

高等院校立体化创新规划教材



机械设计基础

刘艳秋 王蔓 胡建忠 编著

配套资源

- ◆ 案例模型
- ◆ 习题答案
- ◆ 教学视频
- ◆ 知识点纲要
- ◆ PPT
- ◆ 二维码教材

清华大学出版社



高等院校立体化创新规划教材

机械设计基础

刘艳秋 王蔓 胡建忠 编著



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会修订的“机械设计基础课程教学基本要求”，在国家“十三五”规划的大局下，坚持“以理论知识为前提，重点加强应用技能与理论的结合培养”的原则，加大实验、实践的力度，结合本校的教学改革与精品课程建设，打造的贯穿式立体化精品教材。

本书共分十五章，重点介绍平面机构的自由度，平面连杆机构，凸轮机构及间歇机构，齿轮机构，轮系，齿轮传动，带传动，链传动，连接，轴，滑动轴承，滚动轴承，联轴器和离合器，机构的平衡等内容。

本书由大连工业大学机械设计教研室组织编写，可作为高等学校工科非机类专业“机械设计基础”课程的教材，也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/刘艳秋，王蔓，胡建忠编著. —北京：清华大学出版社，2018
(高等院校立体化创新规划教材)

ISBN 978-7-302-50583-9

I. ①机… II. ①刘… ②王… ③胡… 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(2018)第 153370 号

责任编辑：陈冬梅

装帧设计：杨玉兰

责任校对：周剑云

责任印制：宋 林

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者：北京密云胶印厂

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：19.25 字 数：480 千字

版 次：2018 年 8 月第 1 版 印 次：2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价：49.80 元

产品编号：078081-01

前言

目前,我国高等教育正迎来一个前所未有的高速发展时期,高等教育的发展已进入一个新的阶段。高等本科院校也逐渐演变成“研究学术型”和“应用就业型”两大类。作为知识传承载体的教材,在“应用就业型”高等院校的教学活动中起着至关重要的作用。目前市场上应用型教材比较缺乏,其发展远远滞后于应用就业型人才培养的步伐,这势必影响人才的培养。

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会修订的“机械设计基础课程教学基本要求”,在国家“十三五”规划的大局下,坚持“以理论知识为前提,重点加强应用技能与理论的结合培养”的原则,加大实验、实践的力度,结合大连工业大学的教学改革与精品课程建设,打造的贯穿式立体化精品教材。本书由大连工业大学机械设计教研室组织编写,可作为高等学校工科非机类专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本系列教材的编写以“提高学生毕业应知应用能力”为宗旨,按照企业对高校学生的实际需求,利用多媒体技术,为重点内容配备了视频、音频、动画;借助二维码技术,为每章节设置了多个二维码,通过“扫一扫”方式,让学生可以利用手机学习,实现了教学中的“互联网+”碎片化。

本书通过互联网式的碎片化教学方式,实现信息化管理,为国家的教学改革事业起到启航者的作用。本书不仅能够使学生在掌握相关理论知识的基础上,具备一定的实际操作技能,而且实现了教师的精品课程与教材编写的结合,也向精品教材方向迈进了一步。

参加本书编写工作的有:刘艳秋(第一、第六、第十一、第十二、第十三、第十四章),王蔓(第五、第七、第十、第十五章),胡建忠(第二、第三、第四、第八、第九章)。全书由刘艳秋主要负责,初家鹏主审。

限于编者的水平和编写的时间,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 导论	1
第一节 “机械设计基础”课程研究的对象和内容	1
第二节 机械设计的基本要求和一般步骤	3
一、机械设计的基本要求	3
二、机械设计的一般步骤	4
第三节 机械零件计算准则	5
一、机械零件的主要失效形式	5
二、机械零件设计应满足的基本要求	6
第四节 机械零件的材料及热处理	7
一、机械零件常用材料	7
二、钢的热处理	9
三、选择机械零件材料的原则	10
第五节 机械零件结构的工艺性及标准化	11
一、工艺性	11
二、标准化	12
本章小结	12
知识拓展	12
复习思考题	13
第二章 平面机构的自由度	14
第一节 机构的组成及其运动简图的绘制	14
一、机构的组成	14
二、运动副的分类	16
三、机构运动简图的绘制	17
第二节 平面机构自由度的计算	21
一、平面机构自由度的计算公式	21
二、平面机构自由度的意义及机构具有确定运动的条件	21

第三节 计算机构自由度时应注意的事项	22
一、复合铰链	22
二、局部自由度	23
三、虚约束	23
本章小结	25
知识拓展	26
复习思考题	26

第三章 平面连杆机构	28
第一节 概述	28
第二节 平面四杆机构的基本类型及应用	29
一、曲柄摇杆机构	29
二、双曲柄机构	30
三、双摇杆机构	31
第三节 平面四杆机构的演化	31
一、改变相对杆长、转动副演化成移动副	32
二、选用不同构件为机架	32
第四节 平面四杆机构有曲柄的条件及几个基本概念	35
一、铰链四杆机构中有曲柄的条件	35
二、压力角和传动角	36
三、急回运动和行程速度变化系数	37
四、机构的死点位置	38
第五节 平面四杆机构的设计	39
一、按给定的行程速度变化系数设计四杆机构	39
二、按给定连杆位置设计四杆机构	40

三、按给定两连架杆对应位置设计四杆机构.....	41	一、齿廓啮合基本定律.....	77
四、按给定点的运动轨迹设计四杆机构.....	43	二、共轭齿廓.....	78
五、运用连杆曲线图谱设计四杆机构.....	44	第三节 渐开线齿廓.....	78
六、连杆曲线的绘制.....	44	一、渐开线的形成和性质.....	78
本章小结.....	45	二、渐开线齿廓的啮合特点.....	80
知识拓展.....	45	第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮及其啮合传动.....	81
复习思考题.....	45	一、齿轮轮齿各部分的名称和符号.....	81
第四章 凸轮机构及间歇机构.....	48	二、基本参数和几何尺寸.....	82
第一节 凸轮机构的应用及分类.....	48	三、一对渐开线齿轮的啮合传动.....	83
一、凸轮机构的应用.....	48	第五节 渐开线齿轮的加工方法及变位齿轮.....	86
二、凸轮机构的分类.....	49	一、仿形法.....	86
第二节 从动件常用运动规律及其选择.....	51	二、范成法.....	87
一、凸轮机构的运动循环及基本名词术语.....	51	三、根切及避免根切的最少齿数.....	88
二、从动件运动规律.....	52	四、变位齿轮.....	90
三、从动件运动规律的选择.....	55	第六节 斜齿圆柱齿轮机构.....	90
第三节 图解法设计凸轮轮廓.....	56	一、斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成及主要啮合特点.....	90
第四节 解析法设计凸轮轮廓.....	60	二、斜齿圆柱齿轮的几何参数和正确啮合条件.....	91
一、凸轮的廓线方程.....	60	三、斜齿圆柱齿轮的当量齿数和最少齿数.....	93
二、刀具中心轨迹方程.....	61	第七节 锥齿轮机构.....	95
第五节 设计凸轮机构应注意的问题.....	61	一、锥齿轮的特点和应用.....	95
一、滚子半径的选择.....	61	二、锥齿轮齿廓的形成.....	96
二、压力角的校核.....	62	三、背锥和当量齿轮.....	96
三、基圆半径的取值对凸轮机构的影响.....	63	四、直齿锥齿轮啮合特点.....	97
第六节 间歇运动机构和组合机构.....	64	第八节 蜗杆机构.....	98
一、间歇运动机构.....	64	一、概述.....	98
二、组合机构.....	71	二、蜗杆机构的正确啮合条件.....	98
本章小结.....	72	三、蜗杆机构的主要参数和几何尺寸.....	99
知识拓展.....	72	四、蜗杆机构的传动比及转向.....	101
复习思考题.....	73	五、蜗杆机构的滑动速度 v_s 与效率 η	101
第五章 齿轮机构.....	75		
第一节 概述.....	75		
第二节 齿廓啮合基本定律和齿廓曲线.....	77		

本章小结	102
知识拓展	102
复习思考题	103
第六章 轮系	105
第一节 轮系的类型	105
一、定轴轮系	105
二、周转轮系	105
第二节 定轴轮系的传动比	106
一、一对齿轮传动的传动比	106
二、平面定轴轮系传动比	106
三、空间定轴轮系传动比	107
第三节 基本周转轮系的传动比	108
一、周转轮系的组成及类型	108
二、周转轮系传动比的计算	109
第四节 混合轮系的传动比	111
一、区分基本轮系	111
二、列出基本轮系传动比方程	111
三、联立求解	112
第五节 轮系的功用	114
一、实现大传动比的传动	114
二、实现远距离的两轴间传动	114
三、实现变速、换向传动	114
四、实现分支传动	115
五、实现运动的合成与分解	115
本章小结	115
知识拓展	116
复习思考题	117
第七章 齿轮传动	120
第一节 齿轮传动的失效形式及设计准则	120
一、齿轮传动的失效形式	121
二、设计计算准则	122
第二节 齿轮材料、许用应力及齿轮精度	123
一、齿轮的常用材料	123

二、许用应力 $[\sigma]$	124
三、齿轮传动的精度	126
第三节 直齿圆柱齿轮的强度计算	127
一、轮齿受力分析和计算载荷	127
二、齿面接触强度计算	128
三、齿根弯曲强度计算	130
第四节 直齿圆柱齿轮传动的设计计算	131
一、强度计算应注意的问题	131
二、主要参数选择	132
第五节 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	134
一、轮齿间的作用力	134
二、强度计算	135
第六节 直齿锥齿轮传动的强度计算	138
一、直齿锥齿轮传动的受力分析	138
二、强度计算	139
第七节 蜗杆传动的强度计算	139
一、蜗杆传动的失效形式、设计准则及常用材料	139
二、蜗杆传动的受力分析	140
三、蜗杆传动强度计算	141
四、蜗杆传动热平衡计算	143
第八节 齿轮的结构与润滑	143
一、齿轮的结构	143
二、效率及润滑	145
本章小结	147
知识拓展	147
复习思考题	148
第八章 带传动	150
第一节 概述	150
一、带传动类型和传动形式	150
二、带传动的优缺点	151
三、V带传动	151
第二节 V带和V带轮	152
一、V带的结构和规格	152

二、带轮	153
第三节 带传动的工作情况分析	155
一、带传动的受力分析	155
二、带传动的应力分析	157
三、带的弹性滑动、打滑和传动比	158
四、带传动的失效形式和设计准则	158
第四节 V 带传动的设计计算	159
第五节 同步齿形带传动简介	165
一、同步齿形带传动的特点	165
二、同步齿形带的应用	166
三、同步齿形带的结构	166
本章小结	166
知识拓展	167
复习思考题	167

第九章 链传动 169

第一节 概述	169
一、链传动的组成	169
二、链传动的类型及特点	169
三、链传动的应用	170
第二节 传动链和链轮	172
一、传动链的类型和结构	172
二、套筒滚子链链轮的结构	174
第三节 链传动的运动特性和参数选择	175
一、链传动的运动不均匀性	175
二、参数的选择	175
第四节 链传动的设计计算	176
一、主要失效形式	176
二、额定功率曲线图	177
三、设计计算	178
第五节 链传动的布置及润滑	181
一、链传动的布置	181
二、链传动的润滑	182
本章小结	183

知识拓展	184
复习思考题	184

第十章 连接 186

第一节 螺纹连接的基础知识	186
一、螺纹的形成	187
二、螺纹的分类	187
三、螺纹的主要参数	188
四、螺纹的特点和应用	189
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	190
一、矩形螺纹	190
二、非矩形螺纹	191
第三节 螺纹连接和螺纹连接件	193
一、螺纹连接的基本类型	193
二、螺纹连接件	194
第四节 螺纹连接的强度计算	195
一、螺栓连接的主要失效形式和计算准则	195
二、螺栓的材料及许用应力	195
三、松螺栓连接强度计算	197
四、紧螺栓连接强度计算	197
第五节 设计螺纹连接应注意的几个问题	203
一、螺纹连接的预紧	203
二、螺纹连接的防松	204
三、影响螺栓连接强度的因素	206
本章小结	209
知识拓展	209
复习思考题	210

第十一章 轴 212

第一节 轴的类型和材料	212
一、轴及其分类	212
二、轴的设计要求和设计步骤	213
三、轴的材料	213
第二节 轴的结构设计	214

一、轴上零件的定位和固定	215	本章小结	244
二、良好的结构工艺性	216	知识拓展	245
三、提高轴的疲劳强度	217	复习思考题	246
第三节 轴的工作能力计算	218	第十三章 滚动轴承	247
一、轴的强度计算	218	第一节 滚动轴承的结构、类型	
二、轴的刚度计算简介	222	和代号	247
三、轴的振动稳定性概念	223	一、滚动轴承的结构	247
第四节 轴毂连接	223	二、滚动轴承的主要类型及特点	248
一、键连接	223	三、滚动轴承类型的选择	249
二、花键连接	227	四、滚动轴承的代号	249
三、销连接	228	第二节 滚动轴承的失效形式及其选择	
四、过盈连接及成型连接	229	计算	251
本章小结	229	一、失效形式	251
知识拓展	230	二、轴承寿命的计算	252
复习思考题	231	第三节 滚动轴承的组合设计	258
第十二章 滑动轴承	232	一、轴承的固定	258
第一节 摩擦、磨损基本知识	232	二、轴承组合的调整	260
一、摩擦	232	三、滚动轴承的配合	261
二、磨损	233	四、轴承的装拆	261
三、润滑	234	五、滚动轴承的润滑	261
第二节 滑动轴承的结构形式	236	六、滚动轴承的密封	262
一、向心滑动轴承	236	本章小结	263
二、普通推力滑动轴承	237	知识拓展	263
第三节 轴承材料和轴瓦结构	237	复习思考题	264
一、轴瓦材料	238	第十四章 联轴器和离合器	265
二、轴瓦结构	239	第一节 联轴器	265
第四节 非液体摩擦滑动轴承的校核		一、固定式刚性联轴器	265
计算	240	二、可移式刚性联轴器	266
一、非液体摩擦径向轴承的计算	241	三、弹性联轴器	268
二、非液体摩擦推力滑动轴承的		第二节 离合器	269
校核计算	242	一、牙嵌离合器	269
第五节 液体摩擦滑动轴承及其他滑动		二、摩擦离合器	270
轴承简介	243	三、电磁粉末离合器	271
一、动压轴承和静压轴承	243	四、超越离合器	272
二、含油轴承	244	第三节 联轴器和离合器的选用	273
三、尼龙轴承	244		



一、类型选择	273
二、型号和尺寸选择	273
本章小结	274
知识拓展	274
复习思考题	275

第十五章 机构的平衡 276

第一节 机构的平衡	276
一、完全平衡	277
二、部分平衡	279
第二节 刚性转子的平衡	281
一、绕固定轴回转构件的惯性力平衡	281
二、刚性转子的静平衡	282

三、刚性转子的动平衡计算	283
第三节 刚性转子的平衡实验	285
一、静平衡实验	285
二、动平衡实验	285
三、现场平衡	287
第四节 转子的许用不平衡量	287
第五节 挠性转子动平衡描述	288
本章小结	289
知识拓展	289
复习思考题	290

附录 A 常用标准 293

参考文献 296

第一章 导 论

学习要点及目标

- 了解“机械设计基础”课程研究的对象和内容。
- 学习机械设计的基本要求和一般步骤。
- 了解金属材料及热处理基本知识。

核心概念

机械 机械设计 零件 部件

第一节 “机械设计基础”课程研究的对象和内容

机器是人类在长期生产实践中创造的具有某种用途的设备，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，还便于集中进行社会化大生产。因此生产的社会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。

轻工业机械设备种类繁多，就其构造、用途和性能来说是各不相同的，但它们都有一些共同的特征。

图 1-1 为单缸四冲程内燃机。燃气推动活塞做往复移动，经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周，进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各构件便协调地动作，进气阀和排气阀有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，就把热能转换为曲轴回轮的机械能。

机器的种类繁多，形式各不相同，但就其组成来说，一部完整的机器主要由四个部分组成，如图 1-2 所示。

(1) 原动部分。原动部分是机器的动力来源，除最常用的电动机外，还有热力机(内燃机、汽轮机、燃气机)、液压马达等。原动部分的作用是把其他形式的能转变为机械能，以驱动机器运动和做功。

(2) 执行部分。执行部分又称工作部分，是直接完成机器预定功能的部分，如起重机的吊钩、车床的刀架、仪表的指针等。

(3) 传动部分。传动部分是将原动部分运动和动力传递给执行部分的中间环节，在传递运动方面，它可以改变运动速度、转换运动形式等，从而满足执行部分的各种要求，如



01 绪论.mp4

将高转速变为低转速、小转矩变为大转矩、回转运动变为直线运动等。

(4) 控制部分。控制部分(操纵部分)的作用是控制机器的其他各部分,使操作者能随时实现或终止各自预定的功能,如机器的启停、运动速度和方向的改变等。一般来说,现代机械的控制部分包括机械控制系统和电子控制系统。随着科学技术和生产的发展,对机械的功能和高度自动化的要求日益增长,因此对控制系统的要求也越来越高。

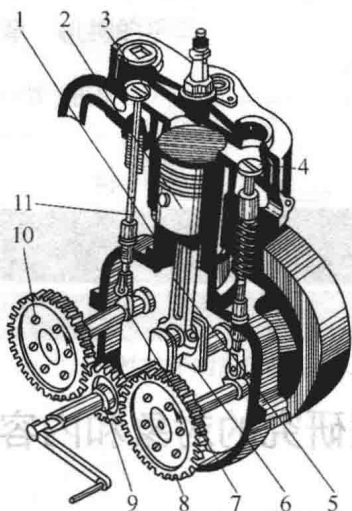


图 1-1 单缸四冲程内燃机

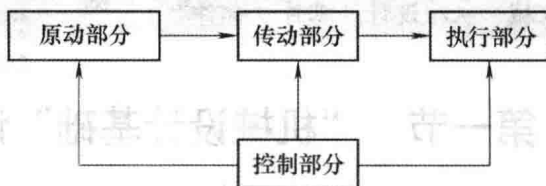


图 1-2 机器的组成

1—气缸;2—活塞;3—进气阀;4—排气阀;
5—连杆;6—曲轴;7—凸轮;8、9、10—齿轮;11—顶杆

原动部分、传动部分、执行部分就可以组成简单的机器,有的机器甚至只有原动部分和执行部分,如水泵、砂轮机。但是对于较复杂的机器,除上述四个基本组成部分外,还有润滑、照明等辅助装置。

机器具有以下几个共同特征:①都是一种人为的实体组合;②各实体之间具有确定的相对运动;③在工作时能转换机械能(如内燃机、发电机等)或做有效的机械功(如洗衣机、缝纫机等)。

仅具有前两个特征的称为机构。若从结构和运动的观点来看,机器与机构两者之间并无区别,所以,通常用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称构件。构件可以是单一的整体,也可以是由几个零件组成的刚性结构。图 1-3 所示的内燃机连杆就是由连杆体、连杆盖、轴套、轴瓦、螺栓、螺母及开口销

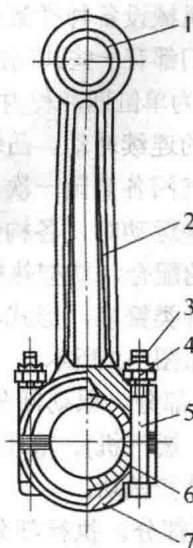


图 1-3 内燃机连杆

1—轴套;2—连杆体;3—开口销;
4—螺母;5—螺栓;6—轴瓦;7—连杆盖

等零件组成的刚性构件。由此,构件与零件的区别在于:构件是运动的最小单元,零件是制造的最小单元。机械中的零件按其用途可分为两类:各种机械中都经常使用的零件,如螺母、螺钉、键、弹簧等,称为通用零件;只在某些机械中使用的零件,如缝纫机中的曲轴、连杆,灌装机中的凸轮,纺织机械中的纺锭、织梭,汽轮机的叶片等,称为专用零件。

另外,还常把一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的合体称为部件,如减速器、离合器等。

“机械设计基础”课程主要阐述一般机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法等,同时,还扼要地介绍与本课程有关的国家标准和规范,以及某些零件的选用原则和方法。

为了学好“机械设计基础”课程,首先要求学生必须掌握机械制图、工程力学、金属工艺学等先修课程中有关的基础知识。学习本课程,可使学生获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识,并能培养学生初步掌握运用有关机械设计方面的手册,设计简单机械传动装置的方法,为学习有关专业机械设备课程及以后参与技术革新奠定必要的基础。

第二节 机械设计的基本要求和一般步骤

设计机器时,必须满足技术条件所规定的各项要求。对机器的要求首先是机器的全部职能、预定的使用寿命、制造和运转成本、重量与尺寸指标等。此外,还应考虑机器运输的可能性、操作方便性、外形美观等要求。本章将扼要阐明机械零件设计计算的共同性问题。

一、机械设计的基本要求

机械的种类虽然很多,但设计时所考虑的基本要求往往是相同的,这些基本要求有以下两个方面。

1. 运动和动力性能要求

根据预定的使用要求确定机械的工作原理,并据此选择机构类型和机械传动方式,达到以合理的机构组合来协调运动,实现预定动作。在运动分析的基础上,对机构进行动力分析,从而确定作用在各零件上的功率、扭矩和作用力等。

2. 工作可靠性要求

为了使机械在预定的工作期限内可靠地工作,防止因零件失效而影响其正常运行,零件应满足下列要求。

1) 强度

强度是衡量零件抵抗破坏的能力,是保证零件工作能力的最基本要求。零件强度不足时,就会发生不允许的塑性变形,甚至造成断裂破坏,轻则使机械停止工作,重则发生严重事故。为保证零件有足够的强度,零件的工作应力不得超过许用应力,这就是零件的强度计算准则。

2) 刚度

刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件的刚度不足时,就会产生不允许的弹性变形,形成载荷集中等,影响机械的正常工作。例如,造纸机的辊子、机床的主轴如果没有足够的刚度,就会导致产品质量严重恶化。刚度计算准则要求零件工作时的弹性变形量(弯曲挠度或扭转角)不超过机械工作性能所允许的极限值(即许用变形量)。

3) 耐磨性

耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。例如,齿轮的轮齿表面磨损量超过一定限度后,轮齿齿形有较大的改变,使齿轮转速不均匀、产生噪声和动载荷,严重时因齿根厚度减薄而导致轮齿折断。因此在磨损严重的条件下,以限制与磨损有关的参数(如零件接触表面间的压强和相对滑动速度)作为磨损计算的准则。

4) 耐热性

耐热性包括抗氧化、抗热变形和抗蠕变的能力。零件在高温(一般钢件为 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 以上,轻合金和塑料件为 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 以上)下工作时,将会因强度削弱而降低其承载能力,同时会出现蠕变,增加塑性变形甚至发生氧化现象,从而大大影响机械的精度,进而使零件失效。另外,高温下润滑油膜容易破裂,导致润滑油的润滑能力降低甚至完全丧失。

对于不同用途的机械还可提出一些特殊要求。例如,对机床的要求是能长期保持其精度;对流动使用的机械(如钻探机、塔式起重机等)的要求是便于安装、拆卸和运输;对医药、食品、印刷、纺织和造纸等机械的要求是能保持清洁,不得污染产品。

二、机械设计的一般步骤

机械设计一般可分为以下几个阶段。

1. 提出设计要求

设计任务的提出,主要是根据社会和市场的需要,一定要有明确的目的。无论是设计新的机械产品,还是进行技术改造,总要达到某种技术经济目的,如提高劳动生产率、提高产品质量与使用寿命、节约原材料、降低能耗或减轻劳动强度等。

2. 调查研究、分析对比、确定设计模型与方案

设计者要了解所设计的对象的工作条件、环境、预计的生产能力、技术经济指标,以及是否具有特殊的技术要求等,如耐高温,耐腐蚀,材料、尺寸及重量的限制等,以作为设计的依据。同时要根据国家标准、规范做到产品系列化、部件通用化、零件标准化。

根据调查、分析与研究,拟订所设计的机器方案,这是设计中的重要阶段,应力求做到所设计的方案技术先进、使用可靠、经济、合理。

3. 结构设计

在方案确定以后,需经过必要的计算与分析来确定数学模型与计算公式,在进行校验之后,即可着手进行结构设计,绘制装配草图、装配图和部装图,最后根据装配图与结构设计绘制零件工作图。

4. 试验分析

图纸设计完成后, 需要编制必要的技术文件, 进行产品试制, 经过试车获得预期的结果, 否则需要反复进行修改, 直至完善。

5. 使用与考核

产品在成批制造与投放市场后, 需广泛征求用户意见, 以求不断地提高和完善产品。

第三节 机械零件计算准则

机械设计应满足的要求: 在满足预期功能的前提下, 性能好、效率高、成本低, 在预定使用期限内安全可靠、操作方便、维修简单和造型美观等。概括地说, 所设计的机械零件既要工作可靠, 又要成本低廉。

机械零件由于某种原因不能正常工作时, 称为失效。在不发生失效的条件下, 零件所能安全工作的限度, 称为工作能力。通常此限度是对载荷而言的, 所以习惯上又称其为承载能力。

一、机械零件的主要失效形式

1. 整体断裂

机械零件在受拉、受压、受弯、受剪和受扭等外载荷作用下, 由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生的断裂; 或者零件在受交变应力作用时, 危险截面上发生的疲劳断裂, 均属于整体断裂。

2. 残余变形过大

如果作用于零件上的应力超过材料的屈服极限, 则零件将产生残余变形。当残余变形过大时, 机器的运动精度将丧失, 甚至不能运动。例如, 对于机床上的零件, 过大的残余变形将使机床的运动精度部分丧失, 由此降低了加工精度。

3. 零件的表面破坏

零件的表面破坏主要是腐蚀、磨损和接触疲劳等。

腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象, 其结果是使金属表面产生锈蚀。对于承受变应力的零件, 还会引起腐蚀疲劳的现象, 进而使零件表面遭到破坏。

磨损是两个接触表面在做相对运动的过程中表面物质丧失或转移的现象。所有做相对运动的零件的接触表面都有可能发生磨损。

在接触变应力条件下工作的零件表面, 也有可能发生接触疲劳。

腐蚀、磨损和接触疲劳都是零件随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。

4. 破坏正常工作条件引起的失效

有些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作。例如, 液体摩擦的滑动轴承, 只有

在存在完整的润滑油膜时才能正常地工作；带传动和摩擦轮传动，只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常工作；高速转动的零件，只有其转速与转动件系统的固有频率避开一个适当的间隔时才能正常工作等。如果破坏了这些必备的条件，零件将发生不同类型的失效。

据相关文献介绍，由于腐蚀、磨损和各种疲劳破坏所引起的零件失效占 74% 左右，而由于断裂所引起的零件失效只占 5% 左右，所以腐蚀、磨损和接触疲劳是引起零件失效的主要原因。

二、机械零件设计应满足的基本要求

1. 强度方面

强度是指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，使机器停止工作，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. 刚度方面

刚度是指零件抵抗弹性变形的能力。零件刚度不足，将导致过大的弹性变形，引起载荷集中，影响机器的工作性能，甚至造成事故。例如，机床的主轴、导轨等，若刚度不足导致变形过大，将严重影响所加工零件的精度。

零件的刚度分为整体变形刚度和表面接触刚度两类。增大零件的截面尺寸或增大截面惯性矩、缩短支承跨距或采用多支点结构等措施，有利于提高零件的整体刚度。而增大零件接触贴合面及采用精细加工等措施，有利于提高零件的表面接触刚度。

一般情况下，满足刚度要求的零件也能满足其强度要求。

3. 寿命方面

机器寿命是指零件正常工作的期限。材料的疲劳、腐蚀及相对运动零件接触表面的磨损，是影响零件寿命的主要因素，此外，还有高温下的蠕变等。提高零件抗疲劳破坏能力的主要措施有减小应力集中、保证零件有足够的尺寸及提高零件的表面质量等。

4. 结构工艺性方面

机械零件结构工艺性是指在一定的生产条件下能方便、经济地生产出零件，并便于装配成机器。为此，应从零件的毛坯制造、机械加工及装配等生产环节，综合考虑零件的结构设计。

5. 可靠性方面

机械零件可靠度的定义与机器可靠度的定义相同。提高零件的可靠性应从工作条件(载荷、环境温度等)和零件性能两个方面考虑，使其随机变化尽可能小。加强零件使用中的维护与监测，也可提高零件的可靠性。

6. 经济性方面

零件的经济性主要取决于零件所用的材料和加工成本, 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考虑, 如采用相对廉价的材料代替贵重材料, 采用轻型结构和少余量、无余量的毛坯, 简化零件结构, 改善零件的结构工艺性, 以及尽可能采用标准化零部件等。

7. 零件质量大小方面

一般情况下, 绝大多数机械零件要求尽可能地减小其质量。对于运输机械, 减小零件质量就可以减小机械本身的运动质量, 增加其有效运载量。另外, 减小零件质量可以节约原材料, 对于运动的零件, 还可减小其运动惯性力, 从而改善机器的整体动力性能。

第四节 机械零件的材料及热处理

在机械制造中, 最常用的材料是钢和铸铁, 其次是有色金属合金。非金属材料如塑料、橡胶等, 在机械制造中也具有独特的使用价值。

一、机械零件常用材料

1. 钢

钢是指含碳量小于 2% 的铁碳合金, 也是机械零件应用最广的材料, 具有较好的强度、韧性、塑性等性能, 并可通过热处理来改善其力学性能和加工性能。钢制零件的毛坯可由锻造、轧制、冲压、焊接或铸造等方法获得。按化学成分, 钢分为碳素钢和合金钢。按用途, 钢又分为结构钢、工具钢和特殊钢。结构钢用于制造一般的零件, 是机电设备中用得最多的材料之一; 工具钢主要用于制造工具量具和模具刃具; 特殊钢用于制造有不锈钢、耐热、耐酸等特殊要求的零件。碳素钢的力学性能主要取决于含碳量, 含碳量低于 0.25% 的为低碳钢, 其抗拉强度和屈服强度较低, 但塑性和可焊性好; 含碳量为 0.25%~0.6% 的是中碳钢, 它有较高的强度, 又有一定的塑性和韧性, 综合力学性能较好; 含碳量在 0.6% 以上的为高碳钢, 其强度高韧性低, 弹性好塑性差。

常用的碳素结构钢有 Q215、Q235、Q255 等, 牌号中的数字表示其屈服强度, 因为它主要保证力学性能, 故一般不进行热处理, 用以制造受载不大且主要处于静应力状态下的一般零件, 如螺栓、螺母、垫圈等。常用的优质碳素结构钢有 15 钢、20 钢、35 钢、45 钢等, 它以万分比的含碳量作牌号, 既保证力学性能, 又保证化学成分, 可进行热处理, 用于制造受载较大, 或承受一定的冲击载荷或变载的较重要的零件, 如一般用途的齿轮、蜗杆、轴等。

合金结构钢是在优质碳素结构钢中掺入适当的合金元素冶炼而成的。例如, 锰(Mn)能提高钢的强度和韧性; 钼(Mo)的作用类似锰, 但影响面更大; 镍(Ni)可提高钢的强度而不降低其韧性; 硅(Si)可提高钢的弹性和耐磨性, 但会降低钢的韧性; 铬(Cr)能提高钢的硬度和耐磨性; 钒(V)能提高钢的强度和韧性。合金元素含量低于 5% 者称为低合金钢, 高于