

机构创新 设计方法学

王玉新 编著



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24

天津大学出版社

112
W 37

机构创新设计方法学

王 新 编著

天津大学出版社

内 容 提 要

本书针对 21 世纪科学技术发展对具有创新精神人才的需求,以创新设计方法为主线,在内容设置上,摒弃了传统机构学教材重分析轻设计的格局,介绍了机构创新设计的特点、方法及其自动化过程的实现等。主要内容包括:现代设计与创新设计方法,机构运动分析与综合的矩阵方法,原始机构型的自动生成,机构创新设计的运动链再生方法,机构创新设计的智能化方法,机构的功能分类及识别,基于知识的机构选型专家系统等

本书主要作为高等院校机制、机械学专业的教师和研究生教材和参考书,对从事机械设计的工程技术人员也是一本很有价值的参考书。

机构创新设计方法学

王玉新 编著

*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

邮编:300072

河北省永清县第一胶印印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本:850×1168 毫米^{1/32} 印张:7 1/4 字数:188 千

1996 年 10 月第一版 1996 年 10 月第一次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5618-0897-6

TH·36 定价:12.00 元

前 言

从人类进入文明时期开始,人们就已经开始设计工具和装置,以便扩大人类的体能和智能。在这些活动中,如同1778年瓦特发明蒸汽机从而导致第一次工业革命的发生一样,一些重大的发明,均成为推动人类社会进步与发展的巨大动力。在工业产品高度竞争与发展的今天,科技发明与创新的作用则更为突出。一个巧妙的发明或对原有结构的小小改造,往往会使企业的产品在市场竞争中获胜。一个工业国社会产品的增长以及一个企业的成就主要依赖于产品的质量及其竞争能力,而产品的质量及其竞争能力又是以这个国家和企业的科研能力、设计能力和制造能力为前提的。由此我们可以看到,创新设计对于一个企业乃至一个国家的经济发展,甚至人类社会的发展具有多么重要的意义。

产品原理方案的设计——概念设计,决定了产品的整体设计水平,是实现产品创新的关键环节。在工业高速发展的今天,一些重要的机械结构的原始发明与创造,多由非从事机构学研究的工程技术人员或业余爱好者完成,而机构学者的工作多是运用机构运动学、动力学以及优化知识为发明机构提供其特性及最优尺度。对机构学者而言,就机构的创造性设计问题出现了本末倒置的现象。出现这一现象的关键在于机构学者的研究课题与工业发展相脱节,以及对机构的创造性设计重视不够。因此,高效、自动化地确定出能够满足给定工程设计任务,其结构与尺度都最佳的实用机构,是机构学者面临解决的一个重要课题。解决这一问题的关键在于实现机构创新设计过程的自动化,以及型综合与尺度综合的有机统一。

创新设计要求其创造性思维与设计过程具有定向发散性。受

机构选型复杂性及多解性的限制,专家们往往不能穷举所有的候选设计方案,只能在有限的求解空间内寻求给定设计任务的可行解,这样有可能导致漏掉一些较好的设计方案,并且这一创新设计过程冗长,选型过程完全取决于专家的设计经验。从智能系统的角度来看,创新的概念设计可视为在大的设计空间内基于知识的搜索,一旦设计知识被表示且作为知识与规则分别写入知识库与规则库,拥有大量知识的智能系统可对大的设计解空间进行系统地搜索、求优。因此,智能专家系统特别适用于概念设计中的选型设计问题。

基于以上对机构创新设计的特点、方法、自动化过程的实现等的考虑,本书以机构创新设计自动化为主线,主要介绍以下问题:

(1)现代设计方法与创新设计 主要介绍创新设计的特点与技法,创新设计的过程,以及解的约束条件。

(2)机构运动分析与综合的矩阵方法 在机构创新设计过程中,要遇到机构动力学性能的评价问题,为此需要一种能够用符号语言表达的运动分析方法与之相适应,而 Shu C H 矩阵法能够以符号逻辑关系表示机构的位移与速度和加速度。同时,对于非从事机构创新设计的工程设计人员和学生,该章也可为他们提供一种机构分析与综合的方法。

(3)原始机构型的自动生成 介绍扬廷力和曹惟庆教授在机构组成原理及非同构运动链的计算机自动生成方面所作的工作,以及 R C 约翰逊教授的机构简图转化为运动链的方法。同时,对本书作者提出的非同构运动链构造的相似性分析方法也作了介绍。

(4)机构创新设计的运动链再生方法 介绍颜鸿森教授提出的机构创新设计的运动链再生方法。该方法的基本思想是:将现有技术,用机构简图表示,通过释放原动件、机架,将机构运动简图转化为运动链,并生成所有非同构运动链。根据现有技术的特征,将所有非同构运动链再生为机构简图。该方法可高效地获得能够达

到现有专利技术要求,而不受专利权保护的技术方案。

(5)机构创新设计的智能化方法 基于作者近10年来对成型鼓创新设计研究的基础,提出了一种机构创新设计的智能化方法(正向推理策略)。该方法主要强调创新设计全过程的自动化、创新设计过程的定向发散、方案的多级筛选、型综合与尺度综合的统一,以及尺度综合对型综合评价等。

(6)机构的功能分类及识别 主要介绍机构的功能分类,为利用功能组合方法进行机构的创新设计(反向推理策略)提供知识储备。在连杆曲线的识别方面,介绍了曹惟庆教授的连杆曲线识别的模糊数学方法和付氏级数方法。

(7)基于知识的机构选型专家系统 介绍 Hoeltzel 教授的机构选型专家系统和 Yang B 博士等人研制的机构创新设计的 DOMES 系统。

本书的编写动机是:有感于采用 Suh C H 教授的《运动学与机构设计》作为教材的机械学研究生,在课题结束后,他们在机构创新设计的方法及实现等方面缺少必要的知识;面对科技发展对具有创新精神人材的需要,以及机构学者在机械系统创新设计中所应起到的作用,有必要对这些高层次人才以及工程设计人员进行创新设计方法的培养,以利于他们在今后的工作中遵循创新设计规则,为人类社会的发展创造出更多的结构紧凑、高效、节能的机械装置;然而,综观国内现有的研究生教材,还不能满足培养学生创新能力的需求。为此下决心编写本书。

创新设计方法和机构组成理论计算机化方法的发展,特别是人工智能系统的发展,为实现机械系统创新设计的自动化提供了条件。经过几年乃至十几年的努力,一个完善的、具有自学习功能、适应多目标的机械创新设计智能系统必将诞生。届时工程设计人员所要作的只是将设计的目的、机械的运动空间等参数告诉机构创新设计智能系统,所有的创新设计工作则全部由计算机完成。要达到这一目标,需国内外学者,特别是青年学者付出努力。

本书在编写过程中,得到了扬廷力教授、曹惟庆教授、杨基厚教授、颜鸿森教授、陆锡年教授、张策教授、梁崇高教授等的指导与鼓励,在此特表示感谢!

由于作者知识有限,错误之处在所难免,竭诚欢迎各位专家和学者批评指正。

作者

1996 年夏

目 录

第一章 现代设计方法与创新设计	(1)
§ 1—1 设计与设计方法	(1)
§ 1—2 创新设计方法	(9)
§ 1—3 创新设计过程	(21)
参考文献	(37)
第二章 机构运动分析与综合的矩阵方法	(38)
§ 2—1 平面机构运动分析的基本杆组方法	(38)
§ 2—2 运动学中的矩阵方法	(42)
§ 2—3 机构综合	(52)
参考文献	(84)
第三章 原始机构型的自动生成	(85)
§ 3—1 机构运动链的拓扑表示	(85)
§ 3—2 运动链的自动生成	(93)
§ 3—3 运动链的再生与原始型的生成	(108)
参考文献	(121)
第四章 机构创新设计的运动链再生方法	(123)
§ 4—1 摩托车后悬置机构创新设计	(123)
§ 4—2 铰链夹紧机构创新设计	(133)
参考文献	(139)
第五章 机构创新设计的智能化方法	(140)
§ 5—1 机构创新设计自动化的必要性	(140)
§ 5—2 机构创新设计的智能化方法	(142)
§ 5—3 成型鼓机构创新设计实例	(146)
参考文献	(162)

第六章 机构的功能分类及识别	(164)
§ 6—1 机构的功能分类	(164)
§ 6—2 连杆曲线特性	(166)
§ 6—3 连杆曲线的识别	(179)
§ 6—4 连杆曲线的应用	(194)
参考文献	(197)
第七章 基于知识的机构选型专家系统	(198)
§ 7—1 基于知识的机构创新设计方法	(198)
§ 7—2 机构创新设计专家系统(DOMES)	(206)
参考文献	(218)

第一章 现代设计方法与创新设计

§ 1—1 设计与设计方法

一、工程设计

1. 工程设计的概念

“设计”与人类的生产活动密切相关,它是把各种先进技术成果转化为生产力的一种手段和方法。设计是创造性劳动,设计的本质是创新,其目的是实现产品的功能,建立性能好、成本低、价值高的系统和结构,以满足人类社会不断增长的物质和文化需要。

测绘一台(新)机器,虽然结构复杂,零件成百上千个,但没有任何创新,不能算是设计;而用球面结构实现建筑钢架自动固定的结构,虽然结构简单,但由于具有自定位功能,钢架结构的稳定性强,易于拆装,因而可称为设计。

工程设计是把各种先进技术、成果转化为生产力的过程。从18世纪60年代到19世纪40年代,产业革命经历了蒸汽机时代、电气时代和电子时代,而目前已经进入了以微电子技术为主要标志的信息时代。计算机、光通讯、记忆材料、纳米加工技术等先进技术,系统工程、创造性工程、价值工程、优化工程等先进理论都将通过设计反映到有时代气息的产品中去,从而引起一系列产品设计的革命。

工程设计按其性质可分为常规性设计与创新性设计。以成熟

技术结构为基础,运用常规方法而进行的产品设计是常规性设计。常规性设计在工业生产中大量存在,并且是一种经常性工作。为了满足市场需求,提高产品的竞争能力,就需要改进老产品,研制新品种,降低生产材料、能源的消耗,改进生产加工工艺等等。在这种情况下,就需要在设计中采用新的技术手段、技术原理和非常规方法,即需要进行创新设计。所谓创新性设计就是旨在提供具有社会价值的、新颖而独特成果的设计。

2. 工程设计的基本特征

(1)约束性 设计是在多种因素的限制和约束下进行的,其中包括科学、技术、经济等发展状况和水平的限制,也包括生产厂家所提出的特定要求和条件,同时还涉及环境、法律、社会心理、地域文化等因素。这些限制和要求构成了一组边界条件,形成了设计师进行谋划和构思的“设计空间”。设计师要想高水平地完成设计工作,就要善于协调各种关系,灵活处置,合理取舍,精心构思,而这只有充分发挥自己的创造力才能做到。

(2)多解性 解决同一个技术问题的办法是多种多样的,要满足一定目的的设计方案通常也并不是唯一的。任何设计对象本身都是包括多种要素构成的功能系统,其参数的选择、尺寸的确定、结构形式的设想等等都有很强的可选择性,因此,思维活动空间仍是很大的。

(3)相对性 设计结论或结果都是相对准确的,而不是绝对完备的。设计者经常处于相互矛盾之中。例如,既要降低成本,又要增加安全性、可靠性;既要能满足近期需要,又要照顾到长远发展;既要功能全,又要体积小,如此等等。这种相互矛盾的要求给设计工作增加了难度,加上事先难以预料的一些不确定因素的影响,使得设计者在对设计方案的选择和判定时只能做到在一定条件下的相对满意和最佳。工程设计的这种相对性特点一方面要求设计者必须学会辩证思考,另一方面也给设计者提供了显示和发挥自己创造才能的机会。同样的设计要求,不同的人可以做出水平不同的

设计成果。

3. 工程设计的程序

工程设计全过程的程序可分解为如图 1-1 所概括的基本组成部分。第一步是认识和明确设计问题,从而制定待制造产品所需满足的技术要求。第二步是回顾以往在解决类似设计问题时的做法,其资料可从专利、专业文献、其它刊物、人员接触和经验等来源获得。

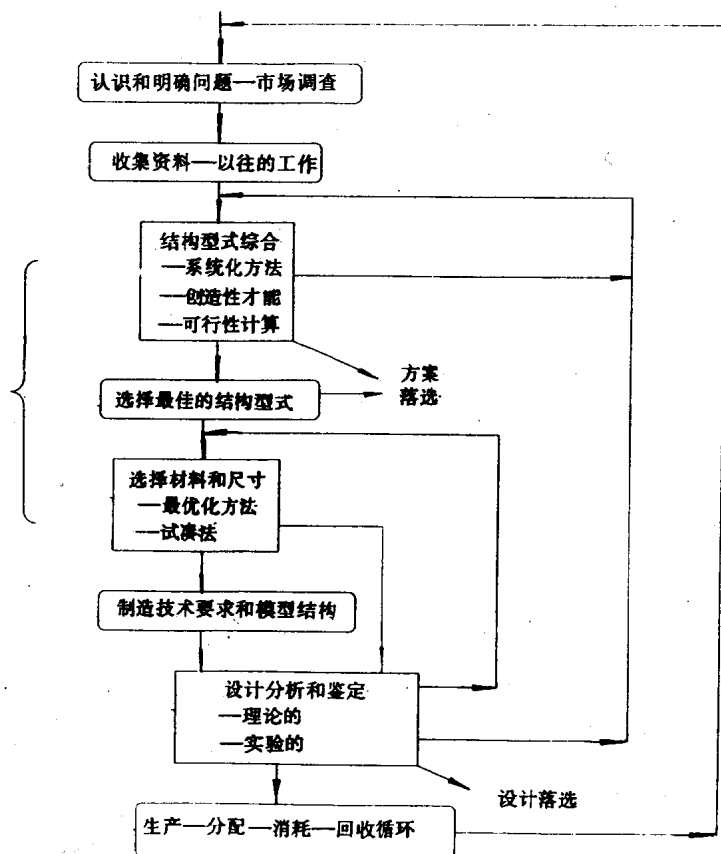


图 1-1

图 1-1 中第三步是进行基本结构形式综合,以便有可能解决设计问题。在这一具有创造性的步骤中,需要的是创造才能和综合技巧。设计开始先提出各种设想而暂不考虑最终的价值。然后根据经验和通过简单的可行性计算,鉴别出不可取的部分,并将其及早摒弃,一般会产生几种设计结果;第四步从中选出最有希望的一种;第五步是按所选的结构形式确定尺寸和材料。对于重要的设计,应采用最优化方法。另一方面,从方便的角度看,采用试凑法再配合一些简单的分析计算,往往是比较合适而妥当的。在第六步中,应为制造所设计的原机制定技术要求;第七步是进行理论分析和试验鉴定,以检验设计到底是成功还是失败。因为能检验厨师水平的在于菜肴味道,而不在于烹调方法,同样,真正能检验设计人员水平的在于产品性能,而不在于图纸上的设计技术要求。一个产品如果在严格的鉴定过程中能顺利地获得通过,即可进入第八步的生产—分配—消耗—回收循环过程。至此,算是达了所在企业的总目标。

工程设计过程是一个反馈的过程,图 1-1 中表示了一个典型的反馈回路。一个有成就的设计人员的基本素质是决不丧失信心,在设计程序中的任何一步,都力争获得信息,从而使自己能按图上反馈回路所示的路线返回到前一步。实际上,为生产—消费循环所证实了的成功的设计常常是由于在设计过程中同时做了试制研究而获得的。因此,在长期持续不断的基础上反复应用图 1-1,可使产品设计获得很大的进步。

二、设计方法的发展

为了寻求保证设计质量、加快设计速度、避免和减少设计失误的方法和措施,并适应科学技术的发展,人们开始对设计的过程进行研究。总结其规律,只有借助于日益丰富的知识,获得一种不断改进的“工具”,才能研制更好的产品。这引发了设计方法的产生及发展的研究。设计方法可理解为:设计中的一般过程及解决具体问题的方法、手段。

设计方法的发展大致可以划分为三个阶段:17 世纪前的“直觉设计阶段”,17 世纪后的“经验设计阶段”及其后形成的“传统设计阶段”和目前的现代设计阶段。传统设计方法的特点是静态的、经验的、手工式的。而现代设计方法的特点是动态的、科学的、计算机化的方法。现代设计方法与传统设计方法的区别如下:

(1)设计性质 传统的设计偏重于技术,现代设计则面向功能目标,将技术、经济和社会环境因素综合在一起统筹考虑,不但重视设计的内容,也注意设计进程的管理。

(2)设计进程 传统的设计在战略进程和战术步骤上有随意性,现代设计则强调设计进程及步骤的模式化。

(3)设计方式 传统设计以经验总结、规范依据为主,现代设计则强调预测与信号分析及创造性的相互配合。

(4)设计思维 传统的设计是面向结构方案的“收敛性思维”,现代设计则是面向整机总功能目标的“发散性思维”。

(5)设计方法 传统的设计采用少数的验证性分析以满足限定的约束条件,现代设计则是多元性方法直接综合,使其在各种条件下实现方案与全域优化目标。

(6)设计的评价 传统的设计采用单项与人为的准则(如强度、刚度、成本等),现代设计则采用科学的模糊综合评判。

总之,现代设计方法是现代广义设计和分析科学方法学的简称,是一门多元综合而成的新兴交叉学科。现代设计方法的任务是通过现代设计内涵、规律、进程、原理、原则、策略决策、途径步骤、方法及手段的研究,探索出符合国情的,实现高效、优质、经济的设计所需遵循的规律和一套科学的设计方法。

现代设计方法的研究已有近 60 年的历史。早在本世纪三四十年代,人们就已对新的设计思想、设计方法及创新性设计进行了探索研究,例如人机工程学、价值分析、智暴法等等。但到 50 年代中期,尤其是 60 年代初,才对现代设计法的研究引起普遍的重视。近 10 年多来,对现代设计方法的研究进入了高潮。由于现代设计方

法涉及的面很广,各国学者的研究侧重点不尽一致,甚至就连名称也不统一,分别称之为:设计方法学、工程新设计方法、工程设计原理、工程设计学等等,这样便形成了几种学派。

在美国,现代设计方法的研究开展较早,并形成一种创新性设计学派。他们认为,对设计步骤与程式不能规定过细、过死,只要有一粗略的过程即可,重点应放在各种重要的设计方法、CAD与创新性上。英国学者也同样主张创新性开发及对重要设计方法如系统工程、价值分析、可靠性分析、安全技术、人机工程、市场分析与CAD等研究。在西德,对现代设计方法的研究是以机械总体设计为基础,着重研究设计一般进程模式及工作条理化。在总体设计步骤、程式、原则、技巧以及需求与技术系统设计之间转换的方法方面作了大量的工作。

三、现代设计方法

1. 现代设计方法主要分类

(1)突变论方法学 事物的突变性是产生突破的机理,有的是孕育性突变,有的则是瞬时性突变。以突变创造为基石的方法学,称作突变论方法学。

(2)智能论方法学 是以发挥智能载体(人、机、生物、有机物等)的作用为核心的方法,如CAD、CAE、人工智能。

(3)信息论方法学 以历史性与试验性数据为分析依据以取得原始设计参数的方法学,如相关分析、谱分析、方差分析等。

(4)系统论方法学 以从整体系统出发为前提的分析设计方法,如模式识别法、系统辨识法、逻辑分析法。

(5)控制论方法学 以控制与动态作为深化分析,取得符合客观变化的参数,如动态分析法、动态优化法、动态系统辨识法等。

(6)优化论方法学 以满意与优化为目标的分析、设计方法,如优化设计法、方案优化法等。

(7)对应论方法学 以相似、模拟分析作为捷径,以取得设计参数,如相似设计法、模拟分析法、仿真技术等。

(8)功能论方法学 保证有限使用期限内设计对象的经济及功能有效为宗旨的方法,如可靠性设计、功能价值工程、可靠性分析预测等。

(9)模糊论方法学 有模糊分析、模糊评价、模糊设计等。

2. 现代设计方法的特点

(1)程式性 现代设计方法研究设计的全过程,要求设计者从产品规划、方案设计、技术设计、施工设计到试验、试制进行全面考虑,按步骤有计划地进行设计。强调设计、生产与销售一体化。设计不是单纯的科学技术问题,要把市场需求、社会效益、经济成本、加工工艺、生产管理等问题统一考虑,最终反映到质高价廉的产品上。

(2)创造性 现代设计突出人的创造性,发挥集体智慧,运用各种创新技法,通过直觉想象和推理思维,力求探寻更多的突破性方案,开发新产品。

(3)系统性 现代设计强调用系统工程方法处理技术系统问题,设计时分析各部分的有机联系,力求系统整体优化,同时考虑技术系统与外界的联系,即人一机一环境三者之间的相互协调关系。在设计过程中对于功能、评价目标等较复杂的具体问题,都可视作系统按先分解后组合的方法使问题化繁为简,解法由少变多,进而从中选取较合理的解。

(4)优化性 设计的目的是得到功能全、性能好、成本低、价值优的产品。现代设计通过优化理论与方法运用计算机工具进行方案优选、参数优化、结构优化等,争取产品技术系统的整体最优。

(5)综合性 现代设计突破传统、经验、类比的设计,采用逻辑、理论、系统的设计方法,在静态分析的基础上考虑载荷谱等随机参量进行更合理全面的动态分析。在强度设计时不是一味加大安全系数,而是从概率论和统计学出发考虑载荷和应力的离散性进行可靠性设计。

现代设计在系统工程、创造工程基础上运用信息论、相似论、

模糊论、可靠性、有限元、人机学等自然科学理论及价值工程,决策论、预测论等社会科学理论,同时采用集合、矩阵、图论等数学工具和电子技术,以便更科学地解决设计问题。

(6)计算机辅助设计(CAD) 计算机更全面地引入设计,通过设计者和计算机的密切配合,采用先进设计方法,提高设计质量和速度。对于许多设计对象可先建立设计模型,将参数输入计算机进行计算或绘图,使设计准确、高效且便于修改。计算机辅助设计不仅用于计算和绘图,而且在信息储存、预测、评价决策、动态模拟,特别是人工智能方面,将发挥更大作用。

3. 现代设计方法研究的内容

在设计方法的研究过程中发展了“设计方法学”(Design Methodology)。“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新型综合性学科。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先进工具的运用,进一步促进设计自动化的实现。