



普通高等教育“十二五”规划教材

# 现代设计方法 及其应用



李春书 主编

许红静 张换高 副主编

**XIANDAI SHEJI FANGFA  
JIQI YINGYONG**



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 现代设计方法及其应用

李春书 主编

许红静 张换高 副主编

刘建琴 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书重点介绍了几种在机械设计中应用广泛的现代设计方法,具体内容包括:优化设计、可靠性设计、有限元法、绿色设计和发明问题解决理论(TRIZ)。在本书的编写过程中采用由浅入深、循序渐进的方法,并将所讲授的基本理论和方法与工程中的实际问题相结合,通过算例分析和求解,使读者对现代设计理论和方法的基本内容能够易于理解和掌握。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化、车辆工程、机械工程及自动化等专业高年级本科生的教材,也可作为这些专业的研究生和工程技术人员的参考书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法及其应用/李春书主编. —北京:化学工业出版社, 2013. 4  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-122-16640-1

I. ①现… II. ①李… III. ①机械设计-高等学校-教材  
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 042171 号

---

责任编辑:廉 静 高 钰  
责任校对:宋 夏

文字编辑:张燕文  
装帧设计:王晓宇

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京市振南印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$  插页 1 字数 253 千字 2013 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

# 前言 FOREWORD

现代设计方法及其应用

现代设计方法是随着当代科学技术的发展和计算机技术的广泛应用而发展起来的,目前,计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计和有限元方法已得到普及,应用广泛。同时,还不断有新的设计理论和方法出现,如智能设计、虚拟设计、稳健设计、动态设计、绿色设计、创新设计、表面设计等,极大地丰富了现代设计方法的内涵。现代设计方法经过几十年的发展已成为一门多元综合的新兴交叉学科,其内容繁多,涉及广泛。这些方法有助于科学地指导产品设计过程,提高产品的设计质量,提升产品市场竞争力水平。

本书在借鉴国内外相关教材的基础上,结合编者多年从事教学与科研工作的经验,根据现代设计方法的特点,选取了优化设计、可靠性设计、有限元方法、绿色设计和发明问题解决理论(TRIZ)五部分内容作为本书编写的主要内容。在优化设计中,侧重于优化设计的基本概念、优化设计的数学模型,迭代计算的方法和优化问题的基本解法,通过实例分析,理解优化问题数学模型的建立和优化求解方法的特点。在可靠性设计方面,重点介绍工程中可靠性及其度量指标,机械零件可靠性设计的基本原理,机械系统可靠性的基本概念,以及可靠性在工程和设计中的应用。在有限元方法中,介绍弹性力学的基本概念、基本方程和虚位移原理,通过实例分析,讲述有限元分析的内容、方法和步骤,并介绍了商用有限元分析软件 ANSYS 在解决工程实际问题中的应用。在绿色设计中,介绍了产品全生命周期中对环境资源的影响,为减少对资源的消耗和对环境的影响,常用的一些方法和实际工程中的应用实例。TRIZ 理论中重点介绍了 TRIZ 的基本概念、冲突的描述、冲突问题的解决方法和工程中 TRIZ 解决问题的过程和实例分析。

现代设计方法是一门实践性很强的学科,要有效地应用这些方法,必须对其相关理论和方法有正确的认知。本书在重点介绍其相关基本科学理论和方法的基础上,强调其应用性,通过算例分析,逐步加强学生运用所学知识分析问题和解决问题的能力。本书在具体内容的编排上,注重先进性与实用性的结合,并力求通俗易懂、深入浅出,以激发学生的学习兴趣。本书可作为 32~50 学时机械工程类专业高年级本科生的教材。

本书由李春书、许红静、张换高编写,其中第 1 章、第 4 章由李春书编写,第 2 章和第 3 章由许红静编写,第 5 章由崔丹编写,第 6 章由张换高编写。另外,冯昊、高伟、雷丽梅、金波、段媛、冯小蕊等进行了部分文字录入和编校。全书由李春书担任主编并统稿,由天津大学刘建琴担任主审。

在本书的编写过程中,编者参阅了大量文献资料,并采用了这些资料中的一些精华部分,我们在各章后面给出了这些文献,以供读者进一步深入学习,在此特向有关作者致谢。

范慕辉教授对本书第 4 章内容提出了修改意见和建议，在此表示感谢。

由于现代设计方法所涉及的内容不断发展，加之编者水平所限，书中难免有疏漏和不足之处，欢迎广大读者提出宝贵意见。

**编者**

**2013 年 2 月**

# CONTENTS

## 目 录

现代设计方法及其应用

| <b>1</b> | <b>第1章</b>        | <b>Page</b> |
|----------|-------------------|-------------|
| CHAPTER  | 绪 论               | 1           |
| 1.1      | 设计与设计方法 .....     | 1           |
| 1.1.1    | 设计的概念 .....       | 1           |
| 1.1.2    | 产品设计过程 .....      | 2           |
| 1.1.3    | 设计方法学 .....       | 3           |
| 1.2      | 现代机械设计方法 .....    | 4           |
| 1.2.1    | 现代设计方法的特点 .....   | 4           |
| 1.2.2    | 现代设计方法的内容体系 ..... | 5           |
| 1.3      | 课程学习的基本要求 .....   | 5           |
|          | 习题 .....          | 6           |
|          | 参考文献 .....        | 6           |

| <b>2</b> | <b>第2章</b>         | <b>Page</b> |
|----------|--------------------|-------------|
| CHAPTER  | 优化设计               | 7           |
| 2.1      | 概述 .....           | 7           |
| 2.2      | 优化设计数学模型 .....     | 7           |
| 2.2.1    | 设计变量与设计空间 .....    | 8           |
| 2.2.2    | 目标函数 .....         | 9           |
| 2.2.3    | 约束条件 .....         | 10          |
| 2.2.4    | 优化设计数学模型 .....     | 11          |
| 2.3      | 优化方法的数学基础 .....    | 12          |
| 2.3.1    | 函数的方向导数与梯度 .....   | 12          |
| 2.3.2    | 多元函数的二阶泰勒展开式 ..... | 14          |
| 2.3.3    | 二次型函数 .....        | 16          |
| 2.3.4    | 无约束优化问题的极值条件 ..... | 17          |

|       |            |    |
|-------|------------|----|
| 2.3.5 | 凸集与凸函数     | 18 |
| 2.3.6 | 约束条件的极值问题  | 19 |
| 2.3.7 | 数值迭代算法     | 22 |
| 2.4   | 一维优化方法     | 24 |
| 2.4.1 | 单峰区间       | 25 |
| 2.4.2 | 黄金分割法      | 26 |
| 2.5   | 多维无约束优化方法  | 29 |
| 2.5.1 | 最速下降法(梯度法) | 29 |
| 2.5.2 | 牛顿法        | 31 |
| 2.5.3 | 变尺度法       | 34 |
| 2.5.4 | 坐标轮换法      | 37 |
| 2.5.5 | 鲍威尔法       | 39 |
| 2.6   | 多维有约束优化方法  | 45 |
| 2.6.1 | 内点惩罚函数法    | 46 |
| 2.6.2 | 外点惩罚函数法    | 49 |
| 2.6.3 | 混合惩罚函数法    | 51 |
| 2.7   | 工程应用实例分析   | 52 |
|       | 习题         | 55 |
|       | 参考文献       | 55 |

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 3.1   | 概述                   | 57 |
| 3.2   | 产品可靠性及其度量指标          | 58 |
| 3.2.1 | 可靠性定义                | 58 |
| 3.2.2 | 可靠性特征量               | 59 |
| 3.2.3 | 产品的失效率曲线             | 63 |
| 3.3   | 几种常用的概率分布            | 65 |
| 3.3.1 | 二项分布                 | 65 |
| 3.3.2 | 泊松分布                 | 65 |
| 3.3.3 | 正态分布                 | 66 |
| 3.3.4 | 对数正态分布               | 67 |
| 3.3.5 | 指数分布                 | 68 |
| 3.4   | 机械零件可靠性设计            | 69 |
| 3.4.1 | 应力-强度干涉模型            | 70 |
| 3.4.2 | 可靠度的计算方法             | 71 |
| 3.4.3 | 应力和强度分布均为正态分布时的可靠度计算 | 74 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 3.4.4 应力和强度均服从对数正态分布时可靠度计算 | 75 |
| 3.4.5 应力和强度均服从指数分布时可靠度计算   | 76 |
| 3.4.6 机械零件可靠性设计实例分析        | 76 |
| 3.5 系统可靠性设计                | 78 |
| 3.5.1 系统可靠性预测              | 78 |
| 3.5.2 系统可靠性分配              | 81 |
| 习题                         | 84 |
| 参考文献                       | 85 |

## 4 **第4章** **有限元法** **Page** 86

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 4.1 概述             | 86  |
| 4.2 弹性力学的基本理论      | 86  |
| 4.2.1 弹性力学中的基本假设   | 86  |
| 4.2.2 弹性力学中的基本概念   | 87  |
| 4.2.3 弹性力学的基本方程    | 90  |
| 4.2.4 虚位移原理        | 94  |
| 4.2.5 两类平面问题       | 95  |
| 4.3 弹性力学有限元法       | 97  |
| 4.3.1 有限元求解问题的基本步骤 | 97  |
| 4.3.2 单元的类型        | 102 |
| 4.3.3 单元位移函数       | 104 |
| 4.3.4 平面问题有限元分析    | 107 |
| 4.3.5 非节点载荷的移置     | 110 |
| 4.3.6 有限元分析中的若干问题  | 112 |
| 4.4 ANSYS 有限元分析软件  | 114 |
| 4.4.1 ANSYS 软件的功能  | 115 |
| 4.4.2 ANSYS 的用户界面  | 116 |
| 4.4.3 ANSYS 分析实例   | 118 |
| 习题                 | 120 |
| 参考文献               | 121 |

## 5 **第5章** **绿色设计** **Page** 122

|             |     |
|-------------|-----|
| 5.1 概述      | 122 |
| 5.2 产品的绿色设计 | 123 |



|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| 5.2.1 绿色设计的概念和内涵 .....                          | 123 |
| 5.2.2 绿色设计的原则 .....                             | 124 |
| 5.2.3 绿色设计的过程及评价 .....                          | 125 |
| 5.2.4 绿色设计案例分析 .....                            | 127 |
| 5.3 绿色设计中材料的选择 .....                            | 128 |
| 5.3.1 材料对环境的影响 .....                            | 128 |
| 5.3.2 材料选择的原则 .....                             | 129 |
| 5.4 产品绿色设计的关键技术 .....                           | 130 |
| 5.4.1 面向拆卸的设计 DFA(Design for Disassembly) ..... | 130 |
| 5.4.2 面向回收的设计 .....                             | 131 |
| 5.4.3 再生技术 .....                                | 132 |
| 5.4.4 零部件再利用技术 .....                            | 133 |
| 5.4.5 应用实例分析 .....                              | 134 |
| 习题 .....                                        | 136 |
| 参考文献 .....                                      | 136 |



## 第6章

## 发明问题解决理论(TRIZ)概论

Page

137

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 6.1 概述 .....            | 137 |
| 6.2 问题及其分类 .....        | 137 |
| 6.2.1 问题定义 .....        | 137 |
| 6.2.2 通常问题与发明问题 .....   | 138 |
| 6.2.3 发明问题解决理论 .....    | 138 |
| 6.3 TRIZ 的基本概念 .....    | 140 |
| 6.3.1 功能及功能模型 .....     | 140 |
| 6.3.2 最终理想解 (IFR) ..... | 141 |
| 6.3.3 冲突及其分类 .....      | 141 |
| 6.3.4 技术系统进化定律 .....    | 142 |
| 6.3.5 物质-场模型 .....      | 143 |
| 6.3.6 效应 .....          | 144 |
| 6.3.7 ARIZ .....        | 144 |
| 6.4 技术冲突解决理论 .....      | 144 |
| 6.4.1 技术冲突的通用化 .....    | 145 |
| 6.4.2 发明原理 .....        | 147 |
| 6.4.3 冲突矩阵 .....        | 150 |
| 6.4.4 技术冲突解决过程 .....    | 151 |
| 6.5 物理冲突解决理论 .....      | 152 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 6.5.1 分离原理 .....           | 152 |
| 6.5.2 分离原理与发明原理的关系 .....   | 155 |
| 6.5.3 技术冲突与物理冲突的关系 .....   | 155 |
| 6.6 TRIZ 解决问题的过程 .....     | 155 |
| 6.6.1 TRIZ 解决问题的一般过程 ..... | 155 |
| 6.6.2 工程案例-织物印染装置 .....    | 156 |
| 习题 .....                   | 158 |
| 参考文献 .....                 | 159 |



# 绪 论

## 1.1 设计与设计方法

### 1.1.1 设计的概念

设计是人类征服自然改造世界的基本活动之一，是一种把人类的需求、愿望变为现实的创造性行为。最初的设计是直觉设计，是由经验丰富、技术熟练的手工艺人进行的，这种设计只存在于手工艺人的头脑中。随着社会的发展和科学技术的进步，设计工作不断向深度和广度发展，推动了设计理论与方法的发展，设计手段也得到不断的改进和提高。

工程设计是根据市场需求对工程技术系统进行构思、计划和决策的过程，这个过程通常要反复进行，要运用科学原理、技术知识和创造力，以实现系统的特定功能，建立经济效益和效率最佳的技术系统。这里所说的技术系统是指设计对象及其有关的设计问题；功能是指产品的用途或技术系统能独立完成任务，功能是对于某一产品的特定工作能力的抽象化描述。

设计的本质是创新，根据设计活动中的创新程度，可将产品设计分为以下三种类型：

#### (1) 开发性设计

开发性设计是一种完全创新的设计，其所设计的产品是在国内外尚无类似产品，或很难得到可用的设计信息，设计中就要根据设计要求、使用要求、约束条件等创造性地提出产品的原理方案及结构。开发性设计一般具有独创性，所开发的技术系统具有新颖性。例如电视、电话、VCD、MP3等的发明。

#### (2) 适应性设计

适应性设计是指在设计对象的主体原理方案及结构基本不变的情况下，对其结构和性能进行更新设计，以获得更优良的性能和结构，或一些附加功能的设计。适应性设计往往只是对产品的局部进行变更设计，变更部分也可能是原创性的。例如机床由普通电气控制到数字控制，火车由蒸汽机车、内燃机车到电气机车、磁悬浮等。

#### (3) 变型设计

变型设计是在保持设计对象的功能、原理方案不变的情况下，对其结构配置和尺寸进行调整、变更设计，以满足不同的使用要求。例如，同系列而不同规格的自行车，不同中心距

的减速器设计，不同的结构布局及参数的减速器等的设计。

产品设计直接决定了产品的功能和性能，影响着产品的质量、成本及研发时间。一项成功的设计可为产品赢得综合竞争力，带来良好的经济效益或社会效益。而产品设计的不周会引起产品一系列质量问题，设计中的失误会给企业或社会造成大的损失，甚至带来灾害。如1986年1月28日，挑战者号航天飞机在发射过程中发生爆炸，造成全体乘员牺牲，并使美国的太空探索停止两年，其主要原因是由于助推器接头设计不周，使得右侧固体助推器后区接头上一个O形密封圈失效。据估计，在产品总成本的构成中，60%~70%取决于设计阶段；在产品质量事故中，50%是由于不良的设计造成的。

任何一种优秀的产品，设计是先行。面向21世纪全球市场的激烈竞争，世界各国普遍重视提高产品设计过程的效率 and 设计水平，以提高产品的设计质量，增强产品的综合竞争力。

### 1.1.2 产品设计过程

传统上认为产品的质量控制或质量保证是通过对产品制造、装配的检验控制得到的，但实际上人们检查产品时是检查产品与设计时所形成的技术文件是否一致。如果在产品的设计中考虑加工、制造等环节的质量问题，例如把零件或组合装配件设计成易于加工制造、较少地采用过盈较大的配合，这样，通过设计使得产品的零部件加工制造方便、装配简单、易达到产品精度要求。因此，设计的早期就决定了产品的成本，在产品设计中考虑后续生产、维修等各环节影响产品质量的因素，把质量设计到产品中去是一个高效的设计方法。因此，一个好的设计过程，应能支持把质量设计到产品中去。设计过程的成功可以通过设计工作成本、最终产品成本、最终产品质量和开发产品所花费的时间等来衡量的。

设计是一个综合思维过程，它不仅表现在技术系统内部功能的综合之中，而且表现在产品的全寿命中。产品的全寿命周期是指从建立产品的设计要求开始，经设计、生产、使用等环节，到产品使用寿命终止的全部过程，如图1-1所示。

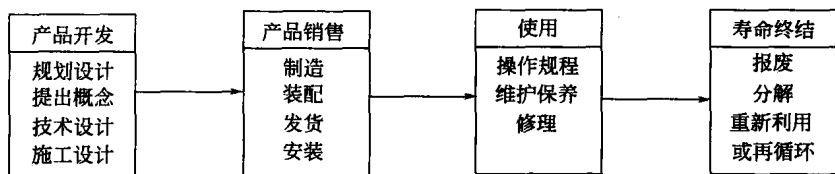


图 1-1 产品全寿命周期

由于产品总是处于自然环境和社会环境包围之中，现代设计要求在产品设计中必须对这一全过程出现的问题作出全面的、综合的考虑，所以，当前对产品的设计已不能仅考虑产品本身，并且还要考虑系统和环境的影响；不仅涉及技术领域，还涉及自然和社会因素。

一般地，设计人员主要参与产品开发的环节，产品开发可分为产品规划、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段。

#### (1) 产品规划

产品规划阶段是针对待开发产品进行需求分析、市场预测和可行性分析，确定设计参数及制约的条件，最后给出详细的设计任务书（或设计要求表），作为设计、评价和决策的依据。

## （2）方案设计

方案设计也称为概念设计。需求是以产品的功能来体现的，功能与产品设计的关系是因果关系。体现同一功能的产品可以有多种多样的工作原理。这一阶段的任务就是在产品功能分析的基础上，通过创新构思，搜索探求、优化筛选，求取较理想的工作原理方案。

## （3）技术设计

技术设计也称为细节设计，在方案设计的基础上将已确定的工作原理方案具体转化为产品的装置及零部件的合理结构，根据功能要求确定零件的材料，确定结构的具体参数，通过功能分析和工艺分析确定零件的具体形状和装配关系。通过技术设计生成产品装配图。

## （4）施工设计

施工设计是在装配图设计的基础上，根据施工的需要产生零件图，完成全部设计样图，并编制设计说明书、使用说明书及其它设计文档。

在产品投产前要通过产品试制，检验产品的加工工艺和装配工艺，根据试制过程进行产品的成本核算，对产品设计提出修改意见，进一步完善产品设计。当设计工作完成时，产品投入生产，设计人员就不再参与后续几个环节的事务了，除非有工程上的改变。

如果要开发一个优秀的产品，设计人员还必须对生产销售、产品使用和寿命终结这几个环节有充分的了解，这样，可使产品在后续生产、使用和退役后的处理易于进行。生产销售环节包括零件制造、零部件装配、产品发货的方式以及产品使用前的安装。使用环节包括产品使用的操作规程、产品的清洁和保养以及对产品出现问题的维修。寿命终结环节包括产品退役报废后的处理方式，报废产品零部件是否可拆卸分解、重复使用，材料是否可再生循环利用等。

# 1.1.3 设计方法学

随着科技的进步和社会的发展，产品功能的要求也呈现多样性，如航天器、数控加工中心等，现代产品已经变得如此复杂以至于绝大部分产品从概念发展到样机，都需要有一支具有不同专业领域的人员组成的团队来完成。参加项目的人员越多，就越需要进行交流和组织，以达到高效的沟通和协作。全球化的市场已孕育着快速开发新产品的需求，为了市场竞争的需要，一个公司或企业必须高度有效地进行产品设计，这就要求确保新产品有效开发的过程。新产品不能按预期正常工作或推向市场，据估计有 85% 是由于不好的设计过程造成的。

设计方法学在深入研究和分析设计过程本质的基础上，以系統工程的观点分析设计整体进程、设计方法和设计手段等问题。在总结设计规律和原理、激发创造性思维的基础上，主要研究现代设计理论、科学方法、先进手段和工具在设计中的综合运用，实现设计过程的科学化、自动化、合理化，使得设计师能够设计出性能优、成本低的技术系统，其对提高设计人员的素质和设计质量，减少或避免设计失误，对开发新产品、改造旧产品和提高产品的市场竞争能力有着十分重要的作用。

设计方法学在设计工作中具有重要作用，因此受到世界上许多国家的重视。20 世纪 40 年代以来，德国、美国、苏联、日本等国家的专家学者开展了有关设计方法学的研究，探讨设计进程、步骤和规律。我国自 20 世纪 80 年代以来也开展了这方面的研究工作，并取得了一些研究成果。

设计方法学是研究设计的一般过程及解决具体设计问题的方法和手段。设计方法学的研究主要包括四个方面：设计原理、设计过程、设计方案和综合评价。

① 设计原理 从系统的观点出发探讨机械产品设计的一些基本原理，研究和分析各种类型设计的原理、规律和准则；提供各种现代设计理论和方法在设计中的应用，实现产品的科学合理设计。

② 设计过程 分析设计过程及各设计阶段的任务，研究解决设计问题的逻辑步骤和应遵循的工作原则，分析高效设计的模式，如协同设计、并行设计等，以及利用系统工程方法编制设计信息库等。

③ 设计方案 主要研究方案构思中的思维规律和科学方法以及实现需求与技术系统设计间的转换方式方法、原理、原则、策略技巧，研究并促进各种创新方法在设计中的运用。

④ 综合评价 实现产品的功能往往有多种可行的方案，在实际工作中很难找到一个各项指标都较其它方案最优的方案。设计方法学要研究如何建立合理的指标体系，采用合适的评价方式，对各方案进行综合评价，寻求较优方案。

## 1.2 现代机械设计方法

### 1.2.1 现代设计方法的特点

传统设计方法在经历了直觉设计、经验设计、半经验半理论设计三个阶段，并于 20 世纪 50 年代后期形成的一种设计方法，至今仍被广泛采用。传统设计方法又称常规设计方法，其是以经验总结为基础，运用长期设计实践和理论计算而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计的依据，按照各种产品的设计经验总结出有关的设计理论、步骤、方法等来开展设计活动。

随着科学技术迅猛发展，新兴科学技术不断涌现，设计工作本身所需要的理论基础和手段有了很大发展，新的设计思想、理论、方法和手段，促进了传统设计方法的变革，特别是计算机技术的发展和运用，使得过去难以想象的系统集成设计计算成为可能，从而改变了设计工作方式、拓展了设计理论及方法，使设计工作包括机械产品的设计过程产生了质的飞跃。现代设计方法一般是指 20 世纪 60 年代以来在设计领域相继诞生与发展的一系列新兴理论与方法的集成。

工程设计是一种有目标的创造性社会活动，自然科学和工程科学是必要的知识基础；相关的专业知识和经验，尤其是结构工艺、材料性能、生产过程及管理方面的知识基础是十分重要的。设计产品往往是为了满足社会的需要和力争市场的竞争力，因此，设计人员还必须了解所设计产品的政治、经济、人文、法律、社会、技术和生态环境等有关情况。近些年来，产品设计引入了系统科学、信息科学理论和方法，更广泛地借助于现代数学方法和计算技术，产品设计进入了系统化和计算机辅助设计的阶段。现代机械设计方法的研究既包含指导设计进程及逻辑规律的设计方法学知识，也包含用来提高设计效率和设计质量的各种单项技术和方法，还包含提高产品市场竞争优势的技术和方法。

现代设计方法的特点如下：

① 突出设计的创造性；

- ② 设计过程科学化和程式化;
- ③ 处理问题时具有系统性和综合性;
- ④ 最大程度运用计算机技术,以获得整体最优的设计结果。

现代设计是传统设计的深入、丰富和完善,而非独立于传统设计的全新设计,而传统设计方法随着时代的发展也注入了新的内容和活力,是现代设计不可缺少的基础。在某些方面,目前现代设计方法还不能完全取代传统设计方法,所以要注意传统和现代设计技术的综合应用。设计方法的发展,有着时序性、继承性以及传统设计与现代设计两种方法在一定时间内的共存性,而当前的现代设计方法正处在发展之中。机械产品设计将随着现代设计方法、现代设计技术和现代科学体系的不断完善而有新的突破。

### 1.2.2 现代设计方法的内容体系

现代设计方法是以设计产品为目标的一个知识群体的总称,多年来各国学者对产品设计理论与方法进行了研究和探索,且已形成了许多分支学科。它融合了系统工程、信息技术、计算机技术、知识工程、管理科学和相关专业等领域知识,实行人-机-环境系统一体化设计,使设计思想、设计进程、设计组织更加合理化、现代化;在设计中大力采用许多动态分析方法,使问题分析动态化,设计方案和数据的选择广义优化,借助于计算机对产品全生命周期进行辅助设计,使设计、分析、计算、绘图等计算机化。这种现代的设计方法,缩短了设计周期、提高了产品质量,可以得到用传统的设计方法得不到的最优方案。

目前在工程实践中已得到应用的现代设计理论及方法主要有:价值工程、系统工程、技术经济分析、可靠性设计、抗疲劳设计、摩擦学设计、抗腐蚀设计、优势设计、稳健设计、模块化设计、三次设计、人机工程、模糊理论及设计、反求工程、公理设计、优化设计、有限元法、动态设计、计算机辅助设计等。

近年来兴起的设计理论及方法主要有:并行设计、虚拟设计、绿色设计、创新设计、发明问题解决理论、智能设计、概念设计、数字化设计、网络化设计、全生命周期设计、机电一体化设计等。

本书重点介绍目前发展比较成熟且在工程中应用较广泛的优化设计、可靠性设计和有限元方法,并对绿色设计和发明问题解决理论(TRIZ)作简要概述。

## 1.3 课程学习的基本要求

在目前激烈的市场竞争下,对产品设计除要求新颖独特和性价比高以外,还要求设计快捷方便和高效率。设计对于产品成本、质量起着重要的作用,因此,在产品设计中,掌握设计进程、逻辑规律,应用创新方法,采用新的设计工具,应用新的设计方法和技术,对提高产品设计质量和效率、提高产品竞争力具有重要的意义。通过对本门课程的学习,达到拓展学生视野,增强学生设计能力的目的,使学生在掌握传统设计理论与方法的基础上建立起运用现代设计理论与方法进行设计与分析的理念,提高设计水平和增强设计创新能力。

应该指出,现代设计是过去设计活动的延伸和发展。现代设计方法也是在继承传统设计方法基础上不断吸收现代理论、方法和技术以及相邻学科最新成就后发展起来的。所以,学习现代设计方法,其目的绝不是要完全抛弃传统设计方法和经验,而是要使学生在掌握传统

机械设计方法和实践的基础上再掌握一些新的设计理论和技术手段。

现代设计方法是一门综合性学科,涉及的知识面广,每一种方法都有其独立的数学理论,学好任何一种方法,都必须了解相关的数学知识。现代设计方法既具有较强的理论性又具有较强的实践性,因此,要求读者在学习要不断地补充和消化相关的理论知识,并要注重对实例的学习、思考和实践,应用这些方法能够解决工程设计中的一些问题。

现代设计理论与方法涉及面广,而课堂教学学时有限,这就要求学生不仅要结合课堂学习来掌握一些基本理论与方法,而且还要通过课外自学浏览了解更多在课堂内未介绍的现代设计方法,使学生能对现代设计方法有一个较全面的了解,以便在未来产品设计实践的工作过程中,能够应用和不断地发展现代设计理论与方法,进行成功的设计。

## 习题

- 1-1 试分析现代设计与传统设计的主要区别。
- 1-2 试述现代设计方法的主要特点。
- 1-3 设计方法学的研究对象和研究内容是什么?
- 1-4 根据设计活动中的创新程度,试述产品设计的三种类型及其特点。
- 1-5 试述学习现代设计方法课程的意义与目的。

## 参 考 文 献

- [1] 黄平. 现代设计理论与方法. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [2] David G. Ullman. The Mechanical Design Process. The McGraw-Hill Company, Inc. 2010.
- [3] 李思益, 任工昌, 郑甲红, 张彩丽. 现代设计方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- [4] 陈定方, 卢全国. 现代设计理论与方法. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [5] 王凤岐. 现代设计方法及其应用. 天津: 天津大学出版社, 2008.
- [6] 孟宪颐. 现代设计方法基础. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [7] 谢里阳. 现代机械设计方法. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [8] 王安麟, 姜涛, 刘广军. 智能设计. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [9] 闻邦椿. 产品设计方法学. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [10] 黄雨华, 董遇泰. 现代机械设计理论与方法. 沈阳: 东北大学出版社, 2001.



# 优化设计

## 2.1 概述

优化设计是现代设计理论与方法中的一个重要领域。从20世纪60年代发展以来,优化设计方法在土木、水利、化学、机械、材料等工程领域得到了广泛的研究和应用。优化设计是将最优化原理和计算机技术应用于工程设计,为其提供一种重要的科学设计方法,使得在解决复杂设计问题时,能从众多的设计方案中寻找尽可能完善或者最适宜的设计方案。在常规的工程设计过程中,由于设计手段和方法的限制,设计者不可能在一次设计中得到多种方案,也不可能进行多种方案比较,以找到最优的设计方案。人们只能在漫长的设计生产过程中,通过不断地探索与改进,逐步使设计方案趋于完善。

优化设计是以数学中的最优化理论为基础,以计算机为手段,根据设计所追求的目标,建立目标函数,在满足给定的各种约束条件下,从多种设计方案中选择最佳方案的方法。在机械设计中应用优化设计方法,既可以使设计方案在规定的设计要求和约束条件下得到某些优化结果,比如减轻设备自重,降低材料消耗和制造成本,提高产品的质量与工作性能等,又不需要冗余和繁杂的计算工作,因而受到科学工作者和工程技术人员的广泛重视。

优化设计一般包括以下两个内容。第一,建立数学模型,将工程问题转换为数学模型;数学模型能否准确反映优化设计问题的实质,是优化设计能否成功的关键。第二,采用适当的优化方法求解该数学模型,即在给定的条件下求目标函数的极值或最优值问题。

## 2.2 优化设计数学模型

优化设计的数学模型是描述实际优化设计问题的设计内容、变量关系、有关设计条件和优化目标的数学表达式,它反映了工程问题各主要因素的内在联系。在建立模型时,必须从实际工程设计问题中抽象出设计变量、目标函数和约束条件,这是构成优化设计数学模型的三要素。

**例 2-1** 某厂生产一批容积为  $8000\text{cm}^3$  平底无盖的圆柱形容器,要求此容器消耗原材料