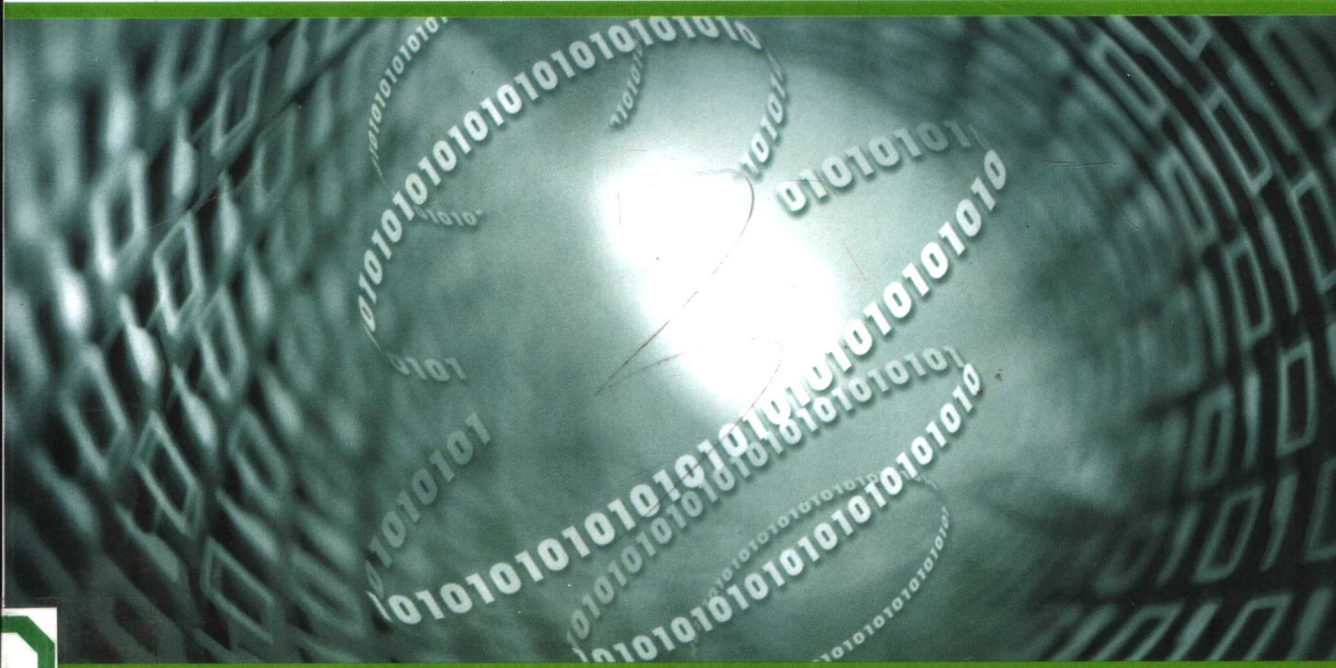


数字化设计制造

技术概论

杨 平 廖宁波 丁建宁 杨继昌 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

数字化设计制造技术概论

杨平 廖宁波 丁建宁 杨继昌 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书对数字化设计制造技术进行了较全面的介绍;着重介绍了现代设计方法、工程创造力与技法、创新设计智能 CAD 理论、设计制造技术数字化基础、设计制造技术数字化工程范例等专题。本书适合大专院校机械工程及自动化类、机械电子工程类、微电子制造工程类、计算机工程类、通信工程类、电子信息设备工程类、力学工程类、自动控制工程类、管理工程类等专业的本科生和研究生阅读;同时可供相关研究院所、厂矿企业科技工作者学习、研究和设计参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化设计制造技术概论/杨平等编著. —北京:国防工业出版社, 2005. 10
ISBN 7-118-04124-6

I. 数... II. 杨... III. ①计算机辅助设计:机械
设计—概论 ②计算机辅助制造:机械制造—概论
IV. ①TH122 ②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 099337 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 340 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

设计制造产业信息化是国民经济的发展方向,数字化设计制造技术是产业信息化的核心之一。当代科学技术尤其是微电子信息技术、非线性科学技术的发展,加快了相关科学的进一步发展,数字化设计制造技术研究和应用是我国 21 世纪需着重发展的工程科学技术之一。

为了提高我国制造业在国际市场中的竞争能力,保证产品的高性能、高质量和低成本,数字化设计制造技术研究和应用开发已成为科技人员想迫切了解和掌握的设计制造手段。

数字化设计制造技术理论性和应用性都非常强,而且是一门交叉性极强的科学,它涉及设计及制造学、微电子信息学、材料科学和技术、数理理论、计算机技术、控制理论、非线性科学、智能工程、通信学、数据结构等学科。本书较全面地介绍了数字化设计制造技术,着重介绍了现代设计方法、工程创造力与技法、创新设计智能 CAD 理论、设计制造技术数字化基础、设计制造技术数字化工程范例等专题。

本书出版将使大专院校机械工程及自动化类、机械电子工程类、计算机类、通信类、自动控制类、管理工程类等专业的研究生和本科生获得一本导向性极好的理论教材或教学参考指导书;同时本书将使相关科研院所、厂矿企业科技工作者获得一本指导性强的数字化设计制造技术方面的指导参考书。

数字化设计制造技术是一个知识密集、资金密集、人才密集的技术领域。发达国家都以数百亿元资金投入,研发有自己知识产权的数字化设计制造技术。同样,我国也正在集中人力和财力研发有自己知识产权的数字化设计制造技术。因此我国数字化设计制造技术将急需培养高层次工程人才。近年来与数字化设计制造技术相关的文献、资料较多,技术领域越来越宽,但有关数字化设计制造技术基础著作较少。本书是一本系统的针对数字化设计制造技术的著作。作者将各国学者在此方面的研究成果整理出来,希望能起到抛砖引玉的作用。

全书分 6 章进行论述,其中第 1 章介绍国内外数字化设计制造技术的研究进展和动态;第 2 章介绍机械设计与制造基础;第 3 章介绍工程创造力与技法,第 4 章介绍创新设计智能 CAD 理论与技术,第 5 章介绍设计制造技术数字化基础,第 6 章介绍设计制造技术数字化工程范例。本书由杨平、廖宁波、丁建宁、杨继昌 4 位作者承担编著工作。江苏大学图书馆罗丹梅同志承担了书稿的信息资料收集和整理、文字输入及校对等工作,并提出了许多建设性意见,在此表示诚挚的感谢。

本书研究工作相关的课题是 1996 年开始的,在近 10 年来的课题研究特别是在近 5 年的科研工作中,江苏大学微纳米研究中心、桂林电子工业学院先进设计与制造技术研究所的同志们形成了一个团结奋进的科研团队,全力完成了本书的编著工作。另外杨平教授的研究生也校对全部文稿,在此表示诚挚的谢意。

最后作者要感谢本书的责任编辑刘萍老师,她专心细致的工作使作者获益匪浅。

2005 年 6 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 现代设计方法	1
1.1.1 设计的基本过程	1
1.1.2 现代设计方法概述	4
1.1.3 设计方法学概述	7
1.1.4 现代设计方法简介	9
1.2 数字化制造技术概述	15
1.2.1 成组技术	15
1.2.2 数控机床加工	18
1.2.3 柔性制造系统	23
1.2.4 计算机集成制造系统	25
1.2.5 快速成型制造技术(RPM)	27
1.2.6 智能制造系统	29
1.2.7 高速与超高速切削技术	30
1.3 数字化设计制造技术及发展趋势	31
1.3.1 概述	31
1.3.2 数字化设计	32
1.3.3 数字化制造	33
1.3.4 数字化设计制造技术的发展方向	39
复习与思考题	40
第2章 机械基础	41
2.1 平面机构概述	42
2.1.1 机构	42
2.1.2 连杆机构	46
2.1.3 凸轮机构	48
2.1.4 齿轮机构传动	49
2.1.5 带传动机构	50
2.1.6 螺旋传动机构	51
2.1.7 间歇运动机构	51
2.1.8 气、液传动机构	51
2.1.9 机构的组合	51
2.1.10 组合机构	51
2.2 机械设计基础知识	52

2.2.1	机械设计概述	52
2.2.2	机械零件的失效形式和设计计算准则	57
2.2.3	机械零件的载荷和应力	58
2.2.4	材料的选择及结构工艺性	58
2.3	机械加工基础	60
2.3.1	切削加工基础	60
2.3.2	刀具	62
2.3.3	传统的切削加工方法	67
2.4	机械加工工艺过程	75
2.4.1	生产过程与工艺过程	75
2.4.2	机械加工工艺过程的组成	75
2.4.3	工件的安装与夹具	75
2.4.4	基准及其选择原则	78
	复习与思考题	79
第3章	工程创造力与技法	80
3.1	创造力的构成	80
3.2	创造性思维	81
3.2.1	思维及类型	81
3.2.2	创造性思维基础知识	86
3.3	创造原理	88
3.3.1	综合创造原理	88
3.3.2	分离创造原理	89
3.3.3	移植创造原理	90
3.3.4	物场分析原理	91
3.3.5	还原创造原理	92
3.3.6	价值优化原理	94
3.4	创新技法	95
3.4.1	智力激励法	95
3.4.2	提问追溯法	96
3.4.3	联想类比法	97
3.4.4	组合创新法	97
3.4.5	列举法	100
3.4.6	系统搜索法	103
	复习与思考题	103
第4章	创新设计智能 CAD 理论技术	104
4.1	创新设计过程	104
4.2	机械结构设计与创新	111
4.2.1	机构的结构分析及设计	111
4.2.2	机构的组合与创新	116
4.2.3	机构的演化与变异	116

4.3	创新设计的变异方法	119
4.3.1	功能结构映射的变异方法	119
4.3.2	运动链再生方法	122
4.3.3	基于图论的创新设计方法	127
4.4	机构创新设计的智能化方法	131
4.4.1	机构创新设计自动化的必要性	131
4.4.2	机构创新设计的智能化方法	132
	复习与思考题	134
第5章	设计制造的数字化基础	135
5.1	数字化产品开发基础	135
5.1.1	产品开发的发展趋势	135
5.1.2	数字化产品开发	135
5.1.3	数字化产品开发的特点	136
5.1.4	面向产品创新的数字化产品开发	137
5.2	数字化产品建模	138
5.2.1	概论	138
5.2.2	产品几何建模技术	139
5.2.3	面向特征的建模方法	143
5.2.4	集成化产品建模	148
5.2.5	计算机辅助分析系统	150
5.3	数字化产品开发的 PDM 技术	152
5.3.1	PDM 的基本概念与技术特点	152
5.3.2	PDM 的功能和发展	154
5.3.3	PDM 与现代集成制造系统	156
5.4	数字化产品开发的 KBE 技术	164
5.4.1	KBE 技术概述	164
5.4.2	KBE 的知识处理	168
5.5	虚拟设计	174
5.5.1	概述	174
5.5.2	虚拟设计技术的一般过程	175
5.5.3	虚拟设计技术的应用	177
5.5.4	基于 VR 的虚拟设计系统	178
5.6	虚拟制造	179
5.6.1	概述	179
5.6.2	虚拟制造系统模式	180
5.6.3	虚拟制造系统的体系结构	182
5.6.4	虚拟制造系统的建模	184
5.6.5	加工过程的仿真	192
5.7	数字化加工技术	195
	复习与思考题	200

第 6 章 设计制造技术数字化工程范例	201
6.1 大众汽车公司的虚拟设计系统	201
6.1.1 概述	201
6.1.2 虚拟人	201
6.1.3 利用虚拟模型代替实物进行表观查看	202
6.1.4 FEMWalk——有限元计算结果的一个动态处理程序	203
6.1.5 人机工程学模型	203
6.1.6 制造和维修过程中的拆装模拟	203
6.2 金属零件的快速数字化制造	205
6.3 新型内燃机的开发	207
6.4 其他经典虚拟现实技术实例	211
6.5 基于蚂蚁算法和图论的齿轮传动运动设计系统简介	221
6.5.1 软件界面	221
6.6 MEMS 虚拟设计系统简介	224
参考文献	230

第 1 章 绪 论

1.1 现代设计方法

1.1.1 设计的基本过程

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,设计过程蕴含着创新和发明的机会。设计的目的是将预定的目标,经过一系列规划与分析决策,产生一定的信息(文字、数据、图形),形成设计,并通过制造,使之成为产品。目前,设计领域正面临着“传统设计”向“现代设计”过渡,广大设计人员应尽快适应这一新的变化。通过推行现代设计,尽快提高机电产品的性能、质量、可靠性及在市场上的竞争能力。

1. 工程设计的概念

工程设计是对工程技术系统进行构思、计划并把设想变为现实的技术实践活动,设计的目的是保证系统的功能,建立性能好、成本低、价值优的技术系统。这里的功能是指产品的用途或技术系统能独立完成任务;技术系统是指要设计的产品。技术系统的输入与输出是能量、物料、信号,输入量经技术系统转变为要求的输出量,如图 1-1 所示。设计一词,包括两方面的含义:工业设计和工程设计。笼统地说“设计”往往是将两者都包容在内的。设计的定义有三四十种之多,有些甚至是矛盾的,但基本上是互补的,如英国人伍德森(Wooderson)1966 年对设计下的定义是:“设计是一种反复决策、制定计划的活动,而这些计划的目的是把资源最好地转变为满足人类需求的系统或器件。”

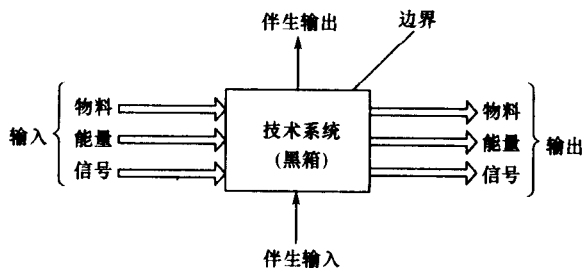


图 1-1 技术系统

在一种机电产品设计工作中,工业设计和工程技术设计,到底孰轻孰重取决于产品的用途和使用条件。一般说,既有实用功能又有审美价值的耐用消费品,如灯具、家用电器、照相机、汽车等产品,工业设计的分量就很重。现在比较统一的观点是,工业设计解决机器与人的协调问题。

不同国家,甚至同一国家内的不同行业对设计所下的定义有所不同,各有侧重。虽然定义的侧重点不同,但关于设计的依据、目标、要求、设计过程的本质、支持设计工作的基本要素等基本是一致的。

2. 设计的内涵

由于设计的发展,设计所涉及的领域正在不断地扩大,人们对设计的理解不尽相同,但公认设计有以下基本内涵。

(1) 存在着客观需求,需求是设计的动力源泉。

(2) 设计的本质是革新和创造。在设计中,总有新事物被创造出来,这个“新”字,可以指过去从未出现过的东西,也可以指已知事物的不同组合,但这种组合结果不是简单的已知事物的重复,而是总有某种新的成分出现。设计中必须突出创新的原则,通过直觉、推理、组合等途径,探求创新的原理方案和结构,做到有所发明、有所创造、有所前进。测绘并仿制一台机器,虽然结构复杂,零件成千上万,但没有任何创新,不能算是设计。上海某厂开发的防松木螺钉集中了木螺钉和螺丝钉的优点,既能方便地钉入又能自锁防松,它成功地应用于集装箱等厚木结构,此钉虽小,其开发过程可称为设计。

(3) 设计是建立技术系统的重要环节。所建立的技术系统应能实现预期的功能,满足预定的要求;同时应是给定条件下的“最优解”。设计应避免思维灾害。

设计质量的高低决定着产品一系列技术经济的效果,产品的质量很多是由于设计不周引起的。设计中的失误会造成严重的损失,某些方案性的错误将导致产品被彻底否定。

一个设计者在研制一个技术系统时可能产生的最坏情况是,系统具有归因于设计错误或计划错误的缺陷,在系统实现并进行运转后,由于这些缺陷的存在,使系统遭受强大的干扰;系统及其周围环境在一定范围内遭受损害或完全破坏;并有可能使有关人员受到伤害。这种由于系统设计者在思维过程中的缺陷导致的灾害,称之为“思维灾害”。

(4) 设计是把各种先进的技术成果转化为生产力的活动。设计是不断发展的,利用图纸进行设计不过是设计中的一个阶段,从人类生产的发展过程来看,在最初的很长一个时期内,产品的制造只是根据制造者本人的经验或其头脑中的构思来完成的,设计与制造无法分开。随着生产的发展,产品逐渐复杂起来,对产品的需求量也开始增大,单个手工艺人的经验或其头脑中的构思已难满足这些要求,逐渐出现了利用图纸进行设计,然后根据图纸组织生产。

图纸的出现使人们将自己的经验或构思记录下来,传于他人,便于设计的提高和改进;便于进行复杂产品的设计制造;便于多人参加同一产品的制造过程,提高生产率。由此可见,利用图纸进行设计是设计发展过程中比较重要的一个阶段。

但是随着科学技术的发展,尤其是计算机技术的发展和运用,已经对传统的图纸设计方法产生了很大的影响和冲击。例如 CAD 技术能得出所需要的生产图纸、一体化的 CAD/CAM 技术可直接利用有关设计信息控制 NC 机床直接加工出所需要的零件等。这一切使得人们不得不重新认识设计、研究设计理论、研究先进科技成就对设计的影响。

(5) 设计所涉及的领域继续扩大,更加深入。丹麦技术大学安德生(M. M. Andeasen)提出了市场需求作为产品设计依据的“产品开发一体化”模式,他认为在设计过程中自始至终应把产品的设计与销售(市场需要)及制造 3 方面作为整体考虑(甚至应考虑产品的销毁及回收),它要求设计部门在产品开发过程中就要与销售及生产部门密切配合,以便得到既有良好的性能又适合市场需要、便于制造及销售的优质产品。因此只有广义地理解设计才能掌握主动权,得到既符合功能要求,成本又低的创新设计。

3. 设计的一般程序

不同国家对设计阶段的划分不尽相同,重要的是明确不同阶段应当完成哪些工作内容,主要要求是什么。设计进程属于设计管理的内容,了解设计工作阶段有利于自觉掌握设计进程,

尽量完成一个阶段的工作内容再进入下一阶段。

如果一个设计者接到设计任务后,不是有计划地进行调查研究,全面分析,弄清设计任务的本质,而是匆匆忙忙地进入设计工作,这样做的结果,或者根本没命中要害,或是照旧框框拼凑。掌握设计各阶段的任务,使不同阶段都得到应有的时间、人力、物力保证,这是设计管理的重要内容。当然设计过程中表现出的阶段性,又不能截然分开,许多问题在后续阶段中才能充分揭示,这时不可避免地要修改前面各阶段中有关的结论或设计。因此设计既有阶段性,又有一个反复进行的过程。

1) 我国的新产品研究和发展程序

根据系统方法论,不仅把设计对象(如机电产品)当作一个系统,还把产品设计过程当作系统。不但研究各个设计步骤,而且研究各个设计步骤之间的联系,把全部设计过程按系统方法联结成一个严密的、符合逻辑规律的整体,以便全面考虑问题,使设计过程科学化。

研究设计过程,拟定科学的、具有普遍适用性的产品设计程序,是设计方法学领域内的主要内容,也是设计工作科学化的基础。一般来说产品的开发过程可分为5个阶段:即计划阶段、设计阶段、试制阶段、批量生产阶段、销售阶段。

(1) 在产品计划阶段中进行需求调查、市场预测、可行性论证及确定设计参数,选定约束条件,最后提出详细设计任务书。在此阶段,设计者尽可能全面地了解所要研究的问题,例如,弄清设计对象的性质、要素、解决途径等。因为客观地认识问题,就是创造过程的开始。

(2) 在产品设计阶段中,原理方案设计占有重要位置,它关系到产品设计成败和质量的好坏,在这阶段,设计师运用他们所有的经验、创新能力、洞察力和天资,利用前一阶段收集到的全部资料和信息,经过加工和转换,构思出达到期望结果的合理方案;结构方案设计是指对产品进行结构设计,即确定零部件形状、材料和尺寸,并进行必要的强度、刚度、可靠性计算,最后画出产品结构草图;总体设计是在方案设计和结构方案设计的基础上全面考虑产品的总体布置、人机工程、工业美术造型、包装运输等因素,画出总装配图;施工设计是将总装配图拆成部件图和零件图,并充分考虑加工的工艺要求,标注技术条件,完成全部生产用图纸,编写设计说明书、使用说明书,列出标准件、外购件明细表以及有关的工艺文件。

(3) 产品试制阶段是通过样机制造、样机试验来检验设计图纸的正确性,并进行成本核算,最后通过样机评价鉴定。在此阶段,设计师深入生产车间,跟踪产品各道加工工序,及时修正设计图纸,完善产品设计。同时深入使用现场,跟班试验,掌握产品性能并进行维护。这是设计人员积累知识、丰富实践经验的极好机会。

(4) 批量生产阶段是根据样机试验、使用、鉴定所暴露的问题,进一步做设计修改,以完善设计图纸,保证产品设计质量。同时验证工艺的正确性,以提高生产效率,降低成本,确保批量生产的产品质量。

(5) 销售阶段的任务是通过广告、宣传、展览会、订货会等形式将产品向社会推广,接受用户订货。与此同时,设计人员要经常收集用户对产品设计、制造、包装、运输、使用维护等方面的意见和数据,加以分析整理,用于改进本产品或为下一代产品设计获得宝贵的信息。这种用户信息反馈是改进设计、提高设计质量的重要依据,应该十分重视。

总之,通过上述分析可以看出,产品开发程序具有很大的实用性,并且比较容易被广大设计者所理解和掌握。因为该程序是根据系统工程理论和设计方法学的基本思想结合我国产品设计习惯而编制的。与此同时,应该指出的是:产品开发程序是一种垂直有序的直线结构,但又有不断循环反馈过程。设计者就要按程序有步骤地进行产品设计,以保证提高设计质量,提

高设计效率,少走弯路,减少返工浪费。每个设计阶段完成后,都要经过审查批准,所有图纸和技术文件都要由各级技术负责人签字,这种逐级负责的责任制度对设计少走弯路,防止返工浪费具有重要作用。

2) 美国约翰逊(R. C. Johnson)教授推荐的设计程序(图 1-2)

1.1.2 现代设计方法概述

1. 设计面临的形势

随着社会的发展和科学技术的进步,使人们对设计的要求发展到了又一个新的阶段,具体表现为:①设计对象由单机走向系统;②设计要求由单目标走向多目标;③设计所涉及的领域由单一领域走向多个领域;④承担设计的工作人员从单人走向小组,甚至大的群体;⑤产品更新速度加快;⑥产品设计由自由发展走向有计划地开展;⑦计算机技术的发展对设计提出了新的要求。

与人们对设计的要求相比,现阶段的设计相对而言却是落后的。主要表现为:①对客观设计过程研究、了解不够,尚未很好地掌握设计中的客观规律;②当前设计的优劣主要取决于设计者的经验;③设计生产率较低;④设计进度与质量不能很好控制;⑤设计手段与方法有待改进;⑥尚未形成能为大家接受,能有效指导设计实践的系统设计理论。

面对这种形势,惟一的回答就是设计必须科学化。这意味着要科学地阐述客观设计过程及其本质,分析与设计有关的领域及其地位,在此基础上科学地安排设计进程,使用科学的方法和手段进行设计工作。同时也要求设计人员不仅有丰富的专业知识,而且要掌握先进的设计理论、设计方法及设计手段,科学地进行设计工作,这样才能及时得到符合要求的产品。

2. 现代设计的概念

现代设计是过去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、由具体到抽象、由感性到理性,逐步归纳、演绎,丰富、发展起来的。由于电子计算机的发明,设计方法学和创造方法学的迅速发展,以及科学技术的进步,使人们得以在掌握事物的客观规律,掌握人的思维规律的同时,运用有关科学、技术原理进行复杂的、甚至在这以前认为不可能的计算。这就使机电产品的设计工作发生了质的变化。国际上,大约在 20 世纪 60 年代末期,在机电产品的设计领域中相继出现了一系列新兴学科,主要有设计方法学、优化设计、价值工程、计算机辅助设计(CAD)、可靠性设计、工业产品造型设计、模块化设计、反求工程、有限元等;还有一系列的分支,如相似性设计、系统化设计、人机工程学、模态设计、动态设计、疲劳设计、三次设计等,其发展方兴未艾。其中不少技术已日趋成熟,并已得到广泛的应用。

20 世纪 80 年代前,我国对国际上设计领域的巨大变化了解甚少,因此对设计学科的新发

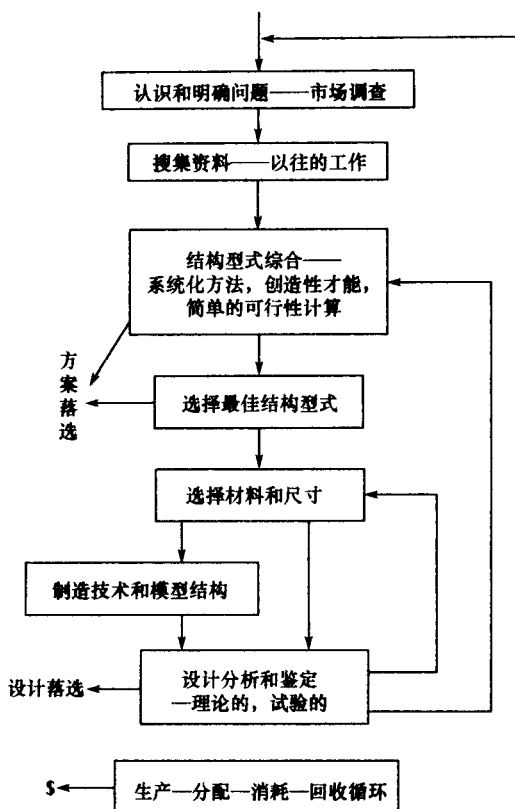


图 1-2 设计程序

展是生疏的,为了强调对设计领域的革新,我们把国际上新崛起的设计学科称为“现代设计”,而把我国过去常用的设计方法和手段称为“传统设计”。

“现代设计”与“传统设计”的区别大体上可以归纳为以下几个方面。

(1) 现代设计是将传统设计中的经验、类比法设计提高到逻辑的、理性的、系统的新设计方法。这种设计方法有两种体系,一种是德国提倡的设计方法学,它以“功能—原理—结构”框架为模型,是从抽象到具体的思维方法,通过框架的横向变异及纵向组合,运用计算机构造“设计目录”,从而获得多种设计方案,再通过优化,选出最佳方案;另一种是美国提倡的创造性设计方法学,它是在知识、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,形成新的构思或设计。

(2) 现代设计是在静态分析的基础上,考虑载荷谱、负载串等随机参量,进行动态多变量的最优化。而传统设计只是一种静态设计。

(3) 传统设计认为载荷和应力是集成的,只考虑设计中的安全系数。但是,往往在不少情况下,加大安全系数并不一定能提高产品的可靠性。现代设计从概率论和统计学方法出发,针对载荷和应力的离散性,运用简化、降额设计、冗余设计、热设计、漂移设计等方法进行可靠性设计。

(4) 现代设计是一种“最优化设计”,即在设计时,在各种限制条件下(诸如技术、性能、经济指标、制造工艺、使用条件等),运用最优化方法,通过计算机运算,寻求最佳的设计参数值。而传统设计仅是通过“设计—评定—再设计”等一系列设计过程,从多种设计方案中选取其中较为满意的方案,虽然这也是一种优化过程,但是这是凭借设计人员的知识、经验和判断力进行的,因此仅是“自然优化”。这种自然优化无论在设计的时间、优化的精度等方面与优化设计方法都是不能比拟的。

(5) 现代设计是运用计算机及其语言,首先对设计产品建立数学模型,然后将变量初值输入计算机,即可自动进行计算机辅助设计(包括绘图)。与传统设计相比,大大地提高了设计的准确性、稳定性和设计效率,并且修改设计十分方便。

(6) 现代设计是从系统论的观点入手,从人的生理特征和心理特征两个方面考虑人(操作者)、机(单机或系统)、环境三者之间的相互协调关系,并把舒适性放在重要地位。通过功能分析、功率分配、界面设计、系统综合等方法,使人机之间的功能相互协调,从而发挥产品的最大潜力或提高系统的有效性。而传统设计是凭借经验或自发状态来考虑人、机、环境间的关系。由于传统设计思想的局限性,没有从系统出发,合理分配人机的功能,因此难以达到三者之间的协调关系,而往往是通过训练来适应机器设计对操作的要求。

(7) 现代设计重视系统的综合及对性能的定量描述,将设计要求和目的经过各阶段的设计,逐步将设计方案趋向最优化,并对系统的性能作出定量分析,这种分析能力是在计算机出现及计算技术发展后才迅速发展起来的,因此才使设计综合、决策最优化成为可能,这在传统设计中是难以做到的。

(8) 现代设计强调产品内在质量的实用性、外观质量的美观性、时代性、艺术性,使产品造型具有一定的艺术感染力,对操作者有新颖、心情舒畅、愉快、兴奋等精神功能,满足操作者的审美要求。现代设计对造型已形成较为完整的形式美法则(如比例与尺度、对称与均衡、稳定与轻巧、节奏与韵律、统一与变化等),并可灵活运用色彩设计、视错觉、新材料、新工艺(加工工艺和装饰工艺)等以增强产品的美感。而传统设计往往强调产品的性能等物质功能,忽略精神功能,即使有所考虑,也是支离零星的。

3. 现代设计方法的基本内容

由于设计方法还处于发展中并不断广义化,现代设计方法的内容难以准确界定,但目前已有很多比较成熟的方法。概括起来有:优化设计、有限元分析、可靠性分析型设计、价值工程、设计专家系统、计算机辅助设计(CAD)等。

还可以扩展并演变出其他方法,而且这些方法的交叉应用,可以构成具有独特应用对象的方法,如反求工程、系列化模块化设计方法等。严格说来,CAD不能称为设计方法,它是利用各种设计方法及设计、制造信息在计算机上实现设计过程的一种新的技术,由于它给设计过程带来了一场新的革命,故此暂时列入现代设计方法中。

4. 现代设计方法的发展及其特点

1) 科学技术的发展对工程设计的要求

随着科学技术的发展,新材料、新工艺、新技术的不断出现,产品的开发周期日益缩短,如自行车从开始研究到定型差不多经过80年,19世纪以前蒸汽机从设计到应用花了近100年时间;19世纪中开发电动机用了57年(1829—1886),电子管用了31年(1884—1915),汽车的开发用了27年(1868—1895);进入20世纪后,由于科学理论和新技术的发展,开发雷达用了15年(1925—1940),电视机的开发用了12年(1922—1934),原子反应堆用了3年(1939—1942),而开发激光仅用了1年。当前生产和技术的发展更是对工程设计提出了新的要求。

市场竞争激烈,要求提供品质高、价格低和式样新的产品。近年来,国民经济高速度发展和国际国内市场竞争的形势,使我国生产类型由小品种大批量生产向多品种小批量过渡。要求产品的功能多、价格低、性能可靠、生产周期短,市场竞争能力强。国际市场上商品的寿命周期平均只有3年左右。这要求工厂在进行产品生产时必须完成第二代产品的设计和试制,同时应进行第三代产品的预研和开发。而我国有许多产品,特别是机械产品至今还是70年代~80年代的老型号,性能差、成本高,远远不能适应市场竞争的要求。从生产需要和国内外市场竞争考虑,设计生产更多的创新优质产品是当务之急。中国号称自行车王国,每年生产自行车3000万辆,居世界之首,但由于款式陈旧、质量差,出口量仅占世界市场的1.6%。深圳自行车厂在“全面追求卓越”的口号下发奋图强,设计人员根据国外市场的需求,利用计算机辅助设计手段进行产品开发,平均每两天更新一种车型,几年来已生产了2000多个品种的高质量自行车,1990年出口104万辆,成为全世界出口量排名第二位的自行车厂。

新兴技术对产品渗透、改造和应用,使产品的功能和结构产生了很大的变化,在市场竞争中往往某些细微的变化便会使一种产品获得成功。

科学技术的发展促使设计方法和技术现代化,以适应和加速新产品开发。由于控制技术、计算机和应用数学的发展和应用,特别是计算机的广泛应用,具有高速运算、强大的数据处理及逻辑推理和判别的功能,使设计方法产生了新的突破,逐步地形成和创建了一系列以脑力劳动自动化和各种人工智能化为特征的新的现代设计方法和技术。在机械产品的设计中将起着重要的作用。

对引进的一些产品和技术,应立足于消化、改造、国产化。采用“反求工程”,摸瓜—顺藤—寻根,进行综合、系统性地科学分析,力求掌握其技术关键,在此基础上推出国产的有竞争力的产品。

2) 现代设计方法的特点

现代设计方法是以设计产品为目标的一个总的知识群体的总称,它运用了系统工程,实行人、机、环境系统一体化设计,使设计思想、设计进程、设计组织更合理化、现代化;大力采用许

多动态分析方法,使问题分析动态化;设计进程、设计方案和数据的选择广义优化;计算、绘图等计算机化。所以人们常以动态化、优化、计算机化来概括其核心内容。

现代设计方法有如下特点:

(1) 程序性。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、技术设计总体设计、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。

(2) 创造性。现代设计突出人的创造性,充分发挥设计者的创造性思维能力及集体智慧和创造方法,力求探寻更多的突破性方案,开发创新产品。

(3) 系统性。系统整体最优,同时要考虑系统与外界的联系,即人、机、环境的大系统。

(4) 优化性。通过优化理论及技术,对技术系统进行方案优选,参数优化,结构优化使系统整体最优,以获得功能全、性能优、成本低、式样新的产品。

(5) 综合性。现代设计方法是一门综合性的边缘性学科,突破了传统、经验、类比的设计。采用逻辑、理论、系统的设计方法。在系统工程、创造工程的基础上运用信息论、相似论、模糊论、可靠性、有限元、人机工程学及价值工程、预测学等理论;同时采用集合、矩阵、图论等数学工具和计算机,总结设计规律,提供多种解决设计问题的途径。

(6) 将 CAD 全面引入设计,提高设计速度和质量。CAD 不仅在于计算和绘图,在信息储存、预测、评价决策、动态模拟,特别是人工智能方面,将发挥更大的作用。

1.1.3 设计方法学概述

设计方法学是一门正在发展和形成的新兴学科。其定义、研究对象和范围等,当前尚无确切的、大家公认的认识。但近年来它的发展极快,广泛受到各国及有关学者的关注。

1. 设计方法学的基本概念

什么是设计方法学,不同学者有不同看法,目前比较完整和有一定代表性的是瑞士的胡布卡(V. Hubka)博士提出的一些观点。他认为:设计方法学是研究解决设计问题的进程的一般理论,包括一般设计战略及用于设计工作各个具体部分的战术方法,他还提出了它的主要领域及大致结构,包括进程模式、进程规划、进程风格、方法、方法学及行动规划、工作方法、工作原则等。

2. 设计方法学的研究状况

最早涉及设计方法学研究的学者应该提到德国的罗伊雷赫(F. Reuleaux),1875 年他在《理论运动学》一书中第一次提出了“进程规划”的模型,即对很多机械技术现象中本质上统一的东西进行抽象,在此基础上形成一套综合的步骤。这是最早对程序化设计的探讨,因而有人称他为设计方法学的奠基人。此后直到 20 世纪 40 年代,库茨巴奇(Kutzbach)等人相继在程序化设计的发展、设计评价原则、功能原理及设计中的应用等方面开展了一些工作,初步发展了设计方法学研究。

20 世纪 60 年代初期以来,由于各国经济的高速发展,特别是竞争的加剧,一些主要工业国家采取措施加强设计工作,开展设计方法学研究,使得设计方法学研究在这一时期取得了飞速发展。许多国家的专家、学者在设计方法学方面或出版专著、或从事专题研究,如设计目录的制订、有关设计的经济性问题、设计方法的研究、产品功能结构及其算法研究等,并开始探讨设计方法学研究的内涵。慕尼黑大学的罗登纳克(Rodenacker)是在德国(也是世界上)第一个被任命为从事设计方法学研究的教授。因而有人称他为“设计方法之父”。由于经济文化背景的不同,不同学者的研究各有自己的特点和侧重方面,学者和工程技术人员比较着重研究设计

的进程、步骤和规律,进行系统化的逻辑分析,并将成熟的设计模式、解法等编成规范和资料供设计人员参考,如德国工程师协会制定的有关设计方法学的技术准则 VDI 2222 等;英美学派偏重分析创造性开发和计算机在设计中的应用;日本则充分利用国内计算机优势,在创造工程学、自动设计、价值工程方面做了不少工作;前苏联和东欧等国家也在宏观设计的基础上提出了“新设计方法”。不少国家在高等学校中开始开设有关设计方法学的课程,多方面、多层次开展培训工作,推进设计方法学的研究和应用,有效地提高各自产品的设计质量及其竞争能力。

20 世纪 70 年代末,欧洲出现了由瑞士胡布卡博士、丹麦安德生博士及加拿大梅尔(W. E. Mer)教授组成的欧洲设计研究组织(WDK)。此后,它发起组织了一系列国际工程设计会议(ICED),参加人员和范围逐渐扩大。它还组织出版了有关设计方法学的《WDK》丛书,除各次会议论文集以外,还包括有关设计方法学的基本理论、名词术语、专家评论和有选择的专著。此外,还建立了一批国际性的专题研究小组,如机械零件的程序化设计研究小组,定期开展活动。从此,设计方法学研究明显地从各国自行开展发展为国际性的活动,各学派充分交流,互相取长补短,将设计方法学研究及应用推向新的高潮,吸引了全世界学者的注意。

1980 年前后,由于德国学者、西北欧学者、日本学者及美国学者先后不断来华讲学,我国学者开始了对西方各学派的学习与研究:1981 年中国机械工程学会机械设计学会首次派代表参加了 ICED81 罗马会议,此后即在国内宣传,并于 1983 年 5 月在杭州召开了全国设计方法学讨论会,探讨开展设计方法学研究活动,并成立了设计方法学研究组。设计方法学研究在我国正在蓬勃开展起来。应特别引起注意的是,这门学科具有强烈的社会背景,若生硬照搬,必难适应我国国情,难以现实工程技术人员所接受,而应博采众家之长,结合我国实际,在现实的基础上向前推进。

国内外对设计本质及方法的研究已初步进入实用阶段,出版了一些有代表性的专著,但是有关这门学科的名称并未得到统一,如科学设计、工程设计、设计方法学、工程设计原理、设计综合、设计学、机械研究方法论、设计的设计等。名称相近,内容大同小异,其共同特点都是总结设计规律,启发创造性,采用现代化的先进技术和理论方法,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激烈的市场竞争形势的需要。

3. 设计方法学研究的内容

(1) 设计原理。从系统观点出发探讨机电产品设计的一些基本原理。将机电产品看做由输入、转换、输出三要素组成的系统,重点研究将功能要求转化为产品结构图纸的设计过程,分析设计过程的特点,总结设计过程思维规律,寻求合理的设计程序。

(2) 设计过程。机电产品设计是一项创造性工作,它需要考虑的因素很多,解答的方案也很多,为了减少设计工作的失误,各国学者相继提出了产品设计的进程模式,并且都是依据本国生产力发展水平和习惯而确定的。为使我国的机电产品赶超世界先进水平,必须有一个符合我国国情的、科学的、实用的机电产品设计进程模式(即设计程序)。该进程模式应以系统工程为理论依据,以产品可行性研究为前提,以功能分析和机构综合为出发点,以综合评价为准则,以得到最佳产品为目的。

产品设计的成败在于方案。如何通过创造性思维对已有技术进行分析、综合,得到一个合理的、理想的方案,是产品设计工作的核心问题。一个有创造性的解决问题的方案,会使所设计的对象发生质的变化,产生飞跃。设计者应培养自己创造性才能。

(3) 综合评价。设计方案的优劣如何评价,在实际工作中很难找到某一方案的各项指标

较之其他方案都是最好的情况,往往是某一方案的某项指标优于另一方案,而其他指标又不如,因此,对几个方案如何比较就成为综合评价的关键。这涉及评价指标体系的建立,价值工程和多目标优化技术,以及各种定性、定量的综合评价方法的研究。

由以上分析可知,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设计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。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、加快设计进度等方面将发挥重大作用。可见设计方法学涉及的知识面很广,它是一门多元综合、新兴交叉学科。

1.1.4 现代设计方法简介

1. 优化设计

在人类生产活动中,人们做任何一件事(规划、设计等)都期望得到最满意或最好的结果或效果。为了实现这种期望,就必须有好的预测和决策方法,方法对头,事半功倍。优化方法就是各类设计决策方法中普遍采用的一种方法,它是以最优化数值计算方法为基础,借助计算机等先进的技术工具和手段,来求得工程设计中的最优化设计方案的一种先进设计方法。

工程设计已经历了 100 多年历史,在各个专业领域内已逐步演变和总结出一套传统设计方法,为人类设计出丰富多彩的产品提供了经验和具体方法。由于市场竞争的激化,人们都不断地追求产品设计的优化,企图使之性能好、结构紧凑、质量轻、造价低廉、节约能源和减少污染等。但传统设计方法大多靠分析、试凑或经验类比等方法来确定复杂的结构参数,难以或不可能达到设计上的优化,往往要经几代人的不断研制、实践和改进,才能使某类产品达到较满意的程度。由于缺乏明确的定量优化目标、科学地建立优化数学模型的方法、良好的寻优方法和运算工具(计算机)等,难以或不能实现预期目标,导致设计周期太长、设计质量差和设计成本高等严重缺陷。因此,国内外产品设计都力图使产品更新快、质量好、成本低和物美价廉,达到“人慢我快、人无我有、人有我新、人新我优”的目标,一般地说传统设计方法就难以达到这些要求。物竞天择和优胜劣汰是事物发展的规律,用优化设计方法来改造传统设计已成为各国竞相研究和推广的主流,并可带来设计方法的重大变革。

2. 可靠性设计

可靠性理论是近几十年发展起来的一门新兴学科。从 20 世纪 60 年代以来,逐渐进入机电产品设计领域,使机电产品发生了深刻的变化,特别是近一二十年,国内外一些有代表性的机电产品设计方面的著作逐步增添了可靠性的内容,一些国际性的或行业性的标准也相继给出可靠性要求及指标体系,可靠性设计方法已逐步成为现代设计方法的一个重要组成部分,它比常规设计方法更能反映事物的本质。

可靠性的概念是人们早就熟悉的,一部机器、一个零部件是否可靠,在寿命期内能否实现其正常功能,会不会出现早期失效,这都是用户最关心的问题。但是,对可靠性从开始的定性认识到现在进入定量的系统的研究是经历了一段漫长的发展过程的。

可靠性是产品的一种属性,人们通常根据使用经验对产品作出评价,不管是什么产品,大至人造飞船、飞机,小至日常生活用品,都有可靠或不可靠的问题,质量可靠、经久耐用的产品总是受到用户的欢迎,故障频繁、难于维修的产品必严重影响企业的声誉。所以,可靠性的定义通常是指产品在规定条件下规定时间内完成规定功能的能力。这里的“规定条件”包括工作