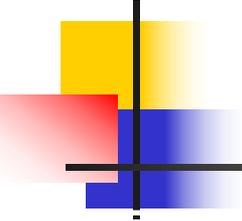


# 学习情境 三

---

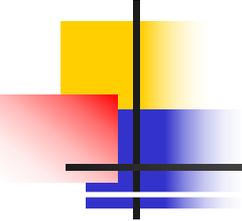
## 凸轮机构和间歇运动机构的 运动分析与设计



# 能力目标

---

- 能够认知凸轮机构的类型、特点并合理利用。
- 能够认知常见间歇运动机构的类型、特点并合理利用。
- 能够初步运用凸轮机构和间歇运动机构进行机械创新设计。

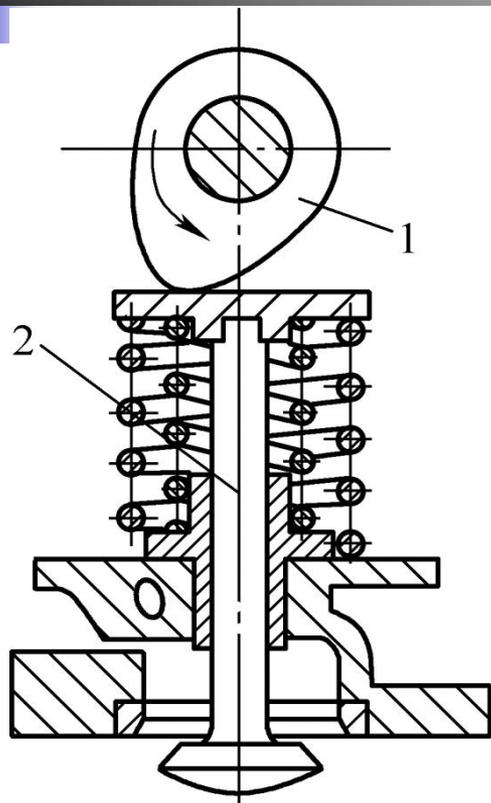


# 学习内容

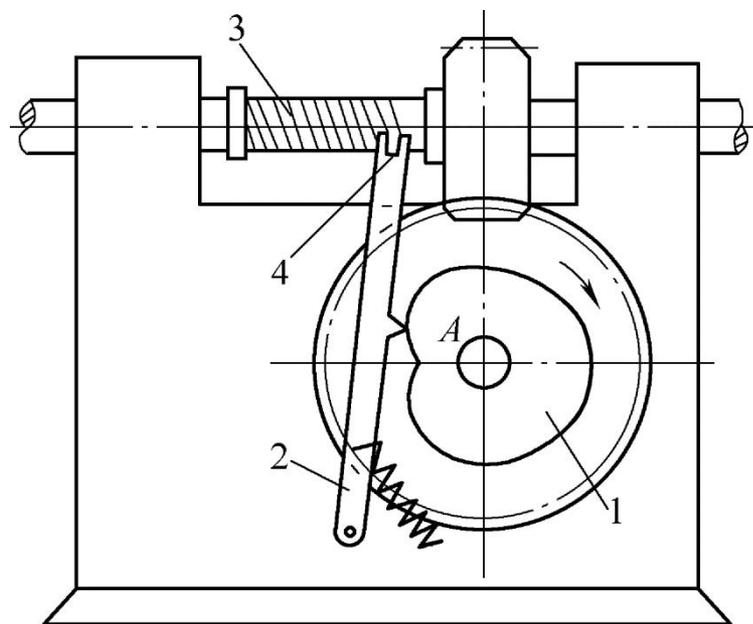
---

- ◆ 3.1 凸轮机构的组成、应用及分类
- ◆ 3.2 凸轮机构的工作过程及从动件的运动规律
- ◆ 3.3 凸轮轮廓曲线的设计
- ◆ 3.4 常见间歇运动机构的工作原理及应用

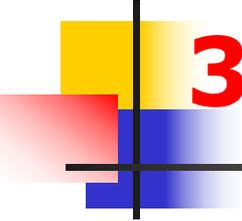
# 案例导入



内燃机配气凸轮机构



绕线机中排线凸轮机构



## 3.1 凸轮机构的组成、应用及分类

---

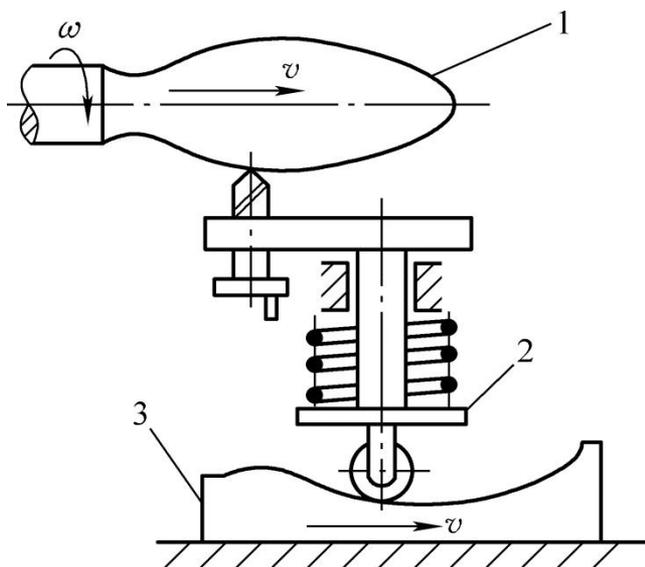
### 一、凸轮机构的组成、应用及分类

#### 1、凸轮机构的组成、应用及特点

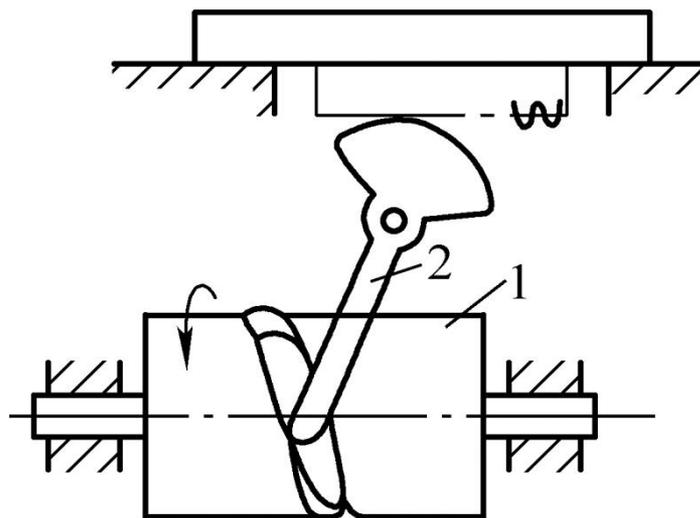
凸轮机构是由凸轮、从动件和机架三个构件组成的高副机构。

其中凸轮是一个具有曲线轮廓或凹槽的构件，一般作等速连续转动，也有作往复移动的。。

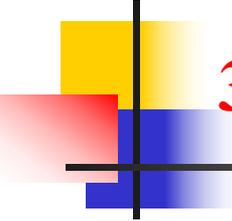
## 2、凸轮机构的应用



靠模车削移动凸轮机构



刀具进给槽型凸轮机构



### 3、凸轮机构的特点

---

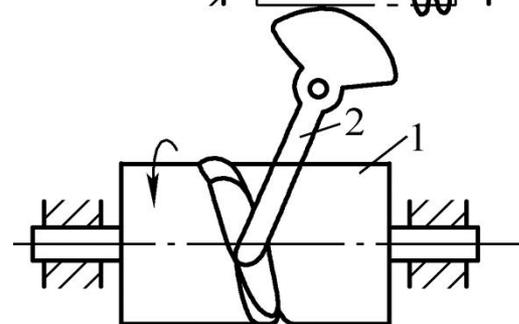
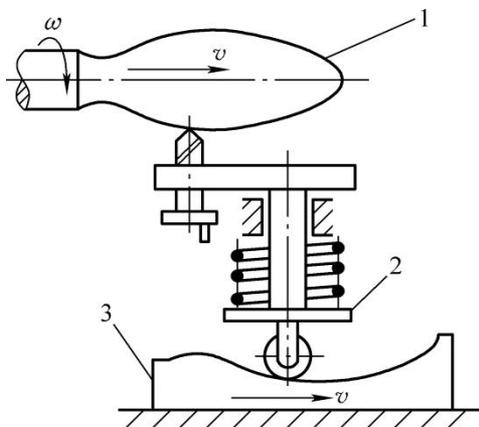
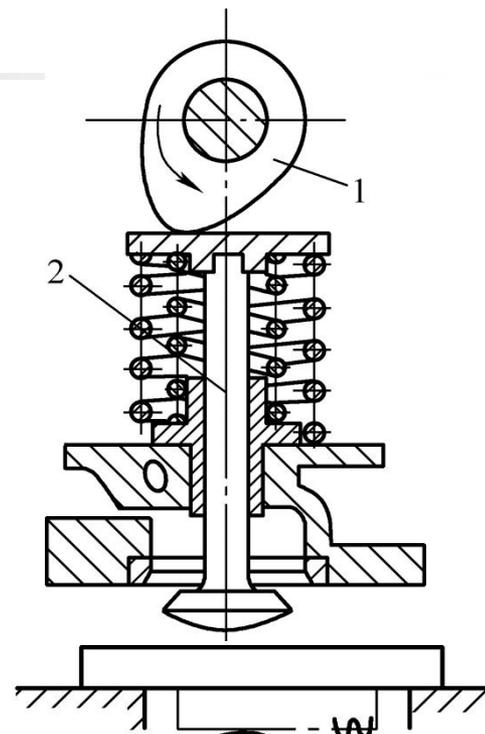
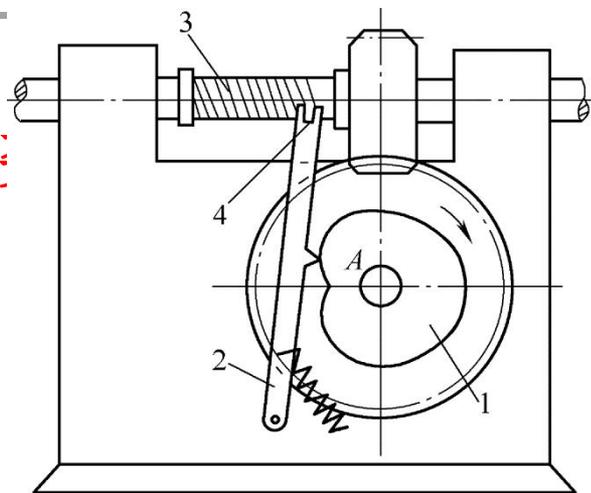
**优点：**只要设计出适当的凸轮轮廓，便可使从动件得到任意的预期运动，而且结构简单、紧凑、设计方便，因此在自动机床、轻工机械、纺织机械、印刷机械、食品机械、包装机械和机电一体化产品中得到广泛应用。

**缺点：**凸轮与从动件间为点接触或线接触，易磨损，只宜用于传力不大的场合；凸轮轮廓精度要求较高，常采用数控机床进行加工；从动件的行程不能过大，否则会使凸轮变得笨重等。

## 二、凸轮机构的分类

### 1. 按凸轮的形状分:

- (1) 盘形凸轮
- (2) 移动凸轮
- (3) 圆柱凸轮

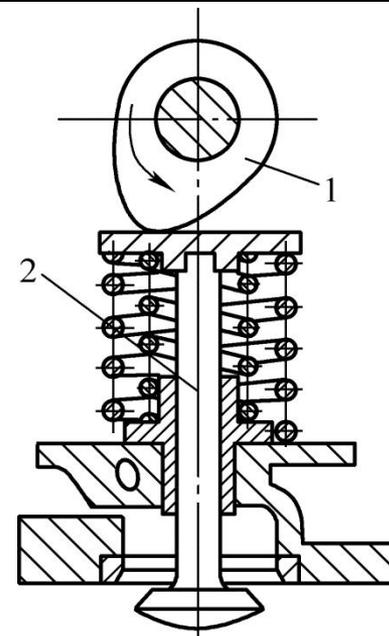
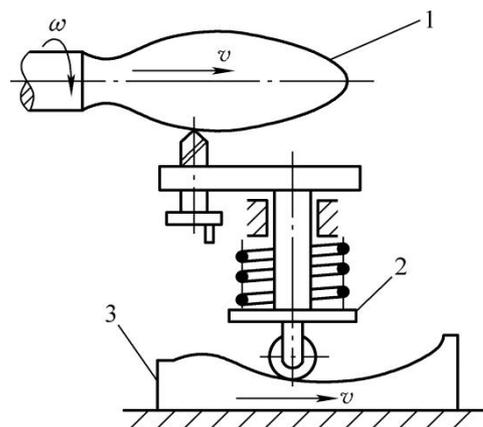
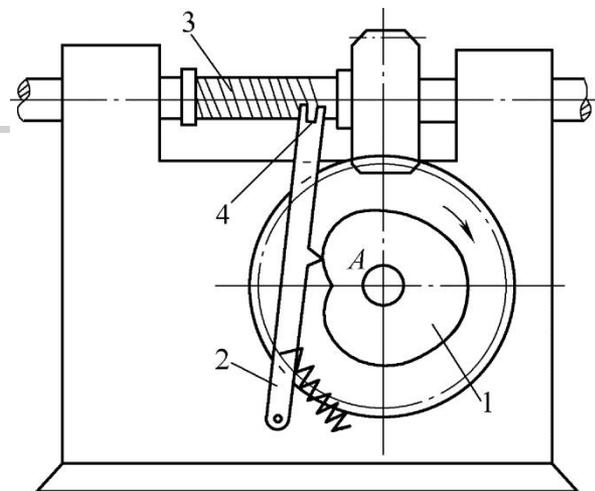


## 2.按从动件的结构形式分类

(1)尖顶从动件

(2)滚子从动件

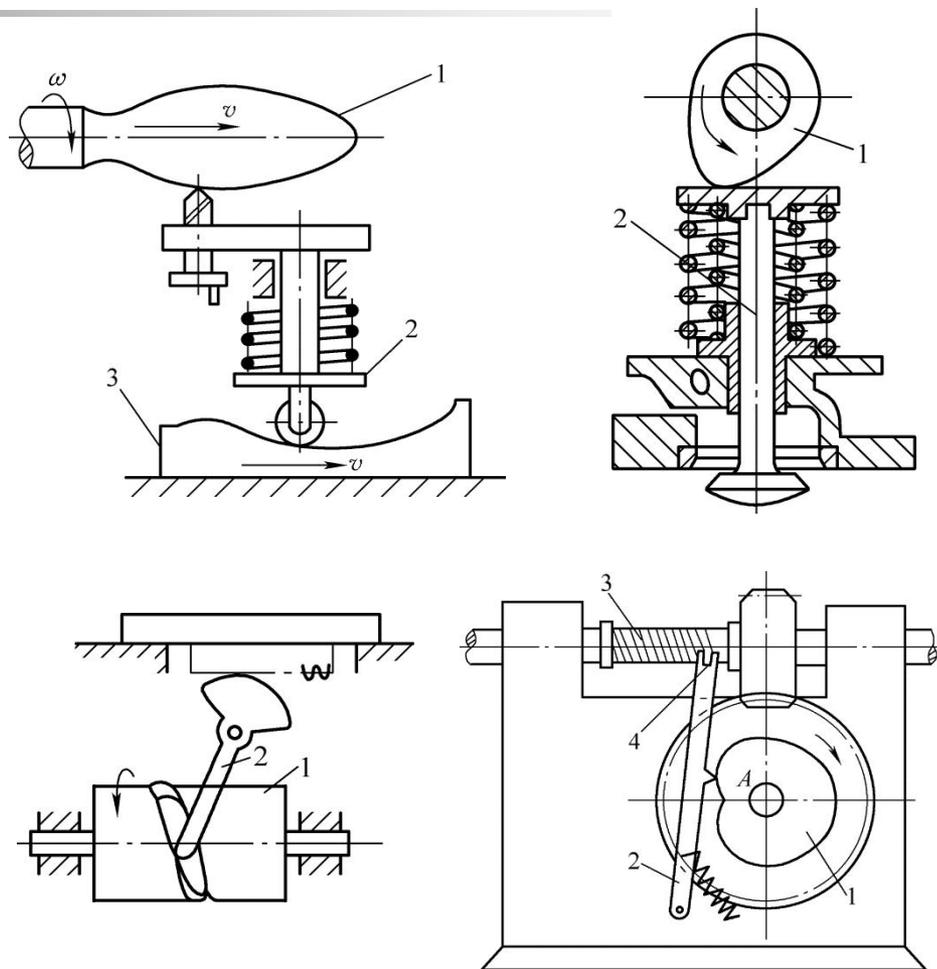
(3)平底从动件



### 3.按从动件的运动形式和相对位置分类

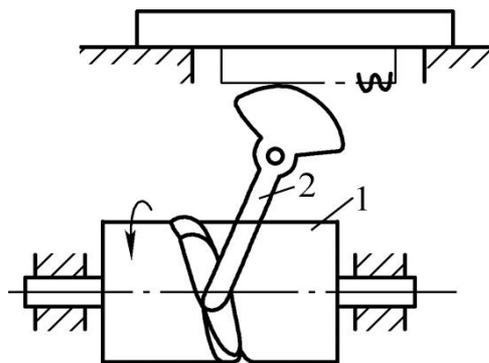
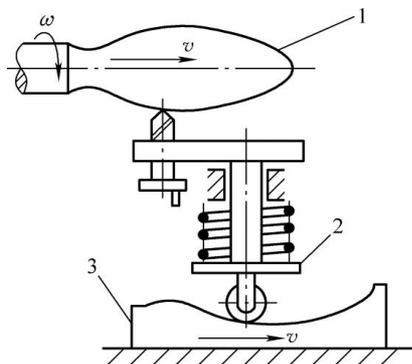
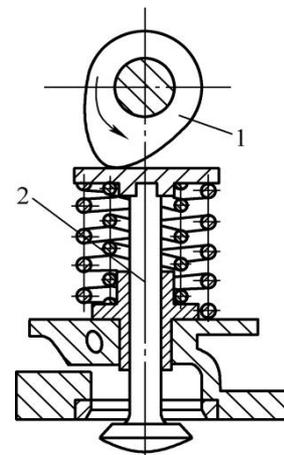
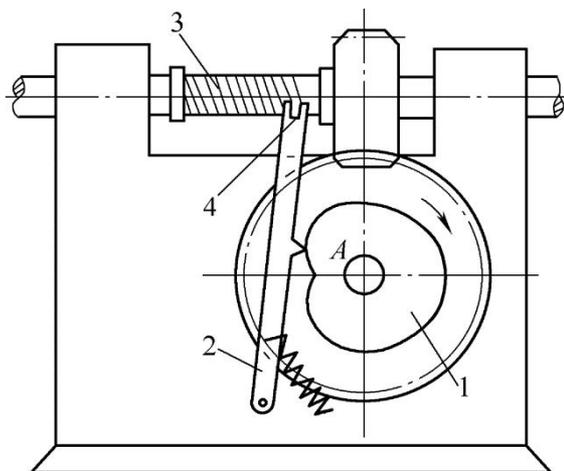
(1)直动从动件

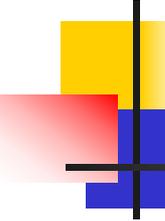
(2)摆动从动件



## 4. 按凸轮与从动件维持高副接触（锁合）的方式分类

- (1) 力锁合
- (2) 几何锁合





## 3.2 凸轮机构的工作过程及从动件的运动规律

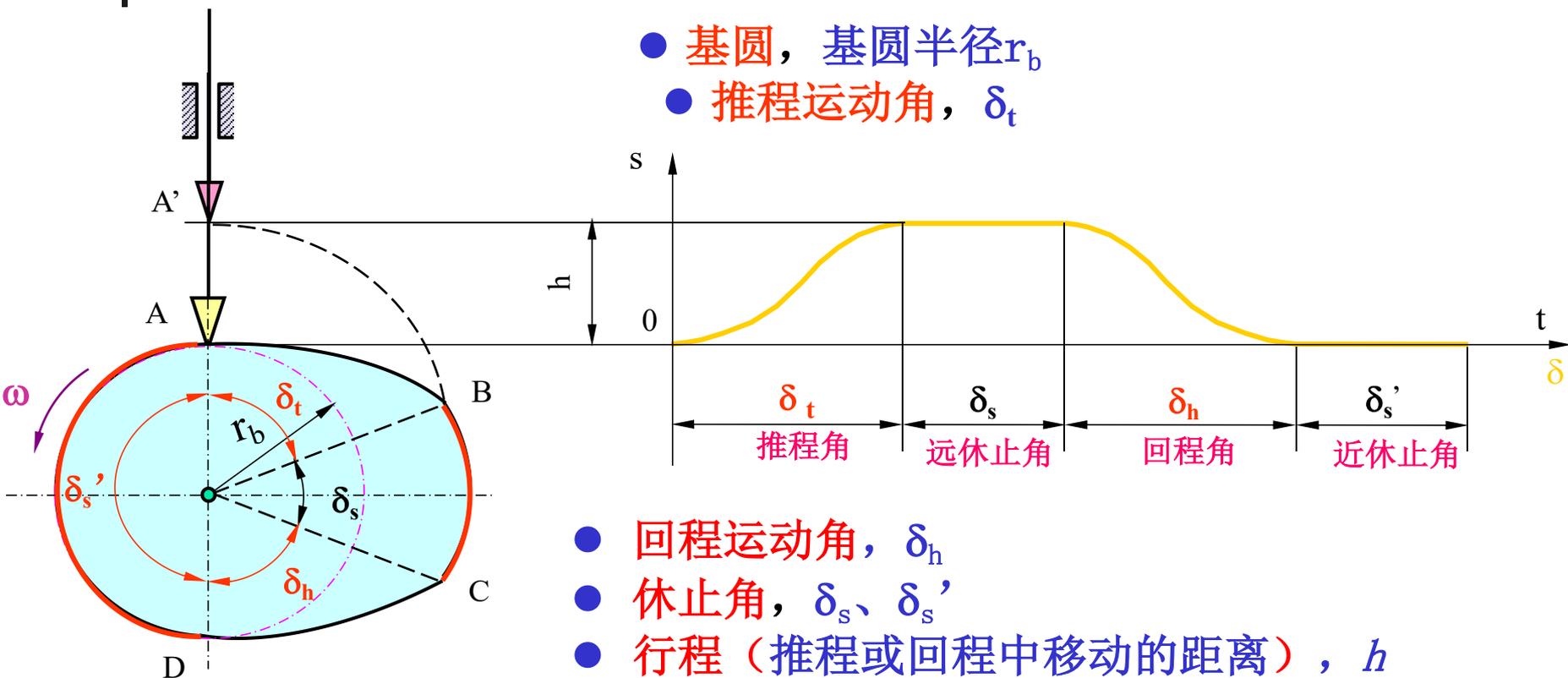
---

凸轮的轮廓形状取决于从动件的运动规律。

从动件的运动规律是指其运动参数(位移 $s$ 、速度 $v$ 和加速度 $\alpha$ )随凸轮转角的变化规律,常用运动线图来表示。

本节分析凸轮机构的工作过程及从动件的运动规律

# 一、凸轮机构的工作过程



- 基圆，基圆半径 $r_b$
- 推程运动角， $\delta_t$

- 回程运动角， $\delta_h$
- 休止角， $\delta_s$ 、 $\delta_s'$
- 行程（推程或回程中移动的距离）， $h$
- 运动线图：从动件的位移 $s$ 、速度 $v$ 、加速度 $a$ 等随时间 $t$ 或凸轮转角 $\delta$ 变化的关系图。

## 二、从动件的常用运动规律

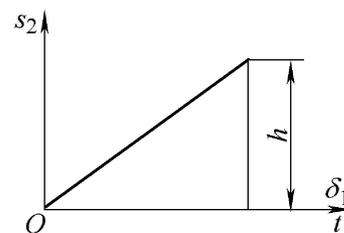
### 1、等速运动规律

推程

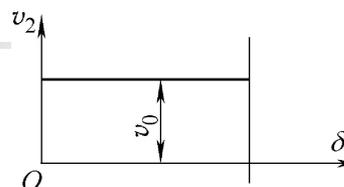
$$\begin{cases} s_2 = \frac{h}{\delta_t} \delta_1 \\ v_2 = \frac{h}{\delta_t} \omega_1 \\ a_2 = 0 \end{cases}$$

回程

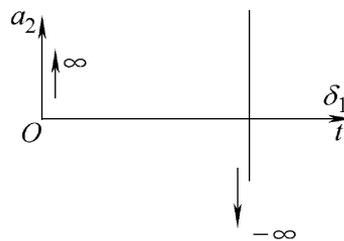
$$\begin{cases} s_2 = h(1 - \frac{\delta_1}{\delta_h}) \\ v_2 = \frac{h}{\delta_h} \omega_1 \\ a_2 = 0 \end{cases}$$



a)



b)



c)

从动件在推程（或回程）开始和终止的瞬间速度突变→  
加速度和惯性力非常大

低速轻载场合

## 2、等加速等减速运动规律

推程等加速

$$\begin{cases} s_2 = \frac{2h}{\delta_t^2} \delta_1^2 \\ v_2 = \frac{4h\omega_1}{\delta_t^2} \delta_1 \\ a_2 = \frac{4h\omega_1^2}{\delta_t^2} \end{cases}$$

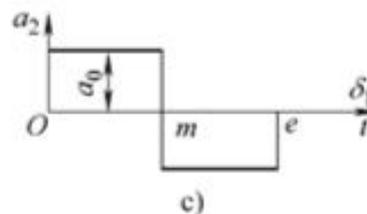
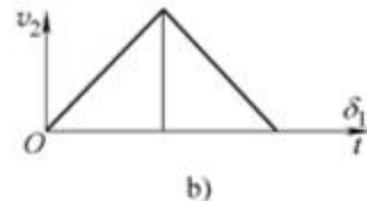
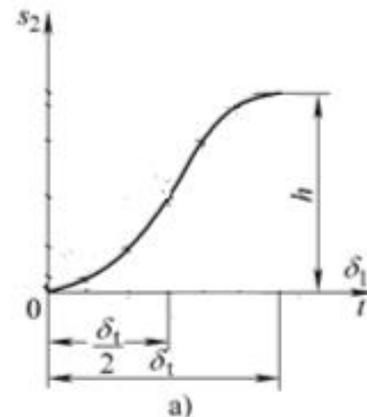
推程等减速

$$\begin{cases} s_2 = h - \frac{2h}{\delta_t^2} (\delta_t - \delta_1)^2 \\ v_2 = \frac{4h\omega_1}{\delta_t^2} (\delta_t - \delta_1) \\ a_2 = \frac{4h\omega_1^2}{\delta_t^2} \end{cases}$$

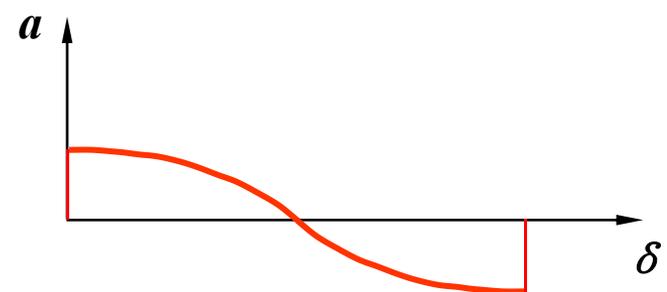
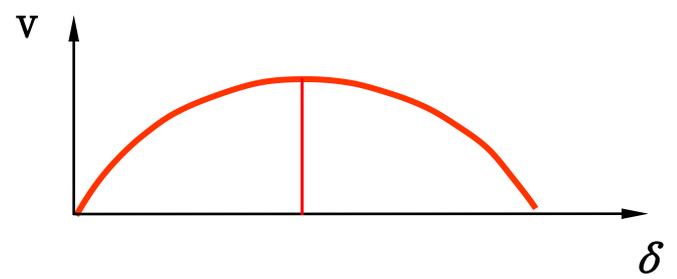
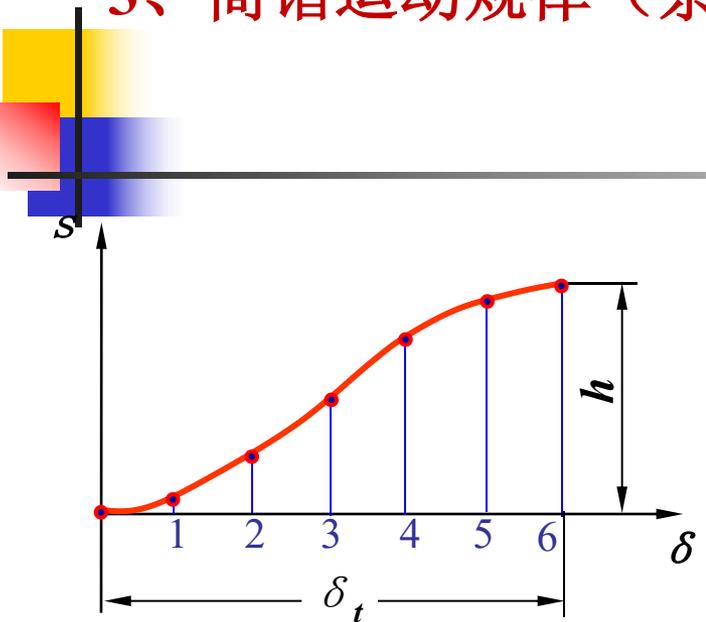
加速度有限值的突变 → 惯性力突变

↓  
柔性冲击

中速轻载场合

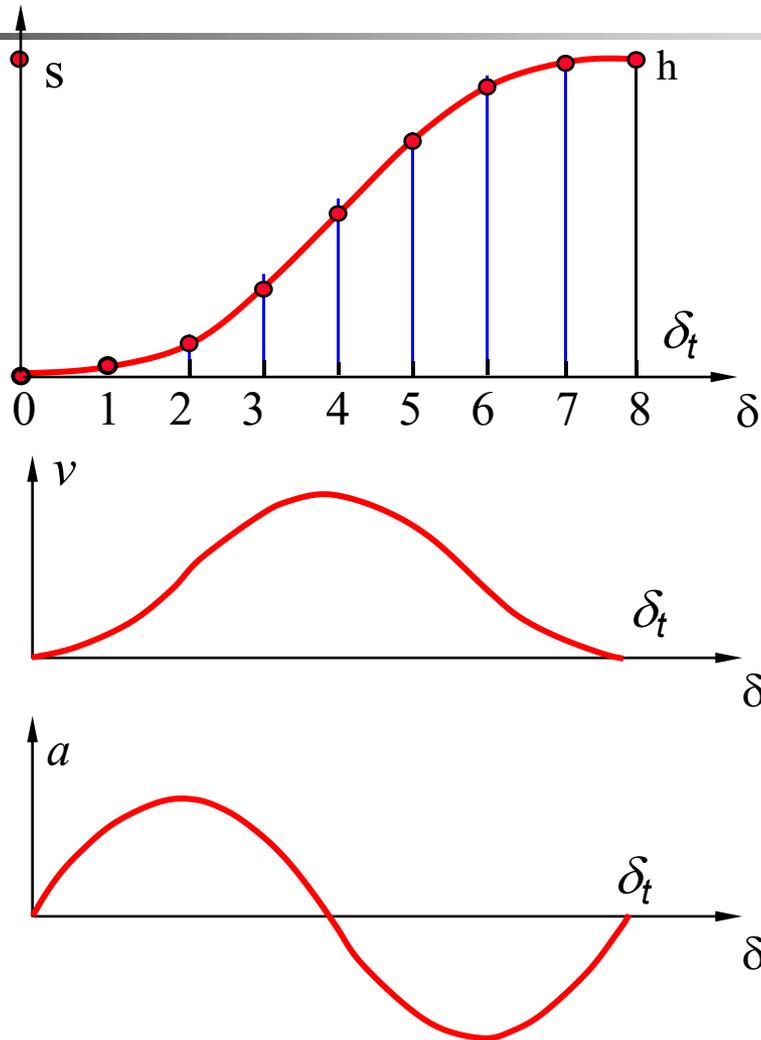


### 3、简谐运动规律（余弦加速度运动规律）

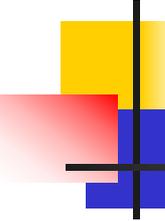


- **冲击特性：**起、末点柔性冲击
- **适用场合：**中速中载

## 4、摆线运动规律（正弦加速度运动规律）



- **冲击特性：** 无冲击
- **适用场合：** 高速场合



### 三、从动件运动规律的选择

---

凸轮轮廓曲线完全取决于从动件的运动规律。

选择从动件运动规律时，主要考虑以下方面：

- (1) 满足工作要求
- (2) 加工制造方便
- (3) 动力特性要好

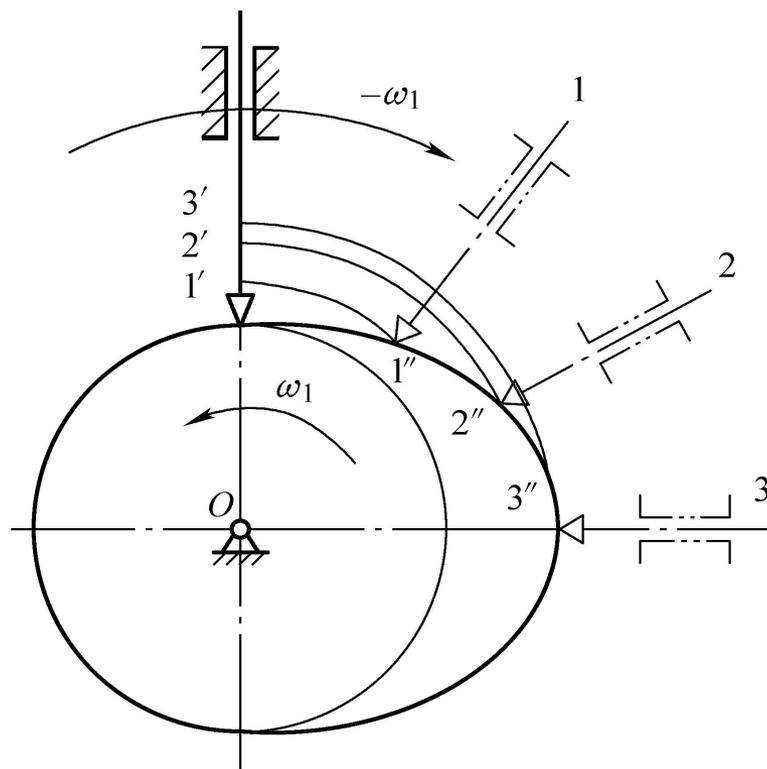
在实际应用时，或者采用单一的运动规律，或者采用几种运动规律的配合，应视推杆的工作需要而定。原则上应注意减轻机构中的冲击。

# 3.3 凸轮轮廓曲线的设计

## 一、凸轮轮廓曲线设计的基本原理

### 反转法原理

以凸轮作动参考系，按相对运动原理设计凸轮轮廓曲线的方法即称为反转法。



反转后尖顶的运动轨迹即是凸轮的理论廓线。

## 二、常用凸轮轮廓曲线的设计

### 1. 对心尖顶直动从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计

已知：从动件的位移运动规律，如图a所示，凸轮的基圆半径 $r_b$ ，以及凸轮以等角速度 $\omega_1$ 顺时针回转，试设计此凸轮的轮廓曲线。

作图步骤(见图b)：

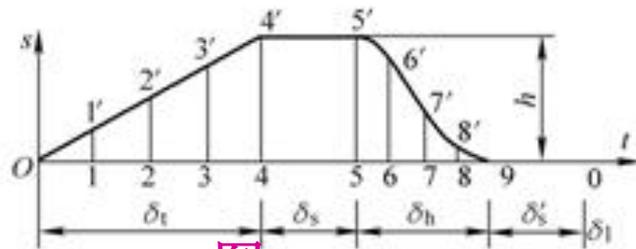
(1) 将如图a所示的已知从动件的位移线图的横坐标用若干点等分分段。

(2) 以 $r_b$ 为半径作基圆。此基圆与导路的交点 $A_0$ 便是从动件尖顶的起始位置。

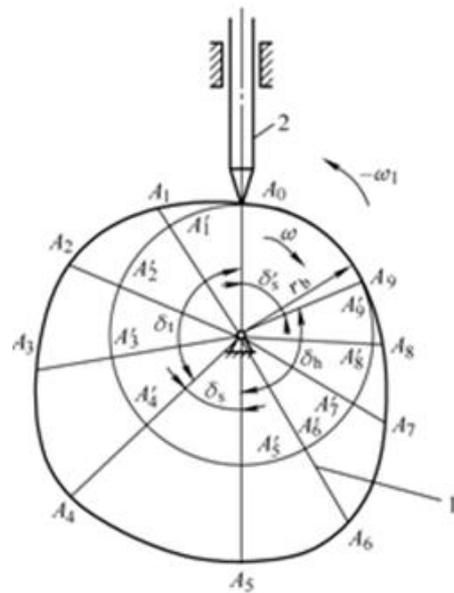
(3) 自 $OA_0$ 沿 $\omega_1$ 的相反方向取角度 $\delta_t$ 、 $\delta_h$ 、 $\delta_s$ ，并将它们各分成与图3-11b对应的若干等分，得 $A_1'$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ 、...。连接 $OA_1'$ 、 $OA_2'$ 、 $OA_3'$ 、...，它们便是反转后从动件导路的各个位置。

(4) 量取各个位移量，即取 $A_1A_1' = 11'$ 、 $A_2A_2' = 22'$ 、 $A_3A_3' = 33'$ 、...，得反转后尖顶的一系列位置 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、...。

(5) 将 $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、...，连成光滑曲线，便得到所求的凸轮轮廓，如图b。



图a



图b

## 2. 对心滚子移动从动件盘形凸轮轮廓线的设计

### 作图步骤:

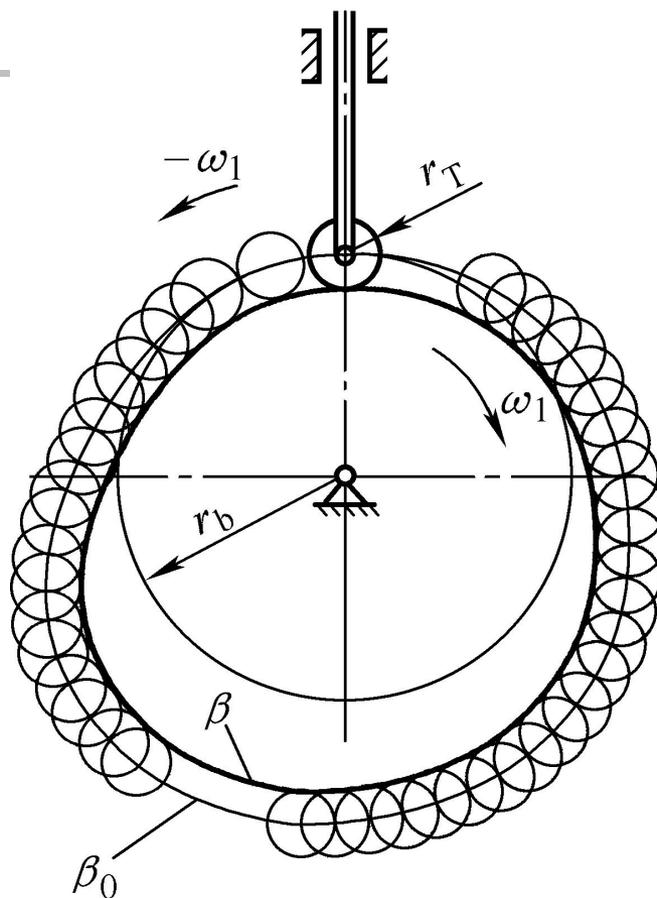
(1) 把滚子中心看作尖顶从动件的尖顶, 按照对心尖顶的方法画出一条理论轮廓曲线 $\beta_0$ 。

(方法步骤同尖顶从动件)

(2) 以 $\beta_0$ 上各点为中心, 以滚子半径为半径, 画一系列圆。

(3) 作这些圆的包络线, 它便是使用滚子从动件时凸轮的实际轮廓曲线。

**注意:** 滚子从动件凸轮轮廓的基圆半径 $r_b$ 应当在理论轮廓上度量。



### 3. 对心直动平底从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计

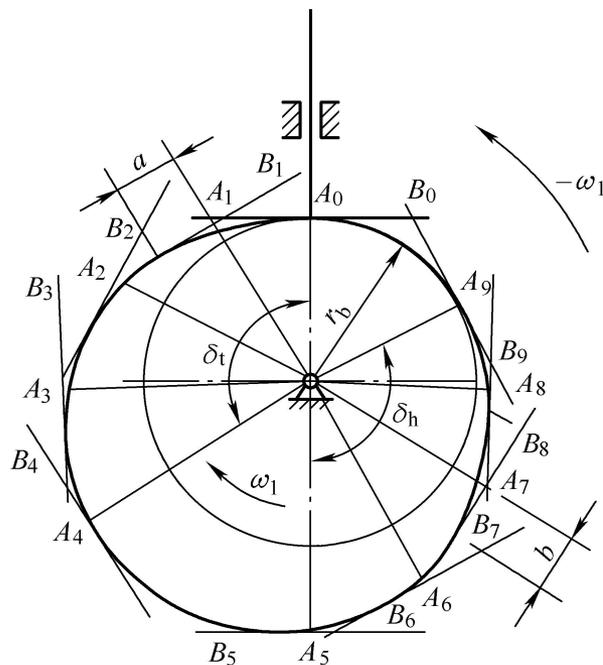
#### 作图步骤:

(1) 在平底上选一固定点 $A_0$ ，按照尖顶从动件凸轮轮廓的绘制方法，求出理论轮廓上一系列点 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、...

(2) 过这些点画出各个位置的平底 $A_1B_1$ 、 $A_2B_2$ 、 $A_3B_3$ ...

(3) 作这些平底的包络线，便得到凸轮的实际轮廓曲线。

为了使平底从动件始终保持与凸轮实际轮廓相切，应要求凸轮实际轮廓曲线全部为外凸曲线。



## 4. 尖顶偏置直动从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计

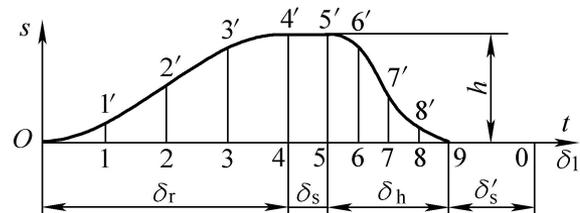
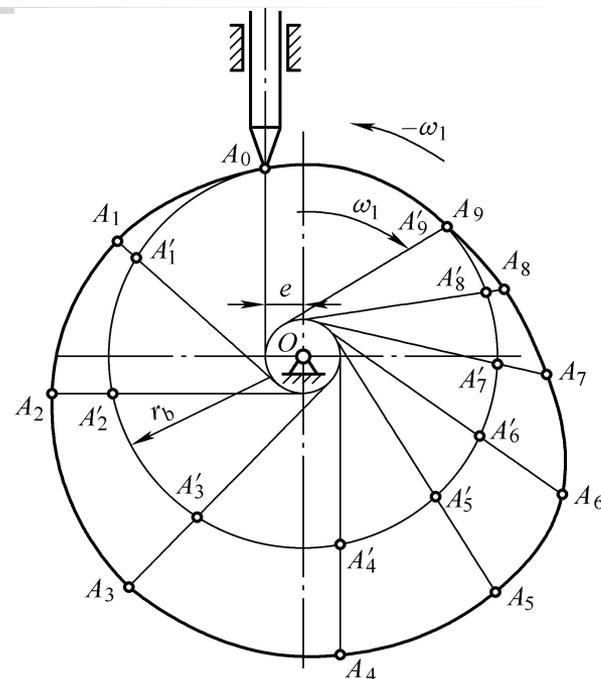
### 作图步骤:

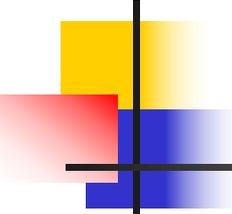
(1) 根据已知从动件的运动规律，作出从动件的位移线图，并将横坐标分段等分。

(2) 在基圆上，任取一点 $A_0$ 作为从动件升程的起始点，并过 $A_0$ 作偏距圆的切线，该切线即是从动件导路线的起始位置。

(3) 由 $A_0$ 点开始，沿相反方向将基圆分成与位移线图相同的等份，得各等分点 $A_1'$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ 、...。过 $A_1'$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ 、...各点作偏距圆的切线并延长，则这些切线即为从动件在反转过程中依次占据的位置。

(4) 在各条切线上自 $A_1'$ 、 $A_2'$ 、 $A_3'$ ..截取 $A_1' A_1=11$ ， $A_2' A_2=22$ ， $A_3' A_3=33$ 、...，得 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、...各点。将 $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_3$ 、...各点连成光滑曲线，即为凸轮轮廓曲线。





### 三、凸轮机构基本尺寸的确定

---

凸轮机构的设计要求：

- 实现预期运动规律
- 传力性能良好
- 结构尺寸紧凑

综合考虑后确定

- 压力角  $\alpha$
- 滚子半径  $r_T$
- 凸轮的基圆半径  $r_b$

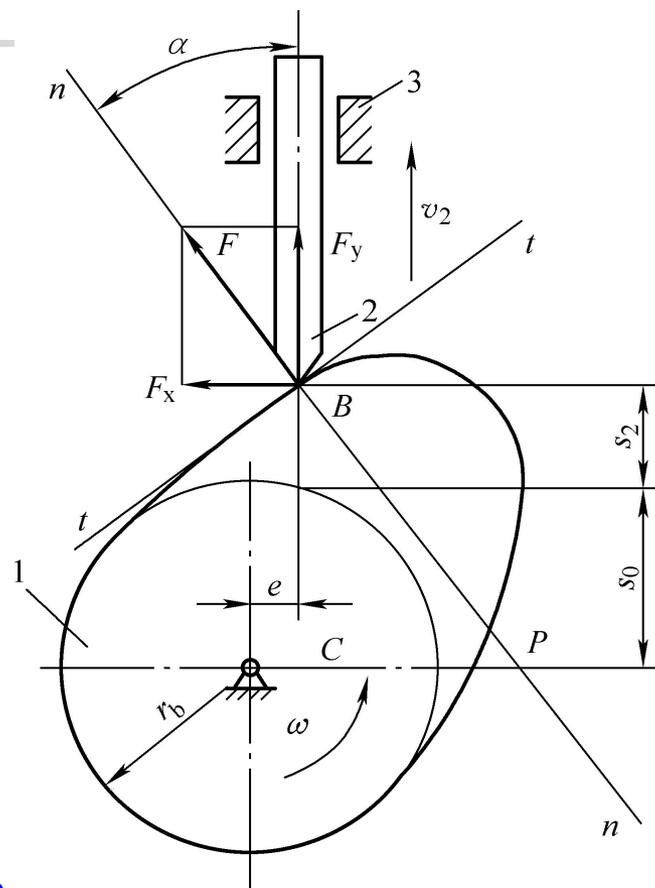
# 1.压力角的校核

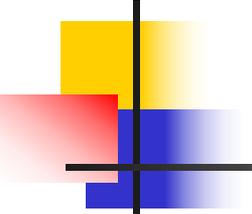
**压力角** 一作用力 $F$ 与从动件上该力作用点的速度方向间所夹的锐角 $\alpha$ 称为凸轮机构在该位置的**压力角**。

有效分力  $F_y = F \cos \alpha$

有害分力  $F_x = F \sin \alpha$

压力角 $\alpha \uparrow \rightarrow$  有害分力 $\uparrow \rightarrow$  机构效率  $\eta \downarrow$





**自锁**— 当压力角 $\alpha$ 增大到一定程度时，由引起的摩擦阻力始终大于有效分力，无论凸轮给从动件施加的作用力多大，从动件都不能运动，这种现象称为自锁。

从改善受力情况，提高传动效率，避免自锁的观点看，压力角愈小愈好。

设计时一般推荐规定许用压力角 $[\alpha]$ 。

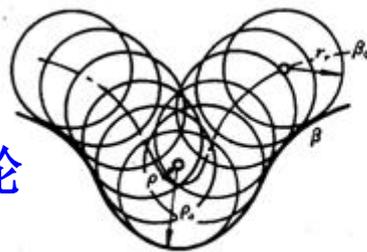
推程（工作行程）：直动从动件： $[\alpha]=30^\circ$ ；摆动从动件： $[\alpha]=45^\circ$ 。回程：因受力较小且无自锁问题，故许用压力角可取得大些，通常 $[\alpha]=80^\circ$ 。

## 2. 滚子半径的确定

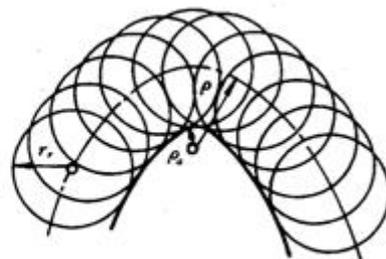
### (1) 凸轮理论轮廓的内凹部分

由图a可得： $\rho_a = \rho_{\min} + r_T$ 。即实际轮廓曲率半径总大于理论轮廓曲率半径。

不论选择多大的滚子，都能做出实际轮廓。



a)



b)

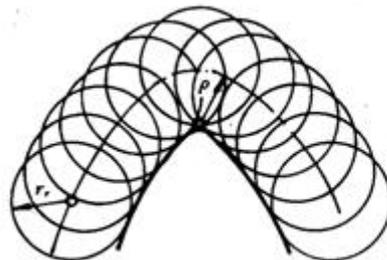
### (2) 凸轮理论轮廓的外凸部分

由图b可得： $\rho_a = \rho_{\min} - r_T$ 。

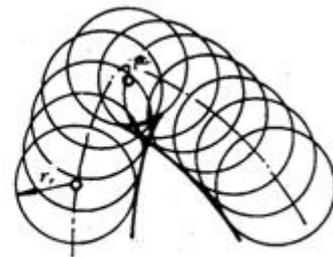
①当 $\rho_{\min} > r_T$ 时， $\rho_a > 0$ ，如图b所示，实际轮廓为一平滑曲线；

②当 $\rho_{\min} = r_T$ 时， $\rho_a = 0$ ，如图c所示，在凸轮实际轮廓曲线上产生了尖点，极易磨损；

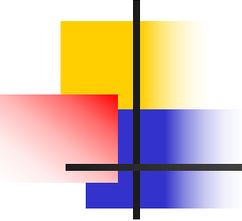
③当 $\rho_{\min} < r_T$ 时， $\rho_a < 0$ ，如图d所示，这时实际轮廓曲线发生相交，会使从动件的运动出现严重的失真。



c)



d)



---

为了使凸轮轮廓在任何位置既不变尖也不相交，滚子半径必须小于理论轮廓外凸部分的最小曲率半径 $\rho_{\min}$ 。

如果 $\rho_{\min}$ 过小，则选择的滚子半径太小而不能满足安装和强度要求，此时应当把凸轮基圆尺寸加大，重新设计凸轮轮廓曲线。

### 3 .基圆半径的确定

设计凸轮机构时，凸轮的基圆半径取得越小，所设计的机构越紧凑。但是，基圆半径过小会引起压力角增大，致使机构工作情况变坏。

$$r_b = r - s_2 = \frac{v_2}{\omega \tan \alpha} - s_2$$

基圆半径 $r_b$ 越小，压力角 $\alpha$ 越大。

实际设计中，只能在保证凸轮轮廓的最大压力角不超过许用值的前提下，考虑缩小凸轮的尺寸。

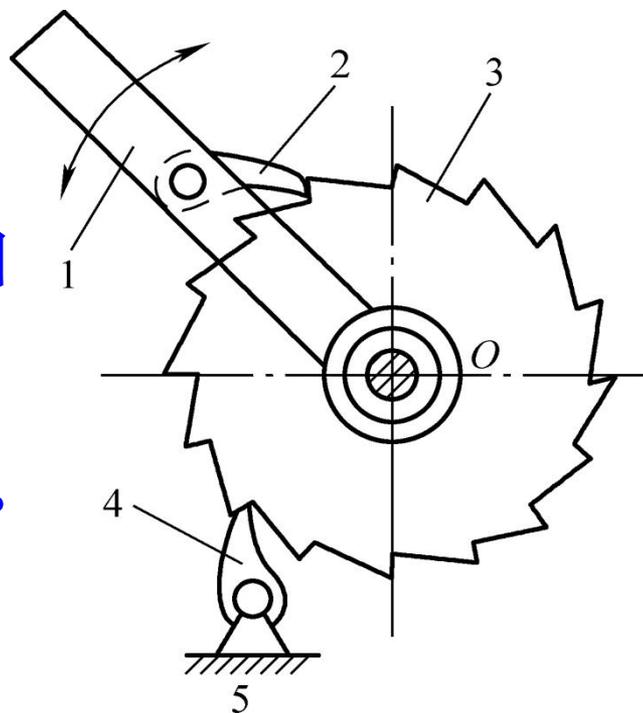
## 3.4 常见间歇运动机构的工作原理及应用

### 一、棘轮机构

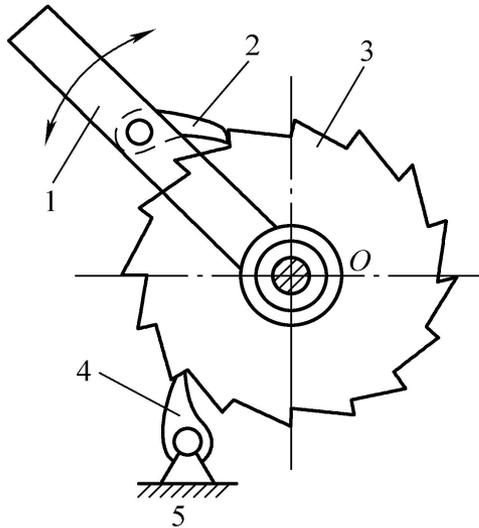
#### 1. 棘轮机构的工作原理

由摆杆1、棘爪2、棘轮3、止回爪4和机架5组成。

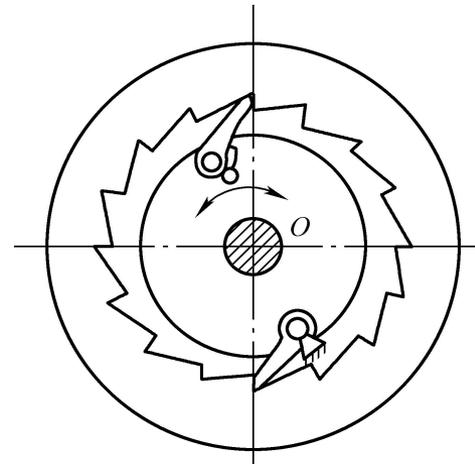
摆杆为主动件、棘轮为从动件。



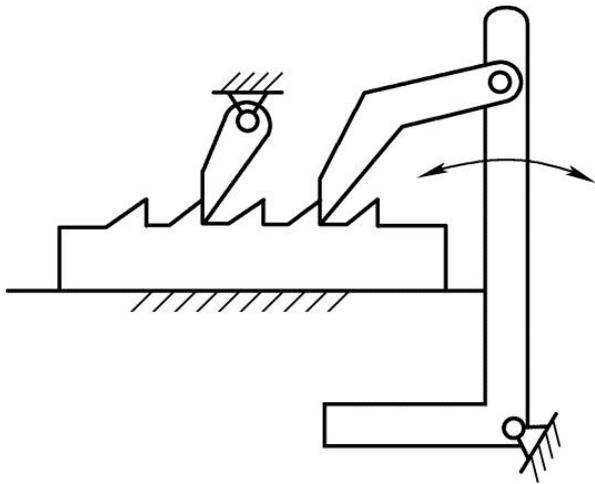
## 2. 棘轮机构的类型及应用



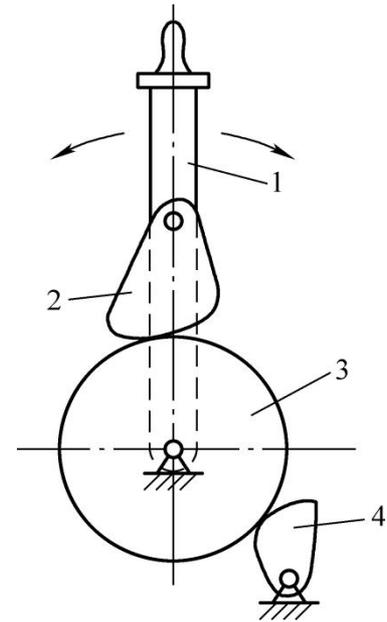
外啮合棘轮机构



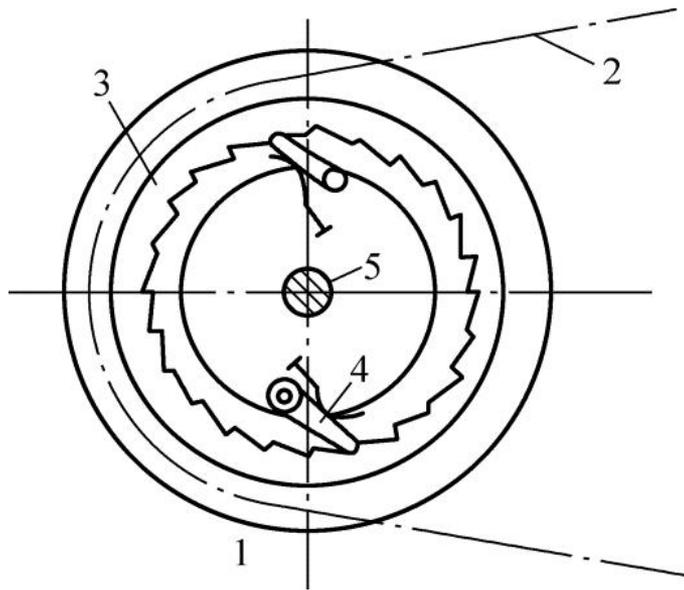
内啮合棘轮机构



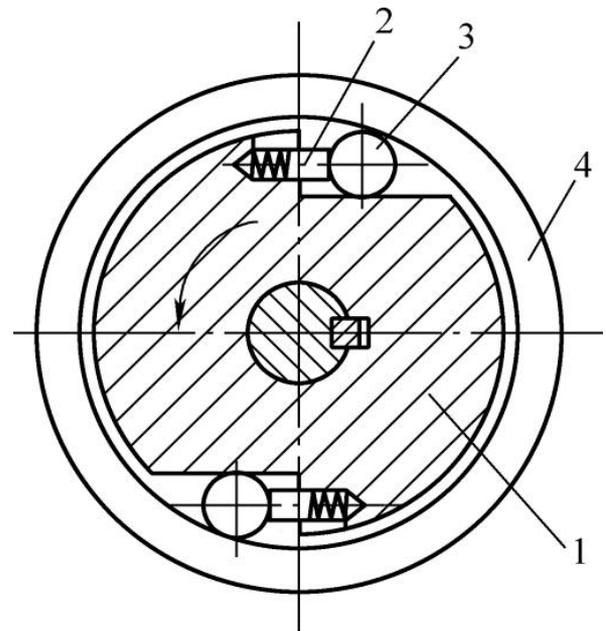
棘条机构



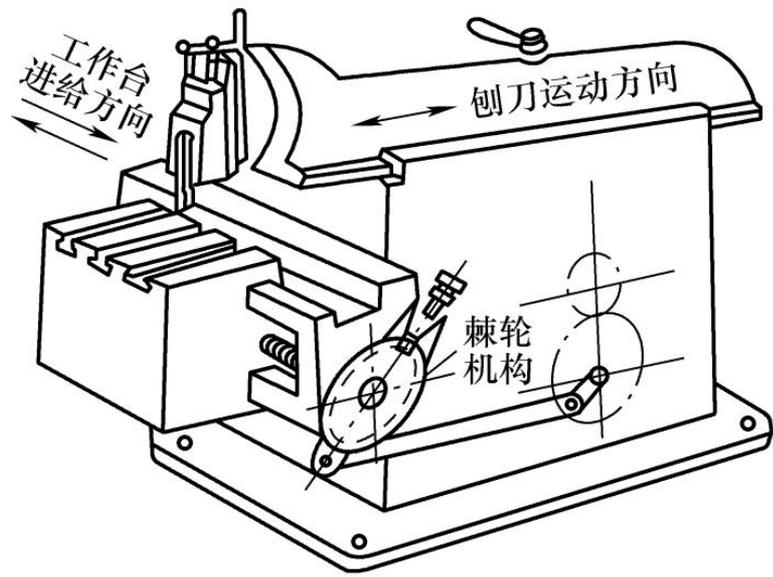
摩擦式棘轮机构



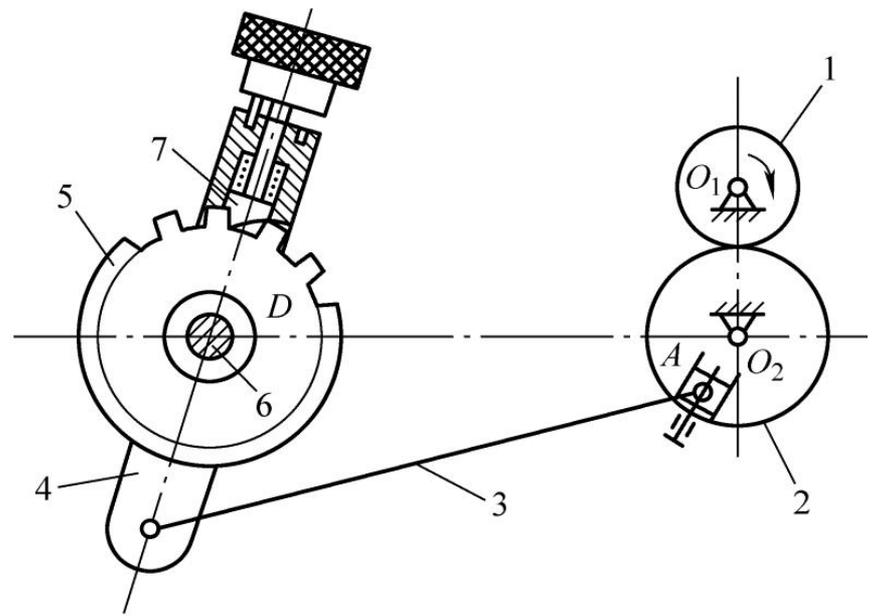
自行车后轴棘轮机构



摩擦式单向离合器



a)



b)

## 牛头刨床工作台横向进给机构

### 3. 棘轮机构的部分参数

棘轮棘爪的主要几何尺寸

可按以下计算：

顶圆直径

$$D = mz$$

齿高

$$h = 0.75m$$

齿顶厚

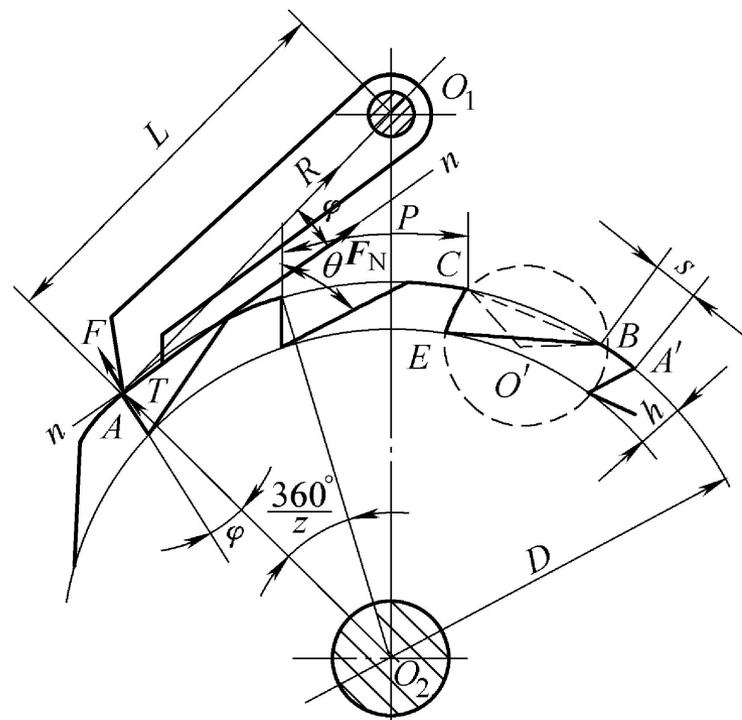
$$a = m$$

齿槽夹角

$$\theta = 60^\circ \text{ 或 } 50^\circ$$

棘爪长度

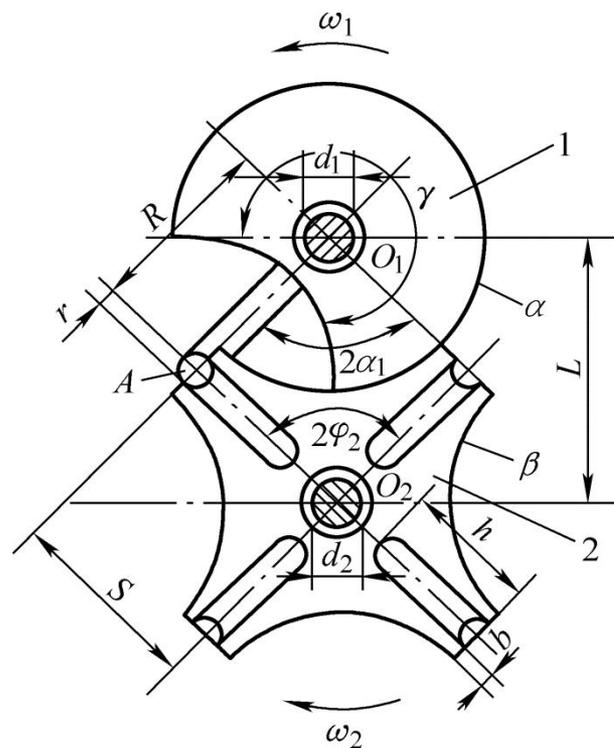
$$L = 2\pi m$$



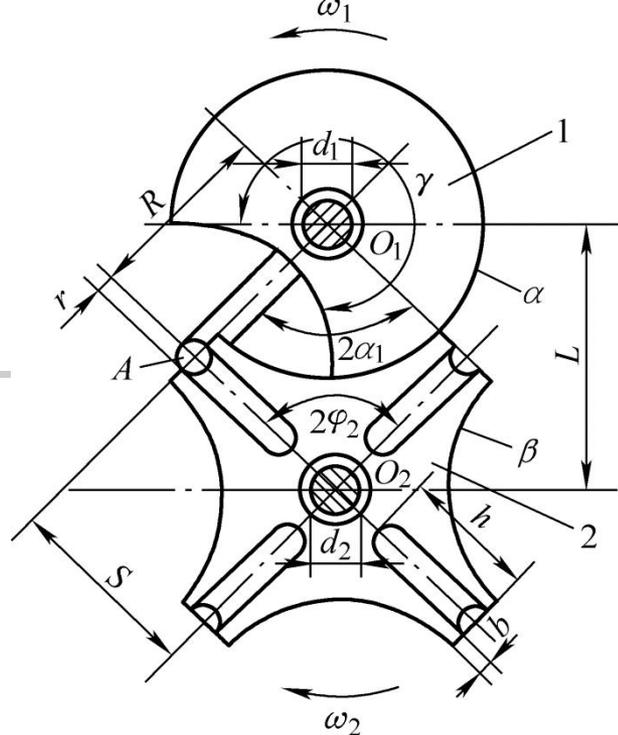
## 二、槽轮机构

### 1. 槽轮机构的工作原理

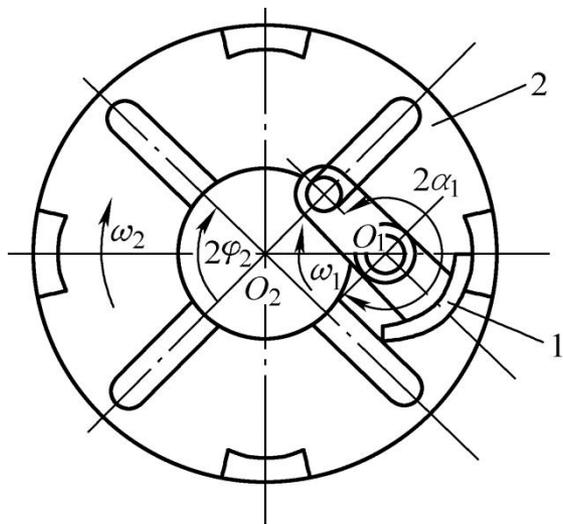
典型槽轮机构由主动拨盘1、从动槽轮2和机架等组成。



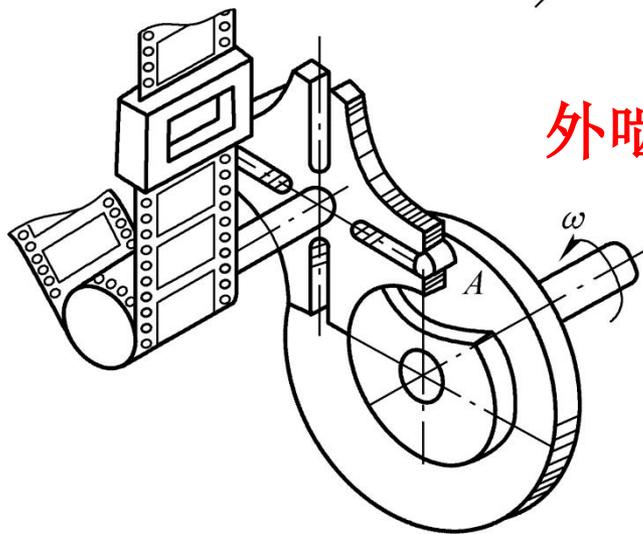
## 2. 槽轮机构的类型及应用



外啮合槽轮机构



内啮合槽轮机构



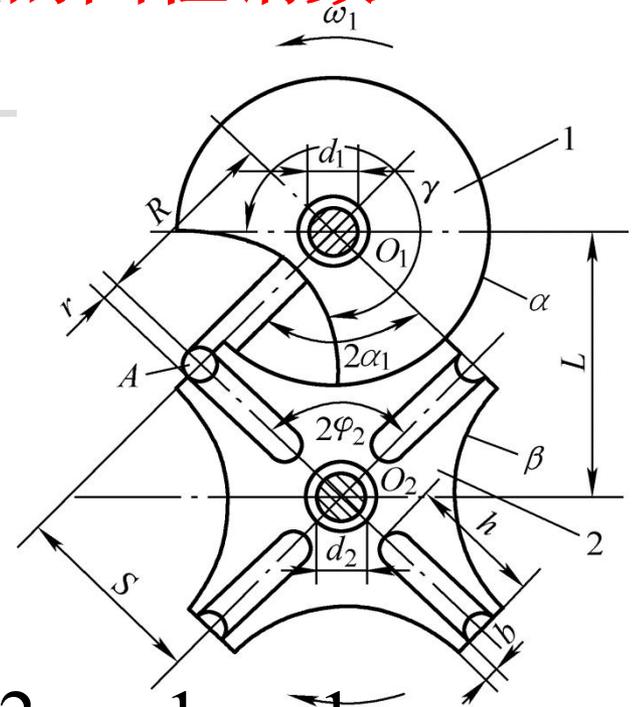
间歇抓片机构

### 3. 从动槽轮的槽数 $z$ 和主动拨盘的圆柱销数 $K$

$$2\alpha_1 = \pi - 2\varphi_2 = \pi - \frac{2\pi}{z}$$

运动系数 $\tau$ :

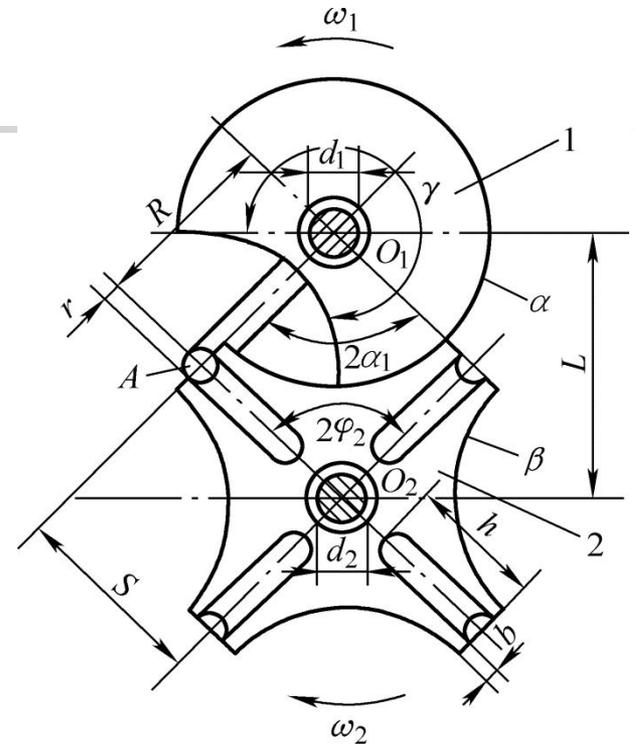
$$\tau = \frac{t'}{t} = \frac{2\alpha_1}{2\pi} = \frac{\pi - \frac{2\pi}{z}}{2\pi} = \frac{z - 2}{2z} = \frac{1}{2} - \frac{1}{z}$$



一般取 $z=4\sim 8$

$$\tau = \frac{K(z-2)}{2z} < 1$$

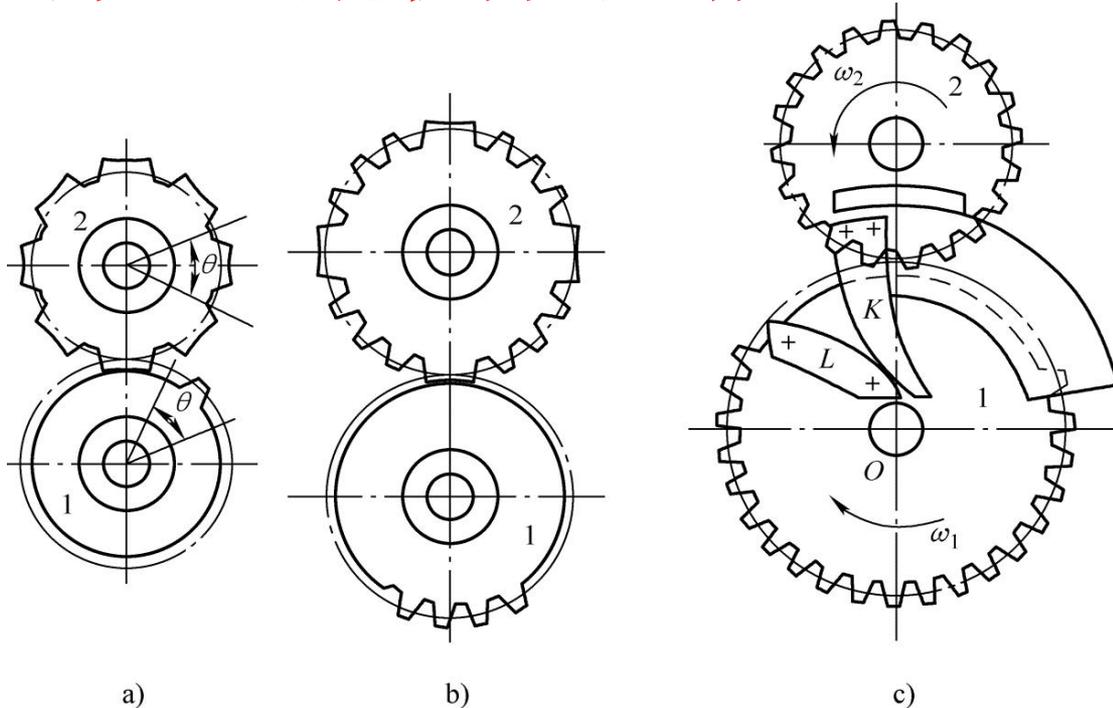
$$K < \frac{2z}{z-2}$$



当 $z=3$ 时，圆销的数目可为1~5，  
 当 $z=4$ 或 $5$ 时，圆销数目可为1~3，  
 当 $z>6$ 时，圆销的数目为1或2。

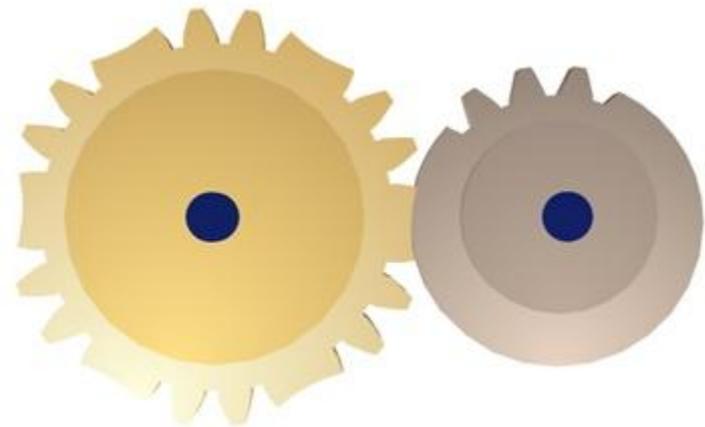
# 三、不完全齿轮机构

## 1. 不完全齿轮机构的工作原理

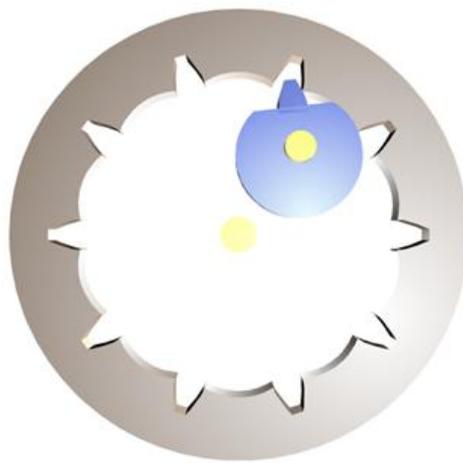


1-主动齿轮      2-从动齿轮

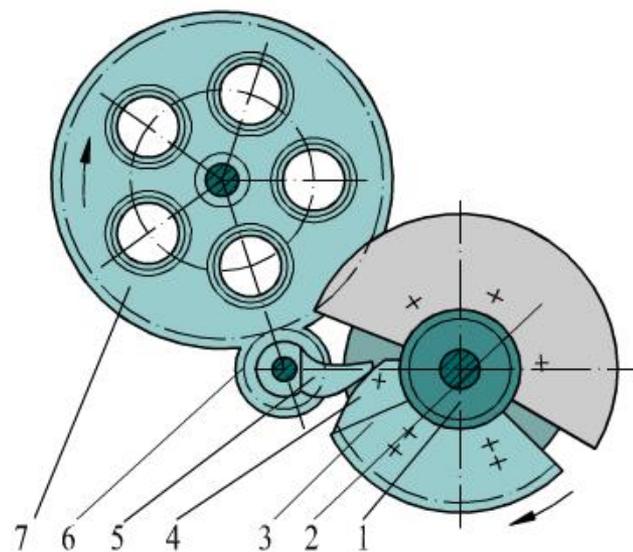
## 2. 不完全齿轮机构的类型及应用



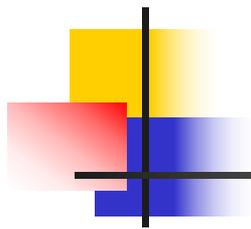
外不完全齿轮



内不完全齿轮



蜂窝煤压制机



**END**