



普通高等教育机电类专业规划教材

机械设计基础

李文荣 主 编

刘力红 朱成位 副主编

JIXIE SHEJI
JICHU



化学工业出版社



普通高等教育机电类专业规划教材

机械设计基础

李文荣 主 编

刘力红 朱成位 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是依据教育部有关机械设计基础课程的教学基本要求(少学时)和作者多年来的教学实践经验,结合近几年来非机械类专业教育发展的实际需求编写而成的。

本书注重基本概念和基本原理的阐述,突出应用性教学。全书共分14章,包括总论、平面机构的运动简图及其自由度、平面连杆机构、凸轮机构及间歇运动机构、连接和螺旋传动、带传动和链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系和减速器、轴、轴承、联轴器和离合器、弹簧、机械的平衡与调速等内容。本书内容简明扼要、重点突出,各章末附有习题。

本书主要用作高等院校非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参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李文荣主编. —北京:化学工业出版社, 2011.1

普通高等教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-122-10166-2

I. 机… II. 李… III. 机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第249703号

责任编辑:高钰

文字编辑:张绪瑞

责任校对:战河红

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数371千字 2011年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 27.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据教育部有关机械设计基础课程的教学基本要求（少学时）和编者多年来的教学实践经验，结合当前教学改革发展的要求进行有机整合、精心编写而成的。

本书在内容的选排上，既充分吸收机械设计基础课程改革的成果，又渗透了编者长期教学积累的经验与体会。在编写过程中，力求突出实用性、实践性；考虑到非机类专业的性质和要求，尽可能省略繁琐的推导过程和缺少实用价值的内容；注重知识的更新，尽可能将国内外与机械设计相关的最新知识、成果或经验引入教材；在语言的阐述上，力求通俗易懂、深入浅出，以方便启发学生学习和更好地理解所学内容。

鉴于目前非机类专业多数没有开设“金属工艺学”课程，故在第一章总论中补充了机械零件的常用材料及热处理概念。

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40~80学时的要求编写的。考虑到有关专业进行本课程的课程设计的需要，在附录中增加了深沟球轴承及弹性柱销联轴器的国家标准等内容。在使用时，可根据专业要求和学时数进行取舍和调整，有的内容还可以自学，必要时也可在教学过程中作些补充。

本书采用国家法定计量单位和最新颁布的国家标准。

本书由李文荣担任主编，刘力红、朱成位任副主编。

安徽理工大学李文荣编写第一章、第二章、第四章至第六章；朱成位、汪选要编写第三章、第七章、第八章，刘力红、叶友东编写第九章至第十四章。全书由李文荣负责统稿和定稿。

本书承安徽理工大学张东速教授细心审阅，提出了许多宝贵意见，在此致以衷心感谢。此外，在编写过程中，安徽理工大学的叶友东和汪选要老师参与了整理和修改工作，对本书提出了许多有益的建议，在此一并致谢。

由于编者水平所限，加之时间仓促，疏漏和欠妥之处恳切希望使用本书的教师和学生批评指正。

编 者

2010年12月

目 录

第一章	总论	1
第一节	机器的组成	1
第二节	本课程的内容、性质与任务及学习方法	5
第三节	机械设计的基本要求和一般程序	6
第四节	机械零件的强度	7
第五节	机械制造常用材料和钢的热处理	9
	习题	13
第二章	平面机构的运动简图及其自由度	14
第一节	运动副及其分类	14
第二节	平面机构运动简图	16
第三节	平面机构的自由度	20
	习题	24
第三章	平面连杆机构	26
第一节	铰链四杆机构的基本形式及其应用	26
第二节	铰链四杆机构的基本特性	28
第三节	铰链四杆机构的演化形式	32
第四节	平面四杆机构的设计	35
	习题	38
第四章	凸轮机构及间歇运动机构	40
第一节	凸轮机构的应用和分类	40
第二节	从动件的常用运动规律	42
第三节	图解法设计凸轮轮廓	46
第四节	凸轮机构设计中应注意的问题	49
第五节	解析法设计凸轮轮廓	51
第六节	间歇运动机构	53
	习题	57
第五章	连接和螺旋传动	59
第一节	螺纹的主要参数和常用类型	59
第二节	螺旋副的受力分析、效率和自锁	62
第三节	螺纹连接的类型和螺纹连接件	64
第四节	螺纹连接的预紧	66
第五节	螺栓连接的强度计算	67
第六节	螺纹连接件的材料及许用应力	70
第七节	设计螺纹连接时应注意的问题	72
第八节	螺旋传动	74

第九节	键连接和花键连接	76
第十节	其他常用连接	80
习题	.....	81
第六章	带传动和链传动	83
第一节	带传动的类型和应用	83
第二节	带传动工作情况的分析	87
第三节	普通 V 带传动的设计计算	90
第四节	V 带轮的材料和结构	95
第五节	V 带传动的张紧、使用和维护	97
第六节	链传动的特点和应用	100
第七节	链条和链轮	100
第八节	链传动的运动特性	104
第九节	滚子链传动的设计计算	105
第十节	链传动的正确使用和维护	109
习题	.....	111
第七章	齿轮传动	113
第一节	齿轮传动的特点和类型	113
第二节	渐开线与渐开线齿廓	115
第三节	渐开线标准直齿圆柱齿轮的各部分名称、符号和几何尺寸计算	117
第四节	渐开线标准齿轮传动	119
第五节	渐开线齿轮的切齿原理	121
第六节	轮齿的主要失效形式和齿轮材料	124
第七节	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	126
第八节	斜齿圆柱齿轮传动	131
第九节	直齿圆锥齿轮传动	136
第十节	齿轮的结构	139
习题	.....	140
第八章	蜗杆传动	142
第一节	概述	142
第二节	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	143
第三节	蜗杆传动的承载能力	146
习题	.....	149
第九章	轮系和减速器	150
第一节	轮系的功用和分类	150
第二节	定轴轮系及其传动比	152
第三节	周转轮系及其传动比	154
第四节	复合轮系及其传动比	157
第五节	减速器	160
习题	.....	162
第十章	轴	165
第一节	轴的分类和材料	165

第二节	轴的结构	166
第三节	轴的计算	170
习题	.....	174
第十一章	轴承	175
第一节	滚动轴承的类型和代号	175
第二节	滚动轴承的寿命和选择计算	180
第三节	滚动轴承的组合设计	183
第四节	滑动轴承的类型、结构和材料	186
第五节	非液体摩擦滑动轴承的计算	190
第六节	轴承的润滑、润滑装置和密封装置	191
习题	.....	194
第十二章	联轴器和离合器	195
第一节	概述	195
第二节	联轴器	196
第三节	离合器	200
习题	.....	202
第十三章	弹簧	203
第一节	概述	203
第二节	弹簧材料和制造	204
第三节	圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算	205
习题	.....	210
第十四章	机械的平衡与调速	211
第一节	回转件的平衡	211
第二节	机械速度波动的调节	215
习题	.....	218
附录	.....	219
参考文献	.....	222

第一章 总 论

本章主要是阐述机械设计方面的基本知识和一些共性问题。本章扼要地介绍了机械设计的基本要求、机械设计的内容与过程、机械零件的强度及机械制造常用的材料及热处理方法等。

本章学习的基本要求

本章学习的内容为一些机械设计方面的基本知识和共性问题。由于学生还没有接触到各个具体零件的设计内容,所以不太容易较为深刻地掌握本章的内容。因此,初学时容易感到抽象,不知如何去应用,这里只要求作大体上了解,在以后的学习过程,可不断地结合各章的具体分析来逐步加深理解。

学习中应注意以下问题

- (1) 学习本课程的必要性和意义是什么?
- (2) 机器和机构有哪些相同和不同之处?
- (3) 机构、构件和零件有何区别?
- (4) 机器的基本组成要素是什么?
- (5) 机械设计时应满足哪些基本要求?

第一节 机器的组成

一、基本术语

1. 机器

人们在日常生活以及工业、农业和国防等各项生产活动中,都会接触到各种各样的机器,如汽车、缝纫机、内燃机、机床、拖拉机、收割机等。

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。

机器 { 原动机——将非机械能变换成机械能的机器。
工作机——用来改变被加工物料的位置、形状、性能、尺寸和状态的机器。

原动机实例:将热能转变机械能的内燃机、将电能转变为机械能的电动机等。

工作机实例:用来运输和传送物料的起重机、汽车等;用来改变物料外形、尺寸的金属切削机床;用来获得或变换信息的录音机、计算机等。

图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机。它由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞 2 在气缸体 1 中作往复移动,通过连杆 5 使曲轴 6 作连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,在曲轴和凸轮轴上安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,进、排气阀有规律地启闭,就把燃气的热能转换为曲柄转动的机械能。

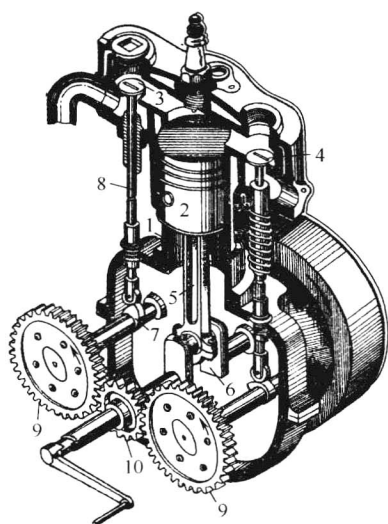


图 1-1 内燃机

1—气缸体；2—活塞；3—进气阀；4—排气阀；5—连杆； 1—电动机；2—齿轮；3—曲柄（和大齿轮固定在一起）；4、6—滑块；5—导杆；7—刨头；8—工作台；9—丝杠；10—床身

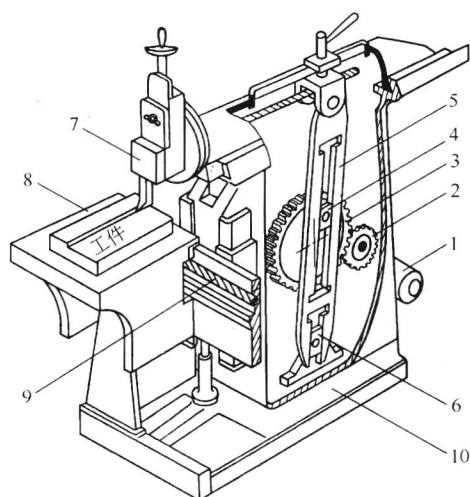


图 1-2 牛头刨床

图 1-2 所示的牛头刨床由曲柄 3（和大齿轮固定在一起）、滑块 4 和 6、导杆 5、刨头 7、床身 10、小齿轮 2、电动机 1、工作台 8、丝杠 9 以及其他一些辅助部分（图中未画出）组成。当电动机 1 经带传动并通过齿轮 2 使曲柄 3 回转时，导杆 5 作平面复杂运动。刨头 7 便带着刨刀作往复直线移动，从而产生刨削动作。同时，动力还通过其他辅助部分带动丝杠 9 作间歇回转，使工作台 8 作横向移动，从而实现工件的进给动作。

机器不仅可以代替人的体力劳动，而且还可以代替人的脑力劳动。例如计算机的出现和完善，在数学运算、工程管理、生产过程的控制等方面都大大减轻了人的脑力劳动。

图 1-3 所示为一工业机器人，它由铰接臂机械手 1、计算机控制台 2、液压装置 3 和电力装置 4 组成。当机械手的大臂、小臂和手按指令有规律地运动时，手端夹持器（图中未示出）便将物料搬运到预定的位置。在该机器中，机械手是传递运动和执行任务的装置，是机器的主体部分；电力装置和液压装置提供动力；计算机控制台实施控制。

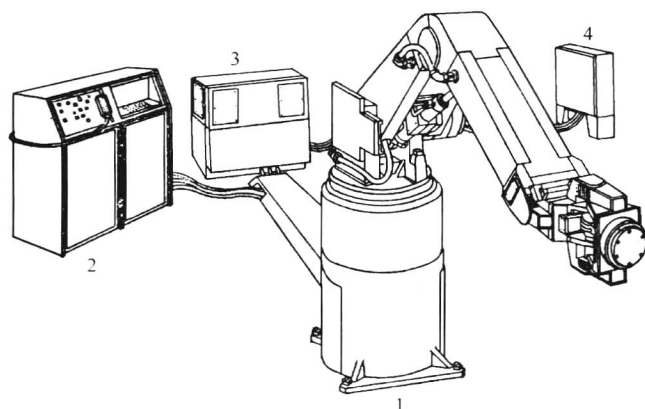


图 1-3 工业机器人

1—铰接臂机械手；2—计算机控制台；3—液压装置；4—电力装置

由以上三个例子可见，机器具有三个共同的特征：

- ① 都是一种人为的实物组合体；
- ② 各组成部分之间具有确定的相对运动；
- ③ 能够完成有用的机械功或实现能量的转换。

从机器的组成来看，机器是由各种机构组合而成的。

2. 机构

机构是由构件以可动连接方式连接起来的、用来传递运动和力的构件系统。为了传递运动和力，机构各构件间应具有确定的相对运动。

一部机器包含一个或若干个机构。例如鼓风机、电动机只包含一个机构，而图 1-1 所示的内燃机则包含了曲柄滑块机构 1—2—5—6、齿轮机构 1—9—10 及凸轮机构 1—7—8 等若干个机构。从运动的角度来看，机构也是一种执行机械运动的装置。机器中常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。

机器与机构的区别：① 机器是由机构组成的；② 机构是一个构件系统，而机器除构件系统之外，还包含电气、液压等其他装置；③ 机构只用于传递运动和力，而机器除传递运动和力之外，还具有变换或传递能量、物料、信息的功能；④ 机器的种类繁多，但机构的种类不多，无非是齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等，因此，研究机构具有普遍的意义。

3. 机械

机械是机器和机构的总称。

若撇开机器在做功和能量转换方面所起的作用，仅从结构和运动的观点来看，机器和机构二者之间没有区别，因此，习惯上用“机械”一词作为它们的总称。

4. 构件

机构中作独立运动的单元称为构件。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。如凸轮、齿轮、轴等以及图 1-4 所示内燃机的曲轴，都是单一的整体构件，而图 1-5(a) 所示的连杆，因为结构、工艺等方面的原因，是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3~5、螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件组成的刚性结构 [图 1-5(b)]。这些零件之间没有相对运动，构成一个整体而运动，成为一个构件。在这里，组成这个构件的连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓、螺母等，称为零件。

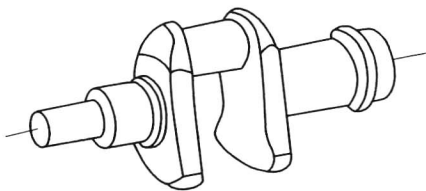


图 1-4 曲轴

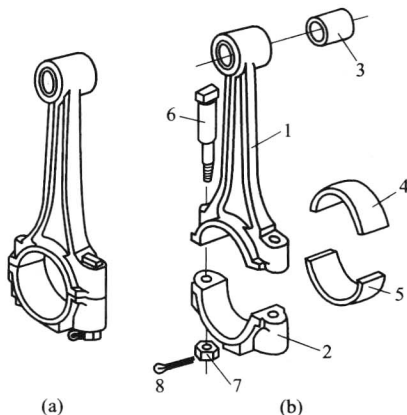


图 1-5 连杆

1—连杆体；2—连杆盖；3~5—轴瓦；
6—螺栓；7—螺母；8—开口销

5. 零件

机械中不可拆分的制造单元称为零件，它是组成机器或机构的基本单元。

构件与零件的区别在于：构件是运动单元，零件是制造单元。零件按其用途不同分为：

- ① 通用零件，在各种机器中都经常使用的零件，如齿轮、轴、螺钉、键等；
- ② 专用零件，只在某些特定机械中使用的零件，如曲轴、连杆、汽轮机叶片、飞机螺旋桨等。

6. 部件

部件是由若干零件装配在一起协同工作的组合体，是一个装配的单元。如滚动轴承、联轴器等。但在一般的论述中，对零件和部件往往不作严格区分。

二、机器的组成

机器的种类繁多，其结构形式和用途各不相同。然而，一部完整的机器就其基本组成来讲，一般都有下面三个部分（图 1-6）。

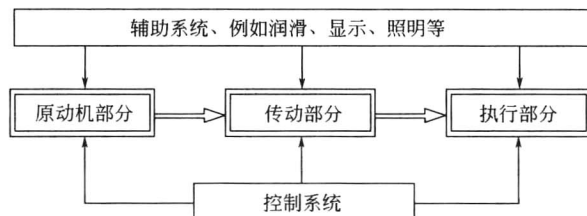


图 1-6 机器的组成

1. 原动机部分

它是驱动整部机器完成预定功能的动力源。各种机器普遍应用的动力源有电动机、内燃机等。一部机器通常只用一个原动机，对于复杂的机器也可能有两个或几个原动机。每一个原动机的运动和动力参数都是有限的，而且也是确定的。

2. 执行部分

它是机器中直接完成工作任务的组成部分，又称工作部分，如起重机的吊钩、车床的刀架、磨床的砂轮、轧钢机的压辊等。其运动形式依据机器的用途不同，可能是直线运动、回转运动或间歇运动等，而且运动和动力参数也是不尽相同的。

3. 传动部分

它是机器中介于原动机和执行部分之间用来完成运动形式、运动和动力参数转换的组成部分。利用它可以减速、增速、调速（如机床变速箱）、改变转矩及运动形式等，从而满足执行部分的各种要求。例如汽车的变速箱、机床的主轴箱、起重机的减速器等。

在图 1-2 所示的牛头刨床中，原动机部分是电动机 1，执行部分是刨头 7、介于上述两部分之间的带传动（未画出）、齿轮传动 2、3 和由曲柄 3（和大齿轮固定在一起）、滑块 4 和 6、导杆 5 及床身 10 组成的导杆机构等是传动部分，它有如下作用：

- ① 改变运动形式 电动机输出回转运动，而刨刀作往复直线运动。
- ② 改变速度大小和方向 将电动机输入的高转速，转变成刨刀的慢速往复移动。
- ③ 分配运动和动力 把一个电动机的动力和运动分别输送给牛头刨床的刨刀和工作台。

简单的机器只由上述三个基本部分组成。对于较复杂的机器，则可能需在上述三个基本组成部分之外，另加控制系统、辅助系统（润滑、显示、照明）等，如图 1-6 所示。

一台现代化的机器中，虽然包含有机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、信号、控

制、检测等系统，但机器的主体是它的机械系统。无论分解哪一台机器，它的机械系统总是由一些机构组成的，每个机构又是由许多零件组成。所以，**机器的基本组成要素是机械零件**，如图 1-7 所示。

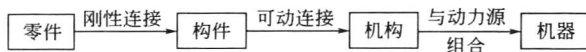


图 1-7 机器的基本组成要素

第二节 本课程的内容、性质与任务及学习方法

一、本课程的内容、性质与任务

随着机械化生产规模的日益扩大，机械化程度的日益提高，除机械制造部门外，在动力、采矿、冶金、石油、化工、轻纺、食品等许多生产部门工作的工程技术人员，都会经常接触到各种类型的通用机械和专用机械，他们必须对机械具备一定的基础知识。因此，机械设计基础如同机械制图、电工学、计算机应用技术一样，是高等学校工科专业的一门重要的技术基础课。

机械设计基础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。

本课程主要阐述一般机械中的常用机构和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，以及一些标准零部件的选用原则和方法，同时扼要地介绍与本课程有关的国家标准和规范。

机械设计是多学科理论和实际知识的综合运用。本课程的主要先修课程有机械制图、工程力学（或理论力学和材料力学）、金属工艺学等。通过本课程的学习，可使学生获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识；并培养学生初步具有运用有关设计手册、图册等技术资料，设计简单的机械传动装置的能力。

二、本课程的特点和学习方法

本课程由于研究对象和性质上的特点，决定了教材内容本身的繁杂性。因此，在学习方法上必须有所转变，应注意以下几点。

(1) 系统性不强 不同部分的研究对象所涉及的理论基础不同，且相互之间的联系不大。但是，最终的目的只有一个，即分析、设计机构和机器。因此，要熟悉和掌握机构运动简图的绘制方法，习惯于用它来认识机器和机构；还要熟悉和掌握各种典型机构的运动特点、分析方法和设计方法。

(2) 公式较多 由于机械零件的设计包括多方面的内容，其中工作能力的计算涉及强度、刚度、寿命、热平衡等诸多方面，这就形成了“公式多”的特点。因此，学习时，要搞清公式的性质、使用的条件、符号意义及代入单位、计算结果的单位等，然后才能正确应用它们。尽管公式很多，但大多数公式只要求能正确使用而不必硬记。

(3) 结果多样性 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，因此常采用一些经验公式及数据、假定及简化计算（条件性计算）等，这导致了设计计算结果的多样性，即没有唯一的答案。

本课程具有较强的理论性、综合性和实践性，善于观察、勤于思考，积极主动地联系实际和勇于实践，是学好本门课程的关键和要领。学习中，要注意抓住各部分内容的特性以及

它们之间的共性，从而可收到举一反三的效果。

第三节 机械设计的基本要求和一般程序

机械设计可以是应用新技术、新方法开发研制能实现预期功能的新机械，也可以是在原有机械的基础上重新设计或局部改造，以改进原有机械的性能。设计质量的高低直接关系到机械产品的性能、价格及经济效益。

一、机械设计的基本要求

机械设计应满足的基本要求是：在实现预期功能的前提下，性能好、效率高、成本低，在规定的工作期限内安全可靠；而且还应考虑到操作方便、维护简单、造型美观、便于运输等问题。此外，在机械设计过程中还应尽量采用标准的零部件，以简化设计工作，提高产品质量。

二、机械零件设计的基本要求

机械零件既要工作可靠又要成本低廉。

设计机械零件时应正确选择材料，合理设计零件的结构使其具有良好的工艺性，以降低制造成本。机械零件由于某种原因不能正常工作时，称为失效。在不发生失效的条件下，零件所能安全工作的限度，称为工作能力，通常此限度是对载荷而言，所以习惯上又称为承载能力。为了使机械零件在规定的使用条件下能可靠地工作而不发生失效，设计机械零件时应满足的基本要求如下。

1. 强度

强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂或塑性变形的能力。具有足够的强度是保证零件工作能力必须满足的最基本要求。零件的强度不够时，不仅会使机械不能正常工作，还可能导致严重事故。

2. 刚度

刚度是指在一定载荷作用下零件抵抗弹性变形的能力。当零件的刚度不足时，将影响机械的正常工作。例如机床的主轴和螺杆，若弹性变形过大就会影响加工精度。对于这类零件应保证具有足够的刚度。

3. 寿命

有的零件在工作初期虽然能够满足各种要求，但在工作一定时间后，却可能由于某种（或某些）原因而失效。寿命是指零件正常工作延续的时间。

大部分机械零件均在变应力条件下工作，因而疲劳破坏是引起零件失效的主要原因。影响零件材料疲劳强度的主要因素是：应力集中、零件尺寸大小、零件表面品质及环境状况。在设计零件时，应努力从这几方面采取措施，以提高零件抵抗疲劳破坏的能力。

4. 结构工艺性要求

指零件的结构在满足使用要求的前提下，能够用很低的成本和最容易的加工方法，把零件制造出来、装配起来。凡符合上述要求的零件结构被认为具有良好的结构工艺性。

5. 经济性要求

零件的经济性表现在零件本身的生产成本上。设计零件时，应力求设计出耗费最少的零件。为此，要注意以下几点：①合理选择材料，降低材料费用；②保证良好的结构工艺性，减少加工及装配费用；③尽可能采用标准化的零部件来取代特殊加工的零部件，简化设计过

程，以降低成本。

6. 质量小的要求

对绝大多数机械零件来说，都应当力求减小其质量。减小质量有两方面的好处：一方面可以节约材料；另一方面，对于运动零件来说，可以减小惯性，改善机器的动力性能，减小作用于构件上的惯性载荷。

三、机械设计的一般程序

一部机器的诞生，从感到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始，经过设计、制造、鉴定直到产品定型，是一个复杂细致的过程。机械设计的一般程序如表 1-1 所示。

表 1-1 机械设计的一般程序

阶 段	工 作 内 容
确定设计任务	根据市场的需要,确定机械的功能和技术经济指标,研究实现的可行性,编制设计任务书
方案设计	根据设计任务书要求,拟订多种设计方案,经过评价比较,选取最佳方案
技术设计	在方案设计基础上,进行分析计算,确定机械各部分的结构和尺寸,进行技术经济评价;完成制造所需的装配图、零件工作图和技术文件
样机试制	进行样机试制,对样机进行试验、测定,从技术、经济上作出评价,提出改进措施

应当指出：机械设计各个阶段的工作内容是相互联系的，常需交叉进行，整个设计过程是一个不断修改、完善的过程。即使所设计的机械产品正式投产以后，还应结合制造和使用中出现的问题，不断加以改进。

第四节 机械零件的强度

强度是保证机械零件工作能力的最基本要求。设计机械零件时必须满足强度条件，即

$$\sigma \leq [\sigma] \tag{1-1}$$

式中 σ ——零件危险剖面上的最大应力；

$[\sigma]$ ——零件材料的许用应力。

进行强度计算时，必须判明机械零件所承受的载荷和应力的性质，并合理选定许用应力。

一、载荷和应力的类型

零件所受的载荷分为如下两种。

静载荷：不随时间变化或变化很小的载荷。

变载荷：随时间而变化的载荷。

在载荷作用下零件剖面内产生的应力可分为如下两种。

静应力：不随时间变化或变化很小的应力，如图 1-8(a) 所示。

变应力：随时间而变化的应力。具有周期性的变应力称为循环变应力。

图 1-8(b)~(d) 所示为循环变应力的三种基本类型。图 1-8(d) 所示为一般非对称循环变应力，图中 T 为应力循环周期，由图可知

$$\text{平均应力} \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \tag{1-2}$$

$$\text{应力幅} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \tag{1-3}$$

应力循环中的最大应力与最小应力之比称为变应力的循环特性 r ，即

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1-4)$$

循环特性 r 表示循环变应力的变化情况和不对称程度。

对称循环变应力： $\sigma_m = 0$ ， $\sigma_a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ ， $r = -1$ ，如图 1-8(b) 所示。例如在转动轴上作用一径向静载荷时，轴上的弯曲应力为对称循环变应力。

脉动循环变应力： $\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\max}/2$ ， $\sigma_{\min} = 0$ ， $r = 0$ ，如图 1-8(c) 所示。例如单向传动的齿轮轮齿上的弯曲应力为脉动循环变应力。

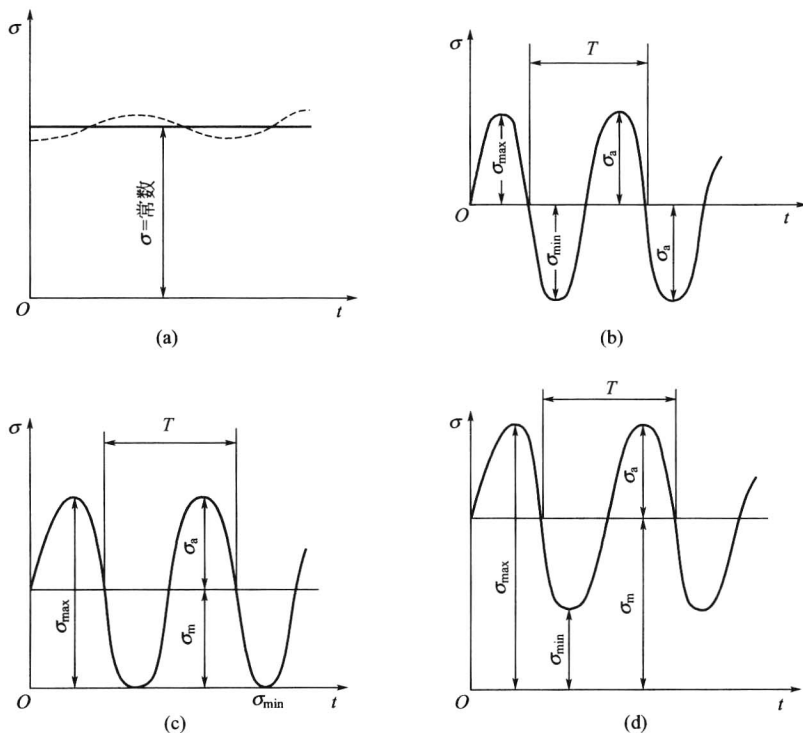


图 1-8 应力的类型

非对称循环变应力： $|\sigma_{\max}| \neq |\sigma_{\min}|$ ， $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = -1 \sim +1$ 。例如转轴上同时作用径向静载荷和轴向静载荷时，轴上的应力为非对称循环变应力。

静应力： $\sigma_m = \sigma_{\max} = \sigma_{\min}$ ， $\sigma_a = 0$ ， $r = +1$ 。静应力可看作变应力的特例。

上述循环变应力的五个参数 ($\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 、 σ_m 、 σ_a 和 r)，已知其中两个参数，即可求出其余参数。

以上仅谈及正应力 σ ，至于切应力 τ ，其情况类似。

二、许用应力和安全系数

许用应力是零件设计的最大条件应力。合理地确定许用应力可以使零件既有足够的强度和寿命，又不至于结构尺寸过大。许用应力取决于零件材料的极限应力和安全系数，由式 (1-5) 确定

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S} \quad (1-5)$$

式中 $\sigma_{\lim}$ ——材料的极限应力；

S ——安全系数。

1. 极限应力

极限应力的确定与应力的类型有关。各种应力状态下极限应力的确定见表 1-2。

表 1-2 极限应力的确定

应力类型	零件的损坏形式	极限应力的确定
静应力	断裂	脆性材料制造的零件:取 $\sigma_{lim} = \sigma_b$
	塑性变形	塑性材料制造的零件:取 $\sigma_{lim} = \sigma_s$
变应力	疲劳断裂	在对称循环应力作用下:取 $\sigma_{lim} = \sigma_{-1}$
		在脉动循环应力作用下:取 $\sigma_{lim} = \sigma_0$

2. 安全系数

安全系数是考虑到材料力学性能的离散性、计算方法的准确性、零件的重要性等多种不确定因素的影响而确定的。安全系数取值过大,将使零件结构笨重,浪费材料;若安全系数取值过小,零件可能容易损坏而不安全。一般应在保证安全可靠的前提下,尽量选用较小的安全系数。

实际工作中,安全系数 S 可用查表法和部分系数法来确定。

(1) 查表法 在不同的工业部门,根据长期生产实践经验和试验研究,常制订有适合本部门的安全系数(或许用应力)规范(图表)。这种规范虽然各有其适用范围,但具有数据具体和使用方便等优点。本书主要采用查表法。

(2) 部分系数法 一般在无可靠资料直接确定安全系数的情况下,用一系列系数分别考虑各种因素的影响,然后取其乘积来综合表示总的安全系数。例如 S_1 考虑零件的重要性, S_2 考虑零件材料的性能和材质的不均匀性, S_3 考虑计算方法的准确性等,则总的安全系数 $S = S_1 S_2 S_3$ 。各个系数的具体数值可参阅有关资料。

第五节 机械制造常用材料和钢的热处理

一、机械制造常用材料

机械制造常用的材料主要是钢和铸铁,其次是有色金属合金和非金属材料。

1. 钢

含碳量小于 2% 的铁碳合金称为钢。钢的强度高,具有良好的塑性和韧性,并可通过热处理方法改善其力学性能,因而在机械制造中获得广泛应用。

钢按用途不同,可分为结构钢、工具钢和特种钢。结构钢用于制造机械零件和工程结构的构件;工具钢用于制造量具、刀具和模具;特种钢是指具有特殊的物理、化学性能的钢,如不锈钢、耐热钢等。

钢按化学成分不同,可分为碳素钢和合金钢两类。

碳素钢的性能主要取决于含碳量。含碳量越高,钢的强度越高,塑性越低。通常,含碳量 $\leq 0.25\%$ 的钢称为低碳钢。这类钢强度极限和屈服极限低,而塑性好,适用于冲压、焊接加工。含碳量为 $0.25\% \sim 0.6\%$ 的钢称为中碳钢。中碳钢既有较高的强度,又有一定的塑性和韧性,综合力学性能较好,常用来制造螺栓、螺母、齿轮、键、轴等零件。含碳量大于 0.6% 的钢称为高碳钢,它具有很高的强度和弹性,是弹簧、钢丝绳等零件的

常用材料。

为了改善钢的性能，特意在钢中加入一种或几种合金元素而形成的钢称为合金钢。目前常用的合金元素有锰（Mn）、硅（Si）、铬（Cr）、镍（Ni）、钼（Mo）、钨（W）、钒（V）、铝（Al）、钛（Ti）、硼（B）等。不同的合金元素，使钢获得不同的性能。如铬能提高硬度、高温强度和耐腐蚀性；锰能提高强度、韧性和耐磨性等。由于合金钢价格较贵，通常只用于制造重要的和具有特殊性能要求的机械零件。

钢的品种繁多，下面仅简略介绍机械常用钢种。

（1）碳素结构钢 碳素结构钢的牌号由 Q（钢材屈服极限的“屈”字汉语拼音字首）、屈服极限、质量等级符号、脱氧方法符号四部分按顺序组成。其中质量等级符号分为 A、B、C、D 四级；脱氧方法符号分别用“F”表示沸腾钢，“b”表示半镇静钢，“Z”表示“镇静钢”，“TZ”表示特殊镇静钢，若为“Z”或“TZ”可以省略。例如，Q235A 表示屈服极限 $\sigma_s \geq 235\text{MPa}$ 、镇静钢、A 级质量的碳素结构钢。碳素结构钢常用于制造一般要求的机械零件。

（2）优质碳素结构钢 优质碳素结构钢中有害杂质硫、磷的含量较少，质量较高，可用于制造较重要的机械零件，是机械制造中广泛采用的钢种。优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，代表钢中平均含碳量的万分数。例如，45 钢表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构。对于含锰量较高的优质碳素结构钢，则在两位数字后面加注符号“Mn”，如 45Mn 等。

（3）合金结构钢 合金结构钢牌号采用“数字+化学元素+数字”的表示方法：前面的数字代表钢中平均含碳量，以万分之几的数字表示；化学元素用化学符号表示；后面的数字代表该合金元素的平均含量。并规定，合金元素平均含量小于 1.5% 时，省略不注，当平均含量等于或大于 1.5%、2.5%… 时，则相应以 2、3… 表示。例如 40Cr 表示平均含碳量为 0.40%、平均含铬量小于 1.5% 的铬钢。合金钢常用于制造重要的或有特殊性能要求的机械零件。

（4）铸钢 对于有些形状复杂、尺寸较大的零件，往往受到锻压设备的限制，难以用锻压方法成形，若用铸铁制造又不能满足力学性能要求，可采用铸钢制造。铸钢的牌号由“ZG”（“铸钢”两字的汉语拼音字首）和两组数字组成。前一组数字表示屈服极限 σ_s ，后一组数字表示拉伸强度极限 σ_b 。例如，ZG230-450 表示 $\sigma_s \geq 230\text{MPa}$ 、 $\sigma_b \geq 450\text{MPa}$ 的一般工程用铸造碳钢。

2. 铸铁

含碳量大于 2% 的铁碳合金称为铸铁。铸铁是脆性材料，其抗拉强度、塑性和韧性较差，无法进行锻造，但它的抗压强度较高，具有良好的铸造性、减振性和耐磨性，而且价格低廉，常用于铸造承受压力的基础零件或各种形状复杂的零件。常用铸铁有灰铸铁和球墨铸铁。

（1）灰铸铁 灰铸铁中的碳以片状石墨形式存在，因断口呈灰色而得名。灰铸铁是应用最广的一种铸铁，常用于制造带轮、轻载低速大齿轮、机座和箱体等。灰铸铁的牌号由“HT”（“灰铁”两字的汉语拼音字首）和一组数字组成，数字表示拉伸强度极限 σ_b 。例如，HT200 表示 $\sigma_b \geq 200\text{MPa}$ 的灰铸铁。

（2）球墨铸铁 球墨铸铁中的碳主要以球状石墨形式存在。石墨呈球状，对铸铁基本组织的割裂作用较片状大为减轻，从而提高了铸铁的强度，并具有较好的塑性。球墨铸铁常被用于代替铸钢和锻钢，制造某些机械零件，如曲轴、连杆和凸轮轴等。球墨铸铁的牌号由