

21世纪高等院校教材

机械学基础 (第二版)

蒋秀珍 主编



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

机械学基础

(第二版)

蒋秀珍 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书融合了工程力学与机械学的基础知识,比较全面、系统地阐述了静力学基础,材料力学基础,机械工程常用机构和零部件的工作原理、结构、理论计算和设计方法,以及工程材料和机械精度设计方面的基础知识。为了便于理解,书中各章均附有例题和习题。

本书内容包括:机构的组成及平面连杆机构、凸轮与间歇运动机构、齿轮机构、构件的受力分析与计算、机械工程常用材料及其工程性能、构件受力变形及其应力分析、联接、轴与联轴器、零件的几何精度、支承、导轨、螺旋传动、齿轮传动设计、带传动、弹性元件、微机械基础。

本书为大学本科电类专业技术基础课教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械学基础/蒋秀珍主编.—2版.—北京:科学出版社,2004

(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-013157-6

I. 机… II. 蒋… III. 机械学—高等学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033493 号

责任编辑:马长芳 资丽芳 / 责任校对:包志虹

责任印制:安春生 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1998年1月哈尔滨工业大学出版社第一版

2004年8月第二版 开本:B5(720×1000)

2004年8月第一次印刷 印张:28 1/4

印数:1—4 000 字数:543 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

第二版前言

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融合为一门课,突出并拓宽了工程力学与机械学基础知识的衔接,编写了《机械学基础》这本书。

本书是在第一版的基础上,根据各高校课程体系改革的需要、教学的基本要求和多年的教学实践经验修订而成,对教材内容做了更新和增补,增加了“零件的几何精度”和“微机械基础”两章。书中所涉及的国家标准全部按最新颁布的标准做了更新。

教学实践表明:以本书为主要教材,可以用较少的学时使学生较好地掌握工程力学与机械学的基础知识。在学完“工程图学”之后,本书可作为电类专业唯一的一门机械类课程列入教学计划。本书的配套教材有《机械学基础综合训练图册》。使用本书时,可通过讲课、实验、上机、课程设计等教学与实践环节,培养学生对机械机构分析和设计的能力。具备这种能力的电类专业的学生,专业适应能力强,能满足市场经济对人才的多重需求,从而扩大学生的就业面。

本书由哈尔滨工业大学蒋秀珍教授主编,参编人员有:蒋秀珍(第1、3、6~8、10、12章),傅继盈(第11、13、15章),孙玉芹(第9章),马惠萍(第2、4、5、14章),张晓光(第16章)。本书插图由张晓光制作。

希望广大读者在使用中提出宝贵意见,对书中不妥之处予以指正。

编 者

2003年11月

目 录

第 1 章 机构的组成及平面连杆机构	1
1.1 平面机构的运动简图和自由度	1
1.2 铰链四杆机构的基本型式和特性	10
1.3 铰链四杆机构的曲柄存在条件	16
1.4 铰链四杆机构的演化	18
1.5 平面连杆机构的设计	20
习题	27
第 2 章 凸轮与间歇运动机构	31
2.1 凸轮机构	31
2.2 凸轮轮廓设计	38
2.3 凸轮设计中的几个问题	45
2.4 间歇运动机构	49
习题	55
第 3 章 齿轮机构	58
3.1 概述	58
3.2 齿廓啮合的基本定律	59
3.3 渐开线齿形和渐开线齿轮传动的特点	60
3.4 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	63
3.5 渐开线齿轮正确连续啮合条件	67
3.6 齿轮加工原理和根切现象	69
3.7 变位齿轮	74
3.8 斜齿圆柱齿轮传动	79
3.9 直齿圆锥齿轮传动	82
3.10 蜗杆传动	84
3.11 轮系	88
习题	97
第 4 章 构件的受力分析与计算	102
4.1 静力学的基本概念和物体的受力分析	102
4.2 平面汇交力系的合成与平衡	112
4.3 力对点的矩、平面力偶系的合成与平衡	119

4.4 平面一般力系的简化和平衡	123
4.5 摩擦	131
4.6 空间力系	137
习题	144
第5章 机械工程常用材料及其工程性能	151
5.1 概述	151
5.2 金属材料的机械性能	151
5.3 常用的工程材料	154
5.4 金属材料的热处理与表面精饰	160
习题	164
第6章 构件受力变形及其应力分析	165
6.1 概述	165
6.2 直杆的轴向拉伸与压缩	167
6.3 剪切	174
6.4 圆轴扭转	178
6.5 梁的平面弯曲	185
6.6 复杂变形时的强度计算	194
习题	198
第7章 联接	205
7.1 概述	205
7.2 可拆联接	205
7.3 不可拆联接	217
7.4 机械零件与光学零件的联接	223
习题	228
第8章 轴与联轴器	230
8.1 轴	230
8.2 联轴器	241
习题	246
第9章 零件的几何精度	248
9.1 基本概念	248
9.2 尺寸精度设计基础	249
9.3 形状和位置精度设计	258
9.4 表面粗糙度	269
9.5 典型零件精度设计简介	273
习题	275

第 10 章 支承	277
10.1 概述	277
10.2 滑动摩擦支承	277
10.3 滚动摩擦支承	290
10.4 弹性摩擦支承	307
10.5 流体摩擦支承	314
习题	317
第 11 章 导轨	321
11.1 概述	321
11.2 滑动摩擦导轨	321
11.3 滚动摩擦导轨	326
11.4 弹性摩擦导轨	329
11.5 液体静压导轨	331
习题	332
第 12 章 螺旋传动	333
12.1 概述	333
12.2 滑动螺旋传动	333
12.3 滚动螺旋传动	345
12.4 螺旋传动机构的常用材料	348
习题	348
第 13 章 齿轮传动设计	350
13.1 轮齿的破坏形式	350
13.2 直齿圆柱齿轮传动的的作用力及其计算载荷	352
13.3 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	354
13.4 齿轮传动链的设计	360
13.5 机械传动总论	368
习题	378
第 14 章 带传动	380
14.1 传动带的类型和应用	380
14.2 带传动的基本知识	380
14.3 普通 V 带传动的计算和设计	383
14.4 同步带传动	394
14.5 绳传动	395
习题	395
第 15 章 弹性元件	396

15.1	概述	396
15.2	弹性元件的材料	400
15.3	片弹簧	401
15.4	螺旋弹簧	406
15.5	膜片和膜盒	418
15.6	波纹管	428
15.7	热双金属弹簧	432
	习题	435
第 16 章	微机械基础	437
16.1	概述	437
16.2	微机械的材料与加工技术	438
16.3	微机械的动力装置和传感器	439
16.4	MEMS 典型器件及系统	440
16.5	微机械系统研究中存在的基础问题	442
	参考文献	443

第 1 章 机构的组成及平面连杆机构

1.1 平面机构的运动简图和自由度

任何机器和仪器一般均由许多部分组成,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包含上述所有部分,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,如移动、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。

1.1.1 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的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机构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。

1.1.2 运动副及其分类

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,两构件间的运动副所起的作用是限制构件间的相对运动,这种限制作用称为约束。

一个不受任何约束的构件在平面中运动有三个自由度。与另一构件组成运动副后,其运动就受到约束,自由度将减少。运动副对自由度产生的约束数目取决于运动副的类型。

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。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 1-1 所示。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 1-2 所示。

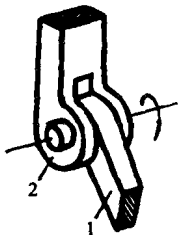


图 1-1 回转副

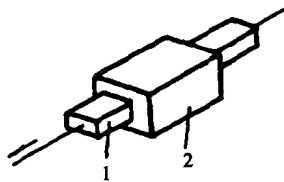


图 1-2 移动副

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 1-3(a)中的车轮与钢轨,图 1-3(b)中的凸轮与从动件,图 1-3(c)中的轮齿 1 与轮齿 2 分别在接触处 A 组成高副。平面高副二构件间的相对运动是由沿接触处切线 tt 方向的相对移动和在平面内的相对转动组成。

1.1.3 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

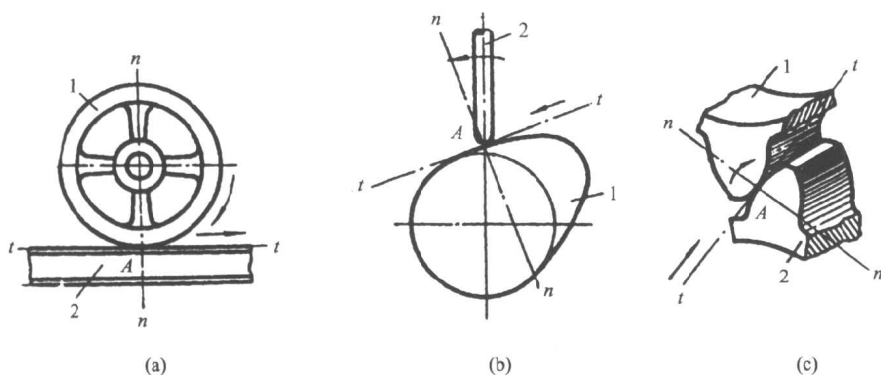


图 1-3 平面高副举例

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化图形,称为机构运动简图。

机构运动简图中的运动副表示如图 1-4 所示。

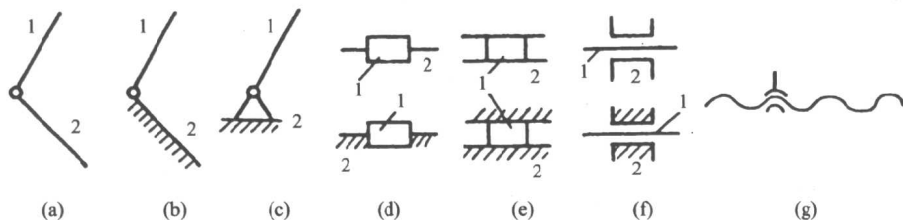


图 1-4 平面运动副的表示方法

图 1-4(a), (b), (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件,则用图 1-4(a) 表示;若其中有一个为机架,则在代表机架的构件上加阴影线,如图 1-4(b), (c) 所示。

图 1-4(d), (e), (f) 是两构件组成移动副的表示方法。移动副的导路必须与相对移动方向一致。同前所述,图中画阴影线的构件表示机架。

两构件组成螺旋副时,表示方法如图 1-4(g) 所示。

图 1-5 为构件的表示方法。图 1-5(a) 表示参与组成两个转动副的构件。图 1-5(b) 表示参与组成一个转动副和一个移动副的构件。在一般情况下,参与组成三个转动副的构件可用三角形表示。为了表明三角形是一个刚性整体,常在三角形内加剖面线或在三个角上涂以焊缝的标记,如图 1-5(c) 所示;如果三个转动副中心在一条直线上,则可用图 1-5(d) 表示。

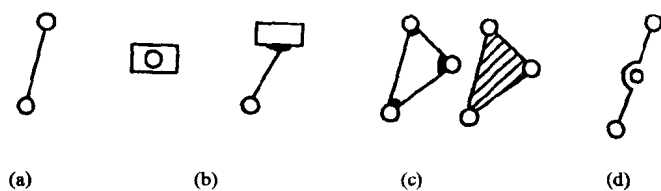


图 1-5 构件表示方法

机构运动简图中常用机构的代表符号见表 1-1, 其他零部件的表示方法可参看 GB 4460—84 机构运动简图符号。

表 1-1 常用机构代表符号

名 称	符 号
圆柱齿轮	
锥齿轮	
齿轮齿条	
蜗轮与圆柱蜗杆	
凸轮与从动件	
槽轮传动	

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 1-6 所示活塞泵机构的机构运动简图。

解 活塞泵由曲柄 1、连杆 2、齿扇 3、齿条活塞 4 和机架 5 共五个构件所组成。曲柄 1 是原动件,2、3、4 为从动件。当原动件 1 回转时,活塞在气缸中往复运动。

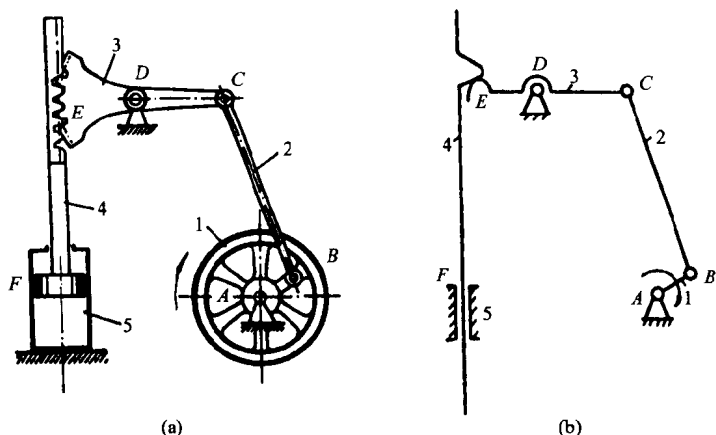


图 1-6 活塞泵及其机构运动简图

各构件之间的联接如下:构件 1 和 5,2 和 1,3 和 2,3 和 5 之间为相对转动,分别构成转动副 A、B、C、D。构件 3 的轮齿与构件 4 的轮齿构成平面高副 E。构件 4 与构件 5 之间为相对移动,构成移动副 F。

选取适当比例,按图 1-6(a)中的尺寸,用构件和运动副的规定符号,从主动件开始,按运动传递顺序,画出机构运动简图,如图 1-6(b)所示。

1.1.4 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,自由度数目随之减少。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

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

机构的自由度即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。

机构具有确定运动的条件是: $W > 0$, 且 W 等于原动件个数。

例 1-2 计算图 1-6(b) 中所示活塞泵机构的自由度。

解 在活塞泵机构中,有 4 个活动构件, $n = 4$; 有 5 个低副, $P_L = 5$, 有 1 个高副, $P_H = 1$ 。机构的自由度:

$$W = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

该机构具有 1 个原动件(曲柄),故原动件数与机构自由度相等,机构具有确定的运动。

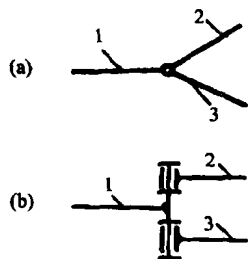


图 1-7 复合铰链

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联接就构成复合铰链。如图 1-7(a)所示是三个构件汇交成的复合铰链,图 1-7(b)是它的俯视图。由图 1-7(b)可以看出,这三个构件共组成两个回转副,依此类推, K 个构件组成的复

合铰链应具有 $K-1$ 个运动副。在计算机构自由度时应注意识别复合铰链,以免把运动副的个数算错。

例 1-3 计算图 1-8 所示圆盘锯主体机构的自由度。

解 机构中有 7 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 1-9(a)所示滚子从动件凸轮机构的自由度。

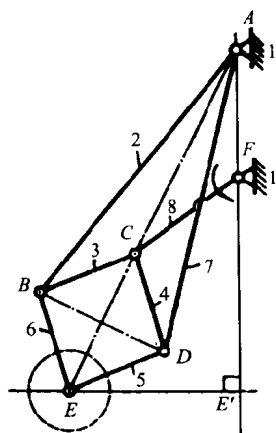


图 1-8 圆盘锯机构

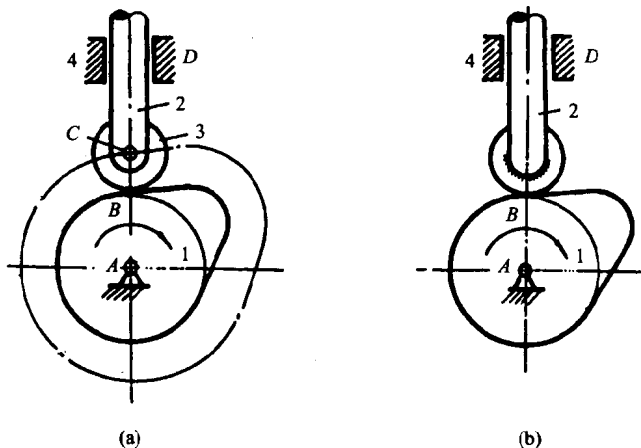


图 1-9 局部自由度

解 如图 1-9(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 1-9(b)所示形式。在图 1-9(b)中, $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$ 。由式(1-1)可得

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

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或重合的移动副时,只有一个移动副起作用,其余都是虚约束(图 1-10)。

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(图 1-11)。

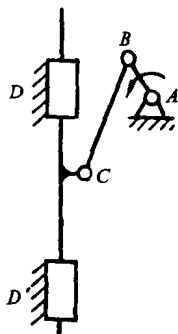


图 1-10 导路重合的虚约束

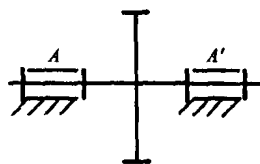


图 1-11 轴线重合的虚约束

③ 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分。例如图 1-12 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。

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 1-13(a)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

$$\begin{aligned}
 W &= 3n - (2P_L + P_H) \\
 &= 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0) = 1
 \end{aligned}$$

若在机构上再加一个构件5(图1-13(b)),它与构件2和4平行而等长,显然,加工构件5后对整个机构并无任何影响,但此时机构的自由度数却为

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

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入的运动副除去不计。

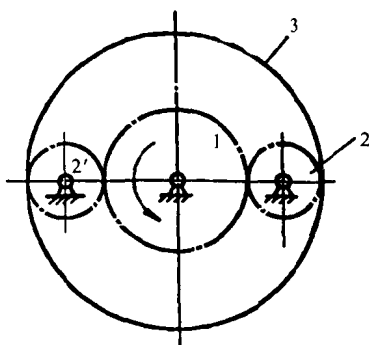


图1-12 对称结构的虚约束

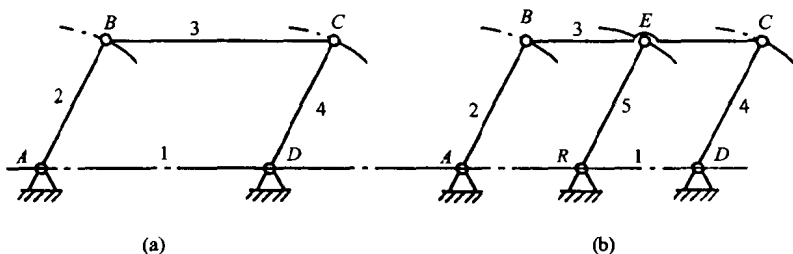


图1-13 机构中的虚约束

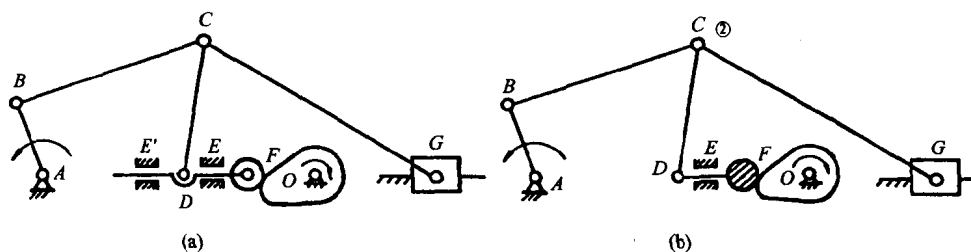


图1-14 大筛机构