

## 第一章 气 体

### 一、选择题

- 1、由理想气体分子运动论得出的结果，每一气体分子的平均平动能是（ ）  
A.  $\frac{1}{2}kT$     B.  $kT$     C.  $\frac{3}{2}kT$     D.  $\frac{1}{2}RT$
- 2、下述说法中，错误的是（ ）  
A. 体系的状态即是平衡态  
B. 状态方程式即体系状态函数之间的关系式  
C. 体系的状态与状态图上实点一一对应  
D. 体系的状态即是流动体系稳定态
- 3、两个气球中分装有 $O_2$ 和 $N_2O$ 气体，温度和密度都相等。已测得 $O_2$ 气球中的压力是 $N_2O$ 气球中压力的 1.3754 倍， $N_2O$ 的分子量为（ ）  
A.  $M_{N_2O}=24$     B.  $M_{N_2O}=34$     C.  $M_{N_2O}=44$     D.  $M_{N_2O}=54$
- 4、煅烧 150 t 石灰石，在  $15^\circ\text{C}$  和  $94.6\text{ kPa}$  下可得 $CO_2$ 的体积为（ ）  
A.  $3.8\times 10^7\text{ L}$     B.  $2.5\times 10^6\text{ L}$     C.  $3.0\times 10^8\text{ L}$     D.  $4.5\times 10^5\text{ L}$
- 5、一容器的容积为 $V_1=162.4\text{ m}^3$ ，内有空气，其压力为 $p_1=94.6\text{ kPa}$ ，温度为 $t_1=15.5^\circ\text{C}$ 。当把容器加热到某一温度 $t_x$ ，里面的空气就逸出，逸出的气体在 $t_2=14^\circ\text{C}$ ， $p_2=93.0\text{ kPa}$ 时占据体积 $V_2=114.3\text{ m}^3$ ，则 $t_x=$ （ ）  
A.  $765^\circ\text{C}$     B.  $675^\circ\text{C}$     C.  $576^\circ\text{C}$     D.  $567^\circ\text{C}$
- 6、空气的平均分子量是 28.96，则  $15^\circ\text{C}$ 、 $1.01\times 10^2\text{ kPa}$ 时的空气空气密度为（ ）  
A.  $1.23\times 10^{-3}\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$     B.  $2.13\times 10^{-3}\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$   
C.  $3.21\times 10^{-4}\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$     D.  $2.31\times 10^{-2}\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$
- 7、空气组成的体积分数为： $N_2$  78%， $O_2$  21%，Ar 1%，在  $20^\circ\text{C}$  和  $98.6\text{ kPa}$  下空气的的密度为（ ）  
A.  $0.87\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$     B.  $1.17\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$     C.  $1.23\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$     D.  $0.7\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- 8、用  $130^\circ\text{C}$  的水蒸气（饱和压力  $273.5\text{ kPa}$ ）与  $1200^\circ\text{C}$  的焦炭反应生成水煤气



- 16、理想气体的分子运动论公式为  $pV = \frac{1}{3}mNu^2$ ，式中  $u$  是（ ）
- A. 分子平均运动速率                      B. 最可几速率  
C. 分子运动最大速率                      D. 根均方速率
- 17、下列几种条件下的实际气体，最接近理想气体的行为的是（ ）
- A. 高温高压      B. 高温低压      C. 低温高压      D. 低温低压
- 18、下列对某物质临界点的描述，错误的是（ ）
- A. 液相摩尔体积与气相摩尔体积相等  
B. 液相与气相的相界面消失  
C. 气化热为零  
D. 气、液、固三相共存
- 19、下列各种函数中，广度性质的是（ ），强度性质的是（ ）
- A. 若  $L=L(T, p, n_1, n_2, \dots)$ ，则  $\lambda L=0$  ( $\lambda$ 为常数)  
B. 若  $L=L(T, p, n_1, n_2, \dots)$ ，则  $L=L(T, p, \lambda n_1, \lambda n_2, \dots)$   
C. 若  $L=L(T, p, n_1, n_2, \dots)$ ，则  $\lambda L=L(T, p, \lambda n_1, \lambda n_2, \dots)$   
D. 若  $L=L(T, p, n_1, n_2, \dots)$ ，则  $\lambda^2 L=L(T, p, n_1, n_2, \dots)$
- 20、实验室中有一压力反应体系。若该体系的压力表指示为 1520 kPa，则实际上体系内压力应为（ ）
- A. 1520 kPa                                      B. 1418 kPa  
C. 1621 kPa                                      D. 1520 kPa + 实验室内大气压
- 21、实验室内的真空烘箱上接一压力真空表，若压力表指示值为 99975 Pa，则烘箱内实际压力为（ ）
- A. 实验室内大气压+99975 Pa                      B. 实验室内大气压-99975 Pa  
C. 99975 Pa                                      D. 1333 Pa
- 22、下述说法中，错误的是（ ）
- A. 理想气体方程式中的压力  $p$  是状态函数

- B. 范德华气体方程式中的压力  $p$  是状态函数
- C. 压缩因子气体方程式中的压力  $p$  是状态函数
- D. 外压是状态函数

23、在相同条件下，1 mmol  $\text{CCl}_4$  蒸气从一小孔溢出的时间是 2 mmol  $\text{NH}_3$  的 ( ) 倍

- A. 3 倍
- B. 2.5 倍
- C. 2 倍
- D. 1.5 倍

24、下列气体分子中，最概然速率最小的是 ( )

- A. 300 K的 $\text{O}_2$
- B. 100 K的 $\text{O}_2$
- C. 300 K的 $\text{H}_2$
- D. 100 K的 $\text{H}_2$

25、以下说法不正确的是 ( )

- A. 压缩因子  $Z=1$  时，该气体必定是理想气体
- B. 当气体的温度降到临界温度以下时，气体也不一定会液化
- C. 临界温度是气体可以被液化的最高温度
- D. 当气体温度高于其 Boyle 温度时，气体可压缩性小，难以液化

## 二、填空题

1、有一个开口容器盛有某气体，室温为  $7^\circ\text{C}$ ，欲使该气体逸出三分之一，则必须加热该容器使温度升至 \_\_\_\_\_。

2、在海平面处放置一个直径为 1 m 的气象气球，温度为 298 K，当上升至最高度时，直径变化到 3 m，此时温度为 253 K，则在此高度处气球内部的压力为 \_\_\_\_\_。

3、某气体分子在容器内起始时具有相同的平动能  $E=2.00 \times 10^{-21} \text{J}$ ，由于互相碰撞，最后能量服从 Maxwell 分布，则该系统的温度为 \_\_\_\_\_。

4、分子动能大于  $3kT$  的分子在总分子数中所占的百分数为 \_\_\_\_\_。

5、 $\text{N}_2$  分子根均方速率和  $\text{H}_2$  分子在  $27^\circ\text{C}$  的根均方速率相同时的  $\text{N}_2$  的温度为 \_\_\_\_\_。

6、在 373 K 时， $\text{CCl}_4$  分子的根均方速率与  $\text{NH}_3$  分子的根均方速率的比值为 \_\_\_\_\_。

\_\_\_\_\_，它们同时扩散到同一细孔面处所用的时间比为\_\_\_\_\_。

7、有A、B两种气体，其临界温度 $T_{c,A} > T_{c,B}$ ，其临界压力 $p_{c,A} < p_{c,B}$ ，则更易液化的气体是\_\_\_\_\_，同温同压下\_\_\_\_\_气体的压缩因子 $Z$ 更趋近于1。

8、已知NO和Cl<sub>2</sub>的临界参数为 $T_{c,NO} = 177 \text{ K}$ ， $p_{c,NO} = 64 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $T_{c,Cl_2} = 550 \text{ K}$ ， $p_{c,Cl_2} = 45 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，则具有较小 van der Waals 气体常数  $a$  的是\_\_\_\_\_，具有较小 van der Waals 气体常数  $b$  的是\_\_\_\_\_。

### 三、证明题

1、证明范德华气体方程中，压力  $p$  是状态函数。

2、某系统中有一束电子射线在空气中穿过，求证：电子在气体中的平均自由程  $\bar{l}_e$  为气体分子的平均自由程  $\bar{l}$  的  $4\sqrt{2}$  倍。可假设：①电子的体积与气体分子相比可忽略不计；②电子的速度远远大于气体分子的速度，因而气体分子可视为相对静止。

3、试证明服从 Dieterici 方程： $p(V_m - b) = RT \exp\left(-\frac{a}{RTV_m^2}\right)$  的临界压缩因子  $Z_c$  与气体种类无关。

### 四、计算题

1、使  $32 \text{ cm}^3$  的 CH<sub>4</sub>，H<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 的气体混合物与  $61 \text{ cm}^3$  的 O<sub>2</sub> 发生爆炸，残余气体的体积为  $34.5 \text{ cm}^3$ ，其中  $24.1 \text{ cm}^3$  被烧碱溶液吸收，试确定混合气体中 CH<sub>4</sub>，H<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 的体积分数。

2、计算：(a) 25℃ 时，氧气从平动能  $(E - 0.001E) \sim (E + 0.001E)$  间隔内的分子数占总分子数的百分数。(b) 25℃ 时，氧气从平动能  $(E - 0.1E) \sim (E + 0.1E)$  间隔内的分子数占总分子数的百分数。(c) 500℃ 时，汞蒸气中平动能落

在  $(kT-0.1 kT) \sim (kT+0.1 kT)$  间隔内的分子数占总分子数的百分数。

3、设氧分子的直径  $d = 3 \times 10^{-10} \text{ m}$ ，计算在标准状况下的氧分子的平均自由程，并计算温度为  $0^\circ\text{C}$  时，压力 (Pa) 要降到多少时氧分子的平均自由路程才能增加到  $1 \text{ cm}$ 。

4、某气体的膨胀系数  $\alpha$ ，等温压缩系数  $\kappa$  与  $pV$  的关系为

$$\alpha = \frac{nR}{pV}, \quad \kappa = \frac{1}{p} + \frac{b}{V} \quad (b \text{ 为正值}),$$

请导出该气体的物态方程。

5、某体积为  $28.5 \text{ L}$  的容器内装有  $0.3 \text{ kg NH}_3 (\text{g})$ ，测得温度为  $348.2 \text{ K}$ ，求其压力为多少？

(1) 用 van der Waals 方程计算。

(2) 用压缩因子图计算 (实测压力值为  $1611.1 \text{ kPa}$ )。

6、按下列方法计算  $460 \text{ K}$  和  $1.52 \times 10^3 \text{ kPa}$  下正丁烷的摩尔体积。

(1) 理想气体定律。

(2) 具有实验常数的 Virial 方程

$$Z = 1 + \frac{B}{V_m} + \frac{C}{V_m^2} + \dots$$

式中： $B = -0.265 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ； $C = 30.250 \text{ dm}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$ 。

7、一般气舱容积为  $27 \text{ m}^3$  为宇宙飞船内气体是由  $80\% (\text{vol})$  的氦 (He) 和  $20\%$  的氧 ( $\text{O}_2$ ) 组成的。当飞船进入太空后，由于舱外是真空空间，所以舱内的气体会以一定速度不断外漏，从而使舱内气压以每天  $10^3 \text{ Pa}$  的速度降低。引起气体外漏是由于飞船材质和密封结构所不可避免的。如果飞船气舱内温度为  $25^\circ\text{C}$ ，要做一次  $10$  天的太空飞行，在允许气体外漏的情况下，问该飞船要携带多少氦和氧气？

## 第一章 气体 参考答案

### 一、 选择题

1—C; 2—D; 3—C; 4—A; 5—B; 6—A; 7—B; 8—B; 9—B; 10—B;  
11—D; 12—B; 13—A; 14—C; 15—C; 16—D; 17—B; 18—D;  
19—C, B; 20—D; 21—B; 22—D; 23—D; 24—B; 25—A;

### 二、 填空题

1—420 K; 2—3.14 kPa ; 3—96.7 K; 4—5%; 5—2100 K; 6—1:3, 3:1;  
7—A (g), B (g); 8—NO, NO;

### 三、 证明题

1、证明：  $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$

$$\Rightarrow p = \frac{RT - \frac{a}{V_m} + \frac{ab}{V_m^2}}{V_m - b}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_{V_m} = \frac{R}{V_m - b}, \quad \left(\frac{\partial^2 p}{\partial T \partial V_m}\right) = -\frac{R}{(V_m - b)^2}$$

$$\text{又} \because \left(\frac{\partial p}{\partial V_m}\right)_T = \frac{\left(\frac{a}{V_m^2} - \frac{2ab}{V_m^3}\right)(V_m - b) - \left(RT - \frac{a}{V_m} + \frac{ab}{V_m^2}\right)}{(V_m - b)^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\partial^2 p}{\partial V_m \partial T}\right) = -\frac{R}{(V_m - b)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 p}{\partial V_m \partial T} = \frac{\partial^2 p}{\partial T \partial V_m}$$

根据状态函数的数学性质， $p$  满足尤拉关系式，所以是状态函数。

2、证明：设电子碰撞半径为  $r_e$ ，气体分子碰撞半径为  $r$ ，根据假设①  $r_e \ll r$ ，则

电子与气体的碰撞直径  $d = r_e + r \approx r$

当气体分子相对静止时，电子在单位时间内与气体分子 ( $N/V$ ) 的碰撞数为

$$z' = v_a \pi d^2 \frac{N}{V} = v_a \pi r^2 n$$

电子的平均自由程为

$$\bar{l}_e = \frac{v_a}{z'} = \frac{1}{\pi r^2 n}$$

同种气体分子的平均自由程为

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi (2r)^2 n} = \frac{1}{4\sqrt{2} \pi r^2 n}$$

则 
$$\frac{\bar{l}_e}{\bar{l}} = 4\sqrt{2}$$

3、证明：在临界点处：

$$\left( \frac{\partial p}{\partial V_m} \right)_T = 0, \quad \left( \frac{\partial^2 p}{\partial V_m^2} \right)_T = 0$$

$$\left( \frac{\partial p}{\partial V_m} \right)_T = \frac{RT}{V_m - b} \exp\left(-\frac{a}{RTV_m}\right) \times \left( \frac{a}{RTV_m^2} - \frac{1}{V_m - b} \right)$$

$$= p \left( \frac{a}{RTV_m^2} - \frac{1}{V_m - b} \right) = 0$$

$$\frac{a}{RTV_m^2} - \frac{1}{V_m - b} = 0$$

$$\frac{a}{V_m^2} = \frac{RT}{V_m - b} \dots (1)$$

$$\left( \frac{\partial^2 p}{\partial V_m^2} \right)_T = \frac{\partial}{\partial V_m} \left[ p \left( \frac{a}{RTV_m^2} - \frac{1}{V_m - b} \right) \right]$$

$$= \frac{\partial p}{\partial V_m} \left( \frac{a}{RTV_m^2} - \frac{1}{V_m - b} \right) + p \left( -\frac{2a}{RTV_m^3} - \frac{1}{(V_m - b)^2} \right)$$

$$= p \left( \frac{a}{RTV_m^2} - \frac{1}{V_m - b} \right)^2 + p \left( -\frac{2a}{RTV_m^3} - \frac{1}{(V_m - b)^2} \right) = 0 \dots (2)$$

将 (1) 式代入 (2) 式，解得

$$V_{m,c} = 2b \cdots (3)$$

将 (3) 式代入 (1) 式, 解得

$$T_c = \frac{a}{4bR} \cdots (4)$$

将 (3) 式和 (4) 式代入 Dieterici 方程, 得

$$p_c = -\frac{a}{4b^2e^2} \cdots (5)$$

将 (3) 式、(4) 式和 (5) 式代入:

$$Z_c = \frac{p_c V_{m,c}}{RT_c} = \frac{\left(-\frac{a}{4b^2e^2}\right) 2b}{R \left(\frac{a}{4bR}\right)} = -\frac{2}{e^2}$$

∴ 凡服从 Dieterici 方程的气体, 压缩因子为一常数, 与气体的种类无关。

#### 四、 计算题

1—CH<sub>4</sub> 75.3%, H<sub>2</sub> 21.5%, N<sub>2</sub> 3.2%;

2— (a) 0.0925%, (b) 8.8%, (c) 8.8%;

3— $\bar{l} = 9.30 \times 10^{-8}$  m,  $p = 0.942$  Pa;

4—  $p(V + \frac{1}{2}bp) = nRT$ ;

5— (1)  $p = 1672.1$  kPa, (2)  $p = 1672.1$  kPa ;

6— (1)  $V = 2.516 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> · mol<sup>-1</sup>, (2)  $V = 2.25 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> · mol<sup>-1</sup>;

7—He 0.40 kg, O<sub>2</sub> 0.28 kg;