



高职高专机电类专业工学结合“十二五”规划教材
GAOZHI GAOZHUAN JIDIANLEI ZHUANYE GONGXUE JIEHE “SHIERWU” GUIHUA JIAOCAI

机械设计基础

主编 李晓东 张永智



郑州大学出版社



高职高专机电类专业工学结合“十二五”规划教材

GAOZHIGAOZHUANJIDIANLEI ZHUANYE GONGXUE JIEHE "SHI'ERWU" GUIHUA JIAOCAI

机械设计基础

主编 李晓东 张永智



郑州大学出版社

郑州

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李晓东,张永智主编. —郑州:郑州大学出版社,2012.9
高职高专机电类专业工学结合“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5645-0902-6

I. ①机… II. ①李…②张… 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 (2012) 第 117289 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

河南省豫水印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:18.75

字数:445 千字

版次:2012 年 9 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2012 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0902-6 定价:32.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

作者名单

主 编 李晓东 张永智

副主编 曾海燕 李妍缘 窦 涛

编 委 (以姓氏笔画为序)

李妍缘 李晓东 张永智

周大伟 贾 磊 韩键美

曾海燕 窦 涛

内容简介

全书共分 5 个项目,12 个任务。每个任务按照学习目标、相关知识、任务描述、任务分析、任务实施、任务评价、知识拓展的顺序编写。包括平面机构的结构分析,平面四杆机构的分析与设计,认识凸轮机构和间歇运动机构,螺栓联接的设计与强度计算,设计轴毂联接,设计普通 V 带传动,设计滚子链传动,设计齿轮传动,齿轮系分析,设计传动轴,轴承的选用,联轴器、离合器的选用等内容。

本书可作为高职高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类及相关专业的教学用书,也可供有关人员参考。

前 言

本书包含传统学科中机械原理、机械零件设计的内容,在内容的取舍上,以培养技术应用型人才为目标,贯彻理论以“必须、够用”为原则,强调教材的实用性。

本书根据高职院校的教学特点,以“工学结合”为切入点,打破传统的学科型课程架构,选取典型工作任务,采用任务驱动方式进行编写。每个任务包括学习目标、相关知识、任务描述、任务分析、任务实施、任务评价、知识拓展等内容。每个任务后配有的知识拓展模块目的是为了增强学生的职业素养,帮助那些学有余力的学生更好地提高专业的作用,从而起到开阔视野,拓展知识面的作用。

参加本书编写的有:河南职业技术学院李晓东(任务8)、张永智(任务11),郑州电力职业学院曾海燕(任务6),郑州电力高等专科学校李妍缘(任务1、3),永城职业技术学院窦涛(任务2、9)、韩键美(任务7、12)、周大伟(任务4),商丘工学院贾磊(任务5、10)。全书由河南职业技术学院李晓东教授负责统稿。

在本书的编写过程中得到了郑州大学出版社等单位的热情帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏、错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2012年5月

目 录

项目一 平面机构的分析与设计	1
任务 1 平面机构的结构分析	1
任务 2 平面四杆机构分析与设计	16
任务 3 认识凸轮机构和间歇运动机构	33
项目二 可拆联接的分析与设计	53
任务 4 螺栓联接的设计与强度计算	53
任务 5 设计轴毂联接	83
项目三 挠性传动设计	92
任务 6 设计普通 V 带传动	92
任务 7 设计滚子链传动	134
项目四 齿轮传动设计	152
任务 8 设计齿轮传动	152
任务 9 齿轮系分析	202
项目五 轴系零部件的设计	217
任务 10 轴的设计	217
任务 11 轴承的选用	241
任务 12 联轴器、离合器等部件选用	278
参考文献	291

项目一

平面机构的分析与设计

任务 1 平面机构的结构分析

※学习目标※

技能目标

通过本节的学习,掌握构件、运动副、运动链及机构等概念;掌握机构具有确定运动的条件,会计算平面机构的自由度;了解机构运动简图的绘制。

知识要点

1. 机构的组成
2. 机构运动简图的绘制
3. 平面机构自由度及其计算

※相关知识※

在人们的生产和生活中广泛使用着各种机器。图 1-1 所示为颚式破碎机,利用它可以实现压碎物料的功能。图 1-2 所示为内燃机,利用它可以实现使燃烧的热能转变为机械能。

这些机器是如何工作的?如何用简单的方式来描述它们的工作原理?不同的机器是否具有相同的工作原理?在什么条件下机器才能按照人们需要的规律去运动?本节即对这些问题进行解答。

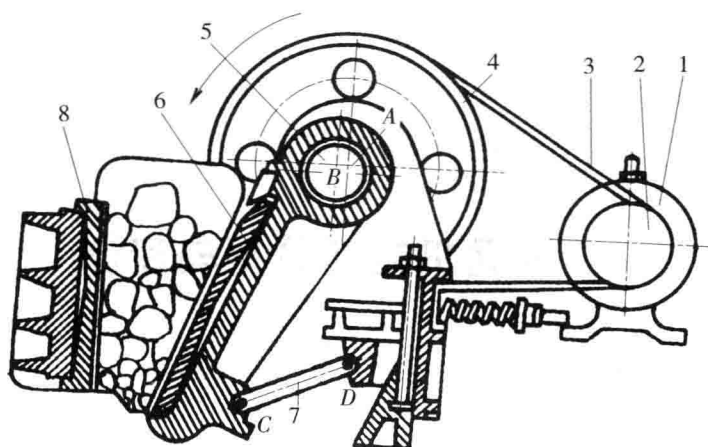


图 1-1 颞式破碎机

1—电动机;2,4—带轮;3—V带;5—偏心轴;6—动颞;7—肘板;8—定颞板

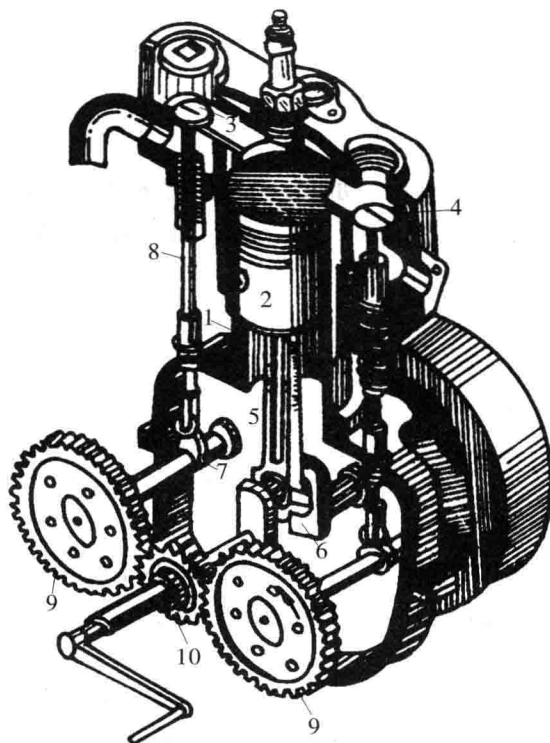


图 1-2 内燃机

1—气缸体;2—活塞;3—进气阀;4—排气阀;5—连杆;6—曲轴;7—凸轮;8—顶杆;9,10—齿轮

一、机构的组成

机器中大都包含了能够产生相对运动的零部件,不同机器上的零部件的运动形式和运动规律具有多样性,如转动、往复直线移动、摆动、间歇运动或者按照特定轨迹运动等。

如图 1-2 所示内燃机就是由气缸、活塞、连杆体、连杆头、曲柄、齿轮等一系列零件组成的。这些零件有的是作为一个独立的运动单元体而运动的,有的则需要与其他零件刚性地联接在一起作为一个整体而运动。如连杆就是由连杆体、衬套、螺栓、轴瓦、连杆盖、螺母、开口销等零件刚性地联接在一起作为一个整体而运动的。这些刚性地联接在一起的各个零件之间不能产生任何相对运动,也就是说它们共同组成了一个独立的运动单元。

机器中每一个独立运动的单元称为一个构件。因而从运动的观点来看,可以说机器是由若干个机构组合而成的。机构是用以实现某种确定运动的构件组合体,机器则是用来完成机械功或转化机械能的机构。一部机器可以是一种机构,也可以是数种机构的组合,不同的机器也可能包括相同的主体机构。

1. 运动副

机构是由许多构件组成的。机构的每个构件都以一定方式与某些构件相互联接,这种联接不是固定联接,而是能产生一定相对运动的联接。两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副。如滚动轴承中的滚动体与内、外圈的滚道、啮合中的一对齿廓均保持直接接触,并能产生一定的相对运动,因而它们都构成了运动副。构件上参与接触的点、线、面,称为运动副元素。

根据运动副各构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动,可将运动副分成平面运动副和空间运动副。所有构件都只能在相互平行的平面上运动的机构称为平面机构。大多数的常用机构都是平面机构,本书也仅就平面运动副和平面机构进行讨论。

2. 自由度和运动副约束

一个做平面运动的构件有 3 个独立运动的参数:沿 x 轴、 y 轴的移动和绕垂直于 xOy 平面的轴的转动(图 1-3)。我们把构件相对于参考系具有的独立运动参数的数目称为自由度。

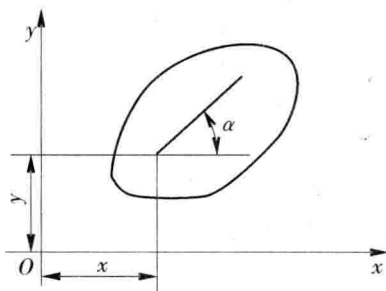


图 1-3 平面运动构件的自由度

两个构件通过运动副联接以后,相对运动受到限制。运动副对成副的两构件间的相对运动所加的限制称为约束。引入 1 个约束条件将减少 1 个自由度,而约束的多少及约

束的特点取决于运动副的形式。

如图 1-4 所示的运动副限制了轴颈 1 沿 x 轴和 y 轴的移动,只允许轴颈绕轴线相对转动,这种运动副称为转动副。转动副引入了 2 个约束,保留了 1 个自由度。

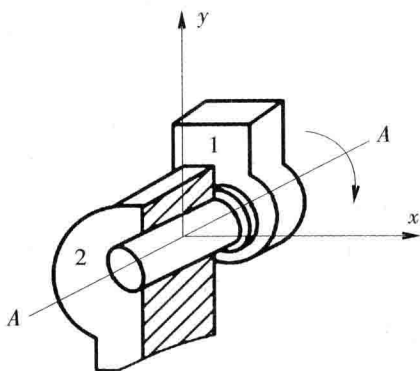


图 1-4 转动副

如图 1-5 所示的运动副,构件之间只能沿 x 轴做相对移动,这种沿 1 个方向相对移动的运动副称为移动副。移动副也具有 2 个约束,保留了 1 个自由度。

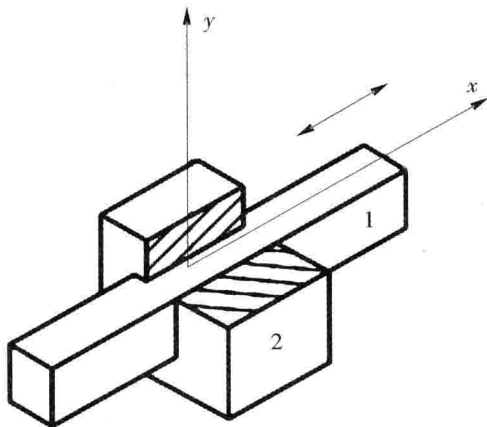


图 1-5 移动副

转动副和移动副都是面接触,统称为低副。

如图 1-6 所示,在曲线构成的运动副中,构件 2 相对于构件 1 既可沿接触点处切线 $t-t$ 方向移动,又可绕接触点 A 转动,运动副保留了 2 个自由度,带进了 1 个约束。这种点接触或线接触的运动副称为高副。

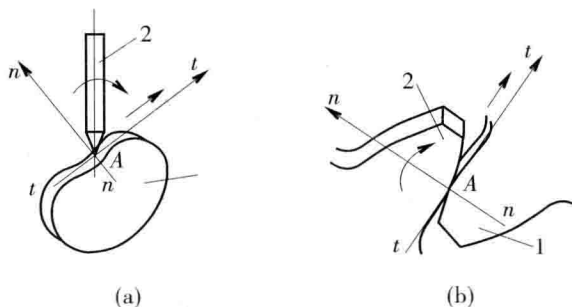


图 1-6 平面高副

3. 运动链和机构

两个以上的构件以运动副联接而构成的系统称为运动链。未构成首末相连的封闭环的运动链称为开链,否则称为闭链。在运动链中选取 1 个构件加以固定(称为机架),当另一构件(或少数几个构件)按给定的规律独立运动时,其余构件也均随之做一定的运动,这种运动链就称为机构。机构中输入运动的构件称为主动件,其余的可动构件则称为从动件。由此可见,机构是由主动件、从动件和机架三部分组成的,如图 1-7 所示。

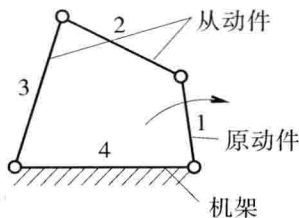


图 1-7 机构

二、机构运动简图的绘制

对机构进行分析和综合时,并不需要了解机构的真实外形和具体结构,只需简明地表达机构的传动原理,即用简单的线条和符号画出图形来进行方案讨论和运动、受力分析。这种用规定的线条和符号表示构件和运动副,绘出能够表达各构件间相对运动关系的简图称为机构运动简图。简图中一般应包括下列内容:构件数目;运动副的数目和类型;构件之间的联接关系;与运动变换相关的构件尺寸参数;主动件及其运动特性。

1. 运动副及构件的表示方法

构件均用线段或小方块等来表示,画有斜线的表示机架。

两构件组成转动副时,其表示方法如图 1-8 所示。图面垂直于回转轴线时用图 1-8(a)表示;图面不垂直于回转轴线时用图 1-8(b)表示。表示转动副的圆圈,其圆心必须与回转轴线重合。一个构件具有多个转动副时,则应把两条线交接处涂黑,或在其内部画上斜线,如图 1-8(c)所示。

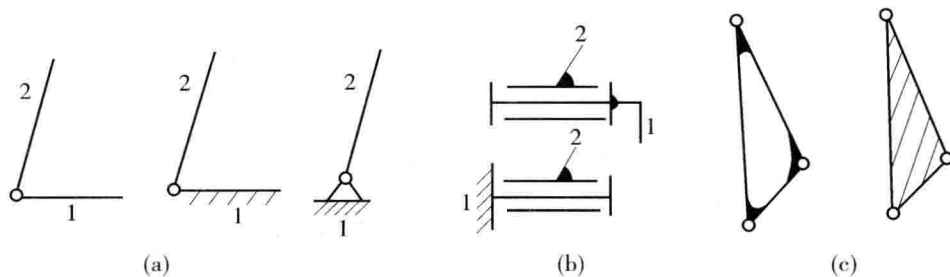


图 1-8 转动副的表示方法

两构件组成移动副的表示方法如图 1-9 所示,其导路必须与相对移动方向一致。

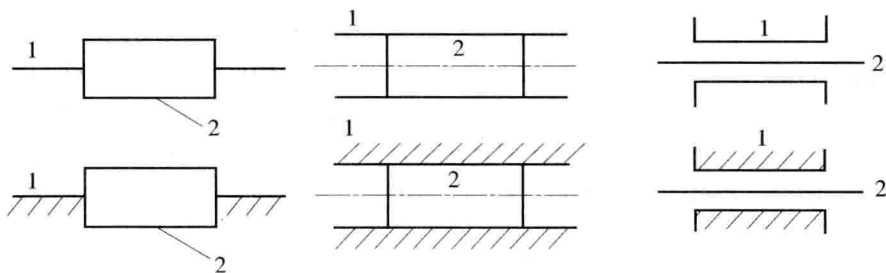


图 1-9 移动副的表示方法

两构件组成平面高副时,其运动简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓。对于凸轮和滚子,习惯上画出其全部轮廓;对于齿轮,常用点画线画出其节圆,如图 1-10 所示。

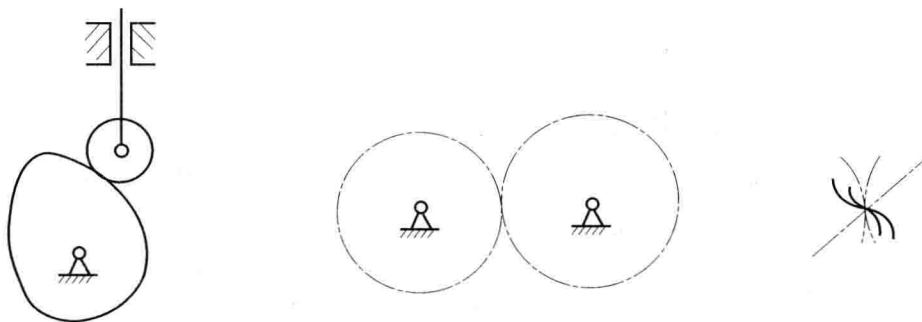


图 1-10 平面高副的表示方法

2. 绘制机构运动简图的主要步骤

- (1) 认真研究机构的结构及动作原理,分清固定件(机架),确定主动件。
- (2) 循着运动传递的路线,搞清各构件间相对运动的性质,确定运动副的种类。
- (3) 测量出运动副间的相对位置。
- (4) 选择视图平面和比例尺,用规定的符号和线条表示其构件和运动副,绘制机构运

动简图。

例 1-1 试绘制图 1-2 所示内燃机的机构运动简图。

解 从图 1-2 可知,壳体及气缸体 1 是机架,缸内活塞是主动件。活塞 2 与连杆相对转动构成转动副;运动通过连杆 5 传给曲轴 6,连杆 5 与曲轴 6 构成转动副联接;曲轴 6 将运动通过与之相连的小齿轮 10 传给大齿轮 9,大、小齿轮与机架构成转动副联接;大齿轮 9 与凸轮 7 同轴,凸轮 7 通过滚子将运动传给顶杆 8,大、小齿轮之间及凸轮与滚子之间都构成高副联接;滚子与顶杆 8 构成转动副联接;顶杆 8 与机架构成移动副。

选择适当的比例尺,按照规定的线条和符号,绘出该机构的运动简图(见图 1-11),图中标有箭头的构件 2 是主动件。

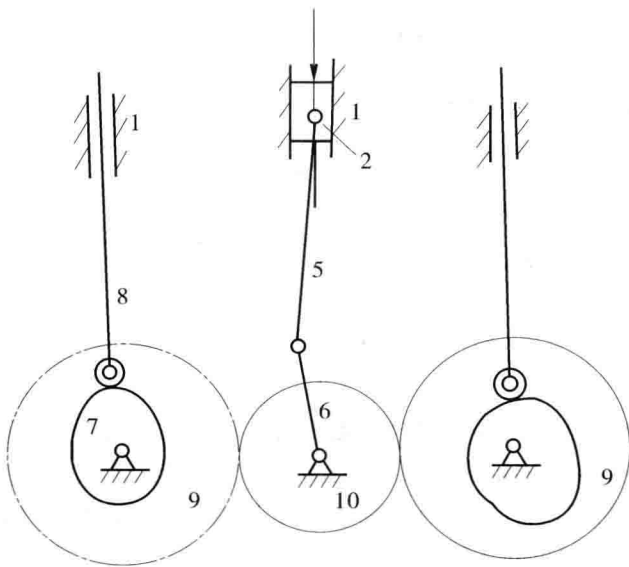


图 1-11 内燃机的机构运动简图

三、平面机构自由度及其计算

1. 机构具有确定运动的条件

运动链和机构都是由构件和运动副组成的系统,机构要实现预期的运动传递和变换,必须使其运动具有可能性和确定性。如图 1-12 所示,由 3 个构件通过 3 个转动副联接而成的系统就没有运动的可能性。

又如图 1-13 所示的五杆系统,若取构件 1 作为主动件,当给定 φ_1 时,构件 2、3、4 既可以处在实线位置,也可以处在虚线或其他位置,因此,其从动件的运动是不确定的。但如果给定构件 1、4 的位置参数 φ_1 和 φ_2 ,则其余构件的位置就都被确定下来。

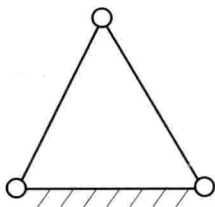


图 1-12 桁架

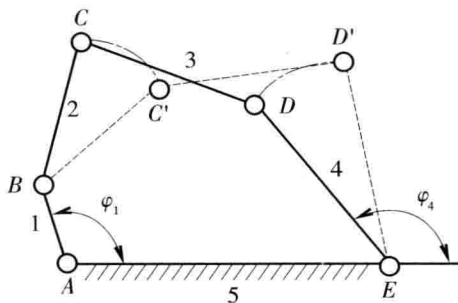


图 1-13 五杆铰链机构

如图 1-14 所示的机构,当给定构件 1 的位置时,其他构件的位置也被相应确定。

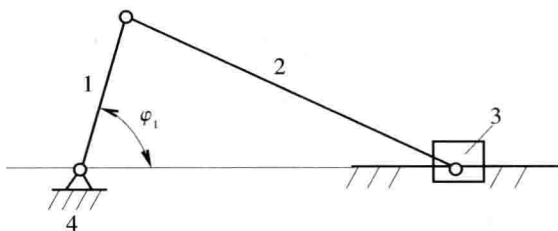


图 1-14 曲柄滑块机构

由此可见,无相对运动的构件组合或无规则乱动的运动链都不能实现预期的运动变换。将运动链的一个构件固定为机架,当运动链中一个或几个主动件位置确定时,其余从动件的位置也随之确定,则称机构具有确定的相对运动。那么究竟取一个还是几个构件作主动件,这取决于机构的自由度。

机构的自由度就是机构具有的独立运动的数目,因此,当机构的主动件数等于自由度时,机构就具有确定的相对运动。

2. 平面机构自由度的计算

设一个平面运动链包含 N 个构件,其中 1 个构件为机架,则有 $n = N - 1$ 个活动构件,另外设有 P_L 个低副和 P_H 个高副。由于 1 个活动构件有 3 个自由度,1 个低副引进 2 个约束,1 个高副引进 1 个约束,因此,该机构的自由度 F 应为

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

用式(1-1)计算图 1-12 所示运动链的自由度,则为 $F = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$,因此,该运动链无相对运动。计算图 1-13 所示运动链的自由度,则 $F = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$,因此,它需要两个主动件才具有确定的相对运动。按同样的方法计算出图 1-14 所示机构的自由度为 $F = 1$,因此它只需要一个主动件便具有确定的相对运动。

例 1-2 计算图 1-15 所示活塞泵的自由度。

解 活塞泵具有 4 个活动构件, $n = 4$; 5 个低副(4 个转动副和 1 个移动副), $P_L = 5$; 一个高副, $P_H = 1$, 由式(1-1)得: $F = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$ 。

机构的自由度与原动件(曲柄1)数相等。

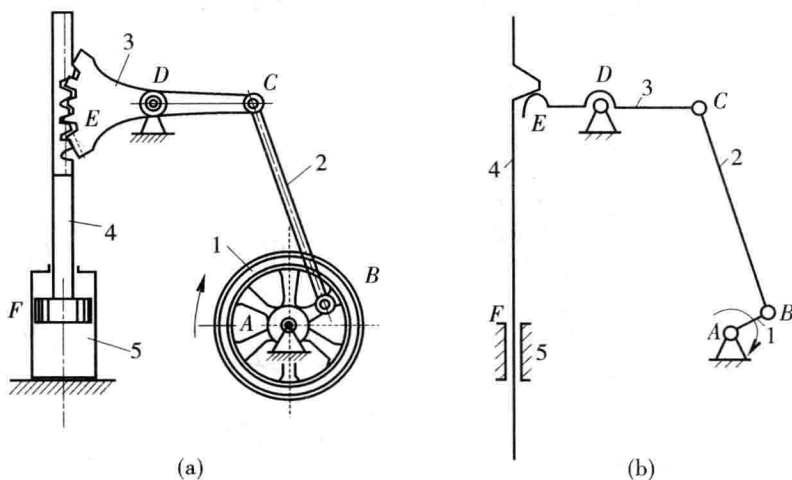


图 1-15 活塞泵及其机构运动简图

3. 计算机构自由度的注意事项

应用式(1-1)计算机构的自由度时,必须注意以下几个问题。

(1)复合铰链 由两个以上的构件在同一处构成的转动副称为复合铰链。如图 1-16 所示为 3 个构件在 A 点形成复合铰链。从左视图可见,此 3 个构件实际上组成了轴线重合的 2 个转动副。同理,若有 m 个构件形成复合铰链时,应具有 $(m-1)$ 个转动副。

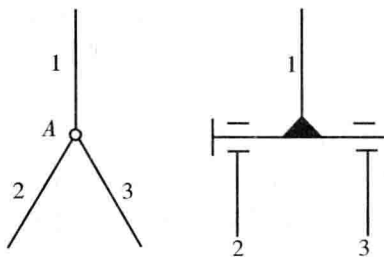


图 1-16 复合铰链

例 1-3 计算如图 1-17 所示圆盘锯主体机构的自由度。

解 机构中, A、B、C、D 四点均为由 3 个构件组成的复合铰链, 每处都有 2 个转动副, 因此, 该机构 $n=7$ 、 $P_L=10$ 、 $P_H=0$, 其自由度 $F=3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

(2)局部自由度 机构中不影响机构输出与输入运动关系的个别构件的独立运动自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时, 局部自由度应略去不计。

图 1-18(a) 所示的凸轮机构中, 滚子绕本身轴线的转动不影响其他构件的运动, 该转动的自由度即为局部自由度。计算时先把滚子看成与从动件连成一体, 消除局部自由度后, 如图 1-18(b) 所示, 再计算该机构的自由度。

局部自由度虽不影响机构的运动关系,但可以减少高副接触处的摩擦和磨损。因此,在机械中具有局部自由度的结构很常见,如滚动轴承、滚轮等。

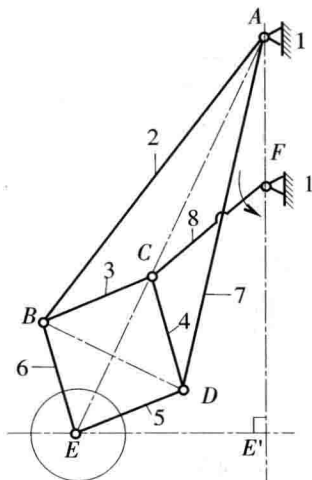


图 1-17 所示圆盘锯主体机构

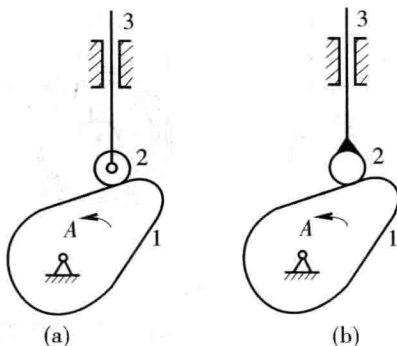


图 1-18 局部自由度

(3) 虚约束 机构中与其他约束重复而对机构运动不起独立限制作用的约束,称为虚约束。计算机构自由度时,应除去不计。

平面机构中的虚约束常出现在下列场合:

1) 两构件间形成多个具有相同作用的运动副。

如图 1-19(a) 所示,两构件形成多个轴线重合的转动副。轮轴 1 与机架 2 在 A、B 两处组成了两个转动副,从运动关系看,只有一个转动副起约束作用,其余各处引入约束均为虚约束,计算机构自由度时应按一个转动副计算。

如图 1-19(b) 所示,两构件组成多个移动方向一致的移动副。构件 1 与机架组成了 A、B、C 三个导路平行的移动副,同样,应只考虑一处移动副,其余均为虚约束。

如图 1-19(c) 所示,两构件组成多处接触点公法线重合的高副。同样应只考虑一处高副,其余为虚约束。

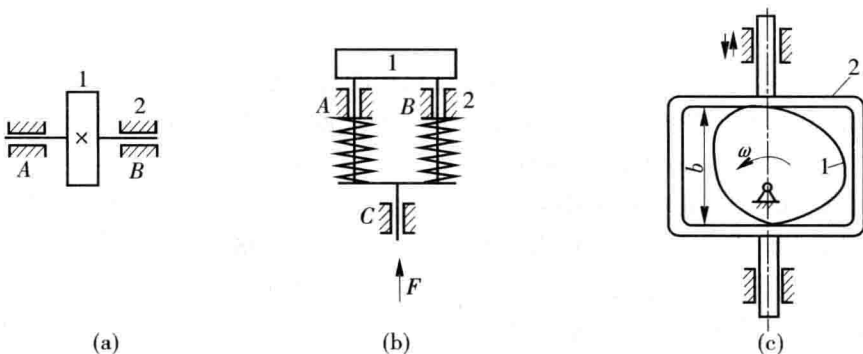


图 1-19 两构件组成多个运动副