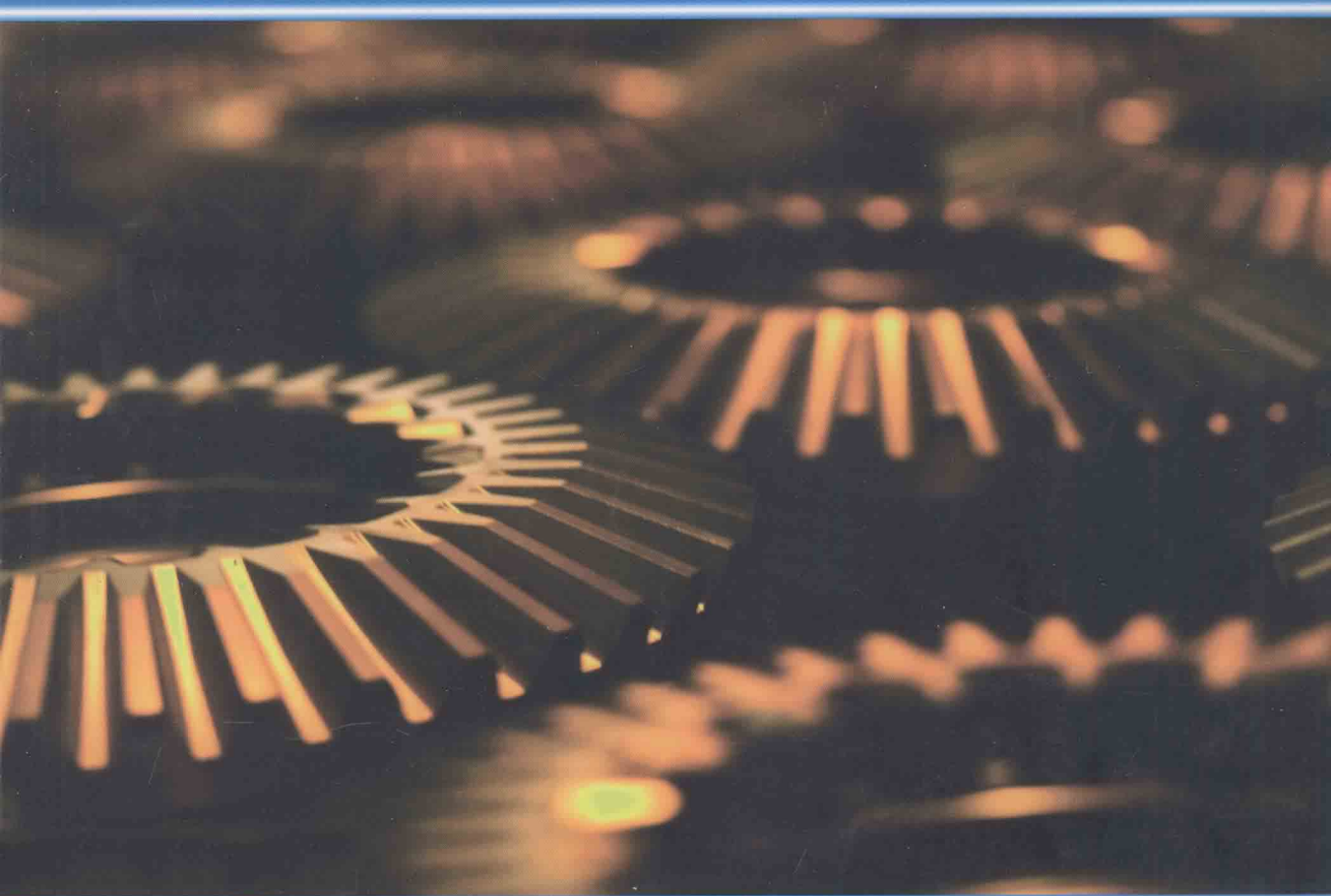


高等职业教育适用教材

机械设计基础

李彦青 邢李红 主编



 机械工业出版社
China Machine Press



高职高专规划教材

机械设计基础

主 编	田书泽	李 威	
副主编	陶从格	靳宗菊	刘顺芳
参 编	何 伟	史慧艳	倪素环
主 审	宋海生		



机械工业出版社

本教材参照1999年教育部制定的“高职高专教育机械设计课程教学基本要求”、在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。全书共分十八章,内容主要包括常用机构和通用零部件的选用和设计。

本书推荐学时数为80~100学时,适用于各类高职高专院校及成人高等教育的机类、近机类各专业使用,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李彦青,邢李红主编. —北京:机械工业出版社, 2002.2 (2006.7重印)

ISBN 7-111-09723-8

I. 机… II. ①李… ②邢… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第096006号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:汪光灿 张斌如

版式设计:陈生 责任校对:张莉娟

封面设计:张浩 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006年7月第1版第3次印刷

184mm×260mm · 17.75印张 · 433千字

4 201—7 200册

定价:21.00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

编辑热线(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据全国高职高专专门课开发指导委员会制定的《机械设计基础》课程的基本要求,按照高职高专教育的目标、知识结构、能力结构和素质结构要求,针对应用性人才的实践能力和职业技能的训练要求出发,并结合近几年的教学经验编写而成的,适用于各级各类举办高职高专教育和成人教育的院校使用,亦可供有关工程技术人员参考。

全书采用最新国家标准,在内容和选题上贯彻少而精的原则,叙述通俗易懂,精简了繁杂的理论分析及公式推导,力求设计方法简明实用。通过对常用机构和通用零部件的设计等内容的介绍,融会机械设计的一般规律及其基本理论、基本方法,使教学内容从理论到应用更具连贯性,更符合教学规律。同时,本书选用了较多的工程实例,尽可能通过实例来介绍基础知识和讲解基本理论,以淡化抽象,突出具体,使学生易于掌握教材内容,达到理论联系实际的目的。

本书共分十八章,由田书泽、李威主编。陶从格、靳宗菊、刘顺芳副主编。参编人员及分工:何伟(第七、十一章)、史慧艳(第一、九章)、倪素环(第十、十四章)、陶从格(第十五、十三章)、靳宗菊(第十六、十七、十八章)、刘顺芳(第四、五、八章)、田书泽(绪论、第二、三章并统编第一篇)、李威(第六、十二章并统编第二篇)。

本书由宋海生主审,对书稿提出了许多宝贵意见,对此表示衷心感谢。

本书在编写过程中得到了有关院校的大力支持和帮助,谨在此予以致谢。由于编者水平所限,加之时间仓促,疏忽和不妥之处在所难免,恳请专家、同行及广大读者批评指正。

编者

2004 年 4 月

目 录

前言

绪论	1
第一节 本课程研究的对象和内容	1

第二节 本课程的性质和任务	2
---------------------	---

第一篇 常用机构

第一章 平面机构的组成	3
第一节 运动副及其分类	3
第二节 平面机构运动简图	4
第二章 平面连杆机构	11
第一节 铰链四杆机构及其基本类型	11
第二节 铰链四杆机构中曲柄存在的条件及 铰链四杆机构基本类型的判别	14
第三节 铰链四杆机构的演化	15
第四节 平面连杆机构的工作特性	17
第五节 平面连杆机构的设计方法	22
第三章 凸轮机构	31
第一节 凸轮机构的应用和类型	31
第二节 从动件的常用运动规律及 其选择	34
第三节 凸轮轮廓曲线的设计	38
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	41
第五节 凸轮材料及工作图	44
第四章 齿轮机构	48
第一节 齿轮机构的特点和分类	48
第二节 齿廓啮合基本定律	49
第三节 渐开线齿廓	50
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要 参数及几何尺寸计算	51

第五节 一对标准渐开线直齿圆柱齿轮的 啮合传动	54
第六节 渐开线齿轮的切齿原理及根切 现象	58
※第七节 渐开线变位齿轮传动	60
第八节 斜齿圆柱齿轮机构	64
第九节 直齿锥齿轮机构	67
第五章 蜗杆蜗轮机构	72
第一节 蜗杆传动的类型和特点	72
第二节 蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸	73
第六章 齿轮系	77
第一节 齿轮系及其分类	77
第二节 定轴齿轮系传动比的计算	77
第三节 行星齿轮系传动比的计算	80
第四节 组合齿轮系传动比的计算	83
第五节 齿轮系的应用	85
※第六节 少齿差行星齿轮系和谐波齿轮传动 简介	87
第七章 其他常用机构	93
第一节 间歇运动机构	93
※第二节 螺旋机构	102

第二篇 通用零部件的选用及设计

第八章 联接	105
第一节 键和花键联接	105
第二节 销联接	111
第三节 螺纹联接	112
第九章 带传动	127
第一节 带传动的工作原理、类型	

和特点	127
第二节 V带和V带轮	128
第三节 带传动的受力分析和弹性 滑动	132
第四节 带传动的应力分析和设计 准则	133

第五节 V 带传动设计	136	第十四章 轴	222
第六节 V 带传动的张紧、安装和 维护	139	第一节 轴的分类、材料及对轴设计的 基本要求	222
※第十章 链传动	144	第二节 轴的结构和轴径的初步确定	224
第一节 概述	144	第三节 轴的结构设计	226
第二节 滚子链和链轮	145	第四节 轴的强度计算	228
第三节 滚子链传动的设计计算	149	第五节 轴的刚度计算概念	233
第四节 链传动的布置与张紧	155	第十五章 联轴器和离合器	235
第十一章 齿轮传动	158	第一节 联轴器	235
第一节 齿轮传动的精度	158	第二节 离合器	243
第二节 齿轮的失效形式及设计准则	160	第十六章 减速器和无级变速器	247
第三节 齿轮的材料及热处理	161	第一节 减速器	247
第四节 直齿圆柱齿轮的强度计算	162	第二节 无级变速器	253
第五节 斜齿圆柱齿轮传动	170	第十七章 机械润滑与密封	256
第六节 直齿锥齿轮传动	174	第一节 润滑剂	256
第七节 齿轮的结构	175	第二节 常用润滑方式及润滑装置	258
第十二章 蜗杆传动	179	第三节 通用零部件的润滑	261
第一节 蜗杆传动的强度计算	179	第四节 密封	267
第二节 蜗杆传动的效率和热平衡 计算	184	第十八章 回转体的平衡	272
第三节 蜗杆和蜗轮的结构	186	第一节 平衡的目的和分类	272
第十三章 轴承	192	第二节 回转体的平衡	272
第一节 滑动轴承	192	第三节 回转件的平衡实验	275
第二节 滚动轴承	198	参考文献	278

绪 论

第一节 本课程研究的对象和内容

本课程研究的对象是机械。机械是机器和机构的统称。

在生产和生活中，人类广泛使用着各种各样的机械，尽管它们的结构、性能和用途各不相同，但它们都有着共同的特性。凡具有下述三个特征的称为机器：

- 1) 由许多构件组成。
- 2) 各构件间具有确定的相对运动。
- 3) 能代替或减轻人类劳动，完成有用的机械功，或转换机械能。

例如，图 0-1a 所示的内燃机，它由活塞 2、连杆 3、曲轴 4、缸体 1、齿轮 5 和 6、凸轮 7 及推杆 8 等组成。当燃气推动活塞往复移动时，通过连杆 3 带动曲轴 4 作连续转动，曲轴 4 的运动通过齿轮 5、6 及凸轮 7 带动推杆 8 按一定规律开闭气门，保证燃气定时进出气缸。从而使燃气的热能转化为曲轴的机械能。

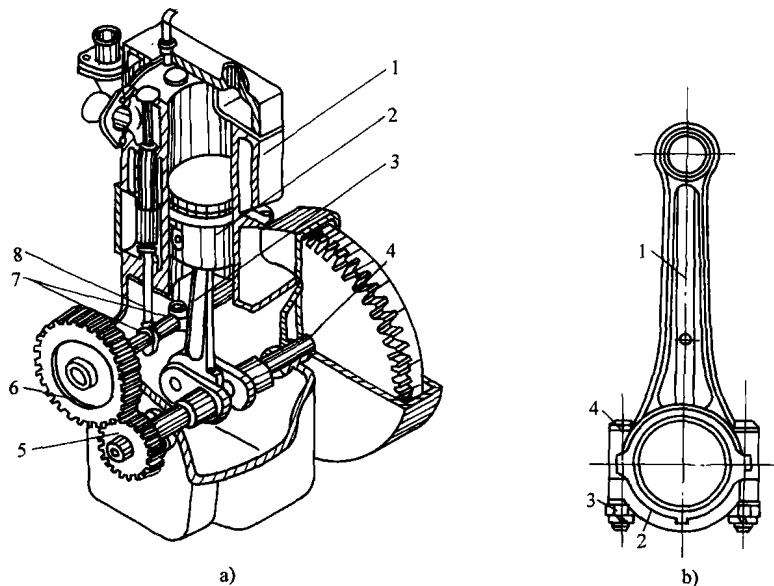


图 0-1 内燃机机构

凡具有机器前两个特征的称为机构。

在图 0-1a 所示的内燃机中，活塞 2（称为滑块）、连杆 3、曲轴 4（称为曲柄）和缸体 1（称为机架）组成曲柄滑块机构；凸轮 7、推杆 8 和刚体组成凸轮机构；齿轮 5、6 和缸体 1 组成齿轮机构。这三个机构都分别具有机器的前两个特征。但单独的一个机构则不能将热能转化为机械能。

组成机构的各个具有确定相对运动的运动单元称为构件。构件可以是一个零件，也可以是几个零件的刚性组合体。如图 0-1b 所示的内燃机连杆，就是由连杆体 1、连杆盖 2、螺母 3 和螺杆 4 等零件组成的刚性组合体。零件是制造的单元。构件和零件的区别是，构件是运动的单元。在各种机械中常用到的零件，称为通用零件，如螺栓、键、轴、轴承、齿轮等。只有在某些机械中才用到的零件，称为专用零件，如活塞、曲轴等。

本课程研究的主要内容是：

- 1) 介绍常用机构的结构特点、工作特性以及设计的基本原理和方法。
- 2) 介绍通用零部件的工作原理、选用和设计方法。

第二节 本课程的性质和任务

本课程是介于基础课和专业课之间的一门技术基础课，同时也是在生产实践中有着广泛应用的一门学科，其教学应在学生学习了机械制图、工程力学、金属工艺学和公差配合与技术测量之后进行。

通过本课程的学习，应培养学生掌握有关常用机构和通用零部件的基本知识、基本理论和基本技能，为学习专业课和新的科学技术提供必要的理论基础。同时为从事生产工艺及运行管理的专业技术人员了解各种机械设备的传动原理、正确地使用和维护、故障的分析与排除以及革新改造旧设备、设计新产品时提供必要的基础理论和技能。

第一篇 常用机构

第一章 平面机构的组成

第一节 运动副及其分类

一、运动副

机构是由若干构件以一定的方式联接而成的。但构件间的联接不是固定联接，而是能产生一定形式的相对运动的联接。这种使两构件直接接触并能保持一定形式的相对运动的联接称为运动副。例如：轴颈与轴承的联接、活塞与气缸的联接、相啮合的两个齿轮轮齿间的联接、凸轮与从动件的联接等都构成运动副。

二、运动副的分类

运动副可分为平面运动副和空间运动副两大类。本章只介绍平面运动副。构成运动副的两构件只能在同一平面或相互平行的平面内作相对运动，这样的运动副称为平面运动副。在平面运动副中，按两构件的接触形式可分为低副和高副。

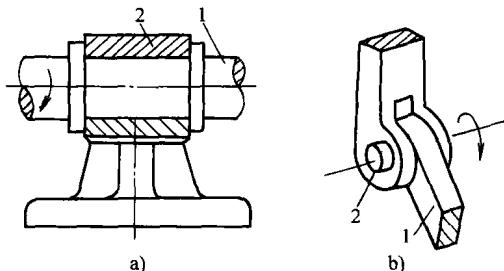


图 1-1 转动副

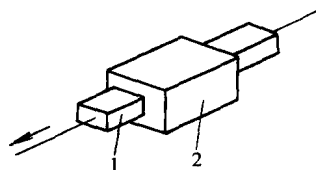


图 1-2 移动副

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面低副又可分为转动副和移动副两种。

(1) 转动副 组成平面运动副的两构件只能作相对转动，这种运动副称为转动副，或称为铰链。如图 1-1a 所示的轴 1 和轴承 2、图 1-1b 所示的构件 1 和构件 2 均组成转动副。

(2) 移动副 组成平面运动副的两构件只能沿某一直线相对移动，这种运动副称为移动副。如图 1-2 中构件 1 与构件 2 组成移动副。

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。如图 1-3a 中的凸轮 1 与从动杆 2 的接

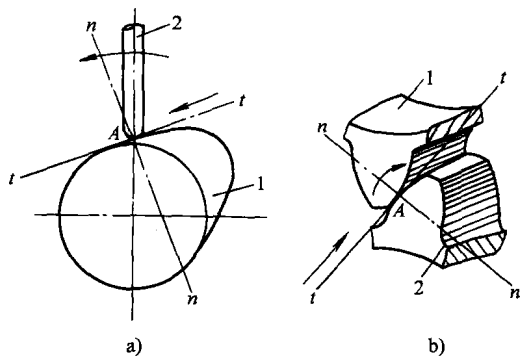


图 1-3 高副

触、图 1-3b 中的齿轮 1 和 2 两轮齿间的接触均为高副。

三、平面机构的组成

若干构件通过运动副联接而成的系统称为运动链（如图 1-4）。在运动链中，如果将某一构件固定（这种构件称为机架），使另一个或几个构件按给定的运动规律运动（这种构件称为原动件），而其余构件都随之作确定的相对运动（这种构件称为从动件），这种运动链则称为机构。如图 1-5 所示机构中，构件 4 被固定称为机架，标有箭头的构件 1 为原动件，其余构件 2、3 为从动件。

由上可见，机构是由若干构件通过运动副联接而成的具有确定运动的构件系统。若组成机构的各构件都在同一平面或相互平行的平面内相对运动，则这种机构称为平面机构。

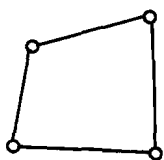


图 1-4 运动链

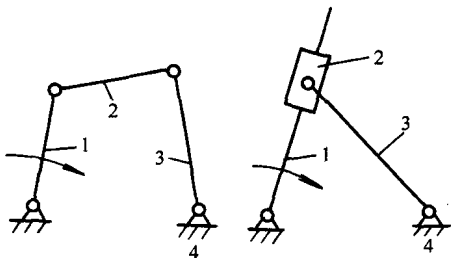


图 1-5 机构中构件的类型

第二节 平面机构运动简图

一、机构运动简图和示意图的概念

在分析现有机构的运动或设计新机构时，为使问题简化，便于分析和研究，可以不考虑构件的外形、截面尺寸和运动副的实际构造等，仅用简单的线条和符号来表示构件和运动副，并按一定比例绘制出来的能表示机构各构件间的相对运动关系的简单图形，称为机构运动简图。若上述简图不按比例绘制，则称为机构运动示意图。

二、运动副和构件的表示方法

（一）运动副的表示方法

1. 转动副

转动副的符号用小圆圈表示，如图 1-6a 表示构件 1 和构件 2 通过转动副联接，且两构件都为活动构件。若其中一个构件固定为机架，则应把代表机架的构件画上斜线。如图 1-6b、c 所示。

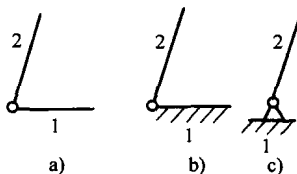


图 1-6 平面运动副表示法

2. 移动副

移动副可用图 1-7 所示符号表示，图中画有斜线的构件表示被固定为机架。

3. 高副

高副可用两构件接触处的轮廓线表示，如图 1-8 所示的凸轮高副。对于相啮合的两个齿轮构成的高副，可用一对节圆表示，如图 1-9。

（二）构件的表示方法

构件的结构形状无论怎样，通常都用简单的线条表示。如图 1-10a 表示含有两个转动副的构件，图 1-10b、c 表示含有三个转动副的构件，图 1-10d 表示含有三个转动副且位于同一直线上的构件。

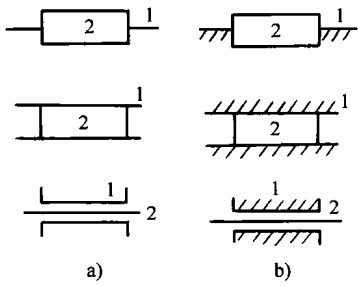


图 1-7 移动副的表示符号

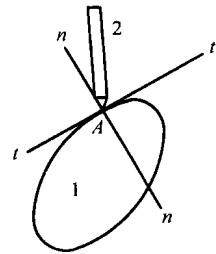


图 1-8 凸轮高副

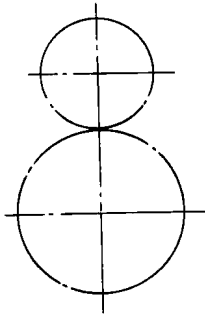


图 1-9 齿轮高副

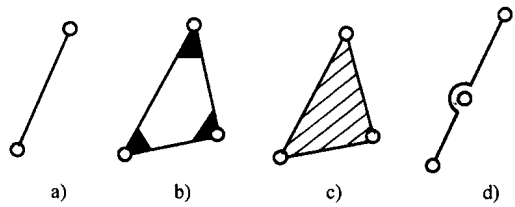


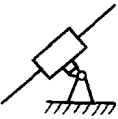
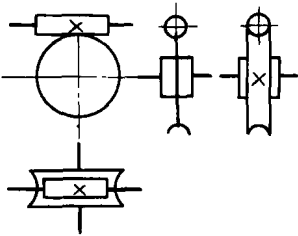
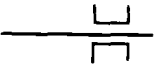
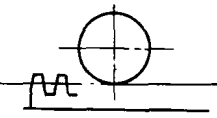
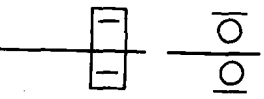
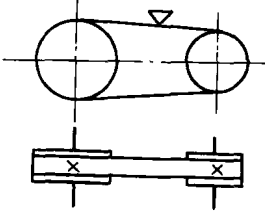
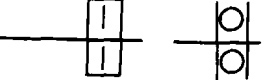
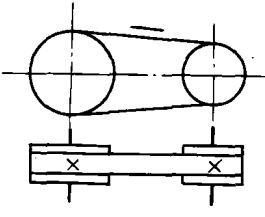
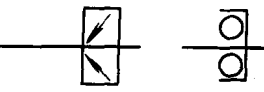
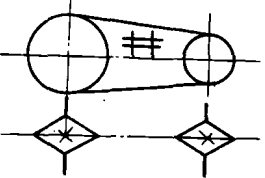
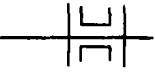
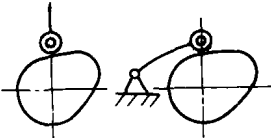
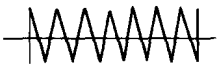
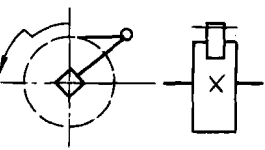
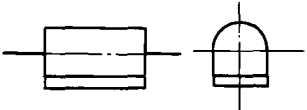
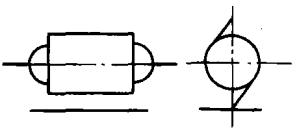
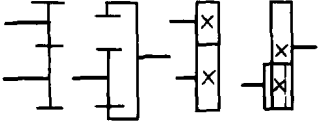
图 1-10 构件表示法

表 1-1 列出了标准规定的机构运动简图的常用符号，更详细的规定可参见 GB/T 4460—1984 机构运动简图符号。

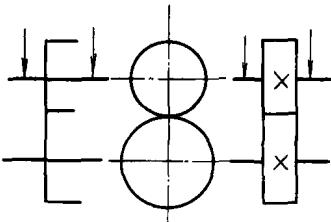
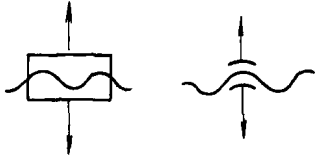
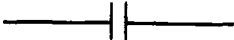
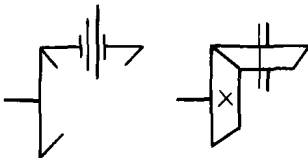
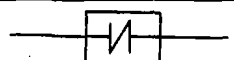
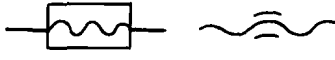
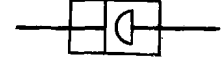
表 1-1 平面机构运动简图常用符号

名 称	基本 符 号	名 称	基本 符 号
杆、轴		可 控 离 合 器	
杆的活 动联接		啮合式 单 向 离 合 器	
曲柄或 摇杆		单 向 摩 擦 离 合 器	
永久联 接构件		自 动 离 合 器	
机架			
导杆			

(续)

名 称	基本符号	名 称	基本符号
导杆		圆柱蜗杆传动	
向心滑动轴承		齿条传动	
向心滚动轴承		V带传动	
推力滚动轴承		平型带传动	
向心推力滚动轴承		滚子链传动	
双向向心推力滑动轴承		凸轮机构	
压缩弹簧		棘轮机构(外啮合)	
拉伸弹簧			
原动机(通用符号)			
装在支架上的电动机			
圆柱齿轮传动			
圆锥齿轮传动			

(续)

名 称	基本符号	名 称	基本符号
圆柱轮 摩 擦 传 动		开 合 螺 母	
		联轴器 (不指明 类型)	
圆锥轮 摩 擦 传 动		固定联 轴 器	
		弹 性 联轴器	
螺 杆 传 动		可移式 联轴器	

三、平面机构运动简图的绘制

绘制机构运动简图时，首先要弄清机构的实际构造和运动情况，并从中找出原动件、从动件和机架；然后沿着传动路线，弄清其他各构件的作用和运动副的类型；在此基础上选择能表达构件运动关系的视图平面；最后用构件和运动副的规定符号，以适当的比例尺绘出机构运动简图。

绘制机构运动简图时应注意：机构中凡与运动无关的结构，一律不要画出，以使图形清晰；当机构用一组视图不足以表示清楚时，可另增视图平面，但须将各视图绘制在同一画面上。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法和步骤：

例 1-1 绘制图 1-11 所示颚式破碎机主体机构的运动简图。

解：

1. 分析机构的组成及运动情况

在颚式破碎机（图 1-11a）中，偏心轴 2 与带轮 5 固结在一起绕轴线 A 转动，带动动颚 3 使肘板 4 绕 D 点摆动，从而使动颚 3 作平面运动达到挤碎矿石的目的。其中 1 为机架，与带轮 5 固结在一起的偏心轴 2 为原动件，动颚 3 和肘板 4 为从动件。

2. 确定各运动副的类型

机架 1 和偏心轴 2 组成转动副 A；偏心轴 2 和动颚 3 组成转动副 B；动颚 3 和肘板 4 组成转动副 C；机架 1 和肘板 4 组成转动副 D。

3. 选择视图平面

选多数构件运动所在的能表达各构件相对运动关系的平面为视图平面。

4. 选择适当比例尺，绘制机构简图

比例尺为
$$\mu_L = \frac{\text{构件实际尺寸}}{\text{构件图示尺寸}} \quad (\text{mm/mm})$$

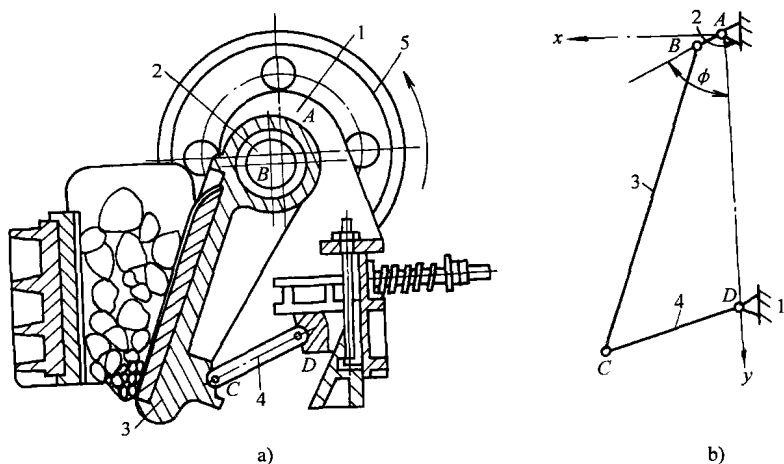


图 1-11 鄂式破碎机主体机构

量出各构件的实际运动尺寸 L_{AB} 、 L_{BC} 、 L_{CD} 及 L_{AD} ，并依比例尺求出各构件图示尺寸：

$$AB = L_{AB} / \mu_L, BC = L_{BC} / \mu_L, CD = L_{CD} / \mu_L, AD = L_{AD} / \mu_L$$

在图上适当的位置，按图示尺寸 AD 选定转动副 A 、 D ，并按规定符号画出小圆圈。以 A 为圆心， AB 为半径画圆，在圆上任取一点作为转动副 B ，画出规定符号。以 B 为圆心， BC 为半径，以 D 为圆心， CD 为半径，分别画弧交出转动副 C ，并按规定符号画出圆圈，用线条连接运动副 A 、 B 、 C 、 D ，在机架 1 上画出斜线，在原动件 2 上画出标有箭头的圆弧，便得到该机构的运动简图，如图 1-11b 所示。

例 1-2 绘制图 1-12a 所示内燃机的机构运动简图。

解：该内燃机由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构三部分组成。该机构运动简图的绘制过程如下：

1. 分析机构运动，找出机架、原动件和从动件。

(1) 曲柄滑块机构 该机构的作用是将活塞的直线往复运动转换成曲轴的回转运动。缸体 4 是机架，内燃机启动后，活塞 1 是原动件，连杆 2 、曲轴 3 是从动件。

(2) 齿轮机构 该机构的作用是将主动齿轮 5 较高的转速转换成从动齿轮 6 较低的转速。缸体 4 是机架，齿轮 5 是主动件，齿轮 6 是从动件。

(3) 凸轮机构 该机构的作用是将凸轮的转动，转换成推杆的间歇直线往复运动。缸体 4 是机架，凸轮 7 是主动件，推杆 8 是从动件。

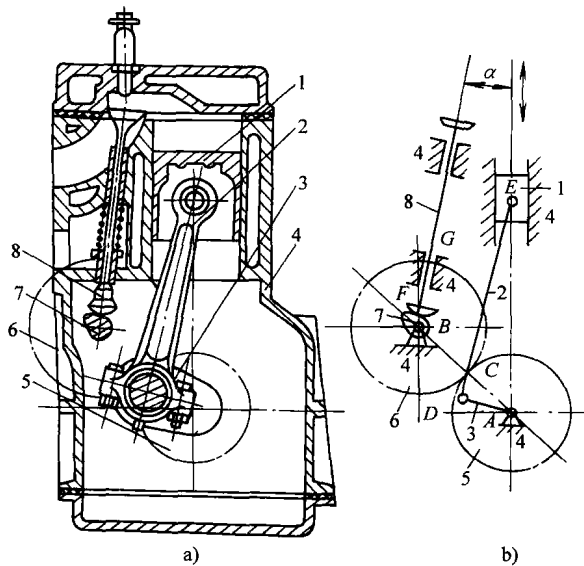


图 1-12 内燃机的机构运动简图

2. 分析各构件间相对运动关系，确定各运动副的类型和数目。

(1) 曲柄滑块机构中，活塞 1 与缸体 4 组成移动副。活塞 1 与连杆 2、连杆 2 与曲轴 3、曲轴 3 与缸体 4 分别组成 E 、 D 、 A 三个转动副。

(2) 齿轮机构中，齿轮 5 与缸体 4、齿轮 6 与缸体 4 分别组成转动副 A 和 B 。齿轮 5 与齿轮 6 组成齿轮副 C (高副)。

(3) 凸轮机构中，凸轮 7 与缸体 4 组成转动副。凸轮 7 与推杆 8 组成凸轮副 F (高副)。推杆 8 与缸体 4 组成移动副。

3. 选择视图平面。图 1-12a 已能清楚地表达各构件间的运动关系，所以选此平面作为视图平面。

4. 选择合适的比例尺，定出各运动副的相对位置，用运动副和构件的规定符号绘制出机构运动简图，如图 1-12b 所示。

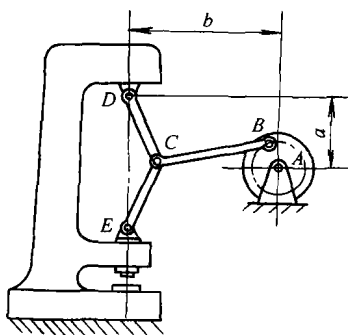
思考题

1-1 什么叫运动副？平面低副和高副有何区别？

1-2 平面机构运动简图和平面机构运动示意图有何区别？

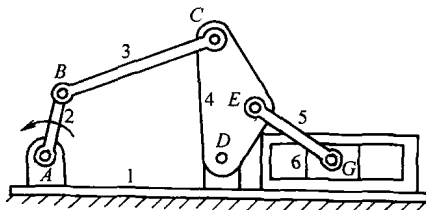
习题

1-1 一压力机如图所示，已知 $AB=20\text{mm}$ ， $BC=265\text{mm}$ ， $CD=CE=150\text{mm}$ ， $a=150\text{mm}$ ， $b=300\text{mm}$ ，试按适当比例尺绘出机构运动简图。



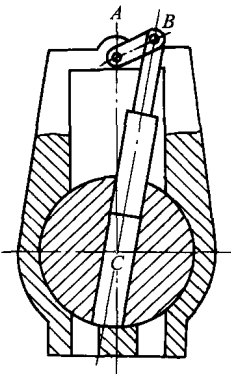
习题 1-1 图

1-2 测出下图组合机构的各部分尺寸，并绘出机构运动简图。



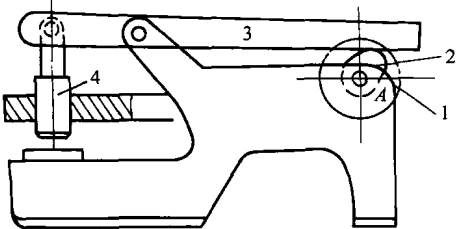
习题 1-2 图

1-3 绘出下图所示柱塞泵的机构运动示意图。



习题 1-3 图

1-4 如图所示为一简易冲床的初拟设计方案。设计者的思路是：动力由齿轮 1 输出，使轴 A 连续转动，而固定在轴 A 上的凸轮 2 与杠杆 3 组成的凸轮机构将使冲头 4 上下运动以达到冲压目的。试绘制机构运动简图，分析其运动是否确定，并提出修改意见。



习题 1-4 图

第二章 平面连杆机构

连杆机构是由一些构件通过低副联接而成的机构，故又称低副机构。各构件都在同一平面或相互平行的平面内运动的连杆机构，称为平面连杆机构。平面连杆机构的种类很多，其中以四杆机构应用最广，且它是组成多杆机构的基础。所以本章作为重点介绍。

第一节 铰链四杆机构及其基本类型

四个构件都用转动副（铰链）连接的四杆机构，称为铰链四杆机构。如图 2-1 所示。其中，固定不动的构件 4 称为机架。与机架直接相连的构件 1 和 3 称为连架杆。在两连架杆中，能作整周转动的连架杆 1 称为曲柄。不能作整周转动的连架杆 3 称为摇杆。不与机架直接相连的构件 2 称为连杆。

按两连架杆是否为曲柄，铰链四杆机构可分为三种基本类型。

一、曲柄摇杆机构

铰链四杆机构中的两连架杆，如果一个为曲柄，另一个为摇杆，则称为曲柄摇杆机构，如图 2-2 所示。通常曲柄 AB 为主动件作等速转动，摇杆 CD 为从动件作往复摆动。如图 2-3 所示的雷达天线采用的就是曲柄摇杆机构。当曲柄 1 缓慢地转动时，通过连杆 2 使与摇杆 3 固结的抛物面天线作一定角度的摆动，从而达到调整天线俯仰角的目的。

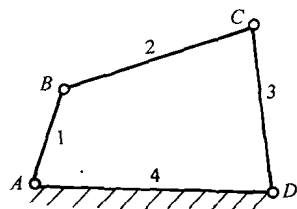


图 2-1 铰链四杆机构

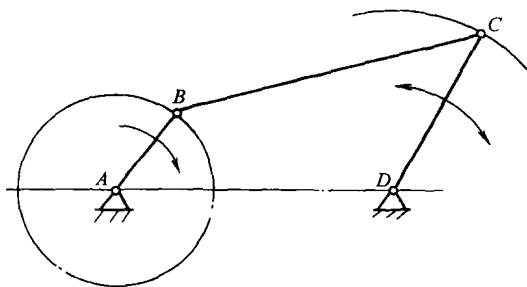


图 2-2 曲柄摇杆机构

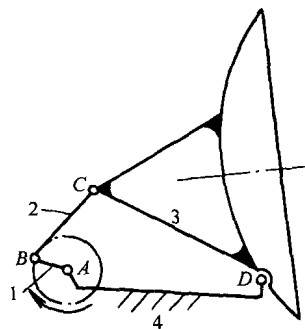


图 2-3 雷达天线用曲柄摇杆机构

该种机构也可以摇杆为主动件，曲柄为从动件。图 2-4 所示为缝纫机踏板机构。踏板即为摇杆 CD ，曲轴即为曲柄 AB 。当踏动踏板 CD 使其往复摆动时，通过连杆 BC 使曲柄 AB 作连续转动，通过带轮带动机头进行缝纫工作。

二、双曲柄机构

铰链四杆机构的两连架杆均为曲柄时，则称为双曲柄机构。双曲柄机构可分为普通双曲柄机构和平行双曲柄机构两种。

1. 普通双曲柄机构