

科学版习题精解系列

(师范类)

无机化学习题精解

竺际舜 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为《科学版习题精解系列》(师范化学类)之一。

本书共二十章和八套综合练习题。每章包括三部分:一、基本内容,依据教学大纲,简明阐述本章内容;二、重点与难点,进一步阐述本章的难点和重点;三、精选题及其解,是本书的精华所在。精选的题目中基本题与提高题各半,强调典型性、实用性、趣味性,而且每个题目均有解答。综合练习题的编写也是本书的一个特色,本书精选的综合练习题从各校的期末考试和研究生入学考试题目中精选。因此本书无论是对日常学习还是对报考研究生均有十分重要的参考价值。

本书可作为高等师范院校化学和应用化学专业学生学习和报考硕士研究生参考教材,对理工科化学化工专业学生、中学化学老师等都有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学习题精解/竺际舜主编.-北京:科学出版社,2001

(科学版习题精解系列·师范化学类)

ISBN 7-03-009525-1

I. 无… II. 竺… III. 无机化学-高等学校:师范学校-解题
IV. O61-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 041391 号

责任编辑:刘俊来 / 责任印制:安春生

封面设计:李西宁

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

※

2001 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2002 年 11 月第二次印刷 印张:28 1/2

印数:5 000—10 000 字数:544 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(北燕))

《科学版习题精解系列》(师范化学类)

编 委 会

主 编：朱传征

副 主 编：周光明 李和兴 刘 群

策 划：刘俊来

编 委：(以姓氏笔画为序)

卢文庆 包建春 孙闻东 朱凯汉

李星华 竺际舜 周益明 莫尊理

袁 若 黄如丹 蒋治良 褚 莹

蔡冀英

参编单位：华东师范大学 西南师范大学

东北师范大学 上海师范大学

南京师范大学 华南师范大学

四川师范大学 浙江师范大学

西北师范大学 广西师范大学

序

我国正全面实施《高等教育面向 21 世纪教育内容和课程体系改革计划》，为了适应新的专业调整方案和满足迅速变化的社会需求，我国高等教育战线上的许多老师都付出了艰苦而富有创造性的劳动，从而涌现出一批具有高水平的教学改革成果。其目标是转变教育思想，改革人才培养模式，实现教学内容、课程体系、教学方法、教学手段的现代化，形成和建立有中国特色的高等教育的教学内容和课程体系。

演练习题是学习中的重要环节，是课堂和课本所学知识的初步应用和实践，通过演算和思考，不仅能考查对知识的理解和运用程度，巩固书本知识，而且能培养科学的思维方法和解题能力。在充分调查研究的基础上，《科学版习题精解系列》（师范化学类）编委会于 2000 年 11 月在上海师范大学召开会议，就本套丛书的定位、特色、编写原则、编写分工等进行了充分而深入的讨论，并达成如下共识：

1. 本套丛书要针对师范类化学专业学生的特点。众所周知，师范生将来大多是从事教育工作，他们要有“传道、解惑、授业”的本领，必须“学高为师，身正为范”。为帮助我国越来越多的师范学生提高学习效果，使其具有更加符合社会需求的知识结构和知识层次，我们认为这套针对师范学生特点的习题解答类教学辅导书将会对他们有很好的帮助。

2. 本套丛书所精选的习题具有典型性、代表性、趣味性、实用性、普适性，并在解答中体现“精解”的特点。力求对读者掌握每门学科的特点和研究方法有所帮助，并在科学思维方式上有所突破，使其既有丰富的想象力，善于进行发散性思维，习惯于寻找各种解法和答案，又善于进行收敛性思维，能够做出最优化的选择。

3. 本套丛书不仅能够对学生的日常学习起到很好的帮助作用，而且对报考研究生也有很好的参考作用。尤其是在“综合练习题”的设置上，我们充分考虑到了读者的各种需求，力求体现三个层次：普通师范院校期末考试试题—重点师范院校期末考试试题—重点师范院校硕士研究生考试试题。

4. 本套丛书的每章由三个部分组成：

一、基本内容。本部分依据教学大纲，简明扼要地阐述本章的基本内容，清晰、实用，力求使读者一目了然，起到提纲挈领的作用。

二、重点与难点。本部分具体提出各章的重点要求，并对其中的难点和易混淆、疏漏之处及时给予提醒，同时还适当拓宽、增加了提高方面的内容，激励学生进

一步探究。

三、精选题及其解。本部分是全书的重点和精华。精选题中基本题和提高题各半。有题必有解,对难度较大的习题在给出解答的同时还注意解题思路的阐述,多种解法的比较,错误的分析等,以利于引导读者开拓思路,培养科学的思维方法,强化解题能力。

在上述共识的基础上,编委会决定本套丛书由无机化学、有机化学、物理化学、分析化学四门课程组成,一门课程一本书。经过编委会卓有成效的工作,华东师范大学、西南师范大学、东北师范大学、上海师范大学、南京师范大学、华南师范大学、四川师范大学、浙江师范大学、西北师范大学、广西师范大学等十所师范大学中长期从事教学工作的教师参加了编写工作。参加编写工作的老师都有丰富的教学经验和科研成果,对教和学两个方面的规律进行了探索和总结,编写的内容力求有针对性,切合师范类学生的实际情况,因而无论是对在校学生还是刚刚踏上教学岗位的青年教师,都有很好的参考价值。

本套丛书是集体智慧的结晶,在此我们感谢所有参编单位和科学出版社有关领导所给予的大力支持和积极帮助。

鉴于首次组织十所师范大学的众多老师编写针对师范类化学系学生的化学主干课程习题解答辅导书,虽然已经多次讨论并认真校核,仍难免存在不妥甚至错误之处,敬请各位专家和读者批评指正,以便在重印时补充改正。

《科学版习题精解系列》(师范化学类)

编委会

2001年3月

前 言

在高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的阵阵号角声中,我们迎来了新世纪。体现转变教育思想,改革人才培养模式,实现课程结构和教学内容的整合、优化而编写的高水平、高质量的新教材像雨后春笋般涌现。同时也激励着长期活跃在师范教学第一线、具有敬业精神和开拓意识的老师们编写了这本颇具特色的《无机化学习题精解》,愿它能在提高教学质量,促进教学改革进一步深化的浪潮中,能增添一点浪花。

在编写过程中,我们努力按照丛书编委会的要求进行编写、统稿和定稿。本书由上海师范大学竺际舜任主编。参加本书编写工作的有:东北师范大学黄如丹(第一、三、四、五、六章),南京师范大学包建春(第七、八、十二、十三、十四章),西南师范大学谷名学(第二、十一章)和上海师范大学竺际舜(第九、十、十五、十六、十七、十八、十九、二十章及综合练习题)。综合练习题素材由上述学校提供。全书由竺际舜负责统稿、修改和定稿。上海师范大学任萃毅老师帮助绘制图表,王海红、厉妮、沈俊杰等同学帮助整理书稿,在此一并致谢。同时感谢上述师范大学和科学出版社有关领导在成书过程中所给予的大力支持和帮助。

由于编者水平所限和时间仓促,难免存在错误和疏漏,甚至谬误之处,敬请各位同仁和读者不吝赐教和指正。

编 者

目 录

第一章	气体定律	(1)
第二章	溶液	(19)
第三章	化学平衡	(39)
第四章	电离平衡	(60)
第五章	化学热力学基础	(84)
第六章	化学反应速率	(105)
第七章	原子结构和元素周期律	(121)
第八章	分子结构和晶体结构	(138)
第九章	氧化还原平衡	(160)
第十章	配位化合物	(183)
第十一章	氢 稀有气体	(205)
第十二章	碱金属和碱土金属	(221)
第十三章	硼族元素	(233)
第十四章	碳族元素	(246)
第十五章	氮族元素	(266)
第十六章	氧族元素	(293)
第十七章	卤素	(307)
第十八章	铜族和锌族元素	(334)
第十九章	过渡元素	(353)
第二十章	镧系、锕系元素 核化学	(378)
	综合练习题(一)	(387)
	综合练习题(二)	(395)
	综合练习题(三)	(401)
	综合练习题(四)	(410)
	综合练习题(五)	(417)
	综合练习题(六)	(426)
	综合练习题(七)	(432)
	综合练习题(八)	(436)

第一章 气体定律

一、基本内容

(一) 理想气体状态方程

理想气体是指分子之间没有引力,分子本身不占有体积,只是具有质量的几何点,只有位置,并且分子之间以及分子与容器壁之间发生碰撞时没有动能损失,这样的气体称为理想气体。理想气体的压强(p)、体积(V)、温度(T)、物质的量(n)之间的关系式,称为理想气体状态方程,即

$$pV = nRT$$

在不同条件下,它有不同的表达形式:

1. n 一定时, p 、 V 、 T 改变,有

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

2. n 、 T 一定时, p 、 V 改变,由波义耳定律有

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

3. n 、 p 一定时, V 、 T 改变,由查理-盖吕萨克定律有

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

4. T 、 p 一定时, n 、 V 改变,由阿伏伽德罗定律有

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

5. $n = \frac{m}{M}$, $\rho = \frac{m}{V}$ 代入理想气体状态方程有

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

理想气体实际上并不存在,但是当真实气体处于高温、低压条件时,分子之间距离很远,相互之间作用力很小,分子本身占有的体积可忽略,此时实际气体十分接近理想气体,可以较好地服从理想气体状态方程。

通常我们在讨论实际气体时,为了使问题简化,就把实际气体理想化,使用理想气体状态方程。

(二) 混合气体分压定律

道尔顿在理想气体状态方程基础上提出了气体分压定律,它是处理混合气体体系的基本定律。在求算时,常常需要知道组分气体的分体积、体积分数、摩尔分数、分压等数值。

1. 分体积、体积分数、摩尔分数

分体积(V_i):指相同温度下,组分气体具有混合气体总压时所占有的体积。在温度、压强一定时,混合气体总体积(V_T)等于组分气体分体积之和:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_i$$

体积分数(x_i):指该组分的分体积与总体积之比:

$$x_i = \frac{V_i}{V_T}$$

摩尔分数(N_i):指某组分气体的“物质的量”(n_i)与混合气体的总“物质的量”($n_{\text{总}}$)之比:

$$N_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$$

当 p 、 T 一定时,该混合气体中,

$$x_i = N_i$$

2. 道尔顿分压定律

分压(p_i):在相同温度时,某组分气体单独占有整个混合气体容积时所呈现的压强。

道尔顿分压定律:混合气体的总压等于各组分气体的分压之和:

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_i$$

(三) 气态(易挥发)物质相对分子质量(M)的测定

理想气体定律可用于气态(易挥发)物质相对分子质量的测定。

1. 相对密度法

根据阿伏伽德罗定律: p 、 V 、 T 一定时,不同气体 n 相同,则有

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{m_2}{m_1}$$

m_2/m_1 叫做第二种气体对第一种气体的相对密度,用 D 表示。所以上式也可写为

$$M_2 = D M_1$$

2. 标准摩尔体积法

标准状况(100kPa, 273K)下, 1 mol 任何气体占有的体积约为 22.4 L, 称为气体的标准摩尔体积。

气体的摩尔质量 = 某气体标准状况下密度($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) \times 22.4($\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$)

3. 气体扩散定律法

1831年由英国化学家格雷姆提出: 同温同压下, 各种不同气体的扩散速度(U)与气体密度(ρ)的平方根成反比, 该结论称气体扩散定律。即

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

4. 理想气体状态方程法

$$M = \frac{mRT}{pV}$$

5. 极限密度法

由 $M = \frac{\rho}{p} RT$, 在 T 一定时, 以 $\frac{\rho}{p} \sim p$ 作图, 外推 $p=0$ 时, 读出 ρ/p 值。因 $p \rightarrow 0$ 时, 实际气体接近理想气体, 将图上所得 $(\rho/p)_{p \rightarrow 0}$ 值代入方程计算 M 。

二、重点与难点

(一) 重点

理想气体定律及其应用。混合气体中分压 p_i 的计算。在有关气态反应化学平衡、反应速率等计算中常常需要计算 p_i 。

p_i 的计算方法, 总结如下:

1. $p_i = \frac{n_i RT}{V}$

2. V 、 T 一定条件下, $p_i = N_i P_T$

3. 混合气体中, 某组分气体占有总体积时具有分压, 占有分体积时具有混合气体的总压。

$$p_i V = p V_i$$

(二) 难点

分体积、体积分数、摩尔分数、分压等概念的理解、掌握和运用。还要注意 R 的数值和单位的选择。总结如下:

pV 的单位	R 值	R 的单位
$\text{Pa} \cdot \text{m}^3$	8.314	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 或 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{Pa} \cdot \text{L}$	8314	$\text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{atm}^{(1)} \cdot \text{L}$	0.082	$\text{atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1) $1 \text{atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$.

三、精选题及其解

1-1 实际气体与理想气体接近的条件是 ()

- (A) 高温高压 (B) 低温高压
(C) 高温低压 (D) 低温低压

解 (C) 真实气体之所以产生偏差主要是因为气体分子占有体积且分子间有作用力, 高温及低压条件下, 这两种因素的影响相应削弱。

1-2 氟的相对原子质量是 19, 在标准状况下的 11.2L 氟气重 19.0g, 氟气的分子式应该是什么?

解 氟气的摩尔质量 = 氟气在标准状态下的密度 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) $\times 22.4 (\text{L} \cdot \text{mol}^{-1})$

$$= \frac{19.0}{11.2} \times 22.4 = 38.0 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

氟气的相对分子质量为 38.0, 设其分子式为 F_n , 则

$$19.0n = 38.0$$

$$n = 2$$

即氟气的分子式为 F_2 。

1-3 在 573K 和 $2 \times 10^5 \text{Pa}$ 压强下, 33.3L 气体 CF_4 中含有多少摩尔 CF_4 ?

解 由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 得

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{2 \times 10^5 \times 33.3}{8314 \times 573} = 1.40 (\text{mol})$$

1-4 有人在实验室收集了天然气, 298K 时在一只 0.25L 烧瓶中收集气压为 $7.33 \times 10^4 \text{Pa}$ 的气体, 称得此气体的净质量是 0.118g (298K), 从这些数据求此气体的相对分子质量。

解 由 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$ 得

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.118 \times 8314 \times 298}{7.33 \times 10^4 \times 0.25} = 15.95 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

故此气体的相对分子质量为 15.95。

1-5 设有一真空的箱子, 288K 时, 在 $1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$ 压强下, 称重为 153.679g,

假若在同温同压下,充满氯气后重为 156.844g,充满氧气后重为 155.108g,求氯气的相对分子质量。

解 同温同压下,同体积的两种气体的物质的量相同。即

$$\frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} = \frac{m_{Cl_2}}{M_{Cl_2}}$$

$$M_{Cl_2} = \frac{m_{Cl_2}}{m_{O_2}} \times M_{O_2} = \frac{(156.844 - 153.679)}{(155.108 - 153.679)} \times 32 = 70.87$$

1-6 一个未知液体样品重 0.469g,当转变为气体时,只有 0.125L。在标准状况下,求:

(1) 它的相对分子质量;

(2) 如这个物质的实验式是 CH_2 ,求化学式。

解 (1)该气体的摩尔质量为

$$\frac{0.469}{0.125} \times 22.4 = 84.0(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

故其相对分子质量为 84.0。

(2)设化学式为 $(CH_2)_n$,则

$$n = \frac{84}{12 + 2} = 6$$

故其化学式为 C_6H_{12} 。

1-7 惰性气体氙能与氟形成多种氟化氙(XeF_x)。实验测得在 353K, 1.56×10^4 Pa 时,某气态氟化氙的密度为 $0.899 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试确定这种氟化氙的化学式。

解 由理想气体状态方程

$$\begin{aligned} M &= \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{p} = \rho \cdot \frac{RT}{p} \\ &= 0.899 \times \frac{8.314 \times 10^3 \times 353}{1.56 \times 10^4} = 169(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}) \end{aligned}$$

已知相对原子质量 $A_r(\text{Xe})=131$, $A_r(\text{F})=19$,则

$$131 + 19x = 169$$

$$x = 2$$

即氟化氙的化学式为 XeF_2 。

1-8 求氧气在 273K、 5.06625×10^5 Pa 情况下的密度。

解 由 $p = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{M} = \frac{\rho RT}{M}$ 得

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{5.06625 \times 10^5 \times 32}{8314 \times 273} = 7.14(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$$

1-9 在 298K 和 1.01325×10^5 Pa 压强下,测得某气体的密度是 $1.340 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,在另一实验中测得这个气体的组成为:C 79.8%和H 20.2%。(已知 $A_r(\text{C})=12$, $A_r(\text{H})=1.008$)求:

- (1)这个化合物的最简式;
- (2)这个化合物的相对分子质量;
- (3)这个化合物的化学式。

解 (1)化合物中原子数最简比 H:C 为

$$\frac{20.2}{1.008} : \frac{79.8}{12} \approx 3 : 1$$

故最简式为 CH_3 。

(2)由 $pV = \frac{m}{M}RT$ 得

$$M = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{p} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.340 \times 8314 \times 298}{1.01325 \times 10^5} \approx 32.8$$

(3)设化合物的化学式为 $(\text{CH}_3)_n$, 则

$$n = \frac{32.8}{(12 + 1.008 \times 3)} \approx 2$$

故化学式为 C_2H_6 。

1-10 在 293K 和 9.33×10^4 Pa 条件下,在烧瓶中称量某物质的蒸气,得到如下数据:烧瓶容积为 0.293L;烧瓶和空气的质量为 48.369g;烧瓶与该物质蒸气质量为 48.5378g,且已知空气的平均相对分子质量为 29。计算此物质的相对分子质量。

解 由 $pV = \frac{m}{M}RT$ 得

$$m_{\text{空}} = \frac{pVM_{\text{空}}}{RT} = \frac{9.33 \times 10^4 \times 0.293 \times 29}{8314 \times 293} = 0.3254(\text{g})$$

则烧瓶重为: $48.369 - 0.3254 = 48.0436(\text{g})$

该物质重为: $48.5378 - 48.0436 = 0.4942(\text{g})$

同温同压同体积下:

$$\frac{m_{\text{空气}}}{M_{\text{空气}}} = \frac{m_{\text{蒸气}}}{M_{\text{蒸气}}}$$

$$M_{\text{蒸气}} = \frac{m_{\text{蒸气}}}{m_{\text{空气}}} \cdot M_{\text{空气}} = \frac{0.4942}{0.3254} \times 29 = 44.04$$

1-11 0.05L 氧气通过多孔性隔膜扩散需要 20s,0.02L 某气体通过该多孔性隔膜扩散需 9.2s,求该气体的相对分子质量。(已知 $M(\text{O}_2)=32$)

解 根据气体扩散定律 $\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ 得

$$\frac{U_{O_2}^2}{U^2} = \frac{M}{M_{O_2}}$$

$$M = \frac{U_{O_2}^2}{U^2} \cdot M_{O_2} = \left(\frac{0.05}{\frac{20}{0.02}} \right)^2 \times 32 = 42.32$$

1-12 一次渗流实验中,一定物质的量的未知气体通过小孔渗向真空,需要的时间为 5s,在相同条件下相同物质的量的氧气渗流需要 20s。求未知气体的相对分子质量。

解

$$\frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{M_2}{M_1}$$

$$M_2 = \frac{M_1 U_1^2}{U_2^2} = \frac{32 \times 5^2}{20^2} = 2$$

1-13 将氨和氯化氢气体分别从一根长 1.20m 的玻璃管两端向管内自由扩散,试问两气体在玻璃管的什么位置相遇而生成 NH_4Cl 白烟?

解 设氨从一端进入管 x/m ,氯化氢从管另一端进入 $(1.20-x)m$,经过 t 时相遇。由于

$$\frac{U_{NH_3}}{U_{HCl}} = \sqrt{\frac{M_{HCl}}{M_{NH_3}}} = \sqrt{\frac{36.5}{17}} = 1.465$$

故

$$\frac{\frac{x}{t}}{1.20-x} = 1.465$$

$$x = 0.713(m)$$

1-14 将一定量的 $KClO_3$ 加热后,其质量失去 0.480g,生成的氧气在水面上用排水法收集起来,在 294K、 $9.96 \times 10^4 Pa$ 时,测得其体积为 0.377L,求 O_2 的相对分子质量。(已知 294K 时, H_2O 的饱和蒸气压为 $2.48 \times 10^3 Pa$)

解 在水面上收集的气体是含有水蒸气的混合气体,由道尔顿分压定律, O_2 的分压为

$$p_{O_2} = 9.96 \times 10^4 - 2.48 \times 10^3 = 9.71 \times 10^4 (Pa)$$

由 $pV = \frac{m}{M}RT$ 得

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.480 \times 8314 \times 294}{9.71 \times 10^4 \times 0.377} = 32.05$$

1-15 在体积为 0.50L 的烧瓶中充满 NO 和 O₂ 混合气体,温度为 298K,压强为 $1.23 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。反应一段时间后,瓶内总压变为 $8.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。求生成 NO₂ 的质量。

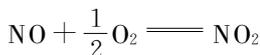
解 反应前气体的物质的量为

$$n_1 = \frac{p_1 V}{RT} = \frac{1.23 \times 10^5 \times 0.5 \times 10^{-3}}{8.314 \times 298} = 0.0248 \text{ (mol)}$$

反应后气体的物质的量为

$$n_2 = \frac{p_2 V}{RT} = \frac{8.3 \times 10^4 \times 0.5 \times 10^{-3}}{8.314 \times 298} = 0.0168 \text{ (mol)}$$

设反应生成 x/mol NO₂ 气体,由反应式



可知:生成 x/mol 的 NO₂ 需消耗 $\frac{1}{2} x/\text{mol}$ 的 O₂ 和 x/mol 的 NO,共消耗反应物的物质的量为

$$\begin{aligned} 1x + \frac{1}{2}x &= \frac{3}{2}x \text{ (mol)} \\ n_2 &= \left[0.0248 - \frac{3}{2}x \right] + x = 0.0168 \text{ (mol)} \\ x &= 0.016 \text{ (mol)} \end{aligned}$$

则生成 NO₂ 的质量为 $0.016 \times 46 = 0.74 \text{ (g)}$ 。

1-16 合成氨原料气中氢气和氮气的体积比是 3:1,除这两种气体外,原料气中还含有其他杂质气体 4%(体积分数),原料气总压为 $1.52 \times 10^7 \text{ Pa}$,求氮、氢的分压。

解 设原料气的总体积为 V ,除去杂质气体后,H₂ 和 N₂ 的总体积是

$$V - V \times 4\% = 0.96V$$

根据已知条件, $V_{\text{H}_2} : V_{\text{N}_2} = 3:1$,即氮气占总体积的 $\frac{1}{4}$,氢气占总体积的 $\frac{3}{4}$ 。

N₂ 和 H₂ 具有总压为

$$1.52 \times 10^7 \times 96\% = 1.46 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

N₂ 和 H₂ 分别具有的分压为

$$p_{\text{N}_2} = 1.46 \times 10^7 \times \frac{1}{4} = 3.65 \times 10^6 \text{ (Pa)}$$

$$p_{\text{H}_2} = 1.46 \times 10^7 \times \frac{3}{4} = 1.09 \times 10^7 \text{ (Pa)}$$

1-17 一敞口烧瓶在 280K 时所盛的气体,须加热到什么温度时才能使其 1/3 逸出瓶外?

解 本题的过程是在 p 、 V 一定下进行的。

由 $pV = nRT$ 得

$$n_1 RT_1 = n_2 RT_2$$

$$n_2 = \left[1 - \frac{1}{3} \right] n_1 = \frac{2}{3} n_1$$

$$T_2 = \frac{3}{2} T_1 = \frac{3}{2} \times 280 = 420(\text{K})$$

1-18 由 NH_4NO_2 分解制 N_2 , 在 296K、 $9.56 \times 10^4 \text{ Pa}$ 下,用排水法收集到 0.0575L N_2 , 计算:(1) N_2 的分压;(2)干燥后的 N_2 体积。(已知 296K 时水的饱和蒸气压为 $2.81 \times 10^3 \text{ Pa}$)

解 (1) $p_{\text{N}_2} = p - p_{\text{H}_2\text{O}} = 9.56 \times 10^4 - 2.81 \times 10^3 = 9.28 \times 10^4 (\text{Pa})$

$$(2) V_{\text{N}_2} = \frac{p_{\text{N}_2}}{p_{\text{总}}} \times V_{\text{总}} = \frac{9.28 \times 10^4}{9.56 \times 10^4} \times 0.0575 = 0.0558(\text{L})$$

1-19 在 300K、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,加热一敞口细颈瓶到 500K,然后封闭细颈口并冷却到原来的温度,求此时瓶内的压强。

解 恒容下

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1 = \frac{300}{500} \times 1.013 \times 10^5 = 6.08 \times 10^4 (\text{Pa})$$

1-20 在 300K、 $3.303975 \times 10^6 \text{ Pa}$ 时,一气筒含有 480g 的氧气,若此筒被加热到 373K,然后开启阀门(温度保持不变),一直到气体压强降低到 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,问共放出多少克氧气?

解 本题的过程是在 V 一定下进行的,设在 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时气筒内氧气质量为 m_2/g 。

由 $\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1 T_1}{m_2 T_2}$ 得

$$m_2 = \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1} m_1 = \frac{300 \times 1.01325 \times 10^5 \times 480}{373 \times 3.303975 \times 10^6} = 12.9(\text{g})$$

则放出气体质量为 $m_1 - m_2 = 480 - 12.9 = 467.1(\text{g})$

1-21 恒温时,将 $9.99 \times 10^4 \text{ Pa}$ 压强下的 H_2O 0.15L、 $4.66 \times 10^4 \text{ Pa}$ 压强下的 O_2 0.075L 和 $3.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ 压强下的 N_2 0.05L,装入 0.25L 的真空瓶内,

求:(1)混合气体中各组分气体的分压;(2)混合气体的总压。

解 恒温下由 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 得

$$(1) p_{\text{H}_2} = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{9.99 \times 10^4 \times 0.15}{0.25} = 5.994 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

$$p_{\text{O}_2} = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{4.66 \times 10^4 \times 0.075}{0.25} = 1.398 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

$$p_{\text{N}_2} = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{3.33 \times 10^4 \times 0.05}{0.25} = 0.666 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

$$(2) p_{\text{总}} = p_{\text{H}_2} + p_{\text{O}_2} + p_{\text{N}_2} = 8.058 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

1-22 32.0g 氧气和 56.0g 氮气盛于 10.0L 的容器中,设温度为 300K,计算:

(1)这两种气体的分压;(2)气体混合物的总压。

解 由 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$ 得

$$(1) p_{\text{O}_2} = \frac{m}{MV}RT = \frac{32.0 \times 8314 \times 300}{32 \times 10} = 2.49 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

$$p_{\text{N}_2} = \frac{m}{MV}RT = \frac{56.0 \times 8314 \times 300}{28 \times 10.0} = 4.99 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

$$(2) p = p_{\text{O}_2} + p_{\text{N}_2} = 7.48 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

1-23 常温下将装有相同气体的体积为 5L、压强为 $9.1193 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和体积为 10L、压强为 $6.0795 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的两个容器间的连接阀打开,问平衡时的压强为多少?

解 设平衡压强 $p = p'_1 + p'_2$, p'_1 、 p'_2 为平衡时的分压。

恒温下由 $p_1 V_1 = p'_1 V_{\text{总}}$ 得

$$p_1 V_1 = p'_1 V_{\text{总}}$$

$$p'_1 = \frac{p_1 V_1}{V_{\text{总}}} = \frac{9.1193 \times 10^5 \times 5}{5 + 10} = 3.0398 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

同理
$$p'_2 = \frac{p_2 V_2}{V_{\text{总}}} = \frac{6.0795 \times 10^5 \times 10}{5 + 10} = 4.053 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

故
$$p = (3.0398 + 4.053) \times 10^5 = 7.093 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

1-24 判断下列关系是否正确:

(1)一定量气体的体积与温度成正比

(2)1mol 任何气体的体积都是 22.4L

(3)气体的体积百分组成与其摩尔分数相等

(4)对于一定量混合气体来说,体积变化时,各组分气体的物质的量亦发生变化

- 解 (1) 不正确, 由 $pV = nRT$, 只有当压强一定时才成立。
 (2) 不正确, 只有在标准状况下才成立。
 (3) 正确。
 (4) 不正确, 根据 $pV = nRT$, 一定量气体指 n 一定, 当温度不变而体积变化时, 只有压强随之改变, n 不变。

1-25 对于一定量的混合气体, 试回答下列问题:

- (1) 恒压下, 温度变化时各组分气体的体积分数是否变化?
 (2) 恒温下, 压强变化各组分气体的分压是否变化?
 (3) 恒温下, 体积变化时各组分气体的摩尔分数是否变化?

- 解 (1) 不变。由 $p_i V_i = n_i RT$ 和 $pV = nRT$ 得: $\frac{V_i}{V} = \frac{n_i}{n}$, 与温度变化无关。
 (2) 变。恒温下 $p_i = p_{\text{总}} \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$, $\frac{n_i}{n_{\text{总}}}$ 不变, p_i 随 $p_{\text{总}}$ 变化。
 (3) 不变。只有 p 随 V 改变, 而一定量气体的 n_i 和混合气体的 $n_{\text{总}}$ 是一定的。

1-26 在 300K 和 101.325kPa 压强下, H_2 占有 36.9L 的体积, 试问多少物质的量的铝和足量的盐酸反应才能产生这些氢气?

解 先计算在 273K 和 101.325kPa 压强下, H_2 占有的体积

$$V_{273\text{K}} = \frac{T_{273\text{K}} V_{300\text{K}}}{T_{300\text{K}}} = \frac{273 \times 36.9}{300} = 33.6(\text{L})$$

列比例, 1 mol H_2 在 273K 和 101.325 kPa 压强下占 22.4L 体积



$$2\text{mol} \qquad \qquad \qquad 67.2 \text{ L}$$

$$x/\text{mol} \qquad \qquad \qquad 33.6 \text{ L}$$

$$67.2 : 33.6 = 2 : x$$

$$x = \frac{33.6 \times 2}{67.2} = 1 (\text{mol})$$

1-27 1mol CO_2 气体在 1.32L 容器中加热至 48°C, 分别用理想气体状态方程和范德华方程计算气体的压强。(范德华常数 $a = 363756.8 \text{Pa} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 4.28 \times 10^{-2} \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$)

解 (1) 按理想气体状态方程式计算

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{1 \times 8314 \times 321}{1.32} = 2021813.6(\text{Pa})$$

(2) 按范德华方程式计算

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} = \frac{8314 \times 321}{1.32 - 0.0428} - \frac{363756.8}{(1.32)^2} = 1880798.6 (\text{Pa})$$

1-28 在 273K 和 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下, 将 1.0 L 干燥的空气缓慢通过二甲醚 (CH_3OCH_3) 液体, 在此过程中液体损失 0.0335g。求二甲醚在 273K 时的饱和蒸气压。

解 通入空气的物质的量为

$$n_{\text{空}} = \frac{pV}{RT} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 1.0 \times 10^{-3}}{8.314 \times 273} = 0.0446 \text{ (mol)}$$

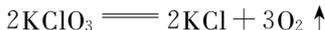
被空气带走的二甲醚蒸气的物质的量为

$$n_{\text{甲}} = \frac{0.0335}{46} = 7.28 \times 10^{-4} \text{ (mol)}$$

依题意, 混合气体的总压等于外压 ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$), 二甲醚蒸气的分压为

$$\begin{aligned} p_{\text{甲}} &= \frac{n_{\text{甲}}}{n_{\text{甲}} + n_{\text{空}}} \cdot p_{\text{总}} \\ &= \frac{7.28 \times 10^{-4}}{7.28 \times 10^{-4} + 4.46 \times 10^{-2}} \times 1.013 \times 10^5 \\ &= 1.63 \times 10^3 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

1-29 303K、 $7.97 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时, 由排水集气法收集到 1.50L 氧气。问有多少克氯酸钾按下式发生了分解?



(已知 303K 时水的饱和蒸气压为 $4.23 \times 10^3 \text{ Pa}$, $M(\text{KClO}_3) = 122.6$)

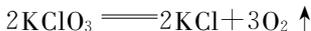
解 氧气的分压为

$$p_{\text{O}_2} = 7.97 \times 10^4 - 4.23 \times 10^3 = 7.55 \times 10^3 \text{ (Pa)}$$

由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 得氧气的物质的量

$$n_{\text{O}_2} = \frac{p_{\text{O}_2} V}{RT} = \frac{7.55 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^{-3}}{8.314 \times 303} = 4.50 \times 10^{-2} \text{ (mol)}$$

由反应式



知, 分解的 KClO_3 的质量为

$$4.50 \times 10^{-2} \times \frac{2}{3} \times 122.6 = 3.68 \text{ (g)}$$

1-30 相对湿度定义为某一温度时, 空气中水蒸气之分压与同温度应有的饱和水蒸气压之比。试计算:

(1) 303K 与 100% 相对湿度时每升空气中含水气的质量;

(2) 323K 与 80% 相对湿度时每升空气中含水气的质量。

解 查表知水的饱和蒸气压为

$$303\text{K} \text{---} 4239.6\text{Pa}$$

$$323\text{K} \text{---} 12332.3\text{Pa}$$

(1) 303K 空气中水气分压为

$$\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{4239.6} \times 100\% = 100\%$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 4239.6 \text{ Pa}$$

根据气态方程

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

$$m = \frac{pV}{RT}M = \frac{4239.6 \times 1}{8314 \times 303} \times 18 = 0.03(\text{g})$$

(2) 空气中水气分压为

$$\frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{12332.3} \times 100\% = 80\%$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 9865.8\text{Pa}$$

$$m = \frac{9865.8 \times 1}{8314 \times 323} \times 18 = 0.07(\text{g})$$

1-31 在 291K 和 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 条件下将 2.70L 含饱和水蒸气的空气通过 CaCl_2 干燥管, 完全吸水后, 干燥空气为 3.21g。求 291K 时水的饱和蒸气压。

解 含饱和水蒸气的空气的物质的量为

$$n_{\text{总}} = \frac{pV}{RT} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 2.70 \times 10^{-3}}{8.314 \times 291} = 0.113(\text{mol})$$

水蒸气的物质的量为

$$n_{\text{水}} = 0.113 - \frac{3.21}{29} = 2.31 \times 10^{-3}(\text{mol})$$

由道尔顿分压定律可得

$$p_{\text{水}} = \frac{n_{\text{水}}}{n_{\text{总}}} \cdot p_{\text{总}} = \frac{2.31 \times 10^{-3}}{0.113} \times 1.013 \times 10^5 = 2.07 \times 10^3(\text{Pa})$$

1-32 302K 时在 3.0 L 的真空容器中装入氮气和一定量的水, 测得初压为 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。用电解法将容器中的水完全转变为氢气和氧气后, 测得最终压强为 $1.88 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求容器中水的质量。(已知 302K 时水的饱和蒸气压为 $4.04 \times 10^3 \text{ Pa}$)

解 电解反应为 $\text{H}_2\text{O} \text{---} \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$, 则 1 mol H_2O 可生成 1.5 mol 气体。氧气

和氢气的分压之和为

$$\begin{aligned} p_{\text{H}_2} + p_{\text{O}_2} &= p_{\text{总}} - p_{\text{N}_2} \\ &= 1.88 \times 10^5 - (1.01 \times 10^5 - 4.04 \times 10^3) \\ &= 9.10 \times 10^4 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

氧气和氢气的物质的量为

$$n_{\text{H}_2} + n_{\text{O}_2} = \frac{(p_{\text{H}_2} + p_{\text{O}_2}) V}{RT} = \frac{9.10 \times 10^4 \times 3}{8314 \times 302} = 0.11 \text{ (mol)}$$

容器中水的质量为

$$0.11 \times \frac{2}{3} \times 18 = 1.32 \text{ (g)}$$

- 1-33** 某项实验要求缓慢的加入乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$),现采用将空气通过液体乙醇带入乙醇气体的方法进行。在 293K、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,为引入 2.3g 乙醇,求所需空气的体积。(已知 293K 时乙醇的饱和蒸气压为 5866.2 Pa, $M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=46$)

解 根据理想气体状态方程 $pV = nRT$,则 2.3 g 乙醇气体所占的体积为

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{\frac{2.3}{46} \times 8314 \times 293}{5866.2} = 20.76 \text{ (L)}$$

在 20.76 L 气体中,空气的分压为

$$p_{\text{空}} = 1.013 \times 10^5 - 5866.2 = 9.54 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

通入 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的空气的体积为

$$V_{\text{空}} = \frac{9.54 \times 10^4 \times 20.76}{1.013 \times 10^5} = 19.55 \text{ (L)}$$

或
$$V_{\text{空}} = 20.76 \times \left[1 - \frac{5866.2}{1.013 \times 10^5} \right] = 19.56 \text{ (L)}$$

- 1-34** 在 273K 时,将相同初压的 4.0L N_2 和 1.0L O_2 压缩到一个容积为 2.0L 的真空容器中,混合气体的总压为 $3.26 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求:(1)两种气体的初压;(2)混合气体中各组分气体的分压;(3)各气体的物质的量。

解 (1) 若两种气体的初压为 p ,由 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 得

$$p = \frac{2.0 \times 3.26 \times 10^5}{4 + 1} = 1.30 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

(2)
$$p_{\text{N}_2} = \frac{4}{5} \times 3.26 \times 10^5 = 2.61 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

$$p_{\text{O}_2} = \frac{1}{5} \times 3.26 \times 10^5 = 6.52 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

(3) 根据理想气体状态方程 $pV = nRT$, 则混合气体中

N_2 的物质的量为

$$n_{N_2} = \frac{2.61 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3}}{8.314 \times 273} = 0.23(\text{mol})$$

O_2 的物质的量为

$$n_{O_2} = \frac{6.52 \times 10^4 \times 2.0 \times 10^{-3}}{8.314 \times 273} = 0.057(\text{mol})$$

1-35 在体积为 60.0L 的容器中, 有 140g CO 和 200g H_2 , 若温度为 27°C , 混合气体遵守理想气体方程式, 计算: (1) 两种气体的摩尔分数; (2) 混合气体的总压; (3) CO 和 H_2 的分压。

解 (1)
$$n_{\text{CO}} = \frac{140}{28.0} = 5.0(\text{mol})$$

$$n_{H_2} = \frac{20.0}{2.00} = 10.0(\text{mol})$$

设摩尔分数分别为 x_{CO}, x_{H_2} , 则

$$x_{\text{CO}} = \frac{n_{\text{CO}}}{n_{\text{CO}} + n_{H_2}} = \frac{5.0}{5.00 + 10.0} = 0.333$$

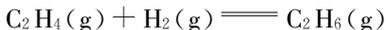
$$x_{H_2} = 1 - 0.333 = 0.667$$

$$(2) p = \frac{nRT}{V} = \frac{(n_{\text{CO}} + n_{H_2})RT}{V} = \frac{15.0 \times 8314 \times 300}{60.0} = 623550 (\text{Pa})$$

$$(3) p_{\text{CO}} = x_{\text{CO}} p_{\text{总}} = 0.333 \times 623550 = 207642.2 (\text{Pa})$$

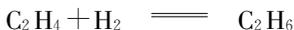
$$p_{H_2} = x_{H_2} p_{\text{总}} = 0.667 \times 623550 = 415907.9 (\text{Pa})$$

1-36 由 C_2H_4 和过量 H_2 组成的混合气体的总压为 6930Pa。使混合气体通过铂催化剂进行下列反应:



待完全反应后, 在相同温度和体积下, 压强降为 4530Pa。求原混合气体中 C_2H_4 的摩尔分数。

解 设原混合气体中 C_2H_4 的物质的量为 n_1 , H_2 的物质的量为 n_2



$$\text{反应前} \quad n_1 \quad n_2 \quad 0 \quad n_{\text{总}} = n_1 + n_2$$

$$\text{反应后} \quad 0 \quad n_2 - n_1 \quad n_1 \quad n_{\text{总}} = (n_2 - n_1) + n_1 = n_2$$

原混合气体中 C_2H_4 的摩尔分数为

$$x_{C_2H_4} = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = 1 - \frac{n_2}{n_1 + n_2} = 1 - \frac{p_{\text{终}}}{p_{\text{始}}} = 1 - \frac{4530}{6930} = 0.346$$

1-37 313K 时将饱和苯蒸气和空气的混合气体从压强为 $9.97 \times 10^4 \text{ Pa}$ 压缩到 $5.05 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。问在此过程中有多少克苯凝结成液体。(已知 313K 苯的饱和蒸气压为 $2.41 \times 10^4 \text{ Pa}$)

解 在压缩前后混合气体中苯的分压均等于苯的饱和蒸气压,则压缩前空气的分压为

$$p_1 = 9.97 \times 10^4 - 2.41 \times 10^4 = 7.56 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

压缩后空气的分压为

$$p_2 = 5.05 \times 10^5 - 2.41 \times 10^4 = 4.81 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

压缩前后空气的物质的量、温度均未发生变化,由 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 得压缩后混合气体的体积为

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{7.56 \times 10^4 \times 1}{4.81 \times 10^5} = 0.157 \text{ (L)}$$

凝结成液体的苯的物质的量等于压缩前后苯蒸气的物质的量之差

$$\begin{aligned} n_{(\text{凝})} &= n_1 - n_2 = \frac{p V_1}{RT} - \frac{p V_2}{RT} = \frac{p}{RT} (V_1 - V_2) \\ &= \frac{2.41 \times 10^4}{8314 \times 313} \times (1 - 0.157) = 7.8 \times 10^{-3} \text{ (mol)} \end{aligned}$$

凝结成液体的苯质量为

$$7.8 \times 10^{-3} \times 78 = 0.608 \text{ (g)}$$

1-38 373K 时,在 1.0 L 容器中装入 0.02 mol 苯蒸气和 0.02 mol 水蒸气的混合气体。在恒温条件下把混合气体压缩为原体积的一半,求混合气体的总压。(已知在 273K 时苯的饱和蒸气压为 $1.74 \times 10^5 \text{ Pa}$)

解 压缩后混合气体中苯蒸气的分压为

$$p_1 = \frac{n_1 RT}{V} = \frac{0.02 \times 8.314 \times 373}{\frac{1}{2} \times 1.0 \times 10^{-3}} = 1.24 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

水蒸气的分压为

$$p_2 = \frac{n_2 RT}{V} = \frac{0.02 \times 8.314 \times 373}{\frac{1}{2} \times 1.0 \times 10^{-3}} = 1.24 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

计算结果表明: $p_1 < 1.74 \times 10^5 \text{ Pa}$, p_1 比苯的饱和蒸气压小,苯蒸气不能凝结为液体; $p_2 > 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 即 p_2 比水的饱和蒸气压大,水蒸气应有部分凝结为液体,水蒸气的分压应为水的饱和蒸气压 ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)。则混合气体的总压为

$$p = 1.24 \times 10^5 + 1.01 \times 10^5 = 2.25 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

1-39 将氮气和水蒸气的混合物通入盛有足量固体干燥剂的瓶中。刚通入时瓶中压强为 101.3kPa, 放置数小时后, 压强降到 99.3kPa 的恒定值。(1)求原气体混合物各组分的摩尔分数;(2)温度为 293K, 实验后干燥剂增重 0.150×10^{-3} kg, 求瓶的体积。(假设干燥剂的体积可忽略且不吸附氮气。)

解 (1) 混合气体中的水蒸气最后全部被干燥剂吸收, 则混合气体中氮气的分压为

$$p_{N_2} = 99.3 \text{ kPa}$$

混合气体中水蒸气的分压为

$$p_{H_2O} = 101.3 - 99.3 = 2.0 \text{ (kPa)}$$

由公式 $p_i = x_i p_{\text{总}}$, 则有混合气体中氮气的摩尔分数为

$$x_{N_2} = \frac{p_{N_2}}{p_{\text{总}}} = \frac{99.3}{101.3} = 0.98$$

混合气体中水蒸气的摩尔分数为

$$x_{H_2O} = \frac{p_{H_2O}}{p_{\text{总}}} = \frac{2.0}{101.3} = 0.02$$

(2) 根据题意, 混合气体中水蒸气的质量等于干燥剂增加的质量, 则水蒸气中水的物质的量为

$$\frac{0.150 \times 10^{-3} \times 10^3}{18} = 8.33 \times 10^{-3} \text{ (mol)}$$

由理想气体状态方程 $pV = nRT$, 瓶的体积为

$$V_{\text{瓶}} = V_{H_2O} = \frac{n_{H_2O} RT}{p_{H_2O}} = \frac{8.33 \times 10^{-3} \times 8314 \times 293}{2.0 \times 10^3} = 10.15 \text{ (L)}$$

1-40 在 273K 时测得一氯甲烷蒸气在不同的压强下的密度如下表, 试用 p 对 ρ/p 作图后以外推法求一氯甲烷的摩尔质量。

$p/10^5 \text{ Pa}$	1.013	0.675	0.507	0.338	0.253
$\rho/\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	2.3074	1.5263	1.1401	0.75713	0.56660

解 将压强 p 和 ρ/p 数据列于下表:

p/kPa	101.3	67.5	50.7	33.8	25.3
$(\rho/p)/10^{-5} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$	2.278	2.261	2.249	2.240	2.239

由 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT = \frac{\rho V}{M}RT$ 得

$$M = (\rho/p)RT$$

根据表中数据作 $\rho/p \sim p$ 图(略), 并外延至 $p \rightarrow 0$ 时,

$$\rho/p = 2.223 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

则得一氯甲烷的摩尔质量为

$$M = \rho/pRT = 2.223 \times 10^{-5} \times 8.314 \times 10^3 \times 273 = 50.5 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

第二章 溶 液

一、基本内容

(一) 溶液的浓度表示法

溶液的性质在很大程度上取决于溶质和溶剂的相对含量。因此,研究溶液时必须指明浓度,即指出溶质与溶剂的相对含量。

1. 质量分数(w_B)

溶质和溶剂都用质量“g”表示,溶质在全部溶液中所占的分数。即

$$w_B / \% = \frac{m_{\text{质}}}{m_{\text{质}} + m_{\text{剂}}} \times 100\%$$

计算质量分数时,应使溶质、溶剂的质量单位一致。都用 g 表示或都用 kg 表示。

2. 质量摩尔浓度(m_B)

溶液中溶质 B 的物质的量(mol)除以溶剂的质量(kg),即

$$m_B = \frac{\text{溶质 B 物质的量}}{\text{溶剂的质量}}$$

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

3. 物质的量浓度(c_B)

溶质 B 的物质的量除以溶液的体积。即

$$c_B = \frac{\text{溶质 B 的物质的量}}{\text{溶液体积}}$$

c_B 的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

4. 摩尔分数(x_B)

溶质 B 的物质的量与混合溶液的物质的量之比。即

$$x_B = \frac{n_B}{n_B + n_A} = \frac{n_B}{n_{\text{总}}}$$

式中: n_B 为溶质 B 的物质的量; n_A 为溶剂 A 的物质的量; $n_{\text{总}}$ 为溶质 B 和溶剂 A 的物质的量之和。

(二) 溶解度和饱和溶液

溶液与溶质固体共存的溶液称饱和溶液,在一定温度与压力下,一定量饱和溶

液中溶质的含量叫溶解度,溶解度表明了饱和溶液中溶质和溶剂的相对含量。常用 100g 溶剂所能溶解溶质的最大克数表示溶解度。具有结晶水的物质,其溶解度用无水物的克数来表示。

物质的溶解度也用饱和溶液的物质的量浓度 c_B 来表示。

(三) 稀溶液的依数性

稀溶液的依数性是说溶液的某些性质与溶质的粒子数目有关,与溶质本性无关。依数性分别用拉乌尔定律、沸点升高公式、凝固点降低公式和范特霍夫方程来定量描述。在化学上常用依数性来测定分子的摩尔质量。

1. 蒸气压下降

在一定温度下,稀溶液的蒸气压 p 等于纯溶剂蒸气压 p_A^* 与溶剂摩尔分数 x_A 的乘积,这就是拉乌尔定律。即

$$p = p_A^* x_A$$

设 x_B 为溶质的摩尔分数, Δp 为稀溶液的蒸气压下降值,拉乌尔定律也可以这样描述:

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

若以水为溶剂,溶解在 1000g 水中的溶质的物质的量 n 就是该溶液的质量摩尔浓度 m ,即 $n = m$,因此,对很稀的溶液,上式又可以改写为

$$\Delta p = k m$$

该式表明:在一定温度下,稀溶液的蒸气压降低值 Δp 和溶质的质量摩尔浓度 m 成正比。

三个公式都是说明溶液浓度和蒸气压之间的关系,可以根据具体情况选择使用。

2. 溶液的沸点升高

实验发现,溶液的沸点 T_b 总是比纯溶剂的沸点 T_b^0 高,这个现象称为溶液的沸点升高 ΔT_b (即 $\Delta T_b = T_b - T_b^0$)。

含难挥发溶质的稀溶液沸点升高 ΔT_b 的原因可从溶液的蒸气压降低得到解释。因为溶液的蒸气压总是低于纯溶剂的蒸气压,若想使溶液的蒸气压与纯溶剂蒸气压相等,必须增加温度。当温度增加到使溶液的蒸气压等于外界压力 (101.325kPa) 时,溶液才能沸腾,此时的温度就是溶液的沸点 T_b 。

难挥发非电解质稀溶液沸点的升高和溶质的质量摩尔浓度成正比,即

$$\Delta T_b = K_b m$$

K_b 是沸点升高常数, K_b 值也就是溶质的质量摩尔浓度为 $1\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时溶液

沸点升高值。常见溶剂的 K_b 见相关的数据表。若已知溶剂的 K_b 值就可以从沸点升高 ΔT_b 求溶质的摩尔质量 M 。

3. 凝固点降低

溶液的凝固点是指固态纯溶剂和液态溶液达到平衡时的温度。此时溶液的蒸气压和固相的蒸气压相等。 0°C 时水溶液的蒸气压低于纯水,所以溶液在 0°C 不结冰。若温度降低时,冰和溶液的蒸气压都降低,但冰的蒸气压随温度降低的幅度大于溶液蒸气压随温度降低的幅度,当温度降到 T_f 时,溶液中出现了固体(冰),此时溶液的蒸气压等于冰的蒸气压,即 $p_{\text{溶}} = p_{\text{冰}}$,温度 T_f 就是溶液的凝固点。溶液的凝固点降低 ΔT_f ($\Delta T_f = T_f^0 - T_f$),它也是和溶液质量摩尔浓度成正比

$$\Delta T_f = K_f m$$

K_f 为凝固点降低常数,它可通过有关的计算得到。应用上式也可测定溶质的摩尔质量 M 。

4. 渗透压

半透膜的特性是只让溶剂分子通过,而溶质分子则不能通过,这种现象称为渗透。由于溶剂(纯水)的蒸气压比溶液的蒸气压高,溶剂通过半透膜进入溶液,当然溶液中的溶剂也可以通过半透膜进入纯溶剂,但最后会达到渗透平衡。为了阻止渗透进行,必须对溶液的上方施加压力,我们把阻止渗透作用而施加于溶液的压力,称为溶液的渗透压 π 。

范特霍夫认为,在稀溶液中,溶液的渗透压与理想气体一样,可以用与理想气体方程相似的公式表示。

$$\pi V = nRT$$

或

$$\pi = cRT \quad (c \text{ 为物质的量浓度})$$

该式为范特霍夫公式,它表明溶液的渗透压与溶液浓度成正比。

二、重点与难点

(一) 重点

1. 掌握溶液的浓度表示法,各种浓度之间的相互换算。
2. 掌握非电解质稀溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低及渗透压等依数性与溶液浓度之间的关系,熟悉稀溶液依数性的一些应用。

(二) 难点

1. 各种浓度的综合计算

溶液的浓度虽有多种表示方法,但彼此之间是有联系的。只要深刻理解其含

义,就能得到正确的解。稀溶液的质量摩尔浓度 m_B 、摩尔分数 x_B 及物质的量浓度 c_B 之间的关系如下:

$$x_B = m_B M_A \quad (M_A \text{ 为溶剂 A 的摩尔质量 } \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1})$$

$$x_B = \frac{c_B M_A}{\rho} \quad (\rho \text{ 为溶液密度 } \text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

$$m_B = \frac{c_B}{\rho}$$

2. 若溶质、溶剂都有挥发性,也并不一定妨碍拉乌尔定律的应用,只要两者没有作用,能组成理想溶液即可。可先分别考虑,然后加合:

$$p_A = p_A^* x_A$$

$$p_B = p_B^* x_B$$

则溶液的蒸气压为

$$p = p_A + p_B$$

服从这个关系式的溶液为理想溶液。这种溶液的例子是苯与甲苯所组成的溶液。

三、精选题及其解

2-1 10.00 mL NaCl 的饱和溶液重 12.003 g, 将其蒸干后得 NaCl 3.173 g。试计算:

- (1) NaCl 的溶解度;
- (2) 溶质的质量分数;
- (3) 溶液的物质的量浓度 c_{NaCl} ;
- (4) 溶液的质量摩尔浓度 m_{NaCl} ;
- (5) NaCl 的摩尔分数 x_{NaCl} 和 H_2O 的摩尔分数 $x_{\text{H}_2\text{O}}$ 。

解 (1) 由溶解度的定义可知

$$S = \frac{3.173}{12.003 - 3.173} \times 100 = 35.93 (\text{g}/100\text{gH}_2\text{O})$$

(2) 溶液的质量分数为

$$w_{\text{NaCl}} = \frac{3.173}{12.003} \times 100\% = 26.4\%$$

(3) 溶液的物质的量浓度为

$$c_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{V_{\text{溶液}}} = \frac{W_{\text{NaCl}}/M_{\text{NaCl}}}{V_{\text{溶液}}}$$

$$= \frac{3.173/58.5}{10.00} \times 1000 = 5.4(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

(4)溶液的质量摩尔浓度为

$$\begin{aligned} m_{\text{NaCl}} &= \frac{W_{\text{NaCl}}/M_{\text{NaCl}}}{W_{\text{水}}} \\ &= \frac{3.173/58.5}{12.003 - 3.173} \times 1000 = 6.12(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}) \end{aligned}$$

(5)溶液中水的物质的量为

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{12.003 - 3.173}{18} = 0.491(\text{mol})$$

NaCl 的摩尔分数为

$$x_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{NaCl}}} = \frac{3.173/58.5}{3.173/58.5 + 0.491} = 0.1$$

所以水的摩尔分数为

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - x_{\text{NaCl}} = 0.9$$

2-2 15℃时将氨气通入一盛水的球内至氨不再溶解为止,空球重3.926g,盛饱和溶液后共重6.944g。然后将盛液球放在 50.0mL 0.5mol·L⁻¹的硫酸溶液中,将球击破,剩余的酸需用 10.4mL 1.0 mol·L⁻¹ NaOH溶液中和,计算 15℃时氨在水中的溶解度。

解 氨的物质的量为

$$n_{\text{NH}_3} = 2 \times 50 \times 0.5 - 10.4 \times 1.0 = 39.6(\text{mmol})$$

即 $39.6 \times 17 \times 10^{-3} = 0.673(\text{g})$

氨水溶液质量

$$W = 6.944 - 3.926 = 3.018(\text{g})$$

氨水溶液中水的质量

$$W_{\text{H}_2\text{O}} = 3.018 - 0.673 = 2.345(\text{g})$$

因此, NH₃ 在水中的溶解度为

$$\frac{0.673}{2.345} \times 100 = 28.7(\text{g}/100\text{gH}_2\text{O})$$

2-3 已知在 100℃时 CuSO₄ 的溶解度为 75.04g/100gH₂O, 15℃时为 19.0g/100gH₂O。现有不纯的 CuSO₄·5H₂O 1000g 欲用重结晶法提纯,问最少需加入多少克水就可使其全溶? 最后重结晶时最多能得纯 CuSO₄·5H₂O 多少克?