

# 第 1 篇

## 发展篇

自从在 1956 年召开的达特茅斯机器智能研讨会上正式提出“人工智能”（Artificial Intelligence, AI）术语以来，在人工智能 60 多年的发展历程中，经历了三个快速发展时期和两次低谷，其影响范围逐渐由人工智能专业人员到应用领域专业人员，再到全社会。目前的人工智能得到政府、高校、科研机构、企事业单位、风险投资商与社会大众的广泛关注。

研究人员把三个快速发展时期分别称为推理期、知识期和学习期。从 1956 年开始的大约 20 年为人工智能研究的推理期，在这一时期，主要是通过赋予计算机推理能力，使其具有智能，定理的自动证明是这一时期的代表性成果。

20 世纪 80 年代称为人工智能研究的知识期，把知识应用于人工智能系统，开发了一大批应用于多个领域的基于知识的专家系统，使用者多为相关领域专业人员和人工智能专业人员。

学习期开始于 21 世纪初，一直到现在仍在持续快速发展。这一时期，在高性能计算机、大数据的支持下，深度学习研究取得重大突破，并广泛应用于图像识别、语音识别、机器人客服、机器翻译、自动驾驶汽车等领域，一大批实用人工智能系统走进社会大众的日常工作与生活。

当然，人工智能的发展与应用还是初步的，无论是理论研究、技术开发，还是应用拓展，都还有大量的工作要做，或许把推理、知识和学习结合起来，人工智能会有更大的发展，因为人类的智能和推理、知识、学习都密切相关。

# 第 1 章 人工智能的由来与发展

1956 年人工智能术语被正式提出。经过 60 多年的演进，特别是在移动互联网、大数据、超级计算、传感网、脑科学等新理论新技术和经济社会发展强烈需求的共同驱动下，人工智能加速发展，呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等新特征。近几年，人工智能在教育、医疗、司法服务、新闻、养老、机械制造、建筑工程、金融、管理、环境保护、城市运行等诸多领域得到广泛应用。人工智能深刻改变着人类生产生活方式和思维模式，深刻影响着人类的经济社会发展。

## 1.1 人工智能概述

### 1.1.1 人工智能的诞生

1956 年夏季，时任达特茅斯学院数学系助理教授的约翰·麦卡锡（John McCarthy, 1927—2011）和时任哈佛大学助理研究员的马文·明斯基（Marvin Lee Minsky, 1927—2016）在位于美国新罕布什尔州汉诺威镇的达特茅斯学院组织了一个关于机器智能的小型研讨会。会上第一次正式使用了“人工智能”（Artificial Intelligence, AI）这一术语，标志着人工智能学科的诞生。经过 60 多年的演进，特别是近几年在移动互联网、大数据、超级计算、传感网、脑科学等新理论新技术和经济社会发展强烈需求的共同驱动下，人工智能快速发展并催生了一批实用化的人工智能系统和产品。例如，刷脸支付、自动检票、机器翻译、自动驾驶汽车、无人超市、快件的自动分拣、

智能客服、聊天机器人、智能导航、手术机器人等，给人们的日常工作与生活带来了很大的方便。

1956 年达特茅斯会议的组织者除了达特茅斯学院的麦卡锡和哈佛大学的明斯基之外，还有贝尔实验室数学研究员克劳德·香农（Claude Elwood Shannon, 1916—2001）和 IBM 公司信息研究中心负责人纳撒尼尔·罗切斯特（Nathaniel Rochester, 1919—2001）。参加研讨会的还有卡内基梅隆大学的赫伯特·西蒙（Herbert A. Simon, 1916—2001）和艾伦·纽厄尔（Allen Newell, 1927—1992）、IBM 公司的阿瑟·塞缪尔（Arthur Samuel, 1901—1990）、麻省理工学院的奥利弗·塞尔夫里奇（Oliver Gordon Selfridge, 1926—2008）和雷·所罗门诺夫（Ray Solomonoff, 1926—2009）、普林斯顿大学的特伦查德·莫尔（Trenchard More）等人。

在之后的数十年中，由于在人工智能领域的重要贡献，达特茅斯会议的参会人员中有多人获得计算机领域的最高奖励。明斯基获得 1969 年度的图灵奖，麦卡锡获得 1971 年度的图灵奖，西蒙和纽厄尔共同获得 1975 年度的图灵奖，西蒙还因在决策论研究领域的重要贡献获得 1978 年度诺贝尔经济学奖。作为 IBM 公司最早的电子计算机 IBM 701、IBM 702 的设计者，罗切斯特获得 1984 年度 IEEE-CS 计算机先驱奖。开发出世界上第一个下棋程序的塞缪尔获得 1987 年度 IEEE-CS 计算机先驱奖。

作为信息论的创始人，香农在这些参会人员中名气最大（这也是他被邀请参会的原因之一），当时就已经是功成名就的著名科学家。和香农比起来，麦卡锡和明斯基那时还只能算是青年学者（两人都只有 29 岁）。由于香农在信息论上的重要贡献，国际电气与电子工程师学会（IEEE）于 1972 年设立了通信领域的最高奖——香农奖（Shannon Award），他本人也获得了第一届香农奖。1948 至 1949 年间，香农发表了论文《通信的数学理论》（A Mathematical Theory of Communication）和《噪声下的通信》（Communication in the Presence of Noise）。在这两篇著名论文中，香农阐明了通信的基本问题，给出了通信系统的模型，提出了信息熵的概念并给出了计算公式，解决了信道容量、信源统计特性、信源编码、信道编码等一系列基本技术问题，奠定

了信息论和数字通信的基础。我们今天享受到的高质量的数字通信应用，就得益于信息论的创立与不断发展应用。

当前的人工智能已不仅仅是一个学术界的热门研究领域，还是一个频繁出现在网络、电视、广播、报纸等各种媒体上的热门词汇（“人工智能”自2017年成为热门词汇以来其热度一直持续不减），得到政府、高校、科研机构、企事业单位、风险投资商与社会大众的广泛关注。

那么，什么是人工智能呢？

人工智能是相对于人的智能来说的，人的智能也称为生物智能，而且是最高级的生物智能。简单说，人从出生就具备一定的智能，并伴随环境交互、实践、学习、思考等行为逐步提升。但要详细解释人的智能是如何产生和发展的，还有许多环节无法解释清楚。例如，婴儿出生时的智能有多大差别；坐在同一个教室学习的学生，考试成绩为什么会有高低之分甚至较大差距；为什么有人从事学术研究能写出一流的论文，但日常生活能力却一般；为何有人擅长宣传演讲，有人擅长动手操作。关于人的智能，还有很多未知领域需要深入研究探索。所以，智能的产生与物质的本质、宇宙的起源、生命的本质一起被列为自然界的四大奥秘。

### 1.1.2 人工智能的定义

人工智能，顾名思义，就是以人工方式生成的智能，通过计算机软硬件形成的智能，即在合适的计算机硬件的支持下，通过计算机程序实现的智能。人工智能有多种定义，我们介绍3个比较有代表性的定义。

第一个是达特茅斯会议的组织者之一明斯基给出的定义：人工智能是一门科学，它能使机器做那些人需要通过智能来做的事情。这个定义简单明了，主要是强调如果机器能做人需要智能才能做的事情，那么就可以认为机器具有了智能。火车站的人脸识别检票闸机、司法审判智能辅助系统、物流系统的快件自动分拣机器人、在线机器翻译网站、手机上的智能导航APP（应用程序）等都属于人工智能应用。

第二个是尼尔森给出的定义：人工智能是关于知识的科学——怎样表示

知识以及怎样获取知识并使用知识的科学。尼尔斯·尼尔森（Nils John Nilsson, 1933—2019）曾任美国斯坦福大学人工智能研究中心教授，是人工智能学科的创始研究人员之一，在知识表示、机器人技术等领域有重要贡献。尼尔森的定义强调的是知识对于智能的作用，知识是智能的重要基础。这个认知不难理解。比如，对于我们每个人来说，大学时期要比小学一年级时，智能明显要高很多，这里或许有多种因素在起作用，但其中一个重要因素就是所掌握知识的不同。大学时期相对于小学一年级，显然具有更丰富的知识。当然，这里所说的知识是很广泛的，有通过读书学到的知识，有从老师或同学的讲解介绍中学到的知识，有通过父母的言传身教获得的知识，还有自己通过各种实践获得的知识。这其中有专业知识，有通识知识，也有常识性知识。掌握的知识多了，一般来说智能水平就会有所提高。这里所讲的对知识的掌握是指深入思考后的理解与举一反三的灵活应用，不是死记硬背式的掌握，死记硬背的知识对提升智能的促进作用不大。创新是人类智能的重要体现，死记硬背是有助于培养创新意识和创新能力的。

第三个是由中国电子技术标准化研究院编写的《人工智能标准化白皮书（2018）》给出的定义：人工智能是利用数字计算机或者数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能，感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统。这个定义强调人工智能是对人的智能的模拟、延伸和扩展，可称为类脑智能或类人智能。

人们对于人的大脑如何获取知识是有一定了解的，看书、听讲、与人交流、实践实验等都是获取知识的重要途径，但人们对于人的大脑如何表示知识以及如何使用知识还了解得不多。随着人工智能研究的不断深入，脑科学研究近几年也热了起来，脑科学研究的突破有助于人工智能研究的进一步发展。人工智能很大程度上是对人脑智能的模拟、延伸和扩展，只有把人脑的工作机理逐步研究清楚了，才能推动人工智能有更深入的研究与发展。

脑科学研究成果对人工智能的重要方法之一的卷积神经网络的提出及不断完善发展发挥了重要作用。1958年，同为神经生物学家的大卫·休伯尔（David H. Hubel, 1926—2013）和托斯坦·威泽尔（Torsten N. Wiesel,

1924—) 通过对猫的初级视皮层的探究, 首次发现了大脑的视觉工作机理, 并因此获得 1981 年度诺贝尔生理学或医学奖。1980 年, 日本科学家福岛邦彦受休伯尔、威泽尔研究成果的启发, 提出了神经认知机模型。1998 年, 杨立昆 (Yann LeCun, 1960—) 在神经认知机的基础上提出了经典的卷积神经网络 LeNet-5, 使人工智能研究取得重大突破。

## 1.2 人工智能的起源

### 1.2.1 图灵与机器思维

虽然人工智能一词 1956 年才正式使用, 但关于机器智能的研究要早得多。由于人工智能是在机器上实现的智能, 所以也称为机器智能。阿伦·图灵 (Alan M. Turing, 1912—1954) 早在 1950 年就在 *Mind* 杂志上发表了题为《计算机与智能》(Computing Machinery and Intelligence) 的论文。在论文中, 图灵提出了“机器能思维吗?” 这样一个问题, 并设计了一种测试机器是否有智能的“模仿游戏”, 人们称之为“图灵测试”(Turing Test)。图灵认为, 如果一台机器在与人对话时, 不被人识别出它是机器, 它就具有了人的智能。图灵预言, 到 2000 年, 计算机能够通过这种测试。换言之, 到 2000 年时, 人们就能够研制出具有智能的计算机。

1952 年, 图灵进一步提出了图灵测试的方法, 就是让测试者 (人) 与被测试者 (一个人和一台机器) 隔开, 通过一些装置 (如键盘) 向被测试者随意提问。进行多次测试后, 如果有超过 30% 的测试者不能正确识别出被测试者是人还是机器, 那么这台机器就通过了测试, 并被认为其具有智能。

这个测试看起来简单, 但通过测试并不容易。几十年来, 人们一直在努力通过这个测试。1990 年, 英国剑桥大学为了推动早日通过图灵测试, 设立了总额为 10 万美元 (现折合约 63 万元人民币) 的图灵测试比赛, 每年举办一次。2014 年的图灵测试大会上, 共有 5 个聊天机器人参与, 其中一个由俄罗斯团队研发的名叫 Eugene Goostman 的机器人, 有史以来第一次通过了图

灵测试。该机器人在测试问答中，让测试者误认为它是“一个13岁的乌克兰男孩”的百分比达到了33%。

图灵测试只是从功能的角度来判定机器是否具有智能。在图灵看来，不要求机器与人脑在内部构造上一样，只要与人脑有相同的功能就可以认定机器具有智能。

图灵1912年6月23日出生于伦敦，上中学时数学特别优秀。1931年中学毕业以后，图灵进入剑桥大学的国王学院（King's College）攻读数学专业，研究量子力学、概率论和逻辑学。1936年图灵就概率论研究所发表的论文获得史密斯奖（Smith Prize）。

1935年，图灵开始对研究数理逻辑产生兴趣。数理逻辑也称为形式逻辑或符号逻辑，是逻辑学的一个重要分支。数理逻辑是用数学方法，也就是符号和公式、公理的方法研究人的思维过程与思维规律，其起源可追溯到17世纪德国的大数学家莱布尼茨（Gottfried W. Leibniz, 1646—1716），其目的是建立一种精确的、普遍的符号语言，并寻求一种推理演算方法，以使用演算解决人如何推理的问题。在莱布尼茨的思想中，数理逻辑、数学和计算机三者均出于一个统一的目的，即实现人类思维过程的演算化、计算机化。但莱布尼茨的这些思想和概念还比较模糊，不太清晰和明朗。两个多世纪来，许多数学家和逻辑学家沿着莱布尼茨的思路进行了大量实质性的工作，使数理逻辑逐步完善和发展起来，许多概念也开始明朗起来。但是，“计算机”到底是怎样一种机器，应该由哪些部分组成，如何进行计算和工作，在图灵之前没有任何人清楚地说明过。正是图灵1936年发表的《论可计算数及其在判定问题中的应用》（On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem）一文第一次回答了这些问题，提出了一种理想的计算机器的抽象模型，后人称作“图灵机”（Turing Machine）。图灵机的提出奠定了现代计算机的理论基础，也奠定了图灵在计算机发展史上的重要地位。

第二次世界大战的爆发，打乱了图灵的研究计划。像许多同时代的科学家一样，图灵进入英国外交部下属的一个绝密机构中工作，主要任务是为军方破译密码。图灵的工作非常出色，曾研制出一台破译密码的机器，破译了

德军的很多密码，为战胜德国法西斯做出了贡献。为此，1945年图灵退役时被授予国家级勋章。战争结束后，图灵到英国国家物理实验室（NPL）进行电子计算机研制工作。

图灵的另一个重大贡献是前面已介绍过的于1950年发表的《计算机器与智能》论文，该论文开启了现代机器智能问题的研究。

图灵对计算机科学理论与实践发展做出了奠基性贡献，1951年当选为英国皇家学会院士。2001年6月23日，人们为纪念这位计算机科学理论的重要奠基人，在英国曼彻斯特的Sackville公园竖立了一尊和图灵真人一样大小的青铜坐像（铜像是在我国铸造的）。2019年英国央行宣布，图灵的头像将印在英国面值50英镑的纸质钞票背面，新版钞票在2021年6月23日正式发行（6月23日是图灵的诞辰纪念日）。

50英镑纸钞是英国目前最大面值的纸钞，其正面印有英国女王头像。图灵是作为著名数学家、计算机科学和人工智能之父被印上纸钞的。在此之前，50英镑纸钞背面印的是詹姆斯·瓦特和马修·博尔顿的头像。詹姆斯·瓦特（James Watt, 1736—1819）是英国著名发明家、企业家，就是我们熟悉的那位对蒸汽机的制造和改进做出重大贡献的瓦特。马修·博尔顿（Matthew Boulton, 1728—1809）是英国制造商和工程师。瓦特和博尔顿合作开发和销售蒸汽机，是第一次工业革命的重要推手。

### 1.2.2 人工智能领域的图灵奖获得者

1966年是世界上第一台通用电子计算机“埃尼阿克”（ENIAC）诞生20周年，美国计算机学会（ACM）在这一年设立了ACM图灵奖，专门奖励那些在计算机科学领域的学术研究中做出创造性贡献，对推动计算机科学技术发展具有持久作用的杰出科学家。图灵奖一般每年只奖励一名计算机科学家，只有少数年度有两人或三人共享此奖（在同一研究方向有重大贡献）。图灵奖是目前计算机界最崇高的荣誉，有“计算机领域的诺贝尔奖”（Nobel Prize in Computing）之称。图灵奖开始设立时的奖金为每年2万美元，后逐渐增加到目前的每年100万美元，由谷歌公司资助。

自 1966 年至 2020 年的 55 届图灵奖中，共计 74 名科学家获此殊荣。在这 74 名获奖者中，因在人工智能领域做出突出贡献而获奖的计算机科学家共有 10 位。

1969 年，人工智能之父和框架理论的创立者马文·明斯基获奖。1956 年他和约翰·麦卡锡等人发起召开了关于用机器模拟人类智能的达特茅斯会议。明斯基提出的框架理论用于知识表示，在人工智能领域具有重要影响。

1971 年，人工智能概念的创立者和 LISP 语言的发明人约翰·麦卡锡获奖。1956 年他和明斯基等人发起召开了关于用机器模拟人类智能的达特茅斯会议，会上麦卡锡首次提出了人工智能概念。麦卡锡还发明了人工智能领域得到广泛应用的 LISP 语言。

1975 年，人工智能符号主义学派的创始人赫伯特·西蒙和艾伦·纽厄尔共同获奖。西蒙是纽厄尔的老师，两人合作研究长达 42 年。两人与他人合作成功开发了世界上最早的启发式程序“逻辑理论家”，用该程序及其改进版本证明了《数学原理》第二章的全部 52 个定理。

1994 年，设计和构建大型人工智能系统的先驱爱德华·费根鲍姆（Edward A. Feigenbaum, 1936—）和劳伊·瑞迪（Raj Reddy, 1937—）共同获奖。两人分别开发的大型人工智能系统，展示了人工智能技术重要的实用价值和潜在的商业影响，极大地推动了人工智能理论和实践的发展。

2011 年，通过概率论和因果推理在人工智能领域做出根本性贡献的朱迪亚·珀尔（Judea Pearl, 1936—）获奖。珀尔是最早将贝叶斯网络和概率方法引入人工智能的先锋之一，也是在经验科学中数学化因果模型的先锋。他的研究为语音识别和自动驾驶技术奠定了基础。

2018 年，“深度学习三巨头”约书亚·本吉奥（Yoshua Bengio, 1964—）、杰弗里·辛顿（Geoffrey Hinton, 1947—）和杨立昆（Yann LeCun, 1960—）共同获奖。3 位科学家在概念和工程方面的突破性工作使深度神经网络成为计算的一个关键组成部分。近年来，人工智能技术在计算机视觉、语音识别、自然语言处理和机器人等领域得到广泛应用得益于 3 位人工智能科学家的基础性工作。

## 1.3 人工智能的发展历程

学术界把 1956 年达特茅斯会议看作是人工智能研究的正式开始，到目前已有 60 余年的历史。60 多年的发展历程中，人工智能经历了 2 个低谷和 3 个快速发展时期。

### 1.3.1 人工智能发展的推理期

1956 年达特茅斯会议之后，掀起了第一个人工智能发展热潮，人工智能经历了一段长达 10 多年的快速发展时期，这一时期人工智能研究处于“推理期”。人们认为只要能赋予计算机逻辑推理能力，计算机就具有智能。在达特茅斯研讨会上，西蒙和纽厄尔展示了他们合作开发的能进行定理自动证明的“逻辑理论家”程序。1958 年，美籍华人数理逻辑学家王浩在 IBM 704 计算机上证明了《数学原理》一书中的一阶逻辑及命题逻辑定理。1965 年鲁宾逊提出了归结原理，推动了定理自动证明的突破性进展。除此之外，这一时期人工智能在机器翻译、下棋程序、人机对话等方面也有不错的进展，让很多研究者对人工智能发展充满信心，甚至在当时有很多学者认为，“20 年内，机器将能完成人能做到的一切”。很显然，这种看法过于乐观了。

随着研究的深入，人们逐渐认识到，实现人工智能仅靠逻辑推理能力是远远不够的。到 20 世纪 70 年代中期，人工智能进入第一个发展低谷期。当时，人工智能面临的技术瓶颈主要来自两个方面：一是计算机性能的不足（计算速度不够快、存储容量不够大），导致很多程序无法在人工智能领域得到应用；二是数学模型不足以应对实际问题的复杂性，初期的人工智能程序主要是解决复杂性较低的特定问题（俗称“玩具”问题），一旦实际问题的复杂度增加，原有程序性能就急剧下降。

### 1.3.2 人工智能发展的知识期

到 20 世纪 80 年代初，人工智能的发展出现转机，迎来第二次发展热潮，人工智能进入称为“知识期”的快速发展阶段，把知识应用于人工智能系统

的开发，基于知识的专家系统得到较大发展，并出现了一大批应用于各领域的专家系统。

专家系统 (Expert System) 是一种智能的计算机程序，它运用知识和推理来解决只有人类专家才能解决的复杂问题。1965 年，爱德华·费根鲍姆 (Edward Albert Feigenbaum, 1936—) 与乔舒亚·莱德伯格 (Joshua Lederberg, 1925—2008)、翟若适 (Carl Djerassi, 1923—2015) 等人合作开发出世界上第一个专家系统 DENDRAL，该专家系统输入的是质谱仪的数据，输出的是给定物质的化学结构。费根鲍姆的专长是机器学习，他是 1994 年度图灵奖获得者。莱德伯格是遗传学家，33 岁时获得 1958 年度诺贝尔生理学奖。翟若适是化学家，曾获得美国国家科学奖和国家技术与创新奖。将化学分析知识提炼成规则应用于专家系统，DENDRAL 的结果有时比翟若适的学生做的都准。

20 世纪 70 年代初，布鲁斯·布坎南 (Bruce G. Buchanan) 和他的学生爱德华·肖特莱福 (Edward Shortliffe, 1947—) 开发出专家系统 MYCIN，MYCIN 是一种帮助医生对住院的血液感染患者进行诊断和选用抗生素类药物进行治疗的专家系统。MYCIN 的准确率达到 69%，当时专科医生的准确率是 80%。MYCIN 首创了作为专家系统要素的产生式规则：不精确推理。

1980 年，卡内基梅隆大学为数字设备公司设计了一套名为 XCON 的专家系统。这个系统有 1000 多条人工整理的规则（后来规则扩展到了 3000 多条），可以简单地理解为“知识库+推理机”的组合，其功能是客户订购 DEC 的 VAX 系列计算机时自动配置零部件，有文献说该系统的应用每年能为公司节省约 4000 万美元。也就是在这一时期，日本、美国等国家投入巨资开发基于“知识库+推理机”的智能计算机（也称为第五代计算机）。

1990 年底，我国在总结我国著名中医专家关幼波先生的学术思想和临床经验的基础上研发出“关幼波治疗胃脘痛专家系统”，经临床观察，取得了符合率及有效率分别为 93% 和 84% 的满意效果。

由于知识获取、知识表示以及基于知识的推理机制等问题没有得到有效解决，即以人工方式把知识（规则）总结出来存入计算机并教给计算机使用

是困难的，专家系统在取得了一些初步成效后，性能无法进一步提升。到 20 世纪 80 年代末，人工智能再次进入发展的低谷，智能计算机（第五代计算机）的研制也没有达到预期目标，现在使用的计算机仍然属于第四代计算机。

### 1.3.3 人工智能发展的学习期

人工智能的第三个快速发展阶段开始于 21 世纪初，这一阶段被称为人工智能发展的“学习期”。这一时期深度学习模型（多层神经网络）得到快速发展并在多个领域得到应用。

1998 年，杨立昆提出经典的卷积神经网络 LeNet-5，其应用于银行支票、邮政信件的手写数字识别，取得了良好的应用效果。

2006 年，杰弗里·辛顿与合作者发表了论文《一种深度置信网络的快速学习算法》（A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets），解决了多层神经网络的训练难题，标志着深度学习方法的实用化取得重大突破。

2011 年，IBM 利用深度自然语言处理技术开发的人工智能系统“沃森”（Watson）参加了美国电视智力节目《危险边缘》并战胜了两位人类冠军。“沃森”存储了海量的数据，而且拥有一套逻辑推理程序，可以推理出它认为最正确的答案。目前这一人工智能技术已被 IBM 广泛应用于医疗诊断领域。

“沃森”（Watson）取自 IBM 公司创始人托马斯·沃森（Thomas J. Watson, 1874—1956）的名字，沃森 1924 年创立 IBM 公司并带领公司发展为计算机制造领域的国际领先企业。目前 IBM 公司专注于服务器、大型机和巨型机市场以及云计算、人工智能、物联网、大数据分析和安全领域的服务与解决方案提供，2020 年营业收入 736 亿美元，净利润 56 亿美元。

2012 年，辛顿教授和他的两位学生设计了深度卷积神经网络模型 AlexNet，并组成多伦多大学队参加了 2012 年 ImageNet 挑战赛，一举夺得大赛冠军，使深度学习名声大振。到 2013 年的 ImageNet 挑战赛，成绩前几名的代表队都是用的深度学习模型。

还是在 2012 年，使用一个拥有 1.6 万个 CPU 的大规模计算机集群初步建成具有 10 亿个连接参数的谷歌大脑计算平台，该平台基于深度学习模型自

己“看”了约 1000 万段 YouTube 上的视频后，学会了如何从视频中辨认出一只猫。

2016 年，由谷歌旗下 DeepMind 公司基于深度学习和强化学习开发的围棋程序“阿尔法狗”（AlphaGo）以 4：1 的成绩战胜世界围棋冠军李世石，产生了很大的社会影响。2017 年，AlphaGo 的改进版 AlphaGo Master 以 3：0 击败当时排名世界第一的世界围棋冠军柯洁。AlphaGo 与 AlphaGo Master 具有自我学习能力，它能够搜集大量围棋对弈数据和名人棋谱，学习并模仿人类下棋。同年，新一代围棋程序 AlphaGo Zero 在无任何数据输入的情况下，在自学围棋 40 天后击败了 AlphaGo Master。AlphaGo 与 AlphaGo Zero 的区别在于，AlphaGo 以数百万人类围棋专家的棋谱为训练集来学习提高下棋水平，AlphaGo Zero 没有用到任何人类棋谱，在自我博弈的过程中通过自学的方式提高下棋水平。

2018 年 6 月 21 日，腾讯公司发布了国内首个 AI 辅诊开放平台，辅助医生提升对常见疾病的诊断准确率和效率，并为医生提供智能问诊、参考诊断、治疗方案参考等辅助决策服务。

2018 年 9 月 19 日，杭州“城市大脑”2.0 正式发布。杭州“城市大脑”覆盖杭州主城区、余杭区、萧山区共计 420 平方千米。“城市大脑”相当于智慧城市系统，能将散布在城市各个角落的数据连接起来，并通过对大量数据的分析和整合，对城市进行全域的调配。基于“城市大脑”，在中国最拥堵的城市排行榜上，杭州从 2016 年的第 5 名下降到 2018 年第二季度的第 57 名，城市交通拥堵状况明显缓解。基于“城市大脑”的调度，一辆救护车会一路绿灯快速到达目的地。

在 2018 年 11 月 7 日的第五届世界互联网大会上，新华社联合搜狗发布了全球首个“AI 合成主播”。在大会现场，“AI 合成主播”顺利完成了 100 秒的新闻播报，屏幕上播音员的样貌、回荡在现场的声音和一气呵成的手势动作，都与真人主播极为相像。

2019 年 1 月 28 日，在中央电视台的网络春节晚会上，模仿主持人撒贝宁的 AI 虚拟主持人与真人撒贝宁同台主持网络春晚。不管是外形、声音、眼

神，还是脸部动作、嘴唇动作，首次上岗的 AI 虚拟主持人与真人撒贝宁都高度相似。

2021 年 11 月 24 日—26 日，在广州举行的 2021 中国网络媒体论坛上，中央广播电视总台的 AI 手语主播正式亮相。开发团队采集了百万量级符合国家标准的手语平行语料数据，以及超 8500 条影视级国家通用手语词典的动作数据，并采集了冬奥会相关的新闻语料数据及手语动作，再结合语音识别、自然语言处理 AI 算法，打造出手语动作流畅、符合听障表达习惯、翻译精准度达到 95% 以上的 AI 手语主播，AI 手语主播也应用于 2022 北京冬奥会的开幕式、闭幕式。

近几年，人工智能热潮持续高涨，谷歌、Meta Platforms（Facebook）、亚马逊、微软、百度、阿里巴巴、腾讯、科大讯飞、华为等企业纷纷加入人工智能产品的开发行列，力图在人工智能技术与产品的竞争中占据有利位置。人工智能这一轮发展热潮的最大特点是，以深度学习为代表的很多技术进入实用领域，在机器翻译、语音识别、图像识别、自动驾驶汽车、聊天机器人等领域都有实用产品出现。

## 1.4 人工智能的研究方法

在几十年的人工智能研究中，研究人员对于如何实现人工智能也有一些不同的认识和实现方法，出现了人工智能的 3 个学派，分别是符号主义、连接主义和行为主义。

### 1.4.1 符号主义

符号主义（Symbolism）认为人的认知基元是符号，而且认知过程即符号操作过程。它认为人是一个物理符号系统，计算机也是一个物理符号系统，因此，能够用计算机来模拟人的智能行为，即用计算机的符号操作来模拟人的认知过程。也就是说，人的思维是可操作的。符号主义还认为，知识是信息的一种形式，是构成智能的基础。人工智能的核心问题是知识表示、知识

推理和知识运用。西蒙和纽厄尔是符号主义学派的代表人物，两人在 1956 年发布的“逻辑理论家”程序及其改进版证明了《数学原理》书中第 2 章的全部 52 个定理。符号主义在定理的自动证明领域有重要影响。符号主义强调的是计算机与人在功能上的相同。

#### 1.4.2 连接主义

连接主义 (Connectionism) 认为人的思维基元是神经元，而不是符号处理过程。连接主义对物理符号系统假设持反对意见，认为人脑不同于计算机，并提出连接主义的大脑工作模式，用于取代符号操作的计算机工作模式。连接主义主张人工智能应着重于结构模拟，即模拟人的生物神经网络结构，并认为功能、结构和智能行为是密切相关的，不同的结构表现出不同的功能和行为。该学派提出了多种人工神经网络结构（包括多种深度神经网络）。连接主义强调的是计算机与人脑在结构上的相似或相同。

#### 1.4.3 行为主义

行为主义 (Actionism) 认为智能取决于感知和行动，提出智能行为的“感知—动作”模式。行为主义者认为智能不需要知识，不需要表示，不需要推理。智能行为只能在现实世界中与周围环境交互作用而表现出来。行为主义学派的代表人物是罗德尼·布鲁克斯 (Rodney Brooks, 1954—)。在布鲁克斯看来，机器人只需要两个步骤就可以实现，即感知和行动，并据此设计了六足行走机器人，机器人感知环境并做出适当的反应。行为主义强调的是对环境的感知和反应。

几十年发展过来，3 个学派都有很大的理论和技术进步，但单独的每一个学派都有其局限性，多种技术的融合能够更好地实现人工智能。机器智能（人工智能）是模拟人的智能，而人的智能和知识推理（符号主义）、生物神经网络（连接主义）、环境交互（行为主义）都密切相关。围棋程序 AlphaGo 就是融合了 3 个学派的技术：连接主义的深度学习、符号主义的蒙特卡洛树搜索和行为主义的强化学习，这种融合大大提高了围棋程序的智能化程度。

## 1.5 人工智能的研究目标

人工智能的研究目标就是用人工的方法在计算机上实现人所具有的感知、学习、理解、联想、推理、判断等智能，让计算机帮助人完成一些智能性工作。通俗一点说，人工智能的研究目标就是让计算机像人一样，能听懂他人在说什么，能看清周围环境中都有什么，能学习新知识、新技术，能理解一篇论文的主要内容，能基于现有知识进行联想和创新，能进行定理的证明，能针对周围环境及遇到的突发情况做出合理判断与反应等，把人的一些智力工作交给计算机去完成，进一步减轻人的工作生活负担，提高工作效率和生活体验感。

### 1.5.1 弱人工智能

针对不同的研究目标，人工智能可以分为弱人工智能和强人工智能。弱人工智能（Weak AI）也称为限制领域人工智能或应用型人工智能，指专注于且只能解决特定领域问题的人工智能。

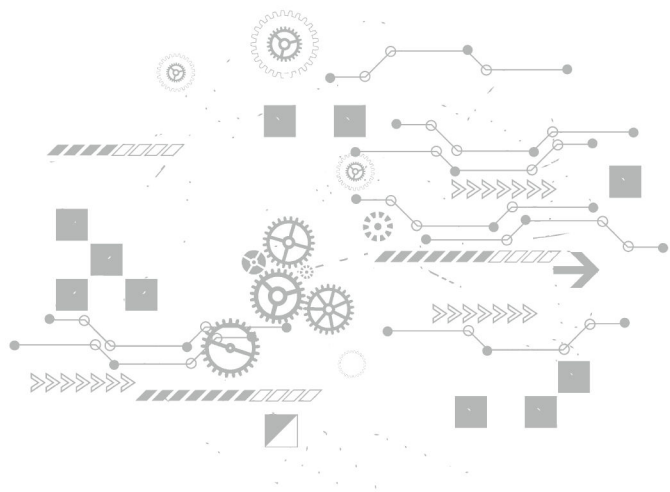
截至目前，所有的人工智能应用都属于弱人工智能的范畴。“深蓝”计算机只会下国际象棋，AlphaGo 只会下围棋，机器翻译程序只会完成不同语言间的翻译工作，无人驾驶系统只会实现机动车辆的自动驾驶，疾病诊断专家系统只会诊断某类疾病，人脸识别系统只能完成刷脸支付、刷脸门禁、自动检票等特定领域的工作，等等。

### 1.5.2 强人工智能

强人工智能（Strong AI）又称为通用人工智能或完全人工智能，指可以胜任人类所有工作的人工智能。

目前的人工智能系统可能在某个（领域的）功能上做得非常好，但不能同时具备多方面的功能。例如，一位心内科医生，既会开车上下班，也会上班时作为医学专家为病人诊断心血管疾病并给出治疗方案，还会在业余时间把英文论文翻译为中文、下下围棋、打打篮球、陪孩子玩耍、炒菜做饭等。

类似这样多方面功能的人工智能系统还没有。也就是说，虽然近几年出现了一大批实用化的人工智能系统或产品，但它们只是在某些方面实现了接近或超越人的性能，距离达到一个普通人的综合智能还差很远。



## 第 2 篇 应用篇

人工智能经过几十年的发展，在理论研究不断深入的基础上，应用到了博弈、自动定理证明、自然语言处理、计算机视觉、语音识别、智能机器人、自动驾驶汽车等领域。近十多年的发展，随着深度学习模型研究取得重大突破，带动了技术开发和应用推广的重大突破，一大批实用系统进入社会大众的日常工作与生活中，很多领域应用了人工智能系统，出现了“智能+”形态。

通过智慧学习、智慧医疗和智慧司法三个应用专题的介绍，展示出人工智能的应用给人们的工作、学习、生活带来了很多新变化。一方面，给我们的工作、学习、生活带来了很大的便利，很多事情都有机器助手协助完成；另一方面，对我们的知识结构、能力素质提出了新要求。作为学生，要结合自己的专业学习与职业规划，积极主动学习、了解人工智能知识，注重增强适应未来人机合作工作场景的合作意识、创新能力和学习能力；作为在职人员，着眼于自己工作岗位的未来发展，补充学习领域相关的人工智能知识与技术，不断提升人工智能应用场景下的工作能力与工作水平。

## 第 2 章 人工智能的应用

人工智能应用可以看作是一种高级形式的计算机应用，是在计算机单机应用、计算机联网应用基础上的自然升级。随着人工智能研究的不断深入，人工智能技术的应用范围快速拓展，很多领域都有了人工智能应用系统和产品，本章介绍几个主要的应用领域。

### 2.1 博弈

从狭义上讲，博弈是指下棋、玩扑克牌、掷骰子等具有输赢性质的游戏。从广义上讲，博弈（Game）就是对策或斗智。通过对博弈问题的研究，一是可以检验人工智能理论与技术是否能实现对人类智能的模拟；二是可以直观地把人工智能的研究成果介绍给大众，以扩大影响并争取更多支持。下棋程序的每次突破都会带起人工智能的一个发展热潮。

1913 年，德国数学家恩斯特·策梅罗（Ernst Zermelo, 1871—1953）在第五届国际数学家大会上发表了题为《关于集合论在象棋博弈理论中的应用》（On an Application of Set Theory to Game of Chess）的论文，第一次把数学和国际象棋联系起来。从此，现代数学出现了一个新的领域——博弈论（Game Theory）。1950 年，香农发表了《国际象棋与机器》（A Chess—Playing Machine）论文，阐述了用计算机编制下棋程序的可能性。

#### 2.1.1 塞缪尔的跳棋程序

最早开发计算机下棋程序的是 1956 年达特茅斯人工智能研讨会的主要参

会人员之一、美国计算机科学家塞缪尔。1952 年，塞缪尔运用博弈理论和状态空间搜索技术成功地开发了世界上第一个跳棋程序，运行在 IBM 701 计算机上，之后又移植到了 IBM 704 计算机和 IBM 7090 计算机上。塞缪尔的跳棋程序战果辉煌，1956 年 2 月 24 日在电视转播的与美国康涅狄格州跳棋冠军进行的公开对抗赛中获胜；1962 年 6 月 12 日又战胜了美国一位著名的跳棋选手。塞缪尔被称为“机器学习之父”，也被认为是计算机游戏的先驱。

塞缪尔的下棋程序之所以“聪明”，是因为塞缪尔对机器学习理论和技术进行了深入的研究并将其应用于下棋程序的开发。1959 年，基于多年的研究，塞缪尔发表了有关基于跳棋游戏研究机器学习的论文《基于跳棋游戏研究机器学习》（Some Studies in Machine Learning Using Game of Checkers）。他在这篇论文中对强记学习和归纳学习提出了许多创新性的观点，综合利用了可变评估函数、爬山法、特征表等多项人工智能的基本技术。1967 年，塞缪尔又发表了题为《基于跳棋游戏研究机器学习 II》（Some Studies in Machine Learning Using Game of Checkers II）的论文。

### 2.1.2 IBM 的国际象棋程序

1970 年至 1994 年间，美国计算机学会（ACM）每年举办一次计算机国际象棋锦标赛（1992 年中断过一次），每年产生一位计算机国际象棋赛冠军。1991 年，冠军由 IBM 的“深思 II”（Deep Thought II）计算机获得。美国计算机学会的这项赛事极大地推动了博弈问题的深入研究，也促进了人工智能研究的深入。“深思”系列计算机是由 IBM 公司研制的专门用于国际象棋比赛的高性能并行计算机。

1997 年 5 月 11 日，“深思”的换代产品“深蓝”（Deep Blue）计算机与俄罗斯人、国际象棋特级大师卡斯帕罗夫的 6 局对抗赛结束。“深蓝”以 2 胜 1 负 3 平的成绩战胜 1985 年以来一直占据世界象棋冠军宝座的卡斯帕罗夫。“深蓝”使用了 256 个专为国际象棋比赛设计的微处理器，重量达 1.4 吨，拥有每秒超过 2 亿步棋的计算速度。计算机内部存有 100 年间所有国际象棋特级大师开局和残局的下法。

### 2.1.3 浪潮集团的中国象棋程序

2006 年 8 月 9 日，“浪潮杯”首届中国象棋人机大赛在国家奥林匹克体育中心举行。比赛以 5 位中国象棋特级大师为一方，浪潮天梭超级计算机为另一方，5 位大师轮番上场，经过两轮比赛，结果浪潮天梭以 3 胜 5 平 2 负的成绩取得比赛胜利。

按照国际标准，达到大师级的人机博弈系统需要搜索深度达到 10 层以上，搜索结点数约为 1300 万个，计算大约 1000 万次评估函数。浪潮天梭为满足这一计算需求，历经一年的设计开发优化测试，峰值可达到每秒 42 亿步，采用交换式体系结构设计系统，通过高速交换模块实现对等的的数据交换，构成完整的超级计算机系统；保证了 CPU 和内存，以及 CPU 和 CPU 之间的快速数据交换和通信，进而保证了查询和搜索的高效执行。

### 2.1.4 谷歌的围棋程序

2016 年 3 月 9 日至 15 日，谷歌旗下 DeepMind 公司研发的“阿尔法狗”（AlphaGo）围棋程序以 4 : 1 战胜韩国职业九段围棋选手、世界围棋冠军李世石，成为第一个击败人类职业棋手的围棋程序。AlphaGo 存有 1500 万个人类围棋高手的对局棋谱，训练时使用由 1202 个 CPU 和 176 个 GPU 构成的超级计算机。

2017 年 5 月 23 日至 27 日，AlphaGo 的升级版 AlphaGo Master 以 3 : 0 战胜排名世界第一的世界围棋冠军柯洁。2017 年 10 月，AlphaGo Zero 在无任何人类棋谱输入的条件下，只训练了 40 天，就以 100 : 0 战胜了 AlphaGo Master。

西洋跳棋、国际象棋、中国象棋、围棋等都属于双人完备博弈。所谓双人完备博弈是对弈双方轮流走步，一方完全知道另一方已经走过的棋步以及未来可能的棋步，对弈的结果要么是一方赢（另一方输），要么是双方和局。对于任何一种双人完备博弈，都可以用一个博弈树来描述，并通过博弈树搜索策略寻找最佳解。博弈树类似于状态图和问题求解搜索中使用的搜索树。搜索树上的一个结点对应一个棋局，树的分支表示棋的走步，根结点表示棋

局的开始，叶结点表示棋局的结束。一个棋局的结果可以是赢、输或和。对于一个思考缜密的棋局来说，其博弈树是非常大的，就国际象棋来说，有 $10^{120}$ 个结点（棋局总数），而对中国象棋来说，估计有 $10^{160}$ 个结点，围棋更复杂，盘面状态达 $10^{768}$ 个。

下棋的过程，其实就是一个选择的过程，根据目前的棋局以及对对方可能走步的判断，选择一个有利于自己最终赢棋的棋步。从上面的数字可以看出，可供选择的棋步数量是非常巨大的，作为下棋的人，更多是经过缜密的思考后，凭经验和直觉做出选择，这是非常耗费脑力和体力的，也容易受到外界的干扰。而下棋的计算机，靠的是快速的计算和搜索比较，通过计算和比较找到对自己有利的棋步，计算机不会疲倦，不会有心理上的起伏，也不会受到对手情绪的干扰，但目前的计算机是没有知觉的，不能进行真正的思考。在一定意义上，双人完备博弈的人机大战是棋手的智慧与计算机计算能力的比拼。当然，棋手也需要记忆一定的经典棋局，计算机也需要有效的棋局存储和搜索策略，以保证在合理的时间搜索到最优的棋步。虽然以 IBM 公司的“深蓝”计算机、浪潮的“天梭”计算机、谷歌的 AlphaGo 为标志的博弈论研究和应用取得了相当大的成就，但仍有许多博弈问题值得进一步深入研究。

在下棋领域，相对于人，计算机的优势是速度快，对于人的一步走棋，计算机需要从所有可能的应对走步中选择（搜索）一个对自己有利、对方不利的走步。虽然计算机的速度很快，但相对于棋局巨大的搜索空间，简单的穷举搜索是难以满足实际需要的，需要有高效的搜索算法。20 世纪 50 年代麦卡锡提出的  $\alpha$ - $\beta$  剪枝算法在下棋程序中得到广泛应用。 $\alpha$ - $\beta$  剪枝算法会利用已有的搜索省掉对自己不利、对方有利的棋步的搜索，大大提高了搜索到对自己有利棋步的效率。

在“深蓝”计算机上，如果不采用  $\alpha$ - $\beta$  剪枝算法，要达到和“深蓝”一样的下棋水平，每步棋需要搜索 17 年的时间，国际象棋、中国象棋程序等都是采用类似的算法达到或超过了人类棋手的冠军水平。

围棋程序是比较晚才达到人类冠军水平的。应用  $\alpha$ - $\beta$  剪枝算法的一个重要

基础是对棋局状态的评分，国际象棋、中国象棋等由于具有棋局越下越简单、进入残局后依据棋子的多少就可能决定胜负、有明确的获胜标志等特点，棋局评分是比较容易的，而围棋的棋局评分就比较困难。

围棋程序采用了蒙特卡洛树搜索方法。蒙特卡洛方法也称统计模拟方法，是一类随机模拟方法的总称，用摩纳哥的赌城蒙特卡洛（Monte Carlo）来命名。该方法的思路虽然早在 18 世纪就已提出，但直至计算机技术出现后，能够通过程序快速地进行大量的随机模拟，才得到广泛应用。围棋程序结合信心上限决策方法，对于当前棋局，随机地模拟双方走步直至分出胜负为止，经过多次模拟，计算出每个落子点的评估值，选择对自己有利的落子点落子。

谷歌的 AlphaGo 将深度学习引入蒙特卡洛树搜索，设计了两个深度神经网络：一个为策略网络，用于从众多的可能落子点中选择若干个最好的可能落子点；一个为估值网络，对给定的棋局进行估值（评分），在模拟过程中不需要模拟到棋局结束就可以判断棋局是否对自己有利。估值网络提高了搜索和模拟效率。AlphaGo 还结合了强化学习方法，因而超过了人类棋手的世界冠军水平。

“德州扑克”是一种流行的扑克游戏。2017 年 4 月 14 日，卡内基梅隆大学开发的人工智能系统 Libratus 战胜了德州扑克顶级选手，是继 AlphaGo 之后人工智能在博弈领域的又一突破。从博弈的角度看，棋类游戏属于完全信息博弈，而扑克游戏一般属于不完全信息博弈，一个牌手并不完全准确知道其他牌手手中有什么牌。Libratus 系统基于深度强化学习和心理学知识做出出牌决定。

## 2.2 定理自动证明

定理自动证明（Automatic Proof of Theorem）是指通过计算机程序来完成数学中定理或猜想的真假判定。判定程序不仅需要具有根据假设进行演绎的能力，还需要一定的判定技巧。

### 2.2.1 四色定理的自动证明

四色定理的描述是：任何一张地图只用 4 种颜色就能使具有共同边界的国家着上不同的颜色。也就是说在不引起混淆的情况下一张地图只需四种颜色来标记就行。1976 年 6 月，在美国伊利诺伊大学的两台不同的计算机上，用了 1200 个小时，做了 100 亿个判断，结果发现没有一张地图是需要 5 色的，最终证明了四色定理。

四色定理的来源是：1852 年，毕业于伦敦大学的弗朗西斯·格斯里（Francis Guthrie, 1831—1899）来到一家科研单位从事地图着色工作时，发现每幅地图都可以只用 4 种颜色着色。那这个现象能不能从数学上加以严格证明呢？很多科学家对此进行了探索，直至 124 年后四色定理被计算机证明。

### 2.2.2 《数学原理》中定理的自动证明

西蒙和纽厄尔 1956 年发布的“逻辑理论家”（Logic Theorist）程序及其改进版是自动定理证明的早期代表性成果，证明了《数学原理》第 2 章的全部 52 个定理。1958 至 1959 年，美籍华人王浩在一台 IBM 704 机上实现了一个完全的命题逻辑程序以及一个一阶逻辑程序，证明了《数学原理》中全部 150 条一阶逻辑定理以及 200 条命题逻辑定理。1983 年，国际人工智能联合会（IJCAI）授予王浩自动定理证明里程碑奖。1965 年，阿兰·罗宾逊（John Alan Robinson, 1930—2016）提出了对定理自动证明有深远影响的归结原理，对简化定理证明有很大作用。威廉·马库恩（William McCune, 1953—2011）用 C 语言编写了 Otter 定理证明器，实现了当时定理证明所有的先进技术，马库恩发明的差别树索引技术提高了 Otter 的证明效率。

《数学原理》（The Principles of Mathematics）由英国著名的哲学家、数学家、逻辑学家伯特兰·罗素（Bertrand Russell, 1872—1970）和他的老师阿尔弗雷德·怀特海（Alfred North Whitehead, 1861—1947）合著，是 1910 至 1913 年出版的关于哲学、数学和数理逻辑的三大卷巨著，对逻辑学、数学、集合论、语言学和分析哲学的研究有着巨大影响。

### 2.2.3 吴文俊教授与定理自动证明的“吴方法”

吴文俊（1919—2017），祖籍浙江嘉兴，出生于上海市，1940 年毕业于上

上海交通大学数学系，1946 年赴法国斯特拉斯堡（Strassbourg）大学留学，1949 年获得博士学位。曾任中国科学院系统科学研究所研究员、中国科学院院士。

吴文俊教授的科学研究工作涉及拓扑学、自动推理、机器证明、代数几何、中国数学史、对策论等多个领域，在代数拓扑和机器证明两个领域有重大的原创性贡献，影响深远。

吴文俊教授的科学研究分为前后两个时期。前期（1947 至 1975 年）以代数拓扑为主，为拓扑学研究做出奠基性工作。他的贡献主要在两个方面：示性类研究和示嵌类研究。其研究成果于 1956 年获国家自然科学一等奖，被国际数学界称为“吴公式”“吴示性类”“吴示嵌类”。

后期始于 1976 年，主要从事机器证明与数学机械化的研究。吴文俊教授在 1977 年提出了一种全新且高效的几何定理证明方法。首先引进坐标，使得待证定理的假设与结论都转换成多项式方程，这对于通常的情形都是成立的。然后依照某种确定的方式对代表假设的多项式方程进行处理，使其在有限步骤内到达代表结论的那一个多项式方程，或与之相反。这就给出了一个以机械方式进行的证明或否定一个几何定理的过程。这一方法还具有普遍适用的性质。即不论所考虑的定理出自何种初等几何，不论是欧氏的，还是非欧氏的，只要像通常出现的那样，假设与结论都可用多项式方程来表示，就可应用同样的方法与过程进行证明。他提出的用计算机证明几何定理的方法，在国际上被称为“吴方法”，是定理自动证明领域的一项重要标志性的成果。由于在几何自动推理领域的先驱性工作，吴文俊教授 1997 年获得“埃尔布朗自动推理杰出成就奖”，这是定理自动证明领域的最高奖。

授奖辞对他的工作给予了这样的介绍与评价：“几何定理自动证明首先由赫伯特·格兰特（Herbert Gerlenter）于 50 年代开始研究。虽然得到一些有意义的结果，但在‘吴方法’出现之前的 20 年里，这一领域进展甚微。”吴文俊的工作“不仅限于几何，他还给出了由开普勒定律推导牛顿定律，化学平衡问题与机器人问题的自动证明。他将几何定理证明从一个不太成功的领域变为最成功的领域之一。”

吴文俊教授是我国首届（2000 年度）国家最高科学技术奖获得者，2019 年 9 月被授予“人民科学家”国家荣誉称号。中国人工智能学会设有“吴文俊人工智能科学技术奖”。

中国人工智能学会（Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI）成立于 1981 年，基本任务是团结全国智能科学技术工作者和积极分子通过学术研究、国内外学术交流、科学普及、学术教育、科技会展、学术出版、人才推荐、学术评价、学术咨询、技术评审与奖励等活动促进我国智能科学技术的发展，为国家的经济发展、社会进步、文明提升、安全保障提供智能化的科学技术服务。

“吴文俊人工智能科学技术奖”旨在贯彻“尊重劳动、尊重知识、尊重人才、尊重创造”的方针，充分调动广大智能科学技术工作者的积极性和创造性，奖励在智能科学技术领域取得重大突破，做出重大贡献的科技工作者和管理者，被誉为“中国智能科学技术最高奖”。

“吴文俊人工智能科学技术奖”每年评选一次，包括吴文俊人工智能最高成就奖、吴文俊人工智能杰出贡献奖、吴文俊人工智能自然科学奖、吴文俊人工智能技术发明奖、吴文俊人工智能科技进步奖和吴文俊人工智能优秀青年奖等奖项。其中，吴文俊人工智能最高成就奖每年授奖人数不超过 2 名，奖金 100 万元人民币。

2018 年以来，陆汝钤、张�钹、李德毅 3 位在人工智能领域做出重大贡献的著名科学家先后获得吴文俊人工智能最高成就奖。

中国科学院数学与系统科学研究院研究员、中国科学院院士陆汝钤 2018 年荣获首届“吴文俊人工智能最高成就奖”。陆汝钤院士作为我国人工智能领域的开拓者和先驱之一，在知识工程方面取得了系统性创新成就，特别是在全过程动画自动生成、专家系统开发环境、软件自动生成、少儿图灵测试、知件、大知识特征刻画等方面取得多项被国际公认具有创新性的领先成果。

清华大学计算机系教授、中国科学院院士张钹获得 2019 年度“吴文俊人工智能最高成就奖”，张钹院士长期从事人工智能理论、技术和应用研究，是我国人工智能领域的先驱者之一。他在搜索、规划和问题求解等领域建立形

式化理论和高效算法方面做出了卓越贡献。他与清华大学张铃教授合作，创造性地把代数、概率等数学理论与认知理论相结合，提出了基于商空间的多粒度问题求解理论，成为粒计算领域的开拓者之一，对人工智能的发展具有重要意义。

军事科学院系统工程研究院研究员、中国工程院院士李德毅获得2020年度“吴文俊人工智能最高成就奖”。李德毅院士在认知模型、智能控制、不确定性推理、数据挖掘、无人驾驶等方面取得多项国际领先成果，是我国不确定性人工智能领域的主要开拓者、无人驾驶的积极引领者和人工智能产学研发展的重要推动者。

## 2.3 自然语言处理

自然语言处理（Natural Language Processing, NLP）就是让计算机“读懂”自然语言，从而实现人与计算机通过自然语言进行通信和交流的技术。因为处理自然语言的关键是要让计算机“理解”自然语言，所以自然语言处理又称为自然语言理解，也称为计算语言学。一方面它是自然语言信息处理的一个分支，另一方面它是人工智能的重要应用领域之一。

语言翻译、文本生成、文本理解、智能问答等都属于自然语言处理的研究范畴。语言翻译是指把一种自然语言自动翻译成另一种自然语言，常被称为机器翻译。文本生成是指自动生成新闻稿、命题作文、合同书等文本。文本理解是指自动抽取出一段文字或一篇文章的摘要内容等。智能问答是指在“理解”用文字所提问题的基础上给出合适的回答。

自然语言处理可以追溯到美国数学家瓦伦·韦弗（Warren Weaver, 1894—1978）在1949年提出的机器翻译设计方案，甚至更早。自然语言处理大体可以分为三个发展阶段。

### 2.3.1 基于语法规则的自然语言处理

从20世纪40年代到80年代末，这一时期可以看作是自然语言处理的早

期阶段，主要是基于关键词匹配、语法分析、句法分析、文法分析、词典等，即主要是基于关键字匹配和语言本身的语法规则（语言学知识）和词典来完成相关工作，代表性的系统有 ELIZA、PARRY、SHEDLU、SYSTRAN 等。

1966 年，约瑟夫·魏泽鲍姆（Jaseph Weizenbaum，1923—）设计了第一个对话程序（聊天机器人）ELIZA，能够模拟一位心理医生和患者聊天。和 ELIZA 聊过的很多对话人都觉得是在和一位真正的心理医生聊天。

1972 年，心理医生肯尼斯·科尔比（Kenneth Colby）在斯坦福大学开发了对话程序 PARRY。和 ELIZA 相反，PARRY 模拟一位病人和心理医生聊天。有意思的是，通过当时的网络 ARPANET（互联网的前身），PARRY（作为病人）和 ELIZA（作为医生）聊了一次，聊天记录保存在位于硅谷的计算机历史博物馆中。

还是在 1972 年，特里·维诺格拉德（Terry Winograd）在美国麻省理工学院设计了一个用自然语言指挥机器人动作的 SHEDLU 系统，该系统把句法分析、语义分析、逻辑推理结合起来，模拟了一个能够操纵桌子上积木的机器人手臂，通过人机对话方式，机器人能够根据操作人员的命令完成搭积木的动作。

彼得·托马（Peter Toma）在美国乔治敦大学开发了机器翻译系统 SYSTRAN，主要是把俄语科技文档翻译成英语文档。彼得·托马在此基础上于 1968 年创立了机器翻译公司。1976 年，欧共体翻译局购买了英法版的 SYSTRAN，并由欧共体组织自己的技术力量开发用于欧共体成员国所用语言间的翻译系统。经过 8 年的改进与完善，到 1983 年，SYSTRAN 已是一个具有相当高水平的多语言互译系统。SYSTRAN 是目前应用最广泛、所开发的语种最丰富的翻译软件，可进行汉语、英语、法语、德语、俄罗斯语等 50 种语言的互译。

大家或许对谷歌翻译、百度翻译比较熟悉，也可以去试试 SYSTRAN 翻译（SYSTRAN Translate），体验一下其翻译效果到底如何。它自己主页目前的宣传语是：基于一流的神经机器翻译技术以及在企业 and 政府机构数十年的经验，即时安全地翻译成 50 种语言。

### 2.3.2 基于统计的自然语言处理

由于自然语言的复杂性，依据语言学知识总结的语法规则并不能覆盖所有的语言应用，基于语法规则、语言学知识、词典的自然语言处理具有很大的局限性。从 20 世纪 90 年代开始，自然语言处理进入第二阶段，此时基于统计的机器学习方法开始流行，很多自然语言处理任务开始用基于统计的方法来完成。主要思路是：基于人工定义的特征建立统计模型，利用带标注的数据（平行语料）训练模型并确定模型参数，然后利用训练好的模型（参数）进行实际的翻译工作。更通俗一点讲，就是基于统计来完成翻译工作，利用平行语料（如中英文对照文本）统计源语言词与目标语言词的对应概率，然后根据概率和其他必要的评估进行翻译。例如，计算机虽然不知道“智能”对应的英文是什么，但是在对话料进行统计后发现只要中文句子中有“智能”出现，对应的英文句子中就会出现“intelligence”这个词（或出现的概率很大），那么就可以把“智能”翻译为“intelligence”。很显然，语料越多越丰富，基于统计的翻译效果就越好。

### 2.3.3 基于深度学习的自然语言处理

2006 年，辛顿等发表关于深度学习的论文。2008 年之后，基于多层神经网络的深度学习方法逐步应用于语音识别和图像处理，并取得良好效果。自然语言处理进入第三个阶段，先是把深度学习用于特征计算或者建立一个新的特征，然后在原有的统计学习框架下进行后续处理。2012 年，辛顿和他的两位学生提出的深度卷积神经网络模型 AlexNet 在图片分类上取得重大突破，引起了研究应用深度学习模型的热潮。2014 年以来，人们尝试直接通过深度学习建模，进行端对端的训练。基于深度学习的自然语言处理在机器翻译、智能问答、文本理解等领域取得了重大进展。

对于机器翻译来说，基于深度学习方法的机器翻译也称为神经机器翻译，其翻译过程是模拟人的翻译过程。人做翻译工作的思路是这样的：先理解要翻译的句子，然后形成句子的语义（句子所要表达的内在含义，不只是表面意思），最后按语义把句子翻译成目标语言的句子。基于循环神经网络的神经

机器翻译包括两个模块：编码模块和解码模块。编码模块把输入的源语言句子变成一个中间的语义表示（融入了句子中词与词之间的关系），通过词嵌入技术用一系列的机器内部状态来代表；解码模块根据语义分析的结果逐词生成目标语言句子。对于比较长的句子，又加入了注意力机制，使得“循环神经网络+词嵌入+注意力机制”的机器翻译的性能全面超越了统计机器翻译。

深度学习方法的应用，使机器翻译、智能问答、聊天机器人、文本理解等领域取得了突破性进展，在科技翻译、智能客服等任务上达到了实用化水平。

## 2.4 计算机视觉

感知环境信息并给予适当的反应，是人类智能的重要体现。据说，人一生中约70%的信息是通过“看”获得的，“一幅图胜过千言万语”也表达了视觉对人类获取信息的重要性。任何人工智能系统，只要它需要人机交互或需要根据周边环境信息进行决策，“看”的功能都非常重要。随着相关技术的不断发展和成熟，越来越多的计算机视觉系统走进人们的日常工作与生活中，如指纹识别、人脸识别、视频监控、汽车牌照识别、无人机、消防机器人、巡检机器人等。

### 2.4.1 计算机视觉的含义

计算机视觉（Computer Vision）也称为机器视觉（Machine Vision），是指在环境表达和理解中，对视觉信息进行组织、识别和解释的过程。通俗地讲，计算机视觉就是研究和实现如何让计算机具有人类“看”的功能，主要包括两个层次：识别和理解，识别出环境中的“物”，理解“物”是什么及其特征。例如，一个人站在马路边，准备过没有红绿灯的马路，先要识别出（看到）周围环境中的“物”，再认识（理解）到“物”有汽车、电动自行车、行人、饭店、绿植等，再进一步认识（理解）到汽车和电动自行车开往哪个方向、离自己有多远、大致速度有多快，以此来判断自己是否可以安全步行

过马路。这大致就是一般人所具有的视觉能力。计算机视觉的目标就是实现类似的功能，让一个站在马路边的机器人自主决定何时安全穿过马路。

计算机视觉是使用计算机及相关设备对人类视觉的一种模拟，其主要任务就是通过对采集的图像或视频进行处理以获得相应场景的三维信息，就像人每天所做的那样。形象地说，计算机视觉就是给计算机装上眼睛（摄像头）和大脑（算法），让计算机能够像人一样感知环境信息。

对于一幅图像（视频可以先分割为一幅一幅的图像），计算机视觉的任务就是分类和特征描述。分类包括场景分类与物体分类，前者比如区分城市道路、农村田野、室内会场等场景，后者比如识别出每一个场景中的马路、汽车、行人、电动自行车等物体。计算机视觉还可以进行人脸识别、花卉识别、动物识别、车牌识别等精细分类。特征描述包括汽车是停车状态还是行驶状态、行驶速度是多少、行驶方向为何、和另外一个物体的距离等。

#### 2.4.2 基于深度学习的计算机视觉

1998年，杨立昆提出卷积神经网络模型 LeNet-5，将其实际应用于银行支票和邮政信件上手写数字的识别。2012年辛顿和他的两位学生设计的深度卷积神经网络模型 AlexNet 把 ImageNet 挑战赛的图片分类错误率大幅度降至 15.3%（比最好的非深度学习方法低 10 多个百分点），引发了计算机视觉领域研究深度学习的热潮。后续的 GooLeNet、VGG、ResNet 等深度学习模型逐渐把 ImageNet 挑战赛的图片分类错误率降至低于人的错误率的水平，即 5% 以下。

深度学习促进了计算机视觉的实用化，近几年计算机视觉在电子门禁、身份确认、电子支付、考勤签到、安全检查等领域得到了广泛应用。

人脸识别是一个应用较为广泛的计算机视觉实例。人脸识别的核心工作就是计算两张人脸图片的相似度（一张为身份证上的照片或预先采集的照片，一张为通过门禁或安检时摄像头即时拍摄的照片），并以此来判断是否为同一个人。主要包括如下步骤：

（1）人脸检测。从给定的图片中判定是否有人脸，如果有人脸，给出人

脸的位置和大小数据（包括一个人脸和多个人脸的情形），可以用矩形框标记。

（2）特征点定位。在标记出人脸矩形框的基础上，进一步定位眼睛中心、鼻尖和嘴角等关键特征点。

（3）面部子图预处理。即人脸子图的归一化，一是把关键特征点进行对齐，消除人脸大小、旋转带来的影响；二是对人脸核心区域子图进行光亮方面的处理，消除光的强弱、偏光等带来的影响。

（4）特征提取。从人脸子图中提取出可以区分不同人脸的特征。

（5）特征比对。对从两幅图片中提取的特征进行距离或相似度计算。

（6）决策。根据计算出的距离或相似度，确定两张图片上的人脸是否为同一人。根据应用场景，设定一个合适的阈值，安全级别高的应用场景可以把阈值设得高一些，相似度超过阈值，则判定为是同一个人，否则判定为不是同一个人。

上述步骤中的人脸检测、特征点定位、特征提取等工作都可以通过深度学习模型实现。

人脸识别有一对一方式和一对多方式，如火车站的身份验证，比对当时拍摄的人脸与身份证上的人脸是否为同一个人，就属于一对一方式；如门禁系统，把门禁摄像头拍摄的照片和数据库中预先采集的多幅照片进行比对，能和其中一幅比对上则可打开门禁，否则门禁不开，这属于一对多方式。

## 2.5 语音识别

语音识别（Speech Recognition）是指计算机自动将人的语音内容转换成对应的文字，即让计算机具有人类“听”的能力。语音识别是一门交叉学科，涉及生理学、声学、信号处理、计算机科学、模式识别、语言学、心理学等相关学科的知识。

语音识别的一般过程是：从一段连续声波中采样，将每个采样值量化，得到声波的数字化表示，对于每一帧采样值（包含若干个连续的采样值）抽

取出一个描述频谱内容的特征向量，然后基于特征向量识别出语音所代表的词汇。

语音识别的起源可以追溯到 20 世纪 50 年代。1952 年贝尔实验室首次实现了名为 Audrey 的数字识别系统，这个系统当时可以识别单个数字 0~9 的发音，并且对熟人的识别准确度高达 90% 以上。

代表性的三类语音识别系统是：基于语音规则的识别系统、基于统计模型的识别系统和基于深度学习的识别系统。

### 2.5.1 基于语音规则的识别系统

基于语音规则的识别系统本质上是一个专家系统，应用了语言学家总结的语音规则。1976 年，在拉吉·瑞迪（Raj Reddy, 1937—）教授的领导下，卡内基梅隆大学研发出了两个语音识别系统 Hearsay I 和 Harpy。Hearsay I 是世界上最早能进行连续语音识别的系统之一。后续还研发出 Hearsay II 和 Sphinx I / II 等语音识别系统，并在此基础上发展出许多语音识别技术的基础思想。Sphinx II 系统用于帮助扫盲，其作用相当于一位教师，能够“听”孩子读课文，并在孩子读错或不会读时提供一些帮助。由于在人工智能系统、机器人系统和人机交互等领域的开创性研究，瑞迪获得 1994 年度图灵奖。瑞迪在斯坦福大学攻读博士学位时的研究项目就是语音识别，导师是 1956 年达特茅斯会议的主要组织者之一、1971 年度图灵奖获得者约翰·麦卡锡。

### 2.5.2 基于统计模型的识别系统

从 20 世纪 80 年代开始，语音识别采用模式识别的基本框架，分为数据准备、特征提取、模型训练、测试应用等 4 个步骤。1980 年，语音识别技术已经从孤立词识别发展到连续词识别，出现了两项重要技术：隐马尔可夫模型（Hidden Markov Model, HMM）和 N-gram 语言模型。1990 年，大词汇量连续词识别技术持续进步，使得语音识别的精确度不断提高。

基于统计模型的识别系统需要建立大型的基于语音数据的语料库，并在大规模语料库的基础上应用统计模型方法。语音识别技术的一个重大突破是隐马尔可夫模型的应用。1988 年，在卡内基梅隆大学读博士的李开复（导师

就是瑞迪教授)实现了第一个基于隐马尔可夫模型的非特定人、大词汇量、连续语音识别系统 Sphinx。

### 2.5.3 基于深度学习的识别系统

进入 21 世纪,深度学习应用于语音识别,2009 年基于深度学习的语音识别在小词汇量连续语音识别上获得成功。

深度学习模型的应用进一步大幅度降低了语音识别的错误率。2015 年,应用了深度学习技术的谷歌语音识别系统将错误率降低至 8%,IBM 公司的 Watson 智能问答系统将错误率降低至 6.9%。2016 年,微软研究院进一步将错误率降低至 6.3%。

基于语音规则的识别系统的错误率高于 40%,离实用水平差距较大。统计模型用于语音识别,错误率从 40%以上降至 20%左右。虽然错误率大幅降低,但仍达不到实用水平。深度学习把识别错误率降低至 6%左右。如今,各种应用系统进入了我们的日常工作和生活。嵌入语音识别技术的会议系统能够实时地将演讲者所说的语音内容准确识别出来,并即时投影在大屏幕上,方便听者获取演讲内容。“微信”应用的语音转文字功能方便了接收者在不方便播放声音时阅读信息。不同语言间的语音互译方便了跨语言交流。

语音识别进一步的研究工作包括多位讲者语音的识别等,如同时有多人在演讲,如何把某个特定人的语音内容识别出来。

## 2.6 智能机器人

近年来,机器人技术得到快速发展和广泛应用,机器人(特别是人形机器人)的一大特点是能够形象直观地展示智能特性。机器人既是先进制造业的关键支撑装备,也是改善人类生活方式的重要工具。机器人的研发及产业化应用是衡量一个国家科技创新、高端制造发展水平的重要标志。

机器人是一种能够半自主或全自主工作的智能机器,具有感知、决策、执行等基本特征,可以辅助甚至替代人类完成危险、繁重、复杂的工作,提

高工作效率与质量，服务人类生活，扩大或延伸人的活动及能力范围。

### 2.6.1 机器人的发展

自1954年世界上第一台机器人诞生以来，机器人经历了由一般机器人向智能机器人的逐步发展过程。一般机器人是指只具有一般编程能力和操作功能的机器人。多数专家认为，智能机器人至少要具备以下几个功能特征：一是具备对不确定作业条件的适应能力；二是具备对复杂对象的灵活操作能力；三是具备与人紧密协调合作的能力；四是具备与人自然交互的能力；五是具备人机合作安全特征。目前所说的机器人一般是指智能机器人。

在近70年的机器人发展历程中，科学家、工程师研发了多种样式、多种功能的机器人，在很多领域都有机器人的身影出现。

1988年日本东京电力公司研制出具有自动跨越障碍能力的巡检机器人。1994年中国科学院沈阳自动化所研制出中国第一台无缆水下机器人“探索者”。1997年，美国研制的“探路者”空间移动机器人，完成了对火星表面的实地探测，取得了大量有价值的火星资料。

1999年美国直觉外科公司研制出达芬奇机器人手术系统，现在已迭代更新至第五代产品，在多个国家的多家医院得到应用。2000年，日本本田技研公司推出第一代人形机器人阿莫西；我国国防科技大学研制出我国第一个人形机器人“先行者”，具有与人类似的躯体、头部、眼睛、双臂和双足，可以步行，也有一定的语言功能。2005年，美国波士顿动力公司研制出四腿机器人“大狗”（Bigdog）；日本研制出“村田男孩”机器人，能够骑行普通的双轮自行车。2008年，深圳大疆创新科技公司研制出无人机；日本研制出一款名为“村田女孩”的机器人，该机器人可以骑行独轮车，相当于一个杂技演员；北京奥运会期间，由中国民航大学研制的5个奥运福娃机器人亮相北京首都国际机场，迎送奥运大家庭成员和国内外宾客。福娃机器人可以感应到一米以内的旅客，不仅能够用汉语送达问候，还会英、日、法等12国语言。通过机器人身上的手动触摸屏，可以查询奥运项目、住宿、购物、旅游等信息。

2013 年 12 月 2 日,伴随“嫦娥三号”探测器发射入轨,并于 15 日与着陆器成功分离的“玉兔”号月球车也是一个高智能的机器人。2015 年日本软银集团和法国 Aldebaran Robotics 公司联合研发出能够识别人的情绪的人形机器人“Pepper”,通过对“观察”到的面部表情和“听”到的语音语调的分析,“Pepper”能够知晓人当时的情绪状态并给予相应的语言或动作应对。2018 年美国波士顿动力公司研制出能轻松完成奔跑、跨越障碍、旋转、跳跃、后空翻等一连串高难度动作的人形机器人。

2020 年 12 月 29 日,美国波士顿动力公司发布了旗下大狗机器人“Spot”、人形机器人“Atlas”和搬运机器人“Handle”辞旧迎新的“集体舞”,丰富的编舞、流畅的舞步、机器人之间娴熟的协同性,赢得不少网民由衷的称赞。2020 年 7 月 23 日随我国第一个火星探测器“天问一号”发射升空的我国首辆火星车“祝融”号,于 2021 年 5 月 15 日登陆火星并开始对火星的巡视探测工作,有人称之为中国机器人成功登陆火星。北京冬奥会于 2022 年 2 月 4 日开幕,赛时有消杀机器人、烹饪机器人、送货机器人和清废机器人等 100 多个智能机器人在主媒体中心、为媒体记者提供消杀、烹饪、送餐、清废等服务。

### 2.6.2 机器人的分类

机器人通常分为三类:工业机器人、服务机器人和特种机器人。

工业机器人是面向工业生产领域的多关节机械手或多自由度机器人,主要包括焊接机器人、喷涂机器人、装配机器人、搬运机器人、码垛机器人、自动牵引车、清洁机器人等。

服务机器人应用于人类的非生产性场合,主要包括家庭机器人、教育机器人、娱乐休闲机器人、医用机器人、残障辅助机器人、物流机器人、住宅安全和监视机器人等,主要承担维护保养、修理、拣货、运输、配送、清洗、保安、救援、监护以及教育、娱乐、医疗、养老、康复、助残等工作。

特种机器人是用于特殊环境的机器人,主要包括抢险救灾机器人、消防机器人、空间探测机器人、水下探测机器人、危险环境作业机器人和反恐防

暴机器人等。

### 2.6.3 我国的机器人产业规划

各国都高度重视机器人的研发、产业发展与应用推广。美国、德国、日本、韩国等国政府近几年来陆续发布规划、政策等，旨在支持本国智能机器人的研发与产业化。

2016年3月，我国工业和信息化部、国家发展和改革委员会、财政部等三部委联合印发了《机器人产业发展规划（2016—2020年）》（以下简称《发展规划》）。

《发展规划》提出到2020年要实现的主要目标如下：

（1）产业规模持续增长。自主品牌工业机器人年产量达到10万台，六轴及以上工业机器人年产量达到5万台以上。服务机器人年销售收入超过300亿元，在助老助残、医疗康复等领域实现小批量生产及应用。

（2）技术水平显著提升。工业机器人速度、载荷、精度、自重比等主要技术指标达到国外同类产品水平，平均无故障时间达到8万小时；医疗健康、家庭服务、反恐防暴、救灾救援、科学研究等领域的服务机器人技术水平接近国际水平。

（3）集成应用取得显著成效。完成30个以上典型领域机器人综合应用解决方案，并形成相应的标准和规范，实现机器人在重点行业的规模化应用，机器人密度达到150以上。

5年来，我国已初步形成较为完整的机器人产业体系，产业规模快速增长。2021年，中国机器人市场规模达到839亿元，占全球市场近40%。工业机器人、服务机器人、特种机器人的市场规模分别占据中国机器人市场的53%、36%和11%。国际机器人联合会（IFR）发布的数据显示，截至2021年7月，我国已连续8年保持全球最大和增速最快的工业机器人市场。到2019年，国内制造业机器人密度已达到187，明显高于全球平均113的水平。机器人密度是指每万名产业工人所拥有的机器人台数。

## 2.7 自动驾驶汽车

自动驾驶汽车 (Autonomous Vehicles) 简称自动驾驶, 是一种通过计算机系统自动行驶的智能汽车, 自动驾驶也称为无人驾驶。自动驾驶汽车依靠人工智能、视觉计算、雷达、监控装置和全球定位系统的协同合作, 让计算机在没有任何人主动操作的情况下, 自动安全地操作机动车辆。

### 2.7.1 自动驾驶汽车的发展

自动驾驶汽车已有数十年的发展历史, 21 世纪初随着人工智能的快速发展呈现出接近实用化的趋势。

1986 年, 在瑞迪教授的主持下, 卡内基梅隆大学研发出第一辆基本具备自动驾驶汽车特征的原型车 (Navlab), 最高时速为 32 千米。2005 年, 斯坦福大学研发的名为 Stanley 的自动驾驶汽车参加了美国国防高等研究计划署举办的自动驾驶挑战赛并获得冠军。挑战赛引起了大众对自动驾驶的关注。

2009 年, 谷歌研发的自动驾驶汽车围绕谷歌总部的核心园区转了一圈, 完成了直行、转弯、上坡、下坡、避开其他车辆等行驶动作。2010 年 10 月, 谷歌公司在官方博客中宣布, 正在开发自动驾驶汽车, 目标是通过改变汽车的基本使用方式, 协助预防交通事故, 将人们从大量的驾车时间中解放出来。2012 年 5 月, 谷歌获得了美国内华达州机动车辆管理局颁发的美国历史上首个自动驾驶汽车许可证。截至 2016 年, 谷歌自动驾驶汽车的测试里程已经超过 200 万英里 (约 322 万千米)。

1987 年, 我国国防科技大学研制出一辆自动驾驶原型车。2003 年, 国防科技大学和一汽集团合作, 在一辆红旗轿车上安装了自动驾驶系统, 最高时速达 130 千米。2011 年, 改进后的自动驾驶红旗轿车完成了从长沙到武汉的公路测试, 总里程 286 千米, 其中人工干预 2240 米。

2014 年 7 月, 百度公司启动“百度无人驾驶汽车”研发计划。2015 年 12 月, 百度无人驾驶车实现了国内首次城市、环路及高速道路混合路况下的全

自动驾驶。百度无人驾驶车往返全程均自动驾驶，并实现了多次跟车减速、变道、超车、上下匝道、调头等复杂驾驶动作，完成了进入高速（汇入车流）到驶出高速（离开车流）的不同道路场景的切换。测试时最高时速达到100千米。2018年2月15日，百度无人车阿波罗（Apollo）亮相央视春晚，由它引领的上百辆车在港珠澳大桥上穿行而过，并在无人驾驶模式下完成“8”字交叉跑的高难度动作。

2017年12月2号上午，由海梁科技携手深圳巴士集团、安凯客车、中兴通讯等单位联合打造的自动驾驶客运巴士——阿尔法巴士（Alphabus）正式在深圳福田保税区的开放道路上进行线路的信息采集和试运行，这也是全球首次在开放道路上进行智能驾驶公交试运行。

2021年11月25日，北京正式开放国内首个自动驾驶出行服务商业化试点，67辆百度自动驾驶出租车获准在北京亦庄经济技术开发区提供有偿服务，顾客通过“萝卜快跑”APP约车付费。

投入运营的车辆是百度公司和一汽（中国第一汽车集团有限公司）联手打造的中国首批前装量产L4级自动驾驶乘用车——红旗EV，它是中国首辆前装量产的共享无人车（Robotaxi），也是百度Apollo第四代共享无人车。

红旗EV配备有1架40线激光雷达、2架毫米波雷达、9个摄像头、1组超声波雷达。红旗EV前装了Apollo定制版OBU（车载单元），能够和智能网联路侧设备进行L4级车路协同感知驾驶，实现聪明的车与智能的路紧密结合。

截至目前，百度Apollo测试总里程超过1800万千米，已在北京、上海、广州、长沙、沧州五地开放示范应用，累计接待乘客超过40万人次。需要说明的是，目前的运营车辆仍需配备一名安全员坐在前排，以便在必要时采取干预措施。

### 2.7.2 自动驾驶汽车的分级

为了更好地区分不同层级的自动驾驶技术，国际自动机工程师学会（SAE-International）于2014年发布了自动驾驶的6级分类体系，2021年5

月又发布了更新后的 SAE J3016 标准。参照 SAE J3016 标准，我国制定了《汽车驾驶自动化分级》国家标准（GB/T 40429—2021），该标准将于 2022 年 3 月 1 日起实施。

国标规定，在汽车驾驶自动化的 6 个等级之中，0~2 级为驾驶辅助，系统辅助人类执行动态驾驶任务，驾驶主体仍为驾驶员；3~5 级为自动驾驶，系统在设计运行条件下代替人类执行动态驾驶任务，当功能激活时，驾驶主体是系统。0 级为完全的人工驾驶，5 级为完全的自动驾驶，1~4 级由人工为主逐步过渡到以自动为主。各级名称及定义如下：

0 级驾驶自动化（应急辅助）系统不能持续执行动态驾驶任务中的车辆横向或纵向运动控制，但具备持续执行动态驾驶任务中的部分目标和事件探测与响应的能力。

1 级驾驶自动化（部分驾驶辅助）系统在其设计运行条件下持续地执行动态驾驶任务中的车辆横向或纵向运动控制，且具备与所执行的车辆横向或纵向运动控制相适应的部分目标和事件探测与响应的能力。

2 级驾驶自动化（组合驾驶辅助）系统在其设计运行条件下持续地执行动态驾驶任务中的车辆横向和纵向运动控制，且具备与所执行的车辆横向和纵向运动控制相适应的部分目标和事件探测与响应的能力。

3 级驾驶自动化（有条件自动驾驶）系统在其设计运行条件下持续地执行全部动态驾驶任务。

4 级驾驶自动化（高度自动驾驶）系统在其设计运行条件下持续地执行全部动态驾驶任务并自动执行最小风险策略。

5 级驾驶自动化（完全自动驾驶）系统在任何可行驶条件下持续地执行全部动态驾驶任务并自动执行最小风险策略。

目前，市场上面向普通客户销售的汽车一般都提供了 1 级水平的配置选项，部分品牌可选配到 2 级水平。专用的自动驾驶汽车可达到 3~4 级的水平。

## 第3章 智慧教育

在我国，教育承担着培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人的根本任务。面对人工智能的发展与应用，教育工作者要思考两个问题，一是如何利用人工智能技术提升教育教学水平；二是如何开展高质量的人工智能教育。目标是培养出符合数字时代要求的高素质公民。

### 3.1 教育信息化

人工智能是基于计算机技术、网络技术、大数据技术等发展起来的，利用人工智能技术提升教育教学水平，实际上就是基于教育的信息化建设来提升教育教学水平，信息化是智能化的基础，智能化是信息化的高级阶段。《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》明确指出：“信息技术对教育发展具有革命性影响，必须予以高度重视。”《教育信息化十年发展规划（2011—2020年）》强调：“我国教育改革和发展正面临着前所未有的机遇和挑战。以教育信息化带动教育现代化，破解制约我国教育发展的难题，促进教育的创新与变革，是加快从教育大国向教育强国迈进的重大战略抉择。”

#### 3.1.1 教育信息化 1.0

《2006—2020年国家信息化发展战略》对信息化的定义是：“信息化是充分利用信息技术，开发利用信息资源，促进信息交流和知识共享，提高经济增长质量，推动经济社会发展转型的历史进程。”教育承担着为经济社会发展培养高素质建设者的重任，教育信息化是国家信息化建设的重要组成部分和

战略重点。著名的教育信息化专家南国农教授认为：“教育信息化是指在教育中普遍运用现代信息技术，开发教育资源，优化教育过程，以培养和提高学生的信息素养，促进教育现代化的过程。”

关于我国教育信息化的起源与阶段划分，有多种不同的观点。陈琳教授等把我国的教育信息化划分为 5 个发展阶段：孕育萌芽期（1983 至 1994 年）、起步混搭期（1995 至 1999 年）、奠基普及期（2000 至 2011 年）、应用提升期（2012 至 2017 年）和融合转型期（2018 年至今）。

1995 年，中国教育和科研计算机网（China Education and Research Network, CERNET）接入国际互联网。在学校网络建设的早期，很多高校都是通过 CERNET 接入互联网的，这标志着我国教育信息化正式起步。

1995 年之前，学校的计算机应用主要以单机应用为主，1995 年之后逐步开始联网应用。截至 2001 年底，全国已有 70% 左右的高等院校建立了不同层次和规模的校园网，网络已连接到校内的主要办公楼、教学楼、实验楼、图书馆，并建立了网络中心和多媒体教室。全国中小学拥有 367 万台计算机，平均 51 人一台。建有校园网的中小学校 10 687 所，占全国中小学校数的 1.8%。

2002 年 9 月，教育部颁布《教育信息化“十五”发展规划（纲要）》，这是第一个全国性的教育信息化规划；2012 年 3 月，教育部颁布《教育信息化十年发展规划（2011—2020 年）》；2016 年 6 月，教育部颁布《教育信息化“十三五”规划》。这几个规划的颁布与实施，促进了教育信息化的快速推进。截至 2015 年底，全国中小学校互联网接入率已达 87%，多媒体教室普及率达 80%；优质数字教育资源日益丰富，信息化教学日渐普及；全国 6000 万名师生已通过“网络学习空间”探索网络条件下的新型教学、学习与教研模式。

2018 年 4 月，教育部印发《教育信息化 2.0 行动计划》（以下简称《行动计划》），标志着我国的教育信息化建设已进入 2.0 阶段。

### 3.1.2 教育信息化 2.0

教育信息化 1.0 阶段主要是硬件环境建设，由计算机单机应用逐步过渡

到计算机联网应用，完成了“三通两平台”任务，即实现了“宽带网络校校通、优质资源班班通、网络学习空间人人通”，建设了“教育资源公共服务平台”和“教育管理公共服务平台”，通过教育信息化建设促进了教育资源建设与应用，提升了教育管理水平。

2.0 阶段在继续提升计算机网络和平台建设水平的基础上，主要推进人工智能、大数据和区块链等技术的应用。总体要求是：构建网络化、数字化、智能化、个性化、终身化的教育体系，建设人人皆学、处处能学、时时可学的学习型社会。近期目标是：到 2022 年基本实现“三全两高一大”的发展目标，即教学应用覆盖全体教师、学习应用覆盖全体适龄学生、数字校园建设覆盖全体学校，信息化应用水平和师生信息素养普遍提高，建成“互联网+教育”大平台，推动从教育专用资源向教育大资源转变、从提升师生信息技术应用能力向全面提升其信息素养转变、从融合应用向创新发展转变，努力构建“互联网+”条件下的人才培养新模式，发展基于互联网的教育服务新模式，探索信息时代教育治理新模式。

## 3.2 教育智慧化

### 3.2.1 智慧教育的内涵

进入教育信息化 2.0 阶段前后，两个重要文件相继出台。一是 2017 年 7 月国务院印发的《新一代人工智能发展规划》（以下简称《发展规划》）；二是 2018 年 4 月教育部印发的《行动计划》。

《发展规划》把智能教育列为重点任务之一。《行动计划》提出了 8 项行动：数字资源服务普及、网络学习空间覆盖、网络扶智工程攻坚、教育治理能力优化、百区千校万课引领、数字校园规范建设、智慧教育创新发展、信息素养全面提升。一定意义上讲，《行动计划》中的前 6 项行动都是为建设智慧教育奠定基础、创造条件，智慧教育创新发展是标志性行动，智慧教育的目标是全面提升学生的信息素养、培养创新人才。

两个重要文件分别正式使用了“智能教育”和“智慧教育”概念，意味着教育信息化 2.0 阶段的主要任务是推进教育的智能化，即发展智慧教育。

《发展规划》定义了智能教育的基本内涵：利用智能技术加快推动人才培养模式、教学方法改革，构建包含智能学习、交互式学习的新型教育体系。开展智能校园建设，推动人工智能在教学、管理、资源建设等全流程应用。开发立体综合教学场、基于大数据智能的在线学习教育平台。开发智能教育助理，建立智能、快速、全面的教育分析系统。建立以学习者为中心的教育环境，提供精准推送的教育服务，实现日常教育和终身教育定制化。

《行动计划》列出了发展智慧教育的主要任务和路径：

(1) 开展智慧教育创新示范。设立 10 个以上“智慧教育示范区”，开展智慧教育探索与实践，推动教育理念与模式、教学内容与方法的改革创新，提升区域教育水平。

(2) 构建智慧学习支持环境。大力推进智能教育，开展以学习者为中心的智能化教学支持环境建设，探索泛在、灵活、智能的教育教学新环境建设与应用模式。

(3) 加快面向下一代网络的高校智能学习体系建设。适应 5G（第五代移动通信技术）网络技术发展，服务全时域、全空域、全受众的智能学习新要求，以增强知识传授、能力培养和素质提升的效率和效果为重点，形成泛在化、智能化学习体系。

(4) 加强教育信息化学术共同体和学科建设。设立长期研究项目和研究基地，形成持续支持教育信息化基础研究、应用研究和技术开发的长效机制。加强智能教学助手、教育机器人、智能学伴、语言文字信息化等关键技术研究与应用。

2019 年 5 月，教育部公布了首批“智慧教育示范区”建设名单，包括北京市东城区、山西省运城市、上海市闵行区、湖北省武汉市、湖南省长沙市、广东省广州市、四川省成都市武侯区、河北省雄安新区等 8 个区域。教育部要求各入围区域要将信息化作为教育现代化的重要驱动力，加快信息化时代教育变革。通过完善政策环境、健全制度体系、创新推进机制，与时俱进地

革新教育理念、优化教育体制、构建教育生态，以促进信息技术特别是智能技术与教育教学深度融合为核心，以能力素养培育为重点，大力推动人才培养模式变革，满足新时代和信息社会创新人才培养需求，更好地服务社会主义现代化强国建设。

### 3.2.2 智慧教育的应用场景

智慧教育就是在信息技术和智能技术深度融入教育全过程的基础上，为教师、学生和教育工作者提供智能化服务，智慧教育的应用范围很广。中国人工智能学会组编的《中国人工智能发展报告（2019—2020）》给出了“人工智能+教育”（智慧教育）的5个典型应用场景：

（1）智能教育环境。以人工智能技术作为智能引擎，建立支持多样化学习需求的智能感知能力和服务能力平台，实现以泛在性、社会性、情境性、适应性、连接性等为核心特征的泛在学习。

（2）智能学习过程支持。针对学习过程中的各类场景进行智能化支持，形成诸如智能学科工具、智能机器人、机器人学伴与玩具、特殊教育智能助手等学习过程中的支持工具，从而实现学习者和学习服务的交流、整合、重构、协作、探究和分享。

（3）智能教育评价。人工智能技术不仅仅会在试题生成、自动批阅、学习问题诊断等方面发挥重要作用，更重要的是还可以对学习者学习过程中知识、身体、心理状态进行诊断和反馈，在学生综合素质评价中发挥不可替代的作用。

（4）智能教师助理。人工智能将代替教师从事日常工作中重复、单调、规则的工作，缓解教师的工作压力。人工智能技术还可以增强教师的能力，使得教师能够处理以前无法处理的复杂事项，对学生提供以前无法提供的个性化、精准化的支持。

（5）教育智能管理与服务。通过大数据的收集和分析建立起智能化的管理手段，形成人机协同的决策模式，可以洞察教育系统运行过程中的问题本质与发展趋势，实现更高效的资源配置，有效提升教育质量并促进教育公平。

### 3.3 中小学人工智能教育

#### 3.3.1 中小学人工智能教育的必要性

在中小学开展人工智能教育，对于提升青少年的数字素养与技能，使其更好地适应数字社会具有重要作用。在中小学开展人工智能教育，还能激发更多学生学习了解人工智能的兴趣与潜力，为高校选拔培养大批具有创新精神创新能力的人工智能高端人才打下坚实基础。

《发展规划》提出要求：实施全民人工智能教育项目，在中小学阶段设置人工智能相关课程，逐步推广编程教育。《普通高中信息技术课程标准（2017年版）》正式纳入了人工智能教学内容，在必修模块“数据与计算”中提出了“了解人工智能技术，认识人工智能在信息社会中的重要作用”的学业要求。还设置了选择性必修模块“人工智能初步”，包括人工智能基础、简单人工智能应用模块开发、人工智能技术的发展与应用三部分内容，学业要求是：“能描述人工智能的基本特征，会利用开源人工智能应用框架搭建简单智能系统。了解人工智能的新进展、新应用（自动翻译、人脸识别、自动驾驶等），并能适当运用在学习和生活中。了解人工智能的发展历程，能客观认识人工智能技术对社会生活的影响。”2019年以来，教育部把中小学人工智能教育相关工作列入每年的年度《教育信息化和网络安全工作要点》中重点推进。

上述政策措施有力推动了我国中小学人工智能教育的开展，很多中小学教师在学校的支持下，结合学校自身条件和学生基础积极探索人工智能教育，取得了良好的教学效果。但是，由于受重视程度、师资队伍、学时数、教材、实验条件等多种因素的影响，不同地区不同学校开展人工智能教育的情况差异较大。

#### 3.3.2 分学段实施分层次模块化教学

中国人民大学附属中学是较早开设人工智能课程的中学，通过普及人工智能教育、构建人工智能课程体系，使学生对人工智能实现从感知到认知，

再到创新的提升，全面提升学生的信息素养。学校构建了一套“人工智能+X”的中学人工智能课程体系，取得了很好的教学效果，起到了引领和示范作用。

基于人大附中的教学实践，人大附中信息技术教研组长、北京市特级教师袁中果博士等提出了分学段实施分层次模块化教学的中小学人工智能教育方案，方案的主要内容如下：

在小学，以体验为主，重在感知。只设计了核心课程“走近人工智能”，没有进阶课程。目的是让小学生对人工智能有所接触、了解和体验，以人工智能知识类故事、游戏化机器人体验、趣味教学课程为主。通过体验人工智能技术在生活学习中的运用实例，了解人工智能发展史以及机器学习的概念；发现生活中的人工智能的案例；了解人工智能给社会发展带来的变化，感知人工智能的无处不在，并能够正确地认识这些变化带来的利弊。

在初中，以发现为主，重在认知。设计了核心课程和进阶课程。核心课程“人工智能入门”让学生了解人工智能的概念、发展历程、里程碑事件、发展趋势等，初步了解机器学习的原理，了解一些核心算法，了解专家系统、自然语言处理、图像识别等概念，了解人工智能哲学基础与伦理，能利用模块化编程调用相关库函数进行人工智能项目的实践。在“人工智能进阶”课程中，学生能够利用所学知识基于智能硬件、机器人等设施，结合人工智能算法，实现如无人驾驶等实践项目；利用人工智能算法进行语音识别与合成；掌握自然语言处理方法，能够利用算法进行词频统计、情感分析以及语义分析等。

在高中，以探究为主，重在创新。设计了核心课程和进阶课程，核心课程内容要求可以参考《普通高中信息技术课程标准（2017年版）》中“人工智能初步”模块的内容要求。进阶课程设置了人工智能专业模块和人工智能+X模块。人工智能专业模块供学生分专业方向深入学习，如机器学习、强化学习、数据挖掘、计算视觉等。人工智能+X模块要求学生掌握人工智能知识与技术在语文、数学、生物、地理、社会学等学科中的应用方法，能够结合人工智能知识与技术实现跨学科的实践操作。

### 3.3.3 重视价值引领和伦理教育

人工智能具有较为明显的双面性，既可以借助其提高学习质量和工作效率，也可以用其作弊和作假；既能给使用者带来便利，使其获得更好的服务，也能泄露使用者的个人隐私。青少年正处在世界观、价值观形成的关键时期，针对青少年开展人工智能教育更要注重价值引领和伦理教育。青少年信息技术教育专家熊璋教授曾发文《青少年人工智能教育更应重视立德树人》。熊璋教授认为，青少年人工智能教育更应当具有鲜明的价值观导向，其核心在于教育青少年形成正确的使用目的、科学的使用方法和健康的使用生态，避免他们在使用人工智能时伤害自身、他人与社会。青少年人工智能教育的目标是与人工智能相得益彰，科学理解人与人工智能在解决实际问题时的异同，主动利用人工智能提升自身的学习与生活质量，正确理解人工智能对社会的双面性作用，接受其正面影响，拒绝其负面行为；在人工智能社会中随时随地注意保护自己的隐私与安全。面对人工智能日益普及的真实冲击，亟须学校、家长乃至社会的正确引导。

在中小学开展人工智能教育不是简单的开一门课、做几个实验、演示几个案例，而是要在如下几个方面积极探索：

(1) 做到价值引领、知识传授和能力培养的有机统一。在知识传授、能力培养的同时注重正确的价值观教育和伦理教育，引导学生从开始接触人工智能就能正确认识人工智能的双面性，明晰利用人工智能能做什么事情，不能做什么事情，为以后正确使用人工智能打好认识基础。

(2) 创新教学模式。从人工智能课程改起，改变重知识传授、轻兴趣培养，重老师讲授、轻学生实践的传统教学模式，更多地引导学生“玩中学、做中学、合作学、研讨学”，以实践操作带动知识学习，以激发学生的学习兴趣 and 探索欲望、培养学生的创新意识合作精神为主。

(3) 培养学生的科学家精神。人工智能研究经历了几次低谷与热潮的交替才有近些年的重大突破，即使处于“寒冬”期，都有国内外人工智能科学家执着奋斗的身影，以这种科学家精神启发学生树立远大理想并为实现理想

做出坚持不懈的努力。

### 3.4 大学人工智能教育

如果说中小学（人工智能）教育的目的之一是为培养人工智能高端人才做准备，那么大学则承担着直接培养人工智能高端人才的重任。《发展规划》提出：完善人工智能领域学科布局，设立人工智能专业，推动人工智能领域一级学科建设，尽快在试点院校建立人工智能学院，增加人工智能相关学科方向的博士、硕士招生名额。从2018年开始，高校正式设置“人工智能”专业，已有清华大学、南京大学等345所高校开设了“人工智能”专业。北京大学、清华大学等高校开设了人工智能实验班。

#### 3.4.1 北京大学的“通班”

北京大学是我国最早开展人工智能研究的大学之一，1988年成立了人工智能领域最早的国家重点实验室之一，2002年创办了中国第一个智能科学系，2004年在国内率先招收“智能科学与技术”专业本科生，2007年最早建成本、硕、博完整的人工智能培养体系。

为培养“通识+通智+通用”的世界顶尖复合型人才，北京大学人工智能研究院组建了北京大学通用人工智能实验班（简称“北大通班”或“通班”），将顶尖人才引入通用人工智能领域，为有志于在人工智能相关领域发展的同学提供国际一流的学习平台与交流环境。

“通班”的特色：

（1）以人工智能为核心的知识体系。课程设置涵盖人工智能的六大核心领域，包括视觉、语言、认知、机器人、机器学习、多智能体等。课程体系及实践项目将帮助学生打下扎实的科研基础、完善人工智能领域的知识结构，为未来深化人工智能技术研究、拓展人工智能应用边界、转化人工智能发展成果做好准备。

（2）以交叉学科为补充的方向选择。结合北大优势学科，推出人工智

能+人文、艺术、社科、伦理、国学、法制等交叉课程，提高学生的综合素养，培养未来人工智能领域的引领者。

(3) 以前沿研究为导向的广阔视野。对优秀本科学生进行预研培养，讲授最前端的学科知识，探讨最前沿的学术课题，根据学生的学习兴趣和因材施教，在人工智能各个核心领域中提供科研指导，培养学生的科学家气质，以期其成为人工智能行业内世界级的领袖与学者。

(4) 以思想自由为风格的智能学派。背靠北京大学人工智能研究院，拥有多元化、国际化背景的师资力量，提供学生与大师同行、教学相长的学习环境，形成通用人工智能方向上多元学科、学说交叉融合的学派。

“通班”定期邀请来自全球范围内高校的知名学者与来自工业界 AI 实验室的顶尖科学家进行学术交流，通过自由参与的大型讲座、小型研讨会等形式，开阔学生眼界，提高其科学审美。

从北大相关专业的学生中选拔的首批 26 名学生已经在 2021 年春季学期开课。

实验班北大人工智能研究院院长朱松纯教授领衔。朱松纯教授是全球著名计算机视觉专家、统计与应用数学家、人工智能专家，他曾多次获得国际大奖，3 次问鼎计算机视觉领域国际最高奖项——马尔奖，两次担任国际计算机视觉与模式识别大会主席（CVPR2012 和 CVPR2019），曾任美国加利福尼亚大学洛杉矶分校（UCLA）计算机视觉、认知、学习与自主机器人中心主任。

2021 年 11 月，在人工智能研究院、王选计算机研究所和智能科学系的基础上成立了北京大学智能学院，朱松纯教授担任院长。

### 3.4.2 清华大学的“智班”

清华大学从 2019 年开设“人工智能学堂班”（简称“智班”），由清华大学交叉信息研究院院长姚期智教授担任首席教授。

“智班”旨在培养人工智能领域领跑国际的拔尖科研创新人才，并通过其广基础、重交叉的培养模式，打造学科间的深层交叉合作平台，进一步促进

不同学科之间的交叉结合；并在助力不同学科发展的同时，深化对人工智能前沿的理解，并进一步推进人工智能发展。

姚期智教授认为，中国当前的人工智能研究和发展面临两个问题：一是缺乏创新性的跨领域应用系统，另一方面是在算法和理论方面缺乏突破。针对这两方面，姚期智教授于2011年创办的清华大学交叉信息研究院已经具备了强大的实力。人工智能的应用离不开学科交叉，“智班”的成立将通过本科生的人才培养，来推动我国的人工智能和学科交叉应用的发展。

“智班”从2019年秋季开始招收本科生，每年计划招收30人。在低年级，将通过数学、计算机与人工智能的核心课程，为学生打下扎实宽广的基础；在高年级，将通过交叉联合AI+X课程项目的方式，使学生有机会将人工智能与其他学科前沿相结合，在以人工智能促进不同学科发展的同时，深化对人工智能的理解，推动人工智能前沿的发展。同时，“智班”的同学将获得与相关产业的联合实习机会，深入了解实际产业中的前沿基础科学问题，并通过人工智能知识与技术的，加强人工智能在不同产业中的推广与应用。在应用中对人工智能技术进行进一步推广与发展，并为产业发展提供坚实技术基础。

姚期智教授是世界著名计算机学家、中国科学院院士、美国科学院外籍院士。因对计算理论包括伪随机数生成、密码学与通信复杂度的突出贡献，姚期智教授被授予2000年度图灵奖，成为设立图灵奖以来首位获奖的亚裔学者，也是迄今为止获此殊荣的唯一华裔计算机科学家。

### 3.4.3 南京大学的人工智能专业

南京大学是最早开设“人工智能”本科专业的35所高校之一。2019年5月，南京大学人工智能学院正式出版了《南京大学人工智能本科专业教育培养体系》（以下简称《培养体系》），《培养体系》汇集了院长周志华教授《对创建一流大学人工智能教育的思考》、南京大学人工智能专业本科培养方案、方案中所列数学基础课程和专业课程的教学大纲等内容，是国内最早公开出版的人工智能本科专业教育培养体系。

《培养体系》中的毕业要求分为素质结构要求、能力结构要求和知识结构要求。

### 1. 素质结构要求

思想道德素质：热爱祖国，拥护中国共产党的领导，具有科学的世界观、人生观和价值观；具有责任心和社会责任感；具有法律意识，自觉遵纪守法；热爱本专业，注重职业道德修养；具有诚信意识和团队精神。

文化素质：具有一定的文学艺术修养和现代意识，具有国际视野和跨文化的交流竞争与合作能力。

专业素质：掌握科学思维方法和科学研究方法；具备求实创新意识和严谨的科学素养；了解与本专业相关的产品研发、生产、设计的法律、法规，熟悉环境保护和可持续发展等方面的方针、政策和法律、法规，能正确认识科学研究与工程应用对于客观世界和社会的影响，具有一定的工程意识和效益意识。

身心素质：具有较好的身体素质和心理素质。

### 2. 能力结构要求

基本能力：具有适应发展及终身学习的能力；掌握文献检索、资料查询及其他手段获取相关信息的基本方法；具有较强的表达能力和人际交往能力以及在团队中发挥作用的能力。

专业能力：具备良好的数学能力和牢固的计算机专业知识基础；掌握扎实的人工智能基础理论和专业知识，了解前沿发展现状和趋势；具有扎实的思考、分析和解决问题的能力，具体表现为良好的算法能力、系统能力、人工智能应用能力以及和其他学科的融合及创新应用能力；具有扎实的工程基础知识和实践能力。

创新能力：具备以互联网、大数据及人工智能为核心的创造性思维能力，具备人工智能理论、技术、应用及交叉学科融合的科学研究能力以及对新知识、新技术的敏锐性。

### 3. 知识结构要求

工具性知识：外语、文献检索、科技写作等。

人文社会自然科学知识：文学、哲学、政治学、社会学、法学、思想道德、职业道德、艺术、大学物理等。

数学基础知识：数学分析、高等代数、概率论、数理统计、离散数学、最优化方法、数理逻辑等。

学科基础知识：人工智能导论、数据结构与算法分析、程序设计基础、人工智能程序设计、机器学习导论、知识表示与处理、模式识别与计算机视觉、自然语言处理、数字系统设计基础、计算机系统基础、操作系统等。

专业方向知识：泛函分析、数字信号处理、高级机器学习、计算方法、控制理论与方法、机器人导论、多智能体系统、分布式与并行计算等。

数学拓展知识：数学建模、矩阵计算、随机过程、组合数学、博弈论及其应用、时间序列分析等。

学科拓展知识：编译原理、随机算法、数据库概论、形式语言与自动机、计算机体系结构、软件体系结构等。

专业拓展知识：自动规划、归纳逻辑程序设计、学习理论导论、概率图模型、强化学习、神经网络、启发式搜索与演化算法、信息检索、语音信号处理、深度学习与应用、复杂结构数据挖掘等。

交叉复合知识：认知科学导论、神经科学导论、计算语言学、计算金融、计算生物学导论、智能硬件与新器件、传感器设计与应用、人工智能伦理等。

应用实践知识：智能系统设计与应用、智能应用建模、机器学习与系统平台、机器人系统开发、人工智能企业实训。

2019年9月，西安交通大学人工智能学院出版了《人工智能本科专业知识体系与课程设置》，西安电子科技大学人工智能学院出版了《人工智能学院本硕博培养体系》，3所学校的人工智能专业培养体系（知识体系）对国内正在快速发展的人工智能专业人才培养具有示范和引领作用。

#### 3.4.4 人工智能通识教育

近几年，人工智能得到快速发展，并在教育、医疗、司法、金融等多个

领域得到广泛应用,人工智能知识已成为各专业共同的基础知识。教育部在2018年4月发布的《高等学校人工智能创新行动计划》中明确要求“构建人工智能专业教育、职业教育和大学基础教育于一体的高校教育体系”“将人工智能纳入大学计算机基础教学内容”。即在高等学校,除了新开设“人工智能”专业外,还要面向所有专业讲授“人工智能”通识教学内容。

虽然一些中小学校近几年在探索开设人工智能课程或在信息技术课程中讲授人工智能内容,但更多的中小学校还没有真正落实人工智能教育。近几年入学的大部分大学生在中小学是没有学过人工智能知识的,在大学开设人工智能通识课或讲授相关内容是必要的。即使以后中小學生普遍接受了必要的人工智能教育,高等学校也需要在对接中小学人工智能教育的基础上,进一步开展更高层次的人工智能教育。

人工智能教育要与培养学生的数字素养与技能结合起来一体推进,高等学校人工智能通识课面向全体学生开设,其任务是激发学生对人工智能的学习兴趣;使学生了解人工智能的发展应用现状及未来趋势,掌握必要的人工智能方法及应用技术,能够独立或与人工智能专业人员合作融合人工智能技术解决本专业问题;理解人工智能发展给本专业发展及个人职业发展带来的机遇与挑战。

面向大学生的人工智能通识课程教学内容可以包括如下几个模块:

(1) 人工智能的发展简史。主要包括人工智能的起源、人工智能的定义、人工智能的发展历程、人工智能的发展目标等内容。

(2) 人工智能的应用。主要包括人工智能在博弈、定理自动证明、自然语言处理、计算机视觉、语音识别、智能机器人、自动驾驶汽车等领域的应用。结合学生所学专业,还可以介绍与学生专业相关的应用,如智慧教育、智慧医疗、智慧司法、智慧金融等。

(3) 人工智能方法。主要介绍以k-近邻方法、决策树方法、贝叶斯方法、支持向量机为代表的分类方法,以k-均值方法、k-中心点方法、DBSCAN密度方法为代表的聚类方法,以多层神经网络为代表的深度学习方法。

(4) 人工智能的未来发展趋势。主要介绍相关机构与专业人士对人工智

能未来发展的展望、为保证人工智能安全、可靠、可控发展相关组织所制定的伦理规则、5G 对人工智能应用的助推作用。

(5) 人工智能基础。主要介绍高性能计算机、大数据、高质量算法相关内容。近几年深度学习模型带来了人工智能的落地应用，而高性能计算机、基于互联网收集的大数据和高质量算法是训练深度学习模型的基础保障。

根据学生的不同基础与不同专业，可以对上述内容进行适当裁剪与补充，如果实验条件和教学时数允许，还可以开展必要的实践练习，通过编程实现机器学习方法、深度学习方法以解决一些合适的实际问题。

通过对上述教学内容的讲授、实践、讨论，引导学生了解人工智能的重要作用与未来发展趋势；理解人工智能系统的工作原理，进而思考用人工智能系统解决问题时的优势与不足；培养提高自己与人工智能系统互补的能力素质，在人机协同场景下，更好地发挥自己的优势，更好地适应未来职业发展的需要，为社会做出更大的贡献。

### 3.4.5 “四新”建设与人工智能

面对人工智能的快速发展和应用范围与深度的不断拓展，不仅要着力培养一大批能够开展人工智能基础研究、应用研究和产品研发的人工智能专业人才，还要培养更多的能够把人工智能产品应用于各行各业的人才，他们是既精通自身专业，又具备一定的人工智能知识与应用能力的复合型人才。

在人工智能系统、人工智能产品、智能机器人逐步广泛应用于各行各业的数字时代，为保证各专业学生毕业后能够更好地适应工作岗位对综合素质的新要求，近几年教育部和各高校积极推进“四新”建设，即新工科、新医科、新农科和新文科建设。“四新”建设除了各学科专业原有培养体系的改革创新外，还有一个重要方面，就是要把包括人工智能、大数据在内的新一代数字技术融入学科专业建设，以适应数字时代经济社会发展对高素质人才在数字技术知识、能力和思维上的新需求。

新工科建设主要从两个方面推进，一方面是设置和发展一批新兴工科专业，另一方面是推动现有工科专业的改革创新。大力发展大数据、云计算、

物联网应用、人工智能、虚拟现实、基因工程、核技术等新技术和智能制造、集成电路、空天海洋、生物医药、新材料等新产业相关的新兴工科专业。更新改造传统学科专业，服务地矿、钢铁、石化、机械、轻工、纺织等产业转型升级、向价值链中高端发展。

新工科建设的目标是：促进学生的全面发展，把握新工科人才的核心素养，强化工科学生的家国情怀、全球视野、法治意识和生态意识，培养设计思维、工程思维、批判性思维和数字化思维，提升创新创业、跨学科交叉融合、自主终身学习、沟通协商能力和工程领导力。

近几年，新开设了一大批人工智能、数据科学与大数据技术、大数据管理与应用、物联网工程等新工科专业。对传统工科专业进行改造，开设了智能建造、智能交通、智能采矿工程、智能影像工程、智能测控工程、智能制造工程等专业。

新医科建设强调创新和智能，是传统医学与人工智能、大数据、机器人等数字技术的融合。在全球工业革命 4.0 和生命科学革命 3.0 的背景下，医疗逐渐向智能化方向发展，医学的目标从单纯的疾病诊治转向维护与促进健康。医学学科积极探索各具特点的新医科建设，例如，早在 2002 年上海交通大学医学院就开始探索临床医学专业“4+4”培养模式，旨在培养具备扎实的自然科学或人文社会科学知识、基础和临床医学知识，具备医学创新意识和创新能力，综合素质高的复合型卓越医学创新人才。医学院结合学校在生物材料、人工智能及转化医学等领域的学科优势，开设“生物材料学”“大数据分析”“医学成像技术及应用”和“医用机器人技术”等医工交叉课程。

近几年，手术机器人、导诊机器人、康复机器人、医学影像智能分析系统、智能辅助诊疗系统、在线挂号系统、在线诊疗系统、自助交费系统等智慧医疗、智慧医院系统和产品已在部分医院应用。新医科建设就是要适应这种新变化、新需求，让学生在学好医学专业知识的同时，学习相关的人工智能、大数据知识，努力成为高素质的医护人员。

新农科建设的主要工作是构建农林教育质量新标准，基于农林产业发展前沿，基于生产生活生态多维度服务，基于新兴交叉跨界融合科技发展，优

化增量，主动布局新兴农科专业，服务智慧农业、休闲农业、森林康养、生态修复等新产业、新业态发展；调整存量，用生物技术、信息技术、大数据技术、人工智能技术、工程技术等现代科学技术改造提升现有涉农专业，加速推进农林专业供给侧改革。

近几年，采摘机器人、施肥机器人、农药喷洒无人机、耕种用自动驾驶拖拉机、智能控制滴灌系统等智慧农业产品的应用越来越常见。新农科建设的目标就是培养出适应智慧农业发展的高素质农学人才。

新文科建设的主要任务是紧扣国家软实力建设和文化繁荣发展新需求，紧跟新一轮科技革命和产业变革新趋势，积极推动人工智能、大数据等数字技术与文科专业深度融合，积极发展文科类新兴专业，推动原有文科专业改造升级，实现文科与理工农医的深度交叉融合，不断优化文科专业结构，引领带动文科专业建设整体水平提升。

近几年，撰写新闻稿机器人、机器人律师、财务机器人、法庭审判辅助系统、机器翻译、自动文本分析、智能文物修复、自动语音记录等人工智能应用在工作效率、减轻工作人员负担的同时，也对工作人员提出了更高的要求。新文科建设旨在培养能够更好地适应岗位需求、综合素质高的文科人才。

### 3.5 人工智能给教育带来的机遇与挑战

随着人工智能的快速发展与广泛应用，经济社会发展对人才的综合素质提出了新要求，承担人才培养重任的教育要不断改革创新以适应这种新要求。

随着人工智能技术的不断发展和实用化，标准化、重复性、规则性的工作或工作环节将会逐步由人工智能系统完全取代，如车站、机场的安检工作，医院的挂号、收费工作，服务领域的客服工作，等等；还有一些工作将会被人工智能系统部分取代或辅助完成，如翻译、疾病诊断、新闻稿撰写等。就如同目前大多数工作场景需要计算机（网络）作为工作平台一样，以后各行各业的大多数工作场景都会有人工智能系统辅助。人机合作、人机协同是大

势所趋，人工智能负责标准化、重复性、规则性的工作，人负责关键的创新性工作。以“画龙点睛”为例来说，常规性的“画龙”工作交给人工智能来做，最关键的“点睛”工作由人来做，既减轻了人的负担，又能大大提高工作效率。

人工智能的发展与应用，对所有人来说，既是机遇也是挑战，这里我们只讨论给教育的两个主要方面——教师和学生带来的机遇和挑战。

### 3.5.1 教师的机遇与挑战

有了智能教学辅助系统。课前，这位能干的助手能提供初步的教学设计方案，能及时提供需要的知识与文献资料，会根据教学内容自动设计（选择）课上练习题目与课后作业，能根据需要自动生成小测或考试试卷的初稿；课中，在智慧教室，智能设备会实时分析学生的学习状态，教师可据此及时调整讲课进度与讲课方式；课后，智能教学助手能帮助教师批阅作业、评阅小测，并对成绩进行多维度分析供教师参考。智能教学辅助系统将教师从重复性、事务性的工作中解脱出来，让老师们有更多的时间和精力改进教学设计方案、完善试卷题目、个性化辅导有需要的学生。这些都是人工智能给教师带来的机遇。

伴随机遇而来的挑战主要在两个方面：一是如何培养学生的创新能力；二是如何适应新的教学场景。

（1）如何培养学生的创新能力。在人工智能时代，有创新能力才有竞争力，培养学生的创新能力是教师的职责所在。但是，培养学生的创新能力，需要教师更新教学理念，改变重知识传授、轻能力素质培养的传统理念；需要教师主动更新知识结构，既要不断了解所主讲课程的新知识、新发展，也要把相关的人工智能知识融入课程；需要教师更新教学模式，改变传统的以教师讲、学生听为主的教学模式，引入慕课学习、翻转课堂、研讨式教学等新型教学模式，引导学生积极思考、踊跃发言。总之，需要教师在不断学习的基础上，具备先进的教学思想、丰富的相关知识、良好的课堂组织能力，这对于所有教师来说都不是一个轻松的挑战。

(2) 如何适应新的教学场景。新的教学场景包括上课用的智慧教室、备课用的智能教学助手等。只有熟练掌握新的教学场景的操作使用方法,包括硬件的操作和软件的使用,才能发挥出其应有的效用,这对于所有教师,特别是中老年教师还是有一定挑战性的。

《人工智能时代的教育革命》的作者王作冰认为,人工智能的发展给劳动者提出了新的素质要求,只有前瞻性改革教育模式,才能培养出符合智能时代要求的劳动力。他还提出了10个方面的教育改革建议:

从边缘到主流:让AI教育走进课堂,在中小学开设人工智能与编程课程,并在教学中重视青少年创造力的培养。

从动脑思考到动手思考:让孩子们在“做中学,玩中学”,重视动手思考。孩子们小时候习惯于和机器一起愉快玩耍,长大了就能和机器一起高效工作。

从平均主义到一专多能:在具备多方面基本知识与能力的基础上,依据孩子的兴趣和热情开发其在某一方面的专长,有专长才有竞争实力。

从管理孩子到领导孩子:要从以教师为中心,以管束孩子为主的“管理孩子”模式,改变为以学生为中心,以启发引导为主的“领导孩子”模式,教师、家长要平等地和学生讨论交流,做到言传身教。

从标准化到非标准化:智能时代需要各具特色的创新人才,改标准化教育为个性化教育,发现并培养每位学生的特长。

从好成绩到好问题:在重视学好知识、取得好成绩的同时,要鼓励学生提出好问题,提出好问题意味着有深入思考,深入思考是创新的基础。

从温室到社群:引导学生积极参加社群,主动与人交流,培养沟通交流能力、合作能力、团队意识。

从重理轻文到文理兼修:重视综合素质的培养,文理知识、琴棋书画、诗词歌赋,各科知识最好都学一点儿。

从主课教学到专题学习:主课教学是指传统的面向知识的课程学习,专题学习是指为解决某个问题把多方面知识融合在一起的学习,学以致用。

从赢在起跑到赢在长跑:和“不要让孩子输在起跑线上”相比,更重要

的是培养孩子终身学习的兴趣和能力。

以上 10 个方面改革的目标就是培养学生的创新能力、沟通能力和学习能力，以适应智能时代的要求。

### 3.5.2 学生的机遇与挑战

有丰富的线上线下教学资源可选，可以反复回看老师的讲解；学习上遇到问题，能够得到教师或机器人教师的个性化指导；能够得到符合自己学习进度与理解程度的个性化学习内容与相应的练习题目，对于做错的题目，会得到有针对性的分析与指导；可以和学伴机器人共同学习和讨论，增加学习兴趣；等等。这些都是人工智能给学生带来的机遇。

相对于人工智能，人的优势在于具有创新能力、沟通能力和学习能力。对学生来讲，人工智能带来的挑战主要在于如何提升自己的创新能力、沟通能力和学习能力，更好地适应未来人机合作、人机协同的工作场景，并在其中发挥主导作用。

学生在学习阶段要注意处理好如下几对关系：

(1) 在线学习与传统学习的关系。随着智慧教育的不断推进，慕课资源越来越丰富，在线学习的比重逐步提高。在线学习具有灵活、方便、资源丰富，时时可学、处处可学的优点，但也有知识碎片化、缺少师生和生生之间面对面交流讨论等方面的不足。知识碎片化导致学生对知识的理解不深刻、不系统，师生和生生间面对面交流讨论不足，对思维和沟通能力的训练不够。这些都不利于创新意识和创新能力的培养。要正确处理好在线学习与传统学习（面对面听老师讲课、认真看书、深入思考、积极讨论）的关系，做到线上学习与线下学习优势互补，注重沟通能力的培养和思维训练，提升创新能力。

(2) 知识学习与思维训练的关系。随着智慧教育的不断演进，智能学习助手、教育机器人、智能学伴等会逐渐成为学习的工具，一些知识性内容随查随得，甚至在“觉察”到我们需要的时候，机器人会主动提供。传统上需要记忆的概念、定理、知识不用记了。但是学习一门课程的知识也好，学习

一个专业的知识也好，适当的记忆还是必要的，缺乏在理解基础上的记忆，很难建立起一门课程或一个专业的知识体系，知识体系建立不起来，创新就失去了根基。

创新的基础是知识与思维，既要重视掌握系统的理论知识，又要重视开放思维的训练，知识学习与思维训练并重。学习过程中的深入思考，既能学好理论知识，也能训练思维。俗话说：“锄头不用要生锈，大脑不用会迟钝。”大脑是越用越聪明，越用思维越开放。人们评价一个人“聪明”，往往是指其遇事点子多、思维活跃。学习时，多思考，多问几个为什么，与老师、同学多讨论，甚至辩论，能够相互启发思维，相互激发灵感。

(3) 专业知识与人工智能知识的关系。无论学哪个专业，专业知识、专业能力、专业素养是基础本领，但在智能时代，问题的解决往往需要多学科知识的交叉融合，包括与大数据、人工智能等信息技术知识的交叉融合。信息技术已成为解决各领域问题的基础技术、通用技术，因此，应处理好专业学习与计算机知识学习的关系，在学好专业知识的同时，学习必要的计算机知识（人工智能知识），并将其深度融合以解决实际问题。

人工智能时代的学习，既需要按教学计划、培养体系的标准化学习，也需要按自己兴趣和特长的个性化学习，个性化学习需要学生自己选择学习内容和学习方式。学习能力是人的大优势。

(4) 第一课堂学习与第二课堂学习的关系。第一课堂学习是指教学计划之内的学习，主要包括按课表上课、按要求写作业等学习方式；第二课堂学习是指教学计划之外的学习，主要包括学科竞赛、科研训练、社团活动等形式。虽然说学生的主要任务是学习，但学习不仅限于课堂学习，参加学科竞赛、科研训练、社团活动等也是学习，在这些学习活动中，确定题目、组织讨论、设计方案、请老师指导、办理报名参赛手续等都需要同学们自己主导完成，这对于深入理解所学知识、提升分析解决实际问题的能力、培养沟通交流能力、训练思维都是有很大帮助的。当然第二课堂学习要以第一课堂学习为基础，两大课堂互动、互补、互融是提高创新能力的有效路径。

作为学生，特别是大学生，处理好上述几对关系，就能不断提高自己的

创新意识与创新能力，就能在求职创业时具有较强的竞争实力，就能更好地以人机协同的方式高质量完成学习任务及将来的岗位工作。

上海交通大学人工智能研究院常务副院长杨小康教授对于人工智能时代的教育与学习提出了5条建议，值得老师、家长和学生本人参考借鉴：

（1）在识字、表达流畅的基础上，将语言学习与其他社会科学学习结合，形成人文社科的整体思维训练方式，提升学生对自身和社会的思考深度、广度和厚度。

（2）数学在理解基本运算规则定理的基础上，重视将实际问题转化为数学语言的能力，学生要具备“算”的技能，更要具备“数”的逻辑。

（3）给孩子充分的时间，引导孩子学会从观察中提问。人工智能时代，“会提问”必定比“会解题”重要；不仅要懂得“解空间”的求解，更要懂得“问题空间”的求索。

（4）不影响孩子健康成长的任何兴趣都应给予支持。兴趣是创新的源动力，只有不断鼓励孩子的兴趣发展，才能让孩子找到真正的持久的兴趣，进而在未来快乐地生活并创新。

（5）让孩子懂一点儿人工智能，具备与人工智能携手工作、共同创造的能力。然而，毕竟不是人人都要成为人工智能的专业人才，尊重孩子的个性特点，让教育帮助每个孩子找到自己的兴趣，才可能不被人工智能堵住成长的空间。