

高等院校信息技术课程学习辅导丛书

人工智能学习辅导 与实验指导

周金海 编著



清华大学出版社

TP18/163

2008

高等院校信息技术课程学习辅导丛书

内容简介

人工智能学习辅导与实验指导

人工智能学习辅导与实验指导

周金海 编著

清华大学出版社

http://www.tup.com.cn

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总社 010-62770175

投稿咨询: 010-62770175

印 刷: 北京密云云印厂

发 行: 北京市密云云印厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260

次: 2008年3月第1版

印 数: 1—3000

价: 22.00元

清华大学出版社

北京

联系电话: 010-62770175 邮 政 电 话: 025870-01

内 容 简 介

人工智能是研究解释和模拟人类智能、智能行为及其规律的一门前沿和交叉学科。目前市面上“人工智能”课程主教材已有多种不同的版本,但是辅导用书和实验用书比较缺乏。

本书主要是“人工智能”课程的配套教材。内容涉及知识表示、基本问题求解、基本推理方法、Visual Prolog 语言、专家系统、机器学习、人工神经网络、Agent 等方面。本书对人工智能的知识要点进行了归纳,对典型例题进行了深入解析,并提供了一些自测题及部分参考答案,设计了 Visual Prolog 等编程实验并有相应的提示,给出一个实现专家系统的小案例,最后的附录是近几年同等学力申请计算机硕士学位人工智能考试真题及参考答案。

本书内容符合国家相关课程标准,适合计算机专业本科高年级学生学习参考,也适合作为研究生入学考试备考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

人工智能学习辅导与实验指导/周金海编著. —北京:清华大学出版社,2008.3

(高等院校信息技术课程学习辅导丛书)

ISBN 978-7-302-16230-8

I. 人… II. 周… III. 人工智能—高等学校—教学参考资料 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 153477 号

责任编辑:袁勤勇 李玮琪

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.5

字 数:353 千字

版 次:2008 年 3 月第 1 版

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:22.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:022670-01



前言

人工智能是研究解释和模拟人类智能、智能行为及其规律的一门前沿和交叉学科。诞生于 20 世纪 50 年代,至今在许多领域都有广泛深入的应用,发展前景极为广阔。

人工智能学科的主要任务是建立智能信息处理理论,进而设计可以展现某些近似于人类智能的计算机系统。它是计算机科学的一个分支,也为某些相关学科(如医学等)所关注。

人工智能学科的研究领域十分广泛,其内容涉及知识表示,博弈、专家系统、定理证明、自动推理和搜索方法、智能检索、人工神经网络、机器学习和知识获取、知识处理系统、自然语言理解、计算机视觉、智能机器人、模式识别、自动程序设计等方面。本书对其大部分内容作了知识要点的归纳和习题解析,提供了一些自测题及部分参考答案;设计了 Visual Prolog 等编程实验并有相应的提示,给出一个实现专家系统的小案例;最后附录是近几年的考试真题及参考答案。本书内容符合国家相关课程标准,适合计算机专业高年级,医药信息高年级专业课程学习参考,也适合计算机专业研究生及同等学力申请硕士学位人员的学习参考需要。

本书主要由周金海、施诚、印志鸿、何菊及金玉琴参与编写,研究生秦雪君、岳琳哲及周明同学在解题验证等方面做了部分工作。在编写过程中,江南大学信息工程学院院长王士同教授给予了关心和指导,在此表示衷心的感谢!

还有一点想说,目前市面上人工智能课程辅导用书和实验用书比较缺乏,编者希望在这方面做点事情。人工智能的解题方法是多样性的,有些试题本身就是一种探索性的,往往很难给出标准答案,书中给出的答案仅供参考。由于编者的水平所限,书中肯定有疏忽遗漏之处,恳请读者批评指正!

编者

2007 年 5 月

CONTENTS

目 录

第1章 绪论	1
1.1 学习目标与要求	1
1.2 知识要点	1
1.2.1 人工智能的概念	1
1.2.2 人工智能程序和通常计算机程序的比较	1
1.2.3 人工智能的三个主要目标	2
1.2.4 人工智能发展史	2
1.2.5 研究领域	2
1.3 习题解析	3
1.4 自测题及部分参考答案	4
1.4.1 自测题	4
1.4.2 部分参考答案	4
第2章 知识表达技术	5
2.1 学习目标与要求	5
2.2 知识要点	5
2.2.1 知识的概念与含义	5
2.2.2 知识类型和知识模型的变换	5
2.2.3 状态空间表达法	6
2.2.4 与/或图表达法	6
2.2.5 知识的逻辑表达方法	7
2.2.6 语义网络表达法	9
2.2.7 产生式系统	11
2.2.8 框架表达法	12
2.2.9 特征表表达法	14
2.2.10 面向对象的表示	14
2.3 习题解析	15
2.4 自测题及部分参考答案	21

2.4.1	自测题	21
2.4.2	部分参考答案	23
第3章	基本的问题求解方法	27
3.1	学习目标与要求	27
3.2	基本内容	27
3.2.1	搜索的概念	27
3.2.2	状态空间搜索概述	27
3.2.3	盲目的图搜索策略	28
3.2.4	启发式图搜索策略	31
3.2.5	与/或图搜索	33
3.2.6	博弈树搜索	36
3.2.7	通用问题求解技术简述	36
3.3	习题解析	37
3.4	自测题及部分参考答案	38
3.4.1	自测题	38
3.4.2	部分参考答案	39
第4章	基本的推理技术	43
4.1	学习目标与要求	43
4.2	知识要点	43
4.2.1	推理技术概述	43
4.2.2	归结反演系统	47
4.2.3	基于规则的演绎推理	51
4.3	习题解析	54
4.4	自测题及部分参考答案	64
4.4.1	自测题	64
4.4.2	部分参考答案	65
第5章	不精确推理	71
5.1	学习目标与要求	71
5.2	知识要点	71
5.2.1	不精确推理的概念、需要解决的基本问题及推理模型	71
5.2.2	概率方法	71
5.2.3	主观 Bayes 方法	72
5.2.4	可信度方法	74
5.2.5	模糊推理	76
5.3	习题解析	77

5.4	自测题及部分参考答案	81
5.4.1	自测题	81
5.4.2	部分参考答案	83
第6章	Visual Prolog 语言	85
6.1	学习目标与要求	85
6.2	知识要点	85
6.2.1	Prolog 语言概述	85
6.2.2	Prolog 语言的结构	86
6.2.3	Prolog 推理机 PIE	90
6.2.4	Prolog 语言的程序控制	92
6.2.5	谓词! 的讨论	95
6.2.6	Visual Prolog 的 GUI 程序设计	98
6.2.7	编程技巧	100
6.3	习题解析	101
6.4	自测题及部分参考答案	102
6.4.1	自测题	102
6.4.2	部分参考答案	102
第7章	专家系统	104
7.1	学习目标与要求	104
7.2	知识要点	104
7.2.1	专家系统的定义与分类	104
7.2.2	专家系统的结构与工作原理	107
7.2.3	知识获取	108
7.2.4	专家系统的建立	111
7.2.5	专家系统的开发工具	114
7.2.6	专家系统开发环境	119
7.3	习题解析	119
7.4	自测题及部分参考答案	124
7.4.1	自测题	124
7.4.2	部分参考答案	124
第8章	机器学习	126
8.1	学习目标与要求	126
8.2	知识要点	126
8.2.1	机器学习概述	126
8.2.2	机械学习	129

8.2.3	相关产生式学习系统	130
8.2.4	示例学习	131
8.2.5	类比学习	137
8.2.6	几种类比学习系统介绍	139
8.2.7	归纳学习	148
8.3	习题解析	155
8.4	自测题及部分参考答案	158
8.4.1	自测题	158
8.4.2	部分参考答案	158
第9章	人工神经网络	160
9.1	学习目标与要求	160
9.2	知识要点	160
9.2.1	人工神经网络概述	160
9.2.2	人工神经元模型	161
9.2.3	人工神经网络结构及工作方式	163
9.2.4	神经网络的学习方法	164
9.2.5	前馈型神经网络	166
9.2.6	神经联想记忆与 Hopfield 网络	173
9.3	习题解析	180
9.4	自测题及部分参考答案	181
9.4.1	自测题	181
9.4.2	部分参考答案	182
第10章	Agent 简介及人工智能的争论与展望	183
10.1	学习目标与要求	183
10.2	知识要点	183
10.2.1	Agent 的定义与体系结构	183
10.2.2	多 Agent 系统	190
10.2.3	面向 Agent 的程序设计	193
10.2.4	Agent 技术所面临的挑战	196
10.3	习题解析	197
10.4	自测题及部分答案	198
10.4.1	自测题	198
10.4.2	部分参考答案	198
附录 A	Visual Prolog 语言程序设计实验指导	200
	实验一 逻辑关系模拟程序	200

实验二 递归规则实现·····	201
实验三 家庭关系模拟程序·····	201
实验四 基于可信度的不确定性推理系统·····	204
实验五 状态空间搜索——八数码问题·····	204
附录 B 基于 VP 设计专家系统的案例 ·····	205
附录 C 同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试大纲与指南(第二版)人工智能部分 ·····	208
一、考试大纲 ·····	208
二、复习指南 ·····	208
三、思考题 ·····	209
四、考试样卷 ·····	210
五、参考书目 ·····	211
附录 D 计算机科学与技术人工智能考试真题 ·····	212
1999 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	212
2000 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	213
2001 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	215
2002 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	217
2003 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	218
2004 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	219
2005 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	220
附录 E 计算机科学与技术人工智能考试真题参考答案 ·····	221
1999 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	221
2000 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	223
2001 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试 ·····	224

2002 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试.....	226
2003 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试.....	227
2004 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试.....	229
2005 年同等学力人员申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平 全国统一考试.....	232
参考文献	233

1.1 学习目标与要求

- 掌握人工智能的基本概念
- 熟悉人工智能的研究领域
- 了解人工智能的研究对象及发展方向

1.2 知识要点

1.2.1 人工智能的概念

人工智能(Artificial Intelligence, AI)又称机器智能(Machine Intelligence),是计算机科学中的一门新兴的边缘学科。人工智能至今尚无统一的、严格的定义,要给人工智能下一个准确的定义是困难的。顾名思义,人工智能就是用人工的方法在机器(计算机)上实现的智能,或者说是人们使用机器模拟人类的智能。

1981 年,费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)教授在“人工智能手册”中指出:“人工智能是计算机科学中的一个分支,涉及智能计算机系统的设计,该系统显示人类行为中与智能有关的某些特征”。绍特里夫教授(E. A. Shortliffe)于 1984 年在“规则基专家系统”一文中指出:“人工智能是计算机科学中的一个分支,它研究问题示解的符号方法和非算法方法”。M. Boden(1997)认为人工智能是“利用计算机程序和程序设计技术来认识普通的智能原理和具体的人类思想”。

人工智能就是让机器(计算机)完成那些如果由人来做则需要智能的事情的科学。

1.2.2 人工智能程序和通常计算机程序的比较

人工智能程序和通常计算机程序的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 人工智能程序和通常计算机程序的比较

人工智能程序	通常计算机程序
主要是符号处理	主要是数字处理

续表

人工智能程序	通常计算机程序
启发式搜索	依靠算法
控制结构和知识域相分离	信息和控制连接在一起
易于修改、更新和改变	难以修改
允许不正确的答案	要求正确的回答

1.2.3 人工智能的三个主要目标

A. Sloman(1978 年)认为人工智能有三个主要目标:对智能行为有效解释的理论分析;解释人类智能;构造智能的人工制品。

1.2.4 人工智能发展史

人工智能的产生发展过程大致可以分为四个阶段:第一阶段——孕育期(1956 年以前);第二阶段——人工智能基础技术的研究和形成(1956—1970 年);第三阶段——发展和实用化阶段(1971—1980 年);第四阶段——知识工程与专家系统(1980 年至今)。

1.2.5 研究领域

目前,人工智能的研究领域非常广泛,而且涉及的学科也很多,大部分是结合具体领域进行的。人工智能的主要研究领域包括:分布式人工智能、知识工程和专家系统、自然语言处理、机器人、机器学习和人工神经网络、模式识别、自动定理证明、自动程序设计、智能数据库、智能检索等。

专家系统产生于 20 世纪 60 年代中期,是一个智能的计算机程序,它运用知识和推理步骤来解决只有专家才能解决的复杂问题。自然语言处理方面,构造能够理解自然语言的系统,通常分为:书面语的理解、口语(又称声音)的理解、手书文字识别。机器学习是人工智能最早研究的方向之一,对人工智能的其他分支产生重要的推动作用。自动定理证明基本上有以下一些基本方法。

(1) 自然演绎法,如纽厄尔等人研制的 LT 程序和籍勒洛特研制的证明平面几何定理的程序都使用了自然演绎法。

(2) 判定法,如 1977 年吴文俊提出的证明初等几何定理的算法。

(3) 定理证明器,1965 年 J. A. Robinson 提出的消解原理为该方法奠定了理论基础。

(4) 人机交互进行定理证明,如 1976 年 K. Appel 证明了四色定理。分布式人工智能(DAI)于 20 世纪 70 年代后期出现,DAI 一般由多个智能体(Agent)组成。机器人是一种可再编程序的多功能的操作装置。1954 年 G. C. Devol 发表“通用重复型机器人”专利论文,1958 年美国 Consolidated 发表“数字控制机器人”论文,20 世纪 60 年代初 AMF 公司制造的 Unimate 登上工业舞台。模式识别是识别出给定的事物和哪一个标本相同或者相似,主要展开对图形和图像识别与语音识别两方面的研究。识别所采用的方法有:模板匹配法、统计方法、句法方法和直接法(直接逻辑法)。博弈就是研究对策和斗智,如

1962 年的塞缪尔跳棋(Checkers)程序;1967 年的 R. Gren-blatt 国际象棋(Chess)游戏;1997 年 5 月 3 日~11 日计算机“深蓝”与当时国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫(俄罗斯人)对弈六盘,结果“深蓝”获胜。计算机视觉方面,20 世纪 70 年代末 Marr 提出视觉计算理论。在人工神经网络方面有两个研究方向,即功能研究和仿真研究。1943 年 McCulloch 和 Pitts 提出第一个神经计算模型(MP 模型),1982 年 J. J. Hopfield 提出神经网络模型(Hopfield 模型)。

1.3 习题解析

1. 什么是人工智能?

答:人工智能(Artificial Intelligence, AI)又称机器智能(Machine Intelligence),是计算机科学中的一门新兴的边缘学科。人工智能至今尚无统一的、严格的定义,要给人工智能下一个准确的定义是困难的。顾名思义,人工智能就是用人工的方法在机器(计算机)上实现的智能;或者说是人们使用机器模拟人类的智能。1981 年,费根鲍姆教授在“人工智能手册”中指出:“人工智能是计算机科学中的一个分支,涉及智能计算机系统的设计,该系统显示人类行为中与智能有关的某些特征”。绍特里夫教授于 1984 年在“规则基专家系统”一文中指出:“人工智能是计算机科学中的一个分支,它研究问题求解的符号方法和非算法方法”。M. Boden(1997)认为人工智能是“利用计算机程序和程序设计技术来认识普通的智能原理和具体的人类思想”。人工智能就是让机器(计算机)完成那些如果由人来做则需要智能的事情的科学。

2. 简述智能、智力、能力的含义。

答:“智能”一词源于拉丁文“Legere”,意思是收集、汇集,智能通常用来表示从中进行选择、理解和感觉。与机器智能相对应的是自然智能,所谓自然智能就是人类和一些动物所具有的智力和行为能力。在日常应用中,“智能”和它的衍生词“智力”是同义词。“智力”指人认识、理解客观事物并运用知识、经验等解决问题的能力,包括记忆、观察、想象、思考、判断等。智力是针对具体情况的,根据不同的情况有不同的含义。有时需要区别智力和具体的能力,“智力”是指学会某种技能的能力,而不是技能本身。“能力”是指能胜任某项任务的客观条件。

3. 简述专家系统的含义。

答:专家系统是目前人工智能中最活跃、最有成效的一个领域。专家系统目前尚无一个精确的、全面的、公认的定义。研究者比较一致的、粗略的定义是:专家系统是一个智能计算机程序,它运用知识和推理步骤来解决只有专家才能解决的复杂问题,即任何解题能力达到同领域人类专家水平的计算机程序都可以称为专家系统。

4. 给出一些人工智能在日常生活中的应用的例子。

答:

(1) 在问题求解方面有代表性的是下棋程序,计算机下棋程序涉及中国象棋、国际象棋、跳棋等,水平已达到国际锦标赛水平。

(2) 世界上很有名的医学咨询专家系统 MYCIN 像一个经验丰富的感染病医生,能

为患者诊断、治疗感染性疾病。

(3) 机器人在工业、农业、国防、科技、教育、医疗及家务等方面的应用。

(4) 条形码、邮政编码、指纹、染色体、字符等的识别系统,医学图像的分析、描述和识别及盲人导航视觉,工业检验系统等都是人工智能中计算机视觉在生活中的应用。

1.4 自测题及部分参考答案

1.4.1 自测题

1. 人工智能是何时、何地、怎样诞生的?
2. 人工智能程序与通常意义下的程序比较具有哪些特点?
3. 人工智能有哪些主要研究领域?

1.4.2 部分参考答案

1. 答: 1956 年,在美国的达特茅斯召开了由十多位数学、心理学和信息论方面的学者参加的,关于利用计算机模拟人类智能行为的学术会,讨论会上麦卡锡(M. McCarthy)教授正式提出了“人工智能”这一术语。这是一次具有历史意义的会议,标志着人工智能也称机器智能(Machine Intelligence)这门新兴边缘学科的正式诞生。

2. 答: 以符号表示的知识而不是数值数据为研究对象;采用的是启发式推理方法,而不是常规的算法;控制结构与领域知识是分离的;允许出现不正确的解答。

3. 答: 人工智能的主要研究领域包括分布式人工智能、知识工程和专家系统、自然语言处理、机器人、机器学习和人工神经网络、模式识别、自动定理证明、自动程序设计、智能数据库、智能检索等。

第2章 知识表达技术

2.1 学习目标与要求

- 掌握知识的概念与含义
- 熟悉知识表达技术

2.2 知识要点

2.2.1 知识的概念与含义

知识是人们对客观事物(包括自然的和人造的)及其规律的认识和利用客观规律解决实际问题的方法和策略。人类拥有对知识获取、表达、搜索、分析、解答等智能能力,而智能的核心就在于知识。可以用

知识项(K)=事实(F)+规则(R)+概念(C)

模式来表示。事实是指人类对客观世界、客观事物的状态、属性、特征的描述及对事物之间关系的描述;规则是指能表达在前提与结论之间的因果关系的一种形式;概念是指事实的含义规则、语义说明等。

2.2.2 知识类型和知识模型的变换

知识表示是指知识在计算机中的表示方法和表示形式,即研究知识的形式化方法,它涉及知识的逻辑结构和物理结构。在人工智能研究中,根据知识的作用及表示,通常把问题求解所需的知识分为如下三种类型。

① 叙述性知识:有关领域内的概念、定义和事物的属性、状态及其关系的描述,是静态知识,在知识库中属低层的知识。

② 过程性知识:有关系统状态变化、问题求解过程的操作、演算和行动的知识,是动态的。

③ 控制性知识:有关问题的求解步骤、技巧性知识,如何选择相应的操作、演算和行为的比较、判断、管理和决策的知识。

不同的知识表示方法有不同的形式化知识模型。通过同构或同态变换,可以将原始问题转化为比较清晰、简单的同构或同态问题。两者之间是蕴含关系,但区别主要在于:同构问题的解答等价于原始问题的解答,而同态问题的解答蕴含原始问题的解答。

2.2.3 状态空间表达法

状态空间方法是用来表示问题及其搜索过程的一种方法,以状态和算符为基础来表示和求解问题,其四要素如下。

① 状态(state):表示问题解法中每一步问题状况的数据结构。通常是一组变量或数组,如

$$Q=[q_1, q_2, \dots, q_n]^T$$

② 算符(operator):把问题从一种状态变换为另一种状态的手段。通常用来表示引起状态变化的过程型知识的一组关系或函数,如

$$F=\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$$

③ 状态空间:利用状态变量和操作符号表示系统或问题的有关知识的符号体系,状态空间是一个四元组,如

$$(S, O, S_0, G)$$

其中, S 表示状态集合; O 表示状态转换规则集合; S_0 表示包含问题的初始状态,且 $S_0 \subset S$; G 表示包含问题的目的状态,是 S 的非空子集,且 $G \subset S$ 。

④ 问题的解:状态空间的一个解是一个有限的操作算子序列,它使初始状态转换为目标状态:

$$S_0 \xrightarrow{O_1} S_1 \xrightarrow{O_2} S_2 \xrightarrow{O_3} \dots \xrightarrow{O_k} G$$

其中 $O_1, \dots, O_k$ 即为状态空间的一个解。当然,解往往不是唯一的。

2.2.4 与/或图表达法

与/或图表达法采用一种分解或变换的思想,将复杂问题分解或转化为一组本原问题(不能或不需要再进行分解或变换,可直接解答的子问题),这一过程称为规约。规约过程用与/或树表示。

1. 分解——与树

将复杂的大问题分解为一组简单的小问题,将总问题分解为若干子问题。若所有子问题都解决了,则总问题也解决了,这是与的逻辑关系。形成问题分解的与树,如图 2-1 所示。

2. 变换——或树

将较难的问题变换为较易的、等价或等效的问题。若一个难问题可以等价变换为几个容易问题,则任何一个容易问题解决了,也就解决了原有的难问题,这是或的逻辑关系。形成问题变换的或树,如图 2-2 所示。

在实际问题求解过程中,常常是兼用分解和变换方法的,因而可用与树和或树相结合的图——与/或图表达法来求解问题。

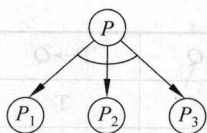


图 2-1 与树图

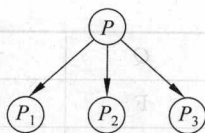


图 2-2 或树图

2.2.5 知识的逻辑表达方法

将数理逻辑的知识用于知识表示的模式。知识的逻辑表达式通常是指用一阶谓词逻辑来描述人工智能的问题求解知识。

1. 命题逻辑

1) 命题

命题是推理的基本要素。自然语言将命题表述为具有确定真假意义的陈述句。如语句“北京是中国的首都”是陈述句,有确定的真假意义,是真命题。那些不能再分解成更简单的句子的命题就是原子命题(简单命题),用真值 T 和 F 表示其具有“真”和“假”的意义。

2) 复合命题

由若干个原子命题通过联结词构成的命题就是复合命题。五个联结词的定义如下所述。

- ① $\neg$ (否定): $\neg Q$ 表示否定 Q 的真值的命题,即“非 Q ”。
- ② $\wedge$ (合取): $P \wedge Q$ 表示 P 和 Q 的合取,即“ P 与 Q ”。
- ③ $\vee$ (析取): $P \vee Q$ 表示 P 或 Q 的析取,即“ P 或 Q ”。
- ④ $\rightarrow$ (条件): $P \rightarrow Q$ 表示命题 P 是命题 Q 的条件,即“如果 P ,那么 Q ”。
- ⑤ $\leftrightarrow$ (双条件): $P \leftrightarrow Q$ 表示命题 P 、命题 Q 相互作为条件,即“如果 P ,那么 Q ,如果 Q ,那么 P ”,亦即“ P 当且仅当 Q ”。

3) 命题公式

在命题逻辑中,用符号 P 、 Q 等表示不具有固定具体含义的命题,称为“命题变元”。复合命题可以利用命题变元构成“命题公式”。其递归定义如下:

- ① 若 P 为原子命题,那么 P 为命题公式;
- ② 若 P 为命题公式,则 $\neg P$ 也是命题公式;
- ③ 若 P 和 Q 都是命题公式,则 $P \wedge Q$ 、 $P \vee Q$ 、 $P \rightarrow Q$ 、 $P \leftrightarrow Q$ 均为命题公式;
- ④ 只有按①、②、③得到的公式才是命题公式。

命题逻辑真值表如表 2-1 所示。

命题公式是由原子命题、连接词和圆括号所组成的符号串。连接词的优先次序是

$$\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$$

4) 蕴含式和等价式

若合式公式 $P \rightarrow Q$ 恒为真,则称 $P \Rightarrow Q$ 为一个蕴含式“ P 永真蕴含 Q ”,符号“ $\Rightarrow$ ”表示