



法拉第电解定律在电化学计算中的应用

徐俊龙 广东省深圳市深圳科学高中(518129)
 吴文中 浙江省绍兴市越州中学(312075)
 张晓刚 广东省深圳市观澜中学(518110)

2015年高考结束后,笔者看到有同行在QQ群中热烈讨论2015年全国卷Ⅱ和2013年全国卷Ⅰ中均有试题涉及关于法拉第常数计算的问题,这一问题引起了笔者的好奇。笔者查阅现行各个版本的中学物理课本和化学课本,均未见对法拉第电解定律和法拉第常数有所介绍。询问了很多物理教师和化学教师,都说现行课程标准和考纲均未作要求,教科书上也未出现过。经过仔细查阅历年考题,笔者发现在20世纪90年代的高考题和全国化学竞赛题中才出现该内容的考查。时隔近20年,近两年高考中再现法拉第电解定律、法拉第常数等有关计算问题,笔者认为有必要重温和梳理一下相关知识,以飨读者。

一、法拉第电解定律和法拉第常数简介

1. 法拉第电解定律的文字表达内容。

笔者查阅一些文献,整理成如下内容:“法拉第归纳了多次实验结果,于1833年总结出一条基本规律,称为法拉第电解定律(Faraday's law of electrolysis):通电于电解质溶液之后,一是在电极上(即两相界面上)发生化学变化的物质的量与通入的电量成正比;二是若将几个电解池串联,通入一定的电量后,在各个电解池的电极上发生反应的物质其物质的量等同,析出物质的质量与其摩尔质量成正比。”法拉第电解定律在任何温度和压强下均可适用,不仅没有使用的限制条件,而且实验越精确,所得结果与法拉第电解定律吻合越好,该类定律在科学上并不多见。

2. 法拉第常数值的由来。

1 mol 质子的电荷(即1 mol 电子所带电量的绝对值)称为法拉第常数,用F表示,其数值为 $F=N_A e=6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}=96484.5 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} \approx 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。有些题目会给出其数值和单位,但也有题目并未给出,因此,大家记住该常数约数的数值和单位,有利于提高解题效率。

3. 法拉第电解定律的数学表达式及其推导过程。

假设某电极反应式为: $\text{M}^{z+} + z \text{ e}^- = \text{M}$,若需要得到

$n \text{ mol M}$,则根据法拉第电解定律的文字表达式可得其数学表达式为: $Q=znF$ (式中Q表示电量,z表示电极反应式中以1 mol某物质为基准转移电子的计量数,n为电极反应式中析出或消耗该物质对应的物质的量,F为法拉第常数)。它概括了上述两条文字表达式,不仅适用于电解池,也适用于原电池的电极反应式。以上是未考虑其他副反应的表达式,若考虑副反应,就要考虑电流效率,电流效率=法拉第电解定律计算所需的理论电量 $\times 100\%$,若未实际所消耗的电量作特殊说明,则一般不考虑损失。

二、相关应用例析

1. 原电池中应用法拉第电解定律求算相关物理量。

例题1: [2015年全国课标卷Ⅱ第26题第(2)问节选]酸性锌锰干电池是一种一次性电池,外壳为金属锌,中间是碳棒,其周围是由碳粉、二氧化锰、氯化锌和氯化铵等组成的填充物,该电池在放电过程中产生MnOOH,现维持电流强度为0.5 A,电池工作5 min,理论消耗Zn多少克?(已知 $F=96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$)

简析:根据题意,该原电池工作5 min产生的电量 $Q=It=0.5 \text{ A} \times 5 \times 60 \text{ s}=150 \text{ C}$,该题虽然是原电池,同样能够应用法拉第电解定律来解决,原电池负极的电极反应式可表示为: $\text{Zn}-2\text{e}=\text{Zn}^{2+}$,根据 $Q=znF=z \frac{m}{M} F$,即 $m=\frac{QM}{zF}=\frac{150 \text{ C} \times 65 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{2 \times 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}} \approx 0.05 \text{ g}$ 。

点评:注意灵活应用法拉第电解定律,弄清楚公式中的各项含义。弄懂单位换算问题,结合物理知识,懂得单位转化,例如,电量单位库仑(C)=安培(A) \times 时间(s)。利用物质的量(n)= $\frac{\text{质量(g)}}{\text{摩尔质量(g} \cdot \text{mol}^{-1})}$ (即: $n=\frac{m}{M}$),结合法拉第电解定律的数学表达式进行适当变形,可求其他各种物理量,例如,求摩尔质量、电量、时间、某气体物质的体积等。

2. 电解池中应用法拉第电解定律求算相关物理量。

例题2: 用电流强度为0.25 A的直流电源来电解(用惰性电极)足量的硝酸金[Au(NO₃)₃]溶液,当某电极上有1.97 g固体析出时,试计算:通过了多少电量?需要通电时间是多少分钟?理论上另一个电极上将同时收集到多少毫升标准状况下的某气体?(已知Au(s)的摩尔质量为197.0 g·mol⁻¹,F=96 500 C·mol⁻¹)

简析:利用惰性电极电解硝酸金溶液属于“放氢生酸型”电解,阳极电极反应式为:4OH⁻—4e⁻=O₂↑+2H₂O;阴极电极反应式为Au³⁺+3e⁻=Au;根据法拉第电解定律:Q=znF=3× $\frac{1.97 \text{ g}}{197 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$ ×96 500 C·mol⁻¹=2895 C;Q=It,t= $\frac{Q}{I}=\frac{2895 \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}}{0.25 \text{ A}}=11\ 580 \text{ s}=193 \text{ min}$;在电解过程中,阴、阳极均转移电子的物质的量为:n(e⁻)=3× $\frac{1.97 \text{ g}}{197 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}=0.03 \text{ mol}$ 。根据电极反应式可知产生n(O₂)= $\frac{1}{4}n(\text{e}^-)=0.0075 \text{ mol}$,则V(O₂)=0.0075 mol×22.4 L·mol⁻¹=0.168 L=168 mL。

点评:该题以电解原理的应用为知识背景,综合考查电极上放电顺序的判断、电解产物判断、法拉第电解定律的应用、电量与时间、物质的量与质量、气体体积等换算,综合性较强,考查考生灵活运用基础知识能力、综合应用解决实际问题的能力和基本计算能力。

3. 应用法拉第电解定律结合题给信息解决相关问题。

例题3:[2013年全国课标卷Ⅰ第28题第(5)问节选]二甲醚直接燃料电池具有启动快、效率高等优点,其能量密度高于甲醇直接燃料电池(5.93 kW·h·kg⁻¹),若电解质为酸性,则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·h=3.6×10⁶ J)。

简析:结合题给信息,能量密度=电池输出电能/燃料质量,其单位为kW·h·kg⁻¹,且该原电池消耗燃料为二甲醚,负极的电极反应式为:CH₃OCH₃+3H₂O-12e⁻=2CO₂+12H⁺;设消耗二甲醚1 000 g,电功(W)=U(电压)×I(电流)×t(时间)=U×Q(电量),而电量Q可根据法拉第电解定律进行计算Q=znF=12× $\frac{1\ 000 \text{ g}}{46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$ ×96 500 C·mol⁻¹,W=U×Q=1.20 V×12×

$\frac{1\ 000 \text{ g}}{46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}\times 96\ 500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$,而学生在初中物理中已经学过,1 kW·h=3.6×10⁶ J,故电功单位换算后W=1.20 V×12× $\frac{1\ 000 \text{ g}}{46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}\times 96\ 500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}\div(3.6\times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$,计算能量密度E=电池输出电能/燃料质量= $\frac{1.20 \text{ V} \times \frac{1\ 000 \text{ g}}{46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 12 \times 96\ 500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}}{1 \text{ kg} \times 3.6 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}}$ =8.39 kW·h·kg⁻¹。

点评:该题将化学知识和物理知识很好地综合在一起,难度较大,区分度极高,是当年高考化学试题中得分率最低的一问,很多教师也难以完成。其实从解决该问题的过程可看出以下几点比较重要:一是理解题给信息,会书写电极反应式,能够利用法拉第电解定律计算出电量;二是知道电功(原电池理论产生的电能)的基本计算:W=UIt=UQ=Pt(P是电功率);三是知道单位换算关系,如电压U的单位用伏特(V),电流I的单位用安培(A),时间t的单位用秒(s),电功W的单位用焦耳(J),焦耳这个单位很小,用起来不方便,生活中常用“度”(千瓦时非法定计量单位)做电功的单位,即平常说的用了几度电的“度”。“度”在计算中叫做千瓦时,符号是kW·h,其中1 kW·h=1度电=3.6×10⁶ J;四是因为C=A·s,而1 h=3600 s,所以法拉第常数此也可以换算为:F=96 500 C·mol⁻¹=26.8 A·h·mol⁻¹。

4. 法拉第电解定律在测阿伏加德罗常数(N_A)的值这一实验中的应用。

例题4:测定阿伏加德罗常数有多种方法,其中电解法是常用的方法(采用惰性电极),请回答下列问题:

(1) 实验室有同样浓度的NaCl,CuSO₄,AgNO₃,H₂SO₄等溶液,如果在实验过程中不考虑电极上的析出物与电解后的溶液之间的反应,那么你认为选用哪一种溶液作为电解液,实验既简便、测定结果误差又小,并说明理由。

(2) 采用你所选定的溶液来实验,至少应测定哪些数据?

(3) 若已知一个电子的电量(符号为q),选定符号代表有关数据,列出求算阿伏加德罗常数(N_A)的数学表达式。

简析:第一,根据电解原理和电解产物来判断,选用AgNO₃溶液较好,原因如下:①若电解NaCl,H₂SO₄溶液,实际产生的气体体积较难测定准确;②同样条件,通过等量的电量,析出的Ag的质量(下转第43页)



可判断该阶段能实现机械能守恒的变速圆周运动。该阶段的结果是物体2的速度一定减小,且能不能从D点飞出的条件须看到达地点的速度。这一过程可以被纳入机械能守恒过程这一相应的物理模型之中。

第三阶段。如图4所示,若脱离轨道,物块将作抛体运动;如从D点飞出,则是平抛运动。

综合题的实物系统所发生的具体物理过程,一般均是由若干个基本物理现象按照一定方式结合而成的复杂物理过

程,这种具体的复合现象或复合过程在整体上不能与物理教材中所讲的任何一种基本物理模型相符合,只有分解复合现象,才能在局部上与某一基本物理现象相符合。而借助交互式电子白板,就可把每一道复合题拆分成多个阶段,回归到课本的本源上,因而有利于培养学生的抽象模型和分析模型的能力。

三、利用交互式电子白板提高习题课教学效率

在习题课教学中,交互式电子白板主要用于创建原形问题情境或变式问题情境,即帮助学生建立必要的物理情境,促其抓住问题的关键,选用合理的物理模型,厘清解题思路,达到一题多解、一题多变和提高习题教学效率的目标。其基本流程如图5所示。

对学生而言,解答物理问题的过程就是一种认识过程。在这一过程中,交互式电子白板足以克服应

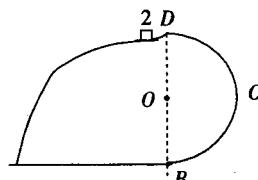


图4 第三阶段图

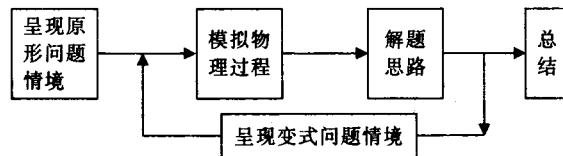


图5 提高习题教学效率的基本流程

用PowerPoint讲义所存在的教学预设后不易灵活修改、电子课件界面窗口“呆板、固化”等问题。换言之,教师可随时对课件进行补充和修正,以使教师的灵感和创意得到充分的发挥。例如,从题目的具体现象、条件的描述出发,教师可指导学生运用相关知识,由此及彼、由表及里地揭示题目系统所存在的基本物理现象及其内在的联系,实现从表面认识到本质联系的转变。同时,学生利用白板书写互动功能可自行解决问题,并在这一过程中培养自己的物理能力。最后,在进行习题挖掘和衍生知识的过程中,可在短时间内穿插相关的现象、公式、图表或图线,便于激活学生的记忆表象,以体现高精度刷新学生的认知结构、高效率提供典型物理情境的优势。

总之,只有充分认识交互式电子白板与物理课程整合的重要意义,深刻理解交互式电子白板与物理课程整合的内涵与目标,才能以交互式电子白板为载体,构建互动课堂,才能实现传统教学与现代信息技术的有机融合和深度融合。

(本文为“甘肃省教育科学规划课题研究成果”,课题编号:GS[2014]GHB0382)

(上接第34页)大于Cu,因而称量和计算时产生的误差前者要小。第二,结合法拉第电解定律可知, $Q=znF=z\frac{m}{M}N_Aq=It$,故需要测定的数据有:①电流强度;②电解(通电)时间;③电解产物的质量。第三,因为银是转移一个电子,所以将法拉第电解定律式子变形可得: $N_A=\frac{It\times M(Ag)}{q\times m(Ag)}$,在表达式中:I是电流强度(A), t 是通电时间(s), $m(Ag)$ 是析出Ag的质量(g), $M(Ag)$ 是Ag的摩尔质量($g\cdot mol^{-1}$)。

点评:该题属于具有一定开放性的实验类试题,思维不到位容易出错。首先必须弄清实验的原理,即根据法拉第电解定律进行变形;其次理解实验室实际操作需要测的物理量必须有一定经验才能正确判断(1999年上海高考题第28题考过类似问题);第三,可以思考利用法拉第电解定律还可以求算哪些量,

可自行设计合理实验。

从上述介绍法拉第电解定律的内容与其在解决电化学有关计算题的应用中,不难体会到该定律和该常数的重要性。如何以基本的化学知识为母体,建构模型,借助法拉第电解定律,将一些相关的物理量关联起来,应用基本的数学工具进行计算,这应该是水到渠成的事情。为什么有些学生拿到题目(如例题3、例题4)感到无从下手呢?归根结底还是在基础知识的灵活运用方面出了问题。法拉第电解定律能很好地将化学知识、物理知识、数学知识融合在一起,创造性地解决问题,细看各步骤所用知识都是已学内容,然而能将基础知识综合运用就是一种创新。不知道什么缘故中学物理、化学学科均删去该教学内容,这使得培养学生的跨学科综合能力的机会流失,幸运的是现行高考试题专家敏锐地意识到这个问题,希望能通过高考试题来改变这一现状。

法拉第电解定律在电化学计算中的应用

作者：徐俊龙，吴文中，张晓刚

作者单位：徐俊龙(广东省深圳市深圳科学高中 518129)，吴文中(浙江省绍兴市越州中学 312075)，
张晓刚(广东省深圳市观澜中学 518110)

刊名：实验教学与仪器

英文刊名：Experiment Teaching and Apparatus

年，卷(期)：2015, 32(12)

引用本文格式：徐俊龙, 吴文中, 张晓刚 法拉第电解定律在电化学计算中的应用[期刊论文]-实验教学与仪器

2015(12)