

实用现代 机械设计方法

李强 李丽 主编 ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

SHIYONG XIANDAI JIXIE SHEJI FANGFA



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用现代机械设计方法

李 强 李 丽 主 编



机械工业出版社

本书从创造学的理论出发,融合了设计方法学和机械优化设计两部分内容,体现了机械设计与现代设计方法的紧密结合,介绍了使用这些方法进行设计的实例,着力体现创新是设计的本质。

本书可作为高等学校机械类及相关专业本科生的教材,通过对本书的学习,能够使學生掌握基本的现代设计理论,建立对创新设计的正确认识;并使學生树立优化设计的思想,掌握优化设计的基本概念和基本方法,获得解决机械与工程优化问题的能力。

图书在版编目(CIP)数据

实用现代机械设计方法/李强,李丽主编. —北京:机械工业出版社,2012.8

ISBN 978-7-111-39133-3

I. ①实… II. ①李…②李… III. ①机械设计—高等学校—教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第157865号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

版式设计:纪敬 责任校对:刘秀芝

封面设计:陈冲 责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2012年10月第1版第1次印刷

169mm×239mm·12.25印张·235千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39133-3

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑(010)88379770

电话服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面防伪标均为盗版

前 言

随着生产力的进步，对机械产品的更新速度和质量也有了越来越高的要求。现代机械设计方法是一门以产品优化设计为目的的课程，涉及的内容非常广泛。它可用来解决生产过程中方案的设计，方案优选及决策，缩短设计时间，提高可靠度，降低成本，具体结构优化等问题。其中的思想对设计者的思维开拓也有指导意义。

现代机械设计方法是机械设计类专业的一门必修课，目的是使学生树立创新的认识，掌握基本的设计方法学，以及优化设计的基础知识。“设计不只是计算与绘图”，本书可为今后从事机械设计工作开拓思路。

本书包括上篇（设计方法学）和下篇（机械优化设计）两部分内容，由李强、李丽主编。具体参加本书编写工作的是：李强（6~10章）、李丽（1~5章）、曹丽英（11、12章及附录），全书由李强审稿。感谢研究生周兆禹、杨高炜、李闯为本书的整理和插图做的工作。同时，在编写的过程中借鉴了很多专家学者的宝贵资料，在这里表达真诚的谢意。

由于编者水平有限，错误和不当之处恳请读者批评、指正。

编 者

目 录

前言

上篇 设计方法学

第1章 绪论	1	第3章 机械创新设计方法	37
1.1 概述	1	3.1 创新与设计	37
1.1.1 设计的概念与本质	1	3.2 创造性思维	38
1.1.2 设计的发展	1	3.3 一般创新技法	43
1.2 传统设计与现代设计	3	3.4 TRIZ 理论	45
1.2.1 传统设计	3	3.4.1 TRIZ 理论的形成	45
1.2.2 现代设计	4	3.4.2 TRIZ 理论的发展与 应用	46
1.2.3 传统设计与现代设计的 关系	6	3.4.3 TRIZ 理论的主要内容	48
1.3 常用现代机械设计方法简介	6	第4章 可靠性设计	55
1.4 现代机械设计理论与方法 的发展及趋势	12	4.1 为什么研究可靠性	55
第2章 产品设计理论与 方法	15	4.1.1 可靠性的提出	55
2.1 设计方法学概述	15	4.1.2 可靠性工作的意义	55
2.2 技术系统及其确定	15	4.2 可靠性基础知识	56
2.2.1 技术系统	15	4.2.1 故障(失效)及其分类	56
2.2.2 信息集约	17	4.2.2 可靠性	57
2.2.3 调研预测	17	4.2.3 可靠性与维修性的常用 度量	57
2.2.4 可行性分析	18	4.2.4 浴盆曲线	58
2.2.5 功能分析	19	4.3 系统可靠性设计	59
2.3 评价决策方法	22	4.3.1 串联、并联、串并联和并串联 系统的可靠性	60
2.3.1 评价目标	22	4.3.2 k/n 表决系统的可靠性	62
2.3.2 方案评价方法	25	4.3.3 储备系统的可靠性	63
2.4 价值分析	33	4.4 故障(失效)分析	63
2.5 产品成本构成及估算方法	34	4.4.1 故障的定义及分类	63

4.4.2 故障(失效)分析的概念与作用	64	5.4.1 面向回收的设计的基本概念	80
4.5 维修度与有效度	65	5.4.2 面向回收的设计的特点	81
第5章 绿色设计	67	5.4.3 面向回收的设计的主要内容	82
5.1 概述	67	5.4.4 产品回收的基本原则	83
5.2 面向制造的设计	68	5.4.5 面向回收的设计准则	84
5.2.1 面向制造的设计概述	68	5.4.6 面向回收的设计过程	85
5.2.2 面向加工的设计	69	5.5 面向质量的设计	86
5.2.3 面向装配的设计	71	5.5.1 面向质量的设计思想的产生	86
5.3 面向拆卸的设计	74	5.5.2 面向质量的设计的基本概念	87
5.3.1 面向拆卸的设计的概念及其特点	74	5.5.3 面向质量的设计的实现策略和方法	88
5.3.2 面向拆卸的设计准则	75	5.5.4 面向质量的设计的关键技术	91
5.3.3 产品拆卸信息描述	77		
5.3.4 面向拆卸的设计评价	78		
5.4 面向回收的设计	80		

下篇 机械优化设计

第6章 机械优化设计概论	92	迭代计算法	106
6.1 优化设计含义	92	习题	109
6.2 优化设计的发展	92	第8章 优化数学方法的数学基础	110
6.3 机械优化设计的内容与目的	93	8.1 函数的二次型与矩阵的正定	110
第7章 优化设计的基本术语和数学模型	94	8.1.1 函数的二次型	110
7.1 机械优化设计问题示例	94	8.1.2 矩阵的正定及其判别法	111
7.2 机械优化设计的基本概念和基本术语	99	8.1.3 正定二元二次型函数的性质	111
7.2.1 设计变量	99	8.2 函数的梯度和二阶导数矩阵	113
7.2.2 目标函数	101	8.2.1 函数的方向导数	113
7.2.3 约束条件	102	8.2.2 二元函数的梯度	115
7.3 优化设计的数学模型	104	8.2.3 函数的二阶导数矩阵	117
7.4 优化问题的几何描述	104	8.3 函数的泰勒近似表达式和黑塞矩阵	117
7.5 优化设计的基本方法	106	8.4 无约束目标函数极值存在条件	118
7.5.1 优化方法类型	106		
7.5.2 优化设计的数值			

8.5 函数的凸性与凸函数	119	10.4 牛顿法	147
8.5.1 凸集	119	10.4.1 牛顿法的基本思想	147
8.5.2 凸函数	120	10.4.2 一般牛顿法	147
8.5.3 凸性条件	121	10.4.3 阻尼牛顿法	148
8.5.4 凸规划	121	10.4.4 牛顿法的特点	150
习题	122	10.5 变尺度法	150
第9章 一维搜索的最优化		10.5.1 变尺度法的迭代公式	150
方法	123	10.5.2 DFP法及其递推公式	150
9.1 概述	123	10.5.3 DFP法迭代步骤	151
9.2 搜索区间的确定	124	10.5.4 变尺度法的特点	153
9.3 黄金分割法	126	习题	153
9.4 二次插值法	129	第11章 约束优化方法	155
9.4.1 二次插值法的迭代过程	129	11.1 约束优化问题的极值条件	155
9.4.2 二次插值法的计算步骤及		11.2 复合形法	158
算法框图	131	11.3 惩罚函数法	163
习题	133	习题	169
第10章 无约束优化方法	134	第12章 优化设计实例	170
10.1 坐标轮换法	134	12.1 圆柱齿轮减速	
10.2 鲍威尔方法	137	器的优化设计	170
10.2.1 共轭方向的生成	137	12.2 单级圆柱齿轮减	
10.2.2 基本算法	138	速器的优化设计	171
10.2.3 鲍威尔改进算法	139	12.3 二级圆柱齿轮	
10.3 梯度法	145	减速器的优化设计	174
10.3.1 梯度法的工作原理	145	附录 部分习题 VC++ 优化	
10.3.2 梯度法的迭代步骤	145	程序	178
10.3.3 梯度法的特点	146	参考文献	188

上篇 设计方法学

第1章 绪论

1.1 概述

1.1.1 设计的概念与本质

设计 (design) 的目的是为了满足人类或社会的需求,“设计”有广义和狭义之分。广义的设计就是将人类的理想变为现实的实践活动。狭义的设计指的是一种始于辨识需要而终于需要满足的设计系统的创造过程,该技术系统包括图样、软件程序、其他技术文档等。产品设计即属于“设计”狭义概念的范畴,各种设计如机械设计即为此种。

人类文明进步的历史,就是不断进行创新设计的历史。我们熟知的机械设计、建筑设计、家具设计等都既有自己独特的设计思想和方法,又有通用之处。本书将着重讨论与机械设计相关的现代设计方法。

1.1.2 设计的发展

纵观历史,人类的设计进程可划分为如下几个发展阶段:

(1) 直觉设计阶段 古代的设计是一种直觉设计。当时人们或许是从自然现象中直接得到启示,或是全凭人的直观感觉来设计制作工具。设计者多为具有丰富经验的手工艺人,他们之间没有信息交流。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,设计与制造无法分开。设计方案存在于手艺人头脑之中,无法记录表达,产品也是比较简单的。一项简单产品的问世,周期很长,这是一种自发设计。直觉设计阶段在人类历史中经历了一个很长的时期,17世纪以前基本都属于这一阶段。

(2) 经验设计阶段 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自己的构思已很难满足这些要求,因而促使手工艺人必须联合起来,互相协作,逐渐出现了图样,并开始利用图样进行设计。一部分经验丰富的人将自己的经验或构思用图样表达出来,然后根据图样组织生产。到17世纪初,数学与力学结合后,人们开始运用经验公式来解决设计中一些问题,并开始按图样进行制造,如早在1670年就已经出现了有关大海船的图样。图样的出现,既可使具有丰富经验的手工艺人通过图样将其经验或构思记录下来,传于他人,便于用图样对产品进行分析、改进和提高,推动设计工作向前发展;还可满足更多的人同时参加同一产品的生产活动,满足社会对产品的需求及生产率的要求。因此,利用图样进行设计,使人类设计活动由自发设计阶段进步到经验设计阶段。

(3) 半理论半经验设计阶段 20世纪初以来,由于试验技术与测试手段的迅速发展和应用,人们把对产品采用局部试验、模拟试验等作为设计辅助手段。通过中间试验取得较可靠的数据,选择较合适的结构,从而缩短了试制周期,提高了设计可靠性。这个阶段称为半理论半经验设计阶段(又称中间试验设计阶段)。在这个阶段中,随着科学技术的进步、试验手段的加强,使设计水平进一步提高,共取得了如下进展:①加强设计基础理论和各种专业产品设计机理的研究,如应力应变、摩擦磨损理论,零件失效与寿命的研究,从而为设计提供了大量信息,如包含大量设计数据的图表(图册)和设计手册等;②加强关键零件的设计研究,特别是加强了关键零部件的模拟试验,大大提高了设计速度和成功率;③加强了“三化”,即零件标准化、部件通用化、产品系列化的研究,后来又提出设计组合化,这便进一步提高了设计的速度、质量,降低了产品的成本。

本阶段由于加强了设计理论和方法的研究,与经验设计相比,这阶段设计的特点是大大减少了设计的盲目性,有效地提高了设计效率和质量,并降低了设计成本。至今,这种设计方法仍被广泛采用。

(4) 现代设计阶段 近几十年来,由于科学和技术迅速发展,对客观世界的认识不断深入,设计工作所需的理论基础和手段有了很大进步,特别是电子计算机技术的发展及应用,对设计工作产生了革命性的突变,为设计工作提供了实现设计自动化的条件。这是步入现代设计阶段的重要特点。

此外,步入现代设计阶段的另一个特点就是,当代对产品的设计已不能仅考虑产品本身,还要考虑对系统和环境的影响;不仅要考虑技术领域,还要考虑经济、社会效益;不仅考虑当前,还需考虑长远发展。例如,汽车设计,不仅要考虑汽车本身的有关技术问题,还需考虑使用者的安全、舒适、操作方便等。此外,还需考虑汽车的燃料供应和污染、车辆存放、道路发展等问题。总之,目前已进入现代设计阶段,它要求在设计工作中把自然科学、社会科学、人类工程学,以及各种艺术、实际经验和聪明才智融合在一起,用于设计中。

1.2 传统设计与现代设计

为了反映设计思想、理论和方法随社会发展的变化，人们常用“传统设计”和“现代设计”这两个术语。显然，“传统”和“现代”是相对的，人们只是把当前认为较先进的那部分设计理论与方法称为“现代设计”，而其余的则称为“传统设计”。

1.2.1 传统设计

传统设计以经验总结为基础，运用力学和数学形成的经验、公式、图表、设计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。传统设计在长期运用中得到不断的完善和提高，是符合当代技术水平的有效设计方法。但由于所用的计算方法和参考数据偏重于经验的概括和总结，往往忽略了一些非主要的因素，因而造成设计结果的近似性较大，也难免有不确切和失误。此外，传统设计在信息处理、参数统计和选取、经验或状态的存储和调用等方面还没有一个理想的有效方法，解算和绘图也多用手工完成，所以不仅影响设计速度和设计质量的提高，也难以做到精确和优化的效果。传统设计对技术与经济、技术与美学也未能做到很好的统一，给设计带来一定的局限性。这些都是有待于进一步改进和完善的不足之处。

图 1-1 所示为一般传统机械设计过程。其特点是：第一，它的每一个环节都

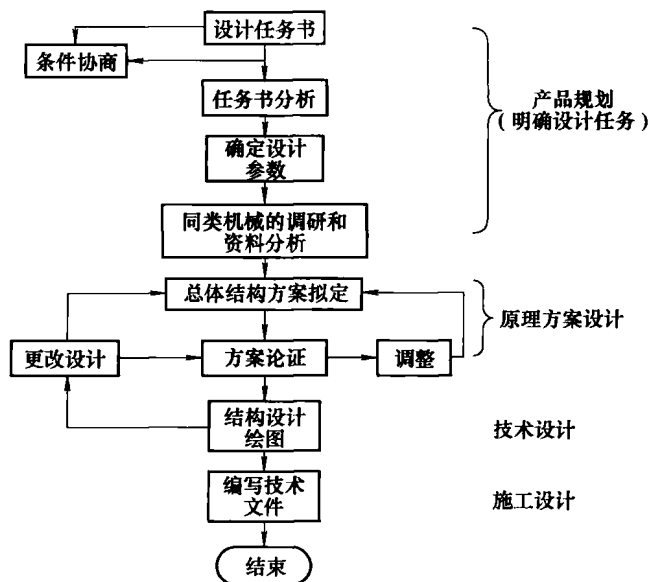


图 1-1 一般传统机械设计过程

依靠设计者用手工方式来完成。从本质上来说，这些都是凭借设计者直接的或间接的经验，通过类比分析或经验公式来确定方案，对于特别重要的设计或计算工作量不太大的设计，有时可对拟定的几个方案作计算对比。方案选定后按机械零件的设计方法或按标准选用，最后绘制整机及部件装配图和零件图，编写技术文件，从而完成整机设计。第二，按传统机械设计方法，设计人员的大部分精力耗费在零部件的常规设计（特别是繁重而费时的绘图工作）中，而对整机全局问题难以进行深入的研究，对于一些困难而费时的分析计算，常常不得不采用作图法或类比定值等粗糙的方法，因此具有很大的局限性。这种局限性主要表现在：①方案的拟定很大程度上取决于设计者的个人经验；②在分析计算工作中，由于受人工计算条件的限制，只能采用静态的或近似的方法而难以按动态、精确的方法计算，计算结果未能完全反映零部件的真正工作状态，影响了设计质量；③设计工作周期长，效率低，成本高。

所以，传统设计方法是一种以静态分析、近似计算、经验设计、手工劳动为特征的设计方法。显然，随着现代科学技术的飞速发展，生产技术的需要和市场的激烈竞争，以及先进设计手段的出现，这种传统设计方法已难以满足当今时代的要求，从而迫使设计领域不断研究和发展新的设计方法和技术。

1.2.2 现代设计

20世纪60年代以来，由于科学技术的飞速发展和计算机技术的应用与普及，给设计工作包括机械产品的设计工作带来了新的变化。随着科技发展，新工艺、新材料的出现，微电子技术、信息处理技术及控制技术等技术对产品的渗透和有机结合，与设计相关的基础理论的深化和设计新方法的涌现，都给产品设计开辟了新途径，使产品设计达到了现代设计的水平。在这一时期，国际上在设计领域相继出现了一系列有关设计学的新兴理论与方法。为了强调它们对设计领域的革新，以区别于传统设计理论和方法，把这些新兴理论与方法统称为现代设计。当然，现代设计不仅指设计方法的更新，也包含了新技术的引入和产品的创新。目前现代设计所指的新兴理论与方法主要包括：优化设计、可靠性设计、设计方法学、计算机辅助设计、动态设计、有限元法、工业艺术造型设计、人机工程、并行工程、价值工程、反求工程设计、模块化设计、相似性设计、虚拟设计、疲劳设计、三次设计、摩擦学设计、人工神经元计算方法等，其发展方兴未艾。

目前，产品的现代设计的主要特点表现为以下几方面：

- 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某一领域走向多个领域。

4) 产品更新速度加快, 要求设计速度加快。

5) 设计的发展要适应科技发展, 特别是适应计算机技术发展和先进的工艺水平。

现代设计方法的基本特点如下:

(1) 程式性 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。

(2) 创造性 突出人的创造性, 发挥集体智慧, 力求探寻更多突破性的方案, 开发创新产品。

(3) 系统性 强调用系统工程处理技术系统问题, 设计时应分析各部分的有机关系, 力求使系统整体最优。同时考虑技术系统与外界的联系, 即人一机一环境的大系统关系。

(4) 最优化 设计的目的是得到功能全、性能好、成本低的价值最优的产品, 设计中不仅考虑零部件参数、性能的最优, 更重要的是争取产品的技术系统整体最优。

(5) 综合性 现代设计方法是建立在系统工程、创造工程基础上, 综合运用信息论、优化论、相似论、模糊论、可靠性理论等自然科学理论和价值工程、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计算机技术, 总结设计规律, 提供多种解决设计问题的科学途径。

(6) 计算机化 将计算机全面地引入设计, 通过设计者和计算机的密切配合, 采用先进的设计方法, 提高设计质量和速度, 计算机不仅用于设计计算和绘图, 同时在信息储存、评价决策、动态模拟、人工智能等方面将发挥更大作用。

与人们对设计的要求相比, 我国现阶段的设计相对而言是比较落后的。面对这种形势, 唯一的出路就是: 设计必须科学化、现代化。也就是要求设计人员不仅要有丰富的专业知识, 而且还需要掌握先进的设计理论、设计方法和设计手段及工具, 科学地进行设计工作, 这样才能设计出符合时代要求的新产品。

最后, 应该指出, 设计是一项涉及多门学科、多种技术的交叉工程。它既需要方法论的指导, 也依赖于各种专业理论和专业技术, 更离不开技术人员的经验和实践。现代设计方法是在继承和发展传统设计方法的基础上融合新的科学理论和新的科学技术成果而形成的。因此, 学习使用现代设计方法, 并不是要完全抛弃传统的方法和经验, 而是要让广大设计人员在传统方法和实践经验的基础上掌握一把新的思想钥匙。设计方法具有时序性和继承性, 之所以冠以“现代”二字是为了强调其科学性和前沿性以引起重视, 其实有些方法也并非是现代的, 当前传统设计与现代设计正处在共存性阶段。图1-2所示为现代设计的作业过程。

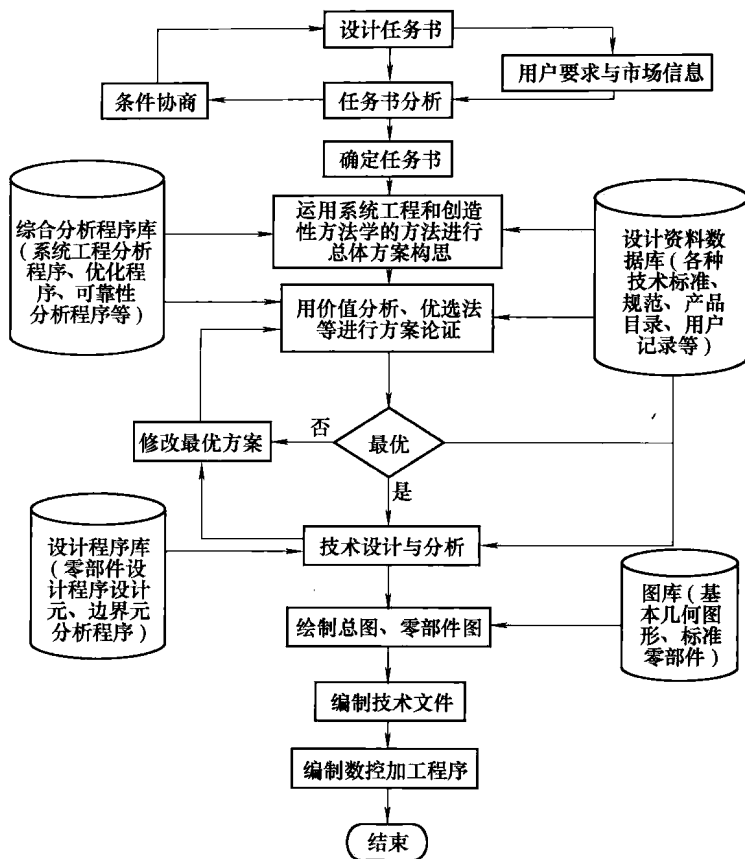


图 1-2 现代设计的作业过程

1.2.3 传统设计与现代设计的关系

传统设计与现代设计的关系是：

(1) 继承的关系 现代设计是在传统设计的基础上发展起来的，继承了传统设计方法中的精华之处。现代设计是传统设计的深入、丰富和完善，而非独立于传统设计的全新设计。

(2) 共存和突破的关系 两种设计方法存在一定的共存性，由于传统设计发展到现代设计有时序性和继承性，当前正处在共存性阶段。现代设计会逐渐突破传统设计的局限。

1.3 常用现代机械设计方法简介

在各种各样的现代机械设计方法中，较具代表性的方法有：计算机辅助设

计、有限元法、可靠性设计、优化设计、创新设计、动态设计、智能设计、虚拟设计、并行设计等。下面简要介绍几种方法。

1. 计算机辅助设计

计算机辅助设计 (Computer Aided Design), 简称 CAD。它是指在设计活动中, 利用计算机及工程设计软件作为工具, 帮助工程技术人员进行设计的一切有关技术的总称。

计算机辅助设计系统由硬件系统和软件系统构成, 其中, 硬件系统包括计算机主机、输入设备、输出设备、图形显示器、外存储器及其他通信接口。软件系统由系统软件平台、支撑软件和应用软件三个层次构成。

常用的 CAD 软件有 AutoCAD、CAXA、Pro/Engineer、Unigraphics 等。

AutoCAD 是由美国 Autodesk 公司于 20 世纪 80 年代初为微机上应用 CAD 技术而开发的绘图程序软件包, 目前已经在航空航天、造船、建筑、机械、电子、化工、美工、轻纺等很多领域得到了广泛的应用。

CAXA 是北京北航海尔软件有限公司的品牌产品, 其也是一个包括了 CAM/CAE 等模块的系统包, 从二维制图到三维实体都很全面, 受到很多国内中小企业的青睐, 服务于中国制造业。

Pro/Engineer 是美国参数技术公司 (简称 PTC) 的产品, 于 1988 年问世。Pro/Engineer 具有先进的参数化设计、基于特征设计的实体造型和便于移植设计思想的特点, 该软件符合工程技术人员的机械设计思想。Pro/Engineer 有 20 多个模块供用户选择, 故能将整个设计和生产过程集成在一起。Pro/Engineer 在三维机械设计领域功能非常全面, 拥有众多的用户。

Unigraphics 缩写为 UG, 是一个交互式 CAD/CAM (计算机辅助设计与计算机辅助制造) 系统, 它功能强大, 可以实现各种复杂实体及造型的建构。UG 起源于美国麦道 (MD) 公司的产品, 早年运行在工作站的 Unix 系统下, 1991 年 11 月被并购入美国通用汽车公司 EDS 分部, Unigraphics 由其独立子公司 UGS 开发, 后与同样被并购入的 SDRC 公司 I-deas 软件整合, 推出 Unigraphics NX。这是一个高端的 CAD 机械工程辅助系统, 适用于航空、航天、汽车、通用机械以及模具等的设计、分析及制造工程。

2. 有限元法

有限元法 (FEA, Finite Element Analysis) 的基本概念是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成, 对每一单元假定一个合适的 (较简单的) 近似解, 然后推导求解这个域的满足条件 (如结构的平衡条件), 从而得到问题的解。这个解不是准确解, 而是近似解, 因为实际问题被较简单的问题所代替。由于大多数实际问题难以得到准确解, 而有限元不仅计算精度高, 而且能适应各种复杂形状, 因而成为行之

有效的工程分析手段。

有限元是那些集合在一起能够表示实际连续域的离散单元。有限元的概念早在几个世纪前就已产生并得到了应用，例如用多边形（有限个直线单元）逼近圆来求得圆的周长，但作为一种方法而被提出，则是最近的事。有限元法最初被称为矩阵近似方法，应用于航空器的结构强度计算，并由于其方便性、实用性和有效性而引起从事力学研究的科学家的浓厚兴趣。经过短短数十年的努力，随着计算机技术的快速发展和普及，有限元方法迅速从结构工程强度分析计算扩展到几乎所有的科学技术领域，成为一种丰富多彩、应用广泛并且实用高效的数值分析方法。

有限元方法与其他求解边值问题近似方法的根本区别在于它的近似性仅限于相对小的子域中。20世纪60年代初首次提出结构力学计算有限元概念的克拉夫（Clough）教授形象地将其描绘为：“有限元法 = Rayleigh Ritz 法 + 分片函数”，即有限元法是 Rayleigh Ritz 法的一种局部化情况。不同于求解（往往是困难的）满足整个定义域边界条件的允许函数的 Rayleigh Ritz 法，有限元法将函数定义在简单几何形状（如二维问题中的三角形或任意四边形）的单元域上（分片函数），且不考虑整个定义域的复杂边界条件，这是有限元法优于其他近似方法的原因之一。

对于不同物理性质和数学模型的问题，有限元求解法的基本步骤是相同的，只是具体公式推导和运算求解不同。有限元求解问题的基本步骤通常为：

第一步：问题及求解域定义。根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几何区域。

第二步：求解域离散化。将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组成的离散域，习惯上称为有限元网络划分。显然单元越小（网络越细）则离散域的近似程度越好，计算结果也越精确，但计算量及误差都将增大，因此求解域的离散化是有限元法的核心技术之一。

第三步：确定状态变量及控制方法。一个具体的物理问题通常可以用一组包含问题状态变量边界条件的微分方程式表示，为适合有限元求解，通常将微分方程化为等价的泛函形式。

第四步：单元推导。对单元构造一个适合的近似解，即推导有限单元的列式，其中包括选择合理的单元坐标系，建立单元试函数，以某种方法给出单元各状态变量的离散关系，从而形成单元矩阵（结构力学中称刚度阵或柔度阵）。

为保证问题求解的收敛性，单元推导有许多原则要遵循。对工程应用而言，重要的是应注意每一种单元的解题性能与约束。例如，单元形状应以规则为好，畸形时不仅精度低，而且有缺秩的危险，将导致无法求解。

第五步：总装求解。将单元总装形成离散域的总矩阵方程（联合方程组），

反映对近似求解域的离散域的要求，即单元函数的连续性要满足一定的连续条件。总装是在相邻单元结点进行，状态变量及其导数（可能的话）连续性建立在结点处。

第六步：联立方程组求解和结果解释。有限元法最终导致联立方程组。联立方程组的求解可用直接法、迭代法和随机法。求解结果是单元结点处状态变量的近似值。对于计算结果的质量，将通过与设计准则提供的允许值比较来评价并确定是否需要重复计算。

简言之，有限元分析可分成三个阶段，前处理、处理和后处理。前处理是建立有限元模型，完成单元网格划分；后处理则是采集处理分析结果，使用户能简便提取信息，了解计算结果。

目前，普遍使用的通用有限元软件有 NASTRAN、ANSYS、MACRO 等。这些软件具有功能强大的前处理（自动生成单元网格，形成输入数据文件）和后处理（显示计算结果、绘制变形图、等直线图、振型图并可动态显示结构的动力响应等）程序。

3. 可靠性设计

可靠性设计（Reliability Design）是以概率论和数理统计为理论基础，以失效分析、失效预测及各种可靠性试验为依据，以保证产品的可靠性为目标的现代设计方法。

可靠性设计的基本内容是：选定产品的可靠性指标及量值，对可靠性指标进行合理的分配，再把规定的可靠性指标设计到产品中去。

本书的第4章将对可靠性进行进一步介绍。

4. 优化设计

优化设计（Optimal Design）是把最优化数学原理应用于工程设计问题，在所有可行方案中寻求最佳设计方案的一种现代设计方法。

在进行工程优化设计时，首先把工程问题按优化设计所规定的格式建立数学模型，然后选用合适的优化计算方法在计算机上对数学模型进行寻优求解，得到工程设计问题的最优设计方案。

在建立优化设计数学模型的过程中，把影响设计方案选取的那些参数称为设计变量；设计变量应当满足的条件称为约束条件；而设计者选定来衡量设计方案优劣并期望得到改进的指标表示为设计变量的函数，称为目标函数。设计变量、约束函数、目标函数组成了优化设计问题的数学模型。优化设计需要把数学模型和优化算法放到计算机程序中用计算机自动寻优求解。常用的优化算法有：0.618法、鲍威尔（Powell）法、变尺度法、复合形法、惩罚函数法等。

本书的下篇将对优化设计进行更多介绍。

5. 动态设计

不论是国内还是国外，动态设计（Dynamic Design）都还处在初级阶段，许多深层次动态设计问题正处于研究过程中。目前大型高速旋转机械屡屡发生毁机事故，而这些事故多数是在强非线性、非稳态的条件下发生的。近年来国内外科技工作者对这些机械的动态设计十分重视，这就促使动态设计从一般的动态设计向更深层次的方向发展，即向非稳态、非线性、不确定、高维、多参数的研究方向发展。由此需要采用更高深的理论、方法与技术进行更深层次的动态设计，这对设计者而言难度更大。

6. 智能设计

智能设计（Intelligent Design）有两层含义，一是用智能方法进行设计，二是使设计的对象智能化。这是国内外产品设计的主导方向，也是现代机械设备所应该体现的基本内容。对于智能设计，国内外都十分重视，因为实现智能化会在较大程度上提高产品的性能和质量，增强产品在国际市场上的竞争力。本书所指的智能设计是对产品的性能参数及其工作过程进行智能控制与优化，使产品具有优良的工作性能，进而给产品带来经济效益和社会效益，甚至是重大的经济效益和社会效益的设计，这是任何一种产品设计都不可缺少的，也是机械设计中首先要考虑的问题。

7. 并行设计

并行设计（Concurrent Design）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。这种模式力图使开发者一开始就考虑到产品生命周期中的所有因素，包括质量、成本、进度与用户要求。

并行设计将产品开发周期分解成许多阶段，每个阶段有自己的独立时间段，组成全过程；不同的设计时段之间有一部分重叠，代表了不同设计阶段之间可以同时进行。图 1-3 所示为并行设计的一般过程，其关键技术有：

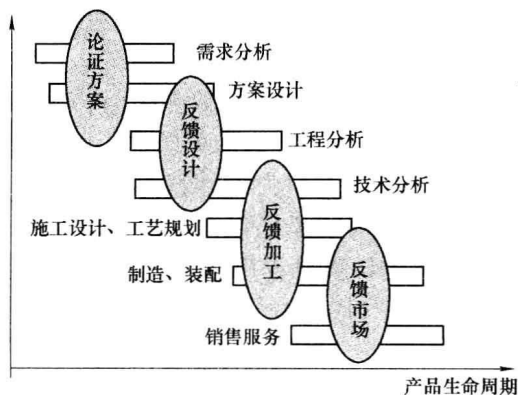


图 1-3 并行设计的一般过程