

## 第二版前言

本书是普通高等学校机械基础课程规划教材,是在《机械设计基础》(第一版)的基础上修订而成的。本次修订主要做了以下几项工作。

(1)为满足不同专业的学习需求,教材增加了有针对性的专业设备工程应用实例,可以通过扫描“二维码”链接这些应用视频,扩充学习资源。

(2)在每一章节增加了与主要知识点关联的数字化资源,读者通过访问对应的“二维码”链接,可以获得各机构和零件的工程应用案例视频介绍,还给出了学习重点、难点及学习要点。另外,部分章节配有典型例题,加强学习效果。

(3)增加了一些机械创新案例介绍视频,以完善第三篇机械创新设计方面的内容。

(4)根据最新国家标准,对本书中的相应标准和技术规范作了更新。

(5)更正了第一版文字、插图、计算中的一些疏漏和错误。

本书内容共分三篇:常用机构、通用机械零件设计和机械创新设计,共18章。主要介绍常用平面机构的基本概念、工作原理,各种通用机械零部件的设计计算方法,创新思维和机械创新设计方法,各章均附有一定数量的思考题和习题。

参加本书编写工作的有:武汉科技大学熊禾根(第1章、第10章),李佳(第2章、第3章),李公法(第4章、第7章),闻欣荣(第5章),谢良喜(第6章),邹光明(第8章、第9章),汤勃(第11章、第12章),孙瑛(第13章),陶平(第14章),赵刚(第15章),侯宇(第16章、第17章、第18章);陶平和李贵负责第1章相关数字资源的收集及整理,刘怀广(第2章)、李贵(第3章)、杜辉(第4章)、于普良(第5章)、黄千稳(第6章)、丁喆(第7章)负责第一篇相关数字资源的收集及整理;邹光明(第8章)、王强(第9章)、秦丽(第10章)、孙伟(第11章)、汤勃(第12章)、罗石元(第13章)、严迪(第14章)、刘源洞(第15章)负责第二篇相关数字资源的收集及整理;侯宇负责第三篇相关数字资源的收集及整理。陶平、李贵、刘怀广、侯宇、邹光明进行了定稿前的修改和审核工作,全书由武汉科技大学陶平担任主编,侯宇、邹光明、李贵、刘怀广担任副主编。

在本书的编写工作中,参阅了其他版本同类教材、相关资料和文献,并得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此衷心致谢。本教材中的有关数字资源仅限教学使用。

由于编者的水平有限,疏漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2020年11月

# 第一版前言

本书是根据教育部高等学校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,为培养学生的基本设计能力、工程应用能力和创新思维能力,以适应当前教学改革的需要而编写的。

本书的主要特色如下。

(1) 注重学生工程应用能力的培养,为体现工程应用特色,以一个典型的机械装置——包装机为工程案例分析对象,贯穿于每一篇的学习之中,以加强理论知识与工程实际的联系。

(2) 为适应社会发展的要求和创新人才培养的需要,对部分设计内容进行了删减,增加了机械创新设计方面的内容,力求对学生的创新思维有一定的启发性。

(3) 合理处理传统内容与现代内容的关系,内容选取上,贯彻少而精的原则,简化公式的推导,力求重点突出、简明易懂,注意采用新标准、新规范。

(4) 为突出重点、突破难点,每章之后增加了“本章重点、难点”,以加强学习的针对性。为适应经济全球化及培养学生的国际化意识和推行双语教学的需要,本书在书末列出了各章常用名词术语的中英文对照。

本书内容分常用机构、通用机械零件设计和机械创新设计三篇,共十八章。主要介绍常用平面机构的基本概念、工作原理,各种通用机械零件的设计计算方法及机械创新设计方法。各章均附有一定数量的习题。

参加本书编写工作的有:武汉科技大学熊禾根(第1章、第10章),李佳(第2章、第3章),李公法(第4章、第7章),闻欣荣(第5章),谢良喜(第6章),邹光明(第8章、第9章),汤勃(第11章、第12章),孙瑛(第13章),陶平(第14章),赵刚(第15章),侯宇(第16章、第17章、第18章)。陶平负责全书的统稿工作,武汉科技大学孔建益、熊禾根、陶平、侯宇、邹光明、李公法进行了定稿前的修改和审核工作。各篇中的工程案例部分由陶平、熊禾根、侯宇、邹光明整理完成,杨森等同学做了本书工程案例部分插图的绘制工作。全书由陶平担任主编。

在本书的编写工作中,参阅了其他版本同类教材、相关资料和文献,并得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此衷心致谢。

由于编者的水平有限,书中错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2012年2月21日

# 目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机械、机器、机构及机械设计基本概念	(1)
1.2 本课程的内容、在教学中的地位及学习目的	(5)
习题	(7)

## 第一篇 常用机构篇

第 2 章 平面机构的自由度和速度分析	(11)
2.1 运动副及其分类	(11)
2.2 平面机构运动简图	(13)
2.3 平面机构自由度及其计算	(16)
2.4 速度瞬心及其在速度分析中的应用	(20)
习题	(23)
第 3 章 平面连杆机构	(27)
3.1 平面连杆机构的类型	(27)
3.2 平面四杆机构的基本特性	(30)
3.3 平面四杆机构的演化	(34)
3.4 平面连杆机构的设计	(37)
习题	(40)
第 4 章 凸轮机构	(43)
4.1 概述	(43)
4.2 从动件的运动规律及其选择	(46)
4.3 图解法设计凸轮的轮廓曲线	(52)
4.4 解析法设计凸轮的轮廓曲线	(55)
4.5 凸轮机构设计中的几个问题	(57)
习题	(59)
第 5 章 齿轮机构	(61)
5.1 齿轮机构的类型和特点	(61)
5.2 齿廓啮合基本定律	(62)

5.3	渐开线齿廓	(63)
5.4	渐开线标准直齿圆柱齿轮基本参数和几何尺寸的计算	(65)
5.5	渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合	(68)
5.6	渐开线齿轮的加工	(70)
5.7	渐开线齿廓的根切及最少齿数	(73)
5.8	变位齿轮	(74)
5.9	平行轴斜齿圆柱齿轮机构	(76)
5.10	直齿圆锥齿轮机构	(80)
	习题	(82)
<b>第6章</b>	<b>轮系</b>	(84)
6.1	轮系的类型	(84)
6.2	定轴轮系传动比的计算	(85)
6.3	周转轮系传动比的计算	(86)
6.4	复合轮系传动比的计算	(89)
6.5	轮系的功用	(90)
	习题	(92)
<b>第7章</b>	<b>间歇运动机构</b>	(95)
7.1	棘轮机构	(95)
7.2	槽轮机构	(98)
	习题	(99)
	工程案例分析(第一篇)	(101)

## 第二篇 通用机械零件设计篇

<b>第8章</b>	<b>机械零件设计概论</b>	(107)
8.1	机械零件设计概述	(107)
8.2	许用应力与安全系数	(109)
8.3	机械零件的接触强度	(111)
8.4	机械零件的工艺性及标准化	(113)
8.5	机械零件常用材料	(114)
	习题	(117)
<b>第9章</b>	<b>连接</b>	(119)
9.1	螺纹概述	(119)

9.2	螺旋副的受力、效率与自锁	(121)
9.3	常用螺纹的基本类型和特点	(124)
9.4	螺纹连接的基本类型和螺纹连接件	(127)
9.5	螺纹连接的预紧和防松	(130)
9.6	螺纹连接的强度计算	(133)
9.7	螺纹的材料和许用应力	(137)
9.8	提高螺纹连接强度的措施	(139)
9.9	键连接和销连接	(141)
	习题	(151)
<b>第 10 章</b>	<b>齿轮传动</b>	(153)
10.1	齿轮传动的失效形式及设计准则	(153)
10.2	齿轮常用材料、热处理及许用应力	(156)
10.3	标准直齿圆柱齿轮传动设计计算	(159)
10.4	标准斜齿圆柱齿轮传动设计计算	(168)
10.5	直齿圆锥齿轮传动设计计算	(172)
10.6	齿轮的结构形式及选择	(173)
10.7	齿轮传动的效率及润滑	(175)
	习题	(177)
<b>第 11 章</b>	<b>蜗杆传动</b>	(180)
11.1	蜗杆传动的类型和特点	(180)
11.2	蜗杆传动的主要参数与几何尺寸计算	(181)
11.3	蜗杆传动的失效形式、材料和结构	(186)
11.4	蜗杆传动的受力分析	(187)
11.5	蜗杆传动的设计	(188)
	习题	(192)
<b>第 12 章</b>	<b>带传动和链传动</b>	(194)
12.1	带传动的类型及应用	(194)
12.2	带传动的工作情况分析	(196)
12.3	V 带和 V 带轮	(201)
12.4	V 带传动的设计计算	(204)
12.5	V 带传动的张紧	(212)
12.6	链传动	(213)

习题	(218)
<b>第 13 章 轴承</b>	(220)
13.1 滚动轴承的结构、类型及代号	(220)
13.2 滚动轴承类型的选择	(225)
13.3 滚动轴承的失效形式和承载能力计算	(226)
13.4 滚动轴承的组合设计	(233)
13.5 滑动轴承的结构、类型	(238)
13.6 滑动轴承的材料	(240)
13.7 滑动轴承的润滑	(241)
13.8 非液体摩擦滑动轴承设计	(244)
13.9 液体摩擦滑动轴承简介	(246)
13.10 滚动轴承与滑动轴承的比较	(248)
习题	(249)
<b>第 14 章 轴</b>	(251)
14.1 概述	(251)
14.2 轴的结构设计	(254)
14.3 轴的强度设计	(258)
14.4 轴的刚度计算	(261)
14.5 轴的振动及临界转速的概念	(261)
14.6 轴的设计计算与实例分析	(262)
习题	(266)
<b>第 15 章 联轴器和离合器</b>	(268)
15.1 联轴器的类型及选型	(268)
15.2 离合器类型及选型	(275)
习题	(280)
工程案例分析(第二篇)	(281)

### 第三篇 机械创新设计篇

<b>第 16 章 机构的创新设计</b>	(287)
16.1 机构的演化变异创新设计	(287)
16.2 机构的组合创新设计	(289)
习题	(293)

第 17 章 机械零件的创新设计 .....	(295)
17.1 机械结构设计的原则 .....	(295)
17.2 机械结构的变元法设计 .....	(298)
习题 .....	(302)
第 18 章 机械系统的设计与创新 .....	(303)
18.1 概述 .....	(303)
18.2 机械系统的方案设计与创新 .....	(304)
工程案例分析(第三篇) .....	(313)
机械设计基础名词术语中英文对照 .....	(317)
参考文献 .....	(326)

## 二维码资源使用说明

本书部分课程资源以二维码的形式在书中呈现,读者第一次利用智能手机在微信端扫码成功后提示微信登录,授权后进入注册页面,填写注册信息。按照提示输入手机号后点击获取手机验证码,稍等片刻收到4位数的验证码短信,在提示位置输入验证码成功后,重复输入两遍设置密码,选择相应专业,点击“立即注册”,注册成功(若手机已经注册,则在“注册”页面底部选择“已有账号?绑定账号”,进入“账号绑定”页面,直接输入手机号和密码,提示登录成功)。接着提示输入学习码,需刮开教材封底防伪涂层,输入13位学习码(正版图书拥有的一次性使用学习码),输入正确后提示绑定成功,即可查看二维码数字资源。手机第一次登录查看资源成功,以后便可直接在微信端扫码登录,重复查看资源。



PPT 教学课件



教学大纲

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 机械、机器、机构及机械设计 基本概念



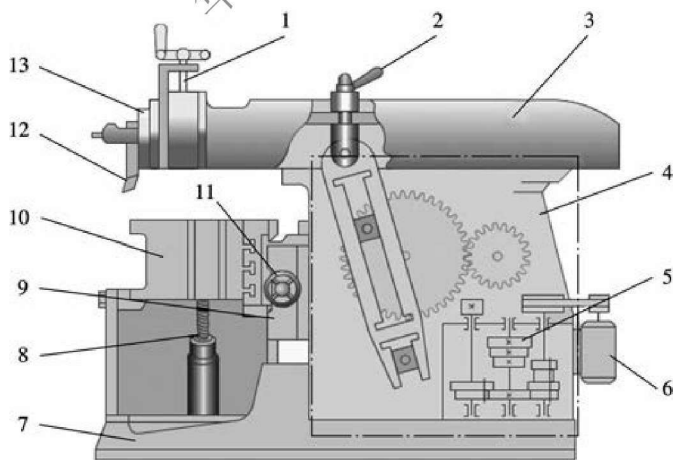
本章重点、难点

### 1.1.1 机械、机器、机构的概念

机械(machine)一词源自于希腊语“mechine”及拉丁文“mecina”,原指“巧妙的设计”,其作为一般性的机械概念,可以追溯到古罗马时期,主要是为了区别于手工工具。现代中文之“机械”一词为英语之机构(mechanism)和机器(machine)的总称。机械种类繁多,可以按多种方式进行分类,如:按功能可分为动力机械、物料搬运机械、粉碎机械等;按服务的产业可分为农业机械、矿山机械、纺织机械等;按工作原理可分为热力机械、流体机械、仿生机械等。

机器是指能执行机械运动并被用来变换或传递能量、物料与信息的装置。例如内燃机把热能变换为机械能,发电机把机械能变换为电能,起重机传递物料,金属切削机床及破碎机变换物料外形,计算机变换和传递信息,等等。这些装置都是机器。

图 1-1 所示为牛头刨床原理结构示意图。它由床身、底座、滑枕、刀架、工作台、



视频资源

图 1-1 牛头刨床原理结构示意图

- 1—调整螺杆;2—夹紧手柄;3—滑枕;4—床身;5—传动系统部分;6—电动机;7—底座;  
8—升降螺杆;9—滑板;10—工作台;11—进给手轮;12—刨刀;13—刀架

滑板、传动系统等部分组成。工作时,电动机驱动带传动、齿轮传动及摆动导杆机构,使滑枕作往复直线运动,实现刨刀对被加工工件的切削和回程工艺动作。工作台带动工件沿滑板的导轨作间歇横向进给运动。滑板还可沿床身上的垂直导轨上下移动,以调整工件与刨刀的相对位置。刀架还可绕水平轴线调至一定的角度位置,以加工倾斜平面。

图 1-2 所示为波轮式洗衣机的原理结构示意图。它由外壳、洗涤桶与甩干桶、波轮、减速器、控制器等部分组成。其主要工作原理为:装在洗涤桶底部的波轮作正、反向旋转,带动衣物上下左右不停地翻转,使衣物之间及衣物与桶壁之间在水中进行柔和摩擦,在洗涤剂的作用下实现去污清洗功能。

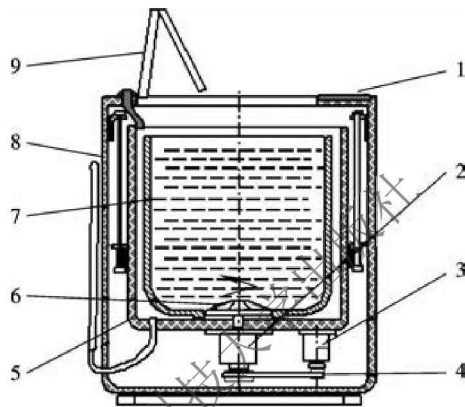


图 1-2 波轮式洗衣机原理结构示意图

1—控制器;2—减速器;3—电动机;4—带传动;5—甩干桶;6—波轮;7—洗涤桶;8—外壳;9—盖板

图 1-3 所示为单缸四冲程内燃机的原理结构示意图。它由气缸体、活塞、连杆、曲轴、齿轮、凸轮、进气阀及排气阀等组成。气体在气缸内经过压缩、点火、燃烧,推动活塞作上下往复直线运动,该运动经连杆转变为曲轴的连续回转运动后输出。齿轮

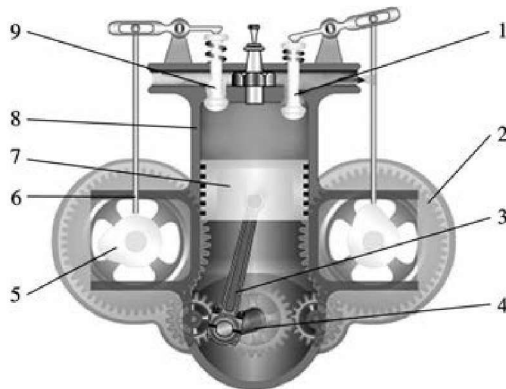


图 1-3 单缸四冲程内燃机原理结构示意图

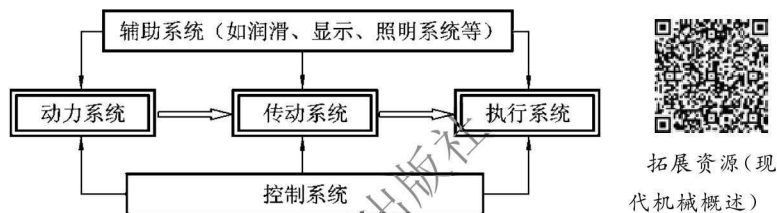
1—排气阀;2—齿轮;3—连杆;4—曲轴;5—凸轮;6—顶杆;7—活塞;8—气缸体;9—进气阀

机构及凸轮、顶杆用于控制进气阀与排气阀的规律性启闭,从而实现工艺动作的协调。

由以上三个机器的实例可以看出,机器具有如下三个特征:

- (1) 是由许多人造的实物有机组合而成的装置;
- (2) 实物之间具有确定的相对运动;
- (3) 能完成有用的机械功或变换与传递能量、物料和信息。

随着社会的发展及科技的进步,机器的种类已不胜枚举。组成机器的实物的数量也从数十个至数以万计不等。然而,从功能模块的角度来看,现代机器系统通常包括动力系统、传动系统、执行系统、控制系统和辅助系统五大部分,如图 1-4 所示。



拓展资源(现代机械概述)

图 1-4 现代机器系统的组成部分

动力系统也称原动机,是一台机器的运动和动力的源泉。通常一台机器只有一个原动机,但复杂的机器也可能包括多个原动机。常用的原动机类型有电动机(如上述牛头刨床和洗衣机的原动机)、内燃机、水轮机、风力机、太阳能发动机等。原动机的运动输出形式绝大多数情况下为旋转运动,少数情况下为直线运动。其动力输出主要取决于额定功率及实际工况。

执行系统的功能为完成机器预定的各种功能。一台机器可能只有一个执行系统,也可能根据机器的多个子功能而对应有多个子执行系统。如牛头刨床中的刨刀部分及工作台部分、洗衣机中的波轮部分及甩干桶部分等均属于执行系统。

由于机器的功能是多种多样的,其对执行系统的运动形式及运动与动力参数的需求也是多种多样的。而原动机的运动形式及运动与动力参数却是相对单一而有限的。为解决此矛盾,通常需要在机器的动力系统与执行系统之间加上不同形式传动系统(如牛头刨床中由带传动、齿轮传动及摆动导杆机构组成的传动系统,洗衣机中由带传动和减速器组成的传动系统),以实现原动机运动形式及运动与动力参数的转换,满足执行系统工艺需求。

简单和传统的机器通常只由上述三部分组成。随着机器系统越来越复杂、对机器功能及性能要求越来越高,现代绝大部分机器还包含控制系统和辅助系统部分。控制系统用于实现机械各工艺动作的协调并使其操作更便利和智能化,辅助系统用于提高机器的综合性能、安全性和操作的人性化等。

需要指出的是,原动机虽然是机器的组成部分之一,但其本身也具备机器的三个特征,因此也是一台完整的机器,如上述的单缸四冲程内燃机。

机械工程中另一个常遇到的名词为机构。机构不同于机器,在机器的三个特征中,机构只具备前两个特征,因此,机构可以传递运动和动力,但不具备能完成有用的机械功或变换与传递能量、物料或信息的功能。

如前所述,机器和机构均是由许多人造的实物有机组合而成的装置。通常情况下,在讨论机器时,将其组成实物称为机械零件、套件、组件或部件等,在不至于引起歧义的情况下,现在也常将机械套件、组件及部件等统称为机械零件。而在讨论机构时,我们则常将其组成实物称为构件。机械零件是组成机器的最基本要素,是最小的制造单元;构件是机器中最小的运动单元,构件可能是单个零件,也可能是由若干零件连接在一起组成的。

### 1.1.2 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计有三种不同的类型。

(1) 开发性设计 这种设计的创新性很强。机械所实现的功能、机械的工作原理、机械的主体结构三者中至少应该有一项是首创的。开发性设计的过程最复杂。

(2) 适应性设计 对现有的机械进行局部修改或增补的设计。

(3) 参数化设计 不改变机械的基本结构、只改变功能的范围、机械的尺度和参数的设计。

适应性设计和参数化设计是较常见的设计。

无论是哪一类机械设计,通常均应满足如下基本要求。

(1) 使用功能的要求 这方面要求主要依靠正确地选择机器的工作原理,正确地设计或选用能全面实现预定功能要求的原动机、传动系统和执行系统,以及合理配置必要的辅助系统来实现。

(2) 寿命和可靠性要求 任何机器都要求能在一定的寿命期内安全而可靠地工作。因此,必须对机器工作情况进行全面分析,采取合适的设计准则和承载能力计算方法对机器系统进行承载能力及必要的可靠性计算,以保证机器能安全可靠地工作。

(3) 经济性要求 一台机器的经济性通常体现在其全生命周期内,因此,设计阶段需要全面地考虑设计、制造、使用、维护和报废等各阶段的经济性,在原理选择、材料选择、零件结构工艺性等方面进行全面细致的考虑。

(4) 安全与环保的要求 在机械设计中必须从人机工程学的角度充分考虑机器在使用与维护等过程中操作人员的安全、便利与舒适;必须充分考虑机器在振动、噪声及环境污染等方面的环保要求。

除了上述机械设计的一般要求之外,针对不同的机器可能还会有一些特殊的要求。如对航空航天机械的高强度、高可靠性和小质量要求,对高速运行机械阻力小的

要求和动平衡要求,对大型机械便于拆装和运输的要求等。

为了较好地满足机械设计的各项要求,机械设计的过程需要遵循一定的程序。机械设计的一般程序如图 1-5 所示。计划阶段的设计目标为形成设计任务书;方案设计阶段的目标为提出原理性设计方案;技术设计阶段的目标为完成总体设计草图、部件装配草图,并绘制出零件图、部件图和总装图;技术文件编制阶段的目标为编制设计计算说明书、使用说明书、标准明细表及其他必需的技术文件等。

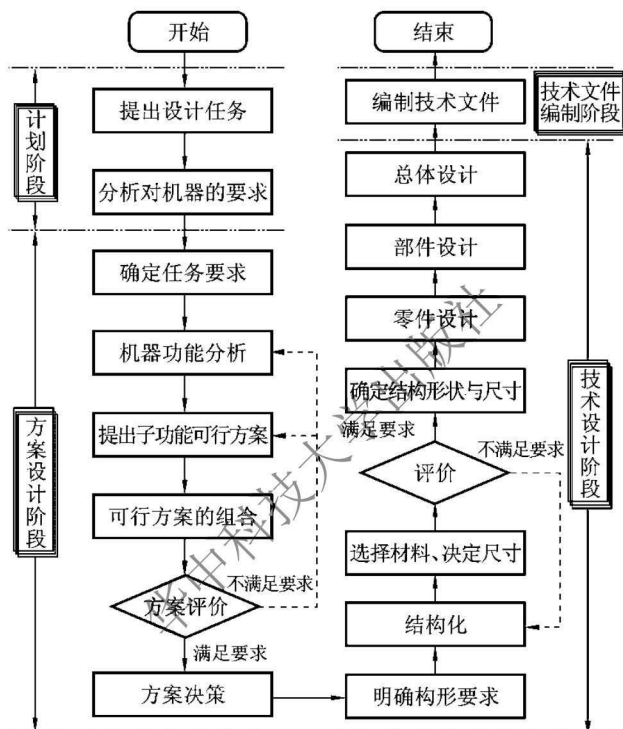


图 1-5 机械设计的一般程序

## 1.2 本课程的内容、在教学中的地位及学习目的

### 1.2.1 本课程的内容

本课程内容主要包括两大部分:第一部分主要涉及图 1-5 中“方案设计阶段”所需要的部分知识和理论,即所谓机械原理部分;第二部分主要涉及图 1-5 中“技术设计阶段”所需要的部分知识和理论,即所谓机械零件部分。

机械原理的核心理论和知识主要是关于机构的。机器中所使用的机构形式是多种多样的。这些机构有平面机构与空间机构之分、基本机构与组合机构之分等。本

课程的机械原理部分主要介绍各类机器中普遍使用的机构,即所谓常用机构,如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等,着重介绍这些机构的工作原理、特点及设计方法。

组成机器的零件的类型和结构也是多种多样的。根据零件在各类机器中的使用范围,通常可把机械零件分为通用零件和专用零件。所谓通用零件是指在各类机器中广泛使用的一些机械零件,如齿轮、轴、轴承、螺栓、键、联轴器等。专用零件是指在某类机器或某台机器中专门使用的零件,如内燃机中的曲轴、牛头刨床中的滑枕等。通用零件在类型和结构上通常比较成熟和规范,其又可进一步分为标准件(如轴承、螺栓、键和联轴器等)和其他类通用零件(如齿轮、轴等)。标准件除了类型和结构较成熟、规范外,在各类各级标准中还规定了零件的材料及尺寸系列,因此标准件的设计通常属于选择性设计,即根据工作要求选择合适型号的标准件即可。机械零件的分类如图 1-6 所示。

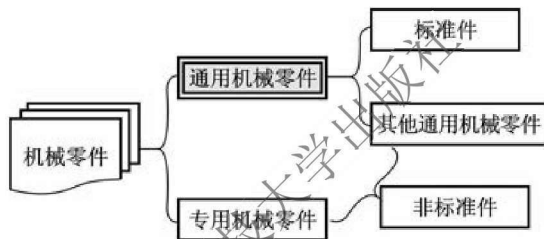


图 1-6 机械零件的分类

基于上述关于机械零件的分类,本课程第二部分主要介绍通用机械零件的类型、工作原理、失效形式、设计准则及设计计算方法等内容。

### 1.2.2 本课程在教学中的地位及学习目的

从所涉及的学科来说,本课程属于机械工程领域。然而,各行业及工程领域却又大都离不开机械系统。如化工行业、纺织行业等,均包含大量的机械工艺装备。此外,工艺与装备也是密切相关的。为此,作为一门介绍机械学科基本理论和知识的课程,机械设计基础主要面向对象为近机类和非机类工科学子或机械与机电类专科生、高职高专类学生等,是这些学生培养教学体系中一门较为重要的技术基础类课程。

通过本课程的学习,学生应该了解机械设计的一般过程和规律;了解和掌握工程中常用的机构类型、特点及其选择与设计方法;了解与掌握通用机械零件的类型、特点及工作能力设计计算的基本理论与方法;具备对一般简单机械的分析和设计能力。从而为后续的专业课程学习及未来的工作奠定基础。



典型专业  
设备简介

## 习 题

- 1-1 什么是机器和机构?二者有何区别与联系?
- 1-2 什么是机械零件和构件?二者有何区别与联系?
- 1-3 机器通常包括哪几个组成部分?指出下列常见机器的各组成部分:① 自行车;② 汽车;③ 电风扇。
- 1-4 机械设计可分为哪三种类型?
- 1-5 机械设计应该满足哪些基本要求?
- 1-6 机械设计的一般过程可分为哪几个阶段?

华中科技大学出版社

华中科技大学出版社

# 第一篇 常用机构篇

机器由机构组成,任何一部机器的工作过程都包含着多种机构的运动过程,要分析机器的工作原理,首先应了解组成机器的各机构的运动特点。机器中所使用的机构形式多种多样。这些机构有平面机构与空间机构之分、有基本机构与组合机构之分等。本篇主要介绍各类机器中普遍使用的机构,即所谓常用机构,如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等,着重介绍这些机构的工作原理、结构特点、应用及设计的基本方法。

华中科技大学出版社