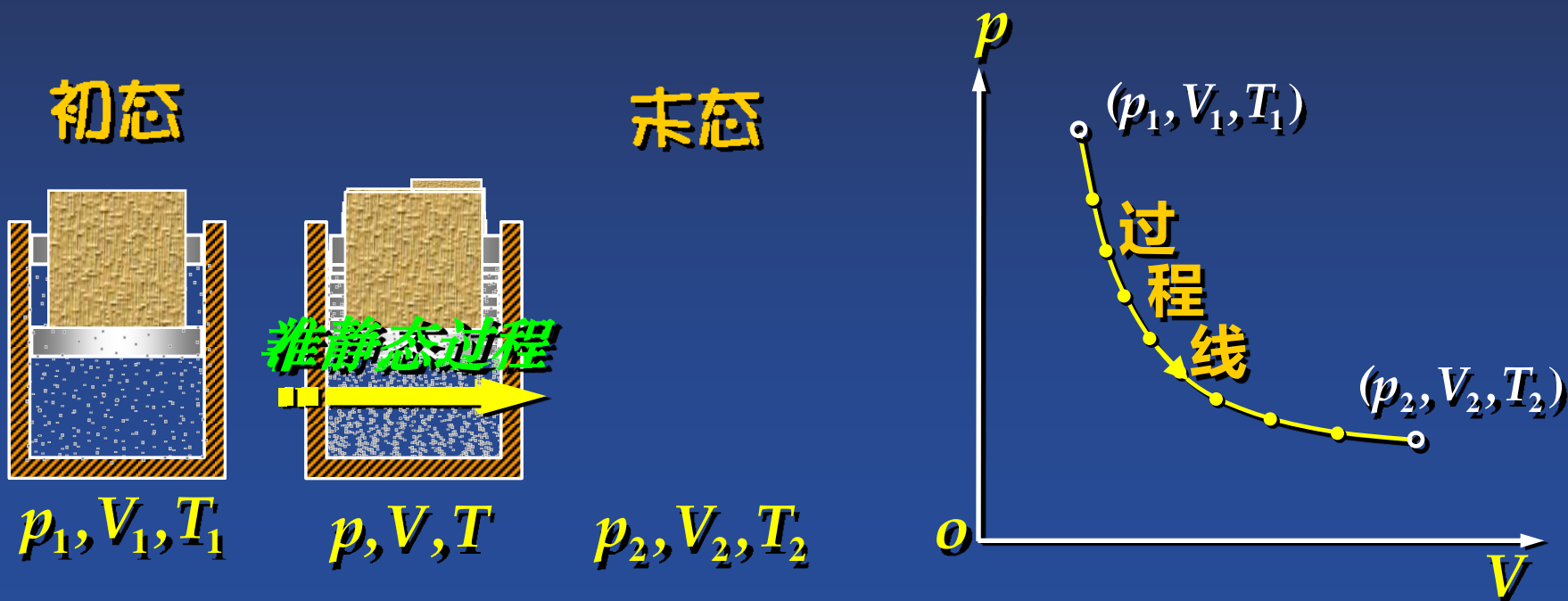


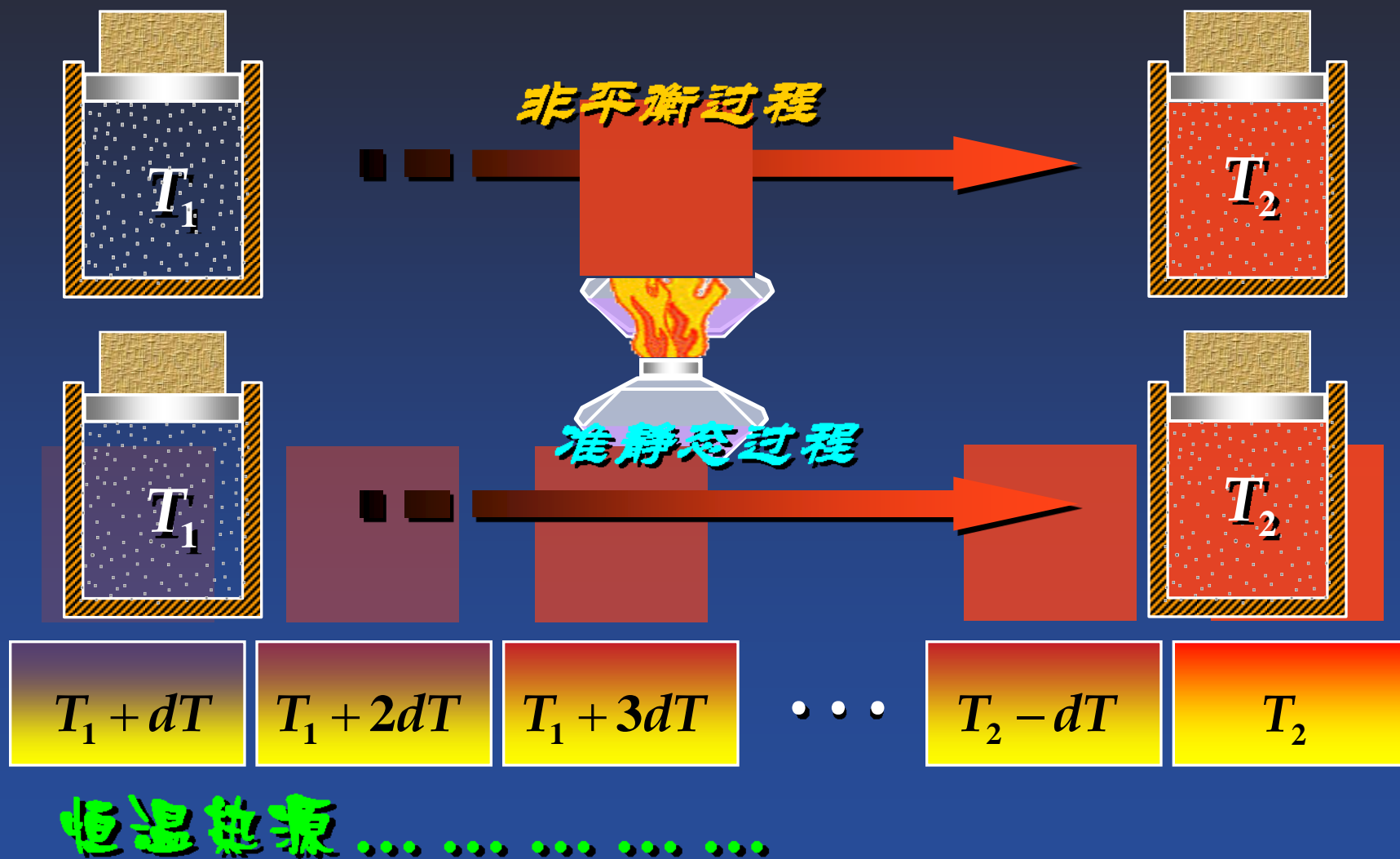
# §13.1 热力学平衡过程及过程参量

# 一、准静态过程

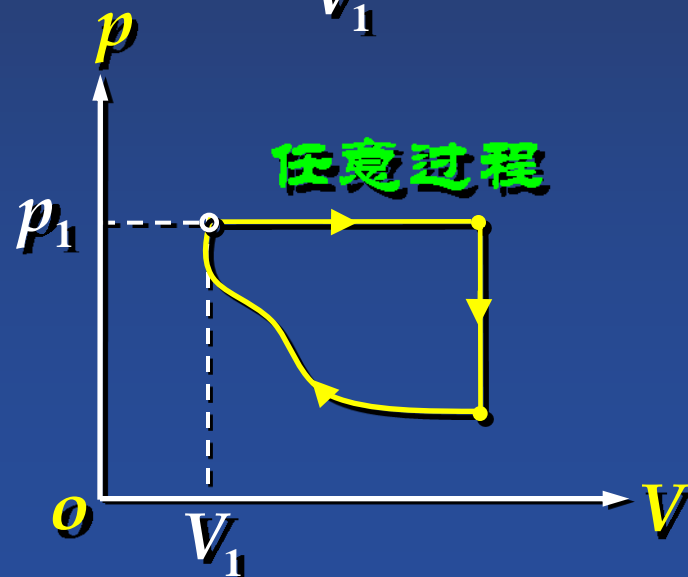
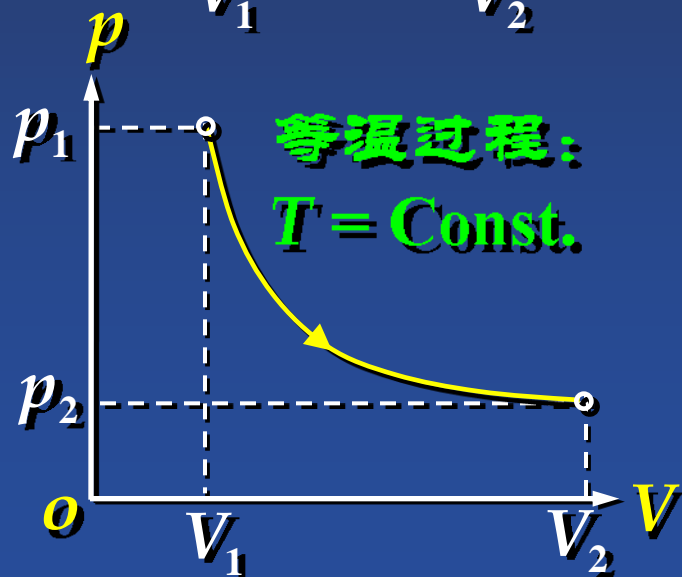
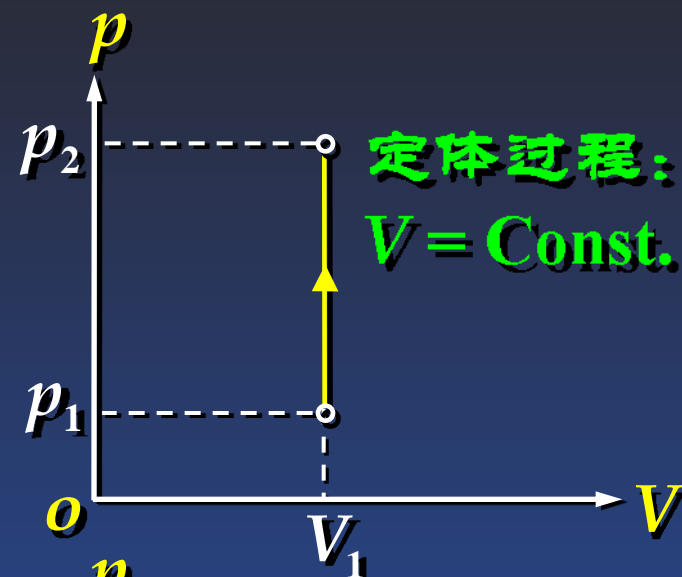
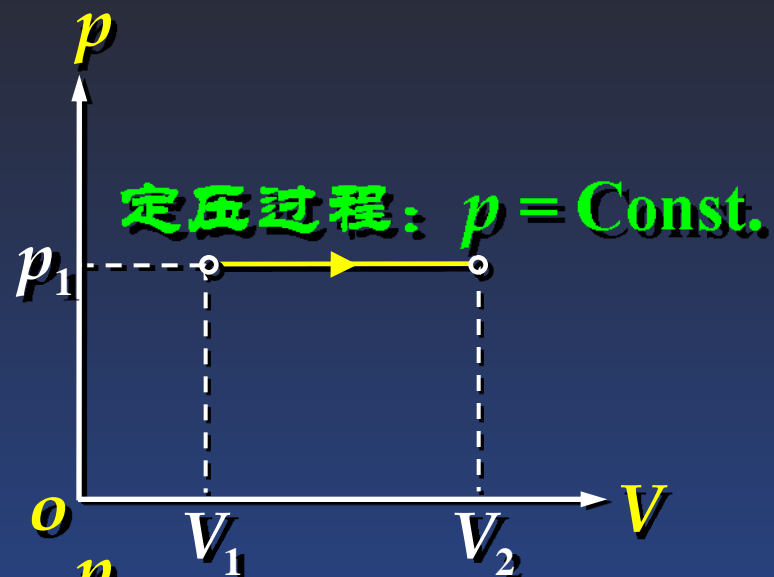
当热力学过程进行得足够缓慢时，系统连续经过的每个中间态皆可近似地看成平衡态，此过程称做准静态过程（即：近似的平衡过程）



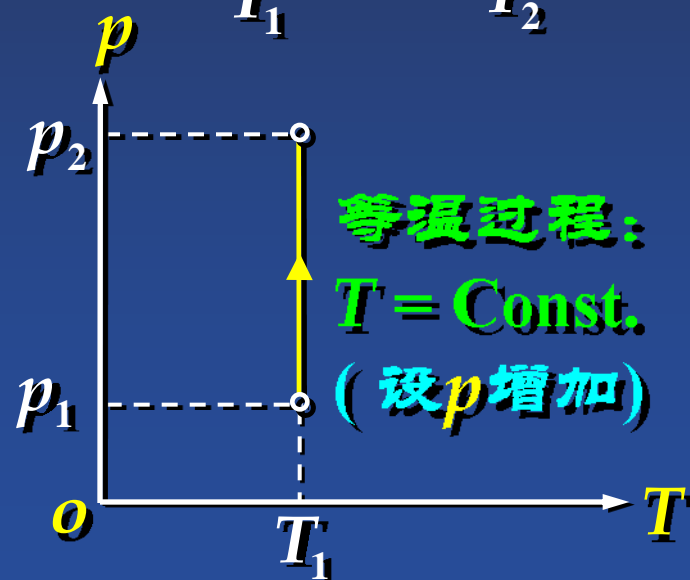
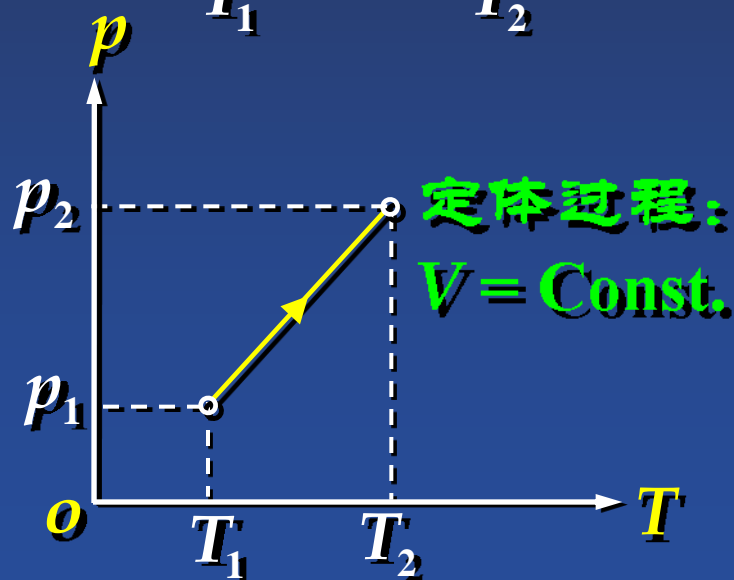
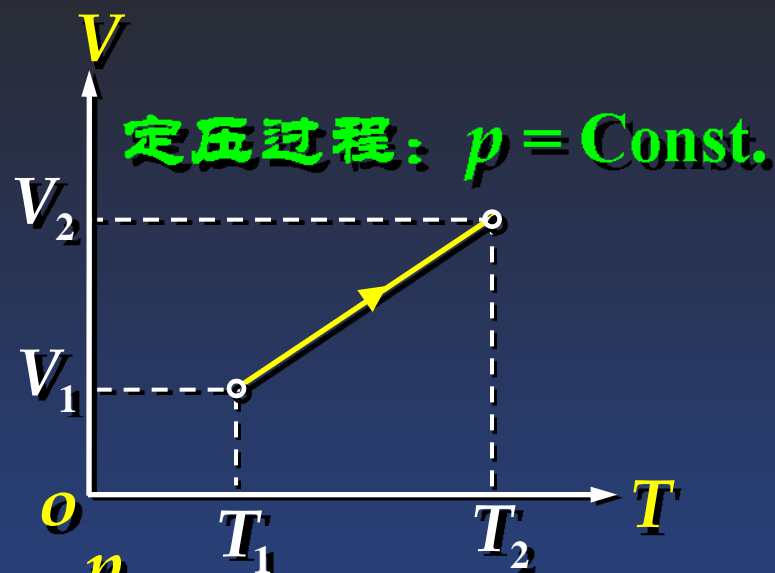
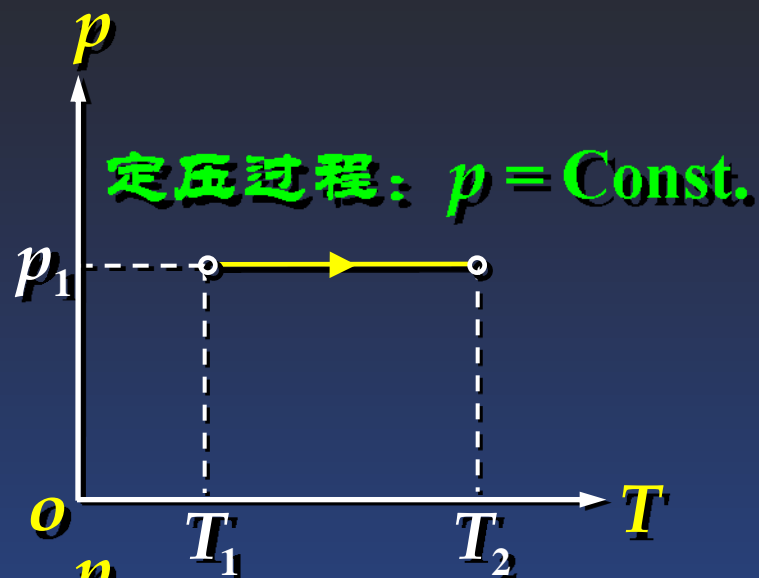
对准静态升温过程也是如此，即升温过程非常缓慢。



# 常见的准静态过程:



课堂练习 画出各等值过程的  $p-T$  或  $V-T$  图(设  $T \uparrow$ )。



## 二、准静态过程的过程参量

### 1. 功 $W$ : 为系统对外做功

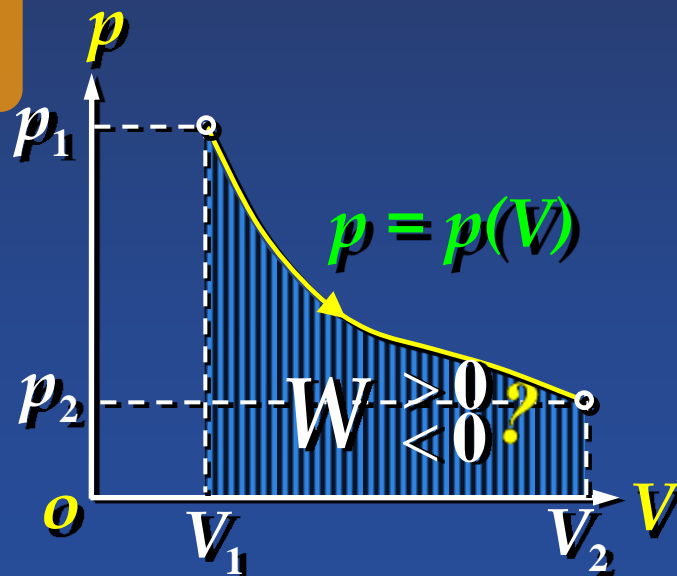
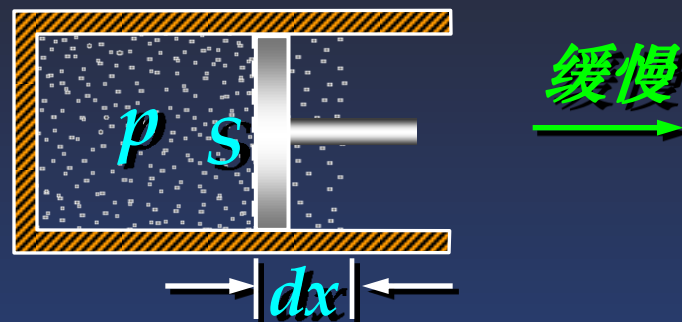
$$\begin{aligned}\text{元功: } dW &= F \cdot dx \\ &= p \cdot S \cdot dx = dV\end{aligned}$$

$$\therefore dW = p \cdot dV$$

体积功

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

☺ 功  $W$  与具体的过程有关，是“过程量”。



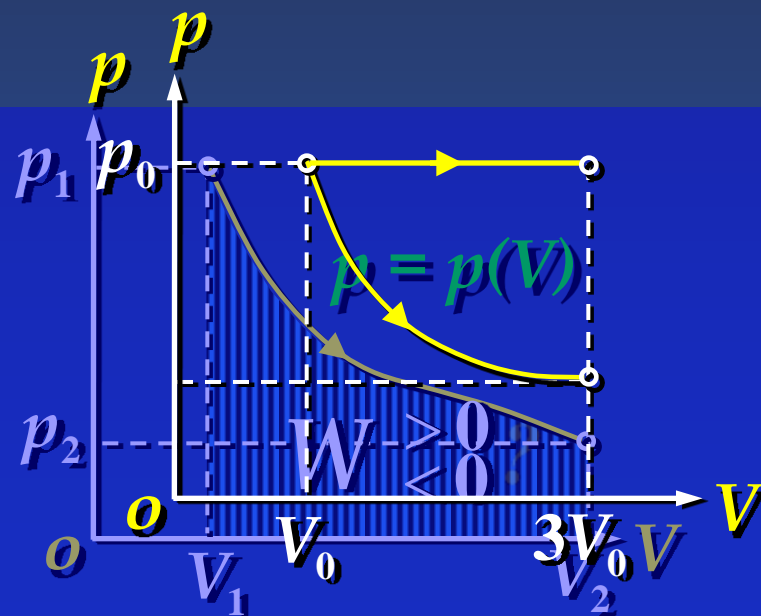
**例**  $1\text{mol}$  理想气体初态  $(p_0, V_0)$ ，分别计算在定压和等温情况下系统体积膨胀至  $3V_0$  时系统对外界做的功。

**解：** 气体的起始温度为

$$p_0 V_0 = \nu R T_0 = R T_0 \longrightarrow T_0 = p_0 V_0 / R$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

😊 功  $W$  与具体的过程有关，是“过程量”。





**例**  $1\text{mol}$ 理想气体初态  $(p_0, V_0)$ ，分别计算在**定压**和**等温**情况下系统体积膨胀至 **$3V_0$** 时系统对外界做的功。

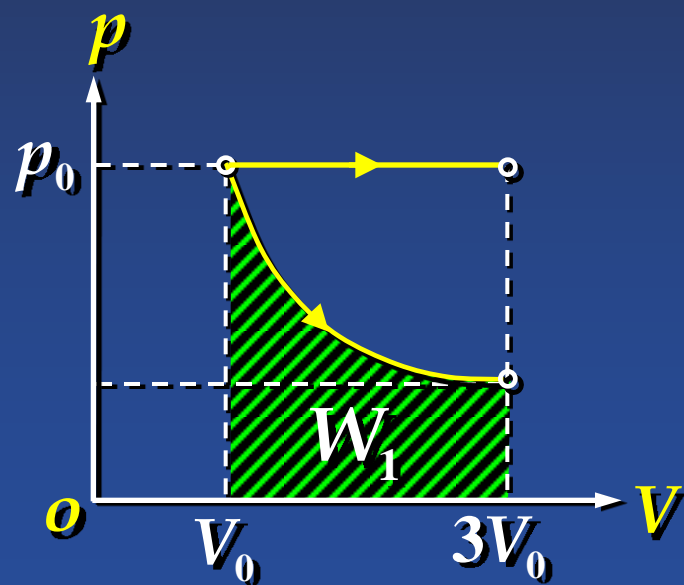
**解：**气体的起始温度为

$$p_0 V_0 = \nu R T_0 = R T_0 \longrightarrow T_0 = p_0 V_0 / R$$

等温：  $pV = \nu R T_0 = R T_0$

$$p = R T_0 / V$$

$$\begin{aligned} \therefore W_1 &= \int_{V_0}^{3V_0} p \cdot dV \\ &= \int_{V_0}^{3V_0} \frac{R T_0}{V} \cdot dV \end{aligned}$$



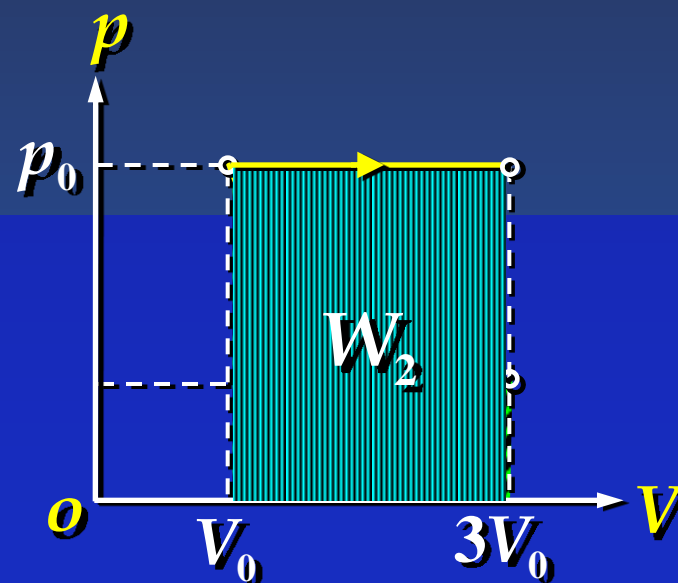


$$= RT_0 \ln 3 = p_0 V_0 \ln 3$$

定压:  $p = p_0$  , 则

$$W_2 = \int_{V_0}^{3V_0} p_0 \cdot dV = p_0 (3V_0 - V_0) = 2p_0 V_0$$

$$\begin{aligned} \therefore W_1 &= \int_{V_0}^{3V_0} p \cdot dV \\ &= \int_{V_0}^{3V_0} \frac{RT_0}{V} \cdot dV \end{aligned}$$



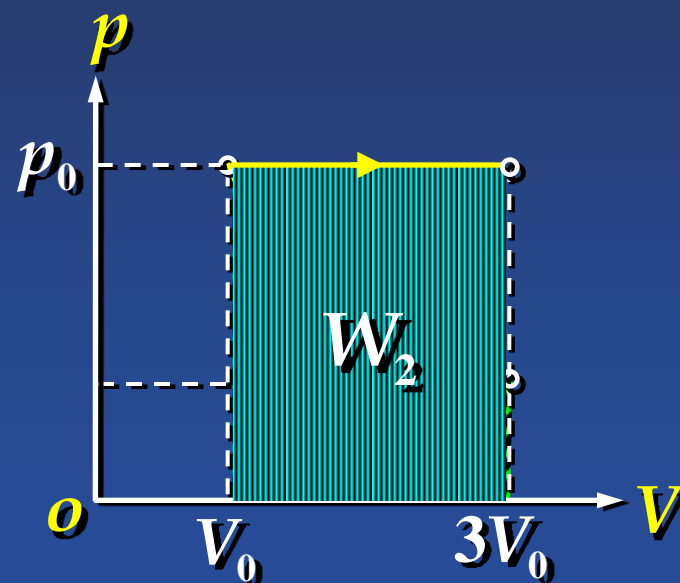
$$= RT_0 \ln 3 = p_0 V_0 \ln 3$$

定压：  $p = p_0$  ， 则

$$W_2 = \int_{V_0}^{3V_0} p_0 \cdot dV = p_0 (3V_0 - V_0) = 2p_0 V_0$$

可知：  $W_1 \neq W_2$

系统对外做功与具体的热力学过程有关，为“过程量”。



## 2. 热量 $Q$ : 为系统从外界吸收的热量

比热为  $c$  质量为  $m$  的物质温度升高  $\Delta T$  时吸收的热量:

$$Q = mc\Delta T \quad (\text{比热为 } c \text{ 单位: } \text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$



## 2. 热量 $Q$ : 为系统从外界吸收的热量

比热为  $c$  质量为  $m$  的物质温度升高  $\Delta T$  时吸收的热量:

$$Q = mc\Delta T \quad (\text{比热为 } c \text{ 单位: } \text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$m = \nu \cdot M \quad (\nu \text{ 为摩尔数; } M \text{ 为摩尔质量})$$

$$\therefore Q = \nu \cdot M \cdot c \Delta T = \nu \cdot C_m \cdot \Delta T$$

定义气体的摩尔热容量:

$$C_m = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_m$$

即: 1摩尔理想气体温度每升高1K, 气体系统从外界吸收的热量

如**定压摩尔热容量**:  $C_{p,m} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p$

如**定体摩尔热容量**:  $C_{V,m} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_V$

实验证明，摩尔热容量  $C_m$  与具体的热力学过程有关，所以系统从外界吸收的热量  $Q$  亦为 “过程量”。

**定义** 气体的摩尔热容量:

$$C_m = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_m$$

**即**: 1摩尔理想气体温度每升高1K，气体系统从外界吸收的热量



如**定压摩尔热容量**:  $C_{p,m} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p$

如**定体摩尔热容量**:  $C_{V,m} = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_V$

实验证明, 摩尔热容量  $C_m$  与具体的热力学过程有关, 所以系统从外界吸收的**热量** $Q$ 亦为 “**过程量**”。

☺  $Q > 0$  : 系统吸热;  $Q < 0$  : 系统放热;

3. 内能增量  $\Delta E$ :

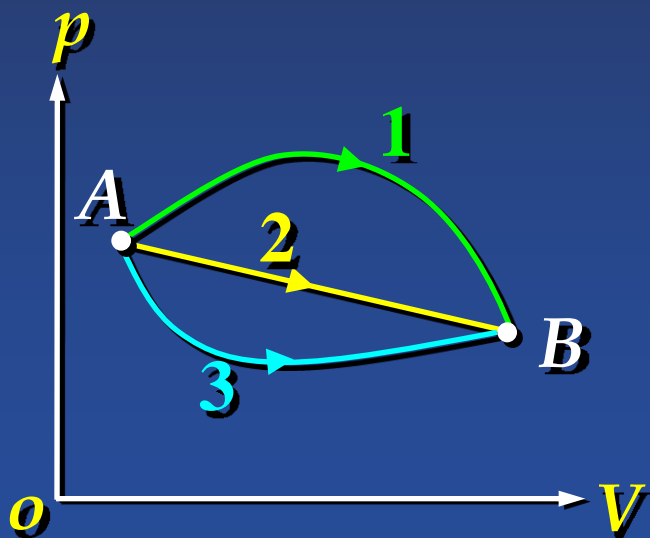
$$E = \nu \frac{i}{2} RT \longrightarrow \Delta E = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

“**内能**与**热量**”

### 3. 内能增量 $\Delta E$ :

$$E = \nu \frac{i}{2} RT \longrightarrow \Delta E = \nu \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

☺ 内能增量  $\Delta E$  虽为“过程量”，但只与过程的**起始**和**末了**的状态有关，而与中间各状态无关！



例：如图所示

$$W_1 \neq W_2 \neq W_3, \quad Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3$$

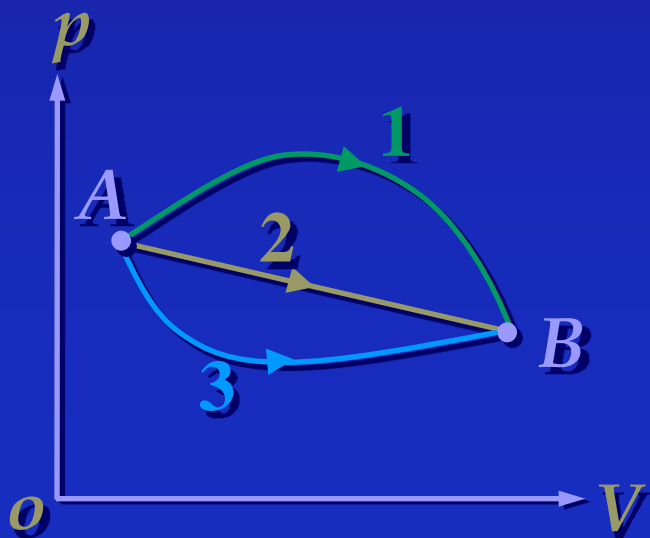
$$\begin{aligned} \text{但 } \Delta E_1 &= \Delta E_2 = \Delta E_3 = \nu \frac{i}{2} R \Delta T \\ &= \frac{i}{2} (p_B V_B - p_A V_A) \end{aligned}$$



# 归纳

1. 准静态过程

2. 三个过程参量:



例：如图所示

$$W_1 \neq W_2 \neq W_3, \quad Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3$$

$$\begin{aligned} \text{但 } \Delta E_1 &= \Delta E_2 = \Delta E_3 = \nu \frac{i}{2} R \Delta T \\ &= \frac{i}{2} (p_B V_B - p_A V_A) \end{aligned}$$

## 归纳

1. 准静态过程

2. 三个过程参量:

▲ 功  $W$ :  $W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$

▲ 热量  $Q$ :

▲ 内能增量  $\Delta E$ :  $\Delta E = \nu \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$

( The end )



