

# 第七章热力学基础

华中科技大学大学物理 A

2025 年 5 月 7 日

## 1 notes

### 1.1 热力学第一定律

$$dQ = dE + dA$$

含义分别为系统吸收的热量、系统内能的增量、系统对外做的功  
在准静态过程中, 有:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

在非静态过程中则不一定, 例如气体自由膨胀时做功一定为 0  
热容  $C$  的单位为  $J \cdot K$ , 定义式为

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

定义摩尔热容

$$C_m = \frac{1}{\nu} \frac{dQ}{dT}$$

也可以定义比热容 (质量热容) 为单位质量气体的热容  
定压热容、定容热容

### 1.2 理想气体的热容

容易推导迈耶公式

$$C_{p,m} = C_{v,m} + R$$

于是定义气体的摩尔热容比

$$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{v,m}} = 1 + \frac{R}{C_{v,m}}$$

又由理想气体:

$$E_m = \frac{1}{2}(t + r + 2s)RT$$

于是

$$C_{v,m} = \frac{dE_m}{dT} = \frac{1}{2}(t + r + 2s)R$$

定义物体在相变过程中吸收的热量叫做**潜热**, 例如熔化热和汽化热

### 1.3 热力学第一定律对理想气体的应用

理想气体所经历的**任意一个过程**, 内能增量均满足

$$\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T$$

对于**准静态绝热过程**, 有绝热方程

$$pV^\gamma = C_1$$

再利用  $pV = \nu RT$ , 也可以写成

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

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

绝热过程中功的表达式为

$$A = -\Delta E = -\nu C_{V,m} \Delta T$$

对于**准静态绝热过程**, 有

$$A = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$$

可以用一个统一的公式来刻画理想气体等值过程

$$pV^n = \text{const.}$$

上式中  $n = 0$  对应等压过程,  $n \rightarrow \infty$  对应等容过程,  $n = \gamma$  为绝热过程  
若  $0 < n < \gamma$  则为**多方过程**, 常数  $n$  称为多方指数

### 1.4 循环过程、卡诺循环

工质

热机效率 (循环效率):

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

其中  $Q_1$  为从高温热源吸热,  $Q_2$  为向低温热源放热

**卡诺循环**: 两个等温过程和两个绝热过程, 循环效率为:

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

卡诺循环是高温热源 ( $T_1$ ) 和低温热源 ( $T_2$ ) 的之间效率最高的循环  
 同样还有制冷机。定义制冷系数为:

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

其中  $Q_2$  为从低温热源吸热,  $Q_1$  为向高温热源放热  
 卡诺制冷机的制冷系数:

$$w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

## 1.5 热力学第二定律

可逆过程要求系统周围一切也各自恢复原状

无摩擦的准静态过程是可逆过程

不可逆过程: 系统恢复不了原态; 恢复原态却引起了外界的变化

热力学第二定律

开尔文表述: 不可能从单一热源吸收热量并将其完全转化为功 (第二类永动机)

克劳修斯表述: 不可能使热量自发地从低温物体传递到高温物体

卡诺定理: 可逆卡诺热机的效率最高

可逆循环中有  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$

## 1.6 熵 Entropy

克劳修斯熵公式 (热温比)

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

注意仅对可逆过程成立。对于不可逆过程, 可以构造连接始末状态的可逆过程  
 熵增原理:

$$\text{可逆过程 } dS = dQ/T$$

$$\text{不可逆过程 } dS > dQ/T$$

于是在孤立 (或绝热) 系统中  $\Delta S \geq 0$ , 其中 = 对应可逆过程, 这是热力学第二定律的数学表达

温熵图 ( $T - S$  图)

$$dQ = TdS$$

于是温熵图曲线下面积为吸收的热量, 闭合曲线内的面积为做功

热力学概率  $\Omega$  为宏观态对应的微观态的数目, 是宏观态的函数

玻尔兹曼熵

$$S = k \ln \Omega$$

对应系统的非平衡态也有熵, 意义更为普遍

因平衡态的热力学概率最大, 因此克劳修斯熵是玻尔兹曼熵的最大值  
熵具有可加性