



JIXIE SHEJI JICHU



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

机械设计基础

J I X I E S H E J I J I C H U

主 编 秦小屿 朱维兵



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

图书在版编目 (C I P) 数据

机械设计基础 / 秦小屿, 朱维兵主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.9
普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5643-1310-4

I. ①机… II. ①秦… ②朱… 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 (2011) 第 157238 号

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

机械设计基础

主编 秦小屿 朱维兵

责任编辑	李芳芳
特邀编辑	赵雄亮
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	17.375
字 数	429 千字
版 次	2011 年 9 月第 1 版
印 次	2011 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1310-4
定 价	33.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材
编审委员会名单

(按姓氏音序排列)

主 任	吴鹿鸣				
副主任	蔡 勇	蔡长韬	蔡慧林	董万福	冯 鉴
	侯勇俊	黄文权	李 军	李泽蓉	孙 未
	吴 斌	周光万	朱建公		
委 员	陈永强	党玉春	邓茂云	董仲良	范志勇
	龚迪琛	何 俊	蒋 刚	李宏穆	李玉萍
	廖映华	刘念聪	刘转华	陆兆峰	罗 红
	乔水明	秦小屿	邱亚玲	宋 琳	孙付春
	汪 勇	王海军	王顺花	王彦平	王 忠
	谢 敏	徐立新	应 琴	喻洪平	张 静
	张良栋	张玲玲	赵登峰	郑悦明	钟 良
	朱 江				

总 序

装备制造业是国民经济重要的支柱产业，随着国民经济的迅速发展，我国正由制造大国向制造强国转变。为了适应现代先进制造技术和现代设计理论和方法的发展，需要培养高素质复合型人才。近年来，各高校对机械类专业进行了卓有成效的教育教学改革，和过去相比，在教学理念、专业建设、课程设置、教学内容、教学手段和教学方法上，都发生了重大变化。

为了反映目前的教育教学改革成果，切实为高校的教育教学服务，西南交通大学出版社联合众多西部高校，共同编写系列适用教材，推出了这套“普通高等院校机械类‘十二五’规划系列教材”。

本系列教材体现“夯实基础，拓宽前沿”的主导思想。要求重视基础知识，保持知识体系的必要完整性，同时，适度拓宽前沿，将反映行业进步的新理论、新技术融入其中。在编写上，体现三个鲜明特色：首先，要回归工程，从工程实际出发，培养学生的工程能力和创新能力；其次，具有实用性，所选取的内容在实际工作中学有所用；再次，教材要贴近学生，面向学生，在形式上有利于进行自主探究式学习。本系列教材，重视实践和实验在教学中的积极作用。

本系列教材特色鲜明，主要针对应用型本科教学编写，同时也适用于其他类型的高校选用。希望本套教材所体现的思想和具有的特色能够得到广大教师和学生的认同。同时，也希望广大读者在使用中提出宝贵意见，对不足之处，不吝赐教，以便让本套教材不断完善。

最后，衷心感谢西南地区机械设计教学研究会、四川省机械工程学会机械设计（传动）分会对本套教材编写提供的大力支持与帮助！感谢本套教材所有的编写者、主编、主审所付出的辛勤劳动！

首届国家级教学名师 吴虎鸣
西南交通大学教授

2010年5月

前 言

根据教学需要,我们组织编写了《机械设计基础》教材。本教材适合作为“机械原理”和“机械设计”合并使用的教材,也可作为某些近机类专业(少学时)分别开设“机械原理”和“机械设计”使用。参考学时为60~80学时。

本书在编写过程中,针对高等学校工程类专业培养应用型高级技术人才的目标,编者试图从满足教学基本要求、贯彻少而精的原则出发,力求突出本课程的基础理论、基本知识和基本方法,简化公式的推导,适当拓宽知识面、反映学科新内容,加强工程实际应用的内容,以期使本教材具有简明、新颖、实用的特色。

关于本教材的几点说明:

(1) 本书的名词、术语、单位及符号,尽可能采用了现有国家标准(GB)及国际标准化组织(ISO)的标准,或者是采用国内各统编教材所通用的标准。但它还是有与其他教材不一致的地方,所以在教学中要注意理解其实质。

(2) 本书的编写次序,没有严格按“机械原理”和“机械设计”分为两个部分,如果作为“机械原理”和“机械设计”两门课使用时,请各位教师根据自己的教学经验、具体专业与学生的实际情况,作出灵活的安排。

(3) 本书采用的设计计算方法,是根据简单实用的原则,尽量选择简化方法。在实际工程设计时,应根据具体情况,参考其他设计资料,选择其他可能的设计方法。

(4) 由于教材的容量有限,教材中的数据资料往往不完整。因此在实际工程设计时,如果设计数据资料查不全,请查阅相关的机械设计手册,且必须使用同一版本的设计手册中的设计公式及数据资料,否则可能出现错误。因为不同的设计手册、教材中的设计公式及数据参数是不完全相同的。

(5) 实际工程设计时,应以当前现行的标准、设计规范为依据,尽可能选择最新的标准,特别是出口产品的设计,应符合ISO的标准。

(6) 为了方便教学,在教材附录中有两套模拟试卷及参考答案供学生练习。

参加本书编写工作的有秦小屿、朱维兵、张均富、王强、罗康、孙书民、柳在鑫、张波等。由秦小屿(负责1~7章、14章统稿工作)、朱维兵(负责8~13章统稿工作)担任主编。

由于我们的水平和时间有限,疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011年5月

常用量的名称、单位、符号及换算关系

量的名称 (符号)	单位名称	单位符号	其他表示	换算关系及说明
长度 (L 、 l 、 a 、 b 等)	米	m		$1\text{m} = 10\text{dm} = 10^2\text{cm} = 10^3\text{mm}$
质量 (m)	千克 (公斤)	kg		$1\text{kg} = 10^3\text{g} = 10^{-3}\text{t}$
时间 (t)	秒	s		$1\text{s} = (1/60)\text{min} = (1/3600)\text{h}$
力、重力 (F 、 P 、 Q 、 S 等)	牛[顿]	N	$\text{kg} \cdot \text{m/s}^3$	
力矩、扭矩 (转矩) (M 、 T)	牛[顿]米	$\text{N} \cdot \text{m}$		
压力、压强、应力 (P 、 p 、 σ 、 τ 等)	帕[斯卡]	Pa	N/m^2	$1\text{Pa} = 10^{-3}\text{kPa} = 10^{-6}\text{MPa} = 10^{-6}\text{N/mm}^2$
能量、功、热 (E 、 W 、 H 等)	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	
功率 (P)	瓦[特]	W	J/s	$1\text{W} = 10^{-3}\text{kW}$
温度 (t)	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$		
体积 (V)	升	L、(l)		$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
密度 (γ)	千克每立方米	kg/m^3		$1\text{kg/m}^3 = 10^{-3}\text{g/cm}^3$
平面角 (α 、 β 、 γ 、 δ 等)	弧度 度	rad ($^{\circ}$)		$1\text{rad} = 180^{\circ}/\pi$ $1^{\circ} = 60' = 3600'' = (\pi/180)\text{rad}$
速度, 圆周速度 (V 、 v 、 U 、 u 等)	米每秒	m/s		
加速度, 重力加速度 (a 、 g)	米每二次方秒	m/s^2		
旋转速度 (n)	转每分	r/min		$1\text{r/min} = (\pi/30)\text{rad/s}$
角速度 (ω)	弧度每秒	rad/min		$1\text{rad/s} = (30/\pi)\text{r/min}$
黏度 (η)	帕[斯卡]秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	
频率 (f)	赫[兹]	Hz		

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 概 述	1
第二节 机械设计的基本要求	2
第三节 机械设计的一般步骤	4
第四节 机械零件的设计计算	6
第五节 本课程的性质、内容及学习方法	11
思考题	11
第二章 平面机构结构分析	13
第一节 机构的组成	13
第二节 平面机构运动简图	15
第三节 平面机构自由度计算	18
思考题	22
习 题	23
第三章 平面机构的运动分析	25
第一节 瞬心及其求法	25
第二节 瞬心在机构速度分析中的应用	27
第三节 平面机构运动分析的相对运动图解法	28
第四节 解析法运动分析简介	33
思考题	35
习 题	36
第四章 平面连杆机构	39
第一节 平面四杆机构的类型	39
第二节 平面四杆机构的基本性质	43
第三节 平面四杆机构的设计	46
思考题	49
习 题	50
第五章 凸轮机构	52
第一节 凸轮机构的应用及类型	52
第二节 凸轮机构的基本运动参数及从动件常用运动规律	54
第三节 凸轮机构的设计	56

第四节 设计凸轮机构应注意的问题	59
思考题	60
习 题	61
第六章 齿轮机构及传动	64
第一节 齿轮传动的特点及分类	64
第二节 渐开线齿廓的形成及其性质	65
第三节 渐开线齿廓啮合的几个重要性质	67
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	68
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	70
第六节 齿轮的切削加工与变位齿轮的概念	72
第七节 齿轮传动的失效形式及设计准则	74
第八节 齿轮的材料及其选择原则	77
第九节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	78
第十节 齿轮传动的设计参数与精度选择	83
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	86
第十二节 直齿圆锥齿轮传动	91
第十三节 蜗杆传动	94
第十四节 齿轮传动的润滑	98
第十五节 齿轮的结构设计	99
第十六节 轮 系	101
思考题	109
习 题	109
第七章 带 传 动	113
第一节 带传动的分类、特点和应用	113
第二节 带传动的工作情况分析	115
第三节 普通 V 带传动的设计计算	118
第四节 V 带轮的结构设计	124
第五节 V 带传动的张紧装置	125
思考题	126
习 题	127
第八章 链传动	128
第一节 链传动的特点及应用	128
第二节 滚子链链条与链轮	129
第四节 链传动的工作情况分析	131
第五节 链传动的设计计算	132
第六节 链传动的布置、张紧和润滑	137
思考题	139

习 题	139
第九章 轴和联轴器	141
第一节 概 述	141
第二节 轴的结构设计及强度计算	143
第三节 轴的刚度计算	150
第四节 联轴器及其选用	151
思考题	155
习 题	155
第十章 轴 承	158
第一节 滚动轴承的特点及结构	158
第二节 滚动轴承的主要类型及代号	159
第三节 滚动轴承的选择	162
第四节 轴承装置的设计	172
第五节 滑动轴承的特点和分类	175
第六节 径向滑动轴承的结构形式	176
第七节 轴瓦的材料和结构	177
第八节 滑动轴承的润滑	179
第九节 非液体润滑滑动轴承的设计计算	181
第十节 液体润滑径向轴承简介	183
思考题	185
习 题	186
第十一章 连 接	189
第一节 螺纹的基本参数	189
第二节 螺纹连接的主要类型及标准连接件	191
第三节 螺纹连接的预紧与防松	194
第四节 螺栓组连接设计	196
第五节 螺栓连接的强度计算	199
第六节 提高螺栓连接强度的措施	203
第七节 其他连接（销连接、键连接、花键连接）	205
思考题	212
习 题	212
第十二章 其他常用机构及通用零部件	215
第一节 棘轮机构	215
第二节 槽轮机构	216
第三节 螺旋机构	217
第四节 摩擦轮机构	218

第五节 弹 簧	219
第六节 离合器与制动器	219
思考题	222
第十三章 机械动力学基础	224
第一节 刚性转子的平衡	224
第二节 机械系统的速度波动及调节	227
第三节 机械效率与自锁	231
思考题	235
习 题	236
第十四章 机械系统运动方案设计及机械创新设计	238
第一节 概 述	238
第二节 机械系统运动方案设计的基本知识和设计原则	238
第三节 机械系统的运动方案设计	239
第四节 机械创新设计及基本方法	244
思考题	249
习 题	250
附 录	251
模拟试题一	251
模拟试题一参考答案	255
模拟试题二	258
模拟试题二参考答案	261
参考文献	264

第一章 绪 论

第一节 概 述

机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的重要标志。

机器是人类进行生产，减轻人们体力劳动，代替人类部分脑力劳动的重要生产工具。它既能承担人力所不能或不便进行的工作，又能提高产品质量，特别是能够大大提高劳动生产率。

只有使用机器，才能便于实现我国工业生产高度的机械化、电气化和自动化。大量地设计制造和广泛采用各种先进的机器，可大大加强我国国民经济发展的力度，加速我国的现代化建设。因此，机械工业肩负着为国民经济各个部门提供装备和促进技术改造的重任。

“机械”通常是指能实现机械运动和机械功的传递与变换的机构和机器。也就是说，机械是机构和机器的统称。

在我们的生活中到处都能看到各种各样的机器。从装配的角度看，无论分解哪一部机器，它总是由一些机构组成，每个机构又由许多构件和零件组成；构件是独立运动的单元体，可由多个零件组成，也可以是一个零件；零件是独立加工的单元体，它可分为通用零件和专用零件，通用零件是大多数机械经常使用的零件，如螺纹、齿轮、链条、轴承等，专用零件是指某种特殊机械上专门使用的，如螺旋桨、犁铧、枪栓等。从功能上讲，也可以说机械是由原动部分、传动部分和执行部分等组成。

首先让我们来分析几种机器。

刨床是常用的机床之一，如图 1.1 所示。从装配的角度看，它由电动机、带传动、连杆

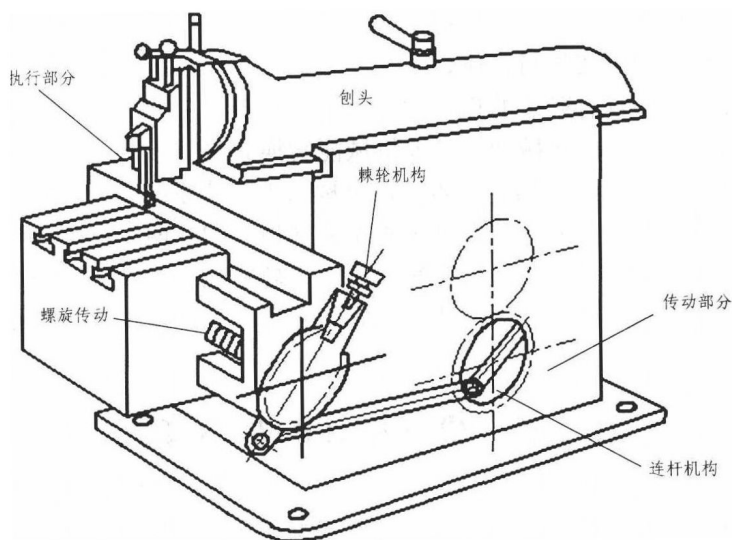


图 1.1 刨床示意图

机构、棘轮机构、螺旋传动等零部件组成；从功能上讲，它由原动部分——电动机、传动部分——变速及传动系统、执行部分——刨头——等组成。

汽车是最常用的交通机械。从装配的角度看，它由许多机构及零部件组成；从功能上讲，它由原动部分——发动机、传动部分——变速及传动系统，执行部分——车轮——等组成。

自行车是最简单的交通工具，如图 1.2 所示。从装配的角度看，它由许多零部件组成；从功能上讲，它由原动部分——人力（或电动自行车的电动机）、传动部分——链传动（包括变速部分）、执行部分——车轮——等组成。

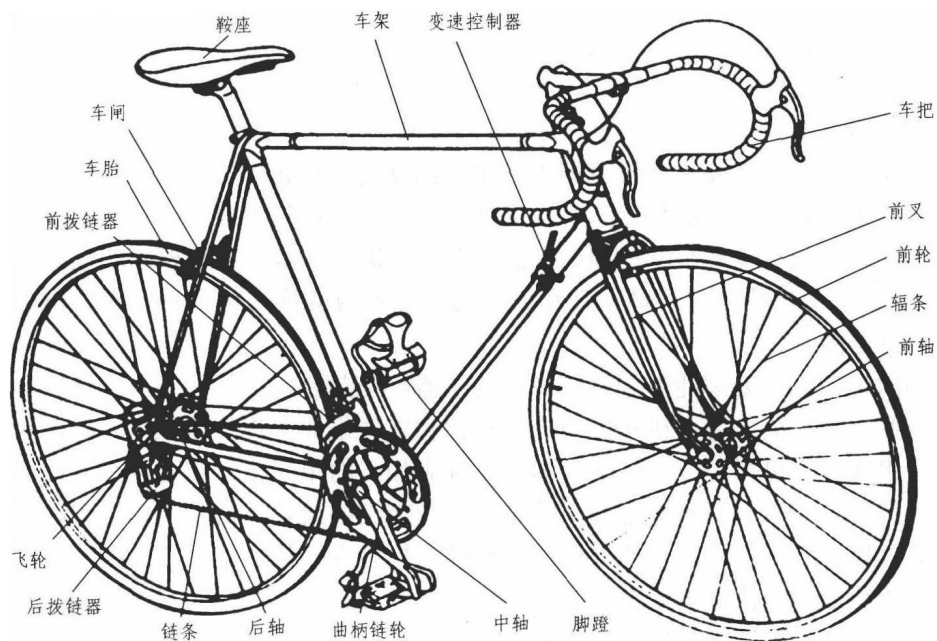


图 1.2 自行车机构图

从上面分析看，机器具有以下共有特征：

- (1) 机器是一种人为的实物组合体；
- (2) 机器各部分之间具有确定的相对运动；
- (3) 机器能够完成有用的机械功传递或机械能转换。

机构是一切机器的共同组成部分，如齿轮机构用于变速系统、棘轮机构用于间歇运动系统、螺旋传动用于机床进给系统。机构具有机器的（1）、（2）两个特征。

常用的典型机构有平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、带传动、链传动、棘轮机构、槽轮机构等，它们的工作原理、结构设计、工作能力计算等都是本课程将要研究的。

第二节 机械设计的基本要求

机械设计是指设计出能实现使用功能的机械装置。它是一项创造性劳动，同时也是对已有成功经验的继承过程。根据实际情况的不同，机械设计可以分为三种类型。

变形设计：机械产品的工作原理和功能结构不变，为了适应工艺条件或使用要求，改变

产品的具体参数和结构。

适应性设计：对现有机械产品的工作原理、设计方案不变的前提下，仅作局部变更或增加附加功能，在结构上作相应调整，使产品更能满足使用要求。

开发性设计：在机械产品的工作原理和具体结构等完全未知的情况下，应用成熟的科学技术或经过实验证明是可行的新技术，开发设计新产品，这是一种完全创新的设计。

机械设计应满足的基本要求：

1. 满足社会需求

机械产品的设计总是以社会需求为前提，一项产品的性能应尽量满足用户的需求。没有需求就没有市场，也就失去了产品存在的价值和依据。社会的需求是变化的，不同时期、不同地点、不同的社会环境就会有不同的市场行情和需求。产品应不断地更新改进，适应市场的变化，否则就会滞销、积压，造成浪费，影响企业的经济效益，严重时甚至导致企业的倒闭，所以，设计师必须确立市场观念，以社会需求和为用户服务作为最基本的出发点。

所谓需求，就是对功能的需求，用户购买产品就是购买产品的功能。产品的功能是与技术、经济等因素密切相关的，通常随着功能的增加，产品的成本也随之上升。所以设计师就必须进行市场调查和用户访问，查清市场当前的需求和预测今后的需求，然后对产品进行功能分析，遵循保证基本功能、满足使用功能、剔除多余的功能、增加新颖功能、恰到好处地利用功能原则，提高功能价值，降低实现成本，力求提高产品的竞争力。

2. 具有良好的可靠性

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。这里所指的“产品”可以是零件、部件等，也可以是整机系统。“规定条件”是指对产品进行可靠性考核时所规定的使用条件和环境条件，包括载荷状况、工作制度、应力、强度、湿度、粉尘及腐蚀等，也包括操作规程、维修方法等；“规定时间”是指对产品可靠性考核时所规定的时间，包括运行时间、应力循环次数、行驶的里程等；“规定功能”是指对产品考核的具体功能。产品规定功能的丧失称为失效，可修复产品的失效也称为故障。

可靠性是衡量产品质量的一个重要指标，提高产品可靠性的最有效的方法是进行可靠性设计。设计者应从整机系统出发，对可能发生的故障和失效进行预测和分析，采取相应的预防措施；对整机系统可靠性有关键影响的零部件应专门进行可靠性分析和设计。衡量产品可靠性的指标有很多，机械产品常用的可靠性指标主要有可靠度 R 、失效概率 F 等。

可靠度 R ：指产品在规定的条件下和规定的时间内（寿命）完成规定功能而不发生故障或失效的概率， $0 \leq R \leq 1$ 。

失效概率 F ：指在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能时发生故障或失效的概率。失效概率也称为不可靠度， $0 \leq F \leq 1$ 。因为失效和不失效是对立事件，所以 $F = 1 - R$ 。

3. 具有较好的经济性

提高产品的经济性，既是增加产品市场竞争力、赢得用户的需要，也是节约社会劳动力、提高社会效益的需要。提高产品的经济性是以寿命周期成本最低为目标的。

寿命周期成本是指产品从规划、设计、制造、使用直至报废的整个寿命周期内所支出费用的总和，即

$$\text{寿命周期成本} = \text{生产成本} + \text{使用成本}$$

生产成本由直接成本和间接成本组成,即

$$\text{生产成本} = \text{直接成本} + \text{间接成本}$$

直接成本主要包括研究与设计、材料及采购、加工和装配等与生产直接有关的各项成本;间接成本主要包括管理、销售、广告、公用事业、保险福利、研究开发及利息等各项非直接生产环节的支出分摊到该产品的成本。

产品的销售价格由生产成本及利税组成,它是提高产品竞争力的一个重要指标,即

$$\text{销售价格} = \text{生产成本} + \text{利润} + \text{税金}$$

使用成本包括运行成本和维修成本。机械产品通常是寿命周期较长的耐用消费品,其使用费用累积额可能相当可观。

4. 符合安全、环保要求

安全性包括两方面的内容:

(1) 机器执行预期功能的安全性。

即机器运行时系统本身的安全性,比如满足必要的强度、刚度、稳定性、耐磨性等要求。因此,在设计时必须按有关规范和标准进行计算。另外,为了避免机器由于各种原因造成故障或失效,常需要配置过载保护、安全互锁等装置。比如,为了保证传动系统在过载时不致损坏,常在传动链中设置安全离合器或安全销;又如,为了保证机器安全运行,离合器与制动器必须设计成互锁结构,即离合器与制动器不能同时工作。

(2) 人-机-环境系统的安全性。

机器是为人类服务的,同时它又在一定的环境中工作,人、机、环境三者构成一个特定的系统。机器工作时不仅机器本身应具有良好的安全性,而且对使用机器的人员及周围的环境更应保证良好的安全性。

5. 零部件“三化”要求

在机械设计中应尽可能地遵循标准化的原则。机械产品标准化的内容包括标准化、系列化和通用化等三方面,简称机械产品的“三化”。

标准化是对机械零件的种类、尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、公差配合及制图规范等制定出相应的标准,供设计、制造及修配共同遵照使用。如螺栓、螺母、垫圈等的标准化。

系列化是指产品按主要参数分档,形成一定系列的产品,这样可用较少规格的产品满足不同的需要,如圆柱齿轮减速器系列。系列化是标准化的重要组成部分。

通用化是针对不同规格的同类产品或不同类产品的,在设计中尽量采用相同的零件或部件,如几种类型不同的轿车可以采用相同的轮胎。通用化是广义的标准化。

机械产品的“三化”有利于大规模生产,提高生产率。

第三节 机械设计的一般步骤

在假定已完成市场调查的前提下,一部新机器是根据设计任务书的要求进行设计的。设

设计任务书中必须明确的问题有：机器的用途、主要性能参数指标、工作环境条件、生产批量、预期成本、设计完成期限、生产条件等。在明确设计任务书的要求后，设计人员在调查研究、分析资料、研究措施、拟订计划的基础上，按下述步骤进行设计。

一、总体设计

总体设计就是根据简单、合理、经济的原则，在分析对比多种可能的方案后，拟订一套能实现机器性能要求的总体方案。总体方案的具体成果就是“机器的机构运动简图”，机构运动简图就是用规定的符号和线条按一定的比例表示构件的尺寸和运动副的相对位置，并能完全反映机构特征的简图。有了机器的机构运动简图，就能清楚地表达机器的工作原理，机器的图形就有了“骨架”。

在完成机构运动简图的过程中，根据需要可作初步的运动和动力分析；确定各级传动的传动比和转速及扭矩；合理安排各部件的相对位置；拟订机械工作循环图（见图 1.3），确定各子系统间的协调关系；考虑操作、安装、维修和外廓尺寸等要求。

刨头	工作行程			空行程	
工作台	停止			进给	停止
曲柄转角 φ	0°	90°	180°	270°	360°

图 1.3 刨床工作循环图

在总体设计阶段，设计人员应该具有创新意识，探索新方案，开发新产品，力争使自己设计的产品在同类产品中具有新创意，体现特色。

二、结构设计

由于总体设计中的机构运动简图是用简单的符号来表示机器的结构关系的，所以结构设计就是将这些符号转变成有具体形状的零（部）件，其实质就是将机构运动简图变成装配图，这时机器就有了具体的形态。

在结构设计中，需要考虑各个零（部）件的相对位置及连接方法，主要零件的具体形状、材料、尺寸、制造、安装、配合等一系列问题，并写出设计计算说明书及相关技术文件。

三、零件设计

零件设计就是将装配图上的零件绘制成零件图和部件装配图。按照国家制图标准，装配图主要反映的是各个零（部）件间的相对位置关系、配合关系、总体尺寸、安装尺寸等，未能反映出各个零件的全部尺寸，因此装配图不能作为零件加工的依据，而需要根据绘制（设计）出零件图来加工。

在零件设计时，应从总体设计的要求出发，明确零部件的工作要求、性能、参数等，一般要经过以下几个步骤：

- ① 选择零件类型、结构；
- ② 计算零件上的载荷；
- ③ 确定计算准则；
- ④ 选择零件的材料；

- ⑤ 确定零件的基本尺寸；
- ⑥ 结构设计；
- ⑦ 校核计算；
- ⑧ 画出零件工作图；
- ⑨ 写出计算说明书等。

四、试制定型

在完成了设计图纸和技术文件之后，一般要试制样机。通过试车，测试各项性能指标，发现设计的错误和不妥之处，及时改正，最后组织设计鉴定。

由于计算机技术的发展，试制定型阶段的工作也可以采用虚拟样机技术。虚拟样机技术是一项计算机辅助工程（CAE）技术，利用该技术，工程技术人员可以在计算机上创建各种各样的样机模型，对样机的性能进行动态分析，测试其性能指标。这将缩短产品开发周期，降低产品开发成本。

以上设计步骤并不是一个单纯的线性关系，而是一个具有反馈的复合关系，因为当后面的设计遇到问题时，就需要修改前面的设计内容。所以，机械设计是一个“边修改、边计算、边绘图”的“三边”设计过程。

第四节 机械零件的设计计算

机械零件的主要尺寸常常需要通过理论计算确定。理论设计计算是根据零件的结构特点和工作情况，将它合理简化成一定的物理模型，运用理论力学、材料力学、流体力学、摩擦学、热力学、机械振动学等理论及这些理论推导出的设计公式、实验数据进行设计。

理论设计计算可分为设计计算和校核计算两种：① 设计计算是用按设计公式直接求得零件的有关主要尺寸；② 校核计算是已知零件各部分的尺寸，用设计公式校核它是否满足有关的设计计算准则。

为了使设计计算的结果更符合实际，应该多方面参考过去成功的设计和实践积累的经验关系式、统计数据等。对于一些大型、结构复杂的重要零件，必要时还可以进行模型实验或实物实验。

一、机械零件的工作能力

机械零件由于各种原因不能正常工作时，称为失效。在不发生失效的条件下，零件能安全工作的限度，称为工作能力。通常此限度是相对载荷而言，所以习惯上又称之为承载能力。

机械零件的失效形式很多，主要有断裂、塑性变形、表面压碎、表面点蚀、过度弹性变形、共振、过热及过度磨损等。

为确保零件工作时不发生失效，则要求零件承受的载荷小于或等于它的许用载荷或零件的变形小于或等于它的许用变形，或零件材料承受的应力小于或等于它的许用应力，即

零件承受的载荷 $\leq$ [零件的许用载荷]

或 零件的变形 $\leq$ [零件的许用变形]

或 零件材料承受的应力 $\leq$ [材料的许用应力]

1. 载荷的类型

根据力学相关知识可知,按载荷的施加形式,载荷可分为力、力矩、力偶等;按载荷大小是否随时间变化,载荷可分为静载荷、变载荷。

2. 应力的种类

由于载荷的作用,零件上将产生各种不同的应力。按受力特点,应力可分为正应力、剪应力、接触应力等;按应力是否随时间变化,应力可分为静应力、变应力。

不随时间变化的应力,称为静应力。纯粹的静应力是不存在的,但如果压力变化缓慢,就可以看成是静应力。

随时间变化的应力,称为变应力。具有周期性变化的变应力称为循环变应力。图 1.4 (a) 所示为一般的非对称循环变应力, T 为应力循环周期。由图可得到

$$\text{平均应力} \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1-1)$$

$$\text{应力幅} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (1-2)$$

$$\text{循环特性} \quad r = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} \quad (1-3)$$

式中, $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 为最大、最小应力。

循环特性 r 用来描述变应力中应力变化的情况。当 $r = -1$ 时,称为对称循环变应力,如图 1.4 (b) 所示;当 $r = 0$ 时,称为脉动循环变应力,如图 1.4 (c) 所示;当 $r = 1$ 时,称为静应力,可看做是循环变应力的特例。

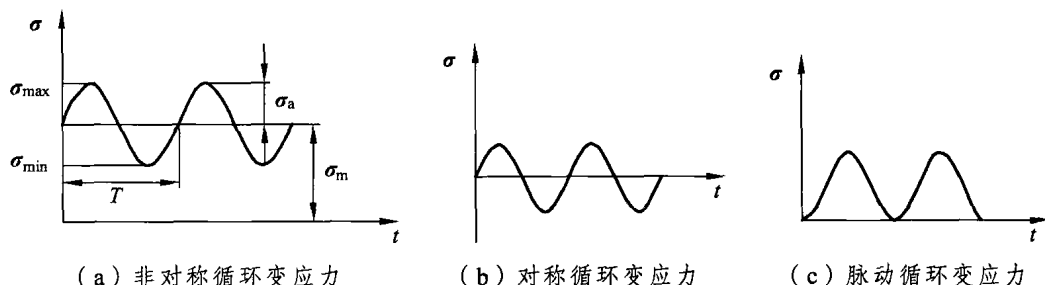


图 1.4 循环变应力的种类

以上 $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 、 σ_m 、 σ_a 、 r 五个参数是描述循环变应力的基本参数,只要知道其中两个参数,就可求得其余参数。也就是说,其中只有两个独立参数。

3. 疲劳断裂

由于机械往往是运动的,载荷是变化的,所以机械基本上是受到变应力的作用。

在变应力的作用下,零件的破坏形式之一是疲劳断裂。疲劳断裂具有以下特征:

① 疲劳断裂的最大应力远比静应力下的强度极限低;

② 疲劳断裂是损伤的积累,零件表面的微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,在一定的条件下发生突然破坏;