

第一章 绪论

✿ 1.1 化学及其分支

✿ 1.2 无机化学及其分支

✿ 1.3 物质的聚集态

无机化学

BACK

1.3 物质的聚集态

★ 1.3.1 五种集聚态

★ 1.3.2 气体

★ 1.3.3 理想气体状态方程

无机化学

← BACK

1.3.1 五种集聚态

物质的**集聚态**是指物质分子集合的状态,也叫物态。常见的物质集聚态有**气态、液态和固态**三种,又称气体、液体、固体。除此之外,还有等离子体(第四态)、超高密度态(第五态),以及超导电态、超流态、液晶等集聚态。

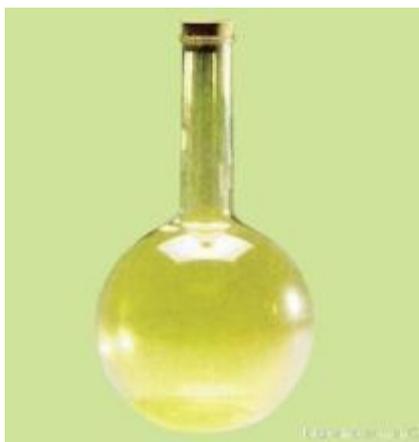
1. 气体

21世纪高等院校教材

无机化学

主 编 章伟光

副主编 申玲英 万霞 李志强 钟海亮 吴云影



氯气



压缩气体

特性：易压缩和扩散

2. 液体

21世纪高等院校教材

无机化学

高英

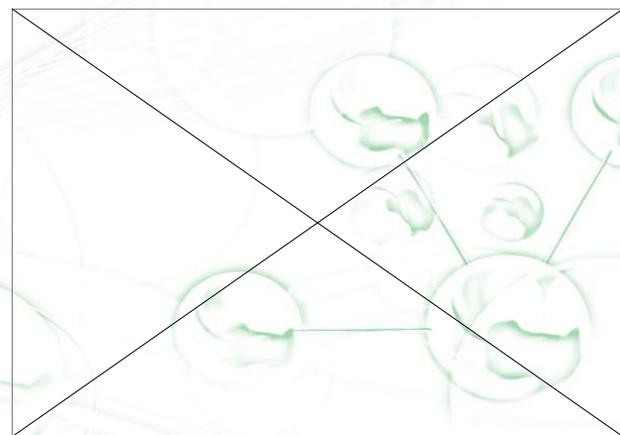
万霞 李志强 钟声亮 吴云影



各色液体



粘稠液体



特性：易流动，形状随容器而定

科学出版社

3. 固体

21世纪高等院校教材

无机化学

章伟光

申俊英 万霞 李志强 钟声亮 吴云影



氯化钠晶体



天然晶体

特性：具有一定形状、大小

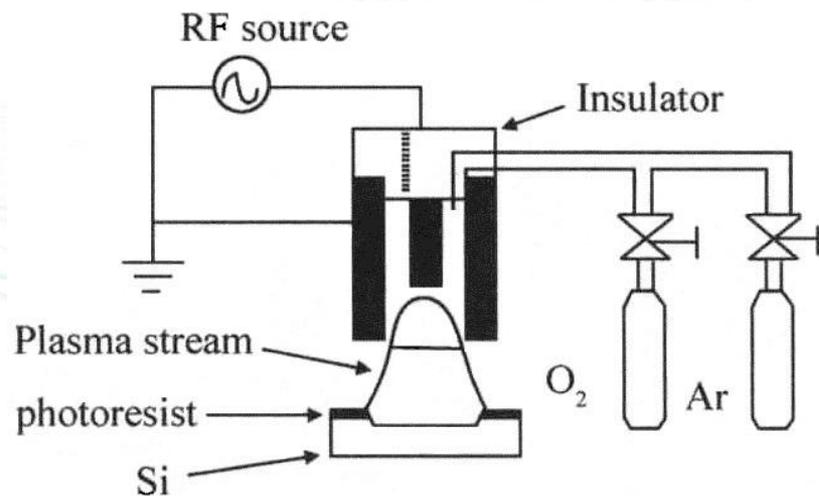
4. 等离子体

21世纪高等院校教材

由带电离子、电子和中性粒子组成的流体。在等离子体中，带正电荷的粒子与带负电荷的粒子所带的电荷总数相等，而且粒子的密度也基本相同。它又称第四态。



逃离太阳表面的等离子体



等离子体产生原理图

5. 超高密度态

当物质处于在140万大气压下，物质的原子就可能被“压碎”。电子全部被“挤出”原子，形成电子气体，裸露的原子核紧密地排列，物质密度极大，这就是超高密度态(简称超固态)，又称第五态。



天体黑洞

例如，一块乒乓球大小的超固态物质，其质量至少在1000吨以上。

1.3.2 气体

21世纪高等院校教材

理想气体：为一种假想气体，其特征是：分子之间没有相互吸引和排斥，分子本身的体积相对于气体所占有体积完全可以忽略，且气体分子与容器壁间发生完全弹性碰撞。

由于真正的理想气体是不存在的，我们把那些在常温常压下不容易液化的气体。例如He、H₂、O₂、N₂等近似作为理想气体来处理，其性质可用理想气体状态方程来描述。

1.3.3 理想气体状态方程

世纪高等院校教材

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

注意:当压力和体积所取单位不同时,式中的R取值就不同.

pV的单位	R值	R的单位
Pa·m ³	8.314	Pa·m ³ ·mol ⁻¹ ·K ⁻¹ 或J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Pa·L	8314.3	Pa·L·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
atm·L	0.0821	atm·L·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
kPa·L	8.314	kPa·L·mol ⁻¹ ·K ⁻¹

练习题

21世纪高等院校教材

无机化学

1.1: 某未知气体样品为 5.0 g, 在温度为 100°C 、压力为 291 kPa 时的体积是 0.86 L, 求该气体的摩尔质量。

1.2: 26°C 和 111 kPa下, CCl_4 蒸气的密度是多少? (相对原子质量: C 12, Cl 35.5)

练习题

21世纪高等院校教材

无机化学

主 编 章伟光

副 编 钟海亮 吴云影

1.3: 在 27°C 和 100 kPa 压力下, 收集到相对分子质量为 32.0 的理想气体 821 L , 求该气体的质量。

1.4: 在 1000°C 和 98.7 kPa 下, 硫蒸气的密度为 $0.597\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。请通过计算写出硫的分子式。

1.3.4 分压定律

21世纪高等院校教材

无机化学

主 编 章伟光

副主编 申俊英 万 霞 李志强 钟声亮 吴云影

1) 分压的定义

相同温度下, 组分气体单独占有混合气体的总体积时所呈现的压力称为组分气体的分压. (用 p_B 表示) 根据定义, 有下列数学关系式:

总体积

绝对温度

$$p_B V = n_B RT$$

气体常数

B组分分压

B组分物质的量

或

$$p_B = \frac{n_B RT}{V}$$

2) 分压定律

在温度恒定下，混合气体的总压力等于各组分气体分压力之和，这个结论称为道尔顿分压定律。

分压定律的数学表达式为：

$$p = \sum p_B = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_B$$

总压

分压

无机化学

主 编 章伟光

副主编 申俊英 万霞 李志强 钟声亮 吴云影

B的物质的量

$$\frac{p_B}{p} = \frac{n_B}{n} = x_B$$

→ B的摩尔分数

总压

总物质的量

或

$$p_B = x_B p$$

例题

21世纪高等院校教材

1.5: 把30L压力为 $0.97 \times 10^5 \text{Pa}$, 温度为 55°C 的氮气和20L压力为 $0.85 \times 10^5 \text{Pa}$, 温度为 15°C 的氢气压入25L容器中, 容器内温度为 37°C 。问:

- (1) 容器内的最终压力为多少?
- (2) 氮气和氢气的分压分别为多少?

解：对于各组分气体，因混合前后n不变，则

21世纪高等院校教材

$$\frac{p_{\text{前}} \cdot V_{\text{前}}}{T_{\text{前}}} = \frac{p_B \cdot V}{T}$$

$$p_{N_2} = \frac{p_{\text{前}} \cdot V_{\text{前}} \cdot T}{V \cdot T_{\text{前}}} = \frac{30 \times 0.97 \times 10^5 \times (273 + 37)}{25 \times (273 + 55)} = 1.10 \times 10^5 (\text{Pa})$$

同理：

$$p_{H_2} = \frac{p_{\text{前}} \cdot V_{\text{前}} \cdot T}{V \cdot T_{\text{前}}} = \frac{20 \times 0.85 \times 10^5 \times (273 + 37)}{25 \times (273 + 15)} = 0.73 \times 10^5 (\text{Pa})$$

$$\begin{aligned} \therefore p &= p_{N_2} + p_{H_2} = 1.10 \times 10^5 + 0.73 \times 10^5 \\ &= 1.83 \times 10^5 (\text{Pa}) \end{aligned}$$

1.3.5 分体积定律

21世纪高等院校教材

1) 分体积的定义

相同温度下, 组分气体具有和混合气体相同压力时所占的体积称为组分气体的分体积. (用 V_B 表示). 据定义有下列关系式

B组分
分体积

$$pV_B = n_B RT$$

总压

或

$$V_B = \frac{n_B RT}{p}$$

2) 分体积定律

分体积

$$V = \sum V_B = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_B$$

总体积

主 编 章伟光

副主编 申俊英 万 霞 李志强 钟声亮 吴云影



组分B
分体积

组分B物
质的量

$$\frac{V_B}{V} = \varphi_B = \frac{n_B}{n} = \chi_B$$

总体积

组分B的
体积分数

总物质
的量

组分B的
摩尔分数

相关演变公式

21世纪高等院校教材

无机化学

主 编 章伟光

副主编 申俊英 万 霞 李志强 钟声亮 吴云影

$$\frac{p_B}{p} = x_B = \frac{V_B}{V} = \varphi_B$$

$$p_B = x_B p = \varphi_B p$$

$$\frac{p_B}{p} = \frac{V_B}{V} = \frac{n_B}{n}$$

$$V_B = x_B V = \varphi_B V$$

混合气体的总状态方程

21世纪高等院校教材

无机化学

主 编 章伟光
副主编 申俊英 李志强 钟声亮 吴云影

总体积

绝对温度

$$pV = nRT$$

总压

气体常数

总物质的量

计算时常用的重要公式

21世纪高等院校教材

$$p_B \cdot V = p \cdot V_B = n_B RT$$

$$\frac{p_{\text{前}} \cdot V_{\text{前}}}{T_{\text{前}}} = \frac{p_B \cdot V}{T} = \frac{p \cdot V_B}{T}$$

上述公式使用前提：

混合前后组分气体的 n_B 不变

$$\frac{p_B}{p} = \frac{V_B}{V} = \frac{n_B}{n}$$

例题

21世纪高等院校教材

1.5: 在 15°C 和 $1.05 \times 10^5 \text{Pa}$ 压力下, 于水面上收集了 300mL 氢气. 在此温度下水的饱和蒸气压为 $1.68 \times 10^3 \text{Pa}$, 现用干燥剂把氢气和水分离。问:

(1) 在此条件下纯氢气的分压为多少? 分体积为多少?

(2) 干燥氢气的质量是多少? 此干燥氢气在 100°C 和 $0.13 \times 10^5 \text{Pa}$ 下的体积为多少?

解: (1) 已知: $T=273+15=288\text{K}$, $p=1.05 \times 10^5\text{Pa}$,

21世纪高等院校教材

$V=0.300\text{L}$, $p_{\text{水}}=1.68 \times 10^3\text{Pa}$.

$$\therefore p_{\text{H}_2}=p-p_{\text{水}}=1.05 \times 10^5-1.68 \times 10^3=1.033 \times 10^5 (\text{Pa})$$

由 $p_{\text{B}}V=pV_{\text{B}}$ 得:

主 编 章伟光

副主编 申俊英 万霞 李志强 钟声亮 吴云影

$$V_{\text{H}_2}=p_{\text{H}_2}V/p=1.033 \times 10^5 \times 0.300/1.05 \times 10^5=0.295 (\text{L})$$

(2) 由 $p_{\text{B}}V=n_{\text{B}}RT$ 得:

$$n=p_{\text{B}}V/RT=1.033 \times 10^5 \times 0.300/8314 \times 288=0.0129 (\text{mol})$$

氢气的质量为 $0.0129 \times 2=0.0258 (\text{g})$

$$V=nRT/p_{\text{B}}=0.0129 \times 8314 \times (273+100)/0.13 \times 10^5=3.08 (\text{L})$$

例题

21世纪高等院校教材

无机化学

主 编 章伟光

副 主 编 李志强 钟声亮 吴云影

1.6: 以下哪些关系式是正确的?说明理由.

(1) $pV_B = n_B RT$;

(2) $p_B V = n_B RT$;

(3) $p_B V_B = n_B RT$;

(4) $p_B V_B = n RT$;

(5) $pV = nRT$;

(6) $p_B V_B = p_{\text{前}} V_{\text{前}}$

(混合前后n保持不变)

练习题

21世纪高等院校教材

1.7: 现有 10.0 m^3 热空气和乙醇混合气体, 它们处于 $100 \text{ }^\circ\text{C}$, 101.3 kPa , 乙醇分压为 29.3 kPa 。当它们通过水冷却夹套装置后, 冷却气体处于 20°C , 101.3 kPa , 乙醇分压为 6.66 kPa 。问:

- (1) 冷却后混合气体体积是多少?
- (2) 冷却过程中有多少摩尔乙醇凝聚为液体?

解：(1) 设冷却前为状态 1，冷却后为状态 2，因冷却前后空气质量不变。则

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2} \\ &= \frac{(101.3 - 29.3) \times 10 \times 293}{373 \times (101.3 - 6.66)} = 5.98 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

(2) 冷却前乙醇含量

$$n_1 = \frac{p_1 \cdot V}{RT_1} = \frac{29.3 \times 10 \times 10^3}{8.314 \times 373} = 94.5(\text{mol})$$

冷却后乙醇含量

$$n_2 = \frac{p_2 \cdot V}{RT_2} = \frac{6.66 \times 5.98 \times 10^3}{8.314 \times 293} = 16.4(\text{mol})$$

乙醇凝聚量

$$n = 94.5 - 16.4 = 78.1(\text{mol})$$

1.8: 将图中所有隔板全都打开并混合均匀, 在恒温下计算混合气体的总压力和各组
分气体的分体积。

