

● 新专业规范

● 新基本要求

● 新课程体系

● 新教学内容



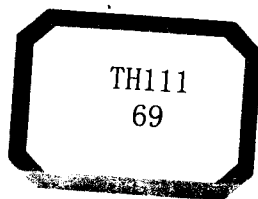
21世纪机械类课程系列教材

机械原理

□ 秦荣荣 崔可维 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



21 世纪机械类课程系列教材

机 械 原 理

秦荣荣 崔可维 主编

高等教育出版社

内容提要

本教材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)”和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 1~3 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、间歇和组合机构)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。

本书可作为高等院校工科机械类相关专业的教学用书,也可供相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/秦荣荣,崔可维主编. —北京:高等教育出版社,2006.3

ISBN 7-04-018765-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 008828 号

策划编辑 宋 晓 责任编辑 贺 玲 封面设计 张 志 责任绘图 郝 林
版式设计 胡志萍 责任校对 杨凤玲 责任印制 宋克学

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 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京人卫印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 16
字 数 390 000

版 次 2006 年 3 月第 1 版
印 次 2006 年 3 月第 1 次印刷
定 价 18.70 元

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 18765-00

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,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。

本教材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。

本教材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

目 录

第1章 绪论	1	6.5 渐开线齿廓的加工	102
1.1 机械原理的研究对象和内容	1	6.6 渐开线齿廓的根切及最少齿数	105
1.2 机械原理课程的地位及学习本课程的目的和方法	3	6.7 变位齿轮传动	106
第2章 平面机构的结构分析	4	6.8 斜齿圆柱齿轮传动	113
2.1 基本概念	4	6.9 蜗轮蜗杆传动	119
2.2 机构运动简图	5	6.10 直齿圆锥齿轮机构	122
2.3 平面机构自由度的计算	8	习题	125
2.4 平面机构的高副低代、结构分析与组成原理	12	第7章 轮系及其设计	127
习题	15	7.1 轮系及其类型	127
第3章 平面机构的运动分析和力分析	18	7.2 定轴轮系传动比计算	129
3.1 速度瞬心	18	7.3 周转轮系传动比计算	130
3.2 机构的运动分析	21	7.4 混合轮系传动比计算	132
3.3 机构的力分析	34	7.5 行星轮系各轮齿数的确定	135
习题	44	习题	137
第4章 平面连杆机构及其设计	47	第8章 间歇机构及其它常用机构	140
4.1 平面四杆机构的基本型式、应用和演化	47	8.1 间歇运动机构	140
4.2 平面四杆机构的特性	51	8.2 其它常用机构	148
4.3 平面四杆机构的设计	54	习题	154
习题	61	第9章 机械的运转及其速度波动的调节	155
第5章 凸轮机构及其设计	64	9.1 概述	155
5.1 凸轮机构的类型和应用	64	9.2 机械系统的等效动力学模型	156
5.2 从动件的常用运动规律	66	9.3 机械运动方程式的建立及求解	161
5.3 凸轮廓线的设计	72	9.4 机械的速度波动及其调节	163
5.4 凸轮机构基本尺寸的确定	82	习题	168
习题	86	第10章 机械的平衡	171
第6章 齿轮机构及其设计	88	10.1 机械平衡的目的和内容	171
6.1 齿轮机构的应用和分类	88	10.2 刚性转子的平衡	172
6.2 齿廓啮合基本定律及齿廓曲线	90	10.3 刚性转子的平衡试验和平衡精度	176
6.3 渐开线标准齿轮	93	10.4 平面机构的平衡简介	179
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动	97	习题	182
		第11章 机械系统的方案设计	184
		11.1 概述	184
		11.2 机械执行系统的方案设计	185

目 录

11.3 机械传动系统的方案设计	189	一、曲柄滑块机构运动分析	215
11.4 机械系统方案及机械运动简图设计	192	二、导杆机构运动分析	220
附录 1 机械原理课程设计指导	196	三、凸轮廓线的设计	226
一、机械原理课程设计的目的和要求	196	四、凸轮基圆半径的确定	238
二、机械原理课程设计的内容和步骤	196	附录 3 渐开线函数表 ($\text{inv } \alpha_i =$	
三、机械原理课程设计的总结	201	$\tan \alpha_i - \alpha_i$)	243
四、机械原理课程设计题目	202	部分习题参考答案	245
五、变位齿轮机构选择变位系数的简易		参考文献	248
线图法简介	212		
附录 2 机械原理部分程序	215		

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,我们接触过很多机器,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。对机器可定义为:机器是人为的实物组合体,各部分之间有确定的相对运动,且可以代替人类劳动、做有用机械功或转换机械能的装置。当仔细分析机器时,可以看到机器是由各种机构组成的。所谓机构可定义为:机构是用来传递动力、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,也可能只包含一个简单的机构。

如图 1.1 所示为一送料机械手,由凸轮机构、齿轮齿条、连杆机构等组成。通过组成机械手的各种机构的协调配合,便能使机械手完成各种预定动作,从而代替人类劳动来完成有用的机械功。

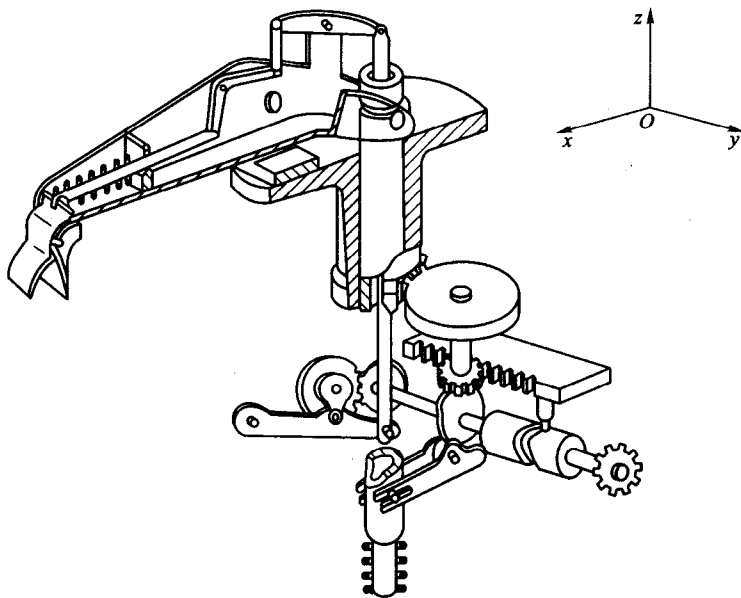


图 1.1 送料机械手

图 1.2 所示为一台内燃机,它是由连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等组成。燃气进入气缸燃烧,膨胀产生压力推动活塞,通过连杆带动曲轴转动,通过各机构动作配合,即把热能转换成了机械能。

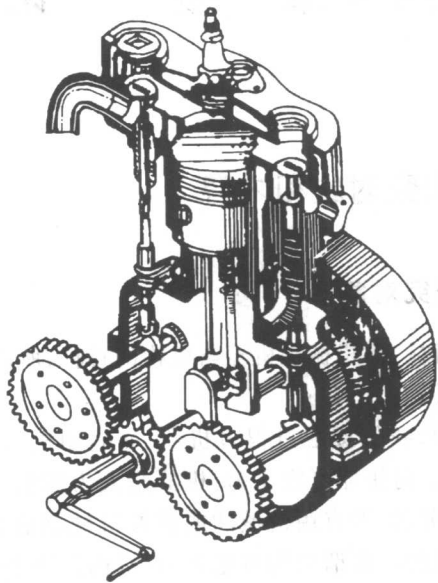


图 1.2 内燃机

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,各机构动作的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。它专门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,在机械设计系列课程体系中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,都会涉及到机械的共性问题,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。

对从事机械的专业人员,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,为了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知识。

机械原理课作为一门技术基础课,其先修课有高等数学、物理、工程图学及理论力学等。特别是理论力学中的理论知识将在本课程中得到广泛应用,并得到进一步深化。在学习中应注意将理论力学中的有关知识充分应用到本课程中来。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,要逐步树立以工程的观点去分析、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

任何机械都是由许多零件组成的。零件是加工制造的基本单元体。有时,由于结构和工艺上的需要,往往把几个零件刚性地连接在一起来运动,也就是它们构成一个独立运动的单元体,这个单元体称为构件。构件可能是一个零件,也可能是若干个刚性连接在一起的零件组成的一个运动整体。

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。

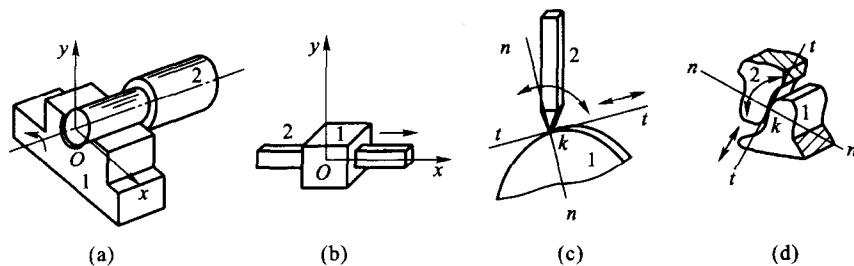


图 2.1 运动副

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,简称闭链,如图 2.2 所示。各种机械中,采用较多的为闭链。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,简称开链,如图 2.3 所示。

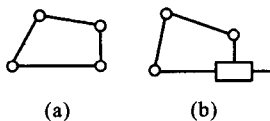


图 2.2 闭式运动链

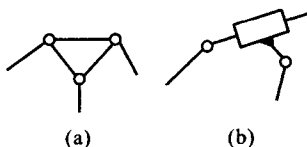


图 2.3 开式运动链

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,即原动件,其余活动构件称为从动件或从动件系统。具备机架、原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。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所在平面作视图平面。对平面机构,需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

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

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。

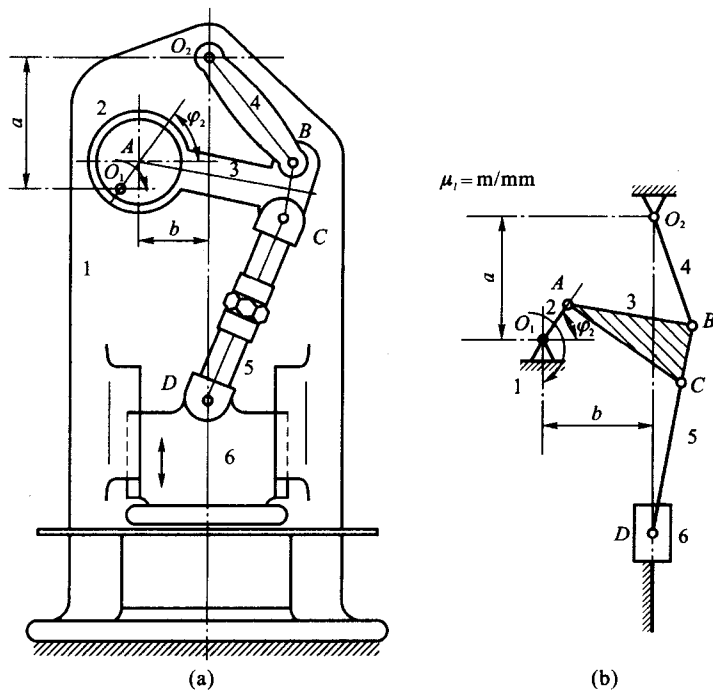


图 2.4 冲床机构

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。于是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,原动件是与机架相连的,且与机架组成转动副或移动副。一个原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原动件,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,则机构的原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,只须给出一个原动件。对于两个自由度的机构,须给出两个原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,就构成了复合铰链。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,

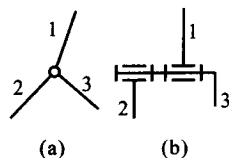


图2.5 复合铰链

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。

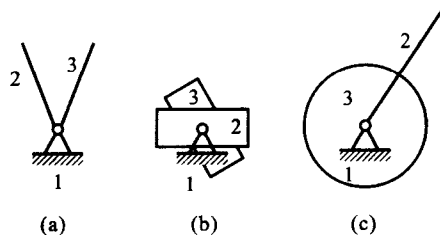


图 2.6 复合铰链的几种情况

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受力情况, 这种滚子的转动往往是必不可少的。

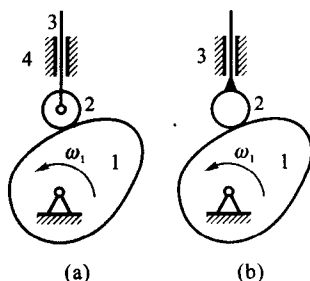


图 2.7 局部自由度

3. 虚约束

在机构中, 某些约束往往与其它约束重复, 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 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$, 与实际情况就符合了。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, 其余都是虚约束。如图 2.10 中的 A 或 B。

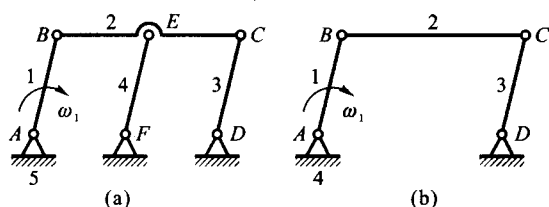


图 2.8 虚约束

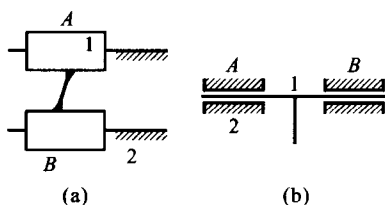


图 2.9 移动副中的虚约束

3) 两个构件组成多个高副,且高副接触点处的公法线重合,则只有一个高副起限制作用,其余为虚约束。如图 2.11 中的 A 或 B。

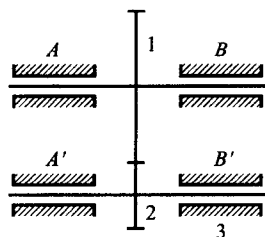


图 2.10 转动副中的虚约束

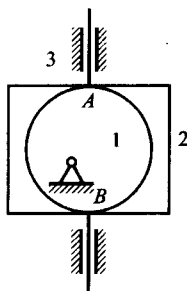


图 2.11 高副中的虚约束

4) 机构在运动过程中,如果某两构件上的两点之间的距离始终保持不变,这时连接两点的—个构件和两个转动副形成的约束也是虚约束。如图 2.12 所示,该机构在整个运动过程中 E 、 F 两个转动副的距离始终保持不变,则构件 4 和转动副 E 、 F 形成的约束是虚约束。

5) 机构中对运动无关的对称部分也存在虚约束。如图 2.13 所示的机构, 轮 2、2' 对称布置在构件 1、3 之间, 从传递运动的观点分析, 只要有一个构件 2, 机构就有确定的相对运动, 而与之对称布置的构件 2' 代入的约束是虚约束。

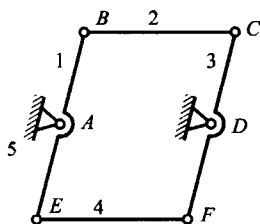


图 2.12 两点距离始终不变

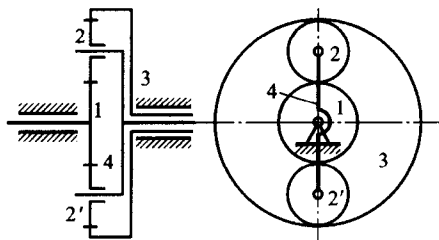


图 2.13 对称结构中的虚约束

6) 机构中连接构件与被连接构件上点的轨迹重合,此时也存在虚约束。如图 2.8a 中的 E 点。拆开 E 点转动副,因该机构 $AB \parallel CD \parallel EF$,故 BC 杆作平动,即 BC 杆上各点的运动轨迹均为

圆心在 AD 线上,而半径为 AB 的圆周。显然 BC 杆上的 E 点的运动轨迹是以 F 为圆心、 $EF = AB$ 为半径的圆周。对构件 4 上的 E 点,其运动轨迹显然是以 F 为圆心、 $EF = AB$ 为半径的圆周,即构件 2 上的 E 点和构件 4 上的 E 点轨迹重合,构件 4 和 E 、 F 两个转动副引入一个虚约束。

如图 2.14 所示为一椭圆仪机构,机构中 $AB = BC = BD$, $AC \perp AD$ ($\angle CAD = 90^\circ$)。拆出滑块 3,滑块 3 上的 C 点的运动轨迹是垂直 AD 的一条直线;对构件 2 上的 C 点的轨迹,因为机构特殊几何尺寸的条件存在,机构无论运动到哪个位置, $\triangle ACD$ 始终为一个直角三角形,即 $AC \perp AD$,这就证明了构件 2 上的 C 点与构件 3 上的 C 点的轨迹重合,必有一个虚约束。

由以上分析可见,机构中的虚约束都是在一些特殊几何条件下产生的,这些条件对机构中零件的加工和机构的装配提出了较高的要求。如果这些几何条件不能满足,虚约束就会变成真实约束而影响机构的运动。但在各种实际机构中,为了改善构件的受力情况、增加机构的强度和刚度,虚约束又是必不可少的。

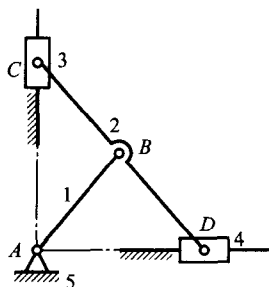


图 2.14 椭圆仪机构

例 2.2 试计算图 2.15 所示机构的自由度。若有复合铰链、局部自由度、虚约束须指出。

解：(a) B 点有局部自由度。

(b) I 处有虚约束。

因为

$$n = 6, P_L = 8, P_H = 1$$

所以

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$$

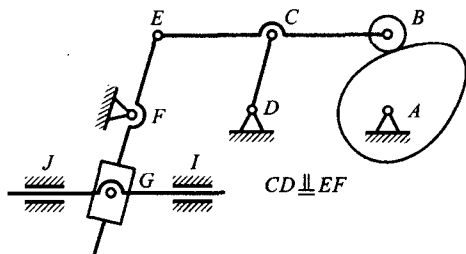


图 2.15 凸轮连杆机构

例 2.3 试计算图 2.16 所示机构的自由度。若有复合铰链、局部自由度、虚约束须指出。

解：(a) EF 构件和 E 、 F 两个转动副形成一个虚约束。

(b) I 处有虚约束。

(c) C 点有复合铰链。

(d) K 点处有局部自由度。

因为

$$n = 8, P_L = 11, P_H = 1$$

所以

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1$$

例 2.4 试计算图 2.17 所示机构的自由度。若有复合铰链、局部自由度、虚约束须指出。