

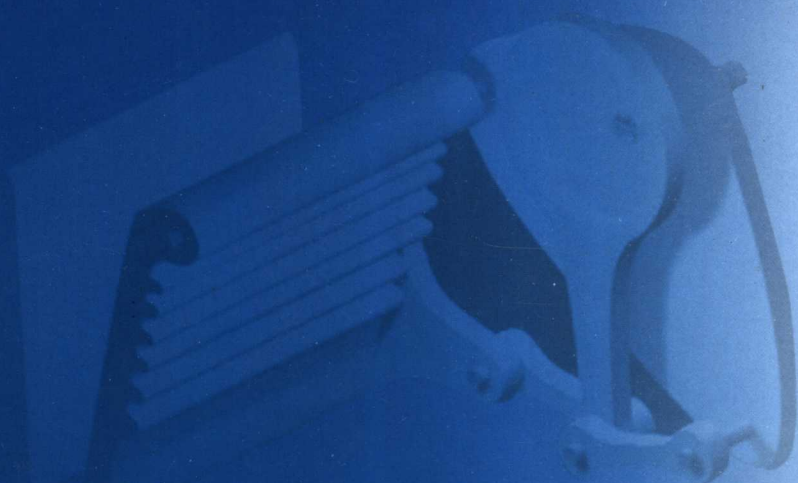


机械学科平台课程系列教材

机械原理

——专题篇

● 杨家军 主编



华中科技大学出版社
[http:// www.hustp.com](http://www.hustp.com)



机械学科平台课程系列教材

机械原理

——专题篇

主编 杨家军

编者 杨家军 程远雄 朱 洲 冯丹凤

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械原理——专题篇/杨家军 主编

武汉:华中科技大学出版社,2006年12月

ISBN 7-5609-3888-4

I. 机…

II. 杨…

III. 机构学-高等学校-教材

IV. TH111

机械原理——专题篇

杨家军 主编

责任编辑:钟小珉

封面设计:刘 卉

责任校对:陈 骏

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:11.75

字数:207 000

版次:2006年12月第1版

印次:2006年12月第1次印刷

定价:17.80元

ISBN 7-5609-3888-4/TH·147

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

为了适应机械大类各专业教学内容前三年打通的改革需要,改革后的机械原理教材分为基础篇和专题篇两本,基础篇是机械大类各专业基础平台课程主要教材之一,专题篇是供需深入学习机械原理课程的相关专业学生后续选用。专题篇主要讨论机构系统设计、变位齿轮设计、机构系统动力学设计、连杆机构设计等专题,专题篇和基础篇内容前后呼应,是一个有机的整体。

机械原理专题篇,面向产品设计、启发创新、加强实践、培养学生具有较扎实的工程设计能力,以创新之根基于实践为主线,重点讨论机构设计的一般规律和方法,将设计基本知识、基本理论和设计方法有机地融合,加强创新思维和工程设计能力的训练。通过理论与实践有机的联系,为现代机械产品设计提供必要的基础知识与方法。

本教材可作为高等学校机械大类各专业机械原理课程的教材,也可供其他相关专业的师生和工程技术人员参考。

机械学科平台课程系列教材

编 委 会

顾 问 杨叔子
主任委员 李培根

副主任委员 吴昌林 陈立亮 叶恒奎 蔡兆麟
许晓东 范华汉 刘太林 韦 敏

委 员 夏巨谌 樊自田 金建新 姜柳林 程远胜
吕庭豪 高 伟 黄荣华 黎秋萍

秘 书 姜柳林 徐正达 钟小珉

前 言

为了适应机械大类各专业教学内容前三年打通的改革需要,改革后的机械原理教材分为基础篇和专题篇两本,基础篇是机械大类各专业基础平台课程主要教材之一,专题篇是供需深入学习机械原理课程的相关专业后续选用。专题篇主要讨论机构系统设计、变位齿轮设计、机构系统动力学设计、连杆机构设计等专题,专题篇和基础篇内容前后呼应,是一个有机的整体。

机械原理是机械类专业设计基础的主干课程,讲述机器的运动学、动力学原理及机构设计的方法。在机械类专业培养计划中,本课程的教学及其实践环节,在培养学生的机械工程背景、机械设计能力与创新思维方面占有极为重要的地位,是机械类高素质人才培养的重要组成部分。

本课程针对现代机电产品设计中具有创新精神人才的需要,为适应现代机械设计中机构设计与选型方面的要求,旨在培养学生创新意识和工程设计能力,从提高学生创新设计能力入手,加强工程设计和实践内容,注重设计技能的基本训练,由专业教育转向通识教育,拓宽学生的知识面,全面提高学生的综合素质。

本书在教学体系与内容上进行系统改革。在教学体系上,强调学科之间的融合,面向产品设计、启发创新、加强实践,培养学生具有较扎实的工程设计能力;以创新之根基于实践为主线,重点讨论机构设计的一般规律和方法,将设计的基本知识、基本理论和设计方法有机地融合,加强创新思维和工程设计能力的训练;通过理论与实践有机的联系,为现代机械产品设计提供必要的基础知识与方法,不仅向学生介绍机械设计的基本原理与方法,还通过对工程实际设计中问题的剖析,提高学生的独立工作和解决实际问题的能力。在教学内容上,不拘泥于系统性,而是围绕工程的需求来安排;在思维方式上,从重分析转到重综合,从重视如何认识世界转到重视如何改造世界。

在内容取舍上,注意先进性与实用性,以及知识面的广阔性;在内容编排上,遵从由浅入深的认识规律,采取突出重点、照顾知识面的原则,注意共性与特性的分析,将设计内容和设计方法有机地融合。在教学方法上,以培养学生的机械综合设计能力为目标,加强学生的观察与分析、独立思考与创新意识的

能力,注重激发学生的求知欲望,调动学生的学习积极性,引导学生开阔思路,让学生了解更多、更新的机械设计理论和技术;加强学生的机构设计训练,从而使学生既能掌握本课程的核心内容,又有利于培养学生创新意识和工程设计能力。

本书文字叙述力求简明扼要、通俗易懂,便于教与学。为了突出机械产品中常用机构设计的一般规律,给学生以清晰的设计思路,而又不失本课程的结构特点,全书采用文字、图表及图文对照的形式。

参加本书编写的有杨家军(第1、2、4章和第3章的3.1节)、程远雄(第3章的3.2、3.3节和第5章的5.1、5.2节)、朱洲(第5章的5.3、5.4节)、冯丹凤(第3章的3.4、3.5节),并由杨家军教授担任主编。

本书在编写过程中,得到了华中科技大学机械设计与汽车工程系教师的热情鼓励与大力支持,杨元山教授对本书提出了许多宝贵的意见和建议。在出版过程中,华中科技大学出版社的领导和编辑给予了很大支持与帮助,并付出了辛勤劳动。编者在此谨向他们表示真挚的谢意!

由于编者水平有限,错误和不当之处在所难免,恳请各方面专家和广大读者批评指正。

作者

2006年10月

目 录

第1章 产品设计	(1)
1.1 机构在产品设计中的作用	(1)
1.2 产品创新设计	(6)
1.3 产品概念设计	(16)
习题	(24)
第2章 机构系统设计	(25)
2.1 机构选型	(25)
2.2 机构构型的创新设计	(28)
2.3 基于功能分析的机构设计	(41)
2.4 机构系统设计实例	(48)
2.5 机构系统设计方案的评价	(51)
习题	(54)
第3章 机构系统的动力学设计	(57)
3.1 平面机构的平衡设计	(57)
3.2 作用在机构上的力和机构的运动过程	(66)
3.3 机构系统动力学模型及运动方程式	(69)
3.4 机构系统的真实运动规律	(78)
3.5 机构系统的动力学设计	(82)
习题	(91)
第4章 变位齿轮设计	(96)
4.1 变位齿轮	(96)
4.2 直齿圆柱变位齿轮传动	(99)
4.3 选择变位系数的限制条件	(106)
4.4 变位系数的选择	(112)
4.5 斜齿圆柱变位齿轮传动	(116)
4.6 行星轮系设计	(117)
习题	(119)
第5章 连杆机构设计	(122)
5.1 平面连杆机构的解析综合	(122)
5.2 平面连杆机构的优化设计	(136)

5.3 空间连杆机构	(145)
5.4 工业机器人机构	(162)
习题	(176)
参考文献	(179)

第1章 产品设计

提示:本章介绍了机构在产品设计中的作用、机械设计的学科体系、现代设计方法及产品的概念设计。

1.1 机构在产品设计中的作用

1.1.1 产品设计的过程

产品设计是将创新构思转化为有竞争力的产品的一个创新过程。因此,设计是产品制造的前提和基础。现代产品设计是一个多学科相融合的综合性学科。所谓设计,是指根据使用要求确定产品应具备的功能,构思产品的工作原理、总体布局、运动方式、力和能量的传递、结构形式、产品形状,以及色彩、材质、工艺、人机工程等内容,并转化为工程描述(如图纸、设计文件等),以此作为制造的依据。一般情况下,一个产品的设计要经历如下环节。

① 需求分析和可行性研究。通过市场调研分析用户的需求,进行产品开发的可行性研究与分析。

② 概念设计。在需求分析和可行性研究的基础上,确定产品应具备的功能,进行方案的构思、分析和论证,确定一组可行的原理性方案。概念设计主要包括功能设计、原理设计、形状设计、布局设计和人机工程设计等。

③ 初步设计。从原理性方案中选择优化方案,进行初步的总体设计,确定各部件的基本结构、形状以及协调尺寸,建立相应的数学模型,进行主要设计参数的分析计算与优化。

④ 详细设计。确定设计对象的细节结构,进行详细的总体设计和零、部件设计,完成产品的工程描述。

⑤ 试制与测试。完成产品的样机生产及有关测试项目,并进行设计反馈与修改。

⑥ 设计定型。完成产品设计定型的各种技术文件,投入批量生产。

⑦ 设计完善。根据产品投入市场后的用户意见和批量生产中的问题反馈,对产品不断进行设计完善和修改。

现代产品设计强调全生命周期设计,即产品设计是一个“设计—评价—再设计”的反复迭代过程。在产品的整个生命周期中,设计定型并不意味着设计工作的结束,只要产品还在生产和销售,就必将反馈大量的用户信息和生产制造信息,并要求对产品不断进行修

改。因此,设计贯穿于产品的整个生命周期。现代产品应采用现代设计方法进行设计,并应是面向产品的开发和创新。以现代工业产品为例,产品已由传统的机械产品向机电一体化产品、信息电子产品发展,技术含量大为增加;产品的功能已不再是消费者决定是否购买该产品的唯一因素,产品的创新性、宜人性、环保性(绿色设计)以及外观造型等因素越来越受到重视,并逐渐在竞争中占据重要地位。但长期以来,我国的制造业主要是面向加工,产品的开发和应变能力较差,从而造成了产品品种单一,市场竞争能力较弱的局面。随着中国经济与世界经济的全面接轨,尤其在中国加入WTO以后,国内企业面临巨大的挑战,产品研发能力的高低有可能决定企业能否继续生存下去。因此,对现代产品应采用现代设计方法进行设计,以提高设计效率、缩短设计周期、加速产品的更新换代,并增强产品的市场竞争力。产品设计是一个创造性思维和反复迭代的寻优过程。作为现代产品设计方法及手段的综合体现,计算机辅助设计技术在产品设计中发挥了重要的作用。计算机辅助设计(computer aided design,简称CAD)是指利用计算机软件、硬件系统辅助工程技术人员对产品或工程进行设计、分析、修改以及交互式显示输出的一种方法(或手段),是一门多学科的综合应用性技术。该技术已广泛应用于机械、电子、建筑、航空、航天、汽车、化工、冶金、环境工程等领域。

任何产品或工程设计都表现为一种设计过程,每个设计过程都由一系列设计活动组成,这些活动既有串行的设计活动,也有并行的设计活动。

1.1.2 市场对产品的需求

最近几年,世界市场发生了重大的变化,已经从传统的相对稳定型市场演变成动态的多变型市场。同行业之间、跨行业之间的竞争非常激烈,主要表现在以下几个方面。

(1) 产品生命周期缩短

现代科技以日新月异的速度发展,新产品层出不穷。产品的市场寿命(一个产品从投放市场到被市场淘汰所经历的时间)大大缩短。例如,50%电子产品的市场寿命为4年,而家用电器的市场寿命已缩短到1年左右。顺应客户需求的变化,迅速作出反应,已经成为压倒一切的竞争因素。

(2) 用户需求多样化

用户需求的多样化和个性化已经逐渐成为世界的潮流,而这一潮流又对企业造成了新的压力。可以预见,制造业的竞争将是围绕着以知识为基础的新产品的竞争。为此,企业必须大力发展新产品开发能力,才能在竞争中得以生存和发展。

(3) 大市场和大竞争

世界市场变得越来越开放。随着计算机技术的迅速发展和信息高速公路的建立,使得全球性的集成制造有了实现的可能。全球性的集成制造可以使各种资源得到更充分的利用,并显著缩短原料和产品的运输距离以及产品的交货期限。新世纪的经济是无国界经济,跨国经济将成为新世纪的主导经济。

(4) 交货期限成为主要的竞争因素

当今企业间竞争的主要推动力是时间。产品成本和质量当然仍是竞争的重要因素,但是以时间为基准的竞争将是一个突出的特点,与此相适应的企业制造战略主要是在最短的时间内开发和生产出市场需要的新产品,因此交货期限成了企业最关心的事情。能否更快、更好、以更低成本制造出新的产品投放市场,将是制造企业生存和发展的关键。时间已经成为决定竞争胜负的最关键因素,市场占有率的很大比例属于产品首先上市的企业。

(5) 多品种小批量生产比例增大

越来越多的企业发现单靠一两种产品立足于市场竞争风险很大。所以较多采用了多品种小批量的生产方式,以便当一种产品在市场上没有销路时,另一种产品可以使企业继续生存和发展。目前,多品种小批量生产的制造企业的比重已达80%以上,并在继续增加。

产品开发与科学进步和社会需求的发展密切相关。科学技术和需求相互影响,新的科技产品给人们创造了新的需求,市场需求的变化不断促使企业开发新的产品。现代产品的开发方向主要有个性化、美学化、高效节能化、高质量、绿色环保等。

企业开发新产品的积极性是有多方面的因素共同推动的,一般分为外部环境因素和内部环境因素两个方面。企业外部因素主要有技术推动、市场牵引、同行竞争和政府激励。科学技术的重大发明和发现,促使一系列新产品的出现。例如:尼龙的发明使我们生活用品更加丰富多彩;电子技术、光学产品、合成材料、通信产品和生物产品都是以基础科学的发展和发明为基础的。随着收入的提高,市场需求也不断发生变化,企业通过市场调查,开发市场需要的产品。市场需求引发的新产品投资风险小、收益高,给企业开发新产品带来更大的创新动力。在市场竞争中,竞争压力迫使企业能够更好、更快地进行新产品的开发,更好、更快地适应市场需求和创造市场需求。政府激励政策对企业开发新产品也起着重要的作用。

1.1.3 机构在产品设计中的位置

机构在产品设计中占有很重要的位置,是整个产品构成中一个不可缺少的部分。它与产品设计有着不可分割的内在联系,与构成产品的各种要素有着千丝万缕的联系,直接影响到产品设计中的功能、形态等最基本的要素。

1. 产品的功能

机构除了直接满足和达到产品的基本功能外,还对改善和扩展产品的功能起到显著的作用。

(1) 生活用品

①椅子增加了升降机构以后,可根据需要随意调整高度,增加使用的舒适度。

②家具或其他一些物品采用了折叠机构后,就可增加使用的弹性,扩大使用的范围,

使原来的产品功能获得了扩展和延伸。

③公共汽车上的机械开门装置和窗户的开启装置采用了曲柄滑块机构,使结构简单、动作更可靠。

④台灯应用了平行四边形机构,能屈能伸,即使高度改变了,反光罩与工作面仍能始终保持水平状态。这种结构的运动特点是,其两连架杆可以相同的角速度同向转动,而连杆则作平移运动。在日常的产品设计中有许多产品也采用了这种机构,如折叠椅应用了这种机构实现折叠的功能。

(2) 机器人

机器人由操作机(机械本体)、控制器、伺服驱动系统和检测传感装置构成,是一种仿人操作、自动控制、可重复编程、能在三维空间完成各种作业的机电一体化生产设备,特别适合于多品种、变批量的柔性生产。它对稳定和提高产品的质量、提高生产效率、改善劳动条件及产品的快速更新换代起着十分重要的作用。机器人在汽车、摩托车、电子产品、家电、医院、家庭、石化等行业和单位中取得了良好的社会效益和经济效益。如在轿车厂使用的点焊机器人,用来焊接轿车的前、后风窗洞,左、右侧围门洞,三角窗洞,均提高了轿车的焊接技术水平及焊接质量。

2. 产品的形态

由于机构是由各种构件组成的,而构件的组合形式必然会影响到产品的基本结构,从而最终影响到产品的外部形态。即使是使用了同一种机构,产品的形态也会有许多变化,因而衍生出结构和形态各异的新产品,并给新产品设计带来了设计灵感。如能越障碍的火星车(图1-1)、健身椅(图1-2)、汽车修理支架(图1-3)、爬楼小车(图1-4)、由齿轮驱动的计算机光驱(图1-5)、手脚可同时对自行车做功驱动的健身自行车(图1-6)、服务机器人(图1-7)、机器马(图1-8)等。

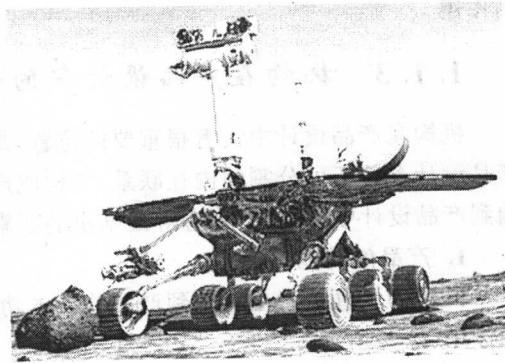
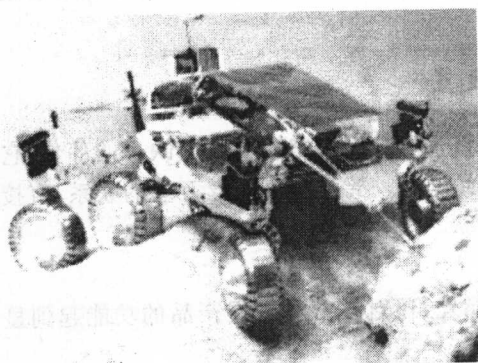


图 1-1 能越障碍的火星车

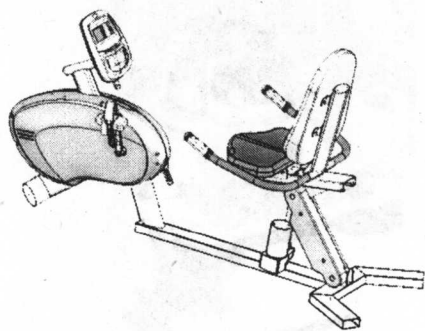


图 1-2 健身椅

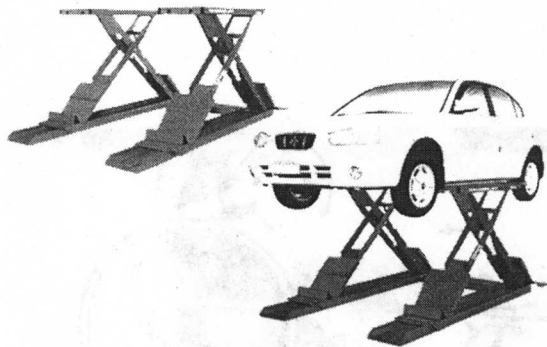


图 1-3 汽车修理支架

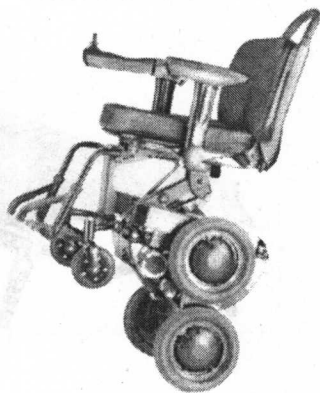


图 1-4 爬楼小车

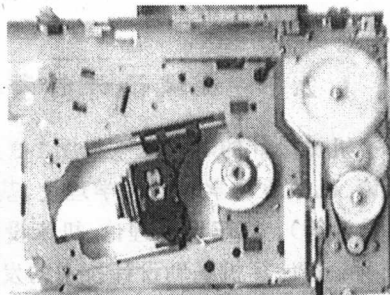
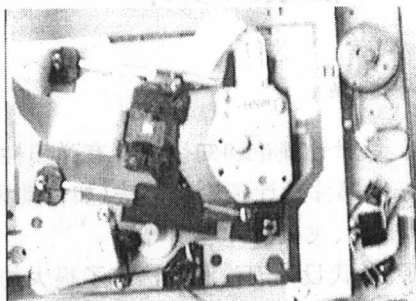
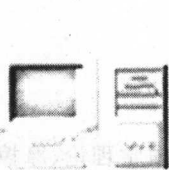


图 1-5 计算机光驱

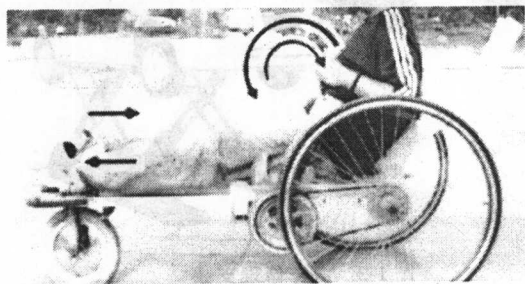


图 1-6 健身自行车

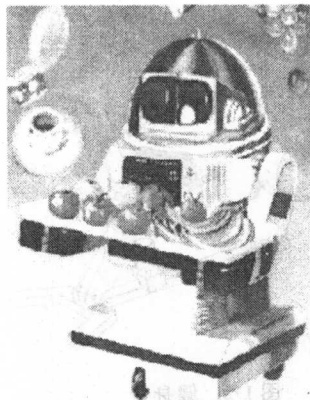


图 1-7 服务机器人

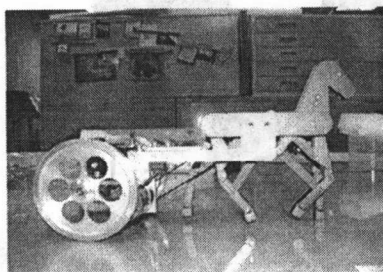
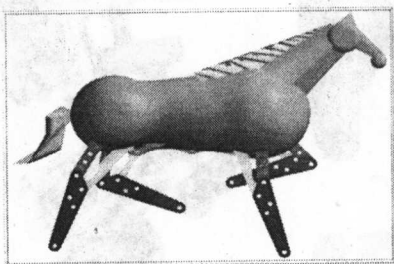


图 1-8 机器马

1.2 产品创新设计

1.2.1 机械设计的学科体系

机械设计的学科体系如图 1-9 所示,设计理论和知识主要有弹塑性力学理论、摩擦学理论、机械运动学和动力学理论、基础零部件设计理论与方法(如传动设计、轴承设计、连接设计等)、汽车设计理论、机床设计理论、飞机设计理论等。

随着计算机辅助设计技术的发展,现代设计理论和方法有了很大的变化,涉及的范围很广,如试验与测试技术,机构设计的理论和方法,结构设计的理论和方法,工业设计的理论和方法,优化设计的理论和方法,智能设计的理论和方法,并行设计的理论和方法,虚拟设计的理论和方法,仿生设计的理论和方法,可靠性设计的理论和方法,组合化、系列化、模块化设计的理论和方法,反求设计的理论和方法等。

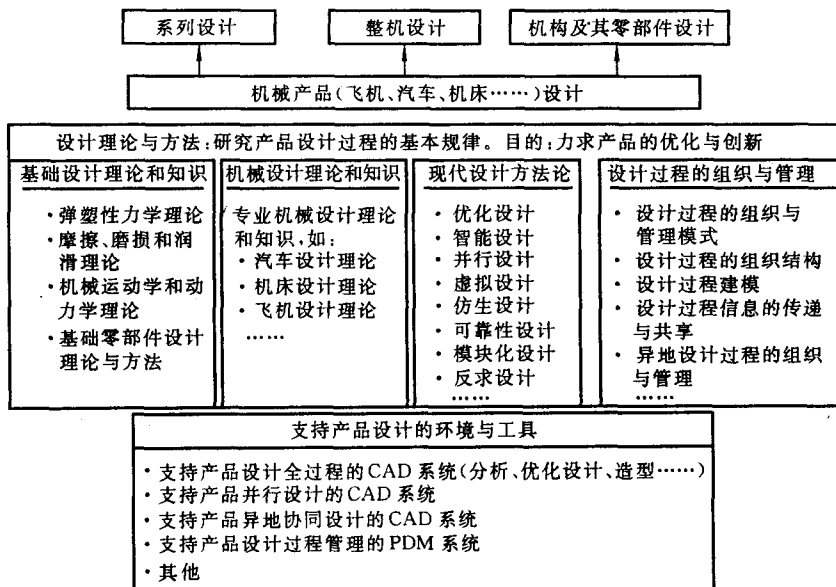


图 1-9 机械设计的学科体系

机械设计与相关学科之间的关系如图 1-10 所示。

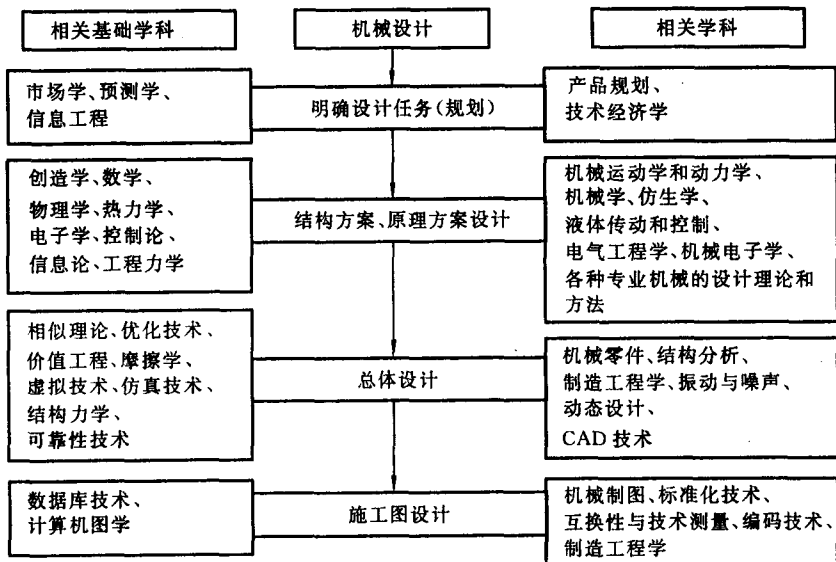


图 1-10 机械设计与相关学科之间的关系

1.2.2 产品的创新设计

在机械设计中,总有新的事物被创造出来,所谓“新”,可以是过去从未出现过的东西,也可以是已知事物的不同组合,但这种组合的结果不是简单的已知事物的重复,而是总有某种新的成分出现。例如,不用洗衣粉的洗衣机(超声波洗衣机、活性氧去污洗衣机、电磁去污洗衣机)。又如,一种能在几秒钟内将洗衣机桶内的空气抽成真空状态,使水呈沸腾状、衣服在泡沫旋涡中反复搅动,2分钟就洗净的洗衣机。该洗衣机内没有旋转部件,不会损伤衣服,且无振动、噪声,也不需要洗涤剂)。在机械设计中必须突出创新的原则,通过直觉、推理、组合等途径,探求创新的原理和结构方案,做到有所发明、有所创造、有所前进。如双动力洗涤方式,波轮和内桶均受强力驱动,同时相向运转,产生“沸腾”水流。设计的大波轮对水的带动力更强,凹进的盆形设计,减少了衣物和波轮直接接触,降低了磨损率。这种洗衣机比普通波轮洗衣机节水约50%,比普通波轮洗衣机节时约50%,可把5.0 kg衣物洗好只需15 min;在双动力技术优势的基础上发展的“仿生双动力”洗衣机,创新采用仿生学的振动原理,在洗涤衣物时,可以使衣物始终处于蓬松状态、上下舞动,不仅很好地避免了衣物的缠绕,而且磨损率仅为普通洗衣机的1/3,洗净率比普通洗衣机还高50%。同时,这种洗衣机还将烘干、变频、不用洗衣粉几大领先技术融于一身,实现了洗涤、脱水、烘干一次性完成,衣干即停,不损伤衣物,且运行噪音比普通洗衣机降低了10 dB。如果仅仅是测绘仿制一台机器,虽然结构复杂,零件成千上万,但不能算是创新。有人根据集装箱连接的需求,开发了一种防松木螺钉。这种螺钉集中了木螺钉和金属螺钉的优点,既能方便地钉入、又能自锁防松,已成功地用于集装箱等厚木结构的连接。此钉虽小,但可称为创新设计。产品设计的创新方向,一方面是能满足大范围当前需求的产品创新,如插秧机的设计和生产。虽然这种设计不一定含有很多高新的技术,但只要产品在技术上有进步,给企业带来了效益,它就具有创新的意义。另一方面是研究开发具有技术进步,且为独有、高新技术含量高、在国内外具有竞争力的新产品。我国自行研究开发的程控交换机和磁悬浮支撑装置等,就是这类创新设计的一些很好的例子。

1. 产品技术创新

新产品技术创新根据研制主体的不同可以分为以下几个方面。

① 自主开发,是指企业独立进行新产品的研制工作,其特征是需要企业具备较强的开发设计能力,且有利于培育和增强企业自身的技术创新体系。不过开发投资大、风险大,但知识产权和收益全归企业。

② 引进开发,是指从企业外部引进成熟的产品和制造工艺,其特征是开发周期短、风险小,能迅速提高企业的生产技术水平。但过渡依赖引进技术,不利于培育企业自身的技术创新能力。

③ 联合开发,这种开发投资少、风险小,开发周期短,收益各方享受,但知识产权分散。根据开发的规模和企业技术开发能力的大小,一般小型的开发项目适宜自主开发,大