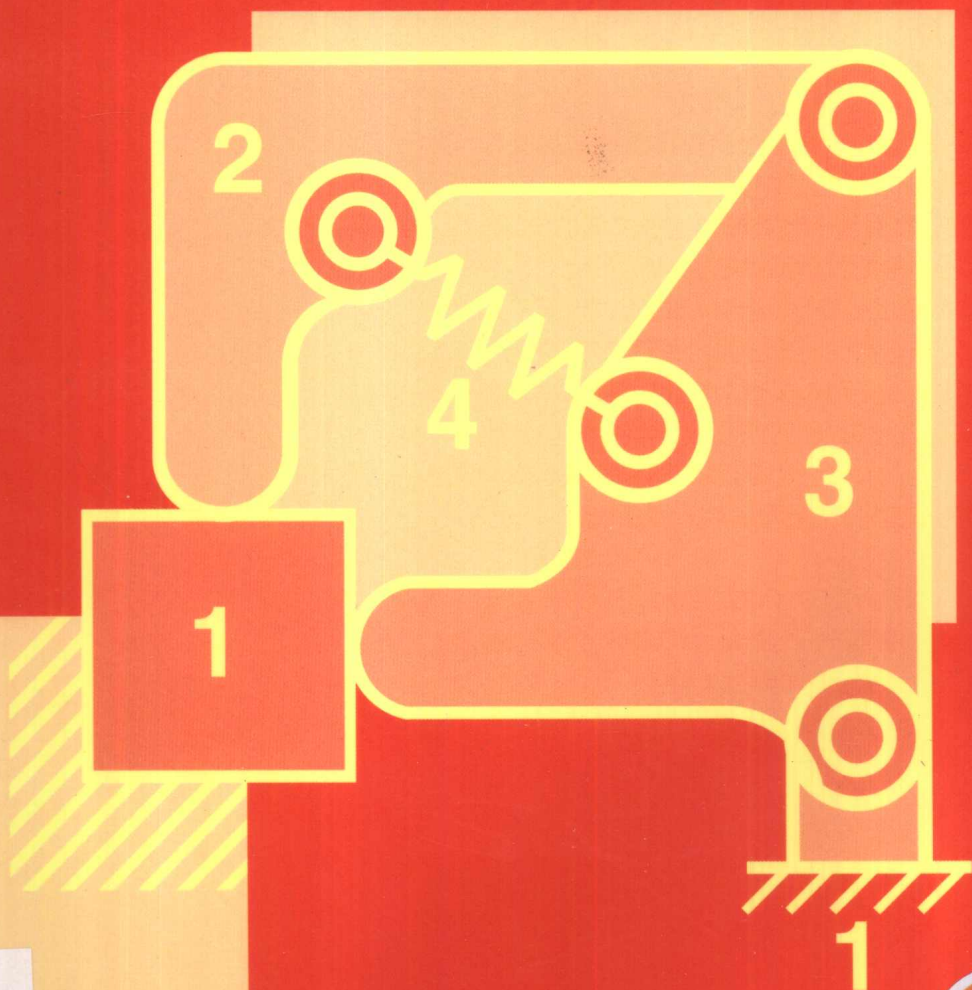


时代教育·国外高校优秀教材精选

机械装置的 创造性设计

Creative Design of Mechanical Devices

颜鸿森 著
姚燕安 王玉新 郭可谦 译



122-43

7

机械工业出版社



529

11-122-43

时代教育·国外高校优秀教材精选

G67

机械装置的创造性设计

Creative Design of Mechanical Devices

颜鸿森 著

姚燕安 王玉新 郭可谦 译

颜鸿森 校



A1030733



机械工业出版社

Hong-Sen Yan: Creative Design of Mechanical Devices

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on micro-films or in any other way, and storage in databanks or in any system now known or to be invented. Permission for use must always be obtained from the publisher in writing.

© Springer-Verlag Singapore Pte. Ltd. 1998

Printed in Singapore

The publisher makes no representation, express or implied, with regard to the accuracy of the information contained in this book and cannot accept any legal responsibility or liability for any errors or omissions that may be made.

ISBN 981-3083-57-3

本书版权登记号：图字：01-2001-4443 号

图书在版编目(CIP)数据

机械装置的创造性设计/颜鸿森著；姚燕安等译.

—北京：机械工业出版社，2002.7

(时代教育·国外高校优秀教材精选)

书名原文：Creative Design of Mechanical Devices

ISBN 7-111-08490-X

I. 机… II. ①颜…②姚… III. 机械设计

IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034494 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：刘小慧 版式设计：张世琴 责任校对：樊钟英

封面设计：鞠 杨 责任印制：付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·6.625 印张·245 千字

0 001—3 000 册

定价：20.00 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
封面无防伪标均为盗版

译 序

《机械装置的创造性设计》中译本终于在中国大陆出版了。这是我国机械设计领域的一件大事。众所周知,创造力是人类生存、发展的最根本能力,缺乏创造力的民族是无法立足于世界强国之林的。长期以来,我国在机械产品的创造性设计方面很薄弱,缺乏竞争力,缺乏创造力。这种局面亟待根本改变。机械设计是富于创造性的决策活动,特别是在机械设计的上游阶段,例如概念设计、方案设计、结构和布置设计等,都是知识含量很高,极富于创造性的过程。机械设计结果的优劣,是否能满足人类对各种装置、产品的需要,在很大程度上是由机械设计上游阶段工作所决定的,因而,它们是非常重要的,是机械设计中有关键意义的灵魂所在。但是,由于在这些设计阶段中,人类专家个体(设计工作者)的创造力、知识占有量及认知活动能力是决定性的因素,而这些能力的形成、取得、发展,除了与天赋有关外,还依赖于长时间的学习、研究、实践的积累和升华的结果,是极其复杂的过程,很难找到一般的规律性。因此,长期困扰机械设计学者和工程师的两大问题是:①如何启发、形成、提高设计工作者的创造性,使他们能更快更好地从事创造性设计,以满足不断产生的新的需求;②如何找到创造性设计的规律性,使得有可能将此规律性模型化、程序化,一方面易于广大设计工作者掌握,另一方面可以利用计算机来帮助人类专家从事创造性设计,以提高其效率和效果。就像计算机广泛用于机械设计的其他阶段,如工程分析、优化设计、机械制图那样,成为设计专家的助手和同事,共同解决机械设计问题。

颜鸿森博士在本书中系统回答了上面两个机械设计领域中最具挑战性的难题。颜鸿森博士是台湾成功大学终身讲座教授,是国际机械设计工程领域极负盛名的学者、教育家和发明家。颜博士师从国际著名的机构学大师 Hall 教授,于 1980 年获美国普渡大学博士学位。他的博士论文和毕业后二十多年的学术研究、教学及工业界的研发活动,都体现了他非凡的创造力。同时,作为一个工程技术领域的科学家,他又是一个将创造性与科学性和工程性高度统一、结合的典范。他具有极丰富的创造性工作经历,但他仍然在文科教育、艺术、师范、中小学教育等领域进行创造性问题的调查、研究工作,探索创造性的本质和形成创造力的规律性。这些研究成果都反映在他的英文原著中,而且非常艺术地与本书的机械

设计工程教育主题相结合。他在书中各章都提供了完整的材料,从问题的定义、概念到理论、方法、技巧及其系统化、条理化,从基于作者丰富的工程设计实践的案例分析到习题、作业,作者从理论与实践的结合上提供给学习本书的人非常出色的教材,由浅入深,基于实践又高于实践,并有可操作性,易于学习和掌握。这是一本在创造性机械设计方面原创性的教材。

作为对上述第二个难题的回答,颜博士用大量篇幅详尽、系统地介绍了他所提出的创造性设计方法论。该方法论所建立的方法可基于某一现存的机械装置,系统而精确地确定与该装置具有相同功能(但可能具有不同特性和特征),因而可以完成相同任务的所有可能的设计方案。这个方法论的基础是创造性设计或创新设计的规律性。作者对于这一规律性的系统总结及条理化的表达,并通过机构创新设计实例的具体演示,突破了难于发现创造性设计规律性的禁区。作者以这样一个近乎完美的范例,使人们确信,可以在机械创新设计的关键阶段(概念设计和方案设计)发现和总结规律性,并建立相应的知识模型,进而采用计算机智能与人类专家智能相结合的方式,实现某种程度的创造性设计自动化。这是一种高于 CAD 技术和其他计算机数值处理及信息处理技术的新的自动化,这是知识处理的自动化,是决策水平的自动化。它将把设计自动化推向更高阶段。

我与颜鸿森博士合作、交往十几年,深深敬佩他的人品和学问。颜鸿森博士是一位正直、善良、严谨而又富于创造力的学者,他身上体现了传统中国文化和西方文化的优点。十几年来,他在百忙之中几十次到大陆来进行学术交流,指导研究生,与大陆学者合作研究。他用自己的积蓄在大陆建立优秀学生奖励基金,鼓励大学生和研究生的创造性设计。本书的部分重要内容,曾在大陆高校讲学时介绍过,并连载在大陆的学术杂志上,具有广泛的影响。本书的译者之一姚燕安博士,曾在颜鸿森教授指导下在大陆完成博士学位论文和博士后研究工作,是一位年轻有为、积极上进的机构学学者。姚博士和其他教师曾用本书的英文原著做教材,在北方交通大学开授了创造性机械设计的课程,收到良好的效果。译者之一王玉新博士,也曾在颜教授指导下工作,是一位年富力强的机构学和机械设计专家。译者之一郭可谦教授,是一位德高望重的机械设计学者,与颜教授在中国机械史研究方面有过长期合作。老、中、青三位学者的共同努力,加之颜教授对译文的亲自审订,使本书中译本与读者尽早见面,为发展中国的创造性设计做了件大好事。我深信,本书中译本的出版,将大大推动我国机械创造性设计和设计自动化领域的研究和教学工作,将对提高我国机械设计领域的创造力起到积极作用。

查建中

北方交通大学

2002 年 3 月

原 序

本书是根据著者 20 年来在教学、研究及工业界服务的经验撰写而成。本书致力于介绍工程创造性技法，并提出一个新的创造性设计法，用以系统地生成机械装置全部可能的设计构形。本书向教师提供了充实的资料，以便他们向机械工程相关科系讲授创造性设计，帮助学生有效地发展创造潜能，也可作为设计工程师的一个有力工具，用以产生新的设计概念来满足新的设计要求与约束，以及/或者避开已有产品的专利保护。

本书以既可用于教学，又可用于自学的方式组织编写。在第 1 章中，介绍设计、设计程序及创造性设计的基本概念。在第 2 章中，说明机械装置的组成，包括构件、运动副、自由度以及拓扑构造。在第 3 章中，论述工程创造力，包括创造力的定义、创造过程及创造力的特质。在第 4 章中，提供理性化解题方法，包括分析现有设计、资料检索及检核表方法。在第 5 章中，介绍创造性技法，包括属性列举法、型态表分析法及脑力激荡术。在第 6 章中，基于一般化和特殊化的思想，提出一个机械装置的创造性设计法。在第 7 章中，阐述一般化过程，包括一般化原则、一般化规则及演示例题。在第 8 章和第 9 章中，分别介绍机械装置的一般化链和一般化运动链图谱的综合程序。在第 10 章中，提供特定化程序，以获得所研究机械装置的全部可能的拓扑构造。在第 11 章~第 14 章中，按步骤给出设计范例，以展示第 6 章所提出的创造性设计法的应用。每章的习题均经过精心的准备与组织，以帮助学生领会与理解书中的内容。

本书可作为本科工程专业或毕业设计的教学用书，也可作为机械工程相关科系高等机械设计、高等机构学或机械创新设计的研究生用教材。

本书之成，承著者的博士生导师、普渡大学(Purdue University)荣誉教授 Allen S. Hall 博士的激励与鼓舞，著者深表感恩之情。再者，丽伟计算机机械股份有限公司(台湾,台中)张坚浚董事长与著者在过去多年来的交往对促成本书助益甚多。著者还要感谢已毕业的研究生，尤其是陈昭忠博士、黄文敏博士、许正和博士、黄以文博士、谢龙昌博士和陈福成博士，以其硕士和博士论文对本书所做之贡献。此外，简雅卿小姐、廖玲薰小姐、刘秋燕小姐、陈贞凤小姐和黄馨慧小姐在过去十年来与作者一起工作，准备本书，亦并此致谢。

著者相信，本书将可满足学术教育及工业应用中对于系统地构想与生成机械装置新的设计概念的需求。最后，读者对本书提出改进与校订的批评及建议，著者将非常感谢。

颜鸿森

1998 年 2 月

著者介绍

颜鸿森博士于 1951 年生于台湾省彰化市。目前为台湾成功大学机械系教授，教学与研究专长为创造性设计、机构与机器设计以及中国失传古机械复原。

颜鸿森博士先后获得台湾成功大学学士、美国 University of Kentucky 硕士、美国 Purdue University 博士，历任中国技术服务社机械工程师、成功大学机械系副教授、美国 General Motors Research Laboratories 资深研究工程师、美国 State University of New York at Stony Brook 机械系副教授、成功大学机械系教授、成功大学讲座，并曾兼任成功大学机械系主任与所长、成功大学国际合作小组召集人。

颜鸿森博士的主要学术兼职有：国际机器理论与机构学联合会委员及台湾委员会主席、台湾机构与机器原理学会理事长、财团法人中华古机械文教基金会董事长、财团法人精密机械研究发展中心董事、成功大学中华古机械研究中心主任、天津大学客座教授、上海交通大学客座教授、国际期刊“Mechanism and Machine Theory”副编辑、国际期刊“Journal of Mechanisms and Robotics”副编辑、大陆期刊“机械设计与研究”名誉编辑。

颜鸿森博士曾获得多项学术荣誉，包括美国机械工程师学会机构学会议最佳论文奖、美国应用机构学与机器人学会议指南车奖、台湾杰出研究奖、台湾杰出工程教授、台湾杰出人才发展基金会杰出人才讲座、财团法人东元科技文教基金会东元科技奖、成功大学讲座等。共计发表学术论文与研究报告 400 多篇，出版专著 4 本，获得 30 多项专利。

目 录

译序

原序

著者介绍

基础专题

第1章 绪言	3
1.1 设计	3
1.2 设计程序	7
1.3 创造性设计	8
1.4 本书的范围	9
1.5 小结	10
习题	11
参考文献	11
第2章 机械装置	12
2.1 机件	12
2.2 运动副	14
2.3 链、机构、结构	16
2.4 约束运动	18
2.4.1 平面装置	19
2.4.2 空间装置	20
2.5 拓扑构造	20
2.6 小结	22
习题	22
参考文献	23

创造性解题技法

第3章 工程创造力	27
-----------------	----

3.1 定义	27
3.2 创造过程	27
3.2.1 准备期	27
3.2.2 酝酿期	28
3.2.3 豁朗期	29
3.2.4 执行期	29
3.3 创造力特质	31
3.3.1 有创造力的人	31
3.3.2 阻碍创造力的因素	32
3.3.3 创造力的增强	34
3.4 小结	35
习题	36
参考文献	36
第4章 理性化解题方法	37
4.1 分析现有设计	37
4.1.1 数学分析	38
4.1.2 实验检验与测量	38
4.2 资料检索	41
4.2.1 文献检索	41
4.2.2 专利检索	42
4.2.3 专家档案	43
4.3 检核表方法	43
4.3.1 检核法问题	43
4.3.2 检核法转换	44
4.4 小结	48
习题	48
参考文献	49
第5章 创造性技法	50
5.1 引言	50
5.2 属性列举法	51
5.2.1 属性列举法的程序	52
5.2.2 范例	52
5.3 型态表分析法	53
5.3.1 型态表分析法的特性	53
5.3.2 型态表分析法的程序	54

5.3.3 范例	54
5.4 脑力激荡术	56
5.4.1 脑力激荡术的特性	56
5.4.2 脑力激荡术的程序	57
5.4.3 脑力激荡组成	58
5.4.4 脑力激荡会议	59
5.4.5 脑力激荡规则	59
5.4.6 脑力激荡评估	60
5.4.7 脑力激荡报告	61
5.4.8 范例	61
5.5 小结	64
习题	64
参考文献	65

创造性设计法

第6章 创造性设计法	69
6.1 引言	69
6.2 设计程序	69
6.3 现有设计	70
6.4 一般化	72
6.5 数综合	72
6.6 特定化	72
6.7 具体化	74
6.8 新设计图谱	75
习题	75
参考文献	75
第7章 一般化	76
7.1 一般化运动剖与一般化连杆	77
7.2 一般化原则	78
7.3 一般化规则	78
7.4 一般化(运动)链	84
7.5 范例	86
7.6 小结	92
习题	92
参考文献	92

第 8 章 一般化链	93
8.1 一般化链	93
8.2 连杆类配	95
8.3 图与链	98
8.4 一般化链的数目	100
8.5 一般化链图谱	101
8.6 小结	107
习题	107
参考文献	107
第 9 章 运动链	109
9.1 运动链	109
9.2 刚性链	109
9.3 运动矩阵	110
9.4 排列群	113
9.5 枚举程序	116
9.5.1 步骤一 输入杆数和自由度数	117
9.5.2 步骤二 综合连杆类配	117
9.5.3 步骤三 综合缩杆类配	117
9.5.4 步骤四 综合附随运动副序列	118
9.5.5 步骤五 综合矩阵 M_{ul}	119
9.5.6 步骤六 综合矩阵 M_{ur}	121
9.5.7 步骤七 综合矩阵 M_{CLA}	123
9.5.8 步骤八 将矩阵 M_{CLA} 转化为运动链	124
9.6 运动链图谱	124
9.7 小结	127
习题	128
参考文献	128
第 10 章 特定化	129
10.1 特定化链	129
10.2 特定化程序	130
10.3 特定化装置的数目	134
10.4 小结	136
习题	137
参考文献	137

设计范例

第 11 章 夹紧装置	141
11.1 现有设计	141
11.2 一般化	141
11.3 数综合	142
11.4 特定化	142
11.5 具体化	148
11.6 新型夹紧装置的图谱	148
11.7 讨论	148
习题	148
参考文献	149
第 12 章 越野摩托车悬挂机构	150
12.1 现有设计	150
12.2 一般化	152
12.3 数综合	152
12.4 特定化	153
12.5 具体化	156
12.6 新型越野摩托车悬挂机构的图谱	156
12.7 讨论	157
习题	158
参考文献	158
第 13 章 无级变速器	159
13.1 现有设计	159
13.2 一般化	161
13.3 数综合	161
13.4 设计要求与约束	162
13.5 特定化	163
13.5.1 五构件行星轮系	164
13.5.2 六构件行星轮系	164
13.6 具体化	166
13.7 新型无级变速器的图谱	167
13.8 讨论	167
习题	168
参考文献	168

第 14 章 加工中心的构形综合	169
14.1 现有设计	169
14.2 树图表示	172
14.3 一般化树图	173
14.4 树图的图谱	173
14.5 特定化树图	174
14.6 加工中心的图谱	178
14.7 讨论	182
习题	182
参考文献	183
中文索引	184
英文索引	190

基础专题

第1章 绪 言

设计即是解决问题，它存在于每个人的日常生活和各种职业中。本章首先叙述设计的定义，接着介绍工程设计、机械设计、机器设计和机构设计的程序，然后解释创造性设计的本质，最后说明本书的应用范围。

1.1 设计

设计(**Design**)一词是由拉丁文“designare”衍生出来的，意为寻找问题的答案。设计是一个创造性决策的过程，用以满足人类的需求，这也是工程的基本目的。

在韦伯斯特新大学词典(Webster's New Collegiate Dictionary)中，工程(**Engineering**)的定义为“应用科学和数学，将自然界中的物质与能源制成有益于人类的结构、机器、产品、系统或者制程(**process**)。”据此，将工程设计(**Engineering design**)定义为“一个创造性的决策过程，应用科技知识将自然资源转化成可以为人类所用的装置、产品、系统或者制程”。

工程设计是一个创造过程，是所有新装置、产品、系统或者制程的必要来源。在工程设计中，需要考虑通过多种不同的方式去满足同一种需求。而且，在大多数时间里，必须协调多重的、有时甚至是矛盾的需求和约束。一个工程设计者必须有能力去分辨实际的需求、去创造原始的构想、去提供可以制造与维护的可行设计、去考虑环境因素，并且以合理的成本和预期的性能去完成可靠的装置、产品、系统或者制程。

机械工程是工程的一个主要领域。机械工程设计(**Mechanical engineering design**)，或简称为机械设计(**Mechanical design**)，是指设计机械装置、产品、系统或者制程。

机器设计(**Machine design**)研究的重点是设计机器。机器由可以运动的机构和支撑结构组成，用以传递运动及动力。一部机器必须具有某种能量输入、适当的控制系统，以及有效的输出功。机构设计(**Mechanism design**)主要考虑如何产生或选择一种特定类型的机构、决定构件和运动副的数目与种类、确定运动副之间构件的几何尺度，以实现期望的约束运动。机构与机器的组成关系如