

XIANDAIJIXIESHEJISIXIANGYUFANGFA



现代机械设计

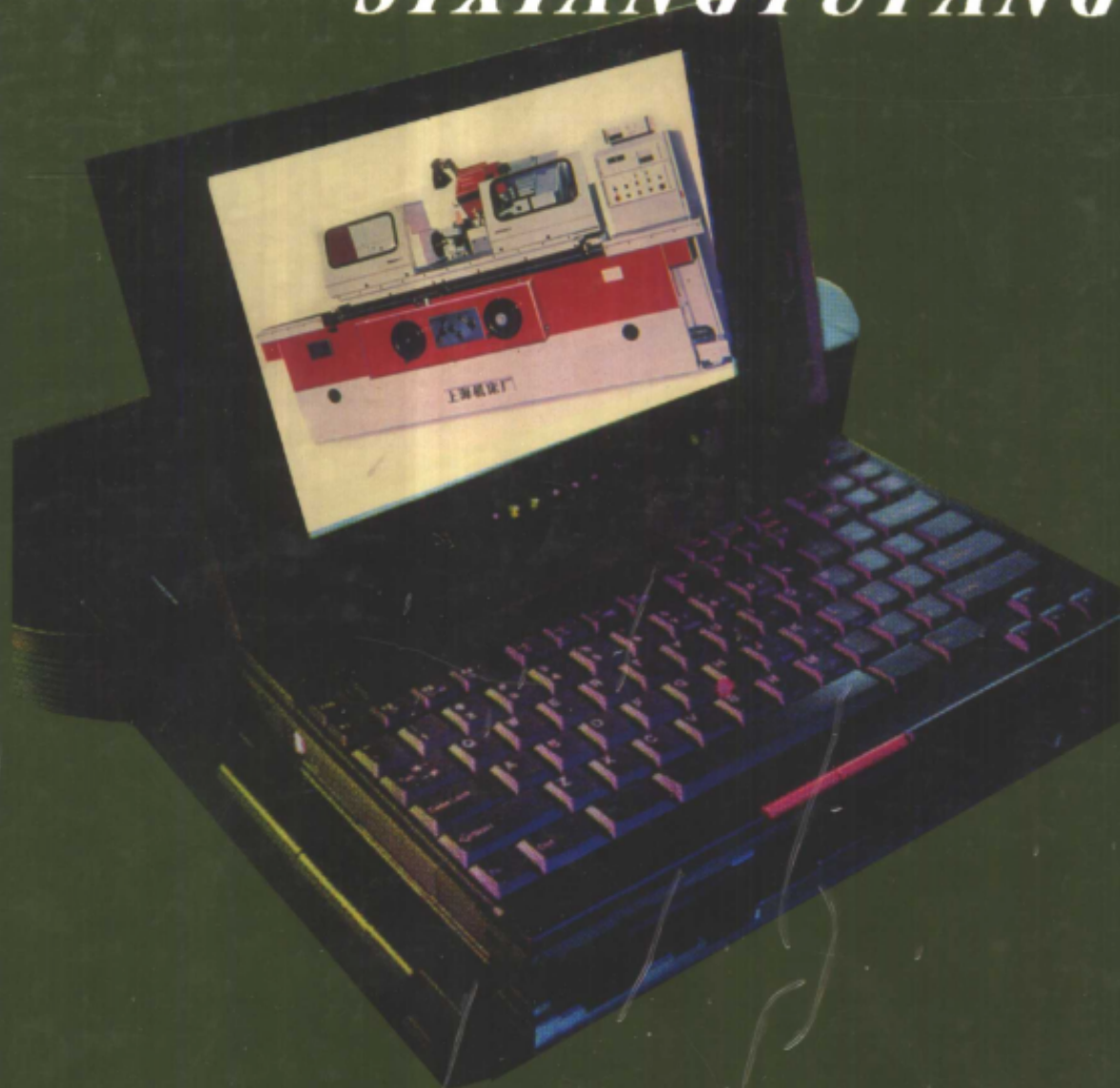
——思想与方法

上海市教育委员会组编

王成焘 主编

上海科学技术文献出版社

XIANDAIJIXIESHEJI SIXIANGYUFANGFA



责任编辑：池文俊
封面设计：石亦义

ISBN 7-5439-1459-X



9 787543 914599 >

ISBN-7-5439-1459-X/T·555

定价：60.00 元

世界银行贷款资助项目

现代机械设计

——思想与方法

上海市教育委员会组编

王成焘 主编

上海科学技术文献出版社

·上海·

责任编辑:池文俊
封面设计:石亦义

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计:思想与方法/王成焘编著. —上海:
上海科学技术文献出版社, 1999. 11
ISBN 7-5439-1459-X

I. 现... II. 王... III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第52798号

现代机械设计
——思想与方法
上海市教育委员会组编

王成焘 主编

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号 邮政编码200031)
全国新华书店经销
江苏常熟人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 27.25 字数 680 000
1999年12月第1版 1999年12月第1次印刷
印数:1-2 150
ISBN 7-5439-1459-X/T·555
定价:(精)60.00元

内 容 简 介

《现代机械设计——思想与方法》是高等学校机械工程类院系教学改革中普遍开设的一门新型课程。它是在学生学完必需的基础技术课程和“机械设计基础”课的前提下,为高年级学生开设的必修课程,旨在从总体角度系统地向学生讲授现代机械设计基本思想和方法。学生可以在学完本课程后根据需要选修其中某章的专门课程。本书的最大特点是将现代机械设计思想和方法归纳为四大部分,即:设计哲学,设计准则和方法,广义优化理论和方法,现代设计制造技术。全书分12章,具体阐述了创造和设计思维过程;“人-机-环境”大系统观;除强度准则之外,现代机械设计中的摩擦学、可靠性、人机工程学、工业美学、绿色设计等准则;从参数优化、结构优化、方案优化三方面论述了现代机械设计中的全面优化思想和方法;按现代先进制造技术的思想体系把现代设计与制造技术融为一体,介绍了CAD技术和先进制造技术的五个层面及其主要特点。

本书适合于作为高等学校工程类高年级本科生和研究生的教材,同时也可以作为在职工程技术人员的继续教育教材,还可以作为处于总体设计人员或工程领导岗位的技术人员的参考用书。

绪 言

当这本书出版的时候,世界正处于迈入 21 世纪的前夕。回眸过去的一个世纪,人类挣脱了两次世界大战和殖民统治的阴影,走上了和平与发展的道路,把工业经济推进到它的顶峰,创造了辉煌的科学技术和精神文明。特别值得庆幸的是,我们中国人民不仅在 20 世纪中叶站起来了,而且从 80 年代起实行了改革开放的政策,经济建设取得迅猛的发展,终于在这世纪之交的时刻,赶上了世界发展的步伐。

21 世纪将是一个知识经济大发展的世纪。世界科技与经济将处于一个空前发展和激烈竞争的形势中。特别是亚太地区的发展将成为全世界关注的热点。中国在这样一个较量中应该处于什么地位?显然,我们不能满足于掌握当今世界上别人提出的一些新技术,不能满足于自己能够仿造出一些有一定高技术含量的产品。正如我校的老学长,国家主席江泽民同志所指出:一个没有创造力的民族是没有灵魂的。我们的祖先曾向人类贡献了四大发明,在人类文明史中留下辉煌的一页,但这是过去。今天我们同样应在现代文明中占有自己的比重:有一批新技术应该是中国人提出的;有一批新产品应该是中国人的发明;在洋洋技术大全中应有着明确的代表中国的标志性成就。改革开放已使中国取得举世瞩目的发展,智慧的解放定将使中华民族以富于发明创造的形象屹立于世界民族之林。

机械的设计和创造从来就是人类的一种重要的创造活动,从黄帝的指南车,到天工开物中记载的一个个灵巧的机械,到今天的火星探测车,无一不包含机械设计的成果。在即将过去的一个世纪里,通过知识的积累,机械设计形成了自己的理论和方法,涌现出许多优秀的著作与教材。但是今天,机械的面貌已经发生了重大的变化,成为机与电高度融合的整体,不仅成为人类体力的延伸,而且成为人类智力的延伸。在这世纪转变之际,一个新的机械设计知识体系正在形成,并将在 21 世纪发展、成熟、结果。

“现代机械设计”应该有两个含意,一个是现代的“机械设计”,一个是“现代机械”的设计。前者反映现代机械设计的哲理、准则和方法,后者包含现代机械的组成、结构和设计。本书重点讲述前者。

今天,我们可以毫无夸大地认为,各个领域科学技术的发展,都是现代机械设计理论和方法发展的基础。这里包含哲学、思维科学、心理学和智能科学的研究成果;解剖学、生理学和人体科学的研究成果;社会学、环境科学、生态学的研究成果和可持续发展战略;现代应用数学、物理学与应用化学等基础科学领域的研究成果;应用力学、摩擦学、技术美学、材料科学等众多技术领域的研究成果;机械电子学、控制理论与技术、检测技术和自动化领域的研究成果;特别是电子计算机的广泛应用和现代信息科学的发展,造就了包括现代设计技术在内的先进制造技术体系,使当今的设计方法建立于与传统方法迥然不同的、全新的层次之上。总之,现代机械设计理论与方法已经成为一门交叉学科,它汇集了人类的知识,使机械的设计富于哲理,融入人类社会的发展,准确高效、优化完美。

和传统的机械设计相比,现代机械设计有如下一些具体的特点:

1. 传统的机械设计中灵感和经验的成分占有很大的比重,思维带有很大的被动性。瓦

特只是在烧开水时发现壶盖不断被蒸汽推动,才触发了发明蒸汽机的灵感。大量的机器是在实践中通过经验积累不断改进,才逐步完善。但是今天,技术的飞速发展和市场竞争的激烈化,要求人们不断地提出大胆的设想和新的开发目标,要求运用现有的最新技术去创造前所未有的产品,并争取第一代就非常完美成功。传统的创造与设计过程明显地不能适应这一要求。人们着手研究创造与设计思维过程本身的规律,研究灵感、方案、优化设计产生的内在逻辑进程,由此产生了创造学、设计方法学、价值工程理论,在国外很多大学还开设了“设计哲学(Design philosophy)”课程,使今天的设计过程从基于经验转变为基于设计科学,成为人们主动的、按思维规律有意识地向目标挺进的创造过程。

2. 传统的机械设计着重于实现机械本身预定的功能,现代机械设计则要求把对象置于“人-机-环境”大系统中,进行系统的设计,将预定功能在人、机、环境三者间进行科学的分配,如果由人承担某项功能从技术经济角度被认为最合理时,决不盲目追求自动化、无人化。对人开展了深入的生理学、心理学研究,要求在人与机之间作出最佳的界面设计。还要考虑机械从原材料提取、加工装配、投入使用,直到报废回收全生命周期各阶段与环境的关系,保证自然资源和生态的平衡,实现人类的可持续发展。

3. 传统的机械设计偏重于强度准则,现代的有限单元法、断裂力学等领域的研究成果,进一步强化了人们强度设计的能力。在这基础上,现代机械设计的准则拓宽到产品涉及的更多领域。例如,由于机械总是由运动副组成,摩擦学设计已成为继强度之后第二位重要的设计准则;任何机械都是由大量随机因素组成的系统,现代机械设计应以可靠性为准则进行可靠性设计;由于现代消费者对产品的需求已上升到物质与精神享受并重的层次,因此,在现代机械设计中工业产品提出了艺术和美学要求,建立了系统的工业造型设计准则和方法,成为现代机械产品参与市场竞争的重要方面;由于现代机械设计是“人-机-环境”大系统的设计,产生了人机工程设计准则和绿色设计准则。

4. 传统的机械设计过程往往是根据任务和目标,先作出第一方案,甚至造出样机,然后通过评定与考核,进行修改,形成第二轮方案,如此反复,直到满意为止。这一设计过程历时长,耗费大,所谓满意往往带有很大的主观性。现代机械设计则可根据各种给定的条件,运用优化设计理论和方法,借助电子计算机求得最佳设计参数和方案,因此,设计的耗费低、速度快,而且科学地反映设计的最优状态。在现代机械设计中,优化意识还延伸到产品总体方案论证、结构和工艺性各个方面,并产生了健壮设计、遗传算法等许多新的理论与方法。

5. 传统的设计建立在手工操作的基础上,人脑的思维进度在很大程度上被这种缓慢的操作过程所约束,许多原始发生于人脑的三维构思,在传统的设计中必须用抽象的二维图形加以表达。而代表现代机械设计的 CAD 技术则很好地解决了这些问题,人们从计算机那里可以很快地获得为进一步思维所必需的理论计算结果和信息;大量的绘图工作由计算机代理;屏幕上的三维图形可以直接与人脑中的构思接轨。在传统的设计中,机器的动态效果只能通过抽象的运动学、动力学数据加以反映,而今天的计算机仿真技术能对未来机器的运转状态清晰地加以描述。在传统的设计中,从概念设计、技术设计到编制工艺、计算工时成本,由许多部门用串行工作方法参与,需一个漫长的过程,而今天并行设计技术,使人们在作出一个方案的设计时,从计算机网络中同时获得后续过程相关信息,使设计者有可能及时修改方案,寻求一个全面的、综合的优化方案。值得特别指出的是,今天的现代机械设计技术已成为 CAD/CAPP/CAM 及其集成技术,即 CIMS 中的重要环节,是“先进制造技术”中一个重

要组成部分。

现代机械的结构也发生明显区别于传统机械的变化。过去人们印象中的机器,在今天只能说是现代机械中的机械部分,传感器和控制系统已成为现代机械的重要组成部分,其成本在总成本中的比重甚至超过机械部分。一些被广泛应用的传统机构,逐渐被机械电子机构所取代,机构学和电子学在理论和结构上有机地融为一体,促成了“机械电子学(Mechtronics)”新学科的诞生。而机电一体化则成为人们对现代机械最通俗形象的描述。剖析现代机械,可以看到它们大多数由5个重要部分组成:

(1) 驱动装置 它既是动力源,而且常常还是控制信息的接收与执行者,以实现转向、转速、转数的可控。无刷电机、直接驱动电机、盘式电机等新产品和交流调速等新技术的出现,使许多机械的结构得到优化。

(2) 传动系统 一些新型传动机构使系统尺寸缩小、重量减轻,如谐波传动的单级传动比一般可达到80~200,甚至更大,而且广泛使用液力与电力组成的传动系统。

(3) 执行机构 是机械根据控制指令施行操作动作的终端机构。今天,它们已大都实现机电一体化,传统的凸轮机构被“电子凸轮”所取代,原先由凸轮发出的运动信息被计算机发出的指令信息所取代,只需通过指令的改变就可非常方便地、柔性地改变从动件的运动规律。

(4) 传感与检测元件 它像神经末梢一样被装置在机械的各敏感部位,时刻捕捉那里的温度、速度、力、振动、声学及光学信号,及时反馈给控制系统,实现对机械工作的适时控制以及对工作状态的监控。

(5) 控制系统 是现代机械的神经系统,通过它传递信息流,进行决策,保证全系统的协调工作。电子计算机是机械的大脑,由它按人们事先输入的程序指挥机械动作,取代原先操纵者大脑的部分工作。现代机械把大量需要快速、大储量的思维与记忆工作交由电脑来承担,只要这种思维有明确的规律性就行。人工智能现在正被广泛地研究,机械的智能化将是21世纪机械发展的重要趋势。

现代机械是许多学科和领域的技术交融后的结晶,这些技术在现实机械中实现了完美的结合,其前提是相关知识在设计者的头脑中首先实现完美的结合,构成一个有序的知识体系。因此,分析现代机械设计所直接相关的知识内容,探讨怎样把这些内容构成一个有机的知识体系,是本书作者们工作的重点。由于学识水平有限,这样的体系以及全书的内容是否合理,还望专家和读者们多加指教。现代机械的设计不可能是个人行为,在设计群体中有人偏重于机,有人偏重于电,但与以往不同的是他(她)们必须都掌握现代机械设计的全面知识,这样才能做到相互了解和配合,才能建立总体观念。特别是担负总体设计的人,他(她)不一定亲自动手去做某项分解后的具体工作,如具体上机做某些参数的优化计算,但他(她)必须对全设计所涉及的内容有一全面的、框架式的认识,并具有对这个框架上任何结点作深入理解的能力,这就要求设计者具有现代机械设计的体系化知识。本书目的就是奉献给读者这样一个体系化知识。本书读者可以是在校的本科生、研究生,也可以是从事机电一体化现代机械产品设计的工厂企业的技术人员,当然,对于从事现代机械产品商务工作的人员,本书对他们也会有一定的帮助。

最后,作为教学改革的一种思想,我们为学习“机械工程与自动化”的大学生们设计了由信息、设计、制造和控制四大模块组成的知识结构。为了加强学生创造实践的教学,在设计模

块的课程体系中,开设过多的专题课程是不现实的,也是不必要的。本书将作为讲述现代机械设计思想与方法的课程教材使用,学生可根据自身的力量 and 需要,阅读各章末尾所列参考文献,或选修各种专题课程。

本书第4章由叶庆泰教授编写,第5.4节由赵波副教授编写,第6章由朱崇贤教授编写,第7章由李锐副教授编写,第8章由金孟浩教授编写,第11章由王安麟副教授编写,第12章由陆志强副教授编写,其余章节由王成焘教授编写。上海交通大学机械工程学院学术委员会主任蔡建国教授对本书的写作在学术上给予极大的支持,704所的赵仲刚高级工程师认真阅读了书稿,提出宝贵的意见,在此表示深忱的感谢。

王成焘

1998年4月26日于上海

目 录

绪 言	(1)
-----	-------

第 1 篇 现代设计哲学

1 创造与设计思维原理和方法学	(2)
1.1 创新思维与方法	(2)
1.1.1 直觉思维与逻辑思维	(2)
1.1.2 创新思维机制	(3)
1.1.3 创新的外部因素与思维法则	(4)
1.1.4 创造活动的组织科学	(9)
1.1.5 人的创造力	(10)
1.2 基于功能的设计思维	(11)
1.2.1 系统	(11)
1.2.2 功能的分类	(13)
1.2.3 功能分析	(14)
1.2.4 功能综合	(15)
1.2.5 功能评价	(17)
1.2.6 基于功能的设计思维	(19)
1.3 基于产品寿命周期的设计思维	(22)
1.3.1 产品的市场寿命周期	(23)
1.3.2 产品的全寿命周期	(24)
1.4 基于过程的设计思维	(25)
1.4.1 设计任务的类型和进程	(25)
1.4.2 设计任务的形成与决策	(28)
1.4.3 方案设计	(37)
1.4.4 技术设计与施工设计	(43)
2 人-机-环境与大系统观	(45)
2.1 “人-机-环境”大系统的组成与运行	(45)
2.1.1 “人-机-环境”大系统的构成	(45)
2.1.2 “人-机-环境”大系统的运行	(47)
2.2 功能分配	(48)
2.2.1 子系统能力的分析	(48)
2.2.2 功能分配原则	(51)
2.3 人的生理和心理因素	(52)
2.3.1 人的生理因素	(52)

2.3.2 人的心理因素	(54)
2.3.3 人的行为	(57)
2.4 环境因素和可持续发展观	(59)
2.4.1 可持续发展战略的提出	(60)
2.4.2 产品全生命周期中的可持续发展观	(62)
2.4.3 可持续发展的评估	(64)

第2篇 现代机械设计准则与方法

3 摩擦学设计准则与方法	(68)
3.1 机械中的摩擦学问题	(68)
3.2 摩擦表面	(72)
3.2.1 表面分子与原子力	(72)
3.2.2 表层结构	(73)
3.2.3 表面形貌	(76)
3.2.4 表面接触	(85)
3.3 摩擦与摩擦设计	(87)
3.3.1 摩擦形成机理及影响因素	(87)
3.3.2 减摩设计	(92)
3.4 磨损与抗磨设计	(99)
3.4.1 磨损机理	(99)
3.4.2 磨损类型与抗磨设计	(100)
3.5 流体动力润滑设计	(112)
3.5.1 雷诺方程式	(113)
3.5.2 静载液体动力润滑设计	(116)
3.5.3 动载液体动力润滑设计	(120)
3.5.4 弹性流体动力润滑设计	(124)
3.5.5 静载气体动力润滑	(128)
3.6 流体静力润滑设计	(129)
4 可靠性设计准则与方法	(134)
4.1 可靠性设计发展过程	(134)
4.2 可靠性定义及指标的量化	(135)
4.2.1 可靠性定义	(135)
4.2.2 可靠性指标的量化——可操作性	(135)
4.3 可靠性的数学模型	(141)
4.4 系统可靠性的综合与分解	(143)
4.5 可靠性最优化	(156)
4.6 可靠性仿真与试验	(156)
4.6.1 可靠性仿真	(156)

4.6.2 可靠性试验	(157)
5 人机工程学设计准则与方法	(159)
5.1 基于人体感觉器官的人机界面设计	(159)
5.1.1 人体的感觉器官及其特性	(159)
5.1.2 感觉的选择	(166)
5.1.3 显示设计	(167)
5.2 基于人体形态学的人机界面设计	(169)
5.2.1 人体的姿态	(170)
5.2.2 人体的几何参数	(172)
5.2.3 人体的动态测量	(178)
5.2.4 几何界面设计	(181)
5.3 基于人体力学的人机界面设计	(187)
5.3.1 肢体动作与操作力	(187)
5.3.2 动作的灵活性	(189)
5.3.3 作业姿势	(190)
5.3.4 操纵与控制装置设计	(192)
5.4 基于人-计算机(HC)界面的人机工程学设计	(196)
5.4.1 HC 界面技术在人机工程学设计中的地位及发展	(196)
5.4.2 HC 界面设计的基本概念和特性	(197)
5.4.3 HC 界面的设计准则	(200)
5.4.4 HC 界面模型和描述方法	(201)
5.4.5 HC 界面的设计和开发工具	(202)
5.4.6 智能化人机界面	(204)
6 工业设计准则与方法	(215)
6.1 工业设计概述	(215)
6.2 技术美学与造型的美学原则	(217)
6.2.1 比例与尺度	(218)
6.2.2 均衡与稳定	(220)
6.2.3 统一与变化	(221)
6.3 造型中的色彩问题	(223)
6.3.1 色彩的基础知识	(223)
6.3.2 色彩体系	(224)
6.3.3 色彩的对比与调和	(226)
6.3.4 色彩的功能	(226)
6.4 造型中的肌理问题	(228)
6.4.1 肌理	(228)
6.4.2 肌理效果及传递模式	(229)
6.4.3 肌理的功能	(229)
6.5 机械产品的造型设计	(230)

6.5.1 机械产品造型设计的特征	(230)
6.5.2 造型设计的程序及内容	(231)
6.5.3 机械产品造型设计中美学原则的运用	(231)
6.5.4 机械产品的色彩设计	(237)
6.5.5 设计案例分析	(238)
7 绿色产品设计	(241)
7.1 环境污染对产品设计的挑战	(241)
7.2 绿色产品设计的基本概念和设计原则	(242)
7.2.1 绿色产品设计的定义	(242)
7.2.2 绿色产品的设计原则	(244)
7.2.3 绿色产品设计中的材料选择	(245)
7.3 绿色产品设计的基本方法和工具	(245)
7.3.1 面向再生的设计方法	(246)
7.3.2 面向拆卸的设计方法	(248)
7.3.3 绿色产品的设计评价工具	(250)
7.4 绿色产品设计的展望	(251)

第3篇 现代机械设计中的广义优化

8 参数优化	(254)
8.1 建模技术	(254)
8.1.1 优化设计的基本概念	(254)
8.1.2 数值迭代方法和收敛条件	(257)
8.1.3 建模中需注意的几个问题	(258)
8.2 一维搜索方法	(260)
8.3 无约束优化算法	(262)
8.4 约束优化算法	(266)
8.5 商品化软件的特点与应用	(268)
8.5.1 通用优化软件的特点	(268)
8.5.2 通用优化设计软件的应用介绍	(269)
8.5.3 机械优化设计实例	(269)
9 机械结构设计的优化	(274)
9.1 材料使用的优化	(274)
9.2 结构的加工工艺性优化	(277)
9.2.1 结构的铸造工艺性优化	(277)
9.2.2 结构的锻造工艺性优化	(281)
9.2.3 结构的冲压工艺性优化	(281)
9.2.4 结构的焊接工艺性优化	(284)
9.2.5 结构的机械加工工艺性优化	(288)

9.3	结构的装配与拆卸工艺性优化	(295)
9.4	力学设计的优化	(298)
9.5	健壮设计	(301)
10	产品总体设计的优化	(305)
10.1	目标与过程	(305)
10.2	优化对象的确定	(306)
10.2.1	从技术角度选择优化对象	(306)
10.2.2	从经济角度选择优化对象	(307)
10.2.3	从市场分析角度选择优化对象	(309)
10.2.4	功能评价指数法	(309)
10.3	总体设计的评价与决策	(312)
10.3.1	评分法	(313)
10.3.2	技术经济评价法	(314)
10.3.3	模糊评价法	(316)
10.4	总体方案优化实例	(320)
11	遗传算法概述	(324)
11.1	遗传算法的概貌	(324)
11.2	单纯型遗传算法	(325)
11.2.1	假想生物和其环境的设定	(325)
11.2.2	单纯型遗传算法的计算流程	(326)
11.2.3	单纯型遗传算法的特征	(329)
11.3	谢马塔(Schemata)定理	(330)
11.4	遗传算法的有关操作规则和方法	(331)
11.4.1	淘汰、增殖规则的扩充	(331)
11.4.2	交叉操作的扩充	(333)
11.4.3	突然变异规则的扩充	(334)
11.4.4	引入适应度的定标	(334)
11.5	遗传算法的应用实例	(335)
11.5.1	非线性强制振动解的 GA 解法例	(335)
11.5.2	确定桁架结构的相位	(340)

第4篇 现代设计与制造技术

12	计算机辅助设计	(346)
12.1	计算机辅助设计概述	(346)
12.2	计算机辅助设计的基本概念	(347)
12.3	计算机辅助设计系统的支撑环境	(349)
12.3.1	计算机辅助设计系统的硬件支撑环境	(349)
12.3.2	计算机辅助设计系统的软件支撑环境	(352)

12.4	专家系统 CAD	(353)
12.4.1	专家系统概述	(353)
12.4.2	概念设计阶段的专家系统 CAD	(354)
12.4.3	概念设计的专家系统应用	(355)
12.5	几何模型的建立	(355)
12.5.1	计算机辅助几何造型	(355)
12.5.2	一般 CAD 系统三维设计的主要功能	(360)
12.6	计算机辅助工程分析	(362)
12.6.1	有限元分析	(362)
12.6.2	模态分析	(363)
12.6.3	机构分析	(363)
12.7	详细设计	(364)
12.8	设计过程的数据管理	(365)
12.8.1	数据模型	(365)
12.8.2	数据库管理系统	(366)
12.8.3	工程数据库	(366)
12.9	面向制造的设计	(367)
12.9.1	DFM 的基本原理和规则	(368)
12.9.2	计算机辅助 DFM 设计	(369)
12.10	虚拟现实与 CAD	(370)
12.11	计算机辅助设计技术的发展趋势	(371)
12.12	国外著名的 CAD/CAM 软件及其功能	(372)
13	先进机械制造技术	(374)
13.1	先进机械制造技术概述	(374)
13.2	现代机械制造工艺	(376)
13.2.1	超高速切削、磨削技术	(377)
13.2.2	超精密加工技术	(377)
13.2.3	微细与超微细加工	(378)
13.2.4	快速原型制造技术	(379)
13.3	柔性生产设备和系统	(381)
13.3.1	柔性生产设备	(382)
13.3.2	柔性制造单元与柔性制造系统	(394)
13.4	计算机集成制造	(396)
13.4.1	CAD/CAM	(396)
13.4.2	CIMS	(404)
13.5	制造资源计划与精益生产	(405)
13.5.1	制造资源计划(MRP-I)	(405)
13.5.2	精益生产	(410)
13.6	敏捷制造	(415)