

专业课强化精讲课程

第4讲

第七章 凸轮机构

一、凸轮机构的应用何特点

应用：

凸轮机构具有结构简单，可以准确实现要求的运动规律等优点，因而在工业生产中得到广泛的应用。

特点：

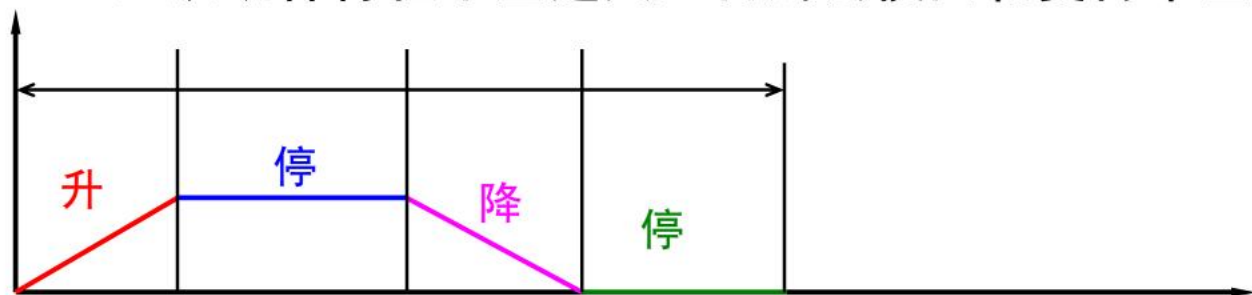
优点：1) 可使从动件得到各种预期的运动规律。

2) 结构紧凑。 3) 实现停歇运动

缺点：1) 高副接触，易于磨损，多用于传递力不太大的场合。

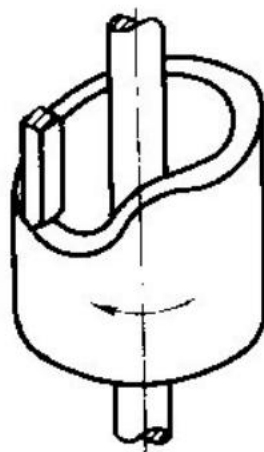
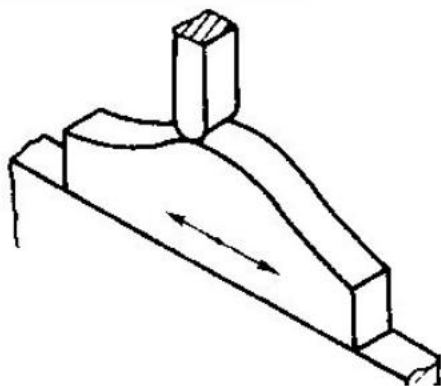
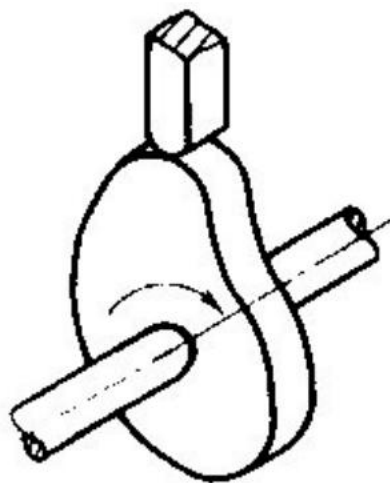
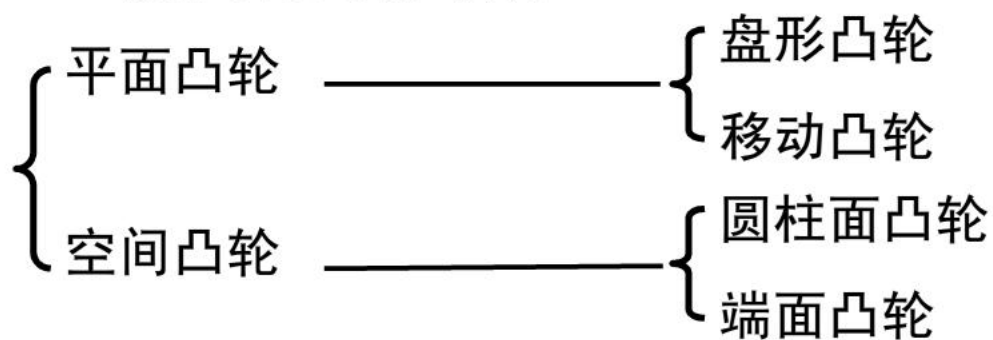
2) 加工比较困难。

3) 从动件行程不宜过大，否则会使凸轮变得笨重。



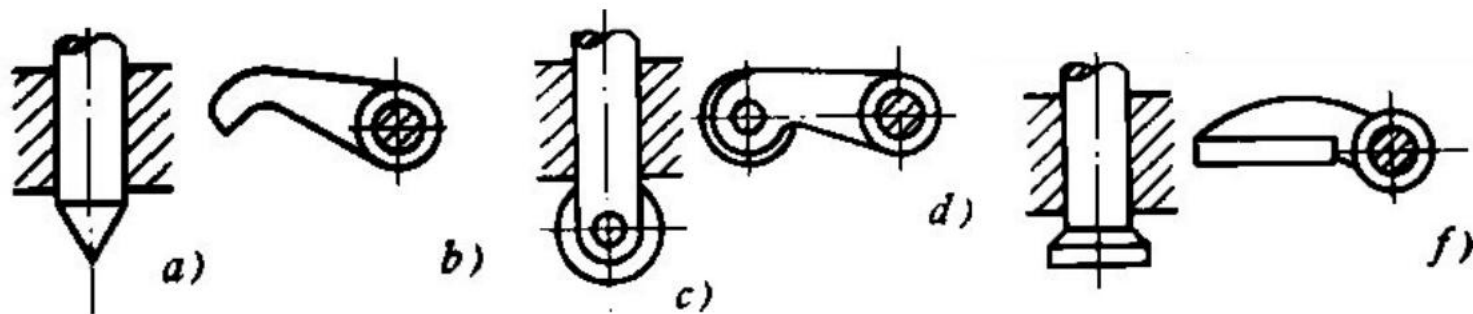
二、凸轮机构的类型和应用

1、按凸轮的形状分：



2、按从动件端部型式分：

- ❖ 尖端从动件——易磨损，承载能力低，用于轻载低速
- ❖ 滚子从动件——磨损小，承载能力较大，用于中载中速
- ❖ 平底从动件——受力好，润滑好，常用于高速

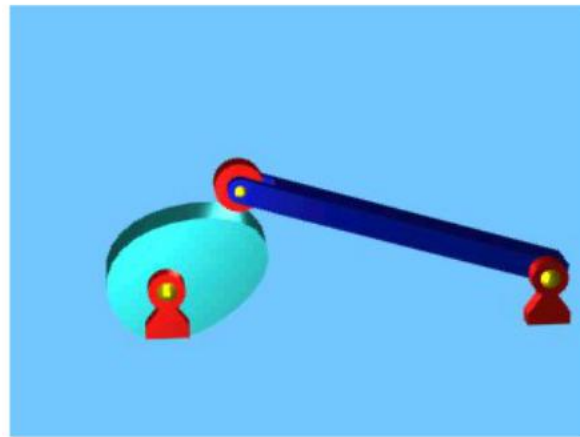
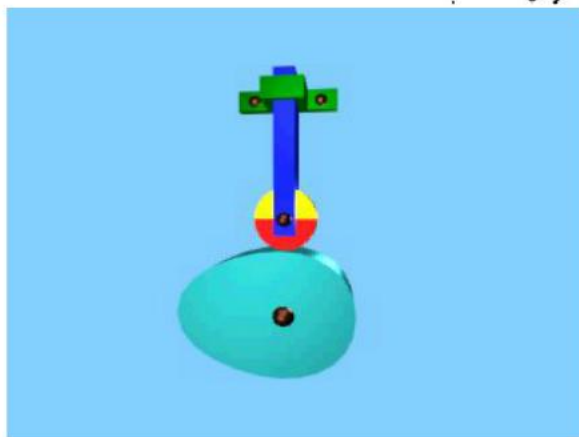
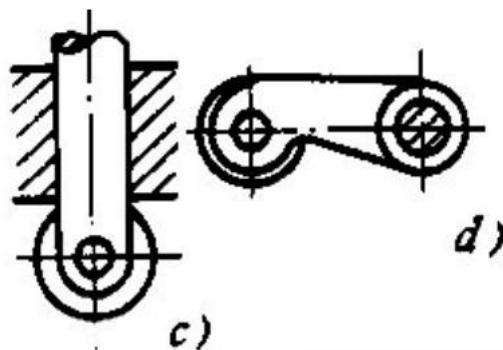


3、按从动件的运动方式分：

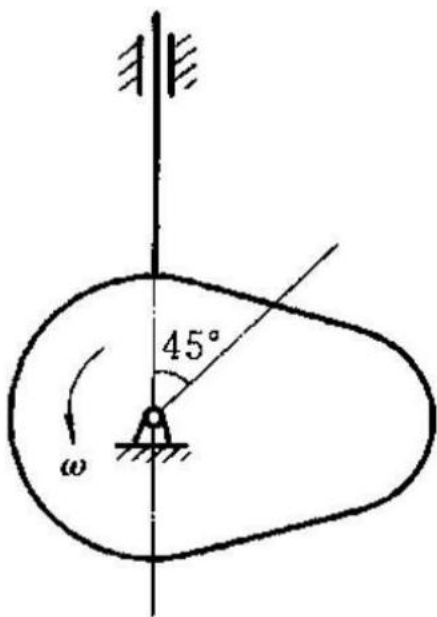
❖ 直动从动件

❖ 摆动从动件

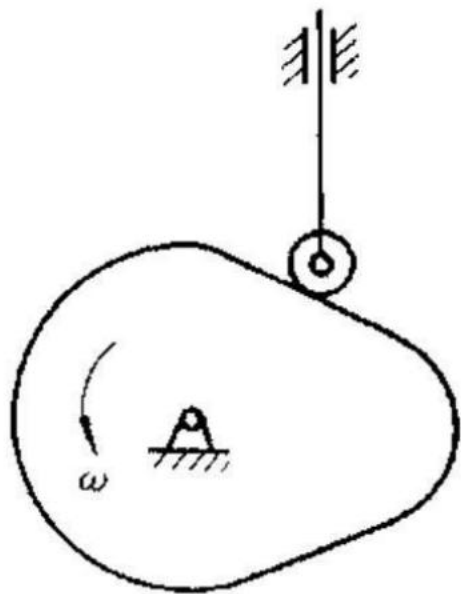
—— { 对心
偏置



机构的命名——(3) + (2) + (1)



对心直动尖端从动件
盘形凸轮机构



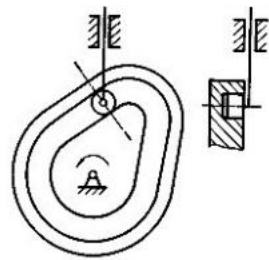
偏置直动滚子从动件
盘形凸轮机构

4、按凸轮与从动保持接触的锁合装置分：

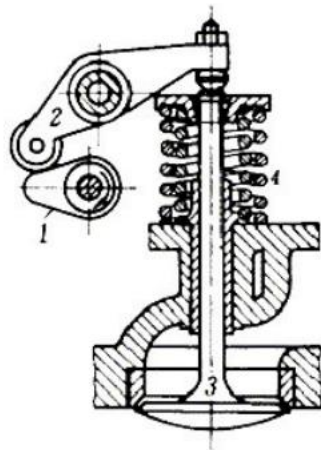
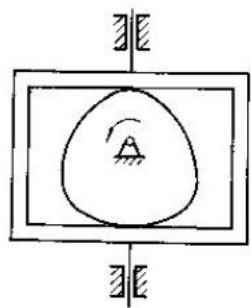
(1) 力锁合

利用推杆的重力、弹簧力或其它外力使推杆始终与凸轮保持接触

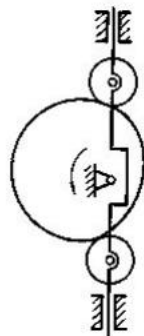
槽凸轮机构



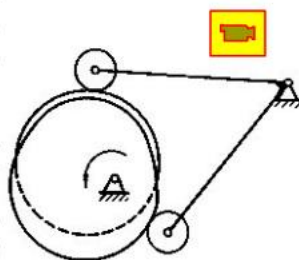
等宽凸轮机构



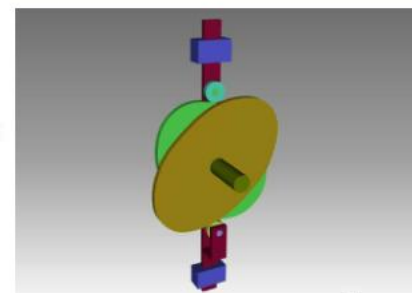
等径凸轮机构



共轭凸轮机构



(2) 形锁合 利用凸轮与推杆构成的高副元素的特殊几何结构使凸轮与推杆始终保持接触



三、从动件常用运动规律

★从动件的运动规律——从动件的运动（位移、速度和加速度）与时间或凸轮转角间的关系。

从动件的运动规律既可以用线图表示，也可以用数学方程式表示。若从动件的位移方程为 $s = f(\delta)$ ，则

位移为 s ，速度 v ，凸轮转角 δ

速度方程

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\delta} \cdot \frac{d\delta}{dt} = \omega \cdot \frac{ds}{d\delta}$$

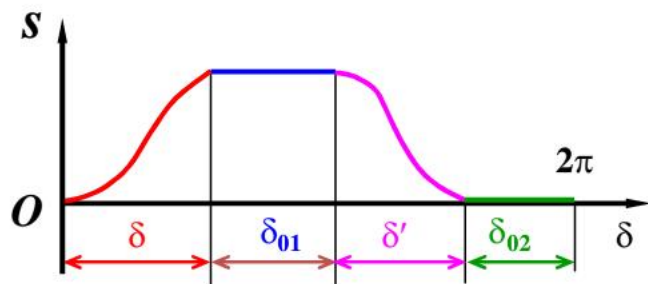
类速度

加速度方程

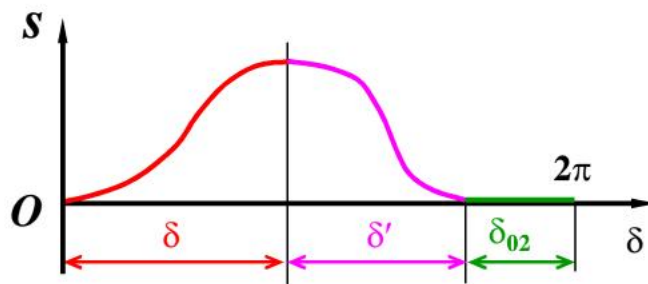
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\delta} \cdot \frac{d\delta}{dt} = \omega^2 \cdot \frac{d^2s}{d\delta^2}$$

类加速度

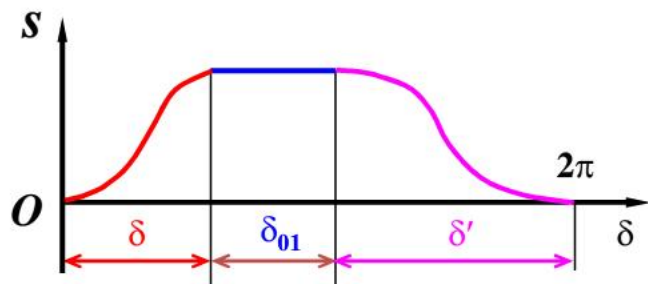
按照从动件在一个循环中是否需要停歇及停在何处等，可将凸轮机构从动件的位移曲线分成如下四种类型：



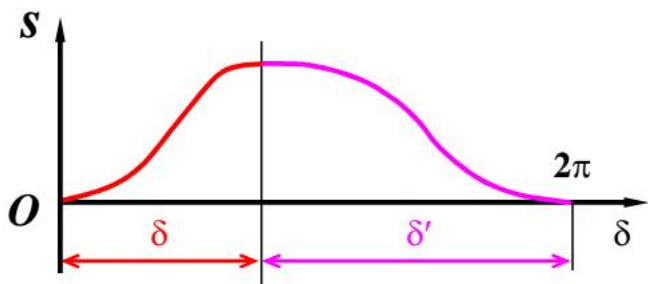
(1) 升-停-回-停型



(2) 升-回-停型



(3) 升-停-回型



(4) 升-回型

★ 从动件常用运动规律

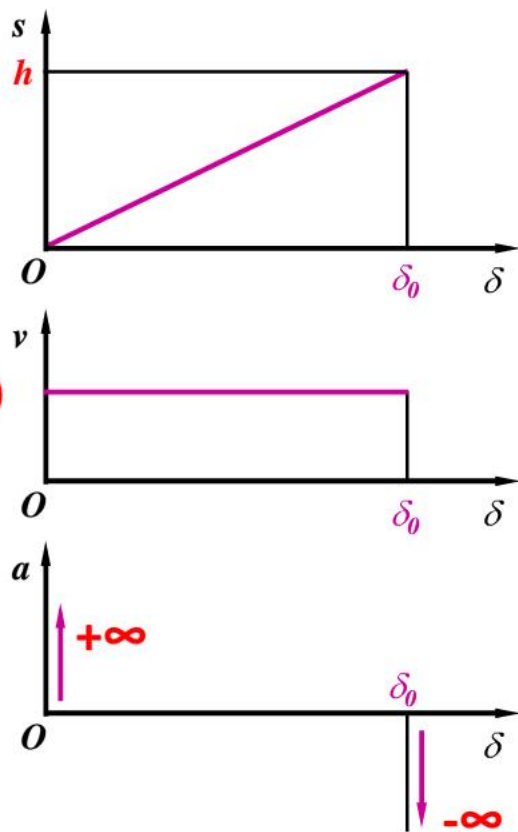
1. 等速运动规律

作推程运动线图

$$\begin{cases} s = (h/\delta_0)\delta \\ v = (h/\delta_0)\omega \\ a = 0 \end{cases} \quad \delta \in [0, \delta_0]$$

从动件在起始和终止点速度有突变，使瞬时加速度趋于无穷大，从而产生无限值惯性力，并由此对凸轮产生冲击

—— 刚性冲击



★等速运动规律运动特性

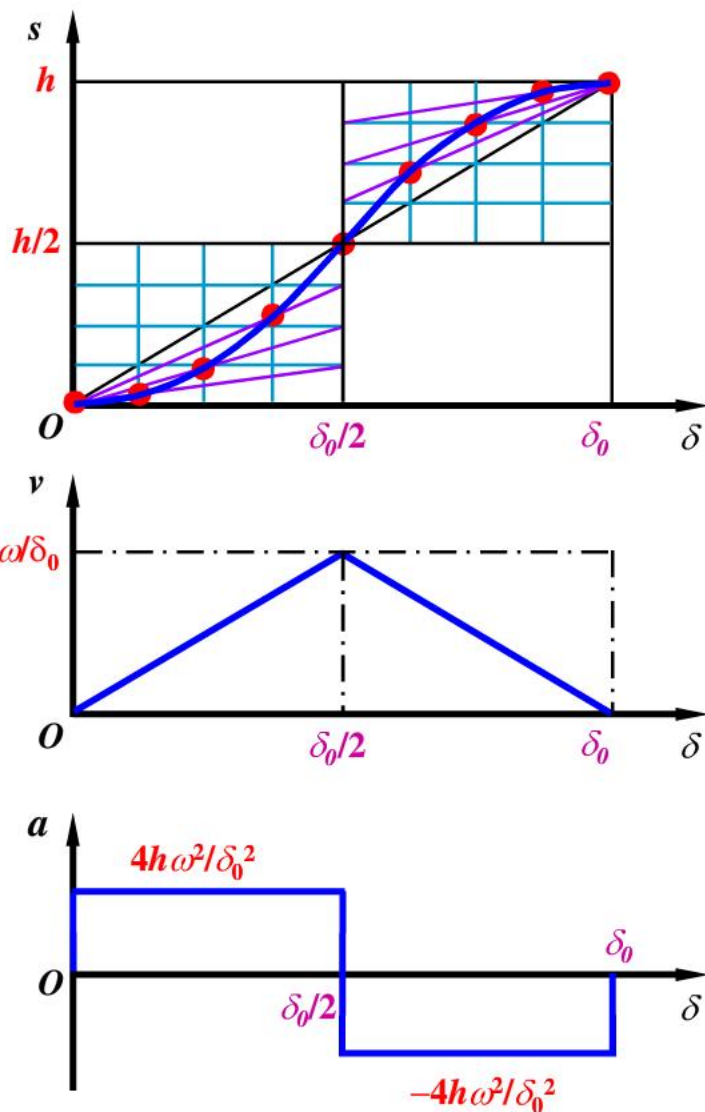
- ✓ 从动件在运动起始和终止点存在刚性冲击
- ✓ 适用于低速轻载场合

2. 等加速等减速运动规律

从动件在起点、中点和终点，
因加速度有有限值突变而引起推杆惯性力的有限值突变，
并由此对凸轮产生有限值冲击——柔性冲击

★等加速等减速运动规律运动特性：

- ✓ 从动件在运动起始、中点和终止点存在柔性冲击
- ✓ 适用于中速轻载场合



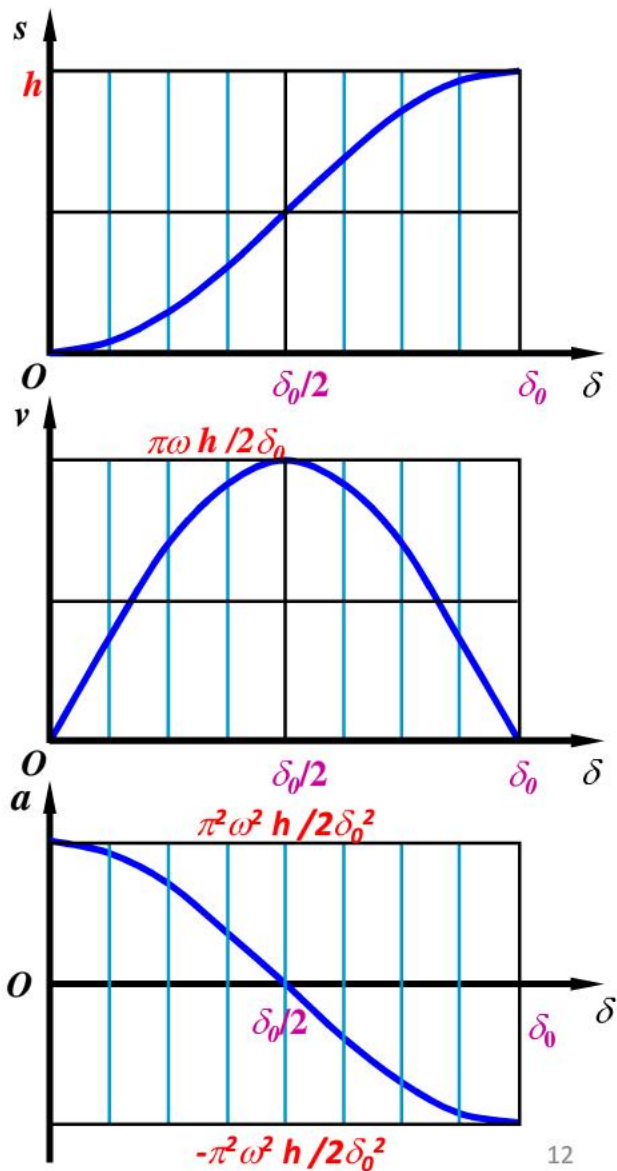
3. 余弦加速度运动规律

余弦加速度运动规律的运动特性:

★ 从动件加速度在起点和终点存在有限值突变, 故有柔性冲击

★ 若从动件作无停歇的升—降—升连续往复运动, 加速度曲线变为连续曲线, 可以避免柔性冲击

★ 适用于中速中载场合



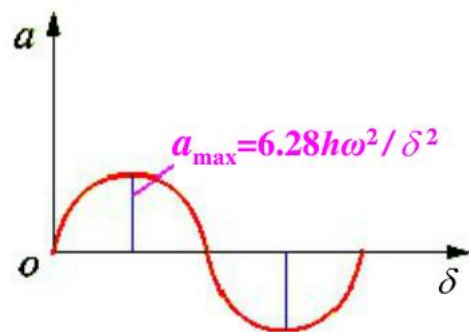
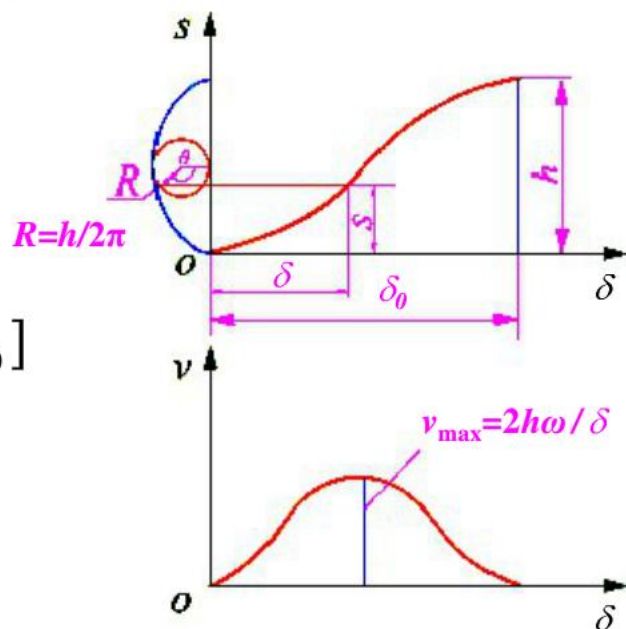
4. 正弦加速度运动规律(1周期)

推程运动方程:

$$\begin{cases} s = h \left[\frac{\delta}{\delta_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \left(2\pi \frac{\delta}{\delta_0} \right) \right] \\ v = \frac{\omega h}{\delta_0} \left[1 - \cos \left(2\pi \frac{\delta}{\delta_0} \right) \right] \\ a = \frac{2\pi\omega^2 h}{\delta_0^2} \sin \left(2\pi \frac{\delta}{\delta_0} \right) \end{cases} \quad \delta \in [0, \delta_0]$$

回程运动方程:

$$\begin{cases} s = h \left[1 - \frac{\delta}{\delta'_0} + \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi}{\delta'_0} \delta \right) \right] \\ v = \frac{h\omega}{\delta'_0} \left[\cos \left(\frac{2\pi}{\delta'_0} \delta \right) - 1 \right] \\ a = -\frac{2\pi h}{\delta'_0{}^2} \omega^2 \sin \left(\frac{2\pi}{\delta'_0} \delta \right) \end{cases} \quad \delta \in [0, \delta'_0]$$



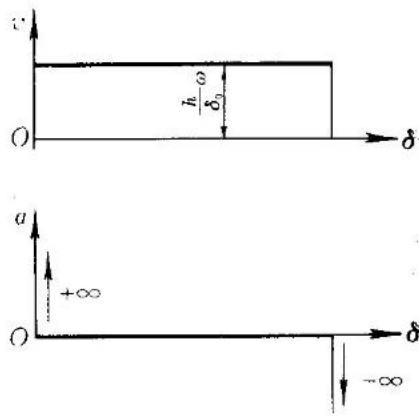
推程段的运动线图¹³

正弦加速度运动规律运动特性:

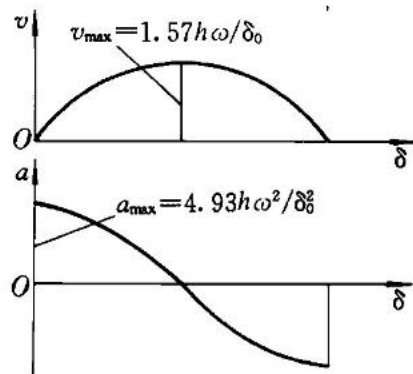
- ★ 从动件加速度没有突变, 因而将不产生任何冲击
- ★ 适用于高速轻载场合

各种常用运动规律的比较

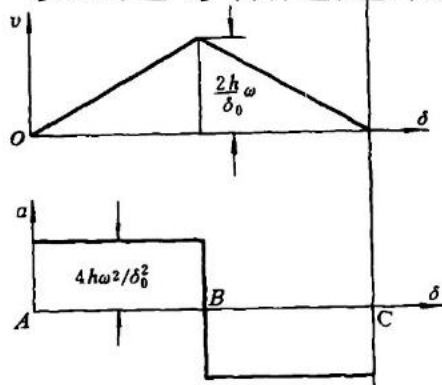
等速运动规律



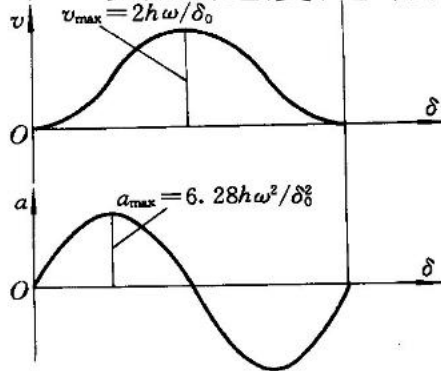
余弦加速度运动规律



等加速等减速运动规律



正弦加速度运动规律



四、组合运动规律

★采用组合运动规律的目的：

避免有些运动规律引起的冲击，改善推杆其运动特性。

★构造组合运动规律的原则：

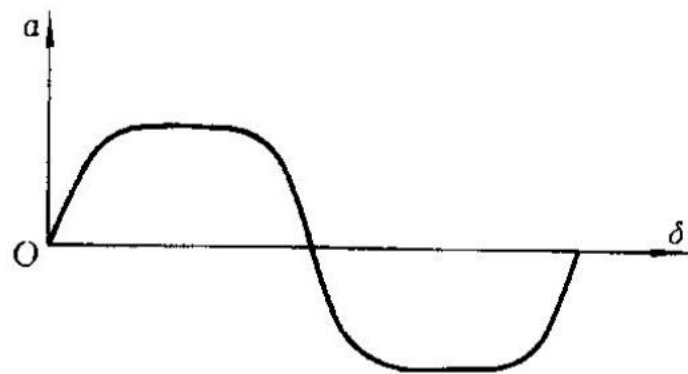
- 根据工作要求选择主体运动规律，然后用其它运动规律组合；
- 保证各段运动规律在衔接点上的运动参数是连续的；
- 在运动始点和终点处，运动参数要满足边界条件。

★组合运动规律示例

例1：改进梯形加速度运动规律

主运动：等加等减运动规律

组合运动：在加速度突变处以正弦加速度曲线过渡。

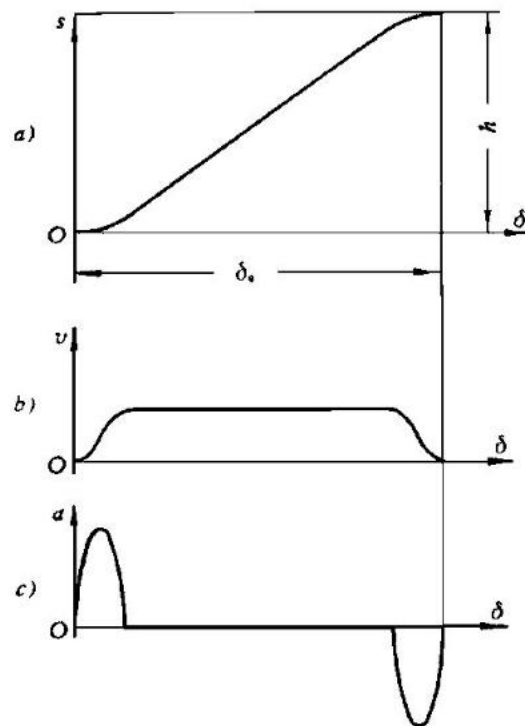


组合运动规律示例2：

组合方式：

主运动：等速运动规律

组合运动：等速运动的行程两端与正弦加速度运动规律组合起来。



五、从动件运动规律的选择

1. 选择推杆运动规律的基本要求

- 满足机器的工作要求；
- 使凸轮机构具有良好的动力特性；
- 使所设计的凸轮便于加工。

2. 根据工作条件确定推杆运动规律几种常见情况

- A. 当机器的工作过程只要求从动件具有一定的工作行程，而对其运动规律无特殊要求时，应从便于加工和动力特性来考虑。

❖ 低速轻载凸轮机构：采用圆弧、直线等易于加工的曲线作为凸轮轮廓曲线。

❖ 高速凸轮机构：首先考虑动力特性，以避免产生过大的冲击。

- B. 当机器对从动件的运动特性有特殊要求，而只用一种基本运动规律又难于满足这些要求时，可以考虑采用满足要求的组合运动规律。
- C. 为避免刚性冲击，位移曲线和速度曲线必须连续；而为避免柔性冲击，加速度曲线也必须连续。
- D. 尽量减小速度和加速度的最大值。

小 结

运动规律	运动特性	适用场合
等速运动规律	刚性冲击	低速轻载
等加速等减速运动规律	柔性冲击	中速轻载
余弦加速度运动规律	柔性冲击	中低速中载
正弦加速度运动规律	无冲击	中高速轻载

六、 盘形凸轮轮廓曲线的设计

(1) 凸轮轮廓线设计的方法及基本原理

1. 设计方法 $\left\{ \begin{array}{l} \text{图解法} \\ \text{解析法} \end{array} \right.$

2. 基本原理 —— 反转法

假想给整个机构加一公共角速度 $-\omega$ ，各构件的相对运动关系并不改变

凸轮：转动 \longrightarrow 相对静止不动

从动件：

沿导轨作预期运动
规律的往复移动

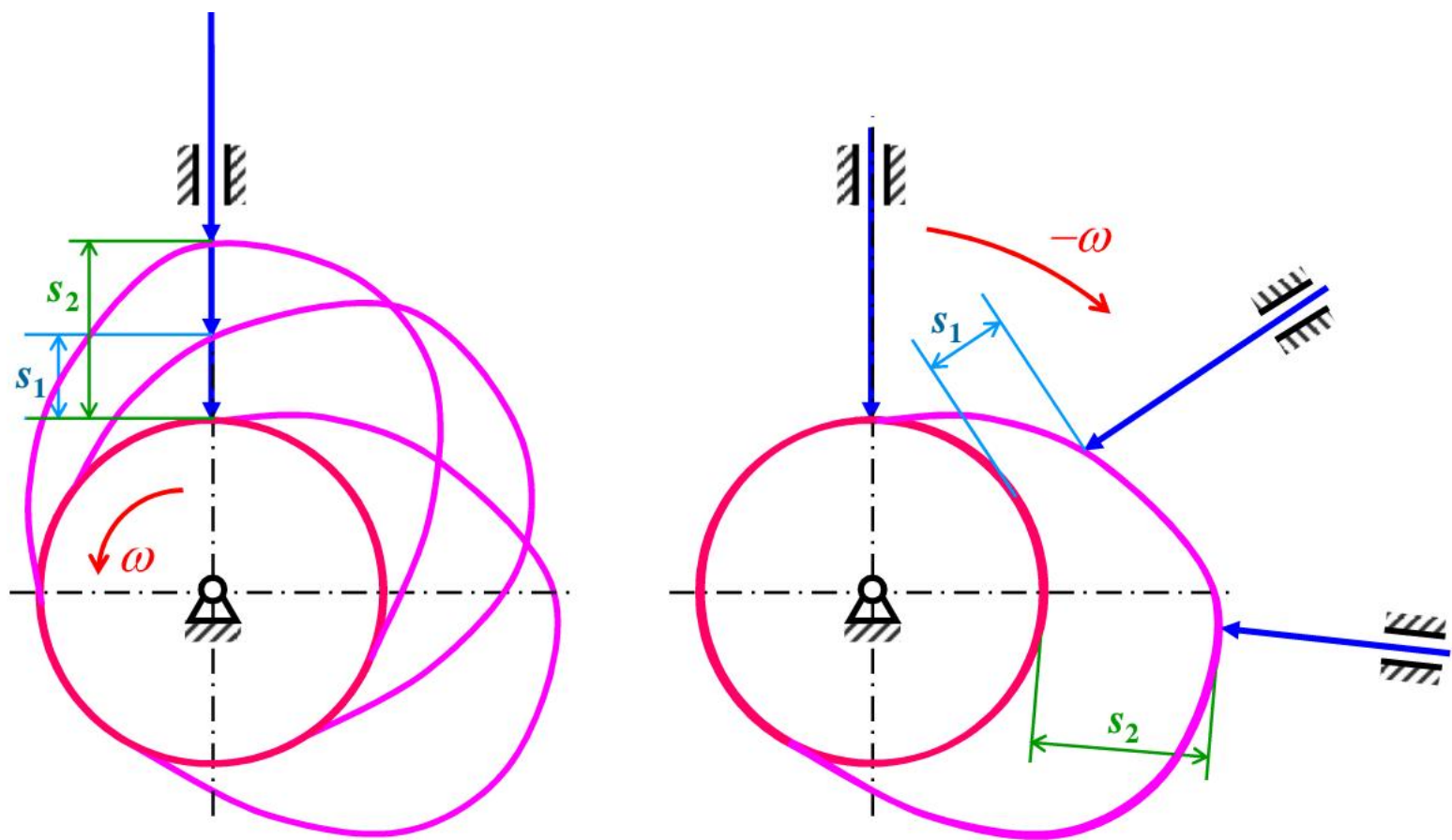


沿导轨作预期运动
规律的往复移动



随导轨以 $-\omega$ 绕
凸轮轴心转动

	原机构	转化机构
凸轮	ω	$\omega - \omega = 0$
机架	0	$0 - \omega = -\omega$
从动件	\vec{V}	$\vec{V} + \vec{\omega}$



假想给整个机构加一公共角速度 $-\omega$ ，则凸轮相对静止不动，而从动件一方面随导轨以 $-\omega$ 绕凸轮轴心转动，另一方面又沿导轨作预期运动规律的往复移动。从动件尖顶在这种复合运动中的运动轨迹即为凸轮轮廓曲线。

(2) 图解法设计凸轮轮廓曲线

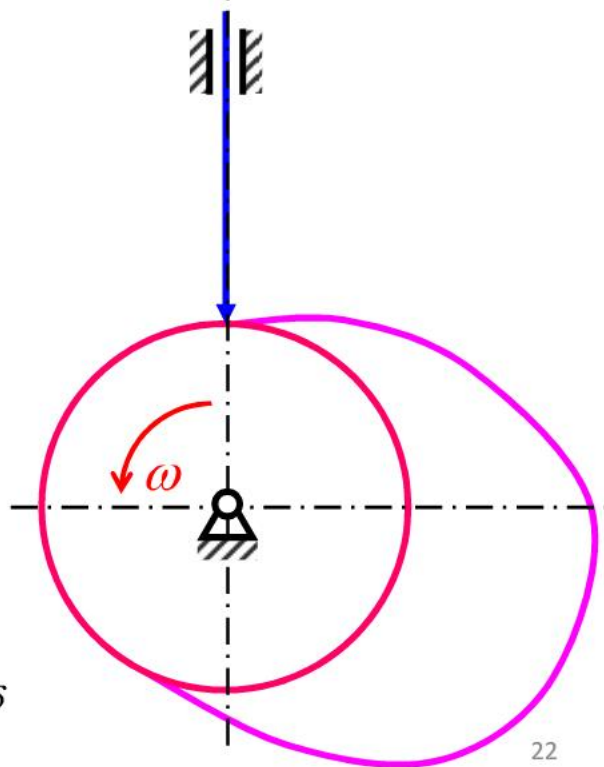
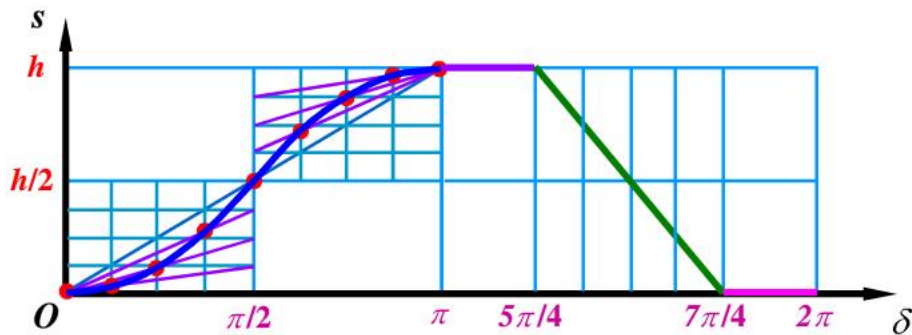
v 从动件位移——凸轮在从动件导路方向上，基圆以外的尺寸

1. 对心直动尖端从动件盘形凸轮机构

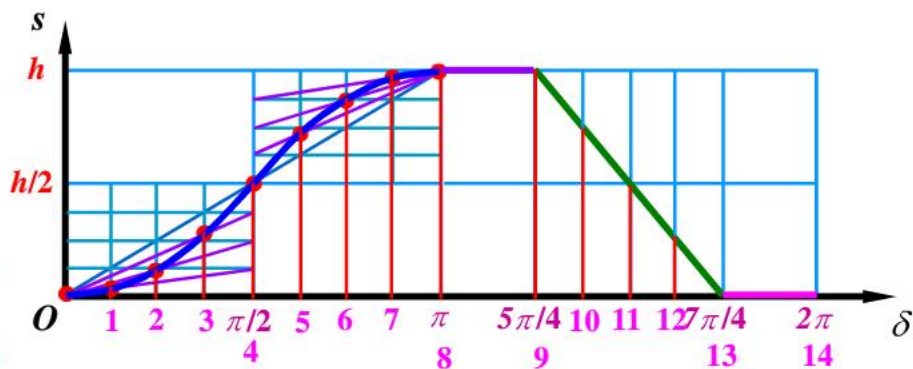
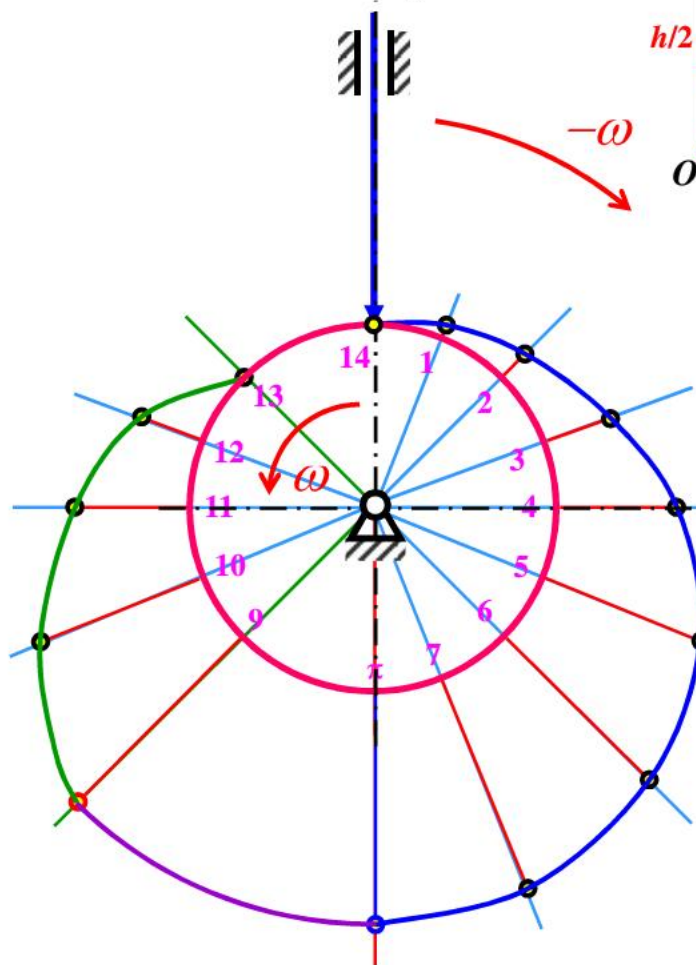
已知：推杆的运动规律、升程 h ；
凸轮的 ω 及其方向、基圆半径

r_0

设计：凸轮轮廓曲线



取长度比例尺 μ_l 绘图

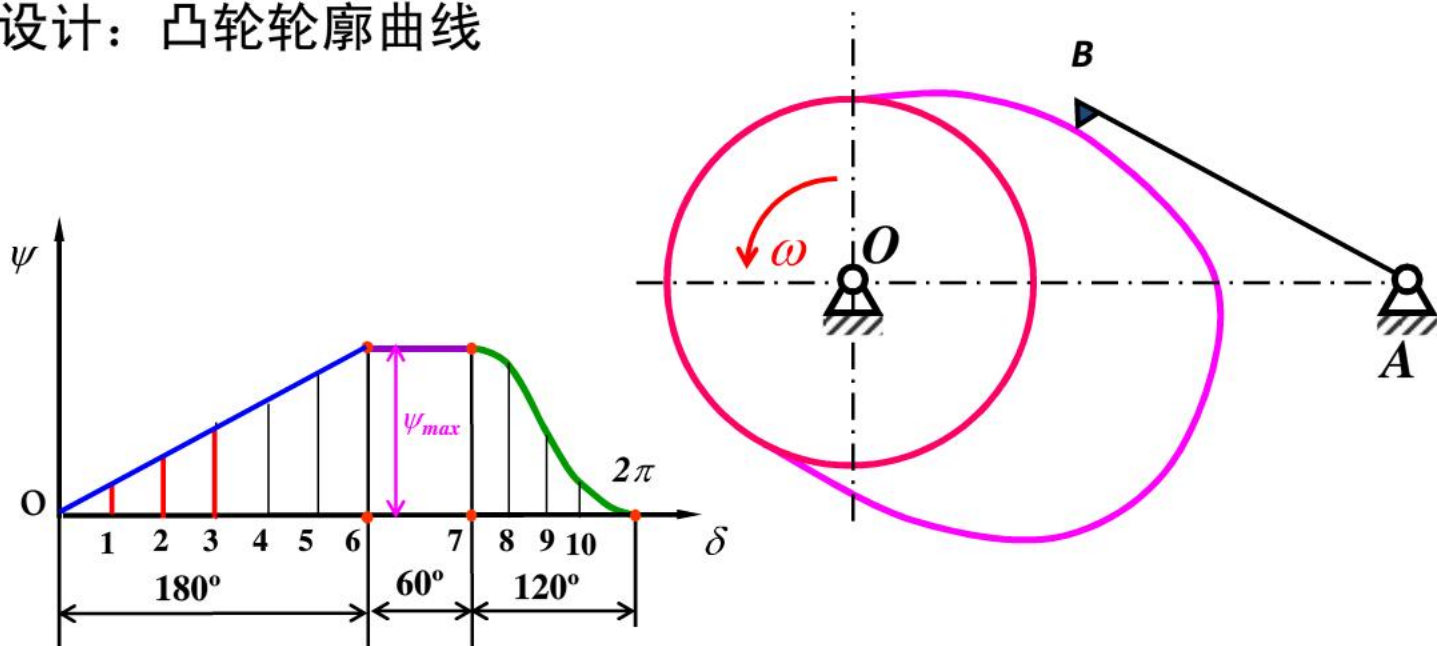


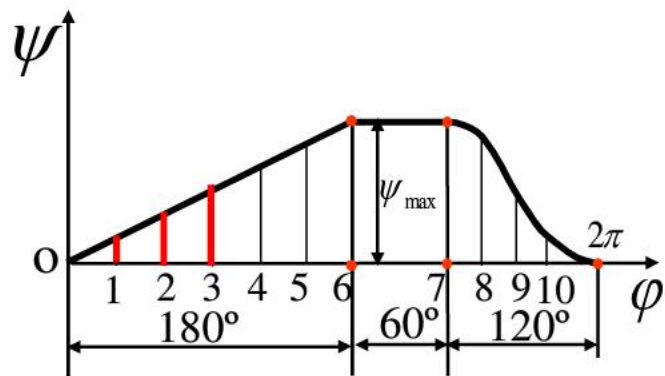
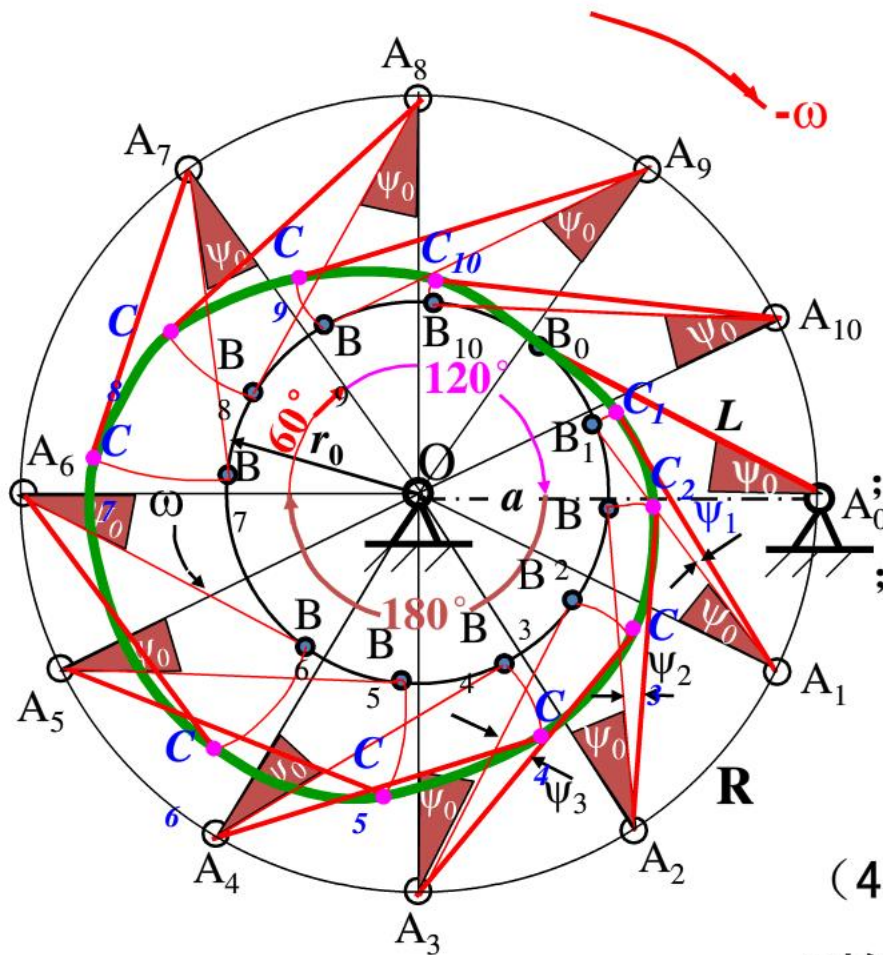
- 1) 将位移曲线若干等分;
- 2) 沿 $-\omega$ 方向将基圆作相应等分;
- 3) 沿导路方向截取相应的位移, 得到一系列点;
- 4) 光滑联接。

2. 摆动尖端从动件盘形凸轮机构

已知：摆杆的运动规律、角升程 ψ 、摆杆的长度 L_{AB} 、 L_{AO} ，
凸轮的 ω 及其方向、基圆半径 r_0 。

设计：凸轮轮廓曲线





(1) 作出角位移线图

(2) 作初始位置

(3) 按 $-\omega$ 方向划分圆R得 A_0 、 A_1 、 A_2 ……等点；即得机架反转的一系列位置；

(4) 找从动件反转后的一系列位置，得 C_1 、 C_2 、 … … 等点，即为凸轮轮廓上的点。

七、 凸轮机构的基本尺寸设计

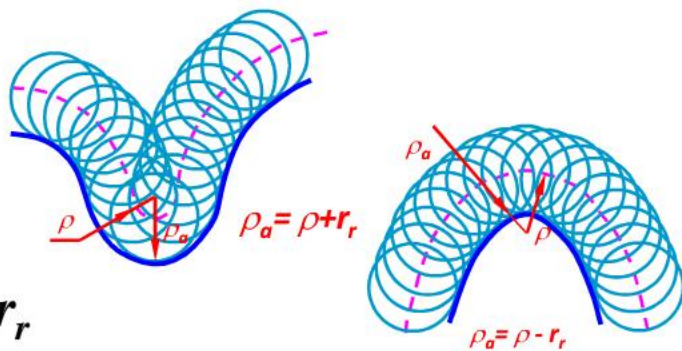
一、 滚子半径的选择

设 ρ_a ——实际廓线曲率半径；

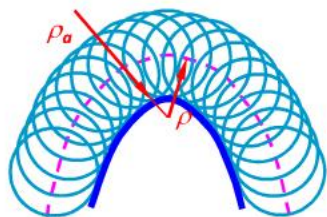
ρ ——理论廓线曲率半径；

当凸轮廓线为内凹时： $\rho_a = \rho + r_r$

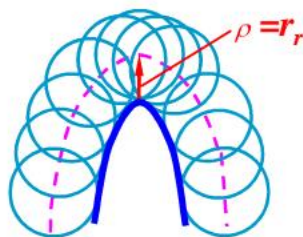
当凸轮廓线为外凸时： $\rho_a = \rho - r_r$



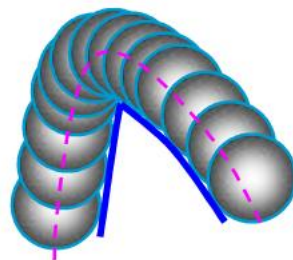
外凸轮廓： $\rho_a = \rho - r_r$ $\left\{ \begin{array}{l} >0 \text{ —— 凸轮实际廓线光滑连续；} \\ =0 \text{ —— 凸轮实际廓线变尖；} \\ <0 \text{ —— 凸轮实际廓线交叉，} \\ \text{运动规律失真。} \end{array} \right.$



$$\rho_a = \rho - r_r > 0$$



$$\rho_a = \rho - r_r = 0$$



$$\rho_a = \rho - r_r < 0$$

实际廓线出现交叉，加工时交叉部分将被切去，使推杆不能准确实现预期运动规律，出现运动失真现象。为避免运动失真，应使： $\rho_{a\min} = \rho_{\min} - r_r \geq 1 \sim 5 \text{ mm}$

一般： $r_r \leq 0.8 \rho_{\min}$ ，或 $r_r = (0.1 \sim 0.5) r_0$ （考虑结构及强度的限制）

★ 出现尖点或失真应采取的措施

- i. 适当减少滚子半径；
- ii. 增大基圆半径。

八、压力角

考虑到工作的可靠性，工程中取： $[\alpha] = \frac{\alpha_c}{n}$ 为许用压力角

并以： $\alpha_{\max} \leq [\alpha] = \frac{\alpha_c}{n}$ 为设计原则。

取许用压力角 $[\alpha]$ 的取值：

推程：	直动推杆 $[\alpha]=30^\circ$ ；
	摆动推杆 $[\alpha]=35^\circ \sim 45^\circ$
回程：	$[\alpha]'=70^\circ \sim 80^\circ$

设计凸轮廓线时，必须对其各处的压力角进行校核。用作图法检验时，可在凸轮理论廓线较陡的区段取若干点，做出各点处轮廓线的法线和从动件运动方向之间所夹的锐角，即各点处的压力角，然后校验式 $\alpha_{\max} \leq [\alpha] = \frac{\alpha_c}{n}$ 是否满足，若不满足，则应加大基圆半径重新设计。对于力锁合的凸轮机构，亦可适当偏置从动件，以减小推程的最大压力角。

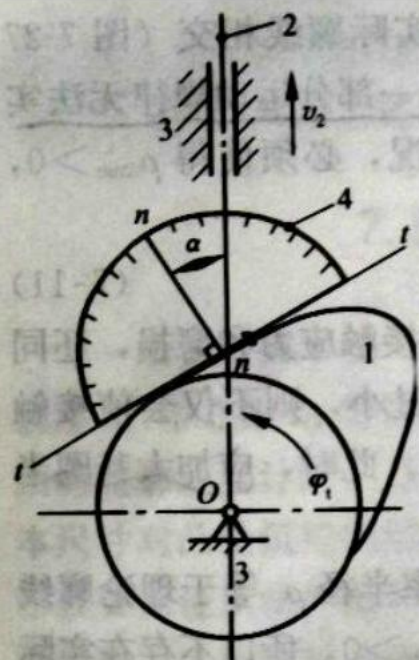


图 7-29 校验凸轮机构的压力角

1. 凸轮；2. 从动件的导路方向线；3. 机架；4. 量角器

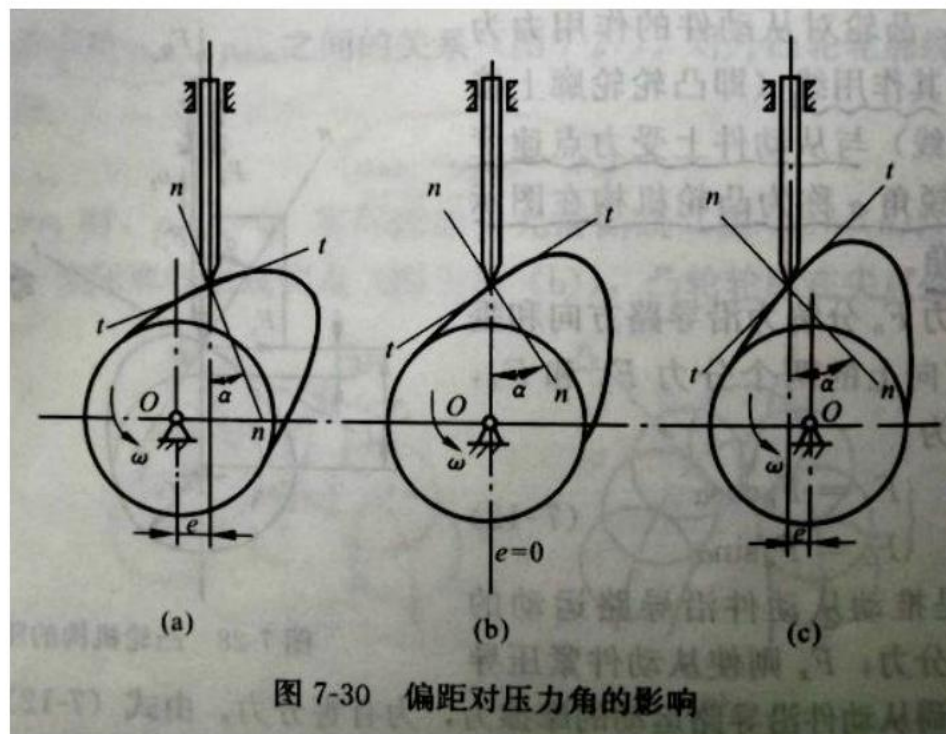


图 7-30 偏距对压力角的影响

正偏置压力角变小，反偏置压力角变大

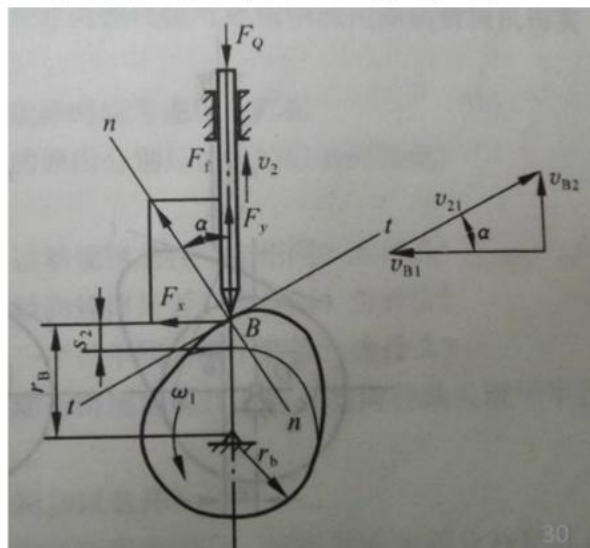
九、凸轮基圆半径的确定

1. 基圆半径和压力角的关系:

设计凸轮轮廓线，需先选定基圆半径。显然，选取的基圆半径越小，设计的结构就越紧凑。但基圆半径太小不仅有可能引起前述的滚子（或平底）从动件预期运动失真的问题，而且会使机构的压力角过大而不能满足机构的传力性能要求，甚至发生自锁。

如右图所示，在从动件与凸轮的接触点B处，凸轮上的速度为 v_{B1} ，从动件上的速度为 v_{B2} ，从动件相对于凸轮的速度为 v_{21} ，它们满足：

$$v_{B2} = v_{B1} + v_{21}$$



由速度三角形可得

$$\tan \alpha = \frac{v_{B2}}{v_{B1}} = \frac{v_2}{r_b \omega} = \frac{v_2}{(r_b + s_2) \omega}$$

因此在其他条件不变的前提下，基圆半径越小，压力角越大。

讨论

1) $\alpha \uparrow \rightarrow r_0 \downarrow \rightarrow$ 机构尺寸小，但受力差。

若欲减小压力角 α ，应首选增大 r_0

2) $\alpha \rightarrow [\alpha]$ 时 $r_0 \rightarrow r_{0min}$ 时，可得最小基圆半径。

$$r_0 \geq \sqrt{\left(\frac{ds/d\delta - e}{\tan[\alpha]} - s\right)^2 + e^2} = r_{0min}$$

3) 采用正偏置，可减小压力角。

2. 基圆半径的选取:

- 1) 满足 $\alpha_{\max} \leq [\alpha]$ 的前提下（对滚子或平底从动件的凸轮机构，还应保证运动不失真），可将基圆半径取小些，以满足对机构结构紧凑的要求。
- 2) 在结构空间允许条件下，可适当将基圆半径取大些，以利于改善机构的传力性能、减轻磨损和减小凸轮轮廓线的制造误差。