



建筑技术资料

专家系统在老厂技术改造中的应用 ——介绍我们的三个专家系统

(建筑物鉴定、修复和改造之十一)



冶金部建筑研究总院

一九八八年九月

专家系统在老厂技术改造中的应用

——介绍我们的三个专家系统

编著：秦 权

冶金部建筑研究总院

一九八八年九月

目 录

第一章 概况.....	(1)
一、专家系统是人工智能的一支.....	(1)
二、它与计算技术相互促进.....	(1)
三、基本概念.....	(2)
四、专家系统的结构.....	(2)
五、专家系统的优点.....	(2)
六、专家系统近况.....	(3)
七、我国研究专家系统的情况.....	(7)
第二章 建专家系统必要的条件.....	(9)
一、领域专家知识.....	(9)
二、知识的表示.....	(9)
三、不定性的表示.....	(10)
四、建专家系统的工具.....	(11)
五、知识采集.....	(12)
六、推理方法.....	(13)
第三章 混凝土结构裂缝诊断与对策专家系统.....	(14)
第四章 单层R.C.厂房综合可靠性评定专家系统.....	(21)
第五章 地下管道抗震可靠性评定专家系统.....	

第一章 概 况

一、专家系统是人工智能领域的一支，也是其当前最活跃的一支。人工智能作为一门学科始于50年代，它研究使计算机做一些表达出人的智能的事情，比如辨识能力，语言理解，推理以及一些操作能力。由于早期的学者设法模拟人脑的自然功能，而计算机的能力又与人脑相差很远，使得他们的工作始终限于理想世界，以至逐渐为社会所冷漠，研究落入低潮。后来，美国stanford大学的Feigenbaum, Buchanan等人开始探索在具体的科技领域中，人类专家的解题方法。60年代中期他们着手研究一个确定有机化合物分子结构的计算机软件系统DENDRAL，此系统中存入了大量典型化合物光谱，核磁共振及其它化学试验数据，可根据被检查的化合物的上述试验结果系统地产生可能的子结构，再深入检查，可排除显然不合理的假设，从而建立最后的分子结构。由于它能考虑到人类专家偶尔也会忽略的可能结构，所以超过了人类专家，这样它导致了在化学研究领域中人与机器的重新分工。DENDRAL公布于1971年，它实际上是世界第一个专家系统，但当时人们并未使用“专家系统”这一术语。随后，stanford大学的一批计算机学者又研究了几个专家系统。MYCIN—诊断和治疗血液病的专家系统，在对实际病例进行考评时，它的诊断水平得最高分，PROSPECTOR—探矿专家系统，在早期应用中就探得一个价值1亿美元的钨矿……从此出现了一大批专家系统。由于专家系统着眼于实际问题，而且又有了成功的先例，它使得人工智能的研究工作重新活跃起来。

1977年Feigenbaum指出：专家系统的能力在于它具有的知识，而不是其表达形式及推理方法。早期的人工智能研究之所以不成功，就是因为他们忽视了知识。专家系统与一般的人工智能之区别是：

- ① 专家系统以专家的水平工作，
- ② 专家系统对狭窄的领域探索求解策略，
- ③ 专家系统运用存入其中的领域知识来推理、判断和解释。

由于专家系统必须专家知识，就需要把领域专家头脑中的“知识”（与解决具体问题有关的）提取，加工并转化成计算机可接受的形式。这就涉及到一门研究人类知识的学科：人的知识是由什么组成的，如何表示的，人又是如何学习的……，Feigenbaum称之为“知识工程”。

专家系统早期成就所反映出的前景引起了产业界的巨大兴趣，因而它问世的最初十几年就取得了巨大发展，到1976年人工智能产品销售额已达2亿美元，预计1990年可达45~100亿美元，2000年可达500~1000亿美元，将占美国社会总产值的10~20%。

二、它与计算机技术互相促进。60~70年代世界上掀起了以计算机为中心的一次产业革命，计算机技术有了飞跃的发展。现在可放在桌子上的一台PC机，在50年代要一座大楼才装得下。作为结果，出现了大量的数值计算及数字处理软件，计算机在处理数字方面的能力已为世人所公认。计算机技术还会继续发展：进一步去处理知识。有人说：七十年代是数据处理的年代，八十年则是知识工程的年代。人工智能增加了计算机的能力，从国内外计算机行业的发展行情来看，其发展速度一直在持续上升。可以相信：专家系统这一门高技术是

今后最有前途的领域之一。

三、专家系统的基本概念：专家系统也是一种计算机软件，它与我们已熟悉的数值计算程序的不同之处表示于表1。专家系统这种计算机程序还有以下特点：

表1 常规程序与专家系统比较

常规程序	专家系统
表示并使用数据	表示并使用知识
是计算的	是启发性的
是重复过程	是推论过程
有效地管理大的数据库	有效地管理大的知识库
不但要指定“做什么”还要指定“怎么做”	只需指定“做什么”，系统自己会做

① 有专家知识：它能以该领域的专家的水平进行工作。这要求它能给出高质量的解答，它应当熟练而迅速地求解，它有的知识还必须是“坚固”的，即当给它以错误数据及不完全知识时，它应当能从更一般的知识进行推论。

② 用符号推理：它处理以符号表示的有关概念，并根据经验，以不同的策略去处理这些符号。专家系统的主要工作不是进行数字计算。因此，知识的表示，也就是如何选择，组织并解释这些符号，是十分重要的。

③ 专家系统必须有相当深度：就是说它能在狭窄的领域内有效地解决困难问题。因此它的知识库中必须包括有关领域专家的真知灼见。专家系统的难度正在这里。

④ 专家系统应能自我认知，即检查它的推理，并解释其选择。这一点不仅可以加速研制、排障过程，而且能使用户相信其结果。

四、专家系统的结构：一个专家系统包括知识库、推理机和人机接口，有时还包括黑板。知识库是领域专家知识的总合，包括概念、事实及它们间的关系。推理机则包括一个决定怎样用准则（或其它形式的关系）推论新知识的解释器，和一个决定使用准则的次序的计划器，人机接口则包括让用户输入数据及事实的软件以及显示结果，中间查询和追踪推理路径的软件。较复杂的专家系统还使用“黑板结构”，它把知识库表达为若干结构化知识源，每个知识源由一个前提和一个行动过程组成。各知识源通过“黑板”交换信息。

五、专家系统的优点：与人类专家相比，专家系统有以下优点：

① 它具有永久性，而人类专家有死亡，调离，因疲劳而降低效率，以及长期不接触某一领域而变生疏的问题，

② 便于传播，以磁盘形式加上短期培训就可完成，而传播人类专家的知识则需系统化的训练和长期的现场工作。

③ 易于用文件表示，而人类专家的知识难于表示成文件。表成文件的过程就是建专家系统的过程，

④ 推出的结论总是一致的，但人类专家的结论有时难以预料。他们可能在完全相同的条件下给出不同的决定，这种情况常常发生在受外界因素干扰及他们个人感情因素的影响，

⑤ 花费少，存储一个专家系统的费用要比配置一个同等能力的专家要便宜。

但绝不能说专家系统已经胜过人类专家了。人类专家的许多特点是专家系统所不具备的例如：人类专家有创造能力，专家系统称只能被人创造；人类专家有适应新情况的能力；人类专家具有感觉上的经验；人类专家能注意广泛类型的问题；人类专家有丰富大量的常识……这些专家系统都是难以做到的。

六、专家系统近况：有关专家系统的书籍杂志正已爆炸般的速度增加，专家系统的产品已经在许多领域中开发、应用。例如它已被用于解释数据信息，预报可能的结果，诊断故障所在，设计产品，规划，监控，排障，修复及培训等方面。应用专家系统的领域有：农业，化学工业，计算机系统，电子学，工程，地质，信息管理，法律，制造，数学，医疗，气象，军事科学，物理，空间技术及过程控制。据美国1985年的不完全统计：已有182个专家系统在研制中或已完成，而专为开发专家系统的计算机语言及工具已有97个之多。各种全国性的和国际性的关于专家系统的学术会议已举办多次。知识工程及专家系统作为一门科学已进入大学的课堂（stanford大学于1981年首次开设这门课程）。据1986年10月美国Carnegie—Mellon大学对主要在美国的200所大学及80家公司土木工程领域的专家系统研究情况的调查，已有33个单位正在进行这方面的研究，24家准备进行这方面的研究。其中从事结构工程方面的专家系统研究的有19家，从事土工技术专家系统研究的有1家，10家正在研究施工工程专家系统，6家正在研究交通工程专家系统，11家正在研究环境工程专家系统。详细调查情况包括施工方面的专家系统（见表2），结构工程专家系统（见表3），土工技术及环境方面的专家系统（见表4），交通工程专家系统（表5）。调查情况反映专家系统的研究活动继续上升。

表2 施工专家系统

名称	分类	功能	状态	研制单位	机型
—	施工工程	现场在线诊断焊缝缺欠	部分完成,已有400余用户	美国SWEC 公司	PC/AT
—	施工管理	大型国外工程风险管理	已实用	日立公司	HITAC
SAFEQUAL	"	评价承包商施工安全性	已在现场试用	美国,stanford大学	PC
PUM PRO	维修	离心泵故障诊断	有400余用户	美,SWEC公司	PC
—	"	回转机器故障诊断	"	"	"
BERT	施工工程	房屋贴面砖设计助手	已建原型	英,Reading大学	PC
MASON	"	砖石工程工时估算	"	美,CMU Carnegie—Mellon大学	—
RODEOS	"	设计高速公路弯道及放样	"	Stathclyde大学	—
CRANES	"	根据场地面积及荷载选择吊车	"	英,Reading大学	PC
HOWSAFE	施工管理	评定承包商安全性	正在现场试用	美,Stanford大学	PC
PROPICK	"	选择合同类型	"	美,CMC公司	"
DSCAS	"	确定不同现场条件款项下的权利	"	美Colorado大学	"
PLATFORM	"	混合型决策支持工具	正在修改	美,Stanford大学	—
—	"	初步设计时预报工期及成本	已建原型	美,Reading	PC
—	"	美国工程兵施工数据库管理助手	"	美,陆军工兵	TI工作站
—	"	施工计划分析	"	"	PC
SOILCON	施工工程	土质勘探咨询系统	"	美,Texas大学	—
SITEPLAN	"	临时性施工设备布置	正建原型	美,Stanford大学	Xerox工作站
IPMS85/2	施工管理	用施工管理数据对管理人员做人事评定	"	美国, MIT	—
CPO-ES	"	施工组织设计	"	瑞士, MCCE	—
—	"	协助计算机工程管理软件了解定性的及主观信息	开始建	美,Illinois大学	TI工作站
—	"	分析施工工程风险	"	美,MIT	—
—	"	决策和风险分析	"	美,Georgia理工学院	—
ICT	"	工期预估系统	"	civil & Civic公司	DEC
—	维修	旧电梯维修顾问	"	某澳大利亚电梯公司	PC

表3 结构工程专家系统

名称	分类	功能	状态	研制单位	机型
—	材料	选择恰当的焊接方法	已出售	美SWEC	PC
—	分析	地震危险性分析系统	"	美, Stanford大学	PC
DAPS	"	防护结构损坏评价	"	美国空军	—
RETWALL	结构设计	挡土墙设计	"	澳, Sydney大学	SUN工作站
DAMP	维修	结构湿气损坏诊断	"	新, 建筑研究协会	—
SACON	分析	指导使用大型有限之程序MARC	已建原型	美, Stanford大学	—
SPERIL-I, II	"	震害分析	"	美, Purdue大学	PC
BDES	结构设计	桥梁设计	"	美, Duke大学	—
HI-RISE	"	高层建筑设计	"	美, CMU	VAX
LOW-RISE	"	低层建筑设计	"	"	"
ALL-RISE	"	结构初步设计	"	"	"
FLODER	"	楼面框架布局设计	"	"	"
HI-COST	"	初步设计成本设计	"	"	"
—	分析	掩体结构分析	建成示范原型	—	—
FACS	"	有限之指南	"	英, Renslaer	IBM主机
CDA	"	夹层板设计助手	"	美, Lockheed公司	—
AASHTO	规范检查	对桥梁评级	"	美, Lehigh大学	CDC
AMOBC	"	处理澳大利亚房屋规范的CAD支持系统	"	—	PC
DESTINY	设计	结构设计	"	美, CMU	—
AIRCYL	"	圆柱型压力容器设计	"	美, Accuray Corp	DEC
PROSCODE I	"	选择合适的运动机构	"	日, 东京大学	—
TOPOLOGY-I	"	检查一般物体间拓模关系	"	—	—
ICAI-Moment	教学	示范结构弯矩与挠度间关系	"	—	PC
—	设计	中等高度钢框架房屋结构初步设计	已开始建	美, Martin & Associade	PC

表 4 土工及环境专家系统

名称	分类	功能	进展	研制单位	机型
CONE	土工	由勘探结果对土分类并给出抗剪强度	正在试用	美,CMU	—
Shallow Trenches	"	开挖浅沟时如何选择安全措施	"	"	—
PVC liner	环境	评价存放有毒废料容器之PVC内衬	"	"	—
GEOTOX	"	评价有毒废物现场	"	"	—
Waste Incineration	"	诊断有害废料焚烧炉故障	"	"	—
DEMOTOX	"	评价有害废料堆放场地下水污染趋势	"	—	—
—	"	活性矿渣废水处理设备的操作与控制	"	—	—
—	水源	确定设计洪水量	"	—	—
SITECHAR	土工	评定场地土剖面特性	开始建	美,CMU	—
MOUSE	环境	城市污水系统设计助手	"	丹麦,水力学院	—
—	"	水库管理及规划	"	美,Georgia理工学院	—
—	土工	土力学性质识别	开始构思	Tu/ane大学	—
—	"	边坡稳定性判别	"	加,Laval大学	—
—	环境	水处理设施之运行	"	美,Syracuse大学	—

表 5 交通运输专家系统

名称	分类	功能	状态	研制单位	机型
DELA	维修	内燃电力机车故障诊断及修复	出售	美国GE公司	—
CHINA	设计	分析高速公路噪音, 设计隔声墙	试运行	Vanderbilt大学	—
TRACI	"	交通信号灯设计	"	美, CMU	VAX
EXPERT-UFOS	"	设计大型交通网	"	美, Washington大学	PC/AT
HERCULES	控制	交通控制计划	"	"	VAX
SCEPURE	维修	路面修复	"	美, 加州大学, Irvine	PC
—	设计	林区道路设计	在建立中	美, Purdue大学	PC
DIRECTOR	教学	指导如何使用“城市街道模型”软件	"	美, Washington大学	VAX
PRESERVER	维修	评价道路维修策略	"	美, CMU	VAX
—	设计	试验性路段之评价	开始构思	美, Purdue大学	VAX
ATC	控制	民航空中管理	"	" , 加州大学Berkeley	—
—	"	救灾时救护车最优调配	"	" , 加州大学Irvine	—
—	"	道路施工区交通管理	"	美, Virginia大学	—
PARADIGM	维修	地方部门路面更新分析及设计	"	美, 加州大学, Irvine	—
—	"	路面更新	"	加, Quebec交通局	PC
—	"	中小型桥梁更换	"	美, West Virginia大学	—

七、我国研究专家系统的情况：我国计算机、信息及自动化领域开展专家系统较早，在他们的参与下已经建立了医学诊断及处方，飞机发动机故障诊断，人事考评等专家系统。1986年国家自然科学基金变材料与工程学部开始摸索土木工程界的专家系统应用前景。并于当年12月召开了讨论会，经有关专家论证，于1987年正式把“工程建设中的智能辅助决策系统的应用研究”定为七五重大研究项目。研究经费由科学基金委和其它七个部委（包括国家教委，城乡建设部，国家地震局，冶金部，铁道部，交通部及国家环保局）联合资助。这一重大项目包括10个二级课题，即：

- ① 城镇规划的智能决策系统，
- ② 地震危险度评估和防御对策专家系统，
- ③ 铁路工程建设中的专家系统，
- ④ 公路及水运工程设计中的专家系统，
- ⑤ 城市及重要工程建设的环境影响评价与对策的智能支持系统，
- ⑥ 高层建筑初步设计专家系统，
- ⑦ 建筑工程项目成本测算和施工管理专家系统，
- ⑧ 现有厂房综合评价与处理对策专家系统，
- ⑨ 智能CAD及仿真技术，
- ⑩ 工程决策中的不确定性信息处理及计算机实现。

这些课题共包含35个子课题，经过一年左右的紧张工作，科学基金委于今年八月底又召

开了“工程智能决策理论与应用研讨会”。会上交流了各个课题的研究情况，大家一致感到尽管开展时间很短，但收获是很大的，其中清华大学的单层厂房常规荷载下可靠性评定专家系统和建筑工程成本测算及施工管理专家系统已通过省级鉴定，可在现场试用，并受到好评，北方交通大学的隧道工程预测专家系统也取得了突破性的进展。

参加这项工作的有清华，同济，北方交通大学，大连工学院，上海海运学院，上海交通大学，西南交通大学，南京工学院，华南工学院，哈尔滨建工学院，四川大学，北京钢铁学院共12所大学，以及中国科学院自动化所，工程力学所，冶金建筑研究院，中国建筑科学院，中国环境科学院及北京市环保局6家研究单位。

冶金建研院是本项目十二人核心组成员之一，承担了两项专家系统的研究，即：

- ① R.C单层厂房抗震可靠性评定专家系统，目前建成了部分知识库，正在试运行，
- ② 连续现浇砼结构裂缝诊断与对策专家系统，目前已建成试验原型，并开始试用、检验并修正。

此外，我们已在筹备地下管线系统抗震可靠性评定专家系统。

上述三项的详细情况请见本文以后各章。

第二章 建立专家系统必须要条件

一、领域的专家知识或专家经验:

人们把这样一些人当做专家:他们能对困难问题给出有益的建议,并能满意地解决它,他们有很好的名望,人们信任他们,愿意听从他们的建议。他们之所以被看作专家是因为有知识,并善于运用他们的知识解决复杂的问题。专家必须具备以下特点:

成功率高:专家并非绝不出错,但从其工作历史记录看,他的成功率比同行一般人高,速度快:专家能迅速提出关键信息,比一般人更快地解决问题。

有自知之明:专家清楚自己的知识范围及能力限度,因而知道自己能做什么,不能做什么,哪些事情要请教别人。

专家通常起下述作用:

提供信息:专家掌握具体领域的大量知识,人们可以把专家当做解答疑难的教科书。

解决问题:专家可以根据足够的证据迅速给出可能的解,也能指出为得到更详细的解还需要哪些信息。

解释他的结论:有时光给出解答还不够,人们还要求专家说明他的推理过程,或他的结论是怎样得到的,或为什么他一定要某个我们不愿提供的信息。

建专家系统所需的知识必须是具有上述能力的知识。这是专家系统的前题。

专家不单是一本书,心理学家认为要培养一个人成为专家,需要经过入门,学徒,出师师傅,和专家五个阶段,专家则是达到顶峰的水平,他们具有一些难以写入书本的,直觉的感性经验。一个把书背得滚瓜烂熟的新手与专家解决问题的能力相差很远,其原因就是前者缺乏专家所具有的这种经验。专家的知识不仅在内容上而且在构成上都是与新手不同的。

一般地说,动作性的技巧或手艺是不宜建专家系统的。

二、知识的表示:

不同领域的知识的结构彼此相差很大,要把它们结构化,并表达成计算机可以接受的形式是个很困难的任务,这就是“知识工程”要解决的。

经过多年的摸索,已出现了一些知识的表示方法,这里介绍三种方法。

1. 依据准则的表示方法:这是应用最广的方法,它以IF...THEN...的格式表达建议,指示及策略。这种知识表示法常常适于表示由某个集团在某领域中多年工作而积累的经验形成的领域知识。IF后面给出条件,THEN后面则是结论或要采取的行动。例如:

IF 容器内的液体是易燃的

THEN 容器应注意防火

程序首先从事实中找出容器内的液体是否易燃,如果易燃,则执行这条准则。

一个知识库中包含许多准则,他们之间互为条件,专家系统就靠这个关系,一条一条地执行准则,进行推理。这种知识表示因果关系明确,因而便于追踪及解释。

2. 语义网络表示法:它以网络结构表示知识。这个方法本来用于描写人类记忆的心理学模型,但现在已是人工智能及专家系统常用的一种标准表示法。语义网络由“节点”和“连线”组成,节点表示概念,目标或事件,连线则表示节点间的关系,例如“是”,“有”的关

系。一个关于船的概念的语义网络见图1。“是”及“有”皆带有性质继承能力，图中下层节点均具有上层节点的属性，这样表示知识可以节省存储空间。语义网络很适于表示自然语言。它适于表达分类问题。

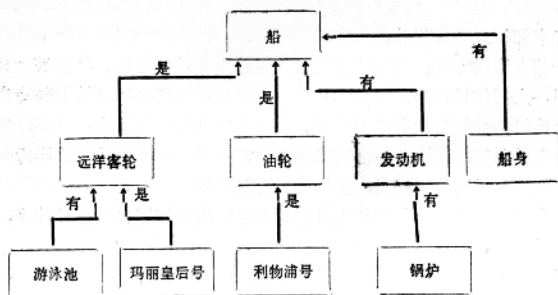


图1 语义网络之一例

3. 框架表示法：它是Minsky于1974年提出的，用来表示立体环境的数据结构，它也是由节点和关系按阶层组成的网络，最上层的节点表示最一般的概念，最下层则是这些概念的最特殊的例子。它很像上面所说的语义网络，与语义网络不同的是，作为节点的概念由许多属性（如名字，彦色，尺寸等），和它们的“值”（如张三，红色，小的等）所定义，每个属性称做“缝”，“值”被填入这些缝中。缝还可以具有过程（一些计算机程序）当此缝中的值发生变化时就运行这些程序。这种知识表示方式适于处理对数据的形式和内容的期望在求解时起重要作用的领域，如解释视觉景象，理解语言等。框架结构的节点示意图见图2。

三、不定性的表示；

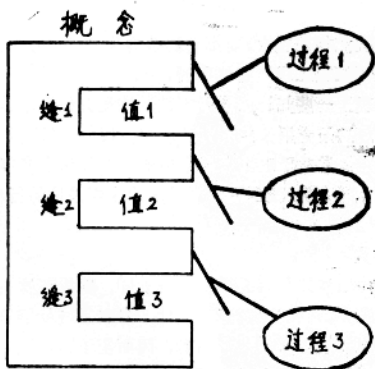


图2 框架的一个节点

现实世界的事物之发展与目前的计算机的演算有本质区别, 现在计算机的数据是严格精密的, 容不得半点含糊。但现实世界必然带有不定性, 它也反映到人的认识中来。有3种不定性:

1. 随机性或可能性: 有如投一枚硬币, 落下后哪一面向上。硬币两面定义明确不同, 但这个问题的答案只能以概率的方式给出。许多客观事物皆具有这种性质, 如材料强度, 今后10年中最大风速, 今后50年最大雪载等。

2. 模糊性: 人的思维及语言经常是含糊的, 比如, 很少, 很危险, 热, 冷等, 人们在使用它们时并无严格定义的界限, 但却能互相交流毫无困难。这说明人的思维中存在一些“软”的概念, 而计算机目前不能接它这种“软”定义, 因而需要把硬界限“软化”。

3. 不知: 当判断一座建筑物地基承载力时, 人们需要在建筑物现场的平面范围内勘探取样, 由于地下土不均匀, 剖面千变万化, 人们只能从有限个点来推断整个平面内的情况, 这种推断不可能绝对精确, 因此未被钻到的部分的土的力学性质在某种程度上仍是未知的。

不定性的来源有: 事实中的不确定性, 准则中的条件的不定性, 准则本身有效性之不定性, 推理时的不定性, 以及不完全的知识、片断的数据导致的不确定性。

目前的计算机只能进行确定的计算, 因此为了建立专家系统, 人们还需要解决如何让计算机能接受并表示不定性。目前已有以下一些方法来定量解决不定性问题:

1. 相信度系数 (Certainty Factor, CF): 是最单位的方法, 由专家对某个事实的可信程度打分, 一般是0~100。

2. Bayes概率法, 它是由经典概率发展出来的, 由于经典概率对分布密度, 条件概率及相关系数等要求过于严格, 实际上往往得不到这样多的信息, 有经验的人由自己积累的经验补充统计数据之不足。这种方法尽管比较严格, 但实现起来很困难。

3. 证实理论 (Dempster, shafer), 由于人们对现实世界的认识不可能完备, 而概率论又不能表示不知, 因此有较多的专家系统使用这种理论。它可以表示不知的存在, 即它用两个数据来表示可信程度, 一个是支持的程度, 一个是反对的程度, 两者之和是小于1的数, 它与1之差表示不知的程度。

4. 模糊数学, 它适于解决定义本身模糊的问题, 如地震烈度等。但目前尚不成熟。

四、建专家系统的工具

随着专家系统研究工作的迅速发展, 已经有许多专为建立专家系统的计算机软件, 这里把它们分为三类。

1. 通用目的的编程语言: 用这种语言编制专家系统时, 必须从0开始, 一切都得建, 但适应能力强。人工智能专用的一般目的编程语言最著名的有两个, 即LISP, PROLOG。

LISP是mcCarthy于1960年提出的, 现在已经发展得很成熟, 也是应用最多的。特点是易于学习。目前已有许多变种, 如INTERLISP, Common LISP, GCLISP, MAC LISP, ZETALISP等

PROLOG是逻辑程序语言, 由英法两国的学者所创建, 最初用于教学, 后被日本选定作为第五代计算机专用语言。

此外, 有些专家系统是用Fortran或C语言写出的。

2. 一般目的表示语言, 专门用于知识工程, 它们不含控制策略, 但易于进行推导, 可方便地表达各类问题。这类语言中著名的有: KEE, AGE, ROSIE, OPS5, SRL,

RLI等。

3. 专家系统外壳，这是把知识挖空了的专家系统，其内已装有推理机，解释器，或黑板等。它们对知识的表示有不同程度的限制，但建专家系统时十分方便。一些外壳是：EMYCIN，DECIDING FACTOR，EXSYS，INSIGHT2+等。

4. 其它工具：有些工具用来向领域专家采集知识，如ETS，DETEKTR等，但目前尚不成熟。

五、知识采集：

大多数领域专家不能从知识工程的角度整理自己的领域知识，因此采集，转化知识，使得它们可以方便地由计算机处理的工作——知识工程——要由知识工程师来做。知识的采集是建立专家系统过程的瓶颈。

专家知识包括由经验进行的直接推理，但在一些领域，如结构工程，专家需要根据目前的内力，弯矩或挠度值来判断结构的潜力或安全性，内力、位移的计算并不是由经验来判断的，这类知识属于深知识。它还要靠问题的物理模型通过数值计算得到。一般的知识工程语言被设计得适于处理符号推理，虽然也有一定的运算能力（如算术运算，三角函数等），但不适于进行更为复杂的计算，近来出现的专家系统工具一般都带有与任何高级语言的接口，可以方便地调用由数值计算语言写出的外部程序。

此外，领域专家的知识中除了本领域内的概念、推理、判断及操作知识（称Operation Knowledge）外，还有一些Supporting Knowledge，包括大量有关曲线，图表或图片。专家本人并不都记得住，但有专门手册及工具书可供查询。由于这类知识是现成的，可以用数据库的方法存在计算机中，所以一些专家系统工具还具备与dBASE II，III的接口。这类知识的表示、转化并不困难。

最困难的任务还是采集专家的启发性的，经验性的知识。为能顺利地采集知识，知识工程师应当：

1. 善于与专家沟通，因为采集知识需要成天地与专家讨论或争论，要善于理解专家们的行话，有效地使用口语及书面语言，还要与专家建立良好的合作关系。后面一点十分重要，因为领域专家可能不十分熟悉计算机与知识工程，因此很难从计算机的角度考虑他的本行知识，因此采访时要机智，善于从专家的话中找出逻辑关系，还要体谅专家，要有耐心。专家经验的自然结构与装入计算机后的结构可能会有很大差别，让专家把自己头脑中的无形思维表示成计算机中一目了然的文件，对专家可能是十分困难的，此时切不可急于求成。急躁，或者流露出对专家偶尔勉强写出的看上去荒谬的推理的不满都会使专家对你的工作失去兴趣。

2. 要有清晰的逻辑思维能力，善于配合领域专家把他的经验、知识条理化。

3. 要迅速掌握具体领域的基本概念，定理及术语。否则不可能与领域专家有共同语言。

4. 要熟悉编程知识，如主要的计算机语言、知识的表示法等，要能根据某个领域知识的性质选择适用的专家系统工具，而且经过一段工作后一旦发现所用的工具不胜任时，及早换用能力更强的工具。

心理学中有一些提问的方法对知识工程师是有帮助的：

1. 请专家提供典型案例，以及他在这些案例中的经验，感觉。

2. 有时专家是根据一个列有征候或特性的表来做决定的，专家根据表中哪些项被搭配了来做决定。这时就应让专家把这些表写出来，准则实际上隐含在这些表中。

3. 请专家列出所有的中间或最终目标：有些领域专家是一步步地区分中间目标直到最终目标，因此如果专家列出了各层目标，他的知识结构就很清楚了。

4. 有的专家是由最终目标反过来推理的，这时可请他对每个目标详列出其证据，而再列出每个证据（此时做为目标）的证据。

5. 首先描写各种征候，然后把它们编组，这样一步步达到目的。

6. 请专家做有声思维，即当他在处理问题时一步步的思考全部说出来。同时可以录音或做笔头记录。

7. 做决策分析，这在商业及管理领域广泛应用。是列出所有可能的决策；列出每个决策的可能后果；评价每个后果的价值，及发生概率；用概率与价值计算每个决策的价值的数学期望；选择数学期望价值最大者为最优决策。

六、推理：

用准则表示知识时，准则本身已经包含一步推理，推理机则负责组织或连接各个准则间关系。这涉及向前链接及后向链接，前者用事实去搭配IF部分，一旦某条准则的IF被搭配了，它的THEN部分就形成新的事实，再用这一新事实继续寻找其它准则能否在IF中搭配，如此进行一直到得出最后结论。而反向链接则由某个结论出发，寻找有关准则的IF部分是否满足，如有未知事实，再找哪些准则可导出此事实…反复进行直到最原始的证据。

在控制推理过程时，还有深度优先及广度优先的方法，前者是只要某一层的事实中一旦找到了能满足某一准则之IF部分之最低需要，就执行这一准则向下一层推理，后者则是先把同一层的事实全部找出，再逐个执行同一层的各准则。

其它知识表示法的推理与具体的知识表示不可分割，限于篇幅，不在这里介绍。

第三章 混凝土结构裂缝诊断与对策专家系统*

一 应用背景及领域专家知识

混凝土是最常用的建筑材料,大部分混凝土又用于现浇结构。随着我国工业不断进步,现浇混凝土的长度,体积不断增大,裂缝现象越来越多。加之我国目前着重发展沿海地区,这里地下水位高,裂缝引起的后果更为严重,常常造成停工、停产、导致巨大的经济损失。例如:某厂一条电缆隧道,花在堵漏中的费用平均每条裂缝一万元,堵漏的费用超过了原始造价;又如某厂一条隧道施工仅用一年,堵漏竟用了三年;又如某核电站隧道在施工中出现裂缝……。裂缝现象十分普遍,近十余年来,平均每年有30项左右的工程裂缝问题找到我们进行咨询,处理。

连续现浇混凝土的裂缝多由混凝土的温度、收缩及地基差异沉降所引起,由荷载引起的并不多。因为过去建设规模小,温度收缩因素比起荷载来是次要的。我国有关设计规范合理地解决了荷载作用下控制裂缝的问题,但对温度收缩导致的混凝土结构裂缝的研究尚不能适应今天工程的需要,靠现有规范不能解决实际发生的混凝土结构裂缝问题。因此,能够准确处理这种问题的专家是很缺的。

引起混凝土裂缝的各因素中,温度收缩作用最为困难、因为:

1. 混凝土材料性质变异大,但温度收缩作用又以浇筑后30天内最易发生,这段时间内混凝土由流体逐渐硬化,其材性变化受施工期间多种因素的影响,变异性更大。
2. 温度收缩作用使混凝土受拉,但混凝土抗拉强度低,变异性较抗压强度大,且设计规范很少利用混凝土的抗拉强度来承载,这方面的研究工作也较少。
3. 温度收缩裂缝引起的应力及开裂难以准确地分析,也难以用试验确定,因为模型试验难以如实表示施工中的各种因素,足尺试验成本又过大,只能靠在实际工程上积累。因此,要想培养这方面的专家,需要长期的现场实践。

但十几年来我国已经积累了丰富的专家经验。武汉钢铁公司扩建中完成了150万 M^3 的现浇混凝土,宝山钢铁总厂一期工程完成了350万 M^3 的现浇混凝土。以王铁梦院长为代表的一批专家长期在现场解决技术问题。他们不但取得了第一手的数据,而且利用混凝土硬化的化学知识,热传导及温度场理论,以及温度应力分析的理论知识来指导解决实际问题,已经形成了一套可靠而实用的专家知识。这些知识经与日本、西德、法国及英国等国工程师在我国使用的方法比较,的确称得上是国际先进水平。

本文介绍的连续现浇混凝土结构裂缝诊断及对策专家系统,就是以我国在这一领域中最成熟的专家知识为基础而建立的。它可应用于大型设备基础,隧道,水池,连续墙,地基板及路面,高层建筑箱形基础等连续现浇混凝土结构。我们将使它能够诊断已建结构之裂缝成因,指出设计及施工中的不当之处,判断裂缝的危害程度,并给出处理方法,也能用来作设计新结构时的助手。当这一专家系统经大量实际工程的检验而成熟后,一个有着混凝土结构设计施工基础知识的专业工程技术人员应用这一系统,能大体上以一个专家的水平来迅速诊断

*本课题是国家自然科学基金资助项目、王铁梦、秦权参加了本课题的工作。