

图书在版编目(CIP)数据

机械原理常见题型解析及模拟题 张华弟,曲继方编
著 北京:国防工业出版社, 2004

(考研新干线)

陈景元,王恩科,王恩科,王恩科

I 机械原理 II 张华弟 III 曲继方 III 机构学—研究生—入学考试—自学参考资料 IV 技术力学

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第 100000 号

(北京市海淀区紫竹院南路 100 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10.5 印字 250 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数 1—5000 册 定价 15.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前摇摇言

机械原理是目前国内各高等院校针对理工类学生开设的一门专业基础课。该课程在这些学生的学习过程中起到承上启下的作用,既是对前面学习的基础课程知识的综合运用,同时也是后续专业课程学习的基础。由于其重要作用,被国内许多高等院校作为机械类专业硕士研究生的入学考试课程。为了帮助有志攻读机械类硕士研究生的学生进行系统的复习,我们根据国家教育部颁布的“机械原理教学基本要求”和“硕士研究生入学考试大纲”的要求,结合作者多年的教学经验,编写了本书。

本书共分 15 章。每章的内容包括基本概念、重点与难点、例题精选和习题等几大部分。在基本概念部分,给出每一章中比较重要的基本概念,以避免基本概念的混淆;重点与难点部分着重对课程中重点、难点进行深入浅出的分析和说明;例题精选部分的题目基本上来自近年来国内一些重点大学的硕士入学考试试题,具有一定的代表性,并对这些例题给出了详细的求解思路、解题技巧、需要注意的问题以及详细的解题步骤。对这些内容的深入理解和掌握将非常有助于独立进行问题求解;习题部分则精选了若干习题,以检验学习成果。在附录中还附有若干套模拟试题以及各章习题答案。

本书在编写过程中,力求从考研复习者的角度出发,尽量做到语言简练,内容翔实。在保证内容完整全面的基础上,摒弃了一些不常见的冷僻内容,以节省复习时间;对于解题过程中较容易出错的部分,均着重进行了分析,必要之处还给出了简要的理论说明。

本书理论内容参照西北工业大学机械原理教研室孙桓主编的《机械原理》以及东南大学机械原理及机械零件教研室黄锡恺编《机械原理》进行编写。

由于作者水平有限,疏漏和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编摇者

圆园园年 缘月

第 1 章 机构结构分析

1.1 重点与难点

1.1.1 基本概念

1.1.1.1 约束

约束指对独立运动所加的限制。

1.1.1.2 运动副

两构件直接接触形成的可动联接称为运动副。从运动副的概念可以得出运动副的几个基本要素：

(1) 运动副由两个构件组成，两个构件能且只能形成一个运动副；

(2) 组成运动副的两个构件必须直接接触；

(3) 组成运动副的两个构件间必须具有一定的确定运动。

运动副可以分为平面运动副和空间运动副两类，平面运动副又可以进一步划分为平面低副和平面高副。两构件通过面接触组成的运动副称为低副，通过点、线接触组成的运动副称为高副。每个平面低副引入两个约束，每个平面高副引入一个约束。

平面低副分为转动副和移动副两大类。具有一个方向独立相对转动的运动副称为转动副，具有一个方向独立相对移动的运动副称为移动副。

转动副习惯上又常常被称为铰链。

1.1.1.3 自由度

构件具有的独立运动的数目（或确定构件位置的独立参变量的数目）称为自由度。每个作平面运动的自由构件具有两个自由度。但是当它与其他构件组成运动副后，由于构件的直接接触使某些独立运动受到限制，自由度会减少。运动副每引入一个约束，构件便失去一个自由度。

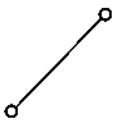
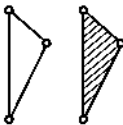
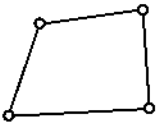
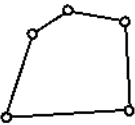
1.1.1.4 运动链

两个以上构件以运动副联接而成的系统称为运动链。如果组成运动链的每个构件至少包含两个运动副元素，则运动链称为闭链；反之，如果运动链中有的构件只包含一个运动副元素，则称为开链。

1.1.1.5 杆组

组成运动系统的不可再分的、自由度为 0 的运动链称为杆组。杆组的级别由杆组中包含的最高级别封闭多边形确定。不包含封闭多边形的为 II 级组；包含两个运动副元素的刚性构件（或两个构件组成三角形）的杆组为 III 级组；包含三个构件组成的四边形的杆组称为 IV 级组。杆组的分类见表 1.1。

表 员 摇 杆组级别判定

杆组级别	II	III	IV	V
决定级别的 封闭多边形				

援具有确定运动条件

机构具有确定运动的条件是：

(员) 自由度数目 ≥ 1 ;

(圆) 原动件数目等于机构自由度。

员 摇 杆组基本要求

(员) 熟练掌握运动副的分类及表示方法,从而正确绘制机构运动简图;

(圆) 平面机构自由度的计算;

(猿) 杆组的分类及机构级别判定。

员 摇 杆组本章难点

(员) 平面机构自由度计算;

(圆) 机构级别判定。

援自由度计算

平面机构自由度按照如下公式进行计算：

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

式中 F ——机构的自由度数目;

n ——机构中活动构件的数目;

P_L ——机构中低副的数目;

P_H ——机构中高副的数目。

Q 提示

在利用上面公式进行计算时, n 为活动构件的数目,而 P_L 和 P_H 不仅包含活动构件之间所组成的运动副,还包括活动构件与机架所组成的运动副。

此外,机构自由度计算还要注意以下几种特殊情况:

(员) 复合铰链

在前面介绍运动副的基本要素时我们知道,两个构件之间只能形成一个运动副。在实际机构中,经常出现多个构件(大于等于 猿个)在一点处用铰链联接在一起的情况称为复合铰链。一般情况下,如果有 皂个构件在一点处用铰接,则形成 皂原 1 个转动副。例如,图 员 所示的复合铰链有 缘个构件在一点铰接,包含 源个转动副。

(圆) 局部自由度

所谓局部自由度,是指在机构中个别构件具有的不影响整体机构运动的自由度。图 员 所示的结构中,小滚子是机构中具有局部自由度的典型构件。在计算这种机构的

自由度时,要将局部自由度去掉。具体做法是假想将小滚子与其他构件焊接在一起,当做
一个构件处理,如图 猿 所示。

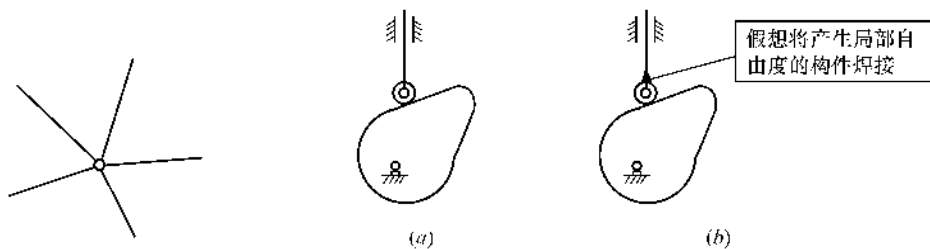


图 猿 复合铰链

图 猿 局部自由度及其处理方法

(猿) 局部自由的典型情况 (猿) 局部自由度的处理方法。

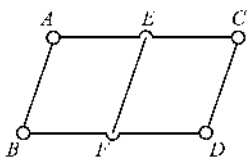
(猿) 虚约束

在机构中不起实际约束作用的重复约束称为虚约束。在计算机机构自由度时,首先应
将产生虚约束的构件和它带来的运动副去除,然后再进行计算。

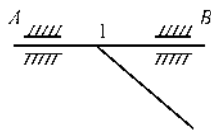
产生虚约束的主要情况有以下几种:

① 不同构件上的两点之间的距离始终保持恒定时,如果在这两点之间加上一个构件
和两个转动副,则这个构件以及它引入的两个转动副为虚约束,这种情况又被称为“轨迹
重合”。图 猿 所示的机构中,耘云两点之间引入的耘云杆就属于这种情况。

② 如果两个构件在多处形成移动副,且这些移动副的导路互相平行,则这些移动副
只有一个是真实的约束,其余都是虚约束。图 猿 所示的机构中,杆员在粤月两处与机架
形成移动副,且移动副的导路平行,所以这两处移动副中有一个是虚约束,计算自由度时
应该去除。



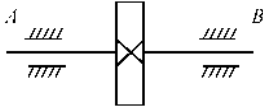
约束的情况之一
重合”



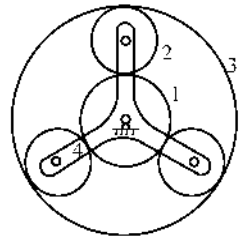
约束的情况之二
且导路平行”

③ 如果两个构件在多处形成转动副,且这些转动副的轴线重合,则这些转动副只有
一个是真实的约束,其余都是虚约束。图 猿 所示的齿轮机构中,齿轮与机架在粤月两
处形成两个转动副,且这两个转动副轴线重合,因此有一个是虚约束,计算自由度时应该
去除。

④ 在输入构件和输出构件之间用多组完全相同的运动链来传递运动时,只有一组起
独立传递运动的作用,其余各组通常为虚约束。在图 猿 所示的行星轮系中,在输入构件
员和输出构件 猿间采用了 猿组完全相同的行星轮来传递运动,因此只有其中的一组是真
实约束,其余都是虚约束,计算自由度时应该去除。



约束的情况之三
且轴线重合”



约束的情况之四
动链传递运动”

(源) 三角形构件

在计算自由度的过程中 机构中的一些构件经常会组成三角形。对于组成三角形的几个构件通常按照一个三角形构件来处理。例如 在计算图 员苑 葬 所示机构自由度时 杆 粤 月 悦 粤 组成了一个三角形 因此在计算自由度时按照一个三角形构件 粤 月 悦 来说来处理 如图 员苑 遭 所示。

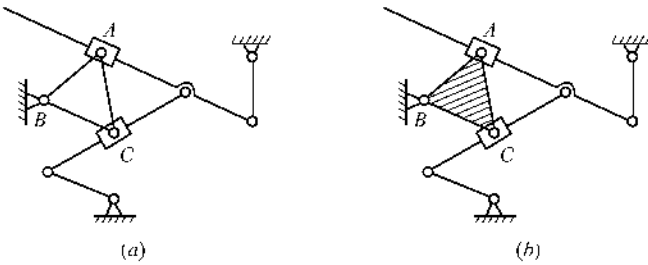


图 员苑 三角形构件的处理
(葬) 原始机构 ; (遭) 处理后的机构。

💡 注意

在这种情况下 不仅机构中活动构件的数目发生了变化 运动副的数目也随之发生变化。如图 员苑 葬 所示 原始机构在 月 点处为复合铰链 有 圆 个转动副。而在处理后的机构中就只有 员 个转动副。

(缘) 焊接符号

在计算自由度的题目时 有时候机构中会有焊接符号出现 这种情况下构件的数目就要发生改变 如果不注意将出现错误。例如在图 员苑 中 (葬) 图所示机构包含的构件数目为 源 个 而 (遭) 图由于多了一个焊接符号 则构件数目为 员 个 (相当于一个三角形构件)。

圆 结构分析

机构结构分析就是将已知机构分解为原动件、机架、杆组 并确定机构级别。结构分析的要领是：

- (员) 去掉机构中的虚约束和局部自由度 并将机构中的高副全部用低副代替 即“高副低代”；
- (圆) 从远离原动件的构件开始拆组 首先拆 灶 越 圆的杆组。如果无法拆出 再试拆

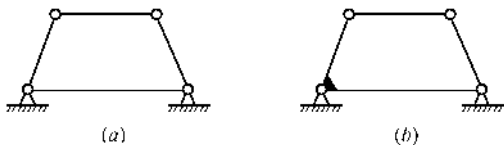


图 1.10 焊接符号的影响
(a) 没有焊接符号；(b) 有焊接符号。

越远的杆组。如果仍然无法拆出，再试拆越远的杆组。当拆出一个杆组后，再从越近的杆组开始试拆，直至只剩下机架和原动件为止。

机构中几种常见的“高副低代”方法分别如图 1.11 所示。



图 1.11 “高副低代”的常见情况之一
(a) 原高副结构；(b) 用低副替代高副后的结构。

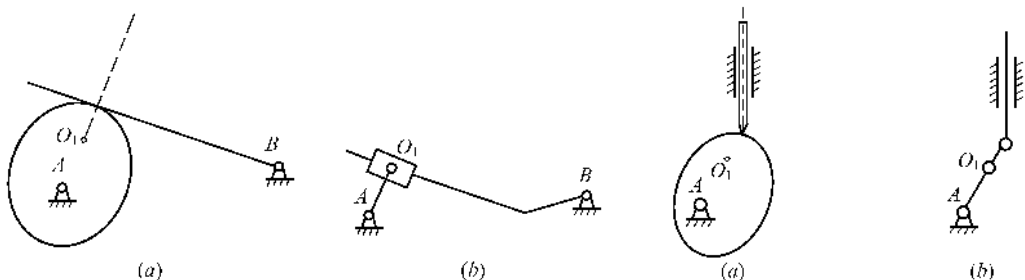


图 1.12 “高副低代”的常见情况之二
(a) 原高副结构；(b) 用低副替代高副后的结构。

图 1.13 “高副低代”的常见情况之三
(a) 原高副结构；(b) 用低副替代高副后的结构。

例题精选

例 1.1 一平面机构如图 1.14 所示，构件 1 为原动件，构件 3 为运动输出构件，构件 2、4、5 为固定铰链，试：

- ① 绘制该机构运动简图；
- ② 计算该机构自由度。

机构分析：该机构的活动构件数目一共有 3 个。其中构件 1 与机架组成了转动副；构件 2 与构件 3 组成了移动副；构件 4 与构件 5 组成转动副；构件 3 与构件 5 之间为高副；构件 5 与机架组成转动副。

远

解：

① 根据上述分析,该机构运动简图如图 员源所示。

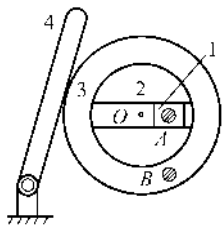


图 1-10 摇原始机构

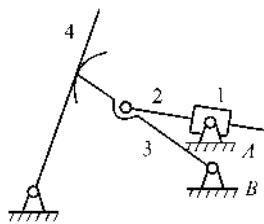


图 1-11 摇机构运动简图

② 该机构包含的活动构件数目为 3 个,低副数目为 3 个,高副数目为 1 个,所以该机构的自由度为:

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

例 1-10 摇一平面机构如图 1-12 所示,绘制该机构的运动简图并计算其自由度。

分析: 该机构的构件数目一共有 4 个,其中包含 3 个活动构件。构件 1 与机架和构件 2 各组成 1 个转动副,构件 2 与构件 3 组成了转动副,构件 3 与机架组成移动副。

解:

① 根据上述分析,该机构运动简图如图 1-13 所示,为一个曲柄滑块机构。

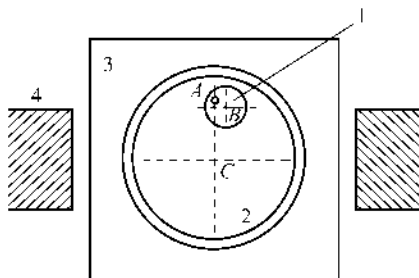


图 1-12 摇原始机构

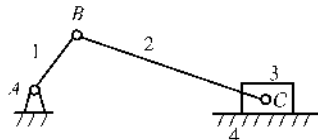


图 1-13 摇机构运动简图

② 该机构包含的活动构件数目为 3 个,低副数目为 3 个,高副数目为 1 个,所以该机构的自由度为:

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

例 1-11 摇在图 1-14 所示机构中,杆 1 与杆 2 平行且相等,试计算其自由度。

分析: 由于杆 1 与杆 2 平行且相等,因此平面机构 1-2-3-4 为一个平行四边形机构,所以杆 1 及其引入的 1 个转动副为虚约束;C 处为一个复合铰链;D 处的滚子为一个局部自由度;E 和 F 处均是两构件在两处接触的高副,各只算 1 个高副;G 处有焊接符号。

解:

根据上面的分析,去除机构中的局部自由度和虚约束,则 1-2-3-4 为一个平行四边形机构,所以该机构的自由度为:

愿

云 越猿土原孕 原孕 越猿伊元原圆伊苑原圆 越圆

摇摇例 员源 摇计算图 员源 苑所示机构的自由度。

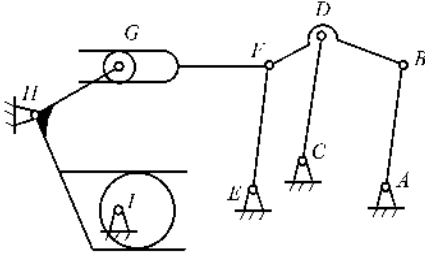
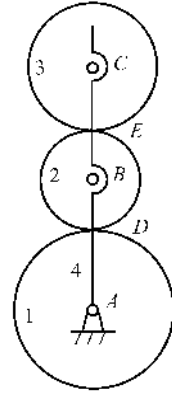


图 员源 苑摇例 员源 苑图



例 员源 苑图

摇摇分析 图示的机构中 活动构件包括 猿个齿轮和杆 源 这里 粤点包含齿轮 员杆 源 以及机架等 猿个构件 因此是一个复合铰链 这是本题目比较容易出错的地方。月悦点各有一个转动副 阅耘点处各有一个高副。

解：

根据上面的分析 在图 员源 苑所示的机构中 灶越源孕 越源孕 越圆 所以该机构的自由度为：

云 越猿土原孕 原孕 越猿伊原原圆伊原原圆 越圆

摇摇例 员源 摇计算图 员源 愿所示机构的自由度。

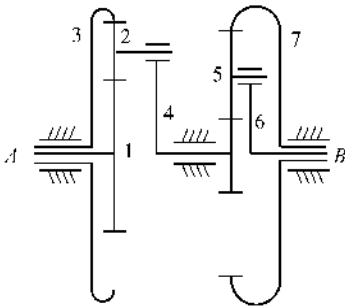


图 员源 愿摇例 员源 愿图

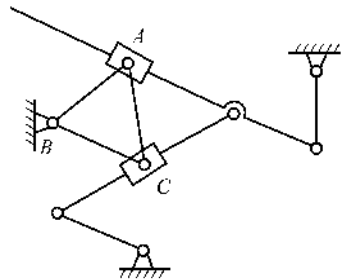


图 员源 愿摇例 员源 愿图

摇摇分析 图示机构为一个典型的行星轮系。构件 员圆猿缘苑各代表 员个齿轮 构件 远为系杆 构件 源是齿轮和系杆的组合物。各齿轮间啮合处均为高副 其余各处为转动副 粤月两处均为复合铰链。

解：

根据上面的分析，在图 员越园 所示的机构中，灶越苑孕，越苑孕，越源 所以该机构的自由度为：

$$云 越猿土原园孕 原孕， 越猿伊苑原园伊苑原原 越猿$$

摇摇例 员爱 计算图 员越怨 所示机构的自由度。若该机构具有两个原动件，问是否具有确定运动。

摇摇分析：图示的机构中，杆 粤 月 悦 构成了一个三角形，因此应按照一个三角形构件处理。

解：

根据上面的分析，在图 员越怨 所示的机构中，灶越苑孕，越苑孕，越园 所以该机构的自由度为：

$$云 越猿土原园孕 原孕， 越猿伊苑原园伊苑原原 越猿$$

摇摇由于该机构的原动件数目大于机构的自由度数，所以该机构不具有确定运动。

例 员爱 判断图 员越园 所示机构运动设计是否合理。若不合理，给出修改方法。

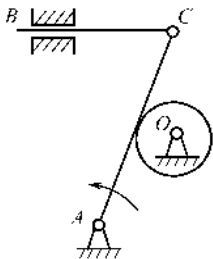


图 员越园 原始机构

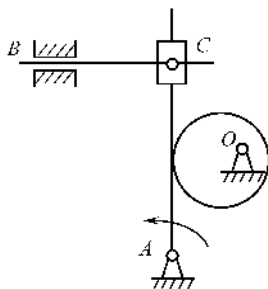


图 员越园 修改机构

解：

在图 员越园 所示的机构中，灶越猿孕，越猿孕，越园 所以该机构的自由度为：

$$云 越猿土原园孕 原孕， 越猿伊苑原园伊苑原原 越园$$

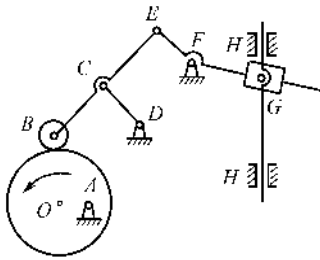
摇摇由于该机构的自由度数 为 园，因此该机构不能运动，所以该机构的运动设计是不合理的。对该机构的修改方法如图 员越园 所示，在 悦 点处添加一个滑块。在修改后的机构中，灶越源孕，越源孕，越员，修改后机构的自由度为：

$$云 越猿土原园孕 原孕， 越猿伊苑原原伊苑原原 越员$$

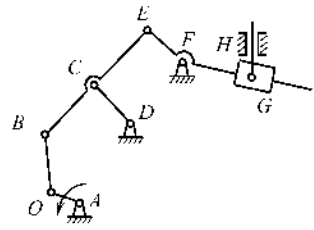
摇摇自由度数目与原动件数目相等，即修改后的机构具有确定运动，因此所作的修改是合理的。

例 员爱 计算图 员越园 所示机构的自由度，并确定机构级别。

摇摇分析：图示的机构中，月处的小滚子为局部自由度，两处 匀 有一处为虚约束，在计算自由度时应该去除。



原始机构



代后的替代机构

解：

根据前面的分析，图 1-10 所示机构中， F 处的小滚子为局部自由度， G 处为一个三角形构件， A 点处为复合铰链。所以该机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 = 1$$

在判断机构的级别前，首先对机构进行“高副低代”，然后再去除虚约束，得到的等效机构如图 1-11 所示。在该等效机构中，首先从远离原动件的位置，即从点 G 处开始拆分。首先拆出滑块 G 与杆 FG 组成的 II 级杆组，构件 BCD 组成了一个 III 级杆组，拆分的结果如图 1-12 所示。因此该机构是一个 III 级机构。

例 1-1 计算图 1-13 所示机构的自由度，判断机构运动是否确定，并确定机构级别。

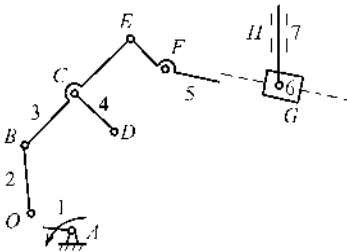


图 1-11 等效机构拆分结果

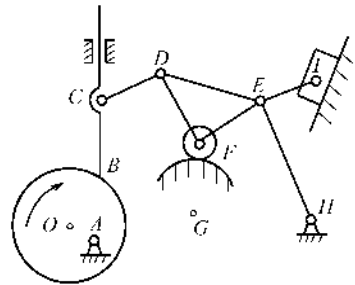


图 1-12 原始机构

分析：图 1-13 所示的机构中， F 处的小滚子为局部自由度， G 处为一个三角形构件， A 点处为复合铰链。

解：

根据前面的分析，图 1-13 所示机构中， F 处的小滚子为局部自由度， G 处为一个三角形构件， A 点处为复合铰链。所以该机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 = 1$$

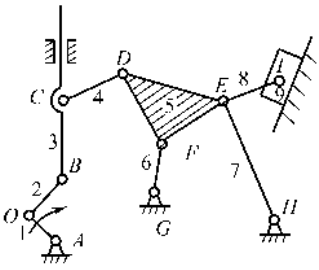
由于自由度数目与原动件数目相等，所以该机构具有确定运动。

在判断机构的级别前，首先对机构进行“高副低代”，得到的等效机构如图 1-14 所示。

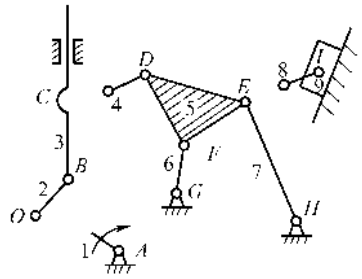
在该等效机构中，从远离原动件的位置开始拆分。首先拆出滑块 G 与杆 FG 组成的 II 级杆组，构件 BCD 组成一个 III 级杆组，构件 DE 组成一个 II 级杆组。拆分的结果如图 1-15 所示，因此该机构是一个 III 级机构。

例 1-2 计算图 1-16 所示机构的自由度，判断机构运动是否确定，并确定机构级

别。



代后的替代机构



机构拆分结果

解：

在图 1-15 所示机构中， F 为原动件， H 为从动件，所以该机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 8 - 2 \times 10 - 1 = 1$$

由于自由度数目与原动件数目相等，所以该机构具有确定运动。

将该机构从远离原动件的位置开始拆分。首先拆出滑块 8 与杆 2 组成的 II 级杆组；杆 3 与滑块 8 组成了另一个 II 级杆组；构件 5 与滑块 7 组成第三个 II 级杆组；拆分的结果如图 1-16 所示。因此该机构是一个 II 级机构。

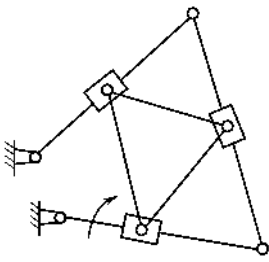


图 1-15 原始机构

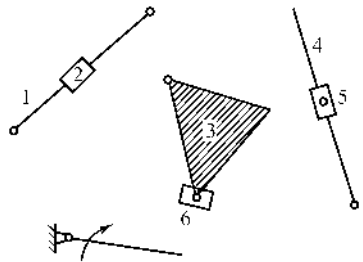


图 1-16 等效机构拆分结果

习题 1-1

1-1 填充及简答

(1) 运动副的组成要素是 接触、相对运动 和 几何形状。

(2) 平面运动副中，通过 面 接触形成的运动副称为平面低副，通过 点 接触形成的运动副称为平面高副。每个平面低副提供 2 个约束，每个平面高副提供 1 个约束。

(3) 机构具有确定运动的条件是 自由度等于原动件数目。

(4) 什么是复合铰链、局部自由度、虚约束？在计算机构自由度时都应如何处理？

(5) 机构中有哪些常见的出现虚约束的情况？

(6) 什么是杆组？判断机构级别时应按照哪些步骤进行？

(7) 对于同一个机构，选择不同构件作为机架和原动件对机构级别有没有影响？

(8) 图 1-17 所示平面机构，若取构件 1 为机架，构件 2 为原动件，则该机构为 II 级 机构；若取构件 3 为机架，构件 4 为原动件，则该机构为 II 级 机构。

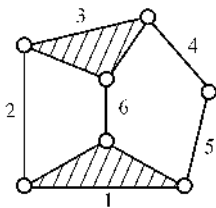


图 1 题 1 平面机构

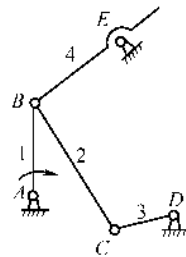


图 2 题 2 机构图

员源判断图 1 所示机构运动设计是否合理？若不合理给出改进方案。

员缘判断图 2 所示机构运动设计是否合理？若不合理给出改进方案。

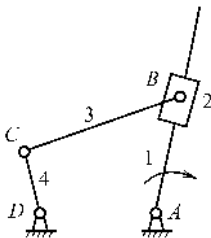


图 3 题 3 机构图

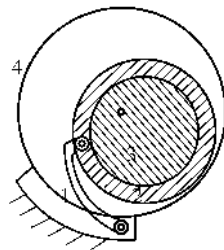


图 4 题 4 油泵机构

员源绘制图 4 所示油泵的运动简图。

员缘计算图 3 所示机构自由度。若有复合铰链、局部自由度、虚约束 必须一一指出。

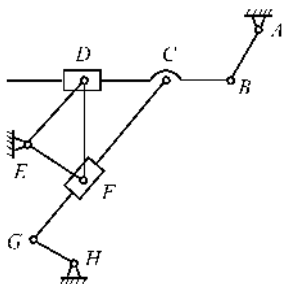


图 5 题 5 机构图

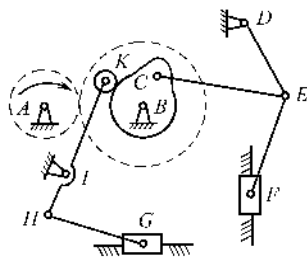


图 6 题 6 组合机构

员源计算图 5 所示凸轮—齿轮—连杆组合机构的自由度，其中大齿轮与凸轮固联在一起。若有复合铰链、局部自由度、虚约束 必须一一指出。

员缘计算图 6 所示机构自由度。若有复合铰链、局部自由度、虚约束 必须一一指出。

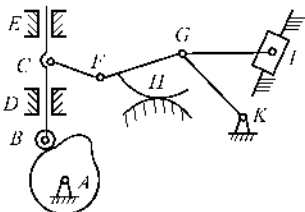
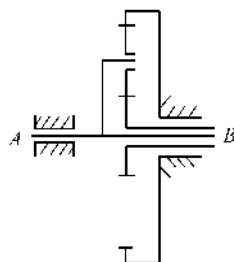


图 7 题 7 机构图



题 员愿图

摇摇员愿计算图 员愿所示机构自由度。若有复合铰链、局部自由度、虚约束,必须一一指出。

摇摇员愿计算图 员愿所示机构自由度,判断该机构是否具有确定运动,并确定机构级别。

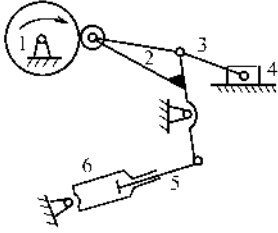


图 员愿题 员愿图

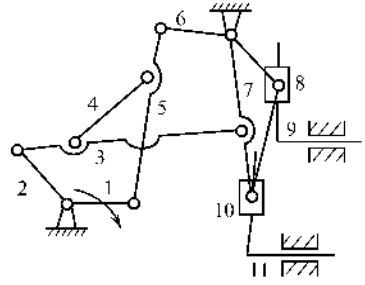


图 员愿题 员愿图

摇摇员愿计算图 员愿所示机构自由度,判断该机构是否具有确定运动,并确定机构级别。

第 四 章 摇 平面机构运动分析

圆 摇 重点与难点

圆 摇 基本概念

员 摇 速度瞬心

摇 速度瞬心是相对运动的两构件(两刚体)相对速度为零的重合点,也就是具有同一瞬时绝对速度的重合点。

圆 摇 绝对速度瞬心

绝对速度瞬心是运动刚体上瞬时绝对速度为零的一点。

猿 摇 相对速度瞬心

相对速度瞬心是两刚体上具有同一瞬时绝对速度的重合点。构件 蚤 和构件 躁 的相对速度瞬心一般用符号 孕_{蚤躁} 或 孕_{躁蚤} 来表示。

源 摇 速度多边形

根据速度矢量方程,按照一定的比例尺作出的由各速度矢量组成的图形称为速度多边形。其作图的起点 责 称为速度多边形极点。

缘 摇 加速度多边形

根据加速度矢量方程,按照一定的比例尺作出的由各加速度矢量组成的图形称为加速度多边形。其作图的起点 派 称为加速度多边形极点。

圆 摇 本章重点

本章的重点内容为:

- (员) 利用速度瞬心法求解机构的速度;
- (圆) 利用相对运动图解法求解机构的速度和加速度;
- (猿) 利用解析法建立机构的位移、速度、加速度方程式。

员 摇 速度瞬心法

(员) 概念

速度瞬心法是利用相对瞬心为两构件的瞬时绝对速度相等的重合点这一概念,建立待求运动构件速度与已知运动构件速度之间的关系式,从而求解未知速度的方法。利用这一方法,不仅可以求解速度,还可以求解未知的角速度。

(圆) 优、缺点

速度瞬心法的优点是方法比较简单、直观,而且不受构件间相对位置的影响,缺点是仅适用于构件数目比较少的简单机构。对于构件数目繁多的复杂机构,由于瞬心数目比