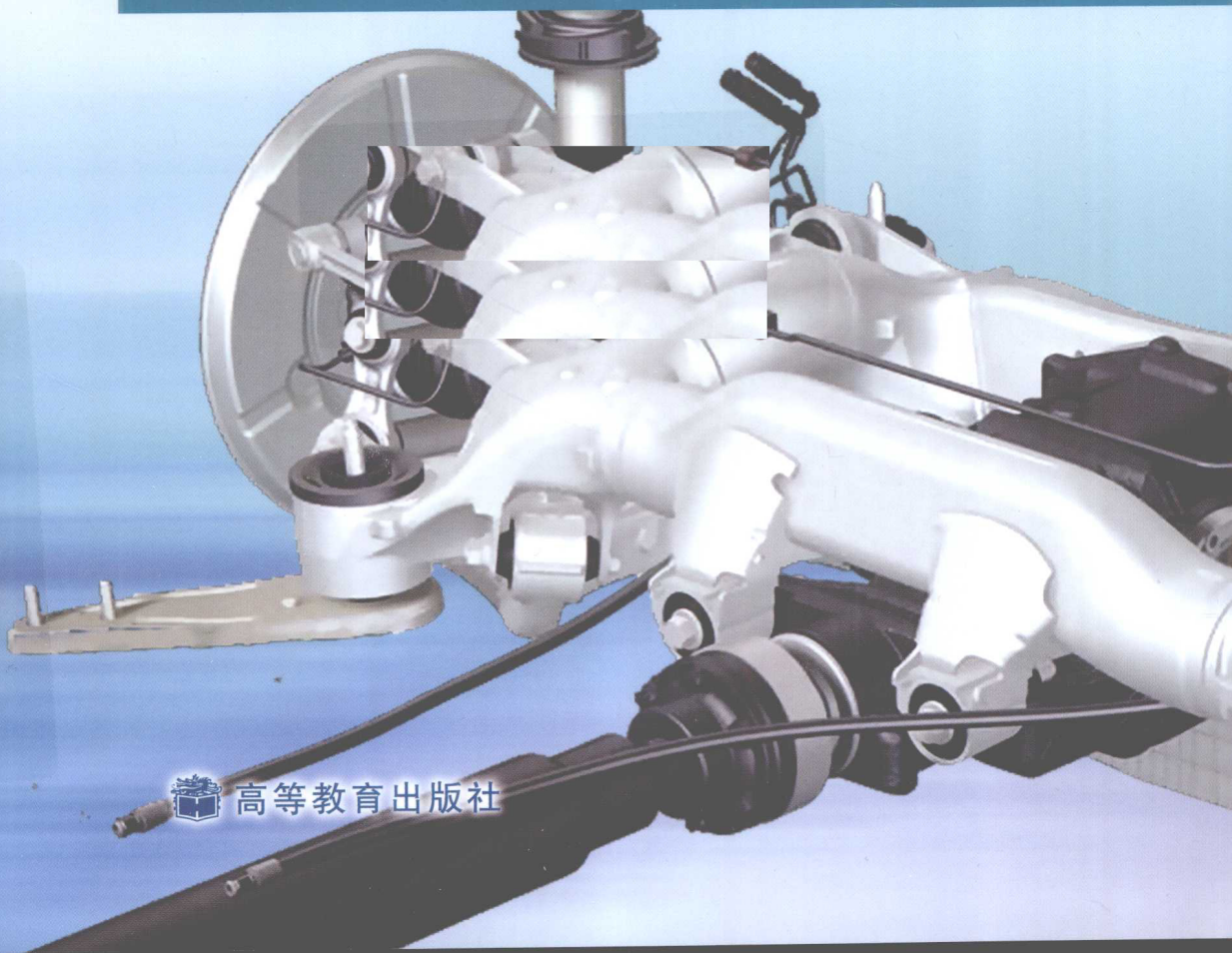




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械设计

● 宋宝玉 王黎钦 主 编



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 械 设 计

Jixie Sheji

宋宝玉 王黎钦 主编
吴宗泽 主审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书根据《高等学校工科本科机械设计课程教学基本要求》，以培养学生的综合机械设计能力为主线，以机械设计的基本理论、基本知识和基本设计计算方法为主要内容，突出了设计性、实践性和综合性的特点。

本书共 15 章，内容包括绪论，机械设计概论，螺纹连接，其他常用连接，带传动，齿轮传动，蜗杆传动，其他常用传动，轴，滚动轴承，滑动轴承，联轴器、离合器及制动器，弹簧，机架零件及机械传动系统方案设计等。

本书主要用做高等工科大学机械类专业教材，也可供其他相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计 / 宋宝玉, 王黎钦主编. —北京: 高等教育出版社, 2010.5

ISBN 978-7-04-029490-3

I. ①机… II. ①宋… ②王… 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 (2010) 第 032890 号

策划编辑 宋 晓 责任编辑 李京平 封面设计 张申申 责任绘图 尹 莉
版式设计 范晓红 责任校对 王效珍 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京宏信印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 21
字 数 520 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 5 月第 1 版
印 次 2010 年 5 月第 1 次印刷
定 价 29.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29490-00

前 言

本书是根据《高等学校工科本科机械设计课程教学基本要求》及教育部组织实施的“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的要求，并结合我校工科机械基础课程教学基地建设和教学改革实践经验编写而成的。

本书的编写遵循以下几个原则：

(1) 以培养学生的综合机械设计能力为主线，以机械设计的基本理论、基本知识和基本设计计算方法为主要内容，强调整机设计的概念和在工程设计中的应用，重视培养学生的总体方案设计能力和结构设计能力。

(2) 正确处理传统教学内容与科学技术发展的关系，适度地反映一些本领域中的新知识、新理论和新方法。

(3) 采用最新的国家标准和规范。

(4) 精心设计思考题与习题，便于学生复习、巩固相关的内容。

由宋宝玉、王黎钦任主编，参加本书编写工作的有宋宝玉（第一、二、十五章）、王黎钦（第三、五章），古乐（第四、八章），吴伟国（第六、七章），张锋（第九、十二章），曲建俊（第十、十一章），高海波（第十三、十四章），全书由张锋负责文稿及图表的整理。

本书由清华大学吴宗泽教授主审，他对本书进行了仔细的审阅，提出了许多宝贵的意见和建议；哈尔滨工业大学机械设计系的许多老师也提出了许多宝贵的意见和建议，特别是王连明教授，他对全书进行了多次审查，提出了许多修改意见和建议。他们的工作都为提高本书质量起了很大作用，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有缺点和错误，恳切希望广大读者给予批评指正。

编者

2009 年 6 月

目 录

第一章 绪论 1	
1.1 机械的组成及本课程研究的对象..... 1	
1.1.1 机械的组成..... 1	
1.1.2 本课程研究的对象..... 2	
1.2 本课程的性质、地位和任务..... 2	
1.3 本课程的特点和学习方法..... 2	
思考题与习题..... 3	
第二章 机械设计概论 4	
2.1 机械设计的基本要求和一般程序..... 4	
2.1.1 机械设计的基本要求..... 4	
2.1.2 机械设计的一般程序..... 4	
2.2 机械零件的载荷和应力..... 5	
2.2.1 载荷..... 5	
2.2.2 应力..... 6	
2.3 机械零件的主要失效形式和设计计算准则..... 9	
2.3.1 机械零件的主要失效形式..... 9	
2.3.2 机械零件的工作能力和设计计算准则..... 10	
2.4 机械零件材料的选用原则..... 12	
2.5 机械零件的结构工艺性..... 13	
2.6 机械设计中的标准化..... 16	
2.7 摩擦、磨损和润滑基本知识..... 16	
2.7.1 摩擦..... 17	
2.7.2 磨损..... 19	
2.7.3 润滑剂..... 20	
思考题与习题..... 24	
第三章 螺纹连接 25	
3.1 螺纹..... 25	
3.1.1 常用螺纹类型及特点..... 25	
3.1.2 螺纹的主要参数..... 26	
3.1.3 螺纹的公差和精度..... 27	
3.1.4 螺纹副的受力、效率和自锁..... 28	
3.2 螺纹连接的基本类型和标准连接件..... 30	
3.2.1 螺纹连接的基本类型及应用特点..... 30	
3.2.2 标准螺纹连接件..... 31	
3.2.3 螺纹连接件的常用材料及力学性能等级..... 32	
3.3 螺纹连接的预紧与防松..... 32	
3.3.1 螺纹连接的拧紧力矩及其控制方法..... 32	
3.3.2 螺纹连接的防松..... 34	
3.4 螺栓组连接的设计..... 36	
3.4.1 螺栓组连接的结构设计..... 36	
3.4.2 螺栓组连接的受力分析..... 37	
3.5 单个螺栓连接的强度计算..... 41	
3.5.1 松螺栓连接..... 41	
3.5.2 紧螺栓连接..... 42	
3.5.3 螺栓连接的许用应力..... 47	
3.5.4 受轴向工作拉力作用的紧螺栓连接设计流程图..... 48	
3.6 提高螺栓连接强度的措施..... 51	
3.6.1 改善螺纹牙上的载荷分配..... 51	
3.6.2 避免螺栓承受附加额外载荷..... 51	
3.6.3 提高疲劳强度的措施..... 52	
思考题与习题..... 53	
第四章 其他常用连接 55	
4.1 键连接..... 55	
4.1.1 平键连接..... 55	
4.1.2 楔键连接..... 57	
4.1.3 半圆键连接..... 57	
4.2 花键连接..... 58	
4.2.1 矩形花键连接..... 58	
4.2.2 渐开线花键连接..... 58	

4.2.3 花键连接的强度计算	58	6.4.4 齿间载荷分配系数 K_α (≥ 1)	98
4.3 销连接	59	6.5 标准直齿圆柱齿轮传动的	
4.4 成形连接	60	强度计算	99
4.5 焊接和胶接	60	6.5.1 轮齿的受力分析	99
4.5.1 焊接	60	6.5.2 齿面接触疲劳强度计算	101
4.5.2 胶接	64	6.5.3 齿根弯曲疲劳强度计算	105
思考题与习题	65	6.6 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度	
第五章 带传动	66	计算	108
5.1 带传动概述	66	6.6.1 轮齿的受力分析	108
5.2 传动带的应用基础	66	6.6.2 齿面接触疲劳强度计算	110
5.2.1 传动带的类型和特点	66	6.6.3 齿根弯曲疲劳强度计算	113
5.2.2 V带的结构、型号和基本尺寸	68	6.7 齿轮传动强度计算中的许用	
5.2.3 V带轮的结构设计	70	应力	114
5.2.4 带传动的张紧	72	6.7.1 齿轮传动的许用应力、齿轮	
5.3 带传动的工作能力分析	73	极限应力 σ_{Hlim} 与 σ_{Flim}	114
5.3.1 带传动的受力分析	73	6.7.2 许用接触应力 $[\sigma]_H$	116
5.3.2 带传动的应力分析	74	6.7.3 许用弯曲应力 $[\sigma]_F$	116
5.3.3 带传动的弹性滑动和打滑现象	75	6.8 圆柱齿轮传动的设计	117
5.3.4 带传动的失效形式和设计准则	77	6.8.1 概述	117
5.4 普通V带传动的设计计算步骤		6.8.2 齿轮传动的主要参数选择	118
和方法	79	6.8.3 齿轮传动设计流程图	120
5.5 其他带传动简介	83	6.9 直齿锥齿轮传动的强度计算	129
5.5.1 同步带传动	83	6.9.1 直齿锥齿轮传动强度计算的	
5.5.2 高速带传动	83	特点	130
思考题与习题	84	6.9.2 直齿锥齿轮传动几何参数	
第六章 齿轮传动	86	计算	130
6.1 齿轮传动概述	86	6.9.3 直齿锥齿轮轮齿受力分析	131
6.2 齿轮传动的主要失效形式和		6.9.4 直齿锥齿轮的载荷系数	
设计准则	87	$K=K_A K_v K_\beta$	132
6.2.1 齿轮传动的主要失效形式	87	6.9.5 直齿锥齿轮的齿面接触	
6.2.2 齿轮传动的设计准则	91	疲劳强度计算	133
6.3 齿轮常用材料及其热处理方法	91	6.9.6 直齿锥齿轮的齿根弯曲疲劳	
6.3.1 齿轮常用材料	91	强度计算	134
6.3.2 齿轮常用热处理方式	93	6.9.7 主要参数选择	134
6.3.3 齿轮材料及热处理方式的选择	93	6.10 齿轮的结构设计	137
6.4 齿轮传动的计算载荷	94	6.10.1 齿轮结构设计的主要内容	137
6.4.1 使用系数 K_A (≥ 1)	94	6.10.2 齿轮的常用结构型式与结构	
6.4.2 动载系数 K_v (≥ 1)	95	尺寸的确定	138
6.4.3 齿向载荷分布系数 K_β (≥ 1)	96	6.11 齿轮传动的润滑	142

6.11.1 齿轮传动的润滑方式	142	8.1.4 链传动的运动特性	174
6.11.2 润滑剂的选择	143	8.1.5 链传动的受力分析	176
6.12 谐波齿轮传动简介*	143	8.1.6 滚子链传动的设计计算	177
思考题与习题	144	8.1.7 链传动的布置和张紧	180
第七章 蜗杆传动	146	8.2 螺旋传动	182
7.1 蜗杆传动的概述	146	8.2.1 螺旋传动的类型和应用	182
7.1.1 蜗杆传动的组成、主要特点 及应用	146	8.2.2 滑动螺旋的材料及许用应力	182
7.1.2 蜗杆传动的主要类型	147	8.2.3 滑动螺旋传动的设计计算	183
7.2 普通圆柱蜗杆传动主要参数和 几何尺寸计算	149	8.2.4 滚动螺旋传动简介	186
7.2.1 普通圆柱蜗杆传动主要参数 及其选择	149	8.2.5 静压螺旋传动简介	186
7.2.2 普通圆柱蜗杆传动的几何 尺寸计算	152	8.3 摩擦轮传动	187
7.3 蜗杆传动的主要失效形式、 设计准则和材料选择	154	8.3.1 摩擦轮传动的类型和应用	187
7.3.1 失效形式和设计准则	154	8.3.2 摩擦轮材料	188
7.3.2 蜗杆和蜗轮的常用材料	154	8.3.3 摩擦轮传动中的滑动	189
7.4 普通圆柱蜗杆传动的强度计算 和刚度计算	155	8.3.4 摩擦轮传动的计算	189
7.4.1 蜗杆传动的受力分析与计算 载荷	155	8.3.5 摩擦轮传动的润滑	191
7.4.2 蜗轮齿面接触疲劳强度计算	157	思考题与习题	191
7.4.3 蜗杆轴的强度与刚度计算	159	第九章 轴	193
7.5 蜗杆传动的效率、润滑和热 平衡计算	159	9.1 轴的概述	193
7.5.1 蜗杆传动的效率	159	9.1.1 轴的分类	193
7.5.2 蜗杆传动的润滑	160	9.1.2 转轴的力和应力分析及 失效形式	193
7.5.3 蜗杆传动的热平衡计算	161	9.1.3 轴的设计	194
7.6 蜗杆和蜗轮的结构设计	162	9.2 轴的材料	195
7.6.1 蜗杆结构	162	9.3 轴径的初步估算	196
7.6.2 蜗轮结构	163	9.3.1 类比法	196
思考题与习题	166	9.3.2 经验公式计算	196
第八章 其他常用传动	169	9.3.3 按扭转强度计算	196
8.1 链传动	169	9.4 轴的结构设计	197
8.1.1 链传动的特点和应用	169	9.4.1 制造安装要求	197
8.1.2 滚子链的结构和规格	170	9.4.2 固定要求	198
8.1.3 滚子链链轮的材料和结构	171	9.4.3 提高轴的强度的措施	199
		9.4.4 轴的结构设计	200
		9.5 轴的强度计算	203
		9.5.1 轴的计算简图	203
		9.5.2 按弯扭合成强度计算	203
		9.5.3 轴的安全系数校核计算	205
		9.6 轴的刚度计算	209
		9.6.1 弯曲变形计算	209

9.6.2 扭转变形计算	210	11.4.1 非液体摩擦径向滑动轴承的 计算	251
思考题与习题	210	11.4.2 非液体摩擦推力滑动轴承的 计算	252
第十章 滚动轴承	212	11.4.3 非液体摩擦径向滑动轴承的 配合	252
10.1 滚动轴承的构造和特点	212	11.5 液体动压润滑形成原理及 基本方程	253
10.2 滚动轴承的类型和选择	212	11.5.1 液体动压润滑形成原理	253
10.2.1 滚动轴承的类型	212	11.5.2 液体动压润滑基本方程	255
10.2.2 滚动轴承类型的选择	214	11.6 液体动压径向滑动轴承的 计算	256
10.3 滚动轴承代号	215	11.6.1 径向滑动轴承的工作过程	256
10.4 滚动轴承的失效形式和 计算准则	218	11.6.2 径向滑动轴承的几何参数及 其基本方程的形式	257
10.4.1 滚动轴承的失效形式	218	11.6.3 径向滑动轴承的承载量系数 和最小油膜厚度计算	258
10.4.2 滚动轴承的计算准则	219	11.6.4 滑动轴承的热平衡计算	260
10.5 滚动轴承的寿命计算	219	11.6.5 耗油量和摩擦功率	262
10.5.1 基本公式	219	11.6.6 滑动轴承主要参数和选择	262
10.5.2 当量动载荷	222	11.6.7 滑动轴承摩擦特性曲线	264
10.5.3 角接触轴承的内部轴向力	223	11.7 其他形式滑动轴承简介	267
10.5.4 轴承寿命计算程序框图	225	11.7.1 自润滑轴承	267
10.6 滚动轴承的静强度计算	226	11.7.2 多油楔滑动轴承	268
10.7 滚动轴承的极限转速	227	11.7.3 气体润滑轴承	270
10.8 滚动轴承部件结构设计	227	11.7.4 电磁轴承	270
10.8.1 轴承部件的轴向固定	228	11.8 滑动轴承用润滑剂与润滑 装置	271
10.8.2 轴承部件的调整	230	11.8.1 滑动轴承用润滑剂的选择	271
10.8.3 滚动轴承的配合	230	11.8.2 润滑方法与润滑装置	272
10.8.4 轴承的装拆	232	思考题与习题	273
10.8.5 滚动轴承的润滑和密封	232	第十二章 联轴器 离合器 制动器	275
10.9 减速器输出轴部件设计	234	12.1 概述	275
思考题与习题	241	12.2 联轴器	275
第十一章 滑动轴承	242	12.2.1 刚性联轴器	275
11.1 滑动轴承的分类及特点	242	12.2.2 无弹性元件的挠性联轴器	277
11.1.1 滑动轴承的分类	242	12.2.3 有弹性元件的挠性联轴器	279
11.1.2 滑动轴承的特点和应用	242		
11.2 滑动轴承的结构型式	243		
11.2.1 径向滑动轴承	243		
11.2.2 推力滑动轴承	244		
11.3 轴瓦的材料和结构	245		
11.3.1 对轴瓦材料的要求	245		
11.3.2 常用的轴瓦材料及其性质	245		
11.3.3 轴瓦结构	248		
11.4 非液体摩擦滑动轴承的计算	250		

12.3 离合器	281	14.2 机架零件设计中应注意的 几个问题	308
12.3.1 操纵式离合器	281	14.2.1 计算载荷	308
12.3.2 自动式离合器	284	14.2.2 截面形状的合理选择	308
12.4 制动器	286	14.2.3 间壁和筋	309
12.4.1 带式制动器	286	14.2.4 壁厚的选择	310
12.4.2 块式制动器	287	14.3 机架零件的结构设计	311
12.4.3 内涨式制动器	287	14.3.1 减速器机体结构型式	311
思考题与习题	287	14.3.2 轴承座支承刚度	311
第十三章 弹簧	289	14.3.3 机体的固定	311
13.1 弹簧概述	289	14.3.4 机体的工艺性	312
13.1.1 弹簧的功用	289	14.3.5 机体的几何造型	313
13.1.2 弹簧的类型和特点	289	思考题与习题	314
13.2 圆柱螺旋弹簧的材料、结构 和制造	291	第十五章 机械传动系统方案设计	315
13.2.1 弹簧的材料及许用应力	291	15.1 机械传动系统概述	315
13.2.2 螺旋弹簧的制造	292	15.1.1 机械传动系统的功能	315
13.3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的 设计	295	15.1.2 机械传动的分类	315
13.3.1 弹簧的几何参数和尺寸	295	15.2 常用机械传动的主要性能、 特点和选择	315
13.3.2 弹簧的特性线	297	15.2.1 常用机械传动的主要性能和 特点	315
13.3.3 弹簧的强度计算	298	15.2.2 机械传动类型的选择	317
13.3.4 弹簧的刚度计算	299	15.3 机械传动系统方案的设计与 设计示例	318
13.3.5 弹簧的稳定性	301	15.3.1 机械传动系统方案设计的 一般原则	318
13.3.6 圆柱形螺旋弹簧的设计	302	15.3.2 机械传动系统方案设计的 一般步骤	319
思考题与习题	305	15.3.3 机械传动系统方案设计示例	320
第十四章 机架零件	306	思考题与习题	323
14.1 概述	306	参考文献	324
14.1.1 机架的类型	306		
14.1.2 常用机架零件的材料及 制造方法	306		
14.1.3 机架零件设计的基本要求	307		

第一章 绪 论

人类在生产劳动中创造出了各种各样的机械设备，如机床、汽车、起重机、运输机、自动化生产线、机器人和航天器等。机械既能承担人力所不能或不方便进行的工作，又能较人工生产大大提高劳动生产率和产品质量，同时还便于集中进行社会化大生产。因此，生产的机械化和自动化已成为反映当今社会生产力发展水平的重要标志。改革开放以来，我国社会主义现代化建设在各个方面都取得了长足的发展，国民经济的各个生产部门正迫切要求实现机械化和自动化，特别是随着社会科学技术的飞速发展，对机械的自动化及智能化要求也越来越迫切、越来越高，我国的机械产品正面临着更新换代的局面。高技术化、产品日益多样化和个性化，日益发展的极限制造技术和绿色制造技术已成为机械制造业发展的明显趋势。这一切都对机械工业和机械设计工作者提出了更新、更高的要求，而本课程就是为培养掌握机械设计基本理论和基本能力的工程技术人员而设置的一门重要课程。随着国民经济的进一步发展，本课程在社会主义建设中的地位和作用将显得日益重要。

1.1 机械的组成及本课程研究的对象

1.1.1 机械的组成

生产和生活中的各种各样机械设备，尽管它们的构造、用途和性能千差万别，但一般都是由原动机、传动装置、工作机（或执行机构）和控制系统四大基本部分组成的，有的复杂机器还有辅助系统。例如，图 1.1 所示的捆钞机就是由电动机 1（原动机）、V 带传动 2、蜗杆减速器 3 和螺旋传动 4（传动装置）、压头 5（工作机）和控制系统 7 组成的。

原动机是机械设备完成其工作任务的动力来源，最常用的是各类电动机；传动装置是将原动机的运动和动力传递给工作机的装置；工作机则是直接完成生产任务的执行装置，其结构型式取决于机械设备本身的用途；而控制系统是根据机械系统的不同工况对原动机、传动装置和工作机实施控制的装置。

从制造和装配方面来分析，任何机械设备都是由许多机械零部件组成的。机械零件是机械制造过程中不可拆分的最小单元，而机械部件则是机械制造过程中为完成同一目的而由若干协同工作的零件组合在一起的组合体。凡在各类机械中经常被用到的零部件称为通用零部件，例如螺栓、齿轮、轴、滚动轴承、联轴器、减速器等；而只有在特定类型的机械中才能用到的零部件称为专用零部件，例如涡轮机上的叶

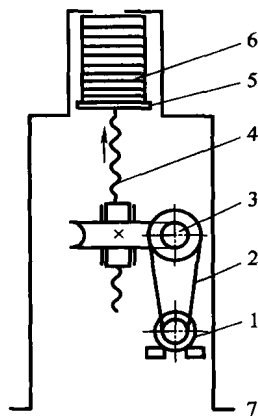


图 1.1 捆钞机

1—电动机；2—V 带传动；3—蜗杆传动；4—螺旋传动；
5—压头；6—纸币；7—控制系统

片、往复活塞内燃机的曲轴、飞机的起落架、机床的变速箱等。

1.1.2 本课程研究的对象

本课程主要从研究一般机械传动装置的设计出发,研究机械中具有一般工作条件和常用参数范围内的通用机械零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和设计计算方法。

1.2 本课程的性质、地位和任务

本课程是一门设计性的技术基础课。它综合运用工程图学、工程力学、金属工艺学、机械工程材料与热处理、公差与技术测量和机械原理等先修课程的知识及生产实践经验,解决通用机械零部件的设计问题,使学生在设计一般机械传动装置或其他简单的机械方面得到初步训练,为学生进一步学习专业课程和今后从事机械设计工作打下基础。因此,本课程在机械类及近机类教学计划中具有承前启后的重要作用,是一门主干课程。

本课程的主要任务是培养学生:

- 1) 初步树立正确的设计思想;
- 2) 掌握设计或选用通用机械零部件的基本知识、基本理论和方法,了解机械设计的一般规律,具有设计一般机械传动装置和一般机械的能力,具有一定的工程意识和创新能力;
- 3) 具有计算、绘图、查阅与运用有关技术资料的能力;
- 4) 掌握本课程实验的基本知识,并获得实验技能的基本训练;
- 5) 对机械设计的新发展有所了解。

1.3 本课程的特点和学习方法

与基础理论课程相比较,本课程是一门综合性、实践性很强的设计性课程。因此,学生在学习时必须掌握本课程的特点,在学习方法上应尽快完成由单科向综合、由抽象向具体、由理论到实践的思维方式的转变。通常在学习本课程时应注意以下几点:

1) 要理论联系实际。本课程研究的对象是各种机械设备中的零部件,与工程实际联系紧密,只有从整台机械设备分析入手,才能设计出满足实际要求的机械零部件,才能设计出性能优异的机械设备。因此,在学习时应利用各种机会深入生产现场和实验室,注意观察实物和模型,增强对机械及通用机械零部件的感性认识,提高分析与解决工程实际问题的能力,从而设计出方案合理、参数及结构正确的机械零部件或整台机械。

2) 要抓住“设计”这条主线,掌握机械零部件的设计规律。本课程的内容看似杂乱无章,不同的机械零部件在工作原理、材料、结构特点、载荷与应力、失效形式与设计准则等方面都有很大的差异,但是在设计时却都遵循相同的设计规律,只要抓住“设计”这条主线,就能把本课程的各章内容贯穿起来。因此,学习本课程时一定要抓住“设计”这条主线,熟练掌握设计机械零部件的一般规律。一般情况下,设计的程序和要考虑的问题如下:

- ① 研究要设计的机械零部件的工作原理、类型、特点及其适用场合;
- ② 对机械零部件的工作情况进行分析,如受力分析、应变分析等;
- ③ 研究机械零部件的失效形式和防止发生失效的设计计算准则,并列出相应的设计计算

公式或校核计算公式:

④ 选择合适的材料及热处理方式, 确定材料的力学性能 (主要是许用应力);

⑤ 按设计公式确定该机械零部件的主要几何参数和尺寸, 或按校核公式校核已经确定的几何参数和尺寸是否满足设计计算准则 (主要是强度条件);

⑥ 进行机械零部件的结构设计, 绘制零部件工作图。

3) 要努力培养解决工程实际问题的能力。多因素的分析、设计参数多方案的选择、经验公式或经验数据的选用及结构设计, 这些都是在解决工程实际问题中经常会遇到的问题, 也是学生学习本课程的难点。因此, 在学习本课程时一定要尽快适应这种情况, 按照解决工程实际问题的思维方法, 努力培养自己的机械设计能力, 特别是要学会不断修改、逐步完善的设计方法。此外, 还要注重培养结构设计能力, 这就要求学生要多看 (机械实物或模型)、多想、多问、多练, 逐步积累结构设计知识, 逐步提高结构设计能力。

4) 要综合运用先修课程的知识, 解决工程实际问题。本课程讲授的各种机械零部件的设计, 从分析研究到设计计算, 直到完成零部件工作图, 要用到多门先修课程的知识, 因此在学习本课程时必须及时复习先修课程的有关内容, 做到融会贯通、综合应用。

思考题与习题

- 1.1 分析下列机器的组成: ① 汽车; ② 车床; ③ 摩托车。
- 1.2 本课程的性质和任务是什么?
- 1.3 学习本课程应注意哪些问题?

第二章 机械设计概论

2.1 机械设计的基本要求和一般程序

2.1.1 机械设计的基本要求

机械设计就是根据生产及生活上的某种需要，规划和设计出能实现预期功能的新机械或对原有机械进行改进的创造性工作过程。机械设计是机械生产的第一步，是影响机械产品制造过程和产品性能的重要环节。因此，尽管设计的机械种类繁多，但设计时都应满足下列基本要求。

1. 使用功能要求

要求所设计的机械应具有预期的使用功能，既能保证执行机构实现所需的运动（包括运动形式、速度、运动精度和平衡性等），又能保证组成机械的零部件工作可靠，有足够的强度和使用寿命，而且使用、维护方便。这是机械设计的基本出发点。

2. 工艺性要求

所设计的机械无论总体方案还是各部分结构方案，在满足使用功能要求的前提下，应尽量简单、实用，在毛坯制造、机械加工与热处理、装配与维修等方面都具有良好的工艺性，而且选用的材料要合理，应尽可能地选用标准件。

3. 经济性要求

设计机械时，一定要反对单纯追求技术指标而不顾经济成本的倾向。经济性要求是一个综合指标，它体现于机械的设计、制造和使用的全过程中，因此设计机械时，应全面、综合地进行考虑。

提高设计、制造经济性的措施主要有：制订机械的合理总体方案，并运用现代设计方法，使设计参数最优化；推广标准化、通用化和系列化；采用新工艺、新材料、新结构；改善机械零部件的结构工艺性；合理地规定制造精度和表面结构的粗糙度等。

提高使用经济性的措施主要有：选用效率高的传动系统和支承装置，以降低能源消耗；提高机械的自动化程度，以提高生产率；采用适当的防护及润滑，以延长机械的使用寿命等。

4. 其他要求

例如劳动保护的要求，应使机械的操作方便、安全，便于装拆，满足运输的要求等。

2.1.2 机械设计的一般程序

设计机械时，应按实际情况确定设计方法和步骤，但是通常都按下列一般程序进行。

1. 确定设计任务书

根据生产或市场的需求，在调查研究的基础上，确定设计任务书，对所设计机械的功能要求、性能指标、结构型式、主要技术参数、工作条件、生产批量等作出明确的规定。设计任务书是进行设计、调试和验收机械的主要依据。

2. 总体方案设计

总体方案设计是最能体现机械设计具有多个解(方案)的特点和创新精神的设计阶段,设计时应根据设计任务书的规定,本着技术先进、使用可靠、经济合理的原则,拟订出几种能够实现机械功能要求的总体方案。然后就功能、尺寸、寿命、工艺性、成本、使用与维护等方面进行分析比较,择优选定一种总体方案。

设计阶段的设计内容有:对机械功能进行设计研究,确定工作机的运动和动力参数,拟订从原动机到工作机的传动系统方案,选择原动机,绘制整机的机构运动示意图,并判断其是否有确定的运动,初步进行运动学和动力学的分析,确定各级传动比和各轴的运动和动力参数,合理安排各个零部件间的相互位置等。

3. 技术设计

根据总体设计方案的要求,对其主要零部件进行工作能力计算,或与同类相近机械进行类比,并考虑结构设计上的需要,确定主要零部件的几何参数和基本尺寸。然后,根据已确定的结构方案和主要零部件的基本尺寸,绘制机械的装配工作图、部件装配图和零件工作图。在这一阶段中,设计者既要重视理论设计计算,更要注重结构设计。而随着科学技术的发展,一些现代机械设计理论也被广泛采用,如优化设计、可靠性设计、有限元计算等,这些都极大地提高了设计质量。

4. 编制技术文件

在完成技术设计后,应编制技术文件,主要有设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等,这是对机械进行生产、检验、安装、调试、运行和维护的依据。

5. 技术审定和产品鉴定

组织专家和有关部门对设计资料进行审定,认可后即可进行样机试制,并对样机进行技术审定。技术审定通过后可投入小批量生产,经过一段时间的使用实践后再作产品鉴定,鉴定通过后即可根据市场需求组织生产。至此,机械设计工作便告完成。

2.2 机械零件的载荷和应力

2.2.1 载荷

1. 静载荷与变载荷

作用在机械零件上的载荷,按它的大小和方向是否随时间变化可分为静载荷与变载荷两类。不随时间变化或变化缓慢的载荷称为静载荷,如物体重力;随时间作周期性变化或非周期性变化的载荷称为变载荷。前者如内燃机等往复式动力机械的曲轴所受的载荷,后者如支承车身的悬挂弹簧所受的载荷。

2. 名义载荷与计算载荷

根据原动机或工作机的额定功率计算出的作用于机械零件上的载荷称为名义载荷。它是机器在平稳工作条件下作用在机械零件上的载荷,它没有反映载荷的不均匀性及其他影响零件受载的因素。在设计计算时,常用载荷系数 K 来考虑这些因素的综合影响,载荷系数 K 与名义载荷 F 的乘积称为计算载荷 F_{ca} , 即

$$F_{ca} = KF \quad (2.1)$$

2.2.2 应力

1. 静应力与变应力

大小和方向不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力(图 2.1a)。零件在静应力作用下可能产生断裂或塑性变形。

大小和方向随时间变化的应力称为变应力(图 2.1b)。变应力可以由变载荷产生,也可以由静载荷产生,如在静载荷作用下转轴中的应力。零件在变应力作用下可能产生疲劳破坏。

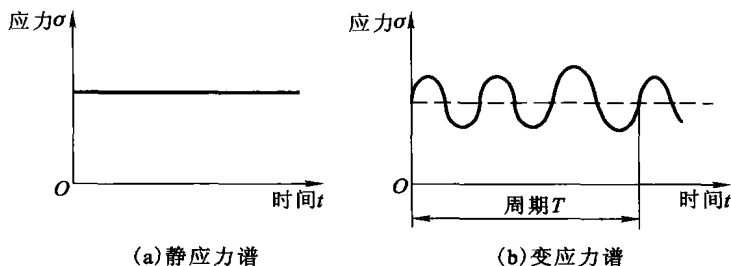


图 2.1 应力谱

周期、应力幅和平均应力保持常数的变应力称为稳定循环变应力(图 2.2)。按其循环特征 $r(r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max})$ 的不同,可分为对称循环变应力、脉动循环变应力和非对称循环变应力三种。它们的变化规律见表 2.1。

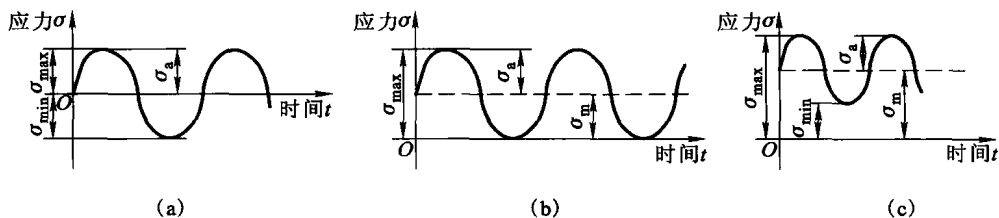


图 2.2 稳定循环变应力谱

表 2.1 稳定循环变应力的变化规律

循环名称	循环特征	应力特点	应力谱
对称循环	$r = -1$	$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min} = \sigma_a, \sigma_m = 0$	图 2.2a
脉动循环	$r = 0$	$\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\max} / 2, \sigma_{\min} = 0$	图 2.2b
非对称循环	$-1 < r < 1$	$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a, \sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a$	图 2.2c

当零件受切应力 τ 作用时,以上概念仍然适用,只需将 σ 改为 τ 即可。

2. 工作应力与计算应力

根据计算载荷,按照材料力学的基本公式求出的、作用于机械零件剖面上的应力称为工作应力。

当零件危险剖面上呈复杂应力状态时,按照某一强度理论求出的、与单向拉伸时有同等破坏作用的应力称为计算应力,以符号 σ_{ca} 表示。计算应力的表达式见“材料力学”的相关内容。

3. 极限应力

按照强度准则设计机械零件时，根据材料性质及应力种类而采用的材料某个应力极限值称为极限应力，以符号 σ_{lim} 、 τ_{lim} 表示。对于脆性材料，在静应力作用下的主要失效形式是脆性破坏，故取材料的强度极限 (σ_b 、 τ_b) 为极限应力，即 $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_b, \tau_{\text{lim}} = \tau_b$ ；对于塑性材料，在静应力应用下的主要失效形式是塑性变形，故取材料的屈服极限 (σ_s 、 τ_s) 为极限应力，即 $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_s, \tau_{\text{lim}} = \tau_s$ ；而材料在变应力作用下的主要失效形式是疲劳破坏，故取材料的疲劳极限 (σ_r 、 τ_r) 为极限应力，即 $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_r, \tau_{\text{lim}} = \tau_r$ 。

疲劳极限又分无限寿命疲劳极限和有限寿命疲劳极限。在任一给定循环特征 r 的条件下，应力循环达到规定的 N_0 次后，材料不发生疲劳破坏时的最大应力称为材料的无限寿命疲劳极限，以符号 σ_r 、 τ_r 表示，工程上最常用的是对称循环变应力下的无限寿命疲劳极限，写做 σ_{-1} 和 τ_{-1} 。这里， N_0 称为应力循环基数，一般对硬度 $\leq 350\text{HBW}$ 的钢材，取 $N_0=10^7$ ，对硬度 $> 350\text{HBW}$ 的钢材，取 $N_0=25 \times 10^7$ 。而在任一给定循环特征 r 的条件下，应力循环 N 次后，材料不发生疲劳破坏时的最大应力称为材料的有限寿命疲劳极限，以符号 σ_{rN} 、 τ_{rN} 表示。图 2.3 为根据疲劳试验结果而绘制的材料疲劳曲线。在有限寿命区，疲劳曲线方程为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{rN}^m N &= \sigma_r^m N_0 = C \\ \sigma_{rN} &= \sigma_r \sqrt[m]{N_0/N} = K_N \sigma_r \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

式中： C 为常数； $K_N = \sqrt[m]{N_0/N}$ ，称为寿命系数； m 为取决于应力状态和材料的指数，如钢材弯曲时，取 $m=9$ ，钢材线接触时，计算接触强度，取 $m=6$ ；应力循环次数 N 的取值范围为 $10^3 < N \leq N_0$ ，即 $N > N_0$ 时取 $N=N_0$ ， $N < 10^3$ 时按静应力处理。

由于实际零件几何形状，尺寸和加工质量等因素的影响，使得零件的疲劳极限要小于材料试件的疲劳极限。影响零件疲劳极限的主要因素有：① 应力集中；② 绝对尺寸；③ 表面状态。

(1) 应力集中对零件疲劳极限的影响

在零件剖面的几何形状突然变化处（如孔、圆角、键槽、螺纹等），局部应力要远远大于名义应力，这种现象称为应力集中（图 2.4）。应力集中使零件疲劳极限降低的程度常用有效应力集中系数 K_σ 或 K_τ 来表示。材料、尺寸和受载情况都相同的一个无应力集中试件和一个有应力集中试件的疲劳极限的比值称为有效应力集中系数，即

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1K}}, \quad K_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{-1K}} \quad (2.3)$$

式中： σ_{-1} 、 τ_{-1} 分别为弯曲、扭转时无应力集中光滑试件的对称循环疲劳极限； σ_{-1K} 、 τ_{-1K} 分别为弯曲、扭转时有应力集中的试件的对称循环疲劳极限。

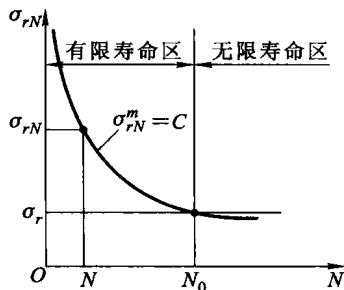


图 2.3 疲劳曲线

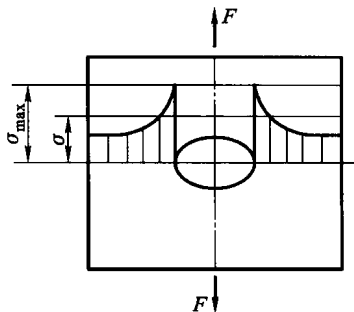


图 2.4 受拉平板的应力集中

如果计算剖面上有几个不同的应力集中源, 则零件的疲劳极限由各 K_d (或 K_r) 中的最大值决定。

(2) 绝对尺寸对零件疲劳极限的影响

零件的绝对尺寸越大, 材料包含的缺陷可能越多, 机械加工后表面冷作硬化层相对越薄, 因此零件的疲劳极限越低。零件绝对尺寸对零件疲劳极限的影响可用绝对尺寸系数 ε_σ 或 ε_τ 来表征。直径为 d 的大尺寸试件的疲劳极限 σ_{-1d} (或 τ_{-1d}) 与直径 $d_0=6\sim 10$ mm 的标准试件的疲劳极限 σ_{-1} (或 τ_{-1}) 的比值称为绝对尺寸系数, 即

$$\varepsilon_\sigma = \frac{\sigma_{-1d}}{\sigma_{-1}}, \quad \varepsilon_\tau = \frac{\tau_{-1d}}{\tau_{-1}} \quad (2.4)$$

(3) 表面状态对零件疲劳极限的影响

因为疲劳裂纹多发生在表面, 不同的表面状态(表面质量、强化方法等)对零件的疲劳极限都会产生不同的影响。通常用表面状态系数 β 来表征。试件在某种表面状态下的疲劳极限 $\sigma_{-1\beta}$ (或 $\tau_{-1\beta}$) 与试件在精抛光下的疲劳极限 σ_{-1} (或 τ_{-1}) 的比值称为表面状态系数, 即

$$\beta_\sigma = \frac{\sigma_{-1\beta}}{\sigma_{-1}}, \quad \beta_\tau = \frac{\tau_{-1\beta}}{\tau_{-1}} \quad (2.5)$$

由试验得知, 应力集中、绝对尺寸和表面状态只对应力幅有影响。考虑了这些因素的综合影响后, 零件的对称循环弯曲疲劳极限 σ_{-1e} 为

$$\sigma_{-1e} = \frac{\varepsilon_\sigma \beta_\sigma}{K_\sigma} \sigma_{-1} \quad (2.6)$$

而零件的对称循环扭转疲劳极限 τ_{-1e} 为

$$\tau_{-1e} = \frac{\varepsilon_\tau \beta_\tau}{K_\tau} \tau_{-1} \quad (2.7)$$

K_σ 、 K_τ 、 ε_σ 、 ε_τ 、 β_σ 和 β_τ 的值见第十章。

4. 许用应力和安全系数

设计零件时, 计算应力允许达到的最大值称为许用应力, 常用带方括号的应力符号 $[\sigma]$ 和 $[\tau]$ 来表示。许用应力等于极限应力 σ_{lim} (或 τ_{lim}) 和许用安全系数 $[S_\sigma]$ (或 $[S_\tau]$) 的比值, 即

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[S_\sigma]}, \quad [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{[S_\tau]} \quad (2.8)$$

显然, 合理地选择许用安全系数是强度计算中的一项重要工作。其值取得过小则不安全, 而取得过大又会使机器尺寸增大, 质量增加, 很不经济。因此, 合理的选择原则是: 在保证安全可靠的原则下, 尽可能地选择较小的安全系数。

影响安全系数的因素很多, 主要有计算载荷的准确性、材料性能数据的可靠性、零件的重要程度和计算方法的精确程度等。通常确定安全系数的方法有以下三种:

1) 表格法 该法是指各个行业根据自己部门多年实践经验而制订的安全系数规范。这种方法适用范围较窄, 但简单、具体。

2) 经验数据法 一般取 $[S]=1.25\sim 4$ 。如果材料性能数据可靠, 载荷与应力计算准确, 可取 $[S]=1.25\sim 1.5$ 。

3) 部分系数法 即取 $[S]=S_1 S_2 S_3$, 式中 S_1 表示确定计算载荷和应力准确性的系数, 一般取 $S_1=1\sim 1.5$; S_2 表示材料力学性能不均匀的系数, 一般取 $S_2=1.2\sim 2.5$; S_3 表示零件重要程度的系数, 一般取 $S_3=1\sim 1.5$ 。