

《大学物理》课程教师简介

教师：**汪加洁**
Email: wangjiajie@xidian.edu.cn



个人简介:

■物理学博士（光学方向），副教授（西安电子科技大学 物理与光电工程学院）

学术经历:

- 2016.03-2017.03 德国莱布尼茨材料科学研究所（Leibniz Institute of Material Science）访问学者
- 2008.09-2011.12 法国国立应用科学学院鲁昂分院（INSA De Rouen）物理学博士学位
- 2002.09-2006.07 西安电子科技大学 电子信息科学与技术 理学学士学位

主要研究方向:

■激光波束的调控及光场计算；数字全息及应用；微粒的光操纵及应用；复杂目标对调控电磁（激光）波束的散射特性研究；电磁波束在复杂随机介质中的传播与散射；

项目简介:

■主持并完成有国家自然科学基金项目，陕西省自然科学基金项目，留学回国人员科研启动基金项目，国家博士后科学基金项目，浙江大学重点实验室开放基金项目等，并作为主要完成人参与了法国驻华大使馆资助的中法合作项目，国家自然科学基金项目，973子课题，欧盟区域发展基金项目等。已发表学术论文40余篇，参与编写专著或教材2部。

§ 11-7 绝热过程

系统在绝热过程中始终不与外界交换热量。

- 良好绝热材料包围的系统发生的过程
- 进行得较快，系统来不及和外界交换热量的过程

$$Q = 0 \quad \Delta E = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \nu C_V \Delta T$$

$$(Q = \Delta E + A) \quad A = -\Delta E = -\nu C_V \Delta T$$

一、准静态绝热过程的过程方程

对无限小的准静态绝热过程有 $dQ = 0$

$$dA + dE = 0 \quad \longrightarrow \quad p dV = -\nu C_V dT$$

$$pV = \nu RT \quad \longrightarrow \quad p dV + V dp = \nu R dT$$

$$pdV = -\nu C_V dT$$

$$pdV + Vdp = \nu R dT$$

联立消去温度T



$$C_V pdV + C_V V dp = \nu R C_V dT = -R p dV$$

$$(C_V + R) pdV + C_V V dp = 0$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$$

$$pV^\gamma = C_1$$

$$\left. \begin{aligned} p dV &= -\nu C_V dT \\ p dV + V dp &= \nu R dT \end{aligned} \right\}$$

$$pV^\gamma = C_1$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

利用上式和状态方程可得：

$$\left. \begin{aligned} pV^\gamma &= C_1 \\ pV &= \nu RT \end{aligned} \right\}$$

$$TV^{\gamma-1} = C_2$$

$$\left. \begin{aligned} pV^\gamma &= C_1 \\ (pV)^\gamma &= (\nu RT)^\gamma \end{aligned} \right\}$$

$$p^{\gamma-1} T^{-\gamma} = C_3$$

准静态绝热过程的三个过程方程

二、过程曲线

$$\text{绝热: } pV^\gamma = C_1 \quad \xrightarrow{\text{微分}} \quad \frac{dp}{dV} = -\gamma \frac{p}{V}$$

$$\text{等温: } pV = C_2 \quad \xrightarrow{\text{微分}} \quad \frac{dp}{dV} = -\frac{p}{V}$$

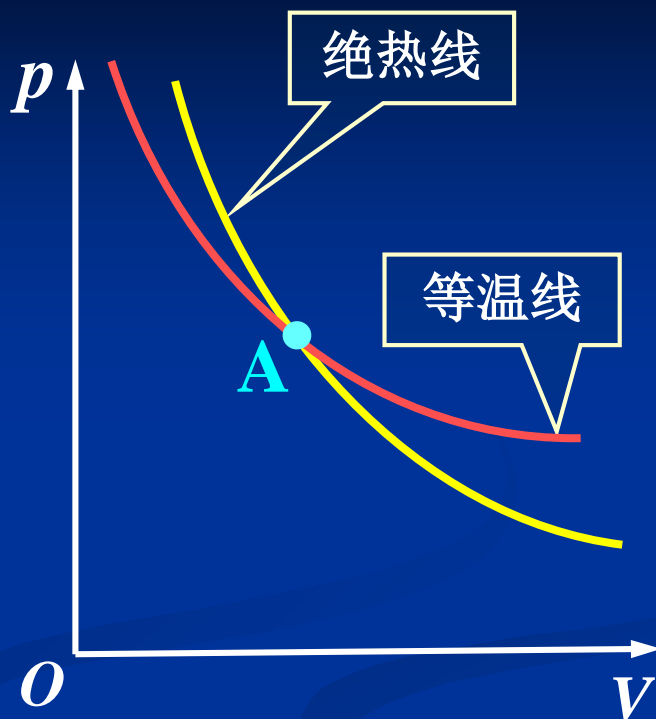
由于 $\gamma > 1$ ，绝热线要比等温线陡一些。

另可理解为: $P = nKT$

等温压缩过程中: dP 是由体积压缩引起的;

绝热压缩过程中: dP 是由体积压缩和温度升高共同引起的;

因此在绝热过程中压强随体积的变化更为陡



三、绝热过程中功的计算

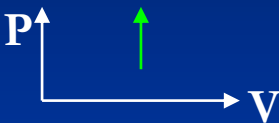
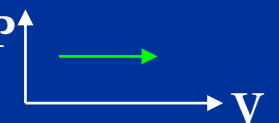
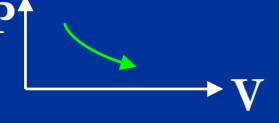
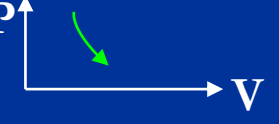
$$A = -(E_2 - E_1) = -\nu C_V (T_2 - T_1)$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} p_1 V_1^\gamma \frac{dV}{V^\gamma} = p_1 V_1^\gamma \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \Big|_{V_1}^{V_2}$$
$$(p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma = p V^\gamma)$$

$$= \frac{1}{\gamma-1} (p_1 V_1^\gamma \cdot V_1^{-\gamma+1} - p_1 V_1^\gamma \cdot V_2^{-\gamma+1})$$

$$= \frac{1}{\gamma-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) = -\frac{\nu R}{\gamma-1} (T_2 - T_1)$$

绝热过程中，理想气体不吸收热量，系统减少的内能，等于其对外做功。

	过程特征	A	ΔE	Q
	等容升压升温	0	+	+
	等压膨胀升温	+	+	+
	等温膨胀降压	+	0	+
	绝热膨胀降温	+	-	0

基于热力学第一定律的平衡过程分析

45分钟内容（课间休息）

§ 11-8 循环过程

一、循环过程

如果物质系统的状态经历一系列的变化后，又回到了原状态，就称系统经历了一个循环过程。

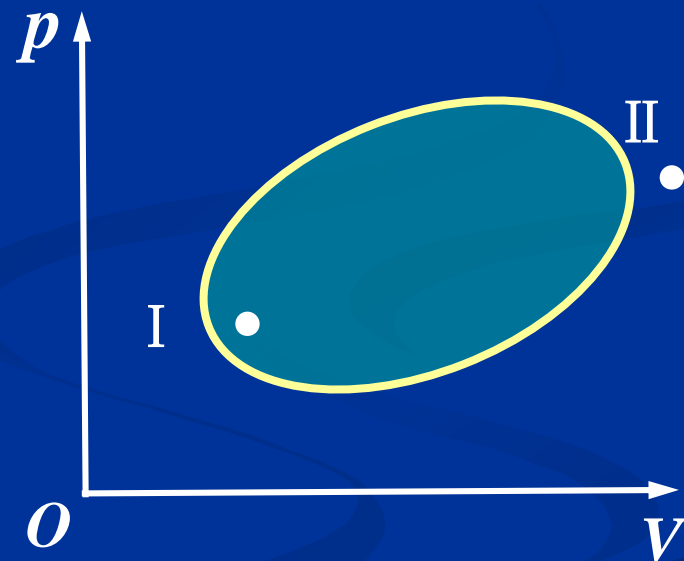
如果循环是准静态过程，在 $P-V$ 图上就构成一闭合曲线

$$\Delta E = 0$$

$$A = \oint dA = \text{闭合曲线包围的面积}$$

系统（工质）对外所作的净功

$$Q = A \quad \text{净功等于净热}$$



2. 正循环、逆循环

● 正循环(循环沿顺时针方向进行)

系统对外做功 $A = A_1 - A_2 > 0$

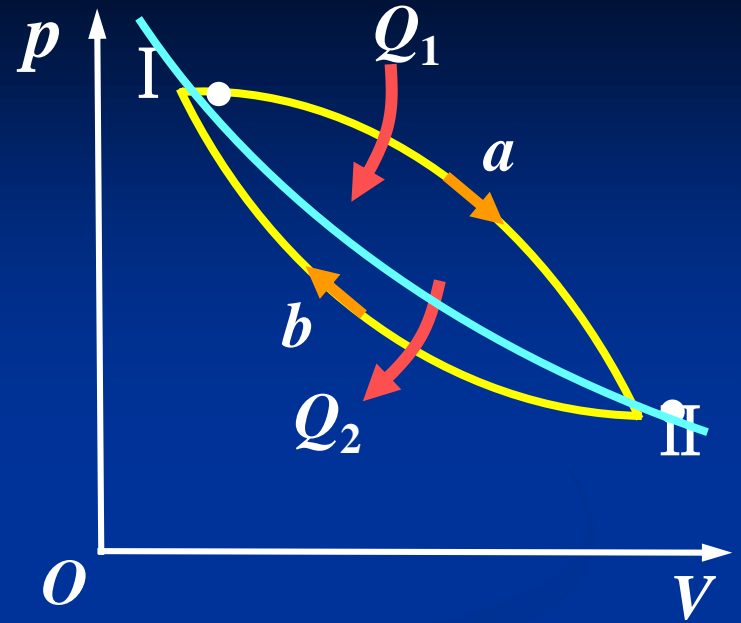
根据热力学第一定律, 有

$$A = A_1 - A_2 = Q_1 - Q_2$$

应用: 热机 (把热转化为功的装置)

- 一切热机工作都是正循环过程。
- 系统吸收的热量不会全部转为功, 只是一部分转化为功。
- 热机的工作效率: 工质对外所作的功与吸收热量之比。

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (< 1)$$

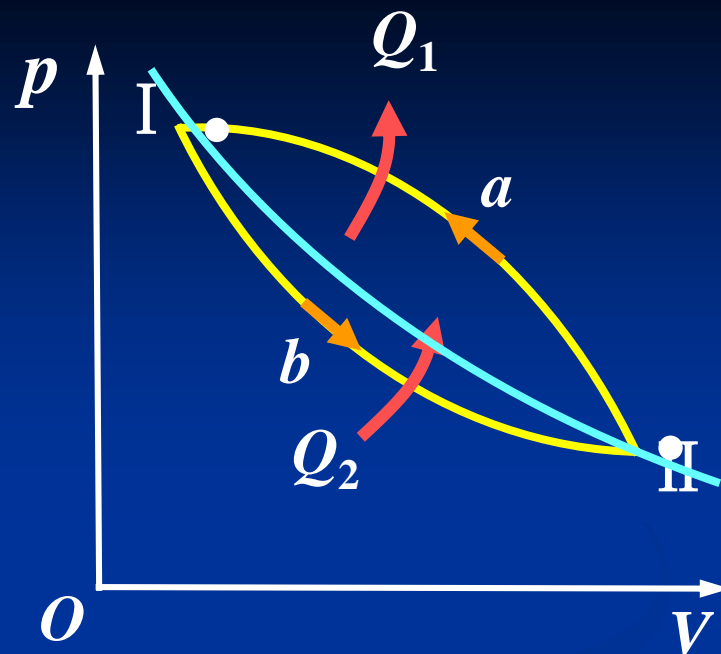


•逆循环(循环沿逆时针方向进行)

系统对外界做功 $A < 0$

根据热力学第一定律, 有

$$|Q_1| = |Q_2| + |A|$$



致冷机: 由外界做功, 将热量从低温热源送致高温热源, 从而使低温热源的温度降低的装置

致冷系数:
$$w = \frac{|Q_2|}{|A|} = \frac{|Q_2|}{|Q_1| - |Q_2|}$$

二、卡诺循环

卡诺循环是由两个等温过程和两个绝热过程组成

1. 卡诺热机的效率

气体从高温热源吸收的热量

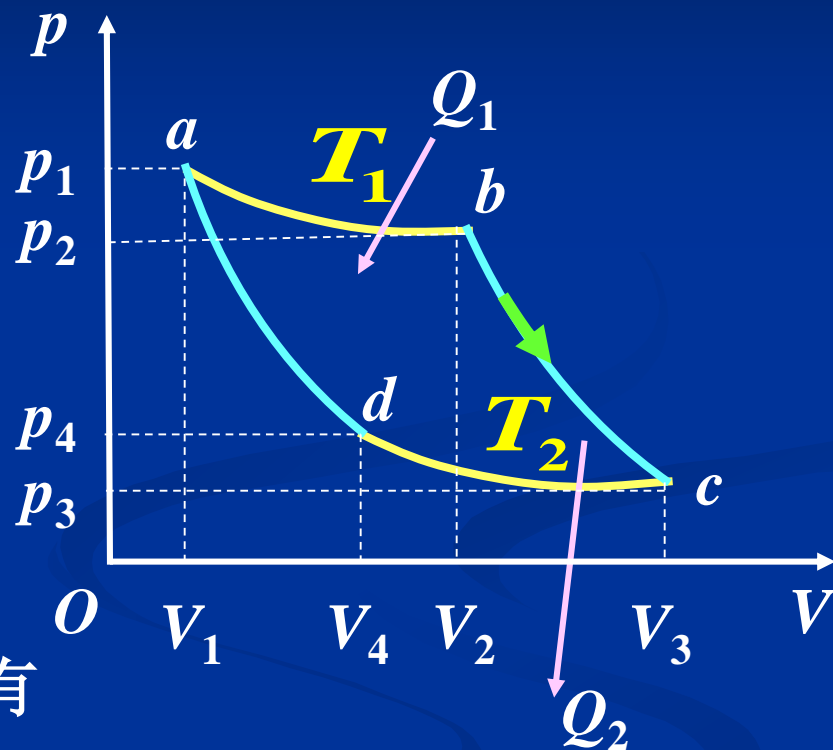
$$Q_1 = \nu RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

气体向低温热源放出的热量


$$Q_2 = \nu RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

对bc、da应用绝热过程方程，则有

$$\left. \begin{aligned} T_1 V_2^{\gamma-1} &= T_2 V_3^{\gamma-1} \\ T_2 V_4^{\gamma-1} &= T_1 V_1^{\gamma-1} \end{aligned} \right\} \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$



$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$


$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

讨论

- (1) 理想气体可逆卡诺循环热机效率只与 T_1 ， T_2 有关，温差越大，效率越高。提高热机高温热源的温度 T_1 ，降低低温热源的温度 T_2 都可以提高热机的效率。实际中通常采用的方法是提高热机高温热源的温度 T_1 。
- (2) 可逆卡诺循环热机的效率与工作物质无关

2. 卡诺致冷机的致冷系数

$$Q_1 = \nu RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_2 = \nu RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

由bc、da绝热过程方程，有

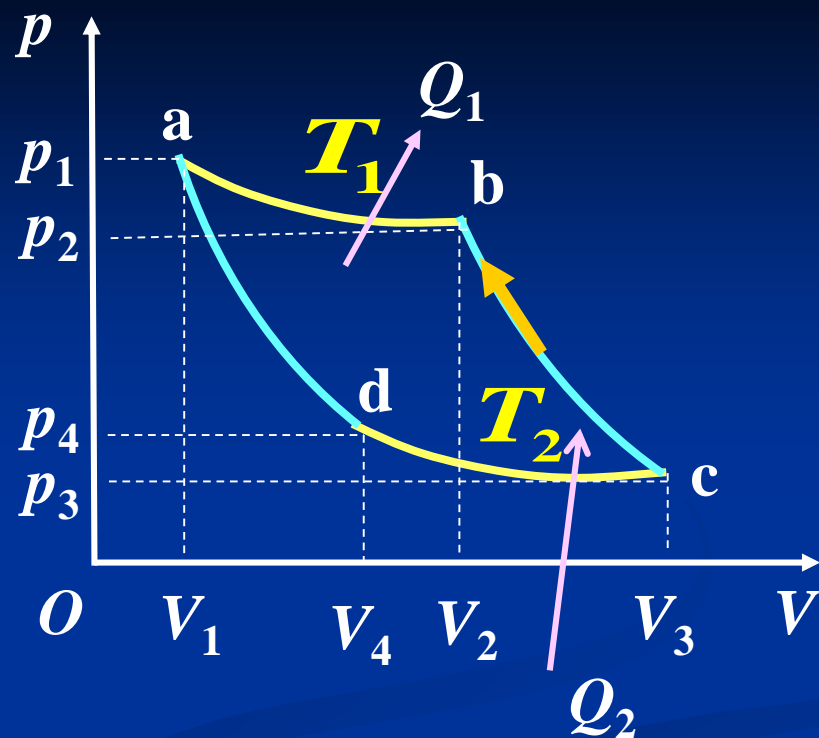
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

卡诺致冷循环的致冷系数为

$$w = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

★ 说明

当高温热源的温度 T_1 一定时，理想气体卡诺循环的致冷系数只取决于 T_2 。 T_2 越低，则致冷系数越小。



三、卡诺定理

1. 在温度分别为 T_1 与 T_2 的两个给定热源之间工作的一切可逆热机，其效率相同，都等于理想气体可逆卡诺热机的效率，即

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

2. 在相同的高、低温热源之间工作的一切不可逆热机，其效率都不可能大于可逆热机的效率。

★ 说明

- (1) 要尽可能地减少热机循环的不可逆性，（减少摩擦、漏气、散热等耗散因素）以提高热机效率。
- (2) 卡诺定理给出了热机效率的极限。

45分钟内容（本节课结束）