“十三五”职业教育国家规划教材

机械设计基础

AR版 附微课视频

第六版

新世纪高职高专教材编审委员会 组编
主 编 王少岩 罗玉福

- “互联网+”创新型教材
- AR立体呈现，交互性强
- 微课详解重难点，生动易懂

大连理工大学出版社

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

3.2　平面四杆机构存在曲柄的条件及基本特性

学习要点

1、能够运用平面四杆机构存在曲柄的条件判断机构的类型。

2、掌握机构的急回特性、压力角、传动角及死点的概念，并能够在运动简图上进行标注。

3.2.1　铰链四杆机构存在曲柄的条件

铰链四杆机构有三种基本形式，其主要区别在于机构中是否存在曲柄以及曲柄的数目。在铰链四杆机构中，是否存在曲柄、有几个曲柄，与各构件的尺寸及取哪一个构件作为机架有关。下面分析铰链四杆机构存在曲柄的条件。

在图 3-26 所示的铰链四杆机构中，AB 为曲柄，CD 为摇杆，各杆的长度分别为 a、b、c、d。因 AB 为曲柄，因此可作出其做整周转动时两次与连杆共线的位置，如图中 AB_1C_1D、AB_2C_2D 所示。在曲柄与连杆部分重叠而成共线的位置构成 $\triangle AC_1D$；在曲柄与连杆相延长而成共线的位置构成 $\triangle AC_2D$。

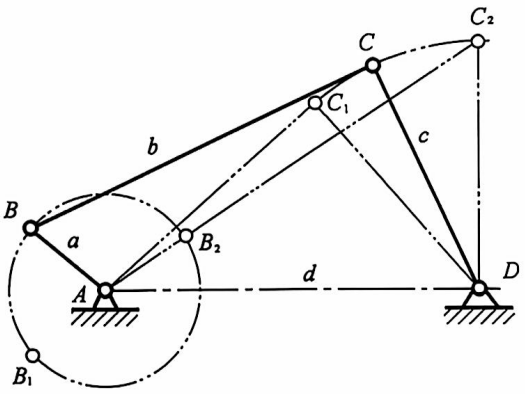

图 3-26　铰链四杆机构曲柄存在条件

根据三角形两边之和必大于第三边，对于 $\triangle AC_1D$ 有

$$c<(b-a)+d$$

$$d<(b-a)+c$$

移项得

$$a+c<b+d$$

$$a+d<b+c$$

对于 $\triangle AC_2D$ 有

$$a+b<c+d$$

微课

铰链四杆机构存在曲柄的条件

由于 $\triangle AC_1D$ 与 $\triangle AC_2D$ 的形状随各杆的相对长度不同而变化，故考虑三角形变为一直线的特殊情况，此时，曲柄与连杆成一直线的位置即四杆共线的位置。在曲柄与另一杆长度之和正好等于其余两杆长度之和时才出现这一特殊情况，于是上面三式应写为

$$\begin{cases} a+c\leqslant b+d \\ a+d\leqslant b+c \\ a+b\leqslant c+d \end{cases} \tag{3-1}$$

将上述三式中每两式相加并简化，可得

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

$$\begin{cases} a \leqslant b \\ a \leqslant c \\ a \leqslant d \end{cases} \tag{3-2}$$

由式(3-2)可知，曲柄(连架杆)AB必为最短杆，再改取不同的构件为机架，可归纳出铰链四杆机构中曲柄存在的条件：

(1)连架杆和机架中必有一杆为最短杆(简称最短杆条件)。

(2)最短杆与最长杆长度之和小于或等于其余两杆长度之和(简称杆长和条件)。

通过分析可得出如下结论：

(1)铰链四杆机构中，如果最短杆与最长杆的长度之和小于或等于其余两杆长度之和，则根据机架选取的不同，可有下列三种情况：

①取最短杆为连架杆，则最短杆为曲柄，另一连架杆为摇杆，组成曲柄摇杆机构。

②取最短杆为机架，则两连架杆均为曲柄，组成双曲柄机构。

③取最短杆对面的杆为机架，则两连架杆均为摇杆，组成双摇杆机构。

(2)铰链四杆机构中，如果最短杆与最长杆的长度之和大于其余两杆长度之和，则不论取哪一杆为机架，都没有曲柄存在，均为双摇杆机构。

3.2.2 急回特性

某些连杆机构，例如插床、刨床等单向工作的机械，当主动件(一般为曲柄)等速转动时，为了缩短机器的非生产时间，提高生产率，要求从动件快速返回。这种当主动件等速转动时，做往复运动的从动件在返回行程中的平均速度大于工作行程的平均速度的特性称为急回特性。现以曲柄摇杆机构为例分析机构的急回特性。

在如图 3-27 所示的曲柄摇杆机构中，设曲柄 AB 为主动件，摇杆 CD 为从动件。当曲柄 AB 按 ω 顺时针做等速转动时，摇杆 CD 做变速往复摆动。

曲柄 AB 在转动一周的过程中，有两次与连杆 BC 共线，这时摇杆 CD 分别位于两极限位置 C_1D 与 C_2D。从动摇杆在两极限位置 C_1D 与 C_2D 之间往复摆动的角度称为摆角 ψ。

从动件 CD 处于两极限位置时，曲柄两对应位置之间所夹的锐角称为极位夹角 θ。

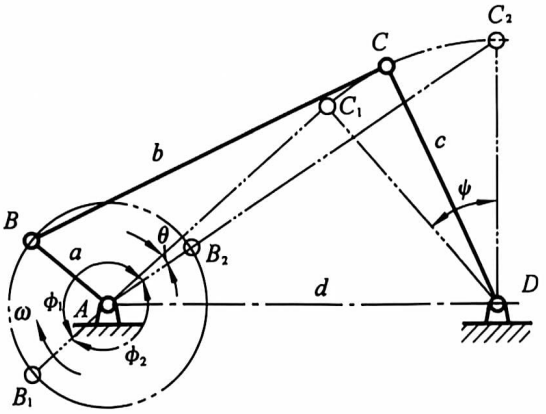

图 3-27 曲柄摇杆机构的急回特性分析

在曲柄摇杆机构中，设摇杆由 C_1D 摆到 C_2D 的运动过程为工作行程。在这一行程中，曲柄转角 $\phi_1=180°+\theta$，所需时间为 $t_1=\phi_1/\omega=(180°+\theta)/\omega$，摇杆的摆角为 ψ，摇杆在工作行程中的平均速度为 $v_1=\overset{\frown}{C_1C_2}/t_1$。摇杆由 C_2D 摆回 C_1D 的运动过程为回程。在这一回程中，曲柄转角 $\phi_2=180°-\theta$，所需时间为 $t_2=\phi_2/\omega=(180°-\theta)/\omega$，摇杆的摆角为 ψ，摇杆在回程中的平均速度为 $v_2=\overset{\frown}{C_2C_1}/t_2$。因为$(180°+\theta)>(180°-\theta)$，即 $t_1>t_2$，所以 $v_2>v_1$，表明曲柄摇杆机构具有急回特性。急回特性的程度用 v_2 和 v_1 的比值 K 来表示，

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

K 称为行程速比系数，即

$$K=\frac{v_2}{v_1}=\frac{t_1}{t_2}=\frac{\phi_1}{\phi_2}=(180°+\theta)/(180°-\theta) \tag{3-3}$$

上式表明，机构的急回速度取决于极位夹角 θ 的大小。θ 越大，K 值越大，机构的急回程度越明显，但机构的传动平稳性下降。因此在设计时，应根据工作要求合理地选择 K 值，通常取 $K=1.2\sim2.0$。

微课

平面四杆机构急回特性的应用

偏置曲柄滑块机构和摆动导杆机构也具有急回特性。值得注意的是，在摆动导杆机构中 $\theta=\psi$，如图 3-28 所示。

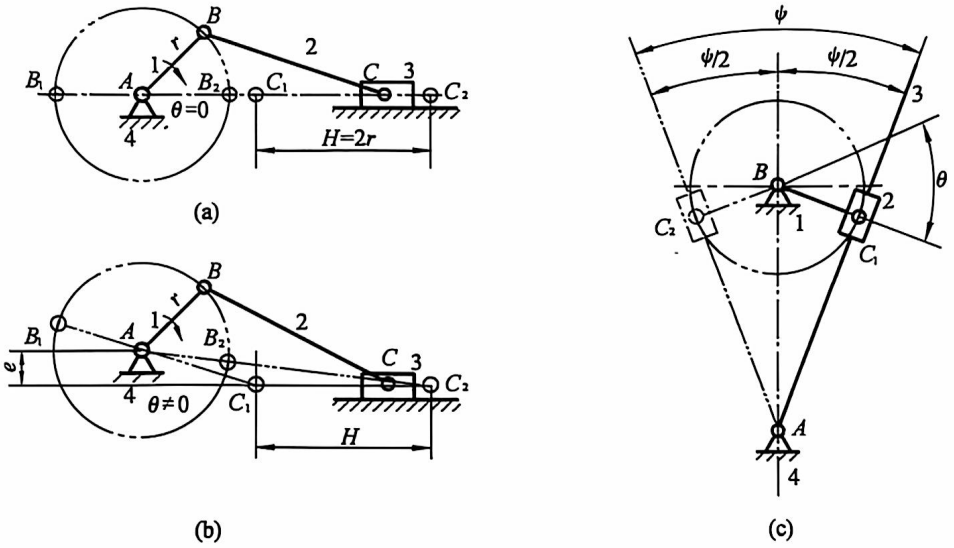

图 3-28　机构急回特性的判定

3.2.3　压力角和传动角

在设计平面四杆机构时，不仅应使其实现预期的运动，而且应使运转轻便、效率高，即具有良好的传力性能。

在如图 3-29 所示的曲柄摇杆机构中，如不计各杆质量和运动副中的摩擦，则连杆 BC 可视为二力杆，它作用于从动件摇杆 CD 上的力 F 是沿 BC 方向的。作用在从动件上的驱动力 F 与其受力点速度 v_C 方向线之间所夹的锐角 α 称为压力角。压力角的余角 γ 称为传动角。压力角和传动角在机构运动过程中是变化的。

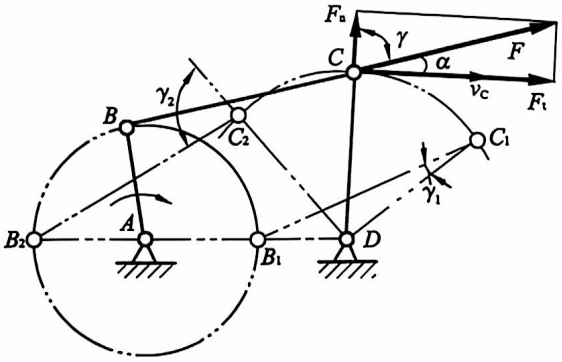

图 3-29　曲柄摇杆机构的压力角和传动角

压力角越小或传动角越大，对机构的传动越有利；而压力角越大或传动角越小，会使转动副中的压力增大，磨损加剧，降低机构传动效率。由此可见，压力角和传动角是反映机构传力性能的重要指标。为了保证机构的传力性能良好，规定工作行程中的最小

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

传动角 $\gamma_{min} \geqslant 40° \sim 50°$。

分析表明，在曲柄摇杆机构中，γ_{min} 可能出现在曲柄与机架共线的两个位置之一，可通过计算或作图量取这两个位置的传动角，其中的小值即为 γ_{min}，如图 3-30 所示。

在图 3-30 所示的曲柄滑块机构中，若曲柄 AB 为主动件，则最小传动角 γ_{min} 出现在曲柄 AB 垂直于滑槽中心线位置，最小传动角 γ_{min} 的计算公式为

对心曲柄滑块机构：

$$\gamma_{min} = \arccos \frac{r}{l} \qquad (3\text{-}4)$$

偏置曲柄滑块机构：

$$\gamma_{min} = \arccos \frac{r+e}{l} \qquad (3\text{-}5)$$

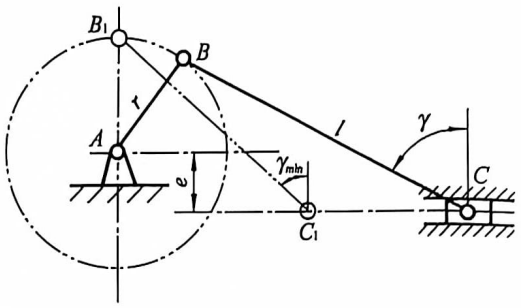

图 3-30 偏置曲柄滑块机构的最小传动角

对于以曲柄为主动件的摆动导杆机构和转动导杆机构，在不考虑摩擦时，由于滑块对导杆的作用力总与导杆垂直，而导杆上力的作用点的线速度方向总与作用力同向，因此压力角总是等于 0°，传动角总是等于 90°，所以导杆机构的传动性能很好。

3.2.4 死点位置

在如图 3-31 所示的曲柄摇杆机构中，若摇杆为主动件，当摇杆处于两极限位置时，从动曲柄与连杆共线，主动摇杆通过连杆传给从动曲柄的作用力通过曲柄的转动中心，此时曲柄的压力角 $\alpha = 90°$，传动角 $\gamma = 0°$，因此无法推动曲柄转动，机构的这个位置称为死点位置。

死点位置常使机构从动件无法运动或出现运动不确定现象。在以滑块为主动件的曲柄滑块机构中，连杆与曲柄共线时的两个位置也称为死点位置，如图 3-28(a)、图 3-28(b)所示。

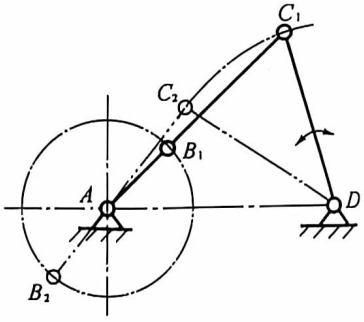

图 3-31 曲柄摇杆机构的死点位置

由上述可见，平面四杆机构是否存在死点位置，取决于从动件是否与连杆共线。对于同一机构，若主动件不同，则有无死点位置将有所不同。例如对于曲柄摇杆机构和曲柄滑块机构，当曲柄为主动件时机构没有死点位置，只有当曲柄为从动件时机构才具有死点位置。

为了使机构能顺利地通过死点位置，通常在从动件轴上安装飞轮，利用飞轮的惯性通过死点位置。也可采用多组机构交错排列的方法，如两组机构交错排列，使左、右两机构不同时处于死点位置。

在工程上有时也需利用机构的死点位置来进行工作。例如飞机的起落架、折叠式家具和夹具等机构，如图 3-32 所示。

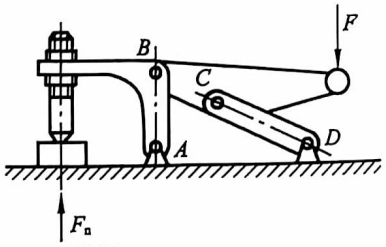

图 3-32 钻床夹具

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App