



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

机械创新设计 (第2版)

张有忱 张莉彦 编著
张美麟 主审



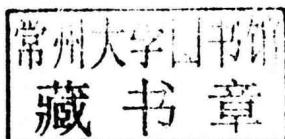
清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

机械创新设计 (第2版)

张有忱 张莉彦 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分为9章。第1章为绪论,介绍了创造、创新和设计的基本概念,创新教育与创新人才的培养,机械创新设计与社会发展的关系。第2章为创新思维与技法,主要以创造学的理论为依据,结合实际问题分析了创新思维的特点与创新思维的过程,并分析介绍了几种常用的创新技法。第3章为机械系统方案与创新设计,重点论述了技术冲突解决原理(TRIZ理论)、建立原理解法目录、资源的分析与利用等系统方案创新的基本方法,以及构型的综合问题。第4~6章为机构的各种创新方法,分别就机构的变异与演化、机构的组合、机构的再生等创新设计技法进行分析与论述。第7章为机械结构设计与创新,介绍了在机械结构设计过程中,要充分考虑的基本要求,并分别从机械结构的功能,结构元素的变换,模块拼接与结构复用,以及材料、加工、装配、输送等方面,讨论了机械结构创新的要求与实现途径。第8章为反求设计与创新,介绍了反求设计的基本概念、反求设计的内容与基本过程,并对几个典型案例进行了反求设计分析。第9章为创新实例与分析,以全国大学生机械创新大赛的参赛作品为例,分析了创新基本理论在作品中的实际应用。各章后附有习题,可供读者练习。

本书可作为高等学校教材,也可供有关教师及工程技术人员或科研人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械创新设计/张有忱,张莉彦编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2018

(中国机械工程学科教程配套系列教材 教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材)

ISBN 978-7-302-50259-3

I. ①机… II. ①张… ②张… 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(2018)第 100614 号

责任编辑:许 龙

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:董 瑾

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:12.5

字 数:303千字

版 次:2011年1月第1版

2018年5月第2版

印 次:2018年5月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:36.00元

产品编号:077458-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械类专业教学指导委员会规划教材

编 委 会

顾 问

李培根院士

主 任 委 员

陈关龙 吴昌林

副主任委员

许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)

韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书

庄红权

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

第 2 版前言

FOREWORD

习近平总书记在中国共产党第十九次代表大会的报告中,多次出现“创新”一词,可见其受重视程度。他曾在欧美同学会成立一百周年庆祝大会上的讲话中指出:“创新是一个民族进步的灵魂,是一个国家兴旺发达的不竭动力,也是中华民族最深沉的民族禀赋。在激烈的国际竞争中,惟创新者进,惟创新者强,惟创新者胜。”国民经济的发展水平取决于国家科学技术的发展水平,科学技术的发展水平在很大程度上又取决于科技创新的水平,而科技创新的水平又依赖于科技人员的创新能力的高低。创新人才的培养,根本的一条就是要靠教育。好的教育就必须有好的教材,一部好的教材就要不断的修改与完善。

本书是在第 1 版的基础上进行修订的。自 2011 年出版发行以来,第 1 版教材在国内多所高等工科院校得到使用。使用过程中,任课教师发现了一些书中存在的问题并提出一些建设性的意见,因此,需要对本书做进一步改进与完善。此次修订中,作者首先对第 1 版教材中存在的一些错误进行了更正,同时将近几年的科学技术成果的内容引入到教材中,比如,中国天眼 FAST、单轨悬挂式列车等成果;另外,补充了部分新的习题,并将近几年全国大学生机械创新设计大赛中优秀作品补充到创新实例中。

本书承北京化工大学张美麟教授审阅,她对本书提出许多宝贵意见和建议,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,此次修订中错误和不当之处仍在所难免,还恳请各位任课教师和广大读者批评指正。

编 者

2018 年 3 月

前言

FOREWORD

江泽民同志曾经指出：“创新是一个民族进步的灵魂，是国家兴旺发达的不竭动力”。国民经济的发展水平取决于国家科学技术的发展水平，科学技术的发展水平在很大程度上又取决于科技创新的水平，而科技创新的水平又依赖于科技人员的创新能力的高低。创新是技术和经济发展的原动力。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。

要培养出优秀的创新人才，除了需要被教育者具有一定的天赋外，教育机构以及教育工作者所遵循的教育观念和人才培养模式也起到很大的作用。创新人才的培养，根本的一条就是要靠教育。

我国现在是一个经济大国，但还不是一个经济强国。要想早日成为经济强国，就必须构建一个国家创新体系。这个体系可分为知识创新系统、技术创新系统、知识传播系统、知识应用系统和知识产权管理与保护系统。其中知识传播系统主要是指高等教育系统和职业培训系统，也就是说大学的教育是国家创新体系中不可缺少的一部分，承担着培养适应社会经济发展与科技进步的大批创新人才的历史重任。

经过多年的机械创新设计课程的教学和参与机械创新设计大赛的学生指导工作，作者逐渐探索出了一些机械创新的理论如何与实际的机械创新设计相融合的具体方法，初步了解了大学生在创新设计思维上的一些规律，所以觉得有必要编写一本适合学生学习和指导学生创新设计的教材。

本书从创新设计基本理论出发，研究讨论创造性思维、创造原理和创造技法；针对机械系统和装置的方案设计、机构设计、结构设计等环节，从各个角度探讨创新设计的规律。本书结合大学生机械创新设计大赛的参赛作品和部分工程设计实践案例，培养学生对机械创新设计的兴趣，提高学生的创新设计能力，力图做到理论联系实际、深入浅出、便于理解。

本书第1、2、3、7、8、9章由北京化工大学张有忱编写；第4、5、6章由北京化工大学张莉彦编写；全书由张有忱统稿。

本书承北京化工大学张美麟教授审阅,她对本书提出许多宝贵意见和建议,作者在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限,错误和不当之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者

2010年11月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 创新设计概述	1
1.1.1 创造、创新与设计	1
1.1.2 创新设计	2
1.1.3 创新的风险	3
1.2 创新人才的培养	3
1.2.1 人才培养与创新教育	3
1.2.2 创新人才的特点	5
1.2.3 创新人才的培养	6
1.3 机械创新设计与社会发展的关系	10
习题	11
第 2 章 创新思维与技法	12
2.1 创新思维	12
2.1.1 思维及类型	12
2.1.2 创新思维的特点	14
2.1.3 创新思维的过程	16
2.1.4 创新思维的方式	17
2.2 创新技法	22
2.2.1 观察法	22
2.2.2 类比法	24
2.2.3 移植法	25
2.2.4 组合法	26
2.2.5 换元法	27
2.2.6 还原法	27
2.2.7 穷举法	28
2.2.8 集智法	29
2.2.9 设问探求法	31
2.2.10 逆向转换法	34
习题	35

第3章 机械系统方案与创新设计	37
3.1 概述	37
3.1.1 机械系统的基本概念	37
3.1.2 机械系统设计的主要过程	40
3.1.3 机械系统方案设计	41
3.2 功能综合	41
3.2.1 功能分析	42
3.2.2 功能分类	42
3.2.3 功能分解	44
3.3 原理综合	46
3.3.1 技术冲突解决原理(TRIZ理论)	46
3.3.2 建立原理解法目录	59
3.3.3 资源的分析与利用	64
3.4 构型综合	65
3.4.1 机构构型	65
3.4.2 机构选型	66
3.4.3 构型综合的注意事项	68
习题	69
第4章 机构变异与创新设计	70
4.1 机构的倒置	70
4.1.1 平面连杆机构	70
4.1.2 凸轮机构	71
4.1.3 其他传动机构	72
4.2 运动副的变异与演化	72
4.2.1 运动副元素尺寸的变异	73
4.2.2 运动副元素形状的变异	73
4.3 构件的变异与演化	76
4.3.1 构件形状的变异	76
4.3.2 构件的合并与拆分	77
4.4 机构的扩展	78
4.4.1 引入虚约束	78
4.4.2 变换运动副	79
4.4.3 增加辅助机构	79
4.5 机构的等效代换	80
4.5.1 利用运动副的替代原理进行等效代换	80
4.5.2 利用瞬心线构造等效机构	80
4.5.3 周转轮系的等效代换	81

4.5.4 机构功能的等效代换	82
4.6 运动原理的移植	83
4.6.1 差动原理的移植	83
4.6.2 谐波传动的移植	84
习题	85
第5章 机构组合与创新设计	87
5.1 串联式组合	87
5.1.1 组合的基本方法	87
5.1.2 实例分析	88
5.2 并联式组合	93
5.2.1 组合的基本方法	93
5.2.2 实例分析	93
5.3 封闭式组合	95
5.3.1 组合的基本方法	96
5.3.2 实例分析	98
5.4 装载式组合	101
5.4.1 单联式装载组合	102
5.4.2 双联式装载组合	102
习题	103
第6章 机构再生与创新设计	104
6.1 一般化运动链	104
6.1.1 一般化原则	104
6.1.2 实例分析	105
6.2 杆型类配	106
6.2.1 问题的提出	106
6.2.2 杆型类配的具体实施	107
6.3 运动链组合	108
6.3.1 图的概念	108
6.3.2 图的组合	109
6.3.3 运动链的组合	111
6.4 机构再生设计	112
6.4.1 飞机起落架的再生设计	112
6.4.2 缝纫机送布机构的再生设计	115
习题	118
第7章 机械结构设计与创新	121
7.1 机械结构设计的基本要求	121

7.2	实现零件功能的结构设计与创新	122
7.2.1	功能分解	122
7.2.2	功能组合	124
7.2.3	功能移植	127
7.3	结构元素的变异与演化	129
7.3.1	改锥结构元素的变异	129
7.3.2	轴毂连接的结构元素变异与演化	129
7.3.3	离合器的结构元素变异与演化	132
7.3.4	棘轮传动的结构元素变异	132
7.3.5	各种槽销结构元素的变异	133
7.3.6	新型联轴器的结构特点	133
7.3.7	导轨的结构形式及其特点	134
7.3.8	改善工作性能的结构变异	137
7.4	适应材料性能的结构设计与创新	138
7.4.1	扬长避短	138
7.4.2	性能互补	139
7.4.3	结构形状变异	141
7.5	方便制造与操作的结构设计与创新	141
7.5.1	加工工艺的结构构型	141
7.5.2	装配输送的结构构型	143
7.5.3	简单结构	144
7.5.4	宜人结构	146
7.6	用模块拼接与结构复用进行结构的创新	149
7.6.1	模块拼接	149
7.6.2	结构复用	151
	习题	151
第8章	反求设计与创新	153
8.1	概述	153
8.1.1	反求问题的提出	153
8.1.2	反求设计的含义	154
8.1.3	反求设计的研究对象	155
8.2	反求设计的内容与过程	156
8.2.1	反求设计的主要内容	156
8.2.2	反求设计的主要过程	160
8.3	反求实例分析	162
8.3.1	原理方案的反求实例	162
8.3.2	机构构型的反求实例	163
8.3.3	精度反求实例	164

8.3.4 图像资料的反求设计实例	165
8.3.5 计算机辅助反求设计实例	165
8.3.6 材料反求实例	166
习题	168
第9章 创新实例与分析	170
9.1 创新思路的分析	170
9.2 创新实例	173
9.2.1 多功能齿动平口钳	173
9.2.2 机械式停水自闭水龙头	173
9.2.3 防倾翻轮椅	175
9.2.4 省力变速双向驱动残疾人车用驱动装置	177
9.2.5 自由轮椅	178
9.2.6 饮料瓶捡拾器	179
9.2.7 地震应急床	180
9.2.8 新型大力钳	181
9.2.9 扭绳式逃生器	182
习题	183
参考文献	184

绪 论

1.1 创新设计概述

1.1.1 创造、创新与设计

1. 创造

《现代汉语词典》对创造的解释为：“想出新方法、建立新理论、做出新的成绩或东西”。实际上，目前世界各国创造学学者对“创造”还没有一个完全一致的说法，主要有以下几种解释。

创造是指人们在综合观念、形象，解决问题并由此而产生新事物时显示特异性的活动。（强调了创造的“综合性”和“特异性”。）

创造是不同质的素材的新组合。（重点在“不同质素材”的新组合。）

创造是解决新问题、进行新组合、发现新思想、发展新理论。（新异性是创造的一个本质特征。）

创造是依靠现在的条件对世界未来梦想的实现。（注重时空的跨越。）

这里必须强调，创造的主体是人，是人有目的、能控制和调节的活动，且活动的产物是新颖的、前所未有的和有社会价值的。综合信息、重组信息的过程一直伴随着创造活动。

2. 创新

《现代汉语词典》对创新的解释为：“抛开旧的，创造新的”。创造(creation)强调新颖性和独创性，而创新(innovation)通常是对创造的某种实现，它是集科学性、技术性、社会性、经济性于一身，并贯穿于科学技术实践、生产经营实践、社会活动实践的一种横向性实践活动。“创新”一词一般认为是美国经济学家 J. I. 熊彼特在 1912 年最早提出的。他把创新的具体内容概括为以下 5 个方面：①生产一种新产品；②采用一种新技术；③利用或开拓一种新材料；④开辟一个新市场；⑤采用一种新的组织形式或管理方式。并指出：“所谓创新是指一种生产函数的转移”。

创新具有多个侧面，有的是因为它提高了工作效率或巩固了企业的竞争地位，有的是因为它改善了人们的生活质量，但是它不一定是全新的东西，旧的东西以新的形式出现或以新的方式结合也是创新。

自主创新包括三个部分，即原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新。一方面，三者

是一个完整的有机的组成部分,互相依存、互相支持。不能轻易否定某种创新模式的作用,而只讲一种创新。对于企业来说,创新的成功与否关键还是要靠市场来检验。无论何种创新模式,只要创新的项目成功了,创新的成果“扎根”了,这种创新模式就值得肯定。另一方面,从引进消化吸收再创新到集成创新,再到原始创新是自主创新的必然的发展过程。

3. 设计

《现代汉语词典》对设计的解释为:“设计是在正式做某项工作之前,根据一定的目的要求,预先制定方法、图样等”。实际上,设计本身就是一种有目的的创作。设计是人类社会最基本的一种生产实践活动,它是创造精神财富和物质文明的重要环节。设计的发展与人类历史的发展一样,是逐渐进化、逐步发展的。

人类开始的设计是一种单凭直觉的创造活动。这些活动的意义仅仅是为了满足生存,例如,为了保暖剥下兽皮或树皮,稍加整理就披在身上防寒,也就设计了服装;为了猎取动物,分食兽肉,就设计了刀形斧状的工具,这也许就是最初的结构设计。

后来设计就发展了,不再是仅仅为了生存,而上升到为了生活质量的提高,为了精神上的某种需要。例如,设计的服装不仅能御寒,而且还要美观,甚至还要用来体现社会地位,在封建社会,皇帝的服饰与百姓是有严格区别的。此时,人们开始利用数学与物理的研究成果解决设计问题。当设计的产品经过实践的检验,并有了丰富的设计经验以后,就开始归纳总结出各种设计的经验公式,还通过试验与测试获得各种设计参数,作为以后设计的依据,例如,“周三径一”就是早期人们用来估算圆周长和直径的计算公式。同时开始借助于图纸绘制设计的产品,逐步使设计规范化。

现在的设计或称现代设计,则不论从深度还是广度都发生了巨大的变化。特别是电子计算机的出现,人们已不再把时间和精力花费在繁琐的计算上,而是用在更高层面的设计上,平面图纸的设计也逐渐被三维设计取代,并出现了优化设计、并行设计、虚拟设计等现代设计方法。设计产品更新换代的时间逐渐缩短,第一代产品刚问世不久,第二代、第三代产品则很快会接踵而来。例如,自1790年美国实施专利制度以来,至今已有600多万件专利。前100万件用了85年;后100万件只用了8年。戈登·摩尔(Gordon Moore)在1965年预言平方英寸芯片的晶体管数目每过18~24个月就将增加一倍,成本则下降一半;在1969年,他在细致地总结和归纳后则将这个规律的时间区间修正为18个月。这就是著名的摩尔定律。

在这样一个快速发展的时代,人们的要求越来越高,也就对设计以及设计工作者提出了更高的水准。设计向什么方向发展,设计如何解决现代人的需求,已经成为重要的话题。

1.1.2 创新设计

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。

一般来说,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,再进一步归纳整理,找出形成新机械的方法,再用于指导新机械的设计。

创新设计属于技术创新范畴,可以看出对创新设计的要求要比对常规设计的要求提高了许多。创新设计不仅是一种创造性的活动,还是一个具有经济性、时效性的活动。同时创新设计还要受到意识、制度、管理及市场的影响与制约。因此需要研究创新设计的思想与方法,使设计能继续推动人类社会向更高目标发展与进化。归纳起来创新设计具有如下特点:

(1) 创新设计是涉及多种学科(包括设计学、创造学、经济学、社会学、心理学等)的复合性工作,其结果的评价也是多指标、多角度的。

(2) 创新设计中相当一部分工作是非数据性、非计算性的,而是要依靠对各学科知识的综合理解与交融,对已有经验的归纳与分析,运用创造性的思维方法与创造学的基本原理开展工作。

(3) 创新设计不只是因为问题而设计,更重要的是提出问题、设计问题。

(4) 创新设计是多种层次的,不在乎规模的大小,也不在乎理论的深浅,注重的是新颖、独创、及时。

(5) 创新设计的最终目的在于应用。

设计的本质是革新和创造。强调创新设计是要求在设计中更充分发挥设计者的创造力,利用最新科技成果,在现代设计理论和方法的指导下,设计出更具有竞争力的新颖产品。

1.1.3 创新的风险

创新是一个艰难曲折的探索过程,存在着成功与失败两种可能,要创新,就要有敢冒风险、不怕失败的勇气。在进行创新设计的过程中,一定要有风险意识。“次贷”原本是一项金融创新产品,可是由它引起了全球金融风暴和经济衰退。铝金属热传导好、重量轻、防锈蚀,被用来替代铁类金属制造各种炊具,在当时看是一种创新,但是,经过实际检验,长期食用铝炒锅、铝铲炒的菜,容易患老年痴呆症。大规模杀伤性武器和化学武器的创新,有可能毁灭人类自己。所以,在进行创新的过程中,一定要分析一下存在的风险。

1.2 创新人才的培养

1.2.1 人才培养与创新教育

为了适应 21 世纪人才培养的需要,必须转变教育观念,探索新的培养模式,为学生提供一定的创新教育。知识学习和积累是创新的前提,没有一定的知识就不可能掌握现代科学技术,也就没有很好的创新能力。所以,在人才培养过程中,增加创新教育是提高受教育者创新能力的重要手段。

所谓创新教育就是以培养人的创新精神和实践能力为基本价值取向,以培养创造型人才为主要目标的教育。它的提出不仅是弘扬人的创新本性的需要,也是深化教育改革、全面推进素质教育的必然要求,体现了知识经济崛起的现代社会对创新性人才的呼唤。它不仅仅是教育方法的改革和教育内容的更新,而且是教育功能的重新定位,是带有全面性、结构性的教育革新和教育发展的价值追求。