

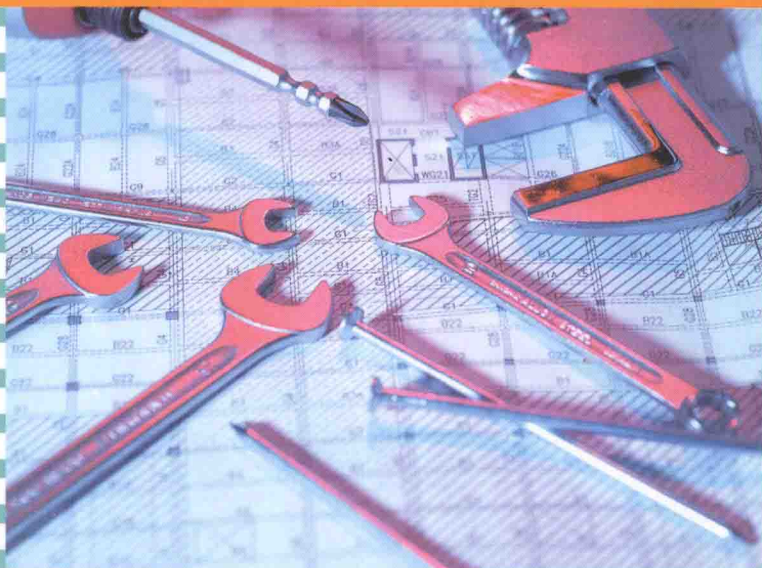
精品课程配套教材  
校企合作优秀教材

总主编 田 君

21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

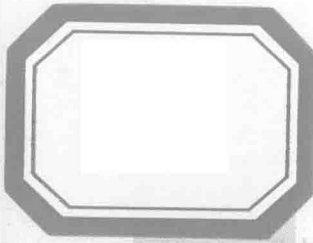
# 机械设计

JIXIE SHEJI



主编 张翠华 杨文敏 杨胜培 芦书荣

西北工业大学出版社  
全国985、211大学出版社



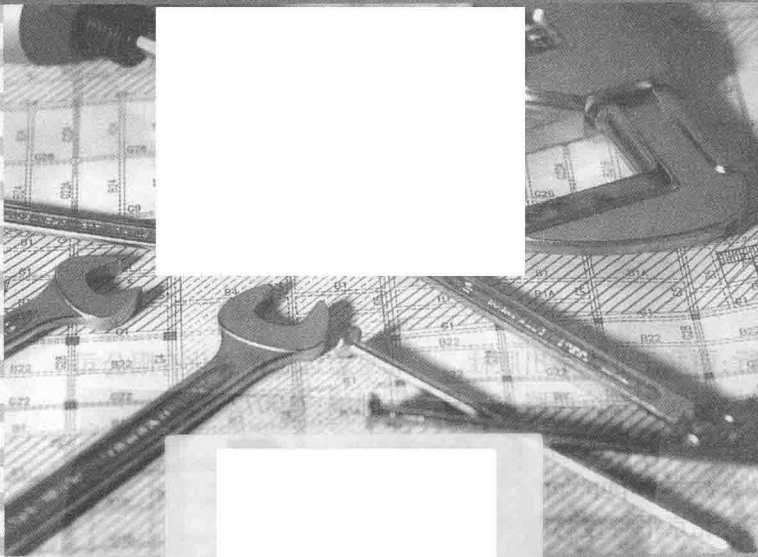
精品课程配套教材  
校企合作优秀教材

总主编 田 君

21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

# 机械设计

JIXIE SHEJI



主 编	张翠华	杨文敏	杨胜培	芦书荣
副主编	常军然	韩利芬	陈 云	王仕仙
	邵加丽	肖新华	钟守炎	

西北工业大学出版社  
全国985、211大学出版社

总主编 田 昏

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社 “三十” 系列丛书

**图书在版编目(CIP)数据**

机械设计 / 张翠华, 杨文敏, 杨胜培, 芦书荣主编. — 西安: 西北工业大学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-5612-4494-4

I. ①机… II. ①张…②杨…③杨…④芦… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 182908 号

出版发行:西北工业大学出版社 北京志远思博文化有限公司

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:北京平谷俊林印刷有限公司

开 本:787mm×1 092mm 1/16

印 张:27.75

字 数:607 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元

# 高等院校教育

## 教材研究与编审委员会

主任：陈德怀

常务委员：胡宝华 李雷 潘力锐 龚波  
夏巍 丽平 刘铁明 朱志峰

委员：(排名不分先后)

江敏	吴志全	刘庚碧	邓有林	朱长元
黄海	韩丽莎	刘仁芬	张叶栩	刘志东
阳源	初秀伟	李以渝	刘建国	徐春桥
禹利萍	周启胜	万智勇	李建宁	熊婷
刘涛	高进	吴志明	郑晖	叶春辉
李裕民	夏洁云	吴立炎	黄伟祥	钟建坤
喻凤生	侯德宏	武怀军	赵锦权	冯国敏
吴士田	彭继玲	李友云	蔡映红	郑明娥
陈灵仙	丁良南	刘永	张洪雷	绳传冬
杨中纲	李庆东	田嘉	李丰雪	张华
赵海燕	王军	郭伟伟	刁俊	吴坤
郑涛	杨耘	齐振东	顾美君	陈华平
张宏旭	姜胜中	霍义平	李志敏	陈诺敏
龚云平	李梅	沈易娟	袁芬	魏宁
郑聪	刘延	汤伟光	张海彬	李霞
王志强	彭晓娟	那仁图亚		

# 前 言

本书是在结合机械课程教学指导委员会对机械设计课程知识点要求,适应教育部“卓越工程师教育培养计划”,及工程教育模式教学实际的基础上进行编写的,适用于应用型本科院校机械类、近机械类和非机械各专业作为机械设计课程的教材,同时该教材也可作为高等职业学校、成人高校相关专业的教材,还可供相关工程技术人员参考。

本书的基本内容包括六大部分内容,第一部分为总论部分,讲授机器及零件设计的基本原则、设计计算理论、材料选择、结构要求以及摩擦、磨损、润滑等方面的知识等;第二部分为连接部分,讲授螺纹连接、键、花键及无键连接、销连接等;第三部分为传动部分,讲授螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等;第四部分为轴系部分,讲授滑动轴承、滚动轴承、联轴器与离合器以及轴等;第五部分为其他零部件内容;第六部分为机械系统与机械系统设计综述。

本书是在参考大量相关教材、机械设计手册等资料的基础上编写而成的,并结合自身多年来的一线教学经验对相关内容重新整合,加强了课程内容在逻辑上的联系和结构上的重构,比如将齿轮传动、各类齿轮的受力分析类似的内容,组织在一起,强度计算也都是相同的理论依据,也放到一起讲述,而不再像之前的教材分散讲解,以至学生在听课或自学时无法知晓其内在联系,经本书对内容的重构之后,让学生容易联系与比较。此外,笔者深知本课程的实践性、综合性、理论性很强,在组织内容方面,注重理论联系实际,每种零部件的应用都做了较为系统的介绍,举例通常都是日常生活中学生可以接触到的行业或产品,把用到的先修课程知识穿插到内容中去,使得知识的连贯性突出,逻辑性得以体现。本教材为方便使用,配有多媒体课件。

本书由聊城大学张翠华、湖南农业大学杨文敏、湖南师范大学杨胜培、南京航空航天大学金城学院芦书荣担任主编并编写第三章至第十五章,由钟守炎、常军然、韩利芬、陈云、王仕仙、邵加丽、肖新华担任副主编并编写第十六章至第二十章,由东莞理工学院田君担任总主编并编写第一章和第二章。同时西北工业大学出版社雷军副社长及编辑人员也对本书的出版编辑投入了大量的心血,在此致以衷心的感谢!

由于水平和时间有限,不足之处在所难免,欢迎广大同仁和读者不吝批评指正。

编者

2015年8月



第三节	螺纹连接的预紧和防松 .....	36
第四节	螺栓组连接受力分析 .....	40
第五节	单个螺栓的强度计算 .....	46
第六节	提高螺栓强度的措施 .....	54
习题	.....	63
<b>第四章</b>	<b>轴毂连接 .....</b>	<b>66</b>
第一节	键连接 .....	66
第二节	花键连接 .....	71
第三节	销连接 .....	73
第四节	过盈连接 .....	75
第五节	型面连接 .....	76
第六节	胀套连接 .....	76
习题	.....	77
<b>第五章</b>	<b>焊接、铆接和粘接 .....</b>	<b>79</b>
第一节	焊接 .....	79
第二节	铆接 .....	86
第三节	粘接 .....	91
习题	.....	94
<b>第三篇 机械传动设计</b>		
<b>第六章</b>	<b>带传动 .....</b>	<b>95</b>
第一节	概述 .....	95
第二节	带传动类型及其工作原理 .....	96
第三节	带传动工作情况分析 .....	97
第四节	普通 V 带传动的设计计算 .....	102
第五节	V 带传动结构设计 .....	113
第六节	其他带传动简介 .....	116
习题	.....	119
<b>第七章</b>	<b>链传动 .....</b>	<b>120</b>
第一节	概述 .....	120
第二节	滚子链和链轮 .....	121
第三节	链传动工作情况分析 .....	126
第四节	滚子链传动设计 .....	129
习题	.....	135

<b>第八章 圆柱齿轮传动</b> .....	137
第一节 概述 .....	137
第二节 渐开线圆柱齿轮的受力分析 .....	137
第三节 齿轮传动失效分析与计算准则 .....	140
第四节 齿轮材料及精度选择 .....	143
第五节 计算载荷 .....	147
第六节 齿面接触疲劳强度计算 .....	150
第七节 齿根弯曲疲劳强度计算 .....	156
第八节 许用应力简介 .....	160
第九节 静强度计算和耐磨性计算 .....	163
第十节 圆柱齿轮设计计算 .....	165
第十一节 结构设计 .....	171
习题 .....	174
<b>第九章 锥齿轮传动</b> .....	177
第一节 概述 .....	177
第二节 直齿锥齿轮受力分析 .....	179
第三节 直齿锥齿轮传动的强度计算 .....	180
第四节 结构设计 .....	181
习题 .....	186
<b>第十章 蜗杆传动</b> .....	188
第一节 概述 .....	188
第二节 阿基米德圆柱蜗杆传动 .....	191
第三节 蜗杆传动的相对滑动速度与效率 .....	198
第四节 蜗杆传动的失效形式与材料选择 .....	201
第五节 蜗杆传动的受力分析与计算载荷 .....	203
第六节 蜗轮轮齿强度计算与蜗杆刚度计算 .....	205
第七节 蜗杆传动的热平衡计算 .....	209
第八节 阿基米德圆柱蜗杆传动的结构与精度 .....	210
第九节 环面蜗杆传动简介 .....	215
习题 .....	217
<b>第十一章 螺旋传动</b> .....	220
第一节 概述 .....	220
第二节 滑动螺旋传动的设计 .....	223
第三节 其他螺旋传动简介 .....	232



习题	233
<b>第四篇 轴系设计</b>	
<b>第十二章 轴</b>	235
第一节 概述	235
第二节 轴的材料	239
第三节 初估轴的直径	240
第四节 轴的结构设计	242
第五节 轴的强度计算	250
第六节 轴的刚度计算	263
第七节 轴的振动简介	264
习题	264
<b>第十三章 滚动轴承</b>	266
第一节 概述	266
第二节 滚动轴承的类型和代号	267
第三节 滚动轴承的类型选择	272
第四节 滚动轴承的工作情况分析、失效形式与计算准则	273
第五节 滚动轴承的寿命计算	275
第六节 滚动轴承的静强度计算	283
第七节 滚动轴承的极限转速	284
第八节 滚动轴承的组合设计	285
习题	294
<b>第十四章 滑动轴承</b>	297
第一节 概述	297
第二节 滑动轴承结构与材料	298
第三节 混合润滑轴承的计算	304
第四节 液体动压润滑原理	306
第五节 液体动压润滑径向轴承的设计	310
第六节 液体静压润滑简介	321
习题	322
<b>第十五章 联轴器、离合器与制动器</b>	324
第一节 联轴器	324
第二节 离合器	335
第三节 制动器	340

80	习题 .....	343
<b>第五篇 其他常用零部件设计</b>		
08	<b>第十六章 弹簧</b> .....	344
08	第一节 概述 .....	344
08	第二节 弹簧材料和制造 .....	344
18	第三节 圆柱螺旋弹簧的结构 .....	349
	第四节 圆柱螺旋弹簧的工作情况分析 .....	351
	第五节 圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧的设计 .....	355
	第六节 圆柱螺旋扭转弹簧的设计 .....	359
	第七节 其他类型弹簧简介 .....	361
	习题 .....	364
08	<b>第十七章 润滑装置</b> .....	365
	第一节 概述 .....	365
	第二节 常用的润滑方式及装置 .....	365
	第三节 典型零、部件的润滑方式及润滑剂的选择 .....	374
	习题 .....	382
08	<b>第十八章 密封装置</b> .....	384
	第一节 概述 .....	384
	第二节 密封类型与选择 .....	384
	第三节 静密封 .....	385
	第四节 动密封 .....	387
	第五节 机械密封 .....	392
	第六节 其他密封 .....	394
	习题 .....	395

## 第六篇 机械系统与现代机械设计综述

08	<b>第十九章 机械系统设计</b> .....	396
	第一节 机械系统的组成 .....	396
	第二节 机械系统方案设计概述 .....	397
	第三节 原动机的选择 .....	398
	第四节 机械执行系统的方案设计 .....	400
	第五节 机械传动系统的方案设计 .....	401
	第六节 机械控制系统简介 .....	406

习题 .....	408
<b>第二十章 现代机械设计综述 .....</b>	<b>409</b>
第一节 概述 .....	409
第二节 现代机械设计基础 .....	412
第三节 现代机械设计过程概述 .....	420
习题 .....	430
<b>参考文献 .....</b>	<b>431</b>
123 .....	章四第
223 .....	章五第
323 .....	章六第
321 .....	章七第
324 .....	章八第
325 .....	章十第
326 .....	章一第
327 .....	章二第
328 .....	章三第
329 .....	章四第
330 .....	章五第
331 .....	章六第
332 .....	章七第
333 .....	章八第
334 .....	章一第
335 .....	章二第
336 .....	章三第
337 .....	章四第
338 .....	章五第
339 .....	章六第
340 .....	章七第
341 .....	章八第
342 .....	章一第
343 .....	章二第
344 .....	章三第
345 .....	章四第
346 .....	章五第
347 .....	章六第
348 .....	章七第
349 .....	章八第
350 .....	章一第
351 .....	章二第
352 .....	章三第
353 .....	章四第
354 .....	章五第
355 .....	章六第
356 .....	章七第
357 .....	章八第
358 .....	章一第
359 .....	章二第
360 .....	章三第
361 .....	章四第
362 .....	章五第
363 .....	章六第
364 .....	章七第
365 .....	章八第
366 .....	章一第
367 .....	章二第
368 .....	章三第
369 .....	章四第
370 .....	章五第
371 .....	章六第
372 .....	章七第
373 .....	章八第
374 .....	章一第
375 .....	章二第
376 .....	章三第
377 .....	章四第
378 .....	章五第
379 .....	章六第
380 .....	章七第
381 .....	章八第
382 .....	章一第
383 .....	章二第
384 .....	章三第
385 .....	章四第
386 .....	章五第
387 .....	章六第
388 .....	章七第
389 .....	章八第
390 .....	章一第
391 .....	章二第
392 .....	章三第
393 .....	章四第
394 .....	章五第
395 .....	章六第
396 .....	章七第
397 .....	章八第
398 .....	章一第
399 .....	章二第
400 .....	章三第
401 .....	章四第
402 .....	章五第
403 .....	章六第

绪论

### 一、机械设计在经济建设和科技发展中的作用

从科学技术发展的进程表明，机械工业是科学技术物化为生产力的重要载体。在一次又一次工业革命过程中，机械与冶金、化工、电力、电子及信息产业等诸多领域科技成果的有机结合，不断地为工业、农业、交通运输、国防建设和人们日常生活等方面提供先进的设备和器械。生产过程机械化与自动化的实现，极大地推动了技术创新与社会进步，充分体现了机械工业在国民经济中所起到的至关重要的作用。

机械设计是机械工业的基础技术，是生产机械所必须进行的技术决策活动。在制造业中，设计是制造的第一步。科技成果要转变为有竞争力的新产品，设计起着关键性的作用。机械产品的性能和技术水平主要是由设计水平保证的，产品成本的70%~80%是在设计阶段决定的，约有50%的产品质量事故是由于设计不当引起的，因此，设计工作的质量和水平，直接关系到产品质量、性能和技术经济效益。

机械使用的广泛程度是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。工业发达国家极为重视机械设计工作，不断地研制出适应市场需要的机电产品，有力地促进了全球经济的蓬勃发展。当前，国内外机械产品市场竞争十分激烈，社会对现代化机械要求日益苛刻。为了促进我国机械工业的进一步发展，更好地满足国民经济各部门对先进技术装备的需求，我国机械设计人员肩负着不断创新、不断开发出有竞争力的新产品这一十分艰巨和伟大的任务。

### 二、本课程的研究对象

机械是机器与机构的总称。机械设计包括机器设计和机构设计两大部分内容。本课程的研究对象是机器及组成机器的机械零部件。在“机械设计”课程中，机械设计与机器设计同义。

机器是人类进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要劳动工具。机器由于其构造、性能及用途的不同而种类繁多。但就其功能组成而言，机器是由原动机部分、传动部分和执行部分组成的机械系统。现代机器一般还有控制部分和辅助部分（如润滑、显示、照明等），但机器的主体是机械系统。

从制造和装配的角度来看，任何机器又都是由许多基本单元组成的。这些基本单元就是机械零件，简称零件，它们是机器中最小的独立制造单元。由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合物体，称为部件。零件与部件统称为零部件（有些场合，零件即指零部件）。

机械零部件可分为通用零部件和专用零部件两大类：在各种机器中都能用到的零部件称为通用零部件，如螺钉、齿轮、轴、滚动轴承、联轴器、减速器等；在某种特定类型的机器中才能用到的零部件称为专用零部件，如涡轮机的叶片、内燃机的活塞、纺织机的织梭等。本课程研究对象中的机械零部件，是指在普通条件下工作的一般尺寸与参数的通用零部件。

机械设计是指设计开发新的机器设备或改进现有的机器设备。机械设计是一项极富创造性的工作。

### 三、本课程的性质、内容和任务

“机械设计”课程是一门培养学生具有机械设计能力的主干技术基础课程。

本课程的内容是对机械设计基础知识、基本理论、程序和设计步骤与过程的论述。从工作情况分析、主要失效形式、设计计算准则、主要参数计算与校核方法、典型结构设计等方面学习四大类（连接、机械传动、轴系、其他）典型机械零部件的设计方法，并从整体的角度初步学习机械系统设计的基本知识。

本课程的主要任务是培养学生：

- (1) 掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律，具有设计一般机械的能力。
- (2) 初步具有一定机械系统方案优化及决策的能力与素质。
- (3) 树立创新意识和正确的设计思想。
- (4) 具有运用标准、规范、手册、图册等技术资料及 CAD 软件的能力。
- (5) 了解国家当前的有关技术经济政策及机械设计的新发展动向。

本课程的内容、性质和任务与过去所学的理论课程不同，它集理论性、实践性、应用性、综合性于一体。因此，在本课程的学习过程中，要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能、结合各个教学实践环节进行机械工程技术人员的基本训练，逐步提高自己分析问题与解决问题的能力，为顺利过渡到专业课程的学习及进行专业产品和设备的设计打下宽广而坚实的基础。

### 四、本课程的特点和学习方法

本课程具有与各门先修课程的关系多、与生产实际的联系多、设计计算时需考虑的问题多等特点，因此，与先修课程相比，在学习的思维和方法上有较大的差别。了解和掌握本课程的特点，在学习不断探求与之相适应的学习方法，并随时注意总结提高，是学习好本课程的重要条件。现结合本课程的特点，将学习中应注意的问题概述如下，供学习者参考。

#### 1. 系统地掌握课程内容

本课程基本上以每一种零部件作为一个单元来讨论。学习每一种零部件的设计时，都应了解它的类型、结构特点、优缺点和应用范围；掌握对其工作情况的分析和可能的失效形式，以及保证该零部件工作能力的计算准则、计算方法和公式；掌握公式中各系数的物理概念、各参数的选择原则及对设计结果的影响；掌握零部件的设计步骤和进行结构设计

的原理和方法；了解公式的推导思路，对复杂的公式不要求死记硬背。

由于机械设计是多学科的综合应用，所以与学习理论性的基础课程有明显的不同。学生在初学本课程时，会有一个逐渐适应的过程。建议学完一章之后，自己做一个小结，以便逐步掌握各种零部件的分析方法和设计规律。

本书每一章后的习题中有一些思考题，它将帮助学生学习教育内容，检查掌握教材内容的情况。

## 2. 把主要注意力放在提高分析问题和解决问题的能力上

机械设计要解决的都是实际问题，因此，在掌握课程内容的基础上，要去分析和解决实际问题，特别是要逐步熟悉工程中分析问题和解决问题的方法和步骤。为此，必须注意以下两点。

(1) 由于生产实际中的问题比较复杂，影响设计的因素很多，零件设计往往不能单纯由理论计算去解决。有些系数和数据是根据一定条件下的实验得来的，有时还要用到经验或半经验公式。因此，要注意系数、数据和公式的应用范围和使用条件，在确定零部件形状和尺寸时要考虑各零部件之间的相互联系和协调，并重视结构设计的作用。

(2) 大部分零部件的设计问题往往有多个解法，即可能有多种方案来完成同一功能。因此，要逐步学会从各种可能的解答中通过评价找出最佳解法。

## 3. 重视实践，多作练习

本课程是实践性很强的课程。要独立去完成练习题和设计作业；要高度重视本课程的课程设计；要多练习徒手画结构图或轴测图以表达自己的设计构思；要到现场去观察和分析实际机器及零件的形式、结构、特点和应用情况，了解其出现过的问题，以逐步积累实际知识和建立实际概念。

## 4. 注意自学能力的提高

科技发展很快，新结构、新材料、新方法（工艺方法和设计方法）的不断涌现，以及计算机的应用，正在日新月异地改变着设计的面貌。因此，建议学生不仅在学习教材时要培养自学能力，而且提倡多了解机械行业最新动态。

## 5. 注意培养自己创造性设计的能力

本课程所阐述的内容、方法和结构在目前是具有典型性的，也是应该掌握的。但是，要求学生有不以现有的结构和方法为满足的愿望，鼓励大胆地提出新的设想，并且要有把创新构思的想象变为图纸和实物的能力。

# 第一篇 机械设计总论

本篇概括地论述与本课程普遍有关的内容。同时介绍机械工业发展概况及主要成就，同时指出我国机械工业发展中的主要问题及主要任务。本篇可作为机械专业及相关专业的入门知识。

第一章 机械设计概述

## 第一节 机械设计的基本要求和一般程序

为了掌握机械设计的基本理论与方法，有必要首先了解设计机器应满足的基本要求和一般程序。

### 一、设计机器应满足的基本要求

设计机器的任务是根据市场需求提出的。需求的多样化导致机器的种类繁多，但无论机器的类型如何，一般都会对机器提出以下基本要求：

- (1) 功能要求。能实现机器的预定功能，并在预定环境条件和工作期限内可靠地工作。
- (2) 经济性要求。要求设计、制造和使用机器的费用少，并且效率高。
- (3) 操作方便、运行安全。要求设计的机器操作简便、省力；必要时可安装安全防护和保险装置；尽可能降低机器的噪声；美化机器的外观造型等，并应妥善处理和机器间的各个联系环节。
- (4) 其他要求。如巨型机器要便于安装、拆卸和运输；食品、纺织、造纸机器不得污染产品；外观要美观大方等。

### 二、机械设计的一般程序

设计机器并没有一个固定不变的程序，须视具体情况而定，在此仅介绍较为典型的一般设计程序。



### 1. 确定设计任务

首先根据社会、市场和用户的需要,确定机器的功能和经济技术指标,进而研究实现的可能性,然后确定设计需要解决的问题和项目,并编制设计任务书。应在调查分析的基础上,组织人员拟订可行的工作计划。

### 2. 拟定总体方案

根据设计任务规定的机器功能,拟定机器的总体布置及传动方案,分析机构的运动规律和受力情况。这一阶段中往往需要拟定多种方案,并对经济技术指标及方案的可行性进行比较,从中选用最佳方案。

### 3. 总体结构设计

依据总体方案,通过运动学和动力学计算,以及关键零部件工作能力和寿命的计算,有时还需借助试验测得必要的数据,确定结构中零部件的形状、尺寸及其相互间的位置关系,绘出总体结构草图。

### 4. 零部件设计

根据总体结构要求,考虑零部件的工艺性和工作能力,绘制零部件工作图,并编写出相应的技术文件和说明书。

### 5. 鉴定和评价

设计的图纸能否实现预定的功能和满足提出的各项要求,可靠性和经济性又如何,都需经过试制样机、试车,以做出科学的鉴定和评价。然后进行修改,再试制、试车,直至达到产品定型设计的要求。

从以上设计程序可见,各个阶段的设计相互联系,若某阶段中发现问题,则有关阶段必须要修改设计。因此,整个设计过程是一个不断修改和完善的过程。只有当设计人员树立了正确的设计思想,掌握了先进的科学技术知识和辩证的思维方法,在实践中不断积累设计经验,并有所发展和创新,才能出色地完成设计任务。

## 第二节 载荷与应力分析

### 一、载荷分析

#### 1. 载荷形式

机械零件工作时承受的载荷通常有以下几种形式:

集中力  $F$  (N)、转矩  $T$  ( $N \cdot m$ )、弯矩  $M$  ( $N \cdot m$ ) 或功率  $P$  (W)。

#### 2. 载荷分类

按载荷与时间的关系,作用在机械零件上的载荷可分为静载荷和变载荷。不随时间变化或变化缓慢的载荷称为静载荷,随时间变化的载荷称为变载荷。

在设计计算中,还常把载荷分为名义载荷与计算载荷。根据额定功率用力学公式计算



出作用在零件上的载荷称为名义载荷 ( $F, T, M, P$ ), 它没有反映载荷随时间作用的不均匀性、载荷在零件上分布的不均匀性及影响零件受载的其他因素。因此, 常用载荷系数  $K$  ( $K=K_1K_2\cdots$ ) 来考虑这些因素的综合影响。载荷系数  $K$  与名义载荷的乘积即称为计算载荷 ( $F_c, T_c, M_c, P_c$ )。

## 二、应力分析

### 1. 应力分类

按应力随时间的关系, 应力可分为静应力和变应力。不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力, 如图 1-1 (a) 所示。随时间变化的应力称为变应力。工程中常见的为按一定规律变化的循环变应力, 图 1-1 (b) 所示为非对称循环变应力, 图 1-1 (c) 所示为脉动循环变应力, 图 1-1 (d) 所示为对称循环变应力。对于那些变化无规律的随机变应力, 这里从略。

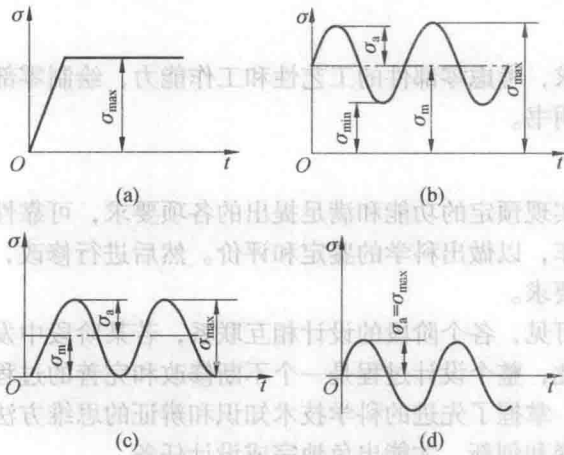


图 1-1 应力的类型

(a) 静应力; (b) 非对称循环变应力; (c) 脉动循环变应力; (d) 对称循环变应力

### 2. 变应力主要参数

为了表示循环变应力的状况, 引入下列参数:

$\sigma_{\max}$ ——最大应力;  $\sigma_{\min}$ ——最小应力;  $\sigma_m$ ——平均应力;  $\sigma_a$ ——应力幅;  $r$ ——循环特性系数。

由图 1-1 可知,  $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$ ;  $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$ 。

循环特性系数  $r$  的定义为  $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ 。当  $r = +1$  时, 表明  $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$ , 为静应力; 当  $r = -1$  时, 表明  $\sigma_{\max}$  与  $\sigma_{\min}$  的数值相等但符号 (即方向) 相反, 为对称循环变应力; 当  $r = 0$  时, 表明  $\sigma_{\min} = 0$ , 为脉动循环变应力; 当  $r$  为其他任意值时, 均为非对称循环变应力。

通常在设计时, 对于应力变化次数较少 (例如在整个使用寿命期间应力变化次数小于  $10^3$  的通用零件) 的变应力, 可以近似地按静应力处理。

变应力可能由变载荷产生, 也可能由静载荷产生。如在静载荷作用下受到弯矩的转轴, 其横截面上除中心外任意一点的弯曲应力均为对称循环变应力。