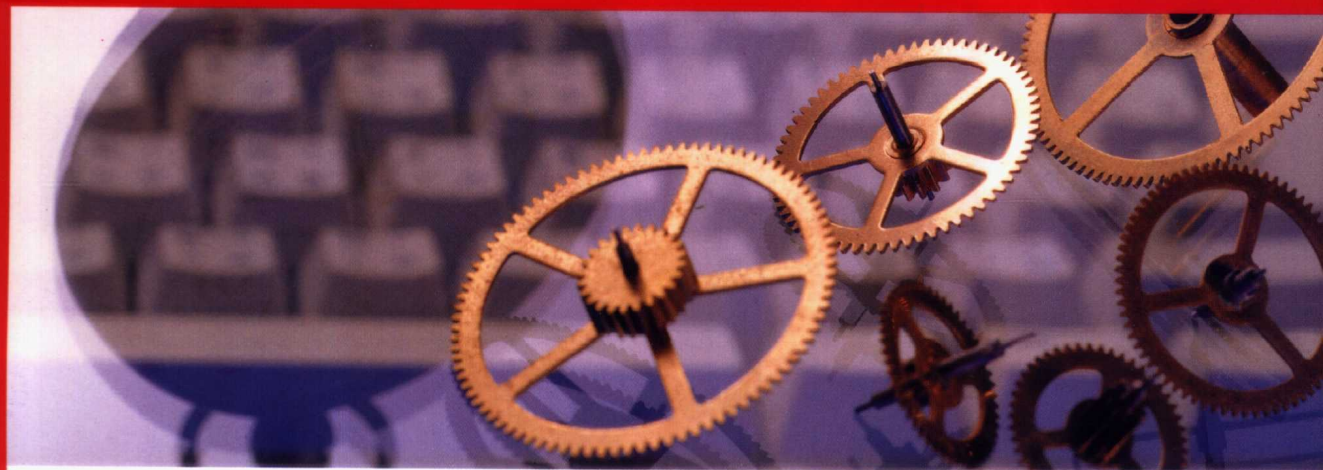


面向21世纪高等院校

机械类

专业规划教材



现代设计方法及其应用

陈屹 谢华 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

面向 21 世纪高等院校机械类专业规划教材

现代设计方法及其应用

陈屹 谢华 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书着重介绍工程实践中广泛应用的三大现代设计方法:优化设计方法、有限元分析方法、可靠性设计方法。本书尽量避免繁琐的理论论证和数学推导,力求体现现代设计方法的基本思想和基本理论,注重整体的思路与工程实际应用。对于目前其他现代设计理念及方法、常用工具软件,本书也给予了介绍。本书体系完整,重点突出,内容丰富,通俗易懂。

本书可作为高等学校工科机械类、机电类及其它相近专业学生的教材,也可作为工程技术人员继续教育的培训教材,还可供有关工程技术人员及企业管理工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法及其应用/陈屹,谢华编著. —北京:国防工业出版社,2004.5

面向 21 世纪高等院校机械类专业规划教材

ISBN 7-118-03441-X

I. 现... II. ①陈...②谢... III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 016329 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17 391 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

众所周知,市场竞争的生命力在于产品的水平,而产品的更新换代、新产品的开发、产品质量的提高与成本的降低,关键在于设计。所以设计工作的质量和水平,直接关系到产品质量、性能、研制周期和经济效益,甚至关系到国民经济的发展。工业发达国家都十分重视产品设计。美国认为,设计是一本万利的事,对产品投资设计,会带来成百上千倍于投资的利润;英国认为,产品设计是工业的命脉,是企业的头等大事,工业革新必须以设计为中心,法国认为,设计是工业的生命,应培养超一流的设计大师,应大胆起用有才华有实践工作经验的设计人员;日本认为,工业发达是企业对产品设计高度重视的结果。同样,产品设计在我国社会主义现代化建设中,也将起到举足轻重的作用。

随着科学技术的迅猛发展以及计算机技术的广泛应用,设计领域正开始一场深刻的变革,各种现代设计理论不断涌现,设计方法更为科学化、系统化、完善化和先进化,使传统的设计方法已发展成为一门新兴的综合性、交叉性学科——现代设计方法。现代设计方法与技术的广泛应用,必将为我国的工业生产带来巨大的经济效益,也必将造福于广大人民群众,为他们提供更为丰富、更为安全、更为方便、更为环保的产品。

基于现代设计方法种类繁多,内容又十分广泛的特点,编者结合多年来从事教学与科研工作的经验,将本书的重点放在实践中应用十分广泛的三大类现代设计方法:最优化设计方法、有限元分析方法和可靠性设计方法上。这三类方法,突出体现了现代设计方法与传统设计方法在思想方法上所发生的三个方面的深刻变化,即设计最优化思想、高速度高精度分析思想与设计参数随机化的思想。本书着重介绍这些方法的基本思想、基本理论及解决实际问题的主要步骤、方法与手段。鉴于现代设计方法内容涉及面广,发展迅速,本书将在第4篇对其它现代设计方法及其常见软件工具进行概况性的介绍,希望使读者开阔视野,并在有限的时间内,对现代设计方法有较全面的了解。

本书参考曾多次使用的本科教学讲义,在内容的组织上,更加强调知识的实用性、整体性、科学性和先进性,力求通俗易懂,深入浅出,尽量避免繁琐的理论论证和数学推算,并给出工程应用实例。具有一般微积分、线性代数基础、概率论基础知识的读者都能读懂本书。本书除了适宜作为大专院校机械类、机电类、及相关专业学生教学用书外,还可作为工程技术人员的培训教材和自学读本,亦可作为电大、职大、自学考试等同类专业学生的参考读物。

IV

陈屹编写本书的绪论、第 1 篇、第 2 篇及第 4 篇，谢华编写本书的第 3 篇。杜平安教授（电子科技大学）、刘京生教授（The University of Hull, The United Kingdom）对本书的编写给予了诸多指导，提供了许多宝贵的资料，四川大学殷国富教授对全书进行了审阅，在此对杜教授、刘教授及殷教授的大力支持表示衷心的感谢！

限于编者的水平和经验，不当之处敬请读者指正。

编 者

2004 年 4 月

目 录

绪论	1
----	---

第 1 篇 优化设计方法

第 1 章 优化设计概述	11
1.1 优化设计基本概念	11
1.2 优化设计数学模型的建立	15
1.3 优化问题的几何描述	19
1.4 优化设计的迭代算法	21
第 2 章 优化方法的数学基础	24
2.1 方向导数与梯度	24
2.2 多元函数的泰勒公式及海森矩阵	28
2.3 无约束问题的最优性条件	29
2.4 凸集、凸函数与凸规划	31
2.5 约束问题的最优性条件	33
第 3 章 一维搜索方法	36
3.1 一维搜索的基本思想	36
3.2 确定初始单峰区间的进退法	38
3.3 0.618 法(黄金分割法)	39
3.4 二次插值法	41
第 4 章 无约束优化方法	46
4.1 梯度法	46
4.2 牛顿法及其改进	49
4.3 变尺度法	52
4.4 坐标轮换法	56
4.5 Powell(鲍威尔)法	58
第 5 章 有约束优化方法	63
5.1 拉格朗日乘子法	63
5.2 惩罚函数法	65
5.3 复合形法	73
第 6 章 多目标函数的优化方法	77
6.1 统一目标法	77

6.2 主要目标法	79
第7章 优化方法软件	80
7.1 Matlab 基础知识	80
7.2 优化工具箱	87
7.3 应用实例	92
习题	94

第2篇 有限元分析方法

第8章 有限元分析法概述	98
8.1 有限元分析法的基本概念	98
8.2 杆系结构的有限元分析	100
第9章 实用有限元分析方法	116
9.1 有限元模型	117
9.2 建立有限元模型的一般过程	119
9.3 建立有限元模型的基本原则	124
9.4 有限元法的应用	126
第10章 有限元分析软件	131
10.1 软件环境	131
10.2 文件管理	134
10.3 软件功能结构	135
10.4 软件编程	137
10.5 软件应用	145
习题	164

第3篇 可靠性设计方法

第11章 可靠性设计概述	168
11.1 概述	168
11.2 设计思想的转变	170
第12章 可靠性基本概念和理论	174
12.1 可靠性基本概念	174
12.2 产品的失效率曲线	178
12.3 可靠性常用分布函数	179
第13章 系统可靠性模型的建立、可靠性预计和分配	191
13.1 系统可靠性模型的建立	191
13.2 复杂系统可靠性预计	193
13.3 系统可靠度分配	196
第14章 可靠性设计方法	199
14.1 概述	199

14.2	机械产品可靠性设计·····	199
14.3	降额设计·····	214
14.4	简化设计·····	215
14.5	余度技术·····	216
14.6	软件可靠性设计·····	218
14.7	容错技术·····	225
	习题·····	227

第4篇 其他现代设计方法及其应用

第15章	常用现代设计方法简介 ·····	228
15.1	创新设计方法·····	228
15.2	功能分析法·····	233
15.3	计算机辅助设计·····	236
15.4	动态分析设计·····	241
15.5	快速响应设计及其相关技术·····	244
15.6	虚拟设计·····	248
15.7	并行设计·····	250
15.8	绿色设计·····	253
第16章	现代设计中常用工具软件 ·····	258
16.1	CAD/CAM 软件·····	258
16.2	工程分析软件·····	261
	参考文献 ·····	264

绪 论

一、现代设计方法概述

为了满足人类与社会的要求,将预定的目标通过人们创造性思维,经过一系列规划、分析和决策,产生载有相应的文字、数据、图形等信息的技术文件,以取得最满意的社会与经济效益,这就是设计。人类的设计活动从早期的直觉设计阶段开始,经历了经验设计阶段,半理论半经验设计阶段,即所谓的传统设计,发展至今。随着电子技术、计算机技术、网络技术的迅猛发展,信息时代的来临,使人们以往的生活方式、工作方式和思维方式发生了巨大的改变,由此对设计方面产生了深远的影响。市场竞争的需要和各种新方法、新技术、新工艺、新材料不断涌现,推动了设计方法和技术的进步,产品设计从传统的经验设计进入现代设计。

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。虽然目前对现代设计尚无确切定义,但我们可以这样理解现代设计:它是以市场需求为驱动,以知识获取为中心,以现代设计思想、方法和现代技术手段为工具,考虑产品的整个生命周期和人、机、环境相容性等因素的设计。

1. 现代设计手段

设计手段是人的设计思想借以实现的工具和技术。计算机技术、软件技术和数据库技术的发展对设计手段起到了变革性的作用,以计算机为工作平台的设计工具正在广泛取代传统的图板,计算机辅助设计正在成为现代设计的主要手段,它使设计效率、设计水平和设计质量得到全面提高。计算机辅助设计包括如下内容:

1) 计算机辅助绘图

计算机辅助绘图的速度大大高于人工绘图,且电子图纸的修改、存储和管理方便,可明显提高设计效率和减轻人的劳动强度。

2) 计算机辅助几何建模

在计算机内建立产品零件的实体模型或曲面模型,并实现零件的装配和干涉检查。几何建模是三维设计的主体。

3) 工程分析与计算

很多现代设计方法都涉及复杂计算,这些计算通过人工或计算器无法完成。高性能的计算机通过各种计算机辅助设计(CAD)软件能使这些方法得以工程实现。

4) 智能设计与专家系统

将人工智能、神经网络等技术引入工程设计并开发出具有专家指导功能的软件——专家系统,可以提高设计者的决策判断能力,加快设计速度,减少设计失误。

5) 数据库管理系统

数据库是设计数据的集合。利用数据库管理系统可对设计数据快速、有序、合理地存储、查询和控制,从而提高设计的水平和效率。

2. 现代设计的特征

以计算机技术为核心是现代设计的主要特征。计算机技术的飞速发展对设计产生了巨大影响, 表现为以下方面:

1) 设计手段的更新

传统设计以图板、直尺、铅笔等作为工具, 这种设计手段效率低、人工强度大。CAD技术的出现和发展, 甩掉图板的“无纸设计”作为现代设计的主流, 显著提高了设计效率。所以计算机技术推动了设计手段从“手工”向“自动”的转变。

2) 产品表示的改变

传统设计利用投影原理表示产品结构, 这种二维表示的数据单一, 数据量小, 不利于产品的进一步分析和制造。随着CAD技术的发展, 三维“产品模型”(Product Model)越来越得到广泛应用。这种表示不仅包括反映产品形状和尺寸的几何信息, 还可包括分析、加工、材料、特性等数据, 从而可直接用于分析和制造。因此计算机技术推动了产品表示从“二维”向“三维”的转变。

3) 设计方法的发展

一些先进的设计方法如有限元分析、优化、模态分析等都涉及大量复杂计算, 高性能的计算机硬件和先进的软件技术是这些方法实施的保证。只有计算机技术的发展才能推动这些方法的进步和应用。同时, 计算机技术也促进了一些新的设计方法的出现, 如并行设计、虚拟设计、计算机仿真等。

4) 工作方式的变化

受设计手段限制, 传统设计过程采用串行方式进行, 即设计任务按时序从一个环节传入下一环节。随着数据库技术和网络技术的发展, 并行设计正得到广泛应用。它要求设计小组(Team)同时地、并行地参与设计, 并最大限度地交流信息, 以缩短设计周期及有助于将各种新思想、新技术、新方法融入到产品设计中。因此计算机技术促进了设计方式从“串行”到“并行”的变化。

5) 设计与制造一体化

存在于计算机内的产品模型可直接进入计算机辅助工艺设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)系统进行工艺规划和NC编程, 进而加工代码可直接传入NC机床、加工中心进行加工。产品模型加强了设计与制造两个环节的连接, 提高了产品开发的效率。

6) 管理水平的提高

产品设计是一个复杂的系统工程, 设计过程中涉及大量设计数据和设计行为的管理。数据库技术的发展改变了传统的手工管理模式, 各种管理信息系统(Management Information System, MIS)、产品数据管理(Product Data Management, PDM)系统的广泛应用大大提高了设计的管理水平, 保证了设计过程的高效、协同和安全。

7) 组织模式的开放

网络技术的发展加快了数据通信速度, 缩短了企业之间的距离。传统的局限于企业内部的封闭设计正在变为不受行政隶属关系约束的、多企业共同参与的异地设计。为完成一种设计任务形成的虚拟企业或动态联盟将实现优势互补和资源共享, 极大地提高设计效率和水平。

受科学技术发展水平的限制,传统设计是以生产经验为基础,以运用力学和数学形成的计算公式、经验公式、图表、手册等作为依据进行的。随着理论研究的深入,许多工程现象不断升华和总结为揭示事物内在规律和本质的理论,如摩擦学理论、模态分析理论、可靠性理论、疲劳理论、润滑理论等。现代设计方法是基于理论形成的方法,利用这种方法指导设计可减小经验设计的盲目性和随意性,提高设计的主动性、科学性和准确性。因此,现代设计是以理论指导为主、经验为辅的一种设计。

3. 现代设计原则

设计原则是设计产品应满足要求的条件,也是对设计行为的约束。受设计水平、观念、体制等限制,传统设计所考虑的原则,着眼于产品的功能和技术范畴。而设计的影响贯穿产品整个生命周期,所以设计原则必须面向生命周期内的各个阶段。现代设计原则是传统设计原则的扩充和完善,两者并无本质区别。可归纳为以下几类。

1) 功能满足原则

产品设计的目的是构造能够实现规定功能的产品。如果产品不具备要求的功能,设计就失去价值。因此满足功能是各类产品设计的必要原则。

2) 质量保障原则

保证质量是产品设计的重要原则。产品质量主要由性能和可靠性决定,因此这类原则主要包括:

(1) 性能指标。指产品的各类技术指标,如机床加工精度、传动系统运动精度,电视机分辨力等。先进的技术指标是实现高质量产品的前提。

(2) 可靠性。指产品在规定的条件和规定时间内完成规定功能的能力。产品只有可靠的性能才有实用价值,因此性能的发挥依赖于可靠性。

(3) 强度原则。要求产品零件具有抵抗整体断裂、塑性变形和某些表面损伤的能力。

(4) 刚度原则。要求外载作用下产品变形在规定的弹性变形之内。

(5) 稳定性。指产品在外载作用下能够恢复其平衡的特性。

(6) 抗磨损性。要求零件在规定时间内材料的磨损量在规定值以内。

(7) 抗腐蚀性。要求产品在恶劣环境下不被周围介质侵蚀的特征。

(8) 抗蠕变性。要求高温环境工作的产品不发生蠕变或蠕变变形在规定值以内。

(9) 动态特性。指在动载荷作用下产品具有良好的抗振特性,以保证产品的平稳和低噪声运行。

(10) 平衡特性。指旋转产品具有良好的静平衡和动平衡特性。

(11) 热特性。保证产品具有要求的温度大小、温度分布和热流状态,以及热应力、热变形在规定值以内。

3) 工艺优良原则

指设计能够且容易通过生产过程实现,它包括:

(1) 可制造性。指利用现有设备能够制造出满足精度等要求的零件,且制造成本低,效率高。

(2) 可装配性。指零件能够装配成满足装配精度要求的部件和整机,且装配成本低,效率高。

(3) 可测试性。指产品能够且容易通过适当方法进行有关测试,以评估设计、制造和

装配的质量。

4) 经济合理原则

要求产品具有较低的开发成本和使用费用。

5) 社会使用原则

考虑产品投放市场后的表现行为, 包括:

(1) 环境友好性。保证产品产生尽可能少的废水、废气、噪声、射线等, 符合环保法规, 对生态环境破坏最小。环境友好性是可持续发展战略在设计中的重要体现。

(2) 环境适应性。适应使用环境的湿度、温度、载荷、振动等特殊条件。

(3) 人机友好性。满足使用者生理、心理等方面要求, 使产品外形美观, 色彩宜人, 操作简单、方便、舒适。

(4) 可维修性。使产品能够且易于维修, 维修的停机时间、费用、复杂性、人员要求和差错尽可能最小。

(5) 安全性。保证不对人的生命财产造成危害。

(6) 可安装性。保证产品使用前安装容易、可靠, 且安装费用最小。

(7) 可拆卸性。考虑产品的材料回收和零部件的重新使用。

(8) 可回收性。考虑产品报废及回收方式。

上面分类介绍了各种原则, 有些归类并不十分严格。设计时应根据产品特点选择部分原则, 而在选择的原则中又分主要和次要原则。根据所选主要原则的不同, 目前已形成许多针对性设计方法, 如面向制造和装配的设计 (DFMA)、面向环境的设计 (DFE)、面向拆卸的设计 (DFD) 等。

4. 现代设计理论与方法

设计理论是对产品设计原理和机理的科学总结。设计方法是使产品满足要求以及判断产品是否满足设计原则的依据。现代设计方法是基于设计理论形成的, 因而更具科学性和逻辑性。实质上, 现代设计方法是科学方法论在设计中的应用, 是设计领域中发展起来的一门新兴的多元交叉学科。它融合了信息技术、计算机技术、知识工程和管理科学等领域的知识, 因此现代设计方法包含的内容十分广泛。由于一些方法还在不断地完善和发展中, 所以现代设计方法还不能完全取代传统设计方法, 一些行之有效的经验方法目前仍在广泛使用, 它们仍是现代设计方法的重要组成。

设计方法分为适合不同类型产品设计的一般方法和面向特殊产品的具体方法。常见的一般方法包括:

(1) 系统分析方法。

(2) 价值工程方法。

(3) 技术经济预测方法。

(4) 有限元法与边界元法。

(5) 最优化设计法。

(6) 可靠性设计法。

(7) 动态设计法。

(8) 绿色设计方法。

(9) 并行设计方法。

(10) 虚拟设计方法。

(11) 反求设计法。

(12) 稳健设计方法。

(13) 机电一体化设计法。

(14) 外观设计方法。

(15) 计算机仿真与动态模拟方法。

(16) 抗磨损设计法。

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| (17) 抗疲劳设计法。 | (26) 智能分析设计方法。 |
| (18) 防腐蚀设计法。 | (27) 离散分析设计方法。 |
| (19) 现代测试与信号分析技术。 | (28) 模糊分析设计方法。 |
| (20) 理论与实验模态分析方法。 | (29) 物元分析设计方法。 |
| (21) 故障诊断方法。 | (30) 网络分析设计方法。 |
| (22) 模块化设计方法。 | (31) 人工神经网络分析设计方法。 |
| (23) 相似设计和模型试验方法。 | (32) 工程遗传分析设计方法。 |
| (24) 功能分析设计方法。 | (33) 下一代设计制造系统分析设计方法。 |
| (25) 创造性分析设计方法。 | |

现代设计方法把设计对象看作一个系统,同时考虑系统与外界的联系,用系统工程的概念进行分析和综合,力求系统整体最优。现代设计方法强调创造能力开发和充分发挥人员的创造性,重视产品的原理方案的设计、开发和创新;强调综合考虑与分析市场需求、设计、生产、管理、使用和销售等各方面因素;强调综合运用优化设计、系统工程、可靠性理论、价值工程、计算机技术等学科知识,探索多种解决设计问题的科学途径。总之,现代设计方法把经验的、类比的设计观点变成逻辑的、推理的、系统的设计观点,采用动态的、多变量的、多方案的、扩散性的设计思维方式,现代设计方法具有系统性、创造性、综合性和程式性的特点。

二、设计中的系统科学方法

1. 系统论

系统论以系统为对象,考察和研究其整体与部分之间相互作用和相互制约的关系,并采用最优化方法求得系统的最佳结果。系统论的出现和发展,为信息科学提供了重要理论基础,也推动了技术科学中的系统工程飞速前进。

系统的概念并不神秘,在人们的日常生活中,到处可以碰到“系统”。在自然界中,小到一个细胞,甚至构成细胞的分子、原子,大到茫茫无限的宇宙,都是一些复杂程度不同的系统。在现代社会的领域中,小到一个企业,科研机构,大到一个国民经济的部门,甚至整个国民经济总体也都是一个个系统。

虽然各种系统千差万别,但它们都是有三个共同的特征:它们都是由若干部分以一定的结构相互联系而成的有机整体;这些相互联系的整体可以分解为若干基本部分;这一整体具有目的性。我们称这种由相互作用、相互依赖的若干部分组成,并具有确定功能的有机整体为系统。为了对系统进行深入的研究,人们往往根据不同的需要,从不同的角度,对客观存在着的各种不同形态的系统进行分类。但是,不管分为多少类型或什么样的类型,作为系统的共同特征,系统遵循的基本规律是不会改变的。正因为如此,系统概念有着普遍的意义。

一般系统论的主题是阐述对于系统普遍有效的原理,这些原理主要反映在系统与部分、部分与部分、结构与功能以及系统与环境、系统与时间等关系上。如:系统整体性原理、动态相关性原理、层次等级性原理、系统有序性原理。

如果说系统的基本概念和原理主要是从理论上研究系统,以解决对一般系统的性质

和规律的认识问题,那么,系统方法则主要是从应用上研究系统,以解决对具体系统的认识和管理问题。可以说,系统方法是系统理论的实际应用,它是系统科学方法中最核心的部分,也是应用最广泛的现代科学方法之一。系统方法既包括运用系统概念、原理来分析和认识事物的一般方法,也包括用以处理具体系统问题的系统分析和系统工程方法。这两个方面是紧密联系的统一整体,前者是后者的方法论基础,后者是前者在使用和实施中的具体表现。

所谓一般系统方法就是按照客观事物本身的系统性,始终以整体与部分、部分与部分、整体与环境的相互联系、相互作用、相互制约的关系中,综合地、精确地考察研究对象,以达到最佳处理问题的目的。

系统分析是一般系统方法在科学决策中的具体应用,是在一般系统方法的指导下,对某些具体系统进行数量分析的决策方法。系统分析的要素,亦即系统分析的主要项目,包括目的、可行方案、费用、效益、模型、评价标准等。系统分析的一般过程通常为:提出问题,明确目标;收集资料,分析问题,建立模型,优选方案。

系统工程是一门对各种系统提出一整套分析和处理的科学方法的组织管理技术。对于分析和处理不同系统的各类系统工程,可以找到一套具有共同性的思路、程序和方法,这便是系统工程方法。系统工程方法是一般系统方法在组织管理中的具体应用。如果说系统分析属于系统工程的准备阶段或开始阶段,则系统工程包括组织管理的全过程。

系统工程的理论基础是运筹学和数学、计算机科学和计算技术。它在具体处理问题时,把组织和管理的事物视为系统,运用概率、统计、运筹学、模拟等方法,经过分析、推理、判断、综合,建成某种系统模型,通过计算机进行运算模拟,进而获取最佳方案,求得系统整体的最优规划、最优管理和最优控制。

系统工程结合特定领域的专业知识,已形成不同门类的系统工程,如工程系统工程,科研系统工程,军事系统工程、企业系统工程、社会系统工程等。系统工程的广泛应用,正对现代科学技术的发展、人类社会的进步起了巨大的推动作用。

2. 设计方法学

自 20 世纪 60 年代起,世界发达工业国家便开始重视设计理论与方法的系统研究。如:德国注重设计模式的研究,即注重研究设计的过程、步骤和规律,对设计过程进行系统化的逻辑分析,并将成熟的设计模式、解法等编成规范,供设计人员参考,使设计的方法步骤规范化。美、英等国则注重创造性设计的研究,在优化、价值工程、可靠性设计和计算机辅助设计方面做了许多工作。日本则在开发创造工程学和自动化设计的同时,强调工业设计。尽管各国在研究内容上有所不同,但共同的特点都是总结设计规律,启发创造性,采用现代化的先进理论和方法,使设计过程自动化、合理化,目的是为了提高设计水平和质量,设计出更好的产品,以满足社会日益发展的需要。

各国在设计方法研究过程中,发展了设计方法学(Design Methodology)这门学科,从而使它成为现代设计方法的一个重要内容。设计方法学是研究产品设计的程序、规律及设计中思维和工作方法的一门综合性学科。设计方法学的研究内容包括:

- (1) 研究设计过程,各阶段的任务与特点,寻求符合设计规律的设计程序。
- (2) 研究设计中解决问题的合理逻辑步骤和应遵循的工作原则。

(3) 分析设计中的思维规律, 研究设计人员科学的创造性的思维方法和技术。

(4) 研究各种类型设计(如开发型设计、变型设计、反求设计等)的特点以及系统工程、创造工程、价值工程、优化工程、可靠性工程、相似工程、人机工程、工业美学等现代设计理论与方法在设计中的应用。

(5) 研究设计信息库(设计目录)的建立和应用(如各种知识、科学技术原理、技术成果、专利等信息的表达与储存——知识库, 各种操作、程序、技法、方法的合理表达与储存——方法库等)。

(6) 研究设计步骤、理论、方法如何结合计算机等工具的运用, 进一步促进设计自动化的实现。

由此可见, 设计方法学是在深入研究设计过程本质的基础上, 以系统论的观点研究设计进程(战略问题)和具体设计方法(战术问题)的科学。设计方法学研究现代理论与方法在设计领域中的应用, 本身也构成现代科技发展的一个组成部分。设计方法学的研究在总结规律性, 启发创造性的基础上促进设计中的科学理论、合理方法、先进手段的综合运用。

3. 设计系统

设计系统是一种信息处理系统, 输入的是设计要求和约束条件信息, 设计者运用一定的知识和方法通过计算机、试验设备等工具进行设计, 最后输出的是方案、图纸、程序、文件等设计结果, 如图1所示。随着信息和反馈信息的增加, 通过设计者的合理处理, 将使设计结果更趋完善。

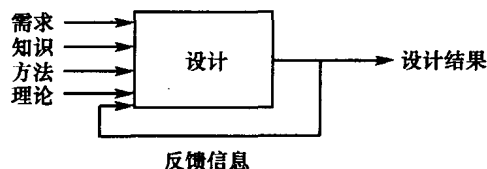


图1 设计系统

从系统工程的观点分析, 设计系统是一个由时间维、逻辑维和方法维组成的三维系统(见图2)。其中, 时间维是指设计过程的各工作阶段, 对产品的设计过程一般分为四个阶段: 产品规划阶段、原理方案设计阶段、技术设计阶段和施工设计阶段; 逻辑维是指解决问题的逻辑步骤; 方法维是指列出设计过程中的思维方法和工作方法。设计过程中的每一个行为都反映为这个三维空间中的一个点。从这三个方面, 我们可以深入分析和研究设计系统的规律。

设计中解决问题的合理逻辑步骤是: 分析—综合—评价—决策(图3)。分析的目的是明确任务的本质要求; 综合是在一定条件下对问题(未知系统)探寻解法, 可采取“抽象”、“发散”、“搜索”等方法, 寻求尽可能多的创造性解法, 在多解的基础上找到较理想的最佳解; 评价是收敛、筛选的过程, 用科学的方法按评价准则对多种方案进行技术经济评定和比较, 同时针对方案的弱点进行调整和优化, 直至得到比较满意的结果; 决策是在评价的基础上对已定的目标找出问题的最佳解法。通过分析—综合—评价—决策的逻辑过程能科学合理地解决设计中的问题。在设计过程的各阶段要反复多次地运用这种逻辑方法, 才有可能得到较理想的结果。

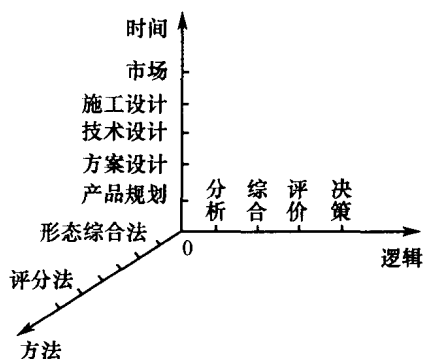


图2 设计系统

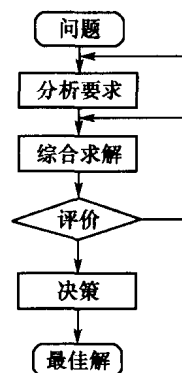


图3 解决问题的逻辑步骤

设计系统是现代设计方法的研究对象，由此可见，现代设计方法所涉及的内容非常广泛。

三、系统建模

在规划、分析、设计系统时，需要定性或定量地了解系统的功能和结构，并对系统的行为进行充分的探讨。例如在汽车、飞机、桥梁等领域的设计过程中，自古就有制作实物模型或缩尺模型来进行试验的方法。但是，这种方法并不是总能实现的。由于计算机的飞速发展普及，产生了一种用数学模型来准确表达系统特征，即用计算机进行试验的抽象模型方法。这种方法成本低，无危险，而且可以不必停止或破坏运行中的系统，可在极短时间内从某一角度研究系统的行为。在现代设计方法中，普遍采用这种方法。

模型是描述现实系统及其过程某一方面的本质属性，它是对研究对象的一种抽象描述。因此，模型不但要反映实际，而且还要高于实际。模型是由一些与分析对象有关的主要因素构成的，它反映了这些因素之间的关系。模型可将复杂的问题简化为易于处理的形式，同时还可以用简便的方式，在决策之前预测出它的结果，因此，模型是系统分析的主要工具，模型的建立是系统分析过程中的重要环节。

常用的模型有实物模型、模拟模型、图式模型和数学模型。数学模型是用代数方程、差分方程、微分方程、逻辑表达式等数学形式描述系统行为的模型。从对象系统的特性角度，数学模型可分为：静态模型和动态模型；确定性模型和随机性模型；线性模型和非线性模型；连续时间模型和离散时间模型；微观模型和宏观模型。从建模的目的角度，系统模型可分为：功能模型；预测模型；规划模型；评价模型。从系统涉及领域的角度，可分为经济模型、管理模型、社会模型、军事模型、能源模型、人口模型、生态模型等。

在系统工程中，把建立准确描述系统特征和行为的数学模型等抽象模型的过程称为建模，即从看起来杂乱无章的实际工程问题中，抽象出恰当的数学关系。这是一个对实际对象的信息进行提炼、分析、归纳、翻译的过程，是一个归纳总结与演绎推理相结合的过程。由于实际工程系统的规模和复杂程度的不同，建模的难易程度也有所不同。

因此，建模时应注意以下几点：

1) 明确目的

首先要明确建模的目的，即使是同一个系统，研究目的不同，建立的模型也不同。例如设计飞机时，如果目的在于研究飞行性能，那么建模时需要选择适于流体力学计算的外形。而以结构强度为研究目的时，则需要选择适于结构力学计算的模型。

2) 确定组成要素

必须确定对象系统模型中的最小单位的组成要素，使之与研究目的相一致。根据所选择组成要素的数量，模型可以简单也可以复杂。通常模型的精度和模型的简单程度互为矛盾。不论精度多高，如果模型过于复杂也难以使用，反之虽然模型简单但精度差也不能采用。这就需要在确定组成要素时兼顾这两方面的要求。

3) 验证模型

模型建立后需验证其精度。只满足建模时所用数据的模型是毫无意义的。模型必须高精度地满足其它各种试验数据。当验证结果不理想时，要重新探讨建模时确定的假设和假说，修改模型中采纳的组成要素和模型结构，调整模型的参数，通过这些手段来修正模型。另外在验证模型时，除了验证精度之外还要注意确定模型的适用范围。

建模是实现现代设计方法的桥梁，是系统工程的起点。掌握建模的基本思想与方法是我们学好现代设计方法的基础。由于建模常涉及到一定的专业知识，往往不是一件轻而易举之事。所以，在此，仅用一个极普通的例子来说明建模的基本思想。

例如：水管或煤气管经常需要从外部包扎，以便对管道起保护作用。问题：如何进行包扎，才能使带子全部包住管道而且最节省材料。假设：①管道的横截面都是圆，而且粗细一致；②带子的宽度是不变的，而且带子的宽度小于圆管截面的周长。

这个问题实际可变为如何用带子缠绕在管道外部才能使带子全部包住所有管道而且带子间互不重叠？

根据生活的经验我们都知道，只要把带子斜搭在管子上将管子缠绕起来就可以了。但是要带子全部包住管道而且带子间互不重叠，必须要有一个适当的缠绕角度。也就是说，在这个问题中带子的宽度、管道的粗细和缠绕的角度之间存在着一定的关系。找出这个关系就可以进一步讨论如何根据管道的粗细和带子的宽度确定包扎的方式。这就是管道包扎的数学模型。

现用 W 表示带子的宽度， C 表示圆管的周长， θ 表示带子的倾斜方向与管道母线垂线的方向之间的夹角。

设想将带子缠绕在管道上使它包住管道且带子间互不重叠，并且从带子一角的 A 点沿圆管母线的方向画一条辅助线 l ，再在辅助线与带子边缘的交点处画出圆管的横截面的截口线 c 。将画有辅助线的带子截下一段展开，平放在平面上，如图 4 所示。

注意只有在带子覆盖圆管且又互不重叠的情况下，母线和截口线将相交于带子的边

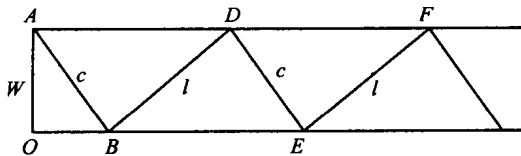


图 4 管道包扎带的平面展开形状