



高等学校理工类课程学习辅导丛书

# 无机化学教程习题解答

王 莉 宋天佑 编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS



高等学校理工类课程学习辅导丛书

# 无机化学教程习题解答

WUJI HUAXUE JIAOCHENG XITI JIEDA

王莉 宋天佑 编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS · BEIJING

## 内容提要

本书为高等教育出版社出版、宋天佑编写的《无机化学教程》的配套教学参考书。全书共 22 章,其顺序与主教材相同,第 1~10 章为化学基本原理,第 11~22 章为元素化学。本书按照主教材各章习题的编号将题口逐一列出并给以详细解答,同时将重要的数据列于附录中,保证了其在使用上的相对独立性。

本书可作为高等学校化学类及近化学类专业本科生、专科生学习无机化学和普通化学课程的习题集,可作为教师的教学参考书,也可以作为高年级学生考研复习资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机化学教程习题解答 / 王莉, 宋天佑编. --北京:高等教育出版社, 2013.11

ISBN 978-7-04-038582-3

I. ①无… II. ①王…②宋… III. ①无机化学-高等学校-题解 IV. ①O614.44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 244635 号

策划编辑 鲍浩波

责任编辑 殷英

封面设计 李卫青

版式设计 王莹

插图绘制 尹莉

责任校对 陈旭颖

责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
印刷 国防工业出版社印刷厂  
开本 787 mm × 960 mm 1/16  
印张 21  
字数 390 千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版次 2013 年 11 月第 1 版  
印次 2013 年 11 月第 1 次印刷  
定价 28.60 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 38582-00

# 前 言

2011年我的导师宋天佑教授开始着手编写《无机化学教程》一书,受老师的委托,我参与了该教程课后习题的选编和解答工作。

做习题是学习中的重要环节,是学生对课堂上和课本中所学知识的初步应用与实践。通过做习题,学生不仅能检查自身对知识的理解和运用程度,还能更准确、牢固地理解和掌握无机化学课程的基础知识和重点内容,进而建立正确的思维方式。因此在宋老师编写《无机化学教程》的同时,我们就已着手编选各章的习题并做出较为详尽的解答,根据解答过程中发现的问题及时对教材的内容进行了微调,以保证课后习题与《无机化学教程》在知识体系上的一致性,避免出现远离教学体系的偏题、怪题。其中,化学基本原理各章的习题基本按教材内容次序给出,尽可能地覆盖教材的全部知识,同时体现出教学的重点和难点。元素化学各章的习题则按其内容分成名词术语的解释,完成化学反应方程式并描述实验现象,物质的合成、制备与生产,物质的分离、提纯与鉴别,推理判断等。对于应用化学原理说明元素及其化合物的反应现象或结构特点的综合性较强的题目,则以简答题的形式出现。

《无机化学教程》面向的是刚刚步入化学殿堂的大一学生,在学习上他们正处在从中学方式向自主性更强的大学方式的转换阶段,为了使学生能在较短的时间内适应大学的学习,在深入浅出地学好无机化学课程的过程中培养科学的思维方法和学习能力,我们希望本习题解答不仅仅是提供答案,而是要争取把每道习题讲深讲透。因此在编写习题解答的过程中,我们尽可能给出解题的完整思路和详细步骤,希望作为学生的读者在做出自己认为满意的解答之后再与题解相对照以检验自己对知识内容的理解程度,查漏补缺。善于思考的学生应进一步考虑第二种或第三种解题方法,做到触类旁通,提高分析问题和解决问题的能力。

本书共22章,各章顺序与教程完全相同。在列出习题的基础上详细解答了《无机化学教程》1~22章的全部习题。为了方便读者解答习题时查阅,还将一些必要的数据列于本书附录中,保证了其在使用上的相对独立性和适用性,使之不仅仅是配套参考书,还是一本知识内容全面、习题难度适中的习题课教材。

在本书的编写过程中,无机化学教学团队的徐家宁、张萍、于杰辉、张丽荣、井淑波和宋晓伟等老师分别阅读了一些章节的初稿,提出许多宝贵的修改意见,

为本书的顺利出版做出了贡献。高等教育出版社对本书的出版给予了自始至终的帮助与关心,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限,疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者和同行们批评指正,以期再次印刷和再版时得以改正。

王 莉

2013年3月18日于吉林大学

# 目 录

第一章	化学基础知识	1
第二章	化学热力学初步	11
第三章	反应速率和化学平衡	25
第四章	原子结构和元素周期律	40
第五章	分子结构和共价键理论	51
第六章	晶体结构基础	67
第七章	配位化合物的结构	82
第八章	酸碱解离平衡	94
第九章	沉淀溶解平衡和配位解离平衡	109
第十章	氧化还原反应和电化学	122
第十一章	碱金属和碱土金属	144
第十二章	硼族元素	153
第十三章	碳族元素	166
第十四章	氮族元素	182
第十五章	氧族元素	199
第十六章	卤素	218
第十七章	氢和稀有气体	232
第十八章	铜、锌副族元素	241
第十九章	钛、钒副族元素	258
第二十章	铬、锰副族元素	269
第二十一章	铁系和铂系元素	285
第二十二章	钪、钇、镧系和锕系元素	303
附录		309

# 第一章

## 化学基础知识

1.1 试求置于  $10.0 \text{ dm}^3$  容器中的  $1 \text{ mol}$  液氮, 在  $200 \text{ K}$  下汽化后对器壁形成的压力。

解:  $n=1 \text{ mol}$ ,  $R=8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $T=200 \text{ K}$ ,  $V=10.0 \text{ dm}^3$ 。

由理想气体状态方程  $pV=nRT$ , 得

$$\begin{aligned} p &= \frac{nRT}{V} \\ &= \frac{1 \text{ mol} \times 8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 200 \text{ K}}{10.0 \text{ dm}^3} \\ &= 166 \times 10^3 \text{ Pa} \\ &= 166 \text{ kPa} \end{aligned}$$

1.2 某  $\text{CH}_4$  储气柜的容积为  $1\,000 \text{ m}^3$ , 可以承受的最大压力为  $103 \text{ kPa}$ 。若夏季最高温度为  $41 \text{ }^\circ\text{C}$ , 冬季最低温度为  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。试求冬季比夏季可以多储  $\text{CH}_4$  多少千克?

解:  $p=103 \text{ kPa}$ ,  $V=1\,000 \text{ m}^3=1 \times 10^6 \text{ dm}^3$ ,  $R=8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $T_{\text{冬}}=248 \text{ K}$ ,  $T_{\text{夏}}=314 \text{ K}$ 。

由理想气体状态方程  $pV=nRT$  可知,  $p, V$  一定时,  $n$  随  $T$  变。

则

$$\begin{aligned} \Delta n &= \frac{pV}{R} \left( \frac{1}{T_{\text{冬}}} - \frac{1}{T_{\text{夏}}} \right) \\ &= \frac{103 \times 10^3 \text{ Pa} \times 1 \times 10^6 \text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \left( \frac{1}{248 \text{ K}} - \frac{1}{314 \text{ K}} \right) \\ &= 10.5 \times 10^3 \text{ mol} \end{aligned}$$

$\text{CH}_4$  的摩尔质量为  $M=16.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。故冬季比夏季多储  $\text{CH}_4$  的质量为

$$\begin{aligned} m &= M\Delta n \\ &= 16.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 10.5 \times 10^3 \text{ mol} \\ &= 1.68 \times 10^5 \text{ g} \\ &= 168 \text{ kg} \end{aligned}$$

**1.3** 为测定某盐中的水分,取 1.508 g 样品,与过量  $\text{CaC}_2$  相混。在  $20.0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1.00 \times 10^2\text{ kPa}$  下,收集到干燥的乙炔气体  $21.0\text{ cm}^3$ 。求该盐中水的质量分数。

**解:**  $m_{\text{样}} = 1.508\text{ g}$ ,  $T = 20.0\text{ }^\circ\text{C} = 293\text{ K}$ ,  $p = 1.00 \times 10^2\text{ kPa} = 1.00 \times 10^5\text{ Pa}$ ,  
 $V = 21.0\text{ cm}^3 = 21.0 \times 10^{-3}\text{ dm}^3$ ,  $R = 8.314 \times 10^3\text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  
 $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.0\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

水与  $\text{CaC}_2$  反应方程式为



设反应后得到了  $n\text{ mol}$  的  $\text{C}_2\text{H}_2$ , 则盐中含  $2n\text{ mol H}_2\text{O}$ 。

由理想气体状态方程  $pV = nRT$ , 得

$$\begin{aligned} n &= \frac{pV}{RT} \\ &= \frac{1.00 \times 10^5\text{ Pa} \times 21.0 \times 10^{-3}\text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3\text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293.0\text{ K}} \\ &= 8.62 \times 10^{-4}\text{ mol} \end{aligned}$$

即  $n_{\text{H}_2\text{O}} = 2n = 2 \times 8.62 \times 10^{-4} = 1.724 \times 10^{-3}\text{ mol}$ 。

$$\begin{aligned} \text{则盐中 H}_2\text{O 的质量分数} &= \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} \times M_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{样}}} \times 100\% \\ &= \frac{1.724 \times 10^{-3}\text{ mol} \times 18.0\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{1.508\text{ g}} \times 100\% \\ &= 2.06\% \end{aligned}$$

**1.4** 在  $25\text{ }^\circ\text{C}$  时,将  $\text{C}_2\text{H}_6$  和过量  $\text{O}_2$  充入  $2.00\text{ dm}^3$  氧弹中,压力为  $200\text{ kPa}$ 。点燃并完全燃烧后将气体通入过量的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  饱和溶液中。过滤、洗涤、干燥,得  $4.00\text{ g}$  沉淀。试求原混合气体的组成。

**解:**  $V = 2.00\text{ dm}^3$ ,  $R = 8.314 \times 10^3\text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $p = 200\text{ kPa} = 2.00 \times 10^5\text{ Pa}$ ,  $m_{\text{CaCO}_3} = 4.00\text{ g}$ ,  $T = 25\text{ }^\circ\text{C} = 298\text{ K}$ ,  $M_{\text{CaCO}_3} = 100\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

生成的  $\text{CO}_2$  与  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的反应为



则生成  $\text{CO}_2$  的物质的量与  $\text{CaCO}_3$  沉淀的物质的量相同:

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}} = \frac{4.00\text{ g}}{100\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.0400\text{ mol}$$

生成  $\text{CO}_2$  的反应为



则生成  $\text{CO}_2$  所消耗的  $\text{C}_2\text{H}_6$  的物质的量为  $0.0200\text{ mol}$ 。

原混合气体的物质的量为



$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{200 \times 10^3 \text{ Pa} \times 2.00 \text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 0.161 \text{ mol}$$

原混合气体中  $\text{O}_2$  的物质的量为

$$n_{\text{O}_2} = 0.161 \text{ mol} - 0.0200 \text{ mol} = 0.141 \text{ mol}$$

所以,原混合气体的组成为  $\text{C}_2\text{H}_6$  0.0200 mol,  $\text{O}_2$  0.141 mol。

**1.5** 在 273 K 时,将相同压力的 4.00 dm<sup>3</sup>  $\text{N}_2$  和 1.00 dm<sup>3</sup>  $\text{O}_2$  压入容积为 2.00 dm<sup>3</sup> 的真空容器中,混合气体的总压为 345.2 kPa。求

- (1) 各组分气体的分压;
- (2) 各组分气体的物质的量。

**解:**  $V_{\text{总}} = 2.00 \text{ dm}^3$ ,  $V_{\text{N}_2} = 4.00 \text{ dm}^3$ ,  $V_{\text{O}_2} = 1.00 \text{ dm}^3$ ,  $R = 8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $p = 345.2 \text{ kPa} = 3.452 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $T = 273 \text{ K}$ 。

$\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  混合前后物质的量不变。

(1) 混合前  $\text{N}_2$  和  $\text{O}_2$  压力相同,则混合前后二者的体积分数不变。混合后  $\text{N}_2$  的分压为

$$\begin{aligned} p_{\text{N}_2} &= x_{\text{N}_2} p_{\text{总}} \\ &= \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}} p_{\text{总}} \\ &= \frac{4.00 \text{ dm}^3}{4.00 \text{ dm}^3 + 1.00 \text{ dm}^3} \times 345.2 \text{ kPa} \\ &= 276.16 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$p_{\text{O}_2} = 345.2 \text{ kPa} - 276.16 \text{ kPa} = 69.04 \text{ kPa}$$

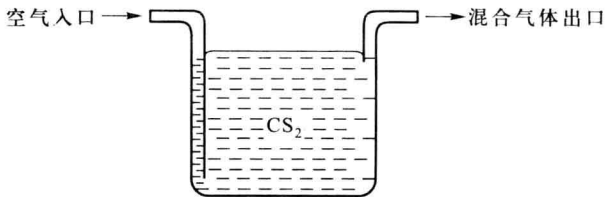
(2) 由气体分压的公式  $p_i V_{\text{总}} = n_i RT$ , 则混合气体中  $\text{N}_2$  的物质的量为

$$\begin{aligned} n_{\text{N}_2} &= \frac{p_{\text{N}_2} V_{\text{总}}}{RT} \\ &= \frac{276.16 \times 10^3 \text{ Pa} \times 2.0 \text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}} \\ &= 0.243 \text{ mol} \end{aligned}$$

混合气体中  $\text{O}_2$  的物质的量为

$$\begin{aligned} n_{\text{O}_2} &= \frac{p_{\text{O}_2} V_{\text{总}}}{RT} \\ &= \frac{69.04 \times 10^3 \text{ Pa} \times 2.0 \text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}} \\ &= 0.0608 \text{ mol} \end{aligned}$$

**1.6** 用饱和气流法测定  $\text{CS}_2$  的蒸气压。293 K, 100 kPa 下,使 3.00 dm<sup>3</sup> 干燥空气缓慢通过如图所示的计泡器,带走 6.24 g  $\text{CS}_2$ 。试计算该温度下  $\text{CS}_2$  的饱和蒸气压。



解: 可以将过程理解成空气泡不断被  $\text{CS}_2$  气体充入, 由于过程缓慢, 致使气泡中  $\text{CS}_2$  的蒸气达到饱和蒸气压。且气泡的混合气体的  $T = 293 \text{ K}$ ,  $p_{\text{总}} = 100 \text{ kPa} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。  $V_{\text{空气}} = 3.0 \text{ dm}^3$ ,  $m_{\text{CS}_2} = 6.24 \text{ g}$ ,  $M_{\text{CS}_2} = 76 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

$$n_{\text{CS}_2} = \frac{m_{\text{CS}_2}}{M_{\text{CS}_2}} = \frac{6.24 \text{ g}}{76 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.08211 \text{ mol}$$

设  $\text{CS}_2$  的分体积为  $V_{\text{CS}_2}$ , 根据  $p_{\text{总}} V_{\text{CS}_2} = n_{\text{CS}_2} RT$ , 得

$$\begin{aligned} V_{\text{CS}_2} &= \frac{n_{\text{CS}_2} RT}{p_{\text{总}}} \\ &= \frac{0.08211 \text{ mol} \times 8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{1 \times 10^5 \text{ Pa}} \\ &= 2.00 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{总}} &= V_{\text{CS}_2} + V_{\text{空气}} \\ &= 2.00 \text{ dm}^3 + 3.00 \text{ dm}^3 \\ &= 5.00 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

由于  $p_i = \frac{V_i}{V_{\text{总}}} p_{\text{总}}$ , 故

$$\begin{aligned} p_{\text{CS}_2} &= \frac{V_{\text{CS}_2}}{V_{\text{总}}} p_{\text{总}} \\ &= \frac{2.00 \text{ dm}^3}{5.00 \text{ dm}^3} \times 1 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 4 \times 10^4 \text{ Pa} \\ &= 40 \text{ kPa} \end{aligned}$$

故  $293 \text{ K}$  时  $\text{CS}_2$  的饱和蒸气压为  $40 \text{ kPa}$ 。

1.7 在  $40^\circ \text{C}$  时, 使  $10.0 \text{ g}$  氯仿 ( $\text{CHCl}_3$ ) 在真空容器中完全蒸发为气体, 容器的体积至少应为多大? 相同温度下, 将  $100 \text{ kPa}$ ,  $3 \text{ dm}^3$  干燥空气缓慢通过足量的氯仿时, 氯仿将失重多少? 已知液态氯仿在  $40^\circ \text{C}$  时的饱和蒸气压为  $49.3 \text{ kPa}$ 。

解:  $T = 40^\circ \text{C} = 313 \text{ K}$ ,  $p = 100 \text{ kPa} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_{\text{空气}} = 3.0 \text{ dm}^3$ ,  $m_{\text{CHCl}_3} = 10.0 \text{ g}$ ,  $p_{\text{CHCl}_3} = 49.3 \text{ kPa} = 4.93 \times 10^4 \text{ Pa}$ ,  $M_{\text{CHCl}_3} = 119.35 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

将  $n = \frac{m}{M}$  代入  $pV = nRT$

$$\begin{aligned} \text{得} \quad V &= \frac{mRT}{pM} \\ m &= \frac{pVM}{RT} \end{aligned}$$

则真空容器的体积大小至少为

$$\begin{aligned} V &= \frac{m_{\text{CHCl}_3} RT}{p_{\text{CHCl}_3} M_{\text{CHCl}_3}} \\ &= \frac{10.0 \text{ g} \times 8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 313 \text{ K}}{4.93 \times 10^4 \text{ Pa} \times 119.35 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 4.42 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

空气通过氯仿后,温度和空气的物质的量不变,则空气与氯仿混合气体的体积为

$$\begin{aligned} V_{\text{混}} &= \frac{pV_{\text{空}}}{p_{\text{混}}} \\ &= \frac{1 \times 10^5 \text{ Pa} \times 3 \text{ dm}^3}{1 \times 10^5 \text{ Pa} - 4.93 \times 10^4 \text{ Pa}} \\ &= 5.92 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

空气通过氯仿时,带走氯仿的质量为

$$\begin{aligned} m_{\text{CHCl}_3} &= \frac{p_{\text{CHCl}_3} V_{\text{混}} M_{\text{CHCl}_3}}{RT} \\ &= \frac{4.93 \times 10^4 \text{ Pa} \times 5.92 \text{ dm}^3 \times 119.35 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 313 \text{ K}} \\ &= 13.4 \text{ g} \end{aligned}$$

**1.8**  $\text{NH}_3$  从玻璃管的一端扩散到另一端需 20 s,某气体通过该玻璃管需 43 s。试计算该气体的相对分子质量,并据此判断该气体的可能的分子式。

解:由格拉罕姆扩散定律  $\frac{v_A}{v_B} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}}$  和式  $v \propto \frac{1}{t}$  得

$$\frac{t_B}{t_A} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}}$$

将题设  $t_A = 20 \text{ s}$ ,  $M_A = 17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 以及  $t_B = 43 \text{ s}$  代入式中,得

$$\frac{43 \text{ s}}{20 \text{ s}} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}$$

所以 
$$\sqrt{M_B} = \frac{43 \text{ s} \times \sqrt{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{20 \text{ s}}$$

$$= 8.86 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})^{\frac{1}{2}}$$

$$M_B = 78 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

也即该气体的相对分子质量为 78。

根据该气体相对分子质量判断,这种气体可能是苯( $\text{C}_6\text{H}_6$ )。

**1.9** 在密闭的钟罩内放置两只量筒。左筒中盛有 60 g  $\text{H}_2\text{O}$  和 6.84 g 蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )配成的溶液;右筒中盛有 60 g  $\text{H}_2\text{O}$  和 3.42 g 蔗糖配成的溶液。放置足够长时间达到平衡后,哪一只量筒中的  $\text{H}_2\text{O}$  多? 比另一只量筒中多多少克?

**解:**过程进行的方向是  $\text{H}_2\text{O}$  从蒸气压大的量筒向蒸气压小的量筒中转移。根据题设数据,显然  $x_{\text{右,水}} > x_{\text{左,水}}$ ,由拉乌尔定律  $p = p_0 x_{\text{剂}}$ ,故  $p_{\text{右}} > p_{\text{左}}$ ,所以  $\text{H}_2\text{O}$  从右边量筒通过蒸气向左边量筒转移,直至两量筒中  $x_{\text{剂}}$  相同,达到平衡。故平衡时左边量筒中的  $\text{H}_2\text{O}$  多。

设过程中有  $y$  g  $\text{H}_2\text{O}$  从右边量筒转移至左边量筒,则平衡时左边量筒中的  $\text{H}_2\text{O}$  多出  $2y$  g。 $M_{\text{蔗糖}} = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,平衡时有  $x_{\text{右,水}} = x_{\text{左,水}}$ ,即

$$\frac{n_{\text{左,水}}}{n_{\text{左,水}} + n_{\text{左,蔗糖}}} = \frac{n_{\text{右,水}}}{n_{\text{右,水}} + n_{\text{右,蔗糖}}}$$

$$\frac{(60 + y) \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = \frac{(60 - y) \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\frac{(60 + y) \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{6.84 \text{ g}}{342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = \frac{(60 - y) \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{3.42 \text{ g}}{342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

解得  $y = 20$ ,故平衡时左边量筒中的水比右边量筒中的水多出 40 g。

**1.10** 200 g 水中溶有 5.0 g 葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ),试求所得水溶液的凝固点比纯水的降低多少? 已知水的  $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

**解:**设 1 000 g 水中溶有葡萄糖  $x$  g,则

$$\frac{x \text{ g}}{1\,000 \text{ g}} = \frac{5.0 \text{ g}}{200 \text{ g}}$$

$$x = 25.0 \text{ g}$$

$$n_{\text{葡萄糖}} = \frac{25.0 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.139 \text{ mol}$$

故葡萄糖的质量摩尔浓度  $m = 0.139 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,则

$$\Delta T_f = k_f m$$

$$= 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.139 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$= 0.26 \text{ K}$$

即所得水溶液的凝固点比纯水降低了 0.26 K。

**1.11** 将 3.24 g 硫溶于 40 g 苯中,使沸点升高 0.81 K。试通过计算给出硫在苯溶液中的分子式。已知苯的沸点升高常数  $k_b = 2.64 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

解:溶液的质量摩尔浓度为

$$m_{\text{硫}} = \frac{n_{\text{硫}}}{\frac{m_{\text{苯}}}{1\ 000}} = \frac{\frac{m_{\text{硫}}}{M_{\text{硫}}}}{\frac{m_{\text{苯}}}{1\ 000}} = \frac{m_{\text{硫}}}{M_{\text{硫}} \frac{m_{\text{苯}}}{1\ 000}}$$

由  $\Delta T_b = k_b m$  得

$$\Delta T_b = k_b \times \frac{m_{\text{硫}}}{M_{\text{硫}} \times \frac{m_{\text{苯}}}{1\ 000}}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } M_{\text{硫}} &= k_b \times \frac{m_{\text{硫}}}{\Delta T_b \times \frac{m_{\text{苯}}}{1\ 000}} \\ &= 2.64\ \text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times \frac{3.24\ \text{g}}{0.81\ \text{K} \times 40 \times 10^{-3}\ \text{kg}} \\ &= 264\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

设硫在苯溶液的分子式为  $S_n$ , 则

$$n = \frac{264}{32} = 8$$

所以,苯溶液中硫的分子式为  $S_8$ 。

**1.12** 在  $37\ ^\circ\text{C}$  时,人体血液渗透压约为  $780\ \text{kPa}$ 。现需要配制与人体血液渗透压相等的葡萄糖盐水溶液供静脉注射,若已知上述  $1.0\ \text{dm}^3$  葡萄糖盐水溶液含  $22\ \text{g}$  葡萄糖,试求其中应含食盐多少克?

解:  $T = 37\ ^\circ\text{C} = 310\ \text{K}$ ,  $p = 780\ \text{kPa}$ ,  $R = 8.314 \times 10^3\ \text{Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8.314\ \text{kPa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $M_{\text{葡萄糖}} = 180\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $V = 1\ \text{dm}^3$ 。

由渗透压的公式  $\Pi V = nRT$ , 得

$$\Pi = cRT$$

$$\begin{aligned} \text{则 } c &= \frac{\Pi}{RT} = \frac{780\ \text{kPa}}{8.314\ \text{kPa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310\ \text{K}} \\ &= 0.30\ \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \end{aligned}$$

所以,在  $1\ \text{dm}^3$  葡萄糖盐水溶液中:

$$\begin{aligned} n_{\text{Na}^+} + n_{\text{Cl}^-} + n_{\text{葡萄糖}} &= cV = 0.30\ \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \times 1\ \text{dm}^3 = 0.30\ \text{mol} \\ n_{\text{Na}^+} + n_{\text{Cl}^-} &= 0.30\ \text{mol} - n_{\text{葡萄糖}} \\ &= 0.30\ \text{mol} - \frac{m_{\text{葡萄糖}}}{M_{\text{葡萄糖}}} \\ &= 0.30\ \text{mol} - \frac{22\ \text{g}}{180\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 0.18\ \text{mol} \end{aligned}$$

即 
$$n_{\text{食盐}} = \frac{0.18 \text{ mol}}{2} = 0.090 \text{ mol}$$

所以,  $1.0 \text{ dm}^3$  葡萄糖盐水溶液所需要食盐为

$$0.090 \text{ mol} \times 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 5.3 \text{ g}$$

**1.13** 将某碳氢化合物  $1.61 \text{ g}$  溶于  $50 \text{ g}$  苯中,使凝固点降低了  $0.768 \text{ K}$ 。

(1) 试求该碳氢化合物的相对分子质量;

(2) 若上述溶液在  $20^\circ\text{C}$  时的密度为  $0.286 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 试求溶液的渗透压。

已知苯的凝固点降低常数为  $5.07 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

解:(1) 由  $\Delta T_f = k_f m = k_f \frac{m_{\text{质}}}{M_{\text{质}} \frac{m_{\text{剂}}}{1000}}$  得

$$\begin{aligned} M_{\text{质}} &= \frac{k_f}{\Delta T_f} \frac{m_{\text{质}}}{\frac{m_{\text{剂}}}{1000}} \\ &= \frac{5.07 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{0.768 \text{ K}} \times \frac{1.61 \text{ g}}{5.0 \times 10^4 \text{ kg}} \\ &= 212.6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

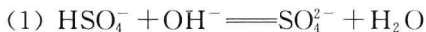
(2) 该溶液的物质的量浓度为

$$\begin{aligned} c &= \frac{n_{\text{质}}}{V} = \frac{\frac{m_{\text{质}}}{M_{\text{质}}}}{\frac{m}{\rho}} \\ &= \frac{\frac{1.61 \text{ g}}{212.6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{(50 + 1.61) \text{ g}}{0.286 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \times 1000 \text{ dm}^{-3} \cdot \text{cm}^3}} \\ &= 0.04197 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \end{aligned}$$

由渗透压的公式  $\Pi V = nRT$ , 得

$$\begin{aligned} \Pi &= cRT \\ &= 0.04197 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K} \\ &= 102.2 \text{ kPa} \end{aligned}$$

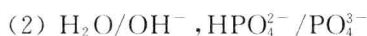
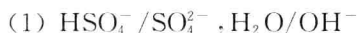
**1.14** 试叙述酸碱质子理论中酸、碱的定义,并指出下列反应中的质子酸及其共轭碱:



解:酸碱质子理论是丹麦人布朗斯特(Brönsted)和英国人劳莱(Lowry)提出的,因此也称为布朗斯特酸碱理论。酸碱质子理论认为:在反应中给出质子的

物质叫做酸,在反应中接受质子的物质叫做碱。分子、阳离子和阴离子均可以是质子酸和质子碱。酸给出质子后变成碱,同理,碱接受质子后变成酸。

因此,上述反应中的质子共轭酸/碱分别为



**1.15** 将下列几种化合物溶于液态氟化氢,试写出相关的质子酸碱平衡方程式:



**1.16** 试叙述酸碱溶剂体系理论中酸碱的定义,列出以水、液氨、二氧化氮分别为溶剂时酸碱的实例,并指出其特征离子。

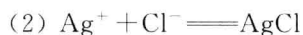
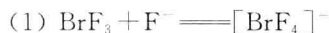
解:酸碱溶剂体系理论对于酸碱的定义是:在一种溶剂中能解离出该溶剂的特征阳离子或者能使特征阳离子的浓度增大的物质称为酸;能解离出该溶剂的特征阴离子或者能使特征阴离子的浓度增大的物质称为碱。

若溶剂是水, $\text{CH}_3\text{COOH}$ 为酸,它能解离出体系的特征阳离子  $\text{H}^+$ , $\text{NH}_3$ 为碱,它能解离出体系的特征阴离子  $\text{OH}^-$ 。

若溶剂为液氨, $\text{NH}_4\text{Cl}$ 为酸,它能解离出体系的特征阳离子  $\text{NH}_4^+$ , $\text{NaNH}_2$ 为碱,它能解离出体系的特征阴离子  $\text{NH}_2^-$ 。

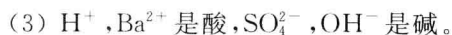
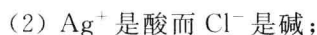
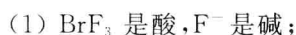
若溶剂为二氧化氮, $\text{NOCl}$ 为酸,它能解离出体系的特征阳离子  $\text{NO}^+$ ,而  $\text{AgNO}_3$ 为碱,因它能解离出体系的特征阴离子  $\text{NO}_3^-$ 。

**1.17** 试叙述路易斯酸碱理论中酸、碱的定义,并指出下列反应中的路易斯酸和路易斯碱:



解:路易斯酸碱理论认为:凡是在反应中提供电子对的物质都是碱,碱是电子对的给予体;凡是在反应中接受电子对的物质都是酸,酸是电子对的接受体。

因而,在上述反应中:



1.18 试叙述软硬酸碱的分类原则,并完成下列各题:

(1) 列举出几种硬酸、软酸、交界酸;

(2) 列举出几种硬碱、软碱、交界碱,并指出其给电原子。

**解:**在酸碱电子理论的基础上,对酸碱进行软硬分类。电子云的变形性小的酸称之为硬酸,一般半径小,正电荷高;电子云的变形性大的酸称之为软酸,一般半径大,电荷低;电子云的变形性介于硬酸和软酸之间称之为交界酸。

硬碱是电子云的变形性小的碱,给电子原子的电负性大,不易失去电子;软碱是电子云的变形性大的碱,给电原子的电负性小,易失去电子;交界碱是其变形性介于硬碱和软碱之间的碱。

(1) 硬酸: $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Si^{4+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  等。

软酸: $Cu^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Hg_2^{2+}$ ,  $Tl^+$ ,  $Pt^{2+}$  等。

交界酸: $Cr^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$  等。

(2) 硬碱: $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $H_2O$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $ClO_4^-$ ,  $CH_3COO^-$ ,  $NH_3$ , 给电原子分别为 F, Cl, O, O, O, O, O, N。

软碱: $I^-$ ,  $S^{2-}$ ,  $CN^-$ ,  $SCN^-$ ,  $CO$ ,  $S_2O_3^{2-}$ , 给电原子分别为 I, S, C, S, C, S。

交界碱: $Br^-$ ,  $SO_3^{2-}$ ,  $N_2$ ,  $NO_2^-$ , 给电原子分别为 Br, S, N, N。



## 第二章

# 化学热力学初步

2.1 试计算  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $100\text{ kPa}$  下,  $90\text{ g}$  冰完全融化成水过程的  $Q, W, \Delta H$  和  $\Delta U$ 。

已知冰的熔化热为  $6.02\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 冰与水的摩尔体积分别为  $1.96\times 10^{-2}\text{ dm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$  和  $1.80\times 10^{-2}\text{ dm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

解:  $90\text{ g}$  冰中  $\text{H}_2\text{O}$  的物质的量  $\frac{90\text{ g}}{18\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}=5\text{ mol}$ ,

$$Q_p=6.02\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\times 5\text{ mol}=30.1\text{ kJ}$$

这时恒压过程的体积功为

$$\begin{aligned}W &= -p_{\text{外}}\Delta V = -p_{\text{外}}(V_{\text{水}} - V_{\text{冰}}) \\ &= -100\text{ kPa}\times [5\text{ mol}\times (1.80\times 10^{-2} - 1.96\times 10^{-2})\times 10^{-3}\text{ m}^3\cdot\text{mol}^{-1}] \\ &= 8.0\times 10^{-4}\text{ kPa}\cdot\text{m}^3 \\ &= 8.0\times 10^{-4}\text{ kJ}\end{aligned}$$

恒压过程的  $Q_p=\Delta H$ , 故

$$\Delta H=Q_p=30.1\text{ kJ}$$

由热力学第一定律表达式  $\Delta U=Q+W$  得

$$\begin{aligned}\Delta U &= 30.1\text{ kJ}+8.0\times 10^{-4}\text{ kJ} \\ &= 30.1\text{ kJ}\end{aligned}$$

2.2 用  $1\text{ }000\text{ W}$  的电热器在  $100\text{ kPa}$  外压下, 将  $373\text{ K}$  的水加热  $1\text{ h}$ 。已知水的摩尔汽化热为  $40.6\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。试计算:

- (1) 有多少摩尔水蒸气生成;
- (2) 过程的体积功;
- (3)  $\text{H}_2\text{O}$  体系的  $\Delta U$ 。

解:(1) 体系吸收的热量为

$$\begin{aligned}Q &= Nt \\ &= 1\text{ }000\text{ W}\times 3\text{ }600\text{ s}\cdot\text{h}^{-1}\times 1\text{ h} \\ &= 3\text{ }600\text{ kJ}\end{aligned}$$