



$0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 加入双氧水和磷酸(设溶液体积增加 1 倍), 使  $\text{Fe}^{3+}$  恰好沉淀完全即溶液中  $c(\text{Fe}^{3+}) = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 此时是否有  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  生成?  $\text{FePO}_4$ 、 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  的  $K_{\text{sp}}$  分别为  $1.3 \times 10^{-22}$ 、 $1.0 \times 10^{-24}$ .

**解析**  $K_{\text{sp}}(\text{FePO}_4) = c(\text{Fe}^{3+}) \times c(\text{PO}_4^{3-}) = 1.3 \times 10^{-22}$ , 则  $c(\text{PO}_4^{3-}) = K_{\text{sp}}/c(\text{Fe}^{3+}) = 1.3 \times 10^{-17} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $Q_c(\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2) = c^3(\text{Mg}^{2+}) \times c^2(\text{PO}_4^{3-}) = (0.01)^3 \times (1.3 \times 10^{-17})^2 = 1.69 \times 10^{-40} < 1.0 \times 10^{-24}$ , 则无  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  沉淀生成.

【2018 年备考指导】

根据  $K_{\text{sp}}$  比较同类型的难溶电解质在水中的溶解能力大小; 比较  $\text{CaCO}_3$  在水和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中的溶解度大小; 设计实验方案, 促使碳酸钙向溶解方向进行、水垢中含有的  $\text{CaSO}_4$  转化为  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{BaCO}_3$  与  $\text{BaSO}_4$  沉淀的相互转化.

### 5 面貌一新, 以点及面归类研究

以沉淀反应为基础的滴定分析法称沉淀滴定法. 目前使用最多的是利用生成难溶性银盐的反应进行滴定分析, 称为银量法.

【新题呈现】

**例 12** (2017 年天津卷) 用沉淀滴定法快速测定  $\text{NaI}$  等碘化物溶液中  $c(\text{I}^-)$ , 滴定的主要步骤: 取待测  $\text{NaI}$  溶液 25.00 mL, 加入 25.00 mL  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ AgNO}_3$  溶液(过量), 使  $\text{I}^-$  完全转化为  $\text{AgI}$  沉淀, 加入  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  溶液作指示剂, 用  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NH}_4\text{SCN}$  溶液滴定过量的  $\text{Ag}^+$ , 使其恰好完全转化为  $\text{AgSCN}$  沉淀后, 体系出现淡红色, 停止滴定. 重复上述操作 2 次, 测定数据如表 1:

表 1

实验序号	1	2	3
消耗 $\text{NH}_4\text{SCN}$ 标准溶液体积/mL	10.24	10.02	9.98

测得  $c(\text{I}^-) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**解析** 第 1 次数据误差较大, 舍去. 根据第 2、3 次实验数据得反应的  $\text{NH}_4\text{SCN}$  体积为 10.00 mL, 过量的  $\text{Ag}^+$  为  $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ,  $n(\text{I}^-) = 1.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ , 测得  $c(\text{I}^-) = 0.06 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

【2018 年备考指导】

用  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  作指示剂, 在中性或微碱性环境中, 用  $\text{AgNO}_3$  溶液滴定  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Br}^-$ ; 以  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  作指示剂, 用  $\text{NH}_4\text{SCN}$  标准溶液滴定  $\text{Ag}^+$ ; 测定  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{I}^-$ 、 $\text{SCN}^-$  时, 先加过量  $\text{AgNO}_3$  溶液, 再以  $\text{Fe}^{3+}$  为指示剂用  $\text{NH}_4\text{SCN}$  标准溶液滴定剩余的  $\text{Ag}^+$ .

(作者单位: 江苏省响水县教育局教研室)

# 浅谈燃料电池电极 反应式的书写技巧

## ——“假想”离子法书写燃料电池的电极反应式

◇ 山东 王贵锋

电化学中电极反应式的书写不仅是电化学教学的重点和难点, 更是高考的热点题型之一, 原电池、电解池的电极反应式书写历来是同学们较难掌握的知识点之一, 尤其是燃料电池的电极反应式. 笔者根据多年来的教学经验摸索出一种同学们比较容易理解和掌握的电极反应式的书写技巧——“假想”离子法(也叫“裸露”离子法)书写电极反应式.

该方法的主要内容是: 1) 每个电极上, 参加反应的反应物得或失电子后都认为生成了裸露的可以自由游离的离子即“假想”离子(也叫“裸露”离子). 2) 这些离子与所处环境介质中离子发生反应生成一些产物. 3) 看看新产物稳不稳定, 能不能继续反应生成新的物质, 所生成的新物质能不能再和溶液中的离子反应生成更新的物质, 以此类推. 4) 写出以上每一步变化的表示式. 5) 把以上的各步表示式进行合并得到各电极初步的电极反应式. 6) 从电荷(电子)守恒规律上综合分析得出最终各电极的电极反应式. 7) 正负极电极反应式相加消去电子等得到总反应式.

下面就如何正确书写燃料电池的电极反应式进行较为详尽的介绍:

燃料电池的电极材料一般为惰性电极, 具有很强的催化活性, 如铂电极、活性碳电极等. 一般来讲, 书写燃料电池的化学反应方程式, 需要高度注意电解质的酸碱性. 在正、负极上发生的电极反应不是孤立的, 它往往与电解质溶液紧密联系. 燃料电池往往有酸式和碱式 2 种.

### 1 氢氧燃料电池

#### 1.1 酸性电解液(如图 1)

其电极 a、b 是多孔碳棒, 反应物分别是  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$  (空气), 电解质溶液为硫酸溶液, 反应后产物为  $\text{H}_2\text{O}$ .

**分析** 1) 反应物  $\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ , H 元素化合价由 0  $\rightarrow$

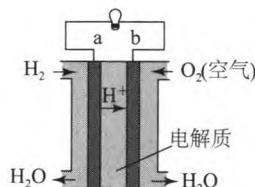
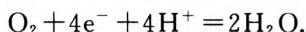


图 1

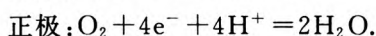
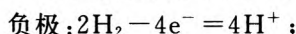


+1, 升高, 故反应物  $\text{H}_2$  参与负极反应, 作负极. 反应过程可认为: 反应中 1 个  $\text{H}_2$  分子失去 2 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}^+$  在酸性溶液中可以存在, 这一过程可以表示为:  $\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 2\text{H}^+$ .

2) 反应物  $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ , O 元素化合价由  $0 \rightarrow -2$ , 降低, 故反应物  $\text{O}_2$  参与正极反应, 作正极. 反应过程可以理解为: 反应中 1 个  $\text{O}_2$  得到 4 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ , 由于电解质溶液为酸性溶液(含大量的  $\text{H}^+$ ),  $\text{O}^{2-}$  在该溶液中不能存在, 生成的  $\text{O}^{2-}$  马上和溶液中的 2 个  $\text{H}^+$  反应生成  $\text{H}_2\text{O}$ , 该过程可以用以下 2 步反应来表示: ①  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{O}^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O}$ . 以上 2 步合并整理后得



3) 综上所述考虑到两守恒得出电极反应式.



4) 电池反应方程式. 正负电极反应式合并整理后得到酸式氢氧燃料电池的电池反应方程式  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ .

## 1.2 碱性电解液(如图 2)

其电极 a、b 是多孔碳棒, 反应物分别是  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$  (空气), 电解质为  $\text{KOH}$  溶液, 反应后产物为  $\text{H}_2\text{O}$ .

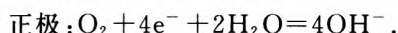
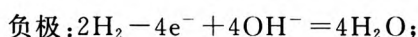
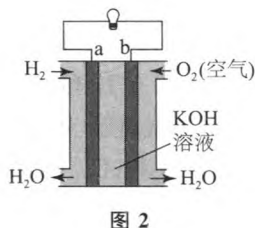
分析 1) 反应物  $\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ , H 元素化合价由  $0 \rightarrow +1$ , 升高, 故反应物  $\text{H}_2$  参与负极反应, 作负极. 反应过程可认为: 反应中 1 个  $\text{H}_2$  分子失去 2 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}^+$  在  $\text{KOH}$  溶液中不能独立存在, 生成的  $\text{H}^+$  马上和溶液中的  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{H}_2\text{O}$ , 这一过程可以用以下 2 步反应表示: ①  $\text{H}_2 - 2\text{e}^- = 2\text{H}^+$ ; ②  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ . 以上 2 步合并整理后得



2) 反应物  $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  (实质是  $\text{OH}^-$ ), O 元素化合价由  $0 \rightarrow -2$ , 降低, 故反应物  $\text{O}_2$  参与正极反应, 作正极. 反应过程可以理解为: 反应中 1 个  $\text{O}_2$  分子得到 4 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ , 由于电解质溶液为  $\text{KOH}$  溶液, 生成的每个  $\text{O}^{2-}$  马上各自和溶液中的 1 个  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成 2 个  $\text{OH}^-$ , 该过程可由以下 2 步反应来表示: ①  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{OH}^-$ . 以上 2 步合并整理后得



3) 综上所述考虑到两守恒得出电极反应式.



4) 电池反应方程式.

正负电极反应式合并整理后得到碱式氢氧燃料电池的电池反应方程式:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ .

※注意: 氢氧燃料电池的电解质溶液无论是酸性的还是碱性的, 其电池反应的总反应式都是:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ .

## 2 甲烷燃料电池

### 2.1 酸性电解液

如图 3 所示, 其电极 a、b 是多孔铂棒, 反应物分别是  $\text{CH}_4$  和  $\text{O}_2$  (空气), 电解质溶液为硫酸溶液, 反应后产物为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ .

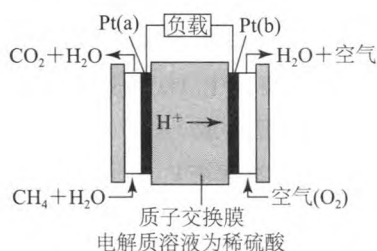
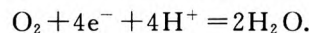


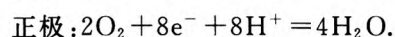
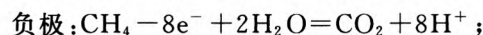
图 3

分析 1) 反应物  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CO}_2$ , C 元素化合价由  $-4 \rightarrow +4$ , 升高, 故反应物  $\text{CH}_4$  参与负极反应, 作负极. 反应过程可认为: 反应中 1 个 C 原子失去 8 个电子后生成 1 个裸露(假想)的  $\text{C}^{4+}$  和 4 个裸露的  $\text{H}^+$ ,  $\text{C}^{4+}$  在酸性溶液中不能存在, 马上和 2 个  $\text{H}_2\text{O}$  结合生成 1 个  $\text{CO}_2$  和 4 个  $\text{H}^+$ , 这一过程可以表示为: ①  $\text{CH}_4 - 8\text{e}^- = \text{C}^{4+} + 4\text{H}^+$ ; ②  $\text{C}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 4\text{H}^+$ . 以上 2 步合并整理后得  $\text{CH}_4 - 8\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 8\text{H}^+$ .

2) 反应物  $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ , O 元素化合价由  $0 \rightarrow -2$ , 降低, 故反应物  $\text{O}_2$  参与正极反应, 作正极. 反应过程可以理解为: 反应中 1 个  $\text{O}_2$  分子得到 4 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ , 由于电解质溶液为酸性溶液(含大量的  $\text{H}^+$ ),  $\text{O}^{2-}$  在该溶液中不能存在, 生成的  $\text{O}^{2-}$  马上和溶液中的 2 个  $\text{H}^+$  反应生成  $\text{H}_2\text{O}$ , 这一过程可以由以下 2 步反应来表示: ①  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{O}^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O}$ . 以上 2 步整理后得



3) 综上所述考虑到两守恒得出电极反应式.



4) 电池反应方程式. 正负电极反应式合并整理后得到酸式甲烷燃料电池的电池总反应方程式:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ .



## 2.2 碱性电解液(如图4)

其电极 a、b 是多孔碳棒或铂棒,反应物分别是  $\text{CH}_4$  和  $\text{O}_2$ (空气),电解质溶液为  $\text{KOH}$  溶液,反应后产物为  $\text{K}_2\text{CO}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

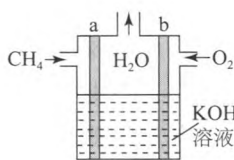


图4

**分析** 1) 反应物  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3$ , C 元素化合价由  $-4 \rightarrow +4$ , 升高, 故反应物  $\text{CH}_4$  参与负极反应, 作负极. 反应过程可认为: 反应中 1 个  $-4$  价的 C 元素失去 8 个电子后生成 1 个裸露(假想)的  $\text{C}^{4+}$  和 4 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$ ,  $\text{C}^{4+}$  在  $\text{KOH}$  溶液中不能独立存在, 生成的  $\text{C}^{4+}$  马上和溶液中的 4 个  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{C}(\text{OH})_4$  (1 个 C 原子上连有 2 个以上  $-\text{OH}$  的物质不稳定), 4 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$  马上结合 4 个  $\text{OH}^-$  生成 4 个  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{C}(\text{OH})_4$  不稳定马上分解成 1 个  $\text{CO}_2$  和 2 个  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{C}(\text{OH})_4$  生成的  $\text{CO}_2$  又和 2 个  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ . 这一过程可以由以下 4 步反应来表示:

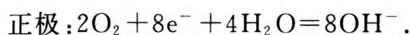
- ①  $\text{CH}_4 - 8\text{e}^- = \text{C}^{4+} + 4\text{H}^+$ ;
- ②  $\text{C}^{4+} + 4\text{OH}^- = \text{C}(\text{OH})_4$ ,  
 $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ;
- ③  $\text{C}(\text{OH})_4 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- ④  $\text{CO}_2 + 2\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ .

以上 4 步 5 式考虑到两守恒进行合并整理后得  $\text{CH}_4 - 8\text{e}^- + 10\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$ 。

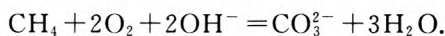
2) 反应物  $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  (实质是  $\text{OH}^-$ ), O 元素化合价由  $0 \rightarrow -2$ , 降低, 故反应物  $\text{O}_2$  参与正极反应, 作正极. 反应过程可以理解为: 反应中 1 个  $\text{O}_2$  得到 4 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ , 由于电解质溶液为  $\text{KOH}$  溶液, 生成的每个  $\text{O}^{2-}$  马上各自和溶液中的 1 个  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成 2 个  $\text{OH}^-$ , 这一过程可以由以下 2 步反应来表示: ①  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{OH}^-$ . 以上 2 步整理后得



3) 综上所述考虑到两守恒得出电极反应式.



4) 电池反应方程式. 正负电极反应式合并整理后得到电池的离子反应方程式



电池反应方程式为



说明: 乙烷、丙烷等燃料电池与甲烷燃料电池原理基本相同。

## 3 甲醇燃料电池

### 3.1 酸性电解液

如图 5 所示, 其电极 a、b 是多孔铂棒, 反应物分别是  $\text{CH}_3\text{OH}$  和  $\text{O}_2$ (空气), 电解质溶液为硫酸溶液, 反应后产物为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

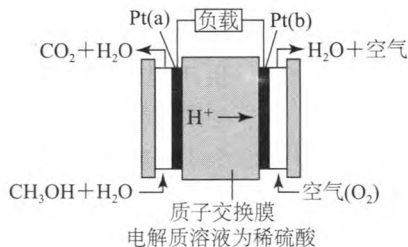
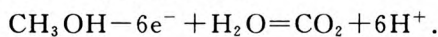
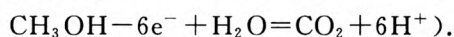


图5

**分析** 1) 反应物  $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO}_2$ , C 元素化合价由  $-2 \rightarrow +4$ , 升高, 故反应物  $\text{CH}_3\text{OH}$  参与负极反应作负极. 反应过程可认为: 反应中每个  $\text{CH}_3\text{OH}$  分子中的 C 原子失去 6 个电子后生成 1 个裸露(假想)的  $\text{C}^{4+}$  和 4 个裸露的  $\text{H}^+$  和 1 个裸露的  $\text{O}^{2-}$ , 然后 1 个  $\text{C}^{4+}$  结合 1 个裸露的  $\text{O}^{2-}$  和 1 个  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成 1 个  $\text{CO}_2$  和 2 个  $\text{H}^+$ ; 这一过程可表示为 ①  $\text{CH}_3\text{OH} - 6\text{e}^- = \text{C}^{4+} + 4\text{H}^+ + \text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{C}^{4+} + \text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{H}^+$ . 以上 2 步合并整理后得

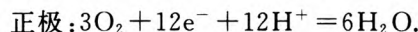
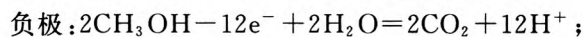


(或者认为: 其中 2 个裸露的  $\text{H}^+$  马上和  $\text{O}^{2-}$  生成 1 个  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}^{4+}$  在溶液中不能存在, 马上与 2 个  $\text{H}_2\text{O}$  结合生成 1 个  $\text{CO}_2$  和 4 个  $\text{H}^+$ , 这一过程可以表示为: ①  $\text{CH}_3\text{OH} - 6\text{e}^- = \text{C}^{4+} + 4\text{H}^+ + \text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{O}^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 4\text{H}^+$ . 以上 2 步 3 式合并整理后得



2) 反应物  $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ , O 元素化合价由  $0 \rightarrow -2$ , 降低, 故反应物  $\text{O}_2$  参与正极反应, 作正极. 反应过程可以理解为: 反应中 1 个  $\text{O}_2$  得到 4 个电子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ , 由于电解质溶液为酸性溶液(含大量的  $\text{H}^+$ ),  $\text{O}^{2-}$  在该溶液中不能存在, 生成的  $\text{O}^{2-}$  马上和溶液中的 2 个  $\text{H}^+$  反应生成  $\text{H}_2\text{O}$ , 这一过程可以由以下 2 步反应来表示: ①  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$ ; ②  $\text{O}^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O}$ . 以上 2 步整理后得  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$ 。

3) 综上所述考虑到两守恒得出电极反应式.

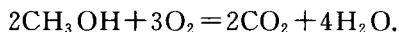


4) 电池反应方程式.

正负电极反应式合并整理后得到酸式甲醇燃料



电池的总反应方程式



### 3.2 碱性电解液(如图6)

其电极是多孔碳棒或铂棒,反应物分别是  $\text{CH}_3\text{OH}$  和  $\text{O}_2$ (空气),电解质溶液为  $\text{KOH}$  溶液,反应后产物为  $\text{K}_2\text{CO}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

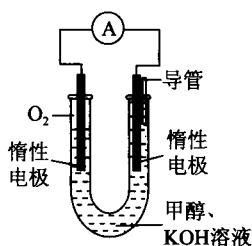
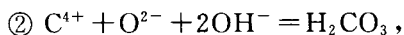
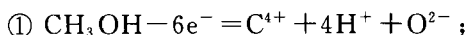


图6

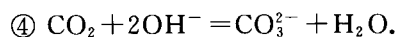
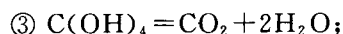
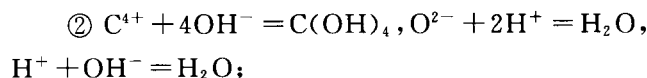
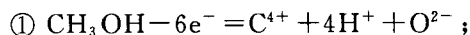
**分析** 1) 反应物  $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3$ , C 元素化合价由  $-2 \rightarrow +4$ , 升高, 故反应物  $\text{CH}_3\text{OH}$  参与负极反应, 作负极. 反应过程可认为: 反应中每个  $\text{CH}_3\text{OH}$  分子中的 C 原子失去 6 个电子后生成 1 个裸露(假想)的  $\text{C}^{4+}$  和 4 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$  和 1 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ ;  $\text{C}^{4+}$  在  $\text{KOH}$  溶液中不能独立存在, 生成  $\text{C}^{4+}$  马上和溶液中 1 个  $\text{O}^{2-}$ 、2 个  $\text{OH}^-$  结合生成 1 个  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , 4 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$  与溶液中的 4 个  $\text{OH}^-$  结合生成 4 个  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_2\text{CO}_3$  和  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ . 这一过程可以由以下 3 步反应来表示:



以上 3 步整理后得



(或者认为: 生成的  $\text{C}^{4+}$  马上和溶液中的 4 个  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{C}(\text{OH})_4$  (1 个 C 原子上连有 2 个以上  $-\text{OH}$  的物质不稳定), 4 个裸露(假想)的  $\text{H}^+$  中的 2 个  $\text{H}^+$  马上和裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$  结合生成 1 个  $\text{H}_2\text{O}$ , 余下的 2 个  $\text{H}^+$  结合 2 个  $\text{OH}^-$  生成 2 个  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{C}(\text{OH})_4$  不稳定马上分解成 1 个  $\text{CO}_2$  和 2 个  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{C}(\text{OH})_4$  生成的  $\text{CO}_2$  又和 2 个  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ . 这一过程可以由以下 4 步反应来表示:



以上 4 步 6 式考虑到 2 个守恒进行整理后得

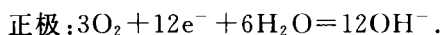
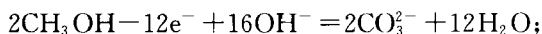


2) 反应物  $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  (实质是  $\text{OH}^-$ ), O 元素化合价由  $0 \rightarrow -2$ , 降低, 故反应物  $\text{O}_2$  参与正极反应, 作正极. 反应过程可以理解为: 反应中 1 个  $\text{O}_2$  得到 4 个电

子后生成 2 个裸露(假想)的  $\text{O}^{2-}$ , 由于电解质溶液为  $\text{KOH}$  溶液, 生成的每个  $\text{O}^{2-}$  马上各自和溶液中的 1 个  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成 2 个  $\text{OH}^-$ , 该过程可以由以下 2 步反应表示:  $\textcircled{1} \text{O}_2 + 4\text{e}^- = 2\text{O}^{2-}$ ;  $\textcircled{2} \text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{OH}^-$ . 以上 2 步合并整理后得  $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ .

3) 综上所述考虑到两守恒得出电极反应式:

负极:



4) 电池反应方程式.

正负电极反应式合并整理后得电池的离子反应方程式:  $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 + 4\text{OH}^- = 2\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$ .

电池反应方程式为:  $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 + 4\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{CO}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ .

说明: 乙醇、丙醇等燃料电池与甲醇燃料电池原理基本相同.

(作者单位: 山东省即墨市萃英中学)

(上接第 41 页)

前者可用来对外做功, 是研究开发化学能的重点对象, 而后者则属于体系的固有属性, 难以被我们所利用.

5) 如何理解燃烧热概念中“稳定氧化物”的含义?

燃烧热是指 1 mol 可燃物在规定条件下完全燃烧形成稳定氧化物时, 所释放出的能量. 如果是 1 mol 物质燃烧反应的焓变, 则称为该物质的摩尔燃烧焓. 如果限定燃烧前后的外界条件均为 101.3 kPa、298 K, 则称该物质的标准燃烧热或标准燃烧焓.

这里的“完全燃烧”首先意味着产物不可继续燃烧, 如含碳物质的燃烧产物应该是  $\text{CO}_2$  而非  $\text{CO}$ , 含硫物质的燃烧产物则是指  $\text{SO}_2$  (因  $\text{SO}_2$  是不能继续燃烧的稳定氧化物); 其次, 燃烧产物应该是在指定条件下的稳定态, 如含氢物质的标准燃烧热则是指其燃烧产物  $\text{H}_2\text{O}$  在 101.3 kPa、298 K 条件下, 呈稳定状态——液态.

说到燃烧热, 总有同学纠结“它是正值还是负值”的问题. 其实这是历史原因造成的, 过去教科书定义燃烧热为“1 mol 可燃物质完全燃烧形成稳定氧化物所释放出的能量”, 据此, 燃烧热当然应该是正值, 直到目前有些版本的教科书还在用“ $\text{H}_2(\text{g}) + 1/2\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 242 \text{ kJ}$ ”这样的热化学方程式. 在采用  $H$  表示反应的焓变后, 就不存在燃烧焓是正是负的问题了. 其实, 不管哪种表达方式, 只要对于概念理解透彻、表达清楚即可.

(作者单位: 北京十一学校)