

上海市本科教育高地建设  
机械制造及其自动化系列教材

# 机械原理

主 编 陆 宁  
副主编 滕 兵 樊江玲 韩丽华 许 勇

清华大学出版社

上海市本科教育高地建设  
机械制造及其自动化系列教材

# 机械原理

主 编 陆 宁  
副主编 滕 兵 樊江玲 韩丽华 许 勇

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书根据机械原理教学基本要求编写,内容包括平面机构的结构分析、机构的运动分析、连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、其他常用机构、机械的平衡、机器运转和速度波动的调节、机械传动中运动副的摩擦及机械效率。在编写中现实地考虑了目前本科机械类专业“机械原理”课程的课内实际教学时数,按照实际可能完成的教学任务安排教学内容,并根据目前教学实际通俗易懂,恰如其分地讲述机械原理的课程内容。

本书可作为高等工科院校机械类各专业的教材,也可供机械类各专业师生在学习本课程时参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理/陆宁主编. —北京:清华大学出版社,2008.12  
(上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材)  
ISBN 978-7-302-19068-4

I. 机… II. 陆… III. 机构学—高等学校—教材 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 195458 号

责任编辑:庄红权 张秋玲

责任校对:王淑云

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:9.75

字 数:231 千字

版 次:2008 年 12 月第 1 版

印 次:2008 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:19.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。  
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:032175-01

# 上海市本科教育高地建设 机械制造及其自动化系列教材编写委员会

顾 问 陈关龙

主 任 程武山

副主任 何法江

编 委 王明红 蔡颖玲 陆 宁 陆 文

秘 书 周玉凤

# 序言



进入 21 世纪以来,我国制造业得到了飞速发展。中国已成为世界制造业大国,正面临从制造业大国向制造业强国转型的关键时期。培养大批适应中国机械工业发展的优秀工程技术人才,是实现这一重大转变的关键。

遵循高等教育、人才培养和社会主义市场经济的规律,围绕《上海优先发展先进制造业行动方案》,紧贴区域经济和社会需求的发展,上海工程技术大学机械工程学院抓住“上海市机械制造及其自动化本科教育高地建设”这一机遇,把握先进制造业和现代服务业互补、融合的趋势,把打造工程本位的复合应用型人才培养基地作为高地建设的核心,把培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力和创新能力的优秀的复合应用型人才培养基地——“生产一线工程师”,作为高地建设的战略发展目标。

正是基于上述考虑,本编写委员会联合清华大学出版社推出上海市教育高地建设机械制造及其自动化系列规划教材,希望根据“以生为本,以师为重,以教为基,以训为媒,突出工程实践”的教育思想理念和当前的科技水平以及社会发展的需求,精心策划和编写本系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的工程技术人才。

本系列教材的编写,注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,使之符合最新国家与部门标准。在编写时,作者们重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架;重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程变得顺理成章;重视工程实践与教学实验,改变原教材过于偏重知识的倾向,力图引导学生通过实践训练,发展自己的工程实践能力;倡导创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和群体协作能力。

本系列教材的编写和出版,是上海市本科教育高地建设的课程和教材改革中的一种尝试,一定会存在许多不足之处。希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

陈关龙

2008 年 12 月

# 前言

本书是根据机械原理教学基本要求并考虑目前高等学校机械类专业在机械原理课程上安排的实际教学学时数编写的。多年教学改革的经验 and 多媒体环境下的教学实践,为本书的编写奠定了基础。

本书的编排次序是:先机构后机器,先运动学后动力学,在每个章节的安排上贯彻先分析基本概念后讨论设计方法的思路。本书首先讨论了机构的结构分析、机构的运动分析,从而使读者对机构及其运动有一个基本的概念;然后再讨论连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和轮系;最后介绍转子平衡和转子速度波动的调节、机械效率等内容。这样的安排符合学生的认识规律,系统性强且有利于讲清基本概念,有利于提高学生分析问题和解决问题的能力。本书讲解中力求联系实际,通俗易懂、恰如其分地讲述机械原理的课程内容,在讲清基本概念的情况下,力求减少篇幅使之适合目前实际的教学学时数。

为方便读者在多媒体环境下的教学,另外配套出版了《机械原理教学课件》,此课件所使用的动画素材全部制作成了可执行文件及影视文件,供教师课堂教学和学生课后复习时选用。由于各位教师的讲课风格和特点存在差异,光盘的内容主要是给读者提供课件素材,以利于读者有选择地使用。

参加本书编写的教师有:樊江玲(第0,1,2章),陆宁(第3,5章),滕兵(第4,6章),韩丽华(第8,9章),许勇(第7,10章)。由陆宁统稿。

本书可作为高等工科院校机械类各专业的教材,也可供机械类各专业师生在学习本课程时参考。

编写符合新时代特色的立体化教材是一个任重而道远的任务。由于时间仓促,不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

作 者

2008年12月

# 目录



<b>0</b>	<b>绪论</b> .....	<b>1</b>
0.1	机械原理的研究对象及基本概念 .....	1
0.2	机械原理课程在人才培养中的地位、作用及其主要内容 .....	2
0.3	机械原理课程的学习方法 .....	3
<b>1</b>	<b>平面机构的结构分析</b> .....	<b>4</b>
1.1	研究机构结构的目的 .....	4
1.2	构件、运动副、运动链和机构 .....	4
1.3	机构运动简图的绘制 .....	6
1.4	平面机构自由度分析 .....	9
1.4.1	平面机构自由度的计算 .....	9
1.4.2	机构具有确定运动的条件 .....	11
1.4.3	计算平面机构自由度时应注意的事项 .....	12
1.5	平面机构的组成原理和结构分析 .....	15
	习题 .....	19
<b>2</b>	<b>机构的运动分析</b> .....	<b>22</b>
2.1	进行运动分析的目的和方法 .....	22
2.2	速度瞬心法在机构速度分析中的应用 .....	23
2.2.1	速度瞬心的概念 .....	23
2.2.2	机构瞬心的数目 .....	23
2.2.3	速度瞬心位置的确定 .....	23
2.2.4	速度瞬心法在机构速度分析中的应用 .....	25
2.2.5	瞬心法的优缺点 .....	26
2.3	相对运动图解法在机构速度分析中的应用 .....	26
2.4	用解析法进行机构的运动分析 .....	29
	习题 .....	32

<b>3</b>	<b>连杆机构</b> .....	<b>34</b>
3.1	平面连杆机构的类型及演化 .....	34
3.2	平面四杆机构的曲柄存在条件和几个基本概念 .....	36
3.3	平面四杆机构的图解法设计 .....	40
3.4	平面四杆机构的解析法设计 .....	43
3.5	平面四杆机构的实验法设计 .....	44
	习题 .....	45
<b>4</b>	<b>凸轮机构</b> .....	<b>49</b>
4.1	凸轮机构的应用和类型 .....	49
4.2	从动件的常用运动规律 .....	51
4.3	凸轮机构的压力角 .....	54
4.4	图解法设计凸轮轮廓 .....	56
4.4.1	直动从动件盘形凸轮轮廓的绘制 .....	56
4.4.2	摆动从动件盘形凸轮轮廓的绘制 .....	58
4.5	解析法设计凸轮轮廓 .....	59
	习题 .....	60
<b>5</b>	<b>齿轮机构</b> .....	<b>63</b>
5.1	齿轮机构的特点和类型 .....	63
5.2	齿廓啮合基本定律 .....	64
5.3	渐开线齿廓 .....	64
5.4	渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸 .....	67
5.5	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合及连续平稳传动条件 .....	70
5.6	渐开线齿廓的加工及根切 .....	74
5.7	变位齿轮 .....	76
5.8	平行轴斜齿圆柱齿轮机构 .....	79
5.9	蜗杆机构 .....	83
5.9.1	蜗杆的形成 .....	83
5.9.2	蜗杆的主要参数和几何尺寸 .....	84
5.9.3	蜗杆传动的优缺点 .....	86
5.10	圆锥齿轮机构 .....	86
	习题 .....	88
<b>6</b>	<b>轮系</b> .....	<b>91</b>
6.1	轮系的类型 .....	91
6.2	定轴轮系及其传动比 .....	91
6.3	周转轮系及其传动比 .....	93
6.4	复合轮系及其传动比 .....	96



6.5	轮系的主要功能	97
6.6	几种特殊的行星传动简介	99
	习题	103
<b>7</b>	<b>其他常用机构</b>	<b>106</b>
7.1	棘轮机构	106
7.2	槽轮机构	109
7.3	不完全齿轮机构	111
7.4	凸轮式间歇运动机构	113
	习题	114
<b>8</b>	<b>机械的平衡</b>	<b>115</b>
8.1	机械平衡的目的及分类	115
8.2	刚性回转件的平衡计算	116
8.3	回转件的平衡试验	119
	习题	121
<b>9</b>	<b>机器运转和速度波动的调节</b>	<b>122</b>
9.1	研究机器运转及其速度波动调节的目的	122
9.2	等效力和等效力矩	123
9.3	等效质量和等效转动惯量	124
9.4	机器的运动方程	124
9.5	机械运转速度波动的调节	126
	习题	131
<b>10</b>	<b>机械传动中运动副的摩擦及机械效率</b>	<b>133</b>
10.1	移动副中的摩擦	133
10.2	转动副中的摩擦	135
10.3	机械效率的求法及自锁条件	137
	习题	140
	<b>主要参考文献</b>	<b>142</b>

## 0.1 机械原理的研究对象及基本概念

机械原理课程是机械设计理论和方法中的重要分支,研究的对象是机构和机器,两者总称为机械。因此,机械原理又称为机器理论与机构学。

人类通过长期生产实践创造了机器,并使其不断发展形成当今多种多样的类型。根据机器主要用途的不同,可分为动力机器、加工机器、运输机器和信息机器等。

动力机器的用途是将任何一种能量变换成机械能,或者将机械能变换成其他形式的能量,电动机、涡轮机、内燃机、发电机等均属此列。加工、运输机器的用途是改变物料。所谓物料是指被加工或运输的对象。加工机器有金属切削机床、织布机、缝纫机与包装机等。运输机器则包括汽车、飞机、起重机、输送机、内燃机车等。计算机、复印机、打印机、照相机等属于信息机器,主要用来完成信息的传递和变换。

虽然这些机器的构造、用途、性能各不相同,但是,总结起来它们都具有3大共同特征:

(1) 都是人为用各种材料制造的实物的组合体;

(2) 各实物之间具有确定的相对运动,在预定的力约束条件下,其中一个或一个以上实物的运动确定后,其他实物的运动也将随之确定;

(3) 用来完成一定的工作过程,以代替或减轻人类的劳动,实现能量的转化。

因此,机器可定义为一种由人为制造的实物组成的具有确定相对运动的装置。这些人为制造的实物称为构件。

但是,机器还不是实现预期动作的最基本的组合体。一台机器还可划分为一个或若干个实物的组合体,这些组合体各自具有特定的传递和转换运动的功能,这些基本组合体称为机构。如图0.1所示的内燃机由汽缸、活塞、进气阀、排气阀、连杆、曲轴、凸轮、阀门推杆、齿轮等组成。燃气推动活塞作往复移动,经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启、闭进气阀和排气阀的,为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,曲轴与凸轮轴之

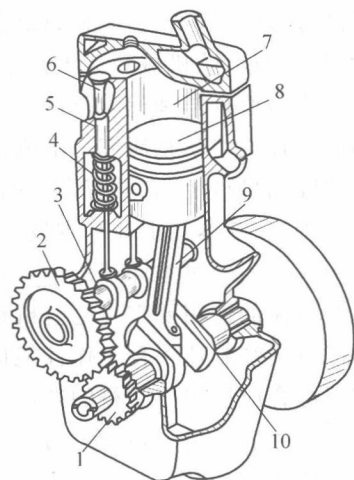


图 0.1 内燃机结构图

- 1—小齿轮; 2—大齿轮; 3—凸轮;  
4—弹簧; 5—阀门推杆; 6—气阀;  
7—汽缸; 8—活塞; 9—连杆; 10—曲轴

间安装了齿数比为  $1:2$  的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,各构件协调地动作,进、排气阀有规律地启、闭,加上汽化、点火等装置的配合,就把热能转换为曲轴回转的机械能。其中,由汽缸、活塞、连杆、曲轴与机体组成了连杆机构;由小齿轮、大齿轮与机体组成了齿轮机构;由凸轮、阀门推杆与机体组成了凸轮机构。通过这些机构以及其他机构的联合运作,才能把能量转换成机械能并对外做功。

由此可见,一部机器可能包含多种类型的机构,也可能只包含一种类型的机构。就其组成来说,机器都是由若干个机构组合而成的。机器与机构的不同之处在于:机器不仅产生确定的相对运动,而且能完成能量从一种形式到另一种形式的转化或改变工件的物理性质、状态、位置,即做有用的机械功。显然,机构具有机器的前两个特点而不具有第三个特点。机构是机器的主要组成部分,因此,机构也就成为本课程所要研究的主要对象。从结构和运动的传递与变换来看,机器与机构并无区别,因此可以统称为机械。在机构中给定运动的构件称为输入构件,也称为原动件;完成执行动作的构件称为输出构件,又称为执行构件。本身固定不动的构件,或者固结于给定的坐标参考系可视为固定不动的构件统称为机架。构件与零件属于不同的概念,构件是运动单元,而零件属于制造单元。机器中的构件可以是单一的零件,也可以是由若干个零件装配而成的刚性结构。

## 0.2 机械原理课程在人才培养中的地位、作用及其主要内容

### 1. 机械原理课程在人才培养中的地位和作用

机械原理是为研究各种机械所具有的共性问题而开设的技术基础课程。该课程一方面以高等数学、普通物理、机械制图、理论力学、金属工艺学等课程为基础,另一方面又为以后学习机械设计、机械制造工艺学以及其他机械类专业课程奠定必要的理论基础。

机械原理与理论力学的关系十分密切,它们都研究运动和力的问题,可二者的性质却不相同。理论力学是研究一般刚体力学的原理,而机械原理则是将理论力学的有关原理应用于实际的机械上,它具有自己的特点。它的主要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,培养学生初步拟定机械运动方案、分析和设计基本机构的能力。学生通过本课程的学习,能够掌握机构和机器动力学的基本理论和基本知识,并具有按照机械的使用要求将这些机构组合起来进行机械系统运动方案设计的初步能力。

设计和制造一种工作性能优良的新机器,需要掌握机器的工作原理、设计和制造原理,需要综合应用多门学科的知识。而机械原理是其中一门重要的学科。机械原理在培养高级技术人才的全局中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创新能力的作。对于那些主要应用机械的工程技术人员,应熟悉各种机构的工作原理及其在机器中的作用。因此,掌握了机械原理,有利于发挥机器的工作性能,有助于维护保养好机器。

### 2. 机械原理课程的主要内容

机械原理是一门研究机构及机械运动设计的学科,其对于机构的研究包括以下 4 个方面的内容:

(1) 机构的组成及其自由度的计算。既然本课程研究的主要对象是机构,那么首先需要研究机构是如何组成的,以及机构在何种条件下才具有确定的运动。而分析机构具有确

定运动的条件,关键是要计算机构的自由度。同时还要研究如何用规范、简单的图形把机构的组成及机构的运动情况表示出来,即所谓机构运动简图的绘制问题。

(2) 机构的运动分析。对机构进行运动分析是设计新机械的必需步骤,也是合理使用现有机械的必要依据。它是在不考虑引起机构运动的力作用的情况下,从几何的观点来求解机构中点的轨迹、位移、速度以及构件的角位移、角速度等。

(3) 常用机构的分析与设计。机器的类型虽然很多,形式也各不相同,但是经过分析可以发现,各种机器的运动部分通常是由一些常用机构组成的。因此,本课程将主要介绍几种常用机构(如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等)的运动特性、工作特点、使用场合以及这些机构的分析与设计方法。

(4) 机械的动力学分析。由于现代机械设备日益向高速、重载、高精度、高效率、低噪声等方向发展,因此对于机构的力分析和机器动力学问题的研究就显得愈来愈重要。本课程将主要介绍在机械运动过程中,机械的平衡以及机械的运转及其速度波动的调节等问题。

### 0.3 机械原理课程的学习方法

为了学好机械原理课程,应注意以下几点。

#### 1. 掌握课程研究内容之间的共同点和特殊性

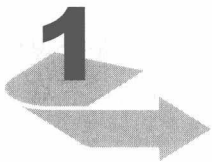
本课程是一门技术基础课,它不像物理、数学、力学等理论基础课程那样具有很强的理论系统性,而是与实际联系更为紧密。其所介绍的各部分内容之间,既有共同性,也有一定的独立性。虽然机构之间存在一些共性问题,而更重要的则是它们各自的特殊性。在学习本课程时必须注意到技术基础课程的这一特点,从熟悉和掌握各种典型机构的结构和运动特点入手,深入理解满足实际生产需要的机构分析和设计方法。

#### 2. 逐步树立工程观点

熟悉和掌握机械运动简图的画法,要习惯于采用运动简图来认识机构和机器,想象机构和机器的运动情况。学习本课程与学习其他基础理论课程在方法上应有所区别。由于这门课程研究的主要对象是机械,如果读者能多接触一些实物、模型,仔细观察机械的工作和运动情况,对各种机构有较直观的印象,可以帮助加深对课程的理解,有助于学好机械原理。读者在学习过程中应注意随时收集和思考在日常生活和生产中所用到的各种机械和机械设计问题,根据所学到的知识进行观察与分析,做到理论与实际的紧密联系。

#### 3. 深化概念理解,掌握研究方法,多做习题

对于课程中的基本概念要深刻理解,以便更好地掌握课程内容,起到事半功倍的效果。多做习题也是学好本课程的必要环节。首先要熟悉如何从生产实际中提炼出理论问题,再用学到的理论、研究方法进行求解,最后得到符合实际需要的结果。多做习题可以培养读者解决实际问题的能力。求解习题前应先重点复习有关例题,归纳总结解题思路,从中得到启示,还可以加深对基本理论和方法的理解。



# 平面机构的结构分析

## 1.1 研究机构结构的目的

由前面所述可知,机构是具有确定相对运动的构件组合。机械原理课程的一项基本任务,就是要对机构进行运动分析和动力分析。在着手设计新机构时,首先必须对机构的结构进行分析,看其是如何组成的,该机构能否运动,若能运动,在何种条件下才具有确定的相对运动。因此,研究机构结构的目的之一,就是要探讨机构运动的可能性以及机构具有确定运动的条件。

然而实际机构往往是由外形和结构都很复杂的构件组成的,对它们逐个分析研究十分繁琐。因此,研究机构结构的另一目的,就是要将成千上万的机构按结构加以分类,并按这种分类来建立运动分析和动力分析的一般方法。

为了便于研究机构的运动,有必要撇开那些与运动无关的构件外形和具体构造,仅仅考虑构件的连接特征和与运动有关的尺寸,用尽可能简单的线条和符号绘制机构运动简图。掌握正确绘制机构运动简图的方法也是研究机构结构的目的之一。

除此以外,我们还要研讨机构的组成原理,弄清机构的组成规律,从而对机构有更深刻的了解,为设计和分析机构打下基础。由于在实际工作中应用最多的是平面机构,因此本章以讨论平面机构为主。

## 1.2 构件、运动副、运动链和机构

### 1. 构件

机构是一个用于传递运动和力或改变运动形式的机械传动系统,是由若干个具有确定相对运动的运动单元组成的。这些运动单元称为构件。构件可以是单一的零件,也可以是由若干个零件组成的闭性结构。在图 0.1 所示的内燃机中,构件连杆就是由连杆体、连杆头、轴瓦、螺栓、螺母、垫圈等零件闭性地连接在一起,作为一个整体而运动的,如图 1.1 所示。这些刚性地连接在一起的各个零件共同组成了一个独立的运动单元,而组合连接的各个零件之间并没有相对运动。因此,连杆是一个运动单元。从此例可以看出,构件和零件的根本区别在于:构件是运动的单元,零件是制造的单元。因此,从机构运动的观点来看,构件是机构的基本组成单元,而机构则可看作由若干个构件组合而成的构件组合体。

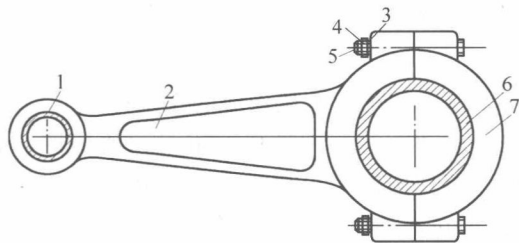


图 1.1 内燃机连杆结构

1—小端轴承；2—连杆体；3—垫圈；4—螺母；5—螺栓；6—轴瓦；7—连杆头

在组成机构的各个构件中，必然存在一个构件用于支持和安装其他构件，此构件固定不动，或者虽然相对于地球运动（如各种固定在地基上的机座），但与参考坐标系固接而视为相对不动（如飞机的机体和机车的车架），这样的构件称为机架。由于在分析机构运动时一般总是取机架为静参考系，故又常称为固定杆。除机架以外的其他构件均称为活动构件或活动杆。其中，受外力作用并按给定运动规律作独立运动的构件称为原动件，其余由原动件带动而随之运动的构件均称为从动件。应用于不同机器中的同一机构，其原动件可以不同。例如，内燃机中的曲柄滑块机构的原动件为滑块，而在往复式空气压缩机中，曲柄滑块机构的原动件则为曲柄。

总之，一个机构是由一个机架和至少一个活动构件组成的，活动构件中至少有一个是原动件。构件是由一个或若干个零件装配而成的。

## 2. 运动副

当由构件组成机构时，各构件之间需要以一定的方式彼此连接，而且，在两个构件连接之后，仍要保证具有产生某些相对运动的可能。这种由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。两构件上参与接触而构成运动副的部分称为运动副元素。如图 1.2 所示，杆件 1 与杆件 2 的铰接（图 1.2(a)）、滑块 1 与导轨 2 的接触（图 1.2(b)）、齿轮 1 的轮齿与齿轮 2 的轮齿的啮合（图 1.2(c)）等都是运动副的具体结构形式。两构件之间的接触有点、线、面 3 种，构成运动副的点、线或面称为运动副元素。

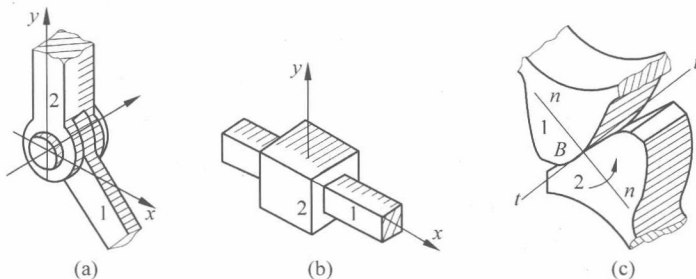


图 1.2 常见运动副

面接触为低副  
点线为高副

两构件有不同的连接，运动副就有不同的类型。两构件组成的运动副不同，彼此间相对运动所受到的限制也就不同。图 1.2(a)中，两构件以铰链相连，彼此间只能相对转动，称为转动副。图 1.2(b)中两构件以滑槽连接，彼此间只能作相对直线运动，称为移动副。这两种运动副都是面接触，因而当两构件相互作用时所产生的压强小，称为低副。两构件通过点

或线接触而构成的运动副统称为高副,如图 1.2(c)所示。

### 3. 运动链

用运动副将两个或两个以上的构件连接而成的系统称为运动链。运动链分为闭式运动链和开式运动链两种。构成运动链的构件形成首末封闭的环链,如图 1.3(a),(b)所示,称为闭式运动链,或简称闭链;而其构件未构成首末封闭环链的,如图 1.3(c),(d)所示,则称为开式运动链,或简称开链。在各种机械中一般多采用闭链。

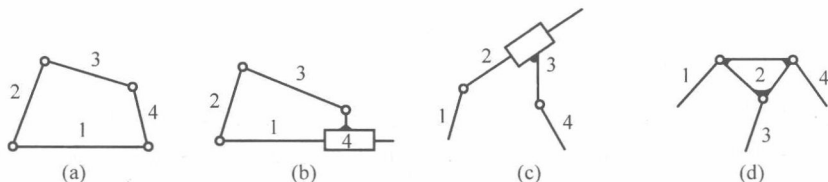


图 1.3 运动链

### 4. 机构

在运动链中,如果指定某一构件为机架,而让另一构件(或几个构件)按给定的运动规律相对于机架作独立运动,其余构件都将作确定的运动,那么这个运动链就成为一个机构。换句话说,机构是具有确定相对运动的运动链。

组成机构的各构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构,否则称为空间机构。平面机构的运动副称为平面运动副,空间机构的运动副称为空间运动副。由于常用的机构大多数为平面机构,所以本章仅讨论平面机构的结构问题。

## 1.3 机构运动简图的绘制

实际构件的外形和结构往往很复杂,在对已有机构进行研究或构思新机构时,都需要简明地表达各构件的相对运动关系。由于机构中各构件的运动情况是由其原动件的运动规律、各构件间的连接情况,即各构件间构成的运动副类型(例如是高副还是低副,是转动副还是移动副等),以及各构件的运动尺寸(即确定各运动副相对位置的尺寸)来决定的,而与各构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及固连方式等无关,所以可以排除所有与运动无关的因素,仅用简单线条和符号来表示构件和运动副,并按比例确定各运动副的位置,这样就构成了机构运动简图。

机构运动简图不仅可以简明地表达一部机器的工作原理,而且还可以用于图解法来求机构上各点的轨迹、位移、速度和加速度。值得指出的是,虽然实际应用的机器千差万别,但从运动学的角度来看,许多机器的主体机构却可能是同一类型的。例如,活塞式内燃机、空气压缩机、冲床等,尽管它们的外形和功能各不相同,但它们的主要传动机构都是曲柄滑块机构。

图 1.4(a)~(c)是两个构件组成转动副的表示方法。用圆圈表示转动副,其圆心代表相对转动轴线。若组成转动副的两构件都是活动构件,则用图(a)表示;若其中有一个为机架,则把代表机架的构件画上斜线,如图(b),(c)所示。

两构件组成移动副的表示方法如图 1.4(d)~(f)所示。移动副的导路必须与相对移动

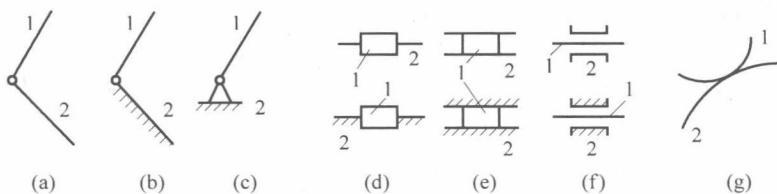


图 1.4 平面运动副表示方法

方向一致。同前所述,图中画阴影线的构件表示机架。

两构件组成高副时,在简图中应当画出两构件接触处的曲线轮廓,如图 1.4(g)所示。

构件的相对位置由运动副决定。在平面机构运动简图中,构件的表示方法规定如下:对于具有两个运动副的构件,只要用一条直线把这两个运动副连接起来,就可以代表这个构件。图 1.5(a)所示为具有两个转动副的构件;图(b)所示为具有两个移动副的构件;图(c)所示为具有一个转动副和一个移动副的构件。该构件还可以画成如图(d)所示,转动副中心仍在原处,而移动副导路用通过转动副中心的平行线代替,此画法对于表示这个构件的运动并无影响。

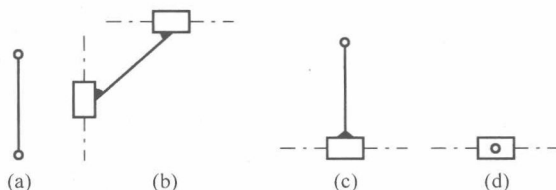


图 1.5 构件表示方法

具有几个运动副元素的构件就可用有几条边的多边形来表示。为表明若干个运动副元素属于同一构件,多边形的每两条直线相交的部位都要涂上焊缝的记号(图 1.6(a)),或在多边形内部打上剖面线(图 1.6(b))。如果几个转动副的中心处于一条直线上,则可用一条直线加以连接。如图 1.6(c)所示,在中间的转动副处画上半圆跨越符号,表示上、下两线段属于同一构件。超过 3 个运动副的构件的表示方法可依此类推。具有  $n$  个运动副的构件可以用  $n$  边形表示,图 1.6(d)所示即为具有 3 个转动副和 1 个移动副的构件的表示方法。

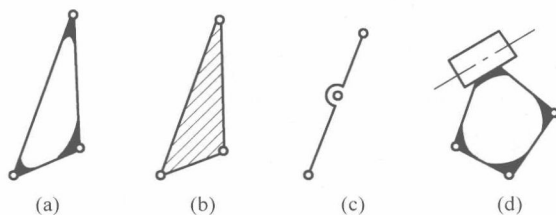


图 1.6 含多个运动副元素的构件

对于机构中常用的构件和零件,如齿轮、凸轮等,有时还可采用惯用画法画出一对节圆来表示互相啮合的齿轮,用完整的轮廓曲线来表示凸轮,方法可参看 GB 4460—1984“机构运动简图符号”。

机构运动简图必须根据原机械的运动尺寸,严格地按确定的比例尺绘出,才具有与原机械完全相同的运动特性。这样的简图不仅可以简明地表达原机械的机构结构及运动情况,



而且还可根据该图对机构进行运动分析和动力分析。

如果只是为了反映机械的机构组成情况及其运动传递方式,也可不要求严格按比例尺绘图,这样绘制的机构简图称为机构示意图。但是,不能依据机构示意图对机构进行运动分析及动力分析。

绘制平面机构运动简图的步骤如下:

(1) 分析机械的实际构造和运动情况,查明该机构由多少个构件组成,找出机架及原动件,并根据相连接的两构件间的接触情况及相对运动的性质,确定各个运动副的类型,并依次标上字母。

(2) 循着运动的传递路线分析该机械原动部分的运动如何经过传动部分传递到工作部分。从原动件开始到各个从动件,沿着运动的传递路线依次在各构件上标上数字编号。

(3) 选择与机械的多数构件的运动平面相平行的平面作为绘制机构运动简图的投影面。

(4) 选择适当的比例尺,根据该机械的运动尺寸,确定各运动副之间的相对位置,用规定的符号将各运动副表示出来,用直线或曲线将同一构件上各运动副元素连接起来,用箭头标出机构原动件在图示位置时的运动方向,绘制出所要画的机构运动简图。

在绘制过程中要注意,为了准确地表达构件间的相对运动,转动副的小圆要画在组成转动副的两构件的相对转动中心;而移动副的导路与组成移动副两构件的相对移动方向要一致;表示高副的曲线,其曲率中心的位置也要和实际轮廓的曲率中心一致。

下面举两个例子加以说明。

**【例 1.1】** 试绘制图 1.7(a)所示颚式破碎机的机构运动简图。该颚式破碎机由 4 个构件组成,分别是机架 1、曲柄(偏心轴)2、动颚 3 和肘板 4。带轮与偏心轴 2 固连成一个整体,它是运动和动力输入构件,为原动件。其余构件都是从动件。当带轮和偏心轴 2 绕轴 A 转动时,驱使输出构件动颚 3 作平面复杂运动,从而将矿石轧碎。

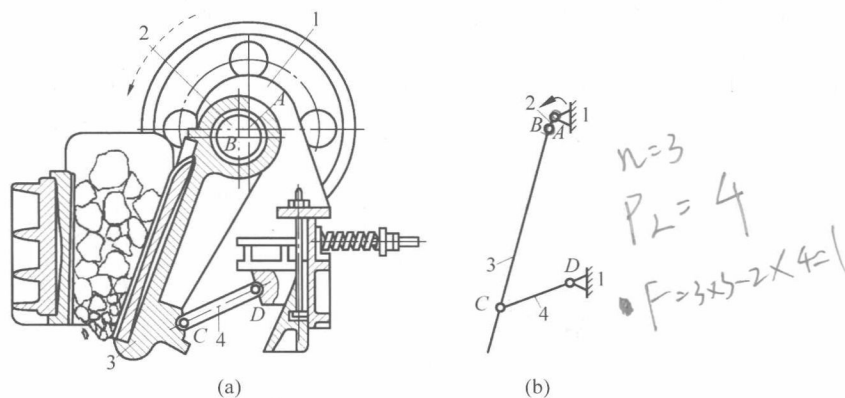


图 1.7 颚式破碎机及其运动简图

**解:** 原动件为曲柄(偏心轴)2,它分别与机架 1 和动颚 3 组成转动副,其回转中心分别为 A 点和 B 点。动颚 3 与肘板 4、肘板 4 与机架 1 也分别组成转动副,它们的回转中心分别为 C、D 两点。在选定长度比例尺和投影面后,定出各转动副的回转中心点 A、B、C、D 的位置,并用转动副符号表示,再用直线把各转动副连接起来,在机架上加上短斜线,并在原动件