

供广大设计工作者  
工作时全流程参考使用

设计决定一切

# 现代 产品设计指南

XIANDAI CHANPIN SHEJI ZHINAN

详解现代产品设计的理论基础、设计技术和设计过程  
产品设计技术与管理、经济、实践充分结合  
全面引入创新思维,提升创造力  
产品设计工作指南

柴邦衡 黄费智 编著



# 现代产品设计指南

柴邦衡 黄费智 编著



机械工业出版社

本书共分为3篇16章,其中:第1篇介绍了现代产品设计基础,包括现代设计和开发的特点、应遵循的原则、创造力和创新思维、现代产品设计和开发的原理、方法和技术;第2篇阐述了产品设计的主要过程,包括方案设计、结构设计、总体设计和施工设计;第3篇比较系统地阐述了产品设计和开发的质量控制,包括设计的策划、输入、评审、验证、输出、确认以及设计更改的控制。

本书内容广泛、深入浅出、案例丰富、图文并茂,同时具有技术与管理、技术与经济、理论与实践相结合等特点。

本书适于广大设计工作者工作时全流程参考使用,并可用作设计类专业研究生教材,且对大专院校产品设计类专业师生颇具参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代产品设计指南/柴邦衡,黄费智编著. —北京:机械工业出版社, 2012.8

ISBN 978-7-111-38990-3

I. ①现… II. ①柴…②黄… III. ①工业产品—设计—指南  
IV. ①TB472-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第140971号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:李万宇 李建秀

版式设计:霍永明 责任校对:闫玥红

封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·32印张·3插页·792千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38990-3

定价:99.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379732

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面防伪标均为盗版

# 序 言

当前我国正面临产业结构调整和产品升级换代的时刻，如何从制造大国走向制造强国，是一个非同寻常的挑战。然而，我们不能不深刻反思，为什么从笔者曾参加的“六五”机械行业发展规划时就已明确提出：不能再走增人、增厂房、增设备的外延式扩大再生产的发展老路，而要走出一条靠科技进步提高效率的内涵式发展之路。迄今，几十年过去了，现在都已进入“十二五”规划了，虽然提法有所不同，但面对的是同一个老问题。当然，这里的原因是多方面的：有体制方面的问题，有认识方面的问题，有“科教兴国”战略的措施落实的问题，有科技投入不足且管理不善的问题，有教育投入不足的问题，在升学导向的潮流下，扼杀了学生的创新思维，以致不能向各部门提供创新性人才的问题，等等。但是，毕竟经历了30年的大发展，今天我国的经济实力已大为增强，认识水平也大为提高，对经济转型和产业结构调整的迫切性，从上到下已有共识。为了应对依靠科技创新求发展的挑战，对广大设计工作者来说，学习进而通晓现代产品设计的相关知识，已是十分迫切的任务。

作者同许多在一线从事设计工作的高级设计人员做过深入的探讨，发现他们大多数还基本停留在传统设计的水平上，只是随着计算机的普及，在设计中局部引入了CAD、CAM、CIMS、优化设计、有限元和三维动画等方法。虽然使设计水平有所提高，但其创新性却极其有限。更多的还是使用传统设计和模仿设计，间或有局部改进。

由于作者在高校工作，有阅览国外期刊的便利条件，始终长期跟踪新型的设计理论和方法，20世纪60年代起就从德国的《Konstruktion》（设计）杂志，不断接触到一些新的设计理念和方法。作者也曾通过翻译和著作介绍过一些先进的设计理论和方法，但毕竟是挂一漏万。作者一直有个夙愿，就是将所了解的国外先进设计理念和方法，结合自己丰富的教学实践、设计实践和设计管理审核实践体会，较系统地介绍给学生和读者。但由于工作忙碌，迟至今日，才能勉力实现这一愿望。

期望读者能从这本书中受到启发，在实践中创造出更多的拥有自己的知识产权的创新产品来，为我国从制造大国迈向制造强国，屹立于世界民族之林做出贡献。

柴邦衡



# 前言

产品设计是一个非常广泛的题材，涉及各种不同的专业，但都有其应遵循的普遍规律。因此，本书试图打破行业的界限，介绍一些共同的理念、原理和方法，使更多的读者受益。

本书的编著经过多年的构思，并有多方面的积累：其一，作者具有 30 多年从事机械设计教学，特别是 20 世纪 80 年代初，在全国率先为研究生开设“现代机械设计方法学”课程的教学实践，并曾于 1986 年，在现代设计法学会组织的《现代设计法丛书》编写的招标中，中标主持编著《机械现代设计方法学》一书（执笔拟定编写提纲并撰写了主要章节，该书 1987 年出版）；其二，作者具有 20 多年从事科研工作的历练，特别是在承担原机械部百项基础件攻关课题中的第 33 项（石油链、农机链、矿机链攻关）过程中，从设计、工艺、装备和检测设备等方面入手，全面解决了大幅度提高各种复杂、恶劣工况下的链条寿命问题。在承担国家自然科学基金委员会的“提高链条可靠性研究”课题过程中，取得了可靠性理论和实践方面的宝贵经验，后来还担任了该委员会的“可靠性课题评审专家组”成员，有机会接触到更多的可靠性前沿课题；其三，作者在主持创建国家链条质量监督检验中心的过程中，不仅自行设计、研制了多项创新的链条专用检测设备，达到了国际先进水平，而且熟悉了质量管理和检测技术；其四，作者从 20 世纪 90 年代初期开始，从事 ISO9000 质量管理体系标准的研究、审核、培训、咨询和企业诊断活动，从中较系统、深入地掌握了企业管理知识，还主持编著了一套 ISO9000 丛书，其中与设计及其管理密切相关的有：《设计控制》、《ISO/TS16949 国际汽车供应商质量管理体系解读和实施》、《ISO9000 质量管理体系》（第 2 版）、《检验和测量控制》、《质量审核》等；其五，作者多年从事标准化工作，负责并主笔起草了多项国家标准，这些标准获得了原国家标准局和原机械部多项科技成果奖，并同时担任了“链传动”和“联轴器”两个标准委员会的委员；其六，作者长期系统研究和参阅了国内外最新的产品设计理论、方法和经验。

正是由于多年积累的教学、科研、机电产品（包括复杂设备）、测试设备和仪器设计成功的实践经验和丰富的设计质量管理体系审核经验，才使作者有勇气编著这本书。本书着力介绍如何在继承传统设计的成熟经验的基础上，又能跟上技术飞速进步而推陈出新，创造性地进行最佳设计。本书内容广泛、深入浅出、案例丰富、图文并茂，同时具有技术与管理、技术与经济、理论与实践相结合等特点。为便于更多的设计人员阅读，本书尽量不用较复杂的数学工具而重在阐述概念、理论、方法和案例。由于篇幅有限，对众所周知的优化、有限元、CAD 等适于专门论述的方法，就不再赘述。



全书共分为3篇16章，其中：第1篇介绍了现代产品设计基础，包括现代设计 and 开发的特点、应遵循的原则、创造力和创新思维、现代产品设计和开发的原理、方法和技术；第2篇阐述了产品设计的主要过程，包括方案设计、结构设计、总体设计和施工设计；第3篇比较系统地阐述了产品设计和开发的质量管理，包括设计的策划、输入、评审、验证、输出、确认以及设计更改的控制。

该书适于广大设计工作者工作时全流程参考使用，并可用作设计类专业研究生教材，且对大专院校产品设计类专业师生颇具参考价值。

柴邦衡负责全书的策划和统稿，并撰写了第1篇和第3篇，曾长期在工厂工作，具有丰富的多种产品成功的设计实践经验的黄费智教授撰写了第2篇。

书中如有错漏之处，恳请读者指正。

柴邦衡

bhchai 9@163. com

# 目 录

序言  
前言

## 第 1 篇 现代产品设计基础

|                              |    |                           |    |
|------------------------------|----|---------------------------|----|
| 第 1 章 概论 .....               | 2  | 第 2 章 设计人员的创造力和创新思维 ..... | 13 |
| 1.1 产品设计和开发概述 .....          | 2  | 2.1 创造力 .....             | 13 |
| 1.2 现代产品设计和开发的特点 .....       | 3  | 2.1.1 创造力的内涵 .....        | 13 |
| 1.2.1 创新性 .....              | 4  | 2.1.2 创造力的普遍性和可开发性 .....  | 13 |
| 1.2.2 使顾客满意 .....            | 4  | 2.1.3 创造力的培养 .....        | 14 |
| 1.2.3 优化 .....               | 5  | 2.2 创新思维概述 .....          | 21 |
| 1.2.4 设计和开发周期最短化 .....       | 5  | 2.2.1 创新思维的本质 .....       | 21 |
| 1.2.5 智能化 .....              | 5  | 2.2.2 创新思维的规律 .....       | 21 |
| 1.2.6 综合性 .....              | 6  | 2.2.3 创新思维的组合 .....       | 22 |
| 1.3 产品设计和开发的重要性 .....        | 6  | 2.2.4 创新思维的特点 .....       | 23 |
| 1.3.1 推动产业升级换代促进经济发展 .....   | 6  | 2.2.5 创新思维的类型 .....       | 24 |
| 1.3.2 企业的核心竞争力 .....         | 6  | 2.3 创新思维的原理 .....         | 26 |
| 1.3.3 产品设计决定了产品的“先天质量” ..... | 7  | 2.3.1 压力原理 .....          | 26 |
| 1.3.4 最重要的预防措施 .....         | 7  | 2.3.2 发散原理 .....          | 26 |
| 1.3.5 决定产品成本的主导因素 .....      | 7  | 2.3.3 激励（触发）原理 .....      | 26 |
| 1.4 现代产品设计的核心因素 .....        | 8  | 2.3.4 轰击原理 .....          | 27 |
| 1.5 产品设计和开发的原则 .....         | 8  | 2.3.5 流动原理 .....          | 27 |
| 1.5.1 需求原则 .....             | 8  | 2.3.6 调节原理 .....          | 27 |
| 1.5.2 创新原则 .....             | 9  | 2.4 创新思维的方法 .....         | 28 |
| 1.5.3 信息原则 .....             | 9  | 2.4.1 群体集智法 .....         | 28 |
| 1.5.4 系统原则 .....             | 9  | 2.4.2 设计探求法 .....         | 29 |
| 1.5.5 继承原则 .....             | 9  | 2.4.3 属性列举法 .....         | 30 |
| 1.5.6 效益原则 .....             | 10 | 2.4.4 联想法 .....           | 32 |
| 1.5.7 简化原则 .....             | 10 | 2.4.5 抽象法 .....           | 35 |
| 1.5.8 定量原则 .....             | 10 | 2.4.6 逆向思维法 .....         | 36 |
| 1.5.9 时间原则 .....             | 10 | 2.4.7 组合创新法 .....         | 37 |
| 1.5.10 合法原则 .....            | 10 | 2.4.8 技术移植法 .....         | 39 |
| 1.5.11 人性化原则 .....           | 12 | 2.4.9 机遇利用法 .....         | 41 |
| 1.5.12 审核原则 .....            | 12 | 2.5 TRIZ 理论 .....         | 41 |
| 1.6 产品设计和开发的类型 .....         | 12 | 2.5.1 概述 .....            | 41 |
|                              |    | 2.5.2 TRIZ 解决问题的过程 .....  | 42 |
|                              |    | 2.5.3 TRIZ 理论的基本原理 .....  | 42 |

|              |                              |           |              |                          |            |
|--------------|------------------------------|-----------|--------------|--------------------------|------------|
| 2.5.4        | TRIZ 理论主要内容 .....            | 43        | 3.7.1        | 概述 .....                 | 101        |
| 2.5.5        | TRIZ 理论的创新设计问题<br>解决工具 ..... | 44        | 3.7.2        | 人机系统设计的基本要求 .....        | 102        |
| 2.5.6        | 解决发明问题的 40 种原理 .....         | 45        | 3.7.3        | 人机系统设计要点 .....           | 103        |
| 2.5.7        | TRIZ 理论的特点和优势 .....          | 59        | 3.8          | 绿色设计 .....               | 105        |
| 2.5.8        | TRIZ 理论的应用 .....             | 59        | 3.8.1        | 概述 .....                 | 105        |
| 2.5.9        | TRIZ 理论在中国的应用 .....          | 60        | 3.8.2        | 绿色技术 .....               | 107        |
| 2.5.10       | TRIZ 理论的实践意义 .....           | 60        | 3.8.3        | 绿色产品 .....               | 108        |
| <b>第 3 章</b> | <b>现代产品设计原理 .....</b>        | <b>61</b> | 3.8.4        | 绿色制造 .....               | 109        |
| 3.1          | 设计公理及其应用 .....               | 61        | 3.8.5        | 绿色设计的内容 .....            | 110        |
| 3.1.1        | 概述 .....                     | 61        | 3.8.6        | 绿色设计的准则 .....            | 111        |
| 3.1.2        | 设计的四个区域 .....                | 62        | 3.8.7        | 绿色设计的核心内容 .....          | 113        |
| 3.1.3        | 设计展开的方法 .....                | 64        | 3.8.8        | 绿色设计的方法 .....            | 117        |
| 3.1.4        | 基本公理 .....                   | 64        | 3.8.9        | 绿色设计的评价 .....            | 119        |
| 3.1.5        | 降低信息含量的方法 .....              | 68        | <b>第 4 章</b> | <b>现代产品设计方法和技术 .....</b> | <b>121</b> |
| 3.1.6        | 设计师经常犯的错误 .....              | 69        | 4.1          | 概述 .....                 | 121        |
| 3.1.7        | 推论和定理 .....                  | 69        | 4.2          | 质量功能展开 (QFD) .....       | 122        |
| 3.2          | 产品生命周期管理 (PLM) .....         | 74        | 4.2.1        | QFD 的概念 .....            | 122        |
| 3.2.1        | 什么是 PLM .....                | 74        | 4.2.2        | QFD 的作用 .....            | 122        |
| 3.2.2        | 新产品研发管理之痛 .....              | 75        | 4.2.3        | 质量屋 .....                | 123        |
| 3.2.3        | 如何用 PLM 解决新产品研发<br>之痛 .....  | 75        | 4.2.4        | 质量屋的构建程序 .....           | 124        |
| 3.2.4        | PLM 可以为企业带来哪些利益 .....        | 78        | 4.2.5        | QFD 案例分析 .....           | 125        |
| 3.2.5        | 我国企业实施 PLM 之路 .....          | 79        | 4.3          | 稳健设计 (田口方法) .....        | 127        |
| 3.2.6        | PLM 实施成功的案例 .....            | 80        | 4.3.1        | 稳健设计的方法 .....            | 128        |
| 3.3          | 系统论 .....                    | 80        | 4.3.2        | 线外质量管理的步骤与程序 .....       | 129        |
| 3.3.1        | 概述 .....                     | 80        | 4.3.3        | 主要分析技术 .....             | 129        |
| 3.3.2        | 现代产品系统化特征 .....              | 85        | 4.4          | 失效模式及影响分析 (FMEA) .....   | 132        |
| 3.3.3        | 系统方法在设计中的应用 .....            | 86        | 4.4.1        | FMEA 的实施要点 .....         | 132        |
| 3.4          | 设计方法学 .....                  | 88        | 4.4.2        | FMEA 表各栏目及其编制要求 .....    | 133        |
| 3.4.1        | 概述 .....                     | 88        | 4.4.3        | 故障树分析 (FTA) .....        | 136        |
| 3.4.2        | 设计方法进程模式 .....               | 89        | 4.5          | 可靠性技术 .....              | 139        |
| 3.4.3        | 设计方案 .....                   | 89        | 4.5.1        | 可靠性 .....                | 139        |
| 3.4.4        | 综合评价 .....                   | 90        | 4.5.2        | 可靠性的指标 .....             | 139        |
| 3.5          | 产品设计经济学 .....                | 90        | 4.5.3        | 可靠性的技术类型 .....           | 140        |
| 3.5.1        | 概述 .....                     | 90        | 4.5.4        | 可靠性设计 .....              | 141        |
| 3.5.2        | 影响产品设计的技术经济因素 .....          | 91        | 4.6          | 动态设计 .....               | 147        |
| 3.5.3        | 价值分析 .....                   | 92        | 4.6.1        | 概述 .....                 | 147        |
| 3.6          | 质量设计学 .....                  | 96        | 4.6.2        | 动态设计的原理 .....            | 147        |
| 3.6.1        | 概述 .....                     | 96        | 4.7          | 摩擦学设计 .....              | 149        |
| 3.6.2        | 质量设计理论和方法体系 .....            | 98        | 4.7.1        | 概述 .....                 | 149        |
| 3.6.3        | 质量设计决策 .....                 | 100       | 4.7.2        | 摩擦和磨损 .....              | 150        |
| 3.7          | 人机工程学 .....                  | 101       | 4.7.3        | 减摩设计 .....               | 153        |
|              |                              |           | 4.7.4        | 耐磨设计 .....               | 155        |
|              |                              |           | 4.8          | 反求工程设计 .....             | 157        |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 4.8.1 概述 .....           | 157 |
| 4.8.2 相似理论及其应用 .....     | 158 |
| 4.8.3 反求工程设计的内容和方法 ..... | 162 |
| 4.8.4 反求工程设计的应用领域 .....  | 166 |
| 4.9 防错设计 .....           | 167 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 4.9.1 概述 .....         | 167 |
| 4.9.2 防错设计措施 .....     | 168 |
| 4.10 产品安全设计 .....      | 169 |
| 4.10.1 概述 .....        | 169 |
| 4.10.2 产品安全性设计原理 ..... | 171 |

## 第2篇 产品设计的主要过程

### 第5章 产品设计过程与功能原理

#### 方案设计 .....

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 5.1 产品设计过程概述 .....             | 176 |
| 5.1.1 计划阶段 .....               | 177 |
| 5.1.2 设计阶段 .....               | 180 |
| 5.1.3 产品试制与试验阶段 .....          | 181 |
| 5.1.4 产品批量生产阶段 .....           | 181 |
| 5.1.5 产品销售阶段 .....             | 181 |
| 5.2 功能原理设计概述 .....             | 181 |
| 5.2.1 产品功能的定义 .....            | 181 |
| 5.2.2 功能原理设计的任务和工作<br>步骤 ..... | 182 |
| 5.3 系统功能分析 .....               | 183 |
| 5.3.1 产品总功能分解 .....            | 183 |
| 5.3.2 功能元 .....                | 185 |
| 5.3.3 基本功能结构 .....             | 186 |
| 5.3.4 功能结构分析 .....             | 187 |
| 5.3.5 功能结构分析方法 .....           | 191 |
| 5.4 功能作用原理解法（简称<br>原理解） .....  | 198 |
| 5.4.1 寻求原理解的求解思路 .....         | 198 |
| 5.4.2 寻求原理解的方法 .....           | 199 |
| 5.4.3 原理解的组合与筛选 .....          | 215 |
| 5.5 原理方案评价方法 .....             | 220 |
| 5.5.1 概述 .....                 | 220 |
| 5.5.2 有效值分析法 .....             | 221 |
| 5.5.3 技术经济评价法 .....            | 226 |
| 5.5.4 方案中薄弱环节的寻找方法 .....       | 227 |

### 第6章 结构设计 .....

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 6.1 概述 .....             | 230 |
| 6.1.1 结构设计的任务与重要性 .....  | 230 |
| 6.1.2 结构设计的内容与核心问题 ..... | 231 |
| 6.1.3 结构设计的工作步骤 .....    | 232 |
| 6.1.4 结构设计的基本原则 .....    | 234 |
| 6.1.5 结构设计的方法导则 .....    | 237 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 6.2 结构设计的基本原理 .....                   | 238 |
| 6.2.1 任务分配原理 .....                    | 238 |
| 6.2.2 等强度原理 .....                     | 239 |
| 6.2.3 力流传递路线最短原理 .....                | 240 |
| 6.2.4 无功平衡原理 .....                    | 243 |
| 6.2.5 变形协调原理 .....                    | 244 |
| 6.2.6 自补偿（自助）原理 .....                 | 245 |
| 6.2.7 稳定性原理 .....                     | 247 |
| 6.3 结构要素变换法 .....                     | 248 |
| 6.3.1 利用结构形态变换制订结构<br>方案的方法 .....     | 249 |
| 6.3.2 利用结构相互关系变换制订<br>结构方案的方法 .....   | 251 |
| 6.4 结构优化设计 .....                      | 253 |
| 6.5 解决结构设计中四大基本技术<br>问题的方法 .....      | 256 |
| 6.5.1 提高结构强度、刚度与使用<br>寿命的基本设计方法 ..... | 256 |
| 6.5.2 提高结构精度的基本设计方法 .....             | 274 |
| 6.5.3 改善结构工艺性的基本设计<br>方法 .....        | 283 |
| 6.5.4 降低结构成本的基本设计方法 .....             | 293 |
| 6.6 大件设计 .....                        | 305 |
| 6.6.1 大件设计的基础知识 .....                 | 305 |
| 6.6.2 大件焊接结构设计 .....                  | 307 |
| 6.6.3 应用有限元法分析计算大件<br>的刚度与强度 .....    | 312 |

### 第7章 总体设计 .....

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 7.1 概述 .....                   | 313 |
| 7.1.1 总体设计的任务 .....            | 313 |
| 7.1.2 总体设计的主要内容 .....          | 314 |
| 7.2 总布置设计 .....                | 315 |
| 7.2.1 总布置设计的基本原则 .....         | 315 |
| 7.2.2 产品总体布局的基本类型 .....        | 315 |
| 7.2.3 产品总布置设计的典型布置<br>形式 ..... | 315 |





|                                     |            |                                           |     |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------------------|-----|
| 7.3 产品运动方案与驱动系统的设计和运动循环图 .....      | 330        | 要求 .....                                  | 363 |
| 7.3.1 选择产品运动方案、驱动系统的类型和拟定机构简图 ..... | 330        | 8.2.3 产品装配工艺性和对零件结构工艺性的要求 .....           | 364 |
| 7.3.2 产品机械运动协调设计和运动循环图 .....        | 333        | 8.2.4 部件图的画法 .....                        | 366 |
| 7.3.3 产品驱动系统的具体设计步骤 .....           | 335        | 8.3 零件设计的内容和基本要求 .....                    | 370 |
| 7.4 人机学设计 .....                     | 338        | 8.3.1 零件的分类、零件工作图的作用及设计要求 .....           | 370 |
| 7.4.1 人机学与宜人原则 .....                | 338        | 8.3.2 轴类零件工作图的设计 .....                    | 371 |
| 7.4.2 与身体尺度相关的设计 .....              | 339        | 8.3.3 齿轮类零件工作图的设计 .....                   | 372 |
| 7.4.3 与体力相关的设计 .....                | 343        | 8.3.4 减速器箱体类零件工作图的设计 .....                | 374 |
| 7.4.4 与视觉相关的设计 .....                | 345        | 8.4 设计文件的作用、种类和制订的基本要求 .....              | 379 |
| 7.5 产品造型设计 .....                    | 347        | 8.4.1 设计文件的作用与种类 .....                    | 379 |
| 7.5.1 造型设计的基本原则与美学法则 .....          | 347        | 8.4.2 制订设计文件的基本要求 .....                   | 379 |
| 7.5.2 产品形态设计的要点 .....               | 353        | 8.5 计算机辅助设计在施工设计中的应用 .....                | 386 |
| 7.5.3 产品色彩设计的要点 .....               | 356        | 8.5.1 计算机辅助设计简介 .....                     | 386 |
| 7.5.4 产品装饰设计的要点 .....               | 359        | 8.5.2 工程数据的处理方法 .....                     | 388 |
| <b>第8章 施工设计 .....</b>               | <b>361</b> | 8.5.3 计算机图形处理与三维造型 .....                  | 392 |
| 8.1 施工设计的任务与主要内容 .....              | 361        | 8.5.4 MATLAB 和野火 Pro/Engineer 的应用简介 ..... | 394 |
| 8.2 部件设计的内容和要求 .....                | 361        |                                           |     |
| 8.2.1 部件图的作用和内容 .....               | 361        |                                           |     |
| 8.2.2 部件图上的尺寸标注和技术                  |            |                                           |     |

### 第3篇 产品设计和开发的质量管理

|                                   |            |                                |     |
|-----------------------------------|------------|--------------------------------|-----|
| <b>第9章 概述 .....</b>               | <b>398</b> | 10.2.3 策划小组是策划成功的组织保证 .....    | 405 |
| 9.1 质量管理在设计和开发中的重要性 .....         | 398        | 10.2.4 预防原则 .....              | 405 |
| 9.1.1 促进创新 .....                  | 398        | 10.2.5 运用同步技术(并行工程) .....      | 406 |
| 9.1.2 人力资源管理 .....                | 398        | 10.2.6 系统策划 .....              | 406 |
| 9.1.3 市场定位 .....                  | 399        | 10.2.7 制订控制计划 .....            | 406 |
| 9.1.4 质量策划和质量设计 .....             | 399        | 10.2.8 问题的解决 .....             | 407 |
| 9.2 设计和开发的质量职能和质量管理要求 .....       | 399        | 10.2.9 制订进度计划 .....            | 408 |
| 9.2.1 设计和开发的质量职能 .....            | 399        | 10.3 设计团队和设计人员的资质 .....        | 410 |
| 9.2.2 设计和开发的质量活动 .....            | 400        | 10.3.1 设计人员的职责 .....           | 411 |
| 9.2.3 设计和开发的质量管理要求 .....          | 402        | 10.3.2 各类设计人员的资质 .....         | 412 |
| <b>第10章 产品设计和开发的策划 .....</b>      | <b>403</b> | 10.4 资源配置 .....                | 413 |
| 10.1 对设计和开发策划的要求 .....            | 403        | 10.4.1 信息资源 .....              | 413 |
| 10.2 策划原则 .....                   | 404        | 10.4.2 基础设施 .....              | 413 |
| 10.2.1 高层领导支持、重视和参与是策划成功的关键 ..... | 404        | 10.4.3 工作环境 .....              | 414 |
| 10.2.2 信息是设计策划的基础 .....           | 404        | 10.4.4 资金 .....                | 414 |
|                                   |            | 10.5 产品质量前期策划和控制计划(APQP) ..... | 414 |

|                                   |     |                                      |     |
|-----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| 10.5.1 概述 .....                   | 414 | 13.4 设计验证的跟踪 .....                   | 460 |
| 10.5.2 APQP 的过程 .....             | 415 | <b>第 14 章 设计输出</b> .....             | 461 |
| 10.5.3 控制计划 .....                 | 420 | 14.1 概述 .....                        | 461 |
| <b>第 11 章 设计输入</b> .....          | 425 | 14.1.1 对设计输出的要求 .....                | 461 |
| 11.1 概述 .....                     | 425 | 14.1.2 设计输出的内容 .....                 | 461 |
| 11.2 市场调研 .....                   | 426 | 14.1.3 产品图样和设计文件的<br>完整性 .....       | 462 |
| 11.2.1 概述 .....                   | 426 | 14.2 满足设计输入要求 .....                  | 464 |
| 11.2.2 市场调研的需求 .....              | 427 | 14.3 验收规则 .....                      | 464 |
| 11.2.3 市场调研的内容 .....              | 427 | 14.4 质量特性分级 .....                    | 466 |
| 11.3 隐需求的识别 .....                 | 429 | 14.4.1 概述 .....                      | 466 |
| 11.3.1 识别隐需求的重要性 .....            | 429 | 14.4.2 质量特性分级对象 .....                | 466 |
| 11.3.2 从市场技术预测中识别 .....           | 430 | 14.4.3 质量特性分级内容 .....                | 466 |
| 11.3.3 从以往类似产品的经验中<br>识别 .....    | 430 | 14.4.4 质量特性重要度分级方法 .....             | 467 |
| 11.3.4 从国内外同类产品的调查分析<br>中识别 ..... | 431 | 14.4.5 进行产品质量特性重要度分级<br>应注意的问题 ..... | 467 |
| 11.3.5 从其他类似顾客的要求中<br>识别 .....    | 431 | 14.4.6 质量特性重要度分级的标识 .....            | 468 |
| 11.4 设计输入控制的一般原则 .....            | 431 | <b>第 15 章 设计确认</b> .....             | 469 |
| 11.5 设计要求 .....                   | 433 | 15.1 概述 .....                        | 469 |
| 11.5.1 主要设计要求 .....               | 433 | 15.2 设计确认的要点 .....                   | 470 |
| 11.5.2 其他设计要求 .....               | 435 | 15.2.1 设计确认的目的 .....                 | 470 |
| 11.6 设计输入的评审 .....                | 436 | 15.2.2 设计确认的时机 .....                 | 471 |
| <b>第 12 章 设计评审</b> .....          | 437 | 15.2.3 设计确认的条件 .....                 | 471 |
| 12.1 概述 .....                     | 437 | 15.2.4 设计确认的方法 .....                 | 472 |
| 12.2 设计评审要点 .....                 | 438 | 15.2.5 设计确认的记录和跟踪 .....              | 472 |
| 12.2.1 评审要点的设置 .....              | 438 | 15.3 设计鉴定和确认 .....                   | 472 |
| 12.2.2 设计评审的内容和要求 .....           | 439 | 15.3.1 概述 .....                      | 472 |
| 12.3 设计评审人员 .....                 | 443 | 15.3.2 设计确认 .....                    | 472 |
| 12.4 设计评审程序 .....                 | 444 | 15.3.3 设计鉴定 .....                    | 474 |
| 12.5 设计评审的注意事项 .....              | 447 | <b>第 16 章 设计更改</b> .....             | 475 |
| <b>第 13 章 设计验证</b> .....          | 449 | 16.1 概述 .....                        | 475 |
| 13.1 概述 .....                     | 449 | 16.1.1 对设计更改的要求 .....                | 475 |
| 13.2 设计验证的时机 .....                | 450 | 16.1.2 设计更改的目的和作用 .....              | 475 |
| 13.3 设计验证的方法 .....                | 451 | 16.1.3 设计更改可能引发的问题 .....             | 478 |
| 13.3.1 变换方法进行计算 .....             | 451 | 16.2 设计更改的控制 .....                   | 479 |
| 13.3.2 样机试验 .....                 | 452 | 16.2.1 设计更改的提出 .....                 | 479 |
| 13.3.3 模型试验 .....                 | 452 | 16.2.2 设计更改的评审和批准 .....              | 481 |
| 13.3.4 类比验证 .....                 | 453 | 16.2.3 设计更改的跟踪 .....                 | 482 |
| 13.3.5 模拟试验 .....                 | 454 | 16.3 设计更改的注意事项 .....                 | 482 |
| 13.3.6 计算机仿真 .....                | 454 | 16.3.1 设计更改时应研究的问题 .....             | 482 |
| 13.3.7 虚拟现实技术 .....               | 458 | 16.3.2 关联更改 .....                    | 484 |
|                                   |     | 16.3.3 设计更改实施的注意事项 .....             | 485 |

|                       |     |                           |     |
|-----------------------|-----|---------------------------|-----|
| 16.4 技术状态管理要点 .....   | 486 | 16.4.4 技术状态控制 .....       | 491 |
| 16.4.1 概述 .....       | 486 | 16.4.5 技术状态管理纪实 .....     | 495 |
| 16.4.2 技术状态管理体系 ..... | 487 | 16.4.6 技术状态及其管理体系审核 ..... | 496 |
| 16.4.3 技术状态标识 .....   | 488 | <b>参考文献</b> .....         | 498 |

# 第1篇

## 现代产品设计基础

## 1.1 产品设计和开发概述

应该根据 ISO9000:2005 标准,来统一对设计和开发的认识。其定义如下:设计和开发是将要求转换为产品、过程或体系的规定的特性或规范的一组过程。只有这样的认识,才是国际通用的。“设计”和“开发”有时是同义的,有时用于规定整个设计和开发的不同阶段。设计和开发的性质可使用修饰词表示(如产品设计和开发或过程设计开发)。

在这个术语定义中,与国内有些传统观念很不一致。这里的产品,包括硬件、软件、流程性材料和服务等各种类型的产品;这里的过程,包括产品实现的全过程;而体系则只能保障产品实现过程的管理体系。而无论产品、过程和体系都有表征其的特性或规范。例如:将要求转换为产品的规定的特性,是指将顾客、法规等明确或隐含的要求转换为相应的质量特性,即产品的设计要求;将要求转换为产品实现过程规范的一组过程,是指确定实现产品设计要求的原理方案、结构方案、参数、产品图样和容差,以及制订如何达到这些要求的采购规范、制作过程规范及过程特性和检验规范等;将要求转换为体系的特性和规范,是指对管理体系所应遵循的管理标准的规定(如采用 ISO9001 或 ISO/TS16949)。

传统的产品设计涉及范围远没有这么广,且一般已有比较成熟的参照物和方法,可望达到预期结果。这种设计的探索性和创新性较少,而开发则意味着更多的挑战 and 创造。现在,许多人更愿意用“研发”来表示设计和开发。但对于软件和服务来说,则更宜用“开发”。

产品设计是一种建立在知识和经验基础上的创造性劳动,设计的目的就是寻求一种满足顾客、企业及社会所提出的质量要求的最佳方案。这是一个复杂的思维过程。因此,现代产品设计更需要探索新的、先进的设计理论和方法,使设计进行得更顺利、更富有成效。产品设计理论研究的内容,如图 1-1 所示。产品设计需要广泛的基础知识,并



图 1-1 产品设计理论研究的内容



图 1-2 产品设计与环境

1.2 现代产品设计和开发的特点

表 1-1 中列示了现代设计与传统设计的比较。现代产品设计不能仅考虑产品本身，还要考虑对系统和环境的影响；不仅要考虑技术领域，还要考虑经济、社会效益；不仅考虑当前，还要考虑长远发展。

表 1-1 现代设计与传统设计的比较

| 对 比 项  | 对 比 内 容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 使用工具   | 传统设计主要是依靠手工操作来完成的，例如一些设计计算及绘图基本上要靠手工完成，这样不仅导致设计进度缓慢，而且在很大程度上约束了人脑的设计思维进度。现代设计主要依靠计算机来完成，设计计算、绘图、分析甚至样机检验都可借助于计算机来实现，有了计算机，设计人员可以把精力重点放在产品创新上而不是一些重复性的劳作上，从而显著地提高了设计效率                                                                                                                                                        |
| 计算方法   | 传统设计在设计计算中通常依赖于解析求解方法，由于工程实际问题的复杂性，使一些具体问题无法求得解析解，因此，为了求解不得不将问题简化而采用近似计算，因此导致设计的精度降低。现代设计在计算中通常采用数值算法，例如有限元方法，在充分考虑各种影响因素的前提下，利用计算机强大的计算能力来获得较精确的解                                                                                                                                                                           |
| 设计形式   | 传统机械设计主要采用“方案设计—图样设计—样机制造及检测—设计改进—生产制造”这一串行模式。在传统设计中，往往只有在制造物理样机和产品使用过程中，才能发现设计上的缺陷，或对物理样机进行实际试验和使用时，才能获知设计质量的高低。这种设计模式不可能使设计过程获得较高的效率和使产品具有较高的质量，这与竞争十分激烈的市场环境不相适应。现代设计一般采用并行设计模式，由于计算机网络等先进通信工具的出现，使得协同异地进行产品设计已成为可能。但是，这里需要说明的是，在产品设计中完全采用并行设计模式是不可行的。例如按照综合设计理论方法体系，产品设计大致可以分为调研、规划、实施和检验四个阶段，在这四个阶段中仅实施阶段可以考虑并行和协同的设计模式 |
| 知识运用   | 传统设计通常凭借设计者直接或间接的经验，通过类比分析或经验公式来确定方案，由于方案的拟定很大程度上取决于设计人员的个人经验，即使同时拟定几个方案，也难于获得最优方案。现代设计从以经验为主过渡到以知识为主，设计者利用知识工程、人工智能等相关技术，可以科学地进行设计过程中的各种决策，从而促使设计效率、产品质量获得大幅度的提高                                                                                                                                                            |
| 局部或全局性 | 传统设计通常只根据产品设计的各种需求，一对一地去解决设计中遇到的问题，缺乏整体的或全局的观念；而现代设计更加科学，更加全面，更加系统，因此，基于系统工程的综合设计理论与方法具体地贯彻了现代设计的思想                                                                                                                                                                                                                          |

传统设计方法是以经验总结为基础，运用力学、数学而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计的依据，通过经验公式、近似系数、类比等方法进行设计。它基本上是一种

以静态分析、近似计算、经验设计、手工劳动为特征的设计方法。现代设计方法与传统设计方法相比,主要完成了以下转变:

- 1) 产品结构分析的定量化。
- 2) 产品工况分析的动态化。
- 3) 产品质量分析的可靠性化。
- 4) 产品设计结果的最优化。
- 5) 产品设计过程的高效化和自动化。

经过进一步的分析和研究可以发现,现代产品设计还具有以下一系列特点。

### 1.2.1 创新性

现代产品的核心是创新性。当今已跨入知识经济时代,创新是现代企业的活力之本、财富之源。创新能力是企业的核心竞争力,新颖性、先进性和实用性是创新的基本属性。新颖性也是申请专利的必要条件。只有不断地推出新产品、新材料、新工艺,开辟新市场、建立新的原材料和半成品供应渠道,才能使企业具有可持续的竞争力。从事现代产品设计和开发,不创新是没有出路的。苹果公司推出的 ipad 和 iphone 使其鹤立鸡群,Google 公司以搜索引擎、邮箱(gmail)、电子地图(google map)、云计算等为先导,广泛进入互联网的各领域,取代微软成为互联网的龙头老大,而近来脸书(facebook)和推特(twitter)社交网络大有异军突起之势,创新都给它们带来了巨大的商业利益。我国也有一些拥有自主知识产权的创新:如航天材料、100 万 V 超高压输变电系统、高铁技术的创新等。但这些远远不能适应发展的需要,当前我国正在进行产业结构调整,产品也要完成从低端产品向高端产品的过渡,这就更离不开创新。

产品没有创新犹如失去灵魂,很难在竞争对手如林的市场上取得优胜,没有创新就不会有质的飞跃,就不能得到知识产权的保护,就非常容易陷入常规的价格战的泥潭中。创新会存在引导消费的机遇。北大方正激光照排系统是一个成功的创新范例,它引起印刷业的一场技术革命,从此甩掉了检字、铸字等传统技术。

### 1.2.2 使顾客满意

设计的出发点和归宿都必须以顾客满意为最高准则。顾客如不满意,产品就会因销路不佳而断送。影响消费行为的第一要素,就是顾客的“口碑”。据统计,一个顾客对商品的感受,平均会向 13 个人传播。顾客是否满意是判断产品质量好坏的最终标准。因此,在设计 and 开发之前,必须搞清产品的市场定位、消费群体及其期望和需求。在设计过程中,必须设身处地的为顾客着想,充分考虑如何满足其明确的和隐含的要求。

在这方面,有许多厂是有深刻教训的。例如,我国某著名汽车厂在其普遍受到欢迎的 5t 载货汽车的基础上,开发了 6t 载货汽车,由于通用零部件很多,开发较容易。但是,没有想到顾客却不欢迎。这并不是车的质量有何问题,而是购置者大多是从事个体运输的业主。他们期望更大的吨位,如 8~10t。因为当时过路过桥费是以 5t 车为分界的,对于 6t 车和 10t 车来说,收费一样多,而长途运输过路过桥费又占运输成本的很大比例。显然,同样只需要一个驾驶员,10t 载货汽车的运输成本要低很多。因此,6t 载货汽车没有“火”起来,就不足为怪了。这就是由于厂方只考虑自己开发方便,而不清楚顾客是谁以及他们的需求所带来



的后果。

### 1.2.3 优化

产品设计是一个决策过程。实现产品要求的方案不是唯一的, 如何获得最佳方案和结果是关键。优化可以在满足产品质量要求的前提下, 提高产品的价值, 提高人—机系统效率, 降低采购和加工成本, 从而达到最理想的效果。因此, 在整个设计过程中, 如何优化应是设计人员自始至终高度关注的问题。根据设计公理, 可以建立新的优化思路, 在满足独立公理的条件下, 所需信息量最小的方案, 就是最佳的。传统的优化设计方法, 在无法建立数学模型时, 是难有作为的。在参数和容差设计方面, 田口方法已臻于成熟。而在原理方案和结构方案的优化方面, 则还需积累经验。产品设计的最佳方案要从技术、经济、环境和人—机工程等多角度综合考量, 所以解决这类问题往往要靠专家系统及发扬团队精神, 只有发挥集体智慧的优势, 才会收到事半功倍的效果。

### 1.2.4 设计和开发周期最短化

在当今激烈的市场竞争背景下, 设计和开发一种新产品, 就像在战争中抢占制高点一样, 谁先抢占了山头, 谁就具有居高临下的主动权。市场上往往有多家公司闭门开发同一原理的新产品, 谁先成功并获得专利, 就意味着率先引导市场潮流, 不仅可以直接从新产品的销售中取得巨大利益, 而且还可通过转让知识产权获得高额回报。因此, 这种“时间差”极易成为制胜的法宝。今天, 设计工作的质量管理必须立足于一次就把事情做好, 力争做到一次成功。为避免设计出现反复, 达到一次成功的目标, 就必须采用许多先进的技术, 如防错设计、DFMEA (设计的失效模式和影响分析)、试验设计、仿真技术和并行工程等。

### 1.2.5 智能化

智能为智力与能力的结合。智能化重在发掘一切智能载体的潜力, 为设计服务。特别是可以利用计算机替代人脑 (如推理判断、联想思维等), 以克服人脑的运算精度不高、速度慢、易疲劳、存储能力有限、易产生差错等缺陷。

智能化主要是指用计算机的程序来替代人的智能, 如: 用其求解问题; 用计算机代替人实现某些操作和控制; 计算机辅助设计 CAD; 专家系统 (知识库); 模糊识别 (如核磁共振 MRI、计算机断层扫描 CT); 机器人技术等。

作者于 1978 年指导研究生时, 开始接触到的计算机还是电子管式的 TQ-16 型, 占一个很大的房间, 还要自编程序, 用穿孔带。计算机技术发展之快, 简直难以想象。今天, 计算机的储存量不断增大, 运算速度越来越快, 各种应用软件越来越方便, 而体积则越来越小, 甚至大量数据储存可通过云计算放置在外部的虚拟空间。现在不仅可以运用计算机进行复杂的数学运算 (如进行有限元分析)、绘图; 而且可任意进行模拟、仿真; 还可以实现并行工程, 使产品的设计和开发与制造过程的设计和开发同步进行; 此外, 在数据库中可以调用以往类似的设计经验, 实现知识管理。因此, 在设计中运用计算机, 借助于 CAD 技术, 已成为现代设计和开发的一大特点。在设计中运用计算机产品集成工程 (CIPE), 可使 CAD 得到充分的数据管理和过程管理的支持, 从而发挥更大的作用。