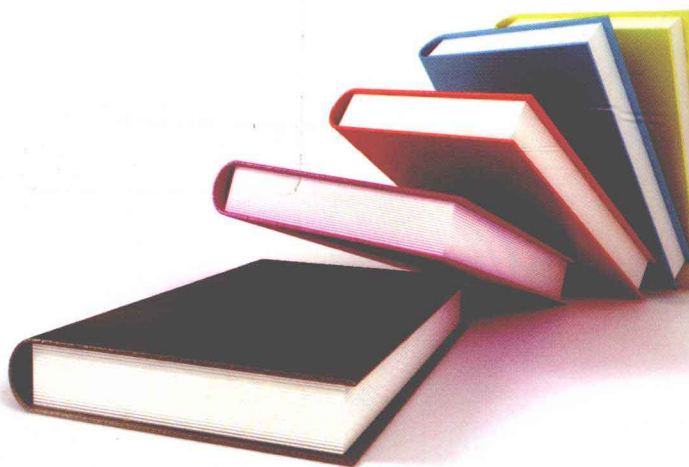




基于**计算智能**的 产品概念设计及应用

薄瑞峰◎著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

基于计算智能的 产品概念设计及应用

薄瑞峰 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以神经网络、模糊理论和进化算法等计算智能技术作为支撑技术，与物理规划、数据包络分析、层次分析法、多目标优化和决策等相关技术交叉融合，作为问题求解工具，从机械产品概念设计一般过程出发，对机械产品概念设计最优方案的求解问题进行了广泛深入的研究。针对方案求解中易出现的组合爆炸现象，研究了多方案生成中的组合优化设计问题，针对设计信息难以确定的特点，重点研究几种不同应用条件下指标和权重信息具有不完全性、未确定性和模糊性的最优方案评价问题，在此基础上，将方案生成和评价方法进行集成，研究了方案求解整个过程在不确定条件下的智能化和算法化问题。书中对所涉及到的方案生成和评价每个研究问题，均提出了相应的求解模型和方法，并给出了工程应用实例。

本书可供机械设计工程技术人员及研究人员学习和参考使用，也可作为机械专业高年级本科生和研究生的教材使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

基于计算智能的产品概念设计及应用/薄瑞峰著. —北京：电子工业出版社，2011.5

ISBN 978-7-121-13404-3

I. ①基… II. ①薄… III. ①人工神经网络—计算—应用—机械设计 IV. ①TH12-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 074896 号

责任编辑：朱清江 特约编辑：史 涛

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：720×1 000 1/16 印张：11 字数：220 千字

印 次：2011 年 5 月第 1 次印刷

定 价：36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

产品概念设计是产品设计过程的起点，也是产品创新的关键阶段。据统计，产品概念设计阶段实际投入费用只占产品开发总成本的 5%，但决定了产品总成本的 70%~80%，因而，其设计质量是决定产品最终质量、市场竞争力及企业获利的最重要的因素，概念设计已成为当前设计领域的研究热点之一。

从概念设计的过程来看，机械产品概念设计主要包括设计方案生成和设计方案评价两个阶段。与后续的详细设计相比，概念设计是一个高度智能化的设计环节，需要大量的专家知识和人脑智能支持。同时，由于处于设计的初始阶段，在设计信息上存在着很大的不确定性、不精确性和不完备性，因此，概念设计过程本身是一个高度智能化的、不确定的、发散的设计过程。基于这一特点，概念设计过程的智能化一直是制约其发展的瓶颈。

计算智能技术是由神经网络、模糊理论和进化算法等方法相互融合形成的一种研究智能问题的新兴技术，为解决高度智能化、非线性的概念设计方案生成与评价等关键问题奠定了理论基础。本书以神经网络、模糊理论和进化算法等计算智能技术作为支撑技术，并与其他相关技术交叉融合，作为问题求解工具，对机械产品概念设计方案生成与评价问题进行了广泛而深入的研究，对所涉及的方案生成和评价每个研究问题，均提出了相应的求解模型和方法，并给出了工程应用实例。

本书在撰写过程中，力求贯彻系统性、科学性和探索性。全书共分 6 章。第 1 章绪论；第 2 章主要对计算智能技术、计算智能在概念设计中的应用及当前研究中的问题和不足进行阐述；第 3 章借助进化算法，研究概念设计方案生成及组合优化问题，提出了方案生成和优化的遗传算法模型和蚁群系统模型；第 4 章借助模糊理论与物理规划、数据包络分析、层次分析法及多目标优化等其他相关技术，研究几种不同应用条件下的方案评价问题；第 5 章借助神经网络技术，研究机械运动方案设计中的机构选型评价问题；第 6 章借助混合计算智能技术，研究方案生成与评价整个过程的智能化和算法化问题。

本书汇集了近年来机械产品概念设计发展的前沿知识，同时也是作者主持的“基于混合软计算的复杂机械系统方案求解理论与方法研究”山西省青年科技研究基金(2007021028)研究成果的汇总。本书的目的在于形成一套较为完整和科学的基于计算智能的方案生成和评价方法体系，为机械系统的概念设计提供理论基础和方法工具。

本书可供机械设计工程技术人员及研究人员学习和参考，也可供机械专业高年级本科生和研究生作为教材使用。

由于作者水平所限，难免存在错漏和不足之处，恳请广大读者、专家、学者不吝指正。

薄瑞峰

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 现代机械设计概述.....	1
1.1.1 现代机械设计的概念.....	1
1.1.2 现代机械设计的特点、类型和流程.....	2
1.1.3 现代机械设计方法.....	4
1.2 机械产品概念设计概述.....	5
1.2.1 产品概念设计的内涵.....	6
1.2.2 产品概念设计的基本特征.....	7
1.2.3 概念设计的层次和地位.....	8
1.2.4 产品概念设计的关键问题.....	9
1.3 国内外产品概念设计方案求解研究现状.....	10
1.3.1 方案生成方法研究现状.....	10
1.3.2 方案评价方法研究现状.....	14
本章小结.....	19
第 2 章 产品概念设计与计算智能技术	20
2.1 产品概念设计的一般过程.....	20
2.2 产品概念设计的基本内容.....	21
2.2.1 概念设计方案生成的基本内容.....	21
2.2.2 概念设计方案评价的基本内容.....	23
2.3 概念设计的体系结构和支撑技术.....	25
2.4 计算智能的起源和内涵.....	27
2.4.1 计算智能的提出.....	27
2.4.2 计算智能的内涵.....	28
2.5 计算智能的内容和方法.....	28
2.5.1 模糊理论.....	29
2.5.2 人工神经网络.....	29
2.5.3 进化算法.....	31
2.6 计算智能在概念设计中的应用.....	32

2.6.1	计算智能技术与概念设计结合的原因	32
2.6.2	基于计算智能的概念设计研究进展	32
2.6.3	当前概念设计研究中存在的问题和不足	33
	本章小结	34
第 3 章	基于生物进化算法的方案生成方法及应用	35
3.1	预备知识	36
3.1.1	遗传算法的基本原理和方法实现	36
3.1.2	蚁群算法的基本原理和方法实现	38
3.2	方案求解问题的本质	40
3.2.1	方案求解问题的数学描述	40
3.2.2	基于优化的方案求解过程模型	41
3.3	基于生物遗传算法的方案生成模型	42
3.3.1	功能载体知识库的建立	42
3.3.2	遗传算法的求解策略和流程	43
3.3.3	遗传算法的关键问题	44
3.3.4	标准遗传算法的改进	48
3.3.5	应用实例	50
	本节小结	51
3.4	基于生物蚁群算法的方案生成模型	52
3.4.1	方案求解问题的蚁群算法模式	52
3.4.2	基于组合最优的方案求解模型	53
3.4.3	基于整体最优的方案求解模型	55
3.4.4	蚁群算法的实施和改进	56
3.4.5	应用实例	59
	本节小结	65
第 4 章	基于模糊集合理论的方案评价方法及应用	66
4.1	模糊集合的基本理论	66
4.2	基于模糊物理规划的方案评价模型	70
4.2.1	物理规划	71
4.2.2	模糊物理规划的方案决策模型	75
4.2.3	模糊物理规划的交互式决策	77
4.2.4	应用实例	81
	本节小结	84

4.3	基于模糊数据包络分析的方案评价模型	84
4.3.1	数据包络分析	85
4.3.2	确定型 DEA 评价的原理和方法	86
4.3.3	模糊 DEA 评价的模型与方法	87
4.3.4	应用实例	89
	本节小结	91
4.4	基于 FAHP 的多人多准则方案评价模型	91
4.4.1	基于三标度法的模糊层次分析法	92
4.4.2	基于模糊数加权距离最小的群体权重的集成	94
4.4.3	模糊数效用值排序规则	95
4.4.4	群体多准则 FAHP 评价模型	97
4.4.5	应用实例	100
	本节小结	103
4.5	基于多目标 Pareto 最优的方案决策模型	104
4.5.1	预备知识	104
4.5.2	基于最小 sPareto 边界的方案决策模型	107
4.5.3	考虑不确定性因素的方案选择	111
4.5.4	应用实例	113
	本节小结	118
第 5 章	基于神经网络的方案评价方法和应用	119
5.1	机构方案选型问题	120
5.2	基于 BP 和 LVQ 神经网络的机构选型决策模型	121
5.2.1	神经网络模型的决策原理	121
5.2.2	特征因素值的模糊量化	122
5.2.3	BP 神经网络决策模型的建立	123
5.2.4	LVQ 神经网络决策模型的建立	128
5.2.5	两种神经网络模型的训练和仿真	130
5.2.6	应用实例	131
	本节小结	132
5.3	基于 ART 神经网络的机构选型决策模型	132
5.3.1	机构的编码	132
5.3.2	自适应共振理论	137
5.3.3	基于 ART1 网络的机构动态分类和决策	139
5.3.4	应用实例	141

本节小结.....	143
第 6 章 基于混合计算智能的方案求解模型及应用	144
6.1 混合计算智能技术.....	144
6.2 基于混合计算智能的概念设计过程模型.....	145
6.2.1 基于混合计算智能的方案求解策略.....	145
6.2.2 基于混合计算智能的概念设计过程模型.....	146
6.2.3 基于混合计算智能的求解模型.....	147
6.3 基于遗传算法的满意方案的生成.....	149
6.4 基于多级模糊神经网络最优方案的评价.....	149
6.4.1 评价指标体系.....	150
6.4.2 模糊神经网络评价流程及原理.....	151
6.4.3 模糊神经网络评价模型的结构.....	152
6.4.4 模糊神经网络的遗传学习.....	154
6.4.5 多级神经网络评价模型的建立.....	155
6.5 应用实例.....	156
6.5.1 应用实例 1.....	156
6.5.2 应用实例 2.....	161
本章小结.....	163
参考文献.....	164

第1章 绪论

进入 21 世纪, 全球经济一体化的趋势使得世界市场的产品竞争日益激烈, 对产品的性能、质量、品种、规格等不断提出新的要求。产品设计是产品开发过程中最重要的环节之一, 是制造业的灵魂, 对一个产品来说, 产品开发的成败主要决定于产品设计, 因为产品结构、性能、质量、成本、交货时间、可制造性、可维护性及人、机、环境关系等, 原则上都是在产品设计阶段确定的。因此, 世界各国普遍重视提高产品设计水平。产品设计的本质是创新, 重视创新设计是增加机械产品竞争力的根本途径, 而产品创新最主要是体现在产品概念设计方案的创新上。据统计, 产品全生命周期成本的 90% 左右在产品设计段已经被决定, 其中 70%~80% 在概念设计阶段被决定。概念设计是产品设计过程中最活跃、最富有创造性的设计阶段, 概念设计的核心是创新设计。在概念设计过程中, 方案选择的自由度大, 产品创新的空间大, 因此, 重视概念设计也就是为产品走向市场奠定良好的基础。概念设计作为产品设计过程中的关键阶段, 它在产品全生命周期开发过程中的重要地位和作用越来越受到人们的普遍重视, 并成为当前设计领域的研究热点之一。

1.1 现代机械设计概述

1.1.1 现代机械设计的概念

设计的英语为“Design”, 来源于拉丁语的 De-Signare, 是“作-记号”的意思, 因此, 设计的最初含义是将符号、记号、图形等记下来的意思。随着社会的发展和技术的进步, 设计的含义越来越广泛。关于设计, 目前还没有一个统一的定义, 一般可以认为, 设计是根据市场需求, 对技术系统、零部件、工艺方法等进行计划和决策的过程。在多数情况下, 这个过程要反复进行。计划和决策要以基础科学、数学、工程科学等为基础, 其目标是要对各种资源实现最佳的利用, 使之最好地转变为人类需求的系统或器件。

现代机械设计是从市场的需求出发, 根据使用要求, 运用现代科技的最新技术、成果、方法和手段, 通过构思、分析、计算和决策, 确定机械产品的功能、原理方案、技术参数和结构等, 并将其转化为具体的描述, 以作为制造依据的这样一种技术实践活动过程。现代机械设计充分利用了当今迅速发展起来的计算机技术、计算技术、应用数学和力学、电子学、测试和分析技术, 使设计技术有可能从经验的、静止的和随意性很大的传统设计变为基于计算数据、知识工程或专家系统的、动态

的现代设计。

无论是传统还是现代机械设计，其目的都是要设计出一种能达到预定功能要求、性能好、成本低、价值优、能满足市场需求的机械产品。设计是机械产品生产的第一个步骤，设计师通过这一过程，最终要提供产品生产所需的全部资料，包括全部产品图纸、技术文件和计算机软件等，作为产品生产的依据。

机械设计在现代机械生产中占有重要地位，机械设计的成败往往成为产品在生产与销售中是否能够取得良好效果的决定条件。因此，为了发展我国机械工业并为其其他行业提供先进的机械设备以支持其他工业的发展，提高我国机械设计的水平是一件非常重要的工作。

1.1.2 现代机械设计的特点、类型和流程

1. 现代机械设计的特点

现代机械设计有两个含义：一个是现代的机械设计，另一个是现代机械的设计；前者反映现代机械设计的哲理、准则和方法，后者包含现代机械的组成、结构和设计。与传统的机械设计相比，现代机械设计有如下一些具体的特点。

(1) 智能化。大型复杂机械的设计必须完成“分析→分解→综合”的过程，其中包含大量创造性思维过程和智能活动。

(2) 经济性。产品市场的激烈竞争、用户的要求和选择，使得对产品的经济性要求越来越高。

(3) 并行性。必须在设计的上游阶段超前考虑后续过程，如制造性、装配性、维护性等要求，实现“面向制造的设计”(Design For Manufacturability, DFM)、“面向装配的设计”(Design For Assembly, DFA)，以压缩废品、库存的消耗，确保经济性。

(4) 集成化。即树立人机一体化、机电一体化、硬件软件一体化观念，综合多方面测试分析数据指导、评价设计，融多种现代科技成果和技术，特别是融 CAD 技术于机械产品设计之中。

(5) 精确性。这是机械工程产品复杂度、综合性提高的必然结果，现代先进的计算技术、计算理论和计算分析工具的使用，也使之得以迅速提高。

(6) 动态性。分析设计对象不仅要从动态的观点出发，设计组织的合作协调也具有动态性，后者要求设计数据集成、设计系统无缝连接。

(7) 自动化。大量采用计算机辅助设计技术，与人工智能、专家系统等技术相结合，将繁杂的数值计算、知识信息的传输处理和检索、简单而又众多的判断等工作尽可能地交给计算机完成，最大限度地将工程技术人员从烦琐的人工设计过程中解放出来，提高设计质量和设计效率。

2. 现代机械设计的类型

根据技术需要和具体条件的不同,现代机械产品设计可以分为以下三种类型。

(1) 开发性设计。在工作原理、结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过实验证明可行的新技术,设计未曾有过的新型机械。这是一种完全创新的设计,机械产品的工作原理和具体结构都是新的,如按市场要求开发达到世界水平的新产品,要求技术特色突出,成功后效益高,但风险也大。

(2) 适应性设计。在工作原理及设计方案基本保持不变的前提下,对已有的机械产品作局部变更或在结构上进行一定的调整,增加一些附加的功能,以提高性能、降低制造成本或减少运行费用。

(3) 变型设计。在产品的工作原理和功能结构都不变的情况下,为了适应更多的工艺条件或使用要求,改变原有产品的具体参数或结构,从而发展出不同于标准型的变型产品。

总体上来说,机械产品设计中的开发性设计目前还占少数,但是,随着市场竞争的日益激烈,人类个性化的需求快速发展,开发性设计将逐渐增加。作为一名设计人员,无论从事哪一类设计,都应该在创新上下工夫。创新是开发性设计、适应性设计和变型设计的灵魂,创新可以使设计焕然一新。设计的本质是创新,重视创新设计是增加机械产品竞争力的根本途径。

3. 现代机械设计的过程

由于机器的种类繁多,性能差异巨大,所以机械设计并没有一个通用的固定顺序,需要根据具体情况进行。现代机械设计的一般程序如图 1.1 所示,说明如下。

(1) 产品规划。产品开发是从社会需求开始的,在进行产品设计之前,进行市场调研、需求分析、可行性分析,根据使用要求和工作条件,确定产品的功能范围、设计指标及制约条件,明确设计需要解决的问题,最后给出详细的设计任务书(或要求明细表),作为以后设计、评价和决策的基本依据。

(2) 概念设计。需求是以产品的功能来体现的,体现同一功能的产品可以有多种实现的工作原理。概念设计也就是原理方案设计,即在功能分析的基础上,利用各种物理原理,通过创新构思,搜索探求,优化筛选得出理想的设计方案。在设计阶段,原理方案设计占有重要位置,设计方案直接影响产品功能、性能指标、成本、质量,设计师应尽量运用他们的知识、经验、创新能力,对规划阶段的资料信息进行分析、整理,构想出满足功能要求的合理方案。

(3) 详细设计。详细设计是将机械方案具体转化为机器及零部件的合理结构,也就是完成机械产品的总体设计、零部件设计的全部图纸和必要的技术文件。

总体设计是在概念设计的基础上全面考虑机器各部件的总体布置、运动配合、

造型设计、包装运输、人-机-环境的合理关系，并画出总装配图。零、部件设计是将总装配图拆成部件图和零件图，标注技术条件及完成全部生产用图纸。最后，编制相关的设计说明书，使用说明书，工艺文件，标准件、外购件明细表等技术文件。

以上三个阶段既有顺序上的逻辑性，又有相互之间的重叠性。在这三个阶段中，概念设计日益引起人们的关注和重视。

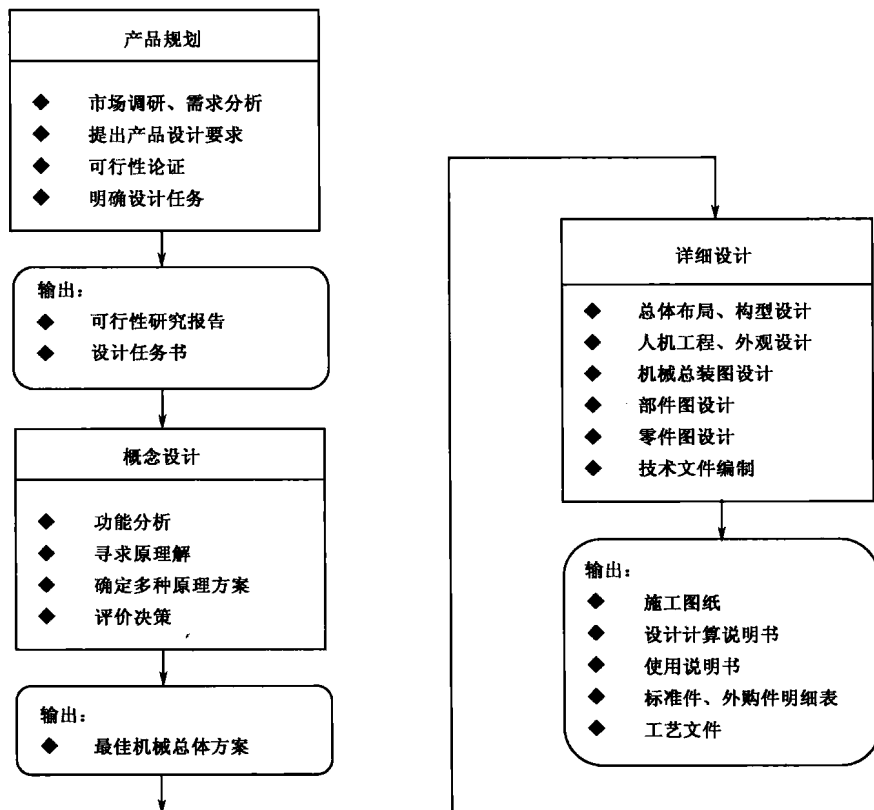


图 1.1 现代机械设计的一般程序

1.1.3 现代机械设计方法

现代机械设计方法通常是相对传统的设计方法而言的。传统机械设计主要是建立在灵感和经验的基础上，思维带有很大的被动性，现代机械的组成、结构发生了明显区别于传统机械的变化，相应设计方法也发生重大变化。现代机械设计体现了更高层次的学科综合，该方法把产品设计当做系统工程对待，强调创造能力的开发，注重“综合→分析”的设计法，重视设计方案的选择，考虑对多种方案的评价，其思维方式是发散性思维。现代设计法是学科综合化、统一化在方法科学上的一次突

破，是一门新兴的交叉学科，这一设计科学既是思维科学又是方法科学，广泛应用于各种产品的系统设计、结构设计、技术参数设计、艺术设计、开发与研制等方面。

相对传统的设计方法而言，现代设计方法力求运用现代数学、力学、微电子学及信息决策科学等方面的最新成果与手段，实现下列转化。

(1) 以现代定量设计取代传统的定性设计。如以有限元法计算箱体的应力和变形从而确定其结构尺寸，取代经验类比法设计。

(2) 以现代优化设计取代传统的可行性设计。即用相关的设计变量恰当地建立设计目标，并将设计要求转化为设计约束，建立优化数学模型，从众多的可行解（方案）中寻求最优解。

(3) 以现代动态设计取代传统的静态设计。如以机器结构动力学计算取代传统的静力学计算，充分考虑到机械振动对机械结构的影响。

(4) 以现代概率变量设计取代传统的常量设计。如可靠性设计中用随机变量取代传统设计中常量的处理方法。

(5) 以现代并行设计取代传统串行设计。并行设计（Concurrent Design）是一种面向产品“全生命周期”的一体化设计过程，该方法在设计前期阶段就并行考虑其整个生命周期中可制造性、可装配性、可测试性、可维护性及可靠性等各方面的要求与相互关系，避免串行设计中可能发生的干涉与返工，从而缩短产品开发周期，降低开发成本，开发出质优、价廉、低能耗的产品。

(6) 以现代微观设计取代传统宏观设计。如以断裂力学理论建立以损伤容限为设计判据的设计方法；润滑理论中的微-纳米摩擦学设计等。

(7) 以现代系统工程法取代传统分步处理法。将产品或产品设计作为一个系统，用系统工程观点分析其组成单元或设计过程，综合最优地处理其内部单元间的关系及与外部环境间的关系。

(8) 以现代自动化设计取代传统手工设计。现代自动化设计建立在计算机软硬件技术发展的基础上，力求利用先进的硬件（包括计算机、三维扫描仪、三坐标测量机、自动绘图机等）和软件（包括数据库、图形库、知识库、专家系统、评价决策系统及各种 CAD 支持系统），提高产品设计质量和设计效率，缩短产品开发周期，大力提高产品的自动化设计水平。

现代设计方法的内容主要包括：设计方法学、优化设计、可靠性设计、有限元法、并行设计、虚拟设计、智能设计、协同设计、计算机辅助设计、反求设计、分形设计、相似设计等。

1.2 机械产品概念设计概述

自从 Pahl 和 Beitz 于 1984 年在其《Engineering Design》一书中提出“概念设计”

这一名词以来,人们已对概念设计进行了多年的研究。一般认为产品概念设计是在全面考虑各种设计约束的条件下,以产品设计目标为输入,以产品设计方案为输出的系统所包含的工作流程。显然,概念设计的目的和结果就是为后续设计提供合理的设计方案。

概念设计的结果将直接影响产品制造过程中能源的消耗,对环境的影响,制造过程的柔性、可操作性、零部件的可制造性及可装配性等,有关资料表明,概念设计阶段投入的费用只占产品总成本的5%,但该阶段的设计决策却决定了产品总成本的70%以上,更为重要的是,质量低劣的概念设计方案几乎不可能在详细设计阶段得到弥补。因而,概念设计在产品整个生命周期的位置变得越来越重要,概念设计的质量在很大程度上决定了产品的最终质量、市场竞争力及企业获利情况。正因为意识到概念设计的重要性,世界各国都将产品设计的理论研究和工程实践的重点向概念设计转移,以期对概念设计活动提供有力的支持。为了改善我国机械产品创新能力不足、设计落后、缺乏竞争力的被动局面,必须重视产品概念设计理论和方法的研究。

1.2.1 产品概念设计的内涵

对于概念设计的定义存在不同的观点,主要包括以下几种。

1984年德国学者 Pahl 和 Beitz 从设计方法学的角度将产品的设计过程划分为明确任务、概念设计、具体设计和详细设计四个阶段,并将概念设计定义为:概念设计是在确定任务之后,通过抽象化,拟定功能结构,寻求适当的作用原理及其组合等,确定出基本求解途径,得出求解方案。

Frence 将概念设计定义为:概念设计首先是弄清设计要求和条件,然后生成框架式的广泛意义上的解;在此阶段,对设计师的要求较高,但却可以广泛地提高产品的性能;它需要将工程科学、产品加工方法和商业运作等各方面知识相互融合在一起,以作出一个产品全生命周期内最为重要的决策;这里“框架式的解”是指设计问题的一个轮廓,每个主要的功能都可以对应于其上,通过原理部件间的空间或结构上的关系,使它们有机地结合起来;我们从这个框架解中得到产品大致的成本、重量或总体尺寸及在目前环境下的可行性等;这个框架只需对一些特征或部件有一个相对明确的描述,但并不要求详细。

近20多年来,随着对概念设计研究的深化,概念设计的内涵又有新的发展。

上海交通大学邹慧君教授在 Frence 及 Pahl 和 Beitz 研究工作的基础上,将产品的设计过程划分为:产品规划、概念设计、详细设计和改进设计四个阶段,并给出了概念设计定义:概念设计是根据产品生命周期各个阶段的要求,进行产品功能创造、功能分解及功能和子功能的结构设计;进行满足功能和结构要求的工作原理解和实现功能结构的工作原理解载体方案的构思和系统化设计。

北京航空航天大学邓家禔教授等在分析概念产品的基础上将概念设计定义为：概念设计是由分析用户需求到生成概念产品的一系列有序的、可组织的、有目标的设计活动，它表现为一个由粗到精、由模糊到清楚、由抽象到具体、不断进化的过程。

由此看来，概念设计的内涵是十分广泛和深刻的，是一个发散思维和创新设计的过程，是一个求解实现功能的、满足各种技术和经济指标的、可能存在的各种方案并最终确定综合最优方案的过程。

1.2.2 产品概念设计的基本特征

从以上概念设计的论述可以看出，概念设计具有以下几个特征。

(1) 创新性。创新是概念设计的灵魂，只有创新才有可能得到结构新颖、性能优良、价格低廉的富有竞争力的机械产品。这里的创新可以是多层次的，如从结构修改、结构替换的低层次创新工作到工作原理更换、功能修改和增加等高层次的创新活动都属于概念设计的范畴。功能创新是整个设计过程中最初的也是最重要的一步，它需要找出可以实现该产品功能的各种可能方案并进行优选，其关键是如何进行产品的功能定义和分解，并将一定功能的零部件组合来创建新产品。

(2) 多样性。概念设计的多样性主要体现在其设计路径的多样化和设计结果的多样化。不同的功能定义、功能分解和工作原理等，会产生完全不同的设计思路和设计方法，从而在功能载体的设计上产生完全不同的解决方案。例如“计时”功能，如果用单摆和石英振荡两种不同的工作原理来实现，则产生用机械原理和用电子原理的两种设计思路与方法，从而产生了机械式手表和石英手表这两种完全不同的设计结果。

(3) 层次性。概念设计是一个从抽象到具体的信息进化过程。概念设计的层次性体现在两方面，如图 1.2 所示。一方面，概念设计分别作用于功能层和载体结构层，并完成由功能层向结构层的映射。如功能定义、功能分解作用于功能层，而结构修改、结构变异则作用于结构层，只有通过映射关系才能将两层有机地连接起来。另一方面，在功能层和结构层中也有自身的层次关系。例如，功能分解就是将功能从一个层次向下一层次推进。功能的层次性也就决定了结构的层次性，不同层次的功能对应不同层次的结构，例如，结构“自行车”的功能就是代步，而自行车的子功能之一“控制行进方向”则由子结构“车把”完成。

(4) 智能性。概念设计的最高境界是实现概念设计过程的智能化，它是概念设计发展的必然趋势。智能概念设计的目的是利用计算机全部或部分地替代设计人员从事设计的分析和综合过程，在计算机上再现设计者的创造性设计过程。

(5) 经验性。在概念设计过程中，设计人员总是在已有经验和知识的基础上，根据用户的产品需求，按照一定的、有规律的设计步骤和流程，再结合个人的想象力和灵感，设计出符合用户需求的概念产品方案。

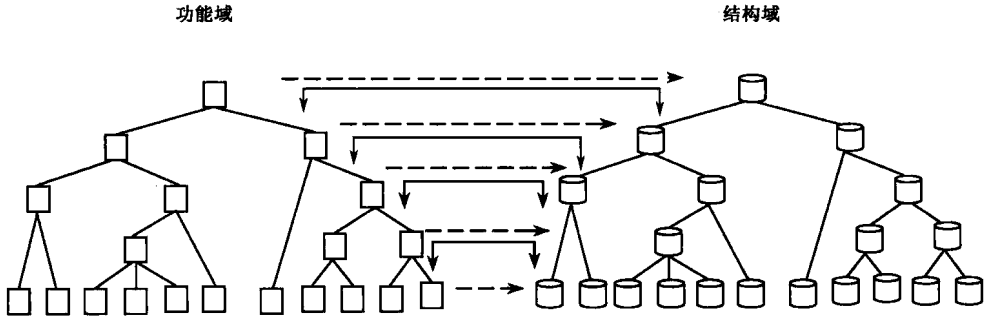


图 1.2 功能域与结构域的关系

(6) 阶段性。概念设计的过程是一个综合复杂的过程。在这一过程中，有些过程依赖于人类的抽象思维、逻辑思维及直觉灵感等，有些过程则侧重于逻辑推理，有些过程要求快速的求解速度和良好的人机界面。因此，必须对概念设计的过程进行合理的划分，针对阶段的特点，采用不同的求解策略。

(7) 多目标性。设计是在各种因素的限制和约束下进行的，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的要求和条件，同时还涉及环境、社会等因素，这些限制和约束构成了一组边界条件，形成了设计师进行设计和构思的“设计空间”。只有满足这些约束目标，才可能得到可行解。

(8) 残缺性。概念设计阶段区别于其他设计阶段的显著特点之一是，由于处于设计的初始阶段，因而在该阶段产品信息是残缺的，使得难以对该阶段进行准确定量描述，导致从问题空间到解空间的映射求解过程的不良结构问题，表现为产品信息是定性的、不精确的、不确定的、不完全的。

(9) 反复迭代性。在方案求解的每个过程中，都是由多个子循环，即综合、分析和评价组成，各个子循环多次迭代的结果得到一个全局满意解。

为更好地体现概念设计的创新性、多样性和层次性，概念设计可定义如下：概念设计是对市场需求逐渐理解后，确定设计理念、实现广义功能，求得用简图符号形式表达的多种可行方案，选择综合最优方案的设计前期工作过程。

1.2.3 概念设计的层次和地位

(1) 概念设计的层次

概念设计的全过程可划分为：前期的设计理念的确定与后期的原理设计及具体的方案设计两大阶段。

设计理念的确定是概念设计的前期阶段，即根据市场需求和机器功用进行设计思想和设计理念的构想。这一阶段属于“形象思维阶段”，但对概念设计十分重要，是概念设计中创新层次最高的一个设计阶段，创新的火花往往产生于这一阶段。这

一阶段的设计目前更多的是借助于设计人员的创新思维能力、知识与经验的发挥。目前,缺乏针对这一阶段的程式化的设计理论的研究。

原理设计及方案设计是概念设计的后期阶段,这一阶段属于“逻辑思维阶段”,其中原理设计是方案设计的核心,方案设计是原理设计的具体化。目前对机械系统方案设计阶段的设计理论与方法的研究较多。

从已有的各种设计步骤论述中可以看出,概念设计应包括产品规划、功能设计和定性设计等内容,其具体内容与概念设计采用的方法有关。

(2) 概念设计的地位

在上述产品设计过程中,概括起来说,机械产品设计的主要步骤是两步:一是概念设计,二是结构设计。前者的目的是制定方案,后者的目的是设计出具体结构,也称为详细设计。概念设计在机械产品设计过程模型中的地位及其作用如图 1.3 所示。由图表明,概念设计是设计过程的早期阶段,其目标是获得产品的基本形式或形状,即设计方案。

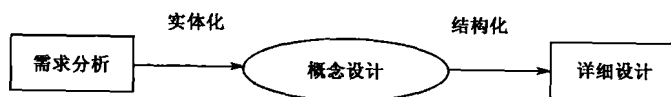


图 1.3 概念设计的地位和作用

概念设计在产品开发中的重要性表现在:

(1) 概念设计(方案设计)阶段在很大程度上决定最终产品的性能、创造性、价格、市场响应速度和效率等,此外,据有关资料显示,虽然方案设计阶段实际投入的费用只占产品开发总成本的 5%,却决定了产品总成本的 70%。

(2) 结构设计(详细设计)阶段很难甚至不能纠正方案设计阶段的设计缺陷和错误。

1.2.4 产品概念设计的关键问题

概念设计是机械产品设计的前期工作阶段,概念设计的结果是产生产品设计方案,因此,概念设计是一个方案求解的过程。显然,概念设计可表述为一个从设计需求到设计方案的映射过程。概念设计过程以设计需求为输入,其输出为满足设计需求的设计方案。

产品概念设计方案求解问题,即研究如何将用户的需求映射为最优设计方案的问题,包括两方面内容:

(1) 采用何种合适的方法,将用户的需求映射到相应的物理空间,即设计方案的生成问题。

(2) 在若干候选方案中,选择最佳设计方案,即设计方案的评价与决策问题。