



普通高等教育“十一·五”国家级规划教材配套教材

(供临床·预防·儿科·护理·病理·口腔·影像·药学  
·麻醉·法医·中西医等专业用)

# 基础化学 学习指导与习题解析

INSTRUCTION & EXERCISE ANALYSIS  
OF FUNDAMENTAL CHEMISTRY

第2版

主编 祁嘉义 仇佩虹



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

(供临床·预防·儿科·护理·病理·口腔·  
影像·药学·麻醉·法医·中西医等专业用)

# 基础化学

## 学习指导与习题解析

INSTRUCTION & EXERCISE ANALYSIS OF  
FUNDAMENTAL CHEMISTRY

第2版

主编 祁嘉义 仇佩虹

(从左到右)

前排:仇佩虹 于素华

后排:李柏林

新增编委:右

http://www.hep.edu.cn

http://www.hep.com.cn

http://www.landaco.com

http://www.landaco.com.cn

http://www.widened.com

2007年7月第1版

2007年6月第2版

2007年6月第1次印刷

20元

高等教育出版社

Higher Education Press

## 内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材祁嘉义主编《基础化学》(第2版)的配套用书,章节与教学同步,每章由知识要点、例题解析、思考题和练习题解析、自我检测题、名校题库五个部分组成。

本书旨在帮助医学专业学生掌握基础化学的重点,提高分析和解题能力。教材中的习题和思考题、自我检测题及名校题库均附有答案,有助于学生检测自己对于化学的基本理论、基础知识掌握的程度,明晰解题思路。

本书使用对象为高等学校医学类专业学生,同时适用于相关专业基础化学教师、实验准备室人员作为参考资料,也可作为医务工作人员知识更新继续教育的辅助工具书。

## 图书在版编目(CIP)数据

基础化学学习指导与习题解析/祁嘉义,仇佩虹主编.  
2版. —北京:高等教育出版社,2008.6  
(供临床、预防、儿科、护理、病理、口腔、影像、药学、  
麻醉、法医、中西医等专业用)

ISBN 978-7-04-024422-9

I. 基… II. ①祁… ②仇… III. 化学—高等学校—  
—教学参考资料 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 067987 号

策划编辑 秦致中      责任编辑 董淑静      封面设计 张楠      责任绘图 尹莉  
版式设计 马敬茹      责任校对 杨凤玲      责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
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	100120	网址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印刷	北京民族印刷厂		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开本	787 × 1092 1/16	版次	2004年7月第1版
印张	17.75		2008年6月第2版
字数	430 000	印次	2008年6月第1次印刷
		定价	29.50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 24422-00



主 编 祁嘉义 仇佩虹

副主编 赵 光 刘永民 于素华

编者(以编写先后为序)

祁嘉义(南京医科大学)

陈缙光(中山大学)

仇佩虹(温州医学院)

邓克敏(上海交通大学)

刘永民(徐州医学院)

许贯虹(南京医科大学)

于素华(扬州大学)

赵 光(首都医科大学)

李青松(赣南医学院)

黄丽芳(桂林医学院)

孙勤枢(济宁医学院)

侯华新(广西医科大学)

李柏林(中国医科大学)



(从左到右)

前排:仇佩虹、于素华、(顾国耀)、祁嘉义、侯华新、陈缙光、赵光

后排:李柏林、刘永民、李青松、孙勤枢、(廖力夫)、许贯虹、(沈雪松)

新增编委:右下——邓克敏、右上——黄丽芳

基础化学是五年制医学专业学生进入大学第一学年就学习的一门极其重要的必修课。在从分子、亚分子出发来探索生命的奥秘,用化学的规律来解释医学的今天,基础化学的重要性尤为突出。学好基础化学将为学生的后续课程——有机化学、生物化学及医学课程的学习打下坚实的化学基础。

但要学好基础化学,并非易事。基础化学的内容涵盖面宽,由无机化学、物理化学、分析化学的基本理论和基础知识组成,知识点多,要记要背的概念、公式多。和中学相比,大学教学进度快,每节课授课的内容多,每次又教授大量的新内容,学生往往不能适应,对于每章的重点抓不住、难点吃不透、习题不会解。

本书是由全国各个主要医学院校资深的化学教师和学科带头人参与编写,对第1版去粗取精、削枝强干,帮助大学一年级的医学专业学生尽快适应大学的化学教学,明确教学大纲的“掌握、熟悉、了解”三级“教学要求”,通过“内容精讲”强化重点、钻透难点,并通过“例题解析”、“思考题和练习题解析”讲解解题的思路和技巧。通过“自我检测题”,使学生发现差距,总结经验,改进方法,提高学习效率,增强独立思考和解决问题的能力,牢固掌握基础化学的基础理论和知识,顺利完成本门课程的学业。

本书充分吸取国内外同类教材的长处,以提高学生解题能力作为学好基础化学的突破口。对于例题、习题,不是简单地写出答案,而是进行分析,写出思路,在解题过程中,不仅写出公式和过程,而且尽可能带出单位进行运算。使学生不但知其然,更要知其所以然,这是本书的主要特点。

参与编写的教师按书写章节先后顺序是祁嘉义、赵光(女)、陈缙光、李青松、仇佩虹(女)、黄丽芳(女)、邓克敏(女)、孙勤枢、刘永民、侯华新、许贯虹、李柏林、于素华(女)。感谢李银保老师所做的工作。

希望本书能够成为医学院校学生的良师益友。不妥之处,敬请读者批评指正。

祁嘉义

2008年3月于南京

绪论 .....	1
第一章 稀溶液的依数性 .....	8
第二章 电解质溶液 .....	21
第三章 缓冲溶液 .....	34
第四章 难溶强电解质的多相离子平衡 .....	48
第五章 胶体和乳状液 .....	60
第六章 化学热力学基础 .....	68
第七章 化学反应速率 .....	87
第八章 电极电位 .....	102
第九章 原子结构与元素周期表 .....	118
第十章 共价键和分子间作用力 .....	131
第十一章 配位化合物 .....	144
第十二章 滴定分析法 .....	158
第十三章 可见和紫外分光光度法 .....	172
第十四章 环境化学基础 .....	188
第十五章 化学元素和人体健康 .....	197
名校题库 .....	203
自我检测题答案 .....	241
附录 .....	265

# 绪 论

## 知识要点①

(化学与医药学的关系;基础化学的研究内容;基础化学的学习方法)

物质的量与物质的量浓度、质量浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数、质量分数与体积分数;  
(标准平衡常数的表达式)

## 溶液的组成标度

**物质的量**(amount of substance)是表示微观物质数量的基本物理量,是国际单位制 7 个基本物理量之一。物质 B 的**质量**(mass)为  $m_B$ ,**摩尔质量**(molar mass)为  $M_B$ ,则物质 B 的**物质的量**( $n_B$ )为

$$n_B = \frac{m_B}{M_B}$$

物质的量与质量是两种不同的概念,质量的单位为 kg、g 等;物质的量的 SI 单位为 mol。物质的量不能称为“摩尔数”。这里摩尔质量  $M_B$  与相对分子质量  $M_r$  虽然数值相同,但概念不同,单位也不同。

**物质的量浓度**(amount-of-substance concentration)②定义为溶质的物质的量除以溶液的体积,即

$$c_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_B}{V}$$

使用物质的量和物质的量浓度时,特别要注意必须用元素符号、化学式或相应的粒子符号标明**基本单元**(elementary entity),基本单元可以是实际存在的,也可以是想象的或根据需要假设的各种粒子或其分割与组合。所选基本单元不同,同一份溶液的浓度数值也不同。它们之间换算公式是

$$c(xB) = \frac{1}{x} c(B)$$

① 教学要求分为“掌握”、“熟悉”、“了解”三级要求。

**掌握**:要求透彻理解、牢固记忆、灵活运用、融会贯通。在“知识要点”中用下划线表示;

**熟悉**:要求清楚理解、熟悉要点。在“知识要点”中不用任何符号表示;

**了解**:要求一般性理解,拓宽学生知识面。在“知识要点”中用圆括号()表示。

② 外文资料常用“molarity”,表示“摩尔浓度”,此术语在我国废除,可将其等同于“物质的量浓度”。

例如,  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 而  $c(2\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

本书用  $[\text{B}]$  表示物质 B 的平衡浓度, 用  $c(\text{B})$  或  $c_{\text{B}}$  表示物质 B 的初始浓度。国外资料用符号  $M$  表示浓度, 在我国已废止使用。

物质 B 的质量浓度 (mass concentration)  $\rho_{\text{B}}$  定义为

$$\rho_{\text{B}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m_{\text{B}}}{V}$$

质量浓度多用于溶质为固体配制的溶液。医学上对相对分子质量未知的溶质使用质量浓度, 质量单位通常为 g、mg、 $\mu\text{g}$ , 体积单位通常为 L。物质的量浓度与质量浓度有如下换算关系:

$$c_{\text{B}} \cdot M_{\text{B}} = \rho_{\text{B}}$$

溶质 B 的质量摩尔浓度 (molality) 的符号为  $b_{\text{B}}$ , 定义为

$$b_{\text{B}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_{\text{B}}}{m_{\text{A}}}$$

$b_{\text{B}}$  的 SI 单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因为质量摩尔浓度不受温度的影响, 在物理化学上常用。溶质 B 的质量摩尔浓度在有些教材中使用符号  $m_{\text{B}}$  表示, 但易与质量符号  $m$  混淆。上式可进一步换算为

$$b_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{M_{\text{B}} m_{\text{A}}}$$

B 的物质的量分数 (amount-of-substance) 即摩尔分数 (mole fraction) 定义为 B 的物质的量与混合物的物质的量之比, 符号为  $x_{\text{B}}$ , 单位是 1 (one)。即

$$x_{\text{B}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_{\text{B}}}{\sum_i n_i}$$

摩尔分数也不受温度的影响。若溶液由溶质 B 和溶剂 A 两组分组成, 则有

$$x_{\text{B}} = n_{\text{B}} / (n_{\text{A}} + n_{\text{B}}), \quad x_{\text{A}} = n_{\text{A}} / (n_{\text{A}} + n_{\text{B}}), \quad x_{\text{A}} + x_{\text{B}} = 1$$

质量分数 (mass fraction) 定义为

$$\omega_{\text{B}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m_{\text{B}}}{m}$$

体积分数 (volume fraction) 定义为

$$\varphi_{\text{B}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{V_{\text{B}}}{V}$$

### 例题解析

【例 0-1】下列说法中正确的是( )。

- A. 氧的摩尔数为 2      B. “1 mol  $\text{O}_2$ ”可说成“1 mol 分子氧”  
 C. 1 mol C 原子等于 12 g      D.  $c\left(\frac{1}{3}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 3c(\text{H}_2\text{SO}_4)$



【解】D 正确。

A 说法有 3 点错误:未指明基本单元是什么,是“O”还是“O<sub>2</sub>”?;摩尔是表示物质的量的 SI 单位名称,不能用“摩尔数”代替物质的量;“2”实际未明确指出单位,是“mol”还是“mmol”?。正确的说法是“氧分子的物质的量是 2 mol,即  $n(\text{O}_2)=2 \text{ mol}$ ”。

B 应该说“1 mol 氧分子”。

C 的正确说法是“1 mol C 原子的质量是 12 g”或“C 原子的摩尔质量是  $12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ”。

【例 0-2】溶液组成标度的计算。

将 9.00 g NaCl 溶解于 996.0 g 水中,此溶液的密度为  $1.005 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,求 NaCl 溶液的质量摩尔浓度、物质的量浓度、摩尔分数。

【分析】 $M(\text{NaCl})=58.44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{H}_2\text{O})=18.02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,溶剂的质量为 0.996 0 kg,溶液的体积  $V=(9.00 \text{ g}+996.0 \text{ g})/(1.005 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1})=1000 \text{ mL}=1.000 \text{ L}$ ,根据各种标度的定义求解。

【解】 $n(\text{NaCl})=9.00 \text{ g}/(58.44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})=0.154 \text{ mol}$

$b(\text{NaCl})=0.154 \text{ mol}/0.9960 \text{ kg}=0.155 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$

$c(\text{NaCl})=0.154 \text{ mol}/1.000 \text{ L}=0.154 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

$n(\text{H}_2\text{O})=996.0 \text{ g}/(18.02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})=55.27 \text{ mol}$

$x(\text{NaCl})=0.154 \text{ mol}/(0.154 \text{ mol}+55.27 \text{ mol})=2.78\times 10^{-3}$

【例 0-3】A sucrose solution was prepared by dissolving 0.013 5 kg C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> in enough water to make exactly 0.100 0 L solution, which was then found to have a density of  $1.050 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Compute molarity and molality of the solution.

【分析】sucrose solution:蔗糖溶液; dissolving:溶解; density:密度; molarity:物质的量浓度; molality:质量摩尔浓度。已知  $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})=342 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,则

$$n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})=0.0135 \text{ kg}\times 10^3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}/(342 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})=0.0395 \text{ mol}$$

从溶液的体积和密度又可求出溶液的质量,即

$$m=Vd=0.1000 \text{ L}\times 1.050 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}=0.1050 \text{ kg}$$

则溶剂的质量  $m_A=0.1050 \text{ kg}-0.0135 \text{ kg}=0.0915 \text{ kg}$ 。

【解】 $c(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})=n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})/V=0.0395 \text{ mol}/0.1000 \text{ L}=0.395 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

$b(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})=n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})/m_A=0.0395 \text{ mol}/0.0915 \text{ kg}=0.432 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$

## 思考题和练习题解析

1. 为什么说化学和医学的关系密切,医学专业学生必须学好化学?

答:(略)

2. “1 mol 硫酸的质量是 98.0 g”,这种说法对吗?

答:错误!未指明基本单元,正确说法是“1 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的质量是 98.0 g 或 1 mol  $\frac{1}{2}$  H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的质量是 49.0 g。”

3. 0.4 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶解于水,配成 500 mL 溶液,其浓度表示正确的是( )。

- A.  $c(\text{H}_2\text{SO}_4)=0.8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$     B.  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)=0.8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$   
 C.  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)=0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$     D. 硫酸的浓度为  $0.8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

答: 正确的是 A。根据定义,1 L 溶液中含有 0.8 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $c(\text{H}_2\text{SO}_4)=0.8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

4. 下列说法正确的是( )。

- A. “1 mol O”可以说成“1 mol 原子 O”  
 B. 1 mol 碳(C)原子等于 12 g  
 C. 1 L 溶液中含有  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98 g,该溶液的摩尔浓度是  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$   
 D. 基本单元不仅可以是构成物质的任何自然存在的粒子或粒子的组合,也可以是想象的或根据需要假设的各种粒子或其分割与组合

答: 正确的是 D。

A 应说成“1 mol 氧原子”;B 应为“1 mol 碳(C)原子的质量等于 12 g”;C 不应该使用“摩尔浓度”,此术语已被废除。

5. 求  $0.100 \text{ kg } \frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$  的物质的量。

解:

$$M\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right)=40.08 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}/2=20.04 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$n\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right)=m/M\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right)=0.100 \text{ kg}\times 10^3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}/(20.04 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})=4.99 \text{ mol}$$

6. 100 mL 血浆含  $\text{K}^+$  20 mg,计算  $\text{K}^+$  的物质的量浓度,单位用  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  表示。

解:

$$M(\text{K}^+)=39.10 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$n(\text{K}^+)=m/M(\text{K}^+)=20 \text{ mg}/(39.10 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})=0.51 \text{ mmol}$$

$$c(\text{K}^+)=n(\text{K}^+)/V=0.51 \text{ mmol}/0.100 \text{ L}=5.1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

7. 计算下列常用试剂的物质的量浓度:

(1) 浓硝酸,含  $\text{HNO}_3$  的质量分数为 0.700,密度为  $1.42 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

(2) 浓氨水,含  $\text{NH}_3$  的质量分数为 0.280,密度为  $0.900 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

解: (1) 
$$c(\text{HNO}_3)=\frac{1000 \text{ mL}\times 1.42 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}\times 0.700}{63.01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}\times 1.00 \text{ L}}=15.8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

(2) 
$$c(\text{NH}_3)=\frac{1000 \text{ mL}\times 0.900 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}\times 0.280}{17.03 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}\times 1.00 \text{ L}}=14.8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

8. 某患者需补充  $\text{Na}^+$   $5.0\times 10^{-2} \text{ mol}$ ,应补充  $\text{NaCl}$  的质量是多少? 若用生理盐水 [ $\rho(\text{NaCl})=9.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ] 补充,应需生理盐水的体积是多少?

解:

$$m(\text{NaCl})=5.0\times 10^{-2} \text{ mol}\times 58.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}=2.9 \text{ g}$$

设补充生理盐水  $x \text{ L}$ ,则

$$x\cdot 9.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}=2.9 \text{ g}, \quad x=0.32 \text{ L}$$

9. 实验室现有剩余的  $0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$  500 mL 和  $0.0500 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$  300 mL,如何利用上述溶液加入一定体积的  $w_B=0.960$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (密度为  $1.84 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 配制成 1000 mL 浓度为  $0.250 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液?

解: 500 mL  $0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$  中,有

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4)=c_1V_1=500 \text{ mL}\times 0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}=50.0 \text{ mmol}$$

300 mL  $0.0500 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  中,有

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_2 V_2 = 300 \text{ mL} \times 0.0500 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 15.0 \text{ mmol}$$

$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98.0$ , 则  $w = 0.960$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  的浓度为

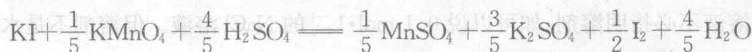
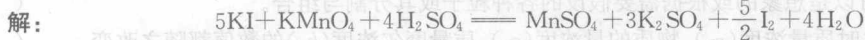
$$c_3 = \frac{1000 \text{ mL} \times 1.84 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1} \times 0.960}{98.0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} = 18.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

设取该酸体积为  $V_3$ , 则有

$$50.0 \text{ mmol} + 15.0 \text{ mmol} + (18.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}) \cdot V_3 = 1000 \text{ mL} \times 0.250 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$V_3 = 10.3 \text{ mL}$$

10. 溶液中 KI 与  $\text{KMnO}_4$  反应, 假如最终有  $0.508 \text{ g I}_2$  析出, 以  $(\text{KI} + \frac{1}{5} \text{KMnO}_4)$  为基本单元, 则所消耗的反应物的物质的量是多少?



$$n\left(\text{KI} + \frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = n\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right) = \frac{0.508 \text{ g} \times 1000 \text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}}{126.9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 4.00 \text{ mmol}$$

11. 用质量摩尔浓度来表示溶液的组成标度有何优点?

答: 质量摩尔浓度不会因为温度的变化而变化, 在物理化学中应用较多。

12. 100 g 浓硫酸中含纯  $\text{H}_2\text{SO}_4$  95 g, 将此 100 g 浓硫酸加入 400 g 水中, 混合后溶液的密度为  $1.13 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 计算此溶液的质量摩尔浓度、物质的量浓度和摩尔分数。

解: 
$$b_B = \frac{95 \text{ g}/(98 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})}{(400+5) \times 10^{-3} \text{ kg}} = 2.4 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$c_B = \frac{95 \text{ g}/(98 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})}{500 \times 10^{-3} \text{ kg}/(1.13 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1})} = 2.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$x(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{95 \text{ g}/(98 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})}{95 \text{ g}/(98 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) + 405 \text{ g}/(18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})} = 0.041$$

13. What is the mole fraction of the solute in a  $1.00 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  aqueous solution?

解: 
$$x_B = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ mol} + \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}} = 0.018$$

14. A solution contains 20.0 g acetic acid,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , in 250 g water. What is the concentration of the solution expressed as (1) mole fraction of  $\text{CH}_3\text{COOH}$  and  $\text{H}_2\text{O}$  (2) molality?

解: (1) 
$$x(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{20.0 \text{ g}/(60 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1})}{\frac{20.0 \text{ g}}{60 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} + \frac{250 \text{ g}}{18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}} = 0.023$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - 0.023 = 0.977$$

(2) 
$$b_B = \frac{20.0 \text{ g}}{60 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 1.33 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

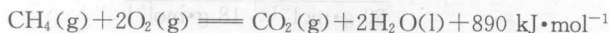
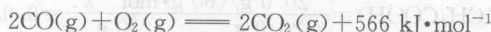
## 自我检测题

## 一、是非判断题

- 1 mol 硫酸的质量是 98 g。 ( )
- 物质 B 的浓度就是物质 B 的物质的量的浓度的简称。 ( )
- 物质 B 的物质的量就是指微观物质 B 的质量除以它的摩尔质量的商。 ( )
- 分子物质 B 的摩尔质量用符号  $M_B$  表示,物质 B 的相对分子质量用符号  $M_r$  表示,两者虽然数值相同,但是单位不同,不是同一个概念。 ( )
- $c(3\text{HCl})=3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,则  $c(\text{HCl})=1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。 ( )
- 在使用物质的量、摩尔、物质的量的浓度时,必须指明基本单元。这里的基本单元不一定是自然存在的粒子或其特定组合,也可以是想象的或根据需要假设的各种粒子或其分割与组合。 ( )
- 当温度发生变化时质量浓度( $\rho_B$ )、物质的量浓度( $c_B$ )、质量摩尔浓度( $b_B$ )的数值都随之改变。 ( )
- 溶剂是水的溶液不必指明溶剂,如可以说  $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的 NaCl 溶液。但溶剂不是水时,必须指明溶剂种类,如可以说  $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  萘( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ )的苯溶液。 ( )
- 国家法定计量单位规定英文单位符号不用复数形式,如 20 分钟应记为 20 min,不得记为 20 mins。 ( )
- 对稀溶液而言,可近似认为在数值上  $c_B=b_B$ ,但两者不是同一种组成标度。 ( )

## 二、单项选择题

- 下列说法或做法正确的是( )。
  - 质量摩尔浓度的优点是不受温度的影响,缺点是运算麻烦,常用于物理化学而较少用于分析化学
  - 某硕士写论文时根据国外资料将物质的量浓度的符号写成  $M$
  - 1 L 溶液中含有 NaOH( $M_r=40.00$ )40.00 g,该溶液的摩尔浓度为  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
  - 20 分钟可记为 20 mins 而不应该记为 20 min
- 将溶液温度从 298 K 升高到 310 K,该溶液下列组成标度中数值会变化的是( )。
  - 摩尔分数
  - 物质的量浓度
  - 质量摩尔浓度
  - 质量分数
- 某温度下, $V(\text{mL})$  NaCl 饱和溶液  $m(\text{g})$ ,其中含 NaCl  $a \text{ g}$ ,NaCl 的摩尔质量为  $M_B(\text{g}\cdot\text{mol}^{-1})$ ,则该溶液的质量摩尔浓度为( )。
  - $\frac{a}{(m-a)M_B}$
  - $\frac{1000 a}{mM_B}$
  - $\frac{1000 a}{(m-a)M_B}$
  - $\frac{10^{-3} a}{(m-a)M_B}$
- 用 NaOH 滴定分析  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,化学方程式为  $2\text{NaOH}+\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Na}_2\text{SO}_4+2\text{H}_2\text{O}$ ,计算结果时按照“等物质的量”规则,终点时有  $c(2\text{NaOH})V(\text{NaOH})=c(\text{H}_2\text{SO}_4)V(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。这里氢氧化钠的基本单元是( )。
  - NaOH
  - $(1/2)\text{NaOH}$
  - $4\text{NaOH}$
  - $2\text{NaOH}$
- 在一定的条件下,CO 和  $\text{CH}_4$  燃烧的热化学方程式分别如下:



由 1 mol  $\text{CO}(\text{g})$ 和 3 mol  $\text{CH}_4(\text{g})$ 组成的混合气体在上述条件下完全燃烧时,释放的热量为( )。

- 2 912 kJ
- 2 953 kJ
- 3 236 kJ
- 3 867 kJ

- 硫酸瓶上的标记是  $80\%\text{H}_2\text{SO}_4$ ,相对分子质量  $M_r=98.0$ ,密度  $\rho=1.73 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,下列数值中接近该酸的物质的量浓度的是( ) $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。



- A. 14.1                      B. 9.8                      C. 10.2                      D. 16.6

7. In an aqueous solution of strontium nitrate,  $c(\text{NO}_3^-) = 0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . This solution is correctly labelled ( ).

- A.  $0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Sr}(\text{NO}_3)_2$                       B.  $0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Sr}(\text{NO}_3)_2$   
C.  $1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Sr}(\text{NO}_3)_2$                       D.  $0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Sr}^{2+}$

注: strontium nitrate——硝酸锶; labelled——标记。

8. 0.20 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶解在水中, 配制成 500 mL 溶液, 其浓度表示正确的是( )。

- A.  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$                       B.  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
C.  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.80 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$                       D. 硫酸的浓度为  $0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

9. A sample of 4.4044 g of catechol ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$ ,  $M_r = 110.0$ ) is dissolved in 200.0 g of benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), at  $26.1^\circ\text{C}$ . The molality of catechol in this solution, in  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  is ( ).

- A. 0.4128                      B.  $2.000 \times 10^{-4}$                       C.  $4.128 \times 10^{-4}$                       D. 0.2000

注: catechol——儿茶素或邻苯二酚。

10.  $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$  的 500 mL 溶液中氯离子  $\text{Cl}^-$  的物质的量是( ) mol。

- A. 0.2                      B. 0.3                      C. 0.4                      D. 0.8

### 三、填空题

1. 物质 B 的物质的量的符号是 ①, 单位符号是 ②; 浓度的符号是 ③, 医学化学中常用单位是 ④, 平衡浓度用 ⑤ 表示。

2.  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则在 1 L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中含  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ⑥ g。

3. 分子物质的摩尔质量符号是 ⑦, 常用单位是 ⑧; 相对分子质量的符号是 ⑨, 它的单位是 ⑩。

4. 物质 B 的质量浓度的符号是 ⑪, 它与  $c_B$  的关系是 ⑫。

5. 物质 B 的质量摩尔浓度的符号是 ⑬, 常用单位是 ⑭。

6. 物质 B 的摩尔分数的符号是 ⑮。

### 四、计算题

1. 市售浓硫酸密度为  $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 质量分数  $w_B = 0.980$ , 计算此溶液溶质的质量摩尔浓度、物质的量浓度和摩尔分数。已知  $M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98.0$ 。

2. What is the molarity of NaOH in a solution which contains 24.0 g NaOH in 600 mL of solution?

注: molarity——物质的量浓度。

3. What is the molality of a solution which contains 20.0 g cane sugar,  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , dissolved in 250 g water?

注: molality——质量摩尔浓度; cane sugar——蔗糖。

4. What is the mole fraction of the solute in a  $1.20 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  aqueous solution?

5. 若溶液中溶质 B 的浓度是  $c_B (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ , 质量摩尔浓度是  $b_B (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$ , 摩尔质量是  $M_B (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$ , 溶液的密度是  $\rho (\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$ , 试证明:

$$c_B \left( \frac{M_B}{1000} + \frac{1}{b_B} \right) = \rho$$

(祁嘉义)

# 第一章 稀溶液的依数性

## 知识要点

难挥发性非电解质的稀溶液的蒸气压下降和拉乌尔定律;溶液的沸点升高与凝固点降低;溶液的渗透现象、净渗透方向、渗透压力;范特霍夫公式;强电解质溶液的依数性;渗透浓度;等渗、高渗和低渗溶液;皱缩和溶血;(晶体渗透压力与胶体渗透压力)

难挥发性非电解质的稀溶液中溶剂的蒸气压下降(vapor pressure lowering)、沸点升高(boiling point elevation)和凝固点降低(freezing point depression)以及溶液的渗透压力(osmotic pressure)等性质称为稀溶液的依数性(colligative properties),这类性质只与溶质、溶剂微粒(分子、离子)数的比值有关,而与溶质的本性无关。

### 一、溶液的蒸气压下降

与液相处于动态平衡的气体叫做饱和蒸气(saturated vapor),它具有的压力称为该温度下的饱和蒸气压,简称蒸气压(vapor pressure,  $p$ ),常用单位是 kPa(千帕)。

在一定的温度下,蒸气压是一个定值,而与气相的体积、液相的量无关。

它与物体的本性有关。同温度下蒸气压大的称为易挥发性的物质,蒸气压小的称为难挥发性物质。蒸气压也与温度有关,即蒸气压将随温度升高而增大。

本章讨论溶液依数性时忽略溶质的蒸气压,只考虑溶剂的蒸气压。

当纯溶剂中溶有难挥发性溶质后,溶质分子要占据溶液的部分液面,所以含有难挥发性溶质溶液的蒸气压总是低于同温度纯溶剂的蒸气压。

拉乌尔(Raoult)定律给出了溶液的蒸气压下降的定量关系:

$$p = p^* x_A$$

$$\Delta p = p^* - p = p^* x_B$$

$$\Delta p = p^* - p = K b_B$$

式中: $p$  为单一溶质与溶剂组成的溶液在某温度下的蒸气压; $p^*$  为同温度下纯溶剂的蒸气压; $\Delta p = p^* - p$ , 为溶液的蒸气压下降; $x_A$  为溶剂的摩尔分数; $x_B$  为溶质的摩尔分数; $K = p^* M_A$ ,  $M_A$  为溶剂的摩尔质量, $b_B$  为溶质的质量摩尔浓度。

### 二、溶液的沸点升高和凝固点降低

液体的沸点(boiling point)是液体的蒸气压等于外压时的温度,随外压而变化,压强愈大,沸点愈高。外压为 101.325 kPa 时的沸点称为液体的正常沸点(normal boiling point)。凝固点(freezing point)是物质的固相纯溶剂的蒸气压与它的液相蒸气压相等的温度。

由于溶液的蒸气压恒低于纯溶剂,必然使溶液的沸点升高、凝固点降低,如图 1-1 所示:

$$\Delta T_b = T_b - T_b^* = K_b b_B, \quad \Delta T_f = T_f^* - T_f = K_f b_B$$

$K_b$  为溶剂的沸点升高常数,  $K_f$  为溶剂的凝固点降低常数,两者只与溶剂本性有关。

纯溶剂的正常沸点是恒定的,可是溶液沸腾后溶剂不断被蒸发掉,因此溶液沸点会不断地升高。溶液的沸点是指溶液刚开始沸腾时的温度。

溶液的凝固点时析出的是纯溶剂。随着冰的析出,溶液浓度不断增大,溶液的凝固点也不断下降。因此,溶液的凝固点是指溶液刚开始凝固时的温度。

在医学和生物科学实验中利用凝固点降低法测定溶质的相对分子质量,计算公式为

$$M_B = \frac{K_f \cdot m_B}{m_A \Delta T_f}$$

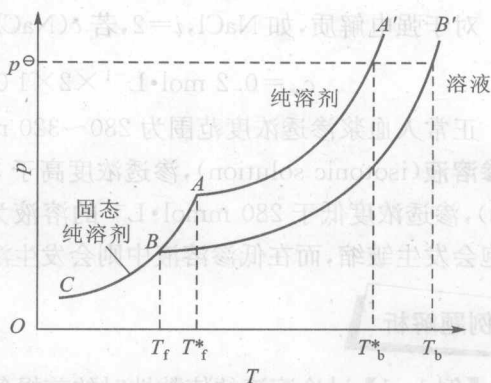


图 1-1 沸点升高和凝固点降低

### 三、溶液的渗透压力

若用只允许溶剂(如水)分子透过而溶质(如蔗糖)分子不能透过的半透膜(semi-permeable membrane)把溶液和纯溶剂隔开,纯溶剂透过半透膜进入溶液,溶液一侧的液面升高,称为渗透现象。渗透现象发生的条件一是存在半透膜,二是膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等。

净渗透的方向是溶剂分子从纯溶剂往溶液或从稀溶液往浓溶液进行。

为了使渗透现象不发生,必须在溶液液面上施加一超额的压力。超额压力等于溶液的渗透压力,符号为  $\Pi$ ,单位为 Pa。

表示渗透压力与浓度、温度关系的范特霍夫(van't Hoff)公式是

$$\Pi = c_B RT$$

式中:  $c_B$  为物质的量浓度 ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $T$  为热力学温度。  $R$  为摩尔气体常数,为  $8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $\Pi$  与  $c_B$  或  $T$  成正比。

在稀溶液中  $c_B \approx b_B$ ,  $\Pi \approx RTb_B$ 。

用渗透压力法测定蛋白质等高分子化合物的相对分子质量,公式是

$$M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V}$$

强电解质在稀溶液中可视为 100% 解离,在计算电解质的依数性时,要乘以校正系数  $i$ 。  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$  (乳酸钠) 等电解质的  $i=2$ ;  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的  $i=3$ 。

$$\Delta T_b = iK_b b_B, \quad \Delta T_f = iK_f b_B, \quad \Pi = ic_B RT \approx ib_B RT$$

渗透浓度(osmolarity)  $c_{os}$  是渗透活性物质(分子、离子)的总浓度 ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

渗透浓度可以先计算出以“分子”为基本单元的物质质量浓度,再乘以校正系数  $i$  求得。例如对非电解质,  $i=1$ , 求出  $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)=0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 则

$$c_{\text{os}}=0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\times 1\times 1000 \text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}=200 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

对于强电解质, 如  $\text{NaCl}$ ,  $i=2$ , 若  $c(\text{NaCl})=0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 则

$$c_{\text{os}}=0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\times 2\times 1000 \text{ mmol}\cdot\text{mol}^{-1}=400 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

正常人血浆渗透浓度范围为  $280\sim 320 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 医学上溶液的渗透浓度在此范围的称为等渗溶液(isotonic solution), 渗透浓度高于  $320 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的溶液为高渗溶液(hypertonic solution), 渗透浓度低于  $280 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的溶液为低渗溶液(hypotonic solution)。在高渗溶液中红细胞会发生皱缩, 而在低渗溶液中则会发生溶血。

### 例题解析

【例 1-1】讨论溶液的依数性时的前提条件是什么, 条件的内涵是什么?

【答】溶液的依数性的适用条件可归纳为 3 个字: “难”、“非”、“稀”——难挥发性非电解质的稀溶液。所谓难挥发是指在同样温度下, 蒸气压极小, 小得可以忽略不计, 所以溶液的蒸气压唯一由溶剂决定, 可以完全不考虑溶质的蒸气压; 非电解质指溶质以分子形式存在, 不解离成离子。质量摩尔浓度就反映了单位质量溶剂中溶质的分子数。只有稀溶液才较准确地符合拉乌尔定律, 可以不考虑溶质对溶剂分子的引力。葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )、蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )、尿素 $\{\text{CO}(\text{NH}_2)_2\}$ 的稀溶液均属于这类溶液。

但是, 并不是说在讨论溶液的依数性时, 就局限于这三个条件。可以推广到强电解质溶液的依数性; 利用溶液凝固点降低的性质用乙二醇( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ )制备永久抗冻液时浓度可非常高。

【例 1-2】在  $21^\circ\text{C}$  时,  $18.26 \text{ g}$  某难挥发性非电解质溶解在  $33.25 \text{ g}$  溴乙烷( $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ )中, 该溶液的蒸气压为  $44.79 \text{ kPa}$ , 纯溴乙烷在此温度下的蒸气压为  $53.32 \text{ kPa}$ 。试计算: (1) 溶剂的摩尔分数; (2) 溶质的摩尔质量。

【分析】这是一例典型的拉乌尔定律的应用题, 根据溶液蒸气压的降低数据可以求出溶剂的摩尔分数。

【解】(1)  $p=p^*x_A$ ,  $x_A=\frac{p}{p^*}=\frac{44.79 \text{ kPa}}{53.32 \text{ kPa}}=0.8400$

(2) 查出  $M_r(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br})=108.9$ , 设溶质的摩尔质量为  $M_B$ , 则

$$\frac{\frac{33.25 \text{ g}}{108.9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}}{\frac{33.25 \text{ g}}{108.9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}+\frac{18.26 \text{ g}}{M_B}}=0.8400, \quad M_B=314.8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

【例 1-3】人体血浆可视为各种电解质和非电解质的水溶液, 它的凝固点范围是  $(-0.595\sim -0.521)^\circ\text{C}$ ,  $K_f(\text{H}_2\text{O})=1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。现有  $45 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ,  $M_r=180$ )溶液  $100 \text{ mL}$ , 问需要在此溶液中加入氯化钠( $\text{NaCl}$ ,  $M_r=58.44$ )的质量为多少克, 才能使它成为等渗溶液(设加入  $\text{NaCl}$  后溶液体积不变)?

【分析】从血浆凝固点的范围可以求出其渗透浓度的范围。若要使题目所给溶液成为等渗



溶液,就要求加入  $x$  g NaCl 后,渗透浓度符合此范围。

【解】 $\Delta T_i = K_f b_B$ , 则

$$b_{B1} = \frac{\Delta T_{i1}}{K_f} = \frac{0.521 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.280 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$b_{B2} = \frac{\Delta T_{i2}}{K_f} = \frac{0.595 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.320 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

即血浆的渗透浓度范围为  $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$\frac{45 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1 \text{ L}} + \frac{x_1 \text{ g} \times 2}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} = 0.280 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \quad x_1 = 0.088$$

$$\frac{45 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1 \text{ L}} + \frac{x_2 \text{ g} \times 2}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} = 0.320 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \quad x_2 = 0.205$$

在 100 mL 此溶液中加入 NaCl 0.088~0.205 g 即可制备等渗溶液。

【归纳】渗透浓度是总浓度的概念,是溶液中所有渗透活性物质(非电解质分子和电解质离子)浓度之和。这里要注意电解质要乘以校正系数。

【例 1-4】将 0.1010 g 胰岛素溶于 10.00 mL 水形成的溶液在渗透压力仪上测得渗透压力为 32.56 mmHg,求胰岛素的摩尔质量。

【分析】应用范特霍夫公式可以求出高分子物质的摩尔质量:

$$\Pi = c_B RT, \quad \Pi = \frac{m_B}{M_B V} RT, \quad M_B = \frac{m_B}{\Pi V} RT$$

【解】这里  $m_B = 0.1010 \text{ g}$ ,  $V = 0.01000 \text{ L}$ ,  $\Pi = \frac{32.56 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} \times 101.3 \text{ kPa} = 4.34 \text{ kPa}$ , 带入上述公式则有

$$M_B = \frac{0.1010 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{4.34 \text{ kPa} \times 0.01000 \text{ L}} = 5.77 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

【归纳】利用溶液的依数性可以测定物质的摩尔质量(或相对分子质量),对于小分子生物样品,常用凝固点降低法,但对于高分子物质,常用的是渗透压力法。

【例 1-5】 $9.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 溶液(生理盐水)和  $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$  溶液为临床常用的等渗溶液。为了使补给电解质符合生理要求,常将两溶液按一定体积比例混合后使用,如 1 体积的  $\text{NaHCO}_3$  等渗溶液与 2 体积的生理盐水,这样混合后的溶液是等渗溶液吗? 若将两种或两种以上的等渗溶液按任意体积混合(不发生化学反应),所得的溶液是等渗溶液吗?

【分析】先算出各等渗溶液的渗透浓度,然后计算出混合后由于体积变化后各自的渗透浓度,最后将其相加,求出混合后溶液的总渗透浓度。

【解】生理盐水:

$$c_{os} = \frac{9.00 \text{ g}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} \times 2 \times 1000 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1} = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

混合后,  $c_{os} = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \div 3 \times 2 = 205 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$\text{NaHCO}_3$  溶液: