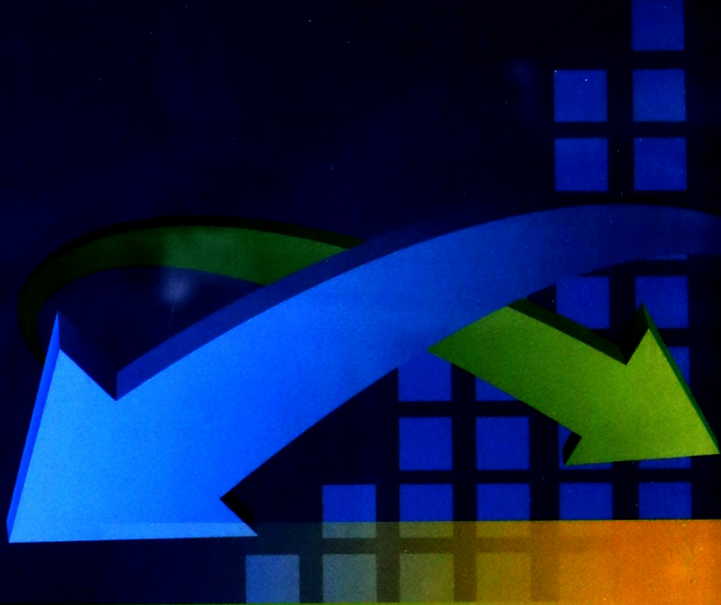




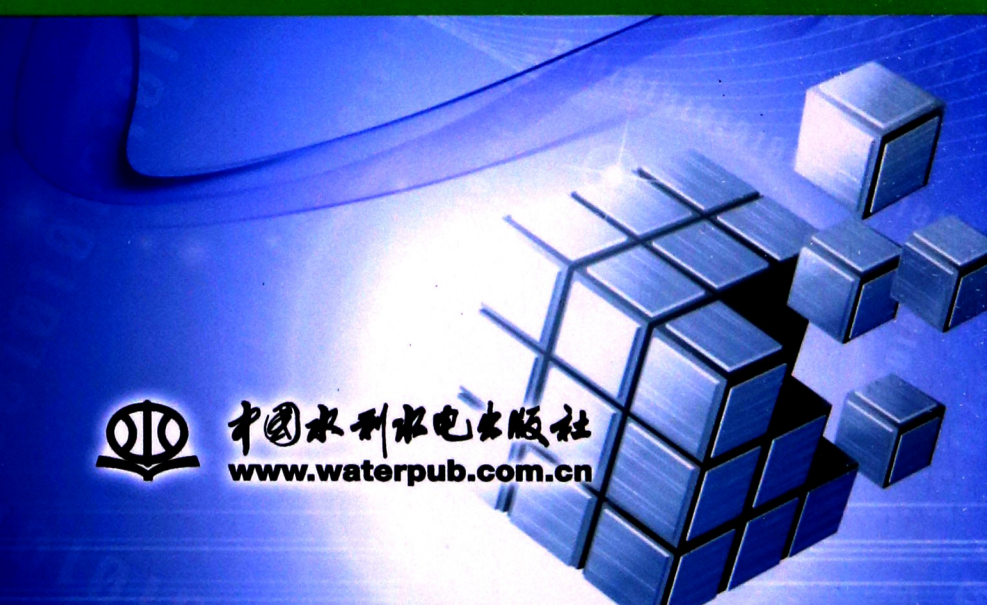
国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材

机械装置与 零件设计

主编 陈伟珍 邓岐杏
主审 曹 坚 况照祥



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材

机械装置与 零件设计

主 编 陈伟珍 邓岐杏

副主编 姜金堂 叶继新 黄勤芳 张海明

参 编 黄淑芳 陈惠清 谢 春

主 审 曹 坚 况照祥



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

“机械装置与零件设计”课程以培养学生初步建立工程概念、了解和掌握机械基础知识、训练设计简单机械传动装置的能力为目标，将机械设计基础、机械零件课程设计、机电产品综合设计的内容有机整合，加强了机械设计理论和实践的联系。本书共分为4个项目14个任务，内容包括：平面机械的运动简图及自由度计算，平面连杆机构设计，凸轮机构设计，齿轮传动装置设计，蜗杆传动装置设计，带传动和链传动、螺纹连接和螺旋传动设计，轴的设计，轴承、联轴器和离合器、减速器设计，机电产品综合设计等。本书力求做到精选内容、适当拓宽知识面、反映学科新成就，深度适中、难易得当。

为适应“双语教学”的需要，书中列出了常用的名词术语的中英文对照。

本书主要作为高职院校“机械设计基础”课程的教材，也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目（C I P）数据

机械装置与零件设计 / 陈伟珍, 邓岐杏主编. -- 北
京 : 中国水利水电出版社, 2015. 6
国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材
ISBN 978-7-5170-3189-5

I. ①机… II. ①陈… ②邓… III. ①机械设计—高
等职业教育—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第109046号

书 名	国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材 机械装置与零件设计
作 者	主编 陈伟珍 邓岐杏 主审 曹坚 况照祥
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.75印张 326千字
版 次	2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材

编 委 会

主 任：刘延明

副主任：黄伟军 黄 波 皮至明 汪卫星

委 员：张忠海 吴汉生 凌卫宁 陆克芬

邓海鹰 梁建和 宁爱民 黄晓东

陈炳森 方 崇 陈光会 方渝黔

况照祥 叶继新 许 昕 欧少冠

梁喜红 刘振权 陈治坤 包才华

秘 书：饶亚娟

前言

本书是根据教育部有关“机械设计基础”课程教学的基本要求，结合近几年教学内容改革的需要，并总结多所高职院校多年来的教学经验编写而成的。

在本书的编写过程中，编者从满足教学基本要求、贯彻少而精的原则出发，力求做到精选内容、适当拓宽知识面、反映学科新成就，深度适中、语言精练，以期保持简明、实用的特色。全书由4个项目14个任务组成，每个项目都由实践性较强的实训任务作引导，突出以应用为目的的高职教育理念，符合高职学生“从实践导入理论，从形象过渡到抽象”的认知规律，便于采用任务驱动的方法通过“做、学、教一体化”模式组织教学，显现出鲜明的高等职业教育特色。

为适应“双语教学”的需要，书中在常用的名词术语后给出了相应的英文对照。

参加本书编写的人员有：广西水利电力职业技术学院陈伟珍（任务13）、黄淑芳（任务3、任务4）、邓岐杏（任务5、任务6）、张海明（任务7、任务8）、姜金堂（任务14），南宁广发重工集团有限公司谢春（任务10），梧州职业技术学院叶继新（任务9）、陈惠清（任务1、任务2），广西职业技术学院黄勤芳（任务11、任务12）。本书由陈伟珍负责统稿，广西工业职业技术学院曹坚、黔西南民族职业技术学院况照祥担任主审，南宁五菱桂花车辆有限公司黄相山对本书提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2014年12月

目 录

前言

项目 1 分析常用机构	1
任务 1 认识机器和机构	1
1.1 机器和机构	1
1.2 零件和构件	3
1.3 机构的运动	3
1.4 机构运动简图	5
1.5 机构自由度	7
习题 1	10
任务 2 分析平面连杆机构	10
2.1 铰链四杆机构	10
2.2 铰链四杆机构的演化	13
2.3 平面四杆机构的基本特性	15
习题 2	17
任务 3 分析凸轮机构	18
3.1 凸轮机构的应用和特点	18
3.2 凸轮机构的分类	19
3.3 传动件的常用运动规律	20
3.4 用图解法设计盘形凸轮的轮廓	22
习题 3	24
任务 4 分析螺旋传动机构	25
4.1 螺旋机构的应用和特点	25
4.2 螺旋机构的类型	25
4.3 滑动螺旋传动的设计计算	26
4.4 滚动螺旋机构	27
习题 4	28
项目 2 设计常用机械传动装置	29
任务 5 设计齿轮传动装置	30
5.1 概述	30
5.2 直齿圆柱齿轮传动	33
5.3 齿轮传动的失效形式和设计准则	38

5.4	齿轮常用材料、热处理和齿轮传动精度	40
5.5	直齿圆柱齿轮传动	41
5.6	斜齿圆柱齿轮传动	47
5.7	直齿圆锥齿轮传动	52
5.8	齿轮的结构设计	56
5.9	齿轮传动的润滑与效率	57
	习题 5	58
任务 6	设计蜗杆传动装置	59
6.1	蜗杆传动的特点及应用	59
6.2	蜗杆传动机构的主要参数和基本尺寸	59
6.3	蜗杆传动的失效形式和常用材料	61
6.4	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	62
6.5	蜗杆传动的强度计算	63
	习题 6	67
任务 7	设计带传动装置	68
7.1	带传动的工作原理和特点	68
7.2	带传动的类型	68
7.3	带传动的工作情况分析	69
7.4	V 带和带轮	70
7.5	普通 V 带传动的设计计算	72
7.6	带传动的张紧和维护	78
7.7	同步带传动简介	78
	习题 7	79
任务 8	设计链传动装置	79
8.1	链传动的类型、特点和结构	79
8.2	链传动的工作情况分析	81
8.3	链传动的设计	81
8.4	链传动的布置、张紧及润滑	85
	习题 8	86
项目 3	设计轴系零部件	88
任务 9	设计传动轴	89
9.1	轴的分类	89
9.2	轴的材料及选择	90
9.3	轴的结构设计	90
	习题 9	95
任务 10	选用与校核轴承	95
10.1	滚动轴承	95
10.2	滑动轴承	106

习题10	109
任务 11 选用与校核联轴器、离合器	109
11.1 联轴器	109
11.2 离合器	113
习题11	114
任务 12 选用与校核常用连接件	115
12.1 螺纹连接	115
12.2 键连接	118
12.3 销连接	121
12.4 成型连接	122
习题12	122
项目 4 设计机械传动装置	124
任务 13 设计减速装置	125
13.1 机械设计概述	125
13.2 减速器设计任务及内容要求	127
13.3 传动装置总体设计	129
13.4 传动零件的设计计算	134
13.5 设计减速器结构	135
13.6 绘制减速器装配图及零件图	148
13.7 编写设计计算说明书	154
13.8 参考图例	155
任务 14 设计机电产品	159
14.1 机电产品综合设计的基本要求	159
14.2 机电产品综合设计的主要内容	159
14.3 机电产品综合设计的基本方法和步骤	160
14.4 机电产品综合设计必备知识	161
14.5 机电产品综合设计实例	166
14.6 拓展知识——齿轮系	173
附录	177

项目1 分析常用机构

【实验1 认识常用机构】

1. 实验目的

(1) 初步建立机器、机构及有关运动副的概念。

(2) 了解常用机构（如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构）的基本类型、运动特征及应用场合，为学习本课程打下基础。

2. 实验设备

机械原理、机械零件陈列柜。

3. 实验内容

在教师的指导下认真观察每台示教板上所展示的内容，并仔细听取各部分内容的解说。

4. 注意事项

(1) 各陈列柜示教板的内容不相同，需要仔细观察。

(2) 平面连杆机构部分内容是动态的，需要注意安全。

5. 实验报告

列出所见机构类型，举例说明在生活、生产中的应用。

6. 问题思考

(1) 机器和机构有何共同之处？有何不同之处？举出两个机器和两个机构的实例。

(2) 平面四杆机构分为哪三种基本类型？其中的曲柄摇杆机构在运动中观察到它的急回特性了吗？

(3) 平面四杆机构演化形式之二是带有两个移动副的四杆机构，请仔细观察示教板上的正弦机构、椭圆仪机构、双滑块机构的运动情况，并指出其运动特点。

(4) 凸轮机构主要由哪三部分组成？示教板上展示了哪几种盘形凸轮机构？

(5) 齿轮机构的第一种类型是两平行轴之间传递运动和动力的齿轮机构，请观察有几种。

(6) 若传递两相交轴或两交错轴之间的运动和动力，应采用什么齿轮机构呢？

任务1 认识机器和机构

1.1 机器和机构

1. 中国机械发展简史

在长期的生活和生产实践中，为了提高劳动生产效率、减轻劳动强度以及满足其他



各种需要,人类发明创造了各式各样的机器。机器是执行机械运动的装置,实现能量转换或能量传递等,如内燃机、电动机、洗衣机、机床、汽车、起重机及各种食品机械等。

使用机器进行生产的水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志。

中国是世界上机械发展最早的国家之一。中国机械发展也经历了一个漫长的过程,期间有辉煌的成就,也有曲折的历程。在早期(石器时代,时间上相当于原始社会),人们使用的机械主要是简单工具,从粗制工具到精制工具,主要用于从事农业、渔猎、纺织、建筑等生产劳动。40万~50万年前,我国就已出现加工粗糙的刮削器、砍砸器、三棱形尖状器等原始工具;在28000年前出现弓箭,这是机械方面最早的一项发明;农具出现在公元前6000—前5000年,除石斧、石刀外,还有石锄、石铲、石镰、蚌镰、骨镰,石斧和石刀上已有用硬质砂子磨削而成的孔。在这一时期,人们已经能够在生产中利用杠杆、尖劈、弹性、热胀冷缩等原理,为较复杂的古代机械的出现创造了条件。

随着原始织机(公元前5000—前4000年)和制陶转轮(公元前3000年)的出现,人们已经从应用简单工具发展到利用几个零件组合的简单机械。古车的出现及其广泛应用成为进入古代机械时期的标志,之后一批古代机械相继出现。尤其在战国时期,奴隶制度崩溃,封建制度在一些诸侯国相继建立,出现了百家争鸣的学术气氛,科学技术和机械迅速发展。兵器从先前的弓箭发展到攻守器械和战车;春秋时期铁器和生铁冶铸技术开始出现,加速了由铜器向铁器时代的过渡;战国时期又有了叠铸、锚链铸造等工艺;当时出现的文献《考工记》总结了多种手工业的生产经验,是科学技术史上有重大价值的专著。

东汉时期出现了水力鼓风设备——水排,其由水轮、带传动、杆传动和鼓风机组成(已经具备了现代机器原动机、传动部分、工作机三个组成部分)。在这一时期,我国古代机械保持着一个较高的水平和发展速度,到宋、元时期,达到了高潮。

这一时期我国出现了一批杰出的科技人才,如张衡、马均、祖冲之、燕肃等。同时,我国古代机械的种类多、水平高、价值大,领先世界。其中,兵器、冶金、陶瓷、造纸、印刷等技术还传到国外,对世界文明的发展有较大影响。

2. 机器的组成

机器的用途、性能、构造、工作原理各不相同,通常一台完整的机器包括以下三个基本部分:

(1) 原动部分。其功能是将其他形式的能量转换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能转换为机械能),是驱动整台机器完成预定功能的动力源。

(2) 传动部分。其功能是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。

(3) 工作部分(或执行部分)。其功能是利用机械能去转换或传递能量、物料、信号等,如发电机把机械能转换成为电能,轧钢机改变物料的外形等。

虽然各种机器的用途各不相同,但从它们的组成、运动确定性以及功能关系来看,都具有以下几个共同的特征:



- (1) 它们是一种人为的实物（实体）组合。
- (2) 各组成部分之间都具有确定的相对运动。
- (3) 能够完成有用的机械功或转换机械能，可代替人类劳动。

凡同时具备上述三个特征的实物组合就称为机器。

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。一台机器可以包含一个机构（如电动机），也可以包含几个机构，如图 1.1 所示的内燃机包含齿轮机构、凸轮机构、曲柄滑块机构等。

上述几种机构尽管结构、性能、作用各有不同，但都具有以下两个共同特性：

- (1) 它们都是由若干构件组合而成的。
- (2) 各构件之间具有确定的相对运动。

凡同时具备上述两个特征的实物组合就称为机构。

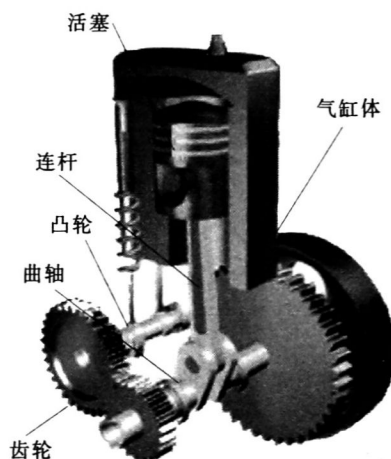


图 1.1 内燃机

1.2 零件和构件

所有的机器都是由零件组合而成的，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，如内燃机曲轴、汽轮机叶片等。根据机器功能、结构要求，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，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，而零件是加工单元。如图 1.2 所示的内燃机连杆由连杆体、连杆头、螺栓以及螺母等零件组成，形成一个运动整体，称为构件。

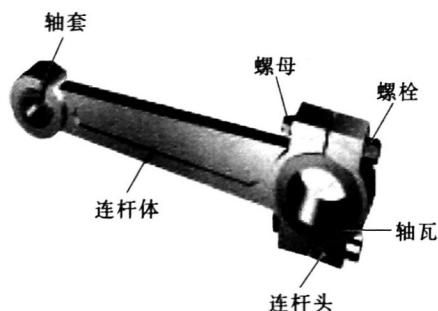


图 1.2 内燃机连杆

1.3 机构的运动

1.3.1 自由度

平面机构是指组成机构的各个构件均平行于同一固定平面。组成平面机构的构件称为平面运动构件。

自由度是构件可能出现的独立运动。任何一个构件在空间自由运动时皆有六个自由度，可表示为在直角坐标系内沿着三个坐标轴的移动和绕三个坐标轴的转动。而对于一个做平面运动的构件，则只有三个自由度。如图 1.3 所示，即沿 x 轴和 y 轴移动，以及

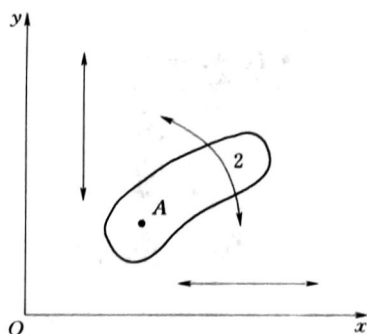


图 1.3 构件的自由度

在 xOy 平面内的转动。平面机构的每个活动构件，在没有用运动副连接之前，都有三个自由度。当两个构件组成运动副之后，某些独立的相对运动受到限制，这种限制称为约束。约束增多，自由度就相应减少。由于不同种类的运动副引入的约束不同，所以保留的自由度也不同。

1.3.2 运动副

机构由若干个相互连接起来的构件组成，两构件之间直接接触并能做相对运动的可动连接，称为运动副。例如轴与轴承之间的连接，活塞与汽缸之间的连接，凸

轮与推杆之间的连接，两齿轮的齿和齿之间的连接等。

在平面运动副中，两构件之间的直接接触有三种情况：点接触、线接触和面接触。按照接触特性，通常把运动副分为低副和高副两类。

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。两构件间的相对运动为直线运动的，称为移动副，如图 1.4 所示；两构件间的相对运动为转动的，称为转动副或铰链副，如图 1.5 所示。

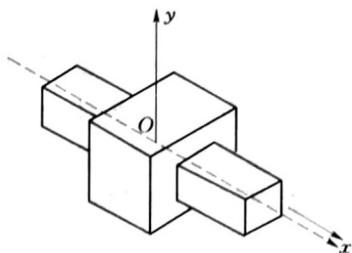


图 1.4 移动副

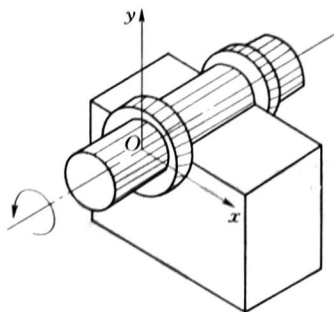


图 1.5 转动副

两构件组成低副时引入了两个约束条件，失去了两个自由度，只剩下一个自由度，即移动或转动。日常所见的门窗活页、折叠椅等均为转动副，推拉门、导轨式抽屉等为移动副。

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 1.6 所示，凸轮与尖顶推杆构成高副；如图 1.7 所示，两齿轮轮齿啮合处也构成高副。两构件组成平面高副时，只引入了一个约束条件。

在平面机构中应注意：①每个低副引入两个约束，使机构失去两个自由度；②每个高副引入一个约束，使机构失去一个自由度。

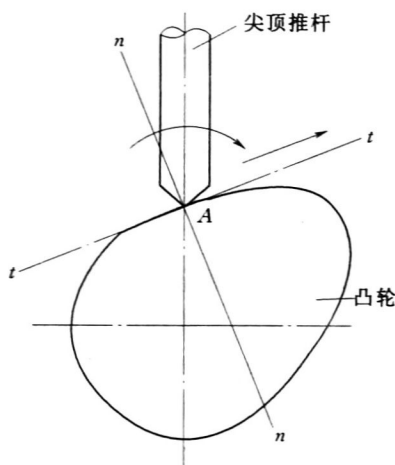


图 1.6 凸轮高副

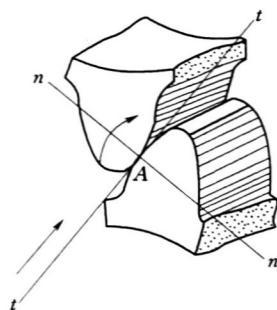


图 1.7 齿轮高副

1.4 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,为了便于分析与运动有关的因素,将无关的因素删减掉,用规定的符号代表构件和运动副,并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见表 1.1,其他常用零部件的表示方法可参看 GB/T 4460—2013《机械制图 机构运动简图用图形符号》。

表 1.1 常用机构运动简图符号

名称	简图符号	名称	简图符号
轴、杆		基本符号	
构件	三副元素构件 	机架是转动副的一部分	
		机架是移动副的一部分	
		构件的永久连接	
平面低副	转动副 	平面高副	齿轮副 外啮合 内啮合
			凸轮副



机构中的构件可分为以下三类：

(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。它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。其中输出预期运动的从动件称为输出构件，其他从动件则起传递运动的作用。

在机构运动简图的绘制中，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 1.1】 试绘制图 1.8 (a) 所示颚式破碎机的机构运动简图。

解：颚式破碎机的主体机构由偏心轴、动颚、肘板、机架共四个构件组成。偏心轴是原动件，动颚和肘板是从动件。偏心轴在与它固连的带轮的拖动下绕轴线 A 转动，驱使输出构件动颚做平面运动，从而将矿石轧碎。

偏心轴与机架绕轴线 A 做相对转动，组成转动副；动颚与偏心轴绕轴线 B 做相对转动，组成转动副；肘板与动颚绕轴线 C 做相对转动，组成转动副；肘板与机架绕轴线 D 做相对转动，组成转动副。

选定适当比例尺，根据图 1.8 (a) 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 1.8 (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。

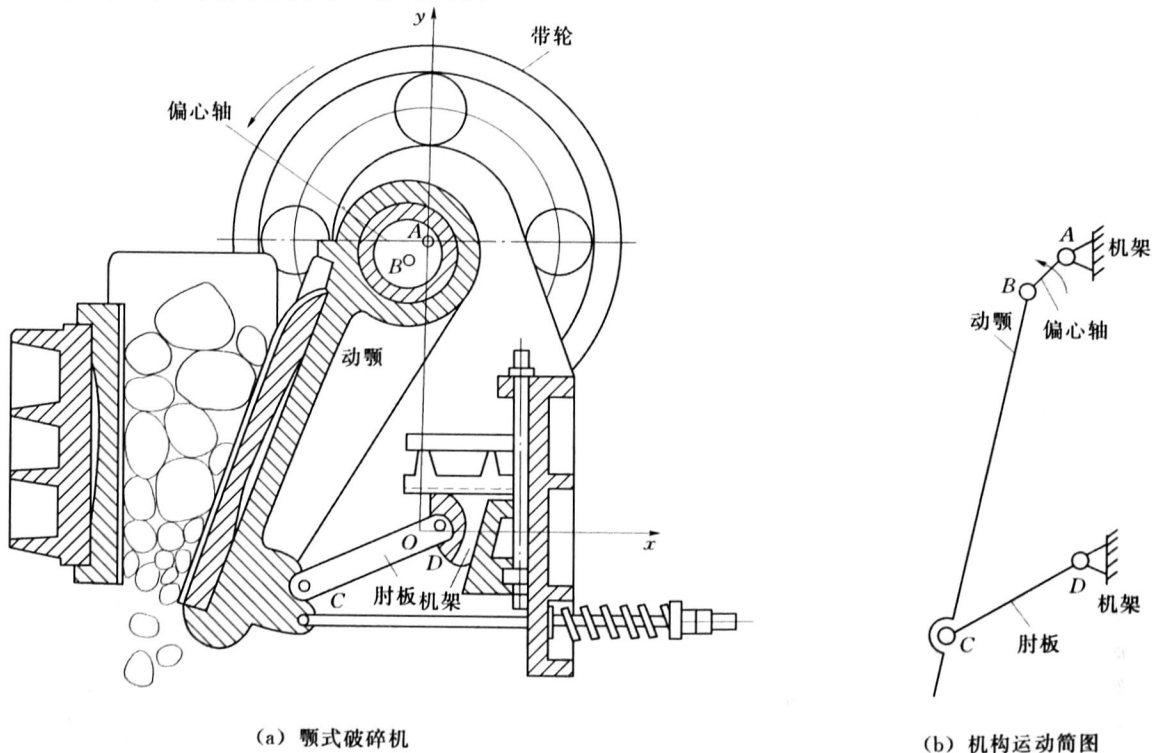


图 1.8 颚式破碎机及其机构运动简图



1.5 机构自由度

1.5.1 机构自由度计算

如果一个平面机构中包含有 n 个活动构件（机架为参考坐标系，因相对固定，所以不计在内），其中有 P_L 个低副和 P_H 个高副。则这些活动构件在未用运动副连接之前，其自由度总数为 $3n$ 。当用 P_L 个低副和 P_H 个高副连接成机构之后，全部运动副所引入的约束为 $2P_L + P_H$ 。因此，活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数，就是该机构的自由度，用 F 表示，其计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1.1)$$

由公式可知，机构自由度 F 取决于活动构件的数目以及运动副的性质和数目。机构的自由度必须大于零，机构才能够运动，否则成为桁架。

【例 1.2】 计算图 1.8 (b) 所示的颞式破碎机的自由度。

解：除机架外，颞式破碎机有 3 个活动构件，即 $n=3$ ；4 个转动副（低副），即 $P_L=4$ 。由式 (1.1) 得

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

该机构的自由度为 1。

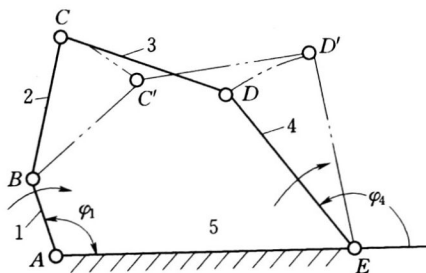
1.5.2 机构具有确定运动的条件

机构的自由度即机构所具有的独立运动的个数。由前所述可知，从动件是不能独立运动的，只有原动件才能独立运动。通常每个原动件只具有一个独立运动，因此，机构自由度必定与原动件的数目相等。

如图 1.9 (a) 所示的五杆机构自由度 $F = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ 。当只给定原动件 1 的位置角 φ_1 时，从动件 2、3、4 的位置既可为实线位置，也可可为双点画线所处的位置，其运动是不确定的。只有给出两个原动件，使构件 1、4 都处于给定位置，才能使从动件获得确定运动。

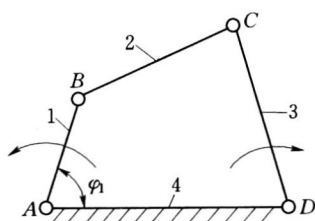
如图 1.9 (b) 所示四杆机构中，由于原动件数大于机构自由度 ($F = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$)，因此，原动件 1 和原动件 3 不可能同时按图中给定方式运动，即机构不具有确定的运动。

如图 1.9 (c) 所示的五杆机构中，机构自由度等于 0 ($F = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$)，它的各杆件之间不可能产生相对运动。



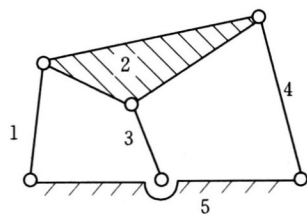
(a) 两个自由度

1、4—连架杆；2、3—连杆；5—机架



(b) 一个自由度

1、3—连架杆；2—连杆；4—机架



(c) 0 个自由度

1、3、4—连架杆；2—连杆；5—机架

图 1.9 不同机构的自由度



综上所述, 机构具有确定运动的条件是: 机构自由度必须大于零, 且原动件数与其自由度必须相等。设原动件数为 W , 机构的自由度为 F , 则机构具有确定运动的条件是

$$W = F > 0 \quad (1.2)$$

1.5.3 计算平面机构自由度应注意的问题

1. 复合铰链

两个以上构件组成两个或多个共轴线的转动副即为复合铰链, 如图 1.10 所示, 在 B 处三构件组成两个共轴线转动副, 即三个构件构成复合铰链。这个复合铰链计算自由度时应按两个转动副计算。如果有 m 个构件以复合铰链相连接, 则构成的转动副数目应为 $m-1$ 个。

2. 局部自由度

机构中常出现一种与输出构件运动无关的自由度, 称为局部自由度。在计算机构自由度时, 可预先排除。如图 1.11 (a) 所示的平面凸轮机构中, 为了减少高副接触处的磨损, 在从动件上安装一个滚子, 使其与凸轮轮廓线滚动接触。显然, 滚子绕其自身轴线转动与否并不影响凸轮与从动件间的相对运动, 因此, 滚子绕其自身轴线的转动为机构的局部自由度, 在计算机构的自由度时, 应预先将转动副 C 除去不计, 或如图 1.11 (b) 所示, 设想将滚子与从动件固连在一起作为一个构件来考虑。这样在机构中, $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 其自由度为 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 2-2\times 2-1=1$ 。即此凸轮机构只有一个自由度。

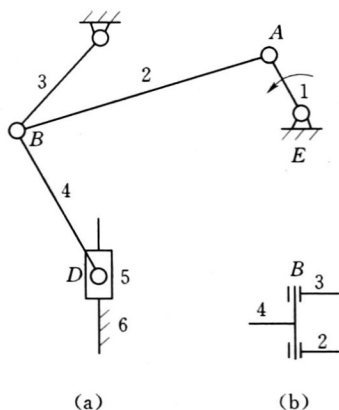


图 1.10 复合铰链

1—曲柄; 2、4—连杆; 3—连架杆; 5—滑块; 6—机架

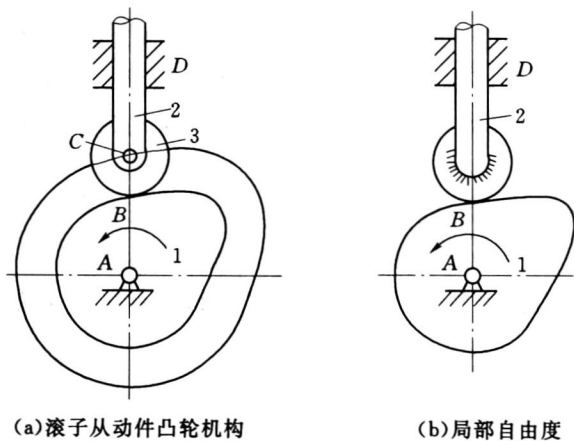


图 1.11 局部自由度

1—凸轮; 2—从动件; 3—滚子

3. 虚约束

在运动副引入的约束中, 有些约束对机构自由度的影响是重复的。这些对机构运动不起限制作用的重复约束, 称为虚约束, 在计算机构自由度时, 应当除去不计。

平面机构中的虚约束常出现在以下场合:

(1) 两个构件之间组成多个导路平行的移动副时, 只有一个移动副起作用, 其余都是虚约束。如图 1.12 所示, 缝纫机引线机构中, 装针杆在 A 、 B 处分别与机架组成导路重合的移动副。计算机构

自由度时只能算一个移动副, 另一个为虚约束。

(2) 两个构件之间组成多个轴线重合的转动副时, 只有一个转动副起作用, 其余都是虚约束。如图 1.13 所示, 两个轴承支撑一根轴, 只能看作一个转动副。

(3) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分, 也为虚约束。如图 1.14 所示的轮系中, 中心轮经过两个对称布置的小齿轮 2 和 2' 驱动内齿轮 3, 其中有一个小齿轮对传递



运动不起独立作用。但由于第二个小齿轮的加入，使机构增加了一个虚约束。

应当注意，对于虚约束，从机构的运动观点来看是多余的，但从增强构件刚度，改善机构受力状况等方面来看，都是必需的。

综上所述，在计算平面机构自由度时，必须考虑是否存在复合铰链，并应将局部自由度和虚约束除去不计，才能得到正确的结果。

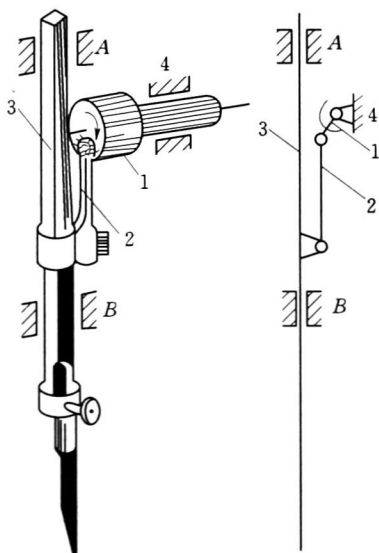


图 1.12 导路重合的虚约束

1—主动件；2—连杆；3—装针杆；
4—机架；A、B—轴承

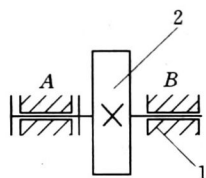


图 1.13 轴线重合的虚约束

1—机架；2—齿轮；A、B—轴承

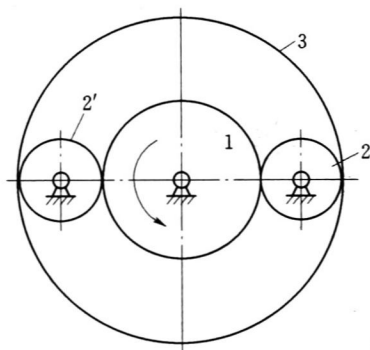


图 1.14 对称结构的虚约束

【例 1.3】 计算图 1.15 所示大筛机构的自由度。

解：机构中标有箭头的凸轮 6 和曲柄 1 作为原动件分别绕 F 点和 A 点转动，迫使工作构件 5 带动筛子抖动筛料。

注意：①2、3、4 三构件在 C 点组成复合铰链，此处有两个转动副；②滚子 7 绕 E 点的转动为局部自由度，可看成滚子 7 与活塞杆 8 焊接一起；③8 和 9 两构件形成两处移动副，其中有一处是虚约束。

机构有 7 个活动构件，7 个转动副、2 个移动副、1 个高副，即 $n=7$ 、 $P_L=9$ 、 $P_H=1$ 。按式 (1.1) 计算得

$$F=3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

因为机构有两个原动件，其自由度等于 2，所以具有确定的运动。

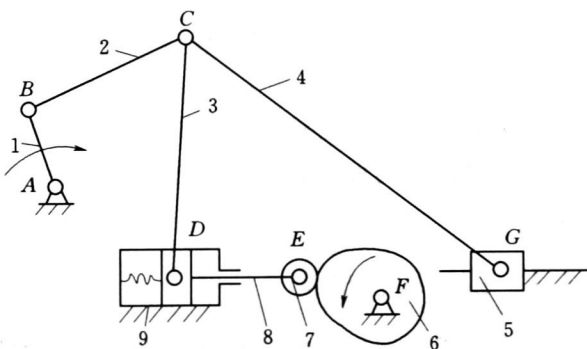


图 1.15 大筛机构

1—曲柄；2~4—连杆；
5—滑块；6—凸轮；7—滚子；
8—活塞杆；9—机架