

高等职业教育“十二五”规划教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

高英敏 刘彩琴 主编



NLIC2970843252

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠 电 子 课 件

高等职业教育“十二五”规划教材

机械设计基础

主 编 高英敏 刘彩琴
副主编 尹向高 黄继明 陈荣强
参 编 马 璇 张莉萍 马 英 高运芳
张庆武 解海滨 姚建辉 张 岚
主 审 魏文军



NLIC2970843252



机械工业出版社

本书是根据教育部2009年批准的高等工业学校“机械设计基础”课程教学基本要求,同时也为贯彻落实教育部《关于以就业为导向 深化高等职业教育改革的若干意见》精神,结合多所职业院校多年教学改革经验的基础上编写的。

本书除机械设计总论外共包含五篇17章内容:第一篇平面机构设计(第1~4章);第二篇机械传动设计(第5~9章);第三篇机件的连接设计(第10~11章);第四篇轴系零部件设计(第12~15章);第五篇其他零部件设计(第16~17章)。本书以能力培养为主线,在主要章节以专用精压机设计为主线设计了课堂任务,以培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职、高专工科院校机械类、近机械类各专业机械设计基础课程教材,也可作为高等工科院校相关专业师生使用,还可供有关工程技术人员参考。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/高英敏,刘彩琴主编. —北京:
机械工业出版社,2012.8
高等职业教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-40239-8

I. ①机… II. ①高…②刘… III. ①机械设计-高等职业教育-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第257235号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰
版式设计:闫玥红 责任校对:刘秀丽
封面设计:鞠 杨 责任印制:张 楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年1月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·20印张·495千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-40239-8
定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务

社服务中心:(010)88361066
销售一部:(010)68326294
销售二部:(010)88379649
读者购书热线:(010)88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>
机工官网:<http://www.cmpbook.com>
机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>
封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部 2009 年批准的高等工业学校“机械设计基础”(原机械原理和机械设计)课程教学基本要求,同时也为贯彻落实教育部《关于以就业为导向 深化高等职业教育改革的若干意见》精神,满足学科发展和人才培养的需求,实现课程教学以学生为主体、以工学结合为手段、以能力培养为目标而编写的。目的是加强学生综合素质的教育和工程意识的培养,培养技术应用型专门人才,使其能在当今社会发挥作用。

本书从培养学生的综合职业能力出发,使学生在 学习本课程的过程中逐步了解和掌握机械产品设计的基本知识、基本理论和基本方法。在内容选取上,以职业能力培养为主线,以学生能够接受终生学习并促进职业生涯的可持续发展为目标,以满足教学基本要求为出发点,使学生在掌握必备的机械设计基础理论知识与基本的设计技能的基础上,更加注重创新设计能力的培养。本书还设置了以专用精压机设计为主线的具有创新性、设计性、综合性的课堂任务环节,以任务贯穿整个教学过程,以培养学生的创新设计能力、解决实际问题的能力、查阅标准的能力以及与人沟通交流的能力。

鉴于各院校机械类专业本课程的教学时数不尽相同,为使本教材有较大的适应性,各章节内容都是按多学时要求编写的。选用本书作为教材时,可根据具体情况对各章节内容做适当的取舍。

全书各章节均采用最新国家标准。

参加本书编写的有:高英敏(机械设计总论、第 2 章),刘彩琴(第 3 章),陈荣强(第 5 章),马璇(第 8 章),马英(第 10 章),张莉萍(第 1 章、第 7 章),尹向高(第 11 章、第 12 章),黄继明(第 13 章),高运芳(第 9 章),张庆武(第 14 章),解海滨(第 6 章、第 15 章),姚建辉(第 4 章、第 16 章),张岚(第 17 章)。由高英敏、刘彩琴任主编,由尹向高、黄继明、陈荣强任副主编。

本书由中国农业大学博士生导师魏文军教授担任主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,对提高本书质量帮助很大,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2012 年 1 月

目 录

前言

机械设计总论	1
学习目标	1
0.1 机械的组成	1
0.2 本门课程的内容、性质和任务	4
0.3 机械设计的基本要求和设计内容	5
0.4 机械零件设计的一般步骤	7
0.5 机械零件设计准则	7
0.6 机械零件设计中常用材料的选用 原则	9
0.7 机械零件设计中的标准化	9
0.8 机械现代设计方法简介	10
第一篇 平面机构设计	13
第1章 机械系统运动简图设计	14
学习目标	14
1.1 平面机构的组成	14
1.2 运动简图的设计	16
1.3 机械系统具有确定运动的条件	19
1.4 平面机构运动分析	24
课堂任务	28
思考题和习题	29
第2章 平面连杆机构设计	32
学习目标	32
2.1 概述	32
2.2 铰链四杆机构	32
2.3 铰链四杆机构的演变	35
2.4 平面四杆机构的运动特性	39
2.5 平面连杆机构的设计	43
课堂任务	46
思考题和习题	46
第3章 凸轮机构设计	49
学习目标	49
3.1 凸轮机构的特点、应用与分类	49
3.2 从动件的运动规律	51
3.3 凸轮轮廓的设计	55
3.4 凸轮机构基本尺寸的确定	58
课堂任务	61

思考题和习题	61
--------------	----

第4章 常用步进传动机构设计

学习目标	63
4.1 棘轮机构设计	63
4.2 槽轮机构设计	66
4.3 不完全齿轮机构设计	68
思考题和习题	69

第二篇 机械传动设计

第5章 齿轮传动设计

学习目标	72
5.1 齿轮传动概述	72
5.2 齿廓啮合基本定律	73
5.3 渐开线及渐开线齿廓	74
5.4 标准直齿圆柱齿轮各部分名称及 几何尺寸计算	77
5.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合 传动	80
5.6 渐开线齿轮的切齿原理	85
5.7 变位齿轮	89
5.8 齿轮传动的失效形式及设计准则	92
5.9 齿轮材料及选择	94
5.10 直齿圆柱齿轮的受力分析及强度 计算	96
5.11 斜齿圆柱齿轮传动设计	109
5.12 直齿锥齿轮传动设计	119
5.13 齿轮结构设计	124
5.14 齿轮传动的润滑	127
课堂任务	128
思考题和习题	129
第6章 蜗杆传动设计	132
学习目标	132
6.1 蜗杆传动概述	132
6.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸计算	134
6.3 蜗杆、蜗轮的结构	138
6.4 蜗杆传动强度计算	139
6.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡	

计算	143	思考题和习题	228
课堂任务	147	第 11 章 键连接和销连接设计	230
思考题和习题	147	学习目标	230
第 7 章 轮系设计	149	11.1 键连接设计	230
学习目标	149	11.2 花键连接设计	234
7.1 轮系的分类	149	11.3 销连接设计	235
7.2 定轴轮系传动比计算	150	11.4 其他连接方式	236
7.3 周转轮系传动比计算	151	课堂任务	236
7.4 复合轮系传动比计算	154	思考题和习题	236
7.5 轮系的功用	156	第四篇 轴系零部件设计	237
思考题和习题	158	第 12 章 滑动轴承设计	238
第 8 章 挠性传动设计	160	学习目标	238
学习目标	160	12.1 滑动轴承的类型	238
8.1 带传动概述	160	12.2 滑动轴承的结构形式	239
8.2 带传动的基本理论	164	12.3 滑动轴承材料	242
8.3 普通 V 带传动设计	168	12.4 非液体摩擦滑动轴承的设计	
8.4 V 带轮结构设计	175	计算	244
8.5 带传动的张紧、安装与维护	178	思考题和习题	246
8.6 链传动概述	181	第 13 章 滚动轴承设计	247
8.7 链传动工作情况分析	187	学习目标	247
8.8 滚子链传动设计	189	13.1 概述	247
8.9 链传动的布置、张紧和润滑	193	13.2 滚动轴承的主要类型及代号	248
课堂任务	196	13.3 滚动轴承类型的选择	251
思考题和习题	197	13.4 滚动轴承的主要失效形式和设计	
第 9 章 螺旋传动设计	199	准则	252
学习目标	199	13.5 滚动轴承的设计计算	253
9.1 螺旋传动概述	199	13.6 滚动轴承装置设计	258
9.2 滑动螺旋传动的设计计算	200	思考题和习题	266
思考题和习题	202	第 14 章 轴的设计	267
第三篇 机件的连接设计	205	学习目标	267
第 10 章 螺纹连接设计	206	14.1 概述	267
学习目标	206	14.2 轴的初步估算	269
10.1 螺纹	206	14.3 轴的结构设计	270
10.2 螺旋副的受力分析、效率和		14.4 轴的强度验算	274
自锁	208	14.5 轴的刚度计算简介	275
10.3 螺纹连接的基本类型	211	14.6 轴的设计实例分析	275
10.4 螺纹连接的预紧和放松	212	课堂任务	280
10.5 螺纹紧固件的材料及许用应力	216	思考题和习题	280
10.6 螺纹连接的强度计算	217	第 15 章 联轴器 and 离合器	281
10.7 螺栓组连接的设计	221	学习目标	281
10.8 提高螺栓连接强度的措施	225	15.1 概述	281
课堂任务	228	15.2 联轴器	281

15.3 离合器	287	第 17 章 机械系统的动力学分析与设计	300
思考题和习题	290	学习目标	300
第五篇 其他零部件设计	291	17.1 机械系统速度的波动与调节	300
第 16 章 弹簧的设计	292	17.2 机械系统速度波动的调节方法	301
学习目标	292	17.3 飞轮的设计	303
16.1 弹簧的功用和类型	292	17.4 机械系统平衡的目的及类型	306
16.2 弹簧的材料和制造	293	17.5 刚性回转构件的平衡计算	306
16.3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	295	思考题和习题	310
思考题和习题	299	参考文献	313

机械设计总论

学习目标

1. 了解机械的组成和机械零件的工作能力计算。
2. 掌握机械设计的基本原则、设计程序和一般设计步骤。
3. 了解标准化设计和现代设计方法。

0.1 机械的组成

本课程研究的对象是机械，机械是机器和机构的总称。人类在长期的生产实践中，为了减轻劳动强度、改善劳动条件、提高劳动生产率，创造和发明了机械，例如，电动机、内燃机、洗衣机和汽车等。随着科学技术的发展，生产的机械化和自动化已经成为衡量一个国家社会生产力发展水平的重要标志之一。

0.1.1 机器与机构

在日常生活和工作中，人们能见到或接触过许多机器：从家庭用的缝纫机、洗衣机到工业部门使用的各种机床；从汽车、火车、轮船、飞机到宇宙飞船；从推土机、挖掘机、压路机、起重机到机器人等。机器的种类繁多，构造、用途和性能也各不相同。

图 0-1 所示为单缸内燃机，它是由气缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、进气阀顶杆 5、

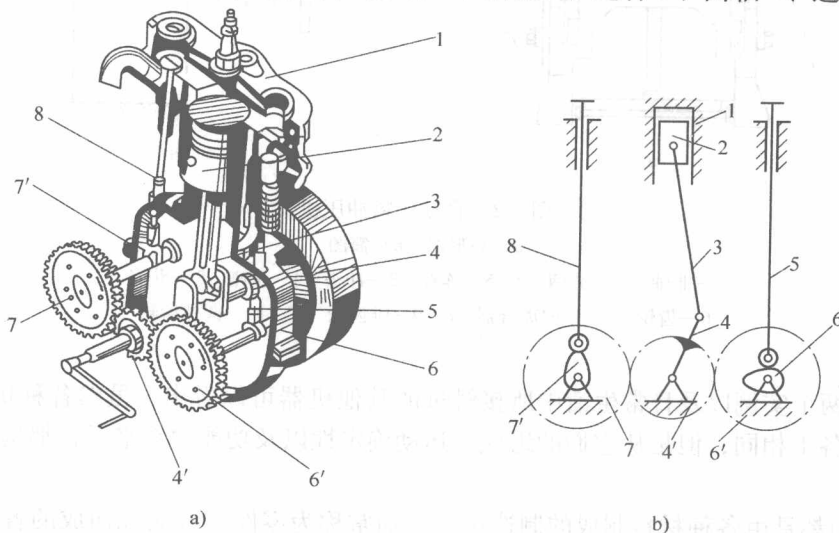


图 0-1 单缸内燃机

a) 模型 b) 简图

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

凸轮 6、齿轮 6'、齿轮 4'、齿轮 7、凸轮 7' 和排气阀顶杆 8 等组成。燃气推动活塞作往复移动，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。当燃气推动活塞运动时，各构件协调地动作，进、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转的机械能。

图 0-2 所示为自动送料冲压機，它是由冲压機和送料传动装置两大部分组成。其工作原理为：机座 4 是整个装置的支撑，电动机通过带传动和齿轮传动（图中未标出）减速后，把运动和动力传递给冲压機的曲轴 1，曲轴带动连杆 2，由连杆 2 带动冲头 3（即滑块），使冲头作上下往复运动。送料传动装置的曲柄 1' 与冲压機的曲轴 1 固连在同一轴上，由曲柄 1' 经连杆 5、齿条 5'、齿轮 6、单向离合器 7、锥齿轮 8 与 9、圆柱齿轮 9' 与 10，以及与两圆柱齿轮分别固连的滚筒的转动，将带状料或棒状料送入冲压模具中进行冲压。送料长度的调节是靠调整曲柄 1' 的长度来实现的。送料与冲压过程靠机械来实现，从而代替人完成有用的机械功。

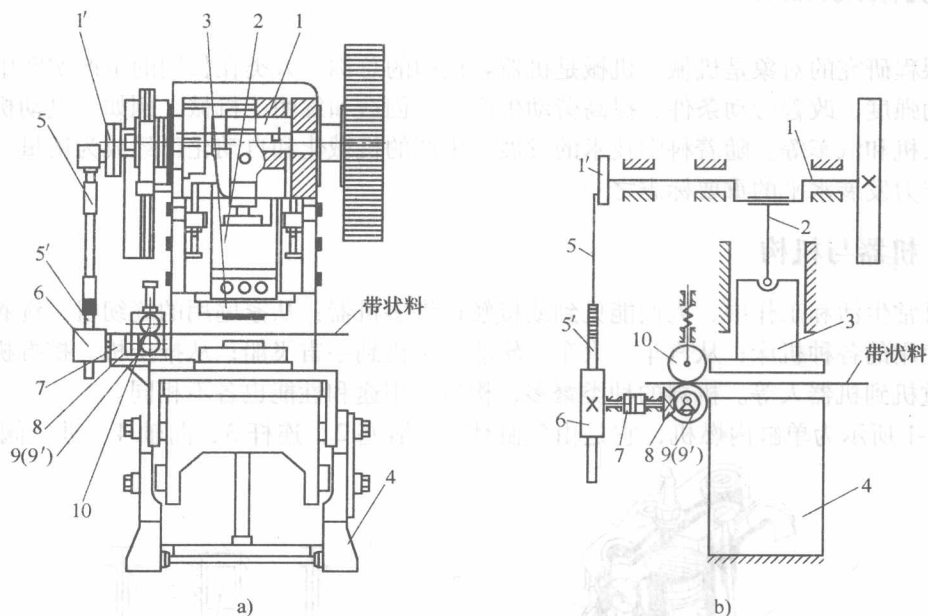


图 0-2 自动送料冲压機

a) 外形图 b) 简图

1—曲轴 1'—曲柄 2、5—连杆 3—冲头 4—机座 5'—齿条
6—齿轮 7—单向离合器 8、9—锥齿轮 9'、10—圆柱齿轮

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制成的制造单元（通常称为零件）经装配而成的各个运动单元（通常称为构件）的组合物。
- 2) 组成机器的各部分之间具有确定的相对运动。
- 3) 能代替或减轻人们的劳动，完成有用的机械功或转换机械能。

因此, 机器是执行机械运动的装置, 用来完成有用的机械功或转换机械能。

但是, 随着现代科学技术的迅猛发展, 机器的概念也在发生相应的变化。尤其是计算机的出现和不断完善, 在减轻人类的脑力劳动方面有显著成效。这类机器除具有使其内部各机构正常动作的先进控制系统外, 还包含信息采集、处理和传递系统等。

因此, 机器的概念可扩充为: 一种用来转换或传递能量、物料和信息, 能执行机械运动的装置。

机器的概念已如上述, 但分析上述实例发现, 一般机器还不是能实现预期运动的最基本的组合体。如图 0-1 所示的单缸内燃机中, 活塞、连杆、曲轴和气缸体组合起来, 可将活塞的往复移动变成曲轴的连续转动; 凸轮、顶杆和气缸体的另一组合, 可将凸轮的连续转动变成顶杆按某种预期运动规律的往复移动; 而三个齿轮与气缸体组合在一起后, 又可将转动变快或变慢, 甚至改变转向。这些具有各自运动特点且均含有一个机架 (这里是气缸体) 的组合体才是基本的。人们将能实现预期的机械运动的各构件 (包括机架) 的基本组合体称为机构。在工程实际中, 人们常根据实现各种运动形式的构件及主要零件外形特点定义机构的名称, 例如, 图 0-1 中的齿轮 4' 和 7, 图 0-2 中的锥齿轮 8 和 9, 其构件形状的特点是具有轮齿, 其主要运动特点是把高速转动变为低速转动或反之, 因此称其为齿轮机构; 图 0-1 中的凸轮 6 和顶杆 5, 其主要构件是具有特定轮廓曲线的凸轮, 利用其轮廓曲线使顶杆按指定规律作周期性的往复移动, 因此称其为凸轮机构; 图 0-1 中的活塞 2、连杆 3 和曲轴 4, 图 0-2 中的件 1、2、3、1' 和 5, 其构件的基本形状是杆状或块状, 其运动特点是能实现转动、摆动、移动等运动形式的相互转换, 因此称其为连杆机构。

机器是由各种机构组成的, 它可以完成能量的转换或做有用的机械功; 而机构则仅仅起着运动及动力传递和运动形式转换的作用。从结构和运动的观点来看, 两者之间并无区别。因此, 人们常用“机械”一词作为机器与机构的总称。

0.1.2 构件、零件、部件

机构是由构件组成的, 构件是组成机器最小的运动单元; 零件是组成机器最小的制造单元。构件可以是单一的零件, 也可以由刚性组合在一起的几个零件组成。例如, 图 0-1 中的连杆则是由连杆体 1、螺栓 2、螺母 3 及连杆盖 4 几个零件组成, 这些零件形成一个整体而进行运动, 称为一个构件, 如图 0-3 所示。

在机械中还把为完成同一使命、彼此协同工作的一系列零件或构件所组成的组合体称为部件, 如滚动轴承、联轴器、减速器等。

0.1.3 机器的组成

一部完整的机器就其基本组成来讲, 一般都有下列四个主要部分: 动力系统、执行系统、传动系统、操纵和控制系统, 如图 0-4 所示。

动力系统是驱动整个机器完成预定功能的动力源, 常用的有电动机 (交流和直流)、内燃机等; 执行系统是机器中具体完成工作任务的部分, 其运动形式及运动和动力参数依据机器的用途不同而

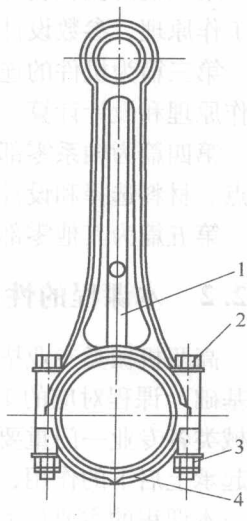


图 0-3 连杆

1—连杆体 2—螺栓
3—螺母 4—连杆盖

不同,执行构件有的作直线运动,有的作回转运动或间歇运动等;传动系统是机器中介于原动机和工作机之间,用来实现减速、增速、调速、改变运动形式或方位,从而使原动机传递过来的运动和动力满足工作机的各种要求;操纵和控制系统用来控制机械的其他部分,使操作者能随时实现或停止各项功能,如机器的开停、运动速度和方向的改变等,这一部分通常包括机械和电子控制系统。



图 0-4 机器的组成

0.2 本门课程的内容、性质和任务

0.2.1 本课程的学习内容

本课程的内容在编排时强调机械设计的共性规律和基本方法,突出工程应用,淡化理论的演绎推导;强化机械零部件的参数选取、结构设计及机械系统总体设计。总体上,本教材的内容共包括:

机械设计总论,主要介绍机械设计的一般流程,机械系统总体方案设计、技术设计的主要内容,机器设计的一般原则,标准化等。

第一篇为平面机构设计,主要介绍各种常用平面机构(平面连杆机构、凸轮机构、步进机构)的结构组成、工作原理、运动特点及设计。

第二篇为机械传动设计,主要介绍各种传动零件(齿轮传动、挠性传动、蜗杆传动)的工作原理、参数设计和使用等基本知识。

第三篇为机件的连接设计,主要介绍各种连接件(螺纹连接、键连接等)的结构特点、工作原理和设计计算。

第四篇为轴系零部件设计,主要介绍各种轴系零部件(轴、轴承)的承载能力、结构特点、材料选择和设计计算。

第五篇为其他零部件设计,主要介绍弹簧等零件的设计计算。

0.2.2 本课程的性质和任务

高职机械类专业毕业生大多从事机械设备的设计、制造、使用、维护等工作,“机械设计基础”课程对应的工作任务主要是机械设备的分析、设计、应用、制造和维护等,它是机械类各专业一门重要的技术基础课程,本课程理论性、实践性比较强,应用面广,在教学中起承上启下的作用,是工程技术人员必修课程。

本课程的主要任务是通过课程教学、实验实践和课堂任务环节,培养学生机械工程科学知识的应用能力;设计机械系统、零部件的能力;对于机械工程问题进行系统表达、建立模型、分析求解和论证的能力;初步掌握并使用各种技术、技能和现代工程工具的能力。具体能力如下:

- 1) 掌握常用机构的工作原理、运动特性,具有初步的常用机构的设计能力,并对机械运动方案的确定有所了解。
- 2) 掌握通用机械零部件的类型、工作原理、设计方法和机械设计的一般规律,突出创新意识和创新思维的培养,具备基本的机械系统设计能力。
- 3) 了解国家当前的有关技术经济政策,树立正确的设计思想。
- 4) 具有应用计算机进行辅助机械设计的能力。
- 5) 具备运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料进行工程设计的能力。
- 6) 掌握典型机械零件的试验方法,具有针对具体零件进行实验验证和分析的能力。
- 7) 了解机械设计发展的趋势及现代设计方法。

0.3 机械设计的基本要求和设计内容

0.3.1 机械设计的基本要求

设计是机械产品研制的第一步,设计的好坏直接关系到产品的质量、性能和经济效益。而机械的制造过程实质上就是要实现设计所规定的性能和质量。不同的机械有着不同的设计要求,但其设计的基本要求相同,主要有以下几方面:

1. 使用功能要求

所谓功能是指用户提出的需要满足使用上的特性和能力。它是机械设计最基本的出发点。在设计过程中,设计者一定要使所设计的机械满足功能要求。为此,必须正确选择机械的工作原理、机构的类型和拟订机械传动方案,并使之能满足运动和动力性能的要求。

2. 市场需要和经济性要求

在产品设计中,自始至终都应把产品设计、销售及制造三方面作为一个整体考虑。所以应当合理选用原材料,确定适当的精度要求,减少设计和制造周期。

设计的经济性体现在设计、制造和使用的全过程,如设计周期短、设计费用低;制造、运输、安装成本低;使用效率高、耗能少、易管理维护等。

提高设计和制造经济性指标的主要途径有:

- 1) 采用先进的设计制造方法,如优化设计、计算机辅助设计等。
- 2) 最大限度采用标准化、系列化、通用化、模块化的零部件,零部件尽量采用简单、工艺性好及标准化的结构。
- 3) 尽可能采用新技术、新工艺、新结构、新材料等。
- 4) 充分发挥机、电的各自优势,合理进行机、电、液、气的综合使用,提高自动化水平,提高机械设备的使用效率。
- 5) 适当采用防护、润滑、减摩等措施,降低能耗,延长机械使用寿命。
- 6) 合理地组织设计和制造过程。

3. 可靠性和安全性要求

机械的可靠性是指机械在规定的使用条件下,在规定的时间内,完成规定的工作能力。安全可靠是机械的必备条件,为了满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零部件结构设计、材料及热处理的选择、加工工艺制订等方面加以保证。

4. 劳动保护和环境保护等方面的要求

当机械用于生产和生活时, 确保使用者的安全舒适和避免对环境的污染是设计者必须要考虑的基本问题。因此, 要保证机器的安全、环保和美观, 设计时要按照人机工程学的观点合理设计, 尽量采用可回收循环利用的绿色设计技术, 合理采用各种防护、报警、显示等附件装置。

0.3.2 机械设计过程与设计内容

机器的设计阶段是决定机器好坏的关键。机器的设计过程一般包括产品计划设计阶段、方案设计阶段、技术设计阶段、技术文件编制及归档阶段等, 各阶段的主要工作内容大体如下:

1. 产品计划设计阶段

在根据生产或生活的需要提出所要设计的新机器后, 计划阶段只是一个预备阶段。在此阶段中应当对所设计的机器的需求情况做充分的调查研究和分析, 明确机器应具备的功能和基本的设计要求, 最后形成设计任务书, 作为本阶段工作的总结和下阶段设计工作的依据。设计任务书大体应包括: 机器的功能、市场应用前景分析; 实现预定功能的原理框图; 技术经济可行性分析; 主要设计任务和内容; 完成设计任务的计划安排等。

2. 方案设计阶段

机器的功能分析, 就是对机器的各种功能进行优化组合, 确定功能参数; 拟订实现所需功能的各种工作原理和技术方案; 对各种可行方案进行评价、分析和择优; 对选定方案画出技术原理图和机构运动简图; 进行计算机模拟和仿真分析。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段的目标是产生总装配草图和部件装配草图。通过草图设计确定出各部件及其零件的外形及基本尺寸, 绘制零件工作图、部件装配图及总装图。

结构技术设计就是在方案设计的基础上, 将抽象的运动简图转换成具体的技术结构图, 并能按照各种设计理论, 保证机器在一定的工况条件下和运转时间内, 具有正常的工作能力。具体设计工作包括:

- 1) 机器的运动学设计。根据确定的结构方案, 确定原动机和主要构件的运动参数。
- 2) 机器的动力学设计。根据机器结构和运动参数, 计算各主要零件的载荷。
- 3) 零件的工作能力设计。根据主要零件的具体工作情况, 选择零件的材料, 按照适当的工作能力准则对零件进行设计、校核, 决定零部件的基本尺寸, 零件常用的工作能力准则主要有强度、刚度、振动稳定性、寿命等。
- 4) 部件装配草图及总装草图设计。根据已经定出的主要零部件的基本尺寸, 设计出部件装配草图及总装草图, 在此步骤中, 需要很好地协调各零件的结构及尺寸, 全面地考虑所设计的零部件的结构工艺性, 使全部零件有最合理的构形, 从而确定所有零件的结构形状和尺寸。

- 5) 应用虚拟样机仿真对设计进行验证, 从而实现在设计阶段充分地评估设计的可行性。

传统的机械产品设计过程需要有实体样机和物理实验, 研制周期长, 费用高, 且实验范围有限。现代机械产品设计应用计算机技术进行三维结构设计, 通过虚拟样机进行计算机辅

助设计、分析,设计结果形象直观,可以灵活设置实验环境进行全面分析,方便进行各方面的优化设计,其设计流程如图 0-5 所示。

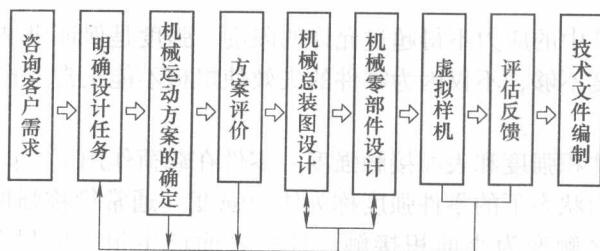


图 0-5 现代机械设计流程

4. 技术文件编制及归档阶段

机械设计的技术文件较多,主要的文件是设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。说明书的编写应包括方案选择及技术设计的全部结论性的内容。

0.4 机械零件设计的一般步骤

机械设计大体要经过以下几个步骤:

- 1) 根据零件的使用要求,选择零件的类型和结构。
- 2) 根据机器的工作要求,计算作用在零件上的载荷。
- 3) 根据零件的类型、结构和所受的载荷,分析零件的失效形式,从而确定零件的设计准则。
- 4) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求,选择适当的材料。
- 5) 根据设计准则进行有关的计算,确定出零件的基本尺寸。
- 6) 根据工艺性及标准化等原则进行零件的结构设计。必要时进行详细的校核计算,以判定结构的合理性。
- 7) 画出零件的工作图,并写出计算说明书。

在进行设计时,对于数值的计算除少数与几何尺寸精度要求有关者外,一般以两位或三位有效数字的计算精度为宜。必须再度强调指出,结构设计是机械零件的重要设计内容之一,在有些情况下,它占了设计工作量中一个较大的比例,一定要给予足够的重视。

绘制的零件工作图应完全符合国家制图标准,并满足加工的要求。

写出的设计说明书要条理清晰、语言简明、数字正确、格式统一,并附有必要的结构草图和计算草图。重要的引用数据,一般应注明来源出处。

0.5 机械零件设计准则

零件的工作能力是指在一定的运动、载荷和环境情况下,在预定的使用期限内,不发生失效的安全工作限度。衡量零件的工作能力的指标称为零件的工作能力准则。主要准则有:强度、刚度、耐磨性、振动稳定性和耐热性。它们是计算并确定零件基本尺寸的

主要依据,故称为计算准则。对于具体的零件,应根据它们的主要失效形式,采用相应的计算准则。

1. 强度准则

强度准则是指零件中的应力不得超过允许的限度。强度是保证机械零件工作能力的最基本要求。若零件的强度不够,不仅因为零件的失效使机械不能正常工作,还可能导致安全事故。

零件的强度分为体积强度和表面接触强度。零件在载荷作用下,如果产生的应力在较大的体积内,则这种应力状态下的零件强度称为体积强度(通常简称强度)。若两零件在受载前、后由点接触或线接触变为小面积接触,且其表面产生很大的局部应力(称为接触应力),这时零件的强度称为表面接触强度(简称接触强度)。

若零件的强度不够,就会出现整体断裂、表面接触疲劳或塑性变形等失效而丧失工作能力。所以,设计零件时,必须满足强度要求,而强度的计算准则为

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ 或 } \tau \leq [\tau] \quad (0-1)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\min}}{S}; [\tau] = \frac{\tau_{\min}}{S_{\tau}} \quad (0-2)$$

式中, σ 和 τ 为零件的工作正应力和切应力 (MPa); $[\sigma]$ 和 $[\tau]$ 为材料的许用正应力和切应力 (MPa); S 和 S_{τ} 为正应力和切应力的安全系数; $\sigma_{\min}$ 和 $\tau_{\min}$ 为材料的极限正应力和极限切应力 (MPa)。

2. 刚度准则

刚度准则是指零件在载荷作用下产生的弹性变形量 y , 应小于或等于机器工作性能所允许的极限值 $[y]$ (许用变形量)。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (0-3)$$

提高刚度的有效措施主要有:适当增大或改变剖面形状尺寸以增大其惯性矩;减小支承跨距;合理增添加强肋等。若仅将材料由普通钢更换为合金钢,由于弹性模量 E (或切变模量 G) 并未提高,故对提高刚度并无效果。

3. 耐磨性准则

耐磨性是指作相对运动的零件的工作表面抵抗磨损的能力。当零件的磨损量超过允许值后,将改变其尺寸和形状,削弱其强度,降低机械的精度和效率。因此,机械设计中,总是力求提高零件的耐磨性,减少磨损。

关于磨损的计算,目前尚无可靠、定量的计算方法,常采用条件性计算:一是验算强度 p 不超过许用值,以保证工作表面不致由于油膜破坏而产生过度磨损;二是对于滑动速度 v 比较大的磨损表面,为防止胶合破坏,要考虑 p 、 v 及摩擦因数 μ 的影响,即限制单位接触表面上单位时间产生的摩擦功不能过大。当 μ 为常数时,可验算 $p v$ 值不超过许用值,其验算公式为

$$p \leq [p] \quad (0-4)$$

$$p v \leq [p v] \quad (0-5)$$

式中, p 为工作表面压强 (MPa); $[p]$ 为材料的许用压强 (MPa); $[p v]$ 为 $p v$ 的许用值

(MPa · m/s)。

4. 振动和噪声准则

随着机械向高速发展和人们对环境舒适性要求的提高,对机械的振动和噪声的要求也越来越高。当机械或零件的固有频率 f 等于或趋近于受激振源作用引起的强迫振动频率 f_p 时,将产生共振。这不仅影响机械的正常工作,甚至造成破坏性事故。因此,对于高速机械或对噪声有严格限制的机械,应进行振动分析和计算,即分析系统和零件的固有振动频率、强迫振动频率,研究系统的动力特性,分析其噪声源,并采取措施降低振动和噪声。

振动和噪声准则为

$$f_p \leq 0.85f \text{ 或 } 1.15f \leq f_p \quad (0-6)$$

具体到每一类型的零件,并不是都需要进行上述计算,而是应从实际受载和工作条件出发,分析其主要失效形式,再确定其计算准则,必要时再按其他要求进行校核计算。

0.6 机械零件设计中常用材料的选用原则

机械设计中常用的材料有钢、铸铁、非铁合金(如铝合金、铜合金等)和非金属材料(如尼龙、工程塑料、橡胶等)。常用材料性能的基本知识,可查阅机械设计手册。下面仅介绍常用材料的选用原则。

1. 满足使用要求

满足使用要求是选用材料的最基本原则和出发点。所谓使用要求,是指用所选材料制成的零件,在给定的工况条件下和预定的寿命期限内能正常工作。而不同的机械,其侧重点又有差别。例如,当零件受载荷大并要求重量轻、尺寸小时,可选强度较高的材料;滑动摩擦下工作的零件,应选用耐磨性好的材料;高温下工作的零件,应选用耐热材料;当零件承受静应力时,可选用塑性或脆性材料;而零件承受冲击荷载时,必须选用冲击韧性较好的材料等。

2. 符合工艺要求

所谓工艺要求,是指所选材料的冷、热加工性能好,热处理工艺性好。例如,结构复杂而大批量生产的零件宜用铸件,单件生产宜用锻件或焊接件。简单盘状零件(齿轮或带轮),其毛坯是采用铸件、锻件还是焊接件,主要取决于它们的尺寸大小、结构复杂程度及批量的大小:单件小批量生产,宜采用焊接件;尺寸小、批量大、结构简单,宜采用模锻;结构复杂、大批量生产,则宜采用铸件。

3. 综合经济效益要求

综合经济效益好是一切产品追求的最终目标,故在选择零件材料时,应尽可能选择能满足上述两项要求而价格低廉的材料。不能只考虑材料的价格,还应考虑加工成本及维修费用,即考虑综合经济效益。

0.7 机械零件设计中的标准化

对于机械零件的设计工作来说,标准化的作用是很重要的。所谓零件的标准化,就是通

过对零件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、制图要求等,制定出各式各样的大家共同遵守的标准。标准化带来的优越性表现为:

- 1) 能以最先进的方法在专门化工厂中对那些用途最广的零件进行大量的、集中的制造,以提高产品质量,降低生产成本。
- 2) 统一了材料和零件的性能指标,使其能够进行比较,并提高了零件性能的可靠性。
- 3) 采用了标准结构及零、部件,可以简化设计工作,缩短设计周期,提高设计质量,另外,也同时简化了机器的维修工作。

机械制图的标准化保证了工程语言的统一。因此,对设计图样的标准化检验是设计工作中的一个重要环节。

现已发布的与机械设计有关的标准,从运用范围上讲,可以分为国家标准、行业标准和企业标准三个等级,从使用的强制性来说,可分为必须执行的标准(有关度、量、衡及涉及人身安全等标准)和推荐使用的标准(如标准直径等)。

对于同一产品,为了符合不同的使用条件,在同一基本结构或基本尺寸条件下,规定出若干个辅助尺寸不同的产品,称为不同的系列,这就是系列化的定义。例如,对于同一结构、同一内径的滚动轴承,制出不同外径及宽度的产品,称为滚动轴承系列。系列大小的规定,一般是以优先数系为基础的。优先数系就是按几何级数关系变化的数字系列,而级数项的公比一般取为10的某次方根。例如,取公比 $q = \sqrt[n]{10}$,通常取根式指数 $n = 5, 10, 20, 40$ 。按它们求出的数字系列(要作适当的圆整)分别称为5、10、20、40系列(详见GB/T 321—2005)。

0.8 机械现代设计方法简介

现代化设计是过去长期的传统设计活动的延伸和发展,是随着设计实践经验的积累,由个别到一般,由具体到抽象,由感性到理性,逐步归纳、演绎、综合而发展起来的。由于科技进步的速度日益增快,特别是计算机的高速发展,人们在掌握事物的客观规律和人的思维规律的同时,运用相关的科学技术原理,进行过去长期以来难以想象的综合集成设计计算,使设计工作,包括机械产品的设计工作产生了质的飞跃。

21世纪60年代末开始,设计领域中相继出现一系列新兴理论与方法。为区别于过去常用的传统设计理论与方法,把这些新兴理论与方法统称为现代设计。目前现代设计所指的主要新兴理论与方法见表0-1。

表0-1 现代设计所指的主要新兴理论与方法

设计方法学	优化设计	可靠性设计	有限元法	动态设计	计算机辅助设计	人工神经网络计算方法	工程遗传算法	智能工程	价值工程	工业艺术设计	人机工程	并行工程	模块化设计	相似性设计	摩擦学设计	三次设计	反求工程设计
-------	------	-------	------	------	---------	------------	--------	------	------	--------	------	------	-------	-------	-------	------	--------

现代设计的主要特点如下:

- (1) 系统性 现代设计方法是逻辑的系统的设计方法,目前有两种体系:一种是德国