



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

# Machine Innovative Design

Third Edition

## 机械创新设计 第3版

张春林 李志香 赵自强 主编



配套教师课件

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



111122  
289-3

普通高等教  
“十三五”

教材  
项目

# 机械创新设计

第3版

主编 张春林 李志香 赵自强  
参编 陈亚琴 韩 刚 杨建伟  
孔凌嘉 韩宝玲 张 颖  
主审 申永胜 翁海珊

机械工业出版社

本书为“十三五”国家重点出版物出版规划项目（现代机械工程系列精品教材）。是一本介绍创新思维和机械创新设计方法的教材。全书从体系上分为三篇：机械创新设计的基础知识篇、机械创新设计的理论与方法篇和机械创新设计的实例篇。机械创新设计的基础知识篇包括：机械创新设计的思维基础和技术基础两章内容；机械创新设计的理论与方法篇包括：机构的演化和变异与创新设计、机构的组合与创新设计、机械结构与创新设计、仿生原理与创新设计、反求工程与创新设计、机械系统运动方案与创新设计、TRIZ理论与创新设计；机械创新设计的实例篇列举了工程中一些成功的创新设计实例，为创新理论与方法的应用提供了佐证。此外，本书在绪论中还对常规设计方法、现代设计方法和创新设计方法进行了分析对比；在附录中简要介绍了国内外的机械发展史。

本书部分内容配有视频动画，读者可扫描书中二维码直接观看。

本书可作为机械工程类专业的创新教育教材，也可供机械工程专业的教师和技术人员参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

机械创新设计/张春林，李志香，赵自强主编. —3版. —北京：机械工业出版社，2016.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-54484-5

I. ①机… II. ①张… ②李… ③赵… 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（2016）第 181249 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：余 皞 责任编辑：余 皞 程足芬 责任校对：佟瑞鑫

封面设计：张 静 责任印制：李 洋

北京新华印刷有限公司印刷

2016 年 10 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·371 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-54484-5

定价：35.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

# 前言

创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力。一个国家的创新能力，决定了它在国际竞争和世界总格局中的地位，所以我国正在为创建一个国家创新体系而努力。国家创新体系包括：知识创新系统、技术创新系统、知识传播系统和知识应用系统。其中，知识创新系统的核心部分是国家科学研究机构和研究型的大学；技术创新系统的核心部分是企业；知识传播系统的核心是指高等教育系统以及职业培训系统；知识应用系统的主体则是企业和社会，主要是知识和技术的应用。

近几年来，尽管我们的创新能力提高很快，创新成果也很丰富，但与世界发达国家的差距还很大，在高科技领域中，很多关键技术还要受制于人。例如，90%的发明专利掌握在发达国家手里，我国关键技术的对外依存率达50%，只有万分之三的国有企业拥有自主知识产权的核心技术。所以，作为知识传播系统核心单位的高等学校，开展创新教育已经是势在必行。

在计划经济时代形成的教育体制下，我国的高等工程教育用一个统一的培养方案来塑造全体大学生的培养模式，已经不适应改革开放后的社会主义市场经济的发展，也不适应科学技术发展的新趋势和新特点，难以培养出在国际竞争中处于主动地位的人才。为适应21世纪的知识经济和高科学技术的发展需要，必须更新教育思想和转变教育观念，探索新的人才培养模式，加强高等学校与社会、理论与实际的联系，从传授和继承知识为主的培养模式转向加强素质教育、拓宽专业口径、着重培养学生主动获取和运用知识的能力、独立思维和创新能力的融传授知识、培养创新能力、鼓励个性发展、全面提高学生素质为一体的具有时代特征的人才培养模式将是当前高等学校改革的主旋律。“培养创新能力、鼓励个性发展、全面提高学生素质”的基本教育思想必须通过各种教学环节予以落实，开设机械创新课程就是其中的重要措施之一。

随着科学技术的飞速发展和教学改革不断深入，加强基础、拓宽专业，培养适合21世纪科学技术发展的高级工程技术人才，是高等工科学校改革与建设的主要任务。在高等学校的教学改革中，培养学生的创新意识和提高学生的创新设计能力和工程实践能力，已经成为系列课程内容与课程体系改革的指导思想。但是，在制订培养学生的创新意识和创新设计能力的具体教学计划时，又遇到很多具体困难。因为我国的高等工程教育是按照理论课程体系和实践课程体系进行分类综合培养的，其中理论课程体系又分为基础课程、专业基础课程和专业课程。把培养学生创新能力的教育内容放到一些相关课程中去，还是单独开设创新设计课程，各高等学校都进行了深入的探讨与大量的实践，并逐步取得了共识：除在一些课程中力所能及地介绍创新设计内容外，单独开设介绍创新设计理论与方法的课程是非常必要的。本书就是在这种形势下，为了配合机械工程中创新教育要求而编写的。

各类企业与研究院所是创新的主体执行者，高等学校是培养创造型人才的摇篮，开

设机械创新设计课程是机械工程专业中培养创造性人才的探索与尝试。

目前,全面介绍发明学、创造学、创造思维、创造技法、创造与创新技法的书籍很多。许多读者读完后感觉到发明创造很重要,培养创造性思维也很重要,创造与创新技法也很好,但在具体设计过程中就是不知道如何去创新与创造,感觉到这些书的可读性很好,可操作性与可应用性不够。针对这一问题,很多专家学者进行了认真思考、不断探索与实践,编写了包含创新思维和创新技法的机械创新设计教科书。如清华大学的黄纯颖教授、北京化工大学的张美麟教授、燕山大学的曲继方教授、华中科技大学的杨亚军教授、重庆大学的吕仲文教授等都先后编写并出版了机械创新设计教材,并在机械类专业的人才培养过程中发挥了一定的作用。

经过多年的机械创新设计教学实践,不断探索机械创新设计的具体理论与方法,再结合其他学校的教学实践和要求,我们逐渐总结出一系列的可操作性强的机械创新设计方法,使机械创新理论与方法日益完善与成熟。因此,在机械工业出版社的支持下,我们决定修订新版的机械创新设计教材。

关于机械创新设计内容的确定原则说明如下:

在机械工程中,机构是执行机械运动的装置;机器也是执行机械运动的装置,同时还要完成能量的变换或信息的传递作用;从机械运动的观点看,机构和机器都是执行机械运动的装置,因此,机械创新设计的根本内容是执行机械运动装置的设计问题,而执行机械运动装置的设计问题又包括两大内容:其一是机构系统的设计,包含机构设计、机构组合设计、机构系统运动方案的设计等;其二是结构设计问题,包含机械形状、材料、结构、强度、刚度、工艺等。

为了说明机构及其系统的设计,本书提出了组成机械的最简机构、基本机构和基本机构组合的概念,分析了由最简机构、基本机构和基本机构组合而成的三类机械;建立了清晰的机构及其组合与创新的方法体系;为说明机械结构的设计,本书从机构运动简图到机械装配图的机械设计过程出发,阐述了各类运动副与构件的结构设计与创新,把机构创新设计拓展到了机械创新设计。

另外,反求原理和仿生原理与机械创新设计密切相关,也是机械创新设计的重要内容;近年来 TRIZ 理论在我国普及很快,且相应的创新软件也已经问世,所以本书也将其纳入机械创新内容中。剪叉机构的应用日趋广泛,本次修订增加了剪叉机构的基本知识和创新设计内容。

本书的第一篇为机械创新设计的基础知识篇,阐述机械创新设计所需要的思维基础和技术基础,这也是创新人员必备的基本业务素质;第二篇为机械创新设计的理论与方法篇,是本书的核心内容,包括机构的演化、变异原理与创新设计,机构组合与创新设计,机械结构与创新设计,仿生原理与创新设计,反求工程与创新设计,机械系统运动方案与创新设计,TRIZ 理论与创新设计;第三篇为机械创新设计的实例篇,以工程中的创新实例来辅助说明创新方法的应用过程,从而加强对创新理论与方法的理解。附录简单介绍世界机械发明史与中国古代机械发明史,从而说明机械的发展与创新过程对人类社会的发展与世界文明进程产生的巨大贡献。

本课程是机械原理和机械设计的后续课程,在进行教学安排时应予以注意。

为配合教学工作,本书还配备了供教师课堂教学使用的 CAI 教学课件模板,教师可

按任课专业的需要修改或完善适合自身教学特点的 CAI 课件；该课件也可供学生复习之用。课件中包括三维动画、二维动画以及符合教学认知规律的动、静相结合的动画与图形。授课教师可到机工教育网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 以教师身份注册后下载。

参加本书编写的教师有：张春林、李志香、赵自强、陈亚琴、韩刚、杨建伟、孔凌嘉、韩宝玲、张颖。全书由张春林教授负责统稿并担任主编。

本书由原教育部机械基础课程教学分指导委员会委员、清华大学的申永胜教授和原教育部机械基础课程教学分指导委员会副主任委员、北京科技大学的翁海珊教授担任主审，两位教授对全书进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵的修改意见，编者在此表示衷心的感谢。

由于机械创新设计的理论与方法还在不断地发展和完善过程中，且作者水平有限，所以本教材的内容会存在误、漏和欠妥之处，敬请读者批评指正。

张春林  
于北京理工大学

# CONTENTS

## 目 录

### 前言

第一章 绪论	1
第一节 创新与创新设计	1

第二节 常规设计、现代设计与创新设计	4
第三节 机械创新设计的内容	7
第四节 创新教育与人才培养	10

## 第一篇 机械创新设计的基础知识篇

第二章 机械创新设计的思维基础	14
第一节 思维概述	14
第二节 思维的类型	15
第三节 创造性思维的形成与发展	18
第四节 思维方式与创新方法	20
第三章 机械创新设计的技术基础	24

第一节 机器的组成分析	24
第二节 机构及其机械运动形态分析	26
第三节 机械的控制系统	37
第四节 机械运动及其控制	42
第五节 机械系统及其发展	48

## 第二篇 机械创新设计的理论与方法篇

第四章 机构的演化、变异与创新设计	52
第一节 机架变换与创新设计	52
第二节 构件形状变异与创新设计	54
第三节 运动副形状变异与创新设计	56
第四节 运动副等效代换与创新设计	58
第五章 机构的组合与创新设计	61
第一节 机构组合的基本概念	61
第二节 机构组成原理与创新设计	63
第三节 机构的串联组合与创新设计	69
第四节 机构的并联组合与创新设计	72
第五节 机构的叠加组合与创新设计	73
第六节 机构的封闭组合与创新设计	76
第七节 其他类型的机构组合与创新设计	79
第八节 剪叉机构及其创新设计	80
第六章 机械结构与创新设计	86
第一节 机械结构设计概念与基本要求	86
第二节 转动副的结构与创新设计	87
第三节 移动副的结构与创新设计	93
第四节 构件的结构与创新设计	97
第五节 机架的结构与创新设计	105
第六节 机械零件结构的集成化与创新设计	108

第七节 机械产品的模块化与创新设计	110
第七章 仿生原理与创新设计	115
第一节 仿生学与仿生机械学简述	115
第二节 仿生机械手	117
第三节 步行与仿生机构的设计	121
第四节 爬行与仿生机构的设计	128
第五节 飞行与仿生机构的设计	131
第六节 游动与仿生机构的设计	135
第八章 反求工程与创新设计	138
第一节 反求设计概述	138
第二节 技术引进与反求设计	141
第三节 机械设备的反求设计	143
第四节 技术资料的反求设计	150
第五节 计算机辅助反求设计	154
第九章 机械系统运动方案与创新设计	160
第一节 机械系统概述	160
第二节 机械系统运动方案的基本知识	162
第三节 机械系统运动方案设计的构思	165
第四节 机械系统的运动协调设计	168
第五节 机械系统运动方案设计的过程与评估	171
第十章 TRIZ 理论与创新设计	178

第一节 TRIZ 理论概述 .....	178	第三节 TRIZ 理论及其应用 .....	184
第二节 技术系统及其进化法则 .....	181	第四节 计算机辅助创新设计简介 .....	195

### 第三篇 机械创新设计的实例篇

第十一章 机械创新设计实例分析 .....	200	第五节 发动机主体机构的创新设计案例 分析 .....	211
第一节 平动齿轮传动装置的创新设计 案例分析 .....	200	附录 机械发明创造史与知识经济 .....	214
第二节 机构应用创新设计案例分析 .....	203	第一节 中国古代机械发明创造史简介 .....	214
第三节 箭杆织机打纬凸轮机构的创新设计 案例分析 .....	205	第二节 西方各国机械发明创造史简介 .....	223
第四节 多功能平口钳的创新设计案例 分析 .....	209	第三节 现代机械文明与知识经济 .....	224
		参考文献 .....	228



# 第一章

## 绪 论

本章介绍发明、发现、创造与创新的基本概念；介绍传统设计、现代设计、创新设计的概念与区别；概括创新思维与方法；论述创新教育中的智力因素和非智力因素的培养是素质教育的重要组成部分。

### 第一节 创新与创新设计

#### 一、创新的概念

发明与创造是人类文明进步的原动力，在人类社会的发展与进步过程中发挥了极其重要的作用。如创造原始的工具使原始人类进入劳动状态，使用原始工具的劳动创造了人类自身；火的发现与利用改变了原始人类茹毛饮血的野蛮生活，熟食提高了原始人类的智商，为人类进化提供了良好的物质基础；简单机械的发明提高了劳动生产率。人类在农业领域、手工操作等领域的创造逐渐把人类带入初级的文明社会。可见，发明与创造不但对人类科学世界观的形成和发展产生了巨大而深远的影响，而且使科学成为推动社会变革的有力杠杆，促进了人类社会的发展进程。随着科学技术的迅速发展和人类社会的高度进步，一个以知识及其产品的生产、流通和消费为主导的经济时代已经到来。20世纪末期，世界进入到知识经济时代。知识经济发展的两大要素是科学方法到技术创新的因果循环速度和技术创新的数量与质量。“创新”一词开始频繁出现，并超过了“发明”与“创造”的使用频率。

创新的概念最早由美国经济学家舒彼特（J. A. Schumpeter）在1912年出版的“经济发展理论”一书中提出，他把创新的具体内容概括为以下几个方面：采用新技术，生产新产品，研制新材料，开辟新市场，采用新的组织模式或管理模式。同时，他还提出“创新”是一种生产函数的转移。

在世界进入知识经济的时代，创新更是一个国家经济发展的基石。当今世界中，创新能

力的大小已经成为一个国家综合国力强弱的重要因素。在国际竞争中,国防、工业、农业等领域内的竞争越来越表现为科学技术能力和人才的竞争,特别是表现为创新性人才的竞争。所以,培养具有创新意识和创新能力的人才是一等学校的重要任务。

为了更加了解创新的含义,把与之相近的概念,诸如发现、发明、创造等概念从哲学的观点加以对比说明。

“发现”是指原本早已客观存在的事物,经过人们不断努力和探索后被人们认知的具体结果。不断出现的新发现,可以帮助人类更加深入地认识世界和改造世界。如人类在太空探索过程中,不断发现新的星体,尽管这些星体早已在太空存在,但对它们的新发现对人类认识宇宙起了很好的推动作用。人类发现了自然界由于雷电作用引起的火并应用到食物烤制和冬季取暖,这是一种由“发现”而产生的应用创新;在以后使用火的过程中,人类逐渐学会了钻木取火,这就是发明或创造。门捷列夫发现了化学元素周期表,但科学家人工合成的新元素则是一种创造。一般说来,发现新事物,可帮助人类认识世界;把发现的结果应用到人类社会的实践活动中,就完成了由发现到应用创新的过程。但并不是所有的发现都能导致应用创新。

发明是指人们提出或完成原本不存在的、经过不断努力和探索后提出的或完成的具体结果。如美国发明家爱迪生发明的电灯、留声机、电报等都是伟大的发明。中国古代的造纸术、活字排版印刷术、指南针、火药等也是伟大的发明,近代电子计算机的发明则奠定了现代高科技的发展基础。

综上所述,发明与发现有着明显的区别。

创造也是一种完成新成果的过程,但这种新成果可能有一定的参照物,而不强调原本不存在的事物。创造往往是借助一种现实去实现另一种目的的过程。如我们常说的劳动创造了世界,劳动创造了人。如借助已经出现的蒸汽机,安装在陆地车辆上,则创造出机车;安装在船上,则创造出轮船。现实生活中,人们常把发明与创造联系在一起。实际上,严格区别二者的差异也没有工程意义。但在哲学范畴中,二者是有一定差别的。

创新与创造也没有本质差别,创新是创造的具体实现。但创新更强调创造成果的新颖性、独特性和实用性。所以创新是指提出或完成具有独特性、新颖性和实用性的理论或产品的过程。

从创新的内容看,一般把创新分为知识创新(也称理论创新)、技术创新和应用创新。知识创新是指人们认识世界、改造世界的基本理论的总结。一般以理论、思想、规则、方法、定律的形式指导人们的行动。知识创新的难度最大,如哲学中的“辩证唯物主义”、物理学中的“相对论”、机械原理中的“三心定理”“格拉肖夫法则”等都是知识创新。知识创新是人们改造世界的指导理论。

技术创新是指针对具体的事物,提出并完成具有新颖性、独特性和实用性的新产品的过程。如计算机、机器人、加工中心、航天飞机、宇宙飞船等许多的高科技产品都是技术创新的具体体现。

应用创新是指把已存在的事物应用到某个新领域,并发生很大的社会与经济效益的具体实现过程。如把军用激光技术应用到民用的舞台灯光、医疗手术刀等,把曲柄滑块机构应用到内燃机的主体机构,把平行四边形机构应用到升降装置中等都是典型的应用创新。

社会实践中,有两种创新方式。其一是由无到有的创新,其二是由有到新的创新。从无到有的创新都有一个较长时间的过渡期,这种创新的过程就是发明的过程,是知识的积累和

思维的爆发相结合的产物。如人类社会先有牲畜驱动的车辆,发明内燃机后,将内燃机安置在车辆上,并进行多次实验改进后才发明了汽车,实现了从无到有的突破。原始的汽车经过多年的不断改进,其安全性、舒适性、可靠性、实用性等性能不断提高。这是经过从有到新的不断创新的结果。

创新的概念并不神秘,创新的成果却来之不易。勤奋的工作,持之以恒的努力,坚实的基础知识和思维灵感的结合,是实现创新的途径。

## 二、创新设计的概念

首先,回顾设计的概念。设计一词源于拉丁语“designare”,其中“de”表示“记下”,“signare”表示“符号和图形”,合在一起的意思是记下符号和图形。后来发展到英文单词“design”,其含义也更加完善。设计的含义是指根据社会或市场的需要,利用已有的知识和经验,依靠人们思维和劳动,借助各种平台(数学方法、实验设备、计算机等)进行反复判断、决策、量化,最终实现把人、物、信息资源转化为产品的过程。这里的产品是广义概念,含装置、设备、设施、软件以及社会系统等。

创新设计是指在设计领域中的创新。一般指在设计领域中,提出的新的设计理念、新的设计理论或设计方法,从而得到具有独特性和新颖性的产品,达到提高设计的质量、缩短设计时间的目的。

机械创新设计则是指机械工程领域内的创新设计,它涉及机械设计理论与方法的创新、制造工艺的创新、材料及其处理的创新、机械结构的创新、机械产品维护及管理许多领域的创新。

## 三、创造性思维与创造能力

创造性思维活动是创新设计的主体,创造性思维活动过程如下。

### 1. 创造性思维与潜创造能力

思维方式分为逻辑思维和直觉思维,逻辑思维又包括抽象逻辑思维和形象逻辑思维。

逻辑思维是一种严格遵循人们在总结事物活动经验和规律的基础上概括出来的逻辑规律,进行系统的思考,由此及彼的联动推理。逻辑思维有纵向推理、横向推理和逆向推理等几种方式。

纵向推理是针对某一现象进行纵深思考,探求其原因和本质而得到新的启示。

横向推理是根据某一现象联想其特点与其相似或相关的事物,进行“特征转移”而进入新的领域。

逆向推理是根据某一现象、问题或解法,分析其相反的方面,寻找新的途径。

灵感思维的基本特征是其产生的突然性、过程的突发性和成果的突破性。在灵感思维的过程中,不仅是意识起作用,而且潜意识也在发挥着重要的作用。

创造性思维是逻辑思维和灵感思维的综合,这两种包括渐变和突变的复杂思维过程互相融合、补充和促进,使设计人员的创造性思维得到更加全面的开发。

知识就是潜在的创造力。人的知识来源于教育和社会实践。受教育的程度和社会实践经验的不同,导致了人们知识结构的差异。凡是具有知识的人都具有潜在的创造力,只不过随着知识结构的差异,其潜在在创造力的大小不同而已。知识的积累过程就是潜创造力的培养过程。知识越丰富,潜创造力就越强。

创造性思维与潜创造能力是创新的源泉和基础。

### 2. 创新的涌动力

存在于人类自身的潜创造能力, 只有在一定压力和一定条件下才会释放出能量。这种压力来自社会因素和自身因素。社会因素主要指周边环境的内外压力, 自身因素主要指强烈的事业心。社会因素和自身因素的有机结合, 才能构成创新的涌动力。没有创新涌动力就没有创新成果的出现。

创新的过程一般可归纳为:

知识(潜创造力) + 创新涌动力 + 灵感思维  $\Rightarrow$  创新成果

## 第二节 常规设计、现代设计与创新设计

机械设计方法对机械产品的性能有决定作用。一般说来, 可把设计方法分为正向设计和反向设计, 反向设计也称反求设计。正向设计的过程是首先明确设计目标, 然后拟订设计方案, 进行产品设计、样机制造和实验, 最后投产的全过程。正向设计方法可分为常规设计方法(又称传统设计方法)、现代设计方法和创新设计方法。它们之间有区别, 也有共同性。反向设计的过程是首先引进待设计的产品, 以此为基础, 进行仿造设计、改进设计或创新设计的过程。

### 一、常规设计

常规机械设计是依据力学和数学建立的理论公式或经验公式为先导, 以实践经验为基础, 运用图表和手册等技术资料, 进行设计计算、绘图和编写设计说明书的设计过程。一个完整的常规机械设计主要由下面的各个阶段组成:

(1) 市场需求分析 本阶段的标志是完成市场调研报告。

(2) 明确产品的功能目标 本阶段的标志是明确设计任务书。

(3) 方案设计 拟订运动方案, 通过对设计方案的选择与评价, 最后决策确定出一个相对最优方案是本阶段的工作标志。

(4) 技术设计阶段 技术设计是机械设计过程中的主体工作, 该阶段的工作任务主要包括机构设计、机构系统设计(含运动协调设计)、结构设计、总装设计等, 该阶段的工作标志是完成设计说明书和全部设计图的绘制工作。

(5) 制造样机 制造样机并对样机的各项性能进行测试与分析, 完善和改进产品的设计, 为产品的正式投产提供有力的证据。

常规机械设计方法是应用最为广泛的设计方法, 也是相关教科书中重点讲授的内容。如机械原理中的连杆机构综合方法、凸轮廓线设计方法、齿轮几何尺寸的计算方法、平衡设计方法、飞轮设计方法以及其他常用机构的设计方法等都是常规的设计方法。

常规设计是以成熟技术为基础, 运用公式、图表、经验等常规方法进行的产品设计, 其设计过程有章可循, 目前的机械设计大都采用常规的设计方法。常规设计方法是机械设计的主体。如轴的结构设计(见图 1-1), 先按式(1-1)估算出轴的最小直径

$$d \geq c \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (1-1)$$

然后, 根据轴上零件的周向定位、轴向定位等安装情况, 查阅图表确定其他部位的尺寸, 图 1-1 所示为轴系结构设计过程的图形表达结果。常规机械设计方法是机械设计中不可替代的方法。

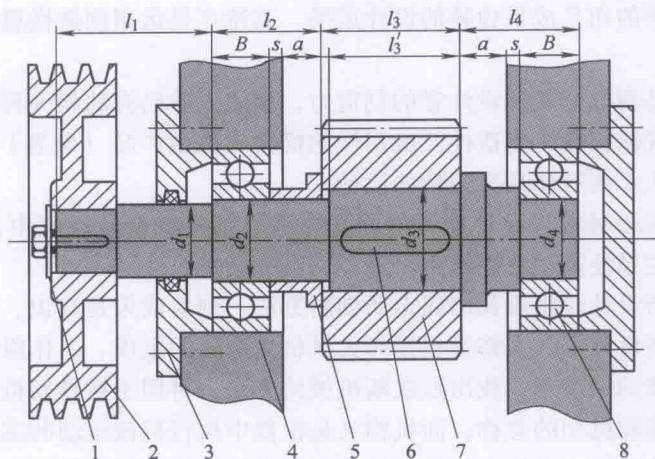


图 1-1 轴系结构的常规设计

1—螺钉及垫圈 2—带轮 3—端盖 4—箱体 5—套筒 6—键 7—齿轮 8—轴承

在常规机械设计过程中，也包含了设计人员的大量创造性成果，例如在方案设计阶段和结构设计阶段中，都含有设计人员的许多创造性设计过程。

## 二、现代设计

相对于常规设计，现代设计则是一种新型设计方法，其在机械设计过程中的优越性日渐突出，应用日益广泛。

现代设计是以计算机为工具、以工程设计与分析软件为基础、运用现代设计理念的新型设计方法。与常规设计方法的最大区别是强调运用计算机、工程设计与分析软件和现代设计理念，其特点是产品开发的高效性和高可靠性。

现代设计的内容极其广泛，可运用的学科繁多。计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、有限元设计、并行设计、虚拟设计等都是经常运用的现代设计方法。

现代设计方法具有很大的通用性。例如，优化设计的基本理论不仅可用于机构的优化设计、机械零件的优化设计，而且可用于电子工程、建筑工程等许多领域中。因此，通用的现代设计方法和专门的现代设计方法发展都很快。比如，优化设计与机械优化设计、可靠性设计与机械可靠性设计、计算机辅助设计与机构的计算机辅助设计等并行发展，设计优势明显，应用范围日益扩大。

现代设计方法强调运用计算机、工程设计与分析软件和现代设计理念的同时，其基本的设计过程仍然是运用常规设计的基本内容。所以在强调现代设计方法的时候，切不可忽视常规设计方法的重要性。

ADINA、NASTRAN、I-DEAS、Pro-E、UG、Solid Edge、Solid Works、ADAMS 等都是常用的工程设计分析应用软件。

## 三、机械创新设计

常规性设计是以运用公式、图表为先导，以成熟技术为基础，借助设计经验等常规方法进行的产品设计，其特点是设计方法的有序性和成熟性。

现代设计强调以计算机为工具，以工程软件为基础，运用现代设计理念的设计过程，其特点是产品开发的高效性和高可靠性。

创新设计是指设计人员在设计中发挥创造性，提出新方案，探索新的设计思路，提供具

有社会价值的、新颖的而且成果独特的设计成果。其特点是运用创造性思维,强调产品的独特性和新颖性。

机械创新设计是指充分发挥设计者的创造力,利用人类已有的相关科学技术知识进行创新构思,设计出具有新颖性、创造性及实用性的机构或机械产品(装置)的一种实践活动。它包含两个部分:从无到有和从有到新的设计。

机械创新设计是相对常规设计而言的,它特别强调人在设计过程中,特别是在总体方案、结构设计中的主导性及创造性作用。

一般说来,创新设计时很难找出固定的创新方法。创新成果是知识、智慧、勤奋和灵感的结合,现有的创新设计方法大都是根据对大量机械装置的组成、工作原理以及设计过程进行分析后,在进一步归纳整理,找出形成新机械的方法,再用于指导新机械的设计中。

由于机械是机器和机构的总称,而机构又是机器中执行机械运动的主体,所以机械创新的实质内容是机构的创新。机构中的构件结构创新也是机械创新设计的组成部分,本书主要讨论机构的创新设计方法。

实践源于人类的生产活动,理论来源于对实践活动的总结,由实践活动中产生理论,然后,理论又可指导实践。创新设计方法的诞生也符合人类的认知规律。本书介绍的机构创新方法也是设计活动的总结和提高。常见机构创新设计方法主要有:利用机构的组合、机构的演化与变异和运动链的再生原理进行创新设计。

#### 四、不同设计方法的设计实例分析

常规设计和现代设计是最常用的工程设计方法,创新设计是近来最提倡的设计方法。不同的设计方法对设计结果影响很大。下面以典型的设计实例说明不同设计方法带来的不同结果。

##### 1. 薯条加工机的设计

###### (1) 常规设计方法

第一道工序:清洗→设计清洗机。

第二道工序:削皮→设计削皮机。

马铃薯固定,刀旋转,完成削皮的任务。

第三道工序:切片后再切条→完成切条的任务。

缺点是需要清洗、削皮、切条三套设备。而且由于马铃薯形状和大小差异很大,控制削皮的厚度较难,导致马铃薯浪费严重,生产率也低。图 1-2 所示为薯条去皮加工过程示意图。

(2) 现代设计方法 采用计算机仿真、优化设计等现代设计方法,可减少消耗、提高产量,但产品的工序基本同常规设计,生产机械的本质没有变化。

(3) 创新设计方法 用创新的理念和思维设计的薯条加工机与上述结果有很大的不同。

第一道工序:清洗→设计清洗机。

第二道工序:粉碎、过滤去皮、沉淀制浆、通过型板压制制成条状。

很明显,利用创新方法设计的加工机具有更大的市场应用前景。因此,大力提倡创新设计,就必须进行创新意识和创新能力的培养。学习一些创新技法也就显得非常必要。

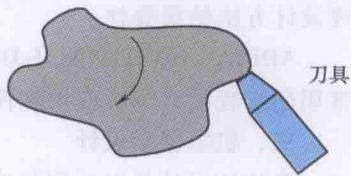


图 1-2 薯条去皮加工过程示意图

## 2. 椰汁加工机的设计

### (1) 常规设计方法 (见图 1-3)

第一道工序：去椰皮，劈两半。

第二道工序：设计削肉机；椰壳固定，刀旋转，完成切肉的任务。

第三道工序：粉碎制汁。

缺点是需要削皮、分开、去肉、制汁三套设备，而且由于椰壳形状和大小差异很大，控制切肉的厚度较难，导致浪费严重，生产率也低。

(2) 采用现代设计方法 采用计算机仿真、优化设计等现代设计方法，可减少椰肉消耗、提高产量，但产品的工序基本同常规设计，生产机械的本质没有变化。

(3) 采用创新设计方法 用创新的理念和思维设计的椰汁加工机与上述结果有很大的不同。

第一道工序：去皮。

第二道工序：注射一种溶剂，溶解椰肉成液体，加水即成椰汁。提高了生产率、减少了消耗、降低了机械成本。很明显，采用创新设计导致的产品性能最佳。



图 1-3 椰肉加工过程

## 第三节 机械创新设计的内容

### 一、有关机构的几个名词术语

在机构创新设计过程中，机构、最简机构、基本机构、常用机构、机构的组合是使用得最多的术语，以下分别说明。

(1) 机构 机器中执行机械运动的装置统称为机构。

(2) 最简机构 把由 2 个构件和 1 个运动副组成的开链机构称为最简单的机构，简称最简机构。其要素是组成机构的最少构件为 2 且为开链机构。图 1-4 所示机构为最简机构的两种形式。其中，电动机、鼓风机、发电机等定轴旋转机械的机构简图常用图 1-4a 所示的最简机构表示；往复移动的电磁铁机构和液压缸机构等常用图 1-4b 所示的最简机构表示。

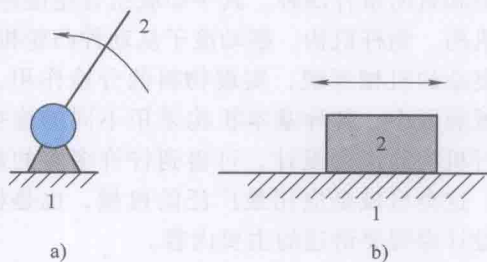


图 1-4 最简机构示意图

机构学中，图 1-4a 所示的最简机构应用比较广泛，机械的原动机常用最简机构表示。

(3) 基本机构 把含有 3 个构件以上、不能再进行拆分的闭链机构称为基本机构。其要素是闭链且不可拆分性。如各类四杆机构、五杆机构、3 构件高副机构（凸轮机构、齿轮机构、摩擦轮机构、瞬心线机构）、3 构件间歇运动机构和螺旋机构、3 构件的带传动机构和链传动机构等都是基本机构。任何复杂的机构系统都是由基本机构组合而成的。这些基本机构可以进行串联、并联、叠加连接和封闭连接，组成各种各样的机械，完成各种各样的动作。所以，研究基本机构的运动规律以及它们之间的组合方法，是研究机构创新设计的本质。

图 1-5 所示的单自由度铰链四杆机构和二自由度的五杆机构都是基本机构, 它们都是闭链且具有不可拆分性。

(4) 基本机构的组合 各基本机构通过某些方法组合在一起, 形成一个较复杂的机械系统, 这类机械是工程中应用最广泛, 也是最普遍的。

基本机构的组合方式有两类。其一是各基本机构之间没有互相连接, 而是各自单独动作, 但各机构的运动关系必须满足一定协调关系的机构系统。

图 1-6 所示的自动输送机械系统中, 液压机构 1 把物料 1 从传送带 1 上自左往右推动到传送带 2 上, 液压机构 2 把物料从传送带 2 上自下往上推动到指定位置。两套液压机构互不连接地单独工作, 其运动的协调由控制系统完成, 实现既定的工作目标。这类机械系统的应用很广泛, 设计中的主要问题是机构的选型设计与运动的协调设计。目前, 采用自动控制的方法进行运动协调设计的机械装置越来越多。

其二是各基本机构通过某些连接方式组成一个机构系统, 机构之间的连接方式主要有串联组合、并联组合、叠加组合和封闭组合四种。其中串联组合是应用最普遍的组合。图 1-7 所示的机械系统中, 带传动机构、蜗杆机构、摆动滚子从动件凸轮机构、铰链四杆机构和正切机构互相串联, 形成一个复杂的机械系统, 实现物料的分检作用。实际机械装置中, 各种基本机构采用不同的连接方法进行机构的组合设计, 可得到许许多多的新型机械。这类机械是应用最广泛的机械, 也是机械创新设计课程要讲述的主要内容。

只要掌握基本机构的运动规律和运动特性, 再考虑到机械系统的具体工作要求, 选择适当的基本机构类型和数量, 对其进行组合设计, 为创造性设计新机构提供了一条最佳途径。

## 二、机构创新设计的内容

机构创新设计的内容可分为三大类, 即机构的创新设计、机构的应用创新设计和机构组合的创新设计。

### 1. 机构的创新设计

机构的创新设计是指利用各种机构的综合方法, 设计出能实现特定运动规律、特定运动轨迹或特定运动要求的新产品的过程。

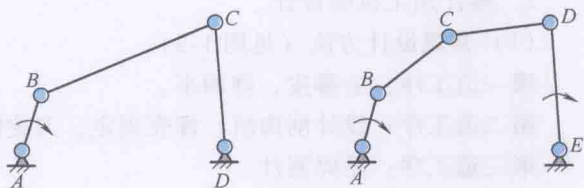


图 1-5 基本机构示例

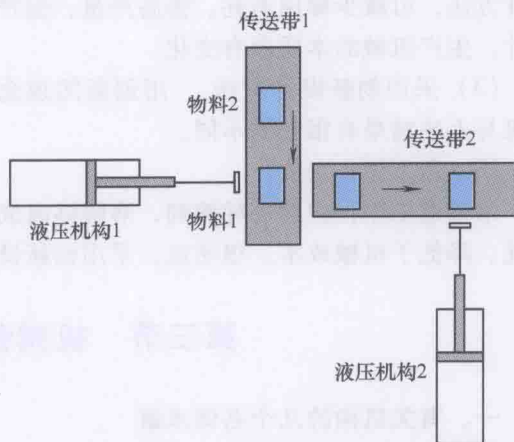


图 1-6 由互不连接的基本机构组成的机构系统

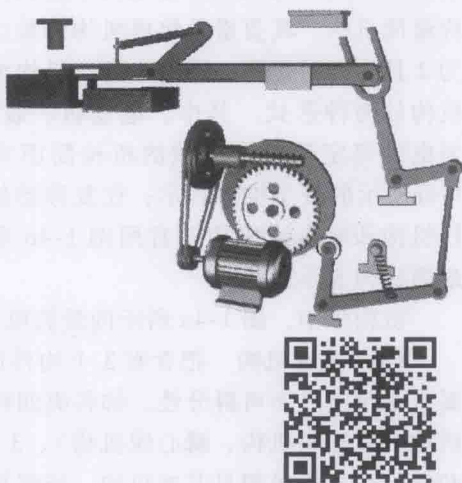


图 1-7 连接基本机构组合组成的机构系统





机械原理课程中的许多内容富有创造性,各种典型机构的综合就含有设计人员的创造性。如设计实现特定运动轨迹、特定运动规律的连杆机构,设计实现特定运动规律的凸轮机构或其他类型的机构都属于机构的创新设计。这类机构的设计方法在机械原理课程中已有阐述,本书不做进一步的探讨。

每一种新机构的问世,都会带来巨大的经济和社会效益,并促进人类社会的发展。如瓦特机构、斯蒂芬森机构促进了蒸汽机车的发展,斯特瓦特机构导致了新型的航天运动模拟器、车辆运动模拟器和并联机床的诞生。图 1-8 所示为斯特瓦特机构的应用。所以每创新出一种新机构,都会促进生产的发展和科学技术的进步。

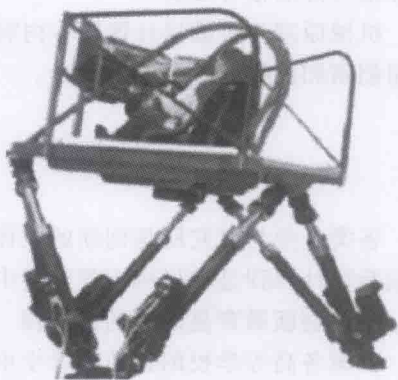


图 1-8 斯特瓦特机构的应用

## 2. 机构的应用创新设计

机构的应用创新设计是指在不改变机构类型的条件下,通过机构中的机架变换、构件形状变异、运动副的形状变异、运动副自由度的等效替换等手段,设计出满足生产需要的新产品的过程。

一个很简单的机构,通过一些变换,可以设计出各种不同形状的机械装置,满足各种机械的工作需要。

图 1-9a 所示为一个常见的曲柄滑块机构,经过运动副  $B$  的销钉扩大后,可演化出图 1-9b 所示的偏心盘机构。该机构可广泛应用在短曲柄的冲压装置中。对运动副  $B$ 、 $C$  进行变异后,可得到图 1-9c 所示的泵机构;如对转动副  $B$ 、 $C$ ,移动副及其构件形状同时进行变异,可得到图 1-9d 所示的剪床机构。相同机构采用不同的变异方式,可获得许多机构简图相同,但其机械结构和用途不同的机械装置。这类设计称为机构的应用创新设计。

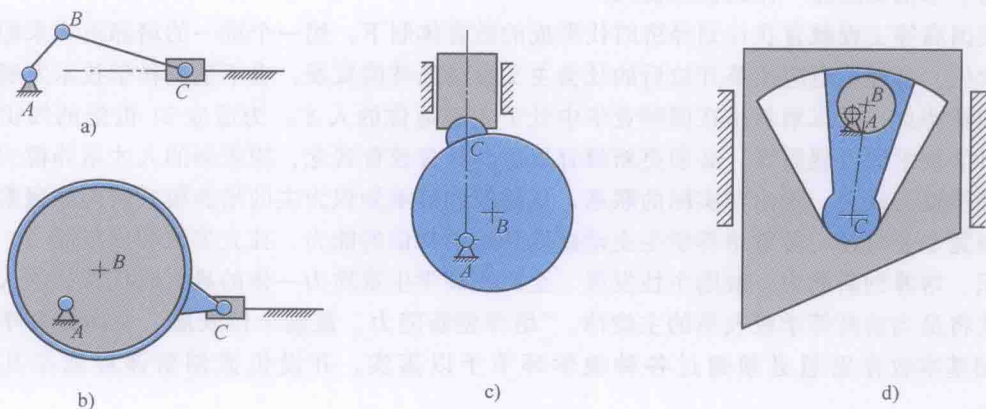


图 1-9 曲柄滑块机构应用示意图

a) 曲柄滑块机构 b) 偏心盘机构 c) 泵机构 d) 剪床机构

由于机构的类型有限,只有通过应用创新才能不断扩大其应用范围。

## 3. 机构组合的创新设计

机构组合的创新设计通常有两种模式。其一是各种基本机构单独工作,通过机械手段和