

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

无机化学习题解析

(供药学类及医学检验专业用)

徐春祥 曹凤歧 主编

高等教育出版社

内容提要

《无机化学习题解析》是教育部全国高等学校教学研究中心“21 世纪中国高等学校医药类专业数理化基础课程的创新与实践”国家级课题的研究成果。

本书是为了配合徐春祥、曹凤歧主编的《无机化学》而编写的教学参考书。全书按《无机化学》的顺序编排,对每章的全部问题进行了解析。为了方便教师考试出题和学生复习考试,本书还精心编写了十套无机化学水平测试题,全部测试题均给出了参考答案。

本书可供高等医药院校药学类及医学检验专业本科学生使用,也可供其他有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学习题解析 / 徐春祥, 曹凤歧主编. —北京:
高等教育出版社, 2004. 6
ISBN 7-04-014457-3

I . 无 ... II . ①徐 ... ②曹 ... III . 无机化学-
高等学校-解题 IV . O61-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 043891 号

策划编辑 岳延陆 责任编辑 郭新华 封面设计 于文燕
责任绘图 朱 静 版式设计 张 岚 责任校对 杨凤玲 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	14.50	印 次	年 月第 次印刷
字 数	270 000	定 价	15.60 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

前 言

《无机化学习题解析》是教育部全国高等学校教学研究中心“21 世纪中国高等学校医药类专业数理化基础课程的创新与实践”国家级课题的研究成果。

本书是为配合徐春祥、曹凤歧主编的《无机化学》而编写的教学参考书。全书的编排顺序与《无机化学》相同,对《无机化学》各章中全部习题都进行了解析。通过解题分析,培养学生运用化学知识解决实际问题的能力。

为了方便教师考试出题和学生复习考试,本书还精心编写了十套无机化学水平测试题。所有测试题均给出答案,可供学生练习时参考。

本书采用中华人民共和国国家标准 GB 3100~3102—93《量和单位》所规定的符号和单位;化学名词采用全国自然科学名词审定委员会公布的《化学名词》(科学出版社,1991 年第一版)所推荐的名称;配位化合物的命名及化学式的书写执行中国化学会 1980 年颁布的《化学命名原则》(科学出版社,1984 年第一版)的规定。热力学各有关数据主要取自《NBS 化学热力学性质表》(刘天和、赵梦月译,中国标准出版社,1998 年 6 月)和由此表数据计算得到的。

本书由徐春祥、曹凤歧主编。参加本书编写的有大连医科大学刘有训(第一章),哈尔滨医科大学徐春祥[第二章,无机化学水平测试题(一)],西安交通大学何西利(第三章),福建医科大学戴伯川(第四章),内蒙古医学院陈朝军(第五章),哈尔滨医科大学朱玲[第六章,无机化学水平测试题(八)],四川大学骆鑫(第七章),长春中医学院孙瑞岩(第八章),中国药科大学曹凤歧(第九章),齐齐哈尔医学院刘亚琴(第十章),吉林大学王宝珍[第十一章,无机化学水平测试题(六)],首都医科大学王桥(第十二章),北华大学陈彪(第十三章),第二军医大学张欣荣(第十四章),河北医科大学丁里玉[第十五章,无机化学水平测试题(五)],兰州医学院武世界[第十六章,无机化学水平测试题(十)],大理学院陈兴荣(第十七章),哈尔滨商业大学韩玉洁[无机化学水平测试题(二)],山东大学刘新泳[无机化学水平测试题(三)],郑州大学吕双喜[无机化学水平测试题(四)],浙江大学蒋惠娣[无机化学水平测试题(七)],天津医科大学于莉[无机化学水平测试题(九)]。

高等教育出版社高等理科分社化学化工策划部主任岳延陆编审为本书的出版付出了辛勤的劳动,责任编辑郭新华同志对本书认真细致地进行编辑加工,提出了许多宝贵的意见,对提高编写质量起了很大作用。在此一并致以衷心的感谢!

本书是无机化学课程立体化系列教材中的一本。这套教材包括《无机化学》、《无机化学实验》、《无机化学习题解析》、《无机化学电子教案》和《无机化学试题库》光盘,均由高等教育出版社出版。

由于编者水平所限,书中错误和不当之处在所难免,恳请使用本书的教师、同学们批评指正。

编 者

2004 年 1 月

目 录

第一章	溶液	1
第二章	化学热力学基础	9
第三章	化学平衡	18
第四章	化学反应速率	30
第五章	酸碱解离平衡	39
第六章	难溶强电解质的沉淀-溶解平衡	51
第七章	氧化还原反应和电极电势	58
第八章	原子结构和元素周期律	68
第九章	离子键和离子晶体	75
第十章	共价键与分子结构	80
第十一章	配位化合物	85
第十二章	s 区元素	94
第十三章	p 区元素(一)	98
第十四章	p 区元素(二)	104
第十五章	d 区元素(一)	109
第十六章	d 区元素(二)	115
第十七章	ds 区元素	121
无机化学水平测试题(一)	.....	127
无机化学水平测试题(二)	.....	137
无机化学水平测试题(三)	.....	147
无机化学水平测试题(四)	.....	162
无机化学水平测试题(五)	.....	180
无机化学水平测试题(六)	.....	194
无机化学水平测试题(七)	.....	203
无机化学水平测试题(八)	.....	209
无机化学水平测试题(九)	.....	215
无机化学水平测试题(十)	.....	221

第一章 溶 液

1. 在 90 g 质量分数为 0.15 的 NaCl 溶液里加入 10 g 水或 10 g NaCl 晶体, 分别计算用这两种方法配制的 NaCl 溶液中 NaCl 的质量分数。

解: 加入 10 g 水后, NaCl 的质量分数为:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{90 \text{ g} \times 0.15}{90 \text{ g} + 10 \text{ g}} = 0.135$$

加入 10 g NaCl 晶体后, NaCl 的质量分数为:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{90 \text{ g} \times 0.15 + 10 \text{ g}}{90 \text{ g} + 10 \text{ g}} = 0.235$$

2. 25 °C 时, 将 50 mL 水与 150 mL 乙醇混合, 所得乙醇溶液的体积为 193 mL。试计算此乙醇溶液中乙醇的体积分数。

解: 乙醇的体积分数为:

$$\phi_{\text{乙醇}} = \frac{V_{\text{乙醇}}^*}{V_{\text{水}}^* + V_{\text{乙醇}}^*} = \frac{150 \text{ mL}}{50 \text{ mL} + 150 \text{ mL}} = 0.75$$

3. 10.00 mL NaCl 饱和溶液的质量为 12.00 g, 将其蒸干后得 3.17 g NaCl 晶体。计算:

- (1) 此饱和溶液中 NaCl 的质量浓度;
- (2) 此饱和溶液中 NaCl 的浓度;
- (3) 此饱和溶液中 NaCl 和 H₂O 的摩尔分数;
- (4) 此饱和溶液中溶质 NaCl 的质量摩尔浓度。

解: (1) NaCl 的质量浓度为:

$$\rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V(\text{NaCl})} = \frac{3.17 \text{ g}}{0.01000 \text{ L}} = 317 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) NaCl 的浓度为:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{317 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.42 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(3) NaCl 和 H₂O 的摩尔分数分别为:

$$x(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.17 \text{ g} / 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{\frac{3.17 \text{ g}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{12.00 \text{ g} - 3.17 \text{ g}}{18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 0.10$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x(\text{NaCl}) = 1 - 0.10 = 0.90$$

(4) NaCl 的质量摩尔浓度为:

$$b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.17 \text{ g} / 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(12.00 - 3.17) \times 10^{-3} \text{ kg}} = 6.14 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

4. 静脉注射用 KCl 溶液的极限质量浓度是 $2.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 如果在 250 mL 葡萄糖溶液中加入 1 安瓿(10 mL) $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 溶液。所得混合溶液中 KCl 的质量浓度是否超过了极限值?

解: 混合溶液中 KCl 的质量浓度为:

$$\rho(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{V_{\text{溶液}}} = \frac{100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.010 \text{ L}}{0.250 \text{ L} + 0.010 \text{ L}} = 3.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} > 2.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

所得混合溶液中 KCl 的质量浓度超过极限值。

5. 正常人血浆中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的浓度分别是 $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $27 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 化验测得某病人血浆中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的质量浓度分别是 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试通过计算判断该病人血浆中这两种离子的浓度是否正常。

解: 该病人血浆中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 离子的浓度分别为:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{\rho(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+})} = \frac{300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{40 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} = 7.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = \frac{\rho(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} = \frac{1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{61 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} = 1.6 \times 10^{-2} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

该病人血浆中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 离子的浓度均不正常。

6. 某患者需用 500 mL $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液, 若用 $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液和 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液进行配制, 需要这两种溶液的体积各为多少?

解: 若需要 $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液和 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液的体积分别为 V_1 和 V_2 , 则有:

$$500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times V_1 + 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times V_2 = 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.50 \text{ L}$$

$$V_1 + V_2 = 0.50 \text{ L}$$

$$V_1 = 0.056 \text{ L} = 56 \text{ mL}$$

$$V_2 = 500 \text{ mL} - 56 \text{ mL} = 444 \text{ mL}$$

7. 某患者需补充 0.050 mol Na^+ , 应补充 NaCl 的质量为多少? 如果采用生理盐水(质量浓度为 $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)进行补充, 需要生理盐水的体积为多少?

解: 应补 NaCl 的质量为:

$$\begin{aligned} m(\text{NaCl}) &= n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) = n(\text{Na}^+) \cdot M(\text{NaCl}) \\ &= 0.050 \text{ mol} \times 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 2.93 \text{ g} \end{aligned}$$

所需生理盐水的体积为:

$$V(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{\rho(\text{NaCl})} = \frac{2.93 \text{ g}}{9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.325 \text{ L} = 325 \text{ mL}$$

8. 在 298.15 K 时, 质量分数为 9.47% 的稀 H_2SO_4 溶液的密度为 $1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 在该温度下纯水的密度为 $997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。计算:

(1) 此稀 H_2SO_4 溶液中溶质 H_2SO_4 的质量摩尔浓度;

(2) 此稀 H_2SO_4 溶液的浓度;

(3) 此稀 H_2SO_4 溶液中 H_2SO_4 的摩尔分数。

解: (1) H_2SO_4 的质量摩尔浓度为:

$$\begin{aligned} b(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\% / 98 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{m_{\text{溶液}} \times (1 - 9.47\%)} \\ &= 1.07 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

(2) H_2SO_4 的浓度为:

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{溶液}}} = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_{\text{溶液}} / \rho_{\text{溶液}}} \\ &= \frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\% / 98 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{m_{\text{溶液}} / 1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}} \\ &= 1.02 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

(3) H_2SO_4 的摩尔分数为:

$$\begin{aligned} x(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{H}_2\text{SO}_4) + n(\text{H}_2\text{O})} \\ &= \frac{\frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\%}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\%}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{m_{\text{溶液}} \times (1 - 9.47\%)}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 1.89 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

9. 一个由两种组分组成的溶液, 若用 x_B 代表溶质 B 的摩尔分数, b_B 代表溶质 B 的质量摩尔浓度, c_B 代表 B 的浓度。

(1) 试证明这三种组成标度之间有如下的关系:

$$x_B = \frac{c_B M_A}{\rho - c_B (M_B - M_A)} = \frac{b_B M_A}{1.0 + b_B M_A}$$

式中, ρ 为溶液的密度; M_A 和 M_B 分别为溶剂 A 和溶质 B 的摩尔质量。

(2) 证明当溶液很稀时, 有如下的关系:

$$x_B = \frac{c_B M_A}{\rho_A} = b_B M_A$$

式中, ρ_A 为溶剂 A 的密度。

证明: (1) 由摩尔分数定义:

$$\begin{aligned} x_B &= \frac{n_B}{n_B + n_A} = \frac{c_B V_{\text{溶液}}}{c_B V_{\text{溶液}} + (V_{\text{溶液}} \rho - c_B V_{\text{溶液}} M_B) / M_A} \\ &= \frac{c_B}{c_B + (\rho - c_B M_B) / M_A} = \frac{c_B M_A}{c_B M_A + \rho - c_B M_B} = \frac{c_B M_A}{\rho - c_B (M_B - M_A)} \\ x_B &= \frac{n_B}{n_B + n_A} = \frac{n_B / m_A}{(n_B / m_A) + (n_A / m_A)} = \frac{b_B}{b_B + (1 / M_A)} = \frac{b_B M_A}{1 + b_B M_A} \end{aligned}$$

(2) 当溶液很稀时, $c_B \rightarrow 0$, $\rho \rightarrow \rho_A$, $b_B \rightarrow 0$, 则:

$$\begin{aligned} x_B &= \frac{c_B M_A}{\rho - c_B (M_B - M_A)} = \frac{c_B M_A}{\rho_A} \\ x_B &= \frac{b_B M_A}{1 + b_B M_A} = b_B M_A \end{aligned}$$

10. 25 °C 时水的蒸气压为 133.3 Pa, 若一甘油水溶液中甘油的质量分数为 0.100, 该溶液的蒸气压为多少?

解: 25 °C 时, 质量分数为 0.100 的甘油水溶液的蒸气压为:

$$\begin{aligned} p &= p^* (\text{H}_2\text{O}) \cdot x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{p^* (\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n_{\text{甘油}}} \\ &= \frac{133.3 \text{ Pa} \times \frac{m_{\text{溶液}} \times (1 - 0.100)}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{m_{\text{溶液}} \times (1 - 0.100)}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{m_{\text{溶液}} \times 0.100}{92 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 130.5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

11. 从某种植物中分离出一种未知结构的有抗白血球增多症的生物碱, 为了测定其相对分子质量, 将 19.0 g 该物质溶入 100 g 水中, 测得溶液的沸点升高了 0.060 K, 凝固点降低了 0.220 K。计算该生物碱的相对分子质量。

解: (1) 利用沸点升高进行计算。该生物碱的摩尔质量为:

$$M_B = \frac{k_b \cdot m_B}{m_A \cdot \Delta T_b} = \frac{0.512 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 19.0 \text{ g}}{100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 0.060 \text{ K}} = 1.6 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) 利用凝固点降低进行计算。该生物碱的摩尔质量为:

$$M_B = \frac{k_f \cdot m_B}{m_A \cdot \Delta T_f} = \frac{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 19.0 \text{ g}}{100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 0.220 \text{ K}} = 1.6 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

当摩尔质量的单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时, 摩尔质量在数值上等于相对分子质量。因此该生物碱的相对分子质量为 1.6×10^3 。

12. 有几种昆虫能够耐寒, 是由于这些昆虫的血液中含有大量的甘油。已知某种寄生黄蜂的血液中甘油的质量分数大约为 0.30, 试估算这种黄蜂的血液的凝固点。

解: 这种黄蜂的血液的凝固点降低为:

$$\begin{aligned} \Delta T_f &= k_f \cdot b_{\text{甘油}} = \frac{k_f \cdot m_{\text{血液}} \cdot w_{\text{甘油}} / M_{\text{甘油}}}{m_{\text{血液}} \cdot (1 - w_{\text{甘油}})} = \frac{k_f \cdot w_{\text{甘油}}}{M_{\text{甘油}} \cdot (1 - w_{\text{甘油}})} \\ &= \frac{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.30}{92 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times (1 - 0.30)} = 8.7 \text{ K} = 8.7 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

这种黄蜂的血液的凝固点约为:

$$T_f = T_f^* - \Delta T_f = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} - 8.7 \text{ }^{\circ}\text{C} = -8.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

13. 人体血浆的凝固点为 272.59 K, 计算在正常体温下血浆的渗透压力。

解: 人体血浆的质量渗透摩尔浓度为:

$$b_{os} = \frac{\Delta T_f}{k_f} = \frac{273.15 \text{ K} - 272.59 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.301 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

正常体温下血浆的渗透压力为:

$$\begin{aligned} \Pi &= c_{os} R T = \frac{b_{os} \cdot c^{\text{度}}}{b^{\text{度}}} R T \\ &= \frac{0.301 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \times 1.0 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}}{1.0 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310.15 \text{ K} \\ &= 7.76 \times 10^5 \text{ Pa} = 776 \text{ kPa} \end{aligned}$$

14. 蛙肌细胞内液的渗透浓度为 $240 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 若把蛙肌细胞分别置于质量浓度为 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液中, 将各呈什么形态?

解: $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液的渗透浓度分别为:

$$c_{os1}(\text{NaCl}) = 2 \times \frac{10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.342 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 342 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c_{s2}(\text{NaCl}) = 2 \times \frac{7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.240 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 240 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c_{s3}(\text{NaCl}) = 2 \times \frac{3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.103 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 103 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

与蛙肌细胞内液相比较, $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液分别为高渗溶液、等渗溶液和低渗溶液。若将蛙肌细胞分别置于 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液中, 蛙肌细胞的形态分别为皱缩、正常和膨胀。

15. 把 100 mL $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生理盐水和 100 mL $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液混合, 与血浆相比较, 此混合溶液是高渗溶液、低渗溶液或等渗溶液?

解: 混合溶液的渗透浓度为:

$$\begin{aligned} c_s &= c_s(\text{NaCl}) + c_{\text{葡萄糖}} \\ &= \frac{2 \times 9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 100 \text{ mL}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times (100 + 100) \text{ mL}} + \frac{50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 100 \text{ mL}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times (100 + 100) \text{ mL}} \\ &= 0.293 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 293 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

正常血浆的渗透浓度为 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 与血浆相比较, 此混合溶液为等渗溶液。

16. 树身内部树汁的上升是由渗透压力差造成的。若树汁为 $0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 糖溶液, 树汁小管外部水溶液的渗透浓度为 $0.010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。已知 10.2 cm 水柱产生的压力为 1 kPa, 试估算 20°C 时树汁上升的高度。

解: 渗透压力差为:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi &= \Delta c_s R T \\ &= (0.20 - 0.010) \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293.15 \text{ K} \\ &= 4.63 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

293.15 K 时树汁上升的高度为:

$$h = \frac{4.63 \times 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ Pa}} \times 10.2 \text{ cm} = 4.72 \times 10^3 \text{ cm} = 47.2 \text{ m}$$

17. 已知血液中蛋白质 ($M = 6.6 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) 的质量浓度为 $70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 试计算毛细血管壁所间隔的血液与组织液 (与血液的差别是不含蛋白质) 之间的渗透压力的差值。

解: 血液与组织液间的渗透压力差值为:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi &= \Delta c_s R T = c_{\text{蛋白质}} R T \\ &= \frac{70 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{6.6 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} \end{aligned}$$

$$= 2.73 \times 10^3 \text{ Pa} = 2.73 \text{ kPa}$$

18. 糖尿病人和健康人的血浆中葡萄糖的质量浓度分别为 $1.80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.85 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。假定糖尿病人与健康人血浆的渗透压力的差异仅仅是由于糖尿病人血浆中含有较高浓度的葡萄糖,试计算在体温 37°C 时此渗透压力的差值。

解: 糖尿病患者和健康人在正常体温时的渗透压力差为:

$$\begin{aligned}\Delta\Pi &= \Delta c_{\text{葡萄糖}} RT \\ &= \frac{(1.80 - 0.85) \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} \\ &= 1.36 \times 10^4 \text{ Pa} = 13.6 \text{ kPa}\end{aligned}$$

19. 将 5.0 g 鸡蛋白溶于水并配制成 1.0 L 溶液, 25°C 时测得该溶液的渗透压力为 306 Pa , 计算鸡蛋白的相对分子质量。

解: 鸡蛋白的摩尔质量为:

$$\begin{aligned}M_B &= \frac{m_B RT}{\Pi V} = \frac{5.0 \text{ g} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K}}{306 \text{ Pa} \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3} \\ &= 4.05 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

因此鸡蛋白的相对分子质量为 4.05×10^4 。

20. 将一动物筋肉内的某种细胞置于 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液中, 该细胞既不膨胀也不皱缩。计算该细胞在 25°C 时的渗透压力。

解: 该细胞内液在 298.15 K 时的渗透压力为:

$$\begin{aligned}\Pi &= c_s RT = c_s (\text{NaCl}) RT \\ &= 2 \times \frac{7 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K} \\ &= 5.93 \times 10^5 \text{ Pa} = 593 \text{ kPa}\end{aligned}$$

21. 密闭钟罩内放有两杯溶液, 甲杯中含 1.68 g 蔗糖 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 和 20.00 g 水, 乙杯中含 2.45 g 某非电解质和 20.00 g 水。在恒温下放置足够长时间达到平衡, 甲杯水溶液的质量变为 24.90 g , 求该非电解质的摩尔质量。

解: 达到平衡后, 甲杯和乙杯中水的质量分别为:

$$\begin{aligned}m(\text{H}_2\text{O})_{\text{甲}} &= 24.90 \text{ g} - 2.45 \text{ g} = 22.45 \text{ g} \\ m(\text{H}_2\text{O})_{\text{乙}} &= 20.00 \text{ g} - (22.45 \text{ g} - 20.00 \text{ g}) = 17.55 \text{ g}\end{aligned}$$

由拉乌尔定律可知, 达到平衡后两杯溶液中水的摩尔分数相等。则有:

$$\frac{\frac{22.45 \text{ g}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{22.45 \text{ g}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{1.68 \text{ g}}{342.3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = \frac{\frac{17.55 \text{ g}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{17.55 \text{ g}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{2.45 \text{ g}}{M_B}}$$

由上式解得：

$$M_B = 640 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

该非电解质的摩尔质量为 $640 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

第二章 化学热力学基础

1. 一系统由状态 A 到状态 B, 沿途径 I 放热 100 J, 环境对系统做功 50 J。试计算:

(1) 系统由状态 A 沿途径 II 到状态 B, 对环境做功 80 J, 则 Q 为多少?

(2) 系统由状态 A 沿途径 III 到状态 B, 吸热 40 J, 则 W 为多少?

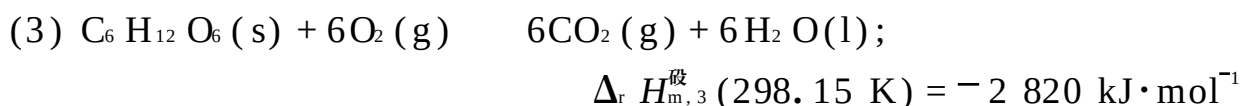
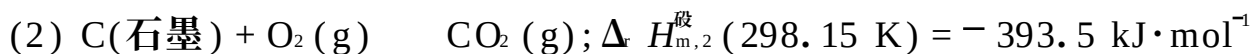
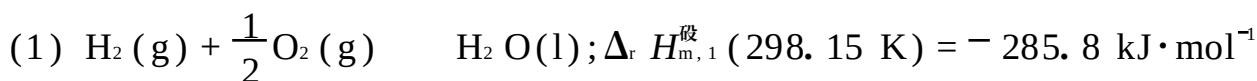
解: 系统由 A 态到 B 态时的热力学能变化为:

$$\Delta U = Q_I + W_I = -100 \text{ J} + 50 \text{ J} = -50 \text{ J}$$

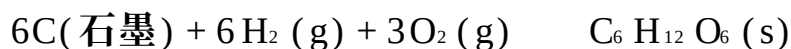
$$(1) Q_{II} = \Delta U - W_{II} = -50 \text{ J} - (-80 \text{ J}) = 30 \text{ J}$$

$$(2) W_{III} = \Delta U - Q_{III} = -50 \text{ J} - 40 \text{ J} = -90 \text{ J}$$

2. 已知下列反应:

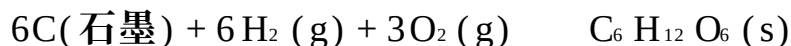


试利用赫斯定律计算反应:



在 298.15 K 时的标准摩尔焓变。

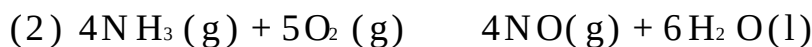
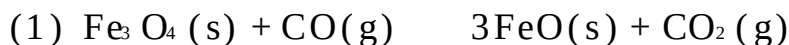
解: $6 \times (1) \text{式} + 6 \times (2) \text{式} - (3) \text{式}$ 得:



上述反应在 298.15 K 时的标准摩尔焓变为:

$$\begin{aligned} \Delta_r H_m^{\circ} &= 6\Delta_r H_{m,1}^{\circ} + 6\Delta_r H_{m,2}^{\circ} - \Delta_r H_{m,3}^{\circ} \\ &= 6 \times (-285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + 6 \times (-393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - \\ &\quad (-2820 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= -1255.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

3. 利用 298.15 K 时有关物质的标准摩尔生成焓的数据, 计算下列反应在 298.15 K 时的标准摩尔焓变。



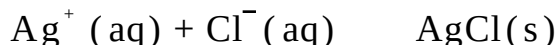
解: (1) 298.15 K 时反应的标准摩尔焓变为:

$$\begin{aligned} \Delta_r H_m^\circ &= 3\Delta_f H_m^\circ(\text{FeO}, \text{s}) + \Delta_f H_m^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) - \Delta_f H_m^\circ(\text{Fe}_3\text{O}_4, \text{s}) - \Delta_f H_m^\circ(\text{CO}, \text{g}) \\ &= 3 \times (-2720 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) + (-393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - \\ &\quad (-1118.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - (-110.53 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= -7324.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

(2) 298.15 K 时反应的标准摩尔焓变为:

$$\begin{aligned} \Delta_r H_m^\circ &= 4\Delta_f H_m^\circ(\text{NO}, \text{g}) + 6\Delta_f H_m^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) - 4\Delta_f H_m^\circ(\text{NH}_3, \text{g}) - 5\Delta_f H_m^\circ(\text{O}_2, \text{g}) \\ &= 4 \times 90.25 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 6 \times (-285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - \\ &\quad 4 \times (-46.11 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - 5 \times 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -1169.54 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

4. 利用 298.15 K 时有关物质和水合离子的标准摩尔生成焓, 计算反应:

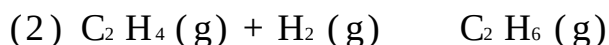
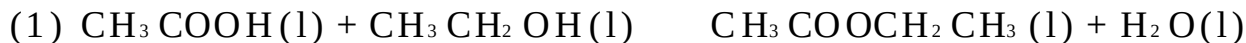


在 298.15 K 时的标准摩尔焓变。

解: 298.15 K 时反应的标准摩尔焓变为:

$$\begin{aligned} \Delta_r H_m^\circ &= \Delta_f H_m^\circ(\text{AgCl}, \text{s}) - \Delta_f H_m^\circ(\text{Ag}^+, \text{aq}) - \Delta_f H_m^\circ(\text{Cl}^-, \text{aq}) \\ &= -127.07 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 105.58 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 167.16 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -65.49 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

5. 利用 298.15 K 时有关物质的标准摩尔燃烧焓的数据, 计算下列反应在 298.15 K 时的标准摩尔焓变。



解: (1) 298.15 K 时反应的标准摩尔焓变为:

$$\begin{aligned} \Delta_r H_m^\circ &= \Delta_c H_m^\circ(\text{CH}_3\text{COOH}, \text{l}) + \Delta_c H_m^\circ(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}, \text{l}) - \\ &\quad \Delta_c H_m^\circ(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3, \text{l}) - \Delta_c H_m^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) \\ &= -874.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + (-1366.82 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - \\ &\quad (-2254.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 13.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

(2) 298.15 K 时反应的标准摩尔焓变为:

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^{\circ} &= \Delta_c H_m^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_4, \text{g}) + \Delta_c H_m^{\circ}(\text{H}_2, \text{g}) - \Delta_c H_m^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_6, \text{g}) \\ &= -1410.94 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} + (-285.83 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) - (-1559.83 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \\ &= -136.94 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

6. 当仓鼠从冬眠状态苏醒时, 它的体温可升高 30 K。假定仓鼠体温升高所需的热全部来自其体内脂肪酸 ($M = 284 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) 的氧化作用, 仓鼠组织的热容 (1 g 仓鼠组织的温度升高 1 K 时吸收的热) 是 $3.30 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 。已知脂肪酸的摩尔燃烧焓为 $-11381 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 试计算一只体重为 100 g 的仓鼠从冬眠状态苏醒过来所需氧化的脂肪酸的质量。

解: 仓鼠从冬眠状态苏醒过来时, 体温升高所需的热量为:

$$Q = 30 \text{ K} \times 3.30 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1} \times 100 \text{ g} = 9.9 \text{ kJ}$$

所需氧化脂肪酸的质量为:

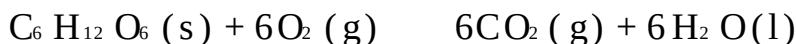
$$m = \frac{9.9 \text{ kJ}}{11381 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} / 284 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.25 \text{ g}$$

7. 葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 和硬脂酸 ($\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$) 在体内完全氧化时, 其标准摩尔焓变分别是 $-2820 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 $-11381 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。试讨论动物淀粉 (以葡萄糖为单体所形成的高分子化合物) 和脂肪酸, 哪一种是更有效的体内能量储备形式?

解: 葡萄糖和硬脂酸的摩尔质量分别是 $180 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 $284 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, 则 1 g 葡萄糖和 1 g 硬脂酸完全氧化时分别放出 15.7 kJ 和 40.1 kJ 热量。相同质量的葡萄糖与硬脂酸比较, 硬脂酸的发热量是葡萄糖的 2.6 倍。此外, 脂肪酸贮存时只需较少的结合水。上述两个因素决定了脂肪酸比动物淀粉是更有效的体内能量贮备。

8. 人体所需能量大多来源于食物在体内的氧化反应, 如葡萄糖在细胞中与 O_2 发生氧化反应生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 并释放出能量。通常用燃烧焓去估算人们对食物的需求量, 已知葡萄糖在 298.15 K 时的标准摩尔生成焓为 $-1260 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 试计算 298.15 K 时葡萄糖的标准摩尔燃烧焓。

解: 葡萄糖的氧化反应为:



298.15 K 时葡萄糖的标准摩尔燃烧焓为:

$$\begin{aligned}\Delta_c H_m^{\circ}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6, \text{s}) &= \Delta_r H_m^{\circ} \\ &= 6\Delta_f H_m^{\circ}(\text{CO}_2, \text{g}) + 6\Delta_f H_m^{\circ}(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) -\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \Delta_f H_m^\circ (\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6, \text{s}) - 6\Delta_f H_m^\circ (\text{O}_2, \text{g}) \\
 &= 6 \times (-393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 285.83 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - \\
 & \quad (-1260 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - 6 \times 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\
 &= -2816 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}
 \end{aligned}$$

9. 假如一个不劳动的成年人平均每天需要 6 300 kJ 能量以维持生命。某病人每天只能喝 500 g 牛奶(燃烧值为 $3 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)和吃 50 g 面包(燃烧值为 $12 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$),问每天还需给他输入多少升 $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖(燃烧值为 $15.6 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)溶液?

解: 该病人每天需要葡萄糖的质量为:

$$m_{\text{葡萄糖}} = \frac{6300 \text{ kJ} - 500 \text{ g} \times 3 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} - 50 \text{ g} \times 12 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}}{15.6 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}} = 269 \text{ g}$$

每天还需要输入 $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液的体积为:

$$V_{\text{葡萄糖}} = \frac{m_{\text{葡萄糖}}}{\rho_{\text{葡萄糖}}} = \frac{269 \text{ g}}{100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}} = 2.69 \text{ L}$$

10. 甘油三油酸酯是一种典型的脂肪,它在人体内代谢时发生下列反应:



$\Delta_f H_m (310.15 \text{ K}) = -3.35 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。如果上述反应热的 40% 可用作肌肉活动的能量,试计算 1 kg 这种脂肪在人体内代谢时将获得肌肉活动的能量。

解: 甘油三油酸酯的摩尔质量是 $884 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。1 kg 这种脂肪在人体内代谢时所获得的肌肉活动的能量为:

$$E = \frac{1000 \text{ g}}{884 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 3.35 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 40\% = 1.52 \times 10^4 \text{ kJ}$$

11. 一妇女体重 65.0 kg, 每天按 350 g 蛋白质(燃烧值为 $20.1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)、22 g 脂肪(燃烧值为 $39.8 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)和 79 g 糖(燃烧值为 $16.7 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)的食谱进食。为了减肥,她每天爬山高度为 3 500 m,所做功的总量(包括代谢功)相当于把自身提升 3 500 m 所做的机械功的 5 倍。如果每天欠缺的能量由她体内的葡萄糖(燃烧值为 $15.6 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)来提供,问几天后可减重 1 kg?

解: 该妇女每天做的总功为:

$$W = 5 mgh = 5 \times 65.0 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times 3500 \text{ m} = 1.11 \times 10^4 \text{ kJ}$$

该妇女每天从食物中获得的能量为:

$$\begin{aligned}
 Q &= 350 \text{ g} \times 20.1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} + 22 \text{ g} \times 39.8 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} + 79 \text{ g} \times 16.7 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \\
 &= 9.23 \times 10^3 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$