

基于关系数据库的 电力变压器故障诊断专家系统

索红军 著



科学出版社

渭南师范学院重点项目 (14YKF003)

基于关系数据库的电力变压器故障 诊断专家系统

索红军 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了专家系统目前常见的知识表示形式以及电力变压器故障诊断监测技术和原理,根据电力变压器故障诊断的特点,将模糊信息分级,对各级信息分别进行处理,利用成熟的关系型数据库技术提出一种搜索、替换、构造故障现象与诊断结果对应数据库表的推理机制,将大量的推理过程提前到专家系统学习阶段,在应用时主要进行组合搜索查询或简单的推理,提高了专家系统应用时的执行速度和效率。

全书内容丰富,条理清晰,详略得当,体现了专家系统应用的精髓,帮助读者了解电力变压器故障诊断及原理,领悟专家系统的结构组成,熟悉专家系统的知识表示与获取、推理过程及相关的内容,可供专家系统设计开发及相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于关系数据库的电力变压器故障诊断专家系统 / 索红军著. —北京: 科学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-03-056871-7

I. ①基… II. ①索… III. ①关系数据库-应用-电力变压器-故障诊断 IV. ①TB4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 048899 号

责任编辑: 宋无汗 刘耘彤 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 3 月第一次印刷 印张: 10 3/4

字数: 217 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

人工智能已进入了蓬勃发展的时期,作为人工智能的一个重要分支——专家系统,同样取得了长足的发展。我国对专家系统的研究与开发工作始于 20 世纪 70 年代末期,首先在医疗领域展开,随后很快进入农业领域。80 年代初,相继渗透到交通运输、地质勘探、气象预报等领域。专家系统的主要优点是不单纯依赖于数学模型,而且具有较为丰富与灵活的知识表达和问题求解能力,它可充分发挥人类专家根据经验和知识所进行的推理和判断能力,并将这种推理和判断能力用于各种场合的判断。近年来,专家系统更如雨后春笋般出现在故障诊断领域。故障诊断专家系统方法由于其本身所具有的优点,已经成为故障诊断领域中的一个主要方法,它不仅可以进行离线诊断,还可以用于在线的故障诊断及故障处理,与专家系统技术相结合是故障诊断技术发展的趋势。

电力资源早已在工农业生产及人们的生活中占据着无可替代的地位,由发电机、升压和降压变电所(站)、送电线路以及用电设备等有机连接起来的整体,构成完整的电力系统。电力系统中的每一个环节出现异常或故障,都将影响整个电力系统的正常运转。对电力系统的故障诊断,特别是在线故障诊断已经成为保证电力系统正常运转的重中之重。在当前电力系统中,电力变压器运行中出现异常现象的情况时有发生,甚至引发事故,对电力系统的安全运行造成了严重威胁。国内许多单位正积极开展变压器的在线监测和故障诊断的研究。故障诊断与专家系统结合是当今设备故障诊断的热门话题,电力系统中电力变压器的在线监测与故障诊断目前已成为相关人员研究的热点。变压器故障是变压器本身及其应用环境综合作用和长期积累的结果,因而变压器故障的征兆多种多样,故障征兆与故障机理间的联系也错综复杂。随着计算机技术和人工智能理论的快速发展,专家系统、人工神经网络等智能技术为知识工程师诊断故障开辟了新的途径。专家系统是实现人工智能的主要形式,是目前人工智能应用研究最活跃和最广泛的应用领域之一。鉴于变压器故障诊断的专业性、经验性和复杂性,采用故障诊断专家系统诊断监测电力变压器的运行情况具有独特的优势。

鉴于此,作者分析了专家系统中各种知识表示形式的优缺点,针对电力变压器的特点,结合专家系统中产生式知识表示形式,以变压器油色谱分析为出发点,提出一种应用关系型数据库元组表示知识的形式,并就相应的知识获取、推理机制等做出分析,设计开发了一种应用关系型数据库表示知识的变压器故障诊断专家系统,以求推进专家系统在工农业生产中的应用,达到抛砖引玉的作用,为具

有相关理论知识的读者在实践方面提供一些帮助。尽管本书没有对完整的故障诊断专家系统进行详细介绍，只是将重点放在知识表示和推理机方面，但提出的以关系数据库元组表示知识和对应的推理机制，充分利用了现有成熟的关系型数据库知识，提高了知识表示的能力和推理的效率，能够为读者在设计开发相关的专家系统方面提供一些帮助。

在撰写本书过程中得到西安电子科技大学王保保教授的精心指导，在此对王保保教授及为作者的学业提供支持帮助的所有老师表示深深的感谢。另外，本书的撰写也得到了渭南师范学院张郭军老师、刘军老师、王敏老师等的大力支持，陕西省农业广播电视大学渭南市分校的贺清兰老师为本书的完成提供了很大帮助，科学出版社在本书的出版过程中也提供了支持，在此一并表示感谢。本书的出版得到“渭南师范学院出版专项经费资助项目”的资助。

由于作者水平有限，书中难免有不足和疏漏之处，恳请同行和广大读者批评指正。

作 者

2017年5月于渭南

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 专家系统概述	2
1.2 电力变压器故障诊断的意义	9
1.3 专家系统在电力设备故障诊断中的应用	13
1.4 小结	15
第 2 章 电力变压器常见故障诊断方法与分析	16
2.1 电力变压器故障原因和类型	17
2.1.1 变压器故障原因	18
2.1.2 变压器故障分类	18
2.1.3 常见故障的分析处理	18
2.1.4 变压器日常维护	21
2.2 电力变压器故障检测诊断技术及相关案例	22
2.2.1 变压器油中气体色谱检测技术	23
2.2.2 变压器绕组直流电阻检测技术	30
2.2.3 变压器绝缘电阻及吸收比、极化指数检测技术	32
2.2.4 变压器绝缘介质损耗检测技术	34
2.2.5 变压器油质检测技术	38
2.2.6 变压器绝缘老化检测技术	41
2.2.7 变压器局部放电故障检测技术	43
2.2.8 变压器有载分接开关检测技术	46
2.2.9 变压器绕组变形检测技术	47
2.2.10 变压器故障红外检测技术	48
2.2.11 变压器内部热故障的检测和诊断案例	51
2.2.12 变压器高压套管的常见故障及红外诊断案例	51
2.2.13 变压器高压套管内部过热缺陷案例	52
2.2.14 避雷器故障案例	53

2.3	电力变压器故障诊断气相色谱分析法	54
2.3.1	特征气体及气相色谱概况	54
2.3.2	油色谱分析诊断实例	57
2.4	小结	60
第3章	电力变压器故障诊断专家系统知识库设计	61
3.1	概述	61
3.1.1	知识的特性	61
3.1.2	知识表示的分类	62
3.1.3	人工智能对知识表示方法的要求	63
3.1.4	知识系统	64
3.2	知识表示形式	65
3.2.1	常见知识表示形式	65
3.2.2	谓词逻辑表示法	65
3.2.3	框架表示法	67
3.2.4	语义网络表示法	71
3.2.5	神经网络表示法	72
3.2.6	产生式知识表示形式	78
3.2.7	关系数据库记录的知识表示形式	79
3.2.8	关系数据库记录知识表示的优点和缺点	88
3.3	知识获取	89
3.3.1	知识获取的方法	90
3.3.2	知识获取的步骤	92
3.3.3	以会谈方式获取领域专家的知识	93
3.3.4	机器学习	94
3.3.5	数据挖掘与知识发现	100
3.3.6	知识获取在智能信息系统中的应用	104
3.3.7	本系统的知识获取	105
3.4	知识一致性及完备性检测	106
3.4.1	循环知识检查	107
3.4.2	矛盾知识检查	108
3.4.3	其他知识不一致性检查	109
3.5	知识存储	110
3.5.1	关系数据库记录知识数学模型	111
3.5.2	关系数据库元组知识的表示	112

3.6 知识数据库设计	113
3.6.1 本系统知识数据库设计	113
3.6.2 变压器知识库表及字段说明	114
3.7 知识库的维护	117
3.8 小结	117
第4章 电力变压器故障诊断专家系统推理机设计	119
4.1 推理机制简介	119
4.1.1 推理的方法	119
4.1.2 知识匹配	124
4.1.3 推理控制策略	124
4.2 系统推理机总体设计	127
4.2.1 变压器故障诊断专家的思维方式研究	127
4.2.2 推理机总体结构	129
4.2.3 推理机总体设计方法	131
4.3 模糊推理设计	133
4.4 系统推理机详细设计	134
4.4.1 系统推理机	135
4.4.2 推理机冲突处理	135
4.5 小结	136
第5章 电力变压器故障诊断专家系统	137
5.1 系统功能需求分析	137
5.2 开发技术与工具	138
5.2.1 面向对象技术	138
5.2.2 开发工具	139
5.3 系统总体设计	143
5.4 系统实现	145
5.5 小结	147
第6章 应用关系数据库技术推理的拓展研究	149
6.1 推理的有限状态自动机模型	149
6.2 有限状态自动机在基于关系数据库技术推理中的应用分析	150
6.2.1 基于关系数据库技术推理的状态转换	150
6.2.2 基于关系数据库技术推理的有限状态自动机形式	152

6.3	应用有限状态自动机实现本系统推理	153
6.3.1	推理机的有限状态自动机构造	154
6.3.2	应用有限状态自动机分析完成推理	154
6.3.3	本系统推理机与应用自动机推理的关系	155
6.4	小结	156
第 7 章	总结和展望	157
7.1	总结	157
7.2	展望	158
7.2.1	网络电力变压器故障诊断专家系统	158
7.2.2	故障诊断与自动恢复相结合的专家系统	159
参考文献		160

第 1 章 绪 论

自从 20 世纪 60 年代初期出现以来,专家系统 (expert system, ES)^[1]已有 50 多年的发展历程。专家系统作为人工智能 (artificial intelligence, AI)^[2]的一个重要分支,经过 50 多年的发展,已经从最初的某个方面的简单智能程序发展到今天在各行各业中解决复杂问题的比较成熟的程序。然而随着专家系统不断向深层次方向发展,核心知识表示和知识获取、匹配冲突、组合爆炸等问题变得越来越突出。特别在知识获取方面,专家系统发展已遇到瓶颈。最近几年专家系统的发展受到严重影响,甚至可以用停滞不前来形容。但专家系统仍然是最近几年的研究热点。

变压器就其用途可分为电力变压器、试验变压器、仪用变压器及特殊用途变压器。电力变压器是电力输配电、电力用户配电的必要设备;试验变压器是对电气设备进行耐压(升压)试验的设备;仪用变压器作为配电系统的电气测量、继电保护之用(PT、CT);特殊用途的变压器分为冶炼用电炉变压器、电焊变压器、电解用整流变压器、小型调压变压器等。电力变压器是用来变换交流电压、电流并传输交流电能的一种静止的电气设备,它是根据电磁感应的原理实现电能传递的。

电力变压器是一种静止的电气设备,用来将某一数值的交流电压(电流)变成频率相同的另一种或几种数值不同的电压(电流)。当一次绕组通交流电时,就产生交变的磁通,交变的磁通通过铁心导磁作用,就在二次绕组中感应出交流电动势。二次感应电动势的高低与一、二次绕组匝数的多少有关,即电压大小与匝数成正比。电力变压器的主要作用是传输电能,因此额定容量是它的主要参数。额定容量是一个表现功率的惯用值,它表征传输电能的大小,用 $kV \cdot A$ 或 $MV \cdot A$ 表示,当对变压器施加额定电压时,根据它来确定规定条件下不超过温升限值的额定电流。较为节能的电力变压器是非晶合金铁心配电变压器,其最大优点是空载损耗值特别低。最终能否确保空载损耗值,是整个设计过程中所要考虑的核心问题。

电力变压器是电力系统中最重要电气设备之一,也是导致电力系统事故最多的电气设备之一,其运行状态直接影响系统的安全性水平。及时发现变压器的潜伏性故障^[3],保证变压器的安全运行,从而提高供电的可靠性,是电力部门关注的一个重要问题。因此,研究电力变压器故障诊断技术,提高电力变压器的运行维护水平,具有重要的现实意义。电力变压器的故障征兆和故障类型之间常常

存在复杂的非线性关系,使得故障诊断系统的数学模型很难获取,很多故障需要依靠人工专家的经验来解决。然而,人工专家又存在着极大的弊端,如人工专家的经验由于专家的离世不能保留;一个人工专家的经验有限,而又没有好办法将多个人工专家的经验结合;人工专家在工作时由于人体机能的原因导致人体困乏而产生错误等。这些弊端是人工专家所固有的^[4],无法通过努力工作等环节消除,最多只能降低故障程度。因此,对于电力变压器这类故障及其复杂的设备,故障检查与运行维护仅靠人工专家是不够的,必须有能够克服人工专家弊端的其他方法。对于这一类型的故障,故障诊断专家系统是一个很好的解决办法。

1.1 专家系统概述

近年来,人工智能迅速发展,在很多学科领域都得到了广泛应用,并取得了丰硕成果。专家系统作为人工智能一个重要的分支,是在20世纪60年代初期产生并发展起来的一门新兴的应用科学,而且正随着计算机技术的不断发展而日臻完善和成熟。专家系统是一种智能的计算机程序^[5],它能借助源自于人类的专家知识,采取一定的搜索策略,并通过推理的手段去解决某一特定领域的相关问题。专家系统内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验,能够利用这些相关知识和经验并采取解决问题的方法来处理该领域困难和复杂的实际问题。一般认为,专家系统有一个知识库,该知识库是由知识工程师通过知识获取手段,将领域专家解决特定领域的知识,采用某种知识表示方法编辑或自动生成某种特定表示形式存放在一起而构成的^[6]。应用时通过人机接口输入信息、数据或命令,运用推理机构控制知识库及整个系统,从而求得实际问题的解。由于专家系统内部含有某个领域专家水平的大量知识和经验,而不是某个人工专家的知识 and 经验,因此专家系统实际上可以看作某领域多个专家的知识 and 经验的综合体,可以进行复杂的判断推理,以解决复杂的问题,而且经常是某个人工专家不能解决的问题。

专家系统有以下3个特点。

(1) 启发性。专家系统是一个智能程序,能运用专家的知识 and 经验进行推理和判断。

(2) 透明性。专家系统模拟人工专家解决问题,能解决本身的推理过程问题,回答用户提出的问题。

(3) 灵活性。专家系统能不断地增长知识,修改原有知识,既可以人工干预学习(由知识工程师向知识库中添加知识等),也可以系统自学(应用现有知识库中的知识,通过推理转换等获得新的知识)。

专家系统与人工专家相比具有以下优点^[7]。

(1) 专家系统能够高效率、准确、不知疲倦地进行工作,而且解决实际问题

时不受周围环境的影响。

(2) 可以使人工专家的专长不受时间和地域的限制, 以便推广、保持珍贵和稀缺的专家知识与经验。

(3) 专家系统能使各领域专家的专业知识和经验得到总结和精炼, 能够广泛有力地传播专家的知识、经验和能力。

(4) 专家系统能汇集多领域专家的知识 and 经验, 以及他们协作解决重大问题的能力, 它拥有更渊博的知识、更丰富的经验和更强的工作能力。

(5) 专家系统的研制和应用具有巨大的经济效益和社会效益。

(6) 研究专家系统能够促进整个科学技术的发展, 专家系统对人工智能的各个领域的发展都起了很大的促进作用, 并将对科技、经济、国防、教育、社会和人民生活产生极其深远的影响。

图 1.1 是专家系统的一般结构^[8]。这种结构在目前专家系统的构造中比较流行, 其包括 6 个部分: 知识库、推理机、综合数据库、人机接口、解释机构及知识获取机构。

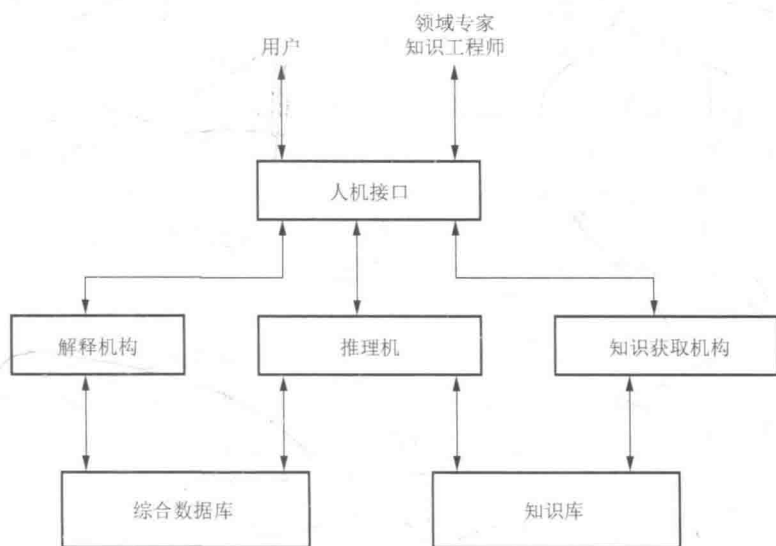


图 1.1 专家系统的一般结构

专家系统结构中最主要的部分是知识库 (knowledge base)、推理机 (inference engine) 和知识获取机构 (knowledge acquisition agency)。知识库用以存放领域专家提供的领域相关知识。知识库的建立, 对专家系统能够成功推理得到相应领域专家解决问题的能力有着重要的决定意义, 知识库中拥有的知识的数量和质量是影响专家系统的性能和求解问题能力的关键因素。推理机根据当前已知的事实或针对综合数据库中的当前信息, 利用知识库中的知识, 按一定的推理方法和搜索

策略进行推理,从而求得问题的答案或证明某个结论的正确性。推理机的效率和准确性直接反映专家系统的效率和准确性等,体现了专家的思维过程。知识获取机构负责专家系统知识的获取,实现专家系统的学习,不断完善知识库。知识获取机构体现专家系统的学习能力,反映一个专家系统的发展水平和应用前景。现在知识获取成为专家系统发展的瓶颈,特别是专家系统的自学能力,一般都是根据现有知识库中的知识,通过推理转换等获得新的知识,知识获取机构还无法向人类专家一样,通过有意无意的视觉、听觉以及思维过程等获得新知识。专家系统自学获得的新知识,在实质上已经蕴含于知识库中,只是由推理转换而得到一种新的更直观的表现形式,没有这个新知识,在推理过程中再进行推理转换,同样也可以完成新知识解决问题的过程,只不过是推理过程复杂而已。

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和解决问题的方法来处理该领域的问题。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,模拟人类专家的思维、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。

专家系统是人工智能中最重要的,也是最活跃的一个应用领域,它实现了人工智能从理论研究走向实际应用,从一般推理策略探讨转向运用专门知识的重大突破。专家系统是早期人工智能的一个重要分支,它可以看作是一类具有专门知识和经验的计算机智能程序系统,一般采用人工智能中的知识表示和知识推理技术来模拟通常由领域专家才能解决的复杂问题。

20世纪60年代初,出现了运用逻辑学和模拟心理活动的一些通用专家系统,它们可以证明定理和进行逻辑推理。但是这些通用方法无法解决比较复杂的实际问题,很难把实际问题转换成适合于计算机解决的形式,并且对于解题所需的巨大的搜索空间也难以处理。1965年,费根鲍姆等在总结通用问题求解系统的成功与失败经验的基础上,结合化学领域的专门知识,研制了世界上第一个专家系统——DENDRAL,该系统可以推断化学分子结构。多年来,随着知识工程的研究,专家系统的理论和技术不断发展,使得专家系统的应用几乎渗透到各个领域,包括化学、数学、物理、生物、医学、农业、气象、地质勘探、军事、工程技术、法律、商业、空间技术、自动控制、计算机设计和制造等众多领域,开发了几千个专家系统,其中不少在功能上已达到甚至超过同领域中人类专家的水平,并在实际应用中产生了巨大的经济效益。

专家系统的发展已经历了三代,正在向第四代过渡和发展^[9]。第一代专家系统(DENDRAL、MACSYMA等)以高度专业化、求解专门问题能力强为特点。但在体系结构的完整性、可移植性、系统的透明性和灵活性等方面存在缺陷,求

解问题能力弱。第二代专家系统 (MYCIN、CASNET、PROSPECTOR、HEARSAY 等) 属于单学科专业型、应用型系统, 其体系结构较完整, 在移植性方面有所改善, 而且在系统的人机接口、解释机制、知识获取技术、不确定推理技术、增强专家系统的知识表示和推理方法的启发性、通用性等方面都有所改进。第三代专家系统属于多学科综合型系统, 采用多种人工智能语言, 综合采用各种知识表示方法和多种推理机制及控制策略, 并开始运用各种知识工程语言、骨架系统及专家系统开发工具和环境来研制大型综合专家系统。在总结前三代专家系统的设计方法和实现技术的基础上, 已开始采用大型多专家协作系统、多种知识表示、综合知识库、自组织解题机制、多学科协同解题与并行推理、专家系统工具与环境、人工神经网络知识获取及学习机制等最新人工智能技术来实现具有多知识库、多主体的第四代专家系统^[10]。

专家系统通常由人机接口、知识库、推理机、解释机构、综合数据库、知识获取机构 6 个部分构成, 其中尤以知识库与推理机相互分离而别具特色。专家系统的体系结构随专家系统的类型、功能和规模的不同, 而有所差异。

为了使计算机能运用专家的领域知识, 必须要采用一定的方式表示知识。目前, 常用的知识表示方式有产生式规则^[11]、语义网络、框架、状态空间、逻辑模式、脚本、过程、面向对象等。基于规则的产生式系统是目前实现知识运用最基本的方法。产生式系统由综合数据库、知识库和推理机 3 个主要部分组成, 综合数据库包含求解问题的世界范围内的事实和断言; 知识库包含所有用“如果: 〈前提〉, 那么: 〈结果〉”形式表达的知识规则; 推理机 (又称规则解释器) 的任务^[12]是运用控制策略找到可以应用的规则。

知识库用来存放专家提供的知识。专家系统的问题求解过程是通过知识库中的知识来模拟专家的思维方式, 因此知识库是专家系统质量是否优越的关键所在, 即知识库中知识的质量和数量决定着专家系统的质量水平。一般来说, 专家系统中的知识库与专家系统程序是相互独立的, 用户可以通过改变、完善知识库中的知识内容来提高专家系统的性能。

人工智能中的知识表示形式有产生式规则、框架、语义网络等, 而在专家系统中运用得较为普遍的知识是产生式规则。产生式规则以 IF...THEN...的形式出现, 就像 Basic 等编程语言里的条件语句一样, IF 后面跟的是条件 (前件), THEN 后面的是结论 (后件), 条件与结论均可以通过逻辑运算 AND、OR、NOT 进行复合。在这里, 产生式规则的理解非常简单: 如果前提条件得到满足, 就产生相应的动作或结论。

推理机针对当前问题的条件或已知信息, 反复匹配知识库中的规则, 获得新的结论, 以得到问题求解结果。在这里, 推理方式可以有正向推理和反向推理两种。

正向推理的策略是找出前提可以同数据库中的事实或断言相匹配的那些规则，并运用冲突的消除策略，从这些都可满足的规则中挑选出一个规则执行，从而改变原来数据库的内容。这样反复地进行寻找，直到数据库的事实与目标一致即找到解答，或者直到没有规则可以与之匹配时才停止。

逆向推理的策略是从选定的目标出发，寻找执行后果可以达到目标的规则，如果这条规则的前提与数据库中的事实相匹配，问题就得到解决；否则把这条规则的前提作为新的子目标，并对新的子目标寻找可以运用的规则，重复执行逆向序列搜索寻找相应规划的前提，直到最后运用的规则的前提可以与数据库中的事实相匹配，或者直到没有规则再可以应用时，系统便以对话形式请求用户回答并输入必需的事实。

由此可见，推理机就如同专家解决问题的思维方式，知识库就是通过推理机来实现其价值的。

人机接口（也称人机界面）是系统与用户进行交流时的界面。通过该界面，一方面用户可以输入基本信息，回答系统提出的相关问题；另一方面通过该界面输出推理结果及相关的解释等。

综合数据库专门用于存储推理过程中所需的原始数据、中间结果和最终结论，往往是作为暂时的存储区。解释机构能够根据用户的提问，对结论、求解过程做出说明，因而使专家系统更具有人情味。

知识获取是专家系统知识库是否优越的关键，也是专家系统设计的“瓶颈”，通过知识获取，可以扩充和修改知识库中的内容，也可以实现专家系统的自动学习功能。

专家系统的基本工作流程是用户通过人机界面回答系统的提问，推理机将用户输入的信息与知识库中各个规则的条件进行匹配，并把被匹配规则的结论存放到综合数据库中。最后，专家系统将得出最终结论并呈现给用户。

在这里，专家系统还可以通过解释器向用户解释以下问题：系统为什么要向用户提出该问题（why）？计算机是如何得出最终结论的（how）？解释器用于对求解过程做出说明，并回答用户的提问。解释机制涉及程序的透明性，它让用户理解程序正在做什么和为什么这样做，向用户提供了关于系统的一个认识窗口。在很多情况下，解释机制是非常重要的，为了回答“为什么”得到某个结论的询问，系统通常需要反向跟踪动态库中保存的推理路径，并把它翻译成用户能接受的自然语言表达方式。

领域专家或知识工程师通过专门的软件工具或编程实现专家系统中知识的获取，不断地充实和完善知识库中的知识。

根据定义, 专家系统应具备以下几个功能。

(1) 存储问题求解所需的知识。

(2) 存储具体问题求解的初始数据和推理过程中涉及的各种信息, 如中间结果、目标、字母表以及假设等。

(3) 根据当前输入的数据, 利用已有的知识, 按照一定的推理策略解决当前问题, 并能控制和协调整个系统。

(4) 能够对推理过程、结论或系统自身行为做出必要的解释, 如解题步骤、处理策略、选择处理方法的理由、系统求解某种问题的能力、系统如何组织和管理其自身知识等。这样既便于用户的理解和接受, 也便于系统的维护。

(5) 提供知识获取, 机器学习以及知识库的修改、扩充和完善等维护手段。只有这样才能更有效地提高系统的问题求解能力及准确性。

(6) 提供一种用户接口, 这样既便于用户使用, 又便于分析和理解用户的各种要求和请求。

这里强调, 存放知识和运用知识进行问题求解是专家系统的两个最基本的功能。

专家系统是一个基于知识的系统, 利用人类专家提供的专门知识, 模拟人类专家的思维过程, 解决对人类专家都相当困难的问题。一般来说, 一个高性能的专家系统应具备启发性、透明性及灵活性的特征。专家系统不仅能使用逻辑知识, 也能使用启发性知识, 它运用规范的专门知识和直觉的评判知识进行判断、推理和联想, 实现问题求解。专家系统用户在对专家系统结构不了解的情况下, 都可以进行相互交往, 了解知识的内容和推理思路, 系统还能回答用户的一些有关系统自身行为的问题。专家系统的知识与推理机构的分离, 使系统可以不断接收新的知识, 从而确保系统内知识不断增长以满足商业和研究的需要。

专家系统应用领域的不同或专家系统知识表示技术等各方面的差异, 都可以对专家系统进行分类, 对于专家系统的分类, 可以从以下方面考虑。

1. 按知识表示技术分类

基于逻辑的专家系统: 知识由说明事实的谓词逻辑的子句组成, 这些子句组合起来构成知识库。

基于规则的专家系统: 知识表达成为一系列规则。每个规则使用 IF (条件)、THEN (结论) 结构指定的关系。当满足规则的条件部分时, 便激发规则, 执行动作部分。

基于语义网络的专家系统: 语义网络是一种用实体及语义关系来表达知识的有向图。从结构上看, 语义网络是由一些用相应的语义联系关联在一起的语义单

元构成的。

基于框架的专家系统：采用框架知识表示的专家系统。框架是人们认识事物的一种通用数据结构形式，即当新情况发生时，人们只要把新的数据加入该通用数据结构中便形成一个具体的实体类。

2. 按任务类型分类

解释型：可用于分析符号数据，进行阐述这些数据的实际意义。

预测型：根据对象的过去和现在的情况来推断对象的未来演变结果。

诊断型：根据输入信息找到对象的故障和缺陷。

调试型：给出自己确定的故障的排除方案。

维修型：指定并实施纠正某类故障的规划。

规划型：根据给定目标拟定行动计划。

设计型：根据给定要求形成所需方案和图样。

监护型：完成实时监测任务。

控制型：完成实施控制任务。

教育型：诊断型和调试型的组合，用于教学和培训。

最初的专家系统是人工智能的一个应用，但由于其重要性及相关应用系统的迅速发展，它已是信息系统的一种特定类型。专家系统一词是由“以知识为基础的专家系统 (knowledge-based expert system)”而来，此种系统应用计算机中储存的人类知识，解决一般需要用到专家才能处理的问题，它能模仿人类专家解决特定问题时的推理过程，因而可供非专家用来提高解决问题的能力，同时专家也可把它视为具备专业知识的助理。在人类社会中，专家资源相当稀少，有了专家系统，则可使如此珍贵的专家知识获得普遍的应用。

近年来专家系统技术逐渐成熟，广泛应用在工程、科学、医药、军事和商业等方面，而且成果相当丰硕，甚至在某些应用领域还超过人类专家的智能与判断，其功能应用领域包括以下方面。

(1) 解释：如测试肺部测试 (PUFF)。

(2) 预测：如预测可能由黑蛾造成的玉米损失 (PLAN)。

(3) 诊断：如诊断血液中细菌的感染 (MYCIN)，又如诊断汽车柴油引擎故障原因的 CATS 系统。

(4) 故障排除：如电话故障排除系统 ACE。

(5) 设计：如专门设计小型马达弹簧与碳刷的专家系统 (MOTOR-BRUSH DESIGNER)。

(6) 规划：如出名的有辅助规划 IBM 计算机主架构的布置，重安装与重安排