

普 通 化 学

(函授辅导材料)

郭李有 郭建国 编

太原机械学院安全工程系

一九八九年五月

"普通化学"函授指导书

"普通化学"教材选用的是浙江大学普通化学教研组编的。辅导材料是为了帮助函授学生在学习"普通化学"教材中,便于理解,掌握教材中的主要内容而编写的。编写时参考了浙江大学编写的普通化学自学指导书、中国铁道出版的普通化学辅导、普通化学和无机化学问答、东北工学院出版的普通化学学习辅导等参考书。在编写时将每章分成四部分。第一部分为基本要求,对该章内容应掌握的程度提出了具体要求。第二部分为内容提要,对要求掌握的内容进行了概括扼要地叙述。第三部分是例题,通过解题对一些难点及较复杂问题进一步加深理解。第四部分为练习题及习题。前三章的练习题较多并给出了答案,这是为了给以后各章打下一个良好基础而安排的。限于篇幅,第四章到第九章练习题少,也未给答案,但只要仔细阅读教科书就可找到答案。

学生在自学时先看本书每章的基本要求,然后按章节顺序阅读教材。对照本辅导材料的内容提要部分进行仔细阅读,再阅读难点及例题部分,加深对问题的理解。在此基础上,尽量多做一些思考题。最后通过做练习题及习题,提高分析问题、解决问题的能力。

关于各章学时数大致分配如下:

各章内容	学时数	自学进度(天)
绪言	0.5	
第一章物质的聚集状态与溶液	6	4
第二章化学反应速度与		7.5
第三章电解质溶液		5
第四章氧化还原与电化学	10	6.5

第五章原子结构与周期系	8	5
第六章化学键与晶体结构	8	5
第七章单质与无机化合物	10	6.5
第八章络合物	6	4
第九章有机化合物	10	6.5

第一章 物质的聚集状态与溶液

I 基本要求

本章学习的具体要求是:

- 一、了解物质的几种主要的聚集状态与物理性质的关系。
- 二、掌握气体状态方程式和分压定律的应用和计算。
- 三、联系相平衡的观点了解浓度与稀溶液蒸气压下降, 沸点上升, 凝固点下降和渗透压的关系; 并通过计算加深对稀溶液定律的理解。

II 内容提要

§ 1-1 物质的聚集状态

物质都是由微观粒子构成的。物质的微粒聚集时所呈现的存在形态叫做物质的聚集状态。如果微粒间的作用力不同, 则物质的聚集状态也不同。一般地说, 物质在自然界的存在都呈固、液、气三种状态。各种状态都有其特性, 见表 1-1。

表 1-1 物质的聚集状态与物理特性

聚集状态	气 态	液 态	固 态
粒子间距	大 $\longrightarrow$ 小		
粒子的空间排列	紊乱无规则	较无规则	有规则(晶体)
物理特性	无一定形状和体积, 具有压缩性和扩散性	无一定形状, 有一定体积, 具有扩散性	有一定的形状和体积, 无压缩性和扩散性

对于物质微粒的聚集情况，还可以从物质微粒的分布情况来考察。在一个体系中，把具有相同的物理性质和化学性质的部分叫做一个相。显然，同一种相中物质的微粒分布是均匀的；两相之间应有明显的分界面，简称界面。

需要指出，聚集状态相同的物质，相不一定相同；聚集状态不同的物质，相肯定不同。

§ 1-2 气体定律

一、气体状态方程式

研究气体通常要涉及到气体的温度（ T ）、压力（ P ）、体积（ V ）和物质的量（ n ），这些量的关系有两种形式：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \text{恒量} \dots\dots (1)$$

和 $PV = nRT$ 或 $PV = \frac{W}{M_G} RT \dots\dots (2)$

可根据具体情况来选用。一般在气体发生状态变化时用（1）式。而在没有状态变化或气体的数量发生变化（如发生化学反应）时用（2）式。

应用（2）式应注意， R 的数值要与压力和体积的单位相对应

PV 的 单位	atm. l	atm. cm ³	mmHg. l	Pa. m ³ (或 J)	Pa. dm ³	Cal
R 数值	0.08206	82.06	62.363	8.3143	8314.3	1.987
R 的 单位	atm. l / mol. K	atm. cm ³ / mol. K	mmHg. dm ³ / mol. K	Pa. m ³ / mol . K (或 J / mol. K)	Pa. dm ³ / mol. K	Cal / mol. K
常应 用于	理想气体定律和平衡常数变换等方面的 计算			热力学、电化学等方面计算		

对于R数值不要死记硬背，应会根据 $R = \frac{PV}{nT}$ 和 P、V 一些单位变

换关系来进行推算，应记住这些单位的换算： $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$ ， $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$ ， $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l} (\text{dm}^3) = 10^6 \text{ ml} (\text{cm}^3)$

严格说来，气体状态方程式仅适用于理想气体（假设分子本身无体积，而分子间又无作用力的气体），但用于温度偏高而压力偏低的实际气体误差也不大。

二、分压定律

混合气体的总压力等于组份气体压力分压之和；某组分气体分压的大小和它在气体混合物中的体积分数（或摩尔分数）成正比。

$$P_{\text{总}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i$$

$$P_i = P_{\text{总}} \frac{V_i}{V_{\text{总}}} = P_{\text{总}} \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$$

分压问题是经常碰到的实际问题。如，用排水集气法收集气体；对一个涉及气体的化学反应等，往往要考虑到混合气体及组份气体的分压。

几点说明：

（1）分压定律的适用范围与理想气体状态方程式是一致的。

（2）使用 $P_i = P_{\text{总}} \frac{V_i}{V}$ 要注意适用等温等容条件，使用

$P_i = P_{\text{总}} \frac{n_i}{n}$ 适用等温等压条件。

（3）“压力”这一名词，严格地讲应为物理学中的“压强”，但在化学教科书中习惯使用压力这一名词。

(4) 分压定律和气体状态方程中涉及到的温度一律使用热力学温度(K)。

§ 1—3 稀溶液的通性

一、溶液浓度及其相互换算

溶液，泛指均匀的气态混合物，液态溶液和固态溶液。但经常涉及的溶液是指液态溶液，特别是水溶液。

根据表示溶质、溶剂和溶液量的单位不同，溶液的浓度有多种表示方法。但归纳起来可分为两大类，

(1) 体积浓度

$$\text{溶质 B 的物质的量浓度 } (C_B) = \frac{\text{溶质 B 的物质的量 (mol)}}{\text{溶液的体积 (L)}}$$

(2) 质量浓度

$$\text{溶质 B 的质量百分比浓度 (\%)} = \frac{\text{溶质 B 的质量 (g)}}{\text{溶剂的质量 (g)}} \times 100\%$$

$$\text{溶质 B 的质量摩尔浓度 } (m_B) = \frac{\text{溶质 B 的物质的量 (mol)}}{\text{溶剂的质量 (kg)}}$$

$$\text{物质 B 的摩尔分数浓度 } (X_B) = \frac{\text{溶质的摩尔数}}{(\text{溶质} + \text{溶剂}) \text{ 的摩尔数}}$$

在使用各种浓度时，要特别注意公式中分子所指溶质是物质的量(mol)还是质量(g)；分母所指是溶液还是溶剂；是体积(L)。

质量 (g 还是 kg) 还是物质的量 (mol)。

上述两大类浓度之间可以借助溶液的密度进行换算。

$$\text{溶液的密度} (\rho) = \frac{\text{溶液的质量 (kg)}}{\text{溶液的体积 (L)}}$$

同时应注意溶液包括溶质 + 溶剂。

二、稀溶液的依数性

溶液的蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降、渗透压。这些性质是由于溶剂分子浓度 (由于溶质的加入) 减小所造成的。不同的溶质质点, 在引发这四项性质方面发挥着相同的效能, 因此这四项性质仅决定于一定量溶剂 (或溶液) 中溶质的质点数, 而与溶质质点的本性无关。所以这四项性质称为依数性或叫做通性。

四项性质与溶液浓度的关系式很重要, 是利用稀溶液通性测定物质分子量的基础。

依数性	含 义	公 式	适用范围
蒸气压 下降	溶液的蒸气压低于纯溶剂同温度时的蒸气压	$\Delta P = \frac{n_1}{n_1 + n_2} P$ $= K \cdot m$	适用于难挥发 非电解质的稀 溶液
沸 点 上 升	溶液的沸点高于纯溶剂的沸点	$\Delta T_b = K_b \cdot m$	
凝固 点下降	溶液的凝固点低于纯溶剂的凝固点	$\Delta T_f = K_f \cdot m$	适用于非电 解质的稀溶 液。
渗透压	溶液从半透明膜另一侧的液相中抽取溶剂的能力	$\pi = m \cdot R T$	

II 例题

例1 在体积为 127 mL 的烧瓶中收集 0.4950 g 的氯仿 (CHCl_3) 蒸气。在 98°C 时测得瓶内蒸气压为 $1.005 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。计算氯仿的分子量。

解：已知 $T = 273.15 + 98 = 371.15 \text{ K}$ $P = 1.005 \times 10^5 \text{ Pa} = 100.5 \text{ kPa}$ ， $V = 127 \text{ mL} = 0.127 \text{ dm}^3$ ， $W = 0.4950 \text{ g}$
 设氯仿分子量为 M ，则其摩尔质量为 $M_{\text{G}} (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$ 。

$$\text{由 } PV = \frac{W}{M_{\text{G}}} RT$$

$$M_{\text{G}} = \frac{W}{PV} RT = \frac{0.4950}{100.5 \times 0.127} \times 8.3145 \times 371.15 \\ = 119.7 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

答：氯仿的分子量为 119.7

注意：本题 p 取 kPa ， V 取 dm^3 ，则 R 值取 $8.3145 \text{ kPa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

例2 某容器体积为 30.0 L，已知在 0°C 时装有： $n_{\text{N}_2} = 3.0 \text{ mol}$ ；
 $n_{\text{O}_2} = 2.0 \text{ mol}$ ； $n_{\text{CO}_2} = 1.0 \text{ mol}$ 。试回答下列问题：

容器内各组分气体的体积相等吗？各组分气体的分压为多少？混合气体的总压为多少？如果想办法除去 CO_2 和 O_2 ，让 N_2 单独占有混合气体的原体积，此时 N_2 的压力与上述所求得的氮气分压相等吗？

解：容器内三种组分气体虽然各物质的量不等，但气体具有充满整个容器的特性，所以三种气体所占的体积相同，均等于原混合气体

占有的体积(30.0ℓ)。

根据气体状态方程式可求出各组分气体的分压。由题意知三种组分气体的温度和体积均相等： $T = 273.15\text{K}$ ， $V = 30.0\ell$

$$\text{所以 } P_{N_2} = \frac{n_{N_2} RT}{V} = \frac{3.0 \times 8.315 \times 273.15}{30.0} \\ = 277.11(\text{KPa})$$

$$P_{O_2} = \frac{n_{O_2} RT}{V} = \frac{2.0 \times 8.315 \times 273.15}{30.0} \\ = 151.41(\text{KPa})$$

$$P_{CO_2} = \frac{n_{CO_2} RT}{V} = \frac{1.0 \times 8.315 \times 273.15}{30.0} \\ = 75.70(\text{KPa})$$

根据混合气体总压等于各组分气体分压之和，则

$$P_{\text{总}} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} = 277.11 + 151.41 + 75.70 \\ = 454.21(\text{KPa})$$

$$\text{或 } P_{\text{总}} = \frac{n_{\text{总}} RT}{V} = \frac{(n_{N_2} + n_{O_2} + n_{CO_2}) RT}{V} \\ = \frac{(3.0 + 2.0 + 1.0) \times 8.315 \times 273.15}{30.0} \\ = 454.21(\text{KPa})$$

如果想办法除去 CO_2 和 O_2 ，此时容器的体积(即 N_2 占有的体

积)不变, 氮气物质的量和温度也不变, 因此氮气的压力就不变, 与原混合气体中氮气的分压相等。这就是分压的定义。所谓“分压”, 是相对混合气体的总压而言, 如果容器中只有一种气体也就不存在分压这个概念了。

例3. 用排水集气法在实验室收集了245ml O_2 , 已知温度为25°C, 大气压力为101.06KPa, 收集气体时瓶内外水面相平, 试求: (1) 瓶内 O_2 分压, (2) 瓶内氧气和水蒸气的比 (n_{O_2}/n_{H_2O}); (3) 101.325KPa, 0°C时干燥 O_2 的体积。

解: 用排水集气法收集到的气体是 O_2 和 $H_2O(g)$ 的混合气体。25°C的 P_{H_2O} 从教材表1-1查得(取24°C和26°C蒸气压的平均值) $P_{H_2O} = 3.167\text{KPa}$

(1) $P_{\text{总}} = P_{O_2} + P_{H_2O(g)}$ 得

$$P_{O_2} = P_{\text{总}} - P_{H_2O(g)} = 101.06 - 3.167 = 97.89(\text{KPa})$$

(2) 由 $PV = nRT$

$$\text{所以 } n_{O_2} = \frac{P_{O_2} V}{RT} = \frac{97.89 \times 245 \times 10^{-3}}{8.3145 \times 298.15} = 9.67 \times 10^{-3}(\text{mol})$$

$$\text{同理 } n_{H_2O} = \frac{P_{H_2O} V}{RT} = \frac{3.167 \times 245 \times 10^{-3}}{8.3145 \times 298.15} = 3.13 \times 10^{-4}(\text{mol})$$

$$\frac{n_{O_2}}{n_{H_2O}} = \frac{9.67 \times 10^{-3}}{3.13 \times 10^{-4}} \approx 30.9$$

另解：由 $P_{O_2} V = n_{O_2} RT$ 和 $P_{H_2O} V = n_{H_2O} RT$

由题意和体系处于等温等容条件下，所以两式相除得

$$\frac{n_{O_2}}{n_{H_2O}} = \frac{P_{O_2}}{P_{H_2O}} = \frac{97.89}{3.167} \approx 30.9$$

(3) 在(2)中求出： $n_{O_2} = 0.00967 \text{ mol}$

又因 101.325 kPa ， 0°C 时任何气体摩尔体积均为 22.4 L 。

mol L^{-1} ，则

$$V_{O_2} = 22.4 \times 0.00967 = 0.217 (\text{L}) = 217 (\text{mL})$$

另解：根据 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{常数}$ (令原瓶为1，干燥后为2)，

$$\begin{aligned} \text{则 } V_2 &= \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1} = \frac{97.89 \times 245 \times 10^{-3} \times 273.15}{101.325 \times 298.15} \\ &\approx 0.217 (\text{L}) = 217 (\text{mL}) \end{aligned}$$

答：(1) 瓶内 O_2 分压为 97.89 kPa

(2) n_{O_2}/n_{H_2O} 约为 30.9

(3) 在 101.325 kPa 和 0°C 时干燥 O_2 的体积为 217 mL 。

注意：在水面上收集气体，一定要考虑水的蒸气压。

例4，含有 HCl 37.0% (重量)，密度为 $1.19 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的溶液，计算该浓盐酸的(1)体积摩尔浓度；(2)重量摩尔浓度；

(3) 当量浓度; (4) HCl 和 O_2 的摩尔分数。

解: 1 升浓盐酸重 = $1.19 \times 1000 = 1.19 \times 10^3$ 克

1 升浓盐酸中所含 HCl 重量为

$$0.370 \times 1.19 \times 10^3 = 440 (g)$$

HCl 的摩尔质量 $M_G = 36.5 g \cdot mol^{-1}$

(1) 盐酸的体积摩尔浓度

$$\frac{440}{36.5} = 12.1 (mol \cdot l^{-1})$$

(2) 盐酸的质量摩尔浓度

因为 100g 37% 的盐酸中含 37g HCl 和 63g H_2O , 所以

$$\frac{37}{36.5} \times \frac{1000}{63} = 16.1 (mol \cdot kg^{-1})$$

(3) 1 摩尔 HCl 等于 1 克当量 HCl, 所以浓盐酸的当量浓度为 12.1(N)

(4) 63.0 克 H_2O 的摩尔数为

$$\frac{63.0}{18.0} = 3.50 (mol)$$

$$37.0 \text{ 克 HCl 的摩尔数为 } \frac{37.0}{36.5} = 1.01 (mol)$$

$$\text{浓盐酸中 HCl 的摩尔分数为 } \frac{1.01}{1.01 + 3.50} = 0.22$$

H₂O的摩尔分数为 $1 - 0.22 = 0.78$

答：该盐酸物质的摩尔浓度为 $12.1 \text{ mol} \cdot \ell^{-1}$ ；质量摩尔浓度为

$12.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；HCl和H₂O的摩尔分数分别为0.22和0.78

注意：此题是有关浓度间相互换算的典型例题。要注意容量的作用

及其单位： $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 或 $\text{kg} \cdot \ell^{-1}$ ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

例5. 某固体试样1.10g溶于20.0g苯中，测得此溶液的凝固点为4.38℃。已知苯的凝固点为5.50℃， $K_{\text{凝}}$ 为5.10。计算试样的分子量。

解：根据 $\Delta t_{\text{凝}} = K_{\text{凝}} \cdot m$

$$\text{则 } m = \frac{\Delta t_{\text{凝}}}{K_{\text{凝}}} = \frac{5.50 - 4.38}{5.10} = 0.220$$

20.0克苯中含试样1.10克，则1000克苯中含试样为

$$1.10 \times \frac{1000}{20.0} = 55.0 \text{ (克)}$$

所以试样的摩尔质量 M_G

$$M_G = \frac{55.0}{0.220} = 250 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

答：试样的分子量为250

例6. 试求出5%葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)溶液的凝固点下降值和沸点升高值，并和1.7%的NaCl溶液的凝固点下降和沸点升高作比较

解：已知葡萄糖质量百分比浓度为5%，即100g溶液中含有

5.00g 溶质, 95.0g 溶剂; 且 $M_{C_6H_{12}O_6} = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

所以
$$m = \frac{5.00}{180} \times \frac{1000}{95.0} = 0.2924$$

故 $\Delta t_{\text{凝}} = K_{\text{凝}} \cdot m = 1.86 \times 0.2924 = 0.54^\circ\text{C}$

$\Delta t_{\text{沸}} = K_{\text{沸}} \cdot m = 0.51 \times 0.2924 = 0.15^\circ\text{C}$

同理, 1.7% NaCl 溶液的质量摩尔浓度为

$$m = \frac{1.70}{58.5} \times \frac{1000}{100 - 1.70} = 0.2950 \approx 0.3$$

NaCl 是强电解质, 在水溶液中假设全部电离, 则每摩尔 NaCl 产生 2 mol 微粒(离子), 即 $0.3 \times 2 = 0.6 \text{ mol}$ 微粒 1.000 克

H_2O 因此其凝固点下降值 $\Delta t_{\text{凝}}$ 和沸点升高值 $\Delta t_{\text{沸}}$ 约为上述葡萄糖溶液的 2 倍。

注意: 电解质一般不遵守拉乌尔定律, 其电离度也不为 100% 有效浓度(活度)总是小于理论浓度, 所以不能做准确的计算, 只能做粗略地比较。

IV 练习题及习题

一. 练习题

1. 填空(填入 ">", "=", 或 "<"):

①在 101.325 KPa 和 25°C 条件下, 用排水集气法收集到

1 mol H_2 , 其体积 _____ $22.4 \times \frac{298.15}{273.15}$ 升。

②比较下列溶液的凝固点:

$0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 糖水溶液 _____ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 甲醇水溶液 _____ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 甲醇苯溶液。

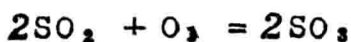
③比较下列气体在 21°C 、 101.325 KPa 时的混合气体中的分压: 1 g H_2 _____ 1 g He _____ 1 g N_2 _____ 1 g CO_2

④比较下列水溶液的渗透压:

$0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (蔗糖) _____ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CH}_3\text{COOH}$ (醋酸) _____ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KCl}$ _____ $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{SO}_4$ 。

2. 计算在 25°C 、 100.658 KPa 下排水收集的 750 mL 潮湿氢气中纯氢气的质量 ($P_{\text{H}_2\text{O}, 298} = 3.167 \text{ KPa}$)

3. 8 mol SO_2 和 6 mol O_2 进行下述反应



设反应后剩余 SO_2 的量为加入量的 20% 。求:

①反应后体系内 SO_2 、 O_2 和 SO_3 物质的量;

②反应后混合气体的总压力与各组分气体的分压 (设反应前后的体积不变, 温度不变, 反应前混合气体的压力为 101.325 KPa)

4. 一容器内装有 O_2 100 g , 压力为 101.325 KPa , 温度为 47°C 。因容器漏气经若干小时后, 压力降到原来的 $\frac{5}{8}$, 温度降到 27°C 。问: ①该容器容积是多大? ②漏掉了多少 O_2 ?