《热力学第一定律》内容概要

理论内容总结：

- §4-1. 热力学过程与准静态过程
- §4-2. 热力学第一定律
- §4-3. 热力学第一定律在关于物体性质讨论中的应用
- §4-4. 热力学第一定律对理想气体的应用
- §4-5. 循环过程和卡诺循环

热力学过程的能量转化规律
- 研究对象：热力学过程 主要是准静态过程
- 热力学过程的能量转化规律
  - 热力学第一定律，两种表述，
  - 两种数学表达形式
- 热力学第一定律的应用
  - 物性讨论
    - 内能，焓，热容(定体，定压)
    - 理想气体的上述，比热容比
  - 理想气体的多方过程
    - 过程方程及曲线特点
    - 热容
    - 内能变化、功、热量
  - 循环过程
    - 热机循环、制冷机循环
    - 理想循环—卡诺循环

引言

力学系统状态的演化遵循动力学规律，这些规律可以表示为牛顿定律和一些守恒定律。

热力学系统状态的演化也有一定的性质和规律，这些动力学性质和规律可以表示为三个热力学定律。

本章，我们讨论热力学第一定律。

总结：理想气体在准静态过程的主要公式

过程	过程方程	热容 C_x	外界作功 W	吸收热量 Q	内能改变 ΔU
一般表达式 $-\infty<n<+\infty$	$pV^n=const$	$C_n=\frac{n-\gamma}{n-1}C_V$	$\frac{1}{n-1}(p_fV_f-p_iV_i)$	$C_n(T_f-T_i)$	$C_V(T_f-T_i)$
等体 $n=\infty$	$V=const$	C_V	0	$C_V(T_f-T_i)$	$C_V(T_f-T_i)$
等压 $n=0$	$p=const$	$C_p=\gamma C_V$	$-p(V_f-V_i)$	$C_p(T_f-T_i)$	$C_V(T_f-T_i)$
等温 $n=1$	$pV=const$	$C_T=\infty$	$-\nu RT\ln\frac{V_f}{V_i}$，特殊	$\nu RT\ln\frac{V_f}{V_i}$，特殊	0
绝热 $n=\gamma$	$pV^\gamma=const$	$C_S=0$	$\frac{1}{\gamma-1}(p_fV_f-p_iV_i)$	0	$C_V(T_f-T_i)$

习题总结

本章练习题可分为二大类

第一类：基本知识

基本概念(过程方程、功、内能、热量、热容、焓)的计算

一、理想气体

1、等体、等压、等温、绝热过程、多方过程

2、其它过程

二、非理想气体的种种过程

详细情形见下表。

分类	过程方程	外界作功 W	内能改变 ΔU	外界传递的热量 Q	热容 C_x	焓、等压热容等体热容
总的推导规则	对状态方程求导并利用微小过程热力学第一原理 消元 dT； 得到微分方程并积分，得到： $f(p, V)=$ const	利用状态方程和过程方程消元 T；得到 $p=p(V)$；计算 $W=-\int_{V_i}^{V_f} pdV$	$\Delta U=\int_{T_i}^{T_f} C_V dt$	$Q=\Delta U-W$ 或 $C_n(T_f-T_i)$ 汽化热，凝结热，反应热	状态方程和过程方程求导消元 dp，得到 $\frac{dV}{dT}$；代入 $C_x=\frac{dU}{dT}+p\frac{dV}{dT}$	$H=U+pV$ $C_{p,m}=(\frac{\partial H}{\partial T})_p$ $C_{V,m}=(\frac{\partial U}{\partial T})_V$
理想气体	$pV^n=const$ $-\infty<n<+\infty$ $n\neq 1$	$\frac{1}{n-1}(p_f V_f-p_i V_i)$	$C_V(T_f-T_i)$	$Q=\Delta U-W$ $=C_n(T_f-T_i)$	$C_n=\frac{n-\gamma}{n-1}C_V$	
	$pV=const$ $n=1$	$-\nu RT\ln\frac{V_f}{V_i}$	0	$\nu RT\ln\frac{V_f}{V_i}$	∞	

	理想气体					非理想气体
	等体过程	等压过程	等温过程	绝热过程	其它过程	
例题		例 2	例 3	例 4、5	例 6、7	例 1
习题				4.2 综合 4.4 综合 4.8，4.9*，4.10*，4.11，4.12*，4.13*	4.1 综合 4.6，4.14，4.15	4.3，4.5—4.7，4.27

第二类：循环过程

求效率和制冷系数

详细情形见下表。

总原则	热机效率：正循环 吸收的热量转化为机械功	$\eta=\frac{W'}{Q_1}=\frac{Q_1-Q_2'}{Q_1}$ $=1-\frac{Q_2'}{Q_1}$	Q_1：吸收总热量，Q_2：放出总热量；$W'=-W$：系统对外界作的总功，即闭合曲线包围面积	例题	习题
	制冷机制冷系数：逆循环 通过外界做功W从有效的制冷区域吸收的热量Q_2	$\varepsilon=\frac{Q_2}{W}$ $=\frac{Q_2}{Q_1'-Q_3}$	Q_1'：放出总热量； Q_2：从有效的制冷区域吸收的热量，不是吸收总热量； 令吸收总热量为Q_3； W：外界对系统对作的总功，即闭合曲线包围面积		
卡诺循环	由两个等温过程和两个绝热过程构成的循环。 两个热源 低温：T_2；高温：T_1 $\frac{T_2}{T_1}=\frac{Q_2}{Q_1}$	热机 $\eta=1-\frac{T_2}{T_1}$			4.17，4.18 4.27
		制冷机 $\varepsilon=\frac{T_2}{T_1-T_2}$		例 11	4.24，4.28
斯特林循环	由两个等温过程(T_2、T_1)和两个等体过程构成的循环。	热机		例 8	
		制冷机 $\varepsilon=\frac{T_2}{T_1-T_2}$	吸热过程有两个，但目标只有一个：T_2		4.22
奥托循环	由两个绝热过程和两个等体过程组成	热机 $\eta=1-(\frac{V_2}{V_1})^{\gamma-1}$			4.25
狄塞尔循环	由两个绝热过程和一个等体过程、一个等压过程组成。	热机			
其它				例 9， 例 10	4.16, 4.19 , 4.20,

					4.21*　，4.23

补充题

（05-06-1）

一．选择题(每题 1 分，共 15 分)

**5. 一定量的理想气体，开始时处于压强，体积，温度分别为 p_1，V_1，T_1 的平衡态，后来变到压强，体积，温度分别为 p_2，V_2，T_2 的终态．若已知 $V_2 > V_1$，且 $T_2 = T_1$，则以下各种说法中正确的是：

(A) 不论经历的是什么过程，气体对外净作的功一定为正值．

(B) 不论经历的是什么过程，气体从外界净吸的热一定为正值．

(C) 若气体从始态变到终态经历的是等温过程，则气体吸收的热量最少．

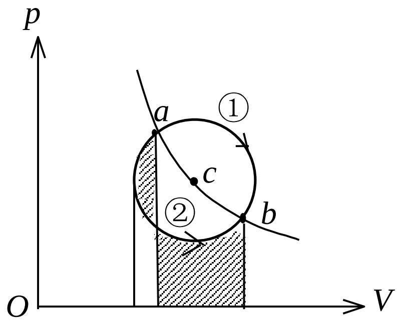
(D) 如果不给定气体所经历的是什么过程，则气体在过程中对外净作功和从外界净吸热的正负皆无法判断． [5D]

*7. 一定量的理想气体，从 a 态出发经过①或②过程到达 b 态，acb 为等温线(如图)，则①、②两过程中外界对系统传递的热量 Q_1、Q_2 是

(A) $Q_1>0$，$Q_2<0$．　(B) $Q_1<0$，$Q_2<0$．

(C) $Q_1>0$，$Q_2>0$．　(D) $Q_1<0$，$Q_2>0$．

[7C]



***8. 一定量的理想气体，从 $p-V$ 图上初态 a 经历(1)或(2)过程到达末态 b，已知 a、b 两态处于同一条绝热线上(图中虚线是绝热线)，则气体在

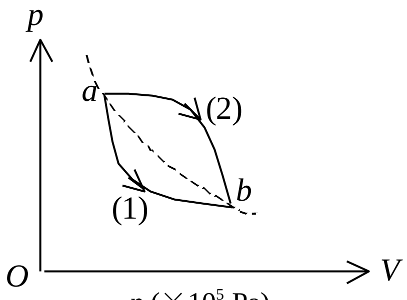
(A) (1)过程中放热，(2) 过程中吸热．

(B) (1)过程中吸热，(2) 过程中放热．

(C) 两种过程中都吸热．

(D) 两种过程中都放热．

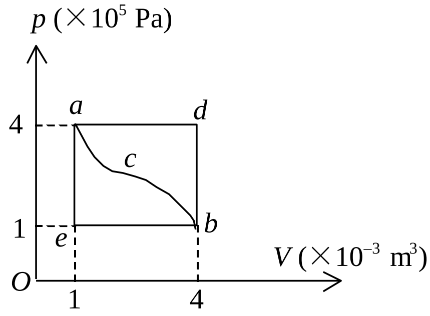
[8A]



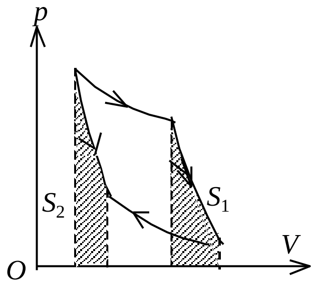
***9. 一定量的理想气体经历 acb 过程时吸热 500 J．则经历 $acbda$ 过程时，吸热为

(A) –1200 J.　　(B) –700 J.

(C) –400 J.　　(D) 700 J.



[9B]

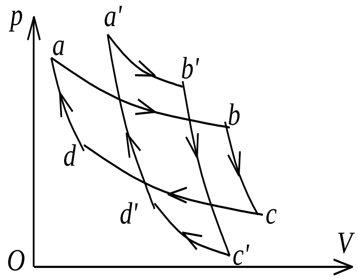


**10. 理想气体卡诺循环过程的两条绝热线下的面积大小(图中阴影部分)分别为 S_1 和 S_2，则二者的大小关系是：

(A) $S_1 > S_2$. (B) $S_1 = S_2$.

(C) $S_1 < S_2$. (D) 无法确定.

[10B]



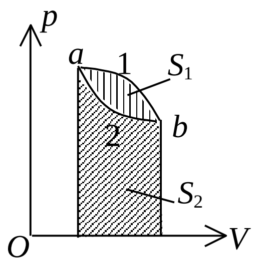
**11. 某理想气体分别进行了如图所示的两个卡诺循环：Ⅰ($abcda$)和Ⅱ($a'b'c'd'a'$)，且两个循环曲线所围面积相等．设循环Ⅰ的效率为η，每次循环在高温热源处吸的热量为 Q，循环Ⅱ的效率为η'，每次循环在高温热源处吸的热量为 Q'，则

(A) $\eta > \eta'$，$Q < Q'$. (B) $\eta > \eta'$，$Q > Q'$.

(C) $\eta < \eta'$，$Q < Q'$. (D) $\eta < \eta'$，$Q > Q'$.

[11D]

二、填空题(每题 1 分，共 15 分)



*8. 如图所示，已知图中画不同斜线的两部分的面积分别为 S_1 和 S_2，那么

(1) 如果气体的膨胀过程为 a—1—b，则气体对外做功

W=__ S_1+ S_2 ___;

(2) 如果气体进行 a—2—b—1—a 的循环过程，则它对外做功

W=____– S_1____.

*9. 若用气体状态参量（p、V、T）来表述一定量气体的内能，则有：

(1) 理想气体的内能是___温度 T ____的单值函数；

(2) 真实气体的内能是___温度 T 和体积 V（或温度 T 和压强 p）_________的函数.

***10. 刚性双原子分子的理想气体在等压下膨胀所作的功为 W，则传递给气体的热量为

__$\frac{7}{2}W$ ___.

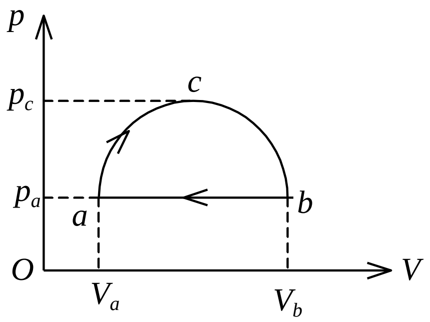
**11. 常温常压下，一定量的某种理想气体(其分子可视为刚性分子，自由度为 i)，在等压过程中吸热为 Q，对外作功为 W，内能增加为ΔE，则

W/Q=___$\frac{2}{i+2}$_____. $\Delta E/Q =$ __$\frac{i}{i+2}$_____.

**12. 一理想卡诺热机在温度为 300 K 和 400 K 的两个热源之间工作．

(1)　若把高温热源温度提高 100 K，则其效率可提高为原来的__ 1.6 ___倍；

(2)　若把低温热源温度降低 100　K，则其逆循环的致冷系数将降低为原来的__ $\frac{1}{3}$__倍．



***13. 有 ν 摩尔理想气体，作如图所示的循环过程 *acba*，其中 *acb* 为半圆弧，*b*–*a* 为等压线，$p_c=2p_a$．令气体进行 *a*–*b* 的等压过程时吸热 Q_{ab}，则在此循环过程中气体净吸热量

Q__< __Q_{ab}．　(填入：＞，＜或＝)

（06-07-1）

一．选择题（每题 3 分, 共 30 分）

**2. 对于室温下的双原子分子理想气体，在等压膨胀的情况下，系统对外所作的功与从外界吸收的热量之比 W/Q 等于

(A) 2/3．　　　　(B) 1/2．

(C) 2/5．　　　　(D) 2/7．

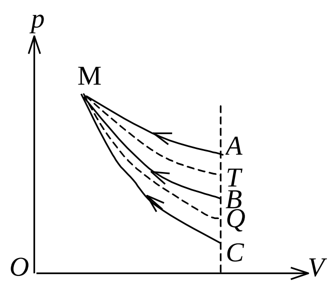
[　D　]

二．填空题（每题 3 分, 共 30 分）

****2. 右图为一理想气体几种状态变化过程的 $p-V$ 图，其中 *MT* 为等温线，*MQ* 为绝热线，在 *AM*、*BM*、*CM* 三种准静态过程中：

(1) 温度升高的是___ *BM*、*CM* ____过程；

(2) 气体吸热的是___ *CM* ____过程．

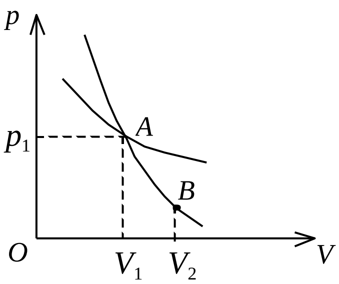


三．计算题（每题 10 分, 共 40 分）

****1. 某理想气体在 $p-V$ 图上等温线与绝热线相交于 A 点，如图．已知 A 点的压强 $p_1=2\times10^5$ Pa，体积 $V_1=0.5\times10^{-3}$ m^3，而且 A 点处等温线斜率与绝热线斜率之比为 0.714． 现使气体从 A 点绝热膨胀至 B 点，其体积 $V_2=1\times10^{-3}$ m^3，求

(1) B 点处的压强；

(2) 在此过程中气体对外作的功．



解：(1)由等温线 $pV=C$ 得 $\left(\dfrac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}\right)_T=-\dfrac{p}{V}$

1 分

由绝热线 $pV^{\gamma}=C$ 得 $\left(\dfrac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}\right)_Q=-\gamma\dfrac{p}{V}$ 1 分

由题意知 $$\frac{(\mathrm{d}p/\mathrm{d}V)_T}{(\mathrm{d}p/\mathrm{d}V)_Q}=\frac{-p/V}{-\gamma p/V}=\frac{1}{\gamma}=0.714$$

故 $\gamma=1/0.714=1.4$ 2 分

由绝热方程 $$p_1V_1^{\gamma}=p_2V_2^{\gamma}$$

可得 $$p_2=p_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}=7.58\times10^4\ \text{Pa}$$ 3 分

(2) $$W=\int_{V_1}^{V_2}p\,\mathrm{d}V=\int_{V_1}^{V_2}p_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}\mathrm{d}V=\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\gamma-1}=60.5\ \text{J}$$ 3 分

7-8-1

二、填空题（每题 3 分，共 30 分）

****1、如果理想气体的体积按照 $pV^3=C$（C 为正的常量）的规律从 V_1 膨胀到 V_2，则它所作

的功 A =____________$\dfrac{C}{2}\left(\dfrac{1}{V_1^2}-\dfrac{1}{V_2^2}\right)$_______；膨胀过程中气体的温度____降低_______（填升高、

降低或不变）．

*2、一热机从温度为 727℃的高温热源吸热，向温度为 527℃的低温热源放热．若热机在最

大效率下工作，且每一循环吸热 2000 J ，则此热机每一循环作功___400_______ J．

三、计算题（每题 10 分，共 40 分）

**1、 一定量的某种理想气体，开始时处于压强、体积、温度分别为 $p_0=1.2\times10^6$ Pa，$V_0=8.31\times10^{-3}$m^3，T_0 =300 K 的初态，后经过一等体过程，温度升高到 T_1 =450 K，再经过一等温过程，压强降到 $p=p_0$ 的末态．已知该理想气体的等压摩尔热容与等体摩尔热容之比 C_p/C_V =5/3．求：

(1) 该理想气体的等压摩尔热容 C_p 和等体摩尔热容 C_V．

(2) 气体从始态变到末态的全过程中从外界吸收的热量．(普适气体常量 R = 8.31 J·mol^{-1}·K^{-1})

解：(1) 由 $\dfrac{C_p}{C_V}=\dfrac{5}{3}$ 1 分

和 $C_p-C_V=R$ 1 分

可解得　$C_p=\dfrac{5}{2}R$　和　$C_V=\dfrac{3}{2}R$　2 分

(2) 该理想气体的摩尔数　$\nu=\dfrac{p_0V_0}{RT_0}=4\text{ mol}$　1 分

在全过程中气体内能的改变量为　$\Delta E=\nu C_V(T_1-T_2)=7.48\times10^3\text{ J}$　1 分

全过程中气体对外作的功为　$W=\nu RT_1\ln\dfrac{p_1}{p_0}$　1 分

式中　$p_1/p_0=T_1/T_0$　1 分

则　$W=\nu RT_1\ln\dfrac{T_1}{T_0}=6.06\times10^3\text{ J}$.　1 分

全过程中气体从外界吸的热量为　$Q=\Delta E+W=1.35\times10^4\text{ J}$.　1 分

8-9-1

一、 选择题（将正确答案的字母填在空格内，每小题 3 分，共 30 分）

*2、一定量的某种理想气体起始温度为 T，体积为 V，该气体在下面循环过程中经过三个平衡过程：(1) 绝热膨胀到体积为 $2V$，(2)等体变化使温度恢复为 T，(3) 等温压缩到原来体积 V，则此整个循环过程中

(A) 气体向外界放热　(B) 气体对外界作正功

(C) 气体内能增加　(D) 气体内能减少

[A]

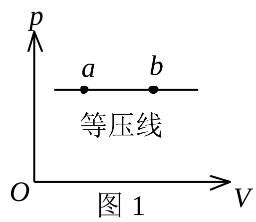


图 1

二、 填空题（每空 3 分，共 30 分）

*3、三个附图所示分别是一定量理想气体的等压线、等温线和绝热线．试判断各图上 a、b 两点中处于哪一点的状态时理想气体的内能大．在内能大的那一点上画上“ √ ”．若在两点时内能一样大，则在两点上都画上“ √ ”.

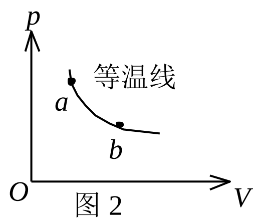


图 2

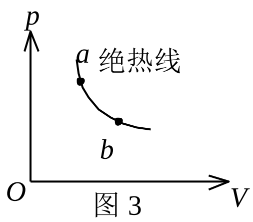


图 3

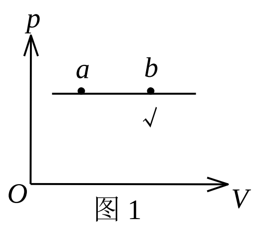


图 1

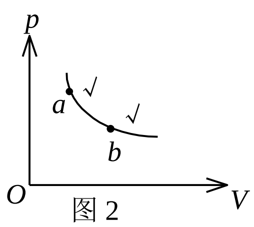


图 2

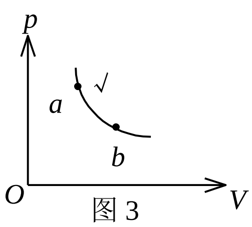


图 3

三、 计算题（每小题 10 分，共 40 分）

*1、1 mol 理想气体在 T_1 = 400 K 的高温热源与 T_2 = 300 K 的低温热源间作卡诺循环（可逆的），在 400 K 的等温线上起始体积为 V_1 = 0.001 m^3，终止体积为 V_2 = 0.005 m^3，试求此气体在每一循环中

(1) 从高温热源吸收的热量 Q_1

(2) 气体所作的净功 W

(3) 气体传给低温热源的热量 Q_2

解：(1) $$Q_1 = RT_1 \ln(V_2 / V_1) = 5.35\times10^3 \text{ J}$$

(2) $$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0.25.$$

$$W = \eta Q_1 = 1.34\times10^3 \text{ J}$$

(3) $$Q_2 = Q_1 - W = 4.01\times10^3 \text{ J}$$