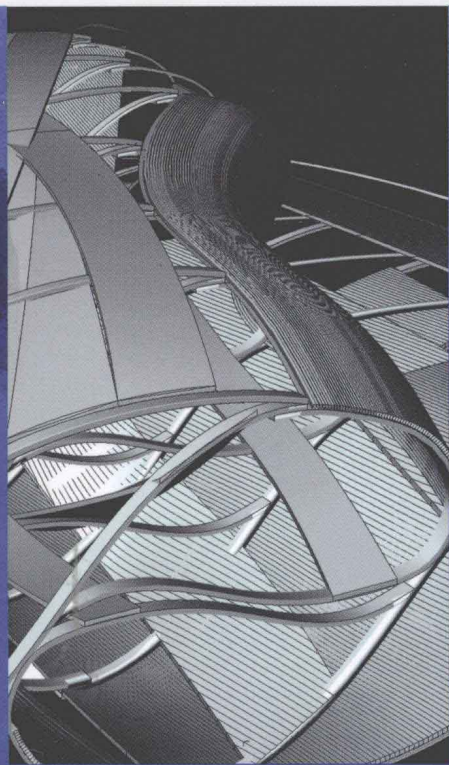


普通高等院校工程训练系列教材

机械创新设计技术

杨家军 主编
杨家军 王树才 编著
陈晓峰 蔡广宇



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等院校工程训练系列教材

机械创新设计技术

杨家军 主编

杨家军 王树才
陈晓峰 蔡广宇 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

机械创新设计技术是一门以培养学生创新意识、提高学生综合素质、启发创新思维、注重工程能力培养、介绍机械创新设计方法与机电产品制作实践的课程。在教学过程中综合运用和总结归纳先修课程的有关知识,结合新技术运用和新产品开发,启发学生的思维,为学生从事工程技术工作打下基础。本教材以“创新之根在于实践和边界再设计”的思想为主线,建立大工程的概念,培养具有主动实践、工艺实践及创新能力的高素质综合人才。通过典型机电产品案例分析的指导,针对具体生产实际的机电产品设计方案,使学生了解创新设计、产品制作的过程与方法,进行工程实践应用训练,提高学生分析问题和解决问题的能力;培养适应现代技术与社会发展、具备国际竞争能力与创新能力的人才。

本教材可用于机械基础工程训练、机械原理课程设计、机械设计课程设计、专业方向选修课、公选课的课堂教学,可作为指导学生创新实践活动、各类大赛赛前辅导的参考书,也可供高等学校有关专业的师生及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械创新设计技术/杨家军主编. —北京:科学出版社, 2008

(普通高等院校工程训练系列教材)

ISBN 978-7-03-022563-4

I. 机… II. 杨… III. 机械设计-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 108607 号

责任编辑:孙明星 王向珍 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 9 月第一次印刷 印张: 13 1/2

印数: 1—3 500 字数: 258 000

定价: 22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(长虹))

序

按照教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组提出的“学习工艺知识，增强工程实践能力，提高综合素质（包括工程素质），培养创新精神和创新能力”的课程教学目标，华中科技大学工程训练中心经过多年努力，建立了完善的工程训练机制，充分挖掘传统工程训练项目的内涵，发挥先进制造技术训练项目的优势，全面开展分层次、模块化、柔性化和开放式的工程训练活动，把创新实践融入工程训练的全过程中。通过作品创意设计、方案论证、工艺确定、加工制作、作品答辩等一系列环节，培养学生完整的工程意识、创新意识和综合能力。

在整合金工实习和电子工艺实习的基础上，突破原有的课程体系和内容的束缚，加强各主要实训部分教学内容之间的交叉与融合，注重提高学生的职业技能与素质，增强就业竞争力，建立了“主动实践，应用领先、边界再设计”、以提高学生综合能力和创新思维为主线的工程训练课程新体系。根据工程实践教学的基本特点，组织骨干教师，认真策划与实施，编写了此套工程训练系列教材。该系列教材重视理论紧密联系实际，提倡学习是基础，思考是关键，创新之根在于实践。通过一系列实践教学环节建立学生的创新意识，培养创新能力；通过构建相应的教学方法和教学手段，将创新教育有机地溶入实践教学之中。

该系列教材由《冷加工技术》、《材料成形技术》、《特种加工技术》、《机械装配技术》、《机械创新设计技术》和《电子创新设计技术》组成，并配有相应的实验训练设备和实践教学模块。其内容覆盖面宽，知识反映面新，体现出现代工业技术综合性、多学科交叉与融合的特点，能够满足不同学科培养复合型、创造性人才的需要。该系列教材在内容和教学方法上强调综合，强调大工程背景，强化工程意识和工程实践能力的培养，尽力结合工业产品开发、设计、制造的全过程；大量增加了新材料、新技术、新工艺等三新内容，体现出科学技术的最新发展，使传统的金工实习和电子工艺实习平稳地向现代工业培训的方向发展。

该系列教材以学生为主体，以教师为主导，在课程教学中实行以典型产品为载体的教学模式，突出先进制造技术的模块化教学，以主动工程实践的要求训练学生，以创新之根在于实践的精神培训学生，以组织参加大赛方式来促进常规创新活动，发现高端人才，显著提高了实践教学质量和教学效果。

该系列教材所展现的教学体系与教学内容，紧紧围绕人才培养目标，以教育观念创新为先导，以学生为本、质量为重为基本原则，利用工程训练中心良好的教学基础条件，依托机械、材料、交通、能源等学科优势，跟踪现代工程技术领

域不断出现的新技术、新方法，借助现代化的教学手段，充分挖掘工程训练中心的教育教学功能，积极探索和构建符合高素质人才成长要求的工程训练教学体系，实现了从“被动学习、被动实践”向“主动学习、主动实践”的转变，开创出一条培养学生综合素质和综合能力的有效途径。

傅水根

国家级教学名师

清华大学基础工业训练中心主任

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员

兼机械基础课程指导分委员会副主任委员

2008年8月

前 言

长期以来，一提到创造，人们就习惯将它与了不起的发明创造等同，将其与“天才”画等号，这种认识的直接后果是抑制了创造力。要想培养创造型人才，就需要转变观念。创造力人人都有，并不神秘，但人们在工作和生活中会形成一些固定化、模式化、习惯化的思维定势，思维定势有利于常规思考，但对创新会起到阻碍作用，所以，要想实现创新，就必须打破思维定势，把创造力解放出来，突破思维定势约束。创造力源于好奇心，在嬉戏玩耍的游戏中，在日常的生活中，常常蕴藏着创造的火花。开展创新教育在于打破创造的神秘感，在头脑中形成这样的观念——“人人是创造之人”。

学校为了使学生适应未来社会的需要，需进行教学方法、教学手段和教学模式的改革，探索提高学生创造力的实施途径，加强对学生创造性思维、创造意识和创新精神的培养，因而教学体系与教学内容的边界再设计迫在眉睫。近几年来，编者通过教学改革和实践，运用形式多样的创新活动，为学生提供了高质量的主动实践条件。多环节营造创新氛围是培养学生创新精神的基础，要想让学生萌发创新的冲动、激励潜在的创新意识、激发创造性思维、敢于探索创新的问题、体现创新的个性，没有一个创新的氛围作为基础，则无法实现。

主动实践是培养和锻炼创新能力的关键，在主动实践的过程中应该把握质疑力、观察力、协同力和领导力四个要素。提倡习比学重要，做比说可靠，学生的潜力是很大的，重在引导。

本书根据重实践、重综合、学科之间有机融合的需求来安排教学内容，培养学生的兴趣，充分发挥学生的创造性，培养学生的综合素质。在内容取舍上，注重先进性与实用性；在内容编排上，遵从由浅入深的认识规律；采取突出重点、照顾全局的原则，注意共性与特性的分析，将设计内容和设计方法有机地融合在一起，同时加强了工程设计的训练。从而既能使学生掌握本课程的核心内容，又能培养学生创新意识，提高工程设计能力。本书在体系上，以创新思维训练为主线，应用领先为重点，注重通过案例培养学生创新意识和能力，内容力求简明、新颖、有趣味性，在本书编写过程中，文字叙述力求简明、通俗。

本书共有5章，采用文字、图表及图文对照的形式，突出创新设计技术的一般规律，给学生以清晰的设计思路。参加本书编写的有：华中科技大学杨家军教授（第1、2、3、5章）、华中农业大学王树才副教授（第4、5章）、宁夏大学陈晓峰副教授（第1、5章）、南阳理工学院蔡广宇副教授（第2、5章），全书由杨家军教授统稿。本书在编写过程中得到华中科技大学工程训练中心汪春华、王东

庆、赵轶，华中科技大学机械学院刘世平、程远雄、朱洲、邓波，合肥工业大学朱立红等老师热情鼓励与大力支持，并承请华中科技大学吴昌林教授、武汉大学程志毅教授审阅，他们对本书提出了许多宝贵的意见和建议。教材中的案例选用了参考文献（文后已列出）中的资料，编者没一一指明，在此对其提供者表示衷心的感谢！在本书的出版过程中，科学出版社的有关领导与编辑给予了巨大支持和帮助，并付出了辛勤劳动，编者在此向他们表示真挚的谢意。由于编者水平有限，不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008.5

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机械发展趋势	1
1.2 技术创新	11
第 2 章 创新设计技术	19
2.1 设计与创新	19
2.2 创新思维	31
2.3 创造技法	47
第 3 章 仿生学与创新设计	77
3.1 仿生学与设计创新	77
3.2 仿生机械	81
3.3 仿生机械手	88
3.4 仿步态机构的设计	98
第 4 章 机械运动系统方案创新设计	109
4.1 功能原理设计	109
4.2 机构设计	118
4.3 机械运动系统方案的评价	139
第 5 章 机械创新设计实例及分析	147
5.1 研究性学习	147
5.2 生活中的发明	150
5.3 机器人	172
5.4 农业机械	177
5.5 创新思维与技法训练	191
参考文献	205

第 1 章 绪 论

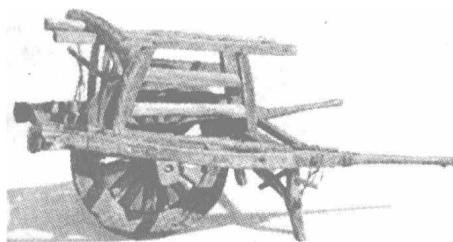
1.1 机械发展趋势

1.1.1 发明改变世界并创造未来

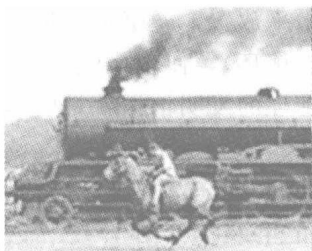
发明的动力源于人类生存发展的需要，如远古人类发明石器是为了农耕与渔牧的需要，发明钻木取火（图 1.1（a））是为了取暖、熟食和御兽的需要，发明矛盾与箭是为了战争和狩猎的需要，发明车舟是为了渡运与渔业的需要等。发明是人类的经验或向自然学习的成果，如钻木取火的发明是摩擦生热经验的启示，轮子的发明（图 1.1（b））源自圆木滚动省力经验的启示，渔网的发明源自蜘蛛网的启示，绳子的发明源自藤类植物的启示，蒸汽机（图 1.1（c））的发明源自蒸汽顶开锅盖的启示，飞机的发明源自鸟类飞翔的启示，红外制导的发明源自对响尾蛇红外感知能力的模仿，声呐的发明源自对蝙蝠超声定位能力的模仿。发明是人类智慧和创造力的结晶，如贝尔发明电话，爱迪生一生做出包括白炽灯、留声机在内的 1700 多件发明，莱特兄弟发明有动力的飞机（图 1.1（d）），奥托发



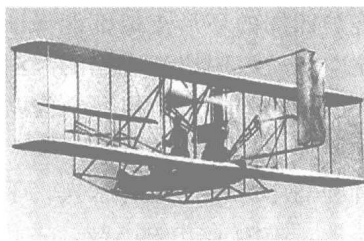
(a) 钻木取火



(b) 轮子的发明



(c) 蒸汽机



(d) 飞机

图 1.1 发明改变世界并创造未来

明内燃机等。发明是对知识的应用和自然规律的驾驭，如现代汽轮机的发明和改进基于叶轮流体力学知识，合金钢的发明与进步基于冶金学、金相结构学的知识，冰箱的发明与进步基于对工质相变热和热功循环的知识，X射线机的发明基于对X射线穿透性和成像性的认识。发明是对于人类生产方式和生活方式的创新，如铁器的发明开启了农耕生产方式，蒸汽机和珍妮纺纱机的发明成为工业大生产方式的标志，电机的发明和电力系统的形成及电话、电报、无线电的发明将人类社会推进到电气化时代，计算机、集成电路、互联网的发明标志着人类进入了信息化时代。

发明促进生产方式与工具的创新，我国古代在机械研制方面有许多杰出的发明创造。五千年前我国已开始使用简单的纺织机械；晋朝时在连机椎和水碾中应用了凸轮原理；西汉时应用轮系传动原理制成了指南车和记里鼓车；东汉张衡发明的候风地动仪是世界上第一台地震仪。目前许多机械中仍在采用的青铜轴瓦和金属人字圆柱齿轮，在我国东汉年代的文物中都可以找到它们的原始形态。

我国古代科技史上最负盛名的机械发明家马钧研制了用于农业灌溉的工具——龙骨水车（翻车）（图 1.2），这种水车轻便灵巧，儿童也能操作，可连续提水灌溉，功效较过去提高百倍。这种水车在我国沿用了一千多年，在水泵发明之前是世界上最先进的提水器械。

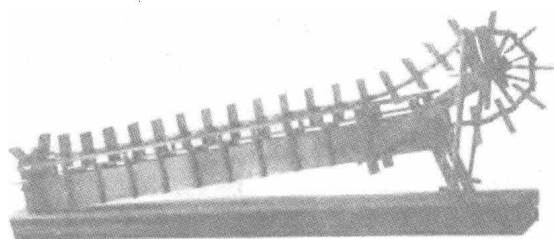


图 1.2 龙骨水车

一个铜制的容器，里面放入火炭，置于被中，就成了中国古代用于冬天取暖、薰香的被中香炉（图 1.3），这铜制容器奇妙之处为：不论香炉在被子里怎么翻滚，香炉四周的环形支架都能保证香炉呈水平放置，丝毫不用担心火炭会倾覆。现在航空、航海中广泛应用的万向支架（平衡环），使现代航船上的指南针、飞机上的导航仪在颠簸中能保持平衡，现代平衡环的发明依据就是中国古人取暖被中香炉的原理。

汉代有种马车，车上站有木人，手中握有鼓槌。马车每驶至一定里程，木人就会挥动鼓槌，敲响前方的小鼓，古代称之为记里鼓车（图 1.4）。它的工作原理很简单：木人手上通过线连着一个齿轮，齿轮又连着另一个齿轮，形成一套减速齿轮组，齿轮组连着车轮。车辆启动，车轮就带动齿轮组，齿轮组带动木人，当到达一定里程时木人就会敲鼓。

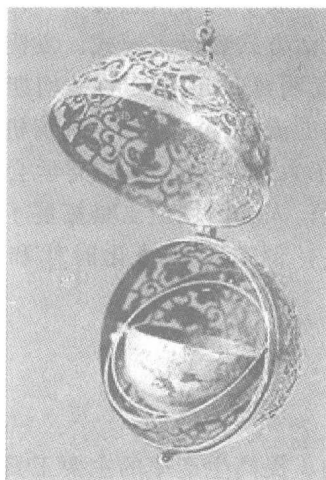


图 1.3 被中香炉

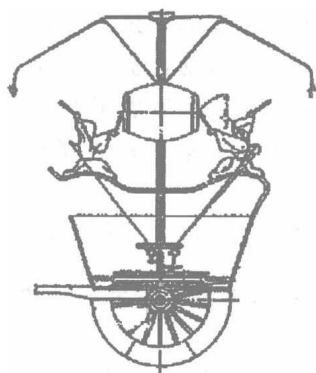


图 1.4 记里鼓车

指南车（图 1.5）传说是在西周时就已发明了，但最早的确切记载是在三国时期，指南车外形为在一辆车上立一木人，木人的一只手臂平伸向前，只要开始行走的时候，让木人的手臂指向南方，此后无论车子怎样改变方向，木人的手臂始终指向南方。人们很容易将指南车与指南针相混淆，其实二者虽然都有“指南”二字，但科学原理却完全不同。指南针是利用了磁铁或磁石在地球磁场中的南北极性而制成的指向仪器，而指南车的原理是车上装有一套差动齿轮装置，当车辆左、右转弯时，车上可以自动离合的齿轮传动装置就带动木人向车辆转弯相反的方向转动，使木人的手臂始终保持指向南方。指南车上这种利用差动齿轮装置来指示方向的机械，在今日仍有现实意义。例如，现代军事上的坦克、装甲车是钢铁外壳，行驶时振动很大，磁性罗盘在车内难以正常工作，就要借助这种机械指向工具。

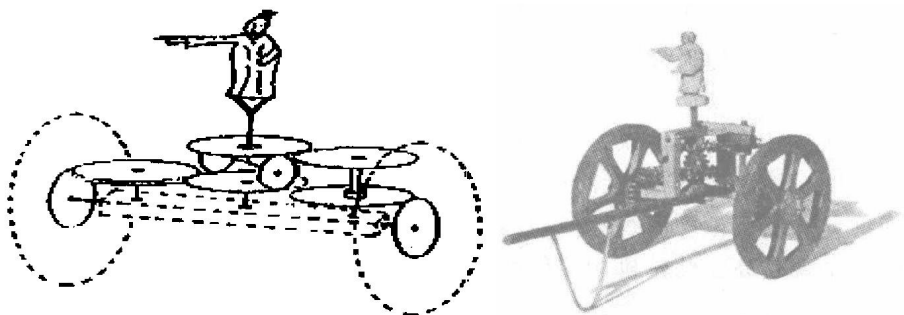


图 1.5 指南车

发明还改变了人类的生活方式，如火的使用使人类开始了熟食生活，交通工

具的发明拓展了人类的活动空间,通信工具的发明拓展了人类信息获取和传播的效率,计算机和网络的发明改变了人类的学习、生活方式和经济模式。发明改善了人类的生命和生活质量,如磺胺药、抗菌素的发明延长了人类的平均期望寿命,疫苗和免疫治疗技术的发明使人类抵御传染病的流行,洗衣机、缝纫机的发明解放了家务劳动,提高了生活质量。发明改变了人类自身,如人类学会使用火、吃熟食;发明发展了医学,改善了营养和健康;人类因创造工具拓展了智慧和能力,区别于动物;人类创造了计算机、网络,创造了网络化时代和网络文明。

发明改变了世界,创造着未来。

1.1.2 机械工程科学发展的趋势

机械是人类用以转换能量和借以减轻体力劳动、提高生产率的主要工具。机械工业是国民经济的支柱工业之一。机械工业是社会生产力发展水平的重要标志。当今社会高度的物质文明是以近代机械工业的飞速发展为基础建立起来的,人类生活的不断改善也与机械工业的发展紧密相连。

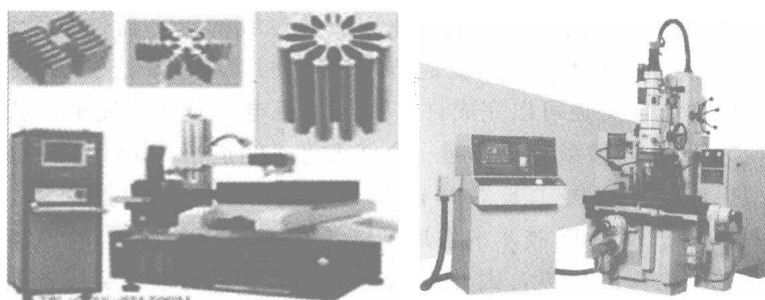
高新技术产业的崛起和迅猛发展、科技事业的不断向前推进、现今产品的快速更新换代推动着机械工程科学的发展。机械工程科学是一门研究机械产品(或系统)的性能、设计和制造的基础理论和技术的科学。机械系统从构思到实现要经历设计和制造两大不同性质的阶段。按照经历阶段的不同,机械工程科学可分成两大分支学科:机械学和机械制造科学。

机械学是对机械进行功能综合,并实现其性能的基础技术科学。它的主要任务是把各种知识、信息注入设计,将其转化成机械系统能够接受的信息,并输入机械制造系统,以便生产出满足使用要求并且能被市场接受的产品。机械学包括机构学、机械振动学、机械结构强度学、摩擦学、设计理论与方法学、传动机械学、微机械学和机器人机械学等。机械学领域的发展趋势是研究新机构,如自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构、机电液综合机构等。注重机械的动力性能,在机械分析与综合时,由只考虑运动性能过渡到同时考虑其动力性能。考虑机械的动态特性,研究机械在运动过程中,构件的振动和弹性变形、运动副的间隙和构件尺寸误差对运动及动力性能的影响。重视空间连杆机构、多杆多自由度机构、连杆机构弹性动力学和动力平衡研究。发展齿轮啮合原理,研究性能优异的新型齿廓曲线和新型传动,加速对高速齿轮、精密齿轮、微型齿轮的研究。重视对高速凸轮机构的研究。发展并推广计算机辅助设计(CAD)、优化设计、考虑误差的概率设计等。

机械制造科学是研究机械制造系统、机械制造过程和制造手段的科学。机械制造是将设计输出的指令和信息输入机械制造系统、加工出合乎设计要求的产品的过程。它包括机械制造冷加工和机械制造热加工两大部分。机械工程的理论基

础不再局限于力学，制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程科学比以往任何时候都更加紧密地依赖如数学、物理、化学、微电子、计算机、系统论、信息论、控制论及现代管理等各门学科及其最新成就。先进制造技术是传统制造业不断吸收机械、电子、信息、材料及现代管理等方面的最新成果，并将其综合应用于制造的全过程，以实现优质、高效、低消耗、敏捷及无污染生产的前沿制造技术的总称。当今制造技术的主要发展趋势为：制造技术向着自动化、集成化、智能化、高精度的方向发展。综合考虑社会、环境要求及节约资源的可持续发展的制造技术将越来越受到重视。这些方面可用以下八个字来概括。

(1) “数”是发展的核心。“数字化”具有精确、安全、容量大的特征，有以设计为中心、以控制为中心、以管理为中心的数字化制造，如数控机床（图 1.6）。



数控机床

图 1.6 “数”是发展的核心

(2) “精”是发展的关键。现代加工精度及其发展、超精密机械对精度的要求、细微与纳米加工技术可达的水平、微电子芯片与大功率器件的制造、精密测量等在机械中占有关键地位。例如，导弹、飞机的惯性导航系统中的气浮陀螺及其马达轴承，尺寸精度、圆度、圆柱度要求达到亚微米级；人造卫星仪表轴承，表面粗糙度达到 1nm，圆度、圆柱度达纳米级；计算机硬盘驱动器（图 1.7（a））、光盘、复印机（图 1.7（b））的精密零件，精度达 100nm；微电子芯片刻线机，刻线宽度在 50nm 以下；基因操作机械，移动距离在纳米级，移动精度在 0.1nm（原子尺度）。

(3) “极”是发展的焦点。具有极端条件（高温、高压、高湿、高硬度、大弹性、强磁场、强腐蚀、极大、极小、奇形怪状等）下的产品制造特征，如微机电系统（MEMS）、高密度磁盘存储、芯片加工设备，纳米卫星（0.1kg 以下）、基因操作系统、蛋白质追踪系统等。

微机电系统，是指集微型传感器、微型执行器、信号处理和控制电路、接口电路、通信和电源于一体的完整微型机电系统。MEMS 技术的目标是通过系统

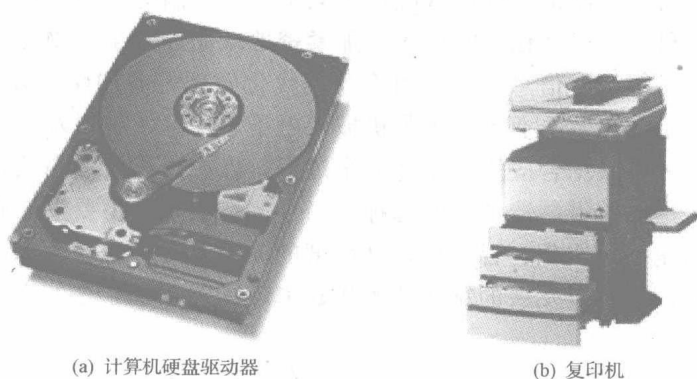


图 1.7 “精”是发展的关键

的微型化、集成化来探索具有新原理、新功能的元件和系统。MEMS 的发展将极大地促进各类产品的袖珍化、微型化，成数量级的提高器件与系统的功能密度、信息密度与互联密度，大幅度地节能、节材。MEMS 的发展不仅可以降低机电系统的成本，而且还可以完成许多大尺寸机电系统无法完成的任务。例如，用尖端直径为 $5\mu\text{m}$ 的微型镊子夹起一个红细胞；制造出 3mm 大小能够开动的小汽车；微型机械昆虫（图 1.8 (a)）；可以在磁场中飞行的像蝴蝶大小的飞机（图 1.8 (b)）等。MEMS 技术的发展开辟了全新的技术领域和产业，具有许多传统传感器无法比拟的优点，因此在制造业、航空、航天、交通、通信、农业、生物医学、环境监控、军事、家庭以及几乎人们可以接触到的所有领域中都有着十分广阔的应用前景。

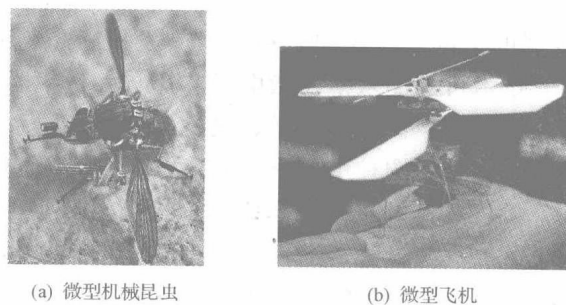


图 1.8 “极”是发展的焦点

微型机械是机械技术与电子技术在纳米尺度上相融合的产物。早在 1959 年就有科学家提出微型机械的设想，1962 年第一个硅微型压力传感器问世。1987 年美国加州大学伯克利分校研制出转子直径为 $60\sim 120\mu\text{m}$ 的硅微型静电电动机，显示出利用硅微加工工艺制作微小可动结构，并与集成电路兼容制造微小系统的潜力。微型机械技术有可能像 20 世纪的微电子技术那样，在 21 世纪对世界科

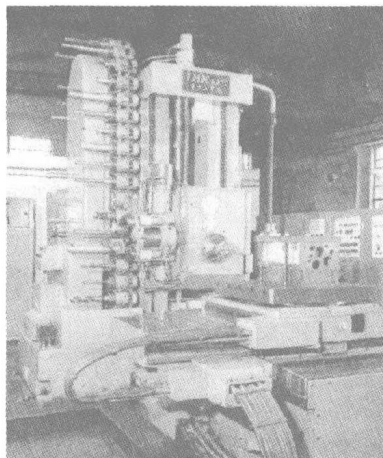
技、经济发展和国防建设产生巨大的影响。近年来，微型机械的发展令人瞩目。其特点如下：相当数量的微型元器件（微型结构、微型传感器和微型执行器等）和微系统研究成功，体现了其现实的和潜在的应用价值；多种微型制造技术的发展，特别是半导体微细加工等技术已成为微系统的支撑技术；微机电系统的研究需要多学科交叉的研究队伍，微机电系统技术是在微电子工艺的基础上发展的多学科交叉的前沿研究领域，涉及电子工程、机械工程、材料工程、物理学、化学以及生物医学等多种工程技术和科学。

(4) “集”是发展的方法。机电一体化系统是机械、电子、计算机和自动控制等技术有机结合的一门集成技术，特种加工技术与装置是典型的技术与装备集成；还有信息、功能、过程集成，企业内部和外部集成等，如加工中心（图 1.9）就是机械、电子、计算机和自动控制等技术的有机结合。

(5) “自”是发展的条件。“自动化”提高了加工过程效率、管理效率、设计效率。如图 1.10 所示的物流仓库与自动线，实现了无人管理。

(6) “网”是发展的道路。“网络化”（图 1.11）是发展的必由之路，是生产组织变革的需要，是竞争力的核心业务，可使资源互补共享。

(7) “智”是发展的前景。“智能化”具有人机一体化、虚拟现实、自律、自组织、超柔性、学习与自维护能力。例如，智能化制造是在制造活动诸环节中，以一种高度柔性集成的方式，借助计算机模拟的人类专家的智能活动，进行分析、判断、推理、构思和决策，取代或延伸制造环境



加工中心

图 1.9 “集”是发展的方法

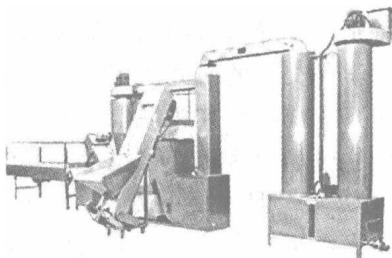
中人的部分脑力劳动，同时，收集、存储、处理、完善、共享、继承和发展人类专家的制造智能。智能化是各行各业发展的趋向，如火箭发射（图 1.12 (a)）、服务机器人（图 1.12 (b)）、卫星、智能计算机、智能车辆、智能机器、智能仪表、智能控制、智能材料、智能大厦等。网络化的实质是走向智能化。

(8) “绿”是发展的必然。绿色环保具有“天人合一”、保护自然、协调环境、适应自然、可持续发展的特征，如太阳能汽车、太阳能摩托车（图 1.13）、混合动力车等。

数、精、极、自、集、网、智、绿这八者彼此渗透，相互促进。机械是基，制造是本，在此基础上才能有所发展。



(a) 物流仓库



(b) 自动线

图 1.10 “自”是发展的条件

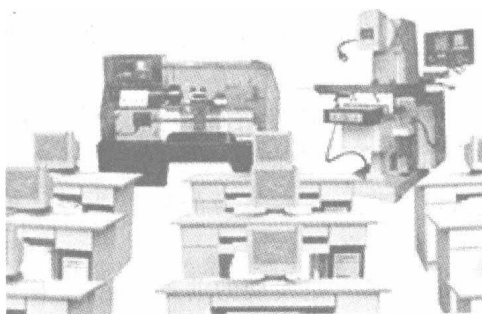
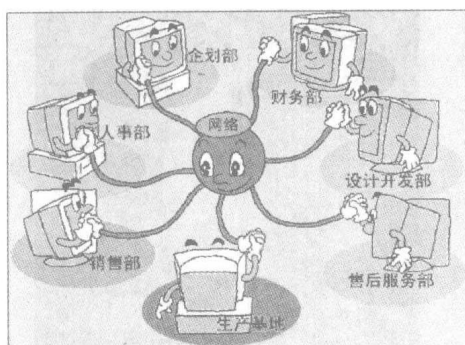
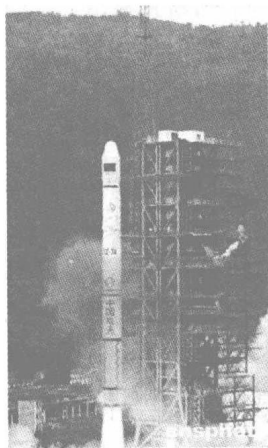
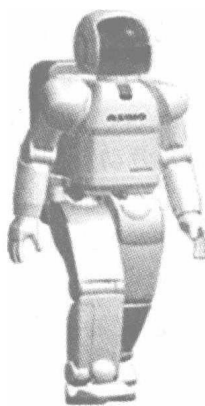


图 1.11 “网”是发展的道路

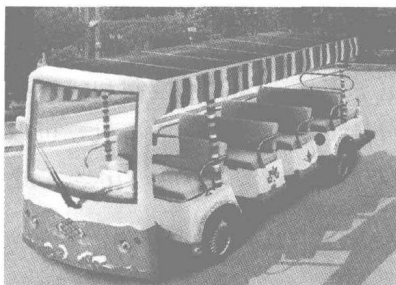


(a) 火箭发射



(b) 服务机器人

图 1.12 “智”是发展的前景



(a) 太阳能汽车

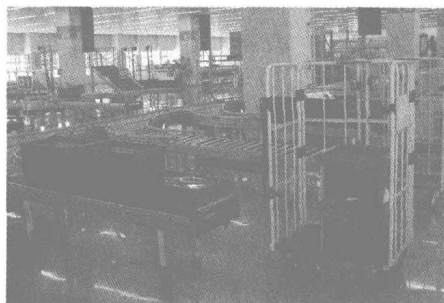


(b) 太阳能摩托车

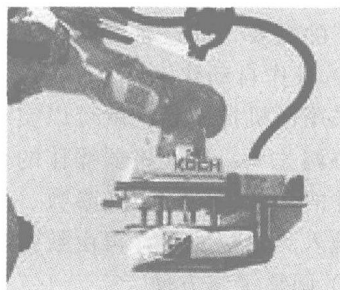
图 1.13 “绿”是发展的必然

1.1.3 机电一体化技术对机械系统的影响

机电一体化系统是机械、电子、计算机和自动控制等技术有机结合的一门复合技术，由动力系统、驱动系统、机械系统、传感系统、控制系统等组成，如图 1.14所示为自动线和堆垛机器人。机电一体化系统不断地发展，已深入到各个领域，在近几年的机械工业引起了许多深刻的变革。



(a) 自动线



(b) 堆垛机器人

图 1.14 机电一体化系统

1) 功能发生重大变化

机电一体化可以实现高性能和多功能，在原有机械产品中引进电子控制器件，可以实现多功能和高性能。提高机械的自动化程度，容易实现多种工艺动作、提高工艺质量、降低能耗等。由此产生的机电合一的新型装置可以完成单纯机械形式无法完成的工艺动作，如打印机、电动缝纫机（图 1.15）、复印机、录像机等。

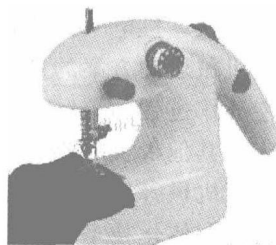


图 1.15 电动缝纫机