

机械现代设计 方法学

叶元烈 主编



中国计量出版社

TH/22
Y++

机械现代设计方法学

叶元烈 主编



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械现代设计方法学/叶元烈主编. —北京:中国计量出版社, 2000.7

ISBN 7-5026-1272-6

I. 机… II. 叶… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 09838 号

内 容 提 要

本书在阐述设计系统、总结设计规律的基础上着重介绍了从系统论的观点引出的系统化设计方法, 并从创造论的角度说明设计工作实质上是一项创造活动。全书共六章, 包括概述、原理方案设计、结构方案设计和总体设计、方案评价方法、价值设计及相似设计法等。并附有适量的复习思考题。可作为高等工业院校机械设计类专业的本科生、研究生教材, 并适合机械设计人员使用。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850mm×1168mm 32 开本 印张 4.75 字数 121 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

*

印数 1—4000 定价: 7.70 元

前 言

与一般认识事物、解决问题都需要正确的方法一样，在产品开发和提高工程设计水平的工作中，也离不开科学的设计方法。在设计方法的研究过程中发展的“设计方法学”是研究设计程序、设计规律及设计中思维和工作方法的一门综合性学科。它的基础包括系统工程学、创造工程学、价值工程学、优化理论、相似理论、决策学、预测学等多种现代设计理论。

全书在阐述设计系统、总结设计规律的基础上着重介绍了从系统论的观点引出系统化设计方法；从创造论的角度说明设计工作实质上是一项创造活动，提出人们的创造力是客观存在和开发创造力的思维方法和技法；从价值观点出发引出了全新的价值设计的方法内容；从一般工程设计的多解性特征引出了科学评价和决策方法等等。内容新颖、涉及面较为宽广，提供了现代设计的新思维和方法，符合时代的要求。

全书共六章，包括概述、原理方案设计、结构方案设计和总体设计、方案评价方法、价值设计及相似设计法等。另附有复习思考题。

本书编写力求通俗易懂，学以致用。可作为高等工业院校机械设计类专业的本科生、研究生教材。

为了配合本教材的使用，通过我们长期的教学实践，初步完成了与本教材相配套的相关教学软件。

参加本书编写工作的有陈江义（第一章、复习思考题）、叶元烈（第二、五章）、杜虹（第三、六章）、苏智剑（第四章），由叶元烈担任统稿主编。限于编者的水平和经验，不当之处敬请读者指正。

编 者

1999 年 11 月

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1—1 设计方法学研究的内容.....	(1)
§ 1—2 设计系统.....	(2)
一、设计工作阶段——时间维.....	(3)
二、解决问题的逻辑步骤——逻辑维.....	(7)
三、设计方法——方法维.....	(8)
第二章 原理方案设计	(10)
§ 2—1 创造性思维与方法	(10)
一、创新性设计	(11)
二、创造性思维	(14)
三、创造性方法与技法	(19)
§ 2—2 系统功能分析法	(27)
一、技术系统	(27)
二、功能分析法	(28)
第三章 结构方案设计和总体设计	(39)
§ 3—1 概述	(39)
§ 3—2 结构方案设计的基本原则	(40)
一、明确性原则	(40)
二、简单原则	(41)
三、安全可靠原则	(42)
§ 3—3 结构方案设计原理	(42)
一、等强度原理	(42)
二、合理力流原理	(43)
三、变形协调原理	(44)

四、力平衡原理	(45)
五、任务分配原理	(45)
六、自补偿原理	(46)
七、稳定性原理	(47)
§ 3—4 结构设计的工作步骤	(48)
一、初步设计	(49)
二、详细设计	(49)
三、设计的完善和审核	(49)
§ 3—5 总体设计	(50)
一、总布置设计	(50)
二、人——机系统设计	(51)
三、机械——环境系统设计	(53)
四、造型设计	(54)
五、设计的管理	(56)
第四章 方案评价方法	(59)
§ 4—1 评价准则 (评价目标)	(61)
一、评价准则的基本要求	(61)
二、评价目标 (评价准则)	(61)
§ 4—2 评价方法	(63)
一、简单评价法——名次计分法	(63)
二、评分法	(65)
三、技术——经济评价法	(68)
四、综合评价	(71)
五、价值工程评价 (分析) 法	(74)
六、模糊评价法	(77)
七、逐项评价法	(82)
第五章 价值设计	(88)
§ 5—1 概述	(88)
一、价值及价值设计 (价值工程) 发展概况	(89)

二、价值工程的一般工作程序	(91)
三、提高产品价值的具体思路	(92)
§ 5—2 价值分析对象的选择	(92)
一、价值分析对象的选择原则	(92)
二、机械产品对象选择的特点	(93)
三、对象选择的方法	(94)
§ 5—3 功能分析	(101)
一、功能定义与功能分类	(101)
二、功能整理	(104)
三、功能评价	(106)
§ 5—4 成本的确定方法	(107)
一、功能目前成本的确定	(107)
二、产品成本估算方法	(109)
§ 5—5 降低成本的途径	(115)
一、产品的成本构成	(115)
二、降低产品成本的措施	(116)
§ 5—6 运用价值分析方法实例	(116)
一、改进台虎钳设计	(116)
二、M7130 平面磨床改型设计	(118)
第六章 相似设计法	(123)
§ 6—1 量纲分析	(123)
§ 6—2 基本相似理论	(125)
一、相似条件	(125)
二、相似理论	(126)
三、相似比方程	(127)
§ 6—3 相似系列产品设计	(129)
复习思考题	(139)
参考文献	(144)

第一章 概 述

§ 1—1 设计方法学研究的内容

设计是人类改造自然的基本活动之一，设计是复杂的思维过程，设计是创造性的劳动。方法是人类思维的宝贵财富，是探索科学真理的钥匙。认识事物，解决问题都需要正确的方法。在产品开发和提高工程设计水平的工作中，科学的设计方法日益受到重视。

近 30 年来在世界各工业发达国家中对设计方法的研究有迅速的发展。以德国为代表的德语地区的学者对设计方法的研究重点放在设计的过程、步骤和规律的研究，建立系统化的逻辑分析设计模式、解法等规范供设计人员使用和参考。英、美学派偏重于研究创造性开发和计算机在设计中的应用。日本的创造工程学、自动设计、价值工程等方面做了不少工作。原苏联学者也在宏观设计的基础上提出了“新设计方法”。各国研究设计方法在内容上虽各有侧重，但共同的特点都是总结设计规律、启发创造性，采用现代的先进理论和方法使设计过程自动化、合理化。其目的是设计出更多质高价廉的工程技术产品，以满足人民的需求和适应日趋尖锐的市场竞争形势的需要。

在设计方法的研究过程中发展的“设计方法学”（Design Methodology）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新型综合性学科。设计方法学研究的内容包括：

（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。

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

从前面分析不难看出: 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和具体设计方法的科学。

设计方法学的研究在提高设计人员素质、改善设计质量、减少设计失误、加快设计进程等方面必将发挥重大作用。

§ 1—2 设 计 系 统

传统的分析方法一般把分析对象分解为许多独立的互不相关的部分分别进行研究。这种孤立地、静止地分析问题, 所得的结论具有明显的片面性、局限性。对工程设计的质量必然带来不良的影响, 设计失误相应较多。

现代设计是以系统工程的方法把分析对象当作一个整体的系统来研究, 从系统出发, 分析各组成部分之间的有机联系及系统与外界环境的关系, 是一种较全面的综合研究方法。

设计系统是一个信息处理系统。图 1-1 所示输入中的需求是指设计要求和约束条件, 输出的设计结果是指设计方案、图纸、程序及设计文件等, 反馈信息是便于设计者的合理处理使设计结果更趋完善。

从系统工程的观点分析, 设计系统是一个由时间维、逻辑维

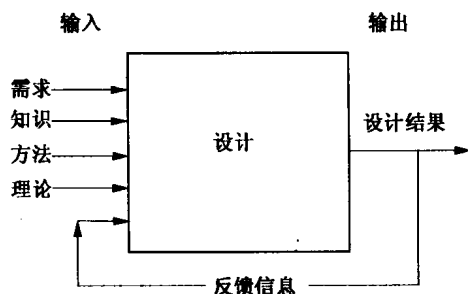


图 1-1 设计系统——信息处理系统

和方法维组成的三维系统。如图 1-2 所示。时间维反映按时间顺序的设计工作阶段；逻辑维是解决问题的逻辑步骤；方法维是指设计过程中的各种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。人们也可以通过这三个方面深入分析和研究设计系统的规律。

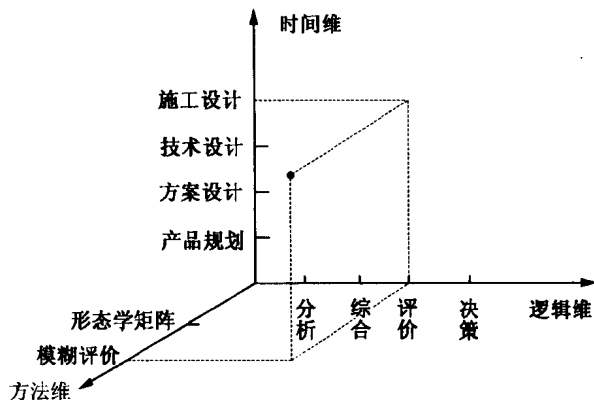


图 1-2 设计三维系统

一、设计工作阶段——时间维

一般工程设计可分为四个阶段：产品规划（明确设计任务）、原理方案设计、技术设计和施工设计。

1. 产品规划阶段

产品规划阶段要进行需求分析、市场预测、可行性分析、确定设计参数及设计制约条件，最后给出详细的设计要求表作为设计、评价、决策的依据。

开发产品是从需求识别开始的，认识一种需求本身就是一项创造性的工作，作为工程设计者应该细致的观察社会，深入实际，了解社会和市场的需要，及时完成产品的开发和试制工作。

市场预测即调查研究，全面的科学的调查研究是产品开发正确决策的前提和基础，调查研究包括市场调研、技术调研和社会环境调研三部分。市场调研一般应从以下几方面进行：市场的显需求、潜需求及市场的发展趋向；产品的销售对象可能的销售量；用户对产品的功能、用途、质量、使用维护、包装及价格等方面的要求；竞争产品的种类、优缺点和市场占有情况；竞争企业的生产经营实力和状况等。技术调研包括行业技术和专业技术的发展动态；产品技术的现状及发展趋势；新型元器件、新材料的发展动态；竞争产品的技术特点分析；竞争企业的新产品开发动向等。社会调查应面向企业生产的社会环境及目标市场所处的社会环境，包括有关的经济技术政策（如产业发展政策、投资动向、环境保护及安全法规等）；产品的种类、规模及分布；社会的风俗习惯；社会人员构成状况，消费水平、消费心理、购买能力等。

通过对市场、技术和社会的综合调研，提出产品开发的可行性报告，一般包括以下内容：

(1) 产品开发的必要性、开发产品的种类、寿命周期、技术水平、经济效益和社会效益分析、销售对象、销售情况预测等。

(2) 用户对产品功能、用途、质量、外观、价格等方面的要求，国内外水平及发展趋势。

(3) 为了开发此产品需解决的设计、工艺、质量等方面的关键技术问题。

(4) 投资费用及开发时间进度，经济效益的估价。

(5) 现有条件下开发的可能性及准备采取的措施。

经过可行性分析后准备进行开发的产品要根据调研结果提出合理的设计要求和设计参数,列成“设计要求表”,表中各项目应尽可能数量化。反映基本功能、性能要求的列为必达要求。制约条件列为最低要求,希望能达到的列为附加要求。各项要求常以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级表达其重要程度,以便评价时给予恰当的加权系数。

2. 原理方案设计阶段

原理方案设计实质上是产品功能原理设计。是能否成功地开发出社会需要的产品的关键所在。为此必须在方案设计阶段予以充分重视,精心构思、力求创新、勇于探求,从多方案中优化筛选,取得较为理想的原理方案。

原理方案设计常用系统化设计法,其具体方法是功能分析法,将系统总功能分解为分功能——功能元,通过具体方法求得各分功能的多个可能解,组合功能元的解,进而得到多种系统的原理方案,在此基础上通过评价求得较为理想的最佳原理方案。

原理方案设计阶段有时还要进行必要的原理试验,一般应对主要设计参数及基本工艺进行分析,最后才能确定。原理方案一般用方案原理图(机构运动简图液压系统图、电路图等)表述。

原理方案设计要十分注意新原理、新技术的引用,这样往往能使产品有突破性的变化。如采用石英振荡技术代替机械摆的石英表,不仅走时准确而且价格低廉,一经推出,即迅速占领钟表市场。又如内燃机用活塞裙部等截面或变截面椭圆曲线的成型加工方法采用低副机构的车削原理(图 1-3)代替靠模机构的磨削加

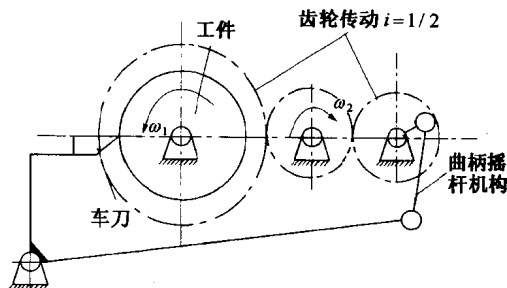


图 1-3 低副机构车削原理图

工原理,不仅保证了加工精度和粗糙度而且大大提高了工效,被行业评价为“把我国活塞行业的生产技术水平推向一个新的高度”。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段是将功能原理方案具体化为机器及零部件的合理结构,这个阶段的主要工作包括总体设计、结构设计、商品化设计、模型试验等。

(1) 总体设计 机器各部件的总体布置,运动配合关系(工作循环图),人一机一环境的合理关系。

(2) 结构设计 零部件选择材料,设计结构,确定尺寸。

进行参数与尺寸的优化,可靠性设计,要从产品性能及加工装配等方面考虑,使结构简单可靠,合理实用。

(3) 商品化设计 为了增强产品的市场竞争能力,吸引用户,必须提高产品作为商品的价值。为此,要进行价值分析和价值设计,保证产品功能,提高性能,降低成本;同时还要利用工业美学原理进行产品外观设计和包装设计。

(4) 模型试验 也有进行样机试验,其目的是检查产品功能及零部件的有关性能,以便改进,满足原设计要求。

技术设计的结果是有关的部件结构装配草图及计算书,程序等。

4. 施工设计阶段

施工设计阶段是进行零件工作图、部件装配图的设计,完成全部生产图纸、编写设计说明书和工艺文件、使用说明书等有关技术文件。

以上分析是产品的设计过程,按程序有步骤地设计对提高设计质量有很好的效果。

一般产品开发设计可分为开发型、适应型和变参数型三种类型:

开发型设计是针对设计任务提出新的功能原理方案,完成从产品规划到施工设计的全过程的设计,此类设计是创新性设计。

适应型设计是在原理方案基本保持不变的情况下,变化更换部分部件或结构,使产品更广泛地适应使用要求的设计。

变参数型设计是指产品功能、原理方案、结构型式基本确定,

通过改变尺寸与性能参数，满足不同的工作需要的设计。

适应型设计和变参数型设计统称为变形设计。

开发型产品可能有冲击旧产品、迅速占领市场的效果。为满足市场多品种、多规格产品的需要，变型设计产品的适应性及综合经济效果十分突出，愈来愈受到人们的普遍重视。

二、解决问题的逻辑步骤——逻辑维

设计中解决问题的合理步骤是分析—综合—评价—决策（图 1-4）。

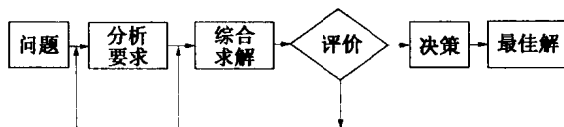


图 1-4

分析是解决问题的第一步，其目的是明确设计任务的本质要求，这是解决问题的前提。例如对于解决高级宾馆的出入口问题，经过分析，其要求的关键是：①使双手提物的人能无障碍地通过；②在无人通过时要设法使室内外气流隔开，以保持室内的温度和清洁。此时解题的思路就不会受一般“门”的限制，才有可能对出入口提出自动门（光电控制门、声控门）、气流帘幕等多种方案，创造性的解决此问题。

综合是在一定条件下，对未知系统探求解法的创造性过程，综合阶段要采取“抽象”，“发散”，“探索”等方法寻求尽可能多的解法，只有在多解的基础上才可能有更多的机会找到较理想的最佳解。

评价是筛选的过程，用科学方法对多种方案进行比较和评定，同时针对某些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根据已定的目标找出解决问题的最佳解法。对工程设计应是选定多目标下整体功能最理想的最佳方案。

通过分析、综合、评价、决策的逻辑过程能科学合理地解决问题。在设计过程的各阶段要反复多次地运用这种方法才能得到

较理想的结果。产品设计各个阶段及合理的逻辑步骤列于表 1-1。

表 1-1 产品开发的一般进程

阶 段	步 骤	工 作 结 果
产品规划 (明确设计任务)	1. 任务 2. 调查研究 3. 可行性分析 4. 明确任务要求	可行性报告 设计要求表
方案设计	5. 总功能分析 6. 功能分解 功能元求解 功能元解组合 7. 系统原理解 (多个) 8. 试验 9. 评价 10. 最佳原理解	原理参数方案原理图
技术设计	11. 总体设计 12. 结构设计 构形 选材料 定尺寸 13. 价值设计 提高性能 降低成本 14. 结构设计 (多个) 15. 试验 16. 评价 17. 最佳结构方案 18. 选型设计	参数尺寸计算文件、程序
施工设计	19. 零件图 20. 装配图 21. 技术文件	全部生产图纸、技术文件
	22. 试制 23. 投入生产	

三、设计方法——方法维

在很长一段时间内,工程设计方法多采用直觉法、类比法及以古典力学为基础,且大量采用经验数据的半经验性设计法。设计过程中,反复多、周期长。70年代以后,随着计算方法、控制理论、系统工程、价值工程等学科的发展,以及电子计算机的广

泛应用，促使许多跨学科的科学现代设计方法出现，使工程设计进入创新、高质量、高效率的新阶段。设计过程中的主要方法与理论列于表 1-2。

表 1-2 产品设计过程中的方法和理论

设计阶段	方法	理论及工具	计 算 机
产品规划 (明确设计任务)	预测技术与开发	技术预测理论 市场学 信息学	
方案设计	系统化设计法 创造性方法论 评论与决策方法论	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	构形学 价值设计 优化设计 可靠性设计 宜人性设计 产品造型设计 系列产品设计 模化设计及模型试验	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	