

★ 普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
★ 新世纪全国高等中医药院校规划教材

教学指导用书

主编 吴巧凤 张师愚

# 无机化学

## 学习精要

★ 供中药、药学类专业用 ★

中国中医药出版社

061  
83



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
新世纪全国高等中医药院校规划教材

配套教学用书

# 无机化学学习精要

(供中药、药学类专业用)

- 主 编 吴巧凤 (浙江中医药大学)  
张师愚 (天津中医药大学)
- 主 审 铁步荣 (北京中医药大学)  
贾桂芝 (黑龙江中医药大学)
- 副主编 杨林莎 (河南中医学院)  
罗佩卓 (广西中医学院)  
吴培云 (安徽中医学院)  
胡佩莉 (上海中医药大学)  
卢文彪 (广州中医药大学)  
李 伟 (山东中医药大学)  
杨 春 (贵阳中医学院)

中国中医药出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学学习精要/吴巧凤, 张师愚主编. —北京: 中国中医药出版社, 2008. 7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教学用书  
ISBN 978-7-80231-429-0

I. 无… II. ①吴…②张… III. 无机化学—高等学校—  
教学参考资料 IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 070762 号

中国中医药出版社出版  
北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 16 层  
邮政编码 100013  
传真 64405750  
北京时代华都印刷有限公司印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 850×1168 1/16 印张 17 字数 395 千字  
2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷  
书号 ISBN 978-7-80231-429-0 册数 4000

\*

定价 22.00 元  
网址 [www.cptcm.com](http://www.cptcm.com)

如有质量问题请与本社出版部调换

版权专有 侵权必究

社长热线 010 64405720

读者服务部电话 010 64065415 010 84042153

书店网址 [csln.net/qksd/](http://csln.net/qksd/)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 配套教学用书  
新世纪全国高等中医药院校规划教材

## 《无机化学学习精要》编委会

- 主 编 吴巧凤 (浙江中医药大学)  
张师愚 (天津中医药大学)
- 主 审 铁步荣 (北京中医药大学)  
贾桂芝 (黑龙江中医药大学)
- 副主编 杨林莎 (河南中医学院)  
罗佩卓 (广西中医学院)  
吴培云 (安徽中医学院)  
胡佩莉 (上海中医药大学)  
卢文彪 (广州中医药大学)  
李 伟 (山东中医药大学)  
杨 春 (贵阳中医学院)
- 编 委 (以姓氏笔画为序)
- 王 萍 (湖北中医学院)  
卢文彪 (广州中医药大学)  
吕惠卿 (浙江中医药大学)  
戎惠珍 (江西中医学院)  
孙瑞岩 (长春中医药大学)  
杜 薇 (贵阳中医学院)  
杨 春 (贵阳中医学院)  
杨林莎 (河南中医学院)  
李 伟 (山东中医药大学)  
李荣勇 (成都中医药大学)  
李德慧 (长春中医药大学)  
吴玉兰 (南京中医药大学)  
吴巧凤 (浙江中医药大学)  
吴培云 (安徽中医学院)  
张 娜 (辽宁中医学院)  
张 栓 (陕西中医学院)  
张师愚 (天津中医药大学)  
罗佩卓 (广西中医学院)  
庞维荣 (山西中医学院)  
胡佩莉 (上海中医药大学)  
黄 莺 (湖南中医药大学)  
戴 航 (广西中医学院)

## 编写说明

无机化学是中药、药学等相关专业的专业基础课，也是后续三大化学（有机化学、分析化学、物理化学）及中药化学（或天然药物化学）的基础课。其内容主要包括四大化学平衡（酸碱平衡、沉淀平衡、氧化还原平衡、配位平衡）、两大结构理论（原子结构和分子结构）和元素化学。

在 21 世纪全面推进素质教育，培养高素质创新人才的形势下，根据教学时数不断减少，国家扩大招生规模，学生高中化学基础普遍降低的实际情况，在新世纪全国高等中医药院校规划教材《无机化学》全面启用之际，针对学生在学习中普遍反映课本内容多，抓不住重点，理解记忆困难，对所学知识实际运用能力差等问题，我们在总结多年来教学工作经验的基础上，并参考兄弟院校的多种相关教材，适时编写了《无机化学学习精要》一书，作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《无机化学》的配套教学用书。在编写过程中，力争为原教材服务，做到教师易教，学生易学。

本书共十三章，紧扣教学大纲，将教材中必须掌握的要点、重点及难点等核心内容提炼、浓缩，以类似教师授课板书和学生课堂笔记的新颖形式精心编排，旨在起一种复习作用；然后举出若干例题及其解答，作为解题示范；最后是试题部分。全部试题均附有参考答案（注意有的题目并非只有唯一的解答）以资参考，便于学生检验复习效果，对于问答题，仅给出答案要点。这些试题内容新颖、类型多样，注重考查学生对基本概念和基本理论的掌握情况。这种安排既便于学生复习，又便于学生自测练习，以期达到较好的效果。（注：在“教学大纲要求”项中“掌握”、“熟悉”、“了解”三个不同层次分别以“★”、“▲”、“●”符号表示。）

本书主要作为中医药院校无机化学的教学辅导用书或考研参考书，同时也可供高等院校相关专业学习无机化学或普通化学的一年级学生使用，还可供从事无机化学或普通化学教学工作的教师参考。

由于编者水平有限，时间仓促，难免存在错误、疏漏及不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以便再版时修订提高。

《无机化学学习精要》编委会  
2008 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 常用溶液浓度和非电解质</b>	
稀溶液的依数性	1
一、教学大纲要求	1
二、重点内容	1
三、疑难辨析	4
四、补充习题	8
五、补充习题参考答案	11
<b>第二章 化学热力学基础</b>	13
一、教学大纲要求	13
二、重点内容	13
三、疑难辨析	17
四、补充习题	18
五、补充习题参考答案	21
<b>第三章 化学平衡</b>	24
一、教学大纲要求	24
二、重点内容	24
三、疑难辨析	27
四、补充习题	31
五、补充习题参考答案	34
<b>第四章 电解质溶液</b>	37
一、教学大纲要求	37
二、重点内容	37
三、疑难辨析	44
四、补充习题	50
五、补充习题参考答案	55
<b>第五章 难溶强电解质的沉淀-溶解平衡</b>	63
一、教学大纲要求	63
二、重点内容	63
三、疑难辨析	67
四、补充习题	73
五、补充习题参考答案	76
<b>第六章 氧化还原反应</b>	85
一、教学大纲要求	85
二、重点内容	85
三、疑难辨析	90
四、补充习题	97
五、补充习题参考答案	100
<b>第七章 原子结构与周期系</b>	105
一、教学大纲要求	105
二、重点内容	105
三、疑难辨析	113
四、补充习题	117
五、补充习题参考答案	122
<b>第八章 化学键与分子结构</b>	129
一、教学大纲要求	129
二、重点内容	129
三、疑难辨析	137
四、补充习题	141
五、补充习题参考答案	143
<b>第九章 配位化合物</b>	146
一、教学大纲要求	146
二、重点内容	146
三、疑难辨析	151
四、补充习题	155
五、补充习题参考答案	160
<b>第十章 s 区元素</b>	166
一、教学大纲要求	166
二、重点内容	166
三、疑难辨析	169
四、补充习题	170
五、补充习题参考答案	172

<b>第十一章 p 区元素</b> .....	175
一、教学大纲要求 .....	175
二、重点内容 .....	175
三、疑难辨析 .....	185
四、补充习题 .....	187
五、补充习题参考答案 .....	191
<b>第十二章 d 区元素</b> .....	193
一、教学大纲要求 .....	193
二、重点内容 .....	193
三、疑难辨析 .....	198
四、补充习题 .....	200
五、补充习题参考答案 .....	202
<b>第十三章 ds 区元素</b> .....	204

一、教学大纲要求 .....	204
二、重点内容 .....	204
三、疑难辨析 .....	207
四、补充习题 .....	210
五、补充习题参考答案 .....	213
模拟试题(一) .....	215
模拟试题(二) .....	218
模拟试题(三) .....	223
模拟试题(四) .....	228
模拟试题(五) .....	234
模拟试题(六) .....	239
模拟试题(七) .....	243
模拟试题参考答案 .....	247

## 第一章

# 常用溶液浓度和非电解质稀溶液的依数性

### 一、教学大纲要求

- ★掌握质量摩尔浓度、物质的量浓度、摩尔分数的概念及计算。
- 了解质量分数、体积分数、质量浓度的概念及计算。
- ▲熟悉浓度间的换算。
- ★掌握稀溶液依数性及其应用。

### 二、重点内容

#### (一) 常用浓度的表示方法

##### 1. 质量摩尔浓度

定义：【溶液中溶质 B 的物质的量  $n_B$  (以 mol 为单位) 与溶剂 A 的质量  $m_A$  (以 kg 为单位) 之比, 称为溶质 B 的质量摩尔浓度。】质量摩尔浓度符号以  $b_B$  表示, 即:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A}$$

SI 单位为:  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

##### 2. 物质的量浓度 (简称浓度)

定义：【溶液中溶质 B 的物质的量  $n_B$  (以 mol 为单位) 与溶液的体积  $V$  (以 L 为单位) 之比。】物质的量浓度符号以  $c_B$  表示, 即:

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

SI 单位用  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ , 但  $\text{m}^3$  的单位太大, 不适用, 故常用单位为  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

在很稀的水溶液中, 可近似认为  $c_B \approx b_B$ 。因水溶液很稀时, 可忽略不计溶质的质量, 水的密度可视为  $1 \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则水的体积与水的质量相等。

##### 3. 摩尔分数

定义：【混合物中物质 B 的物质的量  $n_B$  (以 mol 为单位) 与混合物总物质的量  $n_{\text{总}}$  (以 mol 为单位) 之比, 称为物质的摩尔分数。】摩尔分数符号以  $x_B$  表示, 即:

$$x_B = \frac{n_B}{n_{\text{总}}}$$

SI 单位为 1。显然, 溶液中各物质的摩尔分数之和等于 1, 即:  $\sum_i x_i = 1$



## 4. 质量分数

定义：【溶质 B 的质量  $m_B$  与溶液的质量  $m$  之比称为溶质 B 的质量分数。】质量分数符号以  $\omega_B$  表示，即：

$$\omega_B = \frac{m_B}{m}$$

SI 单位为 1。质量分数  $\omega_B$  用百分数表示，就是原来使用的质量百分比浓度。常附有密度，方便换算使用。

## 5. 体积分数

定义：【在与混合气体相同温度和压强的条件下，混合气体中组分 B 单独占有的体积  $V_B$  与混合气体总体积  $V_{总}$  之比，称为组分 B 的体积分数。】体积分数符号以  $\varphi_B$  表示，即：

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V_{总}}$$

SI 单位为 1。

## 6. 质量浓度

定义：【溶质 B 的质量  $m_B$  与溶液的体积  $V$  之比。】质量浓度符号以  $\rho_B$  表示，即：

$$\rho_B = \frac{m_B}{V}$$

SI 单位为  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，常用单位为  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  或  $\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 。

## (二) 稀溶液的依数性

非电解质稀溶液中，【溶液的某些性质只取决于其所含溶质分子的数目，而与溶质的种类和本性无关，这些性质叫做依数性。】稀溶液的依数性共有四种，分别是：溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低、渗透压。

## 1. 溶液的蒸气压下降

一定温度下，水（或其他纯溶剂）的饱和蒸气压是一个定值。如果在水中加入少量难挥发的非电解质后，溶液的蒸气压会下降。其定量关系可用拉乌尔定律表示：【在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降值  $\Delta p$  和溶质的摩尔分数成正比，而与溶质本性无关。】用公式表示为：

$$\Delta p = p_A^\ominus x_B$$

$\Delta p$  表示蒸气压下降值， $p_A^\ominus$  表示纯溶剂 A 的蒸气压， $x_B$  为溶质 B 的摩尔分数。

拉乌尔定律也可表示为：【在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降，近似地与溶液的质量摩尔浓度成正比，与溶质的本性无关。】用公式表示为：

$$\Delta p = K b_B$$

式中  $K = p_A^\ominus \frac{M_A}{1000}$ ， $M_A$  为溶剂的摩尔质量 ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。

## 2. 溶液的沸点升高和凝固点降低

溶液蒸气压的下降，导致溶液的沸点升高和溶液凝固点降低。因溶液蒸气压下降程度仅与溶液的浓度有关，因此溶液沸点的升高、凝固点降低程度也只与溶液的质量摩尔浓度成正比，而与溶质的性质无关。

根据拉乌尔定律，稀溶液的沸点升高数学近似表达式为：

$$\Delta T_b = K_b b_B$$

式中， $\Delta T_b$  表示溶液沸点的升高值(K)， $K_b$  为溶剂的沸点升高常数( $K \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{kg}$ )。

稀溶液的凝固点下降数学近似表达式为：

$$\Delta T_f = K_f b_B$$

式中， $\Delta T_f$  表示溶液凝固点下降值(K)， $K_f$  为溶剂的凝固点下降常数( $K \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{kg}$ )。

不同溶剂的  $K_b$  值和  $K_f$  值不同。有机溶剂的  $K_b$  值和  $K_f$  值一般都大于纯水的  $K_b$  值和  $K_f$  值。

### 3. 溶液的渗透压

允许溶剂分子通过而溶质分子不能通过的膜称为半透膜。例如：许多动植物的膜（如细胞膜、动物膀胱、肠衣、蛋衣、萝卜皮等），以及人造的火棉胶膜等。溶剂分子通过半透膜从纯溶剂或从稀溶液向较浓溶液单向扩散的现象称为渗透。阻止渗透作用进行所需施加的压力称为溶液的渗透压。

稀溶液渗透压与浓度、温度的关系，根据范特霍甫理论：**【理想稀溶液的渗透压与溶液的浓度和温度的关系同理想气体方程式一致】**，其数学表达式为：

$$\pi V = nRT$$

$$\pi = c_B RT$$

对于极稀的溶液， $b_B \approx c_B$ 。

上式中， $\pi$  为溶液的渗透压(kPa)， $V$  为溶液的体积(L)， $n$  是溶质的物质的量(mol)， $R$  是气体常数( $8.314 \text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )， $T$  是绝对温度(K)， $c_B$  是物质的量浓度( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )， $b_B$  是质量摩尔浓度 ( $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

从上面式子可以看出，稀溶液的渗透压，在一定体积和一定温度下，与溶液中所含溶质的物质的量成正比，而与溶质的本性无关。

### (三) 依数性的应用

1. 根据沸点上升与凝固点下降与浓度的关系可以测定溶质的相对分子质量。由于凝固点下降常数比沸点上升常数大，实验误差相应较小，而且在达到凝固点时，溶液中有晶体析出，现象明显，因此常利用凝固点下降测定分子的摩尔质量。

溶液的凝固点降低在生产、科研方面应用广泛。例如：严寒的冬天，在汽车散热水箱中加入甘油或乙二醇等物质防止水结冰；用食盐和冰的混合物作冷冻剂，可获得  $-22.4^\circ\text{C}$  的低温。

2. 人体的体液、血液、组织液等，都具有一定的渗透压。对人体进行静脉注射时，必须使用与人体体液渗透压相等的等渗溶液，如临床常用的 0.9% 的生理盐水和 5% 的葡萄糖溶液。否则将引起血球膨胀或萎缩而产生严重后果。如果土壤溶液的渗透压高于植物细胞液的渗透压，将导致植物枯死。在化学上可以利用渗透作用来分离溶液中的杂质。

3. 近年来，电渗析法和反渗透法的新技术引起了人们的关注，普遍应用于海水、咸水的淡化及净化废水等。

### 三、疑难辨析

#### (一) 典型例题分析

##### 1. 有关浓度的计算

**【例 1-1】** 10.00ml NaCl 饱和溶液的质量为 12.003g, 将其蒸干后得 3.173g, 计算:(1) 溶液物质的量浓度;(2) 溶液的质量摩尔浓度;(3) 溶液中 NaCl 和水的摩尔分数。

解:(1) NaCl 溶液的物质的量浓度:  $c_B = n_B/V$

$$n_B = \frac{3.173\text{g}}{58.5\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.0542\text{mol}$$

$$c_B = \frac{0.0542\text{mol}}{10 \times 10^{-3}\text{L}} = 5.42\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

(2) NaCl 溶液的质量摩尔浓度:  $b_B = n_B/m_A$

$$m_A = m_{\text{H}_2\text{O}} = 12.003\text{g} - 3.173\text{g} = 8.830\text{g}$$

$$b_B = \frac{0.0542\text{mol}}{8.830 \times 10^{-3}\text{kg}} = 6.14\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

(3) 溶液中 NaCl 和水的摩尔分数:  $x_B = n_B/n_{\text{总}}$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{8.830\text{g}}{18\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.491\text{mol}$$

$$x_{\text{NaCl}} = \frac{0.0542\text{mol}}{(0.0542 + 0.491)\text{mol}} = 0.099$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0.099 = 0.901$$

**【解题思路】** 关键是要掌握各种浓度的概念及表示方法, 熟悉不同浓度之间的共同点和不同点。物质的量浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数的共同点是溶质都用物质的量表示。不同点是物质的量浓度涉及溶液的体积, 而温度改变将引起物质浓度数值上的改变, 这对一些进行精确测量的实验和理论模型是不容许的, 在这种情况下, 常用质量摩尔浓度。质量摩尔浓度的溶剂是用质量表示, 优点是不受温度影响, 但称量液体很不方便。因此物质的量浓度和质量摩尔浓度常互相换算, 有时需用溶液的密度。摩尔分数的表示方法较直观反映溶质或溶剂的比值。

**【例 1-2】** 将 60g 草酸晶体 ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 溶于水中, 使之成为体积 1L, 密度为  $1.02\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  的草酸溶液, 求溶液物质的量浓度和质量摩尔浓度。

解:(1) 求溶液物质的量浓度:

$$\text{因为 } M_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = 90\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} \quad M_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 126\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\text{所以 } 60\text{g 草酸晶体中草酸的质量为: } \frac{60\text{g} \times 90\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}{126\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 42.9\text{g}$$

$$c_B = \frac{m}{M \times V} = \frac{42.9\text{g}}{90\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} \times 1\text{L}} = 0.477\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

(2) 求质量摩尔浓度:

$$\text{溶剂的质量为: } 1000\text{ml} \times 1.02\text{g}\cdot\text{ml}^{-1} - 42.9\text{g} = 1020\text{g} - 42.9\text{g} = 977.1\text{g}$$

$$b_B = 42.9 \text{ g} / (90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 977.1 \times 10^{-3} \text{ kg}) = 0.488 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

**【解题思路】** 在含有结晶水的溶液中，溶质的质量必须除掉结晶水，否则浓度计算会出现错误。对于稀溶液，要求不严格时，可以近似地用物质的量浓度代替质量摩尔浓度。

**【例 1-3】** 现需 2.2L 浓度为  $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸，问：

(1) 应取多少毫升质量分数为 0.20，密度为  $1.10 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$  的盐酸来配制？

(2) 现已有 550ml  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的稀盐酸，应加多少毫升质量分数为 0.20 的盐酸来配制？

**解：**(1) 先将质量分数换算为物质的量浓度，再根据稀释公式： $c_1 \times v_1 = c_2 \times v_2$ ，“取浓配稀”：

$$c_{\text{HCl}} = \frac{0.20 \times 1.10 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1} \times 1000 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}}{36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 6.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$6.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times v(\text{ml}) = 2200 \text{ ml} \times 2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$v_{\text{浓HCl}} = 730 \text{ ml}$$

(2) 根据稀释原理： $c_1 \times v_1 + c_2 \times v_2 = c \times v$ ，用稀盐酸 + 浓盐酸，配成中间浓度的盐酸：

$$1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 550 \text{ ml} + 6.03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times v_2 = 2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 2200 \text{ ml}$$

$$v_2 = 638.5 \text{ ml}$$

**【解题思路】** 质量分数是溶质的质量(g)与溶液的质量(g)之比，物质的量浓度是溶质的物质的量(mol)与溶液的体积(L)之比。两者换算必用密度(溶液 g/溶液 ml)，把溶液的质量(g)转变为用体积(ml)表示，进而求出 1L 溶液中溶质的物质的量。根据稀释定律，稀释前后溶液中溶质的量不变( $c \times V =$ 物质的量)；又根据稀释原理，溶液混合后，溶质的量等于混合前两溶液中溶质的量之和，进行稀释配制计算。

## 2. 有关稀溶液依数性的计算

**【例 1-4】** 计算 5.0% 的蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )水溶液与 5.0% 的葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )水溶液的沸点。

(其中水的  $K_b = 0.52 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

**解：**① 蔗糖的  $b_B = \frac{n_B}{m_A} = \frac{5.0 \text{ g}}{342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.095 \text{ kg}} = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

蔗糖溶液沸点上升： $\Delta T_b = K_b b_B = 0.52 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.15 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = 0.078 \text{ K}$

蔗糖溶液沸点为： $373.15 \text{ K} + 0.078 \text{ K} = 373.23 \text{ K}$

② 葡萄糖的  $b_B = \frac{n_B}{m_A} = \frac{5.0 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.095 \text{ kg}} = 0.29 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

葡萄糖溶液沸点上升： $\Delta T_b = K_b b_B = 0.52 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.29 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = 0.15 \text{ K}$

葡萄糖溶液沸点为： $373.15 \text{ K} + 0.15 \text{ K} = 373.30 \text{ K}$ 。

**【解题思路】** 稀溶液依数性的计算公式是解本题的关键，稀溶液的沸点升高与溶液的质量摩尔浓度成正比，定量关系表示为： $\Delta T_b = K_b b_B$ 。其次，把质量分数换算为质量摩尔浓度(溶质 n/溶剂 kg)。

**【例 1-5】** 将 5.50g 某纯净试样溶于 250g 苯中，测得该溶液的凝固点为 4.51℃，求该试样的相对分子质量。(纯苯的凝固点 5.53℃， $K_f = 5.12\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

解：设该试样的摩尔质量为  $M$

$$\Delta T_f = K_f b_B = 5.12\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 5.50\text{g} / (M \times 0.250\text{kg})$$

$$\begin{aligned} \therefore M &= \frac{5.12\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 5.50\text{g}}{(5.53 - 4.51)\text{K} \times 0.250\text{kg}} \\ &= 110.43\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

**【解题思路】** 稀溶液的凝固点下降与溶液的质量摩尔浓度成正比，定量关系表示为： $\Delta T_b = K_b b_B$ 。

溶液凝固点下降值  $\Delta T_b = \text{纯苯的凝固点} - \text{溶液的凝固点}$ 。依据质量摩尔浓度含义(1kg 溶剂中含溶质的物质的量)求出纯净试样的相对分子质量。

**【例 1-6】** 下列物质的水溶液浓度均为  $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，凝固点最高的是 ( )，渗透压最大的是 ( )：

- A.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$       B.  $\text{CH}_3\text{COOH}$       C.  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$       D.  $\text{NaCl}$

答：凝固点最高的是 C，渗透压最大的是 A。

**【解题思路】** 稀溶液通性的计算公式不适用于浓溶液和电解质溶液，但可以根据单位体积的溶液中溶质的微粒数的多少来定量地判断溶液的凝固点的高低和渗透压的大小。单位体积内的微粒数则根据溶液的浓度和溶质的解离情况而定，相同浓度的溶液中电解质的粒子数最多，弱电解质其次，非电解质最少。 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  为非电解质，分子量最大，所以在溶液中的粒子数最少，故凝固点最高。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  是强电解质，在溶液中的粒子数最多，所以渗透压最大。

## (二) 考点分析

**【例 1-7】** 是非题

(1) 在一定温度下，将相同质量的葡萄糖和蔗糖溶于相同体积的水中，则两溶液的沸点升高值和凝固点下降值相同。

答：错。

考点：据公式： $\Delta T_b = K_b b_B$ ， $\Delta T_f = K_f b_B$ 。葡萄糖和蔗糖的摩尔质量不同，相同质量溶于相同体积的水中，所得质量摩尔浓度( $b_B$ )不同。且大多数溶剂的  $K_f$  大于  $K_b$ ，所以测得两溶液的沸点升高值和凝固点下降值不相同。

(2) 雪地里洒些盐，雪就融化的现象可用渗透压的差别来解释。

答：错。

考点：雪融化是因为在雪地里洒些盐相当于在溶剂中加入电解质，溶液的凝固点下降的缘故，而非渗透压的差别。

**【例 1-8】** 选择题

(1)  $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  蔗糖水溶液  $100^\circ\text{C}$  时的蒸气压为 ( )：

- A. 101.3kPa      B. 10.1kPa      C. 略低于 101.3kPa      D. 略高于 101.3kPa

答：C。

考点：溶液的蒸气压下降是非电解质稀溶液依数性之一。 $100^\circ\text{C}$  时水的蒸气压正好等于

101.3kPa。如果在水中加入少量难挥发的非电解质后,溶液的蒸气压会下降。则  $0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  蔗糖水溶液在  $100^\circ\text{C}$  时蒸气压会下降,略低于 101.3kPa。

(2) 在一定温度下,甲醛( $\text{CH}_2\text{O}$ )溶液和葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )溶液渗透压相等,同体积甲醛和葡萄糖两种溶液中,所含甲醛和葡萄糖质量之比是( ):

- A. 6:1      B. 1:6      C. 1:1      D. 1:2

答: B。

考点: 根据稀溶液渗透压与浓度、温度的关系:  $\pi=cRT$ , 在一定温度下, 非电解质稀溶液的渗透压相等, 即所含物质的量(mol)相等。所以同体积的甲醛和葡萄糖两种溶液质量之比即分子量之比。

**【例 1-9】** 填空题

(1) 非电解质稀溶液的蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降和渗透压均与一定量的溶剂中所含溶质的\_\_\_\_\_成正比, 与\_\_\_\_\_无关。溶液的凝固点下降和沸点升高的根本原因是\_\_\_\_\_。

答: 质量摩尔浓度; 溶质的本性; 溶液的蒸气压下降。

考点: 非电解质稀溶液的依数性包括溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低和渗透压, 依数性的本质是蒸气压下降。

(2) 在严寒的季节里为了防止仪器中的水结冰, 可加入甘油降低凝固点, 若需将冰点降低 3.00K, 每 100g 水中加入甘油\_\_\_\_\_g。( $M_{\text{甘油}}=92.09\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 水的  $K_f=1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

解: 根据稀溶液凝固点降低的计算公式:  $\Delta T_f=K_f b_B$

$$b_B=\Delta T_f/K_f=3.00\text{K}/(1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1})=1.61\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\text{因: } b_B=\frac{n_B}{m_A}=\frac{m_B/M}{m_A}, \therefore m_B=b_B\times m_A\times M$$

$$m_B=1.61\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\times 0.1\text{kg}\times 92.09\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}=14.8\text{g}.$$

考点: 稀溶液凝固点降低的计算公式。

**【例 1-10】** 计算题

1. 临床上用的葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )注射液是血液的等渗溶液, 葡萄糖注射液的凝固点降低值为 0.543K(水的  $K_f=1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 葡萄糖的摩尔质量为  $180\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), 求:

- (1) 葡萄糖溶液的质量分数。  
(2) 体温 310K ( $37^\circ\text{C}$ ) 时, 血液的渗透压。

解: (1)  $\Delta T_f=K_f b_B$

$$b_B=\Delta T_f/K_f=0.543\text{K}/(1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1})=0.292\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

设溶剂质量为 1kg

$$\omega=\frac{m_B}{m}=\frac{0.292\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\times 1\text{kg}\times 180\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}{0.292\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\times 1\text{kg}\times 180\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}+1000\text{g}}=0.0499$$

$$(2) \pi=cRT=0.292\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\times 8.314\text{kPa}\cdot\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\times 310\text{K}=753\text{kPa}$$

考点: 稀溶液凝固点降低、质量分数、渗透压的计算公式。

2. 1,2-亚乙基二醇  $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$  是一种常用的汽车防冻剂, 它溶于水并完全是非挥发性的(1,2-亚乙基二醇的摩尔质量为  $62.01\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 水的  $K_f = 1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $K_b = 0.512\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), 计算:

- (1) 在 2505g 水中溶解 651g 该物质的溶液的凝固点?
- (2) 夏天能否将它用于汽车散热器中?

解: (1) 溶液的质量摩尔浓度:  $b_B = \frac{651\text{g}}{62.01\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} \times 2.505\text{kg}} = 4.19\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$

凝固点降低值:  $\Delta T_f = K_f b_B = 1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 4.19\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1} = 7.79\text{K}$

∵ 纯水的凝固点是 273K,

∴ 该物质溶液的凝固点:  $T_f = 273\text{K} - 7.79\text{K} = 265.21\text{K}$

(2) 溶液的沸点升高:  $\Delta T_b = K_b b_B = 0.512\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 4.19\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1} = 2.14\text{K}$

纯水的沸点为 373K, 溶液的沸点为  $373\text{K} + 2.14\text{K} = 375.14\text{K}$

此溶液在 375.14K 沸腾, 所以夏天能用于汽车散热器中防止溶液沸腾。

考点: 稀溶液凝固点降低、沸点升高的计算公式。

#### 四、补充习题

##### (一) 是非题

1. 质量摩尔浓度是指溶液中溶质的物质的量除以溶液的质量。( )
2. 溶液中溶质的物质的量除以溶剂的体积称为物质的量浓度。( )
3. 同温度同体积的两杯蔗糖溶液, 浓度分别为  $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 则溶液中的蔗糖含量应是浓度为  $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的较多。( )
4. 质量相等的阻冻剂乙醇、甘油、葡萄糖, 效果相同。( )
5. 任何两种溶液用半透膜隔开, 都有渗透现象发生。( )
6. 稀溶液的依数性起因是蒸气压降低。( )
7. 在冬天抢修土建工程时, 常用掺盐水泥砂浆, 是因为盐可使水的凝固点降低。( )
8. 因为溶入溶质, 所以溶液的沸点一定高于纯溶剂的沸点。( )
9. 凝固点下降常数  $K_f$  的数值主要取决于溶液的浓度。( )
10.  $0.1\text{mol}$  食盐和  $0.1\text{mol}$  葡萄糖分别溶解在  $1\text{kg}$  水中, 在  $101.3\text{kPa}$  压力下, 两溶液的沸点都高于  $100^\circ\text{C}$ , 但葡萄糖水比食盐水要低。( )

##### (二) 选择题

###### 1. 单选题

(1) 硫酸瓶上的标记是:  $\text{H}_2\text{SO}_4 80\%$  (质量分数), 密度  $1.727\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , 摩尔质量  $98.0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 则该酸的物质的量浓度 ( $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 是 ( )

- A. 10.2      B. 14.1      C. 15.6      D. 16.8

(2) 将  $100\text{ml}$   $0.90\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{KNO}_3$  溶液与  $300\text{ml}$   $0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{KNO}_3$  溶液混合, 所制得的  $\text{KNO}_3$  溶液的浓度为 ( )

- A.  $0.50\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$       B.  $0.40\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

- C.  $0.30\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- D.  $0.20\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

(3) 用  $0.40\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{KCl}$  溶液 100ml 配制  $0.50\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{KCl}$  溶液(已知  $\text{KCl}$  的摩尔质量为  $74.6\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 假定加入溶质后溶液的体积不变), 下列操作正确的是 ( )

- A. 加入  $0.10\text{mol KCl}$
- B. 加入 20ml  $\text{H}_2\text{O}$
- C. 加入  $0.75\text{g KCl}$
- D. 蒸发掉 10ml  $\text{H}_2\text{O}$

(4) 某难挥发非电解质 10.4g 溶于 250g 水中, 该溶液的沸点为  $100.78^\circ\text{C}$ , 则该溶质的摩尔质量为(已知水的  $K_b=0.512\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) ( )

- A. 27
- B. 35
- C. 41
- D. 55

(5) 下列混合物中, 可以制成温度最低的制冷剂体系是 ( )

- A. 水+甘油
- B. 水+食盐
- C. 水+冰
- D. 冰+氯化钙

(6) 下列溶液中, 凝固点最低的是 ( )

- A.  $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{Na}_2\text{SO}_4$
- B.  $0.02\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{NaAc}$
- C.  $0.02\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{HAc}$
- D.  $0.03\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  尿素溶液

(7) 下列四种水溶液渗透压较高的是 ( )

- A. 质量分数为 5% 的葡萄糖
- B. 质量摩尔浓度为  $0.15\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  的蔗糖
- C.  $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{NaCl}$
- D.  $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{CaCl}_2$

(8) 设某不合格生理盐水的浓度远高于药典规定, 此生理盐水注入血管后将导致 ( )

- A. 红细胞中部分水渗出细胞
- B. 血液中部分水渗入红细胞内
- C. 内外均有渗透但相等
- D. 相互之间没有关联

(9) 某尿素水溶液的凝固点是  $-0.372^\circ\text{C}$ , 则该溶液的质量摩尔浓度为 ( )  
(已知水的  $K_f=1.86\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

- A.  $0.100\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$
- B.  $0.150\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$
- C.  $0.200\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$
- D.  $0.250\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$

(10) 5.0g 某聚合物溶于 400ml 水中,  $20^\circ\text{C}$  时的渗透压为 100Pa, 则该聚合物的摩尔质量为 ( )

- A.  $4.0\times 10^6$
- B.  $3.0\times 10^5$
- C.  $2.1\times 10^4$
- D.  $6.0\times 10^2$

## 2. 多选题

(1) 下列有关稀溶液依数性的叙述不正确的是 ( )

- A. 非电解质的稀溶液不一定都遵守依数性规律
- B. 稀溶液的某些性质只决定于溶质的粒子数而与溶质的本性无关
- C. 稀溶液的依数性是因为溶液的部分表面被难挥发的溶质粒子占据, 在单位时间内逸出液面的溶剂分子数减少, 引起蒸气压降低
- D. 遵守依数性规律的性质有: 蒸气压下降、沸点升高和凝固点降低

(2) 下列现象, 是因为溶液的渗透压不相等而引起的是 ( )

- A. 用  $9\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  的生理食盐水对人体输液补充病人的血容量
- B. 用淡水饲养海鱼, 易引起死亡
- C. 用食盐腌制蔬菜, 是蔬菜储藏的一种办法



D. 施肥时兑水过少会“烧死”作物

(3) 下列几种溶液中, 蒸气压相等的是 ( )

- A.  $1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaCl}$                       B.  $1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{HAc}$   
C.  $1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$                 D.  $1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{HCOOH}$

(4) 同温同浓度的下列水溶液中, 使溶液沸点升高最多的溶质是 ( )

- A.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$                               B.  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$   
C.  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$                               D.  $\text{K}_2\text{SO}_4$

(5) 下列溶液中, 凝固点一样的是 ( )

- A.  $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{Na}_2\text{SO}_4$                 B.  $0.03\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  尿素  
C.  $0.015\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{HAc}$                     D.  $0.015\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaAc}$

(6) 与 0.9% 的  $\text{NaCl}$  (摩尔质量为  $58.5\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) 溶液产生的渗透压相等的是 ( )

- A.  $0.15\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的蔗糖溶液              B. 0.9% 的  $\text{KCl}$  溶液  
C.  $0.30\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液              D.  $0.15\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{NaHCO}_3$  溶液

### (三) 填空题

- 将  $0.845\text{g}$   $\text{NaCl}$  (摩尔质量为  $58.5\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) 溶于  $435\text{g}$  水中, 溶液的质量摩尔浓度是\_\_\_\_\_。
- 若萘( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ )的苯( $\text{C}_6\text{H}_6$ )溶液中, 萘的摩尔分数为 0.100, 则该溶液的质量摩尔浓度为\_\_\_\_\_。(原子量: C 12, H 1)
- 向  $15\text{ml}$  浓度为  $6.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{HNO}_3$  溶液中加水  $10\text{ml}$ , 则溶液的浓度变为\_\_\_\_\_  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。
- 一瓶  $\text{HNO}_3$  溶液的标签上写有“ $\text{HNO}_3$  分子量 63.0, 密度  $1.42\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , 质量分数 0.70”, 其物质的量浓度为\_\_\_\_\_  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。
- ①把一块冰放在  $0^\circ\text{C}$  的纯水中。②另一块冰放在  $0^\circ\text{C}$  的盐水中。发生的现象是\_\_\_\_\_。
- 今有葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )、蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )和氯化钠三种溶液, 它们的质量分数都是 1%, 三者渗透压的大小为:\_\_\_\_\_。
- 将  $6.89\text{g}$  某难挥发非电解质溶于  $100\text{g}$  水中, 测得该溶液的沸点为  $100.275^\circ\text{C}$ , 则溶质的摩尔质量为\_\_\_\_\_。(水的  $K_b=0.512\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- 在  $30^\circ\text{C}$  时纯水的蒸气压为  $4243\text{Pa}$ 。含有  $1000\text{g}$  水和  $3.00\text{mol}$  的葡萄糖溶液, 在  $30^\circ\text{C}$  时的蒸气压为\_\_\_\_\_  $\text{Pa}$ 。(  $M_{\text{H}_2\text{O}}=18.0$  )
- 若  $37^\circ\text{C}$  时人眼睛的渗透压为  $770\text{kPa}$ , 则所用眼药水的总浓度(假定溶质全是非电解质)应为\_\_\_\_\_  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。
- 难挥发物质的水溶液, 在不断沸腾时, 它的沸点\_\_\_\_\_; 在冷却时, 它的凝固点\_\_\_\_\_。(填升高、下降或不变)

### (四) 简答题

- 乙二醇的沸点是  $197.9^\circ\text{C}$ , 乙醇的沸点是  $78.3^\circ\text{C}$ , 用作汽车散热器水箱中的防冻剂, 哪一种物质较好? 简述理由。