

高等学校教材

# 机械基础

下册

(机械传动与液压、气压传动)

王文中 杨洪林 袁国兴 编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等学校教材

# 机 械 基 础

下 册

(机械传动与液压、气压传动)

王文中 杨洪林 袁国兴 编

孟庆东 主审



机械工业出版社

本书是根据教育部制订的机械基础课程教学基本要求,为适应当前教学改革发展的需要而编写,突出了对非机械类专业高等教育的学生应掌握、了解必要的机械基础知识的特点,反映了编者多年的教学经验,并贯彻了最新国家标准。本书是已出版的《机械基础》上册(工程力学与工程材料)的续集。

本书共二篇 13 章,内容包括:机构分析基本知识、平面四连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、带传动和链传动、齿轮传动和减速器、螺纹联接与螺旋传动、轴、轴承、联轴器和离合器、弹簧;液压传动基本知识、液压元件、液压基本回路及液压系统、气压传动。每章后均附有复习题。

本书可作为高等院校本、专科、成人高校等非机械类专业,如化工、高分子材料加工成形工艺、工业企业电气化、制冷与空调、电子技术应用、工业自动化及仪表、精密机械及仪器等专业,以及近机械类专业的教学用书,还可供有关工程技术人员和管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械基础.下册,机械传动与液压、气压传动/王文中等编.一北京:机械工业出版社,2005.11

高等学校教材

ISBN 7-111-17621-9

I.机... II.王... III.①机械学-高等学校-教材②机械传动-高等学校-教材③液压传动-高等学校-教材④气压传动-高等学校-教材  
IV.TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 122856 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘小慧 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·15.75 印张·388 千字

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

机械基础是众多非机械类专业应开设的一门综合性技术基础课程。该课程的开设，将改善学生的知识结构，提高学生的技术应用能力，更好地为社会服务，更广泛地适应人才市场的需求。我们对本课程的教学改革已探索多年，在教学内容和教学方式上都进行了一系列的改革尝试。

为了加强教与学的联系，避免相关课程内容的重复，充分利用日趋紧张的课时，就要解决好教材的配套问题。为此，我们结合多年的教学经验，在试用多年的《机械基础》讲义的基础上，针对人才培养目标和要求，较广泛地吸收了许多院校的意见，现由多所院校参加，对原讲义进行了充实和较大的修改，集体编写成本书，因而本书是集思广益、教学改革的产品。

本课程的目的是使学生获得必要的机械基础理论知识，具体要求就是初步掌握有关工程力学、工程材料、机构和机械传动及液、气压传动等方面的基础知识。这些基础内容对于工程类非机械专业的工程技术人员是必须掌握的。因此，本书包括了上述四部分的基础内容。对这四部分内容，我们在既要尊重它们原学科体系，保证相对的独立性，同时又在分析这几部分内容内在联系的基础上，探讨改变某些传统讲法、力求更贴近实际应用，为使本课程逐步形成自己的课程体系方面作为初步的尝试。

本书编写以精选内容、保证基础、加强实践、重在应用、讲究教学方法为原则。考虑到某些读者（如函授、夜大等成人教育）的特点和学习要求，又考虑到这门课程涉及的内容较广泛，学习本课程的学生先修的与之相关的基础课一般较少，并且各校本、专科各专业对这门课的教学要求差异比较大等特点，我们在编写时有针对性地考虑了三条：

1) 内容的选取着眼于加强实践和学以致用。

2) 讲述方法要适应非机类专业学生的特点。在内容上力求做到由浅入深，循序渐进，实例较多，分析步骤较详尽，并且有相当部分适应于自学。

3) 不同的层次、不同的专业对本课程的深度和广度要求有较大差异，即教学要求有较大的弹性。为了适应这一特点，使学时数在 90~120 学时之间均可使用本教材，所以本书采编的内容较广泛，分为基本、基础部分和选学部分。书中标有 \* 号的章节，一般为加深加宽或根据专业不同的要求，供选择使用。

本书可以作为化工、电子、电气、自动控制、轻纺、食品、医药、采矿等工程、工艺类非机类本、专科专业的教材，也可供其他专业和工程技术人员参考。

考虑到本书内容较多及本课程的特点，为了教与学的方便，将本书分为两册出版，即《机械基础》上册（工程力学与工程材料）、《机械基础》下册（机械传动与液压、气压传动）。两册之间既有紧密联系和配合，又有相对独立性，各独立编章，自成体系，因而可根据不同的教学要求和安排，配套采用两册，亦可采用其中的一册。

本书编写分工如下：杨洪林：绪论、第一、二、三、四、五章；袁国兴：第六、七、八章；崔琳：第九章；王文中：第十、十一、十二、十三章。王莺负责书中部分插图和表格的

#### IV

设计描绘工作。

本书由王文中、杨洪林负责统稿。

参加本书审稿的有：孟庆东教授、王守成教授、石广岩副教授。全书由孟庆东教授主审。吴宗泽教授、彭熙伟教授也审阅了部分书稿，并提出很多宝贵的建议和修改意见，在此深表谢意。

本书在编写过程中曾参阅了多本同类教材和习题集，采用了其中部分插图；得到有关院校教学主管部门的协助和支持。在此一并致谢。

限于编者水平和经验，疏漏不妥及缺点恐有不少，敬请读者提出宝贵意见，不胜感激。

编 者

**《机械基础》下册**  
**(机械传动与液压、气压传动)**

(王文中 杨洪林 袁国兴 编)

**信息反馈表**

尊敬的老师:

您好!感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱!为了进一步提高我社教材的出版质量,更好地为我国高等教育发展服务,欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外,如果您在教学中选用了本书,欢迎您对本书提出修改建议和意见。

**一、基本信息**

姓名: \_\_\_\_\_ 性别: \_\_\_\_\_ 职称: \_\_\_\_\_ 职务: \_\_\_\_\_

邮编: \_\_\_\_\_ 地址: \_\_\_\_\_

任教课程: \_\_\_\_\_ 电话: \_\_\_\_\_ — \_\_\_\_\_ (H) \_\_\_\_\_ (O)

电子邮件: \_\_\_\_\_ 手机: \_\_\_\_\_

**二、您对本书的意见和建议**

(欢迎您指出本书的疏误之处)

**三、您对我们的其他意见和建议**

**请与我们联系:**

100037 机械工业出版社·高教分社 刘小慧收

Tel: 010—88379712, 88379715, 68994030 (Fax)

E-mail: lxh@mail.machineinfo.gov.cn

# 目 录

## 前言

绪论..... 1

## 第一篇 机构及机械零件基础

<b>第一章 机构分析的基本知识</b> .....	5	第八节 链传动的布置和润滑	66
第一节 运动副及其分类	5	复习题	68
第二节 平面机构运动简图及其绘制	6	<b>第五章 齿轮传动</b> .....	69
第三节 平面机构具有确定运动的条件	8	第一节 齿轮传动概述	69
复习题	12	第二节 齿廓啮合的基本定律	70
<b>第二章 平面连杆机构</b> .....	15	第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分的名称和基本尺寸	72
第一节 平面四杆机构的分类及其应用	15	第四节 渐开线齿轮的啮合	74
第二节 四杆机构的演化——其他常见的四杆机构	18	第五节 渐开线齿轮的加工	77
第三节 铰链四杆机构存在曲柄的条件	19	第六节 渐开线圆柱齿轮的精度及标准	80
第四节 平面四杆机构的特性	20	第七节 齿轮轮齿的失效和齿轮常用材料	81
第五节 平面四杆机构的运动设计简介	23	第八节 直齿圆柱齿轮的强度计算	84
复习题	26	第九节 斜齿圆柱齿轮传动	93
<b>第三章 凸轮机构和间歇运动机构</b> .....	28	第十节 锥齿传动的概念	96
第一节 凸轮机构的应用和分类	28	第十一节 蜗杆传动	98
第二节 从动件常用的运动规律及其选择	29	第十二节 几种传动形式的比较	102
第三节 用作图法设计盘形凸轮的轮廓曲线	33	第十三节 轮系及减速器	103
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	36	复习题	107
第五节 间歇运动机构	40	<b>第六章 螺纹联接与螺旋传动</b> .....	109
复习题	43	第一节 螺纹的基本知识	109
<b>第四章 带传动和链传动</b> .....	44	第二节 螺纹联接的基本类型和螺纹联接件	114
第一节 带传动概述	44	第三节 螺纹联接的预紧和防松	116
第二节 V带传动的基本结构	45	第四节 螺栓联接的强度计算	117
第三节 带传动的工作原理及工作情况分析	50	第五节 螺旋传动	121
第四节 V带传动的设计计算	53	复习题	123
第五节 带传动的张紧、安装和维护	61	<b>第七章 轴及轴毂联接</b> .....	124
第六节 链传动概述	62	第一节 概述	124
第七节 链传动的运动特性及设计计算概述	65	第二节 轴的材料	126
		第三节 轴结构的选择设计	127
		第四节 轴的强度计算	130
		第五节 轴的刚度校核	136

第六节 轴毂联接	136	* 第八节 滚动轴承的组合结构设计	156
复习题	139	复习题	160
<b>第八章 轴承</b>	<b>141</b>	<b>第九章 其他常见的零、部件</b>	<b>161</b>
第一节 滑动轴承的类型与构造	141	第一节 联轴器	161
第二节 轴瓦的材料与结构	143	第二节 离合器	166
第三节 滑动轴承的润滑与润滑装置	145	第三节 制动器	168
第四节 滚动轴承的基本构造和类型	147	第四节 联轴器、离合器、制动器的使用和 维护	170
第五节 滚动轴承的受力分析和失效 形式	152	第五节 销联接	170
第六节 滚动轴承的润滑与密封	152	第六节 弹簧	171
第七节 轴承的选择与设计方法	154	复习题	173

## 第二篇 液压与气压传动

<b>第十章 液压传动基本知识</b>	<b>175</b>	第一节 液压基本回路	217
第一节 液压传动的基本概念	175	第二节 液压传动系统应用实例	221
第二节 液压油	177	第三节 液压系统的使用维护和保养	222
第三节 液压传动的的基本参数及压力 损失	181	复习题	223
复习题	187	<b>* 第十三章 气压传动</b>	<b>224</b>
<b>第十一章 液压元件</b>	<b>189</b>	第一节 气压传动基本知识	224
第一节 液压泵	189	第二节 气压传动系统的元件及装置	226
第二节 液压缸和液压马达	195	第三节 气压传动基本回路	234
第三节 液压控制阀	203	第四节 气动系统实例	237
第四节 液压辅助元件	214	第五节 气动系统的故障分析与排除	239
复习题	216	复习题	242
<b>第十二章 液压基本回路及液压 系统</b>	<b>217</b>	<b>参考文献</b>	<b>244</b>
		<b>信息反馈表</b>	



# 绪 论

人类通过长期的生产实践活动，创造了各种劳动工具和机械，增强了同大自然斗争的本领，发展了生产力，推进了社会进步。

迄今为止，各行各业以及国防和科学研究中都离不开机械设备。或者说，用机械设备进行生产是现代化生产的主要方式。可靠的、高效能的机械设备是保证生产实施和确保产品质量的必要条件。因此，在生产、科研实际活动中，各行各业的工程技术人员和管理人员不可避免地会遇到许多机械设备方面的问题，如机械设备的选用、安装、调试、使用、维护以至对机械设备进行必要的改造、革新等。要想妥善地解决这些问题，就应了解和掌握必要的机械方面的知识。因此，各类专业技术、管理人员不仅需要掌握足够的专业知识，还必须掌握一定的机械基础知识，才能适应现代化工业生产的要求。

作为高等工科院校，应培养出掌握机械基础知识的、适应社会发展需要的人才。但是，由于专业要求不同及学时数的限制，在非机械类专业的教学中，不可能设置有关机械方面的一系列课程。因此，把有关机械方面必要的基础知识和技术理论结合起来，培养学生进行简单的机械设计和选择设备的初步能力，就由机械基础这门课程来完成。

对机械的研究是以力学理论为基础的，工程材料是制造机械的物质基础，常用的机构、机械零件是机械基础的基本部分。另外，液压与气压传动是近几十年来的一类较新的传动方式，在现代化生产中，液、气压装置的应用日益广泛，具备这方面的知识对很多专业也是很必要的。考虑到这些情况，并照顾到有关学科的传统体系和便于组织教学，本书共由四部分内容组成。

1) 工程力学：主要介绍物体的受力分析和计算，构件在外力作用下的变形和破坏规律，以及强度和刚度的计算方法及相关知识。

2) 工程材料：主要介绍工程中常用的金属和非金属材料的性能、特点、应用场合等基础知识。

3) 机构及机械零件基础：主要叙述机械中常用的机构和通用零件的工作原理、结构特点和设计计算方法，为选择、使用和维护机械设备中常用的机械传动装置提供必要的基础知识。

4) 液压传动与气压传动：主要介绍液压传动与气压传动的原理，常用元件的工作原理、特点和应用，基本液压传动与气压回路等基本内容。

机械基础是一门包含广泛内容的技术基础课，学生不仅要学会必要的机械基础知识，而且还需要受到一定的基础技能（如正确运算、查阅手册、图文表达等）训练，为以后顺利学习专业课和从事技术工作、管理工作奠定基础。

本书旨在对机械方面的一般知识作一较系统的介绍，而并不要求读者通过本书学习而具备复杂设计计算的能力。但是，本书在内容和作业编排上又具有一定的广度和深度，以便读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

应指出，本书所介绍的许多设计计算方法是尽可能简化了的。用它们可以解决一些简单

的生产实际问题，但对于重要的复杂机械，则应采用更加精确和完善的设计方法。这类方法一般都比较复杂，牵涉因素较多，需要较为深厚的理论作基础和完成较大的计算工作量，需参阅有关专著，本书一般仅提示解决方向，不做具体研究。

关于学习方法，应该注意到本书是属于应用性质的课程，具有综合性和实践性较强的特点。在学习时，不仅要注重理论性内容的学习，通过解题来提高运用基本理论去分析和解决问题的能力；还应注意实践能力的培养，并考虑通过实验以及对生活和生产中的现有机件观察、分析和比较，逐步掌握设计的基本方法。因此，学习时应做到理论与实践并重。

# 第一篇 机构及机械零件基础

人类在长期生产实践中为满足自身生活和生产需要而创造出类型繁多、功能各异的机器。机器是由零件组成的执行机械运动的装置，用来完成所赋予的功能，如变换和传递能量、变换和传递运动及传递物料与信息。机械的种类很多，如内燃机、电动机、洗衣机、机床、汽车、起重机、各种食品机械等，它们的用途、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）。原动部分是驱动整部机器以完成预定功能的动力源。

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

3) 传动部分。其功能是把原动部分的运动形式、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。

以上三部分都必须安装在支承部件上。为了使三个基本部分协调工作，并准确、可靠地完成整体功能，必须有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都能用到的零件，如齿轮、链轮、蜗轮、螺栓、螺母等，称为通用零件。另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件，如内燃机的曲轴、汽轮机叶片等，称为专用零件。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 0-1a 所示内燃机的曲轴是制造的单元，称为零件。而图 0-1b 所示的连杆由四个零件组成，形成一个运动整体，称为构件。

机器与其他装置的本质区别在于，机器一定要做机械运动，并且通过它实现功、能量或信息转变。机器由机构组成，而机构又由若干构件组成，各构件之间具有确定的相对运动。若单从运动的观点来观察，机器和机构并无区别。因此在机械工程中，通常用“机械”一词作为机构和机器的总称。

一部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 0-2 所示的单缸四冲程内燃机，包含由齿轮 9、齿轮 10 组成的齿轮机构；由曲轴 6、连杆 5、活塞 2 组成的曲柄滑块机构；由凸轮 7、从动杆 8 组成的凸轮机构等。

各种机械中普遍使用的机构有连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构和齿轮机构等。

本篇以常用机构和通用零件为研究对象，讨论其工作原理、受力分析以及使用和选用中的一些共性问题，同时研究通用零件的结构、刚度、寿命、强度和选用方法，以便提高正确选择、设计这些零件的能力。为便于叙述，下面先讨论常用机构（第一～三章），再研究通用零件（第四～九章），其中齿轮（第五章）是将齿轮机构和齿轮零件结合起来叙述。

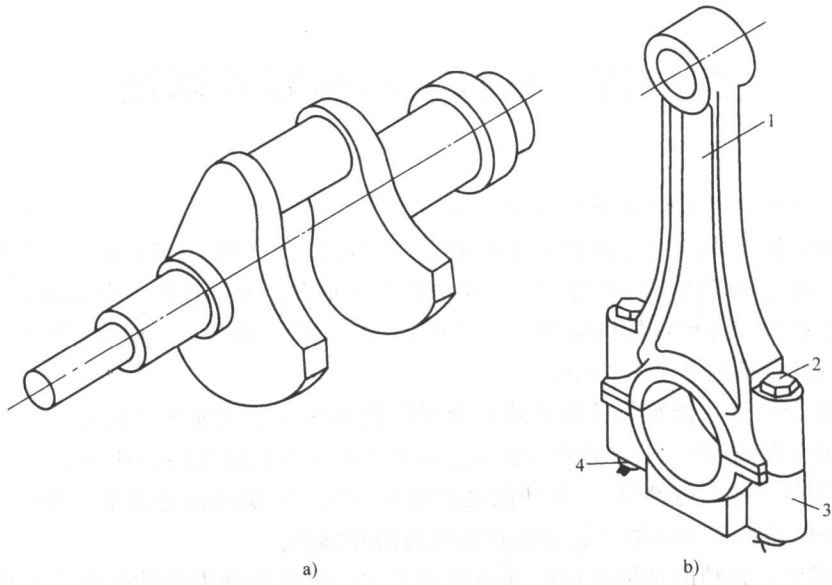


图 0-1 构件与零件

1—连杆体 2—螺栓 3—连杆盖 4—螺母

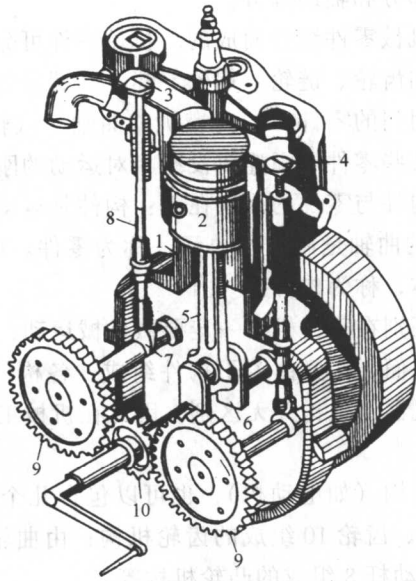


图 0-2 单缸四冲程内燃机

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

# 第一章 机构分析的基本知识

## 第一节 运动副及其分类

一个作平面运动的自由构件有三个独立运动的可能性。如图 1-1 所示。在  $Oxy$  直角坐标系中，构件  $S$  可随其上任一点  $A$  沿  $x$ 、 $y$  轴方向移动和绕该点（即绕垂直于  $Oxy$  平面的  $z$  轴）转动。这种可能出现的独立运动称为构件的自由度。所以，一个作平面运动的自由构件有三个自由度。同理，一个作空间运动的自由构件有六个自由度。

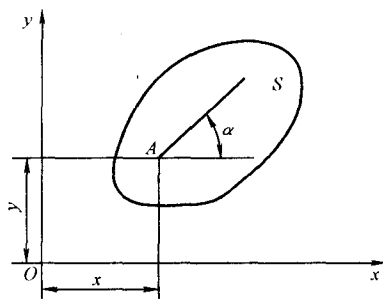


图 1-1 平面运动构件的自由度

为了使构件组成具有确定运动的机构，构件之间彼此需要用某种方式连接起来，这种连接应保证构件之间有一定的相对运动。由两个构件直接接触，并能产生一定相对运动的连接称为运动副。例如图 0-2 中的活塞 2 与连杆 5、活塞 2 与气缸体 4、凸轮 7 和顶杆 8 之间的连接都是运动副。构件组成运动副后，它们的独立运动受到约束，但都保留一定的自由度。构件间的接触方式不外乎点、线、面三种。平面机构中常见的运动副有下列两类：

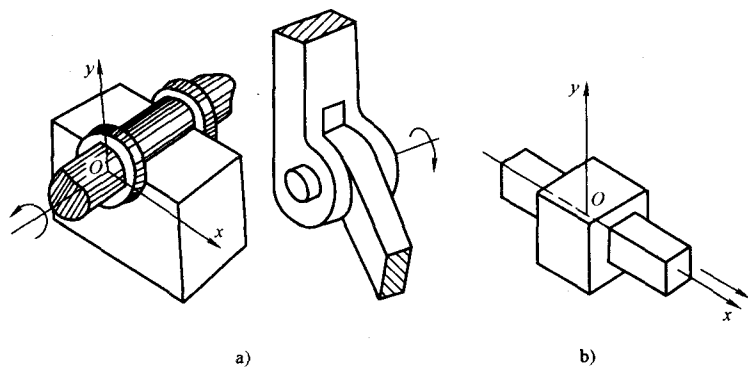


图 1-2 转动副和移动副

a) 转动副 b) 移动副

### 1. 低副

两构件以面接触组成的运动副称为低副。根据两构件相对运动的形式，低副又分为两种：

1) 若组成运动副的两个构件只能作相对转动，这种运动副称为转动副或回转副（相当于在转轴垂直面内的圆柱铰链），如图 1-2a 所示。

2) 若组成运动副的两个构件以面接触，且沿某一固定直线或曲线（如圆弧）作相对移动，这种运动副称为移动副，如图 1-2b 所示。

## 2. 高副

两个构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。它们之间的相对运动是转动和沿切线方向  $t-t$  的移动。如图 1-3a 所示的火车车轮与钢轨之间、图 1-3b 的凸轮 1 与从动件 2 之间、图 1-3c 的两齿轮之间分别在接触部位形成高副。组成高副的两构件之间可以沿接触处的公切线  $t-t$  方向作相对移动以及在平面内作相对转动。

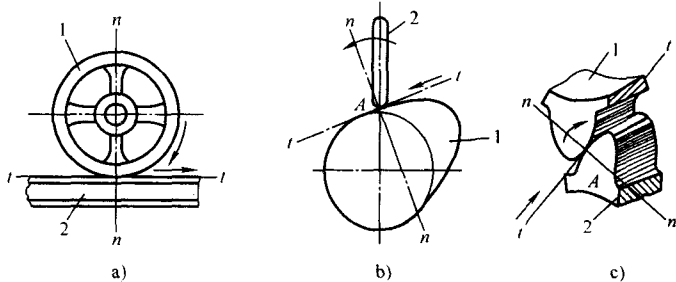


图 1-3 高副机构

1、2—构件

此外，常用的运动副还有图

1-4a 所示的球面副（构件 1 可相对构件 2 作绕空间坐标系的  $x$ 、 $y$ 、 $z$

轴独立转动）和图 1-4b 所示的螺旋副（其两个构件的相对运动是螺旋运动）。这两种运动副均属空间运动副。

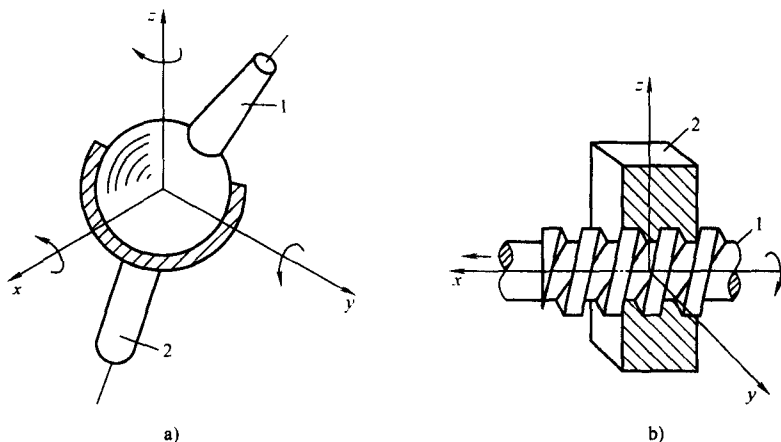


图 1-4 空间运动副

1、2—构件

## 第二节 平面机构运动简图及其绘制

### 一、平面机构运动简图及其作用

所有构件都在同一平面（或相互平行平面）内运动的机构称为平面机构，否则称为空间机构。在平面机构中，运动副均为平面运动副。

研究机构运动时，为使问题简化，可不考虑那些与运动无关的因素（如构件形状、组成构件的零件数目、运动副的具体构造等），用一些简单的线条和符号表示构件和运动副（如图 1-5、图 1-6、图 1-7），并按一定比例定出各运动副位置，以说明机构中各构件之间相对运动的关系。这样绘制的图形称为机构运动简图。

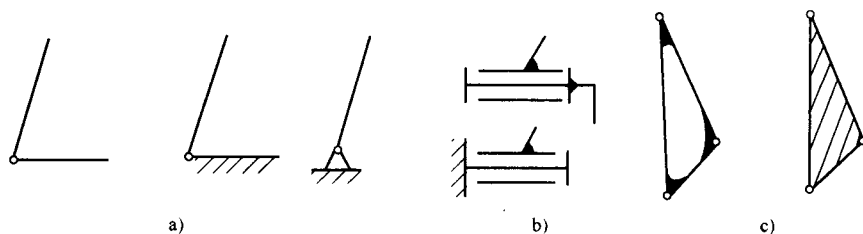


图 1-5 转动副的表示方法

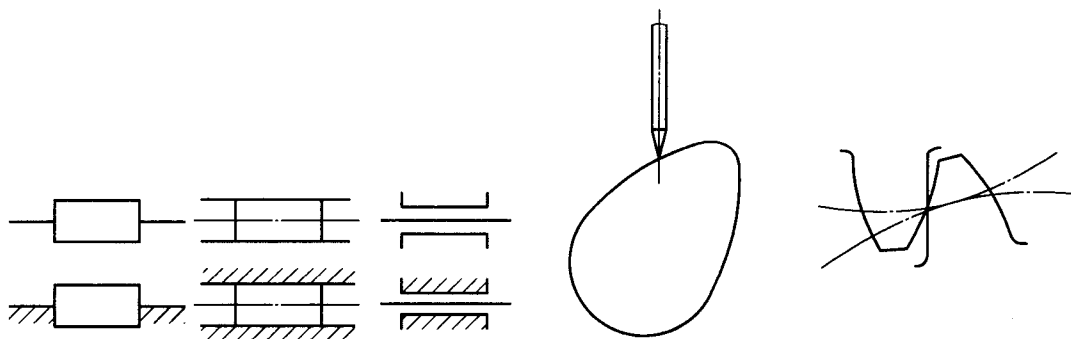


图 1-6 移动副的表示方法

图 1-7 平面高副的表示方法

研究已有的机械和设计新的机械时，都需要画出相应的机构运动简图，以便进行运动分析和受力分析，找出它们之间相互运动的规律。

## 二、绘制机构运动简图的要求

- 1) 简图上应按规定符号画出全部构件，并标明主动件。必要时将各构件编号并注明。
- 2) 简图上应按规定符号画出全部运动副。
- 3) 简图上应按比例表示出机构的各运动尺寸，如转动副间的中心距、移动副轴线（即导路）的方向和位置、转动副到导路的距离等。必要时应标注出尺寸。

## 三、机构运动简图的绘制步骤

掌握了构件和运动副的简化画法后，即可进行平面机构运动简图的绘制。通常，绘制平面机构运动简图的步骤如下：

- 1) 仔细分析机构的运动情况，认清固定构件、原动件和从动件，从而判定该机构含有多少个活动构件。如果包含多个机构，则应按顺序，分别对每个机构仔细分析，并应注意各个机构间的运动传递情况。
- 2) 仔细观察各构件间的相对运动关系，从而判定机构中包含的运动副数目与类型。
- 3) 合理选择投影面。
- 4) 选择适当的比例尺，测定各运动副间的相对位置和尺寸。
- 5) 从原动件开始，按照活动构件运动传递的顺序，用选定的比例尺和规定的构件与运动副的表示符号（按 GB/T4460—1984），选择适当的投影面绘制出平面机构运动简图。

下面以图 1-8a 所示为例加以说明。

**例 1-1** 绘制图 1-8a 所示的颚式破碎机主体机构运动简图。

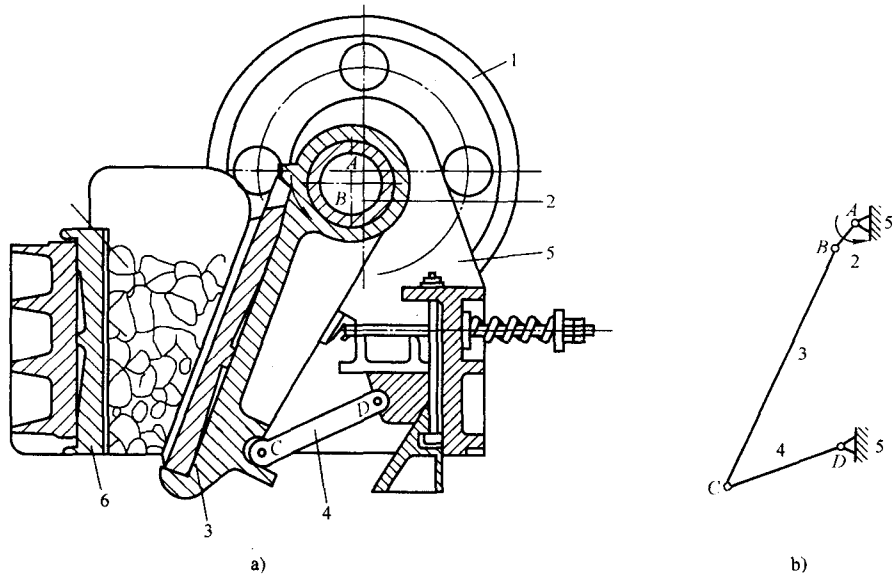


图 1-8 颚式破碎机

1—带轮 2—偏心轴 3—动颚板 4—肘板 5—机架 6—定颚板

解：(1) 分析机构的运动，识别其结构 在颚式破碎机中，由带轮 1 和偏心轴 2 固接在一起绕轴心  $A$  转动，偏心轴 2 带动动颚板 3，动颚板与机架 5 之间装有肘板 4，动颚板作平面运动时可将矿石破碎。经分析可知，该机器是由机架 5、原动件（偏心轴）2、从动件（动颚板 3 与肘板 4）组成，相互之间分别在  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  四个位置上以转动副相连。

(2) 选择投影面、比例尺，绘制机构运动简图 通常是选择机构中多数构件的运动平面为投影面。如果机构比较复杂，一个视图不能表达清楚时，可增补视图或局部视图。确定了投影面后，选择一合适位置（构件都能看清楚，尽可能不要重叠），然后选择合适的长度比例尺  $\mu_1$ （ $\mu_1 = \text{实际尺寸 (m)} / \text{图示尺寸 (mm)}$ ）定出各运动副的相对位置，按规定的线条和符号绘制出机构运动简图。最后，从原动件开始，按传动顺序标出构件的编号和运动副的代号，标出机架（画出斜线）、原动件（画上指示运动方向的箭头）以及长度比例尺  $\mu_1$ 。颚式破碎机主体机构运动简图 1-8b 所示。

机构运动简图是按比例尺绘制的。如果不按比例尺绘制、类似于机构运动简图的图形则称为机构原理图或机构示意图。

在机构运动简图绘制完成后，还应注意对较复杂的机构需要校核其机构的自由度（见下一节），以判定它是否具有确定的相对运动和所绘制的简图是否正确。

### 第三节 平面机构具有确定运动的条件

#### 一、平面机构的自由度

由前述已知，一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。因此，在平面机构中，每一个活动构件在未用运动副连接之前，都有三个自由度，即沿着  $x$  和  $y$  轴的移动，以及在  $Oxy$  平面内的转动（坐标系  $Oxy$  与固定件固联，并且平行于运动平面）。当两个构件组成运动副



之后，它们的相对运动就受到约束，相应的自由度数目随之减少。不同种类的运动副，由于引入的约束数目不同，保留的自由度也不相同。如转动副（图 1-2a）约束了沿  $x$ 、 $y$  轴线的两个移动的自由度，只保留一个转动的自由度；而移动副（见图 1-2b）约束了沿一根轴线的移动和在平面内转动的两个自由度，只保留沿另一轴线移动的自由度；高副（见图 1-3）则只约束了沿接触处公法线  $nn$  方向移动的自由度，保留了绕接触处的转动和沿接触处公切线  $tt$  方向移动的两个自由度。也可以说，在平面机构中，每个低副引入两个约束，使构件丧失两个自由度；每个高副引入一个约束，使构件丧失一个自由度。

若一个平面机构共有  $N$  个构件。除去固定件，则机构中的活动构件数为  $n = N - 1$ 。在未用运动副联接之前，这些活动构件的自由度总数应为  $3n$ 。当用运动副将构件联接起来组成机构之后，机构中各构件具有的自由度数就减少了。若该机构中低副的数目为  $P_L$  个，高副的数目为  $P_H$  个，则机构中全部运动副所引入的约束总数为  $2P_L + P_H$ 。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相对于固定件的自由度数，以  $F$  表示，即

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

这就是判断平面机构自由度的公式。由公式可知，机构活动度  $F$  取决于活动构件的数目以及运动副的性质（低副或高副）和数目。

另外由式 (1-1) 可知，机构要能够动，它的活动度必须大于零。要使机构具有确定的运动，则当机构活动度等于 1 时，需要有一个原动件；当机构活动度等于 2 时，就需要有两个原动件。即机构具有确定运动的条件是：机构的原动件数目必须等于机构的自由度。

对于机构而言，由于其原动件的运动是由外界给定的，是已知条件，所以只需算出该机构的活动度，就可以判断它的运动是否确定。

**例 1-2** 试计算图 1-8b 所示颚式破碎机主体机构的自由度（2 为原动件）。

**解：**在颚式破碎机的主体机构中，有三个活动构件，即  $n = 3$ ；组成的运动副是四个回转副， $P_L = 4$ ；没有高副， $P_H = 0$ 。所以由式 (1-1) 可得机构的活动度为

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

即此机构只有一个活动度。此机构原动件是偏心轴 2，原动件的数目与机构的自由度相等，故此机构的运动是确定的。当偏心轴绕轴线  $A$  转动时，动颚 3 与肘板 4 就能按照一定的规律运动。

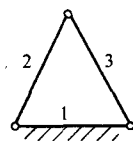


图 1-9 桁架  
1、2、3—构件

如果算得的活动度等于零，则表明活动构件的自由度总数等于运动副引入的约束总数，各活动构件都失去了全部自由度，构件之间不再有相对运动。

如图 1-9 所示，构件 1、2 和 3 用三个转动副分别相联，构件 1 是固定件，该机构的自由度  $F = 0$ ，形成的是一个静定桁架，而不是机构。

计算图 1-10 所示的五杆铰链机构的自由度，则自由度  $F = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ ，因此它需要两个主动件才具有确定的相对运动。按同样方法计算图 1-11 所示的曲柄滑块机构，自由度  $F = 1$ ，因此它只需要一个原动件便有确定的相对运动。

通过上面的计算分析可知：在分析现有机构或设计新机构时，可利用计算机构的活动度来判断、检验或确定该机构的原动件数。