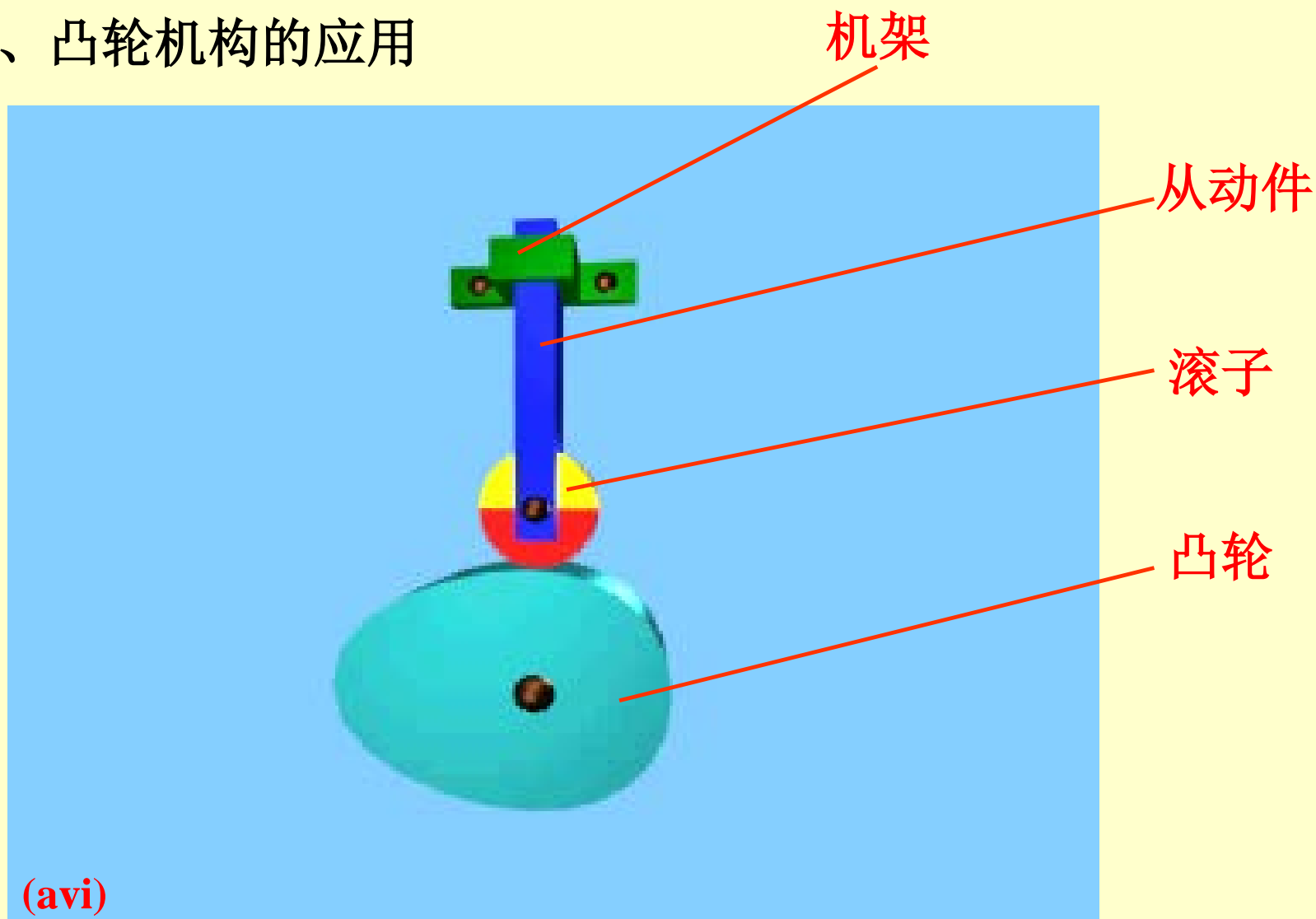
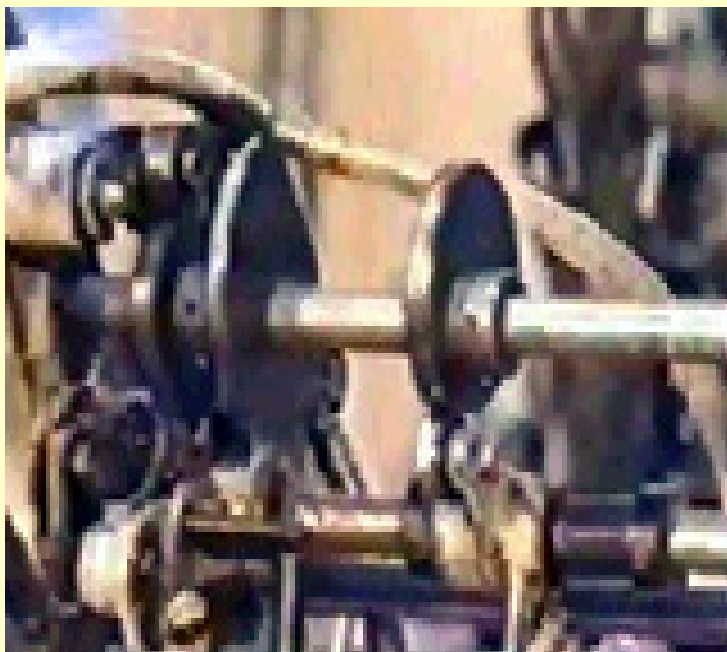


第四章 凸轮机构及其设计

§ 4-1 凸轮机构的应用及分类

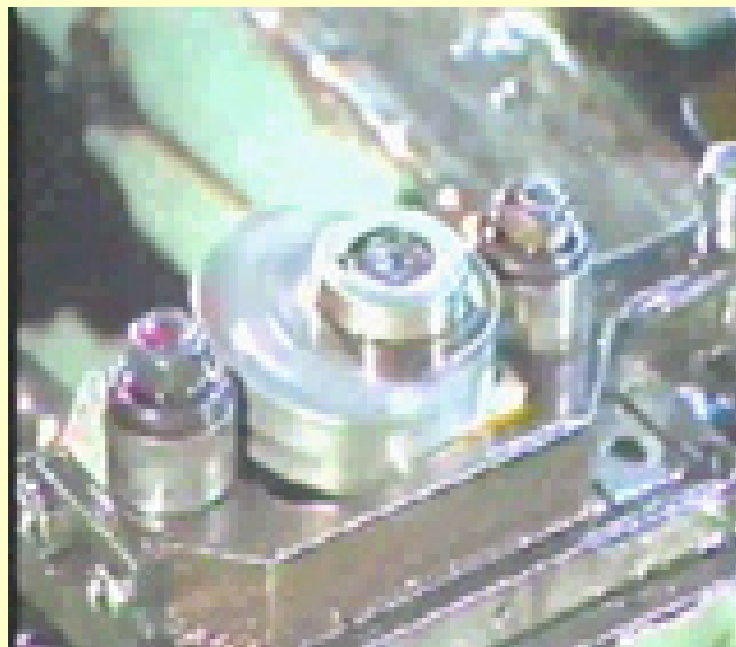
一、凸轮机构的应用





盘形凸轮机构

在印刷机中的应用

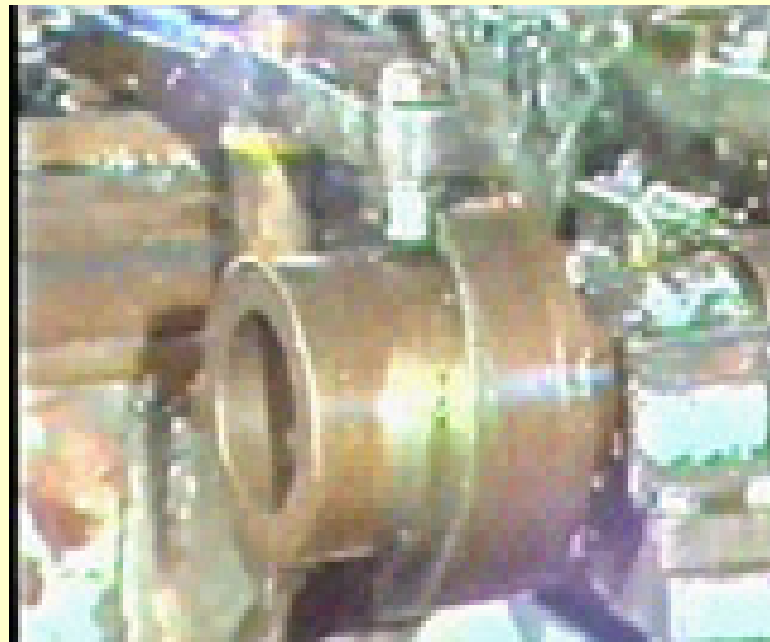


等径凸轮机构

在机械加工中的应用

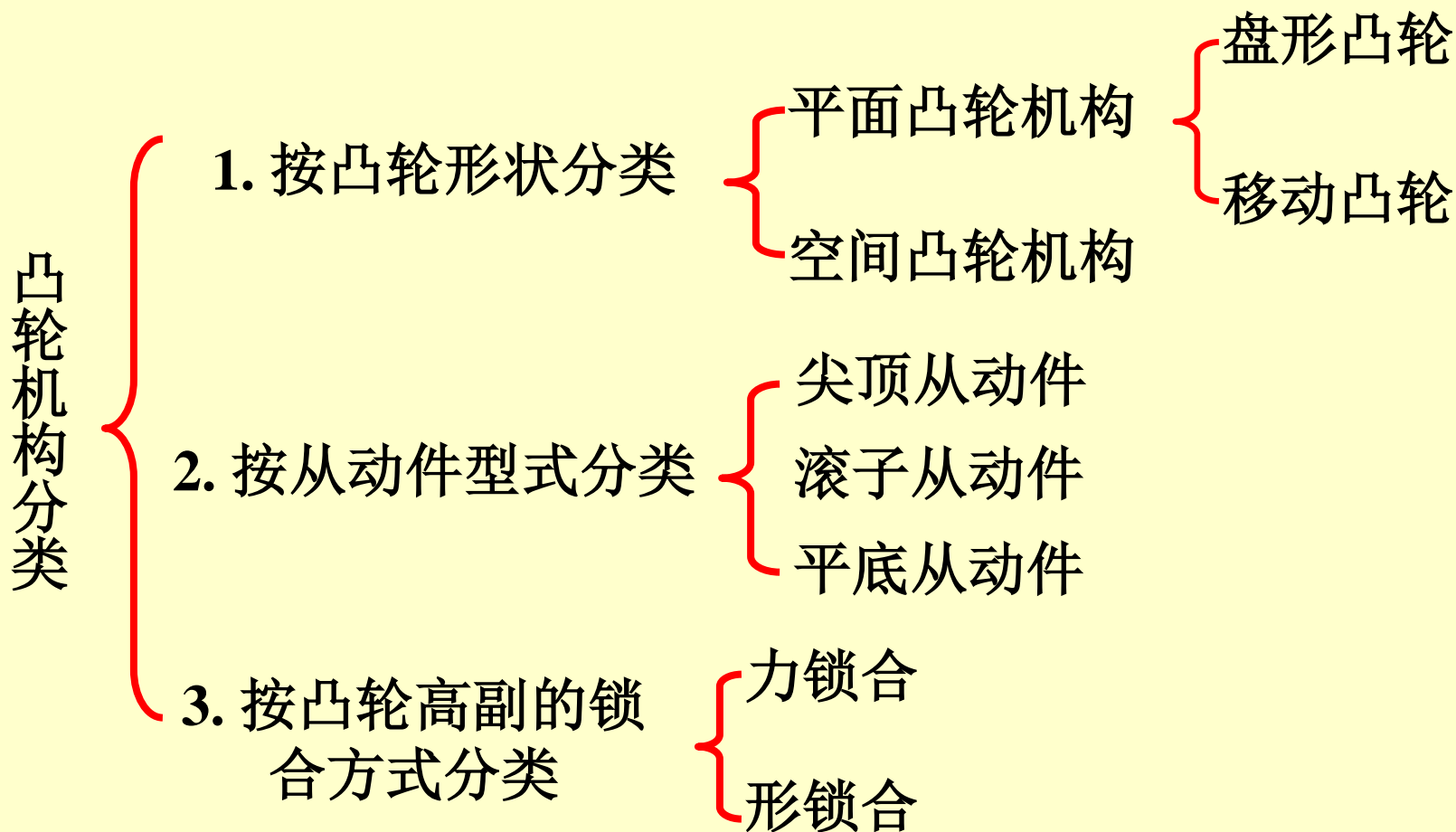


利用分度凸轮
机构实现转位



圆柱凸轮机构在机
械加工中的应用

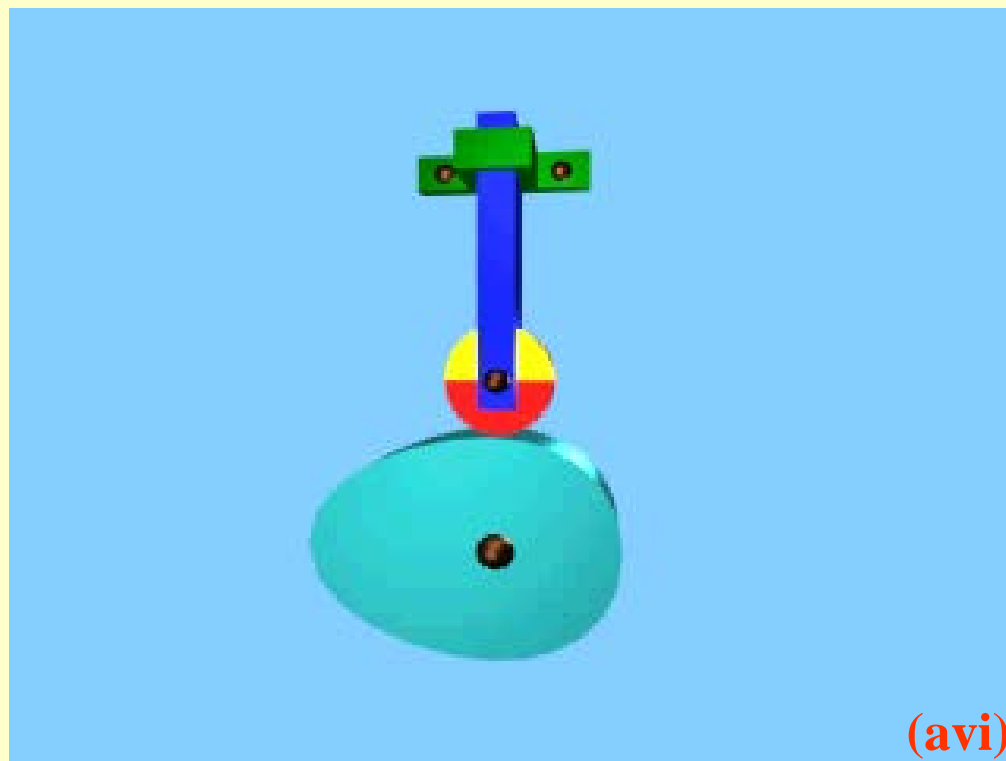
二、凸轮机构的分类



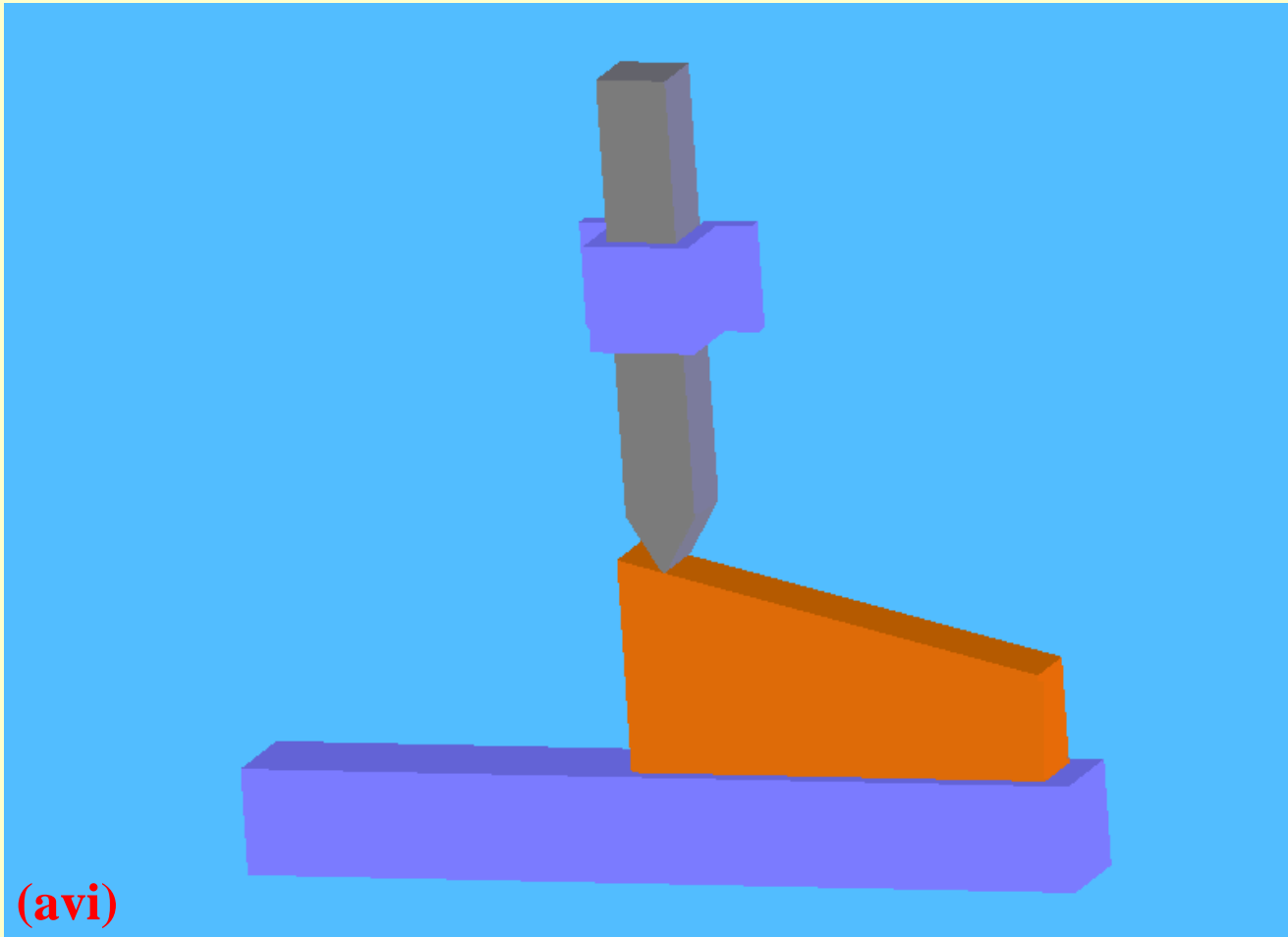
1. 按凸轮形状分类

(1) 平面凸轮机构

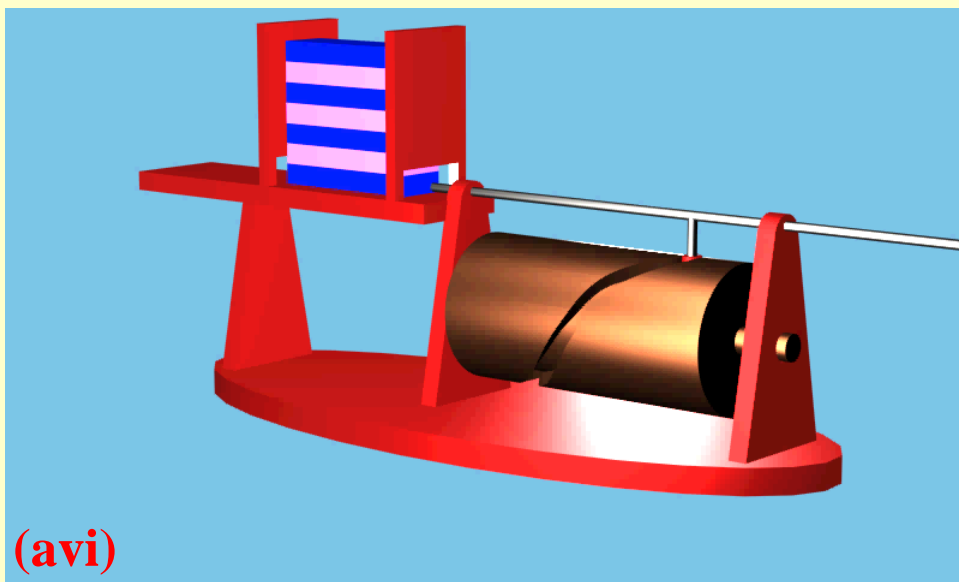
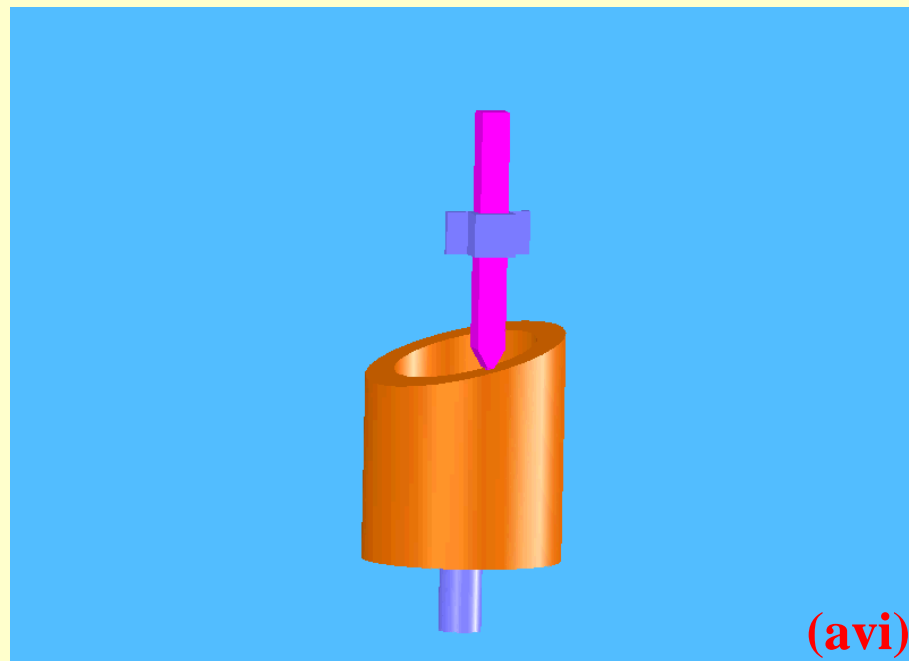
1) 盘形凸轮



2) 移动凸轮

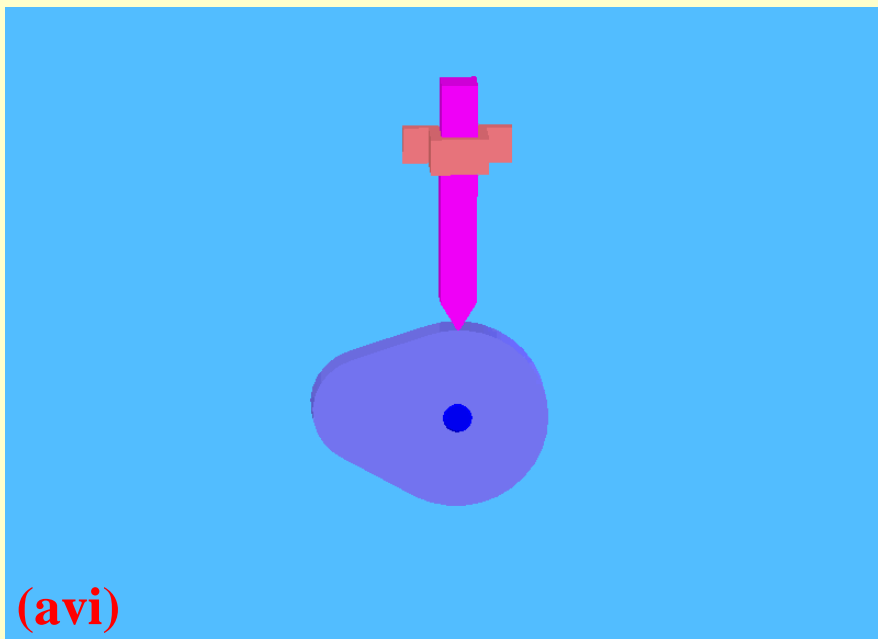


(2) 空间凸轮机构

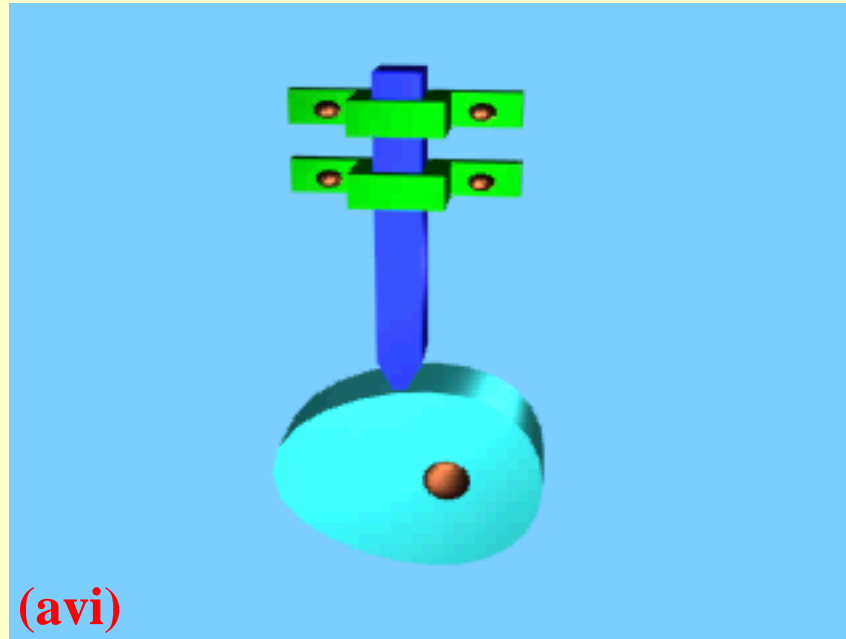


2.按从动件型式分类

(1) 直动尖顶从动件

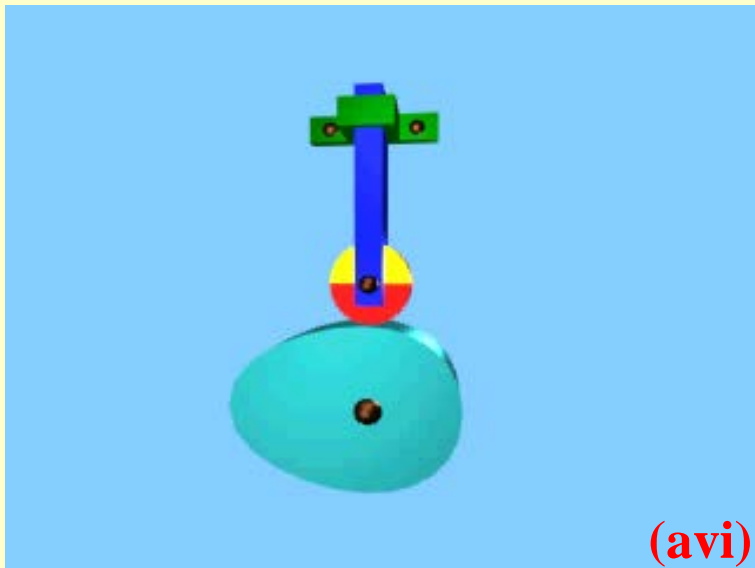


对心直动尖顶从动件

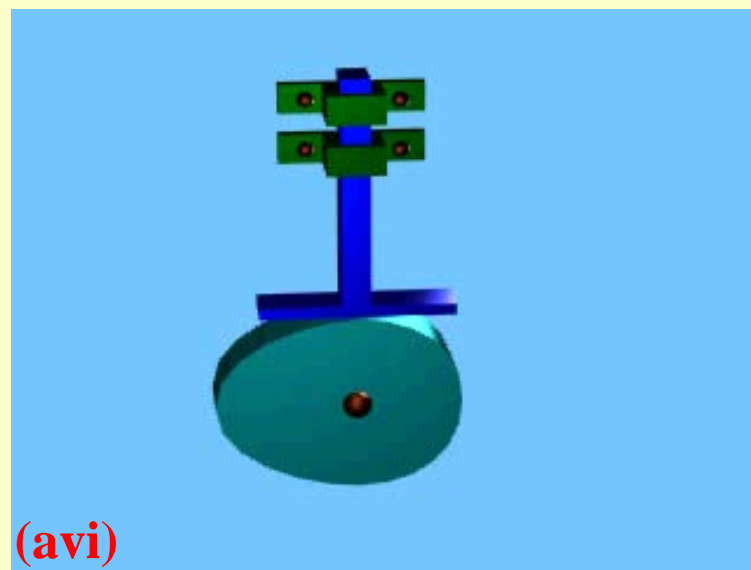


偏置直动尖顶从动件

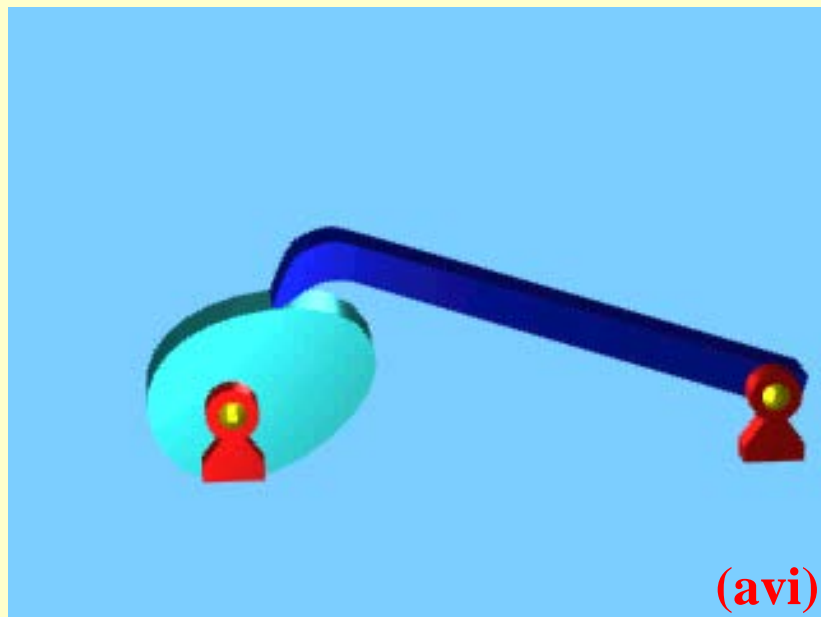
(2) 直动滚子从动件



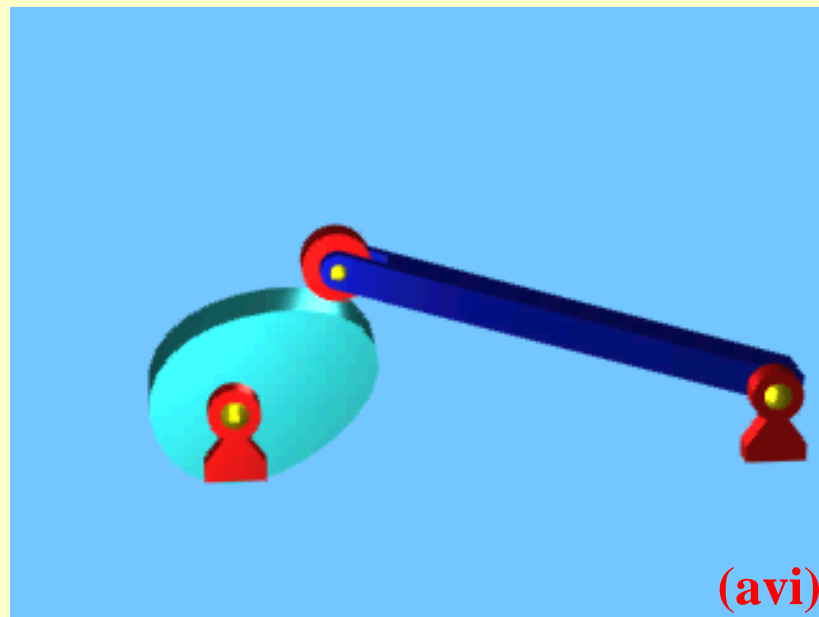
(3) 直动平底从动件



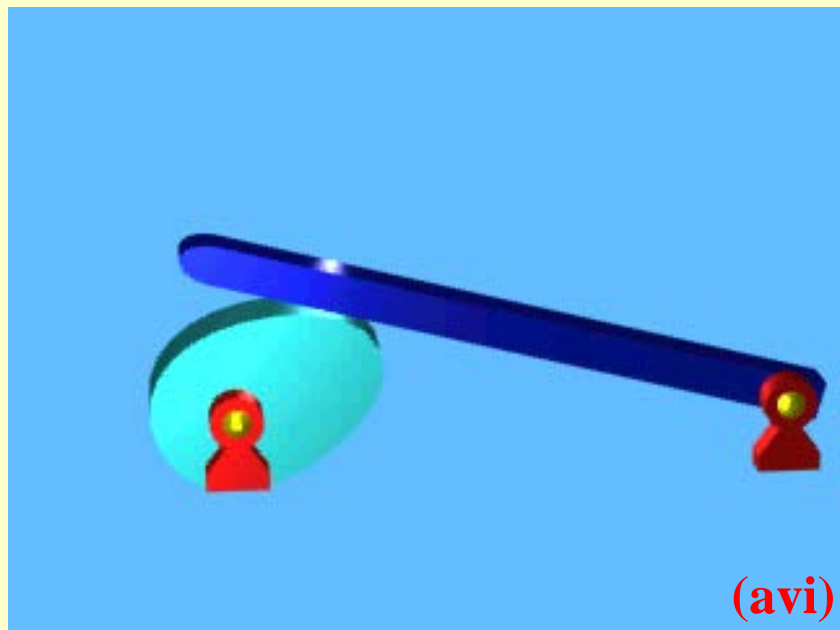
根据运动形式的不同，以上三种从动件还可分为直动从动件，摆动从动件，平面复杂运动从动件。



摆动尖顶从动件

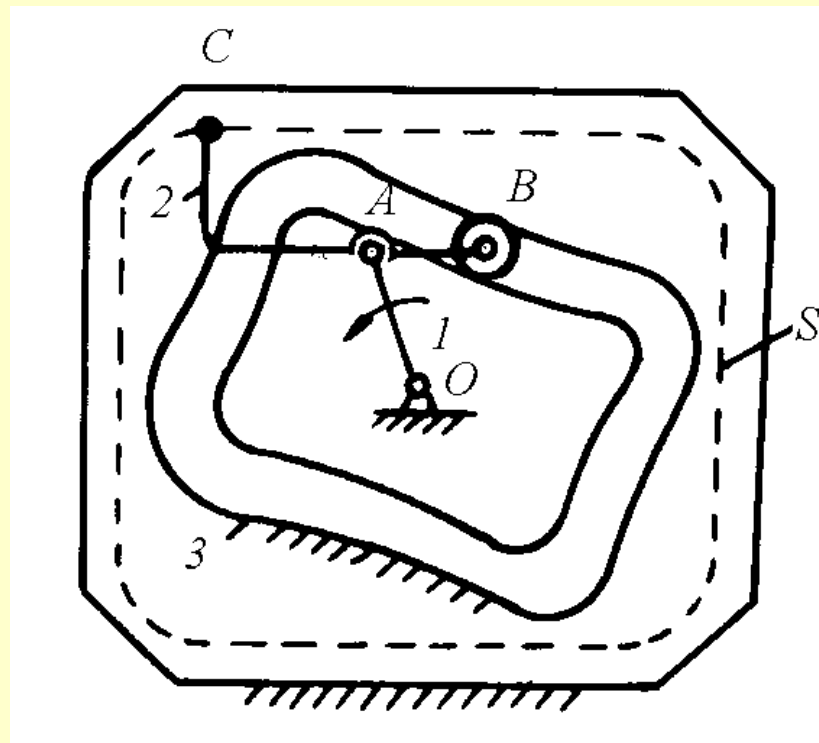


摆动滚子从动件



(avi)

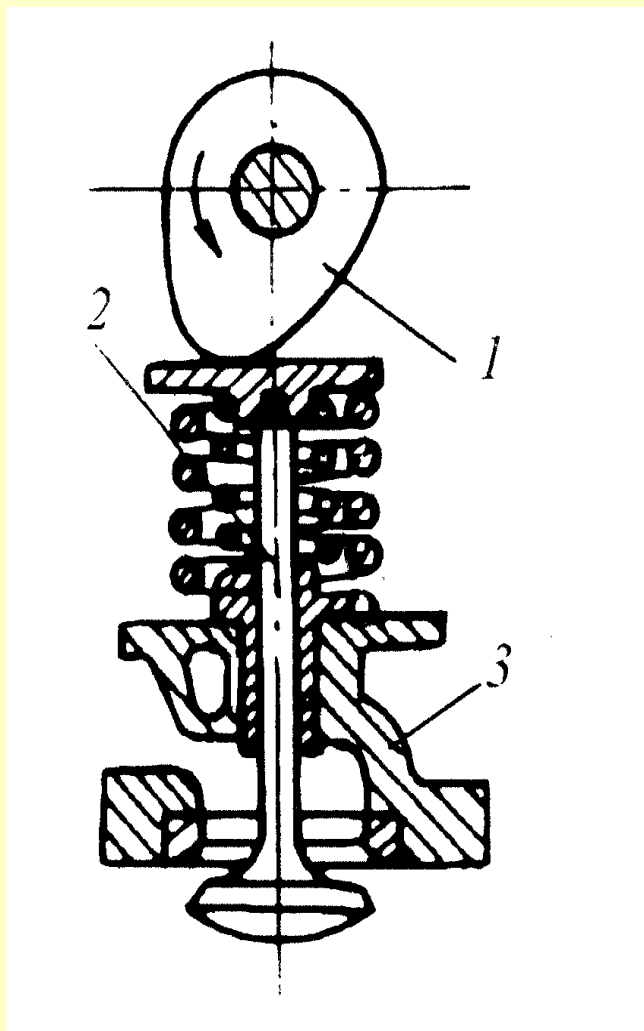
摆动平底从动件



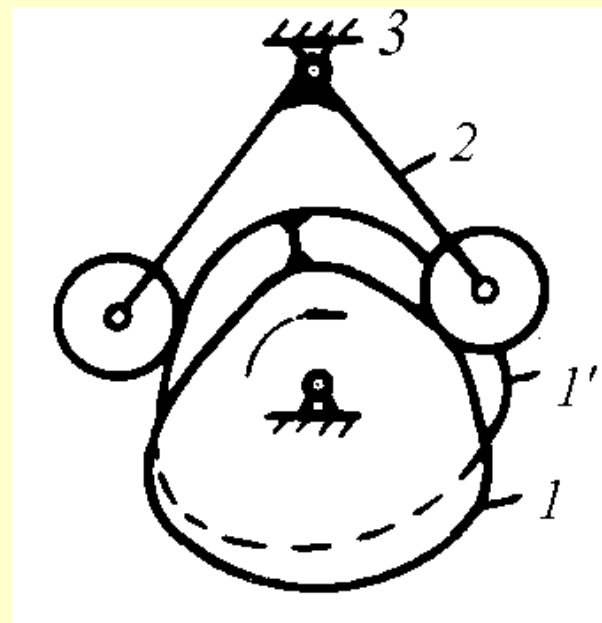
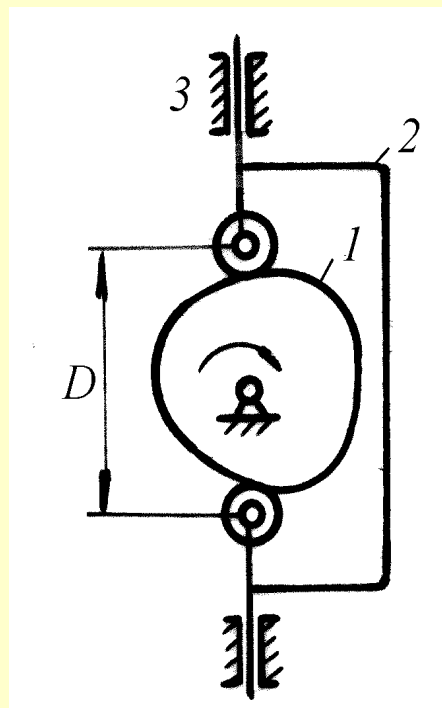
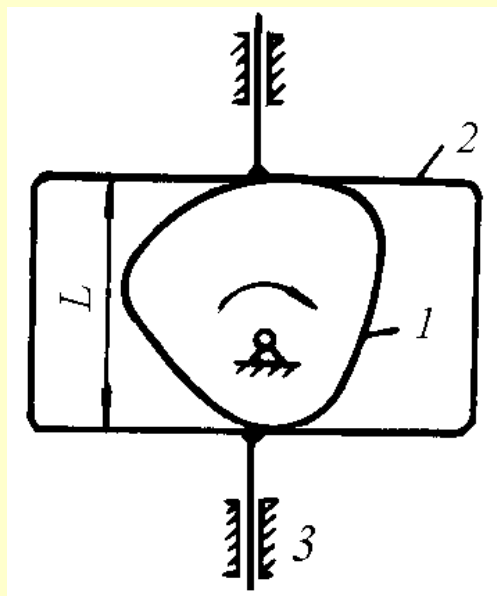
平面复杂运动从动件

3. 按凸轮高副的锁合方式分类

1) 力锁合



2) 形锁合



凸轮机构的优缺点：

优点：

只要设计出适当的凸轮轮廓，即可使从动件实现预期的运动规律；结构简单、紧凑、工作可靠。

缺点：

凸轮为高副接触（点或线），压强较大，容易磨损，凸轮轮廓加工比较困难，费用较高。

§ 4-2 从动件运动规律及其选择

一、凸轮机构的基本名词术语

以尖顶从动件为对象予以介绍

凸轮基圆、基圆半径 r_0

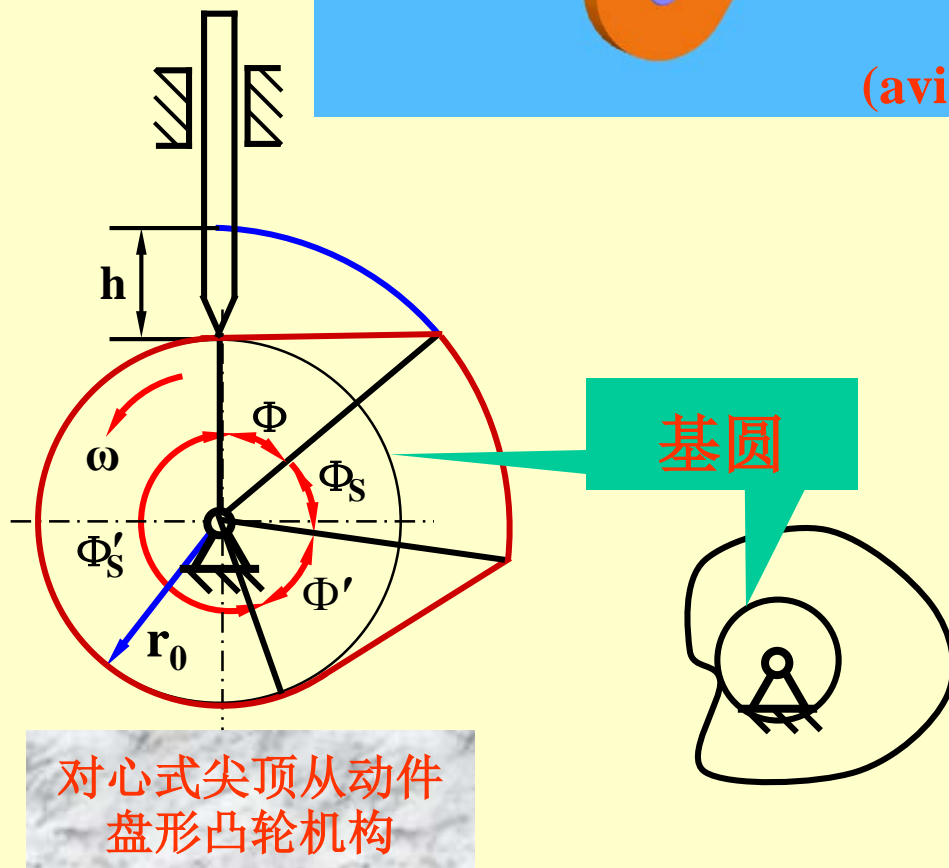
推程及推程运动角 Φ

远休止及远休止角 Φ_s

回程及回程运动角 Φ'

近休止及近休止角 Φ'_s

从动件行程(h , 亦称升距)



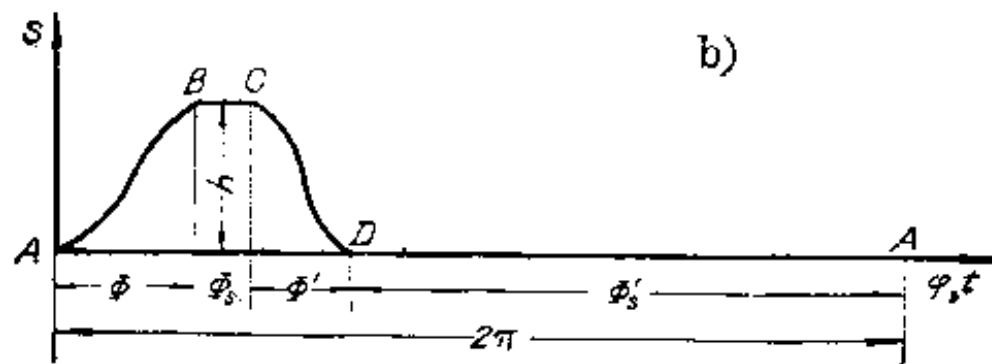
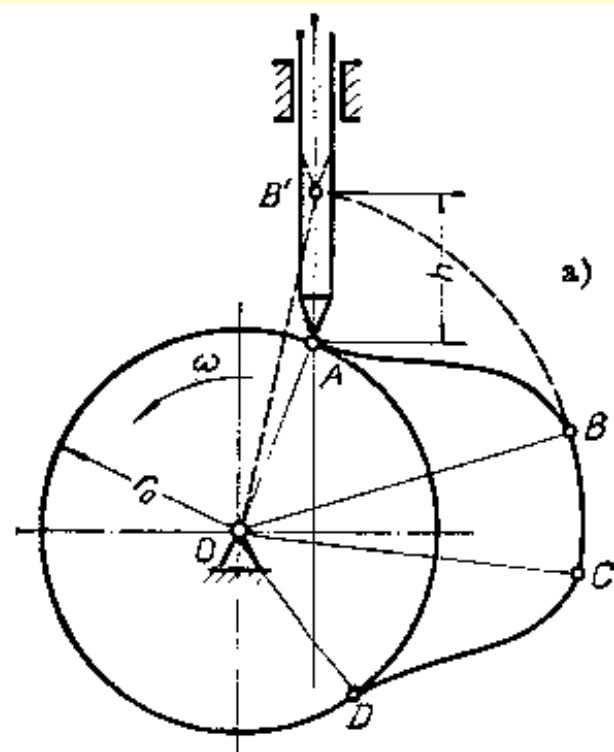
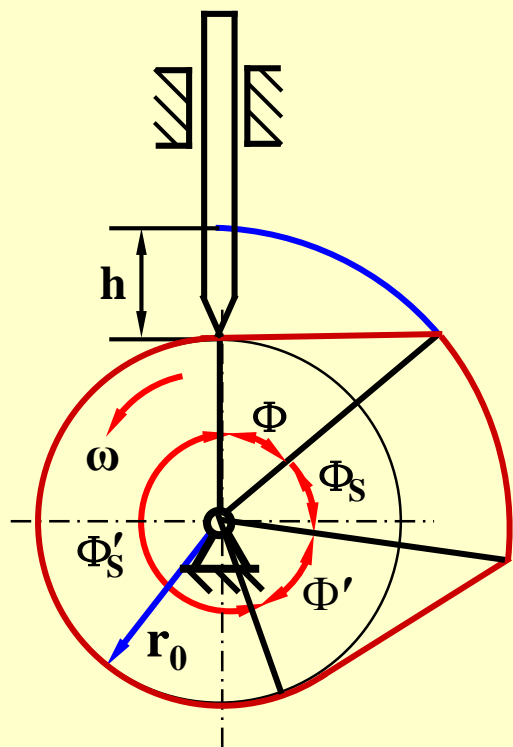
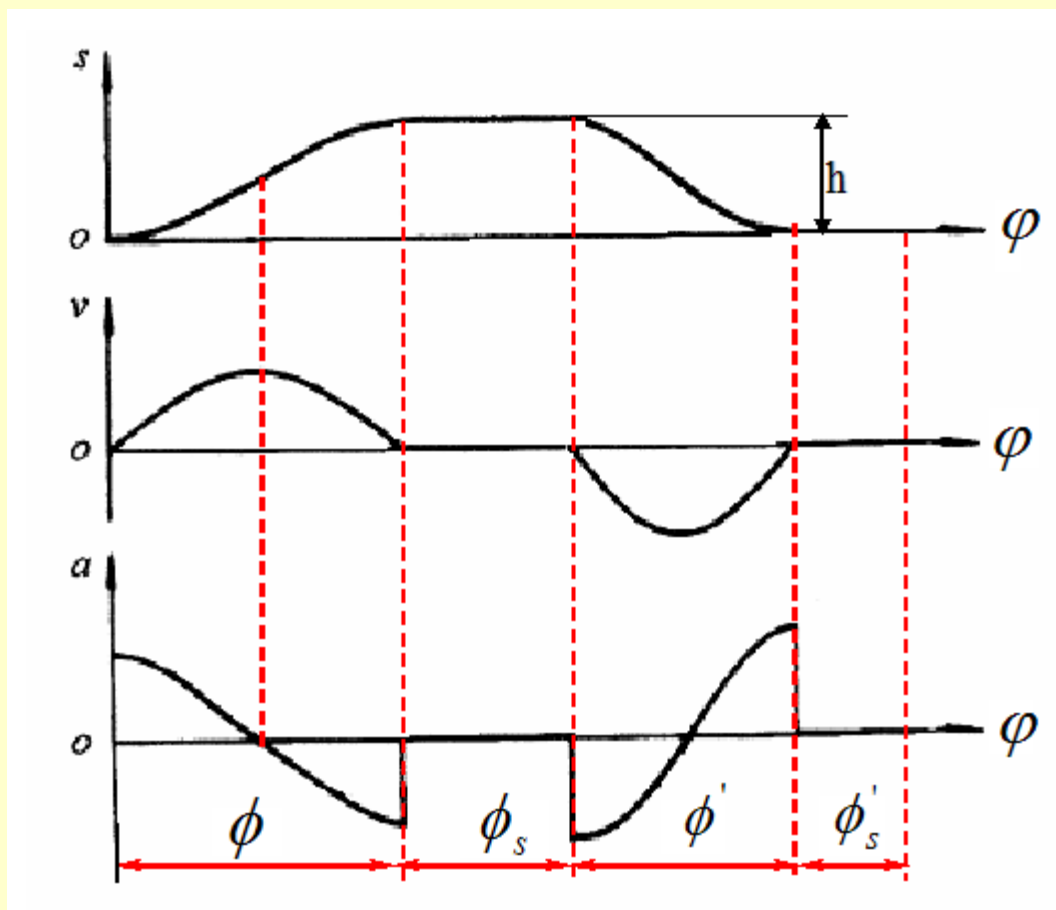


图 4-7

从动件运动线图： 从动件位移 s 、速度 v 、加速度 a 与凸轮转角 φ （或时间 t ）之间的对应关系曲线。

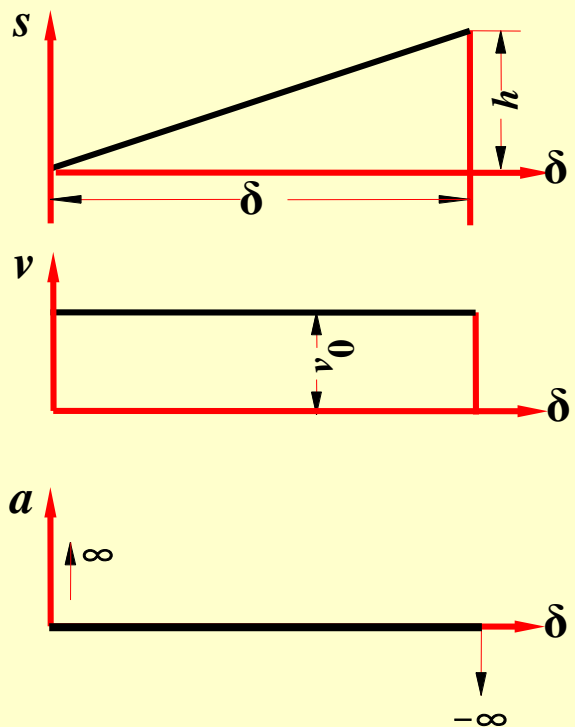


位移线图



二、从动件运动规律

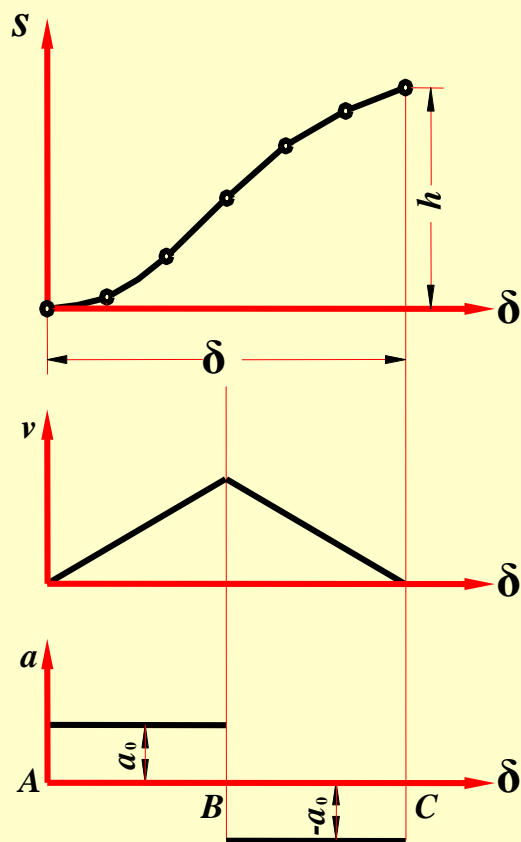
1. 等速运动规律



特点：存在刚性冲击

位置：发生在运动的起始点和终止点

2. 等加等减速运动规律



特点：存在柔冲击

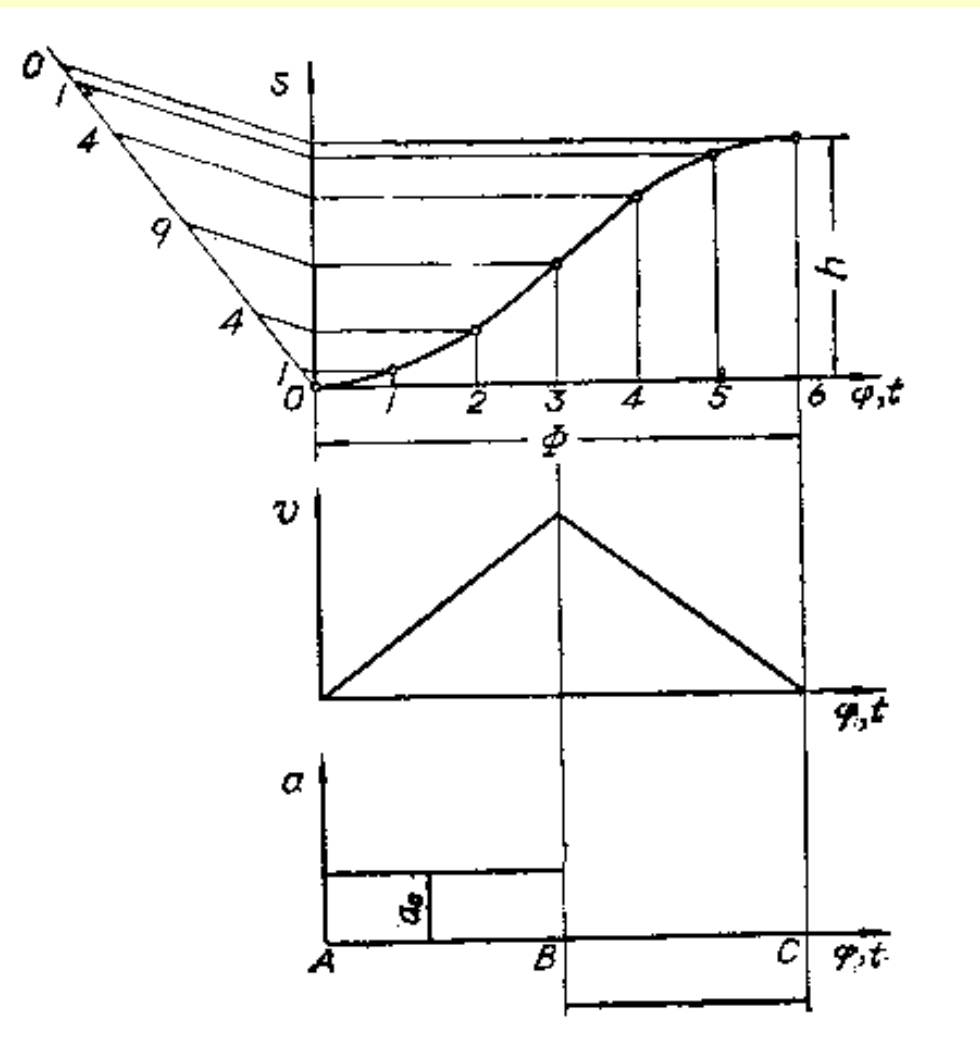
位置：发生在运动的起始点、中间点和终止点

等加等减速运动规律

$$a = a_0$$

$$v = a_0 t$$

$$s = \frac{1}{2} a_0 t^2$$



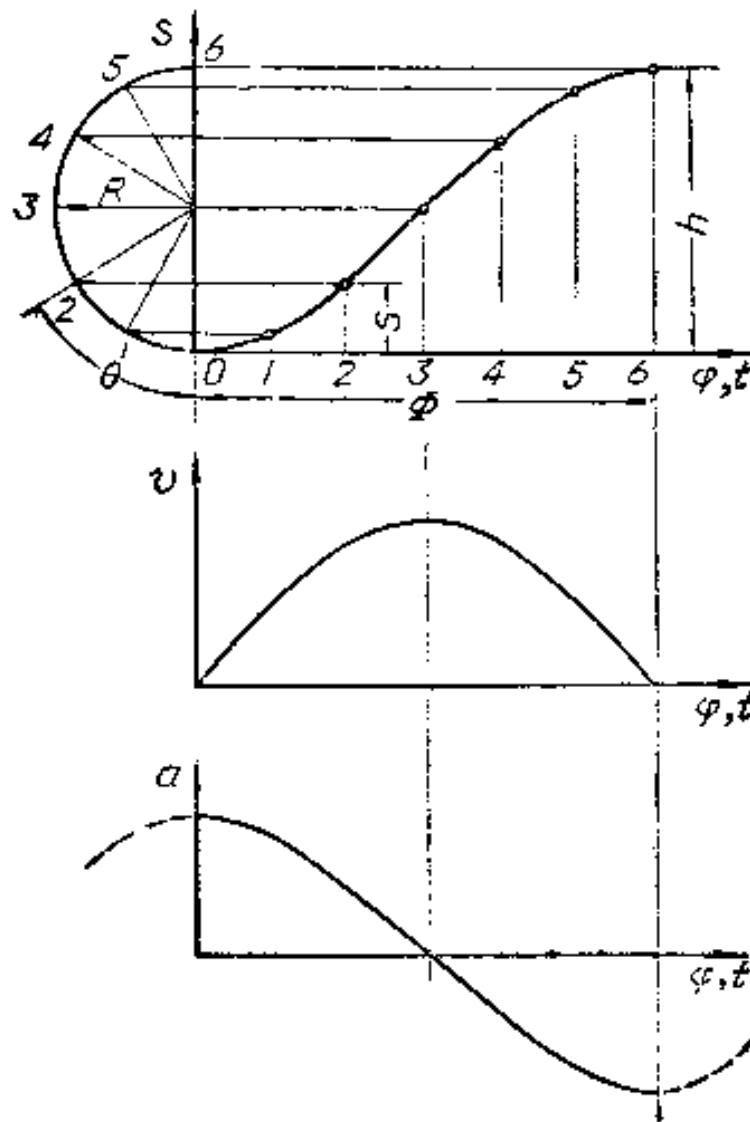
3. 余弦加速度（简谐）运动规律

$$S = R - R \cos \theta$$

其中：

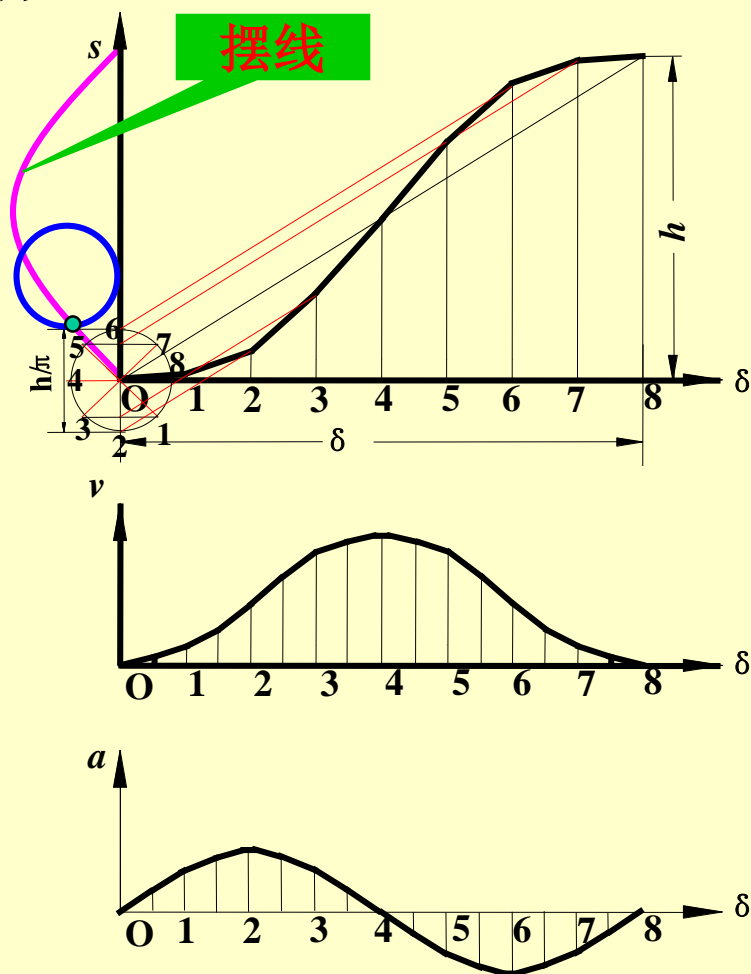
$$R = \frac{h}{2}; \quad \frac{\theta}{\pi} = \frac{\varphi}{\phi} \left(\theta = \frac{\varphi}{\phi} \pi \right)$$

$$s = \frac{h}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi}{\phi} \varphi \right)$$



4. 正弦加速度（摆线）运动规律

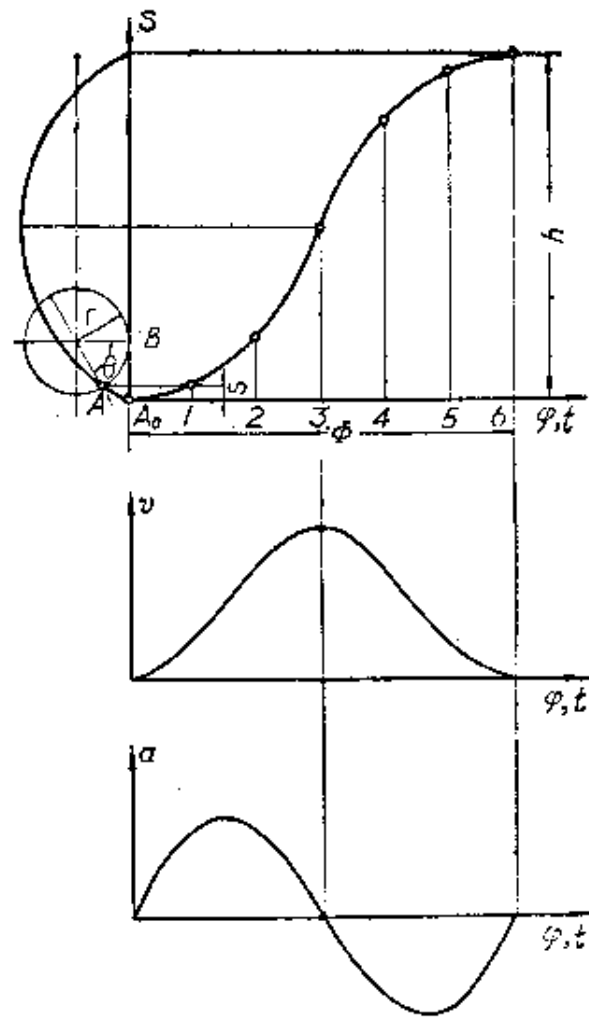
特点：既无柔性更无刚性
冲击



$$s = \overline{A_0 B} - r \sin \theta = r\theta - r \sin \theta$$

及： $h = 2\pi r$

$$\theta : 2\pi = \varphi : \phi$$



三、从动件运动规律的选择

在选择从动件的运动规律时，除要考虑刚性冲击与柔性冲击外，还应该考虑各种运动规律的速度幅值 v_{max} 、加速度幅值 a_{max} 及其影响加以分析和比较。

v_{max}  从动件动量 ma_{max}

a_{max}  从动件惯性力 ma_{max}

对于重载凸轮机构，应选择 v_{max} 值较小的运动规律；
对于高速凸轮机构，宜选择 a_{max} 值较小的运动规律。

若干种从动件运动规律特性比较

运动规律	v_{\max} ($h\omega / \delta_0$)	a_{\max} ($h\omega^2 / \delta_0^2$)	冲 击	应用场合
等速	1.00	∞	刚 性	低速轻负荷
等加速等减速	2.00	4.00	柔 性	中速轻负荷
余弦加速度	1.57	4.93	柔 性	中低速中负荷
正弦加速度	2.00	6.28	——	中高速轻负荷
3-4-5多项式	1.88	5.77	——	高速中负荷
改进型等速	1.33	8.38	——	低速重负荷
改进型正弦加速度	1.76	5.53	——	中高速重负荷
改进型梯形加速度	2.00	4.89	——	高速轻负荷

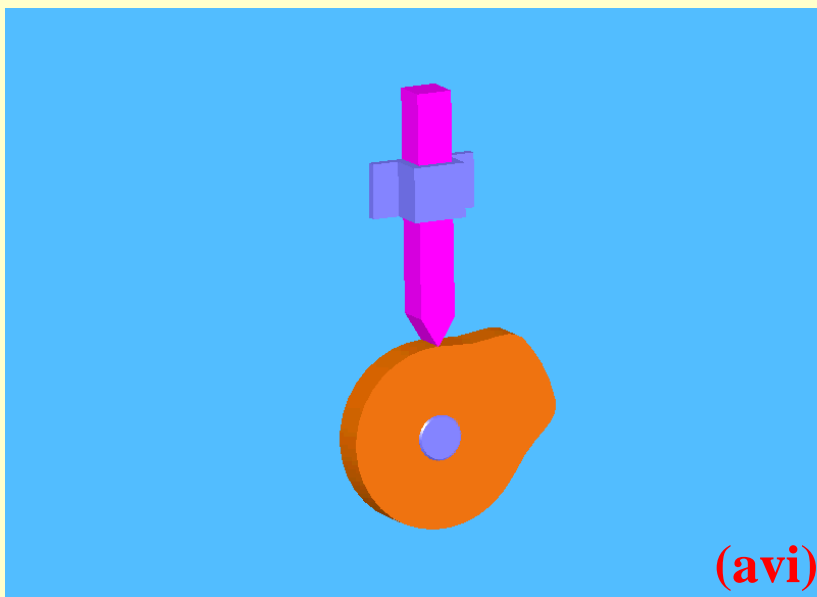
§ 4-3 按预定运动规律用作图法设计盘形凸轮廓线

一、对心式凸轮机构凸轮廓线的设计

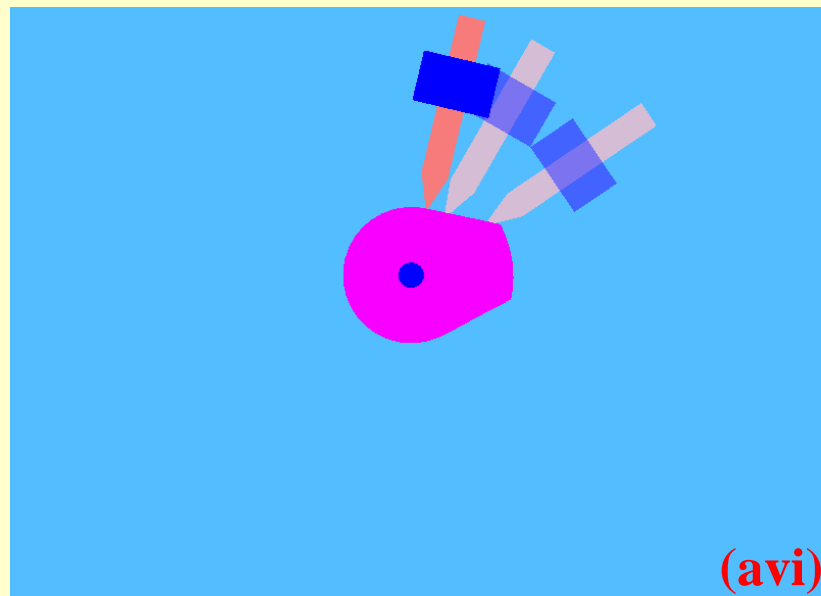
1. 尖顶从动件

1) 凸轮机构相对运动分析

凸轮运动

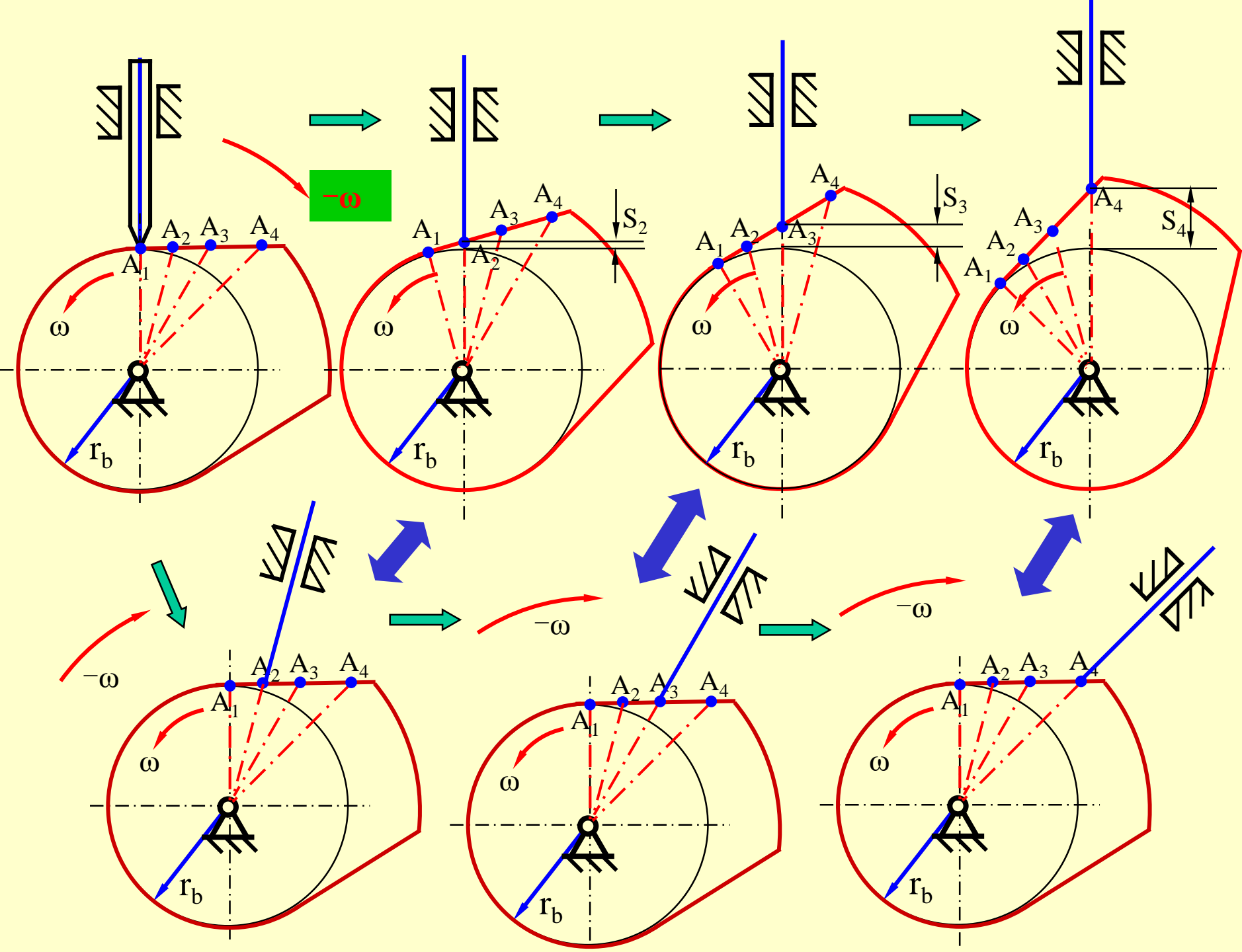


机架上的观察结果

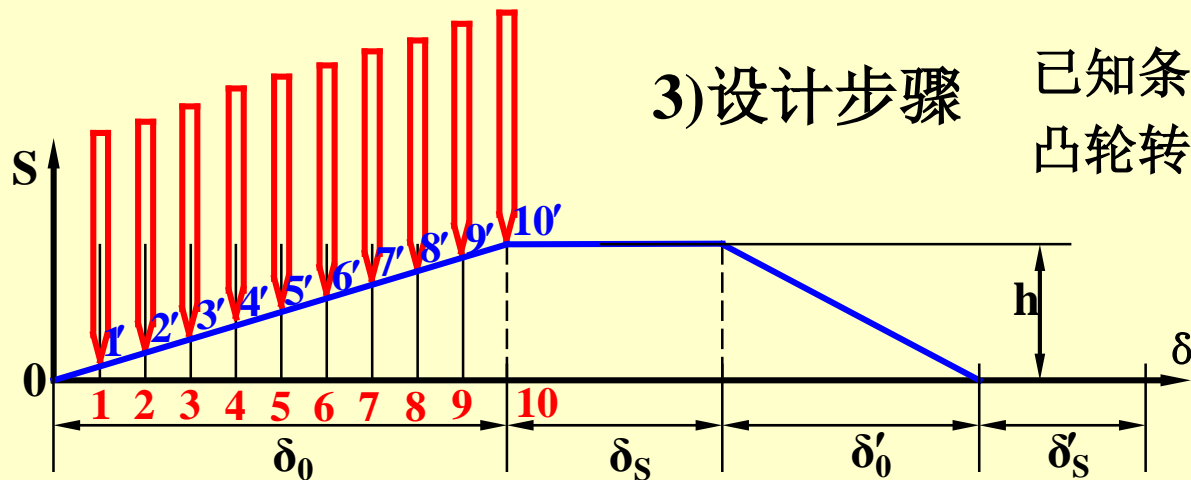


凸轮上的观察个结果

2) 反转法设计原理



已知条件：从动件运动规律、
凸轮转向、基圆半径



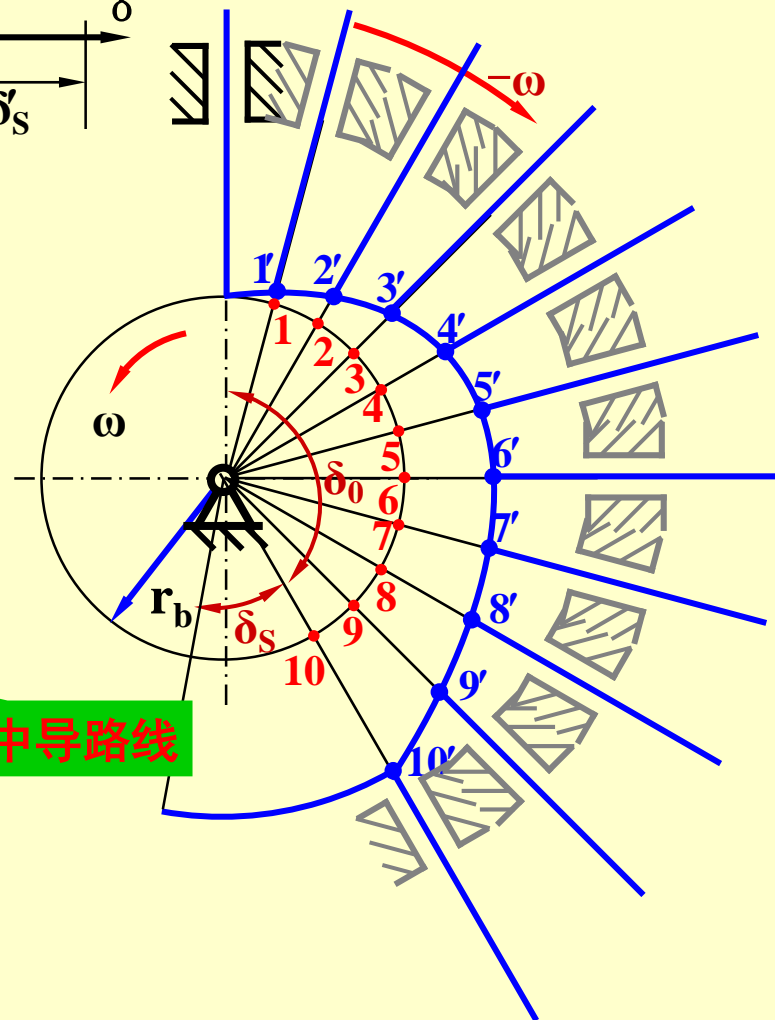
a. 标出 $-\omega$ 方向，并按此方向分割出 δ_0 、 δ_s 、 δ'_0 和 δ'_s ；

b. 在基圆与位移线图共同将 δ_0 和 δ'_0 进行n等分，并标注等分点；

c. 过位移线图中等分点作y轴平行线交位移线图于*i'*点，过基圆上等分点作射线；

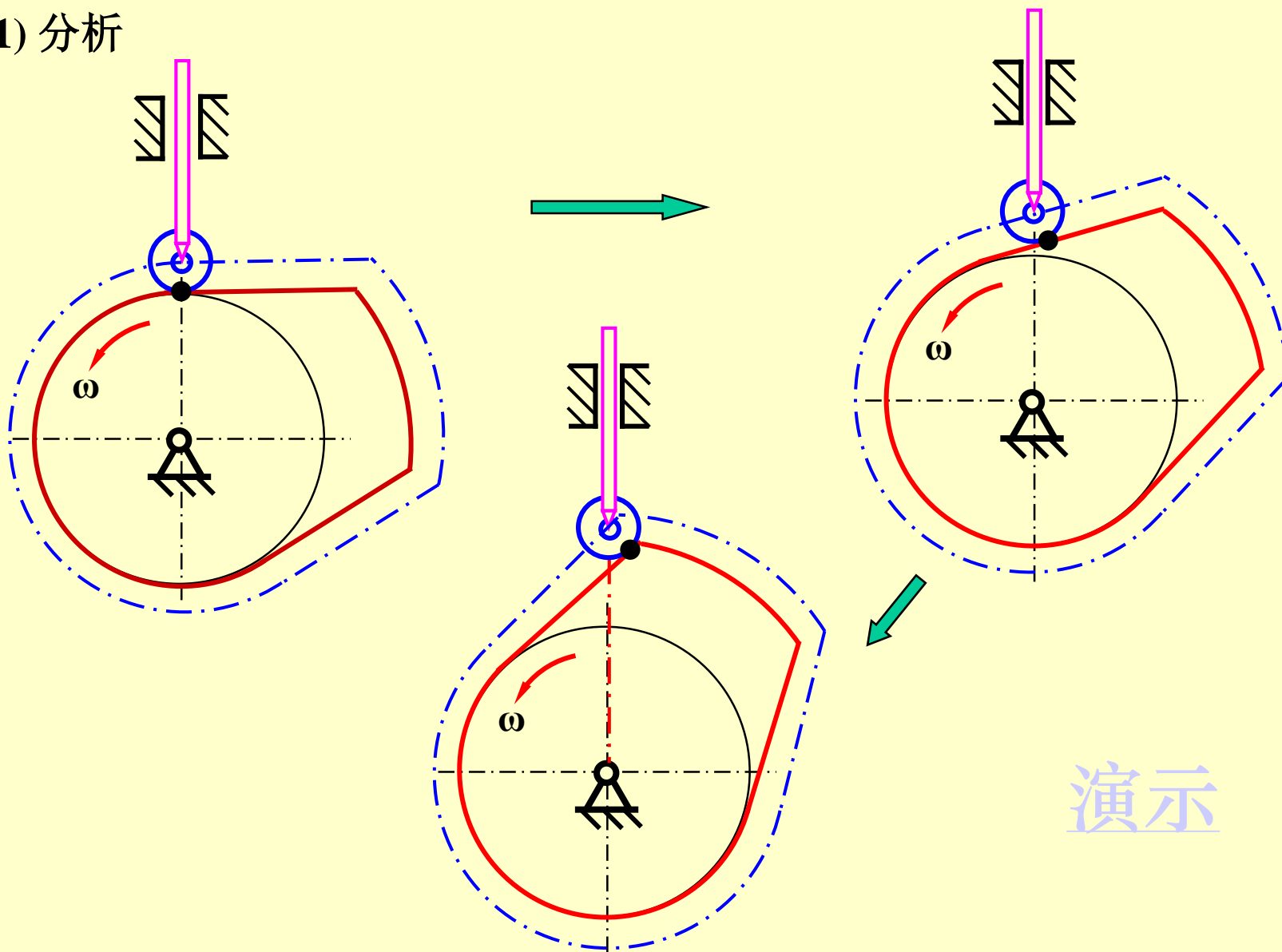
d. 在射线上度量出相应推杆的位移，得尖顶轨迹点 \mathbf{i}' ；

f. 光滑连接i' 得凸轮轮廓线。



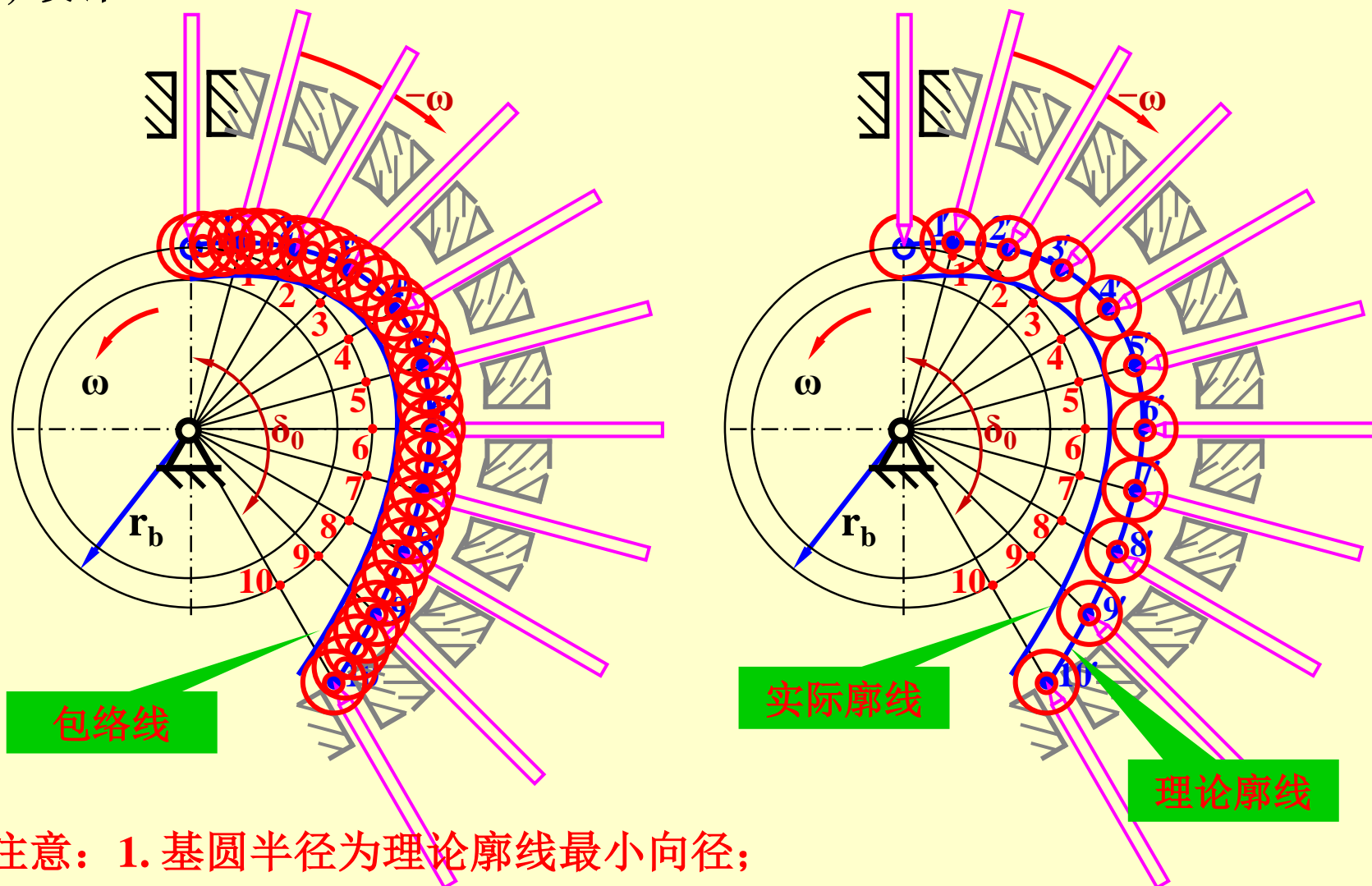
2. 滚子从动件

1) 分析



演示

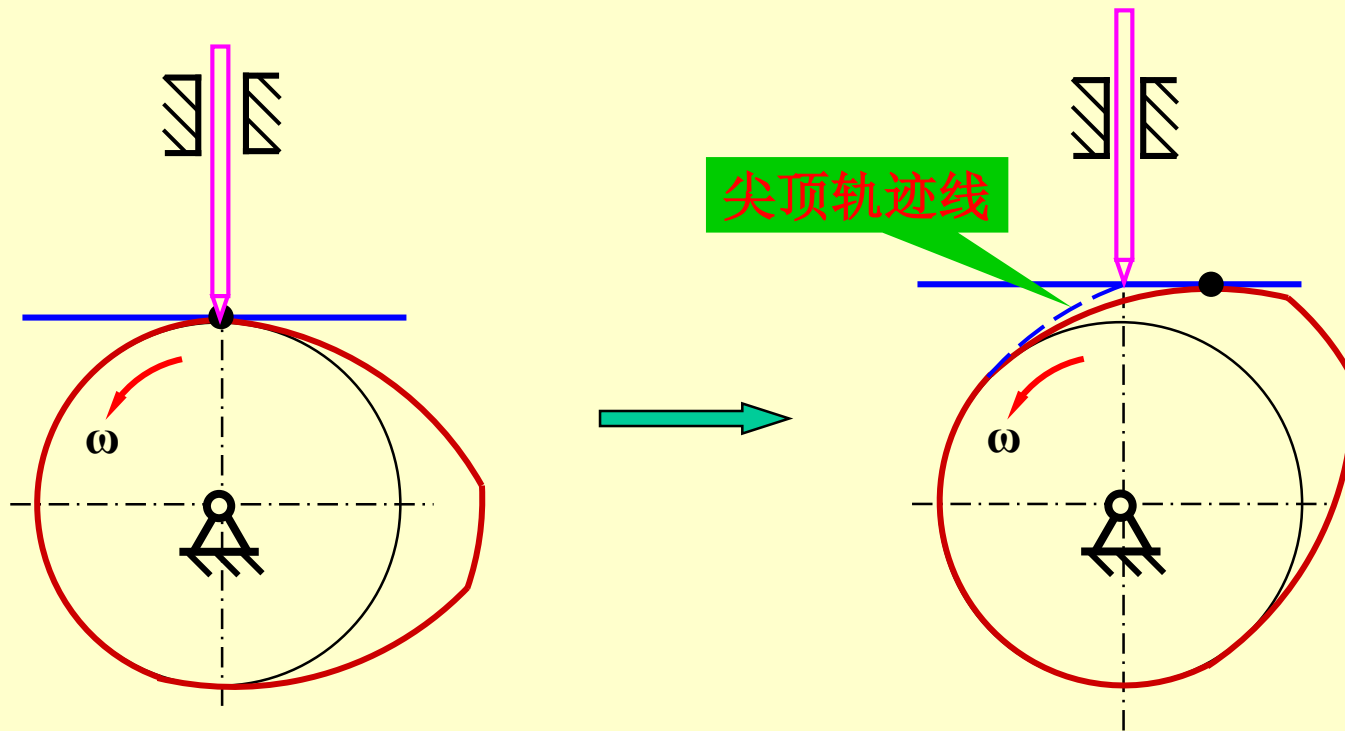
2) 设计



注意：1. 基圆半径为理论廓线最小向径；
2. 先求理论廓线，后作包络线，得实际廓线。

2. 平底从动件

1) 分析



2) 设计

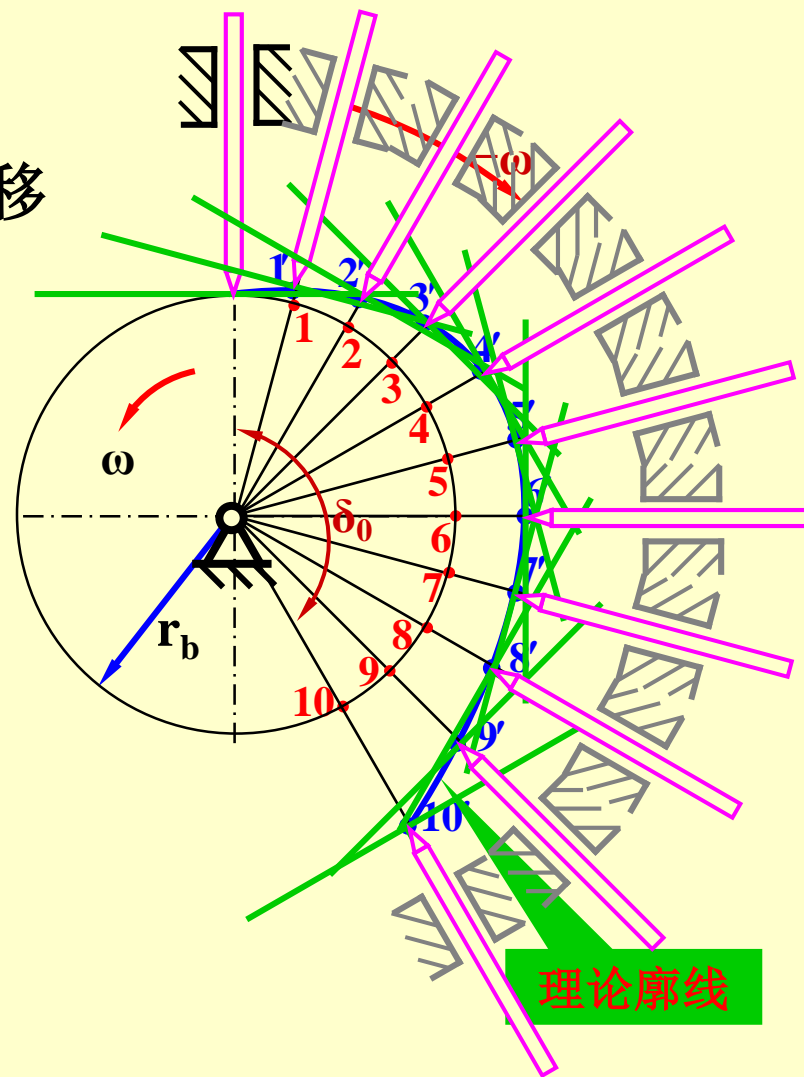
设计步骤:

a. 将基圆沿 $-\omega$ 方向将 δ_0 和 δ_0' 与位移线图进行对应等分;

b. 过等分点作射线; 在射线上度量出相应推杆的位移, 得尖顶轨迹点 i' ;

c. 光滑连接 i' 得凸轮理论廓线;

d. 作平底线的其包络线——实际廓线。



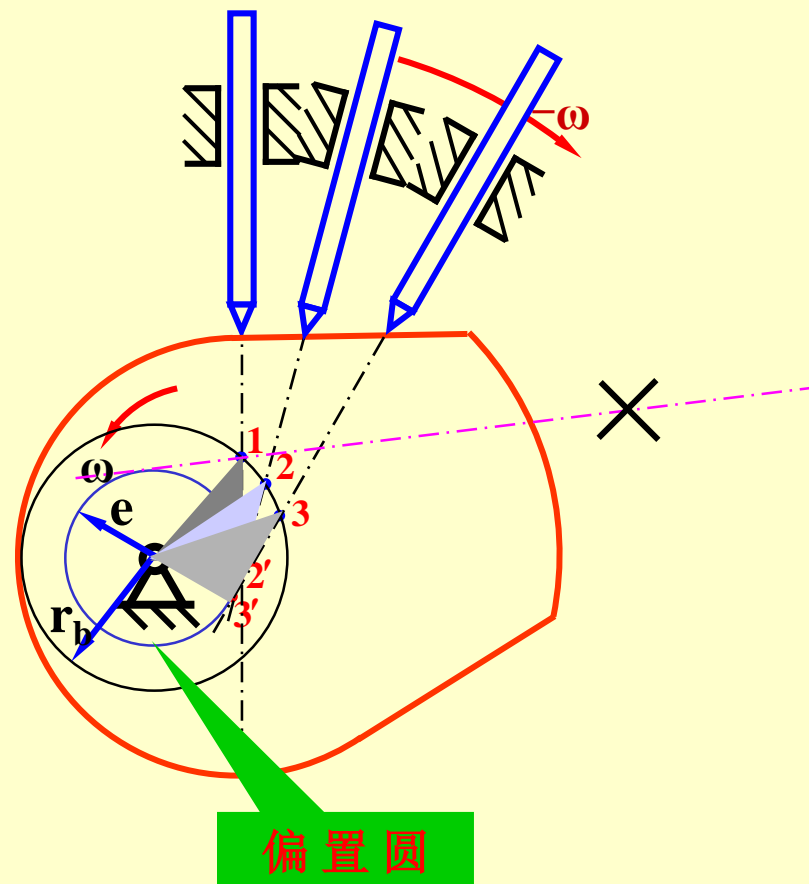
二、偏置式凸轮廓线的设计

1. 尖顶从动件

1) 相对运动分析

结论：

- a. 偏置式凸轮机构中从动件导路线始终切于偏置圆；
- b. 导路线与基圆交点为推杆尖顶最低点——其始点。



2) 设计

已知条件：凸轮转向、基圆半径偏置圆半径。

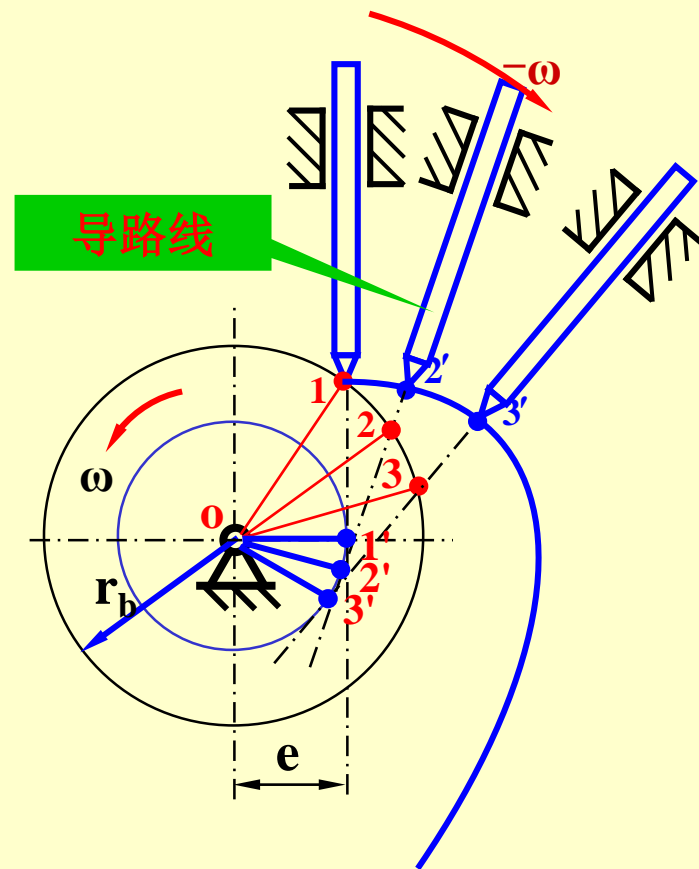
设计步骤：

a. 连接回转中心与推杆其始点，将基圆沿 $-\omega$ 方向将 δ_0 和 δ_0' 与位移线图进行对应等分；

b. 过等分点作**偏置圆切线**；并在其上度量出相应推杆的位移，得尖顶轨迹点 i' ；

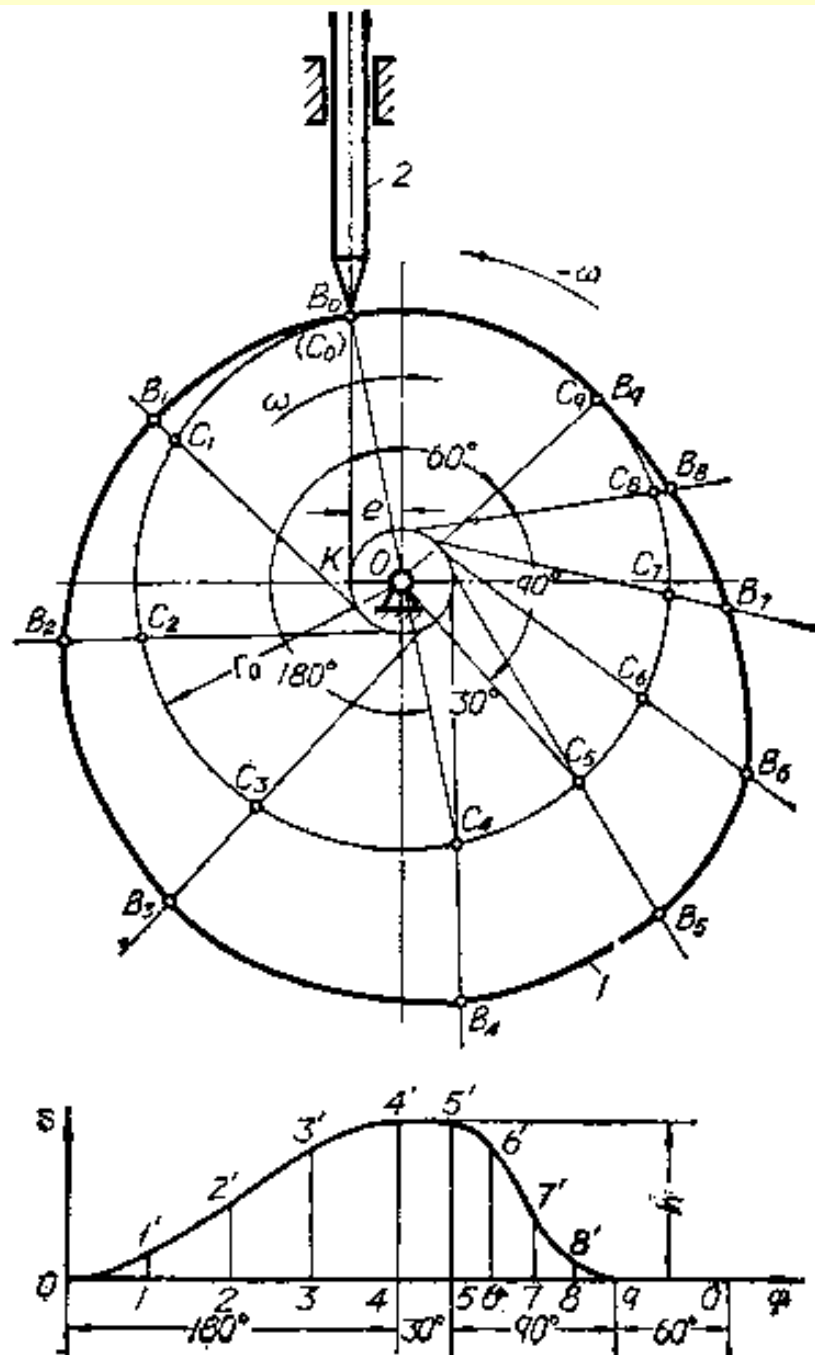
c. 光滑连接 i' 得凸轮廓线。

注意：也可在偏置圆上进行运动角等分，通过其等分点作偏置圆切线以获得导路线。



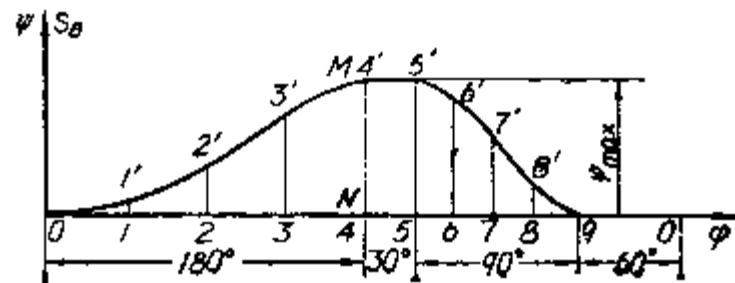
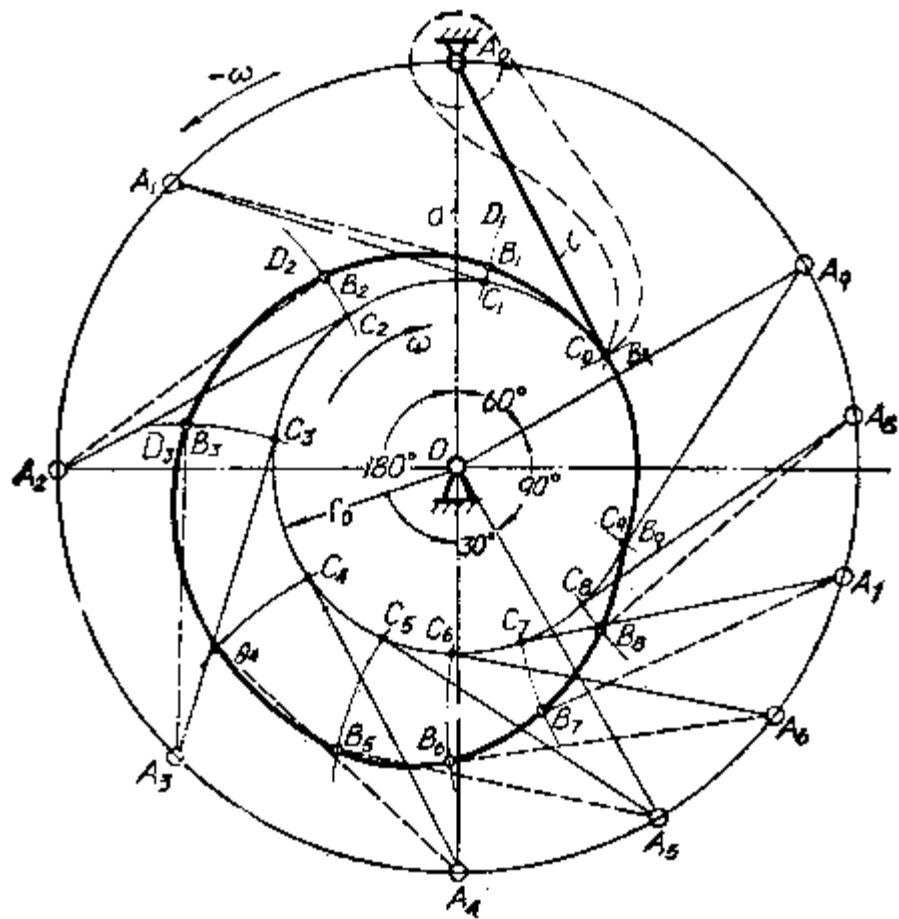
直动从动件盘形凸轮

已知：从动件位移线图、凸轮等角速 ω （顺时针）、基圆半径 r_0 及偏距 e ，求凸轮的轮廓。



摆动从动件盘形凸轮

已知：从动件位移线图、凸轮等角速 ω （顺时针）、基圆半径 r_0 、中心距 a 、从动件长度 l 、从动件最大摆角 ψ_{\max} 及从动件运动规律，求凸轮的轮廓。



§ 4-4 盘形凸轮机构基本尺寸的确定

一、凸轮机构中的作用力和凸轮机构的压力角

依据力平衡条件，分别由 $\sum F_x = 0$ 、 $\sum F_y = 0$ 、 $\sum M_B = 0$ ，有

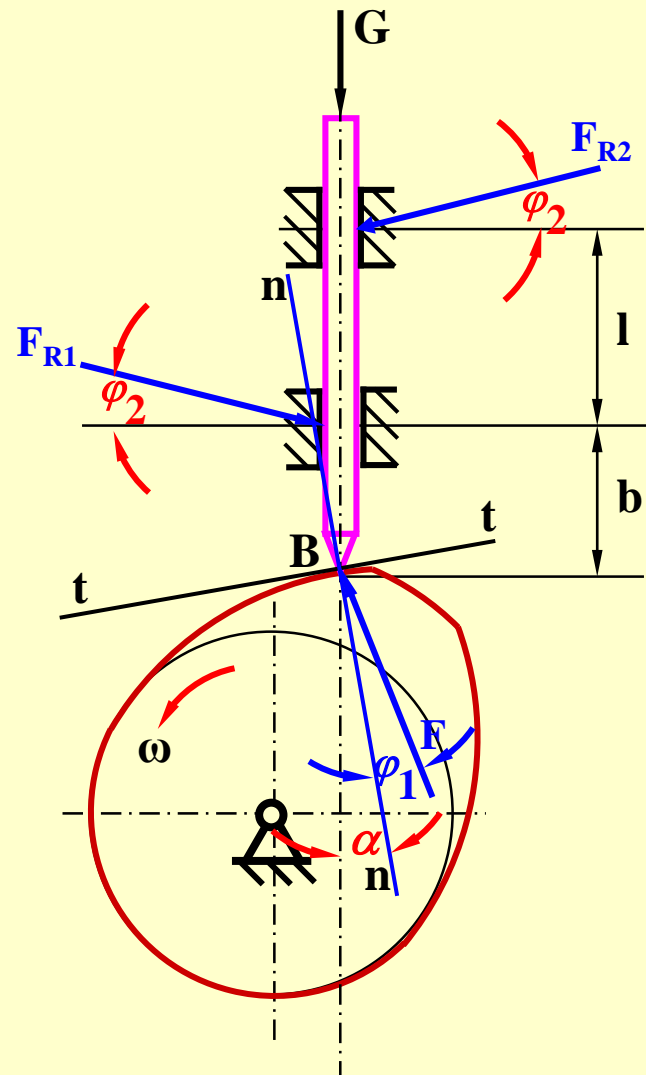
$$-F \sin(\alpha + \varphi_1) + (F_{R1} - F_{R2}) \cos \varphi_2 = 0$$

$$-G + F \cos(\alpha + \varphi_1) - (F_{R1} + F_{R2}) = 0$$

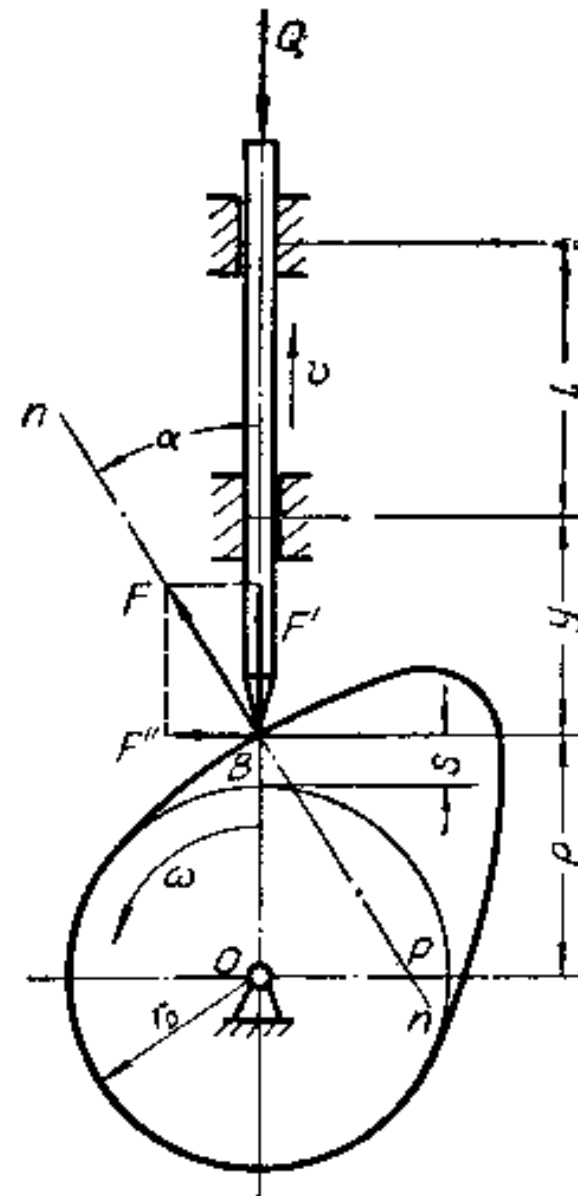
$$F_{R2} \cos \varphi_2 (l + b) - F_{R1} \cos \varphi_2 b = 0$$

于是有考虑摩擦时驱动力的表达式：

$$F = \frac{G}{\cos(\alpha + \varphi_1) - (1 + \frac{2b}{l}) \sin(\alpha + \varphi_1) \tan \varphi_2}$$



一、凸轮机构的压力角和自锁



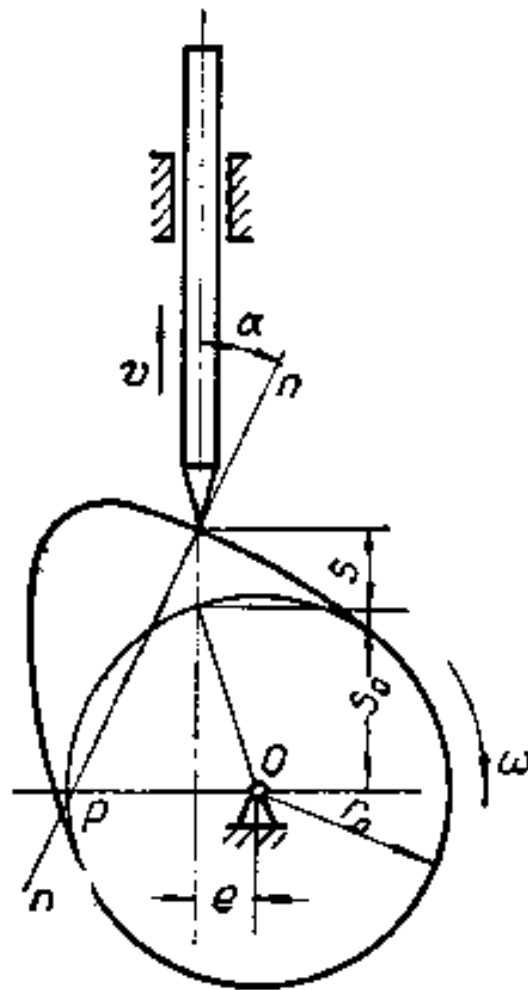
二、按许用压力角 $[\alpha]$ 确定凸轮机构的基圆半径

$$\tan\alpha = \frac{\overline{OP}_{12} - e}{S_0 + S} = \frac{ds/d\varphi - e}{S_0 + S}$$

$$\text{式中: } S_0 = \sqrt{r_0^2 - e^2}$$

运动规律给定 $\alpha \downarrow r_0 \uparrow$

结构不紧凑, 它们大致成反比关系。



三、滚子半径的选择(Selection of Roller Radius)

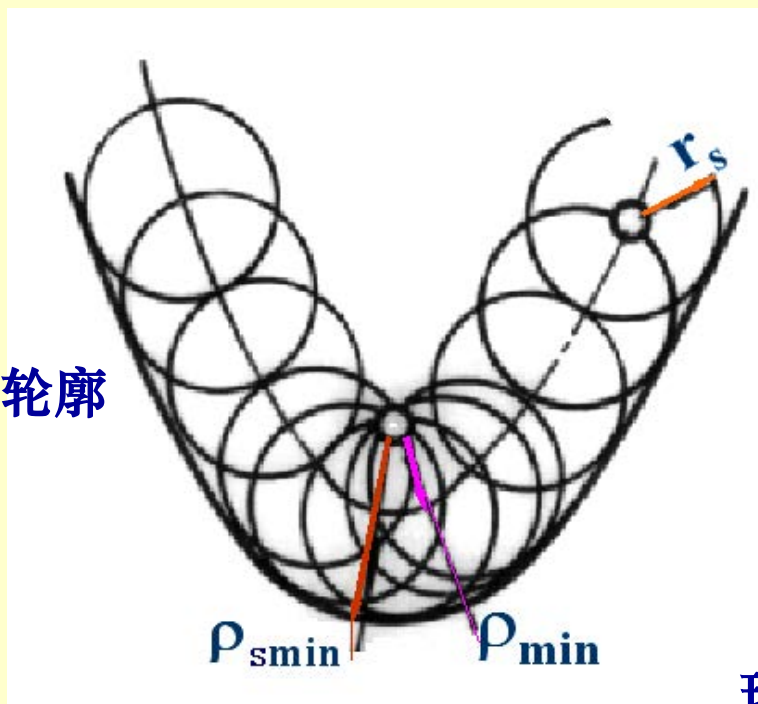
1. 凸轮理论轮廓为内凹

$$\rho_{s\min} = \rho_{\min} + r_s$$

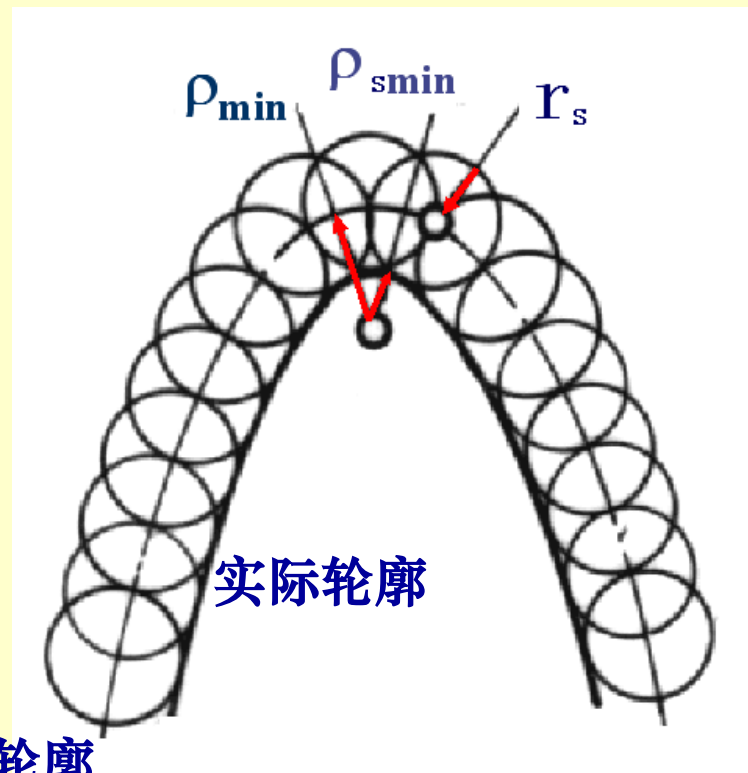
2. 凸轮理论轮廓为外凸时

$$\rho_{s\min} = \rho_{\min} - r_s$$

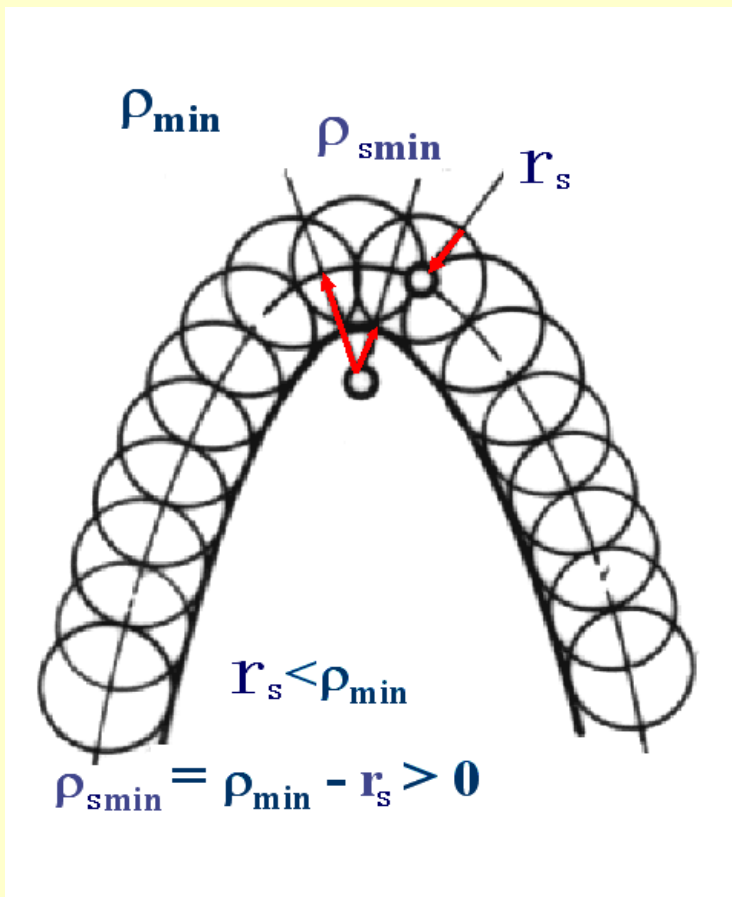
理论轮廓



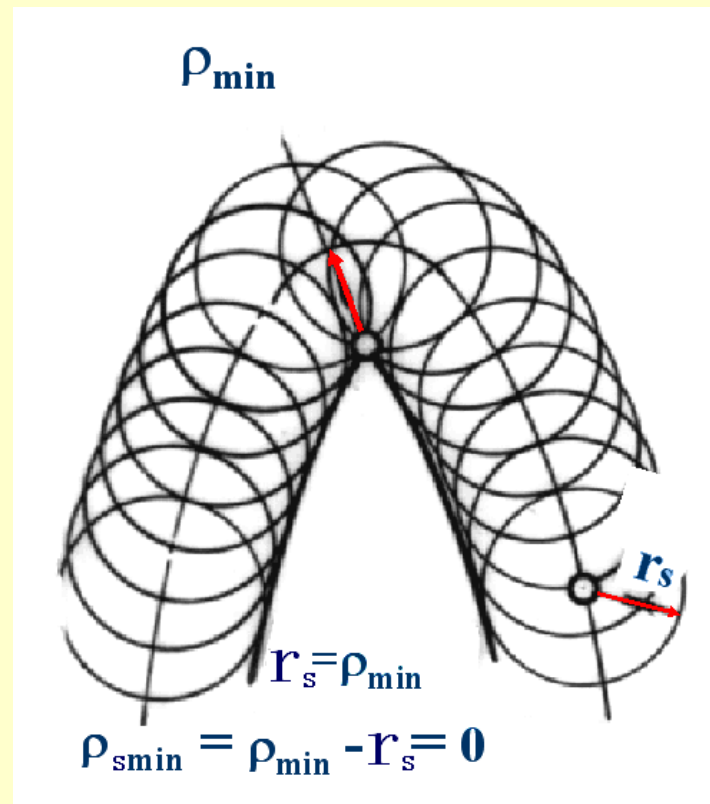
实际轮廓



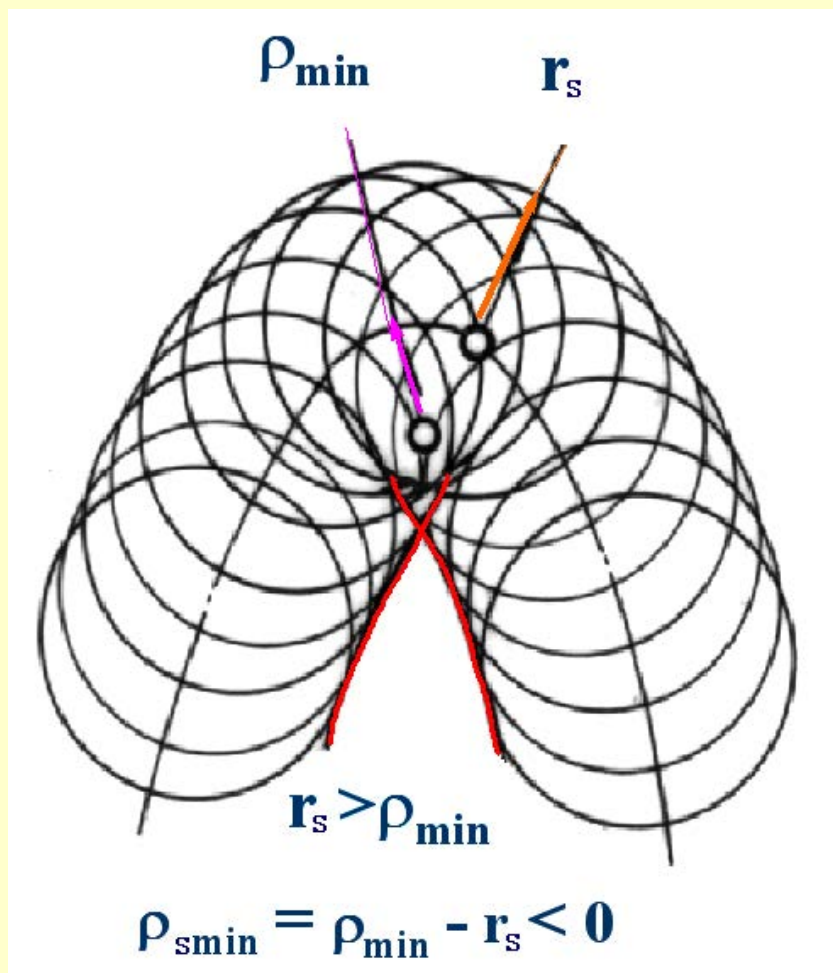
理论轮廓



1) 当 $\rho_{\min} > r_s$ 时, $\rho_{smin} > 0$, 实际轮廓为一光滑曲线。



2) 当 $\rho_{\min} = r_s$ 时, $\rho_{smin} = 0$, 工作轮廓上出现尖点, 极易磨损, 会引起运动失真。



演示

3) 当 $\rho_{\min} < r_s$ 时, $\rho_{smin} < 0$,
实际轮廓将出现交叉现象, 会引起运动失真。

故：对外凸的凸轮轮廓曲线，应使滚子半径 r_s 小于理论轮廓曲线的最小曲率半径。常取 $r_s \leq 0.8 \rho_{min}$

临界压力角 α_c

$$\alpha_c = \arctan\left\{1/\left[1 + \frac{2b}{l}\right] \cdot \tan\varphi_2\right\} - \varphi_1$$

在工程实际中，为保证较高的机械效率，改善受力状况，通常规定凸轮机构的最大压力角 α_{\max} 应小于或等于某一许用压力角 $[\alpha]$ 。

$$\text{即： } \alpha_{\max} \leq [\alpha]$$

而凸轮机构的许用压力角则应有： $[\alpha] \ll \alpha_c$

根据实践经验，推荐的许用压力角取值为：

推程：

直动从动件取 $[\alpha] = 30^\circ \sim 40^\circ$ ；

摆动从动件取 $[\alpha] = 35^\circ \sim 45^\circ$ ；

回程：直动和摆动从动件荐取 $[\alpha] = 70^\circ \sim 80^\circ$ 。

二、按许用压力角 $[\alpha]$ 确定凸轮机构的基本尺寸

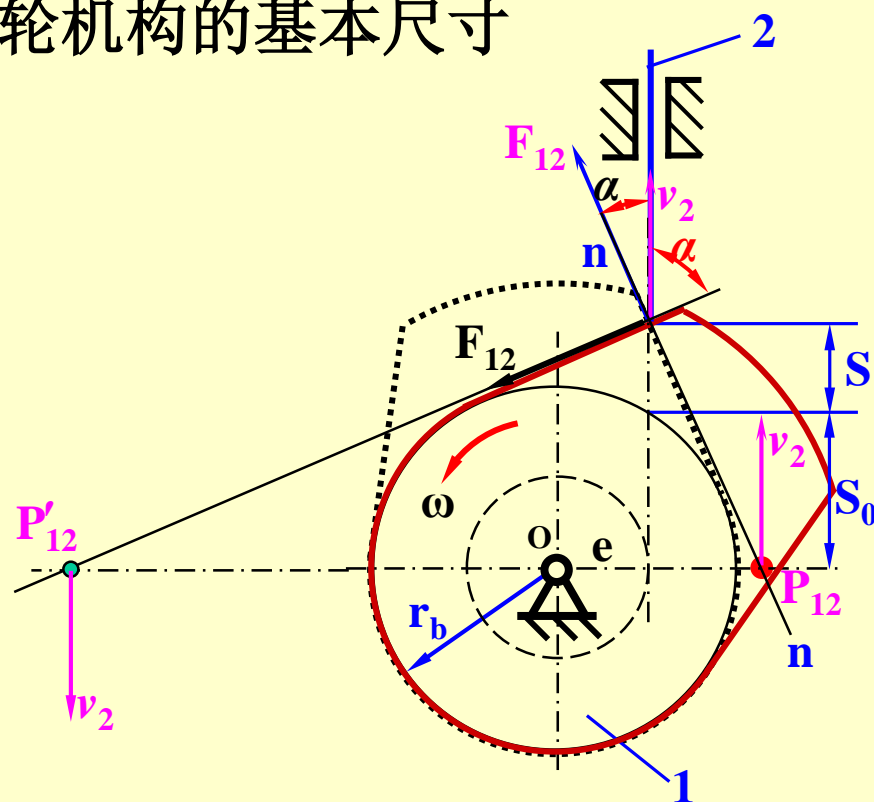
在点 P_{12} (升程)

$$V_2 = \omega_1 * \overline{OP_{12}}$$

$$\overline{OP_{12}} = \frac{V_2}{\omega_1} = ds/d\varphi$$

$$\tan\alpha = \frac{\overline{OP_{12}} - e}{S_0 + S} = \frac{ds/d\varphi - e}{S_0 + S}$$

$$\text{式中: } S_0 = \sqrt{r_0^2 - e^2}$$



在点 P'_{12} (回程)

$$\text{同理可推得: } \tan\alpha = \frac{\overline{OP'_{12}} + e}{S_0 + S} = \frac{ds/d\varphi + e}{S_0 + S}$$

综合可得: $\tan\alpha = \frac{\overline{OP_{12}} \mp e}{S_0 + S} = \frac{ds/d\varphi \mp e}{S_0 + S}$ P_{12} 与导路线同侧取“-”；异侧取“+”。

影响凸轮压力角的因素：

$$\tan\alpha = \frac{\overline{OP}_{12+} e}{S_0 + S} = \frac{dS/d\varphi e}{\sqrt{r_0^2 e^2 + S^2}}$$

$dS/d\varphi$ ， S ——从动件运动规律

r_r ， e ——凸轮基本尺寸

在设计凸轮时，如何选取凸轮基本尺寸(r_r ， e)保证凸轮机构的最大压力角 α_{max} 小于或等于许用压力角 $[\alpha]$ 是工作中一个应注意的问题。

压力角

三、滚子半径的选择

1. 凸轮轮廓的内凹部分

设：实际轮廓曲率半径 ρ_a

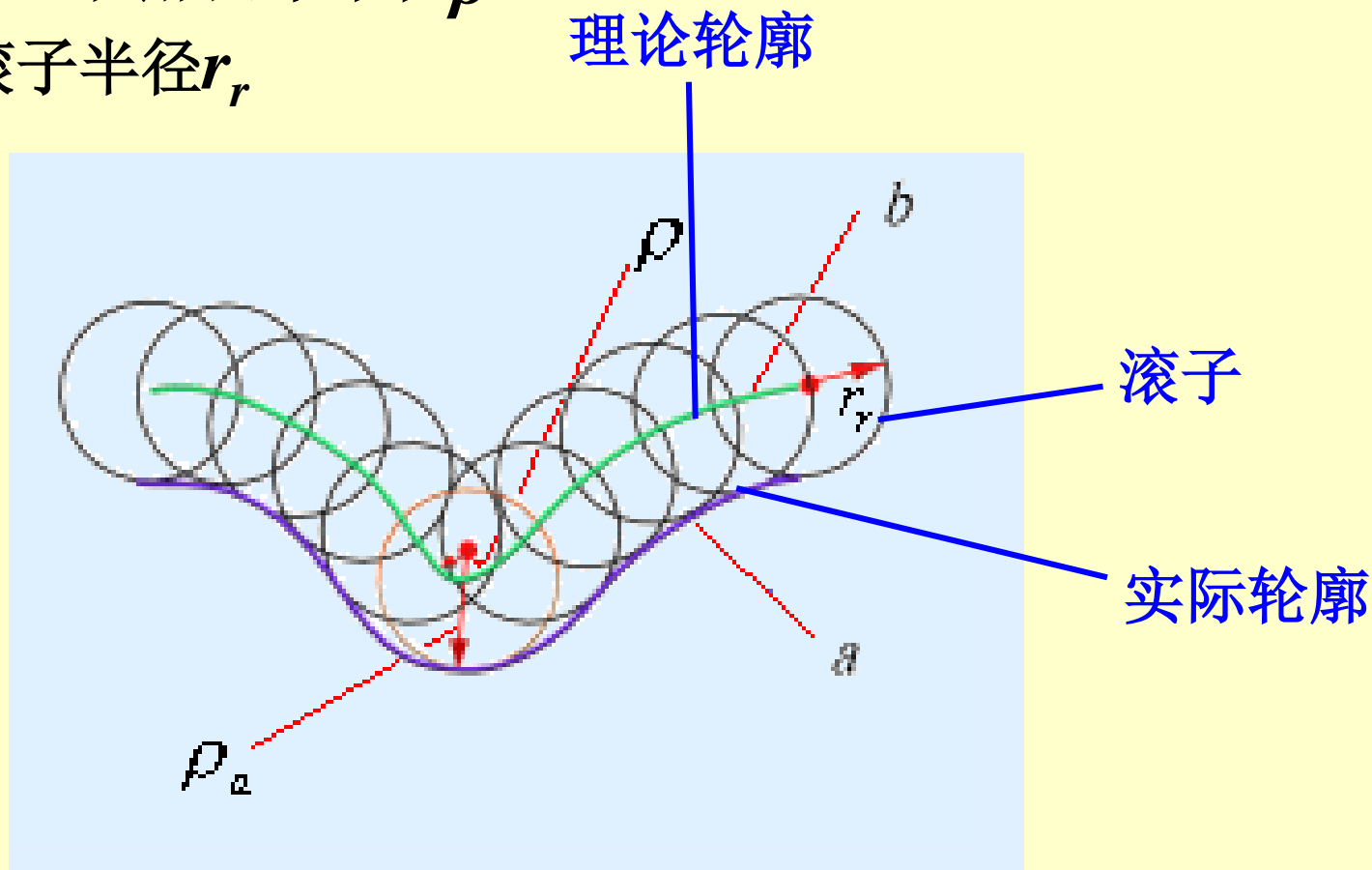
理论轮廓曲率半径 ρ

滚子半径 r_r

$$\rho_a = \rho + r_r$$

显然： $\rho_a > \rho$

结论：实际廓线始终存在

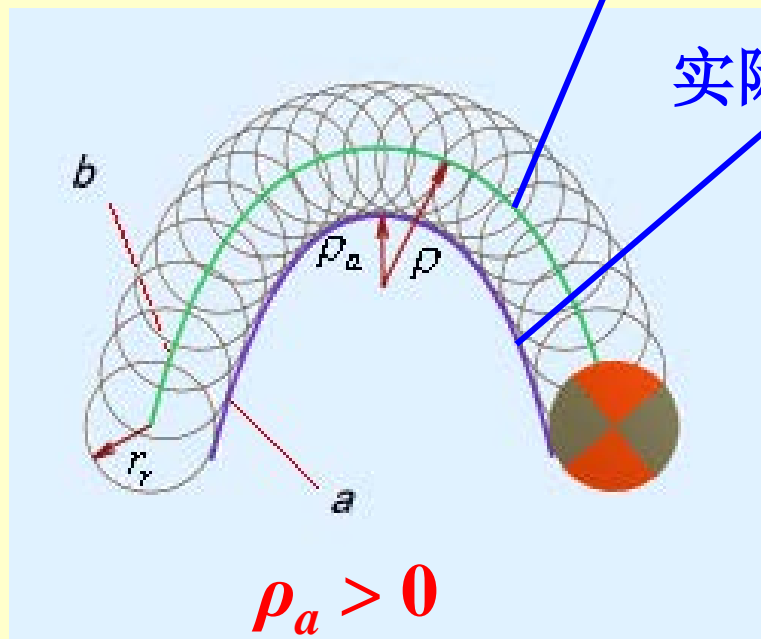


2. 凸轮轮廓的外凸部分

$$\rho_a = \rho - r_r$$

理论轮廓

实际轮廓

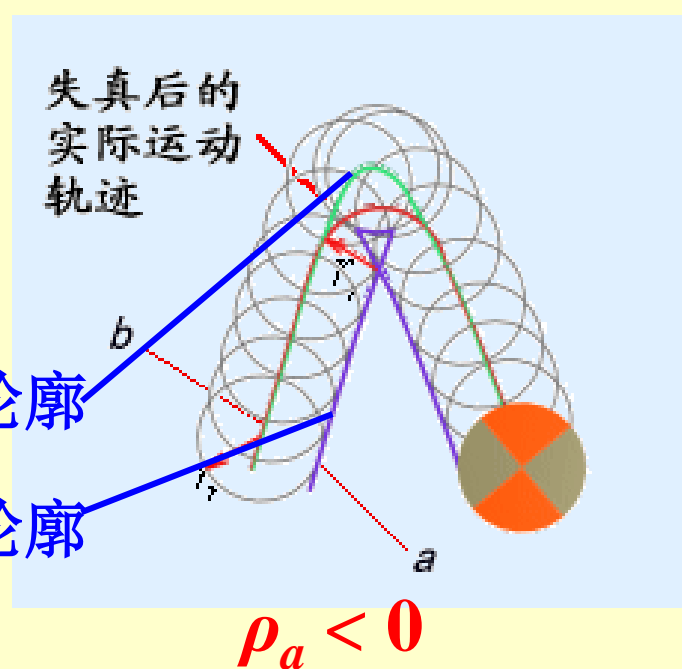


这里 $\rho = r_r$ $\rho_a = 0$

失真后的
实际运动
轨迹

理论轮廓

实际轮廓

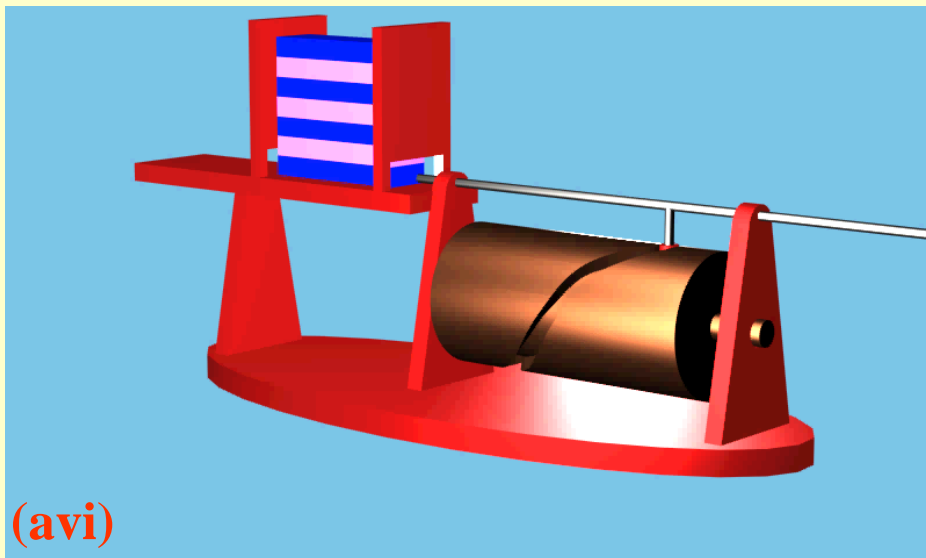


一般推荐: $r_r < \rho_{min} - \Delta$

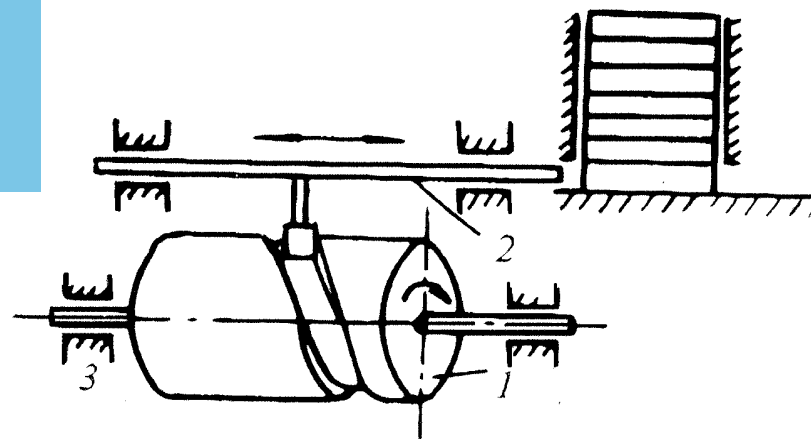
$\Delta = 3 \sim 5\text{mm}$

§ 4-5 空间凸轮机构简介

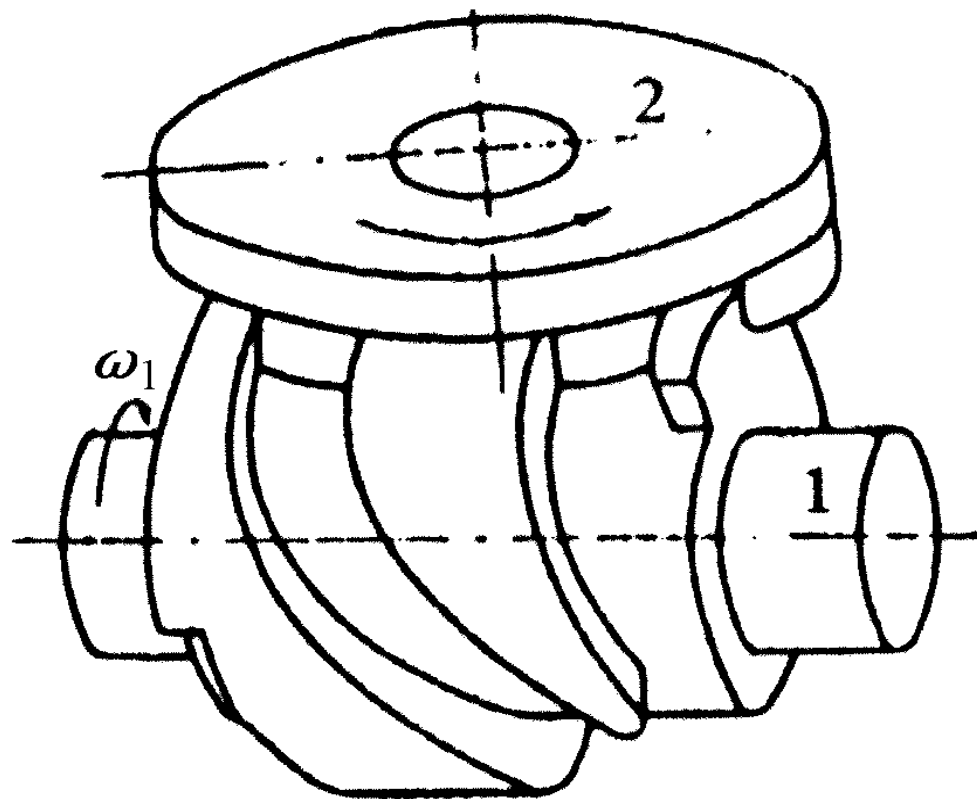
1. 圆柱凸轮机构



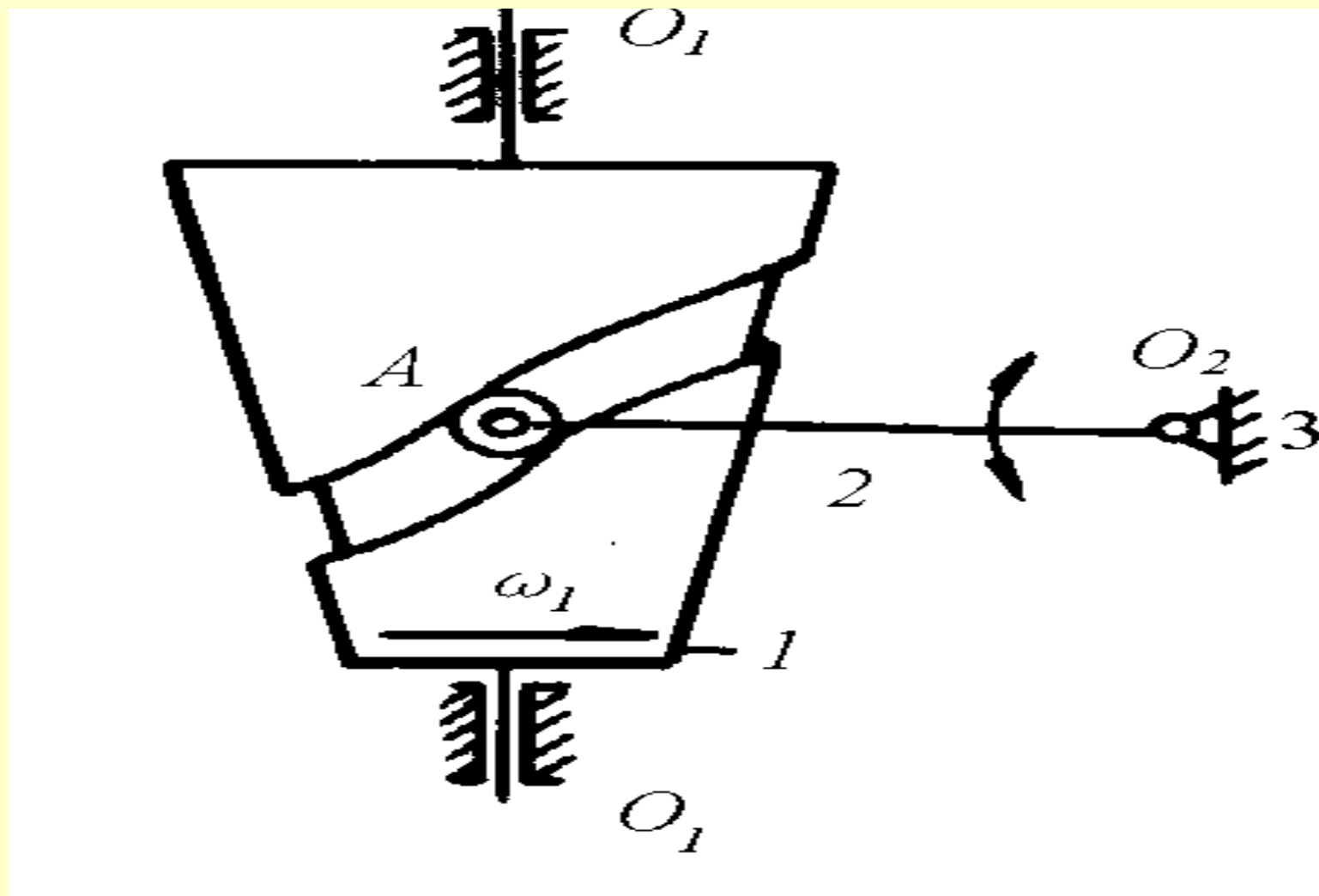
(avi)



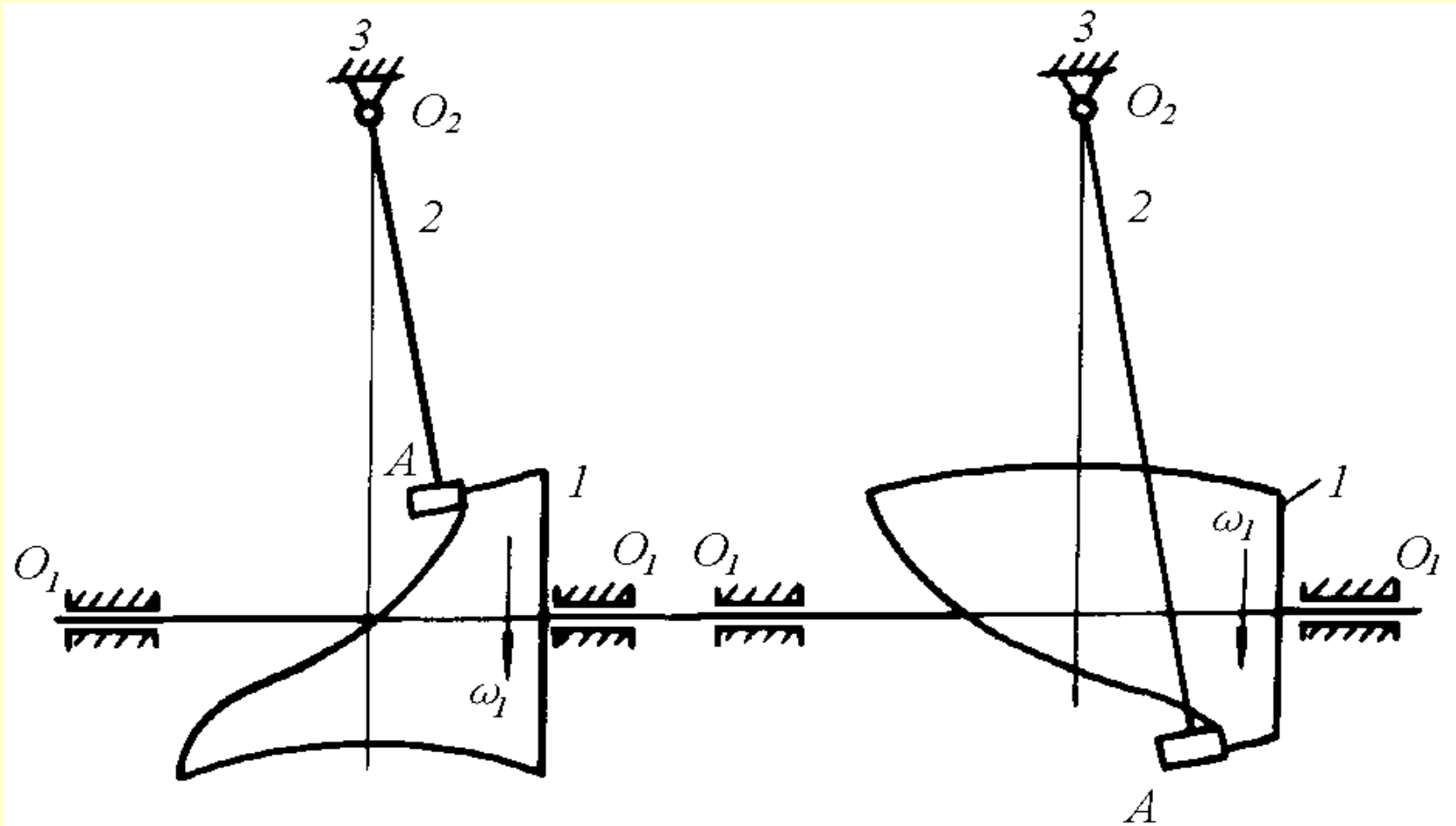
空间圆柱分度凸轮机构



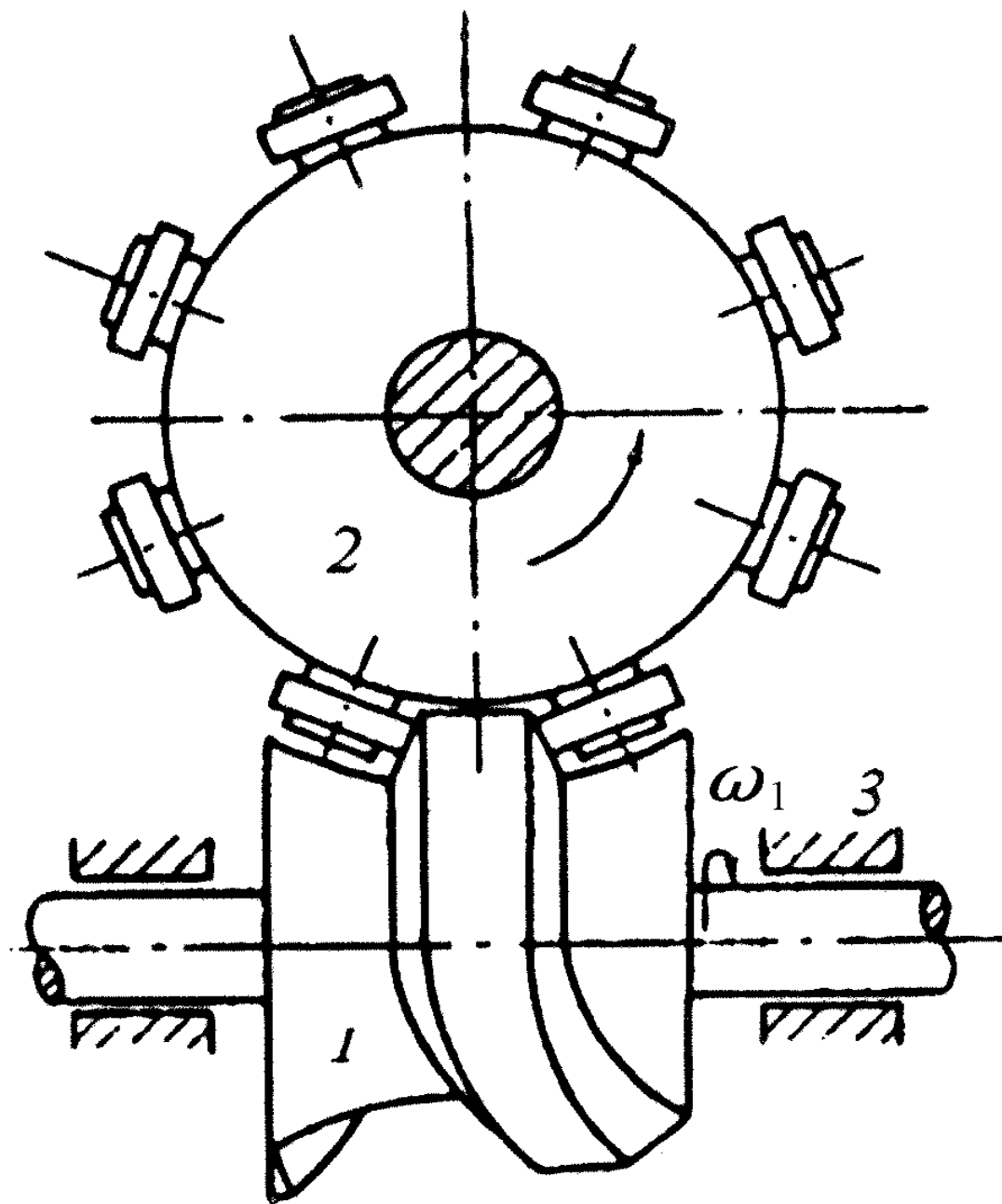
2. 圆锥凸轮机构



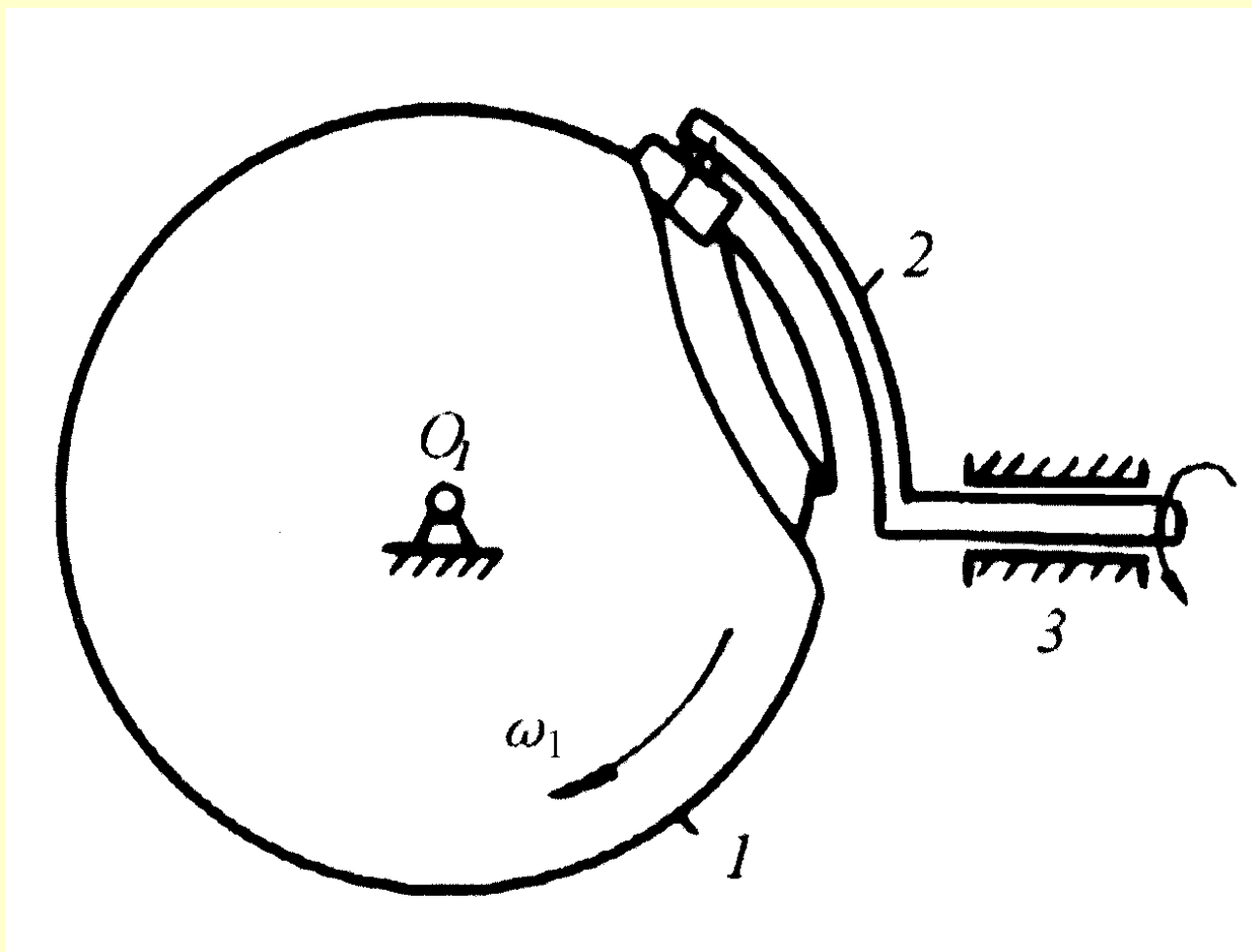
3. 弧面凸轮机构



弧面分度凸轮机构



4. 球面凸轮机构



作业:

题4-1、题4-3

本章結束