



高等学校“十二五”规划教材·机械制造及自动化系列

面向产品整个生命周期的

CAD

理论技术系统及应用

曹岩 主编

西北工业大学出版社

面向产品整个生命周期的 CAD 理论技术系统及应用

曹 岩 主编

西北工业大学出版社

前 言

作为当代最杰出的工程技术成就之一,CAD 技术广泛应用于各个领域。通过本书的学习,读者可以掌握 CAD 的基本概念、发展历史、理论、技术、方法、系统和应用,为从事 CAD 研究和实践打下坚实的基础。本书从面向产品整个生命周期的角度,全面系统地介绍了广义 CAD 的理论、技术、系统和应用。全书包括 17 章内容,总体分为 3 个部分。第一部分为 CAD 理论和系统的体系结构,这一部分包括第 1~6 章,内容包括工程设计及 CAD 在工程设计中的应用,CAD/CAM 技术的发展和应用,CAD/CAM 系统的体系结构及其分类,CADC/AM 系统的硬件平台配置及选用原则,CAD/CAM 系统的软件平台配置及选用原则,CAD/CAM 系统的应用网络环境等内容;第二部分为 CAD 关键技术及其应用,这一部分包括第 7~13 章,内容包括基于虚拟原型的计算机仿真,计算机辅助工程分析,计算机辅助工艺规程设计及夹具设计,工程设计中的产品数据管理,典型机械 CAD 系统及其应用,领域专用的 CAD 系统,基于 OpenGL 的系统开发及基于 SolidWorks 的二次开发等内容;第三部分为面向产品整个生命周期的基于 CAD 的仿真技术与应用,这一部分包括第 14~17 章,内容包括产品性能仿真对产品开发的支持,产品几何仿真对产品开发的支持,加工过程仿真对产品开发的支持,产品工作过程仿真对产品开发的支持等内容。本书在理论和技术的介绍过程中,穿插了大量 CAD 系统及其应用实例的介绍,为读者深入理解和掌握理论知识提供了相似的工程实践背景。

本书内容新颖实用,系统全面,实例丰富,可供高等院校机械设计制造及其自动化等专业作为教材和参考书使用,也可供工程技术人员、CAD/CAM 研究与应用人员参阅。

本书由曹岩主编。具体编写分工如下:第 1 章由姚慧编写,第 2~6 章由袁艳编写,第 7 章由曹岩编写,第 8 章由汪庆华编写,第 9 章由闫向彤编写,第 10 章由李建华编写,第 11 章由李云龙编写,第 12 章由曹岩编写,第 13 章由吴维勇编写,第 14 章由曹岩、陈卫国编写,第 15 章由曹岩、程文冬编写,第 16 章由曹岩、范芳玲编写,第 17 章由曹岩、程文冬编写。

本书得到了西安工业大学专著基金的资助,在此表示衷心的感谢。对在本书写作过程中提出建设性建议和修改建议的教师和工程技术人员表示衷心的感谢。对在本书写作过程中所参考资料的作者表示衷心的感谢。

由于水平有限,疏漏之处在所难免,望各位读者不吝赐教,在此深表感谢。

编 者

2010 年 7 月

目 录

第 1 章 工程设计及 CAD 在工程设计中的应用	1
1.1 工程设计方法	1
1.2 工程设计的过程及其一般流程	5
1.3 工程设计的求解方法	9
1.4 工程设计中 CAD 技术的应用及展望	16
1.5 国内外工程软件简介	18
思考题	24
第 2 章 CAD/CAM 技术的发展和應用	25
2.1 CAD/CAM 技术的发展过程	25
2.2 CAD/CAM 技术的发展趋势	27
2.3 CAD/CAM 技术的应用	29
思考题	30
第 3 章 CAD/CAM 系统的体系结构及其分类	31
3.1 CAD/CAM 系统的体系结构	31
3.2 CAD/CAM 系统的分类	32
思考题	36
第 4 章 CAD/CAM 系统的硬件平台配置及选用原则	37
4.1 CAD/CAM 系统的硬件组成	37
4.2 CAD/CAM 系统的硬件平台	43
4.3 CAD/CAM 系统硬件的选用原则	47
思考题	49
第 5 章 CAD/CAM 系统的软件平台配置及选用原则	50
5.1 CAD/CAM 系统的软件组成	50
5.2 通用计算机上的操作系统	52
5.3 CAD/CAM 系统软件的选用原则	55
思考题	58
第 6 章 CAD/CAM 系统的应用网络环境	59
6.1 CAD/CAM 系统应用网络环境的组成	59

6.2 建立 CAD/CAM 系统网络应用环境的基本原则	63
6.3 建立 CAD/CAM 系统网络应用环境的具体方法与步骤	64
思考题	66
第 7 章 基于虚拟原型的计算机仿真	67
7.1 计算机仿真的定义、地位、作用及发展历程	67
7.2 计算机仿真方法的基本类型	70
7.3 计算机仿真过程	72
7.4 仿真技术在机电产品设计、制造中的应用	74
7.5 基于虚拟原型的计算机仿真	75
思考题	77
第 8 章 计算机辅助工程分析	78
8.1 计算机辅助工程概述	78
8.2 弹性力学基本知识	86
8.3 有限元法	88
思考题	103
第 9 章 计算机辅助工艺规程设计及夹具设计	104
9.1 CAPP 系统的发展概况	104
9.2 CAPP 系统的工作原理	108
9.3 派生式 CAPP 系统	112
9.4 创成式 CAPP 系统	117
9.5 CAPP 专家系统	125
9.6 交互式 CAPP 系统	129
9.7 综合式 CAPP 系统	132
9.8 计算机辅助夹具设计	133
思考题	136
第 10 章 工程设计中的产品数据管理	137
10.1 制造系统的信息流	137
10.2 工程数据库的原理和结构	138
10.3 产品数据管理 PDM	141
10.4 PDM/Works	148
思考题	171
第 11 章 典型机械 CAD 系统及其应用	172
11.1 CAXA 功能与应用	172
11.2 SolidWorks 功能与应用	179

11.3	Autodesk Inventor Series 功能与应用	186
11.4	Pro/ENGINEER 功能与应用	193
11.5	CATIA 功能与应用	198
11.6	UG NX 功能与应用	207
	思考题	215
第 12 章	领域专用的 CAD 系统	216
12.1	模具 CAD 系统	216
12.2	微机电系统 CAD 系统	219
	思考题	224
第 13 章	基于 OpenGL 的系统开发及基于 SolidWorks 的二次开发	225
13.1	CAD 软件工程技术	225
13.2	基于通用图形开发软件包 OpenGL 的 CAD 系统开发	233
13.3	基于 SolidWorks 软件的二次开发	255
	思考题	268
第 14 章	产品性能仿真对产品开发的支持	269
14.1	产品性能仿真	269
14.2	产品性能仿真实例——高速电主轴主轴部件特性分析	272
	思考题	277
第 15 章	产品几何仿真对产品开发的支持	278
15.1	产品几何仿真	278
15.2	产品几何仿真实例——刚性滑块联轴器运动仿真	280
15.3	产品几何仿真实例——三连杆空间联轴器运动仿真	287
	思考题	296
第 16 章	加工过程仿真对产品开发的支持	297
16.1	加工过程仿真	297
16.2	加工过程仿真实例——摩托车零件成型凹模加工	298
	思考题	319
第 17 章	产品工作过程仿真对产品开发的支持	320
17.1	产品工作过程仿真	320
17.2	产品工作过程仿真实例——缝纫机驱动机构仿真	321
	思考题	334
	参考文献	335

第 1 章 工程设计及 CAD 在工程设计中的应用

1.1 工程设计方法

设计是人类为了满足一定的需求而进行的创造性活动,与人们的日常生活和生产活动是紧密联系的,换句话说,人们在生活和生产中的任何创造性活动都包含着设计。就机械系统和结构范畴而言,设计就是从给定的合理的目标参数出发,通过各种方法和手段创建一个所需的优化系统或结构的过程。另外,随着时代的变迁,设计活动的思想和内容也是与时俱进的,总是能够反映出当时人类的生产力和社会水平。

1.1.1 工程设计方法的研究内容

工程设计是从人类社会生产活动的某项具体需求出发,提出解决问题的方案,经过对方案的分析、比较,做出最终决策并实施方案,以满足需要。工程设计方法学则是用系统的观点分析工程设计过程,总结其规律,研究其理论的一门科学,它从社会、经济和技术等方面来论述设计方案及其评价方法,因此,作为一名现代设计师应具备相当的知识结构和思想以及技术素质,来满足工程设计方面不断提出的新要求。

一般来说,在所涉及的工程设计问题中,处理的对象通常都是物料、信号和能量等,物料包括固体、液体、试件、液体、毛坯等;信号有测量值、数据、控制脉冲等;能量往往指机械能、光能、电能、化学能、核能、热量等。无论是什么样的装置或设备,它们都服务于一种技术过程,其中传输着或改变着物料、信号和能量,例如机床工作时,就发生着电能转换为机械能和热能能量转换。

人们在进行工程设计的过程中,经常采用系统的观点和方法,当然它并不排斥控制论、信息论、离散论、优化论、模糊论等各种方法论和有关技术在工程设计中的应用。系统分析法作为工程设计方法的主线,可以用图 1-1 描述,从该流程图中可以看出,系统分析法贯穿设计过程的始终,对于产品的设计起着主导的作用。

工程设计方法的主要研究内容包括以下几个方面:

(1)设计原理。工程设计是一种创造性的智力活动,探讨人

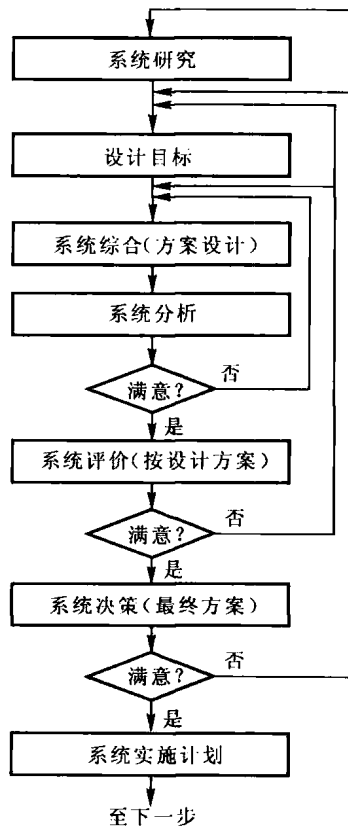


图 1-1 系统分析法

们从事工程设计的思维规律,用以指导设计实践,是设计方法学的一个重要研究课题。例如在机械设计中,可将机械系统看做一个由输入、转换、输出三要素构成的有机整体,探讨工程设计的一些基本原理及如何将构思转变为现实、将功能要求转化为实物结构图纸的设计过程,分析设计过程的特点、采取的设计策略和所遵循的原则。总之是要根据设计实践中积累的经验,总结工程设计过程的思维规律,寻求合理的设计流程。

(2)设计目标。工程设计的出发点是为了满足人类社会某种需求。明确任务,预测需求,分析达到预期效果的可行性是设计能否成功的关键步骤,而且也是在整个设计过程中自始至终都要考虑的问题,它关系到全局,“正确地说明问题等于解决了问题的一半”,这句话也充分地说明了明确设计目标的重要性。为了能更好地明确设计目标,确定设计方向,可以采用设计任务书的形式来进行说明。为此,设计人员需要全面地了解设计要求的各个方面,从技术、经济和社会等方面对设计目标进行可行性分析,据此制定出设计的可行性报告和设计任务书。

(3)方案设计的产生和分析。依据设计任务书的要求,对所要开发的产品进行功能原理设计是方案设计的主要内容。通常,方案设计的最终确定要经过对设计任务的抽象、建立功能结构、寻求原理解与求解方法、形成初步设计方案和对初步设计方案的评价与筛选等步骤才能完成。因此,在进行方案设计时,作为设计人员应该了解创造性思维的特点以及创造的机理,自觉培养自己发挥创造性应具有的品质,并熟悉有助于发明创造的若干技巧,创新设计,引进新原理和新技术,综合运用系统工程学、形态学、思维心理学、决策论等理论和方法,对所开发产品的系统总功能进行分解,将复杂的总功能分解为比较简单的、相互联系的功能元。接着,探索多种方案,求解出各功能元的多个解,将所有功能元的解结合起来形成和实现总功能,也就得到了多个初步设计方案。如何通过创造性的思考从这些方案中找到最佳效果或取得突破性进展的方案是设计方案中的核心问题。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,明显地使其他方案相形见绌。

由于方案设计受到多种因素的影响制约,为进行方案比较,要对提出的各种方案进行分析,掌握在各种因素影响制约下,各项设计要求能满足到何种程度。一方面这些因素关系到从设计到制造、分配、管理、使用、维护、保养等一系列问题,另一方面又涉及技术、经济、人和社会各个方面的因素。全面的分析涉及多方面的知识和能力。首先是技术分析,它是工程设计的基础,设计师应掌握有关数学模型、实物模型的建立方法,把最新的科学技术成果,如优化技术、可靠性分析技术、计算机辅助设计技术及测试技术用于技术分析,提高技术分析的质量和科学性。其次是经济性,离开经济效益的技术先进性是不现实的。设计人员应懂得成本估算、价值分析等经济分析法。由于设计的产品是为满足人类社会需求的,它不能不考虑人和社会诸因素的约束,因而又涉及人一机关系、环境因素、社会法律及规范,甚至造型艺术等多方面的知识。

(4)综合评价。通常,工程设计都是多目标的,在提出的众多方案中,很难找到一个各项指标都能达到最优的方案,往往是某些方案的某些指标占优。因此,如何对各个方案进行比较并从中选定最满意的方案,就成为了综合评价的关键。这涉及评价指标体系的建立、价值理论和多目标决策技术及各种综合评价方法的研究。

(5)设计信息。设计信息包括图纸、资料、各类数据等。通过信息的收集、存储、转换、传递、处理、再生和合成,将功能要求转化为实物结构是设计过程的实质内容。采用何种手段实现设计信息的收集与处理,特别是设计过程中设计资料的收集分析、设计检验程序及设计思想

的表达,对于完成设计任务和有效地实现设计目标起着非常重要的作用。

1.1.2 工程设计方法的特点

在工程设计过程中,每一步骤的信息都要反馈到前面的阶段,如图1-1所示,或是对方案作某些修改,或是整个地改变原有方案,无论是一种产品、一个系统,还是一项设施,只要它是为满足一定的社会需求的,其设计方法基本上都是这样一个过程。

依据工程设计的过程和方法,不难发现工程设计具有以下几个特点:

(1)目标明确。设计人员的目标就是要运用科学技术知识实现具体需求,解决实际问题,提供有效的、适用的物质成果。因此,要对设计对象制定出明确的设计要求,例如输入参量、输出参量、特性等等。

(2)设计方案不唯一。一般的工程系统或产品都比较复杂,很难直接求得解,并且工程设计所要处理的问题的解也不会是唯一的,因而需要设计人员提供多种设计方案,并对各个设计方案进行比较分析,从中选取满足设计目标 and 设计要求的最佳方案。

(3)影响因素多。通常,人们所面临的设计对象都不可能是孤立存在的,因此,不可避免地都要受到多种因素的影响和制约。例如,设计方法和设计过程首先必须要遵循物理、化学等自然规律;其次,要受到生产加工方法、测量手段等技术发展水平的影响;再次,在设计时还要考虑市场状况、人力资源、生产管理水平、社会法律等经济、人和社会方面的发展状况。

(4)动态发展。随着科学技术水平的提高,社会需求的变化,工程设计的方法和手段要与时代的发展相适应,近年来,计算机的出现对工程设计技术的发展产生了巨大的促进作用,许多新方法和新手段被应用到设计当中,如CAD、CAE、虚拟设计、专家系统、有限元和边界元方法等。

(5)不确定性。由于设计对象本身和设计环境的相对复杂,造成设计中的计算方法和所用数据不可避免地含有不同程度的不确定或不可靠因素,为了能获得最佳的设计方案,设计过程中需要特别注意可靠性分析,以克服不可靠因素带来的不利影响。

(6)综合性。随着社会和生产的发展,需要更多、更好、更复杂的产品,需要满足的要求也越来越高。因此,在工程设计中,既要重视技术合理性和现实可能性,又要注意其社会效益和经济效益。评价时除了要考虑它的科学性以外,还要考虑经济性、实用性、可靠性、适时性等许多方面,在不可能满足各方面的要求时,需要在综合分析的基础上采取折中或妥协的办法解决。所以,现在的工程设计具有高度的综合性。

1.1.3 工程设计方法的发展

人类在征服自然和改造世界,满足自身需要的过程中,一直从事着各种设计活动,由最初的“直觉设计”,经过“经验设计”和“传统设计”进入“现代设计”阶段。17世纪以前,人类一直处于“直觉设计”阶段,设计工作完全依靠人的直觉,往往由经验丰富和技术熟练的手工艺人来完成。整个设计过程是凭借当事人的智力和灵感,在实践中不断摸索而自发进行的。一项设计工作的完成,周期很长,经常无经验可供借鉴,很大程度上是一种偶然性的自发设计,设计的产品也比较简单。此后,在建立了数学和力学之间联系的基础上,使得工程设计有了一定的理论指导,为工程设计由自发走向自觉奠定了基础。随后,土木工程、水利工程、机械工程等专业相继产生,设计与制造也出现了分工,但从总体上看,设计计算仍采用一些经验公式,设计过程

依旧建立在经验与技巧能力的积累上,将经验作为设计计算和类比的主要依据,周期依然较长,质量也难以保证,总的来说仍属于“经验设计”和“传统设计”阶段。

近几十年来,随着科学技术的发展和计算机的应用,设计中理论分析、数值解释和物理模拟都有了更坚实的基础和高效率的手段。系统论、控制论、信息论、突变论等一系列横向交叉学科的发展使辩证唯物主义的哲学思想具体应用于科学领域,打破了长期以来孤立片面和静止地观察思考问题的方法,使设计领域发生了突破性的变革,各国的发展状况和侧重点也不尽相同。在欧洲,德国、瑞士的学者侧重设计程序研究,在明确设计任务的基础上,对提出的设计任务进行抽象的功能分析,通过若干严格的设计阶段和工序,将开发新产品的任务转化为产品图纸说明。该办法思路清晰,考虑问题面广,设计过程着重从整个系统出发,协调总体和部分、部分和部分之间的关系,使整体功能大于各局部功能之和。丹麦有的学者提出一体化设计的观点,主张以市场需求作为产品设计的依据,将设计、生产、销售三个环节统一起来考虑,使三个环节间的信息快速反馈,以便在最短时间内取得最好的经济效益,避免投资风险。英、美的学者则强调创新精神与创造能力,认为自然科学、社会科学及经济学等方面的基础知识都应是一个设计师所必备的,除此之外,设计师还应能预见和判断实际生活中的需求,善于抓住问题的本质将复杂的问题简化,在设计过程运用创造性思维,加强技术可行性、可靠性、价值分析等的研究,避免烦琐哲学,讲求实效。在亚洲,日本学者大力研究思维科学在设计领域的应用,认为发展设计的科学理论需要运用思维科学的知识,主张用拓扑模型来说明设计理论,用数学方法说明设计过程,并以此作为人工智能自动设计的理论前提。20 世纪 80 年代,我国国内也开始了设计方法的研究,并于 1983 年在厦门召开了中国现代设计方法研究会,相继成立了各种研究协会和组织,在众多的科研机构和大专院校都开展了设计方法的研究、学习和培训,关于工程设计方法的研究日益活跃,这些不仅限于机械设计,而是把并行工程、虚拟设计、优化设计、工业艺术造型、有限元分析等现代各种科学方法和各种系统的设计密切结合起来。

虽然各国学者们的研究各有侧重,但都主张制定必要的设计进程模式,重视设计中的创造性发挥,都认为应有系统观点、全局观念,而且普遍认为计算机是必不可少的设计手段。这些设计观念和手段的变革正推动设计方法学向更高层次发展。目前,如何使 CAD 在工程设计中达到更高的水平,即如何在创新、分析、决策等方面帮助设计人员是设计方法研究的一个重要方面。而计算机向智能化(第五代计算机)的发展也必将把设计方法推到一个更新更高的水平。

1.1.4 传统设计与现代设计

随着科学技术的发展,产品更新换代加快,市场寿命缩短,新产品开发周期超过市场寿命导致亏损的例子比比皆是,根据德国工程师协会文件 VDI2225 的调查分析,产品设计成本约占产品成本的 5%~7%,但却决定了产品制造成本的 75%~80%^[3]。设计工作的质量,直接关系到机械产品的质量性能、研究周期和技术经济效益等。因此,改进产品的开发比改进生产过程效益更显著。

新产品的开发经历了传统发展阶段,现已进入现代阶段,传统发展阶段有以下几个特点:

- (1) 技术推动。某种新技术的应用,推动新功能产品的形成。
- (2) 需求拉动。市场的某种需求,促进新功能产品的出现。
- (3) 推拉结合。技术推动与需求拉动相结合。

传统设计方法以静态的、经验的、手工式的方法为主,经常是被动地重复分析产品的性能。相比之下,现代设计方法能做到主动的设计产品的参数,它是一种动态的、科学的、计算机化的方法,与传统发展阶段相比,现代设计发展阶段又有一些新特点:

(1)功能和过程集成。开发新产品同时考虑功能、制造、成本、周期等。由计算机网络下的包括设计、工艺、计划、制造和装配部门的生产系统共同开发。

(2)系统集成和网络。开发新产品由生产系统和社会系统共同完成,生产系统包括情报研究、设计、计划、制造、装配等部门。社会系统包括经营、销售、供应、维修、用户服务、改进和升级换代、报废回收、同行的竞争与联合、公关等部门。

1.2 工程设计的过程及其一般流程

1.2.1 设计过程

一般来说,无论进行什么样的系统或产品设计,其过程大致都可分为四个阶段:产品规划阶段,方案设计阶段,技术设计阶段,施工设计阶段。

1. 产品规划阶段

产品规划是进行产品设计的第一步,这一阶段主要是明确所要开发的新产品的目的和要求,在集约信息、调研预测的基础上,识别社会的真正需求,进行可行性分析,提出可行性报告和合理的设计要求和设计参数项目表。

生产单位或研发机构中,从情报、设计、制造到社会服务等所有业务部门都要参与集约信息和调研活动,调研要从市场、技术、社会三个方面进行,具体来说,市场调研就是进行市场需求分析,主要是对销售市场和原材料市场进行分析,包括原料、配件等的现状、价格及变化趋势,类似产品的销售状况,消费者对产品的性能、质量、价格的要求,等等。技术分析主要是针对设计中将会遇到的难点和创新点以及解决它们的技术方法和技术路线进行分析。另外,还要进行社会效应分析,涉及污染、安全等。接着运用科学的方法进行预测,得出设计的可行性报告,并据此制定出设计任务书。这一过程也应由所有业务部门参加的并行设计组 and 用户共同完成,而不是设计部门或少数部门完成。

总之,这一阶段是将规定的任务转化为设计要求的说明,它的输入是需方提出的设计任务,输出则是一份完整的、定量的并进行分类归纳的设计要求详细说明。

2. 方案设计阶段

原理方案设计就是产品的功能原理设计。为了确保所设计的产品符合设计目标和要求,原理方案设计都是从功能分析入手,用系统化设计法确定新产品的总功能,并按层次分解为分功能直到功能元,然后,用形态学矩阵组合按不同方法求得各功能元的多个解,得到技术系统的多个功能原理解。经过必要的原理试验,通过评价决策,寻求其中的最优解即新产品的最优原理方案,列表给出原理参数,以设计要求为输入,功能结构图为输出,以功能结构和设计要求为输入,以抽象的不完整的结构为输出,分别建立新产品的功能结构和原理方案图。

在这个过程中,无论是总功能还是功能元,在进行分析求解时,“黑箱法”是经常采用的方法。作为设计人员,为了保证所设计产品具有相应的工作能力,减少不必要的材料浪费和降低生产成本,在进行功能分析时,需要注意区别产品的基本功能和辅助功能,必要功能和不必要

功能,使用功能和外观功能,这就需要设计人员全面掌握产品各方面要求并考虑功能和成本关系,分清功能主次,合理使用成本,以便于获得性价比较高的产品。

3. 技术设计阶段

技术设计是把新产品的最优原理方案具体化,确定功能零、部件的结构,材料和尺寸。首先进行总体设计,按照人一机—环境—社会的合理要求,对产品各部分的位置、运动、控制等进行总体布局。然后分为同时进行的实用化设计和商品化设计两条设计路线,分别经过结构设计(材料、尺寸等)和造型设计(美感、宜人性等)得到若干结构方案和外观方案。分别经过试验和评价,得到最优结构方案和最优造型方案。最后分别得出结构设计技术文件、总体布置草图、外观构思模型。以上两条设计路线的每一步骤,都是并行完成的,而不是完成了结构设计再进行造型设计,同时,也应该把制造、装配、拆卸、维修、操作安全等各阶段的要求考虑进来,最后完成的图纸和文件所表示的是统一的新产品。

这一阶段建立初步草图,其输入是表达概念的原理图、功能结构、设计要求。输出是机器结构和手描草图。在这个阶段应初步定出某些主要功能组件的尺寸,确定有关形状,建立尺寸草图,输入为初步草图和有关资料,输出为接近完善的工序结构图,尺寸按真实比例绘出。本阶段应将结构布局和元件最后确定下来。

4. 施工设计阶段

施工设计是把技术设计的结果变成施工的技术文件,要完成的工作包括零件工作图、部件装配图、造型效果图、设计和使用说明书、设计和工艺文件等。也就是说,将尺寸草图转化为用全部必须的数据来完整地描述的结构和元件图,以用于制造。

以上就是一个系统或产品的设计过程,显而易见,整个设计由许多的中间设计步骤或活动环节组成,这些活动环节从前到后其抽象程度在不断降低,并且后续环节是前一环节的精华、进化与展开,宏观上表现为一系列相连问题的求解活动,那么,在解决某一具体问题,不得不考虑多方面因素,将之转化为适合于具体情况的形式。通常需要考虑的因素有以下几个方面:

(1)技术系统本身因素。如所设计的技术系统的复杂程度、创新程度、实现各设计要求的难度等。

(2)设计过程因素。如设计人员的素质、可利用的资料情况、使用的设计手段和工作条件等。

(3)生产因素。如时间的限制、试验与制造所需设备状况、生产习惯及生产组织等。

(4)社会因素。各种有关规范、法律及其他限制条件。

这些因素常常因人、因事、因时、因地而异,但无论具体形式有何差异,原则上都以理想的一般设计程序模型为基础。

1.2.2 机械产品的设计

如今,传统机械产品的设计已发展到了比较成熟的阶段,更多情况下机械产品的设计实际是现代机械的设计。现代机械是在传统机械的基础上吸收了各种新出现并发展起来的先进技术,在机械发展史上形成了新的发展阶段的新型机械。它是由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动、物质流和能量流在内的动力学任务的、机械和电子部件相互联系的伺服系统。根据机械产品设计任务不同,一般可分为三种类型:

(1)开发性设计。应用可行的新技术,创新构思,设计工作原理和功能结构创新的产品,或赶超先进水平,或适应政策要求,或避开市场热点开发有特色的冷门产品。效益高,风险大。

(2)适应性设计。工作原理方案保持不变,变更局部和增设部件,加强辅助功能。

(3)变型设计。工作原理和功能结构不变,变更现有产品结构和尺寸,改进材料工艺。

机械产品的开发性设计是三种设计类型中涉及面最广,工作量最大,难度也最大的可以涵盖其他两种的一种设计,设计过程可分为互相重叠、密切结合的三个主要阶段:

1. 功能原理设计

功能是对产品的特定工作能力的抽象化描述,产品的功能原理设计是针对某一确定功能要求,寻求一些物理效应,并借助于某些作用原理来求得一些实现该功能目标的解法原理。它的核心是创新构思、思维发散、多解评优、简图示意,特点是以新的物理效应代替旧的物理效应,使机器的工作原理发生根本变化,设计人员有新概念、新构思,引入新技术、新材料、新工艺,机器的品质发生质的变化。由此,明确所要设计任务的功能目标,调查分析已有的解法原理,创新构思,寻求更合理的解法,初步预想实用化的可能性,认真进行原理性试验是它的主要工作重点。

2. 实用化设计

实用化设计是使原理构思转化为具有实用水平的机器,完成从总体设计、部件设计、零件设计到制造施工的全部技术资料。重点工作是性能价格化、结构设计,包括零部件形状、装配关系、材料、加工要求、表面处理、总体布置、安装等,这一阶段的工作具体精细,既要先进又要符合国情、经济合理、易造便修。具体来说,实用化设计包括以下几个方面:

(1)总体设计。确定工艺方案、基本参数、传动机构简图和工作循环图,满足技术、经济、文化要求。

(2)结构设计。结构方案应当可靠、明确、简单。结构方案要满足等强度原理,合理力流原理,变形协调原理,力平衡原理,任务分配原理,自补偿、自增强、自平衡、自保护原理,稳定性原理等。

(3)执行件设计。应用可靠性设计、动态设计、抗磨损设计、人一机学设计、热变形设计、抗疲劳设计等方法进行执行件设计。

3. 商品化设计

产品不但要在技术上成功,也要在市场竞争中获得成功。产品功能原理新颖是商品化设计的核心,其基础是产品技术性能的先进性,包装是为了适应市场需要。它的特点是市场调查,广告宣传,售后服务;提高产品质量,增加技术储备,树立企业信誉;性能的适应性变化(标准化、系列化、通用化、模块化),艺术造型,价值分析。产品的商品化设计包括以下几个方面:

(1)性能的改变要适应不同国家、民族、地区、气候等条件,同时,要开发新功能和增添附加功能。

(2)为了减少设计工作量,提高设计质量,便于安排批量生产,减少重复出现的技术过失,产品零部件的标准化、通用化、模块化及性能尺寸系列化是必不可少的,另外,增大互换性有利于增加品种、扩大生产。

(3)工业产品艺术造型以先进的科技功能为基础,设计美观适用的外形和布局以满足精神功能要求。

(4)价值分析是产品达到物美价廉的有效的现代管理技术,研究如何以最低寿命周期费用

可靠地实现必要的功能,价值分析的目标是提高产品的价值。

1.2.3 设计过程的系统模型

国际工程设计研究会认为,工程设计作为一门科学,其理论基础包括过程理论、机械系统理论和特性理论三个方面。这些理论从系统的观点出发,将设计过程看做是信息输入输出转换系统,而这个设计过程的系统模型可用图 1-2 来表示,研究和阐明如何将体现社会需求的设计转换为设计对象的结构特性。

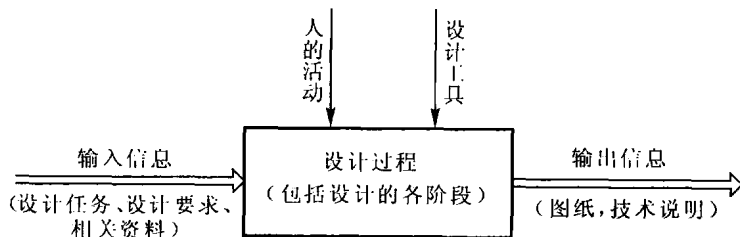


图 1-2 设计过程系统模型

由图 1-2 可看出,作为信息转换过程,其输入信息为规定的设计任务、要求及有关的市场研究和技术资料,在人和设计工具的共同作用下,输出了用设计图纸、技术说明书等表示的完整设计。期间从设计要求开始到最终设计出的系统或设备,要经过不同的设计步骤,而每一步都存在着多种不同解法,也存在着不断变化的限制或约束,再加上各种性能之间的关系,设计难度可想而知,尤其是机械系统性能关系复杂,到目前为止,还没有完整、科学的转化方法,只能用逐步逼近的办法,不断完善和确定设计对象的性能。

另外,设计过程还要受到设计师的经历、经验及思考问题方式等的影响,难免偏离客观实际,为此,设计人员要遵循一定的设计原则,以保证设计的客观性。通过对设计人员在设计工作中的思维活动进行观察和分析以及前面对设计过程的分析,不难明白设计过程是分层次实现的,每个层次又包含若干设计活动,各层次的每个设计活动又由下一层次诸多活动构成,设计过程就是这样由抽象到具体,由全局到局部,逐步逼近,逐步完善,最后达到设计要求的。

1.2.4 设计对策与一般原则

为了使设计人员能够合理地、有条理地从错综复杂的性能关系中寻求适当的设计性能,设计过程都采用分层结构,这样也就帮助设计人员在解决问题时采取相应的对策,通常,这些策略包括以下几点:

(1)迭代。对于不能直接求解的问题,先做一些假定,然后将得到的结果作为改进后的假定,进一步求解,逐步向精确解逼近,如果收敛速度足够,则几次循环即可得到合理的解。

(2)抽象。对于某些次要因素进行抽象、忽略,将注意力集中在对设计有重要意义的主要方面,可使设计工作较快入门,先在主要问题上取得进展。

(3)定形。定形即具体化的过程。先求出一个初步解,逐步具体化,由原理形态转化为具体形态,这种对策实际上总是和前面对策合并进行的。

(4)改进。改善设计初始阶段常常不能对解答做出准确估价,因此在设计过程中要随时发现矛盾,不断改进,以求得满意的解。

(5)面向原因。面向原因不是盲目寻求解决办法,而是首先分析提出设计任务和原因的原因,问题在设计过程中所处的层次不同,求解的着眼点就会不同。在实际工作中,总是先用迭代的办法实现最重要的性能,然后研究据此得出的设计对象的结构,看其是否也能满足其他性能,若有差距则应面向原因进行改善。随着设计过程的进展及设计对策在各层次各步骤中的具体应用,各项设计性能逐步确定下来。被确定的设计性能数量愈大,设计对象结构也愈加完善。

在工程设计中,为了规范设计人员的行为和提高设计效能,作为工程设计人员应注意以下几个工作原则:

- (1)批判地接受已有的资料,不能使用未经审查和核实的资料。
- (2)采用有效的控制方法,检查诸如功能、可行性、经济性等要求,使之控制在合适的范围内。
- (3)在设计过程每一工序中都应争取最好的效果,每一步进展都应该是有效的。
- (4)以最经济的方式实现系统的功能,即成本最低、使用费用最低或产品整个寿命周期成本最低。
- (5)在最短设计周期内,以最好的注意力和准确性寻求给定条件下最满意的解。
- (6)每个目标和每个步骤都是大系统中的—个子系统或系统要素,必须将整个系统作为一个整体,考虑各子系统或系统要素之间的所有联系、相互影响和作用。
- (7)设计过程中不能单纯依靠记忆,应将重要的信息作书面或借助计算机等方式记录,并以最经济的方法分类。
- (8)从整体出发,建立便于使用的而且全面考虑的综合评价标准。
- (9)对设计所需的各种知识进行分类,以便针对问题采用适宜的求解方法。
- (10)有条理、有计划地开展设计活动,最少应有一个寻求答案的规程,同时还应有相应的检查规程。

1.3 工程设计的求解方法

在设计尤其是机械产品的设计过程中,需要根据使用要求对机械产品的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸、润滑方法等进行构思、分析和计算。传统设计技术是以经验总结为基础,运用力学和数学形成的公式、图表、手册等作为设计的依据,通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计,是一种直觉设计、经验设计和静态设计,目前已经远远不能满足产品的功能和市场需求。相比之下,现代设计技术是以电子计算机为手段,以网络为基础,建立在现代管理技术之上,运用工程设计的新理论和新方法,实现计算结果最优化,设计过程高效化和自动化的一种定量的、动态的和科学的设计技术。下面分别介绍一下传统设计技术和现代设计技术。

1.3.1 传统的工程设计求解方法

1. 理论设计

在传统设计中,总是以长期总结出来的设计理论和实验数据为依据进行设计,以简单受拉杆件的强度设计为例,在传统的理论设计中,强度计算式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad \text{或} \quad \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S}$$

式中, F 为作用于拉杆上的外载荷; A 为拉杆横截面面积; σ_{lim} 为拉杆材料的极限应力; S 为设计安全系数。

应用上面的公式可直接求解出杆件必须的横截面积,也可以按其他方法先初步设计杆件的横截面尺寸,然后应用强度计算公式去校核。但在实际情况中,受拉杆件的工作情况是复杂的,如果安全系数选取过大,则所设计的产品会出现傻、大、粗的情况,造成材料浪费;如果安全系数选取较小,又很难保证产品的安全性。

2. 经验设计

根据对某类零件已有的设计与使用实践而归纳出的经验关系式,或根据设计者个人的工作经验用类比的办法所进行的设计是经验设计。这种方法对那些使用要求不大变动且结构形状已典型化的零件是很有效的设计方法。例如箱体、机架、传动零件的各结构要素等。

随着设计产品的技术系统越来越复杂,技术含量不断提高,产品更新发展速度加快,经验类比的设计方法已不能满足市场需要^[3]。

3. 模型实验设计

对于一些尺寸巨大而结构又很复杂的重要零件,尤其是一些重型整体机械零件,为了提高设计质量,可采用模型实验设计的方法。即把初步设计的零、部件或机器做成小模型或小尺寸样机,经过实验的手段对其各方面的特性进行检验,根据实验结果对设计进行逐步的修改,从而达到完善。这个设计方法费时、昂贵,一般用于特别重要的设计中。

1.3.2 现代设计技术

由于传统的设计是凭借经验、依靠类比和推算进行设计和计算,因此,很难提高设计效果,得到最佳设计方案。而随着计算机技术的不断发展,人们开始将计算机引入设计领域,同时也发展起来了适应现代设计要求的新的设计技术和方法,计算机辅助设计(CAD)也就是在此基础上诞生的,它一般由设计人员构想,再由计算机对有关产品的大量资料进行检索,根据性能要求及有关数据公式进行计算和优化之后,将图形显示出来,设计人员通过交互式图形显示系统对设计方案和图形作必要的干预和修改,设计结果以图纸及数据形式输出,整个工作流程如图 1-3 所示。

目前,较先进的 CAD 设计软件可以对机械产品进行有限元分析和机构运动分析,设计人员可以在分析结果的基础上,根据需要返回模型设计,逐步修改设计模型,进行优化设计,最后在形成正规的最优产品图纸和技术文件之前,还必须对此产品进行可靠性分析和测试等。下面就分别简单介绍一下,在现代设计中经常用到的有限元分析、优化设计、可靠性设计等方法。

1. 有限元分析方法

自从 1965 年“有限元”这个词第一次出现,到今天有限元在工程上得到了广泛应用,经过了 30 多年的发展历史,它的理论和算法都已经日趋完善。有限元的核心思想是机构离散化,也就是在对产品或零部件进行性能分析时,将产品或零部件的整体假想地分成许多小单元,各单元是通过节点联系在一起,对于每个单元都用节点未知量通过插值函数来近似地表示单元内部的多种物理量,并使其在单元内部满足该问题的控制方程,从而可以将各单元对整体的影响通过单元的节点传递,然后再将这些单元组装成一个整体,并使它们满足整个物体的边界条

件和连续条件,得到一组有关节点未知量的联立方程,解出方程后,再用插值函数和有关公式就可以求得物体内部各点所要求的多种物理量。如果插值函数选取合适,单元分得越多、越细,得到的计算结果就越精确。

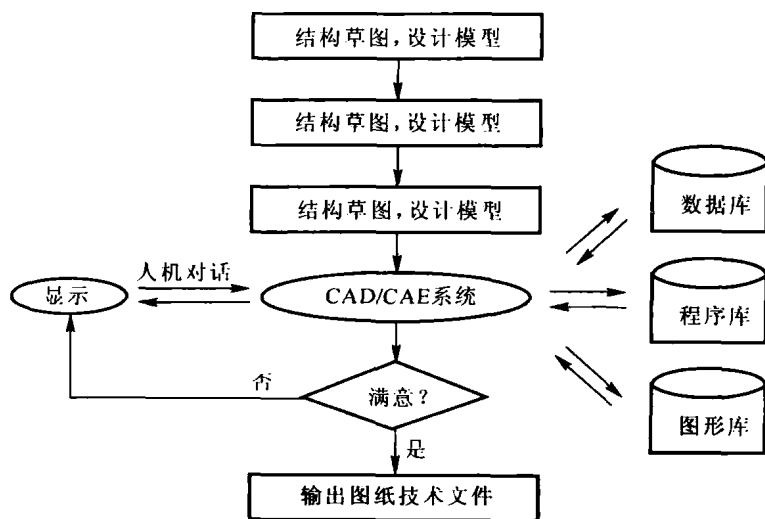


图 1-3 CAD 支持下的工程设计

在机械产品的设计中,有限元分析法经常用于梁、板、管道等各种单元的复杂结构的静力分析;各种复杂结构的动力分析,包括频率、振型和动力响应计算;工程结构和零部件的弹塑性应力分析、大变形分析、热弹性蠕变、黏弹性、黏塑性分析等。用有限元进行分析时,基本步骤为:

(1)问题及求解域定义。根据要解决的实际问题确定求解区域的几何形状和物理性质。

(2)实体离散化。对于要解决问题的产品或零部件进行离散化,即有限元网格的划分。也就是将连续物体划分有限个具有规则形状的微小单元,相邻单元之间只通过若干节点相互连接。在进行有限元网格的划分时,必须恰当合理地选择单元类型。单元类型包括:杆状单元、平面单元、薄板弯曲单元、薄板单元、多面体单元、等参数单元以及轴对称单元。单元类型的合理选择有助于得到比较精确的分析结果,另外,进行单元划分时,还要对单元节点编号和输入原始数据。单元信息数量的多少与单元的数目有关,而对实体进行划分时单元的大小和数目取决于所需要的计算精度、计算所需的费用和计算机的容量等。一般说来,若计算精度要求高,就划分得细些,单元小数量多,所需计算时间长,机时费用高,计算机内存量大。如图 1-4 所示就是对轴承座在进行有限元网格的不同划分。现在流行的比较先进的有限元分析软件如 ANSYS, NASTRAN 等对单元网格的划分都有较灵活的处理方法,比如说边界尺寸视其大小可分别按最大单元尺寸、最小单元尺寸或指定符合条件的单元尺寸进行划分。

确定实体材料物理特性参数,主要包括材料的弹性模量 E 和 G 、泊松比和相对密度 γ 等,同时还包括外加载荷所作用的节点、载荷大小和载荷方向等。

(3)单元分析。单元分析的主要目的是建立单元刚度矩阵。通常,在进行单元分析时,以节点的位移为基本未知量,选定合适的插值函数,用节点位移表示单元位移,接着通过几何方程用节点位移表示单元应变,通过物理方程用节点位移表示单元应力,通过最小势能原理用节