

LK



无机化学 学习指导

WUJI HUAXUE XUEXI ZHIDAO

井乐刚 柴芳 编著

黑龙江科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学学习指导 / 井乐刚, 柴芳编著. -- 哈尔滨
: 黑龙江科学技术出版社, 2011.9
ISBN 978-7-5388-6802-9

I. ①无… II. ①井… ②柴… 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(2011)第 191858 号

责任编辑 刘佳琪

封面设计 刘 洋

无机化学学习指导

WUJI HUAXUE XUEXI ZHIDAO

井乐刚 柴芳 编著

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150086 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话 (0451) 53642106 电传 53642143 (发行部)

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

发 行 全国新华书店

开 本 787 × 1092 1/16

印 张 13.25

字 数 300 000

版 次 2011 年 8 月第 1 版 · 2011 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5388-6802-9/Z·870

定 价 39.80 元

前 言

无机化学是高等院校生物科学、生物技术、制药、园林等专业学生第一学期必修的一门重要基础课。由于学生刚由高中升入大学，对大学的教学方式和方法不太适应，普遍反映该门课程公式多，抓不住学习重点，解题时感到困难。为此，我们在总结多年教学经验，并参考教材及相关资料的基础上，编写了这本学习参考书，以帮助学生理解、记忆和灵活运用无机化学的基本理论知识，提高分析问题和解决问题的能力。

本书共分 8 章，每章由基本要求、内容提要、例题、习题和习题答案五部分组成。“基本要求”部分使学生明确学习的目标和任务；“内容提要”部分是对每章所涉及的基本概念、基础知识、重要公式等的系统归纳和概括；在“例题”部分，通过对所选题目的解析，使学生熟悉解题思路、方法、步骤及一般规则，提高解题技能和技巧；“习题”部分选择的练习题，既有适合于绝大多数学生巩固课堂所学知识的简单题目，也有适合于学有余力学生的综合性较强的题目；每一道习题都给出了答案及详细的解题步骤，便于学生理解解题思路。

本书的编写分工为：井乐刚主要负责各章的“习题”和“习题答案”部分，柴芳主要负责各章的“基本要求”、“内容提要”以及“例题”部分。全书由井乐刚统稿。

本书的出版得到了哈尔滨师范大学博士科研启动基金的资助，在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限以及时间仓促，错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 7 月于哈尔滨

目 录

1 气体和溶液.....	1
1.1 基本要求.....	1
1.2 内容提要.....	1
1.2.1 理想气体状态方程.....	1
1.2.2 道尔顿分压定律.....	2
1.2.3 分散系.....	2
1.2.4 稀溶液的通性.....	3
1.2.5 溶胶的制备.....	5
1.2.6 溶胶的性质.....	5
1.2.7 胶团的结构.....	6
1.2.8 溶胶的稳定性和聚沉.....	6
1.2.9 大分子溶液和凝胶.....	7
1.3 例题.....	7
1.4 习题.....	8
1.5 习题答案.....	11
2 热力学.....	17
2.1 基本要求.....	17
2.2 内容提要.....	17
2.2.1 热力学的一些基本概念.....	17
2.2.2 热力学第一定律.....	18
2.2.3 可逆过程和最大功.....	18
2.2.4 热化学的一些基本概念.....	19
2.2.5 热化学方程式.....	19
2.2.6 盖斯定律.....	20
2.2.7 标准生成焓.....	20
2.2.8 化学反应的自发性.....	21
2.2.9 熵.....	21
2.2.10 热力学第二定律.....	21
2.2.11 热力学第三定律.....	22
2.2.12 吉布斯自由能.....	22
2.2.13 标准生成吉布斯自由能.....	22
2.2.14 吉布斯自由能变与温度的关系.....	23
2.2.15 范托夫等温方程.....	23
2.3 例题.....	25
2.4 习题.....	27
2.5 习题答案.....	32

3 化学平衡和化学反应速率	40
3.1 基本要求	40
3.2 内容提要	40
3.2.1 化学平衡	40
3.2.2 标准平衡常数	41
3.2.3 多重平衡规则	42
3.2.4 标准平衡常数的应用	42
3.2.5 化学平衡的移动	43
3.2.6 化学反应速率的表示方法	43
3.2.7 基元反应和非基元反应	44
3.2.8 反应速率方程	45
3.2.9 反应物浓度与反应时间的关系	45
3.2.10 温度对反应速率的影响	47
3.2.11 反应速率理论	47
3.2.12 催化剂与催化作用	49
3.3 例题	49
3.4 习题	52
3.5 习题答案	58
4 解离平衡	71
4.1 基本要求	71
4.2 内容提要	71
4.2.1 酸碱质子论	71
4.2.2 酸碱强度	72
4.2.3 一元弱酸、弱碱的解离平衡	72
4.2.4 多元弱酸、弱碱的解离平衡	74
4.2.5 两性物质的解离平衡	74
4.2.6 同离子效应和盐效应	75
4.2.7 活度和活度系数	75
4.2.8 缓冲作用原理和计算公式	76
4.2.9 缓冲容量和缓冲范围	77
4.2.10 溶度积和溶度积规则	78
4.2.11 沉淀的生成和溶解	78
4.2.12 分步沉淀和沉淀的转化	79
4.3 例题	79
4.4 习题	82
4.5 习题答案	87
5 氧化还原反应	103
5.1 基本要求	103
5.2 内容提要	103

5.2.1	氧化还原反应的基本概念.....	103
5.2.2	氧化还原反应方程式的配平.....	104
5.2.3	原电池.....	104
5.2.4	电极电势.....	105
5.2.5	能斯特方程.....	106
5.2.6	电动势与吉布斯自由能变的关系.....	107
5.2.7	电极电势的应用.....	107
5.2.8	元素电势图及其应用.....	109
5.3	例题.....	109
5.4	习题.....	114
5.5	习题答案.....	119
6	原子结构.....	134
6.1	基本要求.....	134
6.2	内容提要.....	134
6.2.1	玻尔的原子结构理论.....	134
6.2.2	微观粒子的波粒二象性.....	135
6.2.3	不确定原理.....	136
6.2.4	薛定谔方程和波函数.....	136
6.2.5	四个量子数.....	137
6.2.6	电子云.....	137
6.2.7	屏蔽效应和钻穿效应.....	138
6.2.8	原子核外电子排布.....	138
6.2.9	原子核外电子排布与元素周期表的关系.....	139
6.2.10	原子结构与元素的基本性质.....	140
6.3	例题.....	141
6.4	习题.....	142
6.5	习题答案.....	147
7	分子结构.....	154
7.1	基本要求.....	154
7.2	内容提要.....	154
7.2.1	离子键.....	154
7.2.2	共价键.....	155
7.2.3	杂化轨道理论.....	156
7.2.4	价层电子对互斥理论.....	156
7.2.5	分子轨道理论.....	157
7.2.6	金属键.....	157
7.2.7	分子的极性.....	158
7.2.8	分子间力.....	158
7.2.9	离子的极化.....	159

7.2.10	氢键.....	159
7.2.11	晶体的内部结构.....	160
7.3	例题.....	161
7.4	习题.....	162
7.5	习题答案.....	166
8	配位化合物.....	179
8.1	基本要求.....	179
8.2	内容提要.....	179
8.2.1	配合物的组成.....	179
8.2.2	配合物的类型.....	180
8.2.3	配合物的命名.....	180
8.2.4	配合物的异构现象.....	180
8.2.5	配合物的价键理论.....	181
8.2.6	配合物的晶体场理论.....	182
8.2.7	配位解离平衡.....	183
8.2.8	配位解离平衡的移动.....	184
8.2.9	螯合物.....	184
8.3	例题.....	184
8.4	习题.....	187
8.5	习题答案.....	191
	参考文献.....	202

1 气体和溶液

1.1 基本要求

- (1) 掌握理想气体状态方程及其应用;
- (2) 掌握道尔顿分压定律;
- (3) 掌握稀溶液的依数性及其应用;
- (4) 理解溶胶的性质、胶团的结构、大分子溶液、凝胶;
- (5) 了解溶胶的制备、电动电势、溶胶的稳定性和聚沉。

1.2 内容提要

1.2.1 理想气体状态方程

理想气体：分子本身不占体积、分子间没有相互作用力的气体，称为理想气体。理想气体实际上是不存在的，是一种科学的抽象。通常遇到的气体都是非理想气体。当实际气体处于低压（低于几百千帕）、高温（高于 273 K，即 0℃）的条件下，可近似地看作理想气体。

理想气体状态方程：

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

式中： p 为气体的压力； V 为气体的体积； n 为气体的物质的量； T 为气体的温度； R 为摩尔气体常数， $8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 或 $8.315 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 或 $8.315 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

根据理想气体状态方程，可导出下列关系式：

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (1-2)$$

$$pM = \rho RT \quad (1-3)$$

式 1-2 和式 1-3 中： m 为气体的质量， M 为气体的相对分子质量， ρ 为气体的密度。

1.2.2 道尔顿分压定律

道尔顿分压定律：当几种彼此不发生化学反应的气体混合后，混合气体的总压力等于各组分气体分压力之和。某组分气体的分压力，是指在同一温度下，该组分单独占有混合气体的容积时，所产生的压力。

如果用 p_1 , p_2 , $p_3 \cdots$ 分别表示气体 1, 2, 3... 的分压力，用 p 表示混合气体的总压力，则道尔顿分压定律可表示为：

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots \quad (1-4)$$

或
$$p = \sum p_i \quad (1-5)$$

如果一混合气体中有 i 个组分， p_i 和 n_i 分别表示各组分的分压和物质的量， V 为混合气体的体积，则：

$$p_i = \frac{n_i}{V} RT \quad (1-6)$$

由道尔顿分压定律可知，

$$p = \sum p_i = \sum n_i \frac{RT}{V} = n \frac{RT}{V} \quad (1-7)$$

式中： n 为混合气体的物质的量。

由式1-6和1-7可得：

$$\frac{p_i}{p} = \frac{n_i}{n} \quad (1-8)$$

或
$$p_i = \frac{n_i}{n} p \quad (1-9)$$

如果令
$$x_i = \frac{n_i}{n}$$

则
$$p_i = x_i p \quad (1-10)$$

式中： x_i 为 i 组分的摩尔分数。由式1-10可见，混合气体的某组分的分压力，等于该组分的摩尔分数与混合气体总压力的乘积。这是道尔顿分压定律的另一种表示形式。应当注意，只有理想气体才严格遵守道尔顿分压定律，实际气体只有在低压和高温下，才近似适用。

1.2.3 分散系

分散系：一种或几种物质，以细小的粒子，分散在另一种物质里所形成的体系，称为

分散系。分散系由分散质和分散剂两部分组成。

分散质：也称为分散相，是被分散的物质。

分散剂：也称为分散介质，是把分散质分开的物质。

按分散质粒子的大小，分散系可分为以下 3 种：

1. 分子分散系

分散质粒子平均直径 $d < 1 \text{ nm}$ ，粒子能通过半透膜，扩散快。

2. 胶体分散系

分散质粒子平均直径 $d = 1 \sim 100 \text{ nm}$ ，粒子能通过滤纸，但不能通过半透膜，扩散慢。

3. 粗分散系

分散质粒子平均直径 $d > 100 \text{ nm}$ ，粒子不能通过普通滤纸，不扩散。

相：体系中物理性质和化学性质完全相同的部分，称为相。相与相之间有明确的界面分隔开。

单相体系：只有一个相的体系，称为单相体系，也称为均相体系。

多相体系：有两个或两个以上相的体系，称为多相体系。

分子分散系属于单相体系，而胶体分散系和粗分散系则为多相体系。

溶液：分散质以分子或者比分子更小的质点（如原子或离子），均匀地分散在分散剂中所得的分散系。溶液可分为固态溶液（如某些合金）、气态溶液（如空气）和液态溶液。最常见、最重要的是液态溶液，特别是以水为溶剂的水溶液。

1.2.4 稀溶液的通性

如果溶液的浓度较稀，同时，溶质又是难挥发的非电解质时，溶液的有些性质是共同的。这些性质只与溶液的浓度有关，而与溶质的本性无关，包括蒸气压降低、沸点升高、凝固点下降和渗透压等。上述性质称为稀溶液的“稀数性”，也称为稀溶液的通性。

1. 溶液的蒸气压降低

在一定温度下，难挥发的非电解质稀溶液的蒸气压，等于纯溶剂的蒸气压，乘以溶剂在溶液中的摩尔分数，即

$$p = p_B^* x_B \quad (1-11)$$

式中： p 为溶液的蒸气压， p_B^* 为纯溶剂的蒸气压， x_B 为溶剂的摩尔分数。

设溶质的摩尔分数为 x_A ，将 $x_B = 1 - x_A$ 代入上式，可得

$$p = p_B^* (1 - x_A) \quad (1-12)$$

$$\Delta p = p_B^* - p = p_B^* x_A \quad (1-13)$$

式1-13表明,在一定温度下,难挥发的非电解质稀溶液的蒸气压下降,与溶质的摩尔分数成正比,这个规律称为拉乌尔定律。此定律只适用于稀溶液,溶液越稀越符合该定律。

拉乌尔定律的表达式,也可用质量摩尔浓度来表示(见式1-14)。质量摩尔浓度是指,溶液中溶质的摩尔数除以溶剂的质量。常用 b 表示,单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

$$\Delta p = K \cdot b \quad (1-14)$$

式中: K 为常数, b 为稀溶液的质量摩尔浓度。因此,拉乌尔定律也可表述为:在一定温度下,难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降,与溶液的质量摩尔浓度成正比。

2. 溶液的沸点升高和凝固点下降

由难挥发溶质形成的溶液的沸点,总是高于纯溶剂的沸点,这一现象称为溶液的沸点升高。溶液的凝固点,总是低于纯溶剂的凝固点,这一现象称为溶液的凝固点下降。造成溶液沸点升高和凝固点下降的原因,是溶液的蒸气压下降。溶液的蒸气压下降,与溶液的质量摩尔浓度成正比。因此,可认为,稀溶液的沸点升高和凝固点下降,也与溶液的质量摩尔浓度成正比。即:

$$\Delta T_b = K_b \cdot b \quad (1-15)$$

$$\Delta T_f = K_f \cdot b \quad (1-16)$$

上两式中: ΔT_b 和 ΔT_f 分别为溶液的沸点升高值和凝固点下降值, K_b 和 K_f 分别为溶剂的摩尔沸点升高常数和摩尔凝固点下降常数,单位均为 $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。 K_b 和 K_f 的大小,只取决于溶剂的本性,与溶质的本性无关。

3. 渗透压

溶剂分子通过半透膜自动扩散的过程,称为渗透。为了在半透膜两边维持渗透平衡而需要施加的压力,称为渗透压。如果外加在溶液上的压力超过渗透压,则反而会使溶液中的水,向纯水的方向流动,使水的体积增加,这个过程叫反渗透。稀溶液的渗透压与温度、浓度的关系如下:

$$\Pi = cRT \quad (1-17)$$

上式中: Π 为稀溶液的渗透压, c 为溶液的摩尔浓度, R 为摩尔气体常数, T 为热力学温度。如果 c 的单位用 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, R 的单位用 $8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, 则 Π 的单位为 Pa ; 如果 c 的单位用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, R 的单位用 $8.315 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, 则 Π 的单位为 kPa 。

对于很稀的溶液,当摩尔浓度 c 的单位用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, c 的数值近似地等于质量摩尔浓度 b 的数值,由此可得

$$\Pi = bRT \quad (1-18)$$

式1-18中, b 的单位用 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, Π 的单位为 kPa 。

由式1-17和1-18可以看出,在一定温度下,稀溶液的渗透压与溶液的浓度成正比。即与溶液中所含溶质的数目成正比,而与溶质的本性无关。必须注意,只有当溶液与溶剂被半透膜隔开时,才会产生渗透压。另外,如果半透膜外面不是水,而是一种较稀的溶液,则稀、浓溶液之间同样也能产生渗透压。

1.2.5 溶胶的制备

固体分散在水中形成的胶体分散系,称为溶胶。溶胶的基本特征是:多相性、高分散性和热力学不稳定性。要制备稳定的溶胶,需满足两个条件:一是分散相粒子大小在合适的范围内(1~100 nm);二是胶粒在液体介质中保持分散而不聚结,为此必须加入稳定剂。制备方法可分为以下两类:

(1) 分散法:这种方法是用适当的手段,使大块物质在有稳定剂存在下,分散成胶体粒子般的大小。常用的有研磨法、超声波法、电弧法、胶溶法等方法。

(2) 凝聚法:分为物理凝聚和化学凝聚两种。前者是利用适当的物理过程,使某些物质凝聚成胶粒般大小的粒子。后者是使能生成难溶物质的反应,在适当的条件下进行,使所得到的产物恰好处于胶体状态。

1.2.6 溶胶的性质

1. 动力学性质——布朗运动

溶胶中的胶粒不断地作无规则的运动,称为布朗运动。布朗运动是由于不断热运动的液体介质分子对胶粒撞击的结果。胶粒越小,布朗运动就越剧烈。

2. 光学运动——丁铎尔效应

如果使一束会聚光通过溶胶,则从侧面(即与光束垂直的方向)可以看到一个发光的圆锥体。这种现象称为丁铎尔效应。丁铎尔效应是由于胶体粒子小于入射光的波长,而发生光的散射引起的。真溶液中分子和离子的体积太小,光散射现象微弱得难以用肉眼观察。因此,可以用丁铎尔效应区别溶胶和真溶液。

3. 电学性质——电泳

在外加电场作用下,胶体粒子在分散介质中的移动,称为电泳。大多数金属硫化物、硅酸、土壤、淀粉及金、银等胶粒带负电,在电场中向正极移动,称为负溶胶;大多数金属氢氧化物的胶粒带正电,在电场中向负极移动,称为正溶胶。

1.2.7 胶团的结构

稀 AgNO_3 溶液与过量的稀 KI 溶液反应, 所制得的 AgI 溶胶的胶团结构如图 1-1 所示。胶团的中心是胶核, m 表示胶核中所含 AgI 的分子数, 通常是一个很大的数值 (约 10^3)。胶核有选择性吸附与其组成相类似离子的倾向, 所以, I^- 在其表面优先吸附, 使胶核带负电荷。溶液中与其电性相反的 K^+ (称为反离子), 一方面受胶核电荷的吸引, 有靠近胶核的趋势; 另一方面由于本身的热运动, 有远离胶核的趋势。因此, 一部分反离子也被吸附在胶核表面, 形成吸附层。胶核和吸附层构成胶粒。在溶胶中, 胶粒是独立运动的单位。剩下的反离子, 松散地分布在胶粒外面, 形成扩散层。扩散层和胶粒合称胶团。

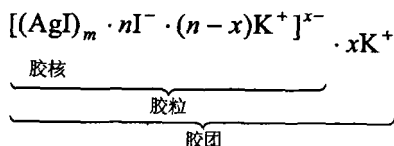


图 1-1 AgI 胶团结构示意图

1.2.8 溶胶的稳定性和聚沉

溶胶是多相、高分散系统, 具有很大的表面能, 有自发聚集成较大颗粒, 以降低其表面能的趋势。因此, 溶胶是热力学不稳定系统。溶胶之所以有相对的稳定性, 主要原因有: ① 布朗运动。能克服重力引起的沉降作用。② 胶粒带电。由于胶粒带有同种电荷, 因此, 当胶粒接近时, 静电斥力作用可使其分开。胶粒带电是多数溶胶能稳定存在的主要原因。③ 溶剂化作用。溶胶胶团结构中的吸附层和扩散层的离子, 都是水化的。在此水化层的保护下, 胶粒很难因碰撞而聚沉。

如果溶胶失去了稳定因素, 胶粒相互碰撞, 将导致颗粒聚集变大, 最后以沉淀的形式析出, 称为聚沉。影响溶胶聚沉的因素主要有以下三方面: ① 电解质的聚沉作用。加入电解质后, 使更多的反离子进入吸附层, $|\zeta|$ 电势降低, 扩散层和水化层变薄, 溶胶的稳定性降低。电解质对溶胶的聚沉能力, 可用聚沉值来衡量。能使溶胶聚沉所需电解质的最低浓度, 称为聚沉值。电解质对溶胶的聚沉作用有下列规律: a) 电解质使溶胶聚沉起主要作用的, 是与胶粒带相反电荷的离子。该离子价态越高, 聚沉能力越强, 聚沉值越小。b) 价态相同离子的聚沉能力大小是: $\text{Cs}^+ > \text{Rb}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$, $\text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{NO}_3^- > \text{I}^-$ 。② 溶胶的相互聚沉。将带相反电荷的溶胶混合, 由于异性相吸, 相互中和电性而发生聚沉。③ 加热。升高温度有利于被吸附离子的解析, 降低 $|\zeta|$ 电势; 另外, 升温能加速溶胶粒子的热运动, 增加其碰撞机会, 从而有利于聚沉。

1.2.9 大分子溶液和凝胶

分子量大于 10^4 的物质称为大分子物质。包括蛋白质、核酸、DNA 等天然大分子物质，以及合成橡胶、合成塑料、合成纤维等合成大分子物质两大类。大分子物质的分子大小与胶粒相近，因此，其溶液表现出溶胶的某些性质，如扩散速度慢，分散相质点不能通过半透膜等。但是，大分子物质在溶液中都是以单个分子存在的，与小分子溶液一样，是单相的热力学稳定体系。大分子溶液与小分子溶液另一个相同点，是溶解的可逆性。溶胶却不同，它一旦聚沉后，很难用简单的方法使其再成为溶胶。

凝胶是一种特殊的分散体系。是由胶体粒子或线形大分子之间相互连接，形成立体网状结构，大量的溶剂分子被分隔在网状结构的空隙中，而失去流动性所形成的。其性质介于固体和液体之间。形成凝胶的过程，称为胶凝。胶凝过程就是网状结构形成和加固的过程。

1.3 例题

【例1-1】 在潜水员自身携带的水下呼吸器中，充有氧气和氮气的混合气体（氮气在血液中溶解度较大，易导致潜水员患上气栓病，所以，用氮气代替氮气）。对一特定的潜水操作来说，将 25°C 0.10 MPa 的 46 L O_2 ，和 25°C 0.10 MPa 的 12 L He ，充入体积为 5.0 L 的储罐中。计算 25°C 下，在该罐中两种气体的分压和混合气体的总压。

解 设混合前氧气的压力为 $p_1(\text{O}_2)$ ，氧气的体积为 $V_1(\text{O}_2)$ ，氮气的压力为 $p_1(\text{He})$ ，氮气的体积为 $V_1(\text{He})$ ；混合后氧气的分压为 $p(\text{O}_2)$ ，氧气的体积为 $V_2(\text{O}_2)$ ，氮气的分压为 $p(\text{He})$ ，氮气的体积为 $V_2(\text{He})$ ，混合气体的总压为 p 。由于混合前后温度不变，因此，

$$p(\text{O}_2) = \frac{p_1(\text{O}_2) \cdot V_1(\text{O}_2)}{V_2(\text{O}_2)} = \frac{0.10 \times 46}{5.0} = 0.92\text{ MPa}$$

$$p(\text{He}) = \frac{p_1(\text{He}) \cdot V_1(\text{He})}{V_2(\text{He})} = \frac{0.10 \times 12}{5.0} = 0.24\text{ MPa}$$

$$p = p(\text{O}_2) + p(\text{He}) = 0.92 + 0.24 = 1.16\text{ MPa}$$

【例1-2】 某学生在实验室中，用金属锌与盐酸反应制取氢气。所得到的氢气，用排水集气法在水面上收集。温度为 18°C ，室内气压计为 753.8 mmHg 。湿氢气体积为 0.567 L ，用分子筛除去水分，得到干氢气。计算在同样温度、压力下，干氢气的体积以及氢气的物质的量。

解 用排水法收集气体时,通常将所收集气体中的水蒸气看作饱和蒸气。查得18℃时水的饱和蒸气压 $p(\text{H}_2\text{O})$ 为2.07 kPa。

假设湿氢气的总压为 p , 其中氢气的分压为 $p_1(\text{H}_2)$, 氢气的体积为 $V_1(\text{H}_2)$; 干氢气的压力为 $p_2(\text{H}_2)$, 体积为 $V_2(\text{H}_2)$; 氢气的物质的量为 $n(\text{H}_2)$ 。由题意可得

$$p_1(\text{H}_2) = p - p(\text{H}_2\text{O}) = \frac{753.8}{760} \times 101.325 - 2.07 = 98.43 \text{ kPa}$$

$$V_2(\text{H}_2) = \frac{p_1(\text{H}_2) \cdot V_1(\text{H}_2)}{p_2(\text{H}_2)} = \frac{98.43 \times 0.567}{\frac{753.8}{760} \times 101.325} = 0.555 \text{ L}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{p_1(\text{H}_2) \cdot V_1(\text{H}_2)}{RT} = \frac{98.43 \times 0.567}{8.315 \times (18 + 273)} = 0.0231 \text{ mol}$$

1.4 习题

1. 选择题 (每题的所有选项中, 只有一个是正确的。)

(1) 实际气体接近于理想气体的条件是 ()。

A. 高温高压下 B. 低温高压下 C. 高温低压下 D. 低温低压下

(2) 标准状态 (0℃, 101.3 kPa) 下, 11.2 L 某气体的质量为 14 g, 该气体可能是 ()。

A. CO_2 B. CO C. CH_4 D. NH_3

(3) 保持压力在 101.3 kPa 下, 1 L CO_2 气体由 0℃ 升到 273℃ 时, 体积为 ()。

A. $\frac{1}{2}$ L B. 273 L C. 2 L D. $\frac{1}{273}$ L

(4) 实际气体对理想气体方程有偏差, 是因为 ()。

A. 分子间的碰撞 B. 分子有动能
C. 分子间有引力和分子有体积 D. 分子的形状特殊

(5) 如果一个容器中充满氢气, 另一个同样大小的容器中充满二氧化碳, 在同温同压下, 两个容器含有相同的 ()。

A. 原子数 B. 电子数 C. 中子数 D. 分子数

(6) 空气中约含有体积比为 3.0×10^{-4} 的 CO_2 , 因此, 空气中 CO_2 的分压最接近于 ()。

A. 1 Pa B. 30 Pa C. 100 Pa D. 3.0×10^{-5} Pa

(7) 同温、同体积下, 混合气体中, 苯蒸气 (组分 A) 的物质的量与气体总的物质的量之比 ($\frac{n_A}{n}$), 和 its 分压与总压之比 ($\frac{p_A}{p}$) 的关系, 在数值上是 ()。

- A. 成正比的 B. 相等的 C. 成反比的 D. 不成比例的

(8) 不挥发的溶质溶于水形成溶液之后, 将使其()。

- A. 熔点高于 0°C B. 熔点低于 0°C
C. 熔点仍为 0°C D. 熔点升降与加入物质分子量有关

(9) 不挥发的溶质溶于水后, 会引起()。

- A. 沸点降低 B. 熔点升高 C. 蒸气压升高 D. 蒸气压下降

(10) 已知质量分数为 0.05 的葡萄糖溶液, 是血液的等渗溶液, 则尿素溶液应该是血液的()。

- A. 等渗溶液 B. 高渗溶液
C. 低渗溶液 D. 37°C 是等渗溶液, 其他温度不一定

2. 判断题 (正确的划“√”, 错误的划“×”。)

- (1) 相同聚集状态的几种物质相混合, 便得到单相体系的混合物。()
(2) 水的液-汽两相平衡线, 就是水的蒸气压曲线。()
(3) 0°C 以下的纯水不能以液态存在。()
(4) 一个溶液所有组分的摩尔分数总和为 1。()
(5) 质量分数为 0.01 的蔗糖水溶液和质量分数 0.01 的果糖水溶液, 有相同的渗透压。()
(6) 除水以外, 其他物质都没有三相点。()
(7) 纯溶剂通过半透膜向溶液渗透的压力, 叫做渗透压。()
(8) 在 NaCl 水溶液中, 加入一些 AgNO_3 溶液, 则体系可能变为二相。()

3. 填空题

- (1) 物质能以液态存在的最高温度是()。
(2) 若使 CO_2 在水中的溶解度增大, 应选择条件是()。
(3) 道尔顿分压定律的表达式是()。
(4) 比较下列气体在 25°C , 总压力为 100 kPa 的混合气体中分压的相对大小 (用 $<$ 或 $>$ 表示)。

1.0 g H_2 () 1.0 g He () 1.0 g N_2 () 1.0 g CO_2

- (5) 从水的相图上来看, 在外压为 $1.0133 \times 10^5\text{ Pa}$ 和 50°C 下, 水以()相存在。
(6) 人的血浆可视为稀溶液, 其凝固点为 -0.56°C , 此溶液的质量摩尔浓度为()。
4. 在 0°C 和 100 kPa 下, 某气体的密度是 $1.96\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。试求它在 85.0 kPa 和 25°C 时的密度。

5. 在 250 mL 容器中装入一未知气体至压力 101.3 kPa , 此气体试样的质量为 0.164 g , 实验温度为 25°C , 求该气体的相对分子质量。

6. 收集反应中放出的某种气体并进行分析, 发现 C 和 H 的质量分数分别为 0.80 和 0.20, 并测得 0℃ 和 101.3 kPa 下, 500 mL 此气体质量为 0.6995 g。试求该气态化合物的最简式、相对分子质量和分子式。

7. 将 0℃ 和 98.0 kPa 下的 2.00 mL N_2 和 60℃ 53.0 kPa 下的 50.0 mL O_2 , 在 0℃ 混合于一个 50.0 mL 容器中, 问此混合物的总压力是多少?

8. 现有一气体, 在 35℃、101.3 kPa 的水面上收集, 体积为 500 mL。如果在同样条件下, 将它压缩成 250 mL, 干燥气体的最后分压是多少?

9. $CHCl_3$ 在 40℃ 时蒸气压为 49.3 kPa。于此温度和 101.3 kPa 压力下, 有 4.00 L 空气缓慢地通过 $CHCl_3$ (即每个气泡都为 $CHCl_3$ 蒸气所饱和)。求:

(1) 空气和 $CHCl_3$ 混合气体的体积是多少?

(2) 被空气带走的 $CHCl_3$ 质量是多少?

10. 在 15℃ 和 100 kPa 压力下, 将 3.45 g Zn 和过量酸作用, 于水面上收集得 1.20 L 氢气。求 Zn 中杂质的质量分数 (假定这些杂质和酸不起作用)。

11. 已知在标准状况下, 1 体积的水可吸收 560 体积的氨气, 此氨水的密度为 $0.90 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。求此氨溶液的质量分数和物质的量浓度。

12. 经化学分析, 测得尼古丁中碳、氢、氮的质量分数, 依次为 0.7403、0.0870、0.1727。今将 1.21 g 尼古丁溶于 24.5 g 水中, 测得溶液的凝固点为 -0.568°C 。求尼古丁的最简式、相对分子质量和分子式。

13. 为了防止水在仪器内冻结, 在里面加入甘油, 如需使其凝固点下降至 -2.00°C , 则在每 100 g 水中应加入多少克甘油 (甘油的分子式为 $C_3H_8O_3$)?

14. 将下列水溶液 (浓度皆为 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 按照凝固点的高低顺序排列:



15. 医学临床上用的葡萄糖等渗溶液的凝固点为 -0.543°C , 试求此葡萄糖溶液的质量分数和血浆的渗透压 (血液的温度为 37°C)。

16. 下面是海水中含量较高的一些离子浓度 (单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$):

Cl^-	Na^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	HCO_3^-
0.566	0.486	0.055	0.029	0.011	0.011	0.002

今在 25°C 欲用反渗透法使海水淡化, 试求所需的最小压力。

17. 20°C 时将 0.515 g 血红素溶于适量水中, 配成 50.0 mL 溶液, 测得此溶液的渗透压为 375 Pa。求:

(1) 溶液的浓度 c ;

(2) 血红素的相对分子质量;

(3) 此溶液的沸点升高值和凝固点下降值;