

机构的主要作用之一是传递和变换运动,然而机构中的构件任意拼凑起来是不一定具有确定运动的。构件究竟应如何组合才能运动?在什么条件下才具有确定的相对运动?这对分析现有机构或创新机构是很重要的。

若组成机构的所有构件都在同一平面或相互平行平面内运动的机构称为平面机构,否则称为空间机构。工程中常用的机构大都属于平面机构,本主题主要介绍平面运动副、平面机构运动简图及平面机构自由度的计算。

单元1 平面运动副

任务书

1. 掌握运动副的概念。
2. 掌握运动副的类型和特征。
3. 学会观察生活的习惯。

知识链接

一、运动副的概念

机构是具有确定相对运动构件的组合物,为实现机构的各种功能,各构件之间必须以一定的方式联接起来,并且能具有确定的相对运动。这种两构件通过直接接触,既保持联系又能相对运动的联接,称为运动副,也可以说运动副就是两构件间的可动联接。组成运动副的两构件在相对运动中可能参加接触的点、线、面称为运动副元素。

二、运动副的分类

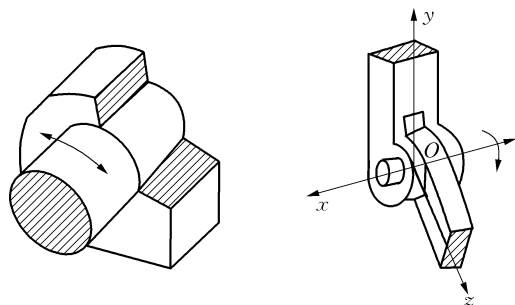
根据运动副各构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动,可将运动副分成平面运动副和空间运动副。

1. 平面运动副

平面机构中的运动副称为平面运动副,根据组成平面运动副两构件间的接触特性,平面运动副可分为低副和高副。

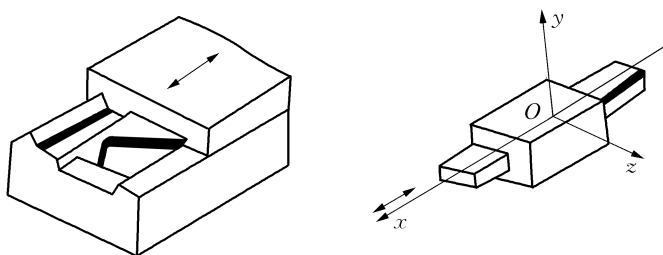
(1) 低副：两构件以面接触而形成的运动副称为低副，根据它们之间的相对运动是转动还是移动，又可分为转动副和移动副。

① 转动副：组成运动副的两个构件只能在某一平面内做相对转动，这种运动副称为转动副。如图 1-1 所示，两构件间可做相对转动，这种结构又称铰链。



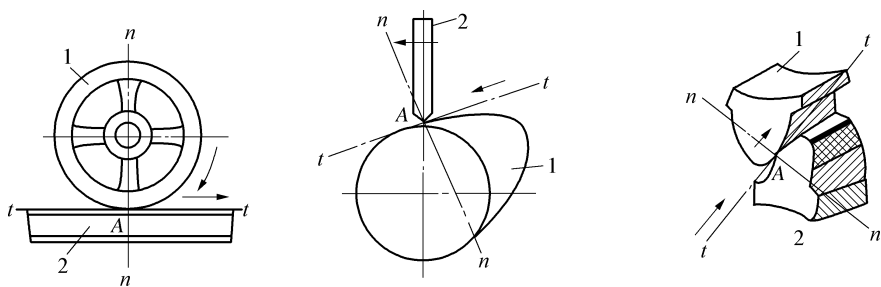
▲图 1-1 转动副

② 移动副：组成运动副的两个构件只能沿某一方向做相对移动，这种运动副称为移动副。如图 1-2 所示，两构件间可做相对移动。



▲图 1-2 移动副

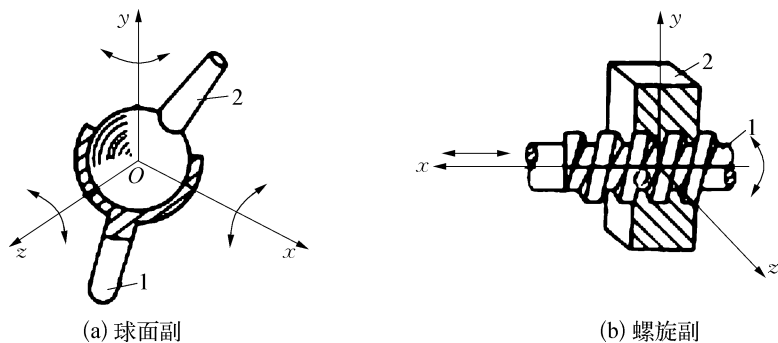
(2) 高副：两构件以点或线接触而形成的运动副称为高副，如图 1-3 所示。



▲图 1-3 高副

2. 空间运动副

组成运动副的两个构件间的相对运动为空间运动的运动副称为空间运动副。图 1-4 所示为球面副和螺旋副。



▲图 1-4 空间运动副

加油站：联接分为可动联接和固定联接。运动副都是可动联接。常见的固定联接有焊接、铆接等。

单元 2 平面机构运动简图

任务书

1. 知道运动简图的概念和作用。
2. 熟悉常见结构的运动简图符号。
3. 会绘制机构运动简图。

知识链接

一、机构运动简图的概念及其作用

1. 机构运动简图的概念

机械的外形和结构都很复杂,为了便于进行分析和设计,在工程上通常不考虑构件的外形、截面尺寸和运动副的实际结构,只用规定的简单线条和符号表示机构中的构件和运动副,并按一定的比例画出表示各运动副的相对位置及它们相对运动关系的图形,这种表示机构各构件之间相对运动关系的简单图形,称为机构运动简图。

实践中,有时只需表明机构运动的传递情况和构造特征,而不要求机构的真实运动情况,因此不必严格地按比例确定机构中各运动副的相对位置及其尺寸。像这种只表示机构的结构及运动情况,而不按比例绘制出各运动副间的相对位置的简图称为机构示意图,一般在新机器设计方案比较时使用。

2. 机构运动简图的作用

机构运动简图应与它所表示的实际机构具有完全相同的运动特性。从机构运动简图可以了解机构的组成和类型,即机构中构件的类型和数目、运动副的类型和数目、运动副的相对位置。

3. 机构中构件的类型

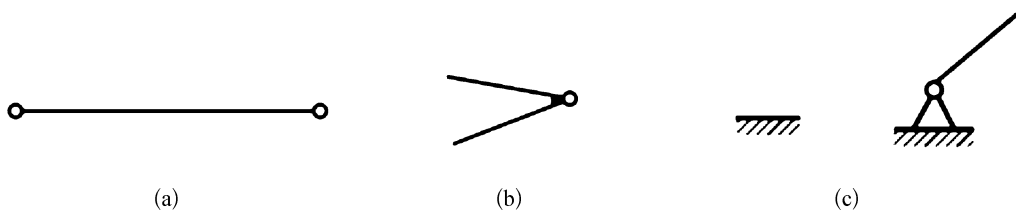
机构中的构件可分为三类:机构中的固定构件称为机架,它的作用是支承运动构件;作用有驱动力或已知运动规律的构件称为主动件,一般主动件与机架相连;除主动件以外,随着主动件的运动而运动的其余可动构件都称为从动件。

二、机构运动简图的符号

为仅突出运动关系,便于绘制机构运动简图,常将机构中的构件和运动副用简单的符号来表示。

1. 构件的表示方法

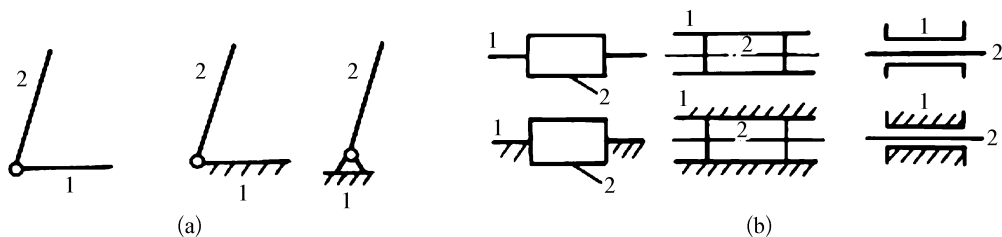
对于轴、杆、连杆,常用一根直线表示,两端画出运动副的符号,如图 1-5(a)所示;若构件固连在一起,则涂以焊缝记号,如图 1-5(b)所示;机架的表示法如图 1-5(c)所示,其中左图为机架基本符号,右图表示机架为转动副的一部分。



▲图 1-5 构件符号

2. 运动副的表示方法

两构件组成的转动副和移动副的表示方法分别如图 1-6 所示。



▲图 1-6 运动副符号

部分常用机构运动简图的符号见表 1-1,摘自 GB4460—84。

表 1-1 机构运动简图常用符号

名称		简图符号	名称		简图符号
构 件	轴、杆		机 架	机架	
	三副元素 构件			机架是转 动副的 一部分	
	构件的永 久联接			机架是移 动副的 一部分	
平 面 低 副	转动副		平 面 高 副	齿 外啮合	
	移动副			内啮合	
			凸轮副		

三、平面机构运动简图的绘制

绘制机构的运动简图时,首先应分析该机构的实际构造和运动情况,找出机构的主动件、从动件和机架;然后从主动件开始,沿着传动路线弄清各构件数目、运动副的类型和数目;最后选择适当的视图平面,以一定的比例和规定的符号正确绘制出机构运动简图。

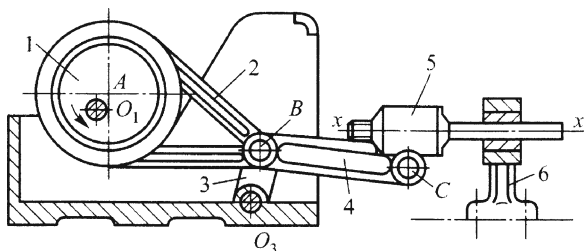
例 1-1 绘制图 1-7 所示偏心轮滑块机构的运动简图。

解 (1) 分析机构结构,找出“三大件”(即主动件、从动件和机架)。该机构由偏心轮 1、连杆 2、摇杆 3、连杆 4、滑块 5 及机架 6 共六个构件组成。偏心轮 1 为主动件,固定件 6 为机架,其余为从动件。

(2) 确定运动副的类型和数目。偏心轮 1 与机架、偏心轮 1 与连杆 2、连杆 2 与摇杆

3、摇杆 3 与机架、摇杆 3 与连杆 4、连杆 4 与滑块 5 之间的相对运动都是转动,构成了 6 个转动副;滑块 5 与机架 6 之间的相对运动是移动,构成了移动副。

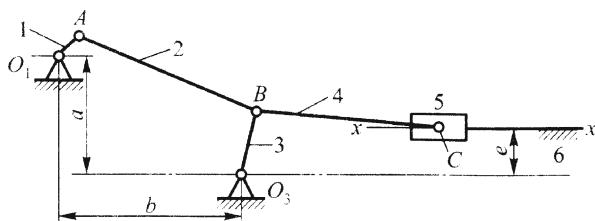
(3) 选择恰当的视图平面。为了能清楚表明各构件间的运动关系,对于平面机构,通常选择平行于构件运动的平面作为视图平面。图 1-7 已能清楚地表示各构件间的运动关系,故就选此平面作为视图平面。



▲图 1-7 偏心轮滑块机构

(4) 选取适当的比例尺,根据机构的复杂程度及图纸的大小选定。

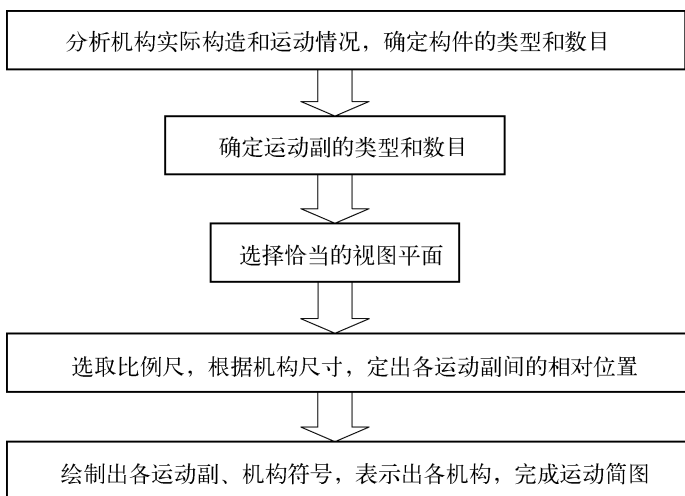
(5) 绘制机构运动简图。首先从主动件开始,定出机架上固定铰链点 O_1 ,再根据实际相对位置,按尺寸比例定出固定铰链点 O_3 和固定导槽方位线 $x-x$ 。选定主动件 O_1A 某



▲图 1-8 偏心轮滑块机构运动简图

一位置,接着分别以 A 、 O_3 点为圆心,以连杆 2 和摇杆 3 的长度为半径画弧交于 B 点。再以 B 点为圆心,连杆 4 的长度为半径画弧,与直线 $x-x$ 交于 C 点。最后,用构件和运动副的规定符号相连,就绘制出了该机构的运动简图,如图 1-8 所示。

绘制平面机构运动简图一般按如下步骤进行:



* 单元 3 平面机构的自由度

任务书

1. 掌握自由度与约束的概念。
2. 掌握机构自由度的计算方法。
3. 会判别和处理机构自由度计算中的复合铰链、局部自由度和虚约束。
4. 知道机构具有确定运动的条件,会合理改进简单机构。

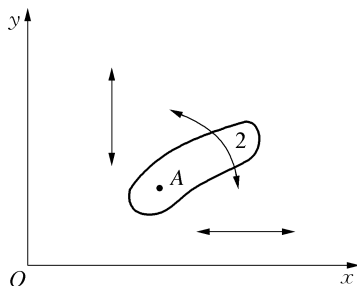
知识链接

一、自由度与约束

平面机构中的一个构件在做平面运动时,具有 3 个独立运动,即沿 x 轴方向和 y 轴方向的两个移动以及在 xOy 平面上绕任意点的转动,如图 1-9 所示。构件的这种独立运动称为构件的自由度。由于做平面运动的自由构件具有 3 个独立的运动,所以具有 3 个自由度。

当两构件之间通过某种方式联接而形成运动副时,构件的独立运动就会受到限制,相应的自由度数也就随之减少。这种对构件独立运动所加的限制称为约束。自由度减少的个数等于约束的数目。

运动副所引入的约束的数目与其类型有关。低副引入 2 个约束,减少 2 个自由度,如图 1-1 所示的转动副,在 yOz 运动平面内,约束了沿 y 轴方向和 z 轴方向的两个移动自由度,只保留了 1 个绕 O 点的转动自由度;如图 1-2



▲图 1-9 构件自由度

所示的移动副,在 xOz 运动平面内,约束了转动自由度和沿 z 轴方向的移动自由度,只保留了 1 个沿 x 轴方向的移动自由度。低副引入 1 个约束,减少 1 个自由度;如图 1-3 所示的高副,只约束了沿接触点 A 处公法线 $n-n$ 方向的移动自由度,保留了绕接触点的转动和沿接触处公切线 $t-t$ 方向的移动 2 个自由度。

在平面机构中,每个低副引入 2 个约束,使构件失去 2 个自由度;每个高副引入 1 个约束,使构件失去 1 个自由度。

二、平面机构自由度的计算

机构相对机架所具有的独立运动的数目称为机构的自由度。在平面机构中,如果机构的活动构件(机架为固定件不计其中)数为 n ,在未组成运动副之前,这些活动构件共有

3n 个自由度。用运动副联接后便引入了约束,自由度的数目将减少,一个低副因有 2 个约束而将失去 2 个自由度,一个高副有 1 个约束而失去 1 个自由度。若机构中共有 P_L 个低副和 P_H 个高副,则共减少 $2P_L + P_H$ 个自由度。于是平面机构的自由度 F 的计算公式为

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

例 1-2 试计算图 1-10 所示四杆机构的自由度。

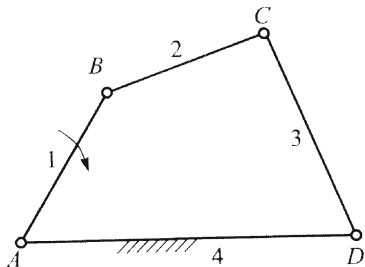
解 该机构共有 4 个构件,其中杆 4 为机架,活动件为杆 1、杆 2 和杆 3。运动副有 4 个,都是转动副,无高副。则该机构活动构件数 $n = 3$,低副数 $P_L = 4$,高副数 $P_H = 0$,机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

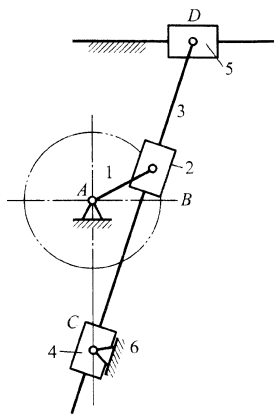
例 1-3 试计算如图 1-11 所示牛头刨床摆动导杆机构的自由度。

解 该机构的运动件为轮 1、滑块 2、4、5 和导杆 3,转动副有 4 个,移动副有 3 个,无高副。由式(1-1)得该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$



▲图 1-10 四杆机构



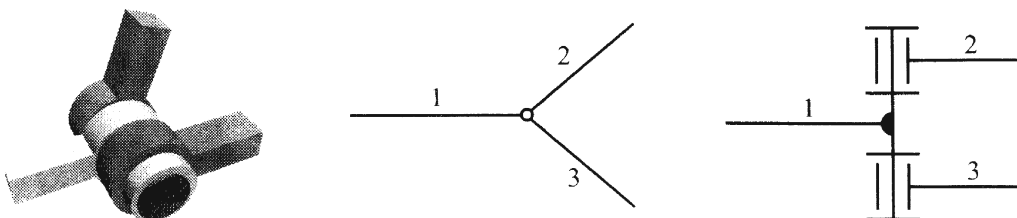
▲图 1-11 摆动导杆机构

三、计算平面机构自由度时应注意的问题

在计算平面机构自由度时,应注意以下几种特殊情况:

1. 复合铰链

两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。图 1-12 所示为三个构件组成的复合铰链,从图中可以看出,这三个构件实际上构成了轴线重合的两个转动副,而不是一个转动副,故转动副的数目为 2 个。推而广之,对由 k 个构件在同一轴线上形成的复合铰链,转动副数应为 $k - 1$ 个,计算自由度时应注意这种情况。

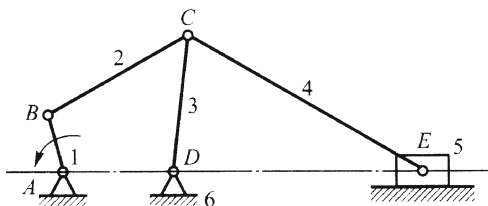


▲图 1-12 复合铰链

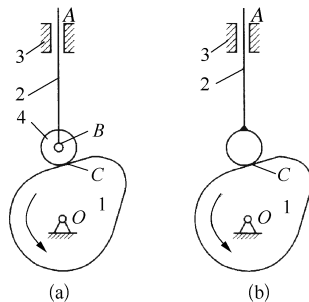
例 1-4 试计算图 1-13 所示输送机的机构自由度。

解 该机构的可动构件有杆 1、2、3、4 和滑块 5，在 A、B、D、E 处各有 1 个转动副，在 C 处构成了复合铰链有 2 个转动副，滑块 5 和机架间有 1 个移动副，无高副。此机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$



▲图 1-13 输送机机构运动简图



▲图 1-14 局部自由度

2. 局部自由度

机构中某些不影响整个机构运动的自由度称为局部自由度。图 1-14(a)所示的凸轮机构，为了减少高副处的摩擦，变滑动摩擦为滚动摩擦，常在从动件 2 上装一个滚子 4。当主动凸轮 1 绕固定轴转动时，从动件 2 在导路中上下往复运动，滚子 4 和从动件 2 组成 1 个转动副。但若将从动件 2 和滚子 4 焊接在一起，如图 1-14(b)所示，当凸轮转动时，从动件仍在导路中做上下往复运动。由此可见，该机构中无论滚子是否绕其轴线转动，这个转动副对整个机构的自由度没有影响，应看做是局部自由度，计算机构自由度时应除去不计。于是该机构中 $n = 2$ ， $P_L = 2$ ， $P_H = 1$ ，机构自由度为

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

局部自由度虽不影响机构的运动关系，但可以变滑动摩擦为滚动摩擦，从而减轻了由于高副接触而引起的摩擦和磨损。因此，在机械中常见具有局部自由度的结构，如滚动轴承、滚轮等。

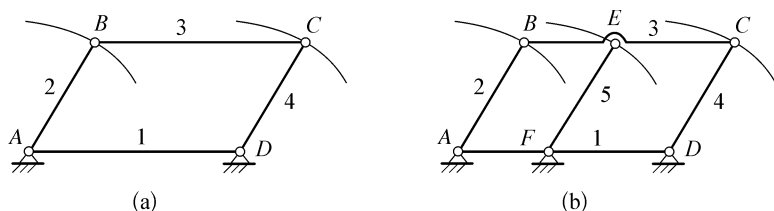
3. 虚约束

在运动副引入的约束中，有些约束所引起的限制作用是重复的，这种不起独立限制作

用的约束称为虚约束。计算机构自由度时,应将虚约束除去不计。

图 1-15(a)所示机构中自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$, 此时机构有确定的运动。为了加强机构运动的稳定性,常在此机构中增加构件 EF , 如图 1-15(b)所示,此时计算机构的自由度为 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$, 自由度为 0, 说明此机构不可运动,这与实际情况不符,这是由于引入的 EF 杆平行并等于 AB 杆及 CD 杆, EF 与 AB 及 CD 的运动轨迹完全一致,出现了虚约束。如果去掉 EF 杆对机构的运动并无影响,因此 E 、 F 处的转动副为虚约束,计算时,应将其去除,这样,该机构的自由度为

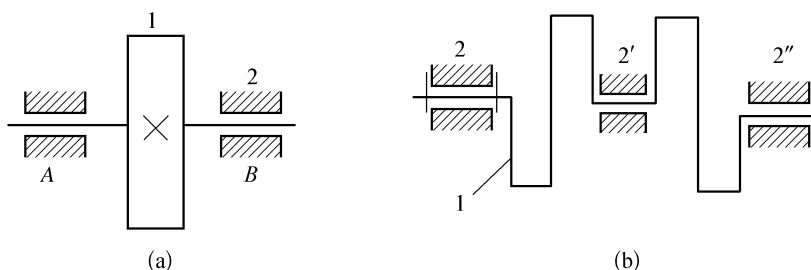
$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$



▲图 1-15 构件简图

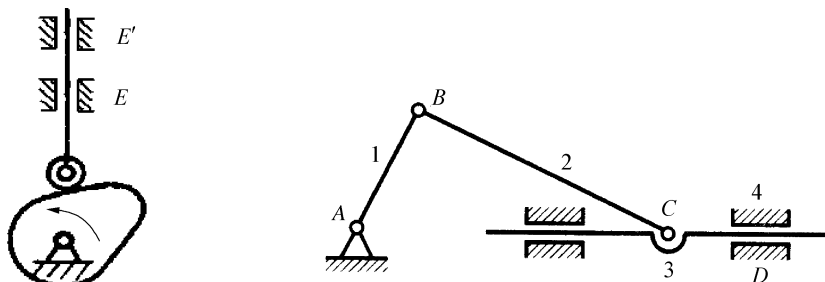
平面机构中的虚约束常见情况和处理方法如下:

(1) 两构件构成多个转动副,且轴线互相重合时,只有 1 个转动副起约束作用,其余转动副都是虚约束。如图 1-16 所示,在计算自由度时,只计入 1 个转动副。



▲图 1-16 两构件构成多个转动副

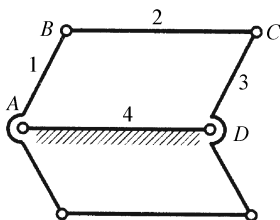
(2) 两构件之间组成多个移动副,且其导路互相平行或重合时,只有 1 个移动副起约束作用,其余都是虚约束。如图 1-17 所示,在计算自由度时,只计入 1 个移动副。



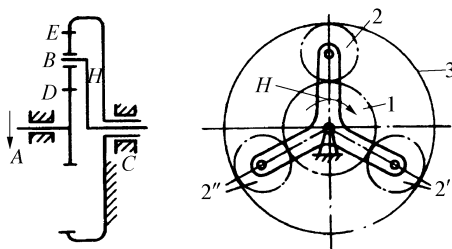
▲图 1-17 两构件组成多个移动副

(3) 在机构运动的过程中,若两构件两点间的距离始终保持不变,用构件将此两点相连时构成虚约束。如图 1-18 所示,在计算自由度时,只计入 1 个转动副。

(4) 机构中对运动不起作用的对称部分引入的约束为虚约束。图 1-19 所示的行星轮系,为使机构受力均匀装上了三个相同的行星轮,此时有两个行星轮引入的高副为虚约束,应除去不计。



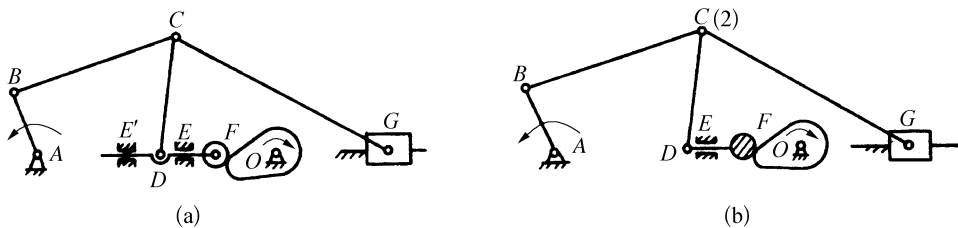
▲图 1-18 两构件两点间距离不变



▲图 1-19 行星轮系

提示: 虚约束虽对机构运动不起约束作用,但能改善机构的受力情况,提高机构的刚性,因而在结构设计中被广泛采用。应注意的,虚约束对机构的几何条件要求较高,故对制造、安装精度要求较高,当不能满足几何条件时,虚约束就会变成实约束而使机构不能运动。

例 1-5 计算图 1-20(a)所示的筛料机构的自由度。



▲图 1-20 筛料机构简图

解 (1) 检查机构中有无三种特殊情况。

由图可知,机构中滚子自转为局部自由度;顶杆 DF 与机架组成两导路重合的移动副 E' 、 E ,故其中之一为虚约束; C 处为复合铰链。去除局部自由度和虚约束以后,应按图 1-20(b)计算自由度。

(2) 计算机构自由度。

机构中的可动构件数为 $n = 7$, $P_L = 9$, $P_H = 1$, 故该机构的自由度为

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

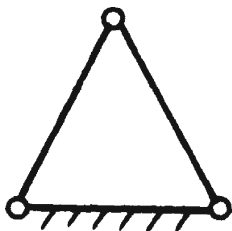
想一想：平面机构具有确定运动的条件吗？

机构能否实现预期的运动，取决于其运动是否具有可能性和确定性。

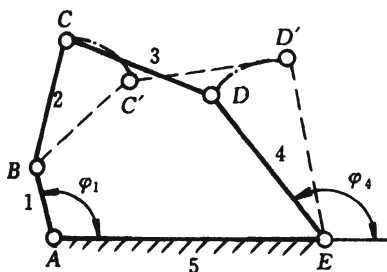
如图 1-21 所示，由 3 个构件通过 3 个转动副联接而形成构件系统，计算其自由度可得 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$ 。因其自由度为 0，所以此构件系统无法运动，此构件组合不能称为机构，常称为桁架。由此可见，机构具有运动可能性的条件是自由度大于 0。

当机构满足可动条件后，其各构件的运动是否具有确定性呢？如图 1-22 所示的五杆构件系统，计算其自由度得 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 5 - 0 = 5$ 。若取构件 1 作为主动件并处于图示位置时，构件 2、3、4 则可能处于实线位置，也可能处于虚线位置。显然，从动件的运动是不确定的，故也不能称其为机构。如果此时再给定一个主动件，如构件 4 绕 E 点转动，则构件 2、3 的运动就完全确定。由此可见，机构具有运动确定性的条件是机构的主动件的数目必须等于机构的自由度。

综上所述，机构具有确定运动的条件是机构的自由度大于 0，且主动件数与其自由度相等。



▲图 1-21 桁架



▲图 1-22 五杆机构

加油站

现代机械设计方法简介

近二三十年来，科学技术飞速发展。新技术、新工艺、新材料的不断涌现，微电子技术、控制技术和计算机技术的发展及其与机械技术的有机结合，有关基础理论研究的深化，使得机械设计发生了巨大的变化。机械设计从依赖于经验和实物类比，走向科学、理性、系统分析和创新，从单机走向系统，从静态设计走向动态设计，从单一目标走向多目标，从寻求较佳方案走向最优化。

在机械设计中，已广泛采用一系列现代设计方法，如计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、动态设计、系统设计、造型设计、反求工程设计、模块化设计等，使设计水平有了质的飞跃。机械产品也从单纯机械走向机电一体化，向着高效能、自动化、综合化和智能化

等方向发展。

计算机辅助设计(Computer Aided Design),简称 CAD。在机械设计中,利用计算机运算速度快、计算精度高、存贮量大、记忆和逻辑判断能力强等特点,建立程序库和数据库,进行程序设计、自动设计、绘图、人机对话,进行方案和参数的对比、选择、优化和决策,不仅大大地缩短了设计周期,减轻了技术人员的工作量和工作强度,还显著地提高了设计质量,获得最佳设计方案,加快产品更新换代,增强市场竞争能力。CAD 还可与计算机辅助制造(CAM)、计算机管理自动化结合起来,形成计算机集成制造系统(CIMS)。近年来,CAD 技术正向着规模大、知识广、层次深、智能化方向发展,出现了专家系统,不仅可进行一般数值计算和绘图,还具有逻辑推理、分析综合、方案构思、决策等功能。

作为机械技术人员,应能够熟练地使用计算机进行零部件的计算、绘图,以及检索、使用和管理技术资料等。



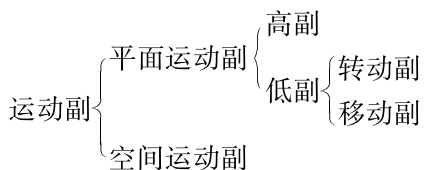
实践演练

观察牛头刨床,分析其结构和工作原理。绘制滑枕往复运动机构和工作台横向进给机构的机构运动简图,并计算其自由度。



主题小结

1. 平面运动副



2. 平面机构运动简图

平面机构运动简图的绘制方法:

- (1) 分析机构结构。
- (2) 确定运动副的种类和数目。
- (3) 选择恰当的视图。
- (4) 选取适当的比例尺。
- (5) 绘制机构运动简图。

3. 平面机构自由度的计算

- (1) 自由度的计算公式: $F = 3n - 2P_L - P_H$ 。
- (2) 自由度计算时需注意的几个特殊情况: 复合铰链、局部自由度、虚约束。
- (3) 平面机构具有确定运动的条件: 机构的自由度大于零,且主动件数与其自由度相等。

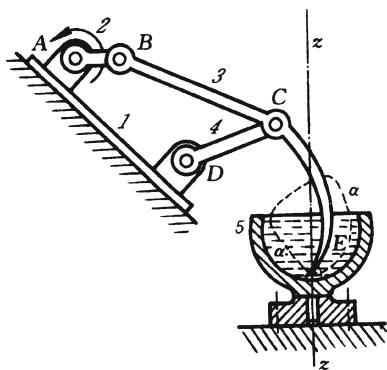
主题测评

一、简答题

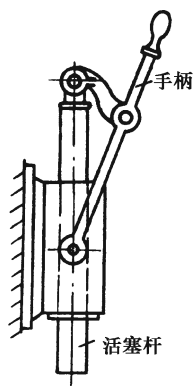
1. 什么是运动副？平面运动副分为哪些类型？
2. 什么是机构运动简图？在工程中有何作用？
3. 平面机构具有确定运动的条件是什么？
4. 何谓自由度？何谓约束？一个约束能限制几个自由度？

二、分析与思考

5. 什么叫复合铰链、局部自由度、虚约束？在计算机构自由度时分别如何处理？
6. 试绘制图 1-23 所示和面机的机构运动简图。
7. 试绘制图 1-24 所示抽水机的机构运动简图。



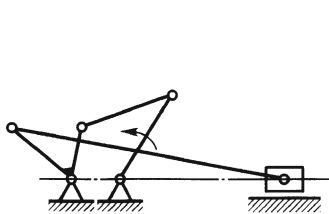
▲图 1-23 和面机



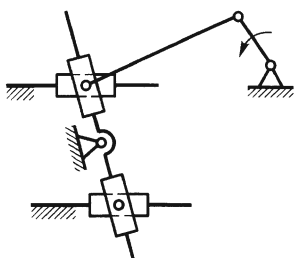
▲图 1-24 抽水机

三、设计计算题

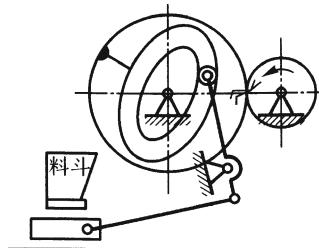
8. 指出图 1-25 所示各机构中的复合铰链、局部自由度和虚约束，计算机构的自由度，并判定它们是否有确定的运动(标有箭头的构件为主动件)。



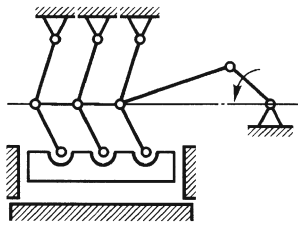
(a) 钢锭热锯机构



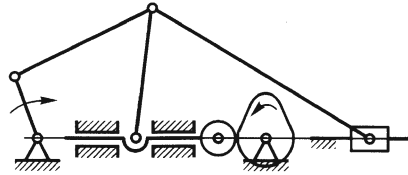
(b) 压缩机的压气机构



(c) 压力喂料机构



(d) 压榨机机构

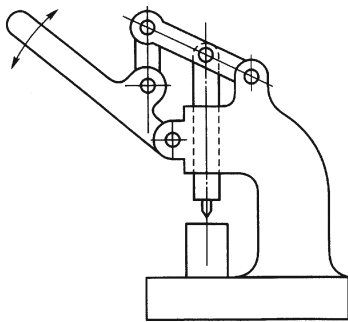


(e) 筛料机的筛料机构

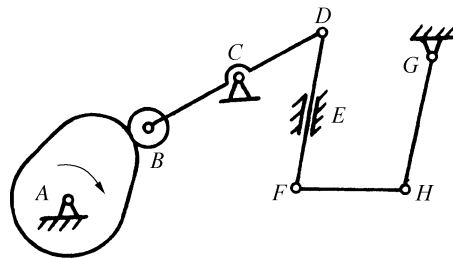
▲图 1-25 题 8 图

9. 图 1-26 所示为冲床的初拟方案, 试绘制其运动简图, 计算自由度, 并分析该方案是否可行。如果不行, 试提出修改方案。

10. 试问图 1-27 所示机构在组成上是否合理? 如不合理, 请针对错误提出修改方案。



▲图 1-26 冲床初拟方案



▲图 1-27 题 10 图