

平面机构的结构分析

导读

机构是机器的重要组成部分,对机构的结构进行分析对了解机器具有十分重要的意义。本章主要介绍机构的基本组成和机构在什么条件下才具有确定的运动。实际机构中的构件形状比较复杂,但构件的外形和结构并不影响机构的运动。为了研究机构的运动,就需要将具体的机器抽象成简单的运动学模型,绘制出机构运动简图。本章还对机构运动简图的绘制和平面机构自由度的计算进行了介绍。

1.1 平面机构的组成

1.1.1 运动副的概念及分类

1. 运动副的概念

机构的重要特征是构件之间具有确定的相对运动。构件间的连接不是固定连接,而是能产生一定相对运动的连接。这种使构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。如图 1-1 中,轴颈与轴承、啮合中的一对齿廓、滑块与导槽均保持直接接触,并能产生一定相对运动,因而它们都构成了运动副。构件上参与接触的点、线、面,称为运动副的元素。

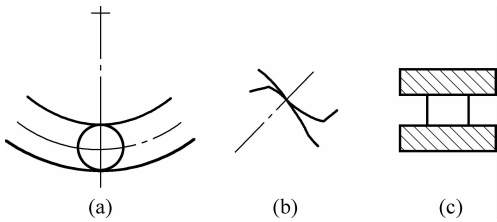


图 1-1 运动副元素

2 个构件组成运动副以后,其独立运动受到某些限制,通常将运动副对独立运动的限制称为约束。引入 1 个约束将限制构件的 1 个独立运动,而约束的多少及约束的特点取决于运动副的形式。

2. 运动副的分类

按构成运动副的两构件之间的相对运动(平面运动或空间运动)将运动副分为平面运动副和空间运动副。这里重点介绍平面运动副。

根据运动副中两构件的接触形式不同,运动副可分为低副和高副。

(1) 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。按两构件的相对运动形式,平面低副可分为以下几种。

① 转动副

若组成运动副的两构件只能绕某一轴线作相对转动,这种运动副称为转动副(也可称铰链)。如图 1-2 所示,轴承与轴颈的外圆柱面接触,构成转动副。轴承限制了轴颈沿 x 方向和 y 方向的移动,只允许轴颈绕 z 轴转动,故转动副的约束数为 2。

② 移动副

若组成运动副的两构件只能沿某一轴线相对移动,这种运动副称为移动副。如图 1-3 所示,滑块与导槽平面接触,构成移动副。导槽限制了滑块沿 y 方向的移动和在 xOy 平面内的转动,故其约束数也为 2。

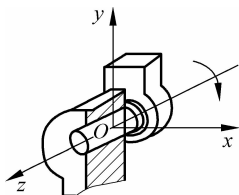


图 1-2 转动副

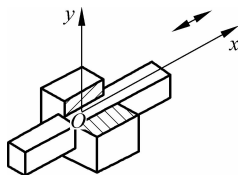


图 1-3 移动副

(2) 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。如图 1-4 所示,凸轮与从动件推杆之间为点接触;图 1-5 中,两齿轮的啮合齿廓间为线接触,它们分别构成高副。平面高副的约束数为 1。

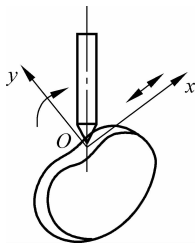


图 1-4 点接触高副

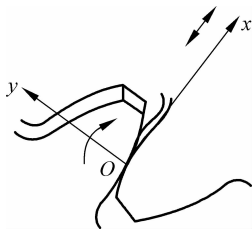


图 1-5 线接触高副

1.1.2 运动链和机构

2 个以上的构件以运动副连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(见图 1-6)。一般机械中都采用闭链。

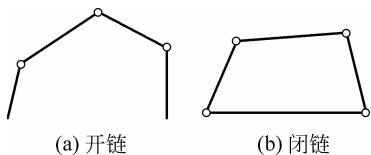


图 1-6 运动链

在闭式运动链中,如果将其中的某一个构件加以固定,另一个构件或少数几个构件按给定的运动规律相对于固定构件运动时,其余的构件也随之作确定的运动,这

种运动链称为机构。其中,被固定的构件称为机架,按给定的运动规律运动的构件称为主动件或原动件,其余的构件称为从动件。由此可见,机构是由原动件、从动件和机架 3 部分组成的。

1.2 平面机构的运动简图

在对现有机件进行分析和设计新的机械时,都需要运用机构运动简图。机构各部分的运动是由其原动件的运动规律、该机构中各运动副的类型和各运动副相对位置的尺寸来决定的,而与构件的真实形状和运动副的具体构造无关。因此,在研究机构运动时,为了使问题简化,可以不考虑那些与运动无关的因素,仅用简单的符号和线条来代表构件和运动副,并按一定比例表示各运动副的相对位置。这种表明机构中各构件间相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。

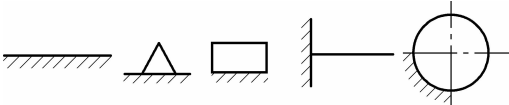
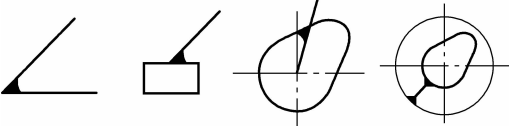
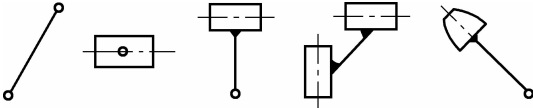
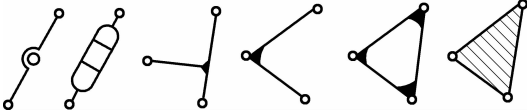
简图中一般应包括构件数目、运动副的数目和类型、构件之间的连接关系、与运动变换相关的构件尺寸参数、主动件及运动特性等几方面的内容。

1.2.1 构件及运动副的表示方法

1. 构件的表示方法

构件均用线段或小方块来表示,可用画有一组平行斜线的部分表示机架(固定构件)。常见构件的表示方法见表 1-1。

表 1-1 常见构件的表示方法

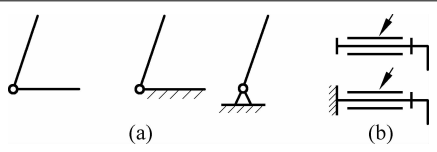
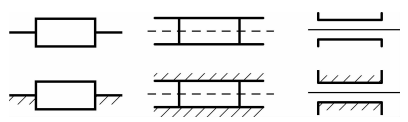
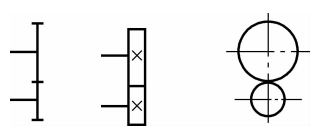
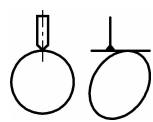
杆、轴类构件	
固定构件	
同一构件	
两副构件	
三副构件	

2. 运动副的表示方法

表 1-2 中所列为常用的运动副的表示方法。其中,转动副中如果回转轴线与图面垂直,

就应该用表 1-2 中(a)表示;如果回转轴线与图面不垂直,就用表 1-2 中(b)表示。对于表示转动副的圆圈,其圆心必须与回转轴线重合。

表 1-2 常用运动副的代表符号

运动副名称	运动副符号
转动副	
移动副	
齿轮副	
凸轮副	

1.2.2 绘制机构运动简图的步骤

下面通过实例来说明绘制机构运动简图的步骤和方法。

例 1-1 试绘制图 1-7(a)所示内燃机曲柄滑块机构的运动简图。

解 (1) 分析机构的运动,找出机构的机架、原动件和从动件。从原动件开始,依照传动顺序分析各从动件,搞清运动传递的路线及各构件相对运动的性质,从而确定该机构的构件数目和运动副的类型及数目。

本例中,内燃机的机身 1 是机架,活塞 4 是原动件(爆发冲程时),连杆 3、曲柄 2 为从动件。当活塞 4 作往复运动时,曲柄 2 作回转运动,所以活塞 4 和机架 1 组成移动副;活塞 4 和连杆 3,连杆 3 和曲柄 2,曲柄 2 和机架 1 共组成 3 个转动副。

(2) 选择视图和比例尺。在全面地分析了机构的运动以后,必须选择机构的某个瞬时运动位置作为绘制机构运动简图的原始依据,一般应选取能反映机构多数构件运动状况的平面作为投影面。必要时还要补充辅助视图,以便清楚地反映机构的运动特征。

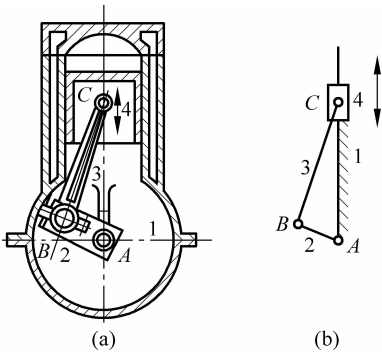


图 1-7 内燃机及其机构简图
1—机架; 2—曲柄; 3—连杆; 4—活塞

本例选曲柄的运动平面为投影面,已能清楚地反映各构件的运动,不必再添加辅助平面。

根据图纸的大小和实际机构的大小,选择适当的长度比例尺

$$\mu = \frac{\text{构件的实际长度(m)}}{\text{构件的图示长度(m)}}$$

根据 μ ,算出各运动副相对位置的尺寸(如转动副的中心距、移动副的导路方位及高副的接触点位置等)。

(3) 在运动副的位置上画上规定的运动副符号,再用简单的线条连接起来,画出机构运动简图,并给构件编号,给运动副标注字母。

本例从活塞4开始,顺序画出机构运动简图,如图1-7(b)所示。

1.3 平面机构自由度的计算

1.3.1 平面运动构件的自由度

构件具有的独立运动的数目,称为构件的自由度。在三维空间内自由运动的构件具有6个自由度,即沿3个坐标轴的移动和绕3个坐标轴的转动。作平面运动的构件(见图1-8)则有3个自由度,即沿 x 轴和 y 轴方向的移动和在 xOy 平面内的转动。

由前所述,2个构件在构成运动副以后,将引入约束,约束的数目等于被限制的自由度数。每构成1个低副,就引入了2个约束,限制了2个自由度,只剩1个自由度(转动或移动);每构成1个高副,就引入了1个约束,限制了1个自由度(沿接触点法线的移动),还剩2个自由度。

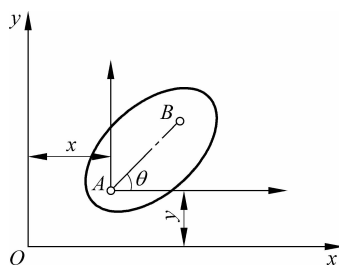


图 1-8 平面运动构件的自由度

1.3.2 平面机构自由度的计算

设某平面机构由1个机架和 n 个活动构件所组成,在机构中共有 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1-9所示机构的自由度,则为 $F = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$,因此该机构的自由度为1。计算图1-10所示机构的自由度,则为 $F = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ 。

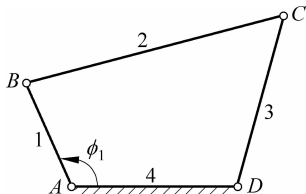


图 1-9 四杆铰链机构

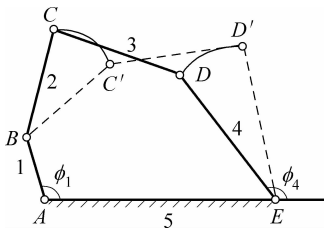


图 1-10 五杆铰链机构

1.3.3 机构具有确定运动的条件

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 1-11 所示,由 3 个构件通过 3 个转动副连接而成的系统就没有运动的可能性。又如图 1-10 所示的

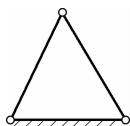


图 1-11 桁架

五杆系统,若取构件 1 作为原动件,当给定 ϕ_1 时,杆 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。如果给定构件 1、4 的位置参数 ϕ_1 和 ϕ_4 ,则其余构件的位置就都被确定下来。再如图 1-9 所示的四杆机构,当给定构件 1 的位置,其他构件的位置也就被相应确定。

那么机构要具有确定的相对运动,究竟取一个还是几个构件作原动件,这取决于机构的自由度。由前面计算可知,图 1-9 所示机构的自由度为 1,当给定 1 个原动件时,机构的运动确定。而图 1-10 所示机构的自由度为 2,当给定原动件 1 和 4 时,机构的运动确定。

综上所述,机构具有确定运动的条件是:

- (1) 机构的自由度 $F > 0$;
- (2) 机构的原动件数等于机构的自由度数。

1.3.4 计算机构自由度的注意事项

在计算平面机构的自由度时,应注意 3 种特殊情况。

1. 复合铰链

2 个以上的构件共用同一转动轴线所构成的转动副称为复合铰链。如图 1-12(a)所示,构件 1、2、3 在同一处构成转动副,而从图 1-12(b) 所示其左视图可见,该机构包含 2 个转动副。显然,如有 m 个构件汇集在一起,就有 $m-1$ 个转动副。

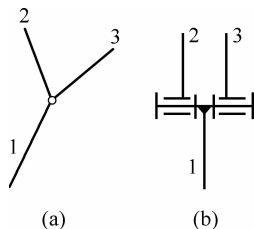


图 1-12 复合铰链

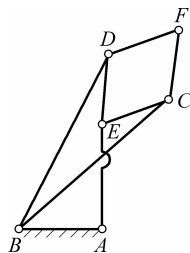


图 1-13 含有复合铰链的机构

例 1-2 计算图 1-13 所示机构的自由度。

解 此机构 B、C、D、E 4 处都是由 3 个构件组成的复合铰链,各具有 2 个转动副,所以对于这个机构可得 $n=7, P_L=10, P_H=0$ 。

由式(1-1)得

$$F' = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

2. 局部自由度

机构中某些构件所具有的不影响机构输入与输出运动关系的自由度称为局部自由度。如图 1-14(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,如图 1-14(b)所示,消除局部自由度后,再计算该机构的自由度。

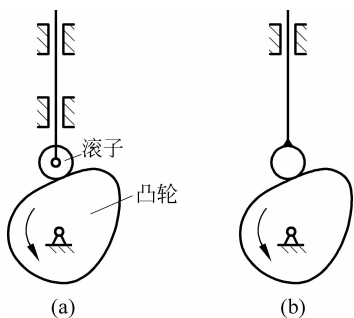


图 1-14 局部自由度

3. 虚约束

对运动不起独立限制作用的约束称为虚约束。在计算自由度时应先去除虚约束。

虚约束常在下列情况下发生。

(1) 如果两相连接构件在连接点上的运动轨迹相重合,则该运动副引入的约束为虚约束。如图 1-15(b)所示,平行四边形机构中,连杆 3 作平动,如果 EF 平行并等于 AB 及 CD ,则连杆 5 上 E 点的轨迹与连杆 3 上 E 点的轨迹重合。因此, EF 杆带进了虚约束,计算时先将其简化

成图 1-15(a)。如果不满足上述几何条件,则 EF 杆带进的为有效约束,如图 1-15(c)所示,此时该机构的自由度 $F=0$ 。

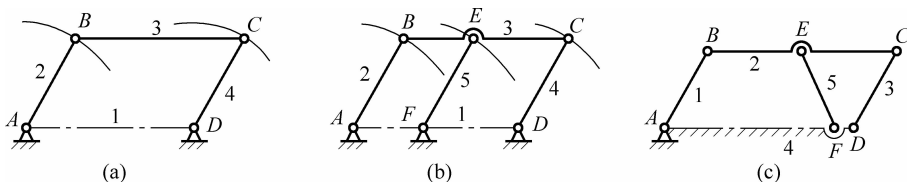


图 1-15 运动轨迹重合引入的虚约束

(2) 机构运动时,如果两构件上的某两点间的距离始终保持不变,将此两点用一个构件和两个转动副相连,由此而形成的约束也是虚约束,如图 1-16 所示的虚线部分。

(3) 如果 2 个构件组成多个移动方向一致的移动副,如图 1-17 所示,或 2 个构件组成多个轴线重合的转动副时(见图 1-18),只考虑其中一处的约束,其余各处带进的约束均为虚约束。

(4) 在机构中对传递运动不起独立作用的对称部分引入的约束为虚约束。如图 1-19 所示的行星轮系,只需要 1 个齿

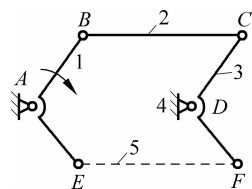


图 1-16 两点间距离不变引入的虚约束

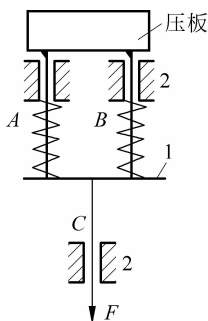


图 1-17 移动方向一致引入的虚约束

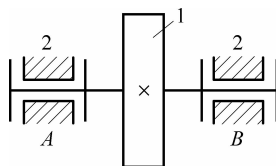


图 1-18 轴线重合引入的虚约束

轮便可传递运动。但为了提高承载能力并使机构受力均匀,图中采用了3个完全相同的行星轮对称布置。这里每增加1个行星轮(包括2个高副和1个低副)便引进1个虚约束。

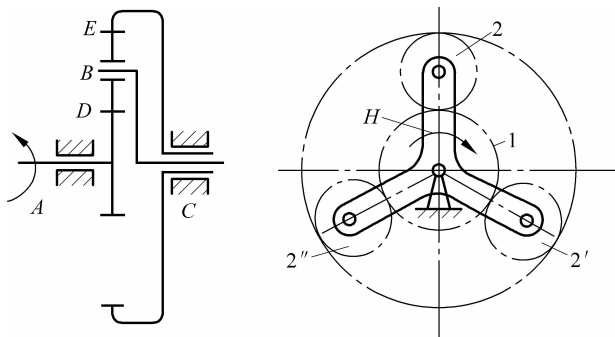


图 1-19 对称部分引入的虚约束

虚约束虽不影响机构的运动,但能增加机构的刚性,并改善其受力状况,因而被广泛采用。这些虚约束对机构的几何条件要求较高,对机构的加工和装配精度提出了较高要求。

例 1-3 试计算图 1-20(a)所示机构的自由度。

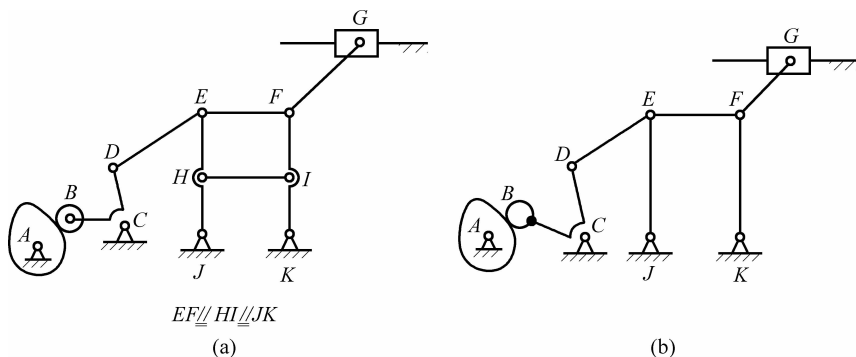


图 1-20 例 1-3 图

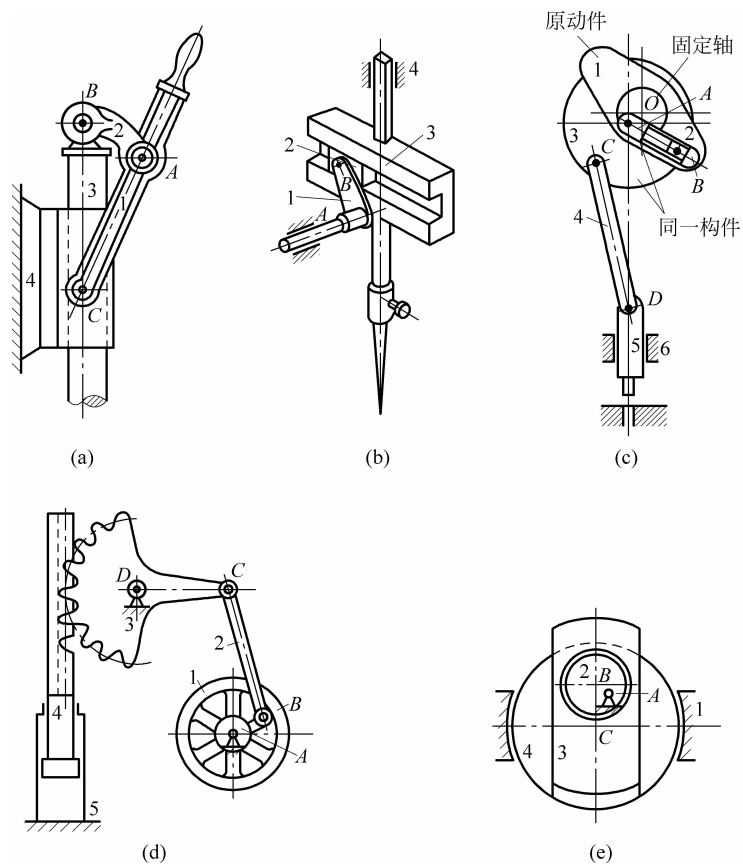
解 由图 1-20(a)可知, B 为滚子, 有 1 个局部自由度; $EF \parallel HI \parallel JK$, 且 $EF = HI = JK$, 则 HI 杆及两端转动副会带进虚约束。将局部自由度和虚约束除去后, 如图 1-20(b)所示。图中 E 、 F 两处有 3 个构件铰接, 各为含 2 个转动副的复合铰链。故该机构中, $n=8$, $P_L=11$, $P_H=1$ 。

由式(1-1)得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1$$

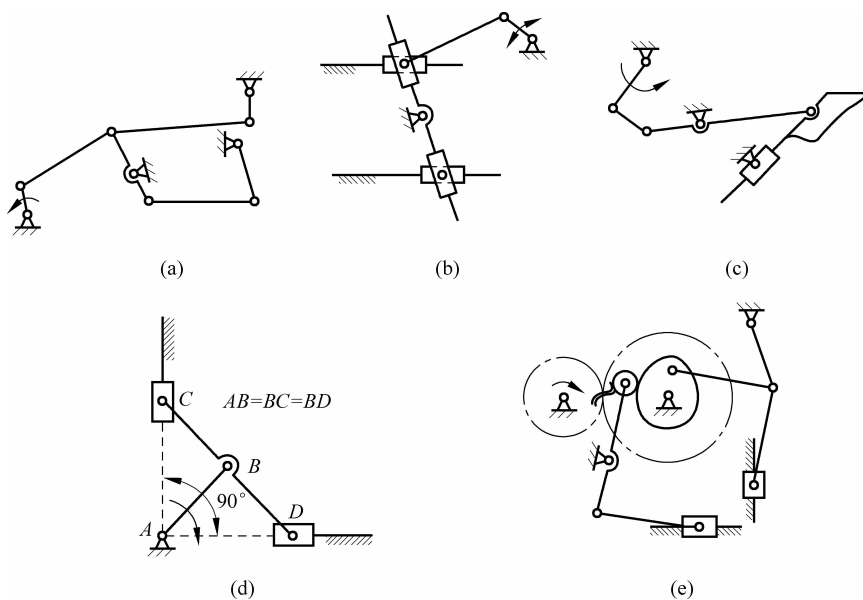
思考题

1. 什么是高副? 什么是低副? 在平面机构中, 高副和低副各引入几个约束?
2. 绘制机构运动简图的目的和意义是什么?
3. 机构具有确定运动的条件是什么? 当机构的原动件数少于或多于机构的自由度时, 机构的运动将会出现什么情况?
4. 试绘制题 4 图所示机构的运动简图。



题4图

5. 计算题5图所示各机构的自由度,并说明欲使机构具有确定的运动,需要几个原动件?



题5图

第 2 章

平面连杆机构

导读

平面连杆机构是一种应用十分广泛的机构,在各种机器、仪器和仪表中经常都可以看到各种各样的连杆机构,如家用缝纫机、搅拌机、机械手等。本章将结合其在生产、生活中的具体应用,介绍平面连杆机构的结构特点、工作原理和应用场合。通过本章的学习,要求能正确分析和选用具体机构,为设计新的机构打下一定的基础。

2.1 概述

平面连杆机构是由若干个构件用低副连接而成的机构,又称平面低副机构,广泛地应用于各种机械和仪表中。

平面连杆机构的主要优点有:

(1) 平面连杆机构中的运动副都是低副,运动副两构件为面接触,承受的压强小,且易于润滑,因此构件磨损较轻,可以承受较大载荷。

(2) 构成运动副的表面是圆柱面或平面,制造方便,容易获得较高的精度。它是靠本身的几何约束来保持接触,所以工作可靠。

(3) 容易实现常见的转动、移动及转换,并可使从动件获得多种不同的运动规律。

平面连杆机构的主要缺点有:

(1) 由于低副中存在着间隙,机构将不可避免地产生运动误差,不易精确地实现复杂的运动规律。

(2) 平面连杆机构运动时产生的惯性力难以平衡,所以不适宜用于高速场合。

2.2 平面连杆机构的基本形式及其演化

2.2.1 平面连杆机构的基本形式

由 4 个构件通过转动副连接而成的四杆机构是平面连杆机构的最基本的形式,称为铰链四杆机构,如图 2-1 所示。其中 AD 杆是机架,与机架相对的 BC 杆称为连杆,与机架相连的 AB 杆和 CD 杆称为连架杆。凡能作整周回转的连架杆称为曲柄,只能在小于 360° 范围内摆动的连架杆称为摇杆。

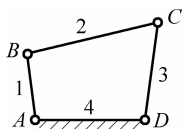


图 2-1 铰链四杆机构