

普通高等教育「十五」国家级规划教材

机械 创新 设计

第2版

清华大学 北京科技大学 中南大学 编
高志 黄纯颖 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

TH122/1095

2010

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械创新设计

Jixie Chuangxin Sheji

第2版

清华大学 北京科技大学 中南大学 编
高 志 黄纯颖 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第1版的基础上结合众多院校的使用意见和作者的教学实践经验修订而成的。

为加强对创新人才的培养,本书围绕机械创新设计着重阐述如何培养学生的创新意识,启发创新思维,掌握创新方法,力求理论联系实际,提高学生的创新能力。

本书紧密结合机械创新设计实践,分析创新思维和方法在机械原理方案设计、机构设计、结构设计等各阶段的应用,分析开发设计、变型设计和反求设计等各类创新设计的特点。

本书共分3篇。第1篇为创新设计的理论基础,介绍创造性思维与创造能力及创造原理;第2篇为创新设计方法,介绍常用的创新技法、原理方案的创新设计、机构创新设计、结构创新设计、造型创新设计和反求设计等内容;第3篇用9个机械创新设计案例从不同角度反映机械创新设计理论与方法在实践中的应用。

本书可作为高等学校的教材,也可供有关教师、工程技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械创新设计/高志,黄纯颖主编;清华大学,北京科技大学,中南大学编. —2版. —北京:高等教育出版社,2010.7

ISBN 978-7-04-029158-2

I. ①机… II. ①高… ②黄… ③清… ④北…
⑤中… 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(2010)第081898号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京机工印刷厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2000年7月第1版 2010年7月第2版
印 张	24.5	印 次	2010年7月第1次印刷
字 数	440 000	定 价	35.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29158-00

第2版前言

创新是推动科学技术发展的原动力,是促进经济和社会进步的重要因素。当今世界各国之间在政治、经济、军事和科学技术方面的激烈竞争,实质上是人才的竞争,而人才竞争的关键是人才创造力的竞争。

高等教育是人才培养的重要途径,为适应经济及社会发展对创新人才的需求,高等教育应转变教育观念,探索适合创新人才成长的培养模式,而改革的重点在于加强对全面素质和创新能力培养。

近年来,各高校纷纷开设了有关创新教育与训练的课程。“机械创新设计”课程以机械设计领域的创新设计问题为载体,通过对机械创新设计问题的分析,向学生传授创新设计的理论、思想和方法。通过对成功的机械创新设计案例的分析,引导学生理解蕴藏在其中的创新理论;通过对创新设计案例的归纳,使学生体会创新设计的方法和技巧。在课内、外的创新设计训练中,应用创新设计的理论与方法,实践从确定创新题目、构思实现功能的原理解法、设计详细结构,直到加工调试的全过程。通过成功的创新设计实践,提高学生对从事创新设计的兴趣和自信。通过课堂讨论和多种形式的思维训练,改变学生思维模式,提高思维活动的灵活性、开放性、发散性及变通性,有效地开发学生的创造能力。

根据课程教学的需要,于1999年编写了本书的第1版,经过10年的使用,结合各校在教学过程中对教学内容的更新,对教材进行了如下修订:

- (1) 更新了第3篇中的大部分机械创新设计案例。
- (2) 增加了第8章造型创新设计。
- (3) 对其余各章中的实例作了必要的更新。

本书第7章、案例2和案例3由清华大学高志编写,案例1由清华大学黄纯颖编写,第1章和第9章由高志和黄纯颖共同编写,第5章和案例5由清华大学刘莹编写,第4章、第8章、案例7、案例8和案例9由北京科技大学邱丽芳编写,第6章由北京科技大学于晓红编写,第2章由中南大学唐进元编写,第3章由唐进元和肖云龙共同编写,案例4由清华大学王人成编写,案例6由清华大学阎绍泽编写。全书由高志和黄纯颖担任主编。

北京工业大学王大康教授审阅了全书,并对本书提出了宝贵的意见和建议,

作者在此表示衷心的感谢。

由于作者能力所限,书中难免有错误和不妥之处,恳请各位读者批评指正。

作者

2010年1月

目 录

第 1 篇 创新设计的理论基础

第 1 章 引言	3
1.1 创新与社会发展	3
1.2 创新人才培养	4
1.3 创新设计	7
第 2 章 创造性思维与创造能力	13
2.1 思维及类型	13
2.2 创造性思维的基础知识	20
2.3 创造性思维与创造能力的培养	27
参考文献	32
第 3 章 创造原理	33
3.1 综合创造原理	33
3.2 分离创造原理	37
3.3 移植创造原理	42
3.4 还原创造原理	48
3.5 物场分析原理	52
3.6 TRIZ 创造原理	55
参考文献	64

第 2 篇 创新设计方法

第 4 章 常用的创新技法	67
4.1 群体集智法	67
4.2 系统分析法	73
4.3 联想类比法	85
4.4 转向创新法	102
4.5 组合创新法	110

参考文献	120
第 5 章 原理方案的创新设计	122
5.1 功能设计法	123
5.2 设计目录	134
5.3 评价系统	146
参考文献	155
第 6 章 机构创新设计	157
6.1 机构形式设计的原则	157
6.2 机构的选型	161
6.3 机构的构型	166
参考文献	209
第 7 章 结构创新设计	210
7.1 结构方案的变异设计	210
7.2 提高性能的结构创新设计方法	229
7.3 结构的宜人化设计	242
7.4 新型结构设计	249
参考文献	257
第 8 章 造型创新设计	258
8.1 造型设计的一般原则	258
8.2 实用性与造型	261
8.3 人机工程与造型	262
8.4 美观与造型	266
8.5 安全性与造型设计	275
8.6 现代风格与仿生造型设计	278
8.7 计算机辅助造型设计	283
参考文献	286
第 9 章 反求设计	292
9.1 概述	292
9.2 产品反求分析的思路和内容	294
9.3 二次设计	306
9.4 计算机辅助反求设计	310
9.5 反求设计实例	311
参考文献	324

第3篇 机械创新设计案例

案例1	自行车的演变和开发	327
案例2	新型内燃机的开发	333
案例3	打印机的方案设计	339
案例4	假肢智能膝关节设计	346
案例5	无障碍站台系统设计	351
案例6	航天器太阳能电池阵的演变与开发	355
案例7	飞剪机剪切机构的运动设计	368
案例8	自行车防盗锁的设计	378
案例9	省力变速双向驱动车用驱动机构的设计	381

第 1 篇

创新设计的理论基础

第1章 引言

1.1 创新与社会发展

创新是人类的一种思维和实践方式。创新实践活动是人类的各种实践活动中最复杂、最高级的,是人类智力水平高度发展的表现。在创新实践中,人类运用已有的知识、经验、技能,研究新事物,解决新问题,产生新的思想及物质成果,用以满足人类物质及精神生活的需求。

创新是人类社会文明进步的原动力,人类社会的每一点进步都是创新的产物。人类通过创新,创造了生产工具,创立了现代的生产方式,提高了生产能力,增强了人类按照自然规律适应自然、改造自然的能力,使人类在自然界中获得了更大的自由。

创新是科学技术发展的原动力,人类通过创新创立了现代科学的理论体系,使人类深化了对世界本质及其规律的认识。

创新是社会经济发展的原动力,人类通过创新建立了现代的社会制度,为人类社会的可持续发展提供了更广阔的空间。当今世界各国之间在政治、经济、军事和科学技术方面的激烈竞争,实质上是人才的竞争,是人才创新能力的竞争。

创新能力对一个国家的现代化建设,对一个民族的存在和发展进步具有极其重要的意义。江泽民同志指出:“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力,……一个没有创新能力的民族,难以屹立于世界先进民族之林。”

一个民族如果没有足够的创新能力,就无法为民族的进步提供动力,在世界进步的历史潮流中就会落伍。科学技术的发展使得交通和通信越来越发达,世界各民族的交往越来越密切,信息和商品的流通越来越便利。在这种情况下,一个民族可以很方便地获得其他民族创造的物质产品 and 精神财富;在这种创新浪潮中,一个民族如果不能通过创新使自己的民族不断发展、进步,就不可避免地会被历史的潮流所淘汰。

2006年1月9日,国家主席胡锦涛在全国科技大会上宣布:中国未来15年科技发展的目标是,2020年建成创新型国家,使科技发展成为经济社会发展的

有力支撑。中国科技创新的基本指标是,到2020年,经济增长的科技进步贡献率要从39%提高到60%以上,全社会的研发投入占GDP比重从1.35%提高到2.5%。

建设创新型国家的核心是把增强自主创新能力作为发展科学技术的战略基点,走中国特色的自主创新道路,推动科学技术的跨越式发展,激发全民族的创新精神,培养高水平创新人才,形成有利于自主创新的体制,大力推进理论创新、制度创新、科技创新,不断巩固和发展中国特色社会主义事业。

技术创新的特点是以市场为导向,以提高竞争力为目标。技术创新的内容包括从新产品、新工艺设想的产生,到技术研究、开发、工程化、商业化生产,直到市场应用的整个过程。

中华民族是富于创造性的民族,中华民族的祖先创造了灿烂的中华文明,为人类世界文明作出了突出的贡献。除众所周知的指南针、火药、印刷术和造纸术这四大发明以外,中国在机械设计方面也有很多成果,如指南车、记里鼓车、农业机械、水利机械、兵器、地动仪等的设计在当时都远远领先于世界水平。在农业、航运、石油生产、气象观测中的很多技术以及十进制计算、纸币、火箭等的原始设计也都源于中国。

新中国成立后,我国的科技人员在国家经济很困难的条件下,独立研制了“两弹一星”,建造了高能粒子加速器,开发了多个大油田,中国人研制的超级水稻为解决世界粮食短缺问题作出了卓越贡献。

今天,中国的科学技术人员正凭着高度的自信心和民族自豪感,发挥中华民族的聪明才智,发扬勇于创新的优良传统,为中华民族的和平崛起贡献力量。

1.2 创新人才培养

1.2.1 21世纪教育的特点

世界各国在各个领域的竞争归根结底是人才的竞争,而高等学校的创新教育是培养人才的重要环节。

联合国教科文组织曾预测,21世纪高等教育具有5大特点:

① 教育的指导性。打破采用注入式、统一方式塑造学生的局面,强调发挥学生特长,主动学习。教师从传授知识的权威变成指导学生学习的顾问。

② 教育的综合性。不满足于传授和掌握知识,强调培养综合运用知识解决问题的能力。

③ 教育的社会性。教育由封闭的校园转向开放的社会,由教室转向图书

馆、工厂等社会活动领域,借助现代高科技信息网络技术促进远程高等教育的发展。

④ 教育的终身性。信息时代来临,使人类进入了知识经济的新时代,知识的迅速更替,创新的不断加强,使人们的学习行为普遍化和社会化。为了生存竞争必须不断学习,将一次性的学校教育转化为全社会的终身教育。

⑤ 教育的创造性。为适应科技高速发展和社会竞争的需要,建立重视能力培养的教育观,致力于培养学生的创新精神和提高创造力。

1.2.2 创新能力的培养

传统的教育重视通过系统的灌输和训练使学生系统地掌握已有的知识体系,并能正确、熟练地运用。为了适应知识经济时代对人才培养的要求,需要更新教育观念,努力探索新的人才培养模式,加强对学生素质教育和创新能力的培养。培养学生的创新能力需要从培养学生的创新意识、提高创造力和加强创新实践训练等几个方面入手。

1. 培养创新意识

创新活动是有目的的实践活动,创新实践起源于强烈的创新意识。强烈的创新意识促使人们在实践中积极地捕捉社会需求,选择先进的方法实现需求,在实践中努力克服来自各方面的困难,全力争取创新实践的成功。

创造学的理论和人类的创新实践都表明,每一个人都具有创新能力,人人都可以从事创造发明。使每一个人意识到自己是有创新能力的,这对提高全民族的创新意识和创新能力都是非常重要的。

诺贝尔物理学奖获得者詹奥吉说:“发明就是和别人看同样的东西却能想出不同的事情”。我国著名教育家陶行知先生在《创造宣言》中提出“处处是创造之地,天天是创造之时,人人是创造之人”,鼓励人们破除对创新的神秘感,敢于走创新之路。

在社会实践中只要对现实抱有好奇心,善于观察事物,敢于发现存在于现实与需求之间的矛盾,就能找到创新实践活动的突破点。齿轮是机械装置中的重要零件,渐开线齿轮精度检验项目多,检验中需要使用多种仪器,长期以来一直是加工、使用中的难点。针对这一问题,武汉某研究所设计开发了齿轮综合误差测量仪,通过分析被测齿轮与标准齿轮啮合过程中的角速度变化,可直接得到齿轮的多项误差参数,极大地简化了测量过程。

实现创新的过程是在没有路的地方寻找路的过程,可能会遇到各种各样的困难,要创新就要有克服各种困难的准备。爱迪生在研究白炽灯的过程中,为了寻找适合作为灯丝的材料,曾经试验过 6 000 多种植物纤维,1 600 多种耐热材

料。居里夫人为了提取“镭”,从1898年到1902年,用了4年的时间在极其简陋的条件下,每天连续几小时不停地搅拌沸腾的沥青铀矿残渣,经过几万次的提炼,处理了几十吨沥青铀矿残渣,终于得到了0.1 g的镭盐,并测得了镭的原子量,证实了镭元素的存在。

发现创新点,发现解决问题的方法,需要对事物具有敏锐的洞察力。我国科学家张开逊在调试某种仪器时,发现每当有人进入房间时,仪器的零点就会发生漂移。他针对这种现象,经过多次试验研究和理论分析,认识了气流温度场对零点漂移的作用规律。在此基础上,他根据人的呼吸对气流温度和密度的影响,开发出精度达到 $1/1\ 000\ ^\circ\text{C}$ 的高分辨率的测温仪,用于新生儿和危重病人的呼吸监护,效果很好。

2. 提高创造力

创造力是人的心理特征和各种能力在创造活动中体现出来的综合能力。

提高创造力应从培养良好的心理素质,了解创新思维的特点,养成良好的创新思维习惯,逐步掌握创新原理和创新技法等方面入手。

创造力受智力因素和非智力因素的影响。智力因素包括观察力、记忆力、想象力、思维能力、表达能力、自我控制能力等,是创造力的基础性因素;非智力因素包括理想、情感、兴趣、意志、性格等,是发挥创造力的动力和催化因素。通过对非智力因素的培养,可以更有效地调动人的主观能动性,对促进智力因素的发展起重要作用。

创新技法是以创造学原理、创新思维规律为基础,通过对大量成功创新实践的分析 and 总结得出的技巧和方法。了解并掌握这些创新技法对于提高创新实践活动的质量和效率,提高成功率具有很重要的促进作用。

实践表明,通过学习和有针对性的训练,可以激发人从事创新活动的热情,提高人的创造力。美国通用电气公司在20世纪40年代率先对员工开设创造工程课程,开展创新实践训练,通过学习和训练,员工的创新能力得到明显提高,专利申请的数量大幅度提升。湖南轻工业高等专科学校设有创造发明学校,培养了千余名学员,这些学生毕业前后取得了大量创新发明成果和专利,甚至获得过国际大奖。

3. 加强创新实践训练

创新实践训练是提高创新能力的重要手段。

通过学习可以使学生了解创造学的有关概念、理论,了解各种创新技法,了解大量成功的创新设计实例,了解可能引起创新设计失败的原因。但是要真正掌握这些理论与方法并能够正确地运用,只能通过不断地参加创新实践。

创新能力是综合实践能力,只能通过实践才能得以表现,才能发现其优势和

不足,才能纠正思维方式和行为方式中不利于创新的缺陷。近年来,在高校中开展的各种创意大赛、创新大赛等创新实践活动吸引了大量学生参加,为学生提供了良好的实践平台,极大地提高了学生参与创新实践活动的兴趣和热情,也有效地提高了学生的创新实践能力。

1.3 创新设计

设计是人类社会最基本的生产实践活动之一,是人类创造精神财富和物质文明的重要环节,创新设计是技术创新的重要内容。

工程设计是工业生产过程的第一道工序,产品的功能是通过设计确定的,设计水平决定了产品的技术水平和产品开发的经济效益,产品成本的75%~80%是由设计决定的。

创新是设计的本质特征。没有任何新的技术特征的技术定义不能称为设计。设计的创新属性要求设计者在设计过程中充分发挥创造力,充分利用各种最新的科技成果,利用最新的设计理论作指导,设计出具有市场竞争力的产品。

1.3.1 设计过程

设计过程一般分为产品规划、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段。

1. 产品规划

在产品规划阶段,要通过调查研究确定社会需求的内容和范围,进行市场预测,将社会需求定量化、书面化,确定设计参数和约束条件,制订设计任务书,作为设计、评价、决策的依据。

2. 方案设计

方案设计(也称为概念设计)阶段确定实现功能的原理性方案,对产品的原动系统、传动系统、执行系统和控制系统进行方案性设计,产生原理方案图。

3. 技术设计

技术设计(也称为细节设计)阶段在方案设计的基础上将原理方案具体化、参数化、结构化,根据功能要求确定零件的材料,通过失效分析确定结构的具体参数,通过功能分析和工艺分析确定零件的具体形状和装配关系。为了提高产品的市场竞争力,需要应用各种最新的设计理论与方法,对技术方案进行优化设计和系列化设计。根据人机工程学(工效学)原理进行宜人化设计,根据工业设计的原则进行产品的外观设计,使产品进入市场的形态更赏心悦目,使产品既实用,又适应市场商品化的要求,成为能够经得起市场竞争考验的商品。通过技术设计产生装配图。

4. 施工设计

施工设计阶段是在装配图设计的基础上,根据施工的需要产生零件图,完成全部设计图样,并编制设计说明书、使用说明书及其他设计文档。

在产品投产前要通过产品试制,检验产品的加工工艺和装配工艺,根据试制过程进行产品的成本核算,对产品设计提出修改意见,进一步完善产品设计。

计算机辅助设计(CAD)的优势:可以充分利用计算机运算速度快、存储容量大、检索能力强的优势,提高设计速度;通过对大量可行方案的设计、分析、比较、评价、优选,提高设计质量;通过便捷的信息传播手段,充分调动分布在不同地域的优质设计资源,同时对产品的不同部分进行设计,对产品的材料、功能和工艺进行并行设计,缩短设计周期;充分利用分布在不同媒体上的有效信息,保证设计的有效性。

1.3.2 创新设计的类型

根据设计的特点,可以将创新设计分为开发设计、变异设计和反求设计三种类型。

1. 开发设计

根据设计任务提出的功能要求,提出新的原理方案,通过产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计的全过程完成全新的产品设计。

2. 变异设计

在已有产品设计的基础上,根据产品存在的缺点或新的应用环境、新的用户群体、新的设计理念,通过修改作用原理、动作原理、传动原理、连接原理等方法,改变已有产品的材料、结构、尺寸、参数,设计出更加适应市场需求、具有更强的市场竞争力的产品。或在已有产品设计的基础上,通过在合理的范围内改变设计参数,设计在更大范围内适应市场需求的系列化产品。

3. 反求设计

根据已有的产品或设计方案,通过深入的分析和研究,掌握设计的关键技术,在消化、吸收的基础上,开发出同类型的创新产品。

创新具有上述各种类型设计的共同特征,是设计的本质属性。在设计过程中,设计人员需要充分发挥创造性思维,掌握设计的基本规律与方法,在设计实践中不断提高创新设计的能力。

1.3.3 创新设计的特点

创新设计必须具有独创性和实用性。充分考虑各种可行的工作原理,对多种可行方案进行对比分析,是确定创新设计方案的基本方法。创新设计具有如

下特点。

1. 独创性

独创性(新颖性)是创新设计的根本特征。

创新设计必须具有某些与其他设计不同的技术特征,这就要求设计者采用与其他设计者不同的思维模式,打破常规思维模式的限制,提出与其他设计者不同的新功能、新原理、新机构、新结构、新材料、新外观,在求异和突破中实现创新。下面介绍几个独创性创新设计的实例。

洗衣机的功能是去除织物上的污垢。常用洗衣机的结构有搅拌式、滚筒式、波轮式等,其工作原理是通过合理水流的排渗和冲刷作用带走织物上的污渍。为了提高洗衣机的工作效率和质量,减少洗衣机工作时对环境的污染,人们开发出多种新型的洗衣机。例如,超声波洗衣机通过超声波在水中产生大量的微小气泡,利用微小气泡破裂时的作用去除织物上的污垢;活性氧去污垢洗衣机利用电解水产生的活性氧分解衣服上的污垢;电磁去污洗衣机用夹子夹住衣物,通过电磁线圈产生的达2 500 Hz的微振去除衣物上的异物。此外,真空洗衣机、臭氧洗衣机等新型洗衣机正在研究中。

地效飞行器(图1-1)是苏联科学家发明的一种新型飞行器,它是一种载质量大、造价低、飞行速度快、安全性高、飞行隐蔽性能好的新型运载工具,可以近地面(水面)1~6 m飞行。地效飞行器将发动机前置,将喷射气流引导到机翼下,在近地面(水面)飞行时可以产生远大于高空飞行的升力,飞行安全、经济,是一种应用前景广阔的新型运载工具,除用于军事领域以外,也可以大量民用。

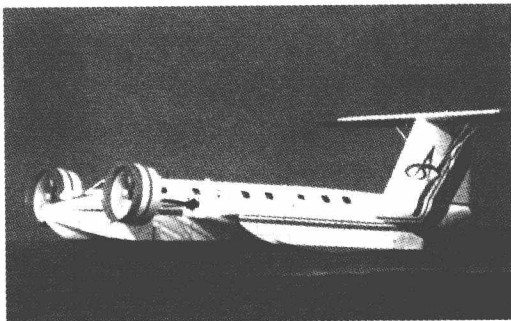


图1-1 地效飞行器

清华大学挑战杯科技竞赛上,一些学生设计的爬竿机器人设计巧妙,受到一致好评。其中一种设计方案中的机器人模仿尺蠖的动作向上爬行,爬行机构采用简单的曲柄滑块机构(图1-2),电动机与曲柄固接,用以驱动整个装置运动。滑块与竿连接部分的两个自锁套(单向运动装置)是实现功能的关键结构。当滑块相对于竿有向下运动的趋势时,钢球楔入锥形套与竿之间的楔形缝隙使机构自锁,保证滑块不能相对于竿向下滑动。当滑块相对于竿有向上运动的趋势时,钢球从楔形缝隙中滑落,解除自锁状态。爬竿机器人的爬行过程如图1-3所示。图1-3a所示为初始状态,上、下自锁套位于最远极限位置,同时处于锁