

新 XIN SANDAO CONGSHU
三导丛书

无机化学

(高教·宋天佑·第二版)

导教·导学·导考

吴婉娥 许国根 张淑娟 张有智◎编

- 课程过关 (典型例题解析)
- 考研备考 (考研真题分析)
- 教师备课 (重点难点归纳)

西北工业大学出版社

新三导丛书

无机化学导教·导学·导考

(高教·宋天佑等·第二版)

吴婉娥 许国根 张淑娟 张有智 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书为高等教育出版社宋天佑、徐家宁等编写的《无机化学》第二版的配套辅导书。按照教学建议、主要概念、例题及习题精解的顺序编写。本书可作为综合性大学、师范院校及理工类院校教师备课的配套教学参考书、学生学习无机化学和普通化学课程的学习辅导书,还可以作为报考研究生的复习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学导教·导学·导考/吴婉娥等编. —西安:西北工业大学出版社,2014.7
ISBN 978-7-5612-4049-6

I. ①无… II. ①…吴 III. ①无机化学—高等学校—教学参考资料 IV. ①061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 171105 号



出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20.25

字 数:619 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价:39.80 元



前 言

无机化学是化学类本科生的第一门化学基础课。无机化学的重要特点是,既要完成无机化学学科自身丰富的教学内容,又承担着为后续课程做好必要准备的特殊任务。在给新生上课之前和大学新的学习开始时,依据所用教材选择一本优秀的教学备课参考书和学习辅导书对教师和学生都至关重要。

本书参编教师均来自无机化学、普通化学教学第一线,教学经验十分丰富,对教学内容熟悉。本书的许多内容都是教学实践和教学经验的总结。

本书编写原则,一是依据最新版教材内容和习题编写,各章顺序与教材一致;二是在书中体现教学经验总结,如教学建议、例题分析及评注、重点难点分析等。

本书共 24 章,第 1 章为绪论,第 2~11 章为基础理论部分,第 12~24 章为元素部分。

由于编写水平所限,错误之处在所难免,请广大读者批评指正。

吴婉娥

2013 年 12 月

于第二炮兵工程大学

导 读

1. 为什么学习这门课

无机化学是高校理工科化学、化工专业的第一门专业基础课,所研究的是无机化合物的组成、结构、性质及其变化规律。由于无机物涵盖了周期表中的所有元素,因此无机化学研究的范围极其广泛,在化学科学中处于基础和母体地位,后续的分析化学、物理化学等都是在无机化学基础知识和基本理论基础进一步的深化和扩展,因此大学中的第一门基础课就是无机化学。

2. 如何教好这门课

与高中化学比较起来,无机化学课程内容在深度、广度和难度方面都增加了很多,因此如何教好这门课,使学生在规定的时间内学好无机化学,为后续分析化学、物理化学课程的学习打下坚实的基础,是教师的重要职责。

(1)研究课程标准,“吃透”教材。课程标准是教学内容学时安排、重点难点讲解的依据。教师在上课前要认真研究课程标准,理清教学主线,掌握教材编排体系和内容安排及各部分内容的内在联系。

其次应“吃透”教材,了解教材写作的意图,按课程标准的要求,对教材内容进行整理、消化,理出一条主线,沿主线展开、补充,根据学生的实际情况结合教师本人的教学特点施教,做到讲课时深入浅出,灵活运用各种教学方法和手段,这样教学效果才能好。

(2)备好课,讲好课。课前,教师应在认真研读课本、吃透教材的同时,参考其他版本的无机化学教材,补充所教教材的一些不足,扩展教师自身的教学思路和知识面。

讲授知识时,教师要注意理论联系实际,经常列举日常生活中出现的化学问题,提高学生的学习兴趣。

(3)调动学生学习的积极性。由于无机化学是第一门专业基础课,在教学当中运用各种教学方法和手段,调动学生学习积极性,激发学生的学习兴趣,教会学生学习知识,更重要的是培养学生自行获取知识和信息的能力,即所谓的“学会学习”,就是以学生为主导的自学模式。

教学要联系实际,不仅要联系科学知识实际,而且要联系学生的思想实际,更重要的要调动学生在学习过程中的积极性。

(4)注重实践教学,激发学生创新精神。化学是一门实践性和应用性很强的科学,实践教学环节对学生的能力培养至关重要。因此,要强化实践环节,注重学生严谨的科学态度、积极的创造性思维能力与扎实的化学实验技能培养。

教学时可以进行以下尝试:

1)基本理论知识教学和化学实验教学相结合,让学生通过化学实验的探究去巩固和理解基本理论知识。

2)增大设计性、综合性、研究性实验的比例,将“研究式”学习和创新教育引入实践性教学。

3)定期举办实验技能研讨会,互相交流。

4) 营造浓厚的学术氛围,组织各种学术报告会、讲座,让学生及时了解无机化学发展前沿及发展动态,开拓学生的眼界,启迪学生的创新思维。

总之,要教好无机化学,教师应该具有较高的专业知识水平,选择先进多样化的教学方式,充分利用开发各种无机化学课程资源,以学生发展为中心,不断地在教学中进行探索和总结。

3. 如何学好这门课

(1) 有主动学习的动力和学习方向:做任何事情都需要有动力,学习无机化学同样要有动力,只有明确了为什么要学,自己想学,才有可能学好。

(2) 有适合自身的学习方法:在学习的过程中,应努力学习前人是如何进行观察和实验的,是如何形成分类法,归纳成概念、原理、理论的,并不断体会、理解创造的过程,形成创新的认识,努力去尝试创新。在学习的过程中,应努力把握学科发展的最新进展,积极利用所学的知识、概念、原理和理论理解新的事实,思索其中可能存在的矛盾和问题,设计并参与新的探索。具体可以参考如下做法:

1) 课前预习:在学习新课以前可先自学一遍,这样可对教师讲授的内容有所了解,听课时特别注意预习时未理解的部分。

2) 课堂认真听讲:课堂听讲十分关键。听讲时要紧跟老师的思路,积极思考。听课时适当做些笔记,有利于课后复习,也有利于在课堂集中注意力。

3) 课后复习:课后的复习是消化和掌握所学知识的重要过程。无机化学课程的特点是理论性较强,有些概念比较抽象,不能企图一听就懂,一看就会。一定要通过反复自学和思考,才能逐渐加深理解并掌握其实质。

4) 课后作业:课后完成一定量的习题有助于深入理解课堂内容,也有助于培养独立思考和自学能力。每次课后,教师会布置一些习题,大家要认真解答,并独立完成,按时交作业。

5) 查阅参考书:除预习、复习、做练习外,阅读参考书不但是一个重要环节,也是培养独立思考和自学能力的极好方法。

(3) 重视实践能力自我培养:除了学好课本的内容,还必须重视无机化学实验。实验不仅能验证课本中的内容,有助于加深对所学知识的理解,而且还能锻炼大家的动手能力和实践能力。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 教学建议	1
1.2 主要概念	1
第 2 章 化学基础知识	3
2.1 教学建议	3
2.2 主要概念	3
2.3 例题	6
2.4 习题精选详解	7
第 3 章 化学热力学基础	9
3.1 教学建议	9
3.2 主要概念	9
3.3 例题	12
3.4 习题精选详解	14
第 4 章 化学反应速率	18
4.1 教学建议	18
4.2 主要概念	18
4.3 例题	22
4.4 习题精选详解	24
第 5 章 化学平衡常数	27
5.1 教学建议	27
5.2 主要概念	27
5.3 例题	30
5.4 习题精选详解	35
第 6 章 原子结构与元素周期律	39
6.1 教学建议	39
6.2 主要概念	39
6.3 例题	47
6.4 习题精选详解	50

第 7 章 化学键理论概述	54
7.1 教学建议	54
7.2 主要概念	54
7.3 例题	61
7.4 习题精选详解	64
第 8 章 酸碱离解平衡	73
8.1 教学建议	73
8.2 主要概念	73
8.3 例题	77
8.4 习题精选详解	79
第 9 章 沉淀溶解平衡	83
9.1 教学建议	83
9.2 主要概念	83
9.3 例题	84
9.4 习题精选详解	87
第 10 章 氧化还原反应	90
10.1 教学建议	90
10.2 主要概念	90
10.3 例题	96
10.4 习题精选详解	99
第 11 章 配位化学基础	110
11.1 教学建议	110
11.2 主要概念	110
11.3 例题	115
11.4 习题精选详解	118
第 12 章 碱金属和碱土金属	124
12.1 教学建议	124
12.2 主要概念	124
12.3 例题	127
12.4 习题精选详解	130
第 13 章 硼族元素	134
13.1 教学建议	134
13.2 主要概念	134
13.3 例题	141



13.4	习题精选详解	144
第 14 章	碳族元素	149
14.1	教学建议	149
14.2	主要概念	149
14.3	例题	158
14.4	习题精选详解	161
第 15 章	氮族元素	168
15.1	教学建议	168
15.2	主要概念	168
15.3	例题	181
15.4	习题精选详解	185
第 16 章	氧族元素	191
16.1	教学建议	191
16.2	主要概念	191
16.3	例题	202
16.4	习题精选详解	204
第 17 章	卤族元素	208
17.1	教学建议	208
17.2	主要概念	208
17.3	例题	215
17.4	习题精选详解	217
第 18 章	氢和稀有元素	222
18.1	教学建议	222
18.2	主要概念	222
18.3	例题	228
18.4	习题精选详解	229
第 19 章	铜副族元素和锌副族元素	233
19.1	教学建议	233
19.2	主要概念	233
19.3	例题	241
19.4	习题精选详解	244
第 20 章	钛副族元素和钒副族元素	248
20.1	教学建议	248
20.2	主要概念	248

20.3	例题	254
20.4	习题精选详解	256
第 21 章	铬副族元素和锰副族元素	259
21.1	教学建议	259
21.2	主要概念	260
21.3	例题	267
22.4	习题精选详解	269
第 22 章	铁系和铂系元素	274
22.1	教学建议	274
22.2	主要概念	274
22.3	例题	282
22.4	习题精选详解	285
第 23 章	镧系元素和锕系元素	289
23.1	教学建议	289
23.2	主要概念	289
第 24 章	无机化学新兴领域简介	294
24.1	教学建议	294
24.2	主要概念	294
附录		302
	练习题之一	302
	练习题之一参考答案	304
	练习题之二	306
	练习题之二参考答案	308
	练习题之三	309
	练习题之三参考答案	312

第 1 章 绪 论

1.1 教学建议

- (1) 从介绍化学学科的研究对象、方法等入手;
- (2) 化学发展史中无机化学分支的出现;
- (3) 无机化学总体介绍、发展、细化、交叉等。

1.2 主要概念

1.2.1 教学要求

- (1) 了解化学的研究对象和内容,研究方法和目的;
- (2) 了解化学发展简史;
- (3) 了解无机化学的研究对象和任务。

1.2.2 内容要点精讲

1. 化学是研究物质变化的学科

- (1) 化学的研究对象及研究内容:

研究对象:化学的研究对象是仅限于原子、分子、离子层次的实物,也称之为物质。

研究内容:研究物质的化学运动规律即化学变化规律。

(2) 研究化学的目的。通过认识物质的化学变化规律,将自然界取得的原料进行加工和改造,以获得更好的或自然界没有的新物质,为人类造福。

(3) 研究化学的方法。化学现象都是通过化学实验进行观察的,化学科学中的学说和定律,既是在实验的基础上总结、归纳而得到的,也是在实验的鉴别中修正、发展而成熟的,因此化学科学是一门实验性科学。

2. 化学发展简史

古代化学:实用和自然哲学时期(公元前);炼金术和炼丹时期(公元前—1500年);医化学时期(1500—1700年);燃素学说(1700—1774年)。

近代化学的萌芽(1661—1869年);代表人物:波义耳、门捷列夫;代表工具:天平,使化学进入定量阶段。

1748年罗蒙诺索夫的质量不灭定律。

1774年拉瓦锡的氧化理论。

18世纪末叶普劳斯特的定比定律。

1803年开始道尔顿的倍比定律,当量定律,原子学说,相对原子量的概念。

1808年盖·吕萨克的气体简比定律。

1811年阿伏伽德罗的定律和分子概念。

1869年门捷列夫建立了60种元素按相对原子质量和化学性质的递变规律排列成元素周期系。

化学的现状:出现化学学科分支:无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、高分子化学、放射化学、地球化学、环境化学、农业化学、工业化学、生物化学等。

3. 无机化学简介

无机化学的研究对象及任务:研究所有元素的单质和化合物(碳氢化合物及其衍生物除外)的组成、结

构、性质和反应的化学。

无机化学又分为普通元素化学、稀有元素化学、无机高分子化学、无机合成化学、稀土元素化学、配位化学、金属间化合物化学等。交叉边缘学科有生物无机化学、固体无机化学、金属有机化学、金属酶化学等。

1.2.3 重点、难点

本章重点为无机化学的研究对象和任务。

第 2 章 化学基础知识

2.1 教学建议

- (1) 从物质的基本状态入手,介绍物质的三态的基本规律;
- (2) 物质的存在形态各自遵循的基本科学规律。

2.2 主要概念

2.2.1 教学要求

- (1) 掌握气体状态方程及道尔顿分压定律的表达式和相关计算。
- (2) 了解液体的基本性质,掌握稀溶液的依数性。
- (3) 了解固体物质分类,掌握几种晶体的特点。

2.2.2 重要概念

(1) 理想气体。气体分子只有位置而不占体积,是一个只有质量的几何点;分子之间没有相互吸引力;分子之间及分子与器壁之间发生的碰撞不造成动能损失。

理想气体模型使用条件:高温、低压。

(2) 分压。混合气体中的某种气体单独占有混合气体的体积时所呈现的压强。

(3) 摩尔分数。混合气体(溶液)中某种气体(某溶质)的摩尔数占混合气体总摩尔数(溶液总物质的量)的比例的大小,用 x_i 表示。

$$x_i = \frac{n_i}{\sum_i n_i}$$

(4) 气体液化。气体变成液体的过程叫做液化或凝聚。

(5) 物质浓度的表示方法:

物质的量浓度:溶液中所含溶质 B 的物质的量除以溶液的体积,称为 B 的物质的量浓度,简称浓度,用符号 c_B 表示,单位: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 或者 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。

质量摩尔浓度:溶液中所含溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量,称为 B 的质量摩尔浓度,用符号 b_B 或者 m_B 表示,单位: $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

质量分数:物质 B 的质量 m_B 除以混合物的质量 m 。用 w_B 表示,量纲为 1。

(6) 液体的蒸发。由液体变为蒸气的过程。

(7) 饱和蒸气压。在一密闭真空箱内,当蒸发速度与凝聚速度(蒸气分子与液面撞击时,被液体分子捕获进入液体中的过程)相等时,达到动态平衡,这时,液面上方的蒸气称为饱和蒸气,产生的压强称为饱和蒸气压,简称蒸气压,用 p 表示。

2.2.3 内容要点精讲

1. 气体

(1) 理想气体状态方程

$$pV = nRT$$

式中, p 为压力, Pa; V 为体积, m^3 ; n 为物质的量, mol; T 为温度, K; R 为气态常数, $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

(2) 实际气体状态方程式。对实际气体分子存在一定体积和分子间作用力, 范德华对理想气体方程中的压力和体积进行了修正, 得到实际气体状态方程式:
$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (2-2)$$

式中, a 为与分子间引力有关的常数; b 为与分子自身体积有关的常数; a, b 分别统称为范德华常数, 由实验确定, 可查阅教材和有关手册获得。

(3) 混合气体的分压定律(道尔顿分压定律)。气体分压 p_i , 即
$$p_i V_{\text{总}} = n_i RT \quad (2-3)$$

道尔顿定律: 混合气体的总压 $p_{\text{总}}$ 等于组成混合气体的各气体的分压 p_i 之和, 即

$$p_{\text{总}} = \sum_i p_i \quad (2-4)$$

$$p_{\text{总}} V_{\text{总}} = nRT \quad (2-5)$$

气体摩尔分数:
$$x_i = \frac{n_i}{n} = \frac{p_i}{p} \quad (2-6)$$

或者写成:
$$p_i = x_i p \quad (2-7)$$

(4) 气体扩散定律。同温同压下某种气态物质的扩散速度与其密度的二次方根成反比, 即

$$u_i \propto \sqrt{\frac{1}{\rho_i}} \quad \text{或} \quad \frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_A}} = \sqrt{\frac{M_{r(B)}}{M_{r(A)}}} \quad (2-8)$$

式中, u 为扩散速度; ρ 为气体密度; A 为 A 物质; B 为 B 物质; M_r 为物质的相对分子质量。

(5) 气体分子的速率分布和能量分布:

1) 气体分子的速率分布。源于马克斯韦尔的机率论和统计力学方法。温度对气体分子的速率分布有重要影响, 温度升高, 分子速率均提高。

2) 气体分子的能量分布。分子运动的动能与速率有关。

$$E_k = \frac{1}{2} m u^2 \quad (2-9)$$

由此可见, 能量分布也有类似速率的曲线。

一般只需知道大于某一能量 E_0 的机率的大小, 因此可以用马克斯韦耳-玻耳兹曼分布定律近似计算为

$$f_{E_0} = \frac{N_0}{N} = e^{-E_0/RT} \quad (2-10)$$

式中, E_0 是某个特定的能量, N_0/N 表示能量大于等于 E_0 所有分子的分数。此式用于化学反应速度的讨论。

2. 液体和溶液

(1) 溶液浓度的表示方法: 物质的量浓度(浓度)、质量摩尔浓度、质量分数、摩尔分数。

(2) 饱和蒸气压:

1) 纯溶剂的饱和蒸气压 p^* 。饱和蒸气压与液体自身的性质和温度有关。

$$\lg p = \frac{\Delta H}{2.303RT} + B \quad (2-11)$$

式中, ΔH 表示液体的蒸发热, 单位为 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

不同温度下蒸发时, 蒸发热可以通过下式(克劳修斯-克拉贝龙方程)求得:

$$\lg \frac{p_1}{p_2} = \frac{\Delta H}{2.303R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2-12)$$

2) 溶液饱和蒸气压 p 。当把不挥发的非电解质溶入溶剂中后, 溶液的饱和蒸气压 p 小于纯溶剂的饱和蒸气压 p^* 。两者的关系服从拉乌尔定律:
$$p = p^* x_{\text{溶剂}} \quad (2-13)$$

(3) 稀溶液依数性:

1) 蒸气压降低(拉乌尔定律的另一种表达式), 即
$$\Delta p = kb \quad (2-14)$$

2) 沸点升高和凝固点降低, 沸点升高:
$$\Delta T_b = T_b - T_b^0 = k_b b \quad (2-15)$$

对水而言, $k_b = 0.513 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。凝固点降低:

$$\Delta T_f = T_f^0 - T_f = k_f b \quad (2-16)$$

对水而言, $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。 k_b, k_f 与溶剂种类有关。

3) 渗透压(范特霍夫定律)
$$\Pi = cRT \quad (2-17)$$

式中, Π 为渗透压; c 为溶质物质的量浓度; n 是溶质的物质的量; R 为摩尔气体常数; T 为热力学温度。

3. 固体

晶体与非晶体如表 2-1 所示, 各类晶体的比较如表 2-2 所示。

表 2-1 晶体与非晶体

固体类型	晶 体	非晶体
质点排列	固体内部质点在三维空间周期性重复排列, 具有长程有序, 有规则的几何外形	固体内部质点在三维空间无规则排列, 具有近程有序, 但不具有长程有序, 无规则几何外形
熔点	固定熔点	无固定熔点, 只有软化温度
物理性质	各向异性	各向同性
导电性	良好的导电性	导电或不导电甚至绝缘体

表 2-2 各类晶体的比较

晶体类型	离子晶体	原子晶体	分子晶体	金属晶体
晶格节点上的微粒	正、负离子	原子	分子	原子、正离子
晶格节点上的作用力	离子键	共价键	分子间力、氢键	金属键
机械性能	强度较大, 脆性, 机械加工性差	强度大, 脆性, 机械加工性差	质软, 加工性较差	多数较硬, 延展性好, 机械加工性好
热学性能	熔点较高, 沸点高, 导热性差	熔点, 沸点高, 无挥发性, 导热性差	熔点, 沸点低, 挥发性高, 导热性差	热良导体, 多数高熔点, 高沸点, 少数为低熔点
电学性能	不导电, 熔化后或溶于水后导电	多数是绝缘体, 少数是半导体	绝缘体(极性物质溶于水后导电)	电的良导体
光学性能	透明, 对光吸收少	多数不透明, 对光产生折射	依组成分子的性质而异	多数不透明, 有金属光泽, 对可见光有高反射率
实例	$\text{Na}_2\text{O}, \text{CaSO}_4, \text{MgCl}_2$	金刚石, SiC, AlN	干冰, 碘, 蔗糖	$\text{Na}, \text{Al},$ 黄铜

2.2.4 重点、难点

1. 教学重点

(1) 理想气体状态方程、道尔顿分压定律。

(2) 稀溶液依数性。

(3) 晶体特征。

2. 教学难点

稀溶液依数性的理解和掌握,重在理解纯溶剂和稀溶液的饱和蒸气压。

2.3 例题

例 2.1 容器中有 4.4g CO₂, 14g N₂, 12.8g O₂, 总压为 2.026×10^5 Pa, 求各组分的分压。

分析 题意中给出了三种气体的质量和总压强,可以直接求得各组的摩尔数,利用道尔顿分压定律求得。本题涉及本章一个重要的知识点。

解 混合气体中各物质的摩尔数为

$$n_{\text{CO}_2} = 4.4/44 = 0.1 \text{ mol}, \quad n_{\text{N}_2} = 14/28 = 0.5 \text{ mol}, \quad n_{\text{O}_2} = 12.8/32 = 0.4 \text{ mol}$$

由道尔顿分压定律,可求得

$$p_{\text{CO}_2} = p_{\text{tot}} \times \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_{\text{CO}_2} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2}} = 2.026 \times 10^5 \times \frac{0.1}{0.1 + 0.5 + 0.4} = 2.026 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{N}_2} = p_{\text{tot}} \times \frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{CO}_2} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2}} = 2.026 \times 10^5 \times \frac{0.5}{0.1 + 0.5 + 0.4} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{O}_2} = p_{\text{tot}} \times \frac{n_{\text{O}_2}}{n_{\text{CO}_2} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2}} = 2.026 \times 10^5 \times \frac{0.4}{0.1 + 0.5 + 0.4} = 8.104 \times 10^4 \text{ Pa}$$

【评注】 本题给定条件明了、直接,解题思路清晰。

例 2.2 有一高压气瓶,容积为 30 dm³,能承受 2.6×10^7 Pa,问在 293 K 时可装入多少千克 O₂ 而不致发生危险?

分析 这是一个应用实例,已知体积,压强,温度,可以直接利用式(2-1)理想气体状态方程求出氧气的质量。

解 由于 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$, 因此 $m = \frac{pVM}{RT} = \frac{2.6 \times 10^7 \times 0.03 \times 0.032}{8.314 \times 293} = 10.25 \text{ kg}$

【评注】 本题给定条件明了、直接,依据气体状态方程求解,注意单位。

例 2.3 水的汽化热为 $40 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 求 298 K 时水的饱和蒸气压。

分析 由题可知,水的蒸发热即汽化热,温度从 298 K 至沸腾状态 373 K,大气压强已知,因此可以由克劳修斯-克拉贝龙方程式(2-12)求得水在 298 K 时的饱和蒸气压。

解 $\lg \frac{p_1}{p_2} = \frac{\Delta H}{2.303R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$, 因而有 $\lg \frac{101325}{p_2} = \frac{40000}{2.303 \times 8.314} \times \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{373} \right)$

求得 $p_2 = 3945 \text{ Pa}$ 。

例 2.4 在 273K 和 1.013×10^5 Pa 下,将 1.0 dm³ 洁净干燥的空气缓慢通过 H₃C—O—CH₃ 液体,在此过程中,液体损失 0.0335 g,求此种液体在 273 K 时的饱和蒸气压。

分析 依据理想气体状态方程即可求得相应的饱和蒸气压。

解 已知 $T = 273 \text{ K}$; $V = 1.0 \text{ dm}^3$; 乙醚质量为 0.0335 g,通空气前后气体体积变化忽略不计。

由于 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$, 所以 $p = \frac{m}{MV}RT$, 因而 $p = \frac{0.0335}{46 \times 1.0} \times 8.314 \times 273 = 1.65 \times 10^3 \text{ Pa}$

2.4 习题精选详解

习题 2-1 制备 5.00 dm³ $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的氢溴酸,问需要 100 kPa, 300 K 情况下的 HBr 气体体积为多少?

解 已知 $V = 5.00 \text{ dm}^3$, $c = n/V = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, $p = 100 \text{ kPa}$; $T = 300 \text{ K}$, 依据 $pV = nRT$, 有



$$100 \times 1\,000 \times V = (0.5 \times 5.00) \times 8.314 \times 300$$

所以

$$V = 0.062\,4\text{ m}^3$$

故需要 HBr 气体 62.4 dm^3 。

习题 2-2 已知 1 dm^3 某气体在标准状态下质量为 2.86 g ，试计算该气体的平均相对分子质量，并计算其在 17°C 和 207 kPa 时的密度。

解 已知 $V = 1\text{ dm}^3$ ， $p = 207\text{ kPa}$ ， $T = 290\text{ K}$ ， $m = 2.86\text{ g}$ ，因此，依据 $pV = nRT$ ，有

$$207 \times 1\,000 \times 1 \times 10^{-3} = (2.86/M_r) \times 8.314 \times 290$$

求得

$$M_r = 64.1\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

故该气体的平均相对分子质量为 64.1 。

习题 2-4 在 300 K ， $3.00 \times 10^6\text{ Pa}$ 时，某气筒内封存有 10 mol 氧气，试求该气筒的容积。将此气筒加热到 373 K 时启开阀门放出氧气，在保持温度不变的情况下压强降低到 $1.00 \times 10^5\text{ Pa}$ ，试求放出氧气的质量。

解 已知 $p = 3.00 \times 10^6\text{ Pa}$ ， $T = 300\text{ K}$ ， $n = 10\text{ mol}$ ，将已知条件代入方程 $pV = nRT$ ，有

$$3.00 \times 10^6 \times V = 10 \times 8.314 \times 300$$

求得 $V = 8.31 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ 。

当压强从 $p_2 = 3.73 \times 10^6\text{ Pa}$ 降低至 $1.00 \times 10^5\text{ Pa}$ 时，若温度不变，则容器中剩余的氧气质量为

$$1.00 \times 10^5 \times 8.314 \times 10^{-3} = (m/32) \times 8.314 \times 373$$

求得 $m = 8.58\text{ g}$ 。故释放的氧气质量为 $10 \times 32 - 8.58 = 311.42\text{ g}$ 。

习题 2-7 某温度下一定量的 $\text{PCl}_5(\text{g})$ 发生如下反应：



当 30% $\text{PCl}_5(\text{g})$ 解离时达到平衡，总压为 $1.6 \times 10^5\text{ Pa}$ 。求各组分的平衡分压。

解



反应前 n_0/mol

1 0 0

当 30% $\text{PCl}_5(\text{g})$ 解离时/mol

0.3 0.3 0.3

达到平衡时 n/mol

0.7 0.3 0.3

已知达到平衡时总压为 $1.6 \times 10^5\text{ Pa}$ ，依据道尔顿分压定义可以求出：

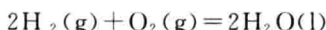
$$\text{PCl}_5(\text{g})\text{的分压} \quad p_{\text{PCl}_5} = 1.6 \times 10^5 \times \frac{0.7}{0.7+0.3+0.3} = 8.6 \times 10^4\text{ Pa}$$

$$\text{PCl}_3(\text{g})\text{的分压} \quad p_{\text{PCl}_3} = 1.6 \times 10^5 \times \frac{0.3}{0.7+0.3+0.3} = 3.7 \times 10^4\text{ Pa}$$

$$\text{Cl}_2(\text{g})\text{的分压} \quad p_{\text{Cl}_2} = 1.6 \times 10^5 \times \frac{0.3}{0.7+0.3+0.3} = 3.7 \times 10^4\text{ Pa}$$

习题 2-9 在 25°C 时将一个容器中充入等物质的量的 H_2 和 O_2 ，总压为 100 kPa 。混合气体点燃充分反应后，容器中氧的分压是多少？若已知在 25°C 时水的饱和蒸气压为 3.17 kPa ，则容器中气体的总压是多少？

解 反应方程式



反应前 n_0/mol

$2a$ $2a$ 0

反应后 n/mol

0 a $2a$

反应后氢气被耗尽，只有氧气和饱和水蒸气形成了混合气体。其中水蒸气分压为 3.17 kPa 。依据 $pV = nRT$ ，当温度、体积、 R 均保持不变时，压强与物质的量成正比，故反应后氧气的分压为

$$p = (1/4) \times 100 = 25\text{ kPa}$$

总压为

$$p_{\text{总}} = 25 + 3.17 = 28.17\text{ kPa}$$

习题 2-11 在温度和压强相同时，充满烧瓶的气体 A 为 0.06 g ，而充满相同容积烧瓶的 O_2 为 0.48 g 。求 A 气体的相对分子质量。若 O_2 从瓶中扩散出一般需要 100 s 时间，求 A 气体从瓶中扩散出一般需要的时间。

解 由题意可知，两种气体在相同的温度和压强下具有相同的体积，故由 $pV = nRT$ 方程得到：