

普通高等教育“十三五”规划教材

# 机械设计

Machine Design

马晓丽 黄云峰 主编

M

普通高等教育“十三五”规划教材

# 机 械 设 计

主 编 马晓丽 黄云峰  
副主编 肖俊建 王素芬  
参 编 盛旖旎 陈晓英 谢长雄  
主 审 顾大强



机械工业出版社

本教材是在学科建设、专业建设和微课等教学改革基础上,按照教育部机械基础教学指导委员会最新制定的“机械设计课程教学基本要求”编写的。本教材以机械零部件工作能力设计和结构设计为主要内容,适当地扩展近年来教学改革和学科发展新动向的内容,增加了一些有助于应用型大学的学生学习机械设计的设计实例以及各章节的习题等。本教材有助于学生进行课程设计、课外创新设计及教师进行课堂教学改革,旨在培养和提高学生的机械设计能力和创新能力。

本教材共十六章,包括:绪论,机械零件的强度,摩擦、磨损及润滑,带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动,螺纹联接及螺旋传动,铆接、焊接及胶接,轴毂联接及联轴器,轴,滚动轴承,滑动轴承,弹簧,机械产品方案设计和机械传动系统设计。

本教材用于课堂教学的学时为 56 学时。

本教材也可供机械工程领域的科研、设计人员及研究生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计/马晓丽,黄云峰主编. —北京:机械工业出版社,2018.5  
普通高等教育“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-111-58720-0

I. ①机… II. ①马… ②黄… 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 (2017) 第 306935 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 焯 责任编辑:余 焯 张亚捷 任正一

责任校对:张晓蓉 封面设计:张 静

责任印制:李 昂

河北鹏盛贤印刷有限公司印刷

2018 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·516 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58720-0

定价:49.80 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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

本教材是在学科建设、专业建设和微课等教学改革基础上，按照教育部机械基础教学指导委员会最新制定的“机械设计课程教学基本要求”编写的，本教材以机械零部件工作能力设计和结构设计为主要内容，适当地扩展近年来教学改革和学科发展新动向的内容，增加了一些有助于应用型大学的学生学习机械设计的设计实例以及各章节的习题等。本教材有助于学生进行课程设计、课外创新设计及教师进行课堂教学改革，旨在培养和提高学生的机械设计能力和创新能力。

本教材主要介绍机械设计常用的基本理论和通用机械零部件常用参数范围内的一般设计方法，旨在使学生掌握通用机械零部件的设计原理、方法和机械设计的一般规律，具有综合运用所学知识设计和开发简单机械的能力，具有运用标准、规范、手册等查阅技术资料的能力。在部分章节中增加了一定难度的设计计算、受力和结构分析方面的例题，编排了一些适于教师组织微课教学的内容，在主要章节中增加了习题参考答案等。本教材的最后两章为选修内容，包括机械产品方案设计和机械传动系统设计，以帮助学生进行课程设计的实践以及辅助指导学生参加国家级、省级大学生机械设计等学科竞赛。

参加本教材编写的人员及分工是：王素芬编写第一章~第三章，肖俊建编写第四章和第五章，马晓丽编写第六章~第九章，谢长雄编写第十章，陈晓英编写第十一章，黄云峰编写第十二章~第十四章，盛旖旎编写第十五章和第十六章。本教材由马晓丽、黄云峰任主编，浙江大学的顾大强任主审。马晓丽、肖俊建、黄云峰、王素芬和盛旖旎参加了内部审稿工作。在本教材编写过程中得到了本校机械工程学院、教务处及有关学校的大力支持，在此表示感谢。

由于编者的水平和实践知识所限，虽经几次改稿，但还可能有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

前 言		
第一章 绪论	1	
第一节 机械设计概述	1	
第二节 课程研究的对象、内容和学习方法	4	
第三节 现代设计方法简介	5	
第四节 标准化、通用化和系列化	6	
第五节 机械零件常用材料和选择原则	7	
思考题	9	
第二章 机械零件的强度	10	
第一节 概述	10	
第二节 材料和零件的疲劳特性曲线	12	
第三节 机械零件的疲劳强度计算	17	
第四节 机械零件的接触强度	22	
思考题	24	
习题	25	
习题参考答案	25	
第三章 摩擦、磨损及润滑	26	
第一节 摩擦与磨损	26	
第二节 润滑	29	
第三节 密封	33	
第四节 流体动力润滑原理简介	34	
思考题	36	
第四章 带传动	37	
第一节 概述	37	
第二节 带传动工作情况分析	42	
第三节 V带传动的设计计算	46	
第四节 带传动结构设计	55	
第五节 其他带传动简介	58	
思考题	60	
习题	61	
习题参考答案	61	
第五章 链传动	62	
第一节 概述	62	
第二节 滚子链链轮的结构和材料	65	
第三节 链传动工作情况分析	69	
第四节 滚子链传动的设计计算	73	
第五节 链传动的布置、张紧和润滑	80	
思考题	84	
习题	84	
习题参考答案	84	
第六章 齿轮传动	85	
第一节 概述	85	
第二节 齿轮传动的失效形式和设计准则	86	
第三节 齿轮的材料和许用应力	88	
第四节 齿轮传动的受力分析和计算载荷	92	
第五节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	98	
第六节 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	106	
第七节 标准直齿锥齿轮传动的强度计算	111	
第八节 齿轮传动的效率和润滑	115	
第九节 齿轮的结构	115	
第十节 其他齿轮传动简介	117	
思考题	119	
习题	119	
习题参考答案	120	
第七章 蜗杆传动	121	
第一节 蜗杆传动的类型和特点	121	
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	125	
第三节 蜗杆传动的失效形式、材料选择和结构	131	
第四节 普通圆柱蜗杆传动承载能力计算	133	
第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡		



计算 .....	140	第二节 滚动轴承的主要类型及代号 .....	246
思考题 .....	146	第三节 滚动轴承的载荷及应力 .....	250
习题 .....	147	第四节 滚动轴承的寿命设计计算 .....	252
习题参考答案 .....	148	第五节 滚动轴承装置的组合结构设计 .....	263
<b>第八章 螺纹联接及螺旋传动</b> .....	149	思考题 .....	270
第一节 螺纹简介 .....	149	习题 .....	271
第二节 螺纹联接的类型与螺纹联接件 .....	152	习题参考答案 .....	272
第三节 螺纹联接的预紧、防松和结构设计 .....	154	<b>第十三章 滑动轴承</b> .....	273
第四节 螺栓联接的强度计算 .....	158	第一节 概述 .....	273
第五节 螺栓组联接的受力分析 .....	165	第二节 滑动轴承的类型与结构 .....	273
第六节 提高螺栓联接强度的措施 .....	173	第三节 滑动轴承的失效形式与材料 .....	277
第七节 螺旋传动 .....	175	第四节 非液体滑动轴承设计 .....	280
思考题 .....	181	第五节 滑动轴承的润滑 .....	283
习题 .....	181	思考题 .....	285
习题参考答案 .....	184	习题 .....	286
<b>第九章 铆接、焊接及胶接</b> .....	185	习题参考答案 .....	286
第一节 铆接 .....	185	<b>第十四章 弹簧</b> .....	287
第二节 焊接 .....	187	第一节 概述 .....	287
第三节 胶接 .....	191	第二节 弹簧的材料和制造 .....	289
思考题 .....	195	第三节 圆柱螺旋弹簧的设计计算 .....	291
<b>第十章 轴毂联接及联轴器件</b> .....	196	思考题 .....	297
第一节 键联接 .....	196	习题 .....	298
第二节 花键联接 .....	201	习题参考答案 .....	298
第三节 销联接 .....	203	<b>第十五章 机械产品方案设计</b> .....	299
第四节 无键联接 .....	205	第一节 机械产品的设计过程简介 .....	299
第五节 联轴器和离合器 .....	207	第二节 机械产品的运动方案设计 .....	300
思考题 .....	220	第三节 机械产品运动方案的设计内容与原则 .....	302
习题 .....	220	第四节 机械产品运动方案的设计与评价 .....	304
习题参考答案 .....	221	<b>第十六章 机械传动系统设计</b> .....	308
<b>第十一章 轴</b> .....	222	第一节 机械传动系统的组成和分类 .....	308
第一节 概述 .....	222	第二节 机械传动系统的常用部件 .....	310
第二节 轴的结构设计 .....	225	第三节 机械传动系统的方案设计 .....	314
第三节 轴的设计计算 .....	232	第四节 原动机的选择 .....	318
思考题 .....	242	第五节 机械控制系统简介 .....	322
习题 .....	242	<b>附录</b> .....	328
习题参考答案 .....	244	<b>参考文献</b> .....	331
<b>第十二章 滚动轴承</b> .....	245		
第一节 概述 .....	245		

## 绪 论

## 第一节 机械设计概述

## 一、设计的目的

设计是人类改造自然的基本活动，是复杂的分析、规划、推理与决策过程，蕴涵着创新和发明。设计的目的是：根据预定的目标，经过一系列规划与分析决策，获得系统的设计信息（文字、数据、图形等），形成设计方案及其实施文件，进而通过制造形成产品而造福人类。

## 二、机械设计的分类

## 1. 开发性设计

开发性设计是没有现成的产品可以参照的设计，仅仅是根据抽象的设计原理和要求，设计出在质量和性能方面都满足目的要求的产品或系统。开发性设计的过程最复杂，创新性强。工作原理和设计方案都是全新的设计。

## 2. 适应性设计

适应性设计指的是在总的方案原理基本保持不变的情况下，对现有产品进行局部更改，或用微电子技术代替原有的机械结构，或为了进行微电子控制对机械结构进行局部适应性改变，以使产品的性能和质量增加某些附加值。

## 3. 变型设计

变型设计是关于设计方法和过程的一种分类定义，是指提取已存在的设计或设计计划做特定的修改，以产生一个和原设计相似的新产品。这种修改一般不破坏原设计的基本原理和基本结构特征，是一种参数的修改或结构的局部调整或两者兼而有之，其目的是快速、高质量、低成本地生产新产品，以满足不断变化的市场要求。

## 三、机械设计的基本要求

机械设计既要保证产品的功能及其可靠性，又要保证产品具有良好的工艺性。机械设计

主要包括机器及零部件的设计，这两部分之间存在一些差异，但互有联系不能截然分开。

### （一）设计机器应满足的基本要求

#### 1. 功能性要求

人们是为了生产和生活的需要才设计和制造各式各样机器的，因此机器必须具有预定的使用功能。这主要靠正确选择机器的工作原理，正确设计或选用原动机、传动机构和执行机构，以及合理配置辅助系统来保证，即机器应具有预定的使用功能。

#### 2. 可靠性要求

机器在预定工作期限内必须具有一定的可靠性。机器的可靠性是用可靠度  $R$  来衡量的。可靠度  $R$ ，是指机器在规定的工作期限内和规定的工作条件下，无故障地完成规定功能的概率。

#### 3. 经济性要求

机器的经济性体现在设计、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生产率，较低的能源与材料消耗，以及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。

### （二）设计机械零部件的基本要求

机器是由零部件组成的。因此，设计的机器是否满足前述基本要求，零部件的质量是关键。为此，还应对机械零部件提出强度、刚度及寿命等基本要求。

#### 1. 强度

强度是衡量零件抵抗破坏的能力。零件强度不足，将导致过大的塑性变形甚至断裂破坏，机器停止工作，甚至发生严重事故。采用高强度材料，增大零件截面尺寸，合理设计截面形状，采用热处理及化学处理方法，提高运动零件的制造精度，以及合理配置机器中各零件的相互位置等，均有利于提高零件的强度。

#### 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，容易导致过大弹性变形，引起载荷集中，影响机器工作性能，甚至造成事故。零件的刚度分整体变形刚度和表面接触刚度两种。

#### 3. 寿命

寿命是指零件正常工作的期限。材料的疲劳、腐蚀，相对运动零件表面的磨损，高温下的蠕变等是影响零件寿命的主要因素。

#### 4. 结构工艺性

零件应具有良好的结构工艺性。这就是说，在一定的生产条件下，零件应能方便而经济地生产出来，并便于装配成机器。

#### 5. 可靠性

零件可靠度的定义和机器可靠度的定义是相同的。机器的可靠度主要是由其组成零件的可靠度来保证的。

#### 6. 经济性

零件的经济性主要决定于零件的材料加工成本。因此，提高零件的经济性主要从零件的材料选择和结构工艺性设计两个方面入手。





## 7. 质量

尽可能减轻质量对绝大多数机械零件都是必要的。减轻质量可以节约材料，减小运动零件的惯性，从而改善机器动力性能。

## 四、机械设计方法和一般步骤

### (一) 机械设计方法

机械设计方法，可从不同的角度分类。目前较为流行的分类方法是将过去长期采用的设计方法称为常规（或传统）设计方法，而将近几十年发展起来的设计方法称为现代设计方法。

常规设计方法可概括划分为三种。

#### 1. 理论设计

根据长期总结出来的设计理论和实验数据所进行的设计，称为理论设计。理论设计的计算过程分为设计计算和校核计算两部分。

1) 设计计算是指按照已知的运动要求、载荷情况及零部件的材料特性等，运用一定的理论公式设计零部件尺寸和形状的计算过程。设计计算多用于能通过简单的力学模型进行设计的零部件，如转轴的强度、刚度计算等。

2) 校核计算是指先根据类比法、实验法等其他方法初步定出零部件的尺寸和形状，再用理论公式进行精确校核计算过程。

#### 2. 经验设计

根据对某类零件已有的设计与使用实践而归纳出的经验关系式，或根据设计者本人的工作经验用类比的办法所进行的设计，称为经验设计。

#### 3. 模型实验设计

把初步设计好的零部件或者机器，做成小模型或小尺寸样机，用实验的手段对其各方面的特性进行检验，根据实验结果对设计进行逐步修改，最终达到设计目的要求，这样的设计过程称为模型实验设计。对于尺寸巨大而结构复杂的重要零件，尤其是一些重型整体机械零件，为提高设计质量，可采用模型实验设计的方法。

### (二) 机械设计的一般步骤

机械设计是一个创造性的工作过程，同时也是一个尽可能多地利用已有成功经验的工作过程，要很好地把继承和创新结合起来，才能设计出高质量的产品。作为产品的设计，要求对产品的工作原理、功能、结构、零部件进行设计，甚至加工制造和装配方法都确定下来。根据人们长期的设计经验，机械设计分为五大步骤：动向预测、方案设计、技术设计、施工设计和试生产。

#### 1. 动向预测

在根据实际的需要提出所要设计的新产品后，动向预测只是一个计划和预备阶段，此时所要设计的产品仅是一个模糊的概念。在这阶段中，应对所设计的产品做全面的调查研究和分析。

#### 2. 方案设计

方案设计阶段对设计的成败起着关键的作用。在该阶段中，充分地表现出了设计工作有多个方案的特点。首先对能满足工作要求的多种设计原理方案加以分析比较，最后选择最优

方案。由于任何工作原理都必须通过一定的运动形式来实现，所以这一步骤也确定了设计所需的运动形式。

### 3. 技术设计

在技术设计中，要拟定设计对象的总体和部件，具体确定零件的结构。对所设计的机械新产品提出的要求是：制造和维护经济、操纵方便而安全、可靠性高和使用寿命长。

### 4. 施工设计

根据技术设计总装配图进行零部件设计，绘制零件图，再按实际的零件尺寸绘制施工设计总装配图。接着校核图样，再对图样进行工艺性审核。此外，还需对图样进行润滑审核，研究润滑方法和润滑剂品种等。最后，编制零件清单及说明书等各种技术文件。

### 5. 试生产

根据施工设计的图样和各种技术文件试制样机，对样机进行功能试验，并对各项费用进行成本核算，向前反馈，改进设计。对样机进行审批手续，再进行小批量试生产，改进后正式投入批量生产。

设计工作是一个综合的反复实践过程，往往需要经过多次修改设计方案和设计参数后，才能获得比较好的设计结果。这个过程实际上是一个宏观的逐步优化过程。

## 第二节 课程研究的对象、内容和学习方法

### 一、研究对象和内容

机械设计课程的研究对象是通用机械零部件，即涉及一般工作条件和一般参数范围的通用机械零部件的设计。内容主要有机械零部件的材料选择、受力分析、工作能力计算（如强度计算、刚度计算和寿命计算等）及结构设计等，同时要考虑零件的工艺性、标准化、经济性、环境保护等要求。

### 二、课程的性质和目的

机械设计课程是机械类专业的一门设计性的主要技术基础课。主要目的是培养学生如下的能力和技能。

- 1) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点和应用知识；掌握通用零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律，具有设计传动装置和简单机械的能力。
- 2) 树立正确的设计思想，了解国家目前的有关技术经济政策。
- 3) 具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力等。

### 三、学习方法

本课程的特点是涉及面广、实践性强、设计问题无统一答案等。按照本课程研究对象和性质上的特点，决定了内容本身的繁杂性，主要体现在“关系多、门类多、要求多、公式



多、图形多、表格多”等。学习时，应注意找出各零件的共性，明确相应的设计规律，使“六多”为我所用，把主要精力放在零件的选材、工况和失效形式分析、设计准则的确定、受力及强度计算和结构设计上，而对公式的推导、曲线的来历、经验数据的求得等只做一般的了解即可。

### 第三节 现代设计方法简介

现代设计方法是以研究产品设计为对象的科学，以电子计算机为工具，运用工程设计的新理论和新方法，使计算结果达到最优化，设计过程实现高效化和自动化。

#### 一、有限元分析方法 (Finite Element Analysis Method)

有限元是一种以计算机为工具，通过离散化将研究对象变换成一个与原结构近似的数学模型，再经过一系列规范化的步骤，求解应力位移、应变等参数的数值计算方法。著名的商品化有限元程序有 NASTRAN、ADFAN/ADINAT、ANSYS、COSMOS/MSAP 等。这些程序的分析范围和功能存在差异，在使用时应根据分析范围来选择合理的程序。

#### 二、优化设计 (Optimal Design)

优化设计是使某项机械设计在规定的各种设计限制条件下，优选设计参数，使某项或某几项设计指标获得最优值。最优值的概念是相对的，随着科学技术的发展及技术条件的变动，最优化的标准也将发生变化。

#### 三、可靠性设计 (Reliability Design)

可靠性设计是将概率论、数理统计、失效物理和机械学相结合而形成的一种设计方法。其主要特点是将传统设计中视为单值而实际上具有多值性的设计变量（如载荷、应力、强度、寿命等）看成某种分布规律的随机变量，用概率统计方法设计出符合机械产品可靠性指标要求的零部件和整体的主要参数及结构尺寸。

#### 四、计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)

计算机辅助设计是指在设计活动中，利用计算机作为工具，帮助工程技术人员进行设计的适用技术的总和。目前 CAD 技术正朝着人工智能和知识工程方向发展，即所谓的智能计算机辅助设计。

#### 五、模块化设计 (Model Design)

为开发具有多种功能的不同产品，不必对每种产品施以单独设计，而是精心设计出多种

模块，将其经过不同方式的组合来构成不同的产品，以解决产品品种、规格与设计制造周期、成本之间的矛盾，这就是模块化设计的含义。所谓模块，是指一组具有同一功能和接合要素（指连接部位的形状、尺寸，连接件间的配合与啮合等），但性能、规格或结构不同却能互换的单元。

## 六、价值工程 (Value Engineering)

价值工程注重研究产品的功能，各种有关费用与现实价值之间的关系，试图以最小资源消耗或最低的寿命周期费用，可靠地实现必要的功能，从而获得最大价值。

## 七、绿色设计 (Green Design)

绿色设计在产品整个生命周期内，着重考虑产品环境属性（可拆卸性、可回收性、可维护性、可重复利用性等），并将其作为设计目标。

## 八、动态设计 (Dynamic Design)

动态设计充分反映了机器的实际动态特性，系统地反映了振动与响应的全过程。

## 九、并行设计

并行设计又称为并行工程 (Concurrent Engineering)，是综合工程设计、制造、管理经营的思想、方法和工作模式的设计。

# 第四节 标准化、通用化和系列化

在不同类型、不同规格的各种机器中，有相当多的零部件是相同的，将这些零部件加以标准化，并按尺寸不同加以系列化，则设计者无须重复设计，可直接从有关手册的标准中选用。通用化是指系列化之内或跨系列的产品之间尽量采用同一结构和尺寸的零部件，以减少企业内部的零部件种数，从而简化生产管理和得到较高的经济效益。

标准化、系列化、通用化通称“三化”，是长期生产和科研成果的可靠的技术总结。“三化”程度的高低通常是评定产品的指标之一。

标准化是指在经济、技术、科学和管理等社会实践中，对重复性的事物和概念，通过制定、发布和实施标准达到统一，以获得最佳秩序和社会效益。公司标准化是以获得公司的最佳生产经营秩序和经济效益为目标，对公司生产经营活动范围内的重复性事物和概念，以制定和实施公司标准，以及贯彻实施相关的国家、行业、地方标准等为主要内容的过程。标准化的重要意义是改进产品、过程和服务的适用性，防止贸易壁垒，促进技术合作。

标准化的基本原理通常是指统一原理、简化原理、协调原理和最优化原理。



通用化是指在互相独立的系统中,选择和确定具有功能互换性或尺寸互换性的子系统或功能单元的标准化形式。通用化是以互换性为前提的。

我国现行标准分为国家标准、行业标准和地方标准等,如国家强制性标准用 GB 表示,推荐性标准用 GB/T 表示,机械行业标准用 JB、JB/T 表示等。国家标准将逐步与国际标准接轨。国际标准是由不隶属于某一个国家的国际组织建立的标准。例如 ISO 标准(国际标准化组织 International Organization for Standardization)、IEC 标准(国际电工委员会 International Electro Technical Commission)、IEEE 标准(美国电气和电子工程师协会 Institute of Electrical and Electronics Engineers)、GRC 欧洲标准(简称 GRC 欧标)。

## 第五节 机械零件常用材料和选择原则

### 一、机械零件的常用材料

机械零件常用材料有钢铁材料、有色金属材料、非金属材料 and 复合材料,其中钢铁材料用得最多。

#### 1. 钢铁材料

常用钢铁材料有碳素结构钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、弹簧钢、不锈钢、铸钢、合金铸钢、灰铸铁、球墨铸铁等。

(1) 碳钢与合金钢 这是机械制造中广泛应用的材料。其中碳钢产量大、价格低,常被优先采用。对于受力不大,而且基本上承受静载荷的一般零件,均可采用碳素结构钢;当零件受力较大,而且受变应力或冲击载荷时,可选用合金结构钢。优质碳素钢和合金结构钢均可通过热处理的方法来改善其力学性能,可以更好满足各种零件对不同力学性能的要求。常用的热处理方法有退火、正火、淬火、回火、调质、渗碳、渗氮、碳氮共渗等。另外还可通过强化处理提高材料强度。

(2) 铸钢 铸造性比铸铁差,但比锻钢和轧制钢好,用于铸造重载零件和形状复杂的零件。铸钢的力学性能大体相近,与灰铸铁相比,其具有高的强度、韧性和塑性,可用热处理方法改善其力学性能和可加工性。铸钢有碳素铸钢、低合金铸钢、中合金铸钢、高合金铸钢。其零件毛坯获取方法有锻压、焊接、铸造等。

(3) 灰铸铁 有良好的可加工性和减振性,常用作机座和机架;有良好的液态流动性,可铸造成形状复杂的零件;有较好的耐磨性、成本低廉。但灰铸铁脆性大,不宜承受冲击载荷。

(4) 球墨铸铁 强度高、耐磨性、减振性好、抗冲击,因此广泛用于制造抗冲击载荷的零件。

(5) 可锻铸铁 可锻铸铁由一定成分的白口铸铁经过退火而得,强度和塑性比较高。当零件尺寸小且结构复杂时不能用铸钢或锻钢制造,而灰铸铁又不能满足零件高强度和高伸长率的要求时,可采用可锻铸铁。

#### 2. 有色金属材料

有色金属的减摩性、耐蚀性、耐热性、电磁性等较好。在一般机械制造中,除铝合金常



用于制造承载零件外，其他有色金属主要用作耐磨材料、减摩材料、耐蚀材料和装饰材料等。

(1) 铝合金 重量轻、导热导电性较好、塑性好、抗氧化性好。铝合金不耐磨，可用镀铬的方法提高其耐磨性。铝合金不产生电火花，故用作存储易燃易爆物料。高强度铝合金强度可与碳素钢相近，可制作承载零件，在飞机、汽车及其他行走机械上有广泛应用。

(2) 铜合金 铜具有良好的导电性、导热性、低温力学性、耐磨、耐蚀和自润滑性。常用的铜合金有黄铜、青铜等。

(3) 钛合金 钛及钛合金的密度小、高低温性能好，并具有良好的耐蚀性，在航空、船舶、化工等方面得到广泛应用。

有色金属及其合金还有镁及镁合金、镍及镍合金、钨及钨合金等。

### 3. 非金属材料

(1) 橡胶 橡胶富有弹性，能吸收较多的冲击能量。常用作联轴器或减振器的弹性元件、带传动的胶带等。硬橡胶可用于制造用水润滑的轴承衬。其弹性、绝缘性好，常用作弹性元件和密封元件、减振元件。

(2) 塑料 塑料的密度小，易于制成形状复杂的零件，而且各种不同塑料具有不同的耐蚀性、绝热性、绝缘性、减摩性等，所以在机械制造中应用日益广泛。质量轻、易加工成型、减摩性好、强度低，可作为普通机械零件。

(3) 陶瓷 绝热性好、硬度高。

其他非金属材料还有皮革、木材、纸板、棉、丝等。

### 4. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上性质不同的金属材料或非金属材料组合而成的新型材料。复合材料有纤维复合材料、层叠复合材料、颗粒复合材料、骨架复合材料等。在机械工业中，用得最多的是纤维复合材料。这种材料主要用于制造薄壁压力容器。目前比较普遍地用于各种容器和汽车外壳的制造。

## 二、机械零件材料的选择原则

合理选择材料是机械零件设计的一项重要工作。设计者在选择材料时必须首先保证零件的使用性能要求，然后考虑工艺性要求和经济性要求。

### 1. 材料的使用性能

使用性能是保证零件完成规定功能的必要条件，是选材首先考虑的问题。使用性能主要指零件在使用状态下应具有的性能、物理性能和化学性能。力学性能要求是在分析零件工作条件和失效形式的基础上提出的。例如轴类零件，应具有优良的力学性能，即要求有高的强度、韧性、疲劳极限和良好的耐磨性。除此之外，根据零件工作环境等其他要求，对材料可能还有密度、导热性、耐蚀性等物理、化学性能方面的要求。

### 2. 材料的工艺性

零件在制造过程中，需要经过一系列的加工过程。因此，材料加工成零件的难易程度，将直接影响零件的质量、生产效率和成本。在选材时必须考虑加工工艺的影响。铸件应选用共晶或接近共晶成分的合金，以保证材料的液态流动性；锻件、冲压件应选择呈固溶体组织



的合金,以保证材料具有良好的塑性和较低的变形抗力;焊件应考虑材料的焊接性和产生裂纹的倾向性等;对于切削加工的零件要考虑材料的可加工性等;对进行热处理的零件要考虑材料的可淬性、淬透性及淬火变形的倾向等。

### 3. 材料的经济性

在满足使用性能的前提下,选用材料时应注意降低零件的总成本。零件的总成本包括材料本身的价格、加工费用及其他费用。

## 思 考 题

- 1.1 机械零部件设计的主要内容和要求有哪些?
- 1.2 机械的常规设计方法有哪几种?一般步骤有哪些?
- 1.3 现代机械设计方法有哪些发展?
- 1.4 机械零部件标准化的意义及内容是什么?
- 1.5 机械零件材料选用的原则要考虑哪几个方面的要求?

# 机械零件的强度

具有足够的强度是机械零件正常工作必须满足的基本要求。而强度准则是设计机械零件的基本准则。机械零件在工作时,不允许出现断裂或塑性变形,也不允许发生表面破坏等失效形式。强度就是指零件抵抗这类失效形式的能力。通用机械零件的强度分为静应力强度和变应力强度。静应力强度可运用材料力学中获得的知识对零件进行静应力强度计算,故本章对此不再赘述。根据应力在机械零件整个工作寿命期间的变化次数  $N$ , 变应力强度设计方法有所不同。根据设计经验及材料的特性,通常认为在机械零件整个工作寿命期间应力变化次数  $N \leq 10^3$  的通用零件,可近似地看作是按静应力强度进行的设计;  $10^3 < N < 10^4$  的通用零件,应力变化次数相对较少,称为低周疲劳;与低周疲劳相对应,应力变化次数  $N \geq 10^4$  时称为高周疲劳。绝大多数通用零件应力变化次数  $N$  总是大于  $10^4$ , 所以本章主要研究高周疲劳下通用零件的强度计算问题。

## 第一节 概 述

### 一、载荷及其分类

机械工作时,机械零件所受的力或力矩统称为载荷。根据载荷随时间变化的特性不同,分为静载荷和变载荷两大类。载荷的大小、作用位置或方向不随时间变化或变化缓慢的,称为静载荷,如锅炉压力。载荷的大小、作用位置或方向随时间不断变化的,称为变载荷,如曲柄压力机的曲轴和汽车悬架弹簧等所受的载荷。

在机械设计计算中,通常把载荷分为名义载荷和计算载荷。名义载荷是指在理想的平稳工作条件下作用在零件上的载荷。然而,在机器运转时,零件还会受到各种附加载荷的作用,通常引入载荷系数  $K$  (有时只考虑工况的影响,则用工况系数  $K_A$ ) 来考虑这些因素的影响。载荷系数与名义载荷的乘积,称为计算载荷。

### 二、应力及其分类

载荷作用在零件上将产生应力。根据应力随时间变化的特性不同,将应力分为静应力和变应力两大类。不随时间变化或随时间变化缓慢的应力称为静应力,如图 2-1a 所示。随时间变化的应力称为变应力,如图 2-1b~d 所示。绝大多数机械零件都是处于变应力状态下工





作的。值得关注的是：静应力由静载荷产生，变应力由变载荷产生，但静载荷有时也会产生变应力，如齿轮、带传动零件都是静载荷产生变应力的典型实例。变应力按其变化特征可分为稳定变应力和不稳定变应力。稳定变应力是指应力变化呈现周期性，且每一次循环中，平均应力、应力幅和周期都不随时间变化的应力，如图 2-1b 所示。

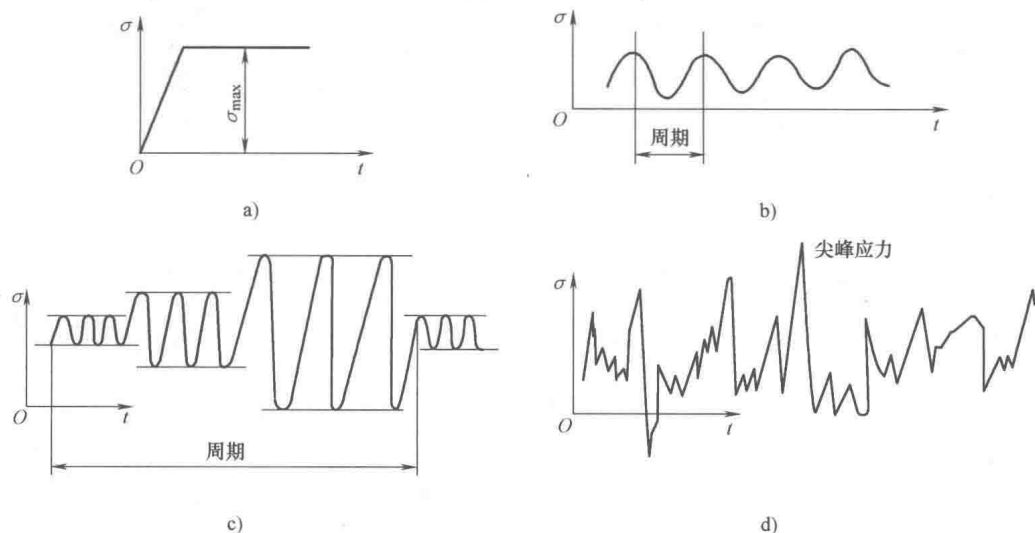


图 2-1 静应力及变应力

a) 静应力 b) 稳定变应力 c) 规律性不稳定变应力 d) 非规律性不稳定(随机)变应力

不稳定变应力是指应力变化不呈周期性而带偶然性，或虽然应力变化呈周期性，但是应力变化周期、应力幅或平均应力之一随时间而变化的应力，如图 2-1c、d 所示。

描述稳定变应力的主要参数有 5 个，分别为最大应力  $\sigma_{\max}$ 、最小应力  $\sigma_{\min}$ 、平均应力  $\sigma_m$ 、应力幅  $\sigma_a$  和应力循环特性  $r$ ，它们之间的关系如下：

$$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a \quad (2-1a)$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a \quad (2-1b)$$

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad (2-1c)$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (2-1d)$$

$$r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (2-1e)$$

应力循环特性  $r$  为应力循环中的最小应力与最大应力之比，可用来表示稳定变应力中应力变化的情况，其取值范围为  $-1 \leq r \leq +1$ 。当  $\sigma_{\min} = \sigma_{\max}$  时， $r = +1$ ，为静应力，如图 2-2a 所示，可以看作是变应力的特例。当  $\sigma_{\min} = -\sigma_{\max}$  时， $r = -1$ ，称为对称循环变应力，如图 2-2b 所示。当  $\sigma_{\min} = 0$ ， $\sigma_{\max} \neq 0$  时， $r = 0$ ，称为脉动循环变应力，如图 2-2c 所示。除上述三种外， $-1 < r < +1$  且  $r \neq 0$ ，称为非对称循环变应力，如图 2-2d 所示。

### 三、机械零件的强度

强度准则是设计机械零件的基本准则。通用机械零件的强度分为静应力强度和变应力强度。变应力强度准则与静应力强度准则的表达式是一致的，与材料力学中强度条件式的概念