

重庆大学出版社

工科大学化学习题集

李月熙 甘孟瑜 主编

1

1

H

氢

1. 0079

工科大学化学习题集

李月熙 甘孟瑜 主编

重庆大学出版社

内容简介

本书是根据国家教委新颁布的《高等工业学校普通化学课程教学基本要求》的精神编写的工科大学普通化学课程教学参考书,是曾政权、李月熙主编的《工科大学化学》(重庆大学出版社 1995 年第 2 版)的配套教学用书。

本书各章由目的要求、习题、思考题三部分组成。所选内容紧密配合工科大学化学课程的理论教学,突出工科特点,既注意理论知识的巩固、加深,又着力培养学生理论联系实际的能力,注重了应用,扩大了知识面。全书按照我国法定计量单位和国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)的要求进行了规范化;习题的演算采用量值计算法。本书对于在基础化学中贯彻法定计量单位有借鉴作用。

本书可供工科大学各专业学生及职大、电大、夜大、函大等各专业师生作基础化学教学参考书,也可供综合大学、师范院校、农医类院校师生及工矿技术人员参考。

工科大学化学习题集

李月熙 甘孟瑜 主编

责任编辑:陈晓阳

重庆大学出版社出版

新华书店经销

重庆通信学院印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:6.25 字数:150 千

1995年7月第1版 1995年7月第1次印刷

印数:1—6000

ISBN 7-5624-1052-6/O·120 定价:5.00元

(川)新登字 020 字

前 言

《工科大学化学习题集》是根据国家教委新颁布的《高等工业学校普通化学课程教学基本要求》的精神,总结了重庆大学、原成都科技大学两校普通化学教师多年的教学实践经验编写而成的,把它作为曾政权、李月熙主编的《工科大学化学》(重庆大学出版社,1995年第2版)教材的配套教学用书。

本书以《工科大学化学》教材的章次为序,每章内容由目的要求、习题、思考题三部分组成。本书紧密配合工科大学化学的理论教学,突出工科特点,既注意学生理论知识的巩固、加深,又着力培养学生理论联系实际的能力。注重了应用,扩大了知识面。编写中按照我国国家标准局最新发布的《量和单位的国家标准》和国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)出版的《物理化学中的量单位和符号》(第4版)的要求进行了规范化。在习题的演算中采用量值计算法。

做习题是学生课外学习的重要环节。我们希望使用本习题集的学生,看完题目后先独立思考,自行作答;然后再对照题解进行分析、研究,对照检查自己的思路、计算是否正确、合理,找出问题之所在。经过多年的实践证明,只要按照上述办法正确使用习题集,对学生本人的学习将是大有裨益的。

本书由李月熙、甘孟瑜任主编,各章的执笔人是原成都科技大学(现四川联合大学)李月熙(第三、四、六、十三章),符迈群(第一、五、十二章);重庆大学曾政权(第二、七、八、九章),甘孟瑜(第十、十一、十四章及思考题)。全书由曾政权审定。由于编者水平所限,难免存在错误、不当之处,诚望使用本书的师生、读者批评指正。

编 者

1995年3月

DA970/02

目 录

第一章	气体、大气污染与防治	1
第二章	化学热力学基础.....	9
第三章	化学反应速率	18
第四章	化学平衡	27
第五章	溶液与相平衡	43
第六章	电化学原理及其应用	50
第七章	水、水的污染及其处理.....	60
第八章	原子结构与周期系	65
第九章	化学键与分子结构	72
第十章	工程材料中的重要元素及化合物	80
第十一章	能源与化学	84
第十二章	表面化学与表面活性剂	89
第十三章	有机高分子材料	91
第十四章	润滑剂与胶粘剂	93

第一章 气体、大气污染与防治

目的要求

明确理想气体状态方程式及摩尔气体常数的意义和单位。掌握道尔顿分压定律及有关计算。了解真实气体状态方程式。了解大气污染的主要污染物及危害,了解防治大气污染的基本原理。

习 题

1. 利用真空泵抽气,可使容器内压力降到 $1.33 \times 10^{-5} \text{Pa}$,试计算在 300K 时,对一个 $5.0 \times 10^{-2} \text{m}^3$ 的氧气瓶进行抽气,最后瓶内还剩下多少个 O_2 分子?

解:由于真空泵抽气,可使容器内压力降到 $1.33 \times 10^{-5} \text{Pa}$,用来对氧气瓶抽气,最后氧气瓶内剩下的压力也只能为 $1.33 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

现已知瓶的容积是 $5.0 \times 10^{-2} \text{m}^3$,温度 T 为 300K ,根据气体状态方程式有

$$\begin{aligned} n(\text{O}_2) &= \frac{pV}{RT} \\ &= \frac{1.33 \times 10^{-5} \text{Pa} \times 5.0 \times 10^{-2} \text{m}^3}{8.315 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300\text{K}} \\ &= 2.7 \times 10^{-10} \text{mol} \end{aligned}$$

因为 1mol 氧分子(O_2)有 6.02×10^{23} 个 O_2 分子,故瓶内还剩下 O_2 分子数

$$\begin{aligned} N(\text{O}_2) &= 6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1} \times 2.7 \times 10^{-10} \text{mol} \\ &= 1.6 \times 10^{14} \end{aligned}$$

答:瓶内最后还剩 1.6×10^{14} 个 O_2 。

2. 一个体积为 V 的容器中,盛有压力为 $2.0 \times 10^5 \text{Pa}$ 的某种气体,现在从容器内放出部分气体,容器内气体压力降到 $1.5 \times 10^5 \text{Pa}$,而放出来的气体在 $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ 下占有的体积为 3.0dm^3 ,试计算原容器的体积有多少立方米(整个过程的温度都保持不变)。

解:设原容器内气体总压力为 p_g ,放出部分气体在 V 中贡献的压力为 p_1 ,容器内剩余气体的压力为 p_2 ,则有

$$\begin{aligned} p_1 &= p_g - p_2 \\ &= 2.0 \times 10^5 \text{Pa} - 1.5 \times 10^5 \text{Pa} \\ &= 0.50 \times 10^5 \text{Pa} \end{aligned}$$

又设放出气体的体积为 V_3 , 即 $V_3 = 3.0 \text{dm}^3 = 3.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$,其压力为 p_3 ,则 $p_3 = 1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

由于温度在整个过程中都保持不变,故有

$$p_1 V = p_3 V_3$$

$$V = \frac{p_3 V_3}{p_1} = \frac{1.0 \times 10^5 \text{Pa} \times 3.0 \times 10^{-3} \text{m}^3}{0.50 \times 10^5 \text{Pa}} \\ = 6.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

答:原容器的体积为 $6.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 。

3. 在 400K 时,计算 0.022kg CO_2 气体在 0.020m^3 容器中产生的压力是多少?

解:已知 $M(\text{CO}_2) = 0.044 \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, $m = 0.022 \text{kg}$

$$V = 0.020 \text{m}^3, T = 400 \text{K}$$

根据理想气体状态方程有

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

$$p = \frac{mRT}{MV}$$

$$= \frac{0.022 \text{kg} \times 8.315 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 400 \text{K}}{0.044 \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.020 \text{m}^3}$$

$$= 8.3 \times 10^4 \text{Pa}$$

答:容器中产生的压力为 $8.3 \times 10^4 \text{Pa}$ 。

4. 一定量的某气体在 290K 和 $9.80 \times 10^4 \text{Pa}$ 下, 体积为 $4.20 \times 10^{-4} \text{m}^3$, 计算当压力为 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ 、体积为 $3.90 \times 10^{-4} \text{m}^3$ 时, 气体的温度是多少?

解:已知 $T_1 = 290 \text{K}$, $p_1 = 9.80 \times 10^4 \text{Pa}$, $V_1 = 4.20 \times 10^{-4} \text{m}^3$,

$$p_2 = 1.01 \times 10^5 \text{Pa}, V_2 = 3.90 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

根据理想气体状态方程式有

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

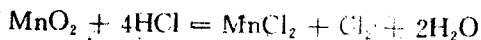
$$T_2 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1}$$

$$= \frac{1.01 \times 10^5 \text{Pa} \times 3.90 \times 10^{-4} \text{m}^3 \times 290 \text{K}}{9.80 \times 10^4 \text{Pa} \times 4.20 \times 10^{-4} \text{m}^3}$$

$$= 278 \text{K}$$

答:气体的温度是 278K。

5. 在 553K 和 $1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$ 下, 按下列方程式反应:



要制备 2.50m^3 Cl_2 气, 需要 MnO_2 多少千克?

解:对 Cl_2 气, 根据气体状态方程式有

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{1.01325 \times 10^5 \text{Pa} \times 2.50 \text{m}^3}{8.315 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 553 \text{K}} \\ = 55.1 \text{mol}$$

从反应方程式看出:要生成 1mol Cl_2 气, 就需要消耗 1mol MnO_2 , 而 MnO_2 的摩尔质量是 $0.0869 \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以 55.1mol MnO_2 的质量

$$m(\text{MnO}_2) = 0.0869 \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 55.1 \text{mol} = 4.79 \text{kg}$$

答:需要 MnO_2 4.79kg。

6. 一支40W的霓虹灯管, 体积为 $5.00 \times 10^{-2} \text{ dm}^3$, 内部充有氩气 $1.00 \times 10^{-5} \text{ mol}$, 假设灯管发亮后, 平均温度达到353K, 计算管内氩气的压力是多少?

解: 已知 $V = 5.00 \times 10^{-2} \text{ dm}^3 = 5.00 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

$$n = 1.00 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$T = 353 \text{ K}$$

代入理想气体状态方程式: $pV = nRT$

$$\begin{aligned} p &= \frac{nRT}{V} \\ &= \frac{1.00 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 353 \text{ K}}{5.00 \times 10^{-5} \text{ m}^3} \\ &= 58.7 \text{ Pa} \end{aligned}$$

答: 管内氩气的压力为58.7Pa。

7. 用理想气体状态方程式和范德华方程式计算: 10.0 dm^3 容器中有 1.00 mol 乙烯, 分别在300K 和573K 时的压力(乙烯的范德华常数: $a = 0.452 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 5.71 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)。

解: (1) 在300K 时

由理想气体状态方程式计算

$$\begin{aligned} p &= \frac{nRT}{V} \\ &= \frac{1.00 \text{ mol} \times 8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3} \\ &= 2.49 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

用范德华方程式计算

$$\begin{aligned} p &= \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} \\ &= \frac{8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} - 0.00571 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &\quad - \frac{0.452 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}}{(1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})^2} \\ &= 2.51 \times 10^5 \text{ Pa} - 0.0452 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 2.46 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

(2) 在573K 时,

用理想气体状态方程计算

$$\begin{aligned} p &= \frac{nRT}{V} \\ &= \frac{1.00 \text{ mol} \times 8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 573 \text{ K}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3} \\ &= 4.76 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

用范德华方程式计算

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 573 \text{ K}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} - 0.00571 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}} \\
&\quad - \frac{0.452 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-2}}{(1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})^2} \\
&= 4.79 \times 10^5 \text{ Pa} - 0.0452 \times 10^5 \text{ Pa} \\
&= 4.74 \times 10^5 \text{ Pa}
\end{aligned}$$

答: 300K 时由理想气体状态方程算得压力为 $2.49 \times 10^5 \text{ Pa}$, 由范德华方程式算得压力为 $2.46 \times 10^5 \text{ Pa}$; 573K 时由理想气体状态方程算得压力为 $4.76 \times 10^5 \text{ Pa}$, 由范德华方程式算得压力为 $4.74 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

8. 根据 1.000mol 乙炔在压力 p 和体积 V 的数值, 请计算其 pV_m 和 $(p + \frac{a}{V_m^2})(V_m - b)$ 的值, 将计算结果填入下表内。(乙炔的范德华常数: $a = 0.4360 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 5.200 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

$10^{-5} p / \text{Pa}$	$10^3 V_m / \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$10^{-2} p V_m / \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$10^{-2} (p + \frac{a}{V_m^2})(V_m - b) / \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
1.01325	24.06	24.38	24.51
32.020	0.6958	22.28	26.41
85.320	0.1141	9.735	26.08
110.97	0.09880	11.06	26.16

9. 300K 时, A 气体在 $6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 下, 体积为 $1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, B 气体在 $8.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 下体积为 0.15 dm^3 , 现将这两种气体在 300K 下混合(彼此不发生反应)于 0.50 dm^3 容器中, 求混合气体的总压力是多少?

解: 混合气体的总压力等于各组分气体的分压力之和, 因此, 只需求得 A、B 气体的分压力, 混合气体的总压力就可求得。

当 T 不变时, 有

$$p_0 V_0 = p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$\text{设 } p_1 = 6.0 \times 10^4 \text{ Pa}, \quad p_2 = p_A, \quad V_1 = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3, \quad V_2 = 5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

所以

$$\begin{aligned}
p_A &= \frac{p_1 V_1}{V_2} \\
&= \frac{6.0 \times 10^4 \text{ Pa} \times 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3} \\
&= 1.5 \times 10^4 \text{ Pa}
\end{aligned}$$

同理

$$\begin{aligned}
p_B &= \frac{8.0 \times 10^4 \text{ Pa} \times 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3} \\
&= 2.4 \times 10^4 \text{ Pa} \\
p &= p_A + p_B \\
&= 1.5 \times 10^4 \text{ Pa} + 2.4 \times 10^4 \text{ Pa} \\
&= 3.9 \times 10^4 \text{ Pa}
\end{aligned}$$

答:混合气体的总压力为 $3.9 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

10. 在 293 K ,用排水取气法收集 O_2 气,其体积为 0.500 dm^3 ,压力为 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$,在此温度下水的蒸气压为 $2.30 \times 10^3 \text{ Pa}$,计算 O_2 气的物质的量为多少摩尔?

解:已知 $T = 293 \text{ K}$

$$p(\text{O}_2) = p_{\text{总}} - p(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = 0.977 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V(\text{O}_2) = 5.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

根据

$$\begin{aligned} n(\text{O}_2) &= \frac{p(\text{O}_2)V}{RT} \\ &= \frac{0.977 \times 10^5 \text{ Pa} \times 5.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}} \\ &= 2.01 \times 10^{-2} \text{ mol} \end{aligned}$$

答: O_2 气的物质的量为 $2.01 \times 10^{-2} \text{ mol}$ 。

11. 294 K 时,在 1.00 dm^3 容器中,盛有 10.0% 的盐酸溶液 0.100 dm^3 (密度 $\rho = 1.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$),现加入 0.654 g Zn ,并塞紧瓶口,反应完全后,计算瓶中的压力为多少?(设瓶内温度在反应前、后相同;瓶内空气、水蒸气、 HCl 气体的总压力为 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$,反应前、后它们的分压力都不变)。

解:已知 $T = 294 \text{ K}$,容器中空间部分体积

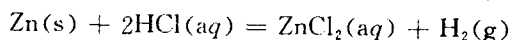
$$V = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 0.100 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0.90 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$p = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}, V(\text{HCl}) = 0.100 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} n(\text{Zn}) &= \frac{0.654 \times 10^{-3} \text{ kg}}{65.4 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 0.0100 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n(\text{HCl}) &= \frac{0.100 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 1.10 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 0.100}{36.5 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 0.301 \text{ mol} \end{aligned}$$

根据已知条件,盐酸是过量的,发生置换反应生成氢气量要由下面反应方程式决定



从反应方程式看出, Zn 和 H_2 的化学计量的绝对值是 $1:1$ 关系,因此,消耗 0.0100 mol Zn 必定得到 0.0100 mol H_2 气,它在 $V = 0.900 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 空间的分压力为

$$\begin{aligned} p(\text{H}_2) &= \frac{n(\text{H}_2)RT}{V} \\ &= \frac{0.0100 \text{ mol} \times 8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \times 294 \text{ K}}{0.90 \times 10^{-3} \text{ m}^3} \\ &= 0.27 \times 10^5 \text{ Pa} \\ p_{\text{总}} &= p + p(\text{H}_2) \\ &= 1.00 \times 10^5 \text{ Pa} + 0.27 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 1.27 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

答:反应完后,瓶中的压力为 $1.27 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

12. 空气中 N_2 和 O_2 的体积分数(φ_n)分别为 79% 和 21% ,计算在 $5.8 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下,空气中 N_2 和 O_2 气的分压力各为多少?

解:根据分压定律

$$\begin{aligned}p(\text{N}_2) &= p \frac{V(\text{N}_2)}{V} \\&= 5.8 \times 10^5 \text{Pa} \times \frac{79}{100}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 4.6 \times 10^5 \text{Pa} \\p(\text{O}_2) &= p \frac{V(\text{O}_2)}{V} \\&= 5.8 \times 10^5 \text{Pa} \times 0.21 \\&= 1.2 \times 10^5 \text{Pa}\end{aligned}$$

答:空气中 N_2 的分压力为 $4.6 \times 10^5 \text{Pa}$, O_2 的分压力为 $1.2 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

13. 用金属锌与稀 H_2SO_4 反应制取氢气时,在 298K 和 $1.00 \times 10^5 \text{Pa}$ 下用排水集气法收集到氢气和水蒸气的混合气体 0.820dm^3 , 计算(1)氢气的物质的量;(2)氢气和水蒸气的体积分数(φ_B)。

解:(1) 已知 $T=298\text{K}$

混合气体的体积 $V=0.820\text{dm}^3=8.20 \times 10^{-4}\text{m}^3$

混合气体的压力 $p=1.00 \times 10^5 \text{Pa}$

298K 时饱和水蒸气压力为 $3.17 \times 10^3 \text{Pa}$

所以

$$p(\text{H}_2) = 1.00 \times 10^5 \text{Pa} - 3.17 \times 10^3 \text{Pa} = 9.68 \times 10^4 \text{Pa}$$

$$\begin{aligned}n(\text{H}_2) &= \frac{p(\text{H}_2)V}{RT} \\&= \frac{9.68 \times 10^4 \text{Pa} \times 8.20 \times 10^{-4} \text{m}^3}{8.315 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298\text{K}} \\&= 0.0320 \text{mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(2) \quad n_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{pV}{RT} = \frac{1.00 \times 10^5 \text{Pa} \times 8.20 \times 10^{-4} \text{m}^3}{8.315 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298\text{K}} \\&= 0.0331 \text{mol}\end{aligned}$$

$$x(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{总})} = \frac{0.0320 \text{mol}}{0.0331 \text{mol}} = 0.967$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 0.0330$$

在同温同压下气体的物质的量分数等于体积分数, 所以 $\varphi(\text{H}_2)=0.967$, $\varphi(\text{H}_2\text{O})=0.0330$ 。

答:(1) 氢气的物质的量为 0.0320mol ; (2) 氢气和水蒸气的体积分数分别为 0.967 、 0.0330 。

14. CO_2 、 O_2 、 C_2H_4 、 H_2 等4种气体混合物体积为 1.00dm^3 , 压力为 $1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$ 。先用 NaOH 吸收其中 CO_2 , 吸收后, 气体体积减小到 0.971dm^3 ; 用焦性没食子酸吸收 O_2 后, 还剩气体 0.960dm^3 ; 再用浓 H_2SO_4 吸收 C_2H_4 , 最后剩下 0.632dm^3 气体, 试计算各组分气体的物质的量分数和分压?

解: 吸收前气体总体积为 1.00dm^3 , 由于是依次吸收, 所以气体的体积分数分别为

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{1.00\text{dm}^3 - 0.971\text{dm}^3}{1.00\text{dm}^3} = 0.0290$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{0.971\text{dm}^3 - 0.960\text{dm}^3}{1.00\text{dm}^3} = 0.0110$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{0.960\text{dm}^3 - 0.630\text{dm}^3}{1.00\text{dm}^3} = 0.328$$

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{0.630\text{dm}^3}{1.00\text{dm}^3} = 0.623$$

在同温、同压下气体的体积分数等于物质的量分数,所以, CO_2 、 O_2 、 C_2H_4 和 H_2 的物质的量的分数依次为: 0.0290、0.0110、0.328 和 0.623。

又根据

$$p_B = \frac{n_B}{n_g} p_g$$

得

$$p(\text{CO}_2) = 2.94\text{kPa}$$

$$p(\text{O}_2) = 1.11\text{kPa}$$

$$p(\text{C}_2\text{H}_4) = 33.2\text{kPa}$$

$$p(\text{H}_2) = 64.0\text{kPa}$$

答: 各组分气体的物质的量分数分别为 $\varphi(\text{CO}_2) = 0.0290$ 、 $\varphi(\text{O}_2) = 0.0110$ 、 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = 0.328$ 、 $\varphi(\text{H}_2) = 0.623$; 其分压分别为 $p(\text{CO}_2) = 2.94\text{kPa}$ 、 $p(\text{O}_2) = 1.11\text{kPa}$ 、 $p(\text{C}_2\text{H}_4) = 33.2\text{kPa}$ 、 $p(\text{H}_2) = 64.0\text{kPa}$

15. 某火力发电厂每小时用煤 480t, 排放烟气为 $5.6 \times 10^5 \text{m}^3$ (273.15K, 101.325kPa 下的体积)。设煤含可燃硫为 3.0%, 燃烧后生成二氧化硫。计算烟道气中 SO_2 的含量 (以物质的量分数 x_B 表示)。

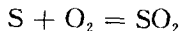
解: 已知 273.15K, $1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$ 下烟道气的体积为 $5.6 \times 10^5 \text{m}^3$, 则烟道气总物质的量

$$\begin{aligned} n_g &= \frac{pV}{RT} = \frac{1.01325 \times 10^5 \text{Pa} \times 5.6 \times 10^5 \text{m}^3}{8.315 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273.15 \text{K}} \\ &= 2.5 \times 10^7 \text{mol} \end{aligned}$$

煤含可燃硫的物质的量

$$n(\text{s}) = \frac{480 \times 10^3 \text{g} \times 3\%}{32.06 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4.5 \times 10^5 \text{mol}$$

按照硫生成 SO_2 的反应方程式



烟道气中含 SO_2 的物质的量亦为 $4.5 \times 10^5 \text{mol}$ 。因此烟道气中 SO_2 的物质的量分数

$$x(\text{SO}_2) = \frac{n(\text{SO}_2)}{n_{\text{总}}} = \frac{4.5 \times 10^5 \text{mol}}{2.5 \times 10^7 \text{mol}} = 0.018$$

答: 烟道气中 SO_2 的物质的量分数为 0.018。

思考题

- 什么是理想气体? 在什么条件下, 真实气体的性质接近于理想气体? 为什么?
- 区别下列概念
 - (1) 分压力与分体积;
 - (2) 物质的量分数与体积分数。

3. 大气污染物中主要有哪些危害最大的物质?
4. 为什么说烟和粉尘是大气污染物中最明显和危害极大的毒物?
5. 根治气体污染的主要方法有哪些?它们的基本原理是什么?
6. 现在认为防治大气污染最好的办法是杜绝污染源,你认为这种说法是否正确?为什么?
7. 有人说气体分析是控制某些化工生产和防治大气污染的眼睛,你认为这种说法是否有道理?
8. 化学吸收法的基本原理是什么?比色法有什么优点?
9. 电导分析、热导分析、气相色谱分析法用来分析气体的基本原理是什么?
10. 等物质的量的 N_2 与 O_2 在室温下于同一容器中混和,则此时混合气体的压力为()。
 - (A) 其中某一组分单独存在时的压力 (B) 每种气体单独存在时的压力之积
 - (C) 每种气体单独存在时的压力之和 (D) 由理想气体状态方程式计算。
11. 在含有112g N_2 , 96g O_2 及44g CO_2 的混和物中, N_2 的物质的量分数为()。
 - (A) 0.50 (B) 0.38 (C) 0.13 (D) 0.29
12. 同温同体积下,在 A 和 B 的混和气体中,若组分 A 的摩尔分数为0.200,混和气体的总压力为101.325kPa,则组分 B 的分压力为()。
 - (A) 20.3kPa (B) 101.3kPa (C) 81.1kPa (D) 16.2kPa
13. 在25.0°C 时用排水集气法收集的氮气体积为500cm³,总压力为99.992kPa。若此温度时饱和水蒸气的压力为3.200kPa,则其中 N_2 的物质的量为()。
 - (A) 19.5mol (B) 0.233mol (C) 0.0195mol (D) 20.1mol
14. 若温度为22.0°C 且总压力为99.992kPa 时,在水面上收集的氢气重0.100g,且该温度时水的饱和蒸气压力2.666kPa,则氢气的体积应当为()。
 - (A) 12.6dm³ (B) 1.26dm³ (C) 25.2dm³ (D) 2.52dm³

第二章 化学热力学基础

目的要求

了解状态函数的意义。了解化学反应中的焓变、熵变及吉布斯函数变在一般条件下的意义。理解等压热效应与焓变的关系。初步掌握化学反应的 $\Delta_r H_m^\ominus$ 、 $\Delta_r S_m^\ominus$ 和 $\Delta_r G_m^\ominus$ 的计算。能应用 $\Delta_r G^\ominus$ 或 $\Delta_r G$ 判断化学反应进行的方向。

习 题

1. 由 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})$ 的数据计算水蒸发成水蒸气, $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的标准摩尔焓变 $\Delta H_m^\ominus(298.15\text{K})$ 是多少? 298.15K 下, 2.00mol 的 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 蒸发成同温、同压的水蒸气的焓变 $\Delta H^\ominus(298.15\text{K})$ 是多少? 吸热 Q 是多少? 做的功 W 是多少? 内能变化 ΔU 是多少? ($\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 比 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的体积小得多, 计算时可忽略不计)

解: $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \xrightarrow[298.15\text{K}]{\text{标准状态}} \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

$$\begin{aligned}\Delta H_m^\ominus(298.15\text{K}) &= \sum \{\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})\}_{\text{生成物}} - \sum \{\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})\}_{\text{反应物}} \\ &= -241.82\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-285.83\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ &= 44.01\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

2.00mol 的 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 蒸发成同温同压的水蒸气时

$$\Delta H^\ominus(298.15\text{K}) = 2.00\text{mol} \times 44.01\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 88.0\text{kJ}$$

∴

$$\Delta H = Q_p, \text{此时吸热 } Q = Q_p = 88.0\text{kJ}$$

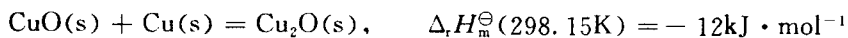
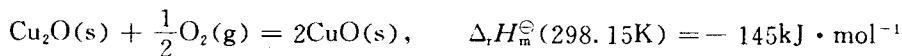
$$\begin{aligned}W &= p\Delta V = p\{V(\text{g}) - V(\text{l})\} \approx pV(\text{g}) = nRT \\ &= 2.00\text{mol} \times 8.315\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15\text{K} \\ &= 4.96\text{kJ}\end{aligned}$$

$$\Delta U = Q - W = 88.0\text{kJ} - 4.96\text{kJ} = 83.0\text{kJ}$$

答: $\Delta H_m^\ominus(298.15\text{K}) = 44.01\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 2mol 时 $\Delta H^\ominus(298.15\text{K}) = 88.0\text{kJ}$

吸热 $Q = Q_p = 88.0\text{kJ}$, $W = 4.96\text{kJ}$, $\Delta U = 83.0\text{kJ}$ 。

2. 已知



试计算 $\text{CuO}(\text{s})$ 的标准生成焓 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})$ 是多少?

解: 若求出反应 $\text{Cu}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CuO}(\text{s})$ 的 $\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K})$, 即为 $\text{CuO}(\text{s})$ 的标准生成

焓 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})$ 。

因为反应(1) $\text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CuO}(\text{s}), \Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -145\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

反应(2) $\text{CuO}(\text{s}) + \text{Cu}(\text{s}) = \text{Cu}_2\text{O}(\text{s}), \Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -12\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

式(1)+(2)得

反应(3) $\text{Cu}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CuO}(\text{s}), \Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -145\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1} + (-12\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 $= -157\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

故 CuO 的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -157\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

答: CuO 的标准生成焓 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -157\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

3. 有下列三个反应

(1) $2\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) = 4\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

(2) $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

(3) $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g})$

计算回答:

(A) 各反应的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K}) = ?$

(B) 分别燃烧等体积的气体 C_2H_2 、 CH_4 和 CO , 哪一个的发热量最大?

解: (A) 先由附表查出各有关物质的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})$

反应(1)

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K}) &= \sum \{\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})\}_{\text{生成物}} - \sum \{\Delta_f H_m^\ominus(298.15\text{K})\}_{\text{反应物}} \\ &= 4\Delta_f H_m^\ominus(\text{CO}_2, \text{g}) + 2\Delta_f H_m^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) \\ &\quad - 2\Delta_f H_m^\ominus(\text{C}_2\text{H}_2, \text{g}) - 5\Delta_f H_m^\ominus(\text{O}_2, \text{g}) \\ &= 4 \times (-393.5\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) + 2 \times (-285.8\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \\ &\quad - 2 \times 226.7\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - 0 \\ &= -2599\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

反应(2)

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K}) &= \Delta_f H_m^\ominus(\text{CO}_2, \text{g}) + 2 \times \Delta_f H_m^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) \\ &\quad - \Delta_f H_m^\ominus(\text{CH}_4, \text{g}) - 2 \times \Delta_f H_m^\ominus(\text{O}_2, \text{g}) \\ &= -393.5\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1} + 2 \times (-285.8\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \\ &\quad - (-74.81\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) - 0 \\ &= -890.3\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

反应(3)

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K}) &= 2 \times \Delta_f H_m^\ominus(\text{CO}_2, \text{g}) - 2 \times \Delta_f H_m^\ominus(\text{CO}, \text{g}) - 2 \times \Delta_f H_m^\ominus(\text{O}_2, \text{g}) \\ &= 2 \times (-393.5\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) - 2 \times (110.5\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) - 0 \\ &= -566.0\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

(B) 同温同压下, 等体积的气体, 物质的量 n 相同, 可用不同气体各 1mol 参加的燃烧反应的发热量来比较:

$$\frac{2599}{2} > 890.3 > \frac{566.0}{2}$$

可见, C_2H_2 发热量最大, CH_4 次之, CO 发热量最小。

答: (A): 反应(1) $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = -2599kJ \cdot mol^{-1}$

反应(2) $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = -890.3kJ \cdot mol^{-1}$

反应(3) $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = -566kJ \cdot mol^{-1}$

(B) C_2H_2 发热量最大, CH_4 次之, CO 发热量最小。

4. 选择正确的答案, 填在_____上。

(1) 已知 $CO_2(g)$ 的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15K) = -394kJ \cdot mol^{-1}$

$CO_2(g) = C(\text{石墨}) + O_2(g)$ 反应的 $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = \underline{\hspace{2cm}} kJ \cdot mol^{-1}$

a. -394, b. -2×394 , c. 394, d. 2×394 .

(2) $C(\text{石墨}) + O_2(g) = CO_2(g)$, $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = -394kJ \cdot mol^{-1}$

$C(\text{金刚石}) + O_2(g) = CO_2(g)$, $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = -396kJ \cdot mol^{-1}$

那么金刚石的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15K) = \underline{\hspace{2cm}} kJ \cdot mol^{-1}$ 。

a. -790, b. 2, c. -2, d. +790。

答: (1)c (2)b

5. 为测定燃料完全燃烧时所放出的热量, 可使用弹式量热计。将1.00g 火箭燃料二甲基肼 $[(CH_3)_2N_2H_2]$ 置于盛有5.00kg 水的弹式量热计的钢弹内完全燃尽, 体系温度上升了1.39°C。已知钢弹此时的热容为 $1840J \cdot K^{-1}$ 。试计算。

(1) 此燃烧反应实验中总放热多少?

(2) 在此条件下1mol 二甲基肼完全燃烧放热多少?

解:

(1) 钢弹吸热 $Q_1 = 1840J \cdot K^{-1} \times 1.39K = 2.56kJ$

水吸热 $Q_2 = 5.00 \times 10^3g \times 1.39K \times 4.184J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1} = 29.1kJ$

燃烧反应实验中总放热等于 $Q_1 + Q_2$ 。

$$2.56kJ + 29.1kJ = 31.7kJ$$

(2) $M_r(\text{二甲基肼}) = 30.06 + 28.0 + 2.02 = 60.1$

$$M = 60.1g \cdot mol^{-1}$$

1mol 二甲基肼完全燃烧放热

$$31.7kJ \cdot g^{-1} \times 60.1g \cdot mol^{-1} = 1.91 \times 10^3kJ \cdot mol^{-1}$$

答: 燃烧反应实验中总放热31.7kJ, 1mol 二甲基肼完全燃烧放热 $1.91 \times 10^3kJ \cdot mol^{-1}$ 。

6. 下列说法是否正确? 如何改正?

(1) 对于参考态的元素, 规定它的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15K) = 0$, $\Delta_f G_m^\ominus(298.15K) = 0$, $S_m^\ominus(298.15K) = 0$ 。

(2) 某化学反应的 $\Delta_r G_m^\ominus > 0$, 此反应是不能发生的。

(3) 放热反应均是自发反应。

答:

(1) 错, 改为: 对于参考态元素, 规定它的 $\Delta_f H_m^\ominus(298.15K) = 0$, $\Delta_f G_m^\ominus(298.15K) = 0$, $S_m^\ominus(0K) = 0$ (或, 但是 $S_m^\ominus(298.15K) \neq 0$)

(2) 错, 改为: 某化学反应的 $\Delta_r G_m^\ominus > 0$, 则此反应是不能自发进行的。

(3) 错,改为:放热反应不一定是自发反应,只有在等温等压下当反应的 $\Delta_r G_m^\ominus < 0$ 时,才能肯定此反应是自发的反应。

7. 计算回答反应 $N_2(g) + O_2(g) = 2NO(g)$ $\Delta_r G_m^\ominus(298.15K) = ?$ 标准状态 298.15K 下 NO 是否有自发分解为单质 N_2 和 O_2 的可能性?

解:查附表后的数据:

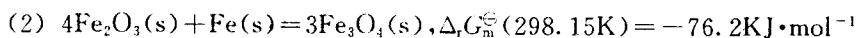
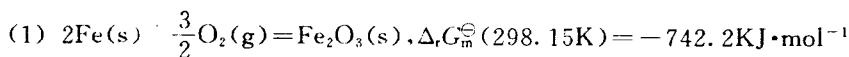
$$\begin{aligned}\Delta_r G_m^\ominus(298.15K) &= \sum \{\Delta_f G_m^\ominus(298.15K)\} \text{生成物} \\ &\quad - \sum \{\Delta_f G_m^\ominus(298.15K)\} \text{反应物} \\ &= 2 \times \Delta_f G_m^\ominus(NO, g) - \Delta_f G_m^\ominus(N_2, g) - \Delta_f G_m^\ominus(O_2, g) \\ &= 2 \times 86.57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 0 - 0 \\ &= 173.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} > 0\end{aligned}$$

其逆反应即 $2NO(g) = N_2(g) + O_2(g)$ 的 $\Delta_r G_m^\ominus(298.15K) < 0$, 所以 NO(g) 在标态 298.15K 下有自发分解为单质 N_2 和 O_2 的可能性。

答: $\Delta_r G_m^\ominus(298.15K) = 173.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

NO(g) 在标态 298.15K 下有自发分解为 O_2 和 N_2 的可能性。

8. 已知



试求 $Fe_3O_4(s)$ 的标准生成吉布斯自由能 $\Delta_f G_m^\ominus(298.15K)$ 。

解:由反应(1)知, $Fe_2O_3(s)$ 的标准生成吉布斯自由能 $\Delta_f G_m^\ominus(298.15K) = -742.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 由反应(2)得

$$\begin{aligned}\Delta_r G_m^\ominus(298.15K) &= 3 \times \Delta_f G_m^\ominus(Fe_3O_4, s) - 4 \Delta_f G_m^\ominus(Fe_2O_3, s) - \Delta_f G_m^\ominus(Fe, s) \\ -76.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} &= 3 \Delta_f G_m^\ominus(Fe_3O_4, s) - 4 \times (-742.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - 0 \\ \Delta_f G_m^\ominus(Fe_3O_4, s) &= \frac{4 \times (-742.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - 76.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}{3} \\ &= -1015 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\end{aligned}$$

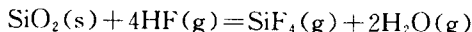
答: $Fe_3O_4(s)$ 的标准生成吉布斯自由能 $\Delta_f G_m^\ominus(298.15K) = -1015 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

9. 反应 $CaO(s) + H_2O(l) = Ca(OH)_2(s)$ 在 298K 标准状态下是自发的, 其逆反应在高温下变为自发进行的反应。那么可以判定在标准状态 298K 时正反应是_____。

- a. $\Delta_r H_m^\ominus > 0$, $\Delta_r S_m^\ominus > 0$; b. $\Delta_r H_m^\ominus < 0$, $\Delta_r S_m^\ominus < 0$;
c. $\Delta_r H_m^\ominus > 0$, $\Delta_r S_m^\ominus < 0$; d. $\Delta_r H_m^\ominus < 0$, $\Delta_r S_m^\ominus > 0$ 。

答: b。

10. 电子工业上清洗硅片上的 $SiO_2(s)$ 的反应是



其 $\Delta_r H_m^\ominus(298.15K) = -94.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta_r S_m^\ominus(298.15K) = -75.8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, 设 $\Delta_r H_m^\ominus$ 和 $\Delta_r S_m^\ominus$ 不随温度而变, 试求此反应自发进行的温度条件, 有人提出用 $HCl(g)$ 代替 $HF(g)$, 试通过计算判定此建议是否可行?

解: 由 $\Delta_r G_m^\ominus(T) = \Delta_r H_m^\ominus(298.15K) - T \Delta_r S_m^\ominus(298.15K)$, 要使反应能够自发进行, 必 $\Delta_r G_m^\ominus(T) < 0$