

高等职业教育“十一五”规划教材
国家级精品课程

机械设计基础

刘 舟 韩亚利 主编



高等职业教育“十一五”规划教材
国家级精品课程

机械设计基础

刘 舟 韩亚利 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是按照高职高专院校机械设计基础课程教学要求,采用最新的国家标准,结合高职高专院校近年来教学改革的经验与成果编写而成。书中简化理论推导,注重实际应用,突出高职高专教育特点。

本书共 11 章,主要内容包括绪论、平面机构结构分析、平面机构运动力学分析、平面连杆机构、挠性传动、齿轮传动、轮系、其他常用机构、轴、轴承和连接等。各章配有一定数量的习题供学习时使用。

本书可作为高职高专院校机械类专业和近机类专业机械设计基础课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/刘舟,韩亚利主编. --北京:国防工业出版社,2010.5
高等职业教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06682-1

I. ①机… II. ①刘… ②韩… III. ①机械设计—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027592 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 341 千字

2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《机械设计基础》

编 委 会

主 编 刘 舟 韩亚利

副主编 李桂芹 陈 波

参 编 韩敏建 陶 静 耶建宁 陈运胜

前 言

为适应高等职业技术教育改革的不断深入和技术应用型人才培养要求,本书在传统机械原理和机械零件教材的基础上,对原有的经典内容进行了精选和重组,以机械设计能力为主线,按照机械类职业岗位技术要求安排教学内容。本书着重讲解基本概念、基本原理、基本方法,简化理论推导,强化实践应用,体现“必需、够用”原则,强调培养学生的创新能力和解决实际问题的能力,并使学生通过思考分析而获得多种能力的培养训练。

本书可作为高职高专机械类和近机类专业教学大纲规定为 80 学时~120 学时的机械设计基础课程的教学用书,也可作为其他同类学校相关专业的教材。

全书由刘舟、韩亚利任主编,李桂芹、陈波任副主编。具体编写分工为:刘舟编写第 1 章,李桂芹编写第 2 章,陈运胜编写第 3 章,韩敏建编写第 4 章、第 8 章、第 10 章,韩亚利编写第 5 章,陶静编写第 6 章,陈波编写第 7 章、第 9 章,耶建宁编写第 11 章。全书由刘舟统稿。

本书在编写过程中得到了西安航空技术高等专科学校、长沙航空职业技术学院、武汉工业职业技术学院、陕西工业职业技术学院、陕西航空职业技术学院、广州华立科技职业学院的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢!

限于编者水平,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械概述	1
1.2 机械设计基本要求及主要设计准则	3
1.2.1 工作可靠性的要求	3
1.2.2 经济性要求	4
1.2.3 机械零件设计的一般步骤	5
1.3 本课程的性质、任务和学习要求	5
习题	6
第 2 章 平面机构结构分析	7
2.1 机构的组成	7
2.1.1 构件及其类型	7
2.1.2 运动副	8
2.1.3 运动链和机构	9
2.2 平面机构运动简图的绘制	9
2.3 平面机构的自由度	13
2.3.1 自由度	13
2.3.2 约束	13
2.3.3 平面机构自由度的计算	13
2.3.4 机构具有确定运动的条件	14
2.3.5 计算机构自由度的注意事项	15
习题	17
第 3 章 平面机构运动力学分析	19
3.1 刚体运动力学基础知识	19
3.1.1 刚体基本运动	19
3.1.2 刚体绕定轴转动的动力学基本方程	21
3.1.3 刚体平面运动	21
3.1.4 平面图形的角速度及图形上各点速度分析	22
3.2 平面机构速度瞬心法分析	24
3.2.1 平面机构速度分析的任务和目的	24
3.2.2 速度瞬心法	24
3.3 平面机构力分析的任务、目的和方法	27
3.3.1 机构力分析的目的和方法	27

3.3.2 运动副中的摩擦	27
3.3.3 机构动力分析基本方法	30
习题	30
第4章 平面连杆机构	32
4.1 铰链四杆机构的基本形式	32
4.1.1 曲柄摇杆机构	32
4.1.2 双曲柄机构	33
4.1.3 双摇杆机构	35
4.2 铰链四杆机构曲柄存在条件	35
4.3 铰链四杆机构的演化类型及应用	36
4.3.1 铰链四杆机构演化为单滑块(或导杆)机构的过程	36
4.3.2 取不同的构件作机架	37
4.3.3 扩大回转副	39
4.3.4 双滑块机构	39
4.4 平面连杆机构的工作特性	40
4.4.1 急回特性	40
4.4.2 压力角 α 和传动角 γ	41
4.4.3 机构的死点	42
4.5 平面连杆机构的设计	43
4.5.1 实现连杆的给定位置的设计	43
4.5.2 给定行程速比系数,设计平面连杆机构	44
4.5.3 按给定连架杆对应位置,设计铰链四杆机构	45
4.5.4 试验法、图谱法和解析法设计四杆机构简介	46
习题	48
第5章 挠性传动	51
5.1 带传动的组成、类型及应用特点	51
5.1.1 带传动的组成	51
5.1.2 带传动的类型及应用特点	51
5.2 V带和V带轮	52
5.2.1 V带的结构和标准	52
5.2.2 V带轮的结构和材料	54
5.3 带传动的受力和应力分析	56
5.3.1 带传动的受力分析	56
5.3.2 带传动的应力分析	57
5.4 带传动的弹性滑动和传动比	59
5.5 带传动的设计计算	60
5.5.1 带传动的主要失效形式设计准则	60
5.5.2 带传动的设计内容	60
5.5.3 设计步骤及参数选择	60

5.6 带传动的安装与维护	66
5.6.1 带传动的张紧	66
5.6.2 带传动的安装和维护	67
5.7 链传动简介	68
5.7.1 链传动的组成和类型	68
5.7.2 滚子链传动的特点和应用	69
5.7.3 套筒滚子链的结构和标准	69
5.7.4 链轮的结构和材料	71
5.7.5 链传动的运动特性	72
5.7.6 链传动的主要失效形式	73
5.7.7 链传动的设计要点	74
5.7.8 链传动主要参数的选择	76
5.7.9 链传动的布置、张紧及润滑	77
习题	80
第6章 齿轮传动	82
6.1 齿轮传动的特点和类型	82
6.1.1 齿轮传动的特点	82
6.1.2 齿轮机构的类型	82
6.2 渐开线齿廓及其啮合原理	83
6.2.1 渐开线的形成及特性	83
6.2.2 齿廓啮合基本定理	84
6.2.3 渐开线齿廓啮合传动特性	85
6.3 渐开线标准齿轮的参数和几何尺寸	86
6.3.1 齿轮各部分名称和符号	86
6.3.2 齿轮基本参数	87
6.3.3 几何尺寸计算公式	88
6.4 渐开线圆柱直齿轮的啮合传动	89
6.4.1 一对渐开线齿轮正确啮合的条件	89
6.4.2 齿轮传动的标准中心距及啮合角	90
6.4.3 重合度、连续传动	91
6.5 齿廓的切削加工原理	92
6.6 渐开线齿轮的根切现象及最少齿数	95
6.6.1 渐开线齿轮轮齿的根切现象	95
6.6.2 根切的原因	95
6.6.3 渐开线标准齿轮不根切的最少齿数	95
6.7 渐开线变位齿轮简介	96
6.7.1 渐开线标准齿轮的局限性	96
6.7.2 变位修正法	97
6.7.3 不根切的最小变位系数	97

6.7.4 变位齿轮的几何尺寸	98
6.8 齿轮传动失效形式、设计准则及精度等级	99
6.8.1 失效形式及设计准则	99
6.8.2 材料选择及热处理	101
6.8.3 齿轮传动的精度等级	101
6.9 直齿圆柱齿轮传动的受力分析	103
6.10 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	104
6.10.1 直齿圆柱齿轮齿面接触疲劳强度计算	104
6.10.2 齿根弯曲疲劳强度计算	107
6.11 齿轮传动参数的选择及设计实例	109
6.11.1 主要参数的选择	109
6.11.2 齿轮传动的设计实例	109
6.12 斜齿圆柱齿轮传动	111
6.12.1 齿面形成及啮合特点	111
6.12.2 斜齿轮的基本参数及几何尺寸计算	112
6.12.3 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	114
6.12.4 斜齿圆柱齿轮啮合传动	115
6.12.5 斜齿圆柱齿轮传动的受力分析	116
6.12.6 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	117
6.12.7 齿轮传动参数的选择及设计实例	118
6.13 圆锥齿轮传动	119
6.13.1 直齿圆锥齿轮齿廓曲面的形成	120
6.13.2 背锥与当量齿数	120
6.13.3 直齿圆锥齿轮传动	122
6.13.4 直齿圆锥齿轮传动的参数及几何尺寸	122
6.13.5 直齿圆锥齿轮受力分析	123
6.13.6 直齿圆锥齿轮强度计算	124
6.14 蜗杆传动	125
6.14.1 蜗杆传动概述	125
6.14.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	126
6.14.3 蜗杆传动的强度计算与设计	129
6.14.4 蜗杆传动的受力分析和强度计算	129
6.14.5 蜗杆传动的润滑、效率及热平衡计算	131
6.15 蜗杆传动设计	133
6.16 齿轮结构设计及齿轮传动的润滑	134
6.16.1 齿轮结构设计	134
6.16.2 齿轮传动润滑	135
习题	137
第7章 轮系	139

7.1 轮系及其分类	139
7.1.1 定轴轮系	139
7.1.2 行星轮系	139
7.1.3 混合轮系	140
7.2 定轴轮系传动比的计算	140
7.2.1 一对齿轮啮合的传动比	140
7.2.2 平面定轴轮系的传动比	141
7.2.3 空间定轴轮系的传动比	142
7.3 行星轮系传动比的计算	142
7.3.1 行星轮系传动比的计算	142
7.3.2 混合轮系传动比的计算	145
7.4 轮系的应用	146
7.4.1 实现较远距离的传动	146
7.4.2 获得大的传动比	146
7.4.3 实现变速、换向传动	146
7.4.4 实现分路传动	146
7.4.5 实现运动的合成和分解	147
习题	147
第8章 其他常用机构	150
8.1 凸轮机构	150
8.1.1 凸轮机构的组成、类型、特点及应用	150
8.1.2 从动件的常用运动规律	152
8.1.3 图解法设计凸轮轮廓曲线	157
8.1.4 凸轮机构设计中的几个问题	159
8.1.5 解析法设计凸轮的廓线	162
8.1.6 凸轮机构的常用材料和结构	164
8.1.7 凸轮轮廓的加工方法	165
8.2 棘轮机构	166
8.2.1 棘轮机构的组成、工作原理及特点	166
8.2.2 棘轮机构的类型与应用	166
8.2.3 棘轮转角的调节	168
8.2.4 棘轮与棘爪的材料	169
8.3 槽轮机构	169
8.3.1 槽轮机构的组成、工作原理及特点	169
8.3.2 槽轮机构的基本类型及应用	170
8.3.3 槽轮机构的设计	171
8.4 不完全齿轮机构	172
习题	172
第9章 轴	174

9.1 概述	174
9.1.1 轴的功用	174
9.1.2 轴的分类	174
9.1.3 设计轴时要解决的主要问题	176
9.2 轴的材料及选择	176
9.3 轴的结构设计	177
9.3.1 轴的组成	177
9.3.2 轴上零件的定位与固定	177
9.3.3 轴的结构工艺性	179
9.3.4 轴的各段直径和长度确定	181
9.4 轴的强度计算	182
9.4.1 按扭转强度计算	182
9.4.2 按弯扭合成强度计算	183
9.5 轴的刚度计算	184
9.5.1 轴的弯曲刚度校核计算	184
9.5.2 轴的扭转刚度校核计算	185
9.6 轴的设计方法及设计步骤	185
习题	190
第 10 章 轴承	192
10.1 概述	192
10.2 滚动轴承	192
10.2.1 滚动轴承的功用	192
10.2.2 滚动轴承的结构、类型和代号	192
10.2.3 滚动轴承的类型选择	197
10.3 滚动轴承的计算	198
10.3.1 滚动轴承的受力情况分析	198
10.3.2 滚动轴承的失效形式和计算准则	199
10.4 滚动轴承的组合设计	202
10.4.1 滚动轴承的定位与调整	202
10.4.2 滚动轴承的配合与装拆	203
10.4.3 滚动轴承的润滑与密封	203
10.5 滑动轴承简介	205
10.5.1 滑动轴承类型、结构	205
10.5.2 轴瓦	206
10.5.3 滑动轴承的润滑	207
习题	207
第 11 章 连接	209
11.1 螺纹连接	209
11.1.1 螺纹的形成	209

11.1.2	螺纹的类型	209
11.1.3	螺纹连接的基本参数	210
11.1.4	螺纹连接的基本类型	211
11.1.5	螺纹连接的预紧和防松	213
11.2	键连接.....	216
11.2.1	类型、特点和应用	216
11.2.2	普通平键连接的尺寸选择	217
11.2.3	普通平键的强度计算	218
11.2.4	花键连接	219
11.3	销连接.....	220
11.4	联轴器与离合器简介.....	221
11.4.1	联轴器	221
11.4.2	离合器	224
	习题.....	227
	参考文献.....	228

第 1 章 绪 论

1.1 机械概述

机器在人类生活和生产中占有非常重要的地位,它是人类利用和转变机械能,在生产时借以减轻体力劳动和提高生产率的主要工具。例如数控机床可以通过编程来控制操作系统进行一系列的動作,从而完成对工件的各种复杂的加工;机器人可以代替人类完成危险作业和高强度的劳动;计算机可以快速实现信息的处理与传递。使用机器进行生产的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志之一。

图 1-1 所示的单缸内燃机,由多个实体组成。当可燃气体在缸体 7 内燃烧推动活塞 1 时,与之相连的连杆 2 会带动曲轴 3 转动,通过齿轮 4 和 5、凸轮 6 等向外输出运动和动力。通过可燃气体在缸体内吸气、压缩、燃烧、排气这一工作循环将热能转化成机械能。

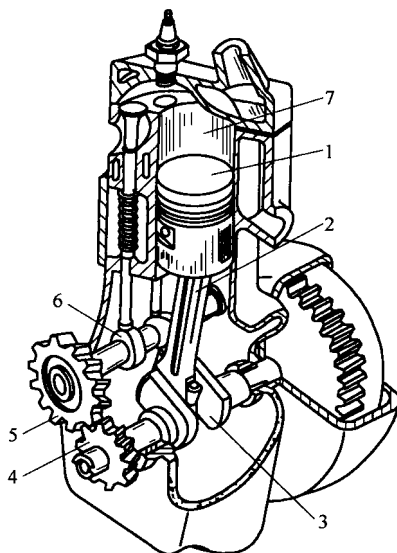


图 1-1 单缸内燃机

1—活塞;2—连杆;3—曲轴;4、5—齿轮;6—凸轮;7—缸体。

图 1-2 所示的颚式破碎机也由多个实体组成,电动机的转动通过带传动带动偏心轴转动,进而使颚板作平面运动,与定颚板共同实现破碎物料的功能。

1. 机器特征

机器的种类繁多,结构和用途各异,但从结构和功能上看,各种机器都具有以下三个特征。

(1)都是人为实体的组合。

(2)各个组成实体单元之间具有确定的相对运动。

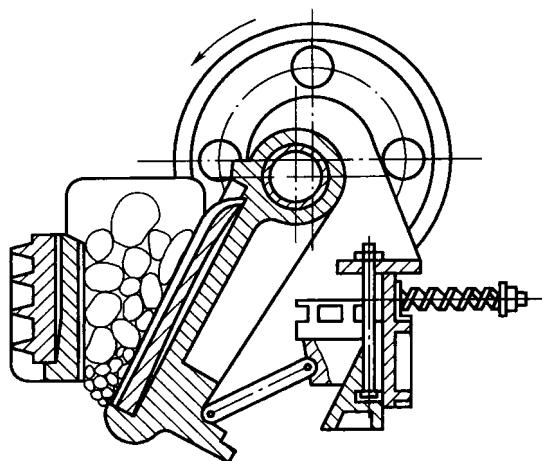


图 1-2 颚式破碎机

(3) 能实现能量转换或完成有用的机械功。

仅具备前两个特征的称为机构,使多个实体组合可以实现预期的机械运动。

一般把机器和机构统称为机械。

2. 机器分类

按照构造、用途和性能等,可以把机器分为以下几类:

(1) 动力机械。如电动机、内燃机等,主要用来实现机械能与其他形式能量之间的转换。

(2) 加工机械。如数控机床、加工中心、机器人等,主要用来改变物料的结构形态、形式和状态。

(3) 运输机械。如飞机、汽车、输送机等,主要用来改变人或物料的空间位置。

(4) 信息机械。如计算机、摄像机等,主要用来获取和处理各类信息。

3. 机器组成

机器一般由四大部分组成(图 1-3)。

(1) 原动部分。动力的来源,如电动机、内燃机等。

(2) 传动部分。由各类机构组成,是将运动和动力传到执行部分的中间环节,可以改变运动速度的大小和运动形式,如齿轮、V 带等。

(3) 控制部分。使机器的动力、传动和执行部分按一定的顺序和规律运动,包括各类控制机构、电气装置、计算机和液、气压系统等。

(4) 执行部分。直接完成任务的部分,如刀具、机械手等。

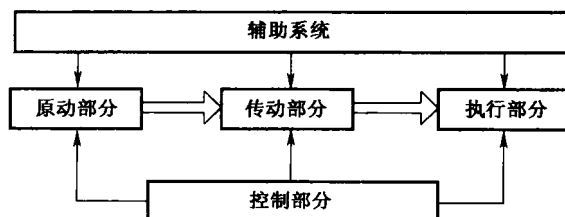


图 1-3 机器组成框图

机构由构件组成,构件是指机构中形成相对独立运动的实体单元,机械中不可拆卸的制造单元称为零件。构件可以是单一零件,也可以是多个零件的刚性组合体。零件分为两类:一类是通用零件,指一般机械中普遍使用的零件,如螺栓、螺母等;另一类是专用零件,指在特定类型机器中使用的零件,如活塞、曲轴等。

1.2 机械设计基本要求及主要设计准则

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机器的性能,应满足的基本要求是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。

机械设计的主要内容是首先制定设计任务书,涵盖机器的功能、经济性的估计、制造要求方面的大致估计、基本使用要求,以及完成设计任务的预计期限等;确定机械的工作原理,选择合适的机构;拟定设计方案;进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷;进行零部件工作能力的计算;总体设计和结构设计,绘制总体装配图和零件图;编制技术文件;最后联系加工、采购标准件、安装、试车、验收、鉴定到产品定型结束整个设计过程。

机械的类型很多,功用各有不同,对每个零件的要求也不完全一样,但对设计的基本要求大致有工作可靠性和经济性两方面。

1.2.1 工作可靠性的要求

为了使机械在预定的工作期限内可靠地工作,防止个别零件破坏或失效而影响整个机器的正常运行,在设计机械零件时应满足下列要求。

1. 强度

具有适当的强度是设计零件时必须满足的最基本要求。强度是指零件在工作中断裂或发生较大的塑性变形。强度失效除了用于安全保护装置中预定适时破坏的零件(如安全销)外,对任何零件都应当避免。

2. 刚度

刚度是指在一定载荷下,零件抵抗弹性变形的能力。刚度不够将影响机器的正常工作。例如机床主轴的挠度必须在许可范围内,否则就会影响机床的正常工作。

3. 寿命

零件正常工作延续的时间叫做零件的寿命。有些零件在工作初期虽然能够满足各种要求,但在工作一定时间后,却可能由于某些原因而失效。

影响零件寿命的主要因素有材料的疲劳、材料的腐蚀及相对运动零件接触表面的磨损。实际上,大部分机械零件在交变应力作用下工作,因而疲劳破坏是引起零件失效的主要因素。

4. 可靠度

零件可靠度的定义和机器可靠度的定义是相同的,即在规定的使用时间(寿命)内和预定的环境条件下,零件能够正常地完成其功能的概率。

零件的失效率与时间的关系如图 1-4 所示。这个曲线常被形象化地称为浴盆曲线,

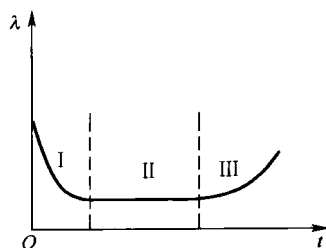


图 1-4 失效率曲线

一般是用试验的方法求得的。该曲线分为三段。

第Ⅰ段代表早期失效阶段。在这一阶段中,失效率由开始时很高的数值急剧地下降到某一稳定的数值。引起这一阶段失效率特别高的原因是零部件中所存在的初始缺陷,如铸件的内部砂眼过大、零件上未被发现的加工裂纹、安装不正确、接触表面未经磨合等。在这一阶段可通过跑合避免过高的失效率,防止事故的发生。

第Ⅱ段代表正常使用阶段。在此阶段内如果发生失效,一般总是由于偶然的原因而引起的(如短期过载),故其发生是随机的,失效率则表现为一常数。

第Ⅲ段代表损坏阶段。由于长时间的使用而使零件发生磨损、腐蚀、疲劳裂纹扩展等原因,使失效率急剧地增加。良好的维护和及时更换要发生破坏的零件,就可以延缓机器进入这一阶段工作的时间。

1.2.2 经济性要求

设计机械时应最大限度地考虑经济性要求,力求费用少、效率高、维修简便。满足经济性要求主要考虑如下几个方面。

1. 良好的工艺性

在一定条件下,应以最低的费用制造出合乎技术要求的机械零件。为此需要合理选择毛坯,设计零件结构形状应简单合理,并规定适当的制造精度及表面粗糙度值。

2. 合理选择材料

在满足机械的一定工作要求下,应优先选用价格便宜和供应充分的材料,同时可用适当的热处理方法改善材料的力学性能。

3. 减小质量

对绝大多数机械零件来说,都应当力求减小其质量。减小质量首先可以节约材料,其次可以减小运动零件的惯性,减小作用于构件上的惯性载荷,改善机器的动力性能。

4. 标准化、系列化、通用化的要求

标准化、系列化、通用化通称“三化”。在不同类型、不同规格的机器中有相当多的零部件是相同的,考虑零部件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法等制定出统一的标准,将这些零部件加以标准化,并按尺寸不同加以系列化。通用化是指系列之内或跨系列的产品之间尽量采用同一结构和尺寸的零部件。“三化”是长期生产实践和科研成果的技术总结,设计者毋须重复设计,可直接从有关手册、样本中选用,从而简化生产管理和获得较高的经济效益。

“三化”是我国现行的很重要的一项技术政策,具有很多优越性:

(1)由专门化的工厂对用途广泛的零部件进行集中生产制造,可以提高质量,降低成本。

(2)统一材料的性能指标,使其能够相互比较,提高了零部件和机器的可靠性。

(3)采用标准结构的零部件简化了设计工作,缩短了设计周期,提高了设计质量。

(4)增强互换性,简化机器的维修工作。

(5)有利于增加产品品种,扩大生产批量,达到产品的优质、高产和低消耗等。

“三化”程度的高低通常也是评定产品的指标之一。

1.2.3 机械零件设计的一般步骤

(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)根据零件的工作条件及对零件的特殊要求(如温度、腐蚀性等),选择适当的材料及热处理工艺。

(4)分析零件的主要失效形式,找出设计准则,确定出零件的基本尺寸。

(5)根据工艺性和标准化等原则及相连接和相配合的零件进行零件的结构设计。

(6)根据各方面的要求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。

计算和结构设计都是设计工作中的重要内容,计算往往要在初步结构构思的基础上将其抽象为数学模型后进行。在实际工作中,并不是所有零件都必须通过计算才能决定尺寸的,有些情况下结构设计占了设计工作量中一个较大的比例。

1.3 本课程的性质、任务和学习要求

本课程所学内容是有关机械的基础知识,是机械类各专业必修的一门重要的技术基础课程。现代世界各国之间的竞争主要表现为综合国力的竞争。提高我国的综合国力,需要创造大量优良的机械来装备各行各业,实现生产的机械化和自动化。所以,机械工业是国家综合国力发展的基石,机械设计基础课程在培养机械类创造性人才中起着不可或缺的作用。

课程的研究对象是机械中常用机构以及一般工作条件下和常用参数范围内的通用零部件,研究其工作原理、结构特点、运动和动力性能、基本设计理论、计算方法以及一些零部件的选用与维护。

机械设计基础是理论性和实践性都很强的机械类专业的主干课程之一,是机械工程师的必修课程。学生应综合应用各先修课程的基础理论和生产知识,解决常用机构和通用零部件的分析与设计问题,了解其工作原理、类型、特点及应用的基础知识,掌握常用机构的基本理论和设计方法,掌握通用零部件的失效形式、设计准则与设计方法,具备机械设计实验技能和设计简单机械及传动装置的基本技能。

机械设计基础是一门技术基础课程,较工程力学等理论课程更加结合工程实际,但它不具体研究某种机械,只是探讨各种机械中的一些共性问题和常用机构。因此,在学习过程中,要着重理解基本概念和基本原理,掌握常用机构和零部件的分析与综合,注意培养