

机械学基础

傅继盈 蒋秀珍 主编

竺培国 主审



哈尔滨工业大学出版社

机械学基础

傅继盈 蒋秀珍 主编

竺培国 主审

哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书融合工程力学与机械学基础知识,比较全面、系统地阐述了机械零件、部件及机构的工作原理、理论计算和设计方法。内容包括:机构的组成及平面连杆机构、凸轮与间歇运动机构、齿轮传动、工程力学基础、常用工程材料、轴与联轴器、支承、带传动、螺旋传动、联接、导轨、弹性元件。

本书为大学本科电类专业技术基础课教材,也可供从事“机电一体化”的工程技术人员参考。

机械学基础

Jixie Xue Jichu

傅继盈 蒋秀珍 主编

竺培国 主审

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21.5 字数 495 千字

1998年1月第1版 1998年1月第1次印刷

印数 1—5 000

ISBN 7-5603-1262-4/TH·61 定价:25.00 元

前 言

为适应教学改革和专业调整的需要,我们将过去的六门机械类技术基础课合并为一门课,突出、拓宽工程力学与机械学基础知识,加以融合、衔接,编写了名为“机械学基础”这本书。

本书阐述了静力学基础、材料力学基础、常用工程材料,以及机械工程常用零件、部件及机构的工作原理、理论计算和设计方法。为了便于读者更好地理解上述基础内容,书中各章均附有例题和习题。

教学实践表明:以本书为主要教材,可以用较少学时,使学生较好地掌握工程力学与机械学的基础知识。使用本书,通过讲课、实验、上机、课程设计等教学与实践环节,使学生具有机械结构分析和设计能力。具备这种能力的电类学生,专业适应能力强,能满足市场经济对人才的需求,利于学生就业选择。

本书由哈尔滨工业大学竺培国教授主审。参加编写的有:傅继盈(第二、四、五、十一、十二章)、蒋秀珍(第六、七、八、九、十、十三章)、陈文贤(第一、三、十四章)。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,恳请读者指正。

编 者

1997年2月

主要符号表

| | |
|---|---|
| <p>A——面积</p> <p>a——中心距</p> <p>b——宽度</p> <p>C_r——滚动轴承额定动载荷</p> <p>D, d——直径</p> <p>E——拉、压弹性模量</p> <p>e——偏心距、齿间距</p> <p>F——力、载荷</p> <p>F_a——轴向力</p> <p>F_t——摩擦力</p> <p>F_n——法向力、正压力</p> <p>F_r——径向力</p> <p>F_t——圆周力、切向力</p> <p>f——摩擦系数</p> <p>G——重量、切变模量</p> <p>h——高度</p> <p>δ——厚度</p> <p>I——惯性矩</p> <p>I_p——极惯性矩</p> <p>i——传动比、数目</p> <p>J——转动惯量</p> <p>K——曲率</p> <p>L, l——长度</p> <p>M——力矩、弯矩</p> <p>m——质量、模数</p> <p>n——转速</p> | <p>P——功率</p> <p>p——压强</p> <p>q——单位线长上的载荷</p> <p>R, r——半径</p> <p>s——位移</p> <p>T——转矩、扭矩、温度、周期</p> <p>t——时间</p> <p>μ——泊松比</p> <p>W——截面系数、功</p> <p>η——效率</p> <p>ε——线应变</p> <p>γ——切应变</p> <p>σ——正应力</p> <p>τ——切应力、剪应力</p> <p>α_l——线胀系数</p> <p>ω——角速度</p> <p>α——角加速度</p> <p>V——体积</p> <p>ρ——曲率半径</p> <p>s——秒</p> <p>rad/s——每秒弧度</p> <p>N——牛顿</p> <p>min——分</p> <p>h——小时</p> <p>r/min——每分转</p> <p>m——米</p> |
|---|---|

目 录

第一章 机构的组成及平面连杆机构

| | |
|--------------------|------|
| 第一节 平面机构的运动简图和自由度 | (1) |
| 第二节 铰链四杆机构的基本型式和特性 | (8) |
| 第三节 铰链四杆机构的曲柄存在条件 | (13) |
| 第四节 铰链四杆机构的演化 | (14) |
| 第五节 连杆机构的传动特性 | (18) |
| 第六节 平面四杆机构的设计 | (21) |
| 习 题 | (25) |

第二章 凸轮与间歇运动机构

| | |
|----------------|------|
| 第一节 凸轮机构 | (28) |
| 第二节 凸轮轮廓设计 | (33) |
| 第三节 凸轮设计中的几个问题 | (38) |
| 第四节 间歇运动机构 | (41) |
| 习 题 | (47) |

第三章 齿轮传动

| | |
|----------------------------------|------|
| 第一节 概述 | (49) |
| 第二节 齿廓啮合的基本定律 | (50) |
| 第三节 渐开线齿形和渐开线齿轮传动的特点 | (51) |
| 第四节 齿轮各部分名称、符号及渐开线标准圆柱直齿轮的几何尺寸计算 | (53) |
| 第五节 渐开线齿轮正确连续啮合条件 | (56) |
| 第六节 齿轮加工原理和根切现象 | (57) |
| 第七节 变位齿轮 | (62) |
| 第八节 斜齿圆柱齿轮传动 | (66) |
| 第九节 圆锥齿轮传动 | (69) |
| 第十节 蜗杆传动 | (71) |
| 第十一节 轮系 | (75) |
| 习 题 | (80) |

第四章 结构设计的静力学基础

| | |
|-----------------------|-------|
| 第一节 静力学的基本概念和物体的受力分析 | (84) |
| 第二节 平面汇交力系的合成与平衡 | (92) |
| 第三节 力对点的矩、平面力偶系的合成与平衡 | (99) |
| 第四节 平面一般力系的简化和平衡 | (103) |

| | | |
|---------------------------|---------------------|-------|
| 第五节 | 摩擦 | (110) |
| 第六节 | 空间力系 | (114) |
| | 习 题 | (121) |
| 第五章 机械工程常用材料及其工程性能 | | |
| 第一节 | 金属材料的工程性能 | (128) |
| 第二节 | 常用的金属材料 | (131) |
| 第三节 | 金属材料的热处理与表面精饰 | (136) |
| 第四节 | 塑料和矿物 | (139) |
| 第五节 | 选择材料的基本原则 | (142) |
| | 习 题 | (143) |
| 第六章 构件受力变形及其应力分析 | | |
| 第一节 | 概述 | (145) |
| 第二节 | 直杆的轴向拉伸与压缩 | (147) |
| 第三节 | 剪切 | (152) |
| 第四节 | 圆轴扭转 | (155) |
| 第五节 | 梁的平面弯曲 | (160) |
| 第六节 | 复杂变形时的强度计算 | (168) |
| | 习 题 | (171) |
| 第七章 轴与联轴器 | | |
| 第一节 | 轴 | (176) |
| 第二节 | 联轴器 | (184) |
| | 习 题 | (188) |
| 第八章 支 承 | | |
| 第一节 | 概述 | (190) |
| 第二节 | 滑动摩擦支承 | (190) |
| 第三节 | 滚动摩擦支承 | (199) |
| 第四节 | 弹性摩擦支承 | (213) |
| 第五节 | 流体摩擦支承 | (217) |
| | 习 题 | (219) |
| 第九章 齿轮传动设计 | | |
| 第一节 | 轮齿的破坏形式 | (222) |
| 第二节 | 齿轮材料及热处理 | (224) |
| 第三节 | 齿轮传动的精度 | (225) |
| 第四节 | 直齿圆柱齿轮传动的的作用力及其计算载荷 | (226) |
| 第五节 | 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 | (227) |
| 第六节 | 齿轮传动链的设计 | (234) |
| | 习 题 | (241) |
| 第十章 带 传 动 | | |
| 第一节 | 传动带的类型和应用 | (242) |
| 第二节 | 带传动的基本知识 | (242) |

| | | |
|-------------|----------------------|-------|
| 第三节 | 普通 V 带传动的计算和设计 | (244) |
| 第四节 | 同步带传动 | (255) |
| 第五节 | 绳传动 | (255) |
| 习 题 | | (255) |
| 第十一章 | 螺旋传动 | |
| 第一节 | 概述 | (257) |
| 第二节 | 滑动螺旋传动 | (257) |
| 第三节 | 滚动螺旋传动 | (266) |
| 第四节 | 螺旋传动机构的常用材料 | (268) |
| 习 题 | | (268) |
| 第十二章 | 联 接 | |
| 第一节 | 概述 | (270) |
| 第二节 | 可拆联接 | (270) |
| 第三节 | 不可拆联接 | (281) |
| 第四节 | 光学零件的固定 | (285) |
| 习 题 | | (289) |
| 第十三章 | 导 轨 | |
| 第一节 | 概述 | (291) |
| 第二节 | 滑动摩擦导轨 | (291) |
| 第三节 | 滚动摩擦导轨 | (295) |
| 第四节 | 弹性摩擦导轨 | (298) |
| 第五节 | 液体静压导轨 | (299) |
| 习 题 | | (300) |
| 第十四章 | 弹性元件 | |
| 第一节 | 概述 | (301) |
| 第二节 | 弹性元件的材料 | (305) |
| 第三节 | 片弹簧 | (306) |
| 第四节 | 螺旋弹簧 | (310) |
| 第五节 | 膜片、膜盒 | (318) |
| 第六节 | 波纹管 | (325) |
| 第七节 | 弹簧管 | (330) |
| 第八节 | 热双金属弹簧 | (332) |
| 习 题 | | (335) |
| 参考书目 | | (336) |

第一章 机构的组成及平面连杆机构

第一节 平面机构的运动简图和自由度

任何机器和仪器一般由许多部分组成,如机械结构部分、电路及控制部分、光学部分等。简单的机器和仪器不一定都包含上述几个部分,但机械结构部分是必不可少的。在机械结构中,有一部分在工作中要实现某种确定的运动,例如作移动、转动或者更为复杂的运动,从而实现某些功能。例如车床的主轴带动被加工零件转动,刀尖沿主轴轴线方向移动,从而完成车削加工。螺旋千分尺的测杆既转动又移动,从而实现对工件的测量。为了更好地了解机械结构的组成,下面给出若干定义。

一、零件、构件和机构

1. 零件

零件是独立加工制造的实体,是构成机械结构的最小单元。螺钉、螺母、单个齿轮、轴等都是零件。

2. 构件

把若干个零件刚性地联接在一起,彼此不作任何相对运动,作为一个刚性整体进行工作,这种刚性组合体称为构件。

3. 机构

由若干构件组成,各构件之间具有确定相对运动关系的组合体称为机构。机构是机械结构中需要实现某种确定运动的部分。

组成机构的目的是为了使其按照预定的要求进行有规律的运动,而不是乱动。为此,需研究机构具有确定运动的条件。这个问题对设计新机械,拟定运动方案或认识和分析现有机械是非常重要的。

所有构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构。目前工程上常见的机构大多属于平面机构。本章只讨论平面机构。

二、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 坐标系中,构件可随其上任一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕 A 点转动。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。

机构是由许多构件组成的。机构的每个构件都以一定的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。这种使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。例如轴与轴承的联接、活塞与气缸的联接、传动齿轮两个轮齿间的联接等都构成运动副。显然,构件组成运动副后,其独立运动便受到约束,自由度便随

之减少。

图 1-1 中自由构件 1 若与构件 2 (这里, 构件 2 与坐标系固接在一起) 在 A 点用铰链联接起来, 此时, 构件 1 上点 A 的移动参数 x_A 和 y_A 就不再变化, 即这两个自由度被约束了, 只剩下一个转角 φ 可自由变化, 亦即构件 1 只剩下一个绕 A 点相对于构件 2 回转的自由度。由此可见, 运动副的作用是限制或约束两构件之间的相对运动, 减小其相对运动的自由度数。运动副对自由度产生的约束数目取决于运动副的类型。

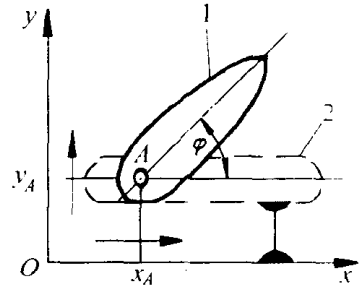


图 1-1 平面运动刚体的自由度

两构件组成的运动副, 不外乎通过点、线或面的接触来实现。按照接触特性, 通常把运动副分为低副和高副两类。

1. 低 副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面机构中的低副有回转副和移动副两种。

(1) 回转副 若组成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动, 约束掉两个移动自由度, 这种运动副称为回转副, 或称铰链, 如图 1-2 所示。在图 a 所示轴 1 与轴承 2 组成的回转副中, 有一个构件是固定的, 故称为固定铰链。图 b 所示构件 1 与构件 2 也组成回转副, 它的两个构件都未固定, 故称为活动铰链。

(2) 移动副 若组成运动副的两个构件只能沿某一轴线相对移动, 约束掉一个移动和一个转动自由度, 这种运动副称为移动副, 如图 1-3 所示。

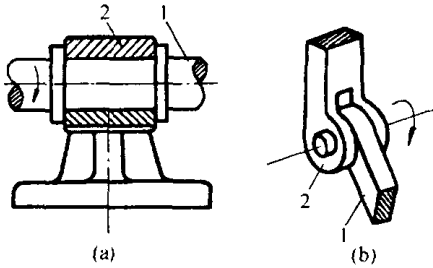


图 1-2 回转副

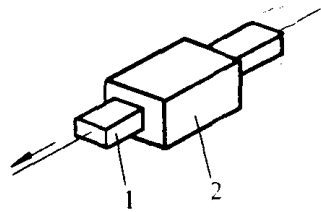


图 1-3 移动副

2. 高 副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 1-4 中, 图 a 中的车轮与钢轨、图 b

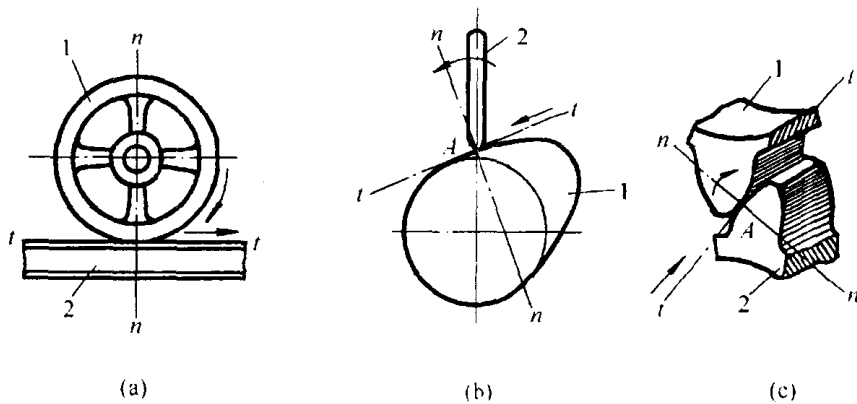


图 1-4 平面高副举例

中的凸轮与从动件、图 c 中的轮齿 1 与轮齿 2 分别在接触处 A 组成高副。组成平面高副二构件间的相对运动是沿接触处切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动。

三、平面机构运动简图

实际构件的外形和结构往往很复杂,在研究机构运动时,为了使问题简化,有必要撇开那些与运动无关的构件外形和运动副具体构造,仅用简单线条和符号来表示构件和运动副,并按比例定出各运动副的位置。这种说明机构各构件间相对运动关系的简单图形,称为机构运动简图。

机构运动简图中的运动副表示如下:

图 1-5 中, a、b、c 是两个构件组成回转副的表示方法。用圆圈表示回转副,其圆心代表相对转动轴线。若组成回转副的二构件都是活动件,则用图 a 表示。若其中有一个为机架,则在代表机架的构件上加上斜线,如图 b、c 所示。

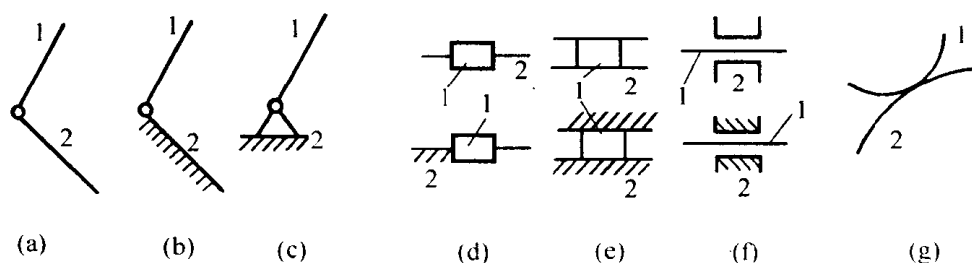


图 1-5 平面运动副的表示方法

两构件组成移动副的表示方法如图 1-5 中 d、e、f 所示。移动副的导路必须与相对移动方向一致。同前所述,图中画有斜线的构件表示机架。

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 1-5g 所示。

图 1-6 为构件的表示方法。图 a 表示参与组成两个回转副的构件。图 b 表示参与组成一

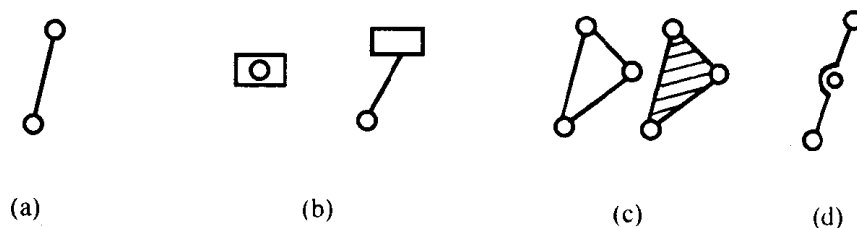


图 1-6 构件表示方法

个回转副和一个移动副的构件。在一般情况下,参与组成三个回转副的构件可用三角形表示,如图 c 所示;如果三个回转副中心在一条直线上,则可用图 d 表示。超过三个运动副的构件的表示方法可依此类推。对于机械中常用的构件和零件,有时还可采用惯用画法,例如用细实线(或点划线)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。其他常用零部件的表示方法可参看 GB4460-84“机构运动简图符号”。

机构中的构件可分为三类:

(1)固定件(机架) 是用来支承活动构件的构件。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 是运动规律已知的活动构件。它的运动是由外界输入的,故又称输入构件。

(3)从动件 是机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。其中输出机构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。

任何一个机构中,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,其余的都是从动件。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 1-1 绘制图 1-7 所示颚式破碎机的机构运动简图。

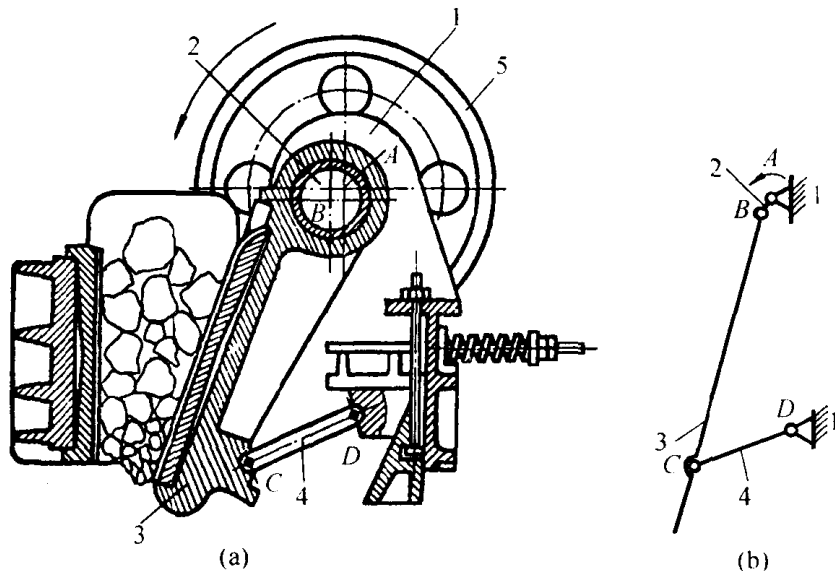


图 1-7 颚式破碎机及其机构运动简图

解 颚式破碎机的主体机构由机架 1、偏心轴(又称曲轴)2、动颚 3、肘板 4 共四个构件组成。偏心轴是原动件,动颚和肘板都是从动件。当偏心轴在与它固联的带轮 5 的拖动下绕轴线 A 转动时,驱使输出构件动颚 3 作平面往复运动,从而将矿石轧碎。

在确定构件数目之后,再根据各构件间的相对运动确定运动副的种类和数目。偏心轴 2 与机架 1 绕轴线 A 相对转动,故构件 1、2 组成以 A 为中心的回转副;动颚 3 与偏心轴 2 绕轴线 B 相对转动,故构件 2、3 组成以 B 为中心的回转副;肘板 4 与动颚 3 绕轴线 C 相对转动,故构件 3、4 组成以 C 为中心的回转副;肘板与机架绕轴线 D 相对转动,故构件 4、1 组成以 D 为中心的回转副。

选定适当比例尺,根据图 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 1-7b 所示。

最后,将图中的机架画上斜线,并在原动件 2 上标出指示运动方向的箭头。

需要指出,虽然动颚 3 与曲轴 2 是用一个半径大于 AB 的轴颈联接的,但是运动副的规定符号仅与相对运动的性质有关,而与运动副的结构尺寸无关,所以在简图中仍可用小圆圈表示。

四、平面机构的自由度

任何一个机构工作时,在原动件的驱动下各个从动件都按一定规律运动,但并不是随意拼凑的构件组合都能具有确定运动而成为机构。下面讨论机构自由度和机构具有确定运动的条件。

1. 平面机构自由度计算公式

一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。因此平面机构的每个活动构件在未用运动副联接前都有三个自由度。当两个构件组成运动副之后,它们的相对运动就受到约束,自由度数随之减少。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。在平面

机构中,每个低副引入两个约束,使构件失去两个自由度;每个高副引入一个约束,使构件失去一个自由度。

设平面机构共有 K 个构件。除去固定件,则机构中的活动构件数为 $n=K-1$ 。在未用运动副连接之前,这些活动构件的自由度总数应为 $3n$ 。当用运动副将构件连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。若机构中低副的数目为 P_L 个,高副数目为 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的自由度(又称机构活动度),以 W 表示,即

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

机构的自由度也即是机构所具有的独立运动的个数。由前述可知,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(如电动机转子具有一个独立转动,内燃机活塞具有一个独立移动),因此,机构自由度必定与原动件的数目相等。

例 1-2 计算图 1-7 中, b 所示颚式破碎机主体机构的自由度。

解 在颚式破碎机主体机构中,有三个活动构件, $n=3$; 包含四个回转副, $P_L=4$, 没有高副, $P_H=0$ 。所以由式(1-1)得机构自由度

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

该机构具有一个原动件(曲轴 2), 故原动件数与机构自由度相等。

机构原动件的独立运动是由外界给定的。如果给出的原动件数不等于机构自由度数, 则将产生如下的影响。

图 1-8 所示为原动件数小于机构自由度的例子(图中原动件数等于 1, 而机构自由度 $W=3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$)。显然, 当只给定原动件 1 的位置 α 角时, 从动件 2、3、4 的位置不能确定, 即机构既可处于图中的实线位置, 也可处于虚线所示位置, 故不具有确定的相对运动。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。

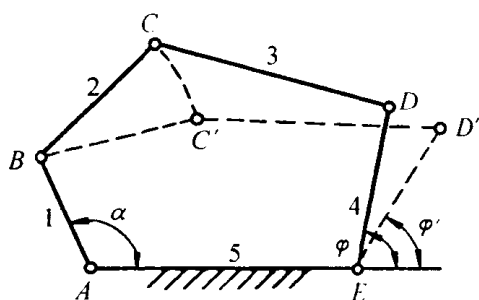


图 1-8 原动件数 $< W$

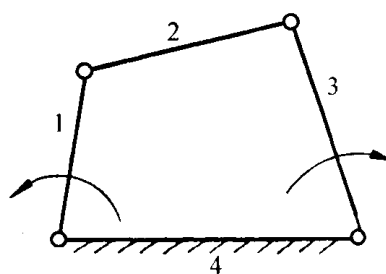


图 1-9 原动件 $> W$

图 1-9 所示为原动件数大于机构自由度的例子(图中原动件数等于 2, 机构自由度 $W=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$)。如果原动件 1 和原动件 3 的给定运动都要同时满足, 势必将杆 2 拉断。

图 1-10 所示为机构自由度等于零的构件组合($W=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$)。它的各构件之间不可能产生相对运动。

综上所述可知, 机构具有确定运动的条件是: $W > 0$, 且 W 等于原动件个数。

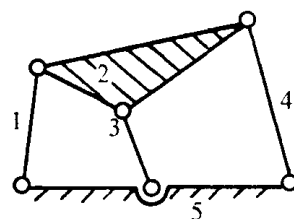


图 1-10 $W=0$ 的构件组合

2. 计算平面机构自由度的注意事项

应用式(1-1)计算平面机构自由度时,对下述几种情况必须加以注意。

(1) 复合铰链

两个以上的构件同时在一处用回转副相连接就构成复合铰链。如图 1-11 中 a 所示是三个构件汇交成的复合铰链,图 b 是它的俯视图。由图 b 可以看出,这三个构件共组成两个回转副。依此类推, K 个构件汇交而成的复合铰链应具有 $(K-1)$ 个回转副。在计算机构自由度时应注意识别复合铰链,以免把回转副的个数算错。

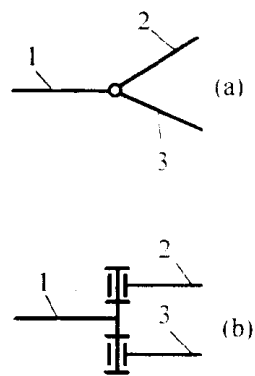


图 1-11 复合铰链

例 1-3 计算图 1-12 所示圆盘锯主体机构的自由度。

解 机构中有七个活动构件, $n=7$; A, B, C, D 四处都是三个构件汇交的复合铰链,各有两个回转副,故 $P_L=10$ 。由式(1-1)可得

$$W = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

W 与机构原动件个数相等。当原动件 8 转动时,圆盘中心 E 将确定地沿直线 EE' 移动。

(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,称为局部自由度或多余自由度,在计算机构自由度时应予排除。

例 1-4 计算图 1-13 中 a 所示滚子从动件凸轮机构的自由度。

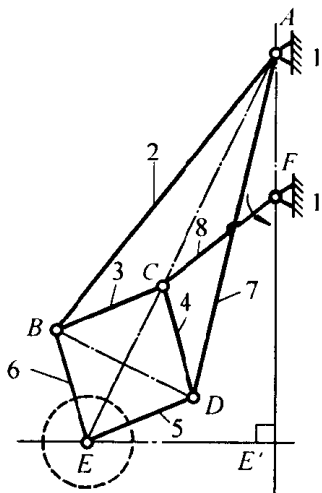


图 1-12 圆盘锯机构

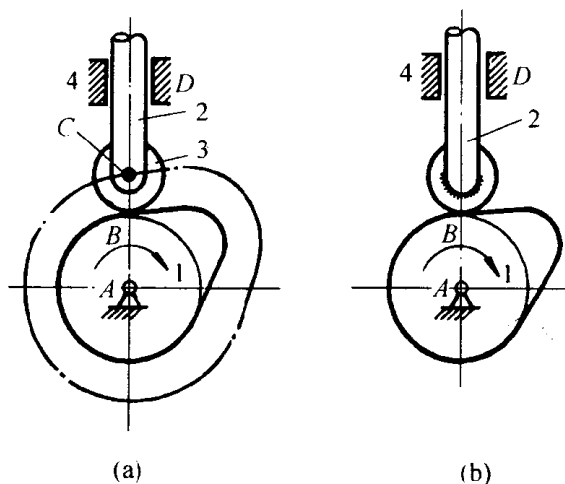


图 1-13 局部自由度

解 如图 a 所示,当原动件凸轮 1 转动时,通过滚子 3 驱使从动件 2 以一定运动规律在机架 4 中往复移动。因此,从动件 2 是输出构件。不难看出,在这个机构中,无论滚子 3 绕其轴线 C 是否转动或转动快慢,都丝毫不影响输出件 2 的运动。因此滚子绕其中心的转动是一个局部自由度。为了在计算机构自由度时排除这个局部自由度,可设想将滚子与从动件焊成一体(回转副 C 也随之消失)变成图 b 所示形式。在图 1-13b 中, $n=2, P_L=2, P_H=1$ 。由式(1-1)可得

$$W = 3 \times 2 - 2 \times 2 = 1$$

局部自由度虽然不影响整个机构的运动,但滚子可使高副接触处的滑动摩擦变成滚动摩擦,减少磨损,所以实际机械中常有局部自由度出现。

(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消极约束,或称虚约束,在计算机构自由度时应当除去不计。

虚约束是构件间几何尺寸满足某些特殊条件的产物。平面机构中的虚约束常出现在下列场合:

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。

②两个构件之间组成多个轴线重合的回转副时,只有一个回转副起作用,其余都是虚约束。

③机构中对传递运动不起独立作用的对称部分。例如图 1-14 所示轮系,中心轮 1 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(加入一个构件增加三个自由度,组成一个回转副和两个高副共引入四个约束)。

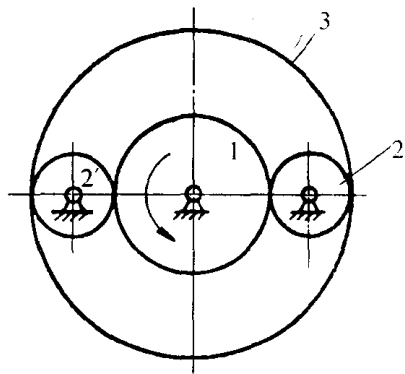


图 1-14 对称结构的虚约束

④机构中有两构件相联接,若它们联接点的轨迹在未组成运动副以前就是相互重合的,则此联接形成的运动副就会带来虚约束。

图 1-15a 是一平行四边形机构,若构件 2 为主动件且作转动时,构件 4 也将以 D 点为圆心转动,而构件 3 将作

平移。它上面各点的轨迹均为圆心在 AD 线上、半径为 AB 长的圆周。该机构的自由度

$$W = 3n - (2P_L + P_H) = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0) = 1$$

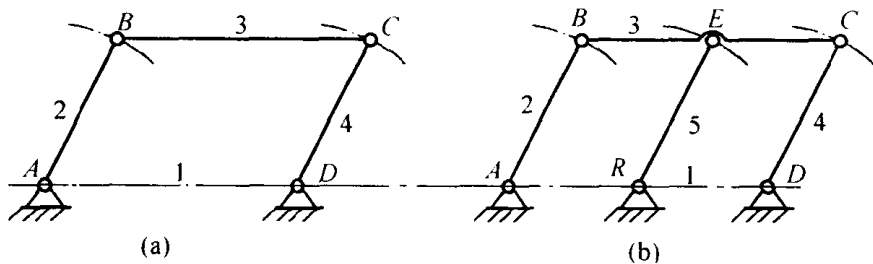


图 1-15 机构中的虚约束

若在机构上再加一个构件 5(图 1-16b),它与构件 2 和 4 平行而等长,显然,加上构件 5 后对整个机构并无任何影响,但此时机构的自由度数为

$$W = 3n - (2P_L + P_H) = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

机构自由度数为零意味着机构不能运动,显然与实际情况不符。这是因为加了一个构件 5,增加了 3 个自由度,但由于增加了两个转动副而引入 4 个约束,减少机构 4 个自由度,而这多出的一个约束对机构的运动并不起约束作用,因此称其为虚约束。因为此时构件 3 和 5 上的 E 点在未形成运动副前均作圆周运动,圆周半径均为 ER,圆心为 R。所以二者轨迹重合。在这种情况下,应将虚约束去掉。即将那些从机构运动的角度看来是多余的构件及其带来的运动副除去不计。

还有一些类型的虚约束需要通过复杂的数学证明才能判别,我们就不一一列举了。虚约束对运动虽不起作用,但可以增加构件的刚性和使构件受力均衡,所以实际机械中虚约束随处可见。只有将机构运动简图中的虚约束排除,才能算出真实的机构自由度。

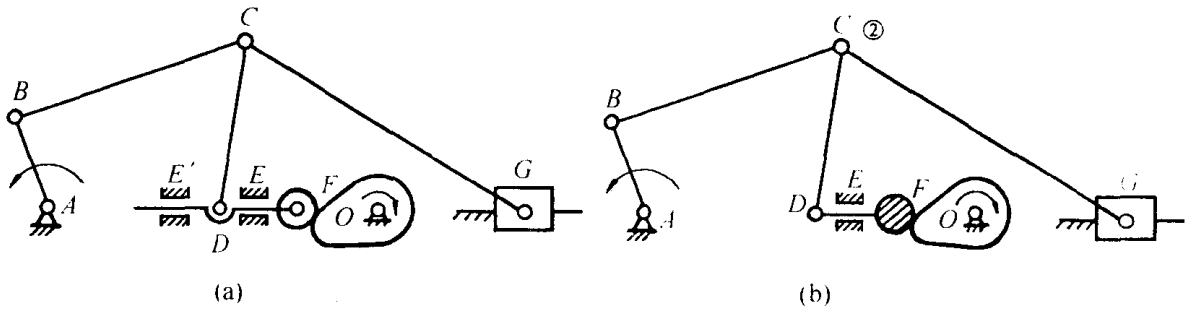


图 1-16 大筛机构

例 1-5 计算图 1-16a 所示大筛机构的自由度

解 机构中的滚子有一个局部自由度。顶杆与机架在 E 和 E' 组成两个导路平行的移动副, 其中之一为虚约束。 C 处是复合铰链。现将滚子与顶杆焊成一体, 去掉移动副 E' , 并在 C 点注明回转副的个数, 如图 1-16b 所示。由图 b 得, $n=7, P_L=9$ (7 个回转副和 2 个移动副), $P_H=1$, 故由式(1-1)得

$$W = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

此机构的自由度等于 2, 有两个原动件。

例 1-6 计算图 1-17 所示牛头刨床主体机构的自由度, 其中构件 1 和 2 为齿轮, 构件 1 为主动件。

解 此机构共有七个构件, 构件 7 为机架, 所以 $n=6$ 。移动副 3 个, 转动副 5 个, 它们都是低副, 所以 $P_L=8$ 。高副一个, 即齿轮啮合的高副, 所以 $P_H=1$ 。计算机构自由度

$$W = 3 \times 6 - (2 \times 8 + 1 \times 1) = 1$$

即此机构有一个自由度。

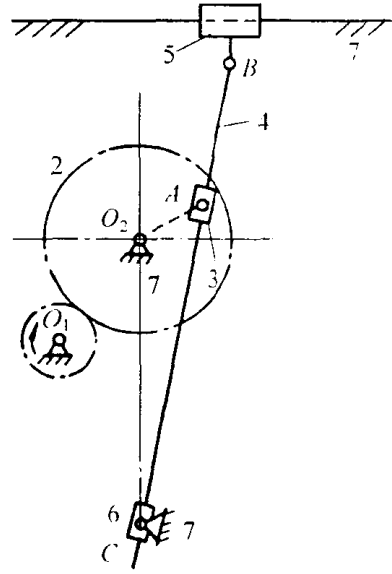


图 1-17 牛头刨床机构简图

第二节 铰链四杆机构的基本型式和特性

平面连杆机构是由若干构件通过低副连接而成的平面机构, 它们在各种机械和仪器中获得了广泛的应用, 在日常生活所用的器具中也处处可见。最简单的平面连杆机构是由四个杆件组成的, 它应用非常广泛, 是组成多杆机构的基础。

全部用回转副组成的平面四杆机构称为铰链四杆机构, 如图 1-18 所示。机构的固定件 4 称为机架; 与机架用回转副相连接的杆 1 和杆 3, 称为连架杆; 不与机架直接连接的杆 2, 称为连杆。连架杆 1 或杆 3 如能绕机架上的回转副中心 A 或 D 作整周转动, 则称为曲柄; 若仅能在小于 360° 的某一角度内摆动, 则称为摇杆。

对于铰链四杆机构来说, 机架和连杆总是存在的, 因此可按照连架杆是曲柄还是摇杆, 将铰链四杆机构分为三种基本型式: 曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构。

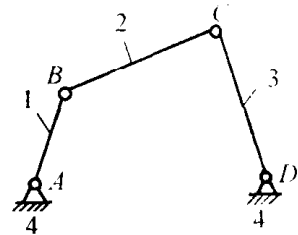


图 1-18 铰链四杆机构

一、曲柄摇杆机构

在铰链四杆机构中,若两个连架杆,一为曲柄,另一个为摇杆,则此铰链四杆机构称为曲柄摇杆机构。通常曲柄 1 为原动件,并作匀速转动;而摇杆 3 为从动件,作变速往复摆动。

图 1-19 所示为调整雷达天线俯仰角的曲柄摇杆机构。曲柄 1 缓慢地匀速转动,通过连杆 2,使摇杆 3 在一定角度范围内摆动,从而调整天线俯仰角的大小。

图 1-20 为缝纫机脚踏机构。左下角示出其机构运动简图。这里摇杆 1(脚踏板)是原动件。当摇杆往复摆动时,通过连杆 2 使曲柄 3 作整周回转,再经过带传动使机头主轴回转。

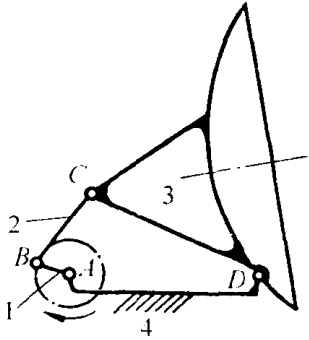


图 1-19 雷达调整机构

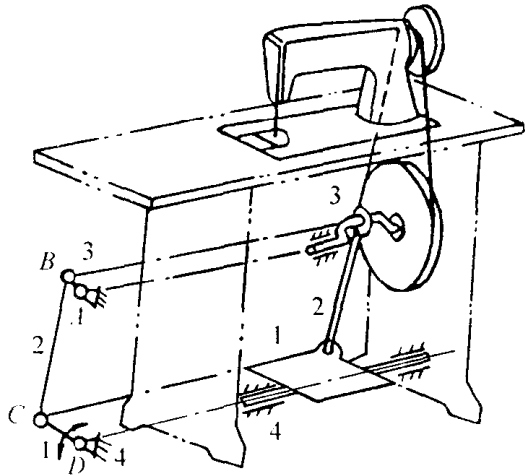


图 1-20 缝纫机脚踏机构

二、双曲柄机构

一般形式的双曲柄机构,两个曲柄虽然都可以作整周的转动,但若一个曲柄作匀速转动,则另一曲柄在一周之中的转动速度是有快有慢的。利用这种特性,双曲柄机构可用于要求变速的机构中。如图 1-21 所示,插床要求向下进刀切削时速度慢,向上退刀时速度快(图

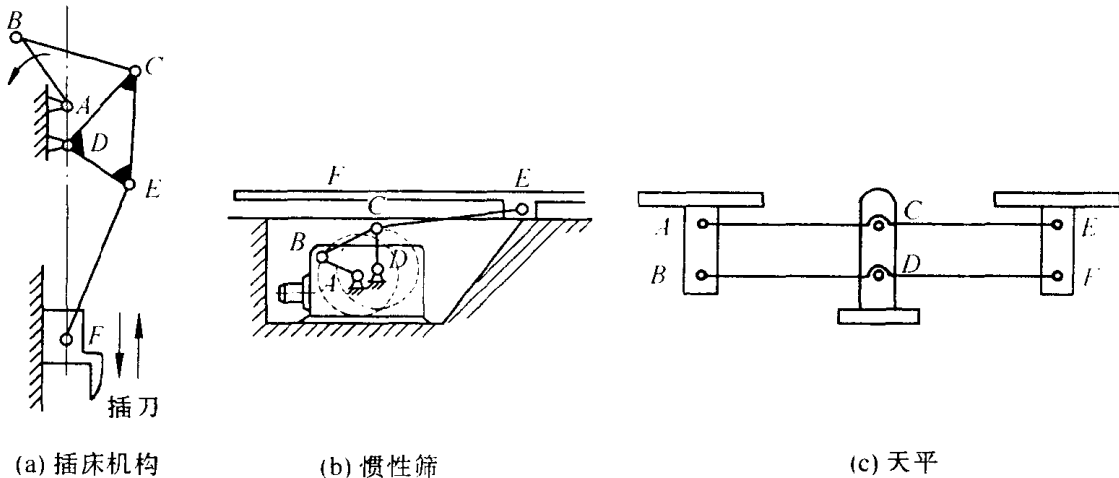


图 1-21 双曲柄机构

1-21a), 双曲柄机构可实现这一要求。惯性筛也是利用这一特点,如图 1-21b 所示,使筛上的原料达到分选的目的。