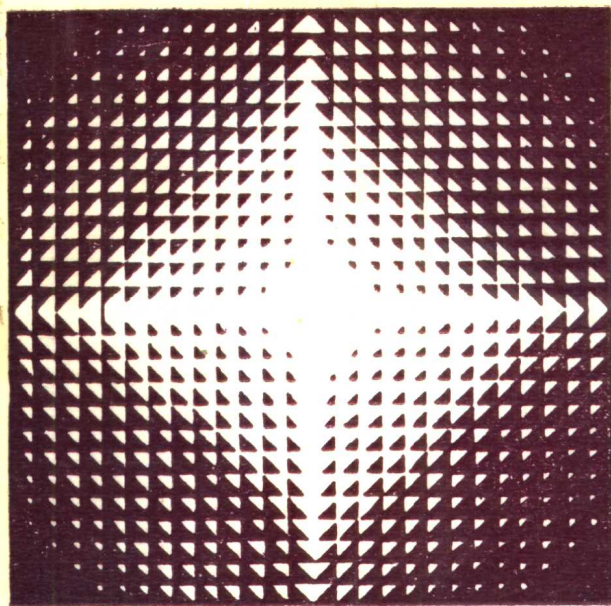


地质专家系统

刘承祚 陈亚光



海洋出版社

地质专家系统

刘承祚 陈亚光

海洋出版社

1991年·北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了专家系统。全书共分十章，主要内容有：专家系统的设计和建立，知识表示的基本方法，专家系统中的自动推理，机器学习，专家系统中知识库的维护，专家系统的评价，专家系统工具，“探矿者”专家系统，瓦斯地质专家系统。它们分别介绍了从人工智能语言直接书写程序系统和利用专家系统工具建立专家系统的方法。其中第九章和第十章着重从专家系统技术在地质学领域的应用方面介绍了两种专家系统。

本书可供从事地质学领域的科研、工程技术及管理人员使用，亦可供大专院校相应专业的师生阅读参考。

地 质 专 家 系 统

刘承祚 陈亚光

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店北京发行所发行 海洋出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：20.75 字数：510千字

1991年3月第一版 1991年3月第一次印刷

印数：1—1000

ISBN 7-5027-1303-4/P·123 定价：15.00元

前 言

专家系统是计算机科学中人工智能研究领域的一个分支研究方向。人工智能是一个非常广阔的研究领域，其中包括：机器翻译、声音识别、智能机器人等研究内容。从1985年起，专家系统愈来愈引起人们的注意和关心，很多情况下，专家系统逐渐成为人工智能的代名词。在医疗、建筑、矿业、地质勘探和交通管理等多方面正在积极进行专家系统的研制，一部分专家系统已经过试验系统阶段，正式投入应用。

世界上第一个开始研究专家系统的单位是美国加利福尼亚州的斯坦福大学，在那里建立了世界上最早的三个专家系统，其中的一个便是地质专家系统 (PROSPECTOR)，可见地质学是专家系统的一个重要应用领域，我国的专家系统工作开始于80年代中期，目前已有一些专家系统出现，其中包括一些地质专家系统，更多的专家系统正处于研制过程中。

目前，建立专家系统一般有两个途径。第一条是用人工智能语言直接书写程序系统，第二条是利用专家系统工具。本书第九章介绍的PROSPECTOR系统是通过第一条途径建立的，它是国外专家建立的系统。本书第十章介绍的专家系统是应用专家系统工具建立的，是本书作者亲自建立的，是本书作者的直接工作经验和总结。

本书的编写工作是在刘承祚的指导下完成的，第一、八、九章由刘承祚执笔，第二至七章由陈亚光执笔，第十章由刘承祚、陈亚光共同执笔。最后由刘承祚完成全书的整理汇编工作。

由于作者水平所限，本书的缺点及不足之处，敬请批评指正。

作 者

1990年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 专家系统发展简史	(1)
第二节 专家系统的特征	(3)
第三节 专家系统的分类	(4)
第四节 专家系统的优越性	(7)
第五节 专家系统的局限性	(8)
第六节 地质专家系统概述	(12)
本章小结	(17)
第二章 专家系统的设计和建立	(19)
第一节 专家系统的基本组成部分	(19)
第二节 专家系统设计的基本思想	(20)
第三节 专家系统的设计技巧	(22)
第四节 专家系统的建立过程	(23)
(一) 知识库的设计	(23)
(二) 推理机的设计	(29)
(三) “人-机”接口设计	(29)
(四) 专家系统的实现算法	(30)
第三章 知识表示的基本方法	(31)
第一节 逻辑表示法	(32)
(一) 命题逻辑	(32)
(二) 谓词逻辑	(38)
(三) 一阶谓词逻辑表达方法	(39)
(四) 逻辑表示法的求解过程及其应用	(45)
(五) 逻辑表示法的优缺点	(46)
第二节 语义网络表示法	(46)
(一) 语义网络的概念	(46)
(二) 语义网络表示法的优缺点	(47)
(三) 语义网络表示法的应用	(47)
第三节 产生式规则表示法	(48)
(一) 产生式系统的基本组成部分	(48)
(二) 产生式系统的问题求解	(49)
(三) 产生式系统的推理解释	(51)
(四) 产生式系统在开发专家系统中规则库、数据库和控制器的设计	(52)

(五) 产生式系统的特征及其应用	(53)
第四节 状态空间表示法	(53)
(一) 状态空间表示法的基本概念	(53)
(二) 状态空间表示法的应用	(54)
第五节 特性表表示法	(55)
(一) 特性表表示法的基本概念	(55)
(二) 特性表表示法的应用	(56)
第六节 框架表示法	(56)
(一) 框架表示法的概念	(56)
(二) 框架表示法示例	(57)
(三) 框架表示法的特性和应用	(59)
第七节 “与或图”表示法	(59)
(一) 与或图的概念	(59)
(二) 与或图构成规则	(60)
(三) 与或图表示法示例	(60)
第八节 过程表示法	(62)
(一) 过程表示法的概念	(62)
(二) 过程表示法的特性	(62)
(三) 过程表示法的应用	(62)
第九节 知识表示语言	(63)
(一) 知识表示语言KRL	(63)
(二) 知识表示语言MIRROR	(64)
本章小结	(64)

第四章 专家系统中的自动推理

(66)

第一节 广度优先搜索法	(69)
(一) 广度优先搜索法的概念	(69)
(二) 广度优先搜索法的算法	(69)
(三) 广度优先搜索法的示例	(70)
第二节 深度优先搜索法	(71)
(一) 深度优先搜索法的概念	(71)
(二) 深度优先搜索法的搜索过程	(72)
(三) 深度优先搜索法的示例	(73)
第三节 有界深度优先搜索法	(74)
(一) 有界深度优先搜索法的概念	(74)
(二) 有界深度优先搜索算法	(74)
(三) 有界深度优先搜索法的示例	(76)
第四节 代价推进搜索法	(78)
(一) 代价推进搜索法的概念	(78)
(二) 代价推进广度优先搜索法	(78)
(三) 代价推进有界深度优先搜索法	(79)

(四) 代价推进搜索法的示例·····	(79)
第五节 局部择优搜索法 ·····	(82)
(一) 局部择优搜索法的概念·····	(82)
(二) 局部择优搜索法的过程·····	(83)
(三) 局部择优搜索法的特征·····	(83)
(四) 局部择优搜索法的示例·····	(84)
第六节 最好优先搜索法 ·····	(85)
(一) 最好优先搜索法的概念·····	(85)
(二) 最好优先搜索法的过程·····	(85)
(三) 估价函数的启发能力·····	(86)
(四) 最好优先搜索法的示例·····	(88)
第七节 与或树图搜索法 ·····	(90)
(一) 与或树图搜索法的概念·····	(90)
(二) 与或树搜索法的流程·····	(91)
第八节 与或树广度优先搜索法 ·····	(92)
(一) 与或树广度优先搜索法的概念·····	(92)
(二) 与或树广度优先搜索法的流程·····	(93)
(三) 与或树广度优先搜索法的示例·····	(94)
第九节 与或树有界深度优先搜索法 ·····	(94)
(一) 与或树有界深度优先搜索法的概念·····	(94)
(二) 与或树有界深度优先搜索法的流程·····	(94)
(三) 与或树有界深度优先搜索法示例·····	(96)
第十节 与或树代价驱动搜索法 ·····	(96)
(一) 与或树代价驱动搜索法的概念·····	(96)
(二) 与或树代价驱动搜索法示例·····	(98)
第十一节 与或树的最好优先搜索法 ·····	(99)
(一) 与或树的最好优先搜索法的概念·····	(99)
(二) 与或树的最好优先搜索法的流程·····	(99)
(三) 与或树最好优先搜索法示例·····	(100)
第十二节 与或图一种启发式搜索过程AO*算法 ·····	(102)
(一) 与或图的解图及其费用·····	(102)
(二) 与或图一种启发式搜索过程AO*算法·····	(105)
(三) AO*算法示例·····	(106)
第十三节 博弈树的启发式搜索 ·····	(107)
(一) 博弈和博弈树·····	(107)
(二) 博弈树搜索的极小极大过程·····	(109)
(三) α - β 剪枝法·····	(114)
第十四节 规划的启发式搜索 ·····	(117)
(一) 组合爆炸和推理复杂性·····	(117)
(二) 基本规划和多层规划·····	(121)
第十五节 启发式搜索的完备性及复杂性 ·····	(126)
(一) 启发评价·····	(126)

(二) 启发完备性的判定.....	(128)
(三) 启发剪枝.....	(129)
(四) 搜索效率.....	(129)
第十六节 归结及置换合一原理	(130)
(一) 归结原理.....	(130)
(二) 置换和合一.....	(133)
第十七节 归结反演系统	(134)
第十八节 双向推理	(136)
(一) 正向推理(向前推理).....	(136)
(二) 反向推理.....	(137)
(三) 双向推理.....	(139)
第十九节 三段论法	(141)
第二十节 归纳推理	(142)
第二十一节 MYCIN中的不精确推理	(143)
(一) MYCIN介绍.....	(143)
(二) MYCIN的推理控制.....	(144)
(三) 不精确推理算法.....	(144)
(四) MYCIN在不精确推理中的用法.....	(147)
(五) MYCIN的不精确推理示例.....	(148)
第二十二节 证据理论	(149)
(一) 基本理论.....	(149)
(二) 基本算法.....	(152)
(三) 应用证据理论示例.....	(155)
第二十三节 发生率计算	(157)
(一) 纯数值结构的限制.....	(157)
(二) 基本理论和方法.....	(159)
(三) 维持一致.....	(161)
(四) 实现建议.....	(163)
第二十四节 模糊集理论	(163)
(一) 模糊集理论和概率论的区别.....	(163)
(二) 模糊集理论.....	(164)
(三) 模糊集理论应用示例.....	(165)
本章小结	(168)

第五章 机器学习

第一节 学习模型	(170)
(一) 关于“学习”的概念.....	(170)
(二) 学习研究的发展过程.....	(170)
(三) 研究学习的目的.....	(171)
(四) 学习系统.....	(171)
(五) 影响学习系统的因素.....	(171)

(六) 学习系统中4种基本的学习情况	(172)
(七) 机器学习系统的结构和功能	(172)
第二节 机械学习	(174)
第三节 指导学习	(174)
第四节 实例学习	(176)
第五节 类推学习	(177)
(一) 类推学习的基本原理	(177)
(二) 类推学习的实例介绍	(179)
本章小结	(183)
第六章 专家系统中知识库的维护	(184)
第一节 如何发现某条规则需进行修改	(184)
第二节 如何修改	(185)
第三节 对知识库中规则的先验概率的修改	(187)
第七章 专家系统的评价	(188)
第一节 为什么要进行评价	(188)
第二节 评价中的设计问题	(189)
第三节 何时评价	(191)
第四节 如何评价	(193)
(一) 专家系统评价的方法	(193)
(二) 专家系统评价的内容	(198)
(三) 评价工具	(199)
本章小结	(201)
第八章 专家系统工具	(202)
第一节 概况	(202)
第二节 专家系统工具分类	(203)
(一) 通用程序设计语言	(203)
(二) 骨架系统	(204)
(三) 通用知识表示语言	(204)
(四) 组合工具	(204)
第三节 专家系统工具发展阶段	(205)
(一) 专家系统3个发展阶段的主要特征	(205)
(二) 实验系统工具	(206)
(三) 研究系统工具	(206)
(四) 商用系统工具	(206)
第四节 KAS系统	(208)
(一) KAS系统概述	(208)
(二) KAS系统中的知识表示	(209)

(三) KAS系统的推理机	(210)
(四) KAS系统的辅助设施	(212)
(五) KAS系统的应用	(212)
第五节 EMYCIN系统	(212)
(一) EMYCIN系统概述	(212)
(二) EMYCIN系统中的知识表示	(213)
(三) EMYCIN系统的推理机	(214)
(四) EMYCIN系统的辅助设施	(215)
(五) EMYCIN系统的应用	(215)
第六节 EXPERT系统	(215)
(一) EXPERT系统概述	(215)
(二) EXPERT系统的知识表示	(216)
(三) EXPERT系统的推理机	(216)
(四) EXPERT系统的辅助设施	(216)
(五) EXPERT系统的应用	(217)
第七节 其他专家系统工具	(217)
(一) AGE	(217)
(二) HEARSAY-Ⅱ	(218)
(三) LOOPS	(218)
(四) OPS	(219)
(五) PCEST	(219)
本章小结	(220)
第九章 “探矿者”专家系统	(221)
第一节 概况	(221)
第二节 矿床地质模型的建立	(223)
第三节 推理网络	(224)
(一) “探矿者”专家系统的基本推理过程	(224)
(二) 3种基本推理关系	(225)
(三) 斑岩铜矿模型(PCDA)推理网络结构示例	(226)
第四节 控制策略	(228)
第五节 语义网络及其应用	(228)
第六节 似然推理模型	(230)
第七节 判别树推理模型	(240)
第八节 “探矿者”专家系统应用实例	(241)
本章小结	(244)
第十章 瓦斯地质专家系统	(246)
第一节 瓦斯地质专家系统概述	(246)
(一) 瓦斯地质专家系统研究的基本内容	(246)
(二) 建立瓦斯地质专家系统的基本途径	(246)
(三) 选择CM.1专家系统工具建立瓦斯地质专家系统的理由和依据	(249)
第二节 专家系统工具CM.1概述	(250)

第三节	CM.1的知识表示	(257)
第四节	CM.1的推理机	(263)
	(一)推理机的求值方法	(263)
	(二)可信度的计算	(265)
	(三)推理策略	(268)
第五节	CM.1与外部函数的接口	(270)
第六节	CM.1的开发机构	(277)
第七节	CM.1系统的使用	(281)
第八节	CM.1的命令和预定义项	(285)
	(一)CM.1的命令	(285)
	(二)CM.1的预定义项	(290)
第九节	判别区分煤与瓦斯突出与非突出矿井(煤层)的专家系统	(295)
	(一)建立本系统的基本思路	(295)
	(二)本系统的组成部分	(297)
	(三)本系统的知识库结构	(298)
	(四)本系统的推理策略	(305)
	(五)本系统的知识获取	(309)
	(六)本系统的解释功能	(309)
	(七)本系统的用户接口设计	(309)
	(八)本系统的应用实例	(310)
参考文献		(316)

第一章 绪 论

专家系统是为了解决具有适当规模的专家级问题，采用一定的策略，具备知识库（含有相当数量和权威性的知识），具有学习机制，可以对知识库进行修改，以增进解题能力的计算机程序系统。它根据用户提供的数据、信息和事实，运用系统存储的专家知识，进行推理判断，最后得出结论，同时给出结论的可信度，以供用户决策。或者，简而言之：专家系统是同专家具有同等解决问题能力的智能程序系统。

专家系统研究是人工智能应用的一个非常重要的方面，它是1965年由美国斯坦福大学的Feigenbaum教授首创的，随后在该大学陆续建立了世界上最早的下列三个专家系统：阐明有机化合物分子结构的专家系统DENDRAL，医学专家系统MYCIN和地质探矿专家系统PROSPECTOR。目前专家系统已逐步进入实用阶段，每年有相当数量的新专家系统投入运行。我国近年来也开展了一些专家系统研究，并取得了一定成果。

第一节 专家系统发展简史

本世纪70年代初，计算机革命导致了计算机科学的一个新分支（专家系统）的产生，专家系统是在计算机硬件迅猛发展下出现的，当计算机硬件专家致力于微芯片的技术开发时，计算机软件专家在进行一项具有突破性质的重要研究，这一重要研究不是利用激光束编码信息，也不是开发更小的、速度更快的微芯片，而是在计算机科学领域中的一个概念上的突破，这个新的概念即为人工智能（AI）。

人工智能科学家经过长期的探索和反复的研究，试图研制一种能够进行思维的计算机程序系统，这种系统能够用人类的智能求解所提出的问题，专家系统就是按照这一目标，经过20余年的研究取得的成果。

专家系统的发展简史可以划分为下列几个阶段（图1-1）。

1. 第一阶段

60年代，人工智能科学家主要试图通过寻找解决各种问题的一般性方法来模拟思维的复杂过程，并且将此类一般性方法通过通用程序加以实现。在这种思路的指导下，尽管取得了一些成果，但不能取得突破性进展。这是由于研制通用程序太困难并且最终效果不明显，而单一程序能够处理的问题面愈宽，则它处理每种类型问题的能力愈低。

2. 第二阶段

在第一阶段工作的基础上，总结第一阶段的工作经验，人工智能专家试图通过另外的途径使计算机程序系统具有智能性，在较专门的问题上集中力量开发通用的方法或技术。在第二阶段他们将研究重点放在知识表达和搜索等技术上。知识表达的研究内容为：如何系统地陈述问题并使它们易于求解。搜索的研究内容为：如何控制解的查找，使得它不致于使用太多的时间和花费过多的计算机存储空间。

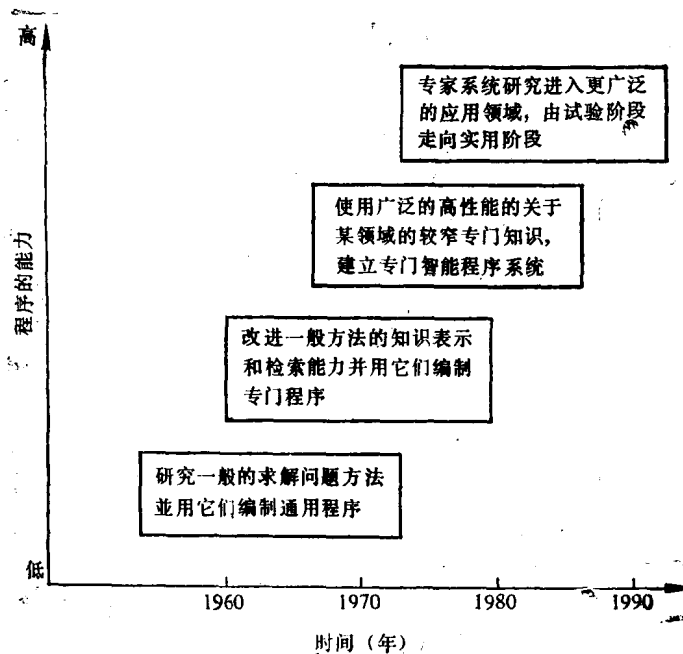


图 1-1 人工智能和专家系统发展简史

在第二阶段中，由于受到最早期的专家系统的启发，各种知识型专家系统迅速发展，如青光眼诊断系统CASNET，内科诊断系统INTERNIST，语音识别系统HEARSAY-II等，从上述系统产生了各种不同的知识表示方法，如CASNET是因果网络表示法，INTERNIST是语义网络表示法，HEARSAY是黑板模型表示法等。上述系统都不是实用系统，但通过研制和开发可以得到很多重要启示，使人们逐渐认识到专家系统的基础是通用知识表示语言。如通过CASNET的研制开发了EXPERT语言，通过HEARSAY-II开发了AGE和HEARSAY-III等。

1975年人工智能专家研究成功并正式发表了框架理论，对专家系统研究的发展有较大影响。框架理论和面向应用的方向不同，它是从认知科学的研究中产生的。随着框架理论的产生，框架型知识表示语言的研究、开发和应用也随之得到了较大发展。KRL、FRL、UNITS等是框架型语言，智能调度系统NUDGE和遗传工程实验系统MOLGEN是以框架型知识表示语言为基础的专家系统。

在第二阶段中专家系统研究虽然取得了一些成果，但仍未得到突破性进展。在这一阶段中研究工作主要在各大学中进行。产业界认为这是一个风险很大的研究领域因而开展工作较少。

3. 第三阶段

本世纪70年代末，人工智能专家开始认识到这样一个事实：即一个程序的求解问题能力，不取决于所应用的形式化体系和推理模式，而取决于它所具有的处理知识的能力。从而产生了一个研究思路上的突破，这种突破可用下面的一句话概括地说明：要使一个程序具有智能，必须向它提供大量有关领域的高质量专门知识。这种认识上的突破导致了专用计算机程序的开发，这种程序能在某些专门领域具有与专家同等程度的解题能力，称为

专家系统 (expert system)。从而在人工智能研究领域开辟了一个新的研究方向。

4. 第四阶段

80年代, 专家系统研究进入了一个新的阶段。首先是数量增多, 估计目前全世界的专家系统有2000到3000种。1987年研制成功的专家系统大约有1000种。专家系统的应用领域扩宽, 广泛应用于医学, 地质勘探, 石油天然气资源评价, 数学、物理学、化学的科学发现以及企业管理, 经济决策等方面, 在上述各方面所起到的作用为: 解释、预测、诊断、故障排除、设计、规划、监视、修正、教学和控制等。进入80年代, 专家系统研究走出了大学和研究机关而广泛地进入产业界。其原因主要为: 首先, 各种专家系统工具被开发出来, 使建立专家系统易于实现; 其次, 各大学研究成果的公开发表, 使企业界认识到专家系统是一种极为有用的手段。其三, 在大学培养的人工智能专家深入到企业界去工作。总之, 在80年代尽管研制的专家系统较多, 但其中相当一部分仍处于试验阶段, 一部分已进入实用阶段。如何将更多的试验系统转为实用系统是今后研究的一个主要课题。

发展到目前阶段, 专家系统的专业水平已能够达到并在有的方面甚至有可能超过专家水平。由于专家系统是建立在大量知识基础上, 因此有时称其为知识库系统。由于专家系统常用来帮助专家工作, 又可称其为智能助手。目前, 将构造专家系统的过程称为知识工程, 在这一过程中知识工程师 (专家系统构造者) 和某一专门领域中的专家进行合作。知识工程师从人类专家那里“抽取”

他们求解问题的过程、策略和一些经验规则, 并把这些知识加入到智能程序系统中, 形成某一专门领域 (专门问题) 的专家系统 (图1-2)。

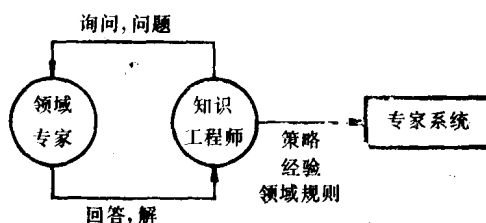


图 1-2 知识工程: 将专家的知识转变成计算机智能程序

第二节 专家系统的特征

专家系统的核心是在该系统建立过程中获取到的有效知识的实体。为了使决策简明, 这些知识应具有明晰性并有效地加以组织。因此, 知识的获取和整理是专家系统最重要的方面之一。

专家系统具有下列特征。

1. 专家系统具有能帮助对问题求解的高级专门知识

上述专门知识能够表示该领域中著名专家的最佳思维方法, 从而使问题的解决是符合科学思维的、精确的和有效的。高级专门知识和应用这些知识的技巧, 使专家系统投资少而效益大。另外, 专家系统的灵活性, 使它们能够不断地更新和补充知识, 以满足不断发展的工作的需要。

2. 专家系统具有预测模型的能力

专家系统在给定领域中能够作为一个求解问题的模型或信息处理理论, 为一个给定的问题提供所期望的答案, 并且在新情况下给出新的答案。专家系统能够详细解释新情况如何引起变化, 让用户能估计新的事实或数据的潜在影响, 并且理解它们与所求结果之间的

关系。同时，用户也能通过修改已有的规则或增加新规则来评价新的策略或步骤对解答的影响。

3. 专家系统具有记录政策或工作步骤并加以长期保存的能力

若知识库是通过与一个政府机构、行政部门或军事当局的主要领导人进行合作而建立起来的，它代表该机构当前的政策和工作步骤。知识库将高层领导的意见统一汇编，形成该机构最佳策略和方法的永久性记录。当该机构的领导人离任或调动工作后，他们的专门知识和技术却保留下来，可供继任者长期参考使用。

4. 专家系统具有培训主要领导和高级职员的能力

专家系统含有必要的知识并具有解释整个推理过程的能力，所以能够进行上述培训。为了提供被训练者与专家系统之间的友好接口，还必须添加适当的软件，并且应该提供关于教学方面的知识和用户模型。作为一个训练设备，专家系统能够为新职员提供很多的经验和策略。他们可以从中学到合理的和明智的方针和方法，对专家系统稍作修改后，也可用它来训练新手去完成某一特定任务。

第三节 专家系统的分类

对已经建立的专家系统可以按照功能和应用领域进行分类。

1. 按照功能对专家系统进行分类

按照功能可将专家系统分为：解释、预测、诊断、设计、规划、监视、调试、修理、教学、控制等类（表1-1）。

表 1-1 专家系统按功能分类

按 功 能 分 类		主 要 功 能 描 述
解	释	由传感器数据给出对情况的描述
预	测	推断出已知情况的可能结果
诊	断	由观测情况推断出系统故障
设	计	在一定约束条件下对目标进行配置
规	划	对行动和措施进行设计
监	视	比较观测结果和期望结果
调	试	执行一系列排除故障的措施
修	理	执行计划来实现规定的补救措施
教	学	判断、调整和修改学生的行动
控	制	控制整个系统的行为

(1) 解释类专家系统：解释类专家系统的任务是通过已知数据信息的分析和解释，确定它们的涵义。这类系统处理的数据通常不准确、有错误、有丢失，数据量也很大。这些特点就要求系统能够从不完全的信息中得出解释，并对数据作某些假设。同时，系统的推理过程可能很复杂，因而系统需要能够对自身的推理过程给出解释。

语言理解、图象分析、监视、化学结构分析、信号解释等领域的专家系统都属于这一类，这类系统可以处理许多不同类型的数据，例如，地质解释系统使用勘探记录，即在地上钻一个钻孔，对钻孔内或钻孔周围的岩石导电性进行的测量，用来推测地下的地质结构。

(2) 预测类专家系统：这类系统的任务是通过过去和现在的已知情况的分析，推断将来可能发生的情况。天气预报、军事预报、人口、交通、经济、谷物收成预测等领域的专家系统都属于这一类。这类系统处理的数据都是随时间变化的，并且可能是不完全、不准确的。这样，系统中就需要有能适应时间变化的动态模型，它可以从不完全、不准确的信息中做出预测，并达到一定的反应速度。有时候预测也可以借助仿真模型（一种反映真实世界活动的程序），来产生特定的输入数据下可能发生的情况或方案。这些可能情形和有关它们的产生过程的知识一起形成预测的基础。

(3) 诊断类专家系统：诊断类的专家系统应用情况描述、行为特征或者关于部件设计的知识来推导引起系统故障的可能原因。医疗诊断、电子设备、机械、软件故障诊断等领域的专家系统都属于这一类。为了完成诊断任务，系统需要了解客体各组成部分的特性及它们之间的联系，能区分一种现象掩盖另一种现象（即假象），能向用户提出需要测量的数据以及能从不确切信息中得出尽可能正确的诊断。

(4) 设计类专家系统：设计类的专家系统是求出满足设计的约束条件的目标配置。现已有电路、建筑、预算等方面的设计系统。设计系统经常使用合成法来构造部分设计，进行模仿和检验设计思想，并很容易地对所得的设计进行修改。因为设计和规划非常相近，所以许多设计系统提供了开发和精化规划的机制去达到期望的设计目标。设计系统为了生产需要的配置并根据问题上下文约束条件对其进行评价，可以通过规划来减少许多不必要的搜索。同时设计系统也可以用以前已证明正确的设计来解释当前的设计。

(5) 规划类专家系统：规划类的专家系统能设计若干动作，它们在行动之前必须确定整个行动的过程。常用的领域有机器人、交通运输、项目规划、通讯、实验、军事、程序设计等。系统进行规划的目标可能是静态的，也可能是动态的，因而需要系统对未来作出预测。由于所涉及的问题十分复杂，系统就需要能够抓住重点，妥善处理各子目标之间的作用和关系，处理不确定的数据，并通过一些试验性的动作得出可行的计划。

(6) 监督类专家系统：监督类的专家系统的任务是把观察到的对象的行为与其应该具有的行为进行比较，以发现异常情况，给出警报。监督专家系统的应用领域有核电站、航空、疾病和财政管理等。这类系统一般具有较快的反应速度，发出的警报有较高的准确性，系统随时间和条件的变化来动态地处理输入信息。

(7) 调试类专家系统：调试类的专家系统能发现故障的补救措施，对失灵的对象给出处理方法。这类系统应同时具有计划、设计、预报等专家系统的能力。例如，建议怎样调整计算机系统来减少某类性能问题；选择用来纠正出错电话线所需要的维修方式以及选择一个修理过程来修理发动机中的一个已知故障。目前许多调试系统依赖于简单的关系表，把故障类型和特定补救措施联系起来。但是广义的调试问题是十分困难的，而且需要设计补救措施并通过预测它们可能会产生的结果来评价它们。

(8) 修理类专家系统：修理类的专家系统按照一个规划来实施一些预先描述的补救方法，对发生故障的对象进行处理，使其恢复正常。例如，调整质谱仪，即调整仪器的操

作控制部件以得到最佳灵敏度，且具有正确的波峰、波谷和波形。迄今为止，开发出来的修理系统非常少，其部分原因是对于现实世界的物体执行一个真正的修理动作大大增加了问题的复杂性。同样，修理系统也需要诊断、调试和规划的能力，以建立起修理所需要的信息。

(9) 教学类专家系统：教学类的专家系统能根据学生的特点和其知识的弱点，以最适当的方式进行教学和辅导。例如：教学生如何确定电子线路中的错误；教海军工作人员如何操纵蒸汽机；再如教医学院学生学会选择抗菌疗法等。这类系统需要有诊断、调试功能，并且有良好的人-机接口。

(10) 控制类专家系统：这类系统的任务是自适应地管理一个对象的全部行为。空中交通控制、商业管理、战斗管理、任务控制等领域的专家系统都属于这一类。这类系统需要能够解释当前的情况，预测未来，诊断问题的起因，不断修正计划和控制计划的执行。

2. 按照应用领域对专家系统进行分类

按照应用领域可将专家系统分为16类（表1-2）。

表 1-2 专家系统按照应用领域分类

应用领域名称	应用领域名称
农 业	机械制造
化 学	数 学
计算机系统	医 学
电 子 学	气 象 学
工 程 学	军事科学
地 质	物 理
信息管理	过程控制
法 律	空间技术

现将专家系统应用的最活跃的几个领域简要介绍如下。

(1) 化学领域：从DENDRAL开始，专家系统在化学领域中得到了广泛的应用。DENDRAL是斯坦福大学在60年代中期开展的一个开创性的研究工作，主要内容为开发和研究人工智能方法用以确定有机化合物的分子结构。目前，在化学领域应用的专家系统有：推导分子结构系统、综合有机分子系统和分子生物学实验规划系统等。

(2) 计算机系统领域：计算机系统领域内专家系统的典型例子是XCON，它是在这一领域中最早的也是最成功的专家系统，它是由数字设备公司（DEC）和卡内基-梅隆大学（CMU）于70年代后期开始研制的，以后XCON逐渐发展为用计算机配置的商用系统。

目前在计算机系统领域中工作的专家系统尚包括：错误诊断系统、计算机配置系统和生产控制系统。

(3) 工程学领域：工程学领域应用的专家系统中最典型的是DELTA，它是通用电气公司于80年代中期开发的错误诊断系统。通用电气公司计划将DELTA投入商用以帮助