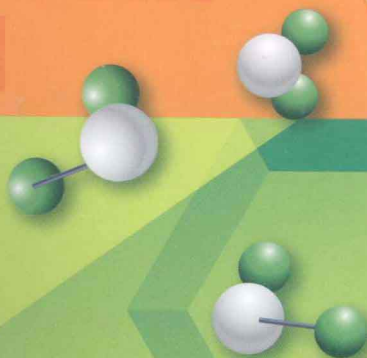
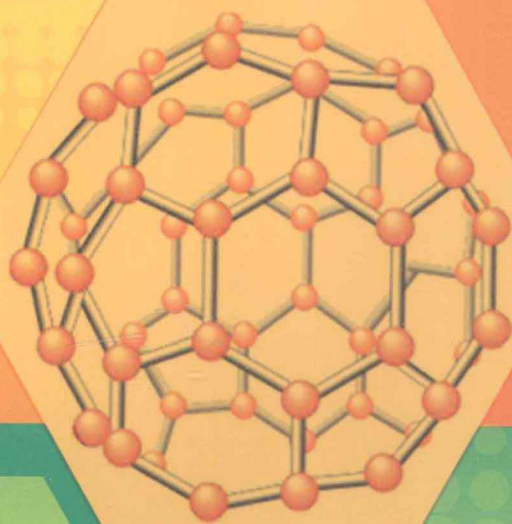


高等学校教材

# 无机化学学习指导 及习题集

尹学琼 潘勤鹤 主编

WUJI HUAXUE  
XUEXI ZHIDAO  
JI XITANJI



化学工业出版社

高等学校教材

# 无机化学学习指导及习题集

尹学琼 潘勤鹤 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在章节安排上,不拘泥于某本具体教材,而是还原无机化学本质内容,按化学基础知识、物质结构、化学热力学及动力学、化学基本原理、元素化学的顺序编排,注重内容前后衔接,循序渐进,有助于学生理解掌握学习内容,形成完整的无机化学知识体系。各章节设置有学习要点、难点解析、示范例题、练习题和参考答案等内容。学习要点帮助学生梳理知识脉络,难点解析有助学生理解重难点问题,通过示范例题明晰解题思路,以练习题检查学习效果,参考答案协助学生查缺补漏。本书最后还附有学习自测题4套,为期末考试和考研进行摸底测试,帮助学生检验整门课程的学习情况。

本书通用性强,可作为高等院校广大需要学习无机化学的学生的辅导教材,对考研学生亦是一本有益的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

无机化学学习指导及习题集/尹学琼,潘勤鹤主编.

北京:化学工业出版社,2013.8

高等学校教材

ISBN 978-7-122-17807-7

I. ①无… II. ①尹… ②潘… III. ①无机化学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第145066号

---

责任编辑:宋林青

加工编辑:林媛

责任校对:宋玮

装帧设计:史利平

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张:19 $\frac{3}{4}$  字数:465千字 2013年10月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

# 《无机化学学习指导及习题集》

主 编：尹学琼 潘勤鹤

参编人员：(以姓名笔画为序)

王 江 王小红 王华明 尹学琼

刘 江 刘 坚 张才灵 张绍芬

罗明武 胥 涛 智 霞 潘勤鹤

# 前 言

《无机化学》是化学、化工、材料、生物、医药、食品、轻工等化学相关专业的骨干基础必修课,在绝大多数高校尤其是理工科及综合性院校均有开设。无机化学起着衔接中学大学化学教育以及承启分析化学、物理化学、有机化学及诸多专业课的重要作用,扎实的无机化学知识是进一步学习后续课程和分析解决一般化学问题的重要理论基础。无机化学的内容繁多,如何帮助学生在较短的教学时间内理清无机化学的知识脉络、掌握重点知识内容,对无机化学教学来说无疑是一个挑战。为学生提供一本合适的无机化学学习指导书,重点阐明重点难点、详解典型例题、提供操练习题、模拟检测水平,将有助于学生课后复习巩固、扎实掌握所学知识。

本书在章节安排上,不拘泥于某本具体教材,而是还原无机化学本质内容,按化学基础知识、物质结构、化学热力学及动力学、化学基本原理、元素化学的顺序编排,注重内容前后衔接,循序渐进,有助于学生理解掌握学习内容,形成完整的无机化学知识体系。各章节设置有学习要点、难点解析、示范例题、练习题和参考答案等内容,学习要点帮助学生梳理知识脉络,难点解析有助学生理解重难疑点问题,通过示范例题明晰解题思路,以练习题检查学习效果,参考答案协助学生查缺补漏。本书最后还附有学习自测题4套,为期末考试和考研进行摸底测试,帮助学生检验整门课程的学习情况。

本书适用于开设无机化学和普通化学的各类专业,可作为教师教学参考书、学生学习辅导材料和研究生入学考试的复习参考资料。

本书由尹学琼、潘勤鹤主编。参加编写的人员有:罗明武(第一、十一章),张才灵(第二、十、十二章),智霞(第三、十三章),潘勤鹤(第四、十四章),尹学琼、王江(第十五章),刘坚(第六、十六章),王华明(第七、十七章),王小红(第八、十四章),张绍芬(第九、二十章),胥涛(第五、十八章),刘江(第十九章)。尹学琼负责第一、六、七、八、十一、十四、十五、十六、十七、十九章的校审修改工作,潘勤鹤负责第二、三、四、五、九、十、十二、十三、十八、二十章的校审修改工作,全书由尹学琼统稿整理。本书的出版得到了海南省化学工程与技术重点学科的大力支持,我们对此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限等诸多原因,书中难免有疏漏及欠妥之处,请同行们批评指正,不胜感激!

编 者

2013年3月于海口

# 目 录

<b>第一章 化学基础知识</b> .....	1	练习题 .....	35
学习要点 .....	1	参考答案 .....	39
一、气体 .....	1	<b>第四章 固体结构</b> .....	42
二、液体 .....	3	学习要点 .....	42
三、稀溶液的依数性 .....	4	一、晶体结构的特征与晶格理论 .....	42
难点解析 .....	4	二、晶体的类型 .....	43
示范例题 .....	5	三、金属晶体 .....	44
练习题 .....	7	四、离子晶体 .....	45
参考答案 .....	10	五、分子晶体与分子间力 .....	47
<b>第二章 原子结构和元素周期律</b> .....	13	难点解析 .....	48
学习要点 .....	13	示范例题 .....	48
一、原子结构的 Bohr 理论 .....	13	练习题 .....	51
二、微观粒子运动的基本特性 .....	13	参考答案 .....	54
三、氢原子结构的量子力学描述 .....	13	<b>第五章 化学热力学与化学平衡</b> .....	58
四、多电子原子结构 .....	14	学习要点 .....	58
五、元素周期表 .....	15	一、热力学术语和基本概念 .....	58
六、元素性质的周期性 .....	16	二、热力学第一定律 .....	59
难点解析 .....	17	三、热化学 .....	59
示范例题 .....	17	四、熵 (S) .....	60
练习题 .....	18	五、Gibbs 自由能 .....	61
参考答案 .....	22	六、化学平衡 .....	62
<b>第三章 化学键与分子结构</b> .....	26	难点解析 .....	63
学习要点 .....	26	示范例题 .....	64
一、离子键理论 .....	26	练习题 .....	68
二、价键理论 .....	27	参考答案 .....	75
三、杂化轨道理论 .....	27	<b>第六章 化学动力学基础</b> .....	81
四、价电子对互斥理论 .....	29	学习要点 .....	81
五、分子轨道理论 .....	30	一、化学反应速率及表示方法 .....	81
六、键参数 .....	30	二、化学反应速率方程 .....	81
七、分子间力 .....	31	三、Arrhenius 方程 .....	81
八、氢键 .....	31	四、催化剂对反应速率的影响 .....	82
难点解析 .....	31	难点解析 .....	83
示范例题 .....	32	示范例题 .....	86

练习题 .....	88	难点解析 .....	144
参考答案 .....	93	示范例题 .....	145
<b>第七章 酸碱平衡</b> .....	98	练习题 .....	150
学习要点 .....	98	参考答案 .....	157
一、酸碱质子理论 .....	98	<b>第十一章 碱金属和碱土金属</b> .....	167
二、酸碱的相对强弱 .....	98	学习要点 .....	167
三、酸碱溶液中 pH 值的计算 .....	99	一、碱金属和碱土金属通性 .....	167
四、缓冲溶液 .....	100	二、碱金属和碱土金属的单质 .....	167
难点解析 .....	101	三、碱金属和碱土金属的化合物 .....	168
示范例题 .....	102	四、离子晶体盐类的溶解性 .....	170
练习题 .....	105	五、锂、铍的特殊性 .....	171
参考答案 .....	108	难点解析 .....	171
<b>第八章 沉淀溶解平衡</b> .....	112	示范例题 .....	172
学习要点 .....	112	练习题 .....	173
一、溶度积原理 .....	112	参考答案 .....	175
二、影响难溶电解质溶解度的因素 .....	112	<b>第十二章 硼族和碳族元素</b> .....	177
难点解析 .....	113	学习要点 .....	177
示范例题 .....	114	一、硼族元素 .....	177
练习题 .....	117	二、碳族元素 .....	178
参考答案 .....	120	难点解析 .....	180
<b>第九章 氧化还原反应 电化学</b> .....	122	示范例题 .....	181
学习要点 .....	122	练习题 .....	181
一、氧化还原反应的基本概念 .....	122	参考答案 .....	185
二、电化学电池 .....	123	<b>第十三章 氮族和氧族元素</b> .....	187
三、电极电势 .....	123	学习要点 .....	187
四、电极电势的应用 .....	124	一、氮族 .....	187
难点解析 .....	125	二、氧族 .....	191
示范例题 .....	126	难点解析 .....	194
练习题 .....	127	示范例题 .....	194
参考答案 .....	132	练习题 .....	195
<b>第十章 配位化学基础</b> .....	137	参考答案 .....	198
学习要点 .....	137	<b>第十四章 卤素元素</b> .....	203
一、配合物的基本知识 .....	137	学习要点 .....	203
二、配位平衡和配位平衡常数 .....	139	一、卤素 .....	203
三、影响配位平衡移动的因素 .....	139	二、p 区元素化合物性质的递变规律 .....	206
四、配合物的空间构型与异构现象 .....	140	难点解析 .....	206
五、配位化合物的价键理论 .....	142	示范例题 .....	207
六、晶体场理论 .....	143	练习题 .....	208

参考答案 .....	211	三、钼和钨及其化合物 .....	249
<b>第十五章 氢和稀有气体</b> .....	214	四、锰族元素及其化合物 .....	250
学习要点 .....	214	难点解析 .....	252
一、氢在元素周期表中的位置 .....	214	示范例题 .....	254
二、氢及其同位素的存在、用途及制备		练习题 .....	256
方法 .....	214	参考答案 .....	259
三、二元氢化物的类型 .....	214	<b>第十九章 VIII B 副族 (铁、钴、镍)</b> .....	263
四、稀有气体的性质、制备及用途 .....	214	学习要点 .....	263
五、稀有气体的化合物 .....	214	一、铁系元素 .....	263
难点解析 .....	215	二、铂系元素 .....	269
示范例题 .....	215	难点解析 .....	269
练习题 .....	216	示范例题 .....	270
参考答案 .....	218	练习题 .....	271
<b>第十六章 铜族和锌族元素</b> .....	220	参考答案 .....	275
学习要点 .....	220	<b>第二十章 稀土元素</b> .....	278
一、铜副族 .....	220	学习要点 .....	278
二、锌副族 .....	221	一、稀土元素简介 .....	278
难点解析 .....	222	二、镧系元素概述 .....	278
示范例题 .....	224	三、镧系元素的性质 .....	279
练习题 .....	227	四、镧系元素的重要化合物 .....	280
参考答案 .....	232	五、稀土元素的应用 .....	281
<b>第十七章 钛族和钒族元素</b> .....	237	练习题 .....	281
学习要点 .....	237	参考答案 .....	284
一、钛副族 .....	237	<b>模拟题</b> .....	287
二、钒副族 .....	238	模拟题一 .....	287
难点解析 .....	238	参考答案 .....	290
示范例题 .....	239	模拟题二 .....	293
练习题 .....	240	参考答案 .....	295
参考答案 .....	244	模拟题三 .....	298
<b>第十八章 铬族和锰族元素</b> .....	248	参考答案 .....	300
学习要点 .....	248	模拟题四 .....	302
一、铬族元素的通性 .....	248	参考答案 .....	304
二、铬的化合物 .....	248	参考文献 .....	307



# 第一章 化学基础知识

## 学习要点

### 一、气体

#### 1. 理想气体状态方程式

理想气体的条件是:分子本身不占体积,分子间没有相互作用力,分子和分子之间、分子和器壁之间的碰撞是完全弹性的。

理想气体状态方程式:

$$pV = nRT$$

由于  $n = m/M$  和  $\rho = m/V$  ( $m$ 、 $M$ 、 $\rho$  分别为理想气体的质量、摩尔质量和密度),所以上式可改写成

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$pM = \rho RT$$

应用理想气体状态方程式,应注意两点:

(1)它只适用于理想气体,对实际气体仅在高温、低压下近似适用。

(2)单位的匹配。摩尔气体常数  $R$  在  $p$  和  $V$  单位不同时,应选用匹配的单位,例如:  
8.314 Pa · m<sup>3</sup> · mol<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>; 8.314 kPa · L · mol<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>; 8.314 J · mol<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>。

#### 2. 气体分压定律

(1)基本概念

①分压力:恒温时,某组分气体占据与混合气体相同体积时所产生的压力。

②分体积:恒温时,某组分气体具有和混合气体相同压力时所占有的体积。

(2)混合气体中某组分气体的气态方程式

$$p_i V_{\text{总}} = n_i RT \text{ 或 } p_{\text{总}} V_i = n_i RT$$

注意:用总体积时则乘以分压力;而用总压力时则乘以分体积。

(3)气体分压定律

①内容:混合气体的总压力等于各组分气体分压力之和;某组分气体分压力的大小和它在气体混合物中的体积分数(或摩尔分数)成正比。

②数学表达式:  $p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_i = \Sigma p_i$

$$p_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \times p_{\text{总}} \text{ 或 } p_i = \frac{V_i}{V_{\text{总}}} \times p_{\text{总}}$$

(4)气体分压定律的应用

计算混合气体中某组分的分压力;在水面上收集气体的真正压力。

#### 3. 气体扩散定律

(1)内容 同温同压下,气体的扩散速度与其密度(或摩尔质量)的平方根成反比。

## (2) 数学表达式

$$\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_A}} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

(3) 定律的应用 ①根据分子量计算不同气体间的扩散速度比;②由已知分子量和扩散速度比,计算未知气体的分子量。

## 4. 气体分子运动论

## (1) 气体分子运动的速率分布

气体分子运动速率有算术平均速率 $\bar{u}$ 和均方根速率 $\bar{u}_r$ ,其定义分别为

$$\bar{u} = \frac{\sum u_i}{n}, \bar{u}_r = \sqrt{\frac{\sum u_i^2}{n}}$$

式中, $u_i$ 为某分子 $i$ 的运动速率; $N$ 为分子总数。

$\bar{u}$ 和 $\bar{u}_r$ 与温度、摩尔质量 $M$ 的关系分别为

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}, \bar{u}_r = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

## (2) 气体分子的能量分布

气体分子运动的能量分布,也呈玻尔兹曼分布(或正态分布)。

气体分子平均动能关系式 $\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} m \bar{u}_r^2 = \frac{3}{2} kT$ (温度是分子平均动能的量度)

## (3) 理想气体分子运动方程式

$$pV = \frac{1}{3} Nm \bar{u}_r^2$$

意义:从微观角度阐明了宏观物理量的统计意义,即一定温度下,气体的压力由单位体积中气体分子数、分子的质量及分子的运动速率等参量所决定。因此讨论单个分子的压力没有意义。

## 5. 实际气体的范德华(van der Waals)方程

(1) 实际气体与理想气体的偏差 实际气体分子本身有一定体积,所以其实际体积比表观的体积小;实际气体分子间有相互作用力,因此其实际压力比表观的压力大。

## (2) 实际气体的范德华(van der Waals)方程

$$\text{对 } nmol \text{ 实际气体} \quad \left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

$$\text{对 } 1mol \text{ 实际气体} \quad \left(p + \frac{a}{V_m}\right)(V_m - b) = RT$$

式中, $V_m$ 为气体的摩尔体积; $a$ 相当于 $1mol \cdot m^{-3}$ 时气体分子的内聚力; $b$ 大致略小于气体在液态时的摩尔体积。

应用:查出实际气体的范德华常数 $a$ 和 $b$ ,代入方程式计算实际气体的有关值。

## 6. 气体的液化

## (1) 气体液化的条件

①降温(减小气体分子的平均动能,从而减小液体的饱和蒸气压);

②加压(减小气体分子间距离,从而增大分子间的引力)。

注意:单纯采用降温的方法可以使气体液化;但单纯采用加压的方法则不一定能使气体液化,需要使温度降至某一定值以下时,加压才能实现液化。

### (2) 气体的临界常数

①临界温度:加压使气体液化时所允许的最高温度。

②临界压力:在临界温度时,使气体液化所需的最低压力。

③临界体积:在临界温度和临界压力下,1mol 气态物质所占有的体积。

### (3) 一般规律

①分子量较大的极性分子有较高的临界温度(常在室温以上),如  $\text{NH}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ 。

②分子量较小的非极性分子有较低的临界温度(常在室温以下),如  $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 。

### (4) 气体划分

①永久气体(沸点和临界温度都低于室温的气体,不能在室温下加压液化)。

②可凝聚气体(沸点低于室温但临界温度高于室温的气体,在室温下加压可液化)。

注:沸点和临界温度都高于室温的物质,在室温下已呈液态。

## 二、液体

### 1. 基本概念

(1)蒸发 液态分子从液面进入空间成为蒸气分子的过程。

蒸发条件:汽化的分子有较高的能量,能克服分子间引力(需要做逸出功)。根据气体分子能量分布曲线知,温度一定时,在单位时间内从单位表面上逸出的分子数是恒定的。显然,温度升高,分子动能普遍增大,具有逸出能量的分子数增多,蒸发速率加快。

蒸发在任何温度下均可进行,在敞口容器中液体可完全蒸发,但在密闭容器中则会建立蒸发-凝聚平衡。蒸发是吸热过程,液体从周围环境中吸收热量保持温度不变,因此表层分子的能量分布、速率分布也不变。

(2)凝聚 液面上的蒸气分子回到液体中的过程(也称为冷凝)。应注意,在一定温度时,凝聚速率决定于蒸气压力的大小。

(3)饱和蒸气 与液体达到蒸发-凝聚平衡的蒸气。

(4)饱和蒸气压(简称蒸气压) 饱和蒸气所产生的压力。

注意:蒸气压表示液体分子逸出的趋势,在一定温度下趋势一定,其数值大小取决于液体的本质和温度,与液体的量和液面上方空间的体积无关,也与气相中存在的其他气体无关。

(5)蒸发热 维持液体恒温恒压下蒸发所必需的热量。决定因素:液体的本性和外界温度。

(6)沸腾 当液体的蒸气压等于外压时,液体内部不断地产生蒸气气泡的现象。

注意:沸腾温度以下时,蒸发仅发生在液体表面,沸腾时液体内部也发生蒸发现象。

(7)沸点 液体的蒸气压等于外界压力时的温度(或液体沸腾时的温度)。

影响沸点的因素:液体本性(决定了液体分子间引力大小)和外界压力。

### 2. 重要规律和相关计算

(1)蒸气压与温度的经验关系式

$$\lg p = A\left(\frac{1}{T}\right) + B$$

意义:蒸气压的对数值与热力学温度的倒数成正比。

(2) 克劳修斯-克拉贝龙方程式

$$\lg p = -\frac{\Delta H}{2.303RT} + B$$

式中,  $\Delta H$  为液体的蒸发热。

两点式 
$$\lg \frac{p_1}{p_2} = \frac{\Delta H}{2.303R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

应用: ① 已知  $T_1$ 、 $p_1$ 、 $T_2$ 、 $p_2$  计算蒸发热;

② 已知  $\Delta H$  和  $T_1$ 、 $p_1$ , 计算  $T_2$  下的  $p_2$  或  $p_2$  下的  $T_2$ ;

③ 最常用的计算是由常压下沸点计算其他压力下的沸点。

### 三、稀溶液的依数性

#### 1. 溶液的饱和蒸气压下降

Raoult(拉乌尔)定律指出: 在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压  $p$  与纯溶剂的饱和蒸气压  $p^*$  有如下关系式

$$p = p^* x_A$$

式中,  $x_A$  为溶剂的摩尔分数。

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

式中,  $x_B$  为溶质的摩尔分数。

在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降值与溶质的摩尔分数成正比。

#### 2. 溶液的沸点上升和凝固点下降

难挥发非电解质稀溶液沸点上升( $\Delta T_b$ )和凝固点下降( $\Delta T_f$ )与溶液浓度的关系:

$$\Delta T_b = K_b b_B$$

$$\Delta T_f = K_f b_B$$

式中,  $b_B$  为溶液中溶质的质量摩尔浓度,  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $K_b$  为溶剂沸点升高系数,  $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $K_f$  为溶剂凝固点下降系数,  $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

#### 3. 渗透压

稀溶液渗透压  $\pi$  的公式为

$$\pi V = nRT$$

或

$$\pi = cRT$$

式中,  $\pi$  为渗透压,  $\text{kPa}$ ;  $T$  为热力学温度,  $\text{K}$ ;  $V$  为溶液体积,  $\text{L}$ ;  $n/V$  为溶液的物质的量浓度,  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $R$  为摩尔气体常数。

## ❧ 难点解析 ❧

### 1. 气体分子运动方程式的推导

气体放于边长为  $l$  的立方容器中, 则气体的体积  $V = l^3$ 。

设容器中气体的总分子数为  $N$ , 每个气体分子的质量为  $m$ , 分子的均方根速率为  $\bar{u}_r$ 。

假设其中某一个分子自左向右运动, 其动量为  $m\bar{u}_r^2$ , 当它碰撞器壁后仍以原来的速率向相反方向运动, 此时它的动量改变为  $-m\bar{u}_r^2$ , 则分子每碰撞器壁一次, 其分子动量改变量为  $2m\bar{u}_r^2$ 。

又在容器中, 分子运动每经过距离  $l$  便和容器内壁碰撞一次, 则每秒碰撞的次数为  $\bar{u}_r/l$ ,

因此每分子每秒动量改变为  $2m\bar{u}_r^2/l$ 。

因分子在单位时间内动量改变( $d m\bar{u}_r^2/dt$ )与该分子施加于内壁的力( $F$ )的关系为

$$d m\bar{u}_r^2/dt = m d\bar{u}_r^2/dt = m\alpha = F$$

所以  $2\bar{u}_r^2/l$  就是该分子施加于内壁的力。容器内共有  $N$  个分子向各方向运动,故内壁总共受力为  $2Nm\bar{u}_r^2/l$ 。

压力为单位面积上所受的力,容器总面积为  $6l^2$ ,因此

$$p = \frac{2Nm\bar{u}_r^2}{6l^2l} = \frac{Nm\bar{u}_r^2}{3l^3}$$

把  $V=l^3$  代入,得

$$pV = \frac{1}{3}Nm\bar{u}_r^2$$

## 2. 为什么在讨论稀溶液的依数性时,要把溶质限定为难挥发非电解质?

溶质若为易挥发的物质或电解质,则对依数性的影响比较复杂。例如,在水中加入一定量的乙醇,由于乙醇的挥发性大于水,在一定的温度下,乙醇溶液的蒸气压就会大于该温度下纯水的蒸气压。所以溶液的蒸气压不是降低而是升高了。由于溶液的蒸气压升高了,该溶液的沸点就降低了。但溶液的凝固点是溶剂的固相蒸气压与溶液中溶剂的蒸气分压达到平衡时的温度。不管易挥发还是难挥发的溶质,都会降低溶液中溶剂的蒸气分压,所以凝固点都是会下降的。

溶质是电解质,在水中能解离成离子。带电离子在溶液中强烈相互作用,使其有效浓度即活度与计量浓度相差较大,而且随离子的电荷增加和浓度增大,这个差距会越来越大。故在讨论溶液依数性时,为了使依数性与溶液浓度之间的关系简单化,能用简单公式把它们定量地联系起来,所以把溶质限定为难挥发非电解质。

理论解释:在临界温度以上,气体分子的动能较大,加大压力虽然可使气体分子间距离缩小,吸引力增大,但吸引力的增大是有限的,仍然不能克服分子热运动的扩散膨胀因素,所以不能使气体液化。

## 示范例题

**例 1** 用金属镁与稀硫酸反应制取氢气。在  $25^\circ\text{C}$  下,用排水集气法收集氢气,集气瓶中气体压力为  $98.70\text{kPa}$ ( $25^\circ\text{C}$  时,水的饱和蒸气压为  $3.17\text{kPa}$ ),体积为  $2.500\text{L}$ ,计算反应中消耗镁的质量。

**思考提示:**实验过程收集得的氢气实际上是氢气与水蒸气的混合物,在计算氢气的体积和物质的量时必须考虑水蒸气的影响。

**解:**  $p(\text{H}_2) = p(\text{总}) - p(\text{H}_2\text{O}) = 98.70\text{kPa} - 3.17\text{kPa} = 95.53\text{kPa}$

$$n(\text{H}_2) = \frac{p(\text{H}_2)V(\text{H}_2)}{RT} = \frac{95.53 \times 10^3 \times 2.50 \times 10^{-3}}{8.314 \times 298.15} = 0.0963\text{mol}$$



$$24.30\text{g} \qquad \qquad \qquad 1\text{mol}$$

$$m(\text{Mg}) = ? \qquad \qquad \qquad 0.0963\text{mol}$$

$$m(\text{Mg}) = \frac{24.3 \times 0.0963}{1} = 2.34\text{g}$$

**例 2** 在 200g 水中溶解 100g 乙二醇  $C_2H_6O_2$  制取汽车用的防冻剂,试问:

- (1) 已知 25℃ 时纯水蒸气压是 3.18kPa, 求该温度下溶液的蒸气压;
- (2) 溶液的正常沸点;
- (3) 溶液将在什么温度下凝固。

**思考提示:** 根据  $p = p^* x_A$ , 需先求溶剂水的摩尔分数  $x_A$ , 进而求溶液的蒸气压  $p$ ; 先求溶液的质量摩尔浓度  $b$ , 再根据  $\Delta T_b = K_b b_B$  求溶液沸点升高值  $\Delta T_b$ ; 根据  $\Delta T_f = K_f b_B$  求溶液凝固点降低值  $\Delta T_f$ 。

$$\text{解: } n_{H_2O} = \frac{200}{18} = 11.11 \text{ mol}, n_{C_2H_6O_2} = \frac{100}{62} = 1.61 \text{ mol}, x_{H_2O} = \frac{11.11}{11.11 + 1.61} = 0.87$$

$$(1) p = p^* x_A = 3.18 \times 0.87 = 2.76 \text{ kPa}$$

$$(2) b_B = \frac{100/62}{200 \times 10^{-3}} = 8.06 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta T_b = K_b b_B = 0.512 \times 8.06 = 4.13^\circ \text{C}$$

溶液的正常沸点为  $100 + 4.13 = 104.13^\circ \text{C}$

$$(3) \Delta T_f = K_f b_B = 1.86 \times 8.06 = 15^\circ \text{C}$$

溶液将在  $-15^\circ \text{C}$  凝固。

**例 3** 在  $60^\circ \text{C}$  将某气体通过一盛水容器, 在 100kPa 下收集该气体 1.0L。问:

- (1) 温度不变, 将压力降低为 50kPa 时, 气体的体积是多少?
- (2) 温度不变, 将压力增加到 200kPa 时, 气体的体积是多少?
- (3) 压力不变, 将温度升高到  $100^\circ \text{C}$  时, 气体的体积是多少?
- (4) 压力不变, 将温度降低至  $10^\circ \text{C}$  时, 气体的体积是多少?

已知  $10^\circ \text{C}$  和  $60^\circ \text{C}$  时水的饱和蒸气压分别为 1.2kPa 和 20kPa

**思考提示:** 收集到的气体为该气体与水蒸气的混合气体, 总物质的量不变。而水蒸气的物质的量会因为凝聚发生变化。

$$\text{解: (1)} n_{\text{总}} \text{ 不变, } p_1 V_1 = p_2 V_2, 100 \times 1.0 = 50 V_2, V_2 = 2.0 \text{ L}$$

(2) 压力增加会引起水蒸气的凝聚, 但该气体的物质的量没有变化, 可以用该气体的分压来计算总体积:

$$\begin{aligned} p_{\text{气}1} V_1 &= n_{\text{气}} R T = p_{\text{气}2} V_2 \\ (100 - 20) \times 1.0 &= (200 - 20) V_2 \\ V_2 &= 0.44 \text{ L} \end{aligned}$$

$$(3) n_{\text{总}} \text{ 不变, } V_1 / T_1 = V_2 / T_2 = \text{常数}$$

$$V_2 = 0.85 \text{ L}$$

(4) 温度降低也会引起水蒸气的凝聚, 但该气体的物质的量没有变化, 可以用该气体的分压来计算总体积:

$$\begin{aligned} \frac{p_1 V_1}{T_1} &= \frac{p_2 V_2}{T_2} \\ \frac{(100 - 20) \times 1.0}{273 + 60} &= \frac{(100 - 1.2) \times V_2}{273 + 10} \\ V_2 &= 0.69 \text{ L} \end{aligned}$$

## 练习题

## 1. 选择题

- (1)  $20^{\circ}\text{C}$  和  $101\text{kPa}$  下,  $10.0\text{L}$  某气体质量为  $25.0\text{g}$ , 则它的摩尔质量是( )。
- A.  $240\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; B.  $60.0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  
C.  $12.0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; D.  $6.00\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- (2) 在( )条件下, 真实气体接近于理想气体。
- A. 高温、低压; B. 低温、高压;  
C. 低温、低压; D. 高温、高压
- (3) 某温度下, 某容器中充有  $2.0\text{mol O}_2(\text{g})$ 、 $3.0\text{mol N}_2(\text{g})$  和  $1.0\text{mol Ar}(\text{g})$ 。如果混合气体的总压为  $120\text{kPa}$ , 则  $\text{O}_2(\text{g})$  的分压为( )。
- A.  $40\text{kPa}$ ; B.  $20\text{kPa}$ ; C.  $120\text{kPa}$ ; D.  $60\text{kPa}$
- (4) 偏离理想气体行为较多的气体, 其分子具有( )。
- A. 较高的分子速率; B. 较小的相对分子质量;  
C. 较大的分子体积; D. 较弱的分子间作用力
- (5) 下列溶液的凝固点与  $0.18\%$  的葡萄糖(相对分子质量为  $180$ )溶液近似相等的是( )。
- A.  $0.1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  的蔗糖; B.  $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  的尿素;  
C.  $0.02\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  的  $\text{NaCl}$ ; D.  $0.01\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  的  $\text{KCl}$
- (6)  $27^{\circ}\text{C}$ 、 $100.0\text{kPa}$  的  $\text{O}_2(\text{g})$  恰好和  $10.0\text{L}$ 、 $27^{\circ}\text{C}$ 、 $50.0\text{kPa}$  的  $\text{NO}(\text{g})$  反应生成  $\text{NO}_2(\text{g})$ , 则  $\text{O}_2(\text{g})$  的体积为( )。
- A.  $25.0\text{L}$ ; B.  $5.0\text{L}$ ; C.  $2.5\text{L}$ ; D.  $10.0\text{L}$
- (7) 蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )、葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )各  $10.0\text{g}$ , 分别溶于  $100.0\text{g}$  水中成为 A、B 两溶液。用半透膜将两溶液隔开, 则( )。
- A. A 中水渗入 B; B. B 中水渗入 A;  
C. 没有渗透现象; D. 以上情况都有可能
- (8) 在下列各种性质中,  $\text{H}_2(\text{g})$  和  $\text{He}(\text{g})$  相同的是( )。
- A. 密度; B. 标准状态下,  $10\text{mol}$  所占的体积;  
C. 标准状态下,  $10\text{g}$  所占的体积; D. 扩散速率
- (9) 将一定量的  $\text{H}_2$  与一定量的  $\text{He}$  放在一个密闭容器中混合均匀, 在温度不变时, 此混合气体的总压力为( )。
- A.  $\text{H}_2$  单独占有此容器时的压力; B.  $\text{He}$  单独占有此容器时的压力;  
C. 混合前  $\text{H}_2$  和  $\text{He}$  压力之和; D.  $\text{H}_2$  和  $\text{He}$  分别占有此容器时压力之和
- (10) 在室温常压条件下, 将  $4.0\text{L N}_2$  和  $2.0\text{L H}_2$  充入一个  $8.0\text{L}$  的容器, 混合均匀, 则混合气体中  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  的分体积分别是( )。
- A.  $V(\text{N}_2)=4.0\text{L}$ ,  $V(\text{H}_2)=2.0\text{L}$ ; B.  $V(\text{N}_2)=5.3\text{L}$ ,  $V(\text{H}_2)=2.7\text{L}$ ;  
C.  $V(\text{N}_2)=2.0\text{L}$ ,  $V(\text{H}_2)=4.0\text{L}$ ; D.  $V(\text{N}_2)=3.0\text{L}$ ,  $V(\text{H}_2)=5.0\text{L}$
- (11) 将  $30\text{g}$  某难挥发非电解质溶于  $120\text{g}$  水中, 使水的凝固点下降到  $-1.86^{\circ}\text{C}$ , 该物质的

摩尔质量是(已知  $K_f=1.86$ )( )。

- A. 30;                      B. 120;                      C. 186;                      D. 250

(12)在相同温度下,某气体的扩散速率是  $\text{CH}_4$  的  $1/4$ ,则其相对分子质量为( )。

- A. 4;                      B. 256;                      C. 64;                      D. 16

(13)在相同温度下,对于等质量的气态  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$ ,下列说法中正确的是( )。

- A. 分子的平均动能不同;                      B. 分子的平均速率不同;  
C. 分子的扩散速率相同;                      D. 对相同容积的容器所产生的压力相同

(14)范德华方程式:  $(p + \frac{an^2}{V^2})(V - nb) = nRT$  是为了修正按理想气体计算的真实气体的

( )。

- A. 分子的固有体积和分子间的作用力;                      B. 分子间化学反应的可能性;  
C. 分子的量子行为;                      D. 分子的高速运动

(15)温度不变的情况下,将压力为  $100\text{kPa}$  的  $\text{N}_2$   $3.0\text{L}$  和压力为  $120\text{kPa}$  的  $\text{CO}_2$   $1.0\text{L}$  同时混合在  $2.0\text{L}$  密闭容器中,则混合气体的总压力为( )。

- A.  $210\text{kPa}$ ;                      B.  $120\text{kPa}$ ;                      C.  $220\text{kPa}$ ;                      D.  $110\text{kPa}$

## 2. 填空题

(1) $25^\circ\text{C}$ 时,将压力相同的  $5\text{L N}_2(\text{g})$  和  $10\text{L CO}_2(\text{g})$  充入容积为  $10\text{L}$  的真空容器中,混合气体的总压为  $141\text{kPa}$ ,则  $\text{N}_2(\text{g})$  的分压为\_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ ,  $\text{O}_2(\text{g})$  的分压为\_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ 。 $25^\circ\text{C}$  时,若真空容器容积为  $15\text{L}$ ,则混合气体的总压为\_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ 。

(2)称取某一有机化合物  $9.0\text{g}$  溶于  $200.0\text{g}$  水中,测得溶液的凝固点为  $-0.186^\circ\text{C}$ ,则该有机物的摩尔质量为\_\_\_\_\_  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,此有机物溶液的沸点为\_\_\_\_\_  $\text{K}$ 。

(3)稀溶液的依数性既与\_\_\_\_\_有关,又与溶剂的\_\_\_\_\_有关。

(4)称取  $m\text{g}$  某物质(已知相对分子质量为  $M$ ),溶于  $a\text{g}$  水中,形成密度为  $\rho(\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$  的溶液,则此溶液的质量摩尔浓度为\_\_\_\_\_,物质的量浓度为\_\_\_\_\_,质量分数为\_\_\_\_\_,溶质的摩尔分数为\_\_\_\_\_。

(5)将压力为  $33.3\text{kPa}$  的  $\text{H}_2$   $3.0\text{L}$  和  $26.0\text{kPa}$  的  $\text{He}$   $1.0\text{L}$  在  $2.0\text{L}$  的容器中混合均匀,假定温度不变,则  $p(\text{H}_2) =$ \_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ ,  $p(\text{He}) =$ \_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ ,  $p_{\text{总}} =$ \_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ ,  $V(\text{H}_2) =$ \_\_\_\_\_  $\text{L}$ ,  $V(\text{He}) =$ \_\_\_\_\_  $\text{L}$ 。

(6)两种溶液,一为  $3.6\text{g}$  葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )溶于  $200\text{g}$  水中,另一为  $20\text{g}$  未知物溶于  $500\text{g}$  水中,这两种溶液在同温度下结冰,则未知物摩尔质量为\_\_\_\_\_。

(7)在常温常压下,某混合气体中含有等质量的  $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ne}$ 、 $\text{CO}_2$ ,请按下列要求进行排列(已知相对原子质量:  $\text{He}: 4$ ,  $\text{C}: 12$ ,  $\text{O}: 16$ )

分子均方根速率减小的顺序\_\_\_\_\_;

分子平均能量减小的顺序\_\_\_\_\_。

(8)相同质量的尿素( $M=60\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )和葡萄糖( $M=180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )分别溶于水而成  $1\text{L}$  溶液,则相同温度下,尿素和葡萄糖的渗透压之比\_\_\_\_\_。

(9)某容器中充有  $m_1\text{g N}_2(\text{g})$  和  $m_2\text{g CO}_2(\text{g})$ ,在温度  $T(\text{K})$  下混合气体总压为  $p(\text{kPa})$ ,则  $\text{N}_2(\text{g})$  的分压为\_\_\_\_\_  $\text{kPa}$ ,容器的体积为\_\_\_\_\_  $\text{L}$ 。



(10) 假定  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2$  都是理想气体(用“=、>、<”等符号填在下列横线上), 则当两种气体的  $p$ (压力)、 $V$ (体积)、 $T$ (温度) 相同时, 它们的物质的量  $n(\text{CO}_2)$  \_\_\_\_\_  $n(\text{N}_2)$ ;

当两种气体的  $p$ 、 $V$ 、 $T$  相同时, 它们的质量  $m(\text{CO}_2)$  \_\_\_\_\_  $m(\text{N}_2)$ ;

当两种气体的  $p$ 、 $V$  相同, 它们的密度  $\rho(\text{CO}_2)$  \_\_\_\_\_  $\rho(\text{N}_2)$ ;

当两种气体的平均动能相同时,  $T(\text{CO}_2)$  \_\_\_\_\_  $T(\text{N}_2)$ 。

(11) 给定下列溶液:

A. 5% 蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ );

B. 5% 葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ );

C. 5% 乙二醇( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ );

D. 5% NaCl 溶液

试问:

溶液蒸气压由高到低的排列顺序为\_\_\_\_\_;

同时分别加热上述溶液, 最先沸腾的是\_\_\_\_\_;

溶液的渗透压最大的是\_\_\_\_\_。

### 3. 判断题(判断下列各项叙述是否正确, 对, 打“√”; 错, 打“×”。)

(1) 正常情况下, 液体沸腾时, 液体的蒸气压等于外界大气压。( )

(2) 在水的凝固点时, 冰的饱和蒸气压等于水的饱和蒸气压, 等于外界大气压。( )

(3) 稀溶液的  $K_f$  ( $K_b$ ) 只与溶剂本身有关, 与溶液浓度、温度无关。( )

(4) 一定量气体在一定压力下, 当温度由  $100^\circ\text{C}$  上升至  $200^\circ\text{C}$  时, 则气体的体积增加一倍。( )

(5) 在一定温度下, 某种接近于理想气体的真实气体体积的增大是由于分子的平均动能减少。( )

(6)  $25^\circ\text{C}$ , 将  $1.0\text{L}$   $240\text{kPa}$  的氮气与  $2.0\text{L}$   $60\text{kPa}$  的氧气充入容积为  $3.0\text{L}$  的真空器中, 则容器内的总压  $p = 300\text{kPa}$ 。( )

(7) 真实气体对理想气体方程产生偏差的原因是分子有体积和分子间有作用力。( )

(8) 一定温度下, 气体的压力由单位体积中气体分子数、分子的质量及分子的运动速率等参量所决定。( )

(9) 单纯采用降温的方法可以使气体液化。( )

(10) 单纯采用降压的方法可以使气体液化。( )

### 4. 问答题

(1) 什么叫理想气体? 摩尔气体常数的单位  $R$  若为  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、 $\text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $R$  值分别为多少?

(2) 稀溶液中的溶剂与纯溶剂之间有什么本质差别?

(3) 为什么海水较河水难结冰?

(4) 溶质是难挥发物质的溶液, 在不断沸腾时, 它的沸点是否恒定? 其蒸气在冷凝过程中的凝聚点是否恒定?

(5) 如何定义混合气体的分压? 何为气体分压定律?

(6) 真实气体的行为为什么偏离理想气体? 真实气体在哪些条件下更接近理想气体?