

机械设计工程师资格考试培训教材

# 现代机械 设计方法

© 中国机械工程学会机械设计分会 编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

机械设计工程师资格考试培训教材

# 现代机械设计方法

中国机械工程学会机械设计分会编



机械工业出版社

本书由中国机械工程学会机械设计分会组织编写。本书内容包括：产品生命周期设计、创新设计、机械动态设计、有限元设计、稳健设计、优化设计和可靠性设计等，是现代设计理论与方法学分支学科中的几个重要内容。本书所选择的几个内容具有通用性和适于各种专业产品设计应用的特点，既可以对技术产品的某项特性作出定量描述，又有完整的计算方法和步骤（或程序），而且其设计结果有实际应用价值，比传统的设计方法更具有科学性和合理性。

本书为机械设计工程师资格考试培训教材，也可供高等院校机械类专业师生和有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

现代机械设计方法/中国机械工程学会机械设计分会编. —北京：机械工业出版社，2011. 12

机械设计工程师资格考试培训教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 36881 - 6

I. ①现… II. ①中… III. ①机械设计—工程师—资格考试—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 268394 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：蔡开颖 责任编辑：蔡开颖 章承林

版式设计：常天培 责任校对：张 薇

封面设计：张 静 责任印制：乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20 印张 · 1 插页 · 491 千字

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 36881 - 6

定价：39.80 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 网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

“设计”是把科技成果以技术产品形式转化为生产力的一项关键技术，也是现代工业文明的重要支柱。不少先进工业国家认为，工业革新必须以设计为中心，未来国际市场的竞争是设计的竞争，21世纪竞争的焦点将是基于知识的创新设计，设计工程师则是推动设计技术发展的主体。因此，每一位设计人员都必须不断学习新的设计理论、方法和技术，不断改进产品的设计质量，提高其市场的竞争力。本书内容包括：产品生命周期设计、创新设计、机械动态设计、有限元设计、稳健设计、优化设计和可靠性设计等，是现代设计理论与方法学分支学科中的几个重要内容。有关数字化和信息化方面的可用于支持设计的一些新方法，如计算机辅助设计、智能设计、并行设计、协同与分布式设计、虚拟设计等，将在其他书中介绍。本书所选择的几个内容具有通用性和适于各种专业产品设计应用的特点，既可以对技术产品的某项特性作出定量描述，又有完整的计算方法和步骤（或程序），而且其设计结果有实际应用价值，比传统的设计方法更具有科学性和合理性。

本书由中国机械工程学会机械设计分会组织编写，参加编写的人员有：陈立周（第1、2、6章和第7章），檀润华（第3章），闻邦椿、韩清凯（第4章），谢琴、刘更（第5章），葛世荣（第8章）。全书由陈立周、孙薇统一整理。为了便于读者检验自学结果，每章后面大多附有习题。在编写过程中，参考了国内已出版的有关教材或专著中的一些内容和图表，在此谨向有关作者和出版社致以谢意。由于本书内容面较广，加之编者水平所限，在内容取舍、编排和编写等方面都会存在一些不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 产品设计过程	2
1.2.1 设计过程及其特点	2
1.2.2 设计工作阶段和工作方法	4
1.2.3 概念设计与参数设计	6
1.2.4 结构设计, 模块化、系列化和组 合化设计	6
1.2.5 产品造型设计和人机工程 设计	7
1.3 机械设计理论与方法	7
1.3.1 机械设计学科	7
1.3.2 现代设计理论与方法的学科 领域	8
习题	8
参考文献	8
第2章 产品生命周期设计	9
2.1 引言	9
2.2 产品生命周期设计的基本 概念	10
2.2.1 产品的生命周期	10
2.2.2 产品生命周期设计	10
2.2.3 生命周期设计的组成	11
2.2.4 生命周期设计的实施模式	12
2.3 面向材料选择的设计	12
2.3.1 绿色材料的基本概念	12
2.3.2 绿色材料的评价	13
2.3.3 材料的选择设计方法	14
2.4 面向产品质量的设计	15
2.4.1 产品生命周期的质量设计 模型	15
2.4.2 面向产品质量设计与控制的 主要方法	16
2.4.3 产品设计质量的模糊评价	17
2.5 面向环境的设计	18
2.5.1 概述	18
2.5.2 面向拆卸的设计	19
2.5.3 面向回收的设计	21
2.5.4 面向维修的设计	24
2.6 产品生命周期设计的评价	26
2.6.1 LCA 的概念	26
2.6.2 LCA 的分析方法	26
2.7 生命周期设计的关键技术	29
2.7.1 生命周期设计的数据库和 知识库	29
2.7.2 生命周期设计用的几种工作 软件及其开发	30
习题	32
参考文献	32
第3章 创新设计	33
3.1 概述	33
3.2 创新设计的概念	33
3.2.1 设计理论分层	33
3.2.2 常规设计与创新设计	34
3.2.3 创新设计过程	35
3.2.4 解的分级	35
3.3 产品设计中的冲突	36
3.3.1 冲突的分类	36
3.3.2 TRIZ 中的冲突分类	37
3.3.3 产品设计中的冲突实例	38
3.3.4 技术冲突的通用化	39

3.3.5 物理冲突 .....	42	4.5.1 被动隔振的基本原理 .....	94
3.3.6 技术冲突与物理冲突 .....	42	4.5.2 被动消振的基本原理 .....	95
3.4 冲突解决原理 .....	43	4.5.3 主动隔振、振动利用简介 .....	98
3.4.1 发明原理 .....	43	习题 .....	100
3.4.2 冲突矩阵 .....	60	参考文献 .....	101
3.4.3 技术冲突问题解决的过程 .....	61	<b>第5章 有限元设计</b> .....	102
3.4.4 技术冲突解决的工程应用 .....	61	5.1 引言 .....	102
3.5 物理冲突解决原理 .....	64	5.1.1 概述 .....	102
3.5.1 物理冲突的类型 .....	64	5.1.2 结构分析和有限元法 .....	102
3.5.2 分离原理 .....	65	5.1.3 有限元的基本思想和特点 .....	103
3.5.3 分离原理与发明原理的关系 .....	67	5.1.4 有限元在工程设计中的应用 .....	104
参考文献 .....	69	5.1.5 CAE 技术与有限元 .....	105
<b>第4章 机械动态设计</b> .....	70	5.2 弹性力学的基本理论 .....	106
4.1 引言 .....	70	5.2.1 弹性力学的基本概念 .....	106
4.1.1 机械动态设计的含义 .....	70	5.2.2 弹性力学的基本方程 .....	108
4.1.2 机械动态设计的主要内容及其 关键技术 .....	70	5.2.3 平面应力和平面应变问题 .....	110
4.1.3 机械动态设计的发展 .....	71	5.2.4 弹性力学的基本原理 .....	113
4.2 机械结构振动理论基础 .....	72	5.3 单元的类型及其插值函数 .....	115
4.2.1 单自由度振动系统分析 .....	72	5.3.1 概述 .....	115
4.2.2 多自由度振动系统分析 .....	75	5.3.2 单元的类型 .....	115
4.2.3 非线性振动系统简介 .....	78	5.3.3 单元的插值函数 .....	119
4.3 机械结构动力学建模与参数 识别 .....	80	5.4 弹性力学中的有限元法 .....	124
4.3.1 动力学建模的一般方法 .....	80	5.4.1 有限元模型的建立 .....	124
4.3.2 有限元动力学建模方法 .....	80	5.4.2 单元特性分析 .....	127
4.3.3 实验模态分析建模方法 .....	81	5.4.3 整体分析 .....	129
4.3.4 动力学参数识别 .....	86	5.4.4 边界约束条件的处理 .....	132
4.4 机械结构动力学修改与动力学 优化设计 .....	88	5.4.5 求解、计算结果的整理和有限 元后处理 .....	133
4.4.1 结构动力学修改的灵敏度分析 原理 .....	88	5.4.6 算例 .....	134
4.4.2 结构动力学修改的矩阵摄动 迭代法 .....	91	5.5 等参元和数值积分 .....	139
4.4.3 结构动力学修改的工程应用 .....	91	5.5.1 等参变换和单元矩阵的变换 .....	139
4.4.4 结构动态优化设计原理与 方法 .....	93	5.5.2 四节点四边形等参元 .....	141
4.5 机械减振、振动利用与振动 控制设计 .....	94	5.5.3 数值积分 .....	143
		5.6 轴对称问题和空间问题的 有限元分析 .....	145
		5.6.1 轴对称问题的有限元分析 .....	145
		5.6.2 空间问题的有限元分析 .....	148
		5.6.3 体积坐标 .....	151
		5.7 结构动力学的有限元分析 .....	152

5.7.1 弹性动力学问题的基本方程和动力 学有限元法的基本步骤	153	6.5.3 随机模型的计算方法	217
5.7.2 结构自振频率和振型	154	习题	219
5.7.3 质量矩阵和阻尼矩阵	155	参考文献	220
5.7.4 动力响应的求解	157	<b>第7章 优化设计</b>	221
<b>5.8 有限元设计分析中的若干 问题</b>	159	7.1 引言	221
5.8.1 有限元计算模型的建立	159	7.1.1 最优化在机械产品设计中的 作用	221
5.8.2 减小解题规模的常用措施	162	7.1.2 优化设计的分类	222
5.8.3 网格自动生成和误差估计	165	7.1.3 优化设计的一般工作方法	223
<b>5.9 有限元分析软件</b>	168	7.1.4 优化设计的发展与趋势	223
5.9.1 国外有限元分析软件的概况	168	<b>7.2 优化设计建模</b>	225
5.9.2 ANSYS 有限元分析软件介绍	169	7.2.1 概述	225
5.9.3 ANSYS 软件分析实例	172	7.2.2 优化设计的基本术语	226
习题	181	7.2.3 优化设计数学模型的格式	229
参考文献	182	<b>7.3 优化设计模型的基本概念</b>	231
<b>第6章 稳健设计</b>	183	7.3.1 函数的梯度	231
6.1 稳健设计的基本概念	183	7.3.2 局部近似函数	232
6.1.1 产品的质量问题的	183	7.3.3 凸集和凸函数	233
6.1.2 产品的质量特性与评价指标	184	7.3.4 约束可行域	234
6.1.3 产品质量的稳健性与稳健 设计	186	7.3.5 约束最优解	235
<b>6.2 损失模型法</b>	189	<b>7.4 优化计算方法</b>	238
6.2.1 概述	189	7.4.1 概述	238
6.2.2 两个基本工具	190	7.4.2 约束优化计算方法	241
6.2.3 Taguchi 稳健设计	195	7.4.3 无约束优化计算方法	248
<b>6.3 响应面模型法</b>	203	7.4.4 遗传优化计算方法	254
6.3.1 概述	203	7.4.5 优化计算方法程序	260
6.3.2 响应面模型的试验设计	203	<b>7.5 优化设计的实施与实例</b>	261
6.3.3 响应面模型的建立	205	7.5.1 优化设计的建模步骤	261
6.3.4 基于响应面模型的稳健设计	207	7.5.2 优化计算方法的选择	263
<b>6.4 容差模型法</b>	212	7.5.3 收敛精度的选择	264
6.4.1 概述	212	7.5.4 优化计算结果的分析	264
6.4.2 容差分析	212	习题	268
6.4.3 容差模型	213	参考文献	270
6.4.4 基于容差模型的稳健设计	214	<b>第8章 可靠性设计</b>	271
<b>6.5 随机模型法</b>	214	8.1 可靠性基本概念	271
6.5.1 概述	214	8.1.1 可靠性定义	271
6.5.2 稳健设计的随机模型	215	8.1.2 可靠性特征量	272
		<b>8.2 可靠性设计方法</b>	274
		8.2.1 可靠性设计	274

8.2.2 机械零部件可靠性设计 .....	276	8.4.1 故障模式与分析 .....	292
8.2.3 系统可靠性设计 .....	281	8.4.2 故障树分析方法 .....	295
8.2.4 系统冗余技术 .....	284	8.5 产品的使用可靠性分析 .....	301
8.2.5 提高机械系统可靠性的措施 .....	286	8.5.1 使用可靠性与维修 .....	301
8.3 产品可靠性评估 .....	287	8.5.2 维修性设计 .....	303
8.3.1 可靠性模型 .....	287	习题 .....	308
8.3.2 系统可靠性评估 .....	288	参考文献 .....	308
8.3.3 可靠性试验 .....	290	附录 冲突矩阵 .....	310
8.4 产品故障分析技术 .....	292		



# 第1章 绪论

## 1.1 引言

“设计”作为人们综合运用科学技术原理、知识和有目的地创造技术产品的一项技术，已经发展成为现代社会工业文明的重要支柱。伴随着人类文明的起源与发展，设计也从技艺发展到科学。它一方面被社会需求所推动，另一方面也受当时自然、社会和科学技术发展水平的约束。今天，设计水平已标志着一个国家的工业创新能力和市场竞争能力。不少先进的工业国认为，工业革新必须以设计为中心，未来国际市场的竞争将是设计的竞争。

设计实践的经验告诉人们，设计质量的高低，是决定技术产品一系列技术和经济效益的重要因素。许多技术产品的质量问题的，大多数是由于设计不周所引起的。因而在产品生产技术的第一道工序——设计上，下的工夫越大和越符合客观，则效果就会越好。统计结果表明，产品的质量问题的约有50%是因设计不良造成的。产品成本的70%是在设计阶段所决定的，而设计周期约占产品开发总周期的40%。因而随着社会对现代技术产品的越来越苛刻的要求，就必须全面而深入地学习与运用现代设计理论、方法和技术，以不断改进产品的设计质量，提高其市场的竞争能力。

任何一项技术产品的设计，都包含一系列的创新思维和活动，根据设计中所包含创新的程度，可以把设计分为创新性设计、适应性设计和变参数设计三类。

(1) 创新性设计 创新性设计是指当根据市场或用户的需求，运用成熟的科学技术成果开发一种新型的技术产品，而它的工作原理、功能及功能载体的结构三者之中至少有一项是或全部都是新颖的和首创的。如世界上第一台内燃机的设计，它首次成功地实现了把化学能变换为机械能，而第一台旋转式内燃机的设计成功，又实现了内燃机主功能工作原理的更新，因此这两种产品的设计都属于创新性设计。

(2) 适应性设计 适当性设计是指在主功能及其实现原理、或者载体结构保持基本不变的情况下，增加技术产品的某些功能、或者部分改变某个功能或结构，使技术产品适应特定使用条件或者用户特殊要求的设计。如为了使产品满足防潮、防爆、耐低温等使用条件及要求对产品进行相应的修改或附加的设计等。

(3) 变参数设计 参变数设计是指在功能、原理和结构都保持不变的情况下，修改产品部分零部件技术性能、结构尺寸，或扩大产品规格和增补系列以满足更大范围功能参数需求的设计。

创新性设计、适应性设计和变参数设计都含有程度不同的创新设计，因为科技成果不断以技术产品的形式转化为生产力，其中设计是这一转化的关键环节。每一项创新性设计的新产品都意味着新的科技成果被应用。每一次产品的改进也都是一项创新。例如，液压传动技术的发展成果促进各种工程机械由机械传动发展为液压液力传动；晶闸管技术的发展成果促使许多机械由交流驱动改为直流驱动；微电子技术的发展大大推进了机械产品的电子化；计

计算机技术的发展造就了新一代机电一体化和智能化产品。又如，用洗衣机代替人工洗衣，用洗、清和甩干一体化的单缸洗衣机代替各自分离的双缸洗衣机，进而发展到电脑控制的全自动洗衣机，甚至从原理上完全更新的超声波洗衣机及真空洗衣机等，都反映了一种产品在不断吸取科学技术发展的新成果，并在此基础上为适应不断变化的用户需求促使产品的不断更新。这一过程体现了设计者的创造性劳动。这就是说，每一位设计者都要根据不断变化的市场需要，充分发挥自己的综合分析和创新思维能力，善于把新的科技成果巧妙地应用于技术产品的设计中去，在实践中不断提高自己的创新能力。

## 1.2 产品设计过程

设计过程是指根据一定的目的和要求进行构思、策划和计划、试验、计算及绘图等一系列活动的总体。“设计”对不同的人 and 事会有不同的含义。在这里仅涉及技术产品的设计过程，它可以定义为“……为了把一台机器、一个工艺或生产系统制订得十分详细，以至可以参照实施为目的的各种技术和科学原理的利用过程。”设计可以是简单的，也可以是非常复杂的，是容易的或是非常难的，是精确的或是粗糙的，是无关紧要的或是极其重要的。设计是工程实践的一个重要组成部分。

### 1.2.1 设计过程及其特点

一般，一个设计过程至少应包含如下 10 个步骤：

- 1) 需求识别。
- 2) 背景调查或市场调查。
- 3) 目标陈述或功能说明。
- 4) 性能技术条件。
- 5) 构思与发明（概念设计或方案设计）。
- 6) 设计计算分析。
- 7) 评价和选择。
- 8) 详细设计。
- 9) 样机与试验。
- 10) 试生产。

由于设计种类即创新程度的不同，所以在具体设计中跳越过程中的个别或少数几个工作步骤是完全允许的。按设计过程步骤开发产品将有助于合理组织人力和分工，以便更好地发挥设计师的积极性和创造性，促进人与人之间、部门与部门之间的协调与合作，而最终必须是为了缩短设计周期，提高设计质量。

设计活动本身既有科学性的一面，又有其艺术性的一面，这是由设计本身的特点所决定的。一般，设计的结果可以是所产生的计划或策略，也可以是一种通过构思需要用图样或实物模型表现出来的技术产品。设计的工程性体现在所设计的结果必须是科学原理与实践经验的恰当结合，而设计的艺术性则体现在它需要创造性，为社会不断产生新颖的技术产品。

设计的工程性和艺术性又是相互制约的。设计中，设计人员既不能只凭设计公式，也不能像艺术家那样有高度自由的想象空间。多年来，在许多教科书中所谓的设计只是一些设计

公式和方法，或者是设计活动中“应该怎样做和不应该怎样做”的实践性规则。

概括起来，设计活动具有如下三个特点：

1) 设计是一个创造性思维过程，是在多种不同类型知识（如经验、常识、规范和标准、法规、原理和理论，计算公式和方法）的基础上，通过反复地、有步骤地、连贯地思考，提出前人未提出的问题，解决前人未解决的问题，这就是设计过程中的创新。在创新活动中，创造想象或构思是重要的组成部分，是根据一定目的、任务创造出新形象的过程。在设计创新中通常也需要某些原型的启发，才能设计出新机器的图样。发明是指创造新的事物，提出新的原理，首创新的制作方法。因此，设计、发明与创新之间有着密切的联系，而且设计的核心是创新与发明。

2) 设计是一个反复的过程，每一次的设计都不是按部就班从第1步一直做到第10步，而是当每一步的设计结果不能达到理想结果时，应该返回到前面的相应步骤进行再设计。因此，反复意味着重复和返回到前面的相应步骤。例如，如果你的一个构思经过分析证明是违反热力学第二定律的，则需返回形成概念设计的构思那一步，以寻找一个更好的设计方案；或者，如有必要返回到设计过程的最初几步，甚至返回到背景调查，重新认识设计问题的更多方面。这种设计—分析—评价—再设计，直至产生一个“满意”的设计方案为止的设计反复过程，实际上也就是设计的“优化”过程。

3) 设计是一个“单输入（用户需求）/多输出（多解）”的过程，即设计具有多解性，这是由设计过程是一创造过程这一特殊性质所决定的。特别是根据用户需求产生设计概念时，就会出现多种可能的方案，而这只能通过分析与选择来获得最终的一个选用设计方案。当然采用设计系统学（分类方法学）中的决策矩阵法可选出一个“最佳”的方案。

一般所说的设计过程只是一种狭义的产品设计，从广义来说，产品设计不应该仅指设计过程，而还应全面包括产品的形成和整个产品寿命周期。早在20世纪60年代，我国的设计人员就总结出了“实验、研究、设计、制造、安装、使用、维护”七事一贯制的设计方法，这是一种广义的设计。20世纪80年代，丹麦技术大学 M. M. Andreasen 教授提出的以市场需求作为设计依据的产品一体化开发模式，认为在产品开发的全过程中，始终应把产品设计、制造和销售三个方面作为整体来考虑，才能开发出比较理想的产品，并以最快的速度回收投资、获得效益。

现代的借助于计算机这个强有力的设计工具和以并行工程原理和思想发展起来的产品生命周期设计又使设计工作的概念和工作范围向前推进了一大步。

产品生命周期设计，其目的是所设计的产品对社会的价值最大，而对制造商、用户和环保的投资（成本）最小。而其中的价值不仅包括产品所应有的功能，还包括它的可制造性、可装配性、可维修性、可循环利用性和与环境的友好性等。在有些场合下，考虑到产品生命周期设计的一个重要目标是将产品对环境负担降低到最低水平，因此，也有把产品生命周期设计称之为绿色设计（Green Design），而由产品生命周期设计的产品称为绿色产品。

产品生命周期设计的核心技术是 DFX。DFX 是 Design For X（面向产品生命周期整个阶段/环节的设计）的缩写，其中 X 可以代表产品竞争力的因素，如性能、质量、成本、开发时间等，也可以代表产品周期中的某个环节，如制造、装配、使用、维修、回收报废等，如面向质量的设计、面向制造与装配的设计等。

## 1.2.2 设计工作阶段和工作方法

产品设计一般可分为产品规划、概念设计（或方案设计）、技术设计和施工设计四个工作阶段。

(1) 产品规划 产品规划阶段需进行需求分析、市场预测、可行性分析、确定设计参数和限制条件。这时需要对产品开发中的重要问题经过技术、经济、社会各方面条件的详细分析和对开发的可能性进行综合研究，提出产品开发的可行性报告。它一般应包括以下几个内容：

- 1) 产品开发的必要性、市场调查和预测情况；有关产品的国内外水平和发展趋势。
- 2) 从现有技术条件分析，预期产品能达到的水平，它的创新点，经济效益和社会效益分析。
- 3) 设计、制造工艺等方面需要解决的关键问题，拟采取的技术措施。
- 4) 投入费用的估算及时间进度等。

产品规划阶段的最终目的是确定任务，并给出详细的设计任务书（或要求表），其参考内容可见表 1-1。

表 1-1 设计任务书的参考内容

功 能	运动参数：运动形式、方向、范围、速度、加速度、位移等 动力参数：功率、效率、载荷性质（可能的大小）、振动等 其他性质：寿命、可靠性、精度等
经济性	尺寸（长、宽和高）、体积、重量的要求及限制 成本（最高允许成本、理想成本） 生产率
制 造	材料的要求及限制 制造工艺条件、检验的项目及限制、装配条件和试验条件 地基及安装现场要求
使 用	使用对象 维护、调整、修理和配换等要求 人机工程：操纵、安全技术、照明、周围环境的要求等 社会性要求：造型、色彩、外观等
期 限	设计完成日期 研制完成日期 投放市场日期

(2) 概念设计 概念设计阶段是在功能分析的基础上通过创新构思、优化筛选取得较理想的功能原理方案。这是决定产品性能、成本以及关系到产品技术水平和竞争能力的重要阶段。在这一阶段应给出表达产品功能原理方案的简图或示意图。

(3) 技术设计 技术设计阶段是将产品的功能原理方案具体化，设计出机器及零部件的合理结构。这阶段的工作内容较广，大致包括如下一些内容：

1) 产品参数设计和总体设计。合理确定产品的主要设计参数，各零部件的总体布置、运动配合等。

2) 结构设计。包括零部件材料选择、结构承载能力设计、结构形状、尺寸的确定。

3) 工业造型和人机工程设计。在保证功能、降低成本的前提下,设计美观大方的外形和协调悦目的色彩,确定最宜的人力操作空间和状态等。

4) 模型设计和样机试验。通过对模型或样机的试验,查明零部件的承载能力、强度、刚度、振动稳定性、噪声和运动精度等,及时作出改进,提高产品的设计质量。

5) 技术设计。应提供技术产品的总装图、结构装配图和外形图等。

(4) 施工设计 施工设计阶段是完成全部生产所用的图样、说明书、工艺条件、使用说明书等有关的技术文件。

设计过程中的工作方法是分析、综合、评价和决策。

1) 分析是解决问题的前提,即利用现代科学技术的理论、方法和技术去研究问题,找出技术关键。

2) 综合是对未解的问题找出解决的方法,是一个创造性过程,一般应采用不同方法求得尽可能多的解法。

3) 评价是一种评比过程,用科学的方法对多个方案进行估价和评定,同时针对某些方案的不足进行调整和优化。

4) 决策是一种方案的筛选过程,是在方案评价的基础上,根据已定的目标找出问题解的最佳方案。

在设计的各工作阶段中,通过反复地多次运用“分析、综合、评价和决策”这种方法就可获得较理想的设计结果。

在很长的一段时间内,人们在设计中所采用的工程设计方法多数是直觉法、类比法和古典力学、数学中的一些方法,以及依靠大量积累起来的经验、数据和半经验数据的设计法。近年来,随着现代科学技术的进展,以及计算机和计算技术的发展,出现了许多跨学科的现代设计方法,从而使产品设计进入创新、高质量和高效的新阶段。在表1-2中列出了产品设计过程中的主要方法、理论和工具。

表1-2 产品设计过程中的主要方法、理论和工具

	方法和技术	理 论	工 具
产品规划	预测技术与方法	市场学、技术预测理论、信息学、风险决策理论等	工程材料手册、产品设计手册、设计目录、数据库和知识库、计算机等
概念设计	系统化设计方法、创造性设计方法、评价与决策方法	创造学、决策论、思维心理学、形态学、系统工程学、模糊数学、设计方法学、各种专业机械设计理论	
技术设计	基础零部件的设计方法、计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、结构设计、机构设计、人机工程学设计、系列化和模块化设计、造型设计、试验技术和模型设计等	力学、摩擦学、机构学、制造工艺学、优化理论、可靠性理论、人机工程学、工业美学、相似理论、测量学等	
施工设计	CAD/CAM、CAPP	计算机图学、计算机工艺设计和计算机公差设计原理	

### 1.2.3 概念设计与参数设计

概念设计与参数设计是设计过程中的核心。

1) 概念设计(或产品构思,也有称功能原理设计)主要是选择或确定产品的一个基本构型,包括它所要达到的功能、基本结构和形式,以及约束与定义产品的一组性能技术条件(定义产品做什么用的)和寻找解的原理,更详细的还可以包括材料、元件和零部件的选用等。概念设计的核心是创新设计,即提供有重要社会价值的新颖独特的新产品。概念设计的特点是:①所产生的产品方案不必具有详细的尺寸;②要求快速地形成产品具体构造。基于此,目前出现了一些新的概念设计方法,如适用于概念设计的虚拟设计系统,称之为CO-VIRDS(Conceptual Virtual Design System);基于神经网络和模糊推理的概念设计自动方法;基于多自主体(Multi-Agent)的概念设计方法(或称A设计法);约束管理集成的概念设计法;生产过程规划的概念设计法等。

2) 参数设计(包括设计计算、分析和选择)或设计综合是在产品的概念设计已产生设计方案之后进行的,即在满足各项设计技术条件下确定该方案的主要设计参数和结构尺寸的大小,以保证达到所要求的性能技术条件。但不排除在确定设计参数时发现所提供的产品方案不能完成预定的功能时反过来修改概念设计的结果。由于产品设计的复杂性、多样性,以及参数设计是标量设计,于是,近几年来,在多学科交叉的基础上,发展了许多现代的参数设计方法,如有限元分析法、仿真计算方法、可靠性计算方法、优化计算方法、动态性能分析方法、稳健设计方法、产品生命周期设计方法等。这些设计方法与传统应用的各种专业机械设计理论和方法,以及基础零部件的设计理论和方法一样,可用于设计方案的分析 and 计算,大大提高了产品的设计质量,而且还可以降低产品的成本。

一般,参数设计包括两项内容,即确定参数的名义值(或公称尺寸)和规定公差。前者保证产品的性能,后者保证产品性能的稳定性。

在用于产品概念设计和参数设计的方法中,随着科学技术的不断发展和对设计的不断高要求,又提出一些新的设计方法,如虚拟设计、并行设计、智能设计、协同和分布式设计等。这些设计方法的出现目的就是缩短设计周期、提高设计质量、加快市场的响应。

### 1.2.4 结构设计,模块化、系列化和组合化设计

结构设计,模块化、系列化和组合化设计是工业产品技术设计阶段中应该十分重视的问题。

结构设计的任务是为实现预定的产品功能提供一种具体结构的载体,虽然它的结构形式取决于产品的具体要求,但其“明确、简单和安全”却是它的基本设计原则。明确是指结构的形状和尺寸关系清晰、功能关系(即能量、信息和物料的转换与流动走向等)明确;简单是指形状简单、零件数少、相对运动副少、磨损件少,使用、维护和保养方便等;安全是指结构应具有各类失效强度的安全性、运行的安全性以及对环境的安全性。此外,在结构设计中,还应注意它的可制造性、可修复性、可回收性以及标准化等一系列问题。

产品的模块化、系列化和组合化,主要是出于经济性的考虑。具有相同功能种类、相同解的原理、基本相同的制造工艺,但性能参数不同的一组产品称为系列产品。在系列产品设计中,作为扩展性设计基础的机型称为基型,由此扩展出来的任何后续机型将拥有更多的用

户。因而，对于基型的合理性设计更应给予特殊的关注。模块是一组具有相同结合元素（指连接部位的形状、尺寸和连接件之间的配合等）且能互换的单元，它们的功能可以相同，也可以不相同，但根据其设计依据的不同可分为功能模块、制造模块、装配模块、运输模块和回收模块等。当通过更换部分功能模块而使其功能不完全相同的一组产品称为组合产品。产品的模块化、系列化和组合化是开发任何工业产品的一项原则，它有利于减少零部件种类，增加产品品种，扩大用户面，提高它的经济性、效用性。

### 1.2.5 产品造型设计和人机工程设计

一般，可以把产品的质量分为六项：技术性能指标、可靠性和寿命指标、标准化和通用化指标、制造工艺性指标、经济性指标和美学指标。前五项称为产品的内在质量，一般都可以定量地进行评定；最后一项指标通常称为产品外在质量，它属于艺术造型和美学的范畴，而美又是一个模糊的概念，很难给予量化。

产品造型设计是技术产品转化为商品，符合消费者需求的一个重要设计阶段。造型设计是在保证产品功能的基础上，要求对产品从形态、色彩和肌理（给予人以不同的心理和生理感受）三个方面进行创新性的设计。设计出新颖的、美观的产品，以满足消费者的需求。

人机工程设计是保证人、机和环境三大因素之间的合理关系的基础，使对人和环境的有害效应降低到最低程度，因而它应该很好地完成作业空间和座椅的设计、显示器和控制器的组合设计以及作业环境设计等。

若在产品设计中，突出为环境而设计，满足可持续发展的要求，这样设计出的产品就不是传统意义上的产品，而是绿色产品或绿色标志产品。更确切地说，所谓绿色产品就是在其生命周期中，符合特定环境保护要求，对生态环境无害或危害极小的产品。为这种产品的设计称为绿色设计（Green Design），或称生态设计，或称环境设计。概括起来，绿色设计是这样的一种设计，即在产品的全生命周期内，着重考虑产品环境属性（可拆卸性、可回放性、可维护性、可重复利用性等），在保证产品应有的功能、使用寿命和质量的条件下，使其对生态环境危害最小的设计。

## 1.3 机械设计理论与方法

### 1.3.1 机械设计学科

随着人们不断地把产品设计实践的经验总结成相关的设计理论、设计方法和步骤、设计手册等，而从机械学科中派生出机械设计学科，这是一门关于“设计”的科学技术知识构成的、独立的工程技术科学。

虽然工程设计的历史和人类的历史一样长，但设计学科概念的形成与发展还只是近100年的事，而且逐渐形成两个学科范畴：

其一是，各产业部门所采用的生产机械具有不同的工作原理与特点，需要实现不同的功能，因而各种专业机械的设计，特别是整机或整套生产设备的设计必须遵循各专业的生产工艺和技术条件，从而出现农业机械、冶金矿山机械、纺织机械、机床、内燃机、汽轮机、汽车、船舶、飞机等门类繁多的专业机械设计原理和方法，形成许多分支学科。

其二是，各种生产工艺设备的设计之间又存在许多共性技术，如运动学和动力学的设计，方案设计和结构设计，驱动和传动装置设计，润滑与密封技术，通用基础件和标准件设计，工艺性、标准化和模块化等方面的设计原理与方法。

除上述两个主要学科范畴之外，还有一些常用的设计工具，如设计目录、设计手册、设计图集和各种技术标准等。

### 1.3.2 现代设计理论与方法的学科领域

20世纪80年代以后，在计算机及其计算技术、绘图技术和生产制造自动化技术进展的推动下，通过数学、力学、计算机科学、心理学和社会学等学科的最新研究成果，在工程界和学术界对工程设计理论和新方法的研究有了很大的兴趣，在此基础上，美国机械工程师协会和美国自然科学基金委员会于1988年将“设计理论与方法学”正式定义为一个新的研究领域，即“设计理论与方法学是一门关于对创造、重构和优化人工物和系统进行探讨的使过程、方法条理化的工程分支学科。”

在定义设计理论与方法学这个研究领域的同时，也规定了当时三个主要的研究内容：

- 1) 可实施的概念设计的理论。
- 2) 系统化和定量化的设计方法。
- 3) 可用于支持设计的一些方法，特别是有关数字化和信息化设计方面的设计方法和设计支持界面等。

设计理论与方法学领域研究的内容并不是一成不变的，随着人们认识的推移和相关学科的发展，其研究内容也不断拓展与深入。但是，它的提出在历史上第一次规范了对设计理论与方法学的研究，使其系统化与科学化，还是有重要影响的。

### 习 题

- 1-1 按设计活动所含的创新程度，设计可分为几类？
- 1-2 设计活动一般有何特点？
- 1-3 设计理论与方法学是一门研究什么的工程分支学科？

### 参 考 文 献

- [1] 机械工程手册编辑委员会. 机械工程手册：第1篇 [M]. 2版. 北京：机械工业出版社，1996.
- [2] 余俊. 中国机械设计大典：第1卷 [M]. 南昌：江西科技出版社，2002.



# 第2章 产品生命周期设计

## 2.1 引言

1983年联合国第38届大会成立了世界环境与发展委员会。该委员会写出一份名为《我们共同的未来》的报告，全面系统地论述了世界范围的可持续发展问题，并首次给可持续发展概念下了准确、严格的定义：“可持续发展是既满足当代人的需要，又不对后代人满足需要的能力构成危害的发展。”这意味着，人类经济社会发展要与所处的环境维持一种生态平衡关系，失去这种平衡，将会给人类带来灾难，已经越来越多的国家认识到这一点的重要性。

保护环境，不仅利在当代，更重要的是为我们的子孙后代保留一份生存发展的空间。随着人类环保意识的增强，绿色化已成为当前的一种国际性潮流，它主要表现在环保农业和产业的兴起、废弃物的综合利用、清洁能源的开发和利用等。产品是工业的产物，要使它成为一种“绿色产品”，就必须重视产品生命周期中的环保问题，即产品既不会在生产过程中产生污染物，做到清洁生产，产品本身也不含污染物，并在使用中也不会对环境产生有害的物质，直至产品报废还应该可以回收再利用，以使对环境的影响减到最小。基于这一点，提出了产品绿色设计或产品生态设计的概念，它的基本思想是：工业产品的污染预防应从设计入手，把改善环境影响的努力凝结在产品的的设计之中。为此，在传统的产品设计准则中加进环境准则，并将其列于重要考虑的位置，如图2-1所示。

图2-2所示为产品生命周期设计或绿色产品设计的功能图。它要求设计人员在产品生命周期设计的初始阶段就应把资源优化、能源优化、劳动保护、生态环境保护和报废产品的回收和再利用等与产品的功能、质量、寿命和成本列为同等重要的设计目标，并保证在生产和使用中能够顺利实施。从图2-2的功能图中可以看出，产品生命周期设计一般具有如下的几个特点：

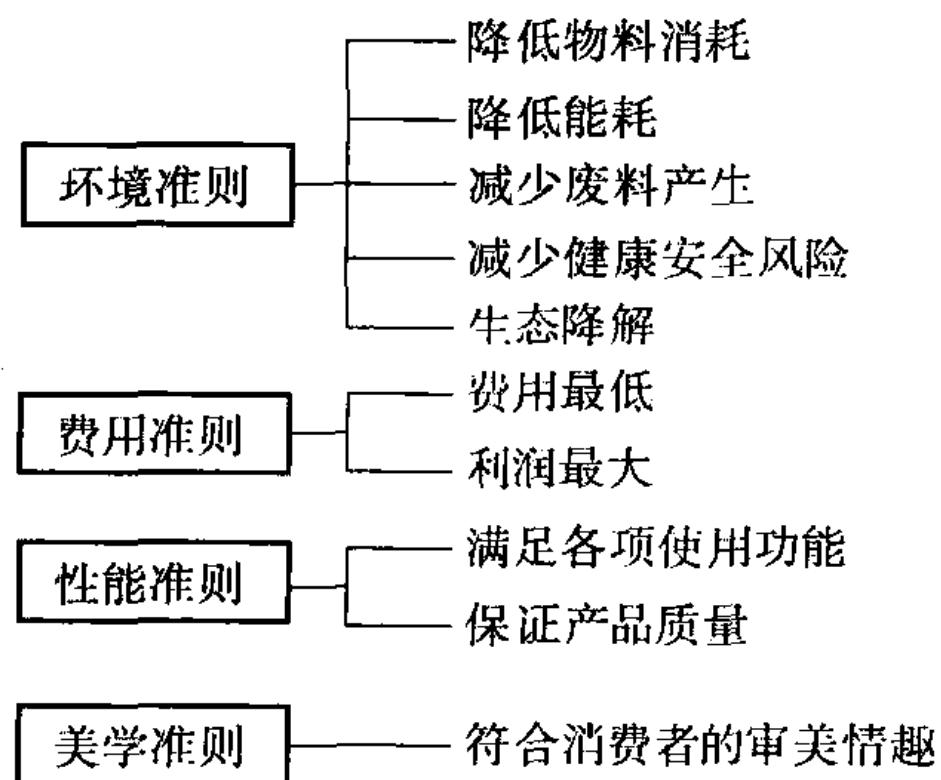


图 2-1 产品设计的准则

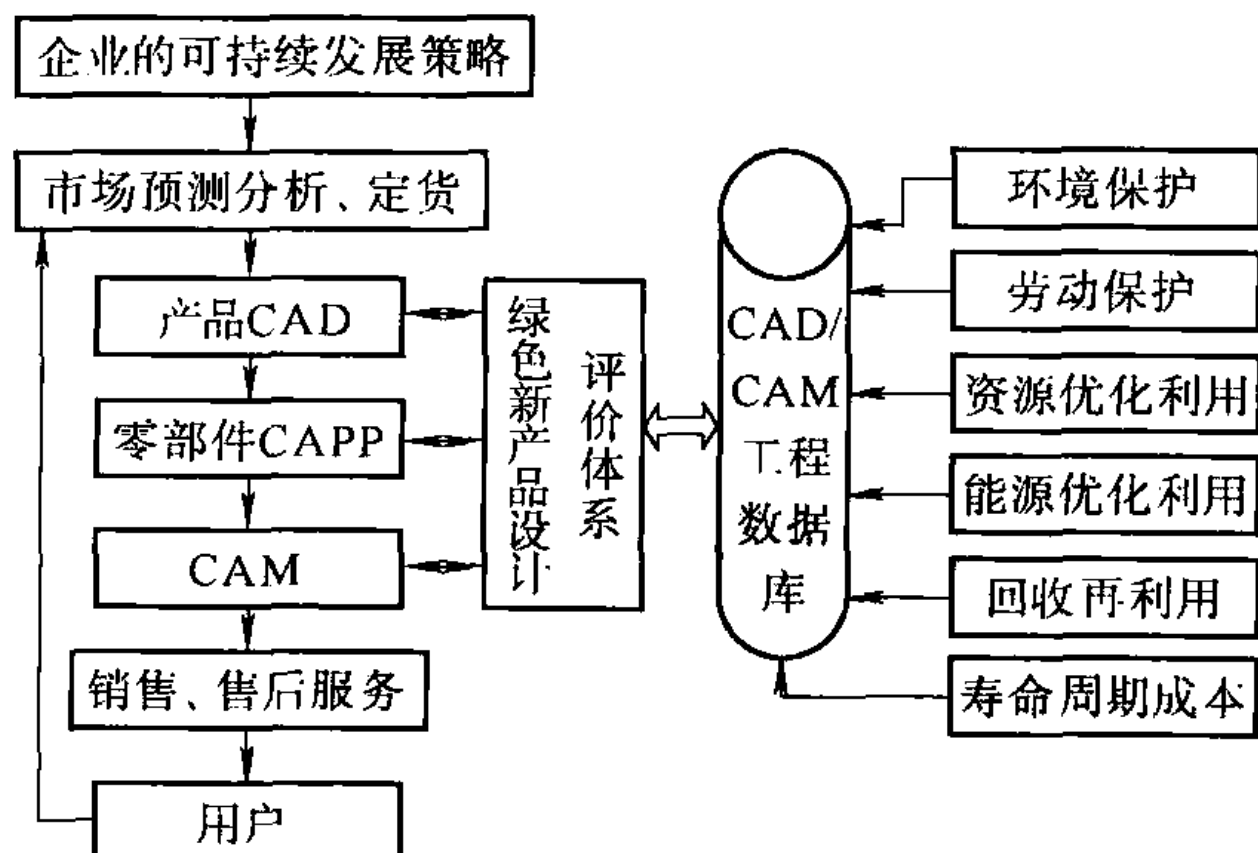


图 2-2 绿色产品设计的功能图