、数据异构问题、安全隐私问题、通信成本问题、端/边设备的资源受限问题等。

数据协同：数据是智能的基础，数据的接入、聚合、交互、处理面临着多样化和异构的挑战。

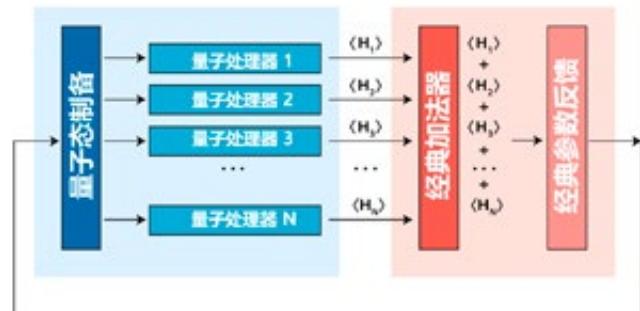
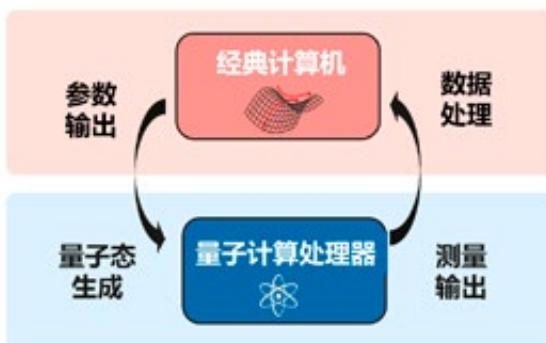
网络协同：随着端边云计算网络的规模越来越大，大量设备及子网的接入带来设备、网络、业务管理的巨大挑战，如何确保联接的实时性可靠性是必须要解决的问题。

安全可信挑战：边缘侧设备和产生的数据接入云端的安全和隐私如何保证，云端如何抵御来自边缘侧的攻击，云端下发到边缘侧的数据如何保证安全等。

数字孪生

1) 统一数字孪生平台成趋势

在智慧工厂、智慧城市、虚拟社交媒体等各行业数字化浪潮之下，缺乏一套能够创建富有个性化数字孪生系统的统一平台。该平台需重点关注三维模型的数据格式、开发工具等的统一，能够提供多样性算力及存储空间以满足大量数据建模的需要。



2) 多维感知与数字建模技术



未来的物理世界将会有个孪生的数字世界，数字世界和物理世界无缝的衔接、协同，以提升产品设计、产品制造、医学分析、工程建设等领域的效率。物理世界到数字孪生的映射过程将面临感知多维化、三维建模、光场采集数据存储等多方面的挑战。

感知多维化：物理世界里影像、视频、声音、温度、湿度、力学等各种数据经采集、存储后数据量非常庞大。更多维数据的获取、处理与融合，需要高分辨率的感知、定位、成像和环境重构能力，形成的数据量更加庞大。这些海量数据的筛选、预处理、建模、仿真等过程都依赖于强大的算力，以及人工智能、认知科学、控制科学、材料科学等多学科的深度融合。

三维建模算力需求增加100倍:根据不同角度根据不同角度的图片与视频流，以及阵列相机、深度相机等采集的海量数据进行三维建模需要强大的算力。使用100+路摄像机阵列采集的高精度数据的数据量，比传统2D图像数据量增加100倍以上，分辨率提升到8K，单路算力提高4倍，所需建模算力也增加100倍以上。管理多维海量数据，并将之转化为三维模型面临巨大挑战。同时消费市场可通过手机3D相机获取影像的深度信息，并根据深度信息在手机端完成中低精度的建模，3D相机通常是双目、结构光或者ToF (Time of Flight, 飞行时间) 相机。需要提供一套统一、高效、经济的三维建模软硬件系统，来同时

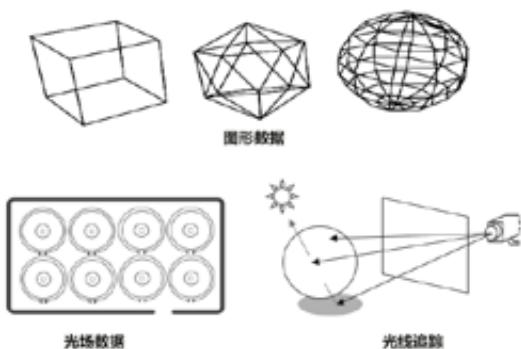
满足高阶与消费级建模的诉求，和促进各行业的数字化转型及数字孪生产业的繁荣。

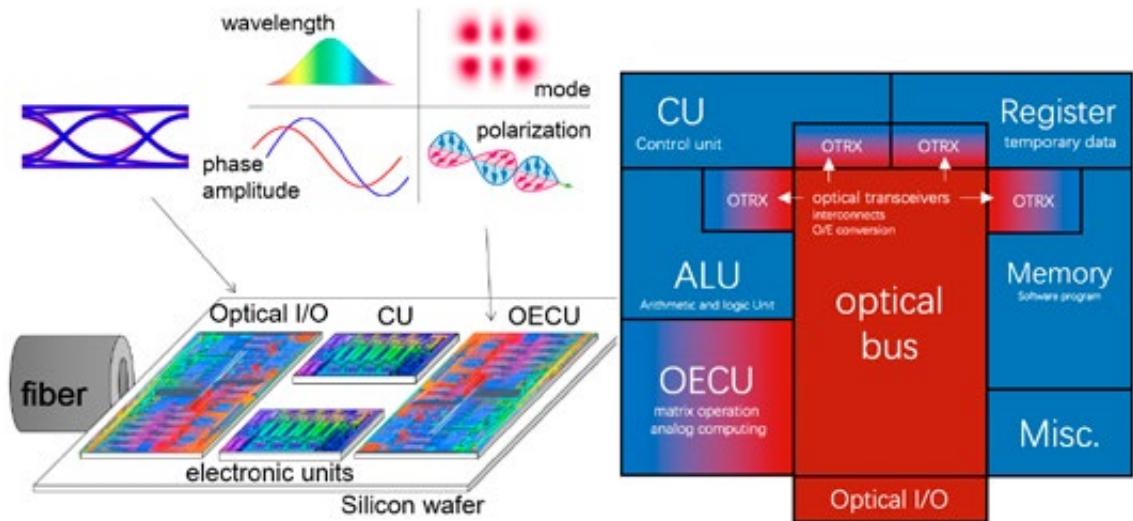
基于AI技术的数字建模材质生成：未来，基于AI影像辨识技术、智能生成算法及强大的AI算力，自动辨识图片中材质的金属性、粗糙度、反射率、折射率、表面法向量等物理特性，并协同三维模型生成现实生活中的材质。面向未来，需要建立一套统一、开放的材质描述语言，从而实现不同行业3D图形数据的交换。

光场数据增长百倍压缩技术成关键：光场相机阵列采集的图片与视频流数据增长100倍，基于光场数据合成三维视频流，以及渲染的光线着色等，数据的存储与处理都存在巨大瓶颈，光场数据的快速压缩与存储相关的技术突破将成为后续渲染与成像的关键。

3) 光场全息渲染技术

具有真实世界感官体验的数字孪生显示系统，需要在视觉、互动技术上进行突破。目前多数产品在渲染质量、逼真度、渲染时延上还不能满足要求。实时光线追踪、零时延传输是达成现实级逼真渲染效果的关键技术，直接影响用户体验。高阶渲染光线追踪相比传统渲染算力需求增加10x以上，以存代算技术可有效缓解算力需求的矛盾，同时可降低时延，但需要更大的存储空间。基于云的光场全息渲染技术将成为未来的重要技术方向。





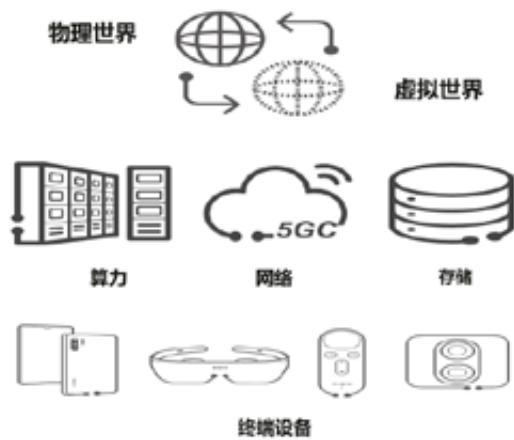
高阶渲染技术，分辨率提升64X:光场全息渲染的主流技术从光栅化渲染，逐渐向光线追踪等高阶渲染技术发展。在游戏、XR (Extended Reality, 扩展现实) 等场景，要实现逼近现实的体验，达到双目16K分辨率、120FPS帧率、8ms时延，强交互场景对时延要求标准更高达5ms，算力需求提升64倍以上，需要突破三维建模、材质生成、光线存储等关键技术。同时依赖跨端边云计算集群的渲染、AI、视频流化的融合算力，以及面向高阶渲染的内容制作软件的突破，从而实现近实时、高性能的整体渲染解决方案。

基于AI技术的内容生成: 基于AI技术实现3D模型构建、材质自动生成、超分、降噪等。基于GAN、NLP (Natural Language Processing, 自然语言处理) 与NLG (Natural Language Generation, 自然语言生成) 等AI技术，实现逼真的数字人3D成像、表情与真实的语言对话，让世界各国的人们可以完成高效的沟通和交流。AI内容生成还可应用于工业设计、XR内容创作、影视特效制作等。

4) 壹亿级用户虚实协同与交互

亿级用户在数字世界与物理世界的协同、联动和

同步，对算力、存储、网络挑战极大，大量的状态查询与消息传递，如何满足人和物两两之间交互时延小于5~10ms，单用户数百Mbps带宽、单用户数十Tflops算力，网络与端云协同，亿级用户数据实时处理与传输，将面临巨大挑战。



物理层突破

学术界、工业界都在寻求物理层突破，通过探索模拟计算、非硅基计算、新型存储器以及优化芯片工程技术，在未来继续提升计算能效和存储密度。例如：量子计算在数据表达和并行计算能力上具有指数级优势，模拟光计算在特定计算中展

现出低能耗和高性能；二维材料和碳纳米管具有载流子迁移率高、沟道短的特点，有望成为替代硅基的新材料；铁电、相变材料和器件结构取得较大突破，存储密度和读写性能大幅提升，多层次多维的光存储在冷数据长期保存上有较大潜力；未来还有DNA存储等有待突破。这些物理层关键技术的不断突破，将对计算和存储领域带来革命性改变。

模拟计算

量子计算：量子计算是未来高性能计算的必争之地

量子计算目前处于高速工程化的阶段，预计未来五年将出现超过1000比特的量子芯片。目前量子计算处于含噪声的中等尺度量子（NISQ）时代，基于精确计算的经典计算机与高性能量子计算机，构建混合计算架构是最具可行性的技术方向。其中量子化学模拟、量子组合优化算法及量子机器学习三大方向是最具商业价值的落地场景。量子化学模拟能为药物研发与新型材料研发提供新算力；量子组合优化算法把组合优化问题编码为量子计算过程，能更快更好的解决物流调度、行程规划及网络流量分配问题；量子机器学习将作为人工智能计算加速的新路线。

未来十年重点是实现基于NISQ的专用量子计算机，需要不断提升单量子芯片的物理比特规模，增强相干时间和保真度，并通过量子芯片的互联提升系统的扩展能力，获得解决复杂问题的算力；同时增强量子计算的容错设计，提升系统可靠性，结合应用场景不断优化量子算法，降低线路深度和复杂度，完善量子软件栈，逐步推动NISQ量子计算走向商用。但要实现一台通用量子计算机，道路更加漫长、更加充满挑战。

模拟光计算：模拟光计算将在部分复杂计算中展现优势

光的传播速度快、能耗低，其干涉、散射、反射等物理现象背后，都有对应的数学模型，通过对光信号的调制、控制、探测，可完成某些特定的计算任务。同时光作为玻色子天然具有波分复用、模分复用、OAM（Orbital Angular Momentum，轨道角动量）复用等特性，通过模拟光计算实现多维度并行，是未来光计算发展的重要方向，有望在卷积计算、伊辛模型求解、蓄水池计算等领域率先突破，并成为光信号处理、组合优化、序列比对、AI加速等场景的利器。

光计算要实现规模应用，首先需要解决有源器件、无源器件在芯片上的异质集成问题，提升光信号耦合效率、控制插损和噪声，满足特定应用场景的计算精度要求。另外，光计算的驱动电路也需要进一步与光芯片集成，降低功耗和面积。光计算和电计算各有优势，光电混合的计算架构是未来发展的重要方向。

非硅基计算

二维材料：二维材料有望成为延续摩尔定律的终极材料

二维材料晶体管具备沟道短、迁移率高、可2D/3D异质集成的优势，有望作为晶体管沟道材料延续摩尔定律至1nm节点。此外具有超低介电常数的二维材料，也可以用作集成电路的互连隔离材料。二维材料有望首先在光电、传感等领域应用，最终在大规模集成电路和系统中实现应用。

当前二维材料及其器件仍处于基础研究阶段，需要从材料、器件、工艺等层面突破。未来五年，首先要解决工业级二维材料晶圆制备的产业化良率问题；其次要不断改善电极和器件结构，提升二维晶体管器件综合性能；在此基础上，未来十年有望大规模集成电路产业实现应用。

碳材料晶体管：碳基电子学可能是未来最有希望

延续摩尔定律的技术

碳纳米管具有超高的载流子迁移率、原子级的厚度，具有高性能、低功耗的巨大优势。在尺寸极端缩减的情况下，碳管晶体管能效比硅基晶体管提升约10倍，3~5年内有望在生物传感、射频电路实现商用。

未来五年还要继续改进碳管材料的制备工艺，降低表面污染和杂质，提升材料纯度和碳管排列的一致性；优化器件接触电阻和界面态，提升注入效率；配套EDA（Electronic Design Automation，电子设计自动化）工具的开发；通过小规模的集成电路验证碳基半导体端到端的成熟度，有望在柔性电路领域初步得到应用。展望未来十年，当碳基半导体器件的尺寸能够微缩到与硅基先进工艺相当水平时，在高性能、高集成度的应用场景中，将迎来规模应用的机会。

新型存储

传统存储以磁介质为主，新型存储全闪存将成为主流，预计未来将有72%的企业存储基于全闪存。全闪存不仅用于主存储（primary）存储，还将延伸到辅助存储（secondary）存储，预计，企业将会有82%的业务数据存在备份需求。围绕着数据全生命周期的热温冷差异，未来介质也将向高速高性能和海量低成本两个方向演进。

1) 新型内存型介质技术

当前热数据存储在SSD中，搬到DRAM中处理，SSD时延与DRAM相差1000倍，而DRAM受物理特性的限制，密度和电压都已无法继续扩展，所以SSD和DRAM都无法完全满足热数据存储的需求。目前业界已经涌现了许多新型内存型介质技术，如PCM、MRAM、ReRAM、FeRAM（Ferroelectric Random-Access Memory，铁电式随机存取内存）等。这些介质在性能、容量、成本、寿命、能耗、可扩展性等各方面都将优于

DRAM，支持字节级访问和持久化，不需要再进行数据搬移，将成为热数据存储的主流介质，但面临如下技术挑战：

容量的挑战：到2030年，热数据总量将相当于当前SSD存储数据的总量，热数据介质的容量密度至少需要扩大十倍左右达到当前SSD的1Tb/die，还要支持按需扩展，不受处理器、内存接口、网络时延和带宽的限制。而FeRAM、ReRAM和MRAM等介质则面临着结构和材料等方面的挑战。

能耗的挑战：在“碳中和”的背景下，作为海量热数据的存储介质，面临功耗的巨大挑战。PCM、ReRAM等基于电阻的数据存储技术，数据写入电压更高，功耗更大。ReRAM和MRAM的单位bit功耗是FeRAM的10倍，而PCM更是高达100倍，FeRAM类低工作电压介质潜力更大。

2) 高密NAND Flash介质技术

未来大部分热数据需要从温数据中产生，温数据成为热数据最大的“蓄水池”，所以温数据介质需要兼顾性能、容量和低成本。NAND作为温数据的主存储介质取代HDD（Hard Disk Drive，硬盘驱动器），向Cell多值（1个存储单元存储多个bit）和3D堆叠方向演进；在保持性能和寿命与当前QLC（Quad-Level Cell，四层式存储单元）相当的前提下，实现容量扩展和成本下降是最大的挑战：

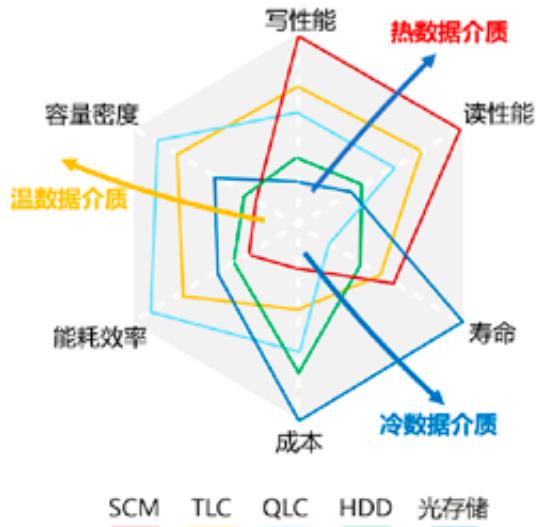
Cell多值的性能和寿命挑战：Cell每多存储一个比特，表示数据的电压级数将增加一倍，读写性能和寿命下降数倍。

3D堆叠的工艺挑战：预计2030年堆叠层数将从当前的百层量级达到千层量级，介质硅通孔宽深比将达到120比1（或提升1倍），带来巨大的加工难度。

3) 光存储技术

未来冷数据长期存储规模将从1.2ZB增至26.5ZB，同时存储寿命需要提升5~10倍。以中国国家档案馆为例，关键档案数据的存储寿命要从100年提升到500年，数据规模将从100PB增长到450PB。传统的硬盘和磁带将无法满足需求，随着对石英玻璃、有机玻璃等透明体材料读写原理及编解码算法的研究，光存储将成为海量冷数据的主流存储介质。挑战如下：

- 1、介质寿命要提升十倍，且在寿命周期内能应对各种复杂恶劣环境。
- 2、与蓝光相比，容量要达到10倍，成本下降5倍，性能提升10倍。



计算 2030 倡议

计算在过去的半个多世纪中加速了科学进步和经济发展，已经深深融入了人类社会的方方面面，是全人类的共同财富，也是未来智能世界的基石。

面向2030年，计算将更加开放和安全，每一个人、每一个组织都能够平等的参与未来计算产业的构建和创新，共享计算技术创造的价值。

让我们共同努力，开创计算新时代！

附录

参考

- [1]Zettabyte (ZB), Yottabyte (YB): 数据存储容量单位, $1\text{ZB}=10^{21}\text{Byte}$, $1\text{YB}=10^{24}\text{Byte}$
- [2]华为预测, 2030年通用算力 (FP32) 3.3ZFLOPS, 对比2020年增长10倍, AI算力 (FP16) 105ZFLOPS, 对比2020年增长 500倍; FLOPS: 每秒浮点运算次数; EFLOPS: 一个EFLOPS (exaFLOPS) 等于每秒一百亿亿 (10^{18}) 次的浮点运算; ZFLOPS: 一个ZFLOPS (zettaFLOPS) 等于每秒十万亿亿 (10^{21}) 次的浮点运算
- [3]参考中国工程院院士李德毅在首届中国智能教育大会上的讲话, 2018
- [4]中国《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》2020.03
- [5]欧洲核子研究中心CERN, <https://home.cern/science/computing>
- [6]QM/MM: 组合量子力学/分子力学方法, 在QM/MM方法中, 一部分体系使用量子力学(QM, quantum mechanics)方法进行处理(非常耗时), 另一部分体系使用基于力场的标准分子力学(MM, molecular mechanics)方法进行处理
- [7]Summit, 美国橡树岭国家实验室超级计算机, 算力148.6P FLOPS, 2021世界排名第二
- [8]Roland R. Netz, William A. Eaton, Estimating computational limits on theoretical descriptions of biological cells, PNAS 2021
- [9]戈登贝尔奖, 由国际计算机协会 (ACM) 颁发, 旨在奖励时代前沿的并行计算研究成果, 特别是高性能计算创新应用的杰出成就
- [10]Weile Jia, Han Wang, Mohan Chen, Denghui Lu, Lin Lin, Roberto Car, Weinan E, Linfeng Zhang, Pushing the limit of molecular dynamics with ab initio accuracy to 100 million atoms with machine learning, 2020
- [11]DevOps, 敏捷开发和开发运维一体化
- [12]Forrester分析师约翰•金德维格在2010年提出零信任安全架构

缩略语

缩略语	英文全称	中文全称
3D	3 Dimensions	三维
AI	Artificial Intelligence	人工智能
API	Application Programming Interface	应用程序接口
AR	Augmented Reality	增强现实
BP	Back Propagation	反向传播
CDU	Coolant Distribution Unit	冷量分配器
CERN	European Organization for Nuclear Research	欧洲核子研究组织
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
CSP	Cloud computing Service Provider	云算力提供商
D2W	Die-to-Wafer	芯片到晶圆
DC	Data Center	数据中心
DNA	Deoxyribonucleic Acid	脱氧核糖核酸
DPU	Data Processing Unit	数据处理单元
DRAM	Dynamic Random Access Memory	动态随机存取存储器
EDA	Electronic Design Automation	电子设计自动化
EFLOPS	exa Floating-Point Operations Per Second	每秒浮点运算百亿亿次
EIC	Electronic Integrated Circuit	电子集成电路
FeRAM	Ferroelectric Random-Access Memory	铁电式随机存取内存
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
GAN	Generative Adversarial Network	生成式对抗网络
HDD	Hard Disk Drive	硬式磁盘驱动器
HL-LHC	High Luminosity – Large Hadron Collider	高光度大型强子对撞机
HPC	High-Performance Computing	高性能计算
ICT	Information and Communications Technology	信息和通信技术
IO	Input/Output	输入输出
KA	Kiloampere	千安培
MM	Molecular Mechanics	分子力学
MR	Mixed Reality	混合现实
MRAM	Magnetoresistive Random-Access Memory	磁性随机存储器
NISQ	Noisy Intermediate-Scale Quantum	嘈杂中型量子

NLG	Natural Language Generation	自然语言生成
NLP	Natural Language Processing	自然语言处理
O2O	Online to Offline	线上到线下
OAM	Orbital Angular Momentum	轨道角动量
OE	Optical Engine	光引擎
PCM	Phase Change Memory	相变存储器
PB	Petabyte	拍字节, 千万亿字节
PIC	Photonic Integrated Circuit	光子集成电路
PIM	Processing-In-Memory	内存内处理
PUE	Power Usage Effectiveness	能源利用效率
QLC	Quad-Level Cell	四层式存储单元
QM	Quantum Mechanic	量子力学
REE	Rich Execution Environment	富执行环境
ReRAM	Resistive Random-Access Memory	可变电阻式内存
SDK	Software Development Kit	软件开发工具包
SRAM	Static Random-Access Memory	静态随机存取存储器
SSD	Solid State Drives	固态硬盘
TEE	Trusted Execution Environment	可信执行环境
TIM	Thermal Interface Material	热界面材料
ToF	Time of Flight	飞行时间
TSV	Through Silicon Via	硅通孔
UPS	Uninterruptible Power Supply	不间断电源
VR	Virtual Reality	虚拟现实
W2W	Wafer to Wafer	晶圆片对晶圆片
Wafer Level	Wafer Level	晶圆级
WLC	Wafer Level Chip	晶圆级芯片
xPU	x Processing Unit	泛指各种处理器
XR	Extended Reality	扩展现实
YB	Yottabyte	尧字节, 一亿亿亿字节
ZB	Zettabyte	泽字节, 十万亿亿字节
ZT	Thermoelectric Figure of Merit	热电优值

致谢

计算2030编写过程中得到了来自华为内外部多方的大力支持，300多位来自华为的专家和社会各界知名学者参与了材料的讨论、交流，贡献思想、共同畅想了2030年计算产业的发展方向和技术特征，在此对所有参与技术交流和讨论的学者们致以诚挚谢意！

（学者名单按照姓名字母排序，不分前后）

André Brinkmann (美因茨大学，教授)

Bill McColl (前英国牛津大学教授)

陈文光 (清华大学，教授)

冯丹 (华中科技大学，长江学者特聘教授)

冯晓兵 (中科院计算所，研究员)

甘霖 (清华大学，副研究员)

管海兵 (上海交通大学，长江学者特聘教授)

过敏意 (上海交通大学，教授，IEEE Fellow，欧洲科学院院士)

Jaroslaw Duda (雅盖隆大学，助理教授，ANS压缩算法发明人)

贾伟乐 (中科院计算所，副研究员)

金海 (华中科技大学，长江学者特聘教授，IEEE Fellow)

金钟 (中科院计算机网络信息中心，研究员)

缪向水 (华中科技大学，长江学者特聘教授)

Onur Mutlu (苏黎世理工大学，教授，ACM&IEEE Fellow)

潘毅 (中科院深圳理工大学，教授，美国医学与生物工程院院士，乌克兰国家工程院外籍院士，英国皇家公共卫生院院士)

舒继武 (清华大学，长江学者特聘教授，IEEE Fellow)

孙家昶 (中科院软件所，研究员)

田臣 (南京大学，副教授)

田永鸿 (北京大学，教授)

王金桥 (中科院自动化所，研究员)

吴飞 (浙江大学，教授)

谢长生 (华中科技大学，教授)

薛巍 (清华大学，副教授)

杨广文 (清华大学，教授)

郑纬民 (清华大学，教授，中国工程院院士)

数字能源 2030





以低碳可持续发展为导向的新一轮能源变革开启

控制温室气体排放，共同拯救人类家园，控制传统化石能源应用刻不容缓

十八世纪以后，煤炭、石油、电力的广泛使用，先后推动了第一、第二次工业革命，使人类社会从农耕文明迈向工业文明，能源为推动社会进步、消除贫困、改善民生提供了源源不断的动力，成为世界经济发展的最重要基石之一。

同时，人类对地球气候系统的影响显而易见，近年来人为排放的温室气体达到历史最高水平。根据联合国政府间气候变化专门委员会

(IPCC) 的统计，人类活动引起的二氧化碳变化量每年约为 237 亿吨（尤其是燃烧化石燃料，每年大约排放 200 亿吨）。其结果就是现在大气中的二氧化碳含量比过去 65 万年（平均水平）高了 27%。特别是工业革命时代开始大量燃烧煤炭，二氧化碳水平开始极速上升，有可能引发气候系统前所未有的变化，导致严重的生态和经济失调。这已促使人们讨论如何减少化石燃料的燃烧来降低温室气体的产生。

好在科学界和各国政府对气候变化问题正在形成更加明确的共识，《巴黎协定》明确了到本世纪中叶实现碳中和是全球应对气候变化的最



根本目标。世界各国正行动起来，截至2020年底，全球共有44个国家和经济体正式宣布了碳中和目标（包括已经实现目标、已写入政策文件、提出或完成立法程序的国家和地区）。从全球主要经济体的能源发展战略和实践来看，

“解绑”化石能源依赖是实现碳达峰、碳中和目标的最优途径之一。“解绑”化石能源依赖一方面要大力提高能源效率，减少化石能源消费总量；另一方面是大力发展可再生能源。各国纷纷提出针对性的能源改革发展目标和温室气体控制目标。如中国国家发展与改革委员会和国家能源局发布《能源生产和消费革命战略（2016-2030）》，明确到2030年，中国新增能源需求将主要依靠清洁能源满足。2030年，能源消费总量控制在60亿吨标煤以内，非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右；二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取尽早达峰。欧盟《2030气候与能源政策框架》提出了“到2030年将其温室气体净排放量相较于1990年水准至少减少55%，可再生能源消费目标提

高到38-40%”的目标。美国政府承诺到2030年，温室气体排放量将较2005年水平减少50%-52%，而实现这一目标，其中最重要的措施之一是要求2030年美国电网80%的电力来自无排放的能源。

世界经济可持续发展需要可持续性的能源供给，可再生能源承担重任

地球人口的膨胀和国家工业化发展，促进人类对能源的需求达到了前所未有的水平。据估计，自从19世纪50年代出现商业石油钻探以来，我们已经开采超过1350亿吨的原油，这个数字每天都在增加。目前每年世界一次能源消费约140亿吨油当量，化石能源的消费总量仍达到85%以上。这使得我们距离化石能源枯竭的日子不再遥远。根据BP统计数据，按目前的开发技术和开采强度，全球探明石油、天然气、煤炭的储量分别约为50年、53年和134年。所以发展可再生能源，走可持续发展之路才是

立根之本，联合国秘书长古特雷斯在2021年3月举行的能源高级别对话中表示，可再生能源“对于建立可持续、繁荣与和平的未来至关重要”，2021年必须成为可持续能源转型的“历史性转折点”。

联合国大会第七十届会议上通过的《2030年可持续发展议程》目标7中也设定了发展的基本目标：2030年确保人人获得负担得起、可靠和可持续的现代能源。大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例。全球能效改善率提高一倍。加强国际合作，促进获取清洁能源的研究和技术，包括可再生能源、能效，以及先进和更清洁的化石燃料技术，并促进对能源基础设施和清洁能源技术的投资，以便根据发展中国家，特别是最不发达国家、小岛屿发展中国家和内陆发展中国家各自的支持方案，为所有人提供可持续的现代能源服务。

世界各国正把发展可再生能源作为未来能源战略的重要组成部分。为了促进可再生能源发展，许多国家制定了相应的发展战略和规划，明确了可再生能源发展目标。制定了支持可再生能源发展的法规和政策。韩国近日公布了一项可再生能源长期计划，加大可再生能源电力开发。根据该计划，到2034年，韩国所有燃煤电厂都将退役，可再生能源在韩国能源结构所占比例将从目前的15.1%提高到40%。法国政府公布的“2030国家能源计划”称，将持续提高其电力供给领域中可再生能源发电占比，特别是风电占比，以实现能源转型。到2030年，法国电力供给中可再生能源发电占比将达到40%，其中风电占比预计达到20%。德国则计划将可再生能源比例从目前的18%提升至30%。智利政府2020年11月正式推出绿色氢能战略，推动能源结构转型。计划于2024年之前将燃煤发电份额降至20%，逐步提升水电、风电、光伏和生物质能发电的比例，到2030年将可再生能源占该国能源总量的比例提高至



70%，到2040年所有煤电厂彻底关停。巴西政府不断出台政策措施，为光伏等产业相关基础设施和项目提供资金、政策支持，到2035年，巴西电力产业总投资规模将超过300亿美元，其中70%将用于光伏、风电、生物质能及海洋能等可再生能源技术。

风光发电成本竞争力优势明显，成为能源革命中坚力量

可再生能源发电成本正快速下降。全球电力生产当前仍以化石燃料为主。到目前为止，煤炭供应37%的电力，其次是天然气，供应24%。化石能源之所以在能源供应中占主导地位，因为它们比所有其他能源都便宜。如果我们想过渡到以可再生能源为主的深度脱碳能源系统，最重要的是提高可在生能源相对于化石燃料的成本竞争力。近几十年，可再生能源已成为全球具有战略性的新兴产业。许多国家都将风电、光伏发电作为新一代能源技术的战略，投入大量资金支持技术研发和产业发展。得益于技术创新的驱动，风电、光伏发电成本过高的



情况已经完全改变。牛津大学学者Max Roser的跟踪研究发现，2009年，光伏大型地面电站度电成本为0.36美元。到2019年，光伏成本下降了89%，度电成本下降到0.04美元。而化石燃料尤其是煤电的上网电价成本几乎保持不变。背后的原因是，煤电发电效率最高达到47%，大幅度提高效率的空间不大，而且，化石燃料的电价不仅取决于技术，很大程度上取决于燃料本身的成本。发电厂燃烧的煤炭成本约占总成本的40%。即使建造发电厂的成本会下降，燃料成本也决定了总成本有一个下限。而光伏组件每增加一倍的累计装机容量，价格就会下降20.2%。目前光伏开始进入全面平价期，随着新的光伏组件技术和工艺的成熟，未来光伏度电成本将持续下降。

风电和光伏生产灵活性更高。长期以来，能源的开发利用主要是基于资源禀赋，风电和光伏作为新兴绿色能源技术，突破了载体的资源禀赋限制，可以在任何符合条件的地方开展生产，如分布式光伏投资门槛低，投资吸引力迅

速提升，各行业争相参与投资建设。风电和光伏发电经济性和灵活性提升促使园区、大工业、工商业等用户利用分布式发电的意愿增加，而这也正在改变全球能源开发利用模式。截至2020年底，全球风电和光伏累计装机容量超过650GW和750GW。作为风电的重要组成部分，海上风电不占用土地资源，且接近沿海用电负荷中心，就地消纳避免了远距离输电造成的资源浪费，风电场从陆地向海上发展已经成为一种新趋势。到2024年，分布式光伏将占据光伏市场总量的近一半，其中工商业分布式光伏成为主要市场。漂浮式光伏电站不占用土地，发电量相对较高，且不破坏水域环境的特性，也受到很多区域推崇，全球已经有60多个国家在大力推广水上漂浮电站，预计未来5年全球市场规模将达到60GW以上。我们预计随着风力发电成本下降以及装机量的快速增加，全球对化石燃料的需求将于5年内达峰。



电力电子技术和数字技术成为 驱动能源产业变革的核心技术

电力电子技术为能源系统变革安全 性和可控性提供保障

电力电子在电能发输配用的各个环节发挥关键价值。风电、光伏等可再生能源的用途主要是发电，构建以电能为中心，以电网为纽带，以电力电子设备为基础的能源系统是能源产业变革的方向。电力电子设备的优点在于其接口不受限、响应速度快、变换效率高，在电力的生产、传输、消费环节应用广泛。

a) 在电力生产方面，风电、光伏新能源这些不同于常规同步发电机的电源，难以直接并网输

送，只能采用电力电子变换技术换成频率可调节的交流电，且需要满足上网的质量要求，如光伏逆变器、风能变流器等通过电力电子开关调整电压波形，支持风电、光伏发电并网和提高系统发电效率。

b) 在电力传输分配方面，长距离输电形式使用智能化的大功率电力电子装备，可以显著提升线路输送水平、改善潮流分布、增强电网供电可靠性，提升电网安全防御能力，从而提高大型电网互联传输的安全可靠性，提升传输效率。

c) 配电场景中，随着大量分布式电源、微电网



和柔性负荷接入配电网，“即插即用”的接入要求越来越高，线路无功功率增大，电网高电压、谐波干扰等电能质量问题日益突出，传统配电网电能质量和供电可靠性提升空间有限，难以满足用户高电能质量用电需求。多功能电力电子变压器、直流断路器、直流开关等电力电子装备可以保障不同负荷类型的电能质量和多种电能形式的定制需求。

d) 在电力消费方面，最主要的变化是分布式电源和储能装置的接入，大量新型负荷需要直流电源以及需要主动支撑源荷互动，如数据中心、通信基站、电动汽车充电站、计算机设备、LED 照明等，高效率，高功率密度，高可靠性，低成本的转换电源和开关设备等正满足用户日益多样的个性化需求和高标准的电能质量治理需求。

新型功率半导体应用需求大幅提升。未来的能源系统以可再生能源最大限度地开发利用、能源效

率最高为目标，对能源输送和控制的安全、高效、智能等方面提出更高的要求，具体包括适应新能源电力的输送和分配的网络，与分布式电源、储能等融合互动的高效终端系统，与信息系统结合的综合服务体系等。这些都需要通过电力电子化设备进行运行、补偿、控制。目前这些设备中所使用的基本都还是硅基器件，而硅基器件的参数性能已接近其材料的物理极限，无法担负起未来大规模清洁能源生产传输和消纳吸收的重任，节能效果也接近极限。以碳化硅为代表的第三代半导体功率芯片和器件，以其高压、高频、高温、高速的优良特性，能够大幅提升各类电力电子设备的能量密度，降低成本造价，增强可靠性和适用性，提高电能转换效率，降低损耗。光伏、风电等新能源发电、直流特高压输电、新能源汽车、轨道交通、工业电源、民用家电等领域具有极大的电能高效转换需求，而新型功率半导体在则适应了这一需求趋势，未来十年是第三代功率半导体的创新加速期，渗透率将全面提升。如碳化硅的瓶颈当前主要在于衬底成本高（是硅

的4-5倍，预计未来2025年前年价格会逐渐降为硅持平），受新能源汽车、工业电源等应用的推动，碳化硅价格下降，性能和可靠性进一步提高。碳化硅产业链爆发的拐点临近，市场潜力将被充分挖掘。据Yole预计，碳化硅器件应用空间将从2020年的6亿美金快速增长到2030年的100亿美金，呈现高速增长之势。我们预计在2030年光伏逆变器的碳化硅渗透率将从目前的2%增长到70%以上，在充电基础设施、电动汽车领域渗透率也超过的80%，通信电源、服务器电源将全面推广应用。

数字技术使能能源系统智能化演进，推进能源价值最大化

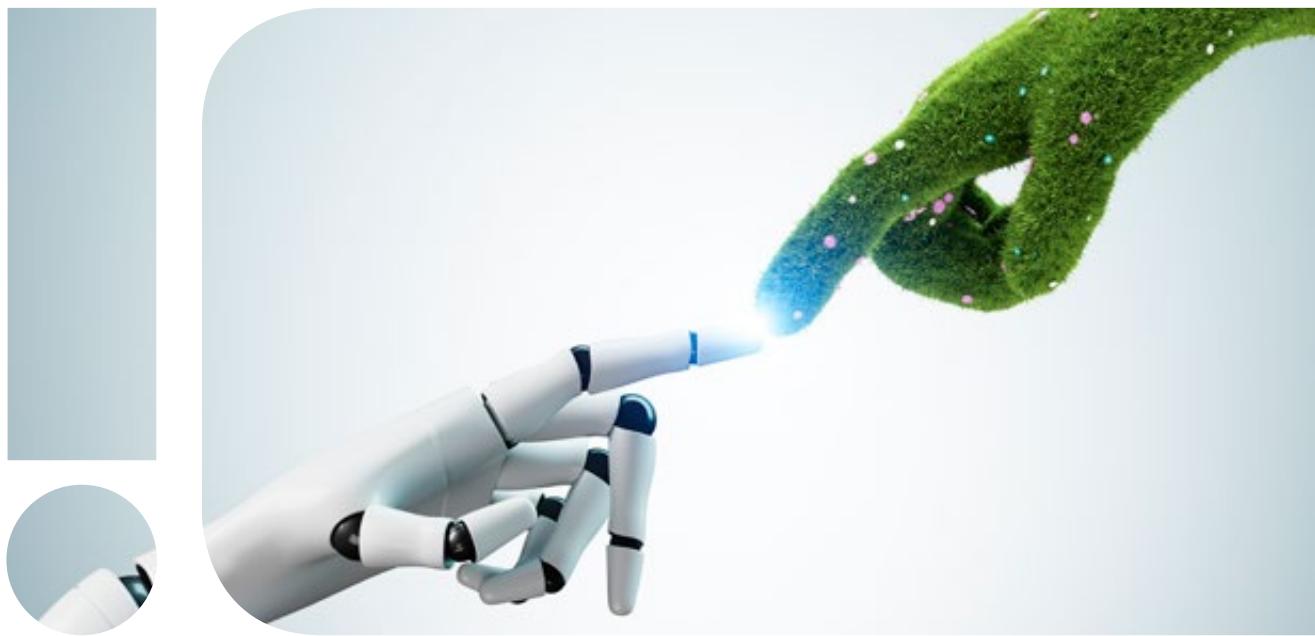
风电、光伏等新能源装机快速增长和应用灵活性推进能源系统向“分布式”时代转型，未来的能源系统是去中心化、以大量分布式能源应用为主多中心“星系”型生态系统，这些能源系统分布在成千上亿的大型电站、园区、建筑、家庭、电动汽车等场景。必须要改变传统的大工业思维方式，通过数字技术将这些分布式的能源系统实现智能化的联接和控制，达到万物互联、高度智能的形态。整个能源系统才能安全稳定、智慧高效、经济便捷、清洁低碳、互联共享、柔性自治。

随着5G、云、AI、大数据、物联网等新兴技术的快速发展，全社会的数字化变革掀开新篇章，进入“万物感知、万物互联、万物智能”的数字时代，“无处不在的联接，无所不及的智能”正成为现实。新一代数字化技术加速向能源领域渗透，推动能源格局重大变革。在组网方面，全球范围内低功率广域网技术快速兴起商用，面向物联网广覆盖、低时延、海量接入的5G技术正加速场景融合，为人、机、物的智能化按需组网互联提供良好技术支撑。在信息处理方面，信息感知、知识表示、机器学习等技术迅速发展，极大提升物联网的智能化数

据处理能力。在物联网虚拟平台、数字孪生与操作系统方面，基于云计算及开源软件的广泛应用，有效降低能源系统的生态门槛，推动能源系统的操作系统及数字化生态的广泛应用。

智慧化的核心是贴近用户侧能源供应、重视用户体验。随着分布式能源的广泛应用，用户不仅是用能单位，还将是创造能源的单位。高度智能化的能源系统可以根据市场能源价格，提前灵活开启设备或储存电能。能源系统可以源随荷动，也可以荷随源动。跨时间、空间尺度的能源系统之间能源流可以你来我往，互补共济；电动汽车可以兼职储能设备，向电网反送电、辅助削峰填谷；数据中心不光消费能源，其大量的余热也可以用来供暖；通信站点将承载十八般武艺，成为车路系统与城市大脑的重要载体；智能插座全面渗透千家万户，承载消费末端的电力感知、计量、交易；分布式能源、储能及电力现货市场高度发展，泛在的产消者成就能源系统的需求侧响应和能源增值服务……

随着数字技术在能源系统中主导高速、高频计算的“源荷互动”，以及数字技术与其它行业的深度融合，承载信息流联接、计算及挖掘的数据中心、通信基站等设备的数量和能耗也快速增长，这也带来新的ICT能源基础设施的节能减排问题（在另外章节描述）。



能源进入数字能源时代，绿色低碳、 数字智能，多流合一

未来十年，传统化石能源发电的主力地位将逐步动摇，风电、光伏、水电等可再生能源将成为新增能源主力。消费侧电气化进程加速，电动汽车、氢能、储能、热泵、储热等技术快速发展，交通、供暖等用能终端电代油、代气、代煤的步伐不断加快。能源系统将接入越来越多的高级

“插件”，信息流和能源流充分融合形成一个能源云“操作系统”，联接能源生产和能源消费，促进源、网、荷、储、人等各能源参与方互联互通，真正实现互联网式的双向交互。在众多的能源场景变革中，以光伏为代表的新能源生产领域，以电动汽车为代表的绿色出行领域，以及以ICT能源基础设施为代表的用能领域，蕴藏着巨大的技术创新、产业创新和商业模式创新机遇。我们预测，在电力生产端，到2030年可在

生能源占全球发电总量比例将超过50%，光伏的度电成本将低至0.01美元，全球装机总量将超过3000GW。在能源消费侧，电气化率将从当前的20%左右达到30%，电动车的销量将超过50%；在ICT能源基础设施中有超过80%将采用绿电供电。

能源生产更低LCOE，电网友好、智能融合

2030年光伏到度电成本可能低至0.01美元

通常用LCOE (Levelized Cost of Electricity, 平准度电成本) 来衡量光伏电站整个生命周期的单位发电量成本，并可用来与其他电源发电成本对比。在全投资模型下，LCOE与初始投资、运维



费用、发电小时数有关。我们预测2030年光伏发电LCOE度电成本可能低至0.01美元。光伏电站一般由光伏组件和光伏系统平衡部件(Balance of System, BOS)构成(平衡部件一般包含电缆、逆变器、接线等)。目前普遍投资模型中，光伏组件投资占比约占45%，未来十年受光伏组件发电效率提升，技术工艺提升，制造环节成本下降等综合因素的影响，光伏组件占系统成本比例不断降低到30%以下。涉及LCOE的其他BOS部件及整体运维的成本占比提升，其相关技术创新也在不断提升光伏发电的整体成本竞争力。

a) 光伏电站系统高电压化。更高的输入、输出电压等级，可以降低直流侧线损及变压器低压侧绕组的损耗，电站的系统效率可以有效提升。逆变器、变压器的体积减小，运输、维护等方面工作量也大大减少。同时随着电站的维护趋向于无人化、自动化。2030年光伏电站系统电压等级将突破1500V，向更高压方向发展，进一步降低LCOE。

b) 逆变器功率密度和效率提升。随着碳化硅、氮化镓材料、芯片散热、拓扑架构技术的发展，提供了更高的温度、更高的频率以及更高的电压运作能力与更低损耗的可能。到2030年逆变器功率密度比当前将提升70%以上。

c) 模块化标准化设计。逆变器、PCS、储能等

关键设备采用标准接口，灵活扩容，快速部署。设备内部交、直流分断部分、逆变部分、控制部分、散热部分也将全面模块化设计。可以实现免专家维护，极大降低运维成本、提升系统可用度。系统全模块化和设备全模块化将成为行业主流。

d) 全面数字化。数字技术与光伏技术融合，运维管理、生产管理和资产管理变得极简、智能、高效。光伏电站从一个哑电站变成一个有机的智能生命体。AI将代替专家职能，使能光伏电站自主协同优化。通过智能跟踪算法，让组件、支架、逆变器协同运行，找到最佳角度，释放最大潜力。精准定位故障，将运维工作量从“月”降低到“分钟”。全面提升发电效率和重构运维体验。助力电站生产力和安全性提升。预计2030年光伏电站应用AI技术比例达到90%。

光伏发电主动支撑电网频率、电压波动，保障电网安全稳定运行

光伏发电技术助力增强电网韧性。光伏发电的波动性、间歇性常被比喻为“我行我素”的“自转”，接入电网发电时需常规电源提供调峰和备用等辅助服务才可以满足电网调度的要求。大量的光伏发电接入带来一系列新的系统问题与挑战，如系统惯量、频率调节能力降低，系统电压调控能力减弱，故障与震荡特性发生重大变化，会让电网越来越“脆弱”。如何让光伏发电与电网是变为“协调统一”的“公转”，是支撑新能源大量接入，实现能源结构转型的关键。电网中传统同步发电机组一般由火电厂或水电厂承担，采用机械式结构，可以提供稳定的电压和频率支撑，且易于进行调节和控制。随着传统同步发电机组的不断减少退出，非同步机电源将会在电网中占非常高的比重，导致电力系统的运行特性发生本质变化。这就需要新能源也要能模拟传统同步发电机组的技术指标，主动支撑电网频率、电压波动，保障电网安全稳定运行。光伏发电技术将电力电子技术、储能技术、数字化技术充分

融合协同，模拟同步发电机组的机电暂态特性，具有同步发电机组的惯量、阻尼、一次调频、无功调压等并网运行外特性，推动光伏发电技术指标向火电靠拢，光伏发电技术有效提升对新能源系统运行的主动支撑和并网友好性能，使新能源成为优质电源。为大量新能源接入提供了坚实的技术基础。

能源云将能源流和信息流智能融合，源、网、荷、储协调互济

能源流与信息流融合，构建一朵能源云，将作为数字能源世界的“操作系统”，统领信息流、调控能源流，真正实现“比特管理瓦特”，持续推进能源革命。未来的能源系统将以电力系统为关键承载，而电力系统需要将发、输、配、用、储的各个环节全面构建在数字技术与电力电子技术之上。一方面提升对新能源的“可观、可测、可控、可调”水平，解决新能源接入系统的脆弱性，提高新能源消纳水平；另一方面提升对微电网、综合能源、分布式电源等海量末端系统的群控群调能力，让发电单元和用户进行实时数据双向互动。通过网络反馈回来的数据可以使发电单元掌握用户的消费习惯，从而对发电量进行合理调节，达到提升资源利用率的目的。实时保障电能质量和电力系统安全稳定运行。

a) 能源云实现能源流跨时间、空间尺度的协同。能源资源与能源需求往往呈逆向分布的格局，以中国为例，西北、西南地区风光水资源丰富但电力消费需求较低，中东部、华南地区电力消费需求高但是能源资源禀赋较差。高比例新能源集中接入下局部网架的高随机性与波动性，导致电力输送瓶颈；在消费侧随着电动汽车、分布式电源等海量用户和电源的广泛接入，对于配电网资源需求不断提高，区域电网越来越脆弱。需要进一步加强网架的分区与互联功能，简化系统运行方式、提高相互支援能力；加强故障隔离功能，避免连锁故障引发骨干电网崩溃。能源云一方面可以提高配电网资源互济功能，配合主动配

电网、柔性直流配电网等技术的应用，支持微电网、虚拟电厂、综合能源系统等多种场景的应用。另一方面有助提升输配电网的数字化与信息化水平，加强运行的灵活性与适应性，提升输配电网控制能力。

b) 能源云让能源生产消费关系具有更大弹性。

传统电网在能源的生产和消费过程中，有高达百分之五十以上的资源被白白浪费。在能源云的统一管理下，分布式的源、网、荷、储融合的综合能源高度自治，实现区域内节点实时监控和管理，平衡区域内部能量消耗，实现本地能源生产与用能负荷基本平衡，确保能源生产和使用的智能化匹配及协同运行，达到提升资源利用率的目的，如优化算法确保光伏、储能，风电的发电运行时间段与电力市场、天气预报、生产需求等进行协同，通过数据的整合，确保发电的组合最优。多个综合能源进行柔性互联和数字化调控，能够实现能源供需更大范围内的平衡，在系统投资经济性、碳排放指标、综合能效等不同目标下充分挖掘能源系统的灵活性，实现了更广泛能源形式之间的需求互补，多种能源灵活转化和多能源综合需求响应，为电力系统消纳可再生能源提供了额外弹性。

交通出行全面电气化转型，电动汽车2030与燃油车二分天下

交通行业当前对于石油等化石能源的依赖度极高，交通碳排放量约占能源相关碳排放量的四分之一。在欧洲是仅次于电力的第二大碳排放部门，在美国是温室气体排放的最大来源。交通行业主要包括道路、铁路、航空和船运这四种交通方式，每一种方式对“绿色燃料”的要求都不尽相同。在完善的电力基础设施和电池技术快速进步的推动下，电能在道路和铁路交通成为了最主要的清洁能源替代方式，电力系统与交通系统的交互影响日益显著，逐步呈现出深度融合的趋势，电动汽车既是交通工具，也是用电设施，同

时也是储能设施，电动汽车及其充电/供电设施成为电力系统与交通系统融合的关键枢纽。

许多国家近些年致力于推动电动汽车的产业发展，电气化、智能驾驶和车联网技术领域的大规模投入助推电动车产品竞争力大幅提升，电动车的节能环保属性，以及智能化和科技应用也得到更多消费者的青睐。在全球汽车业遭受疫情打击表现低迷的背景下，电动汽车销售2020年逆势上涨41%，销量超过300万辆，市场份额达到4%，欧洲电动汽车销量突破100万辆大关，中国电动汽车销量超过130万辆，美国电动汽车销量超25万辆。随着电池成本下降和性能提升以及自动驾驶技术的开发采用，电动汽车最迟2025年与燃油车实现“价格平价”，电动汽车市场进一步加速增长，2030年全球电动汽车的销量极有可能突破4000万辆，与燃油车二分天下。电动汽车的发展离不开充足完善的充电基础设施，据国际能源署IEA和相关报告预测，到2030年全球私人充电桩预计保有量将达1亿台，总充电功率达1500GW，总充电量达800TWh；公共充电桩预计保有量达2000万台，总充电功率达1800GW，总充电量达1200TWh。

新材料和数字化重新定义电动汽车驾乘体验和安全

宽禁带半导体全面应用和数字化控制技术全面协同，推进电动汽车极致能效比。随着电力电子技术相关功率器件、拓扑及控制算法的升级，电源部件将达到新的极致高效。尤其是碳化硅等器件新技术、新材料的应用，相比较传统的硅器件，禁带宽度提升3倍，电场强度提升15倍，电子饱和速率提升2倍，导热系数提升3倍，电动车系统级的效率如充电、行驶工况、供电传输、功率变换、加热/制冷、能量回收全链路架构将持续重构升级。在数字化技术加持下，从器件到系统，从动力域到整车运行，通过智能电热协同、智能扭矩分配算法、智能电液制动分配实现整车全场景高效。同时为了进一步节能及提升续航里

程，采用超融合及域控制架构，通过电能、动能、热能、能量回收的联动控制，实现多能互补，可达到充电--储电--用电的全链路整车级高效。如智能电热协同，电机和逆变器热量通过热泵系统智能配送至乘客舱供暖，四驱扭矩智能分配，兼顾制动安全与能量回收比例，最优分配电机、液压制动比例等提升续航技术全面使用。

数字化同时正重新定义电动汽车的驾乘体验。随着电池能量密度增加、电池管理做得更加完善以及电控系统调校更细腻，电动汽车也逐渐有了驾驶“灵魂”，电动汽车在驾驶体验如极致加速、极致操控、创新智能特性上全面超越传统燃油车。如极致加速，电动汽车大功率、快加速成趋势，300kW, 400kW, 600kW, 800kW动力配置完胜燃油车。极致操控，多电驱分布式驱动，取代燃油车时代的机械限滑差速器，实现更快弯道加速、更优山地越野，驾驶乐趣全面领先，创新智能特性，SOA (Service oriented architecture) +集中式EEA (electric electronics architecture) 趋势下，电动汽车动力域生命周期可持续软件特性升级，常用常新。智能剩余续航预估，车主出行无忧。智能赛道模式，调整热系统升功率，调整前后驱扭矩，让驾驶更有乐趣。智能油门，车随人动，驾驶随心所欲。驱动制动融合，电机监控轮胎滑移率，实时调整驱动扭矩，冰雪湿滑路面不打滑，驾控性和安全性大幅提升。

能源云推进能耗管理从单车到集群的能效提升，从周期性到全在线的服务体验。汽车进入电动化和智能化时代，客户需求的个性化发展，市场环境的多样性也对汽车产品的研发上市和生命周期要求产生更多影响。这些新变化催生新的制造与新的产品服务模式变革，驱动汽车行业全产业链数字化转型。如新能源汽车动力域数字孪生技术基于车端动力系统数字化+车联网技术，在云端创建动力域实体的数字孪生体，不间断地通过传感采集产品的实时运行数据，将其与云上的数字模型实行同步拟合，生成现实物体+实时运行状

态的数据，监测动力域状态，预测运行工况，通过实时互动保障电动车动力系统工作在高可靠、高效运作状态。云计算在算力、算法、模型训练、大数据的存储与分析、引入生态等方面具备天然优势，通过采集车辆的电池、电机和电控等运行数据，在云端对三电部件进行数字化建模，构建故障预测性分析算法、高效运行状态参数匹配、设备老化模型、故障智能修复算法和智能标定算法等，实现先于用户发现潜在车辆问题，远程诊断并修复故障，使能主机厂和服务商面向终端用户需求主动优化产品设计，改善用户服务效率、降低用户车辆使用成本，提升用户体验。

千伏闪充全面普及，完美能源补给体验

消费者对电动汽车的接受度提升，续航里程增加和充电便捷度成为关键推动力量。从电动汽车技术层面看，相同尺寸下，能量密度提升带来的电量增加是解决续航问题的有效举措，电池电压升高带来的快充能力提升是充电便捷度的关键。以电动乘用车为例，预计2025年起，单车电池平均容量也会从60度电升级到100度电，主流充电电压将500V升级到1000V，2030年全面进入充电“千伏时代”。充电基础设施单枪充电功率从60kW支持到480kW以上，充电时间从1个小时左右缩短到小于10分钟，接近传统燃油车加油体验。电动车动力系统也向“千伏”演进，趋向集约化，融合、协同一体化，降低电流，减少能量损失。高电压平台、精细化大倍率充放电曲线设计实现充电、行驶放电、能量回收高效协同。充电基础设施系统高压化技术广泛使用，如高压碳化硅技术推动高效、高密，支撑高压平台演进，基于ChaoJi充电技术路线的标准定义，1000（1500）V充电电压平台，支撑最大充电功率可提升到900kW，这类超级充电技术将被广泛布局在城际高速路。

电动汽车与各类能源系统深度协同，成为能源流的调节器

电动汽车全面参与能源系统互动，成为能源流控

制的重要调节器。大规模电动汽车和可再生能源推广为“车网协同”提供了机遇。在发电侧对大量灵活电源以及在需求侧对可调节负荷资源的需求都在不断增加。与家用电器等负荷不同，电动汽车作为负荷具有高度的灵活和可调节性。在未来无线充电、智能充电、无人驾驶等技术成熟推广后，电动汽车可灵活地选择充放换电，自主参与电力现货市场和辅助服务市场。这不仅可以降低电动汽车充电对电网的影响，也可为电力系统调控提供新的调度资源，更能避免大量电网和电源相关的投资浪费。2030年，全球的电动汽车存量可能突破1.5亿辆。在理想情况下能够提供的储能容量将相当于2020年储能装机规模的40倍，具备作为可调节负荷以及灵活电源的潜力。电动汽车以有序充电方式参与局部削峰填谷，利用峰谷电价差“套利”具有更可观的经济性。未来电动汽车参与调频辅助服务将具有更高的市场价值，2025年之前，电动汽车可充分发挥其灵活负荷的优势，以有序充电方式参与用户侧的削峰填谷、分布式光伏发电、需求响应、调峰辅助服务、现货市场平衡等应用。2030年随着动力电池成本下降、寿命提升，电动汽车可全面发挥分布式电源的作用，结合微电网、虚拟电厂等平台，以双向充放电方式提供调频、现货电力平衡等服务。

充电基础设施一边连接的是车辆、交通、出行，一边连接的是丰富多样的能源使用场景。是能源与交通互联的能源入口、交易入口、交互入口、



行为入口和信息入口，成为能源云的重要使能部件之一。充电网络的大规模新建以及数字化、物联网、云计算、大数据、人工智能等技术的发展，带来多层次的智能化提升：充电基础设施的智能化可以实现充电网络的可视、可管、可控、可优，极大降低运维、运行成本和提升运营效率、收益。充电桩作为数据接口，利用规模化、集成化、数据化、网联化优势，打造“车-桩-电网-互联网-增值业务”的智能充电网络，扩展多种商业模式，实现经济效益与社会效益的良性循环。对充电设施运营商而言，可以为商圈建设、房地产开发、4S店布局、二手车交易、数字支付、电商运营等行业提供数据咨询服务，依法合规变现，扩大收入来源，提升市场运营能力。对于地方政府而言，可以为城市规划、电力调度、民生服务、基础建设提供数据支撑，让充电基础设施成为智慧城市的重要组成部分。

ICT能源基础设施全面绿色化

下一个十年，联接数量将达到千亿级，通用计算总量提升10倍；AI计算总量提升500倍。ICT技术通过赋能其他行业，帮助减少全球碳排放的20%。相关的基础设施如通信联接站点数从当前的1000万增长到5500万，数据中心机架数将从当前的420万柜增加到1000万柜。ICT占全球的耗电量从当前不足2%上升到4%。构建高效低碳的通信网络和数据中心已不仅仅是企业自身经营的需要，更是重大的社会责任。全球的领先运营商，在提供高质量信息与通信技术服务的同时，已经纷纷开启碳中和宣言和行动：Vodafone、Orange 提出在 2040年实现“净零”排放，而 Telefonica 则将碳中和目标提前到2030。此外，谷歌提出在 2030年之前，实现在全球所有数据中心和园区全天候使用无碳能源。微软承诺到 2030年成为负碳公司，并在2050年消除微软自1975年成立以来直接或通过用电排放的所有二氧化碳。中国北京市政府更是要求数据中心自建分布式可再生能源设施，同时到2030年实现100%

清洁能源利用。欧洲云基础架构和数据中心的关键参与者制定了一项自我监管计划《气候中和数据中心公约》。日本计划在2040年实现数据中心行业碳中和。我们预测未来十年，ICT能源基础设施将朝下面几个方向发展。

ICT能源基础设施全面架构重构，融合极简，柔性高效

网络和数据中心愈加庞大和复杂。对“简单”的持续追求驱动ICT能源基础设施的架构在未来进一步融合化极简化发展。如当前通信站点多采用室内站建设模式，采用传统空调制冷，站点整体能效只有60%。传统供电方案设计中，一般会采用多套电源支持不同电压制式，部署复杂。我们认为未来十年通信站点的形态将发生巨大变化，以柜替房，以杆替柜成为主流建设模式，站点更简单、更省地、更省租金、更可靠。数据中心的楼宇建设模式也将快速转变，传统混凝土式建筑周期往往超过20个月，建设周期长，材料不环保，可回收性差。预制装配式的数据中心建设模式在未来十年将成为主流，一方面降低混凝土、橡胶、岩棉夹芯板等高碳排放材料应用，同时又大量减少现场施工和后期维护，一千个机柜的数据中心只需要数月即可建成，满足业务快速上线的需求。

在网络和数据中心供电方案上，供电链路融合也将成为一种新的趋势，匹配更多新能源接入、兼容多路能源供给、平滑演进成为供电架构演进的方向。如多模式的调度控制和管理，模块化的叠加演进，多场景应用下实现不同业务、不同设备的融合。我们看到这种融合架构下的通信站点电源、电池正融合成刀片式架构，实现电源、储能、温控及配电模块化，按需演进，满足网络跨代演进。数据中心的变压器、UPS（不间断电源系统）、配电等全供电链路融合，节省占地。在备电方面更是全面锂电化，实现发、储、用电的智能协同，减少数据中心UPS的配置容量，降低数据中心占地及建设成本。

绿色能源成为ICT能源主流供能方式

全球数字化浪潮的推进下，ICT行业逐步成为“高能耗”行业，在“碳中和”目标的驱动下，ICT基础设施的绿色供能应用成为必然方向，光伏、风电、氢能等清洁能源将更普遍地应用于ICT能源基础设施。受惠于这些分布式能源的成本和灵活性优势，未来十年超过80%的ICT基础设施供电系统中将包含分布式的绿色能源，通信站点单站功耗较小，分布式光伏将可能成为主力供电形式，使能通信网络走向“零碳”。与传统采用新能源PPA（Power Purchase Agreement，购电合同）和购买绿证不同，数据中心将更多的采用清洁能源直供模式，如在数据中心园区和屋顶建设分布式光伏电站，或在周边区域建设大型光伏地面电站、风电电站和其它清洁能源电站，直供数据中心。随着“锂进铅退”推进，通信基站备电和数据中心备电全面锂电化，在智慧化的调控下，这些传统单向的分布式能源系统也将聚集参与电网调峰等辅助服务市场，辅助解决风电、光伏随机性和间歇性问题，不仅提升了ICT基础设施的供电收益，实现基础资源商业价值最大化，也提高了整个能源系统的稳定性和可靠性。

ICT能源基础设施运维全面自动驾驶化

ICT能源基础设施运维将逐步向自动驾驶迈进。未来十年，通过神经网络、知识图谱和领域迁移等技术将使得ICT能源基础设施自治成为可能，通过将AI与其他技术相结合，可大幅提升运维效率，不仅可以代替人工解决大量重复性的、复杂性的计算工作，还可基于海量数据提升能源基础设施的预防和预测能力，通过数据驱动差异化的服务模式，使能高度自动化和智能化的ICT能源基础设施运营。这将对现有运维模式产生深远的变革。



等），将被自动化流程取代，从依赖运维人员“在流程中（In the Loop）”干预转化为运维人员“在流程之上（On the Loop）”管理，大幅提升操作类工作效率，以应对未来繁重维护压力，极大地缩短建设和业务上线的时间。

b) 从人工决策到机器辅助甚至自主决策。传统运维依赖专家经验的模式将发生转变，通过数据驱动，发挥AI机器学习的优势，可在人的监管之下进行辅助甚至自主决策，可增强系统应对复杂及不确定性问题的能力，大幅提升能源基础设施的响应速度、资源效率和能源效率等。

c) 从运营的开环管理到运营闭环可承诺。ICT能源基础设施的自动驾驶将打通全流程数据流转并实现闭环自治。在建设、维护及优化等环节针对预定的SLA策略进行自动的闭环自治，确保能源生产消费的策略可管理，可承诺，使能ICT能源基础设施的差异化服务，提升资源利用率和运营收益，实现差异化商业创新。

a) 从人工操作到系统自动执行。传统低效、重复性的操作工作（如：配置下发，变更，升级



结束语

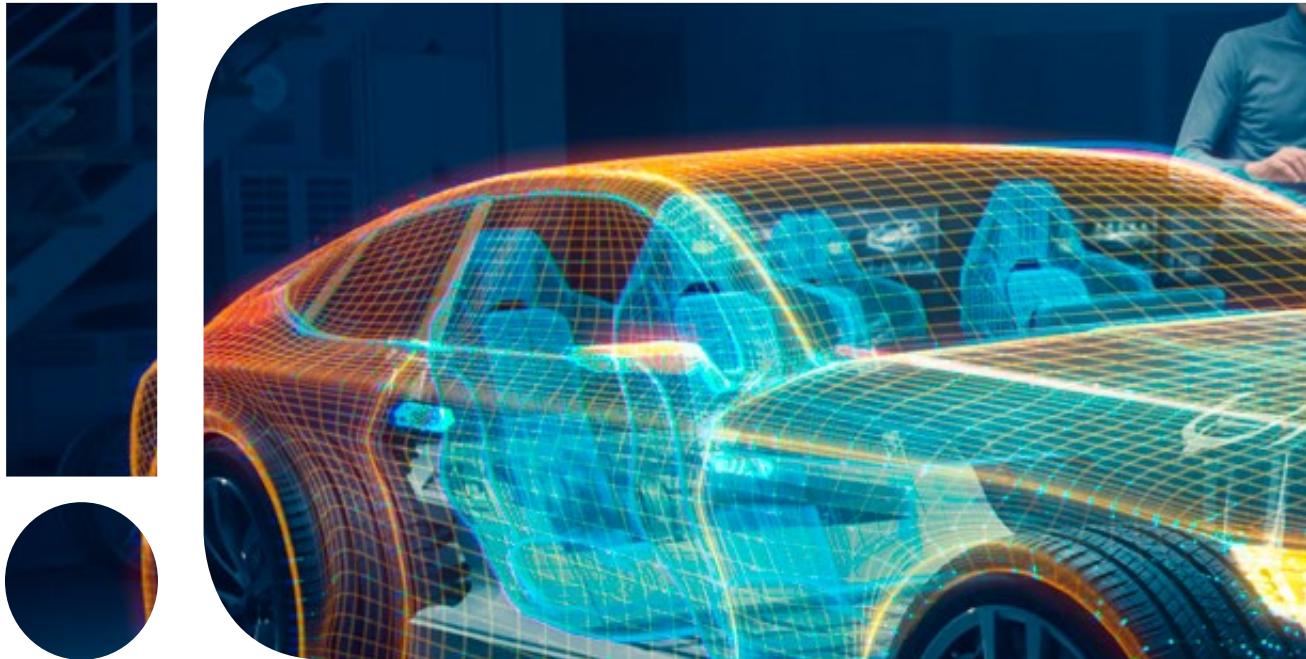
可再生能源、数字技术、电力电子技术的发展和融合水平决定了能源世界的进步水平。未来的能源世界以电能为介质，以电网为总线，以电力电子设备为网关、以能源云操作系统，改变传统能源流处理、移动和储存的方式，实现清洁低碳能源广泛的规模化开发利用、多级能源网络广泛互联、多种负荷主被动灵活参与、多业务逻辑协同决策运行。未来十年能源流与信息流深度融合，相互促进，是能源全面变革的关键过渡期，也将影响未来百年能源发展的前景。能源产业正进入数字化时代。信息流、能源流的技术创新日趋同步，逐步从单设备、单场景向整体性、综合性发展，从“局域网”向“全球网”应用发展，从“单机”运行向“云化”运行发展，可观、可测、可控的范围越来越广。能源流与信息流的融合延展到更大的时间和空间尺度，能源系统价值进一步放大，一方面促进能源系统更加经济、清

洁、安全运行；另一方面推动能源生产、传输、存储、消费的产业发展新形态。促进了能源系统与信息系统甚至商业系统的深度融合。能源系统不再是一个简单和独立的能源网络，也将是和其他社会网共生共存的关键基础平台，如和交通网络、碳足迹网络、信息网络等实现跨行业网络的协同控制，能源云的管理协同模式和范围也不仅局限于能源系统单设备、单系统、单行业。

科技进步与能源转型相互促进，正在深刻改变能源发展的前景，唯有认清趋势，才能迎接未来的挑战，唯有立足当下，才能把握时代的机遇。新“数字能源”时代下，更需要全人类携手共进，建立新的联盟、寻找新的方式，实现跨价值链和生态系统的协作，为世界能源创新和发展提供力量，共同推动低碳化、电气化、智能化的数字能源变革，共建绿色美好未来。

智能汽车 解决方案 2030





前言

ICT 赋能汽车产业智能化， 帮助车企“造好”车，造“好车”

2020-2021年，汽车产业正在加速向智能电动汽车的方向发展。智能电动汽车时代将比想象中来得更快，也将更深刻地影响每个人的生活。

汽车产业的电动化、智能化转型 趋势已经成为共识

面对汽车产业的电动化、智能化转型所趋，车企

们纷纷调整战略布局，加大研发投入，制定了明确的转型计划并逐步付诸行动。

技术和用户体验驱动新能源汽车 市场快速成长

通过积极投资研发、快速跟进用户需求，新能源汽车企业构建起“技术+用户体验”的双驱



动引擎，在2020年实现了销量逆势增长，并确立了中长期竞争优势。据中汽协统计，2020年在受新冠疫情影响的情况下，中国乘用车市场整体下降1.9%，但新能源汽车却表现抢眼，中国新能源汽车销量达136.7万辆，增长10.9%。

“数据+软件” 定义汽车，驱动传统汽车向智能化转型

以“数据+软件”支持整车功能快速迭代，一方面持续给用户带来越来越好、超出预期的体验，另一方面通过不断迭代的新功能、新服务帮助车厂获得持续的收入，引领产业从以产品为核心向以用户为核心的经营模式转变。

智能电动汽车时代，车企“造好”

车、造“好车”的内涵发生了深刻变化

当下，用户的关注点正逐步从汽车的机械属性，转移到智能化和电动化相关属性。未来一辆好的智能电动汽车，不仅需要在研发端通过数字平台使能，实现快速开发、降本增效，在用户侧也需要面对软件快速迭代与整车安全、可信的多重挑战，车企“造好”车、造“好车”的内涵正发生着深刻变化。

未来智能网联汽车增量市场将达到万亿美金级规模，华为希望发挥自身在ICT行业的技术优势，成为智能汽车领域的增量部件供应商，携手产业链伙伴拥抱汽车电动化、智能化变革，一起“造好”车，造“好车”。



宏观趋势：汽车产业迎来变革浪潮，跨界合作助力商业共赢

在智能电动的产业变革下，产业转型加速、产品属性变革、行业格局重塑，ICT与汽车产业加速融合、合作共赢成为主要趋势。华为致力于ICT基础技术研究，通过与车厂合作，将ICT技术赋能产业发展。

产业转型升级加速：汽车电动化、智能化前景可期

政策持续利好，汽车电动化、智能化迎来新机遇

从环保角度看，当下碳中和已成全球共识，各国围绕碳中和正在开展新一轮竞赛。交通运输行业成为实现节能减排的重要切入点，带动新

能源汽车产业迎来新机遇。

国际层面，欧盟碳排放法规加严、处罚力度加大，导致传统燃油车合规成本大幅增加，同时为了鼓励新能源汽车发展，加大了购置补贴，推行电动车税收减免政策。美国明确了面向2030的汽车电动化规划，正在加快部署充电基础设施。

国内层面，汽车低碳化正在成为实现国家双碳目标的重要抓手之一。一方面，相关部门正积极围绕碳中和目标制定汽车产业、交通行业碳达峰行动方案和路线图；另一方面，双积分政策加严，积分变现产生效益，持续驱动行业积



极布局新能源汽车；公共领域电动化的强力推进，也将进一步带动和扩大新能源汽车消费。

从行业政策法规环境角度看，近年来，各国政府陆续研究发布了一系列政策指导以规范智能汽车产业。以中国为例，围绕着质量安全、功能安全、网络安全、数据安全、道路测试规范等方面的智能网联汽车相关政策密集出台，推动了智能汽车产业的示范落地。未来，随着智能汽车相关标准法规的进一步完善和政策的持续引导，将形成有章可循、有法可依、有标可达的政策法规环境，从而推进成熟技术加速产业化落地，推动智能汽车产业健康可持续发展。

此外，“新基建”背景下，围绕信息、融合、创新基础设施的顶层设计不断加强，5G、大数据中心、人工智能、新能源汽车充电桩等基础设施将进一步强化底层支撑。在加快构建国内国际双循环的新发展格局下，国内大循环将进

一步释放内需潜力，“双循环”将为中国汽车产业参与国际竞争创造有利条件。

ICT技术驱动加速，推动智能汽车产业升级

汽车全生命周期的持续功能升级，对整车电子电气架构、SoC（系统芯片）算力、软件和数据的有效利用及信息安全提出了新的要求，伴随相关ICT技术和解决方案的加速注入，汽车产业将迎来巨大变化。

摩尔定律是半导体产业的黄金定律，诞生50余年来，深刻影响了PC、数字化和互联网等产业的发展。未来10年，摩尔定律也将持续引导车载领域的算力发展。华为预测到2030年，车载算力可达5000+Tops，算力将不再是智能驾驶、智能座舱、XR（AR、VR等）等车载应用的发展瓶颈。

在移动场景下，5G（含5.5G）以其特有的大带宽、低时延，高可靠等特性，将为智能汽车



的互联互通提供基础保障。面向2030年，以云、大数据、IoT、光技术等多种新技术为基础，智能数字平台将打通汽车的物理与数字世界，极大激发行业创新，推进产业升级。

供给端布局加速，2030年电动车销量将超越燃油车

伴随着电池技术发展、电动车供应链规模逐步成熟，电动车的成本将持续下降，2030年相对于燃油车将具备明显价格优势。另外，随着国家“新基建”的推动和充换电技术的进步，电动车补能体验也将与燃油车加油可比拟。

同时，国内外车企正在加速新能源汽车的产品布局。沃尔沃、宾利、捷豹、比亚迪、吉利等车企已宣布在2030年之前将全面转向电动化（注：捷豹2025年）；大众、宝马等车企规划在2030年全球出售的新车中纯电车型占比不低于50%。

根据国家信息中心数据显示，近5年来，中国市场本土品牌市场份额占比始终维持在35%左右；为了实现从汽车大国到汽车强国的跨越，国内车企纷纷利用新四化时机，打造高端品牌，开启品牌向上；在电动平台方面，国内车企纷纷推出了纯电平台；智能化方面，通过自研或者合作，在ICT技术加持下，不断提升智能

水平。

2030年，全球尤其是中国新能源汽车市场将进一步扩大，全球新能源汽车新车销售将超过燃油车。

需求端变化牵引，激活智能电动汽车市场潜力

在需求端，用户对智能电动汽车的需求正在不断增加。随着电动车购车成本和综合使用成本的大幅降低以及使用便利性的不断提升，中国作为巨大消费市场的资源优势将进一步显现，为智能电动汽车的发展提供良好的市场基础。一方面，相较于发达汽车市场，中国汽车保有量仍有巨大的增长空间。另一方面，相对全球其他地区用户，中国用户对于电动车、智能驾驶等新事物有更强的接受力和更高的消费意愿。

同时，由于人口结构、收入结构以及消费者购买行为等的不断变化，中国市场的消费结构正在加速变革：1) 中国将逐步迈入中高收入经济体，随着人均GDP提升和家庭可支配收入的增加，消费需求将不断升级；2) 消费人群变化带来多样化需求：生于互联网时代、热爱科技、追求个性的Z世代成为新的消费主力军；人口老龄化背景下“银发经济”悄然兴起；二胎三胎带来家庭消费需求变化。

诸如此类的消费结构变化将在汽车消费领域以显著的特征，直接和间接地影响着市场，并带动中国汽车消费升级，逐步从“传统消费”走向“数字化消费”，从“商品消费”走向“体验消费”，从“共性消费”走向“个性消费”。

产品属性发生变革：汽车产业价值体系正在重塑

整车差异化焦点转移：从动力底盘性能到智能化性能

车的动力系统从燃油转向电动后，其动力底盘性能将逐步实现“标准化”，整车的差异化焦点向智能座舱、自动驾驶等智能化属性转移。汽车座舱和驾驶的智能化程度将成为用户买车的关键考量，用户通过OTA不断获得的持续性体验升级，也将进一步提升用户对智能化价值的认可和依赖。

整车差异化焦点的转移，为车企进一步探索市场增量空间提供契机。一方面，随着政策法规的不断完善及智能驾驶技术的逐步成熟，2030年自动驾驶将在robotaxi（自动驾驶出租车）和低速封闭/半封闭场景实现规模商用，并逐步拓展到乘用车领域。另一方面，随着人机交互技术的不断发展、智能座舱应用生态的丰富完善，汽车作为移动的智慧“第三空间”的属性也将越来越明显。

产业边界扩展：从汽车产品到全场景出行服务

5G（含5.5G）、IoT、人工智能、边缘计算、低碳技术等前沿技术的快速发展、融合与迭代，推动着汽车产业向电动化、智能化、网联化和共享化的加速变革，智能汽车在特定场景中的商业化路径日渐清晰。

在智能驾驶领域，伴随细分市场、典型场景的智能驾驶技术水平逐步提升，场景驱动下的自

动驾驶应用将逐渐落地并持续扩容。各种场景下新形态的自动驾驶交通工具将不断出现，不同场景的交通工具之间的接续性将变得更加无缝，自动驾驶出行服务将出现在人们出行中的每一个环节，人们的出行方式、人和交通工具及交通工具之间的交互方式将发生根本性的变化，“出行即服务”的体验将得到较大提升。

出行的根本需求逐步从拥有多个场景的交通工具，转移至基于出行综合场景的一体化出行解决方案。面对如何基于出行综合场景实现出行工具在各不同场景的无缝接续，如何在出行旅程为用户提供端到端智能化服务等问题，一系列的第三方应用开发者将不断调动产业资源，基于场景需求开发出新的服务应用，产业价值也将逐步转移至围绕出行解决方案的出行服务。

盈利模式转变：从硬件收入到软件/服务收入

随着整车差异化焦点的转变及产业边界的扩展，智能汽车将成为持续创造价值的平台，汽车产业原有商业模式和价值分配格局将出现转变。

长期以来，整车企业利润模型主要取决于“整车或硬件单价 \times 新增销量”，依赖于一次性硬件交易获取利润。随着软件定义汽车时代的到来，软件利润和服务收入将成为新的收益锚点，盈利结构将转向“软件收费 \times 保有量”。未来，汽车产业将以软件+数据为基础，通过OTA实现车辆功能和体验的持续迭代，完成远程问题修复、产品升级、体验提升等，为用户提供更灵活、可运营的服务模式，引领产业从以“产品”为核心向以“用户”为核心转变，形成商业模式闭环，持续获取利润。

以智能驾驶为代表的新的运营收费模式将成为行业的关注重点，极大拓展车企的盈利空间和利润水平。此外，软件定义汽车使原有的产业链价值发生转移，价值空间的扩大有望吸引更

多的第三方开发者和创新者投入智能汽车行业，不断完善智能网联汽车产业生态，形成价值创造的良性循环。

行业格局正在重塑：跨界合作助力商业共赢

车企与科技公司加速融合，优势互补形成合力

智能汽车是ICT、软件、大数据、AI与传统机械等核心技术的集大成者，是多产业融合的产物。新势力造车最先发力，引领了“新四化”（电动化、智能化、网联化、共享化）1.0阶段的发展，加速了行业的转型节奏。同时，面对冲击，车企纷纷加速转型，自建软件中心、开始研究掌控软件、电子、大数据等核心竞争力。

另一方面，随着下车体解决方案逐步平台化、标准化，消费电子、互联网科技公司等各类科技企业，不断以自制或者联盟的方式进入汽车行业，这类企业有足够的资金支撑、雄厚的ICT基础能力、技术创新能力和巨大的品牌影响力，它们的进入将推动智能网联汽车快速发展，加速“新四化”进入2.0时代。

汽车行业经历百年沉淀，车企在汽车生产制造、质量控制及安全可靠性等方面有着独特的优势；而科技公司则在智能化技术应用上，如AI算法及大数据等，有着跨领域海量平台积累的经验和优势。软件定义汽车的时代，企业的价值获取方式、用户服务思维、人才结构都将发生重大变化，这些都要求产业链上的各个企业不断适应新环境，在各种不确定的情况下具备动态调整的能力，并在跑步中调整队形，以满足用户不断提升的高阶需求。随着产业软硬解耦和平台化、标准化的不断深入，更加开放的供应链体系和更加柔性的整车定义模式会成为未来的主流趋势。整车企业和科技公司需要充分发挥各自优势，创新合作，实现共赢，最

终实现企业利益和社会效益的最优化。

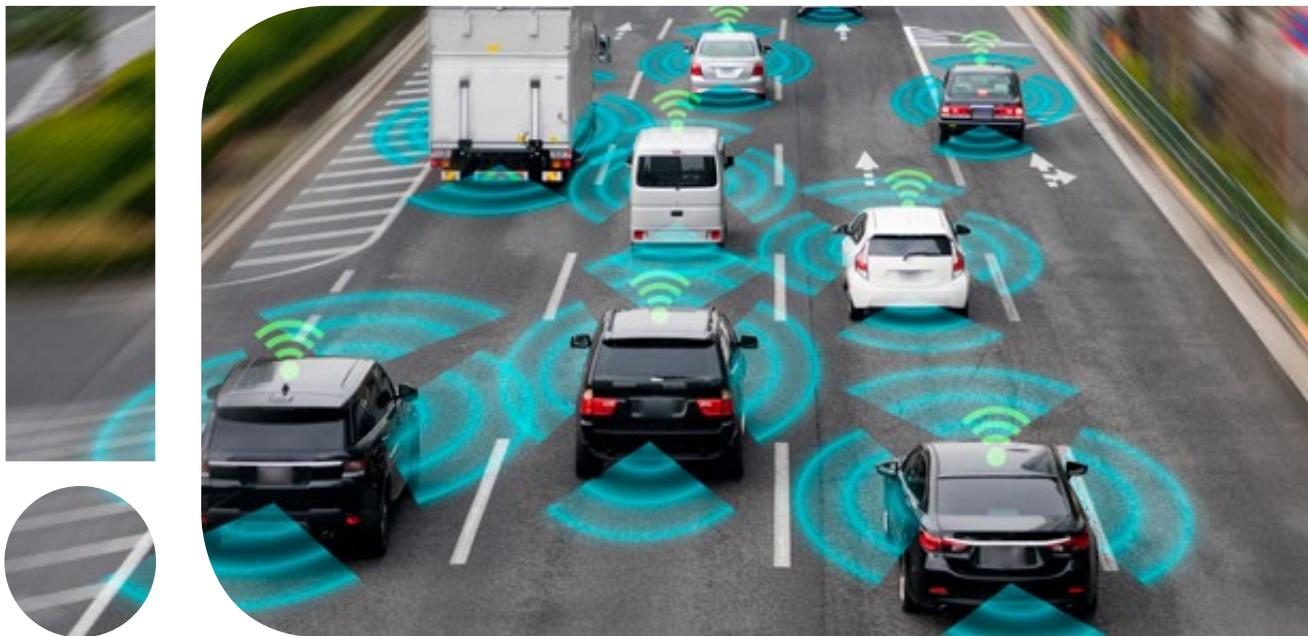
新出行产业日益繁荣，ICT技术使能出行体验升级

随着产业边界的不断扩展，围绕着细分市场、典型场景的出行、运输服务等需求不断提升，运输终端形态、数量及相关的基础设施也将带来海量增长，越来越多的传统厂商开始宣布自己向出行解决方案商转型，分享新出行产业变化带来的市场红利。

在这个变化中，出行解决方案商通过提供端到端的解决方案，满足用户出行场景需求，掌握用户出行的流量入口；封闭场景运营者掌握运营需求，定制终端运输形态，并负责封闭场景基础设施配套建设；汽车制造商基于生产制造平台及供应链资源，实现运输终端的生产制造；科技企业提供智能软硬件、智能驾驶、舱内舱外联网控制等解决方案；第三方生态开发者不断提供海量繁荣的生态应用，为用户提供无缝的出行体验。

在运输终端形态、数量及基础设施快速增长的同时，打通各典型场景，实现海量终端及相关基础设施的互联，基于全局的云端大脑实现跨场景的调度衔接、不同运输终端之间的数据共享，承载场景融合的智慧服务应用，实现端到端的出行体验升级，都将依赖能实现各场景内万物互联、数字服务共享无缝联接的ICT能力。

在ICT技术加持下，通过智能驾驶使用户出行更加安全、高效，长途驾驶更加轻松，商用成本更低、效率更高；通过智能互联和智慧空间，汽车成为真正的“第三生活空间”，让出行更愉悦、用户在线时长在车内不断延伸；通过把汽车带入万物互联的智能世界，融合人车家场景，完善车内用户服务生态，让用户服务从“主动”到“智慧”。



场景演进：把数字世界带入每一辆车， 赋能产业实现智能驾驶、智慧空间、 智慧服务和智能生产

面向未来，数字化技术普及和全球碳中和共识的背景之下，汽车电动化和智能化深度结合已形成清晰的路径。把数字世界带入每一辆车，将真正实现智能的驾驶、智慧的空间、智慧的服务和智能的生产，使交通更加安全和高效、出行更加便捷和绿色，生活更加智慧和有趣、生产更加高效和低碳。

智能驾驶：提供安全、高效、顺畅的出行体验

智能驾驶按照其能力等级可分为自动驾驶、高阶辅助驾驶和低阶辅助驾驶，覆盖的场景包括封闭道路场景、开放道路场景以及全场景。自动驾驶将给出行行业甚至整个社会带来颠覆性变化，自动驾驶将率先在高速、园区等封闭道路场景中实现，并逐步覆盖开放道路中如城区在内的全场景。华为预测到2030年，中国自动驾驶新车渗透率将超20%，全

球自动驾驶新车渗透率将超过10%。

到2030年，由自动驾驶车队提供的Robotaxi服务能够节省司机人力成本，同时提供24小时不停歇的移动出行服务，将以更为经济的方式增加出行服务的灵活供给。

智能驾驶技术将与已有的各类交通方式进行融合，为不同的出行场景提供兼具效率、安全、体验与经济性的出行服务解决方案。届时，出行领域实现资源统一与实时数据共享，从而构建点对点、门对门的“端对端无缝出行网络”，实现全社会出行资源的最大有效利用。当用户安排出行时，云端大脑根据实时的交通情况，综合所有可能交通方式，分时段、分路段规划出最合理的出行方案。多元的出行资源让用户能够享用高效、绿色、安全的出行，从

华为技术有限公司
深圳龙岗区坂田华为基地
电话: +86-755-28780808
邮编: 518129
www.huawei.com



商标声明

华为 HUAWEI, 华为 HUAWEI 是华为技术有限公司商标或者注册商标，在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的持有人拥有。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

而维持城市运力资源的动态平衡，助力城市的可持续发展。

智慧空间：从“灵活的移动空间”到“虚实融合的智能生活空间”

汽车的属性不再仅局限于出行工具，车与人、车与周边的关系正在发生颠覆性变化。

一方面，智能驾驶技术的发展使人类注意力逐渐从驾驶行为中释放出来，碎片化的自由时间逐渐整片化；伴随着车内自由时间的增加，移动场景下的用户体验将更加多元。在车内，应该和在家里、办公室里一样舒适、方便，处理工作、娱乐都可轻松实现。

另一方面，多元化的人机交互技术、车载光技术、沉浸式的AR/VR技术等丰富了智能座舱的功能形态，除了移动场景，静止场景中的汽车使用时间也将延长，座舱功能日渐丰富和有趣。例如，在车里看个电影，用车灯为爱人献上浪漫表白。

面向未来，汽车作为一个全新智慧空间，既可以丰富人们在移动场景下的体验，又可以满足人们在静止场景中的多样化需求，座舱的空间和时间价值大大延伸，交互无处不在，随时畅享休闲娱乐的美好时光。

座舱形态或将完全脱离方向盘+仪表盘+屏幕的传统组合，而逐步呈现出虚实融合的新特征。一是人机交互的需求输入进一步简化，语音控制、人脸识别、手势交互等多模态交互更加自然和高效，脑机互联的交互形态或许也不再是天方夜谭。二是人机交互从简单的需求输入向主动的需求识别演进，人工智能、生物识别、情绪感知、生命体征监测等技术使得车辆更了解使用者的行为习惯和思维，真正成为知你懂你的亲密伙伴。三是车载光技术丰富了空间光学体验，AR/VR技术进一步打破时间和空间的限制，沉浸式、代入感的体验使得汽车在移动场景和静止场景中的应用更加丰富和有趣。

面向未来，智能汽车将真正成为虚实融合的智能生活空间：

1) 安全出行场景下，车身传感设备和用户可穿戴设备的有效结合，可准确识别用户健康状况和疲劳状态，并及时予以提醒，确保驾驶员安全驾驶。

2) 娱乐场景下，演唱会、体育赛事等不必亲临现场也可以身临其境，院线观影不再是最佳方式，游戏也可在增强现实技术下更有沉浸感。汽车可以成为用户的专属娱乐空间、专属私密影院、智能车灯露天影院、游戏会友的首选地。

3) 移动办公场景下，座椅可调整旋转，车窗可成投影大屏，手机会议流可轻松转入车内空间，音区屏蔽功能又能确保会议私密；汽车成为职场人士的移动办公空间，在他们奔向机场、餐厅、家庭的途中高效完成工作。

4) 社交场景下，窗外美景不会轻易错过，车外摄像头可记录、剪辑、分享唯美视频，堵车也不再无聊，附近车友可通过车机互动、游戏、交友，AR/VR使用户和朋友尽在咫尺，私密音区保证悄悄话不被泄露。

智慧服务：场景融合驱动服务从“主动”向“智慧”转变

随着数字经济浪潮以势不可挡之势席卷全球，未来十年消费形态的变革将使各个行业的服务更呈现出在线化、定制化、个性化、响应及时化的特征，服务场景化的特征将更为凸显。随着数字化技术与汽车的深度融合，场景驱动下的服务将更加智能和高效，真正实现从“人找服务”到“服务找人”，再到“场景融合的智慧服务”。

第一，汽车智能化发展使得交互和服务更紧密地结合，智能算法可以对交互内容进行识别、分析和理解，结合车主身份的基本信息和历史偏好，进行行为预测和匹配服务。未来，汽车作为出行机器人将

更能理解用户、并不断学习和进化，就像一个伴随你左右、知你、懂你、帮你的私人助理。

第二，汽车智能化发展使得实时服务场景识别更为高效和精准。通过车辆数据、位置信息以及周边环境的识别和分析，进而判断用户所处的场景，主动预测用户的需求，从而提供精准的服务。

第三，互联互通的全新操作系统能够打通更多服务场景，基于新交互方式的应用生态应运而生，互联世界所激发出的更多服务将承载到智能汽车上，让汽车成为新的智能载体。伴随着数字世界的到来和数字经济的不断发展，数字化全景生态日渐丰富，场景驱动下的智能车联功能和服务更加智能、高效和便捷。

大胆设想，如果消费者预约远途出行服务的同时，希望在车上和朋友享用一顿牛排大餐。那么，MaaS出行服务商会依据消费者的出行目的和个性化偏好，提供一辆匹配其驾驶习惯的共享车辆，并在规划好的行驶路径周边，选择一家备受好评的西餐厅预订送餐服务；这家餐厅会依据车辆预计抵达交货地点的时间进行备餐，无人机准时将餐饮送到指定位置，车辆自动开启天窗，无人机完成牛排的递送，车辆继续向目的地出发，这一切都将无缝衔接。

智能生产：自动驾驶有望率先落地商用车领域，提振智能作业生产力

商用车作为社会运行最主要的运输工具和生产资料，其智能化、自动化发展，符合社会碳中和发展目标，有助于提升工作、生产效率，是智能驾驶产业链逐步成熟的重要发展方向。面向2030年，自动驾驶商用车将逐步实现从封闭区域/专用道路向干线物流公开道路拓展并率先落地，实现智能作业，大幅提升生产力。

由于封闭区域与外界交通没有交互，在有限环境因素和交通要素的综合影响下，可以穷举出自动驾驶中的所有应用场景和潜在突发事件。因此，商用

车封闭区域内的自动驾驶技术将率先大规模商用。以港口、矿山、农业、园区、机场、景区为主的封闭区域中，商用车智能化技术将不仅仅体现在运输车辆上应用，还将与生产管理系统进行融合，在核心生产、运输、调配等环节形成完整的无人生产体系，并实现大规模的商用化落地。

面向2030年，在封闭区域中，依托于“车-路-云”协同解决方案，可以打通垂直行业多车协同的端到端自动驾驶商用场景。通过全息环境感知、全局资源调度、动态业务地图、多车协同驾驶、车道级路径规划、信号协同控制、业务仿真测试等服务能力，进一步消除业务流程断点，实现自动驾驶的多车智能协同，提升场景化作业和运输效率，从而真正实现降本提效。

云调度与高精地图成为业务管理和自动驾驶车辆调度核心。封闭区域的智能商用车场景中，运营管理需要通过车云控制管理系统，进行自动驾驶车辆调度管理、车辆监控、以及通过高精地图进行业务和安全体系的支撑。例如，港口场景中，智能水平运输系统运控平台与港口集装箱码头生产操作系统（ToS）实现对接，将自动驾驶集装箱卡车的调度完全融入港口自动化调度系统中，实现港口统一调度和对接，实现全自动化的港口生产作业流程；同时，考虑岸桥、场桥，以及道路场景中环境因素的要求，通过动态图层绘制并动态刷新岸桥、锁站、堆场等空间位置信息和状态，又可以实时更新动态高精度地图。

干线物流场景下，随着道路基础设施的升级，商用车也将实现从辅助驾驶到自动驾驶的逐步演进。随着城市短途运输中车辆电动化普及程度的提升，以及路侧网络基础设施的智能化水平提升，在包括城市道路在内的复杂公开道路中，商用车智能驾驶渗透率有望大幅提高。同时，依托于自动驾驶的基础能力以及不同场景的商用化潜力，可以联合生态伙伴一起打造更多可落地的、场景驱动下的商用车智能驾驶应用。



技术趋势：智能汽车增量部件 持续为产业注入新活力

架构平台：向计算和通信架构演进，实现软件定义汽车

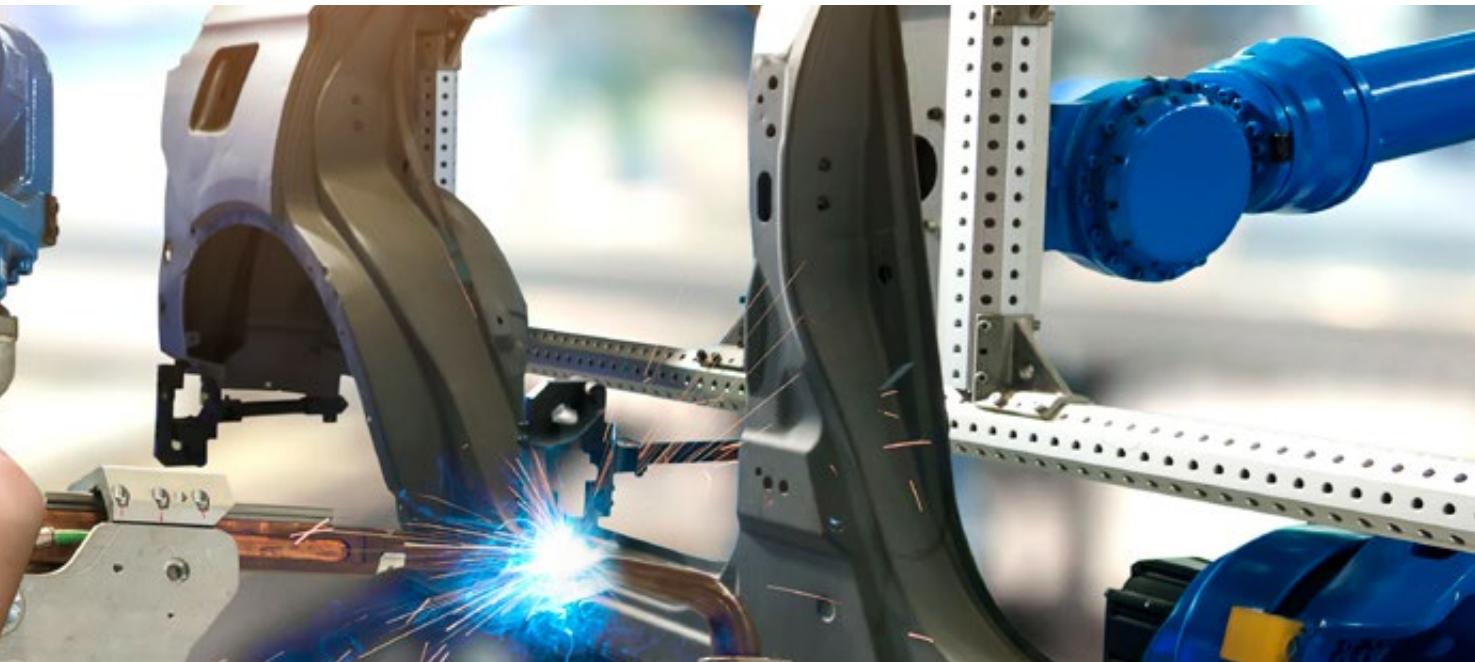
早期的电子电气架构采用分散式架构，单一功能采用独立的控制器，造成整车控制器近百个，整车线束超过3公里，成本高、重量大、组装自动化水平低；同时，过去面向众多不同厂家开发的ECU（电子控制单元），车厂要进行新功能开发和OTA都非常困难；未来，智能网联汽车的功能越来越复杂，通过各种传感器采集的数据量显著增大，对数据传输和处理的实时性要求也越来越高，这些因素都推动了整车电子电气架构不断进行迭代。

随着数字化、智能化技术的快速发展，汽车功能

逐步整合集中，从分散式架构到域融合架构，再到中央计算平台，集中化的演进趋势已成为行业共识。将传统的功能“APP化”，集成到中心处理器中，共用整车各种传感器和执行器，零部件逐步变成标准件，有利于降低成本和开发难度，域控制器聚焦于通过增加软件特性实现产品增值。到2030年，电子电气架构将演进为中央计算平台+区域接入+大带宽车载通信的计算和通信架构。

高性能车载中央计算平台，成为软件定义汽车的基石

区域接入+中央计算的星型或者环型架构保证了整车架构的稳定性和功能的扩展性，新增的外部部件可以基于区域网关接入，硬件的可插拔设计



支持算力不断提升，充足的算力支持应用软件在中央计算平台迭代升级。

面对复杂多变的移动出行与生活场景，以及不断涌现的智能座舱、智能驾驶、整车控制等的功能创新，需要强劲性能的中央计算平台来支持。高性能车载计算平台，将提供数千TOPS的极致算力，强劲性能的SoC、与SoC深度优化的OS及中间件与工具链、统一的平台架构，高效支撑SDV（软件定义汽车）的架构稳定与平滑演进。同时，底盘域、动力域、座舱域、智驾域对车载计算的安全性、实时性、动态性以及软件生态有着不同的要求，高性能车载中央计算平台通过硬件虚拟化技术和统一的功能安全框架，利用AI驱动的资源调度算法，在不同域间实现硬件资源的安全共享和高效调度。其关键技术包括：

大算力融合芯片：SoC芯片具备底盘域、动力域、座舱域、驾驶域等全域所需的数千T算力，存算一体(CIM)的应用技术，同时内置可信和功能安全内核。

确定性低时延、高速并发处理技术：除了大带宽传输，确定性低时延更多依赖的是对信息实时处理的能力。通信的高速并行处理能力并行接受多个渠道的数据、解决峰值数据冲击的问题，高并发任务处理能力满足越来越多的应用APP及其多维度运行的请求。

硬件虚拟安全分区 (Hypervisor)：Hypervisor根据不同域的功能安全需求，对硬件资源实现安全分区，利用AI引擎对不同分区的负载进行监控和预测，通过硬件资源动态切分，实现分区间的安全隔离和负载均衡。

应用程序间FFI (Freedom From Interference)：利用Hypervisor的虚拟安全分区功能，实现从应用程序、通信机制、操作系统、硬件加速器的垂直资源安全隔离；同时，利用芯片内的安全内核 (Safety Island) 构建三级安全监控机制，安全岛内置智能Fail safe (故障安全保护) 和Fail operational (失效可操作) 响应机制，实现横向的功能安全防护。

基于强大中央计算平台的稳健基石，软件定义汽车聚焦于智能汽车创新功能的敏捷开发与实时发布，满足智能汽车时代用户移动出行与智慧生活的多样性场景需求。

大带宽多协议通信技术，构建软件定义汽车的车载网络

随着车载功能的集中化演进，接入方式和通信模式也将发生质的改变。综合考虑功能、位置、重要性、安全特性等要素，车内将被划分为若干区域，每个区域部署区域网关作为区域接入节点。传感器、执行器就近接入，通过骨干网集中与远端中央计算平台进行数据传输。由此，线束大幅节省，功能也将有效拓展，传感器不再仅为单一功能服务，执行器也不再仅受直连控制器控制。

到2030年，多种接入协议将会共存。低速的LIN/SENT（单边半字传输协议）/PSI5（外设传感器接口5）由于其成本优势仍将部分存在，而超高清摄像头、4D成像雷达、高线数激光雷达的引入，将带来带宽持续提高的需求。华为预测，到2030年，车载单链路传输能力将超过100Gbps。车载通信的以太网化将成为主要技术趋势，而光通信技术在解决车规问题后，以其带宽大、重量轻、电磁干扰不敏感、成本低等优点，也将大量应用于车载领域。

传统的以面向信号、CAN/LIN为主的方式，通信与部署和路由深度耦合，通信两端变更将会引起路上所有节点变更。面向服务的以太通信，有效解决了这个问题，基于以太的服务接口变更仅限于收发双方，实现通信与部署和路由解耦、易于扩展，实现接口标准化、契约化，实现车载业务的互联互通。

在技术实现上，大带宽车载通信技术将有效满足这些点对点、骨干网传输诉求。其关键技术包括：

大带宽铜缆通信：通过编码和算法增强，针对铜缆短距通信衰减等特性，进行功率智能分配设计，以实现低成本、大带宽(10Gbps~25Gbps)的高速以太网传输技术，满足车载应用对高带宽骨干网的技术需求。

车载光通信：当通信带宽扩展至25Gbps以上时，基于铜缆的通信技术将会受到成本、EMC（电磁相容性）及工程化等方面的技术制约，此时，解决了热、震动、寿命等车规问题后的光通信将会以其成本低、重量轻、抗EMC等技术优势进入车载应用领域，支持更高带宽的通信和演进。

确定性时延：通过实时通信协议栈和传输层的TSN（时效性网络）协议簇保证车载通信端到端的μs级确定性时延，并根据业务场景设计传输策略满足不同功能对通信场景的需求。

创新无线通信技术，使能车内设备高质量互联

面向2030年，车载无线通信技术将打破车内设备通信的边界，使能车内任意设备之间的高质量互联，以切片方式高效实现创新应用。车载无线通信技术通过全新的空口设计，实现了单向传输时延小于20μs的极致性能，数据传输可靠性超过99.999%，多点同步精度小于1μs，支持数百节点快速接入和业务并发，并且实现了端到端的信息安全保障，为车内设备通信提供了高质量的无线连接。车载无线通信技术引入了基于业务特征的资源管理机制，能够通过切片隔离的方式支持无损音频传输、超高清视频应用、超低时延交互类游戏等应用，进一步地通过多信息域协同交互，真正实现车内声、影、光、感联动的沉浸式信息娱乐体验。

车载无线通信技术将极大改变车内组网和连接方式，加速实现车载网络平台化、模块化和平滑演进。车载无线通信技术通过无线替代有线，打破了传统汽车线束设计、生产、部署、安装、维护与车型结构的深度耦合关系，更有利于基础通信

架构的平台化，实现一套通信架构适配多款车型。无线的灵活性可以更好适配不同的车载通信架构，因此面对不同架构选型可以提供标准化的无线接入方案，真正实现末端车载设备的模块化、标准化、即插即用可替换，进一步降低研发成本并实现基础平台的持续平滑演进。

架构分层解耦、SOA（面向服务的架构）的软件架构下实现软件定义汽车

随着汽车向高度数字化、信息化的智能终端转变，用户的车内体验延续手机思维，汽车的价值偏好和需求趋势从单一的出行产品需求向个性化体验型需求转变，智能化、个性化、体验化将成为用户选择汽车的主要考量因素。另一方面，随着汽车硬件及其技术的逐渐趋同，传统厂商将转向依赖软件和算法打造竞争的核心要素、实现更高的附加值。软件定义汽车成为业界共识并将真正全方位落地。

软件定义汽车是指软件深度参与到汽车的定义、开发、验证、销售、服务等过程中，并不断改变和优化各个过程，实现体验持续优化、过程持续

优化、价值持续创造。其核心特征是软硬分离解耦，物理上表现为“软件与硬件的解绑”，本质上体现为汽车具有“成长属性”，即：软件可重用、可升级；硬件可扩展、可更换。

为了满足常用常新OTA持续升级要求，持续接入即插即用的多样外设，使得智能汽车的功能越来越多、越开越“新”，灵活易扩展的SDV软件架构是智能汽车时代应对场景复杂多变、功能持续迭代的必由之路。SOA基于服务分层解耦的通用软件架构逐步形成共识。这就需要在原有的整车架构中，引入原子服务层和设备抽象层：（图1 基于服务的分层通用软件架构）

原子服务提供基础业务能力，屏蔽硬件差异，使能上层应用跨车型复用。设备抽象对传感器、执行器进行能力抽象归一化，实现软硬件解耦，同类硬件替换升级，即插即用。

业务解耦设计，构建基础服务单元。将车内独立的硬件能力抽象封装成标准化服务组件，一个服务聚焦一个原子功能，根据不同需求，重载、组

图1 基于服务的分层通用软件架构



合已有的服务即可派生出新的复杂业务功能，提高软件的重用性。行业生态伙伴都可以基于平台组件和标准API进行应用APP开发，这个应用APP由平台进行统筹管理，包括对应用APP进行认证、授权管理、API 调用管理、安全审查和应急管理等，类似于手机的应用市场，用户可以任性选择自己感兴趣的APP进行本地化体验，只需要很小成本就可以获得各种新奇的体验，同样的硬件，每天不一样的感受。同时，开发者也能基于下载量获取收益。

车控功能整车协同化，数据智能融合，提升驾乘安全体验

随着架构向中央计算演进，基于标准化接口的传感器和执行器已基本实现通用化和即插即用，进而减少了平台适配成本，且更简单可靠。同时，动力底盘逐步演进到完全线控化，控制功能从机械执行部件分离，智能化后的中央计算平台将融合集成机、电、热、信息与通信技术等多领域，对控制功能进行统筹处理和协同控制，做到性能更优、响应更精准。随着动力底盘一体化控制的实现，将进一步消除控制时延，做到控制器内部1ms调动，输出即执行，控制功能实现整车协同化，其价值也逐步显现。

运用AI能力对海量车控数据和环境信息进行深度融合，一方面，可基于数据进行驾驶员行为分析，构建驾驶风格自画像。通过识别驾驶员异常行为和运动轨迹，分析、预测驾驶风险并及时提醒，甚至进行驾驶异常行为干预等。另一方面，可基于数据精细化修正车辆控制指令，促进动力学协同控制与驾驶辅助功能的协同优化，全面提升驾乘安全。例如，视觉感知融合有助于高效获取车身姿态参数，并据此进行动力学控制的精细化调整（如基于视觉对地面附着系数、质心侧偏角、车辆横摆角估算），增加控制精准度。基于对路面平整度、障碍物、前车驾驶意图、车身指示灯等的识别，再结合车控数据进行数据融合，进行预期轨迹紧急避障处理，提前进行横纵向协

同控制，显著提升驾驶安全。

智能驾驶：自动驾驶加速实现商业化

出于对安全性的极致追求，华为智能驾驶在技术路线上选择多传感器融合感知的方案。通过搭载更全面的传感器硬件，实现包括激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、摄像头等各类传感器在内的感知能力合一，以支持多维度环境信息融合和重构。

除此之外，感知层还结合了未来能够覆盖全球的高精度地图与组合惯导系统，实现多源高精度定位。在人工智能芯片提供的大算力支持下进行城市、高速以及泊车场景下的融合感知，最终实现复杂路况的自动驾驶功能。

持续的算法训练与积累是提升用户体验、最终实现自动驾驶的关键

在自动驾驶走向商业化落地的道路上，仍需迈过许多技术门槛。由于实际道路情况中corner case的复杂性和长尾数据的积累难度高，未来，影响自动驾驶方案最终体验的瓶颈仍是感知算法、规划与控制算法以及仿真模拟训练算法。

在融合感知算法中，基于视觉的感知框架、激光雷达数据生成与增强、复杂光环境中的车道级红绿灯感知、闪烁与模糊光源的处理、颜色与光源亮差处理、互相重叠的目标物识别、拥挤交通流感知等技术是最终决定车辆对于周围环境构建能力的决定因素。

针对规划与控制算法，行业仍需在感知/预测不确定条件下的多物体与多步博弈决策、横纵向联合运动规划、包括物体风险和场景风险的复杂交互关系中的类人决策和规划模型、海量数据中关键场景提取和自动化标注等核心算法领域进行深耕。

对仿真系统而言，需要构建交通参与者智能交互模型，创造大规模动静态的仿真场景，最终形成一个高保真且丰富的仿真系统。

“全频谱” 构建感知能力，实现万物感知

随着汽车领域的智能化趋势，感知系统变得越来越重要，它是实现智能驾驶的基石。理想传感器的目标是实现“全目标，全覆盖，全工况，全天候”工作。

全目标：包括人，车，障碍物，道路设施，结构等，无任何漏检

全覆盖：360° 无死角探测

全工况：高速，城区，拥堵/事故/施工等任何工况

全天候：无论白天黑夜，雨雪雾，强弱光灯等任何恶劣气候，环境条件

然而，当前业界的技术水平距离理想传感器仍有

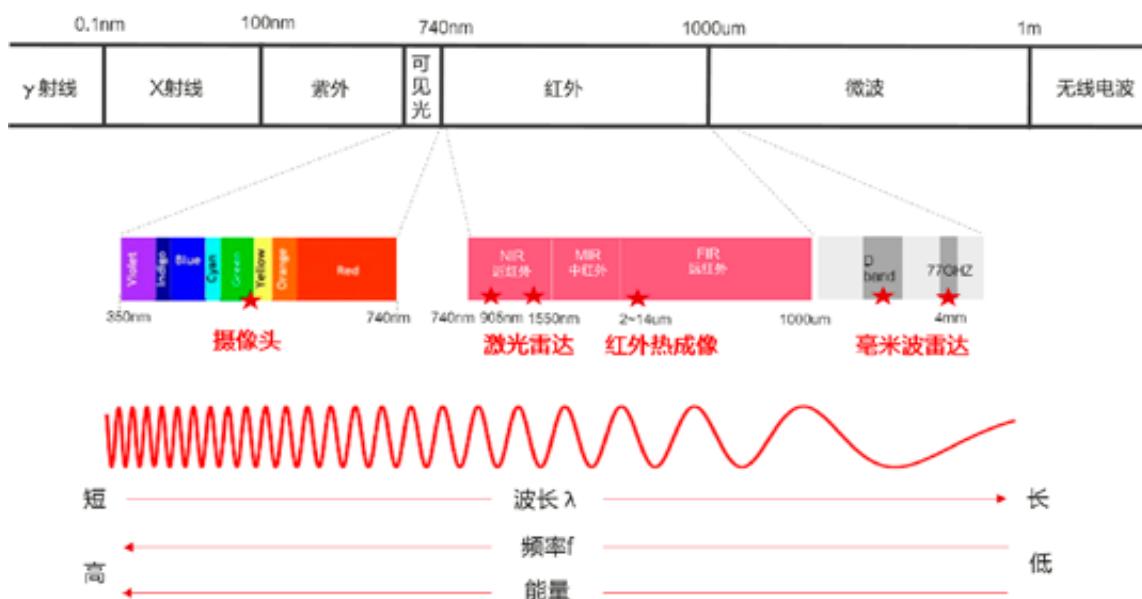
较大差距。为达到理想目标，需在全频谱上构建感知能力。（图2 传感器频谱分布图）

1) 毫米波雷达：从77G到D band (110~170GHz)，大幅提升分辨率

毫米波雷达作为波长最长的传感器，全天候性能最好。因为具备速度维探测优势，在动静分离、SLAM（同步定位与建图）构图上具有独特价值，但分辨率不足导致其在使用上存在局限性。

毫米波雷达在分辨率的演进上存在两条路径：超宽带和大天线阵列。当前国际标准上，一般把76~81GHz分配给车载毫米波雷达，通过4~5GHz的大带宽，来实现较高的距离分辨率。另一方面，天线阵列决定角分辨率，收发天线数越多，意味着角分辨率越高。当前主流毫米波雷达还停留在3T4R（3发4收）天线阵列上，近期华为推出的成像雷达已向前迈出一大步，达到12T24R的水平。然而，在无线通信上，收发天线高达128T128R。

图2 传感器频谱分布图



车载毫米波雷达天然有尺寸强约束要求，不可能像无线通信有类似门板大小的空间用于天线设计。基于77G频谱的波长以及雷达尺寸综合计算，天线阵列大致可以到48T48R，64T64R已是极限。所以，往更高频段上走是必然选择，其中D band(110~170GHz)具有未被开发利用的超宽频带，比如当前已有在研究的140G频段，具有较为适宜的大气窗口，传播受到的衰减较小，而且波长减小一半，可以在有限的空间，实现128T128R的超大天线阵列成像雷达，从而达到中低等线数激光雷达的分辨能力。

2) 激光雷达：从905nm ToF到1550nm FMCW (调频连续波)，集成芯片化和高性能4D激光雷达将成为两个主流演进方向

由于器件相对成熟，905nm波段当前被广泛采纳，正走在规模量产的路上。从技术方案来看，产业正在从模拟走向数字，从离散走向集成。收发器件面阵化及核心模块芯片化为高性能、低成本、高集成度、高可靠性的激光雷达提供了可靠的发展方向。

另外，在近红外区域的1550nm波段，其大部分光在到达视网膜之前就会被眼球的透明部分吸收阻挡，减少了对视网膜伤害。所以，1550nm波段可以容许更高的发射功率，来大幅提升其覆盖范围。其次，调制方式上，FMCW在毫米波雷达上的成功经验将会借鉴到激光雷达上。FMCW激光雷达有着明显的性能优势，比如高性能4D成像（增加速度维信息）、抗干扰能力强、更高的灵敏度和动态范围、适合硅光子和相控阵（OPA）技术低成本批量生产等。

然而，当前的1550nm FMCW技术还远没到成熟商用地步，需要产业链共同努力。其中，硅光技术是重要的努力方向之一，并将一步延续摩尔定律的发展。硅光技术通过将更加复杂而离散的光学功能集成到一颗硅基芯片中，实现激光雷达的

高集成，低成本，小型化。

3) 摄像头：从可见光到红外热成像技术融合，解决全天候工作的难题

摄像头是最接近人眼的一种被动传感器（没有主动发光部分），采用反射光成像的方式感知周围物体，在三个传感器中具有不可替代的作用，比如识别红绿灯，路牌等静态环境要素。然而摄像头有其自身缺陷：1) 反射光成像，导致夜晚场景性能、置信度大幅下降；2) 雨雪天气，视线被遮挡，导致可见区域大幅降低。目前来看，摄像头自身无法克服这些恶劣天气场景的影响，但在可见光附近的红外光频谱（波段在2~14微米），采用的是一个区别于其他传感器的、全新维度的成像原理：热辐射成像。传感器将不仅具备夜视功能，还可实现雨雪/沙尘/雾天气下的目标检测，甚至具备一定的透视能力，进一步满足全天候工作要求。当前，红外夜视热成像仪在车载领域已起步，仍需低成本方案支撑规模量产。

“全融合”加速传感器物理形态创新，实现极简部署

随着汽车智能化程度越来越高，传感器数量也在急剧增加，从原来的1V到1R1V，到5R5V，再到6R13V3L（R：毫米波雷达，V：摄像头，L：激光雷达），未来将有更多的传感器“上车”。

然而车身空间有限，传感器对车身有比较高的安装部署约束，比如对蒙皮材质、厚度、安装间隔、平整度等都有严格的要求，这也加大了整车造型设计的难度，设计师们需要充分考虑整车颜值和传感器性能两者的平衡。

通过物理形态创新提升传感器的易部署性，将使传感器更容易“上车”：一方面，传感器小型化是趋势；另一方面，提升传感器与造型的适配性，实现传感器和造型一体化设计，大幅降低传感器对车身的安装约束。这需要产业链在材料、



工艺、工程等各个维度共同努力。

干扰、EMC等问题。

1) 天线分布式部署+集中计算模式

当前，业界的毫米波雷达普遍采用一体化设计，前端的天线和后端的信号处理、感知处理都封装在一个盒子中，来实现完整的点云生成、目标检测与感知处理。在集中计算成为趋势下，借鉴华为无线分布式基站经验，可将毫米波雷达信号进行切分和拉远。常规单体雷达只输出点云，将感知处理上移至域控集中融合处理。如此处理后，性能/功耗/尺寸都将全面大幅优于传统雷达。激光雷达向固态雷达演进后，同样可以实现分布式部署。

2) 车身融合部署创新

除了要求单独空间部署外，另外一个方案是和车身上现有部件进行融合，利用现有部件空间进行合理部署。鲨鱼鳍天线融合GPS、4G/5G和FM，环视摄像头和后视镜的融合已经树立了典范，后续相似的也可采用激光雷达和前视大灯融合，分布式天线和玻璃、车门融合，远红外和摄像头融合等方案，都会使传感器适应性更好，更易部署，但同时也给传感器提出了更高的要求。未来，需要进一步解决在融合过程中出现的散热、

另外，传感器之间也可以实现融合。比如低成本的分布式IMU和传感器进行物理融合，可以帮助传感器从帧间补偿提升为信号级（帧内）补偿，随时精确感知传感器姿态。在振动、航位推算、坡度倾斜等场景中进一步提升传感器整体性能和安全等级。

3) 贴片式传感器，彻底颠覆传统部署方式

“贴片式”传感器是未来传感器部署的终极畅想。以终为始来看，传感器需要持续做小、做扁，并最终实现即插（贴）即用。芯片高集成化是必然趋势，除此之外还有一些其他技术路径：

微透镜阵列技术：通过一组深度和高度只有几毫米，精密制造的微型透镜，将聚焦的波束投射出去，可显著减小光源和透镜之间的焦距，实现扁平化设计。当前，这种技术主要运用在投影仪上。未来微透镜阵列技术给激光雷达持续小型化，甚至实现贴片式提供了可能。

智能蒙皮（共形天线）技术：将天线阵面与载体外形“共形”，如同创可贴一般直接把天线阵面贴于载体表面，与平台结构融为一体。要做到在



不同载体曲率表面工作，就需要天线可以根据其弯曲状态检测曲率，自动修正电磁波相位，从而实现增益效果的最大化。这样将大幅增强了适应性和造型设计的自由度。

微透镜阵列、智能蒙皮/共形天线、硅光技术等新技术，为未来智能汽车实现传感器集成的颠覆式形态，带来了无限可能性。未来，遍布全身的传感器网络如同贴在智能汽车外表面的一层“皮肤”，而要达到这样的终极畅想，需要产业链在材料，工艺，工程等各个维度共同努力。

中央计算平台将为智能驾驶提供澎湃算力

强劲性能的计算平台成为智能驾驶算力的基石。在智能驾驶汽车时代，面向全场景、多种复杂路况的智能驾驶需要部署的传感器种类（亿级像素摄像头、事件相机、4D成像雷达、超高线数激光雷达、超声波雷达、红外探测器、声源探测器等）与数量（>50个）将越来越多，精度也越来越高，它们产生的数据洪流需要实时分析与处理。

随着芯片工艺的提升，未来整车将具备车载5000+ TOPS及300万 +DMIPS的超强算力，结合存算一体(CIM)的应用技术，能效比将得到进一步提升，中央计算平台将为智能驾驶提供澎湃算力。

高精地图将作为基础设施使能智能驾驶

到2030年，高精地图将成为新一代基础设施，使能智能驾驶的广泛应用。从纸质比例尺地图到电子导航地图，人们的导航出行体验发生了革命性变化。从导航地图到ADAS地图，辅助驾驶和商用车节能运营成为可能。从ADAS地图到高精度地图，支撑智能汽车上路。

当前的智能驾驶高精地图，已具备高精度车道级路网信息、基本道路附属设施等静态环境图层信息，以及矢量特征点定位图层信息。上述信息为智能驾驶汽车提供了高精度车辆位置定位、辅助环境感知和路径规划功能，成为智能驾驶系统不可或缺的内容。到2030年，高精度地图将包括100%的道路路网覆盖、100%实体车道线道路的高精度覆盖，以及由此延伸到周边数公里路段的虚拟车道线高精覆盖。对行驶安全有重要影响的要素将实现实时更新。到2030年，将形成丰富的高精度地图动态信息图层，包括动态交通事件、超视距交通参与者动态信息、半动态交通环境（如路面状况等）基础动态图层，以及为定位、规划、短时控制服务的动态行为、动态定位、动态规划参考图层。

依托华为在人工智能芯片、算法、标准构建和生态构建方面的领先能力，华为将综合应用先进传感技术、人工智能技术、高可靠定位技术，构建新一代高精地图标准体系，实现2030年新一代高精度地图作为新基础设施为智能驾驶赋能的愿景。

V2X云端大脑使能多车协同，助力智能驾驶落地

随着网联化基础设施的逐步完善和智能驾驶渗透率的提升，智能网联从单车智能走向多车协同，将进一步推动智能驾驶广泛商用和智慧交通体系的建设。

构建泛在的V2X连接能力，连接人、车、道路基

础设施，通过在云端构建车云协同智能驾驶平台，打通端到端应用场景，通过全息环境感知、全局资源调度、动态业务地图、多车协同驾驶、车道级路径规划、信号协同控制、业务仿真测试等服务能力，将有效加速多车协同的智能驾驶商用落地。

通过智能网联云端大脑，实现对人、车、路、环境的全要素信息融合，提升车辆对动态交通环境的感知能力。同时，通过车辆之间行车策略的共享与博弈，以及车辆与信号灯、指示牌等交通基础设施之间的互联与协同，实现从局部到整体的行车策略优化，将进一步推动智慧交通体系建设。

智能座舱：智能化进程加速，软硬件迭代速度向消费电子看齐

座舱是人机交互的中心。2030年，智能座舱的渗透率将超过90%，一个新的移动式智能终端生态体系逐步构建完成。

智能座舱的体验构建在以芯片算力为基础，以座舱OS为核心承载的软硬件能力中。同时，车载智能外设和舱内感知算法的飞速发展，使得人们能够享受到日新月异的新座舱智能体验。

开放共赢，座舱OS使能应用生态“常用常新”

相较手机等消费终端，汽车座舱人机交互的特点是多外设、多用户、多并发和多模态；座舱域包含仪表和IVI（In-Vehicle Infotainment，车载信息娱乐系统）等，在满足交互体验的同时，需要具备一定的安全性。智能座舱操作系统需要基于上述特点进行设计和开发。

2030年，基于操作系统多内核的软硬件隔离能力成熟，结合新的QoS技术，座舱多功能域之间的资源调度和部署更为灵活，多域功能的融合能够有效降低综合演进成本，促进生态发展。

除此之外，座舱的应用生态要能够实现不断升级，“常用常新”，这对座舱OS的应用接口一致性和稳定性提出了严格要求。

当前，座舱OS的最大挑战来自于行业解决方案的碎片化和定制化。例如，车企在开发一个功能时，需要调用摄像头或者麦克风，但不同车型在屏幕、麦克风、摄像头等方面的硬件参数不一样，软件需要根据这些参数做定制化开发，这就相当于把功能做成“烟囱式”，相互之间无法有效联通，也无法轻易共享软件能力。另外，在实际的开发工作中，众多的供应商在给车企开发软件，不同的功能可能是不同的供应商开发，这将导致软件版本多且杂乱，重复开发，很难升级、维护。

未来，智能座舱OS会为开发者提供统一的API接口，以支持生态的不断丰富和持续演进。同时，面向开发者，智能座舱解决方案提供商可通过不断完善平台开放套件等能力来持续提升其技术优势，帮助开发者实现应用高效开发、快速增长、商业变现，使能开发者创新，为用户提供驾车场景的精品内容、服务及体验。

智慧感知，AI融合交互算法构建全新体验

随着智能化外设的发展和AI感知交互技术的不断进步，2030年汽车座舱将变得更加智能。感知交互手段将不仅仅局限于语音和触觉反馈，透明屏、AR-HUD、全息投影、智能穿戴、毫米波雷达、ToF摄像头等新型外设的应用，在驾驶安全、车内通信和娱乐应用等场景将带给座舱全新的交互体验。

语音助手不再仅仅是屏幕上的虚拟平面形象，无介质全息投影技术的成熟将为座舱内提供一个立体可见的酷炫语音机器人。语音机器人的形象可以自定义，也可以拟人化，情绪和动作会更为丰富，交互的内容不再局限于特定的程式定义语句，AI赋予语音助手以更自然的方式与人沟通。

未来全息投影技术的进一步发展将可能出现车内任何区域的空间投影，视频电话中，远端的亲人可能正坐在副驾与你亲切交谈；行车场景中，信息的指示可以出现在任何更适合出现的位置。人与机器的交互将更贴近人与人的交互。

这其中，语音、视觉、音频等主要交互能力的技术路径如下：

第一，语音能力。从车载安全角度讲，语音是未来智能座舱最核心的交互能力。语音体验演进的核心准则和方向是：1) 直观：不要让用户思考，关注内容的清晰交互；2) 迅捷：高效执行，及时反馈；3) 无缝：多端平台一个语音入口，服务无缝接入；4) 灵活：交互流程可控，交互状态保留，不轻易终止流程。5) 情感：情感化语音形象，突出品牌形象。未来，语音交互体验仍需从全场景语音前端降噪，全场景语音识别（如可见可说），泛化语音理解，情感拟人化的语音对话等方面来构筑用户体验。

第二，视觉能力。视觉交互是除语音交互外的第二大车内人机交互方式。当前车内视觉识别技术主要应用在DMS（驾驶员监控系统）、CMS（座舱监控系统）、手势等人机交互的检测和识别中，未来会往舱内活体检测、人体健康监测、安全支付、娱乐交互、音视频融合等方面发展演进。未来，车内交互将实现多模态融合，不同交互方式深度渗透，为用户带来更精确、便捷的体验。例如：眼球追踪技术和AR-HUD结合，能够实时识别舱外目标并在实体上投影出描述、广告等相关信息；毫米波雷达和视觉手势识别集成技术，让手势识别精度更高，可操作方式更多；视觉和语音结合的技术，在高噪声干扰场景，通过唇语识别关键控制命令，实现全场景语音识别和控制。

第三，音频能力。未来座舱音频技术的发展主要往拾音降噪、音质声效、主动降噪方向演进。

1) 拾音降噪：降低前段拾音背景噪声，提高车内通话质量和人机语音交互准确率；2) 音质声效：通过对即将播放的声音信号进行处理，实现不同座位的驾乘人员同时拥有个性化听音内容和独立音区，以及所有人员可共同获得沉浸式声效体验的多声道环绕声等；3) 主动降噪：主动降噪仍然是未来10年车载领域的重要技术方向，通过硬件和算法降低发动机噪声、路噪和风噪的影响，提高乘车舒适程度。未来10年，器件、算法和架构不断突破，座舱的音频体验快速提升，汽车愈来愈成为一个移动式的影音娱乐空间。

即插即用，接口标准化支撑硬件全生命周期用户体验

消费终端如手机的生命周期一般是2-3年，软硬件的集成包袱小。而对车型平台而言，汽车在售期5-10年，车辆保有10-15年，同时车厂有多款车型并行研发。这意味着厂商需要同时维护大量的软硬件版本。

为了支持日益迭代的软件应用，硬件性能也需要不断提升。不仅是计算芯片，汽车的摄像头、显示屏等核心部件，都可能在汽车的生命周期中经历迭代。座舱硬件的升级换代，也可以在后向运营上产生新的商业模式。

芯片或模组的算力要能支持未来3-5年的软硬件算力消耗。同时芯片模组要支持代际兼容性设计，能够容易升级替换（如插拔式替换），以在汽车硬件生命周期和硬件算力需求上达成平衡。其中一项重要的技术，就是支持模组级可插拔式的硬件即插即用能力。

其次，在外设上，类似于Windows系统安装方式，部分关键外设支持更换后独立安装驱动，无需通过OTA升级车机版本。这项技术的前提，需要座舱南向硬件之间建立统一的对接标准，从而解决车机、摄像头、显示屏、HUD、智能座椅、



智能方向盘、车载机器人、智能车窗、全息投影等硬件设备接口定制化的问题。南向硬件标准构建需要在短距无线、有线标准、视觉、音频等接口标准化方向上持续探索演进，充分降低零部件成本，构建硬件生态。

跨端协同，分布式技术实现智慧体验无缝流转

智能汽车不是孤立的系统，人机交互也需要打破空间界限，与外界联通；设备之间的联通和交互，除了依赖通用的云端跨设备互通技术外，鸿蒙分布式软总线技术在近端跨设备无缝流转技术上的应用，可为用户带来更为便捷和舒适的交互方式。例如，基于华为终端分布式平台，出行场景与其他场景（办公、家庭等）得以保持紧密衔接，实现跨设备协同的最佳体验，构建全场景的智能座舱服务系统。

无感发现和零等待传输是实现近端设备间无缝协同体验的前提，其实现需要解决三个问题：设备间如何发现和连接？多设备互联后如何组网？多设备多协议间如何实现传输？其中涉及的关键技术覆盖设备的自动发现、自动连接、组网（多跳自组网、多协议混合组网）、传输（多元化协议与算法、智能感知与决策）。

分布式软总线的原理是通过协议货架和软硬协同

层屏蔽各种设备的协议差别。一是通过总线中枢模块，解析命令完成设备间发现和连接；二是通过任务和数据两条总线，实现设备间文件传输、消息传输等功能。

智能汽车与IoT设备的交互体验，一方面，智能座舱的交互体验设计逻辑，需要符合用户在其他智能终端设备上的一致性体验要求。在操作逻辑上，手机端的应用和车机端的应用，在功能上要拉齐，车机应用可以结合座舱外设硬件的能力做针对性的设计。另一方面，需要满足无缝链接体验的要求：用户在手机终端上的日历，正在运行的音频、视频、会议等应用，能够无缝在手机和车机上实现业务的接续流转，给用户连贯性的智慧体验。

基于手机和车机之间建立的极速连接通道，可以把手机和汽车的硬件资源、系统能力、服务生态快速融合在一起。汽车厂商可以引入手机等外部设备的算力和移动互联网全生态服务。同时，基于终端分布式平台，出行场景与其他场景（办公、家庭等）得以保持紧密衔接，实现跨设备协同的最佳体验，构建全场景的智能座舱服务系统。

车载光应用：点亮新视界，见所未见

“光耀万物” 构建全景化、沉浸式的全息视界，打造极致视觉体验

人眼对视觉体验的追求永无止境。伴随着汽车智能化的发展，前挡风玻璃、侧窗以及车顶的全景天幕都可以成为显示信息的屏幕，实现极具真实感的全息成像。同时，汽车前大灯激光化、像素化的不断升级，车外灯光将从简单的基础照明功能延伸至可覆盖车身周围各个方向的立体投影空间。

打造极致视觉体验是车载光应用的核心目标，可应用于显示、交互、娱乐三大功能场景。导航场景，前风挡可显示导航指引、障碍物提示等信息，提升用户行车安全；娱乐场景，前风挡甚至后座侧窗均可作为全息投影大屏，实现2K/4K影院级沉浸式观影体验。车顶的拱形全景天幕可定制灯光主题，如夜空流星雨光效、星际宇宙光效、深海珊瑚群光效等。未来，智能车灯多色域、高像素的投影功能，让人们可以随时享受户外露天电影。

作为未来的“第三生活空间”，用户对于行车时的视觉体验诉求将越来越高，不仅需要更大画幅、更高像素的沉浸式视觉体验，更需要以新科技呵护用户的用眼护眼、防晕车需求。交互功能场景需要保证用户充分获得立体沉浸感的同时，不会因为长时间的视频通话、观影产生晕车感。后排用户在享受椅背大屏提供的丰富娱乐功能时，也对光显示技术提出了健视护眼的要求。

未来，空间光学结合人因体验，将超越物理分辨率，还原全感真实世界。主要实现路径有：

巨幅沉浸：借助自由曲面镜、衍射光波导及偏振分光等空间光学技术，可在狭小10寸屏幕物理空间，为用户提供近百寸巨幅沉浸体验。基于定向光场技术突破裸眼3D车载屏幕，结合定向声场实

现类比IMAX帝王位沉浸式体验。

真彩超清屏：2k/4k/8k ODP光引擎配合微纳结构扩散屏，实现像素倍增和亮度增强，提供远超视网膜级的清晰度。RGB三色激光实现影视级P3、以及8K时代BT2020色域效果，完美还原真实世界色彩。

视觉健康：基于虚像成像系统，实现成像画面拉远至3米外位置，消除导致近视的危险因素，主动预防近视。无源冷屏显示技术，实现显示屏无辐射，达到防蓝光的健康标准，实现用户健康用眼。

人因体验：动态人因工程技术，主动消除耳前庭与人眼运动信息冲突导致的晕车因素，在车载屏上实现防晕车效果。通过眼球跟踪、视力筛查、扩散屏成像距离调整，实现人眼睫状肌自适应放松，消除长期用眼产生的视疲劳问题。

“光感万物” 实现全天候、全方位的智能守护，极大提升驾乘安全

车载光技术的发展可提升环境建模的广度和深度，通过近红外光感知、热光感知和图像光感知等创新应用实现精确环境建模，实现“见所未见”。建模后生成的外部环境感知信息不仅服务于智能驾驶，还将服务于车内人员，提升驾乘安全。夜晚、雨雪和雾天等能见度极低环境下，感知融合车灯还原精确环境信息，消除驾驶员在极限环境下的视觉障碍。基于多波段感知信息的融合，能够更准确地识别生物和风险因素，实现“辨所难辨”。

伴随用车需求和时长的提升，驾乘人员健康监控、异常状态感知成为未来智能汽车发展的关键安全需求。基于车内红外及光纤传感等光感知技术，对于用户呼吸异常、脉搏异常、心脏突发等健康异常情况，可给予及时预警。同时识别驾驶员的疲劳状态，对其及时提醒以减少“人为错

误”，进而降低交通事故发生率。在驾驶员离开时，可给予车内人员存在监测，避免幼儿、宠物遗留在车内的悲剧发生。

未来，全波段光技术结合图像识别和处理，将围绕着全天候、全方位两个方向不断发展，给车加上一双“慧眼”：

全天候：所有高于绝对零度的物体都会发出 $8\text{-}14\mu\text{m}$ 波段的红外热辐射，红外热像技术检测这种红外热辐射进行成像，与可见光（400-700nm）波段不同，其不受光线、雨雾等条件限制，可实现夜视、穿透雨雾、消除眩光。

全方位：物体的振动会导致光信号的频率变化，通过光学多普勒频谱技术捕捉用户体表皮肤微振动，结合红外热像技术，从而实现用户心率、呼吸体温等生命体征监测，排除疲劳驾驶、突发疾病等风险因素，实现全方位的安全守护。

“光联万物”赋予汽车全新交互通道，保障行车安全、建立情感连接

车载光应用技术提供新的交互通道，持续提升行车安全。从车内来看，AR-HUD是驾驶员的直观交互通道，可降低驾驶员低头查看仪表带来的风险，同时还能实时显示AR导航、障碍物预警、雨雾夜视等提醒信息，以及丰富的生活、加油站等资讯信息。智能车灯能改变传统汽车依靠“喇叭”“转向灯”与外界交互的单一方式，可在道路中投射更多交互信息，如雨雾夜视提示、车辆宽度提示等信息，为驾驶员提供辅助判断，进一步提升行车安全性。同时投射转向提醒、优先通行指示等信息，为行人提供更和谐的出行环境。车灯可提供表达情感的“智慧灯语”，可投射图案、表情、文字、天气等自定义信息，甚至可实现车灯party、车灯演唱会等情感交互体验。

未来，丰富的车载光应用产品将开启智能汽车交

互表达新窗口。主要实现路径有：

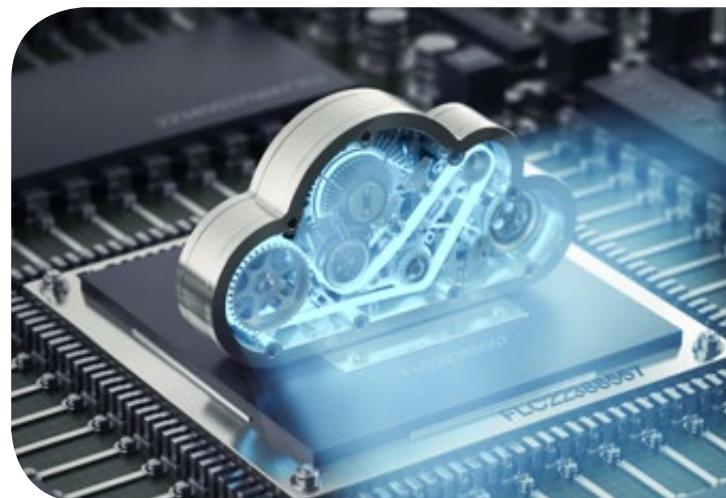
HUD：当前采用百万像素ODP光调制引擎和空间光学设计，实现风挡前方的AR-HUD。后续基于双焦面技术，可实现多层次增强型AR-HUD，达到仪表盘位于前方2~3米、导航和资讯信息位于前方7~10米的效果。未来裸眼3D技术可以进一步提升HUD的交互性和体验性。

车灯：基于百万像素ODP模组和光学镜头设计，车灯变身“投影灯”，实现前车距离提醒、欢迎动画等智能灯语。采用精准激光照明及感知技术，实现车与环境的互动，“动态光毯”提供厘米级精准照明，提升驾乘安全和体验。未来可将信息通过电流/电压调制于照明光束上，将可见光通信技术用于车与车之间的信息交互。

车窗玻璃显示：紫外光投影光机结合荧光薄膜玻璃，实现车窗玻璃的全域覆盖彩色显示，可应用于车与外界的信息传递，例如向行人提示信息、广告信息投放等多样化信息。

智能车云：车云协同的智能服务助力车企数字化和服务化转型

在智能网联时代，除了聪明的车、智慧的路，



还需要一朵智能的云，不仅能够帮助智能驾驶算法实现数据驱动的闭环迭代，还能有效联接人、车、路，并使能智能座舱、智能电动、智能驾驶、智慧出行、智慧交通等丰富的智能网联应用场景。智能车云服务还将与应用层能力深度融合，以敏捷的业务能力来应对快速变化的市场，同时以领先的创新能力来形成差异化的市场竞争力，帮助车企实现数字化和服务化转型。

云端智能驾驶数据闭环，实现算法快速开发和持续迭代

为了解决智能驾驶的长尾问题，我们需要持续丰富难例数据集和仿真场景库，开展智能驾驶算法迭代。在这个过程中，不仅需要依赖PB级的海量数据和大量的算力资源（超过1000个GPU资源）进行算法训练，还需要通过天文数字级（100亿英里）的仿真测试进行算法验证。除了对存储、算力等资源的要求，这套系统还对基础设施服务的高可靠性、高安全性以及可拓展性提出了严苛的要求。传统的数据中心建设模式将为智能驾驶开发企业带来巨大的建设成本和运营维护压力，为了解决这些挑战，云计算技术在智能驾驶领域得到广泛应用。

在云端构建一站式服务能力，可以解决智能驾驶复杂的工程化问题。智能驾驶的算法开发除了需要应对海量存储和算力需求的挑战之外，更需要解决所大量的工程化问题，比如数据采集、数据回放、自动化标注、难例场景挖掘、生成增量数据集、模型管理、训练任务管理、模型下发、仿真场景库构建、仿真测试、算法适配等。这些工作往往占据了超过70%的开发工作量，因此，智能驾驶算法开发要以数据为核心，数据和算法解耦，打造一个开放的使能平台，提供完整的、自动化开发工具链，帮助车企和开发者快速构建智能驾驶开发能力，解决算法开发过程中繁琐的工程化问题，降低技术门槛，提升算法开发和迭代效率。

1) 提供弹性扩展、安全合规的智能驾驶算法开发基础设施

基于云底座打造超大规模数据存储和计算中心，提供智能驾驶车辆海量数据的上传与合规存储服务，以及海量计算资源，帮助车企解决智能驾驶算法开发过程中深度学习对基础设施资源的低成本、可扩展、高可靠和强安全的需求。

2) 打通工程化断点，支持智能驾驶算法的 DevOps（开发即运营）开发模式

智能驾驶算法开发过程中最大的痛点是工具链的割裂和开发流程存在大量的数字化断点。因此，要在云端构建贯穿智能驾驶算法开发、测试及商用优化的全生命周期服务能力。通过完整的开发工具链、预置算法、持续迭代的数据集和场景库，以及仿真、评测等服务能力，支持用户自定义的算法模型和异构硬件，基于云端基础设施和AI能力，实现智能驾驶领域开发过程从数据采集、处理、场景挖掘、难例挖掘到算法管理、训练、仿真、评测的完整闭环，帮助车企的智能驾驶研发团队快速开展问题定位、算法优化和测试验证，提升智能驾驶算法开发和迭代效率。

创新云端仿真技术，加速自动驾驶算法仿真验证与迭代

通过云端仿真提升智能驾驶测试验证效率，主要包括以下几个方面：

通过真实场景转仿真场景，快速构建仿真场景库。云端结合车载传感器采集的数据、高精地图和开放的仿真工具，将复杂、真实的路测场景转换成虚拟仿真场景，快速模拟复杂交通流，场景构建仅需几分钟时间。

支持多车协同智能场景的仿真验证。提升多车智能驾驶以及车路协同下智能驾驶等多种复杂场景下，对算法博弈策略的验证能力。

通过虚实混合仿真，提升实车验证能力。将在云端虚拟仿真场景加载到实车上运行，从而在空旷的道路或场地快速模拟各类复杂场景，并对实车开展测试验证，兼顾了效率、真实性和安全性。

通过云端并行仿真，提升仿真效率。利用云端海量资源和容器技术，开展大规模并行仿真，单日测试里程达到千万公里级，大幅提升仿真测试效率，将算法的迭代周期从以月、周为单位缩短到以日为单位。

无论是真实场景转虚拟仿真，还是虚实混合仿真，离不开高精地图的支持。通过云服务的形式，构建统一的动态高精地图服务能力，并解决高精地图合规存储和应用，以及快速覆盖、统一标准、分层服务、动态刷新等挑战，支撑车联网位置应用、智能驾驶仿真/运营、智能网联产业园区、车辆智能驾驶、智慧城市等广泛的应用场景。

基于安全合规的专属云基础设施，提供开放的地图数据存储与应用合规服务。基于云端海量存储、超强算力以及智能算法，对路测数据提供安全合规处理，支持第三方合作伙伴开展智能驾驶开发以及地图数据应用服务。

构建高精地图多图商联盟，形成产业合力。支持多图商数据接入，通过智能质检和后处理，统一服务标准，整合行业资源，减少重复性的地图绘制工作，降低行业成本。通过开放、灵活的运营，提供快速响应、广泛覆盖、动态鲜活的高精地图数据服务。

云边端协同，实现高精地图动态分发和众包更新。通过云边端协同，实现高精地图数据按需分发和灵活应用，使能各类智能驾驶和智慧城市的应用。同时，通过智能网联汽车、其他交通参与者、路侧基础设施、路侧边缘计算与云的协同，实现高精地图静态图层的众包更新，以及



动态图层数据的实时刷新，提升高精地图数据的鲜活度。

构建统一数据服务体系，使能车企数字化和服务化转型

随着ICT技术与汽车产业的深度融合，云计算也为智能网联汽车的功能和体验创新带来巨大的发展红利。车企需要云端智能构建场景化的大数据应用服务能力，这是因为一方面，车企基于自身的车辆数据开展各类应用和服务时需要业务深层逻辑与大数据、人工智能等技术的深度融合。比如电池热失控预警就需要融合电化学领域和人工智能领域的知识与技术。另一方面，车企需要构建统一的数据应用服务体系，以及对外开放合作能力，以满足智能网联应用场景逐步细分趋势下海量的业务需求。

以应用为中心，基于云原生2.0架构打造的智能车云服务，可帮助车企构建统一的，涵盖采集、存储、整合、计算、管理和服务的完整数据服务体系，这就是使数据可以闭环运营，应用可以持续创新，车企还可以与各应用领域的第三方公司开展上层应用合作，提供满足消费者需求和个性化的智能应用与服务，实现数字化和服务化转型。

1) 基于云原生基础设施，实现数据全量采集和

汇聚

构建多元算力、软硬协同、统一高效的数据服务平台基础设施，以应用为中心，向下统一管理和支持各种异构硬件，向上屏蔽底层多种硬件的差异性。基于开放、标准的车联网技术，在云端实现海量车辆的连接和百万级并发服务能力，构建数据通路，实现智能电动、智能驾驶、智能座舱、智能网联等部件的数据采集和汇聚，在云端构建智能网联汽车全量数据湖，实现车辆数字孪生。

2) 基于云原生业务智能，实现数据价值挖掘和应用创新

使能业务智能化有几个关键诉求：在云端构建数据的采集、传输、存储、标注、分析、应用等全生命周期管理能力，降低数据治理的成本，释放数据最大价值。基于云原生的技术，构建的一站式融合数据分析平台，可以打破数据边界，实现高效的跨源跨域协同分析能力。

随着云上AI技术和生态的成熟，云平台将持续丰富算法库，通过提供自动标注、预置算法等能力来降低AI应用开发的技术门槛。深度结合云上超大规模的算力和海量数据，使能深层数据价值挖掘和大数据智能应用创新，实现车辆核心部件智能诊断、车辆状态监控、车辆功能偏好分析、车辆部件工况分析等各类智能应用。这些丰富的应用和服务所获取的数据，还可以反向优化产品的设计和研发。

3) 基于敏捷和开放的应用创新能力，构建繁荣的业务生态

使用云原生、微服务等技术，将应用拆分为能独立部署、独立运行的微服务，通过弹性扩容能力使应用拥有更高的可用性。将传统的应用开发和交付模式转变为以DevOps 为核心的开发运维一

体化模式，加速应用创新和迭代速度。

同时，通过开放的数据服务能力，使能第三方智能应用开发，帮助车企构建围绕用户出行与生活的应用创新生态，实现数据业务化，加速数据价值释放。车企和合作伙伴可以面向用户提供丰富的个性化服务和应用，构建新的业务场景和商业模式，实现服务化转型，提升服务收益。

智能电动：动力系统向融合、高效、高压方向发展

动力系统融合极简，AI加持助力自我进化

传统动力系统架构开发周期长，开发成本高，伴随着电动化转型，需要通过零部件集成化来实现开发极简、适配极简、布置极简、演进极简。

当前电驱动形态主要以三合一集成电机控制器、电机、减速器，属于功能和硬件上的集成。动力架构的技术前沿形态将会是六合一集成方式，集成三合一电驱动系统与三合一车载充电系统，实现更多功能融合。相比传统分立方案，融合方案体积减小30%，重量减少20%，可灵活适配整车极简布置需求，同时，高集成度减少了车企在部件测试及导入环节的投入，极大降低了开发成本。

多部件融合涉及到电气融合和单板融合，进一步要做到芯片融合、算法归一、控制归一，才能实现动力系统融合。超融合需要通过更高等级的EMC调制措施来消除多部件融合可能带来的干扰，并通过更高效率的散热体系满足融合后的散热需求。随着动力系统控制功能的融合，自研AUTOSAR软件平台中，CP+AP共用的架构支持面向域控制演进，超融合也将带来系统级的增值特性软件开发，实现功能的按需拓展。例如：OTA（空中下载）部件提升功率、整车软件快速升级、更多驾驶模式更新、NVH持续优化、拓宽性能边界从而实现动力系统越开越好等。



多部件控制融合为动力系统的智能化升级提供了统一的平台底座。部件特性的升级迭代，将会基于AI平台能力进行更高效的统一调度与功能协同演进，从而可以满足更复杂、更智能的动力场景需求。

未来，AI加持下，动力系统将具备自学习，自迭代，自进化的能力。例如：1) 主动安全预警，电池热失控故障可提前1周被识别并得到有效规避；通过云端智能远程标定，动力系统的性能表现将会越开越好；2) 动力系统的产品质量将会是全生命周期可视、可控、可预警；3) 人工智能会让动力系统的寿命可预测，提前规避影响寿命的场景和工况，达到寿命延长的目的；4) 从现在的按公里数和时间的保养方式，变成免保养、按需保养的方式，提升客户满意度。

比特管理瓦特，AI寻优实现三层级能效最优

动力系统通过引入5G、AI、大数据、IoT等数字化技术，通过“比特管理瓦特”实现电能、热能、动能的协同，通过AI寻优达到效率的最佳匹配，从而实现全工况全场景的能效最优。让电动车动力电池中储存的每一度电能，可以最大限度地转化为动力输出应用，即可最大化降低用户的里程焦虑，为用户提供更好的出行体验。未来，

电动汽车要实现三层级的高效：器件级高效、系统级高效与整车级高效。

首先是器件级高效，如应用更高效的IGBT器件或者采用高效SiC、GaN器件，依托先进封装技术改善散热条件、降低寄生参数，提高功率模块的电气坚固性和可靠性，实现高压、高温、高速环境下的高效率。其次是系统级高效，未来融合趋势下，动力系统将是一个集成机、电、热等多物理场的耦合部件。可通过数字化、智能化的开发平台，开展多目标、多参数寻优设计，优化电路拓扑和控制算法，同时基于AI和大数据，实现虚拟测试、远程在线标定，将动力系统的每一个子系统，都达到更高的电力转换效率，在动力系统自身应用电能时实现更高的用电效率。最后是整车级高效，在各种工况场景下，各个系统间应用数字化手段，将传统分立的驱动、热管理、转向和制动等部件联接起来，实现不同部件间的能效互补。用“比特管理瓦特”方式，实现电能、动能和热能的有效协同，降低非动力系统的能量损失，提升动力系统的能量高效供给。如：通过收集电机热量用于冬季电池预热，取消单独PTC加热；OBC与空调压缩机共用高压拓扑，实现功率部件在不同场景下的最大化利用等。未来，在云、AI技术的加持下，整车级能耗管理将更加智能，实现同一辆车在不同场景、不同工况下均有



最优的能耗管理策略与之匹配。

动力系统迈向“千伏”高压，畅享5分钟“闪充”

随着电动汽车行业加速发展，消费者对电动汽车的接受度不断提高，但充电、续航、安全，仍是影响消费者购买电动汽车的三大因素，其中充电问题最为用户诟病。。

以100度电电池包为例，若充电时间从50分钟缩短到5分钟以内，就要求单枪充电功率从60kW提升到500kW。要实现同等功率的大功率快充，相比低压方案，动力系统高压化能够解决充电电流过大、充电设施成本高、电池散热难、安全性差等问题。

目前，动力系统高压化技术已基本完备。从功率器件看，以SiC为代表的第三代半导体技术已基本成熟。与硅材料的物理性能对比，SiC临界击穿电场强度是硅材料近10倍，提升了功率器件电压，1500V以上SiC器件量产技术已突破，可覆盖新能源汽车高压平台；同时，由于SiC器件导通电阻低，热导率高，提升了系统效率。SiC材料的发展和应用为电动汽车动力系统向高压化演进提供了良好基础。从整车高压架构层面看，OBC、BMS、动力总成等整车高压部件也已经具备量产能力。

根据业界公开信息，未来，动力系统电压平台将

从800V提升到1000V，充电电流将从250A提升到600A，充电倍率从2C提升到6C，SOC (state of charge, 荷电状态) 30%-80%充电时间从当前的15分钟缩短到5分钟。随着SiC等核心功率器件的电压等级不断提升，动力系统也将持续向高压化演进。

安全可信：网络安全与功能安全融合，构建纵深一体防御体系

随着电动化、网联化、智能化的快速发展，汽车电子电气系统的复杂度与集成度不断提高，新的功能越来越多地触及到系统安全工程领域。如何让产品能够抵御外界的攻击、应对各种突发故障和复杂的外界环境、保障出行的安全可靠已成为行业的共同难题。智能网联汽车安全体系的内涵和外延正在不断的发生变化，功能安全、预期功能安全和信息安全共同构成了智能网联特别是智能驾驶体系的重要安全要素。

功能安全：全场景全天候高安全高可靠，功能安全要求全面升级

到2030年，随着智能驾驶、线控底盘、大带宽通信、无线网联、区域接入、面向服务设计、中央计算与控制等技术的广泛应用，功能安全的重要性进一步提升。同时，在超级软件平台安全设计与持续迭代、高安全AI算法、全场景全天候感知

与安全规控、基于“Fail-Operational”（失效可运行）的车辆E/E（电子电气）系统高安全设计与验证等方面，传统功能安全将迎来巨大挑战。从先进材料、制造工艺、架构设计等多个角度持续优化，构建芯片级、电路级、单板级、系统级的多重冗余，辅以最小安全系统予以保障，未来的智能汽车将达到甚至超越车规级ASIL（汽车安全完整性等级）D的安全要求，最终满足全场景部署、全天候运行的要求，实现随叫随到、随时随地的稳定可靠。

架构及系统层面，针对系统失效和硬件随机性失效，域控制器的异构互备成为标配。一方面，确保具备行车最小系统，保证最小行车功能（驱动、制动、转向、换挡、必要照明、关键车速、档位显示、至少一个车门能打开、必要示廓灯等），确保关键信号和系统具备应急处理机制，如通信冗余和供电冗余等；另一方面，针对高阶辅助驾驶及以上车型，确保整车支持异构冗余系统，并且保证异构冗余系统必要的环境感知能力。

在技术实现上，具体表现在：

中央计算平台的Fail Operational设计。作为核心部件，中央计算平台关键的硬件、软件、系统架构支持Fail Operational的安全要求：

架构可靠：多层故障监控与处理框架设计；硬件虚拟安全分区和软件的异构部署；电源时钟、通信链路、车控双路等冗余设计；故障Cross-Check互锁机制等，彻底解决共因失效与级联失效；最小安全系统设计保障100%安全可靠。

车规工程：高导热材料、相变材料、新型液冷技术等，实现芯片、器件、单板、系统级高效散热；高压大电流开关技术、高速电缆技术降低高速信号传输误码率；电磁互扰与抑制、高可靠小型防雷、电源管理技术提升EMC抗干扰性能；DFA（面向装配的设计）工艺、车载点胶工艺、

镀层工艺、胶粘工艺、管路腐蚀及凝露测试极限、光学镀层及焊接工艺等提升使用寿命，超越车规级ASIL D功能安全要求。

全生命周期免维护：基于芯片、软件、系统级故障失效模式库防患于未然，实时主动维护，实现0公里缺陷率预测、预防与消减。

架构层面的冗余安全服务：

就近接入传感器与执行器等I/O（Input/Output）抽象和SOA的安全设计与FFI设计；重要I/O的安全冗余接入与重要服务的分布式安全部署；实现SOA服务平台实时状态监控与故障安全管理，支持最小安全系统合理设计，在满足高安全的同时，显著提升整车可用性和改善客户体验。

MBSE（基于模型的系统工程）&MBSA（基于模型的安全分析）协同：实现“系统设计+功能安全+执行模型”的一体化模型设计、分析与验证，构建具备良好适应性的高安全分层架构模型和高内聚低耦合模块化组件，支持车载软件有节奏的迭代和快速的功能安全设计、分析与验证。

架构级功能安全仿真与验证：实现车辆级功能安全仿真（包括危害场景库、故障数据库、车载架构平台模型、模拟外部接口、车辆模型、驾驶员行为及故障响应模型、运行环境模型等）和（半）自动化功能安全验证、支持车辆级功能安全快速闭环。

双重安全通信：端到端安全通信保护、通信网络故障实时监控、通信网络折叠倒换、双发选收等安全设计，保障单个通信故障情况下的可靠降级和安全运行。唤醒、供电、外部感知输入、车控信息输入、关键执行器输出链路必须冗余。

预期功能安全：把“未知危害”场景变为“已知非危害”场景

自动驾驶最终实现后，驾驶安全责任由人转移到车辆。与功能安全不同，预期功能安全主要考虑预防和应对由于功能定义不足（functional insufficiency）和合理可预见的误用导致的不合理风险。包括由于对目标场景考虑不够全面、未充分考虑可能影响传感器性能的环境因素等的风险。同时预期功能安全还需要不断探索“未知的危害场景”，持续的把“未知不安全场景”变为“已知非危害场景”，预期功能安全问题已经成为智能驾驶商业化落地需要持续解决的问题之一。

随着智能驾驶功能的逐渐应用，车辆的预期功能安全问题日益突出，以下几点至关重要：1) 需要紧密跟踪国际国内预期功能安全标准的发展，从系统设计与规范、验证与确认以及运行监控等阶段全面实践预期功能安全标准流程和要求，全面保障产品的预期功能安全；2) 从交通法规的遵守、设计运行范围边界判定、动态驾驶任务执行、最小风险制动的执行、人机交互、可预期的特殊场景的应对等方面展开预期功能安全风险分析与应对措施研究；3) 通过交规数字化，形成机器可识别、可理解的交规，促进自动驾驶车辆有序融入社会交通体系；4) 通过安全时间域（Safety Time Domain）设计，综合考虑传感、决策、执行总时间，保留合适的时间裕量以应对不确定性（包括其他交通参与者行为的不确定性），始终保障运行阶段的行车安全；5) 进行充分的模拟仿真测试、封闭道路测和开放道路测试，加强审核，充分挖掘可能导致危害行为的功能不足和触发条件；6) 在车辆运行阶段，基于数据分析和预测，及时发现由于环境、驾驶习惯等因素演进可能导致的潜在危害，及时采取措施。最终达成可比拟优秀驾驶员的驾驶安全性，满足用户对智能驾驶车辆安全的期待。

网络安全、数据安全及隐私保护，共同构筑信息安全屏障

智能汽车不同于其它的移动智能终端，它承载着

车内乘客和路面行人的生命安全。严守安全底线、保障产品和服务安全是维护好公民生命财产安全和公共安全的基础。

未来，随着汽车“新四化”的推进，网络安全、数据安全、个人隐私保护等信息安全风险不断上升，唯有产业链所有参与者，包括行业监管部门、整车厂、零部件供应商等，共同努力才能构筑起智能汽车全生命周期的安全防护屏障，才能最大限度的应对信息安全挑战、保障智能汽车产品和服务安全。

1) 网络安全

根据安全咨询公司Upstream的统计数据，2011~2019年共发生342起针对智能汽车的攻击。从攻击频次看，智能汽车网络攻击呈现快速增加趋势。从攻击手段看，已从传统物理接触破解，演变到远程非接触攻击，远程攻击占比90%以上，且近1/3威胁到车辆控制。从攻击比例看，车云攻击占比最高，达20%以上；车云、钥匙和OBD（车载自动诊断系统）接口是最主要攻击领域，除此之外甚至还出现了对传感器感知的攻击。未来，实时在线是智能汽车功能持续使用/更新的前提条件，越来越多外设及网络接口将出现在汽车上，实时联网的汽车将面临攻击范围更大、攻击方式更多、攻击入口更多样、影响后果更严重等挑战。如何解决这些挑战，以下几个方面非常关键：

从架构方面看，下一代通信与计算架构面临的网络安全挑战将呈现出新趋势：1) 逻辑功能集中到HPC（高性能计算机群），被攻击后影响面扩大；2) SOA服务化带来关键服务权限管控和通信安全挑战；3) 平台开放性导致第三方软件、硬件全生命周期时刻存在安全风险；4) 从法规、标准角度，未来安全的智能汽车在满足法规认证要求外，还需满足结果可信和过程可信要求。

中央计算平台是防止攻击、保障安全的最后一道防线，需要从平台级安全、车内安全、车外安全三个方向进行多层次多维度的安全防范。在外主要有传感器接入、网络接入两大入口，需要通过接入认证、入侵检测与防御、AI安全与攻击对抗等技术手段，实现“进不来”的攻击防护；在车内主要有计算与控制两大模块，通过访问控制、安全隔离、安全降级、诊断与恢复等技术手段，实现“攻不破”的入侵防护。

总之，网络安全是一个复杂的攻防体系，要做好攻防，需多方面努力：1）需要从根技术（芯片、OS、加密算法等）与架构设计等角度进行底层设计，结合安全可信根、加密算法、可信计算与OTA、入侵监测与隔离等核心技术，同时基于对AI不确定性认知的加深，通过持续提升AI不确定性检测与评估技术来强化预期功能安全能力，守护好智能汽车中央计算平台的“安全命门”。2）需要车企联合Tier1（一级设备供应商）、Tier2，从整车视角构建整车全生命周期的纵深防御体系，杜绝车辆被黑客远程控制，避免车端和云端的数据泄露。3）智能汽车需要具备韧性，即在系统受到攻击的情况下，网络安全及韧性手段在实施风险消减后，系统仍然能够提供稳定的车控服务，或能够将被入侵的车控服务隔离，执行确定性的降级，保障其它未被入侵的车控服务继续提供有效服务和保障安全。

具体来说，未来汽车全生命周期网络安全，需要从安全治理、客户需求、架构设计、安全防护、异常检测、及时响应、恢复多个维度加固。放眼2030，网络安全关键技术应包括：基于AI的车载入侵检测系统、第三方软件供应链安全与运行态完整性保护技术、韧性框架和入侵容忍、基于零信任第三方设备持续认证与溯源、传感器恶意信号检测与防御等。其中，韧性框架和入侵容忍依赖于网络安全与功能安全融合，包含设计阶段融合与运行阶段融合：1）设计阶段融合，阻止已知攻击。基于已知攻击与失效，利用TARA（威胁

分析与风险评估）与HARA（危害分析与风险评估）融合分析，构建完备的网络安全与功能安全需求，避免彼此直接冲突和重叠。2）运行阶段融合，假定攻击成功入侵系统，基于系统目标，进一步增强设计融合，防止网络攻击导致的功能失效，包含网络安全检测、功能安全/网络安全风险评估、功能安全响应、网络安全漏洞修复等。

2) 数据安全和隐私保护

智能网联汽车身处“人-车-路-云-网”构成的复杂连接环境中，数据成为重要的基础资源，不仅驱动了智能网联汽车的业务创新和产业发展，也深度融入了社会生活的方方面面。智能网联汽车数据安全体系变得越来越重要，从数据安全感知、数据环境安全管控、数据运维安全管控，到数据资产安全管控和数据应用管控，智能网联汽车数据安全体系将逐步完善。智能网联汽车制造商、供应商和服务商，都需要加强数据安全能力建设，不仅是用户鉴权、数据加密、访问控制、应用管理、智能脱敏、网络防护等技术层面的保障措施，还需要在组织、产品开发流程、交易过程、商业承诺、服务等活动构建体系化的数据安全合规能力。具体来说，数据使用应遵循合法、正当、透明、目的限制、数据最小化、准确性、存储期限最小化、完整性、保密性和可用性原则。

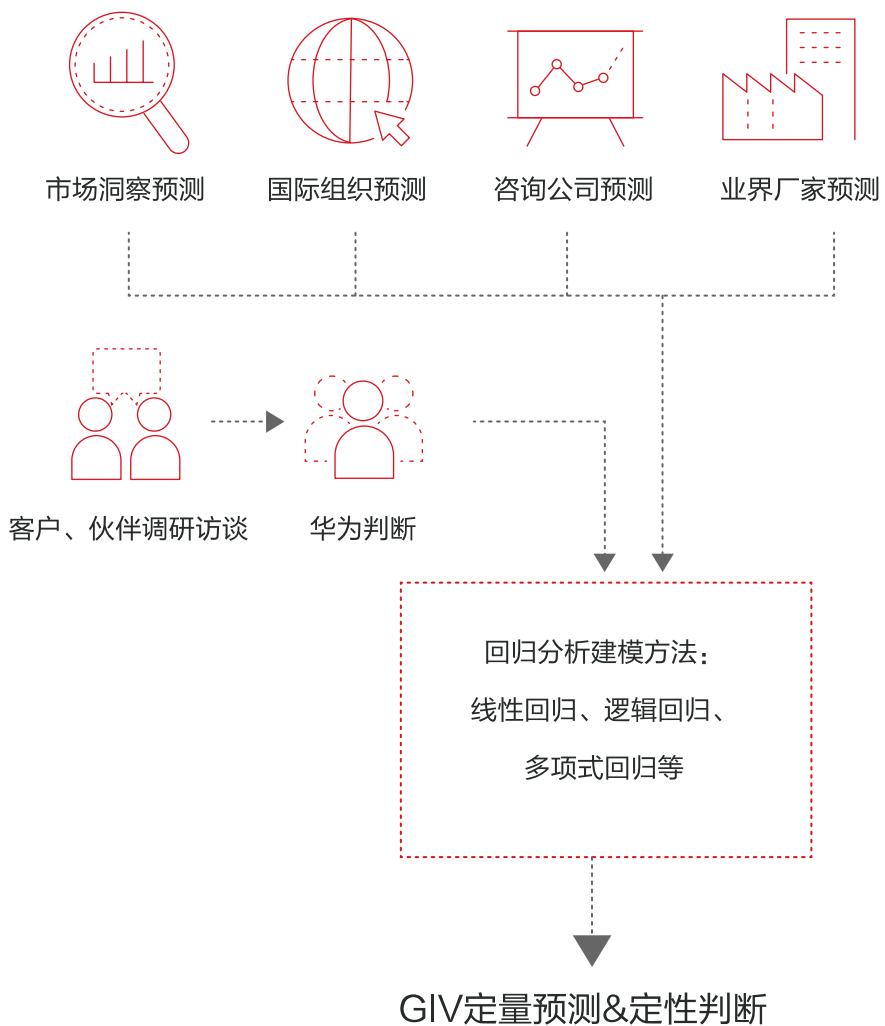
同时，对于个人隐私敏感数据，需要进行集中管控，从车端到云端大数据平台、后端业务场景及第三方数据处理者进行全链条的隐私治理，以确保全生命周期的隐私保护。主要的技术实现路径有：1）车内处理智能化，敏感个人数据不上云，在车端提供更多的本地智能化处理，如语音识别，人脸识别等；2）可用不可见，使用同态加密技术，差分隐私等技术，减少对敏感个人数据的使用；3）将隐私保护融入全生命周期。注重个人信息在采集、使用、保留、传输、披露和处置等处理过程中的隐私保护，确保流程透明、结构完善、控制严谨，以及过程可追溯。

数据预测方法论

探索未知，是驱动人类不断前行的动力，让我们不断接近不确定世界中有可能的确定性。

我们相信，对于未来的探索，是一个需要共创共建的过程。因此，过去三年，研究团队与业界学者、客户、伙伴进行了广泛的交流，参考了来自联合国、GSMA、第三方咨询公司的数据、方法，洞察报告，并结合华为自身专家的洞察与判断。

数据定量预测需要基于各指标历史数据特征选择合适的方法，GIV@2030 主要采用了趋势模型外推和时间序列预测结合的方法，输出对未来的判断。



GIV@2030 指标预测

类别	序号	指标	指标定义	2030 年预测值
联接	1	全球联接总数	全球所有联网的人与物的总数	2000 亿
	2	无线蜂窝联接数	全球所有通过无线蜂窝技术联接的人与物的总数	325 亿蜂窝联接，800 亿基于蜂窝的无源联接
	3	千兆 / 万兆家庭宽带渗透率	千兆及以上家庭宽带用户数(含万兆)占全球家庭数比例，万兆家庭宽带用户数占全球家庭数比例	千兆及以上家庭宽带渗透率 55%，万兆家庭宽带渗透率 23%
	4	4K/8K TV 用户渗透率	4K/8K TV 家庭用户数占全球家庭数比例	4K TV 用户渗透率 58%，8K TV 用户渗透率 17%
	5	IPv6 地址渗透率	全球所有联接与应用使用 IPv6 地址的比例	90%
	6	VR/AR 用户数	全球使用 VR/AR 的用户总数	10 亿
	7	每万工人机器人密度 / 家庭服务机器人渗透率	每万工人拥有的机器人数量 / 拥有服务机器人的家庭数量占全球家庭数比例	每万工人机器人密度 390，家庭服务机器人渗透率 18%
	8	智能汽车网联化渗透率 (C-V2X)	智能网联化 (C-V2X) 汽车占汽车保有量的比例	60%
	9	人均月无线蜂窝网络流量	人均月蜂窝网联流量 (GB)，包括一个人使用多终端场景	600GB，增长 40 倍
	10	月平均家庭网络流量	家庭每月平均网络使用量	1.3TB，增长 8 倍
	11	5G 行业专网数量与渗透率	5G 行业专网数量(含虚拟专网)使用 5G 行业专网的大中型企业比例	5G 行业专网数量 100 万 5G 行业专网在大中型企业渗透率 35%
	12	千兆 / 万兆企业 WiFi 渗透率	企业园区实现 WLAN 接入 1GB 和 10GB 带宽的比例	千兆企业 WiFi 渗透率 50%，万兆企业 WiFi 渗透率 40%
	13	FTTR / FTTD 宽带渗透率	FTTR(光纤到房间) / 全球家庭用户数 FTTD(光纤到桌面, FTTR-2B) / 全球企业用户数	FTTR 家庭宽带渗透率 31%，FTTD 企业宽带渗透率 41%

类别	序号	指标	指标定义	2030 年预测值
计算	14	通用计算算力 & AI 计算算力	全球数据中心及边缘服务器的通用计算算力总值 / 全球数据中心及边缘服务器的AI 计算算力总值	通用计算 (FP32): 3.3 ZFLOPS, 增长 10 倍 , AI 计算 (FP16) 105 ZFLOPS, 增长 500 倍
	15	计算占企业 IT 投资比例	全球通用计算、AI 计算服务器投资占企业当年 IT 硬件投资的比例, 其中企业 IT 硬件投资包括数据中心、边缘及端侧硬件投资	32%
	16	全球每年产生的数据总量	云服务占企业应用支出的比例	50%
	17	全球每年产生的数据总量	全球每年所有信息化设备和数字化仪器产生的数据总量: 包括端, 边, 数据中心, 新产生、复制、克隆、备份、过程数据、Cache 数据等	1YB, 增长 23 倍
	18	隐私增强计算渗透率	启用计算系统内置隐私计算能力场景比例	50%
	19	区块链技术渗透率	部署区块链技术企业比例	85%
	20	电动汽车占新车销量比例	电动汽车占年度新车销量的比例	50%
车	21	自动驾驶汽车占新车销量比例	自动驾驶汽车占年度新车销量的比例	全球 10%, 中国 20%
能源	22	可再生能源占全球发电总量的比例	可再生能源发电占全球发电总量的比例	50%