

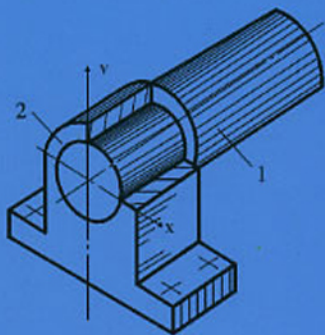
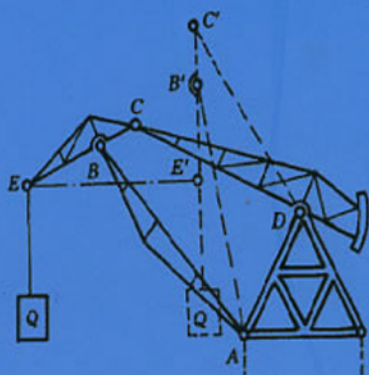


复旦卓越·高职高专21世纪规划教材·机类、近机类

# 机械设计基础

主 编 上官同英 熊 娟

Jixie Sheji Jichu



 复旦大学出版社  
www.fudanpress.com.cn

复旦卓越·高职高专 21 世纪规划教材·机类、近机类

# 机械设计基础

主 编 上官同英 熊 娟  
副主编 薛培军 钱袁萍 石 岚  
编 委(以姓氏笔画为序)  
上官同英 石 岚 刘冬敏  
刘瑞娟 孟雅俊 钱袁萍  
熊 娟 薛培军

复旦大学出版社

## 内 容 提 要

本书以培养学生初步建立工程概念、了解和掌握机械基础知识、具备设计简单机械传动装置的能力为目标,将机械原理和机械设计的内容有机地整合,加强了机械设计理论和实践的联系。全书从机械系统的角度,重点阐明了机械系统中常用机构、一般工作条件下常用参数范围内通用机械零部件的组成及工作原理、功能特点、选用原则、基本设计计算方法等内容。本书共分 13 章,围绕每章所介绍的内容,都配有一定量的习题。

本书主要用作高职高专院校、成人高校的机械类和近机械类专业机械设计基础课程的教材,也可供有关工程技术人员和大、中专学生参考使用。

# 前 言

本书是根据高等职业院校机械类和近机械类各专业机械设计基础课程的教学改革需要,结合编者多年的教学实践经验和同行专家及广大使用者的意见编写而成的,体现了高职院校特色专业建设和精品课程建设的成果。

本教材突出高等职业教育的特点,按照职业岗位技能要求,以培养应用型人才为目标,重点介绍机械系统中常用机构、一般工作条件下常用参数范围内通用机械零部件的组成及工作原理、功能特点、选用原则、基本设计计算方法等内容,教会学生在设计中正确使用标准、规范和手册等设计资料。考虑到高职毕业学生大多在一线工作,本教材删除了许多公式的理论推导,直奔主题,从实际出发,使学生建立起能够满足工作需要的知识结构和能力结构。

本教材在编写过程中注重突出以下特点:

(1) 注重知识的应用性和技术性,理论联系实际。本教材摒弃了传统教材简单地将机械原理和机械设计基础内容组合在一起的做法,而是有机地将这两门课结合而成一个体系,并尽量保持其原学科的系统性。同时在每章中都从应用角度,设计了适量的例题和习题,强化了学生的实际应用能力的培养。

(2) 知识体系深浅合理,语言简洁易懂。在本书的编写中充分考虑高职高专学生的认知水平和已有知识、技能、经验,在语言表达上力求通俗、新颖,便于讲授和自学;在内容上以“必需”、“够用”为原则,以讲清概念、强化应用为重点,对课程的知识体系进行了整体优化,精选整合教学内容,突出编写特色。

全书采用最新国家标准,共分13章。参加编写的有刘冬敏(第1、第8章)、刘瑞娟(第2章)、钱袁萍(第3章)、熊娟(第4章)、孟雅俊(第5、第10、第11章)、上官同英(第6章)、薛培军(第7章)、石岚(第9、第12、第13章)。本书由上官同英和熊娟担任主编,薛培军、钱袁萍和石岚担任副主编。



本书在编写过程中,参阅和引用了部分院校的教材、有关机械设计手册和相关精品课程资料,谨向相关作者和出版社表示诚挚的谢意! 郑州机械研究所的教授级高工杨顺成老师提出了很多宝贵的意见和建议,在此深表感谢!

由于编者的水平有限,虽然几易其稿,但仍难免存在错误和不当之处,恳请广大读者和同仁批评指正。

编者

2010.4



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	3.2 平面连杆机构的类型及其演化	38
1.1 本课程的研究对象 .....	1	3.3 铰链四杆机构有曲柄的条件	44
1.2 课程的内容、地位、学习目的和方法 .....	5	3.4 平面连杆机构的工作特性	45
1.3 机械零件的失效形式及设计准则 .....	6	3.5 平面连杆机构的运动设计	48
1.4 机械零件常用材料及其选用原则 .....	9	本章小结 .....	52
1.5 机械的摩擦、磨损及润滑	11	习题 .....	53
1.6 机械零件设计的工艺性及标准化 .....	15	<b>第 4 章 凸轮机构</b> .....	55
1.7 机械设计应满足的基本要求及一般程序 .....	16	4.1 凸轮机构的应用与分类	55
本章小结 .....	18	4.2 从动件常用运动规律	58
习题 .....	19	4.3 盘形凸轮轮廓曲线的作图法设计	61
<b>第 2 章 平面机构及其自由度</b> .....	20	4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	65
2.1 机构的组成 .....	20	本章小结 .....	69
2.2 平面机构的运动简图 .....	22	习题 .....	70
2.3 平面机构自由度计算 .....	28	<b>第 5 章 间歇运动机构</b> .....	72
本章小结 .....	34	5.1 棘轮机构 .....	72
习题 .....	35	5.2 槽轮机构 .....	76
<b>第 3 章 连杆机构</b> .....	37	5.3 不完全齿轮机构 .....	77
3.1 平面连杆机构的特点和应用	37	本章小结 .....	78
		习题 .....	79
		<b>第 6 章 齿轮传动</b> .....	80
		6.1 齿轮机构的传动特点和类型	80



6.2	齿廓啮合基本定律	83	<b>第8章 轮系</b>	173	
6.3	渐开线与渐开线齿廓	84	8.1	轮系的分类	173
6.4	渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的 基本参数及几何尺寸	87	8.2	轮系的传动比	175
6.5	渐开线标准直齿圆柱齿轮的 啮合传动	92	8.3	轮系的功能	182
6.6	渐开线齿轮的加工方法和 根切	96		本章小结	185
6.7	变位齿轮简介	101		习题	186
6.8	齿轮传动的失效形式和设计 准则	105	<b>第9章 带传动</b>	188	
6.9	齿轮常用材料及热处理	108	9.1	带传动的类型、特点和 应用	188
6.10	标准直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	112	9.2	V带和V带轮	190
6.11	直齿圆柱齿轮传动设计	122	9.3	带传动的工作能力分析	194
6.12	标准斜齿圆柱齿轮传动及其 强度计算	126	9.4	V带的标准及其传动设计	198
6.13	圆锥齿轮传动	137	9.5	V带传动的张紧装置 及维护	206
6.14	齿轮的结构、润滑和精度	142		本章小结	208
	本章小结	146		习题	209
	习题	148	<b>第10章 链传动</b>	210	
<b>第7章 蜗杆传动</b>		152	10.1	链传动的类型、结构和 特点	210
7.1	蜗杆传动的特点、类型和 应用	152	10.2	链传动工作情况分析	214
7.2	圆柱蜗杆传动的主要参数及 几何尺寸计算	155	10.3	滚子链传动设计计算	217
7.3	蜗杆传动的失效形式、计算 准则、材料选择和精度	159	10.4	链传动的使用和维护	224
7.4	蜗杆传动的强度计算	161		本章小结	226
7.5	蜗杆传动的效率、润滑及 热平衡计算	163		习题	227
7.6	蜗杆蜗轮的结构	166	<b>第11章 轴</b>	228	
	本章小结	171	11.1	轴的功用和类型	228
	习题	171	11.2	轴的材料	230
			11.3	轴的结构设计	232
			11.4	轴的强度计算	236
			11.5	轴的刚度计算	238
			11.6	轴的设计实例分析	239
				本章小结	245
				习题	246



<b>第 12 章 轴承</b> .....	249	<b>习题</b> .....	279
12.1 轴承的作用和分类 .....	249	<b>第 13 章 机械联结</b> .....	280
12.2 滚动轴承的结构类型和 特点 .....	249	13.1 螺纹联结 .....	280
12.3 滚动轴承的代号及类型 选择 .....	253	13.2 轴毂联结 .....	292
12.4 滚动轴承的寿命计算和 静强度计算 .....	255	13.3 联轴器和离合器 .....	299
12.5 滚动轴承组合设计 .....	264	本章小结 .....	307
12.6 滑动轴承 .....	267	习题 .....	308
12.7 轴承的维护 .....	272	<b>参考文献</b> .....	310
本章小结 .....	278		



# 第1章

【 机械 设计 基础 】

## 绪 论

### 学习目标

1. 明确本课程的研究对象和内容；
2. 理解机器、机构的特征和组成原理,掌握机构和机器的区别；
3. 明确本课程的地位和学习任务,掌握正确的学习方法；
4. 了解机械零件的失效形式及设计准则、机械零件常用材料及其选用原则；
5. 了解机械摩擦、磨损的概念及常用润滑方式；
6. 了解机械零件设计的工艺性及“三化”意义；
7. 了解机械设计的基本要求和一般步骤。

#### 1.1 本课程的研究对象

机械设计基础课程的研究对象是机械。机械是机器和机构的总称。

##### 1.1.1 机械

机械是人类用以转换能量和借以减轻体力或脑力劳动、提高生产率的重要工具。当今社会高度的物质文明是以近代机械工业的飞速发展为基础建立起来的,机械工业是国民经济的支柱产业之一,也是社会生产力发展水平的重要标志。

人类在长期的生产实践中创造和发展了机械,如图 1.1 和图 1.2 所示。中国是世界上机械发展最早的国家之一,在机械方面有许多发明创造,在动力的利用和机械结构的设计上都有自己的特色。许多专用机械的设计和应用,如指南车、地动仪和计里鼓车等,均有独到之处。

现代机械广泛应用于社会生活的各个领域,如卫星、航天机器人等使我们探索太空的脚步更轻盈;汽车、飞机等拉近了我们的距离;精密的数控机床和测量装置使我们的产品形状更美、性能更好;电脑、打印机使我们工作的效率更高;洗衣机、缝纫机等把我们从事琐碎的家

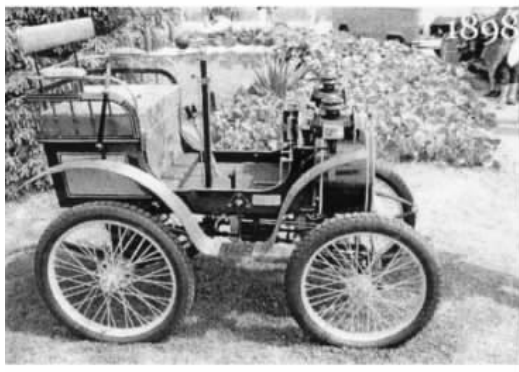


图 1.1 1898 年问世的“雷诺”牌汽车

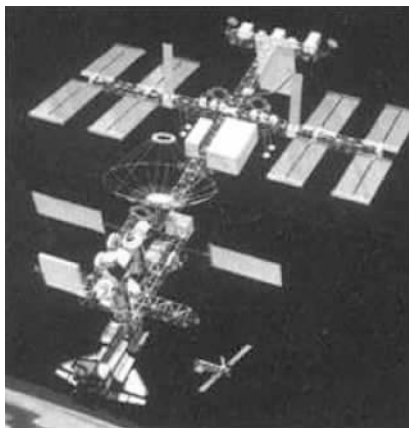


图 1.2 国际太空站

务劳动中解放出来……现代机械不仅是人体力的延伸,而且也是人脑力的延伸!科学与技术的发展或许是我们难以展望的,但人们在机械创新的漫漫征程中所积累的机械设计基础知识为我们提供了认识和改造客观世界的基础。

### 1.1.2 机器和机构

#### 1. 机器的组成与特征

机器的种类繁多,根据工作类型,一般可以将机器分为动力机器、工作机器和信息机器 3 大类。动力机器能将某种能量转换成机械能,或将机械能转换成其他形式的能量,如内燃机、电动机等;工作机器能完成有用的机械功或搬运物品,如金属切削机床、起重机、运输机和各种食品加工机械等;信息机器能完成信息的传递和变换,如数码相机、打印机、传真机等。

虽然种类繁多多样,但一台完整的机器都有图 1.3 所示的几个部分。

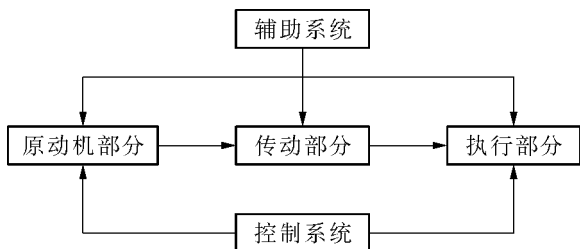


图 1.3 机器的组成

(1) 原动机部分 它是机器的动力来源,其作用是把其他形式的能转变为机械能以驱动机器运动并做功,如电动机、内燃机。内燃机主要用于移动机械,如汽车、农业机械等。大部分现代机器的原动机采用电动机。



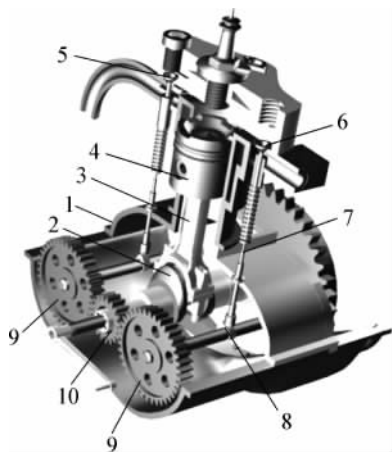
(2) 执行部分 它是直接完成机器预定功能的部分,其作用是利用机械变换或传递能量、物料、信号,如机床的主轴和刀架、起重机的吊钩、工业机器人的手臂等。

(3) 传动部分 它是将动力部分的运动和动力传递给执行部分的中间环节,其作用是把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数,如减速器将高速转动变为低速转动,螺旋机构将旋转运动转换成直线运动等。

(4) 控制系统与辅助系统 控制系统用来控制机械的其他部分,使操作者能随时实现或停止机器的各种预期功能,如机器的开停、运动速度和方向的改变及各执行装置间的动作协调等,显示和反映机器的运行位置和状态,控制机器正常运行和工作。这一部分通常包括机械和电子控制系统。辅助系统主要包括照明、润滑和冷却等装置。随着机电工业的高速发展,控制系统及辅助系统在机电一体化产品(加工中心、数控机床、工业机器人)中的地位越来越重要。

机器的组成不是一成不变的,有些简单机械不一定完整具有上述几部分,有时甚至只有动力部分和执行部分,如水泵、砂轮机。尽管各种机器的功用、性能、构造、工作原理各不相同,但所有机器都有一些共同的特征。

图 1.4 所示为内燃机结构示意图。燃气推动活塞在汽缸内作往复移动,通过连杆使曲轴作连续转动,曲轴上的齿轮 10 带动凸轮轴上的齿轮 9 使凸轮转动,控制气门启闭,可燃混合气定时进入汽缸,废气定时排出汽缸。这样通过燃气在汽缸内的进气—压缩—爆燃—排气过程,将燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能。



1—缸体 2—曲轴 3—连杆 4—活塞  
5—进气阀 6—排气阀 7—推杆 8—凸  
轮 9,10—齿轮

图 1.4 单缸内燃机

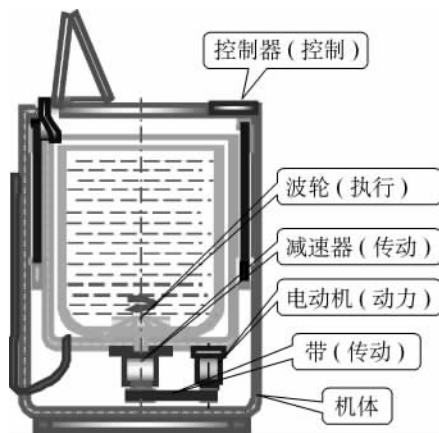


图 1.5 全自动洗衣机

图 1.5 所示为全自动洗衣机结构示意图。接通电源后,驱动电动机经带传动、减速器使波轮回转,搅动洗涤液实现洗涤。一旦设置好程序,全自动洗衣机就会自动完成洗涤、清洗、甩干等洗衣全过程。



上述实例中这类根据某种使用要求而设计的执行机械运动、用来变换或传递能量、物料与信息的装置就是机器。从其组成、运动与功能角度来看,所有的机器都具有以下 3 个特征:

- (1) 由许多实物组合而成;
- (2) 组成机器的各实物之间具有确定的相对运动;
- (3) 能够转换和传递能量、物料及信息或完成有用的机械功,代替或减轻人类的体力或脑力劳动。

同时具备上述 3 个特征的实物组合称为机器。

## 2. 机构

在图 1.4 所示的内燃机中,活塞、连杆、曲轴和缸体(连同机架)组合起来,将活塞的往复移动变成曲轴的连续转动;凸轮、进排气推杆和机架的组合,可将凸轮的连续转动变为进排气阀推杆的往复移动,且从动推杆在凸轮廓线的控制下实现预期的运动规律。在工程实际中,人们常常把这些由若干实物用一定方式联结,用来传递力、运动或转换运动形式的具有确定相对运动的系统称为机构。由此可以看出,机构只具有机器的前两个特征。

内燃机的主体部分是曲柄滑块机构,进排气控制部分是凸轮机构,传动部分是齿轮机构,整套内燃机由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等组合而成。一部机器往往是多种机构的组合体,但有的机器也可能只含有一个最简单的机构,例如人们所熟悉的发电机,就是一个只由定子和转子所组成的基本机构。从运动原理分析,机器的主体通常由一个或几个机构组成,而机构则是机器的运动部分,在机器中仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。

撇开机器在做功和转换能量方面所起的作用,仅从结构和运动的观点来看,机器与机构之间并无区别。因此,通常把机器和机构统称为机械。但机械与机器在用法上略有不同,“机器”常用来指一个具体的概念,如内燃机、压缩机、拖拉机等;而“机械”则常用在更广泛、更抽象的意义上,如机械化、机械工业、农业机械等。

机器的种类很多,但组成机器的机构并不太多。各种机器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。本书主要介绍常用机构。

### 1.1.3 构件和零件

机器中的各个机构是通过有序的运动和动力传递最终实现功能变换,完成预期的工作过程,所以从机械实现预期运动和功能的角度来看,机构由一些相对独立运动的单元体组成,这些作为一个整体参与机构运动的刚性单元(即运动单元)称为构件。从制造加工的角度来看,机构由许多不可分拆的独立加工的基本制造单元体组成,这些单元体称为零件,如单个的齿轮、凸轮等。通常为实现某一功能把一组零件组合起来而形成的独立装配体称为部件,如联轴器、减速器、滚动轴承等。

构件可以是单一的零件,也可是若干零件的刚性组合体。如图 1.4 所示内燃机中的齿轮,它一般是用平键与轴刚性地联结在一起,工作时,齿轮、键和轴之间无相对运动,成为一个运动的整体,也就是一个构件。因此,构件是机构中的运动单元,零件是制造单元。



零件和部件统称为零部件,机械中的零部件按其功能特点可分为两类,一类是通用零部件,指在各种机器中都被普遍使用的零件,如螺栓、齿轮、轴、滚动轴承等;一类是专用零部件,指仅在某些特定机器中才能用到的零件,如曲轴、吊钩、叶片等。

应该明确的是,机器是由机构和零部件组成的整体,机器的功能大小、性能好坏完全取决于所选择或设计的机构和零部件;组成机器的各个机构和零部件是互相关联、彼此影响的,它们必须受到全局的制约,才能共同作用实现机器预期的各项功能,所以在设计时,只有具备全局的设计观念,才能正确地设计或选择出恰当的机构和零部件,组成满足要求的机器。

## 1.2 课程的内容、地位、学习目的和方法

### 1.2.1 课程的内容

本课程将机械专业的两大专业基础课程,即机械原理和机械零件设计中的基本知识有机地组合在一起,综合应用各先修课程的基础理论知识,结合生产实际,介绍机械中的常用机构的组成原理、传动特点、运动特性、设计的基本理论和方法;同时研究一般工作条件下的常用参数范围内的通用零、部件的工作原理、结构特点、应用基本设计理论和方法,研究机械设计的一般原则和设计步骤及设计过程中如何运用标准、规范、手册、图册等相关技术资料,研究常用零部件的选用和维护等共性问题以及有关的国家标准和规范。

### 1.2.2 课程的地位

本课程是机械类、机电类和近机械类专业的一门必修技术基础课。本课程要综合运用从理论力学、材料力学、金属工艺学、公差配合、机械制图等课程所学到的知识,解决机械设计中的问题,比以往的先修课程更接近工程实际;另一方面,本课程又不同于机械制造技术、数控编程与操作等专业课程。它研究的是各种机械所具有的共性,是基础课和专业课之间的联系环节,起着承上启下的作用,在机械类和机电类专业的课程体系占有非常重要的位置。

### 1.2.3 学习本课程的目的和方法

#### 1. 学习目的

在科学技术飞速发展的今天,掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本设计技能不仅是机械设计专业技术人员,也是其他各类工程技术人员必须具备的基本素质,只是专业化程度不同而已。机械设计基础课程就是一门担负着培养学生具有一定机械基础知识和初步机械设计能力的专业技术基础课程。

通过本课程的学习,学生应达到以下基本要求:

- (1) 掌握常用机构的性能、工作原理、应用场合、选择原则、设计方法等基础知识;
- (2) 熟悉通用零部件的工作原理、结构特点,掌握正确选择常用机械零件的类型、代号



等基础知识；

(3) 学会使用手册和有关规范,初步具备设计机械传动装置和简单机械的能力；

(4) 能够分析和处理机械中常用机构和通用零部件经常发生的一般故障,获得常用机械设备正确使用与管理维护以及故障分析等方面的一些基本知识；

(5) 为学习有关专业机械设备和参与应用型设计工作奠定必要的基础。

在学习的过程中,努力提高分析能力和综合能力,特别要注重实践能力和创新能力的培养,加强技能训练,全面提高自身素质和综合职业技能,为今后从事机械技术工作打下基础。

## 2. 学习本课程的方法

要学好本课程就要多观察、多分析日常生活和工程实践中的机械实例,要理论联系实际,深入到工厂了解和熟悉生产一线常用零部件的材料、加工方法、选择原则及设备的维护方法等生产实践知识;同时要明确设计并非简单的计算;更要认清范例并非标准,由于工程实际中的问题非常复杂,很难用纯理论的方法来解决,因此,常常采用一些经验公式、数据以及简化计算的方法,这导致了设计计算结果的多样性,所以设计结果并不是唯一的。

## 1.3 机械零件的失效形式及设计准则

机械零件在预定的时间内或规定的条件下,丧失预定功能或预定功能指标降低到许用值以下的现象,称为失效。零件出现失效将直接影响机器的正常工作,但失效并不等于破坏。有些零件(如齿轮、轴承等)在已出现表面失效的情况下还能继续运转,但其工作不安全或虽仍能安全工作但工作状况却不能达到预定满意的指标。

零件常见的失效形式主要有断裂、表面破坏、过大的残余变形和破坏正常工作条件所引起的失效。失效形式与许多因素有关,具体取决于该零件的工作条件、材质、受载状态及所产生的应力性质等多种因素。即使是同一种零件,由于材质及工作情况不同,也可能产生不同的失效形式。例如轴工作时,由于受载情况不同,可能出现断裂、过大塑性变形、磨损等失效形式。为保证机械按预定的功能指标正常工作,就要求机械中的各零件都有一定对抗失效的能力,因此研究机械零件的失效及其产生的原因对机械零件设计具有重要意义。

### 1.3.1 机械零件的常见失效形式

#### 1. 断裂

断裂是严重的失效,有时会导致严重的人身和设备事故。机械零件的断裂主要有以下两种形式。

(1) 在工作载荷的作用下,特别是冲击载荷的作用下,一些零件会由于某一危险截面上的应力超过其强度极限而发生断裂,这种断裂称为整体断裂,一般多发生于脆性材料；

(2) 在循环交变应力的作用下,零件危险截面上的应力超过其疲劳强度而发生断裂,称为疲劳断裂。它是大多数机械零件的主要失效形式之一。



## 2. 过大的残余变形

零件承受载荷工作时,会发生弹性变形,如弯曲变形、扭转变形、拉伸变形等。在允许范围内的微小的弹性变形对机器的工作影响不大。但过量的弹性变形,会影响机器和零件的正常工作,甚至会造成较强的振动,致使零件损坏。如机床主轴的过大弯曲变形不仅产生振动,而且造成工件加工质量降低。

机械零件在外载荷作用下,受应力超过材料的屈服极限时,就会发生塑性变形,形状和尺寸产生永久的变化,破坏零件间的正常相对位置或配合关系,产生振动、噪音、承载能力下降,严重时,机械零件甚至机器不能正常工作。例如,齿轮的轮齿发生塑性变形后,将不能满足正确啮合条件和定传动比传动,在运转时将产生剧烈的振动和噪音;弹簧发生塑性变形后,直接导致功能丧失。故机械零件一般不允许发生塑性变形。

## 3. 表面破坏失效

机械零件的表面破坏失效是指磨损、腐蚀、胶合和接触疲劳等失效。腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象。腐蚀的结果是使金属表面产生锈蚀,零件表面遭到破坏。对于承受变应力的零件,还会引起腐蚀疲劳。处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀性介质相接触的金属零件均有可能发生腐蚀现象。

加工后的零件表面总有一定的粗糙度,摩擦表面受载时,实际上只有部分峰顶接触,接触处压强很高,当压力与滑动速度较大,并且润滑与冷却不良时,由摩擦所产生的热量不能及时散去,使接触表面的金属材料发生熔解,继而撕裂,严重时摩擦表面可能相互咬死,这种磨损形式称为胶合。

零件表面的接触疲劳是指受到接触变应力长期作用的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。

磨损是两个接触表面在作相对运动的过程中表面物质丧失或转移的现象。所有作相对运动的零件接触表面都有可能发生磨损。实际工程中,零件的磨损并不是简单的物理现象,而是非常复杂的物理—化学过程。影响磨损的因素有很多,如载荷的大小和性质、相对滑动速度的大小、润滑剂的化学性质和物理性质等,但又不能准确地估计出来。因此现在按磨损计算零件的方法只能是条件性的,而不可能十分精确,常用限制接触面之间的压强以及发热量等方法来减轻零件表面磨损。

## 4. 破坏正常工作条件引起的失效

有些机械零件必须在特定的工作条件下才能正常工作,一旦工作条件被破坏就会出现失效。例如,液体摩擦的滑动轴承只有存在完整的润滑油膜时才能正常地工作;只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时带传动才能正常地工作等。如果破坏了这些必备的条件,则将发生不同类型的失效。例如滑动轴承将发生过热、胶合、磨损等形式的失效;带传动将发生打滑的失效等。

### 1.3.2 机械零件的设计准则

在设计机器时应该满足的主要要求是:在满足预期功能的前提下,性能好、效率高、成本



低;在预定使用期限内,安全可靠、操作方便、维修简单以及造型美观等。对机械零件的主要要求是:要有足够的强度和刚度、有一定的耐磨性、无强烈振动以及具有耐热性等。如果上述某些要求得不到满足的话,机器就不能正常工作,称之为失效。对机械零件的这些要求通常被视为衡量机械零件工作能力的准则。为防止机械零件产生各种失效,使之能够安全、可靠的工作,在进行设计工作,首先拟定的以零件工作能力为计算依据的基本原则,称为零件的设计准则。

设计准则与零件的失效形式密切相关。同一种零件可能有多种不同的失效形式,对应于不同的失效形式就有其不同的设计准则。

### 1. 强度准则

强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面失效(磨料磨损、腐蚀磨损除外)的能力。强度是机械零件应满足的基本要求。强度准则针对的是零件的断裂失效(静应力作用产生的整体断裂和变应力作用产生的疲劳断裂)、塑性变形失效和点蚀失效。强度准则的设计表达式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} = [\sigma], \quad (1-1)$$

式中, $\sigma$ 为零件工作时危险截面或工作表面的工作应力; $S$ 为安全系数,以考虑各种不确定因素和分析不准确对强度的影响; $\sigma_{\text{lim}}$ 为极限应力,针对强度的4种失效其取值也不同:

- (1) 为防止整体断裂,极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$  为零件材料的强度极限  $\sigma_B$ , 即  $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_B$ ;
- (2) 为防止疲劳断裂,极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$  为零件材料的弯曲疲劳极限应力  $\sigma_{\text{Flim}}$ , 即  $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_{\text{Flim}}$ ;
- (3) 为防止塑性变形,极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$  为零件材料的屈服极限  $\sigma_S$ , 即  $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_S$ ;
- (4) 为防止疲劳点蚀,极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$  为零件材料的接触疲劳应力  $\sigma_{\text{Hlim}}$ , 即  $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_{\text{Hlim}}$ 。

### 2. 刚度准则

刚度是指零件受载后抵抗变形的能力,其设计准则为:零件在载荷作用下产生的弹性变形量应小于或等于机器工作性能所允许的极限,设计表达式为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi], \quad (1-2)$$

式中, $y$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  分别是零件工作时的挠度、偏转角和扭转角; $[y]$ ,  $[\theta]$ ,  $[\varphi]$  分别是挠度、偏转角和扭转角的许用值。

### 3. 耐磨性准则

耐磨性准则针对的是零件的表面失效,它要求零件的磨损量在预定期限内不超过允许值。腐蚀和磨损是影响零件耐磨性的两个主要因素。目前,关于材料耐腐蚀和耐磨损的计算尚无实用有效的方法。因此,在工程上对零件的耐磨性只能进行下述条件性计算:

$$p \leq [p], \quad (1-3)$$

$$pv \leq [pv], \quad (1-4)$$

式中, $p$  为工作表面上的压强; $[p]$  为材料的许用压强; $v$  为工作表面线速度; $[pv]$  为  $pv$  的许



用值。

#### 4. 振动稳定性准则

机器发展的趋势是提高工作速度和减轻结构重量,这样,就容易产生振动现象。振动准则针对的是高速机器中零件出现的振动和共振,它要求零件工作时的振动振幅应控制在允许的范围内,而且是稳定的,对于强迫振动应使零件的固有频率与激振源的频率错开,通常保证如下条件:

$$f_n < 0.85f \quad \text{或} \quad f_n > 1.15f, \quad (1-5)$$

式中,  $f$  为零件的固有频率;  $f_n$  为激振频率。

#### 5. 寿命准则

为了保证机器在一定寿命期限内正常工作,在设计时必然要对机械零件的寿命提出要求。机械零件寿命主要受腐蚀、磨损和疲劳的影响。由于磨损、疲劳和腐蚀是 3 个不同范畴的问题,所以它们各自发展过程的规律也就不同。对于腐蚀和磨损,目前还没有提出实用有效的寿命计算方法,因而也就无法列出其计算准则。对于疲劳寿命,通常是求出使用寿命时的疲劳极限作为计算的依据。需要说明的是,在机器寿命期限内,零件是可以更换的,即某些机械零件的寿命可以比机器的寿命短。

#### 6. 可靠性准则

可靠性是产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。产品的质量一般应包含性能指标和可靠性指标。机械产品的性能指标是指产品具有的技术指标,如机械的功率、转矩、工作力、工作速度等。如果只有性能指标,没有可靠性指标,产品的性能指标也得不到保证。例如,一架技术先进的飞机,如果可靠性不高,势必经常发生故障,影响正常飞行和增加维修费用,甚至可能造成严重的事故。

对于其他的失效形式,设计时也可以确定相应的设计准则,如精度准则、散热性准则等。机械零件可能有很多种失效形式,在设计零件时,只是针对零件可能发生的主要失效形式,选用一个或几个相应的判定条件,确定零件的形状和主要尺寸。

### 1.4 机械零件常用材料及其选用原则

工程中,机械零件所使用的材料多种多样,其中应用最多最广的是金属材料,尤其是黑色金属材料。此外各种新技术材料,如纳米材料等,在机械中的应用也将逐渐增多。

#### 1.4.1 机械零件常用材料

随着机械工业朝着高速、自动、精密方向迅速发展,机械零件的材料和热处理已是影响机械零件和机械设备质量的重要因素,想要设计出好的机械产品就必须重视零件材料和热处理的合理选择。机械零件的常用材料主要可分为 3 大类:金属材料、非金属材料 and 复合材料。