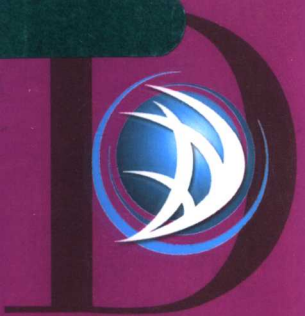


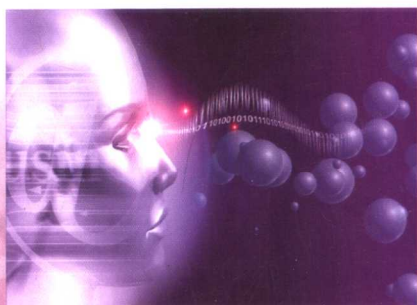


DIANQI  
XINXILEI

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

# 人工智能及其应用

■ 孔月萍 周继 于军琪 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TP18/158

2008

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

# 人工智能及其应用

孔月萍 周 继 于军琪 编著  
何 波 刘晓虹 韦素媛

机械工业出版社

本书介绍了人工智能的发展历史、研究领域、基本结构和系统特征；知识及其表示方法；智能求解及搜索策略；专家系统的组成结构、工作原理、设计思想及其评价原则；机器学习的原理、方法及新进展；遗传算法的概念及原理；人工智能系统应用等。

本书凝聚了作者多年的教学实践与科学研究成果，注重理论与实践的结合，从人工智能的基本概念和发展过程出发，着重阐述了人工智能的原理、技术及其应用方法。

本书可作为高等院校计算机、自动化、系统工程、电子信息等专业学生人工智能课程的本科生、研究生教材，也可供从事人工智能研究与应用的科技工作者学习参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能及其应用/孔月萍等主编. —北京：机械工业出版社，2007.10  
普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材  
ISBN 978-7-111-22632-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 164779 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑：于苏华 版式设计：张世琴 责任校对：樊钟英  
封面设计：张 静 责任印制：洪汉军  
北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm×260mm·11.75 印张·285 千字  
标准书号：ISBN 978-7-111-22632-1  
定价：20.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
销售服务热线电话：(010)68326294  
购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话：(010)88379727  
封面防伪标均为盗版

# 前 言

人工智能是 20 世纪 70 年代形成的一门新兴交叉学科,被誉为 20 世纪的三大科学成就之一。其内容涉及了专家系统、知识工程、博弈、机器学习、模式识别、神经网络、遗传算法等多个应用领域,受到世界各国的普遍重视。国内许多高校也纷纷开设了人工智能课程,并陆续出版了教材和专著。但国内外许多相关书籍的内容大多是面向该领域的专业工程技术人员,或是针对某一人工智能研究专题做深入论述,而对具体的开发环境和应用系统设计方面的论述较少。作者以自编的《人工智能引论》讲义为基础,结合多年来的本科生、研究生教学和相关科研实践,注重教材内容的系统性、应用性、趣味性,编写了《人工智能及其应用》一书。

本书着重于基础理论与编程实践相结合,强调内容的先进性、实用性和可读性,面向读者、面向应用;为增强学习过程的趣味性、可视性和可理解性,将作者多年来的教学积累与科研成果编撰为“电子演示稿”和“实例程序集”,提供给读者,希望它既可作为高等院校计算机、自动化、系统工程、电子信息等专业的本科、研究生教材或教学参考书,也可供其他专业学生或从事计算机科学研究、开发和应用的相关专业科研及工程技术人员自学或参考。

本书在参考了国内外现有教材和相关文献的基础上编撰而成,共分为 7 章,第 1 章简述人工智能的发展历史、研究领域、基本结构和系统特征;第 2 章介绍多种知识表示方法;第 3 章详述问题求解的推理技术及搜索控制策略;第 4 章论述人工智能的重要应用——专家系统的组成结构、工作原理、设计思想及评价原则;第 5 章介绍机器知识学习的方法;第 6 章简述新一代人工智能应用系统的设计原理——遗传算法;第 7 章以 Visual Prolog 为主要开发平台分析、讨论人工智能应用系统的设计与实现方法。其中,第 1、2 章由周继编写,第 3、7 章由孔月萍编写,第 4 章由孔月萍、周继合作编写,第 5 章及第 7.6 节由于军琪编写,第 6 章及第 7.7 节由何波编写;此外,刘晓虹、耿烨、袁香菊、吕小平、袁龙飞、于乐兵、曹耀东、宋琳、杜旭苗等研究生参与了本教材的程序调试、文稿编辑工作。韦素媛对文稿以及实例程序进行了校对。全书由孔月萍统稿,由西安交通大学黄永宣教授主审。

本教材的编写得到西安建筑科技大学重点教材建设项目的资助,并得到了机械工业出版社的大力帮助和支持,在此深表感谢。

由于编者水平有限,加上人工智能理论和技术发展很快,因此,书中不妥与错误之处在所难免,恳请各位专家和读者不吝指教和帮助。对此,我们深表感谢。

本书配有电子演示稿和实例程序集,欢迎选用本书作教材的教师及读者发邮件索取,电子邮箱: kongyp@xauaf.edu.cn 或 yu57sh@163.com。

编著者

2007 年 10 月于西安

# 目 录

## 前言

|                             |    |                         |    |
|-----------------------------|----|-------------------------|----|
| <b>第1章 绪论</b> .....         | 1  | 3.2.2 问题的直接求解法 .....    | 42 |
| 1.1 人工智能概况 .....            | 1  | 3.2.3 状态空间图搜索算法 .....   | 46 |
| 1.1.1 人工智能发展简史 .....        | 1  | 3.3 基本推理技术 .....        | 47 |
| 1.1.2 人工智能研究意义 .....        | 2  | 3.3.1 推理的概念及其类型 .....   | 48 |
| 1.2 人工智能的学科范畴 .....         | 4  | 3.3.2 推理的控制策略 .....     | 50 |
| 1.2.1 人工智能的位置 .....         | 4  | 3.4 搜索策略的效率 .....       | 53 |
| 1.2.2 人工智能的研究目标和方法 .....    | 5  | 3.4.1 穿透率 .....         | 53 |
| 1.2.3 人工智能的核心问题 .....       | 6  | 3.4.2 有效分支因素 .....      | 53 |
| 1.3 人工智能的研究领域 .....         | 8  | 3.4.3 提高搜索效率的一般原则 ..... | 54 |
| 1.4 人工智能系统结构及特点 .....       | 11 | 3.5 基本搜索策略 .....        | 55 |
| 1.4.1 机器问答系统 .....          | 11 | 3.5.1 广度优先搜索 .....      | 55 |
| 1.4.2 规划与问题求解 .....         | 13 | 3.5.2 深度优先搜索 .....      | 57 |
| 1.4.3 专家系统 .....            | 14 | 3.5.3 有界深度优先搜索 .....    | 58 |
| 1.4.4 人工智能系统特点 .....        | 15 | 3.5.4 代价推进搜索 .....      | 60 |
| 习 题 .....                   | 16 | 3.6 启发式搜索策略 .....       | 61 |
| <b>第2章 知识及其表示方法</b> .....   | 17 | 3.6.1 启发信息和估价函数 .....   | 61 |
| 2.1 知识表示技术 .....            | 17 | 3.6.2 局部择优搜索 .....      | 62 |
| 2.1.1 知识的分类 .....           | 17 | 3.6.3 全局择优搜索 .....      | 63 |
| 2.1.2 知识表示及其评价 .....        | 18 | 3.6.4 A* 算法 .....       | 65 |
| 2.1.3 不确定性知识表示 .....        | 21 | 3.7 基于规划的启发式搜索原理 .....  | 66 |
| 2.2 状态空间表示法 .....           | 23 | 3.7.1 基本规划 .....        | 67 |
| 2.3 与或图表示法 .....            | 24 | 3.7.2 多层规划 .....        | 69 |
| 2.4 知识的逻辑表示法 .....          | 26 | 习 题 .....               | 72 |
| 2.5 产生式表示法 .....            | 28 | <b>第4章 专家系统</b> .....   | 74 |
| 2.6 语义网络表示法 .....           | 31 | 4.1 专家系统的基本概念及其特点 ..... | 74 |
| 2.7 框架表示法 .....             | 34 | 4.2 专家系统结构 .....        | 75 |
| 2.8 Petri 网知识表示法 .....      | 36 | 4.2.1 基本结构 .....        | 75 |
| 习 题 .....                   | 38 | 4.2.2 流行结构 .....        | 75 |
| <b>第3章 智能求解及其搜索策略</b> ..... | 40 | 4.2.3 理想结构 .....        | 76 |
| 3.1 搜索系统的组成 .....           | 40 | 4.3 专家系统设计方法 .....      | 77 |
| 3.2 问题表示及求解方法 .....         | 41 | 4.4 专家系统评价 .....        | 78 |
| 3.2.1 问题表达及其变换 .....        | 41 | 4.4.1 评价方法 .....        | 79 |
|                             |    | 4.4.2 专家系统的评价内容 .....   | 79 |

|                              |            |                                      |            |
|------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| 4.5 专家系统开发工具 .....           | 80         | 6.2.5 交叉算子 .....                     | 139        |
| 4.5.1 程序设计语言 .....           | 80         | 6.2.6 变异算子 .....                     | 141        |
| 4.5.2 骨架型系统 .....            | 81         | 6.3 改进的遗传算法 .....                    | 141        |
| 4.5.3 通用型系统 .....            | 82         | 6.3.1 微种群算法 .....                    | 141        |
| 4.5.4 支撑环境 .....             | 82         | 6.3.2 双种群遗传算法 .....                  | 142        |
| 4.6 Visual Prolog 语言 .....   | 84         | 6.3.3 自适应遗传算法 .....                  | 142        |
| 4.6.1 基本语法规则 .....           | 84         | 6.4 协进化算法 .....                      | 144        |
| 4.6.2 程序结构 .....             | 87         | 6.4.1 协进化算法基本流程 .....                | 144        |
| 4.6.3 搜索控制机制 .....           | 89         | 6.4.2 代表个体选择 .....                   | 145        |
| 4.6.4 数据结构 .....             | 94         | 习 题 .....                            | 147        |
| 习 题 .....                    | 98         |                                      |            |
| <b>第 5 章 知识学习</b> .....      | <b>99</b>  | <b>第 7 章 人工智能系统应用</b> .....          | <b>148</b> |
| 5.1 知识学习概念、原理及分类 .....       | 99         | 7.1 分层设计原理 .....                     | 148        |
| 5.2 神经网络学习 .....             | 102        | 7.2 智能识别系统 .....                     | 149        |
| 5.2.1 学习方式 .....             | 102        | 7.2.1 问题描述 .....                     | 150        |
| 5.2.2 学习算法 .....             | 103        | 7.2.2 系统结构与与设计 .....                 | 150        |
| 5.2.3 学习特点 .....             | 104        | 7.2.3 智能识别系统的使用 .....                | 153        |
| 5.3 神经网络模型 .....             | 104        | 7.3 智能诊断系统 .....                     | 154        |
| 5.3.1 神经网络典型模型 .....         | 104        | 7.3.1 问题描述及系统开发方法 .....              | 154        |
| 5.3.2 BP 神经网络及算法 .....       | 107        | 7.3.2 系统结构与与设计 .....                 | 159        |
| 5.3.3 Hopfield 神经网络及算法 ..... | 110        | 7.3.3 智能诊断系统的使用 .....                | 161        |
| 5.4 知识发现与 Agent 技术 .....     | 113        | 7.4 智能规划系统 .....                     | 163        |
| 5.4.1 知识发现的过程 .....          | 113        | 7.4.1 规划问题 .....                     | 163        |
| 5.4.2 知识发现的方法 .....          | 115        | 7.4.2 系统结构与与设计 .....                 | 164        |
| 5.4.3 知识发现中的数据挖掘技术 .....     | 117        | 7.4.3 智能规划系统的使用 .....                | 165        |
| 5.4.4 Agent 技术 .....         | 120        | 7.5 基于框架的智能系统 .....                  | 167        |
| 习 题 .....                    | 125        | 7.5.1 基于框架的智能系统设计 .....              | 167        |
|                              |            | 7.5.2 框架系统的使用 .....                  | 168        |
| <b>第 6 章 遗传算法</b> .....      | <b>127</b> | 7.6 神经网络的应用 .....                    | 169        |
| 6.1 遗传算法及其数学基础 .....         | 127        | 7.6.1 BP 神经网络的应用 .....               | 169        |
| 6.1.1 标准遗传算法及基本术语 .....      | 127        | 7.6.2 Hopfield 网络求解 TSP 问题 .....     | 171        |
| 6.1.2 模式定理 .....             | 129        | 7.7 遗传算法应用 .....                     | 174        |
| 6.2 遗传算法的设计 .....            | 132        | 7.7.1 用遗传算法优化神经网络 .....              | 174        |
| 6.2.1 编码 .....               | 132        | 7.7.2 基于遗传算法的混合 Flow-shop 调度方法 ..... | 177        |
| 6.2.2 初始群体设定 .....           | 136        | 习 题 .....                            | 179        |
| 6.2.3 适应度函数 .....            | 136        |                                      |            |
| 6.2.4 选择算子 .....             | 138        | <b>参考文献</b> .....                    | <b>180</b> |

# 第 1 章 绪 论

人工智能是目前科学技术发展的一门前沿学科，是计算机科学的一个重要分支，它与原子技术和空间技术一起被誉为 20 世纪的三大科学技术成就。

## 1.1 人工智能概况

### 1.1.1 人工智能发展简史

人工智能是人们长期以来研究和探索能进行计算、推理和其他思维活动的智能机器的必然结果，是计算机科学、控制论、信息论、系统论、神经生物学、心理学、语言学和哲学等多学科互相渗透发展起来的综合性学科，它的产生和发展过程经历了三大标志性阶段。

#### 1. 产生期

自古以来，人们一直试图用各种机器来代替人的部分脑力劳动，以提高人类征服自然的能力。在近代史上，关于研究人的思维规律，制造可完成计算、推理和其他智能行为的机器的记载层出不穷。

逻辑学的创始人、古希腊哲学家亚里斯多德（Aristotle，384—322，BC）提出的三段论奠定了演绎推理的基础。

17 世纪，法国物理学家、数学家帕斯卡（B. Pascal，1623—1662 年）研制了世界上第一台机械式加法器。随后，德国数学家、哲学家莱布尼茨（G. W. Leibniz，1646—1716 年）在帕斯卡加法器的基础上进一步研制了可进行四则运算的计算器，提出了“万能符号”和“推理计算”的思想。他认为可以建立一种通用的符号语言并在此基础上进行推理演算，这是现代“思维”机器设计思想的萌芽。

19 世纪，英国数学家布尔（G. Boole，1815—1864 年）使用符号语言描述了思维活动中推理的基本法则，创立了逻辑代数。英国数学家巴贝奇（C. Babbage，1791—1871 年）研究设计了分析机，其设计思想与现代电子数字计算机十分相似。

英国数学家图灵（A. M. Turing，1912—1954 年）设计了检验机器智能的图灵测验，提出了理想计算机模型——图灵机，创立了自动机理论，将计算机的理论研究向前推进了一大步。

1946 年美国数学家莫克利（J. W. Mauchly，1907—1980 年）和埃克特（J. P. Eckert）合作，研制成功了第一台通用电子数字计算机 ENIAC。1948 年美国数学家维纳（N. Wiener）创立了控制论，美国贝尔实验室的数学家香农（C. E. Shannon）创立了信息论，同期美籍奥地利生物学家贝塔郎非（L. V. Bertalanfy）创立了系统论。

因此，这一时期的主要成就是创立数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论和系统论，发明了通用电子数字计算机，这一切为人工智能的诞生准备了充足的思想、理论和物质技术条件。

## 2. 形成期

1956年,由数学和神经学家麦卡锡(J. McCarthy)、明斯基(M. L. Minsky),以及IBM公司信息研究中心负责人罗却斯特(N. Lochester)和香农共同发起、召开的学术研讨会议上,探讨了用机器模拟智能的各种问题和特征,正式提出了人工智能这一术语,标志着人工智能学科的正式诞生。

这一年,人工智能在实验研究上取得了两项重大突破:美国的纽厄尔(A. Newell)、肖(J. Shaw)和西蒙(H. A. Simon)合作编制了一个逻辑理论机程序系统(The Logic Theory Machine, LT),该程序模拟了人类用数理逻辑证明定理时的思维规律,只要事先在机器中存入一组公理和推理规则,LT程序就可以在探索中求解问题,这是用计算机对人的高级思维活动进行研究的第一个重大成果。

另一个重大突破是塞缪尔(A. L. Samuel)研制的具有自学习、自组织和自适应能力的跳棋程序。它可以像一个优秀的棋手那样向前看几步后再走棋,可以学习下棋经验或自己积累经验,还可以学习棋谱。这是模拟人类学习过程的一次有成效的探索。

同年,乔姆斯基(N. Chomsky)提出了一种基于文法的数学模型,创立了形式语言,它与自动机相结合被用来描述和研究思维过程。

1960年,纽厄尔、肖和西蒙等人通过心理学实验,发现了人们解题时的思维活动过程,编写了通用问题求解程序(General Problem Solving, GPS)。

同年,麦卡锡研制出表处理语言LISP,它不仅能处理数值,而且可以方便地处理符号。该语言随后在人工智能的各个研究领域中得到广泛应用。

这一时期的主要成就是现代人工智能的正式诞生,它很快在定理证明、问题求解、博弈和LISP语言及模式识别等许多领域取得重大突破,并作为一门新兴学科受到世人的关注。

## 3. 发展期

20世纪70年代以来人工智能走向实用化研究,最引人注目的是各种专家系统的出现,这些系统被广泛应用于化学、医疗、地质、气象、教学、科学研究和军事等领域,大大提高了工作效率和工作质量。在此基础上,人们还开展了知识工程(Knowledge Engineering)、自动定理证明、自动程序设计、模式识别、物景分析和自然语言理解等多个方面的深入研究,并在智能机器人和专家系统等应用领域进行了实际检验。

20世纪70年代末,在我国的许多高等院校和科研单位中也逐渐形成了一支自己的人工智能研究力量,取得了显著的成果(如定理证明、医疗诊断、汉语理解和模式识别等)。1978年我国政府在科学发展规划中正式将智能模拟列为计算机科学的重要课题之一,并在中国自动化学会之下设立了模式识别与机器智能专业委员会,在中国计算机学会之下设立了人工智能专业委员会。1986年我国政府将人工智能、模式识别、智能机器人的研究列入国家重大科技攻关项目。

这一时期,人工智能的研究开始向纵深发展,在更多的领域中取得了重大突破,并开始走向实际实用,在学科上也开始形成了自己的理论体系。

### 1.1.2 人工智能研究意义

随着科学技术的发展,人类社会活动所产生的信息总量迅速增长,出现了“信息爆炸”现象,要及时掌握世界各国的资讯,必须实现资料收集和信息检索的自动化。美国已有的自动情报检索系统,可根据题目在很短时间内从30种不同语言写成的10万篇文献中,查找出

所需要的资料,平均每分钟查 1800 篇;它还可以在 2 小时内查完 5 个专业的全年文献,平均每个专业查询只需 24 分钟;在完成文献查询后还可以为读者自动复印和翻译。当然这样的系统在某些环节上还不够理想,如情报的自动收集、翻译的质量控制及系统的其他智能水平等都有待改进。因此进一步提高信息交流及管理技术的自动化水平,将涉及到智能科学中的模式识别、自然语言理解和智能数据库等多个研究领域。

地球周围已有数千颗人造地球卫星在运行,其中,70%以上用于军事侦察,其他则用于地质、气象等科学勘察,对卫星返回信息的处理和识别工作显得十分重要,但这种遥感图像中要处理和识别的信息量却十分惊人,如 LANDSAT 资源卫星的一幅照片是由 7909200 个像素即 55364400 个码位组成。在这样一张巨大的照片中识别目标,就意味着在  $100 \times 100$  平方公里的庞大面积上,去寻找诸如伪装的导弹发射井之类的东西,两者面积相差达  $10^6$  倍,若用人眼来完成,那是根本不可能的。因此,利用大型电子计算机进行图像处理,根据人给定的目标特征和分类标准由计算机自动完成目标特征抽取和分类识别成为必然趋势。

自动控制包含两个基本问题,一是控制问题,另一个是信息处理问题。在过去,系统比较简单,控制规律不太复杂,所以控制问题一直是自动控制的核心问题,信息处理则处于相对次要的地位。但目前自动控制正面临着规模庞大、结构复杂、层次分明、功能综合和因素众多的大系统 (Large Scale System),所以,情况发生了根本改变,自动控制的核心问题不可避免地转移到了信息处理方面。可以想象依靠现代控制理论中的状态方程,要处理大系统中大量、随机和模糊的信息,是根本不可能的。把大系统作为一个有机整体考虑,用智能算子的方法解决才是发展趋势,表 1-1 描述的自动控制理论发展过程给出了有力证明。

表 1-1 自动控制理论发展过程

| 阶 段  | 第 一 代            | 第 二 代            | 第 三 代         |
|------|------------------|------------------|---------------|
| 形成时间 | 20 世纪 40 ~ 50 年代 | 20 世纪 60 ~ 70 年代 | 20 世纪 70 年代以后 |
| 理论基础 | 经典控制理论           | 现代控制理论           | 智能控制理论        |
| 研究对象 | 单因素控制            | 多因素控制            | 多层次众多因素控制     |
| 分析方法 | 传递函数,频域法         | 状态方程,时域法         | 智能算子,多级控制     |
| 研究重点 | 反馈控制             | 最优、随机、自适应控制      | 大系统理论,智能控制    |
| 核心装置 | 自动调节器            | 电子数字计算机          | 智能机器系统        |
| 应 用  | 单机自动化            | 机组自动化            | 综合自动化         |

电子数字计算机是一种信息处理机或者说是一种简单的智能机器,它的广泛应用,正在引起社会生活各个方面的深刻变化。计算机虽然有极高的运算速度和极大的存储容量,但是“感觉器官”很不发达,从计算机的“思维”能力看,目前的任务执行完全依赖于人事先编好并存入的程序,不具备从自身工作经验中自我学习和完善的能力。同时目前的计算机只具备一种“不是即非”的二值逻辑,无法理解人类广泛使用的模糊概念和逻辑,显得很绝对。因此,要使它在现实世界中成为人类更加得心应手的智能工具,必须配上更加发达的感觉器官、效应器官和高级思维程序,并具有广泛的问题求解能力。

从近代科学发展史上看,科学体系结构的改变就是科学革命。众所周知,能源、材料和

信息是自然界的三大要素，因而也是社会生产和自然科学中的三大基本问题，社会生产的发展要求三者要相互协调、平衡发展。但在一个历史时期内，由于种种条件的影响，三者中必有其一是主要矛盾，发展较快，起着带头和重心的作用。当这种“重心”从一个基本问题转向另一个基本问题时，就会引发科学革命和工业革命。如第一次科学革命发生在“重心”由材料转向能源之时，而第二次科学革命发生在“重心”由能源转向信息之时。如果说第一次科学革命是能源革命，那么第二次科学革命就是信息革命，它建立了广义的信息科学，其最终作用是改变了过去那种以人的智力作为信息处理唯一“原动力”的状况，实现了机器的智能化，这不仅将人类从简单、繁琐的那部分脑力劳动中解放出来，使人类的智慧能集中到那些更富于创造性的工作中去，而且，还能使那些单靠人的天然智能无法进行或带危险性的工作（有害环境作业、太空探险等）得以完成。人类因此从脑力劳动的“手工业”时代跃入“工业化”时代，人类社会也从工业社会过渡到信息社会。表 1-2 给出了两次科技革命的比较关系。

表 1-2 两次科技革命的比较关系

| 对比项目 | 第一次科学革命                              | 第二次科学革命                              |
|------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 发生时间 | 1670 ~ 1740                          | 1930 ~                               |
| 时代背景 | 劳动分工和工具充分发展，动力问题突出，人的自然体力的局限性暴露      | 动力机和工具机充分发展，信息处理问题突出，人的自然智力的局限性暴露    |
| 革命目的 | 突破人的体力的局限性，为大功率动力系统的产生、控制和利用寻求理论基础   | 突破人的智力的局限性，为高效率信息处理系统的产生、控制和利用寻求理论基础 |
| 核心问题 | 动力（能源）                               | 智力（信息）                               |
| 理论成果 | 建立经典物理学，主要是各种力学                      | 建立广义信息科学，主要是智能科学                     |
| 物质成果 | 蒸汽机及其他各种动力机                          | 电子数字计算机及其他各种智能机                      |
| 时代影响 | 第一次工业革命，人的部分体力劳动自动化，从农业（手工业）社会进入工业社会 | 第二次工业革命，人的部分脑力劳动自动化，从工业社会进入信息化社会     |

## 1.2 人工智能的学科范畴

人工智能是一门新兴的交叉学科，由于人工智能本身正处在发展演变之中，尚未定型，因此关于“什么是智能？什么是人工智能？人工智能和人的智能有什么区别和联系？”学术界尚无统一的科学定义。本节将从人工智能的位置、研究目标、研究方法及研究领域等几个不同的侧面来描述它的内涵和外延。

### 1.2.1 人工智能的位置

如图 1-1 所示，可以将整个科学体系用一个大球来表示，大球内接两个小球，分别代表自然科学和社会科学，两个小球相交的阴影部分为交叉科学，它包括系统科学、思维科学和人体科学等。人工智能可以列入思维科学体系；哲学是所有科学的指导科学；数学是所有科学的基础科学。先进的哲学思想指导具体科学的发展，而任何一门具体科学只有成功地运用数学时才算达到了真正完善的地步。

人工智能以思维与智能为核心,是计算机科学、逻辑学、思维学、生理学、心理学、电子学、语言学、教育学等多学科相互渗透的结果,属新兴、交叉型学科,因此具有很强的综合性。它诞生在控制论、信息论与系统论基础之上,也必然随着突变论、耗散结构理论、协同论的发展而进入新的阶段。

人工智能的成果以一种新的力量进入社会,使得机器智能与人的智能相互补充、相互渗透、相互促进。所以,它的发展也将推动人的智能革命,从而使人类文明史进入到一个新的里程,使整个科学体系结构发生新的分化与变革。因此,可以认为,人工智能学科在科学体系中占有重要的地位,是科学发展史上具有深远影响的一门学科。

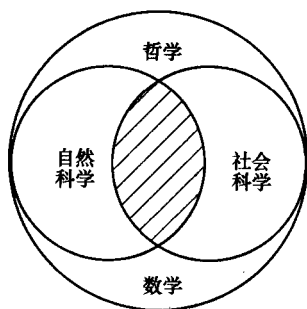


图 1-1 科学体系

### 1.2.2 人工智能的研究目标和方法

“人类智能活动的能力”是指人类在认识世界和改造世界的活动中,由脑力劳动表现出来的能力,可以概括为以下几点:

- 1) 认识和理解世界环境的能力。通过视觉、听觉、触觉等感官活动,接收并理解文字、图像、声音、语言等各种外界的“自然信息”。
- 2) 进行演绎和归纳推理的能力。通过人脑的生理与心理活动及有关的信息处理过程,将感性知识抽象为理性知识,并能对事物运动的规律进行分析、判断和推理。
- 3) 学习的能力。通过教育训练和学习过程,日益丰富自身的知识和技能。
- 4) 自适应的能力。对变化多端的外界环境条件,如干扰、刺激等作用能灵活地做出反应。

人工智能学科主要是研究如何制造出人工的智能机器或智能系统,因此,其核心任务是研究用计算机软件、硬件系统模拟人类某些智能行为的基本理论、技术和方法。但人工智能工作者还应该有关远期研究目标,即探讨智能的基本机理,研究如何利用各种自动机来模拟人的某些思维过程和智能行为,这个研究目标涉及自然科学和社会科学,远远超出了计算机科学的范畴。

从远期目标看,人工智能不应局限于计算机科学之内,它将与其他学科的研究成果相结合,形成一门范围更加广泛的智能科学,其研究内容应包括理论和工程两大部分,其中,工程研究的目的在于探讨模拟智能的各种理论和方法,制造各种智能机器,因而被称为仿智学。事实上仿智学的研究已有近 50 年的历史了,形成了两种研究方向:一个是脑模型研究,其特点是利用仿生学的观点和方法,把脑的微观结构与宏观功能统一起来,制成类大脑的智能机器(Intelligent Machine)或控制论机器(Cybernetics Machine);另一个是人工智能研究,它的特点是用计算机科学的观点和方法,撇开脑的微观结构,单纯进行脑的宏观功能模拟,它使用的机器实体主要是电子数字计算机,大部分工作是进行计算机软件研究,因此这种机器被称为智能计算机(Intelligent Computer)。智能计算机求解问题时主要采用两种手段:一是依靠建立数学模型并利用算法来求解问题;二是依靠心理学模型,把人在解决各种问题时所使用的经验、方法、策略、窍门都编进程序,产生启发式程序。心理学方法是人工智能取得重要成果的主要手段,也是目前人工智能研究中的主要方法。因此,计算机科学与心理学的相互渗透、相互促进,是人工智能发展的重要途径。

### 1.2.3 人工智能的核心问题

人工智能学科体系可以分为人工智能基础、人工智能原理和人工智能技术。其中,人工智能基础的研究主要是认知科学和数学方法的研究,前者包括逻辑思维学、形象思维学、灵感思维学、认识心理学、认识生理学等,后者包括离散数学、模糊数学、突变论等。而人工智能原理的研究则包括“知识表示、问题求解、机器学习和系统构成”4大问题。

1974年,美国学者尼尔逊(N.J. Nilsson)根据人工智能研究成果,归纳出了对解决各类智能问题都有意义的核心问题,它们是:知识的模型化和表示,常识性推理、演绎和问题求解,启发式搜索,人工智能系统和语言等。尼尔逊的人工智能学科结构如图1-2所示。

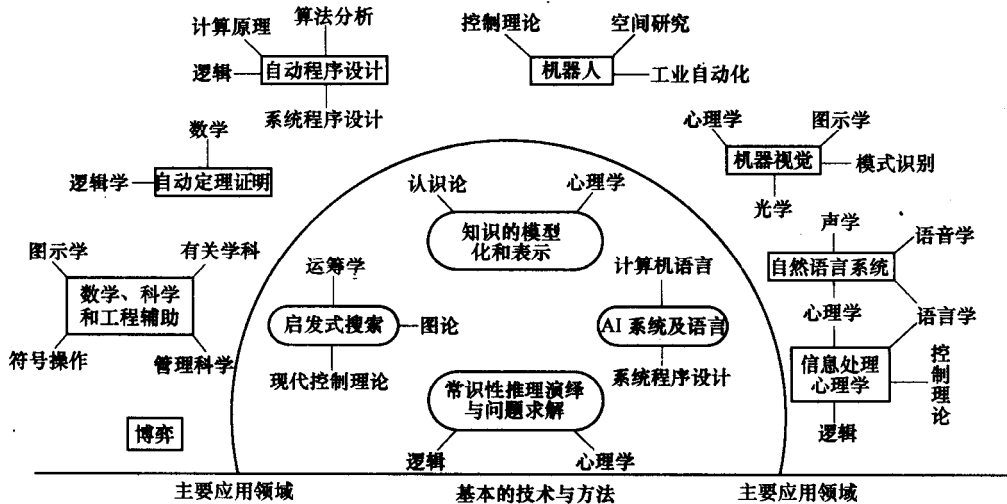


图 1-2 尼尔逊的人工智能学科结构

#### 1. 知识表示

人的智能活动是以知识为基础的,要让机器具有智能,也必须以知识为基础。要把知识表达成有效的形式并能被机器接受,既是知识问题的形式化工作,也是机器的知识表示问题,这是人工智能研究的最基本问题。

知识表示是研究机器表示知识的可行、有效、通用的原则与方法,使知识能够合理地储存在机器中,便于应用、修改、增删和更换。这里的“表示”是指用一组约定的符号和某种约定的方式来描述知识。目前,知识表示的完整理论还没有形成,主要原因是人们对自己头脑中知识的形成和结构等机制还没有弄清,因此,研究还局限于各人从不同的角度去理解。

已有的知识表示法有谓词逻辑表示法、模糊逻辑表示法、产生式表示法、状态空间表示法、与/或图表示法、语义网络表示法、框架表示法等。当然,不同问题需要不同的知识表示方法,同一个问题也可以有多种知识表示形式。

#### 2. 问题求解

人工智能研究如何使机器具有解决问题的智能,因此,问题求解是人工智能研究的根本问题,它主要包含推理与规划两大过程。推理分确定性推理与非确定性推理,非确定性推理包括不完全归纳推理、类比推理、模糊推理等;而规划与推理不同,它追求的不仅是问题的

解,还要求寻找一个优化的求解步骤。

此外,问题求解的方法也与问题的知识表示形式密切相关。如果问题可用谓词公式表示,那么问题就能采用谓词逻辑的演绎推理来求解。如果问题用状态空间法表示,那么搜索法就是基本的求解方法。所谓搜索,就是把问题用状态空间的结点来表示,原始问题相应于起始结点,然后从这一结点展开,通过允许的运算或操作得到一批新的结点,再对新的结点展开,直到某一结点与目标结点符合为止。搜索法包括广度优先搜索、深度优先搜索、有界深度优先搜索、启发式搜索等。

### 3. 机器学习

学习是人类智能产生的核心,人的学习是动态地获取知识,并在获取知识的过程中有所发展,有所发明,不是单纯的死记硬背,被动地获取知识,更多的是不断总结经验教训,纠正错误,完善自己,不断适应环境变化的需要。因此,人工智能除了要让机器具有解决具体问题的本领,还应重点研究使机器具有自学习的能力,使机器也能不断积累经验、总结教训、纠正错误、完善性能、适应环境变化的需要,这个概念符合认识论的原则。目前在机器学习中,已有一些初步的研究成果,主要有死记硬背学习法、参数修正学习法、问题求解学习法、概念学习法、发现学习法等。

### 4. 系统构成

人工智能的工作需要硬件、软件、接口等多方面的支持与配合,从而构成一个整体才能充分发挥作用。因此,人工智能的系统构成是一个中心问题,通常应包括以下5个方面。

(1) 人工智能语言 人工智能的主要课题是非数值问题求解,其任务在于完成复杂的推理、决策和规划,其中包含大量的符号处理和表处理,常用的程序设计语言主要针对数值计算,在人工智能中使用起来很不方便。表处理语言 LISP 和产生式规则语言 Prolog 的出现解决了符号处理和逻辑推理的问题,成为使用最早、最普遍、最有影响的人工智能语言,已广泛应用到人工智能的各个领域。

(2) 智能应用软件 人工智能目前的大部分工作都集中在智能应用软件的研制上,它的研究从实验室走向应用,也主要在于智能软件的应用。其应用范围很广,几乎涉及到所有学科,无论是自然科学领域,还是社会科学领域,都有大量智能软件的研制任务。

(3) 软件开发环境与工具 在人工智能的研究中,利用软件工具与开发环境都可以提高研究素质和效率。人工智能技术要大力发展,特别是智能软件要实用化、商品化,要建立软件产业,就必须引进软件工程的方法,加强开展软件开发环境与工具的研制工作。

(4) 硬件支持环境 现有的人工智能软件几乎都可在常规计算机上实现,每种人工智能语言的解释程序或编译程序,都是把用高级语言书写的程序转换成常规机上的机器代码,但代码常常无效,因为程序中用到的高级结构不可能完全与所用机器的结构相对应。这引导人们开始设计新的、具有高度并行处理功能的机器,这些机器应该可分离、能自治,并可彼此交互、协调,最终达到协同完成任务的目的,这是人工智能系统必不可少的硬件支持环境。

(5) 人机智能接口 人工智能系统工作好坏的另一个关键问题,是人机智能接口的质量与水平。它的工作涉及到人与机器的交互方式、接口软件的智能水平、接口的数模实时转换及硬件支持、接口的知识获取方式等,因此,智能接口的研究工作是一个多学科、综合性研

究课题，它的优劣直接影响人工智能系统的应用与发展。

上述人工智能系统构成的 5 个方面，从第 5 代计算机系统结构中（见图 1-3）也能充分体现出来。

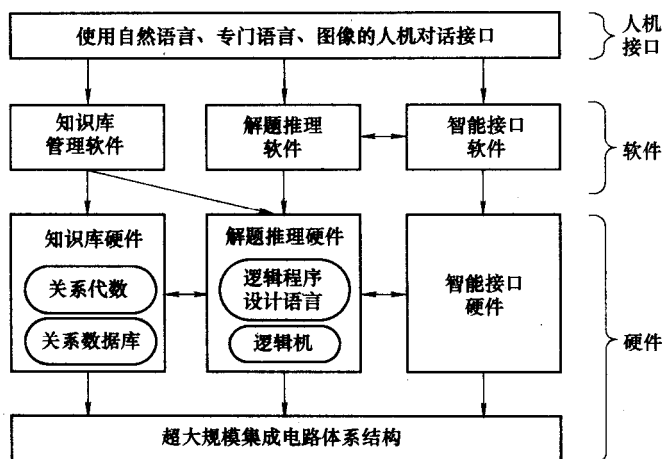


图 1-3 第 5 代计算机系统结构

### 1.3 人工智能的研究领域

人工智能的研究往往是结合某一特定问题进行的，近几年来比较集中的研究课题有专家系统、自然语言理解、智能决策支持系统、模式识别、机器定理证明、机器人学等。

#### 1. 专家系统 (Expert System)

所谓专家系统，就是一种以知识为基础的计算机软件系统，事先将有关专家的知识、经验总结出来、形成规则，并将它们存入计算机，然后，采用适当的控制策略，按输入的原始数据选择合适的规则进行推理、演绎，做出判断和决策，并能根据用户的要求显示判断决策的过程。

比较著名的专家系统有 1968 年斯坦福大学研制的化学质谱分析系统 DENDRAL，它根据质谱仪和核磁共振的检测数据推断有机化合物的分子结构。1976 年该校又设计了医疗诊断系统 MYCIN，能诊治血液细菌感染疾病，并可用英语与人对话和吸收新的知识。此外，还有勘探矿藏、石油测井、通信故障诊断、军用预警、电子线路分析与计算机辅助设计等。

#### 2. 自然语言理解 (Natural Language Understanding)

由于自然语言具有多义性，在人机交换信息的过程中必须使用严格定义过的非自然语言，这给使用带来诸多不便。用机器处理自然语言一直是人工智能应用领域研究的重要课题，难度较大，但计算机要广泛普及就必须能够使用自然语言，而不是使用各种计算机语言。

1970 年美国学者实现了一个可结合句法、语义、推理及上下文和世界知识的智能程序，成功地进行了人同计算机间的灵活对话。

早期的研究多用键盘输入自然语言,现在已与图形和语音识别系统配合起来进行书面语言和有声语言的识别和理解,因此自然语言理解也可以看成是模式识别研究的自然延伸。

### 3. 智能决策支持系统 (Decision Support System)

智能决策支持就是针对具体应用问题,根据实际与可能确定行动目标,首先拟定多个可行方案,最后运用统一标准选定最佳方案的过程。它分为确定情况下的决策和不确定情况下的决策,后者又分为风险情况下的决策和完全不确定情况下的决策。

智能决策支持系统主要由三大部分组成,即语言系统、知识系统和问题处理系统。近年来,国外计算机企业管理应用的重点已由事务性处理转向管理控制、计划和分析等高层管理决策和策略的制定。尤其是军事决策系统的研制工作在美、英等国倍受重视。

### 4. 模式识别 (Pattern Recognition)

模式识别是人工智能最早的研究领域,它的狭义研究目标是为计算机配置各种感觉器官,以便直接接受外界的各种信息。目前,其课题主要集中在语音和图形的识别上,前者主要研究各种语音信号的分类,后者主要研究各种图形(如文字、符号、各种图像和照片等)的分类。

模式识别大都是用电视摄像机、送话器和其他传感设备接受外界信息,并把它转变成电信号序列;然后用计算机对这些电信号序列进行各种变换和预处理,从中抽出有意义的特征,得到输入信号的模式;最后,再与机器中原有的各标准模式进行比较,完成对输入信息的分类识别工作。

### 5. 数据库的智能检索 (Intelligent Retrieval From Databases)

计算机可以存储大量的信息,但是检索起来很不方便,人们通常要将所需信息描述得十分详尽,计算机才能找到它。如果能建立一个类似于人类联想记忆的数据库系统,人们只要用自然语言描述一下自己的问题,数据库系统就可以把有关的信息检索出来,这是数据库智能检索的最终目标,人工智能工作者正在研究这个问题,其中,智能搜索引擎、基于内容的图像检索方法就是该技术发展的成果。

### 6. 博弈 (Game Playing)

博弈就是对策,这是自然界中的普遍现象,它不仅存在于下棋之中,而且存在于经济、政治、军事和生物竞争之中。博弈的参加者可以是个人、集体、一类生物或机器,他们都力图用自己的“智力”击败对手。

在人工智能中大多以下棋为例来研究博弈规律,这是因为:下棋规则很容易在计算机中表示;其次,多数棋类比赛的规律是十分复杂的,没有一种简单的方法可以计算出正确的棋步,计算机必须用与人大致相似的方法来进行游戏;第三,人类有许多下棋专家,他们的经验和批评可以帮助下棋程序不断改进提高;最后,通过人机之间的比赛可以直观、方便地判定机器的智力水平。博弈为人工智能提供了一个很好的试验场所,人工智能中的许多概念和方法都是从博弈程序中提炼出来的。

### 7. 自动定理证明 (Automatic Theorem Proving)

自动定理证明是人工智能的一个重要研究领域,很多非数学领域的任务都可以转化为一个定理证明问题,所以自动定理证明的研究具有普遍意义。自动定理证明的方法有4类:

(1) 自然演绎法 其基本思想是依据推理规则,从前提和公理中推出许多定理,如果待证定理恰在其中则定理得证。自然演绎法中最严重的问题是组合爆炸,它在证明过程中推出

的无用定理数目，大致上是按推导级数的指数函数增长的。

(2) 判定法，即对一类问题找出统一的、计算机上可实现的算法解。这方面最好的成果是数学家吴文俊提出的初等几何定理证明算法，其基本思路是：通过引入坐标，把有关的假设和求证部分用代数关系加以表述；其次，采用多项式消元法把判定多项式中的坐标逐个消去，倘若消去后结果为零，则表示定理得证，否则重复上述检查。

(3) 定理证明器 它研究一切可判定问题的证明方法，1965年鲁滨逊提出的消解原理 (Resolution Principle) 是这类研究工作的基础，其基本思路是：首先，把定理表示成谓词函数  $F_1 \wedge F_2 \wedge \cdots \wedge F_n \Rightarrow G$ ，其中， $F_i$  ( $i=1, 2, \cdots, n$ ) 是前提， $G$  是结论；其次，采用反证法，证明  $F_1 \wedge F_2 \wedge \cdots \wedge F_n \Rightarrow G$  是不可满足的公式，进而，把上述公式化成斯柯林范式，并列出该范式的子句集；最后，应用消解原理推出空子句。但是消解原理过于一般化，在证明过程中会产生大量多余子句。

(4) 计算机辅助证明 它以计算机为辅助工具，利用机器的高速度和大容量，帮助人类完成手工证明中难以完成的大量计算、推理和穷举。证明过程中所得到的大量中间结果，又可以帮助人形成新的思路，修改原来的判断和证明过程，这样逐步前进直至定理得证。

#### 8. 自动程序设计 (Automatic Programming)

编制和调试复杂计算机程序是一个颇费时日的繁琐工作，它往往需要数百“人/年”的工作量，而且极少是完美无懈的。但是软件失误带来的损失又常常是非常巨大的，有时甚至是不能容忍的，这就是所谓的“软件危机”。解决的办法之一就是彻底摆脱目前的软件设计方式，用“做什么”型程序代替“如何做”型程序，这涉及到自动程序设计技术。自动程序设计是计算机科学中的重要研究领域，也是人工智能追求的目标。人工智能关心的是如下两个方面的自动化：

(1) 程序验证 (Program Verification) 它的任务是利用一个已验证过的程序系统来自动证明给定程序  $P$  的正确性。设程序  $P$  的输入是  $X$ ，它必须满足输入条件  $Q(X)$ ，程序的输出是  $Z = F(X)$ ，它必须满足输出条件  $P(X, Z)$ ，则程序的正确性有三种类型：部分正确性——若对任何输入  $X$ ，只要  $Q(X)$  为真且程序终止，则  $P(X, F(X))$  为真；终止性——若对任何输入  $X$ ，只要  $Q(X)$  为真，则程序  $F$  都终止；完全正确性——对任何输入  $X$ ，只要  $Q(X)$  为真，则程序  $F$  都终止，且  $P(X, F(X))$  为真。显然完全正确性等价于部分正确性和终止性。这个程序验证的基本原理是弗洛依德 (S.S. Floyd) 在 1967 年首先提出来的。

(2) 程序综合 (Program Synthesis) 它的任务是让计算机根据给定问题的原始描述自动生成满足要求的程序  $F$ ，显然程序  $F$  对输入条件  $Q(X)$  和输出条件  $P(X, Z)$  应该是完全正确的，程序综合的基本途径是通过对给定输入、输出条件的逐步变换来构造所要求的程序。

#### 9. 自然语言生成 (Natural Language Synthesis)

自然语言生成的目标是以自然语言形式向用户提供各种信息，以便实现人机之间可以用自然语言进行双向对话，其研究内容包括语音合成系统和书面自然语言生成系统。语音合成的基本原理是把发音过程分解成若干要素，不同语音对应着不同要素值，根据要表达的自然语言句子可以控制语音合成器讲话。书面自然语言生成系统是把输出信息表示成符合语法的自然语言句子，这里只涉及某些比较规则化的语法。

### 10. 机器人 (Robots)

机器人是一种可再编程的多功能操作装置。电子数字计算机出现后, 机器人进入到大量生产和使用阶段, 在工业、农业、国防、科技、教育、医疗及家务等广泛领域内, 它发挥着越来越重要的作用。研究机器人的目的有两个: 一是提高工作质量和生产效率, 降低成本, 代替人从事有害环境中的危险工作等; 二是为人工智能提供综合试验场, 达到全面检查人工智能各领域技术的目的, 并研究它们之间的相互关系。通常, 机器人可以划分为4种类型:

(1) 遥控机器人 本身没有工作程序, 不能独立完成任何工作, 其动作完全依靠远距离人工实时操纵。

(2) 程序机器人 它的动作由事先编好的程序控制, 对外界环境无感知能力, 其特性很像动物的本能, 一经触发就从头到尾执行一遍, 工作程序可以是单一、固定的, 也可以是多程序根据需要相互调用, 属可再编程的通用机器人。

(3) 示教一再现机器人 它能记忆人的全部示范操作, 并在自己的独立工作中准确地再现这些操作, 改变操作时需人类重新示教, 使用这种机器人可以免去许多繁琐的编程工作。

(4) 智能机器人 它可以适应环境的变化并通过学习提高自己的工作能力, 目前许多国家都能制造可运动、能对话并可根椐人的口令完成许多复杂操作的智能机器人。

## 1.4 人工智能系统结构及特点

建造人工智能系统的目的是使计算机去完成原来只有人才能完成的智能任务, 但是智能和非智能的界限很难划清, 因而, 智能也就一直没有一个准确的定义。通常, 泛指具备下述某些功能的机器为智能机, 这些功能是推理、理解、规划、决策、抽象、学习和创造等, 所以建造人工智能系统的目的, 就是使计算机具备上述功能。下面将从几个人工智能的典型任务出发, 阐述人工智能系统的结构及特点。

### 1.4.1 机器问答系统

假设在一台计算机中存放了某所大学师生员工的人事资料, 用户希望通过人机对话获取所需的信息。如果机器只能提供存放其中的现成资料, 这种机器显然没有智能, 充其量是一台优良的情报资料检索机, 当然也就不是人工智能所要研究和解决的问题了。相反, 如果机器不仅可以提供现成的答案, 还能通过推理回答隐含在资料中的知识, 那么这台机器就可以说是有智能的了。

怎样才能使机器具备上述功能, 它应该具有哪些特点, 将以最简单的例子予以说明。先约定以下表述中, 常量以小写英文字母 a、b、c、d 等表示; 变量以 X、Y、Z 等大写字母开头; 谓词关系则以小写单词 profession、workage、sex 等表示。

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| profession(X, a)     | /* 指某人 X 的身份为 a, a 为常量 */          |
| age(Y, b)            | /* 指某人 Y 的年龄为 b, b 为某个整数 */        |
| greatererequal(X, Y) | /* 指 $X \geq Y$ */                 |
| equal(X, Y)          | /* 指 $X = Y$ */                    |
| add(X, Y)            | /* 指 $X + Y$ */                    |
| sex(Z, c)            | /* Z 的性别为 c, c 取值 male 或 female */ |
| workage(W, d)        | /* W 的工龄为 d, d 整数 */               |