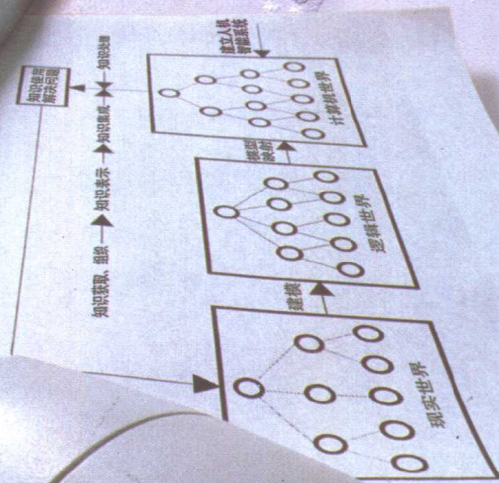


智能设计

周济 查建中 肖人彬 著

INTELLIGENT DESIGN

高等教育出版社



智能 设计

周济 查建中 肖人彬 著

INTELLIGENT
DESIGN

高等教育出版社

智能设计

责任编辑 李吉蓉
装帧设计 刘晓翔
责任绘图 李吉蓉 杜晓丹
版式设计 李吉蓉
责任校对 李吉蓉
责任印制 王昕夫

INTELLIGENT DESIGN

(京) 112 号

图书在版编目 (CIP) 数据

智能设计 / 周济等著. - 北京: 高等教育出版社, 1998

ISBN 7-04-005842-1

I. 智… II. 周… III. 人工智能-应用-设计 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 28415 号

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码: 100009 传真: 64014048 电话: 64054588

高等教育出版社发行

外文印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 字数 520 000

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数 0 001-2 166

定价 40.00 元

凡购买高等教育出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页
等质量问题者, 请与当地图书销售部门联系调换

版权所有 不得翻印
(平装本)

国家自然科学基金
国家 863 高技术计划

资助项目

INTELLIGENT

智能设计是面向 21 世纪的先进设计技术。本书是一本系统阐述智能设计的理论、方法、系统开发和应用实践的学术专著。全书共分十章，内容包括：绪论、知识表示、知识利用、基于神经网络的知识处理技术、智能设计的基本概念和内容、智能设计理论与方法、设计决策、智能设计系统开发工具、智能设计系统的建造与应用实例，以及研究展望。

全书取材新颖，内容丰富，反映了十多年来作者及其学生们在智能设计方面的研究成果和当前国际智能设计研究的热点、前沿及发展方向。叙述上深入浅出，理论方法与应用并重。书中列举了大量工程应用实例，并介绍了作者开发的智能设计工具软件 DEST（本书精装本附有该软件的软盘）。本专著适合作为有关专业研究生、大专院校高年级学生的教学用书，也可作为从事研究、开发工作的学者与工程技术人员的参考书。

DESIGN

前 言

传统的计算机辅助设计(CAD)技术主要是将设计人员从手工绘图中解放出来,并对常规设计给予某些帮助,但不能对设计工程师的智能活动提供有效的支持,因此已不适应现代产品设计与开发的需要。为了提高制造业对今后市场变化和小批量、多品种产品要求的迅速响应能力,设计正在向集成化、智能化、自动化方向发展。要实现这一目标,就必须大大提高设计专家与计算机工具这一人机结合的设计系统中机器的智能水平,使计算机能在更大范围内、更高水平上帮助或代替人类专家处理数据、信息与知识,做出各种设计决策,大幅度提高设计自动化的水平,进而大大提高设计工作的效率和质量,以适应市场对产品开发迅速多变的需要。智能设计就是要研究如何提高人机设计系统中计算机的智能水平,使计算机更多地承担设计中各种复杂任务,成为设计工程师得力的助手和同事。因此可以毫不夸张地说,智能设计是面向21世纪的先进设计技术。

呈现在读者面前的这本著作是十多年来作者及其学生和同事们在智能设计领域研究成果的总结,同时也参考了国内外这一领域研究前沿所发表的学术文献,其内容既反映了智能设计研究的热点、前沿及发展方向,也包括了一些较为成熟的理论和技术。因此本书适合作为研究生、大专院校高年级学生教学用书;同时作为一本总结研究成果的专著,也可供从事设计研究、开发工作的学者及工程技术人员参考使用。

按照我们共同拟定的写作大纲,华中理工大学周济撰写第1章,华中理工大学肖人彬撰写第2章至第4章和第7章至第9章,北方交通大学查建中撰写第5、6两章(查建中在天津大学时指导的博士生郭伟参与了第6章工作),周济、查建中、肖人彬合写第10章,肖人彬撰写所有附录,最后由周济对全书统校定稿。本书撰写前及写作过程中,大部分内容曾在华中理工大学和天津大学研究生的有关课程中讲授多遍,得到教师和学生们的反馈意见,这使我们能不断对书中内容进行改进。本书精装本所附的用于教学的智能设计工具软件,旨在帮助学生们理解智能设计的思想和方法,并使他们通过亲身实践来掌握其中一些技术。

我们在智能设计领域的研究工作得到国家教委、国家自然科学基金委员会和国家863高技术计划的大力支持和资助,在此表示深深感谢。十多年来,我们的许多同事和研究生们与我

们一起在智能设计领域进行了大量研究工作，他们对本书做出了各自的贡献，在本书付梓之际，我们向分布在国内外各个岗位上的他们表示敬意。享有国际声誉的著名机械工程专家、成功大学讲座教授颜鸿森博士慷慨允许我们将他的杰出研究成果在本书中做一介绍，我们对此表示感谢。本书承蒙中国科学院院士、著名机械工程专家杨叔子教授在百忙之中审阅，谨在此表示衷心的感谢。

智能设计是当今非常活跃的前沿研究领域，既富有吸引力，又颇具挑战性。我们三位作者通力协作，完成这样一本有相当难度和深度的专著，其意义绝不仅仅是为了展示我们的研究成果，更重要的是要将智能设计的水平向前推进并真正应用于实际，为我国CAD的发展和在国际上占有一席之地做出我们应有的贡献。这是我们写作本书的真正动机，也是我们在这一领域孜孜不倦、不懈努力的动力源泉。但应该看到，由于智能设计在理论、技术和实践上还未达到成熟的阶段，加之智能设计涉及跨学科的知识领域，我们的研究水平和应用实践都有局限性，因此书中疏漏、不当之处在所难免，衷心希望读者不吝指教。

周 济

查建中 谨识

肖人彬

1997年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程设计概述	1
1.1.1 工程设计的概念	1
1.1.2 设计的重要性	3
1.1.3 设计的本质	4
1.1.4 设计的分类	5
1.2 人工智能的产生与发展	6
1.2.1 人工智能的产生背景	6
1.2.2 人工智能的历史回顾	7
1.2.3 人工智能的研究途径	8
1.3 专家系统的结构、特点及分类	12
1.3.1 专家系统的结构及工作原理	12
1.3.2 专家系统的特点	15
1.3.3 专家系统的分类	18
1.4 设计型专家系统	18
1.4.1 设计型专家系统的特点	18
1.4.2 设计型专家系统的结构	19
1.4.3 智能 CAD	22
1.5 本书的体系结构	23
第 2 章 知识表示	25
2.1 概述	25
2.1.1 知识的定义	25
2.1.2 知识的描述形式	26
2.1.3 知识的表示方法	27
2.2 谓词逻辑	28
2.2.1 原子公式	28
2.2.2 复合谓词公式	29
2.2.3 量化	30
2.2.4 合式公式的递归定义及等价性	30
2.2.5 子句	31

2.2.6	Horn 子句	35
2.2.7	小结	35
2.3	产生式规则	36
2.3.1	产生式规则的三要素	36
2.3.2	产生式规则的知识结构	37
2.3.3	产生式系统的构成	38
2.3.4	产生式规则的特点及适于表示的问题领域	39
2.3.5	产生式规则的不足	39
2.4	语义网络	40
2.4.1	语义网络的概念	40
2.4.2	语义网络的结构	40
2.4.3	语义网络的特点	43
2.5	框架	43
2.5.1	框架理论	43
2.5.2	框架结构	43
2.5.3	框架的计算机实现	45
2.6	面向对象的知识表示方法	47
2.6.1	设计知识类型及表达要求	47
2.6.2	面向对象的方法学	48
2.6.3	OOKR 的基本结构	49
2.6.4	OOKR 的应用领域	51
第 3 章	知识利用	53
3.1	概述	53
3.2	知识推理	55
3.2.1	关于推理机的基本要求	55
3.2.2	推理方法与控制策略	55
3.2.3	推理费用与控制费用的关系	56
3.3	推理方法	57
3.3.1	推理方法分类	57
3.3.2	归纳推理	57
3.4	不精确推理	59
3.4.1	概述	59
3.4.2	不精确推理模型的基本结构	59
3.4.3	确定性理论	61
3.4.4	主观 Bayse 方法	64

3.4.5 证据理论	68
3.4.6 可能性理论	73
3.4.7 四种不精确推理模型的比较	75
3.5 非单调推理	75
3.6 推理策略	77
3.6.1 正向推理	77
3.6.2 正向推理的一种 C 语言实现方案	78
3.6.3 反向推理	80
3.6.4 反向推理的一种 C 语言实现方案	81
3.6.5 混合推理	82
3.7 搜索策略	84
3.7.1 问题的状态空间表示法及归约	84
3.7.2 状态空间的搜索策略	86
3.7.3 搜索的效率	97
第 4 章 基于神经网络的知识处理技术	99
4.1 概述	99
4.2 神经网络基本原理	100
4.2.1 人工神经网络的原型	100
4.2.2 神经元结构模型	101
4.2.3 网络连接形式	103
4.2.4 学习算法	104
4.3 符号系统与神经网络的结合	106
4.3.1 符号系统与神经网络的互补性	106
4.3.2 符号系统与神经网络的结合途径	107
4.3.3 符号系统与神经网络的综合	107
4.3.4 应用实例	112
4.4 机器学习	114
4.4.1 概述	114
4.4.2 机器学习的基本模型	114
4.4.3 机器学习的基本类型	115
4.5 知识获取	116
4.5.1 概述	116
4.5.2 人工知识获取	117
第 5 章 智能设计的基本概念和研究内容	121

5.1 智能工程的产生与发展	121
5.1.1 工业自动化的 4 个阶段	121
5.1.2 智能工程的提出	123
5.1.3 智能工程与人工智能	124
5.1.4 智能工程与专家系统技术	126
5.1.5 智能工程是适于工业决策自动化的技术	126
5.2 智能设计的产生、形成与发展	127
5.2.1 智能设计的初级阶段——设计型专家系统	127
5.2.2 面向 CIM 技术的智能设计——人机智能化设计系统	128
5.2.3 智能设计与智能工程	131
5.3 智能设计研究的主要内容和基本问题	132
5.3.1 建立设计知识模型——建模	133
5.3.2 智能设计软件系统的研究与开发	133
5.4 开发智能设计系统的几种途径	138
第 6 章 智能设计建模理论与方法	140
6.1 通用设计理论及建模框架	141
6.1.1 设计概念	141
6.1.2 设计理论研究、发展的现状	141
6.1.3 通用设计理论	142
6.1.4 介绍一种建模方法——CIM-OSA	143
6.2 设计过程的动态模型及基于模型的规划	146
6.2.1 引言	146
6.2.2 系统动态模型及其规划方法的现状	147
6.2.3 设计过程的动态模型	149
6.2.4 设计过程规划的策略	152
6.2.5 设计结构矩阵的规划方法	154
6.3 设计过程的控制及实现方法	161
6.3.1 引言	161
6.3.2 基于 Petri 网的控制模型	162
6.3.3 递阶控制模型的建立	165
6.3.4 应用研究	171
6.3.5 小结	175
6.4 方案设计模型	175
6.4.1 方案设计的基本思想	176
6.4.2 方案设计的有关概念	177

6.4.3 一种方案设计模型——QUINT	178
6.5 创造性设计模型及实例	180
6.5.1 问题的提出	180
6.5.2 颜氏创造性机构设计的方法学	181
6.5.3 创造性机构设计实例	182
6.6 设计对象模型	188
6.6.1 传统的设计对象模型	188
6.6.2 集成产品定义模型	188
6.7 结束语	190
第 7 章 设计决策	191
7.1 关于设计决策的分析说明	191
7.2 再设计结构	192
7.3 评价方法	194
7.3.1 简单评价法	194
7.3.2 模糊评价法	196
7.3.3 层次分析法	199
7.4 智能设计系统中的评价子系统	202
第 8 章 智能设计系统开发工具 DEST	205
8.1 概述	205
8.2 DEST 的总体结构	206
8.3 DEST 的基本知识表示方法	208
8.3.1 概述	208
8.3.2 设计对象的表达	209
8.3.3 复杂对象的构成	209
8.4 DEST 的面向对象的知识表示语言	212
8.4.1 DEST 的框架表示语言	212
8.4.2 DEST 的方法表示语言	215
8.4.3 DEST 的产生式规则	218
8.4.4 DEST 的数据类型和变量定义	219
8.4.5 DEST 的内部函数定义	220
8.5 DEST 的推理机制	220
8.5.1 框架推理	220
8.5.2 产生式规则推理	223

8.5.3 方法推理	223
8.5.4 元推理机	226
8.6 DEST 中基于实例的设计	227
8.6.1 基于实例的推理与设计	228
8.6.2 DEST 中基于实例设计的基本结构与推理机制	229
8.6.3 实例的表示与组织	232
8.6.4 实例的相似性	233
第 9 章 智能设计系统的建造与应用实例	236
9.1 引言	236
9.2 智能设计系统的建造	237
9.2.1 需求分析	238
9.2.2 知识获取	240
9.2.3 知识模型的建立	241
9.2.4 形成原型系统	242
9.2.5 系统修正与扩展	243
9.2.6 投入实用	243
9.2.7 系统维护	243
9.3 应用实例之一——钻削类组合机床夹具智能设计系统	244
9.3.1 ZZICAD 的主要功能	244
9.3.2 组合机床夹具零部件模块化设计	247
9.3.3 知识库设计	250
9.3.4 ZZICAD 的其他模块	254
9.4 应用实例之二——重型数控机床模块化设计智能支持系统	256
9.4.1 HMMDISS 系统概述	256
9.4.2 HMMDISS 系统设计的基本原则	257
9.4.3 HMMDISS 的总体结构	257
9.4.4 HMMDISS 的实例应用结果	259
9.5 应用实例之三——相控阵雷达系统方案设计决策支持系统	263
9.5.1 PRDSS 的主要功能	263
9.5.2 知识模型与求解模型的建立	264
9.5.3 分析模型的建立	267
9.5.4 一个 PRDSS 的运行实例	268
第 10 章 展望	271
10.1 引言	271

10.2 并行设计	271
10.2.1 并行设计的描述模型	272
10.2.2 并行设计的认知模型	274
10.2.3 并行设计的处方模型	275
10.2.4 集成化智能 CACD 系统的组成与结构	277
10.2.5 结论	278
10.3 分形设计	278
10.3.1 设计对象的分形结构是其复杂性之源	278
10.3.2 设计思维的混沌机制是其创造性之源	280
10.3.3 设计实施的嵌套模式是其有效性之源	281
10.3.4 结论	283
10.4 结束语	284
附录 A 用 C 语言建立一个通用专家系统	286
A.1 专家系统如何工作	286
A.1.1 知识库	286
A.1.2 推理机	286
A.2 通用专家系统的建立	287
A.2.1 编写推理机程序需遵循的原则	287
A.2.2 知识库的结构	288
A.2.3 知识库的填充	289
A.2.4 推理机的实现	290
A.2.5 知识库文件的存取	298
A.3 运行实例	298
附录 B DEST 使用指南	300
B.1 DEST 简介	300
B.1.1 DEST 的结构	300
B.1.2 DEST 的主要功能	301
B.1.3 DEST 的文件名约定	301
B.2 DEST 的安装与运行	302
B.2.1 DEST 的运行环境	302
B.2.2 DEST 的主要文件	302
B.2.3 DEST 的安装与运行	302
B.3 DEST 的集成开发环境	303
B.3.1 DEST 的主界面	303

B.3.2 DEST 的主菜单.....	303
B.3.3 文件管理.....	304
B.3.4 文本编辑.....	306
B.3.5 知识库编译.....	308
B.3.6 推理.....	310
B.3.7 窗口管理.....	314
B.3.8 帮助.....	316
附录 C 附盘文件清单	317
主要参考文献	319

第1章 绪 论

1.1 工程设计概述

1.1.1 工程设计的概念

宇宙浩渺，天体运移；地球回转，日月往复；万物繁衍，生生不息。自然界的客观发展变化，本无所谓设计。但自有人类以来，人类为取得生活之源，不断改造自然界，改造人类社会本身，从而萌发了有目的的活动。人类从事任何有目的活动之前都要有所构思或谋划，正如常言所说：“凡事预则立，不预则废”，这种构思或谋划活动就是广义的设计。原始人构木为巢，结绳记事是原始的设计结果；现代人能够“上九天揽月，下五洋捉鳖”，依靠的是现代设计成就；人类为了改造人类社会本身，创语言、造文字是一种设计，兴宗教、建国家也是一种设计；还有我们说市场经济的建立需要进行机制设计等等。可见，从广泛意义上讲，设计无所不在，无所不需，人类文明的历史就是不断进行设计活动的历史。

产品是设计结果的物质表现。若设计人员所设计的产品，是以一定技术手段来实现社会特定需求的人造系统，则称之为技术系统。工程设计主要是对技术系统而言的，它是广义设计在工程技术领域中的特有表现，是对技术系统进行构思、分析并把设想变为现实的技术实践活动。

一般地讲，技术系统可用图1-1示意表示，它的处理对象是能量、物料及信息，随着时间及其他条件的影响，系统中存在能量、物料及信息的变化，即能量流、物料流和信息流。其中能量包括机械能、电能、光能、核能等形式，在示意图中用实线箭头表示；物料可为材料、毛坯、试件、半成品等形式，在示意图中用双线箭头表示；而信息往往体现为测量值、指示值、控制信号、脉冲显示等形式，在示意图中用虚线箭头表示。

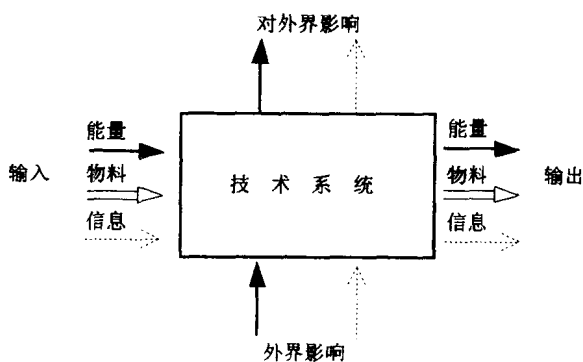


图1-1 技术系统

冲床的技术系统示意图如图1-2所示，通过对系统的输入和输出的主要内容分析可知，冲床这一机械系统是用来使物料分离或产生塑性变形。采用这种分析方法，便于抓住系统的本质，进一步改进或开发新的技术系统。

和其他任何事物一样,技术系统对外表现出来的功能与作用取决于技术系统的性质。为了识别、描述、评价及选择较理想的技术系统,有必要弄清技术系统性质的内涵,进而明了各项性质之间的关系,便于开展设计工作。

技术系统的性质可分为整体性质、基本设计性质和工作性能,如图1-3所示。其中结构、形状、材料、尺寸及工作表面之所以称为技术系统的基本设计性质,首先在于

它们决定了系统的其他性质。例如,系统的强度、刚度等主要取决于元件的材料、尺寸;结构及工作表面影响载荷分布及应力状态等。其次,这五种性质是设计人员可调节的。例如,当空间受到限制时,可以选用较好的材料;需要减小应力集中影响时,可以改变元件的形状等。因此也有人认为设计过程就是基本设计性质的调节过程,以使技术系统具备所期望的性质。

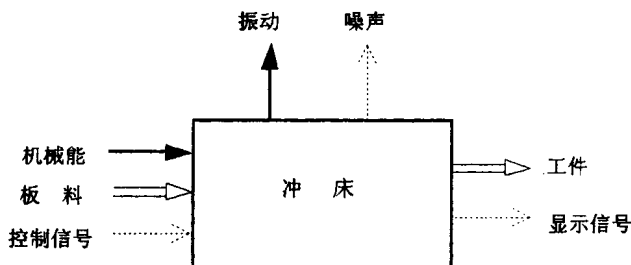


图1-2 冲床的技术系统

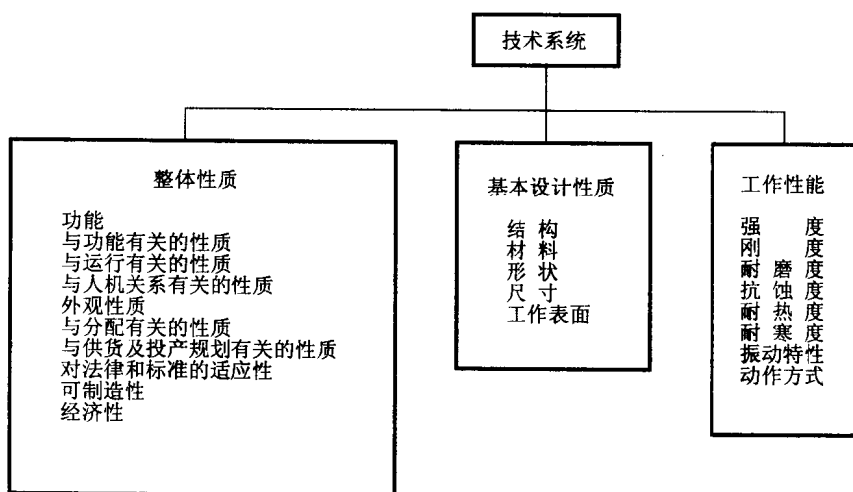


图1-3 技术系统的性质

工程设计是一种技术实践活动,旨在创造人为事物,实践性是其最根本的特征之一。设计从实践中来,是设计之源;回到实践中去,是设计之流。在人类创造人为事物的历史长河中,源流相济,回旋往复。

自古以来有一句俗语,叫做“眉头一皱,计上心来”。这句话既未说明计从何来,也未说明计向何去。我们可将它改为“从实践中来,计上心头;到实践中去,移山填海”,当能较全面地反映设计的实践特征。

本书论及的设计活动是针对技术系统的技术实践活动,因而设计就是指工程设计,换言之,本书后续部分一般将工程设计简称为设计。