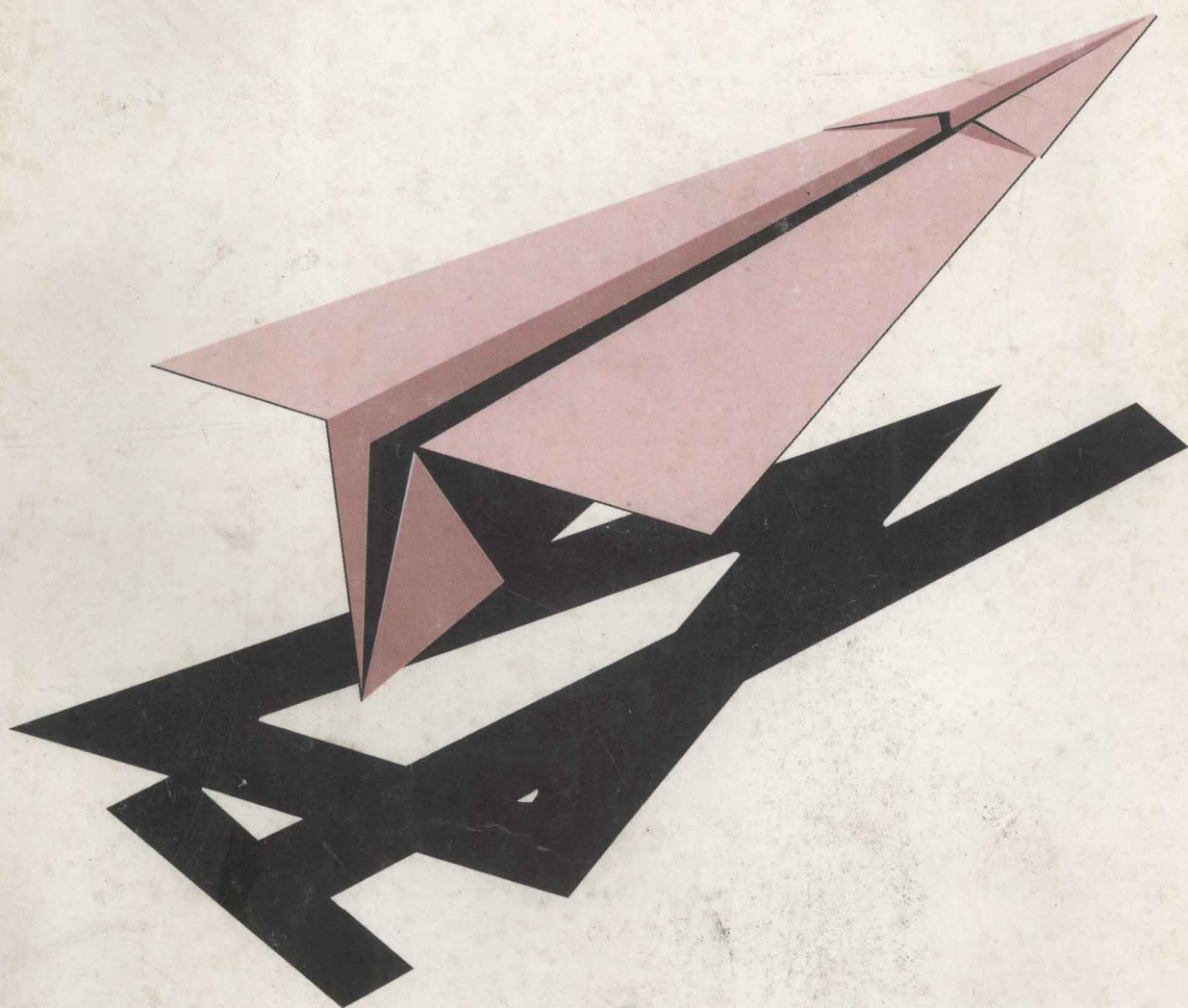


机电设计基础

JI DIAN SHE JI JI CHU

江建民编著



无锡轻工大学工业设计学院专业教材
WU XI UNIVERSITY OF LIGHT INDUSTRY

无锡轻工大学设计学院
工业设计(产品造型)专业
机械设计基础(机电设计基础 I)讲义
设计学院 江建民 编

目 录

第一章	概论	
	第一节	机器、机构及其零部件
	第二节	机械设计的 基本要求和一般过程
	第三节	机械零件的常用材料及失效方式
第二章	平面机构	
	第一节	平面机构的运动简图及其自由度
	第二节	平面连杆机构
	第三节	凸轮机构
	第四节	间歇运动机构
第三章	静联接	
	第一节	螺纹联接
	第二节	焊接、铆接和粘接
第四章	传动	
	第一节	带传动
	第二节	链传动
	第三节	齿轮传动
	第四节	蜗杆传动
	第五节	轮系、减速器和变速器
第五章	重要通用零部件	
	第一节	轴和轴毂联接
	第二节	轴承
	第三节	联轴器和离合器
	第四节	弹簧

无锡轻工大学设计学院
工业设计(产品造型)专业
机械设计基础(机电设计基础 I)讲义
设计学院 江建民 编

目 录

第一章	概论	
	第一节	机器、机构及其零部件
	第二节	机械设计的基本要求和一般过程
	第三节	机械零件的常用材料及失效方式
第二章	平面机构	
	第一节	平面机构的运动简图及其自由度
	第二节	平面连杆机构
	第三节	凸轮机构
	第四节	间歇运动机构
第三章	静联接	
	第一节	螺纹联接
	第二节	焊接、铆接和粘接
第四章	传动	
	第一节	带传动
	第二节	链传动
	第三节	齿轮传动
	第四节	蜗杆传动
	第五节	轮系、减速器和变速器
第五章	重要通用零部件	
	第一节	轴和轴毂联接
	第二节	轴承
	第三节	联轴器和离合器
	第四节	弹簧

第一章 概论

第一节 机器、机构及其零部件

一、机械、机器和机构：

机械是机器和机构的总称。

机器的种类很多。如：飞机，轮船，汽车，摩托车，自行车，火车，机车等属交通工具；各种机床，电动机，内燃机，汽轮机，发电机，锅炉，水轮机等属动力机械；空压机，凿岩机，水泵等属通用机械；拖拉机，联合收割机，机耕犁，播种机等属农业机械；此外，还有印刷机械，起重机械，搬运机械，制冷机械，通风机械，等等。通常，它们还包括大部分家用电器，但是并不包括电子类的家用电器（如彩电，音响）；同样道理，也不包括电子类的医疗仪器仪表。它们将在电器学中讲授。

各种机器都具有以下三个主要特征：

- 1) 机器是由若干人为的运动单元体（称为构件）组合而成的；
- 2) 组成机器的各个构件之间具有确定的相对运动，其运动规律是周期性重复变换的（这就是机器的运动循环）；
- 3) 机器都是用来代替人的脑力或体力，使某个过程实现机械化；亦即机器能够完成有效的机械功或能量转换。

与机器不同，机构只有前面两个特征。但其在基本组成，运动特征，受力状况等方面与机器没有区别。

完整的机器应由四个部分组成：

- 1) 原动机部分：这是驱动机器的动力源。多数情况下它是电动机或内燃机。
- 2) 执行部分（工作部分）：如起重机的吊钩，车床的刀架，磨床的砂轮，轧钢机的轧辊。
- 3) 传动部分：在上述两个部分之间完成运动形式、运动及动力参数的变换。
- 4) 其他：如控制，照明，润滑等系统。

机器主要有以下几类：

1) 力能机器：

它又有动力机器（原动机）和转换机器之分：

- a) 动力机器：是将热能、内能、电能等转换成机械能，或者将某种介质（水、空气等）的机械能转换成可实际运用的机械能的机器。前者如内燃机，燃气轮机，电动机；后者如风

车, 水轮机等。

b) 转换机器: 是将机械能转换成其他形式能量的机器, 如发电机, 空压机等。

2) 工艺机器: 是在生产过程中完成有用功, 以实现工作物外形、空间位置及性质的改变的机器, 如各类机床。

3) 运输机器及其他机器。

风扇是只有原动机和执行部分的机器。而车床则要复杂得多, 复杂的主要原因是车床的传动部分的组成元素很多(图 1-1)。汽车(图 1-2)的原动机是内燃机

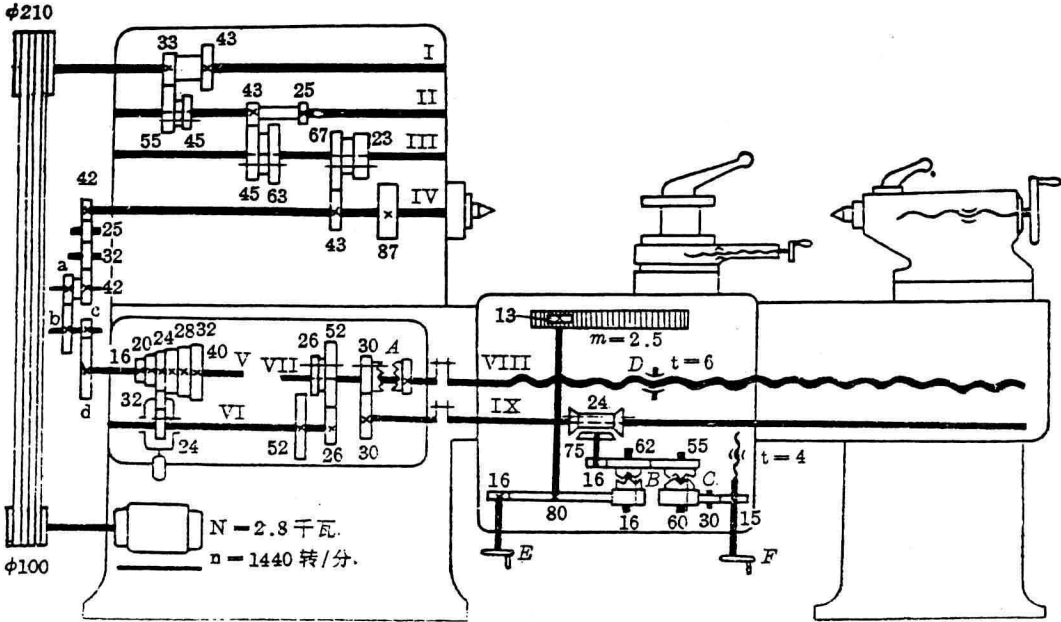


图 1-1

, 内燃机构造复杂; 但是从某个意义上说, 其传动部分的构造更复杂; 其工作机构是车轮, 相对也比较简单。因此在机器中, 传动部分(传动装置)实在占有重要地位, 它能改变运动的形态(如在旋转与平移之间的运动转换), 变速, 增(减)速, 变换运动方向, 分配运动和动力。因此, 这是本课程的一个重要内容。

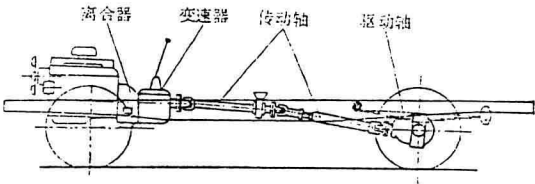


图 1-2

机器是由零件组成的。零件是机器中不可拆的基本单元件。如: 通常的活塞, 连杆、曲轴等可以是单一件, 也可以是组合构件。只有单一件才能称为零件。零件可分

为通用零件和专用零件。前者如螺栓,轴,齿轮,弹簧等,它们在各种机器里都要用到;后者如转子,叶片,曲轴,活塞等,只有在某些或某类机器中才用到。

在机器中,我们把由完成同一使命、彼此协同工作的一组零件所组成的、独立制造、独立装配的组合体称为部件。如:滚动轴承,联轴器,加速器,电机转子等。

本课程的内容主要是研究常用机构和通用零件的工作原理、结构特点及其主要失效方式和对策。当然还会涉及到国家标准、行业规范和标准零部件。对工程类学生要求的基本设计理论和计算方法,在我们是次要的,因为我们不将直接进行零件、部件、机构和机器的机构设计及强度计算。但要求与其他课程结合,掌握有关机械设备的基本知识(结构、使用、安装、维护),使我们设计的机器首先能满足功能和性能方面的需要,同时在此基础上更加经济、美观。

机器的外观造型设计是与新材料、新技术、新工艺的研究开发密切相关的。从这个意义上说,对于造型设计人员来而言,工业基础知识的扎实程度和宽广程度往往决定了你的成功程度。这里举几个造型与功能、性能以及新材料、新技术、新工艺的例子。

例一,汽车前后轮。由于前轮既有上下跳动,又要左右摆动;加之装配、拆卸的要求,前轮外侧就不能封死。而后轮则无左右摆动问题,因此后轮外侧的车身可以封死。具体是否封死,造型设计人员就可根据外观上的整体情况自行决定。

例二,自行车。传统自行车都是坐式、旋转蹬踩的。新型自行车既有卧式的,又有上下蹬踩的。前者是总体布置形式上的变革,主要是从性能的要求出发的。后者则是依靠传动机构结构上的革新。

例三,电话机。老式电话机都是拨盘式的。这是与纵横制电话交换机相适应的。随着程控电话交换机的产生,按钮式电话才可能出现。这是与电子技术的进步密不可分的。

例四,高压油泵转子轴与机壳间的动密封。传统上依赖机械式动密封,即填塞石棉盘根。这既费事,又不可靠,阻力又大。随着新型磁性材料的发展,轴间的联接已可用磁性耦合实现。也就是说,主从动轴之间可以“断开”,但动力的传递仍可进行。因此原来的机械密封就完全不必要了,动密封变成了静密封。这样,既方便,又可靠,阻力又小。

第二节 机械设计的基本要求和一般过程

所谓机械设计,可以是利用新原理、新思想、新方法来开发创造新的机械,也可以是在原有机器的基础上重新设计或局部改进、从而改变原有机械的性能。

重要的是:机械产品的质量基本上取决于设计的质量,因为制造过程本质上只是要求实现设计所规定的质量。

设计的基本要求是:在实现预期的运动和动力功能的前提下,尽可能地做到性能好,效率高,成本低,并具有一定的可靠性;同时,还要达到操作方便,维护简单,造型美观,便于运输;还应尽量采用标准零部件,以减少重复设计。

当然,这些要求是要辩证综合考虑的;如果有相抵触的地方,就要照顾主要方面。同时还要注意到,随着社会的发展,人们的认识是会变化的。因此,对这许多方面主次的理解也是会变化的。

例如,汽车的首要问题,在七十年代是节能;加上定寿命设计原则,使在过去一段时间里,节油和零部件具有大体相同寿命这两点使日本轿车占了上风。但到八十年代后期,人最重要的思想占了上风,安全可靠的美国轿车又重占上风。

例如,长期以来为了运输方便,自行车都是散件出厂,到销售单位后再组装的。但由于体制上的原因,销售单位组装中的质量问题(偷工减料)被转嫁到厂方,造成扯皮。近几年来,自行车厂大多改为整车出厂以保证质量。

例如,采用自动变速箱的汽车好学好开,但制造复杂、成本高。性能好与成本低常常是一对矛盾。通常这要根据产品的市场定位,亦即根据产品的既定销售对象、拟定价格以及性能、功能要求来综合考虑。

通常,产品的设计过程如下:

- 1) 明确要求(预定功能,有关指标和限制条件);
- 2) 总体方案、绘制运动简图(确定工作原理):
通常要拟定几种总体布置方案,进行粗略计算,分析比较,选取最佳方案。
- 3) 运动和动力分析,确定主要零部件的运动和动力参数;
- 4) 传动零件设计计算,确定主要参数;
- 5) 零部件结构草图设计,绘制零件工作图;
- 6) 绘制部件装配图和总装图;
- 7) 编制技术文件(设计计算说明书,标准件和外购件明细表等)。

设计过程是一个由整体到细节、再由细节到整体的反复过程,直到总体上满意为止。整个机器设计过程是以总布置设计为核心进行的。因此,要求工业造型设计师与机械设计师密切配合,共同协作,以追求好的性能、合适的价格及美观的外形。

第三节 机械零件的常用材料和失效方式

一、机械零件的常用材料:

主要有金属、非金属和复合材料三类。由于在材料和工艺课中已经学过有关内容,故这里就不再详细复述。

1) 钢:

这是目前机械零件使用最多的材料,原因是钢的品种牌号多,性能好。

按有无合金含量可分为碳素钢和合金钢;按含碳量可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢;按性能要求可分为普通碳素钢和优质碳素钢;按用途可分为结构钢和工具钢;按使用方法可分为铸钢、铸铁和型钢。

2) 有色金属:

以铜及铜合金(黄铜和青铜)使用最多。主要用于各种要求耐磨、减磨的场合。

3) 非金属:

包括塑料、橡胶、皮革、陶瓷、木材和纸板等,以塑料使用最多,而且使用量越来越多。

4) 复合材料:

包括各种纤维(玻璃、石墨、碳纤维等)增强复合材料,各种金属与金属、金属与非金属、非金属与非金属的复合材料。

选择材料要根据零件的使用要求、工艺要求和经济性要求综合决定。

二、机械零件的常见失效方式:

零件的失效包含两方面的含义:因损坏而丧失工作能力或因磨损、变形等原因而达不到使用要求。由于失效的方式不同,判定零件工作能力的条件不同,因此零件在设计时工作能力计算的准则也不同。所以,确定零件的主要失效方式就极为重要。

机械零件的主要失效形式有:断裂;过大的弹性或塑性变形;表面磨损;打滑;过热;联接松动;运动精度达不到要求等等。

归纳起来,零件工作能力计算的准则主要有:

1) 强度条件:指零件在载荷作用下是否会损坏。

通常,按理想平稳的工作条件、根据额定功率计算得到零件的名义载荷,然后考虑零件上载荷随时间分布的不均匀性和载荷在零件上的分布不均匀性、乘以大于一的载荷系数,得到计算载荷。根据计算载荷,就可算得零件上的最大应力。强度条件是最大拉应力 σ (或剪应力 τ) 不大于许用应力:

$$\sigma \leq [\sigma];$$

$$\tau \leq [\tau];$$

许用应力用材料的极限正应力 σ_{lim} (或剪应力 τ_{lim})除以安全系数得到:

$$\sigma = \sigma_{\text{lim}}/S;$$

$$\tau = \tau_{\text{lim}}/S;$$

上两式中:安全系数 S 由一系列大于一的系数相乘而得: S_1 是考虑载荷和应力计算不精确性的系数(1 至 1.5); S_2 是考虑材料不均匀性的系数(锻钢、轧钢为 1.2 至 1.5;铸铁为 1.5 至 2.5); S_3 是考虑零件重要程度的系数(1 至 1.5)。

极限应力 σ_{lim} 或 τ_{lim} 与载荷引起的应力种类有关: 对于因静应力造成断裂或塑性变形而失效的, 对塑性材料为 $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_s$ (屈服极限), 对脆性材料 $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_b$ (极限应力); 对于交变应力引起的疲劳断裂, 则根据交变应力的种类分别是 (参阅图 1-3):

对于称循环变应力 ($\sigma_m = 0, \sigma_a = \sigma_{\text{max}} = -\sigma_{\text{min}}, r = 1$), $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_{-1}$;

对于脉动循环变应力 ($\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\text{max}}/2, \sigma_{\text{min}} = 0, r = 0$), $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_0$;

对于非对称循环变应力 [$\sigma_m = 0.5(\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}), r = \sigma_{\text{min}}/\sigma_{\text{max}}$], 的一般情况有 $\sigma_{\text{lin}} = \sigma_r$ 。

2) 刚度条件: 指零件在载荷作用下是否会变形过大而无法正常工作。

通常, 要求零件的在弯曲载荷作用下的最大横向变形(挠度) y 和转角 θ 都小于允许值:

$$y \leq [y];$$

$$\theta \leq [\theta];$$

在零件受扭转载荷时的最大扭角 φ 也要小于允许值:

$$\varphi \leq [\varphi].$$

3) 耐磨性条件:

通常, 零件在使用的初期有个磨损速度较快的磨合时期; 然后磨损速度进入较小的稳定磨损期; 最后, 当零件超过正常寿命期后, 磨损速度又进入激烈磨损期。

磨损的实际失效方式很多: 有由于硬质颗粒进入摩擦表面或硬表面上的凸峰引起表层材料脱落的所谓磨粒磨损; 有由于表面粘着撕裂使材料从一个表面转移到另一表面的所谓粘着磨损(也称胶合); 有由于表面兼有滚动和滑动时经长期运行发生的疲劳磨损(常称点蚀); 还有因与周围介质发生化学或电化学反应引起的腐蚀磨损。

磨损的设计计算比较困难。因此, 通常只能限制摩擦表面间的应力和相对滑动速度, 即将压力及速度限制在允许范围内:

$$p \leq [p];$$

$$pv \leq [pv].$$

第二章 平面机构

第一节 平面机构的运动简图和自由度

机器中的实际机构一般都是空间机构。但在一定的简化条件下,有许多机构可以看成所有构件是在一个或相互平行的几个平面内运动。这样,这些机构就可以在平面里表示,并称之为平面机构。

例如,在研究汽车在平整地面上的转向时车轮转角间的关系及对转向机构各构件的几何尺寸要求时,就可以将汽车当成平面机构来对待。

例如,在研究内燃机的活塞-连杆-曲轴间的相互运动关系时,也可以将它们简化为所谓曲柄连杆机构来处理。

例如,在研究挖掘机在纵向平面里的各个臂的动作时,可以简化成平面机构来处理。

例如,在研究港口鹤式起重机各臂长度关系时,可以简化成平面机构来处理。

一、平面机构的运动简图:

1) 运动副的分类及其表示方法:

两个构件可以通过点、线或面的接触而组成具有一定相对运动关系的可动联接称为运动副。两个构件分开后,这种联接亦即运动副随之消失。

一个点在空间有三个自由度,亦即需要用三个坐标才能确定地表示其位置。例如,在直角坐标系统中可用三坐标值 x 、 y 和 z 。一个点在平面中有两个自由度,亦即要用两个坐标才能确定该点在平面上的位置。例如在平面直角坐标中,可用两个坐标值 x 和 y ;在平面极坐标可用两个坐标值 ρ 和 φ 。

一个构件可以用一段线段来代表。因此,一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动的可能性,即它有三个自由度。例如,在平面直角坐标系统中用两个自由度 x 和 y 来确定其一个段点的位置,再用两点连线与水平轴的夹角 θ 来确定另一端点的位置。

构件组成运动副后,其独立运动就会受到约束,自由度随之减少。受到约束的程度,亦即自由度减少的程度与运动副的性质有关。据此,我们把运动副分成两类:高副和低副。

a) 低副:

两个构件间是面接触的运动副称为低副。

低副可以分为移动副和转动副两种。

移动副如图 2-1 所示,它只允许两个构件沿某一直线作相对运动。它可以用图 2-2 的符号表示。

转动副则只允许两个构件绕同一轴作相对转动(图 2-3)。转动副也称铰链。如果组成转动副的两个构件中有一个是固定不动的,则改转动副称为固定铰链(图中 a 的 A 和 D);若两个构件都未固定,则转动副称为活动铰链(图中 a 的 B 和 C)。转动副可以用图 2-4 的符号表示。



图 2-1

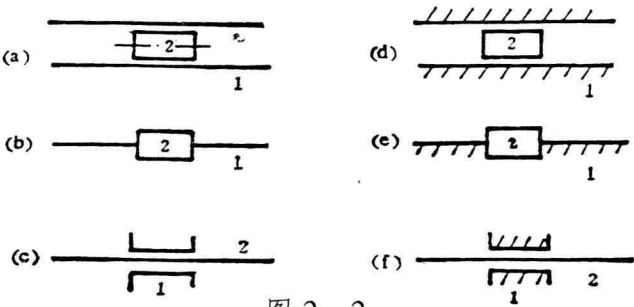


图 2-2

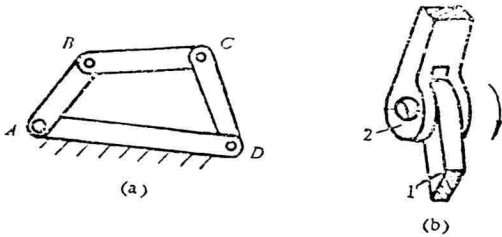


图 2-3

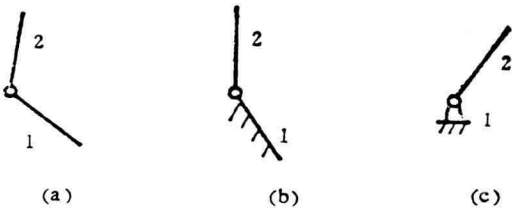


图 2-4

b) 高副:

两个构件间是点或线接触的移动副称为高副。

高副可分为凸轮副和齿轮副(图 2-5)。

高副可用图 2-6 的符号表示。

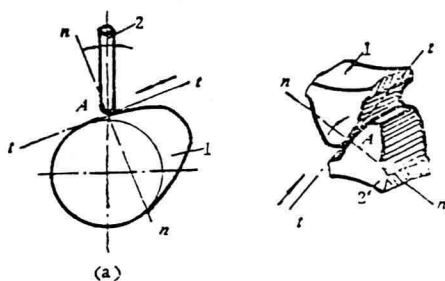


图 2-5

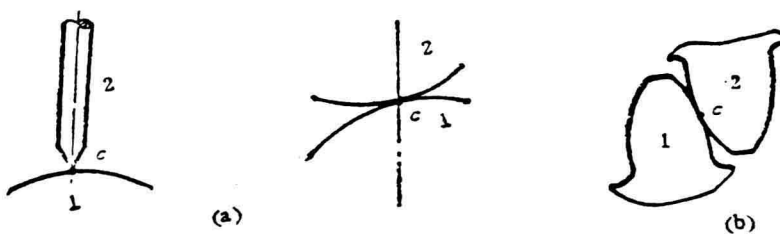


图 2-6

2) 构件的分类和表示:

构件可分为固定件(也称机架)和运动件;运动件又有原动件和从动件之分。

一个构件可以具有一个移动副,也可以具有两个移动副。图 2-7 就是一些构件表示方法的实例;不管构件的形状多复杂,都可以用直线来表示。

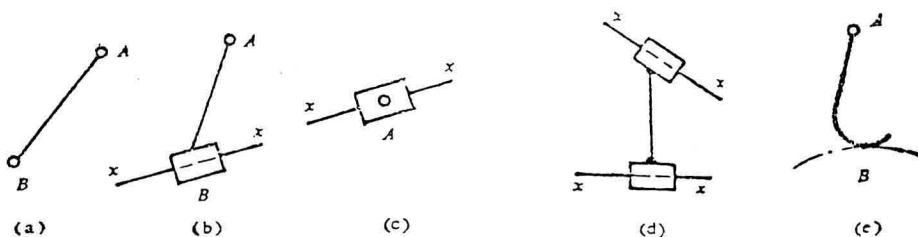


图 2-7

3) 平面机构的运动简图:

运动简图是用简单的移动副和构件的代表符号把机构的运动特征表示出来的图

形；它虽简单，但与原机构具有完全相同的运动特征，因此可以根据该图对机构进行运动和动力分析。运动简图虽然经过简化，但几何尺寸要按比例画出。实长与图上长度之比，称为长度比例尺 μ 。

用图 2-8 可以说明如何将一个偏心轮机构进行简化、画出其机构运动简图的过程：

- 认清构件数目，分清活动构件中的原动件和从动件及机架，按次序对各个构件逐一编号。图中 1 是机架，2 是原动件，3 和 4 是从动件。
- 判定各构件间的运动副类型。图中机构 1 和 2 组成转动副，2 和 3、3 和 4 组成转动副，4 和 1 组成移动副。
- 画出运动副及构件符号，测量构件尺寸并按比例作图。

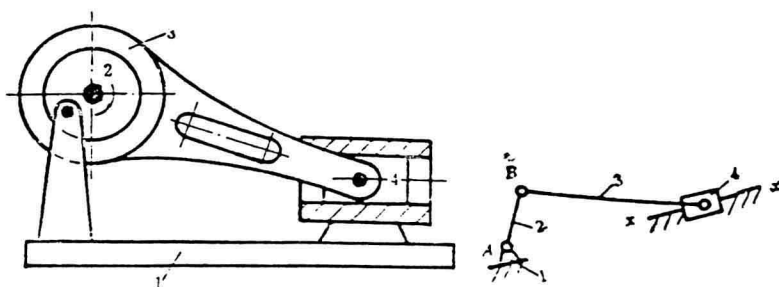


图 2-8

二、平面机构的自由度：

1) 平面机构的自由度：

机构能够产生独立运动的数目称为机构的自由度

如果机构中除机架外的构件数目为 n ，低副数目为 P_L ，高副数目为 P_H ，则机构的自由度数 F 可以根据下式算得：

$$F = 3n - 2P_L - P_H.$$

例如，对于图 2-8 的曲柄连杆机构有：

$$n = 3;$$

$$P_L = 4;$$

$$P_H = 0;$$

$$\therefore F = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1.$$

2) 机构具有确定运动的条件：

大多数实用机构都只有一个自由度。对于一个自由度的机构，只要使一个构件按给定的运动规律运动，则机构中其他构件的运动就完全确定了。因此，机构具有确定运动的条件就是按给定的独立运动规律运动的构件的数目（即原动件数）等于机构的

自由度。

图 2-8 的曲柄连杆机构具有一个自由度, 而其原动件数目亦是一, 因此该机构具有确定的自由度。

图 2-9 是一个四杆机构。构件 1 是原动件, 4 是机架。所以, $n=3$ 。该机构有四个铰链, 无高副, 故 $P_L=4, P_H=0$, 所以 $F=3 \times 3 - 4 \times 2 - 0 = 1$ 。自由度数目等于原动件数目, 因此该机构具有确定运动。

图 2-10 是一个具有两个原动件的五杆机构。 $n=4, P_L=5, P_H=0$, 所以机构的自由度 $F=4 \times 3 - 2 \times 5 - 0 = 2$, 它等于机构的原动件数目; 因此, 该机构具有

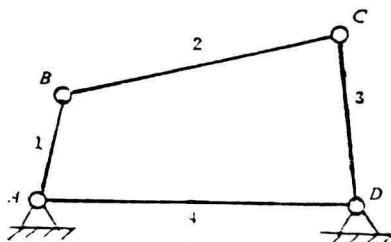


图 2-9

有确定的运动。

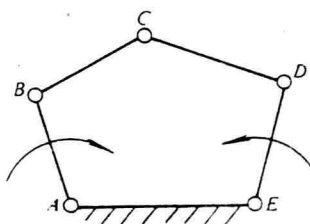


图 2-10

3) 计算机构自由度时应注意的问题:

a) 复合铰链:

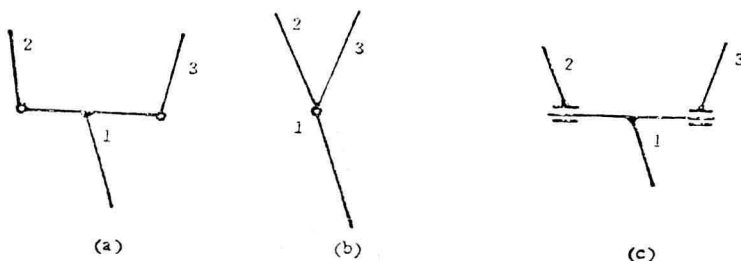


图 2-11

两个以上的构件同时在一处用转动副连接,称为复合铰链。如图 2-11(a), 构件 1 与 2、3 组成两个转动副。当两个转动副的距离缩小到零时(图 b), 便成为复合铰链; 其侧视图如图 c 所示。因此, 复合铰链表面上看是一个铰链, 实质上是两个铰链。在计算机构的自由度时, 要特别当心复合铰链所包含的转动副数目。

b) 局部自由度:

某些构件所能产生的局部运动并不影响其他构件的运动, 它们的存在往往只是为了改善机构的其他性能。这种局部运动的自由度称为局部自由度。

例如图 2-12(a) 中, 滚子 2 的存在只是为了改善推杆与凸轮间的摩擦状况。如果象图(b)那样将滚子焊死在推杆上, 机构的运动在理论上没有变化。滚子 2 的这种自由度就称为局部自由度。

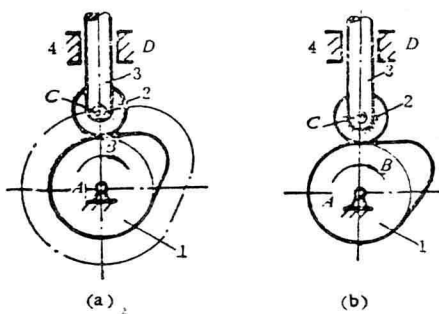


图 2-12

在计算机构的自由度时, 如果忽视了局部自由度, 就可能造成计算错误, 应予注意。

c) 虚约束:

机构中与其他约束作用重复的约束称为虚约束。如图 2-13 所示, 机车车轮联动机构的运动简图。如果按常规计算: $n = 4, P_L = 6, P_H = 0$, 则:

$$F = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0;$$

这个结论显然是错误的。如果去掉构件 5, 则转动副 E 和 F 就不复存在, 但构件 3 上各点的运动轨迹并不改变。这表明, 构件 5 和转动副 E、F 在计算机构的自由度时, 不应予以考虑。这样, $n = 3, P_L = 4, P_H = 0$, 此时有:

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1;$$

这个结论显然是正确的。

虚约束往往还出现在以下情况: 多个导路平行的移动副, 此时只有一个真正起作用; 多个轴线重合的转动副, 此时也只有一个在起作用; 对传递运动不起独立作用的对称部分。

在计算机构的自由度时都要扣除虚约束所涉及的构件及相关移动副。

第二节 平面连杆机构

平面连杆机构是由若干在同一平面里的杆状构件通过低副连接而成。这是运用最多的传动机构。在各类机械、仪器仪表中都有广泛的应用。

平面连杆机构的特点是制造容易；运动副压强小，磨损轻，且便于润滑；但机构设计复杂；且因低副中间歇及构件尺寸误差的积累，造成运动精度不高。

一、铰链四杆机构：

图 2-13 是一个典型的四杆机构。运动副 A、B、C 和 D 都是转动副。构件 4 是固定不动的机架；由于与机架相邻接，故构件 1 和 3 称为连架杆；构件 2 称为连杆。连架杆根据其是否能作整周旋转而可分成曲柄和摆杆：能整周回转的称曲柄，否则称为摆杆。因此，铰链四杆机构可以分成三类：

- a) 曲柄摇杆机构；
- b) 双曲柄机构；
- c) 双摇杆机构。

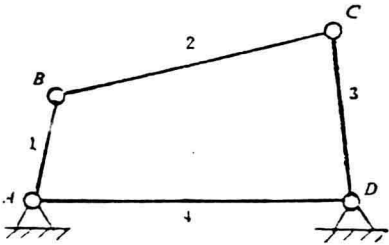


图 2-13

图 2-14 是用于粉碎物料的颞式破碎机示意图及其机构运动简图。这是一个曲柄摇杆机构。曲柄 2 回转时，连杆（即动颞板）与固定的定颞板的间距发生变化，使物料粉碎。

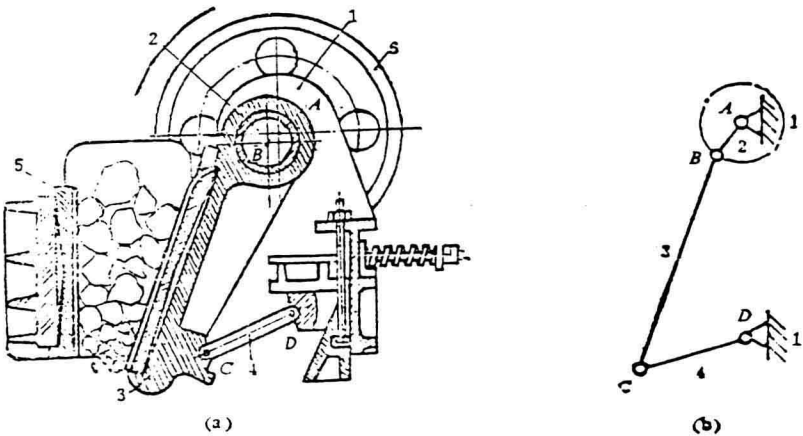


图 2-14

图 2-15 是用于雷达碟形天线仰角的调节机构。这也是一个曲柄摇杆机构。曲柄 1 是原动件；摇杆 3 与碟形天线是刚性联接成一体的。曲柄的旋转将使天线的仰

