



# 中国人工智能系列白皮书

## ——智能产品与产业

中国人工智能学会

二〇二二年六月



### 《中国人工智能系列白皮书》编委会

主 任：戴琼海

执行主任：王国胤

副 主 任：陈 杰 刘成林 刘 宏 孙富春 王恩东 王文博  
赵春江 周志华

委 员：班晓娟 曹 鹏 陈 纯 陈松灿 邓伟文 董振江  
杜军平 付宜利 古天龙 桂卫华 何 清 胡国平  
黄河燕 季向阳 贾英民 焦李成 李 斌 刘 民  
刘庆峰 刘增良 鲁华祥 马华东 苗夺谦 潘 纲  
朴松昊 钱 锋 乔俊飞 孙长银 孙茂松 陶建华  
王卫宁 王熙照 王 轩 王蕴红 吾守尔·斯拉木  
吴晓蓓 杨放春 于 剑 岳 东 张小川 张学工  
张 毅 章 毅 周国栋 周鸿祎 周建设 周 杰  
祝烈煌 庄越挺

### 《中国人工智能系列白皮书——智能产品与产业》编写组

陈建华 陈健瑞 陈亚敦 常永波 韩力群  
何清素 侯向往 刘 劼 马立新 孟庆浩  
任 勇 盛国辉 田新诚 吴怀化 王景璟  
王中成 魏 维 杨启蓓 赵姝颖



# 目 录

引言.....	1
<b>第 1 章 智能产品与产业概述 .....</b>	<b>1</b>
1.1 智能产业的产业链 .....	1
1.1.1 基础层 .....	2
1.1.2 技术层 .....	3
1.1.3 应用层 .....	4
1.2 传统产品的智能化 .....	4
1.2.1 传统产品智能化 .....	4
1.2.2 智能产品赋能技术 .....	5
1.2.3 典型智能产品 .....	7
1.3 智能产品与产业的主要特点 .....	11
1.3.1 智能产品的主要特点 .....	11
1.3.2 智能产业的主要特点 .....	12
1.4 智能产品与产业的发展概况 .....	13
<b>第 2 章 智能产品与产业研究热点 .....</b>	<b>17</b>
2.1 前沿热点 .....	17
2.1.1 人工智能助力实现“双碳” .....	17

2.1.2	人工智能助力教育发展 .....	17
2.1.3	人工智能辅助新型药物研发 .....	18
2.1.4	无人驾驶探索出行的终极解决方案 .....	18
2.1.5	人工智能物联网实现万物智联 .....	18
2.2	研究学者与产业界专家 .....	19
2.3	技术伦理 .....	21
2.4	智能产品标准研究 .....	25
<b>第 3 章</b>	<b>典型智能产品及其关键特征 .....</b>	<b>31</b>
3.1	典型/成熟智能产品分析 .....	31
3.1.1	智能服务机器人 .....	31
3.1.2	智能物联网产品 .....	35
3.1.3	智能个人终端 .....	45
3.1.4	智能芯片 .....	48
3.1.5	智能运载工具 .....	53
3.2	正在取得突破的智能产品 .....	58
3.3	关键特征分析 .....	60
3.3.1	情景感知 .....	60
3.3.2	自主学习 .....	61

3.3.3	智能决策 .....	62
3.3.4	协同交互 .....	63
<b>第 4 章</b>	<b>人工智能技术与传统产业的融合发展 .....</b>	<b>64</b>
4.1	智能制造 .....	64
4.1.1	智能制造系统架构 .....	65
4.1.2	智能制造主要特征 .....	67
4.1.3	智能制造关键技术 .....	68
4.2	智慧交通 .....	79
4.2.1	概述 .....	79
4.2.2	智慧交通系统组成 .....	80
4.2.3	智慧交通系统关键技术 .....	84
4.2.4	中国智慧交通产业市场规模 .....	86
4.2.5	智慧交通系统发展趋势 .....	87
4.3	智能电力 .....	88
4.3.1	新型电力系统人工智能能力平台 .....	88
4.3.2	电网高压断路器大数据智能在线监测系统 .....	94
4.4	智慧农业 .....	98
4.4.1	智能农场感知 .....	98

4.4.2	自主作业农机 .....	100
4.4.3	农业专家决策系统 .....	102
4.5	智慧医疗 .....	103
4.5.1	智慧医院管理 .....	103
4.5.2	智慧诊疗 .....	112
4.5.3	辅助诊疗 .....	114
4.6	智慧教育 .....	117
4.6.1	智慧教育内涵 .....	117
4.6.2	智慧教育关键技术 .....	117
4.6.3	智慧教育典型应用 .....	120
4.6.4	智慧教育行业发展 .....	123
4.7	智慧矿山 .....	125
4.7.1	智慧矿山的基本内涵 .....	125
4.7.2	数字孪生模型的构建 .....	126
4.7.3	基于数字孪生的智慧矿山 .....	128
4.8	智慧安防 .....	129
4.8.1	智慧安防概念 .....	129
4.8.2	智慧安防系统原理 .....	130
4.8.3	智慧安防关键技术 .....	132



4.8.4	智慧安防典型产品 .....	133
4.8.5	智慧安防典型应用 .....	134
4.8.6	智慧安防技术发展前景 .....	136
4.8.7	智慧安防行业产业概述 .....	137
<b>第 5 章</b>	<b>未来趋势与展望 .....</b>	<b>141</b>
5.1	发展机遇 .....	141
5.1.1	“十四五”规划 .....	141
5.1.2	产学研用共同推动 .....	142
5.1.3	传统行业转型与 AI 技术落地 .....	143
5.2	人工智能技术发展面临的挑战 .....	144
5.2.1	技术攻关尚存难度 .....	144
5.2.2	算法缺陷引发争议 .....	145
5.2.3	产品同质化待解决 .....	146
5.2.4	创新要素仍需完善 .....	147
5.2.5	人才培养是关键 .....	148
5.3	当前智能产品与产业的需求分析 .....	150
5.3.1	政府需求 .....	150
5.3.2	企业需求 .....	152

5.3.3 公众需求 .....	153
5.4 发展趋势 .....	154
5.4.1 人工智能技术研究将加快形成核心能力 .....	154
5.4.2 人工智能的应用领域将不断扩大 .....	155
5.4.3 技术向善理念将全产业链落地 .....	156
5.4.4 人工智能关键生态要素将不断完善优化 .....	157
5.4.5 中国 AI 产业将在高端技术封锁中破壁前行 .....	157
总结 .....	160
参考资料 .....	164

## 引言

人工智能产业是指以人工智能关键技术为核心的、由基础支撑和应用场景组成的、覆盖领域极为广阔的行业群。智能产品是指用人工智能技术赋能的产品。

当前，人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力，正在催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式，从而引发经济结构的重大变革，实现社会生产力的整体提升。人工智能技术的应用正在成为众多传统产业发展、产品升级换代的突破点，推动产业的智能化转型与产品的智能化升级。

我国人工智能产业起步较晚，但发展势头迅猛。近年来，智能化基础设施体系高速发展，全产业链基本形成，相关智能产品的种类和形态日益丰富，产业分布渐趋合理。人工智能和产业加速深度融合发展，正在掀起新一轮科技创新浪潮，不仅推动中国经济的转型升级，而且为全球创新体系的重塑奠定基础。

目前，我国的人工智能企业广泛分布在 20 个重点应用领域。其中，企业技术集成与方案提供应用领域占比最高，说明在全面融合发展阶段，突破应用领域的共性和关键技术是中国人工智能产业关注的焦点。从应用领域企业融资额的分布看，智慧商业和零售，科技金融、新媒体和数字内容类应用领域的融资额最高，智慧交通、关键技术研发和应用平台、企业技术集成与方案、智能硬件也均属于占比较高的应用领域。

2020 年 9 月，我国提出二氧化碳排放力争“2030 年前达到峰值，2060 年前实现碳中和”，从当下到未来几十年，我们将处于智能化时代与碳中和时代叠加共振的时代。在中国经济较快增长的背景下，实现碳中和的关键在于降低单位 GDP 能耗，这对能源、交通、制造业和城市建设规划等许多领域带来了较大的减排压力。而 AI 技术有望

从多维度、多场景推动各行各业的提效降耗，必将在低碳减排进程中发挥巨大的、不可替代的作用。事实上，AI 技术的日益普及正在催生以绿色清洁为特色的绿色生产力的整体跃升，推动社会进入提质增效减排的智能化时代。因此，AI 技术将取代传统信息技术成为数字经济发展的核心驱动力、重要战略抓手，数字经济发展需要用 AI 技术构建坚实的底座。

在全球人工智能发展的浪潮下，市场对人工智能的投入与期望空前巨大，正确理解智能产品与产业目前的发展状态、市场预期、发展趋势，是各行业企业的重要任务之一。本白皮书旨在为各类企业在人工智能方向上的布局与行动举措提供参考信息与建议，同时也为智能产品生产企业和人工智能企业在具体发展方向的选择上提供参考。

本白皮书由五章组成，第 1 章介绍了智能产品与智能产业的概念、特点以及发展状况；第 2 章阐述了前沿热点、智能产业龙头、智能产品标准等问题；第 3 章梳理总结了典型智能产品的应用场景与应用案例，并分析了智能产品的关键特征；第 4 章介绍了传统产业智能化转型的典型行业，包括智能制造、智能交通、智能电力、智慧农业、智慧医院、智慧教育、智慧矿山、智慧安防等八大传统行业与 AI 技术融合发展的情况；第 5 章阐述了智能产品与产业的发展趋势，讨论了发展机遇与面临的挑战，分析了智能产品与产业的市场需求，并对未来发展趋势进行展望。

# 第 1 章 智能产品与产业概述

## 1.1 智能产业的产业链

人工智能产业是指一类以人工智能关键技术为核心的、由基础支撑和应用场景组成的、覆盖领域极为广阔的行业群。我国人工智能产业起步较晚，但‘十三五’以来发展势头迅猛。目前，智能化基础设施体系高速发展，人工智能全产业链基本形成，并带动传统企业加速转型升级。

从产业链看（见图 1.1），人工智能产业包括基础技术支撑、人工智能技术、人工智能应用三个层次，分别对应产业链的上游、中游和下游。其中，基础技术支撑由数据中心和运算平台构成，数据传输、运算和存储等；AI 技术是基于基础层提供的存储资源和大数据，通过机器人学习建模，开发面向不同领域的应用技术，包含感知智能和认知智能两个阶段，感知智能如语音识别、图像识别、自然语言处理和生物识别等；认知智能如机器学习、预测类 API 和人工智能平台。AI 应用（AI+或智能化）即用 AI 技术为千行百业赋能，实现不同场景的应用，如无人车、智能家居、智能医疗等。

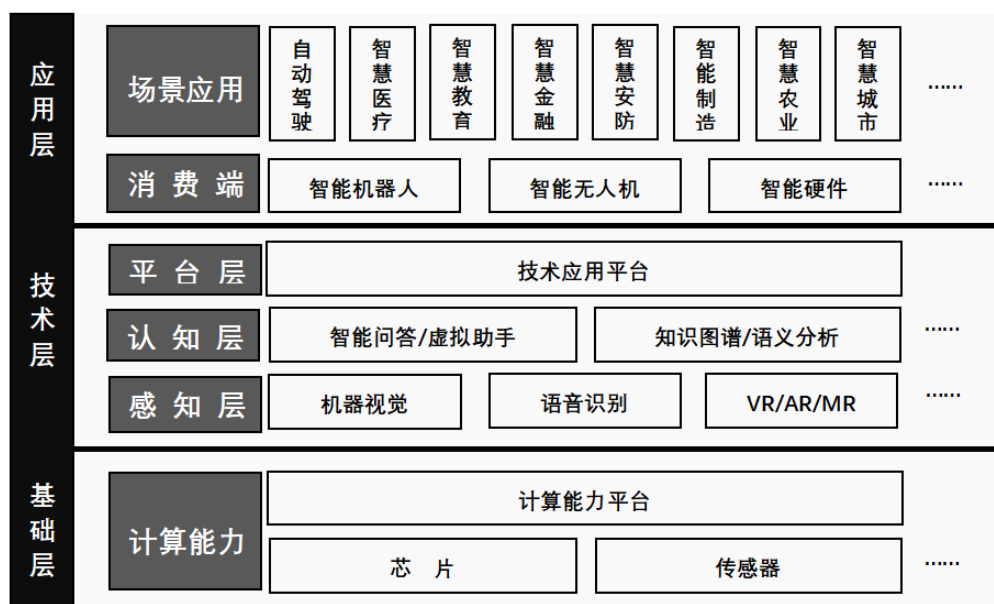


图 1.1 人工智能产业链

### 1.1.1 基础层

在人工智能领域，传统的芯片计算架构已无法支撑深度学习等大规模并行计算的需求，需要新的底层硬件来更好地储备数据、加速计算过程。基础层主要以硬件为核心，其中包括 GPU/FPGA 等用于性能加速的硬件、神经网络芯片、传感器与中间件，这些是支撑人工智能应用的前提。这些硬件为整个人工智能的运算提供算力，目前多以国际 IT 巨头为主。

目前在 GPU 领域，英伟达主打工业级超大规模深度网络加速，并于日前推出了基于 Volta、首款速度超越 100TFlops 的处理器 Tesla；英特尔主要围绕 FPGA 构建产业，推出了模仿人脑的人工智能芯片；谷歌也推出了第二代 TPU 芯片，为自己的开源 TensorFlow 框架提供芯片支撑。此外，这一领域还有众多初创公司，如中星微、寒武纪以及西井科技等，但在产业布局能力和研发实力方面还不可与这些巨头匹敌。

AI 芯片提供微处理器，用来加速深度神经网络、机器视觉以及其他机器学习算法。例如，谷歌（ASIC）、英伟达（GPU）的云端训练微处理器；谷歌（ASIC）、英伟达（GPU）、AMD（GPU）、英特尔（FPGA）、Actel（FPGA）、赛灵思（FPGA）、Altera（FPGA）（被英特尔收购）的云端推理微处理器；高通（移动端）、深鉴科技（机器人）、寒武纪科技（移动端、CV、机器人）、地平线科技（CV、机器人、语音）、FaceOS（CV）、思必驰（语音）、声智科技（语音）、云知声（语音）、启英泰伦（语音）、耐能（IoT）、NovuMind（IoT）、微软（VR）、华捷艾米（VR）、IBM（类脑芯片）、西井科技（类脑芯片）的设备端推理微处理器；等等。

视觉传感器用于捕捉和分析视觉信息，代替人眼做各种测量和判断。图像传感器及视觉算法/软件解决方案提供商主要有：禾赛科技、巨星科技、slamtec、robosense、北科天绘、Quanergy、Velodyne

LiDAR、大族激光、中海达、擂神智能、北醒、数字绿土等激光雷达提供商；博世、隼眼科技、Continental、DENSO、行易道科技、Delphi、森思泰克、智波科技、cheng-tech、ZF TRW、HELLA、Autoliv 等毫米波雷达提供商；海康威视、大华、宇视科技、Tiandy、Towe、汉邦高科、泰科、亚安科技等监控摄像头提供商；索尼、Hella、Panasonic、博世、ZF TRW、Continental、OmniVision、Mobileye 等自动驾驶摄像头提供商；以及 Microsoft、苹果、华捷艾米、凌感、Vidoo、Orbbec3D 等体感检测提供商。

### 1.1.2 技术层

技术层是人工智能发展的核心，对应用层的产品智能化程度起到决定性作用。在这一发展过程中，算法和计算力对 AI 的发展起到主要推动作用。技术层主要依托基础层的运算平台和数据资源进行海量识别训练和机器学习建模，以及开发面向不同领域的应用技术，包含感知智能和认知智能两个阶段。其中，感知智能阶段通过传感器、搜索引擎和人机交互等实现人与信息的连接，获得建模所需的数据，如语音识别、图像识别、自然语音处理和生物识别等；认知智能阶段对获取的数据进行建模运算，利用深度学习等类人脑的思考功能得出结果，如机器学习、预测类 API 和人工智能平台等。在此基础上，人工智能才能够掌握“看”与“听”的基础性信息输入与处理能力，才能向用户层面演变出更多的应用型产品。

当前，国内的人工智能技术平台在应用层面主要聚焦于计算机视觉、语音识别和语言技术处理领域，国内技术层公司发展势头也随之迅猛，其中的代表性的企业包括科大讯飞、格灵深瞳、捷通华声（灵云）、地平线、SenseTime、永洪科技、旷视科技、云知声等。

目前技术驱动层算法和计算力是人工智能产业发展的主要驱动力，开源化和通用化是发展趋势。AI 通用技术公司开始向产业链上下游延伸，用整套解决方案深耕垂直领域。

### 1.1.3 应用层

应用层主要是基于基础层与技术层实现与传统产业的融合，实现不同场景的应用。随着人工智能在语音、语意、计算机视觉等领域实现的技术性突破，将加速应用到各个产业场景。

应用层按照对象不同，可分为消费级终端应用以及行业场景应用两部分：消费级终端包括智能机器人、智能无人机以及智能硬件三个方向，场景应用主要是对接各类外部行业的 AI 应用场景。近年来，国内企业陆续推出应用层面的产品和服务，比如小 i 机器人、智齿客服等智能客服，“出门问问”、“度秘”等虚拟助手，工业机器人和服务型机器人也层出不穷，应用层产品和服务正逐步落地。

其中，IBM 最早布局人工智能，“万能 Watson”推动多行业变革；百度推出“百度大脑”计划，重点布局无人驾驶汽车；而谷歌的人工智能业务则较为繁杂，多领域遍地开花，包括 AlphaGo、无人驾驶汽车、智能手术机器人等；微软在语言语义识别、计算机视觉等领域保持领先。除此之外，家电行业也掀起了人工智能的热潮，不少家电企业都瞄准了人工智能，潜心研发 AI 技术，将其应用于家电产品。今年以来，长虹、美的、格力、格兰仕等都在向智能制造转型，试图立足“SmartHome”，将人工智能和智慧家庭更紧密地结合在一起。

## 1.2 传统产品的智能化

### 1.2.1 传统产品智能化

智能产品是指利用人工智能技术赋能传统产品，以及将人工智能技术技术成果集成化、成品化。

各类智能技术的综合应用，有望将使机器和各类产品的“感觉”能力提升为“感知”能力，机器的“自动执行”能力提升为“自主决策”能力，机器“调度知识”的能力提升为通过学习“获取知识”的能力。真正的智能产品将不再是传统的机电工具，它们将具有类似人



的思维、类似人的心理和情感，善解人意，表情丰富，行为举止愈来愈有“人”的特点。

目前市场上充斥着大量伪智能产品（未采用任何人工智能技术），为了甄别和评价智能产品，需要制定相应的标准。近年来，政产学研用各界都在呼吁有关部分研究制定术语规范、内涵专业、通用性强的智能产品相关标准，为制造商、销售商、监管部门和消费者提供一个具有较高的技术权威性、较强的操作性和指导性的、评价智能产品“智商”水平的依据。

### 1.2.2 智能产品赋能技术

智能产品是指利用人工智能技术赋能的高科技产品，以及人工技术成果的集成化与成品化。表 1.1 中列出了与智能产品相关的赋能技术，其中，机器学习、自然语言处理、图像处理、人机交互等一大批人工智能技术已相对成熟并得到大量应用。

**表 1.1 智能产品相关赋能技术**

大数据/云计算	相似性测度	知识发现与知识处理
智能机器人	机器智能水平的分级与评测	生物信息学与人工生命
机器学习	人类思维的可建模性	群智能与社会智能
情境感知	类比与联想模型	智能优化计算
情感计算	遗忘机制与模型	信息的认知和计算
自然语言处理	智能网络	智慧决策分析
物联网	机器感知	归纳推理模型
普适计算	图像与视频理解与处理	情感感知

#### 1. 机器学习技术

指计算机通过对大量已有数据的处理分析和学习，从而拥有预测

判断和做出最佳决策的能力。这项技术与计算机科学、统计学、数学优化算法等都有着密不可分的关系。其代表算法有深度学习、人工神经网络、决策树、增强算法等。

## 2. 自然语言处理技术

指让计算机可以理解人类的语言，包括将人类语言转化为计算机程序可以处理的形式及将计算机数据转化为人类自然语言两种形式。这里指的语言可以是声音也可以是文字。这项技术的主要内容包括信息检索、信息抽取、词性标注、句法分析、多语处理、语音识别等。

## 3. 图像处理技术

指让计算机拥有人类的视觉功能，可以获得、处理并分析和理解图片或多维度数据。这项技术的主要内容包括图像获得、图像过滤和调整、特征提取等。

## 4. 人机交互技术

指计算机系统和用户可以通过人机交互界面进行交流。这项技术包括的主要内容包括计算机图像学、交互界面设计、增强现实等。

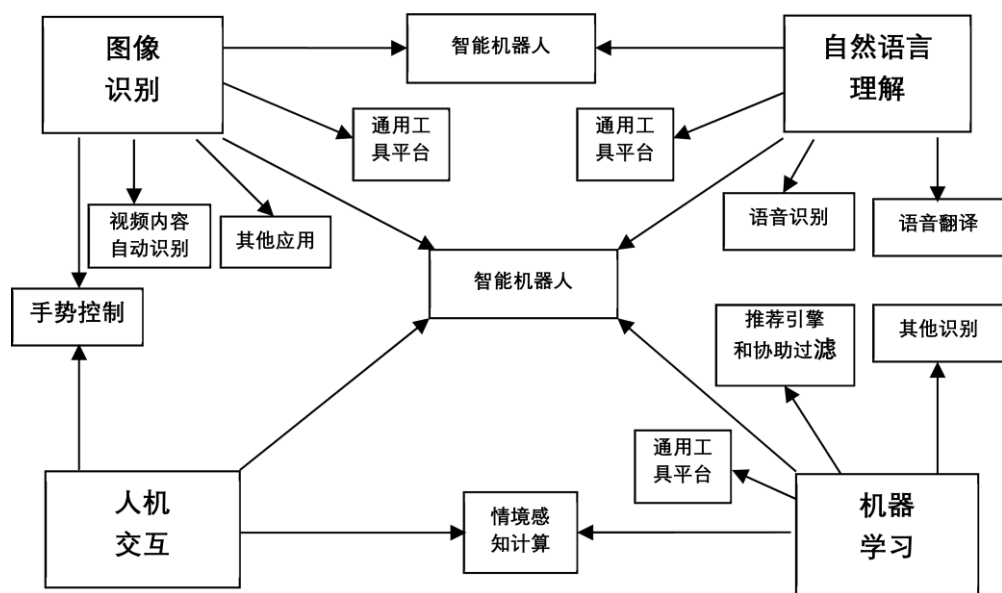


图 1.2 人工智能技术框架（资料来源：中信证券研究部策略组）

### 1.2.3 典型智能产品

随着制造强国、质量强国、网络强国、数字中国建设进程的加快，在制造、家居、金融、教育、交通、安防、医疗、物流等领域对人工智能技术和产品的需求将进一步释放，相关智能产品的种类和形态也将越来越丰富。典型智能产品如表 1.2 所示。

表 1.2 典型智能产品

分 类	典型产品示例	
智能机器人	工业机器人	焊接机器人、喷涂机器人、搬运机器人、加工机器人、装配机器人、清洁机器人以及其它工业机器人
	个人/家用服务机器人	家政服务机器人、教育娱乐服务机器人、养老助残服务机器人、个人运输服务机器人、安防监控服务机器人
	公共服务机器人	酒店服务机器人、银行服务机器人、场馆服务机器人和餐饮服务机器人
	特种机器人	特种极限机器人、康复辅助机器人、农业（包括农林牧副渔）机器人、水下机器人、军用和警用机器人、电力机器人、石油化工机器人、矿业机器人、建筑机器人、物流机器人、安防机器人、清洁机器人、医疗服务机器人及其它非结构和非家用机器人
智能运输工具	自动驾驶汽车	
	轨道交通系统	
	无人机	无人直升机、固定翼机、多旋翼飞行器、无人飞艇、无人伞翼机
	无人船	
智能终端	智能手机	
	车载智能终端	
	可穿戴终端	智能手表、智能耳机、智能眼镜
自然语言处理	机器翻译	
	机器阅读理解	
	问答系统	
	智能搜索	

分 类	典型产品示例	
计算机视觉	图像分析仪、视频监控系统	
生物特征识别	指纹识别系统	
	人脸识别系统	
	虹膜识别系统	
	指静脉识别系统	
	DNA、步态、掌纹、声纹等其它生物特征识别系统	
VR/AR	PC 端 VR、一体机 VR、移动端头显	
人机交互	语音交互	个人助理
		语音助手
		智能客服
	情感交互	
	体感交互	
	脑机交互	

### 1. 智能机器人类产品

智能机器人属于第三代机器人，能够将多种传感器信息进行融合，能够有效地适应环境变化，具有较强的自适应能力、学习能力和自治功能。

近年来，我国的智能机器人研发和产品化取得了较快的进展，智能机器人产品日益丰富，性价比显著提高。但智能水平多处于初级阶段，多数智能机器人的自主性不高，适应环境变化的能力不强。进一步提升智能机器人的智能水平，涉及的关键技术主要包括：核心零部件技术、多传感信息耦合技术，导航和定位技术，机器人视觉技术，智能控制技术和人机接口技术等。

### 2. 智能运载工具类产品

智能运载工具主要包括用于陆地、空中和水中的各类自主无人系统，如无人地面车辆、无人机、无人水面艇和无人潜航艇等。研制自主无人系统，已成为人工智能发展的标志性成果。近年来，我国自主

研发的无人机、无人车、轨道交通自动驾驶系统已经开始在相关领域投入使用。预计到 2020 年，我国无人机将实现多行业、规模化、产业化应用；我国将开发出轨道交通自动驾驶核心共性技术，完成自动驾驶系统的示范工程建设，形成一套符合国际规范的中国标准。2030 年，我国能够在局部地区和环境实现商业化的无人驾驶；无人机应用覆盖率达到全空域、全行业 50%；逐步实现全国范围内城市轨道交通全自动无人驾驶，并在高速铁路上逐步推广应用自动驾驶。

### 3. 智能终端类产品

智能终端类产品广泛应用于人们的日常生活、工作与娱乐等多个方面。近年来，随着社会经济发展和居民消费水平提高，人们对智能终端的需求越来越大。目前多数移动智能终端产品以小而美的产品为主，可穿戴设备、VR/AR 等产品以其轻便、价优、智能的特点迅速进入普通消费者视线，多技术、多应用的融合以及多样化的需求，使得我国智能终端产品更新换代的速度也越来越快，从而推动智能终端的升级和进一步发展。根据预测，2018 年全球智能终端设备（包括可穿戴设备电话、平板电脑、PC 等）的装机量将达到 83 亿台；全球智能可穿戴设备市场规模将由 2015 年的 154 亿美元增长至 2021 年的 427.5 亿美元，年平均复合增长率约 18.55%，其中智能手表市场规模将由 53.9 亿美元增长至 176.5 亿美元，年平均复合增长率达到 21.86%。VR/AR 目前仍处于起步期，未来有望维持高速增长水平。

### 4. 自然语言处理类产品

针对一定应用、具有相当自然语言处理能力的实用系统已经出现，有些已商品化，甚至开始产业化。典型的例子有：多语种数据库和专家系统的自然语言接口、各种机器翻译系统、全文信息检索系统、自动文摘系统、开放式问答系统、智能搜索引擎等。从现有的理论和技术现状看，通用的、高质量的自然语言处理系统，仍然是较长期的努力目标。

## 5. 计算机视觉类产品

目前计算机视觉类产品品种多样，功能齐全，性能可靠，广泛用于交通、安防等领域。以交通为例，视频监控系统已成为车牌识别、车速测量、逆行告警、流量统计等场景不可或缺的关键设备。

视频监控系统的广泛应用必然带来对智能图像分析系统的需求，根据智能分析算法实现的方式，可将目前的图像分析类产品概括为以下几种类型：①识别类分析，例如通过图像识别、图像比对及模式匹配等核心技术，实现对人、车、物等相关特征信息的提取与分析；②行为类分析，例如车辆逆行及相关交通违章检测、防区入侵检测、围墙翻越检测、绊线穿越检测、物品偷盗检测、客流统计等；③图像检索类分析，例如按照所定义的规则或要求，快速检索目标视频；④图像处理类分析，例如视频增强技术（去噪、去雾、锐化、加亮等）、视频复原技术（去模糊、畸变矫正等）；⑤诊断类分析，例如针对视频图像出现的常见摄像头故障进行准确分析、判断和报警。

## 6. 生物特征识别类产品

生物识别技术主要是指通过人类生物特征进行身份认证的一种技术，生物特征通常具有唯一的、可以测量或可自动识别和验证、遗传性或终身不变等特点。生物识别的核心在于如何获取这些生物特征，并将之转换为数字信息，存储于计算机中，利用可靠的匹配算法来完成验证与识别个人身份的过程。由于微处理器及各种电子元器件成本不断下降，精度逐渐提高，生物识别系统逐渐应用于商业上的授权控制等领域。

我国的生物识别类产品发展迅速，已经发展了指纹识别、掌纹与掌形识别、虹膜识别、人脸识别、手指静脉识别、声音识别、签字识别、步态识别、键盘敲击习惯识别，甚至 DNA 识别等多种生物识别技术。目前相关市场上占有率最高的是指纹机，随着人脸识别技术日益成熟，未来将有越来越多的场景使用人脸识别产品。

## 7. VR/AR 类产品

VR 产品可分为 4 类：硬件设备、内容制作、分发平台以及 B 端应用。目前国内 VR 产品以硬件设备为主，B 端应用逐渐开始实际应用，而内容制作和分发平台则刚刚起步，但线下体验店和主题乐园已经是较为成熟的商业模式。

整体来看，中国企业在 VR/ARVR 域的技术相对薄弱和滞后，缺少基础性的核心技术。国际巨头 VR/AR 领域的研究热点主要集中在信号处理技术、内容制作技术、识别追踪、系统控制技术等方面，主要应用于与人体相关的识别、电子商务、教学培训模拟、游戏、人体医疗健康的测量诊断等领域。预计我国的 VR/AR 产品研发方向将重视这些领域，加强上述领域的研究与布局。

## 8. 人机交互类产品

目前，以 PC 为主的互动方式仍是人机交互产品的主流，以触控为首的自然互动方式则代表着人机交互的新方向，而体感识别更将这种人体触控发挥到极致。伴随着触控、体感这两种最流行普及的交互技术的成熟，语音识别的进化也突飞猛进。例如，基于语音识别、语音合成、自然语言理解等技术的智能语音交互类产品，能够广泛用于多个应用场景中，包括智能问答、智能质检、法庭庭审实时记录、实时演讲字幕、访谈录音转写等场景，在金融、保险、司法、电商、智能汽车等多个领域均有应用案例。如今，在多点触摸、语音识别、体感识别等这三大交互技术流行的大环境下，许多智能产品正在多种实际应用场景下给用户以“能听、会说、懂你”式的智能人机交互体验。

# 1.3 智能产品与产业的主要特点

## 1.3.1 智能产品的主要特点

智能产品是具有人工智能的机器、工具或计算机程序等人造产品。作为一种智能产品，其核心特点是采用了一种或多种人工智能技术，并由于该人工智能技术的赋能而使产品具有一种或多种类似人的

智能特点。目前智能产品的主要特点包括：自学习、自适应、自协调、自诊断、自推理、自组织、自校正，等等。

#### 1. 自学习

智能产品（或系统）在训练或工作过程中，自主获取新知识或技能，通过调整参数，改进其性能的智能行为。

#### 2. 自适应

智能产品（或系统）自主修正自身的特性以适应工作环境的扰动或系统动态特性变化的智能行为。

#### 3. 自协调

智能产品（或系统）在工作过程中，各组成环节自主相互配合的智能行为。

#### 4. 自诊断

智能产品（或系统）自主判断自身故障的智能行为。

#### 5. 自推理

智能产品（或系统）根据检测数据或实际工况自主做出推测或推断的智能行为。

#### 6. 自组织

智能产品（或系统）在训练或工作过程中，为适应任务需要而自主调整系统参数或结构的智能行为。

#### 7. 自校正

智能产品（或系统）自主校准零点、量程或其他设计参数的智能行为。

人工智能技术的不断突破与应用将推动传统产品的智能水平日新月异。近年来，智能汽车、智能计算机、智能机器人、智能家居、智能家电等一大批直接服务于人的产品其智能化正在提速，智商正在提升。人工智能技术的综合应用，正在使智能产品的“感觉”能力提升为“感知”能力，“自动执行”能力提升为“自主决策”能力，“调度知识”



的能力提升为通过学习“获取知识”的能力。可以期待：智能产品的进一步发展将因具有人工情感而人-机和谐；具有感知能力而反应敏捷；具有自学习能力而熟能生巧；具有自然语言理解能力而善解人意。

### 1.3.2 智能产业的主要特点

目前我国人工智能产业化落地加快推进，社会服务领域应用场景丰富，产业智能化进程中呈现出三个鲜明特点。

#### 1. AI 技术普及化

近年在决定企业产生经济效益的各个环节，都已能够看到人工智能的身影。人工智能正在催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式，实现社会生产力的整体跃升，推动社会进入智能经济时代。据估算，目前中国大型企业基本都已在持续规划投入实施人工智能项目，而全部规模以上企业中约有超过 10% 的企业已将人工智能与其主营业务结合，实现产业地位提高或经营效益优化。

#### 2. 知识产业化

知识是 AI 的基础，是机器具有认知能力和自主决策能力的关键所在。在智能化时代，大数据、AI 算法和算力正在推动提炼知识和管理知识的技术不断取得突破，催生出大量知识生产企业，形成知识的产业化生产。例如，各种知识图谱构建技术、智能搜索引擎、问答系统、用户画像构建技术、文本数据挖掘技术，等等。

#### 3. 人机协同化

正如《新一代人工智能发展规划》中提出的“人机协同成为主流的生产和服务方式”。智能机器的普遍应用使以人的体力劳动力为主的工种逐渐消亡。人的自然智能与机器的人工智能的有机结合，使得人机协同与互动型工种不断增加。因此，在产业经济中，人机协同模式将长期稳定存在，推动效率变革、动能转换。

## 1.4 智能产品与产业的发展概况

我国从“十三五”开始进入人工智能发展快车道，大数据、算法

与算力等技术的升级推动了人工智能行业加速发展。目前，我国人工智能全产业链基本形成，带动实体经济转型升级，在全球人工智能产业结构中占有重要地位。



图 1.3 中国人工智能产业与全球人工智能产业图谱（制图人：中国信息通信研究院华东分院 常永波）

从产业智能化发展阶段看，实现 AI 需经历计算智能（能存会算）、感知智能（能听会说、能看会认）、认知智能（能理解会思考，即智能化的高级阶段，有待 AI 技术的突破）三个阶段。当前产业智能化进程正处于从感知智能向认知智能过渡的初始阶段。

从 AI 产业结构看：中国人工智能产业结构逐渐完善，智能视觉、智能交通等领域大额融资突出，智能教育、智能医疗、智能机器人领域人工智能独角兽快速成长，领军型巨头企业在智能交通、智能医疗、智慧商务等垂直领域密集布局。

从企业的创新主体作用看：近年中国企业在人工智能领域技术创

新中的创新主体作用正在日益强化。各大人工智能骨干企业正在成为人工智能技术研发投入的重要来源（如阿里、百度、腾讯、科大讯飞等），在 AI 基础研究和前沿技术成果方面做出越来越多贡献，并深度参与产学研协同 AI 人才培养，学术界和产业界共同驱动人工智能创新发展初具形态。

**表 1.3 全球人工智能企业市值/估值 TOP20（截至 2022.06.10）**

序号	企业名称	国家	资本市场状态	市值/估值	所属领域
1	Microsoft	美国	上市	市值 1.78 万亿美元	综合性
2	谷歌	美国	上市	市值 1.4 万亿美元	综合性
3	NVIDIA	美国	上市	市值 3911 亿美元	AI 芯片
4	IBM Watson	美国	上市	市值 1680 亿美元	智能医疗
5	ABB Robotics	瑞士	上市	市值 589 亿美元	智能机器人
6	百度	中国	上市	市值 502 亿美元	综合性
7	Fanuc	日本	上市	市值 375 亿美元	智能机器人
8	Waymo	美国	C 轮融资	估值 300 亿美元	智能交通
9	Databricks	美国	G 轮融资	估值 280 亿美元	开发平台
10	大疆创新	中国	战略融资	估值 240 亿美元	无人机
11	商汤科技	中国	上市	市值 214 亿美元	综合性
12	科大讯飞	中国	上市	市值 127 亿美元	智能语音
13	旷视科技	中国	IPO 申请中	估值 120 亿美元	计算机视觉
14	Nuro	美国	C 轮融资	估值 86 亿美元	智能物流
15	Automation Anywhere	美国	B 轮融资	估值 68 亿美元	智能机器人
16	地平线	中国	C+轮	估值 50 亿美元	AI 芯片
17	Preferred Networks	日本	C 轮融资	估值 26.7 亿美元	综合性
18	Uniphore	美国	E 轮融资	估值 25 亿美元	智能语音
19	Moveworks	美国	C 轮融资	估值 21 亿美元	开发平台
20	Graphcore	英国	D 轮融资	估值 19.5 亿美元	AI 芯片

（制表人：中国信息通信研究院华东分院 常永波）

从 AI 基础层技术发展看：近两年是中国智能芯片加速发展的一年，云-边-端侧十余款智能芯片产品集中亮相并走向商业化应用。近年中国研发的开源深度学习框架、开源工具集、开源应用软件、开源社区快速发展，中国在国际人工智能开源社区的贡献度已成为仅次于美国的第二大贡献国。

从 AI 产业集聚区域与试验区看：目前京津冀、长三角和粤港澳大湾区已成为我国 AI 发展的三大区域性引擎，AI 企业数占全国的 83%；成渝城市群、长江中游城市群也展现出 AI 发展的区域活力，产业集聚区初显区域引领和协同作用。科技部副部长李萌在近日召开的 2021 人工智能合作与治理国际论坛上说，我国目前已经有 17 个国家新一代人工智能创新发展试验区（2019 年北京市成为全国首个国家新一代人工智能创新发展试验区）。

以上情况表明，目前我国人工智能已经进入技术创新和大规模应用的高潮期，智能企业的开创期和智能产业的形成期，人工智能总体技术和应用属于世界先进水平。

## 第 2 章 智能产品与产业研究热点

### 2.1 前沿热点

#### 2.1.1 人工智能助力实现“双碳”

世界气候问题日益严重，减少碳排放逐渐成为世界主要国家的共识。人工智能正在发挥越来越大的作用助力实现“双碳”（碳达峰与碳中和）目标，而人工智能模型的公平性、可解释性以及模型质量构成了可信任的重要因素。2021 年，移动、电信、联通先后发布“十四五”节能降碳规划和目标，拟研发“5G 低碳基站”，积极推进绿色数据中心建设，提高我国智慧能源管理水平。在 AI 助力节能减排方面，据《2021 年中国人工智能助力“双碳”目标达成白皮书》显示，与 AI 相关的技术减碳贡献占比将逐年提升，至 2060 年将至少达到 70%，减碳总量将超过 350 亿吨。未来，随着 5G、数据中心等新型基础设施数量不断增加，数字化转型大力推进，运营商利用数字技术与网络赋能数字化转型，以数据中心、5G 为代表的新型基础设施绿色高质量发展，将全面支撑各行业特别是传统高耗能行业的数字化转型升级，助力实现碳达峰总体目标，为实现碳中和奠定坚实基础。

#### 2.1.2 人工智能助力教育发展

人工智能与教育行业的深度融合即为人工智能教育，涉及人工智能、计算机科学、认知科学、教育学、心理学、生理学以及行为科学等多种学科的交叉融合。例如，在作业批改中，需要用到计算机视觉技术以实现信息输入，再综合运用自然语言处理、知识图谱等技术实现上下文理解、语义分析，进而做出对错判断，甚至能够自动纠错或提出修改意见等。人工智能教育的目的是充分发挥人工智能技术优势，促进教育变革创新，加快发展伴随每个人一生的教育、平等面向每个人的教育、适合每个人的教育、更加开放灵活的教育，以及高效优质的教育。对于教育机构而言，人工智能技术也有利于执教人员精

准把握教研进度，并提升整个校园管理运营的智能化水平。

### 2.1.3 人工智能辅助新型药物研发

一款新型药物的诞生需要经历“靶点发现—制剂生产—临床试验”等环节才能批准上市，需要投入大量人力、物力和财力，研发周期长、成功率低及研发费用高是新型药物研发面临的三大困境。人工智能辅助新型药物研发以大规模数据为目标，在靶点发现、化合物合成、化合物筛选和晶型预测等环节高度参与，进而提高研发效率、缩短研发进程、缩减研发成本，最终实现技术破局。此外患者招募、临床实证设计、药物重定向等环节也是新型药物研发过程中的重要步骤，可借助人工智能技术对非结构化、半结构化和结构化的各种结构类型的医学数据进行分析、挖掘，快速获取有效信息，实现新型药物研发产业各环节技术的优化升级。

### 2.1.4 无人驾驶探索出行的终极解决方案

无人驾驶涉及自动控制、体系结构、人工智能、视觉计算等多领域，包括传感器、车辆控制、信息交换、空间图像、人机界面、道路管理等6项基本技术，涉及智能感知、自主定位、路径规划、自动控制和线控等5个方面。由于无人驾驶技术涉及诸多技术领域，企业仅依靠自身难以完成整个无人驾驶生态链的打造，越来越多的整车企业、零部件厂商、信息技术巨头通过结盟合作的方式分摊成本、解决技术难题，进而提升行业竞争力，总体呈现出跨领域、开放式、多头加入的发展特征。

### 2.1.5 人工智能物联网实现万物智联

人工智能物联网融合人工智能技术和物联网技术，通过物联网收集来自不同维度的、大规模的数据存储至云端、边缘端，再通过大数据分析等人工智能技术，实现万物数据化、万物智联化。物联网技术与人工智能相融合最终实现的是一个智能化生态体系，具体来说，不同智能终端设备之间、不同系统平台之间、不同应用场景之间可以互

融互通，万物互融。除了技术上需要不断革新外，与人工智能物联网相关的技术标准、测试标准的研发、相关技术的落地和典型案例的推广与规模化应用也是现阶段物联网与人工智能领域亟待突破的重要问题。

## 2.2 研究学者与产业界专家

人工智能蓬勃发展几十年来，杰出的学者与产业界专家层出不穷。张钹院士、李德毅院士、戴琼海院士、吴朝晖院士、焦李成教授和周志华教授等人均是中国人工智能理论发展的领军人物。



图 2.1 学者风采（从左至右，从上至下，依次为张钹、李德毅、戴琼海、吴朝晖、周志华、焦李成）

张钹院士是国内最早接触到人工智能的研究者，也是我国在人工智能领域的首批专家，他在学术研究上的主要贡献是提出问题分层求解的商空间理论，提出了统计启发式搜索算法，基于拓扑的空间规划

方法以及基于关系矩阵的时间规划算法等，极大降低了计算复杂性，具有重要的应用价值。李德毅院士作为中国著名指挥控制和人工智能专家、中国指挥与控制科学技术发展的引领者，长期从事指挥控制、系统工程和人工智能领域的研究，在指挥自动化总体论证、系统设计等方面取得了重要研究成果，在实现系统互联、信息互通、资源共享中发挥了重要作用，为指挥与控制学科队伍建设、人才培养、科学研究等诸多方面作出了贡献。他最早提出控制流—数据流图对理论和一整套用逻辑语言实现的方法，证明了关系数据库模式和一阶谓词逻辑的对等性，提出云模型和发现状态空间，用于不确定性知识表示和数据控制，在智能控制“三级倒立摆动平衡”实验中取得显著成效。戴琼海院士在立体视觉、三维重建和计算摄像仪器等方面做了大量基础性和开拓性工作。他致力于开展多维多尺度计算摄像仪器的研究，旨在提供从亚细胞、组织到器官的多尺度动态观测数据，试图突破百万级脑神经连接的观测，揭示神经系统结构和功能等脑科学规律，为创建新一代人工智能提供支撑。吴朝晖院士在服务计算方面，提出了复杂服务计算理论模型与方法，主持研制了复杂服务计算支撑平台。在脑机融合的混合智能方面，提出了混合智能体系结构及脑在回路的信息处理模型；发明了多种脑机间智能交互、融合增强的技术方法，主持构建了听视觉增强的大鼠机器人等原型系统。焦李成教授一直针对海量、高维、非结构化信息处理中的优化与学习问题展开科研工作，对基于计算智能的学习与优化理论及其在复杂影像解译中的应用进行了深入研究，在深度学习、优化与识别、人工智能、类脑计算与图像解译前沿等领域内专著，启蒙了一代 AI 领域的研究者。焦李成教授的学术及教学成果为我国人工智能领域的科学研究与人才培养起到积极的促进和指导作用。周志华教授是中国人工智能研究专家、教育专家，所撰写的“西瓜书”成为国内人工智能领域入门学习的基础读物，他长期从事人工智能核心的机器学习理论与方法研究，他完成



的项目在面向多义性对象的机器学习理论与方法方面做出了原创性、引领性成果，引发了中国国内外同行开展跟随研究，相关技术已成功应用于大型企业和国家重大工程。

按研究领域划分的人工智能出版物数量(不包括其他人工智能), 2010-21

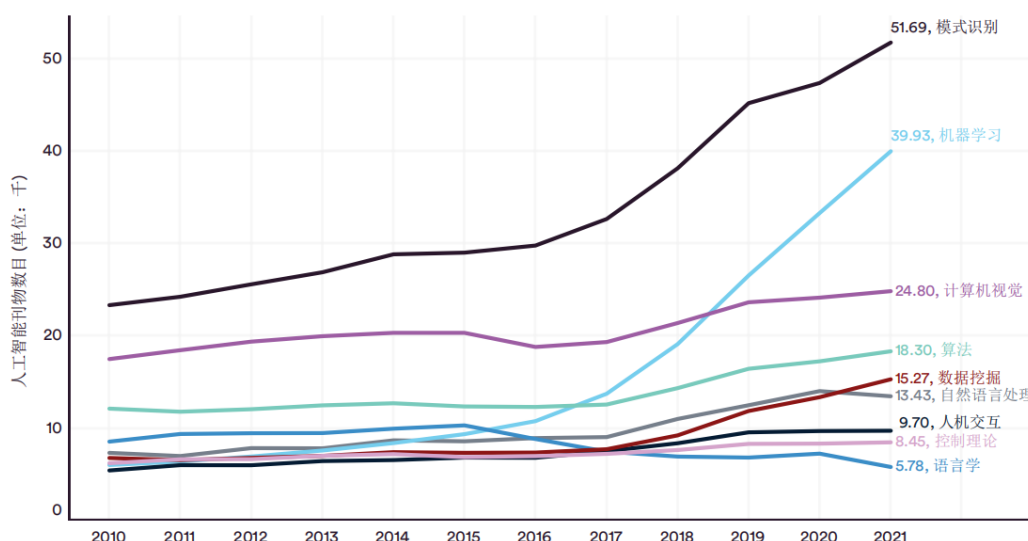


图 2.2 2010-2021 年按研究领域划分的人工智能出版物数量（数据来源：斯坦福大学 Artificial Intelligence Index Report 2022）

随着人工智能理论和技术的逐步成熟，人工智能技术也从学术界开始走向实际应用。近些年，随着人工智能技术的愈加成熟，行业应用不断落地，产业界在计算机视觉、自然语言处理、智慧城市、自动驾驶等领域百花齐放。

在计算机视觉领域，商汤科技创始人汤晓鸥带领团队做出了大量深度学习原创技术突破，并引领了人工智能在计算机视觉领域的广泛应用，其所带领的团队被誉为国内计算机视觉领域的“黄埔军校”。林元庆，曾任百度研究院院长、百度深度学习实验室主任。在百度期间，林元庆致力于搭建算法、数据、应用的闭环，领导团队在多个领域实现了技术上重大进展并且应用到百度的多项产品中去，极大地提升了产品的性能以及用户的体验。田奇作为华为云人工智能领域首席

科学家，带领团队先后在大规模图像检索、行人重识别、自动化机器学习等方面做出了一系列具有深远影响的产业化工作。

在自然语言处理领域，沈向洋在微软工作期间，领导人工智能和微软研究事业部，研究了微软认知服务，推动了语音助手“小娜”与“小冰”的产业化应用。王海峰，作为百度首席技术官，是自然语言处理领域世界上最具影响力的国际学术组织 ACL 50 多年历史上首位华人主席，创建和发展了自然语言处理、知识图谱、语音、图像、机器学习和深度学习等百度人工智能技术方向。作为国际顶级的人工智能技术专家，俞栋作为腾讯 AI Lab 副主任，在深度学习与语音识别领域的率领团队开发出了 CD-DNN-HMM，这是深度学习技术在大词汇量连续语音识别（LVCSR）方面的首次成功应用，这项颠覆性的工作在工业界和研究界引起了 LVCSR 的范式转变，并在该领域取得了一系列重大进展。

除了计算机视觉与自然语言处理这两个热门赛道，人工智能技术在智慧城市、自动驾驶等领域也有着重要的应用。作为城市计算领域的引领者，京东数字科技首席数据科学家郑宇在国际上开辟了城市计算领域和学科，利用人工智能技术进行源数据融合和并建立时空大数据分析模型，利用从数据中挖掘出来的知识，以期解决交通、环境、能耗等城市问题。在自动驾驶领域，百度是国内的“扛旗者”，杨瑞刚作为百度研究院机器人和自动驾驶实验室主任，研发了世界上第一个基于 GPU 的高速立体匹配算法，在百度主持开发了世界上最复杂的自动驾驶开源数据集 Apollo Scape，并推动百度的 Apollo 平台成为国内首屈一指的自动驾驶平台。

由于人工智能技术在学术界、产业界都处于蓬勃发展的阶段，知名的学者、产业领军人物层出不穷，都为人工智能技术的发展和應用做出了一定贡献，由于篇幅所限，本文不再一一列举。

## 2.3 技术伦理

新技术的出现往往会给现有社会伦理规范带来冲击，当前人工智能还处在弱人工智能阶段，既延续了之前信息技术的伦理问题，又因为不透明性、难解释性等自身技术缺陷带来隐私伦理、决策偏见、使用安全等新的危机。例如，自动驾驶汽车所使用的人工智能算法出现错误决策时，应该由谁来承担相应的道德和法律责任，是该系统的设计者、制造者、使用者或是系统本身？由于人工智能技术颠覆了传统的伦理责任体系，关于是否应该赋予人工智能道德主体地位等问题的讨论持续进行，技术伦理成为智能产业的“必选项”与“必答题”。

基础理论与技术研究上，围绕人工智能稳定性、可解释性、隐私保护、公平性等成为业界研究热点。在人工智能系统稳定性技术方面，以对抗训练为重点稳步发展，并逐步扩展到物理域。由于多数的防御方法只能抵抗少数几种对抗样本生成算法的攻击，且攻击方式持续演进，因此寻找一种可以匹配所有场景提升系统鲁棒性的算法成了业内研究重点。人工智能可解释性增强技术发展较慢，企业牵头开展可解释性工具实践探索。当前对于人工智能可解释增强技术路径包括建立适当可视化机制尝试评估和解释模型的中间状态、通过方法分析人工智能模型利用哪些数据特征做出预测等四种路径。隐私计算受到大数据融合应用与隐私保护双重需求驱动，技术进展迅速，并广泛应用于多元垂直行业。当前针对隐私计算技术的研究主要涵盖同态加密、多方安全计算、差分隐私、联邦学习、可信执行环境、零知识证明等领域。目前隐私保护计算已广泛应用于医疗、金融等场景，助力人工智能数据可信安全。人工智能公平性通过数据与技术手段得以提高，同时由于人工智能在敏感领域的应用促进了公平性技术的发展。数据层面上，通过构建异构数据集及对数据集进行周期性检查，将数据固有歧视及偏见最小化。技术层面上，通过引入公平决策量化指标算

法以减轻或消除决策偏差及潜在歧视，从而提高人工智能系统决策公平性。

智能产品研发与场景应用上，以智慧金融、智慧医疗为代表的智能行业解决方案在研发应用中更加注重隐私安全、公平性等可信要素的融入。基础软硬件上，人工智能系统平台在数据处理、模型构建、部署和支撑服务等方面面临可信挑战，企业通过搭建混合引擎结构、将模型保护内建于框架中等方式构建可信能力；可信计算上，人工智能芯片为代表的计算架构承担了越来越多的敏感数据计算职能，因此可信执行环境技术、可信计算框架及通用可解释 AI 计算硬件设计等技术成为计算架构未来发展重点。应用场景上，人工智能赋能金融业深度逐渐加深，对金融市场的公平性、透明度提出新的挑战，匿踪私密查询、安全求交、黑盒转白盒等技术被广泛用于金融业风险管控、支付服务等场景；智慧政务在应用中受到数据共享、隐私安全与协同效率等挑战，动态授权、公平性指标、联合计算等支撑手段的实施助力政务系统可靠性与公平普惠的实现。产品与设备上，未经授权的数据泄密及可解释性差制约了智能医疗产品的发展，因此增强系统稳定性、可解释性的技术被越来越多地应用于智能医疗设备中；智能终端在提供便利的同时，在隐私保护方面也面临着严峻考验，硬件层面的可信执行环境与限制敏感数据收集成为大势所趋。

智能产业治理实践方面，已形成多元主体参与，协同共治的治理模式，政府及各组织推出一系列治理原则，立法进程取得实质性进展，行业组织及企业主体积极探索伦理落地实践。全球各个国家（地区）在人工智能伦理道德、隐私保护、公平性等领域进行了广泛的政策部署。美国相继发布《人工智能应用监管指南》《2022 年算法问责法案》，以监管和非监管双轮驱动人工智能规范发展；欧盟率先推出《人工智能法案》，奠定其在全球人工智能立法监管中的领先地位；中国通过对数据、个人信息强化执法力度，并将伦理道德融入国家战略，保障

人工智能可靠可控。自 2017 年以来，包括 ISO/IEC、IEEE 等在内的国际标准组织加快可信人工智能标准建设的步伐，覆盖隐私安全、伦理道德、风险评估、行业应用等各大领域。美国国家标准与技术研究院 NIST 从可解释性、公平性等着手，并加快构建通用人工智能监管框架。中国以电子技术标准化研究院为代表，在算法安全、性能测试、机器学习等方面研制多项标准，覆盖国家标准、行业标准、团体标准多种标准类型。以科研院所为代表的人工智能伦理道德研究领域，论文数量迎来井喷，相关论文数量在人工智能领域论文数量占比逐步提升。企业日益成为实践可信人工智能的主要力量，自 2018 年以来，IBM、谷歌、腾讯等科技巨头主动开展自律自治工作，通过内设人工智能伦理部门及发布人工智能可信工具，为人工智能可信生态构建贡献力量。



图 2.3 全球人工智能伦理实践

## 2.4 智能产品标准研究

随着人工智能商业化落地的不断成熟，以 ISO/IEC、IEEE、ITU-T、NIST 为代表的国际标准化组织积极布局人工智能相关标准，从产品

及服务、行业应用、安全/伦理等不同方向完善人工智能产业标准体系，为促进人工智能产业良性发展发挥基础性、引领性作用。总体来说，近阶段，人工智能国际标准研制更注重伦理、安全与隐私保护

领域；在行业应用方面，对智能制造、智能医疗领域的标准需求相对突出。具体来看，ISO/IEC 在产品及服务、行业应用、安全/伦理三大领域均有相关研究，2021 年以来，其从对智能医疗、智能交通、智能制造等行业领域标准研制逐渐转向了对人工智能产业可信伦理方面的研究。IEEE 更加注重人工智能伦理道德，试图从算法构建与行业应用两个角度提高智能产业可信程度。ITU 作为电信行业知名标准研究机构，致力于通过人工智能提高电信自动化、性能和服务质量，目前正在不断推动通信领域、智能医疗、智能交通等领域的标准化工作。NIST 隶属于美国商务部，其认为应优先指定人工智能包容性、可访问性、开放透明、具有全球性和非歧视性等方面的标准，因此力图构建具有全球共识的可信人工智能标准体系。

表 2.1 近年主要国际标准化组织智能产业相关标准进展

标准组织	时间	标准	领域
ISO/IEC	2020.05	《信息技术 人工智能 人工智能可信概述》	伦理
	2020.09	《人机交互的人类工效学第 810 部分：机器人、智能和自主系统》	智能机器人
	2020.12	《智能制造标准地图 (SM2). 第 1 部分：框架》	智能制造
	2020.12	《道路车辆自动驾驶系统的安全和网络安全设计、验证和验证》	智能交通
	2021.01	《隐私保护-智慧城市隐私指南》	智慧城市
	2021.02	《机器人技术 服务机器人的模块化 第 1 部分：一般要求》	智能机器人
	2021.03	《人工智能 评估神经网络的鲁棒性评价 第 1 部分：概述》	伦理
	2021.03	《健康信息学 机器学习技术在成像和其他医疗中的应用》	智能医疗

标准组织	时间	标准	领域
	2021. 07	《健康软件 第 2 部分：健康和保健应用 质量和可靠性》	智能医疗
	2021. 11	《信息技术 人工智能 人工智能系统和人工智能辅助决策的偏见》	伦理
	2022. 02	《信息安全、网络安全和隐私保护-信息安全控制》	安全与隐私保护
	在研	《信息技术 IT 治理 组织使用人工智能的治理影响》	伦理
	在研	《智能交通系统 移动集成 城市 ITS 服务应用的数字基础设施服务角色和功能模型》	智能交通
	在研	《人工智能 评估神经网络的鲁棒性评价 第 2 部分：使用形式方法的方法论》	伦理
	在研	《信息技术 人工智能 伦理和社会关注概述》	伦理
	在研	《信息技术 人工智能 风险管理》	安全与隐私保护
	在研	《人工智能 功能安全与人工智能系统》	安全与隐私保护
	在研	《解决人工智能中的安全风险和故障的指南》	安全与隐私保护
IEEE	2020. 05	《合乎伦理的人工智能和自助系统福祉度量标准》	伦理
	2021. 01	《金融服务可信数据和人工智能系统》	智能金融
	2021. 09	《解决系统设计中伦理问题的建模过程》	伦理
	2021. 11	《伦理驱动的机器人和自动化系统的本体论标准》	伦理
	在研	《算法偏差考虑》	伦理
	在研	《虚拟教室安全、隐私和数据治理的推荐做法》	智能教育
	在研	《可解释人工智能结构框架指南》	可解释
	在研	《自适应教学系统中人工智能伦理设计实践》	伦理
	在研	《智能制造中基于机器视觉的在线检测通用要求标准》	智能制造

标准组织	时间	标准	领域
	在研	《医疗人工智能数据集质量管理推荐实践》	智能医疗
	在研	《基于人工智能的医疗器械性能与安全评价标准术语》	智能医疗
ITU	2021. 02	《人工智能增强电信运营管理架构》	智能能源
	2022. 05	《基于智能音箱的智能多媒体通信系统要求》	智能终端
	2022. 05	《智能视频监控系统架构》	智能终端
	2022. 06	《智能制造中基于机器视觉的应用和服务要求》	智能制造
	在研	《技术报告：全同态加密技术为机器学习中的安全推理服务和数据聚合提供安全指导》	安全与隐私保护
	在研	《技术报告：人工智能安全技术应用安全管理指南》	安全与隐私保护
NIST	在研	《区块链技术和人工智能技术融合情况》	安全与隐私保护
	2021. 03	《人工智能和用户信任（NISTIR 8332）》	伦理
	2022. 03	《迈向识别和管理人工智能偏见的标准》	伦理
	2022. 04	《人工智能风险管理框架》	伦理

从国内看，当前我国人工智能智能产业相关标准繁多，但大多仍处于编制研究阶段。全国信标委人工智能分委会、中国通信标准化协会等单位纷纷推动国家标准与行业标准研究，上海、深圳、浙江等人工智能领先地区人工智能相关协会也加快开展团体标准研究工作，并依托人工智能标准化委员会不断推动地方标准布局。相较于国际标准，我国标准涉及场景更为丰富，但是缺少富有国际影响力的标准，辐射范围较小，随着人工智能产业场景示范走向成熟，我国更需打造“中国标准”，提升国际影响力，引领人工智能产业良性发展。



表 2.2 近年中国人工智能产业部分已发布国家标准梳理

时间	标准	标准号	领域
产品与服务			
2020. 12	《机器人可靠性 第1部分：通用导则》	GB/T 39590.1-2020	智能机器人
2021. 12	《上肢康复训练机器人 要求和试验方法》	GB/Z 41046-2021	智能机器人
2022. 04	《物流机器人 信息系统通用技术规范》	GB/T 41402-2022	智能机器人
2020. 07	《民用轻小型无人机系统环境试验方法 第1部分：总则》	GB/T 38924.1-2020	智能运载工具
2020. 07	《民用轻小型无人机系统安全性通用要求》	GB/T 38931-2020	智能运载工具
2022. 04	《无人机低空遥感监测的多传感器一致性检测技术规范》	GB/T 41450-2022	智能运载工具
2019. 05	《城市公共汽电车车载智能终端》	GB/T 26766-2019	智能终端
2020. 12	《信息安全技术 移动智能终端安全技术要求及测试评价方法》	GB/T 39720-2020	智能终端
2021. 08	《用于老年人生活辅助的智能家电系统 架构模型》	GB/T 40439-2021	智能终端
2021. 10	《智能服务 预测性维护 通用要求》	GB/T 40571-2021	智能服务
2022. 04	《娱乐机器人 安全要求及测试方法》	GB/T 41393-2022	智能服务
行业应用			
2021. 10	《智能制造 机器视觉在线检测系统通用要求》	GB/T 40659-2021	智能制造
2022. 03	《机器人制造数字化车间装备互联互通和互操作规范》	GB/T 41256-2022	智能制造
2022. 03	《智能工厂 通用技术要求》	GB/T 41255-2022	智能制造
2022. 03	《基于广域网通信的智能农业远程测控应用总体技术要求》	GB/Z 41292-2022	智能农业
2019. 05	《智能交通 数据安全服务》	GB/T 37373-2019	智能交通
2021. 03	《智能交通管理系统建设技术规范》	GB/T 39898-2021	智能交通

时间	标准	标准号	领域
2022. 04	《智能井盖》	GB/T 41401-2022	智能交通
2021. 11	《智能家用电器个人信息保护要求和测评方法》	GB/T 40979-2021	智能家居
2022. 04	《信息安全技术 智能家居通用安全规范》	GB/T 41387-2022	智能家居
2021. 10	《智慧城市 设备联接管理与服务平台技术要求》	GB/T 40689-2021	智慧城市
2022. 03	《城市和社区可持续发展—可持续城市建立智慧城市运行模型指南》	GB/T41150-2021	智慧城市

## 第3章 典型智能产品及其关键特征

### 3.1 典型/成熟智能产品分析

#### 3.1.1 智能服务机器人

广义上讲，智能服务机器人是为人类提供必要服务的多种高技术集成的智能化装备，是机器人家族中的一个年轻成员。目前，世界范围内尚没有一个严格的关于智能服务机器人的定义，不同国家对智能服务机器人的认识不同。依据《机器人分类》新国标 GB/T 39405-2020，服务机器人分为个人/家用服务机器人（personal/household service robot）和公共服务机器人（public service robot）。前者是指在家居环境或类似环境下使用的、以满足使用者生活需求为目的的服务机器人，对这种机器人的操作通常不需要专业知识或技能，也不需要特别的培训和服务；后者是指在住宿、餐饮、金融、清洁、物流、教育、文化和娱乐等领域的公共场合为人类提供一般服务的商用机器人。

##### 1. 服务机器人发展现状

国际机器人学联合会（International Federation of Robotics, IFR）统计数据显示，2015 年到 2019 年间，中国服务机器人的销售额增速持续高于全球服务机器人销售额增速及中国工业机器人销售额增速，保持良好增长态势，2019 年中国服务机器人市场规模达到 22 亿美元，约占全球 25% 的市场份额。其中，家用服务机器人、医疗服务机器人和公共服务机器人市场规模分别达到 10.5 亿美元、6.2 亿美元和 5.3 亿美元。根据亿欧智库预测，2025 年中国公共服务机器人市场规模将突破 1000 亿元。随着中国人工智能技术的突破创新，我国服务机器人的专利申请数量已与美国同处国际第一方阵，具有人脸、声音识别追踪、环境检测等功能的服务机器人在零售、金融、安防、教育等领域已得到越来越广泛的应用，停车机器人、送餐机器人、迎宾机器人、消毒机器人等新兴应用场景不断涌现，为中国服务机器人市场注

入了新的活力。持续的新冠肺炎疫情进一步激发了市场对医疗、物流、巡检、教育、零售等众多领域服务机器人的需求。

## 2. 服务机器人核心技术模块分析

服务机器人的核心技术模块包括环境感知与导航技术、运动控制技术、人机交互技术、操作系统技术及芯片技术。

环境感知与导航是指机器人通过传感器获取外界环境及自身信息，并在此基础上构建环境地图，确定自身位置和姿态，从而通过决策规划行动。除去惯性传感器，服务机器人常用的传感器包括激光雷达、摄像头、超声/红外测距，有些还配备触觉、听觉和嗅觉等传感器；作为导航的核心，基于激光雷达的同步定位与建图（**simultaneous localization and mapping, SLAM**）技术已在不少实际场景得到应用，而部分基于视觉的 SLAM 算法也已在服务机器人领域得到验证。近些年，国内相继涌现了以思岚科技、禾赛科技、镭神智能、速腾聚创、北科天绘、海康威视、北醒光子等一批激光雷达传感器的生产公司。

运动控制器是服务机器人行动的执行者。硬件方面主要包括电机、编码器、减速器和控制器，其中舵机是步态服务机器人运动控制的核心零部件，其集成了电机、减速器、编码器和控制器；运动控制的软件和算法主要用于服务机器人的位置、速度、加速度和转矩等控制。

人机交互（**Human Robot Interaction, HRI**）技术是实现服务机器人与人沟通的桥梁。HRI 可借助不同传感模态实现，常用的包括语音、图像、文本、触控等。目前，基于语音的 HRI 是最主要的表现形式，其中，科大讯飞在智能语音技术领域处于领跑地位。

操作系统是为服务机器人标准化设计而构造的软件平台，可提供一系列用于获取、建立、编写和运行多机整合的工具及程序。当前全球主流机器人操作系统为 **Android** 系统和 **ROS（Robot Operating System）** 系统，中国自研的服务机器人操作系统目前还在发展当中。

芯片是服务机器人硬件系统的核心。服务机器人的环境感知与导航、运动控制、HRI 及操作系统等环节的实现均会用到不同类型的芯片。服务机器人所用芯片可大致分为通用芯片和专用芯片两类。中国在通用芯片领域与美国等发达国家相比仍然存在较大的差距，而在专用芯片领域，尤其是在人工智能芯片领域，中国的发展势头很好，代表性的企业包括瑞芯微、炬芯、珠海全志、山景等，有望通过现有技术优势提升国际影响力。

### 3. 服务机器人终端应用分析

家用服务机器人是率先实现产业化的细分领域。相较于公共服务机器人，家用服务机器人占据最大的市场份额。在工具型家用服务机器人领域，扫地机器人、智能音箱等产品已实现规模化量产。从全球市场角度看，中国已成为扫地机器人占吸尘器整体市场比例最高的国家。目前，扫地机器人品牌众多，科沃斯凭借核心技术及产品能力长期占据中国扫地机器人市场龙头地位，而小米、石头、海尔等品牌最近几年异军突起；在全球扫地机器人市场占有率最大的 iRobot 在中国市场上依旧占据一定份额，但由于中国国内优秀品牌的崛起，其在中国的市场份额受到一定挤压。在教育娱乐型家用服务机器人领域，Makeblock、蓝宙科技等 STEAM 教育机器人公司都处于迅速增长中，教育陪伴类机器人也经历了产品的不断更迭发展。

医疗机器人在政策、人口结构及医疗需求等因素共同推动下迎来了爆发式增长。医疗机器人是基于机器人硬件，将人工智能、大数据等新一代信息技术与医疗诊治手段相结合，在医疗环境下为人类提供必要服务的系统统称。根据应用领域，医疗机器人可主要分为四大类：医疗手术机器人、医疗康复机器人、医疗辅助机器人及医疗后勤机器人，前两者技术门槛相对较高，而后两者的产品应用方向呈现多元化特征。从企业分布区域可看出，京深沪三地发展优势明显，医疗机器人优秀企业在这些区域呈现明显集聚现象，且因较高的技术门槛，产

学研结合是发展的必经途径。医疗机器人虽然属于机器人产品，但同时也属于医疗设备产品，因此面临严格的准入机制，这成为影响医疗机器人产业化进程的重要因素。

公共服务机器人处于非通用性的发展阶段，明确不同类型公共服务机器人价值定位是重要前提。当前，公共服务机器人的应用主要集聚在餐厅、酒店、银行、医疗以及部分娱乐场所等。从商业用途和商业价值角度考虑，目前落地规模较大、真正体现应用价值的机器人类型主要有引导接待机器人、末端配送机器人和智能安防机器人，其各自价值定位存在很大差别。引导接待机器人主要应用于商场、政务大厅、展厅展馆、博物馆等场所，为用户提供迎宾、引导、宣传、讲解、业务咨询等服务工作。末端配送机器人主要应用于餐厅、酒店、商场、机场、写字楼及园区等，应用场景较为分散多样。智能安防机器人是一种半自主、自主或者在人类完全控制下协助人类完成安全防护工作的机器人，可应用在工业生产、巡检安保、楼宇监控、反恐应急等多方面，其应用场景可主要分为封闭场景和开放环境两大类。

#### 4. 服务机器人面临的机遇与挑战

随着中国居民收入水平的提高、人口老龄化进程的加速、第三产业占 GDP 比重的提升以及国家对服务机器人产业的政策倾斜（已写入“十四五”机器人产业发展规划），服务机器人产品呈现出多样化及快速增长的趋势，市场潜力和发展空间巨大。但是，中国服务机器人产业发展面临的环境依然严峻复杂。从国际看，保守主义、贸易保护主义盛行，逆全球化思潮抬头，中美贸易摩擦等不确定性因素在一定程度上抑制了部分制造业企业的投资信心，进而对服务机器人需求产生一定的负面影响。从国内看，服务机器人在发展过程中面临的挑战包括关键技术的突破、应用的创新与推广、资源的整合与协调等。准确把握市场动向，顺应时代发展方向，坚持不懈攻克核心技术，建立

有效的安全和监管机制，才能有利于服务机器人产业的长期发展和突破。

## 5. 服务机器人发展趋势

当前，多数服务机器人产品仍然处于发展早期阶段，但市场刚需将是持续存在的，且其形态及服务场景是丰富多样的。服务机器人很难在现阶段实现通用性，针对具体垂直领域需求将业务做深才能真正实现价值。从长远来看，服务机器人将与其他终端设备互联互通，实现数字化。以人工智能、云计算、物联网等为代表的技术将带动服务机器人产业向智能化、创新化、数字化方向迅速迈进。

### 3.1.2 智能物联网产品

物联网产业经历了十几年的发展，大家对它的共识是下一代网络，用有线/无线等方式，让人与物、物与物进行数字化连接。而随着 AI 技术的逐步成熟和落地应用，我们正站在 IoT 和 AI 融合的关键路口。物联网是产业互联网的重要基础，IoT 的网联化和智能化，为 IoT 发展注入新动力，进一步释放了物联网的底层能量，打开了物联网在各行业中的创新应用空间。

AI 与 IoT 这两类技术有天然的互补性：一方面，AI 寻求 IoT 来拓展应用场景和数据养料；另一方面，IoT 寻求 AI 来赋能并提升应用价值。

有了 AI 能力，IoT 扩大了应用边界。“物联网”正在由狭义的“万物互联”向更广阔的应用场景迅速扩展：人与物、物与物之间可以进行更复杂、更智能化的交互，进而改变现实世界与数字世界融合交互的方式，也带来社会运行模式与商业形态的变化。

#### 1. 变化趋势

从连接万物到唤醒万物。连接是第一步，相当于给万物分配了一个地址，更需关注的是“互联”之后的“互通”，通过唤醒万物形成大规模的智能协作是未来。

从中心化到端边云协同。“智力形态”由云上中枢向边缘延伸，部署在边缘及终端上的算力开始参与决策，大大提升响应速度与决策效能，让“无处不计算”、“无处不智能”真正成为可能。

从技术革新到产业革命。云服务商、智能终端厂商等技术革新方，从不同维度切入并赋能产业，驱动产业形态及商业模式的变革。

从物联网思维到智联网思维。当 AI+IoT 协同渗透到行业，赋能企业核心业务，产业物联网转向智联网转型，加速智能经济的发展和智能社会的到来。

## 2. 智能物联网特点

连接万物。这是物联网平台最基础特点。与泛在 IoT 设备连接，把海量设备管起来，高效传输和感知数据，通过平台连接万物，跨时空、多维度打通设备、数据与算力。亿级规模设备的连接能力，已成为领域主要 玩家的重要门槛；而低延时连接技术，在无人车、远程驾驶等新场景下，需要面对的新的技术挑战。

对话万物。赋予万物对话能力，是智能物联网最核心的特点。用 AI 与泛在 IoT 设备智能交互，通过数字化控制、语音、视觉和虚拟现实等技术，为 IoT 提供更自然的多维交互服务，能让人和机器进行更好的互动，赋予机器更“拟人化个性化”的特点。

智慧万物。用 AI 和云赋能 IoT 的智慧应用。有了连接能力、对话式交互等各种手段后，将 AI、大数据分析等 技术，深入融合到各行业的应用场景中，形成先进生产力，使得智能物联网无处不在，助力产业发展和消费升级，实现新的社会价值。

## 3. 智能物联网的核心能力

数据智能、语音智能和视觉智能，是当今智能物联网驱动各类数据智能化应用的核心能力。

数据智能。基于传感器数值类型数据做智能化分析及交互。比如在工厂中采集到的大量数据，直接上云产生各种智能化决策依据返



回控制台，实现对工厂整体工作链条的影响，这是典型的云端智能化场景。

语音智能。基于语音类型数据做语音语义理解分析及交互。语音智能对计算前置性的要求很高，数据流转上，除了云端数据交互外，云端算力也被前置。

视觉智能。基于视频图片类型数据做视觉语义化理解分析及交互。在视觉智能方面，视频流推到云端再处理返回，整个流程时延较长，因而在边缘上做 AI 视觉决策成为一个必然选择，故而在视频领域更多是做边缘智能化。在过去 50 年中，信息技术两次从根本上重塑了竞争和战略。我们现在站在第三次信息技术浪潮的边缘。



图 3.1 AIOT 的核心能力

20 世纪六七十年代的第一次信息技术浪潮，使价值链中的个人活动，从订单处理、账单支付到计算机辅助设计和制造资源规划，都能够自动化执行。生产率显著提高，部分原因是可以在每个活动中获取和分析大量新数据。互联网的兴起，以其廉价性和无处不在的连接，

在 20 世纪 80 年代到 90 年代掀起了信息技术驱动的第二次浪潮。通过互联网协调和整合各个商业活动，可以超越地理限制与外部供应商、渠道和客户协作。互联网让企业能够紧密整合分布全球的供应链。前两次浪潮带来了巨大的生产率效益和整个经济的增长。价值链发生了变化，但产品本身基本上没有受到影响。而当前的第三次信息技术浪潮，IT 正在成为产品本身不可或缺的一部分。传感器、微处理器、软件和网络连接，再加上云计算，正在显著地改进产品的功能和性能。通过改变产品设计、营销、制造和售后服务，并创造出对产品数据分析和安全等新活动的需求，将再次重塑价值链。这将推动另一波基于价值链的生产力提升浪潮。因此，第三波 IT 驱动的转型有可能成为迄今最大的一波浪潮，智能物联网产品。与前两波相比，将引发更多的创新、提高生产率和促进经济增长。

### 1. 智能联网产品核心要素

智能联网产品有三个核心要素：物理组件、智能组件和联网组件。

物理组件包括产品的机械和电气部件。例如，在汽车中，物理组件包括发动机、轮胎和电池。物理组件是产品的基础。

智能组件包括传感器、集成处理器、数据存储、控制、嵌入式操作系统和用户操作界面。例如，在汽车中，智能组件包括发动机控制单元、防抱死制动系统、带自动雨刷的雨水感应挡风玻璃和触摸屏显示器。智能组件放大了物理组件的功能和价值。

联网组件包括支持与产品进行有线或无线连接的端口、天线和协议。联网组件放大了智能组件的能力和价值，从而导致产品价值不断提升的良性循环。联网具有两大用途：一是在产品及其操作环境、制造商、用户以及其他产品和系统之间交换信息；二是联网使产品的某些功能能够存在于物理设备之外，即所谓的产品云中。例如，在 Bose 的新 Wi-Fi 音响系统中，在产品云中运行的智能手机 APP 将音乐从

互联网传到 **Wi-Fi** 音响系统。

## 2. 产品联网的形式

一对一，单个产品通过网口或其他接口连接到用户、制造商或其他产品，例如，汽车连接到一台故障诊断计算机。

一对多，中央系统连续或间歇性地连接到许多产品。例如，许多特斯拉汽车连接到一个单一的制造商系统，监控性能，并完成再维修和升级。

多对多，多个产品连接到许多其他类型的产品，通常也连接到外部数据源。一系列类型的设备相互连接，以协调和优化系统。例如，自动施肥机在精确的深度和间隔内注入氮肥，播种机紧随其后，将玉米种子直接种到土壤中。

## 3. 智能联网产品在制造性行业的出现

(1) 在重型机械行业，迅达的 **PORT** 技术通过预测电梯需求模式、计算到达目的地的最快时间以及分配适当的电梯快速运送乘客，将电梯等待时间缩短了 50%。

(2) 在能源行业，**ABB** 的智能电网技术使公用事业能够从各种电力设备中获取大量实时数据，例如变压器和变电站。这将提醒控制中心注意可能的过载情况，从而进行调整，以防止停电发生。

(3) 在消费品领域，当一个人进入房间时，吊扇会自动感知到，根据温度和湿度调节速度，并根据用户的偏好进行相应的调整。

## 4. 智能联网产品支持的功能

智能联网产品支持四大功能：监视、控制、优化和自治。每一种功能本身具备一定的价值，也为下一个级别的功能奠定基础。例如，监视功能是产品控制、优化和自治的基础。

功能一：监视。智能联网产品可通过传感器和外部数据源对产品的状态、运行情况和外部环境进行全面监视。通过采集到的数据，可以：提醒用户或其他人注意环境或性能的变化；跟踪产品的用户操作，更好

地了解产品的实际使用情况；优化设计，减少产品的过度设计；按客户类型分析使用模式，细分市场；售后服务数字化，提高维修成功率，降低设备故障率；发现售后维保的合规性问题以及新的销售机会。

在某些情况下，如医疗器械行业，监视是创造价值的核心要素。美敦力的数字血糖仪使用传感器在患者的皮肤下测量血糖指标，并以无线方式连接到其他设备，在患者达到血糖阈值前 30 分钟，向患者和临床医生发出警报，从而进行适当的治疗调整。

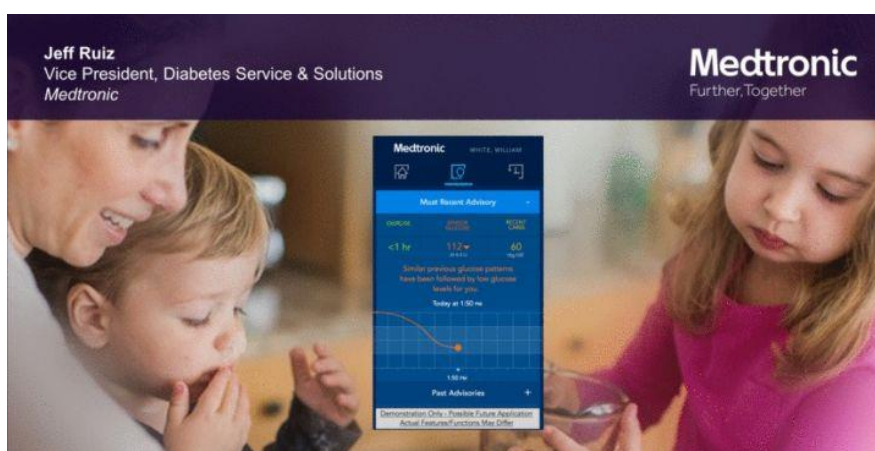


图 3.2 数字血糖仪测量血糖指标

监视功能可以跨越远距离。Joy Global 是一家领先的采矿设备制造商，负责监控远在地下的整个设备车队的运行状况、安全参数和预测服务指标。Joy Global 还监视不同国家/地区多个矿山的设备运行参数，以便制定基准。

功能二：控制。通过设备中内置或驻留在产品云中的远程命令或算法，智能联网产品可以实现远程控制。算法可以是指示产品对其条件或环境的特定变化做出反应的规则（例如，“如果压力过高，关闭阀门”或“当停车场车库的交通达到一定水平时，打开照明或关闭照明”）。

通过嵌入到产品或云中的软件进行控制，可以在以前不具有成本

效益甚至往往不可能的程度上定制产品性能。通过同样的技术，用户还能够以许多新的方式控制和个性化他们与产品之间的交互。

例如，用户可以通过智能手机调整飞利浦照明色调灯泡，打开和关闭它们，在检测到有人入侵时将其编程为闪烁红色，或在夜间缓慢调暗。

**Doorbot** 是一个智能联网的门锁，可以让用户在智能手机上对访问者进行识别后，远程开锁进入家中。



图 3.3 通过智能手机调整灯泡照明色调



图 3.4 与手机联网的智能门锁

精准农业利用各种传感器的实时数据对播种、施肥、浇灌、除害虫等进行智能控制。



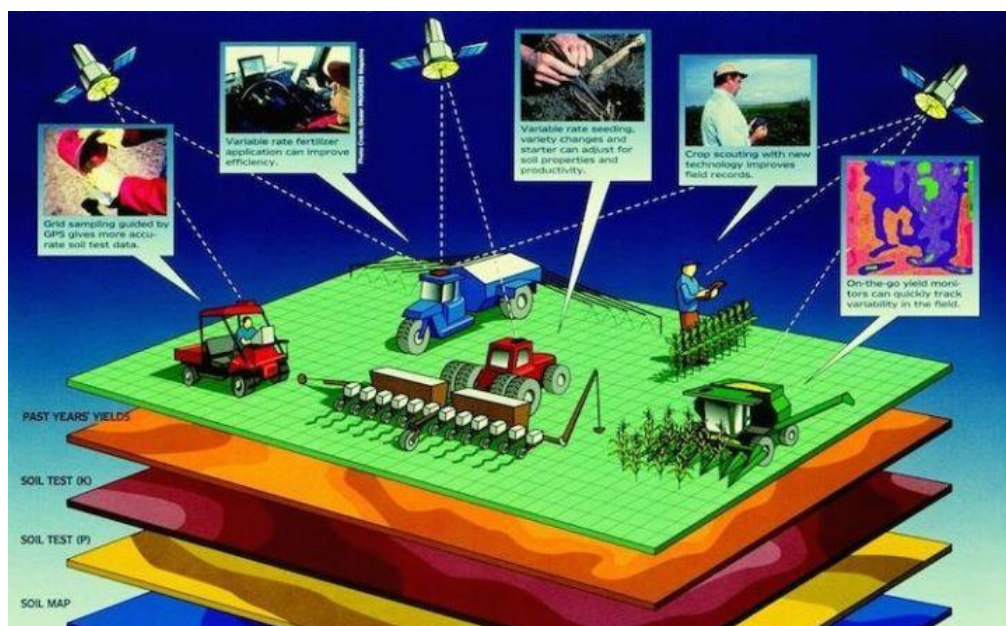


图 3.5 精准农业的智能控制

mycroft 智能音箱内置 tts 和 stt 引擎，可以识别语音和语音生成。并且内置各种 skillset，用户通过语音发送命令给音箱，就可以实现自动下单买牛奶或者开灯。

功能三：优化。来自智能联网产品的大量监控数据，再加上远程控制产品的能力，使公司能够以多种方式优化产品性能。

智能联网产品可以将算法和分析应用于实时数据或历史数据，从而显著提高利用率和效率。例如，在风力涡轮机中，本地微控制器可以在每次旋转时调整每个叶片，以获取最大的风能。另外通过调整每台涡轮机，不仅可以提高其性能，还可以缩小其对附近涡轮机效率的影响。



图 3.6 风力涡轮机与微控制器

实时监测产品状况和远程控制的数据，使企业能够在即将发生故障时进行预防性维修并远程完成维修，从而减少产品的停机时间和避免派遣维修人员。即使需要现场维修，也可以提前了解损坏的内容、需要哪些部件以及如何完成修复，从而降低服务成本并提高首次修复率。

例如，Diebold 监控它的许多 ATM 出现故障的早期迹象。在评估故障 ATM 的状态后，如果可行就进行远程维修。即便公司派技术人员现场维修，该技术人员到现场前，已得到问题的详细诊断、建议的维修过程，并且通常还有所需的部件。最后，与许多智能联网产品一样，Diebold 的 ATM 可以远程更新软件，从而不断优化 ATM 的功能。目前 Diebold 的 ATM 已经演化为产品即服务(Product as a Service)的模式。



图 3.7 Diebold 的 ATM 服务系统

功能四：自治。监控、控制和优化功能结合在一起，使智能联网产品能够实现以前无法实现的自主级别。

在最简单的层面上，产品可以自主运行，就像 **iRobot Roomba** 一样。它是一种真空吸尘器，使用传感器和软件在不同布局的房间中自主清洁地板。



图 3.8 智能扫地机器人



更复杂的产品能够了解自己的环境，分析自己的服务需求，并适应用户的喜好。自主不仅可以减少对操作人员的需求，还可以提高危险环境中的安全性，并在偏远地点进行安全操作。

自主产品也可以与其他产品和系统协同工作。联网的产品越多，产品功能的价值就会呈指数级增长。例如，随着更多智能电表的联网，电网的能效也在提高，使公用事业公司能够随着时间的推移深入了解和响应需求。

最终，产品可以完全自主地运行。算法利用性能和环境的数据，并利用其与其他产品进行通信的能力。操作人员只需监控系统的性能指标。例如，Joy Global 的采矿系统能够在地下很深的地方运行，由地表上的一个采矿控制中心监督，对设备的性能和故障进行持续监测，并将技术人员派到地下处理需要人工干预的问题。

### 3.1.3 智能个人终端

智能终端是一种架构与嵌入式系统架构相匹配的嵌入式计算机系统设备。相比传统终端更多是数据采集和传输，智能终端对于特征数据的抓取和数据预处理能力大大提高。随着智能芯片和算法的升级，其自身具备更多提取特征值和压缩的功能，为数据查找和传输降低门槛。

随着大数据、物联网、人工智能时代的到来，TOC 端如智能手表、智能音箱、智能眼镜、智能门锁、智能家电、无人驾驶汽车等，TOB 市场如智慧屏、商用智慧营销终端等，呈现百花齐放的状态。

5G 时代下，智能终端行业的发展有三个显著特点。

(1) 操作系统多样化的智能终端家族要蓬勃壮大，参考智能手机的崛起路径，仅凭智能终端生产厂家独力支撑远远不够，还需要更多互联网参与者从操作系统、应用系统等层面不断补充各类智能终端的功能生态、服务生态。与智能手机 99% 以上都基于 iOS、Android 操作系统不同，多样化智能终端的功能各异，操作系统种类更多。即使

是同一类智能终端，现阶段操作系统也是百花齐放，尚未形成一家独大的格局。

(2) 平台作用凸显这点在中国市场尤为突出，由核心服务为源点而引发的相关服务需求，平台的品牌背书、技术支撑、“一站式”服务是消费者、商业合作者选择平台的首要原因。拿金融行业来举个例子，以前人们储蓄投资几乎所有人都会毫不迟疑地选择国有银行，因为国家背书。如今到了互联网金融时代，像蚂蚁金服这样拥有支付宝、阿里巴巴这样的品牌背书的金融服务平台也开始吸引一大批用户投资。这也可以看作是一种品牌效应，大品牌的资本实力、技术支撑、配套服务方面均有优势。

(3) 竞争模式升级以前是单纯的拼技术，在“00 后”新生代消费需求影响下，高颜值、新颖好玩、参与感强的智能终端发展前景更为广阔。以智能娱乐设备为例，运动传感、AR 虚拟现实、5G 云游戏等，各类娱乐应用想象空间巨大，能够容纳更多互联网玩家。在互联网用户规模增速回归平稳的背景下，流量的集聚趋势更为明显，但巨大的经济利润总能激励挑战者，在某一领域已有巨头的情况下，也不乏后起之秀的成功案例。找到有实力的流量合作伙伴、找到可与巨头做差异化竞争的目标客群、营销手段创新及大规模的投入，种种因素相结合就可以造就一颗新星。

### 1. 智能终端适老化，撬动万亿级大市场

目前，我国智能终端适老化改造进展迅速。老年人群体对智能终端的态度，实现了从“不会用、不敢用、不想用”到“会用、爱用、想用”的积极转变。专家同时指出，随着我国老龄化进程的加快，适老化产品还有望撬动万亿级大市场。

21 年 6 月 29 日，在工信部电子信息司指导下，相关单位发布了《移动终端适老化技术要求》《移动终端适老化测试方法》《智能电视适老化设计技术要求》三项团体标准。三项团体标准的发布和实施

为智能终端厂商设计适老化产品提供了详细的、量化的标准。下一步，工信部电子信息司将推动制定终端产品适老化水平体系，按照“推广一批、评价一批”的原则组织开展手机、彩电适老化评价工作，引导企业扩大适老化智能设备供给。据了解，工信部还在不断推动适老化以及智慧健康养老产品的相关标准的完善。5月13日，《2022年第一批行业标准制修订和外文版项目计划》公布，其中《智慧养老家居产品通用技术要求》《音频、视频及多媒体系统与设备适老化技术要求》《音频、视频及多媒体系统与设备适老化水平评价方法》等标准的起草工作开展在即。

## 2. 终端企业积极探索适老化改造

去年6月，《移动终端适老化技术要求》等三项团体标准发布和实施，华为、创维、OPPO、小米等10家终端企业在发布会上签署了承诺书，共同参与适老化改造工作。三项团体标准的推出让智能终端厂商在适老化改造之路上“有据可依”，越来越多智能终端企业加快适老化改造的步伐，在近一年的时间内硕果累累。

OPPO 适老化相关负责人接受《中国电子报》采访时表示，目前OPPO公司约15款可更新ColorOS11及以上系统版本的手机支持适老化相关功能。此外，OPPO还在全国53座城市举办349场“0学堂”活动，面对面地讲授和教学，让年长群体快速、直观地学习和掌握数字化技能。

另一智能手机厂商 vivo 推出了远程协助模式，让子女能够远程操控父母的手机界面，可以帮助父母调取健康码、在小程序上完成医院挂号、通过 APP 打车等操作；另据公开资料披露，华为鸿蒙手机操作也已经实现标准中约80%的适老化功能，截至2021年底超过1.3亿部手机升级鸿蒙系统。

《智能电视适老化设计技术要求》团体标准发布后，创维、海信、小米等彩电企业的适老化产品改造进入了加速模式。“创维已经针对

适老化功能研发和优化产品。”创维彩电研究院产品规划部部长江润早前在接受《中国电子报》记者采访时表示，未来，创维不排除会以软件升级的方式让部分创维电视产品具备适老化相关功能。

据海信视像介绍，海信结合老年人操作特点和观看习惯专门开发了语音识别、简介模式、远程操控等人性化功能，并将这些功能应用在海信全系列智能产品中。海信将电视遥控器按键从 28 个减少到 10 个左右，老人不用 1 分钟就可以掌握使用方法。此外，老年人还可以通过粤语、四川话、长沙话、上海话等 24 种方言语音控制智能电视。

此外，小米官方微博发文称，小米电视 EA2022 系列通过了中国电子技术标准化研究院赛西实验室的适老化评测。据介绍，小米 EA2022 系列搭载远场语音，解放了双手，用户的语音就是遥控器，让老年人操作关机、换台时更加方便。此外，小米 EA 系列 7 个型号的电视产品的最新系统均支持长辈模式。

### 3. 适老化需求撬动更大市场

人口老龄化快速发展成为新常态，智能终端的适老化是民生工程也是民心工程，同时也孕育了巨大的市场。数据显示，预计到“十四五”末，我国人口老龄化水平将超过 20%，从轻度老龄化迈入中度老龄化。随着教育水平更高的“60 后”、“70 后”步入退休行列，“有钱有闲”老年人口成为越来越有能力共享数字时代发展成果的人群，银发经济方兴未艾，适老化智能产品服务的国内市场潜力巨大。

行业专家表示，人口老龄化是全球人口发展的一大趋势，适老化产品不仅在国内具备较大市场，未来我国智能终端制造企业的适老化产品服务还具备“走出去”的潜力，进一步开拓国际老龄市场。

#### 3.1.4 智能芯片

智能芯片的定义：从广义上讲只要能够运行人工智能算法的芯片都叫作 AI 芯片。但是通常意义上的 AI 芯片指的是针对人工智能算法做了特殊加速设计的芯片，现阶段，这些人工智能算法一般以深度

学习算法为主，也可以包括其他机器学习算法。

AI 芯片也被称为 AI 加速器或计算卡，即专门用于处理人工智能应用中的大量计算任务的模块（其他非计算任务仍由 CPU 负责）。

当前，AI 芯片主要分为 GPU、FPGA、ASIC。

智能芯片四大类（按技术架构分类）。

### 1. 通用芯片（GPU）

GPU 是单指令、多数据处理，采用数量众多的计算单元和超长的流水线，主要处理图像领域的运算加速。

GPU 是不能单独使用的，它只是处理大数据计算时的能手，必须由 CPU 进行调用，下达指令才能工作。

但 CPU 可单独作用，处理复杂的逻辑运算和不同的数据类型，但当需要处理大数据计算时，则可调用 GPU 进行并行计算。

### 2. 半定制化芯片（FPGA）

FPGA 适用于多指令，单数据流的分析，与 GPU 相反，因此常用于预测阶段，如云端。FPGA 是用硬件实现软件算法，因此在实现复杂算法方面有一定的难度，缺点是价格比较高。与 GPU 不同，FPGA 同时拥有硬件流水线并行和数据并行处理能力，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，因此常用于深度学习算法中的推断阶段。不过 FPGA 通过硬件的配置实现软件算法，因此在实现复杂算法方面有一定的难度。将 FPGA 和 CPU 对比可以发现两个特点，一是 FPGA 没有内存和控制所带来的存储和读取部分速度更快，二是 FPGA 没有读取指令操作，所以功耗更低。劣势是价格比较高、编程复杂、整体运算能力不是很高。目前国内的 AI 芯片公司如深鉴科技就提供基于 FPGA 的解决方案。

### 3. 全定制化芯片（ASIC）

ASIC 是为实现特定场景应用要求时，而定制的专用 AI 芯片。除了不能扩展以外，在功耗、可靠性、体积方面都有优势，尤其在高性

能、低功耗的移动设备端。

定制的特性有助于提高 ASIC 的性能功耗比，缺点是电路设计需要定制，相对开发周期长，功能难以扩展。但在功耗、可靠性、集成度等方面都有优势，尤其在要求高性能、低功耗的移动应用端体现明显。谷歌的 TPU、寒武纪的 GPU，地平线的 BPU 都属于 ASIC 芯片。谷歌的 TPU 比 CPU 和 GPU 的方案快 30 至 80 倍，与 CPU 和 GPU 相比，TPU 把控制电路进行了简化，因此减少了芯片的面积，降低了功耗。

#### 4. 类脑芯片

类脑芯片架构是一款模拟人脑的神经网络模型的新型芯片编程架构，这一系统可以模拟人脑功能进行感知方式、行为方式和思维方式。

有人说，ASIC 是人工智能芯片的一个主要发展方向，但真正的人工智能芯片未来发展的方向是类脑芯片。类脑芯片研究是非常艰难的，IBM、高通、英特尔等公司的芯片策略都是用硬件来模仿人脑的神经突触。

当前阶段，GPU 配合 CPU 仍然是 AI 芯片的主流，而后随着视觉、语音、深度学习的算法在 FPGA 以及 ASIC 芯片上的不断优化，此两者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。

我国 AI 芯片发展情况：

目前，我国的人工智能芯片行业发展尚处于起步阶段。

长期以来，中国在 CPU、GPU、DSP 处理器设计上一直处于追赶地位，绝大部分芯片设计企业依靠国外的 IP 核设计芯片，在自主创新上受到了极大的限制。然而，人工智能的兴起，无疑为中国在处理器领域实现弯道超车提供了绝佳的机遇。人工智能领域的应用目前还处于面向行业应用阶段，生态上尚未形成垄断，国产处理器厂商与

国外竞争对手在人工智能这一全新赛场上处在同一起跑线上，因此，基于新兴技术和应用市场，中国在建立人工智能生态圈方面将大有可为。

由于我国特殊的环境和市场，国内 AI 芯片的发展目前呈现出百花齐放、百家争鸣的态势，AI 芯片的应用领域也遍布股票交易、金融、商品推荐、安防、早教机器人以及无人驾驶等众多领域，催生了大量的人工智能芯片创业公司，如地平线、深鉴科技、中科寒武纪等。尽管如此，国内公司却并未如国外大公司一样形成市场规模，反而出现各自为政的散裂发展现状。除了新兴创业公司，国内研究机构如北京大学、清华大学、中国科学院等在 AI 芯片领域都有深入研究；而其他公司如百度和比特大陆等，2017 年也有一些成果发布。可以预见，未来谁先在人工智能领域掌握了生态系统，谁就掌握住了这个产业的主动权。

展望未来：

目前主流 AI 芯片的核心主要是利用 MAC（Multiplier and Accumulation，乘加计算）加速阵列来实现对 CNN（卷积神经网络）中最主要的卷积运算的加速。这一代 AI 芯片主要有如下 3 方面的问题。

（1）深度学习计算所需数据量巨大，造成内存带宽成为整个系统的瓶颈，即所谓的“memory wall”问题。

（2）与第一个问题相关，内存大量访问和 MAC 阵列的大量运算，造成 AI 芯片整体功耗的增加。

（3）深度学习对算力要求很高，要提升算力，最好的方法是做硬件加速，但是同时深度学习算法的发展也是日新月异，新的算法可能在已经固化的硬件加速器上无法得到很好的支持，即性能和灵活度之间的平衡问题。

因此，我们可以预见，下一代 AI 芯片将有如下的几个发展趋势：

### 趋势一：更高效的大卷积解构/复用

在标准 **SIMD** 的基础上，**CNN** 由于其特殊的复用机制，可以进一步减少总线上的数据通信。而复用这一概念，在超大型神经网络中就显得格外重要。如何合理地分解、映射这些超大卷积到有效的硬件上成为一个值得研究的方向。

### 趋势二：更低的 **Inference** 计算/存储位宽

AI 芯片最大的演进方向之一可能就是神经网络参数/计算位宽的迅速减少——从 32 位浮点到 16 位浮点/定点、8 位定点，甚至是 4 位定点。在理论计算领域，2 位甚至 1 位参数位宽，都已经逐渐进入实践领域。

### 趋势三：更多样的存储器定制设计

当计算部件不再成为神经网络加速器的设计瓶颈时，如何减少存储器的访问延时将会成为下一个研究方向。通常，离计算越近的存储器速度越快，每字节的成本也越高，同时容量也越受限，因此新型的存储结构也将应运而生。

### 趋势四：更稀疏的大规模向量实现

神经网络虽然大，但是，实际上有很多以零为输入的情况，此时稀疏计算可以高效的减少无用能效。来自哈佛大学的团队就该问题提出了优化的五级流水线结构，在最后一级输出了触发信号。在 **Activation** 层后对下一次计算的必要性进行预先判断，如果发现这是一个稀疏节点，则触发 **SKIP** 信号，避免乘法运算的功耗，以达到减少无用功耗的目的。

### 趋势五：计算和存储一体化

计算和存储一体化（**process-in-memory**）技术，其要点是通过使用新型非易失性存储（如 **ReRAM**）器件，在存储阵列里面加上神经网络计算功能，从而省去数据搬移操作，即实现了计算存储一体化的神经网络处理，在功耗性能方面可以获得显著提升。



### 3.1.5 智能运载工具

在人工智能技术应用场景中，交通领域是重头戏。无论是着眼于交通管理，还是聚焦于交通运输，人工智能的渗透都在不断深入。值得一提的是，人工智能对于交通工具革新影响与日俱增，由此推动智能运载工具产业快速成长。

在智能运载工具产业中，自动驾驶汽车的发展备受瞩目。自动驾驶汽车的发展初衷在于把汽车控制权从人类转移到机器，从而避免出现一些人为原因导致的交通事故。除此之外，自动驾驶汽车的上路，还能一定程度缓解交通拥堵现象，并对汽车设计、乘坐体验施加深入影响。

#### 1. 自动驾驶汽车

经过多年的技术积累，目前自动驾驶汽车已经进入了道路测试新常态，商业化序幕也已然开启。业内专家表示，随着自动驾驶汽车发展逐步与共享出行生态相融合，并向货运场景加速扩张，未来 20 年内，自动驾驶汽车市场规模有望增长至万亿元。

如今，从全球科技巨头苹果、特斯拉，再到国内的华为、小米、百度、360 大厂，均将汽车的智能化视作下一个发展的主阵地，以逐鹿这一新万亿赛道。同时，一个全新的概念“智能电动汽车”随之而来。如果说，新能源汽车首先引发的是一场电动化革命的话，那随之而来的第二场革命就是智能化。正如在上周的“2021 红杉数字科技全球领袖峰会”上比亚迪集团董事长兼总裁王传福所说：“电动车是上半场，智能车是下半场。”

随着特斯拉等造车新势力的崛起，不仅刺痛了传统主机厂的神经，也让各大科技公司“蠢蠢欲动”，苹果、谷歌、亚马逊等科技巨头纷纷涉足其中。同时，中国也掀起了一轮又一轮的“互联网造车”“跨界造车”的浪潮，华为、百度、小米、360、富士康等众多科技公司相继入局。当然，也少不了一大批自动驾驶初创企业的身影。

但无一例外的是，这些新势力都聚焦在新能源汽车领域的智能化，更确切地说是智能（电动）汽车这一全新的产业。究其原因，电动化不仅是汽车能源的变革，也带来了更简化的整体构架。首先，新能源汽车将动力电池、电机等取代了油箱、发动机、变速箱等传统零部件，为造车新势力，甚至汽车产业的“弯道超车”带来了可能。其次，新能源汽车所倡导的电动化也为汽车的自动化、智能化打下坚实的基础，通过电驱动实现各种信息采集、处理、传输，实现自动化的执行，并推动智能化决策的制定和执行。此外，电控不仅能控制车辆的行驶，更能成为连接信息系统的桥梁，犹如汽车的“大脑”，助力汽车智能化发展。从更深层次来说，汽车智能化的背后，贯穿其中的数据才是无穷的宝藏。依托于传感器收集数据，并通过算法的处理、筛选，最终数据将作为重要的资源。基于此，厂商不仅能让用户获得更舒适、更安全的驾驶体验，更能将其反补至产业链各个环节，经过不断优化和完善，制造出更适合驾驶者习惯和需求的车型，彻底颠覆传统汽车产业。

虽然并不能武断地说，新能源汽车就一定是智能电动汽车。但毋庸置疑的是，如今新能源汽车已经成为汽车智能化的最佳载体，汽车智能化的大潮已至。

智能电动汽车，即智能化的新能源汽车。从传统意义上来说，是一种集环境感知、规划决策、多等级辅助驾驶等功能于一体，并涵盖计算机、现代传感、信息融合、通信、人工智能、人机交互及自动控制等技术的新型汽车载体。例如，国内普遍称作为“智能网联汽车”，以强调其为智能化与网联化的有机结合。

同时，智能网联汽车衍生出“智能驾驶”的全新概念，其包含高级驾驶辅助系统（ADAS）、自动驾驶（AD）及智能座舱等解决方案，可以提升驾驶舒适性、安全性，最终实现可替代人为操作的无人驾驶。所以，智能电动汽车不仅能带给驾驶者非比寻常的操控感和体验，更

可以将其形容为一位“AI 司机”，大大提升汽车的 自动化、安全性和可靠性。

由于智能电动汽车由于涵盖多个交叉学科和大量前沿科技，无疑是科技公司入局汽车产业的绝佳机会和突破口，进而吸引大量企业入局深耕。

智能电动汽车产业链格局						
上游 (零部件)			中游 (Tier1 供应商、系统集成商)			下游 (整车及服务)
感知		认知—决策	执行			终端
传感器	通讯网络	计算平台	智能座舱	智能驾驶 (辅助驾驶)	车辆执行 (控制)	主机厂
摄像头	通讯 (5G)	芯片	智能中控	自动驾驶 (AD)	动力总成	运营维护
激光雷达	车联网 (v2x)	算法	操作系统	高级辅助驾驶 (ADAS)	底盘控制	开发测试
毫米波雷达	高精地图 (定位及导航)	云平台	人机交互		车身控制	出行服务
超声波雷达						

图 3.9 智能电动汽车产业链格局

智能电动汽车沿袭了传统汽车产业的特点，产业链复杂且庞大，更与新能源汽车产业密切相关。智能电动汽车产业链主要包含上游的感知和认知（决策）、中游的执行（控制）以及下游的整车制造和运营维护。其中，除了整车制造外，包括各类传感器、芯片、通信等硬件设备，以及高精地图、定位、算法、操作系统、云平台等软件和应用。按供应商划分，智能电动汽车也可以分为上游的软硬件零部件厂商、中游的 Tier1 供应商及智能驾驶等系统集成商，以及下游的整车、运营维护等。

随着汽车智能化的日益深入和应用，智能驾驶几乎已成为智能电动汽车的标配，甚至成为汽车智能化的代名词。尤其在自动驾驶领域聚集了一大批科技巨头、初创企业和独角兽，以争夺这一关键领域的

话语权。

## 2. 无人机

得益于“军民融合”的推进，以及飞控系统、核心组件等不断升级，民用无人机产业近些年来得到了快速发展。无人机制造成本的持续下降，使得其价格愈发亲民，率先推动了消费级无人机市场的爆发。

除了快速普及的消费级无人机之外，工业级无人机市场也在快速升温。眼下，无人机已经在农业植保、地理测绘、管道巡检、电力巡检、海洋监测、应急通信等诸多行业实现了广泛应用，工业级无人机市场崛起在望。

当前，我国已经成为民用无人机制造业大国，且正在从“大国”向“强国”进发。为了进一步规范和促进民用无人机制造业发展，2017年12月，工业和信息化部出台了《关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》。随着各项政策措施加速落地，我国民用无人机制造业迎来新的突破。

公开信息显示，《工业和信息化部关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》指出：到2025年，我国消费级无人机产值达到1800亿元，年均增速25%以上。

受疫情冲击，全球无人机产业规模缩水，但在这样的逆势下，2021年中国无人机企业进一步扩大贸易顺差，出口额增幅超过一倍，保持了我国在民用无人机市场的领先地位。据统计，2021年全国无人机行业融资金额超过百亿元人民币，融资千万元以上的无人机企业超过20家，其中，融资过亿的企业超过10家。IPO方面，广州极飞科技股份有限公司申报科创板IPO获得受理；中航无人机的科创板上市申请也被上交所正式受理。产品方面，无人机没有手机市场的一片繁荣。2022年全国民航工作会议报告中提到：2021年无人机企业达1.27万家，实名登记无人机约83万架，飞行时间达到千万小时量级。

工业无人机方面市场正处于爆发期，吸引资本驻足。天眼查显示，

工业无人机企业科比特完成了 3 亿人民币 E 轮融资，值得注意的是，这一公司此前也受到了不少资本的青睐，投资机构包括梅花创投、中南资本、中泰证券、新梅资产等。

根据 Frost&Sullivan 数据显示，2019 年我国工业级无人机市场规模已经达到 151.79 亿元，预计到 2024 年，工业级无人机市场规模约 1500 亿元，其中农林植保约 318 亿元，警用安防市场约为 200 亿元，电力巡检约为 200 亿元，快递物流约 255 亿元，地理测绘约 448 亿元。

<div> <div>天眼查</div> <div>国家中小企业发展专项资金 官方备案企业征信系统</div> <div>公司 查老板 查关系</div> <div>浙江科比特创新科技有限公司</div> <div>天眼一下</div> <div>VIP会员</div> <div>百宝箱</div> <div>天眼企服</div> <div>消息中心</div> <div>巴赫</div> </div>							
企业背景 365	司法风险 23	经营风险 149	公司发展 91	经营状况 999+	知识产权 341	历史信息 32	自主信息 4
<div>融资历程 6</div> <div>信息由企名片提供 天眼查</div>							
序号	披露日期	交易金额	融资轮次	估值	比例	投资方	新闻来源
1	2022-03-02	3亿人民币	E轮	-	-	中美创投	首发 离开大疆后，他拿下工业无人机最大一笔融资
2	2021-06-01	未披露	D轮	-	-	同创伟业 新梅资产 诺瑞资本	-
3	2020-10-31	未披露	C轮	-	-	新梅资产 高新发展 中南资本 中鸿智造资产 中泰证券 同创伟业 中钰资产 晨初基金	-
4	2017-11-28	2亿人民币	Pre-IPO	-	-	梅花创投 深港通资本 株洲云创	科比特航空完成2亿元Pre-IPO融资，梅花天使领投
5	2016-08-30	4000万人民币	B轮	-	-	梅花创投 安益资本	从6000元到5亿，完成4000万元融资，他又一次定义了深圳梦
6	2015-04-24	2700万人民币	A轮	-	-	国信弘盛 大族激光	从6000元到5亿，完成4000万元融资，他又一次定义了深圳梦

图 3.10 科比特公司融资查询情况

从消费级单一增长，到消费级、工业级两点开花，在无人化转型的大背景下，国产无人机正迎来发展的黄金年代。

### 3. 无人船

相对于自动驾驶汽车，无人船的发展要显得“低调许多”。实际上，自动驾驶汽车与无人船的核心技术一脉相承，都是自动驾驶技术。

甚至从技术实现难度而言，无人船所面临的商用场景要更为简单。毕竟，船舶行驶在茫茫大海上，密集度远不如汽车，也不会遇到非机动车、行人等其他影响因素。当然，这并不意味着无人船的技术要求和标准要低于自动驾驶汽车。

目前，欧洲国家对于无人船的发展颇为重视，北欧国家挪威更为凭借良好的峡湾、海域条件，成为全球无人船领域的重要基地和测试“圣地”，地位一如自动驾驶汽车领域的美国加利福尼亚州。企业方面，英国航空发动机巨头罗尔斯·罗伊斯已然成为这一行业中的领军者。

当然，在无人船发展上，我国也展开了积极布局。虽然从发展阶段来看，我国才刚刚起步，但是国内研究机构与相关企业已经有了明确的计划。2015年12月，中船工业集团宣布将建设国内首艘智能示范船；2017年12月，云洲智能公司联合中国船级社、珠海市政府以及武汉理工大学，共同启动全球首艘500吨级无人货船项目。

无论是自动驾驶汽车，还是无人机、无人船等智能运载工具行业，都将是人工智能技术落地的主要场景，也是全球交通领域未来变革的主流方向和未来竞争的重要高地。因此，我国亟须进一步加强车载感知、自动驾驶、车联网、物联网等技术集成和配套，探索发展自动驾驶汽车、无人机、无人船专业化服务体系，推动上述行业走向全面商业化。

### 3.2 正在取得突破的智能产品

智能产品是混合产品的专业化产品，具有产品类别和数字产品描述的物理实现，具有以下特征。

所在位置：对情况和社区环境的识别和处理

个性化：根据买方和消费者的需求和影响量身定制

适应性强：根据买方和消费者的反应和任务而变化

积极主动：尝试预期买方和消费者的计划和意图

商业意识：考虑商业和法律约束

位置感知：考虑功能执行和受限的位置选择

具备网络能力：能够与另一个产品（业务）或产品集进行通信和捆绑（产品捆绑）

正在取得突破的智能产品：

华山二号 A1000 Pro 自动驾驶计算芯片：智能化是汽车产业的重要发展方向，未来的汽车需要一个“智能大脑”，“智能大脑”离不开大算力芯片的支撑。黑芝麻智能自主研发的华山二号 A1000 Pro 是目前国产性能最强的车规级自动驾驶芯片。A1000 Pro 基于最高等级 ASIL D 车规安全标准打造，依托黑芝麻智能两大自研核心 IP——车规级图像处理器 NeuralIQ ISP 以及车规级低功耗神经网络加速引擎 DynamAI NN，芯片算力达到 106TOPS（INT8），最高可达 196 TOPS（INT4）。其采用异构多核架构，16 核 Arm v8 CPU，16nm 工艺制程，支持 16 路高清摄像头输入，具有高性能、低功耗、安全可靠的特点，能够支持 L3/L4 高级别自动驾驶功能。



图 3.11 华山二号 A1000 Pro 自动驾驶计算芯片

自动驾驶进入算力角逐时代，而自动驾驶作为一个系统，其算力更多是综合计算能力的体现。黑芝麻智能是行业领先的车规级自动驾驶计算芯片和平台研发企业，专注于大算力计算芯片与平台等技术领域的高科技研发，能够提供完整的自动驾驶、车路协同解决方案，包括基于车规级设计、学习型图像处理、低功耗精准感知的自动驾驶感知计算芯片和自动驾驶计算平台，支撑自动驾驶产业链相关产品方案的快速产业化落地。

### 3.3 关键特征分析

#### 3.3.1 情景感知

情境感知（Context-awareness）是指人工智能产品可以像人一样感知情境因素的变化，以支持在适当的时机，以适当的方式向用户提供适当的反馈。情境因素既包括交互过程中与人有关的信息，又包括与物理环境及其他实体相关的状态信息。获取更多的情境信息有助于人工智能产品更有效地完成任务，前提是对感知到的信息进行有效处理而不被过量信息干扰。因此，对于人工智能产品而言，如何利用其情境感知的能力获取并向用户提供合适的信息，有助于支持其完成相应的任务目标。为了增强系统的可理解性与可控制性，Bellotti V 等人从人的角度提出了具有情境感知特征的产品或系统的设计框架，其中包括四项设计原则：（1）使用户明确系统感知的功能和所理解的内容；（2）提供前馈与反馈；（3）加强身份和行为公开；（4）允许用户控制。Lim B Y 等人则通过两个实验探究了用户在真实场景中感兴趣的信息，以此来指导具有情境感知特征的产品或系统设计中应当向用户提供的信息类型，以及在不同条件下如何进行调节，并对如何提供不同的可理解类型给出了设计建议。

情境感知早期的研究多集中在通过探测用户的位置将其应用到感知系统中，其中最具代表的两项工程是 ParcTab 和 ActiveBadge。ActiveBadge 系统中，RoyWant 等人提出使用胸章的位置定位系统，



根据这些位置信息将呼入的电话转接到离用户最近的电话机上，这被认为是情境感知最早的应用之一。之后，出现了很多基于用户位置信息的情境感知应用。例如，旅游方面，应用了情境感知技术的导游助手可以根据游客的位置进行景点推荐、路线导游；购物方面，可以根据顾客的位置进行商品推荐等等。随着传感器技术的不断发展，传感器的种类不断丰富，获得的情境信息也随之丰富起来，情境感知处理的信息不再局限于用户的位置。KangDong-oh 等人建立了家庭网络，利用可穿戴的传感器，如 ECF（electrocardiogram，心电图）和 SKT（skintemperature，皮肤温度传感器）等，实时监测用户的身体信息，这些信息通过 Zigbee 发送给服务器，由服务器上的应用软件进行实时监测，甚至根据专家系统及用户的历史信息进行诊断或推理。此外，情境感知被广泛应用于智能家居、普世办公、精准农业等。

随着智能家居和可穿戴设备的广泛运用，未来的情境感知将在此基础上更加智能化，我们的设备会主动与周边的世界进行交互，成为我们与周边世界互动的门户。通过分析用户所处环境、状态甚至情感的信息，运用眼动追踪、触觉反馈等技术看懂和识别身体语言或手势，并更有预见性的做出相应准备。情境感知已是各家公司争夺未来市场的重点，intel、Nuance、Synaptics、Apple 等企业都提出了相关概念，有的已经推出市场，随着越来越多的公司加入到这一领域，未来将是情境感知的时代。

### 3.3.2 自主学习

自主学习（Adaptive Learning）是指人工智能产品在执行复杂任务或与人交互的过程中，依靠不断地采集环境信息，或在用户反馈积累和向用户的主动询问中获取关键信息，以此支持模型不断学习与修正，提升模型预测的准确性。如何在复杂和动态的环境中进行自适应学习，一直是阻碍人工智能产品性能取得突破性进展的一个问题。加州大学伯克利分校的一个研究团队在其一篇“A Berkeley View of

**Systems Challenges for AI”** 论文中提到这个问题，并强调了执行在线学习的能力对人工智能产品至关重要，如何在动态环境中行动并持续学习是最有希望的研究方向之一。**Cakmak M** 等人介绍了人工智能产品主动学习和询问的三种交互模式（第一种是每轮都进行询问，第二种仅在特定条件下询问，第三种则在用户明确要求时询问），并通过一项实验验证了每种模式的优势与不足，提出了一些针对主动学习的智能系统设计的指导原则。**Chao C** 等人研究了机器人以非语言的自然手势的形式，向人类询问以进行学习的交互过程，初步数据显示主动学习有助于提高透明度，从而提高机器人学习的准确性和效率。**Rosenthal S** 等人针对人对于机器人问询的响应不够准确的问题，提出了以机器人状态信息为问询补充的方法，设计了人机协作任务实验，从机器人状态的四个维度（不确定性、情境、预测和特征选择）改变了问询内容，以实验结果指导了四个维度的有效组合。

### 3.3.3 智能决策

智能决策是人工智能产品自主性（**Autonomy**）的一个重要体现，指可以不受人的干预，在非结构环境下以一定的控制策略自主地进行决策，并持续执行一系列行为以完成预定目标。这是由于人工智能产品可以随着时间的推移而进行学习和变化，动态设置自己的目标，以及通过外部传感器信息或者输入数据以适应本地条件。与传统的通过执行预设的程序来代替用户完成设定的任务的自动系统不同，人工智能产品可以在无监督的状态下执行任务以完成用户目标，具有一定的自我管理与自己引导能力。因此，传统的自动化研究更多地关注于自动化对用户表现的影响，以及用户一定程度上的主观感受；人工智能产品的自主性则会导致用户较高的情感反应，人与自主系统的交互中需要更多地考虑社交和心理因素。**Norman** 建议在设计中加入保护措施（如验证步骤）或者控制产品或系统的自主程度，以防人工智能产品或系统产生不必要的自适应行为。**Höök** 建议在智能用户界面设计

中对用户期望进行管理，以免在与不可预测的人工智能系统交互中，对用户产生误导或使用户挫败。**Rader** 等研究了用户如何使用算法决策系统并评判潜在后果，对于人工智能系统的行为进行了解释以提升透明度，将有助于用户确定系统是否存在偏见或是否可以对其看到的内容进行控制。

### 3.3.4 协同交互

基于人工智能产品自感知、自适应、自学习与自决策的能力，在与人的交互中，人工智能产品也呈现出区别于传统产品的特征。一方面是在交互中呈现出的主动性，即与传统的由用户发起和系统做出反馈所构成的交互不同，人工智能产品通过预测用户而主动发起交互；另一方面是其具有协同性，即与传统的作为辅助人的工具不同，人工智能产品可以作为团队成员的角色与人进行协作，共同完成预设目标。这也反映了人工智能产品设计中的重要价值观，即拥有自主性的产品不是为了取代人类，而是为了让人类更好地完成目标。特别是很多时候人的能力仍然对于最终目标的实现有着不可取代的作用。**Vanhala J** 等人通过一个名为“**Morphome**”的项目，研究了日常环境中如何以主动响应式解决方案来控制智能对象和服务，探索了不同用户或居民在使用该系统时的不同态度和行为，强调了具有主动响应式特征的产品或系统的研究需要融合社会、文化及技术等各个方面。刘烨等人针对人工智能产品与人的协同，在回顾总结已有的人机交互模型（包括 **MHP**、**GOMS**、**PMJ** 模型等）的基础上，提出了一个符合人类认知机理和心理规律的人机合作心理模型，以应对人工智能时代的人机协同。

## 第4章 人工智能技术与传统产业的融合发展

### 4.1 智能制造

智能制造，源于人工智能的研究，一般认为智能是知识和智力的总和，前者是智能的基础，后者是指获取和运用知识求解的能力。最早在20世纪80年代，美国赖特（Paul Kenneth Wright）和伯恩（David Alan Bourne）在专著《制造智能》（Smart Manufacturing）中首次提出“通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉和机器人控制来对制造技工们的技能与专家知识进行建模，以使智能机器能够在没有人工干预的情况下进行小批量生产”。在此基础上，英国 Williams 教授对上述定义做了更为广泛的补充，认为“集成范围还应包括贯穿制造组织内部的智能决策支持系统”。之后不久，欧、美、日等工业化发达国家围绕智能制造技术与智能制造系统开展国际合作研究。1991年，日、美、欧共同发起实施的“智能制造国际合作研究计划”提出“智能制造系统是一种在整个制造过程中贯穿智能活动，并将这种智能活动与智能机器有机融合，将整个制造过程从订货、产品设计、生产到市场销售等各环节以柔性方式集成起来的能发挥最大生产力的先进生产系统”。

工业和信息化部在《智能制造发展规划（2016-2020年）》中定义智能制造是“基于新一代信息通信技术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、自适应等功能新型生产方式”。实际上，智能制造是制造业价值链各个环节的智能化，融合了信息与通信技术、工业自动化技术、现代企业管理、先进制造技术和人工智能技术五大领域技术的全新制造模式，实现企业的生产模式、运营模式、决策模式和商业模式创新。

智能制造的概念经历了提出、发展和深化的不同阶段最终确定

智能制造（Intelligent Manufacturing, IM）是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统，它在制造过程中能进行智能活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事，去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。它把制造自动化的概念更新，扩展到柔性化、智能化和高度集成化。毋庸置疑，智能化是制造自动化的发展方向。

#### 4.1.1 智能制造系统架构

智能制造是基于先进制造技术与新一代信息技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等产品全生命周期，具有自感知、自决策、自执行、自适应、自学习等特征，旨在提高制造业质量、效率效益和柔性的先进生产方式。

近些年，我国智能制造发展呈现良好态势。供给能力不断提升，智能制造装备市场满足率超过 50%，主营业务收入超 10 亿元的系统解决方案供应商达 40 余家。推广应用成效明显，试点示范项目生产效率平均提高 45%、产品研制周期平均缩短 35%、产品不良品率平均降低 35%，涌现出离散型智能制造、流程型智能制造、网络协同制造、大规模个性化定制、远程运维服务等新模式新业态。

智能制造系统架构从生命周期、系统层级和智能特征等 3 个维度对智能制造所涉及的要素、装备、活动内容进行描述，主要用于明确智能制造的标准化对象和范围。智能制造系统架构如图 1 所示。

##### （1）生命周期

生命周期涵盖从产品原型研发到产品回收再制造的各个阶段，包括设计、生产、物流、销售、服务等一系列相互联系的价值创造活动。生命周期的各项活动可进行迭代优化，具有可持续性发展等特点，不同行业的生命周期构成和时间顺序不尽相同。

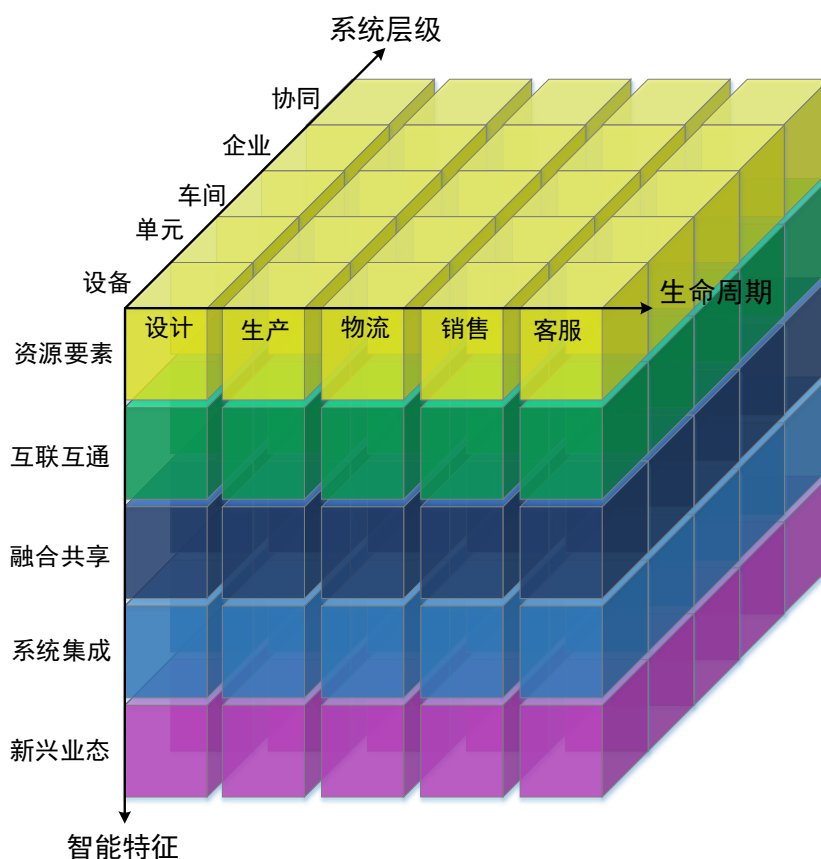


图 4.1 智能制造系统架构

1) 设计是指根据企业的所有约束条件以及所选择的技术来对需求进行实现和优化的过程；

2) 生产是指将物料进行加工、运送、装配、检验等活动创造产品的过程；

3) 物流是指物品从供应地向接收地的实体流动过程；

4) 销售是指产品或商品等从企业转移到客户手中的经营活动；

5) 服务是指产品提供者与客户接触过程中所产生的一系列活动的过程及其结果。

## (2) 系统层级

系统层级是指与企业生产活动相关的组织结构的层级划分，包括设备层、单元层、车间层、企业层和协同层。

1) 设备层是指企业利用传感器、仪器仪表、机器、装置等，实

现实际物理流程并感知和操控物理流程的层级；

2) 单元层是指用于企业内处理信息、实现监测和控制物理流程的层级；

3) 车间层是实现面向工厂或车间的生产管理的层级；

4) 企业层是实现面向企业经营管理的层级；

5) 协同层是企业实现其内部和外部信息互联和共享，实现跨企业间业务协同的层级。

### (3) 智能特征

智能特征是指制造活动具有的自感知、自决策、自执行、自学习、自适应之类功能的表征，包括资源要素、互联互通、融合共享、系统集成和新兴业态等 5 层智能化要求。

1) 资源要素是指企业从事生产时所需要使用的资源或工具及其数字化模型所在的层级；

2) 互联互通是指通过有线或无线网络、通信协议与接口，实现资源要素之间的数据传递与参数语义交换的层级；

3) 融合共享是指在互联互通的基础上，利用云计算、大数据等新一代信息通信技术，实现信息协同共享的层级；

4) 系统集成是指企业实现智能制造过程中的装备、生产单元、生产线、数字化车间、智能工厂之间，以及智能制造系统之间的数据交换和功能互连的层级；

5) 新兴业态是指基于物理空间不同层级资源要素和数字空间集成与融合的数据、模型及系统，建立的涵盖了认知、诊断、预测及决策等功能，且支持虚实迭代优化的层级。

## 4.1.2 智能制造主要特征

### (1) 自律能力

即系统能够搜集与理解环境信息和自身的信息，并根据这些信息进行分析判断和规划自身行为的能力。“智能机器”在某程度上表现

出独立性、自主性和个性，甚至相互间还能协调运作与竞争。

## （2）人机一体化

基于人工智能的智能机器只能进行机械式的推断、预判等，它只能具有逻辑思维（专家系统），多做到形象思维（神经网络），完全做不到灵感思维，只有人类专家才真正同时具备以上三种思维能力。人机一体化一方面突出人在制造系统中的核心地位，同时在智能机器的配合下，更好地发挥出人的潜能，使人机之间表现出一种平等共事、相互“理解”、相互协作的关系，使二者在不同的层次上各显其能，相辅相成。

## （3）虚拟现实技术

模拟制造过程和预期的产品，从感官上使人直观的获得完全如同真实的感受。而且可以根据人的需求意愿来进行改变，这种人机结合的新一代智能界面，是智能制造的一个显著特征。

## （4）自组织与超柔性

自组织是指一个系统的构建和演化依赖于外界的“特定”干扰，并不断向结构化、有序化和多功能化方向发展。智能制造系统的结构和功能也会随着外部环境的变化而“自动”改变。在这里，“特定”一词指的是外部世界没有强加给系统的结构或功能。智能制造系统的自组织过程有三种类型：一是从有组织到自组织的过程演化；二是从低程度的自组织到高程度的自组织的过程演化；三是在同一层次的自组织中从简单到复杂的过程演化。

智能制造系统软件的各个部分可以根据任务的需要实现特定的任务。智能制造系统柔性主要表现在操作方式上，也表现在结构形式上，因此这种柔性被称为超柔性。

### 4.1.3 智能制造关键技术

#### （1）数据获取与处理

传统的分析和优化过程基于模型，而数据分析可以弥补模型精度



的不足。目前，制造业的数据来源主要包括三个方面：企业内部信息系统、物联网信息和企业外部信息。如图 2 所示，这些数据的特征为：规模性（Volume）、多样性（Variety）、高速性（Velocity）、价值密度低（Value）、多来源（Multi-source）、多维度（Multi-dimension）、多噪声（Much Noise）。因此，可以将制造业的数据特征总结为“4V+3M”。



图 4.2 制造业数据特征

常用的数据获取技术以传感器为主，结合 RFID、条码扫描器、生产和监测设备、PDA、人机交互、智能终端等手段实现生产过程中的信息获取，并通过互联网或现场总线等技术实现原始数据的实时准确传输。

为了更好地利用数据，需要对获取的数据进行处理。数据处理是智能制造的关键技术之一，其目的是从大量的、杂乱无章、难以理解的数据中抽取并推导出对于某些特定的人们来说是有价值、有意义的数据。如图 3 所示，常见的数据处理流程主要有四个步骤：

1) 数据清洗也称为数据预处理，是指对所收集数据进行分析前所做的审核、筛选等必要的处理，并对存在问题的数据进行处理，从

而将原始的低质量数据转化为方便分析的高质量数据，确保数据的完整性、一致性、唯一性和合理性。

2) 数据融合是将各种传感器在空间和时间上的互补与冗余信息依据某种优化准则或算法组合来，产生对观测对象的一致性解释和描述。

3) 数据分析是用适当的统计分析方法对收集来的大量数据进行分析，将它们加以汇总和理解并消化，以求最大化地开发数据的功能，发挥数据的作用。例如，常见的数据分析方法包括列表法、作图法、时间序列分析、聚类分析、回归分析等。

4) 数据存储是将数据以某种格式记录在计算机内部或外部存储介质上进行保存。在制造业中，数据处理通常基于常用的数据分析和机器学习技术。



图 4.3 数据处理流程

## (2) 数字孪生

数字孪生（又称为数字双胞胎、数字化双胞胎等）：以数字化方式创建物理实体的虚拟模型，借助数据模拟物理实体在现实环境中的行为，通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段，为物理实体增加或扩展新的能力。数字孪生系统的通用参考架构如图 4 所示。

数字孪生以数字化方式拷贝一个物理对象，模拟对象在现实环境中的行为，对产品、制造过程乃至整个工厂进行虚拟仿真，目的是了解资产的状态，响应变化，改善业务运营和增加价值。在万物互联时代此种软件设计模式的重要性尤为突出，为了达到物理实体与数字实体之间的互动，需要经历诸多的过程也需要很多基础的支撑技术为依托，更需要经历很多阶段的演进才能很好地实现物理实体在数字世界

中的塑造。

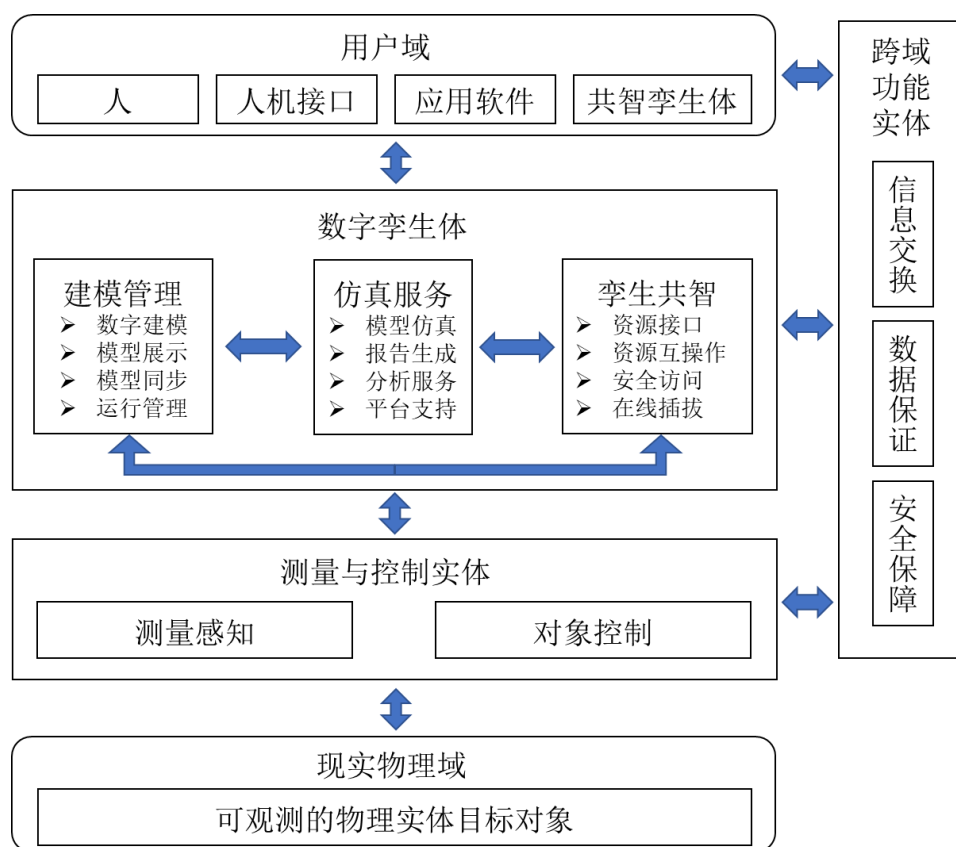


图 4.4 数字孪生系统的通用参考架构

数字孪生的关键技术包括建模、仿真、数字线程等：

1) 建模是利用知识机理、数字化等技术对物理实体在数字世界中建立对应的数字模型。

2) 仿真是将包含了确定性规律和完整机理的模型转化成软件的方式来模拟物理世界的一种技术。只要模型正确，并拥有了完整的输入信息和环境数据，就可以基本正确地反映物理世界的特性和参数。

3) 数字线程通过强大的端到端的互联系统模型和基于模型的系统工程流程来支撑和支持。

### (3) 建模与仿真技术

建模技术是针对制造中的载体、制造过程和被加工对象，甚至是

智能车间、智能调度过程中一切需要研究的对象，应用机械、物理、力学、计算机和数学等学科知识，对研究对象的一种近似表达。仿真技术是在建模完成后，结合计算机图形学等计算机科学手段，对模型进行图像化、数值化、程序化等的表达。仿真技术还让模型的分析过程变得可量化和可控化，即依托建模与仿真技术，可以得到可视化与可量化的模型，利用量化的模型数据，进行分析，进行虚拟加载和虚拟模型调控，对认识和改造智能制造中的研究对象，是一种极为有效的科学手段。

建模与仿真技术的关键技术包括建模/仿真支撑环境、先进分布仿真、仿真资源库和图形图像综合显示技术：

1) 以锻造操作机设计与仿真支撑平台为例来介绍建模/仿真支撑环境。锻造操作机设计与仿真平台的 4 层体系结构将数据、服务与应用分离开来，便于各种应用软件包括商用建模、仿真软件的集成，保证了整个系统的灵活性和开放性。

2) 对于先进分布仿真，基于仿真采办的两大关键是：

a) 协同环境：是由互操作的工具和数据库、权威的信息资源，以及产品过程模型支持的各领域专家可协同工作的环境；

b) 分布产品描述：是数字化产品信息分布集合，通过 Web 技术互联，对用户呈现单一的逻辑上统一的产品描述，包括产品数据、产品模型、过程模型等。

3) 仿真资源库是仿真技术的依赖性技术，包括数据库、模型库、工具软件库等。

4) 智能制造对建模与仿真的图形图像综合显示技术提出了更多新的要求，即不但能在单机上进行二维和三维图形显示，更需要满足嵌入式系统仿真过程中的快速在线实时三维显示。这种综合显示技术不再是单一加工对象或加工主体的图形图像化显示，更提出了新的要求，即融合人和加工环境等的仿真显示技术。

#### （4）工业机器人

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置，具有柔性好、自动化程度高、可编程性好、通用性强等特点。国际上，工业机器人的定义主要有如下两种：

1) 国际标准化组织（ISO）的定义：工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能，能完成各种作业的可编程操作机。

2) 美国机器人协会（RIA）的定义：一种可以反复编程和多功能的，用来搬运材料、零件、工具的操作机；或者为了执行不同的任务而具有可改变的和可编程的动作的专门系统。

工业机器人的关键技术包括整机技术、部件技术和集成应用技术：

1) 整机技术是指以提高工业机器人产品的可靠性和控制性能，提升工业机器人的负载/自重比，实现工业机器人的系列化设计和批量化制造为目标的机器人技术。主要有：本体优化设计技术、机器人系列化标准化设计技术、机器人批量化生产制造技术、快速标定和误差修正技术、机器人系统软件平台等。本体优化设计技术是其中的代表性技术。在工业机器人本体设计过程中，应当考虑以下的设计原则：最小运动惯量设计原则、高强度高刚度设计原则和可靠性设计原则。

2) 部件技术是指以研发高性能机器人零部件，满足工业机器人关键部件需求为目标的机器人技术。主要有：高性能伺服电机设计制造技术、高性能/高精度机器人专用减速器设计制造技术、开放式/跨平台机器人专用控制（软件）技术、变负载高性能伺服控制技术。高性能伺服电机设计制造技术和高性能/高精度机器人专用减速器设计制造技术是其中的代表性技术。

3) 集成应用技术是指以提升工业机器人任务重构、偏差自适应调整能力，提高机器人人机交互性能为目标的机器人技术。主要有：基于智能传感器的智能控制技术、远程故障诊断及维护技术、基于末

端力检测的力控制及应用技术、快速编程和智能示教技术、生产线快速标定技术、视觉识别和定位技术等。视觉识别定位技术是其中的代表性技术。

#### （5）智能控制

20 世纪 70 年代中期,模糊控制在应用上取得了重要的进展。1974 年英国 Mamdani 教授把模糊理论用于蒸汽机的自动控制。1977 年 Saridis 提出了智能控制的三元结构定义,即把智能控制看作为人工智能、自动控制和运筹学的交叉。1985 年,IEEE 在纽约召开了第一届全球智能控制学术讨论会,随后不久又成立了 IEEE 智能控制专业委员会。这标志着智能控制作为一个学科分支正式被学术界接受。1987 年在美国费城举行第一届国际智能控制大会,标志智能控制作为一门独立的新兴学科的建立。我国智能控制起步较晚。中国自动化学会于 1993 年在北京召开首届全球华人智能控制与智能自动化大会(CWCICIA)。

智能控制有以下特点:

1) 智能控制系统能有效利用拟人的控制策略和被控对象及环境信息,实现对复杂系统的有效全局控制,具有较强的容错能力和广泛的适应性。

2) 智能控制系统具有混合控制特点,既包括数学模型,也包含以知识表示的非数学广义模型,实现定性决策与定量控制相结合的多模态控制方式。

3) 智能控制系统具有自适应、自组织、自学习、自诊断和自修复功能,能从系统的功能和整体优化的角度来分析和综合系统,以实现预定的目标。

4) 控制器具有非线性和变结构的特点,能进行多目标优化。

智能控制的关键技术包括专家控制、模糊控制、神经网络控制、学习控制和智能算法:

1) 专家控制又称专家智能控制。按照专家控制的作用和功能，一般分为直接型专家控制器和间接型专家控制器。专家控制的基本结构如图 5 所示。

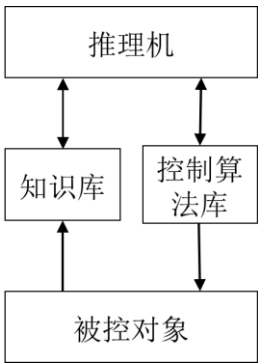


图 4.5 专家控制基本结构

2) 模糊控制是将模糊集理论、模糊逻辑推理和模糊语言变量与控制理论和方法相结合的一种智能控制方法，目的是模仿人的模糊推理和决策过程，实现智能控制。模糊控制器的基本结构如图 6 所示。

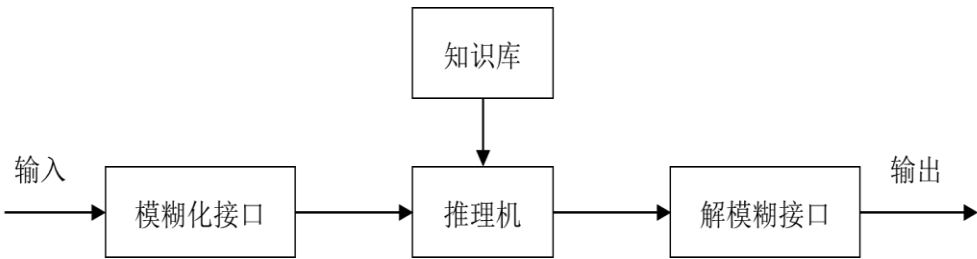


图 4.6 模糊控制器基本结构

3) 人工神经网络由神经元模型构成。神经元是神经网络的基本处理单元，是一种多输入、单输出的非线性元件，多个神经元构成神经网络。神经网络在控制系统中往往应用于以下几种：

- a) 用于建立被控对象模型，结合其他控制器对系统进行控制。
- b) 直接作为控制器替代其他控制器，实现系统控制。

c) 在传统控制系统中起优化计算作用。

d) 与其他智能控制算法相结合，实现参数优化、模型推理及故障诊断等功能。

4) 学习控制是智能控制的重要分支，旨在通过模拟人类自身优良调节机制实现优化控制。学习控制可以在运行过程中逐步获得系统非预知信息，积累控制经验，并通过一定评价指标来不断改善控制效果的自动控制方法。学习控制算法有很多，如基于神经网络的学习控制、重复学习控制、迭代学习控制、强化学习控制等。

5) 智能算法是人们受自然界和生物界规律的启发，模仿其原理进行问题求解的算法，包含了自然界生物群体所具有的自组织、自学习和自适应等特性。在用智能算法进行问题求解过程中，采用适者生存、优胜劣汰的方式使现有解集不断进化，从而获得更优的解集，具有智能性。

#### (6) 智能调度

调度问题的基本描述是“如何把有限的资源在合理的时间内分配给若干个任务，以满足或优化一个或多个目标”。20 世纪初，在 HenryGantt 和其他先驱者的努力下，调度开始在制造业中受到重视。从 20 世纪 50 年代到 20 世纪 70 年代，研究主要集中在理论探讨上，求解方法主要是数学规划方法，例如整数规划、分枝定界、动态规划等。1975 年，启发式算法成为研究重点。20 世纪 80 年代以后，智能调度进入快速发展阶段，新的算法不断涌现，例如，遗传算法、蚁群算法、粒子群优化等。

智能调度的关键技术包括三个部分：

##### 1) 数学规划方法与求解器

例如，混合整数规划方法是常用求解调度问题的数学方法，该方法限制部分决策变量必须是整数，但是在运算中整数变量的数量会随问题规模呈指数规模增长。而求解器是一类封装好的优化算法程序



包，研究人员可以使用求解器来优化调度等复杂问题，而不需要自己编写算法代码。常用的求解器包括 Cplex、Gurobi、MOSEK 等。

## 2) 启发式方法

启发式解决问题的方法是与算法相对立的。算法是把各种可能性都一一进行尝试，最终能找到问题的答案，但它是在很大的问题空间内，花费大量的时间和精力才能求得答案。启发式方法则是在有限的搜索空间内，大大减少尝试的数量，能迅速地达到问题的解决。但由于这种方法具有尝试错误的特点，所以也有失败的可能性。科学家的许多重大发现，常常是利用极为简单的启发式规则。例如，优先分配规则（PDR）与基于瓶颈的启发式方法。

## 3) 智能优化算法

受到人类智能、生物群体社会性或自然现象规律的启发，人们发明了很多智能优化算法来解决复杂的优化问题，主要包括：模仿自然界生物进化机制的遗传算法；通过群体内个体间的合作与竞争来优化搜索的差分进化算法；模拟生物免疫系统学习和认知功能的免疫算法；模拟蚂蚁集体寻径行为的蚁群算法；模拟鸟群和鱼群群体行为的粒子群算法；源于固体物质退火过程的模拟退火算法；模拟人类智力记忆过程的禁忌搜索算法；模拟动物神经网络行为特征的神经网络算法等等。这些算法有个共同点，即都是通过模拟或揭示某些自然界的现象和过程或生物群体的智能行为而得到发展；在优化领域称它们为智能优化算法，它们具有简单、通用、便于并行处理等特点。

## （7）工业互联网平台

工业互联网是全球工业系统与高级计算、分析、感应技术以及互联网连接融合的一种结果。其本质是通过开放的、全球化的工业级网络平台把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地连接和融合起来，高效共享工业经济中的各种要素资源，从而通过自动化、智能化的生产方式降低成本、增加效率，帮助制造业延长产业链，推动

制造业转型发展。工业互联网平台是工业互联网在智能制造中应用的具体形式。它的基础是数据采集，核心是平台，关键是应用。

工业互联网技术体系包括 4 个部分：

1) 全面互联的工业系统信息感知技术

该技术主要有三个要点：

a) 设备接入：对海量设备进行连接和管理；

b) 协议解析：利用协议转换实现海量工业数据的互联互通和互操作；

c) 边缘数据处理：通过运用边缘计算技术，实现错误数据剔除、数据缓存等预处理以及边缘实时分析，降低网络传输负载和云端计算压力。

2) 信息传输技术

传输层主要负责传递和处理感知层获取的信息，分为有线传输和无线传输两大类，其中无线传输是物联网的主要应用。无线传输技术按传输距离可划分为局域网通信技术与广域网通信技术。

3) 数据分析平台

工业互联网平台需要借助大数据分析技术、人工智能方法等，基于专家经验，结合物理、数学等基础学科知识，从工业大数据中获得有价值的经验。

4) 工业 APP 开发技术

工业 APP 的构建是工业互联网平台协作模式转换的核心，通过对工业知识的提炼与抽象，将数据模型、提炼与抽象的知识结果通过形式化封装与固化形成 APP。封装了工业知识的工业 APP，对人和机器快速高效赋能，突破了知识应用对人脑和人体所在时空的限制，最终直接驱动工业设备及工业业务。

## 4.2 智慧交通

### 4.2.1 概述

#### 1. 我国交通现状

交通是兴国之要、强国之基，在构建新发展格局、促进国内国际双循环、满足人民日益增长的美好生活需要中发挥着重大作用。回望过去的十年，在党中央、国务院的坚强领导下，我国交通运输事业取得了历史性成就，发生了历史性变革，有力服务保障了第一个百年奋斗目标的实现。十年来，我国综合立体交通网加速成型，建成了全球最大的高速铁路网、高速公路网、世界级港口群，航空海运通达全球，铁路固定资产投资累计超过 7 万亿元，快递业务量已连续 8 年位居世界第一，旅客运输量已连续 18 年稳居全球前两位……一项项世界领先的数据指标成就了中国交通大国的地位。

#### 2. 相关政策

但是，当前我国的交通系统仍然存在安全水平偏低、运行效率不高和节能减排不达标等难题，交通事故、交通拥堵、交通违法等事件频发。为了加快我国从交通大国迈向交通强国的步伐，近几年从国家层面相继出台了一系列政策。2019 年 9 月中共中央联合国务院发布《交通强国建设纲要》，这是我们国家中共中央首次联合国务院一起印发关于交通建设相关方面的纲要，这次颁发的纲要充分说明了交通运输工程在国家发展之路上的重要地位。《交通强国建设纲要》提出，到 2035 年基本建成交通强国和到 21 世纪中叶全面建成人民满意、保障有力、世界前列的交通强国的发展目标，给出了强化前沿关键技术研发、大力发展智慧交通和完善科技创新机制的发展理念。2021 年 3 月，《国家综合立体交通网规划纲要》发布，擘画了未来 15 年交通发展的蓝图；2021 年 10 月 25 日，交通运输部正式发布《数字交通“十四五”发展规划》文件，明确未来五年我国的数字交通发展目标。到 2025 年，实现“交通设施数字感知，信息网络广泛覆盖，运输服务便捷智

能，行业治理在线协同，技术应用创新活跃，网络安全保障有力”的六个目标。

### 3. 概念解释

20 世纪 90 年代初美国提出了智能交通这一概念，可以解释为一个基于现代电子信息技术面向交通运输的服务系统，它的突出特点是以信息的收集、处理、发布、交换、分析、利用为主线，为交通参与者提供多样性的服务。在智能交通的基础上，2009 年 IBM 又提出了智慧交通的理念。智慧交通融入了物联网、云计算、大数据、移动互联等近些年新出现的信息技术，通过这些高新技术汇集交通信息，提供实时数据下的交通信息服务。智慧交通大量使用数据模型、数据挖掘等数据处理技术，实现交通的系统性、实时性、信息交流的交互性以及服务的广泛性。

智慧交通旨在构建起一种在大范围、全方位发挥作用的高效、安全、环保、舒适、文明的运输和管理系统，使得交通系统中三大主体“人、车、路”之间的相互作用关系以新的方式呈现。智慧交通的提出和大力发展能够提高道路使用效率，大幅降低汽车能耗，使交通堵塞减少、短途运输效率提高、现有道路的通行能力提高。经过十几年的推广、试行和发展，智慧交通目前已在经济发达国家和经济较为发达国家的一些都市及高速公路系统中实施。实践证明，智慧交通是解决目前我国经济发展所带来的交通问题的理想方案。

#### 4.2.2 智慧交通系统组成

按技术层级划分，智慧交通系统从底向上可简单地分为感知层、通讯信层、平台层和应用层，下图给出了智慧交通系统的整体架构。

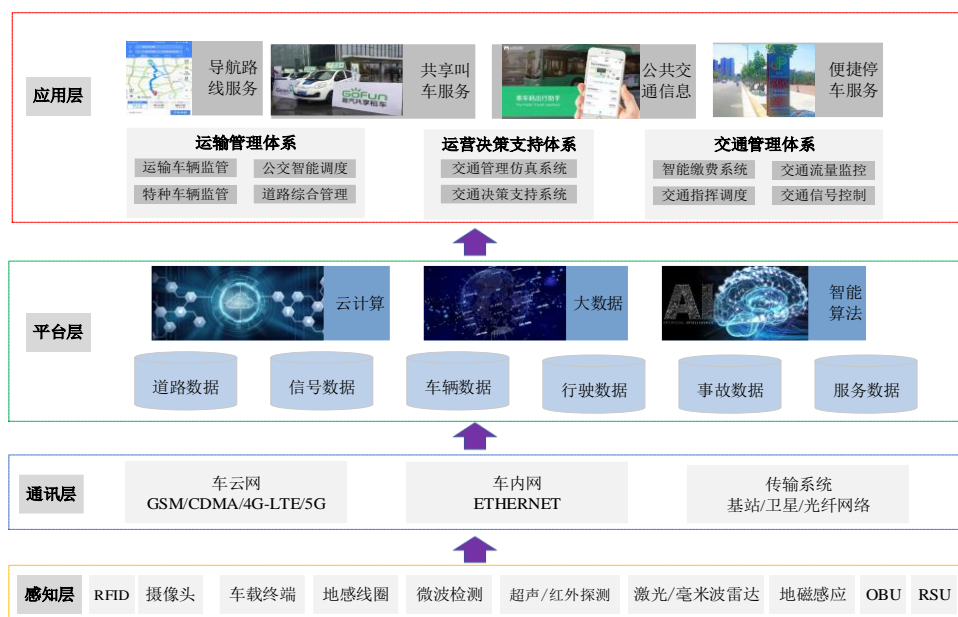


图 4.7 智慧交通系统组成

### 1. 感知层

感知层包括用于获取环境、车辆本身及驾驶者信息的传感器和相关的软硬件设备。常用的传感器及设备包括无线射频识别（radio frequency identification, RFID）标签、摄像头、车载终端（车辆监控管理系统的前端设备，通常集成了车辆的定位、通信及行驶记录等功能）、地感线圈、微波检测、超声和红外测距、激光雷达、毫米波雷达、地磁感应、车载单元（on board unit, OBU）及路侧单元（road side unit, RSU）等。随着感知层传感器和设备的升级，可以收集更多的数据用于后续的应用决策。

### 2. 通信层

通信层主要负责数据和指令的传输。交通环境中涉及的数据量巨大，而且很多数据需要实时传输。因此，如何进行高速无损的数据和信息传输就是通信层需要解决的问题。这层包括用于车内传感器、设备之间数据传输的车内网，车辆与云端进行数据传输的车云网，以及用于支撑通信的软硬件系统及设备（如基站、卫星和光纤网络等）。

### 3. 平台层

平台层负责对接收到的数据进行处理、计算与分析。这里的数据包括道路数据、信号数据、车辆数据、行驶数据、事故数据及服务数据等。涉及分布式数据库构建、多维度数据管理和存储等。在此基础上，需要对接收到的大量数据通过智能算法进行分析、挖掘和计算，从而为决策应用提供支撑。

### 4. 应用层

应用层包括面向广大普通用户的服务体系及面向管理层的管理/决策支持体系。普通居民能直接感受和享受到的服务包括路线导航、共享打车、公共交通信息及停车服务等。为了便于管理和应急处理，智慧交通还需要强大的管理/决策支撑系统，包括运输管理体系（运营车辆及特种车辆监管、公交智能调度及道路综合管理）、交通管理体系（缴费、信号灯控制、交通流量监控及交通指挥调度等）和运营决策支持体系（交通管理仿真及交通决策制定）。

常见的与智慧交通系统紧密相关的子系统如下。

#### 1) 交通信息系统 (Traffic Information Systems, TIS)

TIS 是建立在完善的信息网络基础上的。交通参与者通过装备在道路、车辆、换乘站、停车场以及气象中心等位置的传感器和传输设备，向交通信息中心提供各地的实时交通信息；TIS 得到这些信息并通过处理后，实时向交通参与者提供道路交通信息、公共交通信息、换乘信息、交通气象信息、停车场信息以及与出行相关的其他信息；出行者根据这些信息确定自己的出行方式、选择路线。当车辆装备了自动定位和导航系统时，该系统可以帮助驾驶员自动选择行驶路线。

#### 2) 交通管理系统 (Traffic Management System, TMS)

TMS 所接收的信息有相当一部分与 TIS 同源，但 TMS 主要是给交通管理者使用的。TMS 实时监测道路系统中的交通状况、交通事

故、气象状况和交通环境，依靠先进的车辆检测技术和计算机信息处理技术，获得有关交通状况的信息，并根据收集到的信息实现对交通信号控制、诱导信息发布、道路管制、事故处理与救援等，最终改善交通状况，使得交通拥堵减轻或者事故救援车辆可以顺利到达。

### 3) 电子收费 (Electronic Toll Collection, ETC) 系统

ETC 是目前世界上最先进的路桥收费方式。这一系统主要由车内的射频收发系统以及高速公路入口处的收发系统组成，通过这两部分进行数据交换，然后经由网络将数据发送至银行结算系统进行结算，从而达到不停车就能缴纳费用的目的。在现有的车道上安装 ETC，可以使车道的通行能力提高 3~5 倍。

### 4) 紧急救援系统 (Emergency Medical System, EMS)

EMS 是建立在 TIS 和 TMS 基础之上的一个提供急救、清障和事故现场处置的特殊救援系统，而通过前两个系统收集到的信息可以为救援车辆快速到达提供有力的帮助。

### 5) 货运管理系统 (Freight Management System, FMS)

FMS 主要指以高速道路网信息管理系统为基础，通过全球定位系统、地理信息系统、通信技术、网络技术等为驾驶员、交通管理人员、货主等人员提供必要实时的信息，从而实现对车辆和货物的定位与跟踪、货物配载、车辆调度及安全监控等目的，最终达到有效组织货物运输、提高货运效率的效果。

### 6) 车辆控制系统 (Vehicle Control System, VCS)

VCS 是指辅助驾驶员驾驶汽车或替代驾驶员自动驾驶汽车的系统。该系统通过安装在汽车车身上的传感器（如摄像头、激光雷达、超声测距、红外探测等）可以判断车与障碍物之间的距离，遇紧急情况，车载控制器能及时发出警报或自动刹车避让，并根据路况自己调节行车速度。

### 4.2.3 智慧交通系统关键技术

#### 1. 人工智能

在过去的几年中，人工智能技术发展迅速，应用领域逐渐增多，但是在智慧交通中的运用却不是很多。智慧交通虽然运用了很多先进的技术，但是在复杂的道路人员条件下无法解决所有的问题，其中重要的一点是人的判断力。经验再丰富的人也无法做到完全的理性和及时性，这时候就需要人工智能的辅助。人工智能在智慧交通中通常用于车辆控制、事故预测以及交通控制等方面。随着科技的发展，人们对车辆的要求越来越高，厂商在制造车辆的时候加入了各种各样的先进技术来提高车辆的操控以及安全性，人工智能在其中主要被运用于车辆动力分配、导航、驾驶辅助以及自动驾驶等等。但是受到科技水平的限制，这些功能并不完善。在今后的发展中，人工智能一定是智慧交通必不可少的一环。事故预测在智慧交通中也很重要，它能有效降低事故发生的概率，提高乘客以及行人的安全系数，使用基于人工智能的事故预测系统一定会使事故发生的概率更加低。所以人工智能的使用会是智慧交通的发展趋势之一。

#### 2. 基于 5G 通信的车联网

物联网作为目前新兴的高新技术，是通过网络将生活中的物体相互连接组成的网络，其中也包括了车辆、信号灯、交通摄像头、传感器等交通系统中重要的组成部分。车联网就是物联网在智慧交通中的具体体现，其具体作用主要是在车与车、车与设施之间建立联系并进行数据联通和信息交换。通过车联网之间的信息交换与共享，可以让驾驶员了解周边车辆的车速以及位置信息，从而减少交通事故发生的概率。车联网的应用对于减低交通压力、提升环保水平、提高行车安全等级都有较大的帮助，但是由于普及率并不高，所以车联网是未来智慧交通发展的一个大的趋势。

2019 年是 5G 通信发展的元年，5G 网络的应用会逐渐普及。得



益于 5G 网络的超低延迟、超高带宽和超强连接能力，使其在智慧交通中将被广泛运用。先前由于网络限制无法大面积推广的技术也将被广泛运用，其中的缺点与不足在 5G 网络的加持下将会被极大地改善。基于 5G 网络的车联网系统性能较之前提升非常大，超低的延迟可以使智慧交通中的传感器近乎实时地提供各种警示信息，使得驾驶员对路况信息的反应更加及时，超高的带宽使得网络容量更高，大量的车辆信息使交通管控系统能更加全面地进行监控和更加便捷地进行调度。5G 网络使智慧交通成了一个可实时监控、通信与决策的“人 | 车 | 路”一体化系统。

### 3. 大数据与云计算

在人工智能与车联网的共同作用下，自动驾驶系统变得越来越成熟。车辆行驶过程中车内外的各种传感器会产生大量的数据，这些数据通过车联网汇聚到同一个云终端，对这些数据（如：车速、车距和路况等）进行分析，为自动驾驶提供支持，以便系统能更加准确地预测车辆行为。通过交通大数据可挖掘和利用信息数据的深层价值，有利于交通部门的管理和决策。

大数据的实际应用过程中面临诸多问题，作为大数据分析的理想载体，云计算存储结构适合处理复杂多变的数据源。除此以外，云计算服务商还可以提供强大的数据分析软件服务，而大数据分析服务也将提升云计算平台的市场竞争力，提升云计算的附加价值。因此，在智慧交通建设中，云计算可为各类交通数据的存储提供新模式，实现信息资源共享、系统互联互通。

车联网产生的大数据往往针对性都很强，包含了很多的用户行为信息，这些信息可以使广告商精准投放广告，广告的收益可以用来更好地支持智慧交通系统的发展，为其可持续发展提供更好的保障。由于车联网产生的数据大部分都属于用户隐私信息，而用户隐私在互联网时代越来越受重视，能否提供可靠的隐私保护决定了这个产业是否

能够健康稳定的发展。从立法方面和技术层面对用户隐私进行保护势在必行。

#### 4.2.4 中国智慧交通产业市场规模

智慧交通产业链涉及通信芯片、通信模组、终端设备、整车制造、软件开发、数据和算法提供以及高精度定位和地图等，我国在各方面都已形成一定规模的竞争与合作共存的态势。

##### 1. 智慧交通市场规模

智慧交通是我国发展智慧城市的重要项目之一。近年来，随着智慧城市的不断发展，我国交通行业也不断朝着智慧化方向发展，其市场规模呈明显的上升趋势。据中国智能交通协会公布的数据显示，结合交通各细分行业的智能化情况，2016—2020 年，我国智慧交通市场总规模由 973 亿元增长至 1658 亿元。随着我国交通智慧化应用的不断推进，智慧交通的市场规模增长将继续保持较快速度。预计 2022 年我国智慧交通市场规模将达 2133 亿元，2026 年有望突破 4000 亿元，年均复合增长率在 16% 左右。

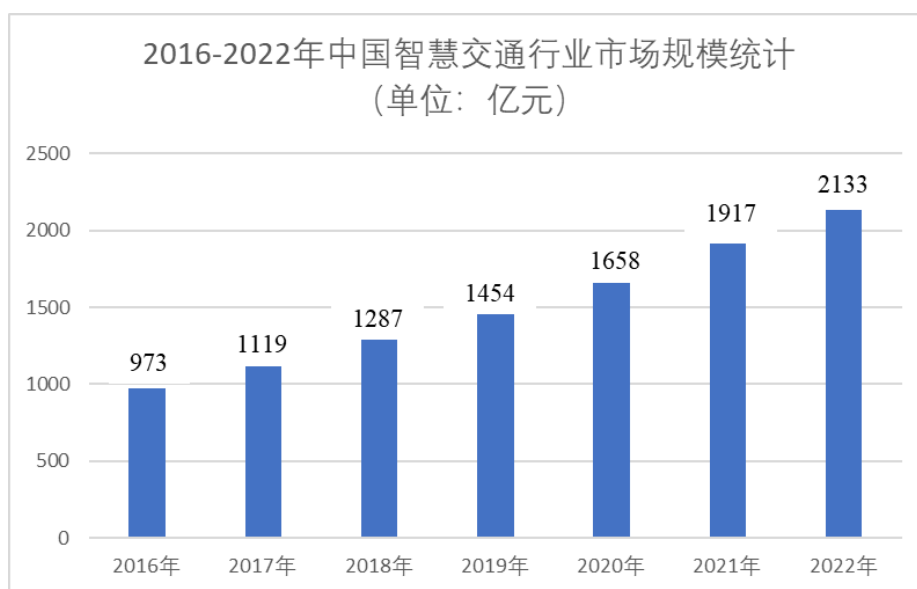


图 4.8 中国智慧交通行业市场规模

数据来源：中国智能交通协会、中商产业研究院整理

## 2. 高速公路智能化市场规模

随着人工智能技术的逐步成熟以及多项政策的推动下，高速公路智慧化成为当下公路运输的主要发展方向。通过基础设施的建设，公路网络建设将持续增加，公路货运能力也将不断提升。数据显示，2016-2020 年中国高速公路智慧化市场规模快速发展，从 361 亿元增长至 600 亿元，5 年间增长了 239 亿元。随着中国智慧交通建设的进一步发展，高速公路智慧化市场规模将逐渐攀升，中商产业研究院预测，2022 年我国高速公路智慧化市场规模将达 795 亿元。

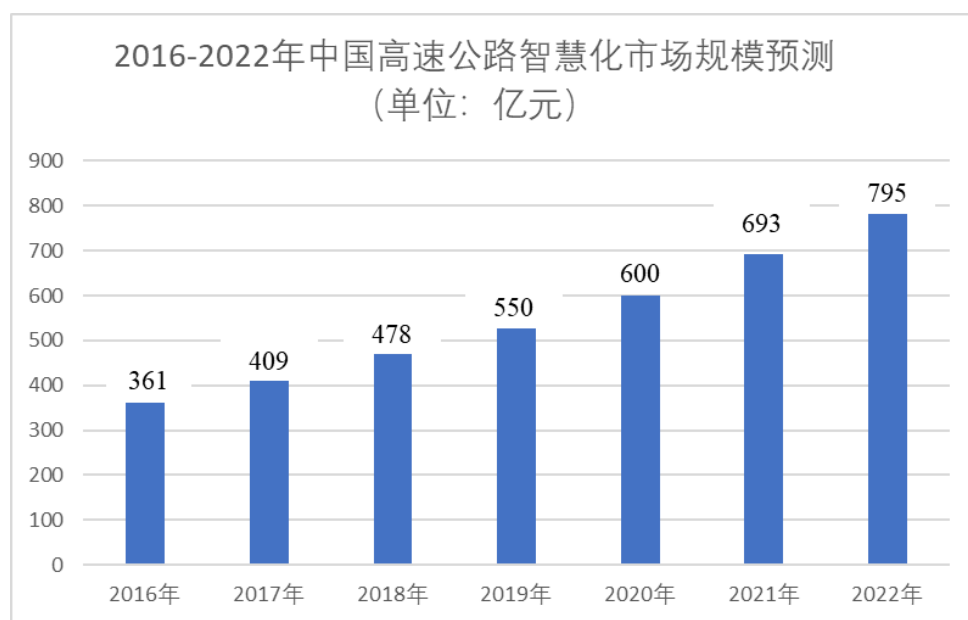


图 4.9 中国高速公路智慧化市场规模

数据来源：中商产业研究院整理

### 4.2.5 智慧交通系统发展趋势

交通系统将朝着绿色化、高效化、智能化和人性化的方向发展。绿色化，是指实现高能效、低排放的新一代交通系统；高效化，是指实现更便捷的融合交通系统，提高交通效率；智能化，是指突破载运工具、基础设施智能化关键技术，实现自主式交通系统；人性化，是指实现交通出行的定制化、一键化，提升交通出行的舒适性。

智慧交通系统的未来发展趋势是自主式交通，即在没有足够的人类监督的情况下，可在变化的、不可预测的交通环境中“理性地行动”，或能在经验中学习，利用数据提升系统性能。自主式交通系统是由智能运载工具、智慧基础设施和云端智慧交通子系统组成，具有感知、交互、学习和执行能力，是一种协调完成单体智能、群体协同和整体优化的交通系统。

未来，须在《交通强国建设纲要》和《国家综合立体交通网规划纲要》的政策指引下，统筹各方力量，推动我国自主式交通系统发展，实现安全、便捷、高效、绿色、经济的综合交通运输体系。

## 4.3 智能电力

### 4.3.1 新型电力系统人工智能能力平台

人工智能是国家“新基建”战略的重要组成部分，人工智能赋能新型电力系统下新能源发电、变电、调度、配网、安监、营销、基建以及企业经营管理等领域业务智能化应用，将有效推进新型数字基础设施建设，助力新型电力系统智能化发展。

平台依托人工智能技术应用标准规范体系建设，基于云平台、深度学习框架提供的基础设施，依托图像识别、语音识别、自然语言处理等 AI 技术能力提供专业化模型训练和智能化分析服务，与数据（中台）及物联感知平台实现数据交互，采集样本数据并进行预处理、标注及模型训练，向上为业务中台提供以 API、SDK 等形式的电力专有能力及通用 AI 能力，全方位支撑业务应用，向下通过边缘智能服务下沉模型到边缘端，实现电力人工智能云-边-端协同。平台与省级、样本库和模型库无缝连接，实现模型和样本的共建共享。根据用户需求，平台支持灵活可定制化的多种部署方式。

#### 1. 平台总体架构

平台总体架构设计可分为基础层、技术层、能力层、接入层和应用层。基础层包括数据资源、计算资源，是底层基础；技术层包含机

器学习、深度学习算法及训练平台；能力层基于技术层算法形成面向不同领域的应用技术；接入层由统一的运营服务对上层应用提供开放的 API 及 SDK 服务接口；应用层则主要是人工智能面向电力业务领域提供智能化辅助应用。

平台主要涉及三中心：应用中心、数据中心、计算中心。模型下沉边缘服务、感知终端，支撑电力物联网感知体系，对上提供服务接口，支撑输电、变电、调度、营销、金融、企业管理等，对外输出智能化业务能力。



图 4.10 平台总体架构图

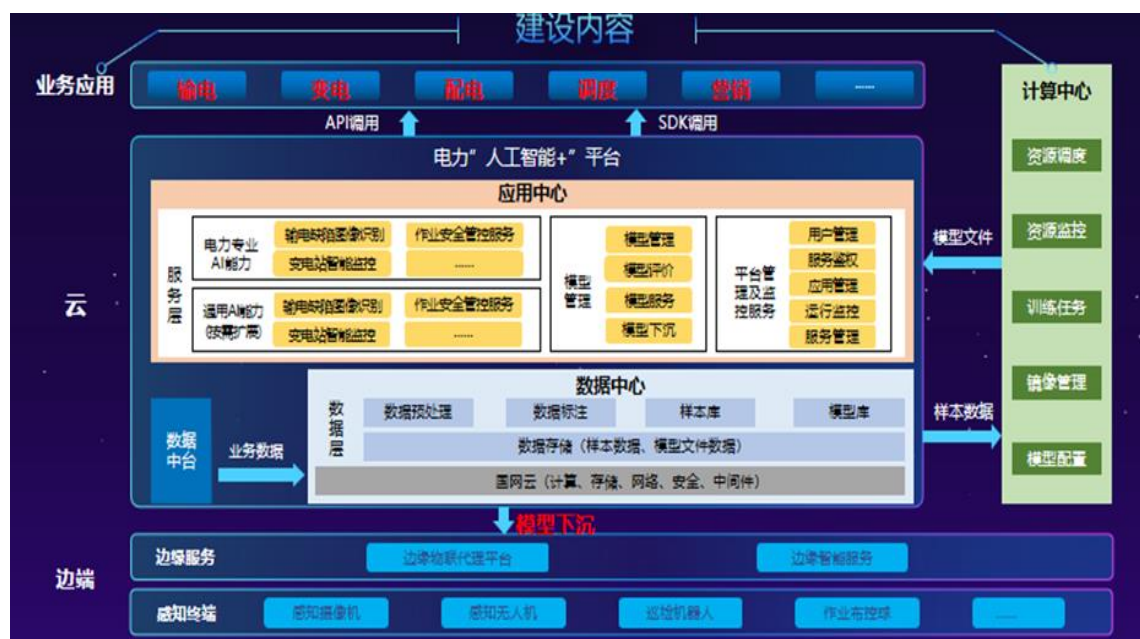


图 4.11 平台物联体系

## 2. 能力平台主要特征

该平台具有“全面的 AI 通用能力”、“业界领先的电力专有 AI 能力”、“全面的三方模型兼容性”、“灵活的部署方式”、“赋能业务全链条的应用模式”、“成熟可靠的运营机制”等特点。具体描述为以下六个平台特点：

**一、通用技术支持能力。**人工智能能力平台提供全面的通用技术能力，包括智能语音、人脸识别、OCR 识别、自然语言处理和知识图谱等 AI 模型服务，以满足新能源功率预测、供电指挥服务、电网调度控制、作业人员身份管控、舆情分析、企业经营管理等电力场景的智能化建设。

**二、专业服务能力。**人工智能能力平台提供业界领先的电力专业技术能力，包括输电线路巡检图像识别、电站智能监控和现场作业行为分析等 AI 模型服务，支撑智慧输电线路、智慧变电站、安全生产风险管控-智慧反违章等电力专有业务场景的智能化建设。

**三、主流兼容能力。**平台能够很好地兼容主流云平台的通用能力组件，可移植可替换。同时，平台能够兼容不同训练框架所训练的不



同模型，具有良好的扩展性。

**四、灵活部署方式。**平台具有运行的高可用、易扩展和易管理的特性，部署架构多元灵活满足不同网络条件、不同硬件资源下的部署方式，支持云部署、物理机、虚拟机等部署方式，同时支持内外网混合部署。

**五、算法模型应用一体化。**平台覆盖数据采集、处理标注、模型训练、能力开放、应用服务全业务链条，支撑“云边端”协同一体化的应用模式。向上与总部两库一平台进行无缝对接，实现总部-省级平台的两级协同，向下为边端提供边缘智能服务，将平台模型下沉到边缘侧，拓展智能终端应用。

**六、标准化支撑体系。**以 AI 研发及应用系列标准规范为指导，建设人工智能平台（样本库、模型库和基础平台）运营机制，包括平台基础运维、数据处理标注、算法模型研发、业务应用支撑等工作，构建“拿来即用”的标准化、模块化的人工智能专业服务支撑服务体系，支撑新型电力系统不同领域及经营管理等方面的互联互通。

**表 4.1 电力人工智能能力平台主要技术指标**

应用层	负荷/电价/发电预测，故障识别；安全稳定判断、用电负荷辨识；智能运维、需求响应潜力分析、智能管理和办公、网络攻击/假数据识别；调度控制	
技术层	通用技术	机器视觉、自然语言处理、语音识别、知识图谱、智能机器人
	算法	统计学、数据挖掘、机器学习（深度学习）、优化算法
基础层	数据	内外部数据：AMI、PMU、气象、地理信息、PMS、SCADA、巡检图片图像、95598 语音数据、社会经济
	框架	TensorFlow、Caffe、Apache System ML、Torch、darkNet 等

### 3. 涉及关键技术

#### 1) 关键技术

**智能感知技术。**智能感知，即视觉、听觉、触觉等各种智能感知

能力。智能感知不仅包括通过各种传感器获取外部信息的能力，也包括通过记忆、学习、判断、推理等过程，达到认知环境和对象类别与属性的能力。其关键技术主要是：信息模型、通信单元、操作系统、安全防护、无源取能、人工智能；其五大构件分别是：可靠性和可用性、灵活性、产品跟踪和可追溯性、减少库存和便于更换、诊断和状态监测。

**智能计算技术。**以机器学习为核心的智能计算正处于快速发展的关键期，可以应用于电力系统的负荷情况探寻预测以及电力系统的内在发展规律挖掘等领域。机器学习可以预测电力供需，并且实现实时优化调度，从而可以节约能源和成本。

**智能认知技术。**随着深度学习研究的不断推进，神经网络逐步发展成为一种强大的机器学习工具，自然语言处理取得了许多突破性发展，情绪分析、自动问答、机器翻译等领域都取得了飞速发展。智能认知是指人工智能具有主动思考和理解的能力，不用人类事先编程就可以实现自我学习，有目的推理并与人类自然交互。

**智能平台技术。**人工智能计算框架、人工智能算法任务调度以及支持机器学习、知识图谱等不同计算模式的计算能力等都是人工智能平台的发展方向。用户可以在人工智能平台之上，通过一系列的算法模型来进行人工智能的应用开发，平台则主要关注人工智能的通用计算框架、算法模型、通用技术等关键领域，通过智能平台建设，从发电、输电、变电、配电到用电，为电网运行多领域的业务应用提供基础资源、算法及服务能力的有效支撑，实时平衡电网，诊断设备故障，减少停机时间，降低设备运维成本，确保电网的安全稳定运行，最大限度地提高电网精益化运行水平并最终减员增效，改善用户的体验。

未来，应积极开展人工智能平台技术的研究，建成人工智能平台，构建多级协同的人工智能服务，围绕总部、省、市、边、端多级协同需要，梳理健全协同交互机制，建设并沉淀各类共性模型能力，促进



新型电力系统业务范围内算力、算法、样本资源共建共享。

## 2) 作用及效果

依托人工智能平台输电线路图像识别电力专有能力，实现输电线路故障缺陷识别，提升电力巡检工作效率。由前期人工检索缺陷方式，转变为机器识别方式。通过人机互动持续迭代优化深度学习算法，实现由人工巡检向智能化巡检转变。

依托人工智能平台，并综合运用物联传感、大数据分析等先进技术，构建变电站“综合状态全息感知、多源数据联动分析、故障缺陷智能研判、全局安全主动防御”能力，转变运维模式与记录方式，实现现场作业层智能替代、业务管控层集约高效、指挥决策层精准穿透。

人工智能平台通过获取大量变压器运行声学样本首创全国网声学指纹大数据库，采用创新的声纹识别算法库进行语料训练、迭代、优化，提出缺陷告警阈值和类型识别模型，实现变压器运行状态的声纹在线监测及主动预警。

依托人工智能平台视频分析、图像识别等能力，实现输电、变电、配电、基建等多种高风险作业场景下人员、设备、工器具、环境等风险的识别、管控和处置。

依托人工智能平台的自然语言处理、OCR 识别等能力，自动抽取审计作业过程中各类审计依据、审计对象、审计结果非结构化文档中的关键结构、信息字段与标签，将难以利用的非结构化文档转换为易于分析的结构化数据，显著扩大审计作业过程中相关信息的获取、比对及统计效率，提升数字化审计作业的自动化、智能化水平。

基于人工智能能力平台，构建数据资产管理&数据治理模型，实时监测并分析源数据库的元数据，自动生成数据资产目录，自动描绘数据关联关系及数据溯源，实现高效的盘点数据资产，通过数据的关联关系来发现问题源头并开展数据治理，确保海量的数据完整、

准确。

数字化安全管控智能终端应用，通过将人工智能平台的电力专用智能识别算法下沉到边缘计算装置，整合安全作业现场各类智能终端和输电、变电、配电等安全管控业务规则，将视频图像、北斗定位、室内定位、传感监测，通过边缘计算装置实现作业现场接入数据的就地分析、快速研判；并数字化工作票形成有效联动，对作业风险和违章行为进行智能识别和自动告警，实现作业本地化安全管控，是 AIoT 的典型应用。平台在智慧输电线路、智慧变电站、变压器声纹监测、现场作业安全管控、智能客服等业务场景的落地应用，全面支撑新型电力系统智能化转型升级。

#### 4.3.2 电网高压断路器大数据智能在线监测系统

该系统源自《中国制造 2025-能源装备实施方案》先进电网装备领域中智能变电站成套装备：研发基于大数据、云计算的 126-1100kV 气体绝缘金属封闭智能开关设备及远程专家诊断系统<sup>[1]</sup>。高压断路器大数据智能在线监测系统属于该领域的子系统，是现有成熟技术的数字化集成再提升，是“工业互联网+电力安全”在电网及设备风险动态感知的有效应用。符合新型电力系统所呈现的“数字与物理系统深度融合，以数据流引领和优化能量流、业务流，使电网具备超强感知能力、智慧决策能力和快速执行能力”<sup>[2]</sup>的特点。该系统通过了中国电机工程学会技术成果鉴定，在数字电网、智能电网和智能变电站建设领域具有广阔的应用发展空间<sup>[3]</sup>。

##### 1. 电网高压断路器大数据智能在线监测系统架构

本系统采用“边缘计算子站+云计算主站”架构融入数字电网、智能电网和新型电力系统。子站部署在变电站或换流站端，以边缘计算对局部、实时、短周期的数据进行分析 and 处理，支撑本地在线监测与智能预警；主站部署在区域运检公司、集控中心、调度中心、生技部或设备部、省级/网级电力企业总部，以云计算对接入电力专网的

高压断路器集群进行全局性、非实时、长周期的大数据智能分析，“云边协同”为区域电网内大规模断路器集群在线监测及智能运维提供高维、量化、多层次的辅助决策。

本系统采用可信赖 AI 架构；分为基础层、技术层和应用层三部分。

基础层包括成熟稳定的电力监控网络（如 SCADA 系统及测控、保护和录波装置及其管理系统、远动装置）、工业数据采集服务器，获取源源不断的现场设备实时或非实时数据。

技术层包括大数据及人工智能技术模块、数据的抽取模块、多维度的设备技术模型、智能算法以及智能预警模块软件（可安装在智能监测服务器）。

应用层是人机交互界面 HMI 系统软件（可安装在智能监测服务器）。聚焦电力人工智能与断路器运维技术融合所需的技术标准，包括融合多源信息挖掘的各种软件功能模块等。

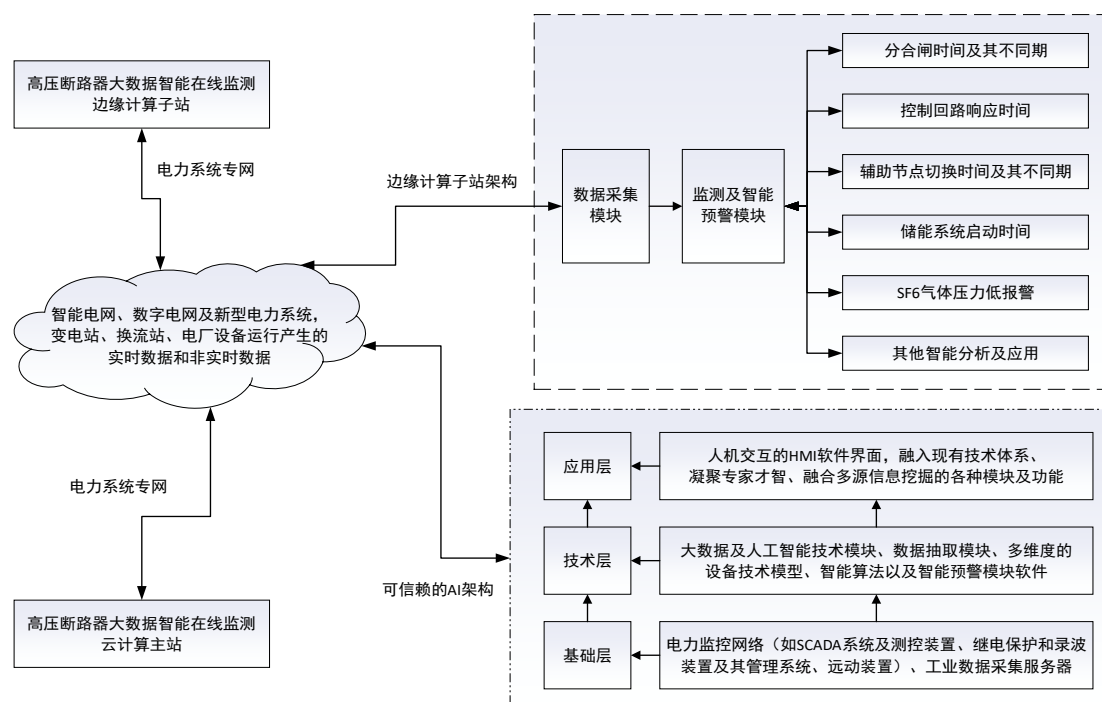


图 4.12 电网高压断路器大数据智能在线监测系统逻辑图

## 2. 电网高压断路器大数据智能在线监测系统主要特征

该系统具有“失误-安全”、“故障-安全”先天安全性的本质安全特点。经第三方中国赛宝实验室计量检测中心现场检验，确认本系统具有以下九个方面的技术特征<sup>[4]</sup>：

一是不触及断路器本体和控制回路，可以不停电安装调试；

二是不增加外部智能 IED 装置、传感器和除本系统外的额外运维成本；

三是有效规避温度、振动及强电磁场的干扰；

四是不受断路器厂家和断路器型号、结构的限制；

五是监测范围扩大至分合闸控制回路、辅助接点；

六是数据质量与电网控制保护安稳装置同级别(小于等于 1 毫秒)；

七是技术模型和数据基于技术规则和物理模型，具备可解释、可追溯的特点。

八是采用国际标准的硬件设备和接口，可快速实现大规模断路器安全态势感知。

九是可为每台断路器提供全生命周期管理带电运行状态下的每次分合闸动作在线监测参数台账记录。

**表 4.2 电网高压断路器大数据智能在线监测主要技术指标**

序号	系统监测参数项目及功能	数据精度	备注
1	分合闸时间及其不同期	毫秒	遵照现有技术标准及规程再创新。
2	分合闸回路响应时间	毫秒	
3	分合闸辅助接点切换及其不同期	毫秒	
4	SF6 压力报警及频次监测	毫秒	
5	储能系统启停时长及频次监测	毫秒	
6	高压断路器集群大数据监测及分析	毫秒	
7	监测结果异常追溯	每次	
8	全生命周期的分合闸动作记录台账	每次	

### 3. 电网高压断路器大数据智能在线监测系统关键技术

#### 1) 关键技术

**大数据技术。**大数据应用最关键的是要建立以全样思维、容错思维和相关思维为核心的大数据思维。全样思维指处理对象是全部数据，而不是抽样数据，避免采样不合理造成的预测偏差。容错思维指接受错误数据，分析结果最接近客观事实，大数据简单的算法比小数据的复杂算法更有效。相关思维指依靠相关性进行预测，知道“是什么”即可，不必知道“为什么”。

**电力人工智能技术。**中国电机工程学会人工智能专委会指出，电力人工智能是人工智能的相关理论、技术和方法与电力系统的物理规律、技术与知识融合创新形成的“专用人工智能”。本项目针对当前和未来智能电网高随机性、强耦合性、多时间尺度等特点，将人工智能技术和电力设备运维技术相结合形成针对性的高压断路器远程在线监测及诊断解决方案。属于专业（弱）人工智能范畴。

**电力设备运维技术。**投运的高压断路器是一种动态电气元件，其缺陷和故障原因相对静态的电气设备更为复杂，每一次分合闸动作都可能受到断路器操动机构故障和二次回路故障的影响并通过分合闸时间特性反映出来。其辅助接点机械联动于一次高压部分的主触头，真实反映一次设备的运行状况，起到一次设备与二次设备的桥梁作用。

电力监控系统网络数据是高质量的电力工业互联网数据，被广泛应用于电力系统监视控制、故障处理、设备及电网故障分析，是确保电力系统安全稳定的重要数据。充分利用电力监控系统网络的数据，有利于提高数据采集的精确性、可靠性。基于电力监控网络数据实施多源信息融合，为实现高质量的高压断路器大数据人工智能在役在线监测奠定扎实的技术基础。

#### 2) 作用及效果

该系统可有效监测高压断路器拒动、误动、动作性能下降等异常隐患，为防范电网最高等级风险“主保护、开关和安稳装置拒动”、为大规模高压断路器状态感知提供了通用型、信息化、数字化、智能化解决方案。

该系统获得广西壮族自治区“2018 年人工智能与实体经济深度融合创新项目”第六名[5]，符合《人工智能北京共识》和欧盟《人工智能道德准则》关于可信赖人工智能的伦理规范[6]。某电力央企应用大数据实时计算高压断路器动作时间，发现了二次回路异常，提前预警和消除了多起拒动隐患。该系统为电力设备运维管理模式优化、商业模式创新提供了可信智能辅助决策。

## 4.4 智慧农业

农业被称为第一产业，是一切社会生产活动的基础。根据作物种类和生产方式不同，农业生产已分化出很多细分领域，如大田农业、设施农业、林下农业、果蔬农业、畜牧渔养殖业等等。农业生产的智能化也随着数字技术的诞生和发展不断进步。本章以最具代表性的大田粮食作物的“耕种管收”生产过程为例，讨论人工智能在智能农场方面的应用和前景。

### 4.4.1 智能农场感知

农场智能感知主要包括农田感知和作物感知。

农田感知的目的是数字化提取地形、面积、土壤肥力、土壤墒情、气候气象等信息，为安排农事和指导农机操作提供基础。作物感知主要围绕作物的生长状态，如行距、株距、株高、叶面积、健康状态、发育期、病虫害胁迫、田间杂草等动态生长信息，如图 1 所示。

农田感知的手段颇为丰富，包括卫星遥感、无人机空中监测、农机载传感器、田间物联网设备、地下传感器、手持采集器、实验室分析设备等，通常被称为“天空地机人一体化感知”。采集的基础数据包括 RGB 图像、激光雷达点云、多光谱和高光谱图像、气象数据、

土壤电导率、pH 值、化学元素含量等。

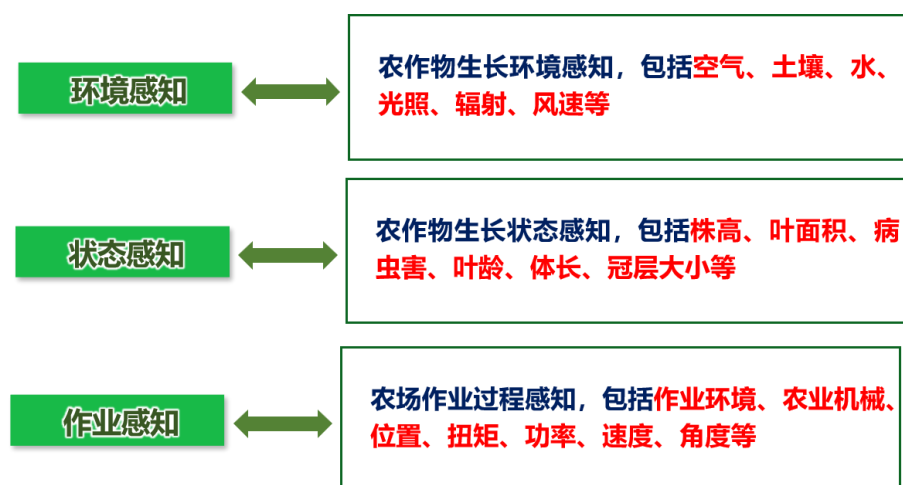


图 4.13 智慧农业感知体系

人工智能技术已在处理和识别此类数据的方面得到了大规模应用，例如：

**农田基本信息：**近年来，卫星遥感的精度和扫描频次越来越高，因大田农场地域广袤，遥感与无人机载摄像头、多光谱和激光雷达数据的融合，进一步通过光谱分类、目标识别、几何测量、三维重构等方法，可以得到地块、作物种类、出苗率、株高、墒情、病虫害胁迫等田地的基本信息。

**作物生长状态：**田间或机载物联网，特别是摄像头的成本日益降低、分辨率增强，辅以计算机视觉技术可以对作物出苗、分叶（叶龄）、开花、果实成熟度、田间杂草、害虫、病害孢子等进行识别、分类、计数和目标监测，从而提供作物生长的精准信息。

随着传感器种类的丰富和成本降低，农田感知正朝着密度增加、精度提高、频次增多和多传感器融合的方向发展。数据驱动的人工智能技术未来将使遥感和多光谱视觉等非结构化传感器成为农田感知的主流。

### 4.4.2 自主作业农机

农机自动驾驶源自北斗等技术的推广和降低长时间高强度农事操作的现实需求。早期的自主农机主要以北斗导航和循迹作业为主，因感知手段薄弱、应急能力差而多应用在耕整地和收获环节中，不能完成田间作物生长期中的精细作业。

自动驾驶技术的发展也推动的自主农机的智能化水平，主要体现在如下方面。

在自动驾驶上，北斗卫星导航与惯导、视觉、雷达、激光雷达等多传感器融合，从而使描线识别与跟踪，田间避障、精准转弯、多机协作、应急避险成为可能。

在精准作业上，围绕精准播种、插秧、施肥、喷洒等典型作业环节，基于农田实时感知和作业处方图，精准控制农机具的起落，种肥药动态配比、喷嘴开度、播种深度等。

#### 1. 旱田自主农机技术

旱田自主农机主要需要以下技术：围绕旱田非结构化作业环境，基于激光雷达/视觉等多元异构信息融合，实现地块边界、田间障碍物识别技术，为田间作业路径规划提供支撑。基于地块特征、田间障碍物、农机-机具工况等多重约束，实现作业地块全覆盖和绕行障碍物路径规划算法，使得田间作业路径规划的高效率、低能耗。基于北斗与惯导融合，突破坡地或凹凸不平的田间路径自主跟踪控制技术。综合农田环境感知、路径规划、路径自主跟踪等技术，实现旱田农机耕种管收作业自动驾驶系统。针对种肥药施用作业控制自主弱、施用量不精确等问题，基于农机自主作业控制器，实现作业速度、机具提升、PTO 等自主操控。基于作物生长信息的喷药机位姿、喷杆动作、喷洒量等联合调控策略模型，实现精准喷药自主控制装置。

#### 2. 水田自主农机技术



水田自主农机相关技术包括：针对水稻生产不同环节和不同作业机械导致作业路径多样以及水田田埂限制而全覆盖难、水田硬底层不平影响无人农机行驶与作业的精度和效率问题，完善水田田间障碍物识别技术，为自主作业路径规划提供支撑。基于地块形状、障碍物、机具和作业标准流程等建立各环节作业路径知识库，实现全覆盖作业路径自主规划和避开障碍物绕行路径自主规划方法，使得作业路径全覆盖、高效。针对水田硬底层不平对无人农机运动学影响规律，结合无人农机运动位姿、负载（作业阻力）和作业质量等感知信息，突破适应水田硬底层不平、频繁倒车和绕行的无人农机自动驾驶技术，实现全田高精度高效率自主作业。

针对水稻无人化农机作业缺少作业质量监测和评价技术以及作业精度不高等问题，结合耕深、平整度、插秧/播种量、药/肥施用量、产量和割台高度等感知信息，实现水田耕整、精量插秧/播种、精准施药/肥等精准作业控制模型和作业控制策略，以及与自动驾驶协同的水稻生产自主精准作业。



图 4.14 自主作业拖拉机的基本功能模块

智能农机是解决农业精准作业需求和日益减少的劳动力人口的必然趋势。未来五年内，自主农机的成本将越来越低、功能日益完善、

需求不断显现，将是智慧农业发展的主流。

#### 4.4.3 农业专家决策系统

通过从多源数据中搜集、挖掘、整理碎片化农学知识，构建面向农业领域的知识图谱架构，可实现数据与知识双驱动的 AI+农业模式，为农业生产中的水、肥、病、虫、流程管理等各环节、各类复杂问题提供智能化解决方案。运用计算机技术模拟农学专家的知识推理和判断，形成综合性、通用性、数字化、标准化的决策支持系统。

领域知识是构建专家决策支持系统的基础。早期的农业信息系统、作物模拟系统和农业管理系统，多采用专家人工总结或编撰的规则进行指导，虽然质量较高，但普遍存在规模小、覆盖率低、多冗余、更新迟滞等问题。借助以深度学习、知识图谱为代表的现代人工智能技术，有望实现农学知识库的自动化构建，将散落在网络数据、文本书籍、专家库中的知识进行聚合，形成统一的农学知识图谱。

为构建一套完备的农学知识图谱架构，必须需要了解农学知识的涵盖范围与边界。

农学知识泛指人类在农业生产实践中认识客观环境、作物、行为的成果，从各途径中获得的、经过提升总结和凝练的系统性认识。根据农学知识类型可分为：常识知识、经验知识、机理知识。农学常识知识旨在描述大气、土壤、病害、虫害等外在因素对农作物的客观影响，通常由实验论证或专家总结获得并记录于农学专业书籍中。经验知识指农业生产者在进行生产、管理活动时所积累的知识，描述所观察到的事物表面现象，但缺乏对事物本质或事物关系的认识，具有较强的主观性，此类知识常见于农场的农事种植流程、农事操作流程、农事日历等管理文件中。农学机理是有别于常识和经验的一类知识形态，主要用于描述作物生理系统、环境系统中各要素的内在工作方式，以及诸要素在一定环境条件下的相互联系、相互作用的运作规则和原理，例如作物模拟系统、天气预报系统等。

针对上述三类农学知识特点，可分别运用基于自然语言处理的文本挖掘技术从专业书籍和网络知识库中抽取农学常识知识、采用一阶谓词逻辑描述种植操作流程中各环节的组织关系和经验性知识、利用因果挖掘技术实现作物生理指标与外部环境变量之间的线性、非线性、动力学方程。常识知识和经验知识是对农事活动的定性总结，可采用实体识别和关系抽取等传统自然语言处理技术获得语义层面的符号化知识。但面向精准化、精细化农业的决策支持系统是一种以数理知识为基础的微观管理模式，其核心是根据传感网、光谱信号测定作物性状指标和环境参数，进而揭示这些变量之间的量化关系。

相比于传统的知识图谱，融合语义层面的定性知识和数理层面的定量知识而形成的多元农学知识图谱，将更全面的支持水肥供给、病虫害防控、生产管理等下游决策和调度任务。

## 4.5 智慧医疗

智慧医疗泛指采用信息技术及人工智能算法辅助医疗预防、检验、分析、诊疗、愈后康复、保健全过程的技术应用。狭义的智慧医疗特指医疗机构的信息技术智慧化改进，包括医院院区管理（HIS）、医疗核心系统（CIS）、临床病历系统（EMR）、医疗影像系统（PACS）、化验系统（LIS）、手术麻醉系统、医院集成平台、临床数据仓库、医疗人工智能平台等。

### 4.5.1 智慧医院管理

2021 年按照国家卫生健康委办公厅的医院智慧管理分级（Smart Service Scoring System, 4S）的我国顶级三甲医院自我评估中医疗病历智慧（EMR）等级为 4 至 5 级，运营管理（HIS）和医疗核心系统（CIS）等其它方面处于较低水平。按病种结算诊疗费用（DRGs），以患者为中心，医护人员多点执业，指导管理变化及医疗水平提升，临床与科研并重等医疗医管业务变化需要管理水平和业务服务系统的智能化改进。医院应对多管理机关、多院区、多分院、多结算单元、

多人员编制结构混合的管理运营挑战时面临着管理能力不足，人员匮乏和科室间协调困难的问题。扩展全国顶级三甲医院高水平诊疗方案的大众使用，全国县级三级医院及医联体提升区域内同质化医疗治疗服务质量的需求都急需人工智能、大数据、物联网的综合运用。

我国当前医院管理评价体系（2022）提升电子病历、医院运营、教学、科研等智慧化、信息化建设，医院运营管理等的具体要求指标及服务项目内容详见二维码。医院管理评价体系分 10 个类别共 33 个评估项目，具体内容可参见二维码关联文档。人工智能介入诊疗服务全过程一般出现在医院具备第三级智慧服务时，针对历史数据的分析和患者资料的整合进行。

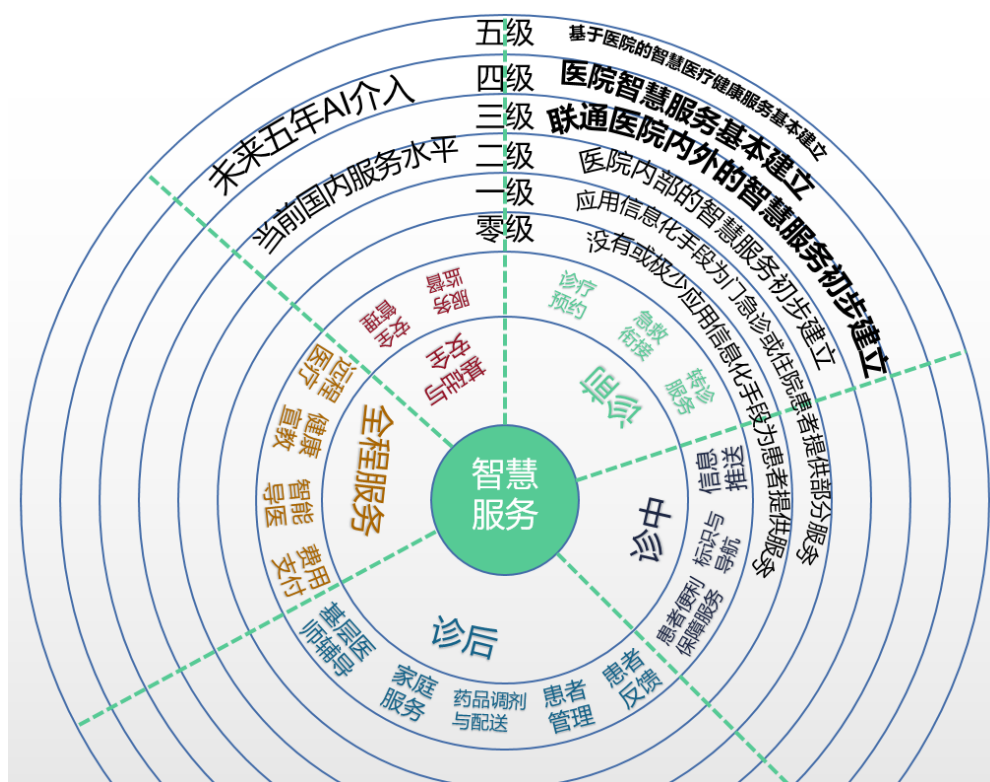


图 4.15 医院智慧服务分级

上图中医院智慧管理分级的第 4 级：医院智慧服务基本建立。患者医疗信息在一定区域内实现互联互通，医院能够为患者提供全流程

的个性化、智能化服务，患者就诊更加便利。

2035 年时我国医院智慧管理分级预计少数医联体达到第 5 级：基于医院的智慧医疗健康服务基本建立。患者在一定区域内的医院、基层医疗机构以及居家产生的医疗健康信息能够互联互通，医院能够联合其他医疗机构，为患者提供全生命周期、精准化的智慧医疗健康服务。

在“基础设施”方面，医院及医联体内建立基于患者的共享信息，对患者就诊时的检查、检验、入出院、药物进行信息同步，有效提高服务患者的精准度。在“就诊服务”的各流程方面，医院应优化医疗服务流程，在预约挂号、在线支付收费、床旁结算、检查信息电子化阅读和共享、预约检验、分时分级医联体内入出院、送药上门服务等环节，为患者提供智慧医疗服务，方便患者获取医疗服务相关信息。患者在一定区域内的医院、基层医疗机构以及居家产生的健康信息及电子病历的部分信息可通过互联网在医联体进行实时共享互联互通，方便医院能够联合其他医疗康复养老机构，为患者提供全生命周期、精准化的智慧医疗健康服务。医院在推进医疗服务体系建设后，将拥有一个智慧化的改善患者就医体验、开展全生命周期健康管理的有效工具。

以下就评价体系中的“医疗护理管理”方面予以简单介绍。该方面的重点是质控管理，要提供相关指标的数据提取与分析作技术支撑，将终末管理转变为过程管理。三甲医院要结合“国家卫健委考核”的指标体系，建立起覆盖患者安全、院内感染、药物安全、医患纠纷、病种质控等内容的临床医疗质量平台。平台囊括的每个指标都由相应的科室/部门管理，利用细指标构成每个医疗过程的闭环，帮助管理者了解各患者诊疗情况，有重点的进行医患关系分析与管理。下表仅保留本分类的 3、4、5 级的评价内容，其它项目分类的各级评价内容均可通过二维码对应的国家卫健委文件进行查阅。

表 4.3 医疗护理管理分级评价表

项目 代码	业务项目	评价 类别	主要评价内容	级 别
1.1.3	医疗、护理 质控管理要 点：院级、 科室级质量	基本	(1) 能够通过网络从门急诊、住院的信息系统中获取运行数据； (2) 能够依据收集的临床运行数据产生医疗、护理运行管理和质量控制所需报表。	3
1.1.4	控制，各类 医疗护理的 数量与质量 控制指标设 定，相关统 计报表生 成，数据查 询与展现处 理等	基本	(1) 能够通过网络从临床科室、检查治疗等医技科室、药品保障等辅助科室获取运行数据； (2) 能够综合各部门获取的数据生成较全面的医疗、护理情况日报； (3) 能够设置医技、辅助科室运行指标； (4) 能够生成各医技、辅助科室运行数量、质量指标结果，并与设定的指标要求进行比较； (5) 有查询重要医疗数量、质量指标及每日情况的工具。	4

项目 代码	业务项目	评价 类别	主要评价内容	级 别
1.1.5		基本	<p>(1) 能够直接从门急诊、住院、医技科室、辅助科室系统获得相关业务运行基础数据；</p> <p>(2) 有全院统一的医务管理、护理管理综合数据处理与展示环境；</p> <p>(3) 已建立完善的医务管理、护理管理指标库，能针对全院、部门与科室等分别设立预期指标要求，可定期将指标结果与设定的指标要求进行比较；</p> <p>(4) 有全面的医疗、护理的数量、质量指标分析与对比查看工具；</p> <p>(5) 能够提供多年数据纵向对比功能。</p>	5
1.2.3	医疗准入管理要点：手术、治疗、处方权（医疗权限）等		<p>(1) 各主要类别（如特殊药品、特殊检查、手术与操作、护理操作等）的业务权限申请能够通过网络在信息系统中完成；</p> <p>(2) 能够与相应管理部门共享处方权、手术操作、护理操作等业务权限的管理信息。</p>	3
1.2.4	的审核、授予、执行管控与记录	基本	<p>(1) 各个专项业务权限的申请、审核、授权、暂停、终止、起止时间有记录；</p> <p>(2) 能够将业务权限的授权记录传送给相应医疗、患者服务系统用于权限管控。</p>	4

项目 代码	业务项目	评价 类别	主要评价内容	级 别
1.2.5			<p>(1) 有统一管理医务人员岗位职责和业务权限的机制与工具；</p> <p>(2) 能够将岗位职责和业务权限记录与运营管理、医疗、患者服务相关业务系统共享，并能用于相关管理控制；</p> <p>(3) 医务人员能够在系统中申请、查询自己所需的岗位职责和业务权限。</p>	5
1.3.3	医院感染管理与控制要点：医院感染监测与记录，传染病上报与记录，消毒监测，细菌耐药监测		<p>(1) 院内有统一的医院感染管理字典库，其中涉及的疾病诊断编码规范，可对照、可映射；</p> <p>(2) 能够从门急诊、住院的诊断数据中获取院内感染、传染病患者相关数据；</p> <p>(3) 有自动识别传染病患者复诊的机制，避免重复上报；</p> <p>(4) 能够从医嘱或处方中获取抗菌药物使用数据。</p>	3
1.3.4		基本	<p>(1) 能够对医院消毒供应品的消毒过程进行监测并记录；</p> <p>(2) 能够对医院工作人员的感控培训进行记录，并可记录具体参与人员；</p> <p>(3) 能够根据诊断、检验结果自动筛选出传染病并生成上报数据；</p> <p>(4) 能够按诊断、检验结果识别并提示院内感染情况。</p>	4



项目 代码	业务项目	评价 类别	主要评价内容	级 别
1.3.5			(1) 能够统一管理院内感染、传染病上报数据； (2) 有根据诊断、体征、抗菌药物等使用情况对院内感染进行判断与预警的机制； (3) 有对重复使用的衣物、布品等的清洗消毒监测的电子记录； (4) 能够对空气和环境进行监测记录； (5) 能够对纳入重点防控的多重耐药菌的发现、治疗进行记录。	5
1.4.3	不良事件管理要点：各类不良事件报告管理，不良事件处理追踪与反馈	基本	(1) 临床发生的药物、器械、输血等不良事件报告能够通过信息系统记录，并通过网络传送给相应的管理部门； (2) 能够通过信息系统与相关科室或管理部门共享不良事件处理的情况； (3) 不良事件表单格式规范化、结构化，符合院内外管理部门上报要求。	3
1.4.4			(1) 对于不良事件报告、处理、改进与预防方案有集中管理的记录，并能够通过网络传送给相关科室或管理部门； (2) 能够对常见护理等不良事件发生的风险进行评估，如跌倒、压疮等。	4

项目 代码	业务项目	评价 类别	主要评价内容	级 别
1.4.5		基本	<p>(1) 能够对不良事件报告进行通报与处理反馈；</p> <p>(2) 有分析与控制不良事件的管理指标，能够从报告、处理记录中自动产生指标结果，并能生成直观的分析图表供管理部门使用。</p> <p>(3) 系统对不良事件有分级处理功能，对高级别不良事件能及时提醒管理部门处理。</p>	5
1.5.3	和谐医患关系要点：患者投诉、纠纷预警与处置等记录，医患满意度调查	基本	<p>(1) 院内有信息化的患者满意度采集方式，如自助机、满意度打分器等，通过采集方式获得的患者反馈数据能够通过网络传送给相关管理部门进行分析处理；</p> <p>(2) 医患纠纷、信访、患者反馈、满意度调查、投诉信息能够通过网络告知相关科室或管理部门进行处理或改进。</p>	3
1.5.4	和谐医患关系要点：患者投诉、纠纷预警与处置等记录，医患满意度调查		<p>(1) 能够通过各个信息系统获得患者反馈与投诉、满意度调查等相关信息，并汇总产生管理所需报表；</p> <p>(2) 能够对纠纷、信访、患者反馈或投诉信息进行结构化记录；</p> <p>(3) 能够根据结构化记录内容进行自动分类并生成分析报告；</p> <p>(4) 有电子化的高风险检查、治疗项目管控清单，并供相关临床科室查看。</p>	4

项目 代码	业务项目	评价 类别	主要评价内容	级 别
1.5.5		基本	<p>(1) 有统一的医患沟通关怀系统，能够对医患纠纷、信访、患者反馈、满意度调查、投诉信息进行统一管理并集中浏览；</p> <p>(2) 有与高风险问题清单内容相对应的预防与处置措施知识库；</p> <p>(3) 能够对高风险检查、治疗项目管控清单在实施前进行规范化检查与问题提示，并反馈给执行的科室与医师；</p> <p>(4) 能够通过移动设备采集患者的反馈、投诉、满意度调查等信息。</p>	5

其它的例如在“运行保障管理”方面，医院需建立融合多场景数据的指挥控制中心，对院内基础服务设施进行三维全息化呈现，及时更新并快速展示各楼层医护人员、病房床位、停车资源等情况，便于空间的合理使用。医院要达到人财物信息的衔接一致与可视化，需要用数据资产驱动跨界融合的应用，及时掌握各运行细节信息进行资源智能调度。

在“运营管理”方面，医院管理者对医院的运营管理，科室对自身成本的分析管理，均需从各分系统获取各自科室成本分析报表，结合不同类型科室业务与成本相关的知识库，借用人工智能大数据系统分析历史数据，提供决策支持，完善并精细化科室及医院成本管理流程。需掌握医院整体情况，建立可视化的床位使用率、出院患者次均费用等运营管理类细化指标，帮助管理者做好成本控制与绩效管理。

在“协同办公管理”方面，医院可以建立链接医生工作站、OA平台等的统一平台，优化医院各部门、各业务的协同服务。

医院智慧服务评价体系是医院针对患者的医疗服务需要，应用信息技术改善患者就医体验，加强患者信息互联共享，提升医疗服务智慧化水平的新时代服务模式。在未来的 5 年内，人工智能介入语意理解、优化服务等方面的力度会越来越大。

#### 4.5.2 智慧诊疗

智慧诊疗包括电子病历、医疗影像分析、临床检验及手术各方面。各类临床系统中累积了大量的就诊、诊断、医嘱、检查、检验、手术、病历、手术等信息，这些信息包含着大量有价值的临床知识，如症状与诊断、术式与预后、用药与不良反应、患者个体差异与同一诊疗方案效果等规律，可为医院的临床研究提供极大的价值。

在我国有东软、卫宁、医渡云、万达信息及各类新兴高科技创业公司能提供各种级别的电子病历系统。当前医疗电子病历系统（EMR）是我国医院相对智慧化水平最高的系统，详情亦可参见附之二维码。国家卫健委用于评价医疗工作流程中的 10 个角色，39 个项目，根据关联的 39 个评价项目分别对电子病历系统功能、有效应用、数据质量三个方面进行评分，将三个得分相乘，得到此评价项目的综合评分。即：单个项目综合评分=功能评分×有效应用评分×数据质量评分。各项目实际评分相加，即为该医疗机构电子病历系统评价总分。按照国家卫健委规定，评价四级及以下电子病历系统的考核由省级机构负责，五级及以上由国家卫健委负责考核。

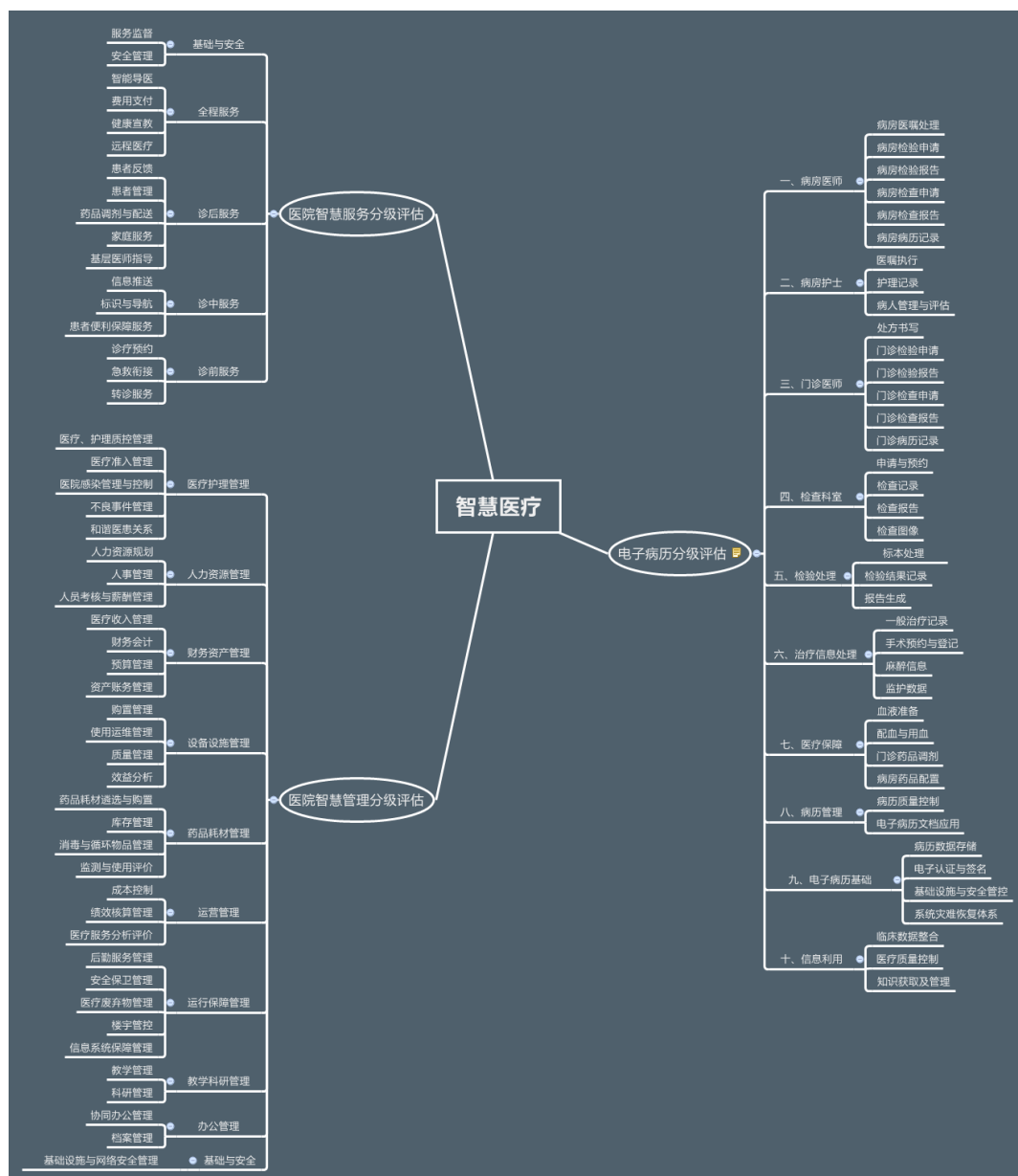


图 4.16 我国医院评价体系（2022 年）

少数顶级三甲医院已达到第七级评价标准，即全面利用医疗信息进行本部门医疗安全与质量管控。能够共享本医疗机构外的病人医疗信息，进行诊疗联动。第七级标准包括以下三项评价：（1）医疗质量与效率监控数据来自日常医疗信息系统，重点是院感、不良事件、手术等方面安全质量指标，医疗日常运行效率指标，并具有及时的报警、通知、通报体系，能够提供智能化感知与分析工具。（2）能够将病人病情、检查检验、治疗等信息与外部医疗机构进行双向交换。

病人识别、信息安全等问题在信息交换中已解决。能够利用院内外医疗信息进行联动诊疗活动。（3）病人可通过互联网查询自己的检查、检验结果，获得用药说明等信息。

其它三甲医院也在积极准备国家卫健委的病历审核，通过五级或六级标准的医疗机构每年都在增加。随着各级医院在国家和地方政府的积极支持下的大规模高智慧化电子病历系统的投入，未来的五至十年在系统建设将会追上现有高水平医院的病历系统水平。

当然高水平电子病历系统的建立完善还需要医护水平的密切配合，医疗机构的管理改善。我国相当大部分三甲医院的医生的病历撰写准确度、同病种治疗水平、循证治疗、按指南诊疗、按需选用抗生素、特殊罕见病症判断及诊治等医疗服务尚需较长时间的培训和练习才能达到。中国罕见病综合报告（2021）显示针对 38634 名中国医务工作者的调查显示：1770 人从未听说过罕见病，占 4.6%；23514 人听说过但不了解，占 60.9%。其中，医务工作者最熟悉的罕见病依次是白化病、血友病和多发性硬化症。同时，87.6%的医务工作者认为自己并不了解国家关于罕见病的政策。这显示我国还需要在关联辅助系统的建设及持续性培训上投入更多力量。

#### 4.5.3 辅助诊疗

随着医疗电子病历数据及医院科室、院区管理的规范化，我国每年增加的医疗数据多达几十 PB，这十几年来检验、分析和提供辅助治疗的公司为这类数据的进一步使用带来了更大的市场空间。东软、华为、卫宁、迈瑞等公司在这类领域已经是国内顶尖服务或器械提供商。从 CT、MRI、超声、内窥镜、手术机器人的使用到与 HIS、PACS、LIS、EMR 等关联系统联动，我国的医疗辅助市场产生了各类新型医疗器械公司和辅助实验室。在外科辅助机器人中我国天津大学及威高集团完成了类似国外达芬奇手术机器人的设备，在脊柱外科辅助上有苏州铸正和南京普爱的手术机器人拿到了国家器械认证，唯迈生物的

血液介入机器人、上海微创、天玑及和华瑞博的骨科机器人、瑞医博的口腔机器人、柏慧维康及华科精准的神经外科机器人是在最近几年的得到国家药监器械资质认证，在市场上已经有了上万例的手术案例，这些公司的水准在世界范围内属于领先水平。

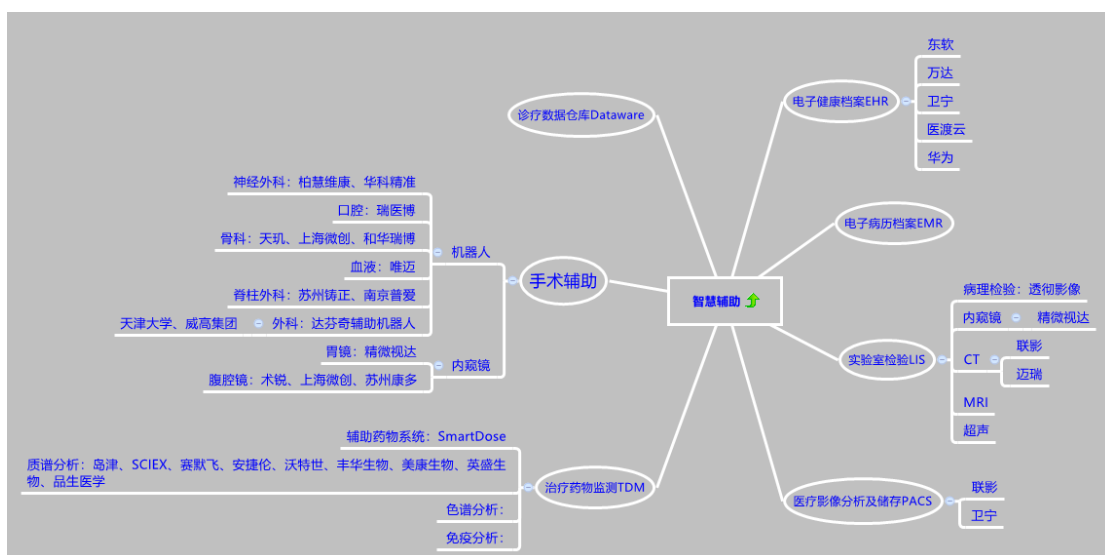


图 4.17 我国现有医疗器械及服务提供方（2022）

我国的医疗影像分析、临床检验分析的智慧化进程也在积极赶上国际潮流。随着 AI 技术的应用，透彻影像将作为诊断金标准的病理科影像进行了大规模的数字化和智能化标注及分析，应用了人工智能的病理科辅助系统已经在国内顶级三甲医院的几十个科室参与消化、呼吸、肿瘤等科室的辅助诊断工作。在内窥镜领域武汉精微视达在胃肠镜的早筛和治疗是国内消化领域的顶尖水平，在 CT、MRI、超声等辅助检验中迈瑞、帝迈、联影等公司提供了和世界水平比肩的设备及试剂保障。

数据集成与人工智能应用是医院智慧管理建设的基础。目前我国三级医院开展集成电子病历及药物平台建设投入较高，医疗数据应用类信息系统建设亟需加强。智慧医院对信息技术和人工智能的要求是，既要能降低工作强度，人工、手工变成电子数据化，更要能为患

者全诊疗过程服务、为患者全寿命周期检查用药随访服务、为医院运营管理提供详尽分析预警，用数据资产评价病历、用药、患者状态、随访服务及成本分析等驱动跨界融合的创新应用。智慧医院建设将推动医院联合协同体系化，数据驱动平台化，基础设施融合化，向主要收治疑难重症患者和医学关键技术攻关转型，通过牵头组建跨区域的专科联盟等多种形式医联体，不断缩小区域间医疗技术水平差距，提升重大疾病救治能力。

附：以下文件可扫码下载后阅读（来源为国家卫健委网站资料）：



医院智慧服务分级  
评估标准体系-试行



医院智慧管理  
分级评估具体要求



医院智慧管理  
分级评估项目



电子病历系统应用  
水平分级评管办法



电子病历系统应用  
水平分级评价标准



## 4.6 智慧教育

### 4.6.1 智慧教育内涵

智慧教育是以人工智能、大数据、物联网等新兴技术为基础，依托各类智能设备及网络所实现的一种智能技术与教育深度融合的新型教育样态，通过人机互动、数据共享、知识互联等，满足学生智慧化、个性化、精准化学习需求。2018 年 4 月教育部印发的《教育信息化 2.0 行动计划》明确提出，实施智慧教育创新发展行动，积极开展智慧教育创新研究和示范，推动新技术支持下教育的模式变革和生态重构。

智慧教育是教育信息化推动教育变革的新阶段，其本质上是种全新的教育模式，是破解传统教育难题的重要手段，是教育理念、教学模式、教育活动组织实施与管理等在新技术支撑下的革命性创新。智慧教育的核心在于“智”，赋智于人、融智于校、强智于国，以智慧赋能人的发展，为师生提供有价值成长的教育新模式；将智慧教育理念、技术和方法融入治校理教的全过程，全力推动双创教育融专业、融课程、融平台、融导师、融机制，打通“学用合一、赛创空间、卓越协同”的“双创”人才培养链条，构建能力图谱，支撑学生科学探索、批判创新、追求卓越的能力提升。

近年来，我国智慧教育行业发展迅速，各地积极推进智慧教育试点示范和智慧学校建设等工作，很多相关企业也纷纷提出智慧教育解决方案。

### 4.6.2 智慧教育关键技术

智慧教育的关键技术主要包括感知、认知、自适应学习、群体智能、人机交互、知识图谱、云计算技术等。

#### 1. 智慧教育中的机器感知技术

通过智能学习终端为学生提供参与互动学习的途径，这是机器感知技术赋能教育的典型方法之一。它改变了原来主要由教师讲授课程

的单向知识传播模式，构建一种教与学互动的双向信息传播模式。例如，利用各种传感器实现对学生学习过程的数据采集，是感知技术应用于智慧教育的一种具体体现。这些被采集的数据也可以上传到智慧教育平台，支持深度挖掘，为构建学生个性化学习方案提供依据。

利用点读技术实现纸面学习是一种常见的幼儿学习模式。互动点读则可以为孩子们提供探究式学习的机会，让低龄儿童在游戏化的学习中远离屏幕，为保护儿童视力提供很好的解决方案。

## 2. 智慧教育中的机器认知技术

视觉识别、语音识别等机器认知技术介入教育过程，成为智慧教育的重要组成部分。例如，利用视觉识别技术实现自动批改作业，利用语音识别技术实现智能知识问答，利用人脸识别和表情识别技术实现对学生学习状态的监测等。这些技术可以广泛应用于各种教学创新实践中。

## 3. 智慧教育中的自适应学习技术

自适应学习技术通过构建机器学习算法，对一些学习任务进行智能模拟，从而给学生提供一些实现任务的路径参考，达到启发学生思维的作用，实现个性化的学习。学生在开展探究式学习过程中，会有很多随机性的探索，很难在事前都能做出各种针对性的回应。因此，可以利用自适应学习算法，实现对探究式学习进程的辅助引导。

## 4. 智慧教育中的群体智能技术

通过构建物联网教学系统实现对教学的赋能是群体智能技术在智慧教育中的典型应用之一。可以利用搭建好的物联网系统实现对学生学习数据的捕获，也可以将学生自主构建的智能体作为获取学习数据的终端节点设备接入物联网教学系统，为学生提供实践性教学环境，支持学生“做中学”、“用中学”和“创中学”。如下图所示，学生可以通过设计物联智能小车实现与教学系统的连接，将自己创作的作品所获得的数据实时上传到智慧教育平台上。这种群体智能技术

可以支持开展各种团队式实践教学。



图 4.18 物联智能小车系统

## 5. 智慧教育中的人机交互技术



图 4.19 人机交互技术赋能教学

如上图所示,人机交互技术赋能教学可以通过互动式教学软件设计,支持学生的探究式学习。利用视觉、语音、穿戴设备等多种交互方式呈现趣味性更强的实践教学形式,有利于提高学生的学习兴趣,增强自主学习能力。

#### 6. 智慧教育中的知识图谱技术

知识图谱技术包含知识表示和建模、知识获取、知识融合、知识存储、知识计算和知识运维等。构建与教学相关的知识图谱,可以让计算机获取知识,通过计算机生动形象地把知识组织、表达清楚。计算机可以通过存储的知识给学生出题,也可根据学生的回答情况给予针对性的帮助。知识图谱技术能增强教学内容的系统性和教学过程的互动性。

#### 7. 智慧教育中的云计算技术

智慧教育的开展是结合家、校、人等不同主体的多层次、全方位过程,涉及到物理与信息层面的大量数据传输、记录与分析。快速可靠的网络通信技术和云端计算技术一方面能够很大程度上减少智慧教育对本地服务设备的依赖,实现多种形式的智慧教育手段低成本复制和快速推广;另一方面通过云端强大算力实现对大量数据的充分挖掘,使算法拥有更好的应用表现。

### 4.6.3 智慧教育典型应用

#### 1. 智慧校园

智慧校园是物理与信息两大空间之间的有机对接,让所有人可以在任意场合、任意时间均可以方便快捷地获取教育资源。智慧校园是高级形态的教育信息化表现,是数字校园的进一步发展和提升,其特点主要表现在学校环境的全方位感知、数据的智能化分析、个性化与便利化服务、网络高速泛在等。智慧校园综合运用了多种先进技术,如虚拟化、云计算、大数据、人工智能、数据挖掘等,同时将数据的科学管理、决策的智能分析作为主导方向,促使学校内部与外部不同

类型的人、业务以及流程实现智能化、深层次结合。智慧校园可以全面透彻地发现并感知师生个性化需求，全面智能地融合丰富多样的校务应用，全面科学地辅助可持续化的决策创新。近年来，随着国内智慧城市建设的持续开展，受益于国家政策支持 and 市场环境推动，智慧校园行业发展较快，多个省市制定了区域智慧校园发展规划，相关企业纷纷推出智慧校园相关产品与解决方案。

## 2. 智慧教室

随着教育信息化的发展，校园的智慧化程度越来越高，其中智慧教室已成为行业内关注的焦点。智慧教室的功能主要包括精品录播、多为互动、分组研讨、个性学习、物联集控等。智慧教室因其具有主动感知教学情境、自动采集分析数据、适配推送学习资源、学习工具多样化等特征，给教育教学带来了显著改变。这些改变，主要表现在以下四个方面：

一是拓展了教学空间，增强了教学功能。智慧教室的布局灵活，打破了常规教室中师生位置的“对立”，消除了学生因位置不同而引起的视听觉差别，使教与学的方式更开放。各种智能技术的深度融合，使智慧教室不仅是一个教与学的物理空间，同时也是在线教学和在线学习的网络空间。二是丰富了教学信息呈现方式和知识获取途径。智慧教室拥有技术先进、功能丰富、布局灵活的现代化教学设备设施，信息呈现方式更多样、教学互动更灵活、知识来源更广阔，学生既可以使用原有的学习材料和资源，也可以便捷地使用线上学习资源，极大地拓展了知识获取途径。三是推进了教学模式更新和教学方法变革。智慧教室对教学环境进行了重构，打破了原有教与学之间的连接，引发了教学方法、教学工具、教学内容等多方面的深刻变革。四是提高了课堂教学与管理效率。智慧教室优化了学习体验，更符合“数字土著”的学习习惯，学生在智慧教室中的学习兴趣更浓、学习投入度更高。各种智能技术的应用在缩短课堂时间的同时，更好地支持了课

堂教学互动，提高了互动频率和丰富互动内容，使课堂更活跃、更民主，使课堂教学效果得到明显提升。

### 3. 智能学习终端

智能学习终端是将 AI 技术融入到学习机中，通过学习者更喜欢的模式打通以学习者为中心的智能教学各个环节。

智能学习终端使学习者能够通过移动互联网，随时随地、随心所欲地学习。课本不再是纸质的，学生背负的沉重书包将被电子书包所代替。学习场所不再局限于课堂，学习内容不再受老师讲授内容的限制。此外，通过采用智能化技术，使 E-Learning(数字化学习)转变为 I-Learning(智能化学习)。I-Learning 系统可以根据学生学习兴趣、学习能力、学习时间等情况制定不同学习计划，生成个性化学习资料，能够很好地满足“因材施教”的教学需求，真正有效帮助师生减负增效，提高老师和学生的教学效率，从而让他们有更多的时间投入到能力提升和综合素养提升的维度中来。

从应用场景来看，智能学习终端主要以互动式教学软件的形式参与教学过程，在课上主要以电脑、多媒体设备等作为硬件载体，课下可以以学生个人手机作为硬件载体。帮助老师实现从“知识传递者”向“目标管理者”的角色转变。智能学习终端内置了课件、题库等课程资源，并支持师生交流与人机问答。在学习过程中，学生可以借助平台资源学习课程内容，可以针对不懂的问题向老师或系统提问，并同步完成课后练习内容。智能学习终端能够根据学生在平台上的用户轨迹、提问记录、答题记录等分析出学生的学习内容掌握情况以及学习资源偏好，进而利用其偏好特征以及辅助数据构建出精准的学习者画像，并对于相似或者相同类型的学生进行分组归类，从而准确地根据画像为学习状况相似或者相同学生做出个性化的学习路径规划，引导学生选择更加精准高效的学习方法。

#### 4. 国家智慧教育平台

国家智慧教育平台是国家教育公共服务的综合集成平台，聚焦学生学习、教师教学、学校治理、赋能社会、教育创新等功能，是教育数字化战略行动取得的阶段性成果。2022年3月28日，国家智慧教育平台一期正式上线。平台一期项目主要包括国家中小学智慧教育平台、国家职业教育智慧教育平台、国家高等教育智慧教育平台和国家24365大学生就业服务平台等4个子平台。2022年7月8日，国家智慧教育公共服务平台二期正式开通上线，平台上汇聚的基础教育、职业教育、高等教育资源更加丰富。国家智慧教育平台二期上线了大思政课资源465条、体育美育课程473门、劳动教育资源3500余条，服务学生德智体美劳全面发展。新增国培示范、院士讲堂、名师课程等在线培训等资源6240条，提供研究生课程300门、案例8.5万个、产学研需求信息30万条，汇聚各类语言学习资源8000余条。平台调动地方、高校、教师发展机构和名师名校积极参与，提供承担“国培计划”等各类教师培训过程中生成的优质资源，按照教师开展教育教学、教研备课等不同方面的需求，进行分类汇聚，方便教师按需查询、检索。

##### 4.6.4 智慧教育行业发展

智慧教育是政府主导、学校和企业共同参与构建的现代教育信息化服务体系。新一轮科技革命和产业变革对智慧教育行业发展带来巨大影响，智慧教育产业链条初步形成，日益激烈的市场竞争推动产业集聚现象与企业头部效应愈加显著，关键技术的突破及其与教育场景融合的不断深入，推动在线教育、人工智能教育、个性化教育加速发展。在“互联网+教育”、“智能+教育”、“教育新基建”等政策背景下，近年来我国智能教育产业经费投入持续增加、相关行业快速发展、技术研发不断突破、产业发展环境整体向好。采用PEST分析法，从政策环境（Political）、经济环境（Economic）、社会环境（Social）、

技术环境（Technological）四个维度系统分析当前我国智能教育产业的发展环境，具体如下图所示。

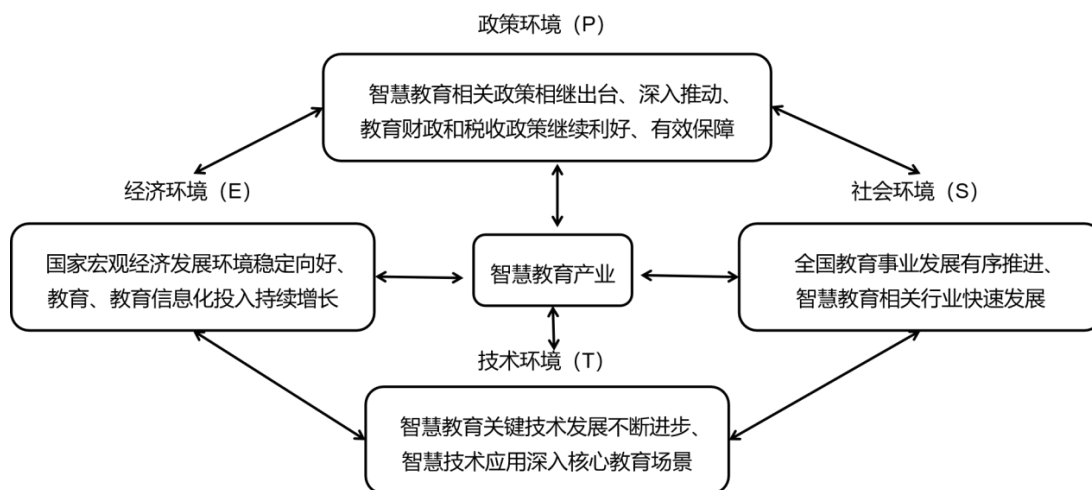


图 4.20 智慧教育 PEST 分析

随着外部发展环境的不断向好，近年众多机构及资本积极进入智慧教育领域，推动智慧教育产业市场规模迅速增长。同时，新冠肺炎疫情的冲击也加速了智慧教育市场的洗牌，引发线上教培企业及其他领域的机构入局、互联网巨头加码投入，推动智慧教育产业链条逐步形成、市场竞争日益激烈。

从产业链来看，2020 年中国智慧教育产业链条初步形成，整个产业链包括上游的供应商，中游的服务商，以及下游的消费者。上游为中游提供软硬件设施服务、网络服务、智能技术服务以及内容服务，中游为下游提供智能教学、智能学习、智能考试与评价、智能管理、综合解决方案等服务，下游主体包括 G 端、B 端和 C 端在内的消费者。

从市场布局看，当前我国智慧教育市场竞争格局中，头部效应显著。一方面，2022 年智慧教育相关企业的注册资本呈现“金字塔式”分布，大型企业处于顶部且数量较少，中小微企业构成了智慧教育产业的主力军；另一方面，位于顶部的少量大型企业营收额占整体份额



的绝大部分。

在需求端，艾瑞咨询发布的《2022 年中国中小学教育信息化行业研究报告》显示，2021 年国内中小学教育信息化经费投入达 1634 亿元，同比增长 9.1%。截至 2019 年底，城乡间多媒体教室教师覆盖已实现基本均衡，但在多媒体教室联网率上仍存在一定城乡差距。很多学校都希望与教育科技企业合作，以期在软硬件设施及服务方面提高能力和水平。在此背景下，相关科技企业纷纷入局，试图联合 G 端和 B 端，推动基础教育数字化全面转型升级。

随着智慧教育行业快速发展，市场规模呈现出不断扩大的态势。据前瞻产业研究院预测，2022 年我国智慧教育行业市场规模将突破万亿元大关，具体如下图所示。

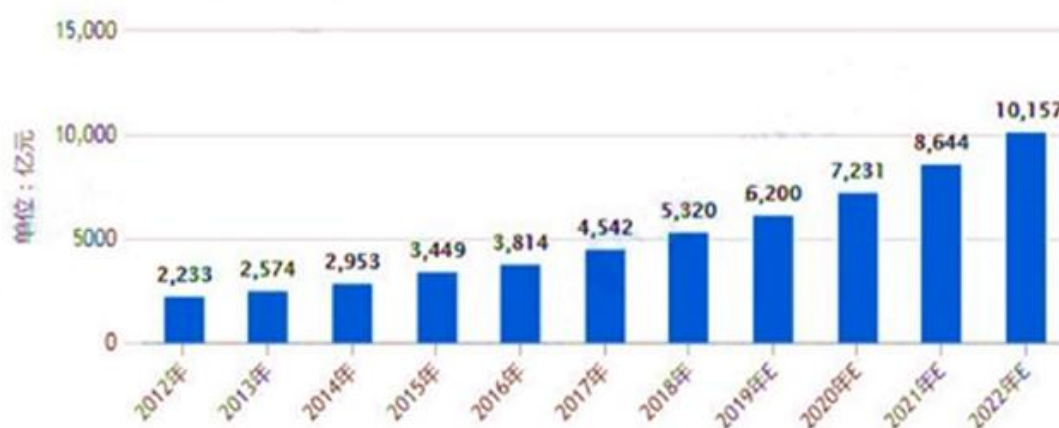


图 4.21 中国智慧教育行业市场规模（资料来源：前瞻产业研究院整理）

## 4.7 智慧矿山

### 4.7.1 智慧矿山的基本内涵

金属、煤炭、石油、油页岩和天然气是人类经济社会发展的基础性矿产资源。在过去的二十多年，伴随着我国经济社会高速发展对矿产资源需求的爆发式增长，我国的采矿行业产能得到了空前释放，当前处于高位运行的采矿行业继续依靠传统的生产方式正在遭遇越来越严峻的来自产能、安全和环保方面的挑战。在企业数字化转型的国

家政策背景下，采矿行业的信息化建设正在由数字化矿山、智能矿山向智慧矿山迈进。智慧矿山正逐渐成为采矿行业高质量发展的先进生产力代表。

智慧矿山是将云计算、大数据、物联网、移动应用、人工智能、5G 通信、区块链、虚拟现实等技术与矿山生产自动化装备等进行底层融合，构建出设备感知层、数据中心层、智慧决策层、业务应用层以及展示交互层的五层业务架构。形成对矿山生产管理全要素感知、全要素协同、全天候在线、全动态预测、全自主学习以及全自主决策的智慧管理能力。人们通过智慧矿山系统将矿山的开拓、采掘、运输、分选、安全、环保等生产活动进行最优化的协同管控，统筹实现矿山开采在生产效率、经济效益和安全环保水平的最优化提升。

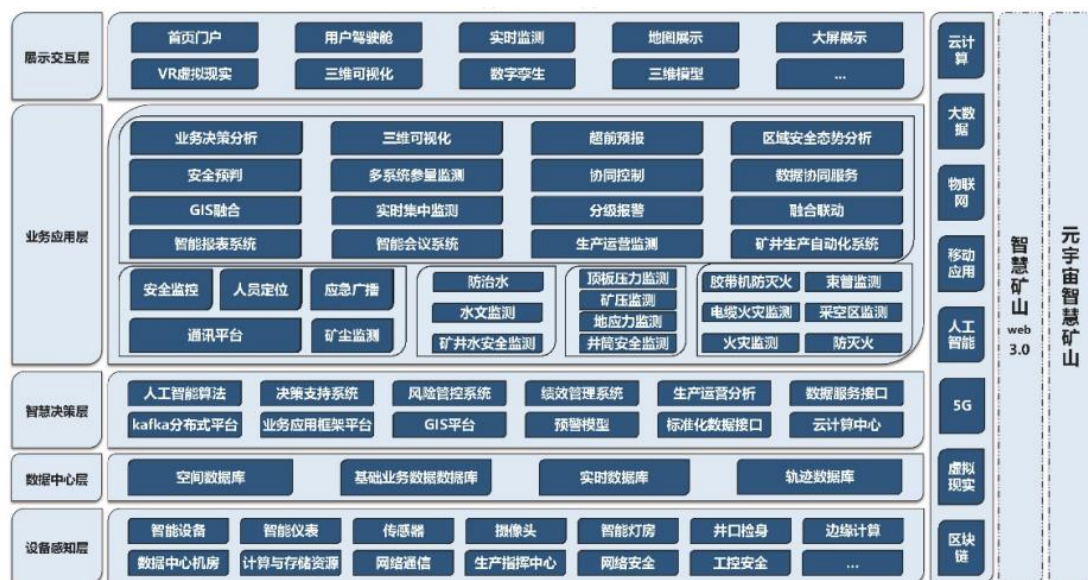


图 4.22 智慧矿山应用架构图

#### 4.7.2 数字孪生模型的构建

数字孪生技术已经开始在工业、制造业和智慧城市等领域取得应用。这是一种可以将物理实体或系统的运行状态实时映射到虚拟模型并能够进行反向控制的新一代信息技术。虚拟模型以数字化的方式创建物理实体的三维映射，这是对物理实体静态属性和动态演化过程的真实表达。虚拟模型既能对物理实体进行准确的静态刻画和描述，又

能随时间的变化使模型的动态输出结果与实际相符。人们以虚拟模型为介质实现对物理实体的监测和交互。通过多维虚拟模型和融合数据双向驱动，数字孪生能够描述物理实体的多维属性，刻画物理实体的实际行为和状态，分析和推演物理实体的运行规律和发展趋势。从各种推演结果中寻求最优化的解决方案。

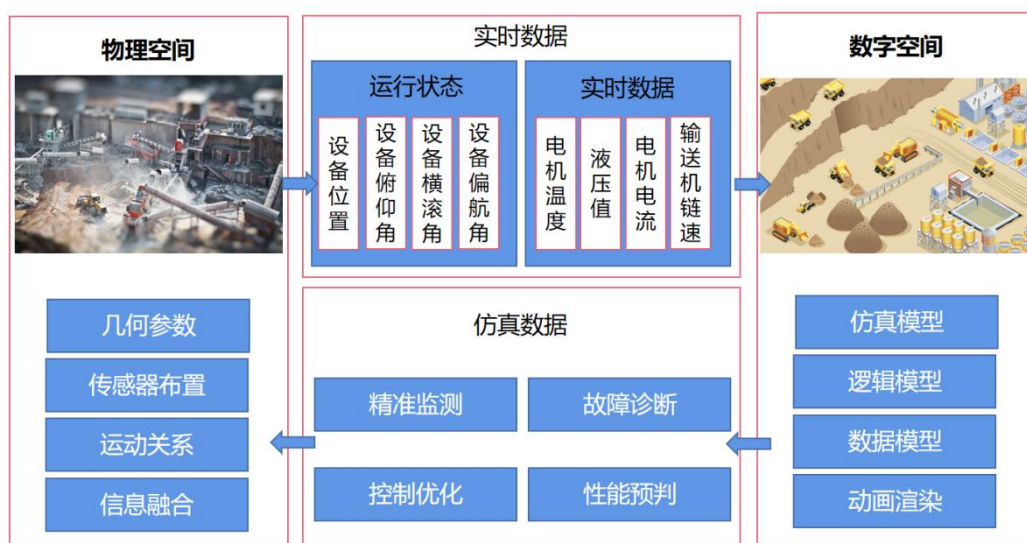


图 4.23 孪生数据驱动的数字孪生模型

常用的五维数字孪生模型包含物理实体、虚拟模型、物理实体与虚拟模型的连接、数据和服务五个维度。模型可以是“几何、物理、行为、规则”多维度的，也可以是“机械、电气、液压”多领域的。在构建虚拟模型的过程中实现对模型定义、编码规则、运行机制、开发流程、数据接口、通信协议、解算方法、模型服务化封装以及人机交互进行统一标准化的实施。在满足信息无损、模型精确、使用功能的前提下，使模型在几何描述、信息承载、逻辑构建等方面实现更加人性化的功能设计。在构建、使用和管理的过程中能够以直观的可视化形式得以展现，为用户通过虚拟模型与物理实体进行交互提供多维度体验的交互平台。

### 4.7.3 基于数字孪生的智慧矿山

数字孪生矿山模型是智慧矿山的重要组成部分，它是智慧矿山可视化展示和人机交互的载体，其与人工智能算法共同组成了智慧矿山的躯体和灵魂。数字孪生技术在采矿业的应用主要是将矿山的物理实体实时映射到虚拟模型，人们可以在任意远端通过与虚拟模型的交互实现对真实物理实体矿山的状态进行精确观察、精确测量和精准控制，以及在多维复杂约束条件下对采矿生产活动进行模拟推演，以期达到对矿山生产组织全要素管理的精确化、可视化、虚拟化。为研究矿山生产活动的演化发展规律提供模拟器，为真实的矿山生产活动提供实时在线的显示器和控制器。



图 4.24 基于数字孪生的智慧矿山服务架构

在智慧矿山模型中，设备感知层中的边缘计算与智慧决策层中的云计算中心共同完成矿山生产管理的全要素感知、全要素协同、全动态预测及全自主决策。智慧矿山系统通过自主决策驱动智慧矿山的物理实体运行并将结果映射到数字孪生模型，通过丰富的智慧应用服务



为管理者提供信息展示和业务支撑平台，实现对矿山“人、机、环、管”等生产要素生命状态的实时监测、准确控制、科学决策和智慧管理的目标。

基于数字孪生的智慧矿山可提供多层次的应用和服务。在数字孪生智慧矿山模型中，我们通过对采矿活动的数字孪生构建出全息三维可视化的矿山生产活动场景，借此实现对矿山所有物理实体的生产活动、环境状态监测、设备状态监控等情况进行展示与交互。比如，基于矿山生产环境孪生模型和孪生交互机制，融合独立分散的矿山安全监测与灾害预警系统，构建统一的矿山安全态势监管平台；基于矿山生产场景孪生模型和生产过程推理算法，结合 workflow 技术以及智群计算理论，研发面向多生产场景的矿山生产调度智能平台；基于矿山设备状态孪生分析模型，并结合大数据分析平台、智能诊断与协同控制平台，建立矿山“采、掘、机、运、通、供电、排水、辅助运输”等装备系统的在线诊断与协同管控平台等等。

基于数字孪生的智慧矿山将改变过去人们只能依靠经验和有限的信息进行决策来指导采矿生产活动的局面。智慧矿山将依靠数据和算法驱动采矿生产活动的进行，自主推演并提供最优化的生产运营组织方案。这将进一步提高矿山生产组织的科学性，进一步推进矿山生产的少人化和无人化，进一步提高矿山的安全管控能力和水平。以智慧矿山驱动采矿行业的生产力提升，以科技创新为采矿行业的高质量发展保驾护航。

## **4.8 智慧安防**

### **4.8.1 智慧安防概念**

智慧安防是现代人工智能技术、物联网技术、信息处理技术、信息传输技术等新一代人工智能技术群在安防领域的综合应用。智慧安防是智能化安防技术的最新发展，是服务的信息化、图像的传输和存储、智能信息处理等技术，随着科学技术的发展与进步，尤其是二十一世

纪信息技术的腾飞，应运而生的一个全新领域，智慧安防的发展使得智能化安防技术与计算机技术之间的界限越来越模糊，甚至逐步消失。

随着物联网技术应用的普及，城市的安防从过去简单的安全防护系统向城市综合化体系防护演变，城市的安防项目涉及街道社区、楼宇建筑、银行邮局、道路监控、机动车辆、警务人员、移动物体、船只等等，涵盖众多的领域。特别是针对涉及民生的关键场所，如：机场、码头、水电气厂、桥梁大坝、河道、地铁等，应用物联网技术后可以通过无线移动、跟踪定位等手段建立全方位的立体防护。城市安防兼顾了整体城市管理系统、环保监测系统、交通管理系统、应急指挥系统等，成为城市运用的综合体系。特别是车联网的兴起，在公共交通管理上、车辆事故处理上、车辆偷盗防范上可以更加快捷准确的跟踪定位处理。还可以随时随地的通过车辆获取更加精准的灾难事故信息、道路流量信息、车辆位置信息、公共设施安全信息、气象信息等等信息来源。

#### 4.8.2 智慧安防系统原理

智慧安防系统一般由安防信息采集、安防信息处理和安防监控与报警等三大部分组成。安防信息采集可以是最简单的敏感大门开闭的门吸部件，也可以是检测出入口、安防区域环境状态的视频（或声音、图像等）采集终端，也可以是一个检测界限的敏感设备；安防信息处理包括对采集到的信息的分析、识别、传输和存储等；安防监控和报警就是对出现安防状态或安防目标时的响应措施和方法。信息流程如图 1 所示。

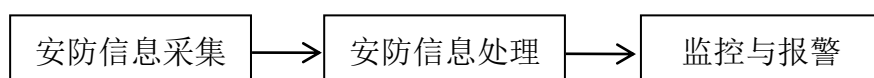


图 4.25 智慧安防系统的组成

从安防应用产品角度，智慧安防系统应该是多种甚至是全部警情要素报警系统的集成。例如：防盗报警系统、视频监控报警系统、出入口控制报警系统、保安人员巡更报警系统、GPS 车辆报警管理系统、校车报警管理系统，以及与 110 报警联网传输系统等等。这些子系统可以是单独设置、独立运行，也可以由中央控制室集中进行监控，还可以与其他综合系统进行集成和集中监控。

防盗报警系统分为周界防卫、建筑物区域内防卫、单位企业空旷区域内防卫、单位企业内实物设备器材防卫等等。系统的前端设备为各种类别的报警传感器或探测器；系统的终端是显示、控制、通信设备，它可应用独立的报警控制器，也可采用报警中心控制台控制。不论采用什么方式控制，均必须对设防区域的非法入侵进行实时、可靠和正确无误的复核和报警。漏报警是绝对不允许发生的，误报警应该降低到可以接受的限度。考虑到值勤人员容易受到作案者的武力威胁与抢劫，系统应设置紧急报警按钮并留有与 110 报警中心联网的视频监控报警系统。

视频监控报警系统常规应用于建筑物内的主要公共场所和重要部位进行实时监控、录像和报警时的图像复核。视频监控报警系统的前端是各种摄像机、视频检测报警器和相关附属设备；系统的终端设备是显示/记录/控制设备，常规采用独立的视频监控中心控制台或监控报警中心控制台。安全防范用的视频监控报警系统常规应与防盗报警系统、出入口控制系统联动，由中央控制室进行集中管理和监控。独立运行的视频监控报警系统，画面显示能任意编程、自动或手动切换，画面上必须具备摄像机的编号、地址、时间、日期等信息显示，并能自动将现场画面切换到指定的监视器上显示，对重要的监控画面应能长时间录像。这类系统应具备紧急报警按钮和留有 110 报警中心联网的通信接口。

出入口控制报警系统是采用现代电子信息技术，在建筑物的出入

口对人（或物）的进、出，实施放行、拒绝、记录和报警等操作的一种自动化系统。这类系统一般包含有出入口目标识别系统、出入口信息管理系统、出入口控制执行机构等三个部分组成。系统的前端设备为各类出入口目标识别装置和门锁开启闭合执行机构；传输方式采用专线或网络传输；系统的终端设备是显示/控制/通信设备，常规采用独立的门禁控制器，也可通过计算机网络对各门禁控制器实施集中监控。出入口控制报警系统一般要与防盗报警系统、闭路视频监控报警系统和消防系统联动，才能有效地实现安全防范。出入口目标识别系统可分为对人的识别和对物的识别。以对人的识别为例，可分为生物特征系统和编码标识别系统两类。

一个完整的智慧安防系统，一般还需包括安保人员巡更报警系统，访客报警系统以及其他智能化安全防范系统。巡更报警系统通过预先编制的保安巡逻软件，可以应用通行卡读出器也可通过视频自动分析识别分析，对保安人员巡逻的运动状态（是否准时，遵守顺序等）进行监督，做出记录，并对意外情况及时报警。访客报警系统是使居住在大楼内的人员与访客能双向通话或可视通话，大楼内居住的人员可对大楼内的入口门或单元门实施遥控开启或关闭，当发生意外情况时能及时向保安中心报警。

### 4.8.3 智慧安防关键技术

智慧安防关键技术主要是指安防服务相关的信息化、图像的传输和存储、数据分析和处理以及警情识别与处理等等用到的信息处理和智能识别等技术。不论采用什么技术，均必须对设防区域内安防事件实时、可靠和正确无误的复核和报警。漏报警是绝对不允许发生的，误报警应该降低到可以接受的限度。

智慧安防关键技术主要包含（但不仅限）以下技术。

实体识别技术，实现对安防区域安全有危害的所有实体的识别。这是人工智能的基础性技术，是弥补机器的常识性知识缺乏的问题。



包括但不限于如下技术：车牌识别技术、人脸识别技术、烟雾识别技术、火焰识别技术、积水识别技术、动物识别技术、安全头盔识别技术、街道垃圾识别技术、河道漂浮物识别技术、红绿灯识别技术、道路车道识别技术、交通障碍物识别技术、井盖识别技术、行人识别技术、安检危险品识别技术、热点分布识别技术、重型机械识别技术等；

行为识别技术，实现对安防区域安全有危害的所有实体的危害行为的识别。这是人工智能的增长性技术，是增强机器的智能的重要技术。包括但不限于如下技术：客流密度识别技术、监控室离岗识别技术、监控室异常行为识别技术、抛物识别技术、越界识别技术、打架识别技术、停车场预犯罪识别技术、徘徊识别技术、越界识别技术、摔倒识别技术、打电话识别技术、安全通道异常识别技术、抽烟识别技术、小孩越界识别技术、非机动车闯红灯识别技术、餐饮出店经营识别技术、环境污染预判技术、垃圾桶仓满溢出识别技术等；

行为企图识别技术，实现对重要业务领域安全防范的所有行为企图的识别。这是安防由人工智能提升为智慧的重要技术，也是由侵入性安防为主转化为既防外侵又防内鬼的新安防的支撑技术，能强化机器的智慧。包括但不限于如下技术：冒名识别技术、伪装识别技术、试错识别技术、违约识别技术、业务行为异常识别技术、业务出错预警技术、胁迫业务识别技术、员工状态识别技术、银行重大损失预警技术等。

#### **4.8.4 智慧安防典型产品**

根据应用场景不同，有不同的表述。对于公安、金融、林业等行业应用来说，智慧安防典型产品应该是指系统集成度较高的整体解决方案，一般都是冠以应用领域的名称安防系统。对于应用场景比较简单的或者警情要素单一的应用来说，一般称为“门禁系统”、“森林火警系统”、“视频联网系统”、“网络报警系统”、“IP 语音

对讲系统”等等。

按智慧安防产品的分解结构来说，一般包含各种传感器、服务器、主要技术和应用等，这里不再赘述。

#### 4.8.5 智慧安防典型应用

智慧安防应用已经扩展到社会各个领域，例如公安、金融、林业、部队、边境、政府、企业、社区等等。

##### 1. 公安智慧安防

公安行业用户的迫切需求是在海量的视频信息中，发现犯罪嫌疑人的线索。为了实现这个需求，需要在前端配置智能摄像机，通过实时分析视频内容，检测运动对象，识别人、车等属性信息；然后传输汇总到后端人工智能的中心数据库进行存储，再利用强大的计算能力对海量的城市级信息进行智能分析，对嫌疑人的信息进行实时分析提取，最终给出最可能的线索建议。

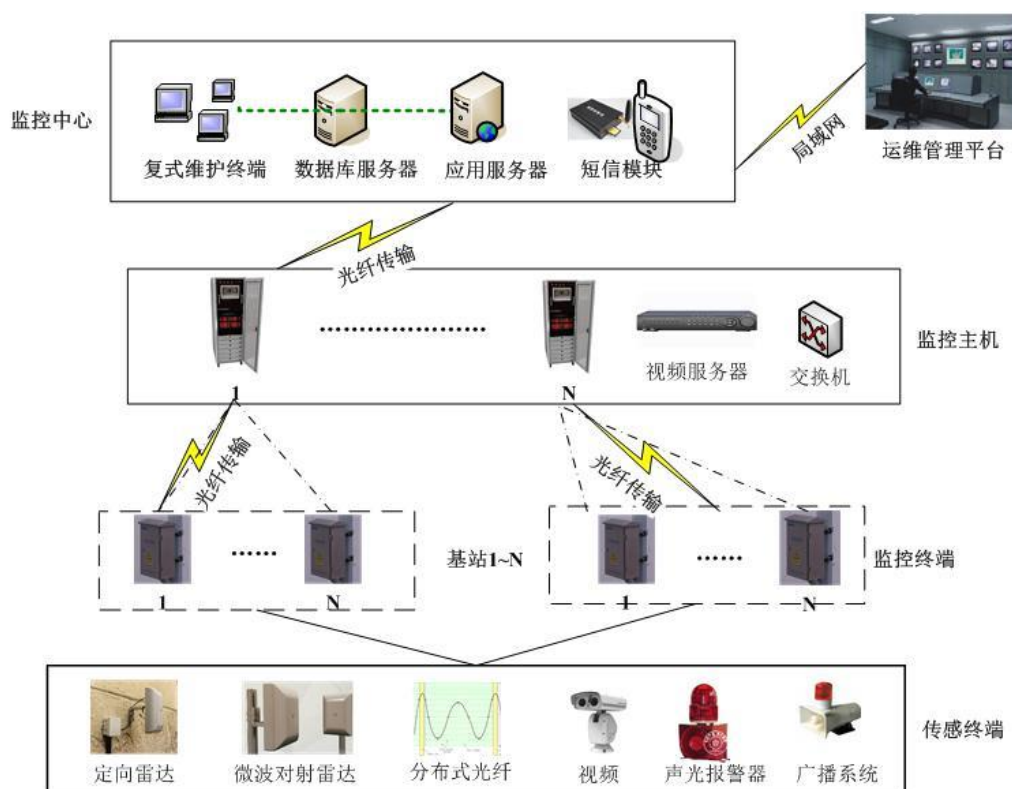


图 4.26 一种智慧安防综合监控系统架构示意图

## 2. 银行智慧安防

一个成熟的金融智能化方案，单点的智能终端都必须嵌入到银行的整体安防系统中，与其他安防设备一起，如门禁、IP 对讲、报警主机等，通过后台智能值班平台进行综合管理，才能真正实现智能化系统的价值。如“贵重物品智慧安防储控系统”体系结构如图 3 所示。

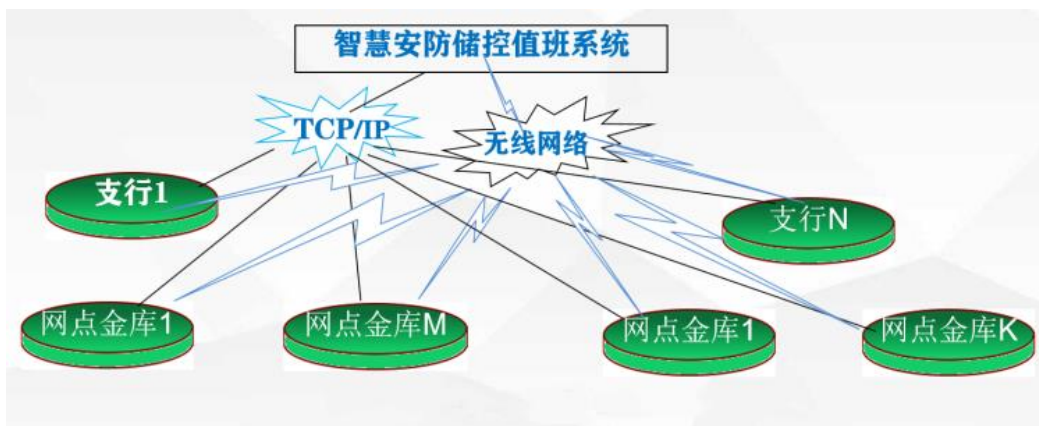


图 4.27 银行贵重物品智能储控安防系统示意图

## 3. 城市智慧安防

智能安防作为智慧城市建设的一部分，不但自身将随着智慧城市的建设得到跨越式发展，而且智慧城市建设的其他领域如智能建筑、智能交通、智能家居等也将会是安防产品发力的领域，智慧城市的快速发展为众多安防企业带来了福音，同时也因智能安防产品在智慧城市建设中的规模应用，使得安防企业得以在智慧城市的建设中发挥助力作用。例如视频监控、出入口控制（包括生物识别、停车场管理等）、防盗报警、楼宇对讲（与电子巡更、公共广播同属于社区安全防范设备）等四大类设备都将在智慧城市的这几大领域得到大面积的应用。

## 4. 园区智能安防

从园区的类型来看，可以划分为企业园、物流园、工业园等，虽然每个园区的功能和属性不一，但智能化应用系统基本都涵盖门禁、

监控、报警、周界、电梯控制、停车场、电子巡更等系统。随着经济的发展，我国的企业工厂近二十年无论从数量和规模上都具有显著的提升，随着工厂规模的扩大、经济产出的提高，火灾、爆炸、盗窃等案件屡有发生，甚至给企业工厂带来了重大的人员伤亡和财产损失。因此，现代化企业工厂越来越重视智能安防及视频监控系统的建设，从而实现防患于未然。通过智能安防及视频监控系统的建设，企业可以加强对进出人员的监视，周界防范系统使安保人员能够及时发现周界入侵者，预防和减少盗窃案件发生；通过对车间、生产线的视频监控，管理者可以及时直观了解生产情况；对于危险作业区域的视频监控，可以避免和减少人身伤害事故的发生。

## 5. 校园智能安防

校园综合安防系统在维护高校安全稳定方面意义重大。智慧型安防不仅能够对学校的重要安全隐患区域进行实时的监控，还能够弥补保卫力量的不足，解决监视不到位等问题。智能化安防在保障高校资源安全的同时，也有利于配合公安部门打击犯罪，提高破案概率。智慧型安防一般包含视频监控、门禁控制、车辆管理、广播对讲、动环管理、可视化巡更、公共广播及对讲系统等业务模块。其平台应采用高效、稳定、先进，同时具有伸缩性和业务扩展能力的平台架构。当前一些安防建设做得较好的高校，其平台一般采用开放式架构、组件式封装、总线式集成、积木式开发和分布式部署等特点，确保系统符合信息技术发展的趋势并适应未来业务应用及扩展的需要。

### 4.8.6 智慧安防技术发展前景

根据智慧安防技术应用的特殊性，该类技术发展主要体现三个方面：

一是依法依规，从技术无国界转向人类命运共同体新思路

智慧安防技术增加了社会的安全感，同时又促进科学技术的前进和发展，但是安防技术的滥用对社会的危害也与日俱增，智慧安防已

进入了一个全新的领域，为了该领域的稳定发展，智慧安防技术的测量必须依据国家安全标准和相关规范的方法正确执行，并以相关的规定标准极限参数作为依据。

## 二是智慧安防技术向虚拟仪器安防测试技术发展

随着智慧安防技术的发展，安防智能化信息技术的工作量越来越大，安防要素更趋向复杂，与此同时诞生的自动测试系统又把安防技术的发展推上了一个全新的台阶。自动测试系统技术是将计算机技术、通信技术和检测技术有机地结合在一起的一种新颖技术，近半个世纪以来，自动测试系统技术与智慧安防技术的结合发展演变经历了三个时期：

(1) 组合总装时期：把多种不同功能的程序控制器与多种不同功能的输入输出电路组合总装配成一体的智能化安防控制测试系统。这种智能化安防控制测试系统的开发设计制造成本较高，维护困难，在智能化安防技术的应用上有一定的局限性。

(2) 标准化接口测试时期：这类安防测试系统应用专门的接口按需要实施测试功能的改变，它不仅组建方便，且使用灵活，性能优良，所以获得了广泛的应用。

(3) 微机测试时期：应用微机与通信技术组合而成的“虚拟仪器”安防测试技术，给安防系统的腾飞上了一个全新的台阶，对安防测试技术的理论、应用方法等诸多方面产生了巨大的影响。

由此可见，虚拟仪器安防测试技术将成为智慧安防技术的发展方向和必然趋势。

三是智慧安防技术应用领域将与其领域日常管理深度融合。

### 4.8.7 智慧安防行业产业概述

由于安防行业的行业特性需要，安防有可能是人工智能第一个取得巨大突破口的应用领域。主要基于以下观点。

一是安防行业的智能化落地需求非常迫切。

人工智能之于安防的意义在于能否运用大数据、深度学习等技术，从海量的数据中提取有效的价值。相比其他行业，安防行业具有海量和层次丰富的数据。尤其是在政府大力推进平安城市的建设条件下，城市监控点位越来越多。数据显示，2015 年摄像头出货量达五千多万台，仅仅视频监控数据而言，每天的数据量就达上千 PB。再加上近几年安防行业完成了视频监控大联网和高清化改革，在这两者推动下，安防行业步入数据的井喷时代。

但是，对于安防行业来说，海量的数据本身并没有意义，经过挖掘和分析后的数据才有价值。进入到安防大数据时代，安防系统每天产出的海量数据，还依靠人工来进行分析和处理变得越来越困难，多种原因的推动下，使得安防行业对利用深度学习进行数据处理和深度挖掘的需求日益迫切。

再加上，公安、政府、交通等这些代表性的行业也都对安防的智能化提出了强烈的诉求。其中公安行业用户迫切需要在海量的视频信息中，发现犯罪嫌疑人的线索；而交通行业用户迫切需要能迅速检测运动对象，识别人、车属性信息。安防行业亟须一种新的方法来进行数据信息的提取和分析，而基于深度学习的人工智能尤其擅长处理海量数据。安防行业的海量数据以及对海量数据的处理需求，使得安防行业成为人工智能绝佳的训练场所和应用领域，甚至有望成为人工智能迈向产业化应用的首个突破口——智慧安防。

## 二是行业用户态度热情不高。

与安防行业迫切的需求以及厂商火热的热情相对的是，用户的态度热情不高。安防行业早就意识到了数据挖掘和分析的市场痛点，曾经掀起“智能分析”热潮，由于受限于芯片与算法的发展，一直难以取得令人满意的突破。传统智能识别准确率低、设备环境适应性差等问题困扰着安防智能应用的普及。问题是有部分不良厂商，自身没有相关技术却吹得天花乱坠，伤害了用户的感情，使部分用户对人工智

能保持着敬而远之的态度，同时还保持着等待心理。自 AlphaGo 的人机大战，给大众完成了深度学习的技术启蒙之后，全球迅速掀起了深度智能的热潮，各方资本也疯狂涌入人工智能领域。但与之相对的是，在很多行业，目前人工智能的市场认知大多还停留在概念与实验层面，进入实际商业化的项目并不是很多。再加上各路媒体对于人工智能这一发展现状的反复渲染，让用户对于接受人工智能存在一定的迟疑，即便是在对深度智能的应用需求非常迫切的安防领域，人们的观望态度也较为明显，总希望再等一等会不会有更多的企业实现商业化落地？会不会有性价比更高的产品出现？因此，出现需求双方都很旺盛，但用户却在观望迟疑的诡异局面。

### 三是安防行业落地的应用不断增加。

安防行业作为深度智能绝佳的应用场所，早就有敏锐的安防企业看到安防智能化的巨大市场，积极布局人工智能，而且获得了不错的成绩。例如：基于人工智能深度学习技术的“猎鹰”、“刀锋”结构化服务器；基于深度学习技术从前端到后端的全系列智能安防产品；一系列基于深度学习的智能产品，系列包括前后端的人脸识别、卡口电警、视频结构化、双目立体视觉和多目全景拼接产品；猎鹰系列人员卡口分析系统；代号“昆仑”的新一代大容量分布式的云结构化智能分析服务器，成为其“安防机器视觉”战略中的重要产品等等。

近两年，基于深度学习的人工智能在安防市场的应用越来越深入，尤其是车牌识别、人脸识别等技术得到了大规模的应用，并获得了良好的应用效果。一些大企业早就组建了算法团队，开始深度学习的技术布局，在算法方面积淀，研发了一些编码技术、目标结构化算法、车牌识别算法、人脸识别算法、视频检索引擎、多传感器融合等技术，被广泛应用于公共安全、金融、交通、司法、零售、智慧城市等多个领域。一些研究院研发的相关技术，已经在 KITTI、MOT、PascalVOC、ILSVRC、ICDAR 等世界级人工智能竞赛中获得多个第一。

#### 四是场景化的整体解决方案不断涌现。

对于用户来说，人工智能技术的应用能否真的提升效率比浮于表面的漂亮概念最重要的多。这是智能化应用的特殊性，所以只靠单个产品，并不能真正带来巨大的效果提升，对用户来说，为了实现智慧安防的应用，必须是整体的解决方案才有价值。因而，为了适应用户对于项目的整体智能化需求，相关的安防企业都在努力打造适应领域需求的整体解决方案。

以公安行业的应用为例，公安行业用户的迫切需求是在海量的视频信息中，发现犯罪嫌疑人的线索。为了实现这个需求，需要在前端配置智能摄像机，通过实时分析视频内容，检测运动对象，识别人、车等属性信息；然后传输汇总到后端人工智能的中心数据库进行存储，再利用强大的计算能力对海量的城市级信息进行智能分析，对嫌疑人的信息进行实时分析提取，最终给出最可能的线索建议。

以金融行业的应用为例，一个成熟的金融智能化方案，单点的智能终端都必须嵌入到银行的整体安防系统中，与其他安防设备一起，如门禁、IP 对讲、报警主机等，通过后台智能值班平台进行综合管理，才能真正实现智能化系统的价值。

对于智能的行业化应用来说，芯片、算法以及大量的数据训练，是发展的重要因素，但是能不能有效地把技术与应用场景有效结合起来，形成切实可行的整体解决方案，才是决定“智慧安防”能否发展的最核心因素。如果一项技术无法依赖在数据处理技术上面的优势，去实现产品到商品的转变过程，那么技术的发展就失去了实际的应用意义。

国内的安防巨头深耕安防行业多年，有着丰富的安防项目经验，尤其是一些龙头企业早早就意识到了基于应用场景的整体解决方案才是真正实现智慧安防的问题，推出了前后端的综合深度智能产品。智慧安防不是一个概念，而是实实在在落地的产品。



## 第5章 未来趋势与展望

### 5.1 发展机遇

#### 5.1.1 “十四五”规划

2021 年,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》全文正式发布。在共 19 篇 65 章的纲要全文中,“智能”“智慧”相关表述多达 57 处。“十四五”规划明确提出“加快数字化发展,建设数字中国”,需要迎接数字时代,激活数据要素潜能,推进网络强国建设,加快建设数字经济、数字社会、数字政府,以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式变革。其中涉及人工智能产业发展的内容如下。

**加强关键数字技术创新应用**,聚焦高端芯片、操作系统、人工智能关键算法、传感器等关键领域,加快推进基础理论、基础算法、装备材料等研发突破与迭代应用。加强通用处理器、云计算系统和软件核心技术一体化研发。加快布局量子计算、量子通信、神经芯片、DNA 存储等前沿技术,加强信息科学与生命科学、材料等基础学科的交叉创新,支持数字技术开源社区等创新联合体发展,完善开源知识产权和法律体系,鼓励企业开放软件源代码、硬件设计和应用服务。

**加快推动数字产业化**,培育壮大人工智能、大数据、区块链、云计算、网络安全等新兴数字产业,提升通信设备、核心电子元器件、关键软件等产业水平。构建基于 5G 的应用场景和产业生态,在智能交通、智慧物流、智慧能源、智慧医疗等重点领域开展试点示范。鼓励企业开放搜索、电商、社交等数据,发展第三方大数据服务产业。促进共享经济、平台经济健康发展。

**推进产业数字化转型**,实施“上云用数赋智”行动,推动数据赋能全产业链协同转型。在重点行业和区域建设若干国际水准的工业互

联网平台和数字化转型促进中心，深化研发设计、生产制造、经营管理、市场服务等环节的数字化应用，培育发展个性定制、柔性制造等新模式，加快产业园区数字化改造。深入推进服务业数字化转型，培育众包设计、智慧物流、新零售等新增长点。加快发展智慧农业，推进农业生产经营和管理服务数字化改造。

**建设智慧城市和数字乡村**，以数字化助推城乡发展和治理模式创新，全面提高运行效率和宜居度。分级分类推进新型智慧城市建设，将物联网感知设施、通信系统等纳入公共基础设施统一规划建设，推进市政公用设施、建筑等物联网应用和智能化改造。完善城市信息模型平台和运行管理服务平台，构建城市数据资源体系，推进城市数据大脑建设。探索建设数字孪生城市。加快推进数字乡村建设，构建面向农业农村的综合信息服务体系，建立涉农信息普惠服务机制，推动乡村管理服务数字化。

### 5.1.2 产学研用共同推动

出于对科技发展拉动生产力的高度重视，我国通过政策支持和制定相应的奖励措施，倡导各行业知识、技术与经济发展相结合，目前已在产学研合作的规划建设取得了很大的进展，社会生产也得到推动。2017 年全国人大颁布《中华人民共和国中小企业促进法》，国家鼓励科研机构、高等学校支持本单位的科技人员以兼职、挂职、参与项目合作等形式到中小企业从事产学研合作和科技成果转化活动，并按照国家有关规定取得相应报酬。2019 年《中国教育现代化 2035》提出探索构建产学研用深度融合的全链条、网络化、开放式协同创新联盟。健全有利于激发创新活力和促进科技成果转化的科研体制。同年，《关于构建市场导向的绿色技术创新体系的指导意见》提出构建市场导向的绿色技术创新体系，加快构建企业为主体、产学研深度融合，形成研究开发、应用推广、产业发展贯通融合的绿色技术创新新局面。2020 年《教育部产学研合作协同育人项目管理办法》提出为深

入推进产学研合作协同育人，加强和规范教育部产学研合作协同育人项目推行该方法，从平台构建、社会支持、项目制管理方法等方面对中国产学研合作协同育人提出新要求。2021 年国家知识产权局、教育局联合颁发《产学研合作协议知识产权相关条款制定指引（试行）》，它是为促进产学研合作和知识产权转移转化，指导企业和高等院校、科研机构做好产学研合作中的知识产权归国与处置工作，有效防控相关法律风险制定的首部相关法规。2021 年全国人大颁发《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，包含提升企业技术创新能力，促进各类创新要素向企业集聚，形成以企业为主体、市场为导向、产学研用深度融合的技术创新体系。积极稳妥推进粤港澳大湾区建设，加强粤港澳产学研协同发展，完善广深港、广珠澳科技创新走廊和深港河套、粤澳横琴科技创新极点“两廊两点”架构体系，推进综合性国家科学中心建设，便利创新要素跨境流动。

### 5.1.3 传统行业转型与 AI 技术落地

数字化浪潮方兴未艾，以大数据、云计算、人工智能为代表的新一代数字技术日新月异，催生了数字经济这一新的经济发展形态。多年来，消费互联网的充分发展为我国数字技术的创新、数字企业的成长以及数字产业的蓬勃发展提供了重要机遇。党的十九大报告亦明确提出，“加快发展先进制造业，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”。此外，我国高度重视人工智能的研发与应用，政府工作报告明确表示深化大数据、人工智能等研发应用，注重技术产品应用落地，推动人工智能进一步与智慧城市、金融投资、消费娱乐、教育、医疗等行业结合，进一步扩大人工智能应用场景。广阔的应用场景为人工智能行业发展提供充足空间。2013 年起政府已陆续发布多项人工智能政策，各政策间有彼此交织与引用关系，涉及人工智能核心政策的有《中华人民共和国国民经

济和社会发展第十三个五年规划纲要》《中国制造 2025》《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》《“十三五”国家科技创新规划》《国家驱动创新发展战略纲要》《物联网发展专项资金管理暂行办法》《国务院关于积极推行“互联网+”行动的指导意见》《国务院关于印发促进大数据发展行动纲要的通知》《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》，这部分核心政策鲜明地描绘了中国人工智能政策领域关注主题：中国制造、物联网、“互联网+”、大数据、创新战略以及科技研发，从整体上展现中国人工智能产业的重点布局领域或发展方向。上述人工智能政策强调技术的落地效应，重点关注人工智能与制造、农业、金融、商务、物流、家居等重点行业的融合。国务院发布《新一代人工智能发展规划》明确加快人工智能关键技术转化应用，促进技术集成与商业模式创新，积极培育人工智能新兴业态。推动人工智能与各行业融合创新，在制造、农业、物流、金融、商务、家居等重点行业和领域开展人工智能应用试点示范，围绕教育、医疗、养老等迫切民生需求，加快人工智能创新应用，围绕行政管理、司法管理、城市管理、环境保护等社会治理的热点难点问题，促进人工智能技术应用，推动社会治理现代化。促进人工智能在公共安全领域的深度应用，推动构建公共安全智能化监测预警与控制体系。至此，智慧软硬件、智慧机器人、智慧终端、智能制造、智慧农业、智慧物流、智慧金融、智慧商务、智慧家居、智慧教育、智慧医疗、智慧健康与养老、智慧政务、智慧法庭、智慧城市、智慧交通、智慧环保等应用领域加速兴起。

## 5.2 人工智能技术发展面临的挑战

### 5.2.1 技术攻关尚存难度

人工智能发展依赖数据、算法、算力三大要素，在这三大要素的支撑下，新一代人工智能得以快速发展。目前，数据、算法、算力方

面均存在一些限制，人工智能技术攻关尚存难度。**数据方面**，数据集过小或是标注质量偏低都可能导致训练结果误差较大，拥有针对特定领域的庞大数据集，能够成为形成人工智能技术优势的一个重要来源，高质量数据集相对缺乏限制了人工智能技术发展，美国、英国等人工智能强国正从战略高度支持数据集建设，我国也将缺少有效的训练资源库列为影响人工智能发展的痛点问题之一，加快支持相关建设。**算法方面**，当前的人工智能只能执行专门开发的任務，无法将学习到的能力转移到另一项任务中，认知能力弱，并不具备常识，也没有思考与逻辑能力，通用人工智能仍有比较远的距离；在一些领域，人工智能算法虽然表现出优越的性能，但其实主要源于海量的训练数据，而不是真正做到像人类一样理解和思考。**算力方面**，人工智能应用的多样化和预训练大模型规模持续增加，带来更大的算力需求，例如，MT-NLG 大模型使用了 4480 个 GPU 训练，拥有 5300 亿参数，因此，以人工智能芯片为主的大规模智能算力基础设施需求持续提升，如果不能满足潜在的算力需求、降低算力成本，将极大限制人工智能技术发展。

### 5.2.2 算法缺陷引发争议

随着人工智能应用的深入，其自身的算法缺陷和难以界定责任主体等问题，带来了新的伦理安全争议。一是**算法系统脆弱，存在受到攻击的风险**，可能为人类人身和财产安全带来威胁，随着人工智能产业化的深入，一些高复杂度的场景，安全问题的“危险性”被随之放大。例如，黑客通过攻击工业机器人，将其转变为伤害人类的“杀手”，自动驾驶汽车错误识别路上的行人，致其死亡。二是**黑箱模型导致算法不透明**，人们无法直观理解决策背后的原因，降低了对人工智能技术的接纳程度，阻碍了人工智能技术与传统行业的进一步融合，例如，使用人工智能判断教学水平时，无法解释争议性判断依据，遭到教师强烈抗议。三是**训练数据中存在的偏见**

和歧视可能进一步加深社会歧视和决策偏见，训练数据中存在的偏见歧视，可能会影响人工智能算法的结果，并反过来进一步固化数据中的偏见歧视，据报道，一些算法可能出现性别刻板印象，比如将“医生”“老板”“金融家”等译为“他”，将“护士”“家庭主妇”“保姆”等译为“她”。四是以人脸识别技术为代表的生物识别信息的频繁使用增加了对隐私泄露的广泛担忧，将人脸识别作为进出小区的唯一通行验证方式等人脸识别的滥用、孩子趁父母睡着刷脸支付被骗等事件屡有发生，使得社会公众从直观感受上对人工智能技术的应用产生疑虑。

### 5.2.3 产品同质化待解决

人工智能技术一定要找到与产业结合的落脚点，才能真正发挥价值、造福人类，目前，热点领域集中、产业同质化的现象比较突出。一方面，应用场景和产品类型集中，计算机视觉、智能机器人、交通、医疗等热度持续提升，智能驾驶等细分领域的企业接连获得较高金额融资，技术和资本进一步向热门领域集中，据智研咨询统计，2021年中国 AI 企业人工智能技术领域分布中，计算机视觉占比 34%，数据挖掘和机器学习分别占比 18%和 17%，位列前三位，合计占比超过 60%。另一方面，部分领域内同质化严重。虽然近几年基于深度学习框架的人工智能算法突飞猛进，但总体上仍处于弱人工智能阶段，很多人工智能企业不考虑场景实际需求，简单地套用开源框架和算法完成技术研发，整体解决方案不够成熟，导致各家产品雷同性极高，落地应用与维护难度加大。例如，智能终端产品虽然种类众多，但智能化功能较为单一，还没有展现出作为智能家居的优势，智能音箱产品基本是以蓝牙、音质、智能联网等为卖点，智能门锁主要通过指纹、密码等方式进行无钥匙开锁，部分附加了智能猫眼、智能门铃等功能，在硬件上没有太大区别。

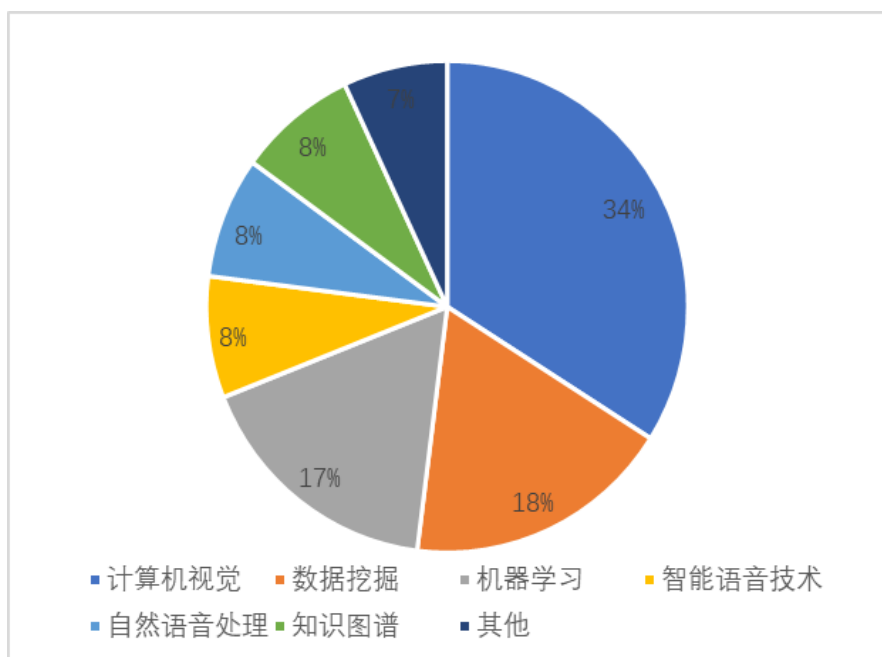


图 5.1 2021 年中国 AI 企业人工智能技术领域占比（图源：智研咨询）

## 5.2.4 创新要素仍需完善

技术发展离不开创新要素的集聚和贡献，目前，人工智能技术产品知识产权保护、人才培养、标准体系等创新要素仍需完善，从而进一步提升人工智能技术发展水平。一是人工智能技术相关知识产权保护力度不足。人工智能技术相对概念化，《专利审查指南》、最高人民法院《关于审理侵犯商业秘密民事案件适用法律若干问题的规定》等对算法的知识产权保护都做出了说明，软件著作权、专利、商业秘密都可以作为选择路径，但还缺乏对人工智能算法技术和法律描述，也未明确规定相关对象的可专利性规则。二是人工智能技术人才缺口较大，培育机制不健全。人工智能技术涉及学科多、人才培养周期长，传统上主要以计算机等行业人才转型为主，拥有多元技能、工程思维和人工智能专业知识的复合型人工智能技术人才缺口较大，培育机制不健全。三是人工智能技术标准不完善，劣质产品挤压优质产品市场空间，只有通过设置完备的技术标准体系，发挥行业自律作用，为企业的技术研发和产品推广划定红线，才能真正帮助人工智能技术健康发展。例如，全国性和地方性道路测试指导条例出台后，智能驾驶行

业走上了规范化发展道路。

### 5.2.5 人才培养是关键

人工智能技术已成为智能产品与产业的灵魂。目前中国与美国在人工智能领域呈现双雄并立局面。中国在人工智能的技术层、应用层研发及中层次人才培养方面优势明显，但在基础研究和高层次人才培养等方面与美国仍有较大差距。

清华大学 AMiner 团队发布的《人工智能发展报告 2011-2020》显示，截至 2021 年之前，全球人工智能领域学者数量共计 155408 位。中国在人工智能领域的论文发表数量和人才数量均仅低于美国，但均大幅领先于其他国家。该报告数据显示，我国 AI 领域学者数量共计 17368 位，虽然覆盖了 100 多个国内城市，但从地域分布来看，主要集中在京津冀、长三角和珠三角地区，其中北京地区最多。

在进入“AI 2000”人工智能全球最具影响力的高层次学者榜单中，AMiner 团队经过去重处理后，全球 AI 高层次学者共计 1833 位。这些高层次学者覆盖全球 37 个国家，其中美国位列第一，有 1244 人次，占比 62.2%；中国位列第二，有 196 人次，占比 9.8%。美国 AI 高层次学者是中国的 6 倍以上，仅谷歌一家公司的 AI 高层次人才数量，就几乎与我国全国持平。

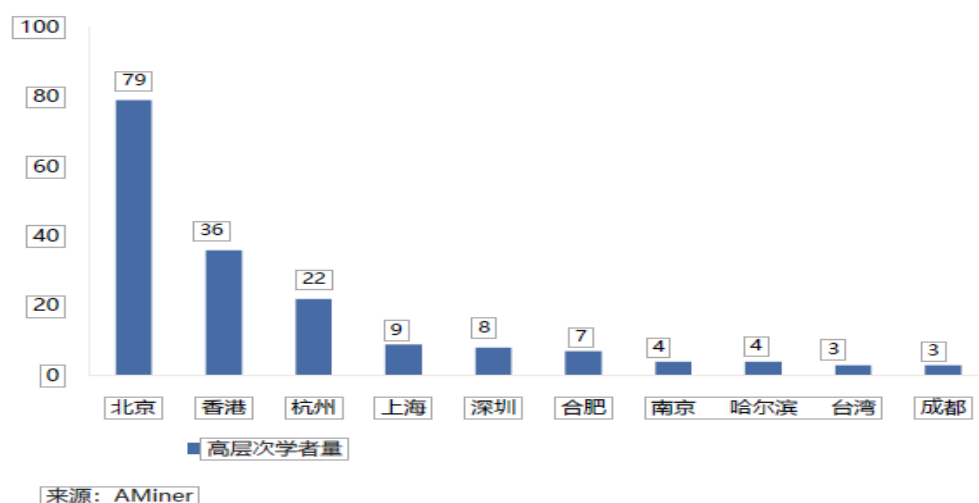


图 5.2 中国 AI 高层次学者数量 TOP10 城市



高质量科技论文是科技创新成果的重要载体，能够反映科技发展的最新动态。国际技术经济研究所（IITE）以 2020 年人工智能领域全球 44 种顶级期刊和顶级会议所发表（发布）的论文统计数据来看，美国的高质量论文年发文量基本是中国的 2 倍。



图 5.3 2001-2020 全球人工智能高质量论文发布情况 (图源：国际技术经济研究所)

在全球 AI 专利申请方面，截至 2020 年 8 月，中国专利申请量为 389571 件，位居世界第一，占全球总量的 74.7%，是排名第二的美国的 8.2 倍。从中国各省市 AI 专利申请数量的分布来看，广东省的 AI 专利申请量以 72737 件位居全国第一，北京市以 50906 件位列全国第二。

虽然我国的 AI 专利申请势头很好，但有个很严峻的现实问题需要格外重视：有海外统计数据表明，中国的顶尖 AI 人才中，有 34% 在国内就业，约 56% 在美国就业。去美国学习人工智能专业的中国人中，有 88% 毕业后在美国就业，只有约 10% 回国就业。为什么有那么多优秀的中国 AI 人才愿意留在美国就业？也许，这是不只局限于待遇的 AI 人才生态问题。

要想做到科技自主，人才是重中之重。AI 产业化和产业 AI 化，都离不开 AI 人才的培养。根据工信部和教育部等权威部门预测，我国 AI 人才缺口超过 500 万，国内供求比例为 1: 10，供需比例严重失衡。从 2017 年开始，我国政府就已高度重视 AI 人才培养，在普及性 AI 教育、专业 AI 人才和高端 AI 人才培养方面进行了系统布局。至 2022 年上半年，我国已有 439 所普通高校开设人工智能本科专业；另有 463 所高职高专院校成功开设人工智能技术应用专业，但由于相应的师资力量所限，我国人工智能教育的整体水平还有待于不断提升。

加强 AI 人才培养，尤其是补齐高层次 AI 人才短板，显然已成为中国人工智能产业发展的当务之急。

### 5.3 当前智能产品与产业的需求分析

#### 5.3.1 政府需求：发挥主导作用，服务社会经济大局

人工智能是引领未来的战略性技术，世界各国都高度重视，纷纷制定人工智能发展战略，抢占制高点，着力增强人工智能产品和产业自主安全可控，以人工智能为把手带动数字化转型、形成新的稳定增长点成为人工智能产品和产业的主要需求。

一是围绕强链固链补链强化自主可控，保障人工智能产业安全。近年来，中美经贸斗争、日韩半导体争端等事件扰乱了全球人工智能产业协作秩序，新冠肺炎疫情在全球的蔓延又造成工厂停产、物流阻滞、技术支持受阻等新的困难，为人工智能产业链安全带来了全新挑战。为解决传统产业链缺乏备份、“一环受阻、整体紊乱”的脆弱性问题，人工智能领域主要国家和地区持续强化自主技术能力，加速谋求产业链整合，构建备份供应链，为应对后疫情时代国内外产业环境风险做好准备。

二是以人工智能技术推动传统产业数字化转型，稳定增长形成规模效应。产业数字化是经济转型重要方向，是抢占新一轮发展主动权

的重要领域。人工智能技术能够为产业数字化转型提供基础支撑，帮助传统产业提质增效，形成规模效应。例如，农业领域，智能机器人帮助农户自动采摘果实，大幅降低人力投入，机器学习算法帮助培育更好的植物基因，开发出更安全、更高效的农作物；制造业领域，计算机视觉、知识图谱等技术在供应链管理、设备预维护等场景中得到广泛使用，实现全流程智能化。



图 5.4 智能机器人辅助水果采摘

三是依托人工智能技术，赋能公共管理和社会治理，提升治理效能和人民群众获得感。融合多种人工智能算法满足全场景需求将数据存储展示、运行管理指挥、智能辅助决策等功能融为一体，以智能数字助理实现自动受理、审批、处理，缩短办事时长，降低人力成本，极大提升社会治理效率。新冠疫情期间，消毒机器人、智能问诊、机器人接待、数字哨兵等人工智能产品和应用投入抗疫，人工智能算力帮助快速解析病毒结构，助力药物研发，逐渐成为人类健康的新一代守护者。



(a) 消毒机器人

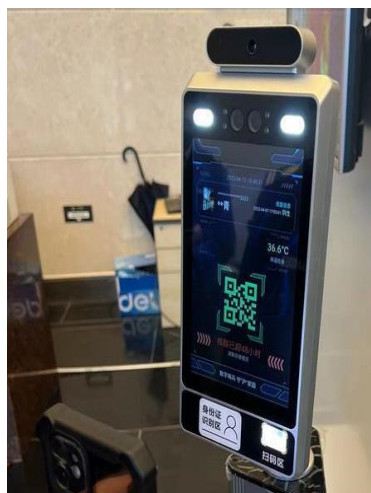


(b) 智能问诊机器人

图 5.5 智能机器人辅助公共管理和社会治理



(c) 接待机器人



(d) 数字哨兵

图 5.5 智能机器人辅助公共管理和社会治理（续）

### 5.3.2 企业需求：围绕用户关切，提升产品竞争能力

企业是人工智能技术和产品的主要应用者，也是最终效果的呈现者。企业期待着人工智能技术向更多的场景渗透，并能针对实际需求，不断提升产品异质化水平，研发出具有综合性、通用性功能的产品，提升核心竞争能力。

**一是场景创新迭代需求。**目前，人工智能技术应用主要集中于常见的金融和安防领域，在生物识别、智能客服、智能推荐等场景下相对成熟，已经在一定程度上率先形成良好的应用效果，但人工智能行

业技术迭代速度快，行业内企业要根据市场需求变动和前沿技术发展不断迭代现有技术和产品，保持市场竞争力。同时，总体应用维度较少，人工智能技术在矿山、建筑、农业等场景中覆盖度不足，典型应用偏少，对相关产业的智能化提升作用还有待进一步发挥。

**二是产品异质化、定制化需求。**针对细分行业领域的差异化服务能力将成为企业用户重点关注的要素，它们对人工智能技术和平台的需求将从传统的通用性解决方案向差异化、定制化方案过渡。人工智能技术提供方有必要针对特定行业、特定业务、特定场景的人工智能应用制定综合解决方案，使其更加贴近场景需求和人类认知，并具有较高的实现门槛。一些情况下，人工智能技术产品也将由仅仅具备单一功能向综合性功能转变，以满足企业对全套解决方案的需求。

**三是与边缘算力结合的需求。**云游戏、自动驾驶、远程手术等新兴应用场景对于数据传输的速度和量级都提出了更高要求，工业互联网和物联网技术让每个边缘设备都具备了智能化的数据采集能力，边缘计算则可以利用边缘设备自身的运算和处理能力，直接就近处理绝大部分任务，从而提高分析传输速度，满足实时性要求，并降低数据中心的计算负担。未来，推动加快推动普惠平民化的边缘智能产品，形成“云-边-端”架构将成为人工智能技术发展的主要需求。

### 5.3.3 公众需求：丰富产品形式，解决公众潜在担忧

人工智能广泛地应用于日常生活的多个方面并发挥了重要作用，提升了社会公众在对人工智能技术的期待，与此同时，人工智能目前仍具有潜在风险，在伦理治理等方面存在争议，存在提升人工智能可信赖度、丰富产品形式的需求。

**一是提升人工智能可信赖水平，加快发展可信人工智能的需求。**新一代人工智能的安全性问题主要来源于算法本身的脆弱性，既需要从法律法规、伦理规范等层面着手，推动人工智能治理和行业自律，还应该从技术创新层面发力，围绕社会公众关心的可解释性、鲁棒性、



隐私保护等维度，建立可解释和鲁棒的人工智能理论与方法，在产品  
设计、研究、开发、部署、使用全生命周期嵌入可信理念，并形成政  
府、企业、学术界、行业机构、社会公众等多元共治的良性生态。

**二是创新产品形式，丰富使用体验，满足人民群众对智能化生活  
服务的需求。**创新产品形式，将更多种类、具有更强认知能力的人工  
智能技术引入生活领域，丰富使用体验，强化产品间的协同化和体系  
化。例如，在智能家居领域，进一步丰富智能门锁等产品功能和形态，  
强化与智能猫眼、智能门锁、智能灯具等产品协同水平，以新技术的  
采用、新产品的研发进一步加强人工智能技术能力，为人民群众创造  
更便捷、舒适、智能的生活。

## 5.4 趋势与展望

### 5.4.1 人工智能技术研究将加快形成核心能力

迁移学习、通用人工智能等领域的技术研究将持续深入，人工智  
能将逐渐接近人类，算力的提升帮助人工智能算法和模型向更大规  
模、更高效率、更低成本发展。

多个领域技术研究持续深入。大型语言模型成为下一代交互式人  
工智能工具的基础模型，OpenAI、Hugging Face 等正在通过训练具  
有数十亿参数的模型来加速推动其发展。多模态人工智能崛起，通过  
训练声音、肢体语言、文字等多个渠道信息，使得人工智能系统更接  
近于人类感知。迁移学习、无监督学习、小样本学习等技术持续优化，  
隐私计算、同态加密等手段将得到更多应用，高质量数据集不足的缺  
陷将得到极大缓解，社会公众对隐私数据采集的担忧也将得以缓解。  
开源的全场景框架开创 AI 开发新模式，以昇思 MindSore、百度飞  
桨 PaddlePaddle、阿里 x-deeplearning 等为代表，着力打造友好、  
高效、灵活的 AI 框架，形成全周期能力，加快人工智能生态健康发  
展。

表 5.1 开源全场景框架对比

全场景框架	发布时间	特点
昇思 MindSore	2021 年	可以在云、边、端等不同环境下进行开发部署
百度飞桨 PaddlePaddle	2016 年	中国首个全面开源开放、功能完备的产业级深度学习平台
阿里 x-deeplearning	2018 年	首个面向广告、推荐、搜索等高维稀疏数据场景的深度学习开源框架
清华计图 Jittor	2020 年	首个国内高校自研深度学习框架,即时、易用、可定制。
腾讯优图 NCNN	2017 年	为手机端极致优化的高性能神经网络前向计算框架,无第三方依赖

人工智能算力发展带来更多可能性,整体向更大范围、更高效率、更低成本发展。人工智能技术的提升离不开模型训练,具有海量参数的模型训练几乎完全依赖于算力支撑,未来人工智能将成为基础性的技术,相应地,它对计算力的要求也将越来越高。目前,企业已经开始通过云平台提供托管服务,并为边缘端的硬件设备配备人工智能加速器和针对特定场景的预训练模型,以此提升响应速度,从而扩大人工智能技术覆盖范围、提升计算效率、降低发展成本,加快形成核心能力。

#### 5.4.2 人工智能的应用领域将不断扩大

人工智能技术将与实体经济更多领域深度结合,助推传统行业数字化转型进程,提升智能化、数字化水平,推动新兴产业规模化发展;同时,人工智能技术在科学研究领域的应用,将极大地改变现状,形成新的科研范式。

人工智能推动产业数字化转型,形成规模化效应。人工智能技术具有较强的溢出带动能力,《中小企业数字化赋能专项行动方案》《关于推进“上云用数赋智”行动 培育新经济发展实施方案》等多项政策措施中,都将人工智能作为推动产业数字化转型的重要手段。未来,人工智能赋能数字化转型将进一步向矿山、建筑、煤矿、能源、农业

等渗透度偏低的领域拓展，带动数字化转型深入发展；同时，智慧医疗、智能驾驶、智能机器人等领域进一步提升高质量发展水平，实现与实体经济的深度融合，率先形成产业规模化效应。

**人工智能将助力科学研究新范式加快形成。**科学研究从完全依靠人转向机器辅助人，在人工智能的参与下，成本较高、数据量巨大、实验环境恶劣的领域可以利用计算机进行实验，不仅将科学家从重复、危险的实验环境中解放出来，还能避免人类思考的偏差。目前，人工智能技术在科学研究领域的应用主要集中在蛋白质结构解析、药物和化学合成、证明数学定理和解决数学问题等方面，未来，人工智能技术的应用领域还将持续扩大，成为科学研究的重要工具。

#### 5.4.3 技术向善理念将全产业链落地

可信人工智能将成为社会共识，在全产业链中落地，缓解和消除公众对人工智能技术的担忧。人工智能同社会治理的结合持续加强，在人工智能技术帮助下，提高公共服务和社会治理水平。

人工智能将成为社会治理效能改善的有效手段。社会治理理念正在经历从以经济效率为核心向以人民幸福感、获得感和安全感为核心的转变，不断强调精准决策、整体协同、智能服务，适用于政府服务和决策的人工智能系统接连涌现，显著增强资料收集、处理、储存能力，为加强信息资源整合和公共需求精准预测提供支撑，大大提升决策的民主化、高效化、科学化水准，社会治理理念、方式和效能的综合提升。

可信人工智能加快成为行业共识并在全产业链落地。围绕透明度、隐私保护、公平等方面，可信人工智能已经形成较为统一的概念认知，在更多领域的持续落地，形成更多样化的可信产品形态，覆盖了人工智能主要技术和产品。未来，人工智能将更凸显可信理念，更深层次地与产业链各环节、生产制造各流程结合，形成事前预防、事后敏捷治理的新模式，结合场景需求、风险等级实现分级分类监管，



确保人工智能造福人类，助力美好社会生活。

#### 5.4.4 人工智能关键生态要素将不断完善优化

围绕人工智能技术标准、评测、知识产权保护、个人技术能力培养，人工智能技术创新的关键要素将不断完善，技术能力提升的渠道将从侧重技术本身转向侧重可持续创新要素的培育。

建立健全技术标准、评测体系和知识产权保护将成为人工智能技术快速发展的必由之路。人工智能技术发展和产业落地的实践已经表明，没有完善的技术标准、评测和知识产权保护制度，优质产品市场空间将受到劣质品的极大挤压。建立健全智能家居、安防、医疗影像等领域人工智能技术标准，开展产品测评，探索建立智能设备标识制度，结合良好的知识产权保护措施，人工智能技术创新的良好生态将不断完善，推动人工智能产业以更快的速度规范发展。

人工智能技术能力将成为从业就业的必备技能。随着人工智能的普及发展，未来各行各业的从业者都将频繁地与人工智能技术及产品交互与合作，这就要求职场人都需要掌握人工智能的相关知识，并具备一定的操作技术。因此，这也给教育市场提出了新的要求，人工智能教育不再仅仅局限在少数几个学术领域中，各学科、各专业人才培养过程中，进一步融合人工智能技术和理念，将成为人才培养的重要方向。这也将使人工智能产业不断扩大，各种关键生态要素不断完善和优化，进而改变人类社会生产与生活的各个方面。

#### 5.4.5 中国 AI 产业将在高端技术封锁中破壁前行

科技是第一生产力，美国比中国认识得更早、更深刻，践行得更快、更全面。美国《2022 年芯片和科学法案》的正式生效，标志着中、美两大阵营在以芯片和人工智能为典型代表的高技术领域进入白热化竞争阶段。该法案通过巨额资金补贴，在巩固、扩大其科技产业优势的同时，拉拢盟友一起对中国进行更加严厉的科技封锁。在如此恶劣的国际环境下，中国人工智能产业唯有靠自力更生、潜心攻关，

才能在艰苦奋斗中破壁前行。在鼓励基础科学研究、促进高新技术开发和加强底层平台建设的同时，发挥集中力量办大事的举国体制优势，加快突破，奋起直追。

### 扩大现有优势，加强基础研究和底层平台建设。

美国为保持在人工智能领域的绝对优势地位，将不断筑牢“小院高墙”，联合盟友共同遏制中国人工智能及其它敏感高新技术发展。此外，美国自 2021 年 12 月通过《外国公司问责法案》（HFCAA）实施规则后，中国电信、中国石油、中国人寿等被迫宣布从美股退市及被“预摘牌”的中概股企业已近 160 家。在这种形势下，中国人工智能创业企业再想到美国上市融资，可能将陡增困难。

一方面，中国人工智能产业将利用市场应用、数据规模等突出优势，加快人工智能核心技术突破，促进人工智能在智能家居、智能终端、智能汽车、智能制造、智慧城市、智慧教育和智慧医疗等领域的推广应用，将相关优势做大做强；另一方面，应不断创建和完善人工智能在国防、安全及其它各种垂直领域的标准和工具，加强基础研究和底层平台建设，尤其应该重视元宇宙操作系统等下一代互联网平台和高价值 AI 工业软件的开发。

### 改善人才生态，用 AI 技术研究柔性文化建设。

为了吸引更多 AI 高层次人才为中国工作，应该认真研究他们的生态需求，包括个人待遇、项目经费、身份认同、学术环境、生活环境等多种要素；只有让 AI 高层次人才全方位感到舒服，形成一种让他们满意的生态，才会吸引大量 AI 高层次人才来中国工作、为中国工作。

特别值得重视的是用 AI 技术研究柔性文化建设，研究柔性文化的魅力、特征、个性、共性、思维、生产方式、表达方式和传播方式，研究世界各国、各民族人民的普遍接受心理和接受方式，争取用柔性文化和柔性力量，以人类命运共同体的心灵共鸣，潜移默化地溶解国

际意识形态坚冰；用柔性文化不断改善自身国际形象和扩大国际朋友圈，增强我国的文化软实力。

基于人工智能的柔性文化建设，将有利于我国人工智能产业在未来一段时期内潜心攻关、破壁前行；也将有利于中华民族实现伟大复兴的中国梦。

## 总 结

这份白皮书对我国智能产品与产业的发展情况做了系统性分析。首先从新型人工智能产品以及传统产品的智能化两方面梳理了智能产品与产业的发展脉络与市场情况；其次，对智能产品与产业的研究热点进行了探讨，介绍了我国人工智能领域的领军研究学者、技术专家、技术伦理与标准；再次，对具有代表性的成熟智能产品以及处在发展期但是有巨大价值的产品从技术的层面做了简要的分析，包括芯片、机器人、运载工具、移动终端、软件平台等。此外，进一步探讨了人工智能技术与传统产业融合发展的情况，包括智能制造、智能交通、智能电力、智慧农业、智慧医院、智慧矿山、智慧安防等。最后从政策、需求和技术等层面分别探讨了未来智能产品与产业发展的趋势和挑战。

在美国全力封锁、打压以芯片和人工智能为代表的中国高科技产业大背景下，这份白皮书在预测我国人工智能产业发展趋势时，也发现了改善我国高层次人才生态环境，以及用人工智能技术研究柔性文化建设的重要性。

## 参 考 资 料

- [1] 人工智能产业链全景分析. 360 文库.  
<https://wenku.so.com/d/53d1913f2ce9f9d8e44e33120c6080ec>
- [2] 山东省物联网协会. 人工智能产业链公司最全盘点!  
[https://www.toutiao.com/article/6551100002817540622/?channel=&source=search\\_tab](https://www.toutiao.com/article/6551100002817540622/?channel=&source=search_tab)
- [3] 马玥. 我国大数据基础设施构成、问题及对策建议. 中国经贸导刊. 2017 年第 13 期.
- [4] 前瞻产业研究院. 2017 年中国人工智能市场规模与 2020 年发展前景. <http://www.cww.net.cn/article?id=430321>
- [5] 艾媒咨询. 2017 年中国人工智能产业专题研究报告（完整版）  
[https://www.sohu.com/a/202936628\\_772387](https://www.sohu.com/a/202936628_772387)
- [6] 工业和信息化部. 促进新一代人工智能产业发展三年行动计划 (2018-2020). [http://www.cac.gov.cn/2017-12/15/c\\_1122114520.htm](http://www.cac.gov.cn/2017-12/15/c_1122114520.htm)
- [7] 佚名. 人工智能行业三大热点应用市场发展分析. 加速会. 2018. <https://www.qianzhan.com/indynews/detail/346/180105-95aca3bf.html>
- [8] 艾媒咨询. 2019 中国人工智能产业发展现状、规模及趋势分析. 快资讯. [https://www.360kuai.com/pc/9367e16c5d1545076?cota=3&kuai\\_so=1&sign=360\\_57c3bbd1&refer\\_scene=so\\_1](https://www.360kuai.com/pc/9367e16c5d1545076?cota=3&kuai_so=1&sign=360_57c3bbd1&refer_scene=so_1)
- [9] 赛迪顾问. 2018 中国人工智能产业发展及投资价值  
[https://www.sohu.com/a/212663658\\_378413](https://www.sohu.com/a/212663658_378413)
- [10] 张钹. 张钹: 后深度学习时代的人工智能[J]. 杭州科技, 2017, 000 (002) : 41-42.
- [11] 张炜, 吕正则, 吴蓝迪, 等. "智能科学和技术"引领工程教育发展新动向——中国工程院李德毅院士访谈录[J]. 高等工程教育研究, 2017, 000 (001) : 123-126.
- [12] 费菲. 戴琼海: 脑科学融合人工智能, 站上疾病防治新风口[J].

- 中国医药科学, 2018, 8 (15) : 4.
- [13] 张民宣. 戴琼海: 看见真实的世界[J]. 团结, 2019 (01) : 22-25.
- [14] 周志华. 创办一流大学人工智能教育的思考[J]. 中国高等教育, 2018 (9) : 2.
- [15] 沈向洋. 微软亚洲研究院院长沈向洋谈经历第三次计算浪潮[J]. 新电脑, 2004 (4) : 1.
- [16] 亿欧智库. 2020 中国服务机器人产业发展研究报告解析. 机器人产业, 2020, 4: 83-100. [期刊]
- [17] 方晓霞. “十四五”时期机器人产业高质量发展面临的机遇、挑战与对策. 发展研究, 2021, 2: 56-67. [期刊]
- [18] 亿欧智库. 2021 年中国商用服务机器人市场研究报告. 机器人产业, 2022, 2: 76-90. [期刊]
- [19] “十四五”机器人产业发展规划(工信部联规[2021]206号). 工业和信息化部网站. 李扬, 周岷峰. 我国医疗机器人产业发展特征分析. 机器人产业, 2018, 2: 95-100. [期刊]
- [20] 与子同袍. 实施企业物联网战略必读! PTC 物联网战略介绍. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/64602167>
- [21] 星宏慧眼. 智能终端黄金时代, 如何赚取第一桶金. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/273501291>
- [22] 百度智能云. “云智一体”技术与应用解析系列白皮书-智能物联网篇. <https://m.book118.com/html/2022/0312/7036052134004101.shtm>
- [23] 王伟. 智能终端适老化: 撬动万亿级大市场. 中国电子报. 2022.
- [24] 天山老霸王. 人工智能芯片前沿解读. 知乎. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/69629862>
- [25] Forbes China. 苹果全自动驾驶汽车拟 2025 年推出? 谁是这条新万亿赛道的最后赢家. <https://36kr.com/p/1497364352121224>
- [26] 三金. 无人机市场故事好讲, “起飞”难.

- <https://36kr.com/p/1755027770589184>
- [27] 智能制造网. 人工智能系列文章之产业篇（二）：智能运载工具.  
[https://www.sohu.com/a/286658916\\_249199](https://www.sohu.com/a/286658916_249199)
- [28] 黑芝麻智能. 强大中国芯!  
<https://mp.weixin.qq.com/s/eahVHJbWCxNPdrUTjaey-Q>
- [29] Jolyne 沙星. 孙效华, 张义文, 侯璐, 周雯洁, 张绳宸. 孙效华 | 人工智能产品与服务体系研究综述. <https://www.bilibili.com/read/cv6234843>
- [30] 张映锋, 张党, 任杉. 智能制造及其关键技术研究现状与趋势综述[J]. 机械科学与技术, 2019, 38 (03) : 329-338.
- [31] FU N. Innovation Efficiency and the Spatial Correlation Network Characteristics of Intelligent-Manufacturing Enterprises[J/OL]. Complexity, 2021, 2021: e4299045.
- [32] LU Y, XU X, WANG L. Smart manufacturing process and system automation - A critical review of the standards and envisioned scenarios[J/OL]. Journal of Manufacturing Systems, 2020, 56: 312-325.
- [33] DAVIS J, EDGAR T, PORTER J, 等. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance[J/OL]. Computers & Chemical Engineering, 2012, 47: 145-156.
- [34] 周佳军, 姚锡凡, 刘敏, 张剑铭, 陶韬. 几种新兴智能制造模式研究评述[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23 (03) : 624-639. DOI:10.13196/j.cims.2017.03.020.
- [35] 周济. 智能制造——“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26 (17) : 2273-2284.
- [36] 孟柳, 延建林, 董景辰, 韦莎, 李瑞琪, 臧冀原, 周源. 智能制造总体架构探析[J]. 中国工程科学, 2018, 20 (04) : 23-28.
- [37] 周济, 李培根, 周艳红, 王柏村, 臧冀原, 孟柳. 走向新一代智能制

- 造[J]. Engineering, 2018, 4 (01) : 28-47.
- [38] CHUNYANG Y and XUN X and YUQIAN Lu. Computer-Integrated Manufacturing, Cyber-Physical Systems and Cloud Manufacturing - Concepts and relationships[J]. Manufacturing Letters, 2015, 6: 5-9.
- [39] 姚锡凡, 练肇通, 杨屹, 张毅, 金鸿. 智慧制造——面向未来互联网的人机物协同制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20 (06) : 1490-1498.
- [40] ALCACER V, CRUZ-MACHADO V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems[J/OL]. Engineering Science and Technology-an International Journal-Jestech, 2019, 22 (3) : 899-919.
- [41] FRAGA-LAMAS P, FERNANDEZ-CARAMES T M, BLANCO-NOVOA O, 等. A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard[J/OL]. Ieee Access, 2018, 6: 13358-13375.
- [42] CUI Y, KARA S, CHAN K C. Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review[J/OL]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2020, 62: 101861.
- [43] REN S, ZHANG Y, LIU Y, 等. A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2019, 210: 1343-1365.
- [44] JONES D, SNIDER C, NASSEHI A, 等. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review[J/OL]. Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology, 2020, 29: 36-52.
- [45] LU Y, LIU C, WANG K I K, 等. Digital Twin-driven smart



- manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues[J/OL]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2020, 61: 101837.
- [46] 吴雁, 王晓军, 何勇, 黄新伟, 肖礼军, 郭立新. 数字孪生在制造业中的关键技术及应用研究综述[J]. 现代制造工程, 2021 (09) : 137-145.
- [47] TAO F, ZHANG L, VENKATESH V C, 等. Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model[J/OL]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, 2011, 225 ( B10 ) : 1969-1976.
- [48] 陈晓波, 熊光楞, 柴旭东. 基于分布式仿真模型对象的分布式协同建模技术研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14 (5) : 576-580.
- [49] 冯消冰, 刘文龙, 都东. 可视化技术在智能制造中的作用[J]. 制造技术与机床, 2016 (6) : 43-50.
- [50] 骆敏舟, 方健, 赵江海. 工业机器人的技术发展及其应用[J]. 机械制造与自动化, 2015, 44 (1) : 1-4.
- [51] 计时鸣, 黄希欢. 工业机器人技术的发展与应用综述[J]. 机电工程, 2015, 32 (1) : 1-13.
- [52] 唐向清, 魏建华. 专家系统与专家智能控制[J]. 现代制造工程, 2008 (02) : 84-87.
- [53] 蔚东晓, 贾霞彦. 模糊控制的现状与发展[J]. 自动化与仪器仪表, 2006 (6) : 4-7.
- [54] 毛健, 赵红东, 姚婧婧. 人工神经网络的发展及应用[J]. 电子设计工程, 2011, 19 (24) : 62-65.
- [55] 王飞跃, 魏庆来. 智能控制: 从学习控制到平行控制[J]. 控制理论与应用, 2018, 35 (7) : 939-948.

- [56] 秦小林, 罗刚, 李文博, 等. 集群智能算法综述[J]. 无人系统技术, 2021.
- [57] 金锋, 吴澄. 大规模生产调度问题的研究现状与展望[J]. 计算机集成制造系统, 2006 (02) : 161-168.
- [58] 姜康, 庄怀天, 咸凯. 面向离散制造业的生产调度算法研究与系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016 (11) : 154-156+160.
- [59] 刘一兵, 吴文传, 张伯明, 李正烁, 李志刚. 基于混合整数二阶锥规划的主动配电网有功-无功协调多时段优化运行[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34 (16) : 2575-2583.
- [60] 李妍峰, 李军, 高自友. 动态规划启发式算法求解时变车辆调度问题[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32 (08) : 1712-1718.
- [61] 公冶小燕, 林培光, 任威隆. 基于 Grefenstette 编码和 2-opt 优化的遗传算法[J]. 山东大学学报 (工学版), 2018, 48 (06) : 19-26.
- [62] 李岩, 袁弘宇, 于佳乔, 张更伟, 刘克平. 遗传算法在优化问题中的应用综述[J]. 山东工业技术, 2019 (12) : 242-243+180.
- [63] 丁青锋, 尹晓宇. 差分进化算法综述[J]. 智能系统学报, 2017, 12 (04) : 431-442.
- [64] 薛羽, 庄毅, 顾晶晶, 常相茂, 王洲. 自适应离散差分进化算法策略的选择[J]. 软件学报, 2014, 25 (05) : 984-996.
- [65] 姜兴龙, 姜泉江, 刘会杰, 余金培. 采用改进非支配近邻免疫算法的低轨混合星座设计优化[J]. 宇航学报, 2014, 35 (09) : 1007-1014.
- [66] 孟亚峰, 王涛, 李泽西, 蔡金燕, 朱赛, 韩春辉. 改进自适应人工免疫算法求解函数优化问题[J]. 北京航空航天大学学报, 2021, 47 (05) : 894-903.
- [67] OLIVARI L, DUKIC G. Current State of Dynamic Vehicle Routing Problems Solved by Ant Colony Optimization Algorithm[J/OL].

- Tehnicki Glasnik-Technical Journal, 2021, 15 (3) : 429-434.
- [68] 刁兴春, 刘艺, 曹建军, 尚玉玲. 多目标蚁群优化研究综述[J]. 计算机科学, 2017, 44 (10) : 7-13+25.
- [69] BONYADI M R, MICHALEWICZ Z. Particle Swarm Optimization for Single Objective Continuous Space Problems: A Review[J/OL]. Evolutionary Computation, 2017, 25 (1) : 1-54.
- [70] 钟倩漪, 钱谦, 伏云发, 冯勇. 粒子群优化算法在关联规则挖掘中的研究综述[J]. 计算机科学与探索, 2021, 15 (05) : 777-793.
- [71] WANG L, LIU Y. Application of Simulated Annealing Particle Swarm Optimization Based on Correlation in Parameter Identification of Induction Motor[J/OL]. Mathematical Problems in Engineering, 2018, 2018: 1869232.
- [72] 李国明, 李军华. 基于混合禁忌搜索算法的随机车辆路径问题[J]. 控制与决策, 2021, 36 (09) : 2161-2169.
- [73] WANG X, LIN X, DANG X. Supervised learning in spiking neural networks: A review of algorithms and evaluations[J/OL]. Neural Networks, 2020, 125: 258-280.
- [74] 田辉, 贺硕, 林尚静, 范绍帅, 聂高峰, 蒋秀蓉. 工业互联网感知通信控制协同融合技术研究综述[J]. 通信学报, 2021, 42 (10) : 211-221.
- [75] SISINNI E, SAIFULLAH A, HAN S, et al. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions[J]. IEEE transactions on industrial informatics, 2018, 14 (11) : 4724-4734.
- [76] BRUNER J. Industrial Internet[M]. " O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [77] 严新平, 褚端峰, 刘佳仑, 等. 智能交通发展的现状、挑战与展望. 交通运输研究, 2021, 7 (6) : 2-10. [期刊]
- [78] 赵娜, 袁家斌, 徐晗. 智能交通系统综述. 计算机科学,

- 2014.11, 41 (11) : 7-11, 45. [期刊]
- [79] 张乐乐, 王丽, 肖小玲. 我国智能交通系统的发展现状和趋势. 电脑知识与技术, 2021.01, 17 (3) : 247-248. [期刊]
- [80] 王爱玲; 许运华, 基于深度学习的泛在电力物联网应用场景分析, [J], 电工技术, 2021, 72-74
- [81] 《中国制造 2025-能源装备实施方案》
- [82] 中国南方电网有限责任公司《数字电网推动构建以新能源为主体的新型电力系统白皮书》
- [83] 中国电机工程学会科学技术成果鉴定证书, 中电机鉴(2022)第 008 号, 成果名称: 《高压断路器大数据智能在线监测装置》
- [84] 中国赛宝实验室计量检测中心测试报告(报告编号: 1IA21000226-0001)
- [85] 广西壮族自治区工信委“关于推荐 2018 年人工智能与实体经济深度融合创新项目的公示”
- [86] 《开关宝人工智能高压断路器在线监测系统 AI 特性简介》
- [87] 中共中央 国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》
- [88] 《健康中国行动(2019—2030 年)》
- [89] 《医院智慧服务分级评估标准体系(试行)》
- [90] 《医院智慧管理分级评估标准体系(试行)》
- [91] 《电子病历系统应用水平分级评价管理办法(试行)》
- [92] 《电子病历系统应用水平分级评价标准(试行)》
- [93] 《中国罕见病综合报告(2021)》
- [94] 张帆, 葛世荣, 李闯. 智慧矿山数字孪生技术研究综述[J]. 2020, 48(7):9. 煤炭科学技术
- [95] 陶飞, 张贺, 戚庆林, 等. 数字孪生模型构建理论及应用[J]. 2021, 27(1):15. 计算机集成制造系统
- [96] 丁恩杰, 俞啸, 夏冰, 等. 矿山信息化发展及以数字孪生为核心

- 的智慧矿山关键技术[J]. 2022, 47(1):15. 煤炭学报
- [97] 邱义, 郭一晶. 物联网时代的智能小区安防系统研究[J]. 中国房地产. 2020 (21), 76-79
- [98] 张祥雨, 闫华学, 刘金彤. 基于物联网的监所智慧安防设计与实现[J]. 警察技术. 2022 (01), 15-19
- [99] 孟艳. 智能安防综合管理平台的设计[J]. 数字技术与应用. 2022, 40 (04), 137-139
- [100] 彭婵. 互联网+智慧安防——2015 第十五届 CPSE 安博会我们看什么[J]. 中国公共安全. 2015, (21), 34-36+38+40+42+44-45
- [101] 李红莲. 人工智能赋能新时代 开启智慧安防新未来——聚焦首届中国人工智能·多媒体信息识别技术竞赛及 2019 AI+智慧安防技术创新与产业赋能暨 IVAA 高峰论坛[J]. 中国安防. 2019, (09), 1-10