



机械科学与工程研究生系列教材

智能设计原理与技术

肖人彬 陶振武 刘 勇 编著



 科学出版社
www.sciencep.com

机械科学与工程研究生系列教材

智能设计原理与技术

肖人彬 陶振武 刘 勇 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统论述了智能设计的基本理论和方法,详细介绍了智能设计系统的开发技术及应用实例。全书主要分为原理篇和技术篇两大部分,第1章是作为本书导引的绪论,第2~5章组成了原理篇。该篇围绕智能设计知识模型建立这一主题,讲述了知识表示和知识利用、基于神经网络和遗传算法的知识处理技术、智能设计模型(包括设计过程的描述模型和动态模型、设计对象模型、创新设计模型)和产品设计的综合评价等内容。技术篇由第6~8章组成,该篇介绍了智能设计系统的建造原理和作者开发的最新版本智能设计工具软件 DEST(本书所附的光盘中配有该工具软件),并给出了若干应用实例,以使读者对运用 DEST 解决工程实际问题有所认识。

本书取材新颖,内容充实,反映了作者近期的工作成果和国内外的研究进展,可作为高等院校工程类(如机械、动力、土木等)、信息类(如计算机、自动化等)各专业和其他相关专业的研究生和高年级本科生教材,也可供从事设计研究、开发工作的学者与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能设计原理与技术/肖人彬,陶振武,刘勇编著. —北京:科学出版社,2006
(机械科学与工程研究生系列教材)

ISBN 7-03-017827-0

I. 智… II. ①肖… ②陶… ③刘… III. 智能仪器-机械设计-研究生-教材 IV. TP232

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 093860 号

责任编辑:段博原 杨 然/责任校对:邹慧卿

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006 年 9 月第一次印刷 印张: 24 3/4

印数: 1—3 000 字数: 481 000

定价: 48.00 元 (含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

智能设计作为先进设计技术的核心,乃是实现产品创新的重要支撑手段。在人类全面迈向知识经济时代的 21 世纪,设计正在向集成化、智能化、自动化方向发展,为此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。智能设计围绕计算机化的人类设计智能,旨在探讨如何提高人机设计系统中计算机的智能水平,使计算机更好地承担设计中的各种复杂任务,成为设计专家的得力助手和同事,其研究价值和重要意义都是不言而喻的。

本书系统论述了智能设计的基本理论和方法,详细介绍了智能设计系统的开发技术及应用实例。书中内容既反映了智能设计领域的研究热点和发展前沿,也包括了一些较为成熟的理论和技术;同时,本书所附的光盘中配有作者开发的最新版本的智能设计工具软件 DEST,旨在帮助读者理解智能设计的原理和方法,并使他们通过亲身实践来掌握有关技术。因此,本书先进性和实用性并重,适合作为高等院校研究生和高年级本科生教材,也可供从事设计研究、开发工作的学者与工程技术人员参考使用。

本书工作得到了中国工程院院士周济教授的指导和北京交通大学查建中教授的帮助,在书稿付梓之际,特向他们表示衷心的感谢。周济院士、查建中教授与本人共同完成的学术专著《智能设计》于 1998 年由高等教育出版社出版,并在次年获得“全国优秀科技图书奖”暨“科技进步奖(科技著作)”。需要说明的是,《智能设计》以专著形式完成,将其作为研究生教材显得内容偏多,难度较大,通读全书困难不少。本书以该专著为蓝本,在近年来研究生和高年级本科生教学实践的基础上,按照研究生教材的体例和要求,进行了全面的修改、充实和完善,采用了新的篇章结构,重新撰写了大部分章节,开发了新版的智能设计工具软件,其内容更适于作为研究生和高年级本科生教材使用。

本书的内容也反映了本人及所指导的多位博士生近期在设计理论与方法领域的研究成果,这些成果是在国家自然科学基金项目(编号:59505009,50075028,50575083)的连续资助下取得的。上述基金项目的支持为我们创造了宽松的学术氛围和科研环境,谨在此向国家自然科学基金委员会表示深深感谢并致以敬意。

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。本书的出版力图将智能设计的水平向前推进并真正应用于实际,为我国 CAD 的发展做出应有的贡献。但应该看到,由于智能设计在理论、技术和实践上还远未

达到成熟的阶段，加之智能设计涉及跨学科的知识领域，本书的研究水平和应用实践存在某些局限性，因此书中疏漏、不当之处在所难免，衷心希望读者不吝指教。

肖人彬
于华中科技大学
2006. 7. 11

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 创新设计概述	1
1.1.1 设计及其本质	1
1.1.2 创新设计	4
1.1.3 创新设计与设计思维	4
1.2 智能设计的基本概念	6
1.2.1 智能设计的产生	6
1.2.2 智能设计的概念内涵	9
1.2.3 人机智能化设计系统	11
1.3 智能设计的研究内容	14
1.4 人工智能概观	16
1.4.1 人工智能的产生背景	16
1.4.2 人工智能的发展	17
1.4.3 关于智能水平的分析说明	21
1.5 设计型专家系统	23
1.5.1 专家系统的概念及特点	23
1.5.2 专家系统的结构及分类	26
1.5.3 设计型专家系统的特点	28
1.5.4 一个设计型专家系统的示例	29
1.6 本书的篇章结构	33
参考文献	35
第 2 章 知识表示和知识利用	36
2.1 知识的定义	36
2.2 知识表示概述	37
2.2.1 知识的描述形式	37
2.2.2 知识表示方法概述	39
2.3 知识表示方法	40
2.3.1 谓词逻辑	40
2.3.2 产生式规则	48
2.3.3 语义网络和框架	51
2.3.4 面向对象的知识表示方法	56

2.4 知识利用概述	61
2.4.1 关于知识利用的一般性说明	61
2.4.2 关于推理机的基本要求	63
2.4.3 推理方法与控制策略概述	63
2.4.4 推理费用与控制费用的关系	64
2.5 推理方法	65
2.5.1 推理方法分类	65
2.5.2 归纳推理	66
2.5.3 不精确推理	68
2.5.4 非单调推理	78
2.6 控制策略	80
2.6.1 推理策略	80
2.6.2 搜索策略	84
参考文献	92
第3章 基于神经网络和遗传算法的知识处理技术	93
3.1 引言	93
3.2 神经网络基本原理	94
3.2.1 人工神经网络的原型	94
3.2.2 神经元结构模型	97
3.2.3 网络连接形式	98
3.2.4 学习算法	100
3.3 符号系统与神经网络的结合	101
3.3.1 符号系统与神经网络的互补性	101
3.3.2 符号系统与神经网络的结合途径	103
3.3.3 符号系统与神经网络的综合	103
3.3.4 应用实例	109
3.4 遗传算法基本原理	111
3.4.1 遗传算法的运行机理	111
3.4.2 遗传算法的求解步骤	114
3.5 基于遗传算法的知识获取与产品方案设计	120
3.5.1 基于遗传算法的知识获取	120
3.5.2 基于遗传算法的产品方案设计	125
参考文献	130
第4章 智能设计模型	131
4.1 引言	131
4.2 设计过程的描述模型	132

4.2.1	设计概念的进一步说明	132
4.2.2	设计模型概述	133
4.2.3	通用设计理论	134
4.2.4	方案设计模型	136
4.3	设计过程的动态模型	141
4.3.1	设计活动联系的基本形式	141
4.3.2	设计活动联系的矩阵表示	141
4.3.3	设计过程动态模型的建立	143
4.3.4	设计过程规划的策略	144
4.3.5	设计结构矩阵分解的代数方法	146
4.3.6	基于遗传算法的设计结构矩阵规划工具软件	151
4.4	设计对象模型	151
4.4.1	传统的设计对象模型	152
4.4.2	集成产品定义模型	152
4.4.3	集成产品定义模型的实现方法	158
4.5	创新设计模型与实例	161
4.5.1	计算机辅助创新设计的通用过程模型	162
4.5.2	颜氏机构创新设计模型与实例	170
	参考文献	176
第5章	产品设计的综合评价	178
5.1	产品设计综合评价概述	178
5.1.1	关于设计决策的分析说明	178
5.1.2	产品设计综合评价的概念	179
5.1.3	产品设计综合评价的特点	180
5.2	产品设计综合评价模型与方法	181
5.2.1	产品设计综合评价模型	181
5.2.2	综合评价方法概述	182
5.2.3	产品设计综合评价的有关问题	184
5.3	模糊综合评价	188
5.3.1	模糊综合评价模型	188
5.3.2	模糊综合评价的基本步骤及示例	190
5.3.3	模糊综合评价模型的进一步讨论	191
5.4	层次分析法	195
5.4.1	层次分析法的基本思想和步骤	195
5.4.2	关于层次分析法有关问题的说明	200
5.4.3	层次分析法应用举例	202

5.5 基于灰色关联分析的设计方案评价方法	203
5.5.1 灰色关联分析概述	203
5.5.2 方法原理	203
5.5.3 讨论	205
5.5.4 应用实例	206
参考文献	208
第6章 智能设计系统的建造原理	209
6.1 智能设计系统建造概述	209
6.1.1 智能设计系统建造的目的和要求	209
6.1.2 智能设计系统建造的途径	210
6.1.3 智能设计系统建造的工具	211
6.1.4 智能设计系统的建造流程	214
6.2 智能设计系统建造的知识基础	215
6.2.1 软件工程	215
6.2.2 知识工程	221
6.3 需求分析	224
6.3.1 设计任务的确定	224
6.3.2 可行性论证	225
6.3.3 智能设计系统开发工具的确定	225
6.3.4 需求陈述和需求模型建立	226
6.4 知识建模	228
6.4.1 知识建模概述	228
6.4.2 领域知识的获取与规范化	229
6.4.3 设计任务规划与推理策略的设计	235
6.4.4 面向对象的知识建模	238
6.4.5 知识求精	243
6.5 原型系统设计	244
6.5.1 体系结构设计	244
6.5.2 形成原型系统	247
6.6 原型系统实现	248
6.6.1 系统模块的实现与集成	248
6.6.2 系统测试	249
6.7 系统使用和维护	249
6.7.1 投入使用	249
6.7.2 系统维护	250
参考文献	250

第7章 智能设计系统开发工具	251
7.1 概述	251
7.2 DEST3.0 的总体结构	252
7.3 DEST3.0 的基本知识表示方法	255
7.3.1 知识表示方法概述	255
7.3.2 设计对象的表达	257
7.3.3 复杂对象的构成	257
7.4 DEST3.0 的知识表示的 XML 实现	260
7.4.1 XML 概述	261
7.4.2 基于 XML 的知识集成表示	262
7.5 DEST3.0 的知识获取	273
7.5.1 可视化知识获取	274
7.5.2 基于样本学习的知识自动获取	275
7.6 DEST3.0 的知识利用	276
7.6.1 基于文档对象模型解析的知识利用	276
7.6.2 元推理机	279
7.6.3 对象推理	280
7.6.4 规则推理	280
7.6.5 方法推理	283
7.7 DEST3.0 的交互与协调机制	285
参考文献	287
第8章 应用实例	288
8.1 引言	288
8.2 齿轮减速器智能设计系统 RGIDS	288
8.2.1 RGIDS 简介	288
8.2.2 RGIDS 的主要功能与总体结构	289
8.2.3 RGIDS 的设计任务分解	291
8.2.4 RGIDS 的知识库设计	292
8.2.5 RGIDS 的运行实例	302
8.3 重型数控机床模块化设计智能支持系统	309
8.3.1 HMMDISS 系统概述	309
8.3.2 HMMDISS 的总体结构	310
8.3.3 HMMDISS 的运行实例	311
8.4 相控阵雷达系统方案设计决策支持系统	314
8.4.1 PRDSS 系统概述	314
8.4.2 PRDSS 的主要功能	314

8.4.3 PRDSS 的运行实例	316
参考文献	319
附录 A XML 技术简介	320
A.1 XML 的基本概念	320
A.1.1 XML 的起源和目的	320
A.1.2 XML 的特点	321
A.1.3 XML 在人工智能中的应用	321
A.2 XML 的语法	322
A.2.1 字符与命名	322
A.2.2 XML 文档的结构	323
A.2.3 元素	327
A.2.4 注释	328
A.2.5 CDATA 部分	328
A.3 文档类型定义 DTD	329
A.3.1 为何需要 DTD	329
A.3.2 编写 DTD 的通用原则	329
A.3.3 元素	331
A.3.4 属性	333
A.4 文档对象模型 DOM	335
A.4.1 文档对象模型的概念	335
A.4.2 文档对象模型编程接口	336
A.4.3 标准的文档对象模型接口	337
A.4.4 DOM 和 XML 的编程实例	337
附录 B DEST3.0 使用指南	341
B.1 DEST3.0 简介	341
B.1.1 DEST3.0 的结构	341
B.1.2 DEST3.0 的主要功能	342
B.1.3 DEST3.0 的文件名约定	342
B.2 DEST3.0 的安装与运行	343
B.2.1 DEST3.0 的运行环境	343
B.2.2 DEST3.0 的安装与运行	343
B.3 DEST3.0 的集成开发环境	343
B.3.1 DEST3.0 的主界面	343
B.3.2 DEST3.0 的主菜单	343
B.3.3 文件管理	345
B.3.4 文本编辑	349

B. 3. 5	工程管理	351
B. 3. 6	格式	352
B. 3. 7	视图	353
B. 3. 8	插入	354
B. 3. 9	知识获取	354
B. 3. 10	推理	354
B. 3. 11	工具	357
B. 3. 12	窗口管理	358
B. 4	DEST3.0 的运行实例	361
B. 4. 1	汽车总体方案智能设计系统运行实例	361
B. 4. 2	机械运动方案综合评价系统运行实例	373

第 1 章 绪 论

本章作为全书的导引, 将从创新设计的概述入手, 围绕智能设计的产生背景、概念内涵、研究范畴等方面进行总体阐释和论述说明。其主要内容包括: 分析了创新设计与设计思维的内在关系; 把智能设计界定为计算机化的人类设计智能, 并将其划分为设计型专家系统和人机智能化设计系统两个阶段; 对人机智能化设计系统进行了深入说明, 指出它是智能设计发展的高级阶段; 以智能水平的高低为线索, 对人工智能半个世纪以来的发展状况作了一个整体上的概括性描述; 介绍了专家系统, 特别是设计型专家系统的基本知识; 最后给出了全书的篇章结构。

1.1 创新设计概述

1.1.1 设计及其本质

人类的设计活动有着悠久的历史。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。从广泛意义上讲, 设计乃是指人类从事任何有目的活动之前都要进行的构思或谋划。因此, 它无所不在, 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。如果设计人员所设计的产品, 是以一定的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。一般来说, 技术系统可用图 1.1 的形式示意描述, 它的处理对象是能量、物料和信息, 随着时间及其他条件的影响, 系统中存在能量、物料和信息的变化, 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, 在图 1.1 中用实线箭头表示; 物料可为材料、毛坯、试件、半成品等形式, 在图 1.1 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, 在图 1.1 中用虚线箭头表示。采用这种描述方式, 便于抓住技术系统的本质, 进一步改进或开发新的技术系统。

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, 旨在创造人为事物。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。本书论及的设计活动是针

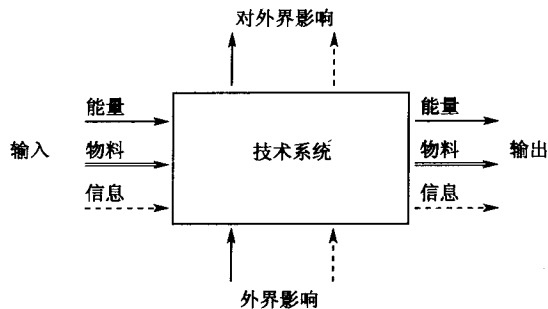


图 1.1 技术系统

对技术系统的技术实践活动，因而本书后续部分一般将工程设计简称为设计。

设计的目的是保证系统功能的实现，建立性能优良、成本低廉、价值最佳的技术系统。它在产品的整个生命周期中占据着极其关键的位置，从根本上决定着产品的内在和外在品质、质量及成本，其重要性是不言而喻的。图 1.2 用一条曲线形象地显示出设计的作用：产品成本的 70% 是由设计阶段决定的；而在运用计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）技术的工程阶段，只决定着 20% 的产品成本；在加工过程控制阶段，则只影响成本的 10%。由此可见，设计是决定产品命运的最重要环节。例如，电风扇送风的摇头机构，零件多，结构复杂，多年来在加工、维护等方面存在不少问题。后来出现的“鸿运扇”在设计方案上采取了新的措施，取消了原有的摇头机构，代之以风扇前端百叶窗式的转盘，随转盘回转的不同位置将风送至不同的方位。这种新颖的设计结构简单、合理、安全、外形美观，对提高风扇的使用性能、降低其生产成本起了很好的作用。相反，设计中的失误会造成严重的损失，哪怕是设计中某些考虑不周的地方也可能产生明显的负面效应。需要说明的是，设计结果除了决定着产品的技术指标外，也决定着未来生产的经济效益和社会效益。设计越符合客观实际，综合效益越好。

设计是一种创造性活动，设计的本质是创造和革新。例如，防松木螺钉虽小，却集中了木螺钉和螺丝钉的优点，既能方便地钉入又能自锁防松，它的开发过程具有创新成分，可视之为设计。从这个意义上讲，创新是设计的灵魂。进行设计工作，自然离不开计算、绘图，也需要各种设计手册的帮助，但更重要的是要突出创新的原则，通过直觉、借鉴、推理、组合等途径，探求创新的原理方案和产品结构，做到有所发明、有所前进，把创造性贯穿于设计过程的始终。

上述设计的本质是由约束性、多解性、相对性等设计的基本特征所决定的。

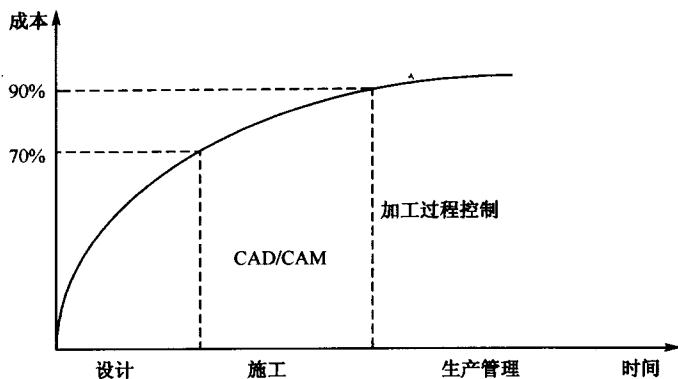


图 1.2 产品成本在开发各阶段承担的份额

1. 约束性

设计是在多种因素的限制和约束下进行，其中包括科学、技术、经济等发展状况和水平的限制，也包括生产厂家提出的特定要求和条件，同时还涉及环境、法律、社会心理、地域文化等因素。这些限制和要求构成了一组边界条件，形成了设计人员进行构思或谋划的“设计空间”。设计人员要想高水平地完成设计工作，就要善于协调各种关系，灵活处置、合理取舍、精心构思，而这只有充分发挥自己的创造性才能做到。

2. 多解性

解决同一技术问题的办法是多种多样的，满足一定目的的设计方案通常也并不是唯一的。任何设计对象本身都是包括多种要素构成的功能系统，其参数的选取、尺寸的确定、结构形式的设想等都具有很强的可选择性。因此，设计思维的活动空间是广阔的，它为设计人员创造性的发挥提供了天地。

3. 相对性

设计要求的多目标特性使得设计人员经常处于一种矛盾的状态之中。例如，既要降低成本，又要增加安全性、可靠性；既要能满足近期需要，又要照顾到长远发展；既要功能全，又要体积小，如此等等。这种相互矛盾的要求给设计工作增加了难度，加上事先难以预料的一些不确定因素的影响，使得设计人员在设计方案选择和判定时，只能做到在一定条件下的相对满意。设计的这种相对性特征一方面要求设计人员必须学会辩证思考；另一方面也给设计人员提供了显示和发挥自己创造才能的机会。

如前所述,设计旨在创造人为事物,但这种创造并非随心所欲,它要受到客观条件的制约,因此设计具有主观和客观双重属性。多解性和相对性就是设计的主观属性的体现,约束性则反映了设计的客观属性。

1.1.2 创新设计

按照不同的划分标准,设计有不同的分类。例如,按照设计活动的时间进程,设计通常分为方案设计(概念设计)、技术设计(详细设计)和施工设计三个阶段。基于对设计本质的认识,根据设计活动中创造性的大小,又可将其分为如下三类:常规设计(routine design)、革新设计(innovative design)和创新设计(creative design)。显然,革新设计是作为常规设计与创新设计的中介形式来界定的。所谓常规设计是指以成熟技术为基础,运用常规方法实施进行的产品设计,它在工业生产中大量存在,并且是一种经常性的工作。

为了满足市场需求,提高产品的竞争能力,就需要改进老产品,研制新品种,降低生产材料、能源的消耗,改进生产加工工艺等。在这种情况下,往往要在设计中采用新的技术手段、技术原理和非常规的方法,即需要进行创造性设计或者称为非常规设计(non-routine design),而这里所说的创造性设计或非常规设计乃是创新设计和革新设计的统称。创新设计旨在提供具有社会价值的、新颖而独特的设计,它是设计探索中最富有挑战性的领域,通常没有现成的设计规划,有时甚至没有类似的已有设计作为借鉴,完全凭设计者去“无中生有”。革新设计是指为增加原有产品的功能、适用范围,提高它的性能或改进其结构、尺寸或外形的变型设计,因此又可称为是改进设计,这项任务实际上也包含了部分创造性内容;但与“无中生有”相比来说,它属于“举一反三”。

尽管创新设计本身也存在着创新多少和水平高低之分,不过从其基本内涵来看,创新设计的核心和关键仍在于其新颖性,主要表现是:在原理上要新、在结构上要新、在组合方式上要新。构思一种新的工作原理无疑是属于创新设计,例如,激光技术的应用,产生了激光加工机床。创造一种具有新型结构的零部件往往会产生新的产品,因此也可将其视为是一种创新设计,例如,有人采用多自由度的差动滑轮组和复式滑轮机构创造发明了“异步抓斗”。此外,采用新的组合方式也可算是创新设计,例如,美国阿波罗飞船是在没有重新设计和制造一个零部件的情况下,通过现有的元器件及零部件组合而成,取得了满意的结果,这就是组合的创新。由此可见,创新设计的含义广泛,并不是高不可攀的。

1.1.3 创新设计与设计思维

设计行为是思维活动的反映,因而与人的思维密切相关。著名学者钱学森将人的思维划分为逻辑思维、形象思维和灵感思维三种形式,并且指出实际上人的每个思维活动过程都不会是单纯的一种思维在起作用。三种思维形式的特点可归

纳为表 1.1。由表 1.1 可知，三种思维形式在创造性方面有不同的表现：灵感思维最强，形象思维次之，逻辑思维最次。

表 1.1 思维的基本特点

思维形式	载体特点	特征
逻辑思维	一些抽象的概念、理论和数字等	抽象性、逻辑性、规律性、 严密性，思维过程呈一维性
形象思维	形象，如语言、图形、符号等	形象性、概括性、创造性、 运动性，思维过程呈二维性
灵感思维	既可是抽象的概念等，又可是形象	突发性、偶然性、独创性、 模糊性，思维过程呈三维性

常规设计主要是通过逻辑思维实现的。创新设计通常是指采用发散而不是聚合的思维过程的设计，这就使得形象思维乃至灵感思维在创新设计中起着更为重要的作用，不过目前人们对灵感思维还知之甚少。有人认为，灵感思维实质上是形象思维扩大到潜意识的结果，这时人脑中有一部分在对信息进行加工，但是人并没有意识到；也有人认为，灵感思维正是所谓的顿悟。虽然灵感思维在创造性思维中起到了重要作用，但目前对它的认识 and 了解还很不清楚，因此，创新设计中的形象思维的模拟就显得至关重要。

Alexander 从模式语言的角度对设计的思维规律进行了阐释，他认为“所有设计问题的出发点都是在两个整体中求得适配，这两个整体就是上下文和形式”，“形式是设计问题的解，而上下文则规定了问题”。他的这种阐释可用图 1.3 来描述，其中 C 代表上下文，F 代表形式。由 C1 到 C2 表示客观世界的上下文经过人脑的认识变成主观世界的上下文，对应于外部表象经过初级处理变为感觉表象；由 F2 到 F1 表示人脑中的主观图像经过综合加工变成了客观形式，对应于人脑思维后的感觉表象经过初级处理变为外部表象。C2 与 F2 之间的关系表示主观世界的上下文与主观世界的形式的相互转化，它实际上是一个思维过程。而人的行为是思维活动的反映，因此，设计行为本身也是在一个过程中完成的。从外在行为看，复杂产品设计是一个循环反复的过程，其控制策略为“设计—分析—评价—再设计”，这表明它具有迭代性；或者说，迭代性是复杂产品设计的显著特征，同时也是其复杂性的表现形式。由表及里分析，我们可以得知：外在的设计行为乃是由内在的设计思维活动驱动的。就内在机制而言，复杂产品设计过程也是一个思维迭代过程，从而具有非线性动力系统的特性。

混沌理论的研究结果表明一个非线性动力系统依控制参数的不同，存在三种状态，即稳定状态、周期状态和混沌状态。出现混沌现象的最简单的动力系统就是一维非线性迭代映射方程，其一般形式为

$$x_{n+1} = f(x_n, \lambda) \tag{1.1}$$