

“十二五”普通高等院校应用型规划教材

机械设计基础

主 编 段福斌 潘 骏 杨华文 贺青川

(第二版)

JIXIESHEJI JICHU



南京大学出版社

“十二五”普通高等院校应用型规划教材

014059499

内容简介

TH122-43

91-2

机械设计基础

(第二版)

主 编 段福斌 潘 骏 杨华文 贺青川



TH122-43
91-2



北航

C1745711



南京大学出版社

本书第2版是在第1版的基础上,根据教育部有关专业对机械设计基础课程的教学基本要求,并总结近几年各校使用本教材的实践经验修订而成的。本书主要介绍了机械设计的基础知识、基本理论和基本设计方法。全书共分15章,主要内容包括绪论,平面机构分析,平面连杆机构,凸轮机构,间歇机构,齿轮传动,蜗杆传动,带传动和链传动,轮系,联接,轴,轴承,联轴器、离合器和制动器,机械的调速和平衡,机械系统设计概论,并编入了适量的习题以供学习时参考。

本书可作为高等院校本科近机类、非机类专业和高职高专院校机械类专业“机械设计基础”课程的教材,也可作为成人高等教育的同类专业教材及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 段福斌等主编. — 2版. — 南京 :
南京大学出版社, 2014.7

“十二五”普通高等院校应用型规划教材

ISBN 978-7-305-13523-1

I. ①机… II. ①段… 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(2014)第 143811 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号
出 版 人 金鑫荣

邮 编 210093

丛 书 名 “十二五”普通高等院校应用型规划教材

书 名 机械设计基础(第二版)

主 编 段福斌 潘 骏 杨华文 贺青川

责任编辑 许书民

编辑热线 025-83592123

审读编辑 查萍萍 蔡文彬

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 盐城市华光印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 387 千

版 次 2014 年 7 月第 2 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-13523-1

定 价 32.00 元

网址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

本书是在 2007 年出版的段福斌、潘骏等主编的《机械设计基础》的基础上,根据教育部有关专业对机械设计基础课程的教学基本要求,并总结近几年各校使用本教材的实践经验修订而成的。

《机械设计基础》是近机类和非机类专业的一门重要的技术基础课程,培养各专业学生的机械设计和分析能力是本课程的基本目的。

机械是各种机构、装置、器械、仪器和机器的总称,是人类用以减轻劳动强度或代替人的工作、提高工作效率的生产工具。在冶金、石油、化工、采矿、动力、建筑、轻纺、交通运输和食品加工等行业工作的工程技术人员,都会不同程度地接触到各种机械设备,因此必须具有一定的机械设计知识。

本次修订时保留了第 1 版的基本体系和内容,有些则作了补充和修改,并采用了现行最新的相关国家标准。本书内容简明、实用,省略了烦琐的理论推导、论证和陈旧内容,偏重于实践,采用较多的实例来说明机械设计的基本原理和方法。

本书附有完整的多媒体教学课件,采用 PPT 文件的形式,便于任课教师根据自己的需要组织教学。

本书第 1 版由浙江理工大学潘骏,浙江科技学院的杨华文、段福斌、吴立军主编,浙江工业大学浙西分校的陈晓英参编,由浙江工业大学浙西分校马晓丽教授担任主审。参加第 2 版修订工作的有:段福斌、潘骏、杨华文、贺青川,其中第 6~8 章由段福斌修订,第 1~5 章由潘骏修订,第 9~12 章由杨华文修订,第 13~15 章由贺青川修订。本书第 2 版由浙江理工大学陈文华教授主审。

限于编者的水平和经验,书中不当之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

编 者

2014 年 4 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 机械设计的基本要求及一般过程	2
1.2.1 机械设计的基本要求	2
1.2.2 机械设计的一般过程	3
1.3 机械零件设计的基本准则	4
1.3.1 机械零件的主要失效形式	4
1.3.2 机械零件的设计计算准则	4
1.4 机械零件常用材料及选择	6
1.4.1 机械零件常用材料	6
1.4.2 机械零件材料的选择原则	7
1.5 机械零件的标准化	8
第2章 平面机构分析	9
2.1 概述	9
2.1.1 运动副及其分类	9
2.1.2 构件及其分类	11
2.2 平面机构的运动简图	11
2.2.1 机构运动简图中运动副及构件的表示方法	11
2.2.2 机构运动简图的绘制	12
2.3 平面机构的自由度	13
2.3.1 平面机构自由度及其计算公式	13
2.3.2 平面机构具有确定运动的条件	14
2.3.3 计算平面机构自由度的注意事项	14
2.4 平面机构的速度分析	17
2.4.1 速度瞬心及其求法	17

2.4.2 速度瞬心在速度分析上的应用	18
第3章 平面连杆机构	22
3.1 概述	22
3.2 铰链四杆机构及其演化	23
3.2.1 铰链四杆机构的基本类型	23
3.2.2 铰链四杆机构的演化	24
3.3 平面四杆机构的基本特性	26
3.3.1 铰链四杆机构存在曲柄的条件	26
3.3.2 急回特性与行程速比系数	27
3.3.3 压力角和传动角	28
3.3.4 死点位置	28
3.4 平面四杆机构的设计	29
3.4.1 图解法设计四杆机构	29
3.4.2 解析法设计四杆机构	31
3.4.3 实验法设计四杆机构	32
第4章 凸轮机构	35
4.1 概述	35
4.2 从动件的常用运动规律	37
4.2.1 从动件的位移线图	37
4.2.2 从动件的常用运动规律	37
4.3 图解法设计凸轮轮廓	39
4.3.1 凸轮轮廓设计的反转法原理	39
4.3.2 直动从动件盘形凸轮轮廓的绘制	39
4.3.3 摆动从动件盘形凸轮轮廓的绘制	41
4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	42



4.4.1 压力角	42	6.5.2 展成法	60
4.4.2 基圆半径 r_0 的选取	43	6.6 根切现象、最少齿数及变位齿轮的概念	61
4.4.3 滚子半径的选取	43	6.6.1 根切现象和最少齿数	61
第5章 间歇运动机构	45	6.6.2 变位齿轮的概念	62
5.1 概述	45	6.7 齿轮传动设计概述	62
5.2 槽轮机构	45	6.7.1 齿轮传动的失效形式	62
5.2.1 槽轮机构的工作原理及应用	45	6.7.2 齿轮传动的设计准则	64
5.2.2 槽轮机构的主要参数	46	6.7.3 常用齿轮材料及热处理	64
5.3 棘轮机构	47	6.8 直齿圆柱齿轮传动设计	65
5.3.1 棘轮机构的工作原理、类型和应用	47	6.8.1 轮齿的受力和计算载荷	65
5.3.2 棘轮机构设计	48	6.8.2 齿面接触疲劳强度计算	66
5.4 不完全齿轮机构	49	6.8.3 齿根弯曲疲劳强度计算	67
第6章 齿轮传动	51	6.8.4 许用应力计算	68
6.1 概述	51	6.8.5 参数选择	71
6.1.1 齿轮传动的特点	51	6.9 斜齿圆柱齿轮传动设计	72
6.1.2 齿轮传动的类型	51	6.9.1 齿廓曲面的形成及啮合特点	72
6.1.3 齿轮的精度	52	6.9.2 斜齿圆柱齿轮传动的基本参数和尺寸计算	73
6.2 渐开线齿廓	53	6.9.3 斜齿圆柱齿轮的强度计算	74
6.2.1 渐开线的形成	53	6.10 直齿圆锥齿轮传动设计	78
6.2.2 渐开线的性质	53	6.10.1 基本参数和几何尺寸计算	78
6.2.3 渐开线齿廓的啮合特点	54	6.10.2 背锥与当量齿数	80
6.3 渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	55	6.10.3 直齿圆锥齿轮传动的受力分析	80
6.3.1 直齿圆柱齿轮各部分名称及代号	55	6.10.4 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	81
6.3.2 直齿圆柱齿轮的基本参数	56	6.11 齿轮结构与润滑	82
6.3.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	57	6.11.1 齿轮的结构	82
6.3.4 内齿轮	57	6.11.2 齿轮传动的润滑	83
6.3.5 齿条	58	6.11.3 齿轮传动的效率	84
6.4 渐开线齿轮的啮合	58	第7章 蜗杆传动	87
6.4.1 渐开线齿轮正确啮合条件	58	7.1 概述	87
6.4.2 标准中心距(正确安装条件)	59	7.1.1 蜗杆传动的类型	87
6.4.3 渐开线齿轮的连续传动条件	59	7.1.2 蜗杆传动的特点	88
6.5 渐开线齿轮的切削加工	59	7.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	88
6.5.1 仿形法	59	7.2.1 蜗杆传动的主要参数	88



7.2.2 蜗杆传动的几何尺寸计算	91	8.6.3 链传动的特点和应用	120
7.3 蜗杆传动的失效形式、材料和精度	91	8.7 链传动的工作情况分析	120
7.3.1 蜗杆传动的滑动速度	91	8.7.1 链传动的运动分析	120
7.3.2 蜗杆传动的失效形式	91	8.7.2 链传动的受力分析	121
7.3.3 蜗杆传动的材料	92	8.8 链传动设计	122
7.3.4 蜗杆传动的精度	92	8.8.1 链传动的失效形式	122
7.4 圆柱蜗杆传动设计	92	8.8.2 滚子链的额定功率曲线	122
7.4.1 蜗杆传动的受力分析	92	8.8.3 链传动主要参数选择和设计计算	123
7.4.2 齿面接触疲劳强度计算	93	8.8.4 链传动的静强度计算	125
7.4.3 蜗轮齿弯曲疲劳强度计算	94	8.9 链传动的布置	126
7.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	95	第9章 轮系	128
7.5.1 蜗杆传动的效率	95	9.1 概述	128
7.5.2 蜗杆传动的润滑	96	9.2 定轴轮系及其传动比	129
7.5.3 蜗杆传动的热平衡计算	96	9.2.1 定轴轮系转向的确定	129
7.6 蜗杆、蜗轮的结构	98	9.2.2 定轴轮系传动比大小的计算	130
第8章 带传动和链传动	101	9.3 周转轮系及其传动比	131
8.1 带传动概述	101	9.3.1 周转轮系的组成及类型	131
8.1.1 带传动的类型	101	9.3.2 周转轮系传动比的计算	131
8.1.2 V带的结构和类型	102	9.4 复合轮系及其传动比	133
8.1.3 带传动的主要几何参数	103	9.5 轮系的应用	134
8.1.4 带传动的特点	104	9.5.1 实现相距较远的两轴间的传动	134
8.2 带传动的工作情况分析	104	9.5.2 实现大传动比传动	134
8.2.1 带传动的受力分析	104	9.5.3 实现变速和换向传动	135
8.2.2 带传动的应力分析	105	9.5.4 实现运动的合成与分解	135
8.2.3 带传动的弹性滑动和传动比	107	第10章 联接	138
8.3 普通V带传动设计	107	10.1 概述	138
8.3.1 设计准则和许用功率	107	10.1.1 螺纹的形成、类型和应用	138
8.3.2 V带传动的设计步骤	109	10.1.2 螺纹的主要参数	139
8.3.3 V带轮的设计	113	10.1.3 常用螺纹的特点和应用	140
8.4 带传动的张紧、安装和维护	115	10.2 螺旋副的受力分析、自锁和效率	140
8.4.1 带传动的张紧	115	10.2.1 螺旋副的受力分析	140
8.4.2 带传动的安装和维护	116	10.2.2 螺旋副的自锁和效率	143
8.5 同步带传动简介	116	10.3 螺纹联接	143
8.6 链传动概述	117		
8.6.1 链的类型和结构	117		
8.6.2 链轮的结构和材料	119		



10.3.1 螺纹联接的基本类型、特点和应用	143	12.2.2 轴瓦的结构及轴承材料	176
10.3.2 标准螺纹联接件	144	12.3 润滑剂和润滑装置	178
10.4 螺纹联接的预紧与防松	146	12.3.1 润滑剂的选择	178
10.4.1 螺纹联接的预紧	146	12.3.2 润滑装置	179
10.4.2 螺纹联接的防松	147	12.4 非液体摩擦滑动轴承设计	181
10.5 螺纹联接的计算	148	12.5 液体摩擦滑动轴承简介	182
10.5.1 受轴向工作载荷的螺栓联接	148	12.5.1 液体动压滑动轴承	182
10.5.2 受横向工作载荷的螺栓联接	150	12.5.2 液体静压滑动轴承	182
10.5.3 螺纹联接件的材料和许用应力	151	12.6 滚动轴承的结构、类型和代号	183
10.6 螺旋传动	153	12.6.1 滚动轴承的结构	183
10.6.1 滑动螺旋	153	12.6.2 滚动轴承的类型和特点	183
10.6.2 滚动螺旋	155	12.6.3 滚动轴承的代号	186
10.6.3 静压螺旋	157	12.6.4 滚动轴承的类型选择	188
10.7 键联接	157	12.7 滚动轴承的选择计算	189
10.7.1 键联接的类型	157	12.7.1 滚动轴承的受力分析和失效形式	189
10.7.2 平键联接的强度校核	160	12.7.2 滚动轴承选择计算	190
10.7.3 花键联接	161	12.8 滚动轴承的润滑和密封	194
10.8 销联接	161	12.8.1 滚动轴承的润滑	194
		12.8.2 滚动轴承的密封	195
		12.9 滚动轴承的组合设计	196
第11章 轴	164	12.9.1 轴承轴系的轴向固定	196
11.1 概述	164	12.9.2 轴承组合的调整	198
11.2 轴的结构设计	166	12.9.3 滚动轴承的配合	199
11.2.1 轴上零件的轴向固定	166	12.9.4 轴承的装拆	199
11.2.2 轴上零件的周向固定	167		
11.2.3 轴的结构工艺性	168	第13章 联轴器、离合器和制动器	202
11.2.4 提高疲劳强度的措施	168	13.1 概述	202
11.3 轴的强度计算	168	13.2 联轴器	203
11.3.1 按扭转强度计算	169	13.2.1 联轴器的组成和类型	203
11.3.2 按弯扭合成强度计算	169	13.2.2 刚性联轴器	203
11.4 轴的刚度计算	172	13.2.3 无弹性元件的挠性联轴器	204
		13.2.4 有弹性元件的挠性联轴器	206
		13.2.5 联轴器的选择	207
第12章 轴承	174	13.3 离合器	208
12.1 概述	174	13.3.1 离合器的组成和类型	208
12.2 滑动轴承的结构和材料	175	13.3.2 牙嵌离合器	209
12.2.1 滑动轴承的主要类型及结构			



13.3.3 圆盘摩擦离合器	209
13.4 制动器	211
13.4.1 制动器的组成和类型	211
13.4.2 瓦块式制动器	211
13.4.3 内张蹄式制动器	211
13.4.4 带式制动器	212

第 14 章 机械的调速与平衡

14.1 概述	214
14.2 机械速度波动的调节	215
14.2.1 周期性速度波动及其调节	215
14.2.2 非周期性速度波动及其调节	215
14.2.3 飞轮的近似设计方法	216
14.3 回转件的平衡计算	217
14.3.1 静平衡计算	217
14.3.2 动平衡计算	218
14.4 回转件的平衡试验	219
14.4.1 回转件的静平衡试验	219

15.4.2 回转件的动平衡试验	220
------------------------	-----

第 15 章 机械系统设计概论

15.1 概述	222
15.1.1 机械系统的组成	222
15.1.2 机械系统设计的任务	223
15.1.3 机械系统设计的一般过程	224
15.2 机械系统的方案设计与总体设计	224
15.2.1 机械系统的方案设计	224
15.2.2 机械系统的总体设计	227
15.3 机械传动系统设计	229
15.3.1 机械传动的特性和参数	229
15.3.2 机械传动的方案设计	230
15.3.3 机械传动方案设计实例	232

附录	235
----------	-----

参考文献	237
------------	-----

第1章 绪论

学习目标

系统学习机器的组成及其特征,机械设计的主要内容及一般过程,机械零件设计的主要计算准则、常用材料及机械零件标准化。

学习要求

- 了解:机械设计的基本要求、主要内容及一般过程,机械零件常用材料及材料的选用原则,机械零件标准化的相关知识。
- 掌握:机器的组成及其特征,机器、机构、构件、零件的区别,机械零件失效的主要形式和机械零件设计的主要计算准则。

1.1 概述

人类在日常生活和生产实践中广泛使用着各种机器,如汽车、洗衣机、电风扇、机床、起重机等。机器能实现能量转换或完成有用的机械功,以减轻或代替体力劳动,提高生产率。随着生产和科技的发展,机器的种类、形式和功能越来越多,使用机器进行生产的水平也成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。

如图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和齿轮9、10组成。当内燃机工作时,燃气推动活塞2作往复运动,经连杆5使曲轴6作旋转运动,曲轴经齿数比为1:2的齿轮10、9带动凸轮轴旋转,凸轮7推动顶杆8按一定的规律运动,从而带动进、排气阀开启关闭。活塞往复两次,曲轴旋转两周,进、排气阀各开启关闭一次,就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

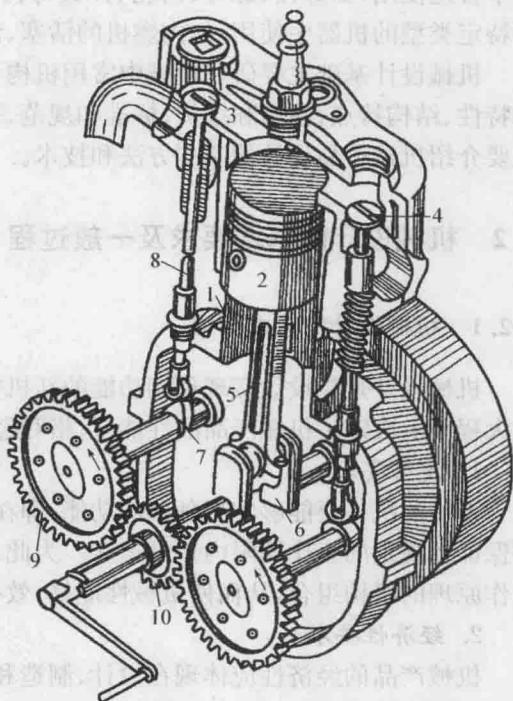


图1-1 单缸内燃机

1—气缸体;2—活塞;3—进气阀;4—排气阀;5—连杆
6—曲轴;7—凸轮;8—顶杆;9、10—齿轮



分析此单缸四冲程内燃机,可以看出机器具有以下 3 个特征:

- 它是人为的实物(构件)组合体;
- 各构件构成运动单元,各单元之间具有确定的相对运动;
- 具有变换或传递能量、物料、信息的功能。

如果仅具备前两个特征,则称为机构。机构是一个构件系统,它能实现预期的机械运动,并传递运动和力,是机器的主体部分。如图 1-1 所示的内燃机中,活塞、连杆、曲轴和气缸体组成一个连杆机构,将活塞的往复运动变为曲轴的旋转运动,并输出转矩。曲轴和凸轮轴上的齿轮与气缸体组成齿轮机构,使两轴保持一定的速比。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构,将凸轮轴的连续转动变为顶杆有规律的间歇移动。一部机器可包含一个或多个机构,如鼓风机、电动机只包含一个机构,而内燃机则包含 3 个机构。机器中最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。从运动观点来看,机器和机构之间并无区别,因此,习惯上把机器和机构统称为机械。

构件是组成机械的基本运动单元,它可以是单一的零件,也可以是多个零件组成的刚性结构,如图 1-2 所示内燃机的连杆,就是由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 和螺母 3 等零件组成的刚性结构,各零件相互之间没有相对运动。

零件是机械的制造单元,可以分为两类:一类是通用零件,在各种机器中普遍使用,如螺栓、螺母、齿轮、弹簧等;另一类是专用零件,仅在某些特定类型的机器中使用,如内燃机的活塞、汽轮机的叶片等。

机械设计基础主要研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、运动特性、结构特点、使用和维护、标准和规范、基本设计理论和计算方法。简要介绍机械产品设计的基本方法和技术。

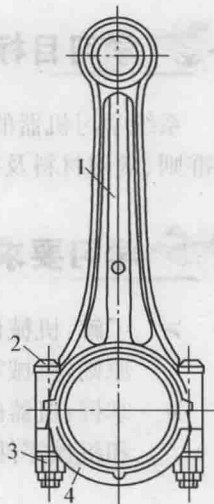


图 1-2 连杆

1—连杆体;2—螺栓;
3—螺母;4—连杆盖

1.2 机械设计的基本要求及一般过程

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计是指设计实现预期功能的新机械或改进现有机械的性能。由于机械设计质量在很大程度上决定了机械产品的性能、价格和经济效益。因此机械设计应满足以下基本要求。

1. 使用要求

设计的机械要能够实现预期的功能,即在规定的工作条件下,达到规定的预期功能要求,并保证在规定的工作期限内正常运转。为此,在机械设计时必须确定机械的工作原理和实现工作原理的机构组合,从而使机械性能好、效率高。

2. 经济性要求

机械产品的经济性应体现在设计、制造和使用的全过程。设计经济性体现在降低机械成本和缩短设计周期等;制造经济性体现在省工、省料、装配简便和缩短制造周期等;使用经济性体现在生产效率高、能源和材料消耗少、维护及管理费用低等。



3. 可靠性要求

机械的可靠性是指机械在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。机械的可靠性取决于设计、制造、管理、使用等各阶段。设计和制造阶段决定了机械的固有可靠性,而管理、使用等阶段只能保证机械的固有可靠性,但不能超过其固有可靠性的界限。

4. 操作方便、安全

机械的操作系统要简便可靠,符合人的生理特征,有利于减轻操作人员的劳动强度。要有各种保险装置,以保证人、机安全。

5. 造型美观、减少环境污染

所设计的机械产品要重视外形和色彩方面的要求,使其外形美观。要尽量避免机械对环境的污染,做到绿色设计。

6. 其他要求

在满足以上基本要求的前提下,一些机械还有特殊要求,例如:航空产品要质量轻,食品机械要防止污染等。

1.2.2 机械设计的一般过程

在明确设计要求后,机械设计的主要内容有:

- 确定机械的工作原理,选择合适的机构,拟定设计方案;
- 进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷;
- 进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。

结合设计内容,机械产品的设计过程,一般可概括为如下几个阶段。

1. 明确设计要求阶段

根据市场预测、用户需求进行可行性分析,给出可行性报告及设计任务书。任务书中应规定机器的功能、主要性能参数、工作环境、生产批量、预期成本、设计完成期限以及使用条件等。

2. 方案设计阶段

方案设计是在满足设计任务书要求的前提下,确定机器的工作原理,选择合适的机构。拟定粗线条的总体布置、传动方案和机构运动简图,并进行概略计算,得出可供比较评价的多个设计方案,经方案评审,选取最佳方案。

3. 总体设计阶段

总体设计是在既定设计方案的基础上,确定机械各部件的总体布置,运动配合和人—机—环境的合理关系,并进行分析计算和经济评价,绘制出总体设计图。

4. 结构设计

结构设计又称为施工图设计,它在总体设计的基础上进行总装配图、部件装配图和零件工作图的设计,完成全部生产图样并编制设计说明书和使用说明书等技术文件。

5. 试制、鉴定阶段

经过加工、安装及调试,制造出样机,对样机进行试运行或生产现场试用,并将信息反馈给设计人员。对经过修改完善后的产品从技术上、经济上作出全面评价,即验收或鉴定。

作为设计人员,必须善于把设计构思,用语言、文字和图形方式传递给主管者和协作者,以获得批准和赞同。同时,设计人员要富有创新精神,从实际出发,充分地调查研究,广泛地听取用户和工艺人员的意见,在设计、加工、安装和调试过程中及时发现问题,及时修改,以取得最



佳成果,并从中积累设计经验。

1.3 机械零件设计的基本准则

机械零件由于某种原因丧失预定功能或预定功能指标降低至许用值以下的现象,称为失效。机械零件设计必须根据零件的失效形式分析其失效机理,提出防止或减轻失效的措施,并根据不同的失效形式确定不同的设计计算准则。

1.3.1 机械零件的主要失效形式

机械零件有以下几种主要失效形式。

1. 断裂

机械零件在外载荷作用下,如果某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时,就会造成零件断裂失效。如果零件是在循环变应力作用下长时间工作,则容易发生疲劳断裂,例如齿轮轴的断裂、螺栓的断裂等。

2. 过大的变形

机械零件在外载荷作用下,会产生弹性变形,过大的弹性变形会影响机器的精度,如机床导轨;对旋转零件还会产生较大的振动,如轴类零件。当零件的应力超过材料的屈服极限时,将会发生塑性变形,造成零件的尺寸和形状改变,破坏各零件的相对位置和配合关系,使机器不能正常工作。

3. 表面失效

表面失效是指工作表面的过度磨损或损伤。磨损、腐蚀和接触疲劳等都会导致零件表面失效。有相对运动的零件接触表面都会产生磨损;处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀介质接触的零件,均有可能产生腐蚀失效;在接触变应力作用下工作的零件表面将可能发生疲劳点蚀,如齿轮轮齿表面的失效。

4. 正常工作条件遭破坏而引起的失效

一些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作,当正常工作条件遭破坏时,就会引起失效。如液体滑动轴承只有在保持完整的润滑油膜时才能正常工作,否则将发生过热、胶合、磨损等形式的失效。

1.3.2 机械零件的设计计算准则

设计机械零件时,根据不同的失效原因建立的工作能力判定条件,称为设计计算准则。主要的设计计算准则有如下几个方面。

1. 强度准则

机械零件的强度可分为整体强度和表面强度。

(1) 整体强度 是指零件在外载荷作用下抵抗断裂、塑性变形失效的能力,如螺栓的强度。其计算准则可采用许用应力法或安全系数法。

许用应力法:设计计算时应使零件在危险截面处的最大应力 σ 、 τ 不超过零件材料的许用应力 $[\sigma]$ 、 $[\tau]$,即



$$\left. \begin{aligned} \sigma &\leq [\sigma], [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[S_{\sigma}]} \\ \tau &\leq [\tau], [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{[S_{\tau}]} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

该公式中, σ_{lim} 、 τ_{lim} 分别为极限正应力和极限切应力。

$[S_{\sigma}]$ 、 $[S_{\tau}]$ 分别为正应力和切应力的许用安全系数。

安全系数法: 设计时应使零件危险截面处的安全系数 S_{σ} 、 S_{τ} 不小于许用安全系数 $[S_{\sigma}]$ 、 $[S_{\tau}]$, 即

$$\left. \begin{aligned} S_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma} &\geq [S_{\sigma}] \\ S_{\tau} = \frac{\tau_{\text{lim}}}{\tau} &\geq [S_{\tau}] \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

极限应力 σ_{lim} 、 τ_{lim} 应根据零件材料性质及所受应力类型来选择。对静应力下工作的塑性材料零件, 采用材料的屈服极限 σ_s 、 τ_s ; 对静应力下工作的脆性材料零件, 采用材料的强度极限 σ_b 、 τ_b ; 对变应力下工作的零件, 采用材料的疲劳极限。

(2) 表面强度 分为表面挤压强度和表面接触强度。如果表面挤压强度不足, 将产生表面塑性变形、表面压溃失效; 如果表面接触强度不足, 将产生疲劳点蚀, 如齿轮齿面。其计算准则分别为:

对表面挤压强度, 在设计计算时应使零件的挤压应力 σ_p 不超过零件材料的许用挤压应力 $[\sigma_p]$, 即

$$\sigma_p \leq [\sigma_p] \quad (1-3)$$

对表面接触强度, 在反复的接触应力作用下, 设计计算时应使零件在接触处的接触应力 σ_H 不超过零件材料的许用接触应力 $[\sigma_H]$, 即

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (1-4)$$

2. 刚度准则

机械零件的刚度是指零件在外载荷的作用下抵抗弹性变形的能力, 如轴的刚度。其计算准则为: 应使零件在外载荷作用下产生的弹性变形量不超过机器正常工作的许用变形量, 即

$$\text{挠度 } y \leq [y] \quad (1-5)$$

$$\text{偏转角 } \theta \leq [\theta] \quad (1-6)$$

$$\text{扭转角 } \varphi \leq [\varphi] \quad (1-7)$$

弹性变形量可按理论计算或实验方法确定, 许用变形量应根据不同的使用场合, 按理论或经验确定其合理数值。

3. 耐磨性准则

在运动中, 摩擦使表面物质不断损失的现象称为磨损。磨损会逐渐改变零件尺寸和摩擦表面状态。耐磨性是指零件抗磨损的能力。设计时应使零件在预定使用期限内, 其磨损量不超过允许值, 如螺旋传动的耐磨性计算。由于磨损现象是相当复杂的, 有物理、化学和机械等方面的原因, 因此实用的耐磨性计算准则为: 接触表面的压强 p 与 p_v 值不超过许用值 $[p]$ 与 $[p_v]$, 即

$$p \leq [p] \quad (1-8)$$

$$p_v \leq [p_v] \quad (1-9)$$



4. 热平衡准则

零件工作时因摩擦会产生热量,如果散热不良,零件温度过高,将导致润滑剂失去作用,从而使零件不能正常工作。因此应对发热较大的零件进行热平衡计算,如蜗杆蜗轮传动。热平衡准则为:根据热平衡条件,应使工作温度 t 不超过许用工作温度 $[t]$,即

$$t \leq [t] \quad (1-10)$$

1.4 机械零件常用材料及选择

1.4.1 机械零件常用材料

机械零件最常用的材料是钢和铸铁,其次是有色金属合金。随着机械制造业的发展,非金属材料及各种复合材料的使用也越来越广泛。

钢和铸铁都是铁碳合金。含碳量小于 2.11% 的称为钢,含碳量大于 2.11% 的称为铸铁。钢具有较高的强度、韧性和塑性,并可通过热处理改善其力学性能和切削性能。按照用途,钢可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢;按照化学成分,钢可分为碳素钢和合金钢。钢制零件毛坯可通过铸造、锻造、冲压、焊接等方法制得,故应用十分广泛。铸铁具有良好的铸造性能,可制成形状、内腔复杂的零件。常用铸铁可分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和合金铸铁等。灰铸铁具有良好的减震性、耐磨性和切削性,故应用广泛。

常用钢铁材料的力学性能如表 1-1 所示。

表 1-1 常用钢铁材料的力学性能

材 料		力 学 性 能			试件尺寸 厚度或直径 d/mm
类 别	牌 号	强度极限 σ_b/MPa	屈服极限 σ_s/MPa	延伸率 $\delta_5/\%$	
碳素结构钢	Q215	335—450	215	31	$d \leq 16$
	Q235	375—500	235	26	
	Q275	490—630	275	20	
优质碳素结构钢	20	410	245	25	$d \leq 25$
	35	530	315	20	
	45	600	355	16	
合金结构钢	35SiMn	885	735	15	$d \leq 25$
	40Cr	980	785	9	$d \leq 25$
	20CrMnTi	1080	835	10	$d \leq 15$
	65Mn	980	785	8	$d \leq 80$
铸钢	ZG270—500	500	270	18	$d \leq 100$
	ZG310—570	570	310	15	
	ZG40SiMn	600	380	12	
灰铸铁	HT150	145	—	—	壁厚 10~20
	HT200	195	—	—	
	HT250	240	—	—	



(续表)

材 料		力 学 性 能			试件尺寸 厚度或直径 d/mm
类 别	牌 号	强度极限 σ_b/MPa	屈服极限 σ_s/MPa	延伸率 $\delta_s/\%$	
球墨铸铁	QT400-15	400	250	15	壁厚 30~200
	QT500-7	500	320	7	
	QT600-3	600	370	3	

注:钢铁材料的硬度与热处理方法、试件尺寸等因素有关,具体可查阅机械设计手册。

钢铁材料以外的所有其他金属材料统称为有色金属。与钢铁材料相比,有色金属具有许多特殊的物理、化学和力学性能,是现代工业不可缺少的材料。在工业中运用较广的有铝合金、铜合金和轴承合金。铝合金依据成分和工艺特点不同,可分为形变铝合金和铸造铝合金两大类。根据主要的性能特点和用途,形变铝合金又可分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金。铜合金可分为黄铜和青铜。黄铜是铜和锌的合金,并含有少量的锰、铝、镍等,具有良好的塑性及流动性。青铜可分为含锡青铜和无锡青铜,如铝青铜、铍青铜,它们减摩性和耐腐蚀性均较好。轴承合金是用来制造滑动轴承中的轴瓦及内衬的合金。工业上应用最广的轴承合金是锡基和铅基轴承合金(巴氏合金)。

非金属材料包括有机高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。根据其性质及用途,有机高分子材料主要有塑料、橡胶、胶粘剂及涂料等。塑料比重小,易于制成形状复杂的零件,不同的塑料具有各自不同的特点,如耐蚀性、绝缘性、减摩性等,故应用日益广泛。橡胶富有弹性,能吸收较多的冲击能量,故常用来做联轴器等具有减震要求的弹性元件等。无机非金属材料如碳化钛基金属陶瓷可用于制作涡轮喷气发动机燃烧室、叶片等耐热件。复合材料如玻璃钢可用来制造车船体、直升机旋翼等。

1.4.2 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个重要问题。设计者在选择材料时必须首先保证零件的使用性能要求,然后考虑工艺性和经济性。

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。如轴类零件,应具有优良的综合力学性能,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、抗腐蚀性等物理、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;焊接零件应考虑材料的可焊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易切性等;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、加工费用及其他一切费用。

1.5 机械零件的标准化

标准化的含义是在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的过程。工业产品标准化是指对产品的品种、规格、质量、检验或安全、卫生要求等制定标准并加以实施。

产品标准化包括产品品种规格的系列化、零部件的通用化和产品质量标准化三方面的含义。系列化是将同一类产品的主要参数、型式、尺寸、基本结构等依次分档,按一定规律优化组合成产品系列,以减少产品型号数目,是标准化的主要内容。通用化是将同一类或不同类型产品中用途结构相近似的零部件经过统一后实现通用互换,如螺栓、联轴器。产品质量标准化是指为了保证产品质量合格和稳定而进行的设计、加工工艺、装配检验、包装储运等环节的标准化。

机械零件设计中的标准化工作十分重要,其内容包括设计参数、主要尺寸及型号、设计计算方法、检验方法、机械制图等方面的标准。作为设计人员,在机械设计中应遵守已颁布的各类标准,尤其是国家标准,具体可参看机械设计手册。

标准化在机械设计制造中的意义在于:可以简化设计工作;可由专门化工厂进行专业化、大批量的集中制造,从而保证质量降低成本;选用参数标准化零件,可减少刀具和量具的规格;在管理维修方面,可减少库存量,便于修理和更换。

我国现行标准分为国家标准(GB)、行业标准(JB、YB等)、地方标准和企业标准4级。按照标准实施的强制程度,又可分为强制性标准(GB)和推荐性标准(GB/T)。在国际上普遍采用的是国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)等制定的标准。目前,我国新修订和发布的许多国家标准都采用了相应的国际标准。



复习思考题

- (1) 试举例说明机器、机构、构件、零件的区别。
- (2) 机械设计的基本要求有哪些?其设计过程如何?
- (3) 机械零件的常见失效形式有哪些?
- (4) 机械零件设计的主要计算准则有哪些?
- (5) 机械零件的常用材料有哪些?选择材料时要考虑哪些因素?
- (6) 机械零件标准化有何意义?