

现代设计法

Xiandai Shejifa (第二版)

廖林清 郑光泽 刘玉霞

杨翔宇 曹建国 刘红杰 编著



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

再版前言

随着市场竞争日益剧烈,如何以最短的时间、最高的质量、最低的成本将产品投放市场成为了竞争的焦点,任何科技成果要转化为有竞争力的商品,设计起着极其关键的作用。设计是形状与功能、质量与式样、艺术与工程的统一,世界各国都十分重视设计工作。由于控制技术、计算机技术和应用数学的发展和应用,设计手段发生了根本性变化,设计新理论、新方法、新技术不断涌现,逐步地形成和创建了一系列包括脑力劳动自动化和各种人工智能为特征的现代设计方法和技术,在产品设计中起着重要的作用。

现代设计法是以设计产品为目标的一个知识群体的总称,它运用了系统工程,实行人—机—环境一体化设计,使设计思想、设计进程、设计组织更合理化;大力采用许多动态分析方法,使问题分析动态化;设计进程和战略、设计方案和数据的选择广义优化;计算、绘图甚至分析计算机化。本教材在讨论设计与设计方法、传统设计与现代设计的基础上,重点介绍了设计方法学、创造性思维与方法、价值分析、优化设计、可靠性设计、面向“X”的设计 DFX 等现代设计方法,对稳健设计、反求工程、工程遗传算法等十八种现代设计方法作了简单介绍。在编写过程中,引用了部分文献资料,并将主要参考文献附在书尾,在此谨向有关作者致谢。

本书适用于机械工程专业本科学生和研究生作教材,亦可供从事机电产品设计的工程技术人员、科研人员作参考书。通过对本书的学习,使读者了解现代设计与传统设计的联系与区别,理清应用各种现代设计方法解决生产实际问题的思路,并初步掌握某些方法在机电工程中的应用,以拓宽学生的知识面和专业面。

参加本书编写的有:廖林清、郑光泽、刘玉霞、杨翔宇、曹建国、刘红杰。全书由廖林清主编。重庆工学院教材科给予了大力支持,刘奕录入了本书的全部文字。

由于现代设计法涉及面极广,本书难免挂一漏万,加之编者水平有限,疏漏和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2004年9月

目 录

第一章 现代设计法引论	1
第一节 设计与设计方法	1
第二节 传统设计与现代设计及其范畴	4
第三节 部分现代设计方法简介	10
第四节 设计系统	28
第五节 设计类型与设计原则	33
第二章 设计方法学	35
第一节 概述	35
第二节 技术系统及其确定	37
第三节 功能分析设计法	40
第四节 评价决策	45
第五节 商品化设计思想及方法	54
第三章 创造性思维与方法	57
第一节 工程设计人员的创造力开发	57
第二节 创造性思维	64
第三节 发明问题解决理论 TRIZ	68
第四节 创造技法举例	79
第四章 价值分析	85
第一节 价值优化	85
第二节 产品成本构成及成本估算方法简介	90
第五章 优化设计方法	96
第一节 概述	96
第二节 优化设计的数学模型	97
第三节 一维搜索	99
第四节 无约束优化方法	103
第五节 约束优化方法	106
第六节 多目标函数的优化方法	109

第七节 机械优化研究的策略 112

第八节 机械广义优化设计 120

第六章 可靠性设计..... 125

第一节 可靠性基础 126

第二节 机械强度可靠性设计 146

第三节 系统可靠性预测和设计 164

第七章 面向“X”的设计 DFX 173

第一节 概述 173

第二节 面向制造的设计 173

第三节 面向拆卸的设计 180

第四节 面向回收的设计 184

第五节 面向质量的设计 187

参考文献 193

第一章 现代设计法引论

第一节 设计与设计方法

1 引例

- 考虑从河的 A 岸到河的 B 岸的各种可能方法;
- 考虑适合狗驾驶的汽车(假设狗具有与人同样的智力,且身体结构保持现在的原样);
- 考虑一种分离塑料屑和铁屑的装置;
- :

2 人的需求及其满足

• 人类社会有着各种各样的需求,一种需求满足之后,又会在此基础上不断地提出新的、更高的要求;

- 识别人类社会的需求是至关重要的,尤其是各种潜在需求;
- 人的需求满足;

需求(待解决的问题)→以往成功的经验→设计→制造→使用→新的需求;

- 有时应创造需求或引导需求。

3 工程设计的概念及本质

3.1 工程设计的概念

设计概念趋于广义化,被认为是“一种始于辨识需要终于需要满足的装置或系统的创造过程。”横向上,设计包括了设计对象、设计进程甚至设计思路的设计;纵向上,设计贯穿于产品孕育至消亡的全寿命周期,涵盖了需求辨识、概念设计、总体设计、技术设计、生产设计、营销设计、回用处理等设计活动,起到促进科学研究、生产经营和社会需求之间互动的中介作用。

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,设计的目的是建立性能好、成本低、价值最优的满足需要功能的技术系统。

3.2 工程设计的本质

“设计”一词,即英语的 Design,起源于拉丁语 Designare,此词由记下(De)和符号、记号、图形等(Signare)两词组成。因而它的最初含义是:将符号、记号、图形之类记下来之意。

不同国家,甚至同一国家的不同行业对工程设计所下的定义有所不同,下面例举几种典型的定义:

美国工科硕士、博士学位授予单位资格审查委员会(ABET)和美国机械工程师学会(ASME)共同给出的定义是:“工程设计是为适应市场明确显示的需求,而拟定系统、零部件、工艺方法的决策过程。在多数情况下,这个过程要反复进行,要根据基础科学、数学和工程科

学为达到明确的目标对各种资源实现最佳的利用”。

美国的 Wooderson 于 1966 年下的定义是:“设计是一种反复决策,制订计划的活动,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”。

英国 Fielden 委员会给出的定义是:“工程设计是利用科学原理、技术知识和想象力,确定最高的经济效益和效率,实现特定功能的机械结构、整机和系统”。

日本金泽工业大学的佐藤豪教授给出的定义是:“工程设计是在各种制约条件下为最好地实现给定的具体目标,制订出机器、系统或工艺过程的具体结构或抽象体系”。

这些定义的侧重点不同,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上都有比较全面清晰的说明。

4 对设计的理解

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

4.1 存在着客观需求,需求是设计的动力源泉

如汽车防抱死制动系统 ABS 的应用。

4.2 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的出现。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。

4.3 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,同时应是所给定条件下的“最优解”,同时在设计过程中应避免思维灾害

设计质量的高低决定产品一系列技术经济效果,我们产品的一系列质量问题大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,系统遭受强大的干扰,会使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,这是由于系统设计者在思维过程中的缺陷导致了灾害,故称之为“思维灾害”。

美国著名的克莱斯勒汽车公司在 20 世纪 70 年代石油危机形势下对产品的发展动向预测失误,当其他汽车公司纷纷开发小油耗汽车时,他们仍然设计生产大批耗油量大的豪华型汽车,1979 年由于存货积压,9 个月中亏损 7 亿美元,造成很大损失;又如埃及 20 世纪 70 年代初竣工的阿斯旺水坝,它有效地控制了尼罗河流域的水旱灾害,且能供应电力,对国民经济的发展起了一定的作用,但水坝设计时对环境因素分析不够,没有考虑对自然生态平衡的影响并采取相应措施,从而引起一系列严重的问题。如大量泥沙和有机质沉于水库底,致使尼罗河下游缺乏肥源,土壤变得瘠薄,尼罗河入海口处沙丁鱼食物不足,数量急剧减少;河口三角洲的洼地

退缩影响沿河的军事及工业建筑的安全,水库建成后,下游一些地方的河水变为死水,血吸虫及疟蚊大量繁殖,对居民健康造成很大的威胁。再如 Y2K 问题,估计全球解决该问题所需的经费不少于 6 000 亿美元。以上例子说明了设计的重要性和避免设计失误的必要性。

4.4 设计是把各种先进的技术成果转化为生产力的活动

4.5 设计远不仅是计算和绘图

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完成的,设计与制造无法公开。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。图纸的出现使人们有可能:

——将自己的经验或构思记录下来,传于他人,便于设计质量的提高和改进;

——进行复杂产品的设计制造,满足人们对复杂产品的需求;

——同时有较多的人参加同一产品的制造过程,满足社会对产品的需求及生产率的要求,由此可见,利用图纸进行设计只是设计发展过程中的一个阶段。

当前,社会及科学技术的发展,尤其是计算机技术的发展和运用,已经对设计的发展产生了很大的影响和冲击,CAD 技术能得出所需要的生产图纸,一体化的 CAD/CAM 技术更可实现无图纸化产品,如波音 777 等等。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。

设计所涉及的领域继续扩大、更加深入,当前正逐步推广的并行工程(并行设计)并不是一种具体的工程设计方法,而是一种设计哲学理念,正如前述的工程设计概念所述,要求在设计过程中自始至终把产品的设计与销售(市场需要)及制造三方面作为整体考虑(甚至应考虑产品的销毁及回收)。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又成本低廉的创新设计。

5 设计面临的形势

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 产品更新速率加快;
- 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,有较系统的设计理论。

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。

6 设计的变迁

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,并适应科学技术发展的需求,使设计工作现代化,引发了“现代设计方法”的研究。设计方法可理解为:设计中的一般过程及解决具体设计问题的方法、手段。前者可认为是战略问题,后者是战术问题。如果把设计方法的发展进行概括,大致可以划分成:

- 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”;
- 目前的“现代设计阶段”。

第二节 传统设计与现代设计及其范畴

1 现代产品的特点及其开发

随着科学技术的发展,新材料、新工艺、新技术的不断出现,产品的更新换代周期日益缩短,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。

现代产品的特点主要表现在广泛采用现代技术,对产品的功能、可靠性、效益提出更为严格的要求,而这些特点中,有 60% ~ 70% 是取决于设计,因此,研究和采用新的设计方法和技术,在设计新产品中应适应和体现:

① 市场竞争激烈,要求提供质高、价廉和创新的产品。近年来,国民经济高速发展和国际国内市场竞争的形势,使我国生产类型由少品种大批量生产向多品种小批量过渡。产品要功能多、价格低、性能可靠、开发周期短才具有竞争能力。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,同时应该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,性能差,成本高,远远不能满足要求。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。

② 新兴技术对机械产品渗透、改造和应用,使产品的功能和结构产生很大的变化。如机械加工中出现电子束、等离子束、激光和电磁成形等新的方法,以加工高强度合金钢、精细陶瓷等;涂层刀、单晶金刚石使切削金属的能力倍增,给机床设计提出新的要求;甲醇发动机及汽车、电磁发动机的出现,为新的能源利用创造新的途径;机械产品中日益普遍地采用微机作自

动控制,发展为机械—电子—信息一体化的产品,机械产品在功能上的大跨越是现代产品最突出的特点,也是设计者为之奋斗的最主要的目标。

③ 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的开发。由于控制技术、计算机和应用数学等的发展和应用,特别是大型计算机和微型电子计算机的广泛采用,它具有高速运算、强大的数据处理和进行逻辑推理、判别的功能,组成了新的信息技术群体,以使设计方法和技术有着突破和跃进的条件和可能,逐步地形成和创建了一系列包括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。

④ 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,进行综合性、系统性的科学分析,力求掌握其技术关键,在这基础上推出国产的有竞争力的产品。

因此,运用新兴的信息技术、新材料技术、新能源技术和体现这些技术群体的设计方法和技术,以适应和推动社会生产和生活的需要,是我们作为工程技术人员的历史使命。

2 传统设计与现代设计

2.1 传统设计的特点和问题

传统设计是一种经历了直觉设计、经验设计、半理论半经验设计 3 个发展阶段并于 20 世纪 50 年代后期形成的,至今仍被广泛采用的设计方法。它基本上是凭借直接或间接的经验,通过类比法来确定方案,然后以机械零件的强度和刚度理论对确定的形状和尺寸进行必要的计算和验算,以满足限定的约束条件。

它比之因时制宜的、根据直觉需要进行设计的直觉设计方法有着很大的改进,因为它是在丰富的设计实践的总结基础上,利用类比作为依据,并使用经验数学公式进行必要的计算,是在经验基础上经过一定的科学总结和提高的一种方法。

由于运用的数据和计算是经验的总结和概括,因此总要受到当时科学技术条件的限制,其中疏忽了许多重要的因素而造成设计结果的不确切和错误。另外,一个产品的开发需要经过设计—试制—修改—……的反复循环,在当今机械产品的功能、原理要创新,经济寿命周期缩短,技术更新速度加快的情况下,传统的常规设计方法在设计科学性和周期上都显得十分不足。

2.2 现代设计方法及其特点

现代设计法是一门新兴的多元交叉学科,于 20 世纪 60 年代初开始孕育,经过美国、英国、德国、瑞典、丹麦、日本等国学者多年的探索、研究和实践,已形成概括为突变论、功能论、优化论、智能论、系统论、离散论、控制论、对应论、模糊论、艺术论等的科学方法学,是以设计产品为目标的一个知识群体的总称。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;设计进程和设计战略、设计方案和数据的选择广义优化;计算、绘图等计算机化,所以有人以动态、优化、计算机化来概括其核心。

现代设计方法有如下特点:

① 程式性 现代设计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。

强调设计、生产与销售的一体化。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,充分发挥设计者的创造性思维能力及集体智慧,运用各种创造技法,力求探寻更多的突破性方案,开发创新产品。

③ 系统性 现代设计强调用系统工程处理技术系统问题。设计时分析各部分的有机联系,力求系统整体最优,同时要考虑系统与外界的联系,即人一机—环境的大系统关系。

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,争取使技术系统整体最优,以获得功能全、性能好、成本低、价值优的产品。

⑤ 综合性 现代设计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 CAD 全面引入计算机辅助设计,提高设计速度和质量。CAD 不仅仅在于计算和绘图,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。

2.3 传统设计与现代设计的比较(表 1-2-1)

表 1-2-1 传统设计与现代设计的比较

比较内容	传 统 设 计	现 代 设 计
设计性质	侧重技术	面向功能目标,将技术、经济和社会环境因素结合在一起统筹考虑
设计进程	在战略进程和战术步骤上有随意性	强调设计进程及其步骤的模式化
设计手段	计算器、图板加手册的个体手工作业	充分利用电子计算机进行计算、自动绘图和数据库管理,集团分工协作
设计方式	以经验总结,规范依据为主	强调预测与信号分析及创造性的相互配合
设计部署	只限于从方案到工作图这个阶段	贯穿开发的全过程,考虑全寿命周期的质量信息反馈
设计思维	朝向结构方案的“收敛性思维”	面向总体功能目标的“发散性思维”
设计方法	采用少数的验证性分析以满足限定的约束条件	多元性方法学直接综合使其在各种条件下实现方案与全域优化目标
设计目标	局限在微观和结构	注重全局构成及协调,包括造型设计、宜人设计
设计考虑的工况	按确定工况与静态考虑	研究动态的随机工况、模糊性及随机性
设计评估	采用单项与人为准则	采用科学的模糊综合评判

2.4 现代设计与传统设计的关系

1) 继承的关系:现代设计方法和技术是在传统设计方法的基础上发展起来的,它继承了传统设计方法中的精华之处,如:设计的一般原则和步骤、价值分析、造型设计、类比原则和方法、相似理论和分析、市场需求调查、冗余和自助原则、积木式组合设计法等等。因此,在介绍某些现代设计方法和技术时,不应片面夸大,成为玄而又玄的法宝,应当认识到它们的许多内容是传统设计法的继承、延伸和发展。

2) 共存与突破的关系:从直觉设计发展到经验设计以至现代设计,都有着时序性、继承性和两种方法在一定时期内共存性的关系,而当前的现代设计方法和技术还远未达到成熟完善

的阶段,许多方法的自身理论的建立及其可行性、适用性等还有待深入研究;一些成熟的内容也还有个掌握和推广的过程,因此,现时正处于旧方法不断改善和新方法不断创建的共荣共存的历史时期,这也体现着量变与质变的辩证关系。自然,新的机械产品将随着现代设计方法、技术和设计科学体系的完善必将有新的突破。

3 现代设计法的范畴与内容

3.1 现代设计法的内容

概括为十一论:突变论、信息论、智能论、系统论、优化论、对应论、功能论、控制论、离散论、模糊论、艺术论。这些理论与广义设计(有目的的意识活动)直接有关,有的已形成单一学科,有的正在形成。

① 突变论

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,其机理现已有了初步数学模型,应用于设计分析,则有智爆技术,激智技术,创造性思维与创造性设计等。突变创造是现代设计的基石。

② 智能论

发挥智能载体的潜力,是现代设计的核心,除发挥人与生物智能外:

1° 计算机辅助计算:仅借助计算机代替人的初级智能;

2° CAD:计算机辅助设计,并显示设计对象及进行在线修正;

3° CAE:计算机辅助工程,除设计外,尚包括 CAM(辅助制造),有的解释为辅助分析、辅助试验及一切计算机辅助的活动;

4° 智能机器化方法:即指高级人工智能,如机器人、专家系统等。

③ 信息论

设计信息的分析是现代设计的依据。常用:

1° 预测技术法:用历史性趋向及参数,预测现需与未来的动向与参数;

2° 方差分析法:对一系列已知数据因素,进行参数的估计与识别检验;

3° 相关分析法:对随机数据进行相似、相关与相干分析,提取有用信息;

4° 谱分析法:运用信号功率谱图及其他频谱图计算与转换各种随机动态参数,并进行识别;

5° 信息合成法:将各种不同信息合成为所需的广义系统,如人工合成细胞、图形等。

④ 系统论

系统分析是现代设计的前提。常用:

1° 系统分析法:把任何系统、功能、元件均看做系统,加以分析,进行输入—输出关系的描述,得到合理的系统与功能;

2° 聚类分析法:把无模式的一大堆样本进行分类,聚类中心近似为该类的模式;

3° 逻辑分析法:运用逻辑数学从各系统之间相互关联与制约关系,设计出优化系统;

4° 模式识别法:把已有若干模式的系统样本,进行模式的确定;

5° 系统辨识法:从一类模型中选择一个特定的模型,使其等价于相应的系统,由于大部分实际系统的有关原始信息是不充分的,所以大多数的系统辨识问题可以归结为参数辨识问题;

6° 人机工程:“机”指广义的设计工程与产品,把人的各种因素考虑为外系统之一进行设计,以满足人的精神与功能的要求,造型艺术(技术美学)实质上是人机系统的一个分支;人机工程广义化命名为宜人设计法。

⑤ 控制论

动态分析是现代设计的深化,常用:

1° 动态分析法:运用传递函数与状态方程,研究输入信号与输出功能之间的定性定量关系,以获得最好的动态特性指标;

2° 振荡分析法:对振型模态进行识别,以利用振动或消除振动及噪音(广义);

3° 柔性设计法:把刚性系统按实际弹性系统进行设计计算;

4° 动态优化法:主要是研究大系统优化与最佳动态数学模型;

5° 动态系统辨识法:主要是研究动态系统类型与参数的识别。

⑥ 优化论

广义优化是现代设计的宗旨,常用:

1° 优化设计法:包括各种优化值的搜索方法,如线性规划、非线性规划、动态规划、整数规划、几何规划、多目标优化、试验优化、经验优化、方案优化、模糊优化等;

2° 优化控制法:主要是动态优化、最优控制等。

⑦ 对应论

相似模拟是现代设计的捷径,常用:

1° 相似设计法:以同类参照物为依据求出设计对象与参照对象间的数学关系;

2° 模拟分析法:以异类参照物为依据,设计系统结构与求得参数;

3° 仿真技术:用电子数字计算机及仿真语言模拟复杂系统与过程,求得解析法不能取得的参数;

4° 仿生技术:模拟生物的特殊功能为设计服务。

⑧ 功能论

功能实现是现代设计的目标。

有限寿命是自然与社会的基本客观现实,所以设计时应保证有限使用期限内设计对象的经济有效功能,其方法有功能分析设计法、可靠性分析预测、可靠性设计及功能价值工程等。

⑨ 离散论

离散分析是现代设计的细解。

事物特别是复杂广义系统由离散体组成,是自然与社会另一个基本客观现象,因此,用离散化方法近似确定参数是必然可靠的,其方法有有限单元法、边界元法、离散优化、子模态分析法及其他运用离散数学技术的方法等。

⑩ 模糊论

模糊定量是现代设计的发展。

事物的模糊性是一种大量的客观存在,所以运用模糊分析的量度方法(避开精确的数学方法)是必要的,其方法目前主要运用隶属函数的论域法,可以进行模糊分析、模糊评价、模糊控制与模糊设计等的运用。

⑪ 艺术论

悦心宜人是现代设计的美感。

任何设计都尽可能把设计对象形成一件艺术品,是设计的重要观念,现代艺术论不仅如此,还要采用技术美学,计算机造型、模糊艺术等处理方法。

3.2 现代设计方法学范畴

根据上述的内容,现代设计法的方法学范畴分为可以独立形成体系的十一类,均具有普遍性。其初步定义及应用范围如下:

1° 突变论方法学:旨在突变创新进行开拓性工作的科学方法学,主要应用于定性的方案决策、系统设计。

2° 功能论方法学:以功能分析为出发点与归宿的科学方法学,主要应用于方案设计与功能价值、功能安全可靠定量分析。

3° 系统论方法学:以系统整体分析作为前提的科学方法学。主要用于总体方案与系统设计及可行性论证。

4° 信息论方法学:以取得原始设计性状为准绳的科学方法学。主要用于通过历史性或试验性数据进行预测与信号分析及可行性论证。

5° 优化论方法学:以适宜、满意与最佳作为要求的科学方法学。可用于方案设计与参数设计。

6° 对应论方法学:以对应模拟作为思维与解题方式的科学方法学。主要用于已有参照模型的构思与定量计算。

7° 离散论方法学:以整体离散化解决复杂问题的科学方法学。主要用于近似细解的精细设计。

8° 控制论方法学:以动态作为分析重点的科学方法学。一般用于系统确定后的动态指标定性分析与定量校正。

9° 模糊论方法学:将模糊问题进行量化解题的科学方法学。主要用于模糊性参数确定与方案的综合评价。

10° 艺术论方法学:以艺术美感作为出发点的科学方法学。主要用于使设计达到悦心宜人的功能。

11° 智能论方法学:以充分运用计算机和一切智能载体(人、动物、无机物智能化)为中心的科学的科学方法学。应用于能代替人的智力的一切场合。

3.3 目前现代设计所指的理论与方法

目前现代设计所指的新兴理论与方法,部分表 1-2-2。

表 1-2-2 现代设计所指的理论与方法(部分)

设计方法学	优化设计	可靠性设计	有限元法	动态设计	计算机辅助设计	神经网络及其在机械工程中的应用	工程遗传算法	智能工程	价值工程	工业艺术设计	人机工程	并行工程	模块化设计	相似性设计	摩擦学设计	稳健设计	反求工程设计	建模和仿真技术	面向 X 的设计
-------	------	-------	------	------	---------	-----------------	--------	------	------	--------	------	------	-------	-------	-------	------	--------	---------	----------

第三节 部分现代设计方法简介

本教材受篇幅等因素的限制,只能较为详细地介绍其中的一些常用的现代设计方法,现将不能详细介绍的有关理论与方法简介如下:

1 工业产品艺术造型设计

工业产品艺术造型设计是指用艺术手段按照美学法则对工业产品进行造型工作,使产品在保证使用功能的前提下,具有美的、富于表现力的审美特性。

产品造型设计涉及的因素很多,如工程技术、美学、市场经济、心理学、生理学、社会学等等。具体来说,它包括有产品功能、结构、形态、色泽、质感、工艺、材料、人机等诸多方面但不能脱离所用材料、工艺的语言与时代精神、民族文化的象征的协调,更不能忽略造型与现有的技术条件、投资可能以及市场销售的可能之间的协调。

造型设计的方法在产品整个设计发展中占有很重要的地位。它有三种方式可作为造型设计的基础,即限量性结构异变性、机能面关系界定法及造型组织区分法。

造型设计的三要素中,使用功能是产品造型的出发点和产品赖以生存的主要因素;艺术形象是产品造型的主要成果;物质技术条件是产品功能和外观质量的物质基础。

工业产品艺术造型设计应遵循的原则有:体现高新科技水平的功能美,符合三化的规范美,显示新型材质的肌理美,体现先进加工手段的工艺美,表达各造型因素整体调和统一的和谐美,追求时代精神的新颖美,体现色光新成就的色彩美等。造型设计要有机地运用统一与变化、比例与尺度、均衡与稳定、节奏与韵律等美学法则。造型要寻求线型、平面、立体、色彩、肌理等造型因素的构成规律和变化,以效果图、动画、模型等形式,设计出物质功能与精神功能高度统一的创新产品。

2 人机工程

人机工程从系统论的观点研究“人—机(操作者的工作对象和环境)系统”中人、机之间的交互作用,研究人的生理和心理特征,合理分配人与机器的功能,正确设计人、机界面,使人、机相互协调,发挥最大的潜力。

在封闭的“人—机系统”中,机器的显示器显示生产过程的信息变化;人的感受器(眼、耳等)感知和接受信息,传给分析器(大脑),对信息进行分析、处理、存储、决策;由执行器(四肢)根据决策信息作出反应,操纵机器的控制器,使机器的工作状态发生变化,实现生产过程的转变;从而在机器的显示器上显示新的信息。

人机工程的研究,扭转了工业革命以来物质优先的既成观念,确立了在人机统一系统中人的主宰地位,树立了人本位设计的基本观念。人机工程研究的主体方向,因各国科学和工业基础的不同而各有侧重,如美国侧重工程和人际关系;法国侧重劳动生理学;前苏联注重工程心理学;保加利亚侧重人体测量;印度注重劳动卫生学等等。总的来说,工业化程度不高的国家往往是由人体测量、环境因素、作业强度和疲劳等方面着手研究,随着这些问题的解决,才转到感官知觉、运动特点、作业姿势等方面的研究,然后再进一步转到操纵、显示设计、人机系统控制以及人机工程学原理在各种工业与工程设计中应用等方面的研究;最后则进入人机工程学

的前沿领域,如人机关系、人与环境关系、人与生态、人的特性模型、人机系统的定量描述、人际关系直至团体行为、组织行为等方面的研究。可概括为以下几个方面:

- 人体特性的研究,如人体形态特征参数、人的感知特性、人的反应特性以及人在劳动中的心理特征等;
- 人机系统的总体设计,如人与机器之间的分工以及人与机器之间如何有效地交流信息等;
- 工作场所和信息传递装置的设计,工作场所设计包括工作空间设计、座位设计、工作台或操纵台设计以及作业场所的总体布置等;信息传递装置包括显示器和控制器,显示器包括各种类型显示器的设计,显示器的布置与组合等问题,控制器设计则要研究各种操纵装置的形状、大小、位置以及作用力等在人体解剖学、生物力学和心理学方面的问题,在设计时,还需考虑人的定型动作和习惯动作等;
- 环境控制与安全保护设计,从环境控制方面应保证照明、微小气候、噪声和振动等常见作业环境适合操作人员要求;安全保护设计包括安全防护装置的设计,同时还考虑在使用前操作者的安全培训,在使用中操作者的个体防护等。

目前人机工程常用的研究方法有观察法、实测法、实验法、模拟和模型试验法、分析法等。

3 并行工程

并行工程是对产品设计及其相关过程(包括设计过程、制造过程和支持过程)进行并行、一体化设计的一种系统化的工作模式。把计算机辅助设计、制造、管理和质量保证等有机地集成在一起,实现信息集成、信息共享、过程集成。这种工作模式力求使产品开发者在设计阶段就考虑到从概念形成到产品报废(甚至销毁)整个产品全生命周期中的质量、成本、开发时间和用户需求等所有因素。

并行工程的目的在于寻求新产品的可制造性、可装配性、可检验性、易维护性,缩短上市周期和增强市场竞争能力。并行工程系统包括工程技术人员的集成和并行工程环境的实现。工程技术人员的集成,要求集中涉及产品全寿命周期的所有部门的工程技术人员,组成并行设计组,共同设计制造产品,对产品的各种性能和制造过程进行计算机动态仿真,生成软样品或快速出样,进行分析评议,改进设计,取得最优结果,一次成功。并行工程环境是一种智能设计平台,支持产品设计和过程设计。并行工程环境必需具有:统一的信息模型,分布式环境,开发式界面和智能控制能力。统一的信息模型是实现工程技术人员集成的基础;分布式环境是实现“并行”的必要条件;开放式界面使工程技术人员从各自的角度对同一产品协同设计;智能控制具有调度设计、仿真、分析及协同设计中出现的冲突问题,提出改进设计的能力,它是实现并行工程的关键。

并行设计是并行工程的核心,其内容包括:

- 过程重构 由传统的串行产品开发模式转变成集成的、并行的产品开发模式,使下游设计过程中的需求及早地反馈给相应的过程;
- 数字化产品定义 包括数字化产品模型定义和管理、数字化过程定义和管理、数字化工具定义和信息集成,如 DFQ、DFA、DFM、CAD/CAM/CAE 集成等;
- 产品开发队伍重构 将传统的以功能部门为主要的产品设计,改变为以产品为主线,组织多功能集成产品开发团队,团队主管可以通过工作平台对团队的开发过程进行定义、规划

和重组,并对之进行分析和优化,开发人员通过开发平台以预定角色进入具体开发活动;

- 协同工作环境 利用多媒体、网络等技术,组织协调工作环境,支持并行设计。

并行工程的内涵还包含了人的因素和企业文化。如果说,新产品按“设计—试制样机—修改设计—工艺准备—正式投产”的串行工程方法容易造成各自为政、效率低下的结果的话,并行工程则能改变企业组织结构和工作方法,促进人们之间的相互理解,激励积极性,提高协同作战的能力,塑造良好的企业文化氛围,形成一个适合人类发展需要的社会——技术系统。

4 模块化设计

模块化设计是近年来发达国家普遍采用的一种先进设计方法。它的核心思想是在功能分析的基础上,将系统根据功能分解为若干模块,通过模块的不同组合,可以得到不同品种、不同规格的产品。在机械产品中所谓模块就是一组具有同一功能和结合要素(指联接部位的形状、尺寸、联接件间的配合或啮合参数等),但性能和结构不同,却能互换的单元。模块化产品是由一组特定模块在一定范围内组成不同功能或功能相同而性能不同的产品。

模块化设计的原则是力求以少数模块组成尽可能多的产品,并在满足用户要求的基础上使产品精度高、性能稳定、结构简单、成本低廉。

模块系统的特点是便于发展变型产品,更新换代,缩短设计和供货周期,提高性能价格比,便于维修,但对于结合部位和形体设计有特殊要求。

设计模块系统产品,先要建立模块系列型谱,按型谱的横系列、纵系列、全系列、跨系列或组合系列进行设计,确定设计参数,按功能分析法建立功能模块,设计基本模块、辅助模块、特殊模块和调整模块及其结合部位要素,进行排列组合与编码,设计基型和扩展型产品。模块系统的计算机辅助设计和管理,更显示了模块化设计的优越性。

5 相似性设计

人们在长期探索自然规律的过程中,逐渐研究形成了自然界和工程中各种相似现象的“相似方法”、“模化设计方法”和相应的相似理论、模拟理论。相似方法是可以把个别现象的研究结果推广到所有相似现象上去的方法。相似理论是现象模拟和研究相似现象的基础。目前在大型复杂设备和结构设计过程中,一般都要在相似理论指导下,通过模化方法和模型试验,使方案取得合理参数,预测设备的性能。当前用计算机辅助进行相似性设计和代替模型试验,取得明显的效果。

解决相似问题的关键是找出相似系统各尺寸参数的相似比。根据各种物理现象的关系式推导出由物理量组成的无量纲数群为相似准则。与相似准则各参数对应,相似比组成的关系式称为相似指标。在基本相似条件和相似三定律的基础上,用相似准则、方程分析、量纲分析列出相似比方程,可求得相似比。

模化设计是在开发新产品时,在相似的模拟工作条件下设计相似的模型进行试验,通过测定模型性能,预测产品原型性能,分析设计的可行性并进行必要的修改,进一步取得最优参数和结构。

产品系列设计是在基型设计的基础上,通过相似原理求出系列中其他产品的参数和尺寸。设计步骤是:先设计基型产品,确定产品系列是几何相似还是半相似,选择计算级差,求得扩展型产品的参数尺寸,确定系列产品的结构尺寸。几何相似的产品还可按相似关系对生产成本

进行估算。

6. 摩擦学设计

自1965年摩擦、磨损、润滑及相关科学技术领域被定名为摩擦学之后,摩擦学设计一词即陆续出现在文献中。早先人们普遍地把它理解为摩擦副的设计。建立在系统论基础上的现代摩擦学设计则要求在设计过程中与动力学设计、强度设计等并行处理。因为摩擦学系统正确工作是实现机器功能结构中运动保证功能所不可或缺的。摩擦学系统包括全部摩擦副、润滑子系统、状态监测子系统和补偿子系统。摩擦学设计是设计摩擦学系统,以求可靠地和经济地实现运动保证功能。

- 摩擦与磨损机理 研究相对运动表面之间的物理化学作用和表面性能的变化,控制和预测磨损过程。对摩擦的起因和机理的不同理论解释,形成了凹凸学说、分子粘附学说、机械分子学说和新的摩擦学说。对不同磨损过程的研究揭示了粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、微动磨损、腐蚀磨损等各种磨损的机理和规律。

- 润滑理论 研究流体动、静压润滑、弹性流体动压润滑、边界润滑等理论,以指导机械零部件的润滑设计。近年来,流体润滑理论的研究主要围绕对雷诺方程的求解,考虑各种实际因素的影响,用于研究各种表面形状的轴承。弹性流体动压润滑理论已用于滚动轴承、齿轮、凸轮等零件的润滑设计。高温和特殊环境下的边界润滑问题、流体和固体润滑膜的作用机理、高速轴承在紊流工况下的动态润滑性能、非牛顿流体的润滑性能等方面的研究成果已用于生产。

- 新型耐磨减摩材料与表面加工工艺 例如陶瓷代替金属或作表面涂层,具有耐磨、高温耐熔、抗氧化、耐腐蚀、绝缘等特性。表面强化如表面合金化、表面冶金、表面超硬覆盖、电火花表面强化、电镀、喷涂、堆焊、激光处理、电子束处理、离子注入等。表面润化如渗硫、氮化、氧化、磷化、表面软金属膜等,或表面复合处理。这些表面加工工艺改善了材料表面的摩擦磨损特性、节约贵金属、降低成本。

- 新型润滑材料 如高水基液压介质和润滑剂,在高、低温、重载、防污染等条件下的新型固体润滑剂。摩擦化学揭示了各种添加剂对润滑材料物理、化学性能的改善机理,形成了各种物理化学吸附膜。

- 测试技术 目前对零件表面几何形状的改变、磨屑尺寸数量及形貌特征,机械振动与噪声等摩擦磨损因素,已可用放射性同位素分析仪、振动与噪声监测仪等进行监测、诊断和早期识别,随时了解设备特别是大型复杂机械设备和自动生产线的工况,及时采取措施,将计划维修制度改为自动预测维修制度。

7 稳健设计

稳健性(robustness),在一些技术文献中亦有叫鲁棒性,是指因素状况(原因)发生微小变差对因变量(结果)影响的不敏感性。如使产品性能对所用材质变差的不灵敏性,能在一些情况下使用较廉价的或低等级的材料;使产品对制造尺寸变差的不灵敏性,可以提高产品可制造性,降低制造费用;使产品对使用环境变化的不灵敏性,能保证产品使用的可靠性和降低操作费用。基于这一思想,对产品的性能、质量和成本综合考虑作出最佳设计,既提高了产品质量,又降低了成本,称这种工程设计方法为稳健设计。