



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU



主编 蒋小盼 马爱兵



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU



主 编 蒋小盼 马爱兵

副主编 马 丽 赵又红 胡郑重 李如钢

参 编 王晨升 苏 芳



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

本书是根据《机械设计基础课程教学基本要求》等文件精神,结合国内大部分高校学生的实际情况,对教学内容和教学方法进行了一定的改革和创新而编写的,适合作为本、专科院校机械类或非机械类专业的教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

本书在内容编排和教学方法上进行了改革,以一个机械装置(减速器)的设计为主线,将理论教学贯穿其中。同时,将任务分解到相应的章节中,以例题和习题的形式使学生掌握必要的知识,如通用零部件和常用机构的设计思路及方法等。本书涵盖了课程设计阶段的主要步骤、计算方法及内容,培养了学生解决工程实践问题的能力,使理论和实践相结合。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/蒋小盼,马爱兵主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.5

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

ISBN 978-7-5680-2253-8

I. ①机… II. ①蒋… ②马… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 243480 号

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

蒋小盼 马爱兵 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:舒 慧

封面设计:抱 子

责任校对:张会军

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13

字 数:321千字

版 次:2017年5月第1版第1次印刷

定 价:30.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

第 1 章 绪论	1
1.1 机械设计基础概述	1
1.2 机械设计的基本要求及一般程序	2
1.3 本课程的研究内容、作用、学习目的及学习方法	3
习题	4
第 2 章 平面机构的结构分析	5
2.1 平面运动副及其分类	5
2.2 平面机构运动简图	6
2.3 平面机构自由度的计算	9
习题	13
第 3 章 平面连杆机构	14
3.1 平面铰链四杆机构的组成及类型	14
3.2 平面铰链四杆机构的特性	17
3.3 平面四杆机构的设计	21
习题	26
第 4 章 凸轮机构及其他机构	27
4.1 凸轮机构的组成、分类及运动参数	27
4.2 盘形凸轮轮廓曲线的设计方法	30
4.3 凸轮机构设计中的几个问题	34
4.4 其他常见的运动机构	36
习题	42
第 5 章 带传动	44
5.1 带传动的类型	44
5.2 V 带的结构和标准	45
5.3 带传动的工作情况分析	48
5.4 V 带传动的选用计算	51
5.5 带传动的张紧、安装及维护	60
习题	61
课程设计系列题(必做)	62



第6章 齿轮传动与蜗杆传动	63
6.1 齿轮传动的组成、特点及类型	63
6.2 齿廓啮合基本定律	65
6.3 渐开线及渐开线齿廓	67
6.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮	69
6.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	73
6.6 渐开线齿轮的加工方法	76
6.7 标准直齿圆柱齿轮的设计	79
6.8 斜齿圆柱齿轮机构	93
6.9 直齿圆锥齿轮传动	99
6.10 齿轮的结构设计、润滑及传动效率	103
6.11 蜗杆传动	106
习题	110
课程设计系列题(必做)	111
第7章 齿轮系	112
7.1 齿轮系的类型及功用	112
7.2 定轴齿轮系传动比的计算	113
7.3 周转齿轮系传动比的计算	115
7.4 复合齿轮系传动比的计算	117
7.5 齿轮系的应用	118
7.6 传动比的分配	121
习题	122
课程设计系列题(必做)	123
第8章 轴的设计	124
8.1 轴的类型及材料	124
8.2 轴的结构设计	127
8.3 轴的设计实例	132
习题	134
课程设计系列题(必做)	135
第9章 滚动轴承	136
9.1 滚动轴承的结构及类型	136
9.2 滚动轴承的代号意义及其类型的选择	140
9.3 滚动轴承尺寸的选择	143
9.4 滚动轴承的静载荷计算	149
9.5 滚动轴承的组合设计	150
9.6 滚动轴承的润滑及密封	154
9.7 轴系结构设计的错误示例分析	156
习题	157
课程设计系列题(必做)	158



第 10 章 连接	159
10.1 连接的类型	159
10.2 螺纹连接的类型、特点及应用	159
10.3 螺纹连接的预紧与防松	164
10.4 螺纹连接件的材料及提高螺栓连接强度的措施	166
10.5 螺旋传动	168
10.6 键连接	170
10.7 销连接及无键连接	175
习题	176
课程设计系列题(必做)	177
第 11 章 机械系统设计	178
11.1 机械设计的原则	178
11.2 动力系统及传动系统的设计	180
11.3 课程设计的主要内容与步骤	191
参考文献	201

第 1 章 绪论

1.1 机械设计基础概述

人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。机器是执行机械运动的装置,用来变换速度或传递能量、物料、信号,如内燃机、电动机、洗衣机、机床、汽车、起重机及各种食品机械。一台完整的机器通常包括以下三个基本部分。

(1) 原动部分:将其他形式的能量变换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能变换为机械能),是驱动整部机器完成预定功能的动力源。

(2) 工作部分(或执行部分):利用机械能去变换或传递能量、物料、信号,如发电机将机械能变换为电能,轧钢机变换物料的外形等。

(3) 传动部分:把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数。

以上 3 个基本部分都必须安装在支承部件上。为了使 3 个基本部分协调工作,并准确、可靠地完成整体功能,必须增加控制部分和辅助部分。

所有的机器都是由许多机械零件组合而成的。机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常能用到的零件,称为通用零件,如齿轮、链轮、蜗轮、螺栓、螺母等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,称为专用零件,如内燃机的曲轴、汽轮机的叶片等。根据机器功能、结构的要求,某些零件需固连成没有相对运动的刚性组合,成为机器中独立运动的单元,这种刚性组合通常称为构件。构件与零件的区别在于:构件是运动的基本单元,而零件是加工的单元。如图 1.1 所示的内燃机的连杆由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 及螺母 3 组成,这四个零件形成一个构件。

若从运动的观点来研究机器,机器由机构组成,机构由若干构件组成,各构件之间具有确定的相对运动。机构通常指传递运动的机械,1 部机器可以包含 1 个机构(如电动机),也可以包含几个机构。如图 1.2 所示的单缸四冲程内燃机包含 3 个机构。

(1) 曲柄滑块机构由曲轴 2、连杆 3、活塞 4 组成。

(2) 凸轮机构由进气阀 5、排气阀 6、从动杆 7、凸轮 8 组成。

(3) 齿轮机构由齿轮 9、9' 和 10 组成。

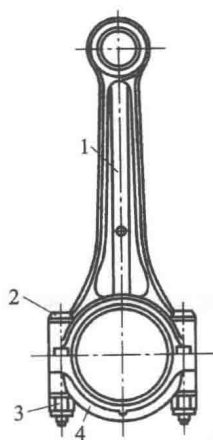


图 1.1 内燃机的连杆

1—连杆体;2—螺栓;
3—螺母;4—连杆盖

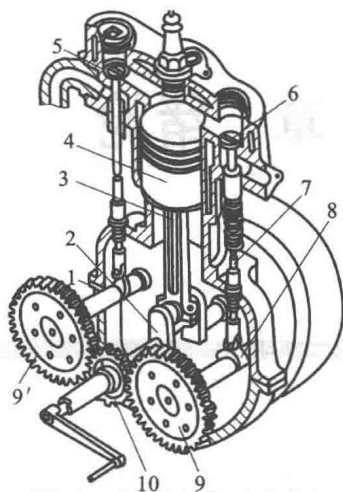


图 1.2 单缸四冲程内燃机

1—机罩;2—曲轴;3—连杆;
4—活塞;5—进气阀;6—排气阀;
7—从动杆;8—凸轮;9、9'、10—齿轮

1.2 机械设计的基本要求及一般程序

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计应满足下列要求。

(1) 功能要求。满足预期功能要求是机械设计的首要要求。

(2) 市场和经济性要求。机械产品设计应始终以满足市场和经济性要求为导向,并将机械产品设计、销售、制造三个方面作为一个整体考虑。如果机械产品有市场需要,但其价格昂贵,它最终会被市场所淘汰;如果机械产品无市场需要,即使其价格再便宜,也不会被市场所接受。所以机械设计应做到市场和经济性的统一。

(3) 工艺性要求。机械产品的工艺性是指机械产品的加工和装配是否可行、合理、经济。设计人员必须关心产品的加工、装配、包装及运输的整个过程。

(4) 操作和维修方便要求。机械产品如果操作和维修不方便,就不会被使用者所接受。

(5) 安全性和可靠性要求。安全性和可靠性也是在机械设计中应该非常重视的问题。如果机械产品的安全性和可靠性不够,就会出现事故,造成人身财产损失。

(6) 环境保护和造型美观要求。随着社会的发展,环境问题和造型美观问题越来越受到人们的关注。



1.2.2 机械设计的一般程序

机械设计一般可按下列程序进行。

(1) 明确设计要求,编制详细的任务书。要进行机械设计,首先必须要弄清设计对象的预期功能、有关指标及限制条件,编制详细的任务书。任务书中应明确规定产品应具有的功能、预定成本、生产批量、工作环境条件、结构要求、使用要求及完成任务的时限等。

(2) 确定总体设计方案。这一阶段的主要任务是根据设计任务书的要求,构思出多种方案,再进行分析比较,中选出一套最优的方案,并绘制出总体设计图——机构运动简图。

(3) 进行总体结构设计和零件设计。这一阶段的主要任务是完成施工所需的总装图、部件草图和各零件的工作图,并根据定型的零件图重新绘制出总装图和部件装配图。

(4) 进行试制和鉴定。这一阶段的主要任务是根据上述设计所提供的技术文件进行样机试制,并对试制出的样机进行试验,从技术、经济上作出全面的评价,为修改设计提供依据。

(5) 进行产品定型。最后根据样机试制中存在的问题修改设计方案,使设计更加完善,定型生产。

1.2.3 机械零件设计的一般程序

机械零件设计一般可按下列程序进行。

(1) 根据总体设计要求,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) 根据机器的工作条件,选择合适的材料。

(4) 根据零件可能的失效形式,确定设计准则。

(5) 根据设计准则,结合工艺性和标准化等原则进行零件的结构设计并计算出零件的基本参数和尺寸,再进行详细的校核计算,判断结构的合理性。

(6) 绘制零件的工作图,并写出说明书。

1.3 本课程的研究内容、作用、学习目的及学习方法

1.3.1 本课程的研究内容

本课程研究的主要内容包括两个部分。

(1) 研究常用机构的作用、组成、结构、工作原理、类型、运动特点、设计方法等方面的基本知识。这些常用机构包括平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇机构等。

(2) 研究通用机械零件的工作原理、结构特点、选用和设计问题。这些零件包括齿轮传动、带传动、链传动等传动零部件,连接零部件及轴、轴承等轴系零部件等。

1.3.2 本课程的作用

本课程是机械类和机电类专业的一门技术性基础课程,一方面,它是利用工程力学、机械制图、机械制造基础等课程学到的知识,解决机械设计中的一些问题;另一方面,不同于专业课,它还研究各种机械所具有的共性问题,是基础课与专业课之间的联系环节,起着承上启下的作用,在机械类和机电类专业的课程体系占有非常重要的位置。

1.3.3 学习目的

本课程的学习目的有以下两个。

(1) 掌握常用机构的作用、组成、结构、工作原理、类型、运动特点和设计方法等方面的基本知识,为专业课学习打好基础。

(2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、选用和设计方法,培养学生初步运用标准、规范、手册、图册等技术资料进行机械设计的能力。

1.3.4 学习方法

本课程是一门综合性、实践性很强的课程,它的学习方法如下。

(1) 学习理论的同时要坚持联系实际,联系整体机械系统进行综合分析。本课程比其他专业基础课程更贴近于实际,只有在学习理论的同时坚持联系工程实际,才能加深对理论知识的理解。

(2) 学习知识的同时要注意能力的培养。学习知识是为了解决机械设计中的实际问题,所以要把培养能力作为重中之重,多练习、多实践,这样有助于提高学生的设计能力。

习 题

1.1 试简述机械、机构、构件、零件的含义。

1.2 试简述机械零件失效、失效的主要形式及机械零件设计准则的含义。

1.3 机械中常用的材料有哪些?试简述钢和铸铁的主要性能及其应用。

1.4 试各列举出有下述功能的机器的两个具体实例:①原动机;②将机械能变换为其他形式能的机器;③实现物料变换的机器;④变换或传递信息的机器;⑤传递物料的机器;⑥传递机械能的机器。

1.5 试指出下列机器的原动部分、工作部分、传动部分、支承部分、控制部分:①汽车;②自行车;③电风扇;④缝纫机。

1.6 指出汽车中的通用零件和专用零件各3个。

第2章 平面机构的结构分析

机构由构件组成,各构件之间具有确定的相对运动。然而,把构件任意拼凑起来不一定能运动,即使能够运动,也不一定具有确定的相对运动。那么构件应如何组合才能运动?在什么条件下才具有确定的相对运动?这对分析现有机构或创新机构很重要。

所有构件的运动平面都相互平行的机构称为平面机构,否则称为空间机构。本章仅讨论平面机构的情况,因为在生活和生产中,平面机构应用最多。

2.1 平面运动副及其分类

机构是由若干个构件组成的。机构中的每个构件都以一定的方式与其他构件相连,这种连接是能产生相对运动的连接。这种使两个构件直接接触仍能产生一定相对运动的连接称为运动副。例如凸轮、活塞与汽缸、传动齿轮两个轮齿间等的连接都构成运动副。

平面机构中,构成运动副的各构件均为平面运动,则称该运动副为平面运动副。按照运动副接触形式的不同,平面运动副可分为低副和高副。

1. 低副

两构件通过面接触构成的运动副称为低副。根据两构件间的相对运动形式,低副又分为移动副和转动副。当两构件间的相对运动为移动时,该运动副称为移动副,如图 2.1 所示;当两构件间的相对运动为转动时,该运动副称为转动副或铰链副,如图 2.2 所示。

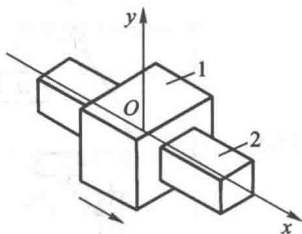


图 2.1 移动副

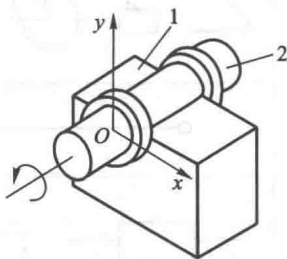


图 2.2 转动副

2. 高副

两构件通过点或线接触构成的运动副称为高副。如图 2.3 所示,凸轮 1 与尖顶推杆 2 之间为点接触,构成凸轮高副;如图 2.4 所示的两齿轮的轮齿啮合处是线接触,构成齿轮高副。

由于低副是通过面接触而构成的运动副,故其接触处的压强小,承载能力大,耐磨损,寿

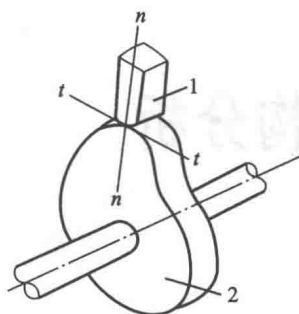


图 2.3 凸轮高副

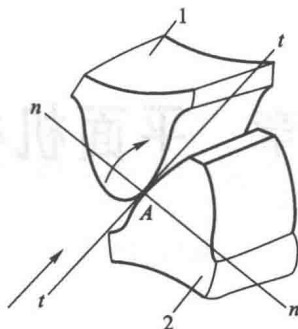


图 2.4 齿轮高副

命长,且因其形状简单,所以容易制造。低副的两构件之间只能作相对滑动;而高副的两构件之间则可作相对滑动或滚动,或两者并存。

2.2 平面机构运动简图

实际构件的外形和结构往往很复杂,在研究机构运动时,为了突出与运动有关的因素,将那些无关的因素删减掉,保留与运动有关的外形,用规定的符号来代表构件和运动副,按一定的比例表示各种运动副的相对位置。这种表示机构各构件之间相对运动的简化图形称为机构运动简图。部分常用机构运动简图符号如表 2.1 所示。

表 2.1 部分常用机构运动简图符号(GB/T 4460—2013)

名 称	符 号	名 称	符 号
轴、杆、连杆等构件		两个运动构件用移动副相连	
轴、杆的固定支座(机架)		两个运动构件用转动副相连	
同一构件		二副构件	
一个构件上有两个转动副		一个运动构件与一个固定构件用移动副相连	
一个运动构件与一个固定构件用转动副相连		内啮合圆柱齿轮传动	



续表

名 称	符 号	名 称	符 号
三副构件		齿轮齿条传动	
圆柱蜗轮蜗杆传动		在支架上的电动机	
棘轮机构		带轮传动	
链传动		凸轮传动	
外啮合圆柱齿轮传动		圆锥齿轮传动	

机构中的构件可分为以下3类。

(1) 固定件或机架——用来支撑活动构件的构件。研究机构中活动构件的运动时,常以固定件作为参考坐标系。

(2) 原动件——运动规律已知的活动构件。原动件的运动是由外界输入的,故又称为输入构件。

(3) 从动件——机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。其中,输出机构为预期运动的从动件,则称该从动件为输出构件,其他从动件则起传递运动的作用。

在一般的运动简图绘制中,必有一个构件被相对地看作固定件。在活动构件中,必须有一个或几个原动件,其余的构件则是从动件。两构件组成高副时,在简图中应该画出两构件接触处的曲线轮廓。例如,互相啮合的齿轮在简图中应画出一对节圆来表示,凸轮则用完整的轮廓曲线来表示。

[例 2.1] 试绘制如图 2.5(a)所示的颞式破碎机的机构运动简图。

解:颞式破碎机的主体机构由机架 1、偏心轴 2、动颞 3、肘板 4 共 4 个构件组成。偏心轴

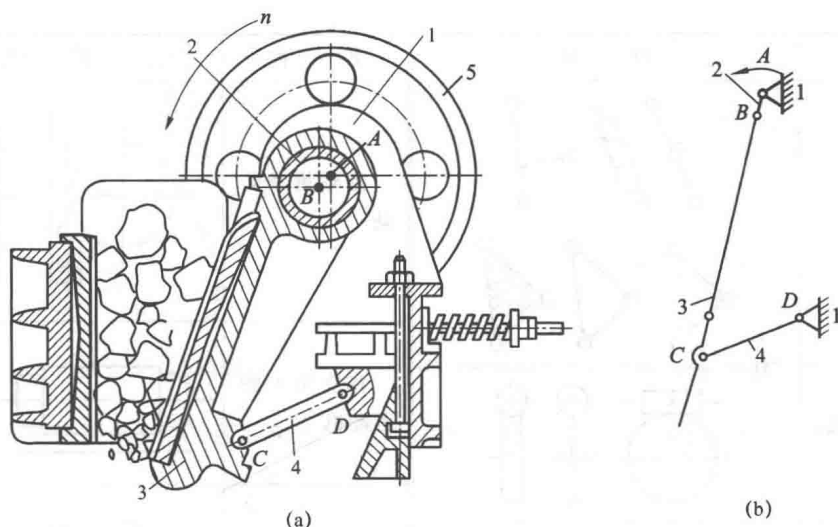


图 2.5 颚式破碎机及其机构运动简图

2 是原动件,动颚 3 和肘板 4 都是从动件。偏心轴 2 在与其固连的带轮 5 的拖动下绕轴线 A 转动,驱使输出构件动颚 3 作平面运动,从而将矿石轧碎。

偏心轴 2 与机架 1 绕轴线 A 作相对转动,故构件 1、2 组成以 A 为中心的回转副;动颚 3 与偏心轴 2 绕轴线 B 作相对转动,故构件 2、3 组成以 B 为中心的回转副;肘板 4 与动颚 3 绕轴线 C 作相对运动,故构件 3、4 组成以 C 为中心的回转副;肘板 4 与机架 1 绕轴线 D 作相对转动,故构件 4、1 组成以 D 为中心的回转副。

选定适当比例尺,根据图 2.5(a)的尺寸定出 A、B、C、D 的相对位置,用构件和运动副的规定符号绘出机构运动简图,如图 2.5(b)所示。最后,将图中的机架画上斜线,在原动件上标出指示运动方向的箭头。

[例 2.2] 绘制如图 2.6(a)所示的活塞泵的机构运动简图。

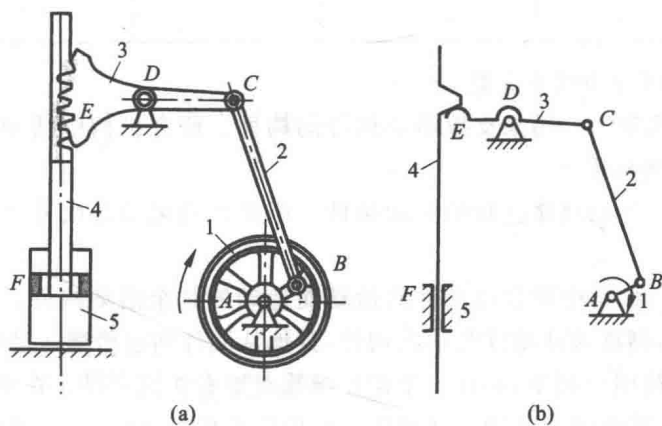


图 2.6 活塞泵及其机构运动简图

解:活塞泵由曲柄 1、连杆 2、齿扇 3、齿条活塞 4 和机架 5 共 5 个构件组成。曲柄 1 是原动件,连杆 2、齿扇 3、齿条活塞 4 为从动件。当原动件 1 回转时,活塞在汽缸中作往复运动。各构件之间的连接如下:构件 1 和构件 5、构件 2 和构件 1、构件 3 和构件 2、构件 3 和构



件5之间为相对转动,分别构成回转副 A 、 B 、 C 、 D ;构件3的轮齿与构件4的齿构成平面高副 E ;构件4与构件5之间为相对移动,构成移动副 F 。

选取适当比例尺,按图 2.6(a)的尺寸,用构件和运动副的规定符号画出机构运动简图,如图 2.6(b)所示。最后,将图中的机架画上斜线,在原动件上标出指示运动方向的箭头。

说明:运动简图绘制完成后,可通过机构运动简图应满足的条件检查绘制图形是否正确。

机构运动简图应满足的条件:①简图中构件数目与实际相同;②简图中运动副的性质、数目与实际相符;③简图中运动副之间的相对位置正确,尺寸与实际的尺寸成比例。

2.3 平面机构自由度的计算

2.3.1 构件的自由度

如图 2.7 所示,一个作平面运动的自由构件有三种独立的运动,即沿 x 轴和 y 轴的移动,以及在 xOy 平面内的转动。构件的三种独立的运动称为自由度。所以,一个作平面运动的构件有三个自由度。

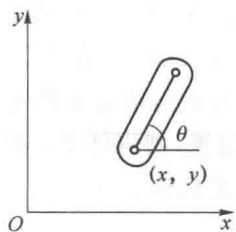


图 2.7 构件的自由度

2.3.2 平面运动副对构件的约束

两个构件直接接触构成运动副后,构件的某些独立运动将受到限制,自由度也随之减少。运动副对构件的独立运动所加的限制称为约束。运动副的类型不同,引入的约束数目就不同。

如图 2.1 所示的转动副约束了两个移动,只保留了一个转动;如图 2.2 所示的移动副约束了沿一轴线方向的移动和在平面内的转动,只保留了沿另一轴线方向的移动;如图 2.4 所示的由两个齿轮呈线接触组成的高副只约束了沿接触处公法线方向的移动,保留了绕接触处的转动和沿接触处公切线方向的移动。由此可知,在平面机构中,一个平面低副引入了两个约束,故有一个自由度;一个平面高副引入了一个约束,故有两个自由度。

2.3.3 平面机构自由度的计算

1. 平面机构自由度的计算公式

设平面机构中共有 K 个构件,其中一个构件是固定不动的机架,则活动构件的数目 $n = K - 1$ 。这 n 个活动构件在没有通过运动副连接时,应有 $3n$ 个自由度。当用 P_L 个低副、 P_H 个高副连接成运动链后,因为一个平面低副引入了两个约束,一个平面高副引入了一个约束,所以这些运动副共引入了 $2P_L + P_H$ 个约束。若用 F 表示平面机构的自由度数,则该平面机构的自由度数全体活动构件在自由状态时的自由度总数与全部运动副引入的约束总数之差,即

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

【例 2.3】 计算如图 2.6 所示的活塞泵的自由度。

解:由例 2.2 的机构运动简图可知,该机构由 5 个构件组成,活动构件的数目 $n=4$,有 4 个回转副、1 个移动副和 1 个齿轮高副,故 $P_L=5, P_H=1$,由式(2.1)可得该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

2. 机构具有确定运动的条件

机构的自由度是机构具有的独立运动数。由前文所述可知,只有原动件才能独立运动。如果机构的自由度为 1,则表示给定 1 个原动件,则该机构的运动就可以完全确定;如果机构有 2 个自由度,则需要 2 个原动件。由此可知,机构具有确定运动的条件是:机构的原动件数与机构的自由度数相等。

在如图 2.8 所示的四构件系统中, $n=3$,低副 $P_L=4$,高副 $P_H=0$,则该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

当主动件 1 在任何瞬时位置时,从动件 2 和 3 都占有相应的确定位置,这说明从动件的运动是确定的,故该构件系统是机构。

在如图 2.9 所示的五构件系统中, $n=4$,低副 $P_L=5$,高副 $P_H=0$,则该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

设在如图 2.9 所示的构件系统中只有构件 1 为主动件,当构件 1 在图示位置时,构件 2、3 和 4 可以占有 BC 、 CD 、 DE 位置,也可以占有 BC' 、 $C'D'$ 、 $D'E$ 位置或其他位置。这说明从动件的运动是不确定的,因此该构件系统不是机构。若构件 4 也是主动件,而该瞬时它在 DE 位置,则构件 2、3 的位置可以完全确定,此时从动件 2、3 的运动是确定的,因此该构件系统是机构。

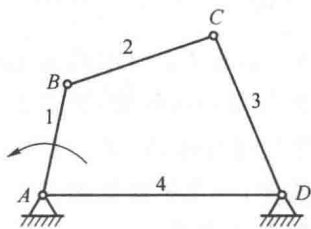


图 2.8 四构件系统

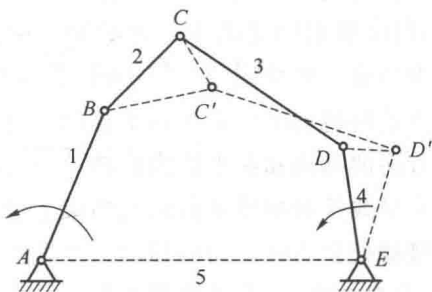


图 2.9 五构件系统

3. 计算平面机构自由度时应注意的问题

1) 复合铰链

两个以上的构件在同一处以转动副相连接,所构成的运动副称为复合铰链。如图 2.10 (a)所示为 3 个构件在 A 处构成的复合铰链,由其侧视图图 2.10(b)可知,此 3 个构件有 2 个转动副。以此类推,由 K 个构件组成的复合铰链,其转动副的个数为 $K-1$ 个。

2) 局部自由度

机构中出现的不影响其他构件运动的构件的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时,这种构件应该去掉不计。如图 2.11(a)所示的凸轮机构,为了减小高副处的摩擦,常在从动件 2 上装一个滚轮 4。当原动件 1 绕固定轴转动时,从动件 2 则在导路中作间歇的上下往复运动。在计算自由度时,如果 $n=3$,低副 $P_L=3$,高副 $P_H=1$,则该机构



的自由度为

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

但实际上这种机构的自由度应为 1。计算结果与实际不符,其原因在于:滚轮 4 绕自身轴线转动的快慢或不转[见图 2.11(b)],都不影响整个机构的运动,因此出现了局部自由度,在计算机构自由度时,滚轮 4 应去掉不计,将滚轮 4 和从动件 2 看成一个构件。于是 $n = 2$,低副 $P_L = 2$,高副 $P_H = 1$,则该机构的自由度为

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

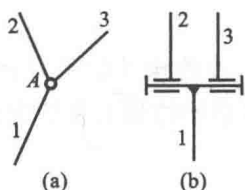


图 2.10 复合铰链

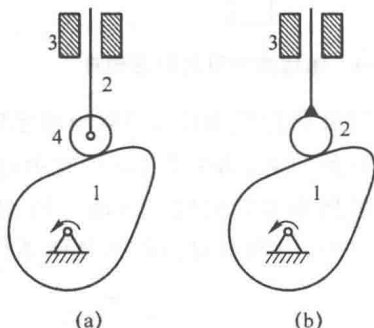


图 2.11 凸轮机构

3) 虚约束

在某些机构中,与其他约束相重复而不起限制运动作用的约束称为虚约束。

平面机构的虚约束常在以下情况下发生。

(1) 机构运动时,如果两构件上的两点的距离始终不变,将此两点用构件和运动副连接,则会引入虚约束,如图 2.12 所示。构件 1 上的 E 点和构件 3 上的 F 点的距离始终保持不变,若将这两点用构件 5 和运动副连接,则构件 5 会引入虚约束。

(2) 如果两构件组成多个移动方向一致的移动副(见图 2.13)或两构件构成多个转动副,且同轴(见图 2.14)时,只需考虑其中一处的约束,其余引进的约束均为虚约束。

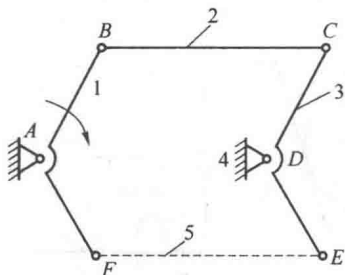


图 2.12 两点间的距离不变引入的虚约束

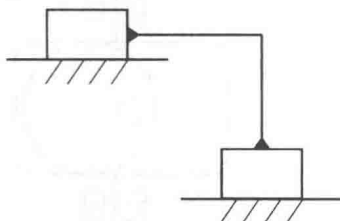


图 2.13 移动方向一致引入的虚约束

(3) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分引入的约束为虚约束。如图 2.15 所示的差动齿轮系,只需一个齿轮 2 便可传递运动。为了提高承载能力,使机构受力均匀,图 2.15 中采用三个行星轮对称布置。这时,每增加一个行星轮便引进一个虚约束。

(4) 如果两相连构件在连接点上的运动轨迹相重合,则该运动副引入的约束为虚约束。在如图 2.16(b)所示的平面连杆机构中,由于 AB 等于且平行于 CD,因此在机构运动过程中,构件 5 上的 E 点与构件 3 上的 E 点的运动轨迹重合,因此 EF 杆引进的约束为虚约束,