

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/申向丽,孙源主编. —上海:华东
师范大学出版社,2014. 12
十二五创新机电一体化系列教材
ISBN 978-7-5675-2496-5

I. ①机… II. ①申… ②孙… III. ①机械设计—高
等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 196427 号

机械设计基础

总 主 编 吕景泉
主 编 申向丽 孙 源
项目编辑 吴 余
装帧设计 创图文化

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
网 址 www.ecnupress.com.cn
电 话 021-60821616 行政传真 021-62572105
客服电话 021-62865537 门市(邮购)电话 021-62869887
地 址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口
网 店 <http://hdsdcbs.tmall.com>

印 刷 成都市海翔印务有限公司
开 本 787×1092 16 开
印 张 17
字 数 398 千字
版 次 2014 年 12 月第 1 版
印 次 2014 年 12 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5675-2496-5/F·301
定 价 33.80 元

出 版 人 王 焰

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社客服中心调换或电话 021-62865537 联系)

目 录



绪 论	1
任务 认识机器	1

模块一 机械设计基础知识

项目一 基础知识	9
任务 1 平面机构以及运动简图的绘制	9
任务 2 平面机构的自由度计算	15

模块二 常用机构

项目一 平面四杆机构	23
任务 1 分析牛头刨床横向进给机构	23
任务 2 分析柴油机中的曲柄滑块机构	32
任务 3 设计牛头刨床中的摆动导杆机构	37
项目二 凸轮机构	41
任务 1 认识凸轮机构	41
任务 2 设计凸轮轮廓曲线	48
项目三 其他常用机构	53
任务 1 分析铣床主轴传动系统中的变速机构	53
任务 2 分析牛头刨床的进给运动	58

模块三 常用机械传动

项目一 带传动	67
任务 1 带传动的设计与选用	67
任务 2 带传动的安装与维护	84
任务 3 了解同步齿形带及其型号	89
项目二 链传动	96
任务 1 链传动的设计与选用	96
任务 2 链传动的布置、张紧及润滑	106



项目三 齿轮传动	109
任务1 认识渐开线齿轮	109
任务2 计算标准直齿轮的几何尺寸	113
任务3 掌握渐开线标准齿轮的啮合特性	118
任务4 了解齿轮的结构及加工方法	124
任务5 了解齿轮传动的失效、材料、热处理及润滑	130
任务6 认识其他齿轮传动	135
任务7 认识蜗杆传动	141
任务8 计算蜗杆蜗轮的几何尺寸	148
任务9 掌握轮系的计算	153
任务10 分析电动螺丝刀减速装置	160
项目四 螺旋传动	166
任务1 分析 CA6140 型车床的普通螺旋传动	166
任务2 分析微调镗刀的差动螺旋传动	171
任务3 认识滚珠螺旋传动	175
模块四 联接与轴系零部件	
项目一 螺纹联接	185
任务1 掌握螺纹及其标注代号	185
任务2 认识螺纹联接件	191
任务3 掌握螺纹联接的基本类型	196
项目二 轴毂联接	204
任务 认识轴毂联接	204
项目三 联轴器与离合器	216
任务 选择联轴器	216
项目四 轴	231
任务 认识轴的结构	231
项目五 轴 承	241
任务1 掌握滚动轴承代号	241
任务2 理解滚动轴承的组合设计	254
参考文献	266



绪 论

任务 认识机器

任务目标

- 了解机器、机构、机械、构件、零件的概念和关系；
- 掌握机器的组成和运动副的概念；
- 了解机械传动的分类。

任务引入

在人们的生产和生活中广泛地使用着各种类型的机器,以减轻或代替人们的劳动,提高生产效率、产品质量和生产水平。机器的种类繁多,常见的如自行车、缝纫机、洗衣机、电动机、战斗机、车床、火车、电风扇、打印机等(见图 0-1-1)。它们的构造、性能和用途等各不相同,但从机器的组成分析,又有共同点。什么是机器,机器的定义是什么?为什么说家用洗衣机是机器?机器有哪些基本组成部分?每部分的作用是什么?



图 0-1-1 机器



任务分析

机器种类繁多,各类机器的功用不同,工作原理和结构特点也不相同,但是都有着共同的特征:

- 1. 都是人为的实物组合;
- 2. 组成机器的各实体之间具有确定的相对运动关系;
- 3. 能实现能量转化或做有用的机械功。

凡具备上述三个特征的实物组合就称为机器。

相关知识

一、机器和机构

1. 机器的组成

如图 0-1-2 所示为轿车的组成。

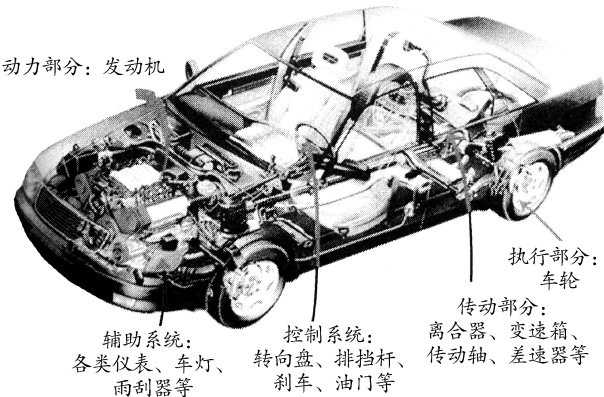


图 0-1-2 轿车的组成

从图 0-1-2 中可以看出,一台完整的机器一般由动力部分、传动部分、执行部分、控制部分和支撑及辅助部分组成。机器的组成框图如图 0-1-3 所示。

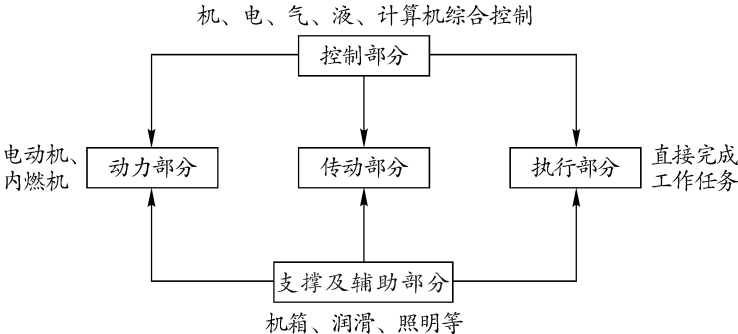


图 0-1-3 机器的组成框图

(1)动力部分 机器工作的动力来源,如图 0-1-2 中的发动机。



- (2)执行部分 直接完成机器预定工作任务的部分,如图 0-1-2 中的车轮。
- (3)传动部分 将动力部分的运动和动力传递给执行部分的中间环节,如图 0-1-2 中的离合器、变速箱、传动轴、差速器等。
- (4)控制部分 是控制机器的其他组成部分,并随时实现或终止机器的各种预定动作的部分,如图 0-1-2 中的转向盘、排挡杆、刹车、油门等。
- (5)支撑及辅助部分 如图 0-1-2 中各类仪表、车灯、雨刮器等。

2. 机器的类型

按照用途不同可把机器分为动力机器、工作机器和信息机器(见表 0-1-1)。

表 0-1-1 机器的类型及应用举例

类 型	特 点	应用举例
动力机器	用以实现其他形式的能量与机械能间的转化	电动机、内燃机等
工作机器	用来做机械功或搬运物品	各类机床、起重机、运输车辆等
信息机器	用来获取或变换信息	照相机、打字机、计算机、复印机等

3. 机构

具有确定相对运动构件的组合,它是用来传递运动和力的构件系统,如图 0-1-4 所示为内燃机中的曲柄滑块机构、齿轮机构、带传动机构和凸轮机构等。

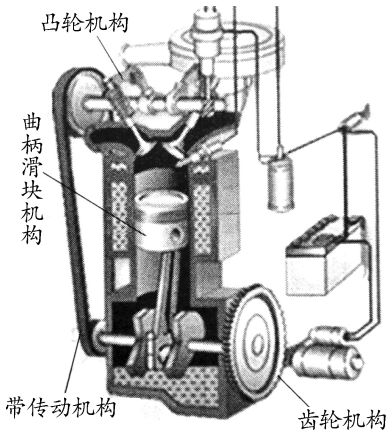


图 0-1-4 单缸内燃机的组成

- 机构和机器是有区别的,主要表现在以下几个方面:
- (1)机构只是一个构件系统,而机器除构件系统外,还包含电气、液压等其他系统。
 - (2)机构只用来传递运动和力,而机器除传递运动和力外,还具有转化或传递能量、物料和信息的功能。
- 如图 0-1-4 所示的单缸内燃机中,曲柄滑块机构将活塞的直线往复运动转化为曲轴的转动,而凸轮机构则将凸轮轴的转动转化为气阀杆的直线往复运动,确保了内燃机能够有规律地进气、排气。因此机器是由机构组成的,而机构却不能像机器一样实现能量转化。若仅从



结构和运动的观点来看,机器与机构之间并无区别,所以统称为机械。

二、零件和构件

1. 零件

零件是指机器中不可拆的单元,如图 0-1-5 所示内燃机连杆上的螺栓、连杆体、连杆盖等。

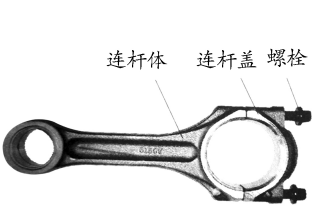


图 0-1-5 内燃机连杆

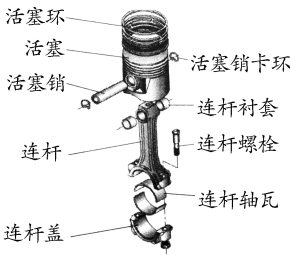


图 0-1-6 活塞连杆组

2. 构件

构件是机构中的运动单元体,如图 0-1-6 中的连杆和活塞。构件和零件也是有区别的,构件是运动的最小单元,零件是加工制造的最小单元。

三、运动副

由两个构件直接接触而组成的可动连接称为运动副,按照运动副接触形式的不同分为高副和低副。运动副的类型及应用特点见表 0-1-2。

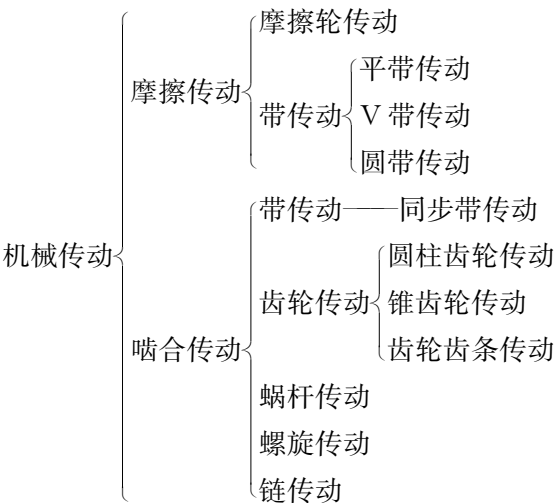
表 0-1-2 运动副的类型及应用特点

类 型	示意图	特 点	应用实例
低副		面接触,容易制造和维修,承载能力大、效率低,但不能传递较复杂的运动	
高副		点或线接触,制造和维修较困难,接触处易磨损、寿命低,能传递较复杂的运动	



四、机械传动的分类

传动部分是机器中最重要的部分。按照传递运动和动力方法的不同,机械传动一般分为以下几类:



任务实施

打开洗衣机机体后盖,如图 0-1-7 所示,观察分析内部结构与控制系统,可看出洗衣机的主要组成部件如下:

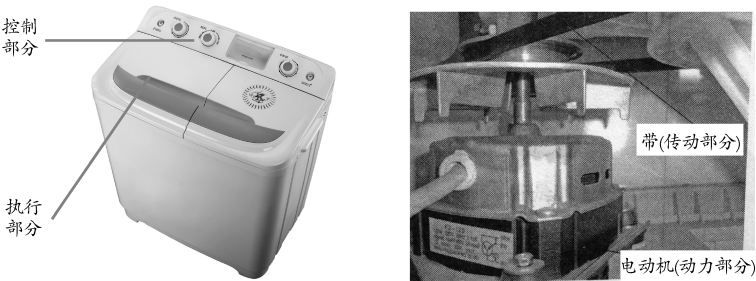


图 0-1-7 家用洗衣机的结构组成

一、波轮——执行部分

波轮是洗衣机的洗涤工作件,形状如圆盘,安装在洗涤桶的底部。波轮的轴从洗涤桶的底部伸出,由电动机通过传送带驱动。

二、洗涤电动机——动力部分

电动机是洗衣机的动力部分,它的质量直接影响洗衣机的质量和使用寿命。

三、传动带——传动部分

洗涤电动机与波轮之间用带传动,通过不同直径的带轮实现减速。



四、控制部分

普通双桶洗衣机的控制系统安装在洗衣机面板上,主要包括洗涤定时器、选择开关、脱水定时器等。

五、支撑及辅助部分

洗衣机的机壳、机盖、进水管、排水管等,属于支撑及辅助部分。

知识链接

中国古代杰出的机械发明

记里鼓车(图 0-1-8)发明于西汉初年,外形为一辆车子,车上设两个木人及一鼓一钟,木人一个司鼓,一个司钟。车上装有一组减速齿轮,与轮轴相连。车行 1 里时,控制击鼓木人的中平轮正好转动一周,木人便击鼓一次;车行 10 里时,控制敲钟木人的上平轮正好转动一周,木人便敲钟一次。坐在车上的人只要聆听这钟鼓声,就可知道车已行了多少路程。记里鼓车的科学原理与现代汽车上的里程表基本相同。记里鼓车是近代里程表、减速器发明的先驱,是科学技术史上的一项重要贡献。

被中香炉(图 0-1-9)是中国古代盛香料熏被褥的球形小炉,又称“香熏球”、“卧褥香炉”、“熏球”。它的球形外壳和位于中心的半球形炉体之间有两层或三层同心圆环。炉体在径向两端各有短轴,支撑在内环的两个径向孔内,能自由转动。同样,内环支撑在外环上,外环支撑在球形外壳的内壁上。炉体、内环、外环和外壳内壁的支撑轴线依次互相垂直。炉体由于重力作用,不论球如何滚转,炉口总是保持水平向上状态。被中香炉的这种结构完全符合现代航空航海中使用的陀螺仪原理,即罗盘悬挂在一种被称为“万向支架”的持平环装置上。这样,无论有多大风浪,船体怎样摆动,也无论在怎样复杂的气流中,飞机如何颠簸,罗盘始终保持水平状态,确保正常工作。其原理与现代陀螺仪中的万向支架相同。



图 0-1-8 记里鼓车



图 0-1-9 被中香炉

思考与练习

1. 机器与机构有什么区别? 试举例说明。
2. 机器通常有哪几部分组成? 各部分起什么作用?
3. 什么是构件? 什么是零件? 构件与零件关系如何? 试举例说明。



模块一

机械设计基础知识



项目一 基础知识



任务1 平面机构以及运动简图的绘制

任务目标

- 了解运动副及机构运动简图的概念；
- 掌握运动副的分类、应用及简图的画法；
- 会分析常用机构的运动及绘制机构运动简图。

任务引入

分析图 1-1-1、图 1-1-2 中组成机器(机构)的各构件之间的连接及运动形式,并根据所学知识绘制出机器(机构)的运动简图。



图 1-1-1 起重机

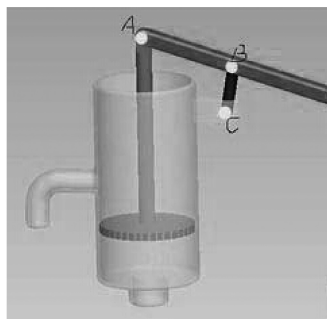


图 1-1-2 手动抽水机构

任务分析

组成机器(机构)的各构件都要以一定的方式与其他构件相互连接,且有一定的相对运动关系。图 1-1-1 所示起重机由四个杆件组成,且各杆件间能相互转动。图 1-1-2 所示手动抽水机构主要由活塞与唧筒组成,且活塞在唧筒内发生移动。通过用简单的线条和符号就可以表示各构件之间的相对运动及运动特征,即用运动简图的形式来表达构件间的关系,减少和避免了在研究或设计机构时因机构复杂的结构外形对运动分析所带来的不便或混乱。如何画机构运动简图,这是本任务要研究的内容。



相关知识

一、运动副

运动副是指两构件直接接触而组成的可动连接。根据两构件之间接触形式(点、线或面)的不同,运动副可分为高副与低副两大类。

1. 高副

凡两构件通过点或线接触而构成的运动副统称为高副。常见的高副如图 1-1-3 所示。

高副的特点及应用:

- (1)点或线接触,接触处易磨损,使用寿命短,但能传递较复杂的运动。
- (2)常用于内燃机的齿轮啮合(见图 1-1-4),旱冰鞋的滑轮。



图 1-1-3 高副

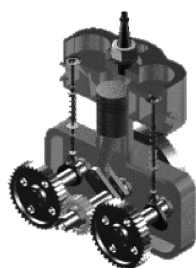


图 1-1-4 内燃机

2. 低副

两构件通过面接触而构成的运动副统称为低副。常见的低副如图 1-1-5 所示。

低副的特点及应用:

- (1)面接触,容易制造和维修,承载能力大,但效率低,不能传递较复杂的运动。
- (2)常用于手动抽水机机构的活塞与唧筒、台虎钳中的螺旋传动等。



a)转动副



b)移动副



c)螺旋副

图 1-1-5 低副

低副还可以根据构成运动副的两构件之间相对运动的不同来分类,如把两构件之间相对运动为转动的运动副称为转动副(见图 1-1-5a),应用于起重机的四个杆件之间(见图 1-1-1);两构件间相对运动为移动的运动副称为移动副(见图 1-1-5b),应用于手动抽水机机构的活塞与唧筒(见图 1-1-2);两构件间相对运动为螺旋运动的



图 1-1-6 台虎钳



运动副称为螺旋副(见图 1-1-5c),应用于台虎钳中的螺旋传动(见图 1-1-6)。

二、机构运动简图

为了便于绘制机构运动简图,运动副常用简单的符号来表示(已制定有国家标准,见 GB 4460—1984)。用以表示机构运动传递情况的简化图形称为机构运动简图。有时,如果只是为了表明机械的结构状况,也可以不要求严格地按比例来绘制简图,通常把这样的简图称为机构示意图。

1. 构件的表示方法

构件是组成机构的运动单元。在机构运动简图中,构件均用直线表示,如图 1-1-7a 所示;若构件固连在一起,则涂以焊缝符号,如图 1-1-7b 所示;阴影线的构件表示机架(固定不动),如图 1-1-7c 所示;小圆圈表示转动副。

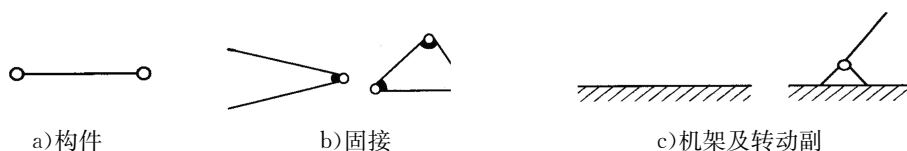


图 1-1-7 构件的表示方法

2. 运动副的表示方法

(1)转动副 两构件组成转动副的表示方法如图 1-1-8 所示。

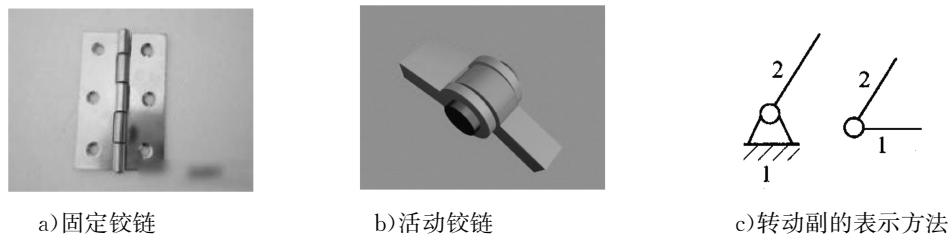


图 1-1-8 转动副及其表示方法

(2)移动副 两构件组成移动副的表示方法如图 1-1-9 所示。

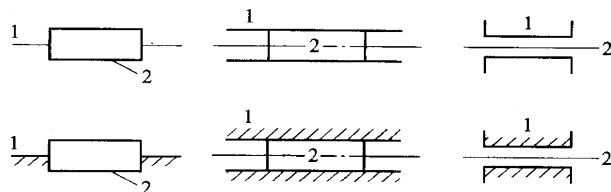


图 1-1-9 移动副的表示方法

(3)螺旋副 两构件组成螺旋副的表示方法如图 1-1-10 所示。

(4)高副 两构件组成平面高副的表示方法如图 1-1-11 所示。

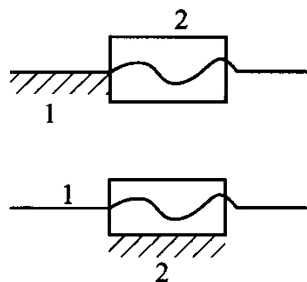
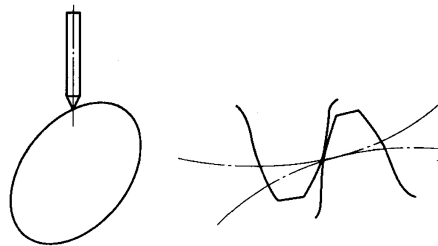


图 1-1-10 螺旋副的表示方法



a) 凸轮副

b) 齿轮副

图 1-1-11 高副的表示方法

(5) 机构运动简图常用符号 机构运动简图常用符号见表 1-1-1。

表 1-1-1 机构运动简图常用符号(摘自 GB 4460—1984)

名称	符号	名称	符号
固定构件		转动副	
两副元素构件		移动副	
三副元素构件		平面高副	
凸轮机构		圆锥齿轮机构	
棘轮机构		蜗杆涡轮机构	



(续表)

名称	符号	名称	符号
外啮合圆柱 齿轮机构		带传动	类型符号, 标注在带的上方 V带 圆带 平带 ▽ ○ —
内啮合圆柱 齿轮机构		链传动	类型符号 标注在轮 连心线上方 滚子链# 齿形链W
齿轮齿条机构			

3. 平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图一般应按下列步骤进行:

- (1)分析机构的组成,明确主动构件、从动构件和机架,并将构件用数字(或字母)编号。
- (2)从主动构件开始,沿运动传递路线,分析各构件间运动副的类型,并确定各构件的运动性质。
- (3)选择视图平面及机构运动简图位置。
- (4)选择适当比例,按照各运动副间的距离和相对位置,用规定的符号将各运动副画出,然后用线条将同一构件上的运动副连接起来。

为了具体说明机构运动简图的画法,下面我们举个例子。

例:试分析图 1-1-12a 所示内燃机各构件间运动副的类型并绘制机构运动简图。

解:各构件间运动副包含有转动副和移动副等低副,齿轮副和凸轮副等高副。机构运动简图如图 1-1-12b 所示。

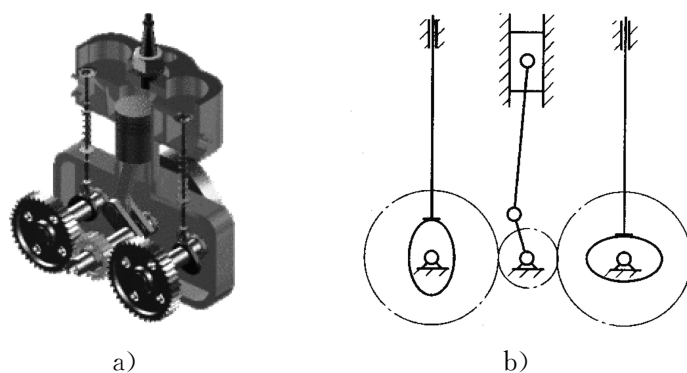


图 1-1-12 内燃机机构运动简图

任务实施

例 1: 试分析图 1-1-13a 所示起重机各构件间运动副的类型并绘制机构运动简图。

解: 各构件间的运动副都为转动副, 机构运动简图如图 1-1-13b 所示。

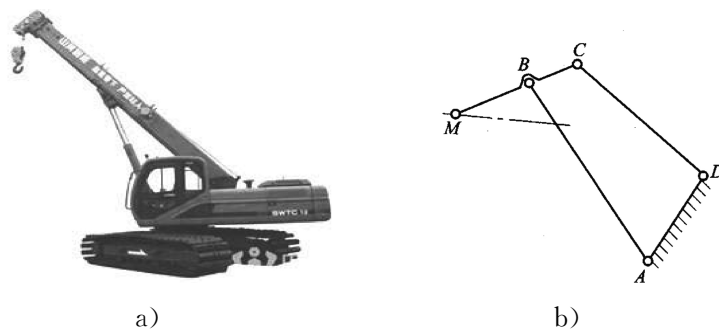


图 1-1-13 起重机机构运动简图

例 2: 试分析图 1-1-14a 所示手动抽水机各构件间运动副的类型并绘制机构运动简图。

解: 各构件间运动副包含有转动副和移动副。杆件 1 和 2, 1 和 4, 2 和 3 构成转动副, 滑块 3 和唧筒构成移动副。机构运动简图如图 1-1-14b 所示。

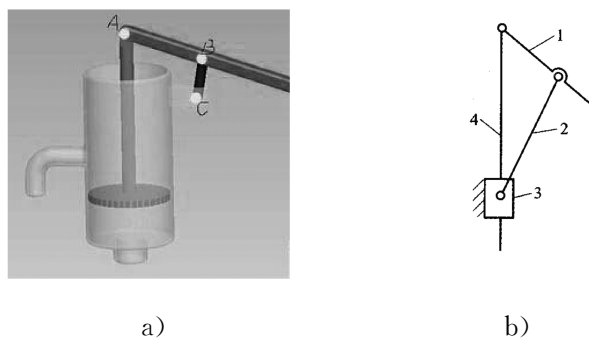


图 1-1-14 手动抽水机机构运动简图



例 3: 试分析图 1-1-15a 所示台虎钳各构件间运动副的类型并绘制机构运动简图。

解: 各构件间运动副包含有转动副、移动副和螺旋副。台虎钳机构运动简图如图 1-1-15b 所示。

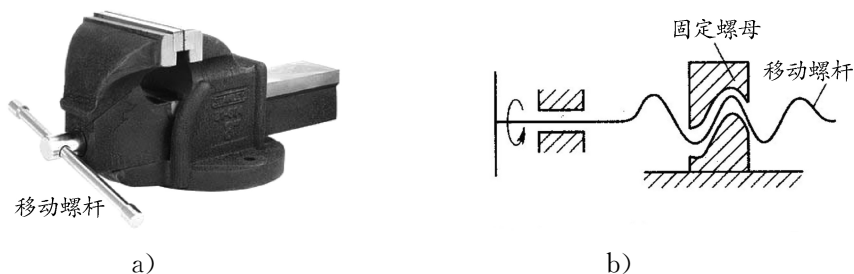
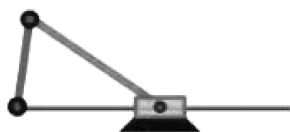


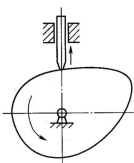
图 1-1-15 台虎钳机构运动简图

思考与练习

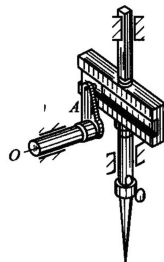
1. 试分析: 题图 1-1-1 所示的定块机构由几个构件和哪些运动副组成?
2. 题图 1-1-2 所示凸轮机构由构件支架、凸轮和从动杆组成。试分析: 有几个运动副? 它们各属于何种运动副?
3. 题图 1-1-3 所示为一缝纫机下针机构, 试绘制其机构运动简图。



题图 1-1-1 定块机构



题图 1-1-2 凸轮机构



题图 1-1-3 缝纫机下针机构

任务 2 平面机构的自由度计算

任务目标

- 了解计算平面机构自由度时应注意的事项;
- 掌握机构具有确定运动的条件、机构自由度计算;
- 会分析机构是否具有确定的运动。

任务引入

为了按照一定的要求进行运动的传递及变换, 当机构的原动件按给定的运动规律运动



时,该机构中其余构件的运动也都应是完全确定的。一个机构在什么条件下才能实现确定的运动呢?为了说明这个问题,下面我们先来分析两个例子图 1-1-16、图 1-1-17。同时计算图 1-1-26 内燃机的自由度。

任务分析

图 1-1-16 所示为由四个构件组成的铰链四杆机构。在此机构中,如果给定一个独立的运动参数,例如构件 1 的角位移规律 $\varphi_1(t)$,则不难看出,此时其余构件的运动便都完全确定。而图 1-1-17 所示为铰链五杆机构。在此机构中,如果也只给定一个独立的运动参数,如构件 1 的角位移规律 $\varphi_1(t)$,此时构件 2、3、4 的运动并不确定。例如当构件 1 占有位置 AB 时,构件 2、3、4 可以占有位置 $BCDE$,也可以占有位置 $BC'D'E$,或其他位置。但是,如果再给定另一个独立的运动参数,如构件 4 的角位移规律 $\varphi_4(t)$,即同时给定两个独立的运动参数,则不难看出,此机构各构件的运动便完全确定了。

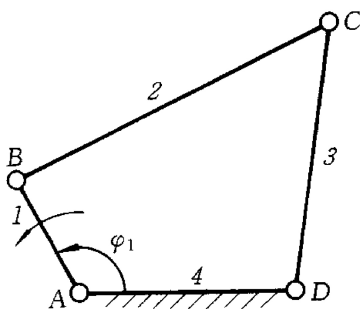


图 1-1-16

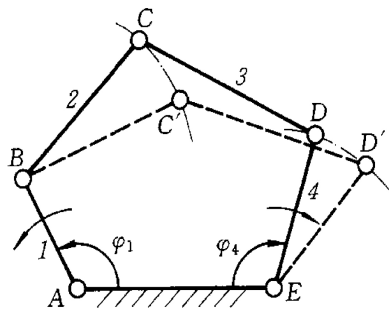


图 1-1-17

相关知识

一、机构具有确定运动的条件

机构具有确定运动时所必须给定的独立运动参数的数目,称为机构的自由度。上述铰链四杆机构的自由度为 1,而铰链五杆机构的自由度为 2。由于一般机构的原动件都是和机架相连的,对于这样的原动件,只能给定一个独立的运动参数。

所以,在此情况下,为了使机构具有确定的运动,则机构原动件的数目应等于机构自由度的数目。这就是机构具有确定运动的条件。当机构不满足这一条件时,如果机构的原动件数小于机构的自由度,机构的运动将不确定。如果原动件数大于机构的自由度,则将导致机构中最薄弱环节的损坏。

二、机构自由度的计算

在平面机构中,各构件只做平面运动。所以,每个自由构件具有 3 个自由度。而每个平面低副(转动副和移动副)各提供 2 个约束,每个平面高副只提供 1 个约束。设平面机构中



共有 n 个活动构件(机架不是活动构件),在各构件尚未构成运动副时,它们共有 $3n$ 个自由度。而当各构件构成运动副之后,设共有 p_l 个低副和 p_h 个高副,它们将提供 $(2p_l + p_h)$ 个约束,故机构的自由度为:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) \quad (1-1-1)$$

利用这一公式不难算出前述四杆和五杆铰链机构的自由度分别为 1 和 2,与前文分析一致。

三、计算平面机构自由度时应注意的事项

在计算机构的自由度时,往往会遇到按公式计算出的自由度数与机构的实际自由度数不相符合的情况。这是因为在计算机构的自由度时,还有某些应注意的事项未能正确处理的缘故。现将应注意的主要事项简述如下:

1. 要正确计算运动副的数目

在计算机构的运动副数时,必须注意如下几种情况:

(1)两个以上的构件同在一处以转动副相联接,就构成了所谓复合铰链。如图 1-1-18a 所示,就是 3 个构件组成的复合铰链,由图 1-1-18b 可以看出,它实际为 2 个转动副。同理,由 m 个构件组成的复合铰链,共有 $(m-1)$ 个转动副。在计算机构的自由度时,应注意机构中是否存在复合铰链。

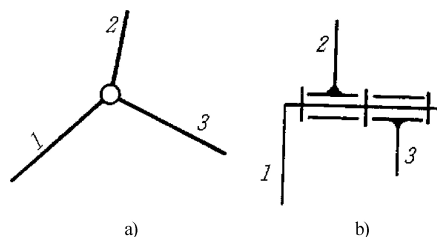


图 1-1-18

(2)如果两构件在多处接触而构成移动副,且移动方向彼此平行或重合(图 1-1-19),则只能算一个移动副。如果两构件在多处相配合而构成转动副,且转动副轴线重合(图 1-1-20),则只能算一个转动副。

(3)如果两构件在多处相接触而构成平面高副,且各接触点处的公法线彼此重合(图 1-1-21),则只能算一个平面高副。

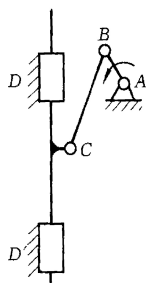


图 1-1-19

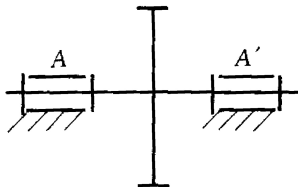


图 1-1-20

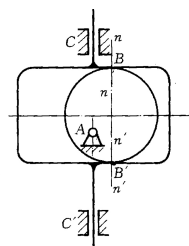


图 1-1-21



(4) 如果两构件在多处接触而构成平面高副, 但各接触点处的公法线方向并不彼此重合(图 1-1-22), 则相当于一个低副(图 1-1-22a 相当于一个转动副, 图 1-1-22b 相当于一个移动副)。

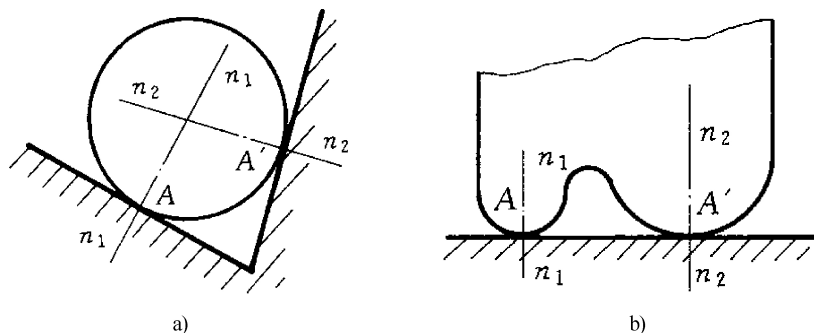


图 1-1-22

2. 要除去局部自由度

在有些机构中, 某些构件所产生的局部运动, 并不影响其他构件的运动。我们称这种局部运动的自由度为局部自由度。例如在图 1-1-23 所示的滚子推杆凸轮机构中, 为了减少高副元素的磨损, 在推杆 3 和凸轮 1 之间装了一个滚子 2。滚子 2 绕其自身轴线是否转动, 并不影响其他构件的运动, 因而它是一种局部自由度。在计算机构的自由度时, 应从机构自由度的计算公式中将局部自由度减去。如设机构的局部自由度数目为 F' , 则机构的实际自由度应为:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) - F' \quad (1-1-2)$$

对于图示凸轮机构其自由度为:

$$F = 3 \times 3 - (2 \times 3 + 1) - 1 = 1$$

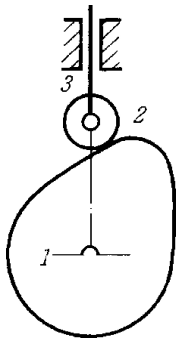


图 1-1-23

3. 要除去虚约束

在机构中, 有些运动副带入的约束, 对机构的运动起重复约束作用, 我们把这类约束称为虚约束。在计算机构的自由度时应将这类约束除去。

例如在图 1-1-24a 所示的平行四边形机构中, 连杆 3 做平动, BC 线上各点的轨迹均为圆心在 AD 线上而半径等于 $\overline{AB}$ 的圆周。该机构的自由度为:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) - F' = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0) = 1$$



现如图 1-1-24b 所示,在机构中增加一个构件 5 和两个转动副 E、F。这对该机构的运动并不产生任何影响。但此时机构的自由度却变为:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) - F' = 3 \times 4 - (2 \times 6 + 0) - 0 = 0$$

这是因为增加一个活动构件,虽引入了 3 个自由度,但却因为增加了两个转动副而引入了 4 个约束,即多引入一个约束,而这个约束对机构运动起重复约束作用,因而是一个虚约束。在计算机构自由度时,应从机构的约束数中减去虚约束,则机构的自由度为:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) - F' \quad (1-1-3)$$

故图 1-1-24b 所示机构的自由度为:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) - F' = 3 \times 4 - (2 \times 6 + 0 - 1) - 0 = 1$$

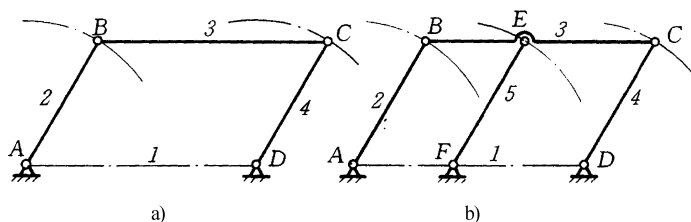


图 1-1-24

机构中的虚约束常发生在下列情况:

(1)在机构中,如果用转动副连接的是两构件上运动轨迹相重合的点,该联接将带入 1 个虚约束。如上例所述就是这种情况。又如图 1-1-25 所示的机构简图中, $\angle CAD = 90^\circ$, 在此机构的运动过程中,构件 CD 线上各点的轨迹均为椭圆,而其上点 C_2 轨迹为沿 y 轴的直线,与 C_3 点的轨迹重合,故转动副 C 将带入 1 个虚约束。分析转动副 D 可得出类似结论。

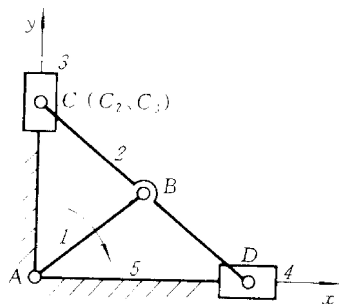


图 1-1-25

(2)在机构运动的过程中,若两构件上某两点之间的距离始终保持不变,又用双转动副杆将此两点相联,也将带入 1 个虚约束。在图 1-1-25 中, A、B 两点之间的距离始终不变,用带转动副的杆 1 将该两点相联,故将带入 1 个虚约束。图 1-1-24b 所示的情况也可以说是属于此种情况。

任务实施

例:试计算图 1-1-26 所示内燃机的自由度。



解:由其机构运动简图不难看出,此机构共有 6 个活动构件(即活塞 10、连杆 3、曲轴 4、凸轮轴 7、进排气阀推杆 8 与 9),7 个低副(即转动副 A 、 B 、 C 、 D 和活塞、进排气阀推杆与缸体构成的 3 个移动副),3 个高副(1 个齿轮高副,进排气阀推杆与凸轮构成的 2 个凸轮高副),故机构的自由度为:

$$F=3n-(2p_l+p_h)=3\times 6-(2\times 7+3)=1$$

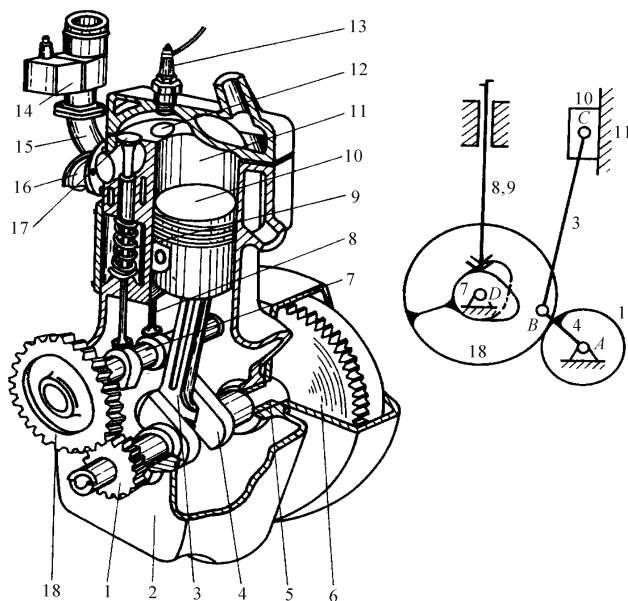
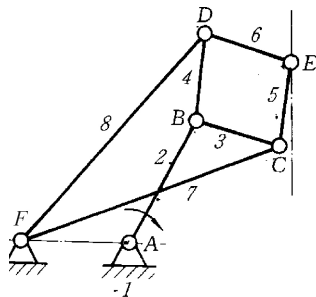


图 1-1-26 内燃机运动简图

思考与练习

1. 试计算:题图 1-1-4 所示直线机构的自由度。



题图 1-1-4