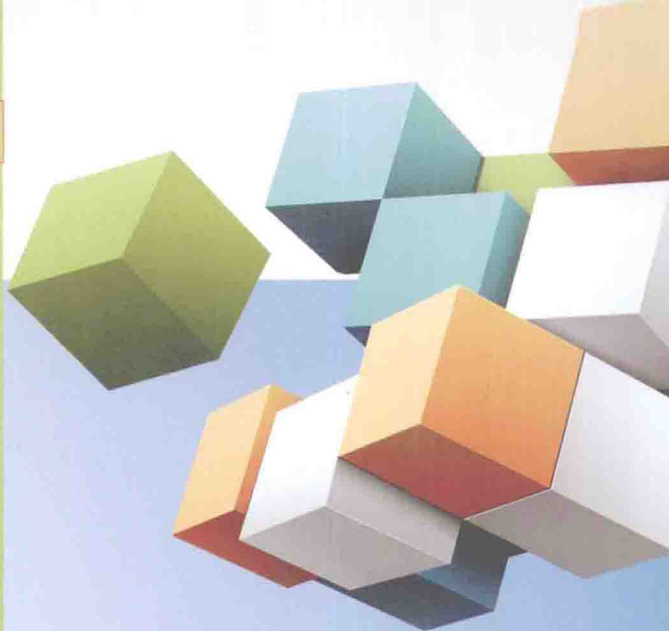


科学版 考研复习指导系列



无机化学

考研复习指导

(第二版)

徐家宁 王 莉 宋晓伟 张 萍 编



科学出版社

科学版考研复习指导系列

无机化学考研复习指导

(第二版)

徐家宁 王 莉 宋晓伟 张 萍 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共 18 章,前 9 章为基础理论部分,后 9 章为元素化学部分。各章包括内容提要、典型例题、自测题和自测题参考答案。典型例题突出解题“思路”,提出解题的切入点;自测题部分包括选择题、填空题、简答题和计算题,元素化学部分各章增加了完成并配平反应方程式题型。本书内容丰富,自测题解答详细,选择题、填空题增加了必要的解析过程,较难的题占有较大的比例。

本书为《无机化学核心教程》的配套教材,可作为综合性大学和师范学院及其他院校无机化学、普通化学及相关课程的硕士研究生入学考试指导书,也可作为学习无机化学、普通化学等课程的辅助教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学考研复习指导/徐家宁等编.—2 版.—北京:科学出版社, 2014.7

(科学版考研复习指导系列)

ISBN 978-7-03-041416-8

I. ①无… II. ①徐… III. ①无机化学-研究生-入学考试-自学参考资料 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 165997 号

责任编辑:郭慧玲/责任校对:桂伟利 彭 涛

责任印制:肖 兴/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三 河 市 骏 杰 印 刷 有 限 公 司 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年7月第 二 版 印张:26 1/2

2014年7月第六次印刷 字数:678 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

《无机化学考研复习指导》一书自 2009 年出版以来,深受广大读者的欢迎。经过几年的使用,编者发现还有很多不尽如人意之处,特组织无机化学教学一线教师对第一版进行修订。

本次修订在保持第一版“对知识点的总结较为全面,自测题覆盖的知识点多、解答详细,化学理论与元素性质及实验相结合”等优点的同时,主要注重以下几个方面:

(1) 对全书格局进行调整,由原来的 17 章改为 18 章,以求与《无机化学核心教程》前 15 章的编写顺序一致。

(2) 适当压缩第一版“例题”数量,各章基本保留 6~8 个“典型例题”。

(3) 删去第一版各章的“要点及难点解析”部分,以求压缩整体篇幅,节省读者时间,把更多的时间用在钻研习题和考题上。

(4) 删去第一版的“模拟试卷”部分。读者可围绕考研所报考学校的历届试题进行有针对性的模拟训练。

本书共 18 章,前 9 章为基础理论部分,后 9 章为元素化学部分。

参加本次修订的有王莉(第 1~9 章的自测题、自测题参考答案)、张萍(第 10~13 章的自测题、自测题参考答案)、宋晓伟(第 14~18 章的自测题、自测题参考答案)、徐家宁(各章的内容提要 and 典型例题)。最后由徐家宁统一补充、修改、定稿。

感谢于杰辉、张丽荣、井淑波、徐跃华、李冬梅、史苏华、宋天佑等参与编写本书第一版和对第二版修订编写工作的大力支持。

由于编者水平所限,本书难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正,使本书在下次修订时进一步完善。

编者

2014 年 6 月

于吉林大学化学学院

第一版前言

近几年来,随着高等教育事业的飞速发展和国家对高素质化学人才的需求的扩大,研究生培养的规模不断扩大。无机化学是化学及相关学科必修的基础主干课程,是许多相关专业硕士研究生入学考试的科目之一。目前无机化学教学内容和研究生入学考试的试题深度和广度都发生了很大变化。为了满足广大读者报考研究生复习的需求,我们编写了本书,希望对读者复习无机化学和普通化学时有所帮助。

作为一本考研指导书,本书力图突出以下特点:一是对知识点有较为全面的总结,以明确各章重点内容。二是自测题覆盖的知识点全,设计的切入点多。三是自测题解答详细,选择题、填空题除给出参考答案外,还增加了必要的解析以帮助读者理解、掌握解题的思路;特别是对简答题进行了详细的解答,有助于提高读者对综合试题的解答能力。四是自测题难易结合,较难的题占有一定的比例,既有利于读者自学,又能帮助读者对无机化学内容进行更深层次的理解。五是无机元素部分的综合推断题较多,将无机化学理论与元素性质实验相结合,使读者对重要元素及其化合物的性质有较为全面的理解和掌握。

读者在复习无机化学课程时,要充分注意近几年来硕士研究生入学考试课程的调整,及时了解所报考学校和专业对无机化学及相关课程入学考试的重点内容的基本范围和要求。例如,有些院校和专业在研究生入学考试时对无机化学课程基础理论部分只要求掌握原子结构、分子结构、氧化还原反应、配位化合物等内容,而将化学热力学和化学平衡等内容归入物理化学科目,将电解质溶液和沉淀溶解平衡等内容归入分析化学科目。

读者在复习无机化学课程时,一定要明确做习题的目的,要以巩固、理解、串联知识点为起点,开阔思路,积极思考,掌握知识点间的内在联系,提高综合分析能力和文字表达能力。

本书共 17 章,前 8 章为基础理论部分,后 9 章为元素化学部分。

参加本书初稿编写的有李冬梅(第 1 章、第 6~8 章),于杰辉(第 2 章、第 3 章),张萍(第 4 章),徐跃华(第 13 章),史苏华(第 5 章、第 9~12 章),徐家宁(第 14~17 章,各章的“要点及难点解析”和模拟试卷);本书修改稿由张丽荣(第 6 章),井淑波(第 7 章),史苏华(第 2 章、第 9~12 章),徐家宁(第 1 章、第 3~5 章、第 8 章、第 13~17 章)完成;宋天佑负责全书的总体设计并对部分内容进行了修改。全书最后由徐家宁统一补充、修改、定稿。无机化学教学组的范勇、王莉老师和博士生王瑛、马奎蓉、石晶等参与了部分文字的修改等工作。

本书能够与读者见面,得益于科学出版社的大力支持和鼓励,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平及时间所限,书中难免有不妥之处,诚请广大读者批评指正,使本书在下次修订时进一步完善。

编者

2008 年 12 月

于吉林大学化学学院

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章	化学基础知识	(1)
第 2 章	化学热力学基础	(21)
第 3 章	化学反应速率	(42)
第 4 章	化学平衡	(64)
第 5 章	原子结构与元素周期律	(89)
第 6 章	分子结构与化学键理论	(111)
第 7 章	解离平衡和沉淀溶解平衡	(146)
第 8 章	氧化还原反应	(172)
第 9 章	配位化合物	(203)
第 10 章	卤素	(236)
第 11 章	氧族元素	(256)
第 12 章	氮族元素	(281)
第 13 章	碳族元素和硼族元素	(310)
第 14 章	s 区元素和稀有气体元素	(334)
第 15 章	铜副族和锌副族元素	(351)
第 16 章	钛、钒副族和内过渡元素	(369)
第 17 章	铬副族和锰副族元素	(381)
第 18 章	铁系元素和铂系元素	(398)
	主要参考书目	(416)

第 1 章 化学基础知识

复习指南

- (1) 了解理想气体和实际气体的基本性质。
- (2) 熟悉气体的状态方程、分压定律。
- (3) 掌握稀溶液的依数性质及应用。
- (4) 熟练掌握溶液浓度的概念、计算和换算。

一、内容提要

(一) 气体

1. 理想气体

1) 理想气体概念

理想气体是指分子之间没有引力,分子本身不占有体积的气体。也就是说,理想气体分子之间、分子与器壁之间所发生的碰撞没有能量损失,气体体积可无限压缩。真正的理想气体实际上并不存在,但在高温、低压条件下可将实际气体近似看作理想气体。

2) 理想气体状态方程

理想气体的压强(p)、温度(T)、体积(V)、物质的量(n)之间的关系式称为理想气体状态方程:

$$pV = nRT$$

在不同条件下,它有不同的表达式。

当 n 一定时,有
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

当 n 、 T 一定时,有波义耳定律:
$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

当 n 、 p 一定时,有盖-吕萨克定律:
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

当 T 、 p 一定时,有阿伏伽德罗定律:
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

将 $n = \frac{m}{M}$, $\rho = \frac{m}{V}$ 代入理想气体状态方程,可求得气体的摩尔质量:

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{\rho RT}{p}$$

式中, m 为气体质量; ρ 为气体密度。

2. 实际气体

当实际气体分子之间的引力不可忽略时,实际气体分子与器壁碰撞所产生的压力要比相同物质的量的理想气体的压力小;而当实际气体分子自身的体积不可忽略时,只有从实际气体的体积($V_{\text{实}}$)减去其分子自身的体积,才能得到相当于理想气体的自由空间(气体分子可以自由运动且体积可以无限压缩)。实际气体的状态方程为

$$\left[p + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \right] (V - nb) = nRT$$

式中, a 和 b 为气体的范德华常量。

3. 混合气体的分压定律

1) 分压、分体积

分压:当某组分气体单独存在并占有总体积时所具有的压强,称为该组分气体的分压,用 p_i 表示。

$$p_i V_{\text{总}} = n_i RT$$

式中, $V_{\text{总}}$ 为混合气体所占有的体积; n_i 为某组分气体的物质的量。

分体积:当某组分气体单独存在且具有总压时所占有的体积,称为该组分气体的分体积,用 V_i 表示。

$$p_{\text{总}} V_i = n_i RT$$

2) 摩尔分数

某组分气体的物质的量占混合气体物质的量的分数称为摩尔分数,用 x_i 表示。

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad \text{或} \quad x_i = \frac{n_i}{n}$$

当 p 、 T 一定时,混合气体中某组分气体的摩尔分数等于体积分数(某组分气体的分体积占混合气体总体积的分数)。

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{V_i}{\sum V_i}$$

3) 混合气体的分压定律

混合气体的总压等于各组分气体的分压之和,称为气体分压定律,也称道尔顿(Dalton)分压定律。

$$p_{\text{总}} = \sum p_i$$

由混合气体分压的概念,有

$$p_i = p_{\text{总}} x_i$$

4. 气体的扩散定律

英国物理学家格雷厄姆(Graham)提出:同温同压下,气体的扩散速率与其密度的平方根成反比:

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_A}}$$

显然,气体的扩散速率也与摩尔质量的平方根成反比:

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

(二) 溶液

1. 溶液浓度的表示方法

1) 物质的量浓度

在 1 dm^3 溶液中含有溶质的物质的量,称为该溶质的物质的量浓度,也称为体积摩尔浓度,其单位为 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,有时也使用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示。物质 A 的物质的量浓度用符号 $c(\text{A})$ 、 c_A 或 $[\text{A}]$ 表示。

2) 质量摩尔浓度

在 1000 g 溶剂中含有溶质的物质的量,称为该溶质的质量摩尔浓度,用符号 b 表示,单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。溶质 B 在溶剂 A 中的质量摩尔浓度为

$$b_B = \frac{n_B}{m_A/1000}$$

3) 质量分数

溶质 B 的质量与溶液的质量之比称为溶质 B 的质量分数,用 ω_B 表示。

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

显然,固体混合物也可以计算质量分数。

4) 摩尔分数

溶液中溶质 B 的物质的量(n_B)与溶液的总物质的量(n)之比,称为溶质 B 的摩尔分数,用符号 x_B 表示。

$$x_B = \frac{n_B}{n}$$

5) 浓度换算

对于稀的水溶液,其质量摩尔浓度与摩尔分数之间的关系近似为

$$x_{\text{质}} = \frac{b}{55.56}$$

即稀溶液中,溶质的摩尔分数与其质量摩尔浓度成正比。

2. 饱和蒸气压

若液体的气化只在液体的表面进行,称为蒸发;若液体的气化在液体的表面和内部同时进行,称为沸腾。

1) 纯溶剂的饱和蒸气压

在密闭容器中,纯溶剂分子的凝聚速率和蒸发速率相等时,体系达到动态平衡,蒸气的压强不再改变,此时的蒸气为饱和蒸气,所产生的压强称为该温度下的饱和蒸气压,用 p^* 表示,饱和蒸气压与温度有关。

2) 溶液的饱和蒸气压

单位时间内在溶液表面凝聚的分子数目与蒸发的分子数目相等时的蒸气压,称为溶液的饱和蒸气压。在相同温度下单位时间内,单位面积的溶液表面所蒸发的溶剂分子数目小于纯溶剂表面所蒸发的溶剂分子数目,平衡时,蒸气的密度及压强都比纯溶剂的小。也就是说,溶液的饱和蒸气压(p)小于纯溶剂的饱和蒸气压(p^*)。

3) 拉乌尔(Raoult)定律

在一定温度下,稀溶液的饱和蒸气压(p)等于纯溶剂的饱和蒸气压(p^*)与溶剂在溶液中所占的摩尔分数($x_{\text{溶剂}}$)的乘积:

$$p = p^* x_{\text{溶剂}}$$

3. 难挥发的非电解质稀溶液的依数性

难挥发的非电解质稀溶液的某些性质只和溶液的浓度有关,称为稀溶液的依数性,包括蒸气压降低、凝固点(冰点)降低、沸点升高和渗透压。稀溶液的依数性只适用于难挥发的非电解质稀溶液,对于浓溶液或电解质溶液来说,虽然仍有蒸气压降低、沸点升高、凝固点(冰点)降低和渗透压的现象,但定量关系不准确。

1) 蒸气压降低

稀溶液的饱和蒸气压的降低值与溶液的质量摩尔浓度成正比:

$$\Delta p = kb$$

2) 沸点升高和凝固点降低

难挥发的非电解质稀溶液的沸点升高的数值(ΔT_b)和凝固点降低的数值(ΔT_f)均与其质量摩尔浓度成正比:

$$\Delta T_b = k_b b$$

$$\Delta T_f = k_f b$$

式中, k_b 、 k_f 分别为沸点升高常数、凝固点降低常数。水的 $k_b = 0.512 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

3) 渗透压

稀溶液的渗透压(Π)与溶液的浓度、温度的关系和理想气体状态方程相似:

$$\Pi V = nRT$$

二、典型例题

【例 1-1】 在 298 K 和 101.3 kPa 时,气体 A 的密度为 $1.80 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。求:

- (1) 气体 A 的摩尔质量;
- (2) 将密闭容器加热到 400 K 时容器内的压强。

思路:本题意在考查读者对理想气体状态方程的掌握和应用。将 $n = \frac{m}{M}$, $\rho = \frac{m}{V}$ 代入理想

气体状态方程,可求得气体的摩尔质量(M);气体的物质的量和体积不变时,利用 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 可求得温度变化后气体的压强。

解答:(1) 由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 的导出公式,得气体 A 的摩尔质量为

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.80 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \times 8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}} \\ = 44.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) 由理想气体状态方程 $pV=nRT$, 若 n 和 V 不变, 得 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, 则 400 K 时容器内的压强为

$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \times 400 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 1.360 \times 10^5 \text{ Pa}$$

【例 1-2】 在 25 °C 和 100 kPa 时, 于水面上方收集 10 dm³ 空气, 然后将其压缩到 200 kPa。已知 25 °C 时水的饱和蒸气压为 3167 Pa, 求:

- (1) 压缩后气体的质量;
- (2) 压缩后水蒸气的摩尔分数。

思路: 温度不变则水的饱和蒸气压不变, 空气在压缩过程中水蒸气分压不变。由于体积的减小使部分水蒸气凝结为水, 因此空气的量不变。利用理想气体状态方程和混合气体的分压定律 $p_i V_{\text{总}} = n_i RT$, 即可进行计算。

请注意, 由于压缩后部分水蒸气凝结为水, 压缩前后气体的物质的量发生了变化, 不能用压缩前后气体的总体积和总压由 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 求压缩后气体的总体积。

解答: (1) 气体压缩前空气的分压为

$$(100 \times 10^3 - 3167) \text{ Pa} = 96\ 833 \text{ Pa}$$

将 $n = \frac{m}{M}$ 代入混合气体的分压定律, 得空气的质量为

$$m_{\text{空}} = \frac{p_{\text{空}} V_{\text{总}} M}{RT} = \frac{96\ 833 \text{ Pa} \times 10 \text{ dm}^3 \times 29.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 11.33 \text{ g}$$

气体压缩后空气的分压为

$$(200 \times 10^3 - 3167) \text{ Pa} = 196\ 833 \text{ Pa}$$

气体压缩后的体积为

$$V = \frac{96\ 833 \text{ Pa} \times 10 \text{ dm}^3}{196\ 833 \text{ Pa}} = 4.92 \text{ dm}^3$$

气体压缩后水蒸气的质量为

$$m_{\text{水}} = \frac{p_{\text{水}} V_{\text{总}} M_{\text{水}}}{RT} = \frac{3167 \text{ Pa} \times 4.92 \text{ dm}^3 \times 18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 0.11 \text{ g}$$

压缩后气体的质量为

$$m_{\text{气}} = m_{\text{空}} + m_{\text{水}} = 11.33 \text{ g} + 0.11 \text{ g} = 11.44 \text{ g}$$

(2) 压缩后水蒸气的物质的量为

$$n_{\text{水}} = \frac{p_{\text{水}} V_{\text{总}}}{RT} = \frac{3167 \text{ Pa} \times 4.92 \text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} \\ = 6.29 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

压缩后气体总的物质的量为

$$n_{\text{气}} = \frac{p_{\text{总}} V_{\text{总}}}{RT} = \frac{200 \times 10^3 \text{ Pa} \times 4.92 \text{ dm}^3}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 3.97 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

压缩后水蒸气的摩尔分数为

$$x_{\text{水}} = \frac{n_{\text{水}}}{n_{\text{总}}} = \frac{6.29 \times 10^{-3} \text{ mol}}{3.97 \times 10^{-1} \text{ mol}} = 1.58 \times 10^{-2}$$

【例 1-3】 在 25 °C 时,将 C₂H₆ 和过量 O₂ 充入 2.00 dm³ 的氧弹中,压强为 200 kPa。点燃并完全燃烧后将气体通入过量的 Ca(OH)₂ 饱和溶液中。过滤、洗涤、干燥,得 4.00 g 沉淀。求原混合气体的组成。已知 CaCO₃ 的摩尔质量为 100 g · mol⁻¹。

思路:由 CaCO₃ 的质量可求得 CO₂ 的物质的量,进而求得 C₂H₆ 的物质的量。由 C₂H₆ 的物质的量可计算混合气体中 O₂ 的量,则可得混合气体的组成。

解答:生成 CO₂ 的物质的量为

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

生成 CO₂ 的反应为



则生成 CO₂ 所消耗的 C₂H₆ 的物质的量为 0.0200 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 O₂ 的物质的量为

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

原混合气体的组成为 C₂H₆ 0.0200 mol, O₂ 0.141 mol。

【例 1-4】 将 0.1000 dm³ CuSO₄ 溶液蒸干后,得 4.994 g 水合晶体,再将其于 300 °C 加热脱水至恒量,得 3.192 g 无水固体。已知 CuSO₄ 的摩尔质量为 159.6 g · mol⁻¹。

(1) 通过计算给出水合硫酸铜晶体的化学式;

(2) 求原 CuSO₄ 溶液的物质的量浓度。

思路:由两次称量的质量之差可求得水合硫酸铜晶体中结晶水的数目;由无水硫酸铜固体的质量和溶液的体积可求得溶液的物质的量浓度。

解答:(1) 水合硫酸铜晶体中结晶水的物质的量为

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{4.994 \text{ g} - 3.192 \text{ g}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.1000 \text{ mol}$$

硫酸铜固体的物质的量为

$$n_{\text{CuSO}_4} = \frac{m_{\text{CuSO}_4}}{M_{\text{CuSO}_4}} = \frac{3.192 \text{ g}}{159.6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.02000 \text{ mol}$$

水合硫酸铜晶体中结晶水的数目为

$$\frac{0.1000 \text{ mol}}{0.02000 \text{ mol}} = 5$$

水合硫酸铜晶体的化学式为 CuSO₄ · 5H₂O。

(2) 原 CuSO₄ 溶液的物质的量浓度为

$$[\text{CuSO}_4] = \frac{n_{\text{CuSO}_4}}{V} = \frac{0.02000 \text{ mol}}{0.1000 \text{ dm}^3} = 0.2000 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

【例 1-5】 将 4.5 g 葡萄糖溶于 100 g 水中,求该葡萄糖水溶液的沸点。已知水的沸点升高常数 $k_b = 0.512 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$,葡萄糖的摩尔质量为 $180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

思路: 本题考查的是稀溶液依数性质的计算公式。计算葡萄糖溶液的质量摩尔浓度 b ,再由沸点升高公式 $\Delta T_b = k_b b$ 可计算沸点升高值,进而求得该葡萄糖溶液的沸点。

解答: 葡萄糖溶液的质量摩尔浓度为

$$b = \frac{n_{\text{糖}}}{m_{\text{水}}/1000} = \frac{m_{\text{糖}}/M_{\text{糖}}}{m_{\text{水}}/1000} = \frac{4.5 \text{ g}/180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(100/1000) \text{ kg}} \\ = 0.250 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

葡萄糖溶液的沸点升高值为

$$\Delta T_b = k_b b = 0.512 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.250 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \\ = 0.13 \text{ K}$$

葡萄糖溶液的沸点为

$$T_b = 373.16 \text{ K} + 0.13 \text{ K} = 373.29 \text{ K}$$

【例 1-6】 实验测得,人的血浆在 37°C 时的渗透压为 773 kPa,求人的血浆的凝固点。已知水的凝固点降低常数 $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

思路: 由渗透压公式 $\Pi V = nRT$,可以推导出渗透压与物质的量浓度的关系。对于稀溶液,物质的量浓度与质量摩尔浓度近似相等,因此由凝固点降低公式 $\Delta T_f = k_f b$ 可进一步计算凝固点降低值,则人的血浆的凝固点可得。

解答: 由渗透压公式 $\Pi V = nRT$ 得

$$\Pi = \frac{n}{V} RT = cRT$$

则人的血浆的物质的量浓度为

$$c = \frac{\Pi}{RT} = \frac{773 \times 10^3 \text{ Pa}}{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 37) \text{ K}} \\ = 0.30 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

对于稀溶液 $b \approx c = 0.30 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$,则人的血浆的凝固点降低值为

$$\Delta T_f = k_f b = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.30 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \\ = 0.56 \text{ K}$$

人的血浆的凝固点为

$$T_f = 273.16 \text{ K} - \Delta T_f = 273.16 \text{ K} - 0.56 \text{ K} = 272.6 \text{ K}$$

三、自 测 题

(一) 选择题

- 初始压强均为 100 kPa 的 $2 \text{ dm}^3 \text{ N}_2$ 和 $1 \text{ dm}^3 \text{ O}_2$ 充入抽空的 1 dm^3 容器中,如果温度保持不变, N_2 的分压是()。
(A) 100 kPa (B) 200 kPa (C) 300 kPa (D) 400 kPa
- 在相同的温度和压强下,在两个体积相同的容器中分别充满 N_2 和 He,则两容器中物理量相等的是()。
(A) 分子数 (B) 密度 (C) 电子数 (D) 原子数

3. 下列实际气体中,性质最接近理想气体的是()。
- (A) H_2 (B) He (C) N_2 (D) O_2
4. 实际气体与理想气体性质接近的条件是()。
- (A) 高温高压 (B) 低温高压 (C) 高温低压 (D) 低温低压
5. 扩散速率约为甲烷 3 倍的气体是()。
- (A) H_2 (B) He (C) N_2 (D) CO_2
6. 下列各组气体中,在相同温度下两种气体扩散速率最接近整数倍的是()。
- (A) H_2 和 He (B) He 和 N_2 (C) He 和 O_2 (D) H_2 和 O_2
7. 将 5 dm^3 300 K、300 kPa 的 O_2 与 8 dm^3 400 K、200 kPa 的 N_2 以及 3.5 dm^3 350 K、600 kPa 的 He 压入 10 dm^3 的容器中,维持体系温度 300 K,则下面判断中正确的是()。
- (A) O_2 的压强降低, N_2 和 He 的压强增加
 (B) N_2 的压强增加, O_2 和 He 的压强降低
 (C) N_2 的压强不变,总压比混合前的总压低
 (D) O_2 、 N_2 和 He 的压强均降低
8. 气体的溶解度与气相中气体的分压成正比,可用 $c_A = k p_A$ 表示。其中 p_A 为气体 A 的分压, c_A 为该气体在溶剂中的溶解度, k 为比例常数。经测定在 298 K 和 101.3 kPa 时空气中的 O_2 在水中的浓度为 $2.9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。在此温度下,纯 O_2 的溶解度为()。
- (A) $2.9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (B) $1.38 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
 (C) $1.4 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (D) $1.38 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
9. 温度 T 时,将 A、B 两种气体在体积为 V 的容器中混合。混合后气体的压强为 p ,若 V_A 、 V_B 分别为两气体的分体积, p_A 、 p_B 分别为两气体的分压,下列式子中不正确的是()。
- (A) $pV_A = n_A RT$ (B) $p_A V = n_A RT$
 (C) $pV = (n_A + n_B) RT$ (D) $pV = n_A RT$
10. 溶液的下列性质中,决定稀溶液具有依数性质的是()。
- (A) 溶液蒸气压下降 (B) 溶液凝固点降低
 (C) 溶液沸点升高 (D) 溶液有渗透压
11. 将 0.5 mol 难挥发性非电解质溶于 4.5 mol 溶剂中,所形成溶液的饱和蒸气压与纯溶剂的蒸气压之比为()。
- (A) 1 : 9 (B) 1 : 10 (C) 9 : 10 (D) 10 : 9
12. 水在 96.5 °C 时沸腾,这说明外界大气压()。
- (A) 等于一个标准大气压 (B) 略高于一个标准大气压
 (C) 低于一个标准大气压 (D) 远高于一个标准大气压
13. 已知各物质的相对分子质量:乙二醇 62,吡啶 79,葡萄糖 180,蔗糖 342。下列溶液中,与 3.1% 的乙二醇溶液所产生的渗透压最接近的是()。
- (A) $1.0 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的乙二醇溶液 (B) 6.3% 的吡啶溶液
 (C) 9.0% 的葡萄糖溶液 (D) 12% 的蔗糖溶液
14. 下列各组物质中,制冷效果最好的是()。
- (A) 冰 (B) 冰 + 食盐
 (C) 冰 + $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ (D) 冰 + $CaCl_2$
15. 下列物质中,常温下在水中溶解度最大的是()。

(A) Cl_2 (B) Br_2 (C) I_2 (D) O_2

16. 浓度均为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的下列溶液中,凝固点最高的是()。

(A) NaCl (B) MgCl_2 (C) AlCl_3 (D) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

(二) 填空题

- 分体积是指在相同温度下,组分气体具有和_____时所占有的体积;每一组分气体的体积分数等于该组分气体的_____。
- 一定量的互不反应的混合气体:在恒压下升高温度,各组分气体的体积分数将_____;恒温下增加总压,各组分气体的分压将_____;增加混合气体的体积,各组分气体的摩尔分数_____。
- 对于 1 mol 实际气体,其实际气体状态方程为_____;在实际气体状态方程中, a 是用以校正实际气体造成的_____的系数;而 b 是用以校正实际气体造成的_____的系数。
- 采取不同的单位时,摩尔气体常量 R 的数值为 _____ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、_____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、_____ $\text{Pa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、_____ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、_____ $\text{kPa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 等。
- 在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 时将一定量的 H_2 和 Br_2 (沸点 $58 \text{ }^\circ\text{C}$) 充入密闭容器中,混合后反应,若温度不变,则随着反应的进行容器内的压强_____。
- 测定易挥发物质的相对分子质量应采用_____法;测定一些高分子化合物的相对分子质量应采用_____法。
- 水的正常冰点是_____ $^\circ\text{C}$,是指在标准大气压下_____蒸气压相等时的温度;水的正常沸点是_____ $^\circ\text{C}$,在该温度下_____和_____相等。
- 在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 200 kPa 下甲烷在苯中的溶解度为 $4.7 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,在 300 kPa 下甲烷在苯中的溶解度为_____ $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。
- 在 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 将 101.3 kPa 的水蒸气充满 10 dm^3 恒容容器中。
 - 冷却至 $85 \text{ }^\circ\text{C}$,水蒸气的质量为_____ g ,容器内压强为_____ Pa (水的饱和蒸气压为 58 kPa);
 - 冷却至 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,凝结析出水的质量为_____ g (水的饱和蒸气压为 31 kPa)。
- 为了使块状的固体尽快溶解于水,经常采用_____、_____、_____方法。
- 分别将 5 g 甘油和 5 g 乙二醇溶于 100 g 水中,用“<”和“>”号填空:
 - 沸点:甘油_____乙二醇;
 - 凝固点:甘油_____乙二醇;
 - 蒸气压:甘油_____乙二醇;
 - 渗透压:甘油_____乙二醇。
- 葡萄糖水溶液的凝固点是一 $0.452 \text{ }^\circ\text{C}$ (已知葡萄糖的相对分子质量为 180 ,水的凝固点降低常数 $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$),则此溶液的质量摩尔浓度为_____。
- 将 1.84 g HgCl_2 溶于 100 g 水中,经测定该溶液的凝固点是一 $0.126 \text{ }^\circ\text{C}$,由此推测 HgCl_2 在水中的存在形式主要是_____。

(三) 简答题

- 四氢呋喃、甘油、乙二醇和甲醇都可用作汽油防冻剂,选用哪种物质更合适? 并简要说明原因。

- 实际气体接近理想气体的条件是怎样的?
- 溶液的沸点是否一定比纯溶剂的沸点高? 为什么?
- 将一小块 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰放在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水中,另一小块 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰放在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的盐水中,现象有什么不同? 为什么?
- 由蒸气密度的测量值计算得到 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时纯硫酸的相对分子质量为 50.03,请加以解释。
- 在密闭容器中放入两个容积为 1 dm^3 的烧杯,A 杯中装有 300 cm^3 水,B 杯中装有 500 cm^3 10% 的 NaCl 溶液。最终达到平衡时将会呈现什么现象? 为什么?
- 现有体积均为 1 dm^3 的 $1\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 和 $1\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 H_2SO_4 溶液,请指出哪种溶液中含有 H_2SO_4 的量多,并阐述理由。

(四) 计算题

- 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,碘的饱和蒸气压为 41.32 Pa ,液态氯仿的饱和蒸气压为 26.55 kPa 。在碘的氯仿饱和溶液中,碘的摩尔分数为 0.0147。试求:
 - 饱和溶液中碘的分压;
 - 此溶液的蒸气压。
- 在 273 K 时,将相同压强的 4.00 dm^3 的 N_2 和 1.00 dm^3 的 O_2 压入体积为 2.00 dm^3 的真空容器中,混合气体的总压为 345.2 kPa 。求:
 - 混合气体中 N_2 、 O_2 的分压;
 - 各组分气体在混合气体中的物质的量。
- 若在 300 K 恒温条件下,将 0.20 mol 气体 A 和 0.10 mol 气体 B 充入 50 dm^3 真空密闭容器中,求达到平衡后容器内的总压。已知在 300 K 时,液体 A 的饱和蒸气压为 8.58 kPa ,液体 B 的饱和蒸气压为 6.42 kPa ,两种液体互不相溶。
- 将一定量的 KClO_3 加热分解,反应结束后固体质量减少 0.64 g ,生成的 O_2 用排水集气法收集。计算常温常压下所收集气体的体积。已知水的饱和蒸气压为 3.17 kPa 。
- 在催化剂作用下,将 50 cm^3 密度为 $1.12\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、浓度为 30% 的 H_2O_2 水溶液完全分解,生成 O_2 和 H_2O ;在 291 K 和 101 kPa 下,用排水集气法收集到气体的体积是多少(水的饱和蒸气压为 2.06 kPa)? 将该气体干燥后氧气的体积是多少?
- 在连通器两端分别装有 N_2 和 H_2 。装 N_2 储瓶的温度为 $227\text{ }^{\circ}\text{C}$,压强为 500 kPa ;装 H_2 储瓶的温度为 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。打开连接活塞,体系达到平衡后测得混合气体的温度为 $127\text{ }^{\circ}\text{C}$,总压强为 400 kPa ,求混合前 H_2 储瓶的压强。
- 在 373 K 和 101.3 kPa 时,乙醇蒸气与 O_2 混合气体中乙醇的分压为 75.98 kPa 。将 2 dm^3 混合气体在恒压下冷却至 300 K 时,测得乙醇的分压为 25.33 kPa 。计算:
 - 冷却后气体的体积;
 - 冷却过程中乙醇凝聚成液体的质量。
- 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 101.3 kPa ,将 2.00 dm^3 干燥的 CO_2 缓慢通过 1.00 dm^3 水后,用含 10.000 g KOH 的溶液吸收 CO_2 ,再将溶液蒸干后得固体 11.087 g 。假设 CO_2 从水中带走的水蒸气可以忽略不计,求饱和 CO_2 溶液的物质的量浓度。
- 在一个密闭容器中有质量均为 1000 g 的甲、乙两杯水溶液,甲杯中为 0.86% 的葡萄糖溶液,乙杯中为 1.86% 的非电解质 A 的溶液。恒温下放置足够长的时间达到平衡,甲杯中溶液的质量减少了 6.369 g 。计算乙杯中非电解质 A 的相对分子质量。

10. 测得 $0.08 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 氨水的凝固点为 $0.186 \text{ }^\circ\text{C}$ 。已知水的凝固点常数为 $1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, 计算氨水的解离度。
11. 在 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 使 10.0 g 氯仿(CHCl_3)在真空容器中蒸发为气体, 容器的体积应为多大? 相同温度下, 将 101.3 kPa 、 3 dm^3 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 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的饱和蒸气压为 49.3 kPa 。
12. 将 3.24 g 硫溶于 40 g 苯中, 该苯溶液的沸点升高 0.81 K , 请给出硫在苯溶液中的分子式。已知苯的沸点升高常数 $k_b = 2.53 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。
13. 在标准大气压下, 一定量的干燥 N_2 先缓慢通过 5% 的某非挥发性物质 A 的氯仿溶液, 再缓慢地通过纯氯仿液体, 停止通气后测得第一瓶的氯仿溶液失重 2.24 g , 第二瓶的纯氯仿液体失重 0.04 g , 试计算 A 的相对分子质量。
14. 将某碳氢化合物 3.20 g 溶于 50 g 苯中, 溶液的凝固点下降了 $0.256 \text{ }^\circ\text{C}$ 。已知苯的凝固点降低常数为 $5.12 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。
- (1) 求该碳氢化合物的相对分子质量;
- (2) 若上述溶液在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的密度为 $0.920 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 求溶液的渗透压。
15. 将 0.570 g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶于 120 g 水中, 溶液凝固点为 $-0.080 \text{ }^\circ\text{C}$, 相同质量的 PbCl_2 溶于 100 g 水中, 溶液凝固点为 $-0.0381 \text{ }^\circ\text{C}$ 。试通过计算判断这两种盐在水中的解离程度。
16. 注射用生理盐水是 0.9% 的 NaCl 溶液, 该溶液产生的渗透压与人体血液的渗透压相近。试计算人体血液的渗透压和凝固点。已知水的凝固点降低常数为 $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M_{\text{NaCl}} = 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

自测题参考答案

(一) 选择题

1. (B)。

解析: 当 n 、 T 一定时, 按波义耳定律 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, N_2 的分压为

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{100 \text{ kPa} \times 2 \text{ dm}^3}{1 \text{ dm}^3} = 200 \text{ kPa}$$

2. (A)。

解析: 根据理想气体状态方程 $pV = nRT$, 相同的温度、压强和体积的两种气体, 物质的量相同。

3. (B)。

解析: 理想气体是指分子本身不占有体积、分子间没有作用力的气体。在题中所给出的实际气体中, 单原子分子 He 的体积和分子间作用力均最小, 其性质最接近理想气体。

4. (C)。

解析: 在高温低压条件下, 实际气体分子之间的距离较远, 分子之间的作用力很小, 可忽略; 同时, 分子本身的体积与气体的体积相比小得多, 可忽略。

5. (A)。

解析: 根据气体的扩散定律, 气体的扩散速率与其相对分子质量的平方根成反比:

$$\frac{u_A}{u_{\text{CH}_4}} = \sqrt{\frac{M_{\text{CH}_4}}{M_A}} = 3, \quad M_A \approx 2$$

6. (D)。

解析: 气体的扩散速率与相对分子质量的平方根成反比:

$$\frac{u_{\text{H}_2}}{u_{\text{He}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{He}}}{M_{\text{H}_2}}} = \sqrt{\frac{4}{2}} = 1.4$$