

无机化学习题解答

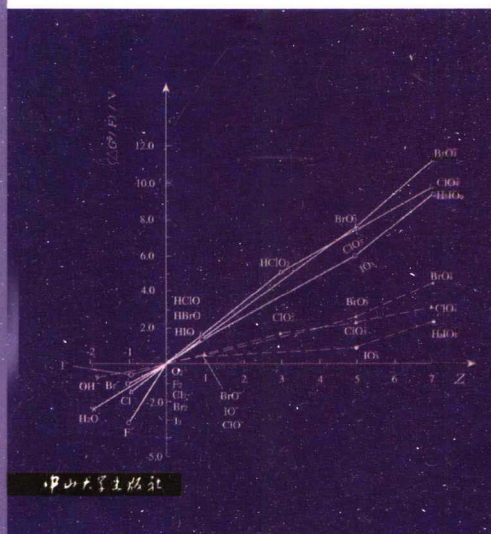
Key to the Exercises of Inorganic Chemistry

蔡少华 龚孟濂 刘 杰 编著

元素无机化学

Inorganic Chemistry
of Elements

蔡少华 黄坤耀 张玉容 编著



中山大学出版社

无机化学基本原理

Basic Principles of
Inorganic Chemistry

蔡少华 龚孟濂 史华红 编著



Basic Principles of Inorganic Chemistry

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

无机化学习题解答 = Key to the Exercises of Inorganic Chemistry/蔡少华, 龚孟
濂, 刘杰编著. —广州: 中山大学出版社, 2004. 3

ISBN 7-306-02245-8

I. 无… II. ①蔡…②龚…③刘… III. 无机化学-高等学校-解题 IV. O61-44

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2004)第 010503 号

责任编辑: 周建华

封面设计: 方 竹

责任校对: 舟 雨

责任技编: 黄少伟

出版发行: 中山大学出版社

编辑部电话(020)84111996, 84113349

发行部电话(020)84111998, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传真: (020)84036565

印 刷 者: 番禺市桥印刷厂

经 销 者: 广东新华发行集团

规 格: 787mm×1092mm 1/16 20.75 印张 505 千字

版次印次: 2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

本书如有印装质量问题影响阅读, 请寄回出版社调换

内 容 提 要

本书为高等学校基础无机化学教学参考书,在内容上与蔡少华、龚孟濂、史华红编著的《无机化学基本原理》(中山大学出版社 1999 年版)和蔡少华、黄坤耀、张玉容编著的《元素无机化学》(中山大学出版社 1998 年版)两种教材配套使用。本书分两编:第一编为《无机化学基本原理》习题解答,共分为十章;第二编为《元素无机化学》习题解答,共分为十章。全书内容包括无机化学的基本概念、化学热力学初步、溶液与电离平衡、反应动力学初步、原子结构与元素周期表、分子结构、晶体结构、配位化合物与配位平衡、氧化还原与电化学以及元素周期表各族元素的无机化学。

本书选用的习题均为编著者在长期的教学实践中精心挑选出来的,共约 580 题,有一定的系统性和适当的难度,在编排上有一定的独立性,适合高等学校化学专业或相关专业学生自学或作为硕士研究生入学考试复习参考书使用,也可供相关专业教师作为教学参考书。

前 言

本书是为配合蔡少华、龚孟濂、史华红编著的《无机化学基本原理》(中山大学出版社 1999 年版)和蔡少华、黄坤耀、张玉容编著的《元素无机化学》(中山大学出版社 1998 年版)两种教材而编写的教学参考书。

全书分为两部分:第一编为《无机化学基本原理》习题解答,共分为十章;第二编为《元素无机化学》习题解答,共分为十章。

第一编的内容包括:无机化学的基本概念、化学热力学初步、溶液与电离平衡、反应动力学初步、原子结构与元素周期表、分子结构、晶体结构、配位化合物与配位平衡、氧化还原与电化学等的习题及解答。

第二编的内容包括:《元素无机化学》各章(元素周期表各族以及镧系和锕系元素)的习题及解答。

本书采用的习题是在我校(中山大学)“无机化学”课程教学组教师十多年教学实践中精心挑选出来的,共约 580 题,涵盖了无机化学的基本概念、基本原理和元素无机化学的主要内容;在习题选择上,注意了基本知识与应用以及一定的广度和深度,部分习题还有相当高的难度。这对于广大读者掌握无机化学的基本原理和元素无机化学的核心内容,提高分析与解决无机化学问题的能力会有一定的帮助。

本书适合高等学校化学专业或相关专业学生自学使用,或作为硕士研究生入学考试的复习参考书使用,也可用作高等学校教师讲授无机化学课程的教学参考书。

本书在编写过程中,教学组史华红教授、鲁统部教授、雷恒毅教授等提出了许多宝贵意见;化学与化学工程学院童叶翔教授对本书的出版给予了关心和支持。中山大学出版社周建华编辑为本书的编辑、出版付出了辛勤劳动,徐镜昌老师在编辑工作中也给予了具体帮助。我们在此表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中难免存在纰漏,望读者不吝赐教、指正,不胜感谢。

蔡少华 龚孟濂 刘 杰

2004 年 2 月 15 日

于中山大学康乐园

目 录

第一编 《无机化学基本原理》习题解答

第一章	无机化学的基本概念	(1)
第二章	化学反应进行的方向及热力学初步	(12)
第三章	化学平衡	(24)
第四章	溶液与电离平衡	(38)
第五章	反应动力学初步	(57)
第六章	原子结构与周期表	(68)
第七章	分子结构	(79)
第八章	晶体结构	(102)
第九章	配位化合物及配位平衡	(111)
第十章	氧化还原与电化学	(134)

第二编 《元素无机化学》习题解答

第十一章	卤族元素	(157)
第十二章	氧族元素	(178)
第十三章	氮族元素	(194)
第十四章	碳族元素	(212)
第十五章	硼族元素	(232)
第十六章	碱金属、碱土金属	(244)
第十七章	铜、锌族元素	(256)
第十八章	过渡金属元素	(275)
第十九章	铜系、钨系元素	(295)
第二十章	氢、稀有气体	(303)

附 录

附录 1	一些常用的物理化学常数	(305)
------	-------------	-------

附录 2	一些非推荐单位、导出单位与 SI 单位的换算	(306)
附录 3	一些物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$, $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$	(306)
附录 4	某些弱酸和弱碱在水溶液中的电离平衡常数 K'	(312)
附录 5	常见难溶电解质的溶度积常数 K_{sp}' (298 K)	(313)
附录 6	常见配(络)离子的稳定常数 $K'_{稳}$	(314)
附录 7	溶液中的标准电极电势 $\varphi^\ominus$ (298 K)	(314)
附录 8	原子半径 r	(318)
附录 9	元素的电负性 X	(319)
附录 10	元素的第一电离能 I_1	(320)
附录 11	主族元素的第一电子亲和能 E_{ca_1}	(321)
附录 12	Goldschmidt 离子半径和 Pauling 离子半径	(322)
附录 13	有效离子半径 r_e	(323)
附录 14	键能与键长一览表	(324)
附录 15	金属原子化热和熔点	(325)
附录 16	元素周期表	(326)

第一编 《无机化学基本原理》习题解答

第一章 无机化学的基本概念

本章教学要求

1. 掌握原子、分子、元素、同位素、核素、相对原子量及原子质量、相对分子量及分子量、式量等基本概念。
2. 了解国际单位制及中华人民共和国法定计量单位的基本内容。
3. 掌握及熟练应用“物质的量”及其单位摩尔的概念,并进行有关计算。
4. 掌握及应用理想气体状态方程和气体分压定律,并进行有关计算。

习题解答

1. 用对比的方法说明以下概念的区别:

- (1) 原子与分子
- (2) 原子与元素
- (3) 核素与元素
- (4) 单质与化合物
- (5) 同位素与同素异形体
- (6) 核素与同位素
- (7) 分子式与化学式
- (8) 化学式式量与分子量
- (9) 原子量与原子质量

答: (1) 原子是物质参加化学变化的最小微粒; 分子是保持物质化学性质的最小微粒。分子可以进一步分割为原子, 但原子已不再保持物质原有的化学性质。例如, 水的电解反应可以把水分子分解为氢分子及氧分子, 说明一种物质可以分解为两种物质。但在整个过程中, 只是发生了氢原子及氧原子间的不同组合过程, 而原子本身没有发生变化。但原子只是在化学反应中不可分割。

(2) 原子是物质参加化学变化的最小微粒; 元素是原子核里质子数(即核电荷数)相同的一类原子的总称。元素是以核电荷为标准, 对原子进行分类的, 即原子的核电荷是决定元素内在联系的关键。

原子是微观概念, 元素是宏观概念。元素只能存在于具体物质(单质或化合物)中, 脱离

了具体物质,抽象的元素是不存在的。原子可以以数目或量的概念去描述,元素只能以种类来说明。元素不包含量的概念,而原子则常常与量相联系。

(3)核素是指具有相同质子数 Z 及相同质量数 A 的一类原子;元素是指原子核里质子数(即核电荷数)相同的一类原子的总称。例如,碳-12核素 $^{12}_6\text{C}$,碳-13核素 $^{13}_6\text{C}$,碳-14核素 $^{14}_6\text{C}$,碳元素有三种核素: $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$ 。氧元素有三种核素,即: $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, $^{18}_8\text{O}$ 。

(4)由同种元素组成的物质称为单质,如氧气、铁等。单质相当于同一元素表现为实物的存在形式。由不同元素组成的物质称为化合物,如氯化氢、氯化钠等。

(5)质子数 Z 相同而中子数不同的同一元素的不同原子互称同位素,例如,碳有三种同位素: $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$ 。同素异形体是指由同一元素组成的不同的单质,例如,金刚石、石墨、 C_{60} 称为同素异形体,单质是元素存在的一种形式。

(6)核素是指具有相同的质子数 Z 及相同质量数 A 的一类原子,例如,碳-12核素 $^{12}_6\text{C}$,碳-13核素 $^{13}_6\text{C}$,碳-14核素 $^{14}_6\text{C}$ 。同位素是指质子数 Z 相同而中子数不同的同一元素的不同原子,例如,碳有三种同位素: $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$ 。

核素是指同一类原子,同位素是指不同的原子。

(7)分子是由原子组成的,分子式表示了组成分子的元素及其原子数目。化学式只表示组成分子的元素及其原子数目的比例,并不代表分子的真实组成。

(8)相对分子质量简称为分子量,等于组成该分子各原子的相对原子质量的总和。分子量只可应用在由分子组成的物质。而对于一些物质,如 NaCl , SiO_2 晶体,只有表示它们组成比例的化学式,没有分子式,对于这一类用化学式表示其组成的物质,所谓的相对“分子量”只是“化学式式量”。

(9)相对原子质量简称为原子量,一种元素的相对原子质量是该元素 1 摩尔质量对核素 $^{12}_6\text{C}$ 的 1 摩尔质量 $1/12$ 的比值。原子质量是指某核素一个原子的质量。原子量没有单位,而原子质量有单位。例如,规定一个 $^{12}_6\text{C}$ 核素的原子质量的 $1/12$ 为原子质量单位,用 u 表示,核素 $^{12}_6\text{C}$ 的原子质量等于 $12 u$ 。

2. 判断以下说法是否正确,并说明理由:

(1)某元素相对原子质量就是该元素一个原子的质量。

(2)碳有三种同位素: $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$, 因此,碳的相对原子量等于 $^{12}_6\text{C}$ 原子质量、 $^{13}_6\text{C}$ 原子质量、 $^{14}_6\text{C}$ 原子质量之和的 $1/3$ 。

(3)在 58.44 g NaCl 中,有 N_A 个 NaCl 分子。

(4)某溶液浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^3$ 时,表示 1 dm^3 溶液中含某溶质的摩尔数为 1 mol 。

(5) 1 mol 某物质的质量,称为该物质的“摩尔质量”。

(6)一定量气体的体积与温度成正比。

(7) 1 mol 任何气体体积都是 22.4 L 。

(8)混合气体中各组分气体的体积百分组成与其摩尔分数相等。

答: (1)错误,混淆了原子量与原子质量的概念。某元素的相对原子质量是该元素 1 摩尔质量对核素 $^{12}_6\text{C}$ 的 1 摩尔质量 $1/12$ 的比值,没有单位。而原子质量是指某核素一个原子

的质量,有单位,可用 u 表示。

(2)错误。对于有同位素的元素,原子的平均质量是对一种元素的多种天然同位素来说的,它决定于天然同位素的数目和质量,也决定于它们在自然界中丰度的大小。

(3)错误。 $NaCl$ 只代表化学式,而不是分子的实际组成,因而不能称之为 $NaCl$ 分子。

(4)错误。浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 时,表示 1 dm^3 溶液中含某溶质的物质的量为 1 mol 。

(5)错误。摩尔质量(单位物质的量)是每摩尔物质所具有的质量,单位为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(6)错误。一定量气体的体积与压力、温度两个因素有关。

(7)错误。应该说:在标准状况下, 1 mol 任何气体体积都是 22.4 L 。

(8)错误。应该说:对于理想气体,混合气体中各组分气体的体积分数与其摩尔分数相等。

3. 元素硼由质量为 $10.01 u$ 和 $11.01 u$ 的两种同位素组成,两种同位素的丰度分别为 19.83% 和 80.17% ,请计算硼的平均原子量。

解:

$$Ar(B) = \frac{(10.01 \times 19.83 + 11.01 \times 80.17) u}{100 u} = 10.81$$

4. 氯由质量为 $34.98 u$ 和 $36.98 u$ 的两种同位素组成,它的平均原子量为 $35.45 u$,试计算同位素的丰度。

解: 设质量为 $34.98 u$ 的氯的同位素的丰度为 x , 质量为 $36.98 u$ 的氯的同位素的丰度为 y 。则有:

$$\begin{cases} x + y = 100 \\ 35.45 = \frac{(34.98x + 36.98y) u}{100 u} \end{cases}$$

解得:

$$x = 76.5, y = 23.5$$

质量为 $34.98 u$ 的氯的同位素的丰度为 76.5% , 质量为 $36.98 u$ 的氯的同位素的丰度为 23.5% 。

5. 用等量的 Ag 分别制取 $AgCl$ 和 AgI , 二者的质量比是 $AgI/AgCl = 1.63810$, 若已知 Ag 的相对原子质量为 107.868 , 氯的相对原子质量为 35.453 , 试求碘的相对原子量是多少?

解: 等量的 Ag 制取的 $AgCl$ 和 AgI 的物质的量相同。根据条件, 可列出下面等式:

$$\frac{107.868 + Ar(I)}{107.868 + 35.453} = 1.63810 \quad Ar(I) = 126.906$$

6. 下列提法是否正确? 为什么?

(1)水分子由二个氢元素及一个氧元素组成。

(2)如果某元素处于“游离状态”, 则它就被视为单质。

(3)一种用物理的或化学的方法都不能将其分解为两种以上不同性质的物质称为元素。

(4)水分子中元素氢与元素氧重量比为 1:8, 体积比为 2:1。

(5)元素硅可以由 SiO_2 与 C 或 CaC_2 反应制取。

(6)元素磷在游离态时可以分为两种单质——白磷及红磷。

(7)煤、石墨和金刚石都是元素碳的三种不同的形态。

(8)在硫化铁中硫已不是脆的、黄色的、易燃的物质,而是以硫元素的形态存在。

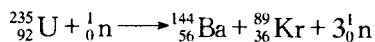
(9)硫化铁是由硫及铁两种元素构成的。

(10)元素的性质是指游离态的原子的性质。

答:(1)不正确。因为元素不是量的概念,不可以论个数,也不可以论质量。可以说,水是由氢、氧二种元素组成的;或者说,水分子是由二个氢原子和一个氧原子组成的。

(2)不正确。因为单质是由同种元素组成的。

(3)不正确。对于放射性元素,通过核裂变可以生成二种新的物质。例如:



(4)不正确。因为元素没有量的概念,不可以论个数,也不可以论质量,因此在水分子中不能说氢元素与氧元素的重量,也不能说体积。

(5)不正确,混淆了元素与单质的概念。硅元素组成硅单质,可以说单质硅可以由 SiO_2 与 C 或 CaC_2 反应制取。

(6)不正确,混淆了元素、单质的概念。单质是元素的一种存在形式,白磷和红磷是由磷元素组成的二种不同的磷单质,称为同素异形体。

(7)不正确。应该说:煤、石墨和金刚石都是由碳元素组成的三种不同的单质。

(8)不正确。硫化铁中的硫元素是以化合态存在。

(9)正确。

(10)不正确,混淆了元素与原子的概念。

7. 1893 年,雷利发现从空气中分离出的“氮”的分子量比用化学方法制取的纯氮的分子量大 0.45%,他认为这是由于某种未被发现的气体存在而造成的。已知纯氮的分子量为 28.01,氮的相对分子量为 39.95,试问从空气中分离出来的“氮”试样中含氩的百分数是多少?

解:设试样中含氩的百分数为 $x\%$,氮的百分数为 $(1-x)\%$ 。则有下面等式:

$$28.01(1-x) + 39.95x = 28.01 + 28.01 \times 0.45\%$$

解得: $x = 0.01056$,即试样中含氩的百分数是 1.06%。

8. 某体积的氯气重 1.5895 g, 同温同压下, 同体积的氢气重 0.0449 g, 试求氯气的相对分子质量。

解: 同温同压下, 同体积的任何气体所含的物质的量相同。因此有:

$$\frac{1.5895}{M_r(\text{Cl}_2)} = \frac{0.0449}{2} \quad M_r(\text{Cl}_2) = 70.80 \quad [M_r(\text{Cl}_2) \text{ 表示 } \text{Cl}_2 \text{ 的相对质量}]$$

9. 在标准状况下, 0.4 L 某气体重 1.143 g, 试求该气体的相对分子质量。

解: 根据气体状态方程:

$$pV = nRT \quad pV = \frac{m}{M_r}RT$$

代入数据得:

$$101.3 \times 0.4 = \frac{1.143}{M_r} \times 8.314 \times 273 \quad M_r = 64.02$$

10. 当温度为 360 K, 压力为 9.6×10^4 Pa 时, 0.4 L 的丙酮蒸气重 0.744 g, 试求丙酮的相对分子质量。

解: 根据气体状态方程:

$$pV = nRT \quad pV = \frac{m}{M_r}RT$$

代入数据得:

$$9.6 \times 10^4 \times \frac{0.4}{10^3} = \frac{0.744}{M_r} \times 8.314 \times 360 \quad M_r = 58.00$$

11. 氧化亚砷的组成为 As_2O_3 , 在 844 K 和 99058 Pa 时, 氧化亚砷以气体状态存在, 实验测定其蒸气的密度为 $5.66 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 试求蒸气状态下化合物的分子式。

解: 先求出蒸气状态下化合物的相对分子质量 M_r 。由气体状态方程 $pV = \frac{m}{M_r}RT$, 得

$p = \frac{\rho}{M_r}RT$, 代入数据得:

$$99058 \times 10^{-3} = \frac{5.66}{M_r} \times 8.314 \times 844 \quad M_r = 400.9$$

因为 $M_r(As_2O_3) = 198$, 所以蒸气状态下化合物的分子式为 As_4O_6 。

12. 在 573 K 时, 白磷的蒸气对空气的相对密度是 4.28, 磷的相对原子质量为 31, 空气的平均相对分子质量为 29, 问白磷蒸气的分子式是什么?

解: 根据气体状态方程得 $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_{r1}}{M_{r2}}$, 代入数据得:

$$4.28 = \frac{M_r(P)}{29} \quad M_r(P) = 124.1$$

因为 $\frac{124.1}{31} = 4$, 因此白磷蒸气的分子式是 P_4 。

13. 在 298 K 时, 用 0.25 dm^3 烧瓶收集某反应产生的气体, 收集压力为 7.33×10^4 Pa, 气体净重 0.118 g, 试求该气体的相对分子质量。

解: 根据气体状态方程, 代入数据得:

$$7.33 \times 10^4 \times 10^{-3} \times 0.25 = \frac{0.118}{M_r} \times 8.314 \times 298 \quad M_r = 15.95$$

14. 在 298 K 和 1.01325×10^5 Pa 压力下,测得某气体的密度是 $1.340 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 气体成分分析表明该气体含 C 为 79.8%, 含 H 为 20.2%, 试求: ①该化合物的最简式; ②该化合物的相对分子质量; ③该化合物的分子式。

解: (1) 该化合物中 C 与 H 原子数目之比为 $\text{C} : \text{H} = \frac{79.8}{12} : \frac{20.2}{1} = 1 : 3$, 化合物的最简式为 CH_3 。

$$(2) \quad p = \frac{\rho}{M_r} RT \quad M_r = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.34 \times 8.314 \times 298}{101.325} = 32.76$$

(3) 化合物的分子式为 $(\text{CH}_3)_n$, $M_r(\text{CH}_3)_n = 32.76$, $n \approx 2$, 所以化合物的分子式为 C_2H_6 。

15. 一个装有 8.4 g 氮的 5.0 dm^3 储气瓶, 以一活门与另一个装有 4.0 g 氧气的 3.0 dm^3 储气瓶相联接。打开活门使用两种气体相混, 若温度为 300 K, 问氮气、氧气的分压及储气瓶总压力各为多少?

解: 根据 $p = \frac{m}{M_r V} RT$, 求得:

$$p_{\text{N}_2} = \frac{m}{M_r V} RT$$

$$p_{\text{N}_2} = \frac{8.4}{28 \times 5.0} \times 8.314 \times 300 = 149.65 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{O}_2} = \frac{4.0}{32 \times 3.0} \times 8.314 \times 300 = 103.92 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{总}} = p_{\text{N}_2} + p_{\text{O}_2} = 149.65 \text{ kPa} + 103.92 \text{ kPa} = 253.57 \text{ kPa}$$

16. 某气体是由 80.0% 重的碳和 20.0% 重的氢所组成, 在同温同压下, 该气体的密度为氧气密度的 94%, 试据此求出该气体的分子量, 分子式又如何?

解: 组成该气体分子的碳和氢原子数目比为 $\frac{80.0}{12} : \frac{20.0}{1} = 1 : 3$ 。根据 $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2}$, 求该气体的分子量:

$$M_2 = \frac{\rho_2 M_1}{\rho_1} = 0.94 \times 32 = 30.08$$

$$M_r(\text{CH}_3)_n = 30.08 \quad n = 2$$

该气体的分子式为 C_2H_6 。

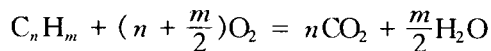
17. 某未知气态碳氢化合物在 373 K 及 99458.4 Pa 时的密度约为 $3.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。① 求该化合物近似分子量; ② 当该化合物在过量氧气中燃烧时, 产物为 CO_2 和 H_2O , 已知生成水

的质量正好和原来碳氢化合物的质量相同,求该碳氢化合物的实验式;③ 求该化合物的分子式及其精确分子量。

解: (1) 根据 $pV = \frac{m}{M_r}RT$, $p = \frac{\rho}{M_r}RT$, 得:

$$M_r = \frac{\rho RT}{p} = \frac{3.5 \times 8.314 \times 373}{99.4584} = 109.1$$

(2) 设化合物的实验式为 C_nH_m , 在 O_2 中燃烧的化学方程式如下:



$$\frac{m}{2} \times 18 = 12n + m \quad 8m = 12n \quad m = 1.5n$$

化合物的最简式为 C_2H_3 。

(3) 设化合物的分子式为 $(C_2H_3)_n$, 根据其分子量 109.1 得:

$$(24 + 3)n = 109.1 \quad n = 4$$

化合物的分子式为 C_8H_{12} 。

18. 试计算: ① 303 K 与 100% 相对湿度时(水的饱和蒸气压为 4.24 kPa), 每升空气中含水蒸气的质量; ② 323 K 与 80% 相对湿度时(水的饱和蒸气压为 12.34 kPa), 每升空气中含水蒸气的质量。

解: (1) 根据气体状态方程 $pV = nRT$, 得 1 L 空气中含水的物质的量 n 为:

$$4.24 \times 1 = n \times 8.314 \times 303$$

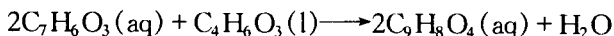
$$n = 1.683 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{水蒸气的质量 } m = 1.683 \times 10^{-3} \times 18 = 0.0303 \text{ g}$$

$$(2) \quad n_{\text{水}} = \frac{pV}{RT} = \frac{12.34 \times 1}{8.314 \times 323} = 4.595 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m_{\text{水}} = 4.595 \times 10^{-3} \times 18 = 0.0827 \text{ g}$$

19. 水杨酸(SA)和乙酸酐(AA)反应生成阿司匹林(Asp)的反应如下:



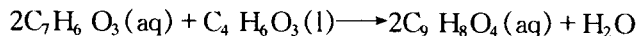
求在以下反应条件中, Asp 的理论产量将是多少克?

(1) 1.50 mol SA + 1.06 mol AA;

(2) 10.0 g SA + 10.0 g AA;

(3) 10.0 g SA + 3.00 g AA。

解: 根据反应方程式:



$$\begin{array}{ccc} 276 & 102 & 360 \\ 2 \text{ mol} & 1 \text{ mol} & 2 \text{ mol} \end{array}$$

(1) 1.50 mol SA 可完全反应, 1.06 mol AA 有剩余, 1.50 mol SA 反应可生成 1.5 mol

Asp, $m_{\text{Asp}} = 1.5 \times 180 = 270 \text{ g}$ 。

(2) AA 有剩余, 10.0 g SA 可完全反应, 生成的 $m_{\text{Asp}} = \frac{10 \times 360}{276} = 13.04 \text{ g}$ 。

(3) SA 有剩余, 3.0 g AA 可完全反应, 生成的 $m_{\text{Asp}} = \frac{3 \times 360}{102} = 10.59 \text{ g}$ 。

20. 人在呼吸时, 呼出气体的组成与吸入的空气组成不同。在 36.8°C 与 101.325 kPa 时, 某典型呼出气体的体积百分组成是: N_2 75.1%, O_2 15.2%, CO_2 3.8%, H_2O 5.9%。试求: ① 呼出气体的平均分子量; ② CO_2 的分压力。

解: (1) 平均分子量 $M_r = 75.1\% \times 28 + 15.2\% \times 32 + 3.8\% \times 44 + 5.9\% \times 18 = 28.6$

(2) $p_{(\text{CO}_2)} = p_{\text{总}} \times V_{(\text{CO}_2)} / V_{\text{总}} = 101.325 \times 3.8\% = 3.8 \text{ kPa}$

21. 在 293 K 和 $9.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ 条件下, 在烧瓶中称量某物质的蒸气得到下列数据: 烧瓶容积为 0.293 dm^3 , 烧瓶与空气的质量为 48.369 g , 烧瓶与该物质蒸气的质量为 48.5378 g , 且已知空气的平均分子量为 29, 请计算此物质的相对分子质量。

解: 空气的物质的量可通过气体状态方程求得:

$$n_{\text{空}} = \frac{pV}{RT} = \frac{9.33 \times 10^4 \times 10^{-3} \times 0.293}{8.314 \times 293} = 0.01122 \text{ mol}$$

蒸气的物质的量 $n_{\text{蒸气}} = n_{\text{空气}}$, 得:

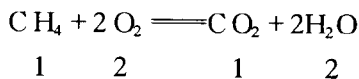
$$m_{\text{空}} = M_{r, \text{空}} \times 0.01122 = 0.325 \text{ g}$$

烧瓶中某蒸气的质量为 $48.537 - (48.369 - 0.325) = 0.493 \text{ g}$, 得:

$$M_{r, \text{气}} = \frac{0.493}{0.01122} = 43.9$$

22. $200 \text{ cm}^3 \text{ N}_2$ 和 CH_4 的混合气与 $400 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$ 点燃发生反应后, 用干燥剂吸去水分, 干燥气体体积变为 500 cm^3 。求原来混合气中 N_2 和 CH_4 的比例 (各气体体积都在同一温度、压力下测定)。

解: 反应方程式如下:



生成 H_2O 的体积即为干燥后减少的体积:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 200 + 400 - 500 = 100 \text{ cm}^3$$

根据方程式得:

$$V_{\text{CH}_4} = 50 \text{ cm}^3 \quad V_{\text{N}_2} = 150 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{N}_2} : V_{\text{CH}_4} = 150 : 50 = 3 : 1$$

23. $45 \text{ cm}^3 \text{ CO}$, CH_4 , C_2H_2 的混合物气体与 $100 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$ 完全燃烧并冷却到室温后, 体积

变为 80 cm^3 , 用 KOH 吸收 CO_2 之后, 体积缩成为 15 cm^3 。求原混合气体中 CO , CH_4 , C_2H_2 的体积百分组成。

解: 混合气中 CO , CH_4 , C_2H_2 完全燃烧后, 产生的 CO_2 及消耗 O_2 的体积列于下表中:

反 应 式	产生的 CO_2 的体积	消耗 O_2 的体积
$2\text{CO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2$	$V_{(\text{CO})}$	$\frac{1}{2} V_{(\text{CO})}$
$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$V_{(\text{CH}_4)}$	$2 V_{(\text{CH}_4)}$
$2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 \longrightarrow 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$2 V_{(\text{C}_2\text{H}_2)}$	$\frac{5}{2} V_{(\text{C}_2\text{H}_2)}$

$$\text{产生的 } \text{CO}_2 \text{ 的体积} = 80 - 15 = 65 \text{ cm}^3$$

$$\text{消耗 } \text{O}_2 \text{ 的体积} = 100 - 15 = 85 \text{ cm}^3$$

$$\begin{cases} V_{(\text{CO})} + V_{(\text{CH}_4)} + 2[45 - V_{(\text{CO})} - V_{(\text{CH}_4)}] = 65 \\ \frac{1}{2} V_{(\text{CO})} + 2 V_{(\text{CH}_4)} + \frac{5}{2}[45 - V_{(\text{CO})} - V_{(\text{CH}_4)}] = 85 \end{cases}$$

解得:

$$V_{(\text{CO})} = 10 \text{ cm}^3 \quad V_{(\text{CO})} \% = 10/45 = 22\%$$

$$V_{(\text{CH}_4)} = 15 \text{ cm}^3 \quad V_{(\text{CH}_4)} \% = 15/45 = 33\%$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_2} = 20 \text{ cm}^3 \quad V_{\text{C}_2\text{H}_2} \% = 20/45 = 45\%$$

24. 在 293 K 和 101 kPa 下, 让 1.00 dm^3 干燥空气 (设体积组成为 O_2 21.0%, N_2 79.0%) 通过盛水汽瓶后, 饱和湿空气的总体积应是多少? 潮湿的混合气体中各气体的分压是多少? (已知在 293 K 时, 饱和水蒸气压力为 2.33 kPa)

$$\text{解: (1) } V_{\text{湿}} = \frac{p_{\text{总}} V_{(\text{O}_2, \text{N}_2)}}{p_{(\text{O}_2, \text{N}_2)}} = \frac{101 \times 1.00}{101 - 2.33} = 1.02 \text{ dm}^3$$

(2) 潮湿混合气体中:

$$p_{(\text{H}_2\text{O})} = 2.33 \text{ kPa}$$

$$p_{(\text{O}_2)} + p_{(\text{N}_2)} = 101 - 2.33 = 98.67 \text{ kPa}$$

$$p_{(\text{O}_2)} = p_{(\text{O}_2, \text{N}_2)} \times 21.0\% = 98.67 \times 0.210 = 20.72 \text{ kPa}$$

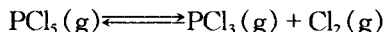
$$p_{(\text{N}_2)} = p_{(\text{O}_2, \text{N}_2)} \times 79.0\% = 98.67 \times 0.79 = 77.95 \text{ kPa}$$

25. 在 250°C 时, PCl_5 全部气化并能部分离解为 $\text{PCl}_3(\text{g})$ 及 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 。将 $2.98 \text{ g } \text{PCl}_5$ 置于 1.00 dm^3 容器中, 在 250°C 下全部气化, 容器总压力为 113 kPa, 问容器中含有哪些气体? 它们的分压力各是多少?

解法(一): $2.98 \text{ g } \text{PCl}_5(\text{g})$ 未解离时的压力 $p'_{(\text{PCl}_5)}$:

$$p'_{(\text{PCl}_5)} = \frac{n_{(\text{PCl}_5)}RT}{V} = \frac{(2.98/208) \times 8.31 \times 523}{1.00} = 62 \text{ kPa}$$

解离后的压力大于 62 kPa, 反应方程式如下:



由上式可知, 1 mol PCl_5 分解, 就产生 1 mol PCl_3 和 1 mol Cl_2 , 所以达到平衡时:

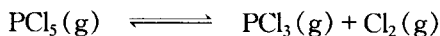
$$p_{(\text{PCl}_3)} = p_{(\text{Cl}_2)} \quad p_{(\text{PCl}_5)} = 62 - p_{(\text{Cl}_2)} \quad p_{\text{总}} = 113 \text{ kPa}$$

根据分压定律有:

$$p_{\text{总}} = p_{(\text{PCl}_5)} + p_{(\text{PCl}_3)} + p_{(\text{Cl}_2)} \quad 113 = 62 - p_{(\text{Cl}_2)} + p_{(\text{PCl}_3)} + p_{(\text{Cl}_2)}$$

$$p_{(\text{Cl}_2)} = 5 \text{ kPa} \quad p_{(\text{PCl}_3)} = 51 \text{ kPa} \quad p_{(\text{PCl}_5)} = 11 \text{ kPa}$$

解法(二): PCl_5 解离反应方程式如下:



$$\text{反应前} \quad \frac{2.98}{208} = 0.0143 \text{ mol} \quad 0 \text{ mol} \quad 0 \text{ mol}$$

$$\text{反应后} \quad (0.0143 - n) \text{ mol} \quad n \text{ mol} \quad n \text{ mol}$$

PCl_5 解离后, 容器中物质的量即 $n_{\text{总}} = (0.0143 + n) \text{ mol}$, 压力为 113 kPa, 根据气体状态方程, 可求得 n :

$$p_{\text{总}} V = n_{\text{总}} RT \quad n_{\text{总}} = \frac{p_{\text{总}} V}{RT} = \frac{113 \times 1}{8.31 \times 523} = 0.0260 \text{ mol}$$

反应后生成的 PCl_3 和 Cl_2 的物质的量 $n_{(\text{PCl}_3)} = n_{(\text{Cl}_2)} = 0.0117 \text{ mol}$, 得:

$$p_{(\text{PCl}_3)} = p_{(\text{Cl}_2)} = \frac{nRT}{V} = \frac{0.0117 \times 8.31 \times 523}{1} = 51 \text{ kPa}$$

$$p_{(\text{PCl}_5)} = p_{\text{总}} - p_{(\text{PCl}_3)} - p_{(\text{Cl}_2)} = 113 - 51 - 51 = 11 \text{ kPa}$$

26. 在 298 K 时, 将压力为 $3.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ 的氮气 0.2 L 和压力为 $4.67 \times 10^4 \text{ Pa}$ 的氧气 0.3 L 移入 0.3 L 的真空容器中, 求混合气体中各组分气体的分压力、分体积及体系总压力, 从你的计算中可以得出什么结论?

解: 混合前与混合后气体各组分物质的量不变, 气体总的物质的量也保持不变, 得:

$$n_{(\text{N}_2)} = \frac{pV}{RT} = \frac{3.33 \times 10^4 \times 10^{-3} \times 0.2}{8.31 \times 298} = 2.689 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{(\text{O}_2)} = \frac{4.67 \times 10^4 \times 10^{-3} \times 0.3}{8.31 \times 298} = 5.657 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

混合后分压力:

$$p_{(\text{N}_2)} = \frac{n_{(\text{N}_2)}RT}{V} = \frac{2.689 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 298}{0.3} = 2.22 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_{(\text{O}_2)} = \frac{n_{(\text{O}_2)}RT}{V} = \frac{5.657 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 298}{0.3} = 4.67 \times 10^4 \text{ Pa}$$

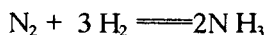
$$\text{分体积 } N_{(\text{N}_2)} = V_{(\text{O}_2)} = 0.3 \text{ L}$$

$$\text{总压力 } p_{\text{总}} = p_{(\text{N}_2)} + p_{(\text{O}_2)} = 4.67 \times 10^4 + 2.22 \times 10^4 = 6.89 \times 10^4 \text{ Pa}$$

结论:① 混合气体的分体积等于容器的总体积;② 在温度、物质的量、体积不变的情况下,气体压力不变;③ 总压力等于各气体分压之和。

27. 将 1 体积氮气和 3 体积氢气的混合物放入反应器中,在总压力为 $1.42 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的压力下开始反应,当原料气中有 9% 反应时,各组分的分压和混合气的总压力各为多少?

解:反应前,混合气体的体积比 $V_{(\text{N}_2)} : V_{(\text{H}_2)} = 1 : 3$, 物质的量之比 $n_{(\text{N}_2)} : n_{(\text{H}_2)} = 1 : 3$ 。放入反应器后,压力比 $p_{(\text{N}_2)} : p_{(\text{H}_2)} = 1 : 3$ 。根据反应方程式:



反应前	1	3	0
反应后	0.91	2.73	0.18

$$\text{反应后总的物质的量 } n_{\text{总}} = n_{(\text{N}_2)} + n_{(\text{H}_2)} + n_{(\text{NH}_3)} = 0.91 + 2.73 + 0.18 = 3.82$$

$$\text{反应前总的物质的量 } n_{\text{总}}^1 = n_{(\text{N}_2)} + n_{(\text{H}_2)} = 1 + 3 = 4$$

$$\text{反应前的总压力 } p_{\text{总}}^1 = 1.42 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\frac{p^1}{p} = \frac{n^1}{n} \quad p = \frac{n p^1}{n^1} = 1.42 \times 10^6 \times \frac{3.82}{4} = 1.356 \times 10^6 \text{ Pa}$$

各组分的分压力为:

$$p_{(\text{N}_2)} = p_{\text{总}} \frac{n_{(\text{N}_2)}}{n_{\text{总}}} = 1.356 \times 10^6 \times \frac{0.91}{3.82} = 3.23 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_{(\text{H}_2)} = p_{\text{总}} \frac{n_{(\text{H}_2)}}{n_{\text{总}}} = 1.356 \times 10^6 \times \frac{2.73}{3.82} = 9.69 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_{(\text{NH}_3)} = p_{\text{总}} \frac{n_{(\text{NH}_3)}}{n_{\text{总}}} = 1.356 \times 10^6 \times \frac{0.18}{3.82} = 6.39 \times 10^4 \text{ Pa}$$