

绪 论

1.1 机械设计概述

研究机械原理是为了进行机械设计。机械设计是人类设计活动中的一个重要分支。

设计是一种创造活动,伴随着人类活动的伊始而生,某种程度上说,人类文明的发展史即是一部设计史。最初的设计仅仅是一种单凭直觉的创造活动,例如剥下树皮或兽皮稍加整理披在身上防寒——服装设计;为了猎取动物、分食兽肉而制作刀形斧状的工具——结构设计……这些创造活动是受为了生存的生物本能的驱使。后来,人们在长期的生产活动中积累了数学、物理等基础学科的知识,用来解决设计问题,并将设计上升到提高物质文化生活的层面,设计也划分出了科技和艺术两大范畴。在科技领域,当人们设计的产品经过实践检验并有了丰富的经验后,开始归纳总结出各种设计的经验公式,还通过试验与测试获得各种设计参数留作以后的设计依据,同时开始借助于图纸绘制设计产品,逐步使设计规范化。

机械设计是根据使用要求对机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸、润滑方法等进行构思、分析和计算,并将其转化为具体的描述以作为制造依据的工作过程。机械设计是机械工程的重要组成部分,是机械生产的第一步,是决定机械性能的最主要的因素。根据创造性的程度不同,机械产品的设计分为三种类型:

(1) 开发性设计

开发性设计是指在工作原理、功能结构等完全未知的情况下,运用成熟的科学理论或经过试验证明可行的新技术,设计出过去没有的新型机械。它是一种完全创新的设计。

(2) 适应性设计

适应性是指在工作原理、功能结构基本保持不变的前提下,对产品作局部的变更或重新设计少数零部件,以改变产品的某些性能或克服原有缺陷。它是具有部分创新的设计。

(3) 变型设计

变型设计是指在工作原理、功能结构基本保持不变的前提下,对产品作尺寸大小或布置方式的改变,以适应量的变化要求,而且不会出现诸如材料、应力、工艺等方面的新问题。它是具有较少创新的设计。

时至今日,机械学科已经发展成为一门古老而成熟的学科,完全原创的开发性设计仅占

总量的三成不到,近六成都是部分创新的适应性设计,剩下的是增加型号、扩大工作范围的变型设计。我们从自行车的发展史来看这三种类型的机械设计。图 1-1(a)所示为世界上第一辆自行车或者只能说是自行车的雏形,它仅有木质的前后轮和车架,靠人脚踏地来前行,

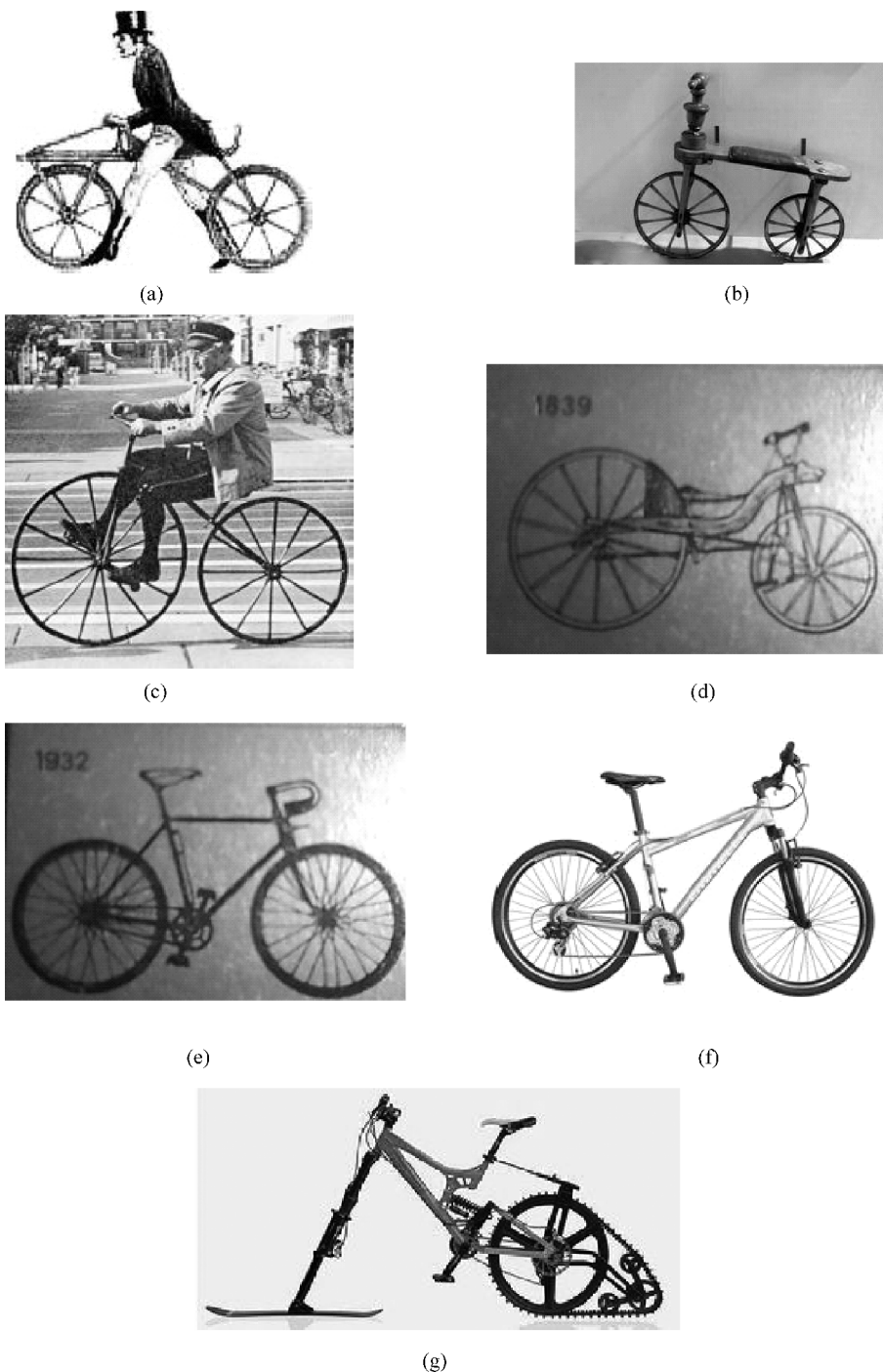


图 1-1 自行车的发展演变过程

仅仅利用了滚动摩擦小、物体惯性等一些如今看来非常基础的物理常识。尽管它的设计简陋粗糙,但从无到有,在当时绝对可以算得上是开发性设计。由于第一辆自行车没有转向装置,在转向时需要人下车进行整体搬动,为了克服这一缺陷,后来加上了前叉和转向装置,如图 1-1(b)所示,这就是一种适应性设计。再后来加上了前轮曲柄作为动力装置,前轮大后轮小,人脚可以离地了,如图 1-1(c)所示;后又演变为后轮驱动,如图 1-1(d)所示。随着钢铁、橡胶等材料的出现和使用,自行车演变为铁质的车架并有了充气橡胶轮胎,链条和脚踏的设计也改善了动力装置,自行车具备了如今的形式,如图 1-1(e)所示。当然,这是一个相当漫长的过程。为了使骑行的舒适性更好,自行车上又被装上减震装置;为了适应不同路面且使骑行更省力,人们又设计出具有大小链轮的牙盘和超越机构的自行车变速器,从而有了如图 1-1(f)所示的山地自行车……如今的自行车形式多样,有城市公路自行车、山地自行车、折叠自行车、多人骑行自行车等,自行车的用材也越来越高级、外形越来越美观、骑行感受越来越舒适,但可以看出,其演变过程是一个渐进的过程,其中大部分变化都是适应性设计。而为了适应不同的使用者而将自行车的大小做成二八、二六、……,一直到童车的十寸,这就是典型的变型设计了。另外,图 1-1(g)所示为雪地自行车,它将自行车的前轮做成雪橇、后轮做成类似坦克履带的形式,可以看作是装置、技术的转用融合,这也是设计工作时常用的一种思路。

1.2 机械系统的组成

机械是机器与机构的总称。现代机械的种类越来越多,结构也越来越复杂,常称为机械系统。传统的定义中,机器是执行机械运动的装置,它用来变换或传递能量、物料及信息。这里物料指被加工的对象或被搬运的重物。按照这个定义,根据所起到的作用不同,可将机器分为动力机器、工作机器和信息机器。

动力机器是能量变换装置,可以实现机械能与其他形式的能量之间的转换。例如内燃机、涡轮机、电动机、发电机等,都属于动力机器。

工作机器用来做有用的机械功。例如金属切削加工机床、轧钢机、起重机、输送机、缝纫机等,都属于工作机器。

信息机器是用来获得和变换信息的。如打字机、绘图仪依赖机械运动来实现信息的记录和输出,属于信息机器。而电子计算机,由于并不依靠机械运动来获取和变换信息,按此定义,并不能称之为机器。但电子计算机的硬件系统中却离不开机械的支撑,例如计算机光驱中就有螺旋机构。

机械系统从其实现功能的角度看,主要由动力系统、传动系统、执行系统、操纵系统和控制系统等子系统组成,如图 1-2 所示。

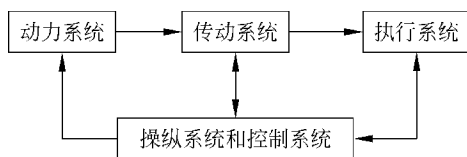


图 1-2 机械系统的组成

机械系统区别于其他装置或设备的主要区别为机械系统一定要作机械运动,并通过运动来实现其功能。而机械运动是由机械系统中的各种机构来完成的。所谓机构,是指具有确定相对运动的物的组合。机构与机器的区别在于,机器更强调其做机械功或转换机械能的功能性,而机构仅仅起到运动传递和运动形式转换的作用。

随着电子和自动化技术与机械技术的结合,诞生了机电一体化技术,它的迅猛发展改变了传统的机械设计模式。如今纯粹的机械系统已不多见,取而代之的是机、电结合的机电一体化系统。在国民经济、社会生活的各个领域,从军事到经济、从生产到生活、从简单的消费品生产到复杂的社会化生产和管理系统,机电一体化技术的渗透几乎达到“无孔不入”的地步。近年来,机电一体化技术的日益发展,使得机器中的传动机构、控制机构和执行机构的数目有减少的趋势,机械结构有简化的可能。但无论如何发展,都离不开机构的应用。例如电脑绣花机,相比于传统纯机械式的绣花机,其机械结构大大简化,但主要集中在控制和操纵部分,其挑线、刺布、勾线等动作仍采用相应的执行机构来完成。

1.3 机械原理课程的研究对象及内容

机械原理主要研究机械中常用机构的工作原理、结构特点,以及基本的设计理论和计算方法。

无论简单还是复杂的机械系统都离不开常用机构的应用,有时是常用机构的直接应用,有时是常用机构的组合、变型应用。在开发设计新型机械时,也往往需要从机械学科所积累的已有的常用机构中得到启示。通过对本课程的学习,学生应具有分析和选择基本机构的能力,并为后续专业课程的学习提供必要的理论基础。

常用机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及齿轮系、间歇运动机构等。以图 1-3 所示的单缸四冲程内燃机为例,其中就有连杆机构、凸轮机构和齿轮机构的组合运用,而这三种机构恰恰是应用最广的,也是本课程要学习的重点内容。图 1-3(a)所示为单缸四冲程内燃机的结构示意图,图 1-3(b)所示为其完成机械运动的主要部件的机构运动简图。可以看出,所用机构包括齿轮机构——齿轮 4'、齿轮 5 和气缸体 1; 凸轮机构——凸轮 5'、顶杆 6 和气缸体 1; 连杆机构——曲轴 4、连杆 3、活塞 2 和气缸体 1。这三种机构不是相互独立的,而是相互联系组合应用的: 燃气推动活塞 2 作往复移动,经连杆 3 转变为曲轴 4 的连续转动; 齿轮 4' 与曲轴 4 固结在一起转动,又与齿轮 5 按齿数比 1:2 配合; 凸轮 5' 随齿轮 5 转动并推动顶杆 6 往复移动来实现开启、闭合的动作。凸轮 5' 和顶杆 6 有两组,分别作为进、排气阀,两组中的凸轮错开一定角度,这样,四个冲程,曲柄转动两周,进、排气阀各启闭一次。

当然,熟悉和掌握常用机构只是机械原理课程学习任务的一部分,概括来说,机械原理课程的内容主要包括以下几个方面。

(1) 机构的组成原理与结构分析

在介绍了有关构件、运动副、运动链及机构等基本概念的基础上,研究机构运动的可能性及确定性条件,提出杆组的概念,并据此分析机构的组成原理。为系统地进行机构的性能分析及机构运动方案的创新设计奠定基础。

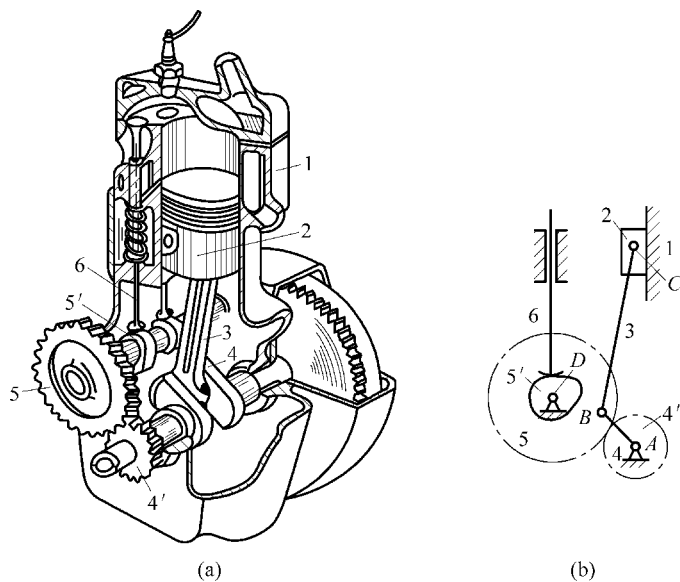


图 1-3 单缸四冲程内燃机

1—气缸体；2—活塞；3—连杆；4—曲轴；4',5—齿轮；5'—凸轮；6—顶杆

(2) 常用机构的分析与设计

熟悉常用机构的结构形式、功能、应用场合,对常用机构的运动及工作特性进行分析,并研究其设计方法。介绍对机构进行运动分析的基本原理与方法。

(3) 机构及其系统动力学设计

从机构及其系统的质量平衡和功率平衡两方面研究改善机械的运动性能和动力性能的途径和方法。重点讨论了机构惯性力的平衡方法及机械系统等效动力学模型的建立、飞轮转动惯量的确定。

(4) 机械系统的方案设计

讨论在进行具体机械设计时机构的选型、组合、变异及机械系统的方案设计等问题。在简要介绍了机构及其系统运动方案设计的步骤之后,系统阐明了执行机构的功能原理方案设计、运动规律设计、运动协调设计及机构选型与创新设计方法。

应当指出的是,除了课堂教学之外,机械原理实验、机械原理课程设计及课外的有关科技活动对学好本门课程,特别是对培养学生的设计、创新能力具有重要作用。而严格的基本技能和创新思维的训练,将在培养专业技术人才的全局中发挥举足轻重的作用。在学习本课程时,应注意理论推演的严密性和逻辑性,注重工程实际应用的复杂性和多变性,还应随时留意日常生活中遇到的各种机械,以丰富自己的感性认识,尝试用所学知识分析认识这些机械,以加深理解。

机构的结构分析

2.1 机构的组成、分类

机构是用来传递运动和力的可动的构件系统,构件之间通过运动副连接。

1. 构件

构件是机构中独立运动的单元体,区别于零件——制造的单元体。如图 2-1 所示的简易冲床机构中,齿轮 1 和凸轮 2 是固定在同一根轴上同步运动的。它们虽是两个零件,但在机构中算一个构件,且作为运动的输入端被称为**原动件**;床身 5 为固定不动的构件,称为**机架**;其余,构件称为**从动件**(摇臂 3 和冲头 4),其中,冲头 4 也称为运动输出件,摇臂 3 称为连接件。

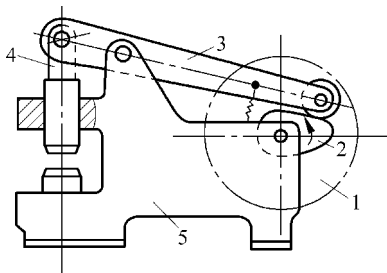


图 2-1 简易冲床

1—齿轮; 2—凸轮; 3—摇臂; 4—冲头; 5—床身

2. 运动副

构件之间既保持接触又能相对运动的连接形式称为运动副。如轴与轴承、活塞与气缸、皮带与皮带轮等之间的连接都构成运动副。运动副的分类和命名方法有多种,如下所述。

(1) 按具体运动形式分

根据两构件间用运动副连接后的具体运动形式来分类或命名,如两构件之间的相对运动为转动,则称为转动副或回转副,也称铰链;相对运动为移动,则称为移动副;相对运动为螺旋运动,则称为螺旋副;相对运动为球面运动,则称为球面副等,如图 2-2 所示。

(2) 按运动的空间范围分为平面运动副和空间运动副

两构件用运动副连接后,若它们之间能够产生的相对运动被限制在一个平面内,即只能作平面相对运动,则此运动副称为平面运动副;若两构件用运动副连接后可以作空间相对运动,则此运动副称为空间运动副。图 2-2(a)、(b)、(e)和(f)所示均为平面运动副,而图 2-2(c)和(d)所示则为空间运动副。

(3) 按接触形式分为低副和高副

两构件通过其结构上的点、线或面保持接触而形成运动副连接,以面接触的称为低副,以点或线接触的称为高副。图 2-2(a)和(b)所示为平面低副,图 2-2(c)和(d)所示为空间低副,图 2-2(e)和(f)所示为平面高副。

(4) 按约束数目分为 I ~ V 级副

两构件在用运动副连接之前,它们之间的相对运动可分解为 6 个独立运动,将空间三维坐标建立在其中一个构件上,则这 6 个独立运动分别是沿 x 、 y 、 z 轴的移动和绕 x 、 y 、 z 轴的转动,称为构件的 6 个自由度。当两个构件被运动副连接后,这 6 个独立的相对运动中的某几个会受到限制,这种限制作用称为运动副带来的约束,约束的数目为 1~5 个,对应地将运动副分为 I 级副、II 级副、III 级副、IV 级副和 V 级副。图 2-2(a)和(b)所示为 V 级副,图 2-2(c)所示为 III 级副,图 2-2(d)所示为 IV 级副。

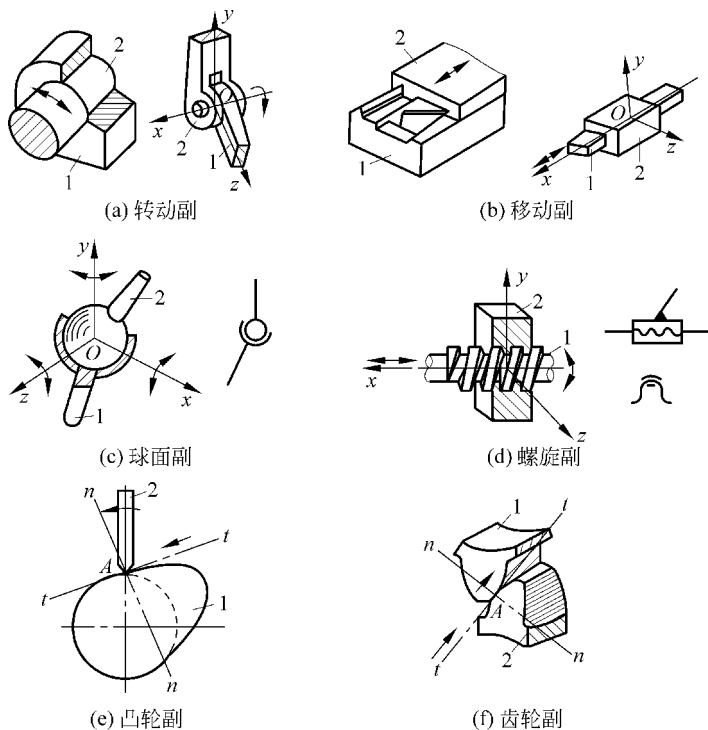


图 2-2 运动副的分类与命名

1—构件 1; 2—构件 2

3. 运动链

构件通过运动副的连接而构成的相对可动的系统称为**运动链**。若运动链的各构件形成

了首尾封闭的系统则称为闭式运动链,简称闭链,如图 2-3(a)、(b)所示;反之称为开式运动链,简称开链,如图 2-3(c)、(d)所示。

此外,根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动或空间运动,也可将运动链分为平面运动链和空间运动链两类,分别如图 2-3 和图 2-4 所示。

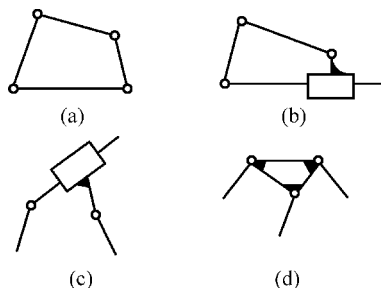


图 2-3 平面运动链

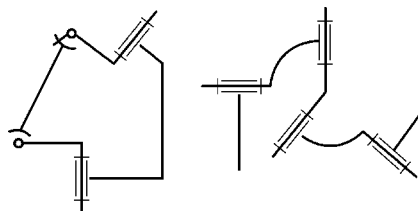


图 2-4 空间运动链

4. 机构

在运动链中,将某一构件加以固定使之成为机架,另一个(或几个)构件按给定规律独立运动,其余活动构件随之作确定运动,则该运动链便成为机构。

与运动副的分类相似,机构同样可分为平面机构和空间机构、低副机构和高副机构。机构中只要有一个构件能进行空间运动就是空间机构,反之为平面机构。机构中只要含有一个高副,就成为高副机构,否则为低副机构。

简言之,机构是由机架、原动件和从动件组成的具有确定运动的构件系统。

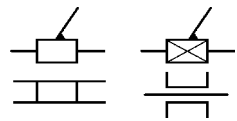
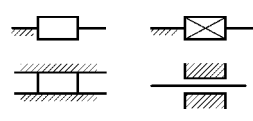
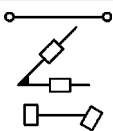
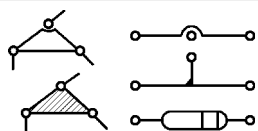
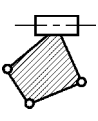
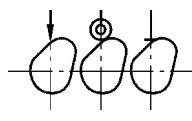
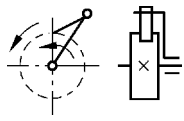
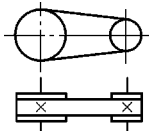
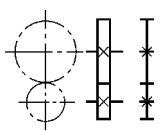
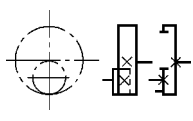
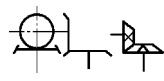
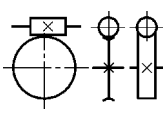
2.2 机构运动简图

机构中各构件的运动是由原动件运动规律及各运动副类型和机构的运动学尺寸(即各运动副之间的距离)来决定的,而与构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及固连方式等因素无关。因此,在对现有的机械进行分析或设计新的机械时,为了使问题简化,仅用简单的线条和符号来代表构件和运动副,并根据运动学尺寸按一定的比例绘制成简单图形,以此来说明机构各构件间的相对运动关系,这种简化的图形称为机构运动简图。若不按精确的比例来绘制,则称为机构示意图。表 2-1 中列出了绘制机构运动简图的常用符号。

表 2-1 机构运动简图的常用符号(摘自 GB 4460—1984)

| | 两运动构件形成的运动副 | 两构件之一为机架时所形成的运动副 |
|-----|-------------|------------------|
| 转动副 | | |

续表

| | | | | |
|---------|---|---|---|---|
| | 两运动构件形成的运动副 | | 两构件之一为机架时所形成的运动副 | |
| 移动副 |  | |  | |
| 构件 | 二副元素构件 | 三副元素构件 | 多副元素构件 | |
| |  |  |  | |
| 凸轮及其他机构 | 凸轮机构 | 棘轮机构 | 带传动 | |
| |  |  |  | |
| 齿轮机构 | 外齿轮 | 内齿轮 | 圆锥齿轮 | 蜗轮蜗杆 |
| |  |  |  |  |

机构运动简图的一般绘制步骤为：

- (1) 确定构件的数目与类型,弄清楚运动传递的路线,分清机架、原动件、从动件；
- (2) 确定运动副的数目与类型；
- (3) 选择合适的投影平面,投影面一般应平行或垂直于大多数构件所在的运动平面；
- (4) 选择合适的比例尺,确定机构运动学尺寸的图示长度；
- (5) 根据尺寸,先绘出位置固定的运动副,即机架上的运动副；
- (6) 选择原动件的某一瞬时位置,根据各构件的相互连接关系及尺寸绘出其他构件及运动副；
- (7) 常用阿拉伯数字依次标识各构件,用大写字母依次标识各运动副,用箭头标识原动件并表明其运动方向。

下面举例说明机构运动简图的画法。

例 2-1 图 2-5(a)所示为颚式破碎机。当曲轴 1 绕轴心 O 连续回转时,动颚板 5 绕轴心 F 往复摆动,从而将矿石轧碎。试绘制此破碎机的机构运动简图。

解 破碎机的原动部分为曲轴 1,工作部分为动颚板 5。顺着运动传递的路线(见图 2-5(b))可以看出,此破碎机由 6 个构件组成,其中曲轴 1 和机架 6 在 O 点转动副连接;曲轴 1 和构件 2 在 A 点转动副连接;构件 2 与构件 3、4 分别在 B 、 D 两点转动副连接;构件 3 还与机架 6 在 E 点处转动副连接;动颚板 5 与构件 4 和机架 6 分别在 C 、 F 点转动副连接。

弄清颚式破碎机的组成情况及工作原理后,选择投影面和比例尺,先定出 O 、 F 、 E 三处转动副(固定铰链)的位置,指定原动件位置,绘出 OA 并标上箭头,再根据尺寸和连接关系

绘出其他部分并进行标注。机构运动简图如图 2-5(b)所示。

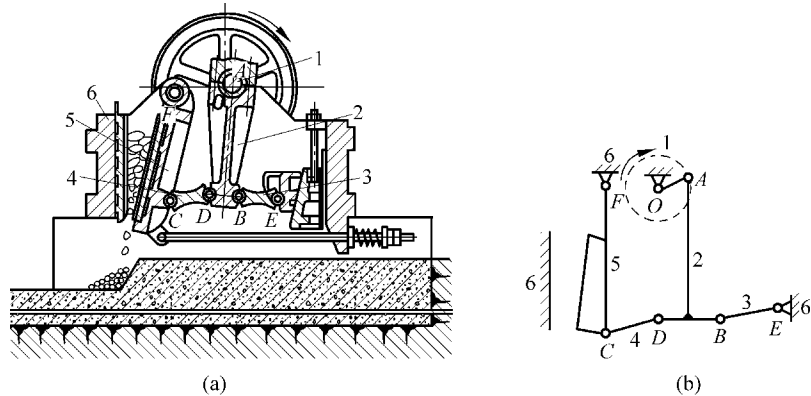


图 2-5 颚式破碎机

1—曲轴；2,3,4—构件；5—动颚板；6—机架

2.3 机构的自由度

1. 机构的自由度及其意义

构件具有的独立运动的数目称为构件的自由度。机构的自由度是指机构中各活动构件相对于机架所具有的独立运动的数目。

这里先看几个例子,如图 2-6 所示的三个构件系统,从直观判断一下它们能否传递运动和力:

图 2-6(a)所示的构件系统不能传递运动和力,若在其中一个构件上强行输入运动将破坏该构件系统,严格来讲,这样的构件系统不能称为机构,工程上常称为桁架。

图 2-6(b)所示构件系统有四个构件,构件 4 为机架。若给定一个独立的运动参数,如给定构件 1 的角位移变化规律 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$,即构件 1 作为原动件,则由于四边形封闭,对应每一个 φ_1 值,构件 2、3 的位置也随之确定,也就是说该系统可以确定地传递运动和力,因此可称为机构。

图 2-6(c)所示系统有 5 个构件,同样以构件 1 作为原动件输入一个独立运动,对应一个给定的 φ_1 值,构件 2、3、4 可能位于位置 $BCDE$,也可能位于位置 $BC'D'E'$,即该系统的运动不确定;但若使构件 4 也成为原动件,在构件 4 上输入另一个独立运动,如给定角位移 φ_4 ,则此构件系统的运动完全确定。

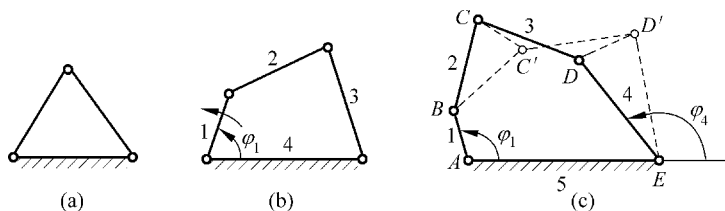


图 2-6 机构的自由度与运动可能性