

2014年高考“化学计算”试题分类例析

河南省鲁山县第三高级中学 467300 师殿峰

1. 有关物质的量的计算

例1 (江苏化学卷,节选) 碱式碳酸铝镁

$[Mg_a Al_b(OH)_c(CO_3)_d \cdot xH_2O]$ 常用作塑料阻燃剂。

为确定碱式碳酸铝镁的组成,进行如下实验:

① 准确称取

3.390 g 样品与足量稀

盐酸充分反应,生成 CO_2 0.560 L(已换算成标准状况下)。

② 另取一定量样品在空气中加热,样品的固体残留率(固体样品的剩余质量/固体样品的起始质量 $\times 100\%$) 随温度的变化如图1所示(样品在 $270^\circ C$ 时已完全失去结晶水, $600^\circ C$ 以上残留固体为金属氧化物的混合物)。

根据以上实验数据计算碱式碳酸铝镁样品中的 $n(OH^-) : n(CO_3^{2-})$ (写出计算过程)。

解析 由题意可知 3.390 g 样品生成 CO_2 的物质的量 $n(CO_2) = 0.560 L \div 22.4 L/mol = 2.50 \times 10^{-2} mol$, 则生成 CO_2 的质量 $m(CO_2) = 2.50 \times 10^{-2} mol \times 44 g/mol = 1.10 g$; 在 $270^\circ C \sim 600^\circ C$ 之间, 失去结晶水后的样品进一步受热分解放出 CO_2 和 H_2O , 其质量为 $m(CO_2) + m(H_2O) = 3.390 g \times (0.7345 - 0.3702) = 1.235 g$, 则 $m(H_2O) = 1.235 g - 1.10 g = 0.135 g$, $n(H_2O) = 0.135 g \div 18 g/mol = 7.50 \times 10^{-3} mol$; 根据氢原子守恒原则可知, 消耗 OH^- 的物质的量 $n(OH^-) = 2n(H_2O) = 2 \times 7.50 \times 10^{-3} mol = 1.50 \times 10^{-2} mol$; 从而得 $n(OH^-) : n(CO_3^{2-}) = n(OH^-) : n(CO_2) = 1.50 \times 10^{-2} mol : 2.50 \times 10^{-2} mol = 3 : 5$ 。故答案为 3:5 (计算过程见解析)。

2. 有关物质的量与粒子数的计算

例2 (江苏化学卷) 设 N_A 为阿伏加德罗常数的值。下列说法正确的是()。

A. 1.6 g 由氧气和臭氧组成的混合物中含有

氧原子的数目为 $0.1N_A$

B. 0.1 mol 丙烯酸中含有双键的数目为 $0.1N_A$

C. 标准状况下, 11.2 L 苯中含有分子的数目为 $0.5N_A$

D. 在过氧化钠与水的反应中, 每生成 0.1 mol 氧气, 转移电子的数目为 $0.4N_A$

解析 氧气和臭氧都是由氧原子形成的单质, 1.6 g 由氧气和臭氧组成的混合物中含氧原子的物质的量为 0.1 mol (即 $1.6 g \div 16 g/mol = 0.1 mol$), 其含有氧原子的数目为 $0.1N_A$; 丙烯酸 ($CH_2 = CH - COOH$) 分子中含有 2 个双键, 则 0.1 mol 丙烯酸中含有双键的数目为 $0.2N_A$; 标准状况下苯为液体, 11.2 L 苯的物质的量不是 0.5 mol, 其含有分子的数目不为 $0.5N_A$; 在过氧化钠与水的反应 ($2Na_2O_2 + 2H_2O = 4NaOH + O_2 \uparrow$) 中, Na_2O_2 既是氧化剂又是还原剂, 氧元素的化合价部分从 -1 价升高到 0 价 (生成 O_2), 部分从 -1 价降低到 -2 价, 即生成 1 mol 氧气转移 2 mol 电子, 则每生成 0.1 mol 氧气转移电子的数目为 $0.2N_A$ 。故答案为 A。

3. 有关氧化还原反应的计算

例3 (上海化学卷) 含有砷霜 (As_2O_3) 的试样和锌、盐酸混合反应, 生成的砷化氢 (AsH_3) 在热玻璃管中完全分解成单质砷和氢气。若砷的质量为 1.50 mg, 则()。

- A. 被氧化的砷霜为 1.98 mg
- B. 分解产生的氢气为 0.672 mL
- C. 和砷霜反应的锌为 3.90 mg
- D. 转移的电子总数为 $6 \times 10^{-5} N_A$

解析 砷霜 (As_2O_3) 中砷的化合价为 +3 价, 砷化氢 (AsH_3) 中砷的化合价为 -3 价, 即砷霜被还原, A 项错误。因题中没有给出温度和压强的条件, 不能确定产生氢气的体积, B 项错误。因 $As_2O_3 + 12e^- \rightarrow 2AsH_3$, 而 $n(As) = 1.50 \times 10^{-3} g \div 75 g/mol = 2 \times 10^{-5} mol$, 则砷霜转化为砷化氢得到

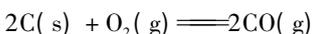
电子的物质的量为 $12 \times 10^{-5} \text{ mol} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ mol}$; 因 $\text{Zn} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ 根据得失电子守恒原则可知, Zn 失去电子的物质的量为 $1.2 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 则 $65 \text{ g} : 2 \text{ mol} = m(\text{Zn}) : 1.2 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 解得 $m(\text{Zn}) = 3.90 \times 10^{-3} \text{ g} = 3.90 \text{ mg}$ C 项正确; 因 $\text{AsH}_3 - 3\text{e}^- \rightarrow \text{As}$ 由 AsH_3 转化为 As 转移电子的物质的量为 $2 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 3 = 6 \times 10^{-5} \text{ mol}$ 从而可知 转移的电子总数为 $(1.2 \times 10^{-4} \text{ mol} + 6 \times 10^{-5} \text{ mol}) \times N_A \text{ mol}^{-1} = 1.8 \times 10^{-4} N_A$ 。故答案为 C。

4. 有关反应热的计算

例 4 (重庆理综卷) 已知:



$$\Delta H = a \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H = -220 \text{ kJ/mol}$$

H-H、O=O 和 O-H 键的键能分别为 436 kJ/mol、496 kJ/mol 和 462 kJ/mol 则 a 为()。

- A. -332 B. -118 C. +350 D. +130

解析 将题给 2 个热化学方程式依次编号为 ①、② 根据盖斯定律 ②式 - ①式 $\times 2$ 得 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -(220 + 2a) \text{ kJ/mol}$; 因 反应热 = 反应物键能之和 - 生成物键能之和 则 $(2 \times 436 \text{ kJ/mol} + 496 \text{ kJ/mol}) - 2 \times 2 \times 462 \text{ kJ/mol} = -(220 + 2a) \text{ kJ/mol}$ 解得 $a = +130$ 。故答案为 D。

5. 有关化学反应速率的计算

例 5 (北京理综卷) 在一定温度下, 10 mL 0.40 mol/L H_2O_2 发生催化分解。不同时刻测定生成 O_2 的体积(已折算为标准状况)如下。

t/min	0	2	4	6	8	10
V(O_2)/mL	0.0	9.9	17.2	22.4	26.5	29.9

下列叙述不正确的是(溶液体积变化忽略不计)()。

- A. 0 ~ 6 min 的平均反应速率: $v(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 3.3 \times 10^{-2} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$
 B. 6 min ~ 10min 的平均反应速率: $v(\text{H}_2\text{O}_2) < 3.3 \times 10^{-2} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$
 C. 反应至 6 min 时 $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.30 \text{ mol/L}$
 D. 反应至 6 min 时 H_2O_2 分解了 50%

解析 在 0 ~ 6 min 时间内, 生成 O_2 的物

量为 $n(\text{O}_2) = 22.4 \times 10^{-3} \text{ L} \div 22.4 \text{ L/mol} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 由反应 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ 可知, 参加反应的 H_2O_2 的物质的量为 $n(\text{H}_2\text{O}_2) = 2n(\text{O}_2) = 2 \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 则 $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \div 1 \times 10^{-2} \text{ L} = 0.20 \text{ mol/L}$; 由公式 $v = \Delta c / \Delta t$ 得 $v(\text{H}_2\text{O}_2) = c(\text{H}_2\text{O}_2) / \Delta t = 0.20 \text{ mol/L} \div 6 \text{ min} \approx 3.3 \times 10^{-2} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$, A 项正确; 随着反应的进行, 反应物的浓度逐渐减小, 反应速率逐渐减小, B 项正确; 反应至 6 min 时, 参加反应的 H_2O_2 的浓度变化 $\Delta c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.20 \text{ mol/L}$, 从而得 $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.40 \text{ mol/L} - 0.20 \text{ mol/L} = 0.20 \text{ mol/L}$, C 项不正确; 反应至 6 min 时, H_2O_2 的分解率为 $(0.20 \text{ mol/L} \div 0.40 \text{ mol/L}) \times 100\% = 50\%$, D 项正确。

故答案为 C。

6. 有关化学平衡的计算

(1) 化学平衡常数的计算

例 6 (广东理综卷, 节选) 用 CaSO_4 代替 O_2 与燃料 CO 反应, 既可提高燃烧效率, 又能得到高纯 CO_2 , 是一种高效、清洁、经济的新型燃烧技术, 反应①为主反应, 反应②和③为副反应。

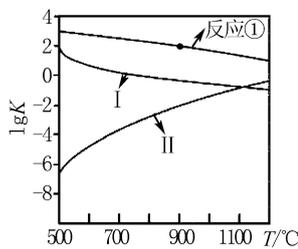
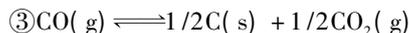
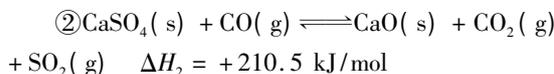
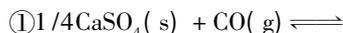


图 2



$$\Delta H_3 = -86.2 \text{ kJ/mol}$$

反应① ~ ③的平衡常数的对数 lgK 随反应温度 T 的变化曲线如图 2 所示。向盛有 CaSO_4 的真空恒容容器中充入 CO, 反应①于 900 °C 达到平衡 $c_{\text{平衡}}(\text{CO}) = 8.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, 计算 CO 的转化率(忽略副反应, 结果保留 2 位有效数字)。

解析 由题给图像可知, 900 °C 时反应①的平衡常数的对数 $\lg K = 2$, 即 $K = 100$; 因反应①的平衡常数 $K = \frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO})}$, 则平衡时 $c(\text{CO}_2) = 100 \times 8.0$

$\times 10^{-5} \text{ mol/L} = 8.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$; 由反应可知, CO 转化的浓度为 $8.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$, 则起始时 CO 的浓度 $= 8.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L} + 8.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L} = 8.08 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$, 则 CO 的转化率为 $(8.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \div 8.08 \times 10^{-3} \text{ mol/L}) \times 100\% = 99\%$ 。故答案为: 99%。

(2) 利用平衡常数进行有关化学平衡的计算

例 7 (福建理综卷, 节选) 已知 $t^\circ\text{C}$ 时, 反应 $\text{FeO}(s) + \text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{Fe}(s) + \text{CO}_2(g)$ 的平衡常数 $K = 0.25$ 。

(1) $t^\circ\text{C}$ 时, 反应达到平衡时 $n(\text{CO}) : n(\text{CO}_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 若在 1 L 密闭容器中加入 0.02 mol $\text{FeO}(s)$ 并通入 $x \text{ mol CO}$, $t^\circ\text{C}$ 时反应达到平衡。此时 $\text{FeO}(s)$ 的转化率为 50% 则 $x = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析 (1) 设容器的体积为 $V \text{ L}$ 。由题意可知, $K = \frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO})} = \frac{n(\text{CO}_2)/V}{n(\text{CO})/V} = 0.25$, 解得 $n(\text{CO}) : n(\text{CO}_2) = 4:1$ 。

(2) 由题意可知, 达到平衡时参加反应的 $\text{FeO}(s)$ 的物质的量为 $0.02 \text{ mol} \times 50\% = 0.01 \text{ mol}$ 。则



起始物质的量(mol)	0.02	x	0	0
转化物质的量(mol)	0.01	0.01	0.01	0.01
平衡物质的量(mol)	0.01	$x - 0.01$	0.01	0.01

从而得 $n(\text{CO}) : n(\text{CO}_2) = (x - 0.01) \text{ mol} : 0.01 \text{ mol} = 4:1$, 解得 $x = 0.05$ 。

故答案为: (1) 4:1; (2) 0.05。

7. 有关化学反应速率与化学平衡的计算

例 8 (四川理综卷) 在 10 L 恒容密闭容器中充入 $X(g)$ 和 $Y(g)$, 发生反应 $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons M(g) + N(g)$, 所得实验数据如下表:

实验编号	温度/ $^\circ\text{C}$	起始时物质的量/mol		平衡时物质的量/mol
		$n(X)$	$n(Y)$	$n(M)$
①	700	0.40	0.10	0.090
②	800	0.10	0.40	0.080
③	800	0.20	0.30	a
④	900	0.10	0.15	b

下列说法正确的是()。

A. 实验①中, 若 5 min 时测得 $n(M) = 0.050 \text{ mol}$ 则 0 至 5min 时间内, 用 N 表示的平均反应速率 $v(N) = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$

B. 实验②中, 该反应的平衡常数 $K = 2.0$

C. 实验③中, 达到平衡时, X 的转化率为 60%

D. 实验④中, 达到平衡时 $b > 0.060$

解析 实验①中, 若 5 min 时测得 $n(M) = 0.050 \text{ mol}$, 由化学方程式可知, 生成 N 的物质的量为 $n(N) = n(M) = 0.050 \text{ mol}$, 即生成 N 的浓度为 $c(N) = 0.050 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.0050 \text{ mol/L}$, 由公式 $v = \Delta c / \Delta t$ 得 $v(N) = 0.0050 \text{ mol/L} \div 5 \text{ min} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$, A 项错误; 实验②中, 平衡时 M 的浓度为 $0.080 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.0080 \text{ mol/L}$, 由化学方程式可知, 平衡时 N 的浓度也为 0.0080 mol/L , 消耗 X 和 Y 的浓度均为 0.0080 mol/L , 则平衡时 X 的浓度为 $(0.10 \text{ mol} \div 10 \text{ L}) - 0.0080 \text{ mol/L} = 0.0020 \text{ mol/L}$, 平衡时 Y 的浓度为 $(0.40 \text{ mol} \div 10 \text{ L}) - 0.0080 \text{ mol/L} = 0.0320 \text{ mol/L}$, 因此平衡

$$K = \frac{c(M) \cdot c(N)}{c(X) \cdot c(Y)} = \frac{0.0080 \text{ mol/L} \times 0.0080 \text{ mol/L}}{0.0020 \text{ mol/L} \times 0.0320 \text{ mol/L}} = 1.0$$

B 项错误; 实验③中, X 的起始浓度为 $0.20 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.020 \text{ mol/L}$, Y 的起始浓度为 $0.30 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.030 \text{ mol/L}$, 设达到平衡时 X 的转化率为 α 则



起始浓度(mol/L)	0.020	0.030	0	0
转化浓度(mol/L)	0.020α	0.020α	0.020α	0.020α
平衡浓度(mol/L)	$0.020(1 - \alpha)$	$0.030 - 0.020\alpha$	0.020α	0.020α

因温度不变, 平衡常数不变, 则 $K = \frac{0.020\alpha \text{ mol/L} \times 0.020\alpha \text{ mol/L}}{0.020(1 - \alpha) \text{ mol/L} \times (0.030 - 0.020\alpha) \text{ mol/L}} = 1.0$, 解得 $\alpha = 60\%$, C 项正确; 700 $^\circ\text{C}$ 时, 实验①中

X 的起始浓度为 $0.40 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.040 \text{ mol/L}$, Y 的起始浓度为 $0.10 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.010 \text{ mol/L}$, 平衡时 M 的浓度为 $0.090 \text{ mol} \div 10 \text{ L} = 0.0090 \text{ mol/L}$, 由化学方程式可知, 平衡时 N 的浓

度也为 0.0090 mol/L,消耗 X 和 Y 的浓度均为 0.0090 mol/L 则

	$X(g) + Y(g) \rightleftharpoons M(g) + N(g)$			
起始浓度 (mol/L)	0.040	0.010	0	0
转化浓度 (mol/L)	0.009	0.009	0.009	0.009
平衡浓度 (mol/L)	0.031	0.001	0.009	0.009

700℃ 时的平衡常数 $K = \frac{0.009 \text{ mol/L} \times 0.009 \text{ mol/L}}{0.031 \text{ mol/L} \times 0.001 \text{ mol/L}} = 2.9 > 1.0$; 说明温度升高平衡常数减小,即平衡向逆反应方向移动.根据勒夏特列原理可知,正反应为放热反应;若实验④中温度也是 800℃,由于反应前后气体的体积不变,则实验③与实验④是等效平衡,平衡时 M 的物质的量 $b = 0.5a = 0.5 \times (0.20 \text{ mol} \times 60\%) = 0.5 \times 0.12 \text{ mol} = 0.06 \text{ mol}$,由于温度升到 900℃,平衡向逆反应方向移动,因此实验④中达到平衡时, $b < 0.060$,D 项错误.

故答案为 C.

例 9 (全国理综大纲卷,节选) 反应 $AX_3(g) + X_2(g) \rightleftharpoons AX_5(g)$ 在容积为 10 L 的密闭容器中进行.起始时 AX_3 和 X_2 均为 0.2 mol.反应在不同条件下进行,反应体系总压强随时间的变化如图 3 所示.

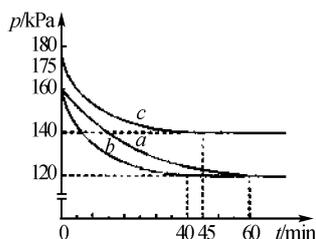


图 3

(1) 列式计算实验 a 从反应开始至达到平衡时的反应速率 $v(AX_5) = \underline{\hspace{2cm}}$.

(2) 用 p_0 表示开始时总压强, p 表示平衡时总压强, α 表示 AX_3 的平衡转化率, 则 α 的表达式为 $\underline{\hspace{2cm}}$; 实验 a 和 c 的平衡转化率: α_a 为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 、 α_c 为 $\underline{\hspace{2cm}}$.

解析 开始时总物质的量 $n_0 = 0.2 \text{ mol} + 0.2 \text{ mol} = 0.4 \text{ mol}$, 总压强为 p_0 , 平衡时总压强为 p , 设平衡时总物质的量为 n . 则 $p/p_0 = n/n_0 = n/0.4 \text{ mol}$, 解得 $n = 0.4 \text{ mol} \times p/p_0$. 设达到平衡时参加反应的 AX_3 的物质的量为 $x \text{ mol}$. 则

	$AX_3(g) + X_2(g) \rightleftharpoons AX_5(g)$		
开始物质的量 (mol)	0.2	0.2	0
转化物质的量 (mol)	x	x	x
平衡物质的量 (mol)	$0.2 - x$	$0.2 - x$	x

平衡时的总物质的量为: $(0.2 - x) \text{ mol} + (0.2 - x) \text{ mol} + x \text{ mol} = (0.4 - x) \text{ mol} = 0.4 \text{ mol} \times p/p_0$, 解得 $x = 0.4(1 - p/p_0)$.

(1) 对于实验 a, $p = 120 \text{ kPa}$, $p_0 = 160 \text{ kPa}$, 则 $x = 0.4(1 - p/p_0) = 0.4(1 - 120 \text{ kPa}/160 \text{ kPa}) = 0.1$; 由公式 $v = \Delta c/\Delta t$ 得 $v(AX_5) = (0.1 \text{ mol} \div 10 \text{ L}) / 60 \text{ min} = 1.7 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$.

(2) 根据转化率的概念可得 $\alpha = x \text{ mol}/0.2 \text{ mol}$, 将 $x = 0.4(1 - p/p_0)$ 代入得 $\alpha = 2(1 - p/p_0)$; 对于实验 a, $p = 120 \text{ kPa}$, $p_0 = 160 \text{ kPa}$, 则 $\alpha_a = 2(1 - 120 \text{ kPa}/160 \text{ kPa}) = 50\%$; 对于实验 c, $p = 140 \text{ kPa}$, $p_0 = 175 \text{ kPa}$, 则 $\alpha_c = 2(1 - 140 \text{ kPa}/175 \text{ kPa}) = 40\%$.

故答案为: (1) $1.7 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$;

(2) $2(1 - p/p_0)$, 50%, 40%.

8. 有关电化学的计算

例 10 (重庆理综卷,节选) 一定条件下,图 4 所示装置可实现有机物的电化学储氢(忽略其它有机物).

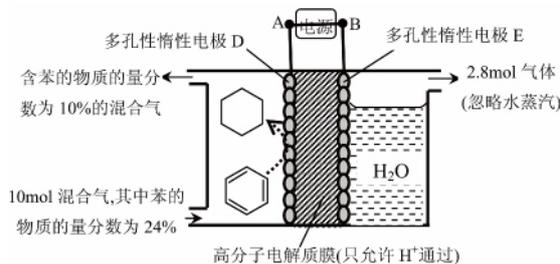


图 4

(1) 导线中电子转移方向为 $\underline{\hspace{2cm}}$ (用 A、D 表示)。

(2) 生成目标产物的电极反应式为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(3) 该储氢装置的电流效率 $\eta = \underline{\hspace{2cm}}$ ($\eta = \text{生成目标产物消耗的电子数} / \text{转移的电子总数} \times 100\%$, 计算结果保留小数点后 1 位)。

解析 (1) 由苯 \rightarrow 环己烷得到电子, 则电子

应该从电源 A 端流到 D 电极。

(2) 生成的目标产物是 C_6H_{12} , 在电解池右边 H_2O 电离出的 OH^- 失去电子生成 O_2 , 同时产生 H^+ , H^+ 通过高分子电解质膜到达 D 电极上, C_6H_6 与 H^+ 在 D 电极上反应生成 C_6H_{12} , 其电极反应式为 $C_6H_6 + 6H^+ + 6e^- \rightleftharpoons C_6H_{12}$ 。

(3) 根据电解池右边产生 2.8 mol O_2 可知, 转移电子的物质的量为 $2.8 \text{ mol} \times 4 = 11.2 \text{ mol}$, 同时产生 11.2 mol H^+ 。电解池左边开始时 10 mol 混合气体中含有 2.4 mol C_6H_6 和 7.6 mol 不参与反应的其他气体, 假设电解过程中有 $x \text{ mol } C_6H_6(g)$ 参加反应, 则消耗 $6x \text{ mol } H^+$, 产生 $x \text{ mol } C_6H_{12}(g)$, 有 $(11.2 - 6x) \text{ mol } H^+$ 产生 H_2 [即产生 H_2 的物质的量为 $(5.6 - 3x) \text{ mol}$], 则电解后气体总物质的量为 $(15.6 - 3x) \text{ mol}$, 其中含有 $(2.4 - x) \text{ mol } C_6H_6(g)$; 由题意得 $[(2.4 - x) \text{ mol} \div (15.6 - 3x) \text{ mol}] \times 100\% = 10\%$, 解得 $x = 1.2$, 即有 1.2 mol $C_6H_6(g)$ 参加反应; 则生成目标产物消耗电子的物质的量为 $1.2 \text{ mol} \times 6 = 7.2 \text{ mol}$, 而共转移电子 11.2 mol, 从而可得电流效率 $\eta = (7.2 \text{ mol} \div 11.2 \text{ mol}) \times 100\% = 64.3\%$ 。

故答案为: (1) $A \rightarrow D$; (2) $C_6H_6 + 6H^+ + 6e^- \rightleftharpoons C_6H_{12}$; (3) 64.3%。

9. 有关综合计算

例 11 (上海化学卷) 硫有多种含氧酸, 亚硫酸(H_2SO_3)、硫酸(H_2SO_4)、焦硫酸($H_2SO_4 \cdot SO_3$)、硫代硫酸($H_2S_2O_3$) 等等, 其中硫酸最为重要, 在工业上有广泛的应用。在实验室, 浓硫酸是常用的干燥剂。完成下列计算:

(1) 焦硫酸($H_2SO_4 \cdot SO_3$) 溶于水, 其中的 SO_3 都转化为硫酸。若将 445 g 焦硫酸溶于水配成 4.00 L 硫酸, 该硫酸的物质的量浓度为 _____ mol/L。

(2) 若以浓硫酸吸水后生成的 $H_2SO_4 \cdot H_2O$ 计算 250 g 质量分数为 98% 的硫酸能吸收的质量。

(3) 硫铁矿是工业上制硫酸的主要原料。硫铁矿氧化焙烧的化学反应如下: $3FeS_2 + 8O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 6SO_2$, $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$ 。若 48 mol FeS_2 完全反应耗用氧气 2934.4 L (标准状况), 计算反应产物中 Fe_3O_4 与 Fe_2O_3 物质的量之比。

(4) 用硫化氢制取硫酸, 既能充分利用资源又能保护环境, 是一种很有发展前途的制备硫酸的方法。硫化氢体积分数为 0.84 的混合气体 (H_2S, H_2O, N_2) 在空气中完全燃烧, 若空气过量 77%, 计算产物气体中 SO_2 体积分数 (水是气体)。(已知空气组成: N_2 体积分数 0.79、 O_2 体积分数 0.21)

解析 (1) 445 g 焦硫酸的物质的量为 $445 \text{ g} \div 178 \text{ g/mol} = 2.5 \text{ mol}$, 其中 H_2SO_4 和 SO_3 的物质的量均为 2.5 mol, 2.5 mol SO_3 与水反应又可生成 2.5 mol H_2SO_4 , 则溶液中 H_2SO_4 的物质的量为 $2.5 \text{ mol} + 2.5 \text{ mol} = 5.0 \text{ mol}$, 故硫酸的物质的量浓度 $c(H_2SO_4) = 5.0 \text{ mol} \div 4.00 \text{ L} = 1.25 \text{ mol/L}$ 。

(2) 250 g 质量分数为 98% 的硫酸中, H_2SO_4 的质量为 $250 \text{ g} \times 98\% = 245 \text{ g}$, 则溶剂水的质量为 $250 \text{ g} - 245 \text{ g} = 5 \text{ g}$; H_2SO_4 的物质的量为 $245 \text{ g} \div 98 \text{ g/mol} = 2.5 \text{ mol}$, 2.5 mol H_2SO_4 可以结合水的物质的量为 2.5 mol, 即可以结合水的质量为 $2.5 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} = 45 \text{ g}$, 因此还可以吸收水的质量为 $m(H_2O) = 45 \text{ g} - 5 \text{ g} = 40 \text{ g}$ 。

(3) 反应耗用氧气的物质的量为 $2934.4 \text{ L} \div 22.4 \text{ L/mol} = 131 \text{ mol}$ 。设 Fe_3O_4 与 Fe_2O_3 的物质的量分别为 x 和 y 。由反应 $3FeS_2 + 8O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 6SO_2$ 可知, 生成 Fe_3O_4 消耗 O_2 的物质的量为 $8x$, 由反应 $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$ 可知, 生成 Fe_2O_3 消耗 O_2 的物质的量为 $5.5y$, 则 $8x + 5.5y = 131 \text{ mol}$ ……①; 由铁元素守恒原则得 $3x + 2y = 48 \text{ mol}$ ……②; 解方程组①②得 $x = 4 \text{ mol}$, $y = 18 \text{ mol}$, 从而得 Fe_3O_4 与 Fe_2O_3 物质的量之比为 $x : y = 4 \text{ mol} : 18 \text{ mol} = 2 : 9$ 。

(4) 设混合气体体积为 $V \text{ L}$ 。由 H_2S 完全燃烧的反应 $2H_2S + 3O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2SO_2 + 2H_2O$ 可知 $0.84V \text{ L}$ 的 H_2S 完全燃烧消耗 $1.26V \text{ L } O_2$ 、生成 $0.84V \text{ L } SO_2$ 和 $0.84V \text{ L}$ 水蒸气, 因反应中空气过量 77%, 因此所需空气的体积为 $(1.26 \div 0.21) \times 177\% = 10.62V \text{ L}$, 则产物气体中 SO_2 的体积分数为 $\frac{0.84V \text{ L}}{(10.62 - 1.26 + 0.84 + 0.84 + 0.16)V \text{ L}} \times 100\% = 7.5\%$ 。

故答案为: (1) 1.25; (2) 40; (3) 2 : 9; (4) 7.5% (或 0.075)。(收稿日期: 2014-11-10)