

1991年11月16日—19日
北京

2000——建筑结构

中国建筑学会建筑结构学术委员会第二届第二次年会论文集

中国建筑学会建筑结构学术委员会

2000——建筑结构

中国建筑学会建筑结构学术委员会第二届第二次年会论文集

1991年11月16日—19日 北京

中国建筑学会建筑结构学术委员会

前 言

中国建筑学会建筑结构学术委员会第二届第二次年会学术活动主题是《2000——建筑结构》，目的是动员建筑结构学术界科技人员解放思想，展望未来，更好地担负起我国社会主义现代化建设的第二步战略目标赋予的任务和走向二十一世纪的历史使命。为此，建筑结构学术委员会围绕这项学术活动主题邀请了一部分国内建筑结构领域知名专家、本委员会学组代表专门撰写了专题论文，此外，还比较广泛向高等学校、科研与设计单位进行了征文，经一定审查后选用了四十二篇论文，并编印成册，以供交流、借鉴与参考之用。

因征文时间有限制，凡九月底尚未交稿的论文均来不及纳入本论文集，请见谅。

中国建筑学会建筑结构学术委员会

一九九一年十月

目 录

1. 结构工程的设计型专家系统	何广乾、曹国兴	1
2. 高质量地进行结构设计走向 21 世纪	陈民三、胡连文、邓藩荣	12
3. 建筑工程系统优化理论	王光远、谭东耀	17
4. 建筑和结构计算机辅助设计展望	唐锦春、孙炳楠	27
5. 走向 2000 年的空间结构	兰天	34
6. 工程结构可靠度设计统一标准及概率极限状态设计方法概述	李明顺	46
7. 高层建筑结构走向 2000 年	赵西安	52
8. 已有建筑的可靠性评价与改造——苏联在这一领域的研究成果与经验	王庆霖	69
9. 我国建筑业计算机应用历史、现状和 2000 年展望	范真瑛	83
10. 钢筋混凝土结构耐久性的若干问题	腾智明	92
11. 低周反复荷载作用下刚性连梁及普通连梁的性能	梁启智、韩小雷	100
12. 钢筋混凝土结构加固设计计算原理	万墨林	108
13. 大跨度建筑结构的实践和发展	蒋寿时	124
14. 砌体结构的新阶段——以砌块组砌的装配整体式钢筋混凝土剪力墙结构	李豪邦	132
15. 略谈超高层钢结构的发展现状和展望	丁洁民、沈祖炎	139
16. 钢纤维混凝土的研究新进展及其应用	王新友	145
17. 建筑结构计算的解析——半解析微分方程求解器方法	包世华	153
18. 多层织造厂房结构振动分析的有限元法	王全光、翟永光	162
19. 无收缩混凝土与自应力混凝土——一种可望获得迅速发展的结构材料	陈恩义、廉慧珍	170
20. 提高地基板分析精度的一种方法	李亮	177
21. 空间刚架中变截面杆件的计算	黄志纲	182
22. 浅谈工民建工程的概念设计	周伟立	190
23. 强夯地基上基础设计的几个问题	徐志详	197
24. 电石渣场地基处理技术	朱渥思	203
25. 劲性钢筋混凝土结构是一种很有发展前途的结构型式	孙慧中、沈文都、施昌	211
26. 后张无粘结预应力混凝土在我国的发展现状与未来	陶学康	220
27. 无粘结部分预应力混凝土梁受弯承载力计算	刘建行	225
28. 免浆混凝土小砌块墙体抗震性能研究	李成煜	233
29. 高层建筑结构考虑楼板面内变形的时程分析	黄小坤、赵西安	241
30. 厚桩承台承载力试验研究	吴仁培、方小丹、季静、尤汉明、邓建强	251

31. 钢筋混凝土梁配筋施工图专用绘图软件 (STRB)	甄杰、王伟民、周大珂	259
32. 多层房屋中设钢筋混凝土骨架组合砌体的计算	赵恒惠	265
33. 高层建筑钢—混凝土混合结构设计计算程序	邵弘	276
34. 抗震设计原则及抗震验算	王次竹	289
35. 钢筋混凝土框架结构的抗震设计	王次竹	303
36. 深圳中康玻璃厂主厂房 45m 钢管节点空间屋架	刘婉若、林振佳、李振勋、陈云波、张勇等	308
37. 框架及框—剪结构计算和 CAD 辅助设计若干问题探讨	秦小龙、苏保业、冯允蕙	315
38. 框架剪力墙结构的稳定	王寿康	323
39. 二阶小矩阵形变叠代分配法在空腹桁架中的应用	马建国	329
40. 钢筋混凝土空间框架的试验研究	方志、成文山	336
41. 高层建筑抗震设计的发展趋势	李国强	344
42. 高强度材料在钢筋混凝土结构中的应用前景	朱金铨	354

结构工程的设计型专家系统

何广乾· 曹国兴*

概 述

工程设计是工程师完成最困难工程问题之一。它既需要大量领域知识。又需要高超的运用知识求解设计问题的技巧,这要求设计者拥有丰富的知识且有运用知识的能力。一个好的设计常常须由有经验的工程师或设计专家经过反复多次才能完成,是一个耗费时间、人力、经费且效率低的过程。人类专家的稀少和设计问题复杂性常常使人们束手无策。因此,研制和建造用于工程设计的计算机软件系统,让计算机来模拟人类专家参与和辅助工程设计,实现工程设计自动化,一直是人们长期以来的奋斗目标(1)。

众所周知,自六十年代初以来,计算机在设计领域中得到了广泛应用,工程设计中大量繁琐、重复的问题都可借助于计算机来解决,开发了用于工程计算、数值分析、数据处理、图形显示和绘制等各种用于工程设计的计算机程序和软件系统,对工程设计起到一定推动作用。在此基础上,出现了计算机辅助设计(Computer-Aided Design 简称CAD)的概念,并研制和开发了用于工程设计的各种CAD系统(几何造型、有限元分析、数值控制、图形绘制等)。随着计算机硬件、软件的发展及现代工程设计方法的出现,上述的CAD系统也历经几次换代,性能和功能都有很大的提高,工程设计中诸如:工程计算、数值分析、数据处理、显示和绘制图形等算法型或确定型问题,都可借助于计算机来解决,在工程设计中发挥越来越重要的作用,成为工程师们处理设计问题不可缺少的工具。

然而,在工程设计过程中,除了工程计算、数值分析、数据处理、显示和绘制图形等算法型或确定型问题外,还存在着大量诸如:推理、判断、决策、综合、评价、选择等非算法型和非确定型问题,其结构为病态的(III-Structured),且含有大量不精确和不完全甚至是模糊的信息,要求以知识和经验为基础,通过推理、判断、分析、综合、评价,甚至联想、直觉等方法来解决。这要求参与和辅助工程设计的程序或软件系统拥有丰富知识且具有运用知识解决设计问题的能力。显然,现存的CAD软件系统(也称传统CAD软件系统)已无力解决工程设计中结构病态的非算法型和非确定型问题,不能“真正”参与或辅助工程设计,不能满足工程

* 何广乾 曹国兴 中国建筑科学研究院

设计的需要。研制和开发具有推理、判断、决策等能力的工程设计的软件系统，亦即“真正”参与或辅助工程设计的智能软件系统，无疑是具有重大意义的。以研究“知识 (Knowledge)”为中心的人工智能 (Artificial Intelligence 简称 AI) 的思想和方法，为此提供了途径。

六十年代中期以来，借助电子计算机为主要手段的现代人工智能 (AI) 得到了飞速发展，产生了许多实用的人工智能 (AI) 技术，其中尤为突出的是知识工程 (Knowledge Engineering 简称 KE) 技术。已出现了一大批采用知识工程 (KE) 技术建造的基于知识的系统 (Knowledge-Based System 简称 KBS) 或称知识库系统，其中人们最熟悉的是用于专门领域解决只有人类专家才能解决的困难问题的基于知识的专家系统 (Knowledge-Based Expert System 简称 KBES) 或称专家系统 (Expert System 简称 ES) (2)。从而使得“事实世界 (Real world)”中大量结构病态的问题都可借助于计算机来解决。应用几乎遍及了所有的学科领域，是计算机又一次革命，对人类社会产生了巨大的影响。

七十年代中期，工程设计领域开始引入 AI 的思想和方法使得 CAD 系统朝着把知识包括进去，在其中体现知识处理技术的智能化方向发展，亦即研究和开发基于知识的工程设计型智能软件系统。近些年来这方面的研究十分活跃，国内外许多学者已致力于设计型智能软件系统开发和建造问题的研究，工程设计领域也已出现了设计型专家系统 (Design Expert System 简称 DES)、计算机智能辅助设计系统 (Intelligence Computer-Aided Design 简称 ICAD) 等应用知识库系统。可以肯定 AI 的思想和方法将会使工程设计软件系统逐步智能化，从而大大加快工程设计自动化的进程。

专家系统是人工智能发展的三大前沿之一。目前它已在医学、化学、地质、军事等领域中得到应用，初步显示出它的经济潜力。除设计型外，尚有其他类型早于设计型的发展。根据文献 (3)，专家系统目前大致有以下的类型：

- (1) 解释型：根据已知数据，能分析和解释所出现的事物例如专家系统 Dipmeter Advisor (1981) 可以解释和识别地质类型与趋向，又如专家系统 PROSPECTOR (1979) 可以识别含矿物的地质构造；
- (2) 诊断型：可以根据输入计算机的数据资料，对事物作出诊断，例如专家系统 MYCIN (1976) 可以诊断疾病，专家系统 CATS (1982) 可以诊断电气-内燃机车的不正常运行；
- (3) 监控型：可以连续地识别信息并据以按系统的运行状态发出必要的变更指令，例如专家系统 VENTILATION MANAGER (1979) 可以监控病人的通气治疗；
- (4) 规划型：可以根据规定的约束条件针对某个问题或目的建立一套行动计划或调度方案例如专家系统 MOLGEN (1981) 可以规划分子遗传学的某个实验；
- (5) 设计型：可以形成或产生一个能执行某个功能的系统的整体描述例如专家系统 RI (1980) 可以设计出 VAX 计算机的外形和选择必要的部件，确定具体布置及互相之间的联系。

根据求解任务的性质，文献 (4) 提出专家系统的归纳分类如下表所示：

类别	任务的性质
解释系统	根据已知数据，分析并推出数据表示的状态
预测系统	根据已知情况推断出可能的结果
诊断系统	根据观察到的情况推断系统的故障
设计系统	根据约束条件，构思所需要的对象
规划系统	根据约束条件，作出行动的安排或调度方案
监视系统	将观察到的情况与计划中的弱点对照
调试系统	执行一个指定补救方法的计划
修正系统	执行为实施所给的纠正方法而制定的计划
教学系统	诊断、调试和修正学生的行为
控制系统	解释、预测、修正和监视系统的行为

根据系统解决问题的方式，以上各种类型的专家系统又可分为以下的两大类：

(1) 咨询类专家系统

咨询类的专家系统一般用来解决分类问题，如诊断、解释、预测等等，这类问题有预先确定的、可能出现的结论表，程序就从这个表示选取结论。MYCIN 和 EXPERT 等是典型的咨询系统。咨询系统是纯粹的产生系统，系统的核心部分是它的规则集，控制策略由“识别—执行”的简单循环组成。

(2) 综合类专家系统

综合类的专家系统比较复杂，它所解决的是那些需要对状态空间进行搜索的问题。如设计、规划等等，这类问题的核心不是从事实直接得出结论，而是从初始状态开始，通过对中间状态的搜索，经过一系列的中间状态，最后达到目标状态。著名的 Hearsay—I 系统、RI 系统以及 DENDRAL 系统都是解决综合类的问题的专家系统。这类系统通常由产生式规则和搜索共同工作。

综上所述，专家系统也可以被粗略地看作是一种具有专家知识水平的，不完全用公式化的计算方法来解决专门问题的计算机推理和决策系统。

专家系统近年来在国际上发展很快。在 1983 年国际上召开了第一次国际土木及结构工程计算会议时，在专家系统方面，并无一篇文章，1985 年召开第二次国际会议时就有了五篇，1987 年召开第三次国际会议时就有了二十二篇而在 1989 年召开第四次国际会议时竟有了三十六篇关于专家系统人工智能方面的文章并成为会议的重点内容。

我国近年来在专家系统方面的研究与发展是很快的。国家自然科学基金会重大课题“工程建设中智能辅助决策系统的研究”给了很大的推动，该重大课题的部分内容涉及综合评价系统及专家系统的有：工程场地地震危险度、单线铁路的技术改造、铁道桥梁损伤、隧道工程预测、工程规范应用、港口装卸工艺、公路选线、区域环境大气质量、城市环境噪声

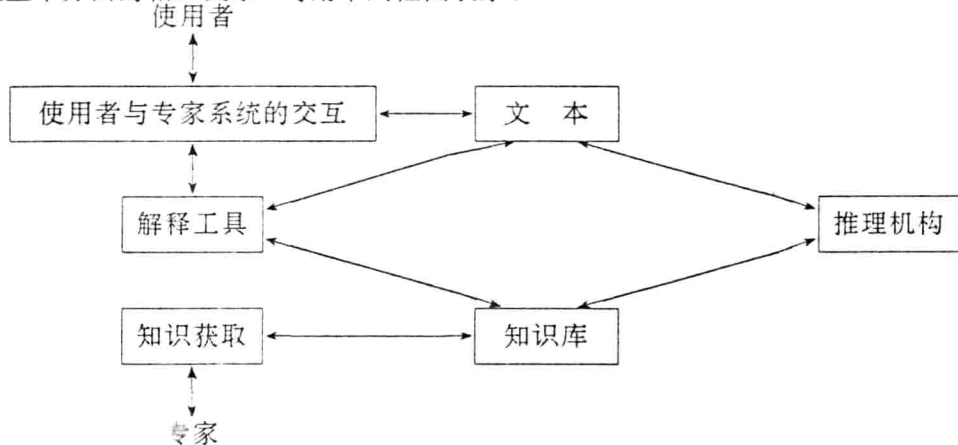
防治、城市污水处理、高层建筑初步设计、建筑工程项目成本预算和施工管理，钢筋混凝土结构综合评价与对策等等，另外在国际上，由于诊断型专家系统发展得较早，已取得不少的进展，有些已达到实用的阶段但设计型专家系统却正处于发展阶段，因其内涵比较复杂，而应用价值又较高，现在正处于积极发展阶段。

设计型专家系统的若干特点

一个设计型专家系统大致有以下几个组成部分：

- (1) 知识基础：它也称作知识库是在专家系统的专业范围内所涉及各项有关的知识并可以分为深知识和浅知识两个方面。浅知识，或称启发性知识是指基于某些基本原则与经验出发的而深知识则是指某些建立在基本原理、机理与事物的内在联系。
- (2) 推理机构：它是处理知识的机构，其中包括一系列从知识推理到解决问题的技巧。
- (3) 知识获取：是专家的知识与专家系统的交互界面，它可以获取知识，把它进入知识库，必要时可以取代知识库内已有并与之相对的知识。
- (4) 解释功能：它能够解释专家系统推理机构的推理，可以首先解释一个事件如何被提出以及如何可以得出一个结论。
- (5) 交互功能：它可以通过一些指令性的语言，能给使用者与计算机的专家系统进行交互并指令计算机做所需要的实施。

以上五个方面的相互关系，可用下列框图表示：



人工智能(AI)技术在结构设计领域中的应用起步虽然较晚，始于八十年代中期，但发展很快，研究相当活跃，对AI技术在结构设计中的应用做了大量的研究工作〔5〕。目前，已出现了一批用于结构设计的专家系统，智能辅助结构设计系统(Intelligence Computer-Aided Structural Design)等基于知识的结构型系统(Knowledge-Based Structural Design System 简称KBSDS)或称结构设计和知识库系统〔6〕。

但是，目前出现的这些系统基本上仍然是采用传统人工智能技术和开发环境，建造的基于规则(Rule-Based)的系统，不能很好地反映结构设计问题的本质和特点，很难解决结构设计的问题，系统均未达到实用，没有突破性进展。其主要原因在于：对结构设计问题研究不够

成熟，没有好的结构设计型知识库系统模式与开发环境。因此，要建造和开发真正的结构设计型知识库系统则需另辟新路。

众所周知，现实世界中不同领域的问题有其自身独特的性质和特点，人工智能(AI)技术在某个领域中的应用，必须考虑到领域的特点，根植于具体领域并发展其自身。因此，知识库系统(KBS)的基本模式应来自于其应用的具体领域，研制和建造不同领域的实用知识库系统须有自己的工具和方法学。事实表明，传统的人工智能技术和开发环境已不能满足建造工程设计型系统的需要，迫切要求研究和探讨工程设计型知识库系统的模式，建立工程设计型和知识库系统的开发工具和环境，来支持工程设计型知识库系统的开发。因此，结构设计型知识库系统的研制和建造，就必须研究自己的模式、工具与方法学。这是工程设计型知识库系统所面临的共同问题。近几年已开始这方面的研究，并越来越引起人们注意(7)。

这里简略地叙述一下设计型专家系统的若干要点及其应有的要求：

(1) 知识的获取及其表达

从结构设计定义中知：结构设计是一个非常复杂的问题，知识在结构设计中起了关键的作用。实际上，结构设计的知识库系统的建造过程就是将设计知识转化成计算机程序的实现过程。因此，研究结构设计型知识库系统必须对结构设计知识有深入的了解，才能为正确、高效率地获取、表达和运用设计知识提供理论基础。很明显，对结构设计知识的获取、表达和利用构成了我们要研究的核心。

通过对结构设计的研究和探讨，我们认为结构设计知识有如下特点：

● 结构设计的知识按性质一般区分为：理论知识和经验知识两大类。

★ 理论知识：是指比较完整、严密、系统的设计知识，也称为“深知识(Deep Knowledge)”。在结构设计过程中，这类知识往往以某种方法、公式、曲线、图表等等形式出现。如：数学、工程力学、钢筋砼结构学、钢结构学、工程结构抗震学等。此外，还有各种设计手册、图表等等。

★ 经验知识：人们在设计过程不断积累的经历、经验、教训等。这类知识富有“启发性(Heuristics)”，也称为“浅知识(Surface Knowledge)”。这类知识往往是不完备的、不精确的、不知其所以然的。在设计过程中一般表现为对问题的判断、决策或是对某个参数或变量的估值以及求解某特定问题的经验公式等等。

● 结构设计知识按设计过程也可分成：问题知识、事实知识和控制知识。

★ 问题知识是关于结构工程师进行结构设计时的设计活动结构的知识。

★ 事实知识是结构设计时所用基本概念、事实的知识，包括设计对象的组成、性质和参数或变量的知识。

★ 控制知识是关于推理、判断、决策等控制的知识。

知识库系统的早期研究主要涉及的是医学、化学、数学、探矿等几个领域的诊断型问题。依靠知识工程师(Knowledge Engineer)采用手工方式，研制和开发了典型诊断型实用系统(如：DENDRAL、PROSPECTOR、MYCIN等)。可以说：这个时期的研究主要集中在诊断型原型系统的建造型系统的建造与开发上。

七十年代中期，知识库系统的迅速发展和应用范围不断扩大，导致了对知识库系统大量需求。人们在早期研究的成果和经验基础上，发现知识库系统的建造过程就是将知识转化为

计算机程序的实现过程。这一过程涉及：知识抽取、知识表达、知识运用及程序实现等一系列问题，是一费时费力的过程。一方面，要求系统建造者具有较高的人工智能与计算机科学水平，不利于扩大系统建造队伍；另一方面，系统建造过程中，存在着大量重复性劳动，周期长、效率低，满足不了实际的需要。为了避免大量重复劳动，加快知识库系统的开发速度，缩短系统开发周期，提高系统建造的效率，扩大知识库系统研制和开发队伍，迫切要求有能提供知识表示、问题求解、知识获取及人一机接口、解释、学习等等软件和工具的良好开发环境，以便系统开发和建造。因此，人们开始研制知识库系统开发工具和环境，以使知识库系统开发和建造朝半自动化、自动化方向发展。

八十年代以来，知识库系统的研究十分活跃。其一是知识库系统向纵深方向发展。如：基于深知识模型的第二代专家系统；具有多种知识表示、多种问题求解方法的分布式系统；多个系统耦连协作式系统等。其二是知识库系统的应用几乎遍及了所有的学科领域，所涉及的问题已从诊断问题扩充到设计问题。其三是出现了一大批实用系统的原型，并在一些领域出现了开发工具〔8〕。目前已形成了研究多种知识表示、多种问题求解方法及多种编程方式的知识库系统开发环境为中心的主要潮流。

知识库系统开发环境的研究主要是为实用知识库系统的建造和开发提供一些良好的工具和手段。目前，开发环境研究的内容有：知识工程的基本支撑硬件；面向符号的计算机语言；知识工程语言（包括知识描述语言、系统结构设计语言等）；知识获取工具（特别是半自动或自动知识获取系统）；骨架工具系统；知识库管理工具（如知识库一致性、完备性检查工具、知识库性能测试工具、知识库操作语言等）；接口设计工具；解释工具；以及上述工具的集成化工具或综合工具等等。

（2）知识的利用与推理问题

所谓知识利用（Knowledge Use 简称 KU）就是运用知识库中的知识来进行问题求解（Problem Solving）。问题求解过程就是利用知识使问题从初始状态转移到目标状态的过程。知识利用的关键是知识推理。知识推理一般由知识选择与知识应用两部分组成，前者就是通常所说的推理控制（主要是解决知识应用次序），是知识推理的核心。目前比较常用控制策略有：数据驱动（正向推理）、目标驱动（反向推理）、混合驱动（正、反向混合推理）、元控制等。

知识推理一般有如下要求：

- 效率：能高效率地处理各种知识，包括不确定、不完全的知识。
- 直观性：推理的过程应易于理解，增加系统的透明度；
- 并行性：应提供与未来并行计算机体系的通融性。

目前知识库系统常见的知识推理方法有：正向推理、反向推理、正反向混合推理、产生一测试、手段一目的分析、分层规划、约束操纵、日程表控制、黑板结构等等。为了解决人类知识的不精确性、不确定性、模糊性，近年来出现了模糊推理、证据理论、可能性理论、似然推理、非单调逻辑等不精确推理的理论和方法。另外，为了使知识库系统具有更广泛、更强的问题求解能力，又出现了基于深知识的深层推理、多种推理方法相结合的混合推理、多种推理方法协作的离散推理或分布式推理等。

正向推理函数的工作过程是：首先，从给定的子知识库中按顺序取出一条规则，对规则的 IF 部分进行模式识别，然后调用匹配函数，与数据库（黑板）中的已知事实进行匹配。如

果匹配成功，则执行规则的 THEN 部分；否则取下一条规则。在执行 THEN 部分时，同样要进行 THEN 部分的模式识别，然后根据不同的模式进行处理。在把结果写入数据库（黑板）前，需检验结果是否为新结论，如为新结论，则将结果写入黑板；否则取下一条规则。当子规则库中的规则都取用完时，如果推理从第一条规则到最后一条规则的过程中，有过新结论写入黑板时，则从新按顺序取用第一条规则，继续进行推理；否则推理停止。

反向推理函数的工作步骤是：①先验证所提假设或要求解的目标是否已在数据库（黑板）中，若在，则假设成立，推理过程结束或进行下一个假设的验证；否则，进行下一步；②判断所验证的假设或目标是否是证据节点，若是，则系统调用询问函数，提问用户，让用户回答；否则，进行下一部；③找出结论部分包含这个假设或目标的那些规则，把这些找出的规则的所有前提部分的事实都作为新的假设；④重复①、②、③步，直到某一假设成立或目标求出结果为止，或所有假设不成立（或目标求解失败），此时函数返加“nil”，函数调用结束。

（3）设计问题的求解

设计问题研究是一个古老的课题，计算机和现代设计方法的出现，给这一古老的学科注入了新的活力。尽管对设计本质和设计者思维方式的研究是一个新领域，现有的文献有限，但已做了相当一部分的工作，特别是近二十年由于人工智能（AI）和知识工程的发展，对设计问题的研究日益增加，其主要涉及的是：设计理论、设计过程（Design Process）、设计者的思维模式，以及设计能否全部自动化等。

著名学者 Simon 和 Newell 等人把设计问题认为是结构病态（Ill-Structured）的非确定性（Ill-Defined）问题，很难模型化，采用传统计算机软件来加以解决。文献〔2〕提出了类似于计算力学中有限单元方法（Finite Element Method 简称 FEM）来解决设计问题，亦即把结构病态问题分解成有限的结构良态（Well-Structured）的子问题进行解决，然后再考虑它们之间的相互影响。这种方法的困难在于：子问题之间的相关（Dependence）性是非常复杂的，其本身也是结构病态问题。尽管如此，这种解决问题的方法对设计问题的研究产生了重要的影响。

另一方面，有些学者认为：设计问题属于组合问题（Formation Problem）。只知道问题的目标和要求及完成这些满足要求的目标的知识，并不知道问题求解的过程。同时，设计问题也没有明确的答案。这要求解决设计问题的计算机软件必须具有处理知识的功能。

卡内基—梅隆大学（CMU）的 Akin 教授等人把设计看成是经验性的，并用演绎工具来描述；作者以建筑师的设计活动为背景，深入地分析了设计问题求解过程和设计知识的特点，认为：设计知识可分成三种：设计符号、转换规则和设计规划；设计问题求解活动主要是产生、分析、评价。并提出了由设计问题求解机制与设计知识表示机制两部分组成问题信息处理模型。

随着人工智能科学的发展，人工智能（AI）技术渗透到了设计领域。著名学者 S. J. Gero 教授等人将设计问题定义成设计空间，设计过程看成是设计空间中寻找解的过程。也就是说，工程设计具有一般问题求解的特性，从而把人工智能中的一般问题求解技术应用到工程设计中。此后，许多学者和工程师们，在对设计问题研究的基础上，又把知识库技术引入工程设计领域中，提出了各种智能辅助设计方法，建造了许多基于知识的设计系统，参与工程设计之中。其中电路设计和机械设计尤为突出。一方面，是由于电路设计和机械设计的设计参数和变量相对少、设计目标相对单一，设计过程可分解性，更重要的是对领域设计问题的深刻性和

充分性。

专家系统今后的展望

近二十多年来，人类在专家系统方面已取得不少的成就，形成了第一代专家系统，二十世纪九十年代以来，人类正在向第二代专家系统迈进，文献〔4〕指出：

第一代专家系统从 1965 年，斯坦福大学 Feigenbaum 等人研制的探索化合物结构的专家系统 DENDRAL 开始，二十多年来，已在许多专门领域得到应用。1976 年 E. Shortliffe 等人研制的用于诊断细菌感染的 MYCIN 医疗咨询专家系统是第一代专家系统的典型。

第一代专家系统的工作原理是根据用户提供的数据、信息或事实，运用系统所存储的专家知识，进行推理与判断，给出权威专家水平的解答。即运用知识进行推理。这里的专家知识，一般是指专家解决问题所使用的经验性、判断性知识（或称启发式知识）。

第一代专家系统的建造模式是以规则集合为基础的逻辑推理。

二十多年来的实践，第一代专家系统无论是理论还是应用都获得了巨大的成功。然而，这些初步成功的背后却隐藏着极大的困难，阻碍着专家系统进一步发展。其主要存在问题有：

(1) 作为知识库中的知识限于经验关系，系统不能理解所处理的问题领域中的基本原理和定律。

(2) 系统几乎都不具备知识获取的功能（尤其是知识的抽取），这构成了专家系统开发中的瓶颈问题。

(3) 知识的不足常常导致系统的失败。

(4) 系统缺乏充分的自理解能力，即对系统的工作过程和所得结果难以作出令用户满意的解释。

(5) 问题求解能力有一定的局限性，即问题求解方法不妥。

人们认为（Hart, Miche, Steel 等），造成第一代专家系统这些缺陷的主要原因是：第一代专家系统只是表层知识推理系统，其采用模拟专家的表层知识的浅层模型解决问题，忽略了领域理论知识（或深层知识）的作用。在浅层模型中，采用规则表现形式的启发式知识仅仅反映所观察到的某些现象之间的内在特征并不十分清楚。例如，在 MYCIN 系统中问题求解的启发式经验规则采用观察数据，如病人症状和实验室测试结果作为输入，推导诊断结果，系统实际上并不要求理解支持结论的生理机制或其他原因机制。因此，在浅层推理模型中，系统通常是知其然而不知其所以然。它们仅仅反映观察到的结论之间的经验关联。

针对这一问题，人们提出了基于深浅层问题求解模型工作的所谓第二代专家系统（SGES）。

第二代专家系统是针对第一代专家系统存在问题而提出来的。目前，因为各人强调的重点不同，所处理的问题不同，尚缺乏严格统一的定义。综合各种观点，第二代专家系统应是由多个采用深浅层推理模型求解问题，策略单一的专家系统有机地结合起来的协作分布式系统。

第二代专家系统中要求的是由深层模型与浅层模型共同组成的深层问题求解模型。

与浅层模型不同，深层模型要求主要模拟领域问题的深层知识，它反映了对领域问题的更深入的理解。系统使用领域的基本原理（first principle）进行推理，推理规则中前提所描述

的现象和结果所描述的现象之间的内在关系被明确地表示出来。与浅层模型相比，深层模型应使系统能够对在其上执行启发式操作的完备搜索空间有所了解。这里，深层知识主要是针对浅层知识而言的，通常认为除了经验相关知识之外的所有领域问题的进一步知识都可以称为深层知识。一般来说，归纳为如下五类：

- (1) 复杂过程的数学和仿真模型
- (2) 支配事物的物理定律
- (3) 设备工作的功能模型
- (4) 详细的因果关系网络
- (5) 一组形如“如果在〈状况〉下，执行〈动作〉，则出现〈状况〉”的规则集合。

此外，第二代专家系统的另一重要特征是采用多种问题求解方法。即它是由多个专家系统有机耦合起来的协作分布系统。因为每个分布结点都是求解策略单一的专家系统规模较小，容易构造，也容易维护，当领域问题十分复杂，采用分布式结构能有利于解决推理以及知识库维护问题。

智能与决策研究通讯摘录了杨忠祥的“国外专家系统发展新动向”概括了当今的若干发展新动向：

(1) 外展推理 (abductive reasoning)

传统的推理方式是由后果或现象推导原因的演绎过程。例如由症状诊断疾病的医疗专家系统 MYCIN 广泛采用 IF 症状 THEN 病因的启发式规则进行推理。这种因果关系颠倒的规则联想可以加快诊断过程，但不能揭示事物本质的因果关系。Nau 1984 年提出的外展推理规则与此相反，可以表示由因到果的解释论证过程，比较接近医生的实际思想方法，更能反映事物的本质。因为医师不需要考虑所有疾病的可能性，只要选择一组病因验证其症状通过外展推理即可得出合理诊断。对于因果关系明确的人造事物，如工程设备的设计与故障诊断等，采用外展推理更为有效。

(2) 基于功能的特定任务结构 (task-specific architecture)

1985 年 Chandrasakarant 提出功能性 (functional) 结构的专家系统设计思想。其特点是打破知识表达、获取与推理的结构界限，把专家系统按其完成的功能分成若干种组块，每种组块完成一种任务如分类、测试、诊断、设计、规划等。然后根据特定的任务需要利用有关组块构成积木式专家系统。每种组块直接表达问题求解的整个过程，把知识表达、获取与推理合成一体。他为每种任务 (称为类任务 Generic Task) 设计了一套专家系统工具语言 GTT 以代替框架，产生式规则等比较低级的知识表达语言，其词汇更为丰富，足以完成一类专家系统的设计。他用 GTT 设计的诊断专家系统 MDX 能直接获取知识并利用症状迅速作出决定。

(3) 基于模型推理 (model-based reasoning) 的专家系统

专家系统都是以一定的知识模型为基础的。传统的专家系统采用产生式规则的主观思维模型，因而被称为基于规则 (rule-based) 的系统。近年来发展的基于模型推理强调采用反映事物内部规律的客观世界模型，主要是定性物理模型和因果模型 (causal model)。

de Kleer 1984 年提出的定性物理模型用定性方法描述技术系统的功能与行为。它可以直接表示输入条件 (前提或原因) 到输出结果 (现象或结论) 的推理过程，称之为定性推理 (qualitative reasoning)。它把知识与推理结合成为一体，不需建立与修改独立的知识库，缩小了主观

思维与客观事物的差距，比较接近事物的本来面目。

Koton 1985 年提出的因果模型是早期 CASNET 专家系统所用因果网络的深入发展，充分显示了客观事物的内部因果关系。因果推理往往可以从最基本的原理出发，所以又被称为基于最初原理（first Principle）的推理。它大大地提高了系统的透明度与可理解性，只需要设计一套“粒度”较细的描述性语言即可设计深层专家系统，还可以自动进行外展推理，提高了系统的解释能力。

基于模型推理的最近发展是基于功能的推理（function-based reasoning）。例如在分析工程装置时，我们可以把装置按其功能分成若干部件，每个功能部件可表示为定性物理模型。部件之间的关系可表示为因果模型。这样我们就能理解装置运行的全过程的因果关系。这对工程装置的设计与故障诊断更为有利。

（4）基于事例的推理（case-based reasoning）

传统的演绎推理要求完全的前提得出严格的结论。这在知识不完全或缺乏经验的情况下很难做到。基于规则的系统采用启发式简化了推理过程，但不能解决上述矛盾。此外，基于模型的推理固然能建立比较稳固的专家系统，但因果关系过细也会降低推理效率。

Kolondner 在 1985 年指出：许多专家在实践中经常利用以往的相似事例，利用类比的方法得出结果以解决经验不足的问题。根据这种原理可以建立基于事例推理的专家系统具有重要的实际意义。

上述专家系统的发展都是建立在符号处理的基础上。最近兴起的基于神经网络的并行处理连接机制也用于专家系统的设计，提出了系统的容错性、灵活性与学习能力。但这种系统并不能完全替代专家系统符号处理功能，因为符号处理仍是专家思维活动的主要表现形式，而符号思维活动必然受到神经系统信息处理的控制，两者是相辅相成的。

结 语

结构设计领域是计算机应用较早的领域之一。六十年代初期出现了用于结构设计分析中的计算机软件系统。此后二十多年来，计算机在结构设计领域中得到越来越广泛的应用，成为结构工程师不可缺少的助手和工具。

随着数据库技术、计算机辅助设计的发展，人工智能技术在工程中的应用，软件技术的发展，计算机硬件的发展（计算速度加快、存贮能力增强、价格降低），将会使土木工程领域中的各种用途的专家系统蓬勃发展起来，将会提高结构设计、建筑设计的质量。

不久的将来，专家系统在提高建筑业的水平方面，将发挥更大的作用。

文 献

1. 曹国兴，智能辅助结构设计知识库系统开发环境的研究，中国建筑科学研究院结构力学博士生论文，1990 年 8 月
2. 史忠植，知识工程，清华大学出版社，1988
3. Maher M. L & Fenves S. J. , Role of Expert Systems in High-Rise Building Design, Application of System Methodology, 1988
4. 张瑾，基于神经网络的高层建筑结构初步设计的专家系统（HIDE-1），清华大学土木工程

程系地震工程及防护工程博士论文, 1989年

5. Rehak D. R., Howard H. C. & Sriram D. , Architecture of An Integrated Knowledge—Based Environment for Structural Engineering Applications, J. S. Gero (ed.), Knowledge Engineering in Computer—Aided Design, North—Holland, Amsterdam, 1985
6. Allen R. H. , Expert System in Structural Engineering; Works in Progress, Journal of Computing in Civil Eng. , Vol. I, No. 4, 1987
7. Gero J. S. & Roseman M. A. , A Conceptual Framework for Knowledge —Based Research of Sdney University's Design Computing Unit, Artificial Intelligence in Design, Elsevier/CM Publication, Amsterdam, 1989
8. Waterman D. A. , A Guide fo Expert System, Addison—Wesley, 1986

高质量地进行结构设计 走向 21 世纪

陈民三 胡连文 邓藩荣

机电部设计研究院是有近四十年历史的设计研究院。七十年代以前主要承担重型机器厂、重型矿山和工程机械厂、汽车拖拉机制造厂、机车车辆制造厂的设计工作。改革开放以后，面向国民经济各个行业，目前已成为以工业、民用和能源工程为三大支柱的综合性设计院。可承接机械及其它工业、能源、民用建筑等成套或单项工程项目的技术咨询，可行性研究、项目评估、经济评价、环境评价等设计前期工作，各阶段设计，以及工程承包和工程监理等后期工作。

不论是什么类型工程项目的设计，离不开建筑设计。房子再漂亮，功能再齐全，设备再先进，没有安全的结构做保证，一切都是空的。当人们看到一些漂亮的建筑，首先想到的是设计它的建筑师，往往忘记了使那栋建筑牢固地耸立在那里，已被漂亮“外衣”遮盖起来的骨架。更没有人想到为了这些骨架能安全可靠地耸立在那里终身为之奋战，终身为之“提心吊胆”的结构工程师们。正是这些人，他们脑中的“质量意识”、“责任感”比谁都强。高质量、高水平地进行结构设计是我们结构设计人员终生追求的目标，不敢有丝毫松懈。正是这样，我们院的历任领导，我们的结构设计人员十分重视结构设计的质量和水平，几十年来我们采取多种方法、多种方式为提高结构设计质量和水平，作了不懈的努力。千条万条归纳为三条：一是建立一整套有效的保障结构设计质量的规章制度和技术措施；二是狠抓调查研究、试验试制和经验总结为结构设计提供可靠的依据；三是参加施工全过程把好结构设计的最后关口。

作者单位：机电部设计研究院