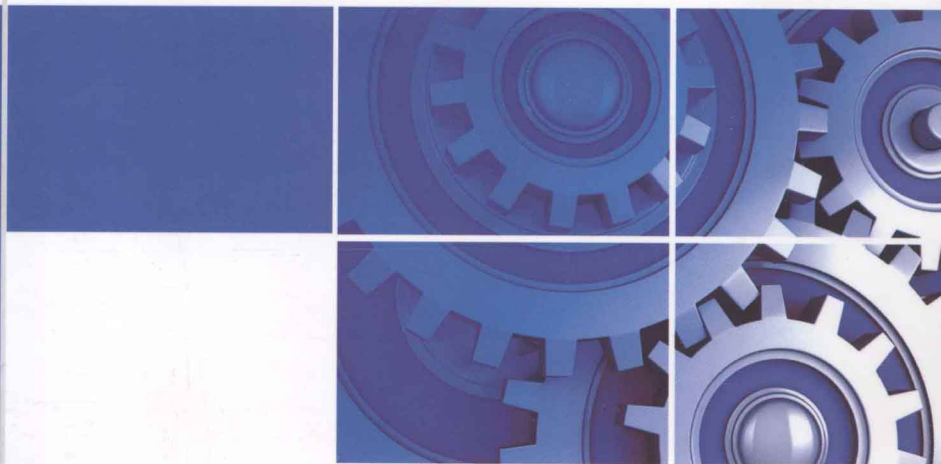


普通高等教育“十二五”规划教材
21世纪高校机电类规划教材



机械设计基础

第2版

王宁侠 魏引焕 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材
21 世纪高校机电类规划教材

机械设计基础

第 2 版

主编 王宁侠 魏引焕
参编 郑甲红 闫茹 王涛
 闫文辉 张东生
主审 尚久浩



机械工业出版社

本书是根据教育部机械基础课程教学指导委员会批准的机械设计基础教学基本要求编写的。全书共分十三章,包括机械原理、机械设计的基本内容,如平面连杆、凸轮、螺旋等各种机构,带、链、齿轮、蜗杆等各种传动,以及轴承、联轴器、减速器、离合器、机械式无级变速器等元部件,主要介绍它们的类型、结构原理、工作特性、受力分析及设计计算。另外,根据学科发展要求加进了现代设计理论及创新设计的有关内容,丰富了课程内容。

本书注重工程应用,不强调理论分析,淡化公式推导,内容简明易懂,图表数据准确、实用,各章附有一定数量的习题,除可供高等学校非机械类专业作教材外,也便于自学参考。

本书采用国际单位制,并采用最新国家标准。

由于非机械专业面广,各专业要求不同,因此,本书除反映其通用性外,还在内容取舍、例题和习题选择上,尽可能照顾各专业的要求。本书的内容是按60学时要求编写的,为便于教学,还部分地摘录了国家标准和规范。在使用时,可根据专业要求和教学时数进行取舍与调整。必要时,还可在教学中作些补充。

本书可作为近机类和非机类专业的教材,也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/王宁侠,魏引焕主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2014.1

普通高等教育“十二五”规划教材

21世纪高校机电类规划教材

ISBN 978-7-111-44054-3

I. ①机… II. ①王… ②魏… 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(2013)第216985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:余 皞 责任编辑:余 皞 安桂芳

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:张 静 责任印制:张 楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2013年11月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·402千字

标准书号:ISBN 978-7-111-44054-3

定价:33.00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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高校机电类规划教材

编 审 委 员 会

顾 问：李培根 华中科技大学
主 任：左健民 南京工程学院
副主任：童幸生 江汉大学
郑 堤 宁波大学
徐格宁 太原科技大学
陈 明 华北航天工业学院
党新安 陕西科技大学
胡 琳 深圳大学
刘全良 浙江海洋学院
马 光 温州大学
张世亮 湛江海洋大学
方庆琯 安徽工业大学
邓海平 机械工业出版社

委 员：（按姓氏笔画排序）

王卫平 东莞理工学院
王 华 长春工程学院
仝基斌 安徽工业大学
朱志宏 福建工程学院
刘小慧 机械工业出版社
刘申全 华北工学院分院
刘镇昌 浙江海洋学院
李子琼 厦门理工学院
李建华 中原工学院
李洪智 黑龙江工程学院
陈廉清 宁波工程学院
赵先仲 北华航天工业学院
夏凤芳 上海电机技术高等专科学校
顾晓勤 电子科技大学（中山）
倪少秋 机械工业出版社

序

为了适应我国制造业迅速发展的需要，培养大批素质高、应用能力与实践能力强的综合型人才已成为当务之急。这同时对高等教育的办学理念、体制、模式、机制和人才培养等方面提出了全新的要求。

为了打通新形势下高等教育和社会需求之间的瓶颈，中国机械工业教育协会机电类学科教学委员会和机械工业出版社联合成立了“21 世纪高校机电类规划教材”编审委员会，本着“重基本理论、基本概念，淡化过程推导，突出工程应用”的原则，组织教材编写，并力求使本套教材突出以下特点：

(1) 科学定位。本套教材主要面向应用的综合型人才的培养，既不同于培养研究型人才的教材，也不同于一般应用型本科的教材；在保持高学术水准的基础上，突出工程应用，强调创新思维。

(2) 品种齐全。本套教材设有“力学”、“制图”、“设计”、“数控”、“控制”、“实训”、“材料”、“双语”等模块，方便学校选用。

(3) 立体化程度高。教材均要求配备 CAI 课件和相关的教辅材料，并在网站上为本套教材开设研讨专栏。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，是国家级优秀出版社，也是国家高等教育的教材出版基地之一，在机电类教材出版领域具有很高的地位。相信这套教材在中国机械工业教育协会机电类学科委员会和机械工业出版社的精心组织下，通过全国几十所学校的老师的仔细认真的编写，一定能够为我国高等教育综合型人才的培养提供更好用、更实用的教材。

教育部·机械工程及自动化专业分教学指导委员会·主任
中国机械工业教育协会·高等学校机械工程及自动化学科教学委员会·主任
李培根 院士
于华中科技大学

第 2 版前言

本书是根据教育部机械基础课程教学指导委员会批准的机械设计基础教学基本要求编写的。全书共分十三章，包括机械原理、机械设计的基本内容，如平面连杆、凸轮、螺旋等各种机构，带、链、齿轮、蜗杆等各种传动，以及轴承、联轴器、减速器、离合器、机械式无级变速器等零部件，主要介绍它们的类型、结构原理、工作特性、受力分析及设计计算。另外，根据学科发展要求加入了现代设计理论及创新设计的有关内容，丰富了课程内容。

本书注重工程应用，不强调理论分析，淡化公式推导，内容简明易懂，图表数据准确、实用，各章附有一定数量的习题，除可供高等学校非机械类专业作教材外，也便于自学参考。

本书采用国际单位制，并采用最新的国家标准、通用符号和脚注。

由于非机械专业面广，各专业要求不同，因此，本书除反映其通用性外，还在内容取舍、例题和习题选择上，尽可能照顾各专业的要求。本书的内容是按 60 学时要求编写的，为便于教学，还部分地摘录了国家标准和规范。在使用时，可根据专业要求和教学时数进行取舍与调整。必要时，还可在教学中作些补充。

本书为高校近机械类和非机械类专业的教材，也可供工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有：陕西科技大学王宁侠（第一、五、十一章）、魏引焕（第二、三、十章）、郑甲红（第十二、十三章、附录）、闫茹（第六、七、八章）、王涛（第四、九章）；西安石油大学闫文辉（第五章）；陕西理工学院张东生（第二章）。本书由王宁侠、魏引焕担任主编，陕西科技大学尚久浩教授担任主审。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者
于陕西西安

信息反馈表

尊敬的老师：

您好！感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱！为了进一步提高我社教材的出版质量，更好地为我国高等教育发展服务，欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外，如果您在教学中选用了《机械设计基础》第2版（王宁侠、魏引焕主编），欢迎您提出修改建议和意见。

一、基本信息

姓名：_____ 性别：_____ 职称：_____ 职务：_____
邮编：_____ 地址：_____
任教课程：_____ 电话：_____—_____（H）_____（O）
电子邮件：_____ 手机：_____

二、您对本书的意见和建议

（欢迎您指出本书的疏误之处）

三、对我们的其他意见和建议

请与我们联系：

100037 机械工业出版社·高教分社 余编辑 收

Tel: 010—8837 9730

E-mail: yuhaohust@qq.com

http: \\www. cmpbook. com

目 录

序

第 2 版前言

第一章 总论	1	第六节 凸轮机构及间歇运动机构的应用 ...	70
第一节 “机械设计基础”课程研究的对象和内容	1	习题	73
第二节 机械设计的基本要求和一般步骤	3	第五章 螺纹联接及螺旋机构	76
第三节 现代设计理论及方法简介	5	第一节 螺纹的形成、主要参数及常用类型	76
第四节 机械零件的常用材料及钢的热处理概念	10	第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁 ...	78
第五节 机械零件的强度	15	第三节 螺纹联接和螺纹联接件	80
习题	20	第四节 螺栓联接的强度计算	80
第二章 平面机构的运动简图及其自由度	21	第五节 设计螺纹联接时应注意的问题	84
第一节 运动副及其分类	21	第六节 螺旋传动	86
第二节 平面机构的组成及其运动简图	23	习题	87
第三节 平面机构的自由度及机构具有确定运动的条件	27	第六章 带传动和链传动	89
习题	31	第一节 带传动简介	89
第三章 平面连杆机构	33	第二节 带传动工作情况分析	91
第一节 铰链四杆机构的基本类型及性质 ...	33	第三节 普通 V 带传动的设计计算	94
第二节 铰链四杆机构具有曲柄的条件	38	第四节 普通 V 带带轮的结构及带传动的张紧和维护	101
第三节 铰链四杆机构的演化	39	第五节 其他带传动简介	104
第四节 平面四杆机构的运动设计	42	第六节 链传动简介	105
第五节 连杆机构的应用	48	第七节 套筒滚子链及链轮	106
习题	50	第八节 链传动的运动特性	110
第四章 凸轮机构及间歇运动机构	53	第九节 链传动的失效形式及设计计算	111
第一节 凸轮机构的类型	53	第十节 链传动的布置及润滑	115
第二节 从动件的常用运动规律	54	习题	118
第三节 按给定运动规律设计盘形凸轮轮廓	57	第七章 齿轮传动	119
第四节 设计凸轮机构应注意的问题	61	第一节 齿轮传动的特点和类型	119
第五节 间歇运动机构	64	第二节 齿廓啮合基本定律	120
		第三节 渐开线及渐开线齿廓的啮合特性	121
		第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本尺寸	123

第五节 渐开线直齿圆柱齿轮 的啮合传动	126	第六节 滚动轴承的寿命及尺寸选择	198
第六节 渐开线齿轮的切削原理及 变位齿轮的概念	128	第七节 滚动轴承的组合设计	203
第七节 齿轮的失效形式及设计准则	132	第八节 轴承的润滑、润滑装置 和密封装置	209
第八节 齿轮的材料和强度计算	133	习题	212
第九节 斜齿圆柱齿轮传动	140	第十一章 联轴器与离合器	214
第十节 直齿锥齿轮传动	144	第一节 联轴器	214
第十一节 蜗杆传动	147	第二节 离合器	218
第十二节 齿轮、蜗杆和蜗轮的构造	151	第三节 联轴器和离合器的选择	221
习题	153	习题	222
第八章 轮系	155	第十二章 平衡和调速	223
第一节 轮系的类型	155	第一节 回转件的平衡	223
第二节 定轴轮系及其传动比	155	第二节 平面机构的平衡简介	226
第三节 周转轮系及其传动比	157	第三节 机械速度波动的调节	227
第四节 混合轮系及其传动比	160	习题	230
第五节 轮系的应用	161	第十三章 机械创新设计理论及方法	231
习题	163	第一节 基本创新原理	231
第九章 轴和轴毂联接	165	第二节 机械创新寻找课题的方法	233
第一节 轴的类型和材料	165	第三节 总体方案设计阶段的创新方法	234
第二节 轴的结构设计	167	第四节 结构技术设计阶段的创新方法	244
第三节 轴的计算	173	附录 常用标准	249
第四节 轴毂联接	178	附录 1 粗牙普通螺纹	249
习题	182	附录 2 平键联接中键和槽的 剖面尺寸及键长	249
第十章 轴承	184	附录 3 向心轴承的径向额定动载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	251
第一节 轴承的分类	184	附录 4 角接触球轴承的径向额定动载荷 C_r 和径向额定静载荷 C_{0r}	251
第二节 滑动轴承的典型结构	184	参考文献	252
第三节 滑动轴承材料和轴瓦结构	188		
第四节 非液体摩擦滑动 轴承的校核计算	190		
第五节 滚动轴承的类型、 代号及其选择	192		

第一章 总 论



阐述“机械设计基础”课程的研究对象、内容、课程特点，探讨专业基础类课程的学习方法；针对工程常用的材料，介绍其组成、力学性能及热处理的相关知识。

第一节 “机械设计基础”课程研究的对象和内容

机器是人类在长期生产实践中创造的具有某种用途的设备，用来节省或代替人力、畜力以完成各种体力工作并提高生产率。在社会生产活动和日常生活中见到的汽车、拖拉机、缝纫机、洗衣机、灌装机、包装机、各种机床等都是机器。

机器种类繁多，就其构造、用途和性能来说是各不相同的，但它们都有一些共同的特征。

图 1-1 所示为造纸机简图。电动机 1 为整台机器的原动机，经联轴器 2 带动传动轴 3，又经无级变速器锥轮 4、5，减速器 6 等机构分别将运动传给造纸机各部分，完成预定的工艺要求——使适量浓度的浆料通过网部脱水形成纸幅，然后进入压榨部用机械的方法断续脱水；通过烘干部加热烘干并利用压光机使纸张增加光泽度和紧度，最后进入卷纸机，将纸张连续卷成一定大小的卷筒纸。这台机器的网部、压榨部、烘干部、压光机、卷纸机，是按照造纸工艺的需要而设置的，被称为工作机部分；介于电动机和工作机之间的传动装置被称为传动部分。

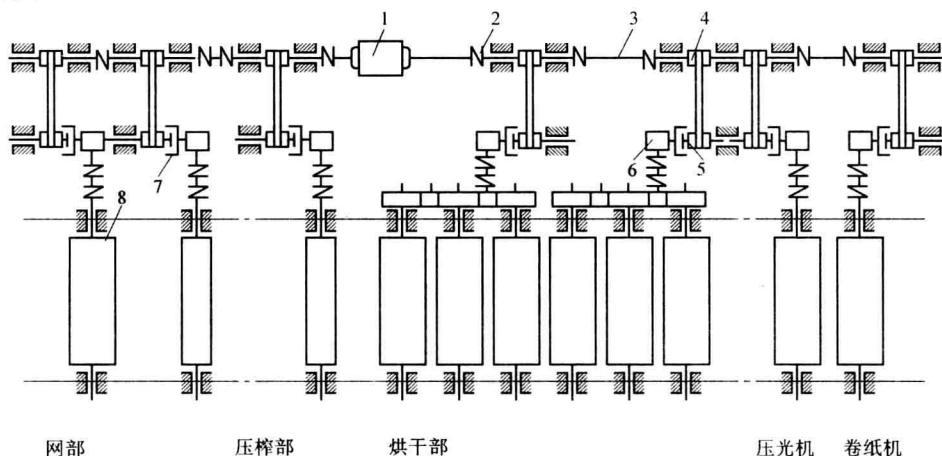


图 1-1 造纸机简图

1—电动机 2—联轴器 3—传动轴 4—无级变速器主动锥轮 5—从动锥轮 6—减速器 7—摩擦离合器 8—辊子

又如如图 1-2 所示的真空螺旋挤泥机,是可塑法成型制陶过程中应用极为广泛的成型机器。它利用螺旋叶片对塑性泥料进行连续挤压,使其经过挤泥机机嘴的规定形状断面后,成为紧密连续的长条状泥料输出,然后将其切断,即成为成型后的产品。为了使成型后的产品更加紧密均匀,尽量减少其中所含的气孔,在挤压过程中同时进行抽吸真空的操作。在图 1-2 中,泥料从加料口送入,被螺旋叶片轴 2 的叶片推至真空室 5,切割器 6 把泥料切割成片状,封存在泥料中的空气就被真空泵不断地抽去。泥料最后由切割器 7 及螺旋叶片 8 经机头的机嘴挤压后送出。螺旋叶片轴 2 和螺旋叶片 8 由电动机 1 经过传动带及减速器 9 带动,而切割器 6、7 则由另一电动机 3 经过齿轮 4 带动。真空室由真空泵抽真空(图中未示出)。电动机 1 和 3 就是这台机器的原动机,而传动带装置、减速器 9 就是传动机构,螺旋叶片 8、机嘴和切割器 6、7 等就是工作机部分。

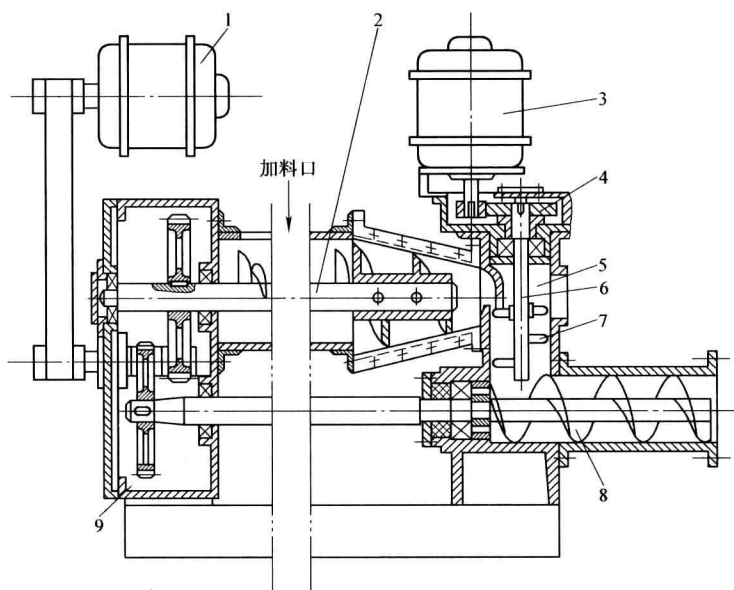


图 1-2 真空螺旋挤泥机

1、3—电动机 2—螺旋叶片轴 4—齿轮 5—真空室 6、7—切割器 8—螺旋叶片 9—减速器

由上述可知,一部完整的机器都是由三个本质不同的部分——原动机、传动机构和工作机构组成的。其组成部分之间的关系如图 1-3 所示。

机器除上述三个基本部分外,还会根据需要增加其他部分,如控制系统和辅助系统(润滑、显示、照明……)等。

从上述两个例子还可知,机器具有以下共同特征:

- 1) 它们都是一种人为的实体组合。
- 2) 各实体之间具有确定的相对运动。
- 3) 在工作时能实现能量转换(如内燃机、发电机等)或做有效的机械功(如洗衣机、

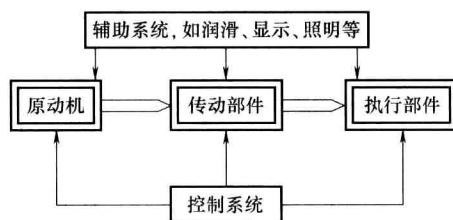


图 1-3 机器的组成

缝纫机、金属切削机床等)。

仅具有前两个特征的称为机构。若仅从结构和运动的观点来看,机器与机构两者之间并无区别。所以,通常用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体,也可以是由几个零件组成的刚性结构。如图 1-4 所示的连杆,就是由连杆体 2、连杆盖 7、轴套 1、轴瓦 6、螺栓 5、螺母 4 及开口销 3 等零件组成的刚性构件。由此,构件与零件的区别在于:构件是运动的单元,零件是制造的单元。

机械中的零件按其用途可分为两类:凡各种机械中都经常使用的零件,如齿轮、螺栓、螺钉、键、弹簧等,称为通用零件;只在某些机械中使用的零件,如缝纫机中的曲轴、连杆,灌装机中的凸轮,纺织机械中的纺锭、织梭,汽轮机的叶片等,称为专用零件。

另外,还常把一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合物称为部件,如减速器、离合器等。

本课程主要阐述一般机械中的常用机构和一般参数的通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

本书前半部分着重研究机械中常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构,后半部分着重研究常用的联接(如螺纹、键、销联接等),主要的机械传动(如齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动、挠性件传动)及轴系零、部件(如轴、轴承、联轴器、离合器等)。同时还扼要地介绍与本课程有关的国家标准和规范,以及某些标准零件的选用原则和方法。

为了学好本课程,首先要求学生必须掌握机械制图、工程力学、金属工艺学等先修课程有关的基础知识。通过本课程的学习,学生可获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识,并能初步掌握运用有关机械设计方面的手册,设计简单机械传动装置的方法,为学习有关专业机械设备课程及以后参与技术创新奠定必要的基础。

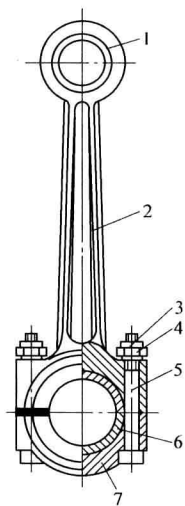


图 1-4 连杆

- 1—轴套 2—连杆体
3—开口销 4—螺母
5—螺栓 6—轴瓦
7—连杆盖

第二节 机械设计的基本要求和一般步骤

一、机械设计的基本要求

机械的种类虽然很多,但设计时所考虑的基本要求却往往是相同的。这些基本要求如下。

1. 运动和动力性能的要求

根据预定的使用要求确定机械的工作原理,并据此选择机构类型和机械传动方式,达到以合理的机构组合来协调运动,实现预定动作的目的。在运动分析的基础上,对机构进行动力分析,从而确定作用在各零件上的作用力。

2. 工作可靠性要求

为了使机械在预定的工作期限内可靠地工作,防止因零件失效而影响正常运行,零件应满足下列要求。

(1) 强度 强度是衡量零件抵抗破坏的能力,是保证零件工作能力的最基本要求。零件强度不足时,就会发生不允许的塑性变形,甚至造成断裂破坏,轻则使机械停止工作,重则发生严重事故。为保证零件有足够的强度,零件的工作应力不得超过许用应力,这就是零件的强度计算准则。

(2) 刚度 刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件的刚度不足时,就会产生不允许的弹性变形,形成载荷集中,影响机械的正常工作。如造纸机的辊子,缝纫机的主轴,如果没有足够的刚度,就会导致产品质量的严重恶化。刚度计算准则要求零件工作时的弹性变形量(弯曲挠度或扭转角),不超过机械工作性能所允许的极限值(即许用变形量)。

(3) 耐磨性 耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。例如,齿轮的轮齿表面磨损量超过一定限度后,轮齿齿形有较大的改变,使齿轮转速不均匀、产生噪声和动载荷,严重时因齿根厚度减薄而导致轮齿折断。因此在磨损严重的条件下,以限制与磨损有关的参数(如零件接触表面间的压强和相对滑动速度)作为磨损计算的准则。

(4) 耐热性 耐热性包括抗氧化、抗热变形和抗蠕变的能力。零件在高温(一般钢件在 400°C 以上,轻合金和塑料件在 150°C 以上)下工作时,将会因强度削弱而降低承载能力,同时会出现蠕变,增加塑性变形甚至发生氧化现象,从而大大影响机械的精度甚至使零件失效。另外,高温下润滑油膜容易破裂,润滑能力降低甚至完全丧失。为保证零件在高温下能正常工作,除采用耐热材料外,还可采用水冷或汽化冷却等降温措施,以达到将机器的工作温度限制在正常的运行温度,使发热与散热相平衡,即热平衡准则。

(5) 振动稳定性 机器中存在着许多周期性变化的激振源,如轴上零件的偏心载荷、滚动轴承中的振动、齿轮的啮合等。如果零件本身的固有频率与激振源的频率相同或为其整数倍时,零件就会发生共振,振幅将急剧增大,能在短期内使零件或整部机械造成破坏。所以,对于高速机械及其零件应进行相应的振动计算并采取措施以防机械及其零件因共振而失效。

3. 经济性要求

经济性是用设计、制造和使用三个方面的综合指标来衡量的。设计机械时应最大限度地考虑经济性,选择或设计的机械在使用性能上应具有最大的经济效益,在满足使用要求的前提下应力求结构简单、加工容易,材料价廉且市场供应充分,维修方便和能源消耗较低等。应该指出,在机械中采用标准零件,不仅可简化设计,保证互换性,便于机械的修配,而且有利于保证零件的质量并降低其成本。

4. 劳动保护要求

在设计机械时,必须考虑操作简便省力,力求改善使用条件和减轻劳动强度,同时还应注意安全,加强劳动保护。例如,简单重复的劳动要利用机械本身的机构来完成;尽可能减少操作手柄的数量,手柄和按钮等应放置在便于操作的位置;合理规定操作时的驱动力;设置完善的安全防护及保安装置;尽量减少机械的噪声;防止有毒、有害介质的渗漏,对废水、废气、废液进行治理等。

5. 其他特殊要求

对于不同用途的机械还可能提出一些特殊要求,例如,对机床要求能长期保持其精度;移动使用的机械(如钻探机、塔式起重机等)要便于安装、拆卸和运输;医药、食品、印刷、纺织和造纸等机械要求能保持清洁,不得污染产品。

二、机械设计的一般步骤

机械设计一般可分为以下几个阶段。

1. 提出设计要求

设计任务的提出,主要是根据社会和市场的需要,一定要有明确的目的。无论是设计新的机械产品还是进行技术改造,总是要达到某种技术经济目的,如提高劳动生产率、提高产品质量与使用寿命、节约原材料、降低能耗或减轻劳动强度等。

2. 调查研究、分析对比、确定设计模型与方案

设计者要了解所设计的对象的工作条件、环境、预计的生产能力、技术经济指标以及是否具有特殊的技术要求等,如耐高温、耐腐蚀,材料、尺寸及质量的限制等,以作为设计的依据。同时要根据国家的标准、规范,做到产品系列化、部件通用化、零件标准化。

根据调查、分析与研究,拟定所设计机器的方案,这是设计中的重要阶段,应力求做到所设计的方案技术先进、使用可靠、经济、合理。

3. 结构设计

在方案确定以后,需经过必要的计算与分析来确定数学模型与计算公式,在进行校验之后,即可着手进行结构设计,绘制装配草图、装配图和部装图,最后根据装配图与结构设计绘制零件工作图。

4. 试验分析

图样设计完成后,需要编制必要的技术文件,进行产品试制,经过试车获得预期的结果,否则需要反复进行修改,直到完善。

5. 使用与考核

产品在成批制造与投放市场后,需广泛征求用户意见,以求不断地提高和完善。

第三节 现代设计理论及方法简介

“设计”是人类征服自然改造世界的基本活动之一,是人们为满足一定的需求而进行的一种创造性活动的实践过程。因此,“设计”从来就是和人类的生产活动紧密相连的。设计是把各种先进科学技术成果转化为生产力的一种手段和方法,是先进生产力的代表,反映了社会的生产力水平。就机械系统和结构范畴而言,它是从给定的合理的目标参数出发,通过各种方法和手段创造出一个所需的优化系统或结构的过程。所以,任何设计都是开发和创造新的系统和结构的过程。

一、现代设计方法的特点和范畴

现代设计方法是现代广义设计和分析科学方法学的简称,它是用系统的观点、考虑自然科学、社会科学、经济科学的因素,为获得高质量、廉价、有创新性的产品所使用的设计程序、规律及设计中的思维、工作方法和工具的总和。现代设计方法实际上是科学方法在设计中的应用,可归纳为下列几种。

(1) 信息论方法 如信息分析法、技术预测法等。它是现代设计方法的前提。

(2) 系统论方法 如系统分析法、人机工程以及面向产品生命周期中各个阶段(如设计、制造、使用、回收处理等)的设计。

(3) 控制论方法 如动态分析法等。

- (4) 优化论方法 它是现代设计方法的目标。
- (5) 对应论方法 如相似设计、反求工程设计等。
- (6) 智能论方法 如 CAD、CAE、并行工程、虚拟设计、人工智能（主要是专家系统）等。它是现代设计方法的核心。
- (7) 寿命论方法 如可靠性设计、价值工程和稳健性设计等。
- (8) 离散论方法 如有限元和边界元方法。
- (9) 模糊论方法 如模糊评价和决策等。
- (10) 突变论方法 如创造性设计等。它是现代设计方法的基础。
- (11) 艺术论方法 如艺术造型等。

随着机械向高速、重载、精密和自动化等方向的发展，以及计算机的广泛应用和计算技术的日益提高，现代机械设计方法的应用使机械设计从经验的、静态的、随意性较大的设计方法中摆脱出来，缩短了设计周期、提高了设计质量，向参数化、智能化、动态化及更符合工程实践的方向发展。

二、现代设计方法简介

由于科学技术的发展，各学科的交叉渗透，现代设计方法已逐渐成为一门崭新的学科。以下简要介绍一些常见的现代设计方法。

1. 机械优化设计

机械优化设计是采用数学规划理论，借助计算机发展起来的一种现代设计方法。它能在受许多因素影响的设计参数中，选择一组最优地满足预定要求的参数，从而得到最优的设计方案。

机械优化设计包括建立优化设计问题的数学模型和选择恰当的优化方法与程序两个方面的内容。由于机械优化设计是应用数学方法寻求机械设计的最优方案，所以首先要根据实际的机械设计问题（如质量轻、成本低、外廓尺寸小、承载能力高、性能好等）建立相应的数学模型，即用数学形式来描述实际设计问题。在建立数学模型时需要应用专业知识确定设计的限制条件和所追求的目标，确定设计变量之间的互相关系等。机械优化设计问题的数学模型可以是解析式、试验数据或经验公式。虽然它们给出的形式不同，但都反映设计变量之间的数学关系。

优化设计数学模型建立后，必须应用优化方法进行求解，工程优化设计对数学模型的求解均用数值计算方法，其基本思想是搜索、迭代和逼近。即求解时，从某一初始点出发，利用函数在某一局部区域的性质和信息，确定每一迭代步骤的搜索方向和步长，去寻找新的迭代点，这样一步一步地重复数值计算，用改进后的新设计点替代老设计点，逐步改进目标函数，并最终逼近极值点。

我国现已开发了先进的 OPB 优化方法程序库和常用机械零部件及机构优化设计程序库，为推广和普及优化设计创造了条件。

优化方法不仅用于产品结构的设计、工艺方案的选择，也用于运输线路的确定、商品流通量的调配、产品配方的配比等。

2. 计算机辅助设计

计算机辅助设计（CAD）是把计算机技术引入设计过程中，利用计算机完成选型、计算、绘图及其他作业的现代设计方法。CAD 技术促使机械设计发生巨大的变化，并成为现

代机械设计的重要组成部分。

目前, CAD 技术向更深更广的方向发展, 主要表现为以下几个方面: ①基于专家系统的智能 CAD; ②CAD 系统集成化, CAD 与 CAM (计算机辅助制造) 的集成系统 (CAD/CAM); ③动态三维造型技术; ④基于并行工程, 面向制造的设计技术 (DFM); ⑤分布式网络 CAD 系统。

3. 可靠性设计

可靠性设计是第二次世界大战时由一只真空管的故障所引发的, 当时某种军用飞机的电子装置有 60% 处于故障状态, 但出故障的真空管却是完全符合出厂标准的。后来作出一种推断: 关于真空管的制造技术, 有超出以往制造技术和检查能力以外的某种特性, 这种特性就是“可靠性”。后来在设计、制造和检查中考虑了可靠性, 结果故障大大地减少。这样, “可靠性”设计的问题就提到了日程上来。

可靠性最早是一个抽象的定性的评价指标, 缺乏定量概念, 需用定量指标予以衡量。衡量零件可靠性的定量指标是可靠度。所谓零、部件或机械系统的可靠度, 就是它们各自在规定的工作条件下和规定的工作时间 (寿命) 内, 无故障的完成规定功能的能力 (或概率)。一般来说零件的可靠度是时间的函数, 用 $R(t)$ 表示, 且 $0 \leq R(t) \leq 1$, 随着时间的延长, 零件的可靠度 $R(t)$ 逐渐下降, 失效概率 $F(t)$ 逐渐上升。因此按照可靠性设计观点, 对强度的概念, 不能笼统地说零件是“安全的”或“不安全的”, 而应说“安全的概率有多大”。应当指出, 可靠性设计不是否定常规设计, 而是常规设计方法的补充、发展和深化, 是一种更加接近真实情况的机械现代设计方法。

4. 变型产品设计

为了满足使用者的不同要求, 可在原有产品基础上进行变型产品的开发, 使零件标准化、部件通用化、产品系列化。变型产品系列包括纵系列产品 (其功能、原理、结构相同, 而尺寸、性能参数不同)、横系列产品 (在基型产品基础上扩展功能的变型产品) 和跨系列产品 (具有相近动力参数的不同类型产品)。纵系列产品设计也称相似系列产品设计, 是在基型产品的基础上利用相似理论求各扩展型产品的尺寸和参数。基型产品一般选在系列产品的中档, 为常用型号。系列产品是指具有相同功能、相同结构方案, 相同或相似加工工艺, 且各产品相应的尺寸参数及性能指标具有一定级差 (公比) 的产品。在系列产品设计中, 一般有两种造型原理: 几何级数的相似产品系列和几何级数的半相似产品系列。相似系列产品设计的步骤依次是基型设计、确定相似类型、定各尺寸、参数级差 (相似比), 求各扩展型产品尺寸参数及确定全系列产品结构尺寸等。

5. 价值工程设计

设计目标是在满足功能需求的前提下, 提高产品的价值。价值是产品功能与成本的综合反映, 即产品的价值 (实用价值) 等于产品具有的功能与实现该功能所耗费的成本之比。

在第二次世界大战后, 美国开展了关于价值分析和价值工程的研究, 发现了顾客所需要的不是产品的本身而是其功能。把价值看作某一功能与实现此功能所需成本的比, 考虑到提高产品价值, 产品设计也就成为使用最低成本向用户提供必要功能的问题。如美国通用电气公司在开发产品时注意从功能分析着手, 实现必要功能, 去除多余功能和过剩功能, 既满足了用户需要又降低了成本。20 世纪 50 年代后期开始, 价值工程在日本、德国及其他国家也得到了广泛的应用, 并已取得了良好的经济效益。

6. 系统论方法设计

从“人—机—环境”的系统观及可持续发展战略出发,现代机械设计必须全面考虑、综合平衡、妥善处理系统的各种问题,与此相应的设计方法有以下几种。

(1) 基于功能原理的机械系统设计 该方法以机械系统为主,辅助考虑人、环境与机的关系,用功能分析与综合的原理确定机械系统方案,并借助价值工程评价择优。

(2) 人机工程学 在“人—机—环境”系统中,人与机的关系形成一个界面,系统是否能良好运转,与这个界面设计好坏有很大关系。人机工程学的重点是界面设计。人与机在界面上的耦合可以归纳为基于感觉器官的耦合、基于人体形态的耦合、基于力的耦合、以及人脑和作为现代机械主控设备——计算机之间的耦合。这些耦合涉及人与机各自的特征,界面设计的任务就是深刻认识这些特征,并在界面上建立双方最佳的耦合关系。

(3) 造型设计 它是科学与美学、技术与艺术的结合,是以产品造型设计为主要对象的创新设计方法。产品造型设计是现代产品具有市场竞争力的要素之一。造型设计研究产品的功能、结构、形态、色彩、肌理(纹理)、装饰等内容,将造型要素(外形、色彩、肌理)按一定原则和方法组合成美的形体,使产品不仅具有实用性、经济性,而且具有良好的“人—机—环境”的协调性,给人以强烈的时代信息的美感、舒适感和安全感。

(4) 绿色产品设计 可持续发展战略从环境的角度,对产品设计提出了全新的要求。绿色产品设计就是把产品视为与人类环境共存的生命体,以其广义生命周期(包括需求、设计、制造、销售、使用、报废、回收再生等阶段)为研究对象,并行地考虑生命周期内每一个阶段产品与人、环境的互相影响,拟定相应的设计策略,优选设计方案。

7. 机械学理论和方法

机械学理论和方法(包括机构学、机械动力学、摩擦学、机械结构强度学、传动机械学等)及计算机辅助分析(有限元法、模态分析、专家系统等)的不断发展,使人们对机械的方案设计、运动设计、动力设计、工作能力(强度、变形、振动、摩擦与润滑等)设计等关键技术问题能作出很好的处理。而且正在形成一系列新型的设计准则和方法。

8. 创新设计

随着社会的发展,人们的需求将有所变化,原来那些能满足需求的产品,经过一段时间后可能会变得不能满足客观需要,因此需要对产品改进设计,不断更新老产品,创造新产品,要求设计师的设计成果前所未有的,具有新颖性和独创性。在国内外市场竞争激烈的形势下,技术创新是企业保持旺盛生命力的根本保证。在不断开发新产品的过程中,要求设计人员发挥创造性,提出新方案、探求新解法、开拓新局面。创新活动必须运用创新设计方法。创新方法的基本出发点是打破传统思维的习惯,克服思维定势和妨碍创造性设想产生的各种消极的心理状态,应用创新设计方法以帮助人们在设计 and 开发产品时得到创造性的解。

创新设计的特点包括独创性、实用性、突破性、多向性、连动性、突变性等;创新设计的类型包括开发设计、变异设计、反求设计等;创新设计方法有很多种,主要包括智力激励法、提问追溯法、联想类推法、反向探求法、系统分析法、组合创新法六种。详细内容可参见第十三章。

9. 设计方法学设计

设计方法学是系统地研究设计的思维方法、进行程序与战略策略,总结设计规律与启发创造性的一门新兴学科,按其总结出的合理步骤与战略战术进行设计的过程称为设计方法学