

内 容 简 介

本书将“工程力学”、“机械原理”、“机械设计”等课程的内容有机整合,在保证学生掌握基本知识、基本理论、基本技能的前提下,不强调理论分析,淡化公式推导,突出工程应用,努力提高学生解决实际问题的能力,同时高度重视培养学生的创新意识和创新能力,适度增加了适应科技发展的新知识和新技术。为便于学生学习,各章均附有适量的习题。

全书共分 14 章,包括总论、工程力学基础、平面机构的运动简图及其自由度、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及间歇运动机构、螺旋联接及螺旋机构、带传动和链传动、齿轮传动、轮系、轴和轴毂联接、轴承、联轴器与离合器、机械的平衡与调速、机械创新设计理论及方法等。本书尽可能采用最新颁布的相关国家标准、规范和较为成熟的设计资料。

本书可作为高等工科院校近机类、非机类专业本科学生的教材,也可以满足行业与社会工程技术人员的需要。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/郑甲红主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.1

高等学校机械设计制造及自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1929 - 3

I. 机… II. 郑… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 158017 号

策 划 马乐惠 陈 婷

责任编辑 陈 婷 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20.5

字 数 484 千字

印 数 1~4000 册

定 价 27.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1929 - 3/TH · 0079

XDUP 2221001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书是根据由教育部“机械基础”课程教学指导委员会批准的“机械设计基础教学基本要求”编写的。本书注重工程应用，不强调理论分析，淡化公式推导，内容简明易懂，图表数据准确、实用，各章附有一定数量的习题。

本书采用国际单位制，并尽可能采用最新国家标准。

由于非机械专业面广，各专业要求不尽相同，因此，本书除反映其通用性外，还在内容取舍、例题和习题的选择上，尽可能照顾各专业的要求。本书的内容是按 40 学时要求编写的，为便于教学，还摘录了部分国家标准和规范。使用时，可根据专业要求和教学时数进行取舍与调整。必要时，还可在教学中作些补充。本书可作为近机类和非机类专业“机械设计基础”课程的教材，也可供相关领域的广大工程技术人员参考。

全书由郑甲红担任主编。参加本书编写的人员有：陕西科技大学郑甲红（第 1、3、4、5、8 章），张功学（第 2 章），王宁侠（第 6、7 章），周志明（第 9、10 章），魏引焕（第 11、12 章），王涛（第 13、14 章）。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

2007 年 10 月

目 录

第1章 总论	1	2.3.4 空间力系的合成与平衡	34
1.1 “机械设计基础”课程的研究		2.4 轴向拉伸与压缩	36
对象和内容	1	2.4.1 轴向拉压的内力、应力与变形	37
1.1.1 机械的组成	1	2.4.2 材料拉伸和压缩时的力学性能	41
1.1.2 基本术语	2	2.4.3 拉压杆的强度计算	44
1.1.3 本课程的主要内容	3	2.5 剪切与挤压	47
1.2 机械设计的基本要求和一般步骤	4	2.5.1 剪切的假定计算	47
1.2.1 机械设计的基本要求	4	2.5.2 挤压的假定计算	47
1.2.2 机械设计的一般步骤	4	2.6 扭转	49
1.3 现代设计理论及方法简介	6	2.6.1 扭转的概念、外力和内力	49
1.3.1 现代设计的概念	6	2.6.2 圆轴扭转时横截面上的应力与	
1.3.2 现代设计方法的特点和范畴	7	强度计算	52
1.3.3 现代设计方法简介	7	2.6.3 圆轴扭转时的变形与刚度计算	54
1.4 机械零件的常用材料及钢的		2.7 弯曲	55
热处理概念	9	2.7.1 弯曲的概念与弯曲内力	55
1.4.1 机械零件的常用材料	9	2.7.2 弯曲正应力与弯曲正应力	
1.4.2 材料的选择	11	强度条件	61
1.4.3 钢的热处理概念	11	2.7.3 弯曲变形与弯曲刚度条件	66
习题	13	2.8 组合变形与压杆稳定	70
第2章 工程力学基础	14	2.8.1 组合变形	70
2.1 工程力学的研究内容和任务	14	2.8.2 压杆稳定	72
2.1.1 工程力学的研究内容	14	2.9 动荷应力与疲劳强度	75
2.1.2 工程力学的研究对象	14	2.9.1 动载荷与动荷应力	75
2.2 静力学基础	15	2.9.2 交变应力及其分类	75
2.2.1 静力学的基本概念	15	2.9.3 材料的疲劳破坏与疲劳极限	76
2.2.2 静力学公理	16	2.9.4 构件的疲劳极限与强度计算	77
2.2.3 力矩与合力矩定理	18	习题	78
2.2.4 力偶与平面力偶系	20	第3章 平面机构的运动简图及其	
2.2.5 力的平移定理	21	自由度	85
2.2.6 约束及其反力	22	3.1 运动副及其分类	85
2.2.7 构件的受力分析与受力图	24	3.2 平面机构的组成及其运动简图	86
2.3 力系的合成与平衡	26	3.2.1 机构中构件的分类	86
2.3.1 平面汇交力系的合成与平衡	26	3.2.2 机构运动简图	86
2.3.2 平面力偶系的合成与平衡	30	3.3 平面机构的自由度	91
2.3.3 平面任意力系的合成与平衡	32	3.3.1 平面机构的自由度	91

3.3.2 机构具有确定运动的条件	92	习题	138
3.3.3 计算平面机构自由度时应注意的 事项	93	第7章 带传动和链传动	139
习题	96	7.1 带传动的基本知识	139
第4章 平面连杆机构及其设计	98	7.1.1 带传动的类型、特点、应用和 几何尺寸	139
4.1 平面四杆机构的基本形式及特点	98	7.1.2 V带及V带轮	141
4.1.1 平面四杆机构的基本形式 和应用	98	7.1.3 带传动的工作情况分析	144
4.1.2 平面连杆机构的传动特点	101	7.2 普通V带传动的设计计算	147
4.2 平面四杆机构的基本知识	101	7.2.1 带传动的失效形式和设计准则 ...	147
4.2.1 平面四杆机构的演化	101	7.2.2 普通V带传动的设计	150
4.2.2 平面四杆机构存在曲柄的条件 ...	105	7.3 同步带传动	153
4.2.3 急回特性和行程速比系数	107	7.3.1 同步带传动设计概述	153
4.2.4 压力角和传动角	108	7.3.2 同步带传动设计计算	154
4.2.5 机构的死点位置	109	7.4 链传动的类型和特点	157
4.3 平面四杆机构的设计	110	7.4.1 链传动的特点和应用	157
4.3.1 用图解法设计平面四杆机构	111	7.4.2 链传动的类型和结构	158
4.3.2 用解析法设计平面四杆机构	112	7.5 滚子链传动的设计计算	161
习题	113	7.5.1 链传动的主要失效形式	161
第5章 凸轮机构及间歇运动机构	115	7.5.2 滚子链传动的设计	162
5.1 凸轮机构	115	7.5.3 低速链传动的静强度计算	165
5.1.1 凸轮机构的组成及应用	115	习题	167
5.1.2 凸轮机构的类型	116	第8章 齿轮传动	168
5.1.3 凸轮机构的特点	118	8.1 齿轮传动的特点及分类	168
5.2 间歇运动机构	118	8.2 齿廓啮合基本定律	170
5.2.1 棘轮机构	118	8.3 渐开线和渐开线齿廓的啮合特性	171
5.2.2 槽轮机构	122	8.3.1 渐开线及其性质	171
5.2.3 不完全齿轮机构	124	8.3.2 渐开线齿廓满足定传动比 传动的要求	172
5.2.4 凸轮间歇运动机构	126	8.3.3 渐开线齿廓的啮合特性	173
习题	127	8.4 标准直齿圆柱齿轮的基本尺寸	173
第6章 螺纹联接与螺旋机构	128	8.4.1 齿轮各部分的名称和符号	173
6.1 螺纹的主要参数及常用类型	128	8.4.2 直齿圆柱齿轮的基本参数	174
6.1.1 螺纹的形成	128	8.4.3 标准直齿圆柱齿轮几何尺寸的 计算	175
6.1.2 螺纹的主要参数	129	8.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	176
6.2 螺纹联接和螺纹联接件	131	8.5.1 渐开线齿轮的正确啮合条件	176
6.2.1 螺纹联接的基本类型	131	8.5.2 渐开线齿轮连续传动的条件	177
6.2.2 螺纹联接件的主要类型	131	8.5.3 渐开线标准齿轮传动的中心距 ...	178
6.3 螺纹联接的预紧和防松	133	8.6 渐开线齿轮的加工	178
6.3.1 螺纹联接的预紧	133	8.6.1 渐开线齿轮加工原理	178
6.3.2 螺纹联接的防松	134	8.6.2 渐开线齿轮的根切、最少齿数 和变位	181
6.3.3 螺纹联接应注意的问题	135	8.7 轮齿的失效形式和齿轮材料	182
6.4 螺旋机构	136		

8.7.1	轮齿的失效形式	182	9.3.1	周转轮系的组成	220
8.7.2	设计准则	184	9.3.2	周转轮系传动比的计算	220
8.7.3	齿轮材料	184	9.4	复合轮系传动比的计算	225
8.8	直齿圆柱齿轮的强度计算	186	9.4.1	复合轮系传动比的计算方法	225
8.8.1	轮齿的受力和载荷计算	186	9.4.2	复合轮系传动比计算实例	226
8.8.2	齿根弯曲强度计算	187	9.5	轮系的功用	227
8.8.3	齿面接触疲劳强度计算	188	习题		231
8.8.4	轮齿的许用弯曲应力和许用接触应力	189	第10章 轴和轴毂联接		234
8.8.5	齿轮强度计算中应注意的问题	190	10.1	轴的类型及其材料	234
8.8.6	齿轮强度计算中的参数选择	190	10.1.1	轴的类型	234
8.9	斜齿圆柱齿轮传动	192	10.1.2	轴的常用材料及其选择	236
8.9.1	斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成及啮合特点	192	10.2	轴的结构设计	237
8.9.2	斜齿圆柱齿轮传动的几何参数和尺寸计算	194	10.2.1	确定轴上零件的装配方案	238
8.9.3	斜齿圆柱齿轮的当量齿轮和最少齿数	197	10.2.2	轴上零件的定位	238
8.9.4	斜齿圆柱齿轮轮齿的受力分析	197	10.2.3	轴的结构工艺性	240
8.10	蜗杆传动	198	10.3	轴的计算	241
8.10.1	蜗杆传动的组成和特点	198	10.3.1	轴的强度计算	241
8.10.2	普通圆柱蜗杆传动的参数和几何尺寸	199	10.3.2	轴的刚度计算	244
8.10.3	蜗杆传动的相对滑动速度	202	10.4	轴毂联接	244
8.10.4	蜗杆传动的失效形式和常用材料	202	10.4.1	键联接	244
8.10.5	蜗杆传动的受力分析	203	10.4.2	花键联接	248
8.11	直齿圆锥齿轮传动	204	10.4.3	过盈联接	249
8.11.1	概述	204	10.4.4	胀套联接	250
8.11.2	直齿锥齿轮的齿廓和当量齿数	205	10.4.5	型面联接	250
8.11.3	标准直齿锥齿轮的几何尺寸	206	10.4.6	销联接	250
8.11.4	直齿锥齿轮轮齿受力分析	208	习题		251
8.12	齿轮的结构及润滑	209	第11章 轴承		254
8.12.1	齿轮的结构设计	209	11.1	轴承的分类	254
8.12.2	齿轮传动的润滑	212	11.2	滑动轴承的典型结构	254
习题		213	11.2.1	径向滑动轴承	254
第9章 轮系		215	11.2.2	推力滑动轴承	256
9.1	轮系及其分类	215	11.2.3	轴瓦	257
9.2	定轴轮系传动比的计算	216	11.2.4	轴承材料	258
9.2.1	轮系传动比的定义	216	11.3	非液体摩擦滑动轴承的校核计算	260
9.2.2	定轴轮系的传动比	217	11.3.1	径向滑动轴承的校核计算	260
9.3	周转轮系传动比的计算	220	11.3.2	推力滑动轴承的校核计算	261
			11.4	滚动轴承的类型、代号及选择	262
			11.4.1	滚动轴承的类型	262
			11.4.2	滚动轴承的代号	265
			11.4.3	滚动轴承类型的选择	266
			11.5	滚动轴承的寿命及选择计算	266
			11.5.1	滚动轴承的失效形式	266
			11.5.2	滚动轴承的寿命	266

11.5.3	滚动轴承寿命的计算公式	268	13.1.2	动平衡	292
11.5.4	滚动轴承的当量动载荷	269	13.2	机器速度波动的调节	295
11.5.5	滚动轴承的静载荷计算	271	13.2.1	周期性速度波动	295
11.6	滚动轴承的组合设计	272	13.2.2	飞轮的基本概念	296
11.6.1	保证支承的刚度和同轴度	272	13.2.3	非周期性速度波动	298
11.6.2	轴承的固定和调整	273	习题	298	
11.6.3	滚动轴承的配合和装拆	275	第 14 章 机械创新设计理论及方法	299	
11.7	轴承的润滑、润滑装置和密封装置	276	14.1	创新的基本原理	299
11.7.1	润滑剂的种类及其性能	276	14.1.1	综合创新原理	299
11.7.2	润滑方法和润滑装置	277	14.1.2	分离创新原理	300
11.7.3	密封装置	278	14.1.3	移植创新原理	300
习题	279		14.1.4	逆向创新原理	300
第 12 章 联轴器与离合器	281		14.1.5	还原创新原理	300
12.1	联轴器	281	14.1.6	价值优化创新原理	301
12.1.1	刚性联轴器	281	14.2	机械创新寻找课题的方法	301
12.1.2	挠性联轴器	283	14.2.1	寻找创新题材	301
12.2	离合器	285	14.2.2	寻找创新题材的常用方法	302
12.2.1	牙嵌式离合器	286	14.3	总体方案设计阶段的创新方法	303
12.2.2	圆盘摩擦式离合器	286	14.3.1	总体方案设计中常用的创新设计方法	303
12.2.3	超越离合器	288	14.3.2	机构创新设计的常用方法	306
12.3	联轴器和离合器的选择	288	14.4	结构技术设计阶段的创新方法	313
12.3.1	类型选择	288	14.4.1	利用变异原理创新	313
12.3.2	型号和尺寸选择	289	14.4.2	利用组合原理创新	314
习题	289		14.4.3	利用完满原理创新	315
第 13 章 机械的平衡与调速	290		14.4.4	利用逆向创新原理创新	316
13.1	回转件的平衡	290	14.4.5	利用人机工程学创新	316
13.1.1	静平衡	290	参考文献	318	

第 1 章 总 论

1.1 “机械设计基础”课程的研究对象和内容

1.1.1 机械的组成

机械设计基础的研究对象是机械，而机械是机构与机器的总称。

在现代生活、工作和生产中，种类繁多的机器得到广泛的使用，如电动机、汽车、内燃机、纺织机、起重机、缝纫机、洗衣机、照相机和计算机等。根据它们的组成、运动和功能的特点，对其进行概括和抽象，机器可定义如下：机器是一种根据人类使用要求而设计，用来完成给定工作过程并具有确定机械运动的装置，可以用来变换或传递能量、物料和信息。根据机器的工作类型不同，一般可以分为动力机器、工作机器和信息机器三类。如电动机或内燃机是用来变换能量的，属于动力机器；金属切削机床是用来变换物料状态的，起重运输机是用来传递物料的，它们都属于工作机器；照相机或计算机是用来变换信息的，属于信息机器。

如图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机，它是由气缸体 1、活塞 2、气门杆 3、连杆 4、凸轮轴 5、曲轴 6 等组成的。活塞的往复运动通过连杆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。齿轮用来保证进、排气阀和活塞之间形成有一定节奏的动作。

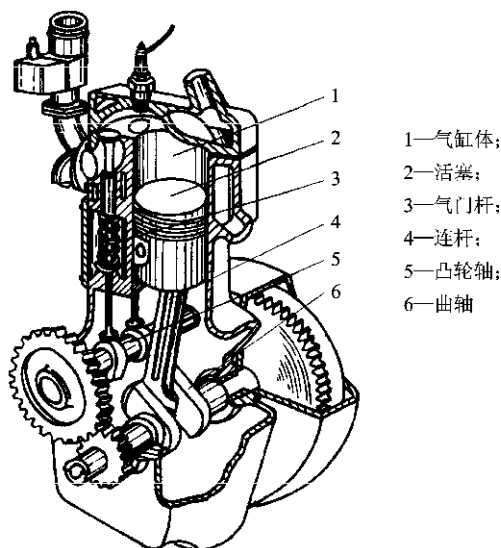


图 1-1 内燃机

如图 1-2 所示为一个具有六个自由度，可用于点焊、弧焊和搬运的工业机器人。它由腰部 1、大臂 2、小臂 3、手腕 4~6、机座 7 等组成。其中腰部 1 作回转运动；大臂 2、小臂 3 与腰部一起确定末端执行器在空间的位置；通过手腕 4、5 和 6 的俯仰、摆动和旋转，确定末端执行器在空间的姿态，最后实现对焊接或搬运作业位置和姿态的控制。

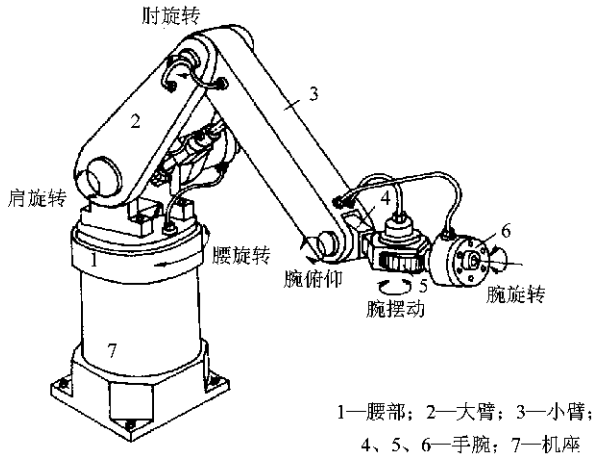


图 1-2 工业机器人

从以上两个实例以及日常生活中所接触过的其他机器可以看出，虽然各种机器的构造、用途和性能各不相同，但是从它们的组成、运动确定性以及功能关系来看，都具有以下几个共同的特征：

(1) 它们都是由各种材料做成的制造单元(通常称为零件)经装配而成的各个运动单元(通常称为构件)的组合体。

(2) 组成它们的各个运动单元之间都具有确定的相对运动。

(3) 能够完成有用的机械功或转换机械能与电能。

只具有前两个特征的构件组合，通常称为机构。机构由构件组成，而且具有一定的相对运动关系。因此，构件是机构运动分析的基本单元。

通常，一台完善的现代化机器具有 4 个组成部分，即原动机、传动机构、执行机构和控制系统。原动机可将其他形式的能量转换为机械能，如内燃机、蒸汽机、电动机等；传动机构将运动和动力传递给执行机构，如齿轮、丝杠等；执行机构用于实现机器的功能，如机床的刀架、机器人的手爪等；控制系统则用于保证机器各组成部分之间的工作协调，以及与外部其他机器或原动机之间的协调，例如，用各种传感器收集机器内、外部的信息，输入计算机进行处理，并向机器各部分发出指令，使之协调地进行工作，从而达到提高工作质量和生产效率以及降低能耗的目的。

1.1.2 基本术语

1. 构件

机器中的运动单元体称为构件。构件可以是一个零件，如实心式齿轮、带轮、蜗杆等，也可以是若干个零件的刚性组合结构，如图 1-3 所示的连杆，由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦

3、螺栓 4、螺母 5 和轴套 6 等零件组成。这些零件分别加工制造，然后装配成连杆。这时它是一个运动整体，组成构件的连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓、轴套之间没有相对运动。

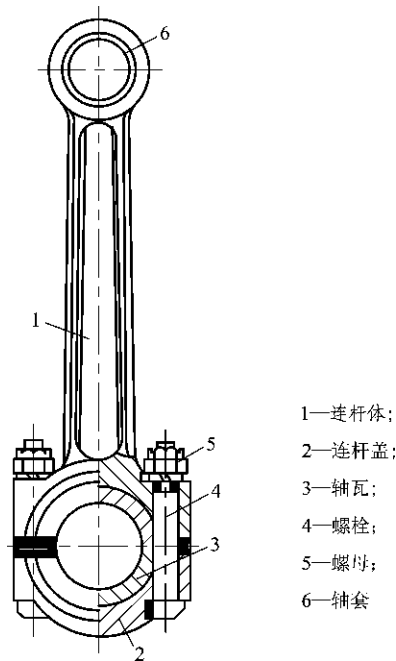


图 1-3 连杆

2. 零件及部件

1) 零件

组成机械的基本制造单元称为零件，如机械中的轴、齿轮（整体式）、螺钉、螺母、键等。

2) 部件

为完成同一功能在结构上组合在一起，协同工作的零件的总成称为部件。如机械中的联轴器、减速器、滚动轴承等。机械中的零、部件通常又分为两大类：一类是在各种机器中都普遍使用的零、部件，称为通用机械零、部件，如齿轮、滚动轴承等；另一类是只在某些特定类型的机器中才使用的零、部件，称为专用机械零、部件，如内燃机的曲轴、农业机械的犁铧、汽轮机的叶片等。本书只介绍通用机械零、部件的有关设计内容。

3. 标准件

经过优选、简化、统一，并给以标准代号的零件和部件称为标准零、部件。如螺栓、螺母、键、滚动轴承、联轴器等都是标准件。

1.1.3 本课程的主要内容

“机械设计基础”是一门专业基础课程，它主要是研究机器中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计原理和计算方法等。内容主要包括：工程力学基础、平面机构的运动简图及其自由度、凸轮机构、平面连杆机构、齿轮传动、轮系、带传动和链传动及其他结构；螺纹联接、轴与轴毂联接、轴承、联轴器与离合器；平衡和调速；机械创新设计理

论及方法等。通过本课程的学习,学生能综合运用先修课程的知识(如机械制图、金属工艺学等),在设计机械传动装置方面得到初步训练,也为进一步学习专业课和今后从事机械设计工作打下基础。

通过本课程的学习,学生应达到以下基本要求:

- (1) 掌握机构的组成、运动特性,具有初步分析和设计常用机构的能力,对机械动力学的一些基本知识有所了解。
- (2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、设计计算和维护等知识,具有初步设计机械传动装置的能力。
- (3) 具有运用标准、规范、手册、图册及查阅有关技术资料的能力。
- (4) 获得实验技能的初步训练。

1.2 机械设计的基本要求和一般步骤

1.2.1 机械设计的基本要求

虽然不同的机械其功能和外形都不相同,但它们的设计基本要求大体是相同的。机械设计应满足的基本要求可以归纳为以下几个方面。

1. 功能要求

满足机器预定的工作要求,如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需要传递的功率以及某些使用上的特殊要求(如耐高温、防潮等)。

2. 安全可靠要求

(1) 使整个技术系统和零件在规定的载荷和规定的工作时间内能正常工作而不发生断裂、过度变形、过度磨损,不丧失稳定性。

(2) 能实现对操作人员的防护,保证人身安全和身体健康。

(3) 对于技术系统的周围环境和人不致造成污染和危害,同时要保证机器对环境的适应性。

3. 经济性

在整个产品的设计周期中,必须把产品设计、销售及制造三方面作为一个系统工程来考虑,用价值工程理论指导产品设计,正确使用材料,采用合理的结构尺寸和工艺,以降低产品的成本。设计机械系统和零部件时,应尽可能标准化、通用化、系列化,以提高设计质量,降低制造成本。

4. 其他要求

要求机械系统外形美观,便于操作和维修。此外,还必须考虑有些机械由于工作环境和要求不同,而对设计提出的某些特殊要求,如食品卫生条件、耐腐蚀、高精度要求等。

1.2.2 机械设计的一般步骤

机械设计就是建立满足功能要求的技术系统的创造性过程。机械设计的一般步骤如图1-4所示。

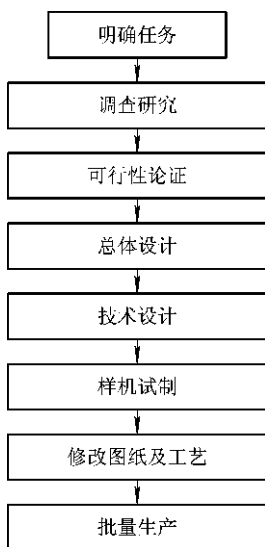


图 1-4 机械设计的一般步骤

1. 明确设计任务

产品设计是一项为实现预定目标而进行的有目的的活动，因此，正确地决定设计目标（任务）是产品设计成功的基础。明确设计任务即定出技术系统的总体目标和各项具体的技术要求，这是设计、优化、评价、决策的依据。

明确设计任务包括分析所设计机械系统的用途、功能、各种技术经济性能指标和参数范围以及预期的成本范围等，并对同类或相近产品的技术经济指标、同类产品的不完善性、用户的意见和要求、目前的技术水平以及发展趋势，进行认真调查研究，收集材料，以进一步明确设计任务。

2. 总体设计

机械系统总体设计是根据机器要求进行功能设计研究。总体设计包括确定工作部分的运动和阻力，选择原动机的种类和功率，选择传动系统、机械系统的运动和动力计算，确定各级传动比和各轴的转速、转矩和功率。总体设计时要考虑到机械的操作、维修、安装、外廓尺寸等要求，确定机械系统各主要部件之间的相对位置关系及相对运动关系，以及“人—机—环境”之间的合理关系。总体设计对机械系统的制造和使用都有很大的影响，为此，常需做出几个方案加以分析、比较，通过优化求解得出最佳方案。

3. 技术设计

技术设计又称结构设计，是保证产品质量、提高可靠性、降低成本的重要工作。其任务是根据总体设计的要求，确定机械系统各零部件的材料、形状、数量、空间相互位置、尺寸、加工和装配，并进行必要的强度、刚度、可靠性设计，若有几种方案时，需进行评价决策，最后选择最优方案。技术设计时还要考虑加工条件、现有材料、各种标准零部件、相近机器的通用件等。技术设计还需绘制总装配图、部件装配图，编制设计说明书等。因此，技术设计是从定性到定量、从抽象到具体、从粗略到详细的设计过程。

4. 样机试制

样机试制阶段是通过样机制造、样机试验，检查机械系统的功能及整机、零部件的强度、刚度、运转精度、稳定性、噪声等方面的性能，随时检查及修正设计图纸，以更好地满足设计要求。

5. 批量生产

批量生产阶段是根据样机试验、测试、鉴定所暴露出来的问题，进一步修正设计，以保证完成系统功能，同时验证各工艺的正确性，以提高生产率，降低成本，提高经济效益。

产品设计过程是智力活动过程，它体现了设计人员的创新思维活动，设计过程是逐步逼近解答方案并逐步完善的过程。因此，设计过程中还应注意以下几点：

(1) 设计过程要有全局观点，不能只考虑设计对象本身的问题，而要把设计对象看做一个系统，处理“人—机—环境”之间的关系。

(2) 善于运用创造性思维和方法，注意考虑多方案解，避免解答的局限性。

(3) 设计的各阶段应有明确的目标，注意各阶段的评价和优选，以求出既满足功能要求又有最大实现可能的方案。

(4) 要注意反馈及必要的工作循环。解决问题要遵循由抽象到具体，由局部到全面，由不确定到确定的过程。

1.3 现代设计理论及方法简介

1.3.1 现代设计的概念

1. 设计

人类在改造自然的历史长河中不断地进行设计活动。设计是复杂的思维过程，设计过程蕴涵着创新和发明的机会。设计是根据客观的需求，发挥人们的创造性思维，将指定的任务转化为满足该任务要求的技术系统的一种活动。设计不只是围绕产品图纸和有关文件进行的一系列工作，其目的是将预定的目标，经过一系列规划与分析决策，产生一定的信息(文字、数据、图形)，形成设计。设计是把各种先进技术转化为生产力的一种手段，是先进生产力的代表，反映了社会的生产力水平。

2. 传统设计与现代设计

传统设计即常规设计，分为初步设计、技术设计、施工设计三个步骤。传统设计往往采用类比法、经验法、模仿法，它的思维方式是收敛式思维，多是利用设计手册中的有关数据，采用较大安全系数，强调零部件计算。传统设计法的优点是比较简单，设计费用低廉。传统设计面向的问题偏重于技术。

现代设计是将传统设计中的经验法、类比法设计提高到逻辑的、理性的、系统的新设计方法，是在静态分析的基础上，进行动态多变量的最优化。现代设计既是体现了更高层次的学科，又是方法科学。现代设计主要面向功能目标，将技术、经济和社会环境因素结合在一起统筹考虑，把设计作为系统工程对待，强调创造能力的开发，注重综合分析的设计，重视设计方案的选择，考虑对多种方案的评价，其思维方式是发散型的思维。现代设

计是学科综合化、统一化在方法科学上的一次突破，它是一门新兴的交叉学科。现代设计与传统设计比较，有下列几个特征：

(1) 系统性。把设计对象看做一个系统，同时考虑系统与外界的联系，用系统工程概念进行分析和综合，通过功能分析、系统综合等方法，力求系统整体最优，使人机之间的功能相互协调。

(2) 创造性。现代设计强调创造能力开发和充分发挥人的创造性，重视原理方案的设计、开发和创新产品。今天的科学技术已经高度发展，创新往往是在已有技术基础上的综合。有的新产品是根据别人的研究实验结果而设计的，有的是博采众长，加以巧妙地组合。

(3) 综合性。在设计过程中，综合考虑与分析市场需求、设计、生产、管理、使用、销售等各方面的因素；综合运用优化及系统工程、可靠性理论、价值工程、计算机技术等学科的知识，探索多种解决设计问题的科学途径。

(4) 程式性。研究设计的一般进程，包括一般设计战略和用于设计各个具体部分的战术方法。要求设计者从产品规划、方案设计、技术设计、施工设计到试验、试制，按步骤、有计划地进行设计。

1.3.2 现代设计方法的特点和范畴

现代设计方法是现代广义设计和分析科学方法学的简称，现代设计方法实质上是科学方法论在设计中的应用。冠以“现代”二字是为强调以引起重视，其实有些方法也并非是现代的。经分析，现代设计方法可归纳为下列具有普遍意义的方法：

- (1) 信息论方法，如信息分析法、技术预测法等，它们是现代设计方法的前提。
- (2) 系统论方法，如系统分析法、人机工程等。
- (3) 控制论方法，如动态分析法等。
- (4) 优化论方法，如优化设计等，它是现代设计方法的目标。
- (5) 对应论方法，如相似设计等。
- (6) 智能论方法，如计算机辅助设计、计算机辅助计算等。
- (7) 寿命论方法，如可靠件设计和价值工程等。
- (8) 离散论方法，如有限元及边界元方法等。
- (9) 模糊论方法，如模糊评价和决策等。
- (10) 突变论方法，如创造性设计等，它是现代设计方法的基础。
- (11) 艺术论方法，如艺术造型等。

1.3.3 现代设计方法简介

1. 优化设计

优化设计是现代设计方法的重要内容之一，它以数学规划为理论基础，以电子计算机为工具，在充分考虑各种设计约束的前提下，寻求满足某些预定目标的最优设计方案。优化设计建立在最优化数学理论和现代计算技术基础之上，其任务是应用计算机自动确定工程设计的最优方案。近年来，优化设计和其他一些设计方法结合起来，形成了新的优化设计方法。例如，优化设计和可靠性设计结合形成可靠性优化方法。

2. 机械可靠性设计

传统的机械设计方法，将影响零件工作的设计变量，如载荷、应力、强度、寿命、安全系数、环境因素等，都视为确定的单值变量，而事实上这些设计变量具有不确定性，属多值变量(离散变量)。在传统设计方法中，存在一定的安全隐患，故引入安全系数，使 $\sigma < [\sigma]$ ，但这种方法不够精确，有一定的经验性和盲目性。机械可靠性设计则将传统设计方法视为单值而实际上是多值的设计变量，作为某一分布规律的随机变量，并用概率统计方法设计符合产品可靠性指标要求的零、部件和整机的主要参数及结构尺寸。以滚动轴承的选择计算为例，手册中的额定动载荷 C 是指某一失效率(可靠度为 0.9)下的试验统计值，如果所设计的机械对可靠性要求高(可靠度 > 0.9)，则必须按可靠性要求进行选择计算。

理论和实践表明，机械可靠性设计是在传统机械设计的基础上补充了可靠性特殊技术的一种新型设计方法。

目前，可靠性观点和方法已成为质量保证、安全性保证、产品责任预防等不可缺少的依据和手段，也是技术人员掌握现代设计方法所必须掌握的重要内容之一。

3. 计算机辅助设计

计算机辅助设计(简称 CAD)是在设计中，利用计算机帮助设计者设计计算和绘图的技术。采用 CAD，可将先进的优化设计引入设计过程，缩短设计周期，提高设计效率和设计质量，使产品设计最优化和自动化。

CAD 的内容很多，如优化设计、计算机绘图、有限元分析和概念设计等。在 CAD 过程中，计算机要进行信息加工、管理和交换，即在设计者以初步构思、判断、决策的基础上，由计算机对数据库中的设计资料进行查询，根据设计要求进行计算、分析及优化，并将初步结果显示出来，使人机交互，进行反复修改，最后经设计人员确认，在自动绘图机上打印出设计结果。

随着计算机的飞速发展，CAD 已逐步实用化，用于各个行业的设计领域，目前正朝着智能计算机辅助设计的方向发展。

4. 有限元分析法

传统机械设计对通用零件的计算都是将实际结构简化为某一种计算模型，并采用经典力学的方法计算(其误差用安全系数考虑)。对于某些结构复杂、计算精确性要求高的零件，经典力学则难以计算，而采用有限元分析法便能够得到圆满的解答。

有限元分析法(简称有限元法)是现代机械设计中不可缺少的重要手段，其应用已涉及机械工程、土木工程、机构学、地质力学、热传导、电磁场等众多领域，几乎适用于所有连续介质和场的问题，成为科研、工程设计必不可少的数值分析工具。

目前，有限元法已发展成为科学技术中一种标准计算工具，其应用十分广泛。在机械工程中，凡计算零部件的应力、变形、动态响应、稳定性分析等，都可采用有限元法，如齿轮、轴、轴承、螺栓、活塞、连杆、压力容器、箱体等的应力、变形和动态响应计算以及润滑问题等。其具体作用是实现机械零、部件的优化设计，同时，作为结构分析的工具，实现结构的合理化。

随着计算机的发展,采用有限元法进行设计时,人们不再需要花精力编写程序,可选择现有的各种商品化软件,由计算机进行辅助网格划分、前处理、输入节点坐标和单元联接信息,并可利用良好的人机对话和鲜明的视觉效果进行工作。

5. 创新设计

创新设计是指在设计中,工程技术人员通过自己的创造性思维,采用新技术、新原理和新手段,设计出新颖独特的产品。显然,创新设计是机械设计的灵魂。有关创新设计的具体内容,将在本书第 14 章详述。

1.4 机械零件的常用材料及钢的热处理概念

1.4.1 机械零件的常用材料

机械制造的常用材料主要是钢和铸铁,其次是有色金属合金和非金属材料。

1. 钢

钢是指碳的质量分数小于 2% 的铁碳合金,也是机械零件中应用最广的材料,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。钢的种类繁多,其分类方法有五种:按用途分为结构钢和特殊钢;按化学成分分为碳钢和合金钢;按碳的质量分数的多少分为低碳钢(碳的质量分数低于 0.25%)、中碳钢(碳的质量分数为 0.25%~0.5%)、高碳钢(碳的质量分数大于 0.5%);按质量分为普通钢和优质钢;按炼钢时的脱氧程度和钢锭中气孔存在的情况分为镇静钢、半镇静钢和沸腾钢。钢的命名和牌号,往往用几种分类的组合形式或用汉语拼音字母加数字表示。

1) 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢按性能又分四个等级,用 A、B、C 和 D 表示;而 F、Z、b 和 TZ 分别表示沸腾钢、镇静钢、半镇静钢和特殊镇静钢。通常表示符号为 Z 和 TZ 时可以省略。例如,普通碳素结构钢的标记:Q235 - A · F,其中“Q”是屈服点的“屈”字的汉语拼音字头;235 表示 $\sigma_s = 235$ MPa,其值为 16 mm 直径(或厚度)的钢材的试验值;A 表示 A 级;F 表示沸腾钢。普通碳素结构钢用作焊接件、拉杆、铆钉等。

2) 优质碳素钢

优质碳素钢的牌号是用碳的质量分数的万分数表示的,如 25、45 和 55 号钢分别表示碳的质量分数为 0.25%、0.45% 和 0.55%。低碳钢强度不高、可淬性不好,只能用作强度不高的锻件和焊接件或经表面渗碳处理后用做表面耐磨、内部抗冲击的零件(如轴、齿轮等);中碳钢可淬火和正火处理,用作较重要的轴和齿轮等;高碳钢可淬性更好,可以获得更高的表面硬度和强度,用作高强度的齿轮、曲轴和弹簧等。

3) 合金结构钢

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。如锰(Mn)能提高材料的强度和韧性;钼(Mo)的作用类似于锰,而影响更大;镍(Ni)可提高材料的强度而

不降低韧性；硅(Si)可提高材料的弹性和耐磨性，但会降低韧性；铬(Cr)能提高材料的硬度和耐磨性；钒(V)能提高材料的强度和韧性。合金元素总质量分数低于5%者称为低合金钢，高于5%者称为高合金钢。

合金结构钢的牌号采用“数字+合金元素符号+数字”的方法表示。例如25CrMoV，其中，“25”表示平均碳的质量分数的万分数，即平均碳的质量分数为0.25%；合金元素符号后的数字表示该元素平均质量分数的百分数，若平均质量分数小于1.5%，其后则不标数字，若平均质量分数 $\geq 1.5\%$ 、 $\geq 2.5\%$ 、 $\geq 3.5\%$ ……，则以2、3、4……表示。对于有害元素硫、磷含量较低($\omega_s \leq 0.02\%$ 、 $\omega_p \leq 0.03\%$)的优质合金钢，则在钢号最后加A，例如60Si2CrVA。

合金钢的热处理工艺性好，但价格高，对应力集中较敏感。

4) 特殊钢

具有特殊物理性能和化学性能的钢为特殊钢，如不锈钢、耐酸钢、耐热钢、耐磨钢等，应用时可由材料手册中选择。

5) 铸钢

机械中形状复杂、尺寸较大、机械性能要求较高的机械零件可用铸钢制造，其牌号前冠以字母ZG。对于碳素铸钢，在ZG后加两组数字表示它的屈服点和抗拉强度，例如ZG230-450，表示该铸钢的屈服点为230 MPa，抗拉强度为450 MPa。对于合金铸钢，则只在合金钢牌号前面加“ZG”，例如ZG35SiMn。

铸钢的铸造性比灰铸铁差，故铸钢件的壁厚、连接处的圆角和过渡部分的尺寸均应比灰铸铁的稍大。

2. 铸铁

碳的质量分数大于2%的铁碳合金称为铸铁，铸铁的抗拉强度、塑性和韧性较差，无法进行锻造，但它的抗压强度较高，具有良好的铸造性、切削加工性和减摩性等，而且价格低廉，常用于制造承受压力的基础零件或形状复杂、对机械性能要求不高的机械零件。常用的铸铁有灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁三种。灰铸铁牌号前加有“HT”，而后面的数字为其强度极限值；球墨铸铁的牌号前加有“QT”，而后面的数字为其强度极限值和延伸率。可锻铸铁的牌号前加有“KT”，而后面的数字为其强度极限值和延伸率。

灰铸铁中的碳主要以片状石墨形式存在，因断口呈灰色而得名。灰铸铁是制造机械零件的主要铸造材料，常用于制造带轮、轻载低速大齿轮、机座和箱体等。球墨铸铁因所含石墨成球状而得名，其力学性能接近于低碳钢，常用来替代钢，制造曲轴等需承受冲击载荷且形状复杂的零件。

3. 有色金属合金

有色金属合金具有一些特殊性能，如高的导电性、导热性、耐蚀性和减摩性等，因而成为现代工业技术中不可缺少的材料。但有色金属稀少，价格昂贵，只有需要满足特殊要求时才予以采用。机械零件常用的有色金属材料主要有铜、铝基合金和轴承合金等。

4. 非金属材料

工程塑料、橡胶、皮革、陶瓷、木材、石材等都是非金属材料。工程塑料具有重量轻、绝缘、耐热、耐蚀、耐磨、注塑成型方便等优点，近年来得到广泛的应用。橡胶除具有弹

性，能缓冲吸振外，还具有耐磨、绝缘等性能，多用于制造胶带、密封垫圈、轮胎和减振零件等。

1.4.2 材料的选择

在机械设计中选择材料是一个重要问题。设计者在选择材料时，应充分了解材料的性能和适用条件，并考虑零件的使用、工艺和经济性等要求。

1. 使用要求

为保证机械零件不失效，根据载荷作用情况，对零件尺寸的限制和零件重要程度，对材料提出强度、刚度、弹性、塑性、冲击韧性、阻尼性和吸振性等力学性能方面的相应要求。同时，由于零件工作环境等其他需求，对材料可能还有密度、导热性、抗腐蚀性、热稳定性等物理性能和化学性能方面的要求。

2. 工艺要求

选择零件材料时必须考虑到加工制造工艺的影响。铸造毛坯应考虑材料的液态流动性、产生缩孔或偏析的可能性等；锻造毛坯应考虑材料的延展性、热脆性和变形能力等；焊接零件应考虑材料的可焊性和产生裂纹的倾向等；对进行热处理的零件应考虑材料的可淬性、淬透性及淬火变形的倾向等；对于切削加工的零件应考虑材料的易切削性、切削后能达到的表面粗糙度和表面性质的变化等。

3. 经济性

从经济观点出发，在满足性能要求的前提下，应尽可能选用价廉的材料，以降低材料费用。另外还应综合考虑生产批量等因素的影响，如大量生产宜用铸造毛坯，单件生产采用焊接件，可以降低制造费用。

1.4.3 钢的热处理概念

为了充分发挥钢材的潜力，提高机械零件的工作能力，通常机械中大多数零件都要进行热处理。钢的热处理是将钢在固态下加热到一定温度，进行必要的保温，然后采用不同的冷却速度，以改变钢及其合金的组织结构，从而得到所需性能的工艺方法。热处理在提高机器性能方面具有十分重要的作用。

常用的热处理方法有退火、正火、淬火、回火及表面热处理等。

1. 退火

退火是将钢加热到一定温度(对45钢一般在 $830\sim 860^{\circ}\text{C}$)，保温一段时间，然后随炉冷却的热处理方法，其目的是消除材料内部组织应力和降低硬度，以利于切削加工；提高塑性和韧性；改善组织，为进一步热处理做好准备。

2. 正火

正火的方法与退火相似，但正火时钢是在空气中冷却。由于正火的冷却速度比退火快，钢的硬度和强度较高，但消除内应力不如退火彻底。正火时钢在炉外冷却，不占用设备，生产率较高，故低碳钢大多采用正火代替退火(但对中碳钢一般不用正火代替)。对一般要求的零件，正火常用于提高其机械性能，且正火后不再进行其他热处理。