

# 机械设计基础

主 编 马保吉  
副主编 朱育权 王丽君

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书按照教育部机械基础系列课程教学基本要求编写,并结合教学实践和工业界对机械设计人才知识的需求,对内容进行了适当的扩充。

全书共 18 章,分为 4 个部分。第 1 部分以几种典型机器为例,引出一些基本概念,并介绍机械设计的一般过程和机械设计所需的一些基础知识。第 2 部分以平面机构为核心,介绍了机构的组成、常用机构及其应用和机器动力学基础知识。第 3 部分介绍了常用传动装置和通用零件的工作能力设计和结构设计。第 4 部分“机械传动系统设计”作为所学知识的综合应用,用以培养和训练综合应用知识能力和创新设计能力。

本书主要作为高等学校近机类和非机类各专业机械设计基础课程的教材,也可供工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/马保吉主编. —西安:西北工业大学出版社,2005.9

ISBN 7-5612-1995-4

. 机... . 马... . 机械设计 - 高等学校 - 教材 . TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 098912 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:029-88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西兴平市印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:18.875

字 数:459 千字

版 次:2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

定 价:26.00 元

# 前 言

本书依据教育部机械基础系列课程教学基本要求编写,并在此基础上结合教学工作的实践经验和 21 世纪对高等工程技术人才培养的需要以及现代机械的发展,对内容进行了精心选择和编排。

本书编写过程中吸收了近年来在教学改革中形成的正确的教育观念和教育思想以及一些教学改革成果,特别是省级精品课程建设的成果。在内容的编排上遵循人们对一般事物认知的规律和循序渐进的学习规律,从对机器的直观认识入手,分析机器组成的基本原理,机构的运动关系和特征,设计通用零部件的工作能力和结构尺寸,并综合应用基本理论和基本方法最终完成机械传动装置的设计。在这样一个学习链中将各种不同机构和不同零部件的看似相对孤立的知识有机结合起来,强化了知识间的逻辑关系,使学生有一个明晰的思维主线,有助于锻炼逻辑思维能力,克服学习中的困难。不但增强了知识的系统性,而且增强了学习的目的性;不但使学生掌握基本理论知识,同时增强了机械系统设计意识和产品总体设计能力,培养学生综合运用知识解决实际问题的能力。

全书由 4 部分组成。第 1 部分以几种典型机器为实例,引出一些基本概念,并介绍机械设计的一般过程和机械设计所需的一些基础知识。第 2 部分以平面机构为核心,介绍了机构的组成、常用机构及其应用和机器动力学基础知识。第 3 部分介绍了常用传动装置和通用零件的工作能力设计和结构设计。机械传动系统设计作为所学知识的综合应用放在本书最后,以期培养和训练学生的综合应用知识能力和创新设计能力。

随着机械设备自动化水平的提高,液压传动装置在现代机械特别是自动机械和生产线上的应用越来越广泛。作为机械传动的一个重要种类,本书对液压传动的基本原理、主要元件、基本回路以及典型液压传动系统的设计进行了介绍。

参加本书编写的人员有:马保吉(第 1 章、第 10 章)、朱育权(第 2 章、第 9 章、第 11 章)、白川(第 12 章、第 16 章、第 17 章)、王丽君(第 6 章、第 7 章、第 13 章、第 15 章)、千学明(第 3 章、第 4 章)、肖强(第 8 章、第 18 章)、王文娟(第 5 章)、姚敏茹(第 14 章)。承蒙张君安教授对全书进行审稿,并就全书内容和编排提出了许多宝贵意见和建议,使教材的质量得到很大提高,编者在此表示衷心感谢。

本书由马保吉担任主编,朱育权、王丽君任副主编;西安工业学院教务处和西北工业大学出版社在本书的编辑出版过程中给予了大力支持;赵鹏、王芳老师绘制了书中部分插图。在此,对他们以及参考文献中所有作者致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有遗漏与欠妥之处,敬请学界同仁和广大读者批评指正。

编 者

2005 年 7 月

## 目 录

第 1 章 绪论.....	(1)
1.1 引言 .....	(1)
1.2 机器的组成及其特征 .....	(1)
1.3 机械设计基础课程的内容、性质和任务.....	(3)
第 2 章 机械设计总论.....	(5)
2.1 概述 .....	(5)
2.2 机械零件设计的基础知识 .....	(7)
2.3 现代设计方法简介.....	(21)
2.4 机械零件的强度.....	(22)
2.5 摩擦、磨损与润滑概述 .....	(25)
习题与思考题 .....	(27)
第 3 章 平面机构 .....	(28)
3.1 机构的组成.....	(28)
3.2 平面机构的运动简图及自由度.....	(30)
3.3 平面连杆机构的基本形式及其演化.....	(38)
3.4 平面四杆机构的基本特性.....	(45)
3.5 平面四杆机构的设计.....	(49)
习题与思考题 .....	(52)
第 4 章 凸轮机构 .....	(56)
4.1 凸轮机构的组成和分类.....	(56)
4.2 推杆的运动规律.....	(57)
4.3 凸轮轮廓线的设计.....	(60)
4.4 凸轮机构设计应注意的问题.....	(64)
习题与思考题 .....	(67)
第 5 章 其他常用机构 .....	(68)
5.1 棘轮机构.....	(68)
5.2 槽轮机构.....	(73)
5.3 不完全齿轮机构.....	(75)
5.4 组合机构.....	(76)
习题与思考题 .....	(78)
第 6 章 齿轮传动 .....	(79)
6.1 齿轮传动的特点和类型.....	(79)
6.2 齿廓啮合基本定律.....	(80)
6.3 渐开线齿廓.....	(82)

6.4	渐开线标准齿轮各部分的名称和几何尺寸计算.....	(83)
6.5	渐开线标准齿轮的啮合传动.....	(86)
6.6	渐开线齿廓的加工原理及变位齿轮的概念.....	(88)
6.7	齿轮的失效形式和齿轮材料.....	(91)
6.8	齿轮传动的精度.....	(94)
6.9	直齿圆柱齿轮的强度计算 .....	(95)
6.10	斜齿圆柱齿轮的强度计算.....	(102)
6.11	直齿圆锥齿轮传动的强度计算.....	(108)
6.12	齿轮的结构设计.....	(114)
6.13	齿轮传动的润滑和效率.....	(115)
	习题与思考题.....	(116)
<b>第7章</b>	<b>蜗杆传动.....</b>	<b>(118)</b>
7.1	概述 .....	(118)
7.2	蜗杆传动的主要参数和几何尺寸 .....	(119)
7.3	蜗杆传动的失效形式、材料和结构.....	(123)
7.4	蜗杆传动的强度计算 .....	(124)
7.5	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算.....	(126)
	习题与思考题.....	(129)
<b>第8章</b>	<b>轮系.....</b>	<b>(130)</b>
8.1	轮系及其分类 .....	(130)
8.2	定轴轮系的传动比 .....	(131)
8.3	周转轮系的传动比 .....	(132)
8.4	复合轮系的传动比 .....	(135)
8.5	轮系的功用 .....	(136)
	习题与思考题.....	(137)
<b>第9章</b>	<b>挠性传动.....</b>	<b>(139)</b>
9.1	带传动概述 .....	(139)
9.2	带传动的理论基础 .....	(141)
9.3	普通 V 带传动的设计计算 .....	(145)
9.4	带传动的张紧装置 .....	(151)
9.5	同步带传动简介 .....	(152)
9.6	链传动概述 .....	(153)
9.7	滚子链传动的设计 .....	(155)
9.8	链传动的布置和张紧 .....	(159)
	习题与思考题.....	(159)
<b>第10章</b>	<b>机械的平衡与调速 .....</b>	<b>(160)</b>
10.1	机械平衡的目的、分类及方法 .....	(160)

10 2	回转件的平衡计算.....	(161)
10 3	平衡试验.....	(163)
10 4	机械运转速度波动调节的目的与方法.....	(164)
10 5	周期性速度波动的调节.....	(166)
	习题与思考题.....	(168)
第 11 章	液压传动 .....	(169)
11 1	概述.....	(169)
11 2	液压油.....	(170)
11 3	液压元件.....	(171)
11 4	液压基本回路.....	(182)
11 5	典型液压传动系统分析.....	(185)
11 6	液压传动系统的设计.....	(187)
	习题与思考题.....	(188)
第 12 章	联接 .....	(189)
12 1	概述.....	(189)
12 2	螺纹联接.....	(189)
12 3	螺旋传动.....	(201)
12 4	键联接、销联接及型面联接 .....	(206)
12 5	铆接、焊接、胶接及过盈联接.....	(212)
	习题与思考题.....	(215)
第 13 章	轴 .....	(217)
13 1	轴的类型和材料.....	(217)
13 2	轴的结构设计.....	(219)
13 3	轴的强度设计.....	(224)
13 4	轴的刚度计算.....	(228)
	习题与思考题.....	(229)
第 14 章	滑动轴承 .....	(231)
14 1	概述.....	(231)
14 2	滑动轴承的结构和材料.....	(231)
14 3	滑动轴承的润滑.....	(235)
14 4	非液体摩擦滑动轴承的计算.....	(237)
14 5	液体摩擦滑动轴承与气体轴承简介.....	(238)
	习题与思考题.....	(240)
第 15 章	滚动轴承 .....	(241)
15 1	滚动轴承的结构、类型和代号 .....	(241)
15 2	滚动轴承的选择.....	(244)
15 3	滚动轴承组合设计.....	(250)

习题与思考题.....	(256)
第 16 章 联轴器、离合器和制动器.....	(257)
16.1 概述.....	(257)
16.2 联轴器.....	(259)
16.3 离合器.....	(267)
16.4 制动器.....	(271)
习题与思考题.....	(273)
第 17 章 弹簧 .....	(274)
17.1 弹簧的功能和类型.....	(274)
17.2 圆柱形螺旋弹簧的结构和几何参数.....	(276)
17.3 圆柱形螺旋压缩和拉伸弹簧的设计计算.....	(284)
习题与思考题.....	(287)
第 18 章 机械传动系统设计 .....	(288)
18.1 概述.....	(288)
18.2 机械传动系统设计.....	(288)
习题与思考题.....	(293)
参考文献.....	(294)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引 言

机器是人类为了减轻体力劳动和提高劳动生产率而创造出来的主要工具,使用机器进行生产的水平是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。在人类历史上,机器的进步从来就是促进生产力发展的主要因素。以蒸汽机的发明和广泛使用为标志的第一次技术革命,为近代机械化大生产奠定了基础,使人类从手工生产进入到机械化生产。从 20 世纪 40 年代起,以原子能、空间技术和电子计算机为主要标志的一场新技术革命,促进了科学技术的重大变革和飞速发展,大量的新机器也从传统的纯机械系统,演变成机电一体化的机械设备。机器设计、制造的手段得到根本的改变,新材料、新工艺的出现改变了机器原来单一钢铁之躯的面貌,机器中电子控制技术的应用,使机械进入了智能化的新阶段。机器的设计制造周期越来越短,对机器的性能、质量的要求也越来越高,个性化要求越来越多,机械产品向着高速、精密、重载、智能等方向发展。

20 世纪末期以互联网技术为代表的信息技术革命,深刻地影响着人们的生活和生产方式,基于互联网和信息融合的机器设计和制造技术得到迅速发展,跨地域协同设计和制造成为机器制造技术的发展趋势,使得传统设计制造流程发生重大变革。

机械的种类繁多,从日常生活使用的洗衣机、食品加工机、自行车、摩托车、汽车到工业生产的机床、轧钢机、工程机械,再到飞机、火箭、航天飞机、坦克、战车等国防武器,其性能、用途各异,但是他们都有一些共同特征。

## 1.2 机器的组成及其特征

任何机器都是为实现某种功能而设计制造的。如图 1-1 所示的单缸内燃机,是由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、齿轮 4 与 5、凸轮 6、顶杆 7 以及气缸 8 等组成。其基本功能是使燃气在气缸内经过进气—压缩—爆发—排气的循环过程,将燃气的热能不断地转换为机械能,从而使活塞的往复运动转换为曲轴的连续转动。为了保证曲轴连续转动,要求定时将燃气送入气缸并将废气排出气缸,这是通过进气阀和排气阀完成的,而进、排气阀的启闭则是通过齿轮、凸

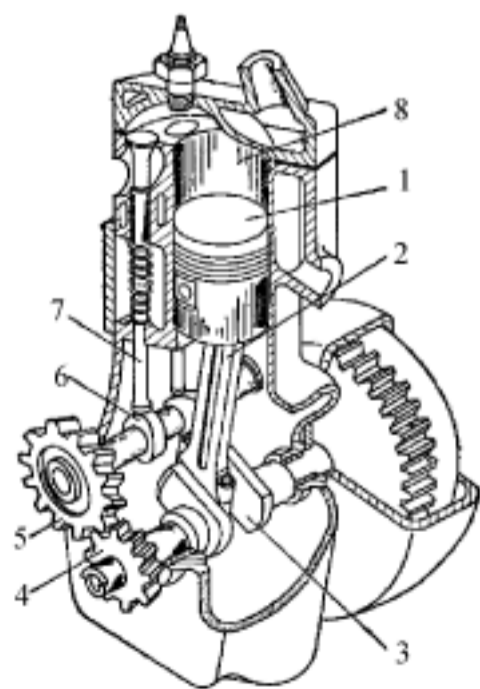


图 1-1 单缸发动机

轮、顶杆、弹簧等各构件的协同运动来实现的。

又如图 1-2 所示的颚式破碎机,其主体是由机架、偏心轴、动颚和肘板等组成。偏心轴 2 与带轮 5 固连,当电动机通过 V 带驱动带轮转动时,偏心轴则绕轴 A 转动,使动颚 3 作平面运动,轧碎动颚与定颚 6 之间的矿石,从而做有用的机械功。

图 1-3 所示的牛头刨床是由曲柄 5(和大齿轮固定在一起)、滑块 2 和 6、导杆 7、刨头 8、床身 1、小齿轮 4、电动机 3 以及其他一些辅助部分(图中未画出)组成。当电动机 3 经带传动、变速箱(图中未画出)并通过小齿轮 4 使曲柄 5 作连续转动时,齿轮 5 上装有用销轴连接的滑块 6,一方面绕销轴转动,同时又可在导杆 7 的导槽中滑动,导杆 7 的下部分导槽又与另一滑块 2 连接,而滑块 2 可绕固定在床身 1 上的销轴转动。故当齿轮 5 转动时,便可通过滑块 6 带动导杆 7 作平面复杂运动。导杆 7 上端用销轴与刨头 8 相连,刨刀固定在刨头 8 的前端,随同刨头一起运动。这样当导杆 7 往复摆动时,即驱使刨刀作往复刨削运动,完成有效的机械功。

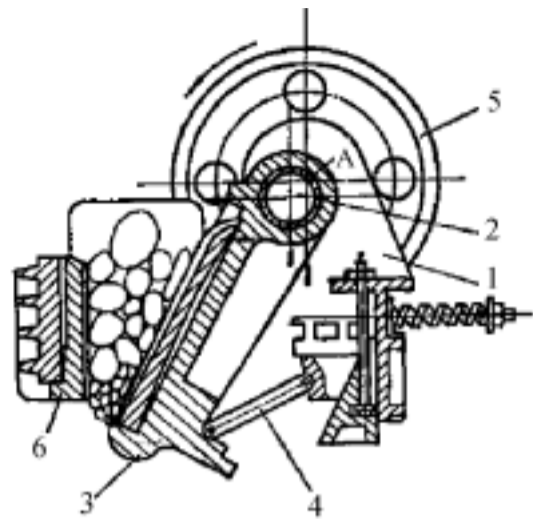


图 1-2 颚式破碎机

又如电动机是由一个转子(电枢)和一个定子所组成,当定子输入电流后,转子便能作回转运动,使电能转换为机械能。

通过以上内容可知,机器具有以下共同特征:

- (1) 它们是为人为实体的组合;
- (2) 各实体间具有确定的相对运动;
- (3) 它们可以代替或减轻人类的劳动,以完成有效的机械功(如颚式破碎机、刨床)或能量转换(如内燃机、电动机)。

凡同时具有以上三个特征的称为机器,仅具备前两个特征的则称为机构。由图 1-1 可知,内燃机为机器,它由曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构等组成。又由图 1-2 可知,颚式破碎机也为机器,它由一个带轮传动机构和偏心轮机构组成。由此可知,机器主要由机构组成,但从构成和运动的观点看,机器和机构并无区别。在工程上,通常以“机械”一词作为机器和机构的总称。

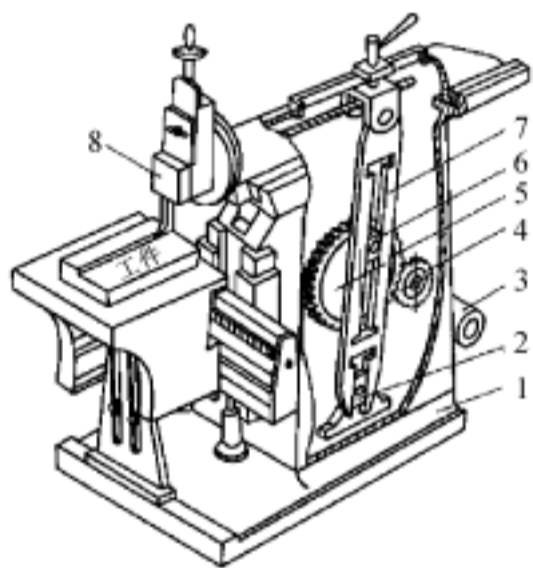


图 1-3 牛头刨床

从功能上看,机构与机器的根本区别在于机构的主要功能是传递运动和力,而机器的主要功能除传递运动和力外,还有变换机械能或完成有用的机械功。因此,一部机器可以只有一种机构,也可以是数种机构的组合。

随着科学技术的发展,“机器”一词的含义已有所改变。对于现代机器,则可定义为:“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,以代替或减轻人的体力和脑力劳动”。

根据用途不同,现代机器可分为动力机器(电动机、内燃机、发电机等)、加工机器(金属切削机床、轧钢机、织布机等)、运输机器(升降机、起重机、汽车等)、信息机器(绘图机、硬盘机、磁带机、打印机等)等。

凡是在无人直接参与的前提下,能完成能量、物料和信息的整个变换过程的机器,即能按

预定程序自动完成某些生产工艺过程的单机,称为自动机,例如各种自动机床、机械手等。通过自动运输装置联接起来,且能自动完成生产过程的自动机群和控制系统的组合称为自动线。它在汽车、轴承、电机、电子器件、集成电路等大批量生产的工业部门中采用。显然,机器尤其是自动机和自动线能较大地减轻人的劳动,提高劳动生产率。

对于机构,其含义也随着科学技术的发展而有所变化。以前人们认为机构只能由刚体所组成,现在这一观点已由液体和气体可参与运动的变换而改变。如果机构中除刚体外,液体或气体也参与运动的变换,则该机构相应地称为液压机构或气动机构。

一台完整的机器一般由原动部分、传动部分、执行部分和控制部分组成。如载重汽车作为一台完整的机器,它有原动部分(机器动力的来源)即汽车上的内燃机;执行部分,直接完成机器预想动作的部分即汽车的车轮;传动部分,将原动部分的运动和动力传给执行部分的中间环节,即离合器、变速箱、传动轴、差速器等;控制系统即点火系统、燃油喷射系统、制动分配等。

各种机械中普遍使用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。

机构中的运动单元体称为构件。所以构件具有独立的运动特性,它是运动的单元。而零件则是制造的单元。构件可以是一个零件,如图1-4(a)所示曲轴;也可由若干个相互无相对运动的零件所组成,如图1-4(b)所示的连杆,它是由连杆体1、连杆盖3、螺栓2及螺母4等零件组成。

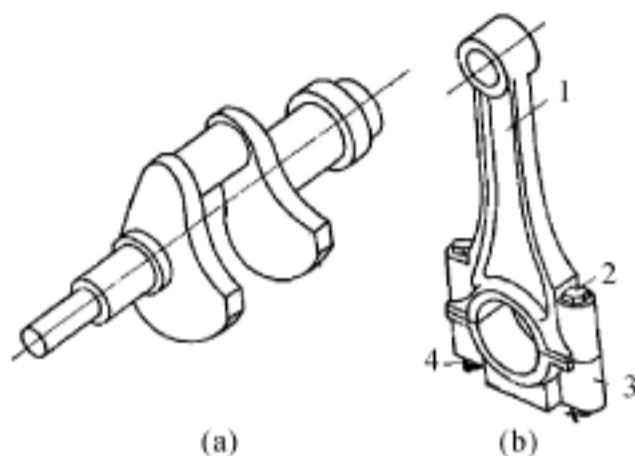


图1-4 构件与零件

对于机器中的零件,按其功能和结构特点又可分为通用零件和专用零件。各种机械中普遍使用的零件称为通用零件,如螺栓,齿轮、轴、弹簧等。仅在某些专门行业中才用到的零件称为专用零件,如内燃机的活塞与曲轴、汽轮机的叶片、机床的床身等。

一起协同工作且完成共同任务的零件组合常称为部件。部件亦可分为通用部件与专用部件。如减速器、滚动轴承和联轴器等属通用部件,而汽车转向器则属于专用部件。

组成机器不可拆卸的基本单元称为机械零件。这一术语也常用来泛指零件和部件。

## 1.3 机械设计基础课程的内容、性质和任务

### 1.3.1 课程内容

机械设计基础(又称为机械原理及机械零件)课程主要讲述机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、运动特点、结构特点、基本设计理论和计算方法,以及机器动力学中的一些问题。同时简要地介绍国家标准和规范、某些标准零部件的选用原则与方法,以及通用零部件的一般使用维护知识。

本书前半部分属机械原理范围,着重研究机械中的常用机构及机器动力学的基本知识(如机械的调速和平衡);后半部分属机械零件范围,着重研究常用的联接(如螺纹联接、焊接等)、机械传动(螺旋传动、带传动、链传动、齿轮和蜗杆传动),轴系零部件(轴、轴承、联轴器)和弹簧等,并简要介绍了国家标准和有关规范。

除此之外,考虑到许多近代机械设备越来越多地采用液压传动、气压传动和电气传动,因此也对液压传动的基本知识进行了简单介绍。

### 1.3.2 课程的性质

本课程是高等学校工科有关专业一门重要的技术基础课,将为有关专业的学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础。

本课程是一门综合性较强的课程,它综合运用高等数学、理论力学、材料力学、机械制图、金属工艺学、金属材料及热处理、互换性原理与几何测量、计算机程序设计、电工电子技术等课程的基本知识,解决常用机构、通用零部件设计等问题。

本课程是一门实践性较强的课程,主要教学环节分为课堂学习、实验课和课程设计,并且大量使用工程实践中积累的设计知识。

本课程又是创新性很强的课程,机构的设计和机械结构的设计并没有固定的模式,这就给设计者留下了很大的创新空间。在国际和国内每年都要举行机构创新大赛,足以体现本课程的创新性。

### 1.3.3 本课程的任务

本课程的主要任务是:

(1)使学生掌握机构的结构、运动特性,初步具有分析和设计常用机构的能力,对机械动力学的一些基本知识有所了解。

(2)使学生掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、设计计算和维护等基本知识,并初步具有设计机械传动装置的能力。

(3)培养学生具有综合运用所学知识和标准、规范、手册、图册等有关技术资料,解决工程实际问题的能力。

(4)对学生进行获得本学科实验技能的初步训练。

# 第 2 章 机械设计总论

## 2.1 概 述

### 2.1.1 机械设计的基本要求

机械设计是为了实现机器的某些特定功能要求而进行的创造过程。它包含运用机械设计的基本知识、基本理论和基本方法而进行的开发新的机器设备和改进现有的机器设备两种设计。

机械设计的最终目的是为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品,从而获得良好的经济效益。

机械设计质量的高低直接影响机械产品的性能、价格及经济效益。没有高质量的设计,就不可能有高质量的产品;没有经济观念的设计者,绝不可能设计出性能价格比高的产品。有资料表明,产品的质量事故,约有 50% 是由于设计不当造成的,而产品的成本,约 70% ~ 80% 取决于设计。设计的成败往往成为产品在生产、销售和使用中能否取得良好效果的决定条件。

机械的种类繁多,但其设计的基本要求大致相同,主要包含以下几个方面:

#### 1. 使用要求

人们为了生产和生活上的需要才设计和制造各种各样的机器。因此,我们所设计的机器必须满足预定的使用功能,这是设计机器的根本目的,也是选择和确定方案的依据。这项要求主要靠正确选择机器的工作原理,正确地设计或选用原动机、传动机构、执行机构以及合理地配置辅助系统等来实现。

#### 2. 经济性要求

提高产品的经济性,既是增加产品市场竞争力、赢得用户的需要,也是节约社会劳动、提高社会效益的需要。机器的经济性是一个综合指标,体现在机器的设计、制造和使用的全过程中,包括设计制造经济性和使用经济性。设计制造经济性表现为机器的成本低;使用经济性表现为高效率、较低的能源和原材料消耗,以及较低的管理和维护费用等。设计机器时应最大限度地考虑其经济性。

提高设计制造经济性的主要途径有:

(1) 采用先进的设计理论和方法,力求参数最优化,尽可能地应用 CAD/CAM 技术,特别是先进制造技术,以提高设计制造效率,降低设计制造成本。

(2) 合理地选用材料,改善零件的结构工艺性,并注重对新材料、新结构、新工艺和新技术

的应用,使其用料少、质量轻、加工费用低、易于装配。

(3)最大限度地采用标准化、系列化及通用化的零部件。

提高使用经济性的主要途径有:

(1)提高机器的效率。在方案设计及结构设计时,要从传动机构及执行机构的类型、润滑方式、自动化程度等方面充分考虑提高机器的效率。

(2)合理地确定机器的寿命。机器的寿命可分为功能寿命、技术寿命和经济寿命三种。机器从开始使用至其主要功能丧失而报废所经历的时间称为功能寿命;机器从开始使用至其因技术落后而被淘汰所经历的时间称为技术寿命;机器从开始使用至其继续使用将导致经济效益显著降低所经历的时间称为经济寿命。在科学技术高速发展的今天,机器的经济寿命、技术寿命远远短于功能寿命。要提高机器的使用经济性,就要由其经济寿命来确定机器更新的最佳时间。

(3)提高维修的经济性。及时的维修能延长机器的使用寿命,但同时也要付出相应的维修费用。在机器的设计阶段,就应该从结构、防护、润滑与密封等方面提高维修的经济性,以尽可能少的、方便的维修换取尽可能多的使用经济效益。

### 3. 可靠性要求

可靠性是机器在规定的条件下和规定的使用期限内,完成规定功能的能力。现代化机器的复杂性及现代化大规模生产的高生产率,都要求机器具有较高的可靠性。

可靠性是衡量机器质量的一个重要指标,提高机器可靠性的最有效的方法是进行可靠性设计。机器可靠性的高低可用可靠度的大小来衡量。

### 4. 其他要求

在满足以上基本要求的基础上,设计机器时还应对劳动保护和环境保护给予高度重视。不同用途的机器可能还有其特殊要求,也应给予充分的考虑。

## 2.1.2 机械设计的主要内容

机械设计主要包括以下内容:

- (1)确定机器的工作原理,选择合适的机构,拟定合理的设计方案;
- (2)进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷;
- (3)进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。

## 2.1.3 机械设计的一般程序

机器的质量基本上是由设计质量所决定的,而制造过程主要就是实现设计时所规定的质量。一部完整的机器是一个复杂的系统。要设计出高质量的机器,就必须有一个科学的设计程序。虽然我们不可能列出一个在任何情况下都有效的惟一设计程序,但是,总结人们长期以来设计机器的经验,一个较为完整的设计过程主要包括计划、方案设计、技术设计和技术文件编制等4个阶段。

### 1. 计划阶段

在计划阶段,主要是根据市场信息、市场预测或用户要求确定设计任务。要在反复调查研究、充分分析和论证的基础上做出决策,编制出设计任务书。设计任务书的具体内容主要包括机器的功能、用途、基本结构形式、设计进度、主要设计参数及技术经济指标等。

### 2. 方案设计阶段

实现机器预定功能是机器设计的核心,但实现同一功能的原理方案可以是多种多样的。因此,这一阶段就是要对任务书的要求进行充分的分析,通过创新构思、优化筛选,取得较为理想的功能原理方案。此阶段是机器设计的重要阶段,必须做到反复推敲、科学论证、全面评价,力求获得最佳方案。

### 3. 技术设计阶段

技术设计的目标是绘出正式的机器总装配图、部件装配图和零件工作图。主要工作有以下几个方面:

- (1)主要零部件的工作能力设计和结构设计(据其所受的公称载荷的大小和性质)。
- (2)部件装配草图和总装配草图的设计。
- (3)主要零件的校核计算。
- (4)零件工作图设计。
- (5)绘制正式的部件装配图和总装配图。

### 4. 技术文件编制阶段

通常要编制的技术文件有:机器的设计计算说明书、使用说明书、标准件及易损件明细表等。

必须强调指出,机械设计整个过程的各个阶段是紧密关联的,某一个阶段中发现的问题或不当之处,必须返回到前面相关阶段进行修改。可见整个机械设计的过程是一个不断反复、不断修改、不断完善的过程,只有这样,才有可能获得最佳的设计结果。

## 2.2 机械零件设计的基础知识

### 2.2.1 机械零件变形的基本形式及其强度条件

各种机械零件在不同的载荷作用下,可能产生不同形式的变形,但其最基本的变形有拉压变形、剪切变形、扭转变形和弯曲变形4种形式。有些零件可能同时承受几种基本形式的变形,这种情况称为组合变形。

机械零件(或构件)按其几何特征可分为杆、板、壳和块体等。但最常见的是杆件,即长度远大于横向尺寸的零件(或构件)。如果杆的轴线为直线,称为直杆;轴线为曲线时,称为曲杆。横截面大小和形状不变的直杆称为等直杆。杆件是材料力学的主要研究对象。

#### 1. 直杆的拉伸和压缩

在机器中,很多杆件在工作时是承受拉伸或压缩的。其受力特点是:作用于杆件上的外力合力的作用线与杆件的轴线重合;其变形特点是:沿轴线方向的伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸或轴向压缩。

(1)横截面上的内力和应力。零件在受轴向拉、压外力作用下,将产生拉伸或压缩变形,为了抵抗这种变形,其内部各质点间将产生相应的相互作用力,这种由外力引起的零件内部质点间的相互作用力称为内力。内力由外力引起,随外力的增大而增大,当其增大到某一极限值时,零件将发生破坏。

图2-1为受拉杆的内力分析图。其中图2-1(a)所示为在外力 $F$ 作用下处于平衡状态

下的受拉直杆。求各截面上内力的方法如下：

1) 在需要求内力的截面处, 假想地将杆件截成两部分, 如图 2-1(b) 和图 2-1(c) 所示。

2) 任取一段(一般取受力情况较简单的部分), 在截面上用内力代替被截掉部分对该段的作用力。

3) 在所研究的部分建立力平衡方程, 由已知外力计算截面上的未知内力  $F_N$ 。图中  $F_N = F$ 。习惯上规定, 内力的方向与横截面的外法线方向一致时为正, 反之为负。

应力为截面单位面积上的内力, 它是判断杆件是否具有足够强度的依据。

由于内力在横截面上是均匀分布的, 所以应力  $\sigma$  的计算公式为

$$\sigma = F_N / A \quad (2-1)$$

式中,  $A$  表示横截面的面积。这种垂直于横截面的应力称为正应力, 且拉伸应力为正, 压缩应力为负。

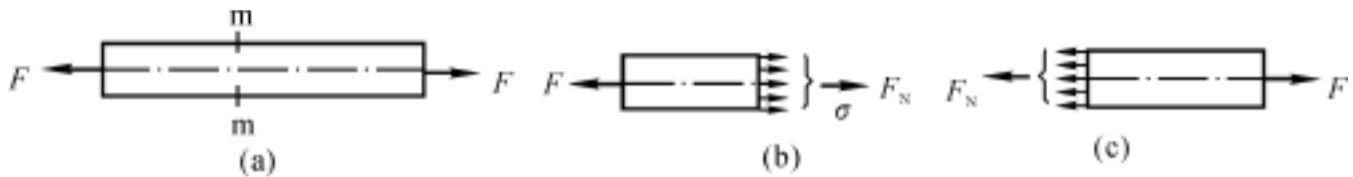


图 2-1 受拉杆的内力分析图

(2) 低碳钢拉伸时的力学性能。低碳钢(含碳量小于 0.25%) 是机械工程中最常用的金属材料之一。它在被拉伸时表现出来的力学性能具有典型性。

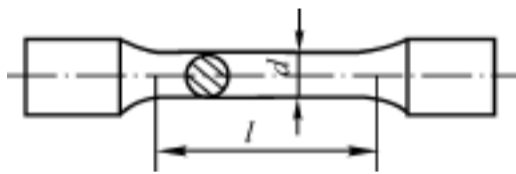


图 2-2 拉伸试件

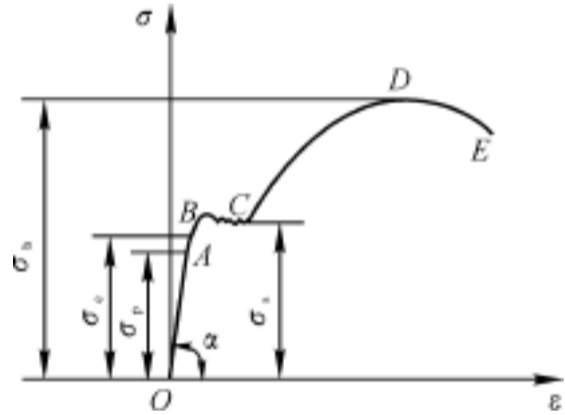


图 2-3 低碳钢拉伸应力-应变曲线

将材料按国家标准要求制成标准试件, 如图 2-2 所示。试验时, 将试件安装在试验机的夹头中, 然后开动机器加载, 绘出其应力-应变(单位长度的伸长量, 用  $\epsilon$  表示)曲线(即  $\sigma-\epsilon$  曲线), 如图 2-3 所示。可见, 其变形可大致分为以下 4 个阶段。

1) 弹性阶段。图 2-3 中  $OB$  段试件只产生弹性变形(卸载后变形将全部消失), 对应于  $B$  点的应力  $\sigma_s$ 。称为弹性极限。它表示材料只产生弹性变形时的最高应力值。弹性阶段主要是一段直线  $OA$ , 表示应力与应变成比例。与  $A$  点对应的应力  $\sigma_p$  称为材料的比例极限。 $\sigma_s$  和  $\sigma_p$  虽然意义不同, 但数值非常接近, 实用中常认为二者数值相等。直线  $OA$  的倾角为  $\alpha$ ,  $\tan \alpha = \sigma / \epsilon = E$ ,  $E$  称为弹性模量。

2) 屈服阶段。如图 2-3 中的  $BC$  段所示。此时应力几乎不增加, 而应变却增加很快, 说明材料失去了抵抗变形的能力, 这种现象称为屈服。屈服阶段应力的最小值称为材料的屈服点(或屈服极限), 用  $\sigma_s$  表示。在屈服阶段, 主要是塑性变形。

3) 强化阶段。如图 2-3 中的  $CD$  段所示。此时, 材料又恢复了抵抗变形的能力。要使材料继续变形, 就必须增加应力, 这种现象称为强化。曲线的最高点  $D$  所对应的应力  $\sigma_b$  称为材

料的抗拉强度。它是材料所能承受的最大应力。

4) 缩颈断裂阶段。当应力达到  $\sigma_b$  值后,试件的变形就集中在某个薄弱区域内,使这部分截面急剧收缩,这种现象称为缩颈(见图 2-4)。由于缩颈处横截面面积急剧减小,使试件继续变形所需的拉力也相应减小,最后到达 E 点时试件断裂。



图 2-4 缩颈现象

$\sigma_s$  和  $\sigma_b$  是衡量材料性能的两个重要指标。

5) 泊松比。杆件在产生轴向伸长的同时,其横向尺寸将缩小。但在弹性范围内,横向应变与轴向应变之比的绝对值为一常数。

我们将其定义为材料的泊松比,用  $\mu$  来表示。一般碳钢的泊松比  $\mu = 0.3$ 。

(3) 强度条件。为了使零件有足够的强度,零件在载荷作用下的最大应力必须小于材料的极限应力  $\sigma_{lim}$ 。对于塑性材料,应取材料的屈服极限  $\sigma_s$  作为极限应力;而对于脆性材料,则应取其强度极限  $\sigma_b$  作为极限应力。另外,在强度计算中,还应考虑留有一定的安全裕度,为此引入零件的许用应力  $[\sigma]$ ,且

$$[\sigma] = \sigma_{lim} / S \quad (2-2)$$

式中,  $S$  为安全因数,可查阅有关设计手册。

受轴向拉、压杆件的强度条件为

$$\sigma = F / A \leq [\sigma] \quad (2-3)$$

式中,  $A$  为杆件危险横截面的面积。

## 2. 剪切和挤压

工程实际中有许多承受剪切的零件。如图 2-5 所示为一铆钉联接及其铆钉的受力、变形情况。钢板在横向载荷  $F$  的作用下将发生横向错动,铆钉的受力及变形情况如图 2-5(b) 和图 2-5(c) 所示,这种变形称为剪切变形。另外,铆钉在承受剪切作用的同时,钢板的孔壁和铆钉的圆柱表面间还将产生挤压作用,使零件表面产生局部塑性变形。

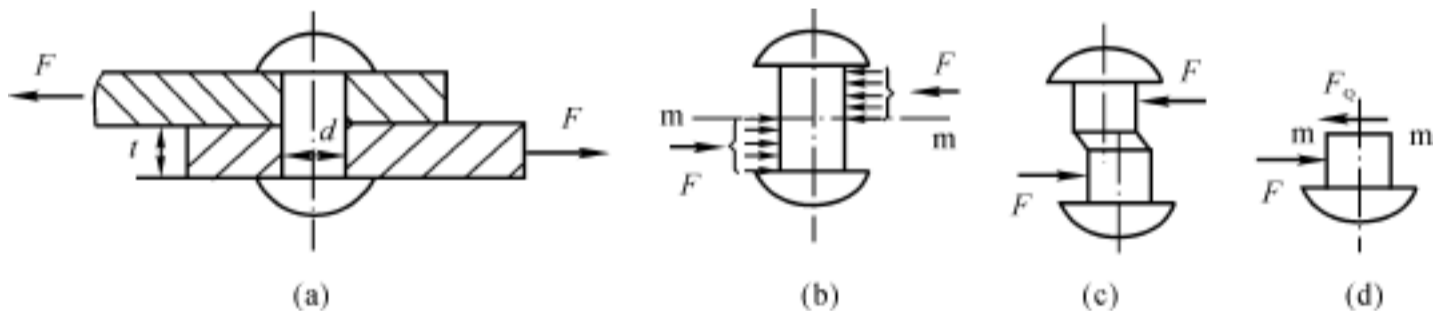


图 2-5 铆钉联接及铆钉的受力、变形情况

(1) 剪切强度。零件受剪切作用时,在剪切面上产生内力  $F_Q$ ,其大小和方向同样可用截面法求得。图 2-5(d) 中,  $F_Q = F$ 。

工程上常假设切应力  $\tau$  在剪切面上是均匀分布的,于是有

$$\tau = F_Q / A \quad (2-4)$$

剪切强度条件为

$$\tau = F_Q / A \leq [\tau] \quad (2-5)$$

式中,  $A$  为剪切面的面积;  $[\tau]$  为许用剪切应力,由极限切应力  $\tau_{lim}$  与安全因数  $S$  的比值确定。

(2) 挤压强度。两零件间产生挤压作用时,由挤压力  $F_{jy}$  引起的应力称为挤压应力,用  $\sigma_{jy}$  表示。挤压应力在接触面上的分布比较复杂,一般假设挤压应力在挤压面上均匀分布,于是有

$$j_y = F_{jy} / A_{jy} \quad (2-6)$$

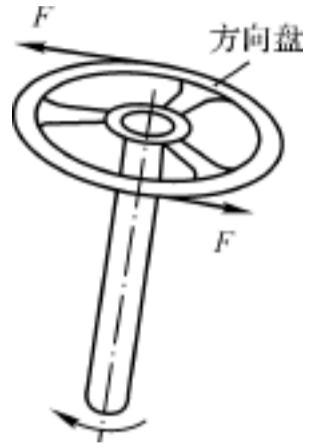
相应的挤压强度条件为

$$j_y = F_{jy} / A_{jy} \quad [j_y] \quad (2-7)$$

式中,  $A_{jy}$  为挤压面面积, 若接触表面为平面, 则  $A_{jy}$  为接触面面积; 若接触面为圆柱面, 则  $A_{jy}$  为接触面在直径平面上的投影面积。图 2-5 中,  $A_{jy} = dt$ 。  $[j_y]$  为许用挤压应力。

### 3. 圆轴的扭转

在工程中, 圆轴是最常见的受扭零件之一。如汽车方向盘的转向轴(见图 2-6), 当汽车转向时, 转向轴的两端受两个大小相等、方向相反、作用平面垂直于轴线的力偶作用, 使轴的任意两个截面间都发生绕轴线的相对转动, 这就是扭转变形。



(1) 外力偶矩与功率、转速的关系。外力偶矩  $T$  可由轴所传递的功率  $P$  (kW) 和轴的转速  $n$  (r/min) 计算出来, 其公式为

$$T = 9549 P / n \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (2-8)$$

(2) 扭矩和扭矩图。圆轴在外力偶矩作用下, 横截面上将产生内力, 可用截面法求得。图 2-7(a) 所示为一受扭圆轴, 其上作用有外力偶矩  $T_1, T_2, T_3$ 。欲求截面  $m-m$  上的内力(也应为一力偶矩, 它使圆轴产生扭转变形, 故称其为扭矩, 用  $T_T$  表示), 用截面法(见图 2-7(b))及平衡方程可得

$$T_{Tm} = T_1$$

同理, 可求得  $n-n$  截面上的扭矩为

$$T_{Tn} = T_1 + T_2$$

扭矩的正负可用右手螺旋法则确定, 即用右手四指指向扭矩作用方向, 大拇指表示的就是扭矩矢量的方向, 若其指出截面, 则扭矩为正, 反之则为负。

为了清楚地表示各横截面上扭矩沿轴线的变化规律, 可画出扭矩图(见图 2-7(c))。图中纵坐标表示扭矩, 横坐标表示横截面的位置。

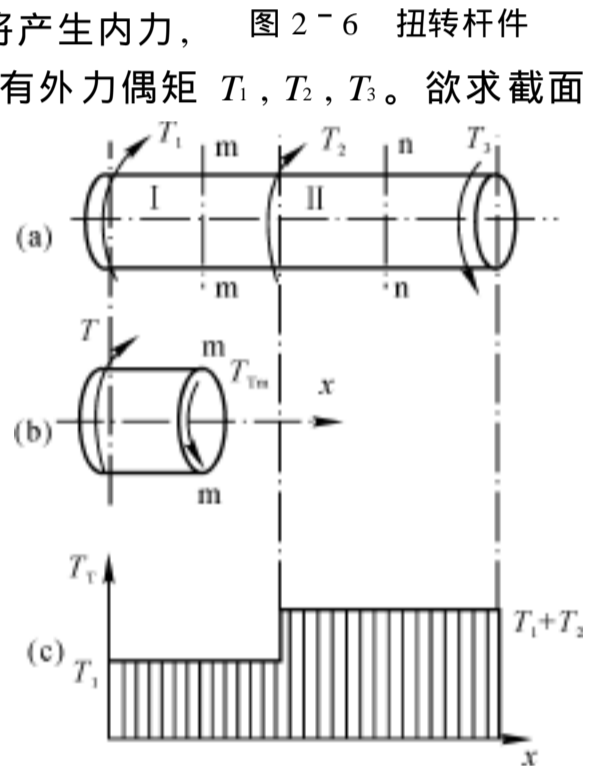


图 2-7 扭矩图

(3) 扭转切应力及强度条件。扭转变形也是一种剪切变形, 在圆截面上产生扭转切应力, 其大小与半径成正比, 如图 2-8 所示。圆截面任意半径上的切应力为  $\tau$ , 最大切应力  $\tau_{\text{max}}$  可用下式计算:

$$\tau_{\text{max}} = T_T / W_T \quad (2-9)$$

式中,  $T_T$  为横截面上的扭矩;  $W_T$  为抗扭截面因数, 与截面形状及大小有关, 对于圆截面, 其计算公式为  $W_T = R^3 / 2$ 。

圆轴受扭时的强度条件为

$$\tau_{\text{max}} = T_T / W_T \quad [\tau] \quad (2-10)$$

式中,  $[\tau]$  为许用扭转切应力。

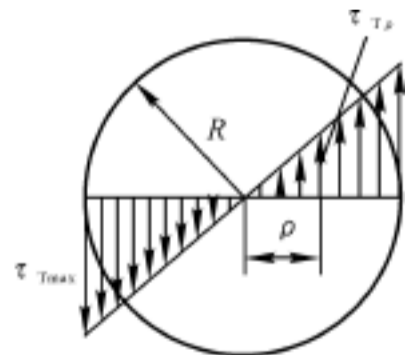


图 2-8 扭转切应力的分布

### 4. 弯曲

当杆件受到垂直于杆轴线的外力(即横向力)或受到位于杆轴平面内的外力偶作用时, 杆的轴线将由直线弯成曲线, 即发生了弯曲变形。以弯曲变形为主的杆件习惯上称为梁。如