



高等院校“十一五”规划教材

XIANDAI SHEJI FANGFA XIANDAI SHEJI FANGFA XIANDAI SHEJI FANGFA

现代设计方法

陶栋材 主编

XIANDAI SHEJI FANGFA XIANDAI SHEJI FANGFA XIANDAI SHEJI FANGFA

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

内 容 简 介

本书在讨论传统设计和现代设计的关系、特点,以及对多种常用现代设计方法进行概括介绍的基础上,重点介绍了优化设计、计算机辅助设计、有限元法、可靠性设计和创新设计,同时本书融入了编者多年来在现代设计方法方面的一部分研究成果。通过对本书的学习,读者可以掌握现代设计方法的基本思想、原理、设计过程和应用。

本书可作为机械类硕士研究生和高年级本科生教材,也可供其他专业师生和从事机电产品设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法 / 陶栋材主编. —北京: 中国石化出版社, 2010. 1
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0189 - 2

I. ①现… II. ①陶… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 230229 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

889 × 1194 毫米 16 开本 23.75 印张 615 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

前 言

“设计”是人类改造自然的基本活动之一。它与人类的生产活动及生活紧密相关。人类在改造自然的历史长河中，一直从事设计活动，通过成功的设计物品来满足文明社会的需要。“设计”在现代工农业生产中占有十分重要的地位，它直接影响着一项工程（或产品）的质量、成本以及研发时间等。通过优良设计的工程（或产品）可为人类社会带来巨大益处并将危害减小到最低程度。随着时代的进步和社会的发展，在人类对产品要求越来越高、产品结构越来越复杂、竞争越来越激烈的今天，设计工作的作用就更显得重要。

现代设计方法是随着当代科学技术的飞速发展和计算机技术的广泛应用而在设计领域发展起来的一门新兴的多元交叉学科。它是以满足市场产品的质量、性能、时间、成本、价格等综合效益最优为目的，以计算机辅助设计技术为主体，以知识为依托，以多种科学方法及技术为手段，研究、改进、创造产品活动过程所用到的技术群体的总称。

现代设计方法的应用将为工业产品的设计乃至所有设计领域带来革命性的变化，这些已为发达国家的实践所证实。随着国际市场的形成和市场竞争的加剧，我国企业设计人员急需学习和掌握现代设计理论和方法，树立现代设计的思想，掌握现代设计的基本概念和基本方法，获得应用现代设计方法设计产品的初步能力。

现代设计方法发展很快，种类繁多，涉及面极广。本书共分为六章，在讨论传统设计和现代设计的关系、特点，以及对多种常用现代设计方法进行概括介绍的基础上，重点介绍了优化设计、计算机辅助设计、有限元法、可靠性设计和创新设计。为了使学生便于掌握课程的基本内容和工程应用，本教材力求理论联系实际，引用较多的典型实例进行分析，以加深学生对所述内容的理解和掌握。同时本书融入了编者多年来在现代设计方法方面的一部分研究成果。本书可作为机械类硕士研究生和本科生教材，也可供从事机电产品设计的工程技术人员参考。

本书由湖南农业大学陶栋材教授主编，第一、三章由陶栋材教授编写；第二章由邓春香副教授编写；第四章由任述光副教授编写；第五章由吴明亮副教授编写；第六章由袁雄编写。

在本书的编写过程中，编者参阅了大量文献资料，吸纳了有关教材和参考书中的精华，引用了许多专家、学者的部分成果和观点，书后以参考文献一并列出。在此特对有关作者致以真诚的感谢。

鉴于现代设计方法内容涉及面广，发展迅速，加之编者水平有限，书中定会有不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
1.1 设计的基本概念.....	1
1.2 传统设计与现代设计.....	4
1.3 设计过程与设计方法.....	8
1.4 设计类型与设计原则.....	11
1.5 部分现代设计方法简介.....	11
1.6 学习现代设计方法的意义.....	23
思考题.....	24
第二章 优化设计方法	25
2.1 概述.....	25
2.2 优化设计的数学模型.....	25
2.3 优化设计的数学基础.....	26
2.4 一维搜索方法.....	32
2.5 无约束优化方法.....	37
2.6 有约束优化方法.....	43
2.7 Matlab 在优化方法中的应用.....	53
思考题.....	69
第三章 计算机辅助设计	72
3.1 概述.....	72
3.2 设计资料的处理.....	85
3.3 计算机辅助图形处理.....	98
3.4 CAD 建模技术及产品数据模型.....	126
3.5 计算机辅助机构分析.....	161
3.6 计算机仿真.....	184
思考题.....	224
第四章 有限元法	227
4.1 概述.....	227
4.2 弹性力学基本理论.....	228
4.3 有限元基本原理.....	239
4.4 等参单元及数值积分.....	256
4.5 有限元分析中若干问题的处理.....	264
4.6 有限元分析软件 ANSYS 的应用.....	266
4.7 应用实例.....	274
思考题.....	282

第五章 可靠性设计	284
5.1 可靠性概论.....	284
5.2 机械可靠性设计原理与可靠度计算.....	288
5.3 机械静强度可靠性设计.....	306
5.4 疲劳强度可靠性设计.....	326
5.5 可靠性试验.....	337
思考题.....	350
第六章 创新设计	351
6.1 概述.....	351
6.2 创新思维的基本方法.....	354
6.3 创新思维技法.....	358
6.4 产品创新设计.....	364
6.5 产品创新设计实例.....	368
思考题.....	371
参考文献	372

第一章 绪 论

1.1 设计的基本概念

1.1.1 设计的概念与内涵

设计是人类改造自然的基本活动之一。它与人类的生产活动及生活紧密相关。人类在改造自然的历史长河中，一直从事设计活动，通过成功的设计物品来满足文明社会的需要。人类生活在大自然和人类自身“设计”的世界中，从某种意义上讲，人类文明的历史，就是不断进行设计活动的历史。

历史证明，人类文明的源泉就是创造，人类生活的本质就是创造，而设计，其本质上就是创造性的思维与活动，设计的历史也可以说就是人类的历史。自觉的“设计”是开始于15世纪欧洲文艺复兴时期，直到20世纪中期，设计仍被限定在比较狭窄的专业范围内，单一的学科知识很难解决专业范围内的一些设计问题。

什么是设计?至今人们有着不同的理解和解释。设计一词有广义和狭义之分。我国《现代汉语词典》中将设计一词解释为“在正式做某项工作之前，根据一定的目的和要求，预先制定方法、图样等”。设计的目的，既可以是精神性的也可以是物质性的。在漫长的历史进程中，出现了两种主要形式的设计活动，一是单纯为了满足审美需求而出现的艺术设计；一是单纯为了满足功能需求而出现的工程设计。它们分别培养了艺术家和工程师。通常所说的设计一般指工业产品设计，是把设计理解为根据客观需求完成满足该需求的技术系统的图纸及技术文档的活动，这是设计的狭义概念。从广义上说，设计是指为了达到某一特定目的，从构思到建立一个切实可行的实施方案，并且用明确的手段表示出来的系列行为。设计有许多定义，如：

- (1) 设计是“一种针对目标的问题求解活动”。
- (2) 设计是“将人为环境符合人类社会心理、生理需求的过程”。
- (3) 设计是“从现存事实转向未来可能的一种想像跃迁”。
- (4) 设计是“一种创造性活动——创造前所未有的、新颖而有益的东西”。
- (5) 设计是“一种构思与计划，以及把这种构思与计划通过一定的手段符号化的活动过程”。
- (6) 设计是“建立在一定生产方式上的造型计划”。
- (7) 设计是“使人造物产生变化的活动”。
- (8) 设计是“一种社会文化活动。一方面，设计是创造性的、类似于艺术的活动；另一方面，它又是理性的、类似于条理性的科学活动”。
- (9) 设计是“对一批特殊的实际需要的总和，得出最恰当的答案”。
- (10) 设计是“实现信念的一种非常复杂的行动”。
- (11) 设计是“一种约定俗成的活动，是在规定和创造将来”。
- (12) 设计是“完成委托人的要求、目标，获得使设计师与用户均能满意的结果”。
- (13) 设计是“一种研讨生活的途径”。
- (14) 设计是“综合社会的、经济的、技术的、心理的、生理的、人类学的、艺术的各种形态的特殊的的美学活动及其产品”。
- (15) 设计是“通过分析、创造与综合，达到满足某些特定功能系统的一种活动过程”。

由此可见，设计的含义并不受学科或专业本身的限制，这些含义具有普遍性与广义性。

随着科学技术和生产力的不断发展，设计和设计科学也在不断向深度和广度发展，其内容、要求、理论和手段等都在不断更新，产品设计概念的内涵和外延也在扩大。从设计内容上看，设计包括了对设计对象、设计进程甚至设计思路的设计；产品设计考虑的范围不再仅仅是构成产品的物质条件和功能需求，而是综合了经济、社会、环境、人体工学、人的心理、文化层次等多种因素；从纵向上看，设计不再是仅仅完成技术系统的图纸及技术文档，而是贯穿了产品从孕育到消亡的整个生命周期，涵盖了需求获取、概念设计、技术设计、详细设计、工艺设计、营销设计及回收设计等设计活动，把实验、研究、设计、制造、安装、使用、维修作为一个整体进行规划；从横向上看，则是多学科交叉方面的规划和设计，设计师通过对人的生理、心理、生活习惯等一切关于人的自然属性和社会属性的认知，进行产品的功能、性能、形式、价格、使用环境的定位，结合材料、技术、结构、工艺、形态、色彩、表面处理、装饰、成本等因素，从社会的、经济的、技术的角度进行创意设计，在企业生产管理中保证设计质量实现的前提下，使产品既是企业的产品、市场中的商品，又是用户的用品，达到顾客需求和企业效益的完美统一，功能实用和美学特征的统一。

随着计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）技术的发展，图纸也不再是设计结果输出的必须载体，它已被设计和制造的产品数字化信息所代替，设计的结果可直接转变为加工的指令。

为了更好地满足人类的需求，设计方法必然要发展。随着创造性活动理论、现代决策理论、信息论、控制论、工业设计理论、系统工程等现代理论与方法的发展及传播，人们冲破了传统学科间的专业壁垒，在相邻甚至相远的学科领域内探索、研究，使现代设计科学走上日趋整体化的道路，促使单一的设计研究向广义的设计研究转变，从而形成了现代设计方法学。

1.1.2 产品设计的重要性及产品开发面临的挑战

工程设计是为满足人类社会日益增长的需要而进行的创造性劳动，它和生产、生活及其未来密切相关，所以人们对设计工作越来越重视，产品设计的重要性主要表现在以下方面。

1) 设计直接决定产品的功能和性能

产品的功能、造型、结构、质量、成本以及可制造性、可维修性、报废后的处理以及人一机（产品）—环境关系等，原则上都是在产品的设计阶段确定的，可以说产品的水平主要取决于设计水平。而设计的失误、缺陷、考虑问题不细致、不全面都会导致不良结果甚至灾害性结果。如果对产品使用不当或由于制造或装配中产生问题所造成的不良后果还是可以再补救或修复的，是局部性和偶然性问题；而设计本身就存在问题，这种“先天不足”的不良影响是根本性或全局性的，所造成的后果较难弥补。例如汽车发动机设计时的耗油量指标就较落后，造成使用时燃油浪费。要进行改善，除改变原设计或更换发动机外，其他办法很难奏效。美国质量专家米兰博士认为，设计质量占整个产品质量的比率为 60%，日本质量工程专家田口玄一博士认为，设计质量（包括产品设计和工艺设计）占整个产品质量的比率为 70%。因此，设计是保证产品质量的前提和关键。

2) 设计对企业的生存和发展具有重大意义

产品生产是企业的中心任务，而产品的竞争力影响着企业的生存与发展。产品的竞争力主要在于它的性能和质量，也取决于经济性。而这些因素都与设计密切相关。在激烈的市场

竞争中，成功的创新产品开拓出新的使用价值和市场需求，为企业获取高额利润、提升经济效益创造出新的增长点。统计显示，从事生产制造或代理销售的企业利润一般在5%左右，而不断进行产品创新的企业利润则普遍达到20%或更高。因此，产品创新是一个企业提升经济效益和赖以生存、发展、成功的基本要素，而产品创新的关键是设计创新。例如1980年石油危机，西方汽车大量积压，企业停工，而日本汽车却能较好地销售，原因在于日本设计的汽车耗油量小，价格便宜。

3) 设计直接关系人类的未来及社会发展

设计是把各种先进技术转化为生产力的一种手段，是先进生产力的代表，设计创新是推动产业发展和社会进步的强大动力。在人类社会发展的历史上，每次产业结构的重大变革和带来的社会进步都伴随着一个或几个标志性的创新产品。二百多年前，第一台蒸汽机的出现引起世界性的工业革命，使1770~1840年间英国的工业生产率提高了20倍。一百多年前的第二次工业革命中诞生了发电机、内燃机、汽车、电话机等一批革命性的新产品，第二次世界大战后，计算机、半导体集成电路、互联网等新产品将人类带入了崭新的信息时代。我国改革开放三十多年来，正因为大量的新产品引入市场，带动了产业技术水平迅速提高，产业结构不断升级，人民生活质量显著改善，社会物质文化生活日益丰富多彩，强有力地推动了国家的经济社会发展。当前很多发明和新技术的出现，也相应渗入机械领域，迅速地改变着机械的面貌，如激光技术、核动力、信息技术、计算机技术及机电一体化技术等引入到机械，大大提高了机械工业的水平。因此机械设计应着眼于未来，适应技术发展，同时也应努力促进技术发展。

全球市场的形成加剧了当前的市场竞争，我国机械制造业的产值约占国民经济总值的30%，它作为国民经济的一个重要支柱，既要生产高质量、高性能和低成本的产品来提高本行业的竞争能力，又要开发先进、高效和可靠的产品为其他行业提供生产和生活装备，不断改善设计工作，提高机械产品设计质量和效率。

经济全球化和企业竞争的加剧，使产品开发面临以下挑战。

(1) 产品适销期明显缩短、产品开发周期极大压缩。如中型数控机床的新型产品开发周期在20世纪80年代前期为15个月，在90年代前期为9个月，在2000年后则压缩为6个月甚至更短。以中型加工中心为例，新产品的销售旺期从20世纪80年代的5~8年降至90年代的3~5年，2000年后则为2年左右。

(2) 产品品种数急剧增加。适应用户需求，订单式的个性化产品得到发展。即使大批量生产产品，也可根据顾客多样化的功能要求和喜爱实现订单式的销售模式。

(3) 设计对象越来越复杂。对设计对象的性能要求越来越高，功能越来越多，结构也越来越复杂。设计对象由单机走向系统，设计所涉及的领域由单一领域走向多个领域。

(4) 设计过程越来越复杂。承担设计的人员从个人走向团队，设计的过程由串行设计走向并行设计，地点由单一走向基于网络的异地设计。

(5) 对设计产品的要求越来越高。设计优化目标由单一走向多目标，客户不再满足于对产品功能、质量的要求，而且要求价格低、交货快、无污染、服务好。同时，环境和社会等因素对产品的要求更趋严格。

(6) 设计风险加大。由于竞争的激烈，迫使设计人员必须在多种因素不确定的状况下迅速做出决策。

我国产品开发目前主要存在以下问题：

(1) 产品仿制多，创新少，市场竞争能力不强，获利不高；

(2) 设计耗时多, 设计成功率低, 反复试制使开发周期变长, 产品更新换代慢, 一般开发周期是国外同类产品的两倍左右;

(3) 通用型产品多, 面向用户的功能多样化的有竞争优势的产品少;

(4) 产品设计从技术上考虑多, 产品的人性化设计、造型设计水平低;

(5) 市场、客户价值分析少, 对适销对路的产品开发反应慢, 品种少;

(6) 设计方法和手段不先进;

(7) 产品的标准化、通用化程度不高, 生产准备工作量大, 产品投产上市速度慢。

产品开发面临着严峻挑战, 要求不断地发展和应用现代设计方法和先进的生产制造技术来适应这一需求, 其中新产品的快速响应开发更是提高企业市场竞争力的关键环节。

1.2 传统设计与现代设计

1.2.1 设计发展的基本阶段

为了便于了解现代设计与传统设计的区别, 首先简单回顾一下人类从事设计活动发展的几个基本阶段。从人类生产的进步过程来看, 整个设计进程大致经历了如下四个阶段。

(1) 直觉设计阶段。古代的设计是一种直觉设计。当时人们或许是从自然现象中直接得到启示, 或是全凭人的直观感觉来设计制作工具。设计方案存在于手工艺人头脑之中, 无法记录表达, 产品也是比较简单的。直觉设计阶段在人类历史中经历了一个很长的时期, 17 世纪以前基本都属于这一阶段。

(2) 经验设计阶段。随着生产的发展, 单个手工艺人的经验或其头脑中自己的构思已难以满足要求, 因而促使手艺人联合起来互相协作, 逐渐出现了图纸, 并开始利用图纸进行设计。一部分经验丰富的人将自己的经验或构思用图纸表达出来, 然后根据图纸组织生产。图纸的出现, 既可使具有丰富经验的手艺人通过图纸将其经验或构思记录下来, 传于他人, 便于用图纸对产品进行分析、改进和提高, 推动设计工作向前发展; 还可满足更多的人同时参加同一产品的生产活动, 满足社会对产品的需求及生产率的要求。因此, 利用图纸进行设计, 使人类设计活动由直觉设计阶段进步到经验设计阶段。

(3) 半理论半经验设计阶段。20 世纪以来, 由于科学和技术的发展与进步, 对设计的基础理论研究和实验研究得到加强。随着理论研究的深入和试验数据及设计经验的积累, 逐渐形成了一套半经验半理论的设计方法。这种方法以理论计算和长期设计实践而形成的经验、公式、图表、设计手册等作为设计依据, 通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计。依据这套方法进行机电产品设计, 称为传统设计。所谓“传统”是指这套设计方法已沿用了很长时间, 直到现在仍被广泛地采用着。传统设计又称常规设计。

(4) 现代设计阶段。近 30 年来, 由于科学和技术迅速发展, 对客观世界的认识不断深入, 设计工作所需的理论基础和手段有了很大进步, 特别是电子计算机技术的发展及应用, 对设计工作产生了革命性的突变, 为设计工作提供了实现设计自动化和精密计算的条件。例如 CAD 技术能得出所需要的设计计算结果资料、生产图纸和数字化模型, 一体化的 CAD/CAM 技术更可直接输出加工零件的数控代码程序, 直接加工出所需要的零件, 从而使人类设计工作步入现代设计阶段。此外, 步入现代设计阶段的另一个特点就是, 对产品的设计已不仅考虑产品本身, 还要考虑对系统和环境的影响; 不仅考虑技术领域, 还要考虑经济、社会效益; 不仅考虑当前, 还需考虑长远发展。例如, 汽车设计, 不仅要考虑汽车本身的有

关技术问题，还需考虑使用者的安全、舒适、操作方便等；同时，还需考虑汽车的燃料供应和污染、车辆存放、道路发展等问题。

1.2.2 现代设计的目标和特点

传统设计以经验、试凑、静态、定性分析、手工劳动为特征，导致设计周期长、设计质量差、设计费用高，产品缺乏竞争力。随着现代科学技术的发展，机械产品设计领域中相继出现了一系列新兴理论、方法和手段，这些新兴理论、方法和手段统称为现代设计技术。

1) 现代设计的目标

设计目标是设计对象即技术系统应具有的总体性能。按照现代设计理论与方法进行产品设计，应能达到以下设计目标。

- (1) 工效实用性。一般用系统总体技术指标的形式提出，如产量、质量、精度等。
- (2) 系统可靠性。指系统在预定时间内和给定的工作条件下，能够可靠地工作的能力。
- (3) 运行稳定性。系统的输入量变化或受干扰时，输出量不发生超过限度的或非收敛性的变化，而过渡到新的稳定状态。
- (4) 人机安全性。采取一切措施，保证人身绝对安全，使机器故障造成的损失最小。
- (5) 环境无害性。机器对环境的噪声以及对环境的污染减小到无害的程度。
- (6) 操作宜人性。操作者工作时心情舒畅，不易疲劳。
- (7) 结构工艺性。系统的结构设计应满足便于制造、加工、装配、运输、安装、维修等工艺要求，特别是自动化的要求。
- (8) 技术经济性。一是评价一次投资变为系统或设备时，不同设计方案的经济性比较；二是评价保持系统或设备正常运行时，资源运用的合理性，如运行费用的经济性的比较。
- (9) 造型艺术性。在保证功能的前提下，造型合乎艺术规律，使人产生美感和时代感，提高精神文明水平。
- (10) 设计规范性。设计成果遵从国家政治经济政策和法规，符合国家的技术规范和法令，贯彻“三化”。

2) 现代设计的特点

与传统设计相比较，现代设计主要有下列特点。

(1) 系统性。现代设计采用逻辑的、系统的设计方法。目前有两种体系：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。一种是德国倡导的设计方法学，用从抽象到具体的发散思维方法，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，评价决策选出最优方案。

传统设计是经验、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，对功能原理的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。现代设计将产品设计扩展到整个产品生命周期，发展了“面向 X”技术，即在设计过程中同时考虑制造、维修、成本、包装运输、回收、质量等因素。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、面向市场为主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的改革和新产品设计工作，以相似性设计、

模块化设计来更好地满足广泛变化的社会需求，以反求工程技术消化、应用国际先进技术，以摩擦学设计方法来提高机械效率，以三次设计方法有效地提高产品性能价格比。

传统设计由技术主管指导设计，设计过程中多为单纯注意技术性，设计试制后才进行经济分析、成本核算，很少考虑社会问题。

(3) 创造性。现代设计强调激励创造冲动，突出创新意识，自觉运用创造技法、科学抽象的设计构思、发散的设计思维、多种可行的创新方案比较，全面深入地评价决策，追求最优方案。

传统设计一般是封闭收敛的设计思维，容易陷入思维定式，过早地进入定型实体结构，强调经验类比和直接主观的评价决策。

(4) 宜人性。现代设计强调产品内在质量的实用性以及外观形体的美学性、艺术性和时代性。在保证产品物质功能的前提下，尽量使用户产生新颖舒畅等精神感受。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，考虑满足人一机一环境等之间的协调关系，发挥系统潜力，提高效率。工业艺术造型设计和人机工程提高了产品的精神功能，不断满足宜人性要求。

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一环境等之间的关系，强调训练用户来适应机器的要求。

(5) 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、可持续发展等各种约束条件下，在广泛的学科领域之间，通过计算机以高效率综合集成为最新科技成果，寻求最优方案和参数。利用优化设计、神经网络算法和遗传算法等求出各种工作条件下的最优解。

传统设计属于自然优化，在设计—评定—再设计的循环中，凭借设计人员的有限知识、经验和判断选取较好方案，因此受人和效率的限制，难以对多变量系统在广泛影响因素下进行定量优化。

(6) 动态化。现代设计在静态分析的基础上，考虑生产中实际存在的多种变化量（如产品的工作可靠性问题，考虑载荷谱、负载率等随机变量）的影响，进行动态特性的最优化。根据概率论和统计学方法，针对载荷、应力等因素的离散性，用各种运算方法进行可靠性设计。对一些复杂的工程分析问题可用有限元法、边界元法等数值解法得到满意的结果。

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

(7) 设计过程智能化。设计过程智能化指借助于人工智能和专家系统技术，由计算机完成一部分原来必须由设计者进行的创造性工作。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。仿生学研究如何模仿生物的某些高水平的能力。生物中人的智能最高，能通过知识和信息的获取、推理和运用解决极复杂的问题。在已被认识的人的思维规律的基础上，在智能工程理论的指导下，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和系统。

传统设计局部上自发地运用某些仿生规律，但这很难达到高度智能化的效果。

(8) 设计手段的计算机化和数字化。计算机在设计中的应用已从早期的辅助分析、计算机绘图，发展到现在的优化设计、并行设计、三维建模、设计过程管理、设计制造一体化、仿真和虚拟制造等。特别是网络和数据库技术的应用，加速了设计进程，提高了设计质量，便于对设计进程管理，方便了企业内部、有关部门及协作企业间的信息交换。

传统设计是靠人工计算及绘图进行的，由于使用工具简单，设计的准确性和效率都受限

制，修改设计也不方便。

(9) 设计和制造一体化。设计和制造一体化强调产品设计制造的统一数据模型和计算机集成制造。设计过程组织方式由传统的顺序方式逐渐过渡到并行设计方式，与产品设计有关的各种过程并行交叉地进行，可以减少各种修改工作量，有利于加速工作进程，提高设计质量。并行设计的团队工作精神和有关专家协同工作，有利于得到整体最优解。设计手段的拟实化、三维造型技术、仿真及虚拟制造技术以及快速成型技术，使得人们在制造零件之前就可以看到它的形状甚至摸到它，可以大大改进设计的效果。现代设计利用高速计算机将各种不同目的的设计方法、各种不同的设计手段综合起来，以求得系统的整体最优解。

1.2.3 现代设计技术体系

现代设计技术是以满足市场产品的质量、性能、时间、成本、价格综合效益最优为目的，以计算机辅助设计技术为主体，以知识为依托，以多种科学方法及技术为手段，研究、改进、创造产品活动过程所用到的技术群体的总称。

现代设计技术内容广泛，涉及的相关学科门类多。为了了解现代设计技术的全貌，下面对现代设计技术体系进行分析。

现代设计技术体系如图 1-1 所示。现代设计技术体系由基础技术、主体技术、支撑技术和应用技术四个层次组成。

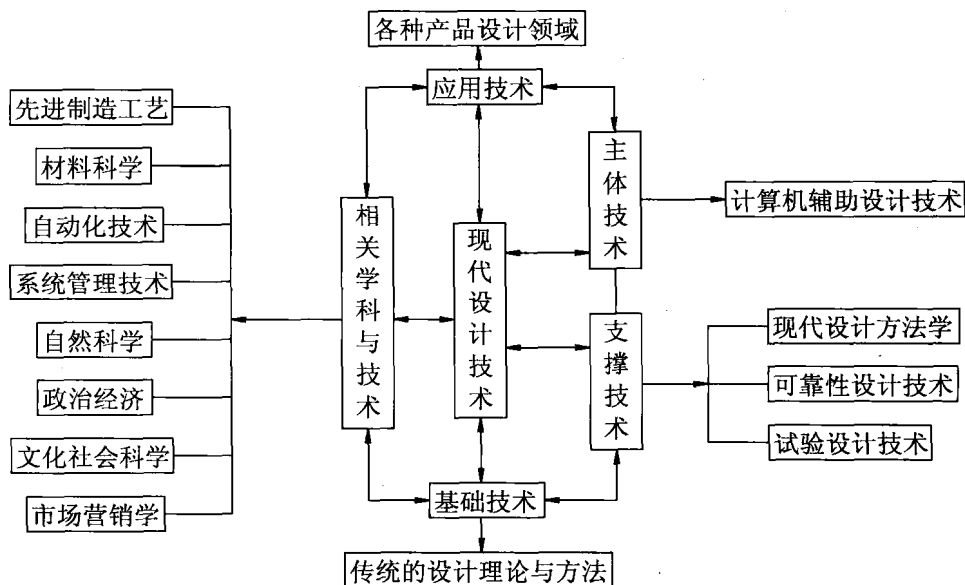


图 1-1 现代设计技术体系

1) 基础技术

指传统的设计理论与方法，特别是运动学、静力学与动力学、材料力学、结构力学、热力学、电磁学、工程数学的基本原理与方法等。基础技术不仅为现代设计技术提供了坚实的理论基础，也是现代设计技术发展的源泉。现代设计技术是在传统设计技术的基础上，以新的形式和更丰富的内涵对传统设计技术的发展与延伸。

2) 主体技术

现代设计技术的诞生和发展与计算机技术的发展息息相关、相辅相成。计算机辅助设计技术以它对数值计算和对信息与知识的独特处理能力成为现代设计技术群体的主干。

3) 支撑技术

设计方法学、可信性设计技术及试验设计技术所包含的内容视为现代设计技术群体的支撑技术。无论是设计对象的描述,设计信息的处理、加工、推理与映射及验证,都离不开设计方法学、产品的可信性设计技术及设计试验技术所提供的多种理论与方法及手段的支撑。

4) 应用技术

应用技术是针对适用性的目的解决各类具体产品设计领域的技术,如机床、汽车、工程机械等设计的知识和技术。

现代设计已扩展到产品规划、制造、营销和回收等各个方面。因而,所涉及的相关学科和技术除了先进制造技术、材料科学、自动化技术、系统管理技术外,还涉及政治、经济、法律、人文科学、艺术科学等领域。

1.3 设计过程与设计方法

1.3.1 机电产品设计的一般过程

从产品设计角度出发,机电产品设计过程有产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计四个主要阶段。现代设计要求设计者要以系统的、整体的思想来考虑设计过程中许多综合性技术问题。为了避免不必要的经济损失,开发机电产品时应该遵循一定的科学开发生产原则。下面就对开发机电产品设计的一般步骤加以论述。

1) 产品规划设计阶段

产品规划设计,就是决策开发新产品的设计任务,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、市场调研预测的基础上,辨识社会的真正需求,进行可行性分析,提出可行性报告和合理的设计要求与设计参数项目表。

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。市场调研要从市场、技术、社会三个方面进行,预测要按科学的方法进行。辨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,再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。

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。

以上机电产品设计的四个工作阶段，应尽可能地采用现代设计方法与技术实现 CAD/CAPP/CAM 一体化。这样可以大大减少工作量，加快设计进度。表 1-1 给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。

表 1-1 新产品设计一般进程

阶段	步骤	方法	主要指导理论
产品设计规划	<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>	系统优化设计 方法 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
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[总体布局图、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 计算机辅助设计 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、高等机构学 机械设计的工艺基础 控制理论、智能工程、神经网络、专家系统
施工设计	<pre> graph TD A[零件工作图] --> B[零件装配图] A --> C[外观件加工工艺、面饰工艺规程] B --> D[技术文件] C --> E[效果图、检验标准] E --> F[造型工艺文件] D --> G[试制] F --> G G --> H[修改] H --> I[批量生产] </pre>	各种制造、装配、造型、装饰、检验等方法	各种工艺学

1.3.2 设计方法

设计方法是指达到预定设计目标的途径。在很长的一段时间内，工程设计方法多采用直觉法、类比法及以古典力学、数学和经验数据为基础的半经验设计法，设计中反复多，周期长。20世纪70年代以后，随着计算方法、控制理论、系统工程、价值工程、创造工程等学科理论的发展以及电子计算机的广泛应用，促使许多跨学科的现代设计方法出现，使工程设计进入创新、高质量、高效率的新阶段。设计过程的主要方法与理论如表1-2所示。

不管采用哪种技术过程，对每一个具体阶段和步骤都需要应用某种设计方法或技术，各学科、专业中有针对性地解决问题的理论和专门方法，如力学、摩擦学、有限元法等，以及现代设计方法中的计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、人机工程学、工业美学等。可以把设计的一般程式（纵向主线）和具体设计技术（横向方法）的纵横交叉关系看成是一个三维结构模式，如图1-2所示，也可称为“系统工程设计方法”模式。它是一个考虑多因素、多层次的复杂的科学方法体系。

表1-2 设计过程的主要方法与理论

设计阶段	方法	理论
明确设计任务（产品规划）	预测技术与方法	预测技术理论市场学、信息学
方案设计	系统化设计法 创造性方法 评价与决策方法	系统工程学、图论、形态学 创造学、思维心理学 决策论、线性代数、模糊数学
技术设计	构形法 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 模块化设计及模型试验	系统工程学 价值工程学、力学、摩擦学、制造工程学 优化理论 可靠性理论 人机工程学 工业美学 相似理论
施工设计		工程图学 工艺学

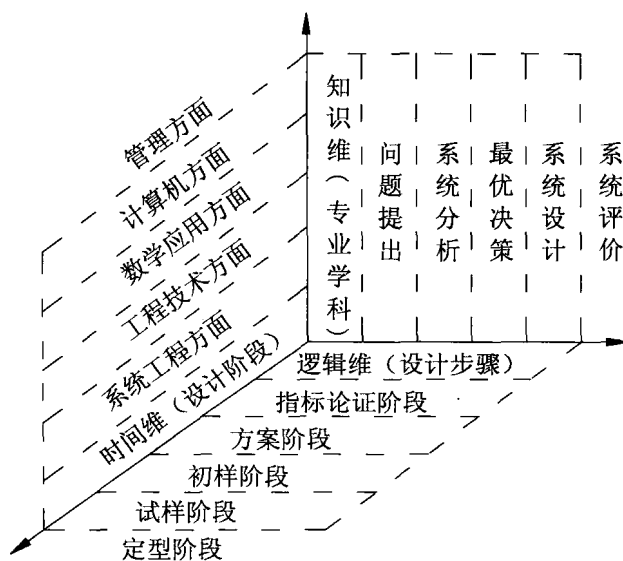


图1-2 现代设计的三维结构模式

1.4 设计类型与设计原则

1.4.1 设计类型

(1) 开发性设计：在设计原理、设计方案全都未知的情况下，根据产品总功能和约束条件，进行全新的创造。这种设计是在国内外尚无类似产品情况下的创新，如专利产品、发明性产品都属于开发性设计。

(2) 适应型设计：在总的方案和原理不变的条件下，根据生产技术和使用部门的要求，对产品结构和性能进行更新改造，使它适应某种附加要求，如电冰箱从单开门变双开门，单缸洗衣机变双缸洗衣机、全自动洗衣机等。

(3) 变参数设计：在功能、原理、方案不变的情况下，只是对结构设置和尺寸加以改变，使之满足功率、速比等不同要求，如不同中心距的减速器系列设计、中心高不同的车床设计、排量不同的发动机设计等。

(4) 测绘和仿制：按照国内外产品实物进行测绘，变成图纸文件，其结构性能不改变，只进行统一标准和工艺性改动。仿制是按照外单位图纸生产，一般只作工艺性变更，以符合工厂的生产特点与技术装备要求。

1.4.2 设计原则

(1) 创新原则：设计本身就是创造性思维活动，只有大胆创新才能有所发明，有所创造。但是，今天的科学技术已经高度发展，创新往往是在已有技术基础上的综合。有的新产品是根据前人研究试验结果而设计，有的是博采众长，加以巧妙的组合。因此，在继承的基础上创新是一条重要原则。

(2) 可靠原则：产品设计力求技术上先进，但更要保证使用中的可靠性，即无故障运行的时间长短，是评价产品质量优劣的一个重要指标。

(3) 效益原则：在可靠的前提下，力求做到经济合理，使产品“价廉物美”，才有较大的竞争能力，创造较高的技术经济效益和社会效益。也就是说，在满足用户提出的功能要求下，有效地节约能源，降低成本。

(4) 审核原则：为减少设计失误，实现高效、优质、经济地设计，必须对每一设计程序的信息，随时进行审核，决不许有错误的信息流入下一道工序。实践证明，产品设计质量不好，其原因往往是审核不严造成的。因此，适时而严细的审核是确保设计质量的一项重要原则。

1.5 部分现代设计方法简介

现代设计方法是随着当代科学技术的飞速发展和计算机技术的广泛应用而在设计领域发展起来的一门新兴的多元交叉学科。它是以设计产品为目标的一个总的知识群体的总称，是为了适应市场剧烈竞争的需要，为提高设计质量和缩短设计周期，以及计算机在设计中的广泛应用，于 20 世纪 60 年代在设计领域相继诞生与发展的一系列新兴学科的集成。其种类繁多，内容广泛。目前它的内容主要包括优化设计、可靠性设计、设计方法学、计算机辅助设计、动态设计、有限元法、工业艺术造型设计、人机工程、并行工程、价值工程、反求工程设计、模块化设计、相似性设计、虚拟设计、疲劳设计、三次设计等。在运用它们进行工

程设计时，一般都以计算机作为分析、计算、综合、决策的工具。本节中对其中的部分现代设计方法进行简要介绍，有些内容则在后续章节详细介绍。

1.5.1 计算机辅助设计

计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）是指在设计活动中，利用计算机作为工具，帮助工程技术人员进行设计的一切适用技术的总和。

计算机辅助设计是人和计算机相结合、各尽所长的新型设计方法。在设计过程中，人可以进行创造性的思维活动，完成设计方案构思、工作原理拟定等，并将设计思想、设计方法经过综合、分析，转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中，人可以评价设计结果，控制设计过程；计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力，完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性作用，又能充分利用计算机的高速分析计算能力，找到人和计算机的最佳结合点。

在计算机辅助设计工作中，计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换。也就是在设计人员的初步构思、判断、决策的基础上，由计算机对数据库中大量设计资料进行检索，根据设计要求进行计算、分析及优化，将初步设计结果显示在图形显示器上，以人机交互方式反复加以修改，经设计人员确认后，在自动绘图机及打印机上输出设计结果。在CAD作业过程中，逻辑判断、科学计算和创造性思维是反复交叉进行的。一个完整的CAD系统，应在设计过程中的各个阶段都能发挥作用。

计算机辅助设计系统由硬件和软件组成。CAD系统的硬件配置与通用计算机系统有所不同，其主要差异在于CAD系统硬件配置中具有较强的人机交互设备及图形输入、输出装置，为CAD系统作业提供一个良好的硬件环境。

CAD系统除必要的硬件设备外，还必须配备相应的软件。如无软件的支持，硬件设备便不能发挥作用。软件水平是决定CAD系统效率高低、使用是否方便的关键因素。CAD系统软件主要包括操作系统、应用程序、数值分析程序库、图形软件和数据库管理系统。

与传统的机械设计相比，无论在提高效率、改善设计质量方面，还是在降低成本、减轻劳动强度方面，CAD技术都有着巨大的优越性。主要表现在以下方面。

(1) CAD可以提高设计质量。在计算机系统内存储了各种有关专业的综合性的技术知识，为产品设计提供了科学的基础。计算机与人交互作用，有利于发挥人机各自的特长，使产品设计更加合理。CAD采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和产品结构的优化。另外，由于不同部门可利用同一数据库中的信息，保证了数据的一致性。

(2) CAD可以节省时间，提高效率。设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计时间。CAD和CAM的一体化可显著缩短从设计到制造的周期，与传统的设计方法相比，其设计效率可提高3~5倍。

(3) CAD可以较大幅度地降低成本。计算机的高速运算和绘图机的自动工作大大节省了劳动力。同时，优化设计带来了原材料的节省。CAD的经济效益有些可以估算，有些则难以估算。由于采用CAD/CAM技术，生产准备时间缩短，产品更新换代加快，大大增强了产品在市场上的竞争能力。

(4) CAD技术可以提高劳动生产率。在常规产品设计中，绘图工作量约占全部工作量的60%，在CAD过程中这一部分的工作由计算机完成，产生的效益十分显著。