

特种设备学院专任教师岗位试讲内容

考生根据自身专业任选一个内容试讲。

一（电器类）

教学内容：

项目二 学习低压电器及识读电气图

三 专业知识积累

（三）热继电器

教学重点：

电气控制对热继电器性能的要求，以及双金属片式热继电器的结构和工作原理

教材信息：

教材名称《电机与电气控制技术》，ISBN：978-7-111-71215-2，机械工业出版社，2022.10 第1次印刷，张春丽、李建利主编。

二（机械类）

教学内容：

项目1 平面机构运动简图的绘制和自由度计算

任务1.2 筛料机构自由度的计算

教学重点：

机构具有确定运动时需要满足的条件，以及计算平面自由度时需要注意的问题

教材信息：

教材名称《机械设计基础》，ISBN：978-7-5677-7807-8，吉林大学出版社，2023.07 第七次印刷，曹井新主编。

一（电器类）



力, 带动触头动作。触头系统有主触头和辅助触头之分。中小容量的交/直流接触器的主触头和辅助触头一般都采用直动式双断口桥式触头。大容量的主触头采用转动式单断口指形触头, 辅助触头在结构上通常将常开触头和常闭触头成对设置。

接触器主触头的作用是接通或断开主电路或大电流电路, 在触头间隙中会产生电弧, 要采取灭弧措施。小容量接触器通常采用电动力灭弧、灭弧罩灭弧; 大容量接触器常采用灭弧罩灭弧、栅片灭弧装置及真空灭弧装置灭弧。直流接触器常采用磁吹式灭弧。

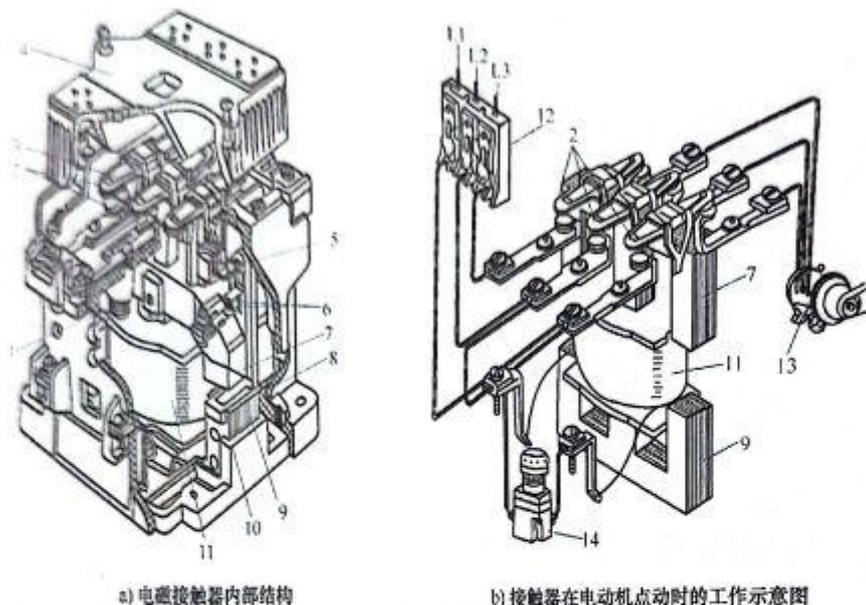


图 2-11 交流接触器结构和工作原理示意图

1—释放弹簧 2—主触头 3—触头压力弹簧 4—灭弧罩 5—常闭辅助触头 6—常开辅助触头
7—衔铁 8—缓冲弹簧 9—铁心 10—短路环 11—线圈 12—熔断器 13—电动机 14—起动按钮

3. 接触器的工作原理

如图 2-11b 所示, 以接触器控制电动机点动为例说明其工作原理。按下起动按钮, 接触器线圈通电, 线圈产生磁场将铁心磁化, 就会产生电磁吸力, 吸引衔铁向铁心靠拢, 并最终与铁心吸合在一起。触头系统中的动触头经机械机构与衔铁连在一起, 衔铁吸合带动动触头移动, 使常闭触头断开、常开触头闭合。主触头是常开触头, 它一闭合就将三相电源接入三相定子绕组, 电动机就起动运转了。松开起动按钮, 接触器线圈断电, 电磁吸力消失, 衔铁在释放弹簧的反作用力下释放, 动触头回归原位, 主触头复位断开, 电动机断电停机。在没有松开按钮时, 一旦电源电压消失或明显降低, 线圈中就会没有励磁或励磁不足, 电磁吸力随之消失或减小, 衔铁在释放弹簧的反作用力下释放, 动触头随衔铁复位, 使得主触头断开, 电动机脱离电源而停转, 这就是欠电压和失电压保护。

(三) 热继电器

热继电器是利用电流流过发热元件产生热量来使检测元件受热弯曲, 进而推动机构动作的一种保护电器, 主要用于电动机的长期过载保护。由于发热元件具有热惯性, 检测元件受热弯曲也需要一定的时间, 当发热元件中通过的电流超过整定电流值的 20% 时, 热继电器会

在 20min 内动作。因此,热继电器不能用于瞬时过载保护,更不能用于短路保护。

1. 电气控制对热继电器性能的要求

(1) 应具有合理可靠的保护特性 电动机的过载特性是指电动机在某过载电流下工作因发热剧增而缩短使用寿命甚至被烧毁所需要的时长 t 与该过载电流 I 之间的关系曲线,它呈现反时限特性。考虑各种误差的影响,电动机的过载特性用一条曲带表示,如图 2-12 中的曲带 1。

热继电器的保护特性是指流过热继电器发热元件的电流与热继电器触头动作时间的关系。由于热继电器主要用于电动机的长期过载保护,为了适应电动机的过载特性,热继电器应具有形如电动机过载特性那样的反时限特性,而且为了充分利用电动机的过载耐受能力,又能起到过载保护的作用,热继电器的保护特性应处于电动机过载特性的下方并与之相邻近,如图 2-12 中的曲带 2 所示。这样,当电动机发生过载时,热继电器就能在电动机达到其允许的最大过载之前动作,切断电动机电源,实现过载保护。

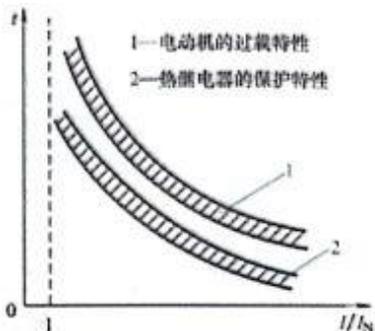


图 2-12 热继电器的保护特性

(2) 具有一定的温度补偿 当环境温度变化时,热继电器发热元件的受热弯曲就会出现误差。为消除这种误差,应为热继电器设置温度补偿装置,在一定范围内进行温度补偿。

(3) 整定电流可以方便地调节 整定电流是指长期通过发热元件而不致使热继电器动作的最大电流。热继电器的整定电流大小可通过旋转整定电流的旋钮来改变。为减少热继电器发热元件的规格,热继电器的整定电流应该能够在发热元件额定电流的 66%~100% 范围内调节。

(4) 具有手动复位与自动复位功能 热继电器动作后复位需要一定的时间,自动复位应在 5min 内完成,手动复位要在 2min 后才能按下复位按钮。

2. 双金属片式热继电器的结构及工作原理

在电力拖动系统中应用最广的是双金属片式热继电器。它主要由发热元件、主双金属片、触头系统、动作机构、复位按钮、电流调整装置和温度补偿元件等部分组成,如图 2-13 所示。

双金属片是热继电器的感测元件,它是将两种线膨胀系数不同的金属片以机械碾压的方式形成一体而成的,线膨胀系数大的称为主动片,线膨胀系数小的称为被动片。而环绕其上的电阻丝(发热元件)串联于电动机定子电路中,其上流过的是电动机定子线电流,能反映电动机的过载情况。由于电流的热效应,发热元件温升增加使双金属片受热产生线膨胀,于是双金属片向被动片一侧弯曲。当电动机正常运行时,发热元件产生的热量虽然能使双金属片弯曲,但是弯曲位移小,不足以使热继电器的触头动作。只有当电动机长期过载时,过载电流流过发热元件,经过一定的时间后,使双金属片弯曲位移增大到能够推动导板,继而推动补偿双金属片、动触头及杠杆,使静触头(常闭)断开,此常闭触头串联于接触器线圈电路中,触头断开,则接触器线圈就断电,使得接触器主触头复位,断开接入电动机定子绕组的电源,实现电动机的过载保护。

调节旋钮用于改变补偿双金属片与导板间的距离,达到调节动作电流的目的。此外,复位调节螺钉用以改变常开触头的位置,能使热继电器工作在手动复位或自动复位两种状态。在手动复位状态时,在故障排除后需要按下复位按钮才能使热继电器的触头复位。

补偿双金属片可在规定范围内补偿环境温度对热继电器的影响。当环境温度变化时，主双金属片与补偿双金属片同时、同向弯曲，使导板与补偿双金属片之间的推动距离保持不变，就能使继电器的动作特性不受环境温度变化的影响了。

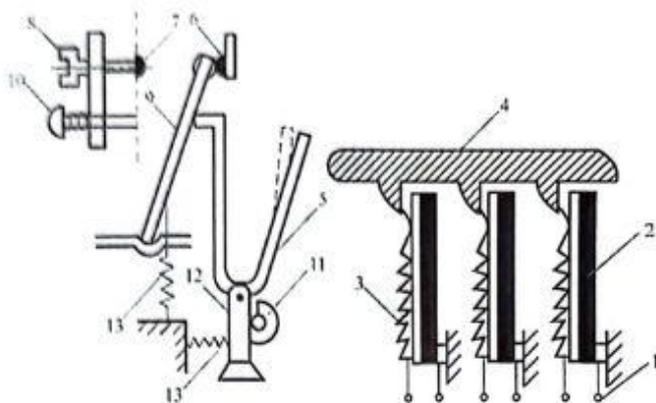


图 2-13 双金属片式热继电器结构原理

1—端子 2—主双金属片 3—发热元件 4—导板 5—补偿双金属片 6—静触头（常闭） 7—静触头（常开）
8—复位调节螺钉 9—杠杆（带触头） 10—复位按钮 11—调节旋钮 12—支撑杆 13—弹簧

3. 具有断相保护的热继电器

三相异步电动机运行时，若发生一相断路，流过电动机各相绕组的电流将发生变化，变化情况与电动机三相定子绕组的接线方式有关。如果电动机三相定子绕组为星形联结，当发生一相断路时，另外两相线电流增加很多，此时线电流等于相电流，流过电动机绕组的电流就是流过热继电器发热元件的电流。发热元件严重发热，普通的两相或三相结构的热继电器就可对电动机进行断相保护。

如果电动机三相定子绕组为三角形联结，在正常情况下，线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，串联在电动机电源进线中的发热元件按电动机额定电流（即线电流）来整定。如图 2-14 所示，当发生一相断路时，若电动机负载仅为额定负载的 58%，流过跨接于全电压下的一相绕组的相电流 I_{p3} 等于额定相电流的 115%，而流过两相绕组串联的电流 $I_{p1} = I_{p2}$ ，仅为额定相电流的 58%。此时未断路的两相电流正好为额定线电流，接在电动机进线中的发热元件流过的是额定线电流，热继电器不动作，但流过全压下的那相绕组的电流是额定相电流的 115%，时间一长便有过热烧毁的危险。所以，定子绕组三角形联结的电动机不能用普通结构的热继电器作断相保护，要用带断相保护的热继电器才行。

将普通三相结构的热继电器的导板改成差动机构，就做成了带断相保护的热继电器，如图 2-15 所示。差动机构由上导板、下导板及装有顶头的杠杆组成，它们之间均用转轴连接。图 2-15a 为未通电时导板的位置；图 2-15b 为发热元件流过正常工作电流时的位置，此时三相双金属片都受热向左弯曲，但弯曲的挠度不够，下导板会向左移动一小段距离，但顶头尚未碰到补偿双金属片，热继电器不动作；图 2-15c 为电动机三相同时过载的情况，三相双金属片同时向左弯曲，推动下导板向左移动的位移增加，推动杠杆使顶头碰到补偿双金属片的端部，热继电器动作；图 2-15d 为 W 相断路时的情况，W 相双金属片冷却，端部由向左弯曲变为向右复原，推动上导板向右移，而另外两相电路正常，双金属片仍受热，端部继续向左弯曲推

动下导板向左移动，上、下导板的移动一个向右一个向左，产生了差动作用，通过杠杆的放大作用，迅速推动补偿双金属片，使热继电器动作，切断电动机电源，完成断相保护。

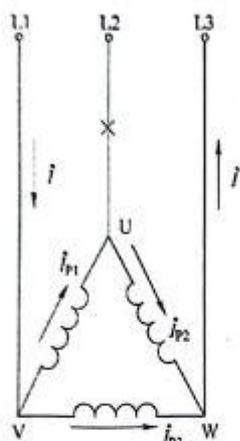


图 2-14 三角形联结 U 相断路时的电流分析

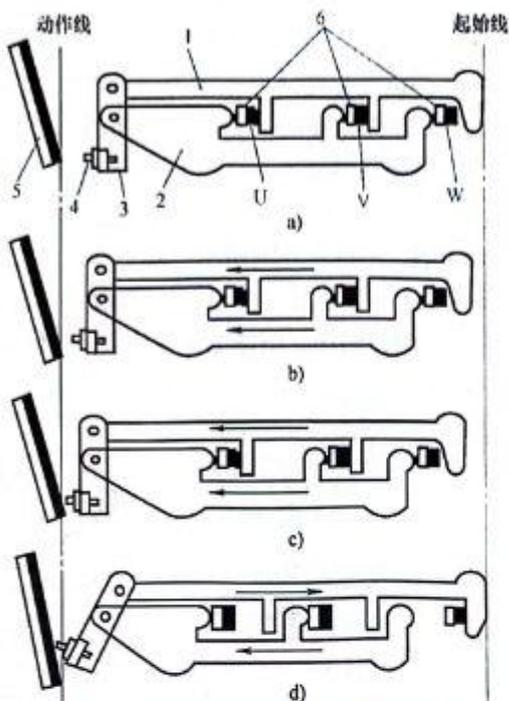


图 2-15 带断相保护的热继电器工作原理

1—上导板 2—下导板 3—杠杆 4—顶头
5—补偿双金属片 6—主双金属片

4. 热继电器的电气符号

热继电器的电气符号如图 2-16 所示。

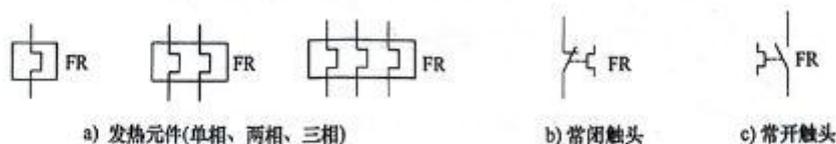


图 2-16 热继电器的电气符号

(四) 熔断器

熔断器是当电流超过规定值一定时间后，以其本身产生的热量使熔体熔化而断开电路的一种保护电器，广泛用于低压配电系统、控制系统以及用电设备的短路保护和过电流保护。

1. 熔断器的结构及工作原理

熔断器主要由熔体、熔管（座）、填料及导电部件组成。熔体是熔断器的主要部分，常做成丝状、片状或笼状，其材料有两类：一类为低熔点材料，如铅锡合金、铋铝合金、锌等；另一类为高熔点材料，如银、铜、铝等。熔管里通常装有填料，填料既是灭弧介质，又能起到帮助熔体散热的作用。目前广泛应用的填料是石英砂。

二（机械类）





续表

序号	任务实施步骤	任务具体内容
2	识别颚式破碎机主体机构中运动副的类型	从原动件开始,顺着运动传递路线逐个识别联结相邻的运动副类型,并对转动副依次标注大写字母,最后确定各类运动副的数目。皮带轮 5 和偏心轴 2 组成一个构件,其与机架组成转动副,转动副的回转中心在点 A 处;偏心轴 2 与动颚板 3 组成转动副,转动副的回转中心在点 B 处;动颚板 3 与连杆 4 组成转动副,转动副的回转中心在点 C 处;连杆 4 与机架组成转动副,转动副的回转中心在点 D 处。点 A 与点 D 处是两个固定转动副,点 B 与点 C 处是两个可动的转动副,该机构中一共有 4 个转动副
3	选择投影平面,画出颚式破碎机主体机构的草图	选择颚式破碎机运动平面为投影面,先在草稿纸上按规定的符号画出机构运动副的位置图,再以简单的线条连接,然后量取有关运动副之间的真实尺寸并标注在机构草图上
4	确定比例尺 μ_l , 绘制颚式破碎机主体机构的运动简图	根据机构的真实尺寸和图幅大小,选取合适的比例尺 μ_l 。再令原动件相对机架处于某一位置,按选定的比例尺将上述机构草图绘制成机构运动简图。机构运动简图要标出构件编号,转动副处要标注字母,原动件的运动方向用箭头表示

2. 颚式破碎机主体机构的运动简图 (如图 1-7 所示)

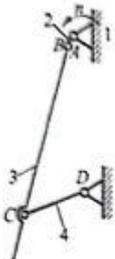


图 1-7 颚式破碎机主体机构运动简图



注意事项

在绘制机构运动简图时,一定要按照一定的比例来绘制,也就是说机构运动简图是有比例的。从绘图比例的角度来说,“简图不简”。在工程实际中有时也经常会遇到不是按比例绘制的机构运动简图,即只是定性地表示机构的组成及运动原理而不严格按比例绘制机构运动简图,这样的机构运动简图称为机构示意图或机构工作原理图。



机构简图与示意图的区别

任务 1.2

筛料机构自由度的计算

任务引入

在任何一个机器或机构中,必有一个固定件,一个或几个原动件,其余的都是从动件。机构中原动件的数目不是人为随意确定的,而是根据机构的自由度数目来确定的。

筛料机构是平面机构的一个具体实例,本任务将以“筛料机构自由度的计算”为例,来介绍平面机构自由度的计算过程。根据其自由度的计算结果,就可以确定筛料机构所需要的主动件数目了。



理论知识

1.2.1 平面机构的自由度

1. 构件的自由度

做平面运动的构件相对于定参考系所具有的独立运动的数目，称为构件的自由度。简单地说，构件所具有的独立运动的数目称为构件的自由度。如图 1-8 所示， xOy 坐标系中任意一个做平面运动的自由构件，可以沿 x 轴和 y 轴方向移动，也可以绕任意垂直于 xOy 平面的轴线 A 转动，即有 3 个独立的运动，所以说做平面运动的自由构件有 3 个自由度。

当两构件组成运动副后，它们之间的某些相对运动会受到限制，对于两构件相对运动所施加的限制称为约束。每加上一个约束，自由构件便会至少失去一个自由度。运动副的具体形式决定了运动副所带约束数目。

当两构件组成平面转动副时，如图 1-2 (b) 所示，两构件间只具有一个独立的相对转动，失去两个相互垂直方向的移动；当两构件组成平面移动副时，如图 1-2 (d) 所示，两构件间便只具有一个独立的相对移动，失去相互垂直方向的移动和转动。因此，一个平面低副引入两个约束，保留一个自由度。

当两构件组成高副时，如图 1-3 (a) (b) (c) 所示，在接触处公法线 $n-n$ 方向的移动受到约束，保留了沿公切线 $\tau-\tau$ 方向的移动和绕接触点 A 的转动。因此，一个平面高副引入一个约束，保留两个自由度。

根据以上分析所得引入约束后构件自由度的变化规律，如图 1-9 所示，平面四杆机构自由度的计算结果见表 1-3。

3x
低副 → 高副
 $F = 3n - 2P_L - P_H$
 n 为活动构件的数目。
 N 另构件数。
 $n = N - 1$



机构的自由度

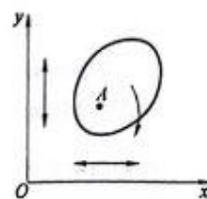


图 1-8 自由构件的自由度

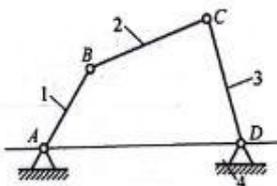


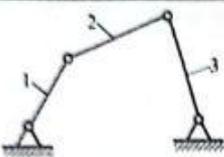
图 1-9 平面四杆机构运动简图

表 1-3 平面四杆机构的形成过程及自由度

机构简图	机构形成过程	自由度 F
	机架 (固定件)	0
	在上述机架 (自由度为 0) 的基础上, 引入构件 1; 再引入 1 个转动副	$0 + 3 - 2 = 1$
	在上述自由度为 1 的机构基础上, 引入构件 2, 再引入 1 个转动副	$1 + 3 - 2 = 2$



续表

机构简图	机构形成过程	自由度 F
	在上述自由度为 2 的机构基础上, 引入构件 3, 再引入 2 个转动副	$2+3-2 \times 2=1$

2. 平面机构自由度的定义

平面机构相对于机架所具有的独立运动数目, 称为平面机构的自由度。为了使设计者所设计的机构能够运动并且具有运动的确定性, 必须计算机构的自由度, 根据自由度可以确定机构所需要的原动件 (主动件) 的数目。



3. 平面机构的自由度计算

图 1-9 所示的平面四杆机构由四个构件组成, 构件数目不多, 对比较复杂的机构运用上述方法来计算机构的自由度是比较烦琐的。

设一个平面机构由 N 个构件组成, 其中必有一个构件为机架 (固定件), 则活动构件数为 $n = N - 1$ 。在未组成运动副之前, 共有 $3n$ 个自由度, 用运动副联结后便引入了约束, 减少了自由度。若该平面机构中共有 P_L 个低副、 P_H 个高副, 则平面机构的自由度 F 的计算公式为

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

- 式中: F ——平面机构的自由度;
 n ——平面机构活动构件的数目, $n = N - 1$, N 为机构中构件的总数;
 P_L ——平面机构中低副的数目;
 P_H ——平面机构中高副的数目。

如图 1-9 所示的平面四杆机构中, $n = 3$, $P_L = 4$, $P_H = 0$, 其自由度

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

1.2.2 机构具有确定运动时需要满足的条件

只有当机构原动件的数目与机构的自由度数目相等时, 机构或者机构中的每一个构件在任意时刻的运动规律都唯一确定。当机构原动件的数目小于机构的自由度数目时, 机构的运动不能完全确定。

图 1-10 所示的五杆机构, 原动件数目为 1, 而机构的自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$ 。当只给定原动件 1 的位置 φ_1 时, 从动件 2, 3, 4 的位置不是唯一确定的。只有给出两个原动件, 若使构件 1, 4 处于给定位置, 各构件才能获得确定的运动。

图 1-11 所示的四杆机构, 图中原动件数等于 1, 而机构自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$, 若此机构中有原动件 1 和原

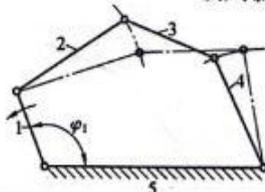


图 1-10 原动件数小于自由度数

动件 3 两个原动件，即欲使机构同时满足原动件 1 和原动件 3 的给定运动，则势必将杆 2 拉断。

机构自由度是机构相对于机架所具有的独立运动数目。显然，只有机构自由度大于零，机构才有可能运动。同时，只有在外界对机构输入的独立运动数目与机构的自由度相等时，该机构才能具有确定的运动，或者说是机构中每个构件都具有确定的运动。

机构具有确定运动的条件为：机构的原动件数目 W 等于机构的自由度 F ，并且 F 大于零，即

$$W = F > 0 \quad (1-2)$$

式中： W ——机构的原动件数目；

F ——机构的自由度。

在分析现有机器或设计新机器时，需要通过机构运动简图来判断机构是否能够具有确定运动，否则会导致机构组成原理的错误。如图 1-12 (a) 所示的构件组合体，其 $F=0$ ，从动件 3 无法实现预期的运动。图 1-12 (b) (c) 给出了两种改进方案，它们的自由度 $F=1$ ，可以达到机构的运动设计要求。

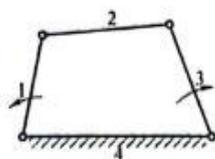


图 1-11 原动件数大于自由度数

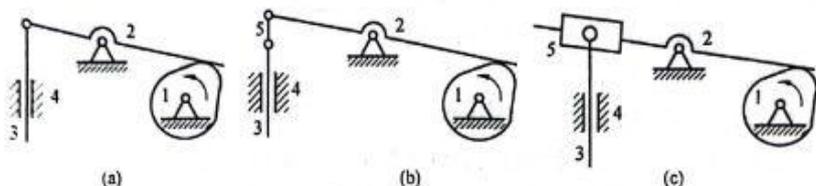


图 1-12 $F=0$ 的构件组合体及其改进

1.2.3 计算平面机构自由度时需要注意的问题

计算平面机构自由度时需要注意复合铰链、局部自由度和虚约束三个方面的问题，否则会造成计算结果的错误。



计算自由度时
注意的问题 1

1 复合铰链

两个以上的构件在同一处以同轴线的转动副相联，称为复合铰链。

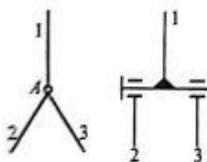


图 1-13 复合铰链

图 1-13 所示为三个构件在 A 点形成复合铰链。从侧视图可见，这三个构件实际上组成了轴线重合的两个转动副，而不是一个转动副。一般地， k 个构件形成复合铰链应具有 $k-1$ 个转动副，计算自由度时应找出复合铰链，以免少计、漏计转动副的实际数量。

如图 1-14 所示的直线机构中，A、B、D、E 四点均为由 3 个构件组成的复合铰链，每处均有 2 个转动副。因此，该机构中 $n=7$ ， $P_L=10$ ， $P_H=0$ ，其自由度 $F=3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

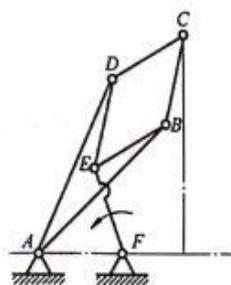


图 1-14 直线机构



2. 局部自由度

与机构运动无关的构件的独立运动称为局部自由度。在计算机构自由度时，局部自由度应略去不计。

图 1-15 (a) 所示的凸轮机构，主动件凸轮 1 逆时针转动，通过滚子 3 使从动件 2 在导路中往复移动。显然，滚子 3 绕其自身轴线 A 的转动完全不会影响从动件 2 的运动，因此滚子的转动属于局部自由度。在计算该机构的自由度时，可将滚子 3 与从动件 2 看成一个构件，如图 1-15 (b) 所示，此时，该机构中 $n=2$ ， $P_L=2$ ， $P_H=1$ ，其自由度为

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

局部自由度虽不影响机构的运动关系，但可以减少高副接触处的摩擦和磨损。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

机构中与其他约束重复而对机构运动不起新的限制作用的约束，称为虚约束。计算机构自由度时，应除去虚约束。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

(1) 两构件在同一轴线上形成多个转动副。如图 1-16 (a) 所示，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，计算机构自由度时应按一个转动副计算。

(2) 两构件形成多个导路平行或重合的移动副。如图 1-16 (b) 所示，构件 3 与机架 4 组成了 A、B、C 三个导路平行的移动副，计算自由度时应只按一个移动副计算。

(3) 两构件组成多处接触点公法线重合的高副。如图 1-16 (c) 所示，同样应只考虑一处高副，其余为虚约束。



计算自由度时注意的问题 2

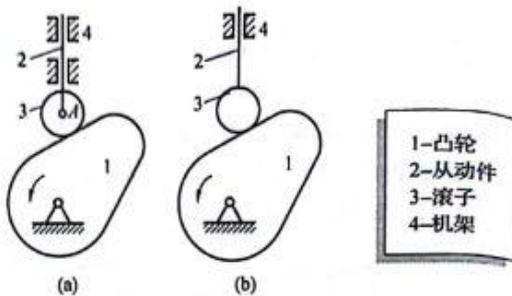


图 1-15 局部自由度



计算自由度时注意的问题 3

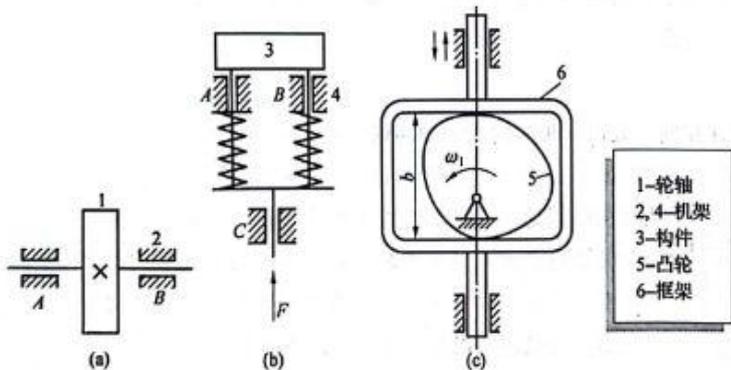


图 1-16 两构件组成多个运动副

2) 两构件上联结点的运动轨迹互相重合

图 1-17 (a) 所示平行四边形机构中，杆 3 做平移运动，其上各点轨迹均为圆心在机架 AD 上、半径为 AB 的圆弧。该机构自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 。若用一附加构件 5 在 E 和 F 两点铰接，且 $EF \parallel AB$ 、 $EF = AB$ ，如图 1-17 (b) 所示。构件 5 上 E 点的轨迹与连杆 BC 上 E 点的轨迹重