

电化学中渗透的物理学知识

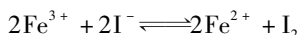
河北省正定中学 050800 汪义恒
河北省石家庄市教育科学研究所 050011 孟丽慧

电化学理论作为基础化学理论之一,在中学化学中占有非常重要的地位,该部分内容自然也成为了高考命题的热点之一。在理科综合的考查中,电化学试题经常会涉及到物理学知识。《考试说明》中有这样的表述“试题一方面强调加强化学基本原理的学习、理解和灵活运用,体现对化学学科内基础知识整合的基调;另一方面适当涉及物理等其他学科的基本知识和原理在化学中的应用,充分体现高考设置理科综合试题科目的宗旨”。相关物理学知识的缺失,会影响到电化学问题的解决。因此,本文旨在梳理电化学中渗透的物理学知识,帮助教师和学生提高解决相关问题的能力。

一、电子流向与电流计指针偏转方向的关系

当电流计串联在闭合回路中时,电流计的指针会发生偏转,其偏转方向与电子的流向相同,与电流的流向正好相反。

例1 (2015年北京卷题28节选)为探讨化学平衡移动原理与氧化还原反应规律的联系,某同学通过改变浓度研究



反应中 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 的相互转化。实验如图1所示:

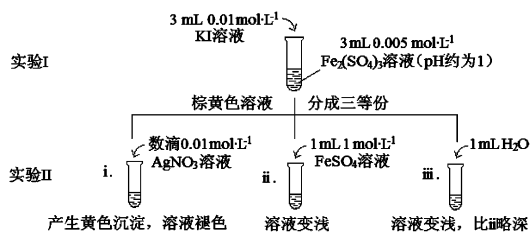


图1

(4) 根据氧化还原反应的规律,该同学推测 i 中 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 转化的原因:外加 Ag^{+} 使 $c(\text{I}^{-})$ 降低,导致 I^{-} 的还原性弱于 Fe^{2+} ,用图2装置(a 、 b 均为石墨电极)进行实验验证。

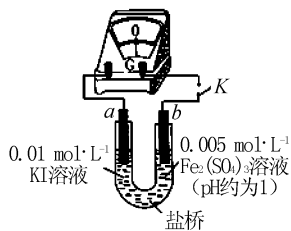


图2

证。

① K 闭合时,指针向右偏转 b 作____极。

② 当指针归零(反应达到平衡)后,向 U 型管左管滴加 $0.01 \text{ mol/L AgNO}_3$ 溶液,产生的现象证实了其推测,该现象是_____。

解析 根据电子流向与电流计指针偏转方向的关系,当 K 闭合时,指针向右偏转,说明电子从 a 流向 b ,因此 b 作正极。而当指针归零(反应达到平衡)后,向 U 型管左管滴加 AgNO_3 溶液, Ag^{+} 与 I^{-} 反应生成黄色 AgI 沉淀,降低了 $c(\text{I}^{-})$,平衡逆向移动, Fe^{2+} 失去电子转化为 Fe^{3+} ,电子从 b 流向 a ,所以指针向左偏转。

二、多池串联电路中转移电子数的计算

当多个电池串联时,通过电路中的电子数是按一个电池计算,还是电路中所有电池的加和?如果这个物理问题搞不清楚,计算结果就会有倍数之差。其实在串联电路中,各处导线上流过的电子数均相等,通过电路的电子数等于一个电池提供的电子数(串联电路中电流处处相等),之所以多个电池串联,其目的是增大电压,仅此而已。

例2 (2012年海南卷题16节选)新型高效的甲烷燃料电池采用铂为电极材料,两电极上分别通入 CH_4 和 O_2 ,电解质为 KOH 溶液。某研究小组将两个甲烷燃料电池串联后作为电源,进行饱和氯化钠溶液电解实验,如图3所示。(3)若每个电池甲烷通入量为 1 L (标准状况),且反应完全,则理论上通过电解池的电量为____(法拉第常数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$,列式计算)。

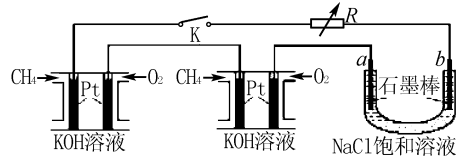


图3

解析 本题装置是两个甲烷燃料电池串联电路,设问中电量的计算涉及到了转移的电子数。因为是串联电路,所以通过电解池的电子数等于

一个电池提供的电子数,这里千万不要错误地认为是两个燃料电池转移电子数的加和。

三、电量的计算

物理学上电量的计算公式有两个:

$$Q = I \times t \quad \text{①}$$

其中: Q - 电量(单位: C)

I - 电流强度(单位: A) t - 时间(单位: s)。

$$Q = n \times F \quad \text{②}$$

其中: n - 电子的物质的量(单位: mol) F - 法拉第常数(单位: $C \cdot mol^{-1}$)。

例3 (2015年新课标II卷题26节选)酸性锌锰干电池是一种一次性电池,外壳为金属锌,中间是炭棒,其周围是由炭粉、 MnO_2 、 $ZnCl_2$ 和 NH_4Cl 等组成的糊状填充物。该电池放电过程产生 $MnOOH$ 。(2)维持电流强度为0.5 A,电池工作5 min,理论上消耗锌____ g。(已知 $F = 96500 C \cdot mol^{-1}$)

解析 计算理论上消耗锌的质量,首先需要计算出转移电子的物质的量。联立计算电量的公式①和②: $Q = I \times t = n \times F$

可得转移电子的物质的量 $n(e^-) = \frac{I \times t}{F}$,代

入数据: $n(e^-) = \frac{0.5 A \times 5 \times 60 s}{96500 C \cdot mol^{-1}} = 0.0016 mol$,

进而计算出消耗锌的质量 $m(Zn) = 0.0016 mol \times \frac{1}{2} \times 65 g \cdot mol^{-1} = 0.05 g$ 。

例2中计算理论上通过电解池的电量可以应用公式②: $Q = n \times F$

因为1 mol甲烷完全反应转移8 mol电子,带

入数据: $Q = \frac{1 L}{22.4 L \cdot mol^{-1}} \times 8 \times 9.65 \times 10^4 C \cdot mol^{-1} = 3.45 \times 10^4 C$ 。

四、电功(电能)的计算

电功的计算建立在电量计算的基础之上,其计算公式为:

$$W = Q \times E \quad \text{③}$$

其中: W - 电功(单位: J) Q - 电量(单位: C) E - 电压(单位: V)。将公式②代入③,可以得到

$$W = nFE \quad \text{④}$$

另外,法拉第常数是1 mol电子所带的电量,也可以用一个电子的电量 q 乘以阿伏加德罗常数 N_A

求得,即 $F = qN_A$,将其带入公式④,又可以得到

$$W = nqN_A E \quad \text{⑤}$$

其中: $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ 。

另外,能量密度在电池工业中是一个非常重要的参数,在人教版选修4教材中对它有一个介绍——单位质量或单位体积所能输出电能的多少,单位($W \cdot h$)/kg或($W \cdot h$)/L。能量密度的计算建立在电功计算的基础之上,只需要用电功除以质量或体积即可。由此可见,电量、电功和能量密度的计算是依次递进的关系。

例4 (2013年新课标I卷题28节选)二甲醚(CH_3OCH_3)是无色气体,可作为一种新型能源。(5)二甲醚直接燃料电池具有启动快、效率高优点,其能量密度高于甲醇直接燃料电池($5.93 kW \cdot h \cdot kg^{-1}$)。若电解质为酸性,二甲醚直接燃料电池的负极反应为____,一个二甲醚分子经过电化学氧化,可以产生____个电子的电量;该电池的理论输出电压为1.20 V,能量密度 $E =$ ____(列式计算。能量密度 = 电池输出电能/燃料质量, $1 kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 J$)。

解析 二甲醚直接燃料电池的负极反应式为 $CH_3OCH_3 - 12e^- + 3H_2O = 2CO_2 + 12H^+$

一个二甲醚分子经过电化学氧化,可以产生12个电子的电量。计算能量密度时,需要先求出电池输出电能,也就是电功。假设燃料的质量为1 kg,应用公式④: $W = nFE$,代入数据:

$$W = \frac{1000 g}{46 g \cdot mol^{-1}} \times 12 \times 96500 C \cdot mol^{-1} \times 1.20 V = 3.02 \times 10^7 J$$

也可以应用公式⑤: $W = nqN_A E$,代入数据:

$$W = \frac{1000 g}{46 g \cdot mol^{-1}} \times 12 \times 1.6 \times 10^{-19} C \times 6.02 \times 10^{23} mol^{-1} \times 1.20 V = 3.02 \times 10^7 J$$

$$\text{进一步求算出能量密度 } E = \frac{W}{m(\text{燃料})} = \frac{3.02 \times 10^7 J}{3.6 \times 10^6 J \times 1 kg} = 8.39 kW \cdot h \cdot kg^{-1}。$$

上述物理学知识是解决电化学问题的必备知识,需要在高考备考过程中得到逐一落实。另外,文中涉及物理学知识的高考试题大多是教育部考试中心命制的,这就需要采用全国卷地区的师生对此引起足够的重视。(收稿日期:2015-12-20)