



面向21世纪课程教材

普通高等教育“九五”部级重点教材

上海发展汽车工业教育基金会资助

普通高等教育机电类规划教材



现代机械创新产品 分析与设计

赵松年

李恩光 主编

黄耀志

裴仁清 主审



机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪课程教材
普通高等教育“九五”部级重点教材
上海发展汽车工业教育基金会资助

普通高等教育机电类规划教材

现代机械创新产品分析与设计

主编 上海理工大学 赵松年
东 华 大 学 李恩光
福 州 大 学 黄耀志
参编 上海富安工厂自动化公司 乌国卿
上海交通大学 王宇晗
上海大学 钱晋武 孙麟治 李明 王莺莺
同济大学同捷公司 邓建国
武汉汽车工业大学 郭顺生
福州大学 黄璐
东华大学 李金海
华东理工大学 陆宁
主审 上海大学 裴仁清



机械工业出版社

本教材是原机械工业部“九五”教材出版规划中的部级重点教材。书中介绍了对现代机械、创新产品、现代设计的认识；按功能分析的观点、方法对产品的四大功能分别作了分析；介绍了数控机床、工业机器人、三坐标测量机、微机械、快速成型机、汽车、喷气织机等产品的部分分析与设计实例；覆盖了机械工程及其自动化这一大专业下的机械制造、机械设计、机械电子工程、精密机械、汽车工程、纺织机械等专业方向。本书可供大专院校学生和企事业工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代机械创新产品分析与设计/赵松年等主编. —北京: 机械工业出版社, 2000.8

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-07610-9

I. 现… II. 赵… III. 机械设计-高等教育-教材
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 66748 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 钱飒飒 版式设计: 冉晓华 责任校对: 魏俊云

封面设计: 李雨桥 责任印制: 郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·6.125 印张·236 千字

0 001—4 000 册

定价: 16.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

序

21 世纪将是知识经济占主导地位的时代。知识经济是以现代科学技术为核心、以高技术产业为主要支柱,以智力资源为主要依托的新型经济。高科技知识资源的无限创造性和更新快捷性使知识成为现代经济增长的核心因素,促进目前的工业经济转向知识经济,为全球经济的可持续发展提供持久的推动力。

前段时间有人认为 21 世纪的制造业将是“夕阳工业”。这一认识上的误区造成某些思想混乱,为害非浅。现在,知识经济的发展促进了并将继续促进制造业这一创造物质财富的工业包括机械行业的质的发展变化,使机械产品的功能、质量、效率等指标提高到新的现代机械的发展阶段,把机械产品从设计、制造、销售、服务直到报废再生的整个生命周期纳入可持续发展的轨道,使制造业继续蓬勃发展,通过数字化、智能化、网络化,不断提高市场响应能力。市场竞争要求产品不断加快更新换代的步伐。产品中包容的物质和知识两个方面的内涵中,知识内涵的价值比例不断增加。创新产品通常是新知识或新技术的物质体现。开发新产品要考虑产品整个生命周期中的全部活动。要把创新产品纳入社会系统、生产—营销网络 and 市场竞争环境中进行开发思考。创新产品的开发思路和方法有许多种,按设计方法学的观点,功能分析、形态矩阵的系统化设计方法有利于创新方案的构思和创新产品的形成。不同行业典型产品的功能分析和不同类型关键技术的比较移植、取长补短,有利于丰富设计目录。“他山之石,可以攻玉”,增大了在学科边缘交叉中形成创新产品的可行性。

本书是上海和各省市有关高校和企业中理论与实际结合的专家和工作者的联手编写的机械工业部“九五”教材出版规划中的部级重点教材。编写者们试图反映创新产品的特点。编写时以功能分析为主线,尝试形成教材新体系,从而有利于活跃创新思维。所选的资料和实例涉及到不同的产品和不同的关键技术。这样,有助于扩展创新思路,覆盖更多的专业方向。本书对现代机械、创新产品、现代设计和各种典型产品的发展提出了新的看法,目的在于启发和激励读者的创新意识和思维方式,为开发更多的现代机械创新产品作好准备。

具有上述特点的这本跨世纪教材是编写者在教学改革大潮中的一次努力和尝试。希望在众多读者和专家们的支持帮助下,不断改进,为祖国早日跨入知识经济社会作出新贡献。

中国工程院院士 周勤之

2000 年 3 月

CA777-153

前言

本教材是原机械工业部“九五”教材出版规划中机械电子工程专业方向的部级重点教材。按全国高等学校机电类专业教学指导委员会机械电子工程专业指导小组的多次讨论意见,根据当前形势,培养人才的基础要扎实、知识面要广,专业面要宽,机械类数十个专业都在向“机械工程及其自动化”专业靠拢,要求本教材不按传统的产品类型或关键技术类型编写,而按产品功能分析的观点编写,为建立新的教材编写体系作试验性努力。

教材在讨论了现代机械、创新产品和现代设计的有关问题后,分别按四大功能讨论了现代机械的分析与设计,介绍了不同类型有创新特色的产品分析与设计实例,供大专院校机电类专业不同专业方向的学生和企事业工程技术人员学习参考。

编写本教材时力图突出下列几点:

1. 以功能分析为主线,形成新的教学体系。现代机械的四大功能,反映了现代机械的本质,也揭示了现代产品的共性。教材从主功能分析着手,进行了动力部件与执行部件、结构功能部件和检测与控制功能部件的分析,初步形成了不同于以典型产品分类和以关键技术分类的新的专业教材体系结构,有利于激励创新思维和开发创新产品。

2. 选取内容较新、涉及面较广的资料和实例。教材中汇集了现代制造典型设备数控机床和工业机器人、现代测试设备三坐标测量机、先进制造技术典型设备快速成型机、现代汽车、现代纺织设备喷气织机和具有广阔应用前景的微机械的部分资料,它们多数为90年代产品。编者多为各个领域的技术专家和理论联系实际的工作者,能深入说明现代机械创新产品的功能本质、功能目标、技术原理和技术创新的内容和方法。

3. 提出并介绍一系列新观点供读者讨论。如对现代机械的认识,对创新产品层次的看法,对现代设计方法的看法与新方法的介绍,对各种现代机械产品功能发展的观点等内容,希望对创新产品的开发能有积极的影响,有助于启发和活跃读者的创新意识和思维方式。

参加本书编写的有:上海富安工厂自动化公司乌国卿(数控机床)、上海交通大学王宇晗(数控机床)、上海大学钱晋武(机器人)、孙麟治(微机械)、李明(三坐标测量机)、王莺莺(主功能分析)、同济大学同捷公司邓建国(结构功能)、武汉汽车工业大学郭顺生(机器人)、福州大学黄耀志、黄璐(快速成型机)、东

华大学李恩光（汽车）、李金海（喷气织机）、上海理工大学赵松年、华东理工大学陆宁（概论）。全书由赵松年（第一、四章）、王莺莺（第二章）、李恩光（第三章）、黄耀志（第五章）统稿。赵松年、李恩光、黄耀志任主编。上海大学裴仁清任主审，他对本书的编写体系、内容取舍，观点认识等方面提出许多宝贵意见和建议，进行了大量深入细致的工作，特致衷心的感谢。

高新技术日益加快的发展速度，使出版物永远落后。建立新的教材体系又是一种尝试。囿于编者水平，疏漏和失误在所难免，恳请广大读者批评指正，并向本书引用的文献资料的国内外作者致意。

编者

2000年3月



赵松年 男，1933年生。浙江湖州人。1953年浙江大学机械工程系毕业。1956年哈尔滨工业大学研究生班毕业。曾任及现任全国高等学校第一届（机械设计及制造）、第二届（机电类）专业教学指导委员会委员，中国机电一体化技术应用协会培训教育委员会副主任，上海市现代设计理论与方法研究会副理事长，大庆石油管理局生产测井研究所技术顾问，上海伺服机电技术研究所所长，上海新仪机电技术有限公司总工程师，华东理工大学、武汉汽车工业大学兼职教授，上海理工大学教授。

80年代中期以来，主要从事机电一体化及现代设计方法的研究。主要著作有：《机电一体化机械系统设计》、《机电一体化数控系统设计》、《现代设计方法》等。在《现代机械设备设计手册》（1997年国家优秀科技图书一等奖）、《机电一体化技术手册》（1995年国家优秀科技图书二等奖）中任副主编。

近年来完成的生产科研项目有：为隧道、地铁工程开发的“六米盾构外壳加工设备”“盾构液压系统改进”为美国鲁滨逊公司加工“ ϕ 5.6米岩石盾构极坐标式刀盘专用设备”；为建筑行业开发的“幅宽6米以上T型伸缩舞台”；为港口行业开发的“港口塔吊底座加工专用设备”“电厂码头半流体输送 ϕ 450mm快速接头装置”；为造船工业开发的“5618集装箱海轮舵叶加工专用设备”；为石油工业开发的“非标小模数行星减速器系列”“ ϕ 10mm以下非标滚珠丝杠系列”；为大庆、胜利、克拉玛依等15个油田测井仪器独家创制的“非标高温伺服电机驱动器系列”及集流伞、扶正器、同位素示踪释放器等。

目 录

序

前言

第一章 概论	1
第一节 现代机械	1
第二节 现代设计	3
第三节 现代机械创新	9
第二章 机电产品的功能分析	15
第一节 功能分析基础	15
第二节 典型现代机械产品功能分析	20
第三节 微机械功能原理	45
第四节 评价决策	50
第三章 动力部件与执行部件的分析与设计	57
第一节 现代机械的动力与执行部件	57
第二节 常用电气伺服驱动单元	61
第三节 新型驱动器和致动器	76
第四节 现代轿车自动变速器	85
第四章 结构功能分析与设计	93
第一节 概述	93
第二节 现代机床结构功能	106
第三节 三坐标测量机的结构	107
第四节 工业机器人的结构	111
第五章 检测及控制功能的分析与设计	125
第一节 概述	125
第二节 机器人检测控制系统	132
第三节 快速成型机检测与控制系统	145
第四节 现代机床检测与控制功能	152
第五节 现代汽车中的检测与控制装置	165
第六节 喷气织机的检测与控制系统	182
参考文献	187

第一章 概 论

第一节 现 代 机 械

一、机械的发展与现代机械

1986年,我国机械工业部组织二十余个行业的数百位专家,对各种类型的机电产品的现状与发展作了系统的调查分析,提出了发展方向。其中对机械发展史上的各个发展阶段作了简要划分。表1-1为具体化了的各个发展阶段的机械产品的典型组成部分。

表 1-1 各个发展阶段的机械产品的典型组成部分

典型组成部分 机械发展阶段		能源动力	作业、执行	结构、机体	传感、检测	控制、运筹
传 统	简单工具	人力、畜力	简单工具	自然材料	(人类五官)	(人脑)
	蒸汽机械	蒸 汽	机械构件	钢 铁	(人类五官)	(人脑)
	电气机械	一般电动机	机械构件	钢 铁	(人类五官)	逻辑电路
现代	机电一体化	控制电动机	机械构件	钢铁与新型材料	电子与新型器件	电脑

世界各国对机械发展的新阶段都有自己的看法。简述如下:

1. 日本 出于对机械发展新阶段的敏感,日本在1971年就提出一个新的英语集成名词“Mechatronics”。词首Mecha取自Mechanics(机械学),词尾tronics取自Electronics(电子学)。我国通常译为机电一体化或机械电子学,实质上是机械工程与电子工程的综合集成,可称为机械电子工程学。

机电一体化的定义在日本虽然是各种各样的,但对机电一体化系统或单机柔性自动化来说,日本机械振兴协会经济研究所在1981年提出的定义具有普遍性,即:“机电一体化这个词乃是在机械的主功能、动力功能、信息与控制功能上引进了电子技术,并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合而成系统的总称”。这个定义体现了机电一体化产品及其技术的基本内容和特征,即将机械、电子、信息获取与处理、控制及软件等技术学科交叉融合,组成功能完善的、柔性自动化以至智能化的工程系统,为人类的生产和生活等各个领域的发展服务。

日本对机电一体化的其他定义也对我们颇有启发。如:“凡是机械中可以用电

子设备代替的装置统统用电子设备来代替”。这个定义更简单扼要地、突出地指明了机械发展的方向，是日本对机械发展新阶段的看法和概括。

2. 德国 1981年德国工程师协会、德国电气工程技术人员协会共同组成精密工程技术专家组提出的“关于大学精密工程专业建议书”中，把精密工程技术定义为光—机—电一体化的综合技术，并用图1-1来说明其含义。它包括机械（含液压、气动及微机械）、电工与电子、光学等技术及其组合（电工与电子机械、光电子技术与光学机械），其核心为精密工程技术。该建议书希望在精密工程技术工程师的培养期间，强化训练跨学科思维能力，虽然有可能使“单一化”各学科的训练有所削弱，但必须促进精密工程技术中各学科的相互渗透，培养复合型人才。这个建议包含了德国对机械发展新阶段的看法。

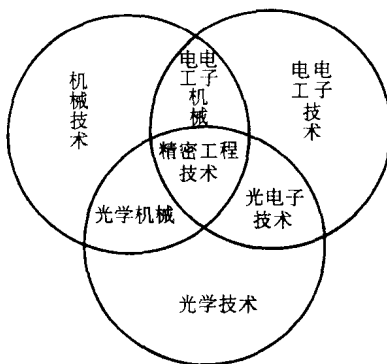


图 1-1 德国关于精密工程技术的含义

3. 中国 我国认为机械发展的新阶段是机电一体化阶段。机电一体化是机电一体化技术及其产品的统称，并把柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）等先进制造技术的生产线和制造工程也包括在内，发展了机电一体化的含义。机电一体化包括六大共性关键技术：精密机械技术、伺服驱动技术、传感检测技术、信息处理技术、自动控制技术和系统总体技术。机电一体化产品的一种认识是“在机械产品的基础上应用微电子技术和计算机技术产生出来的新一代的机电产品”。这种认识的核心是“机电一体化产品必须是由计算机控制的伺服系统”。

4. 美国 1984年，美国机械工程师协会（ASME）的一个专家组在给美国国家科学基金会的报告中，提出了“现代机械系统”的定义：“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和（或）机电部件相互联系的系统”。

美国提出的这个定义，首先，划分了传统机械与现代机械的不同发展阶段，明确了当前机械发展的方向；其次，重新强调了传统意义（或狭义）上的机械的概念，即主要功能是在一定负载下做功、克服物质阻力、完成人力所难于完成的机械运动，从而消耗较大的能量并具有一定功率的装置，才称为机械。

但是，由于机械经过自英国工业革命起数百年的发展过程，对人类的生存和发展产生了如此巨大的作用和广泛而深刻的影响，以致于各种装置的出现，都冠以“××机”的名称。例如，照相机利用光化学原理完成主功能，计算机以信息为对象完成数字运算和转换功能。虽然机械装置是它们不可或缺的组成部分，但

它们的主功能并不合乎传统意义上的机械功能。于是出现了“广义机械”的说法，即照相机属于“光学机械”，计算机及其外围设备属于“信息机械”等。这些机械中使用的机械技术往往是精密机械技术，是值得重视和借鉴的。

二、对现代机械的认识

鉴于机电一体化的名称容易引起误解（例如以为机电一体化只包括机械和电子而排斥其他如光、液压、气功等技术和更广泛的声、热以及其他不断涌现的新技术等），强调机械的发展需要把各种先进技术包括目前尚未了解的前沿新技术创造性地引入到对机械的认识，我们对代表机械发展新阶段的现代机械的认识是：“现代机械是传统机械技术与不断涌现的相关创新技术的集成”。

目前的现代机械创新产品可概括为：

- 1) 由数字化信息网络（包括通信和传感检测）协调与控制；
- 2) 以创新构思和创新技术方案处理物质流、能量流和信息流；
- 3) 具有主功能、动力与执行功能、传感与检测功能及结构功能；
- 4) 以现代设计方法和先进制造技术开发生产；
- 5) 快速响应市场需求的最优化集成系统。

第二节 现 代 设 计

一、现代设计的概念

设计这个词有两种概念。广义的概念指的是发展过程的安排，包括发展的方向、程序、细节和达到的目标。狭义的概念指的是将客观需求转化为满足该需求的技术系统的活动，各种产品包括机械产品的设计即属此类。

人类要发展，就要进行设计。把创新构思或预定目标经过一系列规划、分析和决策，产生相应的文字、数据、图形等信息，这就是初步设计。然后或通过实践转化为某项工程，或通过制造成为初步产品。再根据实践中发现的问题修改设计，再实践、再修改……。这一循环应贯彻于产品全寿命的始终。因此，产品设计过程从本质上讲是一个创新过程，是将创新构思不断转化成为有市场竞争力的创新产品的过程。

现代设计是过去长期的传统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、具体到抽象、感性到理性，逐步归纳、演绎、综合而发展起来的。由于科技进步的速度日益增快，特别是计算机技术的高速发展，人们在掌握事物的客观规律和人的思维规律的同时，运用相关的科学技术原理，进行过去难以想象的系统集成设计计算，使设计工作包括机械产品的设计过程产生了质的飞跃。

20 世纪中叶开始，设计领域中相继出现了一系列新兴理论与方法。为区别于

过去常用的传统设计理论与方法，把这些新兴理论与方法称为现代设计。目前现代设计所指的新兴理论与方法如表 1-2 所示。

表 1-2 现代设计所指的理论与方法

计算机辅助设计	设计方法学	优化设计	人工神经网络法	工程遗传算法	并行工程	价值工程	可靠性设计	有限元法	动态设计	工业艺术造型设计	人机工程	模块化设计	相似性设计	摩擦学设计	三次设计	反求工程设计	智能工程	虚拟设计
---------	-------	------	---------	--------	------	------	-------	------	------	----------	------	-------	-------	-------	------	--------	------	------

二、现代设计的目标和特点

设计目标是设计对象——技术系统具有的总体性能。按照现代设计理论与方法进行产品设计，应能达到以下设计目标：

(1) 工效实用性 一般用系统总体的技术指标的形式提出，如产量、质量、精度等。

(2) 系统可靠性 指系统在预定时间内和给定的工作条件下，能够可靠地工作的概念。

(3) 运行稳定性 系统的输入量变化或受干扰时，输出量不发生超过限度的或非收敛性的变化，而过渡到新的稳定状态。

(4) 人机安全性 采取一切措施，保证人身绝对安全，使机器故障造成的损失最小。

(5) 环境无害性 机器对环境的噪声以及油液对环境的污染减小到无害的程度。

(6) 操作宜人性 操作者工作时心情舒畅，不易疲劳。

(7) 结构工艺性 系统的结构设计应满足便于制造、加工、装配、运输、安装、维修等工艺要求，特别是自动化的要求。

(8) 技术经济性 一是评价一次投资变为系统或设备时，不同设计方案的经济性比较；二是评价保持系统或设备正常运行时，资源运用的合理性，如运行费用的经济性的比较。

(9) 造型艺术性 在保证功能的前提下，造型合乎艺术规律，使人产生美感和时代感，提高精神文明水平。

(10) 设计规范性 设计成果遵从国家政治经济政策和法规，符合国家的技术规范 and 法令，贯彻“三化”。

现代设计主要有下列特点：

(1) 系统性 现代设计方法是逻辑的、系统的设计方法。目前有两种体系。一种是德国倡导的设计方法学，用从抽象到具体的发散的思维方法，以“功能—原

理—结构”框架为模型的横向变异和纵向综合，用计算机构造多种方案，评价决策选出最优方案。一种是美国倡导的创造性设计学，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，形成新的构思和设计。

传统设计方法是经验、类比的设计方法，用收敛性的思维方法，过早地进入具体方案，对功能原理的分析既不充分又不系统，不强调创新，也很难得到最优方案。

(2) 社会性 现代设计开发新产品的整个过程，从产品的概念形成到报废处理的全寿命周期中的所有问题，都要以面向社会、面向市场为主导思想全面考虑解决。设计过程中的功能分析、原理方案确定、结构方案确定、造型方案确定，都要随时按市场经济规律进行尽可能定量的市场分析、经济分析、价值分析，以并行工程方法指导企业生产管理体制的改革和新产品设计工作，以相似性设计、模块化设计来更好地满足广泛的变化了的社会需求，以反求工程技术消化、应用国际先进技术，以摩擦学设计方法来提高机械效率，以三次设计方法有效地提高产品性能价格比。

传统设计是由技术主管指导设计，设计过程中多为单纯注意技术性，设计试制后才进行经济分析、成本核算，很少考虑社会问题。

(3) 创造性 现代设计强调激励创造冲动，突出创新意识，力主抽象的设计构思，扩展发散的设计思维、多种可行的创新方法，广泛深入地评价决策，集体运用创造技法，探索创新工艺试验，不断要求最优方案。

传统设计一般是封闭收敛的设计思维，陷入思维定势，过早地进入定型实体结构，强调经验类比，直接主观的评价决策。

(4) 宜人性 现代设计强调产品内在质量的实用性，外观质量的美观性、艺术性和时代性。在保证产品物质功能的前提下，要求使用户产生新颖舒畅等精神感受。从人的生理和心理特征出发，通过功能分析、界面安排和系统综合，考虑满足人一机—环境等之间的协调关系，发挥系统潜力，提高效率。工业艺术造型设计和人机工程使产品提高精神功能的作用，不断适应满足宜人性要求。

传统设计往往强调产品的物质功能，忽视或不能全面考虑精神功能。凭经验或自发地考虑人一机—环境等之间的关系，强调训练用户来适应机器的要求。

(5) 最优化 现代设计重视综合集成，在性能、技术、经济、制造工艺、使用、环境、可持续发展等各种约束条件下，和广泛的学科领域之间，通过计算机以高效率综合集成为最新科技成果，寻求最优方案和参数。利用优化设计、人工神经网络算法和工程遗传算法等解决各种工作条件下的最优解。

传统设计属于自然优化，在设计—评定—再设计的循环中，凭借有限设计人员的知识、经验和判断力选取较好方案，受人和效率的限制，难以对多变量系统

在广泛影响因素下进行定量优化。

(6) 动态化 现代设计在静态分析的基础上,考虑生产中实际存在的多种变化量的影响。如产品的工作可靠性问题,考虑载荷谱、负载率等随机变量,进行动态特性的最优化。根据概率论和统计学方法,针对载荷、应力等因素的离散性,用各种运算方法进行可靠性设计。许多复杂的工程分析问题可用有限元法、边界元法等数值解法得到满意的结果。

传统设计以静态分析和少变量为主,如机械学中将载荷、应力等因素作集中处理,由此考虑安全系数,这与实际工况相差较远。

(7) 智能化 现代设计认为,各种生物在自己的某些领域里具有极高的水平。仿生学研究如何模仿生物的某些高水平的能力,生物中人的智能最高,能通过知识和信息的获取、推理和运用,解决极复杂的问题。在已被认识的人的思维规律的基础上,在智能工程理论的指导下,以计算机为主模仿人的智能活动,能够设计出高度智能化的产品和系统。

传统设计局部上自发地运用了某些仿生规律,但这很难达到高度智能化的要求。

(8) 数字化 现代设计广泛使用计算机,而所有信息通过数字化后均可为计算机所用,使开发新产品时从计算绘图到制造改进一体化功能日益强大的软件使设计工作面貌不断更新,能够包容的影响设计的因素日益增多,大大提高了设计的准确性和效率,修改设计极为方便。

传统设计是人工计算绘图,使用简单的工具,设计的准确性和效率都受限制,修改设计也不方便。

三、现代设计方法简介

1. 计算机辅助设计 经过长期努力,所有的现代设计方法几乎都离不开计算机的帮助。计算机辅助设计(CAD)是使设计者能以计算机为工具,对产品进行规划、分析、综合、模拟、评价、绘图、编写文件等设计活动的总称。设计者的想象力、创新能力、知识、经验和计算机高速运算、图形显示和处理能力有机结合,综合多学科的相关技术,进行产品描述与设计,大大提高了工作效率。近年来,不仅产品更新换代周期不断缩短,而且要求生产模式由单一品种大批量转向多品种小批量。市场竞争推动了计算机硬件本身及其外围设备和图形软件及与现代设计理论与方法相结合的各种应用程序的迅猛发展,使CAD得到日益普遍的应用。目前市场要求快速开发新机械产品,使CAD与计算机辅助制造(CAM)连接,形成CAD/CAM集成系统。目前的计算机集成制造(CIM)是CAD/CAM、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、计算机辅助检测(CAT)、数控技术(NC)、直接数控(DNC)、计算机数控(CNC)、成组技术(GT)、柔性制造系统(FMS)、物料资源规划(MRP)、管理信息系统(MIS)、自动化工厂

(AF)等技术在更高水平上的集成。计算机集成制造系统(CIMS)则是以CAD/CAM为核心的、在CIM概念指导下建立的制造系统。随着因特网作为一种平台的兴起和以网络应用为基础的软件的飞速发展, CAD的发展将步入新阶段。

2. 价值工程 价值工程从产品的功能研究开始, 对产品进行设计, 或重新审查设计图样文件, 剔除那些与用户要求的功能无关的元素, 如机械中的材料、结构、零部件, 代以创新的构思, 设计出功能相同而成本更低的产品。

价值指的是事物的用途或积极作用。用户购买商品, 最主要是购买该商品的功能, 设计中经常遇到的是使用功能和美学功能。产品成本是产品的各项生产费用的总和。降低成本要了解产品费用的组成, 估算产品的制造费用, 研究产品产量与成本、销售量与利润之间的关系, 进行盈亏分析。价值=功能/成本。对功能定量赋值的方法很多, 如对某产品的主要技术性能从理想值到超差值分为11级, 对应于10~0分, 即为相对功能值。

价值工程设计的基本步骤是: 了解设计对象, 明确要求的功能, 分析成本的组成, 进行价值初评, 制定改进方案, 获得价值最高的创新产品。

3. 并行工程 并行工程是集成地而不是分散地、并行地而不是顺序地设计新产品及其相关的各种过程(包括制造、后勤等)的系统方法。要求产品开发人员在设计伊始, 就考虑产品整个生命周期中, 从概念形成到产品报废处理的所有因素, 充分利用企业内的一切资源, 最大限度地满足市场和用户的需求。

并行工程的目的在于寻求新产品的易实现性、缩短上市周期和增强市场竞争能力。要求集中涉及产品寿命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, 使投放市场的新产品一次成功。利用计算机的数据处理、信息集成和网络通信的能力, 发挥并行设计组的集体力量, 将新产品开发研究和生产准备等各种工程活动, 尽可能并行交叉地进行。这对换代快、批量不大的产品, 能显著缩短周期, 提高质量。

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”的顺序串行工程方法来进行, 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. 优化设计及其发展 优化设计的目的是寻找所求解问题的最优答案。从客观方面来说, 优化既是一种客观规律, 也是一种社会发展规律; 从主观方面来说, 优化是人类有史以来的追求活动准则。现代意义上的优化实质上是计算机技术同数学规划论的综合。需要求解的问题往往包含许多限制性因素, 优化过程就是用最优化理论与方法, 通过计算机的迭代计算, 寻找在限制性因素之下的最优参数

值。

对机械工程来说,优化使机械设计的改进和优选速度大大提高。例如为提高机构性能的参数优化,为减轻重量或降低成本的机械结构优化,各种传动系统的参数优化和发动机机械系统的隔振与减振优化等。优化技术不仅用于产品成型以后的再优化设计过程中,而且已经渗透到产品的开发设计过程中,同时与可靠性设计、模糊设计、有限元法等其他设计方法有机结合,取得新的效果。

优化算法的发展经历了一个过程。早期的人类智能优化,主要指依靠人的直觉思维或逻辑思维方法,没有严格的数学背景,如“黄金分割法”等。自约300年前出现微积分之后,出现了数学规划方法优化,用以解决数学中函数的极值问题。传统的优化算法如复合形法、可行方向法、可变容差法、罚函数法及约束变尺度法等主要解决连续设计变量的问题;而分层网格法、离散变量的复合形法、离散变量的随机搜索法及离散变量的可行方向法等,主要解决工程离散变量的问题。计算机的飞速发展推动数学规划的发展,在传统的线性规划和非线性规划的基础上产生了整数规划、几何规划、多目标规划等。近20年来,由于工程问题日益复杂化和大型化,而数学规划方法对优化问题的数学形态的严格要求使它面对复杂的工程问题显得无能为力,许多工程设计专家开发了面向工程的优化算法,它们大都没有严格的数学背景,但较为适合工程问题的特征,能解决不少传统优化算法无法解决的问题,逐步出现一系列体现人工智能的寻优策略,如人工神经网络算法、工程遗传算法、模拟退火算法等。这些算法拥有智能性的搜索特征,并具有鲁棒性与并行性,求解效率较少受到问题规模的影响,对高度复杂的非线性优化问题,使用传统的优化算法无能为力时,这些算法往往能够取得意想不到的效果。目前正在发展中的面向工程的广义优化设计,解决问题的复杂程度更高,解决问题的方法和手段也在继承传统的基础上有较大的拓宽和创新,是跨世纪的优化设计方法。

5. 虚拟设计 如果把设计理解为在实物原型出现之前的产品开发过程,虚拟设计的基本构思是:用计算机来虚拟完成整个产品开发过程。设计者经过调查研究,在计算机上建立产品模型,并进行各种分析,改进产品设计方案。通过建立产品的数字模型,用数字化形式来代替传统的实物原型试验,在数字状态下进行产品的静态和动态性能分析,再对原设计进行集成改进。由于在虚拟开发环境中的产品实际上只是数字模型,可对它随时进行观察、分析、修改、通信及更新,使新产品开发中的形象构思、分析、可制造性、可装配性、易维护性、运行适应性、易销售性等都能同时相互配合地进行。虚拟设计可以使一个企业的各部门甚至是全球化合作的几个企业中的工作者可同时在同一个产品模型上工作和获取信息,也可24小时连续工作,以减少互相等待的时间,避免或减少传统产品设计过程中反复制作、修改原型、反复对原型进行手工分析与试验等工作所投入的时间和费

用,在设计过程中发现和解决问题,按照规划的时间、成本和质量要求将新产品推向市场,并继续对顾客的需求变化作出快速灵活的响应。

新产品的数字原型经反复修改确认后,即可开始虚拟制造。虚拟制造或称数字化制造的基本构思是在计算机上验证产品的制造过程。设计者在计算机上建立制造过程和设备模型,与产品的数字原型结合,对制造过程进行全面的仿真分析,优化产品的制造过程、工艺参数、设备性能、车间布局等。虚拟制造可以预测制造过程中可能出现的问题,提高产品的可制造性和可装配性,优化制造工艺过程及其设备的运行工况及整个制造过程的计划调度,使产品及其制造过程更加合理和经济。虚拟工艺过程和设备是各种单项工艺过程和设备运行的模拟与仿真。如虚拟加工中心可完整地实现设备的运动、工件的处理等过程的可视化。虚拟制造系统是运用商品化软件在模型库中选择各种设备和工具、工作单元、传送装置、立体仓库、自动小车和操作人员等模型,通过三维图形仿真及时发现生产中可能出现的问题,对制造系统的布局方案、批量控制、运行统计分析等进行评价比较。产品的数字化模型通过虚拟制造之后,还应把产品全寿命周期中的运行环境、运行状态、销售、服务,直到产品报废再生都通过虚拟技术在计算机中发现问题并予以解决。再通过敏捷制造和快速成型技术制作实物,使新产品开发快速地一次成功。

第三节 现代机械创新

一、科技创新

科技创新是一切文明进步的源泉。人类在更好地生存和可持续发展的愿望中和市场经济的压力下,在现有的知识资源和物质资源的基础上,发展和推动科技创新已成为世界潮流。创新战略成为引导国家发展的重要方针。知识资源成为科技创新的首位要素。传统的生产要素(劳力、土地、资本)已降到次要地位。知识经济正在我国兴起。科学技术是第一生产力的概念已深入人心。

现代科技创新可分为以下三个层次:

1. 前沿领域 前沿领域是待开发的或完全新开拓的领域,是当前科学技术群中的制高点。微电子—光电子—生物电子、细胞工程—基因工程—生命科学、核能—氢能—太阳能、高磁材料—超导材料—纳米材料、空间提纯—微重力成形—太空基站、海水淡化—海洋油气开发—深海采掘等前沿领域的每一点创新成果都会对人类社会产生深远影响。这些前沿领域中的高科技与机械技术结合,向机械技术不断提出新课题,推动着机械工程的发展。

2. 技术创新 新技术的开发应用是量大面广的专业领域创新活动。技术创新是指企业在创新知识基础上,鼓励支持个人的超前创新构思,开发应用新技术、新