



高等学校机械设计制造及自动化专业“十一五”规划教材



机械设计基础

主编 郑甲红



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

TH122/798

2008

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

机械设计基础

主编 郑甲红

参编 张功学 王宁侠 周志明

魏引焕 王 涛

西安电子科技大学出版社

2008

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。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力 王建中 巨永锋 孙强 陈在平 李正明
吴斌 杨马英 张九根 周玉国 党宏社 高嵩
秦付军 席爱民 穆向阳

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉 李荣正 余健明
段晨东 郝润科 谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋 刘晓婷 朱建公 朱若燕 何法江 李鹏飞
麦云飞 汪传生 张功学 张永康 胡小平 赵玉刚
柴国钟 原思聪 黄惟公 赫东锋 谭继文

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

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 强度计算	52
1.3.2 现代设计方法的特点和范畴	7	2.6.3 圆轴扭转时的变形与刚度计算	54
1.3.3 现代设计方法简介	7	2.7 弯曲	55
1.4 机械零件的常用材料及钢的		2.7.1 弯曲的概念与弯曲内力	55
热处理概念	9	2.7.2 弯曲正应力与弯曲正应力 强度条件	61
1.4.1 机械零件的常用材料	9	2.7.3 弯曲变形与弯曲刚度条件	66
1.4.2 材料的选择	11	2.8 组合变形与压杆稳定	70
1.4.3 钢的热处理概念	11	2.8.1 组合变形	70
习题	13	2.8.2 压杆稳定	72
第 2 章 工程力学基础	14	2.9 动荷应力与疲劳强度	75
2.1 工程力学的研究内容和任务	14	2.9.1 动载荷与动荷应力	75
2.1.1 工程力学的研究内容	14	2.9.2 交变应力及其分类	75
2.1.2 工程力学的研究对象	14	2.9.3 材料的疲劳破坏与疲劳极限	76
2.2 静力学基础	15	2.9.4 构件的疲劳极限与强度计算	77
2.2.1 静力学的基本概念	15	习题	78
2.2.2 静力学公理	16	第 3 章 平面机构的运动简图及其	
2.2.3 力矩与合力矩定理	18	自由度	85
2.2.4 力偶与平面力偶系	20	3.1 运动副及其分类	85
2.2.5 力的平移定理	21	3.2 平面机构的组成及其运动简图	86
2.2.6 约束及其反力	22	3.2.1 机构中构件的分类	86
2.2.7 构件的受力分析与受力图	24	3.2.2 机构运动简图	86
2.3 力系的合成与平衡	26	3.3 平面机构的自由度	91
2.3.1 平面汇交力系的合成与平衡	26	3.3.1 平面机构的自由度	91
2.3.2 平面力偶系的合成与平衡	30		
2.3.3 平面任意力系的合成与平衡	32		

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 轮齿的受力分析和载荷计算	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。

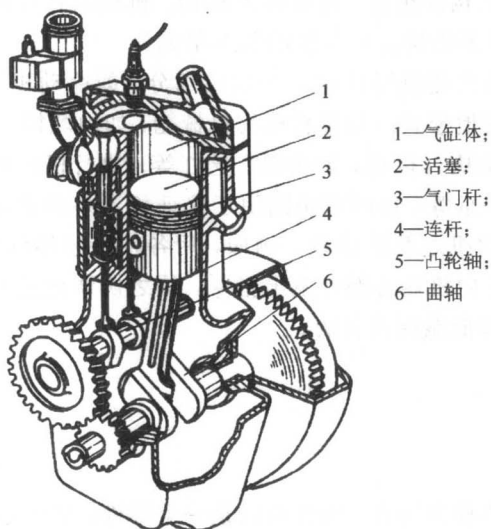


图 1-1 内燃机

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。

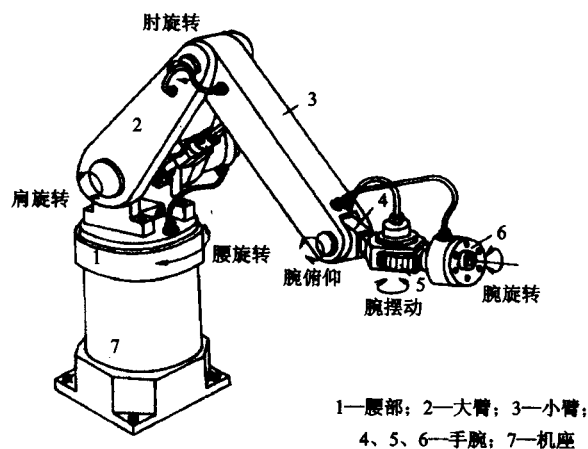


图 1-2 工业机器人

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。

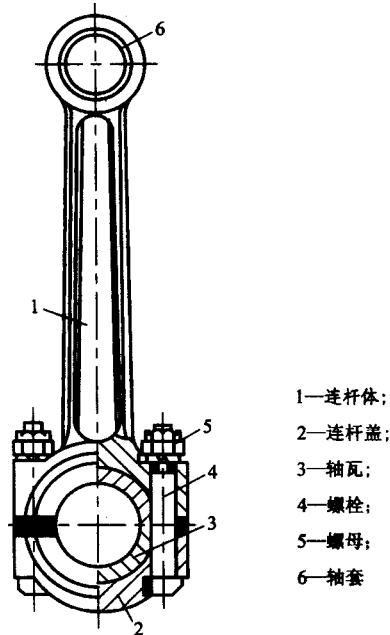


图 1-3 连杆

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。

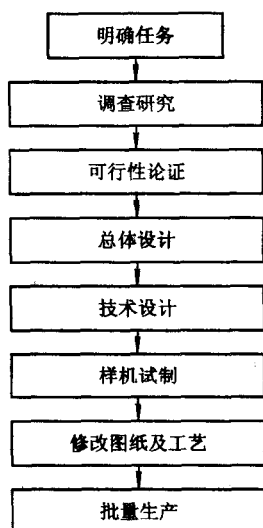


图 1-4 机械设计的一般步骤

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“人一机一环境”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、施工图设计三个步骤。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技术方法。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。