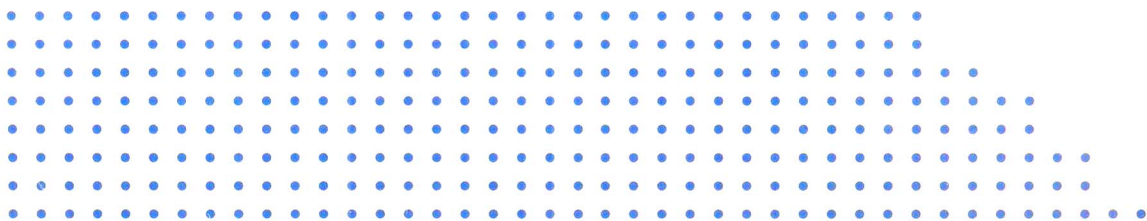


高等学校教材

机械原理

(第二版)

崔可维 熊 健 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

机械原理

Jixie Yuanli

(第二版)

崔可维 熊 健 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书根据教育部机械基础课程教学指导分委员会制订的“机械原理课程教学基本要求”和作者多年教学实践经验编写而成,是吉林大学国家工科机械基础教学基地组织编写的机械基础系列课程教材之一。

全书共11章。第1章为绪论,第2、3章介绍机构的结构分析、运动分析和力分析;第4~8章介绍常用机构(连杆、凸轮、齿轮、轮系、间歇和其他常用机构)的知识;第9、10章介绍机械速度波动的调节和机械的平衡;第11章介绍机械系统的方案设计。各章后均配有习题,书后配有附录和部分习题参考答案,本书配有《机械原理CAI课件》可供教师在授课时参考。

本书可作为高等院校工科机械类相关专业的教学用书,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 崔可维, 熊健主编. --2版. --北京: 高等教育出版社, 2012.2

ISBN 978-7-04-034004-4

I. ①机… II. ①崔… ②熊… III. ①机构学-高等学校-教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第269741号

策划编辑 卢广
责任校对 王雨

责任编辑 卢广
责任印制 韩刚

封面设计 张志

版式设计 王莹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京市密东印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 17.5
字数 430千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2006年3月第1版
2012年2月第2版
印 次 2012年2月第1次印刷
定 价 33.80元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 34004-00

第二版前言

机械原理是研究机器与机构的组成原理的一门学科,其主要任务是培养学生进行机械运动方案设计的能力,掌握对机械进行结构分析、运动分析、受力分析等方法。任何机械产品的创新与改造,首先要对其结构和运动进行分析。所以,机械原理是重要的技术基础课程之一。

本书是在第一版教材基础上,根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会最新制订的“机械原理课程教学基本要求”,结合作者几年来教学实践的经验修订而成。

本次修订仍然强调机械原理课程的基本概念、基本理论和机构分析与设计基本方法的理解和掌握。在内容方面,考虑到机械类学科工程实际的需要,适当增加了分析问题和解决问题的具体方法和实例,以帮助学生提高分析、解决工程实际问题的能力。

参加本书修订工作的有崔可维(第1、3、9章),卢秀泉(第2章),罗彦茹(第4章),王聪慧(第5章),董景石、崔可维(第6章)、熊健(第7章),张小江(第8章),李晓韬(第10章),冯增铭(第11章)。本书由崔可维、熊健主编。

本书承吉林大学陈晓华教授主审,并给予大力的指导,在此表示衷心感谢。

本次修订工作得到吉林大学机械原理及设计教研室全体教师以及使用过本书的广大兄弟院校教师的大力支持,并提出了一系列宝贵建议。在此一并表示衷心的感谢!

本书配有教学课件,可供学生和讲课教师参考与辅助教学。课件采用PPT格式,方便讲课教师进行个性化修改。本书所附《机械原理CAI课件》由熊健主编。

由于编者水平有限,书中难免有不当及错漏之处,诚恳地希望广大读者批评指正。

编 者

2011年10月

第一版前言

根据教育部机械基础课程教学指导分委员会讨论通过的《机械原理课程教学基本要求(讨论稿)》,强调机械原理课程在培养高级技术人才中的作用,在高校进行学分制并缩减学时的重大教学改革中,强调机械原理教学以机构和机械设计为主线,使设计和分析紧密结合。在注重培养学生创新意识和创新设计能力的主导思想下,总结我校机械原理教学实践经验,并汲取兄弟院校教材的经验编写了本教材。

本书强调机械原理课程的基本概念、基本理论和机构分析与设计基本方法的理解和掌握,并考虑到机械原理课堂教学与实践教学紧密结合的需要。为了使学生学习的知识能够很好地用于实际,并将学过的知识融会贯通,在本次编写的过程中,增加了机械原理课程设计的题目和程序;有的章节增加了例题和机构简图,以便学生对于课程内容的掌握。

本书由秦荣荣、崔可维主编,参加本书编写的有:吉林大学机械原理及设计教研室秦荣荣(第3、4、5、9、10章,附录1)、崔可维(第1、2、6、7、8、11章)、冯增铭(附录2),吉林大学吴迪、熊健参加了第2、7章的编写工作,长春工程学院刘大为参加了第8、9章的编写工作。教材中的程序由秦荣荣、冯增铭调试;习题由吉林大学机械原理及设计教研室吴迪、熊健、王聪慧、董景石整理和解答。在本书的编写过程中得到了吉林大学机械原理及设计教研室全体教师的大力支持,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

本书在吉林省内各高校交流中,得到了省内各高校机械原理教师的认同。在本次编写的过程中,对于省内各高校机械原理教师给予的帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

本书得到了吉林大学教材建设基金的资助,在此表示感谢。

本书承教育部机械基础课程教学指导分委员会委员、吉林省机械原理教学研究委员会理事长、长春理工大学潘毓学教授主审,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,诚恳地希望广大读者批评指正。

编 者

2004年10月

前言

本书编写人员自 1997 年起就开始参加北京市注册结构工程师考试的考前辅导培训工作,总结多年的教学经验,结合考试实践,正式出版本考试复习教程和复习题集,经过多年的使用和不断修订完善,本套考试辅导用书已经成为值得考生信赖的考前辅导和培训用书。

本习题集依托考试大纲和历年考题,基于考试培训老师多年培训辅导的经验和各科目出题特点编写而成,共有习题 2600 多道,相当于每年考试试题量(180 道题)的 14 倍多;同时本书为每道习题均提供了参考答案,为绝大多数习题提供了解题提示,并在习题集后编制了两套模拟试题。

我们建议考生先认真复习好考试辅导教材,真正掌握考试大纲要求掌握的基本概念和标准、规范内容。在此基础上,再认真做这本复习题集,通过解答习题,参照书中提供的答案和提示,纠正错误概念,必将有利于巩固复习成果,进一步理解考试大纲的要求,更加熟悉各门课程中的基本概念及标准、规范。在复习基本完成之后,再模拟考试做一遍模拟试题,以检验复习效果。相信这本复习题集能帮助考生提高解题的准确率和解题速度,以帮助考生顺利通过考试。

2009 年 3 月,住房和城乡建设部与人力资源和社会保障部共同批准了《勘察设计注册工程师资格考试公共基础考试大纲》,新大纲对上午段的考试内容和考题配置做了较大的调整,本习题集及模拟试题也做了相应的调整,请考生注意。

本书主编: 曹纬浚

各科目习题编制的作者如下:

高等数学	吴昌泽、范元玮	工程经济	陈向东
普通物理	程学平	法律法规	李魁元
普通化学	谢亚勃	土木工程材料	朋改非
理论力学	刘 燕	工程测量	杨松林
材料力学	钱民刚	土木工程施工与管理	刘宝生
流体力学	李兆年	结构力学	刘世奎
电工电子技术	许怡生	结构设计	冯 东、张丽娟
信号与信息技术	许怡生	土力学与地基基础	王 健、张怀静
计算机应用基础	许小重	结构试验	孙惠镐

注册工程师考试用书编委会

2012 年 1 月

目 录

第1章 绪论	1	6.6 渐开线齿廓的根切及最少齿数	106
1.1 机械原理的研究对象和内容	1	6.7 变位齿轮传动	107
1.2 机械原理课程的地位及学习本课程的目的和方法	3	6.8 斜齿圆柱齿轮传动	115
第2章 平面机构的结构分析	4	6.9 蜗轮蜗杆传动	121
2.1 基本概念	4	6.10 直齿圆锥齿轮机构	124
2.2 机构运动简图	5	习题	128
2.3 平面机构自由度的计算	8	第7章 轮系及其设计	130
2.4 平面机构的高副低代、结构分析与组成原理	12	7.1 轮系及其类型	130
习题	15	7.2 定轴轮系传动比计算	132
第3章 平面机构的运动分析和力分析	18	7.3 周转轮系传动比计算	133
3.1 速度瞬心	18	7.4 混合轮系传动比计算	135
3.2 机构的运动分析	21	7.5 行星轮系各轮齿数的确定	138
3.3 机构的力分析	34	习题	140
习题	45	第8章 间歇机构及其他常用机构	144
第4章 平面连杆机构及其设计	48	8.1 间歇运动机构	144
4.1 平面四杆机构的基本型式、应用和演化	48	8.2 其他常用机构	152
4.2 平面四杆机构的特性	52	习题	158
4.3 平面四杆机构的设计	55	第9章 机械的运转及其速度波动的调节	159
习题	62	9.1 概述	159
第5章 凸轮机构及其设计	65	9.2 机械系统的等效动力学模型	160
5.1 凸轮机构的类型和应用	65	9.3 机械运动方程式的建立及求解	165
5.2 从动件的常用运动规律	67	9.4 机械的速度波动及其调节	167
5.3 凸轮廓线的设计	73	习题	173
5.4 凸轮机构基本尺寸的确定	83	第10章 机械的平衡	176
习题	87	10.1 机械平衡的目的和内容	176
第6章 齿轮机构及其设计	89	10.2 刚性转子的平衡	177
6.1 齿轮机构的应用和分类	89	10.3 刚性转子的平衡试验和平衡精度	181
6.2 齿廓啮合基本定律及齿廓曲线	91	10.4 平面机构的平衡简介	184
6.3 渐开线标准齿轮	94	习题	187
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动	98	第11章 机械系统的方案设计	189
6.5 渐开线齿廓的加工	103	11.1 概述	189
		11.2 机械执行系统的方案设计	190
		11.3 机械传动系统的方案设计	194
		11.4 机械系统方案及机械运动简图设计	197
		附录1 机械原理课程设计指导	201

一、机械原理课程设计的目的和要求	201	三、凸轮廓线的设计	233
二、机械原理课程设计的内容和步骤	201	四、凸轮基圆半径的确定	245
三、机械原理课程设计的总结	206	附录 3 渐开线函数表 ($\text{inv } \alpha_i =$	
四、机械原理课程设计题目	207	$\tan \alpha_i - \alpha_i$)	250
五、变位齿轮机构选择变位系数的简易		附录 4 变位齿轮封闭图	259
线图法简介	219	部分习题参考答案	270
附录 2 机械原理部分程序	222	参考文献	273
一、曲柄滑块机构运动分析	222		
二、导杆机构运动分析	227		

第1章 绪 论

1.1 机械原理的研究对象和内容

1.1.1 机械原理的研究对象

机械原理的研究对象是机械,而机械是机器与机构的总称,所以机械原理是一门以机器和机构为研究对象的基础技术学科。

在日常生活和工程实际中,人们会接触到很多机器,如缝纫机、洗衣机、各种机床、汽车、起重机、工业用机器人及机械手等。机器是人为的实物组合体,各部分之间有确定的相对运动,可以代替人类劳动,做有用机械功或转换成机械能的装置。当仔细分析机器时,可以看到机器是由各种机构组成的。机构是具有一定的运动特征,用来传递动力、传递或转换运动的装置。一部机器可能是多个机构的组合体,也可能只是一个简单的机构。

如图 1.1 所示的送料机械手,由凸轮机构 1、齿轮齿条 4、连杆机构 3 等组成,通过这些机构的协调配合,机械手便能完成各种预定动作,从而代替人类劳动来完成有用的机械功。

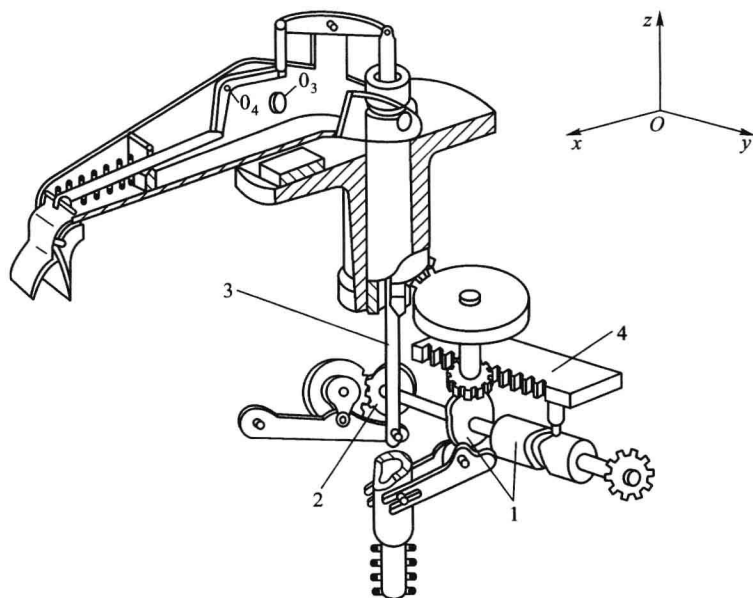


图 1.1 送料机械手

1—凸轮机构;2—齿轮机构;3—连杆机构;4—齿轮齿条

图 1.2 所示为一台内燃机,它由连杆机构 3、齿轮机构 1、凸轮机构 2 等组成。燃气进入气缸燃烧,膨胀产生压力推动活塞,并使连杆带动曲轴转动,通过各机构动作配合,即可将热能转换成了机械能。

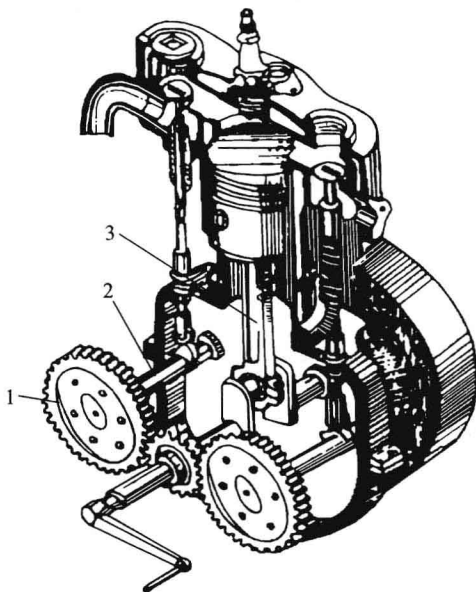


图 1.2 内燃机

1—齿轮机构;2—凸轮机构;3—连杆机构

1.1.2 机械原理的研究内容

机械原理研究的内容有以下几部分:

1. 机构的结构分析

分析机构的组成原理,将机构进行结构分类;分析机构运动简图的绘制方法,以及机构具有确定运动的条件等。

2. 机构的运动分析及设计

分析各种常用机构的类型、运动特点及设计方法。机器的类型虽然很多,但这些机器的基本机构无非是由齿轮、连杆、凸轮等一些常用的基本机构组成的,对常用机构进行运动及设计方法的研究,将为动力分析及机械系统方案设计打下坚实的理论基础。

3. 机器的动力分析

分析研究作用在机械上的各种力,以及在这些力作用下机器的真实运动规律;分析速度波动及有关惯性力的平衡问题;分析影响机械效率的各种因素以及机械效率的计算方法。

4. 机构选型及机械系统方案的创新设计

通过对以上内容的掌握,介绍机械系统方案的拟定、执行系统及传动系统的设计。机械系统方案设计包括根据工艺要求确定机械的工作原理、运动方案,合理选择机构类型,并恰当地将几个机构组合在一起,动作协调配合,以使机械实现预期动作等。

1.2 机械原理课程的地位及学习本课程的目的和方法

1.2.1 机械原理课程的地位

机械原理是机械类各专业的一门主干技术基础课,重点研究机械所具有的共性问题,是分析现有机械和设计新机械的理论基础,为学好各种专业课起到承上启下的重要作用。“承上”是指学习本课程要用到以前所学过的知识,如数学、物理、工程图学、理论力学等;“启下”是指为后继专业课程奠定基础,如机械类专业的结构设计、课程设计、毕业设计都将要用到机械原理知识。在现代化企业的生产中,进行产品的自主创新设计,首先要做的就是产品的结构优化工作,对产品的结构、运动、性能等分析必然要用到机械原理知识。因此,在机械设计系列课程体系中,本课程占有相当重要的位置。

1.2.2 学习本课程的目的和方法

在工程实际中,机械的专业种类很多,为此设置了各种相关专业课程。但无论研究哪种机器,都会涉及机械的共性问题,而机械原理课程正是为此目的而开设的技术基础课。

随着科学技术的飞速发展,对机械产品性能要求越来越高,这就要求设计制造出性能先进的大批新的机械。而要实现这一宏伟目标,在很大程度上取决于机械总体方案的设计水平,这也正是学习机械原理课程的主要目的。

从事机械专业工作的人员,除了要求能设计出具有创新意识的新机械外,还须掌握对现有机械的合理使用和革新改造的具体方法。为了充分发挥现有机器设备的潜力,更好地消化吸收大量的国外先进技术和设备,就必须掌握机器的分析设计方法,了解各种机械的各种性能,而机械原理为这些提供了必要的理论基础知识。

机械原理课程的特点是各章内容相对独立,在学习上要善于总结归纳各章的基本内容、名词术语的定义、公式的表达、基本特性等,掌握规范化解题方法,并在学习中有注意将理论力学中的有关知识恰当地应用到本课程中来。从基础课到技术基础课,内容发生了变化,方法也应相应变化,技术基础课的内容更加接近工程实际,要逐步学会以工程的观点分析问题,掌握机器和机构的有关知识,培养运用所学理论知识去分析解决工程实际问题的能力。

第2章 平面机构的结构分析

2.1 基本概念

机器是由一个或多个机构组成的,而机构则是由构件和运动副组成的。

2.1.1 构件

构件是运动的最小单元。构件是由零件组成的。零件是加工制造的基本单元体。构件可能是一个零件,例如内燃机曲轴;也可以由几个零件固连在一起构成,如内燃机连杆是由连杆体、轴套、上盖、螺栓和螺母等固连在一起,即各零件之间没有相对运动而构成一个刚体参与机构运动。一个构件所需要的零件数量要根据结构和工艺上的需要来确定。

2.1.2 自由度与约束

在平面内作自由运动的构件具有三个独立的相对运动;在空间作自由运动的构件具有六个独立的相对运动。构件的这种独立运动数目称为自由度。当两构件通过某种方式连接后,它们因直接接触而使某些独立运动受到限制,其自由度将减少。这种对独立运动的限制称为约束。构件的约束数目等于其减少的自由度数。

2.1.3 运动副

机构中的各个构件是以一定方式连接起来的,而且各构件间应有确定的相对运动。这种两构件直接接触,又能产生一定相对运动的连接称为运动副。构件之间的接触形式,可以是平面或圆柱面接触,如图 2.1a、b 所示;也可以是点或线接触,如图 2.1c、d 所示。这种组成运动副的点、线或面称为运动副元素。

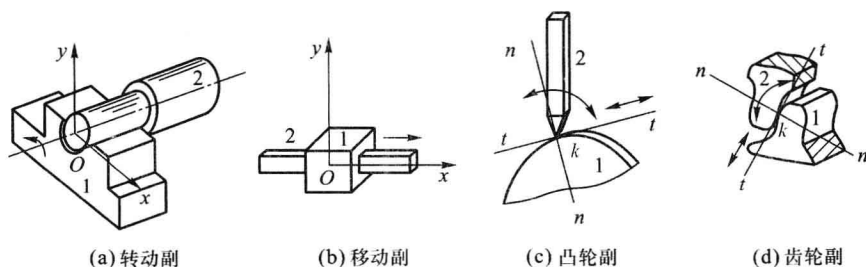


图 2.1 运动副

2.1.4 运动副的类型

两构件组成运动副后,它们之间具有哪些相对运动,是由该运动副对这两构件的相对运动所加的限制条件来决定的。通常,运动副可根据运动副的元素来分类。两构件间为面接触的运动副称为低副。根据组成低副的两构件之间的相对运动性质,又可分为转动副和移动副。如图 2.1a 中所示,两构件间为圆柱面接触,它们之间的相对运动为转动,称为转动副;如图 2.1b 所示,两构件间为平面接触,它们之间的相对运动为移动,称为移动副。两构件间为点或线接触的运动副称为高副,如图 2.1c、d 所示。在平面运动副中,低副存在两个约束,具有一个自由度;高副存在一个约束,具有两个自由度。

2.1.5 运动链

若干个构件通过运动副的连接而构成的系统称为运动链。如果组成运动链中的每个构件上至少包含两个运动副,则必组成一个首末封闭的系统,该系统称为闭式运动链,简称闭式链,如图 2.2 所示。各种机械中,采用较多的为闭式链。如果组成运动链中有的构件上只包含一个运动副,它们不能组成一个封闭系统,则称为开式运动链,简称开式链,如图 2.3 所示,大多数机械手、机器人为开式链。

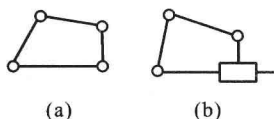


图 2.2 闭式运动链

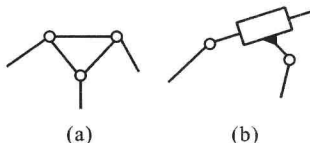


图 2.3 开式运动链

2.1.6 机构

在运动链中,若把某一构件固定,该构件就成为机架。一般情况下,机械是安装在地面上的,那么机架相对地面是固定不动的;如果机械是安装在汽车、轮船、飞机等运动物体上的,那么机架相对于该运动物体是固定不动的。在机构中除机架外,当运动链中一个或几个构件以确定的运动规律运动时,其余构件都能得到确定的相对运动。机架在机械中具有唯一性,是研究所有活动构件运动的绝对坐标。机构中,按已知运动规律运动的构件称为主动件,通常主动件也是驱动力作用的构件,又称原动件,其余活动构件称为从动件或从动件系统。具备机架、主动件和从动件系统的运动链便称为机构。

2.2 机构运动简图

2.2.1 机构运动简图

为了便于对机构进行运动及动力分析,可以抛开与运动无关的构件和运动副的复杂结构形状,用简单的线条、滑块和运动副的规定符号来代表构件和运动副,按一定比例画出运动副之间

的相对位置,使其能准确表达机构运动特性的简单图形,称为机构运动简图,简称机构简图。如果仅以构件和运动副代号来表示机构而不按比例绘制,这种图形称为机构示意图。机构运动简图常用符号见表 2.1。

表 2.1 机构运动简图常用符号

名 称	符 号	名 称	符 号
轴、杆、连杆等构件		棘轮机构	
轴、杆的固定支座(机架)		蜗杆传动	
一个构件上有两个转动副		外啮合圆柱齿轮传动	
一个构件上有三个转动副		内啮合圆柱齿轮传动	
两个运动构件用转动副相连		齿轮齿条传动	
一个运动构件一个固定构件用转动副相连		圆锥齿轮传动	
两个运动构件用移动副相连		不完全齿轮机构	
一个运动构件一个固定构件用移动副相连			
在支架上的电机			
V带传动			
链传动			

2.2.2 机构运动简图的画法

绘制一台机器的机构运动简图,往往需要反复实践,为便于掌握绘制机构运动简图的技巧,可参照下列方法和步骤进行。

- 1) 起动机器,仔细观察机器的运动,观察其运动原理,认清机架、主动件和从动件。
- 2) 从主动件开始,按运动传递的顺序仔细观察各相邻构件之间的相对运动性质,从而确定运动副的类型和数目。
- 3) 合理选择视图平面,目的是为了通过机构运动简图把机构运动特征表达清楚。一般情况下选多数构件运动所在平面作视图平面。对平面机构,通常选择与各构件的运动平面相平行的平面作视图平面。
- 4) 适当选择比例尺。为了能用机构运动简图对机构进行结构、运动和动力分析,必须把机构中与运动有关的尺寸按比例绘制。长度比例尺 μ_l 定义为

$$\mu_l = \frac{\text{实际尺寸/m}}{\text{图上长度/mm}}$$

即机构简图上每毫米长线段所代表的实际长度的米数。按机构实际尺寸及图纸大小确定 μ_l , 注明在图纸上。然后,把在实际机构上量出的各运动副之间的相对位置尺寸,按长度比例尺换算成简图上的尺寸,再按传递运动的顺序用运动副和构件的表示符号画出整个机构的运动简图。

例 2.1 绘制图 2.4a 所示冲床机构的运动简图。

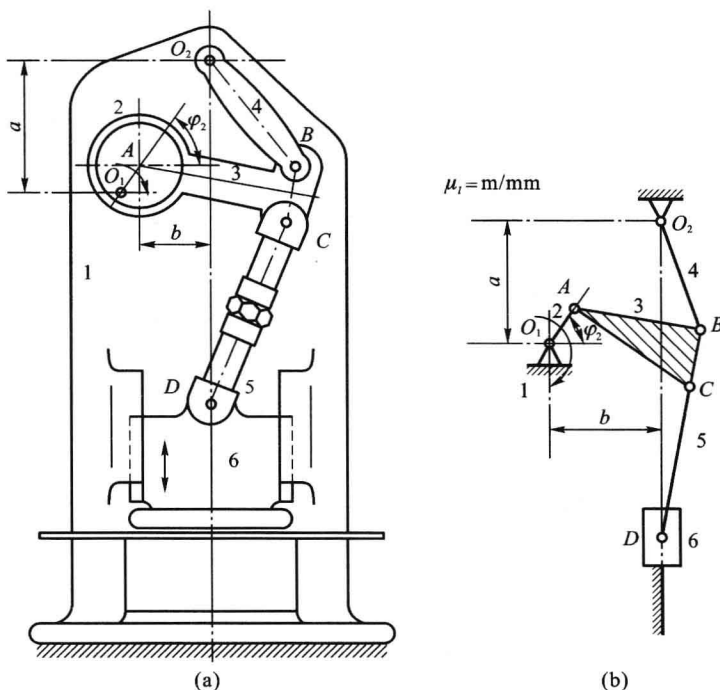


图 2.4 冲床机构

解:该冲床的工作原理是电动机带动偏心轮2作顺时针转动,通过构件3、4、5带动冲头6作上下往复移动,从而完成冲压工艺动作。

该机构由机架1、主动件2、从动件3、4、5、6组成,共六个构件。其中构件1、2,构件2、3,构件3、4,构件1、4,构件3、5,构件5、6均构成转动副;仅构件1、6构成移动副。

测量机构的几何尺寸,选取长度比例尺 μ_l 。测定 l_{O_1A} 、 l_{AB} 、 l_{O_2B} 、 l_{BC} 、 l_{CD} 、 a 、 b 、 $l_{O_1O_2}$ 并换算成图长尺寸,选定构件2的某一位置 φ_2 作为绘制简图的位置,从主动件2开始依次画出整个冲床机构的机构运动简图,如图2.4b所示。

2.3 平面机构自由度的计算

2.3.1 平面机构自由度的计算公式

平面机构的自由度就是机构相对机架的自由度。如前所述,一个独立作平面运动的构件具有三个自由度,设某机构有 n 个活动构件(机架除外),则它们总共有 $3n$ 个自由度。当用运动副将各构件连接起来组成机构后,便给它们之间的相对运动加入一定数量的约束。如果该机构由 P_L 个低副和 P_H 个高副连接而成,因为每一个平面低副引入两个约束,使构件失去两个自由度;每一个平面高副引入一个约束,使构件失去一个自由度。则机构中的 P_L 个低副和 P_H 个高副共引入 $(2P_L + P_H)$ 个约束,使机构减少了同样数目的自由度,所以平面机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (2.1)$$

该公式也称为平面机构的结构公式。

2.3.2 机构具有确定运动的条件

由式(2.1)可知, F 为机构相对机架的自由度数,要使机构能运动,必须使 $F > 0$ 。机构自由度 $F \leq 0$ 时,机构不能运动。此时它已不是机构而相当于一个刚性桁架。

如前所述,机构中按给定运动规律而独立运动的构件为原动件。通常,主动件是与机架相连的,且与机架组成转动副或移动副。一个主动件仅具有一个独立运动的参数,例如与机架构成转动副的主动件,只能按一个独立运动的运动规律而回转。所以,在此情况下,为了使机构具有确定的运动,则机构的主动件数目应等于机构的自由度的数目,这就是机构具有确定运动的条件。即保证一个自由度的机构具有确定运动,只需给出一个主动件。对于两个自由度的机构,须给出两个主动件机构才有确定运动,以此类推。

2.3.3 计算机构自由度时的注意事项

在应用平面机构自由度计算公式时,要注意以下一些特殊情况。

1. 复合铰链

两个以上构件在同一处以转动副相连接,则构成复合铰链。如图2.5a所示,有三个构件在一起以转动副相连接而构成复合铰链。从图2.5b可以看出,此三个构件组成两个转动副。同理,若有 m 个构件组成复合铰链,实际构成的转动副数为 $(m-1)$ 个。所以,在计算机构自由

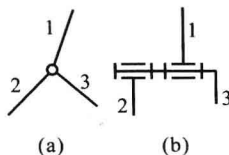


图2.5 复合铰链

度时应注意复合铰链中转动副数目的计算。在多个构件组成的转动副中,有机架、杆件、滑块或齿轮等构件时,应仔细查看,特别是对图 2.6 当中的几种情况要特别注意,这 3 种情况铰链连接处都有 2 个转动副。

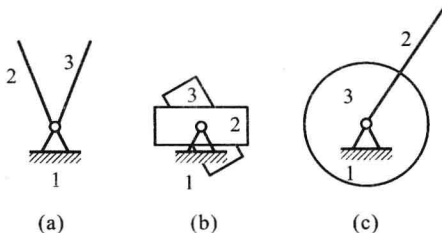


图 2.6 复合铰链的几种情况

2. 局部自由度

机构中某构件具有的与整个机构运动无关的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时应将局部自由度除去不计。如图 2.7a 所示的滚子直动从动件盘形凸轮机构中, $n=3$, $P_L=3$, $P_H=1$, 其自由度为

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

由图可见,滚子 2 绕其自身轴线的转动并不影响凸轮 1 和从动件 3 的运动,它就是一个局部自由度,计算该机构自由度时应将其除去不计。此时,相当于将滚子 2 与从动件 3 固接成一个构件,如图 2.7b 所示。显然,此时计算该机构的自由度时, $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 则机构的自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$ 。但是,从工程实际出发,为了改善从动件和凸轮的磨损情况,以提高机构的使用寿命,这种滚子的转动往往是必不可少的。

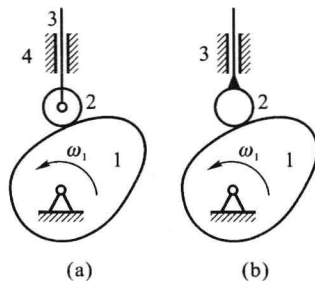


图 2.7 局部自由度

3. 虚约束

在机构中,某些约束往往与其他约束重复,对机构中构件间的相对运动不起约束作用。这种对机构运动不起限制作用的约束称为虚约束。在计算机构自由度时应把它除去不计。如图 2.8a 所示的机车车轮联动机构,在该机构中 $AB \parallel CD \parallel EF$, 其 $n=4$, $P_L=6$, $P_H=0$, 则自由度为 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$ 。这与实际情况是不符的。这是因为此机构中存在着对运动不起限制作用的虚约束,即构件 4 (具有 3 个自由度)、两个转动副 E 、 F (引入 4 个约束), 结果总共多了一个对机构运动不起限制作用的虚约束。若把虚约束除去,使机构变成如图 2.8b 所示,该机构自由度为 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$, 与实际情况相符合。但应注意,构件 4 是在 $AB \parallel CD \parallel EF$ 的条件下,对机构才不起约束作用。一旦特定几何条件破坏,构件 4 就起约束作用,此时机构的自由度为零,机构即为刚性桁架。所以,判断机构是否有虚约束,要注意机构的几何条件。

虚约束常发生在下列场合:

- 1) 两个构件组成多个移动副,且移动副的导路中心线平行或重合,此时只有一个移动副起约束作用,其余都是虚约束。如图 2.9a、b 中的 A 或 B 。
- 2) 两个构件组成多个转动副,且转动轴线重合,则只有一个转动副起约束作用,其余都是虚