

人工智能原理及应用

王克强 蔡肯 林钦永 ◎ 著

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

人工智能原理及应用

王克强 蔡肯 林钦永 著

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能原理及应用 / 王克强, 蔡肯, 林钦永著

. 一 天津 : 天津科学技术出版社, 2021. 4

ISBN 978-7-5576-9019-9

I. ①人… II. ①王… ②蔡… ③林… III. ①人工智
能 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第065738号

人工智能原理及应用

RENGONG ZHINENG YUANLI JI YINGYONG

责任编辑: 吴文博

责任印制: 兰 毅

出版: 天津出版传媒集团
天津科学技术出版社

地址: 天津市西康路 35 号

邮编: 300051

电话: (022) 23332377

网址: www.tjkjcb.com.cn

发行: 新华书店经销

印刷: 天津市宏博盛达印刷有限公司

开本 787×1092 1/16 印张 17.50 字数 420 000

2021 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

定价: 35.00 元

使计算机程序能够像人一样具有思维与行为，是许多研究者一生的追求，为了这一目标的实现，许多人都奉献了自己的力量。虽然实现这一目标非常困难，但是他们并未退缩，人工智能便是他们探索路上成功的第一步。人工智能形成于20世纪50年代，是一门综合性的高技术学科，它涉及计算机科学、信息论、生物学以及数学等学科，主要是利用机器认识与解决问题，也就是说，通过人工干预机器，使其变得更“聪明”，从而最终拥有人的智能。

人工智能是20世纪人类最伟大的科学成就之一，它让越来越多的人意识到知识在模拟智能中发挥着重要的作用，进而对知识的表示、推理，机器学习等进行了深层次探索。经过无数人的奋斗与研究，作为一门技术，到目前为止，人工智能已经形成了相对完备的理论体系，并在国民基础生活、工业生产以及国防建设等方面实现了广泛的应用，并给各领域带来了积极的变革。尤其是现在，人类已经进入人工智能时代，人工智能在人们生活中的应用更加广泛，人脸识别、自动驾驶、人工智能芯片等都时刻影响着人们的生产生活。

科学技术都是处于不断变化中的，人工智能技术也不例外。时代的进步与发展，人类对生活质量提高的需求，人工智能技术内部自我的突破，等等，这些都推动着人工智能的发展。研究者们也意识到了人工智能的发展变化，对人工智能原理进行了深入探究，以期以新的理论研究成果为人工智能原理注入新的活力，同时也使这些理论研究成果能进一步拓展人工智能应用的范围，并最终推动人类社会的发展。因此，世界各国纷纷投入大量的人力、物力以及财力，希望在人工智能研究领域能占据优势。中国不会缺席人工智能的发展，现阶段，中国人工智能在技术上实现了重大突破，在产业上也实现了产业化发展，形成了不少人工智能企业，人工智能产业化发展恰恰是人工智能应用的最好验证。反过来，人工智能应用实践又为人工智能原理的丰富提供借鉴。

当然，人工智能技术的发展并不是一帆风顺的，它也存在不少问题，例如，在算法层面，深度学习算法模型存在可靠性问题，在数据层面，数据存在

质量参差不齐、流通不顺畅等问题，这些问题都需要相关研究人员继续努力。鉴于人工智能在人类生活中的重要性以及其存在的问题，作者在总结前人优秀研究成果以及自身丰富教学经验的基础上，对人工智能原理与应用问题进行了详细探究。本书共分为十章，第一章介绍了人工智能相关概念、特征，梳理了人工智能的发展历程，从不同角度出发解读了人工智能，为读者的后续阅读奠定了基础。第二章到第五章初步构建了人工智能原理体系，内容分别为知识与知识表示、逻辑推理、智能搜索技术、机器学习。第六章到第九章分别从自然语言理解、专家系统、人工神经网络、分布式人工智能和 Agent 系统探讨了人工智能应用问题。第十章客观地指出了人工智能会给人类带来新的安全威胁的事实，展望了人工智能在教育、医学领域中的应用。

人工智能是人类未来社会发展的趋势之一，只有不断充实人工智能理论，拓展人工智能应用领域，才能使人类的生活质量更高。由于时间仓促以及作者水平有限，书中的某些观点可能会存在不当之处，恳请各位专家批评指正。

第一章 人工智能概述	1
第一节 人工智能相关概念阐释及特征分析	1
第二节 人工智能发展历程梳理	7
第三节 智能时代的机遇与挑战并存	9
第四节 不同视野中的人工智能	13
第五节 人工智能的研究	19
第二章 知识与知识表示	22
第一节 知识与知识表示概述	22
第二节 状态空间知识表示	25
第三节 产生式系统及推理	27
第四节 问题归约法	30
第五节 谓词逻辑表示方法	33
第六节 其他知识表示方法	34
第三章 逻辑推理	41
第一节 经典逻辑推理	41
第二节 不确定与非单调推理	49
第四章 智能搜索技术	59
第一节 搜索概述	59
第二节 图搜索	61
第三节 启发式搜索	65
第四节 搜索的完备性与效率	75
第五章 机器学习	77
第一节 机器学习概述	77
第二节 记忆学习与示例学习	83

第三节	决策树学习与统计学习	87
第四节	集成学习	92
第五节	其他学习方法	94
第六章	自然语言处理	99
第一节	自然语言及其理解概述	99
第二节	词法、句法与语义分析	102
第三节	大规模真实文本的处理	109
第四节	基于语料库的自然语言建模方法	111
第七章	专家系统	117
第一节	专家系统概述	117
第二节	专家系统基本结构	121
第三节	黑板系统结构	123
第四节	专家系统开发工具	126
第五节	专家系统评价及新发展	129
第八章	人工神经网络	135
第一节	人工神经网络概述	135
第二节	人工神经网络的浅层模型	138
第三节	人工神经网络的深层模型	141
第四节	浅层学习方法	146
第五节	深度学习方法	151
第九章	卷积神经网络	153
第一节	卷积神经网络概述	153
第二节	LeNet-5 网络	160
第三节	AlexNet 网络	161
第四节	VGGNet 网络	162
第五节	GoogLeNet 网络	163
第六节	ResNet 网络	165
第七节	DenseNet 网络	167
第八节	R-CNN 目标检测	168
第十章	生成对抗网络	170
第一节	生成对抗网络概述	170
第二节	GAN 框架	176

第三节	GAN 的应用	176
第十一章	循环神经网络	182
第一节	循环神经网络概述	182
第二节	LSTM 长短期记忆网络	184
第三节	GRU 门控循环单元	190
第十二章	无监督学习	199
第一节	无监督学习概述	199
第二节	主成分分析	200
第三节	K-均值和 K-中位值聚类	204
第四节	基于密度的聚类	210
第五节	层次聚类	211
第十三章	强化学习	213
第一节	强化学习概述	213
第二节	深度 Q 网络	217
第三节	A3C 算法	224
第十四章	分布式人工智能和 Agent 系统	228
第一节	分布式人工智能	228
第二节	Agent 系统	230
第三节	多 Agent 系统	235
第四节	移动 Agent 系统	246
第十五章	人工智能的安全威胁及应用展望	252
第一节	人工智能给行业带来的机遇与挑战	252
第二节	人工智能带来新的安全威胁	255
第三节	人工智能教育应用	257
第四节	智能医学应用	261
参考文献	265

第一章 人工智能概述

人工智能是 21 世纪三大尖端技术之一，其发展对人类进步具有深远影响。本章在梳理人工智能相关概念与回顾人工智能发展历程的基础上，分析了智能时代的机遇与挑战，解读了不同视野中的人工智能，探讨了人工智能研究的热点与方法。

第一节 人工智能相关概念阐释及特征分析

一、理解智能

什么是“智能”？智能的本质是什么？这是古今中外许多哲学家、脑科学家一直在努力探索和研究的课题，但至今仍然没有完全解决，以致被列为自然界四大奥秘（物质的本质、宇宙的起源、生命的本质、智能的发生）之一。近些年来，随着脑科学、神经生理学等研究的进展，对人脑的结构和功能积累了一些初步认识，但对整个神经系统的内部结构和作用机制，特别是脑的功能原理还没有完全搞清楚，有待进一步的探索。在此情况下，要从本质上对智能给出一个精确的、可被公认的定义显然是不现实的。

（一）智能研究影响最大的三大理论

目前人们大多是把对人脑的已有认识与智能的外在表现结合起来，从不同的角度、不同的侧面、用不同的方法来对智能进行研究的，提出的观点亦不相同。其中影响较大的主要有思维理论、知识阈值理论以及进化理论。

1. 思维理论

思维理论来自认知科学。认知科学又称为思维科学，它是研究人们认识客观世界的规律和方法的一门科学，其目的在于揭开大脑思维功能的奥秘。该理

论认为智能的核心是思维，人的一切智慧或智能都来自大脑的思维活动，人类的一切知识都是人们思维的产物，因而通过对思维规律与方法的研究可望揭示智能的本质。^①

2. 知识阈值理论

知识阈值理论着重强调知识对于智能的重要意义和作用，认为智能行为取决于知识的数量及其一般化的程度，一个系统之所以有智能是因为它具有可运用的知识。在此认识的基础上，它把智能定义为在巨大的搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。这一理论在人工智能的发展史中有着重要的影响，知识工程、专家系统等都是在这一理论的影响下发展起来的。

3. 进化理论

进化理论是由美国麻省理工学院的布鲁克（R. A. Brook）教授提出来的。1991年他提出了“没有表达的智能”，1992年又提出了“没有推理的智能”，这是他根据自己对人造机器动物的研究与实践提出的与众不同的观点。该理论认为人的本质能力是在动态环境中的行走能力、对外界事物的感知能力、维持生命的繁衍生息的能力，正是这些能力对智能的发展提供了基础，因此智能是某种复杂系统所浮现的性质。智能由系统总的行为以及行为与环境的联系所决定，它可以在没有明显的可操作的内部表达的情况下产生，也可以在没有明显的推理系统出现的情况下产生。该理论的核心是用控制取代表示，从而取消概念、模型以及显示表示的知识，否定抽象对于智能及智能模拟的必要性，强调分层结构对于智能进化的可能性与必要性。目前这一观点尚未形成完整的理论体系，有待进一步的研究，但由于它与人们的传统看法完全不同，因而引起了人工智能界的注意。

综合上述各种观点，可以认为智能是思维能力与水平（即智力）、知识数量与水平、行为能力与水平的总和，这三个方面是智能的三种体现。

（二）智能的概念

智能指学习、理解并用逻辑方法思考事物，以及应对新的或者困难环境的能力。智能的要素包括：适应环境，适应偶然性事件，能分辨模糊的或矛盾的信息，在孤立的情况中找出相似性，产生新概念和新思想。智能行为包括知觉、推理、学习、交流和在复杂环境中的行为。

智能分为自然智能和人工智能。自然智能指人类和一些动物所具有的智力和行为能力。人类智能是人类所具有的以知识为基础的智力和行为能力，表现

^① 王超. 人工智能技术及其军事应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 1.

为有目的的行为、合理的思维，以及有效地适应环境的综合性能力。

二、认识智能系统

人脑是一个天然的智能系统，我们要模拟人脑就是要制造一个人造的智能系统，用这个智能系统来进行智能模拟。

所谓“系统”，就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分按一定规律结合成的、具有特定功能的有机整体。

系统具有下面的特征。

(1) 集合性。系统是由许多元素按照一定方式组合起来的。

(2) 关联性。系统的各个组成部分之间是互相联系，互相制约的，不是相互无关的个体的随意堆积。

(3) 功能性。系统总是具有特定功能的，特别是人所创造或改造的系统，总有一定的目的性，各元素正是按这个目的组织起来的。

(4) 环境适应性。任何系统总是存在并活动于一个特定的环境之中，与环境不断进行物质、能量、信息的交换。系统必须适应环境。

在此基础上，笔者认为，不论是天然的智能系统还是人造的智能系统，从工程技术角度看，都应由下列缺一不可的三个部分构成。

1. 合理的物理结构——智能行为的物质基础

能够实现智能的天然系统和人造系统，都应具有一个实实在在的物理结构系统。结构不同，能够实现的智能程度也不同。人的神经网络系统是一种天然的物理结构系统，就智能行为而言，它是一个完善的系统；猴子的神经系统也是一个天然的物理结构系统，就智能行为而言，它是一个比人的神经系统逊色的系统；计算机的硬件体系是一个人造的物理结构系统，就智能行为而言，它是现实中一个值得考虑并应不断改进的系统。合理的物理结构系统是智能行为的物质基础，没有这个物质基础，智能就没有生存之地。

2. 完善的知识系统——智能行为的理论基础

知识是智能的重要组成部分，是智能行为的理论基础，没有知识就谈不上智能，知识是思维的产物更是思维的基础，它在智能体的智能行为过程中具有十分重要的地位，这已经是没有异议的问题了。我们讲“尊重知识，尊重人才”，是强调知识在天然智能体——人中的重要作用。在智能模拟工程领域中，人们将“知识工程”作为人工智能研究的一个“核心领域”，并有人称智能机为知识处理机，也充分可见人们已确认知识在智能模拟中处于十分重要的地位。

已有的智能研究业已证明，知识是智能的重要组成部分，没有知识的系统

很难谈及智能，因此，“知识是智能产生的基本条件之一”^①，而且，对于一个具有思维和智能的人来说，它通常又是一种“开放系统”。智能体的知识要通过与外界的不断的“信息交流”而获得，也会由于某种原因被“丧失”或“修正”。一个具有高度智慧的智能体，正是在不断地与外界进行信息交流的过程中（获取与运用知识的过程中）获得和维持其完善的知识系统的。

3. 健全的思维机制——智能行为的行为基础

在充分肯定知识在智能系统中的重要地位的同时，我们认为，知识并不等于智能。因为从一定意义上讲，智能是一种能力，是一种学习能力、理解能力、记忆能力、思维能力、分析问题和解决问题的能力、认识世界和改造世界的能力。即使我们把关于知识获取和知识运用的知识也广义地理解为知识，知识与智能之间还是有区别的。因为智能是一种“动态”行为，特别是一种“思维”行为，一种知识和经验的综合运用过程。

有时，我们把智能行为集中理解为一种“思维”行为，是因为从本质上讲，思维确实是一切智能行为的一个“核心”。没有有意识的思维，智能体根本不会产生出智能行为。人们常讲的直感和灵感，也应该是一种思维活动。而我们研制智能机器最关键的一点，也是希望机器能具有模拟人类“思维”的功能。

思维从本质上讲主要是智能体运用自身知识对信息加工的一种过程。但从智能模拟工程，特别是知识工程角度来看，我们觉得还是把思维能力理解为能获得和运用知识的能力为好。

一般来说，人的智能系统最显著的特征主要有以下几点。

(1) 在物理结构上，人的智能系统表现出来的显著特征

人脑是一个由海量神经元组成的巨系统，它由大约 $10^{10} \sim 10^{11}$ 个神经细胞（神经元）和与之相比多得多的胶质细胞组成，是“一个庞大而复杂的天然物理系统”。这个系统的“元件”之多远远超出了任何一个机器系统，“元件”之间的联系之复杂也是空前的，而且它还时时与外界有能量和信息交换。虽然我们目前对这一复杂巨系统的详细结构及微观机理尚不清楚，但是它具有层次性、可塑性、协同效应、自组织性与容错性则是确定无疑的。

(2) 在知识系统方面，人的智能系统表现出来的显著特征

①具有学习功能，包括有指导的被动式学习和无导师的自主学习，且学习具有选择性、滤波性、自动归纳总结抽象和渐近深入等特性。

^① 刘增良，刘有才. 模糊逻辑与神经网络：理论与探索 [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，1996：6.

②具有存储与理解各种知识的能力，包括各种确定性知识和不确定性知识。

③具有遗忘和再组织（联想）特性，有“温故而知新”功能。

④具有知识定位与层次特性，各类知识可随时调用。

⑤具有知识可运用性，可综合运用各类知识。

(3) 在思维方面，人具有完善的思维机制

人能灵活运用自己的知识，采用各种思维方法来处理现实中的问题。按照一般的理解，人的有意识、有目标思维有以下几种方式。

①逻辑思维（抽象思维），通过概念与逻辑推理来进行思维。

②形象思维，通过形象与经验模式进行思维。

③直觉思维，是思维中“主体直觉”居于主导地位的一种思维形式，常具有非逻辑性和非经验性。

三、人工智能的概念

人工智能作为一门前沿交叉学科，如何为其定义一直存有不同的观点。《人工智能——一种现代方法》中将已有的一些人工智能定义分为四类：像人一样思考的系统、像人一样行动的系统、理性地思考的系统、理性地行动的系统；维基百科上定义“人工智能就是机器展现出的智能”，即只要是某种机器，具有某种或某些“智能”的特征或表现，都应该算作“人工智能”；《大英百科全书》则限定人工智能是数字计算机或者数字计算机控制的机器人在执行智能生物体才有的一些任务上的能力；百度百科定义人工智能是“研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学”^①，将其视为计算机科学的一个分支，指出其研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。

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。^②

人工智能的定义对人工智能学科的基本思想和内容做出了解释，即围绕智能活动而构造的人工系统。人工智能是知识的工程，是机器模仿人类利用知识完成一定行为的过程。根据人工智能是否能真正实现推理、思考和解决问题，可以将人工智能分为弱人工智能和强人工智能。

① 何明. 大学计算机基础 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2015: 237.

② 郑树泉. 工业智能技术与应用 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2019: 106.

弱人工智能是指不能真正实现推理和解决问题的智能机器，这些机器表面看像是智能的，但是并不真正拥有智能，也不会有自主意识。迄今为止的人工智能系统都还是实现特定功能的专用智能，而不是像人类智能那样能够不断适应复杂的新环境并不断涌现出新的功能，因此都还是弱人工智能。目前的主流研究仍然集中于弱人工智能，并取得了显著进步，如语音识别、图像处理和物体分割、机器翻译等方面取得了重大突破，甚至可以接近或超越人类水平。

强人工智能是指真正能思维的智能机器，并且该智能机器是有知觉的和有自我意识的，这类机器可分为类人（机器的思考和推理类似人的思维）与非类人（机器产生了和人完全不一样的知觉和意识，使用和人完全不一样的推理方式）两大类。从一般意义来说，达到人类水平的、能够自适应地应对外界环境挑战的、具有自我意识的人工智能称为“通用人工智能”“强人工智能”或“类人智能”。

四、人工智能特征分析

(1) 由人类设计，为人类服务，本质为计算，基础为数据

从根本上说，人工智能系统必须以人为本，这些系统是人类设计出的机器，按照人类设定的程序逻辑或软件算法通过人类发明的芯片等硬件载体来运行或工作，其本质体现为计算，通过对数据的采集、加工、处理、分析和挖掘，形成有价值的信息流和知识模型，为人类提供延伸人类能力的服务，实现人类期望的一些“智能行为”的模拟，在理想情况下必须体现服务人类的特点，而不应该伤害人类，特别是不应该有目的地做出伤害人类的行为。

(2) 能感知环境，能产生反应，能与人交互，能与人互补

人工智能系统应能借助传感器等器件产生对外界环境（包括人类）进行感知的能力，可以像人一样通过听觉、视觉、嗅觉、触觉等接收来自环境的各种信息，对外界输入产生文字、语音、表情、动作（控制执行机构）等必要的反应，甚至影响到环境或人类。借助于按钮、键盘、鼠标、屏幕、手势，体态、表情、力反馈、虚拟现实/增强现实等方式，人与机器间可以产生交互与互动，使机器设备越来越“理解”人类乃至与人类共同协作、优势互补。这样，人工智能系统能够帮助人类做人类不擅长，不喜欢但机器能够完成的工作，而人类则适合于去做更需要创造性、洞察力、想象力、灵活性、多变性乃至用心领悟或需要情感投入的工作。

(3) 有适应特性，有学习能力，有演化迭代，有连接扩展

人工智能系统在理想情况下应具有一定的自适应特性和学习能力，即具有一定的随环境、数据或任务变化而自适应调节参数或更新优化模型的能力；并

且，能够在此基础上通过与云端、人、物越来越广泛深入数字化连接扩展，实现机器客体乃至人类主体的演化迭代，以使系统具有适应性、鲁棒性、灵活性、扩展性，来应对不断变化的现实环境，从而使人工智能系统在各行各业产生丰富的应用。

第二节 人工智能发展历程梳理

一、人工智能的孕育

1943年，沃伦·麦卡洛克（Warren S. McCulloch）和沃尔特·皮兹（Walter Pitts）基于生物原型的详细分析，提出了大脑神经元的数学模型，称之为感知机（perceptron）。他们不仅指出了神经元如何进行点火和熄火，即以开关二进制的形式进行动作，还展示了这样的神经元如何能够学习，甚至如何随时间的变化而改变动作。

1950年，艾伦·图灵（Alan Turing）针对机器能否思维的问题，发表了一篇题为“Computing Machinery and Intelligence（计算机与智能）”的论文。这篇论文提出了一种通过测试来判定机器是否有智能的方法，被后人誉为“图灵测试”。

此后，马文·明斯基（Marvin Minsky）和迪恩·埃德蒙兹（Dean Edmonds）基于麦卡洛克-皮茨神经细胞（McCulloch-Pitts Neurons）模型，即感知机，构建了所谓的第一台人工智能计算机。同时，克劳德·香农（Claude Shannon）研究了计算机国际象棋的可能性及如何走子的决策策略类型。

1955年，在美国洛杉矶召开的“Western Joint Computer Conference（西部联合计算机大会）”上，有一个“学习机器分组会议（Session on Learning Machine）”。在该分组会议上发表的论文所涉猎的主题包括：机器系统学习能力研究、下棋的复杂性问题、模式识别等。该分组会议主席特别强调，所谓的学习机器并非指的是机器本身，而是在机器上实现学习功能的程序。

上述初步探究与会议都为人工智能的形成与发展奠定了强有力的基础。

二、人工智能的形成与发展

人工智能在不同的发展阶段呈现出不同的发展特征。一般来讲，人工智能

的形成与发展主要经历了三个阶段。

（一）第一阶段（1956年至20世纪80年代初）

1956年，一群科学家聚集达特茅斯学院，讨论着对于当时的世人而言完全陌生的话题——人工智能，起初被界定为“让机器的行为看起来就像是人所表现出的智能行为一样”^①。这次会议使用了人工智能（Artificial Intelligence, AI）这个名称作为会议的主题，从而使得人工智能作为一个研究领域正式诞生。

此后，大量资金涌入人工智能行业，并促生了大批优秀的AI程序和相应的研究理念，例如，试图利用计算机证明几何定理、解决代数问题等。学界对于人工智能的追捧，使得许多政府机构也开始大量向该领域投入资金，这带来了人工智能发展的第一个黄金时期。

（二）第二阶段（20世纪80年代初至20世纪90年代初）

20世纪80年代初，一种名为“专家系统”的AI程序风靡全球。专家系统是一个智能计算机程序系统，其内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验，能够利用人类专家的知识 and 解决问题的方法来处理该领域问题。也就是说，专家系统是一个具有大量的专门知识与经验的程序系统，它应用人工智能技术和计算机技术，根据某领域一个或多个专家提供的知识和经验，进行推理和判断，模拟人类专家的决策过程，以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题。简而言之，专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。

“专家系统”的风靡使得知识处理成为主流AI研究的焦点，反向传播神经网络的崛起带来了联结主义的重生。此外，硬件系统也得到极大促进，例如，日本政府积极投资AI以促进其第五代计算机工程，其他国家纷纷跟随效仿。软硬件技术的进步及充足的资金投入使得人工智能迎来第二次繁荣。

（三）第三阶段（20世纪90年代初至今）

随着网络基础设施的发展，为高速传送和交换数据创造了基础，互联网时代的大数据存储能力和云计算处理能力也为深度学习创造了条件。

21世纪，人工智能的发展日益成熟，机器学习和深度学习成为人工智能

^① 杨正泽. 中国制造2025: 高档数控机床和机器人 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2018: 133.

研究主流，并在各行业得到了广泛应用。2001年，William Cleveland（威廉·克利夫兰）^①提出了数据挖掘的概念。2006年，Hinton（辛顿）等^②提出了深度学习的概念。2015年《Nature》杂志推出了Yann LeCun（燕乐存）等^③深度学习的综述，标志着深度学习被学术界真正接受。深度学习理论研究获得丰硕的成果，2016年，谷歌开发出了AlphaGo程序，这一程序的围棋水平已经能够超过人类的顶尖水平。

第三节 智能时代的机遇与挑战并存

2016年以来，随着移动互联网、大数据、超级计算、传感网、脑科学等新理论新技术的兴起，人工智能迎来了新时代。当前，智能技术正在以更迅猛的速度取得突破，并且被迅速投入到产业应用之中，对人类社会和生活的各个方面都带来了深远影响，也会促使人类在智能时代寻找新的发展路径。

一、智能时代的经济机遇

目前，各国都相继发布了人工智能规划，均从提高生产力和竞争力着手，以此振兴国家经济发展。由此可见，人工智能将担负着撬动经济发展和产业进步的重要使命，在此过程中必然孕育着无限的机遇。

（一）人工智能助推传统企业重焕生机

当前，单纯依赖扩大资本投入和劳动力规模的生产模式已经无法推动企业走向快速发展之路，也无力再维持经济的高速发展，因此必须将人工智能作为新兴的生产要素用于传统企业的改造升级。如此既可大量节约生产资本，又可带动生产力的提升，从而推动传统企业焕发生机。

根据埃森哲（Accenture）公司的报告指出，到2026年，十大关键临床人工智能应用可能每年会为美国医疗行业节省1500亿美元。这十大人工智能应

^① Cleveland W S. Data Science: an action plan for expanding the technical areas of the field of stastics [J]. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 2001, 69 (1).

^② G. E. Hinton, R. R. Salakhutdinov. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks [J]. *Science*, 2006, 313 (5786).

^③ Yann LeCun, Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton. Deep learning [J]. *Nature*, 2015 (521).