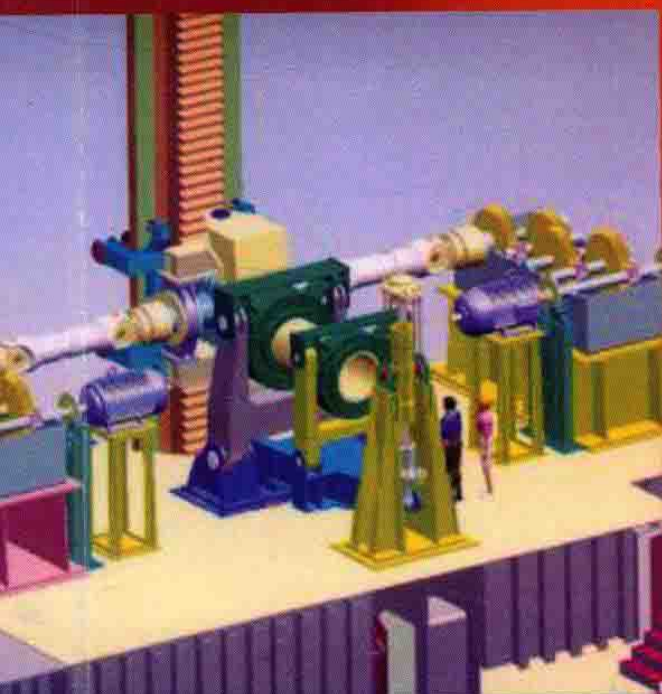




“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系系列精品教材
见习机械设计工程师资格考试培训教材



Modern Mechanical
Design Method

现代机械设计方法

第③版

中国机械工程学会机械设计分会 © 组编
谢里阳 © 主编

 双色印刷

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“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
见习机械设计工程师资格考试培训教材

现代机械设计方法

第3版

中国机械工程学会机械设计分会 组编

主 编 谢里阳

参 编 钟 莹 赵新军 李剑敏

张 翔 何雪法

机械工业出版社

本书是根据中国机械工程学会《见习机械设计工程师资格认证实施细则》的规定与要求编写的，其目的是提高大学生从业的适应能力，满足用人单位对人才的迫切需要。

本书的编写充分考虑了工科大学生的基础和现实需要，内容全面，体系清楚，着重实例示范。本书内容包括四大部分：创新设计理论与方法、有限元法与应用、优化设计、可靠性设计。本书基本上包括了工程技术人员需要掌握的现代设计理论知识，在内容上力求做到深入浅出。

本书主要作为高等院校机械工程类专业毕业生和在校大学生参加见习机械设计工程师资格考试的指导教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代机械设计方法/谢里阳主编. —3 版. —北京: 机械工业出版社, 2018. 10

“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
见习机械设计工程师资格考试培训教材

ISBN 978-7-111-61213-1

I. ①现… II. ①谢… 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 243664 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: 蔡开颖 责任编辑: 蔡开颖 杨璇 任正一

责任校对: 张薇 封面设计: 张静

责任印制: 孙炜

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2019 年 6 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·1 插页·346 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-61213-1

定价: 36.00 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: 010-68326294

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

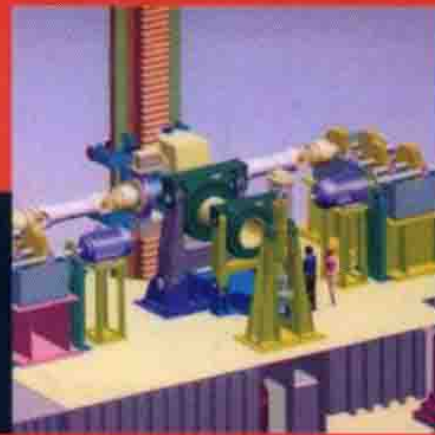
机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com



谢里阳 1962生，教授，博士生导师，1988年博士毕业于东北大学，1996—1998年在德国Otto-Von-Guericke大学等做访问学者。现任东北大学机械能与自动化学院现代设计与分析研究所所长。研究方向包括机械结构强度、疲劳、断裂与寿命预测，可靠性与系统概率风险评估，CAE等。主持完成国家自然科学基金重点项目、863项目、国家科技攻关项目子课题以及工程项目多项。曾获霍英东教育基金青年教师基金、国家教委重点跟踪资助，以及全国青年科技标兵、辽宁省学科带头人、沈阳市十大杰出青年等荣誉称号。曾获辽宁省科技进步二等奖和国家教学成果二等奖。发表研究论文近200篇，著述有中科院出版基金资助出版的《机械可靠性基本理论与方法》等。现为国际学术期刊《Int. J. Advances in Reliability》《Int. J. Reliability and Safety》《航空学报》等编委。兼任中国材料研究会疲劳分会副理事长、中国机械工程学会可靠性分会副理事长。



Modern Mechanical Design Method

前言

“21 世纪是设计的世纪”。为了保证产品质量，更好地满足用户的需求，同时给企业带来最大的效益，减少资源消耗及其对环境的影响，掌握科学、先进的设计方法十分重要。

在“设计的世纪”，设计工程师具有更高的地位，也被赋予更多的责任。设计工程师需要具备科学设计的理念，掌握先进的设计方法，综合应用多学科的知识，创造性地设计出更好的产品。

同时，21 世纪也开始了终生学习的时代，知识更新、持续发展变得更加迫切。作为见习机械设计工程师培训教材，本书以“适当阐释原理、力求学以致用、着重实例示范”为宗旨，设置了创新设计理论与方法（钟莹、赵新军编写）、有限元法与应用（李剑敏、谢里阳编写）、优化设计（张翔、何雪宏编写）和可靠性设计（谢里阳编写）四部分内容。

设计的核心就是创新。创新能力已是当今企业核心竞争力的重要标志，也是设计人员能力与价值的体现。本书创新设计部分介绍创造、创新、发明以及创新设计等基本概念，结合工程应用实例，对解决创新、创造问题的理论（TRIZ）进行详细的分析和论述。本书内容包括各种冲突概念及其分类，设计中物理冲突、技术冲突的解决原理和方法，利用冲突矩阵实现设计创新的具体步骤，使创新设计过程具体化。通过技术进化的实例分析，介绍了技术进化的基本思想，比较详细地论述了技术系统进化的 11 种模式。该部分内容有助于设计人员打破传统思维定式，避免习惯思维惰性，挖掘自身潜能，开发创新、创造及发明意识，实现技术创新。

有限元法是一种应用十分广泛的数值计算方法。在有限元法与应用部分，作为弹性力学问题有限元法的理论基础，介绍了弹性力学中的基本概念、基本假设、基本方程以及虚位移原理等。结合弹性力学平面问题，讲述了有限元法的基本内容、方法与步骤，包括边界条件处理和计算结果的整理等内容。此外，还简单介绍了结构动力学问题有限元分析的基本原理及方法，并给出了一些典型问题的有限元分析实例。

在优化设计部分，从优化设计的基本概念、分类及进行机械优化设计的一般过程开始，通过机械优化设计实例，介绍了机械优化设计的数学模型、数学模型的标准格式、数学模型



中应用到的基本概念以及优化设计问题的基本解法。

在可靠性设计部分，讲述了工程中可靠性问题的特点和可靠度、失效率等可靠性度量指标，以及可靠性设计的基本内容和流程，介绍了可靠性设计中经常用到的概率分布函数，着重阐释了作为零件可靠性设计基础的应力-强度干涉模型及其应用。此外还介绍了系统可靠性模型和系统可靠性分配等内容。

产品的质量在很大程度上依赖于产品的设计，而设计水平主要取决于设计人员的能力。希望本书能作为设计人员拓展设计能力的有效工具，能对设计人员应用先进设计方法与技术、提高设计水平有所补益。

编者

第1章

创新设计的基本概念

1.1 创新

创新是人类文明进步的动力，是社会经济发展的源泉。历史地看待创新，人类发展的历史就是一部创新史，创新的数量、质量和速度影响着人类发展进步的幅度和速度。认识创新，了解创新对人类文明的影响，了解创新人才的特征，把握创新人才的培养要点，是创新人才成长发展的第一步。

创新的提法由来已久。美国第一任总统华盛顿在 1786 年的告别演讲中，告诫美国人民要“保持自由创新精神”；但是，对创新的研究却发端于 20 世纪初期。随着知识经济时代的到来，创新成为一个越来越广泛使用的名词，全面理解创新显得非常必要。

创新包括技术创新（产品创新与过程创新）与组织管理上的创新，因为两者均可导致生产函数的变化。创新是一个经济范畴，而非技术范畴；它不是科学技术上的发明创造，而是把已发明的科学技术引入企业之中，形成一种新的生产能力。具体来说，创新包括以下五种情况，见表 1-1。

表 1-1 创新的五种情况

序号	创新的五种情况
1	引入新产品(消费者不熟悉的产品)或提供新的产品质量
2	采用新的生产方法(制造部门中未曾采用过的方法,此种新方法并不需要建立在新的科学发现基础之上,可以是以新的商业方式来处理某种产品)
3	开辟新的市场(使产品进入以前不曾进入的市场,不管这个市场以前是否存在过)
4	获得原料或半成品的新的供给来源(不管这种来源是已经存在的,还是第一次创造出来的)
5	实行新的企业组织形式(如建立一种垄断或打破一种垄断)

创新概念包含的范围很广，各种提高资源配置效率的新活动都是创新。其中，既有涉及技术性变化的创新，如技术创新、产品创新、过程创新等；也有涉及非技术性变化的创新，如制度创新、政策创新、组织创新、管理创新、市场创新、观念创新等。

从事创新活动、使生产要素重新组合的人称为创新者。创新者必须具备三个条件：第一，是要有发现潜在利润的能力；第二，要有胆量敢于冒风险；第三，要有组织能力。

1.2 创新设计

设计本身就是创新的一个过程，将创新的理论与设计的实践切实地结合起来就能创造出更多更好的优秀设计作品。设计是人类的基本活动。按研究目的的不同，设计可以分为三个层面，即：设计哲学，从心理学及认知的层面研究设计的本质；设计理论与方法，依据设计哲学的研究结果及设计的实践，建立分步的或细化的设计过程模型、研究过程模型的支持工具、开发工具软件；设计的应用，包括产品设计、稳健设计、可靠性设计、优化设计、动态设计等。

1. 设计的内涵

人类通过劳动改造世界，创造文明，创造物质财富和精神财富，而最基础、最主要的创造活动是造物。设计便是对造物活动进行预先的计划，可以把任何造物活动的计划技术和计划过程理解为设计。

设计的种类相当多，如机械设计、工业设计、环境设计、建筑设计、广告设计、包装设计、平面设计、形象设计、网页设计、动画设计、人机界面设计、通用设计等。设计包含于人们日常生活的各个方面。

2. 创新设计的内涵

研究创新设计，主要是研究如何将创新理论和创新方法应用于各个设计门类之中。在设计的过程中融入创新的理论和方法，能够使创新更有效地推动设计向前发展；同时，在设计实践中实施的经验也是对于创新理论研究的一个有效补充和完善。所以，创新与设计的关系如图 1-1 所示是互为依托、不可分割的两个领域。创新设计的立足点应为两者相结合的区间，是十分有研究价值及发展空间的。

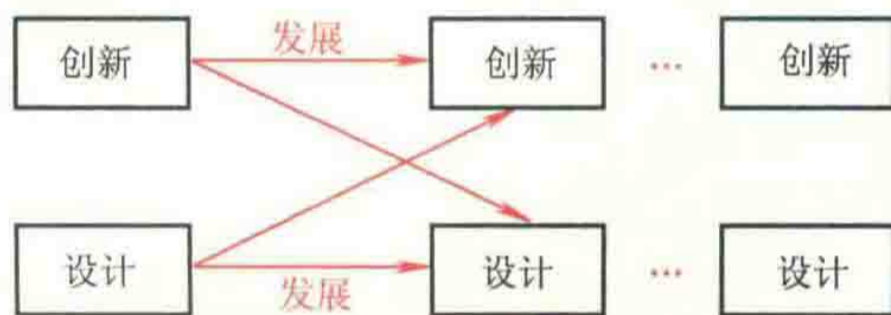


图 1-1 创新与设计的关系

设计中科学的一面是设计者能更好地理解设计过程，艺术的一面是设计者的灵感及创造性得到发挥。设计过程是解决问题的过程，是使产品由初始状态通过单步或多步变换实现或接近理想状态的过程。如果实现变换的所有步骤都已知，则称为“常规问题”；如果至少有一步未知，则称为“发明问题”。解决常规问题的设计是常规设计，解决发明问题的设计是创新设计。

创新设计是解决发明问题的设计，该过程的核心是概念设计。创新设计的特征是在概念设计阶段解决设计中的冲突和矛盾，提出新的或有竞争力的原理解。

1.3 创新思维的基本方法

笛卡儿说：“最有价值的知识，是关于方法的知识”。学习创新设计方法，应当重点学习创新思维和创新技法。

创新思维产生于人类生产、生活实践，并且不断丰富发展。经过实际生产、生活的检验，许多常用的创新思维被总结出来。这些思维方法看似简单，却非常实用有效。特别是当



这些创新思维成为自觉的思维习惯时,会产生巨大的成效。熟悉并用心体会以下这些创新思维方法,是培养创新能力的有效途径。主要的创新思维方法见表 1-2。

表 1-2 主要的创新思维方法

创新思维方法	内 涵	种 类	方 法
静态思维	思维主体从固定的概念出发,遵循固定的程序,达到固定成果的思维方法	绝对化静态思维	按照约定俗成的规则、模式进行思考的思维过程
		相对化静态思维	在思维过程中寻求稳定因素和秩序,使思维规则化,以便不断重复
逆向思维	思维主体沿事物的相反方向,用反向探求的方式进行思考的思维方法	功能反转	从已有事物的相反功能去设想和寻求解决问题的新途径
		结构反转	从已有事物的相反结构形式去设想和寻求解决问题的新途径
		因果反转	从已有事物的因果关系,变因为果去发现新的现象和规律,寻找解决问题的新途径
		状态反转	根据事物的某一属性(如正与负,动与静,进与退,作用与反作用)的反转来认识事物和引发创造的方法
联想思维	思维过程中从研究一事物联想到另一事物的现象和变化,探寻其中相关或类似的规律,以解决问题的思维方法	相似联想	大脑受到某种刺激后,自然而然想起同这一刺激相似的经验
		对比联想	大脑受到某种刺激后,想起与这一刺激完全相反的经验,即把性质完全不同的事物,进行对比对照
		相关联想	大脑受到某种刺激后,想起时间上或空间上与这一刺激有关联的经验
抽象思维	利用概念、借助言语符号进行思维的方法	经验思维	依据日常生活经验和日常概念进行的思维
		理论思维	根据科学概念和理论进行的思维
形象思维	用直观形象和表象解决问题的思维方法	具体形象思维(初级形式)	凭借事物具体形象和表象的联想来进行的思维
		言语形象思维(高级形式)	借助鲜明生动的语言表征,以形成具体的形象和表象来解决问题的思维过程,带有强烈的情绪色彩
简化思维	思维过程中尽可能撇开非主要因素,减少不必要的环节,使复杂问题简单可行地解决的思维方法	剪枝去蔓	思考时尽力排除可以不予考虑的非主要因素
		同类合并	把同一类的问题合并在一起分析和处理
		寻觅快捷方式	在思考中尽量找出和在实践中尽力避开非必需的程序、环节



(续)

创新思维方法	内 涵	种 类	方 法
发散思维	在思维过程中,无拘束地将思路由一点向四面八方展开,从而获得众多的设想、方案和办法的思维过程	材料发散	以某种物品或图形等作为材料,以此为发散点,设想它的多种用途或多种与此相像的东西
		组合发散	从某一事物出发,以此为发散点,尽可能多地设想与另一事物连接成具有新价值(或附加价值)的新事物的各种可能性
		因果发散	以某个事物发展的结果为发散点,推测造成此结果的各种可能的原因;或以某个事物发展的起因为发散点,推测可能发生的各种结果
		关系发散	从某一事物出发,以此为发散点,尽可能多地设想与其他事物的各种关系
		功能发散	以寻求的某种功能为发散点,尽可能多地说出获得这种功能的各种可能的途径
		方法发散	以解决问题或制造物品的某种方法为发散点,设想出利用该种方法的各种可能性
		形态发散	以事物的某种形态(如形状、颜色、音响、味道、明暗等)为发散点,想出尽可能多地利用这种形态的各种可能性
		结构发散	以某种结构为发散点,设想出尽可能多地利用该种结构的各种可能性
收敛思维	以某种研究对象为中心点,将众多思路和信息汇集于这个中心点,通过比较、筛选、组合、论证从而得出在现有条件下最佳方案的思维过程	目标识别	思考问题时,细致观察,从中找出关键的现象,对其加以关注和定向思维
		间接注意	用间接手段寻找关键技术或目标,以解决最终的问题
		层层剥笋	在思维过程中应层层分析,逐渐逼近问题的核心,避开繁杂的、表面的特征,以揭示隐藏在表面现象下的深层本质
聚焦思维	把针对解决问题的各种信息集中起来加以研究,进而找出解决问题的最好方案的思维方法	广泛调查	研究问题是如何存在的,以加宽注意的广度及想出较多的解决方法
		深入研究	区分问题的叙述,以决定是否把精神集中于一个更待定的层面上



(续)

创新思维方法	内 涵	种 类	方 法
多屏幕思维	多屏幕思维方法是在分析和解决问题的时候,不仅考虑当前的系统,还要考虑它的超系统和子系统;不仅要考虑当前系统的过去和将来,还要考虑超系统和子系统的过去和将来	考虑当前系统的过去和将来	考虑发生当前问题之前和之后该系统的状况(包括系统之前和之后运行的状况、其生命周期的各阶段情况等),考虑如何利用过去和以后的事情来防止此问题的发生,以及如何改变过去和以后的状况来防止问题发生或减少当前问题的有害作用
		考虑当前系统的超系统和子系统	当前系统的超系统和子系统的元素是物质、技术系统、自然元素、人与能量流,需分析如何利用超系统和子系统的元素及组合来解决当前系统的问题
		考虑当前系统的超系统和子系统的过去以及超系统和子系统的将来	分析发生问题之前和之后超系统和子系统的状况,并分析如何利用和改变这些状况来防止或减弱问题的有害作用
灵感思维	人们借助于直觉启示对问题得到突如其来的领悟或理解的一种思维方法	联想式	思维主体在久思不得结果的情况下,因为某一偶然事件的刺激顿时产生各种联想,从而使问题迎刃而解
		触发式	思维主体在受到某种刺激、特别是与别人展开讨论或争论并受到别人或自己提出想法的激励时直接迸发出灵感的一种诱发灵感的形式
		自生式	灵感诱发形式的产生不需要借助外界触媒的刺激,而是通过头脑中内在的省悟和内部思想的闪光
想象思维	将记忆中的表象(知识、经验和信息)加以重新组合,使之产生新思想、新方案、新方法的思维过程	再造想象	根据语言和文字的描述或图样的示意,在头脑中形成相应新形象的过程
		创造想象	根据一定的目的和希望,对头脑中已有的表象进行加工改造,独立地创造出新形象的过程
		幻想	创造想象的特殊形式,是一种指向未来的想象;符合客观事物发展规律的幻想即理想
		梦	一种漫无目的、不由自主的奇异想象



(续)

创新思维方法	内 涵	种 类	方 法
直觉思维	在思维过程中,不依靠明确的分析活动,不经过严密的推理和论证,直接迅速地从感性形象材料中捕捉、领悟到解决问题途径的思维方法	暴风骤雨式联想	以极快的联想方式进行思维,并从中引出新颖观念的方法
		笛卡儿式连接	用抽象的几何图形来说明代数方程,尽可能采用智力图像来解决问题的方法
立体思维	从多角度、多方位、多层次认识对象、研究对象,全面地反映问题的整体及其周围事物构成的立体画面的思维模式	整体性思考	以诸多因素综合律为依据的整体性思维方法
		系统性思考	以各层次、因素、方面贯通为依据的思维方法
		结构分析	以纵横因素交织为依据的思维方法
潜思维	从反映客观对象呈现出来的模糊状态到反映事物特有属性的过渡阶段的思维形式	潜概念	描述客观对象呈现的模糊状态时使用的概念
		潜判断	借助潜在语境表达隐含丰富的思维内容,为人们进行创造性思维和潜意识活动提供了中间环节
		潜推理	帮助人们发现推理及某一理论潜在的错误倾向,使思维灵敏地做出判断,防患于未然
演绎思维	思维从若干已知命题出发,按照命题之间的逻辑联系,推导出新命题的思维方法	原因到结果	由已知的条件演绎推导出可能出现的结果
		结果到原因	由已知的结果演绎回溯出引发其出现的原因
博弈思维	思考出许多方案,并以极快的思维操作比较其优劣,从中挑选出最好、最理想的方案并付诸实施的思维方法	经验判断法	通过对各种预选方案进行直观比较,按一定的价值标准从优到劣进行排序
		求异和求同思维	求异是分析比较诸方案间的差异,深入思考,往往能提出新的科学严密方案;求同是利用相同的标准对诸方案进行比较和论证,选出最终方案
		数学定量思维	在对复杂事物如气象预测、军事国防、海洋捕鱼、经济竞争、大型产品的设计等制定对策时,必须借助于大型数学模型,运用电子计算机进行设计、比较和筛选方案



(续)

创新思维方法	内 涵	种 类	方 法
迂回思维	思维活动遇到了难以消除的障碍时,谋求避开或越过障碍而解决问题的思维方法	中间传导	增加解决问题的中间环节,比直来直去更为切实可行
		曲径通幽	面对难题暂时抛开,充实必要的知识和技能后再回头攻关
		以远为近	先解决与所主攻的问题关联较小的问题,后解决主要问题
辩证思维	从联系、运动、发展等方面来考察和研究事物的思维方法	对立统一思维	原因和结果、自由和必然、民主和集中、正确和错误、优点和缺点,都是处于对立统一之中的,两者之间既是有区别的,又是相互联系和相互转化的
		发展思维	在客观现实中,任何事物都在不断运动、变化和发展着,绝对静止的事物是不存在的,思维要正确反映对象发展,必须具有灵活性,从发展变化来思考对象
		整体历史思维	任何事物都是在一定历史条件下存在和发展的,都有其产生、发展和消亡的过程,思维要达到正确反映客观事物的目的,就必须全面地、历史地思考对象,才能获得关于对象的具体真理
变换思维	将思维对象当作能够进一步开拓或挖掘的主体,循序变换思维的视点、角度,进而猎取新颖、奇特的思想火花,从而解决问题的思维方法	变换视点	认识物体间的部位转移
		变换角度	思维主体的方法、方式的更替

1.4 创新技法

创新技法主要研究在发明创造过程中分析解决问题,形成新设想、产生新方案的规律、途径、手段和方法,目的在于拓展创造性思维的深度和广度,提高创造活动的成效,缩短创造探索过程。一个人仅有优秀的创新思维而没有正确的创新技法不可能实现创新,掌握创新技法对培养和提高人们的创新能力具有重要作用。

人们在创新活动的实践中总结了数百种创新技法,不同的创新技法适合不同领域的创新,适合解决问题的不同环节;反过来讲,同一个创新也可以采用多种创新技法。常用的创新技法见表 1-3。

表 1-3 常用的创新技法

技 法	内 涵
智力激励法	采用会议的形式,引导每个参加会议的人围绕某个中心议题,广开思路,激发灵感,毫无顾忌地发表独立见解,并在短时间内从与会者中获得大量的观点的方法