

華東理工大學

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



第二章 气体的热力性质



主要内容



- 2.1 **理想气体**与实际气体
- 2.2 **理想气体比热容**
- 2.3 混合气体的性质(了解)



2.1 理想气体与实际气体

□理想气体与实际气体

理想气体的两个基本假设：

- ✓ 气体分子是一些弹性、不占体积的质点；
- ✓ 除碰撞的瞬间外，气体分子之间没有相互作用力。

理想气体实质上是实际气体压力 $p \rightarrow 0$ ，比体积 $v \rightarrow \infty$ 时的极限状态。

对于单原子或双原子气体， $p < 7 \text{ MPa}$ (压力直到1-2MPa时误差不会超过百分之几)，温度在常温以上时均远离液态(比体积较大，密度较小)，接近理想气体假设条件，如**常温常压下的空气、燃气、烟气、 N_2 、 H_2 、 O_2 、 CO_2 和CO等工质都能看作理想气体**。水蒸汽及一些制冷剂等通常不能视作理想气体(**原因**)。

2.1 理想气体与实际气体

□理想气体状态方程

单位质量理想气体的状态方程 $pv=RT$ (充要条件)

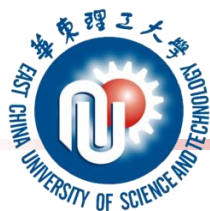
注意： p -绝对压力，Pa； v -比体积， m^3/kg ； R -气体常数， $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ；
 T -热力学温度，K。

$$R=R_0/M$$

注意气体常数 R 和通用气体常数 R_0 的区别：

- ✓ 气体常数 R ：**与气体种类有关，与气体状态无关**，其单位为 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ；
- ✓ 通用气体常数 R_0 ：与气体种类和状态均无关，是一个特定的常数， $8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$ 。

常见气体的气体常数见表2-1 (要求自己会计算；量纲的重要性)。



计算时注意事项

- 统一单位 (最好用国际单位): **绝对压力, 温度K**
- $V = 1 \text{ m}^3$ 的容器有 N_2 , 温度为 20°C , 压力表读数 1000 mmHg , $B = 1 \text{ atm}$, 求 N_2 质量。

$$\square \quad m = \frac{pVM}{R_m T} = \frac{1000 \times 1.0 \times 28}{8.3143 \times 20} = 168.4 \text{ kg}$$

$$\square \quad m = \frac{pVM}{R_m T} = \frac{\frac{1000}{760} \times 1.013 \times 10^5 \times 1.0 \times 28}{8.3143 \times 293.15} = 1531.5 \text{ kg}$$

$$\square \quad m = \frac{pVM}{R_m T} = \frac{\left(\frac{1000}{760} + 1\right) \times 1.013 \times 10^5 \times 1.0 \times 28}{8.3143 \times 293.15} = 2658 \text{ kg}$$

$$\square \quad m = \frac{pVM}{R_m T} = \frac{\left(\frac{1000}{760} + 1\right) \times 1.013 \times 10^5 \times 1.0 \times 28}{8.3143 \times 1000 \times 293.15} = 2.658 \text{ kg}$$

2.1 理想气体与实际气体

□ 实际气体状态方程式

- ✓ 范德瓦尔方程

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

- ✓ R-k方程

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v(v + b)T^{0.5}}$$

- ✓ 实际气体的通用状态方程

$$Pv = zRT$$

$$z = f(T_r, P_r, Z_c)$$

2.2 理想气体比热容

□ 比热容的定义和单位

✓ 定义

单位**物量**的物质，温度升高或降低1K（或1°C）所吸收或放出的热量。

$$c = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{q}{\Delta T} = \frac{\delta q}{dT}$$

✓ 按物量单位分为:

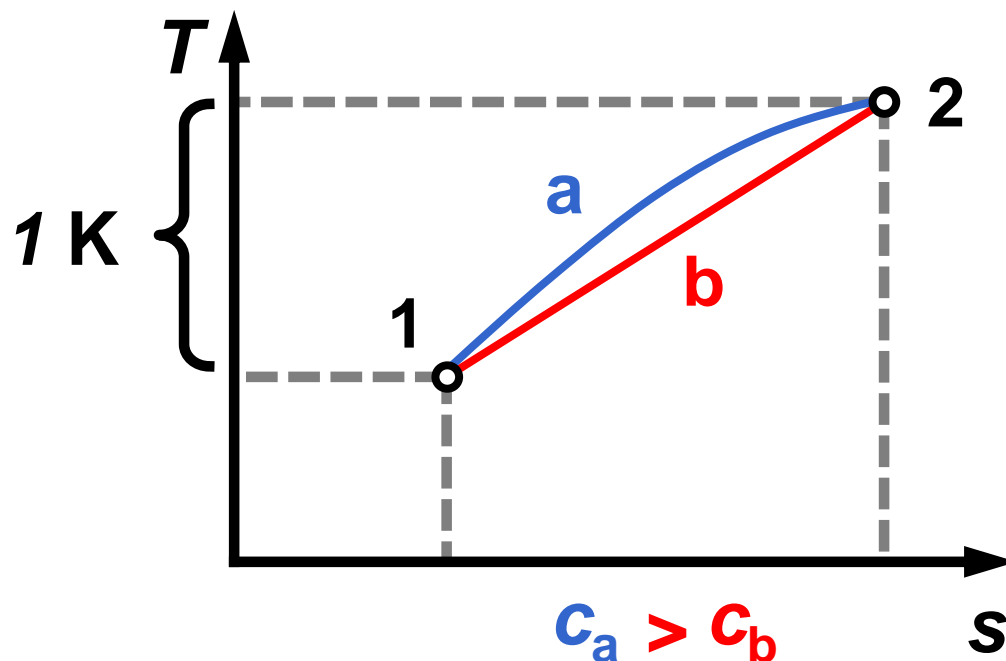
- a. 质量比热容，符号 c (kJ/kg·K)
- b. 体积比热容，符号 c' (kJ/m³·K)
- c. 摩尔比热容，符号 M_c (kJ/**kmol**·K)

三者关系: $c' = M_c / 22.4 = c \rho_0$



比热容是过程量还是状态参数？

□ $C = \delta q / dT$



□ 比热容C是过程量

□ 常用某些特定过程的比热容(可视作状态参数):



2.2 理想气体比热容

□ 定容比热容与定压比热容(与热力过程特性有关, 按过程分类)

✓ 定容比热容(三种)

$$c_v = \frac{\delta q_v}{dT} = \left(\frac{\delta q}{dT}\right)_v$$

✓ 定压比热容(三种)

$$c_p = \frac{\delta q_p}{dT} = \left(\frac{\delta q}{dT}\right)_p$$

✓ 定压比热容和定容比热容关系

(1) $c_p > c_v$

(2) $c_p - c_v = R$ (梅耶公式, 仅适用于理想气体)

(3) 比热容比 k $c_v = R/(k-1); c_p = kR/(k-1)$

2.2 理想气体比热容

□ 定值比热容、真实比热容和平均比热容

✓ 定值比热容

根据分子运动学说中能量按运动自由度均分的理论，理想气体的比热容只取决于气体的分子结构，而与气体所处状态无关。

摩尔定容比热容 $Mc_v = \frac{i}{2} R_0$

摩尔定压比热容 $Mc_p = \frac{i+2}{2} R_0$

单原子气体 $i=3$;

双原子气体 $i=5$;

多原子气体 $i=7$ 。

单原子气体的理论值与实验数据接近，双原子气体和多原子气体偏差大。

2.2 理想气体比热容

✓ 真实比热容

理想气体的比热容实际上不是定值，而是温度的函数。

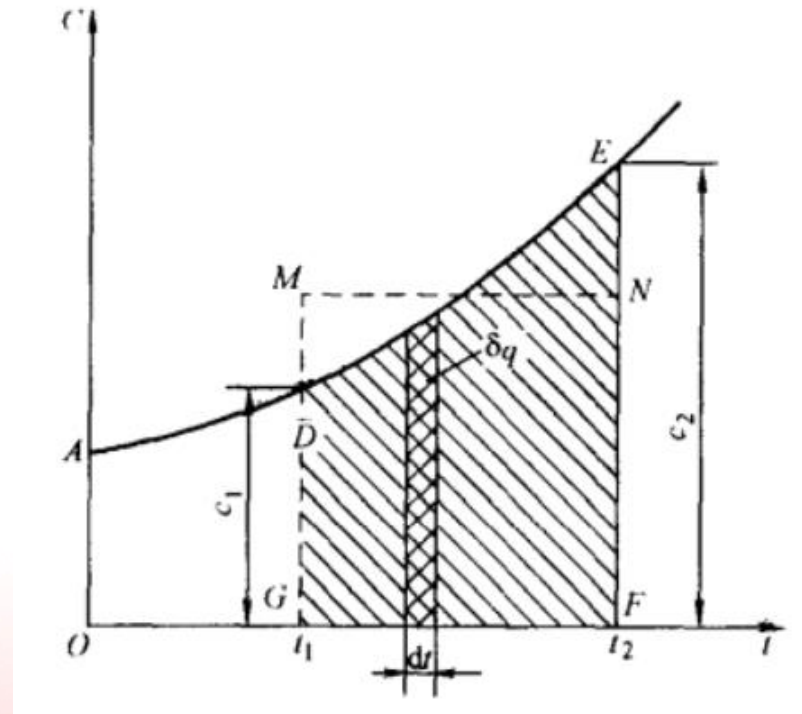
$$c_V = f(T), \quad c_p = f(T) \quad Mc_p = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 \text{ (kJ / (kmol} \cdot \text{k))} \quad \text{教材表2-3}$$

✓ 平均比热容

某一温度间隔内比热容的平均值

$$q = \int_{T_1}^{T_2} c \, dT = c_m \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1)$$

$$c_m \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{q}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c \, dt}{t_2 - t_1} \quad t_1, t_2 \text{ 均为变量, 制表太繁琐}$$

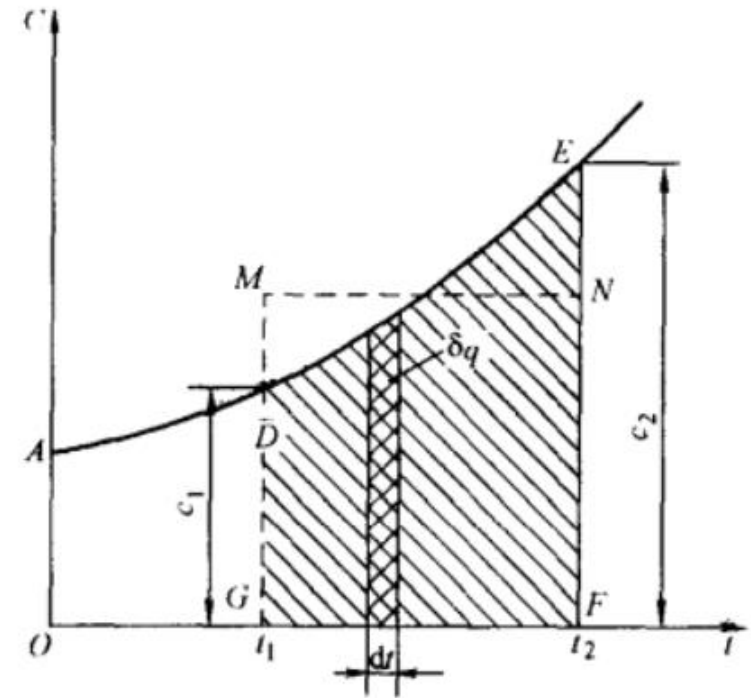


2.2 理想气体比热容

$$q = \int_0^{T_2} c dT - \int_0^{T_1} c dT = \text{面积AEFOA} - \text{面积ADGOA}$$

$$c_m \Big|_0^T = \frac{\int_0^T c_m dT}{T - 0}$$

由此可制作出平均比热容表



注意：表2-4是几种气体从0°C至对应温度的平均**定压质量比热容**。



2.2 理想气体比热容

例2.1 教材P31例题2-4

例2.2 1kg空气从0.1MPa, 100°C变化到0.5MPa、1000 °C, 求 Δu 和 Δh 。

- ①用定比热;
- ②平均比热表。



2.3 混合气体的性质

- 混合气体的分压和分容定律
- 混合气体的成分表示方法及换算
质量分数在某些场合非常有用。
- 混合气体的折合分子量与气体常数
- 混合气体的比热

