

The Application of Element Potential Diagram in Elemental Chemistry Experiment Teaching

Hu Tianjiao*, Wang Qinghua, Li Gongyi

College of Science, National University of Defense Technology, Changsha, China

Email address:

tjhu@nudt.edu.cn (Hu Tianjiao), qh1002@sina.com (Wang Qinghua), nudtlgy@163.com (Li Gongyi)

*Corresponding author

To cite this article:

Hu Tianjiao, Wang Qinghua, Li Gongyi. The Application of Element Potential Diagram in Elemental Chemistry Experiment Teaching. *Science Discovery*. Vol. 5, No. 6, 2017, pp. 423-425. doi: 10.11648/j.sd.20170506.15

Received: September 1, 2017; Accepted: October 1, 2017; Published: October 28, 2017

Abstract: In the elemental chemistry experiment, the elemental potential diagram is used to analyze and predict the chemical reaction and experimental phenomena. It helps the students to find the essence of chemical reaction and to solve the problem by using basic principles. Moreover, it also stimulates students' interest in learning elemental chemistry.

Keywords: Elemental Potential Diagram, Elemental Chemistry, Experimental Teaching

元素电势图在元素化学实验教学中的应用

胡天娇*, 王清华, 李公义

理学院, 国防科技大学, 长沙, 中国

邮箱

tjhu@nudt.edu.cn (胡天娇), qh1002@sina.com (王清华), nudtlgy@163.com (李公义)

摘要: 本文结合具体教学案例, 提出在元素化学实验中利用元素电势图来分析、预测化学反应和实验现象, 帮助学生从纷繁的化学反应中寻找其本质, 培养学生应用原理知识解决问题的能力, 激发学生学习元素化学的兴趣。

关键词: 元素电势图, 元素化学, 实验教学

1. 引言

元素化学是无机化学的中心内容, 它主要讨论元素及其化合物的存在、性质、制备和用途[1-4]。截至2016年, 元素周期表前七个周期中的118个元素均已被发现。由这些元素所组成的化合物已经超过1亿种, 并以每天超过5万种的速度增加。这一方面给元素化学的研究带来蓬勃生机, 另一方面却也让元素化学的学习变得困难。元素化学实验作为元素化学课程的重要组成部分, 是帮助学生熟悉和掌握理论知识的有效手段[5, 6]。但是, 由于该部分化学反应繁杂、实验现象丰富, 学生在进行实验时往往只关注

具体反应的结果, 缺少对于反应机理的探讨和实验规律的总结, 导致实验结束仍不清楚哪些现象正常, 哪些结果异常, 也不知出现异常结果的原因为何。

元素电势图清楚地表示出同一元素不同氧化态之间相互转化的标准电极电势。应用电势图不仅可以了解元素的常见氧化态, 还可以分析介质酸碱性对氧化还原性的影响, 元素不同氧化态的稳定性(是否会发生歧化或逆歧化反应)等问题[7, 8]。此外, 根据不同元素电对的电极电势, 还可以对水溶液中氧化还原反应的方向和产物进行预测[9]。因此, 在元素化学实验中, 合理引导学生利用元素电势图来分析、预测和总结化学反应, 就能帮助学生从纷繁

的化学反应中寻找其本质,培养学生应用原理知识解决问题的能力,激发学生学习元素化学的兴趣。下面以高等教育出版社出版的《无机化学实验》中实验二十四第一过渡系元素(二)(铁、钴、镍)为例,介绍元素电势图在元素化学实验中的应用。

2. 实验内容、目的和教学方法

铁、钴、镍系列实验主要包含三部分内容:(1)Fe(II)、Co(II)、Ni(II)的化合物的氧化性;(2)Fe(III)、Co(III)、Ni(III)的化合物的氧化性;(3)配合物的生成。通过上述实验,希望学生试验并掌握二价铁、钴、镍的还原性和三价铁、钴、镍的氧化性。试验并掌握铁、钴、镍配合物的生成及性质[10]。

在本实验教学过程中,笔者采取了三步教学法,即首先向学生展示铁、钴、镍的元素电势图,根据电势图分析这三种元素的不同氧化态的氧化还原特性,然后结合具体实验内容预测实验的结果和可能出现的现象,最后针对实验中出现的与此前预测不一致的现象,结合电势图分析其原因和改进方法。

3. 铁、钴、镍的元素电势图

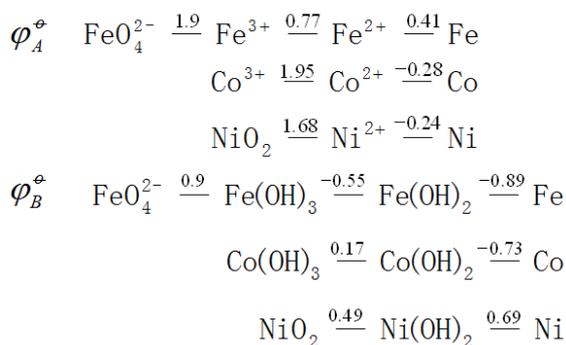


图1 铁、钴、镍在酸性和碱性条件下的电势图。

从铁、钴、镍在酸性条件下的 φ_A^\ominus 电势图中可以看出,在酸性水溶液中,三种元素最稳定氧化态的氧化数均为+2。根据M(III)/M(II)电对的电极电势可知,Fe³⁺、Co³⁺、NiO₂均具有氧化性,且电极电势氧化性依次增强,尤其是Co³⁺和Ni³⁺由于氧化性极强,无法在水溶液中单独存在。

与 φ_A^\ominus 相比,铁、钴、镍相应电对在碱性条件下的电极电势明显降低。这是由于三种元素的阳离子在碱性条件下均会形成相应的难溶氢氧化物。难溶化合物的形成会引起电极反应中离子浓度的改变,从而使电极电势发生变化。课堂讲解到此处时可引导学生回忆理论课中学习过的能斯特方程,并用能斯特方程解释难溶化合物形成对电极电势的影响。

通过对铁、钴、镍在酸性和碱性条件下电势图的分析,可以得出结论:酸性条件下可以获得较为稳定的二价铁、钴、镍离子,而要获得稳定的三价铁、钴、镍则必须控制溶液条件为碱性。

4. 运用元素电势图分析实验原理

4.1. Fe(II)、Co(II)、Ni(II)的化合物的还原性

二价铁、钴、镍化合物的还原性主要通过其氢氧化物的制备条件和稳定性体现。将碱性条件下Fe(III)/Fe(II)、Co(III)/Co(II)和Ni(III)/Ni(II)三个电对的电极电势与电对O₂/OH⁻的电极电势比较可知,由于碱性条件下上述三个电对的电极电势大幅降低,使得Fe(III)/Fe(II)、Co(III)/Co(II)的电极电势低于电对O₂/OH⁻,即Fe(II)和Co(II)很容易被O₂氧化。故Ni(OH)₂、Co(OH)₂和Fe(OH)₂在空气中稳定性逐渐降低。尤其是Fe(III)/Fe(II)的电极电势降为负值,故在制备Fe(OH)₂的实验中必须严格控制条件,防止Fe(II)的氧化。具体来看需要做到以下几方面:①所有溶剂必须煮沸除氧;②Fe²⁺溶液必须当场配制;③NaOH溶液必须用长吸管插入Fe²⁺溶液底部再挤出。

4.2. Fe(III)、Co(III)、Ni(III)的化合物的氧化性

三价铁、钴、镍化合物的氧化性同样体现在其氢氧化物的制备条件和稳定性上。根据上述分析,Fe(III)、Co(III)、Ni(III)的氢氧化物较为稳定,但由于Co³⁺和Ni³⁺的氧化性极强,无法在水溶液中单独存在,故在制取Co(OH)₃和Ni(OH)₃时只能以Co(II)、Ni(II)为原料在碱性溶液中进行氧化,而不能用Co(III)和Ni(III)直接制取。

在氧化剂选择方面也可通过电极电势来进行分析。首先,选择的氧化剂与其还原态所组成的电对的 φ_B^\ominus 值必须比Co(III)/Co(II)和Ni(III)/Ni(II)的 φ_B^\ominus 值大;其次,所选氧化剂的氧化还原反应最好没有H⁺或OH⁻参加,这样可以防止体系的pH变化对实验结果造成影响;最后,所选氧化剂不能与Co和Ni发生除氧化还原以外的其他反应(如配位等)。

4.3. 配合物的生成

通过前面两部分的讲解,此时学生对电极电势和氧化还原性质之间的关系应该已经有所了解。所以这一部分的教学可以将相关电极电势值给出,引导学生自己推测相应的实验现象。

例如,根据酸性条件下, $\varphi_{\text{Fe(CN)}_6^{3-}/\text{Fe(CN)}_6^{4-}}^\ominus = 0.36$, $\varphi_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^\ominus = 0.77$, $\varphi_{\text{I}_2/\text{I}^-}^\ominus = 0.535$,可以解释为何Fe²⁺不能把I₂还原为I⁻,而[Fe(CN)₆]⁴⁻却可以做到。

此外,在本部分实验中,还有关于铁、钴、镍氨合物的制备和稳定性比较的内容,但在教材中并未给出其氨合物的电势图。此时可引导学生根据实验现象总结出几种氨合物稳定性的相对大小,然后提示其根据氨合物稳定常数K_f推导出其电极电势的理论值,并与实验结果进行比较。

5. 运用元素电势图解释实验现象

虽然使用元素电势图能够成功解释本实验中绝大部分现象,但在有些实验中却有可能出现理论与实际不符的情况。

例如，在 Fe^{3+} 与饱和 H_2S 的实验中，就有可能出现加入饱和 H_2S 后， Fe^{3+} 溶液不褪色的情况。这时应该提示学生电势图中的电极电势为标准电极电势，意味着参与反应的物质应在标准状态下，即气态物质分压为100KPa，溶液中各溶质（包括 H^+ 离子）浓度为 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而饱和 H_2S 溶液浓度仅为 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右，而且随着保存时间延长，其浓度还会逐渐降低。因此，在使用电极电势预测实验现象时应该利用能斯特方程，将物质浓度改变考虑进去，才能与实际情况相符。

通过类似现象的分析，可让学生进一步理解对于在非标准状态下进行的氧化还原反应，反应最终产物还受热力学因素、动力学因素及反应条件等多种因素制约，所以在实验中要灵活运用所学知识，具体问题具体分析。

6. 结论

本文结合具体案例说明了元素电势图是元素化学实验教学的有效手段。与电极电势表相比，元素电势图更为直观、方便，对于周期系中各同族或同种元素在水溶液中的氧化还原特征及规律的探讨具有十分重要的指导意义。在元素化学实验中利用元素电势图来分析、预测化学反应和实验现象，能帮助学生从纷繁的化学反应中寻找其本质，培养学生应用原理知识解决问题的能力，激发学生学习元素化学的兴趣。

致谢

本文为国防科技大学校级教改课题《全程导师引导式融合实战需求的团队教学模式研究》(U2015002)的阶段性成果之一。

参考文献

- [1] 周小霞, 肖湘, 季卫刚, 赵华文, 赵先英. 无机化学元素部分教学体会[J]. 大学教育, 2016,(01):102-103.
- [2] 陈三平, 谢钢, 杨奇, 王尧宇, 高胜利. 加强元素化学教学的改革和实践[J]. 高等理科教育, 2012,3:119-122.
- [3] 吕仁江, 于海霞, 马玲, 白丽明, 陈世界. 探索提高无机元素化学课堂教学质量的途径和方法[J]. 化工时刊, 2015,29(11):51-53.
- [4] 张欢, 王伟, 杨定明, 戴亚堂. 从大学生能力培养视角谈无机元素化学教学[J]. 广州化工, 2015,43(21):203-205.
- [5] 苏芳. 无机化学教学的内容组织艺术[J]. 化学教育. 2014,18:15-17.
- [6] 李淑妮, 刘萍, 翟高红, 崔斌. 怎样认识氧化性? [J]. 大学化学, 2014, 29(6):71-74.
- [7] 张天祯, 张睿, 张晓龙, 彭军. 钒体系的自由能—氧化数图的绘制和教学讨论[J]. 化学教育, 2014,6:14-16.
- [8] 陈佐勤. 元素的自由能—电势图及其应用[J]. 化学通报. 1994,10:52-54.
- [9] 汤发有, 李光伟. 应用元素电势图说明 BrO_3^- 和 I^- 的反应产物[J]. 陕西师范大学继续教育学报(西安), 2006,23(1):120-121.
- [10] 北京师范大学, 东北师范大学, 华中师范大学, 南京师范大学编. 无机化学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014:197-199.