

高等工科学学校机械电子工程专业系列教材

现代设计方法

华东理工大学 赵松年
东 北 大 学 佟杰新 主编
东北重型机械学院 卢秀春

机械工业出版社

TB21-01
6

ND31/25

高等工科大学机械电子工程专业系列教材

现代设计方法

主编 赵松年 佟杰新 卢秀春
参编 徐卫良 马书尧 宋海生
张秋玲 李奎贤 秦剑秋
主审 邹慧君



395265



机械工业出版社

序

随着微处理器的发展，电子计算机已深深介入机械制造的各个领域，一系列机、电、计算机一体化的新产品诞生。为适应这个变化，迫切需要高等工科学学校培养设计、制造、调试、使用、维修机电一体化产品的技术人才。有鉴于此，不少高等工科学学校在多年探索机制专业改造并取得经验的基础上正在创办机械电子工程专业，以满足社会的需要。但各校对新开专业缺乏经验，缺少教材和师资，在此形势下，1994年12月机械工业部教材编辑室受机械工业部教育司委托，在沈阳召开了高等工科学学校机械电子工程专业教学与教材研讨会，研讨了机械行业技术发展大趋势，认为办好机、电、计算机紧密结合的机电工程专业，培养设计、制造、调试、使用、维修机电一体化的人材是非常必要的。为给机电一体化专业奠定物质基础，会议决定立即组织第一批急需的机械电子工程专业系列教材，初步确定了各教材的主编、协编和主审人员。历经一年半时间，这一套统编教材终于陆续交稿出版。

这批教材的出版是我们对机械电子工程专业教学的一种尝试，希望它能满足各校的教学所需。这套教材在组织编写过程中得到了众多学校和教师的热心帮助，在此一并表示衷心感谢。

机械工业部教材编辑室

1996年

前 言

本教材在讨论现代设计和现代机械产品的基础上,重点介绍设计方法学、优化设计、可靠性设计、有限元法、机械动态设计、计算机辅助设计、人工神经元计算方法、工程遗传算法、智能工程等九种现代设计方法,对价值工程等九种现代设计方法作了简单介绍。

在当前改革不断深入的形势下,市场经济要求创新的现代产品不断涌现。设计师不但要具有强烈的创新意识和巧妙的创新构思,而且要能够熟练地应用现代设计方法,才能更好更快地设计出具有市场竞争力的商品,满足市场需求。

自从电子计算机问世以来,在传统设计的基础上,各种现代设计方法不断涌现和发展,在不同的领域内解决了大量科研和生产问题,强有力地推动了并继续推动社会生产力的发展,使产品设计工作朝着更新的境界、更独创的构思、更高的效率和更完美地满足社会需求阔步前进。

我国的产品设计工作,在改革开放以来,有了很大的进步和发展,出现了许多深受用户欢迎的产品。但与国际设计水平相比,仍存在较大的差距。以机电行业为例,机电产品的大量进口,已成为我国最大的外贸逆差来源。为更快地改变目前这种状况,提高产品档次,在设计工作方面,必须不断更新设计观念,学习并逐步采用国际国内先进的设计方法,不断设计制造出为市场所欢迎的产品,推动改革形势的深入发展。

在当前形势下,要求科技人员的后备军——大学生的知识面要广、专业面要宽,在全面发展的前提下,动手能力要强,而在校时间又是有限的。为解决这个矛盾,本书尝试建立这样的教学体系:通过本书的学习,使学生了解现代设计和传统设计的联系和区别,各种常用的现代设计方法能够解决哪些生产实际问题及解决问题的思路,并初步掌握某些方法在机电工程中的应用。为此我们在国际国内出现的约几十种现代设计方法中,选择了九种常用的和较新的设计方法作较为具体的阐述,对另外九种设计方法作简单的介绍。希望学生学习之后,能对现代设计和生产实际的关系有较具体的认识,对这些现代设计方法有基本的了解,在此基础上,能初步进行产品功能原理方案和可靠性等的设计计算,能初步应用优化程序库和有限元分析等软件。各校可根据自己的条件,安排加强某些章节特别是应用软件的学习。

参加本书编写的有:华东理工大学赵松年、秦剑秋(合编第一、二章),东北大学佟杰新(第三章),东北大学李奎贤(第十章),河北理工学院张秋玲(第四章),河北工业大学马书尧(第五章),东北重型机械学院卢秀春(第六章),河北机电学院宋海生(第七章),东南大学徐卫良(第八、九章)。全书由赵松年、佟杰新、卢秀春任主编。上海交通大学邹慧君仔细审阅了全稿,提出了宝贵的意见,特此致谢。由于本书体系是新的尝试,囿于编者水平,疏漏和失误在所难免,恳请广大读者批评指正,并向本书引用文献资料的国内外作者致意。

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 现代设计	1
一、设计的概念	1
二、现代设计的概念	1
三、现代设计的特点	1
第二节 机械产品设计	3
一、现代机械	3
二、新产品开发	3
三、机械产品设计的三个阶段	3
四、机械产品设计的一般进程	5
第三节 部分现代设计方法简介	7
一、价值工程	7
二、工业产品艺术造型设计	8
三、人机工程	8
四、并行工程	8
五、模块化设计	9
六、相似性设计	9
七、摩擦学设计	9
八、三次设计	10
九、反求工程设计	10
习题	12
参考文献	12
第二章 设计方法学	13
第一节 概述	13
一、设计方法学的涵义	13
二、设计方法学的研究对象	13
第二节 技术系统及其确定	13
一、技术系统	13
二、信息集约	15
三、调研预测	15
四、可行性报告	16
第三节 系统化设计	16
一、功能分析	16
二、功能元求解	16
三、方案综合	17
四、设计工具	18
第四节 评价决策	21
一、评价目标树	21
二、评分法	22
三、技术—经济评价法	23
四、模糊评价法	24
第五节 创新思维与技法	26
一、创造力开发	26
二、创新思维	26
三、创新技法	27
第六节 设计实例	29
一、现代设计的目标	29
二、设计实例——专门化数控磨床方案设计	30
习题	35
参考文献	35
第三章 优化设计	36
第一节 概述	36
一、优化设计的发展及应用	36
二、传统设计与优化设计	36
三、优化设计的数学模型	37
四、优化设计的分类	39
第二节 一维搜索	39
一、迭代算法及终止准则	39
二、一维搜索	40
第三节 无约束优化算法	45
一、共轭方向法	45
二、梯度法	46
三、共轭梯度法	47
四、牛顿法	48
五、变尺度法 (DFP 变尺度法)	49
六、小结	50
第四节 约束优化算法	52
一、复合形法	52
二、惩罚函数法	54
第五节 应用实例	57
一、OPB-1 程序库概述	57
二、OPB 程序库的使用	58

三、优化设计实例	61	一、前处理	106
习题	62	二、有限元分析	109
参考文献	63	三、后处理	109
第四章 可靠性设计	64	习题	110
第一节 概述	64	参考文献	111
一、可靠性的概念和设计特点	64	第六章 机械动态设计	112
二、可靠性设计中常用的特征量	64	第一节 概述	112
第二节 应力——强度干涉模型和 零部件的可靠性设计	67	第二节 理论建模方法	112
一、应力——强度干涉模型	67	一、有限元建模法	112
二、可靠度的计算	67	二、单元的动力学方程	112
三、零部件的可靠性设计	68	三、建立整体结构的动力学方程	113
第三节 系统的可靠性设计	74	四、边界条件处理	115
一、系统逻辑图	74	五、特征值问题的求解	115
二、系统的可靠性预测	74	六、应用实例	116
三、系统的可靠性分配	75	第三节 传递矩阵建模法	117
第四节 机械系统的故障树分析	76	一、用传递矩阵法分析轴的横向 振动	118
一、基本概念	76	二、计算固有频率和主振型	120
二、故障树的建立	79	三、应用实例	121
三、故障树的定性分析	79	第四节 实验建模方法	123
四、故障树的定量分析	80	一、机械阻抗与频响函数	123
第五节 可靠性试验概况	80	二、振动系统频率响应函数图示法	125
一、寿命试验	80	三、传递函数测量的模态分析	127
二、筛选试验	80	四、不同激励方式的选用	128
三、环境试验	80	五、实模态和复模态的参数识别	128
四、现场使用试验	81	六、应用实例	129
第六节 应用实例	81	第五节 机械结构动力修改	129
习题	84	一、结构动力修改准则	129
参考文献	86	二、应用应例	130
第五章 有限元法	87	习题	133
第一节 概述	87	参考文献	134
一、有限元法的基本思想	87	第七章 计算机辅助设计 (CAD)	135
二、有限元法的应用	89	第一节 概述	135
第二节 有限元法的基本步骤	91	一、CAD 的概念	135
一、引例	91	二、CAD 系统的功能	136
二、有限元法的基本步骤	96	三、CAD 的工作过程	136
三、总刚度矩阵的特性	99	四、CAD 的特点	136
第三节、二维线性弹性问题	100	五、CAD 的发展趋势	137
一、单元划分	101	第二节 CAD 系统的组成原理	137
二、形函数	102	一、CAD 系统的硬件	137
三、单元方程	104	二、CAD 系统的软件	140
四、实现等参变换的条件	105	三、CAD 系统的类型及系统选择	141
第四节 有限元程序的应用	106	第三节 工程数据的计算机处理	141

一、数据组成	142	一、遗传算法的基本算子	170
二、数据公式化	142	二、遗传算法的一个简单算例	172
三、数据结构	143	三、遗传算法的数学描述	173
四、工程数据库及其管理系统	146	四、参数编码与满足度函数	174
第四节 图形生成与变换	147	第三节 遗传算法的理论基础	175
一、坐标系、窗口与视区、图形剪裁	147	一、纲的术语	175
二、几何造型	148	二、纲的定理	175
三、二维图形变换	150	第四节 应用实例	177
四、三维图形变换	152	一、桁架结构优化	177
第五节 应用实例	152	二、冗余机器人的运动学反向解	178
一、设计内容及要求	152	习题	179
二、CAD 系统选择	152	参考文献	179
三、系统设计	154	第十章 智能工程	180
四、结构模块设计	154	第一节 概述	180
五、软件接口设计	155	一、智能工程的定义	180
习题	155	二、智能工程的基本概念和原则	180
参考文献	156	三、智能工程的研究内容和方法	180
第八章 人工神经元计算方法	157	四、智能工程与人工智能、专家系统的区别与联系	182
第一节 概述	157	五、智能工程语言及环境	182
一、什么是人工神经元计算	157	第二节 知识获取及表达	183
二、人工神经元计算的特点	159	一、知识的概念	183
三、人工神经元计算的应用	159	二、知识获取	184
第二节 反向传播网络	160	三、知识表述	186
一、网络结构	160	第三节 知识的运用	187
二、网络运算与传递函数	161	一、知识的推理	187
三、误差反向传播	162	二、推理实现的基本方法	188
四、网络训练与测试	163	三、推理机的设计	188
五、小结	164	四、元推理机的设计	189
第三节 应用实例	164	第四节 专家系统的结构	189
一、人工神经元计算在金属成形中的应用(介面摩擦与材料流动应力的测定)	164	一、基本结构	189
二、人工神经元计算在机器人学中的应用(运动误差补偿)	166	二、元知识系统结构	190
习题	168	三、元知识在专家系统中的应用	191
参考文献	168	四、专家系统的类型	191
第九章 工程遗传算法	169	第五节 应用实例	192
第一节 概述	169	一、智能工程在齿轮减速箱设计专家系统(GBES)中的应用	192
一、什么是遗传算法	169	二、功能模块	192
二、遗传算法的特点	169	三、GBES 系统结构	193
三、遗传算法的应用	170	四、GBES 的主要功能特点	193
第二节 简单遗传算法	170	习题	193
		参考文献	194

第一章 绪 论

第一节 现代设计

一、设计的概念

设计这个词有两种概念。广义的概念指的是发展过程的安排,包括发展的方向、程序、细节及达到的目标。狭义的概念指的是将客观需求转化为满足该需求的技术系统的活动,各种产品包括机械产品的设计即属此种。

人类要改造自然,就要进行设计。把预定的目标经过一系列规划、分析和决策,产生相应的文字、数据、图形等信息,这就是设计。然后或通过实践转化为某项工程,或通过制造,成为产品。产品设计过程从本质上是一个创新过程,是将创新构思转化为有竞争力的产品的过程。

二、现代设计的概念

现代设计是过去长期的传统设计活动的延伸和发展,是随着设计实践经验的积累,由个别到一般,具体到抽象,感性到理性,逐步归纳、演绎、综合而发展起来的。由于科技进步的速度日益增快,特别是计算机的高速发展,人们在掌握事物的客观规律和人的思维规律的同时,运用相关的科学技术原理,进行过去长期以来难以想象的综合集成设计计算,使设计工作包括机械产品的设计工作产生了质的飞跃。

本世纪 60 年代末开始,设计领域中相继出现一系列新兴理论与方法。为区别于过去常用的传统设计理论与方法,把这些新兴理论与方法统称为现代设计。目前现代设计所指的新兴理论与方法主要如表 1-1 所示。

表 1-1 现代设计所指的理论与方法

设计方法学	优化设计	可靠性设计	有限元法	动态设计	计算机辅助设计	人工神经元计算方法	工程遗传算法	智能工程	价值工程	工业艺术造型设计	人机工程	并行工程	模块化设计	相似性设计	摩擦学设计	三次设计	反求工程设计
-------	------	-------	------	------	---------	-----------	--------	------	------	----------	------	------	-------	-------	-------	------	--------

三、现代设计的特点

现代设计主要有下列特点。

1. 系统性 现代设计方法是逻辑的系统的设计方法。目前有两种体系。一种是德国倡导

的设计方法学，用从抽象到具体的发散的思维方法，以“功能—原理—结构”框架为模型的横向变异和纵向综合，用计算机构造多种方案，评价选出最优方案。一种是美国倡导的创造性设计学，在知识、手段和方法不充分的条件下，运用创造技法，充分发挥想象，进行辩证思维，形成新的构思和设计。

传统设计方法是经验、类比的设计方法。用收敛性的思维方法，过早地进入具体方案，功能原理分析既不充分又不系统，不强调创新，也很难得到最优方案。

2. 社会性 现代设计开发新产品的整个过程，从产品的概念形成到报废处理的全寿命周期中的所有问题，都要以面向社会、面向市场为指导思想全面考虑解决。设计过程中的功能分析、原理方案确定、结构方案确定、造型方案确定，都要随时按市场经济规律进行尽可能定量的市场分析、经济分析、价值分析，以并行工程方法指导企业生产管理体制改革和新产品设计工作。

传统设计是由专业技术主管指导设计，设计过程中注意技术性，设计试制后进行经济分析、成本核算，很少考虑社会性问题。

3. 创造性 现代设计强调激励创造冲动，突出创新意识，力主抽象的设计构思、扩展发散的设计思维、多种可行的创新方案、广泛深入的评价决策，集体运用创造技法，探索创新工艺试验，不断寻求最优方案。

传统设计一般是封闭收敛的设计思维，过早进入定型实体结构，强调经验类比，直接主观的决策。

4. 最优化 现代设计重视综合集成，在性能、技术、经济、制造工艺、使用、环境等各种约束条件下，和广泛的学科领域之间，通过计算机以高效率综合集成最新科技成果，寻求最优方案和参数。

传统设计属于自然优化。在设计—评定—再设计……的循环中，凭借有限设计人员的知识、经验和判断力选取较好方案。受人和效率的限制，难以对多变量系统在广泛的影响因素下进行定量优化。

5. 动态化 现代设计在静态分析的基础上，考虑载荷谱、负载率等随机变量，进行动态多变量最优化。根据概率论和统计学方法，针对载荷、应力等因素的离散性，用各种设计方法进行可靠性设计。

传统设计以静态分析和少变量为主，将载荷、应力等因素作集中处理，由此考虑安全系数，与实际工况相差较远。

6. 宜人性 现代设计强调产品内在质量的实用性、外观质量的美观性、艺术性、时代性、在保证产品物质功能的前提下，要求对用户产生新颖舒畅等精神功能。从人的生理和心理特征出发，通过功能分析、界面安排和系统综合，考虑满足人一机—环境等之间的协调关系，发挥系统潜力，提高效率。

传统设计往往强调产品的物质功能，忽视或不能全面考虑精神功能。凭经验或自发地考虑人一机—环境等之间的关系，强调训练用户来适应机器的要求。

7. 智能化 现代设计认为，各种生物在自己的某些领域里具有极高的水平，其中人的智能最高，通过知识和信息的获取、推理和运用，能解决极复杂的问题。在已认识的人的思维规律基础上，以计算机为主模仿人的智能活动，能够设计出高度智能化的产品。

传统设计在局部上自发地运用了某些仿生规律，但这很难达到高度智能化的要求。

8. CA 化 现代设计广泛使用计算机使设计计算绘图制造改进一体化, 日新月异的功能强大的软件使设计工作面貌不断更新, 能够包容的影响设计的因素日益增多, 大大提高了设计的精度, 稳定性和效率。修改设计极为方便。

传统设计是人工计算绘图, 使用简单的工具, 设计的精度、稳定性和效率都受限制。修改设计也不方便。

第二节 机械产品设计

一、现代机械

现代机械是在传统机械的基础上, 去芜存菁, 吸收了各种新出现并发展起来的先进技术, 在机械发展史上形成了新的发展阶段的新型机械。表 1-2 列出了各个发展阶段的机械产品的典型组成部分。

表 1-2 各个发展阶段的机械产品的典型组成部分

机械发展阶段		典型组成部分	能源、动力	作业、执行	结构、机体	传感、检测	控制、运筹
传统	简单工具	人力、畜力	简单工具	自然材料	(人类五官)	(人脑)	
	蒸汽机械	蒸汽	机械构件	钢铁	(人类五官)	(人脑)	
	电气机械	普通电机	机械构件	钢铁	(人类五官)	逻辑电器	
现代	机电一体化	控制电机	机械构件	钢铁塑料	电子器件	计算机	

目前对现代机械的看法是: 由计算机信息网络协调与控制的, 用于完成包括机械力、运动、物质流和能量流在内的动力学任务的、机械和电子部件相互联系的伺服系统。

二、新产品开发

随着科学技术的发展, 产品更新换代加快, 市场寿命缩短。如计算机目前市场寿命是两年, 汽车是四年。新产品开发周期超过市场寿命导致亏损的例子比比皆是, 改进产品的开发过程比改进生产过程效益更显著。组织并行设计组, 采用并行工程的工作方法, 能够缩短生产周期, 建立全方位的质量体系, 降低成本, 增强市场竞争能力。

从历史发展来看, 新产品开发经历了传统的发展阶段, 现在已进入现代阶段。其特点如表 1-3 所示。

三、机械产品设计的三个阶段

机械产品设计任务各有不同, 一般可分为三种类型:

表 1-3 新产品开发的五个阶段

发展阶段	特点	负责单位	工程方法
传统	技术推动	某种新技术的应用, 推动新功能产品的形成	串行工程方法 (信息处理间断, 数据生成重复)
	需求拉动	市场的某种需求, 促进新功能产品的出现	
	推拉结合	技术推动与需求拉动相结合	

(续)

发展阶段		特 点	负责单位	工程方法
现 代	功能和 过程集 成	开发新产品同时考虑功能、制造、成本、周期等。由计算机网络下的包括设计、工艺、计划、制造和装配部门的生产系统共同开发	并行设计组	并行工程方法, (信息处理集成化, 数据集中一次生成)
	系统集成和 网络	开发新产品由生产系统和社会系统共同完成。生产系统包括情报研究、设计、工艺、计划、制造、装配等部门。社会系统包括经营、销售、供应、维修、用户服务、改进和升级换代、报废回收、同行的竞争与联合、公关等部门	并行设计组 (扩大)	并行工程方法, 精简机构, 模糊分工, 各部门并行工作

1. 开发性设计 应用可行的新技术, 创新构思, 设计工作原理和功能结构创新的产品。或赶超先进水平, 或适应政策要求, 或避开市场热点开发有特色的冷门产品。效益高, 风险大。

2. 适应性设计 工作原理方案保持不变。变更局部或增设部件。加强辅助功能。

3. 变型设计 工作原理和功能结构不变。变更现有产品结构配置和尺寸。改进材料工艺。分析最具典型性的开发性设计, 机械产品设计可分为互相重叠、密切结合的三个主要阶段:

(一) 功能原理设计

1. 任务 功能是某一产品的特定工作能力的抽象化描述。产品的功能原理设计是针对某一确定的功能要求, 寻求一些物理效应, 并借助于某些作用原理来求得一些实现该功能目标的解法原理。

2. 重点 创新构思, 思维发散, 多解评优, 简图示意。

3. 特点

(1) 以新的物理效应代替旧的物理效应, 使机器的工作原理发生根本变化。

(2) 开发人员有新概念、新构思, 引入新技术、新材料、新工艺。

(3) 机器的品质发生质的变化。

4. 工作要点 ①明确所要设计任务的功能目标; ②调查分析已有的解法原理; ③创新构思, 寻求更合理的解法; ④初步预想实用化的可能性; ⑤认真进行原理性试验。

(二) 实用化设计

1. 任务 使原理构思转化为具有实用水平的机器。完成从总体设计、部件设计、零件设计到制造施工的全部技术资料。

2. 重点 性能价格比, 结构设计 (零部件形状、装配关系、材料、加工要求、表面处理、总体布置、安装等)。

3. 特点 ①工作具体精细; ②既先进又符合国情; ③经济合理; 易造便修。

4. 工作要点

(1) 总体设计 定工艺方案, 定基本参数, 定传动机构简图, 作工作循环图。满足技术、经济、文化要求。

(2) 结构设计 结构方案应当可靠、明确、简单。结构方案设计要满足下列原理: ①等强度原理; ②合理力流原理; ③变形协调原理; ④力平衡原理; ⑤任务分配原理; ⑥自补偿、自增强、自平衡、自保护原理; ⑦稳定性原理等。

(3) 执行件设计 应用下列设计方法进行执行件设计。①可靠性设计；②动态设计；③抗磨损设计；④人机学设计；⑤热变形设计；⑥抗疲劳设计。

(三) 商品化设计

1. 任务 产品不止在技术上成功，要保证产品在市场竞争中成功。

2. 重点 商品化设计的核心是产品功能原理的新颖性，基础是产品技术性能的先进性，包装是对市场要求的适应性。

3. 特点

(1) 销售策略 市场调查，广告宣传，售后服务。

(2) 经营策略 提高产品质量，增加技术储备，树立企业信誉。

(3) 设计策略 性能的适用性变化（标准化、系列化、通用化、模块化），艺术造型、价值分析。

4. 工作要点

(1) 性能的改变：①适应不同条件（国家、民族、地区、气候等）；②开发新功能；③增添附加功能。

(2) 产品性能尺寸系列化，零部件标准化，非标零部件通用化，零部件设计模块化。可减少设计工作量，便于安排批量生产，减少重复出现的技术过失，增大互换性，有利于增加品种扩大生产。

(3) 工业产品艺术造型，以先进的科技功能为基础，设计美观适用的外形和布局，满足精神功能要求。

(4) 价值分析 价值分析是产品达到物美价廉的有效的现代管理技术，研究如何以最低寿命周期费用可靠地实现必要的功能。价值分析的目标是提高产品的价值。

四、机械产品设计的一般进程

机械产品设计进程一般分为四个阶段：产品规划阶段，原理方案设计阶段，技术设计阶段，施工设计阶段。各阶段的主要目的要求简介如下。

1. 产品规划阶段 产品规划，明确设计任务就是决策开发新产品，为新技术系统设定技术过程和边界，是一项创造性的工作。要在集约信息、调研预测的基础上，识别社会的真正需求，进行可行性分析，提出可行性报告和合理的设计要求和设计参数项目表。

集约信息应该是生产单位中包括从情报、设计、制造到社会服务等所有业务部门的任务。调研要从市场、技术、社会三个方面进行。预测要按科学的方法进行。识别需求的可行性分析和可行性报告，应由所有业务部门参加的并行设计组 and 用户共同完成，而不是设计部门或少数部门完成。

2. 原理方案设计阶段 原理方案设计就是新产品的功能原理设计。用系统化设计法将确定的新产品总功能按层次分解为分功能直到功能元。用形态学矩阵组合按不同方法求得各功能元的多个解，得到技术系统的多个功能原理解。经过必要的原理试验，通过评价决策，寻求其中的最优解即新产品的最优原理方案，列表给出原理参数，并作出新产品的功能原理方案图。

3. 技术设计阶段 技术设计是把新产品的最优原理方案具体化。首先是总体设计，按照人一机一环境一社会的合理要求，对产品各部分的位置、运动、控制等进行总体布局。然后分为同时进行的实用化设计和商品化设计两条设计路线，分别经过结构设计（材料、尺寸

等)和造型设计(美感、宜人性等)得到若干个结构方案和外观方案。分别经过试验和评价,得到最优结构方案和最优造型方案。最后分别得出结构设计技术文件、总体布置草图、结构装配草图和造型设计技术文件、总体效果草图、外观构思模型。以上两条设计路线的每一步骤,都经过交流互补,而不是完成了结构设计再进行造型设计,最后完成的图纸和文件所表示的是统一的新产品。

4. 施工设计阶段 施工设计是把技术设计的结果变成施工的技术文件。一般来说,要完成零件工作图、部件装配图、造型效果图、设计和使用说明书、设计和工艺文件等。

以上工程设计的四个工作阶段,应尽可能地实现CAD/CAM一体化,可以大大减少工作量,加快设计进度。

在新产品设计的四个工作阶段中,要在各种现代设计理论指导下,用不同的现代设计方法进行工作。表1-4示出新产品设计一般进程的不同阶段、步骤、使用方法和指导理论供参考。

表 1-4 产品设计一般进程

阶段	步 骤	方 法	主 要 指 导 理 论
产 品 规 划	<pre> graph TD A[信息集约(技术造型)] --> B[产品设计任务] B --> C[调研预测(技术造型)] C --> D[可行性分析] D --> E[明确任务要求] E --> F[可行性报告, 设计要求项目表] </pre>	设计方法 预测技术	设计方法学 技术预测理论 市场学 信息学
原 理 方 案 设 计	<pre> graph TD A[总功能分析] --> B[功能分解] B --> C[功能元求解] C --> D[功能载体组合] D --> E[功能原理方案(多个)] E --> F[原理试验] F --> G[评价决策] G --> H[最优原理方案] H --> I[原理参数表, 方案原理图] </pre>	系统化设计法 创造技法 评价决策方法	系统工程学 形态学 创造学 思维心理学 决策论 模糊数学

(续)

阶段	步 骤	方 法	主要指导理论
技 术 设 计	<pre> graph TD A[总体设计] --> B[结构设计, (材料, 尺寸等)] A --> C[造型设计(美感、宜人性等)] B --> D[结构价值分析] C --> E[造型价值分析] D --> F[结构方案(多个)] E --> G[外观方案(多个)] F --> H[试验] G --> I[试验模型] H --> J[评价决策] I --> K[评价决策] J --> L[最优结构方案] K --> M[最优造型方案] L --> N[最优技术设计方案] M --> N N --> O[总体布置图、装配草图、技术文件] N --> P[总体效果图、外观效果模型] </pre>	价值设计 优化设计 可靠性设计 宜人性设计 产品造型设计 系列化设计 机械性能设计 工艺性设计 自动化设计	价值工程学 最优化方法、工程遗传算法 可靠性理论与实验 人机工程学 工业美学 模块化设计、相似理论 有限元法、动态设计、摩擦学设计、高等机构学 机械设计的工艺基础 控制理论、智能工程、人工神经网络计算方法、专家系统
施 工 设 计	<pre> graph TD Q[零件工作图] --> R[部件装配图] R --> S[技术文件] T[外观件加工工艺、面饰工艺规程] --> U[效果图、检验标准] U --> V[造型工艺文件] </pre>	各种制造、装配、造型、装饰、检验等方法	各种工艺学
	<pre> graph TD W[试制] --> X[修改] X --> Y[批量生产] </pre>		

第三节 部分现代设计方法简介

现代设计的主要理论与方法已见表 1-1。本书受篇幅限制，只能介绍设计方法学、优化设计、可靠性设计、有限元法、动态设计、计算机辅助设计、人工神经网络计算方法、工程遗传算法、智能工程共九种理论与方法，其他理论与方法简介如下。

一、价值工程

价值工程从产品的功能研究开始，对产品进行设计，或重新审查设计图样文件，剔除那些与用户要求的功能无关的材料、结构、零部件，代以更新的构思，设计出功能相同而成本更低的产品。

价值指的是事物的用途或积极作用。用户购买商品，最主要是购买该商品的功能，设计中经常遇到的是使用功能和美学功能。产品成本是产品的各项生产费用的总和。降低成本要

了解产品费用的组成，估算产品的制造费用，研究产品产量与成本、销售量与利润之间的关系，进行盈亏分析。价值=功能/成本。对功能定量赋值的方法很多，如对某产品的主要技术性能从理想值到超差值分为11级，对应于10~0分，即为功能值。又如按产品中各零件的不同功能计算功能成本等。

价值工程设计的基本步骤是：了解设计对象，明确要求的功能，分析成本的组成，进行价值初评，制定改进方案，获得价值最高的新产品。

二、工业产品艺术造型设计

工业产品艺术造型设计是指用艺术手段按照美学法则对工业产品进行造型工作，使产品在保证使用功能的前提下，具有美的、富于表现力的审美特性。

造型设计的三要素中，使用功能是产品造型的出发点和产品赖以生存的主要因素；艺术形象是产品造型的主要成果；物质技术条件是产品功能和外观质量的物质基础。

工业产品艺术造型设计应遵循的原则有：体现高新科技水平的功能美，符合三化的规范美，显示新型材质的肌理美，体现先进加工手段的工艺美，表达各造型因素整体调和统一的和谐美，追求时代精神的新颖美，体现色光新成就的色彩美等。造型设计要有机地运用统一与变化、比例与尺度、均衡与稳定、节奏与韵律等美学法则。造型要寻求线型、平面、立体、色彩、肌理等造型因素的构成规律和变化，以效果图、动画、模型等形式，设计出物质功能与精神功能高度统一的创新产品。

三、人机工程

人机工程从系统论的观点研究“人一机（操作者的工作对象和环境）系统”中人、机之间的交互作用，研究人的生理和心理特征，合理分配人与机器的功能，正确设计人、机界面，使人、机相互协调，发挥最大的潜力。

在封闭的“人一机系统”中，机器的显示器显示生产过程的信息变化；人的感受器（眼、耳等）感知和接受信息，传给分析器（大脑），对信息进行分析、处理、存储、决策；由执行器（四肢）根据决策信息作出反应，操纵机器的控制器，使机器的工作状态发生变化，实现生产过程的转变；从而在机器的显示器上显示新的信息。

人机工程研究封闭的“人一机系统”的每个环节的特性及信息的传递：主要感受器眼睛感受信息的范围（视野）能力（视力）差别（视差）；分析器人脑感知、解释和处理信息的速度、时间、变化规律；执行器四肢产生力的过程和范围，作出反应的速度和准确度；机器的控制器和显示器这两个人—机界面如何设计，才能使显示和控制空间、位置、运动、人的习惯模式上相互协调，适合人的生理与心理特征，提高传递信息的准确度和速度，符合思维逻辑，创造良好的工作条件。在机器的自动化程度日益提高的时代，要研究不断变化的人—机系统，设计出更好的合乎人机工程要求的机器。

四、并行工程

并行工程是集成地、并行地设计产品及其相关的各种过程（包括制造、后勤等）的系统方法。要求产品开发人员在设计伊始，就考虑产品整个生命周期中，从概念形成到报废处理的所有因素，充分利用企业内的一切资源，最大限度地满足市场和用户的需求。

并行工程的目的在于寻求新产品的易制造性、缩短上市周期和增强市场竞争能力。要求集中涉及产品寿命的所有部门的工程技术人员，组成并行设计组，共同设计制造产品，对产品的各种性能和制造过程进行计算机动态仿真，生成软样品或快速出样，进行分析评议，改

进设计,取得最优结果,一次成功。利用计算机的数据处理、信息集成和网络通信的能力,发挥并行设计组的集体力量,将新产品开发研究和生产准备等各种工程活动,尽可能并行交叉地进行。这对换代快、批量不大的产品,能显著缩短周期、提高质量。

并行工程的内涵还包含了人的因素和企业文化。如果说,新产品按“设计—试制样机—修改设计—工艺准备—正式投产”的串行工程方法容易造成各自为政、效率低下的结果的话,并行工程则能改变企业组织结构和工作方法,促进人们之间的相互理解,激励积极性,提高协同作战的能力,塑造良好的企业文化氛围,形成一个适合人类发展需要的社会—技术系统。

五、模块化设计

模块是具有一定功能和特定结合要素的零件、组件或部件。模块化产品是由一组特定模块在一定范围内组成不同功能或功能相同而性能不同的产品。设计模块和模块化产品,可以满足日益增长的多品种、多规格的要求。模块系统的特点是便于发展变型产品,更新换代,缩短设计和供货周期,提高性能价格比,便于维修,但对于结合部位和形体设计有特殊要求。

设计模块系统产品,先要建立模块系列型谱,按型谱的横系列、纵系列、全系列、跨系列或组合系列进行设计,确定设计参数,按功能分析法建立功能模块,设计基本模块、辅助模块、特殊模块和调整模块及其结合部位要素,进行排列组合与编码,设计基型和扩展型产品。模块系统的计算机辅助设计和管理,更显示了模块化设计的优越性。

六、相似性设计

人们在长期探索自然规律的过程中,逐渐研究形成了自然界和工程中各种相似现象的“相似方法”“模化设计方法”和相应的相似理论、模拟理论。相似方法是可以把个别现象的研究结果推广到所有相似现象上去的方法。相似理论是现象模拟和研究相似现象的基础。目前在大型复杂设备和结构设计过程中,一般都要在相似理论指导下,通过模化方法和模型试验,使方案取得合理参数,预测设备的性能。当前用计算机辅助进行相似性设计和代替模型试验,取得明显的效果。

解决相似问题的关键是找出相似系统各尺寸参数的相似比。根据各种物理现象的关系式推导出的由物理量组成的无量纲数群为相似准则。与相似准则各参数对应相似比组成的关系式称为相似指标。在基本相似条件和相似三定律的基础上,用相似准则、方程分析、量纲分析列出相似比方程,可求得相似比。

模化设计是在开发新产品时,在相似的模拟工作条件下设计相似的模型进行试验,通过测定模型性能,预测产品原型性能,分析设计的可行性并进行必要的修改,进一步取得最优参数和结构。

产品系列设计是在基型设计的基础上,通过相似原理求出系列中其他产品的参数和尺寸。设计步骤是:先设计基型产品,确定产品系列是几何相似还是半相似,选择计算级差,求得扩展型产品的参数尺寸,确定系列产品的结构尺寸。几何相似的产品还可按相似关系以生产成本进行估算。

七、摩擦学设计

摩擦学是研究相对运动表面的科学及有关的应用技术。由于摩擦损耗约占世界能源总消耗量的 $1/2\sim 1/3$,在一般机械中磨损失效的零件约占全部报废零件的 $4/5$,为节约能源、提高设备可靠性、发展高速机械和生产过程自动化,摩擦学研究发展迅速。

目前,摩擦学研究的主要内容有:

4
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1. 摩擦与磨损机理 研究相对运动表面之间的物理化学作用和表面性能的变化,控制和预测磨损过程。对摩擦的起因和机理的不同理论解释,形成了凹凸学说、分子粘附学说、机械分子学说和新的摩擦学说。对不同磨损过程的研究揭示了粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、微动磨损、腐蚀磨损等各种磨损的机理和规律。

2. 润滑理论 研究流体动、静压润滑、弹性流体动压润滑、边界润滑等理论,以指导机械零部件的润滑设计。近年来,流体润滑理论的研究主要围绕对雷诺方程的求解,考虑各种实际因素的影响,用于研究各种表面形状的轴承。弹性流体动压润滑理论已用于滚动轴承、齿轮、凸轮等零件的润滑设计。高温和特殊环境下的边界润滑问题、流体和固体润滑膜的作用机理、高速轴承在紊流工况下的动态润滑性能、非牛顿流体的润滑性能等方面的研究成果已用于生产。

3. 新型耐摩减摩材料与表面处理工艺 例如陶瓷代替金属或作表面涂层,具有耐磨、高温耐熔、抗氧化、耐腐蚀、绝缘等特性。表面强化如表面合金化、表面冶金、表面超硬复盖、电火花表面强化、电镀、喷涂、堆焊、激光处理、电子束处理、离子注入等。表面润化如渗硫、氮化、氧化、磷化、表面软金属膜等,或表面复合处理。这些表面处理工艺改善了材料表面的摩擦磨损特性、节约贵金属、降低成本。

4. 新型润滑材料 如高水基液压介质和润滑剂,在高、低温、重载、防污染等条件下的新型固体润滑剂。摩擦化学揭示了各种添加剂对润滑材料物理、化学性能的改善机理,是形成了各种物理化学吸附膜。

5. 测试技术 目前对零件表面几何形状的改变、磨屑尺寸数量及形貌特征,机械振动与噪声等摩擦磨损因素,已可用放射性同位素分析仪、振动与噪声监测仪等进行监测、诊断和早期识别,随时了解设备特别是大型复杂机械设备和自动生产线的工况,及时采取措施,将计划维修制度改为自动预测维修制度。

摩擦学设计是机械构件的运动学设计、强度设计之后的重要设计组成部分。以摩擦、磨损及润滑理论为基础,以系统工程的观点,通过一系列分析计算和经验类比,合理设计机械零部件,采用先进材料和工艺,正确选用润滑方式和装置,预测并排除可能发生的故障,减少机械设备的摩擦损耗,达到经济的稳定磨损率,提高设备的工作效率和运行可靠性。

八、三次设计

三次设计是日本质量管理学家田口玄一在60年代提出的一种设计方法:把新产品、新工艺设计分为三个阶段,称为三次设计法。

第一次设计称为系统设计。根据市场调查,规划产品功能,确定产品基本结构及组成该产品的各种零部件的参数,提出初始设计方案。系统设计主要依靠专业技术人员的专业知识进行。

第二次设计称为参数设计。在初始设计方案的基础上,对各零、部件参数进行优化组合,完成最优设计方案,使产品的技术特性合理,稳定性好,抗干扰能力强,成本低廉。

第三次设计称为容差设计。在最优设计方案的基础上,进一步分析导致产品技术特性波动的原因,找出关键零部件,确定合适的容差,进而确定定差,并求得质量和成本的最佳平衡。

九、反求工程设计

技术引进是促进民族经济高速增长的战略措施。要取得最佳技术和经济效益,必须对引

2
3
4
5
6
7
8
9
10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10