

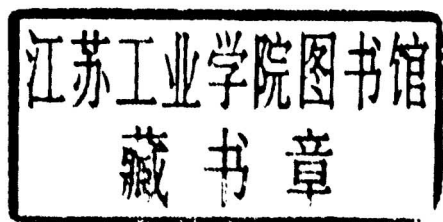
机械设计基础

主编 曾海泉 杨德武 鄢利群 陈民弟

主审 邵泽波 王凤兰 唐显达

机械设计基础

主编 曾海泉 杨德武 鄢利群 陈民弟
主审 邵泽波 王凤兰 唐显达



吉林科学技术出版社

机械设计基础

曾海泉 杨德武 鄢利群 陈民弟 主编

责任编辑:齐 郁

封面设计:何 欢

出版	吉林科学技术出版社	787 × 1092 毫米 16 开本	23 印张	565 000 字
发行		2002 年 7 月第 1 版	2002 年 7 月第 1 次印刷	
印刷	吉林电力职工大学印刷厂	ISBN 7-5384-2176-9/TH · 29	定价: 32.00 元	

社址 吉林科学技术出版社 长春市人民大街 124 号

邮编 130021

电子信箱 JLKJCBS@public.cc.jl.cn

电话 5635175 传真 5635185

绪 论

一、机械及其组成

机械是人类在生产实践中,为了减轻劳动强度,改善劳动条件,提高产品质量和劳动生产率而创造出来的生产工具。随着人类文明的不断进步,人们对物质文化的需求越来越高,各行各业使用的机械也越来越多,人类对机械的依赖程度也日益加深,可以说,现代化生产离不开机械。机械工业是国民经济中的一个重要门类,它为国民经济各部门提供技术装备。因此,机械工业的发展水平是一个国家和地区社会生产力水平的重要标志之一。

机械的种类繁多,其构造、性能和用途各不相同,在讲述它们的组成之前,先介绍有关术语:

(1) 零件 任何机器都是由许多零件组成的。若将一部机器进行拆卸,拆到不可再拆的最小单元就是零件。如从制造工艺角度看,零件是加工的最小单元。

(2) 构件 一个构件通常是由若干零件组成的,如内燃机中的连杆,其结构如图 0-1 所示,它由连杆体 1、连杆头 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5 和螺母 6 等零件组成。这些零件刚性地联接在一起组成一个刚性系统,机器运动时作为一个整体运动。所以,构件是由若干零件组成的一个刚性系统,是运动的最小单元。当然也有的构件仅由一个零件组成。

(3) 机构 机构是由若干构件组成的一个人造的构件组合体。机构的功用在于传递运动或改变运动的形式。如图 0-2 所示的连杆机构,就是将曲柄 1 的回转运动转变为摇杆 3 的往复摆动;图 0-3 所示的凸轮机构,能将凸轮 1 的连续回转运动转变为推杆(锤头)2 的往复直线运动。组成机构的各构件之间的相对运动是有规律的。

下边以内燃机为例来讲述机械的组成。如图 0-4 所示,它由气缸体(机架)11、曲轴 4、连杆 3、活塞 10、进气阀 17、排气阀 12、推杆 8 和 9、凸轮 7 及齿轮 1 和 18 等组成。当燃气推动活塞 10 做往复移动时,通过连杆 3 使曲轴 4 做连续转动,从而将燃气的热能转变成曲轴的机械能。为了保证曲轴 4 的连续运转,通过齿轮、凸轮、推杆和弹簧等的作用,按一定的运动规律启闭阀门,以输入燃气和排出废气。细加分析可以发现,该内燃机由 3 种机构组成:①由机架 11、曲轴 4、连杆 3 和活塞 10 构成的曲柄滑块机构,它将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动;②由机架 11、凸轮 7 和推杆 8(或 9)构成的凸轮机构,它将凸轮的连续运转变成推杆的往复移动;③由机架 11、齿轮 1、18 构成的齿轮机构,其作用是改变转速的大小和方向。因此,我们可以认为:

从运动的角度来说,机械是由机构组成的。机构能实现确定的相对运动,从而完成运动的传递或变换。如内燃机中的曲柄滑块机构能把活塞的往复移动转换成为曲轴的旋转运动;齿轮机构实现曲轴和凸轮轴之间的转速变换;凸轮机构把凸轮轴的转动转换成推杆的往复移动。

从制造加工的角度来说,机械是由零件组成。因机构是由构件组成,而构件又是由零件组成,只有零件才是最小的加工单元,一切机械均可拆分成有限多个零件。为了便于加工、装配及维修,若干个零件可以组成一个部件,进行整体的加工、装拆及检测。有的部件甚至包含几个机构,几个小部件还可以组成一个大部件。

机械中普遍使用的机构,如连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等,称为常用机构。在各种机械

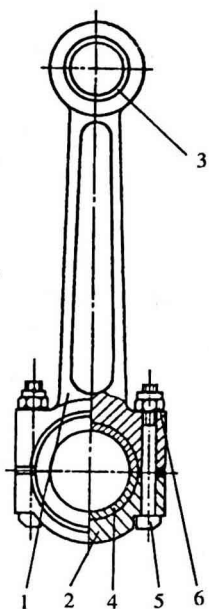


图 0-1 连杆

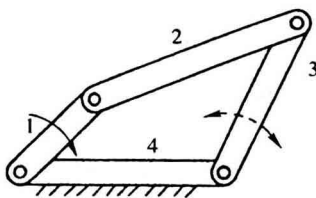


图 0-2 连杆机构

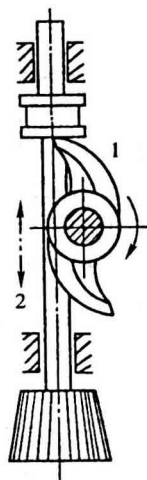
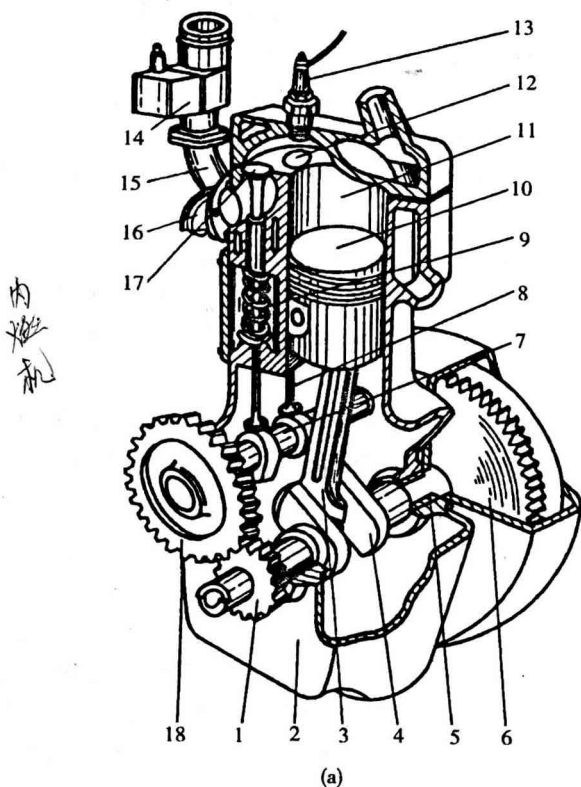
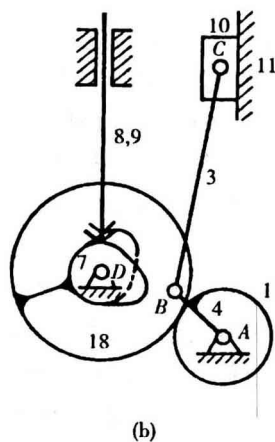


图 0-3 凸轮机构



(a)



(b)

图 0-4 气缸示意图

中经常使用的零件,如齿轮、轴、螺栓等,称为通用零件。只能在一定类型的机械中使用的零件,如内燃机中的曲轴、活塞等称为专用零件。有一些零(部)件在尺寸、材料、结构和性能上已

标准化和系列化,如螺栓、滚动轴承等,这类零(部)件称为标准零(部)件。

二、本课程的内容、性质和任务

1. 本课程的研究内容

机械设计基础课程的主要研究内容是:机械设计的基本原则、基本理论及方法;常用机构、机械传动和通用机械零件的工作原理、性能、结构特点、设计计算方法。此外,还简要介绍相关国家标准及规范的运用及一些标准零(部)件的选择原则和方法。

2. 本课程的性质和任务

“机械设计基础”是一门旨在培养学生机械设计能力的技术基础课。

随着科学技术的进步和生产过程的机械化、自动化水平的不断提高,在各个领域中机械的应用日益广泛,对于工程技术人员来说,必将遇到机械设备的使用、维护、管理问题,并且需要解决技术革新中碰到的一般机械传动的设计问题。这就要求各个专业的工程技术人员,都应具备一定的机械方面的知识,才能更好地为国民经济现代化服务。

通过本课程的学习,应达到的基本要求是:

(1)掌握机构的结构原理、运动特性和机械动力学的基本知识,初步具有分析和设计基本机构的能力,并对机械运动方案的确定有所了解。

(2)掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用和设计计算的基本知识,并初步具有设计一般简单机械及常用机械传动装置的能力。

(3)具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

本课程需要综合应用许多先修课程的知识,如机械制图、金属工艺学、理论力学、材料力学等,故涉及的知识面较广且偏重于应用。因此,学习时应重视理论联系实际,重视基本技能的训练,注意学习研究分析和解决问题的方法,力求运用本课程所学知识解决具体的机构和一般简单机械及其零部件的设计问题。

目 录

绪论	1
✓第一章 机构的结构分析与速度分析	1
第一节 机构的组成	1
第二节 机构运动简图	3
第三节 平面机构自由度的计算	5
第四节 平面机构的组成原理、结构分类及结构分析	9
第五节 速度瞬心及其在平面机构速度分析中的应用	11
✓第二章 连杆机构 <i>曲柄摇杆、双曲柄、双摇杆</i>	18
第一节 平面连杆机构的特点 <i>曲柄存在条件及运算</i>	18
第二节 平面四杆机构的类型和应用	19
第三节 平面四杆机构曲柄存在的条件	24
第四节 平面四杆机构的急回运动、压力角及死点位置 <i>具有急回运动的机构(3种)</i>	26
第五节 平面四杆机构的设计	29
第三章 凸轮机构	36
第一节 凸轮机构的应用和分类	36
第二节 从动件常用的运动规律	38
第三节 凸轮轮廓曲线的设计	42
第四节 凸轮机构基本参数的确定	49
✓第四章 齿轮机构	53
第一节 齿轮机构的特点和分类	53
第二节 齿廓啮合基本定律	54
第三节 渐开线齿廓的啮合性质	55
第四节 渐开线齿轮各部分的名称和尺寸	59
第五节 渐开线齿轮的啮合传动	62
第六节 渐开线齿轮的加工方法及变位齿轮	64
第七节 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	67

第八节 圆锥齿轮机构	72
✓第五章 轮系	76
✕第一节 轮系及其分类	76
第二节 轮系的传动比	77
第三节 轮系的应用	81
第四节 几种常用的行星传动简介	84
第六章 常用间歇机构	89
第一节 棘轮机构	89
第二节 槽轮机构	91
第三节 不完全齿轮机构	93
第四节 凸轮间歇运动机构	93
第七章 机械的平衡与调速	95
第一节 机械的平衡	95
第二节 机械速度波动的调节	103
✕第八章 机械零件设计的基础知识	112
第一节 机械设计概述	112
第二节 机械零件的主要失效形式及计算准则	114
第三节 机械零件的材料及制造工艺性	116
第四节 机械零件的设计方法及步骤	123
第五节 机械零件设计中的标准化、通用化和系列化	124
第六节 机械零件的强度	124
第七节 摩擦、磨损及润滑	132
第九章 螺纹联接	145
第一节 螺纹	145
第二节 螺纹联接的类型和标准联接件	147
第三节 螺纹联接的预紧和防松	152
第四节 螺栓组联接的结构设计及受力分析	155
第五节 单个螺栓的强度计算	160
第六节 提高螺栓联接强度的措施	168
✓第十章 轴毂联接	175
第一节 键、花键和销联接	175
第二节 过盈配合联接	181

✓★	第十一章 齿轮传动	188
	第一节 齿轮传动的失效形式和计算准则	188
	第二节 齿轮材料及其热处理	190
	第三节 齿轮传动的载荷计算	193
	第四节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	198
	第五节 齿轮精度、设计参数选择及许用应力	204
	第六节 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	214
	第七节 标准直齿圆锥齿轮的强度计算	219
	第八节 变位齿轮传动强度计算概述	221
	第九节 齿轮的结构设计	222
	第十节 齿轮传动的润滑	224
	第十二章 蜗杆传动	228
	第一节 蜗杆传动的类型及特点	228
	第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	232
	第三节 蜗杆传动的失效形式、设计准则及常用材料	238
	第四节 普通圆柱蜗杆传动承载能力计算	238
	第五节 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	244
	第六节 普通圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	248
✓	第十三章 带传动	252
	第一节 概述	252
	第二节 带传动的基本理论	254
	第三节 V带传动的设计	259
	第四节 V带传动的张紧	268
	第五节 V带轮设计	269
	第十四章 链传动	273
	第一节 链传动的特点及应用	273
	第二节 滚子链的结构特点	273
	第三节 链传动的运动特性	275
	第四节 链传动设计约束分析	277
	第五节 链传动的设计计算	280
	第六节 链传动的布置、张紧和润滑	282
	第十五章 滑动轴承	287
★	第一节 滑动轴承的特点及类型	287

第二节	滑动轴承的结构形式	287
第三节	滑动轴承的失效形式、轴承材料及轴瓦结构	289
第四节	滑动轴承的润滑	294
第五节	非液体润滑滑动轴承的设计计算	297
第六节	液体动压润滑轴承	298
第七节	其他形式滑动轴承简介	300
第十六章	滚动轴承	304
第一节	概述	304
第二节	常用滚动轴承的类型、代号及选择	305
第三节	滚动轴承的选择计算	311
第四节	滚动轴承的静强度计算	317
第五节	滚动轴承的组合设计	319
第十七章	轴	325
第一节	轴的分类	325
第二节	轴的结构设计	328
第三节	轴的强度计算	332
第四节	轴的刚度计算	337
第五节	轴的共振和临界转速的概念	337
第十八章	联轴器和离合器	344
第一节	联轴器	344
第二节	离合器	350

第一章 机构的结构分析与速度分析

第一节 机构的组成

一、运动副

当构件组成机构时,需要以一定的方式把各个构件联接起来,每个构件至少必须和另一个构件相联接,这种联接不能是刚性的,必须能产生相对运动。我们把使两个构件直接接触并能产生相对运动的联接,称为运动副。例如:图 0-4a 中,活塞 10 和气缸 11 组成运动副,齿轮 1 和齿轮 18 组成运动副。

二、运动副的分类

两构件组成运动副,不外乎通过点、线或面的接触来实现,按照接触特性,通常把运动副分为低副和高副两类。

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副,称为低副。平面机构中,低副又分为转动副和移动副两种形式。

(1)转动副 组成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动,这种运动副称为转动副或铰链。如图 1-1 所示。

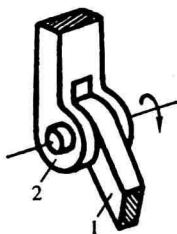


图 1-1 转动副

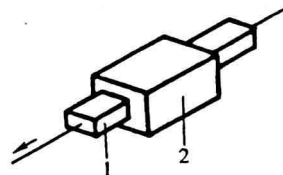


图 1-2 移动副

(2)移动副 组成运动副的两个构件只能沿某一轴线相对移动,这种运动副,称为移动副。如图 1-2 所示。

2. 高副

两构件通过点或线组成的运动副,称为高副。如图 1-3 所示。

除上述平面运动副之外,机械中还常见到如图 1-4a 所示的螺旋副和图 1-4b 所示的球面副(又称为球铰),这些运动副两构件间的相对运动为空间运动,因此属于空间运动副。本章只研究平面机构和平面运动副。空间机构及运动副不作讨论。

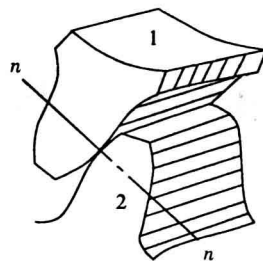
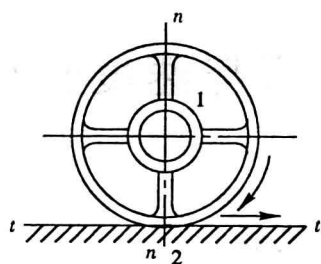
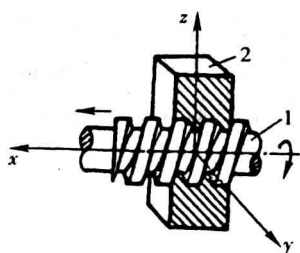
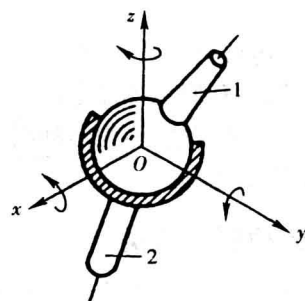


图 1-3 高副

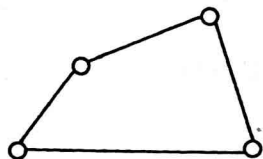


(a)



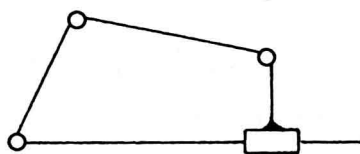
(b)

图 1-4 空间运动副

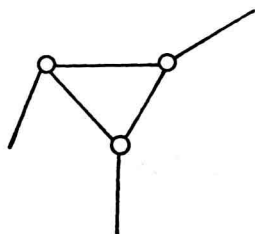


$$3n - (2P_L + P_H)$$

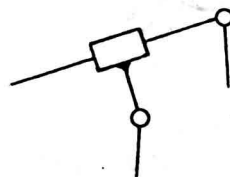
$$= 12 - 2 \times 4 = 4$$



(b)



(c)



(d)

图 1-5 运动链

三、运动链

构件通过运动副的联接而构成的相对可动的系统,称为运动链。如组成运动链的各个构件构成了首末封闭的系统,则称其为闭式运动链,简称闭链。如图 1-5a, 1-5b 所示。如组成

运动链的构件未构成首末封闭的运动链,则称其为开式运动链,简称开链。如图 1-5c, 1-5d 所示。在机械中,一般采用闭链,开链多在机械手中应用。

四、机构

在运动链中,如果将其某一构件加以固定,则该运动链便成为机构。机构中的其余构件均相对于机架而运动。机架是一个相对固定的构件(并非绝对不动)。机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件,而其余活动构件称为从动件。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律、机构的结构及构件的尺寸。

第二节 机构运动简图

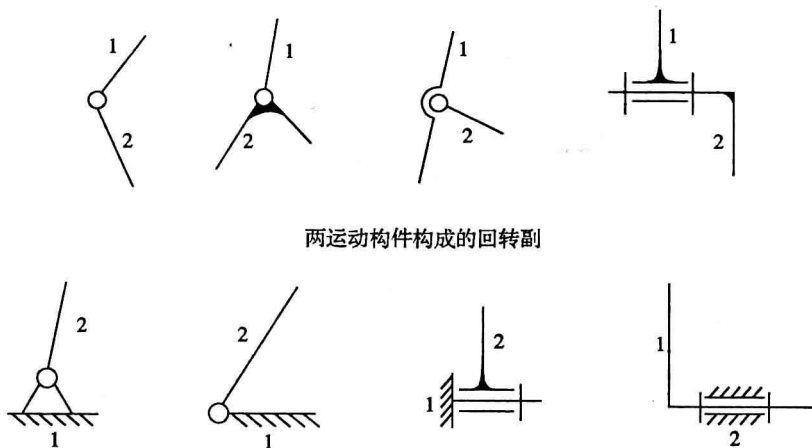
一、机构运动简图

机构的外形和结构往往都很复杂,在对机构进行运动分析时,为了使问题简化,有必要撇开那些与运动无关的构件外形和运动副的具体构造,仅用简单线条和符号来表示构件和运动副,并按比例定出各运动副的位置,这种说明机构各构件间相对运动关系的简化图形,称为机构运动简图。

二、机构运动简图的表示方法

1. 运动副的表示方法

(1) 如图 1-6 所示为机构运动简图中回转副的表示方法。



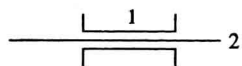
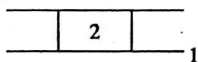
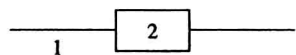
两运动构件构成的回转副

两构件之一为固定时(机架)的回转副

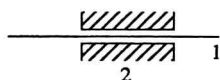
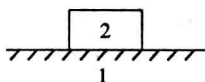
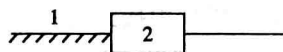
图 1-6 回转副的表示方法

(2) 如图 1-7 所示为机构运动简图中移动副的表示方法。

(3) 如图 1-8 所示为机构运动简图中高副的表示方法。



两运动构件构成的移动副



两构件之一为固定时（机架）的移动副

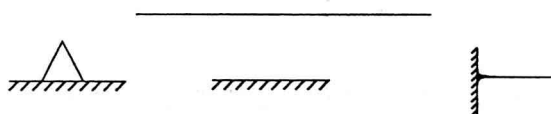
图 1-7 移动副的表示方法



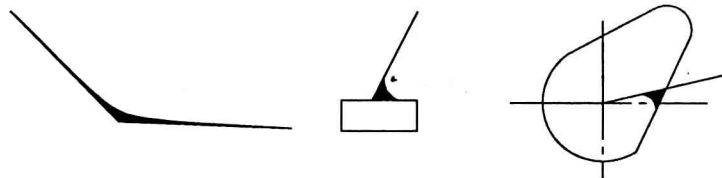
图 1-8 高副的表示方法

2. 构件的表示方法

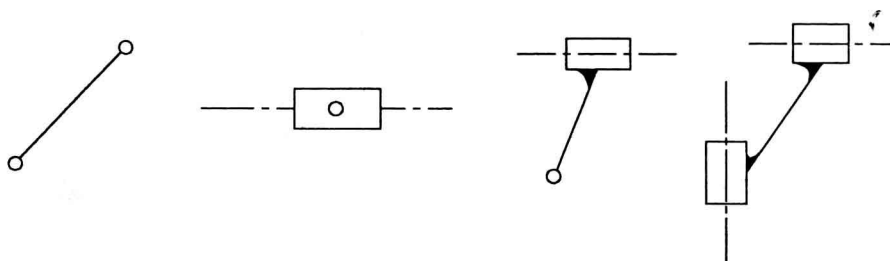
杆、轴类
构件、固
定构件



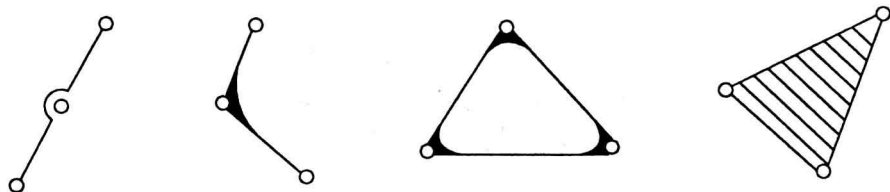
同一构件



两副构件



三副构件



三、机构运动简图的绘制

在绘制机构运动简图时,首先要把该机构的实际构造和运动传递情况弄清楚。为此,首先应确定原动件和执行部分,然后再循着运动传递的路线弄清原动件的运动是怎样经过传动部分传递到执行部分的,从而认清该机械是由多少构件组成的?各构件之间组成了何种运动副?这样才能正确地绘制出其机构运动简图。

为了具体说明机构运动简图的画法,下面举例说明。

例 1-1 试绘制图 0-4a 所示内燃机的机构运动简图。

解 内燃机的主体机构是由气缸 11,活塞 10,连杆 3 和曲柄 4 组成的曲柄滑块机构。此外还有齿轮机构(件 1 和件 18),凸轮机构(件 8 和件 12)等等。

在燃气的压力作用下,活塞 10 首先运动,然后通过连杆 3,使曲轴 4 输出回转运动,为了控制进气和排气,由固装于曲轴 4 上的小齿轮 1 带动固装于凸轮轴 7 上的大齿轮 18,使凸轮轴回转,再由凸轮轴 7 上的 2 个凸轮,分别推动推杆 8、9,以控制进气阀 12 和排气阀 17。

活塞 10 和气缸 11 组成移动副,连杆 3 和活塞 10 组成回转副。连杆 3 和曲轴组成回转副,曲轴(及固装的齿轮 1)和缸体组成回转副,齿轮 1 和齿轮 18 组成高副,齿轮 18(及同一轴上的凸轮 7)和缸体组成回转副,凸轮 7 和推杆 8(9)组成高副,推杆 8(9)和缸体组成移动副。

弄清内燃机的构造情况后,便不难绘制其机构运动简图,如图 0-4b 所示。

第三节 平面机构自由度的计算(公式)

为了按照一定的要求进行运动的传递和变换,当机构的原动件按给定的运动规律运动时,该机构中的其余构件的运动也必须是完全确定的。为了使机构中各构件具有确定的相对运动,就必须了解机构的自由度。

一、平面机构自由度的计算公式

在平面机构中,各构件只作平面运动,所以,每个自由构件具有 3 个自由度。当构件以运动副相联时,每个平面低副将引入 2 个约束,使构件失去 2 个自由度,每个平面高副只引入 1 个约束,使构件失去 1 个自由度。若机构中含有 n 个活动构件(不含机架),在各构件没有组成运动副之前,共有 $3n$ 个自由度,而当构件间组成 P_L 个低副, P_H 个高副后,它们将共引入 $(2P_L + P_H)$ 个约束,故机构的自由度 F 为

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

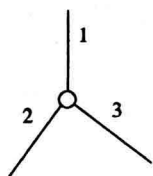
二、机构自由度的计算

式 1-1 为计算机构自由度的基本公式,在计算实际机构的自由度时,还需要注意以下几个方面的问题。

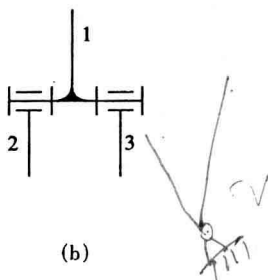
1. 复合铰链

当两个以上的构件同在一处以转动副相联接,就构成复合铰链。如图 1-9a 所示,就是 3 个构件组成的复合铰链,由图 1-9b 可以看出,它实际是 2 个转动副。同理,由 K 个构件组成的复合铰链,共有 $(K-1)$ 个转动副。在计算机构自由度时,应注意机构中是否存在复合铰链。

例 1-2 计算图 1-10 所示机构的自由度。



(a)



(b)

图 1-9 复合铰链

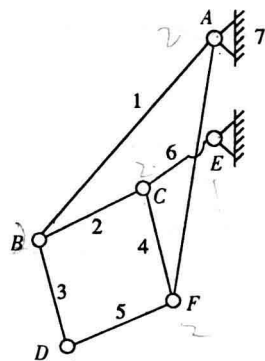


图 1-10 圆盘锯机构简图

解 此机构在 A、B、C、F 四处都是由 3 个构件组成的复合铰链,各具有 2 个回转副,故机构中:

$$n = 7 \quad P_L = 10 \quad P_h = 0$$

自由度

$$F = 3n - (2P_L + P_h) = 3 \times 7 - (2 \times 10 + 0) = 1$$

2. 局部自由度

在某些机构中,某些构件会出现与其它构件运动无关的局部运动,我们称这种局部运动的自由度为局部自由度,用 F' 表示。

例如:图 1-11 所示偏置直动滚子从动件盘形凸轮机构,为了减少高副的磨损,而改滑动摩擦为滚动摩擦,在推杆 2 和凸轮 1 之间加了一个滚子 4,滚子 4 绕其自身轴线是否转动,并不影响其他构件的运动,因而其自转是局部自由度。在计算机构的自由度时,应从机构的自由度计算公式中,将局部自由度减去,即机构的实际自由度应为

$$F = 3n - (2P_L + P_h) - F' \quad (1-2)$$

对于图 1-11 所示的凸轮机构,其自由度为

$$F = 3 \times 3 - (2 \times 3 + 1) - 1 = 9 - 7 - 1 = 1$$

3. 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限制作用,我们把这种对机构的运动不起限制作用的重复约束称为虚约束,用 P' 表示。在计算机构自由度时,要将虚约束去掉。

虚约束是构件间几何尺寸满足某些特殊条件的产物。平面机构的虚约束常出现在下列场合。

(1) 两个构件组成多个导路平行的移动副时,对构件的自由度而言,只有 1 个移动副在起约束作用,其余视为虚约束。如图 1-12a、1-12b 所示。

(2) 两个构件组成多个轴线重合的回转副时,应视为 1 个回转副在起作用。如图 1-12c 所示。

(3) 在机构中,当两点距离始终保持不变而用 1 个构件 2 个低副将其相联时,则引入虚约束。

如图 1-13a 所示的平行四边形机构中,连杆 2 做平动,BC 线上各点的轨迹,均为圆心在 AD 线上而半径等于 AB 的圆周,该机构的自由度为

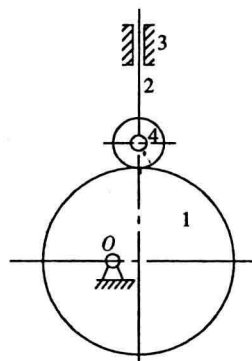


图 1-11 盘形凸轮机构简图

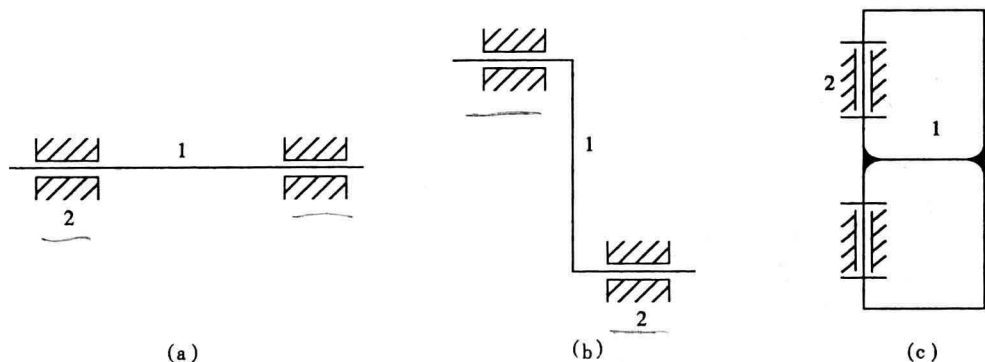


图 1-12 虚约束

$$F = 3n - (2P_L + P_h) - F' = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0) - 0 = 9 - 8 = 1$$

现在如图 1-13b 所示, 在机构中增加一个构件 5 和 2 个转动副 E 、 F , 且 $\overline{BE} \parallel \overline{AF}$ 。这对于机构的运动不产生任何影响, 但此时机构的自由度却变成为

$$F = 3n - (2P_L + P_h) - F' = 3 \times 4 - (2 \times 6 + 0) - 0 = 12 - 12 = 0$$

这是因为, 增加了一个活动构件 5, 却增加了 2 个回转副 E 和 F , 从而引入了 4 个约束, 即增加了 1 个虚约束。在计算机构自由度时, 应从机构的约束数目中减去虚约束的个数。假设机构中虚约束的数目为 P' , 则机构的自由度为

$$F = 3n - (2P_L + P_h - P') - F' \quad (1-3)$$

则图 1-13b 所示机构的自由度为

$$F = 3 \times 4 - (2 \times 6 + 0 - 1) - 0 = 12 - 11 = 1$$

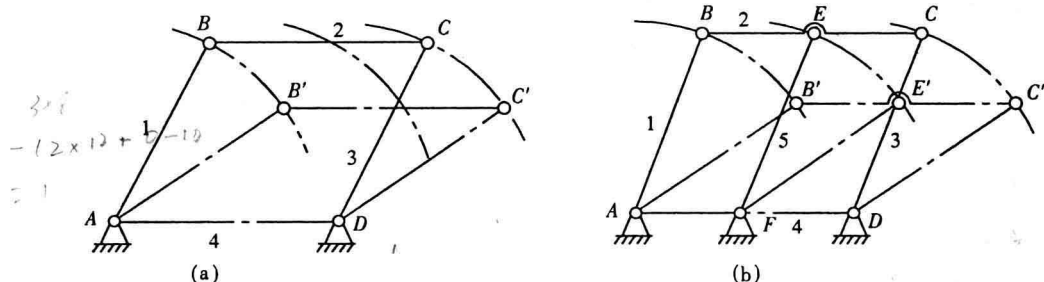


图 1-13 平行四边形机构简图

(4) 在机构中, 对传递运动不起独立作用的对称部分将引入虚约束。如图 1-14 所示的定轴轮系。从运动的角度考虑, 机构只需有齿轮 1、2、3 及机架 4 即可实现运动的传递, 因此, 齿轮 5、6、7 就是对运动不起独立作用的对称部分。对运动不起独立作用的对称部分的构件数用 n' 表示, 这些构件所引入的低副数用 P_L' 表示, 高副数用 P_h' 表示, 则总共引入的虚约束的数目为

$$P' = 2P_L' + P_h' - 3n' \quad (1-4)$$

图 1-14 所示机构的虚约束数目为

$$P' = 2P_L' + P_h' - 3n' = 2 \times 3 + 6 - 3 \times 3 = 3$$

其自由度数目为

$$F = 3n - (2P_L + P_h - P') - F' = 3 \times 6 - (2 \times 6 + 8 - 3) - 0 = 18 - 17 - 0 = 1$$