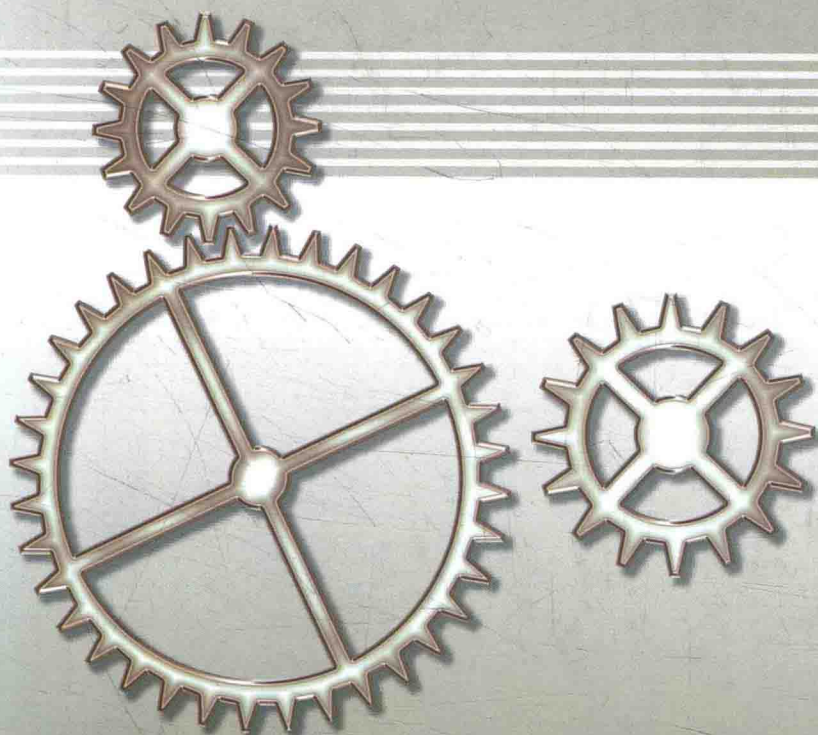


■ 涵盖机械创新设计思维、创新技法等技术原理和应用成果 ■

知识工程 机械创新设计

陈继文 杨红娟 著



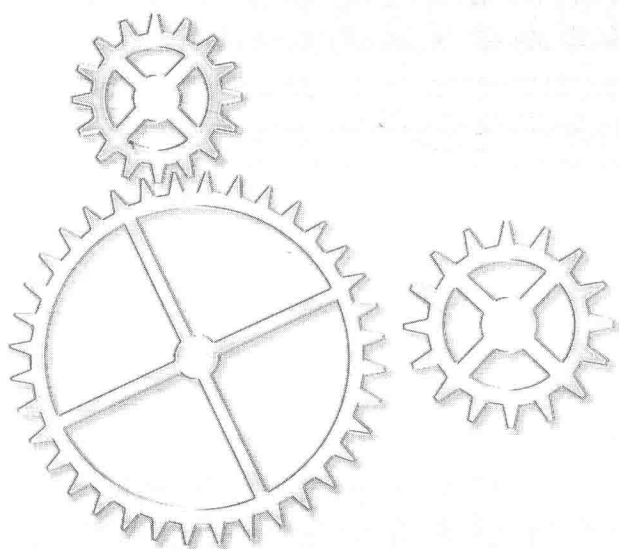
ZHISHI GONGCHENG
YU JIXIE CHUANGXIN SHEJI



化学工业出版社

知识工程与 机械创新设计

陈继文 杨红娟 著



ZHISHI GONGCHENG
YU JIXIE CHUANGXIN SHEJI



化学工业出版社

· 北京 ·

本书围绕知识工程与机械创新设计,重点介绍借助知识资源提升机械产品的设计能力,实现基于知识的机械产品创新设计的关键技术。综述了机械产品创新设计的基本概念、基本方法与技术;阐述了基于知识的计算机辅助产品创新设计技术;产品设计知识的本体表达、产品设计知识系统建立、设计知识更新、基于知识的产品设计与创新设计;给出了基于知识的计算机辅助机械产品创新设计系统框架及应用实例。

本书可供从事数字化设计与制造等领域研究的科研人员以及从事计算机集成制造的企业界科技工作者阅读,也可作为高等院校机械工程、自动化及计算机应用等专业高年级本科生和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

知识工程与机械创新设计/陈继文,杨红娟著. —北京:化学工业出版社,2016.5

ISBN 978-7-122-26485-5

I. ①知… II. ①陈…②杨… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第046912号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:陈喆

责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张11 字数256千字 2016年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:59.00元

版权所有 违者必究

前言



21 世纪的经济的发展呈现出信息化、知识化的特征,产品设计过程中知识的增值成为主宰新产品竞争力的决定性因素,基于知识的设计方法已经成为实现设计制造自动化,增强企业竞争力的一项重要高新技术。创新是产品设计的本质和灵魂。在产品设计阶段,对产品功能求解的设计过程,最富创新性。当前,新产品开发设计中所需要的知识越来越多,涉及不同领域的不断变化的知识资源。开展以设计知识获取、表达及运用为核心的计算机辅助创新设计,是提高我国制造型企业的创新能力和核心竞争力的重要途径,也符合《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020)》中“数字化与智能化设计制造”优先主题中“智能化创新设计方法及技术”研究内容。

本书围绕知识工程与机械创新设计,重点介绍了借助知识资源提升机械产品的设计能力,实现基于知识的机械产品创新设计的关键技术。以设计过程模型为基础的设计知识建模,注重设计知识共享、重用,是实现基于知识的产品设计的基础,有利于实现基于知识的机械产品创新设计。产品设计是从功能空间到结构空间的复杂映射过程,设计知识的检索与推理是实现这个过程的关键技术。采用适当的设计方案生成技术获得完整的产品设计方案是产品创新设计的又一关键环节。本书既立足于可持续应用、基于知识的计算机辅助产品创新设计的实际需求,又为基于知识的产品开放式创新设计提供实现途径,具有重要的理论研究意义和实际应用价值。

全书共分 9 章。第 1 章综述了创新设计、机械产品创新设计、计算机辅助产品创新设计的基本概念、基本方法与技术;第 2 章阐述了创新设计的创新思维与创新技法;第 3 章从功能原理设计和运动方案设计两个方面,论述了机械创新设计的技术基础;第 4 章阐述了基于知识的计算机辅助创新设计技术基础——设计知识、设计知识表达、设计知识本体建模、设计知识检索等;第 5 章提出了 MFBS 的产品设计过程模型,建立了产品设计知识的 MFBS 本体表达模型和产品设计知识系统;第 6 章综合利用本体概念自身的语义和概念间的层次结构,提出了基于本体语义块相似性匹配的设计知识更新方法;第 7 章系统地研究 Jena 编程实现 MFBS 本体知识检索与映射推理算法,进行基于知识的产品设计,提出了基于变型空间本体映射的产品创新设计方法;第 8 章建立结构的全生命周期评价基因模型,设计遗传操作算法,实现基于结构全生命周期评价基因模型的功能模块设计方案的自动生成;第 9 章结合前几章提出的理论和方法,开发基于知识的计算机辅助创新设计系统,包括系统框架设计、各模块详细流程,并应用于特种机器人设计知识系统、多绳金刚石串珠绳锯计算机辅助创新设计。

本书的研究成果是在山东大学张进生教授的悉心指导下完成的,山东大学的王经坤教授、王志副教授、黄波副研究员,山东建筑大学张明勤、张瑞军、王晓伟、宋现春、于复生、董明晓

等多位教授也给出了宝贵的建议，在此笔者向导师和各位专家表示衷心的感谢。同时，感谢山东建筑大学机电工程学院、山东省机械工程创新技术高校重点实验室、山东省绿色建筑协同创新中心的大力支持。

鉴于笔者学术水平有限，一些学术观点的不妥之处恳请专家、学者指正。书中文法的欠妥之处，恳请读者指正。

本书承蒙国家自然科学基金项目（NO. 61303087），山东省高等学校科技计划项目（NO. J14LB04），山东省绿色建筑协同创新中心团队建设科研基金（NO. LSXT201513）的资助。

著者

目录



第 1 章 绪 论

1.1 创新设计	1
1.1.1 创新的概念	1
1.1.2 创新设计	2
1.2 机械产品创新设计	4
1.2.1 机械系统设计	4
1.2.2 机械产品设计理论	7
1.2.3 机械产品设计方法	9
1.3 计算机辅助产品创新设计	11
1.3.1 计算机辅助设计技术	11
1.3.2 计算机辅助创新设计	13

第 2 章 创新思维与创新技法

2.1 创新思维	15
2.1.1 思维的概述	15
2.1.2 思维的类型	16
2.2 创新法则	19
2.3 创新技法	21
2.3.1 系统分析法	21
2.3.2 群体集智法	23
2.3.3 类比创新法	24
2.3.4 联想法	26
2.3.5 仿生法	27
2.3.6 组合创新法	28
2.3.7 移植创新法	29

第 3 章 机械创新设计的技术基础

3.1 功能原理设计	31
3.1.1 功能分解方法	32
3.1.2 原理求解法	34
3.1.3 功能综合方法	36
3.1.4 方案的评价与决策	37

3.2 运动方案设计	41
3.2.1 机械运动系统	41
3.2.2 机械运动机构	42
3.2.3 机械运动控制	45

第 4 章 基于知识的计算机辅助创新设计技术基础

4.1 产品设计知识	50
4.2 产品设计知识表达	52
4.2.1 规则表示法	52
4.2.2 逻辑表示法	53
4.2.3 框架表示法	53
4.2.4 语义 Web 表示法	55
4.2.5 本体表示法	57
4.3 设计知识本体建模	58
4.3.1 本体建模基元	58
4.3.2 建立本体的方法	59
4.3.3 本体开发工具	61
4.4 设计知识获取	63
4.4.1 知识获取	63
4.4.2 知识获取方法	64
4.5 设计知识检索	66
4.5.1 知识检索的概念	66
4.5.2 基于本体的知识检索与推理	67

第 5 章 机械产品设计知识建模

5.1 设计知识模型	72
5.2 基于模糊动态聚类的功能模块划分	73
5.2.1 功能相关性分析	73
5.2.2 建立产品的功能结构	74
5.2.3 构造功能相关矩阵	74
5.2.4 功能模块动态划分	77
5.2.5 实例分析	78
5.3 设计知识建模	81
5.3.1 设计知识表示	82
5.3.2 设计知识模型	84
5.4 产品设计知识系统	88

第 6 章 基于变型空间MFBS本体映射的产品创新设计

6.1 MFBS 本体映射	90
6.1.1 功能-模块映射	92
6.1.2 功能-行为映射	92
6.1.3 行为-结构映射	93
6.2 本体映射策略	93

6.3 基于 Jena 的 MFBS 本体映射与实例分析	94
6.3.1 本体映射算法	95
6.3.2 SPARQL 查询	97
6.3.3 基于 Jena 的 MFBS 本体映射与实例分析	100
6.4 基于变型空间本体映射的产品创新设计	104
6.4.1 基于变型空间的概念学习	104
6.4.2 基于变型空间本体映射的产品创新设计	106

第 7 章 基于语义块相似匹配的设计知识更新

7.1 本体异构与匹配分析	108
7.2 本体元素的抽取	110
7.2.1 创建本体模型	110
7.2.2 获取本体中的类	112
7.2.3 获取本体中的属性	113
7.2.4 获取本体中的实例	113
7.2.5 实例分析	114
7.3 待匹配概念对	115
7.3.1 基于元素级的本体匹配	116
7.3.2 基于结构级的本体匹配	117
7.4 建立概念语义块	121
7.4.1 概念语义的表示	122
7.4.2 建立概念语义块	123
7.5 基于语义块相似性匹配的设计知识更新	125

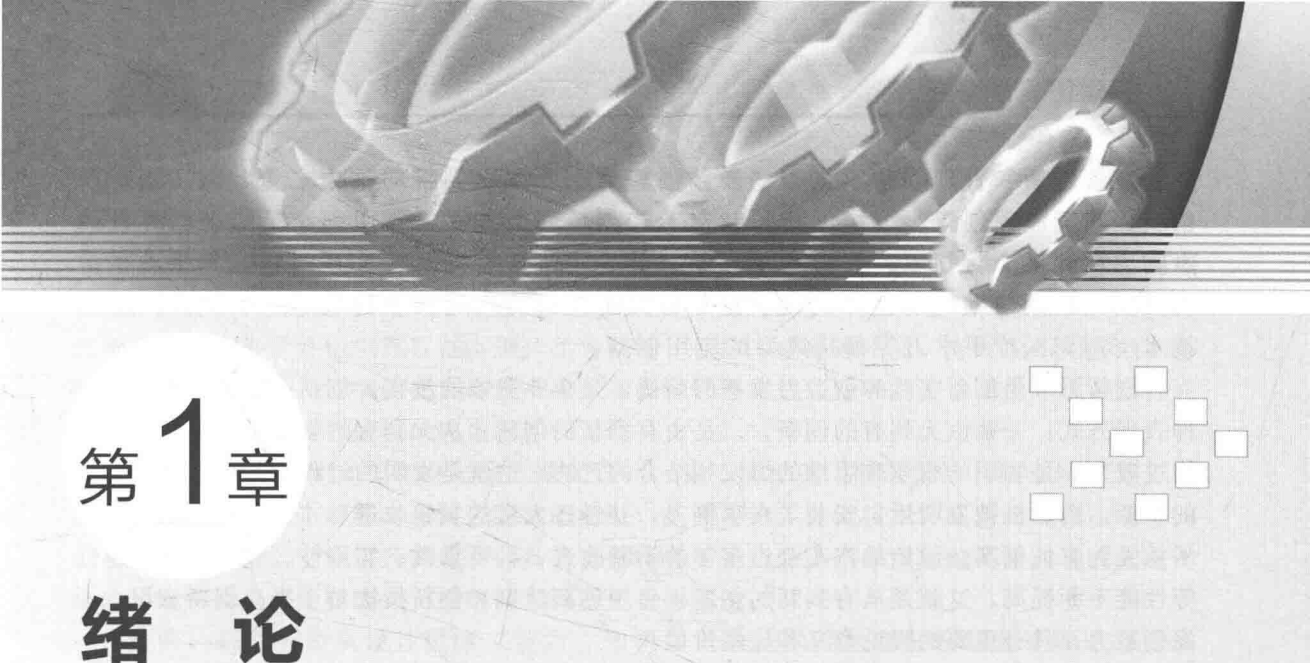
第 8 章 基于结构全生命周期评价基因模型的设计方案生成

8.1 设计方案生成	129
8.2 结构全生命周期评价基因模型	130
8.2.1 全生命周期评价指标体系	130
8.2.2 结构全生命周期评价基因模型与编码	130
8.3 遗传操作及设计	133
8.3.1 选择操作及设计	133
8.3.2 交叉操作及设计	133
8.3.3 变异操作及设计	134
8.4 基于结构全生命周期评价基因模型的设计方案生成	135
8.4.1 构造适应度函数	135
8.4.2 基于结构全生命周期评价基因模型的设计方案生成算法	139

第 9 章 基于知识的计算机辅助创新设计系统

9.1 基于知识的计算机辅助创新设计系统	141
9.1.1 系统的框架	142
9.1.2 各模块的设计与实现	142
9.2 特种机器人设计知识系统	143
9.2.1 特种机器人的功能结构	145

9.2.2	特种机器人的设计知识建模	146
9.2.3	特种机器人的设计知识系统	146
9.3	多绳金刚石串珠绳锯计算机辅助创新设计	152
9.3.1	设计知识系统的建立	153
9.3.2	设计知识的更新	156
9.3.3	基于知识的计算机辅助产品创新设计	156
参考文献		161



第1章

绪论

1.1 创新设计

1.1.1 创新的概念

创新是人类文明进步的原动力，是经济发展的基石。纵观人类社会的发展历程，创新深刻地影响了人类科学世界观的形成和发展，极大地促进了人类文明的发展进程。人类通过不断创新，加深了对世界本质及其规律的认识，提高了人类适应自然界、改造自然界的能力。当前，世界经济正在从以原材料和能源消耗为基础的“工业经济”转向以信息和知识为基础的“知识经济”。“创新”作为经济学的一个概念，最早是由美国经济学家熊彼特（J. A. Schumpeter）于1912年在《经济发展理论》一书中提出的，他认为创新是将新产品、新工具、新工艺引入生产体系并为商业化生产服务的过程，是新产品开发的灵魂。从企业的角度来讲，创新包括以下五个方面：引入新产品或提供产品的新质量，即产品创新；采用新的生产方法，即过程创新，或工艺创新；开辟新的市场，即市场创新；获得原料或半成品，或新的供给来源，即原材料创新；实现新的组织形式，即管理创新。此后，许多研究者对创新下过不同的定义，如创新是人类运用已有的知识、经验和技能，研究新事物，解决新问题，产生新思想及物质成果，用以满足人类物质及精神生活需求的社会实践活动。

从内容上来看，当前的创新包括制度创新、知识创新、技术创新和应用创新。制度创新是指构筑创新活动的社会环境。知识创新是指通过科学研究获得人们认识世界、改造世界的基础科学和技术科学理论知识的过程，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，如物理学中的“相对论”、机械原理中的“三心定理”等都是知识创新。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，如机器人、加工中心、宇宙飞船等高科技产品都是技术创新的具体体现。对应熊彼特的创新理论，技术创新包括产品创新、



工艺装备创新和管理创新三大类。产品创新是企业技术创新的重中之重,有市场需求创新、功能原理创新、结构创新和制造工艺创新四个方面。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、把军用激光技术应用到医疗手术刀等都是典型的应用创新。

创新思维是创新实践和创造力发挥的前提,是企业竞争的法宝。创新在社会实践中有两种表现方式:一是由无到有的创新,二是由有到新的创新。从无到有的创新都需要一个较长的过渡期,是知识的积累和思维的爆发相结合的产物,这就是发明的过程。如先有牲畜驱动的车辆,内燃机被发明后,安装了在车辆上,并经过大量的实验改进后才发明了汽车,实现了从无到有的创新。原始的汽车经过多年的不断改进,其可靠性、实用性、安全性、舒适性等性能不断提高,这就是从有到新的创新。应用创新法则和创新技法对于提高创新意识、开发创造力,具有重要的理论意义和应用价值。

1.1.2 创新设计

在世界经济高速发展的今天,设计水平成为国家核心竞争力的重要标志。设计普遍存在于人类社会活动的各个领域,其中包括人类的生产活动、科学活动、艺术活动和社会活动。设计所包容的类型多种多样,其中工程设计(engineering design)应用范围十分广泛。工程设计可定义为“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、系统或工艺流程等”的创造性的决策过程。产品设计就是指根据社会或市场的需要,利用已有的知识和经验,依靠人们的思维和劳动,借助各种平台(数学方法、实验设备、计算机等)进行反复判断、决策和量化,最终实现把人、物、信息资源转化为产品的过程。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,产品的性能、结构、质量、成本、维护性等诸方面都是在产品设计阶段确定的,产品成本的75%~80%是由设计决定的。

创新是设计的本质属性,一个不包含任何新的技术要素的技术方案称不上是设计。生产者只有通过设计创新才能赋予产品新的功能,也只有通过设计创新才能使产品具有超越其他同类产品的性能和低于其他同类产品的成本,从而使产品具有更强的市场竞争能力。因此,创新设计已经成为决定机械产品竞争力的最关键环节,变得越来越重要。创新设计是指在设计领域中,提出的新的设计理念、设计理论或设计方法,从而得到具有独特性、新颖性、创造性和实用性的新产品,达到提高设计质量、缩短设计时间的目的。创新设计的理论、方法和工具的研究,通过创建有利于设计人员进行创新的理论模型、思维方法和辅助工具,来引导、帮助设计人员有效地利用内外部资源激发创新灵感,在产品概念设计、方案设计阶段高效率、高质量地提出创新设计方案,有效地满足客户对产品求新和多样化的需求,是企业在更快、更好、更便宜的三维竞争空间中赢得最佳位置的关键技术。

(1) 创新设计的分类

设计的生命力在于创新。根据设计的要求、内容和特点,一般创新设计可分为开发设计、变异设计和反求设计。

① 开发设计 针对新的市场需求和新的设计要求,提出新的设计任务,完成产品规划、

产品原理方案设计、概念设计、构型设计、施工设计等设计过程。开发设计具有开创性和探索性,其设计风险较大,但一旦成功获益也较大。

② 变异设计 在已有产品基础上,针对原有缺点或新的工作要求,从工作原理、功能结构、执行机构类型和尺度等方面进行一定的变异,设计出新产品以适应市场需要,增强产品竞争力。这种设计也包括以基本型产品为基础,保持工作原理不变,开发出不同参数、不同尺寸或不同功能和性能的变型系列产品。变异设计具有适应性和变异性,由于这种设计在原有产品上进行发展,因此风险也较小。

③ 反求设计 针对已有的先进产品或设计,从工作原理、概念设计、构型特点等方面进行深入分析研究,必要时还需进行实验研究,从而探索其关键技术,在消化、吸收的基础上,开发同类型但又能避开其专利的具有自己特色的新产品。反求设计绝不是对现有先进产品的照搬照抄,而是在消化、吸收的基础上进行再创造。

当前,研究人员从设计思维、智力、知识、工程技术等角度对创新设计理论与方法进行了较多的研究。基于心理学的创造性思维研究以人为主体的,着重研究人的思维方法,主要采用的是非逻辑思维方法,强调想象力的作用,打破思维定势,重点在于创新概念的产生。由于创造性思维具有普遍性、抽象性,其系统性和操作性以及设计效率还有待提高。认知科学是研究人类感知和思维信息处理过程的科学,基于认知科学的创新设计是产品创新设计研究的新趋势,其研究的广度和深度还远远不够,还没能形成系统性或策略性的理论和方法。基于工程技术规律的发明问题研究以技术系统为主体,着重研究技术创新的规律,强调解决技术系统的进化矛盾,重点在于发现问题,主要采用逻辑思维进行设计问题求解,采用系统化的方法,从特定的角度思维,定向搜索,减少搜索空间,较高效率地产生新的概念,但该类创新设计更适合于产品的适应性设计或改进设计,不能很好地支持新产品创新设计。知识是对过去研究事实的提炼和总结,是设计的源泉,基于知识的概念设计主要研究知识的表示、获取以及如何利用已有知识并且超越原有知识的限制,进行创新设计。

(2) 产品创新

产品创新是一个系统工程,对这个系统工程的全方位战略部署以及为实现创新目标而做出的谋划和根本对策就是产品创新战略。产品创新战略包括:创新产品选择、创新模式和方式的确定以及与技术创新其他方面的协调等。

产品创新模式可以分为自主创新、模仿创新、合作创新三种基本模式。自主创新模式是企业通过自身的努力和探索产生技术突破,并在此基础上依靠自身的能力推动产品和工艺等的一系列创新,从而完成技术的商品化、达到预期目标的商业活动。模仿创新模式是通过学习、模仿率先创新者的创新思想和行为,吸取率先者成功的经验和失败的教训,引进、购买或破译率先者的核心技术和技术秘密,并在此基础上进一步改进和开发,在工艺设计、质量和成本控制、大批量生产管理、市场营销等创新链的中后期阶段投入主要力量,生产出在性能、质量、价格等方面富有竞争力的产品与率先创新的企业竞争,以此建立自己的竞争地位以获取经济利益的一种行为。合作创新模式是企业间或企业、科研机构、高等院校之间的联合创新行为。合作创新通常以合作伙伴的共同利益为基础,以资源共享或优势互补为前提,有明确的合作目标、合作期限和合作规则,合作各方在技术创新的全过程或某些环节共同投入、共同参与、共享成果、共担风险。



1.2 机械产品创新设计

1.2.1 机械系统设计

(1) 机械系统

随着科学技术的发展,机器的定义也在不断地完善和发展。现代机器应定义为:机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料与信息,完成一共的工作过程,代替人类的劳动。现代机器通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力系统及传动和执行系统等组成。现代化机器中的控制和信息处理是由计算机完成的。无论机器如何先进,机械装置皆用于产生确定的机械运动,并通过机械运动来完成有用的工作过程。因此,实现机械运动的传递和执行的机构系统是机器设计的核心,机器中各个机构通过有序的运动和动力传递最终实现其设计功能。

机械系统是一个广义的概念,它的内涵要按分析研究的对象加以具体化。广义的机械系统定义是:由各个机械基本要素组成的,能够完成所需的动作(或动作过程),实现机械能变化以及代替人类劳动的系统。机械系统的特点是必须完成动作传递和变化、机械能的利用,这是机械系统区别于其他系统的关键所在。从实现系统功能的角度来看,机械系统主要由动力系统、传动系统、执行系统、操作系统和控制系统等组成。从完成机器的工作过程需要来考虑,常常把传动系统和执行系统统称为机械运动系统,如图1-1所示。对于机械系统来说,机械运动系统,特别是其中的执行系统的构成是比较复杂的,它的设计更富有创造性。因此,执行系统是机械系统设计的重点。

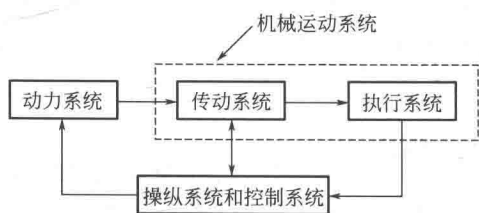


图 1-1 机械系统的基本组成

① 动力系统 动力系统包括原动机及其配套装置,是机械系统工作的动力源,为系统提供能量和运动的驱动力,同时接收操纵系统和控制系统发出的控制指令和信号,驱动传动机构和执行机构工作。按能量转换性质的不同,有把自然界的能源(一次能源)转换为机械能的机械,如内燃机、汽轮机、水轮机等动力机。动力机输出的

运动通常为转动,而且转速较高。选择动力机时,应全面考虑执行系统的运动和工作载荷、机械系统的使用环境和工况以及工作载荷的机械特性等要求,使系统既有良好的动态性能,又有较好的经济性。

② 传动系统 传动系统是把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置,反映了驱动与执行机构间运动和动力的传递,包括运动形式、方向、大小、性质的变化。传动系统有下列主要功能。

- a. 减速或增速:将原动机的速度降低或增高,以适应执行系统工作的需要。
- b. 变速:进行有级变速或无级变速,以满足执行系统工作速度变化的要求。
- c. 改变运动规律或运动形式:把原动机输出的均匀、连续、旋转的运动转变为按某种规律变化的转动、摆动或移动,其中包括间歇转动和间歇移动等。也可以通过传动系统将原动机输出的转动方向改变成相反转动方向,以满足执行系统的运动要求。
- d. 传递动力:把原动机输出的动力传递给执行系统,供给执行系统完成预定工艺动作

过程所需的驱动力或驱动力矩。

机械系统中的传动系统按传动比或输出速度是否变化可分为固定传动比和可调传动比系统；按动力机驱动执行机构或执行构件的数目可分为独立驱动、集中驱动和联合驱动的传动系统。

如果原动机的工作性能完全符合执行系统工作的要求，传动系统也可省略，而将原动机与执行系统直接相连。

③ 执行系统 执行系统是由一系列执行机构组成的子系统，因此，也称执行系统是机械系统中用以直接完成预期工艺动作过程的子系统。

执行系统是在几个执行机构所带动的执行构件的协调工作下完成机械系统的任务的。执行机构的功用是把传动系统传递过来的运动与动力进行必要的转换，以满足执行构件完成功能的需要。执行构件的动作是由执行机构来产生的。一系列执行构件所产生的工艺动作过程可改变工作对象的性质、形态或位置，或对工作对象进行检测、度量等，以进行生产或达到其他预定要求（例如，完成夹持、搬运、转位、间歇运动等动作；又如，完成喷涂、冲压、切削等的改变工作对象形态的工作）。不同的功能要求，对运动和工作载荷的机械特性要求也不相同，因而各种机械的执行系统也不同。

执行系统通常处在机械系统的末端，直接与作业对象接触，是机械系统的主要输出系统。因此，执行系统工作性能的好坏，将直接影响整个系统的性能。在机械系统的概念设计阶段，应充分考虑其运动精度和动力学特性等要求。

④ 操纵系统和控制系统 操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调运行，并准确可靠地完成整机功能的装置。两者的主要区别是：操纵系统一般是指通过人工操作来实现启动、离合、制动、变速、换向等要求的装置；控制系统是指通过人工操作或测量元件获得控制信号，经由控制器，使控制对象改变其工作参数或运行状态而实现上述要求的装置，如伺服机构、自动控制装置等。良好的控制系统可以使机械处于最佳运动状态，提高其运动稳定性和可靠性，并有较好的经济性。

根据原动机、传动机构、执行机构的不同组合以及机械系统运动输出特性的不同，机械系统的基本组成形式如表 1-1 所示。其中的线性机构是指机构传动函数为线性函数的机构，如齿轮机构、螺旋传动机构、带传动机构及链传动机构等。机构传动函数为非线性函数的机构，则称为非线性机构，如凸轮机构、连杆机构、间歇运动机构等。其中，类型 1 和类型 2 是最基本、最常见的机械系统。如电动卷扬机属类型 1，颚式破碎机属类型 2。类型 5 在数控机床、机器人等自动机械中得到了较广泛的应用。

表 1-1 机械系统的基本组成形式

类型 编号	原动机		传动机构		执行机构		机械系统的输出运动	
	线性原动机	非线性原动机	线性机构	非线性机构	线性机构	非线性机构	简单运动	复杂运动
1	✓		✓		✓		✓	
2	✓		✓			✓		✓
3	✓			✓	✓			✓
4	✓			✓		✓		✓
5		✓	✓		✓			✓
6		✓	✓			✓		✓
7		✓		✓	✓			✓
8		✓		✓		✓		✓



(2) 机械系统设计的主要过程

机械系统设计遵循以下四个方面的设计过程。

① 产品规划 对产品开发中的重大问题要进行技术、经济、社会各方面条件的详细分析,对开发的可能性进行综合研究,提出可行性报告。其主要内容有:

- a. 产品开发的必要性,市场需求预测。
- b. 有关产品的国内外水平和发展趋势。
- c. 预期达到的最低目标和最高目标,包括设计水平、技术、经济、社会效益。
- d. 提出设计、工艺等方面需要解决的关键问题。
- e. 现有条件下开发的可能性及准备采取的措施。
- f. 预算投资费用及项目的进度、期限。

② 方案设计 产品需求是以机械系统的功能来实现的,功能与机械设计的关系是因果关系,但又不是——对应的关系——体现同一功能的产品可以有多种多样的工作原理。因此,方案设计就是在功能分析的基础上,通过创新构思、搜索探求、优化筛选取得较理想的工作原理方案。

对于机械系统来说,机械系统方案设计的主要内容:

a. 根据系统的要求,在功能分析和工作原理确定的基础上进行工艺动作构思和工艺动作分解,确定执行构件所要完成的运动。

b. 采用机械选型、组合等方法初步拟定各执行构件相互协调配合的运动循环图,进行机械运动方案的设计。

③ 总体设计与结构设计 将机械的构型构思和机械系统的运动方案简图具体转换为机器及其零部件的合理结构。也就是要完成机械系统的总体设计、部件和零件设计,完成全部生产图纸并编制设计说明书等有关技术文件。

总体设计必须要有全局观念,不仅要考虑机械本身的内部因素,还应满足总功能、人机工程、造型美学、包装和运输等各种外部因素,按照简单、合理、经济的原则妥善确定机械中各零部件之间的相对位置和运动关系。总体布置时一般总是先布置执行系统,然后再布置传动系统、操纵系统及支承形式等。通常都是从粗到细、从简到繁,需要反复多次才能确定。

结构设计时要求零件、部件设计满足机械的功能要求,零件的结构形状要便于制造加工,常用零件要尽可能地标准化、通用化、系列化。结构设计时一般先由总装草图分拆成部件、零件草图,经审核无误后,由零件工作图、部件图绘制出总装图。再进行机械的动力设计,确定作用在机械系统各构件上的载荷,并进行机械的功率和能量计算。机械动力设计的内容包括:根据功能关系建立系统运动方程式、求解真实运动、速度波动的调节和机械的平衡等。最后还要编制技术文件,如设计说明书、标准件、外构件明细表、备件、专用工具明细表等。

④ 改进设计 根据样机性能测试数据、用户使用过程以及在鉴定中所暴露的各种问题,进一步做出相应的技术完善工作,以确保产品的设计质量。这一阶段是设计过程不可分割的一部分,通过这一阶段的工作,可以进一步提高产品的性能、可靠性和经济性,使产品更具生命力。以上设计过程的各个阶段是相互联系、相互依赖的,有时还要反复进行。只有经过不断修改和完善,才能获得较好的设计。

(3) 机械系统方案设计

机械系统设计过程中原理方案设计是机械系统设计的关键内容。原理方案设计过程中应

解决下列问题。

① 确定系统的总功能 对设计任务的抽象化是认识所要设计的机械的功用的最好途径。通过抽象化确定系统的总功能,能够使设计者认清系统设计目标,开阔设计思路。

② 进行总功能分解 将总功能分解为若干分功能,是实现功能和工作原理方案的最好办法,能够使设计者易于构思各种各样的工作原理方案。

③ 选择分功能的功能载体 分功能的功能载体的选择,是原理方案设计中的一个关键步骤。建立起完整的功能载体目录是机械系统设计的重要手段。

④ 构思功能载体的组合 将各功能载体按系统总功能要求加以组合,可以得到多个工作原理方案供设计者选择决策。

⑤ 方案的评价与决策 针对不同的机械,确定评价指标体系和评价方法,对多个方案进行综合评价和决策。

方案设计是概念设计的后期阶段,是在设计师的理念、设计思想、设计灵感及设计经验充分发挥的前提下,进行具体组成和功能结果的方案设计。设计方案是概念设计的结果的表现形式。实践表明:产品创新主要来自概念设计阶段所涉及的功能、原理、形态、布局和结构等方面的创新。

1.2.2 机械产品设计理论

产品设计是用科学的方法,将市场上的客户需求转化为满足该需求的技术系统,寻求设计解(产品)的过程,即开发新产品的一系列创造性活动。产品设计具有创造性、复杂性和不确定性的特点,是实现产品创新的核心和基础。设计理论研究设计过程的系统行为、基本规律及设计中的思维和工作方法,是依据设计哲学与设计心理学的研究而获得的。20世纪60年代以后,产品设计理论的研究得到了极大的发展。设计理论的应用可以减少产品开发资源(时间、金钱等)的使用、改善产品功用、提高产品可靠性、降低产品生命周期成本和缩短制造周期。设计理论的研究主要集中在三个方面:设计规律的研究、设计过程的研究、设计实施技术的研究。

① 设计规律的研究 对人类设计活动的认知模型研究。这类研究侧重于从认知学的角度探讨人类设计活动的规律,通过搭建设计者行为、设计活动和设计者思维之间的关系,为开发设计工具提供理论依据。

② 设计过程的研究 侧重于研究设计活动进行的步骤与方式。产品设计的过程可以归纳为描述型模型(Descriptive Models)与规定型模型(Prescriptive Models)两类。描述型过程模型对设计过程中可行的活动进行描述,强调产生解思想的重要性,并集中在求解的思路。规定型过程模型规定设计过程所必须的活动,规定出较好或较合适的活动模式等。设计过程的研究试图规范设计活动过程,使之科学化、程序化,如公理化设计、通用设计理论、质量功能配置等。另一些研究则通过优化与重组设计过程,以提高设计的效率与质量,如并行工程、协同设计等。

③ 设计实施技术的研究 设计实施技术是面向产品实现的技术,就设计过程中的某一个阶段或某一个方面研究其具体实现方法,包括:

a. 为设计服务的基本理论与技术,如功能设计、并行设计、产品建模、变量几何、人工智能理论、优化算法、虚拟现实等。

b. 设计手段与工具,如参数化设计、变量化设计、基于特征的设计、仿生设计、基于



实例的设计、优化设计、模块化设计、反求设计、可适应性设计等。

c. 设计过程某阶段的研究,如创新设计、概念设计、公差设计、设计评价等。

d. 面向某一目标的设计,如快速设计、DFx、绿色设计、可靠性设计、智能设计与设计自动化等。

e. 面向综合目标的设计,如产品生命周期设计、产品综合平衡设计方法。

各国学术界对设计理论进行了广泛研究,较著名的有通用设计理论与泛设计理论、公理化设计、质量功能配置、TRIZ、基于进化算法的计算设计等。

(1) 通用设计理论与泛设计理论

日本东京大学人造物工程研究中心的吉川弘之等学者自 20 世纪 70 年代起提出了通用设计理论 (General Design Theory, GDT),主要通过采用数学形式来表达设计过程的思想,并将处理人类思维活动领域内的设计操作表示为知识处理的概念模型。基于 GDT,1998 年 5 月 Karlsruhe 会上又提出了一个精细设计过程模型,将“设计”定义为完成技术规格书的过程。设计过程的开始,根据功能、行为状态、属性以确定设计目标的技术规格书;随着设计过程的发展,技术规格书不断精确化,成为稳定的、完整的和可行的最终产品定义。精确化的演绎过程用一个元模型的映射机制以建立需求、功能、物理等域的多模型的问题域。基于上述基本理论方法,他们提出了一个可技术实现的知识处理工程框架。

德国 Karlsruhe 大学计算机应用于设计与生产研究所的 H. Grabowski 教授等则提出了泛设计理论 (Universal Design Theory, UDT),研究了结构化表达设计过程的方法,奠定了实现新一代计算机辅助设计技术系统的理论前提,并开发了一个原理性的演示系统,其目的在于探求设计过程是如何组织的,以及计算机如何能用于支持设计的全过程。

(2) 公理化设计

自 1990 年以来,美国麻省理工学院机械工程系 Nam P. Suh 等学者对设计理论进行了系统的研究,提出了设计公理体系 (Axiomatic Design, AD)。AD 的出发点是将传统上以经验为主的设计转换到以科学公理、法则为基础的公理体系,将设计的问题域看作为顾客需求域 [CAs]、功能域 [FRs]、物理域 [DPs]、过程域 [PVs] 四个依次通过映射机制相联系的问题域概念模型。通过映射机制,如从功能域映射至物理域的定义为 $[FRs] = A[DPs]$,其中 A 为设计矩阵,表示产品设计的特征。AD 提出了两个基本公理:独立性公理,它保持功能需求的独立性,功能需求是满足设计目标的独立性功能需求的最小数目;信息公理,它使设计信息内容最小化,信息内容定义为满足 FR 的可能性。在满足独立性公理的设计中,具有最大的成功可能性的设计为最佳的设计。AD 体系中关键在于如何确定每个域的特征参量,确定设计矩阵 A 和减少信息量以建立健壮的设计过程。

(3) 质量功能配置

为了缩短产品设计周期,设计者应十分清楚用户对待设计产品的要求,并以此作为设计的出发点。质量功能配置 (Quality Function Deployment, QFD) 是日本的 Akao 于 1966 年提出的,通过质量屋 (House of Quality, HOQ) 建立用户要求与设计要求之间的关系,并可以支持设计及制造全过程。它是一种将用户需求、整机特性、零部件特性、工艺要求、制造要求的多层次演绎的分析方法。QFD 的核心思想是从产品开发的可行性分析研究到产品的生产都是以用户的需求为驱动,强调将用户需求明确地转化为产品开发管理者、设计者、制造工艺部门以及生产计划部门等有关人员均能理解的各种具体信息,从而保证企业最终生产出符合用户需要的产品。