

制造业+人工智能 创新应用发展报告

主要发现	2
引言	3
一、人工智能赋能制造业的背景和意义	4
1.1 传统制造业遇发展瓶颈	6
1.2 人工智能创造新机遇	6
1.3 “制造业+人工智能”的意义	10
二、“制造业+人工智能”产业综述	12
2.1 基础层：不可或缺的软硬件资源	14
2.2 技术平台层：问题导向而非数据导向	19
2.3 应用层：让人工智能去做擅长的事情	22
三、“制造业+人工智能”重点市场分析	24
3.1 上游市场	25
3.2 中游技术平台	27
3.3 下游应用	29
3.4 中国人工智能区域市场	32
四、制造业人工智能应用挑战	37
4.1 芯片核心技术有待攻克，专用芯片开发技术门槛参差不齐	38
4.2 工业数据资源的掌握与应用能力不匹配，数据价值尚待挖掘	38
4.3 技术能力和算法特质无法满足实际应用需求，工业场景落地难	39
4.4 人工智能技术解决方案无法直击核心痛点，复制性较差	39
4.5 制造业企业自身意识和能力不足，认知理念、管理方式、人才计划亟待变革	39
五、政策建议	40
5.1 健全人工智能专业人才与复合人才的培养机制	41
5.2 强化关键核心技术攻关，提升人工智能技术供给能力	41
5.3 加快提高制造信息化水平，夯实人工智能技术应用基础	41
5.4 推进技术标准化，支撑行业健康可持续发展	42
5.5 推动技术与产业融合试点，形成系统解决方案	42

主要发现

1

受政策支持、数据环境、算力提升、算法模型优化、商业化应用潜力五大利好因素驱动，中国制造业人工智能应用市场前景广阔，预计未来五年将保持年均40%以上的增长率，并在2025年超过140亿元人民币。

2

人工智能的应用使越来越多的技术商和创业企业成为制造业生态圈的一员，新生态组织因不同的目标而呈现不同的形态，如平台中心模式和场景中心模式。

3

目前，人工智能在制造业主要应用于解决可见问题（如缺陷检测）。未来需要通过发现和预测生产系统中的不可见问题（如工艺优化），实现制造系统生产效率的提升和产品竞争力的突破。

4

基础层面，工业问题的复杂性要求人工智能具备极高的算力。未来几年，中国人工智能芯片市场将保持年均40%-50%的增长。GPU与FPGA市场已被国外寡头占据，唯专用芯片ASIC尚未被头部企业垄断，成为各方布局的焦点。

5

技术层面，计算机视觉和机器学习技术带动人工智能在制造业应用市场的增长。预计到2025年，计算机视觉在制造业领域的应用市场将达到55亿元人民币，机器学习的应用市场达44亿元人民币。

6

平台层面，人工智能云部署方式快速增长，预计2025年市场规模将达60亿元人民币，占整体人工智能应用市场的43%，为制造企业提供开发新服务和新商业模式的机会。

7

应用层面，预测性维护或将成为人工智能在制造业的杀手级应用。中国制造业预测性维护的应用市场将从2018年的2.3亿元人民币，增至2025年的42.7亿元人民币，年复合增长率为49%。

8

柔性生产、协同制造等新的制造模式推动智能排产应用市场快速增长。预计中国人工智能在生产计划排产的应用市场将从2018年的1.8亿元人民币，增至2025年的29.7亿元人民币，年复合增长率达52%。

9

预计到2025年，电子通信/半导体人工智能应用市场的规模将达到41亿元人民币，汽车制造行业紧随其后达37亿元人民币，能源电力行业25亿元人民币，制药行业17亿元，金属及机械制造行业13亿元，其他行业8亿元。

10

质量控制场景从缺陷检测环节向制成环节的工艺优化扩展，预计2025年市场规模为23.2亿元人民币，2018到2025年复合增长率达51%。

11

领先工业企业、初创企业、科技巨头共同推动人工智能在垂直行业的应用，其中电子、汽车、能源电力行业的人工智能应用预备度较高，市场规模和增长领先于其他行业。

12

从人工智能的区域分布来看，北京、深圳、上海、杭州是聚集人工智能企业数量最多的城市，在政策、投融资、算力和人才维度处于第一梯队。

13

人工智能制造业应用的挑战主要是芯片技术有待突破、工业数据应用分析能力不足、项目无法直击业务痛点、复制性较差，以及制造企业理念和人才掣肘。

14

建议政府与全社会协力从人工智能人才培养、制造业信息化水平、技术标准及关键性技术、技术产业融合等方面推动人工智能应用。

引言

习近平总书记高度重视实体经济发展，在不同时期、不同场合多次强调制造业的重要作用和重要地位，明确指出发展实体经济，就一定要把制造业搞好。2019年9月17日，习近平总书记提出：我们现在制造业规模是世界上最大的，但要继续攀登，靠创新驱动来实现转型升级，通过技术创新、产业创新，在产业链上不断由中低端迈向中高端。2020年8月21日，习近平总书记在安徽省考察时强调，要深刻把握发展的阶段性新特征新要求，坚持把做实做强做优实体经济作为主攻方向，一手抓传统产业转型升级，一手抓战略性新兴产业发展壮大，推动制造业加速向数字化、网络化、智能化发展，提高产业链供应链稳定性和现代化水平。

随着人工智能、大数据、物联网、云计算等新兴科技发展，全球制造业开始进入新一轮变革浪潮。从18世纪60年代蒸汽机的发明引爆第一次工业革命以来，制造业已经历机械化、电气自动化和数字化三个阶段，正进入以网络化、智能化为代表的工业4.0发展阶段。中国已发展成为制造大国，正向制造强国迈进，制造业转型升级，特别是在新兴技术应用方面已形成了较好的发展基础，但与美国、德国、日本等主要国家相比仍有一定的差距，中美贸易摩擦以来全球产业链的深刻调整 and 变化，进一步凸显了中国把握本轮制造业网络化、智能化发展机遇的紧迫性和重要性。

2017年，中国发布实施《新一代人工智能发展规划》，提出要加快推进智能制造、推广应用智能工厂，围绕制造强国重大需求，研发智能产品及智能互联产品、智能制造使能工具与系统、智能制造云服务平台，推广流程智能制造、离散智

能制造、网络化协同制造、远程诊断与运维服务等新型制造模式，建立智能制造标准体系，推进制造全生命周期活动智能化；要加强智能工厂关键技术和体系方法的应用示范，提升工厂运营管理智能化水平。规划发布以来，国家科学技术部启动实施了“科技创新2030-新一代人工智能”重大科技项目和“制造基础技术与关键部件”、“网络协同制造和智能工厂”、“智能机器人”等一批国家重点研发计划重点专项，加大对智能制造前沿和核心技术的支持力度，指导天津、武汉、合肥、济南等国家新一代人工智能创新发展试验区，将智能制造、智慧工厂等作为技术应用示范的重点场景。工业和信息化部加快培育国家制造业创新中心，稳步推进智能制造细分行业标准体系建设，大力推进绿色化改造、工业节能诊断等。中国工业互联网产业联盟、长三角智能制造与现代服务科技创新联盟等，积极推动不同领域的企业、专家、学者、组织机构跨界合作，共同推动解决发展过程中的问题，共同促进智能制造创新生态营造。

为了全面梳理和研判“制造业+人工智能”发展态势，我们研究撰写了《“制造业+人工智能”创新应用发展报告》。深刻阐述了人工智能赋能制造业的背景与意义，以对智能制造产业和市场的具体分析为基点，客观呈现了“制造业+人工智能”的总体态势，形象的展示了人工智能技术正如何改变传统的制造业，探讨了制造业中各领域各环节中应用人工智能这一新兴技术的挑战，最后提出政策建议。报告力争以通俗易懂的方式向各界传递相关信息，所有关注关心人工智能技术如何推动制造业产业模式和企业形态等发生根本性转变的人们都可从中获得有价值的信息。

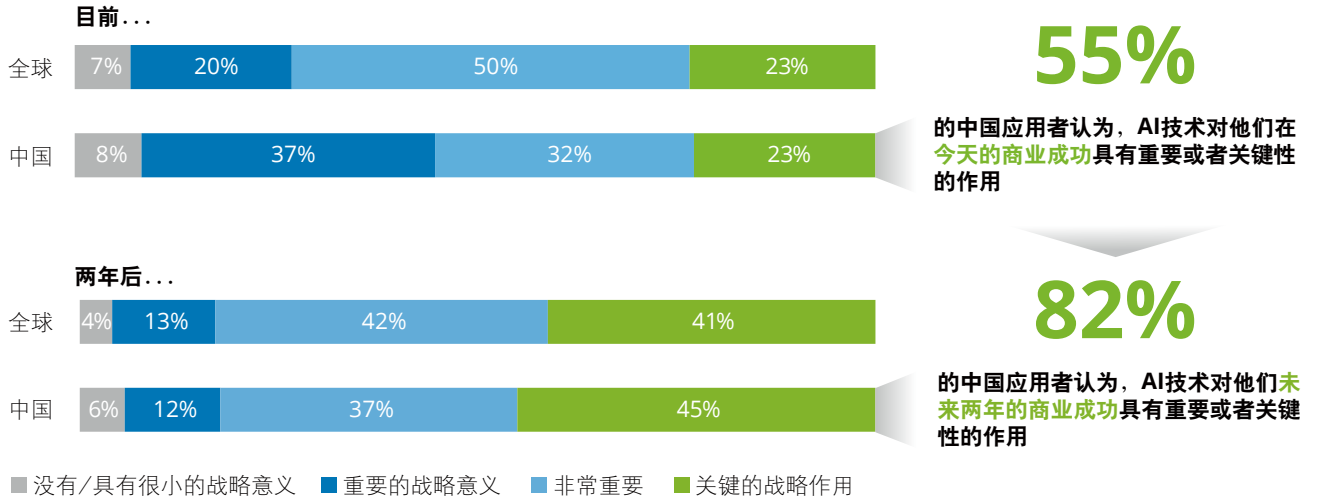
一、人工智能赋能制造业的背景和意义



全球经济环境变化使企业对数字技术应用的认知大幅提升，越来越多的企业开始关注人工智能技术及其应用。德勤对全球2,000多家企业的最新调研显示，大部分中国企业

认为人工智能是企业确立当前和未来市场领导地位的关键，其战略重要性将在未来两年持续提升（图表1）。

图表1：人工智能对企业的重要性

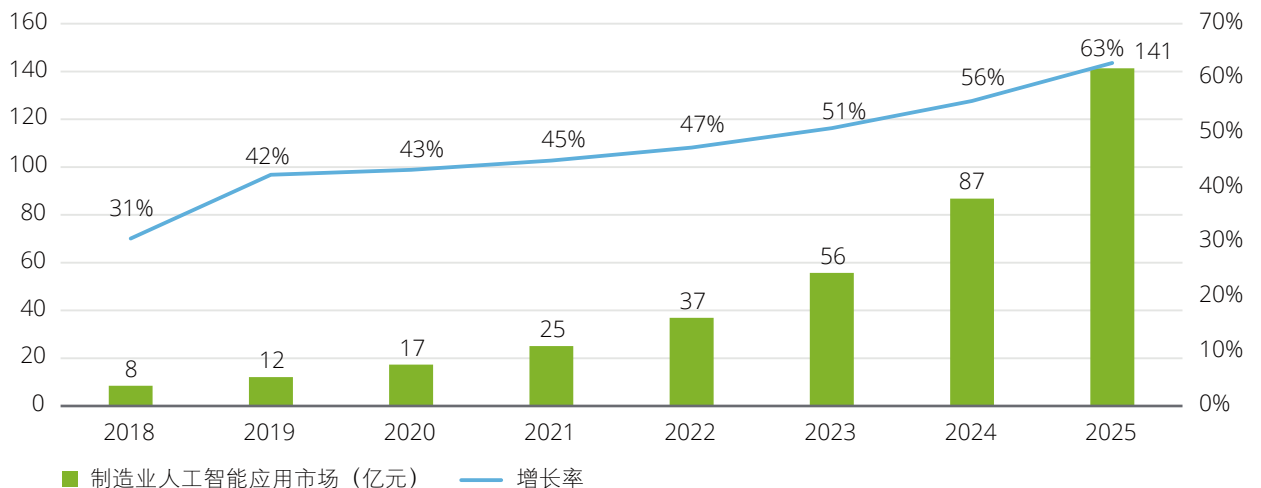


资料来源：德勤

中国作为制造业大国，为人工智能提供了丰富的应用场景。据估算，人工智能在中国制造业的市场规模有望在2025年超过140亿人民币；从2019年开始每年保持40%以上的增长率（图表2）。人工智能在制造业应用的快速发展主要受益于5个驱动因素：（1）新基建等政策支持；（2）人机物互联产生海量数据；（3）云计算、边缘计算、专用芯片技术加速演进实现算力提升；（4）算法模型持续优化；（5）资本与技术深度耦合助推行业应用。

制造业为什么需要人工智能？人工智能技术赋能制造业主要体现在三方面：首先，人工智能可以帮助企业提高智能化运营水平，实现降本增效；其次，人工智能、5G、工业互联网等技术融合应用，推动制造业生产及服务模式、决策模式、商业模式发生变化；最后，人工智能带动制造业价值链重构，有利于中国抢占全球制造业产业链上的价值高地。

图表2：人工智能在中国制造业应用市场规模



资料来源：Bizwit, 德勤研究

1.1 传统制造业遇发展瓶颈

1.1.1 企业降本增效需求迫切，传统措施面临瓶颈

以新技术赋能中国制造业增长、提高生产效率需求迫切。首先，从国际比较视角看，中国的单位劳动产出较低。2018年，美国劳动生产率为11.3万美元，中国为1.4万美元，约为美国的12%¹。另外，中国正面临人口老龄化的挑战，未来就业倾向制造业的适龄人口将快速减少。根据国务院《国家人口发展规划(2016—2030年)》，到2030年14-45岁人口占比将下降到32%，适龄人口减少将对制造业的未来发展产生持续负面影响。最后，传统制造企业生产经营过程中面临生产成本上升、生产线设计缺乏灵活性，以及不稳定的产品质量及良率等棘手问题。

1.1.2 市场变化剧烈，按需生产迫切性提高

制造商正面临着利润率低、市场变化快的压力，企业更需要透明的供应链和可预测的需求来指导生产和控制成本。人工智能技术将原始运营和资产数据转化为可行的方案，从而使人和机器能够在正确的时间采取正确的行动，以不断提高性能。我们看到一些制造商正在优化生产计划，在生产中使用先进的人工智能分析，并根据可用库存预测或需求变化来更改计划。

1.2 人工智能创造新机遇

人工智能赋能制造业发展迎来新机遇，工业互联网助力制造业转型升级成效初显，推进人工智能与业务场景的融合。制造业将迎来更为广泛成熟的生态圈，将开发更智能化及网络化的新产品，并带动行业的生产、服务及商业模式升级。

1.2.1 新生态：平台中心模式和场景中心模式成为新生态组织形式

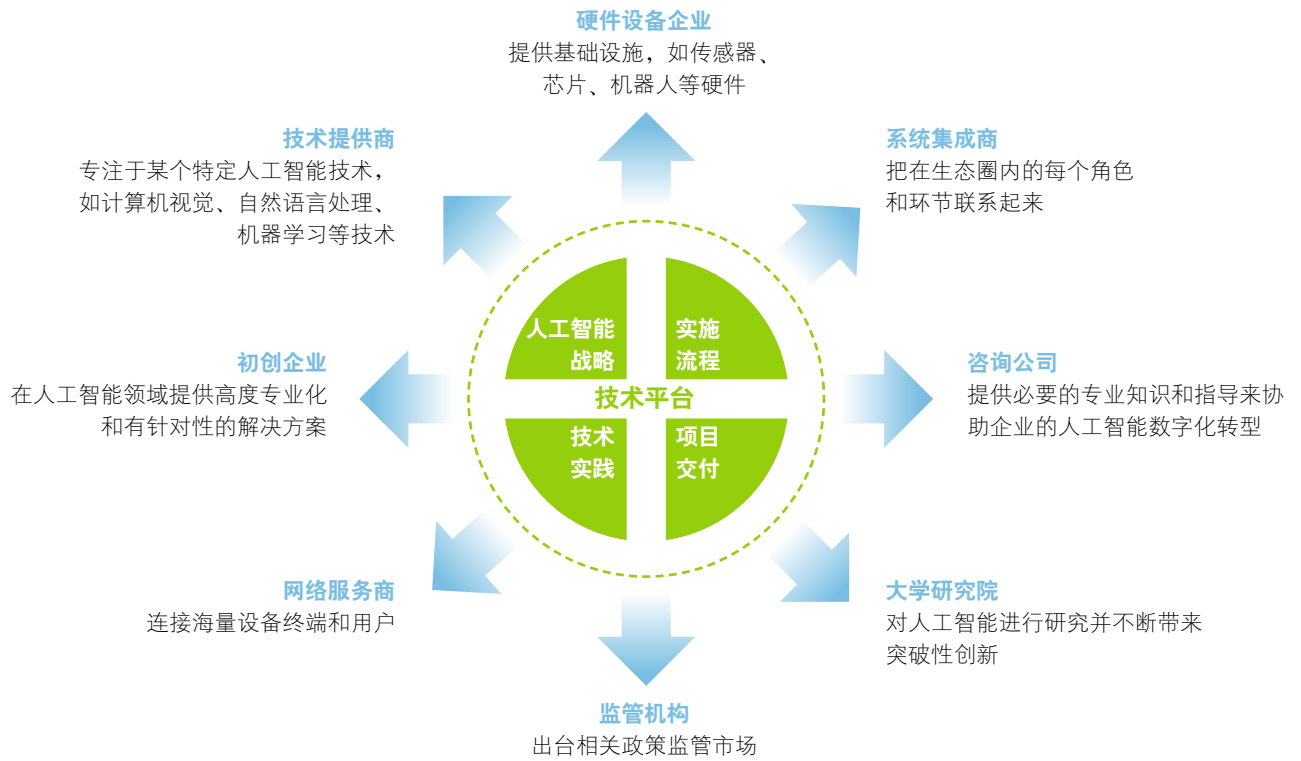
人工智能的应用使越来越多的技术商和创业企业成为制造业生态圈的一员，以与5G、云计算、大数据融合作为切入点服务于传统制造企业，为制造企业提供协同化、定制化、平台化的制造服务。新生态组织也会因为不同的目标而呈现不同形态，如平台中心模式和场景中心模式。

平台中心模式以技术平台为主导，聚合技术提供商、硬件厂商、初创企业、网络提供商等不同领域的参与者，围绕制造业的人工智能战略、技术实践、实施流程、项目交付展开行动。在生态圈的协同合作里，每个参与者都为人工智能解决方案的落地带来独特的经验和价值。这些经验和价值除了为人工智能的应用提供数据集成和硬件连接支持外，还能促进机器学习背后核心算法的开发（图表3）。

场景中心模式是以场景为核心的多中心网络模式。围绕质量控制、预测性维护、需求预测等场景核心问题，技术提供商、硬件制造商、网络服务商等多方主体将完成多中心的网络协作，在场景中实现人机协同²（图表4）



图表3：新生态组织形式一：平台中心模式



资料来源：德勤研究

图表4：新生态组织形式二：场景中心模式



资料来源：德勤研究

1.2.2 新产品：硬件+软件+网络成为产品主要构成

人工智能技术与制造业融合，将引领产品的智能化和网络化。“硬件+软件+网络互联”正逐渐成为产品的主要构成。

智能穿戴设备、智能机器人、自动驾驶汽车等产品本身就是人工智能的载体，硬件与各类软件结合具备感知、判断的能力，并实时与用户、环境互动。智能穿戴设备采集运动或户外数据如心率、步频、气压等指标，利用人工智能精密的体能演算法，打造即时且个人化的体能模型，为使用者提供即时专业的运动生理指标监测及教练指导方针³。智能手机生产企业，除了利用AI芯片使手机运行速率更快之外，手机上的智能语音助手、生物识别、图像处理等AI应用也给用户带来多维度的智能体验。智能机器人也随着人工智能算法的升级而成长并快速适应仓库或工厂环境变化，能像人类一样自主学习与工作，为产业带来革命性的变化。

1.2.3 新模式：酝酿于生产模式、服务模式和商业模式中的创新



生产模式创新

网络协同制造：基于先进的网络技术、制造技术及其他相关技术，构建面向特定需求的基于网络的制造系统，突破空间对企业生产经营范围和方式的约束，实现企业内各环节“纵向集成”和供应链上下游“横向集成”的协同制造。

规模定制生产：设计和生产“柔性化”，形成柔性的、满足个性化需求的高效能、大批量生产模式，供应链各环节的联系和协作加强，设计、生产、仓储、配送和销售效率提升。

“云平台+”制造：通过建立云平台，在全球范围内，通过互联网协同进行产品设计、生产制造等，依靠行业、区域核心企业或企业群体的综合优势，灵活、快速响应市场需求，提高全球制造资源的利用率。

软件定义的制造：未来的很多产品，将会集娱乐、休闲、工作为一体，产品设计和用户体验将发生巨大的变化，软件价值甚至超过硬件，成为产品价值的主要来源。以汽车制造为例，智能网联汽车商业化发展将在“十四五”期间取得重大突破，软件价值将超过硬件，从当前占比10%~30%提升到60%⁴，汽车不再是产品，而是承载服务的平台。

网络协同制造模式

中建钢构正在探索网络协同制造的新模式，使用人工智能技术，通过总部智能决策与任务分配，协调五大制造基地的任务并进行过程管控，从而实现供应商和客户设计交互以及对进度的跟踪，实现了设计、供应、制造和服务各环节的并行组织和系统优化。借助其网络协同平台，企业已初步实现数据汇聚、大数据储存、数据安全保障、工业数据清理和分析以及工业数据展现和应用。平台全面上线后，预计生产效率将提高20%以上，运营成本将降低20%以上，产品交付周期将缩短20%以上，同时将产品不良率降低20%以上，单位产值能耗降低10%以上⁵。

规模定制/云平台制模式

海尔的COSMOPlat，可根据用户需求实现大规模定制生产，满足用户个性化定制需求。海尔互联工厂实现全流程数据链贯通，实现用户、产品、设备、生产线之间的实时互联，用户订单通过COSMOPlat可以直达工厂，工厂直发用户，真正做到用户订单驱动生产，极大地缩短了用户订单交付周期，实现高精度下的高效率。海尔互联工厂通过COSMOPlat前联研发、后联用户，打通整个生态价值链，实现用户需求与制造体系的无缝对接，为用户提供真正需要的高质量产品⁶。

软件定义制造模式

软件定义汽车包括四个组成部分，一是中央集中式电子电气架构是智能汽车的中央政府；二是面向服务架构的模式是实现可订阅服务的基础软件平台；三是人工智能将成为智能汽车差异化体验的核心技术；四是远程刷新OTA让汽车成为可成长、可迭代、可升级的新物种。



服务模式创新

人工智能算法帮助制造业企业优化营销能力，提升售后服务水平。

售前营销：通过人工智能判断重点需求，从而进行更实时、精准的广告投放。世界领先的企业通过AI技术和大数据更好地预测出了客户的行为，有数据显示，51%的客户潜意识里受到AI的影响，不自觉地提高了对企业或品牌的好感度。人工智能的应用，例如个性化推荐和自动执行订单等功能，同样提高了客户对公司的信任感：48%的消费者和63%的企业买家更倾向于使用具备AI技术的公司或品牌⁷。

远程运维服务：设备远程运维平台，通过物联网、大数据和人工智能算法等技术，对生产过程、生产设备的关键参数进行实时监测，对故障及时报警。因联科技“智能运维”为工业企业提供远程设备运维解决方案，减少对人工现场出勤的高度依赖。由工业大数据分析及人工智能算法支撑的预测性维护和辅助决策等功能，可以进一步减少由于非计划停机造成的人员出差和停工延误，让工业企业的运维实现少人化、无人化、远程化的模式变革⁸。



商业模式创新

以“一切皆服务”（X-as-a-Service）为宗旨的商业模式创新已在各个行业展开，制造业亦不例外。以人工智能、互联网、大数据为代表的新一代信息技术的深度应用，正推动制造业服务化转型与价值创造。

工业和信息化部2020年发布的《关于进一步促进服务型制造发展的指导意见》提出了九种典型的服务型制造模式。这九种模式既涉及制造业各个环节的服务创新，如设计、供应链、融资等，也涵盖了跨环节、跨领域的综合集成服务。制造业企业提供服务的模式主要有两种类型：一是企业自身通过服务化实现商业模式变革，二是“产业链重构型”服务使整个行业或者产业集群发生商业模式上的大变革⁹（图表5）。

图表5：制造业商业模式创新方向

服务型制造类型	具体内容
工业设计服务	建立开放共享的数据资源库，支持面向制造业设计需求，搭建网络化的设计协同平台，开展众创、众包、众设等模式的应用推广
定制化服务	建立数字化设计与虚拟仿真系统，发展个性化设计、用户参与设计、交互设计，推动零件标准化、配件精细化、部件模块化和产品个性化重组，增强定制设计和柔性制造能力，发展大批量个性化定制服务
供应链管理	建设智能化物流装备和仓储设施，促进供应链各环节数据和资源共享，面向行业上下游开展集中采购、供应商管理库存（VMI）、精益供应链等模式和服务，建设供应链协同平台
共享制造	围绕产业集群的共性制造需求，集中配置通用性强、购置成本高的生产设备，建设提供分时、计件、按价值计价等灵活服务的共享制造工厂，实现资源高效利用和价值共享
检验检测认证	制造业企业开放检验检测资源，参与检验检测公共服务平台建设
全生命周期管理	开展从研发设计、生产制造、安装调试、交付使用到状态预警、故障诊断、维护检修、回收利用等全链条服务
总集成总承包	制造业企业提高资源整合能力，提供一体化的系统解决方案，建设“硬件+软件+平台+服务”的集成系统，为客户提供端到端的系统集成服务
节能环保服务	推行合同能源管理，发展节能诊断、方案设计、节能系统建设运行等服务，逐步开展产品回收及再制造、再利用服务
生产性金融	领军企业整合产业链与信息链，发挥业务合作对风险防控的积极作用，配合金融机构开展供应链金融服务，提高上下游中小企业融资能力

资料来源：工业和信息化部、德勤研究

1.3 “制造业+人工智能”的意义

1.3.1 制造业为人工智能技术落地提供丰富的应用场景，促进新经济增长

制造业是人工智能应用场景最具潜力的领域。有研究发现，人工智能的应用可为制造商降低最高20%的加工成本，而这种减少最高有70%源于更高的劳动生产率。到2030年，因人工智能的应用，全球将新增15.7万亿美元GDP，中国占7万亿美元；到2035年，人工智能将推动劳动生产力提升27%，拉动制造业GDP达27万亿美元。

制造业将成为人工智能应用蓝海。2016年，全球人工智能及相关技术的制造业应用市场约为1.2千亿美元，这个数字在2025年有望超过7.2千亿美元，复合年均增长率预计可超过25%。

中国制造业转型升级为中国人工智能发展提供广阔平台。一方面，低技术含量(第二产业、处理常规/可预测/可编程任务)的工作将首先被人工智能替代。中国制造业在转型升级的过程中，重复性、规则性、可编程性较高的工作内容将逐步由协同智能化工业机器人完成。另一方面，人工智能促进制造业研发、生产、运输、仓储、服务等环节的智能化，与工业互联网叠加，创造出更多高质量的就业岗位，产生更多具有商业价值的新场景。

1.3.2 人工智能支持制造业产品、流程及商业模式创新，满足社会需求

当前主流的制造业生产方式以流水线生产为标志，在这种模式下，企业竞争策略主要是产品多样化策略和成本控制策略。受限于标准化生产过程，消费者日益增长的个性化需求难以被精准满足¹⁰。随着消费升级，制造业提高供给质量的必要性、迫切性不断增加。

在人工智能技术的引领下，刚性生产系统转向可重构的柔性生产系统，客户需求管理能力的重要性不断提升，

制造业从以产品为中心转向以用户为核心。大规模生产转向规模化定制生产，数据要素的附加值提高，生产者主导的经济模式转向消费者主导的经济模式，满足消费者个性化需求成为企业的重要竞争策略，逐渐替代以往企业依靠规模经济来降低成本的竞争策略。

人工智能还将帮助中国制造业应对产业链外迁的风险。产业链外迁通常意味着企业搬离、就业流失、税收下降，特别是在疫情对中国经济造成一定冲击的情况下，以服装为代表的制造业比较优势开始下降，行业规模以下企业众多，被动加速产业转移，由此引发居民收入下降和农民工失业风险，这些风险需要积极应对。中国需要加强基础研发力度，发展高技术制造业，推进制造业服务化，以人工智能赋能产业数字化转型，使产业拥有自己护城河的同时，增加居民收入和拉动就业。

1.3.3 抢占新工业革命“智”高点，重构国际分工

在全球制造业的价值分配链中，中国并未占领技术研发、产品设计、高附加值服务等产业链上的高价值部分，而借助人工智能可以加速中国向产业价值链高端攀升。

生成式设计利用人工智能缩短设计周期，是目前比较受欢迎的产品研发设计方式。它根据既定目标和约束条件，利用算法探索各种可能的设计解决方案。在生产制造方面，人工智能可以为制造企业提供视觉检测、自动化控制、智能化校准以及问题根源分析等解决方案¹¹，推动制造业装备创新，减少制造业自动化对美德日技术和设备的依赖。高附加值服务方面，人工智能可协助产业实现制造创新、管理创新和商业模式创新，推动制造业企业向集成服务商转变。

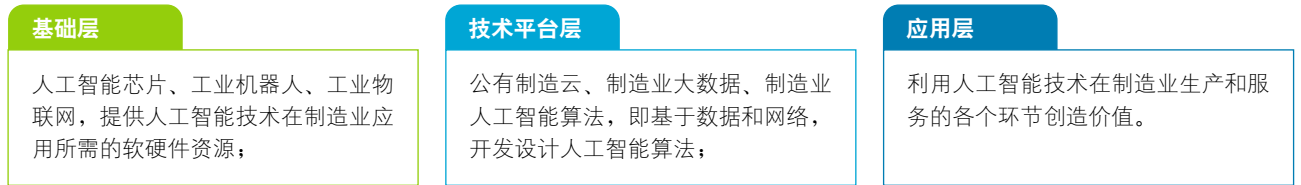


二、“制造业+人工智能” 产业综述



人工智能经过60多年的演进，已发展成多学科高度交叉的复合型综合性学科，涵盖计算机视觉、自然语言理解、语音识别与生成、机器人学、认知科学等领域的研究。人工智能与制造业融合，是指将人工智能技术应用

到制造业，使制造业在数字化和网络化的基础上，实现机器的自动反馈和自主优化。从“制造业+人工智能”的视角理解，其产业结构包含三层（图表6）：



图表6：“制造业+人工智能”产业结构



资料来源：德勤

2.1 基础层：不可或缺的软硬件资源

“制造业+人工智能”的基础层包括人工智能芯片、工业机器人和工业物联网，它们为人工智能提供在制造业落地所需的软硬件资源。

2.1.1 人工智能芯片

复杂的工业问题需要人工智能算法芯片高效运算来解决，当前能适应深度学习需求的芯片类型主要有GPU、FPGA和ASIC，三者性能、定制化程度、功耗、成本等方面具有不同特点（图表7）。

目前，GPU凭借并行计算和较低的成本占据人工智能芯片的主导地位。但是，制造业所需运算量极大，

使用GPU运算会导致较大的时耗与功耗，增加计算成本。FPGA和ASIC虽然受成本限制尚未大规模普及，但由于具备定制化能力且功耗低，预计未来会在工业领域有广阔的需求前景。

FPGA正逐步融入机器人操作系统(ROS)，为其未来在部分工作岗位替代人类劳动力的应用普及奠定基础，如美国Sania国家实验室的机器人手臂使用FPGA进行数据预处理。ROS运营机构Open Source Robotics Foundation发现机器人开发者对FPGA融入机器人操作系统的需求正逐步提升¹²。

图表7：不同类型人工智能芯片比较

	优点	缺点	主要应用场景	代表企业
CPU	<ul style="list-style-type: none"> 适合通用计算 出货量较大，单片成本低 	<ul style="list-style-type: none"> 高功耗 效率低，内存读取速度有限 	<ul style="list-style-type: none"> 目前人工智能芯片中CPU使用率低，未来也不会成为主流芯片 	英特尔 AMD 高通 三星
GPU	<ul style="list-style-type: none"> 通用型芯片 峰值计算能力强 生产设计成熟度高 成本和性能较为平衡 	<ul style="list-style-type: none"> 底层架构并非专为深度学习设计 不可编程 高功耗 	<ul style="list-style-type: none"> 云端训练 云端推理 	英伟达 AMD ARM 高通
FPGA	<ul style="list-style-type: none"> 半定制化、可编程 功耗介于GPU与ASIC间 	<ul style="list-style-type: none"> 量产单价高 峰值计算能力较低 编程语言难度大 	<ul style="list-style-type: none"> 云端推理 终端推理 	赛灵思 英特尔 (Altera) 深鉴科技
ASIC	<ul style="list-style-type: none"> 全定制化，为特定应用场景和用户需求定制的专用芯片 性能稳定 功耗优于FPGA和GPU 	<ul style="list-style-type: none"> 设计制造完成后电路固定，灵活性低 前期投入成本高 研发时间长、技术风险大 	<ul style="list-style-type: none"> 云端训练 云端推理 终端推理 	谷歌 英特尔 寒武纪 地平线

资料来源：德勤研究

人工智能芯片产业链分为上游算法设计、中游芯片制造以及下游应用（图表8）。

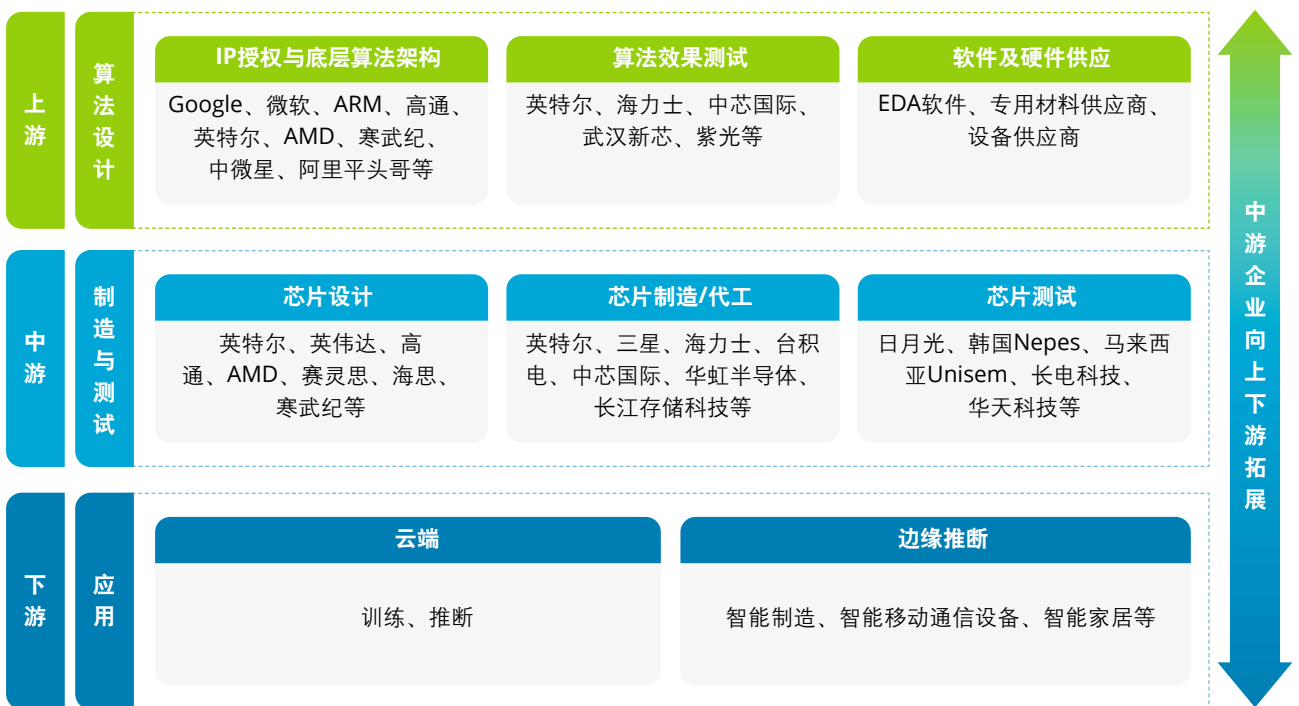
上游底层算法架构设计通常由具备丰富经验的大企业负责。晶圆工厂负责测试芯片算法效果。软件及其他专用材料、设备的供应商为中游企业提供所需硬件。中游芯片厂商对算法架构设计及IP核授权企业依赖度较高，上游架构交付企业对中游芯片制造企业议价能力较高。

中游企业负责人工智能芯片的设计、制造以及测试。实力较强的芯片企业可拓展业务至底层算法架构设计

环节，整合芯片、模块及终端产品，提供一体式解决方案，向下游各类企业提供人工智能运算产品和服务。中游不具备芯片设计能力的企业平均盈利水平较低。

处于产业链下游的是各类工业产品和消费电子制造商。人工智能芯片在制造业应用领域包括智慧工厂、智慧家电、自动驾驶等。由于人工智能芯片附加值高且产能有限，下游厂商对芯片制造企业的议价能力有限。

图表8：人工智能芯片产业链



资料来源：德勤研究

2.1.2 工业机器人

工业机器人诞生于20世纪70年代。机械臂作为典型的工业机器人，已经广泛应用于汽车、电子、金属、塑料和化工以及食品和饮料等制造业垂直领域。人工智能时代，工业机器人将被新的核心技术定义，包括深度学习、路径规划、任务级编程、柔性控制等，“人机协作”也正成为工业机器人的发展方向（图表9）。

与传统工业机器人相比，协作机器人可以和人类伙伴并肩协作，高效安全地完成某项或多项作业。英国巴克莱银行的一份研究报告预测，协作机器人将迎来蓬勃发展的黄金时期，预计到2025年全球销量将从2018年的5.8万台快速增至70万台¹³。

图表9: 协作机器人与传统工业机器人比较

	协作机器人	传统工业机器人
2019年度销量(台)	全球: 30,000 中国: 8,848 (占比29%)	全球: 373,000 中国: 144,000 (占比38.6%)
2019年度销量增长率	全球: 36.4% 中国: 40%	全球: -12% 中国: -8.6%
至2019年安装数量(台)	全球: 45,000 中国: n.a.	全球: 270,000,000 中国: 783,000
市场价格	偏高	较低
生产模式	产品周期短、个性化、中小批量、任务切换频繁的小型生产线或人机混线的半自动生产线	单一品种、大批量、产品周期长的全自动生产线
工业环境	可移动、可与人协作	固定安装且与人隔离
人工智能应用场景	人机协同、多机协作, 通过算法训练对机器加工的力度、精度提供校准和纠错	通过控制算法、视觉算法训练提高焊接机器人、制孔机器人等的操作精度

资料来源: 德勤研究

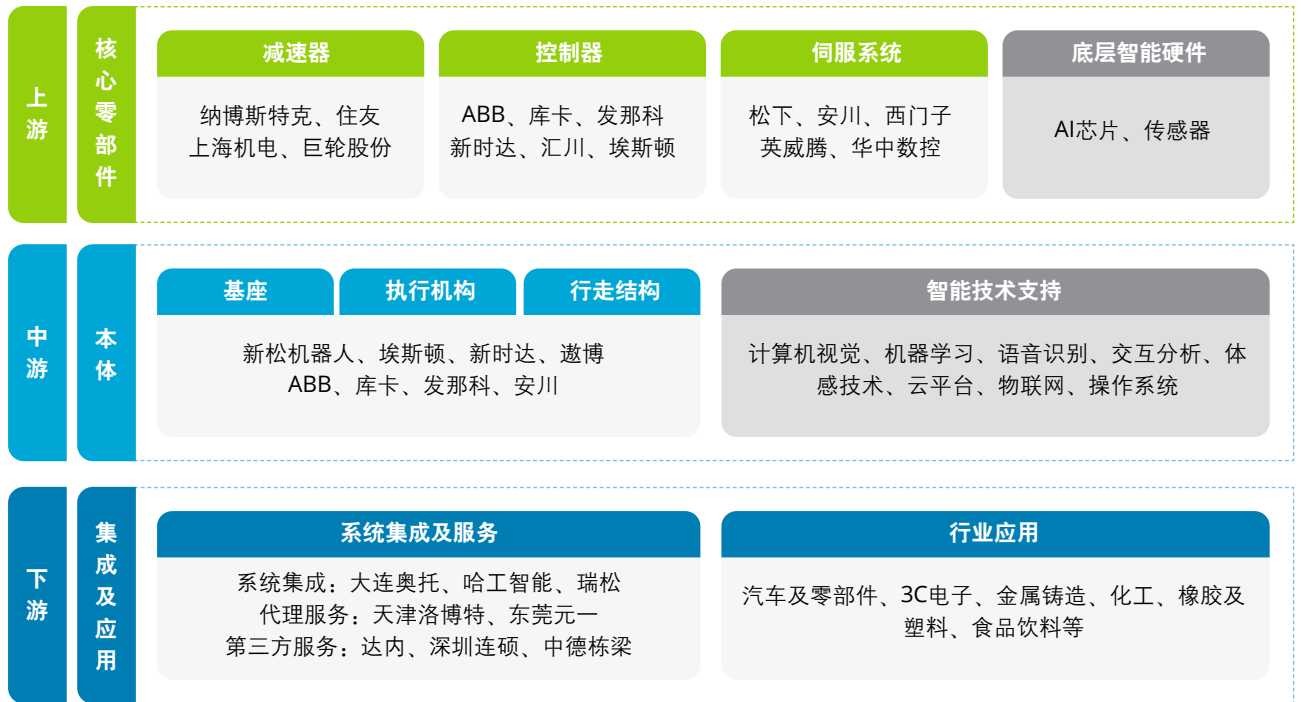
工业机器人产业链分别由上游关键材料及零部件生产商、中游机器人本体制造商、下游系统集成及服务和下游应用行业构成(图表10)。

传统工业机器人产业链上游核心零部件主要包括减速器、控制器和伺服系统等, 其成本约占机器人总成本的60%。日本的纳博特斯克和哈默纳科占据工业机器人减速器70%的市场份额。控制器领域, 日本、德国和美国的企业占据了主导地位。伺服系统由日韩欧美企业主导¹⁴。随着人工智能技术在机器人领域应用的增加, 人工智能芯片、传感器等底层智能硬件也成为工业机器人产业链上游的重要环节。

传统的工业机器人产业链中游主要指机器人本体制造。中游市场竞争激烈, 过去由“四大家族”发那科、安川、库卡、ABB占据主导, 当前则呈现“四大家族”与国内企业平分秋色的状态。人工智能嵌入工业机器人应用, 图像、语音、语义、云平台等相关技术支持成为产业链上的必要环节。

工业机器人产业链下游系统集成商根据不同的应用场景和用途进行有针对性地系统集成和软件二次开发, 使工业机器人可以运用于实际生产, 工业机器人的应用范围遍及制造业各个细分领域。

图表10：工业机器人产业链



资料来源：德勤研究

2.1.3 工业物联网

工业物联网将具有感知、监控能力的各类采集或控制传感器以及移动通信、人工智能等技术融合到工业生产过程中的各个环节，从而提高制造效率，改善产品质量，降低成本和资源消耗。

人工智能精准分析这些数据，在清晰的战略指引下，帮助企业将物联网产生的信息转化为有意义的洞见，帮助决策者更清楚地了解他们的客户、产品和市场，继而协助企业开发新产品、服务和商业模式。

工业物联网的本质是数据，可以为人工智能提供源源不断的数据支持，是人工智能在工业领域应用的基石。人

图表11：工业物联网产业链



中国工业物联网产业链已经初步形成，参与者包括上游设备制造商，中游技术和平台提供商，以及下游产业应用和系统集成商（图表11）。

产业链上游主要负责现场信息采集，如传感器、RFID读写器、智能设备等制造。上游作为工业物联网的数据入口，已率先受益并迅速扩大规模。但随着产业不断发展成熟，行业呈现完全竞争格局，技术门槛较低的企业陷入同质化竞争，导致产业价值下沉。

产业链中游为工业物联网应用提供技术支撑，能够为设备制造商提供终端监控和故障定位服务，为系统集成商

提供代计费 and 客户服务，为终端用户提供可靠全面的服务，为应用开发者提供统一、方便、低廉的开发工具等。中游主要包括工业物联网平台、工业数据平台、工业云平台提供商等。

产业链下游负责打通工业数据和产业应用通道的最后关口，针对特定工业场景提供系统集成服务。相关企业包括工业控制系统企业、工业软件企业等各类提供工业系统解决方案的企业。国内从事工业控制、工业自动化的企业数量众多，在经营规模和经营效益上呈现“扁平大金字塔”的分布状态，年营业额在40-50亿元的大企业少，大部分企业年营业额为10亿元以下¹⁵。

2.2 技术平台层：问题导向而非数据导向

制造业融合人工智能的技术平台层包括制造业大数据、公有制造云、制造业人工智能算法，即基于数据和网络，开发设计人工智能算法。

2.2.1 工业大数据

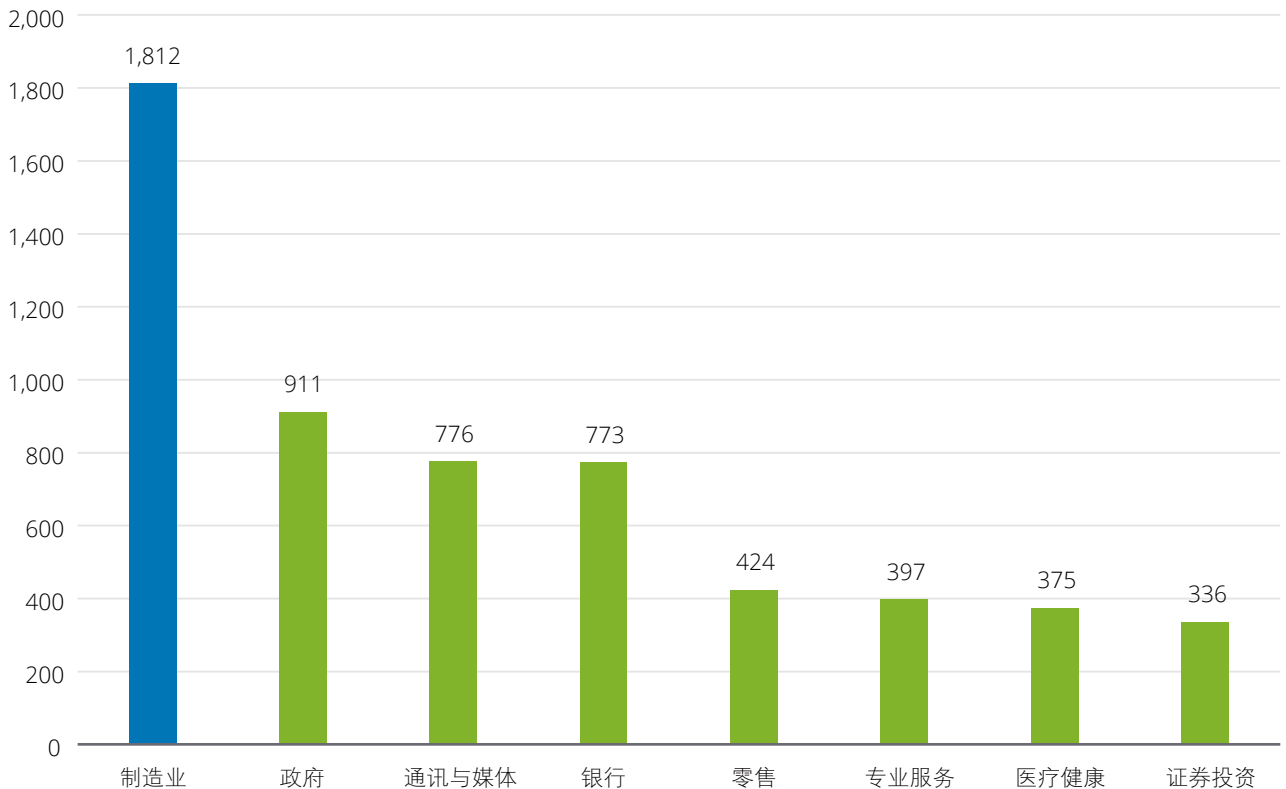
工业大数据是工业领域产品和服务全生命周期数据的总称，包括工业企业在研发设计、生产制造、经营管理、运维服务等环节中生成和使用的数据，以及工业互联网平台中的数据等¹⁶。

工业大数据是推动人工智能在制造业应用的关键生产要素。由于制造业对数据可靠性要求高，工业大数据分析

的难点是数据关联关系的复杂性。只有通过合适的数据分析方法才能释放工业数据的价值。

中国作为全球第一制造大国，工业大数据资源丰富，也催生了围绕工业大数据展开的一系列业务。2019年，中国工业大数据市场整体规模达到146.9亿元，同比增长28.6%，预计未来三年将保持30%以上的速度持续增长，到2022年达到346.1亿元，工业大数据将持续促进传统制造业转型升级，助力工业智能化发展¹⁷。

图表12：制造业年度数据产生量为各行业之首（Petabytes）



资料来源：德勤研究

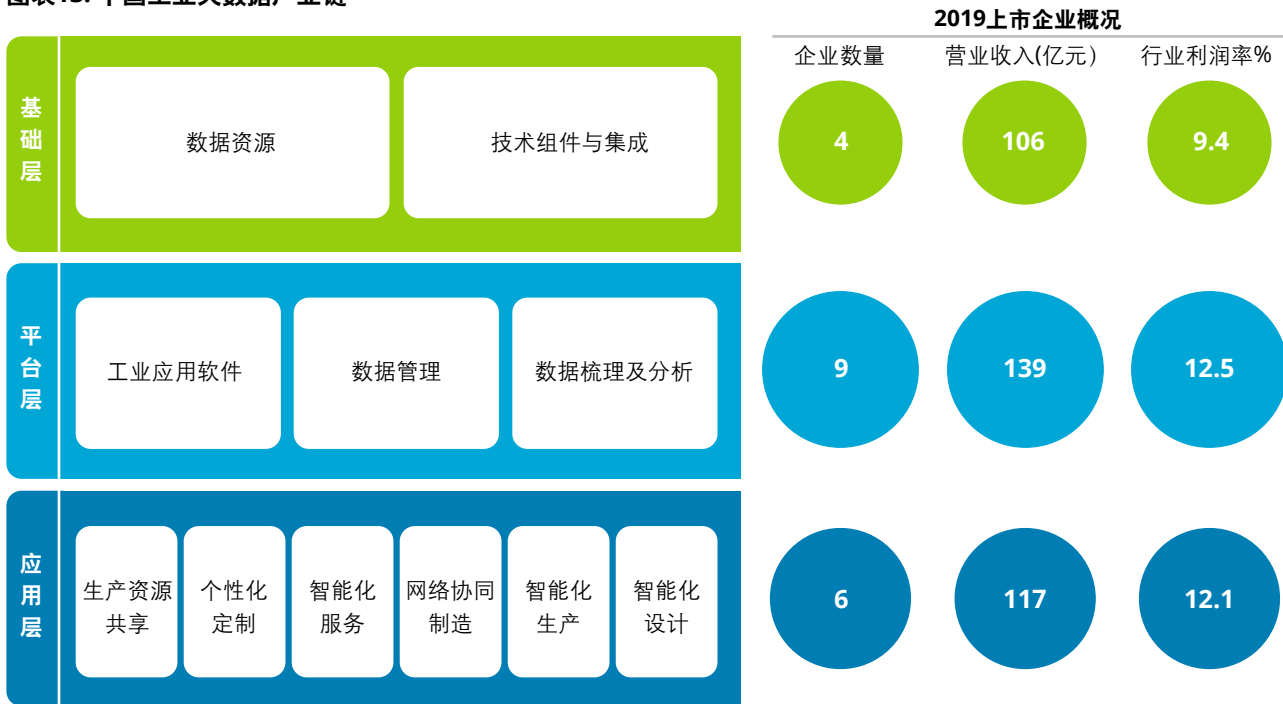
工业大数据产业链由基础层、平台层和应用层构成（图表13）。

基础层提供工业大数据产品和服务正常运转所需的多样化的软硬件资源，以及大数据存储、网络和计算相关的软硬件产品和服务。目前，工业自动化企业、工业网络服务企业、工业数据采集解决方案企业是工业数据基础层的三类主要供应商¹⁸。

平台层由工业应用软件、数据管理和数据处理与分析环节构成。目前平台层企业利润率较高，企业创新也相对活跃。

工业大数据应用市场，如设备设施预测性维护、工业生产流程化、生产过程可视化、供应链优化等应用，有望随着大数据技术与传统工业领域的融合而持续扩大。

图表13: 中国工业大数据产业链



资料来源：德勤研究

2.2.2. 制造业人工智能算法

制造业人工智能算法是利用不同的机器学习方法，融合不同类型的数据去挖掘不可见的关系，对系统进行建模和优化，避免尚未发生（不可见）的问题¹⁹。目前机器学习方法众多，其中以神经网络、深度学习技术最为前沿，其他机器学习方法还包括决策树算法、回归算法、分类算法、聚类算法等（图表14）。

从算法技术应用来看，主要包括了计算机视觉、情境感知、自然语言理解、机器学习等。中国企业在技术领域

的竞争力较强，不乏计算机视觉、语音识别和自然语言理解的初创企业。

虽然深度学习神经网络在图像处理和语义识别等领域已经取得明显进步，但要广泛应用于工业系统仍然要走很长一段路。最主要的原因是神经网络的预测结果往往不能自我解释。在工业系统中的应用除了对精度有非常苛刻的要求外，还需要解释预测结果的合理性，以及相关的不确定性风险。

图表14: 主要机器学习方法

算法	特点	应用频率较高行业
神经网络算法	类人脑，最具解决复杂问题的能力	汽车、银行、零售
决策树算法	采用树状结构建立决策模型	保险、银行、电子、汽车、制药
回归算法	对连续值进行预测	电子、保险、汽车
分类算法	对离散值进行预测，事前已知分类	保险、医疗、汽车
聚类算法	对离散值进行预测，事前不知分类	保险、制药

资料来源：德勤研究

2.2.3 制造云

工业云平台是人工智能进行计算的场所，制造业生产中产生的海量数据将与工业云平台相连，利用人工智能算法进行数据挖掘，提炼有效的生产改进信息，最终用于计划排产、协同制造、预测性维护等领域。

为了推动工业数据的应用，工信部在《关于工业大数据发展的指导意见》（2020年5月）中，从加快数据汇聚、推动数据共享、深化数据应用、完善数据治理、强化数据安全、促进产业发展等多个方面对加快工业大数据产业发展作了具体部署。在深化数据应用方面，要求

推动工业数据深度应用；开展工业数据应用示范；提升数据平台支撑作用——发挥工业互联网平台优势，提升平台的数据处理能力等。

目前科技/互联网企业、通信企业和工业企业都已布局工业云平台，如阿里巴巴ET工业大脑，中国联通的CUII，以及海尔的COSMOPlat。互联网企业优势在于资源整合能力强，工业企业则更为精准地了解行业痛点。预计未来会出现不同垂直领域的头部企业，围绕不同应用场景打造护城河。

图表15: 工业云平台市场格局

	机械/金属	化工	电子	汽车	家电
科技企业	ET工业大脑（阿里巴巴）		TI-Insight（腾讯）		
		百度智能云			
	工业智能体（华为）				
	精智平台（用友）				
通信企业	中国联通（5G+、CUII、工业设备管理平台等）				
	中国移动（OneNet）				
	中国电信（天翼云诸葛AI开放平台）				
工业企业	树根互联（三一重工）	ProMACE（石化盈科）	INDICS平台（航天云网）		
	Xrea（徐工）		BEACON平台（富士康）	上汽AI平台	COSMO Plat（海尔）
	宝信工业联网（宝武）				Mei Cloud（美的）

资料来源：德勤研究

2.3 应用层面：让人工智能去做擅长的事情

人工智能在生产制造的不同阶段都有潜在应用。可以用于产品开发的生成式设计，或用于库存管理的生产预测，还可用于在生产线上执行缺陷检查或生产优化等任务，以及用于机械的预测性维护系统。上述应用中，一些正在进入工厂，而另一些仍在等待突破（图表16）。

我们需要弄清楚，人工智能技术最适合哪些工作，建立合理的期望，让人工智能技术去做擅长的事情，同时坚持完善制造业基础，尊重专业技术。

借鉴《工业人工智能》²⁰的分类方式，我们将制造业问题根据“可见”和“不可见”、“解决”和“避免”划分为四个象限。目前人工智能技术和应用发展主要集中在第一和第二象限（图表17）。

第一象限为解决可见问题，这一区间的技术和应用是为了代替人完成重复性高且人类不想做的工作。如机器人代替人去完成分拣和搬运工作。

第二象限是利用人工智能避免可见问题发生的应用，完成人类能做但做不好的任务。如无人驾驶和自动驾驶通过传感器感知和探测周边动态环境，及时察觉并避免潜在危险，或利用人工智能进行工业质检发现缺陷产品。

第三象限和第四象限是解决和避免不可见问题，即人工智能帮助人类识别尚不存在的问题或机会。生产系统中“不可见”问题包括设备性能的衰退、精度的缺失、资源浪费等。这些“不可见”问题如同隐藏在海面下的冰山，将最终导致设备停机或产品质量偏差的问题。

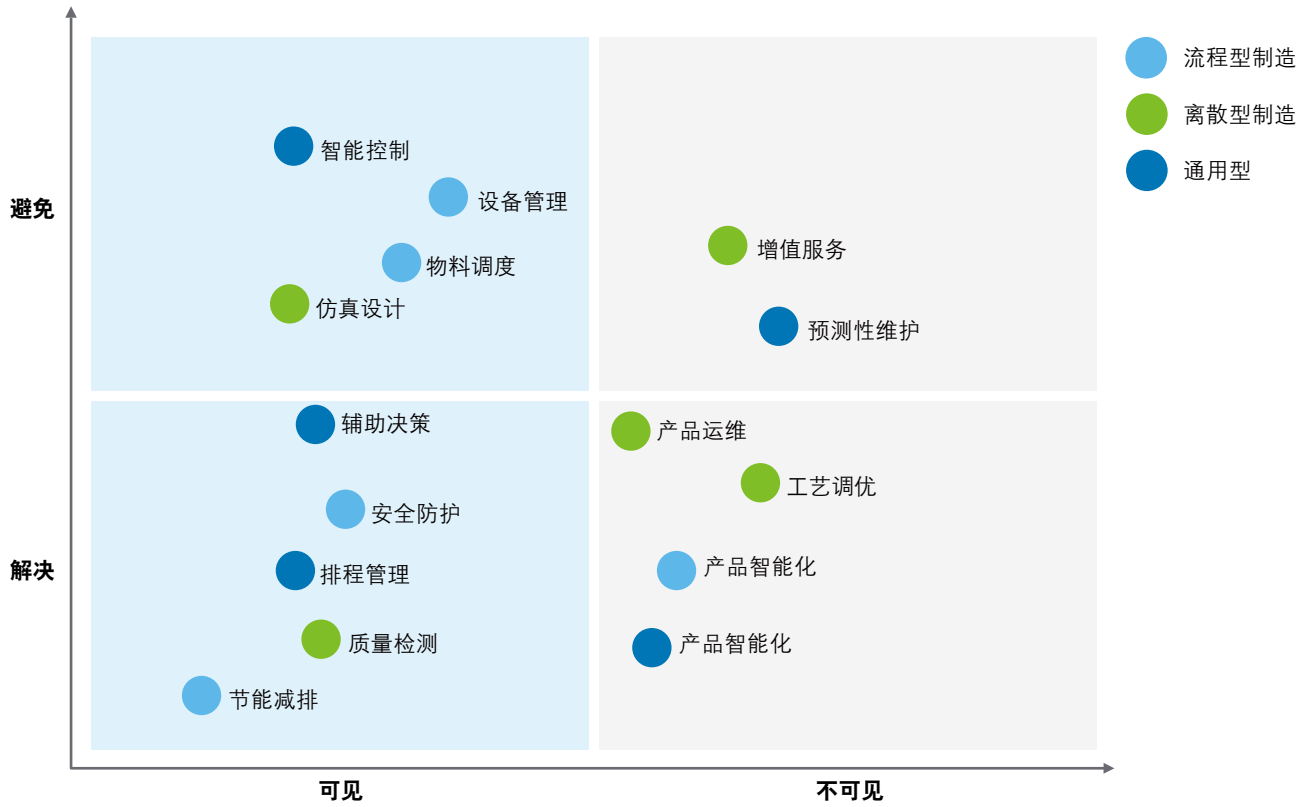
现阶段中国制造业智能化转型升级的本质就是从解决可见问题到解决和避免不可见问题的过程。工业大数据、人工智能技术的作用就是通过预测生产系统中的不可见问题，实现制造系统生产效率的提升和产品竞争力的突破²¹。

图表16：制造业人工智能应用现状

产品	生成式设计		智能产品		
	AUTODESK	Rhinoceros	华为 Vivo	OPPO 小米 小i机器人	
生产制造	产品质检		无序分拣		
	阿丘科技 高视科技	Neptune 瑞斯特朗	精锐视觉 埃尔森	COBOT NeuroBot	梅卡曼德
	生产资源分配		生产过程优化		预测性生产运维
	海尔 航天云网	创新奇智 新松		智擎科技	
供应链	物料需求/销量预测		仓储自主优化		
	京东		Geek+ 快仓		

资料来源：德勤研究

图表17：人工智能制造业应用场景及机会



资料来源：德勤研究

三、“制造业+人工智能” 重点市场分析



3.1 上游市场

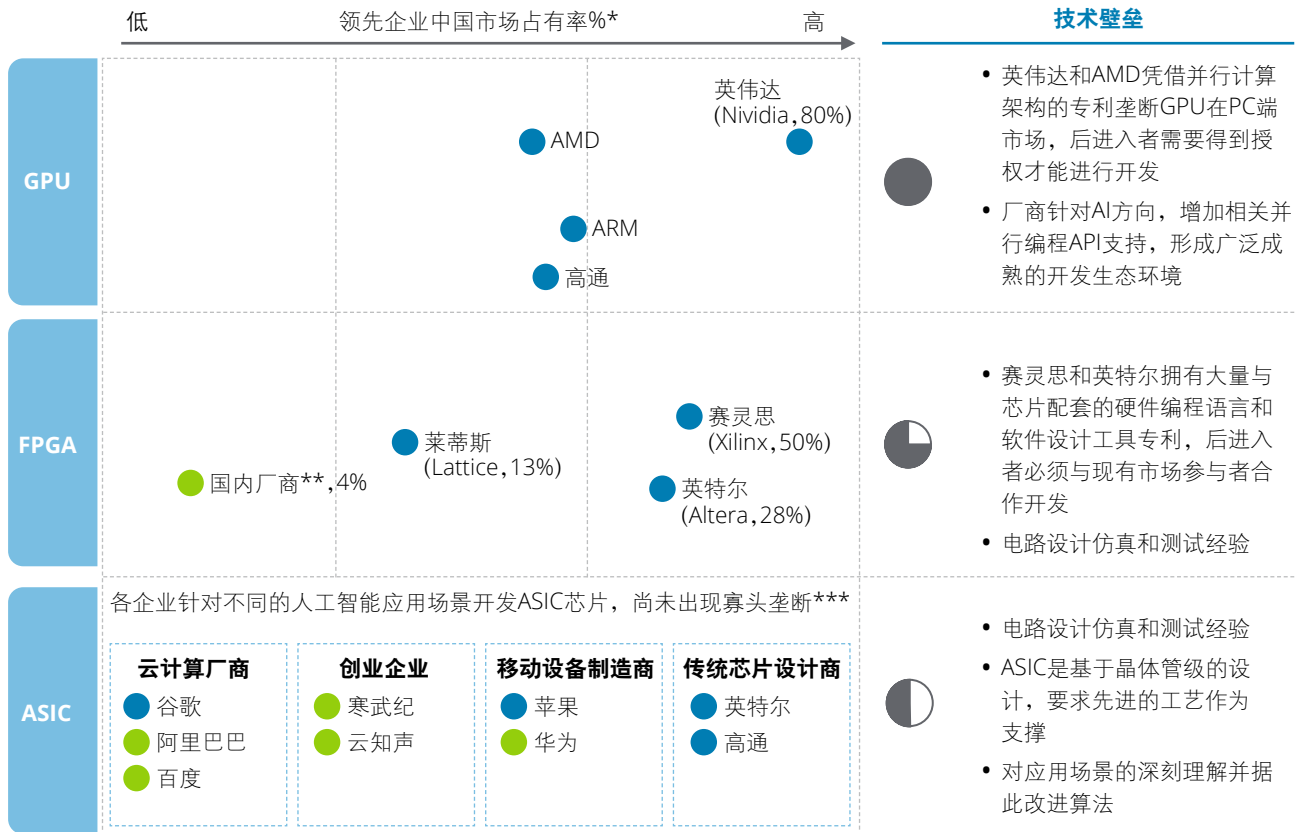
未来几年，中国人工智能芯片市场将保持年均40%-50%的增长，GPU与FPGA市场已被国外寡头占据，唯ASIC尚未被头部企业垄断，成为各方布局焦点。

人工智能芯片产业规模高速增长。全球人工智能芯片市场规模将由2018年的66亿美元(约437亿人民币)增长至2025年的912亿美元(约6,100亿人民币)，CAGR为45%²²。

预计未来几年，中国人工智能芯片市场将同样保持40%-50%的增长速度。宏观政策环境、技术进步以及人工智能应用普及等利好因素将驱动中国人工智能芯片市场规模由2018年的80亿元人民币²³增至2025年超过千亿元人民币。

从市场格局来看，由于人工智能芯片技术壁垒高，国外企业在GPU和FPGA市场独占鳌头，只有ASIC尚未被头部公司占据。英伟达和AMD凭借并行计算架构专利以及人工智能广泛成熟的开发生态环境垄断GPU市场。Xilinx（赛灵思）和英特尔Altera 凭借与芯片配套的硬件程序语言、软件设计工具专利和多年电路设计仿真测试经验占据了FPGA市场。在中国FPGA市场中，Xilinx和Altera双寡头市场占比高达52%和28%²⁴，从技术到知识产权等方面，国产FPGA厂商面临着不小的挑战。当前只有ASIC尚未被头部公司垄断，由各企业针对不同的人工智能应用场景进行开发。2018年以来，中国ASIC芯片企业数量激增，但目前仍以国外算法架构设计为主，本土芯片算法设计企业的市场占有率仅为30%²⁵。

图表18：人工智能芯片行业市场格局



注释：

* 基于2018年市场占有率估算

** 国内厂商包括紫光同创、高云半导体、安路信息科技、复旦微电子、华微电子等

*** ASIC企业所处位置不代表其市场占有率高低

资料来源：WCCF Tech, 公司公告, 券商研报, 久谦咨询、德勤研究

从细分产品来看，中国工业市场对于FPGA的需求高于全球。据MRFR统计，2019年全球FPGA的市场规模为69亿美元左右，其中工业领域占比大约为12%，市场规模约为8.3亿美元。2019年中国FPGA的市场规模约为187.5亿元人民币，其中工业市场应用占比约为28%，市场规模约为52.5亿元人民币，预计2025年，FPGA在中国工业领域的市场规模将达100亿元人民币，主要应用在工业通讯、电机控制、机器视觉、边缘计算、工业机器人等场景²⁶。相较赛灵思、英特尔等国际巨头，中国FPGA的研发起步晚、但进度逐渐加快，与国际头部企业的差距已经由3代缩短至2代²⁷。在全球科技竞争激烈和中美贸易摩擦的背景下，国内芯片企业的发展迎来机遇。

中国销售规模将达到373亿元人民币，占全球销售比例的8%；到2025年有望接近全球占比的10%²⁸。中国ASIC芯片产品销售持续增长是受边缘计算增长的驱动。此外，未来能够同时进行训练和推理的人工智能终端设备会更加普及，为ASIC的大量应用提供载体。

预计2025年，ASIC芯片在人工智能芯片市场的渗透率将达到约50%。其中，自动驾驶领域的ASIC芯片渗透率或达到100%，机器人领域ASIC芯片的渗透率约达到60%，智能家居领域ASIC芯片的渗透率约升至50%。传统家电领域设备运算量较大，芯片研发成本相对更高，该领域ASIC芯片的渗透率增幅预计不超过10%。

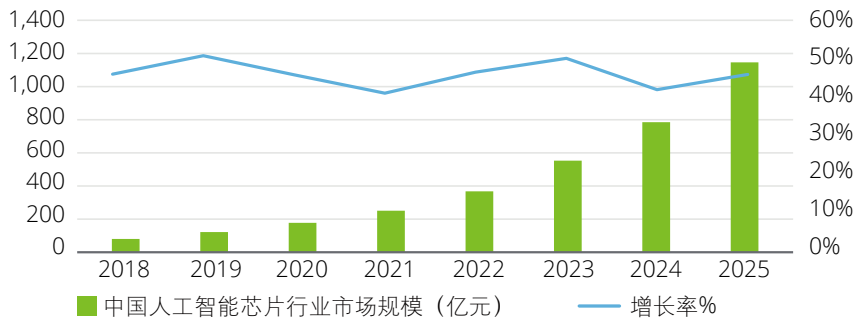
中国ASIC发展迅速，2018年中国ASIC芯片产品销售规模为66亿元人民币，占全球销售的3.2%；预计到2023年，

图表19: 中国人工智能芯片市场规模增长预测

2025年，中国人工智能芯片市场规模将超过千亿元

受政策鼓励、技术进步、应用普及等多重因素驱动，中国人工智能芯片市场高速增长，预计将在2025年达到1146亿元，约占全球市场的25%，2018至2025年的年均复合增长率约为46%。

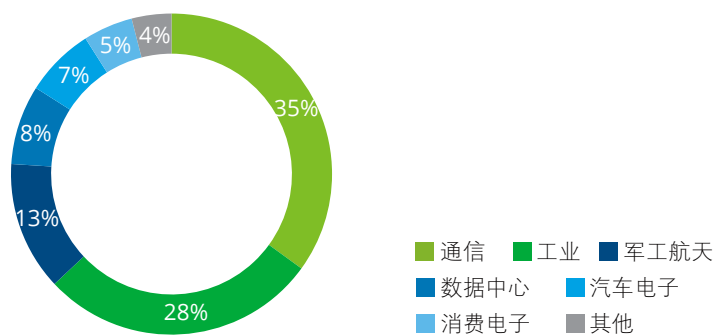
2018-2025中国人工智能芯片市场规模



中国FPGA工业领域应用市场占比28%，高于全球工业应用占比(12%)

2019年中国FPGA市场规模约为187.5亿元，其中工业市场应用占比约为28%，市场规模约为52.5亿元，预计2025年，FPGA在中国工业领域的市场规模将达100亿元。

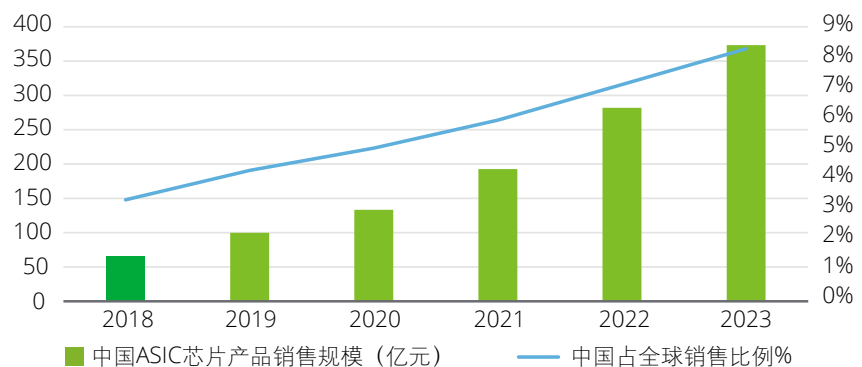
2018年中国FPGA应用市场占比情况



中国ASIC销售规模将在2023年达到373亿元，占全球销售的8%，2018-2023 CAGR达42%

中国ASIC芯片产品销售的持续增长受边缘计算增长的驱动，另外，未来能够同时进行训练和推理的人工智能终端设备更加普及，为ASIC的大量应用提供载体。

2018-2023 中国ASIC芯片产品销售规模

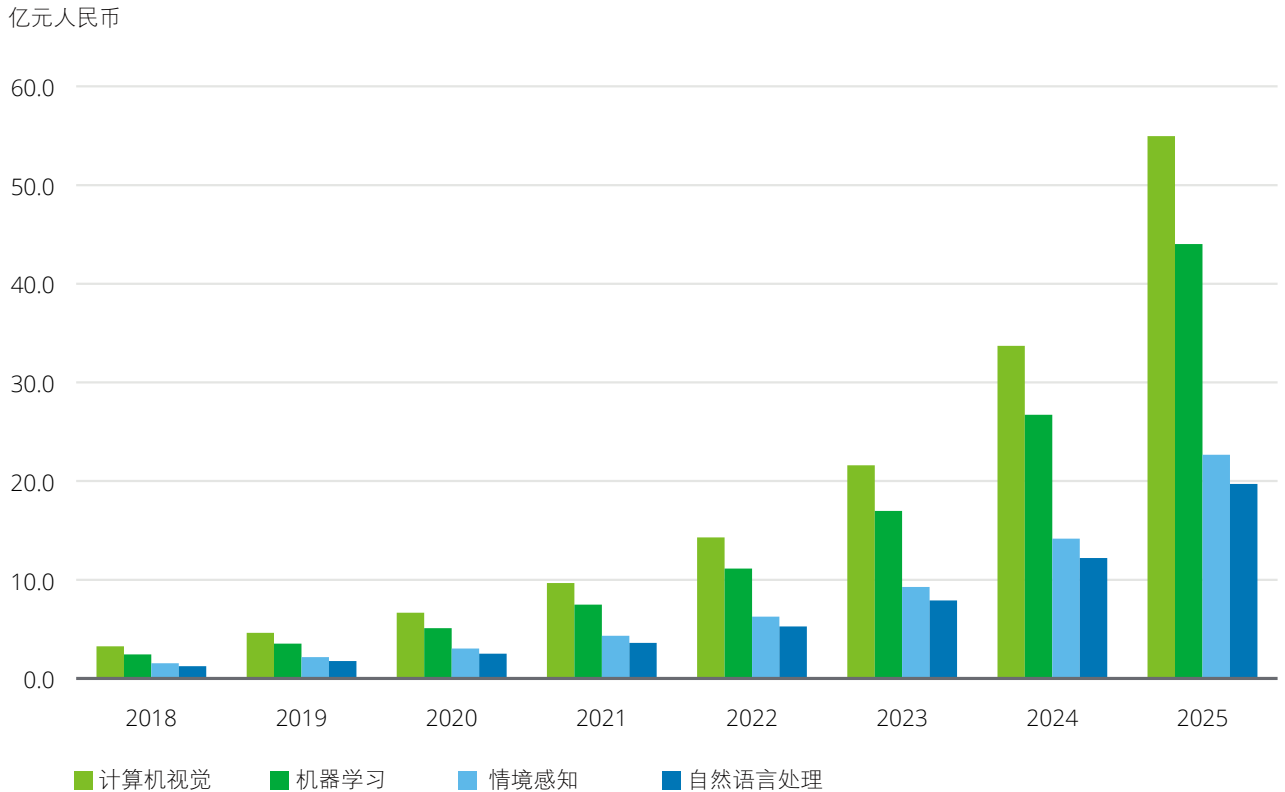


3.2 中游技术平台

从技术角度来看，计算机视觉和机器学习技术带动人工智能在制造业的应用

计算机视觉和机器学习技术带动人工智能在制造业应用市场的增长，预计到2025年计算机视觉在制造业领域的应用市场将达到55亿元人民币，机器学习的应用市场将达到44亿元人民币。

图表20：人工智能制造业应用市场的规模（按技术分类）



资料来源：Bizwit, 德勤研究

人工智能的云部署方式快速增长，预计2025年市场规模将达60亿元人民币，占整体人工智能应用市场的43%，为制造企业提供开发新服务和新商业模式的机会。

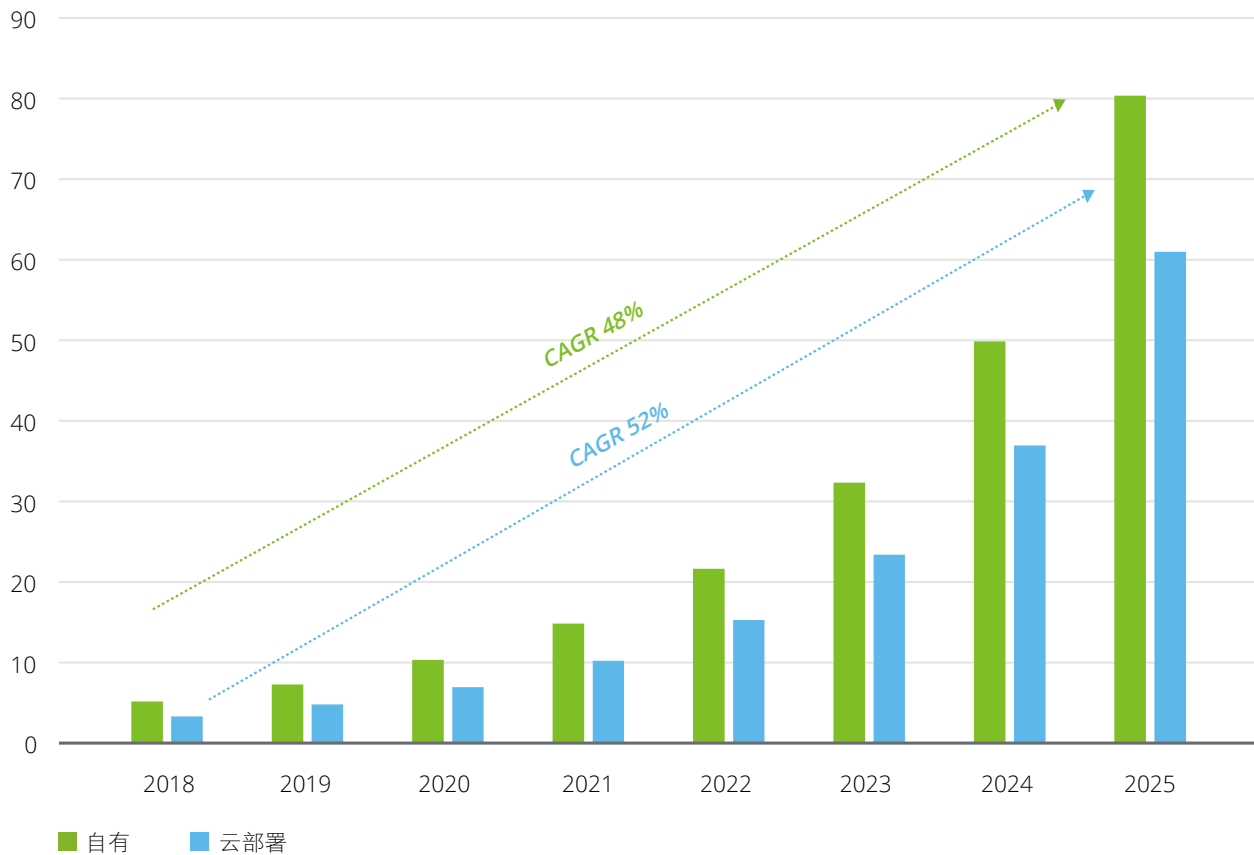
人工智能部署既可以在自有设备/私有云上，也可以在公有云上。由于目前人工智能和相关技术主要用于工业自动化，自有/私有云部署占据多数市场份额。

公有云可以大幅降低每个单元的储存和计算成本，甚至通过跨界创造新的商业模式，但也带来了复杂性。企业担心一旦将诸如工厂生产过程、资产性能管理的数据放到云平台上之后，信息安全、知识产权问题会接踵而至。

选择公有云还是私有云，很大程度取决于企业的关注点。如果企业只是聚焦于自己的生产制造、降本增效，往往不会选择公有云；如果企业聚焦于商业模式创新和产品转型，则会天然的更倾向于选择公有云或混合云，因为往往涉及服务平台，需要做到一定程度上的兼容和融合。由于目前国内比较常见的工业云的部署以云的基础功能为主，很多企业仅把云看作虚拟服务器，在云上做存储、计算。只有少数企业通过云部署改变生产方式和制造生态。未来随着公有制造云与工业物联网需求的匹配度的提高，将为制造企业提供开发新服务和新模式的机会，预计未来五年公有云部署将呈现快速增长态势。

图表21：2016-2025人工智能制造业部署方式

亿元人民币















资料来源: Bizwit, 德勤研究

3.3 下游应用

人工智能在制造业中的应用广泛，围绕提升效率、降低成本、增加产品和服务价值以及探索新业务模式等价值定位产生了不同的应用场景（图表22）。

图表22：人工智能制造业主要应用场景及市场规模预测

细分领域	场景描述	算力需求	中国市场规模 (亿元人民币)		
			2018	2025	CAGR
 物体搬运	<ul style="list-style-type: none"> 各种类型的全自动流水线、自动分拨、仓储和配送机器人已经开始慢慢应用，基于人工智能技术可以让每一个物料都有最优路径，最短时间送达 		0.9	12.3	44%
 生产计划	<ul style="list-style-type: none"> 智能计划排产：在给定工单、可用资源、约束条件和公司目标多重条件下，生成最佳生产计划 新的信息和数据加入后，系统可以运行大量假设任务并发现最优计划 		1.8	29.7	52%
 质量控制	<ul style="list-style-type: none"> 质检：机器视觉工具通过机器学习算法，在精密产品上以远超人类的视觉发现微小缺陷 工艺优化：人工智能对关键工艺步骤的数据进行感知分析，并依此实施优化提升良品率 		1.5	23.2	51%
 现场作业	<ul style="list-style-type: none"> 流程优化：智能感知生产条件变化，自适应决策实现运行指标的优化控制和自愈控制 		1.2	22.7	48%
 预测性维护维修	<ul style="list-style-type: none"> 利用历史数据，结合设备运行状态，及时预测预警运营故障风险，并帮助诊断背后原因指导维修维护 		2.3	42.7	49%
 其他	<ul style="list-style-type: none"> 赋能工业机器人：协作机器人、提高焊接机器人作业精度和效率、提高制孔机器人精度 数据安全与网络安全：依靠人工智能识别威胁和阻止攻击 		0.6	7.1	46%

资料来源：Bizwit, 德勤研究

预测性维护或将成为人工智能在制造业领域的杀手级应用
不合理的维护策略会导致工厂产能降低5%-20%，工业企业由于意外停机而造成的损失每年高达500亿美元。²⁹

传统系统已经能够对传感器收集的温度、振动状态等数据进行分级，并实现异常检测与预测。而人工智能将这个功能带到新高度：对数据进行分层，从而分析海量的、高维度的、包含图像、音频等各种形式的传感器数据，一些原来不适用的低质量数据也能被利用起来。

我们预测，中国制造业中人工智能预测性维护的应用市场将从2018年的2.3亿元人民币，增长至2025年的42.7亿元人民币，年复合增长率达49%。

人工智能已经开始利用工厂数据，建立模型，发挥预测功能并指导企业决策。如某轴承厂利用大数据检测和机器学习系统，对工厂设备的历史维修周期与故障率进行分析测算，结合机器视觉系统对设备进行监控，预测何时需要进行设备清洗、何时可能需要更换部件，从而让检修人员进行提前规划，最大程度地降低工厂因设备故障导致的停工情况，从而达到设备中断工作时间降低50%³⁰的效果。

新的制造模式推动智能计划排产的应用场景增长迅速

制造业生产系统越来越复杂，生产流程中的任务、参与者和信息不断增多，产品种类更加多样，柔性化和定制化需求增加。而且，未来的制造模式不仅在一个工厂内发生，还需要供应链、物流和销售体系的协同，这些都是制造企业的生产排程带来的挑战。

人工智能技术应用相关算法，在给定工单、可用资源、约束条件和公司目标等多重条件下，生成最佳生产计划。当新的信息和数据加入后，系统可以运行大量假设任务并发现最优计划。当判断由于物料不足与产能不足而导致订单交付延迟或取消，解决方案会根据采购清单进行最有效的采购推荐。

我们预测，中国制造业中人工智能在生产计划排产的应用市场将从2018年的1.8亿元人民币，增长到2025年的29.7亿元人民币，年复合增长率达52%。

质量控制场景从缺陷检测环节向制成环节工艺优化扩展
产品质量是评估企业生产能力的重要指标，尽管目前人工智能在质量控制场景中的应用大部分集中在机器视觉质检，但我们认为其潜力尚未充分发挥。未来质量控制场景将向生产制成环节的工艺优化扩展，对关键工艺步骤的数据进行感知分析，从根源提升良品率。

产品的质量结果受到众多变动因素影响且这些因素通常具有相关性，传统系统无法显示复杂变量关系和许多原因的交互影响与累积，工程师无法回看问题发生时的生产情境，更无法进一步追溯问题原因并改善。

人工智能可通过相关的算法工具，找出质量相关的规则，理清质量与变量之间的关系。从而有可能在制造完成之前对质量进行预测，发现失误根源，进而采取行动改善工艺。这样不仅可以减少质量偏离的风险，节省大量事后测量时间和成本，还能提升制造效率，减少次品。

我们预测，在中国制造业中人工智能质量控制的应用市场将从2018年的1.5亿元人民币，增长到2025年的23.2亿元人民币，年复合增长率达51%。

电子、汽车、能源电力行业人工智能预备度较高，应用市场的规模和增长领先于其他行业

整体上，人工智能在制造业中的应用仍处于早期阶段，但许多应用场景都具备大规模引入该技术的潜力，许多企业正在朝着这个目标努力，共同以人工智能推动垂直行业发展。这个队伍中既有初创企业，也有老牌制造业巨头和科技巨头。值得注意的是，不同行业应用人工智能的预备度有所不同，从资产、技术、标准与法规以及生态系统四个方面衡量，电子及通信设备、汽车制造、电力及电气行业的预备度较高(图表23)。

图表23：人工智能制造业应用的行业预备度

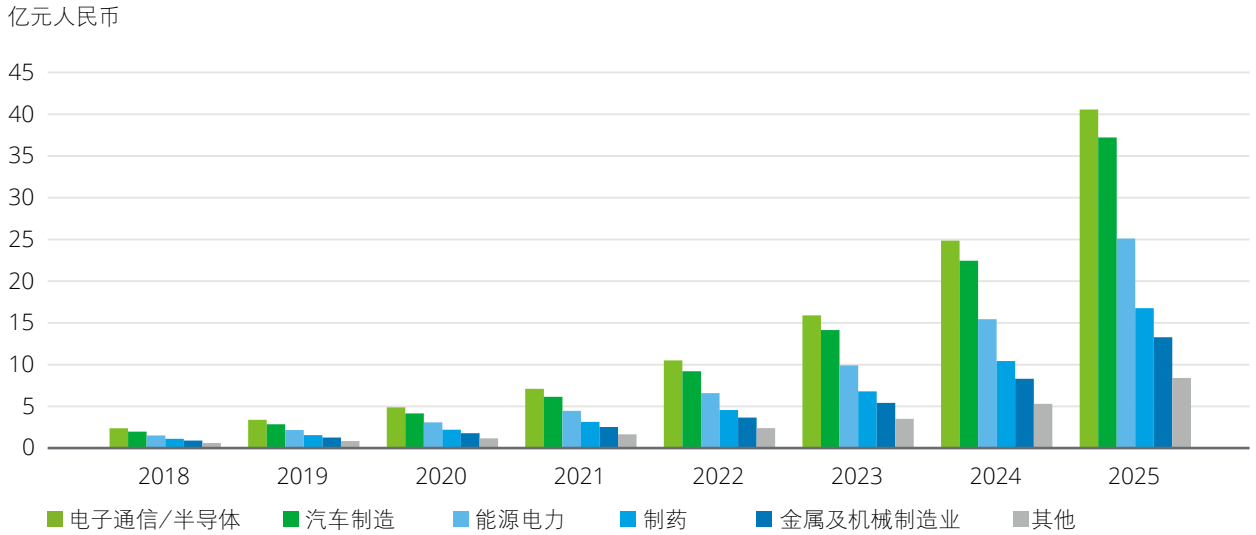
	资产	技术	标准与法规	生态系统
电子及通信设备	●	●	◐	●
汽车制造	●	●	◐	◐
电力及电气	◐	●	◐	◐
机械设备制造	◐	◐	◐	◐
化工	◐	◐	◐	◐
冶金及金属加工	◐	◐	○	○

● 预备度高 ○ 预备度低

资料来源：德勤制造业人工智能应用调查2019

从应用市场规模来看，预计到2025年，电子通信/半导体人工智能应用的市场规模将达到41亿元人民币，汽车制造紧随其后达37亿元人民币，能源电力25亿元人民币，制药17亿元人民币，金属及机械制造13亿元人民币，其他行业8亿元人民币（图表24）。

图表24：2018-2025年中国工业细分行业人工智能应用市场预测



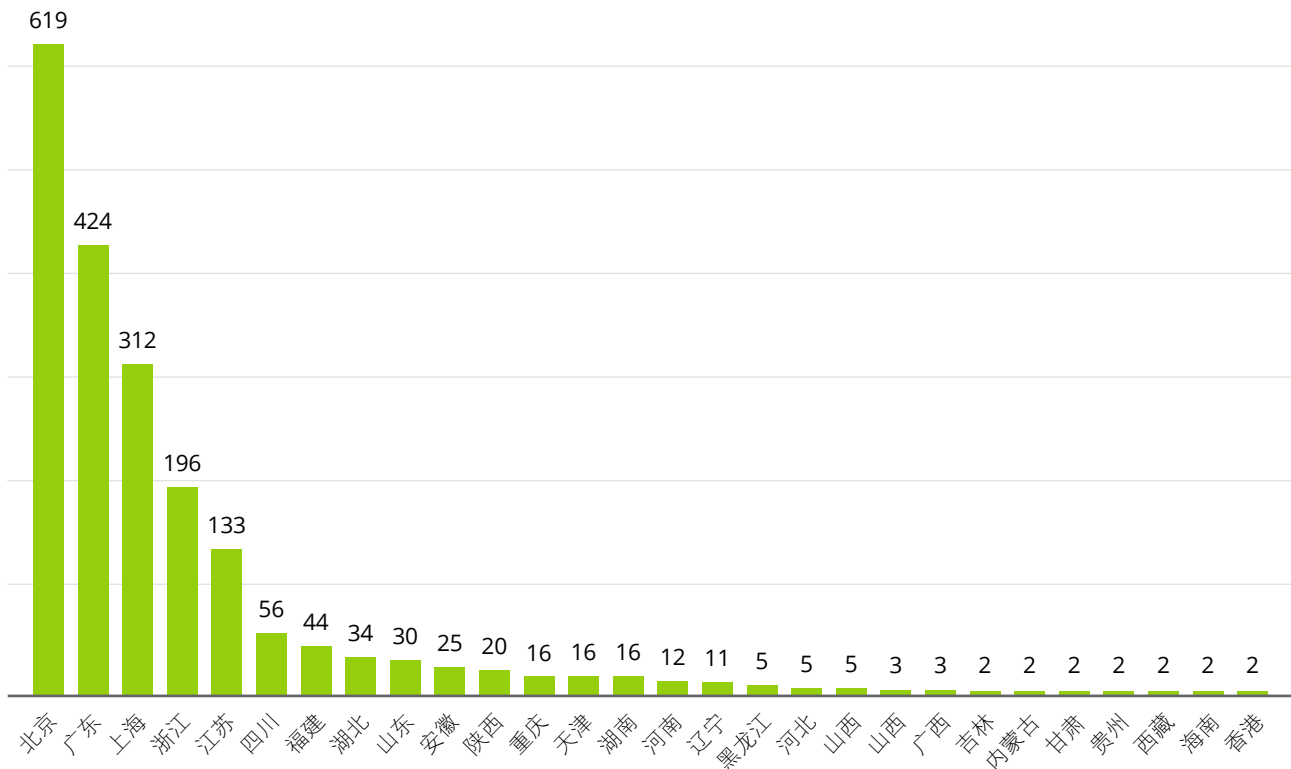
资料来源：Bizwit, 德勤研究

3.4 中国人工智能区域市场

在政策与资本双重力量的推动下，人工智能企业数量快速上升。据不完全统计，中国各地人工智能企业总数达上千家，京津冀、珠三角、长三角是人工智能企业分布最为密集的地区。同时，由于有大量的传统制造业需要利用人工智能技术进行智能化升级，再加上政府政策的支持，西部川渝地区及中西部几个重点省份也成为人工智能企业的聚集区域（图表25）。

从人工智能企业的区域分布来看，北京、深圳、上海、杭州是聚集人工智能企业数量最多的城市，在政策、投融资、算力和人才维度处于第一梯队。

图表25：中国人工智能企业分布情况(2020)



资料来源：科技部新一代人工智能发展研究中心人工智能企业数据库，德勤研究

其中，上海正积极发展人工智能产业，将其作为战略性新兴产业的三大核心领域之一。上海的人工智能企业围绕产业链各个环节集聚发展，形成了较完备的产业体系，聚集了综合龙头、创新技术、基础硬件、终端产品、垂直应用等领先企业，并在空间上形成了“东西集

聚、多点联动”的布局。十四五期间，上海将继续壮大人工智能产业发展，重点在浦东张江、徐汇滨江、闵行马桥、临港新片区打造领先集群，并加快建设市北高新、长阳创谷、虹桥智谷、天地软件园、青浦西虹桥智慧谷等特色园区。

图表26：“十四五”期间上海人工智能产业集群规划

片区	定位	部分已入驻企业/项目
浦东张江	建设具有国际领先水平的人工智能岛，打造全国领先的人工智能芯片产业集群	微软人工智能和物联网实验室、IBM
徐汇滨江	建设西岸智慧谷，聚焦西岸智塔和北杨人工智能小镇，打造人工智能国际总部基地	微软亚洲研究院（上海）、阿里巴巴、腾讯、联影智能、明略科技
闵行马桥	突出新区开发和产业落地	达闼机器人、紫光（上海）芯云中心
临港新片区	加快智能驾驶、装备制造等产业布局，打造无人驾驶示范区	商汤视觉科技、地平线、寒武纪、树根互联

资料来源：《上海市战略性新兴产业和先导产业发展“十四五”规划》，德勤研究

规划与政策

自2015年开始，人工智能技术步入商业化应用阶段，中国开始陆续制定国家级政策，推动人工智能及相关产业的发展，特别是2017年中国政府发布的《新一代人

工智能发展规划》推动省市级别的人工智能政策陆续出台。2009-2017年间，各省市出台的人工智能政策数量达到792项³¹，近两年也持续出台了促进人工智能发展的专项政策。

图表27：各城市人工智能相关政策（2019以后）

城市	政策示例
北京	<ul style="list-style-type: none"> 《北京促进人工智能与教育融合发展行动计划》 《加快新型基础设施建设行动方案（2020-2022年）》
天津	<ul style="list-style-type: none"> 《天津市人工智能“七链”精准创新行动计划》
上海	<ul style="list-style-type: none"> 《关于建设人工智能上海高地构建一流创新生态的行动方案（2019-2021年）》 《中国（上海）自由贸易试验区临港新片区集聚发展人工智能产业若干政策》 《推进上海经济数字化转型赋能高质量发展行动方案（2021—2023）》 《上海新一代人工智能算法创新行动计划（2021—2023）》 《关于推进本市新一代人工智能标准体系建设的指导意见》
深圳	<ul style="list-style-type: none"> 《深圳市新一代人工智能发展行动计划（2019-2023年）》
广州	<ul style="list-style-type: none"> 《广州人工智能与数字经济试验区建设总体方案》 《广州市关于推进新一代人工智能产业发展的行动计划（2020-2022年）》
杭州	<ul style="list-style-type: none"> 《浙江省促进新一代人工智能发展行动计划(2019-2022年)》 《杭州市建设国家新一代人工智能创新发展试验区行动方案》
重庆	<ul style="list-style-type: none"> 《重庆建设国家新一代人工智能创新发展试验区实施方案》 《重庆市智能制造实施方案（2019-2022年）》 《重庆市新型基础设施重大项目建设行动方案(2020—2022年)》

资料来源：《上海市战略性新兴产业和先导产业发展“十四五”规划》，德勤研究

从政策指向性来看，各地结合自身特点，各有侧重地培育人工智能产业。北京市聚焦新型网络基础设施、数据智能基础设施等方向，关注技术应用和完善生态系统。天津市紧密围绕战略性新兴产业发展和构建智能科技产业发展高地需要，坚持产业链、创新链“双链融合”，实施“有机串链”、“扶优育强”、“补短拉长”、“平台搭建”、“引智引企”、“产业聚集”等六项工程，打造有利于研发攻关、产业培育和产品应用“三位一体”发展的大智能创新体系。上海市出台的政策在创新生态、产业聚集、投融资支持等方面都有涉及，还特别针对企业关心的数据资源开放和应用提出具体措施。广东省的政策关注技术领域，涉及前瞻布局人工智能的基础理论和关键技术攻关，提升产业引领和技术支撑能力。杭州市关注人工智能产业的布局和应用，结合成熟企业的优势，重点发展人工智能小镇、园区、城区；重庆市出台的人工智能政策主要侧重于促进技术与传统制造业的结合，推动智能制造的发展。

财政补助力度方面，采用项目资助、贷款贴息和专项产业基金等形式助力产业发展。杭州设立人工智能小镇30亿专项资金，浙江省设立10亿人工智能人才产业发展母

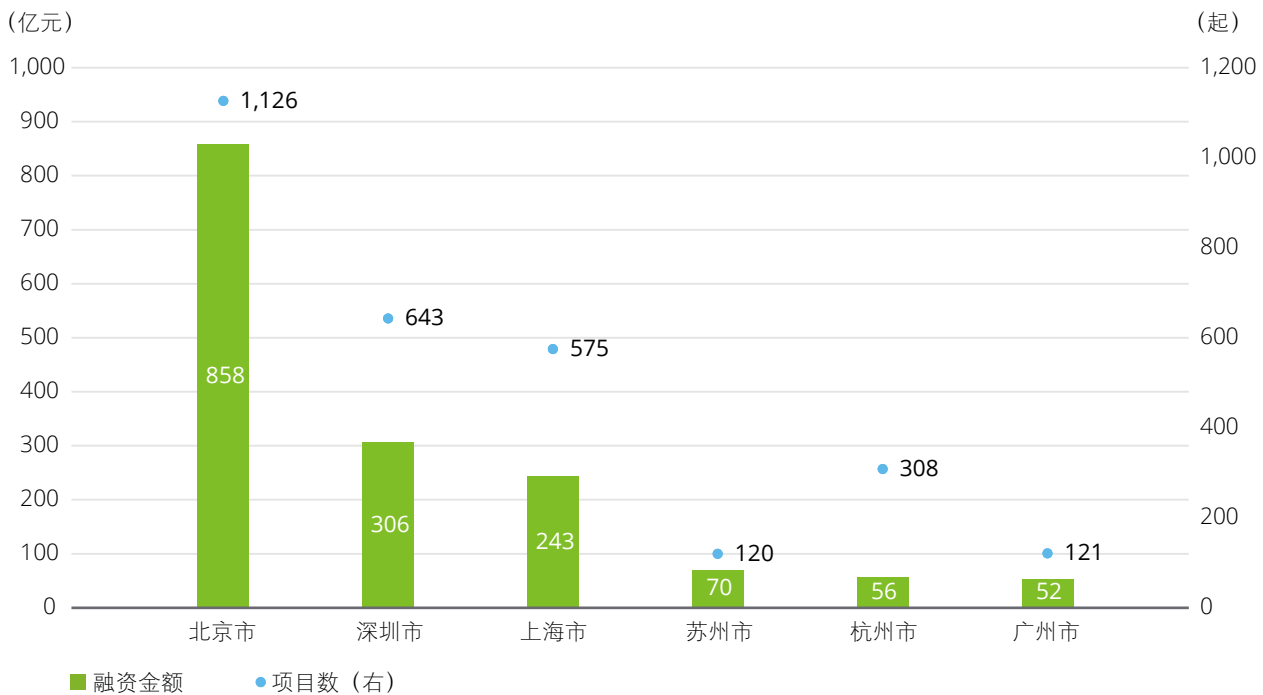
基金，资金体量巨大。深圳市采取项目资助资金（最高可获4,500万元）、贷款贴息、知识产权资助等形式支持新兴产业。北京市主要依托科技创新基金，政府出资200亿元投资包括人工智能在内的十个新兴产业。上海市设立人工智能创新发展专项资金，对符合条件的项目给予总投资最高30%、金额最高2,000万元的支持。重庆市以最高1,000万元的资助金额扶持符合条件的项目。天津市设立百亿元智能制造专项资金，到2019年底已经有四批共911个项目受益，市、区两级智能制造专项资金累计支持已达36.4亿元。

投融资数量与金额

活跃的资本环境将对人工智能初创企业提升技术、获取用户、拓展市场产生积极影响，促进人工智能产业链上下游企业形成规模效应，从而提升城市人工智能产业的实力。

初创企业在新技术的研发与商用方面承担开拓者的角色，初创企业获得的融资金额在一定程度上代表了该地区人工智能技术的发展前景。

图表28：主要城市人工智能初创企业累计融资规模（截至2021年6月底）



资料来源：CVSource, 德勤研究

注：融资金额仅统计了已披露的项目金额

在初创企业获得的融资案例数量方面，北京、深圳、上海分列前三，分别累计发生1,126起、643起、575起投资事件，占总投资案例数量逾六成，此外杭州的融资情况也十分活跃，累计达到308起。

从初创企业已披露的融资金额来看，北京、深圳、上海分列前三，其人工智能初创企业的融资金额分别为858亿元、306亿元以及243亿元。这是因为北深上聚集了中国大部分的人工智能初创企业，企业技术实力雄厚，同时客户对新技术的接受度更高，因而拥有更为广阔的应用市场。苏州、杭州、广州随后，累计融资金额分别为70亿元、56亿元和52亿元。

算力

人工智能技术的进步不仅依靠大数据，更依靠计算机芯片算力的提升。从城市分布来看，中国排名靠前的城市均分布在沿海人工智能技术更为先进的地区，北京、

深圳、杭州、上海、重庆分列前五，位居第一梯队，广州、合肥、苏州、西安、南京则处于第二梯队³²。

这些上榜的城市都是中国人工智能的核心城市，是资本、人才、高科技产业的聚集地，同时也拥有较好的基础设施和IT发展水平，可为人工智能的发展和算力建设提供良好的支撑和土壤。其中，上海作为全国最大的经济中心城市，具有完备的产业体系和开放的市场环境，在智能制造和智能交通等领域有丰富的感知系统和应用场景，并且拥有密集的信息数据流，为人工智能算力发展奠定了优良基础；杭州在人工智能的政策和战略、投资规模和人才储备、领军企业和初创企业数量等几个方面都有自己的特点和优势，为人工智能算力发展提供了良好的丰厚土壤。

图表29: 各城市人工智能算力排名

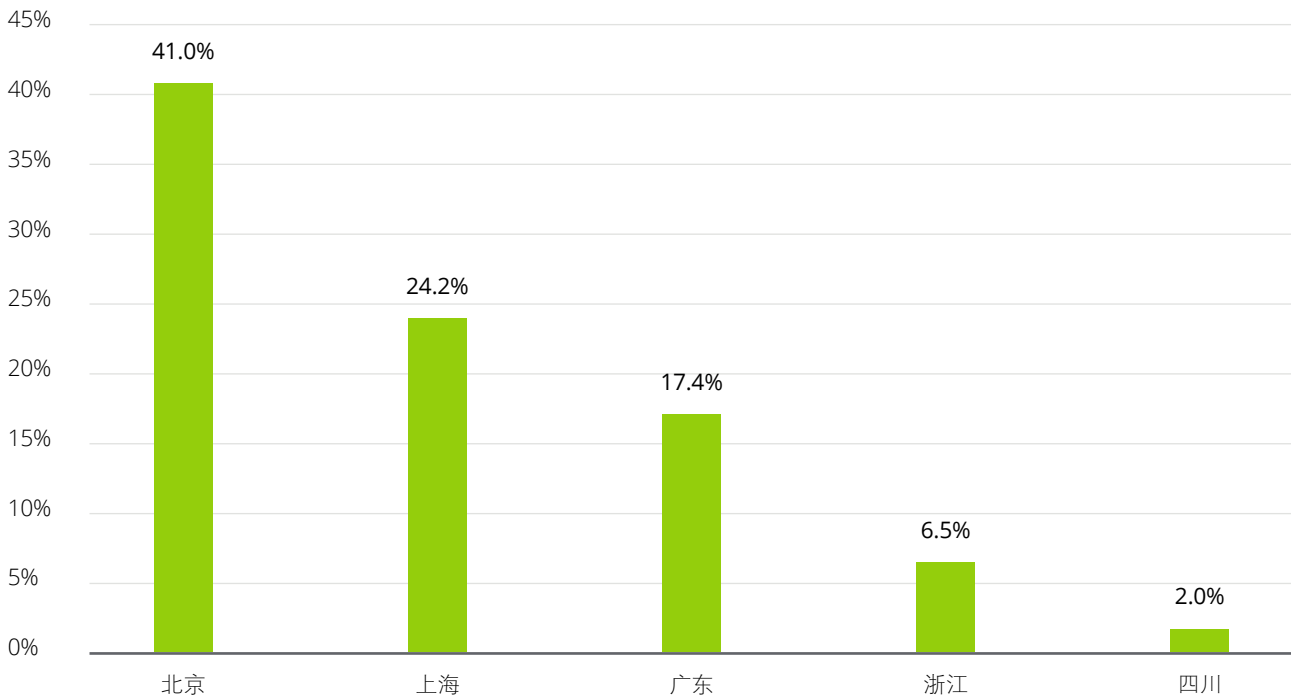
第一梯队	第二梯队
北京	广州
深圳	合肥
杭州	苏州
上海	西安
重庆	南京

资料来源：《2020-2021中国人工智能算力发展评估报告》，浪潮，IDC

人才数量

人工智能竞争归根结底是人才的竞争。中国人工智能人才分布不均，主要集中于京津冀、长三角以及珠三角地区，此外中西部也已经出现一定程度的人才聚集，主要分布在长江沿岸。

图表30: 各城市人工智能人才数量占比



资料来源:《人工智能领域人才报告》猎上网

注:柱状图表示的人工智能人才占比=各城市人工智能人才数量/中国人工智能人才总数

从各城市人工智能人才的占比来看,北京最具优势,占比超40%,是上海(第二名,24.2%)的近两倍。广州、深圳、杭州、重庆的总占比约为25.9%,位居第二

梯队³³。这主要是因为经济发达地区集聚众多优秀的人工智能企业,同时由于获得政府与社会资金的支持,人工智能人才的薪酬也高于其他地区。

四、制造业人工智能应用挑战



4.1 芯片核心技术有待攻克，专用芯片开发技术门槛参差不齐

芯片产业高度依赖知识产权，是典型的技术驱动和资本驱动型产业。中国芯片产业过去几年虽发展迅速，但在软件、设备、材料、设计、制造等领域和环节仍需攻克核心技术。芯片设备领域，2019年全球前五名芯片设备生产商占全球销售额的78%，其中三家来自美国。芯片材料领域，全球五大矽晶圆的供应商占据了高达92.8%的产能，美国、日本、韩国的公司具有垄断地位。芯片设计环节，国际三巨头美国Synopsys、Cadence和德国西门子的Mentor Graphic占据中国95%的EDA软件市场。在芯片制造环节，尽管80%的产能在亚洲，但2019年台积电市场占有率高达52%，三星为18%左右，中芯国际和华虹半导体只占4.4%和1.5%³⁴。

国外芯片巨头占据了绝大部分市场份额，具有绝对领先优势。中国制造业亟需国产自主可控的高性能芯片来保证供应链安全以及核心数据和知识产权安全。目前，中国对芯片的研发投入强度落后于欧美。据统计，2019年

美国半导体产业的研发支出占销售额的比重为16.4%，欧洲为15.4%，中国半导体产业的研发支出占销售额的比重为8.3%³⁵。

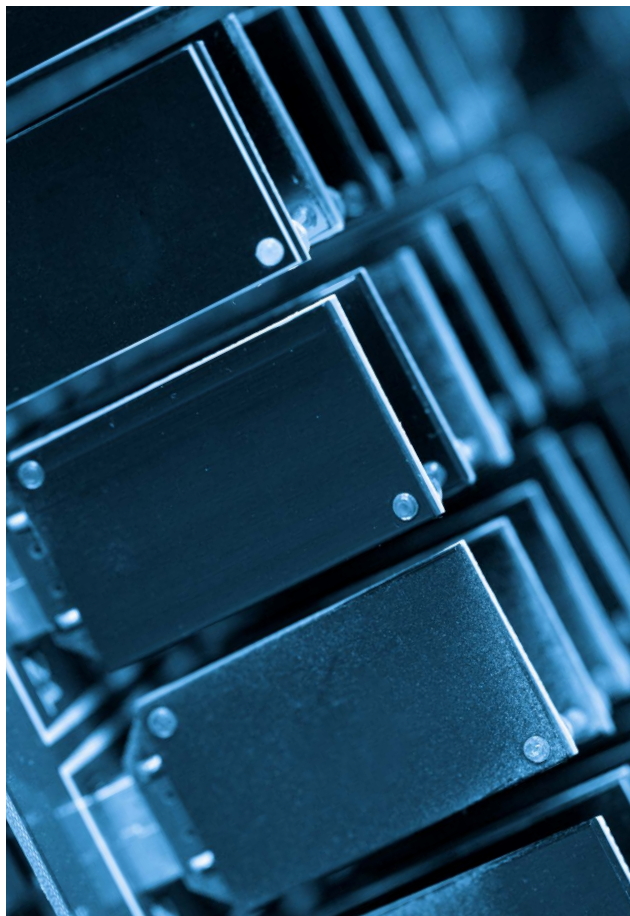
国内企业布局主要集中在人工智能专用芯片（如ASIC），以初创企业和互联网企业为主。一方面，专用芯片根据特定工业场景开发，可以更好的解决工业业务痛点。另一方面，通用芯片技术壁垒高、回报周期长，而初创企业以生存为首要目标，因此很多企业更倾向于结合自己的产品算法和应用特点开发各自独特的体系，从而可以较快的将算法和软硬件结合为完整的解决方案，进而向市场推出。例如依图科技在招股书中明确，未计划单独销售芯片，而是基于芯片开发智慧服务器及智慧边缘计算设备并对外销售³⁶。但是由于人工智能芯片开发的技术门槛参差不齐，国内企业尚未形成“芯片—平台—应用”的生态，不具备与传统芯片巨头抗衡的实力。

4.2 工业数据资源的掌握与应用能力不匹配，数据价值尚待挖掘

当前基于数据驱动的人工智能技术路线，对问题还原的准确度离不开数据训练。采集数据的方法，数据的质量、多样性以及规模直接决定了人工智能作用发挥的程度。相较于商业数据，工业数据的来源和制式更加复杂，而且对数据的可解释性、可靠性和准确性要求更高。目前工业数据应用面临以下挑战：

- 数据采集汇聚：企业信息化基础薄弱、设备不互联、通信协议不兼容造成数据采集困难，数据失真、缺乏统一的数据标准等导致工业数据难以集成；
- 数据开发应用：数据的管理和建模技术有待提高，海量实时异构数据的挖掘能力不足；
- 数据流通共享：工业企业对于跨企业、跨行业数据共享合作的需求正在快速增加，但数据权属界定不清、规则不明、难以定价等基础性问题没有得到解决；
- 数据治理安全：网络安全、系统安全、数据安全等挑战。

中国信息通信研究院和工业互联网产业联盟调研显示，中国工业企业只有不到1/3的企业开展了数据治理，51%的企业仍在用文档或更原始的方式进行数据管理³⁷。尽管已经有越来越多的工业企业意识到数据资产管理和应用的重要性，但相比信息化程度较高的金融、电信、互联网等行业，工业数据的应用还处在探索阶段。



4.3 技术能力和算法特质无法满足实际应用需求，工业场景落地难

现有的通用计算架构与芯片尚无法满足工业实时性所带来的计算要求，特定工业场景对端侧推理需求迫切。以图片高精度高速检测和实时工业场景识别为例，传统芯片处理1080P图片需要耗时1秒，而以上场景的图像实时识别需要达到人眼识别帧率，即1/24秒。以设备实时控制为例，中低端设备的控制周期是微秒级，高端设备甚至要求200-500纳秒级，当前人工智能技术无法实现³⁸。

另外，人工智能算法的“黑盒”特性与制造业追求的高精度、可靠与可解释性存在矛盾。人工智能企业往往很难

对算法的每一个步骤、算法的技术原理和细节进行解释，简单公开算法系统的代码并不能提供有效的透明度，反倒可能威胁数据隐私或影响技术的安全应用。制造业的人工智能应用在部分领域、核心环节对推荐参数的准确性要求是100%，一旦参数出现问题，会对生产、制造等环节，甚至生命财产安全产生巨大影响。制造企业不清楚算法模型是如何得出某个结论，无法理解复杂的人工智能算法的决策理由，导致了企业对人工智能准确性的怀疑，加大了人工智能企业找到既符合应用条件又愿意配合的制造企业的难度。

4.4 人工智能技术解决方案无法直击核心痛点，复制性较差

许多人工智能技术目前还在关注表面的问题，而非核心痛点。例如，某手机制造企业希望通过人工智能提升制造工艺和良品率，而引入计算机视觉做质检只能在产品生产出来后发现缺陷，远不能达到改进工艺、解决核心质量问题的目的。

此外，由于工业设备产品、场景的差异化与任务的多样性，当前工业场景下机器学习模型的可复制推广性较差。例如，工业场景下的产品检测，不同生产线、不同产品的缺陷种类情况可能完全不同，在某一企业可能获得高效率的算法或解决方案，移植到另一企业或许并不能达到同样的效果。

4.5 制造业企业自身意识和能力不足，认知理念、管理方式、人才计划亟待变革

制造企业要想利用人工智能技术实现降本增效，就需要进行认知和管理方式上的转变。很多传统工业企业认为，应用工业智能数字化产品和采购设备的效果一样，能够快速优化和提高竞争力。但数据驱动模型需要数据不断迭代优化，才能达到相对精准的效果。这意味着工业企业需要改变对软件的看法，并在模型初期给予足够的包容度。

制造企业既有的经验及组织架构也会成为障碍。当人工智能技术的导入涉及到管理变革或流程优化操作时，由于员工已经熟悉原有的工作流程，要推行实施新流程就要经历一个非常困难的过程。资金、培训和时间的投入是公司难以承担的巨大风险。另外，不了解如何进行相关的组织架构调整，也是企业应用人工智能过程中面临的挑战。

人才短板也是工业企业人工智能应用的挑战之一。在人工智能技术深入应用并落地的过程中，需要人才既懂技术又懂传统工业产业，才能实现深度融合。这要求人工智能人才培养时注重跨学科能力与综合应用能力。在人才培养计划中可以推行高校人工智能人才培养与传统工业企业平台结合的方式。企业自身人工智能技术探索研发的过程，对培养高精专人工智能人才是很好的教育。人工智能与不同行业的结合可以为企业提供不同的发展思路，有利于人工智能理论在垂直产业的实际应用落地。

五、政策建议



5.1 健全人工智能专业人才与复合人才的培养机制

第四次工业革命背景下，人工智能作为新工科建设的重要分支，培养专业型、复合型、创新型人才是支撑产业升级的关键。

应进一步建立健全人工智能技术教育体系，加快培养处于不同教育层次、拥有不同知识背景的人才。英国已在高中教育阶段引入人工智能技术的知识学习，并在高等教育体系中建立人工智能学科。美国除了在高等教育阶段进行人工智能人才培养外，还开展全民AI教育，主张AI教育全学段覆盖，鼓励劳动力再培训。

鼓励企业通过内部培训、全球调派、建立学徒制等方式培养创新型人才。企业设立明确的人才目标，加强内部

培训机制；通过调派全球任务，让有潜力的人才有机会接触较为成熟的市场的深度研究工作；建立学徒制，提供让研究员与资深科学家在特定项目上并肩共事的机会。

加强产学研合作，建立良性的人工智能人才生态系统。高校与研究机构、企业等合作，将产业需求与人才培养目标、培养导向、培养标准、培养路径有效对接，形成AI人才培养的良好生态系统。如英国政府、产业界及大学承诺共同出资在全国设立16个AI教育中心，首次设置由产业资金资助、包含工作实习内容的AI硕士专业学位课程，开创了三方共同投资教育的先河³⁹。

5.2 强化关键核心技术攻关，提升人工智能技术供给能力

进一步加大人工智能关键技术、共性技术研发攻关力度。如为满足工业实时性要求，研发高能效低成本的特定域架构芯片，面向工业领域开发的专用端侧框架等；依托行业骨干企业创建开放共享创新平台，推动关键共性技术研究，开展智能部件、装备和系统研发。

与此同时，我们也需要认识到，人工智能技术可以在现有工业系统的基础之上优化效率，但并不能帮助我们实

现“弯道超车”，更不能取代基础研究。一方面，要围绕人工智能前沿领域基础科学问题强化研究，产出更多原创性成果；另一方面，要引导各类企业加大研发投入，开展适用于重点行业的基础性研究。

5.3 加快提高制造信息化水平，夯实人工智能技术应用基础

信息化水平不达标会为企业下一阶段的人工智能应用带来巨大的复杂性和额外的数据处理的工作负荷，应持续提高制造业信息化水平，为新技术的应用铺平道路。

继续推动制造企业依据两化融合管理体系国家标准开展贯标工作，鼓励有条件的企业申请评定。引导贯标咨询服务机构深入企业，对标国家标准开展基础建设、单项应用、综合集成、协同创新等工作。

鼓励骨干企业搭建智能平台，通过搭建从应用到技术，再到底层算力支撑的技术设施，降低制造业企业人工智能应用的门槛，实现人工智能在业务中的快速部署。

培育信息化公共服务体系。推动人工智能芯片、软件、系统集成商、安全防护等不同领域的企业紧密合作，培育针对制造业的系统解决方案供应商。

构建网络安全分级防护体系。面向应用工业互联网的工业企业，制定网络安全分类分级防护指南、网络安全分级防护规范，推动企业实施分类分级安全防护。强化网络安全产品和解决方案定制化供给，促进工业企业网络安全保障能力的提升。

5.4 推进技术标准化，支撑行业健康可持续发展

加快制定与工业系统相匹配的技术标准。当前，人工智能、大数据领域技术创新活跃，与工业领域的融合程度持续深化，带动新产品、新服务、新模式持续涌现。在工业系统推进人工智能和大数据等领域的技术标准化，建立统一、贯穿产业生命周期的数据标准和安全防护管理技术体系，能够有效固化数据采集、存储、加工、分

析和服务等方面的先进技术向市场的传导和渗透。例如在安全防护领域，用大数据健全工业信息安全标准体系，包括设备和控制安全、虚拟化安全、数据安全、网络和应用安全等，从而提高工业信息安全监测、评估、验证和应急处置等能力。

5.5 推动技术与产业融合试点，形成系统解决方案

通过新技术与传统业务的融合，推动工业企业在产品、产业的智能化上转型升级。这需要建立一个基于多种新技术的工业创新平台，包括人工智能、云计算和物联网，与合适的服务提供商、设备和通信进行协作。由于工业多样性、高度定制化的特性，在碎片化的市场里，平台的价值难以直接传递到工业用户侧，仍离不开大量的系统集成商的服务。目前，工业互联网平台正在试图

打造更明确的价值输出的合作，寻找价值业务的方向和伙伴；平台只是实现和整合资源的抓手。此时，找到志同道合的合作伙伴进一步建立创造价值的合作，这个过程被称为“建种群”。要通过建种群来占据生态系统的主要价值入口，再通过平台为抓手来控制接入和输出，加速其他新业务的衍生。



尾注

1. 现在中国的经济总量, 相当于哪年的美国? 搜狐网, 2019-12-06, https://m.sohu.com/a/358707073_440500/
2. 未来的人工智能有哪些商业模式, 阿里巴巴, 2020-04-24, <https://www.zhihu.com/question/41848628>
3. 疫情期间居家锻炼新亮点: 大数据健身应用进入智能化时代, 中国体育报, 2020-04-04, https://www.sohu.com/a/385496472_526117
4. 吴松: 软件价值超越硬件价值时代到来, 《“十四五”时期中国主流汽车集团发展策略与展望》, 2020-08-14, <https://auto.sina.com.cn/news/hy/2020-08-14/detail-iivhvpwy1025651.shtml>
5. 寻云记 26个国内外工业互联网平台, 你会选择谁? 工控网, 2018-07-11, https://www.sohu.com/a/240585486_319781
6. 海尔滚筒洗衣机互联工厂正式投产 满足用户个性化定制需求, 青岛财经日报, 2018-11-07, <https://xw.qq.com/cmsid/20181107B08P3G00>
7. 人工智能如何改变商业模式, 小满科技, 腾讯云+, <https://cloud.tencent.com/developer/news/558857>
8. 因联科技工业设备“智能运维”, 助力工厂数字化转型升级, 因联科技iline, 2020-03-06, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1660405454469069146&wfr=spider&for=pc>
9. 制造业正在掀起一场商业模式变革, 虎嗅APP, 2020-11-05, <http://dwz.date/du5g>
10. 战略研究|人工智能+制造业新模式与新业态, 《中国工程科学》2018年第4期, https://www.sohu.com/a/390991177_797622
11. 人工智能将对制造业造成哪些改变, 2019-05-21, https://www.sohu.com/a/315376218_808039
12. 工业智能的关键技术, 工业和信息化部
13. Cobots: our new partners at work, Barclays, 2017, <https://www.technologist.eu/cobots-our-new-partners-at-work/>
14. 《2019中国工业机器人产业链报告》, Frost & Sullivan, 2019
15. 中国工业物联网发展现状, 苏州智能制造、前瞻产业研究、赛迪顾问, 2018
16. 《关于工业大数据发展的指导意见》发布——着力打造工业大数据生态体系, 经济日报, 2020-05-16, http://www.gov.cn/zhengce/2020-05/16/content_5512110.htm
17. 《2020中国工业大数据产业创新与投资趋势》, 2020-04-10
18. “新基建”报告: 工业大数据市场将成为下一个蓝海, 赛迪顾问, 2020-04-10, http://www.xinhuanet.com/tech/2020-04/10/c_1125836913.htm
19. 李杰 (Jay Lee), 《工业人工智能》, 2019
20. 李杰, 《工业人工智能》, 2019
21. 李杰, 《工业人工智能》, 2019
22. Global AI Chip Market Report, Allied Market Research, 2019-11-13, <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/11/13/1946428/0/en/Global-AI-Chip-Market-to-Garner-91-18-Billion-by-2025-at-45-2-CAGR-Says-Allied-Market-Research.html>
23. 《中国人工智能芯片产业发展白皮书》, 赛迪顾问, 2019
24. 国产FPGA的机遇与挑战, 兴业证券, 2019-08-12 <http://www.semiinsights.com/s/memory/28/37447.shtml>
25. 《2019中国ASIC芯片行业报告》, 头豹研究院, 2019 http://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202009021406329252_1.pdf
26. 破局工业4.0, 为何非FPGA不可, 紫光同创, 2020-03-31 <https://www.pangomicro.com/news/new/detail246.html>
27. 《2019中国FPGA市场报告》, 头豹研究, 2019
28. 《2019 中国ASIC市场报告》, 头豹研究, 2019
29. 德勤《预测性维护与智能工厂》, 2018
30. 2019: 工业AI进行曲, 望潮科技, <https://zhuanlan.zhihu.com/p/99739780>
31. 《中国人工智能发展报告2018》, 清华大学
32. 《2020-2021中国人工智能算力发展评估报告》, 浪潮, IDC
33. 《人工智能领域人才报告》, 猎上网, 2020-05-26, <https://zhuanlan.zhihu.com/p/143680176>
34. 中国芯片产业需要更多协同攻关, 光明日报, 2020-09-03, https://finance.sina.cn/china/gncj/2020-09-03/detail-iivhuipp2257187.d.html?cre=wappage&mod=r&loc=2&r=0&rfunc=73&tj=wap_news_relate
35. 《Factbook》, 美国半导体协会, 2020-04, <https://bigdata-s3.wmcloud.com/newsmbi/rbO2K77aThkMgLFpvf2ORA>
36. 依图科技招股说明书, 2020, <http://static.sse.com.cn/stock/information/c/202011/d27fb2b9cf4c4fc48571ca985394e812.pdf>
37. 工业大数据应用四大挑战, e-works 数字化企业网, 2019-06-05, <https://www.ofweek.com/im/2019-06/ART-201922-8470-30390358.html>
38. 工业智能典型应用, 工信部
39. 全球人工智能人才培养政策比较研究, 中国社会科学网, 2020-05-22, http://www.cssn.cn/jyx/jyx_gdjyx/202005/t20200522_5132706_2.shtml

撰写单位

德勤中国

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构（统称为“德勤组织”）。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为及遗漏承担责任，而对相互的行为及遗漏不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅www.deloitte.com/cn/about 了解更多信息。

德勤是全球领先的专业服务机构，为客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务及相关服务。德勤透过遍及全球逾150个国家与地区的成员所网络及关联机构（统称为“德勤组织”）为财富全球500强企业约80%的企业提供专业服务。敬请访问www.deloitte.com/cn/about，了解德勤全球约330,000名专业人员致力成就不凡的更多信息。

德勤亚太有限公司（即一家担保有限公司）是德勤有限公司的成员所。德勤亚太有限公司的每一家成员及其关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，在亚太地区超过100座城市提供专业服务，包括奥克兰、曼谷、北京、河内、香港、雅加达、吉隆坡、马尼拉、墨尔本、大阪、首尔、上海、新加坡、悉尼、台北和东京。

德勤于1917年在上海设立办事处，德勤品牌由此进入中国。如今，德勤中国为中国本地和在华的跨国及高增长企业客户提供全面的审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询和税务服务。德勤中国持续致力为中国会计准则、税务制度及专业人才培养作出重要贡献。德勤中国是一家中国本土成立的专业服务机构，由德勤中国的合伙人所拥有。敬请访问www2.deloitte.com/cn/zh/social-media，通过我们的社交媒体平台，了解德勤在中国市场成就不凡的更多信息。

中国科学技术信息研究所

中国科学技术信息研究所，简称中信所，是科技部直属国家级公益类科技信息研究机构，主要为科技部等政府部门提供决策支持，为企业、高等院校、科研院所和科研人员等各类创新主体提供全方位的科技信息服务。

中信所也是科技部新一代人工智能发展研究中心的主要依托单位，近年来持续开展全球人工智能相关领域的战略与政策研究，已面向全社会公开发布全球人工智能创新指数、智能教育创新应用发展报告、人工智能计算中心白皮书、智慧医疗创新应用白皮书等。

中国人工智能学会

中国人工智能学会(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI)成立于1981年，是经国家民政部正式注册的我国智能科学技术领域唯一的国家级学会，是全国性4A级社会组织，挂靠单位为北京邮电大学；是中国科学技术协会的正式团体会员，具有推荐“两院院士”的资格。

目前拥有51个分支机构，包括43个专业委员会和8个工作委员会，覆盖了智能科学与技术领域。学会活动的学术领域是智能科学技术，活动地域是中华人民共和国全境，基本任务是团结全国智能科学技术工作者和积极分子通过学术研究、国内外学术交流、科学普及、学术教育、科技会展、学术出版、人才推荐、学术评价、学术咨询、技术评审与奖励等活动促进我国智能科学技术的发展，为国家的经济发展、社会进步、文明提升、安全保障提供智能化的科学技术服务。

学会充分利用行业和学科资源、发挥自身优势，结合学会学术活动、学科行业重大科技事件、学科行业发展需求及人才储备等，开展有特色、有创新、具有典型示范作用的科普工作，让公众尽可能直观、形象地了解、体验智能科技带来的便捷，取得良好社会效果。

上海国创科技产业创新发展中心

上海国创科技产业创新发展中心是由上海市经济和信息化委员会主管的科创赋能服务平台。中心围绕人工智能、新一代信息技术、先进制造、绿色科技、大健康、航空航天、新材料等一批关键技术领域，以“产业赋能、区域联动”为主导思想，以搭建产业创新赋能链为发展目标，助力推动长三角科创核心区建设成为具有全球影响力的国际科技创新中心。

上海国创科技产业创新发展中心是由临港科技城、复旦大学工程与应用技术研究院、上海流程智造科技创新研究院、上海新兴信息通信技术应用研究院等机构，及领中资本管理合伙人、金杜律师事务所中国管委会主席、香港金融管理学院院长、德勤研修院院长、复旦大学智能机器人研究院常务副院长等行业内颇具影响力的人士共同发起，中心还将邀请多家科研院所、政府有关部门、平台机构、金融投资机构、相关服务机构、媒体及园区企业加入，逐步推进打造高水平科研创新联合体，促进和加快科技成果转化，协同联动产业创新基地共同探索创业融资及赋能服务新体系，共建开放共享赋能新型服务平台。

中心将携手合作伙伴，为政府、企业、科研机构提供科技产业孵化及成果转化、资源对接与集聚、政企交流、科研院所及高校对接、商务拓展、国际合作、企业融资、论坛与培训、企业社会责任及法律审计等第三方专业服务，聚焦科创行业、为科创资源赋能、推动产学研政融协同创新发展。

联系我们

赵志耘

中国科学技术信息研究所党委书记所长
科技部新一代人工智能发展研究中心主任
电话: +86 10 5888 2589
电子邮件: zhaozhiyun@istic.ac.cn

徐峰

中国科学技术信息研究所AI中心常务副主任
科技部新一代人工智能发展研究中心副主任
电话: +86 10 5888 2550
电子邮件: xufeng@istic.ac.cn

高芳

中国科学技术信息研究所党委办公室主任
电话: +86 10 58882510
电子邮件: gaof@istic.ac.cn

李梦薇

中国科学技术信息研究所AI中心
电话: +86 10 5888 2064
电子邮件: limw@istic.ac.cn

张立华

中国人工智能学会人机融合智能专委会主任
复旦大学特聘教授、智能机器人研究院副院长
电话: +86 21 6564 1242
电子邮件: lihuazhang@fudan.edu.cn

周晔

上海国创科技产业创新发展中心副理事长
电话: +86 21 6278 8822
电子邮件: zhouye@guochuang.org

董伟龙

工业产品及建筑行业领导合伙人
德勤中国
电话: +86 10 8520 7130
电子邮件: rictung@deloitte.com.cn

许思涛

首席经济学家、合伙人
德勤研究
电话: +86 10 8512 5601
电子邮件: sxu@deloitte.com.cn

陈岚

合伙人
德勤研究
电话: +86 21 6141 2778
电子邮件: lydchen@deloitte.com.cn

屈倩如

总监
德勤研究
电话: +65 9111 1540
电子邮件: jqiu@deloitte.com.cn

饶文秋

助理经理
德勤研究
电话: +86 21 2316 6663
电子邮件: clrao@deloitte.com.cn

办事处地址

北京

北京市朝阳区针织路23号楼
国寿金融中心12层
邮政编码：100026
电话：+86 10 8520 7788
传真：+86 10 6508 8781

长沙

长沙市开福区芙蓉北路一段109号
华创国际广场3号栋20楼
邮政编码：410008
电话：+86 731 8522 8790
传真：+86 731 8522 8230

成都

成都市高新区交子大道365号
中海国际中心F座17层
邮政编码：610041
电话：+86 28 6789 8188
传真：+86 28 6317 3500

重庆

重庆市渝中区民族路188号
环球金融中心43层
邮政编码：400010
电话：+86 23 8823 1888
传真：+86 23 8857 0978

大连

大连市中山路147号
申贸大厦15楼
邮政编码：116011
电话：+86 411 8371 2888
传真：+86 411 8360 3297

广州

广州市珠江东路28号
越秀金融大厦26楼
邮政编码：510623
电话：+86 20 8396 9228
传真：+86 20 3888 0121

杭州

杭州市上城区飞云江路9号
赞成中心东楼1206室
邮政编码：310008
电话：+86 571 8972 7688
传真：+86 571 8779 7915

哈尔滨

哈尔滨市南岗区长江路368号
开发区管理大厦1618室
邮政编码：150090
电话：+86 451 8586 0060
传真：+86 451 8586 0056

合肥

安徽省合肥市蜀山区潜山路111号
华润大厦A座1506单元
邮政编码：230022
电话：+86 551 6585 5927
传真：+86 551 6585 5687

香港

香港金钟道88号
太古广场一座35楼
电话：+852 2852 1600
传真：+852 2541 1911

济南

济南市市中区二环南路6636号
中海广场28层2802-2804单元
邮政编码：250000
电话：+86 531 8973 5800
传真：+86 531 8973 5811

澳门

澳门殷皇子大马路43-53A号
澳门广场19楼H-L座
电话：+853 2871 2998
传真：+853 2871 3033

南昌

南昌市红谷滩区绿茵路129号
联发广场写字楼41层08-09室
邮政编码：330038
电话：+86 (791) 8387 1177
传真：+86 (791) 8381 8800

南京

南京市建邺区江东中路347号
国金中心办公楼一期40层
邮政编码：210019
电话：+86 25 5790 8880
传真：+86 25 8691 8776

宁波

宁波市海曙区和义路168号
万豪中心1702室
邮政编码：315000
电话：+86 574 8768 3928
传真：+86 574 8707 4131

三亚

海南省三亚市吉阳区新风街279号
蓝海华庭（三亚华夏保险中心）16层
邮政编码：572099
电话：+86 898 8861 5558
传真：+86 898 8861 0723

上海

上海市延安东路222号
外滩中心30楼
邮政编码：200002
电话：+86 21 6141 8888
传真：+86 21 6335 0003

沈阳

沈阳市沈河区青年大街1-1号
沈阳市府恒隆广场办公楼1座
3605-3606单元
邮政编码：110063
电话：+86 24 6785 4068
传真：+86 24 6785 4067

深圳

深圳市深南东路5001号
华润大厦9楼
邮政编码：518010
电话：+86 755 8246 3255
传真：+86 755 8246 3186

苏州

苏州市工业园区苏绣路58号
苏州中心广场58幢A座24层
邮政编码：215021
电话：+86 512 6289 1238
传真：+86 512 6762 3338 / 3318

天津

天津市和平区南京路183号
天津世纪都会商厦45层
邮政编码：300051
电话：+86 22 2320 6688
传真：+86 22 8312 6099

武汉

武汉市江汉区建设大道568号
新世界国贸大厦49层01室
邮政编码：430000
电话：+86 27 8538 2222
传真：+86 27 8526 7032

厦门

厦门市思明区鹭江道8号
国际银行大厦26楼E单元
邮政编码：361001
电话：+86 592 2107 298
传真：+86 592 2107 259

西安

西安市高新区锦业路9号
绿地中心A座51层5104A室
邮政编码：710065
电话：+86 29 8114 0201
传真：+86 29 8114 0205

郑州

郑州市金水东路51号
楷林中心8座5A10
邮政编码：450018
电话：+86 371 8897 3700
传真：+86 371 8897 3710

关于德勤

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构（统称为“德勤组织”）。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为及遗漏承担责任，而对相互的行为及遗漏不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅 www.deloitte.com/cn/about 了解更多信息。

德勤是全球领先的专业服务机构，为客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务及相关服务。德勤透过遍及全球逾150个国家与地区的成员所网络及关联机构（统称为“德勤组织”）为财富全球500强企业约80%的企业提供专业服务。敬请访问www.deloitte.com/cn/about，了解德勤全球约330,000名专业人员致力成就不凡的更多信息。

德勤亚太有限公司（即一家担保有限公司）是德勤有限公司的成员所。德勤亚太有限公司的每一家成员及其关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，在亚太地区超过100座城市提供专业服务，包括奥克兰、曼谷、北京、河内、香港、雅加达、吉隆坡、马尼拉、墨尔本、大阪、首尔、上海、新加坡、悉尼、台北和东京。

德勤于1917年在上海设立办事处，德勤品牌由此进入中国。如今，德勤中国为中国本地和在华的跨国及高增长企业客户提供全面的审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询和税务服务。德勤中国持续致力于中国会计准则、税务制度及专业人才培养作出重要贡献。德勤中国是一家中国本土成立的专业服务机构，由德勤中国的合伙人所拥有。敬请访问 www2.deloitte.com/cn/zh/social-media，通过我们的社交媒体平台，了解德勤在中国市场成就不凡的更多信息。

本通讯中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构（统称为“德勤组织”）并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何（明示或暗示）陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。

© 2022。欲了解更多信息，请联系德勤中国。
Designed by CoRe Creative Services. RITM0952450



这是环保纸印刷品