



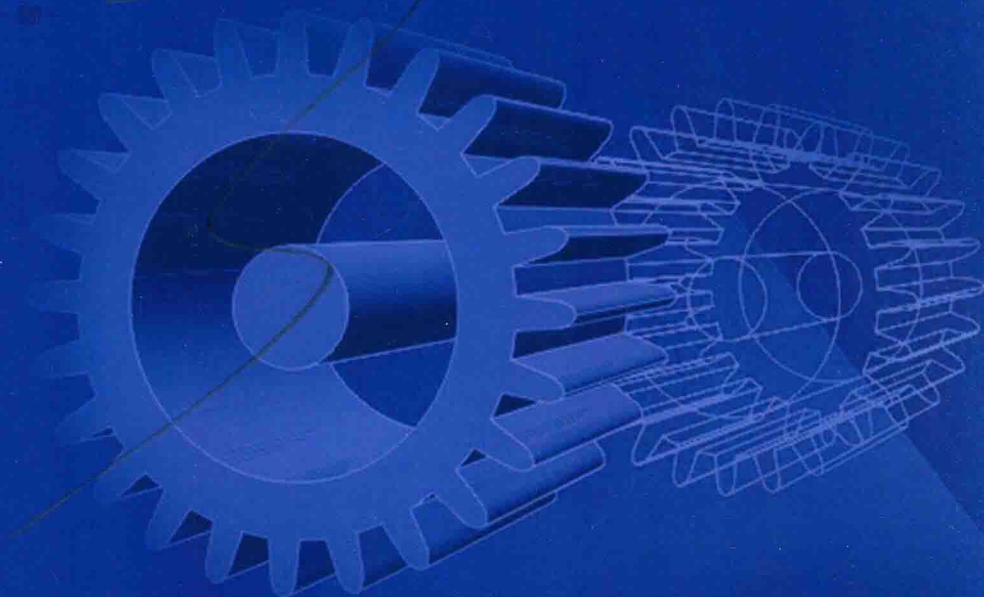
“十三五”普通高等教育规划教材

机械原理

JIXIE YUANLI

主 编 王爱芳 陈国辉

主 审 杨松华



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”普通高等教育规划教材

机械原理

主 编 王爱芳 陈国辉
副主编 樊秀芹 冯 旻
主 审 杨松华

北京邮电大学出版社
• 北京 •

内 容 简 介

本书是根据 1995 年国家教育委员会颁布的《高等工业学校机械原理课程教学基本要求》而编写的。本书主要研究机构的组成原理、机构运动学、机器动力学、各种机器中常用机构的运动及动力性能分析与设计方法等。

机械原理是许多产品和现代技术装备创新的基础与技术创新的核心,它不仅对培养学生的工程素质和综合能力具有重要的作用,而且在整个机械类创新型人才培养的全局中占据重要的教学地位。通过本书的学习,可使学生掌握机构学和机器动力学的基本理论、基本知识和基本技能,并初步具有机构分析和设计机构的能力。

全书共分 13 章,内容包括绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械的效率和自锁、机械的平衡、机械的运转及其速度波动的调节、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、其他常用机构及组合机构、齿轮系及其设计、机械系统的方案设计。各章均附有一定数量的练习题,以便学生复习巩固所学知识。本书可作为高等院校机械类及近机类各专业的教材,也可作为相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 王爱芳,陈国辉主编. --北京:北京邮电大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5635-5334-1

I. ①机… II. ①王… ②陈… III. ①机械原理 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 306435 号

书 名	机械原理
主 编	王爱芳 陈国辉
策 划 人	刘国辉
责任编辑	韩 霞
出版发行	北京邮电大学出版社
社 址	北京市海淀区西土城路 10 号(100876)
电话传真	010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真)
网 址	www.buptpress3.com
电子信箱	ctrd@buptpress.com
经 销	各地新华书店
印 刷	北京泽宇印刷有限公司
开 本	787 mm×1 092 mm 1/16
印 张	17.5
字 数	445 千字
版 次	2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5334-1

定 价:42.00 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

前 言

为适应目前我国教育事业改革的发展趋势,特别是为满足广大应用型本科院校培养创新应用型人才的需要,编者编写了此书。本书可作为高等院校机械类及近机类各专业的教材,也可作为相关工程技术人员参考使用。

机械原理是机械类专业中研究机械共性问题的一门主干技术基础课。它的任务是使学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能,并初步具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的能力。它在培养高级工程技术人才的全局中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创造能力的作用。为实现机械原理课程教学的目标,本书着重于讲述有关机械原理的基本概念、基本理论和基本方法,并使论述尽可能做到深入浅出,图形简捷、形象、直观,符合学生的认知规律。同时,编者特别注重在机械原理课程传统板书教学的基础上,结合当前多媒体教学的特点,使教科书与多媒体教学课件有机地协调配合,以提高学生的听课效率。本书尽可能多地增加一些由浅入深的典型例题和较详细的解题步骤,并在各章前辅以案列教学,各章后附有一定数量的练习题,以最大限度地为教师执教和学生自学提供方便。另一方面,由于计算机技术的发展,在机构分析与设计方面加强了解析法的阐述,保留了形象直观、易于理解且仍有实际应用价值的图解法。为加强培养学生们的设计思维和设计创新能力以及机构的选型、分析与设计的综合能力,适当增加了有关机构变异创新、组合创新和机械系统运动方案设计的内容。

本书由王爱芳、陈国辉担任主编,樊秀芹、冯旻担任副主编。具体编写分工如下:黑龙江科技大学的王爱芳(第10、11、12章)、陈国辉(第2、3、4章)、樊秀芹(第1、8、9章)、冯旻(第5、6章)、东北石油大学的祖海英(第7章)、黑龙江工业学院的王洪英(第13章)。本书由王爱芳、陈国辉负责统稿,由黑龙江科技大学的杨松华担任主审。

由于编者水平有限,漏误及不当之处在所难免,敬请广大同仁和读者指正。

编 者
2017 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 本课程研究的对象及内容	2
第二节 学习本课程的目的和作用	3
第三节 如何进行本课程的学习	3
第四节 机械原理学科发展现状简介	4
练习题	5

第一篇 机构的组成与分析

第二章 平面机构的结构分析	7
第一节 机构结构分析的内容及目的	9
第二节 机构的组成	9
第三节 平面机构运动简图	11
第四节 机构具有确定运动的条件	14
第五节 平面机构的自由度计算	15
第六节 平面机构的组成原理、结构分类及结构分析	20
练习题	24
第三章 平面机构的运动分析	28
第一节 机构运动分析的任务、目的和方法	30
第二节 用速度瞬心法对机构进行速度分析	31
第三节 用矢量方程图解法作机构的运动分析	34
第四节 用解析法作机构的运动分析	39
练习题	45

第二篇 机械系统动力学

第四章 平面机构的力分析	50
第一节 机构力分析的任务、目的和方法	52
第二节 构件惯性力的确定	54
第三节 不考虑摩擦时机构的力分析	55
第四节 考虑摩擦时机构的受力分析	62
练习题	69
第五章 机械的效率和自锁	73
第一节 机械的效率	74
第二节 机械的自锁	77
练习题	80
第六章 机械的平衡	83
第一节 概述	84
第二节 刚性转子的平衡计算	85
第三节 刚性转子的平衡试验	89
第四节 转子的许用不平衡量	91
第五节 平面机构的平衡	92
练习题	95
第七章 机械的运转及其速度波动的调节	97
第一节 概述	98
第二节 机械运动方程式及等效量	100
第三节 机械运动方程式的建立及求解	103
第四节 机械的速度波动及其调节方法	105
练习题	112

第三篇 基本机构及其设计

第八章 平面连杆机构及其设计	115
第一节 平面连杆机构及其特点	116

第二节 平面四杆机构的类型和应用	118
第三节 平面四杆机构的基本知识	124
第四节 平面四杆机构的设计	130
练习题	139
第九章 凸轮机构及其设计	142
第一节 凸轮机构的概述	143
第二节 从动件的运动规律	146
第三节 凸轮轮廓曲线的设计	154
第四节 凸轮机构基本参数的确定	161
练习题	166
第十章 齿轮机构及其设计	168
第一节 概述	171
第二节 齿轮的齿廓曲线	173
第三节 渐开线齿廓及其啮合特性	175
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸	177
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	180
第六节 渐开线齿廓切削加工	185
第七节 变位齿轮的概述	190
第八节 斜齿圆柱齿轮机构	193
第九节 圆锥齿轮机构	199
第十节 蜗杆传动机构	203
练习题	205
第十一章 其他常用机构及组合机构	208
第一节 棘轮机构	209
第二节 槽轮机构	213
第三节 不完全齿轮机构	215
第四节 凸轮间歇运动机构	216
第五节 螺旋机构	217
第六节 组合机构	219
练习题	222

第四篇 机构组织系统及其设计

第十二章 齿轮系及其设计..... 225

第一节 齿轮系及其分类..... 226

第二节 定轴轮系的传动比..... 228

第三节 周转轮系的传动比..... 230

第四节 复合轮系的传动比..... 232

第五节 轮系的功用..... 234

第六节 行星轮系的效率..... 238

第七节 行星轮系的类型选择及设计的基本知识..... 239

第八节 其他新型行星齿轮传动简介..... 244

练习题..... 247

第十三章 机械系统的方案设计..... 250

第一节 机械系统的方案设计概述..... 251

第二节 机构的组合..... 253

第三节 机构选型及机构系统运动方案设计..... 256

第四节 构件间运动的协调与机械系统运动循环图..... 262

第五节 机械系统方案设计举例..... 266

练习题..... 269

参考文献..... 271

第一章 绪 论

本章教学目标

- (1) 明确本课程研究的对象及内容；
- (2) 了解本课程的目的和作用；
- (3) 了解本课程的学习方法；
- (4) 了解机械原理学科发展现状。

本章教学要求

能力目标	知识要点	权重/%	自测分数
明确本课程的研究对象和内容	(1) 本课程的研究对象:机构和机器 (2) 本课程的研究内容 ① 机构结构分析的基本知识 ② 机构的运动分析 ③ 机器动力学 ④ 常用机构的分析与设计 ⑤ 机械传动系统运动方案的设计	20	
了解本课程的性质、特点、目的和作用	(1) 把握本课程的性质和特点 (2) 了解本课程的目的和作用	30	
了解本课程的学习方法	(1) 掌握本课程的学习方法 (2) 注意把一般的原理和方法与研究实际机构和机器时的具体运用密切联系起来,并注意将其应用于实际,做到理论联系实际	20	
对机械原理学科的发展现状有所了解	(1) 现代机械日益向高速、重载、高精度、高效率、低噪声等方向发展,当前在自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构和机电光液广义机构等的研制上有很大的进展 (2) 在机械的分析和综合中日益广泛地应用了计算机 (3) 在机械原理的各个领域,每年都有新的突破,但是,作为一门技术基础课程,将只研究有关机械的一些最基本的原理和方法	30	

第一节 本课程研究的对象及内容

机械是机器和机构的总称,机械原理的研究对象就是机构和机器。

理论力学等课程中对一些机构(如连杆机构、齿轮机构等)的运动学及动力学问题进行过研究。在工程实际中,常见到的有带传动机构、链传动机构、凸轮机构、螺旋机构以及日常生活中的缝纫机、洗衣机、复印机、发电机和电动机等。各种机构都是用来传递与变换运动和力的可动的装置。至于机器是一种人为实物组合的具有确定机械运动的装置,都是根据某种使用要求而设计的执行机械运动的装置,可用来变换或传递能量、物料和信息。例如,电动机或发电机用来变换能量,加工机械用来变换物料的状态,起重运输机械用来传递物料,计算机用来变换信息,等等。

在日常生活和生产中,人们接触过许多机器。各种不同的机器具有不同的形式、构造和用途,但通过分析可以看到,这些不同的机器就其组成来说,都是由各种机构组合而成的。这些机构通常可分为 4 部分,即原动件、传动机构、执行机构和控制系统。原动件提供动力,传动机构将运动和动力传递给执行机构,控制系统则用于处理机器各组成部分的协调工作,以及与外部其他机器和原动机之间的关系协调。例如,图 1-1 所示的内燃机就包含着由气缸 9、活塞 8、连杆 3 和曲轴 4 组成的连杆机构,由齿轮 1 和 2 组成的齿轮机构以及由凸轮轴 5 和阀门推杆 6、7 所组成的凸轮机构等,其中,活塞 8 是原动件,连杆机构、齿轮机构及凸轮机构是传动机构,曲轴 4 是执行机构。所以可以说,机器是一种可用来变换或传递能量、物料与信息的机构的组合。

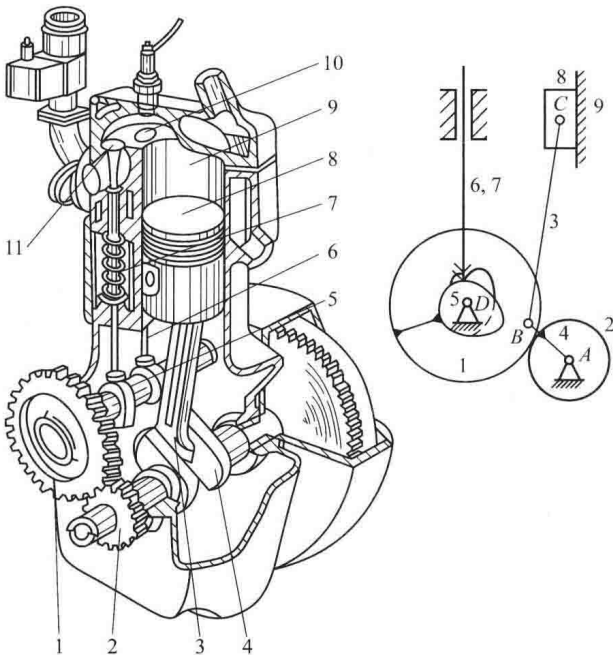


图 1-1 内燃机

本课程研究的内容主要包括以下几个方面。

(1) 首先,研究机构是怎样组成的,以及机构具有确定运动的条件;其次,研究机构的组成原理、机构的结构分类以及如何用简单的图形把机构的结构状况表示出来,即如何绘制机构运动简图的问题;最后,研究平面机构的运动分析。

(2) 机器动力学问题。机器动力学研究的内容主要是两类基本问题:一是分析机器在运转过程中其各构件的受力情况以及这些力的做功情况;二是研究机器在已知外力作用下的运动、机器速度波动的调节和不平衡惯性力的平衡问题。

(3) 基本机构及其设计问题。常用的机构类型有:齿轮机构、凸轮机构、连杆机构,还有各种间歇机构等。本书将用很大篇幅讨论这些机构的设计理论和设计方法。

(4) 机构组合系统及其设计问题。本课程将讨论在进行具体机械设计时机构的选型、组合、变异及机械系统的方案设计等问题,以便对这方面的问题有一个概略的了解,并初步具有拟定机械系统方案的能力。

第二节 学习本课程的目的和作用

作为机械类各专业的同学,在今后的学习和工作中总要遇到许多关于机械的设计和使用方面的问题。本课程学习的是关于机械的组成原理、各种机械的工作原理、运动分析以及设计的理论和方法,这些内容对机械类各专业的认识实习、生产实习都有一定的帮助。所以,它是机械类各专业必修的一门重要的技术基础课。

现代世界各国间的竞争主要表现为综合国力的竞争。要在国民经济各部门逐步实现机械化和自动化,就需要创造出大量的、种类繁多的、新颖优良的机械来装备各行各业,为各行业的高速发展创造有利条件。而在创新机器的过程中,机构的正确运用,机械运动方案的合理选择,各种机构的设计和创新都需要机械原理的知识。所以,学习本门课程有利于学生掌握机构分析和设计的基本理论和方法,更新观念。

第三节 如何进行本课程的学习

在学习本课程的过程中,要认识到本课程是介于基础理论和工程实际之间的一门专业技术基础课,其内容多,概念多,方法多,有实际和抽象的双重特性。它不具体研究某种机械,而只是对各种机械中的一些共性问题 and 常用的机构进行较为深入的探讨。

为了学好本课程,在学习过程中,要注意以下几点。

(1) 注意搞清基本概念,理解基本原理,注意归纳和总结。本门课程的基本概念、原理比较多,学习过程中要注意区别各概念、原理的异同,如机器和机构、周转轮系、定轴轮系和差动轮系的异同;归纳总结反转法原理的实质,以便理解凸轮、齿轮、平面连杆机构中对反转法的应用。

(2) 要注意培养自己运用所学的基本理论和方法去发现、分析和解决工程实际问题的能力。解决工程实际问题往往可以采用多种方法,所得结果一般也不是唯一的,这就涉及分析、

判断、决策的能力,它是一个工程技术人员所必须具备的基础能力,在学习中必须有意识地加以培养。

(3) 将机、电、液、气的应用技术结合起来。进入 21 世纪,在计算机和计算技术快速发展的今天,计算机快速计算和图形功能已引入机械设计中,改革和革新了机械分析与设计方法,这就要求我们在学习过程中注意更新观念,将机、电、液、气的应用技术结合起来考虑问题,并积极应用计算机和计算技术发展和创新机械。

(4) 要养成综合分析、全面考虑问题的习惯,坚持科学严谨的、一丝不苟的工作作风。

第四节 机械原理学科发展现状简介

当今世界正经历着一场新的技术革命,新概念、新理论、新方法、新工艺不断出现,作为向各行各业提供装备的机械工业,也得到了迅猛的发展。

现代机械日益向高速、重载、高精度、高效率、低噪声等方向发展,对机械提出的要求也越来越苛刻。有的需要用宇宙空间,有的要在深海作业,有的小到能沿人体血管爬行,有的又是庞然大物,有的速度数倍于声速,有的又要作亚微米级甚至纳米级的微位移,如此等等。处于机械工业发展前沿的机械原理学科,为了适应这种情况,新的研究课题与日俱增,新的研究方法日新月异。

为适应生产发展的需要,当前在自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构和机电光液广义机构等的研制上有很大进展。在机械的分析与综合中,也由只考虑其运动性能过渡到同时考虑其动力性能,考虑到机械在运转时构件的振动和弹性变形,运动副中的间隙和构件的误差对机械运动及动力性能的影响,以及如何对构件和机械进一步做好动力平衡的问题。

在连杆机构方面,重视了对空间连杆机构、多杆多自由度机构、连杆机构的弹性动力学和连杆机构的动力平衡的研究;在齿轮机构方面,发展了齿轮啮合原理,提出了许多性能优异的新型齿廓曲线和新型传动,加快了对高速齿轮、精密齿轮、微型齿轮的研制;在凸轮机构方面,十分重视对高速凸轮机构的研究,为了获得动力性能好的凸轮机构,在凸轮机构推杆运动规律的开发、选择和组合上做了很多工作。此外,为了适应现代机械高速度、快节拍、优性能的需要,还发展了高速高定位精度的分度机构,具有优良综合性能的组合机构,以及各种机构的编译和组合等。

目前,在机械的分析和综合中日益广泛地应用了计算机,发展并推广了计算机辅助设计、优化设计、考虑误差的概率设计,提出了多种便于对机械进行分析和综合的数学工具,编制了许多大型通用或专用的计算程序。此外,随着现代科学技术的发展,测试手段的日臻完善,也加强了对机械的实验研究。

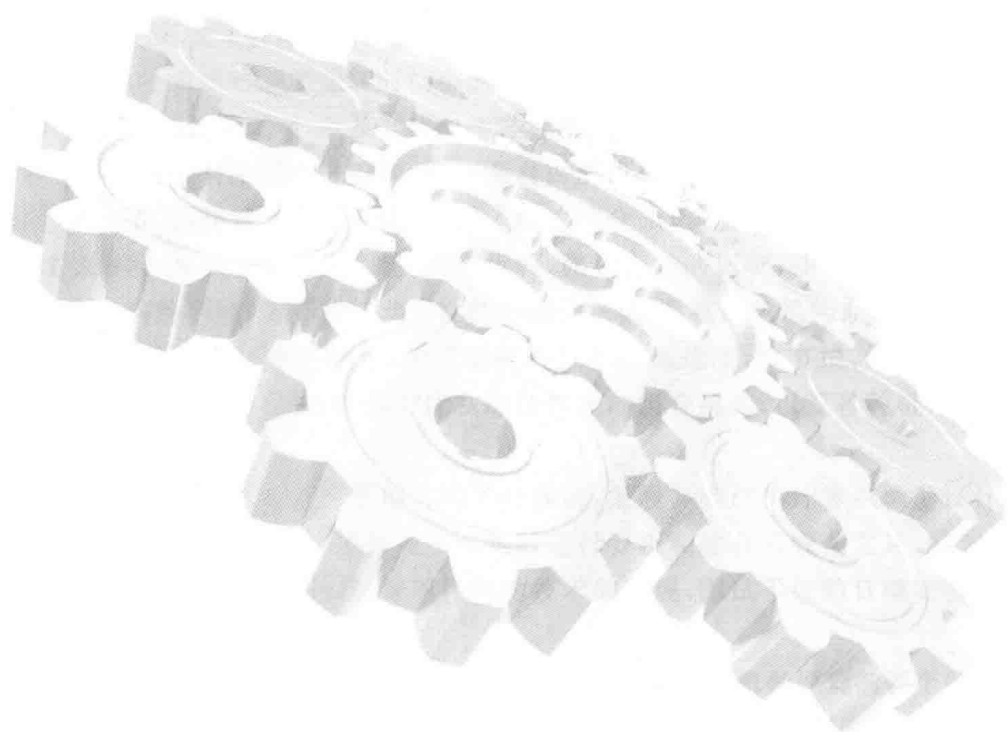
总之,作为机械原理学科,其研究领域十分广阔,内涵非常丰富。在机械原理的各个领域,每年都有大量的内容新颖的文献资料涌现。但是,作为一门技术基础课程,将只研究有关机械的一些最基本的原理和方法。

练 习 题

1. 本课程的研究对象是什么?
2. 本课程研究的内容主要有哪几个方面?
3. 如何学习本课程?
4. 机器有哪些特征?
5. 机器和机构有哪些区别和联系?

第一篇

机构的组成与分析



第二章 平面机构的结构分析

本章教学目标

- (1) 机构结构分析的内容及目的；
- (2) 机构的组成；
- (3) 平面机构运动简图；
- (4) 机构具有确定运动的条件；
- (5) 平面机构的自由度计算；
- (6) 平面机构的组成原理、结构分类及结构分析。

本章教学要求

能力目标	知识要点	权重/%	自测分数
了解机构结构分析的内容及目的	机构结构分析的内容及目的	5	
掌握机构的组成	(1) 构件的定义 (2) 运动副的定义及组成 (3) 运动链与机构的定义和区别	10	
掌握平面机构运动简图的概念	(1) 平面机构运动简图的定义 (2) 平面机构运动简图的绘制	15	
掌握机构具有确定运动的条件	(1) 平面机构自由度的定义 (2) 机构具有确定运动的条件	15	
掌握平面机构的自由度计算	(1) 构件、运动副、约束和自由度的关系 (2) 计算平面机构自由度时应注意的事项	30	
掌握平面机构的组成原理、结构分类及结构分析	(1) 平面机构的组成原理 (2) 平面机构的结构分析 (3) 平面机构的高副低代	25	

案例

图 2-1(a)所示为冲床的结构图,下面是平面机构的结构分析在冲床的结构分析上的应用。首先画机构运动简图。

解 该机构的动作原理是当偏心轮 2 在电动机带动下作顺时针旋转运动时,通过构件 3、4、5 带动构件 6(滑块即冲头)作上下往复移动完成冲压工艺动作。机构由机架 1、原动件 2、从动件 3、4、5、6 组成,共 6 个构件,属于平面机构。

机构中构件 1、2,构件 2、3,构件 3、4,构件 4、1,构件 3、5,构件 5、6 之间的相对运动为转动,即两构件为转动副,转动副中心分别位于点 O_1 、 A 、 B 、 O_2 、 C 、 D ;构件 6、1 之间的相对运动为移动,即两构件间形成移动副,移动副导路方向与 O_2D 重合。

选择与各构件运动平面平行的平面作为绘制机构运动简图的视图平面。

选择比例尺,分别量出各构件的尺寸,并选择合适的位置和角度,使图形清晰;绘出机构的运动简图,且标出原动件及其转动方向,如图 2-1(b)所示。

然后对该机构进行自由度计算:

$$F=3\times n-2P_L-P_H=3\times 5-2\times 7=1$$

由于该机构的原动件和自由度的个数相同,所以该机构运动确定。

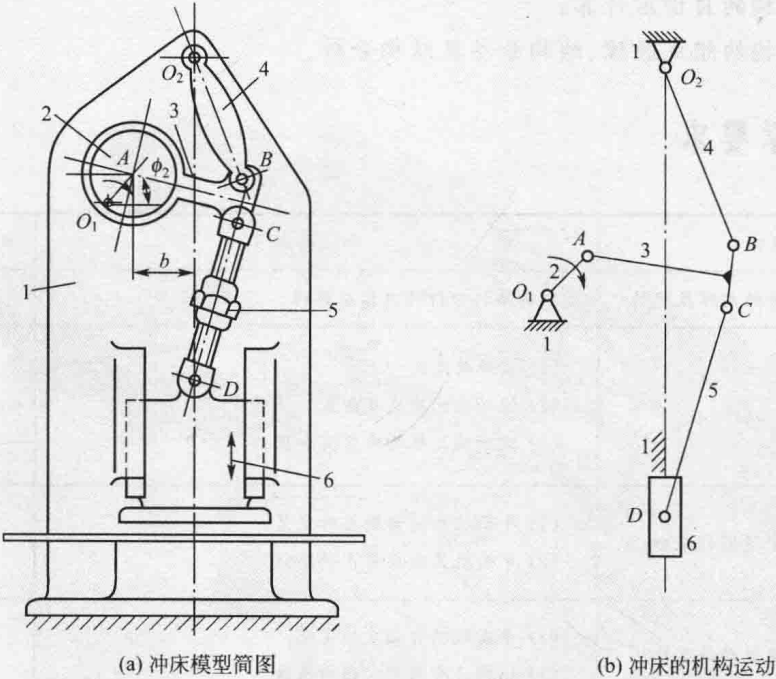


图 2-1 冲床

第一节 机构结构分析的内容及目的

机构的结构分析研究的主要内容及目的如下。

(1) 研究组成机构的结构要素及机构运动简图的绘制方法,即研究如何用简单的图形表示机构的结构和运动状态。

(2) 了解机构具有确定运动的条件,然后判断机构是否具有确定的运动。机构要能正常工作,一般必须具有确定的运动,因而必须知道机构具有确定运动的条件。

(3) 研究机构的组成原理及结构分类。研究机构的组成原理,有利于新机构的创造,而根据组成原理,将各种机构进行分类,有利于对机构进行运动、动力分析和结构设计。

第二节 机构的组成

通常,机器是由机构组成的,而机构的设计常常是整个机器设计的第一步。因此,首先必须了解机构是怎样组成的,并对新设计的机构能否实现规定的运动做出准确的判断。

一、构件

机器是由机构组成的,机构是一个构件系统,构件是作为一个整体参与机构运动的刚性单元,是机器中最小的运动单元。如图 1-1 所示内燃机中的连杆机构,就是由缸体 9、活塞 8、连杆 3 和曲轴 4 四个构件组成的一个机构。

一个构件可能是一个零件,也可能是几个零件的刚性连接的整体。图 1-1 中的曲轴 4 是一个零件,同时也是连杆机构中的一个构件;而连杆 3 是一个构件,由连杆体、连杆头、轴瓦、螺栓、螺母等零件刚性连接而成的,如图 2-2 所示。零件是制造的最小单元。

本课程以构件作为研究的基本单元。需要说明的是,从现代机器发展趋势看,机构中的构件可以是刚性的,也可以是弹性或是挠性的,或是由液压、气动、电磁件构成的。所以,现代机器中的机构不一定是纯刚性构件的机构,但本书中着重讨论刚性构件。

二、运动副

构件组成机构时,需要以一定的方式与其他构件相互连接。在两构件相互连接之后,互相之间仍需保留某些相对运动。这种由两个构件直接接触组成的可动连接,称为运动副。而两构件上能构成运动副的两接触表面称为运动副元素,如轴与

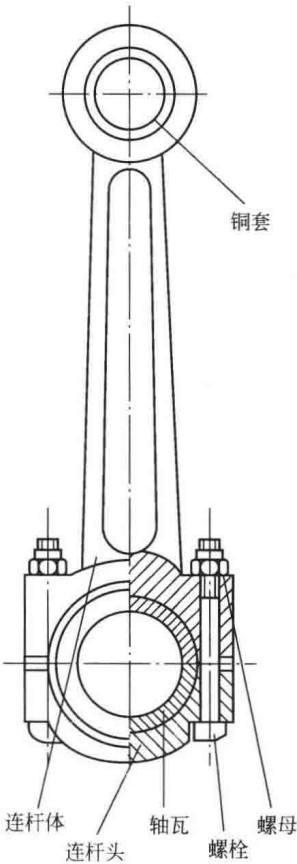


图 2-2 内燃机连杆机构