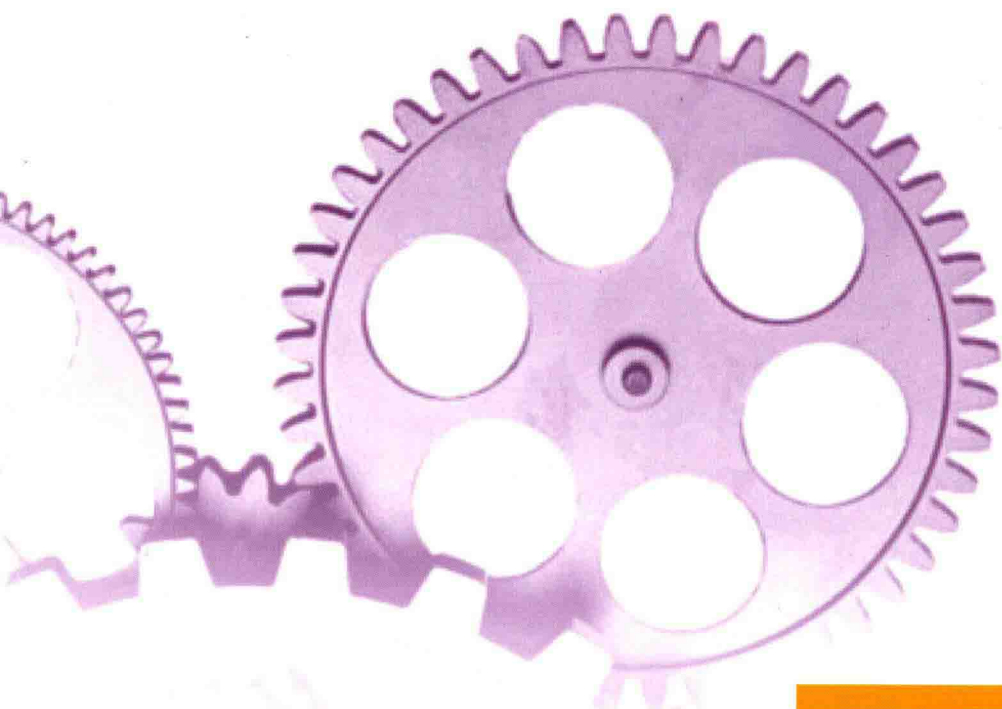


华东交通大学教材（专著）基金资助项目



机械原理辅导与 作业题集

主编 钟礼东 孟 飞

MECHANICAL



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

华东交通大学教材(专著)基金资助项目

机械原理辅导与作业题集

主编 钟礼东 孟 飞



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书为《机械原理教程》(第3版)的配套用书,由9章及附录组成,主要阐述《机械原理教程》(第3版)中各章的内容提要、重点与难点提示、典型例题分析,编写了习题与作业题,并在书后给出部分习题及作业题的参考答案与提示。附录中介绍了如何利用工程软件辅助演算机械原理问题,并给出4个课程实验,以便教师备课和读者自学。

本书可作为相关专业本(专)科学生的教材,也可供相关专业的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理辅导与作业题集 / 钟礼东, 孟飞主编. --

北京: 北京航空航天大学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5124-2608-5

I. ①机… II. ①钟… ②孟… III. ①机械原理—高等学校—习题集 IV. ①TH111-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 303952 号

版权所有,侵权必究。

机械原理辅导与作业题集

主编 钟礼东 孟 飞

责任编辑 孙兴芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:294千字

2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5124-2608-5 定价:35.00元

前 言

本书是《机械原理教程》(第3版)的配套用书,书中阐明了《机械原理教程》(第3版)各章内容的学习要求;指出了各章的重点与难点,并做出相应的总结归纳和深入分析,同时提炼出学生在学习过程中容易出现的问题,并进行了详细的分析;结合各章的重点与难点内容精选了一些典型例题进行解答,以引导学生掌握正确的解题方法;各章后面都配有适量的习题和作业题,使学生能够自查各章基本概念的掌握程度,并且在书后给出了部分习题和作业题的参考答案与提示;另外,结合本课程教学大纲的要求,附录中介绍了如何利用工程软件辅助演算机械原理问题,并给出4个课程实验,供实验指导用。

书中全部采用最新的标准和规范,并且本书的编者均来自教学一线,具有丰富的教学经验,是在深刻理解机械原理课程内容的基础上编写本书的。本书由钟礼东、孟飞担任主编,编写工作由华东交通大学机械设计基础部钟礼东、孟飞、许玢、槐创锋、朱爱华、沈晓玲、黄志刚、周生通、曾礼平和曹爱文等完成,刘平安教授担任主审。

本书可作为相关专业本(专)科学生的教材,也可供相关专业的科研人员和工程技术人员参考。

鉴于编者水平有限,书中错误和欠妥之处在所难免,殷切希望读者批评指正。对本书的意见和建议请联系 QQ727854364,或发邮件至 727854364@qq.com;信件邮寄地址:南昌华东交通大学机电与车辆工程学院机械设计基础部(邮编 330013)。

编 者

2017年11月8日

目 录

第 1 章 机构的组成和结构	1
1.1 内容提要	1
1.2 重点与难点	5
1.3 典型例题分析	5
1.4 习 题	8
1.5 作业题	11
第 2 章 平面连杆机构	17
2.1 内容提要	17
2.2 重点与难点	19
2.3 典型例题分析	19
2.4 习 题	23
2.5 作业题	25
第 3 章 凸轮机构	31
3.1 内容提要	31
3.2 重点与难点	34
3.3 典型例题分析	34
3.4 习 题	37
3.5 作业题	39
第 4 章 齿轮机构	49
4.1 内容提要	49
4.2 重点与难点	55
4.3 典型例题分析	55
4.4 习 题	58
4.5 作业题	61
第 5 章 轮 系	77
5.1 内容提要	77
5.2 重点与难点	78
5.3 典型例题分析	78
5.4 习 题	79
5.5 作业题	81
第 6 章 间歇运动机构	85
6.1 内容提要	85

6.2	重点与难点	86
6.3	典型例题分析	86
6.4	习 题	87
6.5	作业题	89
第 7 章	机械的力分析	91
7.1	内容提要	91
7.2	重点与难点	93
7.3	典型例题分析	93
7.4	习 题	96
7.5	作业题	99
第 8 章	机械系统动力学	103
8.1	内容提要	103
8.2	重点与难点	104
8.3	典型例题分析	105
8.4	习 题	107
8.5	作业题	113
第 9 章	机械的平衡	119
9.1	内容提要	119
9.2	重点与难点	119
9.3	典型例题分析	119
9.4	习 题	122
9.5	作业题	125
附录 A	利用工程软件辅助演算机械原理问题	129
A.1	利用 AutoCAD 演算机械原理问题	129
A.2	利用 MATLAB 演算机械原理问题	131
A.3	利用 Pro/Engineer 演算机械原理问题	135
A.4	利用 ADAMS 演算机械原理问题	138
附录 B	课程实验	157
实验一	机构及其零部件的认知	157
实验二	机构运动简图的测绘和分析	157
实验三	齿轮啮合及范成法加工	160
实验四	动平衡实验	163
习题与作业题部分参考答案与提示		167
参考文献		175

第 1 章 机构的组成和结构

1.1 内容提要

1. 机构的组成

构件:独立的运动单元体。

运动副:两构件直接接触并能保持一定形式的相对运动的联接称为运动副。构件上参与接触的点、线、面称为运动副的元素。

运动链:两个或两个以上的构件通过运动副联接而构成的系统。

机构:在运动链中,当将某一个构件加以固定,而让另一个或几个构件按给定运动规律相对固定构件运动时,如果运动链中其余各活动构件都有确定的相对运动,则此运动链称为机构。

2. 机构运动简图的绘制方法

运动简图用国标规定的简单符号和线条代表运动副和构件,并按一定比例尺表示机构的运动尺寸,绘制出表示机构的简明图形。机构运动简图与原机械具有完全相同的运动特性。一般可按下列步骤绘制机构运动简图:

① 分析整个机构的工作原理,找出机构中的原动件、机架、从动件系统及其最后的执行构件。

② 从原动件开始,沿着运动传递路线,分析相邻构件之间的相对运动关系,确定运动副的类型和数目。

③ 选择适当的视图平面,该视图平面应可以清楚地表达机构的主体部分,尽可能反映机构的全面运动;另外,还可以选择其他视图平面作为补充。

④ 选择机架,提取构件的运动尺寸,确定比例尺,选择机构运动中的一个状态,确定各运动副位置,然后绘图。

运动简图中构件和运动副的符号表示如下:

① 构件:参与形成 2 个运动副的构件、参与形成 3 个运动副的构件,如图 1-1 所示。

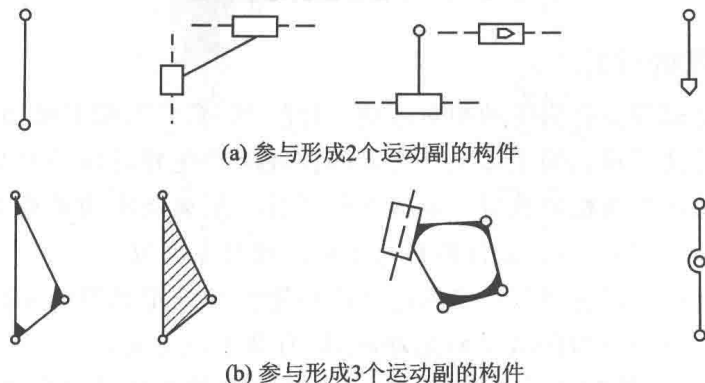


图 1-1 构 件

② 当转动副构件组成转动副时,其表示方法如图 1-2 所示。图面垂直于回转轴线时如图 1-2(a)所示。图面不垂直于回转轴线时如图 1-2(b)所示。其中,表示转动副的圆圈的圆心必须与回转轴线重合。当一个构件具有多个转动副时,应在两条线交叉处涂黑,或在其内画上斜线,如图 1-2(c)所示。

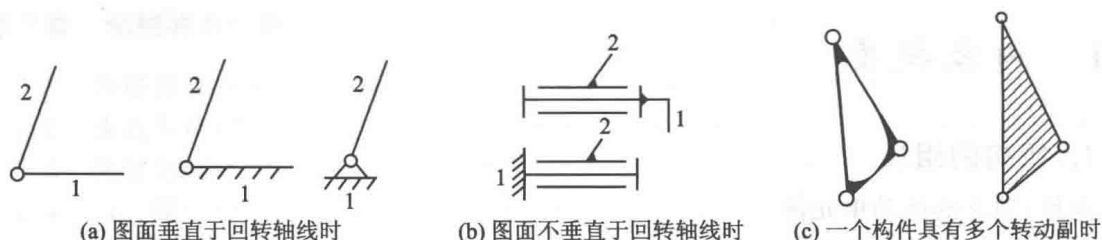


图 1-2 转动副构件组成转动副的表示方法

③ 当两构件组成移动副时,其导路必须与相对移动方向一致。

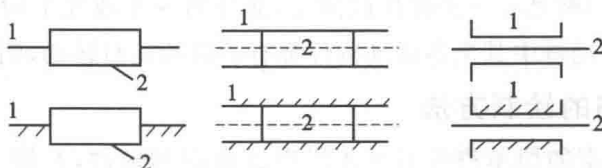


图 1-3 两构件组成移动副

④ 平面高副:当两构件组成平面高副时,在其运动简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓,对于凸轮、滚子,习惯画出其全部轮廓,如图 1-4(a)所示;对于齿轮,常用点画线画出其节圆,如图 1-4(b)所示。

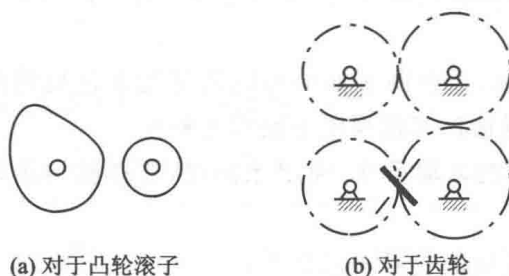


图 1-4 平面高副的运动简图

3. 机构自由度的计算

机构的各构件之间应具有确定的相对运动。显然,不能产生相对运动或做无规则运动的一堆构件难以用来传递运动。为了使组合起来的构件能产生相对运动并具有运动确定性,则有必要探讨机构自由度及各机构具有确定运动的条件。运动链成为机构的条件:运动链相对于机架的自由度必须大于零,且原动件数目等于运动链自由度数。

机构自由度的计算错误会导致对机构运动的可能性和确定性判断错误,从而影响机械设计工作的正常进行。当一个构件做平面运动时,具有 3 个独立运动:沿 x 轴和 y 轴的移动以及绕垂直于 xOy 平面 A 轴的转动。构件的这种独立运动称为构件的自由度。两个构件组成运动副之后,它们之间的相对运动就会受到约束,相应的自由度数也随之减少。这种对构件独

立运动所加的限制称为约束,自由度减少的个数等于约束的数目。所以,一个做平面运动的自由构件具有3个自由度。

机构能够产生的独立运动的数目称为机构的自由度。做平面运动的构件,在自由状态时都具有3个自由度,那么 n 个自由构件共有 $3n$ 个自由度。将这 n 个运动构件用运动副联接起来组成机构之后,则运动构件受到约束,自由度减少。其中,每个低副使构件减少两个自由度,每个高副使构件减少一个自由度。若机构中有 P_L 个低副和 P_H 个高副,则共减少 $2P_L + P_H$ 个自由度。于是,平面机构的自由度为 $F = 3n - 2P_L - P_H$ 。

当计算机构自由度时,应该准确识别和处理机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束,这是自由度计算中的难点。

(1) 复合铰链

两个以上的构件用转动副在同一轴线上联接就构成复合铰链。如图1-5所示,构件1与构件2和3组成两个转动副。复合铰链由 m 个构件组成,则其转动副的个数为 $m-1$ 。

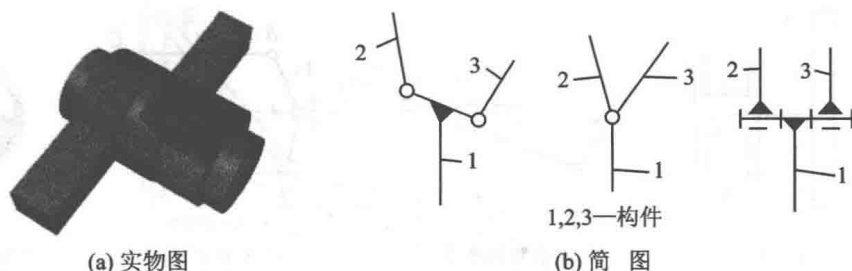
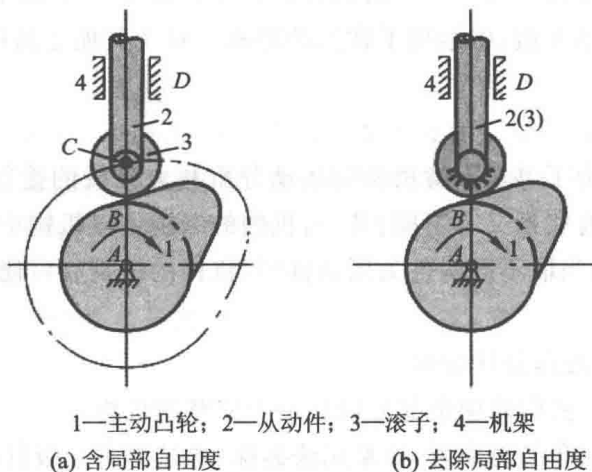


图1-5 复合铰链

(2) 局部自由度

机构中某些不影响整个机构运动的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时应将局部自由度除去不算。如图1-6(a)所示,为了减少高副处的摩擦,变滑动摩擦为滚动摩擦,常在从动件2上装一滚子3。当主动凸轮1绕固定轴A转动时,从动件2则在导路中做上下往复运动,滚子3和从动件2组成一个转动副。但若将从动件2与滚子3焊在一起,则当凸轮转动时,从动件仍做往复移动,如图1-6(b)所示。由此可见,该机构中无论滚子是否绕其轴线转动,这个转动副对整个机构的自由度都没影响,应看作是局部自由度,因此,在计算机构自由度时应除去不计。



1—主动凸轮; 2—从动件; 3—滚子; 4—机架

(a) 含局部自由度

(b) 去除局部自由度

图1-6 局部自由度

(3) 虚约束

在运动副引入的约束中,有些约束所起的限制作用是重复的,这种不起独立限制作用的约束称为虚约束。在计算机构自由度时,应将虚约束除去不计。平面机构中虚约束常见情况如下:

① 重复转动副。当两构件组成几个转动副,其轴线相互重合时,只有一个转动副起约束作用,其他处为虚约束,如图 1-7(a)所示。

② 重复移动副。当两构件组成几个移动副,其导路互相平行时,只有一个移动副起约束作用,其他处为虚约束,如图 1-7(b)所示。

③ 重复轨迹。在机构运动的过程中,若两构件两点间的距离始终保持不变,则当用构件将此两点相联时构成虚约束,如图 1-7(c)所示。

④ 重复高副。机构中对传递运动不起独立作用的对称部分(指高副)则为虚约束,如图 1-7(d)所示。

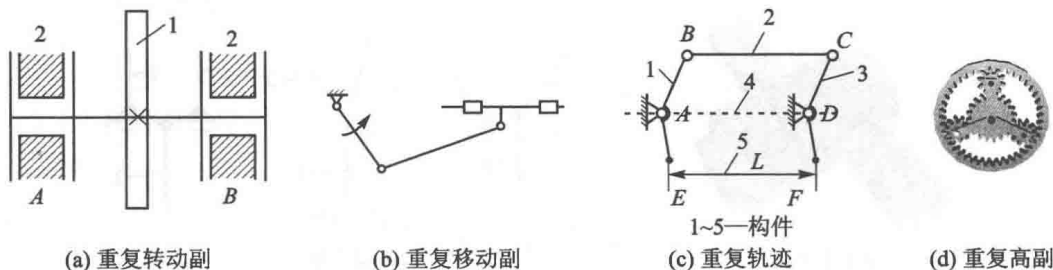


图 1-7 平面机构中虚约束的 4 种情况

4. 机构的组成原理和结构分析

(1) 高副低代

根据一定的条件对平面机构中的高副虚拟地用低副来替代,这种以低副代替高副的方法称为高副低代。需要注意的是:高副低代代替前后机构的自由度不变,代替前后机构的瞬时速度和加速度不变。

(2) 基本杆组

杆组是指自由度为零且不能够再分的构件组。工程实际中常见的基本杆组是Ⅱ级组和Ⅲ级组,《机械原理教程》(第 3 版)中给出了常见的形式。对于其他更高级别的杆组,工程中使用较少。

(3) 机构的级别

鉴别机构的级别是为了寻求求解机构的运动分析和力分析的途径。需要注意的是,机构的级别与杆组的级别既有联系又有不同:其一,机构的级别是以机构中所含杆组的最高级别来定义的;其二,同一机构,当取不同构件为原动件时,机构的级别有可能会发生变化。

(4) 拆杆组

- ① 从离原动件最远的部分开始拆;
- ② 每拆一个杆组后,机构的剩余部分仍是一个完整的机构;
- ③ 拆杆组时,先按照Ⅱ级组来拆,如果无法拆除,再试拆高级杆组;
- ④ 拆杆组完成后只剩下原动件和机架。

1.2 重点与难点

机构运动简图的绘制、机构的自由度计算以及机构的组成原理与结构分析。

1.3 典型例题分析

例 1-1 图 1-8 中的箭头所在构件为原动件,试对图示翻台机构:

- ① 绘出机构简图;
- ② 计算自由度;
- ③ 进行结构分析。

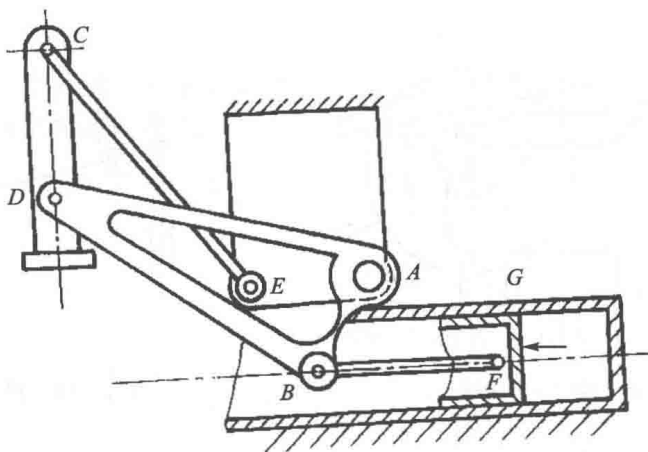


图 1-8 例 1-1 用图

解题提示 机械的实际工作情况是:在 F 点水平推力下实现构件 C 和 D 的 180° 翻转,找出机构中的原动件、机架、从动件系统及其最后的执行构件,分析机械的运动情况,从原动件开始,循着运动传递路线,绘制机构的运动简图。

解 ① 机构简图如图 1-9 所示。

② 计算自由度: $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 15 - 14 = 1$ 。

③ 如图 1-9 所示,为 II 级机构。

例 1-2 图 1-10 所示为一简易冲床的初拟设计方案。设计者的思路是:动力由齿轮 1 输入,使轴 A 连续回转;而固装在轴上的凸轮 2 与杠杆 3 组成的凸轮机构使冲头 4 上下运动,以达到冲压的目的。试绘出其机构运动简图(各尺寸由图 1-10 中量取),分析是否能实现设计意图,并提出修改方案。

解题提示 绘制机构的运动简图,分析机构的自由度,确定机构是不是具有确定的运动输出。

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

因为 $F = 0$, 所以该机构设计不合理。问题出在构件 3 与构件 4 的连接点 B 处,如图 1-11 所示。

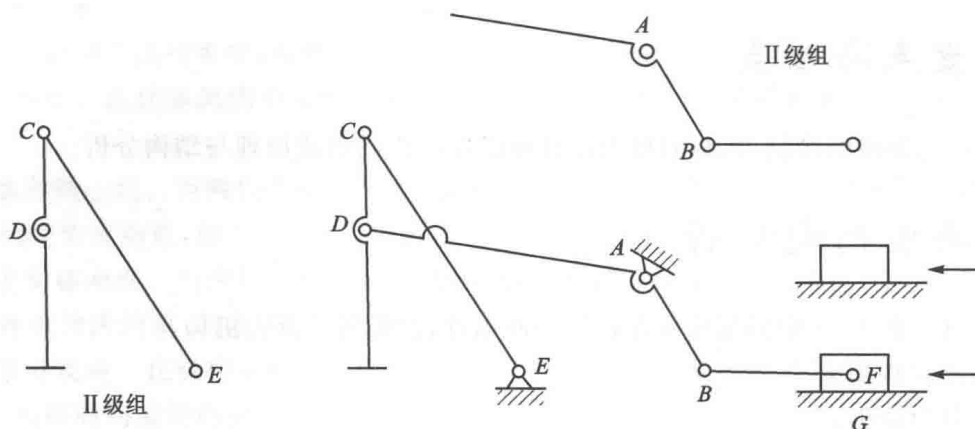
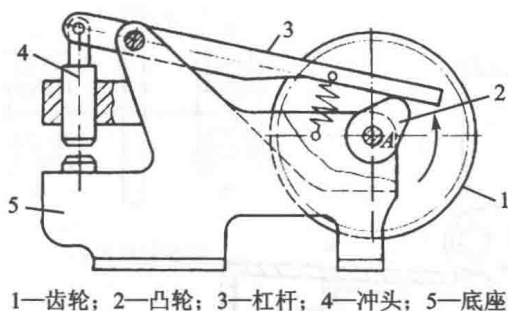


图 1-9 图 1-8 的机构简图



1—齿轮；2—凸轮；3—杠杆；4—冲头；5—底座

图 1-10 例 1-2 用图

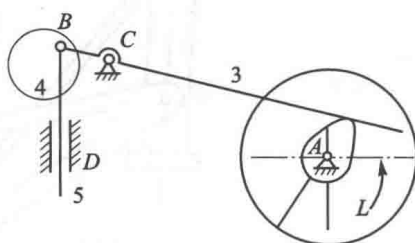


图 1-11 修改前的方案

修改方案如图 1-12 所示。

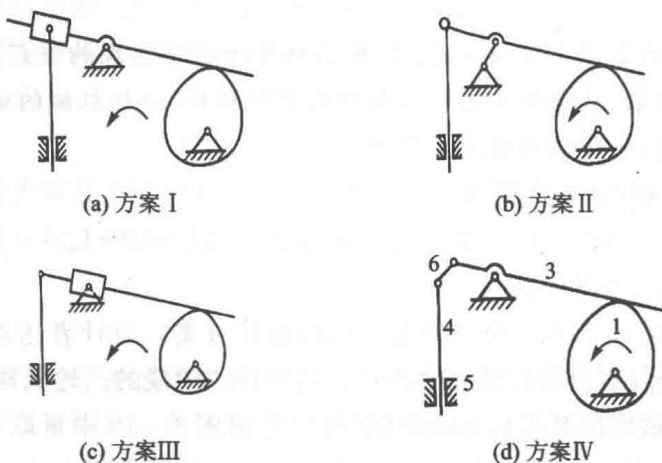


图 1-12 修改后的方案

例 1-3 计算图 1-13 所示机构的自由度。若有复合铰链、局部自由度或虚约束，则必须指出。（已知 $ABCD$ 和 $CDEF$ 是平行四边形。）

解题提示 这是同时具有复合铰链、局部自由度和虚约束的典型例题，计算自由度时要注意： E 为复合铰链，滚子处为局部自由度， I （或 J ）和 CD （或 AB ）为虚约束。

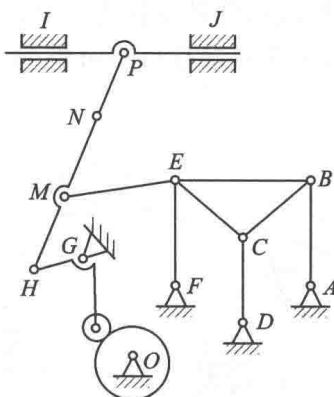


图 1-13 例 1-3 用图

解 因为 $n=9, P_L=12, P_H=1$, 所以

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 9 - 2 \times 12 - 1 = 2$$

例 1-4 图 1-14 所示为一内燃机的机构运动简图,试计算此机构的自由度并分析组成此机构的基本杆组。如果在该机构中改选 EG 为原动件,那么试问组成此机构的基本杆组是否与前者有所不同。

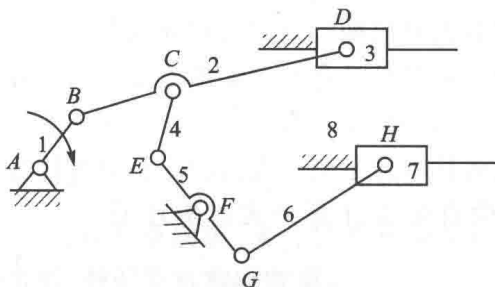


图 1-14 例 1-4 用图

解题提示 分别分析 AB 作为原动件和 EG 作为原动件时机机构的组成情况。该例说明, 对于同一机构, 当原动件不同时, 机构的基本杆组和级别也可能改变。

解 ① 计算机机构自由度: $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$ 。

② 当取构件 AB 为原动件时,机构的基本杆组分解图如图 1-15 所示。当取构件 AB 杆为原动件时,除原动件与机架外,其余从动件可分解为 3 个 II 级杆组,故此机构为 II 级机构。

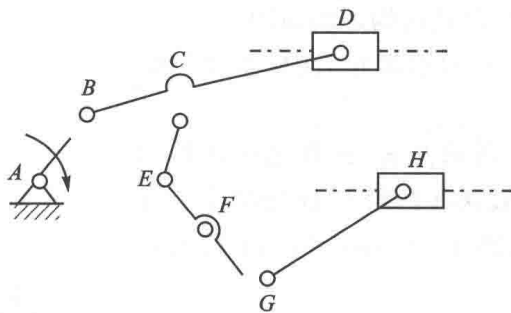


图 1-15 取构件 AB 为原动件时机构的基本杆组分解图

③ 当取构件 EFG 为原动件时,机构的基本杆组图分解如图 1-16 所示。当取构件 EFG 杆为原动件时,除原动件与机架外,其余从动件可以分解为一个 II 级杆组和一个 III 级杆组,故此机构为 III 级机构。

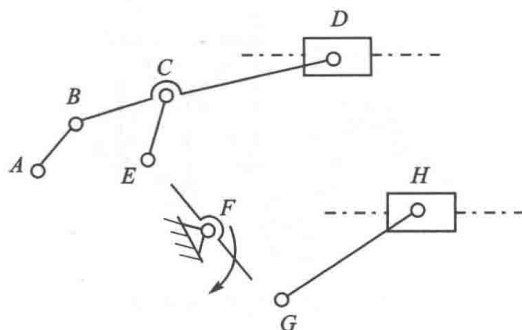


图 1-16 取构件 EFG 为原动件时机构的基本杆组分解图

1.4 习 题

1-1 什么是零件? 什么是构件? 它们有何联系?

1-2 什么是运动链? 什么是机构? 它们有何异同点?

1-3 机构具有确定运动的条件是什么? 如果不满足该条件则可能会出现哪些情况?

1-4 为何说高副低代具有瞬时性? 高副低代的目的和意义是什么?

1-5 平面机构自由度的计算式是怎样表达的? 其中各符号代表什么?

1-6 在应用平面机构自由度计算公式时应注意什么?

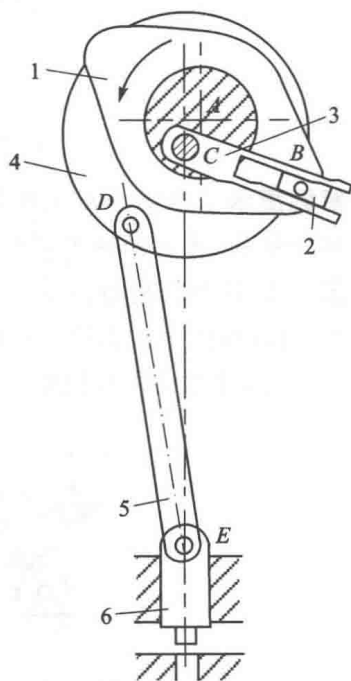
1-7 什么是复合铰链、局部自由度和虚约束,在计算机构自由度时应如何处理?

1-8 什么是机构运动简图? 有什么用途?

1-9 图 1-17 所示为一具有急回运动的冲床,图中绕固定轴心 A 转动的菱形盘 1 为原动件,其滑块 2 在 B 点铰接,通过滑块 2 推动拨叉 3 绕固定轴心 C 转动,而拨叉 3 与圆盘 4 为同一构件,当圆盘 4 转动时,通过连杆 5 使冲头 6 实现冲压运动。试绘制其机构运动简图。

1-10 试计算图 1-18 所示示齿轮-连杆组合机构的自由度。

1-11 试计算图 1-19 所示凸轮-连杆组合机构的自由度,其中,图 1-19(a)中铰接在凸轮上 D 处的滚子可在 CE 杆上的曲线槽中滚动,图 1-19(b)中在 D 处为铰接在一起的两个滑块。



1—菱形盘; 2—滑块; 3—拨叉;
4—圆盘; 5—连杆; 6—冲头

图 1-17 习题 1-9 用图

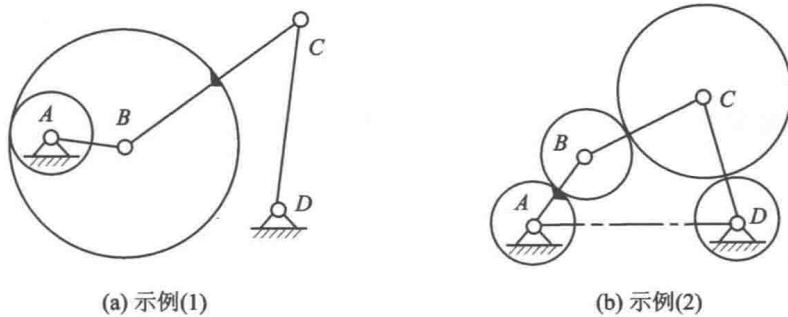


图 1-18 习题 1-10 用图

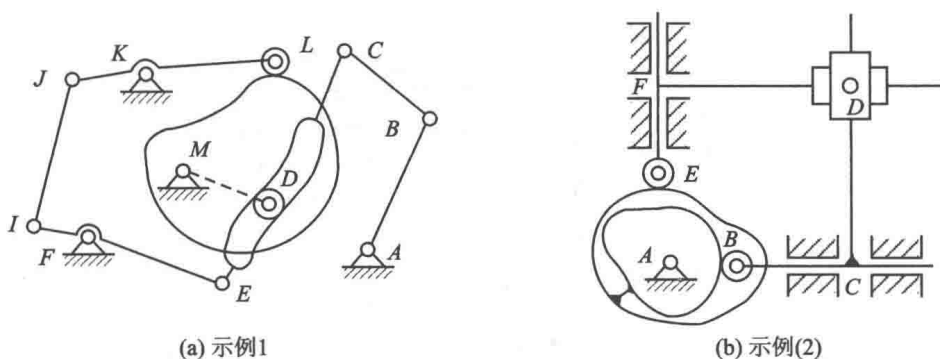


图 1-19 习题 1-11 用图

1-12 计算机构(见图 1-20)自由度并分析组成此机构的基本杆组、确定机构的级别。

1-13 标明图 1-21 所示机构的虚约束、复合铰链和局部自由度,判断该机构运动是否确定。经高副低代和拆分杆组后,判明该机构的级别。

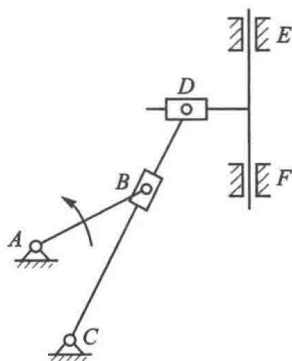


图 1-20 习题 1-12 用图

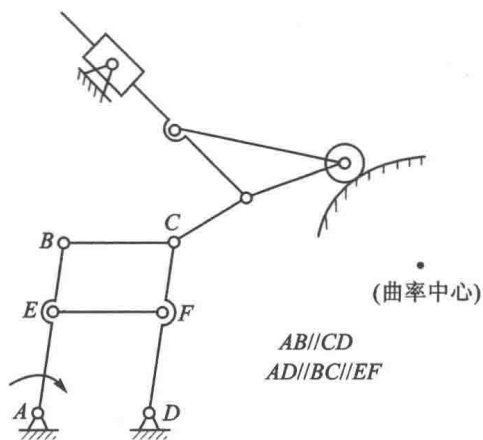


图 1-21 习题 1-13 用图

1.5 作业题

1-1 图1-22所示机构为一凸轮齿轮连杆组合机构,试绘制其机构示意简图并计算其自由度。

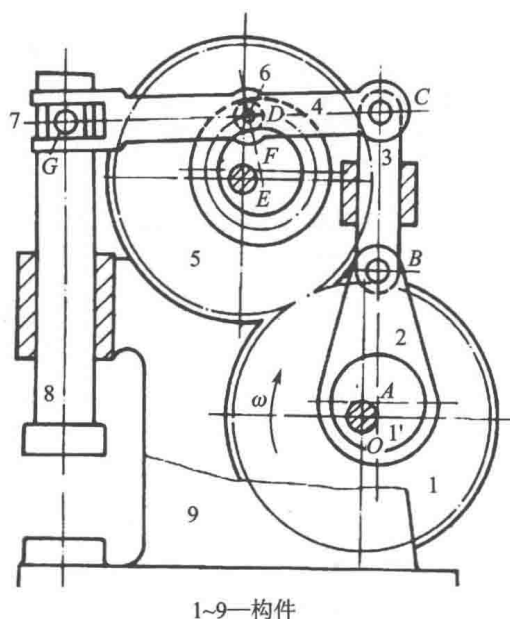


图1-22 作业题1-1用图