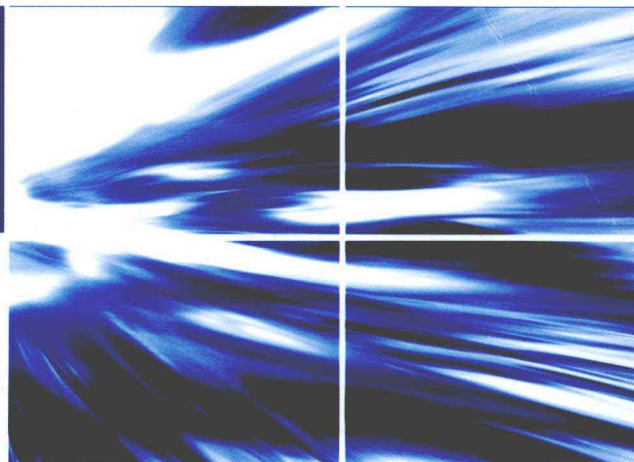




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 机械原理与 机械设计(下册)

第2版

张策 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机械原理⑤机械设计

——(下 册)——

第2版

主 编 张 策

副主编 陈树昌 孟彩芳 项忠霞

参 编 卜 炎 王 多 程福安 潘凤章

杨玉虎 宋轶民 车建明 郭玉申

孙月海 刘建琴 葛 楠 王 喆

主 审 吴宗泽 张春林

机械工业出版社

本书按照教育部颁发的相关课程的“教学基本要求”编写，并适当地扩充了内容，适用于高等学校机械类专业本科的机械原理和机械设计两门课程的教学。

本书分上、下两册，包含八篇。

上册第一篇中紧密结合几种典型的实例，引出一些基本概念，并介绍机械设计的一般过程和进行机械设计所需要的知识结构。第二、三、四篇分别介绍机构的组成和分析、常用机构及其设计和机器动力学的基础知识，为机械原理课程的主要内容。下册第五、六篇分别介绍机械零部件的工作能力设计和结构设计，为机械设计课程的主要内容。“机械的方案设计”作为第七篇，放在两门课程的最后，可结合课程设计来讲授，以适应课程设计方面的改革。第八篇“机械创新设计”既可作为选修课的内容，也可作为学生的课外阅读资料，以适应当前课外科技活动的新形势。

本书也可供机械工程领域的研究生和科研、设计人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理与机械设计. 下册/张策主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2011.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-30857-7

I. ①机… II. ①张… III. ①机构学—高等学校—教材②机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH111②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 100693 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: 刘小慧 责任编辑: 章承林 版式设计: 霍永明

责任校对: 姜婷 封面设计: 张静 责任印制: 杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2011 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 30.75 印张 · 757 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-30857-7

定价: 53.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

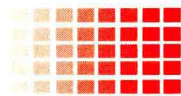
销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

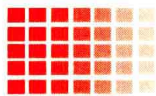
教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者服务部: (010) 68993821

封面防伪标均为盗版



## 第2版前言



本书参考了教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会修订的最新版“机械原理课程教学基本要求”和“机械设计课程教学基本要求”，在保持第1版基本框架不变的前提下，主要作了如下修改：

1) 突出重点、加以精简，适当压缩篇幅，对原有的部分内容作了调整。例如，连杆机构一章删除了空间连杆机构的运动分析，增加了空间连杆机构的应用实例；运动分析一章增加了速度、加速度影像法；滑动轴承内容作了调整；螺纹连接改为螺纹紧固件连接，适当增加了连接的防松措施；带传动的力分析内容有所调整。

2) 更新了某些国家标准。例如，链传动的功率图、链轮标准等。

3) 在每一章的开始部分，增加了少量描述该种机构或零件历史发展的文字。

与国内同类教材相比，本书属于篇幅稍大的一种。本书编者认为，教材内容应多于讲课内容，以便给学有余力的学生、工程技术人员提供更多的阅读资料。

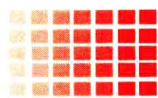
参加本版编写工作的有：

张策（第一章、第二章、第八章），陈树昌（第二十一章、第二十九章大部分内容），孟彩芳（第四章、第六章、第二十八章、第十章第二、四节），卜炎（第十三章、第二十二章、第二十七章），王多（第三章、第五章），程福安（第十七章、第十九章、第二十三章），潘凤章（第十八章、第二十五章），项忠霞（第十四章、第十五章）杨玉虎（第七章，第十章第一、三节），宋轶民（第十一章、第十二章），车建明（第三十章、第三十一章），郭玉申（第十六章，第二十九章部分内容），孙月海（第二十章），刘建琴（第九章），葛楠（第二十六章），王喆（第二十四章）。

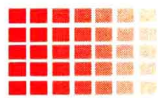
本版仍由清华大学吴宗泽教授和北京理工大学张春林教授担任主审，他们对本书提出了许多宝贵意见，在此向他们表示衷心感谢！

本版虽在教学内容改革方面做了一些工作，但限于编者水平，肯定仍存在不少差距，衷心希望国内广大同仁提出宝贵意见。

编者



# 第1版前言



**本**教材是普通高等教育“十五”国家级规划教材，适用于高等学校机械类专业本科的机械原理和机械设计两门必修课以及机械创新设计选修课的教学。本教材按照教育部颁发的机械原理和机械设计两门课程的“教学基本要求”编写，并在其基础上适当地扩充了内容。在本教材的编写过程中吸收了近年来在教学改革中形成的正确的教学思想和一些改革成果。

目前，国内各高校机械类专业的“机械原理”和“机械设计”两门课程的设计有三种情况：1) 大多数学校两课分别设课，课程设计也独立进行；2) 少数学校将两门课程完全合并；3) 不少院校在将两门课程的课程设计合而为一方面进行着探讨和实践，但两门课程的课堂教学仍基本上单独进行。例如天津大学，两课“独立设课、密切配合”，大体上属于第三种模式。

本教材分上、下两册，包含如下八篇。

上册有：

第一篇 导论

第二篇 机构的组成和分析

第三篇 常用机构及其设计

第四篇 机器动力学基础

下册有：

第五篇 机械零部件的工作能力设计

第六篇 机械零部件的结构设计

第七篇 机械的方案设计

第八篇 机械创新设计

第二、三、四篇为机械原理课程的主要内容；第五、六篇为机械设计课程的主要内容。“机械的方案设计”这部分内容一般均放在机械原理教材中。但是，方案设计中包含着原动机的选择和传动系统的设计，这些内容都离不开机械设计课程的知识。因此，我们将它作为第七篇，放在了这两门课程的最后，可以结合课程设计来讲授。这样的编写安排适应了当前不少学校将机械原理课程设计和机械设计课程设计合二为一的改革。

第一篇相当于机械原理和机械设计两门课程的总绪论。在这一篇中介绍了几种有代表性的机器，既有传统机器，也有现代机器。本篇的目的是：1) 使学生在系列课程的一开始就认识到进行机械设计所需要的知识结构，并对将要学习的数门课程有一定的概括了解，增强学习的目的性；2) 作为学习两门课程的从感性认识导入的环节；3) 激发学生学习的兴趣。该篇可结合参观典型机器、参观机构与零件的模型和进行机器的拆装这样一些实践教学环节

组织教学。

近年来,课外科技活动在不少高校有了相当规模的开展,一些学校已举办过多轮机械创新设计竞赛,“首届全国大学生机械创新设计大赛”已在2004年举办。这种趋向符合教育部在建设理工科基础课程教学基地的要求中所指出的“建立课内课外为一体的教学体系”这样一个方针。为此,我们编写了第八篇“机械创新设计”。它既可以作为选修课的内容,也可以作为学生的课外阅读资料。

本教材的编写虽有如上的考虑,它当然也可以应用于两门课程完全分离和完全合并的情况。

在教学内容方面注意到如下几个问题:

(1) 在机械原理的运动分析与设计方法中,既有解析法,又有图解法,但以解析法为主。不仅介绍解析法的数学模型,而且介绍了框图设计和编程的注意事项,这有利于学生掌握计算机分析的全过程,也便于自学。用位移矩阵将连杆机构的综合理论统一起来,既将该方法用于刚体导引机构的综合,也将它用于函数生成机构与轨迹生成机构的综合;既可用于平面机构的综合,也可用于空间机构的综合。在运动分析的部分内容中,将图解法和解析法结合起来,发挥图解法直观、容易建立清晰的概念的优点。

(2) 在“第十一章 机械系统动力学”中,提高了论述问题的起点。拉格朗日方程是广泛用于动力学分析的基本方程,理论力学也学过。我们用拉格朗日方程先推导出多自由度机械系统的动力学模型;然后用它分析单自由度机械系统这一特例,印证并解释了等效动力学模型。

(3) 将原机械设计课程的内容归纳为工作能力设计和结构设计两大部分,分为两篇讲述。传统教材中各种零件的结构设计分散在各章中,使这部分的内容偏软、偏弱。加强结构设计的内容,是强化工程意识、提高设计能力的重要措施。本教材将结构设计单独成篇,总结了结构设计的一般规律和方法,并对轮类零件结构、轴系结构、箱体和导轨结构分别进行分析,力求使结构设计的内容既有实际,又有理论。

(4) 注意引入科技发展的新成果,如机器人机构、三环减速器、陶瓷轴承等。引入现代科技的新成果已是近年来新教材的共同趋向,但重要的是如何做到适度而不过分。我们采用三种方法:稍加提及、简单叙述、适度展开。在每章之后编写“文献阅读指南”,在有限的篇幅内对一些有重要价值、但又不宜展开的内容稍加提及,并介绍有关参考文献,这样可以使读者开阔眼界、了解发展趋势,使教材具有开放性。

参加本书编写人员为:张策(第一、二、八章和第十章第一、三节),陈树昌(第二十一、二十六章,第二十九章的一部分),孟彩芳(第四、五、六、二十八章),卜炎(第十三、二十二、二十七章),陆锡年(第三章、第十章第二节),潘凤章(第十八、二十五章),程福安(第十七、十九、二十三章),唐蓉城(第十四、十五、二十四章),车建明(第三十、三十一章),宋轶民(第十一、十二章),郭玉申(第十六章,第二十九章的一部分),杨玉虎(第七章),孙月海(第二十章),刘建琴(第九章)。本书由张策任主编,陈树昌、孟彩芳任副主编;卜炎、陆锡年、潘凤章参加了编写组的内部审稿工作。

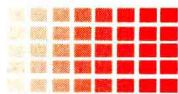
本书由清华大学吴宗泽教授和北京理工大学张春林教授担任主审，他们认真地审阅了全书，提出了许多宝贵的修改意见。对此，向他们表示衷心的感谢！

我们是第一次按这样的体系编写教材，限于水平，错误和欠妥之处在所难免，敬请学界同仁和广大读者批评指正。

主编 张 策

副主编 陈树昌、孟彩芳 项忠霞

于天津大学



第2版前言

第1版前言

## 上册

### 第一篇 导 论

<b>第一章 机械的组成、分类与发展</b> .....	2	<b>第二章 机械的设计与相关课程简介</b> .....	15
第一节 认识机器 .....	2	第一节 机械设计的要求和内容 .....	15
第二节 机器的组成 .....	8	第二节 机械设计的过程和方法 .....	17
第三节 机械的发展 .....	10	第三节 机械设计类课程简介 .....	22
文献阅读指南 .....	14	文献阅读指南 .....	25
思考题 .....	14	思考题 .....	26
习题 .....	14	习题 .....	26

### 第二篇 机构的组成和分析

<b>第三章 机构的组成和结构分析</b> .....	28	第三节 用相对运动图解法作平面机构的 运动分析 .....	73
第一节 机构的组成 .....	28	第四节 平面矢量的复数极坐标表示法 .....	79
第二节 机构的运动简图 .....	34	第五节 平面机构的整体运动分析法 .....	80
第三节 机构的自由度和机构具有确定 运动的条件 .....	40	第六节 运动分析的基本杆组法 .....	88
第四节 平面闭链机构的组成原理及结 构分析 .....	49	文献阅读指南 .....	92
第五节 开链机构结构简介 .....	55	思考题 .....	92
第六节 机构的拓扑构造和类型综合 .....	57	习题 .....	92
文献阅读指南 .....	64	<b>第五章 平面机构的力分析</b> .....	95
思考题 .....	64	第一节 概述 .....	95
习题 .....	65	第二节 作用在机械上的力 .....	96
<b>第四章 平面机构的运动分析</b> .....	69	第三节 不考虑摩擦时平面机构的动态 静力分析 .....	97
第一节 概述 .....	69	第四节 平衡力和平衡力矩的直接解析 确定 .....	103
第二节 用速度瞬心法作平面机构的速度 分析 .....	70	第五节 机械的效率和运动副中的摩擦	



及自锁 .....	107	思考题 .....	120
文献阅读指南 .....	120	习题 .....	121

### 第三篇 常用机构及其设计

<b>第六章 连杆机构</b> .....	126	第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	211
第一节 平面连杆机构的类型、特点和应用	126	第五节 渐开线齿轮的加工原理	215
第二节 平面连杆机构的运动和动力特性	133	第六节 变位齿轮传动	219
第三节 平面连杆机构的综合概述和刚体位移矩阵	139	第七节 渐开线直齿圆柱齿轮的几何设计	223
第四节 平面刚体导引机构的综合	142	第八节 斜齿圆柱齿轮机构	227
第五节 平面函数生成机构的综合	149	第九节 蜗杆机构	233
第六节 平面轨迹生成机构的综合	156	第十节 直齿锥齿轮机构	235
第七节 按行程速度变化系数综合平面连杆机构	160	文献阅读指南	240
第八节 空间连杆机构简介	162	思考题	240
文献阅读指南	167	习题	241
思考题	167	<b>第九章 轮系</b> .....	243
习题	168	第一节 轮系及其类型	243
<b>第七章 凸轮机构</b> .....	171	第二节 定轴轮系的传动比计算	246
第一节 凸轮机构的应用与分类	171	第三节 周转轮系的传动比计算	249
第二节 从动件的运动规律	176	第四节 复合轮系的传动比计算	254
第三节 平面凸轮的廓线设计	184	第五节 轮系的功用	255
第四节 平面凸轮机构基本尺寸的确定	193	第六节 行星轮系的效率	259
文献阅读指南	197	第七节 行星轮系的设计简介	262
思考题	197	第八节 其他行星传动简介	266
习题	198	文献阅读指南	270
<b>第八章 齿轮机构</b> .....	200	思考题	270
第一节 齿轮机构的特点和分类	200	习题	270
第二节 齿廓啮合基本定律与齿轮的齿廓曲线	202	<b>第十章 其他常用机构</b> .....	273
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸计算	207	第一节 间歇运动机构	273
		第二节 组合机构简介	285
		第三节 机器人机构	297
		第四节 螺旋机构	306
		文献阅读指南	307

思考题 .....	308	习题 .....	308
-----------	-----	----------	-----

## 第四篇 机器动力学基础

<b>第十一章 机械系统动力学</b> .....	312	<b>第十二章 机械的平衡</b> .....	330
第一节 概述 .....	312	第一节 机械平衡的目的、分类与 方法 .....	330
第二节 多自由度机械系统的动力学 分析 .....	314	第二节 刚性转子的平衡设计 .....	331
第三节 单自由度机械系统的动力学 分析 .....	317	第三节 刚性转子的平衡试验 .....	337
第四节 机械的速度波动及其调节 .....	321	第四节 平面机构的平衡 .....	340
第五节 飞轮设计 .....	324	文献阅读指南 .....	346
文献阅读指南 .....	328	思考题 .....	347
思考题 .....	328	习题 .....	347
习题 .....	328		
<b>参考文献</b> .....	350		

## 下 册

## 第五篇 机械零部件的工作能力设计

<b>第十三章 机械零件设计基础</b> .....	355	第六节 提高紧固螺纹连接强度的措施 ..	407
第一节 机械零件的计算准则 .....	355	文献阅读指南 .....	411
第二节 摩擦学设计基础 .....	366	思考题 .....	412
第三节 机械零件材料选用原则 .....	380	习题 .....	412
第四节 机械零部件的标准化 .....	384		
文献阅读指南 .....	385	<b>第十五章 轴毂连接</b> .....	414
思考题 .....	386	第一节 键连接 .....	414
习题 .....	386	第二节 花键连接 .....	420
		第三节 过盈连接 .....	422
<b>第十四章 螺纹紧固件连接</b> .....	388	第四节 其他连接方法简介 .....	429
第一节 概述 .....	388	文献阅读指南 .....	431
第二节 螺纹紧固件及连接类型 .....	389	思考题 .....	431
第三节 螺纹紧固件连接的预紧与防松 ..	391	习题 .....	431
第四节 单个螺栓连接的强度计算 .....	395		
第五节 螺栓组连接的结构设计与强度 计算 .....	401	<b>第十六章 螺旋传动</b> .....	433
		第一节 螺旋传动的应用和分类 .....	433

第二节 滑动螺旋传动 .....	434	第三节 蜗杆传动的设计计算 .....	526
第三节 滚动螺旋传动 .....	439	第四节 圆弧圆柱蜗杆传动简介 .....	538
文献阅读指南 .....	443	文献阅读指南 .....	539
思考题 .....	444	思考题 .....	540
习题 .....	444	习题 .....	540
<b>第十七章 带传动和链传动</b> .....	446	<b>第二十章 轴的设计计算</b> .....	542
第一节 概述 .....	446	第一节 概述 .....	542
第二节 带传动 .....	447	第二节 轴的强度计算 .....	546
第三节 链传动 .....	465	第三节 轴的刚度计算 .....	557
文献阅读指南 .....	477	第四节 轴的振动与临界转速 .....	559
思考题 .....	477	文献阅读指南 .....	561
习题 .....	477	思考题 .....	562
<b>第十八章 齿轮传动</b> .....	478	习题 .....	562
第一节 概述 .....	478	<b>第二十一章 滚动轴承</b> .....	564
第二节 轮齿的失效形式与计算准则 .....	481	第一节 概述 .....	564
第三节 齿轮材料及其选择 .....	482	第二节 滚动轴承的类型和选择 .....	565
第四节 圆柱齿轮传动的载荷计算 .....	486	第三节 滚动轴承的代号 .....	569
第五节 直齿圆柱齿轮传动的齿面接触 疲劳强度计算 .....	492	第四节 滚动轴承的载荷、失效和计算 准则 .....	572
第六节 直齿圆柱齿轮传动的齿根抗弯 曲疲劳强度计算 .....	498	第五节 滚动轴承的寿命计算 .....	574
第七节 齿轮传动的静强度计算 .....	503	第六节 滚动轴承的静强度计算 .....	580
第八节 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....	508	第七节 滚动轴承的极限转速 .....	581
第九节 直齿锥齿轮传动的受力分析和 强度计算 .....	513	第八节 滚动轴承的润滑与密封 .....	582
第十节 齿轮传动的效率与润滑 .....	516	文献阅读指南 .....	587
文献阅读指南 .....	517	思考题 .....	587
思考题 .....	517	习题 .....	587
习题 .....	518	<b>第二十二章 滑动轴承</b> .....	589
<b>第十九章 蜗杆传动</b> .....	520	第一节 概述 .....	589
第一节 概述 .....	520	第二节 滑动轴承的类型与结构 .....	590
第二节 蜗杆传动的主要参数与几何 尺寸 .....	522	第三节 滑动轴承材料 .....	595
		第四节 润滑剂与润滑方法的选用 .....	598
		第五节 滑动轴承的设计计算 .....	599
		第六节 流体静压轴承 .....	608

文献阅读指南	610	习题	628
思考题	610		
习题	611		
<b>第二十三章 联轴器、离合器和制动器</b>		<b>第二十四章 弹簧</b>	629
<b>第一节 联轴器</b>	613	<b>第一节 概述</b>	629
<b>第二节 离合器</b>	621	<b>第二节 弹簧的材料和制造</b>	632
<b>第三节 制动器</b>	625	<b>第三节 圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧的设计</b>	
文献阅读指南	627	<b>计算</b>	634
思考题	627	<b>第四节 圆柱螺旋扭转弹簧</b>	643
		文献阅读指南	647
		思考题	647
		习题	647
<b>第六篇 机械零部件的结构设计</b>			
<b>第二十五章 机械结构设计的方法和准则</b>	650	<b>第二节 轴的结构设计</b>	676
<b>第一节 概述</b>	650	<b>第三节 滚动轴承的组合结构设计</b>	685
<b>第二节 结构设计的一般步骤和方案</b>		文献阅读指南	694
<b>扩展</b>	651	思考题	694
<b>第三节 结构类型</b>	654	习题	694
<b>第四节 结构设计的基本要求</b>	656		
<b>第五节 结构设计的原则</b>	658	<b>第二十七章 机架、箱体和导轨的</b>	
文献阅读指南	667	<b>结构设计</b>	697
思考题	668	<b>第一节 机架、箱体及其结构设计</b>	697
<b>第二十六章 轴系及轮类零件的结构设计</b>	669	<b>第二节 导轨及其结构设计</b>	703
<b>第一节 轮类零件的结构设计</b>	669	文献阅读指南	715
		思考题	715
<b>第七篇 机械的方案设计</b>			
<b>第二十八章 机械执行系统的方案设计</b>	718	<b>第四节 基于功能分析的机械执行系统的</b>	
<b>第一节 机械系统的总体方案设计</b>	718	<b>方案设计</b>	739
<b>第二节 机械执行系统的功能原理和运动</b>		<b>第五节 方案评价与决策</b>	744
<b>规律设计</b>	723	文献阅读指南	748
<b>第三节 执行机构的型式设计和执行系统</b>		思考题	749
<b>的协调设计</b>	727	习题	749

**第二十九章 机械传动系统的方案**

设计 .....	752	计算 .....	763
第一节 传动系统的功能和分类 .....	752	第五节 机械传动系统方案设计实例分析 .....	765
第二节 机械传动系统的组成及常用 部件 .....	754	第六节 原动机的选择 .....	771
第三节 机械传动系统方案设计 .....	758	文献阅读指南 .....	776
第四节 机械传动系统的特性及其参数		思考题 .....	776
		习题 .....	776

**第八篇 机械创新设计****第三十章 创新设计的基本原理与常用**

技法 .....	780	思考题 .....	798
第一节 概述 .....	780	<b>第三十一章 机械创新设计方法</b> .....	799
第二节 创造力与创造性思维 .....	782	第一节 机构创新设计方法 .....	799
第三节 创新原理 .....	785	第二节 机械结构创新设计方法 .....	814
第四节 常用创新技法 .....	789	文献阅读指南 .....	824
文献阅读指南 .....	798	思考题 .....	824

<b>参考文献</b> .....	825
-------------------	-----

**读者信息反馈表**

## 第五篇

# 机械零部件的工作能力设计



**机**械零部件的工作能力是指在一定的运动、载荷和环境条件下，在预定的使用期限内，不发生失效的安全工作限度。本篇讲述常用机械零部件工作能力的设计计算方法，内容包括设计理论基础、连接、传动、支承件及其他常用件，共分十二章。

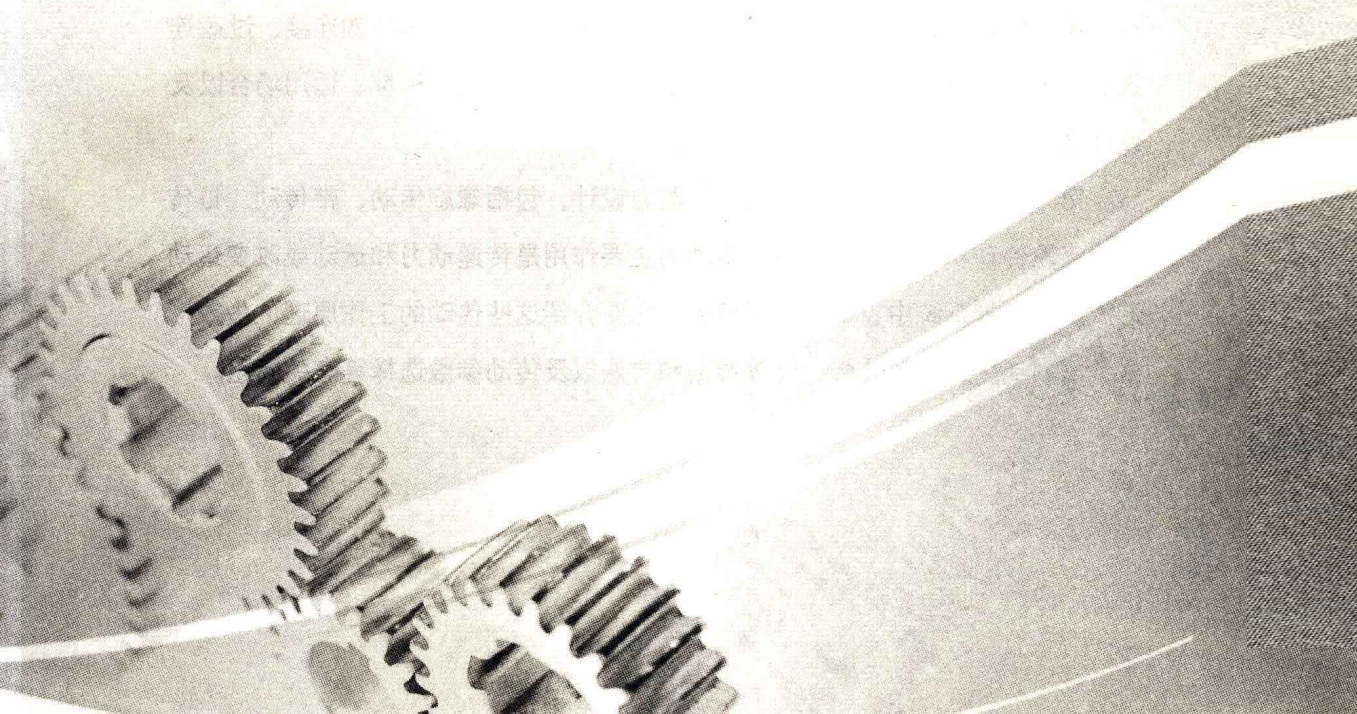
第十三章为“机械零件设计基础”，介绍机械零件的计算准则、摩擦学设计基础、机械零件的标准化及通用化和机械零件材料的选用原则。本章目的在于引出与零部件设计有关的一些基础性的、原则性的问题。这些问题将贯穿在本篇后续各章中，对各章具体内容的学习具有提纲挈领的作用。

第十四章和第十五章为连接设计，包括螺纹连接、键和花键连接、过盈连接。主要讲述连接方法和连接零件的结构、类型、性能、标准、适用场合以及设计理论和选用方法。

第十六~十九章为机械传动工作能力设计，包括螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动。机械传动的主要作用是传递动力和运动或改变运动形式，是机械系统中重要的组成部分。主要介绍这些传动的工作原理、失效形式、材料选用、受力分析、计算准则和方法以及传动参数选择等有关问题。

第二十章~二十二章为支承件的工作能力设计,包括轴、滚动轴承和滑动轴承。“轴”一章的内容主要介绍材料、强度和刚度计算,并简要介绍了轴的振动和临界转速的概念。“滚动轴承”一章的内容重点介绍轴承的类型、失效形式、计算准则和相应的计算方法以及常见的润滑和密封方法。“滑动轴承”一章的内容重点介绍普通滑动轴承的设计与计算和流体动力润滑轴承的计算原理,此外对滑动轴承材料、结构以及润滑材料和方法也作了较为充分的介绍。

本篇最后两章分别介绍联轴器、离合器、制动器的类型和选用以及螺旋弹簧的设计计算方法。



## 第十三章

# 机械零件设计基础

### 内容提要

本章内容包括设计准则、摩擦学设计基础、材料选择原则和机械零部件的标准化。介绍设计机械零件的最基本的准则：静强度、疲劳强度、刚度、稳定性和耐热性等。在摩擦学设计基础中简要介绍：摩擦力的计算；磨损类型及其磨损控制的基本设计要点；润滑剂、各种润滑方法及其特点。材料选择是机械设计的重要一环，本章介绍机械制造常用和最新的材料，性能选材法和成本选材法的概念。通用化、系列化和模块化是标准化的主要内容，标准化是机械设计的重要指导思想，也是应遵从的规范，本章对其作简要介绍。

从18世纪起逐步建立了用“安全系数”考虑一切不精确性和分散性因素的设计计算方法。19世纪40年代开始用“疲劳”一词描述机车车轴在低于按屈服点计算的安全状态下频繁发生的破坏。1867年德国A. Wöhler提出了疲劳极限的概念，奠定了常规疲劳强度设计的基础。20世纪40年代才提出了按实际要求的寿命进行有限寿命设计的概念。20世纪后半叶，出现了考虑材料裂纹的强度和寿命计算方法——断裂力学。之后，人们更开始用有限元法和电子计算机精确计算复杂零件的应力。虽然人类对摩擦现象早有认识，但直至1785年才提出有关摩擦的理论，1964年英国F. P. Bowden提出了比较完整的固体摩擦理论。1966年Jost调查报告首次提出“摩擦学”一词，引起了摩擦学研究的热潮，并导致“摩擦学设计”概念的产生。

## 第一节 机械零件的计算准则

### 一、机械零件的失效及其类型

机械零件丧失了规定功能的事件称为失效。失效的类型有：变形、断裂、腐蚀、磨损、老化、打滑和松动等，常常是复合形式的失效。有些类型的失效是破坏性失效，如轴断裂、轮齿点蚀，也有非破坏性失效，如带传动打滑、螺栓连接松动等。



机械零件失效的原因有：设计不当、制造工艺不当、材料冶金缺陷和使用操作失误等。设计不当、制造工艺不当和材料冶金缺陷造成的失效与机械产品品质有关，简称为机械失效。

为了避免机械零件失效，应使机械零件具有足够的抵抗失效的能力，这种能力称为机械零件的工作能力。在设计阶段设计者必须通过计算使机械零件获得足够的工作能力。因为失效类型不同，所以机械零件的工作能力类型也不同，故机械零件的计算准则也不同。

## 二、强度准则

机器工作时各个零件将承受或传递载荷，它们抵抗外载荷而不出现断裂、过大塑性变形等类型失效的能力称为强度。显然，保证所设计的零件有足够的强度，是保证机器正常工作的基本条件。机械零件的强度准则是：载荷在零件内引起的应力不应超过允许值，该允许值称为许用应力。

常用的零件强度的判别式有两种形式，应力小于许用应力和安全因数  $S$  大于许用安全因数  $[S]$ ，即

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \tau \leq [\tau] \quad (13-1)$$

$$S_\sigma \geq [S_\sigma] \quad S_\tau \geq [S_\tau] \quad (13-2)$$

许用应力和安全因数的表达式分别为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[S_\sigma]} \quad [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{[S_\tau]}$$

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma} \quad S_\tau = \frac{\tau_{\text{lim}}}{\tau}$$

式中， $\sigma_{\text{lim}}$ 、 $\tau_{\text{lim}}$ 是极限正应力和极限切应力； $[S_\sigma]$ 、 $[S_\tau]$ 是正应力和切应力的许用安全因数。

应力有静应力和循环应力，对应地有静强度和疲劳强度。

### (一) 静强度

零件在静应力条件下工作，其失效形式为断裂或塑性变形。

#### 1. 塑性材料零件的静强度

塑性材料零件按不发生塑性变形的条件进行强度计算，此时材料的极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$ 、 $\tau_{\text{lim}}$ 为屈服点  $\sigma_s$ 、 $\tau_s$ （或屈服强度  $\sigma_{0.2}$ 、 $\tau_{0.2}$ ）。

1) 在简单应力条件下，其强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad S_\sigma \leq [S_\sigma] \quad [\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S_\sigma]} \quad S_\sigma = \frac{\sigma_s}{\sigma} \quad (13-3)$$

$$\tau \leq [\tau] \quad S_\tau \leq [S_\tau] \quad [\tau] = \frac{\tau_s}{[S_\tau]} \quad S_\tau = \frac{\tau_s}{\tau}$$

2) 在复合应力条件下，可按第3或第4强度理论确定其强度条件。对于弯扭复合应力，可采用第3强度理论确定其强度条件，即

$$\sigma = \sqrt{\sigma_B^2 + 4\tau_T^2} \leq [\sigma] \quad S = \frac{\sigma_s}{\sqrt{\sigma_B^2 + 4\tau_T^2}} \geq [S] \quad (13-4)$$