



高等学校理工类课程学习辅导丛书

无机化学 例题与习题

(第 3 版 , 修订版)

吉林大学

徐家宁 宋晓伟 张丽荣 宋天佑 编



高等教育出版社



高等学校理工类课程学习辅导丛书

无机化学 例题与习题

(第 3 版 , 修订版)

吉林大学

徐家宁 宋晓伟 张丽荣 宋天佑 编

内容提要

本书为吉林大学宋天佑等编写的“十二五”普通高等教育国家级规划教材《无机化学》(第3版)的配套学习辅导书,共22章,1~11章为基础理论部分,12~22章为元素化学部分。各章包括三部分内容:第一部分为典型的例题;第二部分为习题,题型有选择题、填空题、简答题和计算题,元素化学部分各章增加了“完成并配平反应方程式”和“分离、鉴别与制备”等题型;第三部分为习题参考答案,放在本书最后,对简答题和计算题都给出了较详尽的解答。本书内容丰富,涉及知识面广,难度较大的题占有一定比例。

本书可作为综合性大学、师范院校及其他理工类院校学生学习无机化学和普通化学的配套学习辅导书,也可作为报考研究生的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学例题与习题 / 徐家宁等编. -- 3版(修订本). -- 北京:高等教育出版社,2016.11
(高等学校理工类课程学习辅导丛书)
ISBN 978-7-04-046536-5

I. ①无… II. ①徐… III. ①无机化学-高等学校-习题集 IV. ①O61-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第238043号

Wuji Huaxue Liti yu Xiti

策划编辑 鲍浩波 责任编辑 鲍浩波 封面设计 于文燕 版式设计 王艳红
插图绘制 尹文军 责任校对 胡美萍 责任印制 尤 静

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京天时彩色印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	22.5	版 次	2000年7月第1版
字 数	560千字		2016年11月第3版
购书热线	010-58581118	印 次	2016年11月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	33.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 46536-00

—— 第三版修订版前言

《无机化学例题与习题》作为吉林大学、武汉大学、南开大学三校合编,宋天佑等编写的国家级规划教材《无机化学》的配套学习辅导书,自出版以来受到广大读者的欢迎。2015年,主教材《无机化学》(第3版)出版,书中的部分章节和习题相比上一版做了较大调整。为了适应主教材的变化和教学内容改革的需要,满足广大读者学习无机化学的需求,我们决定对本书进行修订。

本次修订的原则,一是保持本书的一贯特色,题型全,解答详细;二是与主教材的内容相呼应,书中所选例题以主教材各章的习题为主要素材;三是将主教材元素部分各章习题重新进行分类,分为选择、填空、完成并配平反应方程式、分离、鉴别与制备、简答和计算等题型;四是增加了部分习题,将主教材新增加的习题大部分纳入本书。

参加本次修订工作的有张丽荣、宋天佑(各章的例题)和宋晓伟、徐家宁(各章的习题和参考答案),最后由徐家宁统一修改、补充、定稿。在本书编写过程中得到了吉林大学无机化学教学组王莉、井淑波、于杰辉、范勇、张萍等教师的大力支持,在此表示感谢。

由于编著水平所限,错误之处在所难免,诚请广大读者批评指正,使本书在下次修订时进一步完善。

徐家宁

2016年6月于吉林大学化学学院

目 录

第 1 章	化学基础知识	1
第 2 章	化学热力学基础	10
第 3 章	化学反应速率	21
第 4 章	化学平衡	33
第 5 章	原子结构与元素周期律	45
第 6 章	分子结构和共价键理论	53
第 7 章	晶体结构	62
第 8 章	酸碱解离平衡	69
第 9 章	沉淀溶解平衡	80
第 10 章	氧化还原反应	90
第 11 章	配位化学基础	106
第 12 章	碱金属和碱土金属	118
第 13 章	硼族元素	124
第 14 章	碳族元素	130
第 15 章	氮族元素	139
第 16 章	氧族元素	149
第 17 章	卤素	158
第 18 章	氢和稀有气体	166
第 19 章	铜副族元素和锌副族元素	171
第 20 章	钛副族元素和钒副族元素	181
第 21 章	铬副族元素和锰副族元素	187
第 22 章	铁系元素和铂系元素	196
习题参考答案	205
主要参考书目	354

第 1 章

化学基础知识

第一部分 例题

例 1.1 一定体积的氢气和氦气的混合气体,在 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时压强为 202 kPa ,现使该气体的体积膨胀至原体积的 4 倍,压强变为 101 kPa 。试求膨胀后混合气体的温度。

解: 根据题设可知 $T_1 = (27 + 273)\text{ K} = 300\text{ K}$, $p_1 = 202\text{ kPa}$, $p_2 = 101\text{ kPa}$ 且 $V_2 = 4V_1$, $n_2 = n_1$ 。

由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 得 $n = \frac{pV}{RT}$,

由 $n_2 = n_1$ 可知

$$\begin{aligned} \frac{p_2 V_2}{RT_2} &= \frac{p_1 V_1}{RT_1} \\ \text{所以 } T_2 &= \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1} \\ &= \frac{p_2 \times 4V_1 T_1}{p_1 V_1} \\ &= \frac{4p_2 T_1}{p_1} \\ &= \frac{4 \times 101\text{ kPa} \times 300\text{ K}}{202\text{ kPa}} \\ &= 600\text{ K} \end{aligned}$$

例 1.2 在 300 K , $3.00 \times 10^6\text{ Pa}$ 时,某气筒内封有 10 mol 氧气,试求该气筒的容积。将此气筒加热到 373 K ,然后开启阀门放出氧气,在保持温度不变的情况下压强降低到 $1.00 \times 10^5\text{ Pa}$,试求放出氧气的质量。

解: 理想气体状态方程为

$$pV = nRT$$

将题设的 $T_1 = 300\text{ K}$, $p_1 = 3.00 \times 10^6\text{ Pa}$, $n_1 = 10\text{ mol}$ 及 R 值代入其中,即可求出气筒的容积 V :

$$V = \frac{n_1 RT_1}{p_1}$$

$$= \frac{10 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{3.00 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$= 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

将题设的 $T_2 = 373 \text{ K}$, $p_2 = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$, 求得的 $V = 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 及 R 值代入理想气体状态方程, 即可求得气筒中剩余的氧气的物质的量 n_2 :

$$n_2 = \frac{p_2 V}{RT_2}$$

$$= \frac{1.00 \times 10^5 \text{ Pa} \times 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 373 \text{ K}}$$

$$= 0.268 \text{ mol}$$

放出的氧气的物质的量为

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

$$= 10 \text{ mol} - 0.268 \text{ mol}$$

$$= 9.732 \text{ mol}$$

放出的氧气的质量为

$$m = \Delta n M$$

$$= 9.732 \text{ mol} \times 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$= 311 \text{ g}$$

例 1.3 某 CH_4 储气柜, 容积为 $1\,000 \text{ m}^3$, 耐压 103 kPa 。若夏季最高温度为 $41 \text{ }^\circ\text{C}$, 冬季最低温度为 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$, 问冬季比夏季能多储存多少千克 CH_4 ?

解: 先求出夏季最高温度 $T = (41 + 273) \text{ K}$ 即 314 K 时, 气柜可储存的 CH_4 的物质的量 n_1 。由理想气体状态方程 $pV = nRT$, 得

$$n_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{103 \times 10^3 \text{ Pa} \times 1\,000 \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 314 \text{ K}}$$

$$= 3.945 \times 10^4 \text{ mol}$$

同理, 冬季最低温度 $T = (-25 + 273) \text{ K}$ 即 248 K 时储存的 CH_4 的物质的量为

$$n_2 = \frac{p_1 V_1}{RT_2}$$

$$= \frac{103 \times 10^3 \text{ Pa} \times 1\,000 \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 248 \text{ K}}$$

$$= 4.995 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$\Delta n = n_2 - n_1 = 4.995 \times 10^4 \text{ mol} - 3.945 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$= 1.050 \times 10^4 \text{ mol}$$

故冬季比夏季最多可多储存的 CH_4 的质量为

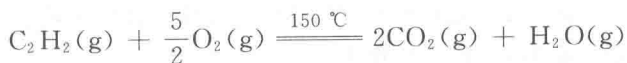
$$m = M(\text{CH}_4) \Delta n = 16 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.050 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$= 168.0 \text{ kg}$$

例 1.4 将 $0.10 \text{ mol C}_2\text{H}_2$ 气体放在充有 1.00 mol O_2 的 10.0 dm^3 密闭容器中, 令其完全

燃烧生成 CO_2 和 H_2O , 反应完毕时的温度是 $150\text{ }^\circ\text{C}$, 计算此时容器内的压强。

解: 反应方程式为



$0.10\text{ mol C}_2\text{H}_2$ 完全反应掉, 消耗 O_2 0.25 mol , 故反应后剩余 O_2 为 $(1.00 - 0.25)\text{ mol} = 0.75\text{ mol}$, 生成 0.20 mol CO_2 和 $0.10\text{ mol H}_2\text{O}$, 所以反应后物质的量为 $n = (0.75 + 0.20 + 0.10)\text{ mol} = 1.05\text{ mol}$ 。

依题意

$$V = 10.0\text{ dm}^3 = 10.0 \times 10^{-3}\text{ m}^3$$

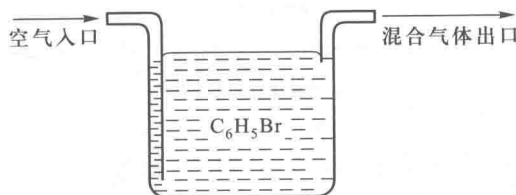
$$T = 150\text{ }^\circ\text{C} = (150 + 273)\text{ K} = 423\text{ K}$$

由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 得

$$\begin{aligned} p &= \frac{nRT}{V} \\ &= \frac{1.05\text{ mol} \times 8.314\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 423\text{ K}}{10.0 \times 10^{-3}\text{ m}^3} \\ &= 3.69 \times 10^2\text{ kPa} \end{aligned}$$

例 1.5 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 和 101 kPa 时 10 dm^3 干燥空气缓慢地通过如图所示的溴苯 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$) 计泡器, 溴苯质量减少 0.475 g 。试求:

- (1) 通过计泡器后被溴苯饱和的的空气的体积;
- (2) $20\text{ }^\circ\text{C}$ 溴苯的饱和蒸气压。



解: (1) 由题意可知, 当干燥的空气通过溴苯并被饱和后, 混合气体的总压不变, 仍为起始压强 $p_{\text{总}} = 101\text{ kPa}$ 。由于溴苯的加入, 混合气体的体积 $V_{\text{总}}$ 将增大; 混合气体总的物质的量 $n_{\text{总}}$ 增大。

设 $n(\text{溴苯})$ 为蒸发的溴苯的物质的量, $n(\text{空气})$ 为空气的物质的量, 则

$$n(\text{溴苯}) = \frac{m}{M(\text{溴苯})} = \frac{0.475\text{ g}}{157\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 3.025 \times 10^{-3}\text{ mol}$$

$$n(\text{空气}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101 \times 10^3\text{ Pa} \times 10 \times 10^{-3}\text{ m}^3}{8.314\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293\text{ K}} = 0.4146\text{ mol}$$

$$n_{\text{总}} = n(\text{溴苯}) + n(\text{空气}) = 0.4176\text{ mol}$$

故
$$V_{\text{总}} = \frac{n_{\text{总}}RT}{p_{\text{总}}} = \frac{0.4176\text{ mol} \times 8.314\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293\text{ K}}{101 \times 10^3\text{ Pa}} = 10.072 \times 10^{-3}\text{ m}^3$$

(2) 设 $p(\text{溴苯})$ 为混合气体中溴苯的分压, 依题意 $T = (20 + 273)\text{ K}$ 即 293 K , 根据分压定律有:

$$p(\text{溴苯}) = \frac{n(\text{溴苯})RT}{V_{\text{总}}} = \frac{3.025 \times 10^{-3}\text{ mol} \times 8.314\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293\text{ K}}{10.072 \times 10^{-3}\text{ m}^3} = 731.62\text{ Pa}$$

即 20 °C 时溴苯的饱和蒸气压为 731.62 Pa。

例 1.6 10.00 cm³ NaCl 饱和溶液质量为 12.003 g, 将其蒸干, 得 NaCl 3.173 g。已知 NaCl 的摩尔质量为 58.44 g·mol⁻¹, 试计算该饱和溶液的质量摩尔浓度和 NaCl 的摩尔分数。

解: 设溶剂 H₂O 的质量为 $m(\text{H}_2\text{O})$, 则有

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= 12.003 \text{ g} - 3.173 \text{ g} \\ &= 8.830 \text{ g} \end{aligned}$$

设 1 000 g 溶剂 H₂O 中溶解有 NaCl 的质量为 $m(\text{NaCl})$, 则有

$$\begin{aligned} \frac{m(\text{NaCl})}{3.173 \text{ g}} &= \frac{1\,000 \text{ g}}{8.830 \text{ g}} \\ m(\text{NaCl}) &= \frac{3.173 \text{ g} \times 1\,000 \text{ g}}{8.830 \text{ g}} = 359.34 \text{ g} \\ n(\text{NaCl}) &= \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} \\ &= \frac{359.34 \text{ g}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 6.149 \text{ mol} \end{aligned}$$

故溶液的质量摩尔浓度为 6.149 mol·kg⁻¹。

溶剂 H₂O 的物质的量为

$$\begin{aligned} n(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{1\,000 \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 55.56 \text{ mol} \\ n_{\text{总}} &= 6.149 \text{ mol} + 55.56 \text{ mol} = 61.71 \text{ mol} \\ x(\text{NaCl}) &= \frac{n(\text{NaCl})}{n_{\text{总}}} = \frac{6.149}{61.71} = 0.0996 \end{aligned}$$

例 1.7 已知 10.0 g 葡萄糖溶于 400 g 乙醇, 乙醇沸点升高了 0.171 °C, 而某有机物 2.00 g 溶于 100 g 乙醇时, 其沸点升高了 0.149 °C。求该有机物的摩尔质量。

解: 由题设条件可先求出乙醇溶剂的沸点升高常数 k_b , 葡萄糖乙醇溶液的质量摩尔浓度为

$$\begin{aligned} b(\text{葡萄糖}) &= \frac{n(\text{葡萄糖})}{m(\text{溶剂})} = \frac{\frac{m(\text{葡萄糖})}{M(\text{葡萄糖})}}{m(\text{溶剂})} \\ &= \frac{10.0 \text{ g}}{\frac{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{400 \times 10^{-3} \text{ kg}}} = 0.139 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

由沸点升高公式可知

$$k_b = \frac{\Delta T(\text{葡萄糖})}{b(\text{葡萄糖})} = \frac{0.171 \text{ K}}{0.139 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}} = 1.23 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

同样由沸点升高公式可求出有机物乙醇溶液的质量摩尔浓度:

$$\begin{aligned} b(\text{有机物}) &= \frac{\Delta T(\text{有机物})}{k_b} = \frac{0.149 \text{ K}}{1.23 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.121 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \\ M &= \frac{m(\text{有机物})}{b(\text{有机物}) \cdot m(\text{溶剂})} = \frac{2.00 \text{ g}}{0.121 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \times 100 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 165 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

例 1.8 0.542 g HgCl_2 溶于 50 g 水中,溶液的凝固点为 $-0.0744\text{ }^\circ\text{C}$ 。已知水的 $k_f = 1.86\text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$,通过计算说明 HgCl_2 在水中的存在形式。

解: 根据凝固点降低公式,先求出该溶液中粒子的质量摩尔浓度 b_1 :

$$b_1 = \frac{\Delta T_f}{k_f} = \frac{0.0744\text{ K}}{1.86\text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}} = 4.00 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

HgCl_2 的摩尔质量 M 为 $271\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$,根据题设条件可求出 HgCl_2 溶液的质量摩尔浓度 b_2 :

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{n}{m(\text{溶剂})} = \frac{\frac{m}{M}}{m(\text{溶剂})} \\ &= \frac{0.542\text{ g}}{271\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} \cdot \frac{1}{50 \times 10^{-3}\text{ kg}} = 4.00 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

由 $b_1 = b_2$,可知 HgCl_2 在水溶液中以分子的形式存在,不发生解离。

例 1.9 300 K 时, $4.0\text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ 的聚氯乙烯溶液,其渗透压为 65 Pa。计算聚氯乙烯的平均相对分子质量。

解: 由渗透压公式 $\Pi = cRT$ 得

$$c = \frac{\Pi}{RT}$$

将题设条件 $\Pi = 65\text{ Pa}$ 和 $T = 300\text{ K}$ 代入,得

$$\begin{aligned} c &= \frac{65\text{ Pa}}{8.314\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 300\text{ K}} \\ &= 2.61 \times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{m}^{-3} \\ &= 2.61 \times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \end{aligned}$$

依题设每升溶液中的 $2.61 \times 10^{-5}\text{ mol}$ 聚氯乙烯的质量为 4.0 g,设聚氯乙烯的摩尔质量为 M ,则

$$\begin{aligned} M &= \frac{4.0\text{ g}}{2.61 \times 10^{-5}\text{ mol}} \\ &= 1.5 \times 10^5\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

故聚氯乙烯的平均相对分子质量为 1.5×10^5 。

例 1.10 测得人体血液的凝固点降低值为 0.56 K,求人体温度为 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 时血液的渗透压。已知 $k_f = 1.86\text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

解: 先求出血液的质量摩尔浓度 b ,由公式 $\Delta T_f = k_f b$ 得

$$b = \frac{\Delta T_f}{k_f}$$

由题设知 $\Delta T_f = 0.56\text{ K}$,又已知 $k_f = 1.86\text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$,故

$$b = \frac{0.56\text{ K}}{1.86\text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.3011\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

对于稀溶液,质量摩尔浓度 b 在数值上等于物质的量浓度 c ,故知血液的物质的量浓度 $c =$

$0.3011 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 相当于 $3.011 \times 10^2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

题设温度为 37°C , 相当于 $(273+37)\text{K}$, 即温度 $T=310 \text{ K}$ 。再由公式 $\Pi=cRT$, 求出渗透压 Π :

$$\begin{aligned}\Pi &= 3.011 \times 10^2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} \\ &= 776 \text{ kPa}\end{aligned}$$

第二部分 习题

一、选择题

- 1.1 在一次渗流实验中,一定物质的量的未知气体通过小孔渗向真空,需要的时间为 5 s;在相同条件下相同物质的量的氧气渗流需要 20 s。则未知气体的相对分子质量应是
(A) 2; (B) 4; (C) 8; (D) 16。
- 1.2 实验测得 H_2 的扩散速率是一未知气体扩散速率的 2.9 倍。则该未知气体的相对分子质量约为
(A) 51; (B) 34; (C) 17; (D) 28。
- 1.3 常压下将 1 dm^3 气体的温度从 0°C 升到 273°C , 其体积将变为
(A) 0.5 dm^3 ; (B) 1 dm^3 ; (C) 1.5 dm^3 ; (D) 2 dm^3 。
- 1.4 在 25°C , 101.3 kPa 时, 下面几种气体的混合气体中分压最大的是
(A) 0.1 g H_2 ; (B) 1.0 g He ; (C) 5.0 g N_2 ; (D) 10 g CO_2 。
- 1.5 合成氨的原料气中氢气和氮气的体积比为 3:1, 若原料气中含有其他杂质气体的体积分数为 4%, 原料气总压为 15198.75 kPa , 则氮气的分压是
(A) 3799.688 kPa ; (B) 10943.1 kPa ; (C) 3647.7 kPa ; (D) 11399.06 kPa 。
- 1.6 将一定量 KClO_3 加热后, 其质量减少 0.48 g 。生成的氧气用排水集气法收集。若温度为 21°C , 压力为 99591.8 Pa , 水的饱和蒸气压为 2479.8 Pa , 氧气的相对分子质量为 32.0, 则收集的气体体积为
(A) 188.5 cm^3 ; (B) 754 cm^3 ; (C) 565.5 cm^3 ; (D) 377.6 cm^3 。
- 1.7 由 NH_4NO_2 分解得氮气和水。在 23°C , 95549.5 Pa 条件下, 用排水取气法收集到 57.5 cm^3 氮气。已知水的饱和蒸气压为 2813.1 Pa , 则干燥后氮气的体积为
(A) 55.8 cm^3 ; (B) 27.9 cm^3 ; (C) 46.5 cm^3 ; (D) 18.6 cm^3 。
- 1.8 若溶液的浓度都为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, 则下列水溶液的沸点由高到低排列, 顺序正确的是
(A) $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{NaCl}, \text{HAc}$; (B) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, \text{NaCl}, \text{Na}_2\text{SO}_4$;
(C) $\text{NaAc}, \text{K}_2\text{CrO}_4, \text{NaCl}$; (D) $\text{NaCl}, \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{CaCl}_2$ 。
- 1.9 如果某水合盐的蒸气压低于相同温度下水的蒸气压, 则这种盐可能会发生的现象是
(A) 起泡; (B) 风化; (C) 潮解; (D) 不受大气组成影响。
- 1.10 在 100 g 水中含 4.5 g 某非电解质的溶液于 -0.465°C 时结冰, 则该非电解质的相对分子质量约为(已知水的 $K_f=1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)

- (A) 90; (B) 135; (C) 172; (D) 180。
- 1.11 在相同温度下,和1%尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 水溶液具有相同渗透压的葡萄糖 $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$ 溶液的浓度约为
(A) 2%; (B) 3%; (C) 4%; (D) 5%。
- 1.12 处于室温一密闭容器内有水及与水相平衡的水蒸气。现充入不溶于水也不与水反应的气体,则水蒸气的压力
(A) 增加; (B) 减少; (C) 不变; (D) 不能确定。
- 1.13 为防止水在仪器内结冰,可在水中加入甘油 $(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)$ 。欲使其冰点下降至 -2.0°C ,则应在100 g水中加入甘油(水的 $K_f=1.86\text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$)
(A) 9.89 g; (B) 3.30 g; (C) 1.10 g; (D) 19.78 g。
- 1.14 土壤中NaCl含量高时植物难以生存,这与下列稀溶液的性质有关的是
(A) 蒸气压下降; (B) 沸点升高; (C) 冰点下降; (D) 渗透压。

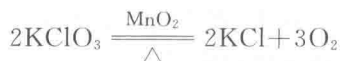
二、填空题

- 1.15 当气体为1 mol时,实际气体的状态方程式为_____。
- 1.16 一定体积的干燥气体从易挥发的三氯甲烷液体中通过后,气体体积变_____,气体分压变_____。
- 1.17 某气体在293 K和 $9.97\times 10^4\text{ Pa}$ 时占有体积 0.19 dm^3 ,质量为0.132 g,则该气体的摩尔质量约等于_____,该气体可能是_____。
- 1.18 某理想气体在273 K和101.3 kPa时的体积为 0.312 m^3 ,则在298 K和98.66 kPa时其体积为_____ m^3 。
- 1.19 将4.4 g CO_2 ,14 g N_2 和12.8 g O_2 盛于一容器中,气体总压为 $2.026\times 10^5\text{ Pa}$,则混合气体中各组分气体的分压为: CO_2 _____ Pa; N_2 _____ Pa; O_2 _____ Pa。
- 1.20 在相同的温度和压力下,两个容积相同的烧瓶中分别充满 O_3 气体和 H_2S 气体。已知 H_2S 的质量为0.34 g,则 O_3 的质量为_____ g。
- 1.21 410 K时某容器内装有0.30 mol N_2 ,0.10 mol O_2 和0.10 mol He,混合气体的总压为100 kPa时,He的分压为_____ kPa, N_2 的分体积为_____ dm^3 。
- 1.22 在300 K, $1.013\times 10^5\text{ Pa}$ 时加热一敞口细颈瓶到500 K,然后封闭细颈瓶口并冷却到原来的温度,则该瓶内的压强为_____。
- 1.23 有一容积为 30 dm^3 的高压气瓶,可以耐压 $2.5\times 10^4\text{ kPa}$,则在298 K时可装_____ kg O_2 而不致发生危险。
- 1.24 10.00 cm^3 NaCl饱和溶液的质量为12.003 g,将其蒸干后得NaCl 3.173 g,则NaCl的溶解度为_____ ;溶液的质量分数为_____ ;溶液的物质的量浓度为_____ ;溶液的质量摩尔浓度为_____ ;溶液中盐的摩尔分数和水的摩尔分数分别为_____ 和_____。
- 1.25 在26.6 g氯仿 (CHCl_3) 中溶解0.402 g萘 $(\text{C}_{10}\text{H}_8)$,其沸点比氯仿的沸点高0.455 K,则氯仿的沸点升高常数为_____。
- 1.26 常压下将2.0 g尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 溶入75 g水中,则该溶液的凝固点为_____ K(已知

水的 $K_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

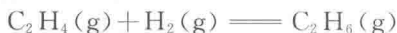
三、简答题和计算题

- 1.27 已知 1 dm^3 某气体在标准状况下质量为 2.86 g , 试计算该气体的平均相对分子质量, 并计算其在 17°C 和 207 kPa 时的密度。
- 1.28 在体积为 0.50 dm^3 的烧瓶中充满 NO 和 O_2 混合气体, 温度为 298 K , 压强为 $1.23 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。反应一段时间后, 瓶内总压变为 $8.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。求生成 NO_2 的质量。
- 1.29 将氮气和水蒸气的混合物通入盛有足量固体干燥剂的瓶中。刚通入时, 瓶中压强为 101.3 kPa 。放置数小时后, 压强降到 99.3 kPa 的恒定值。
- (1) 求原气体混合物各组分的摩尔分数;
- (2) 若温度为 293 K , 实验后干燥剂增重 $0.150 \times 10^{-3} \text{ kg}$, 求瓶的容积。假设干燥剂的体积可忽略且不吸附氮气。
- 1.30 302 K 时在 3.0 dm^3 的真空容器中装入氮气和一定量的水, 测得初压为 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。用电解法将容器中的水完全转变为氢气和氧气后, 测得最终压强为 $1.88 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求容器中水的质量。已知 302 K 时水的饱和蒸气压为 $4.04 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。
- 1.31 在 303 K , $7.97 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时由排水集气法收集到 1.50 dm^3 氧气。问有多少克氯酸钾按下式发生了分解?



已知 303 K 时水的饱和蒸气压为 $4.23 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

- 1.32 由 C_2H_4 和过量 H_2 组成的混合气体的总压为 6930 Pa 。使混合气体通过铂催化剂进行下列反应:



待完全反应后, 在相同温度和体积下, 压强降为 4530 Pa 。求原混合气体中 C_2H_4 的摩尔分数。

- 1.33 某项实验要求缓慢地加入乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 现采用将空气通过液体乙醇带入乙醇气体的方法进行。在 293 K , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, 为引入 2.3 g 乙醇, 求需空气的体积。已知 293 K 时乙醇的饱和蒸气压为 5866.2 Pa 。
- 1.34 在 273 K 和 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下, 将 1.0 dm^3 干燥的空气缓慢通过二甲醚(CH_3OCH_3) 液体。在此过程中, 液体损失 0.0335 g 。求二甲醚在 273 K 时的饱和蒸气压。
- 1.35 313 K 时将 1000 cm^3 饱和苯蒸气和空气的混合气体从压强为 $9.97 \times 10^4 \text{ Pa}$ 压缩到 $5.05 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。问在此过程中有多少克苯凝结成液体? 已知 313 K 苯的饱和蒸气压为 $2.41 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。
- 1.36 313 K 时 CHCl_3 的饱和蒸气压为 49.3 kPa , 于此温度和 98.6 kPa 的压强下, 将 4.00 dm^3 空气缓缓通过 CHCl_3 , 致使每个气泡都为 CHCl_3 饱和。求
- (1) 通过 CHCl_3 后, 空气和 CHCl_3 混合气体的体积;
- (2) 被空气带走的 CHCl_3 的质量。
- 1.37 25°C , 一个容器中充入等物质的量的 H_2 和 O_2 , 总压为 100 kPa 。混合气体点燃充分反应

后,容器中氧的分压是多少?若已知在 25 °C 时水的饱和蒸气压为 3.17 kPa,则容器中气体的总压是多少?

- 1.38 在 288 K 时,将 NH_3 通入一盛水的玻璃球内至 NH_3 不再溶解为止,已知玻璃球内饱和溶液质量为 3.018 g。再将玻璃球放在 50.0 cm^3 , $0.50 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的 H_2SO_4 溶液中,将球击破。剩余的酸需用 10.4 cm^3 , $1.0 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaOH 中和。试计算 288 K 时 NH_3 在水中的溶解度。

- 1.39 某温度下一定量的 $\text{PCl}_5(\text{g})$ 发生如下反应:



当 30% $\text{PCl}_5(\text{g})$ 解离时达到平衡,总压为 $1.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求各组分的平衡分压。

- 1.40 0.102 g 某金属与酸完全作用后,生成等物质的量的氢气。在 18 °C 和 100.0 kPa 下,用排水集气法在水面上收集到氢气 38.5 mL。若 18 °C 时水的饱和蒸气压为 2.1 kPa,试求此金属的相对原子质量。

- 1.41 将氨气和氯化氢同时从一根 120 cm 长的玻璃管的两端分别向管内自由扩散,试计算两气体在管中距氨气一端多远处相遇而生成 NH_4Cl 白烟。

- 1.42 在 303 K 时,丙酮($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)的蒸气压是 37 330 Pa,当 6 g 某非挥发性有机物溶于 120 g 丙酮时,其蒸气压下降至 35 570 Pa。试求此有机物的相对分子质量。

- 1.43 3.24 g 硫溶解于 40 g 苯中,该苯溶液的沸点升高 0.81 K,问此溶液中硫分子是由几个硫原子组成的?已知苯的 $K_b = 2.53 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

- 1.44 将 10 g 葡萄糖和甘油分别溶于 100 g 水中,问所得溶液的凝固点各为多少?

- 1.45 0.570 g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶于 120 g 水中,其凝固点比纯水凝固点降低了 0.08 K,相同质量的 PbCl_2 溶于 100 g 水中,其凝固点比纯水凝固点降低了 0.0381 K,试判断这两种盐在水中的解离情况。已知水的 $K_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

- 1.46 某化合物的苯溶液,溶质和溶剂的质量比是 15 : 100。在 293 K, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下将 4.0 dm^3 空气缓慢地通过该溶液时,测知损失 1.185 g 苯。假设失去苯后溶液的浓度不变。已知苯的 K_b 为 $2.53 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, K_f 为 $5.1 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。求

(1) 溶质的相对分子质量;

(2) 该溶液的凝固点和沸点(293 K 时,苯的蒸气压为 $1 \times 10^4 \text{ Pa}$; $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,苯的沸点为 353.1 K,凝固点为 278.4 K)。

- 1.47 与人体血液具有相等渗透压的葡萄糖溶液,其凝固点降低值为 0.543 K。求此葡萄糖溶液的质量分数和血液的渗透压。已知葡萄糖的相对分子质量为 180,水的 $K_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

- 1.48 试写出下列几何图形的所有对称元素及其个数:

(1) 正三角形; (2) 正五边形; (3) 平行四边形; (4) 矩形;

(5) 菱形; (6) 正方形; (7) 正四棱柱; (8) 正八面体。

第 2 章

化学热力学基础

第一部分 例题

例 2.1 油酸甘油酯在人体中代谢时发生下列反应:



$\Delta_r H_m^\ominus = -3.35 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 消耗这种脂肪 1 kg 时, 反应进度是多少? 将有多少热量释
放出?

解: 设油酸甘油酯的摩尔质量为 M , 则

$$\begin{aligned} M &= (12 \times 57 + 1 \times 104 + 16 \times 6) \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 884 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

设消耗这种脂肪 1 kg 时, 反应进度为 ξ , 则

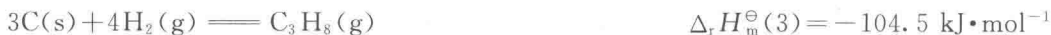
$$\begin{aligned} \xi &= \frac{1000 \text{ g}}{884 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 1.13 \text{ mol} \end{aligned}$$

根据摩尔反应热的定义式 $\Delta_r H_m^\ominus = \frac{\Delta_r H^\ominus}{\xi}$, 故

$$\begin{aligned} \Delta_r H^\ominus &= \Delta_r H_m^\ominus \cdot \xi \\ &= -3.35 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.13 \text{ mol} \\ &= -3.79 \times 10^4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

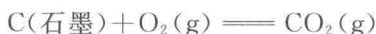
即 1 kg 这种脂肪代谢时将有 $3.79 \times 10^4 \text{ kJ}$ 热量放出。

例 2.2 已知



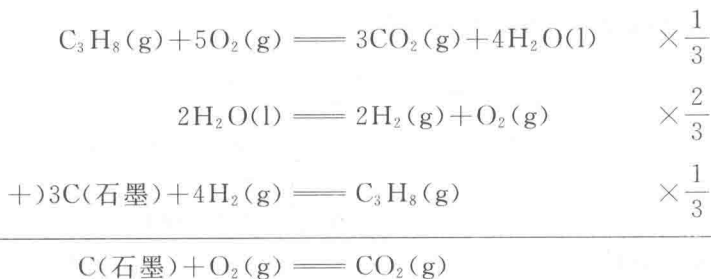
求 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 。

解: 根据物质的标准摩尔生成热的定义, $\text{CO}_2(\text{g})$ 的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 是指 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的生成反应



的摩尔反应热。

而这一生成反应可由题设给出的反应得到

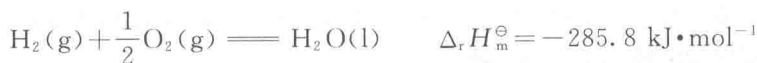


所以根据 Hess 定律, CO_2 的标准摩尔生成热为

$$\begin{aligned}
 \Delta_r H_m^\ominus &= \Delta_r H_m^\ominus(1) \times \frac{1}{3} + \Delta_r H_m^\ominus(2) \times \frac{2}{3} + \Delta_r H_m^\ominus(3) \times \frac{1}{3} \\
 &= \left[(-2220) \times \frac{1}{3} + 572.0 \times \frac{2}{3} + (-104.5) \times \frac{1}{3} \right] \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\
 &= -393.5 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}
 \end{aligned}$$

例 2.3 在一弹式热量计中完全燃烧 0.30 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 生成 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 热量计中的水温升高 5.212 K; 将 2.345 g 正癸烷 [$\text{C}_{10}\text{H}_{22}(\text{l})$] 完全燃烧, 使热量计中的水温升高 6.862 K。已知 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的标准摩尔生成热为 $-285.8 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 求正癸烷的燃烧热。

解: 由题设 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的标准摩尔生成热为 $-285.8 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 这相当于已知



$\text{H}_2(\text{g})$ 在弹式热量计中燃烧反应是恒容反应, 其热效应为 $\Delta_r U_m^\ominus$, 由 $\Delta_r H_m^\ominus = \Delta_r U_m^\ominus + \Delta \nu RT$ 得

$$\begin{aligned}
 \Delta_r U_m^\ominus &= \Delta_r H_m^\ominus - \Delta \nu RT \\
 &= -285.8 \times 1000 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} - \left(-\frac{3}{2} \right) \times 8.314 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{K} \\
 &= -282.08 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}
 \end{aligned}$$

由 0.30 mol $\text{H}_2(\text{g})$ 完全燃烧, 知反应进度 $\xi = 0.30 \text{mol}$, 则

$$\begin{aligned}
 \Delta_r U^\ominus &= \Delta_r U_m^\ominus \cdot \xi \\
 &= -282.08 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.30 \text{mol} \\
 &= -84.624 \text{kJ}
 \end{aligned}$$

即 84.624 kJ 热量使热量计的水温升高 5.212 K, 由题设 2.345 g 正癸烷($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$) 燃烧使热量计的水温升高 6.862 K, 可知其燃烧放热为

$$-84.624 \text{kJ} \times \frac{6.862 \text{K}}{5.212 \text{K}} = -111.41 \text{kJ}$$

即热反应式



完全燃烧 2.345 g 正癸烷时, $\Delta_r U^\ominus = -111.41 \text{kJ}$ 。

正癸烷($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$) 的摩尔质量为 $142 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 故

$$n = \frac{2.345 \text{g}}{142 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.01651 \text{mol}$$

即完全燃烧 2.345 g 正癸烷, $\xi=0.01651$ mol, 则

$$\begin{aligned}\Delta_r U_m^\ominus &= \frac{\Delta_r U^\ominus}{\xi} \\ &= \frac{-111.41 \text{ kJ}}{0.01651 \text{ mol}} \\ &= -6748.03 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

燃烧热为恒压反应热效应, 故

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^\ominus &= \Delta_r U_m^\ominus + \Delta \nu RT \\ &= -6748.03 \times 1000 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} + \left(-\frac{11}{2}\right) \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K} \\ &= -6761.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

这就是正癸烷($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$)的燃烧热。

例 2.4 根据下列热力学数据:

	$\Delta_f H_m^\ominus / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$S_m^\ominus / (\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
$\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$	-314.4	94.6
$\text{NH}_4^+(\text{aq})$	-133.3	111.2
$\text{Cl}^-(\text{aq})$	-167.1	56.6

(1) 计算氯化铵溶解过程 $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) = \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 的热效应;

(2) 进一步解释氯化铵易溶于水的原因。

解: (1) $\Delta_r H_m^\ominus = \Delta_f H_m^\ominus(\text{NH}_4^+, \text{aq}) + \Delta_f H_m^\ominus(\text{Cl}^-, \text{aq}) - \Delta_f H_m^\ominus(\text{NH}_4\text{Cl}, \text{s})$

$$\begin{aligned}&= -133.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + (-167.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - (-314.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= 14.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

(2) 溶解过程吸热, 不利于进行。但过程的熵变有利, 计算如下:

$$\begin{aligned}\Delta_r S_m^\ominus &= S_m^\ominus(\text{NH}_4^+, \text{aq}) + S_m^\ominus(\text{Cl}^-, \text{aq}) - S_m^\ominus(\text{NH}_4\text{Cl}, \text{s}) \\ &= 111.2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} + 56.6 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} - 94.6 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 73.2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_r G_m^\ominus(298 \text{ K}) &= \Delta_r H_m^\ominus - T \Delta_r S_m^\ominus \\ &= 14.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 298 \text{ K} \times 73.2 \times 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -7.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

由于 $\Delta_r G_m^\ominus < 0$, 故氯化铵易溶于水。

例 2.5 1 g $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 在 298 K 的恒容条件下完全燃烧放出的热量为 50.1 kJ, 求该温度下 C_2H_2 的标准摩尔燃烧热 $\Delta_c H_m^\ominus$ 。已知 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{C}(\text{石墨})$ 的标准摩尔燃烧热分别为 $-285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $-393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。求 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 的标准摩尔生成热。

解: 由题设 1 g $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 恒容燃烧放热 50.1 kJ, 而 $M(\text{C}_2\text{H}_2) = 26 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 故 1 mol $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ 恒容燃烧时放热为

$$50.1 \text{ kJ} \times 26 = 1302.6 \text{ kJ}$$

即反应

