



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

人工智能 原理及其应用

(第4版)

Artificial Intelligence Principle and Application (Fourth Edition)

王万森 / 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
北京高等教育精品教材

人工智能原理及其应用 (第4版)

王万森 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材和北京高等教育精品教材。

全书包括8章和附录，主要内容包括：人工智能概述，确定性知识系统，不确定性知识系统，智能搜索技术，机器学习，人工神经网络与连接学习，分布智能，智能应用简介。附录A是新一代人工智能简介与思考。本书为任课教师免费提供电子课件。

本书可以作为高等院校计算机类各专业及相关专业相关课程的教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

人工智能原理及其应用 / 王万森编著. —4版. —北京：电子工业出版社，2018.8
ISBN 978-7-121-34443-5

I. ① 人… II. ① 王… III. ① 人工智能—高等学校—教材 IV. ① TP18

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第119821号

策划编辑：章海涛

责任编辑：章海涛

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：19.25 字数：490千字

版 次：2007年1月第1版

2018年8月第4版

印 次：2018年8月第1次印刷

定 价：52.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlbs@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：192910558（QQ群）。

前 言

2016年3月,在人工智能迈向其60“寿辰”的脚步中,一个震惊世人的事件出现,AlphaGo战胜了人类职业围棋冠军,使世人的目光再度聚焦于人工智能技术,引发了人工智能技术认知和发展的又一热潮。

认真分析本轮人工智能热潮的起因,AlphaGo仅仅是一根导火索,其深层的根源在于,云计算为人工智能跨越式发展提供了强大的计算能力,大数据为人工智能大规模机器学习提供了丰富的数据资源,深度学习为人工智能认知模拟提供了一条有效途径,尤其是经济社会智能化进程的加速为人工智能落地带来了巨大的应用需求。

与以往人工智能的几度兴衰相比,本次热潮有四大特点,即技术引领、国家重视、企业推动、需求牵引。从国家层面,世界多国政府近年纷纷出台政策,迅速将人工智能上升为国家战略,并将其视为国家核心竞争力的基本要素和重要标志。例如,美国政府于2016年10月13日发布了《国家人工智能研究与发展策略规划》,英国政府于2017年10月15日再次发布了名为《在英国发展人工智能》的报告,我国政府也于2017年7月8日发布了《国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知》等。从企业层面,全球各科技巨头之间的“人工智能竞争”愈演愈烈,美国的谷歌、微软、脸书、IBM、亚马逊等公司与企业,我国的百度、讯飞、华为、阿里等公司与企业,都不惜重金,投入巨资,抢占人工智能的高地。

纵观当今人工智能领域,其技术发展之迅猛、政府热情之高涨、企业竞争之激烈、社会需求之巨大,均前所未有的。正因为有这些坚实基础的强力支撑和社会需求的大力牵引,相信本轮人工智能热潮将会在一个较长时期内持续,并将为整个人类的科技进步和社会文明做出巨大贡献。

本次教材修订正是在这一大背景下进行的。希望修订后的第4版能不负时代所望,能对我国人工智能教育及人才培养有所贡献。其实,本教材自第1版以来,一直备受读者的支持与厚爱,前3版分别印刷了9次、9次、10次,共28次。同时,本教材先后被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材、“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,以及北京高等教育精品教材。在此,向所有关心和支持过本教材建设,阅读或使用过本教材的各位专家、学者和读者表示诚挚的感谢。

本次修订的基本思路是:在保证教材内容系统性、完整性的前提下,尽量反映人工智能技术的最新进展,以适应人工智能技术发展的时代需求。修订后的第4版与第3版相比,主要改动情况如下:

(1) 新增了集成学习的内容。集成学习作为一种集众多个体学习器学习结果为一体的机器学习方法,具有明显的优越性和广泛的应用价值。

(2) 新增了深层神经网络模型和深度学习方法。其中，深度学习方面较详细地讨论了深度卷积神经网络的学习问题。

(3) 重写了 ID3 算法的算法描述及例子。在 ID3 算法中明确定义了信息增益的概念，给出了由信息增益引导的 ID3 算法的过程描述，并完善了 ID3 算法例子的整个求解过程。

(4) 充实了 Hopfield 网络学习的推导过程。给出了 Hopfield 网络能量函数的完整描述和详细推导过程，改善了该内容的可读性和可理解性。

(5) 补充了人工神经网络的生物机理。包括生物神经元的基本结构、工作方式、连接方法及突触传递过程等，为读者对人工神经网络的深入认知提供了机理方面的基础。

(6) 修改和部分重写了第 1 章的有关内容。结合人工智能的最新进展，对原第 1 章的部分内容做了适当修改，并重写了 1.5.9 节。同时，把原 1.6 节改写为“新一代人工智能简介”，并作为附录 A 放在了全书最后，实际上是对全书内容的提升和深化。

(7) 全书组织架构做了适当调整。本次修订撤销了原第 3 版中的第 4 章计算智能，有关内容在第 4 版中调整如下：

① 神经计算作为连接学习的人工神经网络基础，放到了本书第 6 章神经网络与连接学习中。

② 进化计算作为一种随机(或演化)搜索方法，放到了本书第 4 章智能搜索技术中。

③ 模糊计算作为模糊推理的数学和逻辑基础，放到了第 4 版的第 3 章不确定性知识系统中。

④ 粗糙集作为一种知识发现方法，放到了本书第 5 章机器学习中。

(8) 调整了原第 3 章和第 5 章的次序。在调整后，第 3 章为不确定性知识系统，第 4 章为智能搜索技术。

(9) 结合人工智能发展，删除了第 3 版中的个别陈旧内容，如框架知识表示的推理过程、用归结反演求取问题答案等。

通过本次修订，第 4 版的知识更加系统、结构更加完整，内容更加新颖，方法更加明确、技术更趋可用、例子更切合实际，可更好地满足人工智能教学需求。

修订后的第 4 版共 8 章，新增一个附录。其中：

第 1 章为人工智能概述，主要介绍人工智能的定义、形成过程、研究内容、学派之争、应用领域等，以建立起人工智能的初步概念。

第 2 章为确定性知识系统，包括确定性知识的表示和推理。

第 3 章为不确定性知识系统，给出了 5 种不确定性推理方法。

第 4 章为智能搜索技术，包括基于搜索空间的启发式搜索方法和基于生物演化过程的进化搜索方法。

第 5 章为机器学习，主要讨论基于符号主义人工智能的机器学习方法。

第 6 章为神经网络与连接学习，包括浅层神经网络模型及学习方法和深层神经网络模型及深度学习方法。

第 7 章为分布智能，主要讨论基于多 Agent 的分布智能技术及分布智能系统。

第 8 章为智能应用简介。包括对自然语言理解和专家系统两个方面的简单介绍。

附录 A 是新一代人工智能简介。新一代人工智能作为我国人工智能发展的国家战略，

深化其认识、加深其理解，无论从人工智能理论、技术发展的角度，还是从人工智能研究、应用的角度都十分必要。

本教材可为任课老师免费提供电子课件和重要练习题的参考答案，任课教授可到华信教育网 <http://www.hxedu.com.cn> 注册下载。

本教材建议总学时为 48 学时。其中，课堂教学 42 学时，实验 6 学时（实验内容由任课老师根据需求和条件确定），具体分配如下：

章次	1	2	3	4	5	6	7	8	理论课	实验课	合计
学时	2	7	10	8	6	5	2	2	42	6	48

若课时不足，可依此删除证据理论不确定性推理、概率推理中的贝叶斯网络近似推理、及粗糙集等内容。

本教材的编写吸取了众多国内外同行的报告、演讲、专著、教材和论文中的精华。在此，谨向这些专家和作者表示真诚的感谢。

本教材的修订和出版，同样得到了电子工业出版社的大力支持，在此表示诚挚的谢意。马献英副编审参加了本书的资料、文稿整理和部分内容编写等工作，在此也深表感谢。

人工智能是一门正在快速发展的年轻学科，其研究和应用领域十分宽广。由于作者水平有限，加之时间仓促，教材中难免存在一些缺点和错误，恳请各位专家和读者不吝赐教。

王万森

2018年5月于北京

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，本社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 人工智能概述	1
1.1 人工智能的基本概念	1
1.1.1 智能的概念	1
1.1.2 人工智能的概念	3
1.1.3 人工智能的研究目标	3
1.2 人工智能的产生与发展	4
1.2.1 孕育期（1956 年之前）	4
1.2.2 形成期（1956 年到 20 世纪 60 年代末）	5
1.2.3 知识应用期（20 世纪 70 年代初到 80 年代初）	5
1.2.4 从学派分立走向综合（20 世纪 80 年代中到 21 世纪初）	7
1.2.5 机器学习和深度学习引领发展（21 世纪初至今）	7
1.3 人工智能研究的基本内容	7
1.3.1 智能的脑与认知机理研究	7
1.3.2 智能模拟的理论、方法和技术研究	8
1.4 人工智能研究中的不同学派	9
1.4.1 符号主义	9
1.4.2 连接主义	10
1.4.3 行为主义	10
1.5 人工智能的研究和应用领域	11
1.5.1 机器思维	11
1.5.2 机器学习	12
1.5.3 机器感知	14
1.5.4 机器行为	15
1.5.5 计算智能	16
1.5.6 分布智能	17
1.5.7 智能系统	18
1.5.8 人工心理和人工情感	18
1.5.9 人工智能的典型应用	19
习题 1	21
第 2 章 确定性知识系统	23
2.1 确定性知识系统概述	23
2.1.1 确定性知识表示概述	23
2.1.2 确定性知识推理概述	25

2.2	确定性知识表示方法	27
2.2.1	谓词逻辑表示法	27
2.2.2	产生式表示法	34
2.2.3	语义网络表示法	36
2.2.4	框架表示法	42
2.3	确定性知识推理方法	46
2.3.1	产生式推理	46
2.3.2	自然演绎推理	51
2.3.3	归结演绎推理	54
2.4	确定性知识系统简例	63
2.4.1	产生式系统简例	63
2.4.2	归结演绎系统简例	65
	习题 2	66
第 3 章	不确定性知识系统	70
3.1	不确定性推理概述	70
3.1.1	不确定性推理的含义	70
3.1.2	不确定性推理的基本问题	71
3.1.3	不确定性推理的类型	72
3.2	可信度推理	73
3.2.1	可信度的概念	73
3.2.2	可信度推理模型	73
3.2.3	可信度推理的例子	77
3.3	主观 Bayes 推理	78
3.3.1	主观 Bayes 方法的概率论基础	78
3.3.2	主观 Bayes 方法的推理模型	79
3.3.3	主观 Bayes 推理的例子	83
3.3.4	主观 Bayes 推理的特性	85
3.4	证据理论	85
3.4.1	证据理论的形式化描述	86
3.4.2	证据理论的推理模型	90
3.4.3	推理实例	91
3.4.4	证据理论推理的特性	93
3.5	模糊推理	93
3.5.1	模糊集及其运算	93
3.5.2	模糊关系及其运算	96
3.5.3	模糊知识表示	98
3.5.4	模糊概念的匹配	99
3.5.5	模糊推理的方法	100
3.6	概率推理	104
3.6.1	贝叶斯网络的概念及理论	105

3.6.2	贝叶斯网络推理的概念和类型	108
3.6.3	贝叶斯网络的精确推理	109
3.6.4	贝叶斯网络的近似推理	110
习题 3		111
第 4 章	智能搜索技术	115
4.1	搜索概述	115
4.1.1	搜索的含义	115
4.1.2	状态空间问题求解方法	116
4.1.3	问题归约求解方法	119
4.1.4	进化搜索法概述	122
4.2	状态空间的启发式搜索	125
4.2.1	启发性信息和估价函数	125
4.2.2	A 算法	126
4.2.3	A*算法	128
4.2.4	A*算法应用举例	132
4.3	与/或树的启发式搜索	133
4.3.1	解树的代价与希望树	133
4.3.2	与/或树的启发式搜索过程	134
4.4	博弈树的启发式搜索	136
4.4.1	博弈概述	136
4.4.2	极大/极小过程	137
4.4.3	α - β 剪枝	138
4.5	遗传算法	139
4.5.1	遗传算法中的基本概念	139
4.5.2	遗传算法的基本过程	139
4.5.3	遗传编码	140
4.5.4	适应度函数	142
4.5.5	基本遗传操作	143
4.5.6	遗传算法应用简例	148
习题 4		151
第 5 章	机器学习	153
5.1	机器学习概述	153
5.1.1	学习的概念	153
5.1.2	机器学习的概念	154
5.1.3	机器学习系统的基本模型	156
5.2	记忆学习	157
5.3	示例学习	158
5.3.1	示例学习的类型	159
5.3.2	示例学习的模型	159
5.3.3	示例学习的归纳方法	161

5.4	决策树学习	162
5.4.1	决策树的概念	162
5.4.2	ID3 算法	163
5.5	统计学习	169
5.5.1	小样本统计学习理论	169
5.5.2	支持向量机	171
5.6	集成学习	176
5.6.1	集成学习概述	176
5.6.2	AdaBoost 算法	178
5.6.3	Bagging 算法	184
5.7	粗糙集知识发现	185
5.7.1	粗糙集概述	185
5.7.2	粗糙集的基本理论	186
5.7.3	决策表的约简	188
	习题 5	192
第 6 章	人工神经网络与连接学习	194
6.1	概述	194
6.1.1	人工神经网络概述	194
6.1.2	连接学习概述	195
6.2	人工神经网络的生物机理	195
6.2.1	人脑神经元的结构及功能	196
6.2.2	学习的神经机理	198
6.3	人工神经元及人工神经网络的结构	200
6.3.1	人工神经元的结构及模型	200
6.3.2	人工神经网络的互连结构	202
6.4	人工神经网络的浅层模型	203
6.4.1	感知器模型	203
6.4.2	BP 网络模型	206
6.4.3	Hopfield 网络模型	207
6.5	深层神经网络模型	208
6.5.1	深度卷积神经网络	208
6.5.2	深度波尔茨曼机与深度信念网络	210
6.6	浅层连接学习	211
6.6.1	连接学习规则	211
6.6.2	感知器学习	213
6.6.3	BP 网络学习	215
6.6.4	Hopfield 网络学习	221
6.7	深度学习	224
6.7.1	深度学习概述	224
6.7.2	深度卷积神经网络学习	226

6.7.3 卷积神经网络学习的经典模型 LeNet5	234
习题 6	237
第 7 章 分布智能	239
7.1 分布智能概述	239
7.1.1 分布智能的概念	239
7.1.2 分布式问题求解	240
7.1.3 多 Agent 系统	241
7.2 Agent 的结构	243
7.2.1 Agent 的机理	243
7.2.2 反应 Agent 的结构	244
7.2.3 认知 Agent 的结构	245
7.2.4 混合 Agent 的结构	245
7.3 多 Agent 系统	246
7.3.1 Agent 通信	246
7.3.2 多 Agent 合作	250
7.4 移动 Agent	256
7.4.1 移动 Agent 系统的一般结构	256
7.4.2 移动 Agent 的实现技术及应用	257
习题 7	259
第 8 章 智能应用简介	261
8.1 自然语言理解简介	261
8.1.1 自然语言理解的基本概念	261
8.1.2 词法分析	263
8.1.3 句法分析	264
8.1.4 语义分析	268
8.2 专家系统简介	270
8.2.1 专家系统概述	271
8.2.2 基于规则和基于框架的专家系统	274
8.2.3 模糊专家系统和神经网络专家系统	275
8.2.4 基于 Web 的专家系统	278
8.2.5 分布式和协同式专家系统	279
8.2.6 专家系统的开发	281
习题 8	286
附录 A 新一代人工智能简介	288
A.1 新一代人工智能基础理论简介	288
A.2 新一代人工智能关键共性技术简介	291
参考文献	294

第 1 章 人工智能概述

2016 年 3 月 15 日，“一条”会下围棋的“狗”打破了世界的宁静，由 Google 旗下 DeepMind 公司研制的人工智能围棋程序 AlphaGo 对战世界围棋冠军、职业九段选手李世石，并以 4:1 的总比分获胜。AlphaGo 的成功，在全球范围内点燃了人工智能的新一轮热潮。人工智能的新闻、技术研讨、学术会议、政府调研、企业布局等等铺天盖地而来，上到国家战略，下到百姓生活，人工智能无处不在、无人不晓。当今，人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 这个具有无限潜力的学科，正在以其无穷的魅力引领着现代科学技术的发展和人类文明的进步。人工智能前景诱人，同时任重而道远。

本章主要讨论人工智能的基本概念、形成过程、基本内容、研究学派、应用领域及发展趋势等，以建立起读者对人工智能的初步认识。

1.1 人工智能的基本概念

人工智能到目前为止还没有一个统一的定义。所谓人工智能，不过是不同学科背景的人从不同角度对其给出了不同的解释。出现这种现象的主要原因是，人工智能的定义要依赖于智能的定义，而智能目前还无法严格定义。尽管如此，本节还是从智能的概念入手，来讨论人工智能的基本概念。

1.1.1 智能的概念

智能是对自然智能的简称，其确切含义还有待于对人脑奥秘的彻底揭示。按照脑科学和认知科学的现有解释，从生理角度看，智能是中枢神经系统的信号加工过程及产物；从心理角度看，智能是智力和能力的总称，其中智力侧重于认知，能力侧重于活动。

1. 认识智能的不同观点

人工智能学者在认识智能的过程中，对智能的特质提出了多种观点，其中最具代表性的观点有以下 3 种。

① 智能来源于思维活动。这种观点被称为思维理论，强调思维的重要性，认为智能的核心是思维，人的一切智慧或智力都来自大脑的思维活动，人的一切知识都是思维的产物，因而通过对思维规律和思维方法的研究，可望揭示智能的本质。

② 智能取决于可运用的知识。这种观点被称为知识阈值理论，其智能定义为：智能是在巨大的搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。知识阈值理论着重强调知识对智能

的重要意义和作用，认为智能行为取决于知识的数量及其可运用的程度，一个系统具有的可运用知识越多，其智能会越高。

③ 智能可由逐步进化来实现。这种观点被称为进化理论，是由美国麻省理工学院（MIT）的布鲁克斯（R.A. Brooks）教授在对人造机器虫研究的基础上提出的。他认为，智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，智能不需要知识、不需要表示、不需要推理，智能可以由逐步进化来实现。

由于上述 3 种观点对智能的认识角度不同，有些看起来好像是相互对立的，但如果把它们放到智能的层次结构中去考虑，又是统一的。

2. 智能的层次结构

按照神经认知科学的观点，智能的物质基础和 Information 加工机构是中枢神经系统。从结构上看，中枢神经系统由大脑皮层、前脑、丘脑、中脑、后脑、小脑、脊髓等组成。与此结构对应，人类的智能总体上可分为高、中、低三个层次，不同层次智能的活动由不同的神经系统来完成。其中，高层智能以大脑皮层（也称为抑制中枢）为主，主要完成记忆和思维等活动；中层智能以丘脑（也称为感觉中枢）为主，主要完成感知活动；低层智能以小脑、脊髓为主，主要完成动作反应。并且，智能的每个层次可以进行细分。例如，思维活动可按思维的功能分为记忆、联想、推理、学习、识别、理解等，或按思维的特性分为形象思维、抽象思维、灵感思维等；感知活动可按感知功能分为视觉、听觉、嗅觉、触觉等；行为活动可按行为的功能分为运动控制、生理调节、语言生成等。

可见，上述不同观点中的思维理论和知识阈值理论对应于高层智能，而进化理论对应中层智能和低层智能。

3. 智能所包含的能力

按照认知科学的观点，智能是由中枢神经系统表现出来的一种综合能力，主要包括以下 4 方面。

（1）感知能力

感知能力是指人们通过感觉器官感知外部世界的能力，是人类最基本的生理、心理现象，也是人类获取外界信息的基本途径。人类对感知到的外界信息，通常有两种处理方式。一种是对简单或紧急情况，可不经大脑思索，直接由低层智能做出反应；另一种是对复杂情况，一定要经过大脑的思维，然后才能做出反应。

（2）记忆和思维能力

记忆和思维是人脑最重要的功能，也是人类智能最主要的表现形式。记忆是对感知到的外界信息或由思维产生的内部知识的存储过程。思维是对存储的信息或知识的本质属性、内部规律等的认识过程。

人类基本的思维方式有形象思维、抽象思维和灵感思维。其中，抽象思维也称为逻辑思维，是一种基于抽象概念，根据逻辑规则对信息或知识进行处理的理性思维形式。形象思维也称为直感思维，是基于形象概念，根据感性形象认识材料，对客观现象进行处理的一种思维方式。灵感思维也称为顿悟思维，是一种显意识和潜意识相互作用的思维方式。平常，人们在考虑问题时往往会因获得灵感而顿时开窍。这说明人脑在思维时除那种能够感觉到的显意识在起作用，还有一种感觉不到的潜意识在起作用，只不过人

们意识不到而已。

(3) 学习和自适应能力

学习是一个具有特定目的的知识获取过程。学习和自适应是人类的一种本能，一个人只有通过学习，才能增加知识、提高能力、适应环境。尽管不同人在学习方法、学习效果等方面有较大差异，但学习是每个人都具有的一种基本能力。

(4) 行为能力

行为能力是指人们对感知到的外界信息做出动作反应的能力。引起动作反应的信息可以是由感知直接获得的外部信息，也可以是经思维加工后的内部信息。完成动作反应的过程一般通过脊髓来控制，并由语言、表情、体态等实现。

1.1.2 人工智能的概念

人工智能是一个含义很广的术语，在其发展过程中，具有不同学科背景的人工智能学者对它有着不同的理解，提出过多种观点，如符号主义观点、连接主义观点和行为主义观点等。这些不同观点将在后面专门讨论，这里主要关注人工智能的定义。

综合各种人工智能观点，可以从“能力”和“学科”两方面对人工智能进行定义。从能力的角度看，人工智能是指用人工的方法在机器（如计算机）上实现的智能。从学科的角度看，人工智能是一门研究如何构造智能机器或智能系统，使其能模拟、延伸和扩展人类智能的学科。

那么，如何衡量机器是否具有智能呢？早在 1950 年人工智能还没有作为一门学科正式出现之前，英国数学家图灵（A.M. Turing, 1912—1954 年）就在他发表的一篇题为《*Computing Machinery and Intelligence*》（计算机与智能）的文章中提出了“机器能思维”的观点，并设计了一个著名的测试机器智能的实验，称为“图灵测试”或“图灵实验”。

“图灵实验”可描述如下：该实验的参加者由一位测试主持人和两个被测试对象组成。其中，两个被测试对象中一个是人，另一个是机器。测试规则为：测试主持人和每个被测试对象分别位于彼此不能看见的房间中，相互之间只能通过计算机终端进行会话。测试开始后，由测试主持人向被测试对象提出各种具有智能性的问题，但不能询问测试者的物理特征。被测试对象在回答问题时，都应尽量使测试者相信自己是“人”，而另一位是“机器”。在这个前提下，要求测试主持人区分这两个被测试对象中哪个是人，哪个是机器。如果无论如何更换测试主持人，都会有超过 30% 的测试主持人认为与自己对话的机器是人而不是机器，则认为该机器具有了智能。

也有人图灵的这个测试标准提出了质疑，认为该测试只反映了结果的比较，既没有涉及思维的过程，也没有明确参加实验的人是小孩还是具有良好素质的成年人。尽管如此，“图灵测试”对人工智能学科发展产生的影响却十分深远。

1.1.3 人工智能的研究目标

关于人工智能的研究目标，目前还没有一个统一的说法。1978 年，斯洛曼（A. Sloman）对人工智能给出了以下 3 个主要目标：① 对智能行为有效解释的理论分析；② 解释人类智能；③ 构造具有智能的人工制品。

要实现斯洛曼的这些目标，需要同时开展对智能机理和智能构造技术的研究。对图灵期望的那种智能机器，尽管没有提到思维过程，但要真正实现这种智能机器，却同样离不开对智能机理的研究。因此，揭示人类智能的根本机理，用智能机器去模拟、延伸和扩展人类智能应该是人工智能研究的根本目标，或者叫远期目标。

人工智能的远期目标涉及脑科学、认知科学、计算机科学、系统科学、控制论及微电子学等学科，并依赖这些学科的共同发展。但从目前这些学科的发展现状来看，实现人工智能的远期目标还需要一个较长的时期。

在这种情况下，人工智能的近期目标是研究如何使现有的计算机更聪明，即使它能够运用知识去处理问题，能够模拟人类的智能行为，如推理、思考、分析、决策、预测、理解、规划、设计和学习等。为了实现这一目标，人们需要根据现有计算机的特点，研究实现智能的有关理论、方法和技术，建立相应的智能系统。

实际上，人工智能的远期目标与近期目标是相互依存的。远期目标为近期目标指明了方向，而近期目标为远期目标奠定了理论和技术基础。同时，近期目标和远期目标之间并无严格界限，近期目标会随人工智能研究的发展而变化，并最终达到远期目标。

1.2 人工智能的产生与发展

人工智能诞生以来走过了一条坎坷和曲折的发展道路。回顾历史，按照人工智能在不同时期的主要特征，可以将其产生和发展过程分为以下 5 个阶段。

1.2.1 孕育期（1956 年之前）

自远古以来，人类就有着用机器代替人们脑力劳动的幻想。早在公元前 900 多年，我国就有歌舞机器人流传的记载。公元前 850 年，古希腊也有了制造机器人帮助人们劳动的神话传说。此后，在世界的许多国家和地区都出现了类似的民间传说或神话故事。为追求和实现人类的这一美好愿望，很多科学家为之付出了艰辛的劳动和不懈的努力。人工智能可以在顷刻间爆发，而孕育这个学科却需要经历一个相当漫长的历史过程。

从古希腊伟大的哲学家亚里士多德（Aristotle，公元前 384—322 年）创立的演绎法，到德国数学和哲学家莱布尼茨（G. W. Leibnitz，1646—1716 年）奠定的数理逻辑的基础；再从英国数学家图灵 1936 年创立图灵机模型，到美国数学家、电子数字计算机的先驱莫克利（J. W. Mauchly，1907—1980 年）等人 1946 年研制成功世界上第一台通用电子计算机，这些都为人工智能的诞生奠定了重要思想理论和物质技术基础。

1943 年，美国神经生理学家麦卡洛克（W. McCulloch）和皮茨（W. Pitts）一起研制出了世界上第一个人工神经网络模型（MP 模型），开创了以仿生学观点和结构化方法模拟人类智能的途径；1948 年，美国著名数学家威纳（N. Wiener，1874—1956 年）创立了控制论，为以行为模拟观点研究人工智能奠定了理论和技术基础；1950 年，图灵发表了题为《计算机能思维吗》的著名论文，明确提出了“机器能思维”的观点。至此，人工智能的基本雏形已初步形成，人工智能的诞生条件也已基本具备。通常，人们把这一时期称为人工智能的孕育期。

1.2.2 形成期 (1956 年到 20 世纪 60 年代末)

人工智能诞生于一次历史性的聚会。为使计算机变得更“聪明”，或者说使计算机具有智能，1956 年夏季，当时在美国达特茅斯 (Dartmouth) 大学的年轻数学家、计算机专家麦卡锡 (J. McCarthy, 后为麻省理工学院教授) 和他的三位朋友——哈佛大学数学家、神经学家明斯基 (M. L. Minsky, 后为麻省理工学院教授)、IBM 公司信息中心负责人罗切斯特 (N. Lochester)、贝尔实验室信息部数学研究员香农 (C.E. Shannon) ——共同发起，并邀请 IBM 公司的莫尔 (T. More) 和塞缪尔 (A.L. Samuel)、麻省理工学院的塞尔弗里奇 (O. Selfridge) 和索罗蒙夫 (R. Solomonff), 以及兰德 (RAND) 公司和卡内基 (Carnegie) 工科大学的纽厄尔 (A. Newell) 和西蒙 (H.A. Simon) 共 10 人，在达特茅斯大学举行了一个为期两个月的夏季学术研讨会。这些来自美国数学、神经学、心理学、信息科学和计算机科学方面的杰出年轻科学家，在一起共同学习和探讨了用机器模拟人类智能的有关问题，并由麦卡锡提议，正式采用了“人工智能 AI (Artificial Intelligence)”这一术语。从而一个以研究如何用机器来模拟人类智能的新兴学科——人工智能诞生了。

在这次会议之后 10 多年中，人工智能在定理证明、问题求解、博弈论等众多领域取得了一大批重要研究成果。例如，1956 年，塞缪尔研制成功了具有自学习、自组织和自适应能力的西洋跳棋程序。该程序可以从棋谱中学习，也可以在下棋过程中积累经验、提高棋艺。1957 年，纽厄尔、肖 (J. Shaw) 和西蒙等人的心理学小组研制了一个称为逻辑理论机 (Logic Theory machine, LT) 的数学定理证明程序。该程序可以模拟人类用数理逻辑证明定理时的思维规律，去证明如不定积分、三角函数、代数方程等数学问题。1958 年，麦卡锡建立了行动规划咨询系统。1960 年，麦卡锡又研制了人工智能语言 LISP。1965 年，鲁滨逊 (J.A. Robinson) 提出了归结 (消解) 原理。1968 年，美国斯坦福大学的费根鲍姆 (E.A. Feigenbaum) 领导的研究小组研制成功了化学专家系统 DENDRAL。此外，在人工神经网络方面，1957 年，罗森布拉特 (F. Rosenblatt) 等人研制了感知器 (perceptron)，利用感知器可进行简单的文字、图像、声音识别。

1.2.3 知识应用期 (20 世纪 70 年代初到 80 年代初)

正当人们在为人工智能所取得的成就而高兴的时候，人工智能却遇到了许多困难，遭受了很大的挫折。然而，在困难和挫折面前，人工智能的先驱者们并没有退缩，他们在反思中认真总结了人工智能发展过程中的经验教训，从而开创了一条以知识为中心、面向应用开发的新的道路。通常，人们把从 1971 年到 20 世纪 80 年代末这段时间称为人工智能的知识应用期，也有人称为低潮时期。

1. 挫折和教训

人工智能在经过形成时期的快速发展之后，很快就遇到了许多麻烦。例如：

- ① 在博弈方面，塞缪尔的下棋程序在与世界冠军对弈时，5 局中败了 4 局。
- ② 在定理证明方面，鲁滨逊归结法的能力有限。当用归结原理证明“两个连续函数之和还是连续函数”时，推了 10 万步也没证明出结果。
- ③ 在问题求解方面，由于过去的研究一般针对具有良好结构的问题，而现实世界中