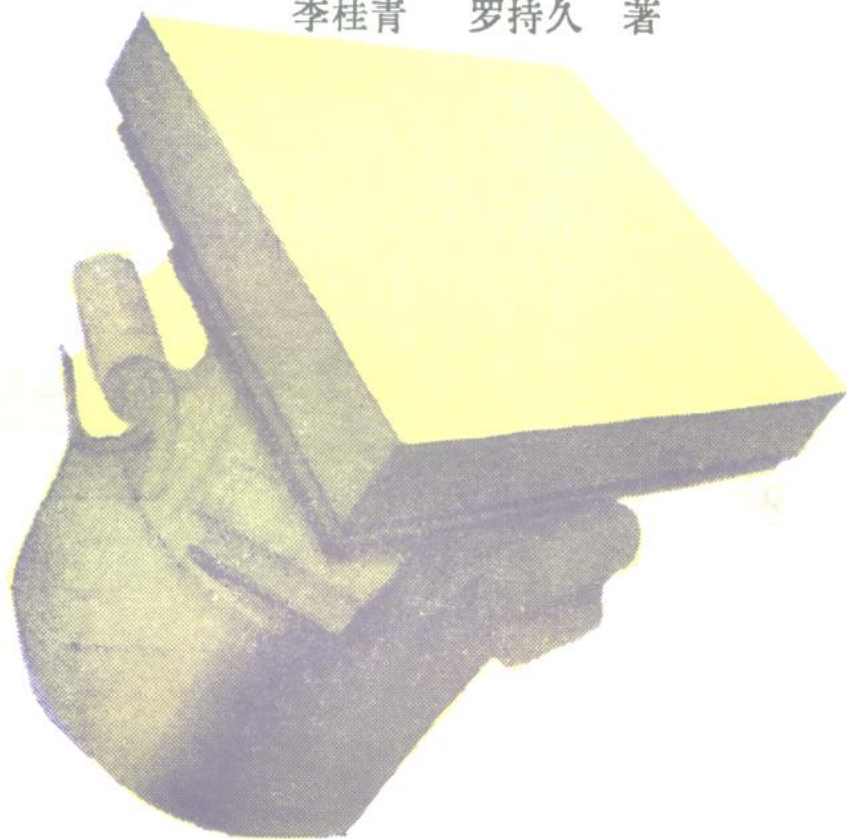


工程设计专家系统的原理与程序设计方法

GONGGESHETIZHIANJIA

工程设计专家系统的原理 与程序设计方法

李桂青 罗持久 著



高等教育出版社

T 18

354587

工程设计专家系统的原理 与程序设计方法

李桂青 罗持久 著



气象出版社

(京)新登字 046 号

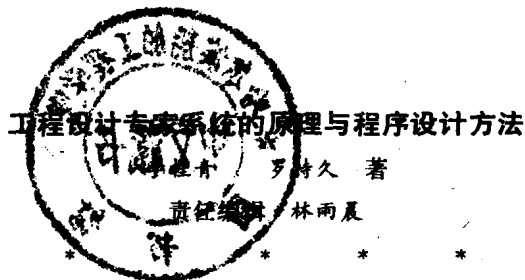
内 容 简 介

本书全面、系统地阐述了工程设计专家系统的原理,并以适用于诊断和设计问题的通用专家系统开发工具 ESTOOL 为主线,深入浅出地介绍了专家系统程序及各模块的设计方法和源程序。

本书共四篇十八章,分别介绍工程设计专家系统四大组成部分的理论与设计方法和领域专家系统的建造方法。本书强调理论与应用相结合,注重实用编程技巧、方法和具体实施,在理论上有许多独到见解,在技术上提出了一整套程序设计方法、框图和相应的源程序,编排上采用先整体,后部分,再综合的方法,便于理解、自学和扩充推广。

为了促进各类工程设计专家系统的开发和应用,本书毫无保留地公布了作者研制的设计型专家系统开发工具 ESTOOL。

本书可供广大工程设计人员、大专院校工科专业师生以及专家系统、人工智能、CAD 方面的研究人员参考。



(北京白石桥路 46 号)

怀柔县王史山胶印厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 25.5 字数: 651 千字

1991 年 10 月第一版 1991 年 10 月第一次印刷

印数: 1-4000 定价: 20 元

ISBN 7-5029-0638-X/TP·0026

序 言

专家系统是近二十年来在国际上兴起的一个热门课题,也是人工智能最活跃的一个领域,其应用已经渗透到各个学科领域,其发展正处方兴未艾的时期。

工程设计一直是人类专家所独有的高级智能活动,工程设计专家系统就是要模拟专家完成工程设计的全过程。

目前已经有许多人工智能和专家系统方面的著作,但这些著作一般都是人工智能的理论著作,虽然有些著作也介绍了程序设计,但通常都是一些个别的,离散的子程序,并且一般都是使用 LISP 或 PROLOG 语言介绍的。工程设计专家系统集成人工智能、数据库理论、工程设计方法学和计算机图形学于一身,是一门理论性和实用性很强的交叉学科,它并不因为追求形式上的“智能”而有所侧重。因此在一个工程设计类型的专家系统(以下简称设计型专家系统)中,人工智能、工程设计方法和计算机图形学等具有同等重要的地位,它们相互依存,有机地结合在一起。

根据作者多年来从事计算机图形学、CAD、人工智能方面的教学和科研工作所积累的经验,并考虑到由于设计型专家系统涉及面宽、难度大,目前尚无成熟的理论和方法可循,因此,本书将以作者研制的通用专家系统开发工具 ESTOOL 为原型系统,介绍设计型专家系统的一般理论、控制结构、推理方式、知识的描述、图形的描述、知识库、图形库和数据库的构造以及接口处理技术等,并重点介绍程序设计的基本方法和技巧。本书毫无保留地公布了作者花费多年心血研制成功的设计型专家系统开发工具 ESTOOL,并详细介绍了主要模块的设计思想和方法,同时还介绍了如何利用该工具开发领域专家系统的实例。

本书分四篇共十八章,在绪论中,综述了人工智能和专家系统的现状以及专家系统设计中应该考虑的问题,主要应用成果等。第一篇是基础篇,介绍工程设计方法学。第一章介绍形式设计语言,本章主要为图形自动生成和系统的开发语言服务。第二章介绍设计系统的基本理论,重点介绍设计系统的形式,本章主要为建立设计系统的智能模型服务。第三章介绍设计型专家系统的求解策略和控制结构。第四章介绍与软件支撑库的组成、结构和管理方面有关的内容。第五章介绍专家系统总体设计,本章的目的是使读者尽早对专家系统全貌有所理解。第二篇是数据库系统,第六、七、八章分别介绍数据结构、数据库理论和数据库开发系统。由于本书通篇采用数据结和数据库方法,因此,第六、七章就显得非常重要,它是本书的基础。第三篇是知识库系统,包括知识的表达、推理方法、知识库管理和开发等问题。其中第九章介绍适合于描述设计型知识的方法-规则-框架体系。第十章介绍知识库开发语言、知识库编译系统和知识库相容性检查。第十一章介绍基于规则-框架体系的演绎推理技术。第四篇是图形库系统,这是一个很广泛的内容,包括图形的表示、图形修改、图形库的建造等。本篇的第十二章介绍图形的描述方法及其存贮结构、图形库的结构。第十三章介绍图形原语、图形库编译系统、图形库相容性检查和库操作等。第十四、十五、十六、十七章则分别介绍图形自动生成系统、交互式图形系统、图形

输出系统和矢量字形库系统。最后一章介绍如何利用 ESTOOL 去开发实用专家系统，这里重点介绍知识的分类与采集，知识的概念化与形式化以及如何生成知识库源文件等问题。

本书从实用角度出发，只介绍与设计型专家系统有关的理论和方法，对于有更多要求的读者，请阅读书末所列的有关参考文献。在编排上，本书采用理论阐述与程序设计并重的方法，首先介绍设计型专家系统的原理与结构、求解策略、控制结构和总体设计方法，然后分别介绍设计型专家系统四大库及其管理系统的原理与程序设计方法，最后介绍 ESTOOL 的应用，并都给出了源程序。

本书的源程序均为 C 语言代码，读者如果不了解 C 语言，可参考拙著《微机 C 语言及其应用》。通过本书的学习，读者将能够自己开发或者利用本书提供的模块来开发一个设计型专家系统。读者若需本书介绍的程序或有其它要求，可来函与罗持久博士联系，通讯地址是：

{ 武汉工业大学工程结构抗震研究所
 邮政编码：430070

本书旨在为设计型专家系统提供一套完整的理论和程序设计方法，并期望能对读者有所裨益。由于专家系统是一门尚在发展中的学科，书中收集的材料和我们的研究成果未必完全成熟，有些内容尚属探索性的，再者限于我们的学术水平，难免有错误和不妥之处，敬请读者不吝指正。

虽然本书作者署名只有二人，但它实际上是许多人心血的结晶。作者愿借此机会谨向帮助过本书的每一位同志表示谢忱。参加过本书工作并在开发住宅设计领域知识库和图形库方面作出贡献的同志中，首推曹宏副教授和谢伟平同志，其次是我们的研究生李松华和方小兵同志；张晓红同志在软件支撑库方面也付出了辛勤的劳动。此外，还有欧四媛工程师、宋加宁讲师、陶牟华和瞿伟廉副教授以及许多领域专家都为本书提供了有价值的素材和有益的参考意见，并给予了很大的帮助和积极的配合，谨此一并表示衷心的感谢。

我们还要感谢《工程力学》杂志总编陈祥福教授所给予的大力支持和帮助。

最后要特别感谢耿南平讲师在建造矢量字形库、录入和编排书稿等方面所做的大量工作。

在本书的出版过程中，史秀菊、陶国庆和林雨晨三位编辑付出了辛勤的劳动，在此谨致衷心谢意。

李桂青 罗持久

于武汉工业大学 1991 年 1 月

目 录

序 言	
绪 论	(1)
§ 0.1 人工智能	(1)
§ 0.2 专家系统	(3)
§ 0.3 工程设计专家系统	(4)
§ 0.4 专家系统工具	(5)
§ 0.5 人工智能语言	(6)
§ 0.6 工程设计理论和方法的新发展概述	(6)
§ 0.7 本书的范围	(9)

第一篇 工程设计方法学

第一章 形式设计语言	(12)
§ 1.1 概述	(12)
§ 1.2 语素和语汇	(13)
§ 1.3 形式文法	(15)
§ 1.4 文法的分类	(18)
§ 1.5 自动机	(25)
§ 1.6 形式设计语言的结构	(29)
第二章 设计系统的基本理论	(31)
§ 2.1 工程设计的特点	(31)
§ 2.2 设计系统	(32)
§ 2.3 设计系统的分类	(36)
§ 2.4 设计系统的总体优化	(37)
第三章 设计问题的求解策略	(40)
§ 3.1 工程设计的智能模型	(40)
§ 3.2 设计问题的求解策略	(41)
§ 3.3 工程设计专家系统的控制结构	(47)
第四章 软件支撑库	(50)
§ 4.1 软件支撑库的基本组成	(50)
§ 4.2 软件支撑库的接口	(51)
§ 4.3 结构分析程序	(56)
第五章 工程设计专家系统的总体设计	(62)
§ 5.1 总体设计的环境	(62)
§ 5.2 系统总控程序	(63)

§ 5.3	环境配置	(72)
§ 5.4	与 DOS 的交互	(79)
§ 5.5	编辑功能	(81)
§ 5.6	在线帮助系统	(81)

第二篇 数据库系统

第六章	数据结构	(87)
§ 6.1	数据结构及其表示方法	(87)
§ 6.2	数据结构的存贮模型	(88)
§ 6.3	链表	(89)
§ 6.4	树	(98)
§ 6.5	搜索树	(102)
§ 6.6	图	(104)
第七章	数据库	(107)
§ 7.1	数据的组织	(108)
§ 7.2	数据模型	(111)
§ 7.3	数据库的存贮结构	(117)
§ 7.4	数据库的操作	(120)
§ 7.5	数据库的检索	(121)
§ 7.6	数据库设计	(125)
第八章	数据库开发系统	(128)
§ 8.1	数据库开发语言	(128)
§ 8.2	数据库编译系统	(131)
§ 8.3	数据库相容性检查	(138)

第三篇 知识库系统

第九章	知识库	(142)
§ 9.1	知识的描述	(143)
§ 9.2	参量与参量组	(147)
§ 9.3	规则-框架体系	(150)
§ 9.4	规则组、规则体	(153)
§ 9.5	知识库	(154)
§ 9.6	知识库的物理结构	(155)
第十章	知识库开发系统	(162)
§ 10.1	知识库开发语言	(162)
§ 10.2	知识库编译系统	(167)
§ 10.3	知识库相容性检查	(182)

第十一章 知识库演绎推理系统	(190)
§ 11.1 RFS 的推理规程	(190)
§ 11.2 推理方法	(192)
§ 11.3 动态数据库	(195)
§ 11.4 面向关系结构的推理	(200)
§ 11.5 面向目标的推理	(203)
§ 11.6 置信度推理	(209)
§ 11.7 推理系统的控制结构	(211)
§ 11.8 推理机的用户界面	(218)
§ 11.9 跟踪系统	(222)
§ 11.10 提示系统	(223)
§ 11.11 解释系统	(226)

第四篇 图形库系统

第十二章 图形库	(230)
§ 12.1 图形描述的一般方法	(230)
§ 12.2 图形的拓扑表示	(231)
§ 12.3 图形的存贮模型	(235)
§ 12.4 图形的存贮结构	(236)
§ 12.5 图形库的结构	(240)
第十三章 图形库开发系统	(242)
§ 13.1 图形原语	(242)
§ 13.2 图形开关	(255)
§ 13.3 图形库编译系统	(257)
§ 13.4 图形库相容性检查	(271)
§ 13.5 图形库文件的加载	(275)
§ 13.6 编译系统的设计问题	(277)
§ 13.7 图形显示	(279)
§ 13.8 库操作系统	(282)
第十四章 图形生成系统	(284)
§ 14.1 图形生成的原理	(284)
§ 14.2 图形变换	(287)
§ 14.3 图形生成系统的结构	(292)
§ 14.4 动态图形库	(293)
§ 14.5 图形推理机	(294)
§ 14.6 图面布置	(398)
§ 14.7 图形系统的接口	(299)
§ 14.8 生成图的显示	(305)

§ 14.9	隐藏线的处理方法	(308)
第十五章	交互式图形系统	(310)
§ 15.1	交互式图形学原理	(310)
§ 15.2	图形输入设备	(314)
§ 15.3	交互式图形系统的结构	(316)
§ 15.4	交互式命令处理器	(319)
§ 15.5	十字光标	(328)
第十六章	图形输出系统	(330)
§ 16.1	图形输出系统的结构	(330)
§ 16.2	图形打印输出	(332)
§ 16.3	绘图机驱动程序	(336)
第十七章	矢量字形库系统	(347)
§ 17.1	字符的字形表示方法	(347)
§ 17.2	字符的编码	(348)
§ 17.3	矢量字形库	(350)
§ 17.4	驱动程序	(353)
§ 17.5	建造矢量字库	(357)
第十八章	开发领域专家系统	(361)
§ 18.1	开发领域专家系统的方法	(361)
§ 18.2	知识库的开发	(362)
§ 18.3	知识采集	(363)
§ 18.4	知识的概念化	(365)
§ 18.5	知识的形式化	(368)
§ 18.6	图形库的开发	(371)
附录 1	ESTOOL 的头文件	(375)
附录 2	基本字符集的源文件	(384)
附录 3	ESTOOL 的函数库	(389)
主要参考文献		

绪 论

工程设计专家系统是专家系统的一个极其重要的分支，它集人工智能、工程设计方法和计算机图形学于一体，是一门理论性和实用性很强的交叉学科。

设计是一种抽象的思维形式，有着极为广泛的内涵和外延，始终伴随着人类的劳动而不受时间的限制。从广义上讲，设计是人类解决各种问题的构思、规划及其表达，是人类所特有的一种高级智能活动。

“设计的形式”是极其丰富的，但它们的共同特点是：设计的实现是产品，尽管产品的形式可能有着极大的差别，但它们都是可以被人所感知的。

本书所要讲的是围绕一种特定的设计形式——工程设计——所展开的有关理论与方法问题。

工程设计是工程设计人员根据给定的约束条件，实现工程预定的功能构思、规划及其表达。它通常所指的是机械产品的设计、建筑物的设计、电器产品、电子电路的设计等。本书所介绍的综合实例虽为建筑物，但所阐述的理论和方法对于工程设计具有普遍性和一般性。

§ 0.1 人工智能

半个世纪前，“智能”被认为是伴随生命而存在的，这是一种狭义的智能——生物智能；人工智能科学的诞生宣告了机器智能的到来，拓宽了人类的认知领域，从而导致了一场深刻的革命。

什么是“智能”？就其本身而言，这是生物学上的一大奥秘，非本书讨论的范围，但一般而论，智能行为的特点是依据感知的事实，借助于语言进行抽象思维的过程，即智能是大脑和思维运动的统一体。“人工智能”就是把人的智能赋于无生命的机器，使两者有机地结合在一起，以模拟、实现人的智能，甚至发展人的智能。

0.1.1 人工智能的产生

人工智能与“计算”的发展是密切相关的。在计算技术发展史上经历了从古代算盘到今天的计算机这一漫长的过程，它的意义不仅在于人们对计算工具的改进，而是人们对“计算”的理解上升到一个新的高度。人们不再把计算仅看作是对数值所进行的简单的数学运算，而是从更广义的角度上认为：“计算”是对“信息”的处理，这种信息可能是数值的，也可能是非数值的。

在人工智能发展史上最值得一提的是英国的逻辑学家图灵（Alan Mathison Turing），他是第一个提出机器可以具有智能的学者。1937年他在一篇论文中提出了一种比电脑还要复杂的“抽象机”，当时还没有类似的机器，他以概括的方式描述了这部机器的

模式。在第二次世界大战以后的 1947 年，他写了《智能型机器》一文，其中讨论了如何制造产生智能行为的机器，尽管许多设想并不成熟，但他的一些建议在以后建造的第一部智能型机器时都实现了。1950 年，图灵出版了一本广受注意的论文集《电子计算机与智能》，在文中他又探讨了“机器能否思维”这个问题，并提出了著名的图灵测试。1956 年，图灵在美国 Dartmouth 大学的研讨会上第一次使用了“人工智能”（Artificial Intelligence）这个术语，这标志着一门使用计算机研究和模仿人类智能的新型学科——人工智能（AI）的诞生。

五十年代末至六十年代初，人工智能的研究主要在下棋、检验证明几何和逻辑定理方面。例如莎姆尼尔（Samael）编制的下跳棋程序就是一个代表，该程序能在同对手下棋的过程中积累经验，不断提高下棋的技能，从而获得 1962 年美国州级跳棋冠军。因此许多科学家认为：只要能掌握下棋的本质，就能掌握人类智能的核心。

从某种意义上说，这是对的。人工智能中的某些策略，确是由此而来，它们包括问题求解、测试、目标驱动推理、三段式推理等，这些策略经过专门化，已经成为人工智能的基本原理。

但是，这里忽视了一个重要的因素——“知识”，因为光有推理策略还不能构成智能行为。如同一个人，无论他多聪明，如果对疾病和人体没有专门的知识，就不可能成为一个好的医生。因此知识甚至比推理策略更重要。最先认识到这一点的是被誉为“人工智能”之父的美国 Stanford 大学的费根鲍姆（E.A. Feigenbaum）。他于 1965 年开始着手研究利用电脑协助化学家进行分子结构推断的智能程序系统 DENDRAL，并从中体会到人之所以能迅速推断问题的可能解靠的是知识。因此在该系统中他把知识和推理分成两个独立的实体——推理机和知识库，用规则表示知识。这种系统主要使用专家知识，因而也称为专家系统。由于 DENDRAL 成功地推测了一些未知化合物的分子结构而名声大振，从而成为智能系统的模式，这就是在人工智能和专家系统中广泛应用的“基于知识的推理系统”，从此奠定了近代人工智能的基础。

0.1.2 人工智能的应用

人工智能成为一门科学研究领域不到 40 年，这对于一门科学来说实在是太短了，但人工智能的应用却取得了巨大的成就。人工智能有极为广泛的应用，主要表现在以下几个领域：

0.1.2.1 问题求解

计算机所执行的大多数任务都可看作是问题求解，但传统程序是针对具体问题而设计的，它采用的方法是由人事先拟定的，求解问题所需的知识与程序融合在一起，因此只能解决有限的问题。

智能系统却不同，它由一些推理方法和求解问题的知识组成，它可以根据所给问题的性质自己拟定求解问题的方法，然后再按所拟定的方法求解问题。

0.1.2.2 自然语言处理

自然语言处理的内容非常广泛，有语言识别，人机对话，语言翻译，文字识别等。

0.1.2.3 模式识别

模式识别是指计算机通过传感器（如摄像机）感知它周围的环境，并识别其中有意义

的特征和模式。

0.1.2.4 信息存贮与检索

当今是一个信息爆炸的时代，利用计算机可以存贮大量信息，但是信息检索却五花八门，为了适应各种目的的检索要求，必须有一种有效的信息检索方法，这类问题称为信息智能检索。

0.1.2.5 机器人控制

机器人控制就是使机器人按人们的要求完成指定的工作，这除了需要性能良好的机器人外，还需要智能程度较高的计算机系统。

0.1.2.6 博弈

博弈是一类下棋游戏问题，现有的下棋程序有：西洋跳棋，象棋，魔方，多米诺骨牌，围棋，麻将，桥牌，国际象棋和五子棋等，其中有些具有很高的水平。

博弈是人工智能一种很好的实践，并从中发现了许多有价值的规律和方法。

0.1.2.7 自动程序设计

自动程序设计就是让计算机根据问题的性质和要求自己编写求解问题的程序，例如象编译程序和操作系统之类繁琐而复杂的程序。如果用人编写将是极费时且易出错的。自动程序设计需要对问题作出极为详尽的描述，这往往也是使人厌烦的。

0.1.2.8 计算逻辑

计算逻辑就是从一些已知事实出发证明另一些事实的逻辑结果。

计算逻辑在定理证明中表现很出色，例如拓扑学中著名的四色定理就是利用计算机证明的。

计算逻辑还可用于检验程序的正确性，在法律上可进行案情分析，而在其它的人工智能程序中，它被作为一种基本方法使用。

0.1.2.9 其它应用

其它一些应用有：专家咨询系统，决策帮助系统，工程设计系统等，所遍及的领域有医学，法律，化学，地质，数学等。

§ 0.2 专家系统

专家系统是具有专门领域专家水平的知识，并能像专家一样工作的智能程序系统。

专家系统是由费根鲍姆最先提出并研制成功的。专家系统与一般的人工智能系统不同：

- (1) 一般的人工智能程序强调“推理”；专家系统强调“知识”。
- (2) 一般的人工智能程序大量使用“浅知识（即常识性知识）”；专家系统使用大量的“深知识（即专业知识）”。
- (3) 一般的人工智能程序解决“一般性的任务”；专家系统解决某个领域内具有“专家水平的任务”。

一些非智能的应用程序与专家系统一样，也使用大量的专门知识，它们与专家系统的差别在于：

- (1) 应用程序只求解某一专门问题，而专家系统求解专门学科内一系列问题。
- (2) 应用程序将问题求解的知识编码在程序中，专家系统把它们组成一个实体——知识库。
- (3) 应用程序可看成两级组织：数据+知识；专家系统则为三级组织：数据+知识+控制。
- (4) 应用程序利用蕴藏在程序中的知识对数据进行处理以求解决问题，而专家系统根据问题的性质利用控制策略来求解问题。

知识是专家系统的关键，因此知识的表示也就成为专家系统设计的核心。由费根鲍母在 DENDRAL 系统中最先采用的产生式规则表示知识的方法是理论上最严格、最成熟、使用最广泛的方法。由于后来研制的许多专家系统（见表 0.1）都采用了产生式规则，因此这种系统被称为产生式系统，并由此形成了基于规则的产生式系统的理论，这是专家系统理论中最成熟的部分。

表 0.1 典型的专家系统

名 称	功 能	环 境	时 间
DENDRAL	分析有机物分子结构	LISP	1971
MYCIN	内科疾病诊断	LISP	1976
PROSPECT	矿床分析	LISP	1979
XCON	设计 VAX 系统配置	OPS5	1979
HI-RISE	高层建筑结构初步设计	LISP	1986
SACON	结构分析咨询服务	EMYCIN	1979

§ 0.3 工程设计专家系统

从本质上来看，工程设计专家系统与智能 CAD (ICAD) 是完全相同的，工程设计专家系统是专家系统的一个分枝，是 AI 与 CAD 技术的结合。

尽管 CAD 的出现使设计方法经历了一次飞跃，但作为 CAD 的主要工具——计算机，只是充当了设计师的助手。当前新技术革命的浪潮席卷全球，向一切科学领域和传统观念提出了挑战。工程设计领域也不可避免的受到了冲击，智能化计算机辅助设计不再是设计师的梦想，ICAD 从此应运而生，这是一次具有划时代意义的飞跃。

CAD 技术是近二十年来在发达国家迅速发展并广泛应用的技术。它首先应用于产品设计（即机械和电子）行业，随后进入建筑领域。CAD 最早出现在六十年代初，1963 年，麻省理工学院林肯实验室在 TX-2 计算机上开发了第一个“人-机图形通讯系统”（SKTECHPAD），设计师可通过键盘和光笔来同系统通讯。几乎是同时，IBM 公司在 1964 年秋公布了为通用汽车公司开发的用于汽车设计的 DAC-1 系统。在建筑行业，计算机的应用较晚。计算机在建筑界早期的应用主要限于结构分析、造价计算、经济分析和

施工报表，并不涉及图形，直到七十年代初期，才在建筑界安装了第一套图形系统。迄今为止，CAD已经发展到了第五代，即ICAD。

设计型专家系统与诊断咨询型专家系统不同，它涉及大量的工程计算和图形处理，因此设计型专家系统一般由四大库及控制机构——推理机组成，四大库为：

- (1) 知识库：存贮领域知识
- (2) 数据库：存贮工程图表等数据
- (3) 支撑库：存贮各种工程算法和其它支撑软件
- (4) 图形库：存贮各种标准的工程图例或部件图

设计型专家系统的研制可采用两种方式：

- (1) 专家系统只进行方案设计，图形由CAD系统单独处理。并结合人工干预。
- (2) 把图形和概念设计结合在一起形成一个完整的系统，图形自动生成。

显然第二种方式涉及面宽，具有较大的难度，本书是按第二种方式介绍的。

SACON是第一个土木工程领域的专家系统，该系统是用EMYCIN开发的，主要用来为使用结构分析程序MARC的工程设计人员提供咨询服务。SPERIL是普渡大学用C语言编写的地震灾害下结构物破坏情况评价的专家系统。目前已有三种版本。HI-RISE是卡内基-梅隆大学研制的第一个高层建筑结构初步设计的专家系统，它有28个规则组，每组2~16条规则，采用固定格式输入楼层数等基本参数。

设计型专家系统由于涉及深知识推理，知识表达也不尽完善，加之涉及面宽，难度大，进展一直比较缓慢，目前研制的设计型专家系统一般都限于初步设计。

§ 0.4 专家系统工具

专家系统工具历来是计算机科学和专家系统研究者的主要研究方向之一。工具的目的

表 0.2 典型的专家系统开发工具

工具名称	类型	研制时间
EMYCIN	诊断型	1981
EXPERT-EASE	诊断型	1977
UNITS	诊断型	1981
M.1	诊断型	1985
EXPERT	诊断型	1979
KAS	诊断型	
OPSS	诊断型，设计型	1979
S.1	诊断型	1985
MGJ-1	诊断型	1986
OPS83	诊断型，设计型	1983
KEE	诊断型，设计型	1974
LOOPS	诊断型	1975

在于提高领域专家系统开发的速度和质量，降低开发费用。自从第一代专家系统工具

EMYCIN 问世以来,各种类型的专家系统开发工具不断出现(见表 0.2)。专家系统的特点是与所要解决的领域问题密切相关,表 0.2 所列工具大多是通过把领域专家系统的知识抽空而得到的,它们对于开发那些与原始系统相近的专家系统是合适的,而对其它系统却未必合适。此外这些系统给定的知识描述方法对于诊断问题比较合适,对于设计问题却不方便,这些系统的控制机制也不适合于设计问题。

现在诊断问题愈来愈复杂。它们与设计型系统之间的界限也越来越模糊,例如一个模具设计咨询系统,也具有图形和数据库系统,因此过去那种纯知识库结构的专家系统的用途将愈来愈少,新一代专家系统工具必须具有知识库、图形库和数据库三个装置,并有机地连为一体,这是新一代工具的发展趋势。

§ 0.5 人工智能语言

专家系统属于人工智能的范畴,当然其语言工具应该是人工智能语言,如 LISP 和 PROLOG 语言等。LISP 和 PROLOG 语言作为以符号推理为主要目的的诊断型专家系统的语言工具是非常合适的,并且能大大提高系统开发的速度。但是,设计型专家系统不仅需要符号推理,而且需要大量的数值运算、图形操作和一些硬件相关的计算机操作,这无疑是 LISP 和 PROLOG 语言的短处,通常值得考虑的另一语言是 C 语言。

对于设计型专家系统(甚至包括诊断型),作者特别推崇 C 语言,这不仅是因为 C 语言易于对硬件操作,而且 C 语言也便于实现符号推理、数值运算和图形操作,更重要的是 C 语言产生的目标模块小、代码质量高,这对于在微型计算机上研制设计型专家系统尤为重要。目前一些很成熟的专家系统,如 OPS 83 等,就是用 C 语言开发的。

§ 0.6 工程设计理论和方法的新发展概述

工程设计理论和方法的新发展与工程材料及相邻学科的发展有着密切关系。

近三十年来,随着电子计算机、现代控制理论、人工智能、系统工程和信息理论的发展,特别是电子计算机及其应用软件的高速发展,工程设计理论和设计方法有了很大的发展,出现了一些新的分枝。例如,工程分析的有限元法;工程设计的优化方法;工程系统识别和参数估计;工程可靠性理论;模糊结构理论;结构控制和控制结构理论;结构概念设计等。作为工程设计的专家系统,所采用的设计方法应该反映工程设计方法的最新发展,通常这些设计方法可用知识和算法程序来实现。

以下几节主要结合土建结构工程对上述部分问题作些简要介绍。

0.6.1 有限单元法

从物理的观点看,有限单元法就是把结构连续体离散化。具体地说,就是把结构分成很多个部分,每个不再细分的部分称为一个单元。这些单元的形状、大小可以任意选择,但却都是有限小,而不是无限小。即单元所占的空间为有限域 $\Delta\Omega$,而不是无限小域或微

分域 $d\Omega$ ，故常称这种单元为有限单元或有限元。这些单元之间在其相邻边界上只在有限个点上相连接，这就是把结构连续体离散化为只在有限个点上有联系，并称这些连接点为节点。通常以节点广义位移作为未知数，按节点的平衡条件建立方程式，一般用位移法。当然也可以采用力法建立方程式。不过在一般情况下，位移法要比力法简便。

根据工程结构的材料、构造、荷载、边界条件等所具有的确定的和非确定性的性质，有限元法可分为以下四类：

- (1) 普通有限元（含有限条、有限层等，下同）法；
- (2) 随机有限元法；
- (3) 模糊有限元法；
- (4) 模糊随机有限元法；

所谓模糊随机有限元法，是指同时考虑模糊因素与随机因素的有限元法。例如地震作用既有随机性，又有模糊性，因而考虑地震作用的有限元法即属此类。

0.6.2 系统识别和参数估计

系统识别是一门研究由系统的试验或运行数据来建立该系统数学模型的学科。若数学模型为已知，仅利用试验数据来确定其中的参数，则称为参数估计或参数识别。具体地说，系统识别就是根据系统的输入、输出数据，用一定的优化算法在某一类模型中确定一个模型及其参数，使其在一定准则下，与实际系统符合最优。

结构动力学的系统识别与参数估计，是根据对结构系统的已知（通常由实测求得）干扰（输入）及其动力反应（输出）来建立结构的动态数学模型，并确定其中的参数，包括动态模型参数（频率、振型等）与物理参数（质量、阻尼、刚度等），这是结构动力学的第一类“逆问题”。由已识别的结构数学模型及实测的结构反应来确定荷载，称为荷载识别，是结构动力学的第二类逆问题。

数学模型可以用表格、图线、代数方程、微分方程、积分方程等多种形式来表示。通常分为参数模型与非参数模型，线性模型与非线性模型，确定性模型与随机性模型，连续性模型与离散性模型，时变模型与非时变模型等。

由系统的输入、输出建立的数学模型和估计的参数，是否符合实际系统，需要有一个判别准则，称为识别准则。常用的识别准则有最小二乘法，极大似然法，极大熵法等。识别方法是按准则命名的。

0.6.3 结构可靠性理论

结构的可靠性，是指结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的特性。

《建筑结构设计统一标准》规定，建筑结构必须满足下列各项功能要求：

- (1) 能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用；
- (2) 在正常使用时，具有良好的工作性能；
- (3) 在正常维护下具有足够的耐久性能；
- (4) 在偶然事件发生时及发生后，仍然能保持必需的整体稳定性。

所谓“作用”，实际上就是一种广义荷载，除包括各类通常意义下的荷载外，还包括因温度变化、材料收缩、徐变、地基变形和基础运动等引起的结构变形、内力的各种作用。

所谓“规定的时间”，一般是指设计基准期，即 50 年。

所谓“规定的条件”，一般是指正常设计、正常施工、正常使用的条件，在结构可靠性分析中，至今还未考虑人为灾害的作用。

以上所述的四个功能，实质上就是安全性（第 1、4 条）、适用性（第 2 条）和耐久性（第 3 条）。这就是说，只有结构的安全性、适用性和耐久性都得到了保证，才能称之为可靠的。但应提出，迄今为止的可靠性理论，主要还是研究结构的安全度。

结构可靠性的测度是可靠度。结构可靠度的定义是：结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。

由此可见，结构可靠性理论是结构理论与概率论相结合的学科。用这种新学科理论设计工程结构时，必须综合考虑以下几个主要的随机因素：

(1) 荷载（结构上的作用）。包括荷载大小及其沿空间的分布和随时间变化的随机性。

(2) 荷载效应。所谓效应，就是结构反应，指在荷载作用下的内力、变形等。荷载效应的随机性，包括荷载转化为结构反应的随机性以及内力分析的随机性。

(3) 材料强度。包括强度本身的随机性和试验方法、操作技术、数理统计等的随机性，以及试件强度和构件中材料之间差异的随机性等。

(4) 施工误差。包括在制作、安装过程中产生的结构和截面几何形状、尺寸的随机性，以及其它影响抗力的随机因素。

(5) 抗力分析。主要考虑结构的计算抗力与实际抗力之间差异的随机性。实际抗力与实际荷载有时需用系统识别与参数估计方法来确定。

根据运用概率理论处理结构可靠度问题的广度和深度，可将概率设计方法划分三个水准：

水准 1 分别在荷载效应和结构抗力的基本变量的设计取值上考虑了概率原则，而设计安全系数则主要是根据经验确定的。这种方法称为半概率法。我国 1974 年制订的结构设计规范所采用的单一安全系数法，容许应力法均属于这一水准。

水准 2 将极限状态函数中有关荷载效应和结构抗力的基本变量均视为随机变量，并考虑了两者的联合分布，以此建立与结构失效概率有内在联系的安全指标，作为衡量结构安全度的尺度。这种方法是一种严格的概率方法。但因在分析中忽略或简化了基本变量随时间变化的关系，在处理极限状态方程和非正态随机变量时采用了近似的线性化方法，以及由于统计数据不够充分，从而确定基本变量的分布类型时有相当的近似性等因素，所以这种方法通常称为近似概率法。当前，国内外已经开始在规范中应用的二阶矩法、JC 法，均属于这一水准。

水准 3 对各种基本变量分别采用随机变量或随机过程的概率模型来描述，对整个结构体系进行精确概率分析，使其具有最大的可靠度。这种方法称为全概率法。

0.6.4 模糊结构理论

结构设计所需要的信息，一般都具有不同程度的不确定性，即随机性、模糊性和不完整性。