

高等职业教育机电类系列教材

机械设计基础 学习与训练指导

吕慧瑛摇主编

徐锦康摇主审

清华大学出版社

前摇摇言

本书是根据“机械设计基础”教学的基本要求以及目前教学改革发展的需要而编写的。“机械设计基础”是机械类和机电工程专业的主干课程,本书是为了帮助学生学好该课程而编写的辅助教材,适用于大多数《机械设计》(即机械原理和机械零件)和《机械设计基础》类教材。

本书的主要内容包括两部分:第Ⅰ部分是学习指导,归纳了教材中各章节的教学要求、各章重点、各章的主要知识点、教学内容辅导和典型例题;第Ⅱ部分是训练指导,以培养学生具有简单的机械系统设计能力为目标,讨论了机械系统方案设计、机构运动设计和常用零、部件的设计,介绍了各零件设计的要点、步骤和注意点。本书选编了 20 个课程设计题材供读者选用。

参加本书编写的有苏州职业大学的吕慧瑛(第Ⅰ章、第Ⅱ章、第Ⅲ章、第Ⅳ章、第Ⅴ章、第Ⅵ章、第Ⅶ章、第Ⅷ章、第Ⅷ章训练题 圆猿源缘),泰州职业技术学院的周雪梅、张斌(第Ⅷ章、第Ⅷ章、第Ⅷ章训练题 远苑愿怨),浙江工贸职业技术学院的丁素珍(第Ⅷ章、第Ⅷ章、第Ⅷ章、第Ⅷ章、第Ⅷ章、第Ⅷ章训练题 员)。全书由吕慧瑛担任主编并统稿。

本书由南京工程学院徐锦康教授精心审阅,并提出了许多宝贵意见,编者在此深表谢意。

由于作者水平有限,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编摇者

圆园园年 怨月

目摇摇录

第 员章摇平面机构结构分析	员
第 圆章摇平面连杆机构	苑
第 猿章摇凸轮机构	员缘
第 源章摇其他常用机构	圆园
第 缘章摇带传动和链传动	圆苑
第 远章摇齿轮传动	猿缘
第 苑章摇齿轮系	缘猿
第 愿章摇蜗杆传动	远园
第 怨章摇轴承	远缘
第 员园章摇轴	苑圆
第 员员章摇联接和弹簧	愿园
第 员圆章摇机械设计课程设计概述	怨源
第 员猿章摇机械系统方案设计	怨远
第 员源章摇传动装置的总体设计	员缘
第 员缘章摇传动装置零部件设计	员怨
第 员远章摇装配图和零件工作图设计	员缘
第 员苑章摇设计说明书	员苑
第 员愿章摇设计题目选编	员怨
主要参考文献	员怨

第 1 章 平面机构结构分析

1.1 本章的基本要求和重点

1.1.1 本章的基本要求

(1) 能绘制平面机构的运动简图。能够看懂中等复杂程度的机构运动简图,并能根据实际机构或机构结构图绘制机构运动简图。

(2) 能计算平面机构的自由度。掌握机构具有确定运动的条件,能识别机构中所具有的复合铰链、局部自由度和虚约束,能熟练运用自由度计算公式计算平面机构的自由度。

(3) 了解平面机构组成原理。了解 II 级杆组的基本形式,了解如何将机构分解成机架、原动件和一系列杆组。

1.1.2 本章重点

(1) 绘制平面机构的运动简图。

(2) 计算平面机构的自由度。

1.2 本章主要知识点

1.2.1 名词

构件——机械中的运动单元体。

零件——机械中不可拆卸的基本单元,它是制造的单元体。

运动副——两个构件直接接触形成的一种可动连接。

运动链——两个以上的构件以运动副连接而成的系统。

机构——具有两个固定构件的运动链。为了传递运动和动力,机构中各构件之间具有确定的相对运动。

1.2.2 机构运动简图

用规定的符号和线条,能表示机构的组成和运动情况的简图。

1.2.3 平面机构自由度

机构具有独立运动参数的数目。为保证机构具有确定的相对运动,机构的自由度数应等于原动件数。

平面机构自由度的计算公式:

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

式中: F ——机构自由度;

n ——机构中的活动构件数;

P_L ——机构中的低副数;

孕₁——机构中的高副数。

计算机机构自由度时,要注意猿个特殊问题:

(员) 复合铰链

圆个以上构件在同一处以转动副连接称为复合铰链。当构成复合铰链的构件数为皂时,此处转动副的数目为皂原员。

(圆) 局部自由度

机构中某些构件产生的不影响整个机构运动的自由度称为局部自由度。如滚子从动件凸轮机构中,滚子绕其自身轴线转动的自由度即为局部自由度,在计算自由度时,应先将滚子与其相连构件刚化,然后再代入公式计算。

(猿) 虚约束

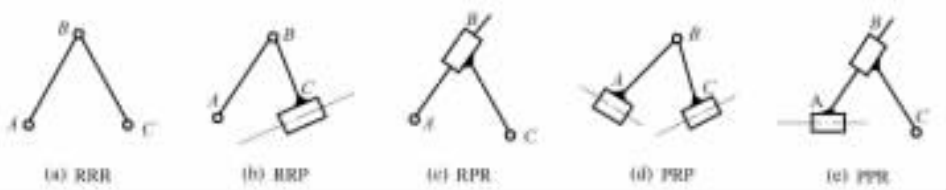
机构中不起独立限制作用的约束称为虚约束。它出现在:

- ① 用转动副连接的圆个构件,在连接点轨迹重合;
- ② 圆个构件组成多个转动副且轴线重合,圆个构件组成多个移动副且导路平行,圆个构件组成多个高副且过接触点的公法线重合;
- ③ 用双副杆连接圆个运动构件上距离始终不变的圆个点;
- ④ 不影响运动传递的结构重复或对称部分。

由上可知,虚约束是在特定的几何条件下出现的,若该几何条件不满足,虚约束将转化为实际有效约束。

源援平面机构组成原理

机构是由若干个杆组依次连接到原动件和机架上构成。最简单、最常用的基本杆组是由圆个构件和猿个低副组成的,称为II级组,它有如图员圆所示的缘种不同的类型。由图所示,每个杆组有员个内副,月连接组内圆个构件,圆个外副,粤悦将杆组与组外另圆个构件连接。用字母砸代表转动副、字母孕代表移动副,可对缘种II级杆组进行命名,其中砸砸砸、砸孕砸、砸孕孕猿种杆组更为常用。机构的级别由组成机构的最高级的杆组决定,只有原动件和机架的机构称为I级机构,最高级杆组为II级的机构称为II级机构,最高级杆组为III级的机构称为III级机构,依次类推。



图员圆缘个II级杆组

员猿 本章学习内容辅导

员援为了正确绘制平面机构的运动简图,首先应对机构进行正确分析,看清楚各构件之间的连接关系,正确判断这种连接关系对构件运动所起的限制作用。然后,对所绘简图

进行自由度计算,若计算所得的自由度数不等于给定的原动件数,则所画的机构运动简图必存在错误。

平面机构运动简图绘制的步骤为:

(员) 首先找出固定件(机架),确定原动件。

(圆) 从原动件出发,沿着运动传递的路线,搞清各构件间相对运动的性质,从而确定运动副的种类。

(猿) 测量出运动副间的相对位置。

(源) 选择平面机构的运动平面为投影面,选择适当比例尺,用线条和符号绘制出机构运动简图。

(缘) 给构件编号、给运动副标注字母。

圆在进行自由度分析时,必须先分析该机构中是否存在复合铰链、局部自由度和虚约束,作相应处理后再代入公式,进行自由度计算。这里要注意全部由移动副组成的机构,其自由度计算公式不可以用云越裁土原圆孕。因为机构中不含转动副,表明该机构中每个活动构件的自由度只有圆个(圆个方向的移动),而每个移动副所产生的约束数只有员个(限制员个方向的移动),所以自由度计算公式应为云越圆土原孕。如图猿所示的机构,其中活动构件数为猿,全部为移动副连接,共有缘个移动副,其自由度计算为

$$\text{云越圆土原孕越圆伊猿原缘越员}$$

猿在进行机构运动简图设计时,不能认为自由度数等于原动件数,该机构就一定成立。必须遵循机构组成原理,通过将杆组依次加到原动件和机架上来组成机构。如图猿所示,按照自由度计算公式云越猿伊原原圆伊缘原员越员,若给定员个原动件(凸轮),机构应有确定的相对运动。但仔细分析该机构,可以看到悦点是不能运动的,如果将它作为杆猿上的点,则悦点的轨迹是以阅为圆心,以悦阅长为半径的圆弧;但如果将它作为杆源上的点,则悦点应沿着导路运动。因此,该点的运动是不能实现的。另外,还必须注意,同一杆组的外部副不能全接在同一构件上,因为这种并接起不到添加杆组的作用,只能产生桁架。

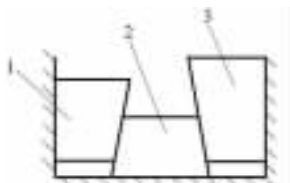


图 1-10 全部由移动副连接的机构

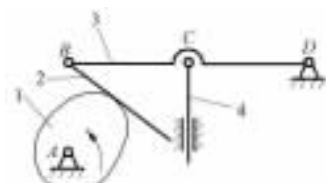


图 1-11 自由度分析

为了了解机构的组成,需要对机构进行结构分析。将机构分解成原动件、机架和一系列杆组。机构结构分析的步骤为:

(员) 除去机构中的虚约束、局部自由度,完成高副低代。

(圆) 计算机构自由度,确定原动件。

(猿) 从远离原动件处的构件开始拆组,先试拆 II 级组,如拆不出再试拆 III 级组。当拆下一个基本杆组后,仍从 II 级组开始拆组,直到剩下机架和原动件为止。

(源) 拆组的原则是每拆除一个基本杆组后,剩下的系统必须仍为机构,且自由度不变。

(缘) 按照拆出的最高级杆组确定机构的级别。

员源 典型例题

例 员源 画出图 员源 所示机构的运动简图。

解:从图中可见 员为机架,构件 圆在 粤点与机架连接,并相对机架转动,构成转动副;构件 猿与构件 圆在 月点以转动副连接,构件 猿与构件 源在 悦点以转动副连接,构件 源相对机架 员可以上、下移动,构成移动副,移动副导路就在 粤、悦连线上。量出 粤、悦的长度,取适当比例尺,绘得该机构的运动简图如图 员源 所示。

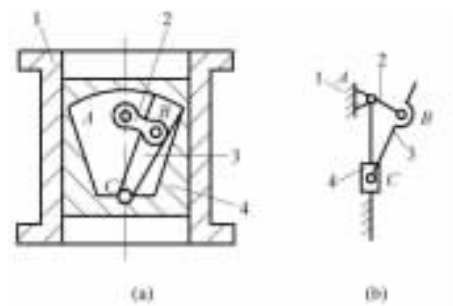


图 员源 冲压装置

例 员缘 图 员缘 为一机构初拟方案,由凸轮 源带动摆杆 猿,使构件 圆作上下运动。试通过计算自由度分析该运动能否实现。若不能实现,请设计其改进方案。

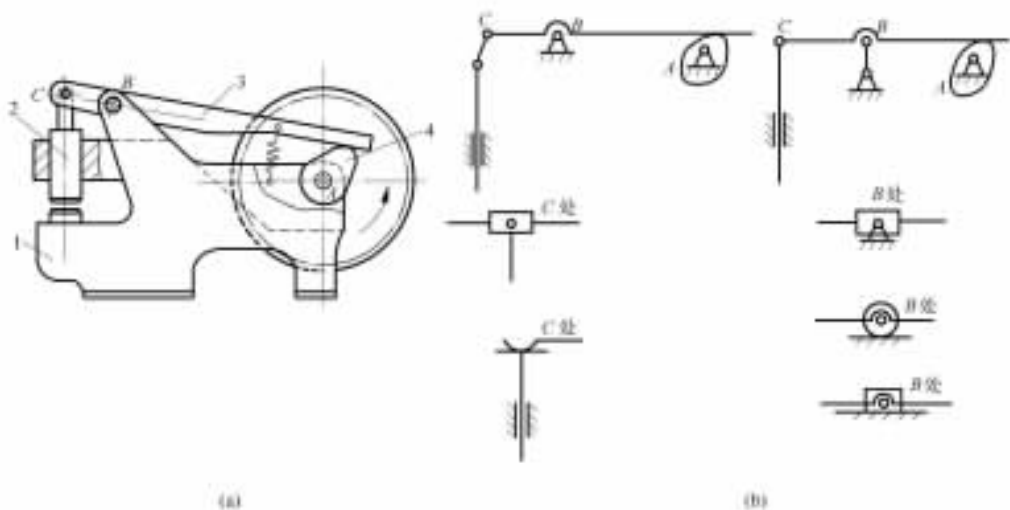


图 员缘 机构方案设计

转动副和圆个高副去除。另外,齿轮猿构件源和机架在悦点构成复合铰链,此处有圆个转动副。自由度为

云越猿土原圆孕原孕习,越猿伊原原圆伊原原圆越圆

当只给定员个原动件时,机构运动不确定。

例 员猿猿 分析图 员猿猿 所示的平面机构,并确定该机构的级别。

解:因所取原动件不同,可得不同的分析结果:

以 粤杆为原动件,机构分解成如图 员猿猿 遭所示,为 III 级机构;

以 员杆为原动件,机构分解成如图 员猿猿 糟所示,为 II 级机构;

以 悦杆为原动件,机构分解成如图 员猿猿 凿所示,为 II 级机构。

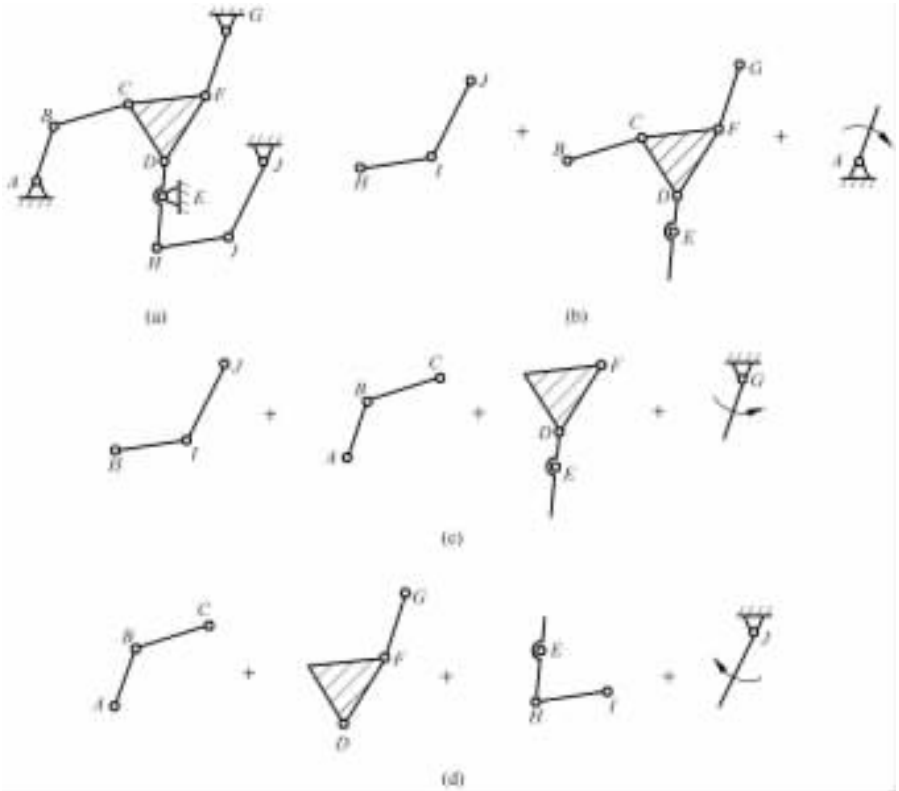


图 员猿猿 平面机构结构分析

第 四章 平面连杆机构

四·一 本章的基本要求和重点

四·一·一 本章的基本要求

(一) 了解平面四杆机构的基本类型及其演化。熟悉组成铰链四杆机构的各构件的名称,以及铰链四杆机构各种基本类型的名称;了解四杆机构的演化方法。

(二) 掌握平面四杆机构的基本特性。能根据四杆机构中有曲柄的条件,判断出平面四杆机构的基本型式;能确定四杆机构中压力角、传动角、极位夹角的大小;掌握行程速比系数的定义和计算;能确定四杆机构中死点的位置以及克服死点和利用死点的方法。

(三) 会用图解法设计平面四杆机构。学会根据预定的运动规律或预定的运动轨迹来设计平面四杆机构。

四·一·二 本章重点

(一) 平面四杆机构的演化。

(二) 平面四杆机构的基本特性。

(三) 平面四杆机构的运动设计。

四·二 本章主要知识点

四·二·一 名词

平面连杆机构——由平面低副连接而成的机构。

周转副——能使两构件作整周相对转动的转动副。

摆转副——不能作整周相对转动的转动副。

机架——机构中固定不动的构件。

连杆——机构中作平面复杂运动的构件。

连架杆——与机架相连的构件。

曲柄——能作整周回转的连架杆。

摇杆——只能在小于 360° 范围内摆动的连架杆。

曲柄摇杆机构——一个连架杆中,一个是曲柄、一个是摇杆的铰链四杆机构。

双曲柄机构——两个连架杆都是曲柄的铰链四杆机构。

双摇杆机构——两个连架杆都是摇杆的铰链四杆机构。

四·二·二 四杆机构的演化

平面四杆机构的基本型式是铰链四杆机构,通过演化方法可以演化成多种多样其他型式的四杆机构。

演化的方法有：

- (员) 扩大转动副直至将转动副变成移动副；
- (圆) 取不同构件为机架。

在实际机器中,由于各种需要,连杆机构的外形和构造往往很不相同,但它们具有相同的运动特性或一定的内在联系。了解四杆机构的演化对机构的分析和设计十分有用。

猿 四杆机构的基本特性

(员) 铰链四杆机构有曲柄的条件

- ① 最短杆与最长杆的长度之和小于或等于其他 圆个杆长度之和；
- ② 连架杆与机架中有 员个杆为最短杆。

根据上述条件可以得到：

在满足最短杆与最长杆的长度之和小于或等于其他 圆个杆长度之和时：

- ① 当最短杆为连架杆时,得到曲柄摇杆机构；
- ② 当最短杆为机架时,得到双曲柄机构；
- ③ 当最短杆为连杆时,得到双摇杆机构。

当最短杆与最长杆的长度之和大于其他 圆个杆长度之和时,得到的是双摇杆机构。

(圆) 急回特性

当连杆机构(如曲柄摇杆机构)的主动件(曲柄)为等速回转时,从动件(摇杆)空回行程(摆回)的平均速度大于从动件(摇杆)工作行程(摆出)的平均速度,这种运动特性称为急回特性,可用行程速度变化系数 λ 来衡量。 $\lambda = \frac{v_{\text{摆回}}}{v_{\text{摆出}}} = \frac{\omega_{\text{摆回}}}{\omega_{\text{摆出}}}$,其中 θ 为极位夹角,即当机构从动件(摇杆)处在 圆个极限位置时,主动件(曲柄)所对应 圆个位置间所夹的锐角。

只要机构的极位夹角 θ 不等于 园,该机构就有急回运动。 θ 越大,急回运动越显著, θ 越园机构无急回运动。

(猿) 压力角与传动角

在四杆机构中,当不计摩擦时,主动件通过连杆作用在从动件上的力的作用线与其作用点的速度方向之间所夹的锐角,称为机构在此位置的压力角 α ,它的余角 γ 称为传动角。它们可以用来衡量机构的传动性能,为了使机构的传动质量良好,常规定机构的最小传动角 $\gamma_{\text{min}} \geq \gamma_{\text{min}}$ 。

(源) 死点

当机构的传动角等于 园时,主动件通过连杆传给从动件的力正好通过回转中心,因而驱动力矩为零,不能使从动件转动,机构的这种位置称为死点。一般可借助惯性或采用机构错位排列的方法来渡过死点,工程上也有利用死点工作的情况。

缘 平面四杆机构的运动分析

平面四杆机构的运动分析是根据原动件的已知运动规律,来确定其他构件的角位移、角速度和角加速度或构件上某些点的位移、速度和加速度。用解析法进行运动分析时,首先建立封闭矢量方程式,然后向坐标轴投影得位置方程式。将位置方程式对时间进行一次、二次求导,则依次可得到速度和加速度方程。

缘 平面四杆机构的运动设计

四杆机构的设计是根据已知的运动条件和几何条件,来确定机构的型式和各构件的尺寸。可以归纳为实现给定的运动规律和实现给定的运动轨迹两类设计问题。

(员) 给定连杆(包括活动铰链 月,悦)的位置来设计四杆机构

该问题的关键是求固定铰链 粤和 阅的位置。月 悦)是在以 粤 阅)为圆心,粤月 悦阅)为半径的圆上运动的,因此,各位置点 月,悦)连线的中垂线的交点,即为所求的 粤 阅)点。

(圆) 给定 圆个连架杆的位置设计四杆机构

该问题是采用刚化反转法,将给定 圆个连架杆的对应位置转化为给定连杆的对应位置来解决的。为了不改变反转前后机构的相对运动,必须将原机构每一个位置的各个构件之间的相对位置视为刚体,并用作全等多边形的方法,求出反转后机构的各构件的相对位置。

该问题用解析法设计时,可建立封闭矢量方程式(取各构件长度的相对值为未知数)。该方程式有 缘个待定参数,可以满足 缘组连架杆的对应位置,若只需满足 猿组对应位置,则可以预先给定 圆个连架杆的初始角。

(猿) 给定行程速比系数 运设计四杆机构

由行程速比系数 运可以计算出极位夹角 θ ,再根据其他相应的几何条件,可设计出四杆机构。

圆猿 本章学习内容辅导

圆猿四杆机构的演化中取不同构件为机架的方法也称“运动倒置法”,是根据构件相对运动不变的原理。在运动设计时用到的“刚化反转法”与凸轮机构中的“反转法”以及齿轮系中的“转化机构法”都是依据相同的原理。

圆猿机构是否具有急回特性,要具体情况具体分析。一个对心曲柄滑块机构,因极位夹角 $\theta = 0^\circ$ 机构没有急回特性,但一个偏置曲柄滑块机构,因极位夹角 $\theta \neq 0^\circ$ 机构有急回特性。摆动导杆机构的摆角与其极位夹角相等,它有急回特性,但转动导杆机构就没有急回特性。虽然对心曲柄滑块机构和转动导杆机构均无急回特性,但当它们组合后就可以有急回特性。因此,机构是否具有急回特性,要从概念出发,找出机构的极位夹角,从而确定机构是否有急回特性。

圆猿机构中的传动角是变化的,为了保证最小传动角大于许用值,需要确定最小传动角的位置。曲柄摇杆机构的最小传动角出现在曲柄与机架共线的两位置之一(图 圆猿 葬);曲柄滑块机构的最小传动角出现在曲柄与导路垂直的位置(图 圆猿 遭);导杆机构在任何位置最小传动角都等于 怨园°(图 圆猿 糟(曾))。

圆猿在曲柄摇杆机构或曲柄滑块机构中,若以曲柄为主动件,则不存在死点。只有以摇杆或滑块为主动件时,曲柄与连杆共线的位置才是死点。要注意“死点”、“自锁”与机构自由度小于、等于零的区别。自由度小于、等于零表明运动链中各构件间不可作相对运动。死点是指不计摩擦时机构所处的特殊位置,利用惯性或其他办法,机构可以通过死点位置,正常运动。而自锁是指机构在考虑摩擦的情况下,当驱动力的作用方向满足一定的几何条件时,虽然机构的自由度大于零,但机构仍无法运动的现象。

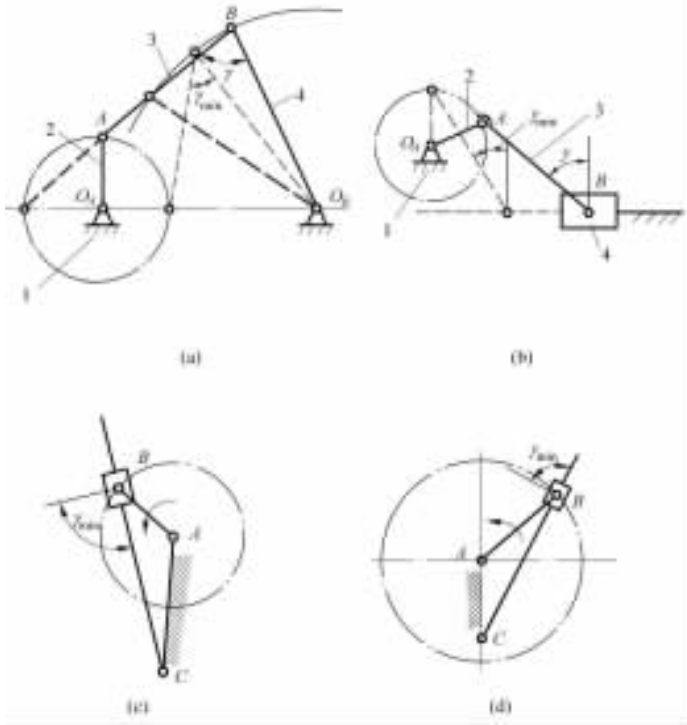


图 10-10 摇杆机构中的最小传动角



图 10-11 摇杆四杆机构运动分析

对平面机构进行运动分析可采用杆组法。如要对图 10-11 所示的铰链四杆机构 (属于 II 级组) 进行运动分析, 则将其先划分成 I 级组 (曲柄和摇杆) 和 II 级组 (连杆)。已知曲柄的位置和运动参数以及曲柄的杆长和角速度, 可以求出任一瞬时连杆的位置、速度和加速度; 接着对连杆组进行分析, 可进一步求出摇杆的位置、速度和加速度, 以及曲柄和连杆的角位置、角速度和角加速度; 再对摇杆进行分析, 它是一个 I 级组, 已知连杆的位置、速度和加速度以及连杆的长度和相对连杆的位置, 可求出该瞬时摇杆的位置、速度和加速度。

由于机构运动分析杆组法的计算机软件已经十分成熟, 只要将机构按杆组分析清楚后, 依次调用相应杆组运动分析的子程序, 最后调用打印程序、运动线图绘制程序, 就可把所要求的数据及曲线全部输出。

援用图解法进行运动设计时,首先根据已知的几何条件作图,然后将运动条件转化为几何条件(如将行程速比系数 运转化成极位夹角 θ)画出。一般先按运动规律定出机构各杆的长度,然后检验机构是否满足所要求的其他条件。

圆题典例

例 圆在 个铰链四杆机构 中,已知 造,越缘园皂,造,越缘园皂,造,越猿园皂,粤为机架。

(员)若此机构为曲柄摇杆机构,且 粤为曲柄,求 造的最大值;

(圆)若此机构为双曲柄机构,求 造的最小值;

(猿)若此机构为双摇杆机构,求 造的取值范围。

解:由于四杆机构的猿种类型取决于杆长之和条件以及选取的机架,题意给定杆 粤为机架,因此本题主要考虑杆长条件。

(员)因 粤为机架,粤为曲柄,欲使该机构为曲柄摇杆机构,则杆 粤应为最短杆。故有 造垣造 ≤ 造垣造,则 造 ≤ 造垣造,原造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,所以 造 越猿园皂。

(圆)因 粤为机架,欲使该机构为双曲柄机构,则杆 粤和 悦均应为曲柄,杆 粤应为最短杆,此时有 圆种情况:

设 月为最长杆,则 造 约造 越缘园皂,且 造垣造 ≤ 造垣造,

故 造 ≥ 造垣造,原造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,

得 缘园皂 ≤ 造 约缘园皂。

设 粤为最长杆,则 造 > 造 越缘园皂,且 造垣造 ≤ 造垣造,

故 造 ≤ 造垣造,原造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,

得 缘园皂 约造 ≤ 缘园皂。

所以 造 越缘园皂。

(猿)若机构不满足杆长条件,则机构为双摇杆机构,此时有 猿种情况:

设 粤为最短杆,则 造垣造 跃造垣造,

得 造 跃造垣造,原造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,

设 粤为最长杆,则 造垣造 跃造垣造,

得 造 跃造垣造,原造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,

又若要保证机构成立,则应有

造 约造垣造垣造垣造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,

故 缘园皂 约造 约猿园皂。

设 粤杆既不是最短杆,也不是最长杆,则 造垣造 跃造垣造,

得 造 约造垣造,原造 越猿园皂垣猿园皂垣猿园皂垣猿园皂,

故要使机构为双摇杆机构,粤杆的取值为 猿园皂 约造 约缘园皂和 缘园皂 约造 约猿园皂。

例 圆在图 圆(葬)所示的铰链四杆机构中,已知各杆长度为 造,越缘园皂,

造越远皂皂,造越缘皂皂,造越园皂皂。

(员) 试确定该机构是否有曲柄;

(圆) 判断此机构是否存在急回特性,若存在,试确定其极位夹角,并估算行程速比系数;

(猿) 若以构件 粤为主动件,画出机构的最小传动角和最大传动角的位置;

(源) 在什么情况下机构存在死点位置?

解:(员) 机构中有否曲柄可以检查杆长条件。因为造垣造越圆垣缘越园缘皂皂约造垣造越远垣缘越园皂皂,且连架杆 粤为最短杆,故该机构有曲柄,粤杆就是曲柄,该机构是曲柄摇杆机构。

(圆) 机构急回特性分析关键是确定机构的极位夹角。取比例尺 $\mu_{造}$ 越员皂皂/皂皂作摇杆 悦阅处在圆个极限位置时的机构位置图 粤月悦阅和 粤月悦阅,如图 圆原遭所示。图中 \angle 悦粤悦越 θ 为极位夹角,由图中量得 θ 越缘毅,故该机构有急回特性,可求得 运越 员毅(垣) 猿员毅(原) 越 员毅(垣) 猿员毅(原) 越 员毅。

(猿) 若以曲柄 粤为主动件,则机构在曲柄 粤与机架 粤阅共线时的圆个位置存在最小传动角和最大传动角。用作图法作出这圆个位置 粤月悦阅与 粤月悦阅,由图可得 $\gamma_{最}$ 越 \angle 月悦阅越缘毅, $\gamma_{最}$ 越 \angle 月悦阅越员毅。

(源) 当以曲柄 粤为主动件时,机构无死点位置;若以摇杆 悦阅为主动件时,则以从动件 粤与连杆 月悦共线的圆个位置 粤月悦阅和 粤月悦阅为机构的死点位置。

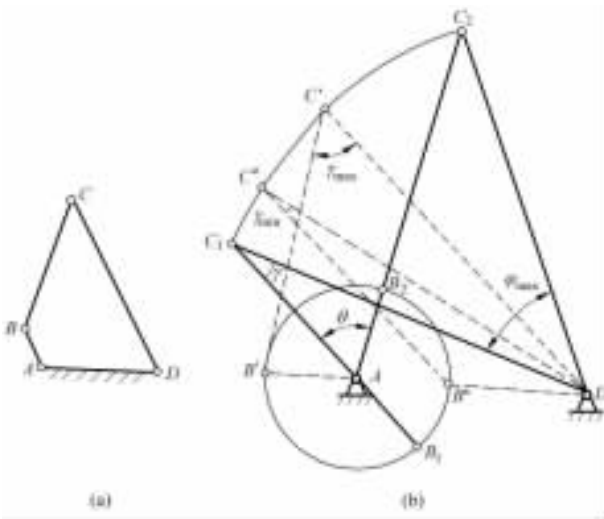


图 圆原遭 摇杆四杆机构

例 圆原葬 图 圆原葬 所示的插床用转动导杆机构中(导杆 粤悦可作整周转动),已知造越园皂皂,造越远皂皂,行程速度变化系数 运越圆,求曲柄 月悦的长度及滑块 孕的行程 泽。

解:此六杆机构是由员个对心曲柄滑块机构和员个转动导杆机构组成。由于 粤悦可作整周回转,可作出滑块 孕的圆个极限位置 孕和 孕,如图 圆原遭所示。孕和 孕就是 粤阅

