



中原工学院

Zhongyuan University of Technology

8 热力学基础

任课教师 [曾灏宪](#)

中原工学院 理学院

大学物理（上）

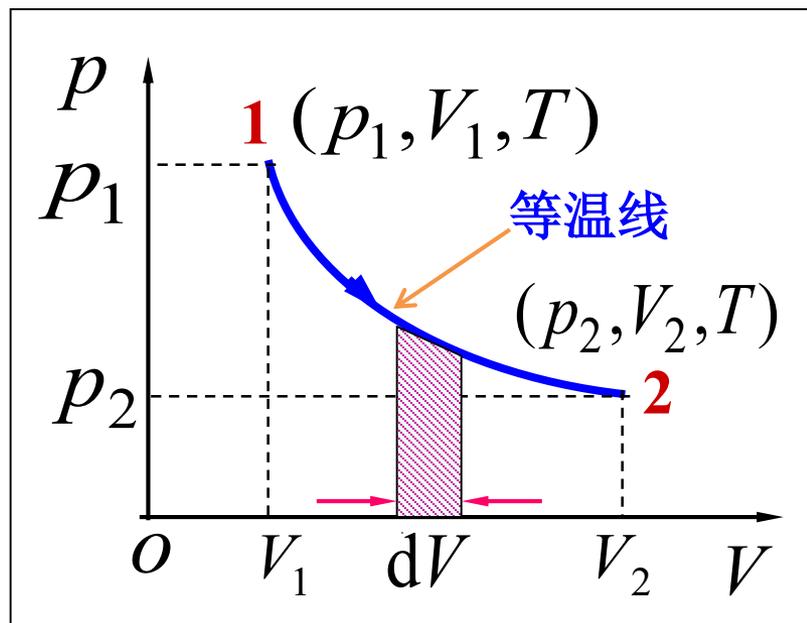
8 热力学基础

8.4 理想气体的等温过程和绝热过程

一 等温过程

特征 $T = \text{常量}$
过程方程 $pV = \text{常量}$
内能增量 $\Delta E = 0$

Q 、 W 未知 怎么求?



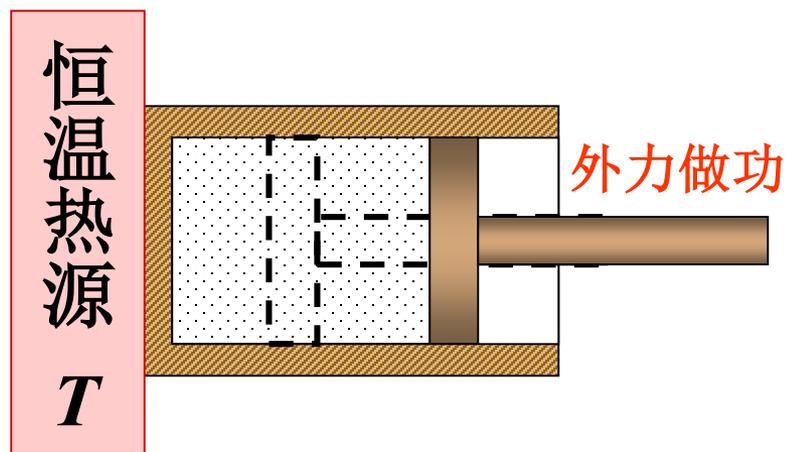
热力学第一定律 $dQ = dE + dW$

$$\rightarrow dQ_T = dW_T = pdV$$

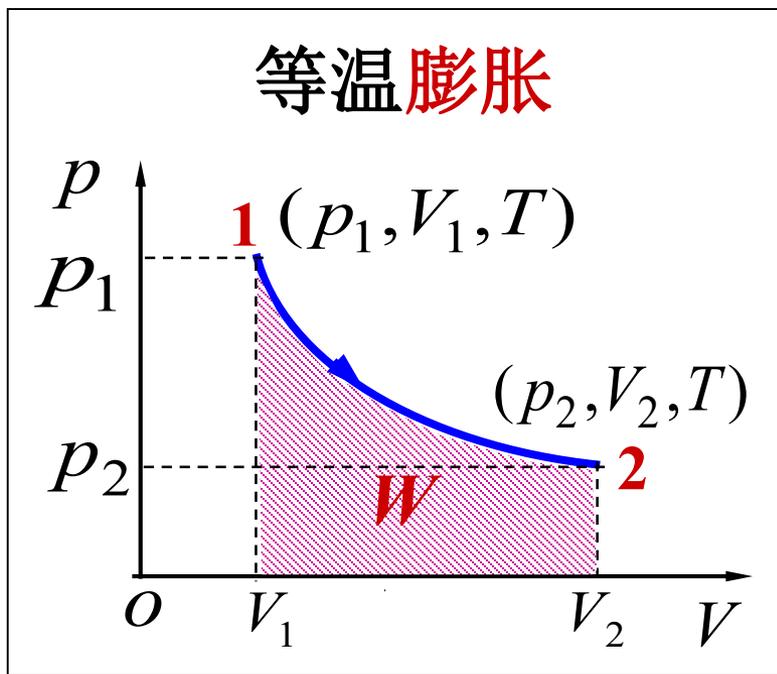
$$\rightarrow Q_T = W_T = \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

\rightarrow 如何积分?

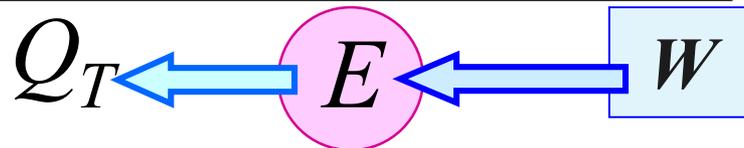
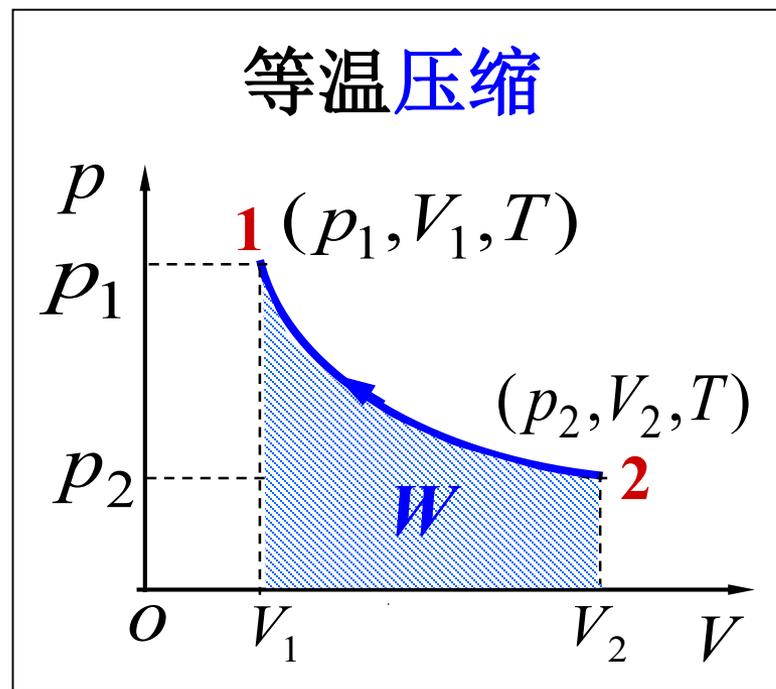
$$pv = \nu RT \rightarrow p = \nu \frac{RT}{V}$$



$$Q_T = W_T = \int_{V_1}^{V_2} \nu \frac{RT}{V} dV = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$



等温膨胀: 气体吸收的热量全部转化为对外做功



等温压缩: 外界对气体作的功全部转化为热量放出

二 绝热过程

与外界无热量交换的过程

特征 $dQ = 0$

过程方程, W 、 E 未知 怎么求?

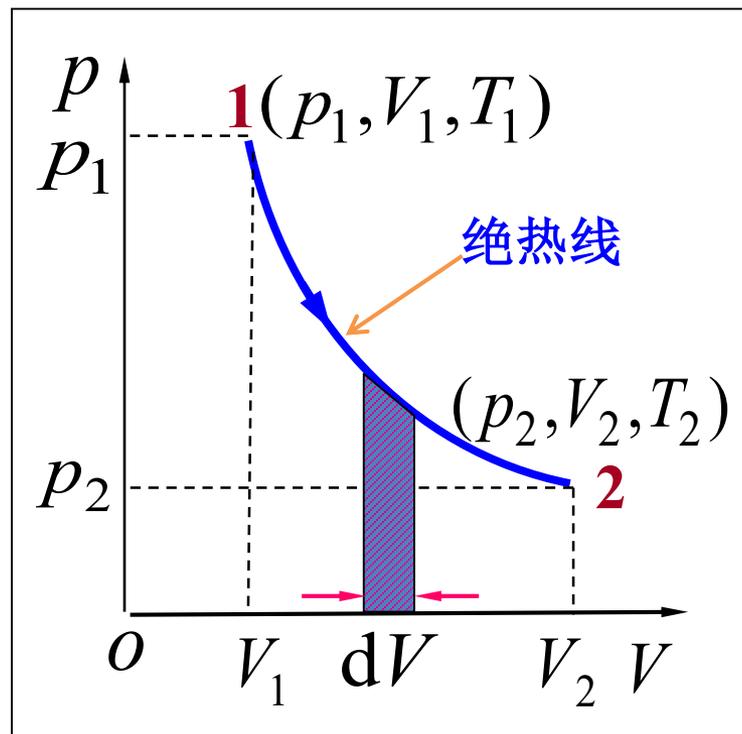
热一律 $dW_a + dE = 0$

$dW_a = -dE$

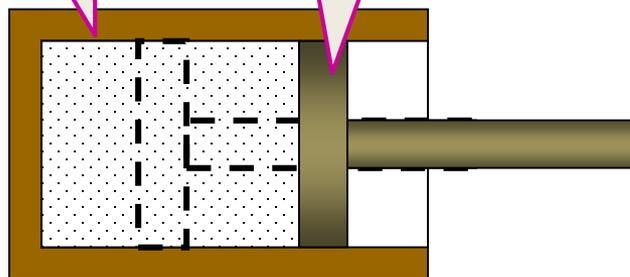
$\therefore dE = \nu C_{V,m} dT$ 正确吗?

$\Delta E = \nu C_{V,m} (T_2 - T_1)$

$C_{V,m} = \frac{i}{2} R$



绝热的汽缸壁和活塞



$dQ = 0$ ，由热力学第一定律有

$$W_a = -\Delta E$$

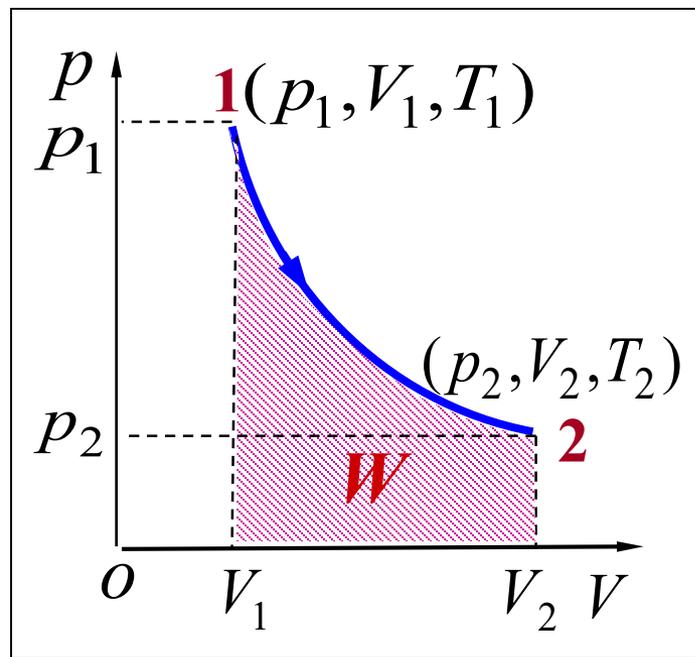
$$\text{又 } W_a = C_{V,m} \left(\frac{p_1 V_1}{R} - \frac{p_2 V_2}{R} \right)$$

$$\therefore W_a = \nu C_{V,m} (T_1 - T_2)$$

如何用 p_1 、 V_1 、 p_2 、 V_2 及 ν 表示 W_a ?

从 $pV = \nu RT$ 可得 $T = \frac{pV}{\nu R}$ ，于是

$$W_a = C_{V,m} \left(\frac{p_1 V_1}{R} - \frac{p_2 V_2}{R} \right)$$



绝热过程方程的推导

$$\because dQ = 0, \quad \therefore dW = -dE$$

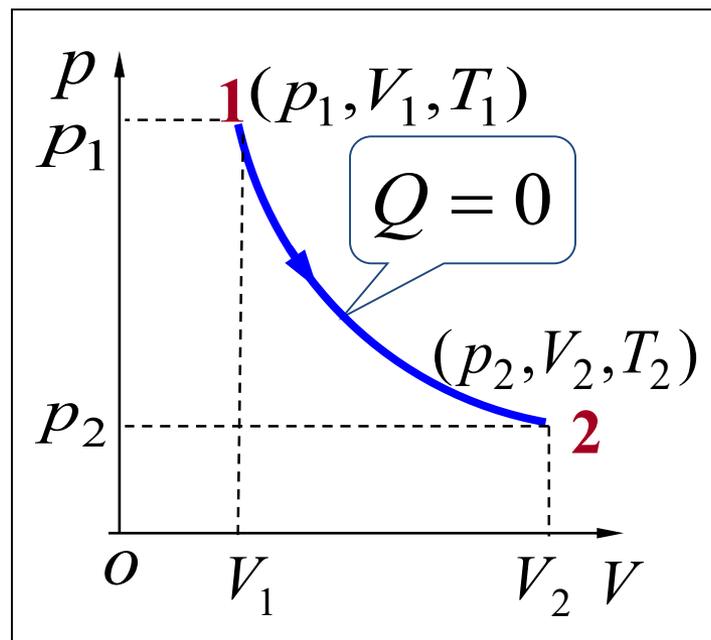
$$\begin{cases} p dV = -\nu C_{V,m} dT \\ pV = \nu RT \end{cases}$$

$$\nu \frac{RT}{V} dV = -\nu C_{V,m} dT$$

分离变量得 $\frac{dV}{V} = -\frac{C_{V,m}}{R} \frac{dT}{T}$

$$\int \frac{dV}{V} = -\int \frac{1}{\gamma - 1} \frac{dT}{T}$$

解得 $(\gamma - 1) \ln V + \ln T = \text{常量}$



$$\frac{C_{V,m}}{R} = \frac{C_{V,m}}{C_{p,m} - C_{V,m}} = \frac{1}{\frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} - 1}$$

即 $TV^{\gamma-1} = \text{常量}$ —— 绝热过程方程

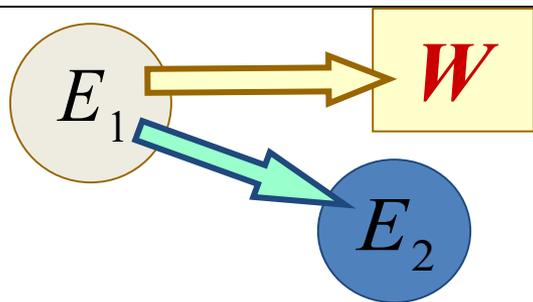
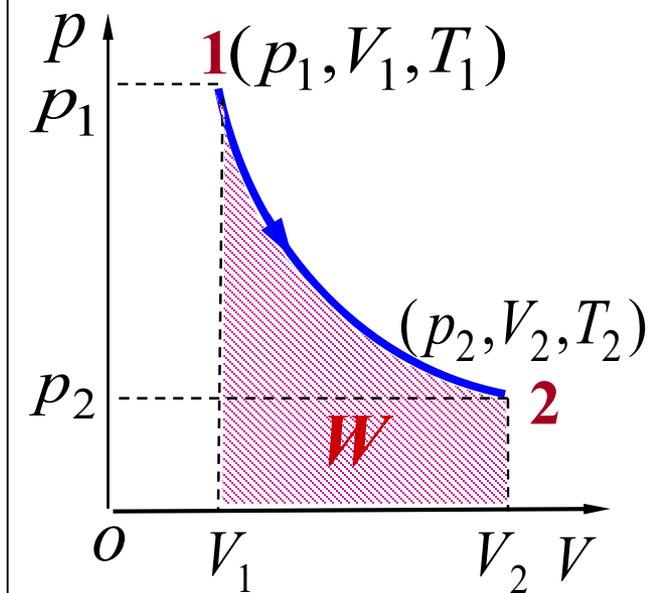
或由理想气体状态方程 $pV = \nu RT$ 有

$$p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = \text{常量}$$

$$pV^{\gamma} = \text{常量}$$

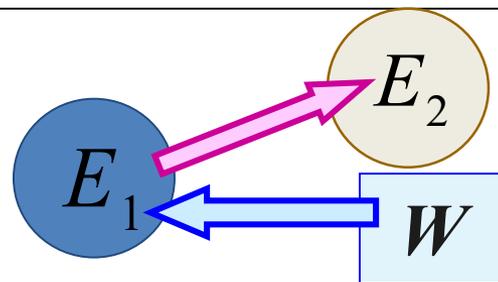
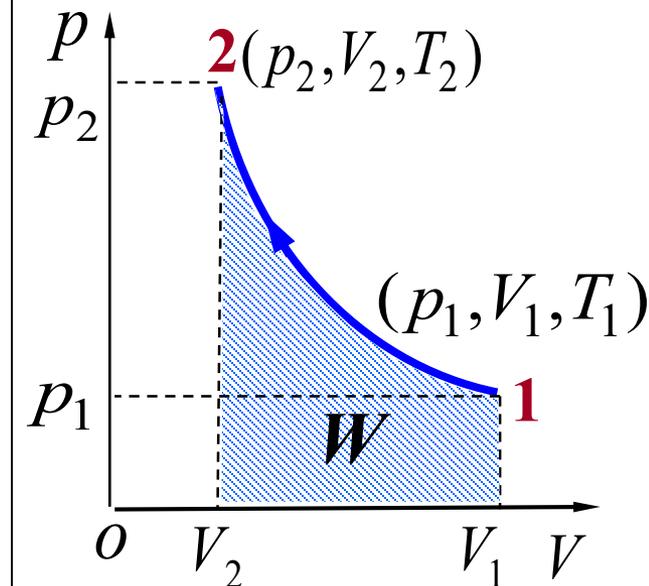
| | |
|------------------|---------------------------------------|
| 绝 热 方 程 | $V^{\gamma-1}T = \text{常量}$ |
| | $pV^{\gamma} = \text{常量}$ |
| | $p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = \text{常量}$ |

绝热膨胀



绝热膨胀过程
同时降温降压

绝热压缩

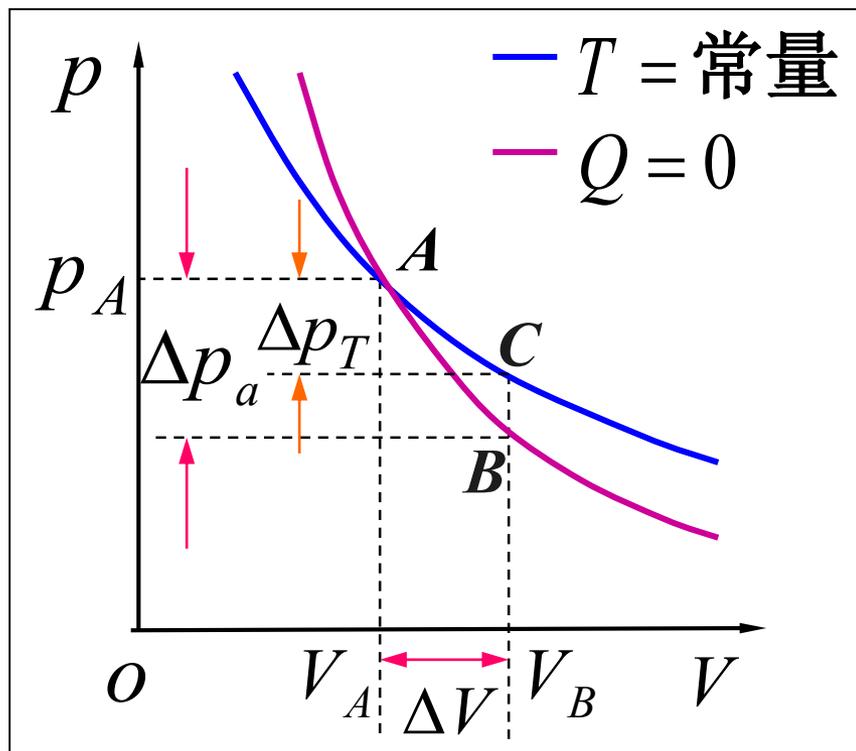


绝热压缩过程
同时升温升压

三 绝热线和等温线的区分

1. 数学方法

比较两曲线交点处的斜率



$k_{\text{绝热线}} > k_{\text{等温线}}$

绝热过程曲线的斜率

$$pV^\gamma = \text{常量}$$

$$\gamma pV^{\gamma-1}dV + V^\gamma dp = 0$$

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_a = -\gamma \frac{p_A}{V_A}$$

等温过程曲线的斜率

$$pV = \text{常量}$$

$$pdV + Vdp = 0$$

$$\left(\frac{dp}{dV}\right)_T = -\frac{p_A}{V_A}$$

2. 物理方法

比较引起 p 下降的因素

- 等温：引起压强下降的因素 —— V 的增加
- 绝热：引起压强下降的因素 —— V 的增加和 T 的下降
—— 绝热线下降比等温线快

3. 微观解释

$$p = nkT$$

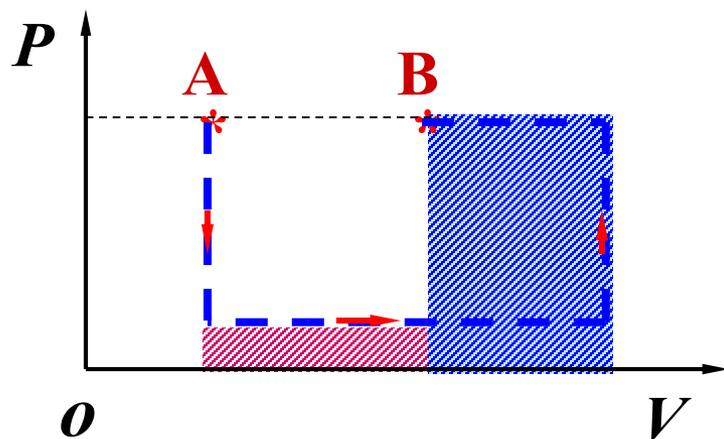
等温： $V \uparrow \longrightarrow n \downarrow \longrightarrow p \downarrow$

绝热： $V \uparrow \longrightarrow n \downarrow \longrightarrow p \downarrow$
 \searrow
 $T \downarrow \longrightarrow p \downarrow$

练习与例题

例 一定量的理想气体，由平衡态 $A \rightarrow B$ ，则无论经过什么过程，系统必然：

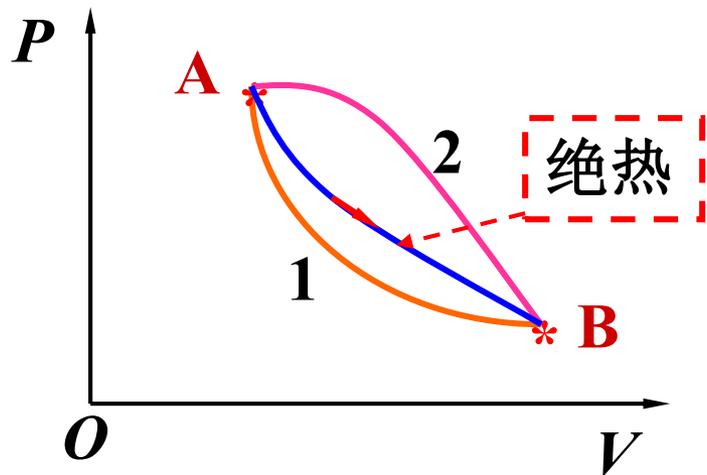
- A)** 对外作正功；
- B)** 内能增加；
- C)** 从外界吸热；
- D)** 向外界放热。



[例]质量一定的单原子理想气体开始时压力为 3 大气压，体积 1 升，先等压膨胀至体积为 2 升，再等温膨胀至体积为 3 升，最后被等容冷却到压力为 1 大气压。求气体在全过程中内能的变化，所作的功和吸收的热量

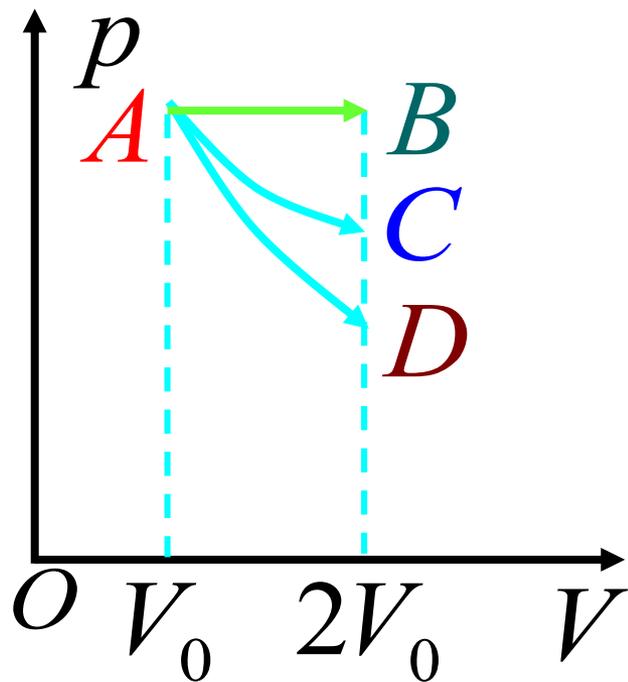
例 设有 5 mol 的氢气，最初的压强为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 温度为 20°C ，求在下列过程中，把氢气压缩为原体积的 $1/10$ 需作的功：**1)** 等温过程，**2)** 绝热过程。**3)** 经这两过程后，气体的压强各为多少？

例：讨论理想气体下图过程中，各过程 Q 的正负。



[例]如图，同一气体经过等压过程AB，等温过程AC，绝热过程AD。问，

- (1)哪个过程做功最多？
- (2)哪个过程吸热最多？
- (3)哪个过程内能变化最大？



版权声明

本课件根据高等教育出版社《物理学教程（第二版）上册》（马文蔚 周雨青 编）配套课件制作。课件中的图片和动画版权属于原作者所有；部分例题来源于清华大学编著的“大学物理题库”；其余文字资料由 [Haoxian Zeng](#) 编写，采用 [知识共享 署名-相同方式共享 3.0 未本地化版本 许可协议](#) 进行许可。详细信息请查看[课件发布页面](#)。