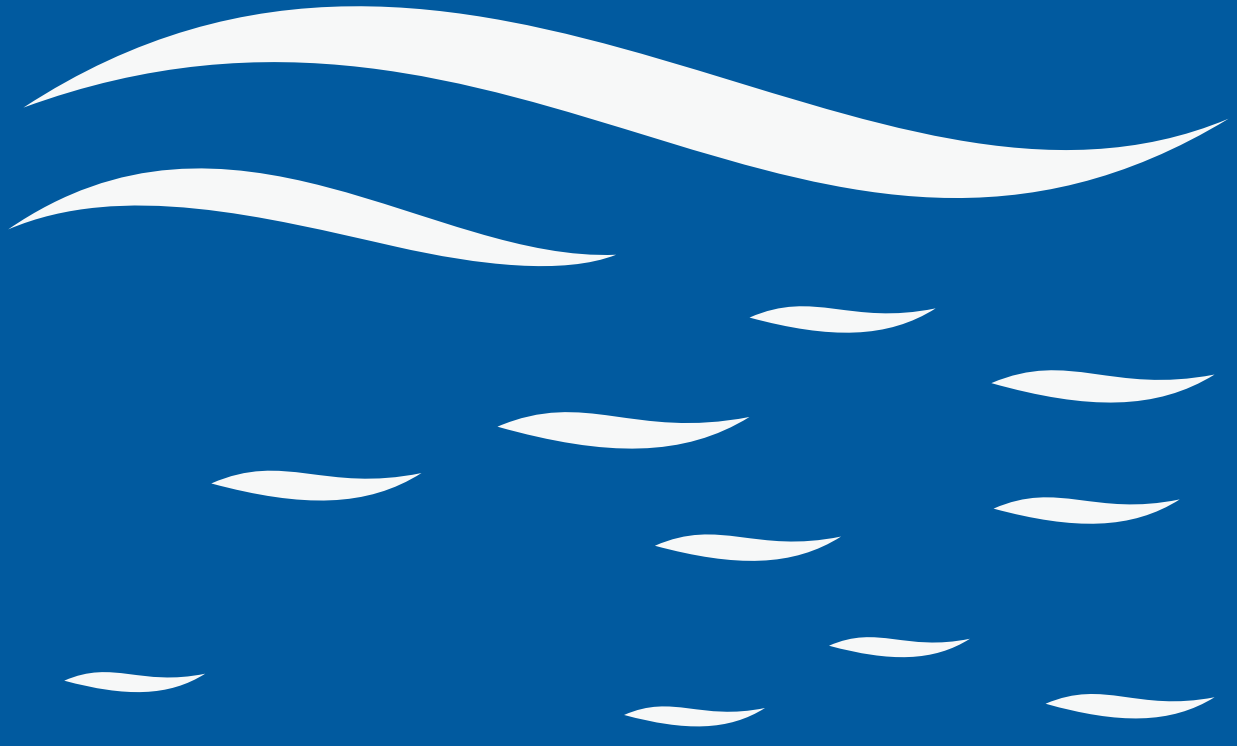
InfoQ

大时代·新技术
2020 中国技术发展白皮书



InfoQ

CONTENTS / 目录

第一部分 综述篇

一、世界深度变革，科技主导未来

1.1 我们正处在技术爆炸的时代 …… 04

1.2 我国正处在转变发展形式、调整经济结构的关键时期 …… 06

1.3 新冠疫情之下，我国着力推进新基建相关部署 …… 07

二、技术概述

2.1 技术的定义及本质：科学与技术是一体两面 …… 08

2.2 技术的进化 …… 09

2.3 技术的作用 …… 09

2.4 技术与经济的关系 …… 09

2.5 技术创新与国家竞争力 …… 11

2.6 传统工业与信息的关系 …… 12

2.7 整体技术发展趋势 …… 13

展望前沿趋势、了解最佳实践请
关注 InfoQ Pro

三、中国改革开放四十年技术发展脉络

3.1 第一阶段：科学的春天 …… 15

3.2 第二阶段：开启科技体制改革序幕 …… 19

3.3 国家科技计划体系初步形成 …… 21

3.4 科教兴国战略和可持续发展战略 …… 23

3.5 不断提高科技创新能力 …… 23

3.6 建设创新型国家 …… 26

3.7 自主创新成效显著 …… 27

3.8 科技体制改革和国家创新体系建设 …… 30

3.9 提升科技基础创新能力 …… 32

3.10 科技支撑国家竞争力提升 …… 33

3.11 科技促进产业高质量发展 …… 36

四、中国当前技术发展形势及中外对比分析

4.1 中国当前技术发展形势 …… 39

4.2 中外对比分析 …… 46

第二部分 技术篇

一、人工智能

1.0 InfoQ 研究发现 …… 56

1.1 产业概述 …… 57

1.2 产业链全景 …… 65

1.3 算法 …… 68

1.4 芯片 …… 72

1.5 开源编程框架 …… 79

1.6 主要应用领域 …… 82

二、5G

2.0 InfoQ 研究发现 …… 92

2.1 产业概述 …… 93

2.2 移动通信的发展逻辑与历史进程 …… 95

2.3 5G 中的大国博弈 …… 96

2.4 5G 产业链解析 …… 102

三、云计算

3.0 InfoQ 研究发现 …… 114

3.1 云计算的定义与发展 …… 115

3.2 云计算产业发展驱动因素 …… 117

3.3 产业链全景 …… 119

3.4 云计算发展趋势预测 …… 131

四、物联网

4.0 InfoQ 研究发现 …… 135

4.1 物联网基础信息 …… 136

4.2 中外物联网发展现状整体对比及中国的优劣势分析 …… 141

4.3 产业链构成及驱动力分析 …… 143

4.4 物联网重点环节发展态势及热点分析 …… 150

4.5 技术趋势分析 …… 152

4.6 重点应用行业现状及趋势分析 …… 156

4.7 趋势分析及布局建议 …… 158

五、工业互联网

5.0 InfoQ 研究发现 …… 161

5.1 背景 …… 162

5.2 定义 …… 163

5.3 发展历程 …… 163

5.4 行业逻辑与商业模式 …… 164

5.5 规模 …… 166

5.6 产业链分析 …… 167

5.7 行业驱动力分析 …… 183

5.8 行业现状、未来趋势及相关建议 …… 186

六、虚拟现实

6.0 InfoQ 研究发现 …… 189

6.1 背景 …… 190

6.2 定义及分类 …… 191

6.3 演进历程 …… 192

6.4 规模 …… 193

6.5 产业链框架及进展分析 …… 194

6.6 产业驱动力分析 …… 197

6.7 技术分析 …… 198

6.8 中外对比分析 …… 210

6.9 行业现状及发展特点 …… 212

6.10 未来发展趋势 …… 215

七、自主事物

7.0 InfoQ 研究发现 …… 217

7.1 概念与研究逻辑 …… 218

7.2 发展演变 …… 221

7.3 产业链纵览 …… 223

7.4 核心驱动要素：技术分析 …… 226

7.5 商业模式与发展逻辑 …… 239

7.6 把握产业机会 …… 242

八、区块链

8.0 InfoQ 研究发现 …… 249

8.1 概述 …… 250

8.2 发展的三个阶段 …… 253

8.3 区块链产业发展现状 …… 256

8.4 区块链技术发展现状 …… 258

8.5 区块链技术行业应用 …… 263

第一部分

综述篇
SUMMARY

世界深度变革，科技主导未来

TECHNOLOGY DOMINATES THE FUTURE

1.1 我们正处在技术爆炸的时代

迄今为止，人类共经历了三次科技革命。第一次科技革命驱动人类社会进入“机械时代”：1765 年，哈格里弗斯发明“珍妮纺织机”，1785 年，瓦特改良蒸汽机，为机器提供了动力系统，人类社会进入“蒸汽时代”，机器快速普及和发展，并从棉纺织业开始，逐渐拓展到采矿、冶铁、交通运输等多个行业。这次科技革命不仅推动人类产业的变革，也促进了人类社会变革和全球格局的变化。随着生产力的进步，工厂作为人类生产最主要的组织形式开始出现，资本主义生产方式逐渐取代落后的自耕农生产方式，资本主义制度开始萌芽。这个时期，英国步履坚实地进入了第一次科技革命，成为当时世界上最强大的“日不落帝国”，号称“世界工厂”，称霸世界达半个世纪之久。

第二次科技革命驱动人类社会进入“电气时代”：19 世纪末和 20 世纪初，以电能应用和内燃机的出现为标志的第二次科技革命爆发。1866 年德国人西门子制成了发电机，到 19 世纪 70 年代实际可用的发电机问世，电力开始用于机器，成为补充和取代以蒸汽机为动力的新能源。随着电机、电动机相继发明和远距离输电技术的出现，电力工业迅速发展起来，电力在生产和生活中得到广泛利用，电灯、自动电报记录机、电话、电影放映机进入人类生活。同时，自英国人斯特里特提出从燃料的燃烧中获取动力概念以来，经过将近 100 年的理论研究和实践探索，19 世纪七八十年代，以煤气和汽油为燃料的内燃机相继诞生，内燃机的发明解决了交通工具的发动机问题。80 年代德国人卡尔·弗里特立奇·本茨等人成功地制造出由内燃机驱动的汽车，内燃汽车、远洋轮船、飞机等也得到了迅速发展，带动了石油开采业的发展和石油化工工业的产生，重工业开始崛起。这次科技革命爆发在德国，陆续在美国和日本得到极大的推广，德国、美国、日本相继崛起。

第三次科技革命驱动人类社会进入“信息时代”：20 世纪四五十年代，以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程发明和应用为主要标志第三次科技革命爆发，这次科技革命涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域，推动人类社会又一次飞跃式发展。尤其是电子计算迅速发展和广泛应用，推动人类社会进入“信息时代”。这次科技革命促进第三产业崛起，以知识经济为代表的新型经济成为各国综合国力竞争成败的关键，促成人类生活方式和思维方式的转变。这次科技革命的主导国是美国，因美国长期在科技创新领域领跑全球，助推其稳居世界第一强国地位。

第四次科技革命正在孕育，即将来临。进入 21 世纪以来，全球科技创新进入空前密集活跃的时期，以人工智能、量子信息、移动通信、物联网、区块链为代表的新一代信息技术加速突破应用，以合成生物学、基因编辑、脑科学、再生医学等为代表的生命科学领域孕育新的变革，融合机器人、数字化、新材料的先进制造技术正在加速推进制造业向智能化、服务化、绿色化转型，以清洁高效可持续为目标的能源技术加速发展将引发全球能源变革，空间和海洋技术正在拓展人类生存发展新疆域。纵观当前全球科技发展情况，从技术成熟度和系统性来看，以人工智能、5G 通信、光电芯片、大数据等为代表的智能化技术趋向成熟，这些技术最有可能率先推动人类社会变革，驱动人类社会进入“智能时代”。智慧家居、智慧工业、智

慧交通、智慧医疗、智慧农业、智慧金融、智慧城市将深入人们的生活和工作。未来机器人将会代替很大一批人力，人类大脑甚至可能与机器结合实现超脑，人工智能将进一步解放人类的双手甚至大脑。可以预见，随着智能化社会的到来，大量剩余劳动力解放，人类生产组织方式和社会组织方式会迎来新的变革，各国社会福利将高度发达，人们工作和生活方式发生重大变化，更多人将转向以智力劳动、文化创作、社会治理等为代表的具有创造性和人文精神的工作领域。

从一个时间跨度更大的视角来看，人类学会使用工具，用了几千年；工业革命把农民从土地中解放出来，用了几百年；互联网时代大门的开启只用了短短几十年；**而今天的社会在大数据、物联网和云计算的推动下，更是几年就来一个大变样……现在看来，似乎并不是由一两个标志性的发明引领社会的前进，而是因社会的前进推动着层出不穷的新事物的产生。我们正身处技术爆炸的时代。**2017 年全世界专利申请的数量超过 800 万件。 虽然这里面有不少水分，但是总数依然相当惊人。如果再看专利的增长速度，则更为惊人。以世界上最难获取的美国专利为例，2003—2015 年的 13 年间，美国专利商标局批准了 300 万项专利，这个数量超过了美国专利商标局自 1802 年成立到 2002 年底近 200 年间所批准专利的总和。

近年来，不难观察到如下种种现象：新科技助力消费行为由传统的“拥有 + 消耗”转变为“使用 + 体验”，物联网正重塑生产要素和市场的关联方式，区块链的理念和技术架构描绘出最接近完全市场化的图景，“机器取代人类”演绎又一场资本盛宴、冲击资本与劳动的关系，大数据改变着企业的资产结构以及产品和服务的价值构成。当今世界陷入海德堡测不准原理困境，不再是线性进化逻辑所能描绘，亦非未来学家所能憧憬。大趋势的随机性在增加。为什么预测难？因为世界不确定性：当今世界，几十亿人在搞工业化、全球化，规模上超越历史；质量上人类步入天地一体、人机交互、万物互联的时代，结构上权力分散化、信息碎片化，也使得预测进一步变得困难。

1.2 我国正处在转变发展形式、调整经济结构的关键时期

哈佛商学院教授迈克尔·波特认为，国家经济的发展分为四个阶段，即生产要素导向阶段、投资导向阶段、创新导向阶段和富裕导向阶段。新中国成立以来，我国经济相继经历生产要素导向、投资导向两个发展阶段，但随着我国经济发展由高速增长向高质量发展转变，投资导向发展模式已经适应不了我国经济发展的新需求，需要依靠技术创新支撑我国经济可持续进步，推动我国步入创新导向阶段，实现经济从“富起来”走向“强起来”。技术创新驱动能够促进我国经济可持续增长。20 世纪五十年代，美国经济学家罗伯特·索洛提出经济增长“索洛模型”，论证了技术进步对于经济的可持续增长作用。索洛在经济增长中引入了“技术进步乘数”，认为技术进步是推动经济增长的源泉，并且经济产出与技术进步的平方成正比，技术进步能够推动经济增长呈指数性增长。该理论为我国经济发展提供了重要的指引，未来我国经济的可持续增长需要依靠技术创新。索洛模型同样也适用于解释技术创新与模式创新对于经济增长的作用。技术创新在起步阶段的前 5 到 10 年，投入和回报率成反比，甚至还要经历亏损，十分耕耘一分收获。在技术的研发和成长期，科技回报的增长是低于线性增长的，然而一旦过了拐点就是指数型增长，并能够迅速成为支撑经济的支柱。而依靠投资驱动的模式创新则相反，其增长会出现边际递减现象，对经济支撑作用越来越弱。

当前阶段，我国原有的增长机制和发展模式矛盾突显，原有发展优势逐渐消失，需要向新的发展阶段迈进。科技创新将作为经济增长的主动力，驱动我国经济快速发展，推动我国经济结构调整和产业升级，顺利实现高速增长向高质量增长的转变。

1.3 新冠疫情之下，我国着力推进新基建相关部署

2020 年一场突如其来的疫情蔓延全球，全球大流行和世界经济危机有可能成为宏观经济思想的第四次大论战、大分野。新冠疫情全球大流行，叠加美国企业部门高杠杆、欧洲政府部门高债务和中国经济增速换挡结构转型，流动性危机一度爆发，全球经济深度衰退超过 2008 年，美、欧再次祭出"QE+ 零利率"组合的超常规货币政策应对，对货币政策极度依赖，近年现代货币理论甚至主张财政赤字货币化。但是过去 20 年美、欧经验和教训表明，过度宽松的货币政策只是延缓了危机的爆发，反而加剧了金融风险的积累，纯粹是饮鸩止渴。

中国也经历过 2009 年货币放水强刺激的教训，虽然度过了危机，但也埋下了产能过剩、资产价格泡沫、杠杆率飙升、收入差距拉大等风险隐患，经过 2016 年以来"去产能、去库存、去杠杆、降成本、补短板"的供给侧结构性改革，才阶段性缓释了风险。面对疫情全球大流行、经济深度衰退、中美贸易摩擦、新旧动能转换等重大挑战，中国没有再次实施货币大水浸灌、重走老路，而是选择了"新基建"领衔的扩大消费、投资、内需的一揽子宏观对冲政策，与美国过度依赖"QE+ 零利率"的政策组合形成了鲜明的对比。现实是最好的实验，历史是最好的裁判，中美两国宏观经济政策的巨大分化，有可能再次引发宏观经济思想的大变革，也将在很大程度上决定大国博弈的终章。在此关键时机，中国政府大力推进"新基建"的相关部署。近年来，中央密集点名新基建。新基建于 2015 年 7 月第一次出现在国务院文件中，2018 年 12 月第一次出现在中央经济工作会议，2019 年写入国务院政府工作报告，2020 年 1 月国务院常务会议、2 月中央深改委会议、3 月中央政治局常委会议持续密集部署。从中央会议内容来看，新基建侧重于 5G 网络、数据中心、人工智能工业互联网、物联网等新一代信息技术。2020 年 3 月 2 日央视中文国际频道报道，**"新基建"指发力于科技端的基础设施建设，主要包含 5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网七大领域。**在央视频道划分的七大领域中，特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩均非信息领域。2020 年 4 月 1 日，习近平总书记在浙江考察时强调，要抓住产业数字化、数字产业化赋予的机遇，加快 5G 网络、数据中心等新型基础设施建设，抓紧布局数字经济、生命健康、新材料等战略性新兴产业、未来产业，大力推进科技创新，着力壮大新增长点，形成发展新动能。2020 年 4 月 20 日，国家发改委首次就"新基建"概念和内涵做出解释，新型基础设施是以新发展理念为引领，以技术创新为驱动、以信息网络为基础，面向高质量发展需要，提供数字转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系。

"新基建"是未来新经济、新技术、新产业的基础设施支撑，是大国竞争的关键胜负手。新基建包括 5G、数据中心、人工智能等科技领域的基础设施，教育、医疗等民生领域的基础设施，以及营商环境、服务业开放、多层次资本市场等制度领域的基础设施，这些领域发展空间巨大，增长迅速，经济社会效益显著，对上下游行业的带动性强，在未来经济社会发展中将起到担大任、挑大梁的重要角色。**新基建有五"新"，表现为：一是新的领域、二是新的地区、三是新的方式、四是新的主体、五是新的内涵。**

TECHNICAL OVERVIEW

技术概述

2.1 技术的定义及本质：科学与技术一体两面，技术的本质是规律的应用

严格地说，科学和技术本来就是两个完全不同的概念，它们既有结合的一面，也有分离的一面。什么是科学？科学，就是通过人类意识工具化的经验类认知。简单来讲，技术背后的道理是科学。牛顿定律、爱因斯坦的相对论、量子力学、各种生物学规律，这些规律是科学，而规律的应用是技术，这是科学和技术的一个区别。有时候研究过程中两者是不太区分的。研究技术找到了背后的道理，这时候就变成了科学；**研究科学变成规律了马上应用，这个应用便成了技术。**有些科学对技术影响非常深远，比如牛顿做出牛顿力学三定律、万有引力定律的时候，当时没有什么应用，应用是之后的事。量子力学、相对论科学是 100 年前发现的，它们的应用今天开始逐渐显示出威力，量子力学、相对论的发现基本上奠定了我们所有技术的基础，包括超导、半导体、互联网技术，全部基于量子力学、相对论和麦克斯韦方程，这是科学和技术表现上的不同。

技术的本质是指人类在认识自然和利用自然的过程中积累起来并在生产劳动中体现出来的经验和知识，也泛指其他操作方面的技巧。

2.2 技术的进化：技术是产生于已有技术的组合进化

如果完整意义上的进化存在于技术中，那么所有的技术，包括新技术，一定是脱胎于之前存在的技术。也就是说，它们一定连接于、繁殖于某种之前的技术。换句话说，进化需要遗传机制——某种连接现在与过去的细致联系。**无论如何，新技术一定是产生于已有技术的组合。 技术的进化机制就是“组合进化”。**所有技术都是从已经存在的技术中被创造出来的。如果新的技术会带来更多的新技术，那么一旦元素的数目超过了一定的阈值，可能的组合机会的数量就会爆炸性地增长。有些技术甚至以指数模式增长。

新技术的首版几乎总是仅仅略微强于它想要取代的旧技术。这可以解释为什么只有少数热情的先驱倾向于做第一个吃螃蟹的人，因为新技术将带给使用者的主要是麻烦和未知后果。随着创新技术的改进，它的益处和先进程度将被前期用户挑选出来展示给大家，同时不确定性减小，于是这项技术得以传播。这样的推广既不是立刻发生的，也不稳定。

2.3 技术的作用：空间维度看，技术直接转化为生产力；时间维度看，技术是唯一能够获得叠加性进步的力量

我们可以看科技在大宇宙时空中的地位和作用，即它在经济和社会生活中的角色，以及它在历史上对文明进程的推动作用。前者是从空间维度上看，后者是从时间维度上看。

从空间维度上看，技术在文明过程中的作用是独一无二的，是一种进步的力量，这是毋庸置疑的。工业革命堪称人类历史上最伟大的事件。在工业革命之前，无论是东方还是西方，人均 GDP 都没有本质的变化。 但工业革命发生后，人均 GDP 就突飞猛进，在欧洲，200 年间增加了 50 倍；而在中国，短短 40 年就增加了 10 多倍。 因此，古今中外任何王侯将相的功绩和工业革命相比都不值一提。而工业革命的发生，就是科学推动技术，再转化为生产力的结果。这是科技在经济和社会生活中的重要体现。

从时间维度上看，技术几乎是世界上唯一能够获得叠加性进步的力量，因此，它的发展是不断加速的 。

2.4 技术与经济的关系：技术创造了经济的结构，经济调节着新技术的创造

经济并不是采用了一个新的技术体，而是遭遇了一个新的技术体。经济对新的技术体的出现会作出反应，它会改变活动方式、产业构成以及制度安排，也就是说， 经济会因新的技术体而改变自身的结构。如果改变的结果足够重要，我们就会宣称发生了一场颠覆性改变 。整个过程在经济中是不均衡的。当不同工业、商业和组织遭遇到新技术，以及以不同的方式和不同的比率重新配置时，会表现出非均衡性。它

因小规模经济活动中的变化而向外传播，使商业组织和制度发生变化，最终使社会自身发生变化。一个新版本的经济缓慢地生成了。经济领域中的每个时代都是某种模式，是在商业、工业以及社会中能够达到逻辑自洽的一套结构，所有这些新技术的展开、经济的调试，通常需要几十年的时间。

我们可以这样说：技术集合在一起，然后创造一个结构，决策、活动、物流、服务流都发生在其中，由此创造了某种我们称之为“经济”的东西。经济以这种方式从它的技术中浮现出来。它不断地从它的技术中创造自己，并且决定哪种新技术将会进入其中。**这里的因果循环是：技术创造了经济的结构，经济调节着新技术的创造（因而也是它自身的创造）。纵观世界经济发展史和技术发展史，无论是早期的手工技术，还是后来的机械技术、自动化技术，或是现代飞速发展的信息化技术、生物工程技术，都极大地改变了生产中的劳动手段和方式，极大地推进了经济的发展。可以说，每一轮技术革命都引发了新兴产业的形成和发展，世界经济就在这种周而复始的运动中走向繁荣。技术进步是推动生产关系发展、提高经济效益的根本途径，也是决定经济活动、推动经济结构变革的主导因素。**

在当前的繁衍性的经济中，竞争优势不是来自于资源储备及将这些转变为最终产品的能力，而是来自将深层知识储备转译到新的战略性组合的过程。具体表现为，从占有资源的角度获取国民财富的总量开始不如从占有专业科学及技术知识的角度获得的那样多了。公司的竞争优势绝大部分是从它们占有的技术专长而来的。 现代技术的本质发生了一系列新的转变：管理上从优化生产过程到创造新组合，即新产品或新功能；从理性到意会；从以商品为基础的公司到以技术为基础的公司；从购买要素到形成联盟；从稳态操作到不断适应。所有这些变化都不是突然发生的，事实上，新元素和旧风格在经济中常常是共存的。这两个世界相互重叠，且高度相关。但是当一个“更技术性”的经济走上舞台的时候，我们就从 20 世纪由工厂和投入 — 产出关系构成的机器态经济转换到了 21 世纪有机的、相互联系的经济形态。**如果说旧经济是一部机器，那么新经济就是一门化学。它不断创造自己，产生新的组合，总在发现着，永远处在过程之中。**

2.5 技术创新与国家竞争力：前沿技术不只是源于知识，而是一整套类似于手艺的认知体系

关于新技术体的建构非常引人注目的一件事是，它们的发展前沿通常会高度集中在一个或最多几个国家或地区。纺织技术和蒸汽技术的发展集中在 18 世纪的英国；一个世纪后的化学技术则在德国得到最大程度的发展；我们这个时代的计算机技术和生物技术则主要是在美国产生和发展的。为什么是这样呢？为什么技术体一定会集中在某个地区而不是平均分散在很多地方呢？如果技术的力量来自于知识，即关于技术和科学的信息，那么，原则上讲，任何一个拥有工程师和科学家的国家都应该和其他国家一样具有创新性。毕竟，大多数国家应用的是同样的科学，同样的学术期刊，同样的知识、事实、真理、理念和信息。

但真正前沿的技术，那些处于边缘的复杂技术并不是源于知识，而是源于别的东西，它们不只是知识，而是一套类似于手艺的认知体系，知道什么可能发挥作用，什么不可能；知道用什么方法、什么原理更容易成功；知道在给定的技术中用什么参数值；知道和谁对话可以使事情进行到底；知道如何挽救发生的问题；知道该忽略什么、留意什么。这种手艺认知将科学、纯粹知识都视为理所当然。它整体地来自于某种信念的共有文化。自马歇尔时代以来，事情并没有什么改变。如果一定得说有什么区别的话，那就是，行业秘密比以往显得更神秘。这可能是由于它们更多是建立在量子力学、计算科学或分子生物学基础之上。行业秘密或共同认知对于发明、开发以及建构技术体的过程来说，都是完全必要的。所有的建构都需要花时间，且不易转移到其他地方，同时又不可能被完全地记录下来。手艺的形式部分可能最终会成为学术论文和教科书，但真正的专业技能部分则很大程度上藏在它创生的地方，在那里，它被视为理所当然的、共享的，且无须明言。

接下来，一旦一个地区或一个国家因为行业秘密在技术体中领先了，这个地区就会处于更领先的地位。成功会接踵而来，形成对技术的地方性聚集作出的积极反馈或者收益递增效应。一旦一小群公司聚集在新的技术体周围，它就能吸引更多的公司。这就是为什么新的技术体会在一个或两个特殊区域聚集起来，并且很难被挑战。其他地区当然可以为这个新的技术体作出他们自己的贡献，比如参与产品制造或技术改进，但它们不会再有大规模的原创动作了，因为能够提供继续突破所需的详细认知的原产地不在那里。

所有这些都会造成国家间的竞争。技术的发生始于对现象的深入理解，而这将逐渐内嵌为一套寓存于人的、地方性自我建构的、深邃的共同认知，并将随时间而发展。这就是在科学上领先的国家在技术上也会处于领先的原因。**因此，如果一个国家希望能够引领先进技术，它需要的不是投资更多的工业园区或含糊地培养所谓“创新”，它需要建立其基础科学，而且不带有任何商业目的。它应该在稳定的资金和激励安排下养育那样的科学，让科学在一些初创的小公司中自己实现商业性的发现，并受到最少的干扰，要允许这些新生的冒险者成长、萌发，允许这门科学及其商业应用播种新的颠覆性改变。**

2.6 传统工业与信息的关系：信息是向工业注入智能，趋势是两者融合

工业化完成后才能建造数字基础设施。《经济学人》一篇关于技术跨越的报道这样总结："未能利用旧技术的国家在吸收新技术时处于不利地位。"如同低级功能支配我们的大脑一样，工业化进程支配着技术元素，虽然表面涂抹了信息化的亮色。高科技的去大众化有时不过是假象。尽管技术元素的确做到了以更少的物质完成更多的工作，但信息技术不是虚拟的无源之水。物质仍然重要。随着技术元素的进步，信息与物质合为一体，有如信息和秩序被嵌入 DNA 分子的原子中。先进技术是比特和原子的无缝融合。它向工业注入智能，而不是消除工业，只留下信息。

学术界将信息化与工业化的融合总结为五个层面的内容：产业构成层的融合，工业设计层的融合，生产过程控制层的融合，物流与供应链层的融合，经营管理与决策层的融合。

2.6.1 产业构成层的融合

产业构成层的融合主要是将信息技术嵌入工业产品中，体现在产品中信息技术的含量上，反映在产品的自动化、智能化、节能降耗的程度上，也显示出信息技术在提升工业产品质量、性能与附加值方面的作用，以达到提高产品的市场竞争力的目的。

2.6.2 工业设计层的融合

工业设计层的融合主要表现在采用计算机辅助设计工具、软件与网络，提高产品设计能力方面。目前很多工业设计部门已经甩掉了传统的设计图板，使用计算机辅助设计软件开展设计。

2.6.3 生产过程控制层的融合

生产过程控制层的融合表现在生产管理自动化与生产过程自动化两个方面，而计算机集成制造系统将生产管理自动化与生产过程自动化集成为一体。

2.6.4 物流与供应链层的融合

供应链是由供应商、制造商、仓库、配送中心和销售商构成的物流网络。现代工业生产需要现代物流来支撑，供应链管理的水平直接影响着工业生产水平。统计数据表明，如果能够运用信息技术实现供应链整体管理的 25%，那么整个供应链运营的成本将减少 50%；整个供应链运营的库存可以降低 25% ～ 60%；产品订货交付周期可以缩短 30% ～ 50%。

2.6.5 经营管理与决策层的融合

经济的全球化导致企业必须面对全球性的市场竞争，企业管理和决策就必须要充分利用计算机网络与通信技术。如果当今的企业决策者在不能够全面地掌握信息的情况下去制定企业发展战略，那么就会产生对市场变化、客户需求、竞争对手能力及企业自身的适应能力估计不足的问题，必然会出现决策失误。

2.7 整体技术发展趋势：时间维度看呈指数级增长；空间维度看呈多点引爆的爆炸式发展

科学的本质仍然在不断变动，技术元素将很快发现新的学习方法。考虑到知识加速积累 、信息爆炸和科技进步速度，科学过程的本质未来 50 年的变化将大于过去 400 年的变化。美国专利局收到的专利申请数量和世界科学论文发表数量遵循几乎完全相同的指数级增长曲线。

《麻省理工科技评论》杂志曾以时间为经、行业为纬，梳理了 2011—2017 这 7 年百余家聪明公司的技术创新和商业沉浮。总体来说可以看到，计算技术、能源材料和生物医学的需求一直存在，但是具体技术热潮会上下起伏。

从行业和技术领域来看，生物医学、能源材料和计算机与通信这三大类的高科技公司是这个名单上比例最高的公司（2017 年的名单中，这三大类上榜公司占据了 80% 以上）。虽然具体的技术热潮会有起伏，但是这三大方向始终领导着创新的潮流。而在这三大类中，计算机与通信类公司在这 7 年中所占的比例逐年上升，在 2017 年占据了 50% 以上的比例。这也是意料之中，因为即使是在这个“全球 50 大最聪明公司”榜单开始之前的半个多世纪中，从集成电路的发明到个人计算机的普及，从互联网的开始到移动通信的发展，都是因为计算机与通信技术的飞速进步所导致的。而其他领域的创新（交通运输领域和金融领域），很大限度上也离不开计算技术的赋能。比如最近几年，无人驾驶和自动驾驶的兴起和发展，与人工智能算法以及芯片和传感器的发展息息相关。

但是互联网公司并不是唯一能成为“超级巨星”的公司。近日，一项由哈佛大学和麻省理工学院的经济学家所进行的研究显示：“超级巨星”公司，即任何行业中资本总值排名前 4 位的公司，在所有的行业中的销售份额都经历了大幅度上涨，不论是交通运输业、服务业，还是金融业。该研究的研究人员之一、哈佛大学经济学家 Lawrence Katz 对此表示：市场被“超级巨星”公司掌控的趋势正在加速，这种趋势在过去的 10 年里在所有行业和发达经济体中都基本一致，尤其是那些正在经历快速技术变革的市场。Lawrence Katz 还表示，这背后的原因应该是各公司利用新技术的能力的区别。换句话来说，你必须是所从事行业里最聪明的公司，要不然无法成为“超级巨星”公司。经济合作与发展组织（OECD）的经济学家认为他们找到了这个问题的答案。事实上，被经济合作与发展组织称之为“前沿公司”，即各行业的顶级公司的生产力确实在迅速提高。这些公司正在积极地使用互联网、软件以及其他科技来优化自身的运营，开拓新的市场。但是绝大部分的公司并不能有效地使用新技术。科技越来越复杂，然而很多公司缺乏可以适应新技术的能力。经济合作与发展组织的研究结果在某种程度上算是很激励人心的，因为它证实了科技发展有大幅度提高生产力的潜力，虽然这只能在顶级公司中实现。然而 Dan Andrews 表示，落后的公司并没有努力追赶，新的想法和商业模式扩散的速度比想象中还要慢。

技术商业化竞争最激烈的时候，就是闻到现金味道的一刻。除了学者的好奇心和荣誉感、政府的

危机意识，私人公司的盈利动机是一股最主要的力量。没有一家大公司会放弃参与未来世界的基础建设和标准制定。这是一条在不可逆的时间线上不会重复打开的机会窗口。不断地增加芯片的计算能力，提高有线和无线互联网的覆盖范围和转输速度，建立各类云服务，满足随之而来的服务器、网络和终端设备的安全需求，**尽管技术向如此之多的方向分散发展，但是未来却变得越来越难以预测。创新的重点正在发生显著的变化。**

技术的创新已经今非昔比，尤其是在软件行业。硅谷已经成为极其复杂的系统工程的测试平台（而不仅是新创意的测试平台）。真正体现价值的不是产品本身（其功能和外观），而是产品的复杂程度，这一点与产品的成功密切相关。甲骨文公司（分布式 ERP 系统）、苹果公司（尤其是 iTunes)、思科公司（把用户同 4 万多个专业渠道的合作伙伴相连接的网络）、谷歌公司（几十亿个同步搜索结果和视频）、惠普公司、VMware 公司（云计算）和 Facebook 公司（数亿条同时发布的帖子）最终都致力于解决大规模的、非常复杂的问题。用户为一个产品付了钱（或者有时候甚至不付钱），但是实际上用户是在购买一个基础的服务。例如，谷歌早期的伟大创新是它的搜索引擎，但是谷歌的其他业务在很大程度上都是收购或复制其他人的创意。谷歌真正的贡献在于把一些尚未成熟的平台（如安卓和谷歌地图）变成了巨大而牢固的分布式平台。硅谷大公司（著名的有谷歌和甲骨文）现在都是通过收购实现增长的。它们善于重整平台而不是改变业务本身。他们已经成为极其高效的重组工厂。

DEVELOPMENT PATH

中国改革开放四十年技术发展路径：过往辉煌、未来可期

3.1 第一阶段：科学的春天

1. 全国科技大会召开，邓小平发表重要讲话

1978 年，全国科技大会胜利召开，摆脱了文化大革命的阴霾，“科技的春天”在热切的期盼中来临，伴随着改革开放的大潮，科技事业迸发出无限力量。在“科学技术是第一生产力”这一思想的指引下，科技实业迈出改革与探索的坚定步伐，向世界科技前沿奋力追赶。“科教兴国”战略引领科技事业为国家强盛和民族振兴积基树本。“建设创新型国家”擎起“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的旗帜，科技创新实力不断提升。特别是党的十八大以来，在以主席同志为核心的党中央坚强领导下，在主席新时代中国特色社会主义思想指引下，开启了实施“创新驱动发展战略”新征程，这是党中央的新的发展阶段立足全局、面向全球、聚焦关键、带动整体的国家重大发展战略。科技事业正以崭新的姿态阔步前进，正以科技创新带动全面创新，以体制机制改革激发创新活力，以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设，推动经济社会发展动力根本转变，为实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强大动力。

文化大革命后，党中央把工作重点转到经济建设上来。党的十届三中全会确定了“解放思想、实事求是、团结一致向前看”的指导方针，做出了把战略重点转移到社会主义现代化建设上来的战略决策，提出对外开放的方针和重视科学、教育的方针。邓

小平强调了“四个现代化、关键是科学技术的现代化”，并形成“科学技术是第一生产力”的重要论断，为我国科技工作发展指明了方向。

改革开放以来几大关键事件：一、全国科学大会：1. 科学和教育工作座谈会：1977 年 8 月 4–8 日，邓小平主持召开了科学和教育工作座谈会，33 名科学家和教育工作者出席会议，邓小平每天亲临会场，倾听与会科学家和教授们的意见，同时对大家提出的问题和困难及时加以解决。2. 全国科学大会。1977 年 5 月 30 日，中央政治局召开会议，决定召开一次全国科学大会，把广大科技人员的积极性调动起来，努力把科学技术搞上去，并提出科学大会的规模可以大些，对有贡献的科学家给予表彰和奖励，要在全国产生震动。1977 年 9 月 18 日，《中共中央关于召开全国科学大会的通知》发布，全国各地和科技界积极响应，欢欣鼓舞。中国科学院在首都体育馆召开了万人大会，勉励科学工作者和青少年向科学技术现代化进军。

1978 年 3 月 18 日，全国科学大会经过近一年的筹备，在北京人民大会堂隆重开幕。出席大会的包括台湾在内的 30 个省（区、市）及国务院各部委、国防科工方面的 5586 名代表，其中，科技人员 3478 名，占代表总数的 62.3%。邓小平在开幕式上做了重要讲话，提出了对我国科技事业具有划时代意义的著名思想，明确而深刻地阐述了“科学技术是生产力”这一马克思主义的重要观点，论述了科学技术对推动经济社会发展的重要作用和科学技术现代化在实现四个现代化中的关键地位。邓小平的讲话明确地指出了科学技术在经济社会发展中的地位和作用，彻底解除了极“左”路线强加在知识分子身上的精神枷锁，对于提高全党和全国人民对科学技术作用的认识，为我国在新的历史时期制定发展科学技术的基本方针和各项政策，奠定了思想理论基础。

2. 科技机构恢复和重建：

2.1 国家科委的恢复

1977 年 9 月，党中央做出了《关于成立国家科学技术委员会的决定》。恢复后的国家科委主要任务有 8 项：调查研究有关科学技术工作的方针、政策的执行情况；组织编制全国科学技术发展的年度计划和长远规划；组织需要各部门参加的重大科研任务的分工与协调工作；组织重要科研成果、发明创造的鉴定、奖励和推广应用；研究与组织解决科技队伍的培养提高和管理使用问题；研究并组织解决科研工作中的情报图书、仪器、设备、试剂等条件问题；组织争取尚在国外的专家回国和安排他们的工作，聘请外籍科学家短期来华工作或讲学；组织协调对外科学技术交流活动。

2.2《1978–1985 年全国科学技术发展规划刚要》的制定

恢复后的国家科委立即投入到科技战线的拨乱反正及全国科技工作的统一规划、协调和组织管理方面。1977 年 12 月，国家科委召开了由 1200 多位科技专家和管理干部参加的全国自然科学规划会议，组织制定《1978–1985 年全国基础科学发展规划》；年底又召开全国科学技术规划会议，集中了各部门、各地方科委的领导和专家 1000 多人，讨论制定《1978–1985 年全国科学技术发展规划刚要》及《科学技术研究主要任务（草案）》和《技术科学规划（草案）》。

《八年规划刚要》要求把农业、能源、材料、电子计算机、激光、空间、高能物理、遗传工程 8 个影响全局的综合性科学技术领域、重大新技术领域和带头学科，放在突出的地位，集中力量，作出显著成绩，以推动整个科学技术和整个国民经济高速发展。

2.3 科研机构的重建

1977 年 3 月，中国科学院进行整顿，哪些在“文化大革命”中被撤销和下放的研究机构纷纷恢复和重新归属中科院。根据需要还成立了一批新的研究机构。到 1978 年底，中国科学院共收回、恢复、新建研究机构 46 个，全院独立研究机构达到 110 个，并成立上海、成都、新疆、兰州、合肥、广州、沈阳、长春、武汉、南京、西安、昆明 12 个分院。

2.4 政策法规的出台

1977 年 –1984 年，国家科委等有关部门为促进科技发展，理顺各种关系，制定了包括科技组织、人员管理、物资供应、档案工作和成果奖励等方面的政策、法律、法规达 50 多个。这些科技政策、法律、法规的制定与实施，对当时及后来的科技工作产生了积极的影响，使我国科技事业在较短时间内得到迅速恢复和发展。

2.5 国务院科技领导小组的成立

1979 年 10 月，党中央成立了科学研究协调委员会，在科学研究协调委员会第一次会议上，特别强调了科技战线加强统一领导和管理的重要性，责成国家科委负担起“统一认识、统一政策、统一规划、统一管理、统一组织和协调全国科技工作”的责任。

3. 落实科技人才政策

3.1 培养科技后备力量

1977 年 8 月 8 日，邓小平发表了《关于科学和教育工作的几点意见》的讲话，讲话充分肯定了绝大多数知识分子对社会主义建设的贡献，强调要为科研和教育人员创造必要的工作条件，细心爱护和积极调动知识分子的工作积极性，还特别指出科学、教育工作者也是劳动者，要尊重劳动、尊重人才，坚持按劳分配，对有贡献的科学、教育工作者给予奖励，坚持“百家争鸣”，允许争论，不同学派之间要互相尊重，取长补短，加强学术交流。恢复高考制度是拨乱反正的第一个突破口。高考招生制度的恢复带动了整个教育工作的整顿和改革，研究生教育和学位工作也开始启动。教育部还制定了新时期海外留学政策，向西方发达国家派遣各类留学生、研修生。1978 年年底，第一批 52 名留学人员抵达美国。

3.2 加强科技队伍建设

为贯彻全国科学大会精神，党中央、国务院决定，在全国范围内进行一次自然科学技术人员普查。普查结果现实，与发达国家相比，无论从数量上还是水平上都处于相对落后状态，不能适应加速四个现代化建设的需要。

国家科委等部门在给国务院的普查情况报告中，提出了加强科技队伍建设的几点建议：进一步落实党的知识分子政策；调整用非所学及尚未从事科学技术工作人员的工作，加强党的领导；大力提高现有科技人员的水平，为他们创造学习、提高的条件，大力培养新生力量，特别是新兴的科学技术领域的力量；建立健全科学技术干部管理机构，对科技干部的分配和任用要贯彻“学用一致、专业专用”的原则，尽快制定技术职称的审批、晋升办法。全国科学大会后，科技领域立即开始落实知识分子政策。

4. 智力引进与国际科技合作

1978 年全国科学大会上，邓小平指出，提高我国的科学技术水平，必须坚持“独立自主、自力更生”的方针。但是，独立自主不是闭关自守、自力更生更不是盲目排外。我们要积极开展国际学术交流活动，加强同世界各国科学界的友好往来和合作关系。《1978–1985 年全国科学技术发展规划纲要》中也提出要加强国际科技合作和技术交流，邀请外国科学家、工程技术专家来华讲学，加强我驻外机构的科技调研工作，积极参加国际学术组织和国际学术会议等学术活动，积极、有计划地派遣科学技术人员等出国学习、进修、考察等。自此，我国国际科技合作开启了新的征程。

3.2 第二阶段：开启科技体制改革序幕

1985 年，《中共中央关于科学技术体制改革的决定》出台，揭开了全面科技体制改革的序幕。此后，陆续推出了包括改革科技拨款制度、科研事业费管理办法、专业技术职务聘任制度、自然科学基金制度、建立技术市场等一系列重大举措，改革的核心是确立科技成果商品化的思想，革除原有体制下科技与经济脱节的弊端，促进科学与经济的结合，进而解放和发展生产力。

1. 依靠、面向

1.1 “依靠、面向”方针

1980 年 12 月 25 日至 1981 年 1 月 5 日，国家科委召开全国科技工作会议，会议提出了《关于我国科学技术发展方针的汇报提纲》。国家科委在 1981 年 2 月向党中央提交了该提纲，4 月，中共中央、国务院转发了这一提纲。提纲明确提出了新时期发展科学技术的具体方针，其要点包括：科学技术应当与经济、社会协调发展，并把促进经济发展作为首要任务；着重加强生产技术的研究，正确选择技术。形成合理的技术结构；必须加强工农业生产第一线的技术开发和科研成果推广工作；保证基础研究在稳定的基础上逐步有所发展；把学习、消化、吸收国外科学技术成就作为发展我国科学技术事业的重要途径。这是中华人民共和国成立以来第一个比较系统、完整的科技发展方针。

1.2 《中共中央关于科学技术体制改革的决定》

1985 年 3 月 13 日，《中共中央关于科学技术体制改革的决定》正式公布，标志了科技体制改革由 1978 年以来科技界自发进行的探索试点阶段进入有领导、有步骤、有组织的全面展开阶段。进行科技体制改革的根本目的，就是使科学技术成果迅速广泛地应用于生产，使科学技术人员的作用得到充分发挥，大大解放科学技术生产力，促进经济繁荣和社会发展。

1.3 《1986–2000 年科学技术发展规划》

要加快我国的经济发展，必须集中力量解决经济建设中亟待解决的重大关键技术和共性技术问题，加强已有单项技术的集成配套和工程化研究。为此，1982 年国家计委和国家科委联合召开

会议，研究制定《1986–2000 年科学技术发展规划》，其指导思想是从经济建设中提出问题，科技为经济服务。此次规划围绕 2000 年中国工农业总产值比 1980 年的 7100 亿元翻两番，达到 28000 亿元的总目标，提出了科学技术发展的 5 个主要任务：传统产业方面，依靠科技进步，把经济发达国家 20 世纪 70–80 年代初已经普遍采用了的先进生产技术逐步在我国普及，使我国工农业生产转移到新的技术基础上来；研究开发一批新兴技术领域，包括生物技术、微电子信息技术、新材料技术、新一代自动化技术、航天技术、核能技术等，建立若干技术密集的新兴产业，为“翻两番”开拓一些新路子；切实安排好国家重点建设项目的前期科研工作和建设中的重大技术关键攻关，使重点建设项目能够建立在先进的技术基础上；搞好重大技术的引进和消化吸收，以及重要的科技成果特别是军转民重大技术的推广应用；从科学技术的长期发展着眼，安排好一批基础研究项目。注意加强科技自身发展的基础性工作，不断提高科技开发能力。

2. 科技拨款制度

改革科技拨款制度是引导科技工作面向经济建设主战场的一个重要突破口。改革前，我国科技拨款是“供给制”式的，即地市级以上独立研究机构和开发机构的经费由政府财政供给，这种“供给制”式的拨款方式，必然带来科研任务与生产相脱节，科研投入强度低、力量分散、低水平重复等弊病。改革拨款制度，目的是从资金供应上改变科研机构对行政部门的依附关系，使其主动为经济建设服务，用商品经济规律调整科技力量的布局，扩大全社会的科技投入，加速科技成果商品化。国家集中有限财力，加强国家长远发展和经济、国防建设中关键问题的研究。

3. 技术市场

开拓技术市场，树立“技术成果商品化”的观念，是我国科技体制改革工作在理论和实践上的一大突破，也是社会观念的一大更新。通过实施《技术合同法》、《专利法》，以及开拓、培育技技术市场，确立了技术成果的商品地位，建立了按价值规律、以合同形式有偿转让的市场调节机制，为科学技术成果的研究开发、应用推广注入了新的活力，取得了很大的经济效益和社会效益。

4. 民营科技企业

随着科技体制改革的不断深入，科技人员的思想观念也在发生着巨大的变化。放活科研人员、其直接的结果就是形成了一股由科技人员领衔创办民营科技企业和民办机构的热潮。北京中关村是我国科技智力最密集地区，中国科研院的大部分研究所，清华大学、北京大学、北京理工大学等数十所高校皆云集于这一地区。1980 年 10 月，中国科学院物理研究所研究员扔掉“铁饭碗”，从国家科研机构率先“下海”，创办了全国第一家民营科技企业 – 北京等离子体学会先进技术发展服务部。1982 年 3 月，国务院发布了《试行科学技术人员兼职、交流的暂行办法》，为科技人员的的流动创造了条件。在中央允许创办集体或者个人科技机构等政策的推动下，很多科技人员利用节假日，纷纷走上社会和企业，开展技术咨询等服务，涌现了许多“星期天工程师”、“聘任教授”。

3.3 国家科技计划体系初步形成

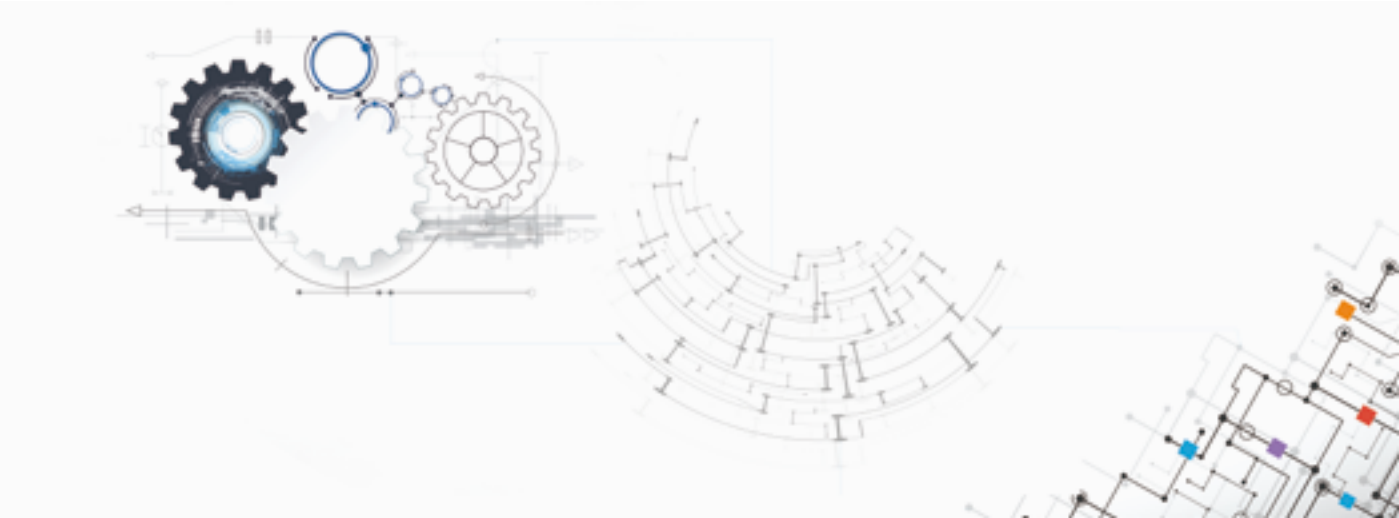
在科技体制改革的有力推动下，我国实施了一系列推动科技与经济发展的国家指令性科技计划，如科技攻关计划、国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划、星火计划、火炬计划等，形成了面向经济建设主战场、发展高新技术及其产业和加强基础性研究 3 个层次的纵深部署，构筑了我国新时期科技发展的战略框架。其中火炬计划尤其值得关注。

高新技术产业兴起

20 世纪 70 年代以来，随着以微电子技术为主导的信息、生物、新材料、新能源等高技术的蓬勃发展，出现了机械电子工业、光电子工业、办公自动化设备，以及信息处理系统、电子医疗设备、新能源、新材料、现代生物制品等高新技术产业。与传统产业相比，其技术与资金都密集得多，产品增值也高得多，并带来生产力的飞跃和产业结构的调整，促进了劳动就业和经营管理方式的变化，为企业带来了巨额利润。高新技术产业的发展，加剧了世界市场的激烈竞争，成为各发达国家进行国际贸易角逐的焦点。发达国家和一些新兴的工业国家及地区，为了加强经济实力和国际竞争能力，都在重新调整产业结构，加速发展高技术、新技术产业。高新技术产品在世界贸易结构中的比重越来越大。

与高新技术产业同时兴起的还有科学园区。最早的科学园区出现在美国“硅谷”等地。到 1980 年，美国已经有 20 多家科学园区，欧洲也出现了 6 家。随着新技术革命浪潮席卷全球，科学园区这种培育发展高技术产业的有效方式也形成一股世界性潮流，几乎所有的发达国家和较有实力的发展中国家及地区都建起各种类型的科学园区。

我国经过几十年的建设，已初步建立起门类比较齐全、布局趋向合理的工业体系。在航天、计算机、生物工程、光机电一体化和新型材料等高技术领域已具备相当基础，拥有较强的产品开发能力，科技成果也为数不少，有的已基本形成产业。通过科技体制改革，科技成果商品化、技术进入市场等新观念也逐渐形成，促成一些用于开拓的研究院所和科技人员在开发高新技术产品和创办科技型企业方面取得了初步进



展，在一些地方已形成自发的“智力密集区”。1985 年 7 月，由中国科学院和深圳市政府共同创办了我国第一个高新技术产业开发区 –– 深圳科技工业园。

从世界形势来看，高新技术产业的发展，不仅带来了生产力的飞跃和产业结构的变革，而且导致经营管理与劳动就业的巨大变化，以及市场竞争力和综合国力的极大提高。因此，我国政府十分重视加快高新技术产业的发展。《中共中央关于科学技术体制改革的决定》中明确提出，为加快我国新兴技术产业的发展，要在全国选择若干智力密集区，采取特殊的政策，逐步形成具有不同特色的新兴产业开发区。1986 年，党中央、国务院批准 863 计划时，就阐明要“有选择地在几个重要的高技术领域跟踪世界水平，建立必要的高技术产业”。1987 年 10 月，党的十三大报告中又明确提出，为了合理调整和改造产业结构，要“以运用现今技术改造和发展我国传统产业为重点，同时注意发展高技术新兴产业。

国家科委于 1988 年年初向国务院提交了《关于动员和组织科技力量为沿海地区经济发展战略服务的决定》，明确提出拟从下半年开始实施火炬计划，以便“动员和组织研究机构、高等学校、大中型企业的科技力量，开发高技术、新技术产品，创办科技型企业，为国家高技术研究发展计划、重点科技攻关计划及其它重大研究项目的成果商品化搭桥铺路，以促进沿海地区建立一批高技术、新技术产业，推动高技术、新技术产品进入世界市场“。

火炬计划的出台，有力推动了高新技术产业开发区的建设。火炬计划的实施内容之一是建设高新技术产业开发区和创业服务中心。高新区属于科学园区的一种，主要以智力密集和开放环境条件为依托，依靠我国自己的科技和经济实力，通过软硬环境的局部优化，最大限度地把科技成果转化为现实生产力，面向国内外两个市场，成为发展我国高新技术产业的集中区域。

我国高新技术创业服务中心是在吸取了国外“孵化器”成功发展经验的基础上，结合中国国情而建立起来的一种新型社会公益类科技服务机构，也是高新技术产业发展支撑服务体系的重要组成部分。其宗旨是依靠国家制定的有关政策和各级政府提供的必要条件，创造局部优化环境，培育高新技术产业发展新的经济增长点，促进高新技术成果的商品化，从而“孵化”高新技术企业，为高新技术企业创业提供综合服务。因此，创业服务中心是高新技术成果转化为产业的重要环节，是高新技术企业的生长点，是实验室与企业的结合点，是培育科技企业家的学校，也是连接开发区与科研院所、大专院校和大中型企业的纽带。

3.4 科教兴国战略和可持续发展战略

进入 20 世纪 90 年代，世界科技革命出现新的高潮，科学技术对经济社会发展的推动作用日益明显，成为决定国家综合国力和国际地位的重要因素。党中央根据世界科技的发展潮流和我国现代化建设的需要，及时提出并实施了科教兴国、可持续发展等多项战略，对中国特色社会主义事业的跨世纪发展起到了强有力的推动作用。

3.5 不断提高科技创新能力

1999 年，全国技术创新大会胜利召开，提出要把以科技创新为先导促进生产力发展的质的飞跃，摆在经济建设的首要地位，并作为重要的战略指导思想。2001 年，中国加入世界贸易组织，我国对外开放进入新阶段。我国的科技工作在全面实施科教兴国战略的基础上，大力推动科技进步，加强科技创新，加速科技成果向现实生产力转化，着力掌握科技发展的主动权，努力在更高的水平上实现技术发展跨越。

1. 加强技术创新

1.1 全国技术创新大会

创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力。1999 年 8 月 20 日，中共中央、国务院印发《关于加强技术创新，发展高科技，实现产业化的决定》，明确提出我国在新的历史使其科技发展的主要任务。重点在技术创新，发展高科技、实现产业化，深化体制改革，促进技术创新和高科技成果商品化、产业化、加强党和政府的领导等方面做了具体部署。

1999 年 8 月 23 日，中共中央、国务院召开的全国技术创新大会在北京开幕。这次会议的主要任务是部署贯彻落实《中共中央、国务院关于加强技术创新，发展高科技，实现产业化的决定》，进一步实施科教兴国战略，建设国家知识创新体系，加速科技向现实生产力转化，提高中国经济的整体

素质和综合国力，保证社会主义现代化建设第三步战略目标的顺利实现。《中共中央、国务院关于加强技术创新，发展高科技，实现产业化的决定》对科教兴国战略的实施尤其是科技对于经济建设产生巨大的推动作用，这次技术创新大会是中国科技与经济开始密切结合的一个重要里程碑。

1.2 《“十五”科技发展规划》

根据 1998 年 10 月国家科教领导小组第二次会议的决定及《国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》的有关要求，1998 年年底，科技部启动《国民经济和社会发展第十个五年计划科技教育发展专项规划（科技发展规划）》的研究工作，并成立了由科技、经济和管理等方面专家组成的总体研究组，重点开展科技发展国内外环境，经济和社会发展对科技的需求，科技工作的指导方针、基本原则和发展战略，科技发展目标等方面的研究。

1.3 “3+2”新型科技计划管理体制

1998 年，国务院政府机构调整后，国家科委更名为科技部。依照“创新、产业化”方针，科技部对“十五”国家科技计划的体系结构、组织形式、管理模式等方面作出相应的改革和调整，构建了更有利的科技计划管理体系，也称为“3+2”体系。其中，“3”是指 3 个主体科技计划，即国家科技攻关计划、863 计划、973 计划；“2”是指两大类科研环境建设计划，即研究开发条件建设计划、科技产业化环境建设计划。

1.4 12 个重大科技专项

为利用 20 世纪 90 年代末和 21 世纪初的国际主流技术，我国选择一些重大项目，加速产业化，构建支撑“科技 – 经济 – 社会”发展大系统的技术平台。2001 年 12 月，经国家科教领导小组第十次会议批准，科技部决定在“十五”期间组织实施 12 个重大科技专项。重大技术专项汇集了全国 2 万名科技人员，3000 多家企业、科研机构和高等学校参与其中，中央财政投入 80 亿元，地方、部门配套投入 40 多亿元，企业投入超过 100 亿元，在信息技术、清洁能源汽车、食品安全、主要农产品深加工、奶业发展、节水农业、水污染治理、功能基因和生物芯片、创新药物和中药现代化等领域取得了多项重大技术突破，申请国内外专利和软件著作权近 2000 项，开发新产品、新材料 1200 多项，形成技术标准 700 多项，形成了一批拥有自主知识产权和市场竞争力的产品，对经济社会的发展产生了积极影响。

1.5 实施人才、专利、技术标准三大战略

为贯彻落实国家的科教兴国战略和人才强国战略，主动应对我国加入世界贸易组织后来自国内外的人才、专利、技术标准竞争的机遇和挑战，2001 年 12 月，经国家科教领导小组第十次会议批准，科技部在“十五”期间组织实施人才、专利、技术标准三大战略。

1.6 科技成果不断涌现

经过多年的改革开放，特别是通过科技体制改革的一系列有益探索和成功实践，在攻关计划、863 计划、973 计划三大主体计划及两大类科研环境建设计划的支持下，我国的科技工作发生了历史性变化。科技工作的战略重点向国民经济建设转移，科学技术成为新时代支撑中国发展的重要力量。

“八五”期间，攻关计划共安排 181 个项目，投资总额为 90 亿元，有 10 余万名科技人员直接参与攻关工作。“八五”科技攻关共取得 6 万多项科技成果，

获得国家专利近 800 项，形成新产品、新工艺 5000 项，新材料近 3000 项，获得各类国家级奖励 125 项。攀登计划自 1991 年开始实施，“八五”期间有 45 个项目列入计划，其中，自然科学重大基础研究 30 个，工程与技术科学重大基础性研究项目 15 个。5 年间，攀登计划共投资 1.84 亿元，先后有 3000 名科研人员参加研究工作。国家科委与国家计委、国家经贸委、国家体改委、铁道部四委一部共同组织了京沪高速铁路主要经济与技术问题研究。另外，通过推动软科学研究，组织了区域经济发展及流域水资源综合利用研究，如西江流域、乌江流域规划等；还开展了发展小汽车进入家庭的问题研究。

“九五”期间，投入 6 类科技计划（攻关计划、863 计划、973 计划、火炬计划、星火计划、科技成果推广计划）项目的资金年平均增长 32%，仅 2000 年全年投入资金 594.61 亿元。6 类国家级科技计划项目取得了一大批具有较高水准理论成果的科技成果，促进了科技成果的转化应用，为发展高技术产业和改造传统产业提供了有利的支撑，其中一些解决了国民经济建设中的关键技术和科技自身发展的重大问题，为中国科学技术在世界上占有一席之地发挥了重要作用。

“十五”期间，国家科技计划共安排实施项目（课题）4 万余项，总投入资金 610 亿元，参与攻关计划、863 计划、973 计划、火炬计划、星火计划、科技成果推广计划 6 类科技计划实施的科研人员 138 余次。“十五”期间三大主体科技计划共发表论文 23.4 万余篇，获得发明专利 7000 余项，制定国家和行业标准 3000 余项。

在基础研究方面，人类基因测序、纳米碳管和纳米新材料、寒武纪生命大爆发研究、微机电系统研究、南海大洋钻探等方面取得了重大成果，表面科学、非线性科学、认知科学及地球系统科学等新兴交叉学科得到迅速发展。中国大陆科学钻探工程、大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜等 8 项国家重大科学工程的建设，为我国的基础科学研究创造了良好条件。

在高新技术研究及产业化方面，载人航天技术、运载火箭及卫星技术等航天高科技取得了重大突破。两系法杂交水稻、基因工程药物、转基因动植物、重大疾病的相关基因测序和诊断治疗技术的突破，使我国生物技术总体水平接近发达国家；高清晰度电视、“神威”计算机、大尺寸单晶硅材料、皮肤干细胞再生技术等重大成就的取得，使我国在相应领域跃入世界先进行列。

3.6 建设创新型国家

党的十六大综合分析国内外发展大势，立足国情，面向未来，把创新作为推动经济社会发展的驱动力量，提出了增强自主创新能力、建设创新型国家的重大战略思想。党的十七大明确指出，“提高自主创新能力，建设创新型国家”是国家发展战略的核心，是提高综合国力关键，强调要坚持走中国特色自主创新道路，把增强自主创新能力贯彻到现代化建设的各个方面。

1. 增强自主创新能力

2004 年 6 月，胡锦涛在中国科学院第十二次、中国工程院第七次院士大会上指出：“科学技术是经济社会发展的一个重要基础资源，是引领未来发展的主导力量。”

1.1 全国科学技术大会和全国创新大会

2006 年 1 月，中共中央、国务院召开全国科学技术大会，以大力提高自主创新能力，为经济和社会的发展提供强有力的科技支撑为中心议题，分析形势，统一思想、总结经验，明确任务，做出了《关于实施科技规划纲要 增强自主创新能力的决定》，发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006–2020 年）》，明确提出用 15 年时间把我国建设成为创新型国家的战略目标，号召全党全国人民坚持走中国特色自主创新道路，为建设创新型国家而努力奋斗。2012 年 7 月，全国科技创新大会在北京召开。胡锦涛在会上指出，大力实施科教兴国战略和人才强国战略，坚持自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来的指导方针，全面落实国家中长期科学和技术发展规划纲要，以提高自主创新能力为核心，以促进科技与经济社会发展紧密结合为重点，进一步深化科技体制改革，着力解决制约科技创新的突出问题，充分发挥科技在转变经济发展方式和调整经济结构中的支撑引领作用，加快建设国家创新体系，为全面建成小康社会进而建设世界科技强国奠定坚实基础。为切实落实《规划纲要》确定的近期目标、任务和举措，并为建设创新型国家奠定坚实基础，2006 年 5 月，科技部发布《“十一五”科技规划》，明确了 2006–2010 年科学技术事业发展的指导方针、发展目标、主要任务和重大措施。2011 年 7 月，发布《“十二五”科技规划》，对 2011–2015 年我国科技发展的总体目标，总体部署和政策措施做出了规划。

1.2 国家创新体系

建设创新型国家需要全面推进中国特色国家创新体系建设。国家创新体系是以政府为主导、充分发挥市场配置资源的基础性作用、各类科技创新主体紧密联系和有效互动的社会体系。《规划纲要》指出，现阶段中国特色创新体系建设的重点有 5 个方面：建设以企业为主体、产学研结合的技术创新体系；建设科学研究与高等教育有机结合的知识创新体系；建设军民结合、寓军于民的国防科技创新体系；建设各具特色和优势的区域创新体系；建设社会化、网络化的科技中介服务体系。

3.7 自主创新成效显著

随着我国自主创新能力和科学技术水平的不断提高，我国在各个领域取得了一批成果，基础研究水平提高，前沿技术实现突破，高新技术产业和新兴产业迅速发展，为推动经济社会的可持续发展发挥了重要作用。

1. 基础研究

数学整体水平不断提高，特别是在数学机械化、微分方程、组合数学等方面取得了重大的原创性成果；物质科学发展势头良好，特别是在量子器件、纳米材料、凝聚态物理等前沿领域取得了一批成果；生物科学发展迅速，尤其是在蛋白质研究、克隆技术、神经科学、微生物等方面取得了一批重大成果；地球科学已形成较为完整的研究体系，出现了一批能与国际地学界对话的研究集体；天文学在太阳表面磁学，包括太阳活动区向量磁场演化和太阳弱磁场研究等方面发展势头良好，取得了一系列重大的原创性成果；信息科学重点开展了集成电路器件与工艺、集成光电子器件与新兴微纳米光电子器件、新的网络体系、软件工程、智能信息处理的科学基础与前沿问题等方面的基础研究；环境科学针对资源环境领域的突出问题，重点在战略矿产资源、生态环境、环境污染防治、重大灾害形成机制与预测等方面开展了一系列研究工作；农业基础科学重点开展了农作物育种和品种改良、品种和品质形成的分子机制、农产品安全、农作物重大病虫害形成与调控机制、家养动物复杂形状形成的遗传机制等方面的基础研究；能源基础科学在能源的开发及高效清洁利用、新能源的开发利用、能源安全等方面进行了重点部署，尤其是在化学能源高效清洁利用、石油勘探开发和提高采收率、战略矿产资源研究等方面取得了一批成果；材料基础科学重点在纳米材料科学、信息功能材料科学、超导材料科学、新能源材料科学、生物医学材料科学等方面开展了大量卓有成效的研究工作。

2. 前沿技术

2.1 信息技术领域

芯片。2002 年，研制成功的龙芯 1 号实现了我国信息产业芯片“从无到有”的跨越。2005 年，龙芯 2 号发布，龙芯 2B、龙芯 2C、龙芯 2D、龙芯 2E、龙芯 2 处理器相继研制成功，实现了我国高性能通用 CPU 的跨越发展。2012 年，四核 CPU 芯片龙芯 3A1000 流片研制成功。

高性能计算机。2004 年，曙光 4000A 实现了对每秒 10 万亿次运算速度的技术和应用的双跨越，成为国内计算能力最强的商品化超级计算机，也是中国国家网格最大主节点，在当年公布的全球高性能计算机 TOP500 排行榜中位列第十。2008 年，百万亿次超级计算机曙光 5000A 诞生。2009 年，中国首台千万亿次超级计算机“天河一号”研制成功，实现了我国研制超级计算机能力从百万亿次到千万亿次的跨越，居 2010 年 11 月超级计算机 TOP500 排行榜第一。

2.2 生物和医药技术领域

生物技术领域以增强我国生物技术的创新能力和国际竞争能力为战略目标，在源头创新、平台技术和重大产品 3 个层面上，渐次推进，重点突破，跨越发展。

2.3 新材料技术领域

在传统材料的高性能化、系列化及在节约资源、降低能耗、保护环境等方面取得了显著进展，直接辐射带动了一大批支柱产业的技术改造升级，建成了一批重要的研发平台和产业化基地，取得了一系列重大工程用关键材料的研制成果，支撑了我国重点工程、支柱产业、高新技术、国防重大工程等的发展，有利地推动了我国经济社会的可持续发展。比如在半导体照明、新型平板显示、高性能纤维及其复合材料、高性能膜材料、超导材料、非晶合金带材、新型片式元器件关键材料等方面取得了一系列突破进展。

2.4 先进制造与自动化领域

先进制造技术始终面向我国国民经济建设的主战场和未来社会发展的重大需求，瞄准国际先进制造与自动化技术前沿，有重点地选择了能够主导 21 世纪初期我国制造业发展与升级的关键技术和若干涉及国家安全的战略必争装备与前沿核心技术，结合国情，立足创新，攻克了一批关键技术，取得了一批成果，为我国从制造大国向制造强国的转变奠定了坚实的基础。在重大装备与工艺、制造服务、系统控制、微纳制造及智能机器人等方面分别取得了一定的突破。

2.5 先进能源技术领域

先进能源技术领域以鼓励技术创新、实现国家目标和满足市场需要为主旨，将科技进步、节约能源资源、优化能源结构、支撑社会可持续发展作为能源科技发展的战略目标，先后突破一批事关国计民生、社会可持续发展的能源关键技术，为国民经济实现跨越式发展提供了重要的技术支撑和储备。

此外，在海洋技术领域、现代交通技术领域和地球观测与导航技术领域等领域也取得了重大突破。

3. 高新技术产业与高新区

我国高新技术产业的快速发展，有力地促进了产业结构调整，已成为国民经济新的增长点。经过 20 多年的发展，国家高新技术产业开发区集聚了丰富的创新资源，创新了体制机制，优化提升了发展环境，涌现出一批具有竞争力的产业和企业，已经成为我国高新技术产业发展的一面旗帜。

在资源、材料、制造业等领域实现了一批重要技术突破，加速了传统产业优化升级，有力支撑了重点产业发展。

建设国家高新区是我国加快高新技术产业发展的伟大创举，进入 21 世纪后，国家高新区建设步伐不断加快，拉开了“二次创业”的帷幕。2001 年，经国务院批准，科技部召开国家高新区所在市市长座谈会，提出以提高自主创新能力为核心，推动国家高新区“二次创业”，着力推进“五个转变”，提升国家高新区的集聚效应、创新效应、示范效应、合作效应和创业效应，努力成为自主创新高地、科技成果转化示范基地和高新技术新生企业的生态“栖息地”。2006 年，提出了国家高新区“四位一体”的目标定位，即国家高新区成为促进技术进步和增强自主创新能力的重要载体，成为带动区域经济结构调整和经济增长方式转变的强大引擎，成为高新技术企业“走出去”参与国际竞争的服务平台，成为抢占世界高新技术产业制高点的前沿阵地。国家实现了科学布局，并获得了巨大经济效益。2007–2012 年，国家高新区出现了一次较为密集、范围较大的扩容，截至 2012 年年底，国家高新区数达到 105 个，国家高新区企业数 6.4 万家，年末从业人员 1269.5 万人，当年总收入 16.6 万亿元，工业总产值 12.9 万亿元，净利润 10243.2 亿元，上缴税额 9580.5 亿元，出口创汇 3760.4 亿美元。

3.8 科技体制改革和国家创新体系建设

党的十八大以来，以主席同志为核心的党中央高度重视科技创新，对实施创新驱动发展战略做出了顶层设计和系统部署。各地方各部门齐心协力，科技体制改革全面发力、纵深推进，取得了一系列实质性突破和标志性成果，科技发展进入新的历史阶段，站上新的历史方位。

1. 创新驱动发展战略纲要

党的十八大明确提出，科技创新是提高社会成产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置，强调要坚持走中国特色自主创新道路、实施创新驱动发展战略。通过深入实施创新驱动发展战略，我国创新能力和效率得到全面提升。

1.1 顶层设计和整体部署

围绕深入贯彻“创新发展”理念，主席总书记对实施创新驱动发展战略进行了全局性、长远性系统谋划，指明了方向、明确了思路，部署了重点。

1.2 2016 年全国科技创新大会

2016 年 5 月 30 日，全国科技创新大会在北京召开，主席总书记发表重要讲话，对落实创新驱动发展战略提出了总体要求。分别体现在以下几个方面：夯实科技基础，在重要科技领域跻身世界领先行列；强大战略导向，破解创新发展科技难题；加强科技供给，服务经济社会发展主战场；深化改革创新，形成充满活力的科技管理和运行机制，必须全面部署并坚定不移地推进改革；弘扬创新精神，培育符合创新发展要求的人才队伍。

1.3 《国家创新驱动发展战略纲要》发布

2016 年 5 月，在召开全国科技创新大会前不久，中共中央、国务院正式发布了《国家创新驱动发展战略纲要》。《国家创新驱动发展战略纲要》明确提出了“三步走”战略目标。第一步是到 2020 年进入创新型国家行列，基本建成中国特色国家创新体系，有力支撑全国建设成小康社会目标的实现；第

二步是到 2030 年跻身创新型国家前列，发展驱动力实现根本转换，经济社会发展水平和国际竞争力大幅提升，为建成经济强国和共同富裕社会奠定坚实基础；第三步是到 2050 年建成世界科技创新强国，成为世界主要科学中心和创新高地，为我国建成富强民主文明和谐的社会主义现代化国家、实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强大支撑。亮点之一是对产业技术体系进行系统部署：在创新布局上，从科技创新、产业创新、区域创新、组织创新、军民协同创新、大众创新等方面进行了系统部署。同时，明确了 9 个重点领域技术发展方向，分别是：信息、智能制造、现代农业、现代能源、生态环境、海洋和空间、新型城镇化、人口健康及现代服务业。

2. 企业技术创新

“十三五”期间，企业技术创新能力得到快速提升，企业的创新主体地位和主导作用大力增强，推动形成一批具有国际竞争力的世界一流创新型领军企业，精准支持科技型中小企业创新发展。

2.1 企业创新能力

企业在全社会研发投入、研究人员和发明专利中的占比均超过 70%。自 2012 年以来，中央企业研发经费占主营业务收入比重稳中有升。国家科技成果转化引导基金累计设立 21 支创业投资子基金，中央财政收入 75.5 亿元，引导地方政府、金融机构、民间资本投资规模达 237.5 亿元。2018 年，企业创新能力持续增强，全国高新技术企业总数超过 13.6 万家，研发投入、发明专利授权量分别占全国比重超过 50%、40%，营业总收入、上缴税费预计分别超过 30 万亿元、1.5 万亿元，增长均达到 10% 以上，提供就业岗位超过 2500 万个。截至 2018 年，依托企业在重要领域建设国家技术创新中心 2 个、国家重点实验室 435 个、国家工程技术研究中心 189 个，为孕育重大原始创新、推动科技成果转化和解决国家紧迫需求等方面提供了重要支撑。

持续加强创新型企业试点工作，以创新型（试点）企业为依托，加快培育具有国际先进水平的创新型领军企业。国家技术创新工程的实施，为支撑引领经济高质量发展、培育经济发展新动能发挥了巨大作用。《“十三五”国家技术创新工程规划》发布后，企业技术创新主体地位显著增强，创新能力不断提升。创新型企业在高速铁路、核电、第四代移动通信、特高压输变电、北斗导航、电动汽车、杂交水稻等方面突破了一批重大关键技术。全球研发投入最高的 2500 家企业中，中国有 438 家，居全球第 2 位。

2.2 国家技术创新中心

国家技术创新中心定位是以产业前沿引领技术和关键共性技术研发与应用为核心，加强应用基础研究，协同推进现代化工程技术和颠覆性技术创新，打造创新资源聚集、组织运行开放、治理结构多元的产业技术创新平台。其要求是应对技术创新范式变革趋势，围绕产业链建立开放协同的创新机制，与产业和区域创新发展有机融合，强化技术扩散与转移转化，以市场为导向推动产学研深度融合，辐射形成更加完善的产业创新生态。建设目标是在重点产业布局建设，形成满足产业创新重大需求、具有国际竞争力的国家技术创新网络、培育行业领军企业，带动科技型中小企业成长，催生创新集群、推动若干重点产业进入全球价值链中高端。

3.9 提升科技基础创新能力

主席总书记指出，基础研究是整个科学体系的源头，是所有技术问题的总机关，只有重视基础研究，才能永远保持自主创新能力，要高速重视基础创新能力，要从国家发展需要出发，瞄准世界科技前沿、抓住大趋势，打好基础，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破，夯实世界科技强国建设的根基。

党的十八大以来，基础研究瞄准世界科技前沿，坚持鼓励自由探索和目标导向相结合，加强重大科学问题研究，完善基础研究体制机制，强化基础研究稳定支持机制，建设一批科研基础设施，加强科研基础资源共享，力争在基础研究上取得重要进展和突破。

1. 基础研究布局

新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起、科学探索加速演进，世界主要发达国家普遍强化基础研究战略部署，全球科技竞争不断向基础研究前移。党中央、国务院高度重视基础研究顶端设计，不断优化基础研究支持体系。

《国家创新驱动发展战略纲要》将强化原始创新、增强源头供给作为一项重要战略任务。加强面向国家战略需求的基础前沿和高技术研究，加强基础研究前瞻布局，加大对空间、海洋、网络、核、材料、能源、信息、生命等领域重大基础研究和战略高技术攻关力度，以实现关键核心技术安全、自主、可控为目标。大力支持自由探索的基础研究，强化面向科学前沿加强原始创新，鼓励在新思想、新发现、新知识、新原理和新方法方面的突破，强化源头储备。建设一批支撑高水平创新的基础设施和平台，建设一批国家重点实验室，加快建设大型共用实验装置、数据资源、生物资源、知识和专利信息服务等科技基础条件平台。

2. 重大科学问题研究

基础研究面向国家重大需求和世界科学前沿，重点聚焦科学前沿，支持开展原创性重大科学问题研究，在干细胞及转化研究、纳米科技、量子调控与量子信息等领域取得了系列原创性突破。

3. 基础学科和新型交叉学科

数理化天地生作为科学研究的基础，取得了多项举世瞩目的成就，我国基础研究能力得到稳步提升。中国在国际顶尖学术期刊发表论文数量不断提升，从 2011 年的 159 篇增至 2017 年的 699 篇。

3.10 科技支撑国家竞争力提升

主席总书记强调，科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。科技创新作为提高社会生产力、提升国际竞争力、增强综合国力、保障国家安全的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。要发挥创新引领发展第一动力作用，实施一批重大科技项目，加快突破核心关键技术，全面提升经济发展科技含量，提高劳动生产率和资本回报率，主席总书记指出，要抓紧实施国家科技重大专项，进一步聚焦目标，突出重点，攻克高端通用芯片、集成电路设备、宽带移动通信、高档数控机床、核电站、新药创制等关键核心技术，加快形成若干战略性技术和战略性产品，培育新兴产业。

实施国家科技重大专项，是党中央、国务院作出的一项具有重大现实意义和深远历史意义的决策部署。党的十八大以来，以主席同志为核心的党中央对科技创新的高度重视和战略谋划前所未有，科技创新被更加突出地摆在了国家发展全局的核心位置，重大专项被赋予了以重点突破和局部跃升带动科技水平整体提升的重要使命。

1. 全面实施国家科技重大专项

2006 年，党中央、国务院制定出台的《国家长期科学和技术发展规划纲要（2006–2020 年）》明确提出，要瞄准国家目标实施若干重大专项，发挥制度优势和市场机制、带动生产力跨越、填补国家战略空白。《规划纲要》确定了核心电子器件、高端通用芯片及基础软件，极大规模集成电路制造装备及成套工艺，新一代宽带无限移动通信，高档数控机床与基础制造装备，大型油气田及煤层气开发，大型先进压水堆及高温气冷堆核电站，水体污染控制与治理，转基因生物新品种培育，重大新药创制，艾滋病和病毒性肝炎等重大传染病防治，大型飞机，高分辨率对地观测系统，载人航天与探月工程等多个重大专项，涉及信息、生物等战略产业领地，能源资源环境和人民健康等重大紧迫问题。

2. 支撑战略性新兴产业发展

国家科技重大专项聚焦国家战略和经济社会发展重大需求，重点在电子信息、先进制造、能源等领域进行布局，持续攻克“核高基”（核心电子器件、高端通用芯片、基础软件）、集成电路装备、宽带移动通信、数控机床、油气开发、核电等领域关键核心技术，取得了一大批重大标志性成果，充分发挥了科技创新在培育发展战略性新兴产业、促进经济提质增效升级、塑造引领型发展和维护国家安全中的重要作用，为推进供给侧结构性改革、全面建成小康社会奠定了坚实的基础。

2.1 电子与信息领域

通过核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品科技中重大专项的实施，我国产业自主发展能力得到提升，高端通用芯片和基础软件产品在技术上日趋成熟，以 CPU 和操作系统为核心的生态环境日趋完善，自主创新体系初步建立，有力支撑我国电子信息产业的发展。聚焦国家战略需求，一批核心技术取得重要突破，在重大工程中实现应用、超算 CPU 运算速度达到了每秒 3 万亿次，与 2006 年相比，CPU 整体性能提升了 600 倍。在数字电视领域，智能数字电视所用

的 SoC，2014 年实现了 10 万颗的应用，2015 年达到了 32 万颗，2017 年突破 1500 万颗，有力支撑了智能电视的创新发展，通过十多年的实施，专项聚集了一批产业中坚力量，截至 2017 年，全国共有 23 个省（区、市）近 500 家单位参与专项研发，累计投入 5 万多名研发人员，国内 CPU 研发团队人数超过 3500 人；一批技术成果以知识产权标准的形式固化下来，截至 2017 年 10 月，专利申请量为 14700 余件，专利授权量为 7800 余件，软件著作权和集成电路布图设计登记数量超过 2500 件，发布标准 700 余项。

通过极大规模集成电路制造装备及成套工艺科技重大专项的实施，中国集成电路产业技术创新如今已经站到了一个新的历史起点上。高端装备和材料从无到有，经过 10 多年的艰苦攻关，研制成功 14 纳米刻蚀机、薄膜沉淀等 30 多种高端装备和靶材、抛光液等上百种材料产品，性能达到优良，通过了大生产线的严格考核，开始批量应用并出口到海外，从而实现了从无到有的突破，建立起了完整的产业链，使我国集成电路制造技术体系和产业生态得以建立和完善。

制造工艺与封装集成由弱渐强，专项实施至今，主流工艺水平提升了 5 代，55 纳米、40 纳米、28 纳米三代成套工艺研发成功并实现量产，22 纳米、14 纳米先导技术研发取得突破；封装企业从低端进入高端，三维高密度集成技术达到了先进水平。这些工艺制造的智能手机、通信设备、智能卡等芯片产品大批量进入市场，提高了我国信息产业的竞争力。培育具有国际竞争力的企业，专项以培育世界级企业为目标，建立了一套有效的组织方法，成为机制体制创新的亮点。为了解决科技成果产品化的问题，实行“下游考核上游，整机考核部件，应用考核技术，市场考核产品”的用户考核制，通过用户和市场的考核验证，研发成功一大批经得起市场检验的高端创新产品；积极探索科技、产业、金融有效协同的新模式，与重点区域的发展规划协同发展的环境，扶植企业做大做强，推动成果产业化，形成产业链、创新链、金融链“三链融合”的协同发展的环境，提高整体产业实力。作为基础产业的集成电路制造装备业，其成果辐射的带动面很广，利用集成电路技术取得的装备核心技术，使我国 LED 照明、传感器、光伏等泛半导体制造领域的装备国产化率大幅提升。集成电路专项实施以来，共有 200 多家企事业单位，3.8 万多名科研人员参与技术攻关，主要集中在北京、上海、江苏、沈阳、深圳和武汉 6 个重点产业聚集区；共申请了 2.3 万余项国内发明专利和 2000 多项国际发明专利，极大提升了我国集成电路技术自主创新能力。

新一代宽带无限移动通信网科技重大专项的实施全面支撑了我国移动通信技术研发与产业化，我国移动通信发展实现了从“2G 跟随”“3G 突破”到“4G 同步”的跨越，已形成涵盖系统、芯片、终端和仪表等较为完整的产业链，实现了从算法、关键技术、标准、产品到应用的全链条多项关键技术的突破，我国移动通信领域的创新能力、产业实力显著提升。自 2013 年 12 月发放 4G 牌照以来，我国 4G 手机产业链快速提升，截至 2018 年 12 月 31 日，国内累计建成 4G 基站约 372 万个，用户数达到 11.7 亿；TD–LTE 全球商用网络数量达到 156 个，用户数超过 17.8 亿，占全球 4G 用户 47.23%；芯片设计工艺从 40 纳米起步，迅速进入 28 纳米、16/14 纳米阶段，又快速进入 10/7 纳米阶段。全面推进 5G 研发，2018 年 6 月，3GPP 全会批准了第五代通信技术标准（5G NR）独立组网功能冻结，5G 已完成第一阶段全功能标准化工作，我国提出的 5G 新型网络架构、先进编码、大规

模天线等新技术纳入国际标准，为形成全球 5G 统一标准作出重要贡献。

目前，我国 5G 技术研发实验第三阶段组网测试验证工作已完成，测试结果表明，5G 基站与核心网设备均可支持非独立组网和独立组网模式，主要功能符合预期，达到预期商用水平，进一步增强了产业界 5G 按期商用的信心。在组织实施过程中，宽带移动通信专项注重发挥各个方面的积极性，加强创新链和产业链的建设，充分发挥行业里的高校、企业、科研院所的优势，通过标准化的推进平台、产业协作平台、国际推广平台，统筹布局、协同推进，形成了大兵团作战的新型创新体系，有力保障了专项目标和任务的实现，也培养了大批优秀人才，为今后移动通信事业的进一步发展奠定了坚实的基础。

2.2 先进制造领域

通过高档数控机床与基础制造装备科技重大专项的支持，我国高档数控机床和基础制造装备的创新发展能力逐步增强，工业基础支撑能力不断提升，满足了国民经济重点领域对制造装备的基本需求。中高档机床的水平得到持续提升，突破了高速切削、多轴联动加工等一批关键核心技术，主要产品设计制造水平稳步提高；高档数控机床主机平均故障间隔时间从 500 小时提高到 1600 小时，部分达到 2000 小时。龙门五轴机床、8 万吨模锻压力机等机床装备填补多项国内空白，45 种产品达到或接近国际先进水平，为核电、大飞机、探月工程等国家重大专项和一批国家重点工程提供了关键制造装备、航空航天、汽车、船舶、发电设备四大领域所需的高端机床装备品种满足度达到 87.8%。中档数控系统功能、性能逐步完善，国内市场占有率由 10% 提高到 59.3%；中高端机床功能部件市场占有率提高 4 倍，传动功能部件部分指标达到国际先进水平，其综合性能、动静刚度等一系列检测装备填补国内空白；航空及汽车领域专用刀具实现批量应用，使进口刀具降价 20%–50%。其中，汽车大型覆盖件自动冲压生产线国内市场占有率超过 80%，国际市场占有率约 40%。截至 2018 年年底，数控机床专项实施以来累计申请发明专利 4267 项，立项国家及行业标准 516 项，研发新产品、新技术 3041 项，新增产值超过 800 亿元，在行业研究机构、重点企业建设了 19 类创新能力平台，部署了百余条示范生产线，培养创新型人才 5500 多人。

3.11 科技促进产业高质量发展

主席总书记指出，创新是引领发展的第一动力，是建设现代化经济体系的战略支撑。以科技创新推动产业向高质量发展转变。加强国家创新体系建设，强化战略科技力量。围绕产业链部署创新链，加快科技成果转化，打通从科技强到产业强、经济强、国家强的新通道。

党的十八大以来，科技创新从过去以“跟跑”为主，逐步过渡到“跟跑、并跑、领跑”并存的历史新阶段，以科技创新驱动产业结构升级和战略性新兴产业创新发展为主线，围绕重点产业领域，聚焦重大核心关键技术，取得了一批创新型成果。

1. 人工智能

2017 年 7 月，国务院印发《新一代人工智能发展规划》，提出了面向 2030 年我国新一代人工智能发展的指导思想、战略目标、重点任务和保障措施，部署构筑我国人工智能发展的先发优势，加快建设创新型国家和世界科技强国。

主席总书记历来高度重视科技创新和人工智能发展，专门主持召开以人工智能为主体的第十九届中央政治局第九次集体学习会，并就推动人工智能和实体经济深度融合、促进人工智能健康发展等做出系列重要指示。

在相关部门、地方和社会各界的共同努力下，科技部启动实施了人工智能重大项目，强化人工智能基础理论和关键技术研究；推动人工智能学科建设，加大人才培养力度；建设自动驾驶、城市大脑、医疗影像、智能语音国家新一代人工智能开放创新平台；优化人工智能创新创业生态；布局人工智能创新发展试验区，促进人工智能与经济社会深度融合；搭建高端交流平台，开展人工智能学术研究、技术开发和伦理规范等方面的国际合作。

2. 新一代信息技术

加快新一代信息技术创新突破和融合应用，已经成为世界各国抢抓历史机遇、赢得发展主动的共同选择。随着移动通信、高性能计算等领域持续发力，新一代信息技术产业正日益成为我国经济社会建设的重要支柱。

2.1 高性能计算

我国研制的超级计算机以“神威”“天河”“曙光”等为代表。“神威 太湖之光”和“天河二号”从 2013 年起连续 10 次在世界超级计算机排行榜上排名第一，2018 年 12 月世界 500 强超级计算机榜单中，中国有 227 台超级计算机上榜，占全球的 45%。

我国逐步完善多级超级计算中心建设，建立了以天津、广州、长沙、深圳、济南、无锡超级计算中心为代表的国家超级计算中心，以各省市超级计算中心为代表的地区级超级计算中心，以各行业、科研院所、大学超级计算平台为代表的行业及超级计算中心。

国家高性能计算服务环境（中国国家网络，CNGrid）以 6 个国家超级计算中心共享互连为基础，19 个结点分布在全国 14 个城市和地区，聚合了 18 亿亿次 / 秒计算能力、7 亿亿字节存储能力、面向 10 多个领域的数百个共享基础软件，发展了按需定制的服务模式、按需付费的交易模式和按需调配的管理模式，服务了逾万名用户，完成了数千项重大计算任务，简化了超级计算机的使用，提高了计算资源利用效率，有效拓展和深化了超级计算机的应用，促进了行业的技术进步。

日前，超级计算机研发能力不断提升，继续支持与超级计算能力相适应的软件和应用，特别是国家重要领域的重大科学与工程计算任务，在科技计划中，软件和应用方向投入平稳增加，应用领域快速扩展，支撑了环境、制造、能源、材料、生物医药、科学发现等众多领域创新，超级计算已经成为领域 / 行业不可替代的能力提升重要手段。“神威·太湖之光”投入运行仅一年多时间，完成了 17 道全机（千万处理器核）规模的应用，其解决的均是世界上大规模的挑战性问题，其中 5 道程序获国际超级计算应用最高奖提名，“全球大气非静力云分辨模拟”更是为我国首次摘取该项大奖。

环境领域，海洋一所和清华大学共同研发的“高分辨率海浪模式软件”，实现了千万核规模的全球空间分辨率 2 公里海浪模式研究，可以上万倍提高我国海洋减灾防灾能力；“非线性大地震模拟工具软件”获得了唐山大地震发生过程的高分辨率精确模拟结果，对于科学家理解唐山大地震所造成的影响，并对未来地震预防预测等研究具有重要的借鉴意义；“全球气候模式的超级模拟软件”实现了全球范围对卡特琳娜台风整个生命周期的准确模拟；“天河二号”上构建的南海预报业务系统，7 分钟完成全南海 78 小时的海浪预报，14 分钟完成南海及周边地区 78 小时的风向和风力预报。

制造领域，中航工业第一飞机设计研究院成功研制了自主的空气动力学模拟软件 CCFD，支持了国产大型运输机 Y–20 的研制；中国商飞民用飞机机翼全尺寸气动外形优化设计应用获得的高精度计算结果，有力支撑了我国新型民用飞机的设计。飞行器研发方面，实现了“国产 C919 大飞机全工况全尺寸数值气动模拟“及”神舟飞船全尺寸跨流域回收控制模拟“。

能源领域，油气能源勘探核心国产软件 GeoEast 地震数据处理软件系统在国产超级计算机上运行，极大提升了勘探过程的投入产出比。中国科技大学“托卡马克高能逃逸电子相空间大规模采样”，已完成 921.6 万个采样点的计算，并得到相应的新的统计分布规律，为未来大聚变装置的构建提供了有效支持。

材料领域，中国科学院网路中心的“钛合金微结

构演化相场模拟”软件实现了千万核并行规模的相场模拟，并获得机器峰值40%性能，远高于普通软件5%的水平。其模拟钛合金材料中的微观组织演化，对于微观机制的揭示、材料性能的提升、航空航天用新型钛合金的设计和应用有重要作用，具有显著的经济效益和社会效益。

生物医药领域，华大基因利用“天河二号”将全基因组信息关联性分析计算时间从一年缩短到 3 小时；中国科学院上海药物研究所利用药物虚拟筛选成功进行了 SARS、禽流感、埃博拉、寨卡等大规模传染性疾病的药物储备研发，为国家疾病应急响应提供了技术储备和预选方案。

科学发展领域，利用超级计算能力协助构建了世界首个六星空间探测系统（中国的双星＋欧空局的四星）；伴随超级计算能力的提高，模拟规模从 300 亿粒子到 3 万亿粒子，再到 11.2 万亿粒子，计算宇宙学的水平明显提升，助推了人类对宇宙漫长演化进程的认知；我国与日本理化学研究所合作完成的高分辨率全土星环模拟，对土星结构形成的研究进一步深化，可能发展其中新的物理过程；“天河二号”上成功部署国际上规模最大和性能最高的射电望远镜阵列数据处理软件。

2.2 云计算和大数据

在软件定义的云计算基础理论方面，提出了云际计算模式的基础理论。项目当前已完成云服务器单节点验证系统，可提升 CPU 利用率 4 倍，将内存性能干扰从 78% 降低到 0.2%。提出了关键支撑技术 –– 标签化冯·诺伊曼体系结构，该技术的共享 LLC 标签优化方案已被华为海思下一款服务器芯片采用，在国际 RISC–V 开源社区上，创建了标签化 RISC–V 开源分支。

在云操作系统方面，研发团队完成了云操作系统分层 API 的定义工作，共定义 API324 个，其中的 69 个 API 作为云操作系统最小化内核 API 已给出参考实现。基于最小化内核 API，完成了与华为云、阿里云等典型云平台的对接。在云端融合方面，自然交互突破了一些核心关键设备的研发，构成了设备群，用于多通道自然人机交互。

在大数据处理方面，完成数据流执行引擎代码构建，实现分布式数据流执行引擎和参数服务器开发。在数据管理方面，率先提出多种面向子图匹配查询、路径查询的索引策略和查询优化方法；设计和实现了面向知识图谱应用的高效图数据库系统 gStore；已经申请近 10 项相关专利和软件著作权。在跨时空多源异构数据的融合、开放共享技术和平台方面，研发了大数据共享与交易平台原型系统，搭建并开通了天元大数据交易平台。

此外，习近平总书记指出，加强创新能力开放合作。要以全球视野谋划和推动科技创新，坚持融入全球科技创新网络，树立人类命运共同体意识。

党的十八大以来，我国致力于构建以合作共赢为核心的新型国际关系，对发达国家、新型经济体和发展中国家的政府间合作进行分类布局，有效加强多边科技合作，推进“一带一路”倡议，开创与沿线国家科技创新互联互通新局面，积极探索科技开放合作新模式、新路径、新体制、全方位融入全球创新网络，国际科技创新合作在国家整体外交战略中的地位日益凸显。

目前，我国已与 160 个国家和地区建立了科技合作关系，签订了 114 个政府科技合作协定，加入了 200 多个政府间国际科技创新合作组织。截至 2019 年，科技部驻外机构分布在亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、大洋洲和非洲的 53 个国家，共有 80 个驻外使领馆、团。我国广泛开展双边、多边合作，主动参与全球创新治理，打造全方位、多层次、宽领域的国际科技创新合作布局。

TECHNOLOGY DEVELOPMENT SITUATION

中国当前技术发展形势及中外对比分析：大考将临，科技为重

4.1 中国当前技术发展形势：改革开放以来中国科技水平有很大提高，现需加快创新驱动实现模式转变

改革开放以来，我国很好地抓住了第二次科技革命下技术扩散和产业转移的战略机遇，充分利用劳动力、土地、资源等方面的比较优势，通过有效的制度创新，使要素配置效率大大提升。在较短时间内走过发达国家几百年的工业化进程，成为世界第一制造大国和贸易大国，创造了经济持续高速增长的“中国奇迹”。

应该看到，以往中国经济发展采取了规模扩张为主导的粗放模式，不仅消耗了大量能源资源，带来严重的环境影响，而且在质量效益、结构优化和持续发展等方面，相较美国、德国、日本等制造强国仍有较大的提升空间。总体来看，中国制造在全球价值链上处于中低端地位。随着中国经济进入新常态，传统比较优势弱化，人口红利消退、综合成本上涨、土地等要素供给紧张、资源环境压力加大，导致实体经济领域出现产能严重过剩、企业库存增加、经济效益下降、亏损面扩大等问题和困难。现阶段，中国制造受到来自发达国家创新步伐加快、新兴产业群体性推进与发展中国家低成本竞争的双重挤压，迫切需要加快创新驱动，实现发展模式转变，形成发展的新动能。

客观地看，经过改革开放 40 多年的不断投入和持续积累，我国科技发展的整体水平有了很大提高，在一些前沿领域与发达国家几乎处于同一起跑线，基本具备同步竞争的能力。历史经验表明，每一轮颠覆

性创新爆发都是新产业集中孕育的时期，也是国际竞争格局剧烈变动的时期，但同时战略机遇的窗口稍纵即逝。目前，主要工业化国家在新兴技术领域的差距不明显，中国作为后发国家更容易“轻装上阵”，重点突破，实现对先发国家的赶超。

需要强调的是，制造业是实体经济的主体，是国民经济的支柱，更是实践创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念的主阵地。随着我国科技水平与世界先进水平差距逐步缩小，在迈向“制造强国”的征途上，传统意义上的“距离”正在消失，我们已经没有太多的现成经验和目标可以模仿或追赶。特别是能够影响未来的前沿科技和新兴产业中，发达国家对每一项重大研发和产业化成果势必实行严格的知识产权保护，相关领域的尖端技术、核心零部件和重大装备，我们是引不进、买不来的，只能依靠自主创新，加快角色转变，从追随者转变为同行者甚至是领跑者。

我们敏锐地观察到大数据、物联网、区块链、量子通信、人工智能、机器人、无人驾驶汽车等前沿科技所展现出的巨大产业化前景及其对未来国际竞争格局和市场规范将产生的不容忽视的影响。

新科技新产业的发展仍面临诸多不确定因素。一些重大科技方向由于种种原因（包括科学家自身原因，企业及科技体制机制等因素）被忽视，而另一些一度被视为前景广阔的科技项目最终被证实缺乏市场价值，这种情况在科技创新及其商业化历史中并不鲜见，因此导致政策制定者走一些弯路也在所难免。

新工业革命为发达国家“再工业化”和“重振实体经济”带来了新的机遇，但使发展中国家凭借低成本资源、环境和劳动力所获得的传统比较优势被进一步削弱。20 世纪后发展中国家普遍采用大量消耗资源、不计环境成本的赶超式战略，其实施效果必将受到抑制。

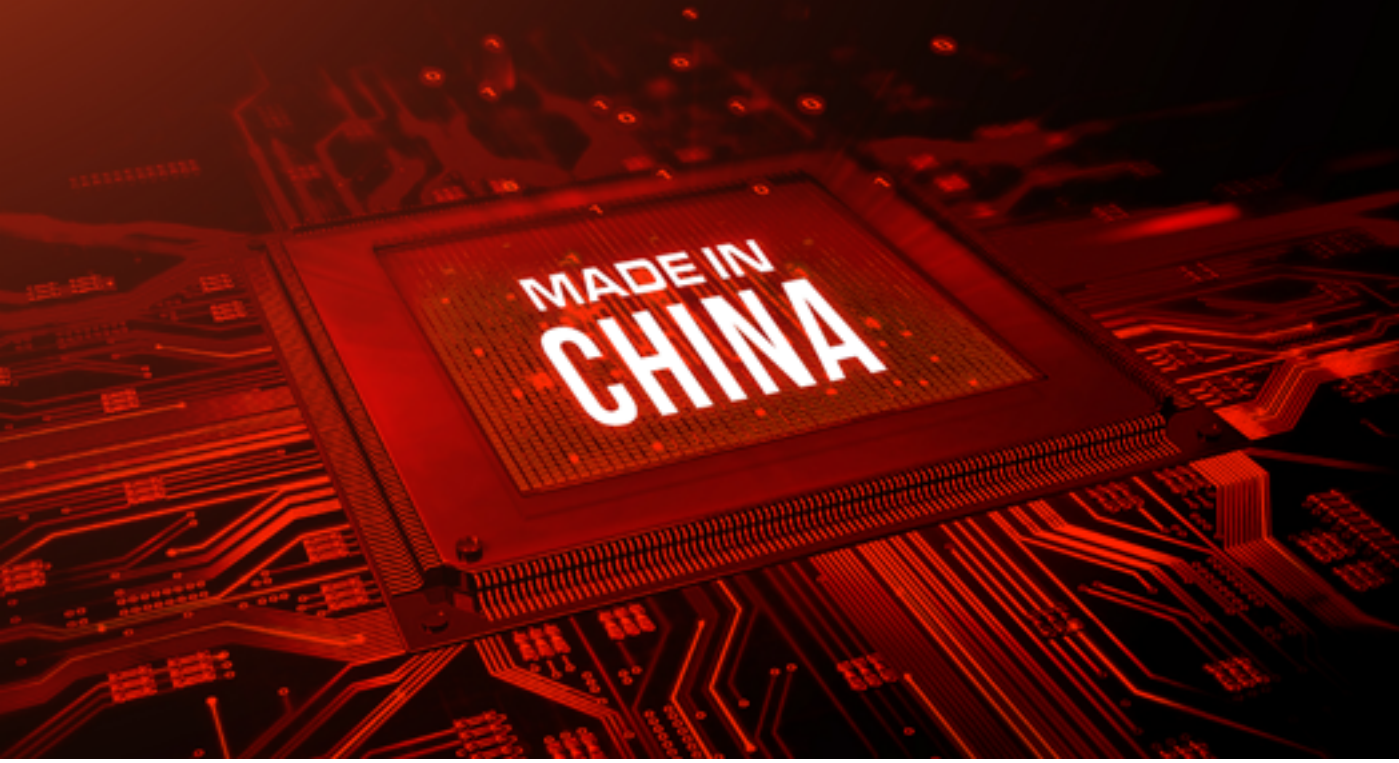
面对科技创新大潮和新工业革命的影响，对于中国现阶段的工业化而言，一个更为现实的命题是如何依靠转变发展方式，以自主创新和结构调整为主要抓手，加快产业升级，将中国实体经济推向精致化、高端化、信息化的可持续发展之路，从而以崭新的面貌迈向“制造强国”。

无论是前沿科技还是新兴产业领域，我们习惯于强调中国与发达国家之间的起点并没有太大差距，甚至是站在同一起跑线上。从某些层面考量，这的确是

事实。可是，即使同时出发，也并不意味着必然能够同步到达终点。而且说到创新，亦如熊彼特所喻：“不管把多少条驿路、马车或邮车连续相加，也绝不能得出一条铁路。”因此，虽不排除已经成为世界第二大经济体的中国在部分新兴领域与发达国家齐头并进，进而成为这些领域中世界领跑者的可能性，但是当科技创新与产业变革处于“纠缠”式、革命性的状态下，能否把握新科技、新产业、新市场的发展路径和范式，却是后发国家面临的又一次大考。

在此番大考中，改革开放 40 多年所积累的经验，未必能够一如既往地对要素配置效率产生吹糠见米、令人振奋的效果。顶层设计的前瞻性和引领性、制度创新的宽度和深度、体制机制的弹性和透明度、高端要素的供给，甚至文化的进取性、先进性和包容性，这些软硬实力的塑造显然需要动员全民、全要素投入，开启新一轮一往无前的改革创新。然而，在今天的中国社会，改革动员的难度和障碍有目共睹，这不仅挑战决策者的信心和智慧，更在很大程度上决定着中国未来的命运：是在工业化的中后期落入经济增长长期徘徊不前、收入分配矛盾持续激化的“中等收入陷阱”，还是能够以昂扬的姿态引领拥有 13 亿人口的大国迈入工业化、现代化强国，创造人类历史上无可复制的发展奇迹?

美国创新机制虽然难以复制，但提供了学习机会和跟随目标。在经济新常态下，中国政府制定并实施了《中国制造 2025》。这不仅是对工业 4.0 时代全球竞争的战略应对，更是借力“互联网 +”、智能制造、绿色制造加快推动中国迈上制造强国之路的大国宣言。就这一点而言，《中国制造 2025》更具战略高度和全局性、长远性，也是中国产业政策运用的一次新探索。然而，旗帜式、纲领性的战略影响力并不能掩盖《中国制造 2025》的视野局限性及其在产业政策改革方面的不到位。总体来看，《中国制造 2025》所提出的十大重点领域立足于既有优势，依托中国制造能够占据国际市场的强势领域，以装备制造等硬件设备和产品为主，更多地体现出中国制造以技术集成和终端产品为支撑的核心能力。这种思路对传统规划范式突破力度不够，重点领域选择的现实性、本土化较强，前瞻性、革命性偏弱，更多的是照顾到产业现有优势和市场需求，而缺少着眼于制造强国建设的先导性理念。同时，当前我国正在大力推动“大众创业、万众创新”，旨在为实



体经济转型升级提供新动力和新机制，并与美国新一轮创新创业在某种程度上形成战略呼应。2016 年 7 月，国务院发布《“十三五”国家科技创新规划》，提出在信息、制造、生物、新材料、能源等重点方向形成突破，加快部署一批能够改变科技、经济、社会、生态格局的颠覆性技术，此举战略‘盯住与赶超”的导向更为清晰。尽管现阶段创新的总体水平仍有差距，重点领域有所不同，但美国创新文化及其科技成果产业化的体制机制，为我国加快落实《中国制造 2025》和《“十三五”国家科技创新规划》，推动‘大众创业、万众创新”提供了有价值的借鉴和启示。应该看到，新常态下培育国际竞争新优势的前提是，要对中国能够具备什么样的核心能力做出更清醒、客观的判断，并据此导入更有利于核心能力建设的要素条件、制度环境和文化特质。而在以“大众创业”唤醒国民创新精神方面，软环境建设显得尤为重要。近年来，我国多地“创新工场”和“车库咖啡”如雨后春笋般涌现，甚至成为不少城市或高新区的‘新标配”。然而，照猫画虎式的借鉴，并不能学到美国科技创新及其成果转化机制和产业化模式的精髓，流于形式的投入方式造成了大量资源浪费。从机制建设的可操作性出发，在科技人才资源丰富的城市建设创业创新社区不仅要提供工作场所，同时要成为吸引天使投资人的平台，缩短创新成果和创业团队的育化周期，从而使社区逐步发育为充满内生活力的创新创业生态系统，形成可持续的高端要素凝聚能力、房价等消费成本攀升的自我消化能力。针对国内现阶段创业创新项目的退出成本高，影响创新者信心以及市场、投资方认可程度等一系列突出问题，要积极倡导鼓励创新、包容失败、肯定创业创新失败者的舆论氛围，形成开放包容、有中国特色的创新创业文化。

在中国，人们对科学技术的追求一直伴随着中国现代化的进程。近几年，科技更是成为全民关注的热点。当然，这与中国经济发展到了新的阶段有直接关联。2018 年，中国的人均 GDP（国内生产总值）达到近 1 万美元，**中国经济要想突破中等收入陷阱，实现可持续发展，只能靠创新，而创新离不开科技，这已经形成共识。这是当前全国出现科技热的经济逻辑。**

在加快科技创新步伐的同时我们也要注意到当前的全球科技趋势趋势演变。几大趋势分别如下：

1. 数据成为全球价值链上配置的重要资源

在大数据时代，谁掌握优质的数据资产，谁就更有可能成为全球价值链的主导者。一些学者将新工业革命下的“数据”比作工业化时代的石油，而实际上，数据对于企业和投资者的价值与农耕时代土地的属性更为接近。

2. 新兴产业全球价值链开启深度纵向整合

传统互联网公司不断向上游渗透，加入新型智能硬件设备和服务型制造等新兴领域的竞争，是发达国家产业发展的另一新趋势。随着苹果进军汽车领域，微软、谷歌、脸书等 ICT 和互联网公司布局新型智能硬件制造环节，一些掌握尖端技术的企业更加注重研发的内部化，以便将附加值最高的环节牢牢控制在企业内部。这些企业充分利用在下游收集的客户信息和消费者偏好，为市场带来“体验为王、大道至简”的新一代一体化产品，带动了行业的深度纵向整合。有别于 20 世纪 90 年代到 21 世纪前 10 年国际分工中产业内部企业之间链条式的分工深化以及由大规模外包支撑的网络状全球一体化分工体系，当今新产业的分工触角进一步向企业内部伸展。应该看到，现阶段新兴产业的全球价值链尚未发育完全，产业链延展及分工仍带有碎片化的局限性。因此，这种类似“合工”式的纵向整合，能否成为国际分工中不可逆转的态势，还仅仅是新兴产业全球竞争的阶段性表现，尚有待观察，但这一趋势对全球高端科技要素配置的影响不可忽视。在新工业革命下，中国依靠比较优势确立的制造业生产和出口规模优势有可能被进一步削弱，拉大在尖端领域与发达国家的差距。

3. 在工业 4.0 时代的国家竞争中，发达国家既是运动员又是裁判员

近年来，美、德、日三国相继推出了国家战略，积极布局新工业革命。对于美国而言，尽管一直有学者质疑美国复兴制造业的动机及其制造业回流的实际效果，但应该看到，即使美国部分制造业环节出现回流，但在中间产品和终端产品的制造环节，美国仍将在相当大的程度上倚仗海外供给。当我们一度把更多关注的目光投向 TPP，却大都忽略了早在 2012 年美国总统奥巴马就已签署的《全球供应链安全的国家战略》。这份纲领性文件将供应链安全列为美国的国家战略，进一步凸显出要素流动和商品服务交易的安全性、高效性对维护美国核心利益至关重要。德国的强势领域集中在高端装备、机器人等方面，主导工业 4.0 的意义在于掌控国际标准制定的话语权，进而从推广工业 4.0 范式和服务型制造中获得新的盈利点。

而对于日本来说，工业 4.0 时代的国际竞争形势同样加剧了其强烈的紧迫感，在新兴领域“不掉队”是其最低纲领。为此，日本确立了以机器人技术创新带动制造业、医疗、护理、农业、交通等领域结构变革的战略导向。在此基础上，日本政府于 2016 年正式提出“社会 5.0”（Society 5.0）的构想，强化官民互动机制，从而“最大限度地利用 ICT 技术，通过网络空间与物理（现实）空间的融合，以智能化的精准技术和服务营造更有活力和舒适度的日本，共享给人人带来富裕的‘智慧社会’”。社会 5.0 可以视为日本应对国内制造业空心化和人口老龄化，以及全球新工业革命共同挑战的一次有力的战略“二次创新”，其落脚在增进日本后工业化时期全民福利的目标导向颇具现代感和倡导力。值得注意的是，虽然

日本政府一再强调要缩小与美国、德国在应用软件开发等方面的差距，但产业界运用人工智能、物联网、大数据、云计算等手段改造生产流程、管理系统和商业模式，更多的是“自下而上”的自主行为，而且日本企业的创新活动，更倾向于围绕产业链延展和基于核心业务的深度开发。这说明日本产业政策已与传统形式渐行渐远，其作用方式不再是由政府指定优胜企业、选择技术路线，而是转向了以服务和支援为主的功能型措施。由此可见，尽管重点领域和政策工具存在差别，但工业强国的战略主旨都需要通过实施科技政策和产业政策，强化优势、弥补短板、全面参与，意在主导新科技、新产业的规则制定，从而打赢工业 4.0 时代的全球竞争之役。

4. 发展中国家深陷“数字鸿沟”和开放困境

在全球经济艰难复苏、增长乏力的局面下，不得不承认，发达国家与发展中国家在科技研发、产业创新、贸易规则重构等方面的差距有所拉大。以金砖国家为代表，21 世纪前 10 年一度活跃在国际分工体系中，成为拉动全球贸易增长重要力量的新兴经济体，相继陷入结构性减速与周期性放缓的叠加期。结构调整举步维艰、国内宏观经济风险增大，导致新兴经济体贸易和投资政策导向的利己主义与保护主义交织。不无遗憾地看到，与美国、欧盟推出实体经济转型发展的重大战略，以及高标准、高层级的新型区域贸易协定的深远布局相比，处于结构性减速与周期性放缓叠加期的新兴经济体，其对外开放部门普遍出现“开倒车”的迹象。国际金融危机爆发之初，印度、巴西、俄罗斯等新兴经济体相继收紧了各自的贸易政策，南非于 2012 年终止了与欧盟 13 国的双边投资协定，印度尼西亚则计划终止全部 67 项双边投资协定，拉美、非洲发展中国家不断爆出的债务违约、国际合作项目搁浅等问题为新兴市场的全球化进程蒙上了一层阴影。而在前沿科技和新兴产业领域，发展中国家的企业以资源禀赋和劳动力成本为核心的比较优势，在短期内很难找到对接新兴产业全球价值链的点位，新“数字鸿沟”将进一步挤压发展中国家企业参与全球价值链的空间。值得注意的是，对于填平数字鸿沟所需的资金投入，包括 BCG（波士顿咨询公司）等不少机构都持乐观态度，但要想建立一个真正“互联互通”的新世界，远不止对欠发达国家和地区数字基础设施“补短板”那么简单。数字技术的广泛应用可以将发展中国家基础设施项目的生命周期成本削减近 20% ，但理念冲突、制度对立、人才缺失仍在加剧创新的“折叠”效应。

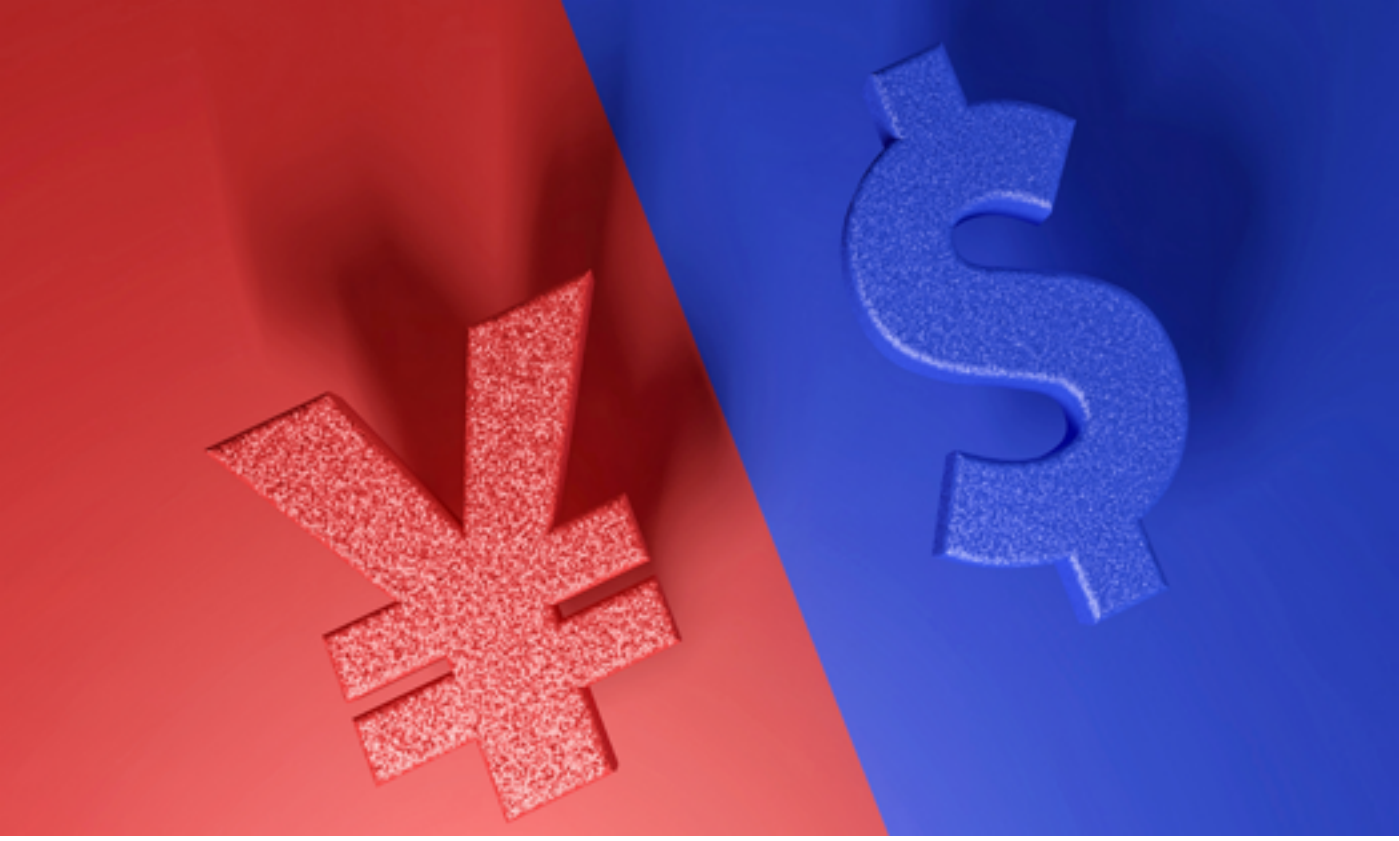
5. 艰难复苏的世界经济呼唤包容性全球价值链

面对后危机时期错综复杂的国际贸易和投资形势，现行 WTO 主导的多边贸易体制已经难以适应国际竞争格局的变化以及不同成员的多元化利益诉求。鉴于现行多边贸易体制的局限性，发达国家的实用主义再次占了上风。凭借其掌控全球治理制度性话语权的战略能力，美欧等发达国家推出了新型高标准、高层级的区域贸易协定，意图在未来全球治理中抢占先机。这些新兴区域一体化安排固然在议题设置、组织架构和决策机制优化等方面做出了一些积极尝试，吸纳了一些发展中成员加入，但由发达国家主推的新兴区域一体化平台不仅有可能放大 WTO 的碎片化风险，还为众多中小企业特别是发展中国家的企业参与 GVC（全球价值链）设置了更高的技术和法规门槛。这会直接

影响发展中国家融入国际分工体系的机会，进而对亚太等地区的区域价值链造成一定损害。

重振全球贸易和世界经济，是各国新的历史使命，呼唤更加开放、包容、协调的全球治理机制和规则体系。这对诞生于 2008 年国际金融危机最紧要关头的二十国集团（以下简称 G20）峰会机制提出了更高要求，也为其发挥影响力带来了新的机遇。在 G20 安塔利亚峰会上，成员国倡导“包容的全球价值链”，意在构建新型全球价值链治理体系。关于全球价值链包容性的界定，现阶段仍存在争议，而对包容性的测度，则至今鲜有被学术界和各国政策制定部门广泛接受的重要成果。

未来全球价值链的包容性至少应体现在以下三个方面：一是从微观主体层面来看，包容、协调的全球价值链要能够为不同国家和地区、不同规模、不同技术水平、不同所有制结构的企业，特别是中小企业和青年创业者，提供接入全球价值链的公平而开放的通道，为其扫除开展贸易和投资、跨越新数字鸿沟，进而升级到价值链更高环节的技术壁垒和各种障碍，营造公平竞争、信息畅通的价值链微观生态，并能够充分保障后发国家的企业获得合理分工收益，实现全球价值链治理地位提升的机会。二是从产业层面来看，需要推行更加开放、包容的理念。全球价值链的包容性绝不应仅体现在对传统产业和中小企业的包容，而是既要理解新兴产业全球价值链生成、改进和优化的客观规律，尊重并保护新兴领域领军企业研发、创新的成果，又要为传统产业全球价值链的绿色化、智能化转型发展创造有利条件，打造能够提供多样化就业岗位、共融共生的全球产业生态。三是从全球价值链宏观治理和规则体系层面来看，要坚定支持、维护以 WTO 为核心的多边贸易体制，反对、抵制一切形式的贸易保护主义和投资歧视；加强政策协调和能力建设，完善 WTO、G20 等全球经济治理平台，激发世界各国制度创新的主动性，广泛接纳不同国家和地区为重塑包容、协调的全球价值链所做的建设性努力。



4.2 中外对比分析：美国仍是科技霸主，中国正重点突破、全力赶超

1. 美国的制造复兴

1950 年，美国制造业占全球制造业的比重为 40%，美国制造业占国内生产总值的比重高达 30% 以上。1979 年，美国制造业的就业人数占总就业人数的比重接近 30%。1980 年，美国制造业增加值占国内生产总值的比重为 20.5%，离岸外包的“去工业化进程”使该比重每年下降，到 2008 年萎缩至 12.3%。2009—2015 年的均值为 12.2%。2016 年，再次下降到 11.7%。同时，美国制造业的就业人数占总就业人数的比重也只有 9%。

虽然美国制造业占国内生产总值的比重甚至低于房地产业，但制造业在总研发开支中占了大约三分之二，也是提交专利最多的一个行业。这证明，制造业有着改善更广泛经济的知识溢出效应。从奥巴马政府开始，美国将重点放在制造技术的进步上。美国政府力争成为下一次全球制造业革命的机器生产者。奥巴马政府提出了一系列加快先进制造业的措施，重点保护与美国技术创造力密切相关、涉及尖端技术或产品的制造业。具体包括增加 19% 的研发开支；一揽子减税；以及创建 15 个国家机构，旨在 3D 打印和纳米技术等领域开发制造技术。并且，为电池、计算机、航空航天和机器人等先进技术领域的 200 万名工人提供职业培训。

美国在大数据分析和纳米技术等许多先进技术方面拥有优势，所有这些都可以在创造新制造工艺（而不仅是产品）方面发挥重要作用。信息技术、3D 打印和互联网进一步发展将吸引全球资本，重组制造业，也将帮助这些生产机器的来源地—美国，与竞争对手抗衡。当然，美国在航空航天、信息技术和制药领域继续处于领先地位，也仍然在农业领域（如农业机械、农用化学品和转基因种子）具有

强大竞争力，并重点推动着生物医疗的研发方向。不同的新兴行业创新能力之间交流融合（如从医药转向种子发展的生物技术）还帮助美国进一步获得了跨行业的创新能力。至今，仍然依赖较低劳动力成本的制造业工序没有从低工资国家回流，组装 500 万部 iPhone 这件事情还只能在中国完成。但美国不会放弃以技术创新重建制造业基础的努力，其成败也将是决定未来智能制造和更广泛意义上技术与创新能力流向的主要因素之一。

19 世纪末，美国取代英国成为世界科技和产业革命中心。一百多年来，美国一直是全球科技创新最活跃的国家，也是科技成果转化效率最高的国家。创新创业的巨大活力及丰硕成果共同构筑了美国可持续的国家核心竞争力，确保其始终占据新科技、新产业的制高点。在新工业革命下，如果说是德国率先提出工业 4.0 的构想，并致力于主导工业 4.0 时代的标准体系等制度性话语权，那么美国则是始终站立科技创新潮头，源源不断地为新工业革命输送原创成果。这些新科技几乎无一例外地带有鲜明的颠覆性特征，而更为值得高度关注的是，美国优异的创新机制和完善的市场经济对于新科技及其商业化所造成的“破坏”，通常能够较好地包容、消化，在这方面集中彰显了其超级大国的真实力。此般真实力所铸就的美国科技霸主地位在未来 20~30 年虽然会受到更多挑战，但难以从根本上被撼动和全面超越，少数几个追赶者对这种局面心知肚明。

美国创新活动始终紧跟科技发展和市场需求变化的步伐，不断推陈出新。近年来，美国创新创业进入所谓的“新硬件时代”，热点领域开始转向以物联网、大数据、云计算为支撑的新硬件设备及相关服务，主要集中在三大领域：一是基于传统互联网技术的延伸和拓展，包括移动互联、TMT（Technology、Media、Telecom，数字新媒体）、移动支付、O2O 平台等。二是智能硬件。从新型可穿戴设备到机器人、智能电视、智能家居、无人驾驶汽车、医疗健康、智能玩具等。智能硬件不仅成为美国创新创业最热的领域，而且越来越多的技术和产品正在加快产业化，其中一些智能装备如多轴无人机、四足机器人（Big Dog）等用于美军的装备升级。三是生物（医疗）科技。需要强调的是，这三大创新创业领域实际上在技术和硬件层面兼容互通，关键技术都是大数据等超强计算功能以及高性能传感器等智能硬件，集中体现了美国新一轮依托互联网的硬件技术研发的群体性突破。与此同时，由于这三大领域与应用层面结合得甚是紧密，使产业化周期大大缩短，所以带动商业模式重构和消费升级的作用更为显著。

2. 中美对比分析

在“美国衰退论”中，中国科技的崛起似乎是一个重要刺激，那么中国科技现在究竟发展如何，有哪些动力和阻力呢?

首先，中美两国科技人员规模自 1982 年至 2010 年均在上升，但截至 2010 年科技人员在中国劳动力总人口中的比例还是远远低于美国。从科学家的职业收入回报来看，2006 年前后，中国科学家相较社会学家、医生、律师和工程师四类职业的收入比，总体而言高于美国科学家相对于这四类职业的收入比。这意味着，在中国成为科学家的收入回报要高于美国。从理工科学位的授予来看，中国授予的理工科学士学位和博士学位数量早已超过美国。如果将中美两国的人口规模纳入考虑，在 2014 年两国理工科专业毕业人数占总人口的比例大致相当。

另外，在《麻省理工科技评论》杂志所列榜单

关于国家分布这一维度上可以看出，美国的公司每年都占据榜单的大半，不过优势正在放缓，从名额的 80% 下降到 60%。总体来说，榜单中的国家组成多样性正在增加。中国公司的数量也在显著增加，从 2013 年的 2 家到 2017 年的 9 家。入选的中国公司既包括百度、阿里巴巴、腾讯、华为这样的巨头，也包括小米这样的大型未上市公司，还包括滴滴出行、旷视科技、大疆等初创企业。值得注意的是，中国的技术企业没有在人工智能浪潮中落后。2013—2017 年，中国公司 25 次入选 TR50 榜单，其中 23 次入选公司开展的业务都和人工智能有关。在这些公司中，百度、腾讯、蚂蚁金服、滴滴出行等公司已经公开宣布要重仓支持人工智能技术，而大疆、旷视科技等初创公司则以开发人工智能技术作为主营业务。

在这个榜单上美国公司一直都占据着最高的比例，显示着美国依然是世界科技创新的“领头羊”。但是中国科技公司上榜的数量在逐年增加，在之前的 2017 榜单上中国科技公司占据了 20% 的比例，彰显了中国在创新科技上的崛起并得到了世界的承认。不过值得注意的是，在生物医学、能源材料和计算机与通信这三大类的高科技领域，前两类的中国公司极少，仅有华大基因和汉能分别在 2013 年和 2014 年入选。这说明在这两个领域，中国的高科技公司还有很长的路要走。而在人工智能领域，入选的大都为应用和软件类公司，没有硬件类公司。最近两年，中国的人工智能芯片初创公司成长速度很快，比如深鉴、寒武纪、地平线、比特大陆等。

另一个值得注意的趋势是，中国公司在人工智能领域开始取得资本等生产要素的优势。一项统计表明，全球人工智能领域的专利数量在 2011 年后爆发增长，到 2016 年复合增长率达到 33.2%，其中美国以 51.92% 的增速领先，中国为 34.24%。在最热门的人工智能技术——机器学习领域，全球在 10 年里有超过 4 万个专利形成（2016 年一年的申请数量就有 22774 个），美国和中国的专利数量相加超过了一半，分别是 32% 和 23%，排在第三位的日本的专利数量不到中国的一半。从 2014 年开始，中国在机器学习领域每年增加的专利数量连续超过了美国。在实现人机以自然语言交互的自然语言处理领域，全球专利数量为 5.6 万个左右，美国占 26%，处于领先地位，中国占 14%。在从图像、视频数据中捕捉特定信息的计算机视觉领域，全球专利数量为 1.5 万个左右，中国占 55%，远远超过美国。例如，2017 年，全球在人工智能领域的投资有 152 亿美元，其中中国企业所获得的投资额以 48% 的占比占据第一（美国企业占 38%）。而 2016 年，中国企业所获得投资仅占全球人工智能总投资的不到 12%。Broad 研究所所长 Eric Lander 认为，美国在人工智能领域的优势只比中国领先半年。在人工智能与机器人结合的领域，中美企业各有所长。而中国制造业转型的迫切需求也令更多人工智能公司瞄准了中国市场。2017 年 12 月 15 日，吴恩达通过博客平台 Medium 发表一篇文章的使命是从制造业开始，帮助企业在人工智能时代实现转型。吴恩达这次的创业目标是让人工智能技术更快落地产生价值。

近几十年来，中国经济的奇迹可以直接归因于制造业。不过，从中国政府到企业，都希望在制造业经验积累和资本沉淀的基础上变得更“聪明”。在中国，大约有 1 亿人从事制造业工作（在美国，这个数字是大约 1200 万），制造业为国家贡献了大约 36% 的国内生产总值（GDP）。在最近几十年，各个制造业中心围绕长三角、北京以外的渤海湾和南方的珠三角展开。几百万名低技能工人离开家乡，来到这些巨型工厂，生产各种各样的产品——从袜子到服务器。在

1990 年，中国制造的产品只占全球制造业的 3%，今天，中国制造的产品几乎占全球的四分之一，包括全球 80% 的空调、71% 的移动电话和 60% 的鞋子。

近几年，中国的制造引擎开始放慢脚步。自 2001 年起，人工费用以每年 12% 的速度高速增长。在中国，劳动力已经不像过去那么廉价了，尤其是与亚洲其他快速成长的制造中心比较。在越南、泰国和印度尼西亚的工厂，工资可能比位于中国城市的工厂的三分之一还低。

正如中国制造业的爆发喂饱了全球经济，中国制造业趋向紧缩的前景让全球金融市场紧张。对代工巨人—中国来说，技术创新是接棒廉价劳动力的必然选择。

机器人代替人类工人不是想象中那么容易。大部分工业机器人都需要经过大量编程，要它们好好完成工作，那必须要求每一样东西都按部就班、不出意外。但是，工厂中的很多看似简单的生产工作都要求灵巧度、灵活性和人类工人具备的常识。举个例子，如果流水线上出现一个摆放角度歪斜的盒子，工人在贴标签时需要调整手的角度；几小时后，同一个工人可能在另一种盒子上贴另一种标签；第二天，这名工人可能转移去生产线上完全不相关的另一个岗位工作。

虽然挑战巨大，中国无数的制造商正在计划以前所未有的规模用机器人和自动化改变生产流程。从某种意义来说，他们别无选择。如果中国可以用机器人和其他先进技术来改造从未有过自动化的生产类型，可能将中国从世界工厂变为高科技创新中心。中国已经进口了大量工业机器人，但就机器人与工人比例方面，中国还落后于其他制造业大国。2016 年，韩国每一万名工人就有 478 个机器人；在日本，这个数字是 315；在德国，这个数字是 292；在美国，这个数字是 164。而在中国，这个数字只有 36。中国政府非常积极改变现状。2016 年 3 月公布的新“五年规划”将为制造业拨款用于技术升级，包括先进的机械和机器人。政府还计划在全国建造几十个创新中心，展示先进的制造技术。

3. 世界主要发达国家技术发展趋势概览

3.1 技术商业化在分布上并不平衡

世界是平的吗？或者说，正在越来越扁平化吗？人们在任何地方得到的机会是均等的吗？

“全球 50 大最聪明公司”榜单透露的信息：不是。既然企业的“聪明”程度不一，那么国家、地区、城市的“聪明”程度也有很大差异。从“全球 50 大最聪明公司”的分布，可以大致看出技术创新的商业化如何映射在地理特征上。虽然大部分“聪明”公司是跨国企业，但它们总部的所在地仍然会得到更多创新和知识的溢出，得到更多“聪明”资本和高薪就业机会。

以 2015 年、2016 年为例：美国企业 69 次上榜。其中以硅谷为中心的加利福尼亚州的企业有 35 次，以波士顿为中心的马萨诸塞州的企业有 10 次。这两个地区的企业的上榜次数超过美国之外任何一个国家。以纽约为中心的纽约州的企业有 6 次，以西雅图为中心的华盛顿州的企业有 5 次，超过除美国、中国之外的任何一个国家。

中国企业上榜 9 次，超过美国之外的任何一个国家。欧洲企业上榜 13 次。除中国外的亚洲企业上榜 8 次。非洲企业上榜 1 次。

亚洲的日本企业、欧洲的英国企业以及德国企业各上榜 4 次，亚洲的以色列企业上榜 3 次。

显然，世界在某些方面因为互联网和科技进步而趋向扁平，在另外一些方面则因为技术商业化在分布上的不平衡而变得更陡峭。所有国家或地区的政府、资本、企业，甚至个人，最担心的就是被边缘化，成为不平世界中的谷底。

3.2 欧洲的高科技产业

很多国家有再创硅谷的尝试。值得一看的是西欧，它曾经一度在大学、移民和资本方面引领世界。法国在其南部创建了索菲亚 – 安提波利斯科技园；德国南部的慕尼黑大都会地区已经变成了又一个高科技中心。德国政府并没有刻意规划一个硅谷。是国防工业将先进制造带到此地，其方式同国防工业提携了硅

谷的高科技产业没有太大的不同。先进制造业导致了宝马等公司的成功，把巴伐利亚州的基本上是农村的社区转型成为高科技中心。 迄今为止，欧洲主要的成功故事都来自以下地区：海德堡 (SAP)、剑桥 (ARM) 和奥卢 (诺基亚)。欧洲地区最接近硅谷的地方 (虽然规模小了许多) 是芬兰北部的奥卢，21 世纪以来，那里诞生了上千家初创公司，大多数都从事无线技术，但是也有公司从事生物技术、清洁技术和纳米技术的应用与开发。实际上，以色列是全世界人均风险资本数量最高的国家 (2010 年为 170 美元，而美国为 75 美元)。以色列的初创公司集中在军工、通信、农业和水处理技术，这些对于该国的生存至关重要。许多这些初创公司被硅谷的公司收购。这些初创公司没有一家成长为国际性企业。

3.3 亚洲的高科技产业

在 20 世纪的后半段，在改变了数十亿人日常生活的大规模创新方面，日本是惟一可与美国竞争的国家。日本的发明者发明了晶体管收音机 (1954 年)、石英手表 (1967 年)、掌上计算器 (1970 年)、彩色复印机 (1973 年)、便携式音乐播放器 (1979 年)、激光唱片 (1982 年)、磁带录像机 (1982 年)、数字频率合成器 (1983 年)、第三代视频游戏机 (1983 年)、数码相机 (1988 年)、等离子电视机 (1992 年)、DVD 播放器 (1996 年)、混合动力汽车 (1997 年)，移动互联网 (1999 年)、蓝光影碟 (2003 年)，以及激光电视机 (2008 年)。然而，日本的创新大多是来自很老的财团：三菱 (1870 年)、精工 (1881 年)、雅马哈 (1887 年)、任天堂 (1889 年)、富士通 (1934 年)、佳能 (1937 年)、丰田 (1937 年)、索尼 (1946 年)、NTT (1952 年) 等。除了主要致力于流行文化的东京的媒体中心，在日本没有可以与硅谷相比的重要产业集群。东京的“高科技”区域就是传统的工业中心，它们都是围绕着大公司发展起来的。比如，爱知县就是丰田公司的主要工厂和许多丰田供应商的所在地，还有广岛、仙台、米泽等。后来，由于大学集群 (九州大学、九州工业大学、北九州大学、系统与信息技术研究所) 的缘故，类似硅谷的地区出现在遥远的南日本的福冈 (九州岛)，大多为半导体行业。

韩国遵循着一条相似的路径走向高科技创新。犹如日本一样，它主要依靠像三星这样的大公司。韩国的市场环境对外国公司不太友善，而且大学和产业之间没有什么互动，教授们更像是政府官员，而不像是创意的孵化者，或是创业者的教练。韩国也有两个地区看起来有点像硅谷。1973 年，韩国在首尔南面的大德建立了韩国先进科学技术研究院。这个地区开始吸引研发实验室，最终产生了初创公司。因此，此地后来被称为“大德谷”，正式名称是大德科学城。软件产业则聚集在首尔的德黑兰路 (在江南站和三成站之间)，俗称“德黑兰谷”，绵延三公里。此地在网络公司热期间得到了韩国风险投资的很大部分。

在加工工艺方面，中国台湾地区是真正的赢家。1973 年，中国台湾地区成立了所谓的工业技术研究院，开发可以变成出口商品的技术。工业技术研究院催生了几十家半导体企业，最开始是 1980 年的联华电子公司，到 1987 年的台积电，然后是新竹科学工业园区。新竹科学工业园区成立于 1980 年，距台北约 88 公里，邻近有四所大学。20 年来，这些大学的毕业生们创办了 100 多家公司。中国台湾地区也是亚洲风险投资业的起飞之地，同时也是第一个实现了大学和企业研发工作之间的正向反馈的地方，这是典型的波士顿和硅谷之间的互动。台积电推出了独立的硅芯片代工企业，把中国台湾地区变为硅谷芯片制造外包的主要目的地，这反过来又

有助于创造一个充满活力的芯片设计行业，其中著名的公司有联发科、联咏等。

日本、韩国和中国都没有像硅谷一样从其他地方吸引高学历的移民。亚洲惟一这么做的国家是新加坡。这不是一个巧合，新加坡也是在吸引外资企业及其技术诀窍方面投入最多的国家。新加坡也培育了一个先进的风险投资行业，并促进了大学和私营企业之间的互动。然而，这些国家没能像硅谷一样建立一个充满活力的软件产业。

近年来，发达国家对科技创新和实体经济结构转型新一轮密集投入的效果已初步显现，科技界波澜不惊的形势似乎正在发生令人惊喜的变化。大数据、深度学习、工业物联网、虚拟现实 / 增强现实（VR/AR）、可穿戴设备、3D 打印、无人驾驶汽车、石墨烯、基因测序（精准医疗）、量子通信、高端机器人、云服务等一批前沿科技成果纷纷走出实验室，相继步入产业化阶段。同时，不仅由颠覆性技术支撑的新产业层见叠出，而且科技改变产业形态和要素组织方式的趋势也日益明朗。

应该看到，在人类永无止境的创新激励下，实体经济领域革命性变革的一般规律在初露峥嵘的所谓“新工业革命”中再一次被验证。在上述标志性前沿技术的支撑下，全球化、个性化制造方式将取代大规模生产和大规模定制模式，成为新工业革命的主流生产范式。同时，产业融合不断深化，制造业服务化、智能化、绿色化趋势日益明朗。面对 21 世纪以来能源和矿产资源领域的激烈竞争，技术和组织变革带动的新兴制造模式和商业模式又一次强有力地宣示了人类以创新突破资源桎梏的能力，以及工业领域自我调整、自我发展的内在机制。可以预见，未来的智能工厂，在更加“柔软”、开放、多元、低碳的制造网络中，个体和小微企业的创造力和活力将得以更充分地彰显和释放。“工业革命独一无二的特点，也就是说其可持续性……”从这一角度来看，新工业革命有可能成为工业文明进一步升华的有利契机。

参考资料：

1.《技术的本质》，布莱恩·阿瑟

2.《科技想要什么》，凯文·凯利

3.《中国科技发展七十年》，中国人民共和国科学技术部

4.《破局与变革：中国科技的升级之路》，饶毅、刘亚东

5.《新基建：全球大变局下的中国经济新引擎》，任泽平、马家进、连一席

6.《麻省理工科技创新》，麻省理工科技评论

7.《科技前哨》，王煜全

8.《2019 中国硬科技发展白皮书》，中国科学院

第二部分

技术篇
TECHNICAL SECTION

ARTIFICIAL INTELLIGENCE

人工智能行业研究报告

2020 年，人工智能走到了新的“分水岭”，第三次浪潮似乎陷入低谷，人工智能下一个十年将如何发力？如何才能更上一层楼？如何推动 AI 技术在医疗、交通等领域的落地应用？如何构建 AI 基础设置、规范 AI 伦理，这些都是当前人工智能领域亟待解决的问题。本文将在梳理 AI 关键技术演变过程的基础上，系统研判 AI 技术如何驱动社会变革、观察 AI 技术如何赋能现有行业产生新的商业价值，并探讨未来的技术发展及产业演变趋势，为人工智能产业进一步扩展应用场景、释放社会价值提供智力支撑和参考依据。

InfoQ 研究发现：

1. 第三次浪潮并未终结：

人工智能产业由算法、算力、数据分阶段轮流驱动实现飞轮式发展，如今我们演进到“数据为王”的时代，无论是高级别应用遇到瓶颈、亦或资本的泡沫也渐次褪去，都并不意味着第三次浪潮的终结，人工智能的战略、前瞻意义将持续显现。

2. 数据开始发挥真正价值：

数据资源开始真正作为生产资料推动产业加速变革，进入人工智能时代，深度学习等算法依托数据资源形成闭环反馈，实现自主学习、认知和判断能力。大数据的“喂养”使得人工智能系统在应用层面具备了快速颠覆先发技术优势的可能。

3.AI 芯片演变新格局：

传统龙头芯片厂商、互联网生态的建立者、新的参与者将发挥各自优势充分竞争，AI 芯片市场空间将进一步扩大，进一步赋能深度学习的上游训练端和下游推理端。

4. 开源框架之争将进一步升级：

深度学习开源框架对移动场景的支持将进一步加强，伴随软硬件的结合、开源模式的创新、以及云计算的兴起，开源框架带来的网络效应将发挥更直接的商业价值。

5. 人工智能终将走向普惠赋能：

站在新的时代关卡，人工智能技术将作为新的技术手段成为新一轮产业变革的核心驱动力，进一步释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量，重构生产、分配、交换、消费等经济活动各环节，形成从宏观到微观各领域的智能化新需求，催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式。

一、产业概述

【1】人工智能 60 年

1.1 人工智能概念界定

人工智能的本质是获取知识、使用知识达到目的的通用能力，旨在使机器具备人类智能的素质，并在某些领域超越人类的能力。广义的人工智能指利用数字计算机或数字计算控制的，用于模拟、延伸和扩展人的智能，感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。

过去 10 年，深度学习技术的大爆发引领了人工智能的新一轮高速发展，在图像、语音识别，以及自动驾驶、智能制造等多个领域取得了巨大成就。深度学习作为计算机科学和认知科学的交集，是当前人工智能最接近应用场景的学派分支。从根本上来说，深度学习是一种基于仿生学的“联结主义”方法，即利用人工神经元（感知器）组成的神经网络模拟人脑结构和功能，通过关联驱动的方式在大量的数据中进行拟合从而总结出规律的技术和方法。

图 基于神经网络的人工智能

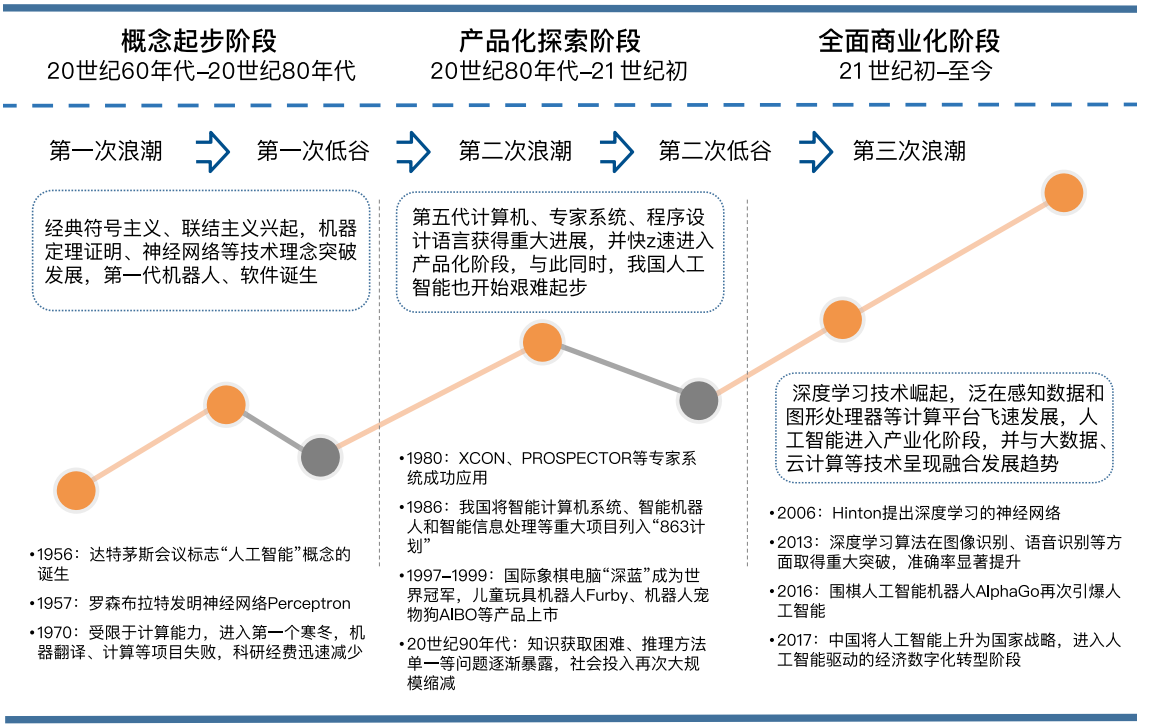


图 人工智能产业发展阶段

1.2 经历三起两落

人工智能产业历经 60 余年发展，经历三次发展高潮、并先后两次陷入低谷，可大致划分为 20 世纪 60 年代 –20 世纪 80 年代、20 世纪 80 年代 –21 世纪初、以及 21 世纪初至今三个阶段。

概念起步阶段（20 世纪 60 年代起 – 至 20 世纪 80 年代）：经典符号主义、联结主义开始兴起，一方面，机器定理证明作为经典符号主义的代表，在哲学、计算等方面被快速证明存在相当局限；而代表联结主义的“感知器”模型作为第一个用算法来精确定义的神经网络，虽在日后成为众多神经网络模型的始祖，但受限于当时计算能力低下，在此后十余年间难有突破性进展，第一次人工智能浪潮也迅速进入低谷。

产品化探索阶段（20 世纪 80 年代 –21 世纪初）：进入 20 世纪 80 年代，人工智能的另一大分支——专家系统（也称非机器学习）迅速从理论突破走向实践应用，在医疗、化学、地质等领域相继获得成功。与此同时，支持向量机、反向传播算法作为机器学习的重要学派，在图像和语音识别领域的准确率获得大幅提升。此外，第五代计算机、程序软件等相关技术快速迭代，共同推动人工智能走进应用发展的新时代。但伴随专家系统知识获取困难、推理方法单一等问题逐渐成为共识，专家系统的技术路线被证伪，神经网络算法也因“过渡拟合”等问题陷入停滞，第二次人工智能浪潮再次走向低谷。

产业化应用阶段（21 世纪初 – 至今）：第三次浪潮起源于神经网络算法的大爆发，尤其

2012 年以来多层神经网络的突破，使得基于反向传播算法的深度学习有了质的飞跃，GPU、ASIC、DSP 等关键器件实现运算能力的大幅提升，海量数据的产生也为人工智能提供了可落地的商业模式基础，随着产业布局和生态建设的逐步完善，美国、中国等优势国家呈现爆发式增长态势。目前，人工智能技术开始扮演基础性、关键性和前沿性的核心角色，IBM、Facebook、百度等巨头纷纷大力布局人工智能，相关技术开始逐步占据医疗、金融、保险、新闻等产业的核心地位，并且不断渗入人们的日常生活。

总体来说，当前我们仍处于“弱人工智能”阶段，即利用现有智能化技术，改善我们经济社会发展所需要的一些技术条件和应用功能。“强人工智能”阶段将接近于人的智能，这需要脑科学等一系列的突破，学界普遍认为在 2050 年前后将进入这一阶段。“超级人工智能”指脑科学和类脑智能成熟后，使人工智能成为一个超强的智能系统，从技术发展看，从脑科学突破角度发展人工智能，目前还存在相当局限性。

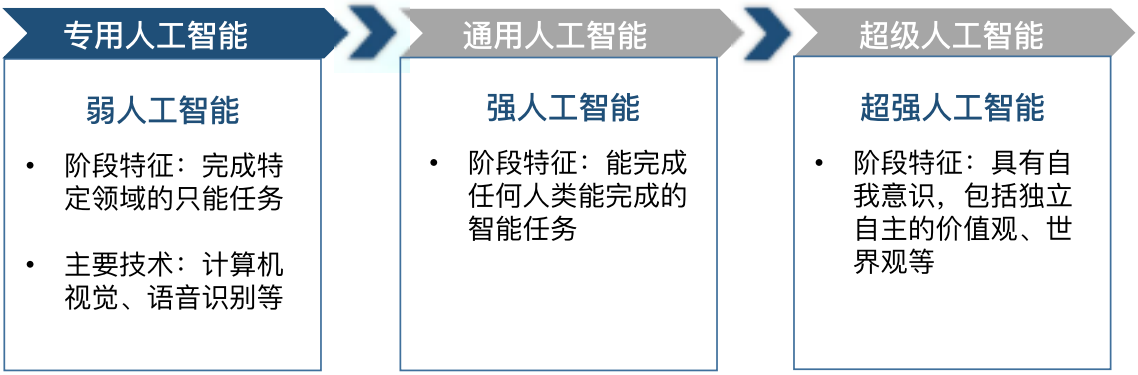


图 人工智能发展阶段路线图

【2】驱动产业发展的三个关键要素

人工智能作为在计算机科学、脑科学、语言学等多学科交叉融合基础上发展而来的新兴产业，科技变革将始终是驱动产业发展的核心要素。纵观发展历史，从服务器、互联网进入移动 / 云时代，以及展望即将到来的人工智能时代，半导体芯片、存储设备、系统软件等核心技术的更迭演变驱动人工交互方式、计算方式发生根本性变革，其带来的衍生赛道逐渐丰富、商业模式也日渐多样。与此同时，数据资源开始真正作为生产资料推动产业加速变革，进入人工智能时代，深度学习等算法依托数据资源形成闭环反馈，实现自主学习、认知和判断能力。在此基础上，人工智能技术的基础设施属性充分显现，全面深入赋能智能制造、自动驾驶、智能安防、智能家居等生产生活场景，产业生态的逐步完善促

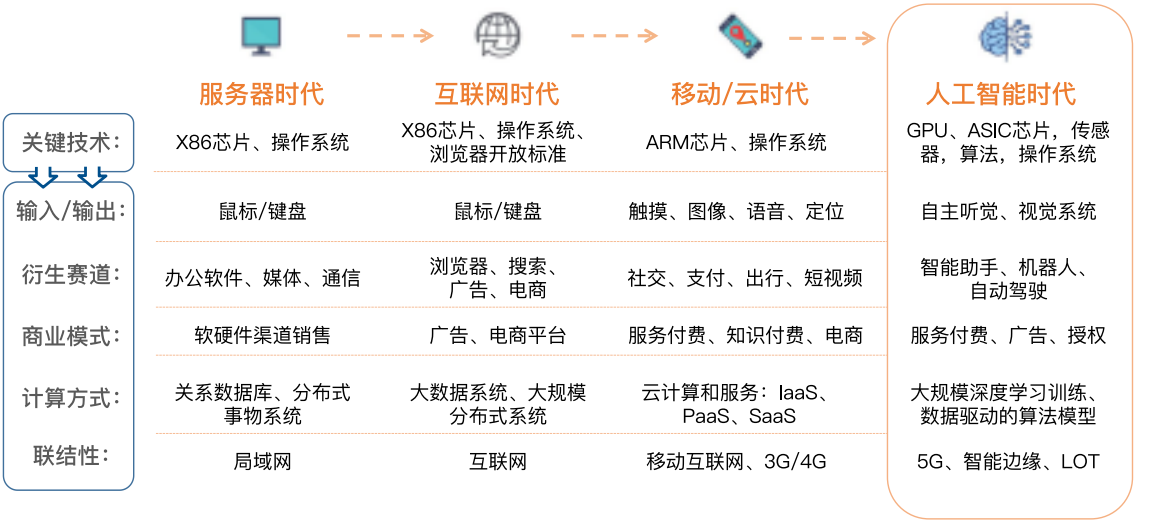


图 人工智能各发展阶段技术特征对比

成了更大范围的融合创新以及价值实现，将有力推动人工智能产业发展进入新阶段。

2.1 算法和算力是产业发展的核心驱动力

深度学习算法的突破和算力的提升是人工智能产业腾飞的起源和开端。具体来说，深度学习通过模拟人脑的电信号传递过程，重现了人类层次化的组织概念、以及由简至繁分层抽象的认知，利用算法从海量数据中自动提取隐蔽的相关性，特别适合产生大量数据且相关性隐蔽的生产和生命过程，如在人脸识别、语音识别、医疗诊断等场景中，基于卷积神经网络、循环神经网络等构建的反向传播、随机梯度下降等算法是实现上述应用的基本模型。另一方面，算力被形容为支撑人工智能走向应用的“发动机”，芯片将延续从服务器时代到移动 / 云时代的产业链核心环节地位，由于基于冯·诺依曼体系结构的 X86、ARM 架构由于“内存墙”等问题无法满足人工智能时代的计算效益需求，GPU、ASIC 芯片的飞速发展带来的算力提升为人工智能崛起提供了重要支撑。此外，激光雷达、光学传感器等各类高性能传感器作为获取数据的重要载体，将充分赋能智能制造、自动驾驶等场景，并进一步释放其巨大市场空间。

2.2 数据闭环带来价值创造的核心模式

人工智能系统通过数据反馈建立逻辑闭环，本质上是通过大数据驱动的，自动获取知识、应用知识、从而达到目的的知识学习技术。在算法逐步优化、算力大幅提升的基础上，大数据的“喂养”使得人工智能系统在应用层面具备了快速颠覆先发技术优势的可能。Google 自动驾驶汽车在早期形成了至少五年的技术领先优势，但不具备通过获取大量数据建立反馈闭环的商业场景，而特斯拉、Uber 分别利用自身整车生产、出租车运营业务，为数百万用户安装自动驾驶模拟器并获取了海量高度变化的数据，这些数据迅速转化成为跟好的算法及决策能力，从而实现更优质的服务供给，进而在极短的时间内追赶了 Google 的技术先发优势。在可预见的未来，数据资源的获取能力将真正成

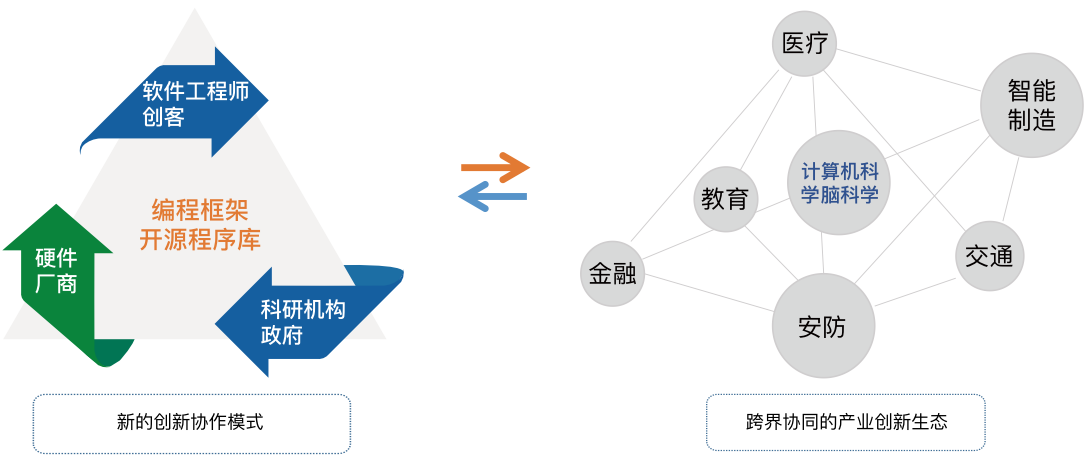
图 人工智能产业的数据闭环反馈系统　　资料来源：陆奇演讲稿、InfoQ 研究院

为人工智能商业模式中不可或缺的关键要素。

2.3 多边网络效应助力产业腾飞

社会协作模式的转变以及需求驱动的跨界融合创新共同形成了促进产业爆发式增长的的多边网络效应，快速推动 AI 技术向各类产业渗透。编程框架和程序库的开源为推动人工智能产业发展扮演了十分重要的角色，大型企业的开源项目为自身聚集了更好的人才、更丰富的数据、以及更多元的应用场景，不同背景的软件工程师基于此开发新的模型和应用程序，传感器、芯片等硬件厂商同样投入极大关注开发定制化高性能硬件，各地政府、科研机构、投资机构也贡献了大量资金及科研成果，多方力量形成的协同创新形成了基于开源共享的创新协作模式。创新协作模式的转变进一步激发 AI 技术的基础设施属性，创新活动由学术驱动逐渐向市场需求导向演变，基于 AI 技术的产业跨界协同、交叉融合创新成为产业创新的主旋律，脑科学、计算机科学等基础学科与安防、金融、零售、交通、教育、医疗、智能制造、文娱等场景深度融合，营造了极为开放的产业创新生态。

图 人工智能的多边网络效应



【3】全球人工智能产业发展态势

3.1 全球及中国市场或将进入爆发式增长期

伴随人工智能技术迅猛发展，全球人工智能产业正处于发展加速期，据德勤预测，全球人工智能市场在未来数年将呈现持续高速上涨趋势，预计 2024 年将突破 5 万亿美元，2017–2025 年复合增长率达 30% 以上。

据中国人工智能学会以及 Analysys 易观的数据预测显示，我国人工智能发展正处于爆发式增长期，并将在未来数年内维持升温态势，产业规模预计在 2020 年达到千亿元，到 2022 年突破五千亿元。

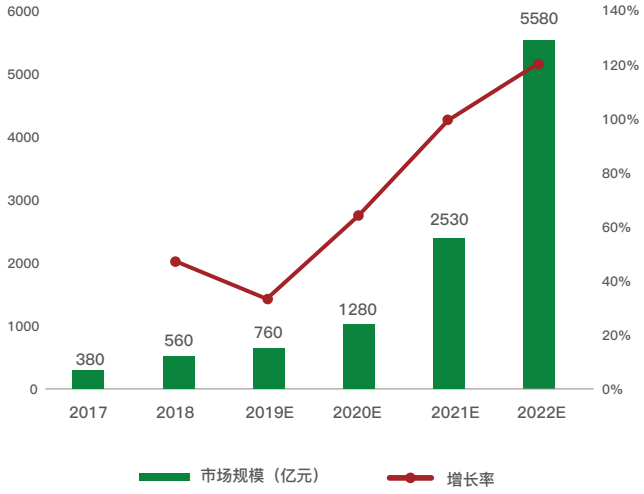


图 中国人工智能市场增长迅猛
资料来源：中国人工智能学会、Analysys 易观、InfoQ 研究院

3.2 全球人工智能产业竞争激烈

全球主要经济体高度重视发展人工智能，2013 年以来，全球已有 20 余个国家和地区相继发布了人工智能相关战略、规划或重大计划；欧盟 28 国 2018 年签署《人工智能合作宣言》共推人工智能发展；东盟积极制定《东盟数字融合框架行动计划》，促进人工智能合作发展。

根据专业调研机构 Tortoise Intelligence 发布的全球主要国家 AI 发展水平指数现显示，美国和中国分列全球总排名的第一、二位，且与其他国家拉开较大差距，美国在人才、产业设施、基础研究和商业化等多个方面保持全球领先，中国则在技术开发和政府策略支撑指标排名全球第一。其他主要国家方面，英国人工智能产业拥有相对开放、完善的创新环境，得益于社会各界的大规模投资，人工智能初创企业遍地开花，研究机构、企业都在以极大的热情推动人工智能策略，以应对即将到来的激烈竞争。加拿大、德国、法国、新加坡等国家保持快速追赶态势，近年来相继制定了国家人工智能发展战略，普遍在人才储备、技能培训方面给予高度重视，但整体发展策略上仍相对保守，加之受到道德伦理、数据安全等方面限制，人工智能商业化进程普遍较为缓慢。

图 Tortoise Intelligence 全球主要国家 AI 发展水平指数
资料来源：互联网、InfoQ 研究院

3.3 对标美国，我国仍具有相当差距

综合来看，美国人工智能产业仍保持整体领先，但中国在部分领域的尖端成果已与美国逐渐靠近，且在政策支持、部分领域商业化进程等方面获得领先。

从产业资源来看，美国在企业数量、人才积累等方面具有较大领先优势，中国拥有更庞大的数据规模以及更丰富的应用场景。美国具有强大的产业创新生态基础，AI 企业总数约为我国的两倍，且 Google、Microsoft、IBM、AWS 等众多 AI 厂商在算法、芯片等产业链核心环节拥有相当雄厚的技术积累，而我国人工智能产业起步较晚，百度、阿里、华为等头部厂商虽然在 AI 应用层面较为突出，但整体实力仍存在一定差距。此外，中美人工智能产业人才培养及储备差距明显，根据领英发布的报告显示，美国拥有的 AI 领域技术人才以及拥有 AI 研究方向的高校占全球近半数，我国处于明显劣势；顶尖人才方面，美国高校培养了 44% 的 AI 顶会作者，而中国该项数据仅为 11%，人才培养能力的缺失致使我国约 40% 顶尖 AI 人才需要从美国高校或科研机构引进。我国在数据资源的获取、应用方面具有明显优势，得益于我国移动互联网的迅猛发展，截至 2018 年我国手机网民超 8 亿人，巨大的网民规

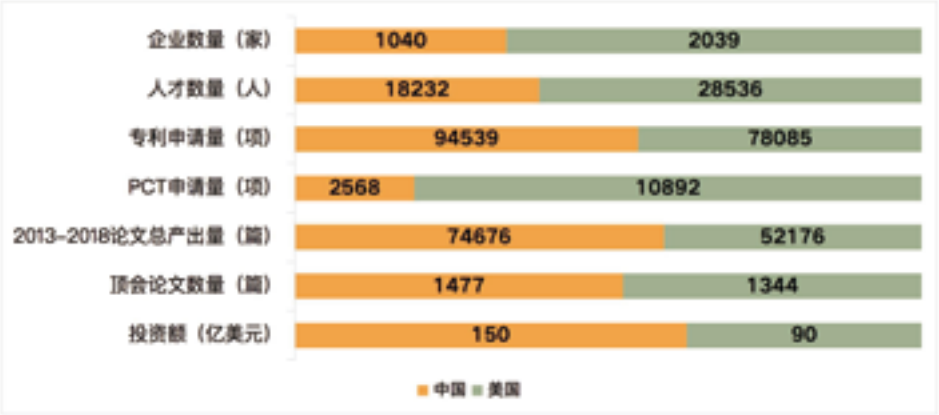


图 中美两国人工智能产业概况对比

模为中国企业带来更庞大、更多维的数据资源，为 AI 算法升级及应用场景的扩展提供了良好的基础。

从创新能力来看，我国在论文、专利等成果产出方面增长迅速，但产业链核心环节控制能力不足。我国人工智能论文产出量、专利申请量近五年增长迅速，且总量反超美国，虽然论文、专利质量较美国仍有差距，但顶尖论文水平正逐步接近，表明我国 AI 创新能力正快速提升。产业链方面，美国在算法、芯片、软件生态环节优势明显，我国在图像及语音识别、自动驾驶等应用领域具备比较优势。AI 算法作为驱动产业发展的核心要素，领先成果集中在美国一流大学及 Google、Facebook 等龙头厂商，IBM、高通、英伟达、赛灵思等芯片厂商的霸主地位时短间内难以撼动，围绕开源编程框架、程序库等打造的软件平台生态同样占据主流；相较之下，受我国数据资源丰富、应用市场空间大、政策扶持力度大等因素影响，在人脸识别、智能安防、零售、自动驾驶等应用领域更为领先。

从政策环境来看，中美政策支持侧重点各有不同，中国产业政策支持力度更强，中央、地方形成良好的政策协同。美国较早将人工智能提升为国家战略，早在 2016 年便发布《国家人工智能研发战略计划》，于 2019 年发布更新版并启动"美国人工智能计划"，将人工智能研究和开发作为优先事项，直接推动《自动驾驶法案》、《人工智能就业法案》、《开放政府数据法》等立法，成立人工智能特别委员会等机构，积极引导各界开展 AI 科学技术研究，旨在延续"全面领先"。相对而言，美国政府对隐私数据的严格规定将有可能带来消极影响，美国加州率先发布消费者隐私法案（CCPA），更多的类似法案正在美国多个州陆续生效，中国出台的《信息安全技术个人信息安全规范》严格程度低于 CCPA，相较之下，中国企业将拥有更宽松的数据获取和使用环境。我国同样将人工智能产业发展提升到国家战略高度，自 2017 年来中央层面相继出台《新一代人工智能发展规划》、《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018–2020 年）》、《新一代人工智能产业创新重点任务揭榜工作方案》、《关于促进人工智能和实体经济深度融合的指导意见》等多项指导性文件及政策措施，明确产业创新的主要方向及重点任务，通过支持设立示范区、示范项目、产业平台等引导产业健康有序发展。除中央政策外，中国主要省市均出台了具体的配套政策，一方面从企业、人才等多角度培育产业生态，另一方面将多场景赋能作为产业发展的核心方向，积极利用 AI 技术赋能重点产业，推动 AI 技术示范应用。

二、产业链全景

总体来说，人工智能产业链可分为基础层、支撑层、应用层三个层面，基础层主要包括算法及芯片，支撑层包括开源编程框架、云服务等服务设施，应用层涉及安防、金融、零售等众多应用场景。

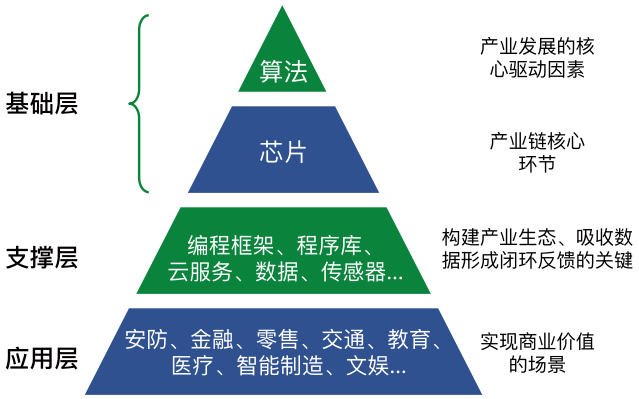


图 人工智能产业链结构图

【1】核心驱动因素——算法

人工智能作为学术驱动型产业，算法的演进始终是推动产业发展的核心驱动力。当前，算法理论的突破主要来源于学术性研究，以麻省理工、伯克利、UIUC 等美国一流高校的顶尖科研团队为主，谷歌、脸书、亚马逊、微软、IBM、百度等超级互联网公司基于自身战略需求也相继投入科研力量，但研究内容及成果主要服务自身业务应用，专门从事算法研究的私人企业、初创企业屈指可数，主要原因是技术门槛极高、且缺乏商业模式，从事算法研究的佼佼者、因大胜围棋世界冠军而闻名的 DeepMind 公司也难逃被谷歌收购的命运。

【2】产业链的核心环节——芯片

半导体芯片是一切信息技术的基础，进入人工智能时代，芯片同样将是产业链的核心环节，芯片厂商将继续占据霸主地位。现有芯片主要包括 CPU、GPU、FPGA、ASIC 等几类，由于 GPU 对于深度学习算法展现出惊人效率，GUP 厂商英伟达正在成为新的霸主，高通、英特尔、AMD 等 CPU 龙头厂商激烈追赶，并建立起了极高的技术壁垒和资本壁垒，也使得芯片厂商拥有极高的议价权，行业由上至下传导形成明显的价值扩张。此外，Google、Facebook、Apple、Amazon 等互联网龙头企业纷纷为自家数据中心及产品开发自有 AI 处理器，赛灵思和已被微软收购的 Altera 则基本垄断了 FPGA 市场，总体来说，传统的美国芯片龙头企业将在人工智能时代继续垄断全球芯片市场。相较之下，国内的芯片环节极为薄弱，中科寒武纪等国内芯片企业尚处起步阶段，浪潮、联想等服务器企业高度依赖国际巨头供货。展望未来，一方面，我国将芯片研发上升至国家战略层面，对华为海思、中芯国际等一批优质企业的扶持将可能改变现有竞争格局；另一方面，随着细分领域应用需求的提升，诸如扫地机器人、AR/VR 设备等特定场景的专用芯片将为初创企业提供新的市场机遇。

【3】构建产业生态的关键——开源编程框架

开源编程框架及程序库是最难以撼动的产业链环节，围绕开源编程框架不仅衍生了完善的商业生态系统，云计算的兴起也为开源框架带来了可行的商业模式。目前，谷歌 TensorFlow 开源框架占据绝对统治地位，PyTorch、Caffe 等主流框架也被广泛使用，而百度、阿里、旷视科技等国内企业由于长期以来 KPI 开源项目带来的负面影响，尚未得到业界的广泛认可和应用，使用范围局限在自有项目和生态圈企业。从产业链视角来看，开源编程框架及程序库的重要性将进一步提升，一方面，近年来云计算的兴起为开源项目带来了新的商业模式，互联网龙头企业围绕自身开源框架深入开发 IaaS、SaaS 项目，开源编程框架将拥有更多的价值实现场景；另一方面，大量初创公司依赖开源编程框架导致下游服务同质化，在技术差异减弱的背景下，企业更需要依赖对行业数据的占有程度、用户需求的深入理解、以及销售能力，开源编程框架的价值将进一步放大。

【4】实现商业价值的场景——众多应用领域

人工智能技术的基础设施属性带来了赋能众多场景的可能性，在安防、金融、零售、交通、教育、医疗、智能制造、文娱等领域带来了巨大的市场成长空间，但由于各个产业的特殊性，产业竞争格局、商业模式存在巨大差异，可将应用场景分为新兴领域、技术赋能型领域、以及颠覆型领域。

在人脸识别、语音识别等新兴领域，是大多数初创企业首先关注的领域，新需求的出现将带动头部企业实现跨越式增长，但行业天花板的局限、以及相对较低的技术门槛将导致行业迅速成为红海，竞争格局将最终呈现百花齐放的局面，很难出现具备绝对优势的垄断者。

在智能制造、智慧城市、无人驾驶等技术赋能型领域，原有的产业空间极为庞大，人工智能技术的赋能将为现有产业提高效率、降低成本。互联网龙头企业的长期布局带来先发优势，将与积极拥抱新技术的传统企业形成全新竞合关系，而新玩家很难跨越技术、资本、数据等竞争壁垒，进入龙头企业生态圈将为新玩家提供一定生存空间。

在医疗、金融等领域，人工智能技术将极有可能带来颠覆性变革，如医疗影像识别、智能投顾等新技术的应用将极有可能对现有产业格局带来颠覆性影响。在移动互联网时代，支付宝、微信、滴滴等杀手级应用均对相关产业带来了颠覆性变革，而在人工智能时代，带来颠覆性变革的杀手级应用可能还并未出现在我们的视野中。

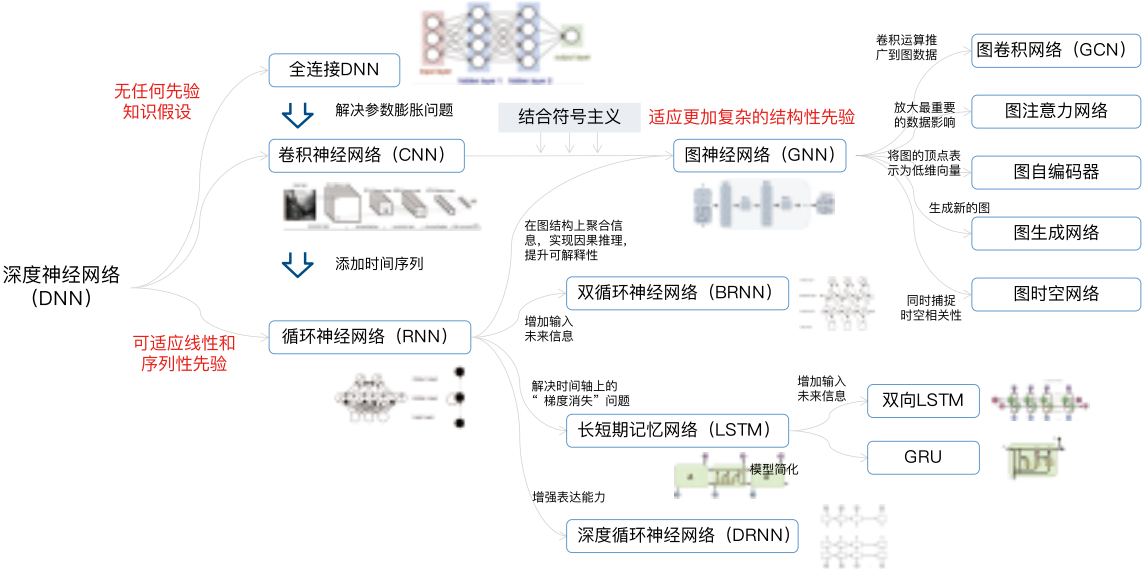
三、算法

【1】深度学习引领人工智能算法方向

过去十年，神经网络的发展彻底改变了机器学习领域，神经网络被认为是有史以来最美丽的编程范例之一。在传统编程方式中，我们告诉计算机做什么，需要将大问题拆解成计算机可轻松执行的许多精确定义的小任务。相比之下，神经网络本质上是一般的函数逼近，我们不需要告诉计算机如何解决问题，而是让它通过观测数据学习，找出解决目标问题的办法，这也是为什么神经网络几乎可以应用于任何从输入到输出空间复杂映射的机器学习问题。

总体来说，神经网络的数次革新延续一条主线：即从简单的单样本分析开始，逐步复杂化，获取知识的覆盖面变得更广，抽象的层次变得更高；学习知识、运用知识解决实际问题的能力、效率大幅提升，从发现隐蔽的相关性、到实现因果关系和推理能力，从无任何先验知识假设，到适应线性、序列性先验，再到适应更加复杂的结构性先验，算法模型在解决具体领域实际问题的驱动下逐渐发展衍生出众多变种和分支。

图 AI 算法技术发展路线图



1.1 全连接神经网络

全连接神经网络是 DNN 的基本形式，“全连接”意味着将每个下层神经元与所有上层神经元形成连接，实现对现实全部特征的提取。另外，隐含层的增加让神经网络真正意义上有了“深度”，显著提升了对现实的刻画能力，也带来了严重的“梯度消失”问题。为了克服梯度消失，ReLU、maxout 等传输函数代替了 sigmoid，逐渐形成了如今 DNN 的基本形式，但由于存在参数冗杂、空间结构的表达性不足等问题，因此并不适合图像识别任务。

1.2 卷积神经网络（CNN）

卷积神经网络（CNN）改变了全连接神经网络中将所有上下层神经元全部直接相连的结构，通过“卷积核”作为中介将上下层连接，卷积层作为一种局部连接，提取的特征范围取决于卷积核的感受野，因此限制了参数的个数，并挖掘了局部结构的特点。当卷积核感受野覆盖到全域时，即提取全部特征，可实现和接全连接神经网络相同的效果，因此 CNN 也可完全替换全连接形式。由于图像、语音中存在固有的局部模式和信息，CNN 特别适用于图像识别、语音识别领域。

1.3 循环神经网络（RNN）

循环神经网络（RNN）的出现则解决了全连接神经网络和 CNN 中的另一个问题——无法对时间序列上的变化进行建模。样本出现的时间顺序对于自然语言处理、语音识别、手写体识别等应用非常重要，RNN 可以看成一个在时间上传递的神经网络，它的深度是时间的长度，为了进一步解决发生在时间轴上的“梯度消失”现象，又衍生出长短期记忆网络（LSTM），通过 cell 门开关实现时间上记忆功能，并防止梯度消失。

1.4 图神经网络（GNN）

随着人们对深度学习在图领域的应用扩展越来越感兴趣，图的不规则性使得 CNN 不再适合直接用于图。在多方因素推动下，图神经网络（GNN）借鉴了 CNN、RNN 的思想，定义和设计了用于处理图数据的神经网络结构，使 GNN 成为建模结构化数据的强大架构。在此基础上，GNN 衍生出了众多变体，扩展了原始模型的在细分应用场景的表示能力。如图注意力网络能够放大数据中最重要的部分的影响，注意力机制已在机器翻译和自然语言理解等领域产生良好效果；图生成网络能够在给定一组观察到的图的情况下生成新的图，在自然语言处理中，给定的句子可生成语义图或知识图；图时空网络可同时捕捉时空图的时空相关性，在交通网络中可发挥重要作用。

小结：全连接神经网络、CNN、DNN 作为几类最基本的神经网络结构，由于应用领域需求的不同，逐渐衍生了很多其他结构的神经网络。如在序列信号分析中，如果能够预知未来，对识别一定也是有所帮助的，因此便衍生了 BRNN、双向 LSTM，同时利用历史和未来的信息。事实上，神经网络在实际应用中也常常混合使用，比如 CNN 和 RNN 在往往会将全连接层放在网络的最后，用来综合所有信息。不难想象随着深度学习热度的延续，更灵活的组合方式、更多的网络结构将进一步发展丰富。

【1】算法演进下的关键技术探索

深度学习算法的演进将计算机视觉（CV）、自然语言处理（NLP）等关键技术推向了高潮，从对数据进行初步加工的“感知型”技术，到更注重认知、理解的“认知型”技术，再到具有自主推理、决策能力的深度人工智能技术，其纵深发展为各个领域的商业应用提供了可落地的技术支撑。

图 人工智能关键技术演进路线图

2.1 计算机视觉技术（CV）

计算机视觉 (Computer Vision) 是一门研究如何使机器“看”的科学，更进一步地说，是指用摄影机和电脑代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量的科学，也是深度学习领域最热门的研究领域之一。目前，以图像分类、目标检测、图像分割为代表的一些基础技术经过了近几年的发展后，精确度已经达到产业落地水平，整个 CV 的工具链已非常完善，加之良好的开源环境降低了 CV 技术入门门槛，越来越多的学者被吸引到这个领域来研究，从业者数量近年来有呈现井喷势头，甚至呈现“全民计算机视觉”态势。智能安防成为计算机视觉 CV 技术最重要的应用场景，商汤、旷视、依图、云从等“CV 四小龙”等都在该领域作了重要布局，但业务同质化较为严重。在这个赛道上，还有“海大宇”等传统的安防巨头，BAT、华为等巨头近年来也加速入局，对于中小 CV 公司来说，意味着将面临更大的竞争和生存压力。除安防外，在金融、汽车、手机、新零售等场景中，CV 技术的落地同样面临严重的同质化竞争。

2.2 自然语言处理（NLP）

过去几年CV技术的发展集中在对"自然连续信号"进行底层感知的阶段，属于"感知型"AI；而NLP的研究更注重感知之后的认知/理解阶段，即直接关注以现实世界为依托的各种抽象概念、语义和逻辑推理，属于"认知型"AI。具体来说，自然语言处理（Natural Language Processing）指用计算机对自然语言的形、音、义等信息进行处理，即对字、词、句、篇章的输入、输出、识别、分析、理解、生成等的操作和加工。伴随着NLP研究的不断深入，其应用也变得越来越广泛，尤其是在知识图谱、机器翻译、阅读理解和智能写作等方面都有较为成熟的应用。Google AI团队2018年11月推出划时代的BERT模型，被认为是NLP领域里程碑式的进步，以BERT为主的算法体系开始在AI领域大放异彩，从那时起，数据的重要性排在了NLP的首位。事实上，CV的"感知"能力能够胜任大多数据生产工作，而NLP需要更进一步解决数据的"认知"问题，则需要更深一步的自我演进，相较之下，NLP数据相对于CV更像一片蓝海。

2.3 跨媒体分析与推理技术

以往的媒体信息处理模型往往只针对某种单一形式的媒体数据进行推理分析，如图像、语音、文本识别等，而随着多媒体和网络技术的迅猛发展，海量的图像、视频、文本等跨媒体数据快速增长，它们多源异构且相互关联，使得数据表征、信息检索、知识发现、语义推理面临跨媒体、跨数据源等挑战。"跨媒体"即跨越视觉、听觉、语言等不同的感官信息认知外部世界，比单一的媒体对象及其特定的模态更加全面地反映特定的内容信息。当前，跨媒体智能的关键技术主要集中在智能信息检索、分析与推理、知识图谱构建、智能存储等方面，其应用趋势主要在于网络内容监管、舆情分析、信息检索、智慧医疗、自动驾驶、智能穿戴设备等场景。近年来，跨媒体分析推理技术在产业界和学术界也不断取得突破，IBM智能问答系统、Google利用搜索模式来预测流感的传播情况、百度知识图谱等都是较为成功的应用案例。

2.4 自主无人系统技术

自主无人系统是能够通过先进的技术进行操作或管理而不需要人工干预的系统，是由机械、控制、计算机、通信、材料等多种技术融合而成的复杂系统。自主无人系统具有自主性、智能性、协同性等特征，是发展新一代人工智能的关键技术之一，被广泛应用于环保、测绘、环卫、安防军事和民用等领域，也推动着无人飞行器、无人车辆、工业机器人及服务机器人等蓬勃发展。目前，自主无人系统在指挥与决策、分布式控制、自主故障检测、人为干预等方面仍面临重大挑战。

四、芯片

【1】AI 芯片的两类发展路径

总体来说，AI 芯片的发展主要分为两类路径：一是延续传统计算架构，优化硬件计算能力，主要以 3 种类型的芯片为代表，即 GPU、FPGA、ASIC。GPU 并行计算能力突出，在深度学习训练环节具备优势。FPGA 高性能低功耗的特性适合于推理环节取代传统的 CPU。ASIC 芯片专门针对人工智能设计，有望未来成为主流。二是颠覆经典的冯·诺依曼计算架构，采用类脑神经结构来提升计算能力，以 IBM TrueNorth 芯片为代表，类脑芯片作为突破性技术路线，未来如实现突破也将推动人工智能产业长远发展。

图 人工智能芯片演进路线图

1.1 CPU：PC 时代的芯片霸主

CPU 由控制器、运算器两个主要部分组成，控制器众多模块负责保证指令能够一条接一条的有序执行，运算器由单独的 ALU 模块（逻辑运算单元）完成计算任务，这种通用性结构极为适用于传统的编程计算模式，同时可以通过提升 CPU 主频（提升单位时间内执行指令的条数）来提升运算速度。而在深度学习场景中，我们并不需要太多程序指令、却需要海量数据的运算需求，CPU 的计算指令遵循串行执行的方式，这种结构就显得力不从心。尤其是在功耗限制下，无法通过无限制的提升 CPU 和内存的工作频率来加快指令执行速度，这种情况导致 CPU 系统的发展遇到不可逾越的瓶颈。

1.2 GPU：优化软硬件高效支持 AI 应用的通用芯片

GPU 采用和 CPU 相同的冯·诺依曼架构，但在结构上存在较大差异，CPU 大部分面积为控制器和寄存器，而 GPU 拥有更多的 ALU(逻辑运算单元) 用于数据处理，且 GPU 使用 SIMD（单指令多数据流）让多个执行单元以同样的步伐来处理不同的数据，这样的结构适合对密集型数据进行并行处理，原本用于处理图像数据，随后被发现其离散化和分布式的特征，以及用矩阵运算替代布尔运算适合处理深度学习所需要的非线性离散数据。作为最早从事并行加速计算的处理器，其高并行结构使其在处理图形数据和复杂算法方面拥有比 CPU 更高的效率，程序在 GPU 系统上的运行速度相较于单核 CPU 往往提升几十倍乃至上千倍，作为加速器的使用可以实现深度学习算法。

架构的不同带来了运算能力及使用环境的显著差异。神经网络实现自主学习的前提条件即具备在高速状态下分析海量数据的能力，**而 GPU 的结构特征决定其在进行深度学习算法训练时非常高效，在耗费功率更低、占用基础设施更少的情况下能够支持远比从前更大的数据量和吞吐量。**与单纯使用 CPU 的做法相比，GPU 具有数以千计的计算核心、可实现 10–100 倍应用吞吐量，随着英伟达、AMD 等公司不断推进其对 GPU 大规模并行架构的支持，面向通用计算的 GPU 已成为加速可并行应用程序的重要手段，甚至成为数据科学家处理大数据的处理器。但 GPU 也存在一定局限，如在推断中对于单项输入进行处理的时候，并行计算的优势不能充分发挥。

	CPU	GPU
架构区别	大部分晶体管用于构建储存器和一部分控制单元，少数负责逻辑运算	整体是一个庞大的计算阵列填充
	速度高度依赖 cache	对 cache 依赖程度低
	核心逻辑复杂	核心逻辑简单
计算方式	串行	并行
	运算复杂度高	运算复杂度低

图 CPU、GPU 架构对比图

1.3 半定制化的 FPGA：紧追 GPU 步伐

FPGA 即现场可编程门阵列，是用于专用集成电路领域的一种半定制解决方案，是在 PAL、GAL、CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。**与 GPU 不同，FPGA 特别适用于多指令、单数据流的分析，因此常用于深度学习算法中的推断阶段。**FPGA 芯片布满“逻辑单元阵列”，内部包括可配置逻辑模块，输入输出模块和内部连线三个部分，相互之间既可实现组合逻辑功能、又可实现时序逻辑功能，在实际应用中，可实现根据客户定制来做针对性的算法设计。相较于 CPU 和 GPU，FPGA 与传统冯诺伊曼架构的最大不同之处在于内存的访问，FPGA 更接近 IO，本质上通过硬件的配置实现软件算法，因此适用于以硬件流水线方式处理一条数据，且整数运算性能更高、速度更快，但在实现复杂算法方面有一定的难度。

能耗方面，FPGA 具有明显优势，FPGA 中没有取指令与指令译码操作，而在 CPU 和 GPU 中，取指令与指令译码分别占用了 50%、20% 能耗；此外，FPGA 主频普遍在 500MHZ 以下，而通常 CPU 与 GPU 主频都在 1GHz–3GHz 之间，如此大的频率差使得 FPGA 的能耗远低于 CPU 与 GPU。

硬件	CPU	CPU	FPGA
单次迭代时间（微妙）	80	50	50
单次迭代能耗（毫焦）	5	5	0.4
开发难度	小	较小	大
增加功能	容易	容易	难
硬件升级	无需修改代码	无需修改代码	需要修改代码
性能 / 成本	高	低	高
片外存储器	内存 容量大 速度低	显存 速度高 容量大	内存 速度低
开发周期	短	短	长

图 CPU、GPU、FPGA 性能比较　　资料来源：微软官网、东方证券研究所、InfoQ 研究院

1.4 ASIC：定制化的专用人工智能芯片

ASIC（专用定制芯片）是为实现深度学习特定要求而定制的芯片，具有功耗低、可靠性高、性能高、体积小等优点，在计算速度和功耗上赶超 GPU 和 FPGA，尤其适合高性能、低功耗的移动端应用，但不可编程，可扩展性不及 FPGA。随着人工智能渗透率的不断提升，未来在智能手机、物联网、车联网等领域，人工智能芯片将得到广泛应用，广阔的市场空间为 ASIC 大规模量产创造了可能。目前，VPU 和 TPU 都是基于 ASIC 架构的设计。目前，在图像和语音识别领域的 ASIC 芯片应用较为成熟，VPU 芯片专用于图像处理，FAGA 和 TPU 芯片专用于语音识别。

VPU 作为专门为图像处理和视觉处理设计的定制芯片，基础理念是根据特定算法来实现定制化的芯片架构，从而提升在特定场景下的图像处理能力。VPU 能够处理各种不同的任务，如利用立体摄像机的数据处理深度信息，还有来自声纳传感器的近距

离、空间定位，以及用于识别和跟随人的先进光流。具备深度学习能力的 VPU 能够在设备本地实现强大的图像识别能力，设备不需要接入云端即可看见和理解周围的世界，同时也消除了存储器的读写操作，在提升深度学习效率的同时，将极有可能进一步推动移动设备的价值提升和技术变革。

TPU（Tensor Processing Unit） 是 Google 公司专为深度学习语言 Tensor Flow 开发的一种专用芯片，目标是运行整体深度学习的神经网络模型，以减少与主机 CPU 的交互，并且具有足够的灵活性，以便在安防、无人机、无人驾驶等场景应用中有效权衡系统 / 功耗 / 性能等一系列问题。

1.5 类脑芯片：底层架构革新的新思路

类脑芯片是模仿生物神经网络的计算架构的总称，类脑芯片使用神经元和突触的方式替代传统"冯诺依曼"架构体系，使芯片能够进行异步、并行、低速和分布式处理信息数据的能力，同时具备自主感知、识别和学习的能力。类脑芯片将主要实现两大突破，一是突破传统执行程序"计算范式的局限，有望形成自主认知"的新范式；二是突破传统计算机体系结构限制，实现数据并行传送、分布式处理，能够以极低的功耗实时处理海量数据。IBM 研发的 True north 第二代脑芯片、英特尔 Loihi 芯片、高通公司开展研究的 Zeroth"认知计算平台"都是类脑芯片的典型代表。当前，类脑芯片的设计目的不再仅仅局限于加速深度学习算法，而是在芯片基本结构甚至器件层面上改变设计，希望能够开发出新的类脑计算机体系结构，如采用忆阻器和 ReRAM 等新器件来提高存储密度。这类芯片技术尚未成熟，离大规模应用还有一定的差距，但从长期来看，摩尔定律下的处理器集成器件数量越发接近极限，急需通过架构变化来应对大数据的需求，类脑芯片的发展将有可能带来计算机体系结构革命。

	冯若依曼架构	神经网络芯片架构
基本架构	存储/处理分离	存储/处理一体化
运算规则	算数和逻辑操作	激励函数和权重
神经元计算复杂度	成百上千条指令/神经元	一条指令/神经元
计算效率	低	高

图 冯诺依曼架构 VS 神经网络芯片架构　　资料来源：wind、天风证券研究所、InfoQ 研究院

小结：总体来说，GPU 配合 CPU 仍然是当前阶段 AI 芯片的主流发展方向，而后随着视觉、语音、深度学习算法在 FPGA 以及 ASIC 芯片上的不断优化，FPGA 及 ASIC 芯片也将逐步占有更多的市场份额，从而与 GPU 达成长期共存的局面。从长远看，人工智能类脑神经芯片是发展的路径和方向。

【2】技术变革下的产业发展

纵观芯片技术发展史，计算芯片的冯·诺伊曼架构在 50 多年来未发生过本质变化，在摩尔定律推动下，计算芯片通过晶体管数量的增多实现性能倍增。在 PC 时代，Intel 依托冯·诺伊曼架构建立了相应的计算体系，并基于 X86 指令集开创了软硬件结合的机器时代。进入移动通信时代，ARM 通过 IP 核共享的商业模式带来了更开放的生态体系，在其基础上诞生的 Android 生态将机器与人的结合扩展到了移动端，并创造了极为广阔的应用场景。总体来说，在 PC 和移动通信时代，个人 PC、智能手机、终端应用等赛道的爆发在需求端推动 Intel、高通、ARM 等芯片厂商、IP 核供应商成为时代霸主。**而人工智能时代，在应用需求赛道已较为明确的大前提下，一方面，芯片厂商竞争格局将发生明显变化，一家独大的格局将转变为 GPU、FPGA、ASIC 芯片长期共存的局面，类脑芯片的研发将有可能带来新一轮产业革命；另一方面，专用芯片在无人驾驶、智慧工厂、安防等细分领域的应用将重塑产业价值链，并带来全新的商业模式和服务体验。**

2.1 由巨头垄断走向百家齐放

人工智能时代，传统龙头芯片厂商扩大自身优势，在已有架构上对人工智能进行延伸，多家龙头厂商将持续开展激烈竞争。NVIDIA 自 2006 年开始推出 GPU 相关的硬件产品以及软件开发工具，是目前人工智能硬件市场的主导，拥有较成熟生态系统。与 CPU 相比，GPU 在浮点运算、并行计算等部分计算方面可以提供数十倍乃至于上百倍于 CPU 的性能，且最先收益 AI 爆发，在未来 3–5 年内将依然是 AI 训练领域使用最广泛的平台。但伴随 AI 技术的深度应用，GPU 硬件设备不可编程、运行深度学

习算法能效低等劣势将限制其很难成为 AI 时代的芯片霸主，GPU 将与 FPGA、ASIC 等芯片长期共存。FPGA 领域，Xilinx 和 Altera 公司形成双寡头垄断局面，合计占有近 90% 全球 FPGA 市场份额、以及 6000 余件专利，技术专利的限制和漫长的开发周期使得 FPGA 行业形成了很高的壁垒，这也进一步巩固了 Altera 和 Xilinx 两家公司的优势地位和盈利水平。Intel 在 2016 年以 167 亿美元收购 Altera，也彰显了 Intel 推动 FPGA 与 CPU 整合，进而向人工智能领域延伸的野心。

互联网生态的建立者更有优势灵活设计专用芯片以达到更高的效率，为其开源框架、应用软件、乃至云计算服务提供更强大、更高效的基础支撑。Google 是最具代表性的生态构建者，其推出的高速定制机器学习芯片 TPU 可以支持搜索查询、翻译等应用，由于使用了专用架构，TPU 实现了比同时期 CPU 和 GPU 更高的效率。第一代 TPU 仅能用于推断，为应对被 NVIDIA GPU 垄断的深度学习训练市场，Google 随后又相继发布 TPU2.0、TPU3.0，除推断以外，还能高效支持训练环节的加速。在此基础上，Google 通过云服务将 TPU 开放商用、又发布专门用来处理 AI 预测部分的 Edge TPU 芯片，进一步反哺生态建设，支持应用可以更快、更可靠地工作。此外，微软 Brainwave 项目、百度 XPU 都印证了 FPGA 芯片在专用领域具有出色的推断性能，亚马逊、阿里云等云厂商也推出了专门的云端 FPGA 实例来支持 AI 应用，FPGA 的可编程能力也使它可以相对更快地支持新的算法和应用，成为各自支撑软硬件生态系统繁荣发展的关键部分。

新的市场玩家更聚焦细分领域的终端设备，为其提供高效的算力支持和系统方案，在细分领域存在后发先至的可能。寒武纪于 2016 年发布的 1A 处理器（Cambricon-1A），作为世界首款商用深度学习专用处理器，可应用于智能手机、安防监控、无人机、可

穿戴设备以及智能驾驶等各类终端设备。中星微则专注监控视频领域边缘 AI 计算，于 2016 年初推出了全球首款集成了神经网络处理器（NPU）的 SVAC 视频编解码 SoC，被广泛应用于视频监控摄像头，开启了安防监控智能化的新时代。地平线机器人专注于自动驾驶、人脸图像辨识等专用领域，相继发布 BPU 芯片“盘古”、以及基于高斯架构的嵌入式人工智能解决方案，将在智能驾驶、智能生活、公共安防三个领域进行应用。

2.2 从云到端的全面赋能

AI 芯片应用于云端、终端大量场景，使得 AI 芯片市场将不再是零和博弈，市场空间将进一步扩大。具体来说，AI 芯片将赋能深度学习的上游训练端和下游推理端。未来，云和边缘设备以及连接他们的网络可能会构成一个巨大的 AI 处理网络，而各类 AI 芯片将成为连接这个网络的关键节点，并形成明显的价值传导扩张。

在上游训练端，由于以 GPU 为代表的 AI 芯片显著提升了运算能力，数据中心和服务器作为承载算力的基础设施，成为主要受益环节。云计算数据中心将占据中央舞台，传统数据中心（IDC）将在算力大幅提升的背景下呈现三大发展趋势：一是传统数据中心向云数据中心过渡，实现更灵活的资源应用方式和更高的平台运行效率；二是超大规模数据中心取代小型数据中心成为发展主流；三是边缘计算（MEC）提升运营商数据中心建设需求。根据思科云指数报告显示，到 2021 年，云流量在全球流量中的占比将高达 95%，云数据中心将处理 94% 的工作负载和计算实例。未来，云和边缘设备将在各种 AI 应用中协同工作，如上游云端训练神经网络，然后在云端（由边缘设备采集数据）或者下游边缘设备进行推断。

在下游推理端，前端设备中引入带有 AI 功能的新架构芯片将带来移动端价值量的提升和潜在的变革。AI 芯片的不断演化带来的另一个影响是，伴随 AI 算力从云端向终端的迁移，很多人工智能的推理工作，如模式匹配、建模检测、分类和识别等逐渐从云端转移到终端侧（下游推理端）。终端侧需求更加细分，除 GPU 成为主流芯片之外，包括 CPU、FPGA、ASIC 芯片都会在这个领域发挥各自的优势特点。AI 能力的端侧迁移是提升人工智能用户体验的重要方式，AI 芯片的衍生品将辐射至智慧安防、智能驾驶、消费电子等众多领域，消费、商用、生活等场景释放海量市场空间。智慧安防是最先变现的 AI 赋能场景之一，AI 芯片的引入将实现将海量非结构化数据结构化并进行智能处理，促进高清摄像头从“看得见”向“看得懂”进化，可满足从事后追查到事前防范的安防根本需求，长期来看将带动价值千亿的市场空间。在智能驾驶领域，ADAS（高级驾驶辅助系统）芯片将成为综合汽车智能系统的核心，2021 年智能驾驶市场空间据估计将增长至 70.3 亿美元，复合增长率达 10% 以上。更值得期待的是，智能驾驶“芯片厂商 + 零部件供应商 + 整车厂 + 智能出行 + 物流”的组合模式将形成更为庞大的网络效应，释放更大的市场空间。AI+ 消费电子的落地则预示着千亿级美元市场的爆发，从移动互联进入万物互联时代，智能音响、无人机、虚拟现实、可穿戴设备等都有潜力成为继智能手机后拥有最强粘性的智能终端设备，AI 元素的引入将可能推动上述产业进入新一轮风口期。

五、开源编程框架

【1】日益多样化的深度学习开源编程框架

技术角度上，深度学习开源编程框架可理解为对底层语言和重要算法模型的封装，一种通俗易懂的说法是：它是数据、算力（芯片）、算法三者间的连接器，可以帮助快速部署 AI 算法。正如百度 CTO 王海峰曾在一场活动中比喻称：深度学习框架是“智能时代的操作系统”。站在开源企业的角度，开源编程框架成为企业连接开发者的一大利器，各大开源框架日益成为 AI 研究人员不可或缺的基础工具。对于开源企业而言，基于开源框架构建的开发者生态不仅意味着更好的技术能力、更强的品牌影响力，更事关企业战略落地、也意味着能够在明日定义种种行业标准之时更具话语权。而更进一步基于整个行业，多样化的深度学习框架必然可以相互推动，加速创新。

目前，主流深度学习开源框架主要由国外科技巨头和美国顶尖高校占据。Google TensorFlow 和 Facebook PyTorch 依旧是大多数深度学习者的首选框架，占领近 9 成开发者份额。但局面也在发生微妙变化，PyTorch 的后来居上也证明开源框架并不会凭借其设计优势而获得决定性胜利，新的深度学习开源框架正在

不断涌现，以满足越来越动态变化的、多元化的现实开发需求。纵观深度学习开源框架的发展历程，约2012–2015 年，伯克利大学团队开发的 Caffe 等第一批深度学习开源框架开始涌现，在随后的 2016 年，TensorFlow、Keras、Neon 宣布开源，以及随后发布的 PyTorch、MXNet、PaddlePaddle 都是典型的“后起之秀”。众多国内企业、高校也基于不同的开发应用目的陆续发布自己的开源框架，如清华“Jittor”、旷视“MegEngine”（天元）、华为“MindSpore”、阿里“GL”（AliGraph）等，不复早前百度 Paddle Paddle 被称为“独苗”的景象。

1.1TensorFlow

TensorFlow 由 Google 在 2016 年开源了分布式版本后，是业界应用最广泛的深度学习框架。TensorFlow 以数据（Tensor）在计算节点（Operator）的流动为抽象，形象而高效的解决了分布式机器学习的问题，主要包括 TensorFlow API、TensorBoard、TensorFlow Serving 三个组成部分。TensorFlow 的抽象语义很广，涵盖了几乎整个数值计算领域，数以千计的算子可以实现任何机器学习算法的表达。更重要的是，除了框架自身的优越性、成熟的工具链以及完备的社区生态，TensorFlow 还背靠谷歌云、TPU 等强大的武器库，帮助 AI 程序更快的应用到各类场景中。

1.2PyTorch

PyTorch 作为一个相对较新的深度学习框架，正迅速在研究人员中流行起来。该框架由 Facebook 人工智能研究团队开发，支持动态计算图，对于使用时间序列和自然语言进行数据处理的研究人员具有很大的吸引力。相对于 TensorFlow 可以在图结构中定义状态和迭代而，PyTorch 则是在计算过程中实时定义。因此 TensorFlow 可以更方便地部署到移动设备，和其他体系结构，更加支持大型项目并拥有更好的可扩展性；而 PyTorch 则为复杂体系结构（如动态神经网络）提供了更简单的调试过程和更强的处理能力，更适合于深度学习爱好者和小型学术项目的快速原型设计，尤其是涉及到跨平台和嵌入式部署。

伴随开源框架的发展，除强调框架本身的适应性、便利性，以及提供的各类算力资源支撑，各类公司也会有强调能够将其最新的技术积累体现在到框架中。

1.3 华为 MindSpore

华为 MindSpore 是国内厂商对标 Tensorflow 的典型代表。MindSpore 应用于计算机视觉、自然语言处理等 AI 领域，能够为数据科学家和算法工程师提供设计友好、运行高效的开发体验，同时解决了昇腾 AI 处理器原生支持及软硬件协同优化的问题。更为重要的是，MindSpore 强调其具备全场景协同，支持端、边、云统一训练和推理框架的特性，以求借助其拥有的移动终端产品优势吸引开发者。

1.4 阿里 Graph–Learn

阿里巴巴基于对 TensorFlow 的研究，开源了面向图神经网络（GNN）的框架 Graph–Learn（GL，原 AliGraph），试图将图计算任务纳入 AI 开源范畴，支持大规模图数据、异构图、属性图等十分必要但棘手、而当下深度学习框架又不擅长的问题，并内置了基于 TensorFlow 实现的各类 GNN 模型和编程接口，最大限度复用已有成果。

【2】框架之争将进一步延伸升级

2.1 对移动场景的支持将进一步加强

伴随越来越多小型移动设备的普及、以及应用程序对更低延迟的高要求，在端设备上运行机器学习将变得愈发重要，据估计，目前具有相关应用场景的移动设备规模已达约 55 亿台、微控制单元约 2500 亿个。事实上，包括 TensorFlow、PyTorch 等在内的多个国外开源框架都已将更新重点放在了对移动场景的支持上。如在 TensorFlow 的更新版本中，为配合 Google 日益壮大的安卓移动生态，接连推出了其轻量版本 TensorFlow Mobile 和 TensorFlow Lite，以适应更多的端侧场景开发需求，伴随 5G 等相关技术的成熟，预示在未来万物互联的AIoT时代，框架之争还将进一步升级。

2.2 软硬件结合背后的商业模式探索

过去几年中，包括 Google、百度、华为、Intel 等龙头企业都曾公开表示过软硬结合将是 AI 发展的大势所趋。越来越多的算法公司逐步延伸到产业链上游的芯片、传感器，以及下游终端产品。以 TensorFlow 为例，Google 基于 TensorFlow 定制的 TPU 正支撑着 TensorFlow 工作负载的差异化性能。

究其原因，开源框架、乃至 AI 算法的商业模式困境成为软硬件结合的首要推动力。回溯历史，整个 80－90 年代，微软 Windows 操作系统捆绑 IE，打败了代表硅谷科技力量的 Netscape 等多家公司，并利用大量专利所构建森严的开发壁垒，业界也一度认为开源软件是一种低价值商品，无法达到闭源公司的经济价值。而 Google 的开源策略打破了巨头们长达三十年的统治，将增值的闭源代码置于开源软件之上，项目中仅部分软件免费许可，并根据商业许可向客户收取使用超出价值的闭源软件费用，即开源 AOSP 部分（Android Open Source Project），而谷歌移动服务（Google Mobile Service），如地图、邮箱、Youtube 等应用，则是真正的收入来源。

近年来，云计算的兴起为开源公司提供了另一种可行的商业模式，可能成为众多开源公司新的商业化选择。在 SaaS 商业模型中，开源公司把开源项目重新打包，封装，直接以云服务的方式来提供，一开始就把开源软件作为基础设施，这也无形中提升了开源公司的商业价值。

事实上，无论是软硬件的结合、开源模式的创新、以及云计算的兴起，无不代表着开源框架带来的网络效应将发挥更直接的商业价值。长期来看，开源编程框架并不只是解决技术问题的一种方式，更是人类技术发展的大趋势，不止在软件和互联网产业，而会更多的结合固件、硬件衍生全新的生态系统，商业模式也会越来越清晰。

六、主要应用领域

【1】AI+ 安防

智能安防是 AI 技术最先落地并实现变现的应用场景之一，自 2016 年以来，AI 技术正推动安防行业继高清化和网络化之后进入第三次技术革命。深度学习技术尤其适用于识别大体量数据之间的隐蔽相关性，安防领域基于影像数据的进一步识别、分析、提取、预测等需求与深度学习的技术属性极为契合，

AI+ 安防领域优质企业案例梳理

企业名称	核心技术	主要服务、产品及商业模式
海康威视	AI Cloud 物信融合数据平台	公司产品已涵盖视频监控系统的所有主要设备，产品线可满足市场几乎全部需求。公司从产品销售逐步转型解决方案供应商，以 AI Cloud 为核心技术框架，建立统一的城市大数据平台；打造云商交易、安防服务、SaaS 应用为一体的综合服务平台，满足中小企业用户向可视化经营管理方向全面升级的需求。
大华股份	目标分割技术	围绕“大华股份 HOC（Heart Of City）城市之心”战略，由单一安防产品向一体化智慧解决方案转型，提出了智慧社区、智慧酒店、智慧快递、城市轨道等多种细化应用场景的解决方案，发布慧系列一体化 AI 抓拍单元、慧系列生态 AI 相机、融系列双基电子车牌一体机等一系列创新性产品。
华为机器视觉	海思安防芯片、云储存、云计算	海思安防芯片全球市场占有率达 60%，将安防定性为“开放黑土地，汇聚数据湖，让应用百花齐放”。具备强 ICT 基础和云计算能力，通过云化架构、全后端联动，提出软件定义摄像机概念，放大云计算和储存能力优势，另外还推出算法商场，集成旷视、依图等 AI 公司视觉识别算法，赋能智慧安防产业生态圈。
阿里云	虚拟化、分布式数据存储、大规模数据管理等	阿里云城市大脑致力于打造新型精细化管理城市。产品及应用包括天机、天镜、天鹰、天曜和天擎。分别对应车流人流预测系统、市政建设与管理系统、渐进式视频搜索引擎、全时全域交通自动巡逻报警系统、城市大脑的大规模视觉计算平台。
云从科技	3D 结构光人脸识别、跨镜追踪（ReID）、人体 3D 重建	提出 AI 定义设备和场景的理念，利用 AI 算法赋能设备和解决方案满足实际使用需求，基于图像识别、大数据处理等技术优势，助力公共安全精准防控，并逐步深入疫情防控、支付、网点管理等生活场景。
商汤科技	人脸与人体分析、SLAM 与 3D 视觉等	建立了国内最大的、也是唯一自主研发的深度学习超算中心，迅速落地人脸识别、视频结构化分析、人群密度监测、以图搜图、轨迹分析等技术。依托“智慧公共空间管理平台”实现公共安全管理、智慧区域运营、提升生活体验，让市民享受到更安全、更便捷、更贴心的人性化服务。

是 AI 技术在安防领域率先落地的根本原因。此外，算力的提升、以及算力从云到端侧的转移也共同推动智能安防扩展至人脸识别、消防能耗系统监测、舆情监控预警、城市交通疏导、智慧家居等更多场景。伴随需求侧的持续增长，预计到 2020 年，全球城市公共安防领域的人工智能渗透率将达到 25%，智能安防产业市场规模有望突破百亿美元。

从产业链来看，智能安防上游聚焦提供算法、芯片和关键零部件，中游提供完整产品和解决方案，下游开展营销、售后、数据反馈等整体项目集成与运营。总体来说，智能安防产业链生态较为开放，尚不存在因垄断某项资源而形成的绝对优势，竞争壁垒更多在于品牌效应与商业模式网络效应的建立，如与地方政府建立长期稳定的合作关系、以及设备更换带来的系统转换成本。目前，海康威视、大华股份双巨头市占率领先全球市场，华为作为挑战者姿态正在该领域快速崛起，相较于海康、大华将自身定位为以视频为核心的物联网解决方案供应商，全产业链布局，且芯片、云计算、AI 能力更强的华为可能更有机会成为新的王者。

值得关注的是，在万物互联的大趋势下，智能安防系统将从过去简单的安全防护系统向城市综合化体系演变，城市的安防功能将与社区生活、楼宇建筑、物体移动等众多领域跨界融合，带来海量数据与万物互联的新机遇，成为支撑国民生活的基础设施，商业模式的网络效应将进一步放大，数据获取能力、产品化渠道网络将成为行业巨头的坚实护城河。而终端芯片、智能传感器等关键器件的创新，以及先进算法的演进将可能诞生新的价值高地，在巨大市场空间的催化下，新的巨头可能正在迅速崛起。

【2】 AI+ 金融

目前，金融行业已在投资、风控、服务等方面实现了 AI 技术的率先落地应用，因其数据量大、实时性高、高度数字化等特征，金融行业将有可能成为激发 AI 全部潜力的应用场景之一。总体来说，人工智能拓展了金融服务的深度和广度，但考虑到数据安全、资产风险、政策管制等客观因素，金融对 AI 技术表现为相对谨慎的态度。短期内，AI 技术对金融业更多起到辅助作用，如更好进行身份识别提升安全性，优化交易处理、合规审核等流程效率，以及替代重复性人工操作等。长期来看，AI 技术可能产生颠覆性影响，从根本上改变我们借贷、储蓄、支付、投资和保险方式，如移动支付对商业银行及日常生活产生的颠覆性冲击一般，真正的杀手级应用可能还未出现在我们的视野中。

在身份识别、远程智能服务等场景中，语音识别、文本识别、图像识别等技术较为成熟，已实现大规模应用。如蚂蚁金服在 2015 年的双 11 中 95% 的远程客户服务已经被智能机器人所覆盖，自动语音识别达到 100%。

智能征信作为风险控制的关隘、信贷业务的发展基石，在经过 2015 年“中国大数据征信元年”后保持高速增长，央行、商业银行、专业征信机构、监督机构、互联网金融公司等多方玩家针对信用评级、企业征信、个人征信等业务开展探索，目前市场集中度较低，渗透率及覆盖率有待进一步提高，

将进一步撬动背后蕴藏的消费信贷、企业信贷、供应链金融等万亿级市场空间。

在智能投顾领域，AI 技术将有效降低投融资双方信息不对称程度以及交易成本，并利用深度学习、神经演化、分布式计算预测市场趋势，提供更优化的投资决策建议。我国智能投顾尚处起步阶段，京东智投率先应用 AI 技术打开了我国智能投顾市场，随后证券基金、商业银行相继布局，得益于广泛的客户基础和优厚的品牌信誉，商业银行很可能成为未来智能投顾市场的主体。对标美国，混合投顾和扩展 2B 业务或将成为未来方向，智能投顾业务也将伴随我国金融环境的完善释放更大的市场价值空间。

AI+ 金融领域优质企业案例梳理

企业名称	核心技术	主要服务、产品及商业模式
平安科技	OCR 识别、声纹风控、AI 金融云主机	上线智能风控十大场景，覆盖尽调、审批、放款、监测、预警等，实现对银行资产业务的全覆盖。
大华股份	风险大数据平台	实现客户识别、服务、营销、评价等网点经营管理全流程数字化。于 2016 年启用智能投顾产品“摩羯智投”，成为国内规模领先的银行智能化产品。提升授信业务自动化、流程化、专业化、集中化，并开发优化风险评级、预警模型，搭建 IFRS9 下的预期损失模式拨备模型，打造全链条风险管理。
京东数科	通过大数据系统前置风控	海基于 5 千万 + 黑灰风险名单、500+ 风控模型、5000+ 风险策略、60 万 + 风控变量，实现对 3 亿用户进行信用风险评估。
蚂蚁金服	AlphaRisk 智能风控引擎	通过 AlphaRisk 智能风控引擎对每个用户的每笔支付进行 7*24 小时的实时风险扫描。通过不断新增的风险特征挖掘和优化算法迭代的模型，自动贴合用户行为特征进行实时风险对抗，在数亿交易中准确识别用户的账户异常行为。

【3】 AI+ 医疗

AI 医学影像领域，自 2012 年深度学习技术在自然图像领域取得突破之后，在 2015 年开始大规模进入医学影像领域，计算机视觉中的目标检测、实例分割、图像分类等主要技术在医学影像分析中都得到了很好应用，可覆盖 MRI、CT、X-ray、Ultrasound 等不同模态数据，也涵盖了各种不同的部位。虽然 AI 赋能医学影像的技术和资本门槛较高，但 BAT、平安科技、科大讯飞等众多企业竞争激烈，原因在于各家公司的产品、模式逐渐趋同，基本集中在肺癌、糖网、乳腺癌等重大疾病的筛查和早期

诊断。总体来说，现阶段的医学影像 AI 产品主要的应用模式是辅助医生进行临床诊断。**未来，在人口老龄化加速、医疗资源供需失衡的大背景下，AI 医学影像将在重疾筛查和诊断等方面进一步发挥作用，帮助优质医疗服务下沉。**

AI+ 药物研发与传统模式相比，时间和成本优势明显。来自 TechEmergence 的一份报告显示，AI 技术可将新药研发的成功率从 12% 提高至 14%，在化合物合成和筛选方面比传统手段可节约 40%–50% 时间，在临床研究阶段节约 50%–60% 时间，每年能够为药企节约 540 亿美元研发费用。目前 AI 主要作用于药物研发场景包括靶点药物研发、候选药物挖掘、化合物筛选、预测 ADMET 性质、药物晶型预测、辅助病理生物学研究，以及发掘药物新适应症等，AI 可以对药物结构、疾病病理生理机制、现有药物的功效、显微镜下的样本观察等等结果进行快速分析，大大提升新药发现的效率。目前，全球十大药企皆已布局 AI，至 2025 年，AI+ 药物研发的市场规模将超 37 亿美元，成为生物医药产业规模最大的细分领域。整体来看，AI+ 药物研发真正意义的产出极少，AI 多任务学习的“黑匣子”特征仍是深层神经网络从复杂生物信息中提取关键关联信息的阻力，导致 AI 技术在靶点确证、预测药物可成药性等方面可信服度低。**虽然 AI+ 医药研发目前现状并不是非常乐观，还面临诸多挑战，但可以明确的是，AI+ 药物研发的结合必然是未来制药行业的发展趋势，也将在未来十甚至二十年的时间内，对医药领域进行一场颠覆性的革命。**

AI+ 医疗领域优质企业案例梳理

企业名称	核心技术	主要服务、产品及商业模式
腾讯	NLP、云计算	发布腾讯觅影，在乳腺癌、食管癌、肺结节、糖尿病视网膜病变、结直肠肿瘤等疾病领域推出了辅诊 AI 系统，可自动生成影像报告和数据系统（BI-RADS）分级报告。推出 AI-Rad Chest CT 云端解决方案，可完成疾病筛查、病灶定位、定量标注等功能。
阿里	智能分析算法	发布医疗 AI“Docter You”，系统包括影响检测引擎、辅助诊断引擎、慢性病管理引擎等。上线 ET 医疗大脑 2.0，布局临床、科研、培训教学、医院管理、未来城市医疗大脑五大场景。
推想科技	医疗影像诊断、大数据信息管理	发展了 AI 部署管理平台、AI 大数据挖掘科研平台以及 AI 临床应用平台在内的医疗 AI 全流程平台，打造出医疗质控、健康管理以及科研创新等医疗 AI 产品。
数坤科技	医疗影像诊断	依托自主原创的 AI 神经网络，推出加菲医生影像诊断平台，覆盖心脏全周期、脑卒中全周期、胸部疾病诊断，可实现从拍片到结构化报告的诊断全流程覆盖。
商汤科技	医学图像分析技术	打造 SenseCare 智慧诊疗平台，连接放射科与临床科室、赋能医患沟通、提升诊疗效率。在提供影像的全方位辅助诊断的同时，基于在线实时的高并发三维渲染能力，为临床医生提供治疗规划的全流程智能辅助，真正意义上打通影像诊断与临床，为医生提供诊 – 疗 – 愈全流程的智能工具。

【3】AI+ 新零售

在新零售领域，AI 技术的赋能将转化传统零售积累的海量数据成为直接的经济价值。传统零售积累了大量顾客数据、购物数据、商品受欢迎度数据、商场环境数据，AI 技术的出现将消除这些数据孤岛，围绕人的全流程购买行为获取数据和进行全方面的价值挖掘。

首先，AI 技术将优化消费行为管理方式，通过会员体系管理方面挖掘重要信息，从而完成个性化零售服务与购买需求预测。在新零售通过线上赋能线下消费体验的过程中，计算机视觉（CV）、自然语言处理（NLP）等技术发挥了重要作用，可通过智能摄像头开展人群统计、分析人群属性、观察预测人群行为，使商家实现针对不同客群开展针对性营销；此外，CV、NLP 技术在商品识别支付、商品漏扫检测、导购机器人等场景中应用对消费体验的提升效果明显，已实现可部分替代员工效果。

第二，AI 技术有效赋能零售商优化供应链管理，全面提升供销存系统的运营效率。供应链管理是零售商正常运转的基础，AI 技术的作用在于，零售商基于不同产品、事件、营销行为、季节因素等历史数据的规范模型能够预测正确的供求关系，并逐步将关联数据与供销存系统打通，打造仓储、物流、门店形成柔性供应链，实现供应链管理效率全面提升。

AI+ 新零售领域优质企业案例梳理

企业名称	核心技术	主要服务、产品及商业模式
河马鲜生	基于大数据处分析的供应链管理和消费行为预测	通过大数据、信息化、移动互联三大核心技术及自建物流体系，用互联网思维重构传统零售业态，形成线上线下一体化的商业新业态。建立了“生鲜食品超市 + 餐饮 +APP 电商 + 物流快送”的多业态集合体，扎根线下零售、餐饮、物流及供应链体系，紧密围绕消费者“吃”的需求，提供“新鲜每一刻”、“所见即所得”、“最快 30 分钟免费配送服务”的服务新体验。
阿里云	数据智能、云计算	为零售行业制定有效的智能化转型“五部曲”，实现基础设施云化、触点数字化、业务在线化、运营数据化、决策智能化。通过包含客流分析、区域分析、用户画像的大数据分析，实现流量增长和精细化运营。
便利蜂	大数据算法驱动运营管理	便利蜂依靠算法驱动的商业模式，实现对研发选品能力和供应链掌控能力的全程数字化管控。以最接近消费端的便利店为跳板，以便利蜂 app 作为入口，不断试水蜂小柜、共享单车、洗衣服务、互联网买菜等新服务，打造数字化的便利店品牌，形成以便利店为依托的社区服务平台。
Amazon Go	人体追踪、手势识别、商品识别	Amazon Go 颠覆传统便利店、超市的运营模式，使用计算机视觉、深度学习以及传感器融合等技术，彻底跳过传统收银结帐的过程，带来“No Lines.No Checkout.（毋需排队，毋需结账）”的良好感觉。
京东	自然语言处理、语音交互、计算机视觉	京东人工智能开放平台 NeuHub 搭建智能客服解决方案，平台分为 AI 在线服务和离线训练平台两部分，在线服务包括卡证识别、以图搜图、图片质量检测、词法分析等功能，涉及图像、自然语言理解等领域内容。离线训练平台则针对不同技术水平用户及使用场景提供个性化综合解决方案。

【5】AI+ 自动驾驶

在我国，汽车是仅次于房地产的第二大消费品，自动驾驶的实现既包括汽车本身的智能化，也涉及车路协同、智慧交通、5G 通讯和物联网的协同发展，随着自动驾驶的逐步实现，汽车的使用方式、交通管理、交通基础建设，甚至交通相关道德准则都会发生改变，AI 及其相关技术不仅将改变汽车产业，整个交通出行服务体系都将面临重构。

SAE（美国汽车工程师学会）根据系统执行动态驾驶任务的多少将自动驾驶技术分为 L0–L5 六个等级，数值越高，代表自动驾驶的成熟度就越高。目前在售车型中尚未实现 L4 或 L5 标准，包括特斯拉 Autopilot 自动辅助驾驶系统在内的大多数量产车型仍处于 L2–L3 级别，据 IHS 预测，到 2025 年，L3、L4/5 渗透率分别有望达到 15%、5%。高等级自动驾驶的实现离不开电子、信息通信、互联网、交通管理等多行业的合作与转型升级，涉及产业链极为庞大，主要涵盖环境感知、决策执行、人机交互、数据服务等环节。感知环节主要包括计算机视觉系统、雷达系统（激光、毫米波、超声波）、高精度定位等关键技术。决策执行环节主要包括自动紧急制动（AEB）、自适应巡航（ACC）等技术，以及主要由算法和芯片构成的计算平台。人机交互涉及 V2X、 V2V（车辆环境通讯和车与车通讯）、车载信息娱乐系统等。数据服务涵盖通讯服务平台、共享运营平台、后市场服务等。在应用端，自动驾驶的运营主要有出行、特定场景（如园区、工厂、港口、机场）两个方面。

目前来看，传统整车厂与互联网巨头厂商采取不同的发展策略。传统整车厂通常采用“渐进式”策略，在原有成熟技术中添加 ADAS 功能模块，逐步获取 L1、L2 级部分自动驾驶能力，其优势在于成熟的供应链体系及整车技术积累，国内主要车企（上汽、长安、吉利等）都设立了自己的出行公司，布局未来自动驾驶的出行场景。而谷歌、百度等互联网企业则采用“跨越式”策略，通过激光雷达对路面实时扫描绘制高精度地图，通过与传统车企合作赋能自动驾驶，其优势在于对深度学习算法的应用以及行驶数据的积累。

伴随自动驾驶的深入发展，AI 技术将扮演愈发重要的角色，各产业链环节也将迎来价值重构。据普华永道等机构预测，到 2030 年，传统供应商、车辆销售和售后市场的利润份额可能大幅降至 41%。主要原因在于，一是自动驾驶技术将增加车辆技术的复杂

AI+ 自动驾驶领域优质企业案例梳理

企业名称	核心技术	主要服务、产品及商业模式
Waymo	waymo 自动驾驶软件	Waymo 并不自己生产汽车，以推出自动驾驶系统为主，通过与传统厂商合作不断加速商业化进程。于 2018 年推出全球首款商用的自动驾驶出租车服务，成为一家提供出行服务的运营商。
Cruise	Super Cruise 自动辅助驾驶系统	拥有通用公司的传统造车经验，结合自身自动驾驶技术，推出 Origin 自动驾驶量产车。
Tesla	Tesla autopilot 辅助驾驶系统	Tesla 自研自动驾驶系统、AI 芯片，仅供 Tesla 自身使用，在自有车辆上依靠用户获取海量数据，使用雷达为主的硬件升级迭代系统。
Mobileye	EyeQ 系列自动驾驶芯片	Intel 于 2017 年以 153 亿美元收购 Mobileye，并与宝马、沃尔沃等公司签订协议，将 Mobileye 的技术应用到各自的商用车型中。目前，国内外大部分 L2、L3 级别自动驾驶汽车采用芯片为 Mobileye 的 EyeQ3、EyeQ4 芯片。
NIVID	Drive 系列自动驾驶芯片	2015 年推出 DRIVE PX 并向车企开放，包括芯片、驱动、软件开发包、应用工具等。2019 年推出全球首款商用 L2+ 自动驾驶系统 NVIDIA DRIVE AutoPilot，并与大陆集团、采埃孚等传统供应商巨头合作推出自动驾驶解决方案。目前，L4 级别以上的自动驾驶车型大都采英伟达 Drive PX 2 AI 芯片。
地平线	征程、旭日处理器，Matrix 自动驾驶计算平台	地平线机器人技术始终致力于提供面向自动驾驶的高性能、低功耗、低成本、完整开放的嵌入式人工智能解决方案。聚焦高级别自动驾驶、视觉感知辅助驾驶、众包高精建图与定位、智能人机交互四大应用场景。
上汽	i-ECU、高精度地图、斑马系统 3.0	i-ECU（智能驾驶决策域控制器）在 2019 年已经实现批产，高精度电子地图实现商业化应用落地，斑马智行系统 3.0 版本正式发布，在智能驾驶产业链上的协同开发机制基本形成。已量产 L3 级别智能汽车 Marvel X Pro，推出 5G 智能重卡概念车型。
长安汽车	智能算法	从传统汽车制造企业向智能出行科技公司转型，宣布自从 2020 年起不再生产非联网新车。通过“合作共创行动”与腾讯、华为、科大讯飞等开展合作，构建智能汽车产业联盟。已量产 UNI-T，达到 L3 级别。
广汽	ADiGO 系统	拥有全球领先的纯电汽车专属平台及首先应用的深度集成“三合一”电驱系统，自主研发了集智能工厂生态、自动驾驶系统、物联系统、云平台及大数据于一身的 ADiGO（智驾互联）生态系统。量产车型 Aion LX 可实现 L3 级别自动辅助驾驶。
长城汽车	i-Pilot 系统	i-Pilot 系统集成了数据融合、智能决策、执行控制以及 HMI（人机交互）等技术，实现智能交通辅助、智能自动泊车、S 型车道保持等功能。已量产哈弗 F7x，达到 L2 级别。
吉利汽车	G-Pilot 系统	实现 ICC 智能领航、AEB 城市预碰撞、LKA 车道保持等辅助驾驶功能。ICON 车型搭载 L2 级智能驾驶系统。
比亚迪	DiLink 智慧系统	打造 D++ 开放平台，开放 341 个传感器和 66 项控制权，构建比亚迪智能出行生态系统，引领汽车业态从封闭走向开放。
德赛西威	智能驾驶舱及解决方案	核心技术包括车载信息娱乐系统、汽车总线、导航引擎及软件、全自动空调控制器算法、驾驶信息显示系统、显示模组与系统、车身控制模块以及智能驾驶辅助系统等。

性和价值，市场规模进一步扩大，互联网巨头、出行服务商将占据一定新增市场份额。二是由于出行服务增加了车辆利用率和相应车辆磨损，新的商业模式和出行方式使保险业务和售后服务的逻辑发生转变。三是车辆的消费主体由个人转变为出行服务商，而后者显然具有更强的议价能力，并可能逐步整合后端服务市场，导致售后市场、融资和保险领域的利润率降低。从自动驾驶关键器件的角度，蔚来资本预计，到 2030 年自动驾驶产业链价值分布为：计算平台 17%、计算芯片 34%、传感器 41%、高精度地图 8.4%。日本矢野研究所也预测道：车载雷达与摄像头将成为新的价值高地，预计到 2030 年全球市场规模都将接近 900 亿元，成为最受益的细分领域。从短期来看，ADAS（高级辅助驾驶系统）将成为最先实现产业化、并形成差异化优势的关键，由于 ADAS 系统涉及环境感知、决策执行等多个模块的集成，ADAS 算法的应用将向盲区监测 BSM、自动紧急刹车 AEB、碰撞预警系统 FCW 等技术快速渗透，与多传感器的融合也将成为必然趋势。

参考资料：

1.《人工智能产业研究报告 2019》，艾瑞咨询

2.《人工智能与深度学习的现状》，https://www.sohu.com/a/316873300_100029692

3.《三张图读懂机器学习：基本概念、五大流派与九种常见算法》，https://36kr.com/p/5072074

4.《YC 中国创始人陆奇：人工智能时代，芯片和底层软件基本都要重做》，https://baijiahao.baidu.com/s?id=1635930183945016399&wfr=spider&for=pc

5.《打开 AI 的黑盒子：模型可解释性的现状、应用前景与挑战》，https://www.infoq.cn/article/XIYtQjilC5sPSp04aDK9

6.《AI 芯片三剑客 云端终端双场景各显神通（下篇）—— 终端场景》，https://baijiahao.baidu.com/s?id=1586185363675310803&wfr=spider&for=pc

7.《悬而未决的 AI 竞赛——全球企业人工智能发展现状》，德勤

8.《计算机（人工智能）行业研究报告》，银河研究院，2020 年 4 月

9.《2019 年人工智能发展白皮书》，中科院大数据挖掘与知识管理重点实验室

10.《2019 年中美人工智能产业及厂商评估》，沙利文，2020 年 1 月

11.《中美人工智能的发展和投资机遇》，川财证券，2020 年 2 月

12.《2020 年中国人工智能产业发展形势展望》，赛迪智库

13.《中国人工智能发展报告》，新智元

14.《2019 新一代人工智能产业白皮书——主要应用场景研判》，中国电子学会、中国数字经济百人会、旷视

15.《人工智能应用实践与趋势》，阿里云研究中心

16.《2019–2020 中国人工智能计算力发展评估报告》，浪潮，2019 年 8 月

17.《人工智能芯片高热度揭示半导体产业方向，产业上行趋势更值得关注》，华金证券，2017 年 12 月

18.《人工智能芯片技术白皮书》，北京未来芯片技术高精尖创新中心，2018

19.《人工智能芯片——新架构改变世界》，天风证券，2017 年 9 月

20.《2020–2023 中国高等级自动驾驶产业发展趋势研究》，亿欧智库

21.《全球安防龙头，拥抱智能新时代》，国元证券，2019 年 8 月

5TH-GENERATION

5G 行业研究报告

当前，5G 正在全球范围内衍生出更加开放、融合、创新的通信架构。乘势“新基建”，在运营商和华为代表的产业力量推动下，5G 技术正在与社会经济真实融合，运营商、互联网企业、传统企业等将同样直面 5G 新变局。未来道路是勃勃生机还是停滞不前？是创新升级还是面临被边缘化？站在 5G 时代的十字路口，各路企业都需要深入思考、重新审视自身的业务蓝图、创新机遇。本文主要从 5G 的发展进程、大国博弈、产业链图景等角度阐述 5G 通信技术的发展逻辑与内在价值，并深入剖析由“连接”带来的产业变革与机遇，为各路企业、从业者、相关管理部门提供一个有价值的参考视角。

InfoQ 研究发现：

1. 移动通信本质上是用更少的能量传递更多样化、更海量信息的过程，5G 作为“软件定义型”网络，使信息突破时空限制、拉进万物的距离、最终实现人和万物的智能互联，并在万物互联的基础上深度激发产业价值。

2. 5G 成为深度绑定国家安全、科技未来的战略制高点，我国 5G 建设处于国际领先地位，依托政府的积极推动，在频谱资源部署、标准制定、运营商投资、关键设备及专利布局等多个方面具有领先优势，也为相关产业领域的应用带来先发优势。

3. 我国 5G 建设处在大规模建网的初期阶段，5G 建网需求及运营商资本开支推动 5G 关键设备成为产业链最先受益的关键环节。

4. 运营商在 5G 时代将依然占据绝对中心地位，但服务和盈利模式面临严峻挑战，在服务广度上依托全新的合作关系探索差异化服务优势，在服务深度上尝试基于生态圈向垂直市场下沉。

5. 专注细分领域的第三方专业运营商是 5G 时代的重大机遇，通过将 5G 连接能力嵌入自身产品，并向用户提供 5G 场景下的产品运营服务，细分领域的平台型企业更有潜力转化成为 5G 服务支撑平台。

6. 我们曾热情描绘的 5G 愿景已经到来，消费智能终端或将最先受益，云游戏、超高清视频等泛娱乐相关领域的关联技术、商业模式也将逐渐成熟，而在车联网、工业互联网等行业领域，5G 的产业价值将得到最终释放，但具体的价值实现场景仍需要不断探索与打磨。

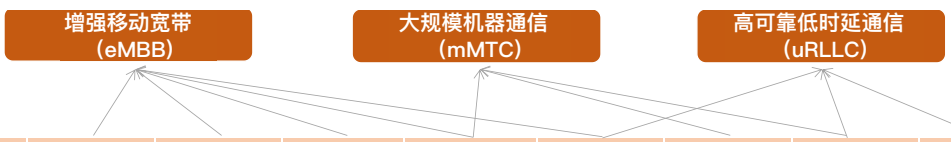
一、产业概述

【1】5G 通信概念界定

5G（5th-Generation）即第五代移动电话行动通信标准，也称第五代移动通信技术，是 4G 网络的延伸，目标是打造“全能网络”。根据 IMT-2020（5G）推进组，5G 由标志性能力指标和一组关键技术来定义，标志性能力指标指“Gbps 用户体验速率”，一组关键技术包括大规模天线阵列、超密集组网、新型多址、全频谱接入和新型网络构架。5G 的本质，不仅仅是高速的网络连接技术，更是为更多前沿数字科技的大规模商用创造的绝佳场景，将催生更多的产业互联应用。

【2】5G 关键技术指标与三大应用场景

在 2015 年 5G 愿景研究阶段，国际电信联盟（ITU）指出 5G 将渗透到未来社会的各个领域，使信息突破时空限制、拉进万物的距离、最终实现人和万物的智能互联，由此 ITU 规定了 5G 的八大关键技术指标，指明 5G 不再追求单一目标（峰值速率），而是考虑不同的业务和应用场景（如物联网）。在 ITU 召开的 ITU-RWP5D 第 22 次会议上，第一次定义了未来 5G 应具有的三大类应用情景：eMBB（增强移动宽带）、mMTC（大规模机器通信）、URLLC（高可靠低时延通信），前者主要关注 C 端移动通信，有望率先实现应用，而后两者则更侧重于物联网等 B 端应用场景，拥有更大的想象空间。



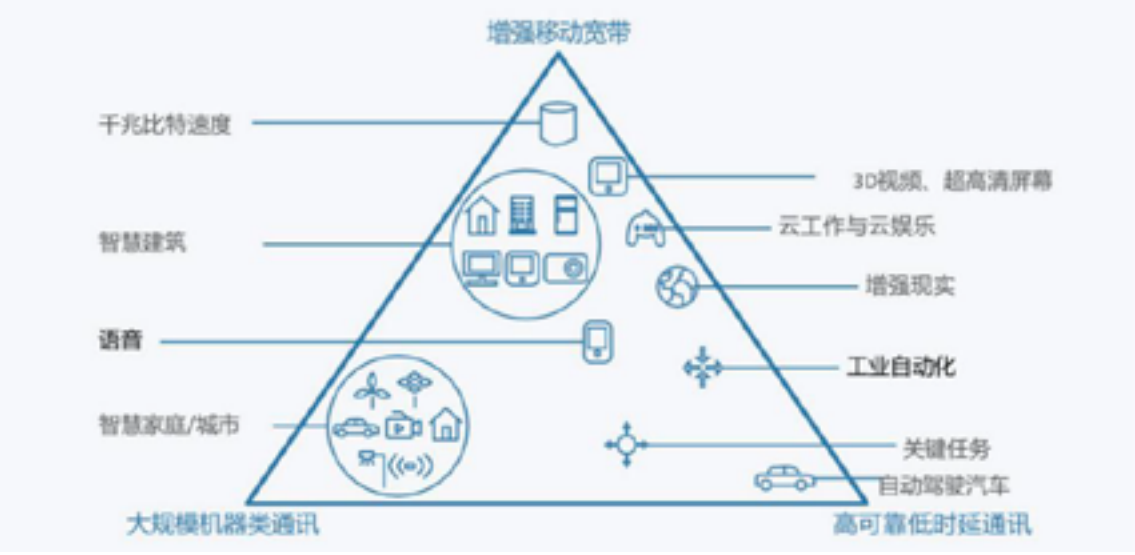
技术指标	峰值速率	体验速率	频谱速率	空间容量	移动性能	网络能效	连接密度	时延
4G	1Gbps	10Mbps	1X	0.1Mb/s/m^2	350Km/h	1X	10万终端/平方公里	20-30ms
5G	20Gbps	100Mbps	3X	10Mb/s/m^2	500Km/h	100X	100万终端/平方公里	1ms
提升	20倍	10倍	3倍	100倍	提升30%	100倍	10倍	数十倍

图：图 5G 关键技术指标与三大应用场景　　资料来源：IMT-2020、华兴资本、InfoQ 研究院

移动增强宽带（eMBB）将满足用户高传输数据速率、高移动性的应用需求，是 4G 时代移动宽带的延续，也是最有可能率先落地的 5G 应用。应用场景极有可能沿 4G 路径的消费领域进行延伸，即针对 C 端用户进行消费流量升级，如超高清视频、新一代社交网络、浸入式游戏等。

大规模机器通信（mMTC）是 5G 三大应用场景中面向物联网业务的主要场景，对网络感知实时性要求低、但对终端密集程度要求高。mMTC 将延续现有的 NB-IoT/e MTC 物联网云平台，结合传感资产标识类信息、状态开关类信息以及数字传感类终端的发展，将承载更密集海量机器类通信，物联网应用将渗透到人们的居住、工作、休闲、交通等各个领域，典型应用场景包括基于园区的智慧安防、资产 / 人员管理、楼宇管理等，以及基于城市的市政管理、环境管理、物流、农业等众多领域。

高可靠低时延通信（uRLLC）可满足特殊领域对低时延的高要求，是 5G 区别于 2G/3G/4G 通信网络升级换代的一个典型场景，也是移动通信行业切入垂直行业的一个重要突破口，将有望成为多产业融合的信息化革命的推手，广泛应用于车联网、工业控制、远程医疗等更领域。



图：图 5G 三大应用场景与相关用例示例　　资料来源：ITU、InfoQ 研究院

二、移动通信的发展逻辑与历史进程

	1G	2G	3G	4G	5G
世界商用时间	1978年贝尔实验室移动电话系统	1989年欧洲应用GSM标准	2001年日本开通WCDMA服务	2010年LTE技术落地	2019年美国、中国、韩国等部署5G应用
我国参与情况	1987年部署IC网络	1993年嘉兴部署GSM网	2009年三大运营商获颁3G牌照	2013年三大运营商获颁4G牌照	2019年四大运营商获颁5G牌照
技术标准	AMPS、CDPD、NMT、TACS、CNETz	GSM、TDMA、CDMA	CDMA2000、WCDMA、TD-SCDMA、WiMAX	TD-LTE、FDD-LTE	NFV云平台
速率	2.4Kbps	> 9.6Kbps	> 384Kbps	100Mbps	> 1Gbps
使用频段	300Hz-3400Hz	900MHz-1800MHz	1880MHz-2145MHz	1880MHz-2655MHz	450MHz-6000MHz
主要特点	模拟信号传输	数字信号传输，语音、短信服务，低速数据服务	同时传输声音和数据信息，提供高质量多媒体业务	快速传输数据、视频、音频、图像	高速率、款带宽、高可靠、低时延
应用领域	基础语音通信	文本语言通讯	音乐、图片、视频	移动互联网、消费互联网	车联网、物联网、远程控制、无人机、AR/VR

图：移动通信从 1G 到 5G 发展历程

纵观半个多世纪以来移动通信的发展历程，移动通信本质上是用更少的能量传递更多样化、更海量信息的过程，并带来传输效率的不断提高、网络的不断融合、标准的不断统一。总体来看，半导体和通信技术成为驱动行业发展的“双螺旋”，其中以半导体为主导、通信技术不断跟进。一方面半导体的发展不断提升移动终端的计算、存储能力，另一方面通信技术将越来越多的信息、越来越快地传输到终端，不断满足半导体的能力、并推动其不断升级。从 1G 到 4G 时代，在“双螺旋”的快速推动下，全球超过 30 亿人口享受着无处不在的通信网络，直接获间接贡献了全球 GDP 总值约 4.5% 的经济价值。具体来说，1G 网络为模拟信号，仅具备语音通信能力；1G 到 2G 的发展实现了从模拟电路到数字电路的飞跃，打通了模拟语音和文本文字；3G 被视为移动通信新纪元的重要关键，实现了从语音通信到数据通信的飞跃，打通了图片多媒体；4G 网络应用全 IP 组网，实现了移动通信网络和传统电信网络的融合，将云计算等互联网技术用于移动通信，使得不同区域之间的流量能够实现动态平衡。**而进入 5G 时代，网络具有低时延、广连接、大带宽三大特点，半导体硬件愈发成为移动通信产业链条中潜在的“信息瓶颈”，通信技术的爆发预示其即将迈出半导体主导的移动终端场景，进入到更广阔的领域——从人与人的连接延伸到物与物、人与物的连接，从而连接整个现实世界和虚拟世界，成为万物互联的基础。**

三、5G 中的大国博弈

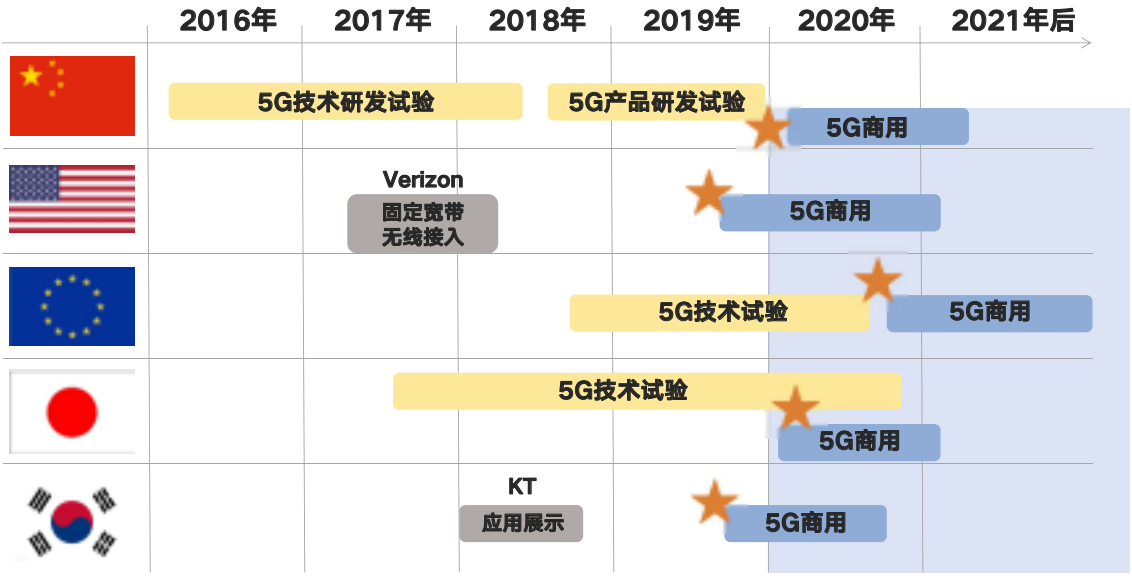
【1】5G 将拉动十万亿级经济价值，成为国家科技战略必争之地

电信业作为国家战略性行业，新一代通信技术不仅将释放巨大的经济价值，且与国家安全、科技战略深度绑定，世界各主要国家和地区高度重视 5G 产业，将其视为数字经济基石，试图强化产业布局并塑造竞争新优势。据 GSMA 预计，到 2025 年全球 5G 连接数为 13.6 亿、渗透率 14%，其中我国 5G 连接量预计为 4.54 亿、渗透率预计约 30%。在可预见的未来，中国将拥有最广阔的无线通信市场，在 5G 时代掌握主动权将带来巨大的经济收益，成为决定中国在全球新一代信息技术竞争地位的关键。截至 2019 年底，全球已经有超过 30 张 5G 商用网络，40 多家 OEM 厂商发布 5G 终端超 200 款，5G 已成为有史以来部署速度最快的一代移动通信技术。

经济价值方面，工业和信息化部部长苗圩曾表示，将来 20% 左右的 5G 设施将用于人和人之间的连接，80% 用于物和物、物和人之间的连接。据中国信通院统计，2030 年 5G 在我国直接贡献的总产出、经济增加值分别为 6.3 万亿元、2.9 万亿元；间接贡献的总产出、经济增加值分别为 10.6 万亿元、3.6 万亿元。一方面，5G 技术显然将直接带动电信运营商、相关设备企业和信息服务业务的快速增长。其更大的价值在于，5G 本身作为一项连接技术，与自动驾驶、远程控制、人工智能、远程医疗的结合，将释放更大的想象空间，包括 8K 视频、VR、AR、云游戏、工业互联网、智慧城市、智能家居等场景，都将在 5G 网络的基础上被深度激发。

【2】中美成为第一梯队，日韩欧紧随其后

目前，中、美、欧、日、韩等主要国家在 5G 商用部署上获得领先。根据美国无线通信和互联网协会（CTIA）2019 年 4 月发布的《全球 5G 竞赛》报告显示，中国与美国并列排名全球第一，并在多方面超越其他国家，韩国、日本、欧盟紧随其后形成第二梯队。中国在 5G 标准制定、技术研发、基站建设、终端设备等方面领先全球，并在政府推动下释放 5G 低频段黄金资源，具有明显的商用部署优势。美国近年来加快实施追赶及竞争性策略，通过开放更多的频谱资源推动运营商规模化建设 5G 网络的基础设施，并实现对韩国的反超。日、韩、欧等地区均大力推动 5G 战略，通过积极部署 5G 基站、参与标准制定、开展国际交流等形式保持产业竞争能力。



图：主要国家 5G 商用时间表　　资料来源：C114、百度图片、InfoQ 研究院

2.1 中国：政府主导下全面部署 5G 产业链

中国通信产业在经历了“1G 空白、2G 跟随、3G 参与、4G 并跑”的过程后，在 5G 时代有望实现领跑。总体来说，我国 5G 依托政府的积极推动，在频谱资源部署、标准制定、运营商投资、关键设备及专利布局等多个方面具有发展优势。

我国 5G 布局在国家政策推动下快速发展。在组织统筹方面，我国于 2013 年由工信部、发改委与科技部联合成立 IMT-2020 推进组，积极推进标准编制和促进国际合作。在推进组框架下，政府规划并指导完成了全球首个 5G 测试项目，并在 2018 年底提前完成第三阶段的 5G 技术研发测试。在政策制定方面，2015 至 2018 年间，《国家信息化发展战略纲要》、《信息通信行业

发展规划 2016–2020》等多项政策法规的密集出台从技术标准、网络建设、产业应用等多方面支持强化我国 5G 布局；进入 2019 年，26 个省份的政府工作报告陆续将 5G 列为发展重点，截至 2019 年 12 月，在新基建政策扶持下，我国已在 52 个城市建设开通 5G 基站 12.6 万个，预计 2020 年将新建 68 万 5G 基站，覆盖全部地级市地区。在产业化应用方面，政府在积极推动 5G 商用的同时培育产业生态环境。2019 年 6 月，工信部向中国移动、中国联通、中国电信及广电发放了 5G 牌照，随后三大运营商于当年 10 月宣布 5G 服务启动并推出 5G 套餐，标志着 2019 年成为我国 5G 商用元年。与此同时，由政府产业基金、示范应用工程、相关设备生产商、应用程序开发商等构成的产业生态圈也在逐渐完善。

为适应 5G 多场景应用，我国释放 5G 低频段黄金资源，提供宝贵的频率资源保障。我国主推的 3.5GHz 中频率已经成为全球产业界公认的 5G 商用主要频率，并开创性地将此前规划给 4G 的已在用和未许可的 2.6GHz 低频段频率资源调整用于 5G，与已规划用于 5G 的 3.5GHz、4.9GHz 中频段的频率一起纳入 5G 试验许可的频率范围。2018 年 12 月，工业和信息化部发放了 5G 系统中低频段试验频率使用许可，每家基础电信企业获得 100MHz 以上连续试验频率，保障了 5G 商业应用必需的频率资源，许可给电信运营企业的 5G 中低频段频率资源为全球最多，并且三年之内免收频率占用费，为我国 5G 快速商用奠定了基础。

5G 标准制定权决定产业话语权，我国 5G 迎来高光时刻。目前中国在 5G SEPs 数量上遥遥领先，移动通讯最关键的底层编码技术上也取得突破，成为我国赶超世界先进水平的历史机遇。在 2015 年 ITU 国际标准“过堂大会”中，中国提出的“5G 之花”9 个技术指标中有 8 个被采纳；由华为等中国公司主导推动的 Polar 码（极化码）被 3GPP 采纳为 5G eMBB 场景的控制信道编码；大唐、中兴提出的技术方案都被写入了核心标准中。根据 Iplytics 数据，截至 2019 年 11 月，中国标准必要专利已申报

图：国家政策积极推进我国 5G 发展　　资料来源：艾瑞咨询、InfoQ 研究院

组数 6783 组，对 5G 标准贡献达到 32103 个，参加 3GPP 会议的工程师数量累计 6512 人，均位列世界第一；企业层面，华为标准必要专利已申报组数 3325、对 5G 标准贡献达到 19473，参加 3GPP 会议的工程师数量 3098，超过所有参会企业。

通信网络设备是 5G 产业链价值量最大的关键环节，华为的领先成为我国通信产业链从落后到崛起的缩影。通信技术的迭代往往伴随新的产业链巨头崛起，从 1G 时代的摩托摩拉、AT&T，到 2G 时代的诺基亚、爱立信，再到 3G 时代的三星、苹果，进入 4G、5G 时代，中国厂商的增长势头超越欧美，目前通信设备市场华为、爱立信、诺基亚和中兴呈四强争霸的格局。根据 GlobalData 发布的《5G 接入网 (RAN) 竞争力分析报告》，前五大设备商中，华为在 5G RAN 竞争力综合排名第一，而其他设备商各有优劣处于第二梯队。根据 2020 年 2 月华为伦敦产品与解决方案发布会数据，华为获得 91 个 5G 商用合同的数量位居世界第一。截至 2019 年底，全球已有 34 个国家的 62 个运营商正式宣布 5G 商用，而华为支持了其中的 41 家，占比三分之二。除华为外，大量国内厂商在芯片、通信设备、运营商、终端等 5G 产业链环节均有布局，在部分关键技术标准中已处于全球领先。

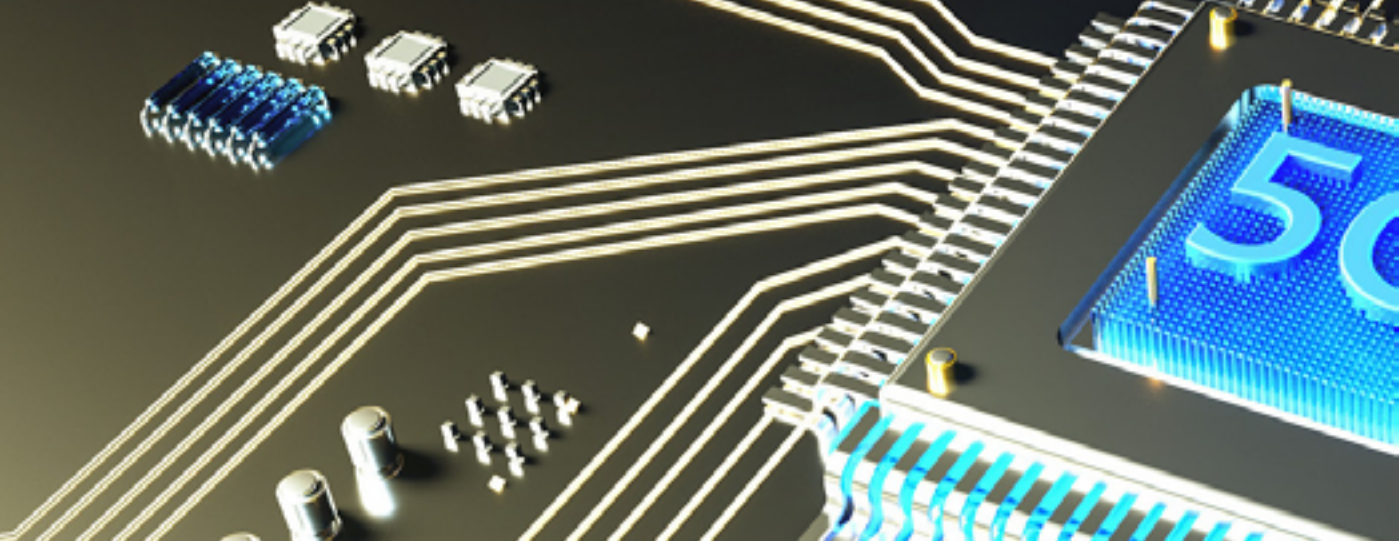
2.2 美国：更新政策法规，实施针对性加速部署

美国积极制定长期国家频谱战略，加速部署 5G，实施追赶及竞争性的策略，试图利用政治、军事上的资源助推 5G 产业发展。一方面，美国联邦通讯委员会（FCC）于 2017 年重新审视《国家历史保护法案》和《国家环境政策法案》，着手扩大 5G 应用；另一方面，FCC 于 2018 年发布“5G 加速计划”，提出全面的 5G 发展战略。具体措施层面，一是采取措施为 5G 服务提供更多频谱，向市场投放近 5000MHz 的 5G 高频频谱，并在中低频段以及免许可频段为 5G 进行有针对性的改变。二是加快对小型蜂窝设施的各级政府审查、减少合规成本，鼓励私营部门投资 5G 网络。三是更新 5G 相关法规，鼓励投资和创新，并确保美国 5G 通信供应链的完整和安全。为进一步建立在 5G 领域的优势地位，美国还发布“开源 5G”研究项目，敦促美国高科技企业积极加入 5G 开源软件开发，建立一个对美国友好的 5G 产业生态。在降低运营商负担方面，FCC 还将设立 204 亿美元“乡村数字机遇基金”，在运营商价格上限的基础上进行补助，基金未来十年将投入乡村宽带网络，把高速宽带带给美国乡村 400 多万家庭，并将带动美国基站数量的大幅增加。

在频谱分配方面，美国由于中频资源不足转向毫米波，但相较 Sub–6 频段覆盖范围小、相关技术尚不成熟、部署成本更高。美国中段频谱主要是军用或商用，清理较为困难，因此美国在 5G 建设上采取毫米波优先的战略，把拍卖高频频谱作为优先发展规划，分配了丰富的高频谱资源。目前美国已经完成 3 次全国性频谱拍卖，24GHz、28GHz、37GHz，39GHz 和 47GHz 多个波段均已分配。为改变以往 5G 使用毫米波的弊端，2020 年美国联邦通信委员会将启动中频段频谱拍卖。

2.3 韩国：全球首家 5G 商用，用户数量全球领先

韩国制定清晰的 5G 发展规划，基础设施建设和商用推进均处于全球领先。2014 年韩国未来创造科学部发布了以 5G 发展总体规划为主要内容的“未来移动通信产业发展战略”，计划投入 15 亿美



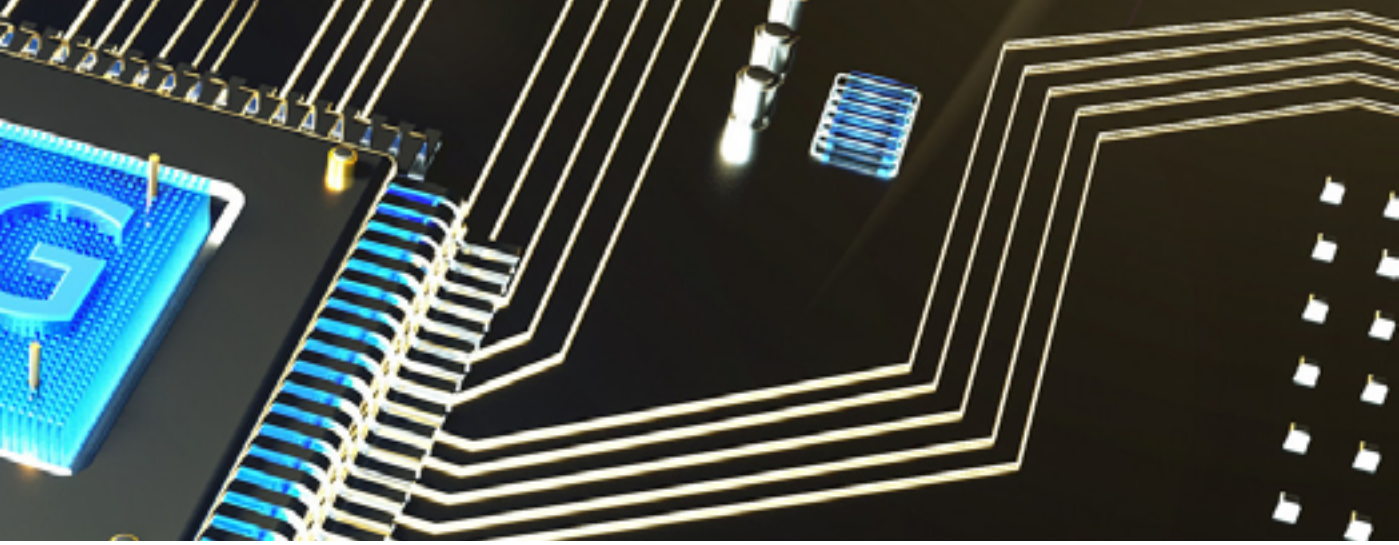
元支持 5G 发展，并在 2020 年推出全面 5G 商用服务。同年，韩国政府设立由公立及私营部门、电信服务商和制造商代表、专家组成的 5G 论坛，推动 5G 标准化及全球化。2017 年，韩国发布 5G 频谱规划，对 5G 中频段及毫米波频谱资源进行划分。2018 年冬运会期间，韩国电信联合国内外多家运营商和设备商推出 5G 服务，开创了 5G 全球首次商用。2019 年 2 月，韩国公布《5G 应用战略推进计划》，致力于建设基础环境，提出提前分配 5G 频谱资源、新建 5G 网络减税等政策。同年 4 月，韩国三大运营商正式推出 5G 服务，成为全球首个启用民用 5G 网络的国家。此外，韩国还发布“5G+ 战略”，包括制定激活 5G 相关产业的方案、5G 服务的资源保障方案、购买 5G 电信设备的税收优惠以及对 5G 网络项目的大力支持等。特别是依托文娱产业优势资源，韩国率先以“5G+ 大文娱”应用为突破口，加快 5G 在 VR/AR、云游戏、直播等领域的应用推广，为个人用户快速体验 5G 网络提供了丰富的内容场景。在用户使用方面韩国同样走在世界前列，自 2019 年 4 月成为世界首个民用 5G 的国家之后，根据 GSMA Intelligence 数据显示，截至当年 6 月底，韩国 5G 用户超 165 万人（渗透率 2%），占全球 5G 用户数约 77.5%，超过排名第二的英国 (15 万)10 倍。预计 2020 年韩国 5G 用户将达到 1500 万个，渗透率超 30%，到 2021 年有望超 60%。

2.4 日本：实施多项政策创新，积极推进商用服务

面对 5G 带来的潜在经济价值，日本有关政党明确把 5G 定位为“构建经济社会与国民生活根基的信息通信基础设施”，积极开展前瞻性应用研究。在部署基础设施方面，2018 年 12 月 28 日，日本总务省发布了基础设施共享指导方针，针对农村地区 5G 投资不具备成本效益的问题平衡政策目标和资本支出，同时推动移动运营商将基础设施共享放在更具战略性的地位，最快建成并在全国范围内提供无缝 5G 服务的运营商。为了进一步推动日本电信运营商开展 5G 网络部署工作，日本将 5G 频谱划分工作从拍卖改为“申请 – 考核”方式进行，并于 2019 年 4 月向 NTT DoCoMo、KDDI、软银和 Rakuten Mobile 四家运营商完成了中频段频谱及毫米波的分配。同时积极推动 eMBB 为主的应用研究，以及重点研究车联网、远程医疗、智能工厂、应急救灾等应用的新型商业模式。在应用方面则特别要求获得频谱的运营商以 2020 年东京奥运会为阶段性目标提供 5G 服务，并计划从 2020 年 3 月开始，在东京首都圈提供 5G 信号服务全球参赛选手与媒体，向世界展示“科技奥运”的风采。

2.5 欧盟：主导标准推进，加强产业生态建设

欧盟是通信标准的主要推动方，力求 5G 竞赛中保持竞争力。2016 年 9 月，欧盟委员会正式



公布了 5G 行动计划，意味着欧盟进入试验和部署规划阶段。欧盟 5G 发展战略及举措主要围绕三方面展开：一是全力支持 5G 移动通信标准化活动。2018 年，欧盟委员会、欧盟议会和欧盟理事会就欧洲电子通信规范（EECC）达成规范，将采取措施加强 5G 和其他下一代网络技术的推出，并以直接出资或政策扶持的形式刺激民间资本投入 5G 标准制定工作，为各标准制定组织之间相互协调提供支持。二是制定统一的 5G 实验路线图。根据《欧洲 5G 行动计划》，欧洲 5G 实验共分为两个阶段：第一阶段截至 2018 年。欧洲各国以“独立试验联盟”的形式开展 5G 技术试验，验证新兴 5G 能力并培育相应 5G 生态系统。第二阶段为首批 5G 国际标准冻结后，欧洲移动通信业界须就 5G 技术试验规范达成一致，而且要在进行 5G 技术试验时尽可能地采用符合 5G 标准的系统。三是推动 5G 生态系统的建设。欧盟 5GPPP 的 5G 技术研究与创新项目给予财政资助外，欧盟委员会还应该考虑分配一部分资金给进行 5G 技术试验与验证的垂直行业，并建立“5G 创投基金”，以培育新一波的与 5G 技术相关的创业与创新。

四、5G 产业链解析

5G 产业链可大致分为技术能力层、应用支撑层、应用能力层和应用生态层。技术能力层包括支撑组成 5G 网络的关键技术、设备。应用支撑层指由电信运营商运营的泛在 5G 网络，运营商在此基础上演化出全新的竞合关系，并积极开展差异化探索。应用能力层指运营商依托 5G 生态进行服务下沉、或由细分领域的第三方专业运营商提供的专业化运营服务，为各个行业领域的应用提供专业化支撑。应用生态层涵盖因 5G 网络而诞生新机遇的行业领域，主要涉及车联网、工业互联网、智能终端、超高清视频、云游戏等。

图：5G 产业链结构图

【1】技术能力层：核心技术和关键设备

5G 实现超高速率超低时延和万物互联场景需要依托关键技术的支撑，以应对5G承载大带宽、低时延、灵活连接、网络切片、时间同步、管控一体、前传资源等挑战。**概括而言，5G 在无线传输技术和网络技术方面形成新的突破，叠加边缘计算、云、大数据、人工智能等数字技术，结合无线设备、传输设备、终端设备的部署，实现统一空口和云化软件定义网络架构，共同形成了 5G 产业链底层技术能力。**

1.1 核心关键技术

5G 通信性能的提升不止依赖单一技术的突破，而是多种创新型技术相互配合共同实现。**关键技术大致可分为无线传输技术和网络技术两类，无线传输技术主要包括大规模天线阵列、超密集组网、新型多址技术、全频谱接入等，新型网络架构则通过 NFV/SDN 等技术得以实现。**

大规模天线阵列（Massive MIMO）：规模天线阵列是可以 10 倍、百倍提升系统容量的无线技术，可以深度挖掘无线空间维度资源，数倍系统提升系统频谱功率和功率效率，从而提高信号接收强度、在相同的时频资源上支持更多用户传输。对于天线供应商而言，大规模天线技术不仅是数量上的增加，天线的形式也将实现无源转向有源化。有源天线将天线阵列中的每个单元与相应的射频 / 数字电路模块集成在一起，实现每个单元的单独控制，从而完成波束赋形，因此未来拥有射频器件开发能力的天线厂商将占有更多话语权。

超密集组网（UDN）：超密集组网是满足 5G 千倍容量增长需求的主要手段之一，在热点地区大规模部署低功率接入点，以及在局部热点区域实现百倍量级的系统容量提升。通过增加网络部署密度，缩短了各个发射节点之间的距离，改善网络覆盖范围范围，可以促使终端在热点区域获得更多的频谱，大幅度提升系统容量，并对业务进行分流，保证了业务在各种接入技术和各覆盖层次间负荷分担。超密集组网首先直观上带来的就是小基站需求数量的增加，在城市里宏基站的站址正在消耗殆尽的背景下，小基站凭借其体积小从而能灵活部署的优势，小基站覆盖盲点、补充热点的主力越来越被运营商重视。

新型多址技术：多址接入技术的基本原理是利用为不同用户发送信号特征上的差异（例如信号发送频率、信号出现时间或信号具有的特定波形等）来区分不同用户，分配用户占用的无线资源（时，空，码和频域），以达到接入多个移动用户的功能。新型多址技术通过多用户的叠加传输，提高了用户连接数，有效利用了系统频谱资源，通过免调度竞争接入，还可以大幅度降低时延。依据信号在频域、时域波形以及空域的特征，多址接入技术基本可分为频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）和空分多址（SDMA）4 种方式。

全频谱接入：全频谱接入包含了 6GHz 以下的低频段和 6GHz 以上的高频段，采用低频和高

频混合组网，充分挖掘低频和高频的优势，达到覆盖面无接缝、热点速率高且容量大的特点。考虑高频段传播特性与 6GHz 以下频段有明显不同，全频谱接入重点研究高频段在移动通信中应用的关键技术，目前业界统一的认识是研究 6–100GHz 频段，该频段拥有丰富的空闲频谱资源，可有效满足未来 5G 对更高容量和速率的需求，可支持 10Gbps 以上的用户传输速率。

新型网络架构：中国电信最早提出“三朵云”5G 网络架构，由控制云、接入云、转发云组成，并最终成为 IMT–2020《5G 概念白皮书》和《5G 网络技术架构白皮书》中发布的新版 5G 网络架构的基础。新型“三朵云”5G 网络架构通过引入 NFV/SDN 等技术，将作为上层应用的网络控制功能与底层网络的转发功能分离，利用标准的 IT 虚拟化技术，在通用的高性能服务器、交换机和存储设备上，以软件形式部署各种功能模块解耦网元功能和物理实体，并通过网络编排与管理系统针对具体场景需求进行网络功能剪裁和按需组网部署，从而实现网络资源的智慧感知和实时调配、以及网络连接和网络功能的按需提供和适配。

1.2 关键设备

当前我国 5G 建设处在大规模建网的初期阶段，5G 建网需求及运营商资本开支将持续推动 5G 关键设备量价齐升。5G 设备涉及众多细分领域，主要包括无线设备、传输设备和终端设备。无线设备以基站为主，包括基站天线、基站射频、基站光模块和小微基站等。传输设备涵盖传输主设备、光纤光缆、光模块以及 SDN/NFV 解决方案。终端主要有基带芯片、终端射频器件、LCD 模组、通讯模块等。

图：5G 产业链建设周期及主要设备

基站天线及射频：无线射频主要由多个射频器件组成，这些射频器件主要是负责将电磁波信号与射频信号进行转换。基站天线是基站设备与终端用户之间的信息能量转换器，在 5G 基站采用大规模天线阵列的技术背景下，基站天线呈现振子提升、高端 PCB 需求、以及天线 + 滤波器的一体发展等趋势，也将大幅提升天线需求，基站天线量价齐升的局面愈发明确。

光纤光缆：光纤光缆是 5G 网络建设的基础，是连接和沟通各系统环节的桥梁。首先，大量向边缘下沉的小基站加速光纤光缆需求量剧增，根据 CRU 报告，预计至 2021 年全球及中国光缆需求量将分别达到 6.17 亿芯公里和 3.55 亿芯公里。其次，5G 对光纤容量及连接密度提更高要求，光纤基础设施架构、功能、拓扑和光纤类型都将发生显著变化，掌握光棒、光纤、光缆一体化生产能力的企业将迎来给予。

光模块：5G 光模块的主要功能为完成光信号的光电 / 电光转换，是实现光通信系统中光信号和电信号转换的重要器件，在数据中心、传输网、移动宽带等领域都发挥重要作用。由于 5G 承载网络分为“前传，回传”两段，所需光模块速率、传输距离均需逐步提高，200G 或 400G 光模块将成为主流，具有核心光芯片设计和制造能力的头部企业将优先受益。

小基站：小基站主要专注热点区域的容量吸收和弱覆盖区的信号增强，信号覆盖范围从十几米到

几百米，特别适合小范围精确覆盖，在超高流量密度、超高数据连接密度和广覆盖等场景将成为宏基站的有效补充。5G 时代“宏基站为主，小基站为辅”的组网方式是未来网络覆盖提升的主要途径。根据 SCF 预测，2015 年至 2025 年小基站建置数量复合成长率为 36% 至 7,000 万站，保守估计 5G 小基站市场规模有望超过 1,000 亿元市值。

主设备：通信网络设备是移动通信系统的核心环节，主要包括无线、传输、核心网及业务承载支撑等系统设备。在 5G 基于 SDN/NFV 重塑的背景下，由运营商推进的 SDN 和 NFV 将促进主设备的软硬件解耦，设备商靠硬件和软件打造的封闭生态将逐渐被打破，运营商也在积极尝试开源硬件标准的方式获得更多的主动权。目前具备竞争能力的 5G 主设备商有华为、爱立信、诺基亚和中兴四家，其中华为产业链布局最广，不仅涉及 5G、还包含 AI、云、软件、芯片开发以及物联网，其他三家在产业布局上稍逊。

【2】应用支撑层：移动通信运营商的全新竞合关系与差异化探索

移动通信网络“特许经营权”模式赋予了运营商在通信行业的绝对中心地位，在 5G 商用初期，运营商的大规模网络建设不仅成为上游设备投资的主要来源，也成为积极探索下游应用的重要玩家。目前，国内四家基础电信运营商在 5G 市场上形成“2+2”格局，移动与广电强强联手、联通与电信开展共建共享。5G 投资的大幅增加将推动运营商在充分开放合作的基础上演化全新的竞合关系，并逐步探索建立业务竞争优势。

四大运营商基站数快速提升，基于共享共建探索差异化优势。根据三大运营商透露的 2020 年 5G 基站建设计划，中国移动计划于年底建成 25 万座 5G 基站，中国电信与中国联通通过共建共享将在 3 季度末开通超过 25 万座基站。从包括广电在内的四大运营商建设 5G 基站频段上来看，频谱范围覆盖中低频段且各具优势。中国移动拥有 2515MHz–2675MHz、4800MHz–4900MHz 频

段，并与中国广电共建共享 700MHz–800MHz 频段，而电信与联通共建共享 3400MHz–3600MHz 频段。广电拥有的 700MHz 频段是开展移动通信业务的黄金频段，传播范围广、覆盖能力为中频段的 3–4 倍，可大量削减基站建设成本；而 2.5GHz–6GHz 频段属于中频段，有一定的容量和覆盖能力，具备室外连续覆盖的可能性。采用高中低频结合的建网模式——即将低频段作为覆盖层，提供广覆盖和深度覆盖，中频段作为连续的容量层，高频段作为热点容量层，解决容量需求，能有效利用各频段的优势，且降低建网成本。在探索差异化方面，中国移动将加速推动 SA 成熟，坚持云网一体发展，打造移动云、网络云、IT 云等战略基础设施，推广 5G+AICDE 融合创新应用。中国电信已率先在 5G SA 核心网上实现了多厂商的互联互通，实现了 5G/4G 互联互通，并支持网络切片，以 5G+ 公有云 +MEC 融合最大化 5G 技术价值。中国联通已启动 5G 网络向 SA 演进升级，除在 3.3–3.6GHz 频段上与电信共建共享 5G 基站，还在 2.1GHz 频段上软件升级 4G 基站为 5G 基站，并通过 SDR 兼备 3G/4G/5G 功能，同时推进“云网边端业”高度协同。

运营商	5G 资本开支	5G 基站数量	5G 覆盖范围	5G 部署方式
中国移动	1000亿元	25万个	全国所有地级市（含）以上城市	加快向SA演进，坚持云网一体发展
中国电信	453亿元	25万个（共建共享）	全国所有地级市（含）以上城市	5G SA商用能力行业领先，5G+公有云+MEC融合最大化5G技术价值
中国联通	350亿元	25万个（共建共享）	全国所有地级市（含）以上城市	已启动5G SA公测，推进”云网边端业“高度协同

图： 三大运营商 2020 年 5G 计划　　资料来源：年度财报、边缘计算社区、InfoQ 研究院

通力协作建立竞争优势，探索构建下游增值服务壁垒。近期三大运营商联合发布《5G 消息白皮书》，旨在通过统一技术接口、统一终端展现方式、统一业务规范，在实现网络及平台互联互通的基础上构建移动服务生态。在 3G/4G 时代，伴随移动互联网接入量与日俱增，互联网即时通信市场（OTT）对运营商传统的短信业务产生了巨大的冲击，根据中移互联网报告数据显示，2016–2018 年我国个人短信发送量平均下滑 39%，运营商提供用户增值服务获取收入的场景被削弱。5G 时代丰富的 RCS 应用场景有助于运营商实现从通信服务向信息服务的延伸和拓宽，摆脱管道化趋势、重新带来增值服务能力。除我国三大运营商联合发布 5G 消息外，日本运营商 NTT DoCoMo、KDDI 和软银于同样联手推出 RCS 服务 +message，欧洲运营商德国电信、挪威电信集团、Telia Company 等也在欧洲部署了可横跨 17 个国家和 22 个网络的 RCS 服务。根据 GSMA 数据统计，截至 2020 年 4 月，全球 RCS 月活用户已超过 4 亿，全球共 88 个运营商对 RCS 实现了商用，预计到 2021 年基于 RCS 服务的市场总价值预计将达到 740 亿美元。**5G 时代的运营商或将不仅作为基础设施的搭建者，也极有可能成为下游应用生态的深度参与者，从而获得更大的竞争优势。**

【3】应用能力层：运营商垂直服务下沉 + 第三方专业运营商

移动互联网的开放形成了通信服务的双链结构，即运营商提供通讯支持能力、互联网平台提供终端 IT 能力。5G 作为最前沿通讯技术和 IT 业务的集成，使运营管理复杂度增加，运营商将持续面临增量不增收的难题。**运营商依托 5G 生态进行服务下沉、以及细分领域第三方专业运营商的涌现将进一步提供 5G 应用支撑能力。**

运营商更有机会基于 5G 生态圈创新商业模式，并通过整合垂直领域内容提供专业服务。未来数年内，运营商将持续投入数千亿元资金用于提高网络密度、增加频谱和升级有源设备，消费者则更期待在成本更低的条件下获得更稳定的网络资源、更好的连接性能及更多的功能应用，运营商将面临更严峻的盈利挑战。**目前来看，运营商更可能通过建立生态伙伴深入服务场景，而非主导开发垂直类 5G 应用或仅仅传递数据流量。**事实上，运营商早在 4G 时代已开展相关 OTT 服务探索，如用户在购买数据流量的同时与连接订阅捆绑，包括特定 APP 数据流量、视频订阅、游戏加速等服务。**进入 5G 时代，运营商可上述模式下继续深入探索，通过打造特定领域生态圈，自定义新的数字化服务场景并创建可捆绑打包第三方产品的垂直综合解决方案，即将自身的核心网络连接与专业领域的第三方产品或服务进行捆绑，进而直接向用户销售。**如为用户提供包含完整 VR 游戏的数据套餐，包括无需额外付费的虚拟现实内容订阅、社区运营服务和头戴设备。伴随 5G 市场应用场景愈发清晰，更多新颖的商业模式也将不断涌现，运营商拥有主动探索商业模式、进行产业化实验的先机。

细分领域第三方专业运营商或将迎来崛起机遇。除运营商垂直类服务下沉外，细分领域的第三方专业运营商也可以将 5G 连接能力嵌入自身产品，向用户提供 5G 场景下的产品运营服务。如云供应商、视频流服务商、云游戏平台等，通过购买运营商 5G 网络容量的“切片”供自身使用，通过应用程序接口（API）进行管理运行，再将具有 5G 连接能力的产品或服务以直接付款或订阅的方式进行销售。目前看来，服务支撑平台在自动驾驶、智能家居、物联网、云游戏 5G 应用领域的重要性将逐渐超越流量入口，成为 5G 时代的重要崛起机遇，如 Steam、Unity 3D、涂鸦智能、Testin 云测、Waymo 等细分领域的平台类企业将更具有转化成为服务支撑平台的潜质。

【4】应用生态层：5G 应用展望

伴随我国 5G 的正式商用，各行业均积极开展 5G 探索，也意味着曾描绘的 5G 愿景已经到来。由于各应用场景的产业链成熟度各不相同，对 5G 网络的性能需求各异，因此各应用场景的发展步调差异显著。**总体来看，消费智能终端或将最先受益，云游戏、超高清视频等泛娱乐相关领域的关联技术、商业模式也将逐渐成熟，而在车联网、工业互联网等行业领域，5G 的产业价值将得到最终释放，但具体的价值实现场景仍需要不断探索与打磨。**

4.1 消费电子终端：最先收获 5G 应用红利

消费电子终端将是最先一批收获 5G 红利的行业，以智能手机、可穿戴设备为核心的消费电子产业链有望迎来新一轮成长期。根据中国移动和中国电信公布年报，截至 2020 年 2 月底，我国已有 2000 余万 5G 签约客户，在 5G 签约潮背后，消费电子终端领域将率先落地。5G 手机在传输速度、延时等方面具有较大优势，有利于拓展云游戏、移动办公、AR 等应用，但在发展初期，从技术标准、网络架构到芯片能力都面临全新挑战。市场将面临着一段时间的 4G 手机出货量下滑和 5G 手机出货量缓慢增长的调整期，这是市场发展的必经过程。

长期来看，伴随 5G 商用落地，5G 终端通讯将由个人通信向行业用户拓展和细分，其业务领域将不再局限于传统行业，智能终端将更加趋于多元化，除 5G 手机外，智能穿戴设备、智能家居、计费计量仪表、工业控制等物联网设备将成为 5G 终端的一部分。以智能手表、AR/VR 等为核心的可穿戴设备是手机以外最大市场规模的智能终端设备，有望成为物联网时代入口级产品，诸如透过各种可穿戴设备进行支付，以及健康医疗场景。以智能音箱、智能家电为核心智能设备成为消费科技方向最大市场，不仅智能音箱，智能化浪潮迅猛发展，以智能门锁、智能摄像头与烟雾传感等安全监控市场增速较快的智能硬件，被视为新的蓝海市场。此外，各类端设备功能边界逐渐模糊，“网 – 云 – 计算 – 应用”逐渐融合的趋势也更加明显，分布式终端将更多负责数据采集、交互、应用，云端计算、算法和存储功能不断强化，边缘计算最为中间层的作用逐渐被放大，智能终端与云、网的协同效率将进一步提升。

4.2 超高清视频：5G 带来新变局

4K/8K 等超高清视频生态价值凸显，5G 网络良好的承载属性解决了超高清视频内容在网络端的发展阻力，满足了超高清视频传输低时延、高速率、高可靠、高安全的技术要求，将推进在 IPTV、互联网电视、游戏、动漫、电影、AR/VR 等多领域应用，逐步释放万亿市场空间。国际重大体育赛事的举办往往成为超高清视频产业发展的催化剂，采用 5G 网络传输的体育赛事将带给观众身临其境的现场参与感。2020 东京奥运会、2022 北京冬奥会等体育赛事的举办也将推动 4K 甚至 8K 产业的发展，进一步丰富超高清视频的行业应用。家庭场景是人、设备、时间、空间的理想聚合体，视频内容在家庭场景可衍生成为家庭互动、广告、游戏、在线教育等丰富资源，客厅经济将成为功能极度聚合的用户触达场景，大屏娱乐生态或将重新崛起，超高清视频使高清频道以其精品性、高画质等特征获得诸多消费者青睐，OTT/IPTV 等场景也将伴随推荐精准化、广告定制化、服务个性化的方向进一步释放营销价值。

4.3 云游戏：5G 重塑产业链

云游戏是以云计算为基础的游戏方式，云游戏场景下游戏在云端服务器中运行并由云端服务器将游戏场景渲染为视频音频流，通过网络传输给玩家游戏终端，其使图形处理与数据运算能力相对有限的轻端设备能运行高品质游戏。云游戏本质是本地算力向云端转移、以及本地传输流媒体化，游戏载体的变革首先将把游戏从小众推向大众，并逐渐形成新的游戏内容、游戏形式和商业模式，从而带动硬件设备、文化周边等释放更大经济价值。

目前云游戏面临的主要挑战为网络通信带宽与网络通信延迟，5G 已成为云游戏普及的关键变量。云游戏场景渲染的多媒体流质量取决于网络通信带宽，交互时延取决于网络通信延迟，5G 的普及能够有效克服相关挑战。一方面，5G 更丰富的频谱资源以及大规模天线技术（MIMO）能够有效提升网络速率。另一方面，5G 网元重构从而使得切片技术能够优化网络资源分配，满足低时延的需求。

游戏行业正处于手机游戏向下一代硬件过渡的节点，在云化技术和 5G 网络普及的催化下，云游戏的发展将经历传统游戏上云和云 VR/AR 两个阶段。当前阶段云游戏市场增量来自于商业模式升级和付费意愿提升，主机游戏云化能够通过商业模式升级、硬件成本节约带来市场增量，而网络游戏云化则将带来更新颖的游戏形式和游戏体验。未来，订阅制或将代替内购置成为主流商业模式，优质的云游戏开发厂商溢价能力进一步提升，具备领先云游戏解决方案的云计算厂商、边缘计算服务商、以及掌握流量和网络服务优势的通信运营商将持续受益。

4.4 车联网：5G 最大应用市场

智能汽车和自动驾驶是新一轮科技革命背景下的新兴技术，在减少交通事故、提高道路及车辆利用率、降低运营费用等方面具有巨大潜能，已成为未来 5G 网络具有确定性的应用场景。

智能驾驶对通信网络的传输时延、可靠性、速率要求极高，在智能驾驶场景下，通信网络覆盖受道路、车辆本身、车辆速度等众多因素影响，作为车联网信息的发送端、接收端和中继节点，消息传递过程必须保证私密性、安全性和高数据传输率，需要极为精细的场景化规划解决方案。5G 低延时、高密度、高可靠的特性将为车联网打开突破口，在通信及互联网巨头的推动下，通信技术标准快速进步，应用场景得到明确定义，解决方案逐步成熟。在 5G 基础设施建设、汽车电子普及、电动汽车快速发展的三大基础之上，车联网市场爆发成为确定性机遇，车联网有望成为 5G 最大应用市场。据前瞻产业研究院预计，到 2025 年车联网市场规模有望接近万亿级别，5G 的商业话落地将深度赋能全产业链。

此外，5G 还将通过赋能 V2X 在交通安全、出行服务等方面发挥更大作用。车用无线通信技术（V2X）作为车联网的灵魂，将车联与一切事物相连接，通过将“人、车、路、云”等交通参与要素有机地联系在一起，不仅可以支撑车辆获得比单车感知更多的信息，促进自动驾驶技术创新和应用，还有利于构建一个智慧的交通体系，促进汽车和交通服务的新模式新业态发展，可扩展交通安全类的交叉路口碰撞预警、交通效率类的车速引导和自动驾驶类的远程遥控驾驶、车辆编队行驶等多样化应用生态。

4.5 工业互联网：5G 潜在的杀手级应用

工信部将智能制造定义为基于新一代信息通信技术（即 5G）与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、

自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式。工业互联网作为实现智能制造的关键基础设施，涵盖了信息采集技术及传感感知技术等关键技术，通过传感器、RFID、机器视觉等手段收集物体信息，继而进行自动化检测、装配，实现产品质量的有效稳定控制，增加生产的柔性、可靠性，提高产品的生产效率。

工业互联对数据的通信传输提出了更高要求：一是工业通信对数据传输过程中的错误丢包、时延、容量性能非常敏感，传输误差可能产生极其严重的后果，事故发生后需快速故障恢复。二是对工业控制现场环境（温度、湿度、高电磁干扰等）比消费互联网更复杂。三是在保证系统稳定性的同时，需要增强系统的开放性和互操作性，适应柔性生产，适应企业新品快速迭代。现有通信网络技术在系统容量、可靠性、时延等方面均无法满足智能制造绝大部分场景需求。具备高容量、低时延的 5G 网络恰好契合工业互联网的需求，5G 通信技术将通物联网平台连接分散点解决方案和传感器，以赋能从研发直到产品生命周期终点的全过程，并与边缘计算、网络切片、云计算、人工智能等多类关键技术共同在更多的场景赋能工业互联网。

5G 工业互联网架构包括无线网、边缘数据中心和云计算中心，带来海量传感器、通信模组，以及大量无线通信设备，传输设备，边缘计算和云计算设备需求。5G 工业互联网产业链内涵丰富，在通信环节产业链参与者包括感知 / 数据采集（芯片 / 传感器 / RFID 等）、数据传输（通信模块 / 通信基站 / 工业级交换机、路由器等设备）、云基础设施（云计算中心 / MEC）、工业云平台（PaaS / ERP/MES / DCS SaaS 等）等等。根据 GE 预测，工业互联网将影响 46 %（约 32.3 万亿美元）的全球经济，到 2030 年，工业互联网将给全球带来 15.3 万亿美元的 GDP 增量，考虑中国拥有全球最“完整的工业体系”，至少可给中国带来 3 万亿美元左右的 GDP 增量。

参考资料：

1. 《5G 通信技术概念、演进及应用》，https://zhuanlan.zhihu.com/p/78797640
2. 《一文读懂 5G 建设的市场格局、投资主题与时间窗口》，华兴资本，2019 年 11 月
3. 《展望 5G 第二年（上）：运营商跑出差异化》，https://www.huxiu.com/article/331211.html
4. 《5G 的未来，先看“刀法”？》，https://www.huxiu.com/article/309947.html
5. 《新基建风口下，中国 5G 加速起飞？》，泽平宏观，2020 年 4 月
6. 《锁定先发优势 以频谱战略托举 5G 新基建》，人民邮电报，2020 年 5 月 20 日
7. 《5G 安全报告》，中国信息通信研究院、IMT–2020(5G) 推进组，2020 年 2 月
8. 《云游戏风起，产业链重塑》，申万宏源，2019 年 11 月
9. 《车联网将成 5G 应用先驱，把握确定性产业链机遇》，国信证券，2019 年 4 月
10. 《5G 智造系列一：云上互联、别开生面》，安信证券，2020 年 2 月
11. 《传媒 +5G：娱乐新模式，发展新风口》，华安证券，2019 年 12 月
12. 《实现 5G 盈利之道》，思略特

CLOUD COMPUTING

云计算行业研究报告

近十年来，云计算从 AWS 初创时的牛刀小试演变至今成为数字经济的重要基础设施，IT 基础设施的变革逐渐接力互联网热潮带来的 SaaS 崛起，不断推动云计算完整生态的形成和爆发。云计算的本质与驱动内核是什么？经历了哪些技术演变与价值转换？未来又将衍生哪些新的市场机遇？本文基于云计算产业链视角，深入探究云计算产业发展与变革的内在逻辑，并在此基础上预测技术发展趋势、研判云生态演变格局、探索新的赛道机遇，试图为云计算从业人士、分析师、企业决策层、行业组织、以及相关政府管理单位提供一个有价值的观察视角，进而促进云计算产业迎来更大发展机遇。

InfoQ 研究发现：

1. 云计算的本质与发展驱动要素

云计算本质上是一种通过技术集成，将计算、存储、应用程序等 IT 资源集中并实现高效低成本供给的服务提供模型。在全社会数字化转型的背景下，依托极佳的 B 端商业模式和有效的技术支撑实现腾飞。

2. 技术发展和演变逻辑

云计算沿大数据价值释放的生命周期不断演化，通过不断吸纳先进技术赋能数据的获取、存储、处理分析和价值联结等环节，逐渐由资源中心演化为创新技术熔炉，并将进一步成为 BI 与 AI 融合、ABC 技术深度融合的试验场。

3. 产业链的发展与变革

IaaS 寡头垄断的竞争格局进一步稳定，SaaS 将进入高速扩张、百花齐放的新阶段，PaaS 战略作用愈发凸显，既成为 IaaS 厂商建立差异化优势、赋能生态圈的关键，也决定 SaaS 厂商能否突破增长天花板。

4. 两类生态加速飞轮式增长

生态主 – 用户 –ISV/SI/ 渠道商多方促成的飞轮式增长将在未来长时间内成为云计算产业的增长逻辑，IaaS 生态主的全品类生态体系与 SaaS 生态主深耕细分领域的精致小生态将成为未来企业服务市场的主流力量。

5. 云管理成本高昂衍生新机遇

云管理成本提升成为企业上云的主要挑战，独立的云计算咨询与托管服务有望成为新赛道。

一、云计算的定义与发展

【1】定义

中国云计算专家咨询委员会秘书长刘鹏教授曾对云计算做了长短两种定义。长定义是：云计算是一种商业计算模型，它将计算任务分布在大量计算机构成的资源池上，使各种应用系统能够根据需要获取计算能力、储存空间和信息服务。短定义是：云计算是通过网络按需提供可动态伸缩的廉价计算服务。

美国国家标准与技术研究院（NIST）也曾给出过官方定义：云计算是一种按使用量付费的模式，这种模式提供可用的、便捷的、按需的网络访问，进入可配置的计算资源共享池（资源包括网络，服务器，存储，应用软件，服务），这些资源能够被快速提供，只需投入很少的管理工作，或与服务供应商进行很少的交互。

本质上来说，云计算是一种认为“使用比拥有更重要”的服务提供模型。这个模型将大量使用网络连接的计算、储存资源和应用程序进行统一管理和调度，构成一个资源池向用户提供按需服务，这个资源池就是“云”，能够实现动态的分配和调整、在不同用户之间灵活切换划分，最终将用户终端简化成一个单纯的出入输出设备，按需享受“云”的强大计算能力。一般来说，凡是符合这些特征的 IT 服务都可以称为云计算服务。

【2】云计算的起源与演变

云计算的发展在经历了电厂模式、效用计算、网格计算等阶段后逐渐走向成熟。严格来说，各个阶段在理论层面并没有体现出明显的迭代关系，低成本、高效率的使用计算资源始终是社会各界的核心诉求。云计算的起源与演变更多体现为在延伸核心理念的基础上，整合各类技术创新，逐渐探寻出可行的解决方案、逐步满足使用需求的过程。

电厂模式阶段：电厂模式的核心是一个利用规模优势降低个体使用成本的概念。即将所有计算资源都集中到公共的云计算中心，并且遵守公开的协议，类似于电力的 220v/110v 和通信的 7 号信令，企业和个人都能方便的使用。这种模式因为具有明显的规模优势，使得其运营成本降低，但这种概念中只存在公有云一种形式。电厂模式是云计算最初

图 云计算的起源与演变

形态，核心理念即通过规模效应降低成本，并通过租用的方式提供便利化服务，这一思想一直延续至云计算阶段。

效用计算阶段：1961 年，人工智能之父麦肯锡在一次会议上提出了“效用计算”的概念，其核心借鉴了电厂模式，但不同于电厂模式突出规模效应的理念，“效用”强调一种按实际占用资源进行收费的方式，而不仅仅按照时长或速率进行收费。具体目标是整合分散在各地的服务器、存储系统以及应用程序来共享给多个用户，让用户能够像把灯泡插入灯座一样来使用计算机资源，并且根据其所使用的量来付费。

网格计算阶段：网格计算的目的是通过任何一台计算机都可以提供无限的计算能力、接入浩如烟海的信息、最有效地使用他们的系统，在满足用户需求的基础上降低拥有和管理计算资源的成本。在实现方式上，网格计算寄希望于实现不同组织间计算能力的连接，以解决计算的任务分发、结果合并问题。即研究如何把一个需要高算力的问题进行拆分，将拆分后的各部分分配给众多低性能的计算机处理，最后把这些计算结果综合起来攻克大问题。但由于网格计算在商业模式、技术和安全性方面的不足，导致其并没有在工程界和商业界取得预期的成功。

云计算阶段：云计算是资源整合（虚拟化）+IT 交互方式（SaaS、PaaS、IaaS）的组合，其理念与电厂模式、效用计算和网格计算各有相似之处，且目标基本一致，即希望 IT 技术能像使用电力那样方便，并且成本低廉。但不同的是，云计算时代的技术实力更为成熟，完全实现了计算资源的虚拟化、弹性伸缩能力。更为重要的是，云计算依靠 IT 资源供给的灵活性，革新了 IT 产业的商业模式，催生一系列高附加值新业态。**如今，云计算已发展成为提供各类云端服务与组件的软硬一体化技术资源平台，是一个带有明确商业模式的综合性载体。**

二、云计算产业发展驱动因素

【1】全社会数字化转型下的需求爆发

纵观近现代社会发展史，信息化有效提高了社会运转效率，数字化则帮助社会群体实现了维度跨越，数字网络构成的互联网空间和物理空间一样成为承载社会发展的重要载体。在互联网空间中，生产、消费、交换等环节和物理空间已完全不同，我们逐渐发现联结比拥有更重要，包括人与人、人与物、物与物通过数字化产生的联结都创造出巨大的价值空间，数据本身也成为新的生产资料。在此背景下，数字化转型正成为我们进一步利用数据资源的有效途径。

在企业层面，数字化转型被定义为以先进数字技术为途径达到数据驱动业务的商业模式的高层次转型。这些企业将通过数据资源强化竞争优势，通过创新完成对社会力量的重塑。维基百科将数字化转型的价值诠释为：“数字化转型是数字化的总体和整体社会效应，数字化转型促进了数字化进程，从而为转变和改变现有商业模式、消费模式、社会经济结构、法律和政策措施、组织模式等提供了强大的机会。”

在社会层面，通过梳理云计算的起源与演变，不难发现对于计算资源低成本与高效分配利用的需求从未改变。而当全社会进入新的数字化转型阶段，消费互联网、产业互联网将数据联结进而创造价值的需求全面放大，从零售、物流等以“互联网 +”为基础的渠道整合，到数字工厂大面积兴起，再到政企 IT 架构的全面中台化，云计算都是其最佳的满足形式。在社会需求的价值驱动下，云计算作为一种低成本、可灵活的配置的服务提供模型，将迎来更丰富的应用场景与更广阔的发展空间。

【2】伟大商业模式释放巨大社会价值

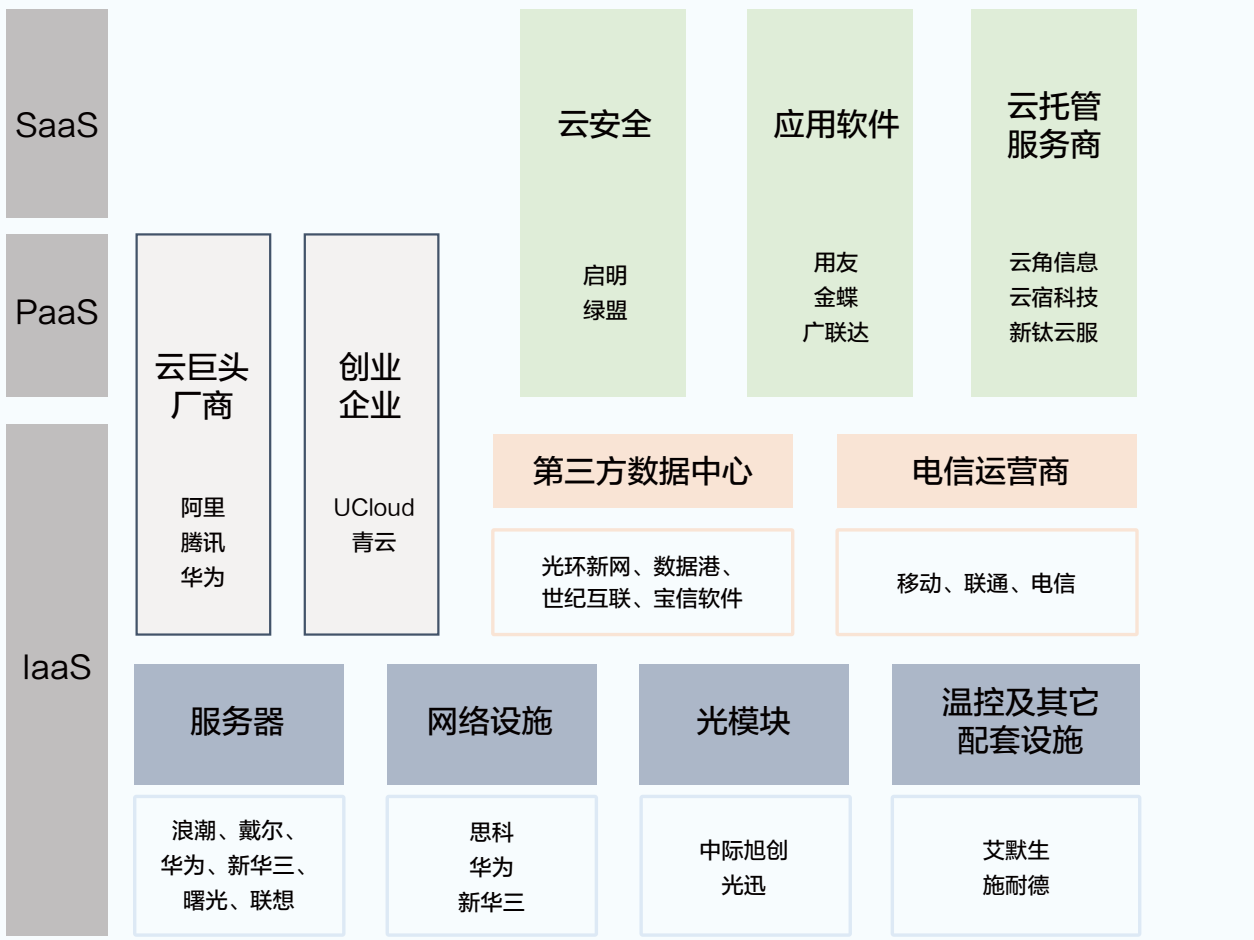
如果说以企业为主导的数字化转型是驱动云计算发展的外部条件，那么就云计算本身来说，云计算产品和服务形态非常适合新时代的 B 端需要。订阅制和按需付费的计费方式大幅降低了用户的使用门槛，而技术基础设施架构方面的稳定性、以及数据资源较高的迁移成本又带来了极高的客户粘性，再加上云计算已成为开源厂商的价值延伸，这些因素足以使得云计算成为一门好的生意，对应着一个极佳的 B 端商业模式。而从用户的视角来看，云计算的采用使任意组织和个人得以站在巨人的肩膀上开展业务，避免重复造轮，极大提高了软件与服务构建各环节效率，加速了各类应用的架构和落地，而云端按需启用和随意扩展的资源弹性，也能够为企业节省巨大成本。

【3】技术发展支撑产业腾飞

在需求爆发和成熟商业模式的基础上，云计算近十年的腾飞也得益于技术和工程层面的日益成熟。包括超大规模数据中心建设、高速互联网络的迅速普及，更强更新的 CPU 带来了计算能力的提升和换代、新上云端的 SSD 磁盘让存储类服务得到了市场认可，以及计算资源虚拟化 (Hypervisor)、软件定义网络 (SDN)、数据管理、云原生等技术的不断发展和成熟，这些技术和工程基础能力的提升构成了云计算实现商业模式的重要前提。

三、产业链全景

图 云计算产业链结构图
资料来源：东方证券研究所、InfoQ 研究院



【1】云计算服务

1.1 云计算的三层服务架构与三种部署模型

云计算服务可根据服务模式和部署模式进行划分。

根据服务模式，可分为 IaaS、PaaS、SaaS 三种类型。三者的主要区别在于云服务商提供的资源类型不同，美国国家标准与技术研究院（NIST）对三种服务类型做出了如下定义：

IaaS（Infrastructure as a service，基础设施即服务）：向用户提供处理、存储、网络以及其他基础计算资源，用户可以在其上运行任意软件，包括操作系统和应用程序。用户不管理或控制底层的云基础架构，但能够控制操作系统、存储、发布应用程序，以及有限度的控制选择的网络组件。

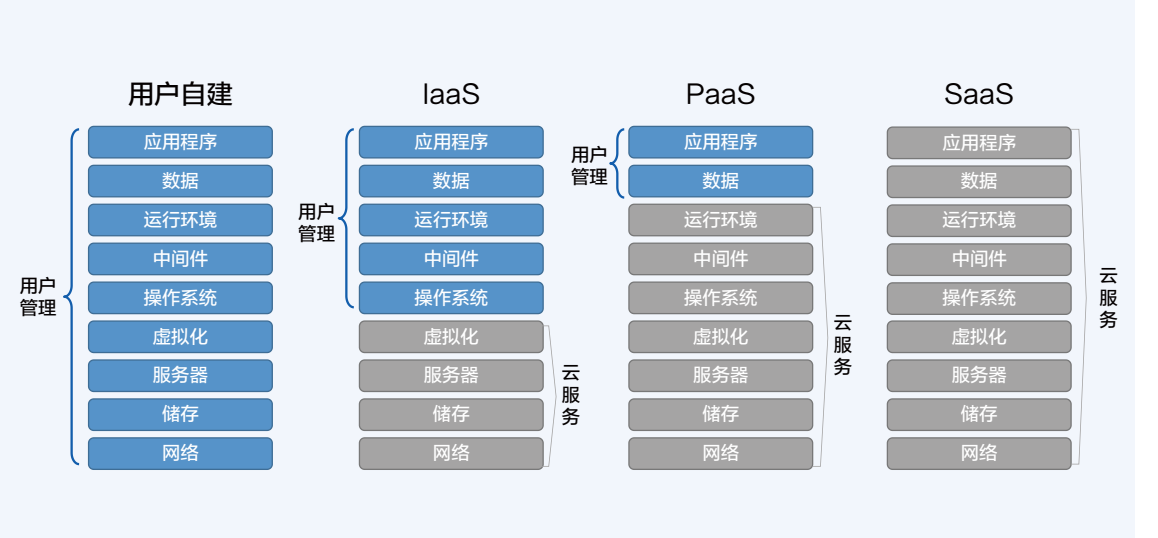
PaaS（Platform as a service，平台即服务）：用户使用云服务商支持的开发语言和工具，开发应用程序，并发布到云基础架构。用户不管理或控制底层的云基础架构，包括网络、服务器、操作系统或存储设备，但是能够控制发布应用程序和可能的应用程序运行环境。

SaaS（Software as a Service，软件即服务）：用户使用云服务商提供的运行在云基础设施上的应用程序。这些应用程序可通过各种各样的客户端进行访问。用户不管理或控制底层的基础架构，包括网络、服务器、操作系统、存储设备，甚至独立的应用程序机能。

按部署模式划分，可根据数据储存在不同地方分为三类：公有云、私有云、混合云：

公有云：以即付即用、弹性伸缩的方式为政府或公众用户提供计算资源和服务，包括硬件和软件资源，是一种允许用户根据服务使用量支付费用的云计算模式，具有强大的可扩展性和较好的规模经济性。主要优势在于相较企业云可根据需要无缝扩展，劣势在于安全保护和可用性差。

图 IaaS、PaaS、SaaS 服务内容对比



私有云：指某个企业根据自身需求在自家的数据中心上部署的专有服务，提供对数据安全性和服务质量最有效控制，仅限于企业员工和值得信赖的合作伙伴使用。私有云关注信息安全，客户拥有基础设施，并可以控制在基础设施上部署应用程序。内部用户通过内部网络或专有网络使用服务，私有云的使用体验较好，安全性较高。劣势在于投资门槛高，且当出现突发性需求时难以快速扩展。

混合云：混合云融合了公有云和私有云的优点，兼顾性价比与安全，是近年来云计算的主要模式和发展方向。混合云将公有云和私有云进行混合和匹配，用户可将数据存放在私有云中，同时获得公有云的计算资源，可同时提升业务系统整体的可用性和核心数据的安全性。

图 公有云、私有云、混合云优势比较

	公有云	私有云	混合云
安全性	◔	○	◕
可扩展性	○	◔	○
可靠性	◔	◕	◕

1.2 IaaS 产业生态逐渐成熟，行业应用不断丰富

由于我国云计算市场发展仍处于对计算、存储等传统 IT 基础资源的替代过程中，IaaS 成为云服务商向企业提供IT基础资源的主要形态。目前，IaaS 已取代 SaaS 占据了国内公有云市场的主要份额。据 IDC 预测，2019–2023 年我国公有云 IaaS 市场还将实现 46% 的年均复合增长率。结合 IaaS 技术门槛高、资本投入大、用户转换成本高等特征，AWS、阿里云、腾讯云等互联网云服务商将继续领跑我国云计算市场，行业集中度或将进一步提升。

互联网巨头逐渐建立涵盖 IaaS、PaaS 的全面产品布局，赋能 ISV 伙伴扩展极为丰富的应用场景。自 2009 年阿里巴巴率先进行探索，到 2010、2012 年腾讯、百度先后上线云服务产品，再到 2017 年华为以挑战者姿态宣布成立 Cloud BU，巨头的加入带来了大量社会资源，不断吸引技术伙伴和开发者，将云服务渗透到各行各业。伴随 IaaS 市场的逐渐成熟，云安全厂商、分发 CDN 厂商、Docker 厂商、云存储厂商等专业型云计算服务提供商大量涌现，通过部署 PaaS 产品整合产业链下沉专用领域市场、赋能 ISV 伙伴建立云生态提供差异化专业服务，成为 IaaS 厂商提升市场竞争力的重要途径。

案例专栏：阿里云 VS 腾讯云

阿里云战略定位为被集成、自身不做 SaaS，即作为提供技术和数据服务的赋能平台，通过 IT 基础设施的云化、核心技术的互联网化，赋能 SaaS 应用的数据化和智能化。在此战略设定下，飞天云操作系统、飞天大数据平台、阿里巴巴双中台和智联网 AIoT 成为阿里云的“四张王牌”，并以“合作伙伴与生态”的概念与用户建立高效联系，先行以电商行业为中心逐渐扩展覆盖 60 余个产业，且大型企业覆盖率较高。

腾讯云则更倾向于建立枢纽式的连接，依托产品见长的特性在移动互联网时代扎根消费互联网，从游戏、视频、移动应用等具有优势的 B 端服务场景入手，联合更多的行业解决方案，进一步拥抱产业互联网，目前仍处在地理区域扩展阶段。

阿里云占据国内 IaaS 市场 45.5% 市场份额居行业第一，高于 2–5 名的总和，处在绝对主导地位，腾讯云占 7.6% 居第二位，呈快速追赶态势，二者的竞争将成为未来一段时期内国内云计算产业发展的风向标。总体来说，二者均为用户提供集云计算、云数据、云运营于一体的全球云端服务体验。相较来看，阿里云基础设施、硬件布局更加全面完善，稳定性较好，且人工智能技术较强；腾讯云则由于入场时间较晚，近年来更多投入于云计算基础能力和大数据的研发实践方面，产品的场景化能力也相对较强。

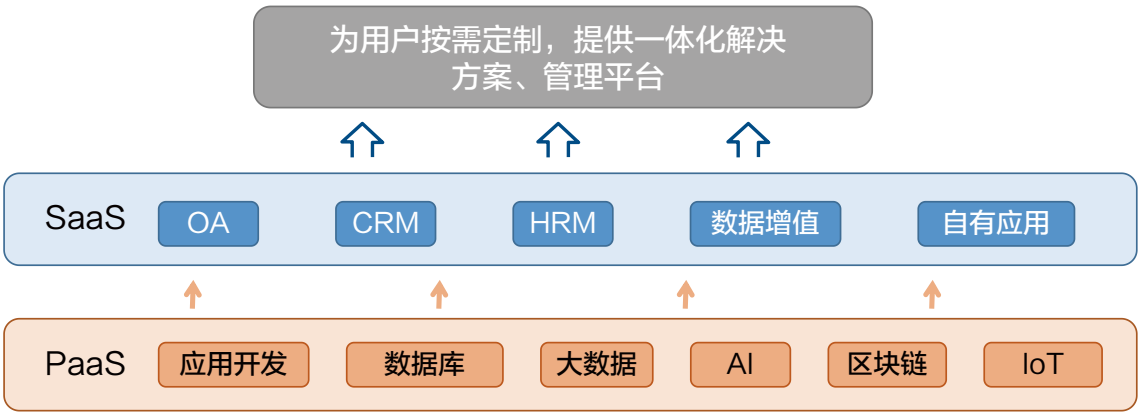


图 SaaS+PaaS 提升产品可配置性　　资料来源：国金证券研究所、InfoQ 研究院

1.3 企业向云架构升级促进 PaaS 发展，战略作用逐渐凸显

作为云计算模型中的能力层，PaaS 可以帮助企业更好地将业务与 IT 融为一体，完成“业务到 IT”的最后一公里。随着云计算向传统产业、大型企业逐步渗透，企业需求由增量 IT 上云转变为全面上云，即在基础设施上云的基础上，完成平台系统上云及业务应用上云。在此过程中，PaaS 作为开发者平台，既对应传统 IT 当中操作系统、数据库、中间件等基础软件，也承载了人工智能、大数据、物联网、行业云等功能应用。综合来看，虽然 PaaS 相较 IaaS、SaaS 的市场规模较小，但其作用不容忽视，在产业链中的战略地位逐渐凸显。

PaaS 逐渐成为 IaaS 厂商形成差异化战略的关键。当前，IaaS 厂商的吞吐速度、丢包率、宕机率等性能差异逐渐缩小，基础计算、存储、网络等服务的同质化程度高，巨头间价格战成为主要竞争手段。在此背景下，IaaS 厂商核心的差异化战略体现在 PaaS 层面，通过不断推出 PaaS 层的新功能聚合下游 SaaS 生态，亚马逊、阿里云等巨头频繁发布新功能，基于 PaaS 建立自身差异化产品矩阵。从应用角度来看，IaaS 和 PaaS 的界限正在不断模糊化。

PaaS 成为决定 SaaS 厂商能否突破天花板的关键。SaaS 厂商一般情况下能够满足用户的共性需求，但无论是大型企业用户的定制化需求、自身产品的 DevOps 需求，还是 SaaS 应用之间的细分、跨层、打通等集成需求，都更需要 PaaS 层面的技术支持。因此，从技术角度来说，SaaS+PaaS 可提升产品可配置性，SaaS 厂商的天花板也取决于自身的 PaaS 能力。

从商业模式角度来看，PaaS 在通过支撑 IaaS、赋能 SaaS 服务实现价值外，自身也逐渐发展出“PaaS+ 咨询”的服务盈利模式。如在通过 PaaS 构建业务中台的场景中，企业除了需要购买 IT 产品和服务，还需要进行充分的业务梳理，包括购买 IT 咨询服务予以实现。目前用友网络、金蝶国际、汉得信息等服务商均在 PaaS 基础上衍生出更高价值的咨询服务。

案例专栏：星环科技

新的时代背景下，围绕数据生命周期赋能企业数字化转型承载了云计算技术的主要价值场景，PaaS 较 IaaS 更贴近数据分析应用场景、较 SaaS 具有更广泛的生态协同效应，成为云生态的重要价值节点。星环科技正是基于完善的 Paas 数据云平台产品体系释放企业数据价值的先进践行者。

总体来说，星环科技的 PaaS 产品体系服务于企业围绕自身需求升级数据管理方式，同时基于云平台形成新的数据开发方式，最终使数据转换为智能洞察，更好帮助企业实现数字化和智能化业务。

TDC2.0 数据云平台是其宏伟愿景下技术思路的集中诠释。一方面，TDC2.0 代表了一种以数据为中心的建设方式，即首先建设上层支撑应用，并提供数据资产服务、应用开发和数据分析的完整工具链，既包括提供企业级数据资产目录 Transwarp Data Catalog 服务企业数据资产管理、以及引入人工智能平台 Sophon 进行数据智能化分析，也支持企业通过 WALM 将自己的应用编排在云原生框架上。另一方面，TDC2.0 体现了数据基础架构升级的新范式，即通过自研的容器操作系统（TCOS）运行各种工作负载，并提供相应的混合云管理技术、安全管理技术，提供多租户、自动扩展资源、服务自监控等能力，实现开发与运维的平衡，联邦云的落地更是将数据的承载、联结能力进一步升级。在此基础上，星环科技“平台 + 生态”的战略思想得以延伸，其陆续发布的知识图谱全场景解决方案、实时反欺诈解决方案、云边一体 AIoT 解决方案逐步渗透至各个领域，在银行、政务、疫情防控等多个领域发挥了重要价值。

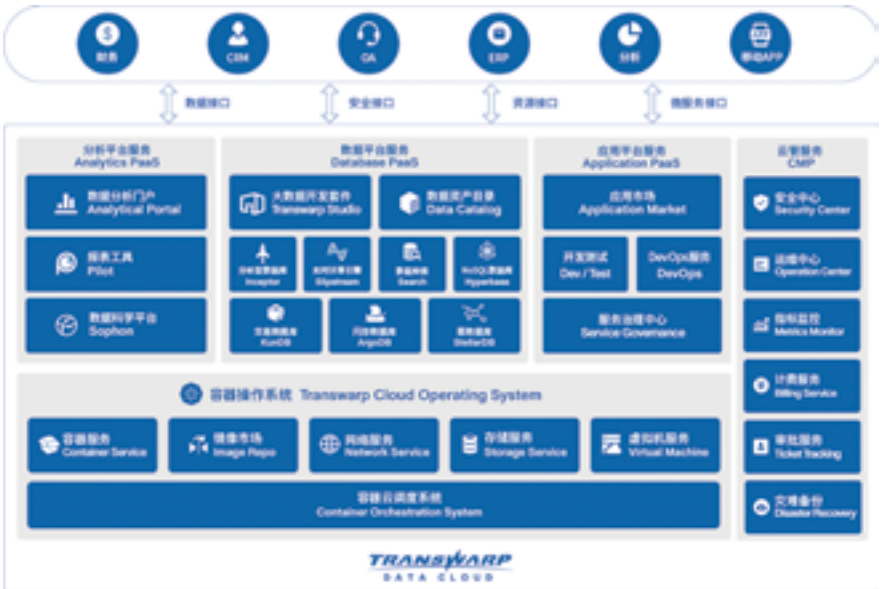


图 星环科技 TDC2.0 数据云平台技术架构图
资料来源：星环科技

1.4 消费互联网与产业互联网融合背景下，企业级 SaaS 服务迎来历史性机遇

在我国人口红利消退、迎来存量经济转换的背景下，企业数字化转型的需求更加迫切，成为 SaaS 行业长期增长的主要驱动因素。对比全球市场，我国拥有充分发达的消费互联网、相对齐全但发展水平参差的制造业、但企业服务相对滞后。消费互联网在过去 10 年通过网络和数据打通了从消费者到厂商的桥梁，产业互联网则将数字连接扩展到为消费者提供产品和服务的各个环节：不仅包括产业链的价值环节，更延伸到企业内部的研发设计、物流供应、用户服务、甚至内部组织管理，即将企业本身的活动数字化与其它企业形成有效的链接和网络协同。互联网向“产业”互联网的发展进程不只是一种增量改进，而是通过赋能企业让“产业”发生范式变迁，企业级 SaaS 服务将在此过程中寻求新的突破。

据艾瑞咨询数据显示，2018 年中国企业级 SaaS 市场规模为 243.5 亿元，到 2021 年预计整体市场规模将达到 654.2 亿元，年复合增长率保持在 39.0% 以上。具体来看，2018 年中国业务垂直型 SaaS 市场规模 140.2 亿元，同比增长 42.1%，CRM、客服与呼叫中心、ERP 和通信占业务垂直型市场近六成；行业垂直型 SaaS 市场规模为 103.3 亿元，零售电商 SaaS 市场占比超 1/4，医疗、物流 SaaS 市场规模紧随其后，占比为 16%、13%。**就目前的市场格局来看，企业级 SaaS 服务主要集中在数据化基础好、使用频次高、可运营的行业领域，且原生于互联网的产业领域居多，但伴随 SaaS 服务向更多传统领域扩展，辐射领域将逐渐分散。**市场集中度方面，因与消费互联网相关联的 SaaS 服务大多是中国市场独有，中小厂商既可以享受云巨头 IaaS、PaaS 基础服务迅速成长，还可以避开和国际巨头的直接竞争，百花齐放、群雄逐鹿的竞争格局将成为常态，企业间的核心竞争优势将体现在对所属行业及用户需求的深入理解。总体来说，企业级 SaaS 服务市场规模成长空间巨大，未来将加速向传统传统行业、小微企业渗透，释放更大的价值空间。

国内 SaaS 企业优质案例梳理

企业名称	主要产品服务及服务
用友网络	国内 ERP 龙头厂商， 云产品生态涵盖营销云、协同云、采购云等领域云，以及工业云、政务云、建筑云、能源云等行业云。与超 60% 的国内 500 强企业建立合作关系，发布 NC Cloud 混合云解决方案抢占大型企业制高点，并发布 U8 Cloud、YonSuite 服务成长性企业。
金蝶国际	国内领先的企业管理软件应用解决方案提供商，针对大中型用户提供完整的企业级 SaaS 服务和 PaaS 服务，面向小微企业提供一站式 SaaS 应用。软件业务包括针对大型企业的 EAS，针对中型企业的 K/3，针对小型企业的 KIS；云服务业务包括针对大型企业的云苍穹，针对中型企业的云星空，针对小微型企业的精斗云，智能协同办公云之家及电商云 ERP 管易云。
广联达	作为国内领先的数字建筑平台服务商 ，立足建筑产业，围绕工程项目全生命周期，为客户提供以建设工程领域专业应用产品和解决方案，搭建以产业大数据、产业新金融等为增值服务的数字建筑平台，产品从单一的预算软件逐步扩展到工程造价、工程施工、产业新金融等多个业务板块。
石基信息	是中国目前最主要的酒店信息管理系统解决方案提供商之一。公司全面整合了前台管理系统（PMS）、酒店餐饮信息系统（POS）、酒店后台管理系统（BO）以及其他管理系统（CRS、LPS、CRM、PGS 等），使公司的各类产品融合成为一个功能完整覆盖、技术全面领先的“石基数字饭（酒）店整体解决方案（IP Hotel）”，能够为从高星级到较低星级直至经济型连锁酒店提供全套完整的解决方案。

【2】数据中心

2.1 IDC 作为核心基础设施，概念范围逐渐扩大

IDC 即 Internet Data Center（互联网数据中心），将规模化的硬件服务器整合虚拟到云端，为用户提供的是服务能力和 IT 效能，是云计算发展的重要支撑。2019 年，我国 IDC 市场规模达到 1560.8 亿元，同比增长 27.1%，远高于全球 IDC 市场增速（约 11%）。

从产业进程来看，IDC 产业已由大数据时代的科技地产逐步发展演化成为全社会数字经济的基础设施。第一阶段的传统 IDC 主要由基础电信运营商主导建设，引入分布式技术搭建云计算基础平台，部署运营商自有业务。发展至第二阶段，互联网和移动互联网的高速发展带来数据需求激增，大型企业开始自建数据中心，主要服务类型为主机托管和网络托管，同时也提供包括数据存储、安全管理、网络互连、出口带宽的网络选择等服务，数据中心逐渐成为企业 IT 基础设施的核心。进入第三阶段，数据中心的概念被再次扩大，第三方数据中心也逐渐兴起，IDC 发展成为集 SaaS 软件开发、管理与托管运行的综合平台，即在为上游开发商提供 PaaS 平台的同时，产生丰富的 SaaS 应用。如今，IDC 已进入“全面云服务化”阶段，云计算 IDC 之间逐步实现互通，自动化、智能化程度也不断提升。

2.2 数据激增 + 政策利好，多重因素驱动 IDC 发展

纵观 IDC 发展演变历程，移动通讯技术发展下的全社会数字化转型产生了海量数据、并催生更多应用场景，数据流量激增是驱动 IDC 加速扩建的直接因素。伴随云计算、5G、AI、VR/AR 等技术相继落地，我国及全球数据流量均呈现高速增长态势。根据数据机构 IDC 和希捷的报告，我国产生的数据量将从 2018 年 7.6 ZB 增至 2025 年的 48.6ZB，CAGR 达 30.35%，超过美国同期的数

据产生量约 18ZB，然而我国人均机房面积仅为美国的 1/20，显示出我国数据中心仍存在较大的市场缺口。尤其在近年来摩尔定律面临失效之际，通过提升硬件性能对算力的补充已明显滞后于数据增长速度，加速扩建更大规模的数据中心成为数据量爆发增长背景下，应对数据向云端转移趋势的必然选择。

IDC 作为新基建的重要组成部分，受政策引导、技术标准制定、REITs 试点等多重利好因素推动。自 2020 年 3 月以来，党中央多次强调新型基础设施这一投资方向，数据中心作为“新基建”的重要组成部分，获得业界的高度关注。具体来看，近年来国家发布多条政策指引 IDC 合理布局，通过政策、技术标准等鼓励 IDC 产业发展。2019 年 12 月由国务院发布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，提出“推进区域信息枢纽港建设、实现数据中心和存算资源协同布局、支持北斗导航系统率先应用”等，均是从支撑产业发展、服务社会数字化转型的角度提出 IDC 的具体建设诉求。技术标准方面，2013 年工信部发布的 YD/T 2441–2013 等四项数据中心通信行业标准开创了数据中心等级在通信行业标准领域的先河，2019 年中国通信标准化协会（CCSA）又发布了 12 项数据中心相关团体标准，引领数据中心产业的良性发展和技术有序进步。更值得关注的是，2020 年 4 月，证监会与发改委联合发布《关于推进基础设施领域不动产投资信托基金（REITs）试点相关工作的通知》，优先鼓励信息网络等新型基础设施开展试点，同时证监会发布《公开募集基础设施证券投资基金指引（试行）》，标志着国内公募 REITs 试点正式启动。第三方 IDC 企业主要优势来自机柜数的规模效应，因而固定资产占比高、折旧高、融资需求高，REITs 模式有助于盘活企业存

量资产、吸引社会资本，为 IDC 的重资产属性提供了变数，REITs 的率先落地将为 IDC 企业迅速打开成长空间。

2.3 云巨头掀起自建 IDC 热潮，第三方 IDC 企业开启价值转型

云巨头引领云基础设施投资建设，IDC 资源向云巨头快速集中。截至 2019Q3，全球超大规模提供商运营的大型数据中心数量增加到 504 个，另有 151 个处于计划或构建阶段，亚马逊和微软在过去四个季度中开设了最多的新数据中心，占半数以上，谷歌和阿里巴巴位于第二梯队。据 Canalys 报告显示，仅 2019Q4，上述四家云巨头在云基础设施服务上的支出较去年同期增加 78 亿美元，增幅高达 37%。伴随云巨头云基础设施的急速扩张，IDC 资源也在进一步集中，根据 Synergy 对全球 20 家主要云和互联网服务公司的数据中心足迹分析研究，有近 70% 的超大规模数据中心都位于数据中心运营商租用或超大规模提供商的合作伙伴拥有的设施中。

云巨头的入局正在改变 IDC 产业格局，第三方 IDC 积极开启价值转型，有望成为新的市场领导者。在云巨头的冲击下，大量中小型客户选择了价格优惠、使用简便的云服务作为存储数据的载体，传统第三方 IDC 受到下游云巨头的挤压，采取更灵活的销售模式、以及更多增值服务获取产业链竞争优势及利润空间。在销售模式上，多家第三方 IDC 企业采用“批发 + 零售”模式，充分发挥运营优势、提供定制化服务能力。如奥飞数据针对视频网站运营商、网络游戏运营商的自用需求采用零售模式，而针对专业互联网综合服务商，则采用批发模式兼顾其自用、对外服务需求。在增值服务方面，定位相对高端服务的大型 IDC 服务商逐步向增值服务商转移，提供安全管理、内容分发、网络运维、信息化应用租用等增值服务。如数据港与阿里云签订协议，在 6 年内承销不低于 4.35 亿人民币的阿里云产品 / 服务，通过新增云销售业务深化与云巨头的战略合作关系。在地理资源方面，第三方 IDC 作为上游资源体现出一定程度的垄断性。由于云计算大客户多处于中心城市，考虑到服务响应的及时性，北上广深等区域市场 IDC 业务需求巨大，数据中心上架率显著高于其他地区。伴随北上广深等中心城市政策对 IDC 新建规模和 PUE 限制要求更加严格，第三方 IDC 企业数据中心资源的储备和开拓将成为核心壁垒，在一线城市拥有良好布局的头部企业在将占据更多的竞争优势。目前，除运营商占据中国 IDC 行业主要份额外，核心城市以第三方 IDC 企业为主，BAT 等大型云计算厂商主要在偏远地区自建超大型数据中心。综合来看，第三方 IDC 企业的数据中心资源地区优势显著，未来也将加速新增一线城市布局，有望赢得更多市场份额。

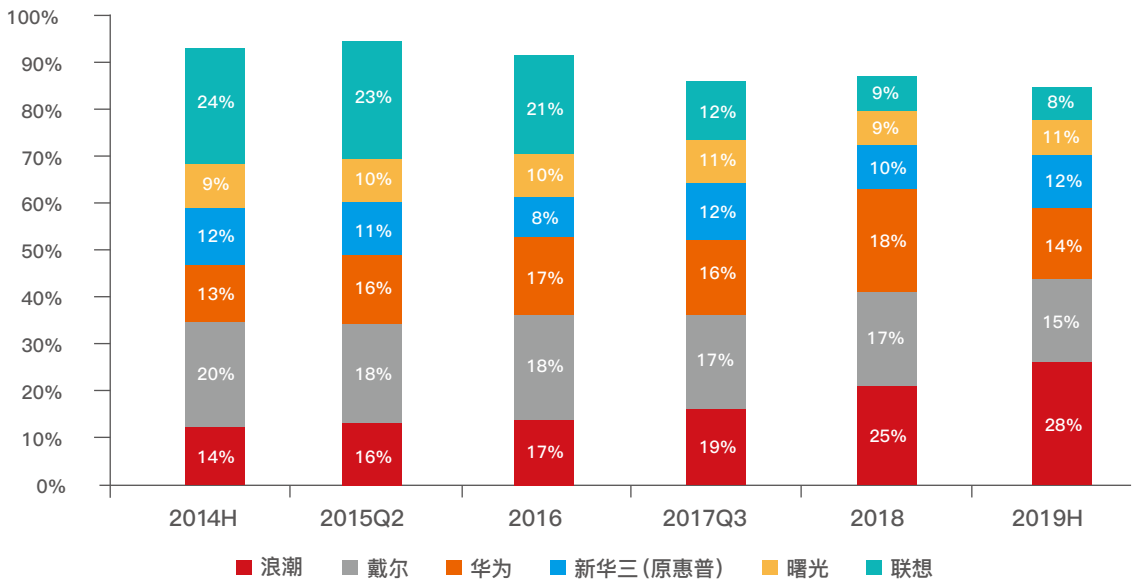
【3】IT 基础设施

3.1 服务器：云计算的基础物理单元

服务器是云计算硬件支持的核心和计算能力来源，是虚拟 IT 资源的底层支撑。根据 Gartner 数据显示，全球服务器市场在 2017 年开启新一轮扩张，全球公有云市场的高速增长是其主要驱动因素。而在同时期，国内服务器出货量增速约为全球市场增速的 2-3 倍，出货量占全球比重由 2013 年的 13% 提升至 2019 年前三季度的约 30%。由于云服务器在底层架构、功能需求、交付时间等方面与传统服务器存在一定差异，因此市场的快速扩张也带来市场份额的相应变化。在国内市场方面，2014 年以来浪潮服务器出货量占比不断上升，目前已成长为全球第三、国内第一的服务器龙头，2019 上半年国内出货量占比高达 28%。纵观我国服务器领域竞争格局，除浪潮占据主要份额外，戴尔、华为、新华三、曙光、联想等主要玩家共占据近 9 成市场份额，国内服务器市场整体竞争格局趋于稳定，伴随华为或将受战略影响退出服务器整机市场，龙头企业市占率有望进一步提升，服务器毛利率也将逐渐企稳回升。

云计算厂商主导的硬件开源激发新的合作模式。在新的云计算需求下，云计算厂商先后牵头成立三大开放计算组织（OCP、ODCC、OPEN19），通过统一标准、硬件开源的方式引导上游设备厂商生产、组装符合其核心需求的服务器。纬颖、广达等白皮厂商抓住了硬件开源机遇，依托开源技术提供极具性价比的解决方案，逐步侵蚀品牌厂商的市场份额。在此背景下，惠普、浪潮等主流厂商纷纷拥抱开放计算组织，为云计算厂商提供定制化产品。具有代表性的做法是，浪潮针对大型互联网厂商的算力增量需求提出 JDM 模式（Joint Design Manufacture），跳出了设备厂商单

图 中国服务器出货量市场份额　　资料来源：CCIN、华泰证券、InfoQ 研究院



纯作为设备供应商的角色，主动参与到客户的需求定制当中，打通了“需求、研发、生产、交付”全流程，不仅能够提供更符合云计算要求的服务器，交付效率也有明显提升。长期来看，与云计算厂商保持紧密合作关系、能够满足云计算厂商核心需求的服务器厂商有望进一步抢占市场。

3.2 网络设施：极具竞争壁垒的数据中心核心传输产品

网络设施是云计算产业链必不可少的关键环节，主要包括交换机、路由器等核心硬件设备。受 2019 年需求及云厂商资本开支下滑影响，目前全球及国内交换机、路由器市场增长缓慢，且均呈现高度垄断的竞争格局。全球市场方面，思科作为路由器的创造者，多年深耕交换机 / 路由器领域，常年占据约 50% 的市场份额。国内市场方面，华为与新华三共占据企业级网络设备交换机 / 路由器市场约 60–70% 的市场份额，华为同样占据运营商网络设备市场的主要份额，尤其在高端市场具有垄断地位。规模较小的白牌机厂商则借助硬件开源、SDN 机遇，通过发力低端市场进行追赶。总体来说，在云计算数据中心增量需求带动下，白皮厂商依托开源技术和价格优势有望进一步提升市占率，但进入高端领域，华为、新华三等龙头厂商在高端市场积累的技术和资本优势构建了极高的竞争壁垒，或将在长期持续成为主要受益者。

3.3 光模块：5G 和数据中心带来光模块量价齐升

5G 网络和数据中心的发展将共同推动光模块市场高速扩张。根据 Lightcounting 预测，2019–2024 年光模块产业规模复合增速将达到 20.5%，产业发展迎来新机遇。5G 方面，光模块在 5G 承载网络结构变化、速率升级要求的背景下，不仅具有 4G 光模块的更新需求，还拥有由基站数量增加、网络结构变化（前传回传变为前传中传回传）等带来的光模块增量需求。数据中心方面，超大规模数据中心主流方案向 400G 演进，伴随高速率叶脊网络架构带来横向连接需求的增加，高速光模块使用数量将达到传统架构的数十倍。我国光模块产业在承接国际产业转移过程中逐步积累技术优势，光模块中低端产品已实现垂直一体化，并凭借成本优势获取市场份额，同时部分企业的芯片研制能力大幅增强，中国光模块企业的全球竞争力逐步提升。LightCounting 指出，中国光器件供应商有望在 2020 年主导全球市场，收入占全球市场 50% 以上；在光模块销量上，中际旭创也有望取代 Finisar 抢占第一位。值得关注的是，近年来运营商跳过设备商直接采购光模块的方式将释放更多的利润空间，具备芯片和高端光模块研发制造能力的企业将在新一轮竞争中拥有更大的比较优势。

四、云计算发展趋势预测

【1】云计算将走向技术资源的中心节点，成为融合 5G、AI 等创新技术和工程实践的试验场景

未来，云计算不仅是计算的中心化，也将成为技术资源的中心化节点，在新技术的发展过程中，云计算将保持基础设施属性，对于新兴技术展现普遍包容和适应态度。首先，云计算本身作为交叉技术应用场景，将成为基础设施的基础设施，承载大数据的汇集、支撑 AI 算法的运算及衍生商业价值。以人工智能为例，不论是 IaaS 中 GPU 算力的提供，还是面向特定领域成熟模型能力的开放（如各类自然语言处理、图像识别、语音合成的 API），再到帮助打造定制化 AI 模型的机器学习平台（如 AWS SageMaker、Azure Machine Learning Service、阿里云 PAI 等），云事实上从各个层面都有力地支持和参与了 AI 技术的发展。就最终效果而言，云上的资源和产品让人工智能等新兴技术变得触手可及，大大降低了客户的探索成本，也加快了新技术的验证和实际交付，激发出更高的社会价值。其次，AI、5G 等新技术正朝着深度融合的方向发展并将释放更多价值空间。云计算的海量算力、5G 的可靠网络连接、AI 的颠覆性潜能正在相互协同，融合发展模式将进一步加强现实世界与数字世界的互动互促，深入到各行各业之中，创造出“智能制造”、“智能网联车”、“智慧城市”等潜力巨大的数字经济产业，新的业务体验、新的行业应用以及新的产业布局正在徐徐展开，成为我国数字经济发展的重要引擎。

【2】云的生态属性延伸至技术、行业应用、厂商渠道等多个层面，多边协同网络将释放更大的价值空间

纵观云计算发展进程，云计算并不是一个从 0 到 1 的独立业务，而是诞生于巨头生态的自然演变，起源于云巨头基于自身冗余的服务器资源赋能生态用户，生态的理念始终是促成云计算业务实现飞轮式增长的关键。伴随云计算向各行业的深入渗透，其生态属性将体现在技术、行业应用、厂商渠道等多个层面。在云计算将走向技术资源中心节点的基础上，云计算平台将渗透更多细分领域。首先，在互联网产业当中，原生于互联网的视频、游戏、电商云等资源有着对云平台的更高要求，整个云生态需要从现在的 IaaS 层寡头垄断迈向 PaaS、SaaS 层百家争鸣。其次，零售、交通、医疗、地产、农业等更多行业领域一系列的云

化落地更需要长久的过程，而这个过程就是云厂商去构建良好的合作伙伴生态，赋能伙伴、赋能产业、赋能整个云生态的过程。在厂商渠道层面，IaaS 生态主和 SaaS 生态主虽然生态建设路径不同，但其核心竞争力都在于聚集的企业用户的数量和分布，生态主 – 用户 –ISV/SI/ 渠道商多方促成的飞轮式增长将在未来长时间内成为云计算产业的增长逻辑，IaaS 生态主的全品类生态体系与 SaaS 生态主深耕细分领域的精致小生态将成为未来企业服务市场的主流力量。

【3】云边协同将成为数字时代的最终选择

随着通用类架构与功能的不断完善和对行业客户的不断深耕，云计算自然地渗透进入更多垂直领域，提供更贴近行业业务与典型场景的基础能力。在此背景下，为进一步提升数据处理的时效性与有效性，边缘计算将成为云计算的有力补充。云计算与边缘计算在技术定义上具有所差别，赋予了各自完全不同的技术特征与应用场景。基于靠近执行单元而构建的边缘计算，为云计算提供高价值数据的采集和初步处理服务。而云计算通过对大数据的分析所得出结果或模型会通过下发的方式，对边缘侧进行更新，使边缘侧能更好的运行，最终形成一个闭环。在未来的应用场景中，两者在网络、业务、应用、智能等方面的协同将有助于支撑行业数字化转型更广泛的场景与更大的价值创造。

【4】云管理成本提升成为企业上云主要挑战，独立的云计算咨询与托管服务有望衍生新赛道

云计算或许是企业获取竞争优势的有效方式，但能力的获取并非易事，数据的迁移也仅仅是优化 IT 业务流程的开始，管理的复杂性带来的成本提升将成为企业不可忽视的新挑战，企业将付出大量的精力和成本管理自己的云计算工作负载。根据 Gartner 的调查数据，2020 年，缺乏成本优化流程的企业将平均在公有云上超支 40%，而这显然是组织无法负担的高昂成本。在此背景下，独立的云计算咨询与托管服务或将成为新的需求热点，即 Cloud MSP (Managed Service Provider)。MSP 能为企业提供全天候的技术支持，包括帮助企业搭建最优的云架构、实现成本最优化、统一管理复杂的多云和混合 IT 环境，MSP 本身也具有更深厚的技术基础、更强大的云管理平台，并兼顾云原生应用于传统数据中心的负载迁移。目前，国内市场相继涌现云角信息、云宿科技、新钛云服等中立的 MSP，国际上如 Gartner、埃森哲等咨询服务机构也开始关注该领域，MSP 或将成为云计算产业的新赛道。

参考资料：

1.《云计算十年回顾》，何恺铎，2019 年 4 月

2.《产业互联网：一颗扔向云计算市场的氢弹》https://cloud.tencent.com/developer/article/1381694

3.《云端战争 20 年：神仙打架、虎口夺食》，甲子光年，2019 年 4 月

4.《中国 SaaS 的机遇、战术与野心》，杨泽华，2019 年 4 月

5.《寻求市场机遇：构建一个云计算生态有多么重要》，科技轶事

6.《云计算给 IT 与互联网带来深刻影响》，小鸟云，2019 年 2 月

7.《云计算，终将成为阿里和腾讯之争？》，罗超频道，2018 年 4 月

8.《云计算体系新助力，拆解边缘计算寻找新机会 》，东莞证券，2019 年 11 月

9.《云计算全面铺开正当时 》，东莞证券，2020 年 3 月

10.《云基础设施：加速的核心变量》，华泰证券，2020 年 2 月

11.《风起“云”涌，驱动未来》，长城证券，2020 年 5 月

12.《数据大爆炸，数据中心大发展》，中信证券研究部，2015 年 4 月

13.《得 PaaS 者得“天下”——云计算黄金十年系列报告》，东方证券，2018 年 9 月

14.《中国企业级 SaaS 行业研究报告》，艾瑞咨询，2019 年

15.《SaaS 产业的时代变革和投资机遇》，东兴证券，2020 年 3 月

16.《5G 科技周期下半场，进击云计算》，华泰证券，2019 年 11 月

17.《云计算 SaaS 龙头梳理》，民生证券，2020 年 3 月

18.《市场需求驱动下，云计算新基础架构该如何演进》，https://www.infoq.cn/article/AqlX8JAOdLXB0H2J0eUU

INTERNET OF THINGS
物联网行业研究报告

物联网这一概念从诞生之日至今已经近二十年，甫一问世，因为其宏大的主题、可供想象的巨大空间及各国政府的积极关注等因素使其备受瞩目，但也恰恰是因为其主题太大，涵盖的内容太多，所以无论是 G 端还是 B 端虽然都采取积极关注的姿态，但也面对这诸多疑惑及困境。尽管如此，物联网的某些技术或环节仍然是呈现波动形，以不同的速度地向前发展着，本报告旨在在这个中国科技发展的关键节点，通过几大问题来一一厘清物联网这一代表着未来的重要科技领域的整体发展脉络、行业驱动力、值得关注的技重点环节发展态势及主要的技术发展趋势等问题，以期能给到关注该行业的人士些许参考。

InfoQ 研究发现：

1. 人类的思维方式一直是将物理世界的社会基础设施与信息基础设施分开规划、设计与建设，而物联网的概念是将人、钢筋混凝土、网络、芯片、信息整合在一个统一的基础设施之上，通过将现实的物理世界与信息世界融合，通过信息技术去提高物理世界的资源利用率、节能减排，达到改善物理世界环境与人类社会质量的目的。

2. 物联网企业可大致区分为基础连接类企业、物联网平台类企业和物联网应用类企业，三类企业分别具有不同的商业模式。

3. 通过对产业链分析可知，如果从“云管端”的角度来看。当前，管和端的巨头推动占主导，尤其是管，原因是因为网络是基础。但未来，预计云和端的巨头推动将成为主导，原因是“云 + 端”成就生态。

4. 通过对行业驱动力的分析可知，内生动力主要表现为需求端的拉动，具体表现为 B、C 两端。整体趋势是 B 端日渐强烈，C 端正在培育中。

5. 通过对技术分析可知，传感器作为物联网第一环，市场将快速增长，细分品类市场进一步集中。三大因素驱动传感器市场快速增长，未来 3 年市场规模或增速 30% 以上，技术将向 MEMS 技术、无线通信技术、新材料技术、光电芯片技术、激光技术、复合传感器技术、多学科交叉融合的方向发展，产品向智能化、微型化、芯片化、集成化方向发展。技术发展与创新的重点在材料、结构和性能改进三个方面。

6. 趋势分析可知，从竞争来看，国内将替代国外，无线将替代有线，低成本芯片将替代高成本模组，智能制造由精密大型企业向中小企业蔓延，大型供应商生态和第三方开发者共存。

一、物联网基础信息

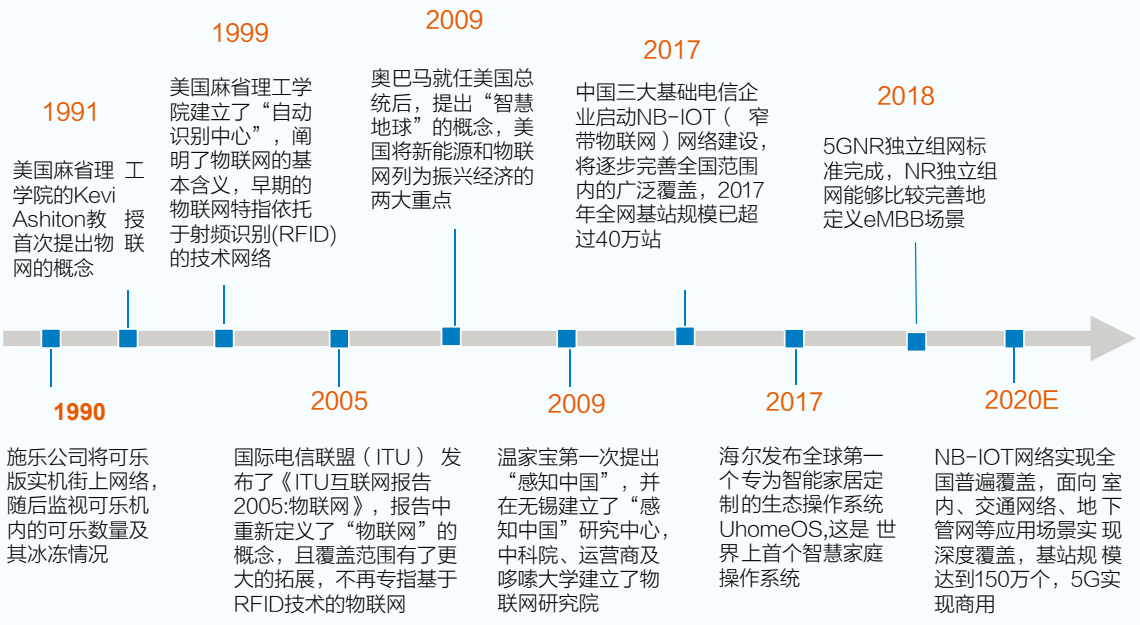
【1】定义

最早关于物联网的定义是 1999 年由麻省理工学院 Auto-ID 研究中心提出，对物联网的定义为："物联网就是把所有物品通过射频识别 (RFID) 和条码等信息传感设备与互联网连接起来，实现智能化识别和管理。其实质就是将 RFID 技术与互联网相结合加以应用。"

国际电信联盟 (ITU) 对物联网的定义："物联网主要解决物品到物品 (Thing to Thing，T2T)，人到物品 (human to thing，H2T)，人到人 (human to human，H2H) 之间的互联。"这里与传统互联网不同的是，H2T 是指人利用通用装置与物品之间的连接，H2H 是指人之间不依赖于个人电脑而进行的互连。

通俗地说，物联网就是"物物相连的因特网"，就是在计算机因特网的基础上，利用传感器、RFID、条形码等技术，构造一个覆盖世界上万事完事的"Internet of Things"。在这个网络中，物体能够无须人的干预彼此进行"自由交流"。这里包含两层意思：一是物联网的核心和基础仍然是因特网，是在因特网基础上的延伸和扩展的网络；二是其用户端延伸和扩展到了任何物体和物体之间进行信息的交换和通信。互联网可以看作是人的信息化，而物联网则是整个世界的信息化。

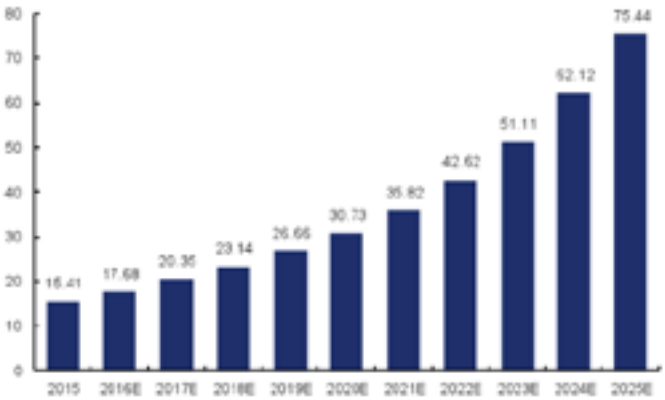
【2】历史



图：物联网历史发展进程　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

【3】规模

根据美国IHS咨询公司的最新预测，全球物联网设备的安装基数将从 2015 年的 154 亿台增长到 2020 年的 307 亿台。到 2025 年，这一数字预计将达到 754 亿台，未来 10 年复合增长率高达 17.21%。咨询公司贝恩预测，到 2020 年，出售硬件、软件和综合解决方案的物联网服务供应商年收入可达 4708 亿美元，年利润达 608 亿美元。



图：全球物联网设备安装基数预测（十亿台）
数据来源：IHS、InfoQ 研究院

【4】物联网的行业逻辑及可能的商业模式：

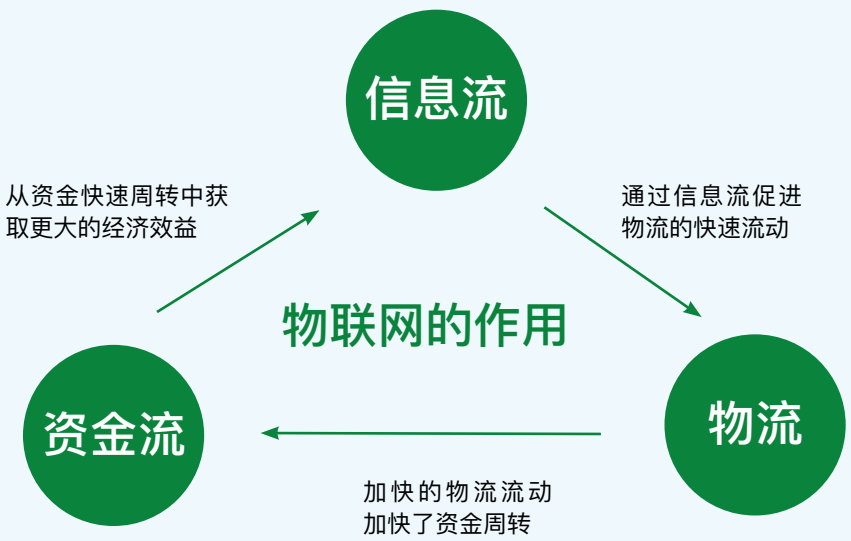
1. 物联网的行业逻辑及思维

如果将我们生活的社会称为物理世界，将互联网称为信息世界的话，那么我们会发现：物理世界发展的历史远远早于信息世界，物理世界中早已形成了自己的生活规则与思维方式，尽管很多人希望将两者尽可能地融合在一起，但是物理世界与信息世界分开发展、互相割裂的现象明显存在，造成了物质资源的浪费与信息资源不能被很好地利用。

这说明，过去人类的思维方式一直是将物理世界的社会基础设施（高速公路、机场、电站、建筑物、煤炭生产建设）与信息基础设施（互联网、计算机、数据中心）分开规划、设计与建设，而物联网的概念是将人、钢筋混凝土、网络、芯片、信息整合在一个统一的基础设施之上，通过将现实的物理世界与信息世界融合，通过信息技术去提高物理世界的资源利用率、节能减排，达到改善物理世界环境与人类社会质量的目的。

另外，任何一个企业在运营过程中都存在着物流、信息流与资金流。物联网在互联网的通信平台与服务的基础上，充分发挥物联网应用系统的作用，通过物联网中的物到物的信息流，促进物流的快速流动，从而达到加快资金流的作用，使企业从资金的快速周转中获取更大的经济效益，由此，**可实现信息化“烧钱”到信息化“赚钱”的变化。**

图：物联网行业逻辑　　数据来源：公开资料、InfoQ 研究院



2. 商业模式分析

如果把物联网企业区分为基础连接类企业、物联网平台类企业和物联网应用类企业，三类企业分别有不同的商业模式。

（1）基础连接类企业：分为广域网及局域网，其中广域网包括运营商和设备制造商两种角色。

广域网

在这个体系里，有运营商、设备制造商两种角色。其中运营商已经基本完成了前期投资与基本建设，目前正是比拼商用落地的阶段。而在这之后的事情就会变的更简单，只要直接向用户收取连接费用即可。规模化的新增客户为运营商带来了可观的收益，所以他们就需要对通信网络进行改造升级，这就给通信设备制造商带来了机会。

局域网

更多的物联网企业用的并非运营商技术，因为比较贵，所以在局域网的场景里，或者说可以使用免费协议的场景里，普遍采用的仍然是成本更低的免费短距离连接协议。运营商是靠连接收费的，所以即使价格再低，也拼不过蓝牙、WiFi。数据显示，运营商提供的移动通信连接只占到物联网连接总数的8–10%，而免费的短距连接则能占到 60% 左右。 在更多的场景里，企业采用的还是内置传感器的居多，这就意味着可以直接对原有设备改造，使其具备上网功能。这是存在着巨大市场，并且有切实可行的切入点的。

（2）平台类企业

物联网平台大体可以分为两种，一种是通用平台，一种是行业垂直平台。要想成为一家做平台的公司，终端用户、资金都是必须要过的硬门槛。大公司做平台的优势在于有已经非常成熟的终端用户和硬件的生产能力，小企业比较艰难，设计、开模，做样机，尝试量产等使得前期的投入成本非常高。投放市场后，还要有销售的渠道、物流、仓储、售后的问题需要解决。传统的硬件厂商从硬件、模具、生产再到渠道都已经有了有非常成熟的供应链系统。但大企业做物联网平台也不容易，这是因为

做平台首先生态链一定要够开放，然而大企业做生态链的时候，出于对自身商业利益的保护，都采取的是封闭政策。所以在整个物联网领域里，很少见到有能提供端到端的解决方案的供应商。

（3）应用类企业

应用类企业有三种常见的模式：一是传统的甲方乙方外包模式，这是目前市场上的绝对主流，尽管大多数企业都说自己是做平台的，而实际上真正能创造收入的都是来自于解决方案与系统集成；二是类互联网的商业模式，这类企业多是技术型的，基于物联网的技术进行创新研发，但商业变现究竟如何还有待观察；三是类运营商的直接向用户收费的模式：面向 C 端用户开展的租约式服务，是物联网产业发展到一定阶段时的产物。当用户使用其产品或服务时，需要做受理、开通、计费、收费、服务，这都和运营商收费模式非常接近。不光是商业模式，其在资源管理上也与运营商有颇多相近之处。

二、中外物联网发展现状整体对比及中国的优劣势分析

【1】中外物联网现状整体对比

近年来，随着传感器、条形码、RFID、GPS、云计算等关键技术的迅猛发展，物联网产业作为推动产业升级、迈向信息社会的“发动机”，受到世界各国的普遍重视。在计算机技术初始阶段，我们一直是落后的；进入网络时代，我们已经开始与世界水平接近；在 RFID 年代，我们不再落后，我们的应用甚至超过国外；到以传感网、物联网为代表的信息产业第三次浪潮中，我国与国际是同步启动的，具有同发优势，中国起步并不比任何国家落后。具体表现为：

1. 在信息产业的第三次浪潮——物联网中，我国高度重视标准化问题，力争主导国际标准的制定。可以说，在标准化方向上我国具有举足轻重的主导话语权，这在我国的信息技术发展史上还是第一次。

2.1999 年全球的 Auto-ID 中心有 6 个会员单位，我国的复旦大学就是其中之一，其他 5 个会员单位分别是美国的麻省理工大学、英国的剑桥大学、澳大利亚的阿德莱德大学、日本的庆应义塾大学、瑞士的圣加仑大学

3. 目前，我国物联网技术的研发水平已位于世界前列，在一些关键技术上处于国际领先，与德国、美国、日本等国一起，成为国际标准制定的主要国家，逐步成为全球物联网产业链中重要的一环。

【2】中国发展物联网的优劣势

我国发展物联网的优势主要有：

1. **我国在物联网的感知环节拥有一定的技术优势。**我国早在 1999 年就启动了物联网核心传感网技术和条码识别技术的研究，研发水平处于世界前列；在世界传感网领域，我国是标准主导国之一；在条码识别领域，我国已经达到国际先进水平，成为继美国、日本之后掌握二维码核心技术的国家。
2. **我国拥有世界上最大的应用市场。**物联网的实质是一种综合应用形态，广泛的、多层次的应用领域赋予了物联网应用的广阔天地，并在应用中促进技术升级，这是其他任何国家不可比拟的巨大优势。
3. **我国是目前能够实现物联网完整产业链为数不多的国家之一，有较好的物联网应用基础。**我国早在 20 世纪 90 年代就开始了物联网产业的相关研究和应用试点的探索。
4. **我国无线网通信网络和宽带覆盖率高，为物联网发展提供了坚实的基础设施支持。**
5. **目前我国已经成为世界第二大经济体，有较为雄厚的经济实力支持物联网发展。**
6. **物联网的发展，对推动我国经济发展方式转变也有着重要作用。**它既可以形成物联网相关的各种高新产业，同时也为传统互联网的发展开拓了新的空间。另一方面，物联网可以提升我国传统制造业的水平。众所周知，我国是制造业大国但不是制造业强国，其重要原因之一在于，我国工业产品的智能化水平不高。通过引入物联网技术，我国传统制造业可以提升产品的技术含量，从而提升附加值，改变目前我国制造业中常见的“高消耗、低产出”状况。

目前，制约国内物联网发展的因素主要有：

1. **体制不够健全，仍存在地方保护和部门利益保护主义，**还需要进一步打破壁垒，实现资源共享；
2. **除部分技术如条码核心技术处于世界前列外，在其他技术上还处于劣势。**目前我国在传感器网络芯片研发方面与世界领先国家差距较大，高灵敏度、高可靠性传感器 80% 以上需要进口；在 RFID 芯片、RFID 系统安全等核心技术方面的研究几乎还是空白；
3. **缺乏统一、规范的标准，**我国从事物联网终端生产的企业众多，行业需求多样化导致物联网终端模块接口和传输标准难以统一；同时，由于物联网潜在的安全问题，国内学者在要不要与国际统一标准和如何统一标准的问题上存有分歧；
4. **规模经济不够，成本较高，缺乏长期的赢利模式；**
5. **网络地址资源缺失；**
6. **信息化与工业化的融合存在很多问题，需要一定的时间解决。**

三、产业链构成及驱动力分析

【1】产业链构成：产业链可以分为四大层级及八个重点环节。

物联网整体产业链可以分为四个层级：分别是感知层（芯片、传感器）、网络层（芯片 / 通信模组 / 通信网络）、平台层（平台 / 操作系统）及应用层（智能终端 / 集成应用）。

感知层（端）

感知层作为物联网架构的基础层面，主要是达到信息采集并将采集到的数据上传的目的，感知层主要包括：自动识别技术产品和传感器（条码、RFID、传感器等），无线传输技术（WLAN、Bluetooth、ZigBee、UWB），自组织组网技术和中间件技术。

网络层（管）

位于第二层的网络层起到了连接上下两层的作用。网络层的作用就是当感知层中的感应设备将物品信息传输到网络节点后，再通过网络层中的移动通信网、互联网和其他专用网络连接各个服务器，以此来使客户可以根据自己的需要获取物品信息。

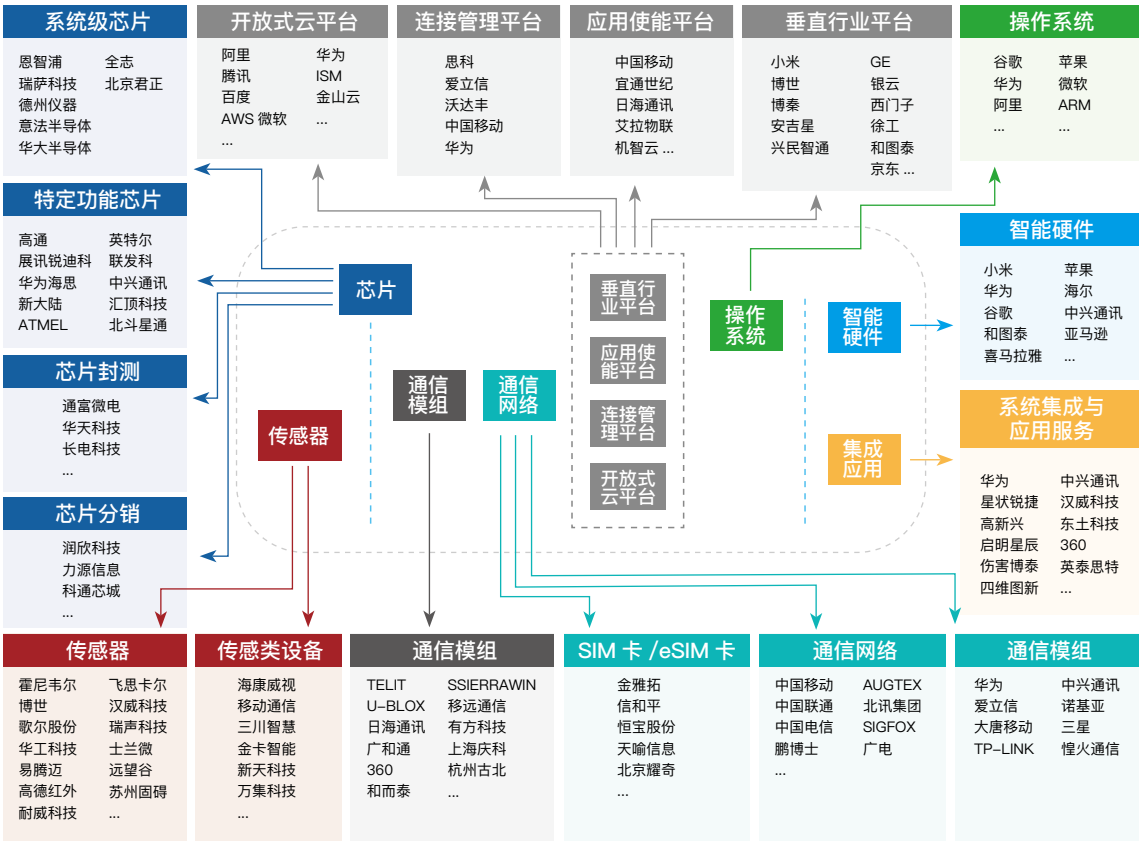
平台层（云）

应用层主要包含应用支撑平台子层和应用服务子层。其中应用支撑平台子层用于支撑跨行业、跨应用、跨系统之间的信息协同、共享、互通的功能，主要包括公共中间件、信息开放平台、云计算平台和服务支撑平台。应用服务子层包括智能交通、供应链管理、智能家居、工业控制等行业应用。

应用层

应用层是物联网的“社会分工”。应用层是物联网与行业专业技术的深度融合，与行业需求结合，实现行业智能化，这类似于人类的社会分工。物联网的应用已经覆盖到各个角落、各个领域，可以用“无所不包、无所不在”来形容。

物联网产业链四大层级八个重点环节全景图



图：物联网产业链全景图　　资料来源：中信建投、 InfoQ 研究院

【2】驱动力分析

物联网产业的发展，内生驱动力与外生驱动力并行，其中外生驱动力先行。具体两大类驱动力的展开分析如下：

1. 外生：

（1）政策：我国政府为发展壮大新动能、引导产业升级、发布众多政策支持物联网产业发展。**但由下表可以看出在 2017 年政策密集发布后，政策端近两年有小幅的热度回落。**

时间	政策名称	政策内容	发布部门
2019.04	《关于开展深入推进宽带网络提速降费支撑经济高质量发展 2019 专项行动的激化》	进一步升级 NB-IOT 网络能力，持续完善 NB-IOT 网络覆盖，建立移动物联网发展监测体系，促进各地 NB-IOT 应用和产业发展	工信部
2019.04	《关于开展 2019 年 IPV6 网络就绪专项行动的通知》	推进 IPV6 在网络各环节的部署和应用，为物联网等业务预留位址空间，提升数据容纳量	工信部和信息化部
2018	《物联网安全白皮书》	从物联网安全发展态势出发，从物联网服务端系统、终端系统以及通信网络三个方面，分析物联网的安全风险 ...	工信部
2018.12	《车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》	到 2020 年底，实现车联网产业跨行业融合取得突破，具备高级别自动驾驶功能的智能网联汽车实现特定场景规模应用，车联网综合应用体系基本构建 ...	工信部
2018.06	《工业互联网发展行动计划（2018-2020 年）》	到 2020 年底，初步建成工业互联网基础设施和产业体系 ...	工信部
2017.12	《国家车联网产业标准体系建设指南（智能网联汽车）》	加快推动车联网发展，到 2020 年初步建立能支撑驾驶辅助及低级别自动驾驶的智能网联汽车标准体系	工信部
2017.06	《关于全面推进移动物联网(NB-IOT）建设发展的通知》	到 2020 年实现 NB-IO 网络全面覆盖，基站规模达到 150 万，连接数量超过 6 亿	工信部
2017.05	《关于实施深入推进提速降费、促进实体经济发展 2017 专项行动意见》	加快窄带物联网（NB-IOT）商用，拓展蜂窝物联网在工业互联网、城市公共服务及管理等领域的应用	工信部
2017.03	《2017 年政府工作报告》	深入实施《中国制造 2025》，加快 ... 物联网应用	国务院
2017.01	《信息通信行业发展规划物联网分册（2016-2020 年）》	推进物联网感知设施规划，2020 年我国公众网络 M2M 连接数要突破 17 亿	工信部
2016.03	《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	建设物联网应用基础设施和服务平台，推进物联网重大应用示范工程，广泛开展物联网技术集成和模式创新，丰富物联网运用	国务院
2015.03	《关于开展 2015 年智能制造试点示范专项行动的通知》	推动智能制造升级，建设智能工厂	工信部
2014.06	《工业和信息化部 2014 年物联网工作要点》	加速顶层设计和统筹协调，突破核心关键技术，开展重点领域应用示范	工信部
2012.02	《“十二五”物联网发展规划》	到 2015 年，中国要在物联网核心技术研发与产业化、关键标准研究与制定、产业链条建立与完善、重大应用示范与推广等方面取得显著成效，初步形成创新驱动、应用牵引、协同发展、安全可控的物联网发展格局	工信部
2010.10	《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》	物联网成为国家首批加快培育的七个战略性新兴产业	国务院

图：中国物联网行业的相关政策　　数据来源：公开资料、InfoQ 研究院

（2）技术驱动：物联网的发展需要技术创新

计算机技术、通信与微电子技术的高速发展，促进了互联网技术、射频标签（RFID）技术、全球定位系统（GPS）与数字地球技术的广泛应用，以及无线网络与无线传感器网络（WSN）研究的快速发展，互联网应用所产生的巨大经济与社会效益，加深了人们对信息化作用的认识，**而互联网技术、RFID 技术、GPS 技术与 WSN 技术为实现全球商品货物快速流通的跟踪识别与信息利用，进而实现现代管理打下了坚实的技术基础。**

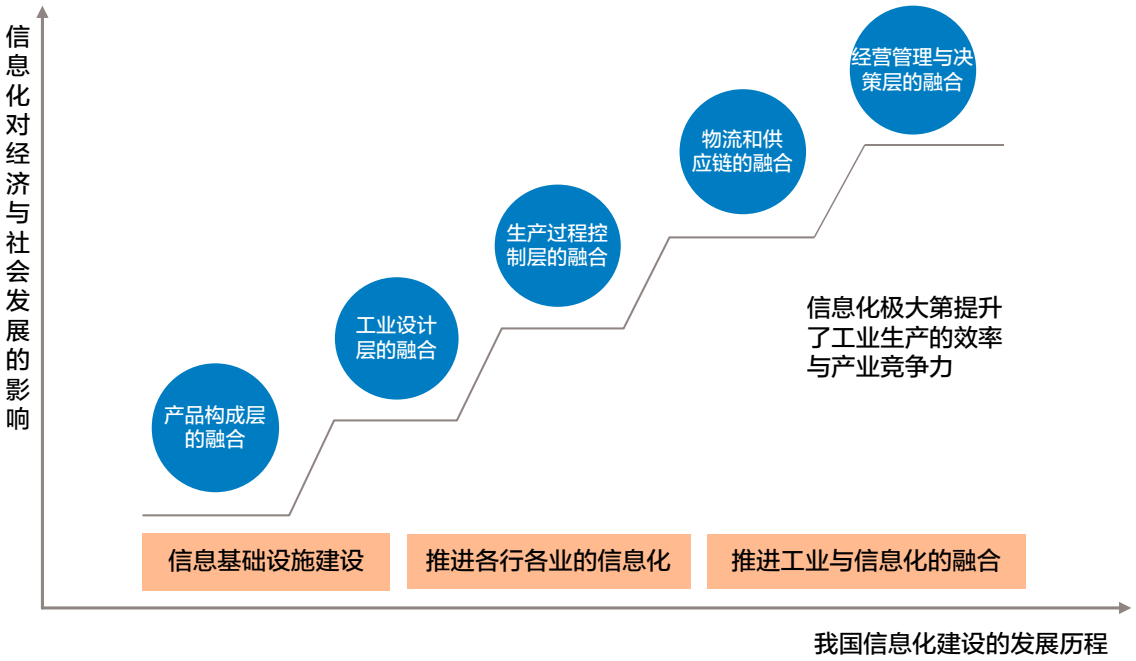
互联网已经覆盖了世界的各个角落，已经深入到世界各国的经济、政治与社会生活，已经改变了几十亿网民的生活方式和工作方式。但是现在互联网上关于人类社会、文化、科技与经济信息的采集还必须由人来输入和管理。为了适应经济全球化的需求，人们设想如果从物流角度将 RFID 技术、GPS 技术与 WSN 技术与“物品”信息的采集、处理结合起来，如果从信息流通的角度将 RFID 技术、WSN 技术、GPS 技术、数字地球技术与互联网结合起来，就能够将互联网的覆盖范围从“人”扩大到“物”，就能够通过 RFID 技术、WSN 技术与 GPS 技术采集和获取有关物流的信息，通过互联网实现对世界范围内的物流信息的快速、准确识别与全程跟踪，这种技术就是物联网技术。

所以说，互联网与无线通信网络为物联网的发展打下了基础，并且接下来物联网将会在与大数据、云计算、NB-IOT、5G 等技术的交织推动中前行。其中，NB-IoT 主要解决了能耗（10 年）、覆盖（10km）与成本“问题，可有效满足地下管网、室内（水 / 燃气 / 热量无源表计远程查抄）、偏远地区监测等物联网需求。基于此，全球主流运营商（含中国三大运营商）纷纷建设 NB-IoT，2020 年我国 NB 用户将达 6 亿。而作为备受关注度的 5G 主要解决了“时延（1ms）、速度（20Gbps）、密度（100 万终端 / 平方公里）“问题，可有效满足无人驾驶、移动医疗、工业互联网等高要求的物联网需求。**5G 与 2/3/4G 的本质区别在于，前者的设计出发点就是面向万物互联，后者主要是面向人服务。**

（3）社会经济发展与产业转型

社会需求是新技术与新概念产生的真正推动力。在经济全球化的形势下，商品货物在世界范围内的快速流通已经成为一种普遍现象。传统的技术手段对货物的跟踪识别效率低、成本高，容易出现差错，已经无法满足现代物流业的发展要求。同时，经济全球化使得所有的企业都面临激烈竞争的局面，企业需要及时获取世界各地对商品的销售情况与需求信息，为全球采购与生产制定合理的计划，以提高企业的竞争力，这就需要采用先进的信息技术手段和现代管理理念。

在推进信息化与工业化融合的过程中，人们认识到：物联网可以将传统的工业化产品从设计、供应链、生产、销售、物流与售后服务融为一体，可以最大限度地提高企业的产品设计、生产、销售能力，提高产品质量与经济效益，极大地提高企业的核心竞争力。



图：我国信息化建设的发展历程及对经济与社会的影响　　数据来源：公开资料、InfoQ 研究院

（4）巨头推动：

前几年，全世界都没有太多大企业进入物联网。现在大企业纷纷进入物联网领域，谷歌以 32 亿美元收购一家烟雾传感器企业，高调进入物联网领域。现在华为、中兴、中国电科、联想、神州数码以及三大电信运营商等将智慧城市作为集团的主要战略方向，把物联网作为业务增长点，把产业互联网作为主攻方向。百度、阿里巴巴、腾讯等互联网巨头也积极参与智慧城市建设，关注物联网的应用。

如果从“云管端”的角度来看。当前，管和端的巨头推动占主导，尤其是管，原因是因为网络是基础。但未来，预计云和端的巨头推动将成为主导，原因是“云 + 端”成就生态。具体包括：

云 – 平台系统：巨头主要指互联网巨头、科技巨头、终端巨头，包括谷歌、亚马逊、微软、BAT、华为、IBM、海尔、GE 等；

管 – 通信网络：巨头主要指电信运营商，包括中国移动、中国电信、中国联通、AT&T、沃达丰等；

端 – 智能终端：巨头主要指大型终端制造商、互联网巨头或巨头投资推动的智能硬件商，如亚马逊、小米、海尔等；

端 – 芯片 / 传感器等：巨头主要指大型芯片、传感器提供商，如高通、华为等。

整体来说，巨头的物联网推动策略虽不同，但布局物联网的动力较强，推动力具有持续性。目前来看作为“管”巨头的运营商的的推动策略最积极，如快速建网（NB-IoT）加上下指标和补贴，这些举措促进了蜂窝物联网快速发展，未来其策略将与“云”和“端“巨头趋向一致；”云“和”端“巨头的推动力更侧重搭平台、推产品及投资并购，旨在摸索 / 培育需求，打造生态，因此我们可以看到，虽然智能硬件、智能家电的功能往往差强人意，但仍在快速出货。未来这些巨头的举动值得进一步关注。

从动力来源来说，不同的巨头布局物联网的动力来源各有不同，其中，管端主要动力表现为：主业面临压力；希望借物联网加大连接规模，通过物联网流量、终端、应用创收；政策引导的需要。云 / 端类的互联网巨头主要动力为：布局未来、掌控数据及控制入口。云 / 端的终端巨头动力为：产品升级增收、掌握数据及控制入口。

2. 内生动力：

内生动力主要表现为需求端的拉动，具体表现为 B、C 两端。整体趋势是 B 端日渐强烈，C 端正在培育中。

B 端，需求日渐强烈：

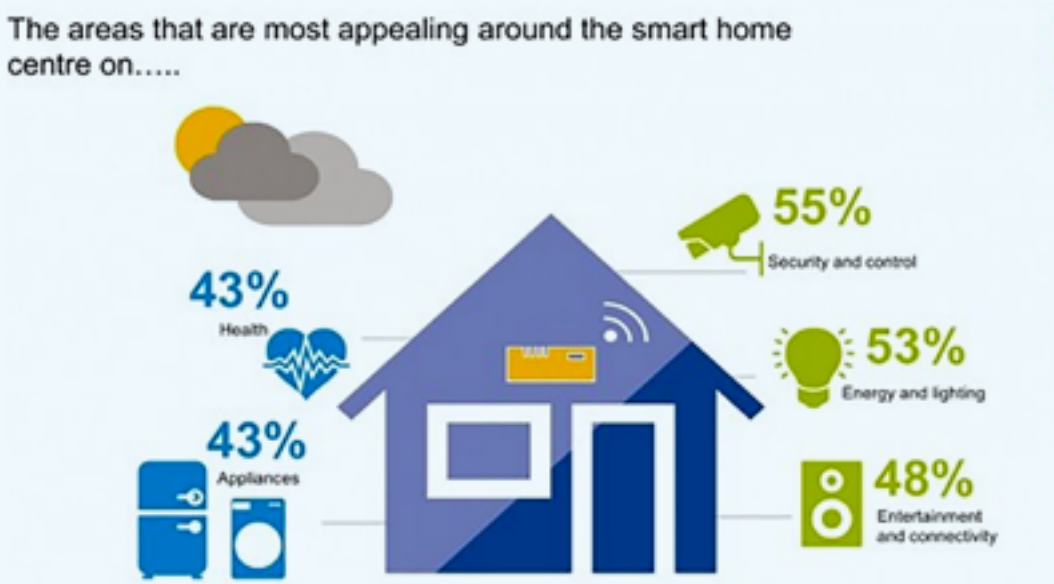
根据 2019 年沃达丰针对物联网情况的调研数据显示，超过 1/3 的公司（34%）现在正在使用物联网。各机构正在利用更先进的物联网产品。92% 的人购买了内置物联网的内部应用设备，或者购买了包含物联网的服务。81% 的用户表示他们对物联网的依赖程度有所提高，76% 的用户表示物联网对他们来说是至关重要的任务。95% 的用户已经从物联网项目中看到了可衡量的收益。超过一半（52%）的人已经实现了相当程度的收益。超过一半的采用者（55%）表示，物联网已经彻底颠覆了他们的行业。74% 的受访者认为，没有采用物联网的公司将因此落后于竞争对手。平均而言，物联网帮助企业减少 18% 的成本。

其他好处还包括准确的数据收集（48%）、提高员工生产率（47%）、提高资产利用率（41%）以及提高客户忠诚度（39%）。

C 端，感兴趣者众多。

根据 GfK 一项针对消费者对于智能家居看法的调研表明，80% 的消费者对物联网中的智能家居感兴趣，其中，55% 对智能安防感兴趣，53% 对智慧能源与照明产品感兴趣，48% 对智能娱乐互联设备感兴趣。

图：消费者对智能家居的相关看法　　数据来源：GfK、InfoQ 研究院



四、物联网重点环节发展态势及热点分析

【1】重点环节分析

1. 感知层（端）

物联网核心器件半导体芯片随着技术变革的加剧，需求与出货规模正高速增长，行业的格局也正在被新技术冲击，除大规模出货的 ToC 硬件芯片以外，在细分长尾领域存在大量芯片创业机会。占据市场主导地位的仍然是 Intel、ARM、Qualcomm、ST 以及 TI 等为主的传统巨头，而国内的海思、乐鑫、君正等新兴芯片企业已经初步崭露头角，在中低端领域占据了一定份额的市场。在计算方面，物联网 MCU（微控制器）正加速向高性能、低功耗、高集成度方向发展，模组企业向终端硬件和解决方案发展，单独的模组企业很难生存。并且 32 位 MCU 已经成为主流，相关开发环境也已经成熟。而且无线通信芯片和 MCU 集成在一起已经成为主流。

在传感器领域，主流趋势是更小型化、智能化、低功耗、高集成度、可大批量产及低成本。大型工业企业传感器由国内外巨头占据，在汽车、3C 等产品上的传感器领域竞争格局逐步由分散向高集中度发展。大批产业整合与并购正在进行。

2. 网络层（管）

三大运营商展开 NB-IoT 基础建设和商用竞赛，智能表、共享领域企业开始启动 NB 应用，同时也集中启动 5G 的试点。

中国电信通过与华为合作，且基于其固有基站可快速升级为 NB-IoT 基站的优势，率先完成 NB-IoT 基站的部署。2017 年 5 月中旬，中国电信宣布建成全球首个覆盖最广的商用新一代物联网（NB-IoT）网络，实现 31 万个基站升级。中国移动也展示了 NB-IoT 实验网，并在 9 月份启动了 14 万座宏基站集采。中国联通已经于 2018 年 5 月完成 30 万 NB-IoT 基站建设。

由于 LoRa 在高设备连接密度、高区域集中领域的低成本、低功耗优势，部分传统物联网 SI 转型 LoRa 解决方案，Zigbee、433 持续在特定行业存在发展空间，蓝牙、WiFi 芯片厂商展开新一轮成本、性能竞争。LoRa 全球联盟已经有超过 40 家中国公司或实验室加入，其中阿里云给予了这一技术非常大的支持，而 Zigbee、433 等通信手段，由于广泛的支持，越来越多的企业具备自主研发能力，建立自己的通信网络，甚至自创协议，多见于智能家居、工业物联网公司。

5G 的高带宽、低延时和高稳定的特性，为无人机驾驶、汽车自动驾驶、高清 AR/VR 的应用真正奠

定了基础。三大运营商分别各自选定了 12 个试点城市，在测试阶段峰值速率已经达到了 4G 网络的 10 倍以上。这预示着“云”与“端”因为传输造成的界限将渐渐模糊，“云”会更接近“本地硬件”的概念，这将为互联网带来新的革命。

3. 平台层（云）

云平台是巨头的战场，其他 PaaS 平台、通用能力平台百家争鸣。

互联网巨头推出的工业 PaaS 平台、操作系统、智能家居平台均集中于云服务、中间件、数据处理，电信运营商推出的 PaaS 平台功能仍然以接入管理及一站式网络适配、后台处理解决方案为主，这两类平台与各行业 PaaS 平台是互补。海外主流仍是 Amazon AWS、Microsoft Azure、IBM Watson、Google 等大型云服务公司。但由于国家管控的原因，这些巨头难以顺利地开拓中国市场。给了国内诸如阿里云、腾讯云、百度云、华为云等云服务巨头去占领国内市场的机会。2017 年初腾讯云与三一重工旗下的树根互联达成了合作，推出了根云平台。腾讯的动作相比阿里略晚，后者 2009 年进入云计算领域，2016 年就和徐工机械推出了徐工工业云。但是树根互联的定位是未来成为一个第三方的工业云服务平台，淡化三一的影响，这样能为其赢得更多客户的信任。

企业设备管理、业务使能类 PaaS 平台企业面临的是多样化的细分市场，竞争聚焦在协议对接数量和功能价值、系统稳定性上。一些企业已经在细分市场取得了设备连接数领先，例如工程机械领域的根云、航天设备领域的航天云网、智能家电出海领域的 Ayle、通用领域的机智云、智能家居的小米米家等。但市场仍然处于非常早期阶段，大型设备厂商推出的 PaaS 平台仍然局限于内部生态及同类型设备使用，传统工业网关企业、电子看板企业转型推出的设备接入及可视化平台更多面向特定细分领域市场。风电领域和少量火力发电领域由大数据公司、主机厂商共同推动率先开始应用设备维护预测，但大量能源领域、制造业领域企业仍为实现基础的设备管理。柔性供应链、生产流程优化、产品创新、设备预防性维护、能耗管理等应用开发商仍在刚起步阶段。

通用能力方面，以 BAT 为代表，少数人工智能科学家领衔的团队聚焦基础技术研究，大量人工智能公司基于机器学习、神经网络算法和行业经验、数据训练构建识别类产品；交互领域出现轻量级眼球追踪技术、脑机接口新技术等新兴技术企业；VR/AR 硬件未出现规模出货，新兴低成本技术企业出现；受制于驱动控制、运动平衡的技术的成熟，人型机器人处于早期研发阶段，各行业特种机器人开始小批量供货。至于无人机，消费级市场已经难有机会，创业公司纷纷转向工业应用，寻找细分领域切入。而随着 SLAM 技术的发展，无人机、服务机器人等产品趋于成熟，但应用场景还比较有限。物流企业和第三方企业各自发展 AGV，AGV 和各类型机械臂将最先开始规模应用。

五、技术趋势分析

【1】重点环节分析

1. 计算与控制

我国在这一领域仍在追赶，在这一领域的差距已经缩短到最多落后两代，个别领域同代落户。

MCU 芯片低端市场会变得越来越红海，而高端依然被海外巨头垄断。在这一领域 ST 的发展势头非常良好，芯片向着低功耗、专用方向发展，未来的门槛依然会相对较低，是薄利行业。

电源管理芯片技术壁垒高但难以独立发展。这一领域企业的技术壁垒依旧可以保持，但是由于其和下游行业的结合越来越紧密，未来很难看到独立做电源管理芯片的公司，而更多的是大公司的单一部门来完成。

半导体制造工厂是资本、智力、政治综合实力的体现。这一领域获得了国家的大力支持，是资本和脑力高度密集的行业，未来两三年国内代工厂的技术差距和国外会缩短到一代，全球产能依然供不应求。而之前的中兴事件，也进一步刺激了国家对于半导体产业链完全自主化的决心。

通用芯片及相应生态链工具将因估产化需求迎来机会，而垂直领域芯片，例如视频编解码芯片，FPGA 等，也将逐步从低端占领高端市场，而新兴的 AI 芯片利用后发优势，有机会和国外巨头共同竞争高端市场。考虑到芯片行业的复杂度，巨头仍然占据着生态里的绝对优势，合作将是初创企业更好的选择。

下游厂商也将逐步布局半导体芯片，操作系统等基础设施。重点关注 CPU、FPGA，各类 ASIC 和模拟射频芯片等。

集成电路测试封装行业也将出现更多的第三方厂家。但是鉴于其高投入的特点，很少会有创业公司能做到。

2. 传感器

作为物联网第一环，出货量快速增长，技术快速进步，也获得政府大力支持。

市场将快速增长，细分品类市场进一步集中。三大因素驱动传感器市场快速增长，未来 3 年年市场规模增速 30% 以上—快速增长的物联网连接终端数，传感器技术向新一代更精准、更小型、无线方案迭代升级，国家十三五政策推动传感器基础技术研究和行业应用。由技术优势、规模效应导致的成本下降，及并购整合操作，导致每个细分领域市场集中度将逐步提升。

技术将向 MEMS 技术、无线通信技术、新材料技术、光电芯片技术、激光技术、复合传感器技术、多学科交叉融合的方向发展，产品向智能化、微型化、芯片化、集成化方向发展。技术发展与创新的重点在材料、结构和性能改进 3 个方面—**敏感材料从液**

态向半固态、固态方向发展；结构向小型化、集成化、模块化、智能化方向发展；性能向检测量程宽、检测精度高、抗干扰能力强、性能稳定、寿命长久方向发展。其中，MEMS 以其高集成度、微型化的特性，在陀螺仪、传感器、光学等领域都有相关应用，在军事领域和以汽车、电子、家电等为代表的民用行业有着极为广阔的应用前景。

政策也在推动包含 MEMS 传感器在内的基础技术研究，加强传感器在智能制造、海洋资源开发等领域应用。国务院发布的《“十三五”国家科技创新规划》中，在“发展新一代信息技术，发展智能绿色服务制造技术“章节，提出重点加强新型传感器的研发，加强工业传感器制造基础共性技术研发，提升制造基础能力；在先进制造技术专栏中，提出开展 MEMS 传感器的研发，提高自主研发能力，开展工业传感器核心器件、智能仪器仪表、传感器集成应用等技术攻关，加强工业传感器技术在智能制造体系建设中的应用，提升工业传感器产业技术创新能力；在海洋资源开发利用技术专栏中，提出发展近海环境质量检测传感器和仪器系统。

3. 通信领域

中国企业将使物联网通信发展得更先进、更便宜、更健康。

按连接数，低功耗广域网将占据 60% 物联网通讯市场，近距离通讯及局域网将占据 30% 份额，剩余 10% 的高保障行业，如智能驾驶、智慧医疗等，需要大容量、实时传输、智能处理、将依赖 5G/LTE 等高速移动蜂窝技术。LPWAN、蜂窝网络芯片无新企业机会，WiFi、蓝牙芯片技术持续迭代，厂商致胜的关键因素是成本优势。模组厂商区域、行业割据、持续碎片化，厂商以软件解决方案、服务、客户资源取胜。量子通信将在 5 年后在政府、金融等关注安全的行业实现应用，供应商高度集中。

5G 的高带宽、低延时和高稳定的特性，为无人机驾驶、汽车自动驾驶、高清 AR/VR 的应用真正奠定了基础。“云”与“端”因为传输造成的界限将渐渐模糊，“云”会更接近“本地硬件”的概念，这将为互联网带来新的革命。作为一个划时代的技术，5G 还可能对于基础设施带来革命性的提升，基站，骨干网等设备都将迎来更多的机会。

4. 通用能力

物和人的数据采集一半将来自于各类能力平台，部分大数据公司将诞生于此。

基于场景的语义理解将在儿童娱乐教育、智能家居、车联网、智能制造等领域代替现有交互控制方式；基于大数据的深度学习聊天机器人将在解决个人问题的心理咨询、个人助理、社交等工具中应用，并将由大流量智能终端厂商和社交厂商主导。

由于需要基于数据进行训练，并对特征模型不断迭代升级，各领域将出现本领域图像识别 / 视频识别厂商，解决特定应用需求。机器视觉将向两个方向发展 –– 边缘计算实现识别并快速响应，以及机器视觉采集信息以高效识别判断。新型交互方式如眼球 / 脑电波控制也将初露头角。

专用机器人优先于人形机器人发展，在物流、工业、医疗、服务、极端环境任务执行等各领域将出现巨头机器人公司，竞争将围绕成本、稳定性、自适应相应展开。受制于平衡控制、驱动系统、机器视觉等技术尚未成熟，整体流畅易用性和成本仍是障碍，人形机器人将在 5 年后开始爆发，在商业、军工、家庭服务领域首先开始应用。

无人机将在能源、水利行业成为补充巡检的方式，在农业领域大规模应用，在物流行业边远山区替代人力，各行业存在少量专用无人机机会。

5.PaaS 领域的竞争将逐步加剧

做 PaaS 的企业很多，但每个领域只能容纳几个平台，所以竞争将会非常激烈。胜出者将是那些更稳定、功能更多、开发者体验更好的平台。PaaS 平台数量高速增长。IoT Analytics 在 2017 年发布数据，相比 2016 年，全球物联网平台的数量增长近 30% 达到 450 家，且保持持续增长。考虑到数据统计的筛选标准较高，还有很多初创和小型的物联网公司没有统计在内，实际数量只会更多。中国现有市场存在 50 家以上物联网 PaaS 平台公司，未来将存在 4 类平台—电信运营商提供的以设备接入和网络管理

为基础的平台；云服务商提供的以云计算和中间件为基础的云平台；嵌入式操作系统厂商提供的边缘开发到后端数据管理的应用支持平台，以及互联网团队或电子看板企业转型提供的数据总线平台。客户需要稳定服务的大型公司，最终凭借数据 / 案例优势和并购整合，市场会属于数家专注各领域的 PaaS 平台企业。

物联网 PaaS 平台的发展趋向 AEP（应用支持）平台。以提供开发工具、标准接口、数据存储和行业套件为“服务”本质。平台需要以开放的方式吸引开发者，通过和开发者的互动，不断完善平台兼容性以及与第三方系统和应用连接的能力。

拥有海量连接设备、遍布全国分支机构的政府、企业市场将优先应用 PaaS 平台。而为企业客户产生的价值显性化的管理平台企业更容易获得成功。人工智能和机器学习能力将成为管理平台竞争的核心能力。数据真正产生价值的环节，行业间差别大，易形成某细分领域的垄断，服务于大型行业客户的管理平台更容易生存。管理平台市场产品目前集中于设备监控、流程管理、远程运维，未来将在能耗管理、预防性维护、产品创新、工艺流程优化、柔性生产、金融等领域深度应用。

未来将出现 4 类企业发展管理平台—制造业企业通过采购路线打通供应链数字化，大型设备企业或通过产品 / 设备数字化构建设备智能管理平台，传统 ISV 业务流程下沉，大数据挖掘 / 人工智能算法团队发展行业产品。

物联网安全产品将成为 ToB 和 ToC 产品的标配，入侵者攻击目标不仅是主机，攻击者一般会通过入侵的主机系统，非法控制该主机系统所能控制的受控设备以达成既定攻击任务，而这些受控设备可能根本不具有智能判断能力；智能设备对系统响应的实时性要求高，无论感知数据的上传，还是控制指令的下发，都需要在很短的时间内完成，这就给安全防护技术的实施带来了挑战；各人隐私信息 / 财务损失和工业停机 / 故障损失对智能产品的打击是致命的。市场将出现数家大型物联网安全企业，他们既懂工业、又精通安全产品，但应该不是现有的信息安全厂商。

六、重点应用行业现状及趋势分析

【1】ToC

更智能、更低成本、更小型化是 ToC 应用真正的壁垒。

围绕更健康的生活，更智慧的生活而展开的医疗检测、康复、辅助生理智能设备、智能家居单品、可穿戴设备、新型通讯工具、娱乐单品将实现大爆发。驱动因素是高性能功耗计算芯片、深度学习算法、新型互动和显示技术的发展。

1. 智能家居

将由单价低、性价比高的智能单品逐步打开市场，并最终串联出一幅智能互动的生活场景。这其中存在多个智能产品的市场机会，包括家庭卫生、数字娱乐、教育、安全、老年护理、能源效率 6 大应用。单纯做智能家居系统平台的公司很难存活。

2. 智能终端

向轻量化、传感化、多功能、自动响应方向发展。各类型柔性屏、基于光场重构的空间三维显示技术、VR/AR 在娱乐、通讯、教育领域开始应用。拥有沉浸式体验、强大的后台数据服务的可穿戴设备企业将在消费电子领域胜出。

【2】ToB

物联网将对 ToB 各行业进行改造，影响最大的行业依次是制造业、公共服务业和资源产业。

1. 工业物联网

各类型机械臂由汽车、3C 行业向离散制造业全行业扩展；柔性制造由工业物联网平台、机械臂、机器视觉厂商提供基础技术，集成商推动，大型企业到中小企业逐步发展。**工业物联网将经历 3 个阶段：第一阶段，工厂内部设备垂直整合，各机器及生产线的自控系统、工厂的制造执行系统、以及 ERP 等系统的整合，实现工厂内系统、设备与机器间在物联网的基础上互联互通；第二阶段，价值链上所有企业水平整合互联，包含上游所有各级供应商的相关系统（系统内包含相关设备的物联网信息），以及下游各渠道**

的系统终端或设备，以此增加生产力，提升效率与灵活性；第三阶段，按需定制与柔性制造整合，包括产品设计、测试、上市、以及制造方面的工厂、制造、物流、服务，全都全面实现互联互通和智能 / 灵活改造，从而产生新的商机、新的业务模式和新的盈利模型。

2. 智慧医疗

辅助诊断市场将由拥有大量医院诊断数据的少数资源企业及周边大数据挖掘公司提供产品，资产管理服务将持续由分散的通讯模组解决方案厂商和少数工业物联网平台厂商提供，康复机器人、医疗检测可穿戴设备厂商将依靠极致用户体验走医院渠道和品牌化路线。

3. 无人零售店

多种技术磨合之后剩余 1 种技术路线，机会属于拥有庞大物流体系的企业。

4. 智慧城市

由各地系统集成商完成方案交付，专注细分领域的大数据企业和 NB/LoRa 模组企业提供基础技术。

5. 资产监管

动产抵押领域将采用 LPWAN 技术降低风控成本，该领域将诞生数家第三方金融监管平台公司，为金融企业提供监管服务或最终自身成为金融公司。

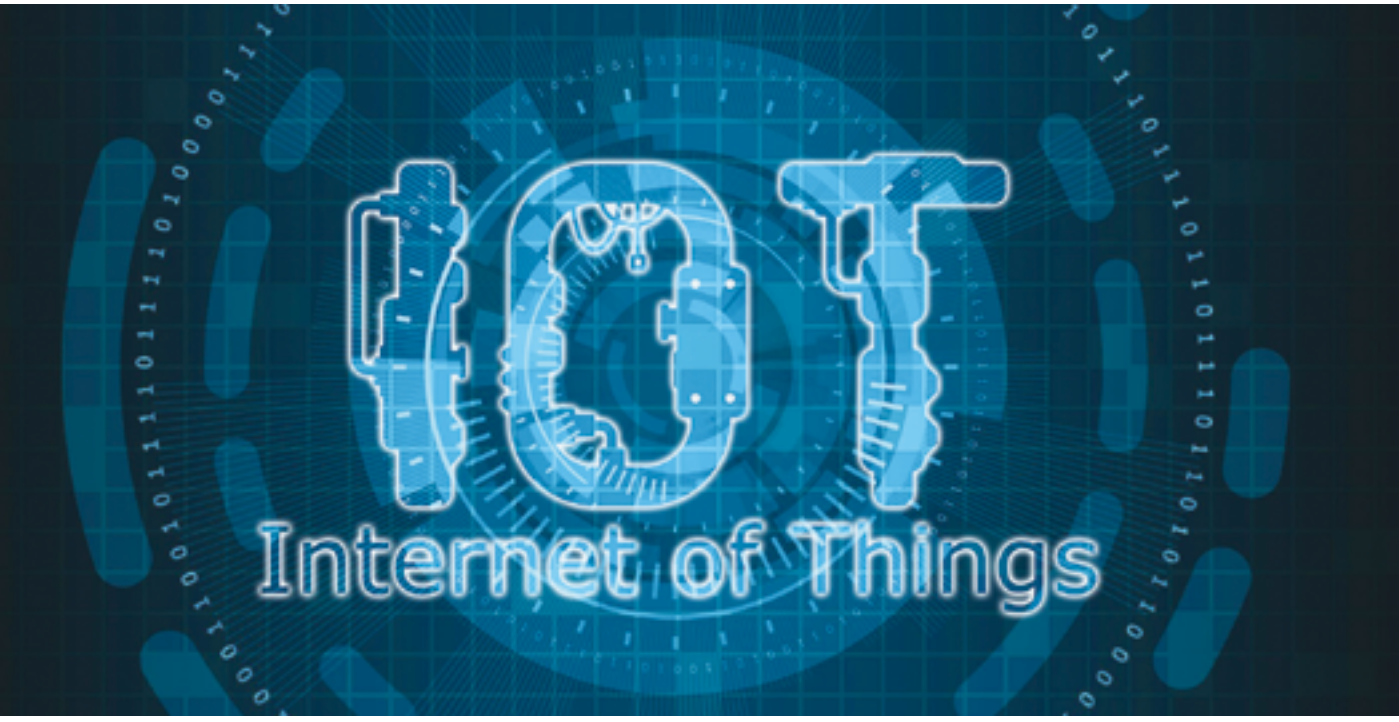
6. 智慧农业

基于环境、作物、牲畜监测而实现智能化种植、养殖的技术和无人机将在大型农庄 / 生产社得到应用，广大农民将通过包技术包销包资金的金融公司获得智能化改造服务。

七、趋势分析及布局建议

整体而言，市场回归理性，个人用户更加关注设备的实际体验，而行业用户则更加关注投入产出比。C 端用户将对交互方式有新的需求，例如手势识别、3D 人脸识别、语音识别和语义理解、生物识别等，实现更便捷的控制；对智慧生活也将有新的需求，例如 AI 助手、服务型机器人、可穿戴设备等，实现个性化、健康的生活。B 端企业人力成本的上升催生智能化代替人工的需求。工业企业迫切需要智能化、无人化、以降低损耗、成本，提升生产效率。而平台型企业、通用能力企业、智能化单品、垂直领域数据应用等产业链上的其他企业将不断涌现，互为补充。各传感器细分市场竞争集中度进一步提高，传统 M2M 厂商也将会转型 LPWAN 解决方案提供商。

从竞争来看，国内将替代国外，无线将替代有线，低成本芯片将替代高成本模组，智能制造由精密大型企业向中小企业蔓延，大型供应商生态和第三方开发者共存。各类型电子产品、工业设备由未联网向联网实时、数字化、智能化逐步发展。物联



网领域在经历了前几年对于尖端科技的热捧之后，最终要回归到其价值本质。**物联网时代的三个核心是软件、硬件、数据，未来所有人和物都是有生命的，数据是被记录的。基于每个人或物都是有生命的，后台系统自动做出响应和判断，提供适合当前状况的最优服务和配置。基于此可知未来能够真正存在并有持久生命力的，是能够为客户创造价值获取数据及提供能力的公司和后端数据平台公司。**

产业环节，通用能力、PaaS 平台、管理平台、前端平台、芯片这几个领域值得关注。各行业物联网应用的推进需要系统集成商的推进，而系统集成商在设备接入、海量高并发数据管理、数据分析工具、交互、机器学习等后端技术领域均需要专业公司赋予能力。2020 年，人均拥有的智能设备超过 5 台，而除智能手机以外的其他智能设备，再加上工业领域里的各类控制单元，其芯片、系统、协议标准呈现极度分散的状态，边缘计算的增加、互联互通的要求、海量终端的快速增长，都将催生提供前端平台公司的出现。除市场高度集中的手机、pc、蜂窝通讯芯片领域，其他长尾硬件市场也将催生细分领域的芯片公司机会。

垂直行业，工业物联网、智慧城市、智能家居、智慧医疗、消费电子（人体数据采集）等的应用值得关注。根据 Xlively 的数据，到 2020 年，全球物联网终端数前 5 的行业是工业物联网（100 亿台）、智慧城市（77 亿台）、智能家居（11 亿台）、智慧医疗（6.46 亿台）、可穿戴设备（4.11 亿台）。

ToB 公司成功的基础条件是具备规模化的产能或服务能力，分布全国服务网点，产品拥有高壁垒功能或稳定性以创造高毛利，致胜的关键是全国销售体系。两类企业值得关注：一类是为下游企业快速开发产品、提升能力范围、创造高附加利润或者提供底层技术的公司，另一类是专注某一或某几个大型企业行业，深度耦合客户业务，集聚业务复杂度模型和行业数据壁垒的公司。

ToC 公司成功的技术条件是具备规模产能，制胜的关键是极致产品打造能力和粉丝发展能力。那些专注于垂直领域采集数据 / 内容、提供服务并让用户拥有沉浸式体验的物联网公司较有前景。对于拥有硬件产品的公司，具备以下三个特点的公司值得关注：1. 制作精良的硬件，提供高质量传感器将各项设备的数据收集到一个集成平台上；2. 同时有运营、追踪、分析海量数据并提供针对性解决方案的高效运作平台；3. 出色的软件能力以及一流的用户体验。

参考资料：

1.《工信部指路：加快移动物理网发展，年底连接数将达 12 亿》，雷锋网

2.《物联网公司的两种分类方法，六种盈利模式》，物联网资本论

3.《物联网系列深度之全景研究》，安信证券

4.《抽丝剥茧，物理网产业链机会盘点》，东兴证券

5.《万物互联全景研究》，中信建投

6.《2018 中国物联网行业白皮书》，星河互联

7.《物联网或将成为 5G 最重要的应用场景》，国信证券

INDUSTRIAL INTERNET
工业互联网行业研究报告

今年年初，新冠肺炎疫情来势汹汹，对社会经济发展造成压力。传统模式工业企业对人力依赖较强，疫情造成的复工困难也暴露出我国大量工业企业在自动化生产能力上存在较大短板。针对疫情，中央政治局召开会议进行部署，强调推动工业互联网加快发展。此外，“新基建”概念再次提出，随后央视对新基建进行了全面解读， 表示新基建是指发力于科技端的基础设施建设，主要涉及 5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大领域。预计随着国家大力推动新基建的发展，针对工业互联网的支持政策或将相继落地，这将大大推动产业的发展。基于此，InfoQ 研究院专门针对工业互联网行业做了相关研究，旨在针对行业发展现状、产业链生态格局以及相关技术演进等内容对工业互联网行业进行全面且深入的分析及解读，希望在新基建轰轰烈烈开展的当下，让大家能一窥作为核心组成部分的工业互联网领域究竟为何。

InfoQ 研究发现：

1. 通过对产业背景进行分析，全球视角分析来看，互联网、云计算、物联网、大数据等信息技术向工业领域的渗透融合促成了工业互联网的突破与成型。此外，企业利润失速，升级换代在即。随着时代的变迁和技术的发展，企业的核心竞争力也在不断升级，由关注技术产品向关注用户价值演进，需要不断获得新型能力才能在全球产业链的竞争中脱颖而出。从中国视角分析，作为“新基建”重点发展领域之一，工业互联网将迎来发展机遇。

2. 工业互联网的重点在于理解工业，落点在提升制造业转型升级水平，核心是用数据 + 模型做服务，这也是信息技术与制造技术融合创造价值的内在逻辑。

3. 通过对商业模式分析可知，工业互联网平台现阶段将以专业服务、功能订阅为最主要商业模式。

4. 在网络、平台、安全三大体系下，工业互联网已形成三大优化闭环。一是生产过程优化，其核心在于对智能机器与生产环境进行实施感知并进行边缘计算；二是智能决策优化，通过智能感知得到的相关状况进行自主学习并实时响应，自适应地进行参数控制及动态性能控制，实现决策优化及资源配置优化；三是管理服务优化，通过对供应链数据、用户需求数据及产品数据的分析，实现业务模式及商业活动创新。

5. 由于工业行业所处的产业链位置、生产特征、业务需求和两化水平存在差异，现阶段工业互联网平台应用推广在各行业步调不一。应用重点和发展路径呈现出较为明显的行业特征：一、两化融合水平较高的行业引领平台创新应用；二、同业竞争越激烈的行业向“产品 + 服务”转型的步伐加快；三、流程行业率先布局基于平台的安全环保综合管控能力建设。几大应用行业中，电子、家电、电力等行业发展最好，流程型行业普遍优于离散行业。

6. 从投资角度来说，有以下几点：（1）由于涉及设备和流程较多，钢铁和服装行业为目前两化融合比较慢的行业；（2）推进工业互联网应用本质是数据采集范围的拓展和利用程度的加深；（3）具有行业属性，各垂直行业的工业互联网实施业务场景相对独立，跨行业场景还没有大量出现；（4）垂直行业应用路径是对工业互联网共性模式实现阶段的进一步细化。

一、背景：

从全球来看，在物联网、云计算、互联网、大数据技术的支持下，工业互联网窗口临近。物联网技术的发展使得包含智能物体状态、标识、位置的大量工业数据得以收集，互联网技术为数据的传递提供了可能，云计算提供了基于平台的工业数据计算及分析能力。互联网、云计 算、物联网、大数据等信息技术向工业领域的渗透融合促成了工业互联网的突破与成型。此外，企业利润失速，升级换代在即。随着时代的变迁和技术的发展，企业的核心竞争力也在不断升级，由关注技术产品向关注用户价值演进，需要不断获得新型能力才能在全球产业链的竞争中脱颖而出。

从中国来看，作为新基建重点发展领域之一，工业互联网迎来发展机遇。2018 年 12 月，新型基础设施的概念在中央经济工作会议上被首次提出。3 月 4 日，央视对新基建进行全面解读， 表示新基建是指发力于科技端的基础设施建设，主要涉及 5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大领域。其中，工业互联网作为新基建重点发展领域之一，有望在利好政策的推动下驶入发展的黄金时期。此外，从中国整体经济发展的角度来看，制造业改革是我国经济社会发展的必然选择。我国工业生产总值占国民生产总值的 33.9%，是我国国民生产总值占比最大的行业。其中，又以制造业为占比最大部分，占我国当年工业生产总值的 85.0%。面对劳动力成本上升，资源与环境约束等问题，对工业进行改革是必然的选择。从经济总量占比看，从制造业开始进行改革或是最好的选择。

二、定义：

工业互联网内涵丰富，是新一代信息通信技术与先进制造业深度融合所形成的新业态与应用模式。**工业互联网通常是指能够满足工业智能化发展需求、具有低时延、高可靠、广覆盖特点的关键网络基础设施，工业互联网的发展涵盖工业软件、工业云平台、工业通信、工业互联网基础设施和工业安全体系。**

图：从工业和互联网两大视角看工业互联网
资料来源：工业互联网产业联盟、InfoQ 研究院

三、发展历程

整体来说，工业互联网概念诞生至今的发展历程共可分为四个阶段，分别为：

第一阶段：60–80 年代，实现网络的发明及机器与机器的互联；

第二阶段：90 年代，实现工业网络协议及操作系统的发布，以及物联网概念的提出，工业设备逐渐联网；

第三阶段：2000 年初，云计算以及通信独立架构协议的形成，工业互联网支撑体系逐步形成；

第四阶段：2010 年至今，工业互联网雏型形成与发展。

60–80 年代

- 1968 年，PLC 诞生；
- 1983 年，以太网标准化；
- 1986 年，PLC 连接到 PC；
- 1989 年，万维网发明

90 年代

- 1992 年，引入工业以太网和 TCP/IP 连接；
- 1995 年，MS Windows 成为工业主流操作系统；
- 1996年, OPC数据访问协议发布
- 1997 年，无线 M2M 技术在工业变普遍；
- 1999 年，物联网概念提出

00 年代

- 2002年, 伴随AWS的推出, 云计算形成；
- 2006 年，OPC 独立架构协议发布

10 年代

- 2010 年，传感器价格下降；
- 2011 年，自带设备成为主流；
- 2016 年，工业互联网雏形形成

图：工业互联网发展历程　　资料来源：公开资料整理、InfoQ 研究院

四、行业逻辑与商业模式

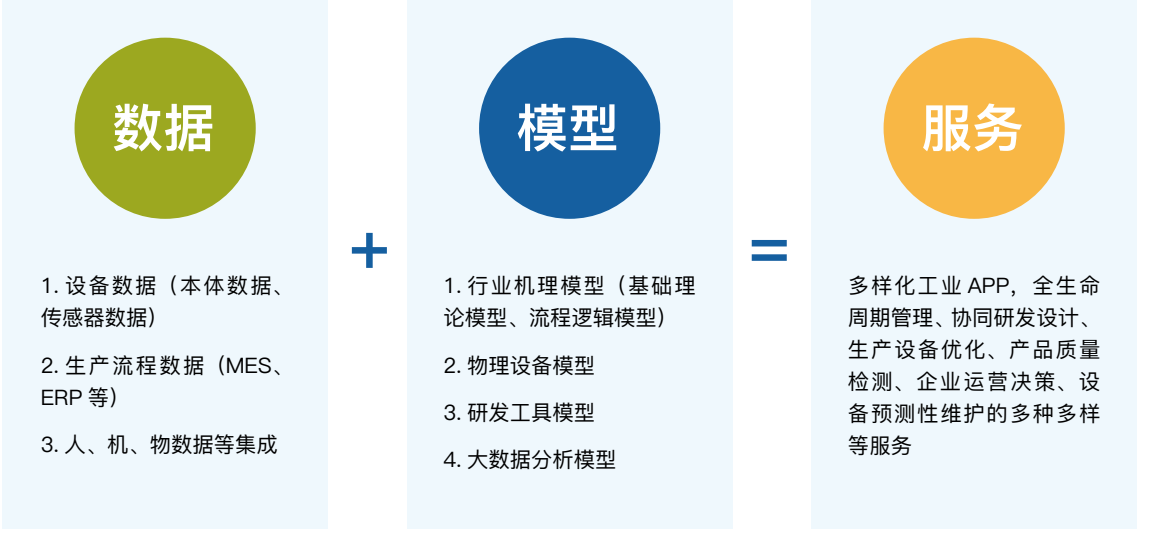
【1】行业逻辑

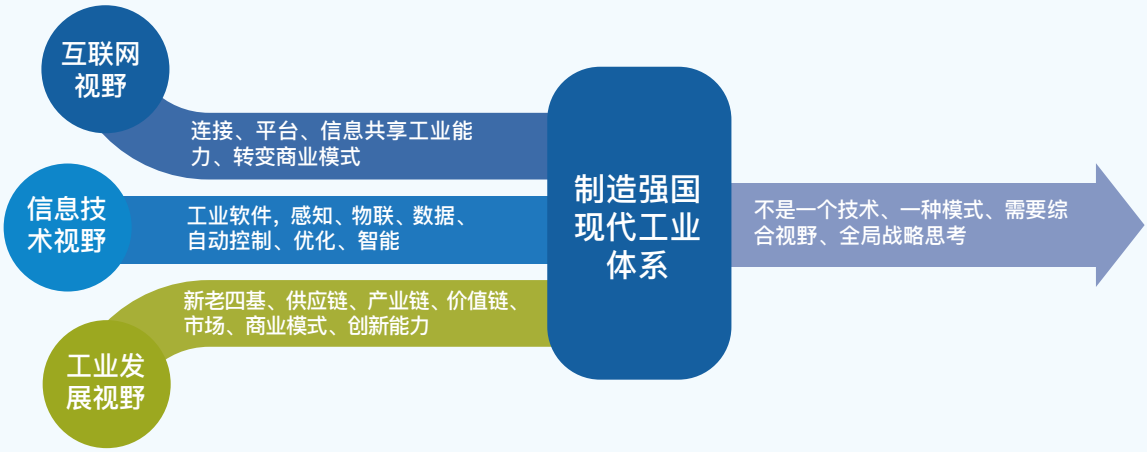
我们认为，工业互联网的重点在于理解工业，落点在提升制造业转型升级水平，核心是用数据 + 模型做服务，这也是信息技术与制造技术融合创造价值的内在逻辑。具体表现为：

1. 工业互联网的本质是用数据 + 模型为企业提供服务。工业互联网的核心是工业互联网平台，承载了大量基于微服务架构的数字化模型。这个数字化模型是将大量工业技术原理、行业知识、基础工艺、模型工具等规则化、软件化、模块化，并封装为可重复使用的组件。我们可以简单地理解为，封装了大量工业技术原理、行业知识、基础模型的知识库，作为连接企业 IT 和 OT 的核心，以代码和信息技术的形式将行业理解和一线生产的经验固化下来，成功解决了制造企业内信息化与生产分离的情况，使得工业互联网平台成为整个工厂端或工业生产端的控制大脑。有了边缘侧和网络层收集来的数据，加之以 PaaS 层的数字化模型，即形成了“数据 + 模型”的服务。

2. 工业互联网从工业出发，以工业立身。国家发展工业互联网，从根本上是为了服务制造业的智能化转型升级，构建制造强国现代工业体系。制造业由大变强的过程中，互联网作用是一种基础设施，是一类工具，是配角，不是主角。构建制造强国现代工业体系，既要有互联网视野，也要有信息技术视野，更要有工业发展视野，将三种视野深度融合，互相配合，才能实现工业由大变强，才能实现工业高质量发展。从这个角度来看，工业互联网不是一个技术、一种模式，是从工业角度出发的结合各种各样现代化技术的综合体系。

图：工业互联网平台本质上使用数据 + 模型为工业企业提供服务
资料来源：中国信通院、InfoQ 研究院





图：工业互联网以工业立身，打造制造强国现代工业体系
资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

【2】商业模式

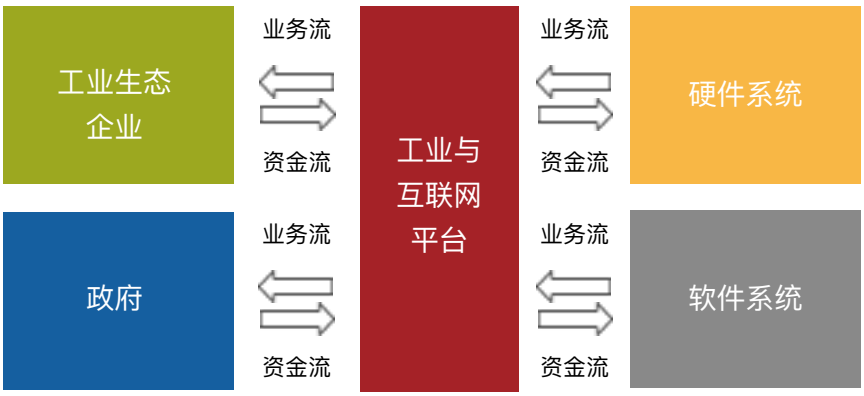
1. 商业模式：工业互联网平台现阶段将以专业服务、功能订阅为最主要商业模式：

（1）专业服务：是当前平台企业的最主要盈利手段，基于平台的系统集成是最主要的服务方式；此外咨询服务也正在成为平台专业服务的重要方式；

（2）功能订阅：是现阶段平台盈利的重要补充，有可能成为未来平台商业模式的核心。IT 资源及工业软件服务已普遍采用订阅服务方式。具体包括：云资源订阅；PaaS 功能组件订阅；工业 SaaS 订阅。

2. 订阅方式：围绕资产运维、能耗优化领域的托管服务正在成为工业领域新的订阅方式。

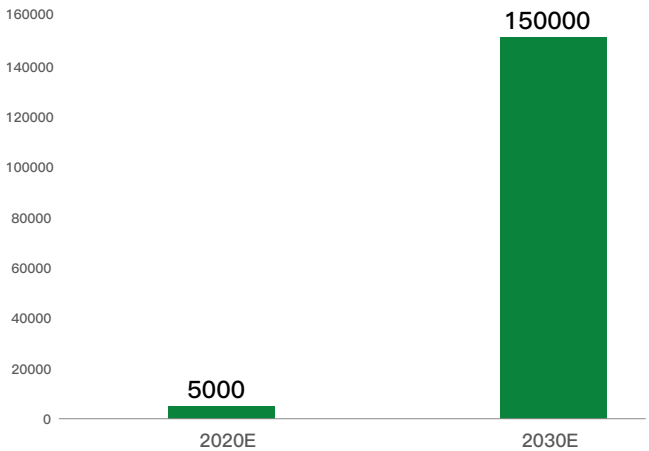
3. 产业链资金流：资金从工业企业流向平台企业，再从平台企业流向提供硬件设备和软件系统的企业，而资金流的反向是业务流。



图：工业互联网的资金流与业务流
资料来源：华辰资本、InfoQ 研究院

五、规模

随着顶层设计逐步完善和政府、科研机构以及产业的共同合力，工业互联网市场成长空间逐步打开。工业互联网将实现工业制造与信息技术的融合，促进制造业转型升级，带来巨大的社会和经济效益，充分释放互联网带来的红利，未来有望开辟继消费者互联网后的下一个巨大市场。**埃森哲和 GE 联合发布报告预计 2020 年全球工业互联网市场规模达 5000 亿美元，2030 年全球工业互联网市场规模将有望达 15 万亿美元。**



图：2020、2030 年全球工业互联网市场规模预测（单位：亿美元）
数据来源：埃森哲、GE、InfoQ 研究院

六、产业链分析

【1】工业互联网包括三大体系：网络、平台和安全。

1. 网络是工业互联的基础

工业互联网要求企业内部的供销存、生产、中后台管理等环节实现人、财、物等信息流的统一，打破当前相互独立的工业信息系统； 同时外部产业链上下游企业之间的信息流相互打通、整体协同。因此工业互联最基础的要求在于通过通信网络提供底层支持，最终实现信息系统网络、生产系统网络中不同单元、 不同设备、不同系统的实时感知与协同交互。

2. 平台是工业互联的核心

生态中不同单元、不同设备、不同系统产生的海量数据通过网络基础在平台上汇集，本质是面向大工业的数字化、网络化、智能化需求，通过物联网、人工智能、大数据等新兴技术，构建高效、实时、精准平台体系，实现数据汇集、建模分析、应用开发、资源调度、监测管理等功能，是工业互联的核心。

3. 安全是网络与平台的保障

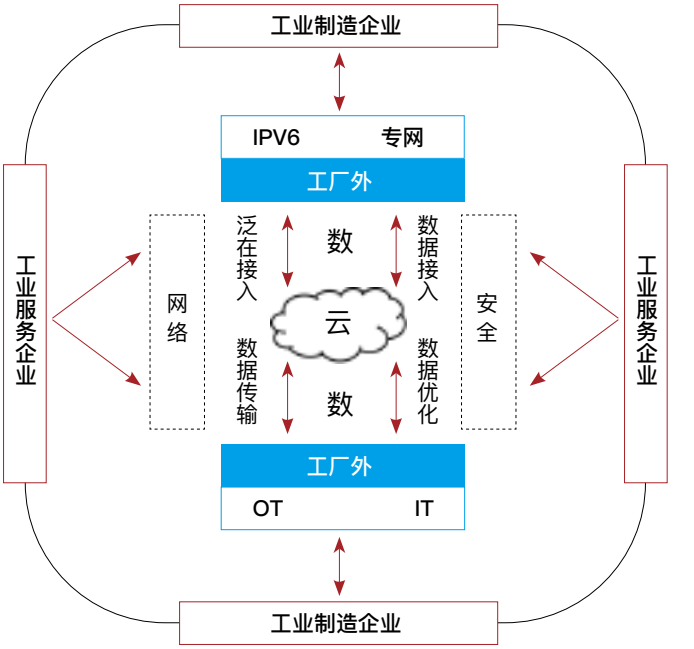
工业互联网时代，数据是企业的核心资产之一，更加强调体系的信息安全。企业内网的安全可分为企业内应用安全、控制安全及设备安全三个方面；整体体现为对设备、网络、数据的安全防护能力。

5G
5G
5G
5G
5G
5G
5G

【2】工业互联网架构体系与 5G 应用解构

在网络、平台、安全三大体系下，工业互联网已形成三大优化闭环。一是生产过程优化，其核心在于对智能机器与生产环境进行实施感知并进行边缘计算；二是智能决策优化，通过智能感知得到的相关状况进行自主学习并实时响应，自适应地进行参数控制及动态性能控制，实现决策优化及资源配置优化；三是管理服务优化，通过对供应链数据、用户需求数据及产品数据的分析，实现业务模式及商业活动创新。

从场景角度来看，工业互联网主要包含工厂内、工厂外两大场景。工厂内涉及 OT 层与 IT 层（OT 指运营技术，IT 指信息技术）；工厂外则涉及 IPv6 的公众互联网，基于 SDN 的工业互联网专网、泛在接入、以及云平台的数据接入和采集。5G 的工业互联网应用也相应可梳理为工厂内、工厂外两场景。



图：工业互联网三大体系、三大优化闭环及两大场景
资料来源：申万宏源、InfoQ 研究院

1. 工厂外部

工厂外部的 5G 实现泛在广覆盖、灵活可靠的传输。具体 5G 网络应用体现为三方面：

（1）产业链实现泛在链接。

5G 协助工业互联网工厂外网络实现产业链的泛在链接。5G 网络由于其特性可以用于构建工厂内外的人和机器的全方位信息接入系统，最终实现泛在接入。工厂之间可以利用 5G 网络完成相互的数据共享，同一个生产商的不同生产工厂也可以实现在不同空间内的连接互通。工业服务企业也可以在生产过程中及时切入产品设计环节，及时更改生产中出现的错误，对生产数据进行监控。终端使用者则可以跨空间地查询生产信息和产品状态。

工厂外网络基于互联网，但过去已有的网络基础设施无法完全满足工业互联网业务发展需求。工业互联网所需的高可靠、低时延、广覆盖、大带宽、可定制等要求难以同时满足。对长尾的中小工业企业而言，信息服务成本高昂、难以承担。

5G 网络能够实现传输网层面的泛在、灵活定义、高质量带宽，以及接入网层面广覆盖、低时延、高可靠等要求。传输网以泛在、高质量宽带接入为目标，对公众互联网 / 高性能专网进行升级改造和建设，具体技术包括 SDN、NFV（5G 网络核心趋势之一）等。接入网主要体现为新型无线网络（NB–IoT、5G）的升级与建设。

（2）IPv6 铺垫海量设备联网。

IPv6 满足工业设备地址的爆发需求，工业领域 IPv6 部署是工厂外网络的另一重要演进方向。全球联网终端总量爆发，IPv4 地址分配接近极限。与 IPv4 相比，IPv6 把 IP 地址的数量级从 2 的 32 次方扩展至 2 的 128 次方，足以满足 5G、物联网、自动驾驶等联网设备对独立 IP 地址的需求。IPv6 是满足工业互联网发展海量地址需求的必然选择。

全球互联网正处向 IPv6 演进过渡的关键时期，我国 IPv6 普及率提升空间大。据信通院统计，在网络设备中，三层交换机、边际路由器、核心路

由器、宽带网络接入服务器的 IPv6 支持率平均在 70.4%，但边缘路由器支持率仅 48.6%。若考虑工业领域存量规模庞大的较 陈旧设备，当前仍有海量设备并不完全支持 IPv6。

工信部明确 IPv6 部署行动计划。工信部 2017 年《计划》要求所有移动终端厂商设备出厂要默认支持双栈；到 2018 年末完成北京、上海、广州、郑州和成都的骨干直联点 IPv6 改造；运营商及国家超算中心等的 IDC IPv6 改造；阿里、腾讯、金山等 CDN IPv6 改造；到 2020 年底，IPv6 活跃用户数超 5 亿，占比超 50%，新增网络地址不允许私用 IPv4。

（3）专线加速企业上云：专网专线下，5G 推动企业工业数据上云。5G 低延时、高可靠、高速率的特性为工厂提供全云化网络平台，大量工业级数据依靠 5G 网络收藏并形成庞大数据库，可在极短时间内将设备信息上报。同时 5G 帮助企业通过网络安全低成本地按需使用资源，进行业务管理，降低信息化建设成本，提高资源配置效率。

2. 工厂内部：网络切片渗透工业生产各环节

5G 网络通过网络切片提供适用于各种制造场景的解决方案，实现实时高效低能耗。网络切片是指借助 NFV、SDN 等技术将运营商的物理网络划分为多个虚拟网络，针对不同 场景的需求，每个虚拟网络体现不同的网络特点，比如低时延、高带宽、强安全性和可靠性等。独立组网（SA）下，5G 网络可以利用切片技术保证按需分配网络资源，并可以针对不同企业的产品需求进行细粒度切片。

NFV（网络虚拟化）和 SDN（软件定义网络）是网络切片实现的重要技术。在 NFV 技术下，核心网、接入网中专用设备的软硬件功能以虚拟机的方式装载到商用服务器上，并使用这些服务器来取代传统的专用设备，原本的接入网被虚拟化成“边缘云”，而核心网被虚拟化成“核心云”；同时使用 SDN 把实现网元功能的虚拟机编排、串联，在最终得以实现不同场景的“切片”。**对于工业企业而言，针对工业领域应用的痛点，网络切片主要体现三大功能：资源隔离、功能定制、质量保障。**

（1）资源隔离保障了不同业务环节以及工厂内外部的数据安全与独立。除了传统的财务等内部高价值数据之外，工业企业产生的海量生产数据也是辅助决策的重要资产。若通 过传统 4G 网络或工业以太网方式部署工厂内网络，则数据将暴露在外部网络环境下，除非搭建硬件防火墙。网络切片则从 SDN/NFV 的角度部署与外界环节隔离、独立的网络环境，保证了工业企业内部数据的安全。

（2）功能定制使得不同环节 / 场景的特定需求能够以低成本的方式得到满足。过去 4G 网络无论如何部署，每个业务单元对应的网络功能都是相同的。由于不同工业环节的网络需求是不同的，切片技术则可以根据不同的业务特征，使 5G 的 eMMB、uRLLC、mMTC 等场景可以分别独立地形成一个个“网络单元”，从而对应不同的业务需求，最终提升用户体验和网络资源利用率。

（3）质量保障则意味着工业互联网在工厂内部的应用将高可靠。工业生产一般涵盖众多工艺环节，若所有环节都串联在同一张网络上，那么网络异常将导致所有环节停滞。而网络切片之间相互隔离，任何一个网络切片的拥塞、过载、配置的调整都不影响其它切片的正常功能，以类似“容器”或“微模块”的方式实现工厂内网络可靠、灵活、可调整。

对于运营商而言，未来切片经营是行业持续增长的必经之路。过去 2G 时代，运营商经历了移动语音收入的爬坡过程。进入到 3G/4G 的移动互联网时代后，语音收入增速见顶，同时运营商的无线流量收入开始爆发。过去两个时代 C 端移动语音和无限流量收入的交替增长体现了我国人口红利的释放，但伴随着流量经营红利的见顶，未来 B 端产业红利的释放将依赖于运营商通过切片方式，因此从持续盈利的角度看，未来运营商向切片经营演进不可避免。随着 5G 产业链的成熟，切片经营将成为运营商收入的新增量。

已定义的四类切片分别对应不同应用场景。3GPP 标 准 已 经 定 义 eMBB、uRLLC、mIoT、V2X 四类切片，其中：eMBB 主要适用于超高清视频、AR/VR、3D 建模与演示等大流量移动宽带业务；uRLLC 主要适用于工业自动化等需要高可靠、低时延的 B 端业务；mIoT 适用于大规模物联网业务；V2X 则主要集中于车联网领域。

未来网络切片将成为 5G 在 B 端的重要应用形式。切片是 5G 网络建设的核心部分，也是独立组网下的重要应用。除工业互联网，切片将在 B 端其他领域体现庞大应用价值。以远程医疗为例，在 uRLLC 切片下医生有望在远程通过操纵杆感知信息

图：5G 网络切片部署节奏

资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

并进行操控，病人的视频信息通过网络从病房同步传递到远程手术室，方便医生操作，实现远程问诊、远程手术；以电力物联网为例，uRLLC 切片可以应用于配电自动化、精准负荷控制、用电信息 采集等场景，另外 eMBB 切片也可用于无人机远程巡检、语音切片可用于人工维护巡检。

3. 标识解释体系是 5G 在工业互联网的延伸重点

标识解析体系是工业互联网的关键神经系统，是工厂内外部网络实现互联互通的关键 基础设施。标识解析体系可类比为互联网领域的 DNS（域名解析系统），类似于工业互联 网设备的“黄页”或“字典”，由标识编码和解析系统两部分组成。标识编码相当于工业领域所有设备、产品的“身份证”，解析系统则是识别、检索、定位设备或产品的重要基 础。标识解析体系使工厂内外网络中的所有设备、产品都有迹可循，是工业全要素、各环节信息互通的枢纽。

标识解析体系贯穿工业生产和销售的全流程。通过标识解析，各工业企业将能够产品与设备的全生命周期管理：从纵向集成来看，标识解析体系打通智能设备与工厂，实现底层数据的规模化采集与系统间共享；从横向集成来看，大型企业链接上下游企业利用标识解析按需查询数据，中小型企业可以横向连接成平台，利用标识解析按需地共享数据；从端到端集成来看，打通设计、制造、物流、使用

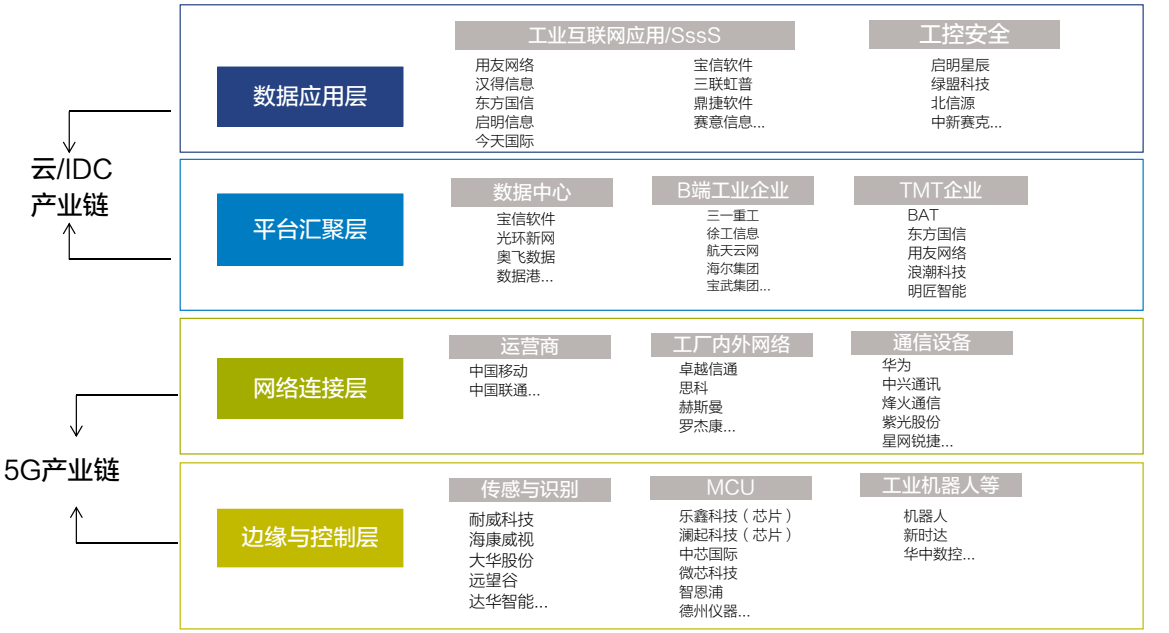
的全生命周期实现真正的全生命周期管理。

我国工业互联网标识解析体系由国家顶级根节点、二级节点、企业节点、递归节点等要素组成。借助各级节点，政府、企业等用户可以通过标识解析体系来访问保存机器、物 料、零部件和产品等相关信息的服务器，实现全产业链的信息共享。工业互联网建设迫切需要完善标识解析体系各级节点。当前工业企业对设备、物料、产品进行管理主要依赖条形码、射频标签、IC 卡等工具，但编码方式并不通用，难以实现数据互联互通。要实现工业互联网体系下产业链各环节紧密协作，就迫切需要尽快完成各级节点的建设。二级节点是未来工业互联网标识解析体系未来的重要建设内容。

在工信部指导下，我国工业互联网标识解析体系已建设初具雏形。目前工业互联网标识解析国家顶级节点由信通院负责建设运营，已在北京、上海、重庆、广州、武汉五大城市陆续完成部署上线，初步形成“东西南北中”的顶层布局服务架构；二级节点建设也已在佛山、贵阳、北京、武汉等地陆续启动上线共 13 个。未来目标标识注册量达到 20 亿个。

【3】四大层次划分，工业互联网产业格局已明确

工业互联网产业可划分为边缘控制、网络连接、平台汇聚、数据应用四个层次， 具体如下：



图：四个层次梳理工业互联网产业格局　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

1. 边缘控制层：算力下沉带动集成化通信模组渗透

边缘控制层的实体主要包含工厂内部实现智能制造的机床、传感器、工业机器人等各 类现场设备。边缘层依托传感器、工业控制物联网技术进行厂内外数据的打通聚合，对设备、系统环境等要素信息进行实时采集和处理。一方面可以借助智能控制器、智能模块、嵌入式软件等传统的工业控制和连接设备，实现平台对底层数据的直接集成；另一方面可利用以智能网关为代表的新型边缘计算设备，实现智能传感器和设备数据的汇聚处理以及边缘分析结果向云端平台的间接集成。

边缘控制层涉及 RFID、无线模组、无线传感网等通信技术。RFID（射频识别技术）是目前工业互联网、物联网领域广泛应用的通信、定位技术。RFID 是利用射频信号通过交变磁场或电磁场来实现无接触信息传递并自动识别的技术，包括光符号识别技术、语音识别技术、生物计量识别技术、IC 卡技术、条形码技术和射频识别技术等。RFID 和 IPv6 技术相结合后，使得工业环节中的每一个物理实体都在网络中可识别，且能够精准定位。

无线模组是连接边缘层与网络层的重要环节。无线模组将芯片、存储、功放等元器件集成在一块电路板上，同时提供标准接口的功能模块，各类终端借助无线模组可以实现通信或定位功能（相应依照不同功能，可分为通信模组和定位模组）。无线模组上游为基带芯片厂商，标准化程度较高且以海外厂商为主，主要供应商包括高通、Intel、联发科、锐迪科、华为、中兴、北斗等；下游为设备制造商或系统集成商。

无线传感网在传感器基础上延伸通信功能，广泛应用于工业生产、智能交通、环境监控等领域。无线传感器节点除了拥有传感器部件之外，还集成了微处理器和无线通信芯片，不但能从外界获取信息，还能对信息进行分析和传输。无线传感网是由大量微型、低成本、低功耗的传感器节点组成的多跳无线网络。无线传感网适合应用于长时间、大范围感知与通信场景，可以实时更新数据并且可以实现自动化。

从 RFID、无线模组、无线传感网技术总结可知，工业互联网边缘控制层将体现智能化（拥有算力）、微体积但集成化（集成通信功能）的趋势。海量终端与数据要求在边缘层集成算力。工业互联网使工业生产各环节的设备、人、物料有机结合，连接海量终端的同时生成海量数据，且大部分数据为静态、低价值数据与冷数据。若直连平台层、应用层将对网络层的通信产生巨大带宽压力，也伴随着平台层的数据存储压力。因此倾向于将专用与通用处理器混合应用于边缘工业设备，在数据产生后立刻进行数据的识别、分析与处理，同时满足实时控制和数据分析功能。此外，未来随着工业协议的积累以及标准化协议的形成，边缘连接层各环节间边界将趋于模糊，竞争也将向头部集成能力出色、计算 / 通信技术储备深的厂商集中。

2. 网络连接层：海量终端、数据引爆通信服务与设备需求

工厂的数字化要求与大量新联网设备需要工业互联网的承载。工厂内大量设备（如 AGV/ 机器人、移动手持设备）与大量新的业务流程（资产性能管理、预测性维护、人员 / 物料定位等）被引入，工业领域内虽已存在多种技术，但在海量终端与数据的要求下，难以实现数据的互操作与无缝集成。工业互联网网络连接的目标是完成系统间的互联互通，实现数据跨系统、跨行业的充分集成与流动，满足工业对通信服务与设备的需求。

网络连接层通过公网或者专网以无线或者有线的通讯方式将信息、数据与指令在边缘计算层与平

台及应用层之间传递。工业互联网的网络连接可分为有线网络和无线网络。有线网络的关键技术包括双绞线以太网、工业无源光网络 PON、时间敏感型网络、确定性网络等；无线网络则包括 3G、4G、5G、NB–IoT 等移动通信网络。

运营商主导工业互联网网络方案，带动下游工厂内外网络和通信设备厂商。中国移动 构建工业互联网“1+4”产品体系，1 个行业基础平台 4 个垂直行业应用，帮助企业转型，实现工厂联网；中国联通集中 5G 支撑、云网融合、大数据和平台赋能四方面发力，全力支持工业互联网发展等。

工厂内网络和工厂外网络是网络连接层的两大重要场景，其中工厂内网络强调 OT–IT 融合，工厂外网络强调上云专线需求。

3. 平台汇聚层：巨头主导，产业链协同效应具差异性

平台汇聚层是指基于 PaaS 叠加大数据处理、工业数据分析等功能，构造满足工业实 时、可靠、安全的云平台，构建可扩展的云操作系统。

当前不同类型企业（如工业、自动化、TMT 等）已建立起不同细分的工业互联网企业级平台。工业互联网平台渗透工业企业生产经营各环节，因此需要对各自细分领域的模式、流程具有极深的了解，工业企业凭借经验与行业理解，部分巨头已在内部建立起较成熟平台；TMT 巨头则立足自身基础技术平台，提供通用算法与工具，与 B 端工业企业协同互补，在特定领域内形成一定的聚集；自动化等厂商则凭借某项技术专长，凭借积累的客户资源在相关行业持续渗透。但是，不同类型工业互联网平台所覆盖、精通的领域差异显著。通过梳理已有工业互联网平台可总结出三点规律：

三点规律：

1. 根据产业链位置，各类平台可分为云、管、端三类，其中“云”主要包括阿里、华 为、用友等 TMT 公司，“管”则以运营商为主，“端”包括众多细分行业的专有平台。

2.“端”侧平台的精细化、专业化程度高，且已有大量成熟商用方案。但各类平台大多覆盖少数领域，很难做到全行业复制。

3.“云”侧平台中，TMT 巨头凭借技术优势可拓展至数个领域，但基本以通用平台为主，渗透率有待提升。

<table>
<tr><th></th><th>钢机械</th><th>钢铁、化工</th><th>电子</th><th>家电</th><th>汽车</th><th>零售、安防</th><th>建筑</th></tr>
<tr><td rowspan="3">云</td><td></td><td>ET 工业大脑（阿里巴巴）</td><td></td><td></td><td></td><td>ET 工业大脑（阿里巴巴）</td><td>BIM/ 智慧工地（广联达）</td></tr>
<tr><td colspan="3">FUSIONPLANT (华为)</td><td></td><td colspan="3" rowspan="2">AI CLOUD 开放平台（海康威视）</td></tr>
<tr><td colspan="3">精智平台（用友）</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">管</td><td colspan="6">中国联通（CUII 等，5G+）</td></tr>
<tr><td colspan="6">中国移动（ONENET 等，5G+）</td></tr>
<tr><td colspan="6">中国电信</td></tr>
<tr><td rowspan="5">管</td><td>树根互联（三一重工）</td><td>PROMACE 平台（石化盈科）</td><td colspan="3">INDICS 平台 (航天云网)</td><td rowspan="3">范式零售云（永辉）</td><td></td></tr>
<tr><td>XREA 平台（徐工）</td><td>宝信工业互联网（宝信）</td><td>BEACON 平台（富士康）</td><td>COSMOPLAT（海尔）</td><td rowspan="2">整车企业普遍实现核心工艺自动化</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>网络协同生产（京东方等）</td><td>MEICLOUDPI 平台（美的）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">海外工程流程平台：GE–PREDIX、西门子 MINDSPHERE、施耐德 –ECOSTRUCTURE、ABB–ABB ABILITY 等</td></tr>
<tr><td colspan="6">海外 AGV 等工业机器人：库卡、ABB 等</td></tr>
</table>

图：不同类型工业互联网平台所覆盖、精通的领域差异显著　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

上述产业链协同效应差异性的根源在于：行业属性影响了平台向不同细分渗透、 复制的难度。具体因素包括：（1）智能化后边际改善的高低：原本的自动化程度等。（2）流程的复杂性：行业的技术壁垒。（3）行业本身：格局、产业链特点（原材料是否简单、流程是否标准化、产成品是否多样化、需求是否高度定制化等）。因此并非“大而全”的平台就一定具备强的竞争优势，而在关键领域具备较深理解、 较专业定位的公司更容易向相似领域持续渗透。

另外，数据中心是平台层重要的基础设施环节。一方面，底层各联网设备、业务流程产生的数据通过工厂内、工厂外网络汇聚至企业数据中心或工业云数据中心；另一方面，为了打破信息孤岛，过去分散部署在各服务器的业务系统，如 MES、PLM、ERP、SCM、 CRM 等也集中部署到工厂内数据中心或云平台。

工业互联网将为数据中心行业带来增量需求。目前我国工业上云刚刚起步，未来对上 游互联网基础设施领域需求的持续旺盛，工业数据中心存在较大发展空间。工业互联网下数据是工业企业核心资产，内部 MES/ERP 尤其财务系统数据一般在私有云处理、存储，同时各业务环节数据要求互联互通且协同，因此对工厂内数据而言，需求将从过去的传统各业务单元数据中心演变为私有云数据中心；外部数据中心需求主要体现在云专线连接的行业公有云以及政务系统等。

以工业互联网为代表的 B 端流量粘性高，需求将持续爆发。流量爆发是数据中心行业 长期增长的驱动力，过去存量需求主要来自 C 端市场，5G+ 工业互联网的应用将带来 B 端流量的持续增长，且企业级流量的粘性高于 C 端，各类数据中心需求将长期向上。

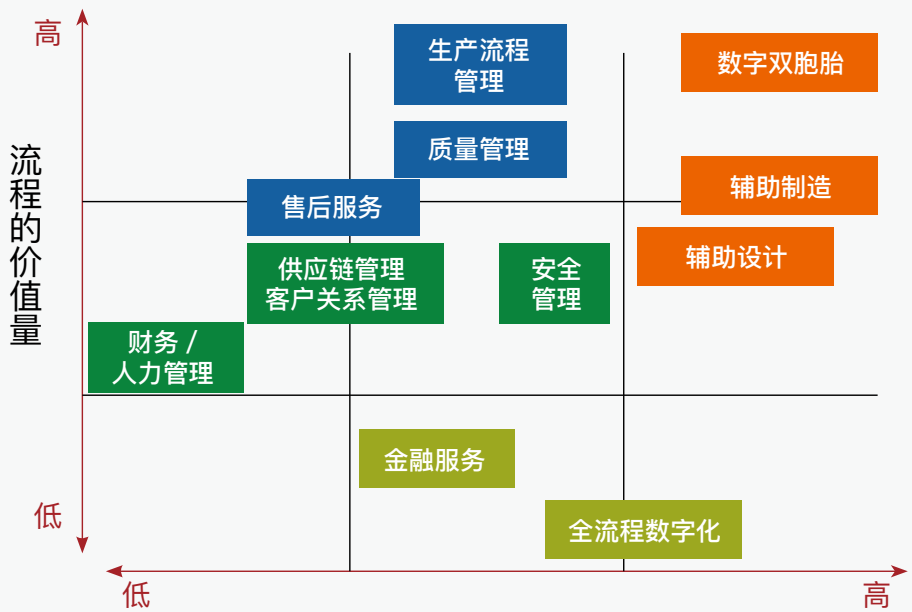
4. 数据应用层：工控安全与工业大数据值得关注

数据是工业企业除厂房、设备等之外的重要资产，基于平台层之上的数据应用极具价值。数据本身来自于工业生产各环节，但海量终端产生的数据大多数是没有直接应用意义的，一般只有短期的异动或者斜率变化才是有意义的，或者需要对数据进行深度挖掘。这就要求上层应用在打通各环节信息的同时，也要注重挖掘各类数据的潜在价值。

工业互联网应用热度各领域存在差异，数据分析能力与工业机理壁垒是决定性因素。由于应用的开发复杂性不同，优化价值与效果不尽相同。数据是平台的核心资产与价值来源，数据分析、挖掘、利用的程度决定了平台的应用价值。目前，结合模型和深度数据分析的资产管理服务与生产过程管控环节应用较多，为工业企业创造了优化价值；与工业机理深度融合的平台在开发过程中具有较高壁垒，交付成本高昂，应用开展难以保持成效，具有高机理复杂度的应用占比较低。

纵深上看，工业互联网平台应用呈现“深度数据分析 – 云化资源对接 – 数据机理沉淀”三个发展层次，强调数据价值。当前热点应用主要是基于“模型 + 深度数据分析”的资产设备管理服务、生产过程管控等；上云、物联、可视化的生产过程管控、企业运营管理和资源优化配置等初步应用；未来基于平台的产品研发仿真服务处于探索阶段。

“开源节流”是企业智能制造的最原始诉求，制造业的智能渗透一般从生产环节入手。从流程价值量以及复杂程度角度，一般有以下顺序：从价值量最高、复杂程度中等的生产环节开始；然后到价值量适中、复杂程度低的财务、HRM、CRM 环节；最



图：流程价值与复杂程度决定了不同类型应用的智能渗透顺序

资料来源：公开资料、申万宏源、InfoQ 研究院

终到价值量、复杂程度均高的制造与工艺管理环节。各类应用新增价值量遵循“先中 – 再低 – 最后高”的顺序，通过应用所处阶段，可以判断工业互联网体系成熟程度与渗透进展。

数据作为平台应用的核心环节，安全是工业互联网产业刚需。安全作为工业互联网三大体系之一，是网络与数据的保障。工业互联网平台采集、存储、利用的数据将成为工业企业与第三方的重要生产资料，数据资源体量大、种类多、关联性强、价值分布不均、不同领域数据保护利用差异大，若后台遭入侵或用户、生产信息等被泄露，将导致工业企业重大财产损失。因此对于整个工业互联网产业而言，安全需求将长期持续。

工业大数据对于不同规模工业企业而言应用场景不同：大企业体现高价值，中小企业注重普及与创新。

大企业通常信息化基础较好，但针对工业互联网的改造需求与新增需求仍庞大，主要布局特定场景和全产业链两类高价值应用。大型工业企业各类 ICT 设备建设相对完善，生产数据规范性、产业链整合情况较好，一方面主要对特定场景进行深度数据挖掘、优化设备及生产经营环节，另一方面着重对产业链进行要素打通，提升上下游协同与资源整合能力。

小企业以传统工业应用普及为主，聚焦部分创新性应用，体现上游数据中心以及网络层、边缘层的长尾需求。一方面基于平台部署经营管理类云化应用，另一方面聚焦金融服务等创新业务。重点部署以进销为代表的经营管理类云化应用，以及以生产可视化、设备 OEE、物料管理为代表的简单生产管理系统，在此基础上叠加数据分析，节约企业成本。

【4】从应用场景的角度看

不同行业发展各异，行业需求多样化。与区域工业互联网平台不同，行业的工业互联网平台更加深入工业知识和行业机理，很难采取通用的范式包罗万象。在这种情况下，往往是行业龙头企业基于内部转型升级驱动力来推动数字化改造、企业上云、以及工业互联网的发展。根据我国统计局口径，把我国工业分为 41 个大类行业，上百个小类。由于各行业所处的产业链位置、生产特征、业务需求和两化融合水平存在差异，现阶段工业互联网平台应用推广在各行业步调不一，应用重点和发展路径呈现出较为明显的行业特征。

由于工业行业所处的产业链位置、生产特征、业务需求和两化水平存在差异，现阶段工业互联网平台应用推广在各行业步调不一。应用重点和发展路径呈现出较为明显的行业特征：**一、两化融合水平较高的**

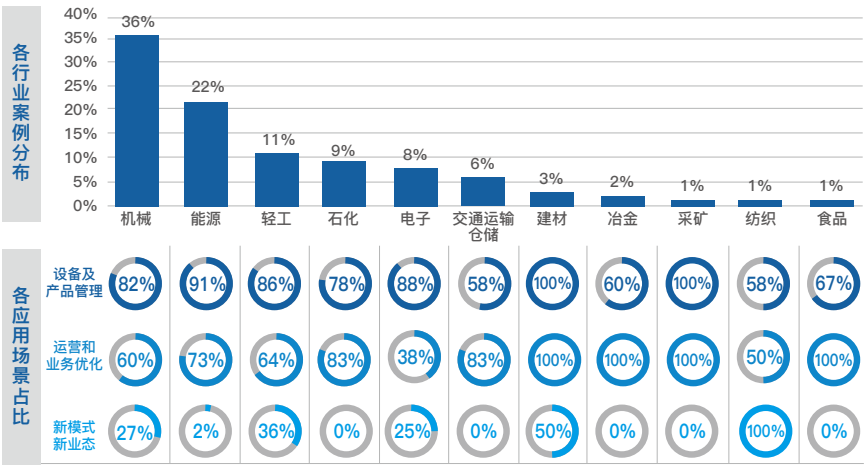
行业	行业特点	两化融合发展水平	业务痛点	典型应用场景	主要成效
电力	技术密集和装备密集型行业	第一梯队	发电设备维护成本高，并网协调难度大	预测性维护 远程运维 电力调度优化	降低运维成本 提高功率预测准确率
石化	产业链条长，产品覆盖面广、设备资产密集	第二梯队	安全生产是重中之重，工艺技术传承难	安全管理 员工赋能 预测性维护	降低事故发生概率缩短员工培养周期，降低培养成本
钢铁	工序繁多，工艺复杂	第三梯队	高能耗、高排放；设备和供需管	能源管理 设备状态监测 供应链协同	节能减排、降低成本 提升产品质量 缩短供应链周期、降库存
交通设备制造	技术密集，多品种小批量，混线生产，工艺复杂	第二梯队	工序复杂、产品研发周期长，产品质量不稳定，产品出厂后运维难度达	协同研发设计 工艺优化 远程运维 协同制造	缩短产品研发周期 提高生产效率 降低次品率 降低车辆运维成本
机械	市场规模达、覆盖范围广，集中大量生产设备制造企业	第二梯队	设备维护水平低，转型需求迫切	生产制造优化 资源调度优化 分享制造 产融合作	降低维修成本 提高设备使用率 优化设备后市场服务
家电	市场竞争激烈，产品多元化、高端化、服务化、智能化需求不断提升	第一梯队	市场需求响应慢，产品研发周期长，库存压力大	按需定制	缩短产品研发周期，实现创新 提高采购效率、降低库存 缩短交付周期 提高消费者满意度
服装	中小企业主导，劳动密集	第三梯队	预估生产无法满足多元化需求，积压库存；市场需求响应慢	按需定制 协同制造	快速响应需求，降低库存 缩短订单交付周期
电子	技术含量高，附加值高	第一梯队	设备先进但通讯方式各异，人工调机耗时长，供需	远程运维 生产制造优化	减少生产过程人工干预和用工人数 实现智能调机 缩短生产环节响应时间

图：八大行业工业互联网平台应用情况　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

行业引领平台创新应用；二、同业竞争越激烈的行业向“产品 + 服务”转型的步伐加快；三、流程行业率先布局基于平台的安全环保综合管控能力建设。

几大应用行业中，电子、家电、电力等行业发展最好，流程型行业普遍优于离散行业。电力行业、电子行业均为技术密集型行业，是“中国制造”崛起过程中重要的参与者，历史上两化融合基础好。电力行业是技术密集、装备密集和资本密集行业，是我国现阶段工业互联网普及度最高的行业。除上述三个行业外、石油石化、钢铁、交运设备制造等资本密集，国有企业集中的领域中，工业互联网发展也较好。主要原因是技术和资本密集型行业在技术更新和资本投入上本身具备主观意愿，且资本密集型行业对精益管理、效率提高具有较强的需求，因而从早年工业 1.0、工业 2.0 时代就比较关注两化融合。此外，流程型行业的工业互联网发展水平普遍高于离散型行业，与上述提及的资本密集、技术密集有一定关系。流程型行业的特点是生产过程高度机械化流水化，本身就需要 MES、PLC 等信息系统参与过程控制，且故障停机带来的成本较高，工业企业需求明确，因而在工业互联网建设上更有积极性。

另外，根据《工业互联网创新发展白皮书 2018》的调查，行业来看数字化程度高、应用价值更大的行业中工业互联网渗透更快。机械、能源、轻工、石化、电子占据 86% 的案例。



图：应用企业主要行业分布

数据来源：《工业互联网创新发展白皮书 2018》、InfoQ 研究院

【5】传统巨头与初创企业共舞，不同背景公司各有模式优势

行业公司背景多样，服务模式各有不同。具体表现为：1. 行业涉及广泛，入局公司背景多样。由于工业互联网涉及行业广泛，各领域的企业充分认识到工业互联网的战略价值，纷纷入局，其中不乏各行业龙头企业；2. 背景不同，服务模式侧重也各有不同。由于入局企业背景不同，各行业所擅长的服务模式也大相径庭。根据 IDC 的统计，服务模式主要有 ICT 基础架构模式、资产连接管理与服务模式、云平台与数据分析模式、软件与数字孪生模式、软硬融合赋能模式、系统整合与集成模式六种。

图：我国主要工业互联网平台能力图谱　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

七、行业驱动力分析

【1】政策加持：政策发布越发密集、发展规划不断细化

2015 年 5 月 19 日，国务院正式印发了《中国制造 2025》，瞄准创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展等关键环节，推动制造业实现由大变强，制造强国成为战略目标。近年来，智能制造和工业互联网相关政策频出，纲领性文件出台后，工业互联网的发展从最初的论证阶段逐步进入到国家引导阶段，各类创新工程，测试床项目陆续发布。

2018 年底中央经济会议中将工业互联网和人工

智能、5G 共同列入新型基础设施建设的领域，随着“新基建”的持续升温，工业互联网领域后续政策可期。今年年初，新冠肺炎疫情来势汹汹，对社会经济发展造成压力。传统模式工业企业对人力依赖较强，疫情造成的复工困难也暴露出我国大量工业企业在自动化生产能力上存在较大短板。针对疫情，中央政治局召开会议进行部署，强调推动工业互联网加快发展。我们预计，后续相关部委将有具体的支持政策落地，大力度推动产业加速发展。

2017 年开始政策规划不断细化，对各子领域提出具体目标：2017 年开始，一批子领域细化政策出炉，对包括工控系统信息安全、工业互联网 APP、工业互联网平台、标识解析体系等一系列子领域做出了更具体的细化目标安排。包括《工业互联网发展行动计划（2018–2020 年）》在内的一系列文件对未来几年的工业互联网发展提出了更明确的目标。

时间	政策名称	发布部门
2019.11	《“5G+工业互联网“512工程推进方案》	工信部
2019.11	《关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见》	发改委等15部委
2019.8	《加强工业互联网安全工作的指导意见》	工信部、教育部等10部委
2019.6	《工业互联网专项工作组2019年工作计划》	工业互联网专项工作组
2019.3	《工业互联网综合标准化体系建设指南》	工信部
2019.1	《工业互联网网络建设及推广指南》	工信部
2018.7	《工业互联网平台评价方法》	工信部
2018.6	《工业互联网专项工作组2018年工作计划》	工信部
2018.6	《工业互联网发展行动计划（2018-2020年）》	工信部
2018.5	《工业互联网APP培育工程实施方案（2018-2020年）》	工信部
2018.2	《国家制造强国建设领导小组关于设立工业互联网专项工作组的通知》	工信部
2017.12	《工业控制系统信息安全行动计划（2018-2020年）》	工信部
2017.11	《关于深化：互联网+先进制造业“发展工业互联网的指导意见》	国务院
2017.11	《关于发展民间投资作用推进实施制造强国战略的指导意见》	工信部等16部委
2016.11	《信息化和工业化融合发展规划（2016-2020年）》	工信部
2016.5	《深化制造业与互联网融合发展的指导意见》	国务院
2016.3	《制造业单项冠军企业培育提升专项行动实施方案》	工信部
2015.12	《国家智能制造标准体系建设指南》	工信部、国家标准化委员会
2015.5	《中国制造2025》	工信部会同发改委等6部委

表：近年来工业互联网重点政策一览　　资料来源：中国政府网、工信部、InfoQ 研究院

【2】需求驱动：需求层出不穷，真需求、真痛点开始得到解决

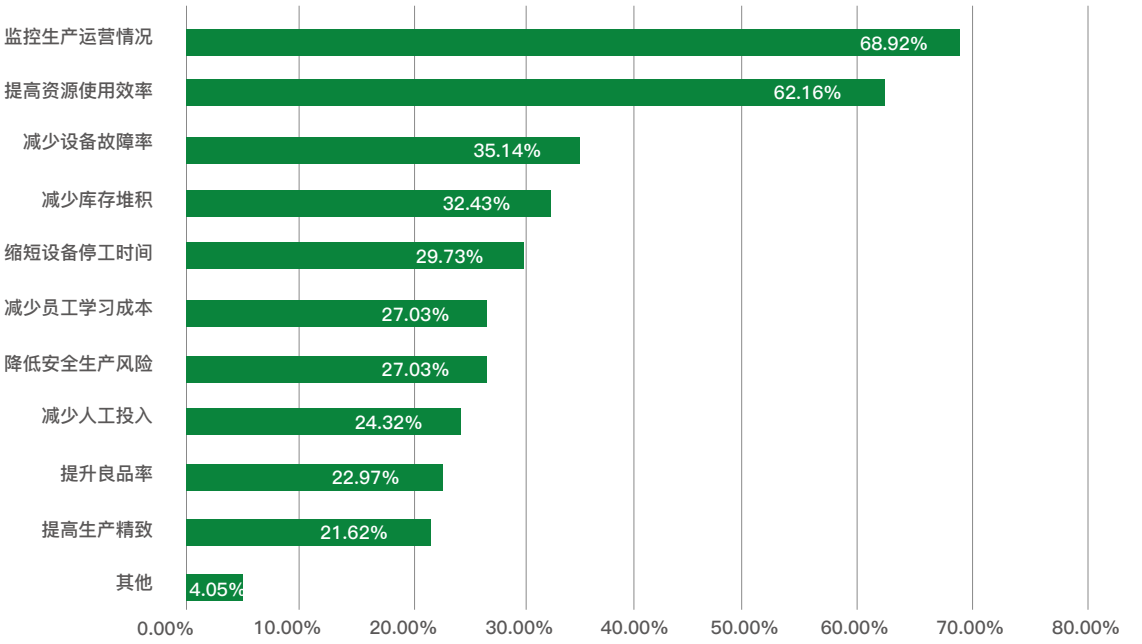
自工业互联网提出以来，市场一直对工业企业需求存在质疑。尤其在近两年宏观经济下行的背景下，企业是否有意愿参与工业互联网或企业上云，一直是市场关注的焦点。我们认为，对于能够提升运营效率，降低成本，整理企业数据资产的信息化项目，企业的需求一直存在，只是由于过去的工业软件、数据产品等供给能

力不足，制约了相关信息化产品在工业企业的推广。现阶段，监控生产、提升效率成为企业主要诉求，也是工业互联网平台最明显的应用成效。自 2017 年下半年以来，工业互联网领域热度居高不下，工业互联网平台的参与者逐步增加，已经有部分企业的部分产品在经历多次迭代后，开始满足客户需求，解决实际问题。

监控生产、提升效率成为企业主要诉求。常规的工业产业链包含供研产销四个部分，企业经营过程中生产过程的控制和生产物料的管理是提升企业效能、实现精益化生产的常规手段。在近年来的智能工厂、智慧工厂建设中，消费者定制、按需生产等新的生产要求也逐步被提上日程。根据信通院 2018 年底发布的《2018 工业企业数据资产管理现状调查报告》显示，大数据时代背景下，数据的价值逐步显现，越来越多的企业把数据当作资产来进行运营和管理，以实现更大的价值。工业企业开展数据资产管理工作，60.7% 的驱动力均来源于内部的业务需求，现阶段需求最大的技术工具集中在大数据处理（44.59%）、数据管理（44.59%）和报表分析（43.24%），现阶段最大的应用需求为监控生产运营情况（68.92%）和提升资源使用效率（62.16%）。

降本增效是目前工业互联网平台最明显的应用成效。国家工业信息安全发展研究中心 2018 年 12 月发布了《2018 工业互联网创新发展白皮书》，其中对国内 62 家工业互联网平台展开调研，搜集、分析了 229 个平台应用案例，并进一步分析各类应用场景带来的效果。据此次不完全统计，在现有发展状况下，设备资产管理是目前落地最广泛的场景，生产制造优化其次。发展迅速主要原因是应用逻辑相对简单、模式容易复制，行业属性弱，推广难度低。229 家案例整体上看，能为工业企业实现降低成本、提高效率、提升产品和服务品质、创造新价值四大成效，其中降本、增效最为直接和显著。

图：工业企业数据应用（即工业互联网）典型需求
资料来源：信通院《2018 工业企业数据资产管理现状调查报告》、InfoQ 研究院



八、行业现状、未来趋势及相关建议

当前，全球工业互联网的发展呈现出关键技术加速突破、基础支撑日益完善、融合应用逐渐丰富、产业生态日趋成熟的良好态势，各国面临重大战略机遇。我国是网络大国也是制造大国，发展工业互联网具备良好的产业基础和巨大市场空间。在政府引导下，在产业各方积极推动下，我国工业互联网政策体系不断完善、功能体系加快构建、融合应用创新活跃、产业生态逐步形成。**我国工业互联网正在进入实质性落地阶段，网络层和平台层快速发展。网络层，标识解析体系的建设快速推动，已经初步建立五大国家顶级节点。平台层，企业上云推动的区域性工业互联网平台，需求驱动的行业性工业互联网平台均得到快速发展。**国家级跨行业、跨领域平台由于存在稀缺性，加大了竞争优势， 积累到一定数据量后有望实现平台级发展，市场空间仍然广阔。

工业基础参差不齐，平台应当分层发展。当前工业互联网发展的基本方式就是推动工业和 IT 产业融合。但是由于不同工业产业的基础不同，有些行业已经基本完成数字化改造，而有些行业仍处于较传统的粗放生产方式中，这就导致不同行业需要推动的融合不尽相同。对于尚未完成数字化改造的企业，首先应当从网络连接出发，对原有的设备做互联互通，积累初期的数字化生产资源，进而推动传统的生产、经营、管理、服务等活动和过程的数字化。工业互联网平台发展历经三个步骤。对于已经完成数字化改造的企业，工业互联网的发展可以分成制造资源云化改造、制造能力开放共享和智能化创新三个步骤：第一步制造资源云改造。推动企业的 IT 能力平台化，将制造资源向云上迁移，降低信息化的建设成本，促进数据资源的集成共享，达到制造资源的互联互通；第二步制造能力开放共享。推动制造能力平台化，促进制造资源开放合作和协同共享。企业资源云化后，可以研究和推动制造能力的问题，把制造能力的模型研究出来平台化部署，再共享。这也就相当于工业互联网平台层“数据 + 模型”服务的核心。将技术、知识、经验和方法以数字化模型的形式也沉淀到平台上以后，只需通过调用各种数字化模型与不同数据进行组合、分析、挖掘、展现，就可以快速、高效、灵活的开发出各类工业 APP，提供全生命周期管理、协同研发设计、生产设备优化、产品质量检测、企业运营决策、设备预测性维护等多种多样的服务；第三是智能化创新。通过软件化、模型化、人工智能化，让创新的门槛极大降低，全民创新，让所有的人都成为创造者。我国工业互联网的应用场景非常丰富，模式创新也十分活跃，企业集成创新的能力较强。进入这一阶段后，智能制造领域的个性化定制、

C2F 等模式能够得到充分的发展和释放。整体来看，目前国内大部分工业企业仍处于第一阶段，少部分位于第二阶段。因而从发展路径来看，企业上云和行业工业互联网平台的建设，是当前我国工业互联网建设的主要内容。

从企业角度来看，制造企业拥抱工业互联网大致有三条主流路径：第一条是机器换人，随着用工资源的紧张和智能装备的成熟，众多工业企业兴建智能工厂，提升生产效率，用机器红利代替传统的人口红利；第二条是网络跑腿，通过互联网与产业链上下游在线开展业务，或远程操控设备，提升协同效率，优化资源配给能力；第三条是算法换脑，通过海量数据和机器学习，提升企业决策效率。工业互联网已渗透应用到制造业多个领域。智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、数字化管理等新模式创新活跃，有力推动了制造业转型升级，催生了新增长点。典型大企业通过集成方式，提高数据利用率，形成了完整的生产系统和管理流程应用，智能化水平大幅提升。中小企业则通过工业互联网平台，以更低的价格、更灵活的方式补齐数字化能力短板。大中小企业、一二三产业融通发展的良好态势正在加速形成。

从投资角度来说，有以下几点：

1. 由于涉及设备和流程较多，钢铁和服装行业为目前两化融合比较慢的行业；

2. 推进工业互联网应用本质是数据采集范围的拓展和利用程度的加深；

3. 具有行业属性，各垂直行业的工业互联网实施业务场景相对独立，跨行业场景还没有大量出现；

4. 垂直行业应用路径是对工业互联网共性模式实现阶段的进一步细化；

投资建议：

1. 目前最快的投资机会将会出现在两化融合程度较高的行业；

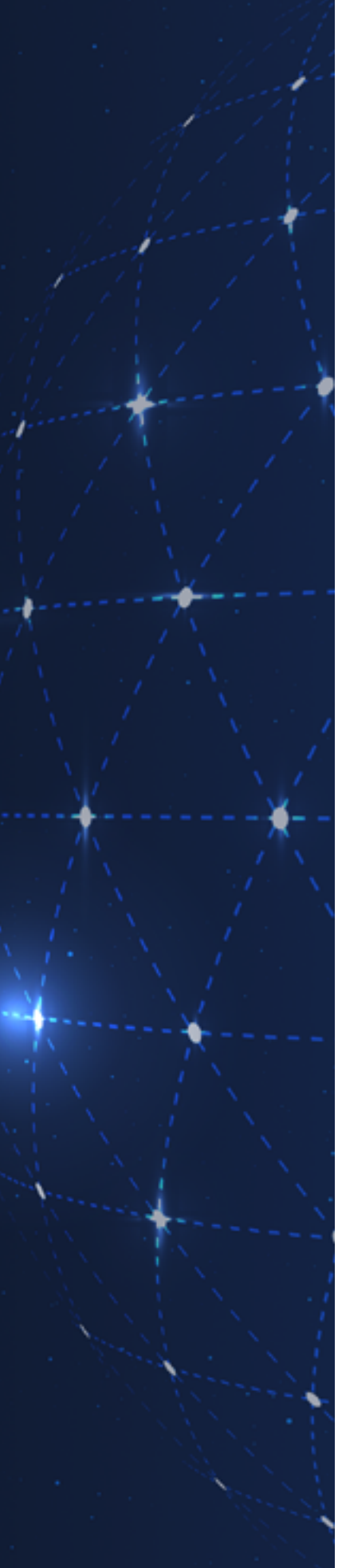
2. 垂直行业细分领域应用的企业将更有优势，可优先关注。

参考资料：

1.《“新基建”中的工业互联网已进入高速增长期》，经济日报
2.《工业互联网行业深度研究报告》，华辰资本
3.《工业互联网产业经济发展报告》，中国信通院
4.《2019 工业互联网垂直行业应用报告》，工业互联网产业联盟
5.《新基建催生更大支持，工业互联网将加速成长》，天风证券
6.《智能制造之基石，工业互联网投资全景解构》，申万宏源
7.《新基建迎政策东风，工业互联网发展有望提速》，东莞证券

VIRTUAL REALITY
虚拟现实行业研究报告

2016 年可以被称作虚拟现实的元年，三大虚拟现实头显（Oculus Rift、HTC Vive、PlayStation VR）都在这一年开始正式发售。媒体和资本市场对虚拟现实技术的追捧在 2016 年达到了顶峰，之后，略微超出理性的热情又因头显销售情况不及预期而有所回落。在这波时热时冷的浪潮过去之后，我们有了一个很好的机会来分析一下虚拟现实的发展近况，并展望一下未来。



InfoQ 研究发现：

1. 从整体行业背景来看，随着技术和产业生态的持续发展、虚拟现实的概念不断演进。业界对虚拟现实的研讨不再拘泥于特定终端形态，而是强调关键技术、产业生态与应用落地的融合创新。

2. 从全球市场来看，技术成熟、消费升级需求、产业升级需求、资本持续投入、政策推动五大因素促进虚拟现实产业快速发展，全球虚拟现实市场规模稳步增长，VR/AR 头显设备出货量在经历了 2018 年的下滑之后开始复苏增长。

3. 通过对产业链分析可知，国内企业从整机代工向核心元器件环节渗透。近年来，我国虚拟现实企业在产业链参与的重点正逐渐从整机系统集成、低端代工向芯片、显示器件等产业链重要环节延伸。在芯片领域，华为海思、瑞芯微等企业依托国家大力发展集成电路的热潮，在设计环节已经接入产业。

4. 五大因素促进虚拟现实快速发展，其中既包括内生也包括外生因素，具体表现为：（1）人性本身的需求；（2）产业升级需求；（3）技术融合；（4）资本推动；（5）政策推动。从政策层面来看，2019 年中国各政府部门加大力度，密集退出了一系列相关政策，虚拟现实复苏可期。

5. 通过对九大核心技术的分析，可以进一步深入了解虚拟现实产业的重点技术发展态势。具备包括；模拟管理器、追踪器与数据手套输入设备、数据手套与手势辨识、头戴式显示器及其它显示技术、3D 图形显像技术、临界时间计算、动态机制处理、影像式虚拟现实、网络虚拟现实。

6. 趋势分析可得如下几大趋势：（1）5G 到来将助推 VR 实现规模性增长；（2）云虚拟现实加速；（3）内容制作热度提升、衍生模式日渐活跃；（4）虚拟现实将释放传统行业创新活力；（5）硬件领域将成为主战场。

一、背景

虚拟现实是具有颠覆性的新一代信息技术，具有产业潜力大、技术跨度大、应用空间广的发展特点。作为新一代人机交互平台，虚拟现实聚焦身临其境的沉浸体验，强调用户连接交互深度，对人类认识世界、改造世界的方式方法带来重大变革。随着技术和产业生态的持续发展、虚拟现实的概念不断演进。业界对虚拟现实的研讨不再拘泥于特定终端形态，而是强调关键技术、产业生态与应用落地的融合创新。

二、定义及分类

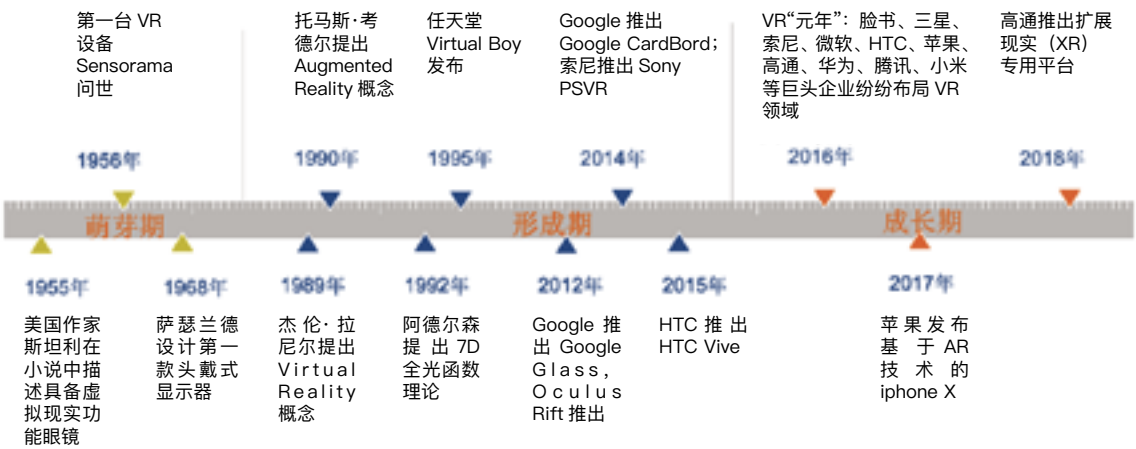
虚拟现实是融合三维显示技术、计算机图形学、三维建模技术、传感测量技术和人机交互技术等多种前沿技术的综合技术。虚拟现实以临境、交互性、想象为特征，创造了一个虚拟的三维交互场景，用户借助特殊的输入输出设备，可以体验虚拟世界并与虚拟世界进行自然的交互。**广义的虚拟现实技术包括虚拟现实技术（Virtual Reality, VR）、增强现实技术（Augmented Reality, AR）、混合现实技术（Mixed Reality, MR）。**其中，增强现实技术是以虚实结合、实时交互、三维注册为特征，将计算机生成的虚拟物体或其它信息叠加到真实世界中，从而实现对现实的“增强”。混合现实技术是指将虚拟世界和真实世界合成创造一个新的三维世界，物理实体和数字对象并存实时相互作用的技术。

其实准确地说，虚拟现实（VR）和增强现实（AR）并不是一种具体的技术，而是一个概念、一个目的。殊途同归，其实是以各种或多或少有着差异的技术去实现虚拟现实或者增强现实。

图：虚拟现实的三大分类：VR、AR 及 MR　　资料来源：公开资料、赛迪智库、InfoQ 研究院

三、演进历程

虚拟技术到今天已经走过了半个多世纪的历程，下图展示了这一技术的具体演进历程。



图：虚拟现实演进历程　　资料来源：公开资料，InfoQ 研究院

四、规模

1. VR/AR 头显设备出货量复苏增长

从全球市场来看，受益于成熟型产品拉动和行业需求的增长，VR/AR 头显设备出货量在经历了 2018 年的下滑之后开始复苏增长。据 IDC 数据，2019 年第一季度全球 VR/AR 头显设备出货量达 130 万台，同比增长 27.2%，其中 VR 头戴式显示器占整个出货量的 96.6%。OCULUS、HTC、微软、小鸟看看、大朋、创维、华为陆续发布了新头显设备。受益于头显产品的迭代加速、内容平台的进一步完善以及行业端用户需求的快速增长，2019 年全年 VR/AR 头显设备出货量达到 760 万台，同比增长 29%。

从中国市场来看，随着 5G 商用化进程的加速和新一代头显设备体验感的显著提升，2019 年 VR/AR 头显设备出货量强劲增长。据 IDC 数据，2018 年全年中国虚拟现实设备出货量为 120 万台，其中 VR 头显出货量为 116.8 万台，AR 头显出货量 3.2 万台。2019 年第一季度，中国 AR/VR 头显设备出货量接近 27.5 万台，同比增长 15.1%。5G 商用化带来运营商渠道对头显设备的需求大幅上升。**预计 2023 年，中国 VR 头显设备出货量将突破 1000 万台，AR 设备出货量将超过 800 万台。**

2. VR/AR 市场规模持续扩大

技术成熟、消费升级需求、产业升级需求、资本持续投入、政策推动五大因素促进虚拟现实产业快速发展，全球虚拟现实市场规模稳步增长。虚拟现实市场规模由软硬件产品、内容、行业应用服务三部分组成。据 GREENLIGHT INSIGHTS 数据，2018 年全球虚拟现实市场规模超过 700 亿元人民币，同比增长 126%。其中，虚拟现实整体市场超过 600 亿元，增强现实整体市场超过过 100 亿元。随着虚拟现实产业生态的不断完善，硬件、软件、服务融合的盈利商业模式的不断成熟， 2019 年全球市场规模超千亿元，国内市场规模超 500 亿元。

五、产业链框架及进展分析

【1】产业链整体框架

虚拟现实产业链包含硬件、软件、内容制作与分发、应用和服务等环节。

1. 硬件

硬件以输入设备、输出设备和其它辅助外设三大类来划分。

（1）输入设备：虚拟现实技术使用的整机和元器件，按照功能划分可分为核心器件、终端设备和配套外设三部分。核心器件方面，包括芯片（CPU、GPU、移动 SOC 等），传感器（图像、声音、动作捕捉传感器等），显示屏（LCD、OLED、AMOLED、微显示器等显示屏及其驱动模组），光学器件（光学镜头、衍射光学元件、影像模组、三维建模模组等），通信模块（射频芯片、WIFI 芯片、蓝牙芯片、NFC 芯片等）；

（2）输出设备：包括 PC 端设备（主机 + 输出式头显）、移动端设备（通过 USB 与手机连接）和一体机（具备独立处理器的 VR 头显）。

（3）其它辅助外设：包括手柄、摄像头（全景摄像头）、体感设备（数据衣、指环、触控板、触 / 力觉反馈装置等）。

2. 软件

软件是虚拟现实技术使用的软件，包括支撑软件和软件开发工具包。支撑软件方面，包括 UI、OS（安卓、Windows 等）和中间件（Conduit、VRWorks 等）。软件开发工具包方面，包括 SDK 和 3D 引擎。

3. 内容制作与分发

内容制作与分发是虚拟现实技术中场景的数字表达，包括虚拟现实内容表示、内容生成与制作、内容编码、实时交互、内容存储、内容分发等。内容制作方面，包括虚拟现实游戏、视频、直播和社交内容的制作。分发方面，包括应用程序应用和服务环节是使用虚拟现实技术来提供应用和服务，包括制造、教育、旅游、医疗商贸等。

【2】产业链主要环节最新进展

1. 硬件环节

国内企业从整机代工向核心元器件环节渗透。近年来，我国虚拟现实企业在产业链参与的重点正逐渐从整机系统集成、低端代工向芯片、显示器件等产业链重要环节延伸。在芯片领域，华为海思、瑞芯微等企业依托国家大力发展集成电路的热潮，

图：虚拟现实产业链全景图　　资料来源：公开资料、赛迪智库、InfoQ 研究院

在设计环节已经接入产业。在新型显示方面，京东方、华星光电等面板厂商生产的 AMOLED 屏打破了三星在 VR 显示屏领域的垄断。京东方还推出了响应时间小于 5ms 的高率 Fast LCD 面板，在华为、Oculus、小米、爱奇艺等企业高端一体机中得到应用。与 AMOLED 相比，京东方的 Fast LCD 具有较大成本优势。在 AR 镜片方面，歌尔、水晶光电、珑璟光电等企业正逐步推动光波导镜片量产，有望革新 AR 显示方式。 国内大厂相继推出高端整机产品，VR 头显无线化趋势愈发明确。一方面，进入虚拟现实领域的大产商越来越多、领域越来越宽。经过数年发展，我国虚拟现实整机领域一改以大朋、小鸟看看、小派等初创企业为主的格局，联想、创维、vivo、华为小米等硬件品牌企业分别依托在企业服务、家庭影音、智能终端、移动通信等方面的优势进行虚拟现实头显生产，爱奇艺等内容提供商也推出了对应的头显产品，各类企业从产业链不同环节推动产品和技术的发展。另一方面，头显无线化得到越来越多关注，发展趋势越来越明确，华为推出的云 VR 通过与运营商合作，可以解决无线化的技术难题，推动 VR 头显的便捷化、低价化。VR 头显产品进入硬件升级迭代期，行业应用助推 AR 产品需求增长。VR 头显方面，HTC、Oculus 等产商相继发布升级版硬件产品，新一代产品屏幕分辨率向单眼 2K 迈进，视场角超过 100 度，在自由度、刷新率、重量等方面也完成了升级改造，用户使用沉浸感越来越强。AR 硬件方面，随着光导波、Micro LED 等技术的发展和制造、设计、消费等领域行业应用需求的推动，AR 眼镜进入快速发展期，2019 年以来新品频出，国外的 Snap、宝马等企业

推出了自有的 AR 眼睛产品，国内的 0glasses、影创、Rokid、nreal 等也发布了高性能的 AR 眼镜。

2. 软件环节

企业从网络架构、3D 建模、算法等通用型技术发力，软件薄弱环节得以缓解。华为基于开源组件以及 API 研发了 Cloud VR 连接协议和软件，打造云 AR/VR 架构，实现了实时“端 – 云 – 端解决方案”。Facebook 研发的 AI 算法 Deep Focus，与眼球追踪和动态显示技术结合后，能够在 VR 头显中实时生成自然的动态模糊，更好地模仿人眼注视的效果，进而缓解由聚散度调节引起的视觉疲劳。Oculus 推出了 ASW（异步空间扭曲技术）2.0 版本，进一步降低 VR 设备对硬件的要求。Steam VR 推出图像平滑插帧技术“Motion Smoothing”，让更多用户可以进行高保真度的 VR 游戏与体验。AR 开发平台成为产业生态构建重点。苹果推出新一代 AR 开发平台 AR kit3.0 和两款全新 AR 开发工具 Reality Kit、Reality Composer，继续加码 AR 领域；Mojo Vision 完成多轮融资，继续构建新型 AR 计算平台，能够在不需要现有移动设备介入的情况下提供信息；Unity 推出新版 AR Foundation，为开发者提供更多平台功能和实用程序支持，加速 AR 内容生态构建；商汤科技推出 SenseAR 2.0 平台，包含特效引擎和 AR 开发者平台，能够为开发者提供一站式 AR 解决方案。

3. 内容制作与分发环节

内容供给不断丰富，产业链不断向下游延伸。游戏方面，VR 电竞逐渐沉淀成为 VR 游戏的重要落地场景，产业链商业闭环正逐步形成。VR League、WCG VR 等电竞赛事的布局更加精细，奖金额度也更大，推动了优质游戏内容的推广以及游戏产业生态的形成。VR 视频方面，交互式体验《神秘博士：逃离》、《咕鲁米的眼睛》、大空间装置《浮生一刻》等优质内容相继推出。直播方面，中央广播电视总台利用 VR 技术对 70 周年国庆阅兵、春晚进行实时直播，花椒、映客、微鲸等互联网平台也开通了 VR 直播。 软硬件企业纷纷加入内容聚合平台建设行列。腾讯、爱奇艺、优酷等互联网视频平台均设有 VR 专区，制作了定制化的内容，如爱奇艺推出了 VR 影片《无主之城 VR》和《神探蒲松龄之鬼魅聊斋 VR》游戏等，到 2019 年持续上线运营更多动画内容。此外，大朋、创维、小米等硬件生产商均在构建自己的聚合平台，通过打造内容生态吸引用户。

4. 应用与服务环节

5G 商用不断推进，创新场景应用模式。2019 年，虚拟现实与 5G 技术的结合愈发紧密，典型案例不断涌现。远程手术指导方面，深圳市人民医院完成了 5G+VR/AR 远程肝胆外科手术，该手术实现了北京专家实时指导。医疗培训方面，南京举办了 5G+VR 高清直播的心脏瓣膜修复手术暨国际医术观摩交流现场教学活动，进行场外临床操作技能培训。安防实训方面，南昌公安局联合中国移动、华为等单位，调通上线了全国首个真实场景下 5G+VR 智慧安防应用。

六、产业驱动力分析

五大因素促进虚拟现实快速发展，其中既包括内生也包括外生因素，具体表现为：1. 人性本身的需求：人类内心始终存在一个终极需求就是自由，现实世界中无法实现的可以在虚拟世界中实现，这也是游戏始终尤其吸引力的原因，而虚拟现实则可以更大程度地满足人们自由掌控、自主选择这一终极需求，因此具备极大的吸引力；2. 产业升级需求：虚拟现实技术创新是经济新旧动能转换、经济解构转型升级的核心推动力量之一。3. 技术融合：VR+AI,AI 技术的发展让那虚拟人物更加真实，VR 技术构建虚拟世界，为人工智能提供大量数据进行学习；VR+5G：5G 网络能使 VR/AR 设备通过无线方式获得噶素、稳定的网络连接，告别现有设备的有线束缚；VR+Cloud：VR 和云计算、云渲染结合，将云端的显示输出、声音输出通过编码压缩后传递到用户的终端设备中，实现 VR 业务的快速处理。4. 资本推动：全球虚拟现实投资规模从 2013 年的 3 亿美元持续增长到 2017 年的 29 亿美元。中国是继美国之后的全球 VR/AR 第二大投资目的地。5. 政策推动，自从虚拟现实问世以来，一系列政策也相继推出，对于产业的发展起到了一定的推动作用，2019 年中国各政府部门加大力度，密集推出了一系列相关政策。

时间	文件名称	部门	内容
2019.1	《进一步优化供给推动消费平稳增长促进形成强大国内市场的实施方案（2019 年）》	发改委等	要扩大升级信息消费，加快推出 5G 商用牌照，有条件的地方可对超高清电视、机顶盒、悉尼显示 / 增强现实设备等产品推广应用予以补贴，扩大超高清视频终端消费
2019.3	《超高清视频产业发展行动计划（2019–2020 年）》	工信部、国家广电总局等	突破超高清成像、高宽带实时传输、超高清存储、HDR 现实兼容与动态适配，三维声编解码与渲染等技术
2019.3	《2019 年教育信息化和网络安全工作要点》	教育部办公厅	要培养提升教师和学生的信息素养，推动大数据、虚拟现实、人工智能等新技术在教育教学中等深入应用
2019.3	《关于组织开展 2019 年新型信息消费示范项目申报工作的同志》	工信部	鼓励利用虚拟现实、增强显示技术、构建大型数字内容制作渲染平台、加快文化资源数字化转换及开发利用

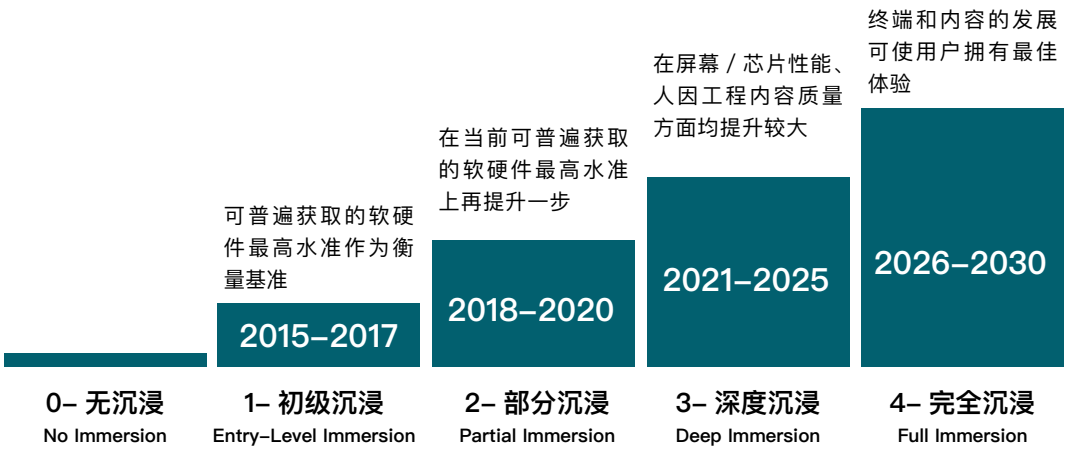
图：2019 年中国各政府部门密集推出关于虚拟现实产业的政策　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

七、技术分析

【1】整体技术简介

虚拟现实涉及多类技术领域，可划分为五横两纵的技术架构。“五横”是指近眼现实、感知交互、网络传输、渲染处理与内容制作，“两纵”是指 VR 与 AR，两者技术体系趋同，且技术实现难度均高于手机等传统智能终端，如手机等设备在芯片、屏幕等核心领域的性能过剩成为虚拟现实的性能门槛。总体来看，VR 技术和产业化的成熟度相对较高，AR 更多需要从无到有的技术储备与重大突破，其关键技术实现难度有异于 VR，这一差异主要反映在近眼显示与感知交互领域。对 VR 而言，近眼显示聚焦高画质的视觉沉浸体验。感知交互侧重于多通道交互。由于虚拟信息覆盖与外界隔绝的整个用户视野，重点在于交互信息的虚拟化。对 AR 而言，由于用户大部分视野呈现真实场景，如何识别和理解显示场景和物体，并将虚拟物体更为真实可信地叠加到显示场景中成为 AR 感知交互的首要任务。此外，由于现有技术方案在分辨率（清晰程度）、视场角（视野范围）、重量体积（美观舒适）等方面的潜在冲突，除保证视觉体验外，如何满足类似眼镜全天佩戴成为 AR 近眼显示领域的重大技术挑战。

业界对虚拟现实的界定认知由特定终端设备向联通端管云产业链条的沉浸体验演变。**虚拟现实技术发展可划分为如下五个阶段，不同发展阶段对应相应体验层次，目前处于部分沉浸期，主要表现在 1.5K–2K 单眼分辨率、100–120 度视场角、百兆码率、20 毫秒 MTP 时延、4K/90 帧率渲染处理能力、由内而外的追踪定位与沉浸声等技术指标。**



图：虚拟现实技术发展五个阶段　　资料来源：中国信通院、InfoQ 研究院

近眼显示	名单眼屏幕分辨率门槛称	接近 1K	1.5K–2K	3K–4K	⩾ 8K
	视场角（FOV）	90° –100°	100° –120°	140°左右	200°
	角分辨率（PPD）	⩽ 15	15–20	30 左右	60 左右（人眼权限）
	可变焦显示	否	否	是	是
内容制作	360 全景视频分辨率（弱交互）	4K	8K	12K	24K
	游戏等内容分辨率（强交互）	2K	4K	8K	16K
	虚拟化身	/	/	虚拟化身	精细化虚拟化身
网络传输	码率（Mbps）—弱交互	⩾ 40	⩾ 90	⩾ 290/ ⩾ 160	⩾ 1090/ ⩾ 580
	码率（Mbps）—强交互	⩾ 40	⩾ 90	⩾ 360	⩾ 440
	MTP 延时（ms）	20	20	20	20
	移动性	有线连续	有线 / 无线并存	无线	无线
渲染处理	渲染计算	2K/60FPS	4K/90FPS	8K/120FPS	16K/240FPS
	渲染优化	/	/	注视点渲染	注视点渲染
感知交互	追踪定位	Outside–In	Inside–Out	Inside–Out	Inside–Out
	眼动交互	/	/	眼球追踪	眼球追踪
	声音交互	/	沉浸声	个性化沉浸声	个性化沉浸声
	触觉交互	/	触觉反馈	触觉反馈	精细化触觉反馈
	移动交互	/	虚拟移动	虚拟移动	高性能虚拟移动

图：虚拟现实沉浸体验分级　　资料来源：中国信通院、InfoQ 研究院

【2】九大核心技术分析

1. 模拟管理器

虚拟现实系统在执行时期的行为模式由仿真管理器来控制整体的模拟过程；它控制系统在执行时期的模式。一般的执行时期模式可分为三大类：仿真循环模式、事件驱动模式以及同步模式。

在仿真循环模式中，系统中的运作包括互动、数值运算、数据处理以及 3D 显像都在一个反复执行的循环中完成；在事件驱动模式中，系统的运作只发生在响应事件的产生，而事件的产生通常由使用者来触发；在同步模式中，系统中的不同运作分散到不同的处理程序，而这些处理程序分散到单个或数个处理器进行排程。

对一般的应用，事件驱动模式较不适用，因为在同一时间，多个由使用者所触发的事件可能同时发生，而这些事件的意义和优先权可能彼此相关，因而增加控制与管理整体模拟过程的困难度；目前最被广泛采用的模式为仿真循环模式，许多商用的 VR 发展软件都采用这种模式；至于同步模式则是未来发展的主要趋势，其好处在于系统中运算速度较慢的处理程序不致于影响其它的程序。当然一个虚拟现实系统的仿真管理器要采用何种模式最主要还是跟所使用的计算机平台以及操作系统密切相关。

2. 追踪器与数据手套输入设备

在虚拟现实应用中，追踪使用者的位置是很重要的。在过去，设计者只关心追踪器是不是能提供足够的更新率，然而现在却要考虑其它因素，包括静态准确度（测定物体位置的准确度），动态准确度（测定移动量的准确度）实时相延迟等。特别是时相延迟，由于现在的追踪器都有处理器进行运算，如果物体持续移动，输出结果将永远不等于目前位置。如果输出和目前位置差太多，使用者会感觉出不真实，甚至产生不快与头晕。此外，由于追踪器和头戴式显示器常一起使用，定位也很重要。如果我们看到的动作和实际的步调不一致，那会产生很多问题，如两人怎么样也无法握手，因为他们看到的手和他们手的实际动作并不能配合。为了改善显示的及追踪到的动作不一致问题，现在也使用了预测技术，预先推测下一画面的位置。**追踪器的原理与方式有下列几种：**

（1）机械式：

利用电压计及光译码器测量仪器中各关节的转动角度，就可以计算受测物的位置。

优点：低价位、低时间延迟，不用收发装置，所以不易受外界环境影响。

缺点：追踪范围很小，会磨损，对四肢运动产生机械的迟滞。

（2）电磁式：

由三个正交的发信器发出磁场，经由三组接收器接收，可由收发的信号变化计算出受测物的位置。

优点：体积小巧，可将收发器组合，分时多任务，以得到更大的追踪区域。

缺点：易受无线电等电磁干扰，如果附近有像铁的磁性金属类物品，也会产生干扰。系统时间延迟约100MS，也算比较长的。目前已经致力于减低延迟。

（3）光学式：

将光源，如红外线，放在受测物上，再由安放于四周的接收器接收，据以计算位置。

优点：追踪范围广大。

缺点：必须要光能照到，也就是光的路径中不能有障碍物。太重。价格较昂贵。

（4）超音波式：

由几个发声器发出声音，让几个麦克风接收。经由测定时间差来计算受测物距离。需要几组收发器才能得到完整的 3D 位置数据。另外一种较少见的技术是经由计算收发器信号的相位差，测出受测物的位移。

优点：转换器容易取得，可以以低成本制作。

缺点：音速受外界温度，气压及湿度影响而有不同，音响式系统必须先考虑这些，不然会有很大误差。此外，声音碰到”硬表面”会产生回音，造成”鬼影”现象。收发器间也不可以有东西挡住。这使

它的准确度及追踪范围都受限。

（5）惯性式及重力式：

惯性式用陀螺仪测量三轴的转动量。过去用于飞机或飞弹的导引装置。现在也应用于一些防震手提摄影机及无线遥控直升机。重力式则用地心引力加上单摆测量相对于地的旋转角度。

优点：无收 / 发装置。

缺点：陀螺仪难以和其它装置沟通，且会随时间偏移。也需要做温度校正。不过新一代的”固态陀螺仪”可减低这些效应两三倍。另外，重力式与陀螺仪皆无法准确得知平移的位置，但对旋转很敏感，只能提供旋转信息。

3. 数据手套与手势辨识

由于肢体语言很灵巧，又是最自然的表现方式，它无疑是人机接口的好主意。它比起传统用键盘、鼠标操作，更适合人体，在虚拟世界中更能让人觉得舒适及自然。然而，由于缺乏一种有效且经济的捕捉人体姿势讯息，及辨识的方法，目前还不是很常运用。

数据手套是一种追踪装置，可以用来辨识手的目前动作。较有名的 VPL Data Glove 是将光纤置于手套中，利用光在光纤中反射的角度及强度变化，求出各关节弯区角度，从而可得出手势数据。

在手势辨识方面，为了达到大量字汇的手语辨识，同时克服目前手语辨识上的限制，我们采用三个统计学的概念：断词，隐藏式马可夫模型，及文法模型。断词是由监视时变参数的变化来完成。隐藏式马可夫模型用于每个子手语模型，而文法策略则用于相邻的手语之间。每个手语都可以分解成下列四个手语模型：手型、方向、位置及运动。由于解决了连续手语间的分段点问题，所以可以达成连续且实时的手语辨识。目前已经可以对台湾手语的 250 个字汇，196 个练习句之 51 个基本手型，6 个方向及 12 个运动路径制作其隐藏式马可夫模型。对词组可达最佳 82.5% 及对句子最佳 86.4% 的辨识率 。

4. 头戴式显示器及其它显示技术

头戴式显示器可说是一提到虚拟现实，大家就会想到的东西。它是由计算机算出左右两眼的影像，将之显示于显示器内的液晶屏幕上。头戴式显示器和人的眼睛耳朵十分贴近，可有效排除外界干扰，看起来似乎是虚拟现实的最佳选择；然而目前也有几个困难。由于它的显示器和人眼的距离很短，所以人眼可以清楚的看到液晶屏幕上的 ”颗粒” 。这可用几种办法解决：（1）散焦：缺点是人眼会努力试着调焦，这对眼睛很吃力。(2) 发出漫射，这又会受到显示器的大小限制，漫射层很难放到正确位置。（3）波前随机数产生器，放一些小棱镜打偏一些光线，但这又会让影像细部难以呈现。（4）波前加上区域频率增强器，照出的影像对比较尖锐。除此之外，头戴显示器也有过重及显示分辨率不高的难题，还要考虑视角范围，这会影响需要的更新率，进而影响系统表现 。

此外，还有很多因素影响它的性能，而这些因素又彼此相关，所以还有很多地方需要再加研究。对于使用者视力的损害，如何消除也是研究重点。若需要中高的分辨率，用阴极射线管屏幕配合立体眼镜也是个办法。目前也有利用三枪投影机，将立体画面投射到镜子上，反射到毛玻璃”工作桌”上的方法 。

现在最有希望取得较大突破的是华盛顿大学人机接口实验室所开发的视网膜显像技术。以雷射在视网膜上显像，不只分辨率高，轻巧，同时尚可让一般失明但视网膜完好者重见光明。

除了个人式的 3D 显像技术外，用单枪式三枪投影机将左右眼画面依序打在大屏幕，让人戴上立体眼镜，可以看到高分辨率的画面，如立体电影一样。将这面大屏幕放到室内的每一面墙，形成一个六面包围的空间，并在接缝处接有连续画面，则可形成一个“洞穴”而构成一个可多人参与的虚拟环境。

5. 3D 图形显像技术

图形显像技术目前用于虚拟现实系统的大多是以多边形为处理对象的着色与贴图两种作法。这里将介绍着色和贴图这两种方法；另外我们也将探讨以整体照明为基础的光迹追踪法与热辐射法。对目前的虚拟现实而言，所须处理场景复杂度愈来愈高，换言之，每秒钟所需处理的多边形数量相对增加，因此，我们也将探讨现今用来加速图形显像的技术，包括遮蔽性消除、多层次精细度模型和影像快取式显像技术。最后，我们也将讨论虚拟现实中动态环境的显像技术，如动态热辐射法和动态阴影产生法。

在着色技术中，光源和物体之间的行为反应以 Phong 照明模型来描述。它把光直接打在物体上之后产生的复杂反应化简为反射、漫射与环境的光，再计算出物体表面所应该呈现的颜色；为了决定多边形内部的颜色，着色的技术把多边形的端点颜色信息先用 Phong 照明模型算出，多边形内部的点之颜色信息则利用内插法求出，或者先把着色计算所需的多边形内部点的法向量值透过已知的端点法向量值由内插法求得后，再依该点的法向量值计算出该点的颜色信息，这两种不同的方法分别称为 Gouraud shading 和 Phong shading。上述的着色技术仅能处理一般局部照明的效果，因为它们都只考虑光源直接对物体的作用，而未能考虑光在物体间甚至在物体内部的交互作用，所以产生的影像并不真实。然而整体照明的技术目前都很耗时，因此一般的虚拟现实系统通常利用贴图的技术来配合只考虑局部照明的着色技术。贴图的技术简单地说就是直接把真实物体的影像置于场景中的物体上以期达到真实的组合影像，所以使用贴图时通常物体的几何精细度可粗糙些，也就是可降低场景中多边形的数目；然而贴图所能提供的真实度毕竟有限，无法完全将整体照明的效果考虑进来。要达到整体照明的效果，我们必须采用考虑整体照明效果的算法，如光迹追踪法与热辐射法。

光迹追踪法是应用光的可逆性，由投射在视平面的点，反向模拟光的行为，发出一道计算的射线，收集所得到的能量，来表示由视点所看到场景中的物体所带给视平面上每一点的颜色信息；这种作法的最大特性在于要得到最后的显像结果，必须光迹追踪视平面上的每一个像素；此外，它有和视点相关的特点，因此一旦视点、视角或场景有所变化，整个过程便需重新计算。对于一般虚拟现实的应用而言，光迹追踪法这种运算量过高的整体照明算法并不适用。热辐射法是模拟整个环境中能量在物体间互相转移的一种方法。物体表面的亮度是由物体表面所散发出的能量决定，因此显像的过程具有和视点无关的特性。换言之，在对静态环境做巡访之前只要先行计算场景里所有物体的热辐射值就可以在视点改变后，很快地计算出具有整体照明效果的影像。整个热辐射法的运作过程可以简单的分为热

辐射计算与着色这两个主要步骤，而热辐射计算是与视点无关，因此热辐射法可以容易地应用在静态的虚拟现实系统中；但应用在动态环境中，那么在环境有所改变时，如物体的移动、物体数量的增减或光源的变化等，就必须更新受到影响而改变的热辐射值。这部分的技术目前尚未臻成熟，并不能应用在实时、互动的虚拟现实系统中。如何将整体照明的算法适宜地应用在虚拟现实是未来的趋势与研究的主流。至于动态热辐射法，我们将在本节的最后部分处理动态环境的技术中作介绍。

现今用来加速图形显像的技术可以分为三个主要的范畴，即遮蔽性消除、多层次精细度模型和影像快取显像技术。

遮蔽性消除 为了加速显像速度，必须尽可能地将视点所看不到的几何部分在显像前即予排除。在一般 3D 场景中，要减少所需处理几何的数目，最常利用的作法为称作视锥体消除法的技术，意即在显像之前，把不在视点与视角所形成的锥体内的几何部分给予排除，如此显像时只需处理在视锥体内的数据；另外有所谓的背平面消除法的技术 ，作法是把和视角同向的几何面去除，它们的目的都在于务求显像时需处理几何量降低；背平面消除法对每个多边形而言，虽然计算简单，但应用到复杂的场景时仍是个负担。最近有研究将场景的多边形以阶层式的架构组织起来以支持实时的背平面消除法。接下来，是要把视锥体内看不到的几何去除即所谓的完全遮蔽性，这部份运算通常叫作隐蔽面消除法；然而，在复杂的环境中，给定一个视点，要求得完全遮蔽性的代价纵使有硬件，如 z–buffer，的帮助仍是十分昂贵；相反的，利用少许对现在视点造成最大遮蔽的阻挡物或几何，花费比较少的时间代价而把大多数看不见的部分先予以排除而求得较保守的保守遮蔽性，然后再把多边形几何数据丢给显像硬件，是个可行的作法。保守遮蔽性的求法，是利用称作阻挡物消除法的技术，首先对空间进行切割，并对每个子空间决定数个潜在适当的阻挡物，而进行模拟时，则根据视点所在的子空间，决定数个适当的阻挡物，并以视点和这些适当的阻挡物产生阴影锥形体，最后再将这些锥形体内的被阻挡物所遮蔽的几何予以排除。像建筑物的模型，整个模型被墙分隔成一个个区间，区间之间仅透过像入口或窗户相通，若只利用视锥体消除法的做法仍不足够。在中的做法已成功地用在建筑物的巡访系统中。此做法可分为三个步骤，（1）区间分割，（2）区间至区间遮蔽性，（3）视点至区间遮蔽性。

在求区间至区间遮蔽性步骤中，延着模型中主要的不透明部份做分割；然后对于分割后的每一个区间做区间至区间遮蔽性的测试，即当一条视线存在于一个区间中的任一点到另一区间的任一点时，此两个区间之间的区间至区间遮蔽性就建立了。如此对于每一个区间，可以建立以此区间为根的 stab tree；最后在巡访中，根据使用者所在区间的位置、角度以及它本身的视角对前一步骤所建的 stab tree 进一步做遮蔽物消除的工作，而获得视点至区间遮蔽性，而得到所谓潜在可见集合，再将之丢到计算机绘图硬件中做遮蔽面消除法和显像。这方法的缺点是只能用于室内建筑场景之中，而不适用于一般的室外场景。

多层次精细度模型 遮蔽性消除可将显像的速度提升到只和可看见的几何资料量有关。然而，可看见的物体模型的几何数据量仍然可能十分庞大，尤其是非常精细复杂的模型。为了达成交互式显像速

率，目前多层次精细度模型为一普遍使用的方法。所谓多层次精细度，即是在环境中每一个物体皆具有数个不同层次精细度的多边形表示数据，而于视觉仿真中显像时，显像软件再根据使用者和物体之距离及其视角等决定物体该使用何种精细度之数据做显像。其用意在于：因为物体模型是以多边形的方式呈现，因此只要减少在复杂的虚拟环境中的多边形面总数，便可加速显像速率，达成交互式显像速率。对于那些离观视点较远的物体，因其投影在视平面上可能只含少数像素，故以较低精细度的模型显像产生的影像和采用完整精细度的模型显像产生的影像相差细微，视觉上不易感受两影像间的差异，但在速度却有相当大的提升。

我们可以针对那些离观视点较远、较偏离视线的或较不重要的物体，采用较为粗糙、简单的模型来代替，使得整个场景的多边形数较以所有物体都采用完整精细度模型少了许多，因此可大量减少硬件所需处理的多边形个数而大大地改善显像整个场景的速率。目前的 VR 软件都必须在仿真前产生数套不同精细度的简化模型提供给系统使用。此种做法我们称之为静态多层次精细度模型。因为两显像画面间多层次精细度模型的选取与切换很难达到理想，所以另一发展的趋势是在模拟中，在时间控制的条件下，我们动态地、依据视点视角地调整场景模型的精细度，实时产生显像所需的几何模型，称之为动态多层次精细度模型。

影像快取显像技术 由于多层次精细度模型的技术对于同一物体必须产生多组不同精细度的模型，因此它须作前置处理并且耗费大量储存空间。且由于物体的几何复杂度被牺牲了，而造成显像时的失真；而影像快取显像技术不但没有上述的缺点，还可以结合多层次精细度模型技术的好处。所谓的影像快取显像技术，是指将物体以几何方式产生的影像或以其它方式所获得的真实影像数据以阶层式的架构保存起来，留待后面几个画面以此影像代替几何数据在进行显像时使用。它的基本作法为首先利用二元分割树作空间分割，显像时，在二元分割树中的任一个节点上的物体都可显像在节点本身的影像快取上，再利用二元分割树具备的深度排序功能来进行显像。而视点移动之后，上一个画面所产生的快取影像依照某一准则来评估，若此快取影像还

有效，则使用之以代替该节点上的几何数据显像；否则就产生一新的快取影像。此外，这种影像快取显像技术也容易配合多层次精细度模型的技术，如在同一结点储存多个层次精细度之模型，与利用画面间的相依性的特性，在近观视点的节点内用多层次精细度模型的几何数据显示，以达到加速的目的。然而此种方法最大的限制在于它只在于静态环境中且对比较深远的场景才能真正发挥其效果。目前关于这方面之研究的方向与趋势仍在于如何成功地把显像技术应用在动态环境中。

在实用的虚拟现实系统中，势必要加入能处理动态环境的技术。对于常见的以局部照明算法为基础的系统无法直接处理阴影计算，使得显像出的画面在整体空间感的表现上就比较差。于是出现了一些在局部照明的架构下产生阴影的算法。在这些算法中，常引用到阴影体积的概念。所谓的阴影体积其实就是物体在挡住光源后会形成一光源无法直接照射的空间。若有其它物体接触此空间，则该物体就会有阴影产生。基本上，这些算法都十分耗时，且和场景复杂度及光源数都很有关系。这种情况对动态的虚拟现实应用并不适合。所以目前一般虚拟现实应用软件并没有真实的阴影处理，而只有提供简单的、粗糙的阴影以加强视觉效果，如只对某平面作投影。

目前有个趋势就是把阴影产生的处理用硬件来做，如透过 OpenGL 的模版缓存器可协助阴影的产生。因此如何把阴影产生法成功地应用在动态环境中是当前一个主要的课题。对整体照明算法而言，把热辐射法应用在动态环境中的作法，近年来一直有相关的研究提出，却都无法满足虚拟现实实时互动的需求。目前动态热辐射法的技术有两大类，其中一类的方法是延伸渐进收敛式热辐射法来满足动态环境的需求，其主要的观念在于能量的重新分配，即根据物体移动前后的形式因子的变化量来重新分配已散发出去的能量，而有所谓的正能量和负能量被分配到环境中；另一类的方法是延伸阶层式热辐射法将之应用在动态环境中。阶层式热辐射法将环境中的多边形作阶层式的切割，并在有效的误差控制下，在适当的阶层之间建立能量的连结，代表环境中能量的转换与传递。而动态阶层式热辐射法利用有效的算法把受环境变化影响的连结迅速的确认

出来，并作适当的更新以反映环境中能量的变化。对现阶段而言，这两类热辐射法的技术仍尚待突破，才能成功地应用在实际的虚拟现实系统中。

6. 临界时间计算

在一般的虚拟现实的应用里，维持一个稳定且快速的显像速率是绝对必需的；否则不仅会使得整体运作的效能降低，还会造成使用者身体上的不适，导致许多和虚拟环境之间互动的困难。为了达成具有稳定且快速的显像速率，必须作一有效的时间控制，使得虚拟现实系统中的各项运算资源都能合理分配给各项的系统单元，以期系统中的各类运作或运算都能在各自的临界时间内完成，这就是所谓的临界时间计算。

临界时间计算的主要概念为，在使用者给定整体系统运作效能或一个固定的显像速率之下，找出在各项质量因素中的一个平衡点；因此，为了达到一个迅速的运作的时间，其它的质量因素，如显像质量与运算结果的准确性，必须在有效的控制下适度地牺牲。

在一个事先给定的时间内，具有临界时间计算的系统必须在此一时间内完成系统中各项的运算。如果给予的时间并不足以完成所需的各项运算的话，临界时间计算的机制则必须能降低各项的运算质量以达成在给予的时间内完成所有运算的要求。因此，一个具有临界时间计算的系统必须要具备运算时间预测、降低各项的运算质量和排程各项运算等三大特性。

一般而言，要得到完全准确的运算时间预测是不可能的，原因是我们并无法得知系统中的一个程序或程序何时终结。此外，进行运算时间预测所花费的时间必须比真正花在运算的时间要来的短，如此才有剩余的时间来进行运算；而为了使进行运算时间预测所花时间尽可能地低，利用经验法则及只考虑几个重要的变量来预测运算时间是常见可行的作法。

当预测所得的运算时间大于使用者所给定的运算时间时，临界时间计算的机制必须有能力对系统中的各项运算作减化，以达到在临界时间内完成所需运算的要求，因而一些运算的质量须牺牲；要达到此目标，必须找出系统中的质量要素及改变的方式。一般改变的方式分为两类，即连续与离散方式，如系统的更新频率为连续方式而多边形的分辨率之改变为离散方式；另外各项简

化运算所花费的代价也须评估，而代价较低的质量要素则首先考虑被牺牲。

在给定的时间内，各项的运算必须要透过排程控制器来作协调。为了适当分配时间给各项运算，排程控制器须利用上述预测所得的结果来进行排程。如果运算单元无法在排程控制器所给定的时间内完成运算的话，则牺牲运算的质量来减化运算。因此，排程控制器要有能力决定各项运算的重要性与优先级，及运算质量的牺牲程度。

一个实用的虚拟现实系统必须要有临界时间计算的能力才能达到实时、互动的需求；然而对于临界时间计算的研究现阶段仍在起步当中，目前的虚拟现实系统皆尚未有临界时间计算的机制。

7. 动态机制处理

在虚拟现实的相关技术中，我们首先考虑的是如何建构物体的实体模型及如何真实地把它们显示在屏幕上。一旦要将这些技术应用到真实世界的模拟时，还须考虑一些自然法则的模拟。其中最重要的就是物体碰撞的仿真，这包含碰撞侦测与碰撞反应。

早期碰撞侦测的应用是在机器人的运动上，用以确保机器人行走的轨迹不会和空间中其它固定物体发生碰撞，一般称为路径规划。而近年来，碰撞侦测技术也成为虚拟现实等仿真真实系统的核心技术。常见应用如飞行模拟，用来计算飞机的飞行轨迹是否会和其它障碍物相撞；如驾驶训练中用来判断使用者在环境中行进的路径是否可接受；另外在巡访系统中可防止使用者穿越墙壁。

碰撞侦测的技术可分为两种，一是解决碰撞侦测的问题时只考虑每个侦测的瞬间物体是否重迭以判断两者是否发生碰撞。这类的方法只计算“侦测瞬间”物体是否发生碰撞，所以在时间轴上只考虑一个一个时间取样点而非连续的时间线，因此我们称这类的方法称为“离散时间之碰撞侦测”。很明显的，离散时间之碰撞侦测只在离散的时间点上去侦测物体在静态时的重迭情形，两侦测瞬间内产生的碰撞无法侦测到。所以除了离散时间之碰撞侦测外，还须考虑在两个侦测瞬间内物体移动的轨迹是否发生碰撞，以避免上述碰撞会遗漏的情形。而另一类的方法在时间轴上不只考虑一个个时间取样点而是连续的时间都纳入考虑，称为”连续时间之碰撞侦测”。

第一类的方法重点在于静态物体的重迭测试。当两个物体占据同一个空间，则这两个物体重迭，碰撞已发生。对物体存在的环境作空间分割来判断是一个

直观的加速办法，如均匀空间分割法：将空间分成一个个大小固定的子空间，一旦有两个物体同时占据一个子空间，则它们很有可能重迭，再做进一步的计算。另外也有八元树的分割的方式，将空间作阶层式的分割形成一棵八元树；当在分割的过程中，假如有一子空间中的物体数小于某个值，则不再分割下去，而作进一步的重迭测试；反之继续分割。还有其它阶层式的分割的方式，如 k–d tree 及以 BSP 为基础的分割方式等等；此外，物体也利用具有阶层式架构表示物体几何数据，并以球或六面体当作各子物体的包围体，如此当发现物体位于同一个子空间中要计算两者是否重迭时，可以利用其包围体快速地把没有重迭的物体对去除。若物体对之包围体重迭，则继续检查其子物体对。

在第二类的方法中，有人将物体的轨迹参数化，并以数值求根法求碰撞点，但很费时。目前已提出利用碰撞预测的方式来加速连续时间碰撞侦测。一物体对之碰撞预测时间为其球形包围体间之碰撞时间。碰撞预测的时间经排序后大致仿真真实碰撞的顺序。所以从此排序最先的物体对作碰撞侦测，若真正碰撞时间在第二对预测时间之前，则我们已经找到最先碰撞的物体对；否则，我们只需计算第二对的真正碰撞时间，并与第一对碰撞时间相比。若碰撞预测足够准确，我们只需计算前面几对即可求得最先碰撞的时间。而一对物体之真正碰撞时间计算中，我们可以将物体各自分解成子物体，再计算子物体对之碰撞时间并求取最小者，此法可以递归方式做下去。另外，我们亦可对子物体对做碰撞预测，且将预测时间纳入全景物体对碰撞预测时间之排序，即我们将子物体视为一般物体。这两种做法，每一物体需有一阶层式树状架构包围体以方便做分解。

8. 影像式虚拟现实

在一般的虚拟漫游环境中，多是用前所述的 3D 绘图方式实行。然而，如果漫游的范围广大，环境景观复杂，为了求得逼真的效果，需要建构内含多达数十万甚至数百万个多边形的模型。在每秒至少需 24 次更新频率的要求下，也只有超级计算机可能办到，这对于虚拟现实的普及化来说实在不是个好消息。这种情形下，遂有另一种解决方式，就是影像式虚拟现实。

影像式虚拟现实的观念很简单。假设我们在一个蒙古包内，而蒙古包内壁贴满了蒙古包四周的风景照片，如果照片贴得天衣无缝，看上去就和没有这个蒙古包是一样的。为了要将照片贴得天衣无缝，拍摄取景时要留意特别留下重复部份，以便将图接合。当然，接图时也要用一些算法将图形作些变形，才能接得顺畅。此外，台大资讯工程系的影像式虚拟现实为例，利用锯齿线平滑技术，使静态画面质量更好。除了环

状接合，球状接合能使天空及脚底都清楚呈现出来。

至于图片的接合，我们假设来源照片都是标准的透视投影，相机焦距不变，且每张照片中心都在同样的水平高度上。利用影像比对可以算出两张照片的重复部份，将之消去，并将影像柔化以消除两张像片间的亮度差异。当然，原始影像质量仍然要尽量好，以增进接图后的质量。

目前，这方面的产品有 Apple 的 QuickTime VR，RealSpace 的 RealVR 及工研院电通所的 PanoVR。此种做法已成功的用到静态环境，如美术馆 / 博物馆的浏览系统。而此做法若要成功的用到其它 VR 应用，必须能有效的处理使用者与场景或场景内物体间的互动，且必须去除使用者参观路径之限制，这些应用皆需利用深度数据计算遮蔽性消除。这是目前尚待努力突破的。

9. 网络虚拟现实

以前虚拟现实主要是以单机为主，随着 Internet 的发展，现在最热门的虚拟现实应用也向网络化迈进，目前之应用以网络漫游及网络会议为主。在网络会议方面，现在可以透过网络，将与会者的脸的影像传输以让其它人能透过 HMD 看到，并可任选虚拟场景，甚至可以将参与者的动作也显现出来。此外，MPEG-4 也以视讯会议为导向，计划用模型的方式，大幅减少频宽需求，这方面的研究还在持续中。网络漫游，较大的问题在于使用的人数，要能让这些人所见能同步，人数越多需要的计算就越多。而前面所说的影像式 VR 也常用在网络 VR 的应用中。

另一方面，以战争仿真及网络游戏为主的应用都少不了 DIS 的通讯协议。美国军方首次试验在一千多个不同地点的计算机进行海陆空联合模拟演习，就是以 Naval Post Graduate School 所开发的 Post Net 为主，这也是一种 DIS。网络虚拟现实是虚拟现实的一片处女地，尚待更多的开发与投入。

最后，网络虚拟现实中常用的描述语言是 VRML。VRML 是类似 HTML （Hyper Text Makeup Language）的语言格式，所不同处在于 VRML 描述的乃是一个对象关连的幻想空间；经由简单的语法与参数，使用者可以简便地以许多几何物体来建立一个虚构的 3D 场景，并且自由地在场景中漫游观视，甚至探险游历。

比方说，使用者可以安排许多立方体的墙壁，建筑出一座迷宫，然后其它人便能依照开始设定的路线在迷宫中四处游走，彷佛真的身历其境一般。

目前 VRML 的格式有 1.0 和 2.0 的版本，前者只提供一个静态的场景空间，而后者则增添了诸如声音、动画、与使用者互动等动态支持，让一般人在因特网上也能充分享受到多媒体的丰富变化。

八、中外对比分析

美欧等发达国家虚拟现实产业资金和市场活跃。其中，美国是技术发源地、人才丰富、投资环境活跃，VR 企业众多、技术先进；英国人才丰富，供芯片处理器、核心算力、元器件，在硬件和软件开发方面处于国际前列；德国：引领 VR 技术在工业领域的创新应用，已将 VR 用于汽车、工业煤矿、航空飞机上机体验等方面；法国：欧洲 VR 产业高地，应用技术创新活跃，布局 VR 头显以及其移动端领域，致力于 VR 在航空制造业等高端制造业的应用。

中国虚拟现实产业发展势头强劲，在全球虚拟现实领域占有重要地位。突出表现在四个方面：第一是政府推动虚拟现实产业发展的力度最大，政策最优；第二是虚拟现实技术的产业化应用最为活跃；第三是中国成为全球虚拟现实领域跨境投资资金来源的主要国家；第四是中国虚拟现实终端销售、产出及产业化落地的规模最为突出。目前，中国拥有规模最大的虚拟现实线下实体店，其中包括数千家 VR 线下游戏店、VR 电影院及体验中心。全球超过 70% 的头显硬件制造来自中国，数据显示仅歌尔一家股份企业对全球一线 VR 终端的制造输出就超过 60%。此外，中国还是全球虚拟现实零部件包括芯片、近眼显示、摄像等最大的采购和装配整合中心。

中国涌现出一大批本土虚拟现实硬件研发生产厂商，在全球虚拟现实终端的性价比优势突出。这些厂商研发的产品包括深圳市虚拟现实技术有限公司的 3Glasses，北京小鸟看看科技有限公司的 Pico VR，上海乐相科技有限公司的大朋 VR，暴风魔镜，小派科技的小派 VR Pro、Pimax 8K VR，深圳纳德光学有限公司的酷睿视（GOOVIS）系列，爱奇艺新品奇遇二代 4KVR，联想晨星 AR、联想 Mirage 星球大战套装产品，小米与 Oculus 强强联合开发的小米一体机等。

在虚拟现实核心硬件科技及整合设计方面，中国企业也呈现强劲的发展态势。在 VR 核心移动芯片方面，中国华为取得重大突破。华为突破了美国高通的垄断，其开发的麒麟 980 芯片在多个领域超越全球其他产品，未来有望研发出国际顶尖的移动 VR 核心芯片。在近眼显示方面，中国厂商京东方有望突破三星 VR 显示屏的垄断，研发出高质量的显示屏。京东方携手奥雷德和 Kopin，投资 11.5 亿元，在云南昆明建立年产量超过 100 万片的硅基 OLED 产线，有望快速提升中国 VR 显示屏综合水平。在虚拟现实的技术整合与产品设计方面，歌尔股份有限公司优势突出。相关数据显示，2016 年全球市场上中高端的 VR 头显，将近 70% 的产品由歌尔公司制造（主要是代工）。此外，歌尔还与国际联合开发新产品示范样机。比如与移动芯片巨头高通联合研发了基于高通 820、835 芯片以及 845 芯片方案的 VR 一体机示范样机。与美国微型显示面板公司 Kopin 联合开发新一代虚拟现实（VR）头显参考设计方案 Elf，该产品以其前所未有的轻巧、紧凑以及高清晰的特点获得 2018 CES 创新奖。

2. 中国虚拟现实发展存在三大机遇

（1）目前正处于虚拟现实发展的窗口期

大众化虚拟现实技术从 Oculus DK 版本发展至今，保持持续高速发展态势。2014 年具有行业应用标志的 Oculus DK2 面市，2016 年 HTC Vive、Oculus CV1 以及 PlayStation VR 等一系列高端 VR 面市，带来了第一波虚拟现实产业的投资热潮。2017 年初投资热潮褪去，但虚拟现实技术仍然保持持续快速发展的态势。2017 年底，HTC 推出更高舒适度和清晰度的 Vive Pro 和六轴跟踪 VR 一体机 Vive Focus。2018 年初，Oculus 推出极高性价比的 VR 一体机 Oculus Go。Star VR、Pimax 8K VR 等一系列超高清晰度的 8K VR 开始面市。2018 年 11 月，Oculus 发布革命性的新一代产品 Oculus Quest 并将于 2019 年第一季度以 399 美元的超高性价比上市。

如果将虚拟现实终端的发展与手机终端的发展进行类比，我们可以看到虚拟现实从大哥大时代的手机向大众应用领域发展，Oculus Quest 就是第二个阶段产品的代表。这预示着随着以 Oculus Quest 为代表的新一代 VR 终端的面市和持续发展，虚拟现实将面临全新的发展机遇，尤其在能够逐步有效满足某些特定的应用场景后，虚拟现实 To B 领域将获得前所未有的高速增长。以 Oculus Quest 为代表的新一代 VR 终端将是能够有效满足某些特定领域需求的先进产品，如培训、远程学习、文化旅游、博物馆以及线下体验馆等领域。也就是说虚拟现实的第二波热潮即将到来，与 2016 年第一波热潮的盲目性不同，即将到来的这次潮流将会给一些有技术储备和应用场景积累的企业带来不菲的直接收益，他们也将随着新一次潮流的推动而成为未来虚拟现实产业发展的中坚力量。

（2）中国发展空间巨大

在中国发展虚拟现实将拥有全球其他地方难以比拟的优势资源。首先，中国是目前全球从政府及政策层面推动虚拟现实产业发展力度最大的区域，而且从基础设施、高端技术、配套资源以及人才方面给予全方位的匹配，重点着力推动虚拟现实产业各环节持续快速发展。其次，中国具有全球突出的虚拟现实 To B 消费对象，涉及教育领域、制造领域、培训领域、医疗领域等，数量巨大，需求强烈。第三，中国具有全球规模极大的 To C 端虚拟现实消费群体。从手机移动互联网的发展过程中，我们能够明显地看到，中国在移动端持续发展并快速领先全球，这和中国数量庞大的 To C 端消费群体密切相关，虚拟现实发展也必将经历这样的过程。

（3）越来越多的人意识到虚拟现实的意义并协力推动其发展

在中国，从政府高层到企业领袖，从 5G 通信推动者到互联网巨头，他们都意识到虚拟现实这种革命性的信息技术对于未来的积极意义，希望有机会能够介入虚拟现实为行业发展助力。假以时日，当虚拟现实赢利模式一出现，推动行业发展的力量将快速壮大。

九、行业现状及发展特点

1. 硬件产业链整合能力大幅提升

国内硬件厂商近年来在硬件产业链自主能力以及整机整合和二次开发能力大幅提升。芯片方面，目前国外 VR 主控芯片主要是高通骁龙系列的 835、845 等芯片以及高通 XR1 芯片。国产芯片虽然起步晚但是近两年进步迅速，质量和品类都取得了一定进展。全志科技 VR9，瑞芯微 RK3399、RK3288 等系列芯片提供了优秀的虚拟现实解决方案，并已应用于 Pico、富士通等多种 VR 头显。华为发布了麒麟 990 系列芯片为未来 VR 设备与云计算以及 5G 融合提供芯片支撑。显示方面，京东方已投产两条 10.5 代 TFT-LCD 生产线，3 条 6 代 AMOLED 生产线。视涯科技在合肥点亮硅基 OLED 显示屏，并已建成目前全球产能最大的硅基 OLED 生产工厂，月产能可达到 27000 张 12 寸晶圆。整机组装方面，歌尔股份在声光电器件等方面提供的解决方案已经成功用于索尼、Oculus、Pico 等公司的虚拟现实设备中，并且是索尼 PSVR，Oculus Rift 两大 VR 主流产品的全球独家代工厂商。

2. 网络架构、AR 平台等软件环节亮点纷呈

近几年国内厂商在网络架构、AR 开发平台、算法创新等方面都取得了一定的进展，虚拟现实产业链软件环节不断完善。尽管与国外软件研发水平仍有差距，但已具备软件产业链短板补齐趋

势。网络架构方面，华为研发出了基于开源组件以及 API 的 Cloud VR 连接协议和软件，打造云 AR/VR 架构，实现了实时“端 – 云 – 端解决方案”。开发工具方面，华为推出了面向移动端的开发工具华为 AR Engine，基于华为手机硬件，整合模组、芯片、算法和 EMUI 系统，提供效果更好、功耗更低的 AR 能力。网易洞见聚合了 AR SDK 和 AR 游戏引擎等产品形态，有效连接优质 AR 内容开发者和使用场景，为用户带来高质量的 AR 体验。

算法方面，国内在动态柔性渲染算法方面达到国际领先水平。百度大脑 DuMix AR 推出的兼容 iOS、安卓、PC 等多平台的 3D 体感互动算法使得移动端设备摆脱专用 3D 传感器的硬件束缚，进一步推动应用的快速落地与发展。AR 公司亮风台提出的基于约束置信度的鲁棒跟踪算法 (CCM) 提高了在局部遮挡、光照变化和运动模糊等各种因素干扰情况下的鲁棒性，并在 UCSB 和 TMT 两个国际评测集中刷新了最好成绩。

3. “VR/AR+”应用场景加速落地

2018 年下半年以来，虚拟现实技术在制造、教育、医疗等领域的应用明显提速，典型案例不断涌现。在制造领域，江铃汽车运用 AR 技术在发动机装配指导、关键过程防错、售后典型故障检修等方面，极大提高了劳动生产率。在教育领域，中国移动联合威爱教育展示 5G+VR 智慧教育系统，用于支持四川凉山贫困地区的师生与成都市泡桐树小学师生同步课堂教学和学习，让教育不再受限于地理的边界。在医疗领域，清华大学长庚医院与深圳人民医院共同完成的 VR+5G 远程手术，实现了可靠性强、准确度高的远程医疗服务。在文化娱乐领域，VR 党建、VR 直播、VR 视频、VR 影院、VR 线下体验店等业态日益丰富，消费者对虚拟现实的认知度和体验感明显增强。中央电视台在 2019 年春晚的 VR 直播为春晚呈现提供了新方式。福州机场开通了 AR 导航。帮助旅客在真实环境中找到准确路线，实现三维立体空间的精准导览。随着新一轮虚拟现实产业链的升级以及 5G、云计算等技术的引入，虚拟现实的应用领域在未来将会更加多元。

4. AR 风投引领新一轮产业投资热潮

与 2018 年相比，2019 年虚拟现实投融资进入新一轮的增长热潮。2019 年 1–8 月份全球虚拟现实产业融资额达到 250.3 亿元，已超过 2018 年全年 212 亿元的融资总额。相比

2018 年 AR 领域占虚拟现实产业投融资的 20%，2019 年上半年 AR 领域的占比已经上升到了 60%，AR 领域投融资的激增引领了 2019 年虚拟现实投资的强势增长。AR 领域投资主要流向硬件领域的芯片、光学模组等方向，显示技术的视

网膜投影、光波导显示等方向，软件领域的 AR 服务平台、AR 云 SDK 等方向，内容领域的游戏、行业应用、内容创作平台等领域。

5. 央地联动的政策顶层框架趋于完善

近两年来，我国各级政府陆续出台了多项虚拟现实产业相关政策，继续提升对虚拟现实技术研发、人才培养、产品消费、市场应用的支持力度，部省联动的政策框架体系基本形成，虚拟现实产业进入政策红利释放期。 中央层面，2018 年 12 月 25 号工信部发布了《加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》，指出要抓住虚拟现实从起步培育到快速发展迈进的新机遇，加大虚拟现实关键技术和高端产品的研发投入，创新内容与服务模式，建立健全虚拟现实应用生态。推动虚拟现实产业发展，培育信息产业新增长点和新动能。2019 年，其他部委也陆续发布了人才培养和应用层面的政策。2019 年 6 月，教育部发布了《关于职业院校专业人才培养方案制订与实施工作的指导意见》。2019 年 8 月，科技部、中宣部等六部委发布的《关于促进文化和科技深度融合的指导意见》。

十、未来发展趋势

1. 5G 到来将助力 VR 实现规模性增长

5G 高带宽高速率、高可靠、低时延的特点可以极大助力 VR、AR 共同去克服一些技术上的难题，解决提升性能和用户体验方面所遇到的诸多瓶颈，虚拟现实整体行业或将实现高速发展；

2. 云虚拟现实加速

在虚拟现实终端无绳化的情况下，实现业务内容上云、渲染上云，成为贯通采集、传输、播放金流程的云控平台解决方案。其中，渲染上云是指将计算复杂度高的渲染设置在云端处理。

3. 内容制作热度提升，衍生模式日渐活跃

硬件设备的迭代步伐逐步放缓和 VR 商业模式的进一步成熟，内容制作作为虚拟现实价值实现的核心环节，投资呈现出增长态势。衍生出体验场馆、主题公园等线上线下结合模式，受到市场关注。

4. 虚拟现实将释放传统行业创新活力

虚拟现实业务形态丰富，产业潜力大、社会效益强，以虚拟现实为代表的新一轮科技和产业革命蓄势待发，虚拟经济与实体经济的结合，将给人们生产方式和生活方式带来革命性变化。

5. 硬件领域将成为主战场

目前国内的虚拟现实产业还处于起步阶段，尚未形成明确的领跑者，参与到虚拟现实领域的企业大幅增加，主要集中于硬件研发及应用配套领域。

参考资料：

1. 《虚拟现实（VR）和增强现实（AR）背后的核心技术》，纳金网；
2. 《VR 虚拟现实与 AR 增强现实的技术原理与商业应用》，苏凯、赵苏砚；
3. 《虚拟现实的核心技术与未来趋势》，百度文库
4. 《虚拟现实产业发展白皮书（2019 年）》，赛迪智库电子信息研究所、虚拟现实产业联盟；
5. 《2019 年工业虚拟现实应用场景白皮书》，中国信息通信研究院；
6. 《虚拟现实产业地图》，中国电子信息产业发展研究院；
7. 《5G 风起，虚拟现实技术飞扬》，安信证券

AUTONOMY
自主事物行业研究报告

InfoQ 研究发现：

1. 我们把“自主事物”，暂且直接简化定义成“自主机器人”。其中，传统工业机器人随着工业互联网的推进，实现智能化改造，也必然走上自主化进程，我们仍然将其纳入研究范畴。同时我们看好机器人与信息系统的系统融合，由提供机器人设备，到提供全套智能化工厂建设运营方案。

2. 自主事物正处于技术与商业双重变革的时代，机械自动化技术正不断地与其它诸如 AI、5G 通信技术相融合。我们认为，技术的价值在于，在不断提高产品性能，降低产品使用门槛与综合成本的同时，不断扩大其应用场景。

3. 工业机器人核心零部件的技术壁垒较高，尤其在高端的零部件环节，短期内国产化替代的难度较高，我们关注技术研发的推进，带来的国产化工业机器人所占市场份额的提升。

4. AI 技术的成熟度直接从产业链上游决定了各类型自主机器人在下游的应用及市场接受程度，看好国内企业在上游 AI 技术模块取得突破，尤其是 5G 的突破，将极大拓展机器人的活动边界与应用场景，由此获将带来大量的产业创新机会。

5. AI 技术模块市场规模大。各子技术模块之间，技术成熟度和行业集中度有较大差别，但总体来看，国内外企业技术水平差距小，甚至部分领先，并且我国在市场规模、产业链、产业环境等方面都具备全球竞争优势。

一、概念与研究逻辑

【1】定义的收敛

自主事物的概念，较早见于 Gartner 在 2019 年 3 月发布的《 2019 年十大战略技术趋势》(Top 10 Strategic Technology Trends for 2019)，被列于十大趋势之一。按原文描述，自主事物有五种类型：机器人、车辆、无人机、家电、虚拟助理。自主事物都使用 AI 来执行传统上由人类完成的任务。智能的复杂程度各不相同，其自动化水平超越了僵硬的编程模型所提供的自动化，所有自主事物都使用人工智能与他们的环境及人类进行更自然的交互。

将多类型的自主事物放在一起研究，我们希望探求其多样性背后的统一性。联合国标准化组织，采纳了美国机器人协会给机器人的定义：一种可编程和多功能的操作机；或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。而无人驾驶汽车、无人机、智能家电和虚拟助理也是这样一类机器，可实行自动控制、可实行编程控制。可以将其分别对应物流机器人（含 AGV 移动机器人）、飞行机器人、智能家居 / 生活服务机器人和对话机器人来研究。**由此我们不妨大胆把“自主事物”，暂且直接简化定义成“自主机器人”。其中，传统工业机器人随着工业互联网的推进，实现智能化改造，也必然走上自主化进程，我们仍然将其纳入研究范畴。**

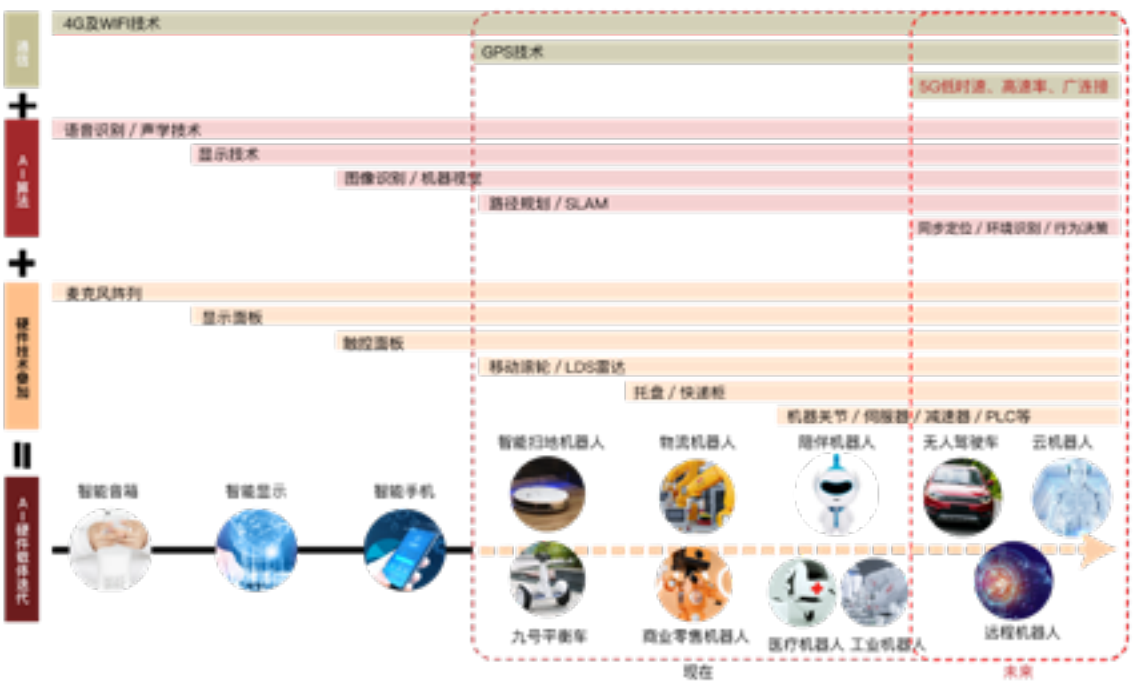
【2】自动化到自主化

我们不妨借用下列不同等级的无人驾驶汽车的定义，来解释机器人自动化到自主化的成长演变，也大体可以描摹出自主事物的实现过程：

级别	等级	描述
Level 0	无自动化	由人类操作机器，没有机器人的参与。
Level 1	单一自动化运作	单一功能已自动化，但不使用环境信息。这是自动化与制造业中传统的机器人使用现况。透过程序编辑，机器人能够以高精度与速度重复执行特定工作；但直至目前为止，多数实际运用的机器人都无法感知或应变环境的变化。
Level 2	部分自动化	透过环境感知所输入的特定功能，协助机器进行决策。例如某些机器人透过视觉传感器，识别并应付不同的对象。然而，传统的计算机视觉，需要对每个对象进行预先登记和清楚的指示，且机器人还是缺乏处理变更、意外状况、或是新对象的能力。
Level 3	条件式自主	机器控制了所有的环境监控行为，但仍需要人为检查关注与（实时）介入。
Level 4	高度自主	在某些情况下、或是定义的区域内完全自主。
Level 5	完全自主	在任何状况下均可完全自主，不需人为介入。

图：自主化的等级　　资料来源：Bastiane Huang、InfoQ 研究院

要实现自主，机器人不仅仅只需要人工智能（AI），还需要很多传感器、传感器融合以及边缘实时推理。由于深度卷积神经网络的优点已得到公认，激光雷达对更为先进的数据处理的需求正在把神经网络推向新的拓扑结构，以实现自主。通过 4G、5G、WIFI、GPS 等通信技术以及语音识别技术、机器视觉、SLAM 等技术被广泛应用，自主事物的硬件形式也从智能音箱、智能显示，向智能服务机器人过渡，产品形态不断丰富，广泛应用于扫地机器人、 平衡车、物流、商业零售、医疗等市场。



图：软硬件技术进步驱动产品迭代　　资料来源：中金公司、InfoQ 研究院

【3】研究逻辑

机器人技术是综合了计算机、控制论、机构学、信息和传感技术、人工智能、仿生学等多学科而形成的高新技术，是当代研究十分活跃，应用日益广泛的领域。但机器人产业链相对复杂，涉及软件与硬件、工业与服务，各细分市场分类庞杂、标准不一，且发展阶段各异、市场空间也存在较大差异。这也导致了将机器人产业整体作为研究对象的难度较大。

就像无人汽车产业一样，自主事物相关创新公司也采取了不同的策略：有些公司看好人类和机器人等事物之间的合作，专注于 level 3 的研发；有些公司则相信，所有事物终将实现真正的完全自主，于是他们跳过 level 3，直接着眼于 level 4、甚至到 level 5。**这也是为什么我们很难评估现在机器人产业自主化程度的原因之一，也就很难把握自主事物这个整体概念的产业发展状况。**

人工智能、5G 等新一代信息技术是极其重要，乃至最重要的发展驱动因素。所以在本报告，我们会从核心技术点的发展现状与趋势进行梳理，把握各细分品类背后一致性的规律，从而抽象出最本质的技术脉络，和最核心的发展逻辑。

二、发展演变

【1】重要历史事件梳理

时间	事件
1948	1948 年诺伯特。维纳出版《控制论》，阐述了机器中的通信和控制机能与人的神经、感觉机能的共同规律，率先提出以计算机为核心的自动化工厂。
1961	1961 年世界上第一台工业机器人 ULTIMATE 被用在美国通用汽车的生 产线上。 该生产线主要用于生产车门 把手、变挡把手及其他车辆内饰件。
1978	1978 年日本山梨大学牧野洋发明了 SCARA(选 择顺应性装配机器手臂) 机器人，又称平面关节 型机器人。该型机器人适合于搬取零件和装配工 作，如今广泛应用于 3C 行业、药品工业、食品 工业、塑料工业及汽车工业等。
1982	沈阳自动化所研制出了我国第一台工业机器人
1998	菲比娃娃 (Furby) 上市，成为当年最抢手的玩具。这款 30 美元的玩具会随着事件的推移进化，一开始只能 胡言乱语，但很快可以学会使用预编程的英语短句，上市一年内售出 2700 万件。
1998	1998 年 ABB 公司开发出当时世界上最快的抓取 机器人 FlexPicker。利用图像技术，该型机器 人每分钟可以抓取 120 个目标物体。FlexPicker 是基于 Delta 机器人进行设计开发的。
1999	索尼公司 (Sony) 的机器狗“爱宝”(AIBO) 让科技产品爱好者一见倾心，这款售价 2,000 美元的机器狗能够 自由地在房间里走动，并且能够对有限的一组命令做出反应。
2000	本田汽车公司 (Honda Motor) 出品的人形机器人阿西莫 (ASIMO) 走上了舞台，它身高 1.3 米，能够以接近 人类的姿态走路和奔跑。
2002	iRobot 公司发布了 Roomba 真空保洁机器人，这款造型类似飞盘的产品售出了 600 多万台。从商业角度来看， 它是史上最成功的家用机器人之一 。
2011	IBM 发布沃森机器人，沃森是能使用自然语言来回答问题的人工智能系统。同年，沃森参加综艺节目危险边缘来测试它的能力，沃森在前两轮中与对手打平，而在最后一集里，沃森打败了最高奖金得主布拉德·鲁特尔 和连胜纪录保持者肯·詹宁斯。
2011	2011 年第一台仿人形机器人 R2B 在美 国佛罗里达州的肯尼迪航天中心进入 太空探索。
2012	大疆推出到手即飞的世界首款航拍一体机“精灵 Phantom”
2013	中国以 3.7 万台的工业机器人销售量超过日本，成为全球第一大工业机器人产销国
2014	亚马逊推出智能音箱 Echo，这款产品最大的亮点是将智能语音交互技术植入到传统音箱中，从而赋予了音箱 人工智能的属性。
2015	2015 年 5 月 19 日国务院印发了《中国制造 2025》，部署全面推进实施制造强国战略明确提出重点发展工业机器人、服务机器人、新一代机器人及管件零部件。同年 11 月 23 日 –25 日 2015 世界机器人大会在北京举办，李源潮宣读习近平贺信、李克强批示。
2015	大阪大学和京都大学等的研究团队开发出可使用人工智能流畅对话的美女机器人“ERICA”。
2016	2016 年 4 月，工业和信息化部、国家发展改革委、财政部等三部委联合印发了《机器人产业发展规划 (2016—2020 年)》，为“十三五”期间中国机器人产业发展描绘了清晰的蓝图。
2017	沙特阿拉伯授予美国汉森机器人公司生产的女性机器人苏菲亚公民身份。索菲亚拥有仿生橡胶皮肤，可模拟 2017 62 种面部表情，其“大脑”采用了人工智能和谷歌语音识别技术，能识别人类面部、理解语言、记住与人类的互动。

图：消费级机器人发展重大事件　　资料来源：互联网资料整理、招商证券

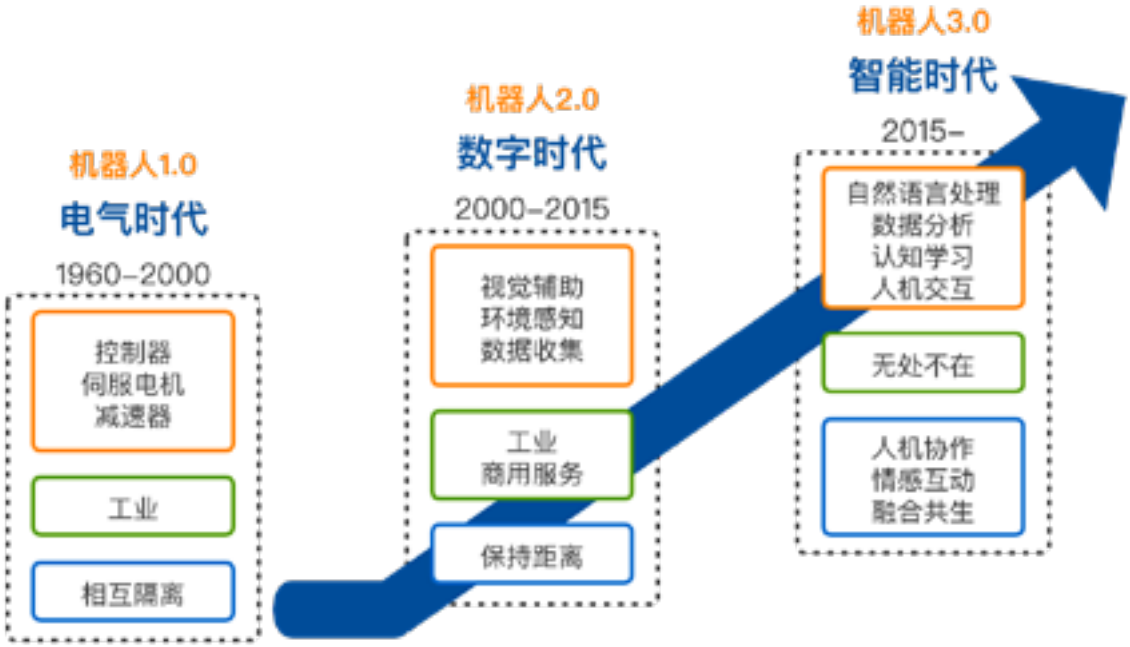
【2】三大阶段

2017 年，中国信息通信研究院发布了《人工智能时代的机器人 3.0 新生态》白皮书，**其中把机器人的发展历程划分为三个时代，分别称之为机器人 1.0、机器人 2.0、机器人 3.0。**

机器人 1.0(1960–2000)，机器人对外界环境没有感知，只能单纯复现人类的示教动作， 在制造业领域替代工人进行机械性的重复体力劳动。

机器人 2.0(2000–2015)，通过传感器和数字技术的应用构建起机器人的感觉能力，并模拟部分人类功能，不但促进了机器人在工业领域的成熟应用，也逐步开始向商业领域拓展应用。

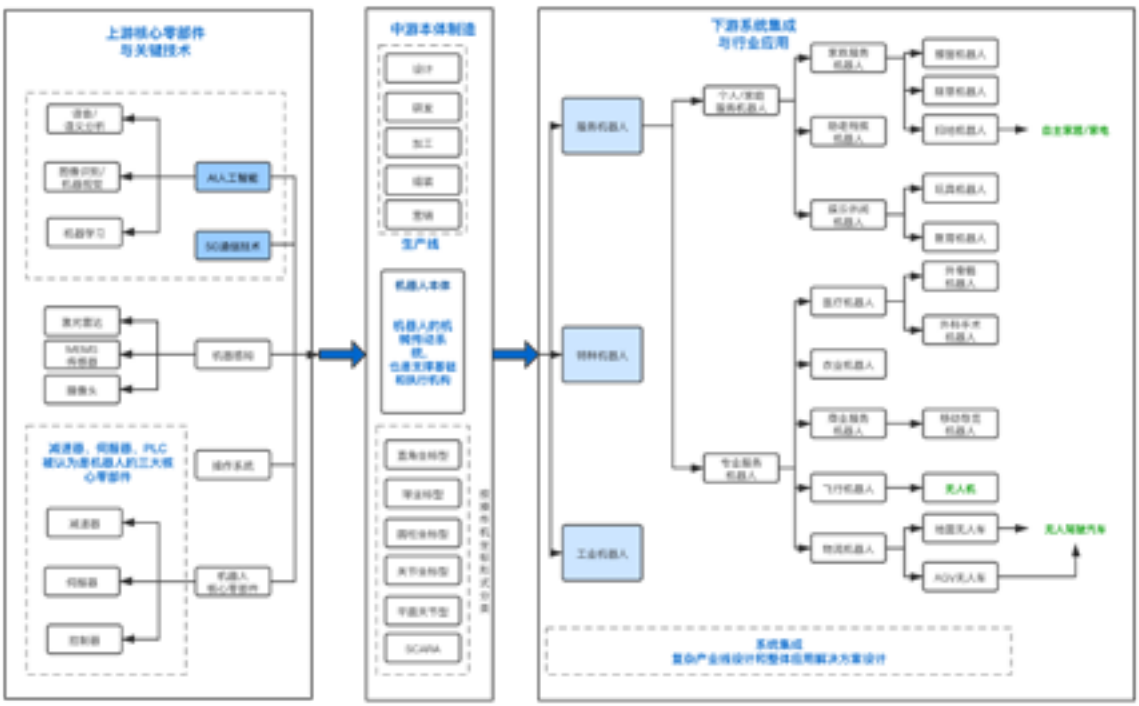
机器人 3.0(2015–)，伴随着感知、计算、 控制等技术的迭代升级和图像识别、自然语音处理、深度认知学习等新型数字技术在机器人领域的深入应用，机器人领域的服务化趋势日益明显，逐渐渗透到社会生产生活的每一个角落。 在机器人 2.0 的基础上，机器人 3.0 实现从感知到认知、推理、决策的智能化进阶。



图：机器人的三大发展阶段”　资料来源：中国信息通信研究院《人工智能时代的机器人 3.0 新生态》白皮书、InfoQ 研究院

三、产业链纵览

【1】产业链全景



图：自主事物（自主机器人）产业链全景　　资料来源：InfoQ 研究院

工业机器人的架构和设计理念与服务机器人有本质区别：

根据 IFR 的分类方法，机器人大致可分为工业机器人和服务机器人两类。传统的工业机器人主要应用于汽车整车和零部件、电子制造、金属和机械、食品加工等方面，其主要特点是按照预定的程序，沿规定路径完成规定动作。服务机器人涵盖的范围非常广泛，包括医疗、 物流、农业、商业、民用等方面。通过人工智能技术的使用，可通过数据采集、分析、计算， 服务机器人能够学习人类的行为，理解人类的意图，与人类产生协作。 并在目前强调在开放非预设环境下完成轻型、非高精度作业，且尽可能低成本之下的可接受寿命，而且由于直接与人接触，故而对于安全性和可靠性要求更高。

工业机器人的核心在于上游三大零部件，即控制器、伺服电机、减速器，服务机器人的核心不在硬件，而在于传感器和人工智能算法。

【2】整体概述

我们将自主事物（自主机器人）产业链分为上中下游：

上游是关键零部件生产厂商，主要是减速器、控制系统和伺服系统，技术壁垒高；以及 AI 技术模块供应商，主要提升的是机器人关键零部件的性能，具有决定性作用；

中游是机器人本体制造环节，即机座和执行机构，包括手臂、腕部等，部分机器人本体还包括行走结构，是机器人的支撑基础和执行机构，属于重资产环节；

下游是系统集成商，从上游采购设备，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，国内企业大都集中在这个环节上。生产出来的机器人只有通过系统集成之后，完成产线的组装和调试，才能投入到下游的汽车、电子、金属加工等产业，为终端客户所用，收益率高但技术含量低导致竞争激烈。

国内企业在工业机器人的布局方面，我们通过对产业链的国内上市公司梳理，发现如下表所示，工业机器人核心零部件的技术壁垒较高，尤其在高端的零部件环节，短期内国产化替代的难度较高，我们关注技术研发的推进，带来的国产化工业机器人所占市场份额的提升。

产业链环节	国内上市公司
核心零部件	埃斯顿、汇川技术、英威腾、上海机电、泰川机床等
本体制造	机器人、博实股份、天奇股份、亚威股份、佳士科技、华中数控、华昌达、科远智慧等
系统集成	软控股份、瑞凌股份
自动化工程	天奇股份、三丰智能、智云股份、蓝英装备等
成长驱动力	美的集团、格力电器等

图：工业机器人产业链国内上市公司梳理　　资料来源：Wind、InfoQ 研究院

核心零部件	国外主要厂商	国内主要厂商	技术对比	市场格局
伺服电机和驱动	力士乐、安川、贝加莱、KEBA、倍福、三菱、西门子、发那科、三洋等	埃斯顿、广州数控、汇川技术、英威腾等	国内产品体积大、输出成功率偏小	日本 45%，欧美 30%，台湾和韩国 10%
本体制造	发那科、松下、三菱、那智、安川、贝加莱、KEBA、倍福、库卡、ABB 等	固高、众为兴、新时达、广州数控、埃斯顿、新松等	差距相对较小	大部分机器人企业有自己的数控系统，国内机器人控制卡比较小
系统集成	Nabtesco、HarmonicDrive、住友等	南通震康、苏州绿的、山东帅克、浙江恒丰泰、泰川发展、上海机电等	国内的精度较差、寿命短、质量不稳定	全球减速机 75% 由 Nabtesco 和 HarmonicDrive 制造销售

图：工业机器人产业链国内上市公司梳理　　资料来源：Wind、InfoQ 研究院

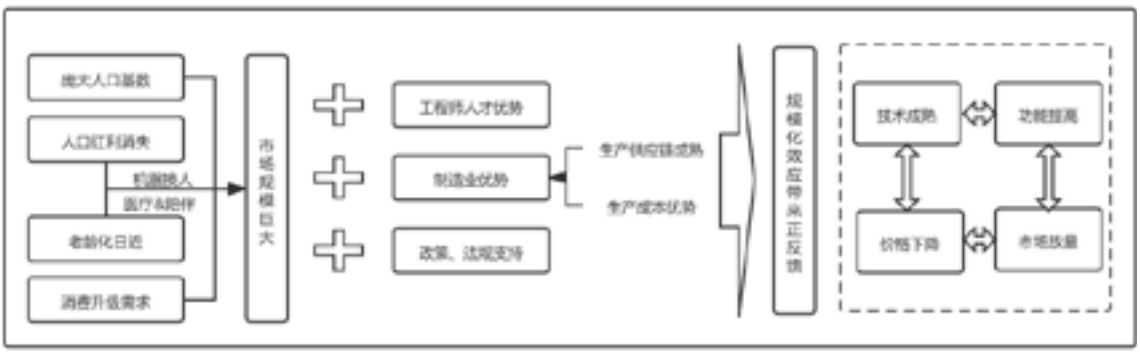
服务机器人上游核心零部件由技术驱动，主要包括芯片、激光雷达、伺服舵机等，在产业链中占比较小，但如果中下游出现快速爆发，其产能可能成为制约因素；服务机器人全产业链上国内都有全球领先的企业，核心部件并不受制于国外供应商。同时，AI 技术模块市场规模大，相对独立，数据和算法是其核心竞争力，各子技术模块之间，技术成熟度和行业集中度有较大差别，**但总体来看，国内外企业技术水平差距小，甚至部分领先，并且我国在市场规模、产业链、产业环境等方面都具备全球竞争优势。**

在底层硬件领域，中国拥有寒武纪和地平线等芯片企业，思岚科技和镭神智能等传感器企业。在 AI 技术模块领域，中国拥有科大讯飞（语音）、商汤科技（视觉）、奥比中光（体感交互）等企业。在终端产品领域，中国已经诞生了大疆创新、科沃斯、石头科技、优必选、九号机器人等一批已经成功实现商业化的企业。**AI 技术的成熟度直接从产业链上游决定了服务型机器人在下游的应用及市场接受程度，看好国内企业在上游 AI 技术模块取得突破，尤其是 5G 的突破带来的产业机会。**

本体制造是机器人产业发展的基础，市场爆发的直接受益者。我国已经具备一定的产业规模优势，但工业机器人本体的高端市场，仍由外资垄断，四大家族占市场份额合计超过 40%，国产份额 27% 主要是中低端市场渗透率提升。随着机器人本体硬件技术日趋于成熟，进步放缓，主要在结构的优化，以及软件与智能技术的应用，而带来使用体验的提升。这为国内企业的追赶，创造了窗口期。

结合巨头发展经验和产业现状，掌握自主运控的核心技术，提升本体附加值的头部企业优势会越来越大。**但对于服务机器人而言，产品标准化程度高，市场规模及扩张潜力大，核心壁垒在于品牌、渠道及产能。**

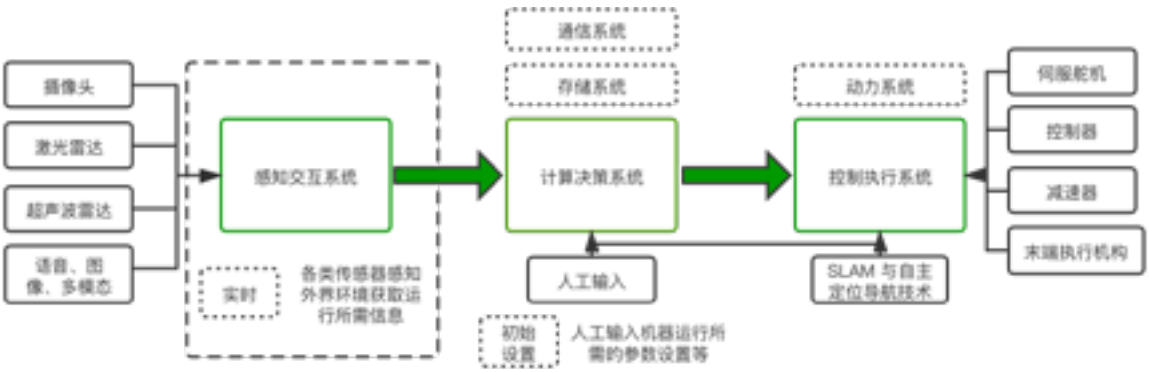
【3】产业发展驱动因素



图：产业发展驱动要素　　资料来源：思岚科技、InfoQ 研究院

四、核心驱动要素：技术分析

自主事物的工作系统或者说技术框架，把握各细分品类背后一致性的规律后，我们做最简概括，可以分为感知 – 决策 – 执行三个层面：



图：自主事物的的技术框架　　资料来源：InfoQ 研究院

感知交互系统

感知环境的激光雷达、毫米波雷达、摄像头、红外夜视和组合导航设备，感知无人车自身的包括压力传感器、流量传感器、陀螺仪及加速度传感器等传感器都属于感知层面的零部件。 以及计算机视觉算法的加持，提高了交互的体验和准确度。

计算决策系统

对收集的信息进行计算处理并根据算法制定决策，从而实现相应功能；例如高精度地图定位、云平台、V2X 通信等系统为物流机器人进行路况或环境判断，规划最优行驶路径，起到决策作用。因为涉及移动执行，在不影响技术理解的前提下，我们姑且把自主定位与导航技术，放到控制执行系统部分展开。

控制执行系统

将计算处理系统输出的信号通过各种控制器执行器实现。例如无人驾驶汽车在软硬件层面包括包括转向、油门、制动、照明、电机等。一般机器人则更重视把握核心三大零部件：控制器、伺服器（伺服舵机）、减速器。

在这套系统中，机器人等各类事物要实现更高层次的自主，具体而言，需要：

·有更多的传感器来获得更高精度的机器人周围环境模型；

·有更好的传感器连接到控制算法（和更分散的控制算法）；

·有更好的算法从传感器数据中提取尽可能多的信息；

·有更好的执行器来根据控制算法的决策更快更准确地行动；

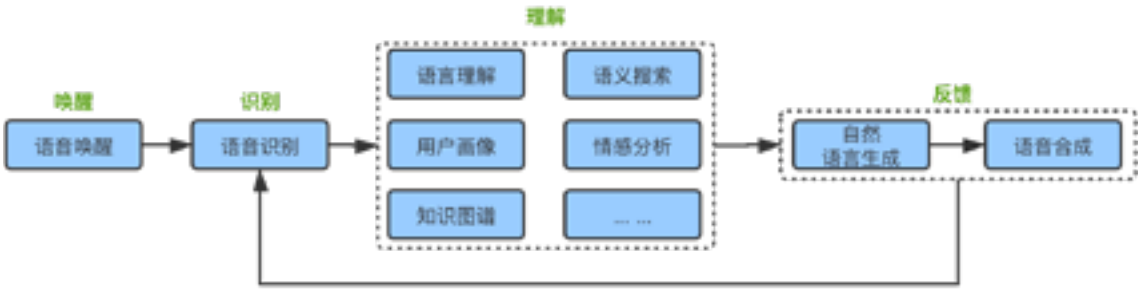
·有足够空间集成各类芯片，形成一个整体的智能化自主化的应用产品。

【1】感知交互系统

1. 智能语音

人类获取信息的手段中 90% 依靠视觉，但表达自己的方式 90% 依靠语言。语言是人机交互中最自然的方式。但是自然语言处理 NLP 的难度很大，在语法、语义、文化中均存在差异，还有方言等非标准的语言产生。随着 NLP 的成熟，人类与机器的语音交互越来越便捷，也将推动机器人向更“智能化”发展。

语言技术的硬件主要依靠麦克风和扬声器实现。机器人的阵列式麦克风和扬声器技术已经比较成熟，随着近年智能音箱 + 语音助手的快速发展，麦克风阵列和微型扬声器被广泛使用。 在钢铁侠陪伴机器人中，与用户的语音交互都依靠麦克风阵列和扬声器，此类陪伴机器人就如同会动的“智能音箱”，拓展了边界形态。



图：对话式人工智能人机交互基本流程　　资料来源：IDC、InfoQ 研究院

语音识别

自动语音识别 (ASR) 从规则到统计再到深度学习，识别能力越来越强。自动语音识别技术 (Automatic Speech Recognition) 是一种将人的语音转换为文本的技术。 由于语音信号的多样性和复杂性，语音识别系统目前只能在一定的限制条件下获得满意的性能，或者说只能应用于某些特定的场合。

自动语音识别错误率目前已达到商用门槛。国际上公认衡量自动语音水平的参数为语音识别错误率 (WER)，人类的语音识别错误率为 4%，目前商用语音系统的 WER 在 15% 左右，达到了实用门槛。

自然语言处理

自然语言处理 (NLP)：词法和句法基本解决，语义目前仅是浅层处理。NLP 分析技术大致分为三个层面：词法分析、句法分析和语义分析。

自然语言处理难点：词义消歧是瓶颈，中文相对英文更难。之一：切词，中英文自然语言处理都有一个先行环节，就是把输入的字符串分解成为词汇单位；之二：词 类标注；之三：语法理论；之四：词义消歧。

自然语言处理未来的解决方式：深度学习。自然语言处理未来将依靠深度学习，具体在三个方面：词嵌入、基础模型、应用。这一部分的解决方

式与图像识别类似， 具体内容将在下面图像识别处继续说明。

NLP 技术近一年来发展迅速。2012 年 AlexNet 是计算机视觉领域的一大突破，时至今日计算机视觉技术发展已经相对成熟。2018 年 10 月谷歌推出的大规模预训练语言模型 BERT，实现了迁移学习。初创企业利用 BERT 模型，能够大大降低运用 NLP 技术的成本。过去一年，NLP 算法的准确度也不断提高，2019 年 3 月，在斯坦福大学 SQuAD 机器阅读理解测试中，科大讯飞团队模型首次在精确匹配、模糊匹配中全面超过人类水平。6 月 XLNet 在 20 项任务上全面超越 BERT；7 月，Facebook 改进 BERT 后的 RoBERTa 模型则再次超越了 XLNet。

2. 图像识别

图像识别的主要应用形式是机器视觉，得益于 AI 技术为图像识别性能带来的提升。

机器视觉硬件

机器视觉四大基本功能为模式识别 / 计数、视觉定位、尺寸测量和外观检测。

根据 Grand View Research 的预测，到 2025 年全球机器视觉市场空间将超过 180 亿美元，年均复合增速 7.7%; 这主要为对工业领域的预测，扫地机器人、物流分拣等民用产品的创新也为机器视觉打开新的成长空间， 例如扫地机器人使用双目视觉为避障解决方案。目前常用的视觉传感器主要有：摄像头、ToF 镜头和激光雷达技术，用于采集周围环境信息。

（1）机器视觉相机

摄像头通过收集反射到三维环境对象上的光来捕捉二维图像。图像质量通常取决于环境条件，即不同的天气条件，不同的光照环境，都会对图像质量产生不同的影响。计算机视觉和机器学习算法通常用于从捕获的图像 / 视频中提取有用的信息。目前，由于单目像头难以对物体距离进行测量，通过多台摄像头利用三角测原理实观距离测量的立体视觉方法得到广泛应用。多目立体摄像头，可在一定程度上实现深度、距离的感知。

（2）激光雷达技术

激光雷达是一种采用非接触激光测距技术的扫描式传感器，其工作原理与一般的雷达系统类似，通过发射激光光束来探测目标，并通过搜集反射回来的光束来形成点云和获取数据，这些数据经光电处理后可生成为精确的三维立体图像。采用这项技术，可以准确的获取高精度的物理空间环境信息，可在较长距离内（当前车用最长距离为 120m）实现感知，测距精度可达厘米级。

激光雷达具有最强大的精度和测距，但与其他发展较成熟的摄像头、毫米波雷达等传统传感器相比，激光雷达仍是一个在不断变化中的技术，也仍是一个量产难度较大的技术。 根据 GGII 的数据，百度、谷歌无人汽车采用的激光雷达，成

本在 2–8 万美元，价格几乎与汽车本体相当。但国内一些厂商如镭神智能，已经在技术和生产突破后大幅降低激光雷达售价，为扩大量产应用打下基础。

（4）ToF 摄像头技术（基于 ToF 机器视觉的超宽带定位技术）

TOF 是飞行时间 (Time of Flight) 技术的缩写，即传感器发出经调制的近红外光，遇物体后反射，传感器通过计算光线发射和反射时间差或相位差，来换算被拍摄景物的距离， 以产生深度信息，此外再结合传统的相机拍摄，就能将物体的三维轮廓以不同颜色代表不同距离的地形图方式呈现出来。

基于 ToF 技术，主要可用来进行高精度测距与定位，目前常用的就是超宽带定位技术。目前 ToF 用在智能手机的后置镜头中，用来进行测距及 AR 应用为主。 UWB(超宽带) 是一种无线通信技术，可用于高精度测距与定位。UWB 传感器精简设备分为标签和基站两种。其基本工作方式是采用 TOF 的方式来进行无线测距，根据测距值快速准确计算出位置。（资料来源：https://baike.baidu.com/item/TOF/19952376 ）

AI 视觉技术算法

视觉技术包括：人脸技术、物体检测、视觉问答、图像描述、视觉嵌入式技术等。AI 的核心就是数据算法算力。计算机视觉是从深度学习入手，侧重对软件算法的开发。可以自动提取图像、视频等视觉数据中蕴含的层次化语义概念及多语义概念间的时空关联等。应用于工业的机器视觉软件注重特征识别的同时，兼顾硬件配合。我国正处于人工智能的试点阶段，计算机视觉技术引领机器视觉进一步突破。

（1）人脸技术

人脸检测能快速检测人脸并返回人脸框位置，准确识别多种人脸属性；人脸对比通过提取人脸的特征，计算两张人脸的相似度并给出相似度百分比；人脸查找实在一个指定人脸库中查找相似的人脸；给定一张照片，与指定人脸库中的 N 各人脸比对，找出最相似的一张脸或多张人脸。根据待识别人脸与现有人脸库中的人脸匹配程度，返回用户信息和匹配度，即 1：N 人脸搜索。

（2）物体检测

基于深度学习及大规模图像训练的物体检测技术，可准确识别图片中的物体类别、位置、置信度等综合信息。

（3）视觉问答

视觉问答系统可将图片和问题作为输入，产生一条人类语言作为输出。

（4）图像描述

需要能够抓住图像的语义信息，并生成人类可读的句子。

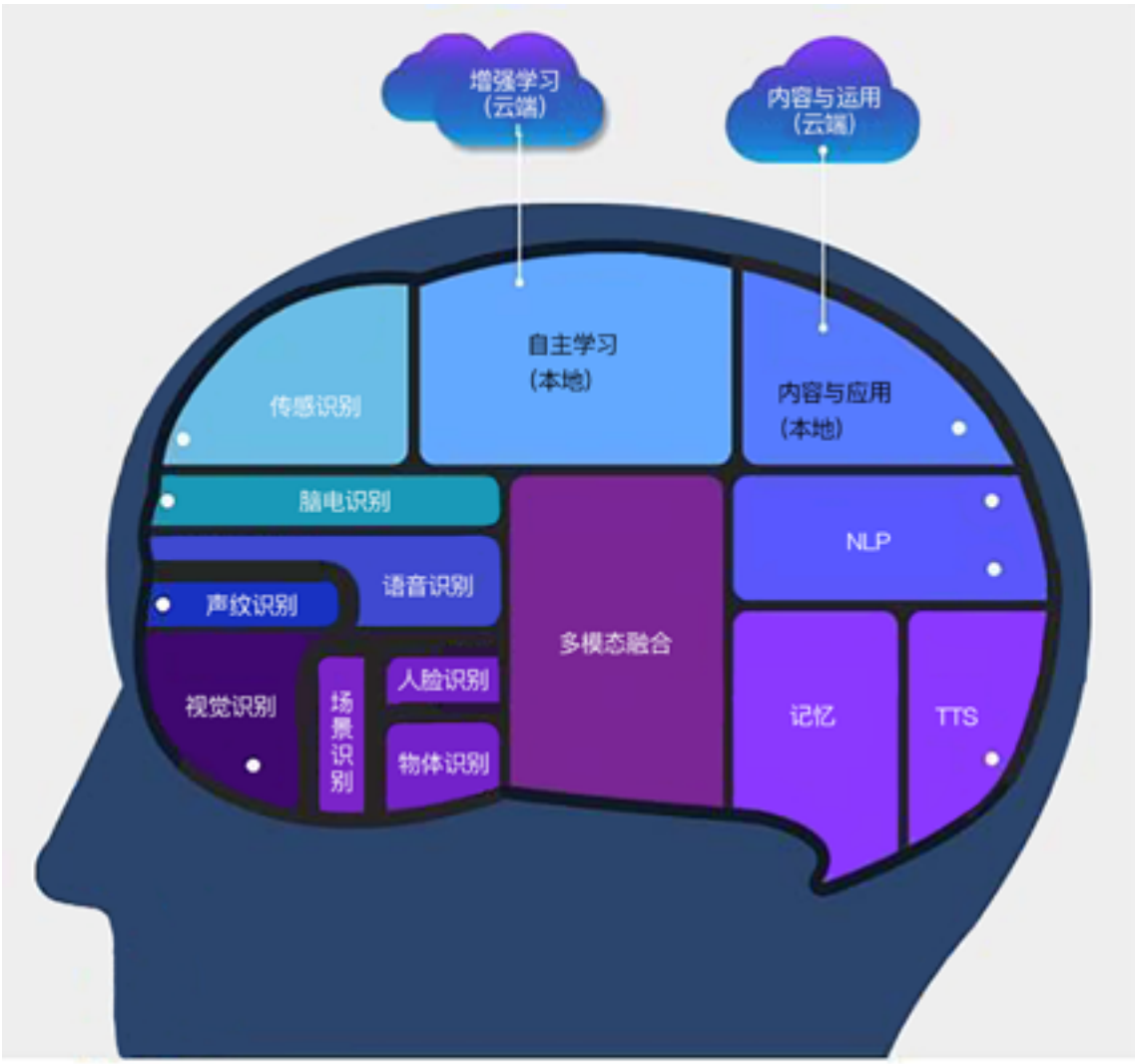
（5）视觉嵌入式技术

包括人脸检测跟踪、场景识别等。

3. 体感技术与多模态交互

手势和体态动作也是人与人之间自然的交互方式之一，体感技术主要通过 3D 视觉设备感知人体的动作、运动轨迹和环境信息，因此也可以归入图像识别领域。**如何降低操控和人际交流的复杂程度是体感和手势交互的重点。**

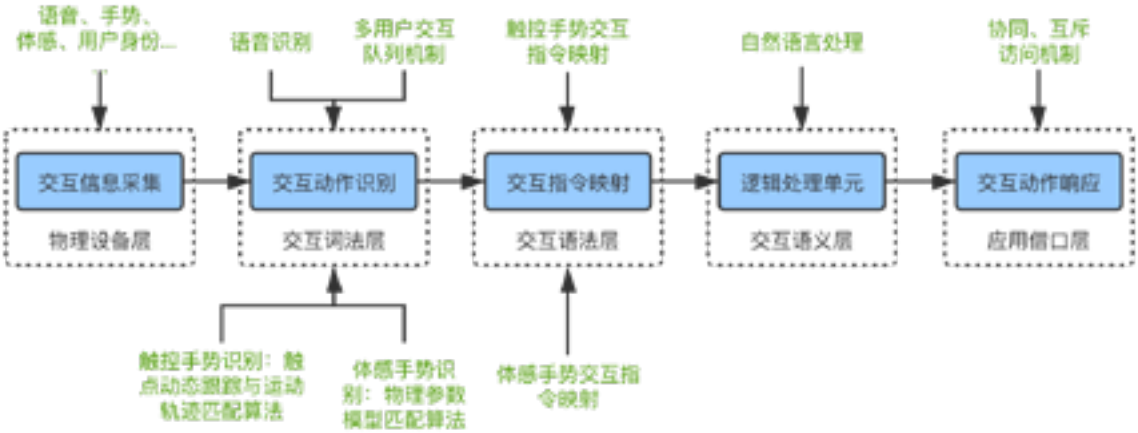
不同形式的输入组合（例如，视觉、语音、手势、触摸、凝视等）被称为“多模态”交互模式，以支持自然的用户选择。其表达效率和表达的信息完整度，都要优于传统单一的交互模式。多模态交互将是自主机器人走向场景化应用不可或缺的环节。



图：数据模态的多样性　　资料来源：门罗公园、InfoQ 研究院

目前体感识别主要结合 VR、智能电视等设备，比如 Microsoft Kinect、Leap Motion、Usens 等公司用于游戏、娱乐等领域，在智能机器人方面应用较少。

在“多模态”领域，特别是如嗅觉、味觉、触觉、心理情绪等无法量化的信号，仍未找到合理的量化方式。因而，短期内，在限定场景的条件下，“多模态”融合技术的应用尚且值得期待。在开放式人机交互中，尤其是多轮人机对话，涉及到语音识别、图像识别、语义分析、情感分析、动作捕捉等多个维度时，技术实现难度较大，目前尚未有很好的成果与应用。



图：多模态人机交互系统及其控制方法（示意图）　　数据来源：中国电子科技集团公司第二十八研究所、InfoQ 研究院

4. 高精度传感器

(1) 飞行时间（ToF）光学传感器：这种传感器基于 ToF 原理，采用光电二极管（单一的传感器元件或一个阵列）和有源照明来测量距离。把从障碍物反射的光波与发射波进行比较，从而测量延迟，该值即代表距离。此数据有助创建对象的 3D 地图。

(2) 温度和湿度传感器 许多机器人需要测量温度，有的时候还要测量其所在环境与其部件的湿度，包括电机和主 AI 母板，以此确保它们在安全范围内运行。

(3) 超声波传感器：如果机器人在明亮环境下看不到东西或者在很暗的环境中找不到它自己，就说明视觉传感器没有工作。通过传输超声波和聆听从对象上反射回来的回波（类似于蝙蝠操作的原理），超声波传感器可在黑暗或明亮的环境中出色运行，克服光学传感器的局限。

(4) 震动传感器：工业震动传感是预防性维护所必要的条件监控的核心部分。集成式电子压电传感器是工业环境中最常用的震动传感器。

(5) 毫米波传感器：毫米波传感器使用无线电波及其回波来确定移动物体的方向和距离，方法是测量三个因素：速度、角度和范围。这帮助机器人基于物体接近传感器的快慢来采取更多的预防措施。雷达传感器在黑暗环境中的运行具有卓越性能，它能通过如干壁、塑料和玻璃等材料进行传感。

【2】计算决策系统

1. 智能芯片

芯片是指内含集成电路的硅片， 是机器人的大脑。芯片包括通用芯片和专用芯片，通用芯片不限使用领域，而专用芯片一般为专门为服务机器人定制。根据摩尔定律，单位面积芯片容纳的晶体管个数会不断增长，芯片的发展也随之不断走向小型化，AI 算力的提升。

对于机器人来说，由于涉及到深度神经网络，故在计算量上将会更大，通用芯片中 GPU（图形处理器）和 FPGA（现场可编程门阵列）在解决这问题上优于传统 CPU（中央处理器）， 扩展性和移植性较好，但是软件复杂度和开发周期较高；相比之下，专用芯片能实现更高的效率和更低的功耗，但是目前整体处于研发阶段，根据目前的资料，虽然其扩展性和软件移植性不如通用芯片，但是软件复杂度和开发周期优于通用芯片。

AI 人工智能芯片类别	通用芯片（GPU）	半定制化芯片（FPGA）	全定制化芯片（ASIC）	类脑芯片	片上芯片（SOC）
特点	具备通用性	可编程，功耗和通用性一般	可定制、性能稳定、功耗可控	功耗低、响应速度快、处于早期阶段	与前面几种，不属于一个维度
代表公司	英伟达、AMD	深鉴科技、Intel	寒武纪、地平线、谷歌、比特大陆	西井科技、IBM	苹果（A 系列）、华为（麒麟）、高通（晓龙）

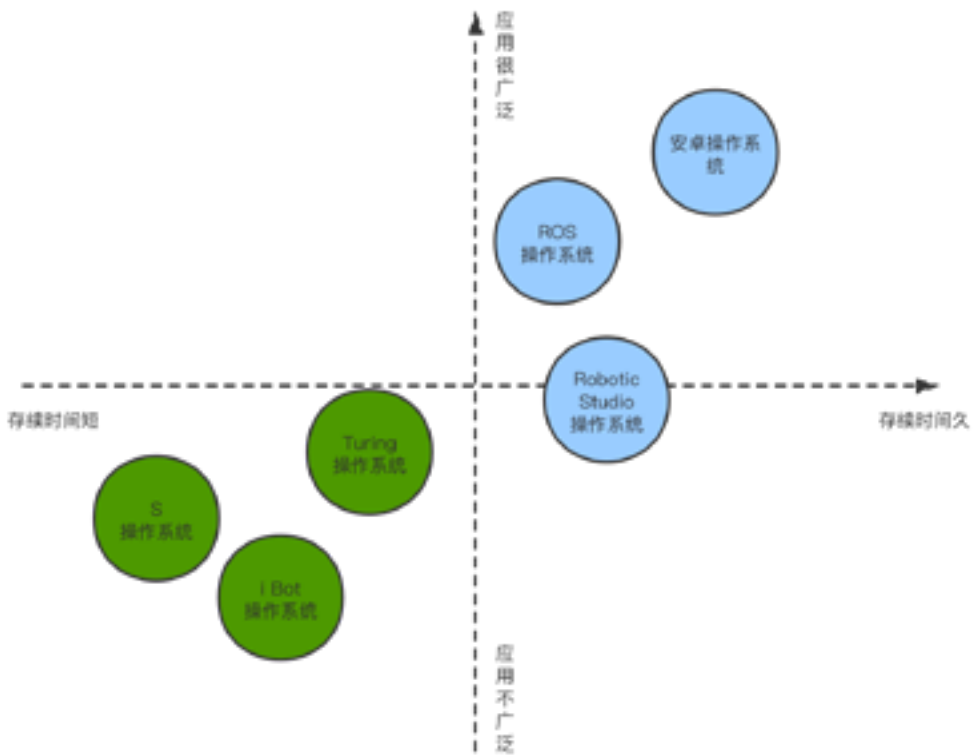
图：AI 人工智能芯片分类　　资料来源：公司招股说明书、华西证券研究所、InfoQ 研究院

地域	名称	简介
国外	英伟达 Tesla P100	首个专为深度学习加速计算而设计的图形处理芯片架构
	谷歌 TPU	面向机器学习张量处理的加速芯片
	IBM TrueNorth 芯片	TrueNorth 以分布式、并行的方式来存储处理信息，支持 SNN
	高通 Zeroth 芯片	按照人类神经网络传输信息的方式而设计，支持 SNN
	AUdience 神经形态芯片	可以模拟人耳抑制噪音，应用于智能手机
国内	中星微	中国首个嵌入式神经网络芯片 NPU
	寒武纪	全球首个提出深度学习处理器芯片指令集
	地平线机器人	专注于人工智能本地化机器学习芯片
	深鉴科技	利用 FPGA 平台打造人工智能芯片 DPU
	灵汐科技	类脑处理芯片，支持 DNN/SNN 混合模式

图：AI 人工智能专用芯片（包括类脑芯片）研发情况　　资料来源：华泰证券研究所、InfoQ 研究院

2. 操作系统

机器人操作系统是为机器人标准化设计而构造的软件平台，它使得每一位机器人设计师都可以使用同样的平台来进行机器人软件开发。标准的机器人操作系统包括硬件抽象、底层设备控制、常用功能实现、进程间消息以及数据包管理等功能，一般而言可分为低层操作系统层和用户群贡献的机器人实现不同功能的各种软件包。它能够有效地提高机器人研发代码的复用率，简化多种机器人平台之间创建复杂性和鲁棒性机器人行为的任务量。



图：服务机器人操作系统　资料来源：广发证券发展研究中心、InfoQ 研究院

全球机器人主流操作系统是 ANDROID 和 ROS，两者均基于 LINUX 内核。作为是全球智能手机第一大操作系统，ANDROID 系统自 2007 年谷歌发布至今，业已成为主流的机器人操作系统之一。软银的 PEPPER 机器人便是使用的 ANDROID 系统。如此受欢迎有两个重要原因：代码完全开源，使用完全免费并且审核上相对宽松。

ROS 是专门为机器人设计的一套开源操作系统，2007 年斯坦福大学人工智能实验室与机器人技术公司 WILLOW GARAGE 针对其个人机器人项目（PERSONAL ROBOTS PROGRAM）开发了 ROS 的雏形。ROS 充当的是通信中间件的角色，即在已有操作系统的基础上搭建了一整套针对机器人系统的实现框架。ROS 还提供一组实用工具和软件库，用于维护、构建、编写和执行可用于多个计算平台的软件代码。支持 C++，PYTHON 等多种开发语言。

	安卓系统	ROS 系统	其他系统
是否开源	是	是	通常不开源
是否具有现成程序包	有大量现成程序	有 2000 多个工具包	基本没有
是否支持多语言	支持	支持 C++、Python、Octave 和 LISP	支持
应用案例	优必选	ClearPath / Rethink / Unbounded / Neurala / Roomba	奥飞动漫、多啦 a 梦

图：几种机器人操作系统对比　　资料来源：广发证券发展研究中心、InfoQ 研究院

除此之外，2015 年 Ubuntu 首度推出了一个专门针对物联网设备设计的新 Snappy Ubuntu Core，整合了更多云端和虚拟技术，并宣称能够在无人机、机器人上更顺畅地运行。法国 Aldebaran 公司自主开发的 NAOqi 操作系统也较为知名，国产操作系统 TuringOS、iBot OS 等也在突破。

小 i 机器人 iBot OS

由小 i 机器人自主研发的智能机器人云操作系统——iBot OS，采用离线和在线相结合的服务模式，能够帮助普通机器人和硬件设备实现深度学习的智能人机交互能力，使其具备智能感知能力、智能认知能力、智能协作能力、逻辑分析能力、自主学习能力和情感表达能力。

iBot OS 具备全面的跨平台性和强大的硬件适配能力，“Lite 版本”为单片机等嵌入式系统提供支持功能，可运行于低成本低主频的嵌入式硬件内，为硬件增加智能处理能力，同时也兼容 x86 和 Arm 等主流硬件平台，能够桥接 ROS、Linux、Windows 和 Android 等各种操作系统。

图灵机器人操作系统 Turing OS

2015 年 11 月，图灵机器人发布了他们的人工智能机器人专属操作系统 Turing OS，依靠其背后运行的思维强化引擎、情感计算引擎以及自学习引擎，提升机器人的多模态交互能力。也是中国首批人工智能级可商用的机器人操作系统之一，Turing OS 拥有情感计算、思维强化、自主学习三大引擎，情感计算引擎已支持 25 种语言类情感识别，识别准确率达 95.1%，而在情感表达方面，Turing OS 支持 468 类情感语言表达，88 套表情动作表达组合，120 种声音语调，能够让机器人模拟人类 80% 的情感表达模式。

服务机器人操作系统的特殊性：安全问题。

作为服务机器人“大脑”的人工智能的安全性是社会关注的焦点之一，而操作系统是连接硬件和软件的中枢，其在安全性上的影响程度不言而喻。

【3】控制执行系统

控制系统是提高机器人性能的关键因素，主要包含位置控制、速度控制、加速度控制、转矩或力矩控制几种控制类型。随着机器人技术的发展，对于无法精确解析建模的物理对象以及信息不足的病态过程，传统控制理论暴露出缺点，近年来许多学者提出了各种不同的机器人智能控制系统。

1. 伺服舵机

舵机是步态服务机器人的核心部件，也叫伺服电机，包含了电机、传感器和控制器，是一个简单而完整的伺服电机系统。由于可以通过程序连续控制其转角，可以得到比较精准的位置、 速度或力矩输出，因而广泛用于机器人各类关节运动中。**步态机器人自由度（关节数）众多，因此对舵机价格十分敏感。**

舵机价格昂贵，国内优必选公司突破技术壁垒降低成本。优必选开发的舵机内置 MCU 系统，自主改进 PID 算法，扭矩大，体积小，控制精度高，获得多项发明专利。当初优必选也是由于突破了舵机技术后，才选择自主创业，并由此建立技术壁垒的同时，不断拓展行业应用。

2. 其他核心零部件简

运动控制器

运动控制是指在复杂条件下将预定的控制方案、规划指令转变成期望的机械运动，实现机械运动精确的位置控制、速度控制、加速度控制、转矩或力的控制。

高精度高效率减速器

减速机在原动机和工作机或执行机构之间起匹配转速和传递转矩的作用，减速机是一种相对精密的机械，使用它的目的是降低转速，增加转矩。按照传动级数不同可分为单级和多级减速机。

高性能末端执行器

抓取与操作功能的多指灵巧手和具有快换功能的夹持器等末端执行器。

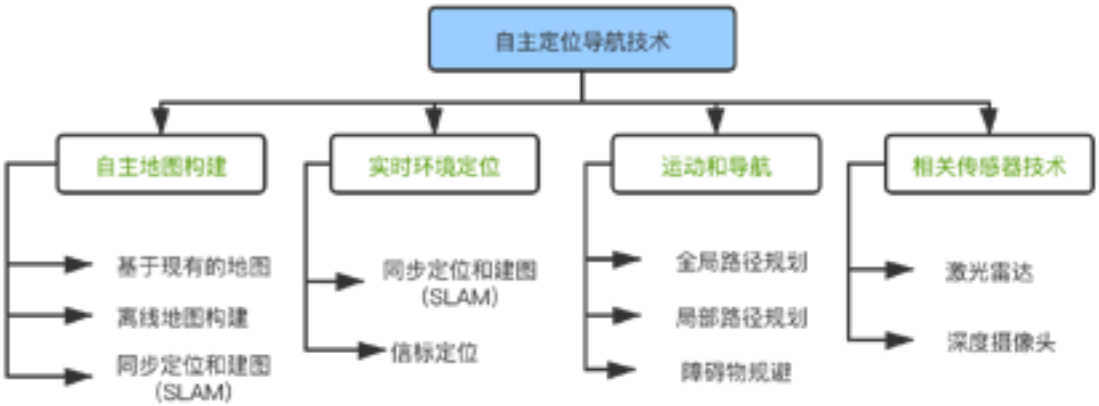
机器人专用配件

专用电池、应用配套用工辅具、专用轴承。

3. SLAM 与自主定位导航技术

与工业机器人相比，服务机器人目前的智能化程度更高， 主要是利用优化算法、神经网络、模糊控制和传感器等智能控制技术来进行自主导航定位以及路径规划，可以脱离人为控制而自主规划运动。

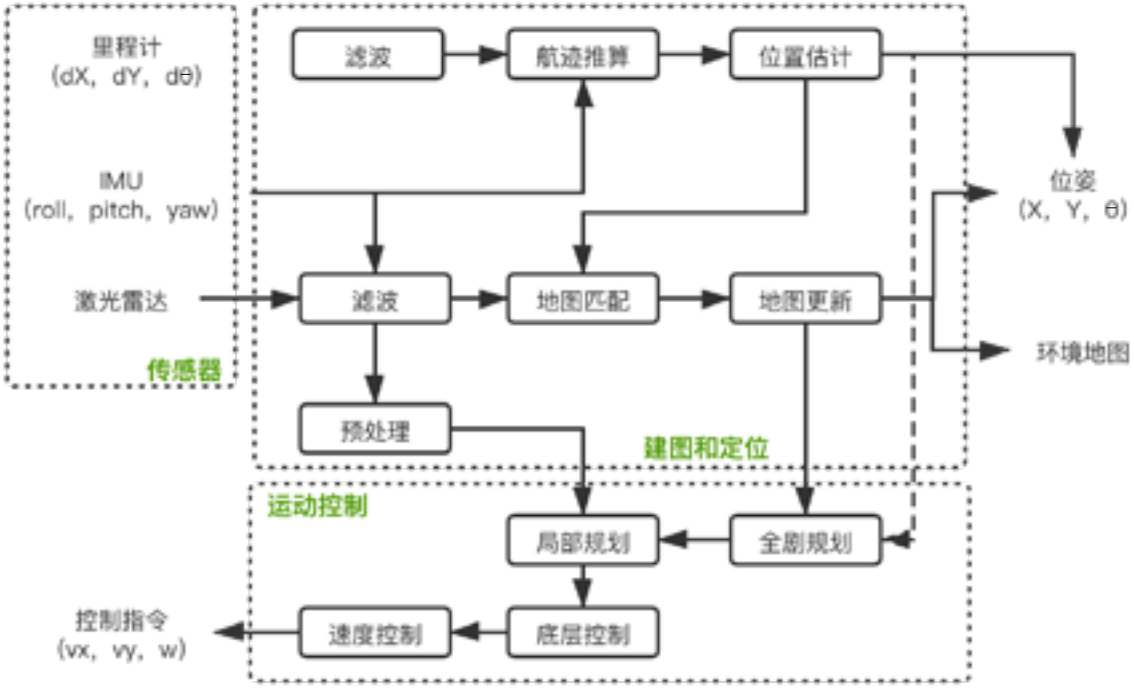
定位导航技术是实现机器人智能行走的第一步，本质上就是帮助机器人实现自主定位、建图、路径规划及避障等能力。通过机器人的感知能

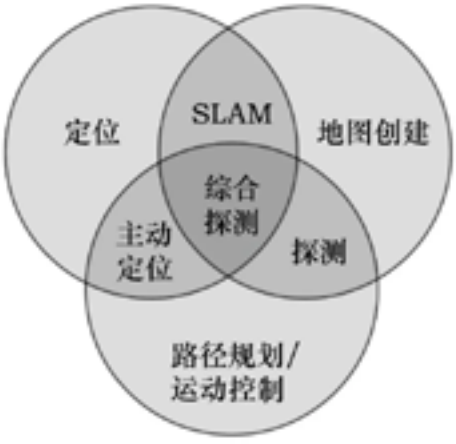


图：自主定位导航技术　　资料来源：思岚科技、InfoQ 研究院

力，需要借助眼睛（如激光雷达）来帮助机器人完成周围环境的扫描，配合相应的算法，构建有效的地图数据，完成运算，实现机器人的自主定位导航。

按照所实现的功能划分，自主定位导航技术主要包含了以下内容： 在实际工作中，每个部分都是紧密相连的，下图展示的是一个典型自主定位导航系统内部各组件的框架：





图：SLAM 与各领域关系图　　资料来源：思岚科技、InfoQ 研究院

定位

在机器人实时定位问题中，由于通过机器人运动估计得到的机器人位置信息通常具有较大的误差，我们还需要使用测距单元得到的周围环境信息更正机器人的位置。

目前，常见的测距单元包括激光测距、超声波测距以及图像测距三种。其中，激光雷达凭借良好的指向性和高度聚焦性，成为移动机器人的核心传感器，同时它也是目前最可靠、最稳定的定位技术。

常见的定位技术	原理简介
航迹推算法（相对定位）	已知机器人初始方位，机器人移动时利用装载的加速度计，罗经，陀螺仪等传感器得到机器人所走路程，从而 实现机器人定位
传感器定位	利用激光传感器、超声波传感器等获取距离信息从而实现定位
地图匹配定位	通过视觉摄像头或传感器探测周围环境并进行局部地图构建，与机器人预先存储的地图进行对比，确定机器人所处位置
无线射频识别定位	通过读取器接收无线射频标签的 ID 码和其他信息，从而得到机器人的具体方位
WI-FI 定位	在机器人移动过程中，将接收到 WIFI 信号的强弱程度与机器人储存的 WIFI 地图进行匹配，得到机器人方位

图：常见的定位技术汇总　　资料来源：《服务机器人导航技术研究进展》、InfoQ 研究院

建图

地图一方面可以帮助机器人配合自身的传感器进行实时定位，同时也用于后续展开行动时，导航过程的路径规划。虽然环境地图可以通过事先人为绘制并提供给机器人设备，但由于这类人为绘制的地图大多与真实场景存在区别，且与机器人传感器所观测的数据存在区别，因此在实际应用中存在挑战。

目前，机器人 SLAM 建图主要有激光 SLAM 和 VSLAM 两种。在实现机器人定位导航技术中，目前主要涉及到激光 SLAM 及视觉 SLAM ，激光 SLAM 主要采用 2D 或 3D 激光雷达，但应用于机器人上主要以 2D 激光雷达为主，通过激光雷达可实时采集周围物体的环境信息，对采集到的物体信息呈现出一系列分散的、具有准确角度和距离的点云数据，通过激光 SLAM 系统对不同时刻的两片点云数据进行匹配与比对，计算激光雷达相对运动的距离和姿态的改变，也就完成了对机器人本身的定位。

而视觉 SLAM 方案目前主要有两种实现路径，一种是基于 RGBD 的深度摄像机，比如 KINECT，还有一种就是基于单目、双目或者鱼眼摄像头。基于深度摄像机的视觉 SLAM，与激光 SLAM 类似，也是通过收集到的点云数据，来计算障碍物的距离。基于单目、鱼眼相机的视觉 SLAM 方案，主要是利用多帧图像来估计自身的位姿变化，再通过累计位姿变化来计算距离物体的距离，并进行定位与地图构建。

近年来，由于视觉 SLAM 受环境光限制较多，无法在暗处工作，目前仍处于研发和应用拓展及产品逐渐落地阶段。**而激光 SLAM 凭借稳定性高、不受光线影响等优势，再加上激光雷达成本的逐渐下降，被认为是目前最具优势的定位导航方案。**

优 / 劣势	激光导航 (LDS SLAM)	视觉导航（VSLAM）
优点	可靠性高，技术成熟	结构简单，安装的方式多元化
	建图直观、精度高、不存在累计误差	无传感器探测距离限制，成本低
	地图可用于路径规划	可提取语义信息
劣势	受 Lidar 探测范围限制	环境光影响大，暗处（无纹理区域）无法工作
	安装有结构要求	运算负荷大，构建的地图本身难以直接用于路径规划和导航
	地图缺乏语义信息	传感器动态性能还需提高，地图构建时存在累计误差

图：激光雷达导航与视觉导航的对比　　资料来源：石头科技、科沃斯公告、新浪众测、InfoQ 研究院

路径规划

SLAM ≠自主定位导航，不解决运动问题，需要在完成 SLAM 之后，进行一个叫做目标点导航的能力，规划一条从 A 点到 B 点的路径出来，然后让机器人移动过去。

路径规划分为：全局规划和局部规划。

全局规划：是最上层的运动规划逻辑，它按照机器人预先记录的环境地图并结合机器人当前位姿以及任务目标点的位置，在地图上找到前往目标点最快捷的路径。

局部规划：当环境出现变化或者上层规划的路径不利于机器人实际行走的时候（比如机器人无法按照规划的路径完成特定转弯半径的转向），局部路径规划将做出微调。

这种从 A 点到 B 点进行路径规划并控制移动的运动规划算法的目标在于尽可能快速的抵达目的地，同时避免让机器人进入环境中的无关区域。但是在针对一些特殊情况，如：扫地机器人，需要的就不是规划从 A 点到 B 点的最短路径，而是尽可能覆盖 A 到 B 点的全部区域。

导航技术

导航类型	优点	缺点
惯性导航	隐蔽性好，不易受外界干扰	误差累计
红外导航	方向性强，测量精度高	探测视角小，很难探测到前方狭小障碍物、透明物体或深色物体
超声导航	成本低，结构简单，不受光线影响	易受物体表面形状影响，无法探测远距离物体，方向性差
激光导航	精度高	价格贵
视觉导航	获取信息完整	需处理的信息量大、远距离导航精度低

图：导航技术的分类及优缺点比较　　资料来源：《服务机器人导航技术研究进展》、华金证券研究所、InfoQ 研究院

所以，除了上述两种较为典型的路径规划算法之外，还需要与实际应用相结合的算法模型。因此，让机器人实现定位、建图以及导航，还是有非常多的工作要做的。这个需要整个行业共同努力的，也是目前的主要挑战之一。

五、商业模式与发展逻辑

【1】商业模式梳理

1. 工业机器人，根据产业链的技术和资本要求，商业模式可分为 5 类。

模式	代表企业	模式路径	发展情况
纯零部件	中大力德(RV 减速器)、双环传动(RV 减速 器)，南通振康(RV 减速器)、绿地谐波(谐波 减速器)、来福谐波(谐波减速器)、固高科技(控制+伺服)	核心零部件的研发技术壁垒高，企业多从相关业务延伸(如工业控制到机器人运动控制，机械齿轮延伸到机器人减速器)误差累计	机器人运动控制/减速器在国产企 业业务占比仍比较低，技术有较 大进步仍落后外资
纯本体	快克股份(焊接机器人)、伯朗特(多关节机器 人)，珞石科技(多关节机器人)、遨博智能(协作机器人)、勃肯特(并联机器人)等	本体企业来源多样，技术壁垒不高，纯本体企业多为初创企业， 是一种过渡模式	纯本体企业上下游均受制于人，盈利较差，大部分公司都会往下游或上游拓展
纯系统集成	克来机电(汽车电子)、华昌达(汽车焊装)、三丰智能(汽车焊装)、赛腾股份(3C 电子)	多为自动化集成企业的升 级，深耕下游行业多年	成功企业往往专注于特定行业做深做强，盈利能力较高，本土化优势明显，规模较大
零部件+本体	埃斯顿(伺服、控制器、本体)、新时达(伺服 +本体)、达野智能(控制+多关节)、配天机器 人(控制伺服+多关节)	多基于核心零部件技术延伸到本体，是常见的发展路径	掌握核心运控技术+本体是外资巨 头发展较好模式，国产技术还在 追赶，模式尚未跑通
本体+集成	机器人(本体、物流等多领域集成)、拓斯达(本体+化工/3C 集成)、博实股份(高炉前机 器人+化工集成)	多数企业为系统集成企业向上游拓展本体	本体竞争力较弱、自用为主，发展类似于纯系统集成企业

图：中国工业机器人企业商业模式分析　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

2. 服务机器人及其他之水平型：做技术

水平型的公司以技术和成本为核心。 自主研发语音识别、图像识别、SLAM 等核心上游技术，并对外输出。从事 AI 技术模块的公司，核心在于提高其 AI 水平。核心零部件公司如芯片、激光雷达公司等，核心在于提高其性能和降低其成本，而操作系统公司将入口接口统一并且易开发是其主要任务。**为应对多元化的应用场景，这类平台级的公司面临的问题就是核心技术的快速提高，各种不同平台和场景的兼容或者说迅速应用。**

判断产业机会时，在技术领域，虽然面向的市场面较广，带来较大弹性，但需要判断技术是否具

备商业化的条件，例如，受限于 AI、网络、收声等瓶颈， 市场上尚未出现让用户真正满意的语音交互类服务机器人。

3. 服务机器人及其他之垂直型：做产品

做产品的公司以场景实现为核心。是基于特定细分市场实现的，如智能家居、医疗机器人、物流搬运机器人等。这些领域的公司，将结合相关的产业集成，做基于一个点的创新。注重下游渠道建设，建立品牌壁垒和产品生态。**在判断产业机会时，在应用场景方面，能够对用户产生价值的场景，我们发现一般具有任务单一、重复度高、空间结构化等特点；**

但目前这两类商业模式互相交融，**我们发现相对成功的自主事物产业链企业一般从核心技术突破，并找到相关最佳技术落地的应用场景，通过爆款产品迭代，打开市场的同时，大幅降低生产成本，之后再横向拓展应用场景。**例如大疆航拍无人机（飞控）、科沃斯扫地机器人（室内导航移动）、优必选 Alpha 机器人（舵机）；

图：服务机器人企业的技术发展路径　　资料来源：各公司官网、中信证券、InfoQ 研究院

【2】企业经营三大关键点

在分析需求、满足方式和用户之后，服务机器人企业发展还面临三大关键难点：

技术链	供应链	资金链
对于需求痛点，结合客户特点能不能技术实现？实现程度如何？实现成本如何？	服务机器人供应链流程复杂、问题众多， 供应链管理的好坏直接决定项目周期和产品成本；包括销售供应链和生产供应链。	目前大部分服务机器人企业仍处在烧钱阶段，融资管理对持续经营和引入资源、落地业务至关重要。

【3】估值与资本市场表现

不同商业模式特征，对应估值高低不同。**参考机器人企业商业模式，核心特征包括业务切入方式，技术来源、市场空间、成长驱动力、行业地位、研发投入、议价能力等，匹配企业实际情况调整固执。**

核心模式特征	分类	估值调整
业务切入方式	目前上市公司主业即为机器人 / 相关业务延伸到机器人领域的不多，多 数并购切入机器人领域公司容易遇到整合问题	主业 > 相关业务延伸 > 并购
技术来源	自有技术团队强大，完全自主研发 ; 联合科研院所研发 ; 并购获取技术	自主研发 > 联合研发 > 并购
市场空间	不同产业链环节、不同下游，市场空间和天花板均不同	高 > 低
行业地位	参照日本，集中度提升是未来大趋势，行业龙头 / 潜在行业龙头 理应更高估值溢价	龙头 > 后排
成长驱动力	技术创新，研发新品，抢占市场 ; 人员扩张，规模效应 ; 低价低质的模 式创新	技术创新 / 规模效应 > 模式创新
研发投入	一般零部件企业研发投入较高，估值时可适当资本化进行估值	高 > 低
议价能力	反映在定价模式 (成本加成、供求定价哪个主导)，结算模式及毛利率	高 > 低

图：机器人公司估值调整参数　　资料来源：新时代证券、InfoQ 研究院

六、把握产业机会

所谓自主事物正处于技术与商业双重变革的时代，**而且随着机械自动化技术不断地与其它诸如人工智能、5G 通信技术相融合，发展也将不断提速，在不断提高产品性能，降低产品使用门槛与综合成本的同时，不断扩大其应用场景。**

【1】3C 等新兴行业自动化改造的需求刺激

机器人需求的波动，**通过【下游行业景气度 – 下游行业固定资产投资 – 机器人订单需求】的传导产生波动。上游原材料竞争格局相对稳定，工业机器人产业发展受其价格波动较小，受下游行业需求影响大。**下游行业景气度提升，产线固定资产投资加大，机器人需求订单量提升。

对比 2010、2018 年国内工业机器人市场销售结构可以发现 3C 需求由 13% 扩张到 23%，除金属加工以外的其他行业占比由 27% 提升至 32%。仓储物流、半导体、光伏、锂电等新兴行业，应用占比从 2016 年的 17% 增长至 2018 年的 22%。**目前国内汽车制造仍然是国内最主要下游应用，但占比由 50% 下降到 35%，随着 5G、智能制造和新基建的推进，3C 、半导体、新能源、物流仓储等行业自动化改造需求旺盛，扩大国内工业机器人市场总容量。**

同时随着核心零部件等技术模块的国产化取得突破，机器人价格降低，带来机器人投资回收期缩短。同时，劳动力成本的不断攀升，共同促进了机器人使用密度以及性价比的双重提升。

【2】机器人与信息系统的系统融合，由提供机器人设备，到提供全套智能化工厂建设运营方案

伴随技术发展与工业互联网的建设深入，工业机器人的功效目标从“机器换人”升级为“智能制造”，从仅仅是替代人工变为提升企业制造效率、稳定品质及参与库存管理。

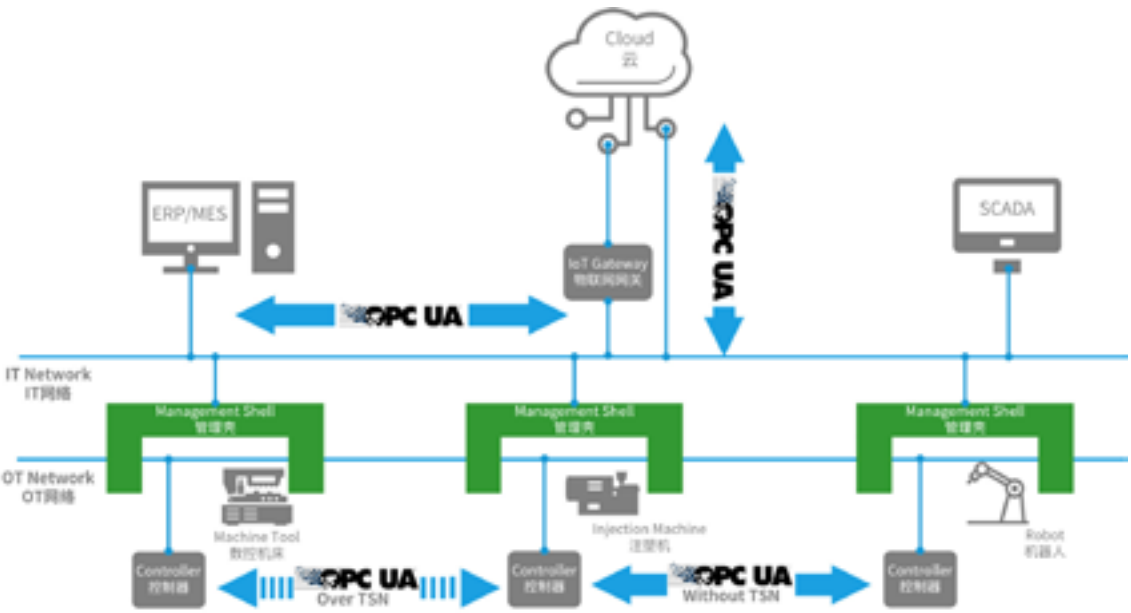
智能制造装备发展的趋势方向是自动化、 标准化、集成化和信息化，依托工业机器人等核心装备而形成的完整智能工厂将包括：智能仓储系统、智能搬运系统、智能机械设备、智能感知网络和信息整合平台等。

未来工业机器人将不再是孤立的存在，而是工业互联网的一个环节，通过传感器、机器视觉等系统的应用，获取终端数据，并通过采用最新的 ICT 技术，强化机器人和整个生产管理信息系统之间的融合。从而促进制造全流程的数据的采集、反应和

对未来的预测，乃至整条供应链的数字化，构建数字化工厂、智能工厂。

最终在产品的开发和制造、产品的设计和制造、产品的质量和管理体系三方面形成有效闭环。**在未来的竞争中，业内领先的自动化设备提供商将向数字化、信息化领域拓展，向客户提供整体智能工厂规划方案。**

智能工厂中，机器社区将自行组织，各类机器人例如协作机器人 + AGV 自动搬运机器人之间的协作会更加紧密，同时 5G、边缘计算使得机器人的工作区域，不再局限于室内一个单元或固定区域，而是可能为整条生产线负责的具有"自由意志"的机器人，工厂云端的信息化系统统一调度安排每一台机器人的工作，生产线也由"静态"变为"动态"，外加工业互联网的大数据支持，生产制造的柔性得以加强，以适应更多变的市场需求并实现大规模个性化生产。



图：机器人 + 信息系统　　资料来源：高工机器人、InfoQ 研究院

【3】5G+ 边缘计算，极大拓展机器人的活动边界与应用场景

5G 拥有超宽带、海量联接和超低时延等特点，通过高速稳定的数据传输速度，使云端计算和存储成为可能，较大程度提高机器人数据采集限度和智能化程度。边缘计算 (Edge Computing) 的提出始于 4G 时代，将计算和存储资源部署到网络边缘。边缘计算的引入将解决自主事物单体终端能力受限和云计算的实时响应的问题，比如实时的推理、场景理解、操控等等。

图：5G+AI 带来终端应用巨大突破　　资料来源：高通、InfoQ 研究院

拓展机器人物理活动边界

目前国内外机器人都面临着应用场景较小的发展局限，解决问题有赖于更强的运算能力和更稳定的数据传输能力。5G 对于 TSN（时间敏感网络）的支持，使机器人将能够走出室内环境，在物流、零售、巡检、安保、消防、指挥交通、医疗等各方面生活生产场景中，机器人都能参与其中。

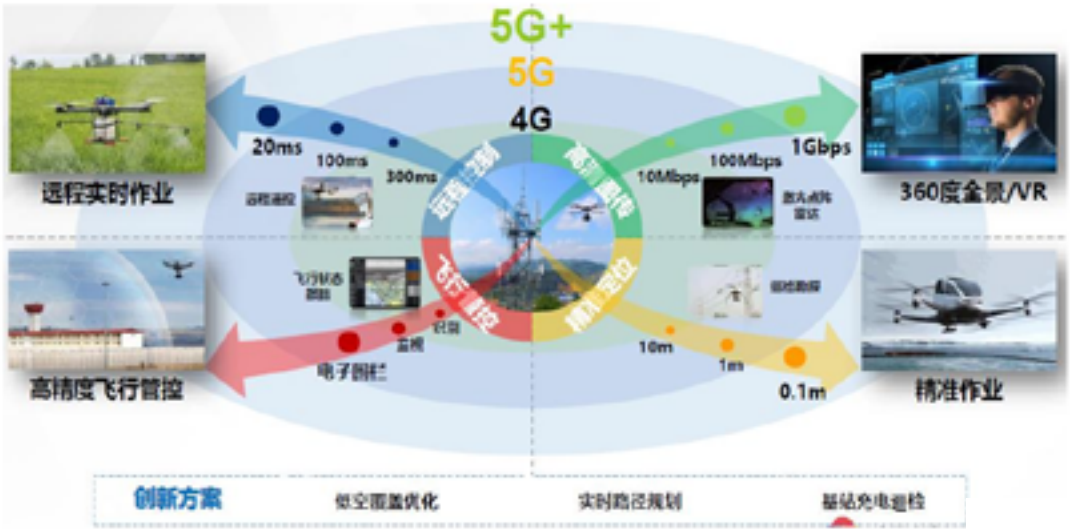
催生云协作机器人的发展

未来的云服务下的机器人，通过与云端产生数据的交互，不仅提升单个机器人的更强算力和存储空间，弹性分配计算资源：满足复杂环境中的同步定位和制图。访问大量数据库：识别和抓取物体；基于外包地图的长期定位。更重要的是能够实现广域的数据共享和知识协作，让多个机器人相互产生协同效应。

图：5G 是实现云化机器人的基础技术　　资料来源：Ericeon Technology Review、InfoQ 研究院

5G 超低延时将加快无人驾驶汽车时代的到来

5G 使得网络延时从 4G 时代 200ms 左右缩短为 2ms 左右，使得依托于 5G 的无人驾驶成为可能，即使时速百公里的汽车也能在位移 5cm 内就能完成高精度地图的实时更新。



图：5G 技术与无人机结合　　资料来源：IMT-2020 (5G), 中信建投证券研究发展部、InfoQ 研究院

【4】产业链延伸新业务形态

1. 自动驾驶时代，汽车不再只是汽车，而是用户的第三空间

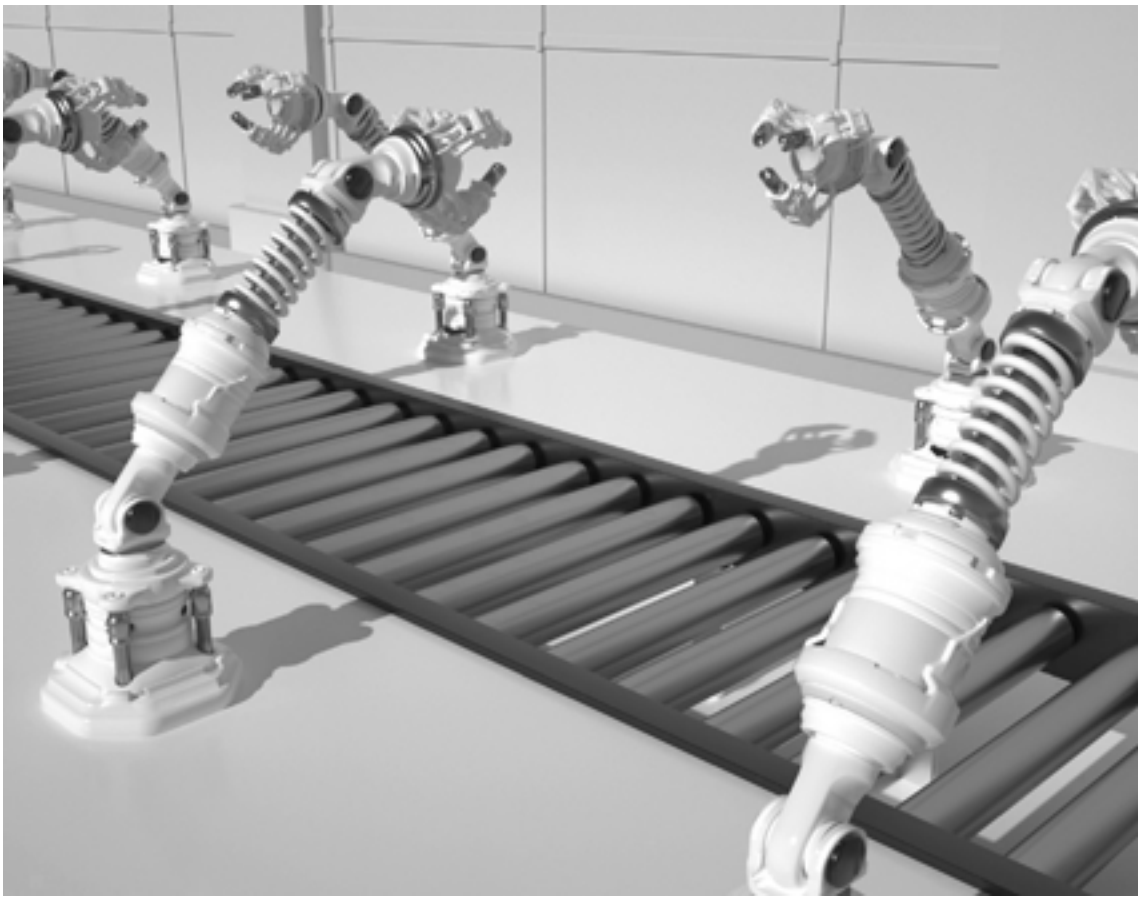
完全无人驾驶的那一天，以为人们的不再局限于车辆的驾驶和路况的监控，全身心都得以解放，乘坐期间，有更充足自由的时间支配。**由此汽车的产品形态或许将被重新定义，商业价值也将被更多维度地展开。人们可以在此或消费娱乐，或工作办公，可以理解为移动的商业综合体。**但真正这一天的到来，不仅仅取决于无人驾驶技术的成熟，包括柔性显示屏、车辆减震技术等的成熟应用。

2. 开放环境下，移动工作的自主事物的行为保险面临挑战，将诞生新商业形态

无人驾驶情况下，虽然汽车足够智能，但并不代表将不会有任何涉及车辆、人员、道路等各方面的安全风险。原有的车险模式下，一辆汽车出现安全事故，由驾驶员（或由其付费投保的保险公司）承担风险责任。**但在无人驾驶环境下，风险责任方的确定，暂有争议，尤其是如何界定汽车制造商本身的技术问题而避免汽车保险公司的“无辜”，但无疑会是一种与当下完全不同的车险模式。**其他再开放环境下移动工作的自主事物，都将面临同样的问题，涉及所有者、制造开发商、相关运营服务商等多角色之间的确权。

3. 上下游配套服务的出现

目前整个自主事物或自主机器人产业仍处于发展早期，产业生态还没有形成，尤其是 2B 端尚未形成工业机器人一般的集成服务商群体，很多终端产品的场景应用，缺乏技术调试、工作环境适配等终端应用解决方案的服务商。很多企业不仅要投入研发生产，还需要直接面向行业开展推广活动。我们相信未来自主事物的产业链里，会出现越来越多类似工业机器人系统集成商的其他品类的服务商。在无人机行业，我们已经看到大疆生产农业植保无人机，各地的植保队购买该无人机为农户提供植保服务，同时还有专门的飞手培训等业务，整个产业生态逐渐完善。



参考资料：

1. 《穿越机器人广阔赛道，寻找明日之星》天风证券，2020 年 2 月
2. 《2020，中国机器人产业的新起点》华泰证券，2020 年 1 月
3. 《技术的盛宴：服务机器人关键技术与模块解析》广发证券，2016 年 7 月
4. 《服务机器人 :AI 和 5G 赋能，不断催生新品类》中金公司，2019 年 8 月
5. 《中国机器人产业发展报告（2019）》中国电子学会，2019 年
6. 《Robotics 2.0(1)— AI 重新定义机器人》作者：Bastiane Huang
7. 《 2019 年十大战略技术趋势：Gartner 趋势洞察报告》Gartner，2019 年 3 月
8. 《人工智能时代的机器人 3.0 新生态》中国信息通信研究院、 IDC 国际数据集团和英特尔共同发布，2017 年
9. 《机器人产业系列一：中国优势、梯队崛起》新时代证券，2020 年 3 月
10. 《埃斯顿（002747）：效仿日本发那科，能否扛起中国机器人产业大旗？》国金证券，2019 年 7 月

BLOCKCHAIN
区块链行业研究报告

InfoQ 研究发现：

1. 随着区块链技术的不断更新升级，区块链的核心架构趋于成熟，应用场景不断拓展，区块链产业生态将更加丰富和完善。

2. 尽管中国区块链专利总数位列世界第一，但整体层次有待提升，大部分企业围绕加密数字货币、钱包、存证溯源等应用层开展研发工作，较少涉及区块链关键技术方案。

3. 我们认为目前区块链技术市场处于 2.0 Plus 阶段，意味着区块链产业脱离虚拟货币正式步入实际应用落地阶段，但距离规模化实践尚有距离。

4. 据统计，目前中国金融、制造、零售三个行业在区块链市场支出占整体市场总支出比例超过 75%。其中，金融行业的区块链支出规模最大、占比最高。随着国家政策的大力支持及未来区块链项目的不断落地，市场空间将进一步拓宽。

5. 区块链技术的应用对于金融机构来说有助于或优化业务流程，或提高用户体验、或降低人力成本，但是仍然难以衡量成本收益比。从根本上来看，区块链技术在贸易、汇款等场景中的应用给传统业务商业模式带来挑战。

6. 当物联网成为医疗、教育、能源、工业等各行业基础设施时，大量的数据将会产生，这就需要涉及加密、确权等处理。区块链的核心能力在于数据的处理，而物联网解决线下数据的获取，两者结合将促使区块链技术的应用想象空间近乎无限扩大。

一、概述

【1】定义

2019 年 10 月 24 日，习总书记在政治局学习会上提出，区块链是我国自主创新的下一个重要突破口；2020 年 4 月 20 日，国家发改委明确将区块链列为新基建内容之一。工信部信息中心发布的《中国区块链技术和应用发展白皮书》中，区块链有狭义和广义两种定义。

狭义区块链是一种按照时间顺序经数据区块以顺序相连的方式组合成的一种链式数据结构，并以密码学方式保证的不可篡改和不可伪造的分布式账本；广义区块链是利用块链式数据结构来验证和存储数据、利用分布式节点共识算法来生成和更新数据、利用密码学的方式来保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构与计算范式。

如何理解上述定义呢?

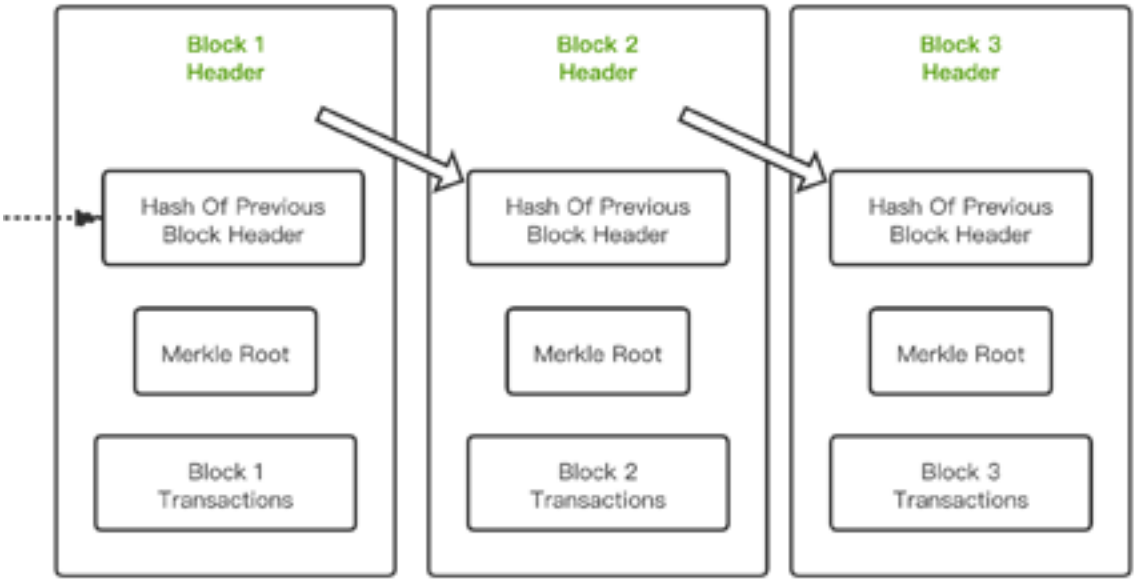
1）一个分布式的链接账本，每个账本就是一个“区块”；

2）基于分布式的共识算法来决定记账者；

3）账本内交易由密码学签名和哈希算法保证不可篡改；

4）账本按产生的时间顺序链接，当前账本含有上一个账本的哈希值，账本间的链接保证不可篡改；

5）所有交易在账本中可追溯。



图：区块链结构示意图　　数据来源：公开资料、InfoQ 研究院

区块链是将过去数十年计算机、分布式系统、密码学等跨越不同领域的理论和技术整合创新的成果。**当前以分布式系统、P2P 网络和密码学三类较成熟技术为主、多种改良技术为辅的区块链技术体系已经形成。**

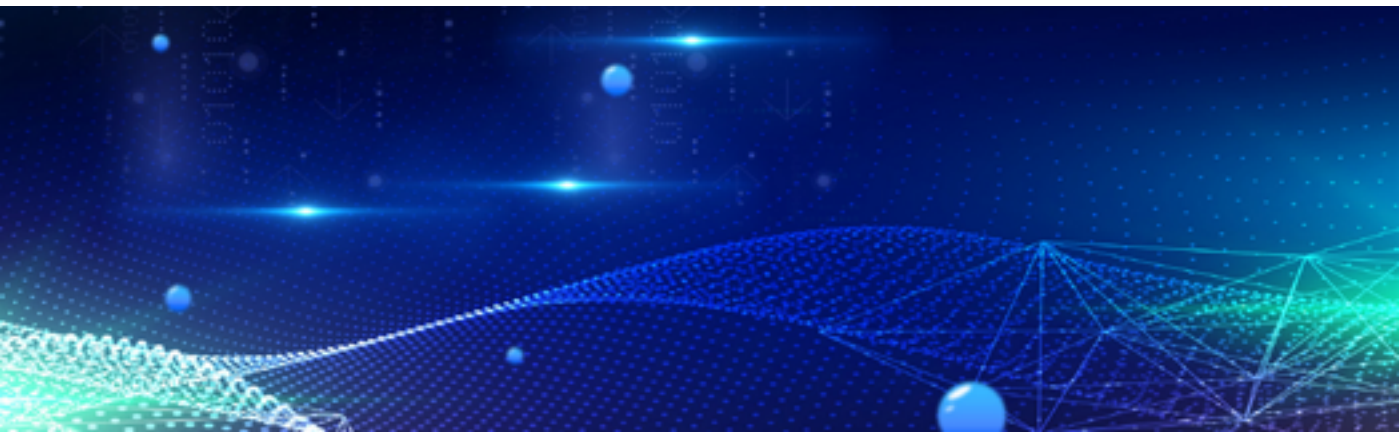
区块链技术利用加密的链式区块结构来验证和存储数据，利用 P2P 网络技术、共识机制实现分布式节点的验证、通信以及信任关系的建立，利用链上脚本能够实现复杂的业务逻辑功能以对数据进行自动化的操作，**从而形成的一种新的数据记录、存储和表达的方法。**实现了去中心化交易过程中节点之间信息可靠传递、交易账户安全和节点之间传递的信息不会被修改。 随着区块链技术的不断更新升级，区块链的核心架构趋于成熟，应用场景不断拓展，区块链产业生态将更加丰富和完善。

【2】分类：公有链、联盟链和私有链；主链和侧链

根据应用场景和设计体系的不同，区块链系统一般分为公有链、联盟链和私有链等三类；从链与链的关系来分，可以分为主链和侧链。

	公有链	联盟链	私有链
读取权限	任何人	联盟成员，被授权主体	个人或公司内部，完全私有
共识机制	POW / POS / DPOS	分布式一致性算法	分布式一致性算法
记账权限	所有参与人	联盟成员协商决定	自定义
激励机制	需要	可选	不需要
去中心化程度	最高，每个节点权重相同	一般，写入数据需要共识机制确认，但只有事先确定好的节点能够参与	较差，中心控制者可以指定参与和验证交易成员的范围
运行速度	缓慢，新数据写入（如提交一笔交易）需要数十分钟	快速的，写入新数据在数秒，甚至一秒内完成	快速的，写入新数据在数秒，甚至一秒内完成
典型场景	虚拟货币	支付、结算等	企业内部审计

图：公有链、联盟链、私有链对比　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院



1. 公有链

公有链（Public Blockchain）通过密码学保证交易不可篡，同时也利用密码学验证以及经济上的激励，在互为陌生的网络环境中建立共识，从而形成去中心化的信用机制。比特币和以太坊等就是典型的公有链。

2. 联盟链

联盟链（Consortium Blockchain）仅限于联盟成员参与，区块链上的读写权限、参与记账权限按联盟规则来制定。由于参与共识的节点比较少，联盟链多采用权益证明（PoS）或 PBFT（Practical Byzantine Fault Tolerant）、RAFT 等共识算法。

一般来说，联盟链适合于机构间的交易、结算或清算等 B2B 场景。例如在银行间进行支付、结算、清算的系统就可以采用联盟链的形式，将各家银行的网关节点作为记账节点，当网络上有超过 2/3 的节点确认一个区块，该区块记录的交易将得到全网确认。联盟链对交易的确认时间、每秒交易数都与公有链有较大的区别。

目前国内有影响力的区块链联盟——中国分布式总账基础协议联盟（ChinaLedger）、中国区块链研究联盟、金链盟（金融区块链联盟）等——也都在致力于开发联盟区块链项目。

3. 私有链

私有链（Private Blockchain）建立在某个企业内部，系统的运作规则根据企业要求进行设定。私有链的应用场景一般是企业内部的应用，如数据库管理、审计等。私有链的价值主要是提供安全、可追溯、不可篡改、自动执行的运算平台，可以同时防范来自内部和外部对数据的安全攻击，传统的 OA、ERP 系统的安全性较难如此保障。

4. 侧链

侧链（Side chain）是用于确认来自于其它区块链数据的区块链，通过双向挂钩机制使比特币、Ripple 币等多种资产在不同区块链上以一定的汇率实现转移。

所谓“多种资产在不同区块链上转移”其实并不会实际发生。以比特币为例，侧链的运作机制是，将比特币暂时锁定在比特币区块链上，同时将辅助区块链上的等值数字货币解锁；当辅助区块链上的数字货币被锁定时，原先的比特币就被解锁。

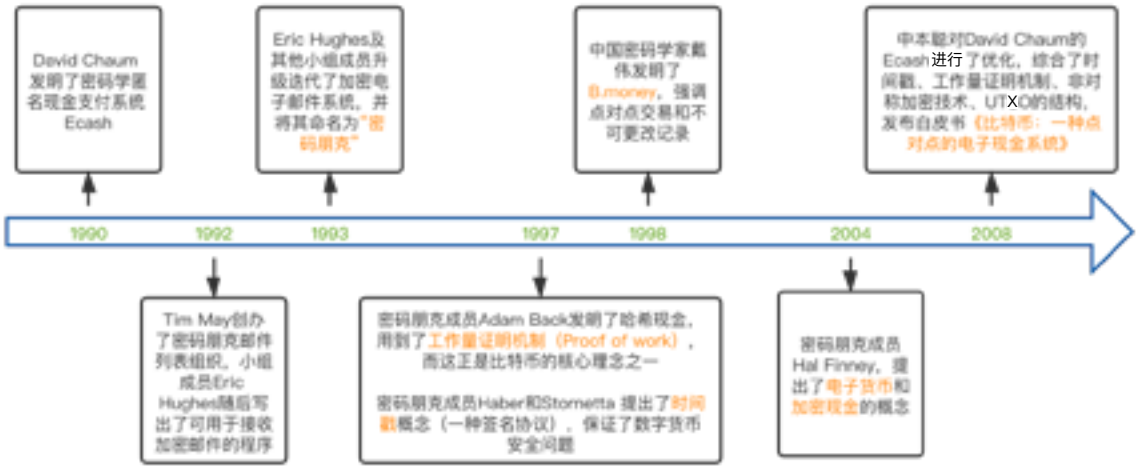
侧链进一步扩展了区块链技术的应用范围和创新空间，使区块链支持包括股票、债券、金融衍生品等在内的多种资产类型，以及小微支付、智能合约、安全处理机制、真实世界财产注册等；侧链还可以增强区块链的隐私保护 。

二、发展的三个阶段

区块链发展历经三个阶段，从比特币系统走向全社会应用，产业区块链处于迅猛发展期 从区块链技术角度出发，区块链行业发展可分为三个阶段：以数字代币为典型特征的区块链 1.0 和以智能合约为典型特征的区块链 2.0，目前正在向多行业应用探索的 3.0 阶段发展。

发展阶段	典型事件	作用
区块链 1.0 可编程货币 (2009 ～ 2014)	比特币系统发布	区块链技术起源
区块链 2.0 可编程金融 (2014 ～ 2017)	以太坊、超级账本等区块链开源项目发布	区块链协议层和架构层优化，智能合约支持，公有链、联盟链、私有链等方向出现
区块链 3.0 可编程社会 (2017 ～至今)	商业应用项目涌现，但仍未大规模落地	区块链在不同行业的应用碳素，可以向 3.0 进化

图：区块链的三个发展阶段　　资料来源：华为区块链白皮书、InfoQ 研究院



图：区块链技术诞生的历史背景　　资料来源：维基百科、千币网、InfoQ 研究院

【1】区块链 1.0：比特币

比特币的最大价值在于验证了区块链技术的可行性。2009 年 1 月 3 日第一个序号为 0 的创世区块诞生。几天后 2009 年 1 月 9 日出现序号为 1 的区块，并与序号为 0 的创世区块相连接形成了链，标志着区块链的诞生。

区块链 1.0 实现从“中心化账本 + 中介”的模式转向“公共账本 + 共识”模式，主要应用在支付、流通领域。就技术层面而言，比特币系统创造了从传统电子支付系统的“中心化账本（账本在中心机构中）+ 中介”的模式转向“公共账本 + 共识”模式的可能性，它具备去中心化、不可篡改、不可伪造、可追溯的特点。它主要应用场景是支付、流通，比特币是区块链发展中最为成功的应用。比特币构造了一个货币传输体系，安全、去中心化稳定运行了超过 10 年。

虽然币价几起几落，但是比特币账本和交易的安全性、可靠性都经历了各种考验，充分验证了区块链技术的可行性。**但其中协议的扩展性是一项很大的不足，比特币网络里只有一种符号——比特币，用户无法自定义另外的符号，不支持别的在此上面的开发，比如写入智能合约功能等。 这也构成了区块链 1.0 的缺点。**

【2】区块链 2.0：智能合约

针对比特币扩展性不足的问题，与 1.0 最大的不同就是在数字货币基础上加入了智能合约，可以在此基础上做其他的应用开发，典型代表为以太坊。2015 年 7 月以太坊开发上线，支持所有人在上面编写智能合约，也是以代码形式定义的一系列的承诺合同。

智能合约就是一套不需要第三方的情况下还可以保证合同得到执行的计算机编程。只要条件达成，这个系统会自动执行合同中约定的条款，这也是区块链 2.0 相对于区块链 1.0 的重要功能。因此区块链技术可以被广泛的运用在涉及合同处理、数据交换、所有权转移的金融、物联网、物流和共享经济等场景中。区块链 2.0 的也是有缺陷的，它无法支持大规模的商业应用开发，比如说交易速度，比特币的交易速度每秒 7 笔，以太坊每秒不超过 20 笔，网络的堵塞，有可能使用户无法完成交易。

EOS、NEO、Qtum、AE 等都是对智能合约的完善补充或者说是挑战者，比如在智能合约上兼容 UTXO，增加区块大小，提高并发量等。这些可以量化的性能指标，有些是基于特定的技术，如 EOS 的石墨烯技术，有些是代码结构设计思想上的不同。**新的技术是否真的能够提高性能需要实际开发环境的测试，性能也不是越高越好，有时候因为安全等实际的需要，需要做出让步。**

【3】区块链 3.0：大规模应用落地阶段

目前尚未产生能被广泛认可的区块链 3.0 形态。区块链 3.0 最终能够对于每一个互联网中代表价值的信息和字节进行产权确认、计量和存储，从而实现资产在区块链上可被追踪、控制和交易。就此也提出了对技术上高并发、低能耗、并行分布式数据账本技术（公链和联盟链），大幅度提升交易速度，且无需通过挖矿机制来计算等要求，可兼容物联网、人工智能、云计算、大数据等技术。

区块链 3.0 会超越金融领域，进入社会公证、智能化领域，包括身份认证、公证、仲裁、审计、域名、物流、医疗、邮件、签证、投票等领域，**应用范围扩大到了整个社会，区块链技术有可能成为“万物互联”的一种最底层的协议。**

我们认为目前区块链技术市场处于 2.0 Plus 阶段，意味着区块链产业脱离虚拟货币正式步入实际应用落地阶段。

三、区块链产业发展现状

【1】产业链概览

目前区块链产业已经初步形成包含基础设施、软件平台和服务应用三大板块的产业生态。上游基础设施主要围绕硬件和软件两个部分展开，其中硬件包括矿机、服务器、密码机、密钥存储设备等，中游软件平台包括底层开发平台、开发者工具等。下游行业应用主要是建立在基础设施层上的各类应用。图示可参考 四 .2 区块链技术框架。

【2】行业整体尚属早期

2018 年全国区块链行业，A 轮及之前（含种子轮、天使轮）投资事件占整体比重高达 90%，B 轮及以后的投资事件占比仅为 10%。**整体而言，中国区块链行业在全球范围内仍处于早期阶段。**

【3】政策大力扶植，政府产业基金纷纷成立

“十三五”以来，国家层面及各省市地区为促进区块链产业发展出台多项政策，2019 年 10 月 25 日，习总书记在政治局学习会上提出，区块链是我国自主创新的下一个重要突破口；2020 年 4 月 20 日，国家发改委明确将区块链列为新基建内容之一。并且整体上看，以鼓励联盟链发展为主。同时，随着全国最早的区块链产业基金：杭州雄岸全球区块链创新基金的宣布成立，全国有多个省（市）政府根据自身条件推出区块链产业基金。

【4】支出规模高速增长，金融行业应用最大

根据 IDC 发布的《全球半年度区块链支出指南》(2018)，2018 年中国区块链市场支出规模 1.6 亿美元，较 2017 年增长 108%，预计 2022 年市场支出规模达 16.7 亿美元，2017–2022 年复合增长率为 80 %。金融行业的区块链支出规模最大、占比最高。根据 IDC 统计，目前中国金融、制造、零售三个行

业在 2018 年的区块链市场支出占整体市场总支出比例超过 75%。**其中，金融行业的区块链支出规模最大、占比最高。国家政策的大力支持及未来区块链项目的不断落地，市场空间将进一步拓宽。**

【5】专利总数全球第一，但关键技术有待突破

以以太坊、EOS 为代表的公有链在全球范围内具有极强的影响力，国内 NEO、公信宝、星云链等公有链项目虽有所发展，但总体处于跟随状态。国内企业虽然自主研发出 CITA、Bubichain、BROP、BCOS、ChainSQL 等平台，多数企业基于比特币、以太坊、超级账本等国外开源区块链产品进行开发和完善。

同时，**尽管 2018 中国区块链专利总数位列世界第一，但整体层次有待提升，**大部分企业围绕加密数字货币、钱包、存证溯源等应用层开展研发工作，较少涉及区块链 PoS、DPoS 共识算法，分片、零知识证明、DAG、侧链、闪电网络等关键技术方案。

四、区块链技术发展现状

【1】区块链工作原理（区块链生成的核心技术原理）

主要包括三部分：（1）提交交易数据、（2）确认交易数据的准确性、（3）确认账本的唯一性。我们以下图做最简描绘：

图：区块链技术原理　　资料来源：天风证券、InfoQ 研究院

【2】区块链技术架构

2018 年，中国信通院《区块链白皮书(2018)》中给出了一种通用型的区块链系统技术架构，将区块链系统划分为基础设施、基础组件、账本、共识、智能合约、接口、应用、操作运维和系统管理九部分。

基础设施层为上层提供物理资源和计算驱动，是区块链系统的基础支持；

基础组件层为区块链系统网络提供通信机制、数据库和密码库；

账本层负责交易收集、打包成块、合法性验证以及将验证通过的区块上链；

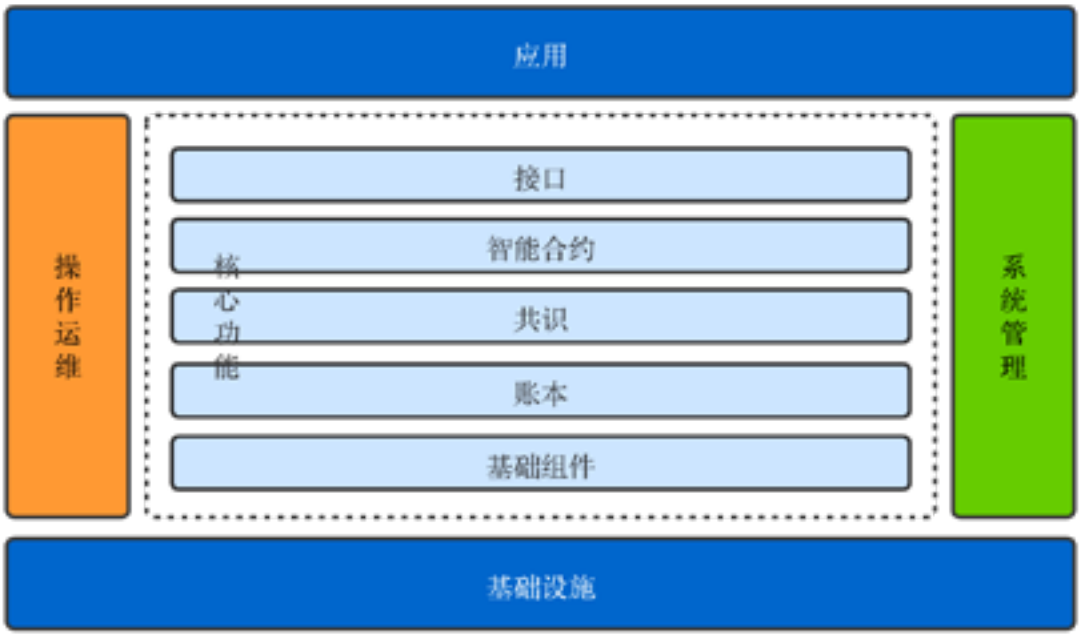
共识层负责协调保证全网各节点数据记录一致性；

智能合约层负责将区块链系统的业务逻辑以代码的形式实现、编译并部署，完成既定规则的条件触发和自动执行；

接口层主要用于完成功能模块的封装，为应用层提供简洁的调用方式；

系统管理层负责对区块链体系结构中其他部分进行管理；

操作运维层负责区块链系统的日常运维工作。



图：区块链技术架构　　资料来源：信通院、InfoQ 研究院

【3】三大关键机制：密码学原理、数据存储结构、共识机制

1. 密码学原理之一：哈希函数

哈希函数可将任意长度的资料经由 Hash 算法转换为一组固定长度的代码，原理是基于一种密码学上的单向哈希函数， 这种函数很容易被验证，但是却很难破解。通常业界使用 y =hash(x) 的方式进行表示，该哈希函数实现对 x 进行运算计算出一个哈希值 y。 常使用的哈希算法包括 MD5、SHA-1、SHA-256、SHA-384 及 SHA-512 等。

2. 密码学原理之二：非对称加密

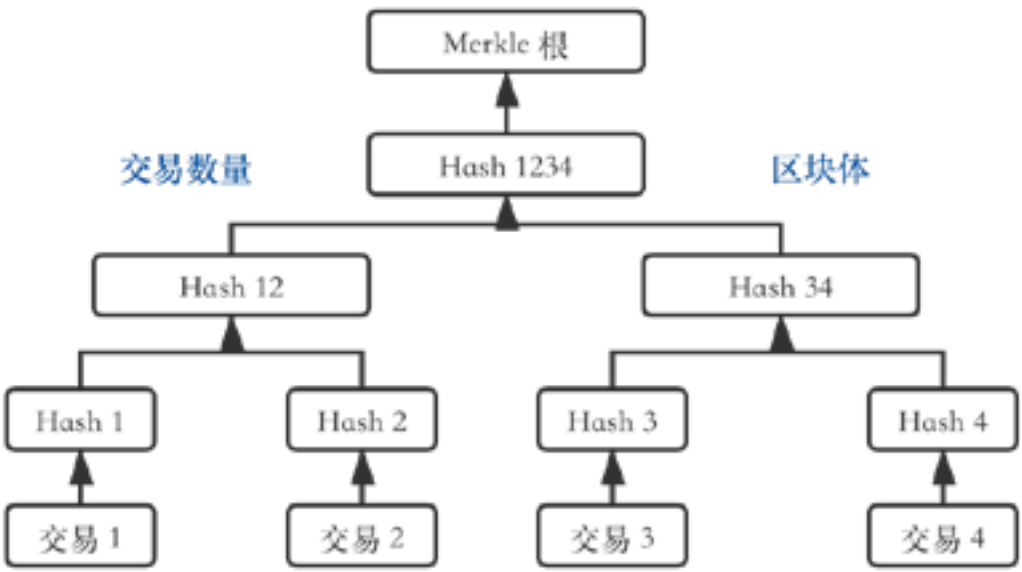
非对称加密算法是一种密钥的保密方法，需要两个密钥：公钥和私钥。

公钥与私钥是一对，如果用公钥对数据进行加密，只有用对应的私钥才能解密，从而获取对应的数据价值；如果用私钥对数据进行签名，那么只有用对应的公钥才能验证签名，验证信息的发出者是私钥持有者。

因为加密和解密使用的是两个不同的密钥，所以这种算法叫做非对称加密算法，而对称加密在加密与解密的过程中使用的是同一把密钥。

3. 数据存储结构：Merkle 树

Merkle 树是一种哈希二叉树。Merkle 树被用来归纳一个区块中的所有交易，其树根就是整个交易集合的哈希值，最底层的叶子节点是数据块的哈希值，非叶节点是其对应子节点串联字符串的哈希。只要树中的任何一个节点被篡改，根节点哈希就不会匹配，从而可以达到校验目的。



图：Merkle 根　　数据来源：公开资料、InfoQ 研究院

4. 共识机制

共识机制，就是所有记账节点之间如何达成共识。需要满足两方面条件：一是选择一个独特的节点来产生一个区块，二是使分布式数据记录不可逆。目前主要有四大类共识机制：PoW、PoS、DPoS和分布式一致性算法。

4.1. PoW

PoW （Proof of Work，工作量证明）机制。矿工把当前未记录的交易打包到一个区块，然后遍历尝试来寻找一个满足特定条件的随机数，找到该随机数就相当于确定了最新的区块，也就获得了本轮记账权。矿工把该区块在全网广播，其他节点验证后把该区块链接到自己的区块链上，从而在全网达成共识。

优点：应用较为广泛，完全去中心化。只要算力不超过网络总算力的 50%，网络交易状态就能达成一致。

缺点：效率较低，每秒只能最多做 7 笔交易，不适应规模化商业应用。比特币挖矿现造成部分矿池算力高度集中，背离了去中心化的初衷。同时，共识达成周期长且消耗大量能源

典型币种：比特币 BTC、以太坊前三个阶段（Frontier 前沿、Homestead 家园、Metropolis 大都会）

4.2. PoS

PoS （Proofof Stake，权益证明）机制，要求节点提供拥有一定数量的代币证明来竞争记账权的一种分布式共识机制。通常，代币越多被选为记账节点的概率就越大。不同的 PoS 机制在权益证明的基础上，采用不同方式来增加记账权的随机性来避免中心化。

优点：在一定程度上缩短了共识达成的时间，降低了 PoW 机制的资源浪费。

缺点：网络攻击成本低，安全性有待验证。另外网络共识易受少数富裕账户支配。

典型币种：以太坊第四阶段（Serenity 宁静）、未来币 NXT、量子链 QTUM

4.3. DPoS

DPoS（Delegated Proof-Of-Stake，股份授权证明），一种基于投票选举的共识算法，持币人选出若干代表节点来运营网络，并用专业运行的网络服务器来保证区块链网络的安全和性能。代表节点不称职会随时被替换。EOS 采用 21 个超级节点的 DPoS 代理人机制，提高交易处理速度，但中心化程度加强。

优点：大幅缩小参与验证和记账节点的数量，可达到秒级验证。

缺点：不适用于完全去中心化场景，在网络节点数少的场景，选举的见证人代表性不强。

典型币种：EOS

4.4. 分布式一致性算法

分布式一致性算法是基于传统的分布式一致性技术。其中有分为解决拜占庭将军问题的拜占庭容错算法和解决非拜占庭问题的分布式一致性算法（如 Pasox、Raft）。该类算法目前是联盟链和私有链场景中常用的共识机制。

优点：秒级的快速共识机制，保证一致性。

缺点：去中心化程度低，更适合多中心商业模式。

【4】四大特征总结：分布式、多节点共识、公开透明和不可篡改

区块链的“分布式”不仅体现为数据备份存储的分布式，也体现在数据记录的分布式，即由所有节点共同参与数据维护，单一节点的数据被篡改或被破坏不会对区块链所存储的数据产生影响，以此实现对数据的安全存储。**我们将区块链特征总结为以下四点：分布式、多节点共识、公开透明和不可篡改。**

特征	具体描述
分布式	区块链由众多节点组成一个端到端的网络，系统内没有中心化的设备和管理机构，各节点之间的权利和义务近乎均等，每个节点都能获得完整的数据拷贝，系统由多个节点共同维护，任一节点停止工作都会不影响系统整体的运作；
多节点共识	淘汰了中心化管理员来审批结算交易的角色，各个节点之间无需相互信任，通过共识机制对入链数据进行验证，数据内容和系统运作规则公开透明，节点之间通过技术手段自动实现信任关系。节点之间不能也无法欺骗其它节点；
公开透明	通过共识机制，账本和商业规则可以被所有人审阅，并可利用时间戳机制对用户行为进行追溯，保证了系统的公开透明。
不可篡改	区块链上的区块只能新增、不能被替换，交易可以通过新增区块的方式予以修改，但是区块记录将永久保留。系统中每一个节点都拥有最新的完整数据库拷贝，单个甚至多个节点对数据库的修改无法影响其他节点的数据库，除非能控制整个网络中超过 51% 的节点同时修改，这几乎不可能发生。

图：区块链技术的四大特征　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

五、区块链技术行业应用

区块链具有数据不可篡改、公开透明可追溯等特征，正在成为解决全产业链参与方互相信任的基础设施——打造信用价值网络。各行业产业链，上下游之间存在着供应链金融服务、存证、业务协同、支付等业务痛点，而个人用户更关注食品安全可追溯、个人隐私保护、金融等业务体验流畅简洁还可靠等。社会层面，政府等各级监管机构也需要在司法仲裁、监管审计等领域借助区块链技术提升其治理水平。

区块链技术在金融应用中诞生，目前金融也依然是区块链技术应用最广泛也最契合的场景，特别是在身份识别、数据确权、信用管理、价值流转、交易清结算等方面。随着技术的深入，应用面的拓宽，区块链如何赋能传统产业，也逐渐成为中心议题。**区块链的核心价值不在于解决信息化的问题，结合 AI、物联网、边缘计算等新兴技术，全面打通线上线下数据，将产业链中 2B 还是 2C 的产品或服务的相关数据全部上链，重塑供应链节点信用、保护数据隐私，建立高效价值传递机制，帮助企业商流、信息流、资金流达到"三流合一"，同时充分挖掘产业链业务协同空间、发挥整体效益。**

但就技术发展现状及政策环境来看，区块链技术研发及商业化应用落地进程仍有待时间验证。

【1】金融

根据 IDC 发布的《全球半年度区块链支出指南》(2018)，2018 年中国区块链市场支出规模 1.6 亿美元，较 2017 年增长 108%，预计 2022 年市场支出规模达 16.7 亿美元，2017–2022 年复合增长率为 83.9%。其中第一大支出方向是金融。据赛迪网统计，2019 年我国区块链应用落地项目 328 个，其中金融区块链应用落地项目 96 个，占比 29%。在同期应用落地项目中占比最高，较 2018 年同比增长 41%。

金融行业具有交易复杂、交易涉及主体多、业务链条长、交易频次高等特点，同时面临着诸如跨境支付周期长、费用高，结算环节效率低下，风险控制代价高以及数据安全隐患大等问题。**信任是金融服务体系的重要核心因素。**

保证数据唯一性和所有权不可篡改等区块链的优势特点，使得区块链可作为金融行业参与节点方之间很好的信息共享平台，明显降低各方达成信任的沟通成本，提高信用在各相关主体之间高效流转。基于区块链的智能合约，能够通过实现业务自动化，适合电子支付、交易后清算、监管风控等高频重复业务。但也由此带来数据隐私的问题，尤其在供应链金融中，涉及供应链企业

的经营数据链上共享。

但总的来看，区块链技术，已成为支撑金融科技创新的底层支撑技术之一。从央行、大型股份制商业银行到城市商行，相继部署了区块链应用，据可信区块链推进计划金融应用工作组不完全统计，涉及应用领域如下所示。

企业	基础平台	资金管理	供应链金融	贸易融资	支付清算	数字资产			延伸领域				
						ABS	票据	其他	数字存证	溯源	住房租赁	数字发票	电子证照
工商银行	•	•	•	•		•	•		•	•			
农业银行			•										
中国银行			•	•		•	•	•					
建设银行			•	•							•		
交通银行						•							
邮储银行		•		•									
招商银行				•	•	•						•	
平安银行	•		•	•									•
浦发银行							•		•				
度小满	•					•	•	•					
蚂蚁金服	•				•		•		•	•	•		
微众银行	•				•				•			•	
京东数科	•		•			•			•	•			

图：金融企业区块链落地领域　　数据来源：《区块链金融应用发展白皮书》、InfoQ 研究院

1. 跨境支付

传统的跨境支付不可避免的存在大量中心化的信用中介和信息中介，在降低资金流动效率的同时增加了资金往来成本，使得一笔跨境支付需要至少 24 小时完成。根据麦肯锡 2016 年和万向区块链首席经济学家邹传伟的研究，跨境支付的主要成本来自代理银行账户的流动性成本 (34%，这些资金可以用于收益更高的地方)、司库操作 (27%)、外汇操作 (15%) 和合规 (13%)。**通过区块链技术，理论上可以大幅压缩 90–95% 的成本。**

通过利用分布式账本技术，解决金融机构之间的互信问题，在满足各地监管要求的前提下，区块链有望大幅降低交易成本，实现 7x24 小时不间断几乎实时的跨境支付服务。减少支付流程中大量人工对账操作，大大缩短清算结算时间。**同时，多方验证可以有效降低数据被篡改或伪造的风险，即使一个或某几个节点遭受攻击也不会影响系统的运转，提升跨境支付系统的安全性。**

目前，Ripple、蚂蚁金服等均已有较为成熟的区块链跨境支付解决方案。蚂蚁金服于 2018 年 6 月 25 日宣布全球“首个”基于区块链的电子钱包跨境汇款服务在香港上线。AlipayHK 与 Gcash 合作，成为全球首个在跨境汇款全链路使用区块链的电子钱包，并由渣打银行负责日终的资金清算以及外汇兑换。Gcash 用户在到账后能即刻消费。

2019 年 5 月，加拿大央行和新加坡金融管理局（MAS）共同宣布，已成功使用分布式账本技术（DLT）进行了跨境的央行数字货币付款。

2. 资产证券化

资产证券化是将缺乏流动性、但具有可预期收入的资产，以其未来所产生的现金流为偿付支持，通过结构化设计进行信用增级， 在资本市场上发行证券予以出售，以获取融资，最大化提高资产的流动性。

通过区块链技术，让参与各方“看透”ABS 底层资产，实施实时监控，有效防范风险。同时，实现资产信息的真实与公开化，有助于 ABS 行业实现不依赖于主体信用评级，通过区块链技术实现资产公允定价，促进 ABS 市场的发展。然而，当触发加速清偿或违约事件，智能合约条款将被自动强制执行。实现自动对账等投后管理工作的简化，有助于降低管理成本。

广发 ABS 云平台。2018 年发布了第一期，主要包括了数据收集和区块链存证的功能，2018 年 10 月 18 日平台实现首笔基础资产上链保存：广发资管担任管理人的“广发恒进——正佳企业集团正佳广场资产支持专项计划”，该计划基于广发证券 ABS 云平台进行管理。第一期具有两大特点：1、全通用的数据模型全通用的数据模型。针对资产证券化业务的基础资产种类繁多的特点，广发证券 ABS 云平台注重数据模型和接口设计的通用性，适用于各种类型的基础资产。2、可回溯的历史数据。每一次基础资产数据的变动都将形成一个数据版本，用户可以回溯历史上的任意版本的数据。

3. 贸易融资

贸易融资是银行利用结构性短期融资工具，基于商品交易中 的货物、账款等为交易方进行融资。区块链的智能合约技术，可实现贸易环节全流程掌控。利用智能合约，跨境贸易各环节都可被接入区

块链平台，**使多方拥有统一账本，省去对账环节，打通贸易数据流，可以很好地解决贷前调查、贷中审核、贷后管理等贸易融资相关流程的实时监控，保证预设条件触发后强制及自动执行相关流程，提高业务处理效率。同时，信息集中上链，利于银行准确进行信息验证和对比，更为有效防范各个环节中所隐藏的由伪造、欺诈带来的风险。**

粤港澳大湾区贸易金融区块链平台。在中国人民银行数字货币研究所与中国人民银行深圳市中心支行的共同推动、协调和组织下，深圳金融科技研究院联合中国银行、建设银行、招 商银行、平安银行、渣打银行及比亚迪共同开发的基于区块链技术的贸易金融底层平台。2018 年 10 月，招商银行成功通过该平台，为战略合作伙伴投放首单应收账款融资业务。在该笔应收账款融资业务中，核心企业付款明细签发、 供应商融资申请以及银行受理等全程均通过该平台完成。

4. 供应链金融

供应链金融是以核心企业为出发点，为其上下游的中小企业提供信贷服务。各级供应商、经销商、物流企业、银行、征信机构等相关主体接入区块链网络中，使用共享账本，对核心企业相关交易的多级追溯，应收等资产的确认、流转、融资、清分等流程上链，实现清晰的资产确权，同时资金可实现多级分配和流转，有效解决供应链末端企业融资难题；资金方也能够清晰获知各相关企业的风险与经营状况的真实信息，降低贷款不良率，减少调查成本。**有助于安全透明可信的供应链信贷生态的建设，真正发挥金融支持实体经济发展的价值。同时，还能加强上下游联动，发挥产业链上企业之间的协同效应。**

蚂蚁区块链推出的“双链通”供应链存证平台，已

经为全国 7800 万家中小微企业提供秒级融资服务

工商银行，将核心企业与各层级供应商间的采购资金流与贸易流集成到区块联盟平台上，供应链上任一持有应收款数字凭据的供应商均可在线向工行提出融资申请，申请指令经工行智慧信贷平台后，贷款可瞬间到达企业账户。（注：数字信用凭据是指以供应链中买方（核心企业）对卖方（一级供应商）的付款确认书为基础，采用区块链技术，由买方在工行或工行认可的联盟机构平台签发、并以数据电文方式记录的应付债务信用凭据，并随产业链贸易流向上游逆向流转，产业链上任一供应商可 凭债务数字凭据随时向工行申请保理业务。）

5. 局限性

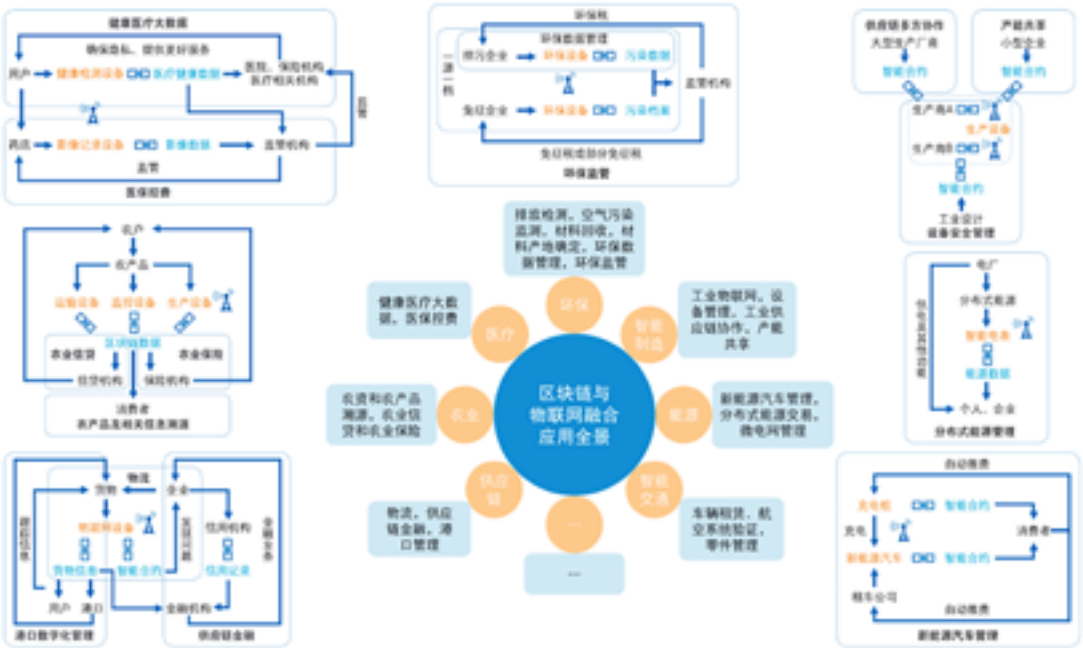
目前来看，区块链技术的应用对于金融机构而言，更多在于优化业务流程，提高银行支付、信贷等系统运行效率，或提高用户体验，或降低人力成本。**但一方面区块链技术部署与维护成本，目前受限于技术条件和应用规模还不够明确，一方面交易制度和社会信用体系的完善健全或许作用更明显，导致一时难以断定成本收益比是否真正划算。**

同时，在贸易、汇款等场景中，区块链技术的应用，实现信息数据共享，给诸如商业银行等传统金融机构带来挑战，或进一步打破其传统业务壁垒：信息差。

以及各家金融机构之间的系统和业务存在差别，经营体量也不同，导致在技术标准的制定上难以平等对话，表现在例如作为由 40 多家国际银行业金融机构参与的联盟链项目 R3 推进并不顺利，早期成员、融资金额也不达预期。

当然，我们认为根本上，以上都将不会是局限，取决于区块链技术的成熟度的进一步提升。而目前区块链技术项目虽然很多，但那是规模整体偏小，行业也尚属早期，在性能和安全性上，有待进一步加强，行业应用规模也才会随之得以大范围提升。

【2】物联网



图：区块链技术在物联网中的应用场景　　资料来源：《中国区块链与物联网融合创新应用蓝皮书》、InfoQ 研究院

区块链的核心能力在于数据的处理，而物联网解决线下数据的获取，两者结合，正促使区块链技术的应用想象空间近乎无限扩大。如上图所示，当物联网成为医疗、教育、能源、工业等各行业基础设施时，区块链技术在物联网的应用，就能理解区块链技术在各行业的应用场景和逻辑。具体而言，在物联网领域，区块链能够发挥以下价值：

1. 面对海量数据，降低储存与利用的运营成本

按照现有的互联网储存方式，海量数据会被加以集中后储存，这注定需要大量基础设施投入。目前的物联网解决方案成本太高，包括中心化云服务器、大型服务器和网络设备的基础设施与维护等。可想而知，当物联网设备数量上升到百亿时，必然会产生更多的通信信息，并带来难以承受的高成本。

与集中式系统相比，物联网中的区块链将有助于使用各种端点处理更多的数据请求，或以点对点直联的方式让数据加以传递，而不必通过中央处理器。这种分布式的计算方式，能够处理数以亿计的交换。同时，还能够充分利用分布在全世界不同位置的节点，开发蕴藏在其中数以亿计的闲置计算力、存储容量与网络资源，用于对物联网的交易处理，对计算和储存的成本大幅度降低。

2. 加强数据交换的安全性，降低中心化安全风险

物联网安全性的核心问题，在于设备与设备之

间缺乏原有的相互信任机制。在物联网发展初期，所有设备都需要与物联网中心数据加以验证。但如果物联网数据长期汇总到单一的中心控制系统，而当中心节点被攻击时，中心数据库崩塌，损失无法估量。

同时，通过利用基于区块链技术的钱包，各种物联网传感器和可穿戴设备可以以加密形式共享关键数据，确保设备之间可以保持共识，同时不需要到数据中心加以验证。这样，即便物联网上有一个或者多个节点被攻破，其整体网络上的数据依然可靠而安全。而存储在区块链钱包中的数据只能由授权的设备和系统访问，从而较高程度地提高数据交易过程的安全性。目前，已有研究开发人员在探索如何用区块链手段提供增强型安全协议。

3. 协调不同主体，促进高效而智能的网络运行

由于物联网涉及到不同领域，不同运营商和自组织网络，都会联接在一起。客观上造成物联网内多中心、多主体的形势。

区块链技术与物联网的结合，能够消除节点之间的审核认证环节，直接为多方搭建沟通互信的桥梁，提高网络运营效率。同时，基于区块链去中心化的共识机制，也能确保物联网的安全私密性，便于真实信息的传递。区块链技术中的智能合约，在供应链管理已经有若干个落地应用，能够实现在满足预定条款后实现交易自动化。**同样，物联网中的区块链技术将利用物联网中设备对设备的交互能力，引入自主支付机制。**

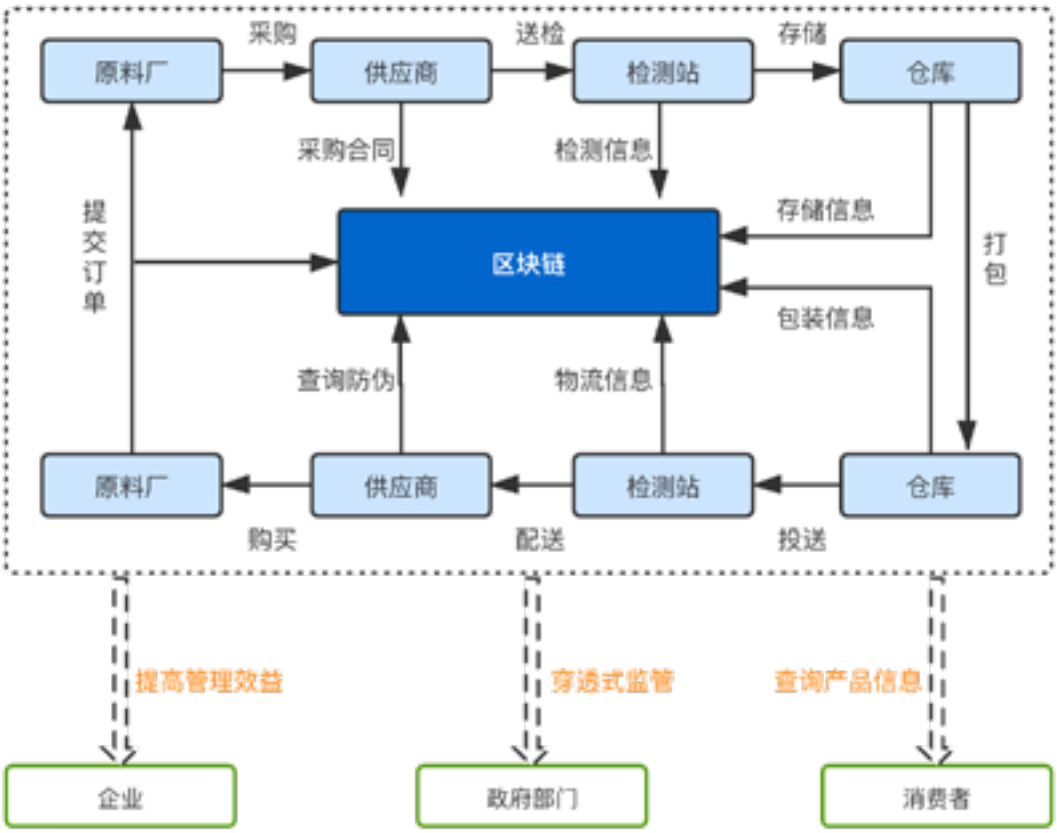
例如，作为物联网重要的一部分，车联网实际上相当于汽车的数据生态系统，不断有新车加入网络，并进行大数据联接。区块链技术的出现，为车联网带来不可篡改同时保证透明度和真实性的账本，有效、安全、保密地记录车主的行驶数据和行为。而自动驾驶汽车可以交换关键信息，如交通信息、事故报告和与其他汽车的距离等。通过这种方法，汽车制造商可以获得更多的数据并改进应对道路方案。**伴随着这些优化和改善，物联网中的区块链技术将增强物联网生态系统的安全协议。区块链将提供用于安全数据存储和数据交换的公共和私有分散网络。**

【3】其他

1. 区块链 + 商品供应链溯源

一方面，共同的区块链网络可确保供应链全程信息的透明共享且不可篡改，分布式账本对原料供应、加工、仓储配送、供应商、零售终端等各环节进行全链条信息维护。另一方面，通过区块链网络的信息同步将助力政府部门进行有效监管，监管部门可以作为其中一个节点加入到整个网络当中，实现来源可查、去向可追、责任可究。**综合来看，商品供应链涉及多个厂商环节、全流程长，区块链技术正是解决节点互信、数据隐私、友好对接监管的关键，且区块链技术实现了各业务环节的信息化、在线化，提升了运转效率；而从消费者角度来看，对物品安全的监督保障将成为全产业链的标配。**

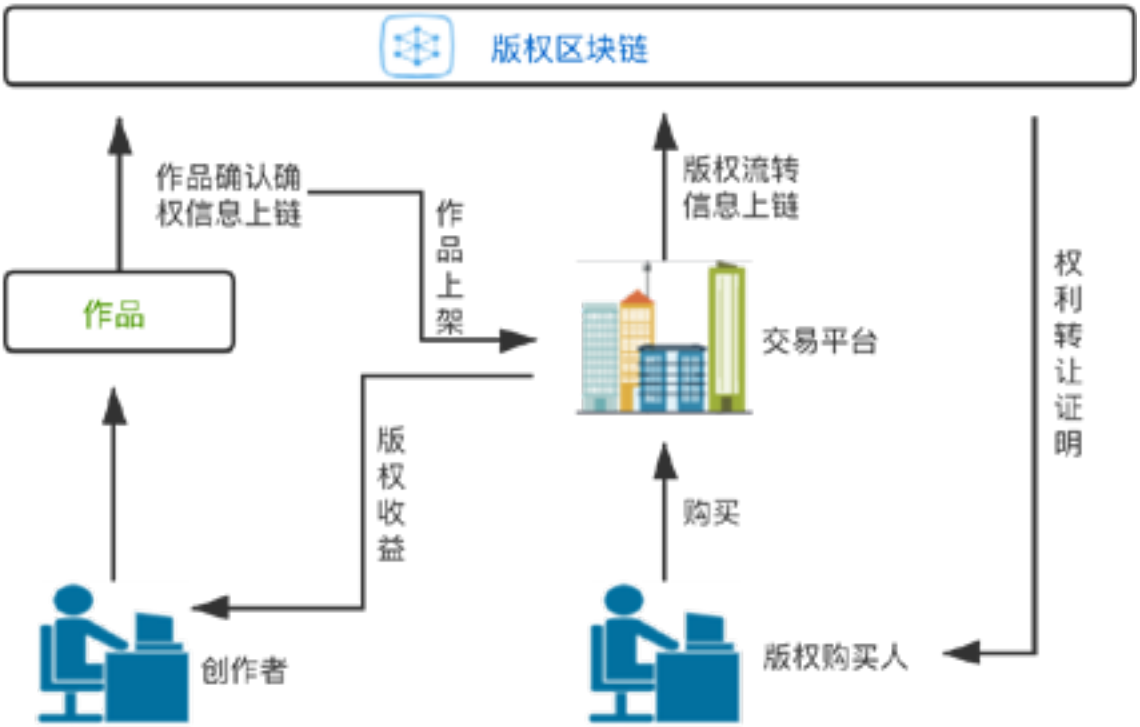
例如京东智臻链，针对每个商品，记录从原材料采购到售后的全生命周期闭环中每个环节的重要数据。平台基于区块链技术，与联盟链成员共同维护安全透明的追溯信息，建立科技互信机制，保证数据的不可篡改性和隐私保护性。京东智臻链区块链防伪追溯平台已经全面涵盖了十余个领域。



图：区块链 + 商品溯源　　资料来源：公开资料、InfoQ 研究院

2. 区块链 + 数字版权确权

在作品传播获得极大便利的背景下，原创作品面临版权被侵害的风险显著增大，文字、音乐、美术、电影等领域面临版权登记成本高、举证困难、维权难等问题。区块链作为带有时间戳信息的分布式数据库，可提供实时、不可篡改的跟踪记录，而通过智能合约，作品用户还可以向作品的版权所有人进行自动化支付。**基于上述技术特征，区块链可适用于数字化产物、非标化产物的版权确权和转播环节，数字化产物如文字、音乐、美术、摄影作品等，非标化产物如用户数据、算法等信息。**目前，纸贵、Binded 等区块链均打造了具有法律效益的产权确认、交易平台，通过区块链技术重塑版权价值。



图：5G 是实现云华机器人的基础技术　　资料来源：Ericeeon Technology Review、InfoQ 研究院

参考资料：

1、《区块链应用研究系列（四）：区块链 + 版权领域》，哈希研究院，2018 年 4 月

2、《区块链新基建（一）：溯源——以区块链为器，掘进数据价值》，国盛证券，2020 年 5 月

3、《区块链改变世界：步入区块链 + 新时代》，作者：林大雁

InfoQ研究院：
新科技行业洞察者，技术创新咨询领军人

InfoQ 研究院依托 InfoQ 传媒多年技术领域的持续深耕、结合复合型研究团队的深度专业积累及对最新技术趋势的深入洞察，打造出独家技术创新研究咨询方法论。研究院以新科技领域为原点辐散各大传统行业，为企业、政府、金融机构等多类客户提供全流程的极具针对性的技术创新咨询服务，支持制定重大商业决策，帮助把握新时代下的新机遇，全力解决新时代下商业及政府机构技术创新突破及转型难题，致力于成为新科技领域创新咨询方面的领军人。

具体研究咨询业务包括但不限于：新科技行业研究及分析、技术创新咨询解决方案、技术对接及赋能、科技赛道扫描、咨询 + 项目落地整体解决方案等多项专业研究及咨询服务等。

免责声明

1. 本报告作者具有专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究思路，力求客观和公正，特此声明。

2. InfoQ 不会因为接收人接受本报告而将其视为客户。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。

3. 本报告的信息来源于已公开的资料，InfoQ 对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映 InfoQ 于发布本报告当日的判断。在不同时期，InfoQ 可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。InfoQ 不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，InfoQ 对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。

4. 在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的最终建议。在任何情况下，InfoQ、InfoQ 员工或者关联机构不承诺读者一定获利，不与相关人士分享收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。读者务必注意，其据此做出的商业决策与 InfoQ、InfoQ 员工或者关联机构无关。

5. 本报告版权仅为 InfoQ 所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表。如征得 InfoQ 同意进行刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

InfoQ 出品，引用、转载请标明出处；
禁止商用转载，违规转载法律必究。

展望前沿趋势、了解最佳实践，
请关注 InfoQ Pro

报告撰写人员

InfoQ 研究院研究总监： 谭 莹

Wechat： zhiniezhinie

InfoQ 研究院分析师： 刘 晖

Wechat： priatesoso

感谢人员：

InfoQ 市场公关经理： 邓瑞恒

Wechat： Reain_n