

从“验证模式”到“辩证模式”的转变 ——进一步增强高校本科生实验创新能力

尹杰^{1,2}, 代建荣³, 熊士现⁴, 乔艳玲^{1,2,*}, 周华伟^{1,2,*}

¹ 聊城大学材料科学与工程学院, 山东 聊城 252000

² 聊城大学化学化工学院, 山东 聊城 252000

³ 山东莘县第二中学, 山东 莘县 252400

⁴ 山东莘县第一中学, 山东 莘县 252400

摘要: 为了进一步培养高校本科生实验创新能力, 实验教学课程按部就班的“验证模式”亟待转变。如何改进和发展本科生实验课程教学模式已成为高校教师实验教学模式探索的一个重要方向。改变实验条件, 辩证看待实验问题, 更有利于学生观察、了解实验的本质和核心。这种兼看则明的“辩证模式”是一个很好的发展方向。我们将该种模式应用到硫酸亚铁铵的制备及其铁(III)的限量分析实验中。通过控制合成条件可观察到三种不同颜色、光泽度、尺寸的晶体, 这些实验结果的差异反过来激发了学生的兴趣和对实验条件与结果的深入讨论。实验课堂效果评价表明: 这种教学模式有利于促进学生进行自主探究性学习, 培养其辩证性的实验思维, 进而增强学生的实践创新能力, 提高学生的综合素质。同时, 这种模式也可以适当地扩展到其他实验教学实践中。

关键词: 验证模式; 辩证模式; 硫酸亚铁铵

中图分类号: G64; O6

Change from “Validation Mode” to “Dialectical Mode”: to Further Enhance Experimental Innovation of Undergraduates

YIN Jie^{1,2}, DAI Jianrong³, XIONG Shixian⁴, QIAO Yanling^{1,2,*}, ZHOU Huawei^{1,2,*}

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252000, Shandong Province, P. R. China.

² College of Materials Science and Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252000, Shandong Province, P. R. China.

³ Shenxian No.2 Middle School, Shenxian 252400, Shandong Province, P. R. China.

⁴ Shenxian No.1 Middle School, Shenxian 252400, Shandong Province, P. R. China.

Abstract: In order to further enhance experimental innovation of the undergraduates, the “verification model” in laboratory courses should be changed urgently. How to improve and develop the undergraduate laboratory courses has become an important direction of the laboratory teaching mode for university teachers. The students are easier to observe and understand the nature and core of the experiment by changing the experimental conditions and dialectically viewing of experimental problems. This kind of “dialectical view” is a good developing trend. We will apply this kind of model to the experiment of preparation of ammonium ferrous sulfate and semi-quantitative analysis of iron (III). The students can deeply discuss the differences in the experimental results by controlling the synthesis conditions. The different colored and sized of crystalline in turn can stimulate students' interest. Practice shows that this teaching model is conducive to promoting students' ability of independent inquiry learning, to cultivate their

收稿: 2017-08-21; 录用: 2017-11-30; 网络发表: 2017-12-12

*通讯作者, Email: zhouhuawei@lcu.edu.cn; qiaoyanling@lcu.edu.cn

基金资助: 山东省高等学校科技计划项目(J16LC05); 山东省青年自然科学基金(ZR2016BQ20)

dialectical experimental thinking, thus to enhance students' practical and innovative ability, and to improve their comprehensive quality. This model can be extended to other experiments.

Key Words: Validation mode; Dialectical mode; Ammonium ferrous sulfate

在以往的本科生实验教学中,一般是教师根据教材的要求,按照教材的实验步骤,在课堂上给学生讲解,让学生了解整个实验的过程和现象,然后学生再自己动手操作,以达到掌握基本实验操作和理解实验原理的目的。这种“老师讲-学生听-学生做-老师看”的传统教学方式缺乏对学生知识的深入引导和学生对实验的进一步探究,并且在学生实际操作过程中,按照老师的要求机械重复的操作实验,不经过分析思考和讨论,势必降低实验的乐趣。这种“验证模式”的实验教学方式的教学对象更适用于首次接触化学,认识化合物性质的初高中学生;此外“验证模式”的实验教学方式的教学内容多为从亲眼看到实验现象的发生中去深化认识,加深印象;因此“验证模式”的实验教学方式的教学目标多为掌握化合物性质等。在本科生实验教学中的制备性实验中,“验证模式”几乎已经不适用了,一个制备性实验涉及到很多知识,甚至是一个知识体系,不再是单纯的去验证就能让学生掌握整个知识体系。制备性实验中涉及到实验条件的选择问题,传统的实验课本中只是给出哪种条件更适用于某种化合物的制备。在课堂实施中学生严格按照既定的实验条件去验证实验现象,这种验证模式给学生一种认知:这种条件就是制备这种化合物最佳的条件。殊不知条件的选择会造成化合物的组成及粒径的巨大差别,这种差别可以影响化合物的物理或化学性质。所以应该“辩证”地看待实验条件的选择,不同的实验条件得到性质不同的化合物。因此,“辩证模式”的实验教学方式适用于大学化学专业学生;“辩证模式”的实验教学方式的教学内容适用于类似制备性的实验中。通过有意识地改变某一条件,快速有力地说明被改变条件与实验结果之间的关系,可以把被动式学习变为主动探究性学习。并且不同的实验条件产生不同的实验现象,通过实验结果的对比,更利于学生观察了解实验的本质和核心,知其然知其所以然。因此“辩证模式”的实验教学方式的教学目标是逐步掌握制备性实验中实验条件的合理选择与样品性状之间的辩证关系。这种实验教学方式着重培养大学化学专业学生的创新思维,转变学生以往的思维方式,辩证地看待实验问题,这能够使他们对实验现象分析更透彻,更能把握实验的关键所在,从而更易得出精确的、科学的结果。这种兼看则明的“辩证模式”是一个很好的发展方向。

硫酸亚铁铵的制备及铁(III)的限量分析实验是无机化学实验多年来一直开设的一个具有代表性的实验^[1-6]。它不仅涵盖了水浴加热、蒸发、浓缩、结晶、减压过滤等基本操作,并且整个实验过程还呈现出明显的颜色变化,从而可以加深学生对复盐的特征、制备及纯度分析等理论知识的理解和巩固,因此该实验是大学化学实验中能够综合提高学生的实验操作能力和培养学习兴趣的一个重要实验^[7-11]。在以往的硫酸亚铁铵的制备及铁(III)的限量分析实验教学中,一般是教师根据教材的要求,在课堂上给学生讲解,然后学生按部就班的按照“验证模式”达到掌握基本实验操作和理解实验原理的目的。但是实验结果单一,缺乏对学生的学习兴趣的培养。我们将“辩证模式”的实验教学方式应用到硫酸亚铁铵的制备及其铁(III)的限量分析实验中,具体的实验教学过程如下所述。

1 “辩证模式”实验课堂的实施

通过课前预习,每位学生基本掌握实验原理,明确硫酸亚铁铵的制备及限量分析中实验过程。具体的实验原理如下:硫酸亚铁铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$,又称摩尔盐,为浅蓝绿色单斜晶体,它在空气中比一般的亚铁盐稳定,不易被氧化,常用来配制亚铁离子的标准溶液。硫酸亚铁铵可由等物质的量的 FeSO_4 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 反应制得,其反应如方程式(1)、(2)所示。硫酸亚铁,硫酸铵和摩尔盐在水中的溶解度列于表1。与其他复盐类似,硫酸亚铁铵在水中的溶解度比组成它的每一种组分

FeSO_4 或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的溶解度都要小。因此加热浓缩 FeSO_4 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的混合溶液, 冷却后即可得到摩尔盐晶体。在限量分析中, 可以通过目视比色法半定量地确定产品中 Fe^{3+} 离子的含量和产品的级数。目视比色法的基本原理如下: Fe^{3+} 遇到 SCN^- 会形成红色的络合物, 如方程式(3)所示。通过已知不同浓度的 Fe^{3+} 溶液与 SCN^- 在比色管中配制成标准色阶。相同条件下, 将制备的 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 产品与 SCN^- 在比色管中配制成与标准色阶相同体积的溶液。和标准色阶进行对比, 确定产品中 Fe^{3+} 离子的大致含量和产品的级数。

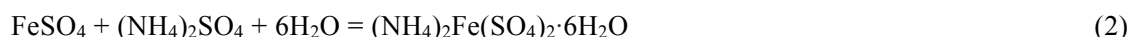


表 1 硫酸亚铁、硫酸铵和摩尔盐的溶解度(g/100 g H_2O)

盐	溶解度(g/100 g H_2O)						
	273.16 K	283.16 K	293.16 K	303.16 K	313.16 K	323.16 K	333.16 K
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15.6	20.5	26.5	32.9	40.2	48.6	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	70.6	73.0	75.4	78.0	81.0		88.0
$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		12.5			33.0	40.0	

首先, 将三位学生作为一个实验小组。如图 1 所示, 三位学生通过有意识地改变硫酸亚铁铵的制备条件(缓慢结晶、快速结晶、氧化结晶), 获得不同的样品形态。硫酸亚铁的结晶水数目对 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 最终产品也有较大影响。为了消除其影响, 在制备硫酸亚铁的实验过程中, 每组学生都保证制备硫酸亚铁时水的量足够。使用硫酸亚铁溶液进行下一步的反应, 这样就消除了硫酸亚铁结晶水个数对最终产品的影响。三位学生之间分析讨论不同的制备条件与样品形态之间的辩证关系。在这种分析讨论的辩证模式中, 既可以对硫酸亚铁铵的形态影响因素有较深入的认识, 还可以激发学生的学习兴趣, 增进学生的交流, 提高团队意识。



图 1 硫酸亚铁铵的制备及限量分析中“辩证模式”实验课堂示意图

缓慢结晶: 小火加热、防止沸腾, 不搅拌; 快速结晶: 小火加热至出现晶膜后置于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水中快速冷却;

氧化结晶: 大火加热至沸腾

三组实验在抽滤前呈现出的实验现象已有比较明显的差别, 如图 2a、2b、2c 依次进行慢速结晶、快速结晶和氧化结晶操作, 呈现的颜色分别为蓝绿色、暗绿色和白色。抽滤后, 如图 2d-2f 所示, 三组实验得到的晶体也有各自的特点(表 2), 慢速结晶的晶体颗粒较大, 亮度光泽比较好; 快速结晶相对而言亮度跟光泽都没那么明显, 颗粒也比较小, 颜色也发暗; 而氧化结晶的晶体几乎呈现出近粉末状。

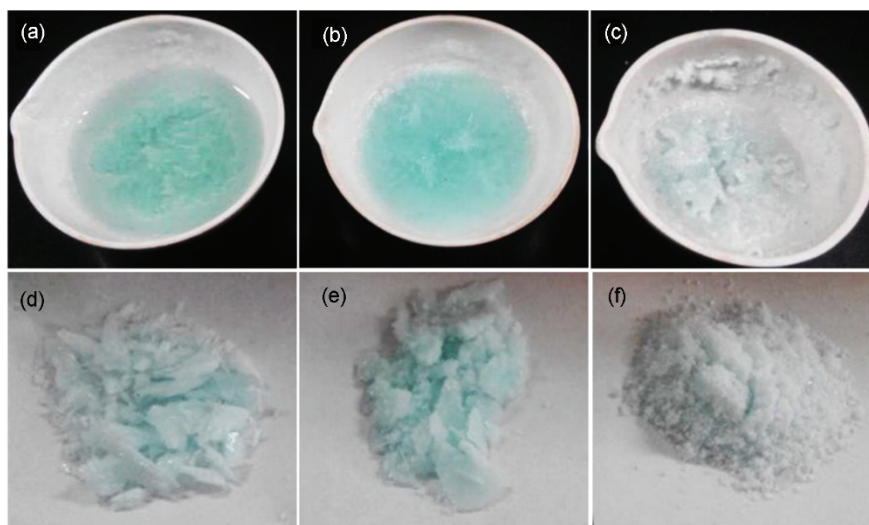


图2 三种实验条件下抽滤前后产物的表现形貌

(a) 缓慢结晶条件下抽滤前；(b) 快速结晶条件下抽滤前；(c) 氧化结晶条件下抽滤前；(d) 缓慢结晶条件下抽滤后；
(e) 快速结晶条件下抽滤后；(f) 氧化结晶条件下抽滤后

表2 探究不同条件下样品晶体形态、产率、纯度的不同

分组	探索条件	实验现象	样品形态(形状、大小、颜色)	产率	纯度分析
第一组	小火加热，不搅拌，防止沸腾， 慢速冷却	有透明感	颜色为蓝绿色，晶体颗粒较大， 比较明显，亮度光泽比较好	高	纯度高，含有极少量氧化 了的三价铁
第二组	小火加热，不搅拌，防止沸腾， 快速冷却	有透明感	颜色为暗绿色，晶体颗粒较小， 亮度光泽度较差	中	纯度较高，含有部分氧化 了的三价铁
第三组	大火加热，搅拌，沸腾	不透明感	颜色近乎白色，结晶几乎近粉末状	低	纯度低，含有大量三价铁

三组实验现象的差异不免引发学生去思考，去探索。它们出现的差别实质上是因为什么改变的呢？这极大地调动学生思考的积极性，开拓学生的思维，使得学生更能整体地看待问题，辩证地看待问题，培养学生独立思考的能力，增强团队意识，提高合作能力。

与此同时，教师对学生进行适度的引导。引导的程度应该结合学生的实际情况。对于层次较高的学生，点到为止，或者是抛出问题启发即可；对程度弱一点的学生需要多一些的铺垫，但是也要防止大包大揽，不能“导”出过多、过细的问题。不管教师如何引导，一定要把思维的主体留给学生。让三组学生进行充分讨论、分析、辩论，总结出不同实验条件得到不同形态晶体的原因如下：慢速结晶时，开始出现晶核的数目比较少。由于冷却速度较慢，晶核附近的离子聚集成新晶核的几率较小，而是通过扩散作用排列到初始晶核上面的几率较大。也就是说，晶体生长的速度大于晶核生成的速度。这种情况会使晶核逐渐长成较大体积的晶粒。与慢速结晶不同，快速结晶时，开始出现晶核的数目比较多。由于冷却速度较快，晶核附近的离子继续聚集成新晶核的几率较大，晶核的生成速度大于晶体的生长速度，这会导致最后晶体的颗粒较小。氧化结晶时，大火加热使得沸腾的溶液与空气中氧气的接触几率增大，样品中三价铁含量增大。这使得产品会近乎白色粉末状。

紧接其后，对硫酸亚铁铵的限量分析中，生动的实验现象很好地解决了前面的疑问。如图3所示，前三支是配制的标准色阶，后三支分别代表慢速结晶、快速结晶和氧化结晶。发现颜色递变比

较明显,慢速和快速结晶都属于一级产品,而二者颜色有区别。这时候让三组学生进行讨论、分析、辩论为什么不同的实验条件会有不同的实验结果。最终学生总结出最主要的原因如下:结晶方式的不同,导致实验现象和结果的不同。慢速结晶使得晶体体积较大,相对表面积小,氧化的就少。颜色的深浅实际就代表了 Fe^{3+} 含量的多少,同时也证明了想要纯度高就要选择慢速结晶的方式。

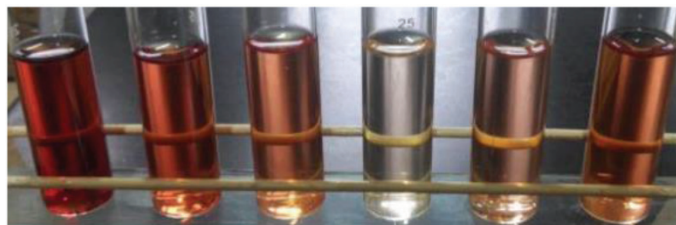


图3 标准色阶以及样品溶液显色的对比

电子版为彩图

采取上述实验模式,学生在此实验中亲身体验了知识的获取过程,使得实验结果更鲜明,进而分析更透彻,印象更深刻,感受更强烈,极大调动了学生的积极性,变被动为主动。与以往的验证性实验的不同在于它是由未知寻求已知,使实验更具探索性,增加了实验的趣味性。不像传统的验证性实验一样,由已知验证已知,告诉固定的做法按部就班地做,而是转换思维方式,把学生作为主体,探究性学习,辩证地看待问题,化被动为主动。

2 “辩证模式”实验课堂效果评价

对“辩证模式”实验课堂的实施效果的有效评价方式之一就是实验报告的总结,结果的讨论:“验证模式”下,实验报告的结果讨论部分较为简单,在既定实验条件下得到了产物,并给出产物的外观、产率和组成等。而在“辩证模式”下,实验报告的结果讨论部分较为系统合理,分条列出不同实验条件下产物的外观、产率和组成,并总结出不同实验条件对产物的影响。给学生一种认知:在进行材料合成时要考虑方方面面的实验条件,要进行对比总结,得到实验条件对材料性质的影响。

另外,这种“辩证模式”的实施效果的有效评价方式之二是学生是否具有初步的科研素养:也就是学生是否能够独立地完成一个化合物的合成,是否能够辩证地去考虑实验条件,然后设计实验,进行实验,进行实验结果的初步分析。在传统的“验证模式”教学方式下,做完这个实验之后,学生并没有充分理解实验条件对产物的外观、粒径、形貌、组成等的影响。当学生参与到创新项目中时,给定一个化合物的合成时,学生希望得到既定的实验条件,按部就班地进行实验,得到产物。而在“辩证模式”教学方式下,做完这个实验,总结完实验报告之后,学生能够辩证地理解实验条件对产物的一些影响,并无好坏实验条件之分,要根据既定产物的一些需要去合理地、辩证地考虑实验条件。在大学生创新项目中学生的表现就会特别突出,给定化合物的合成时,学生会主动设计系列实验条件并进行实验,最后得到系列产物,对系列产物的外观、性质甚至性能进行分析之后拿到实验结果与老师进行讨论,这样就培养了学生初步的科研素养,提升了学生的创新能力。因此,“辩证模式”的实验教学方式的确增强了高校本科生实验创新能力。

3 结语

总的来说,辩证实验模式在探究物质性质以及影响该物质的因素方面有很大的优势,应用范围更广,它可以清晰透彻地表明某种因素对实验的影响。它更体现着一种思维方式的转变,更是一种实验模式的改善。如硫酸亚铁铵的制备与铁的限量分析这类实验应用这种模式效果可能会更好。

参 考 文 献

- [1] 韦正友, 石婷婷, 司友琳, 孙远东. 大学化学, **2014**, 29 (1), 60.
- [2] 刘翠, 薛春慧, 庄启亚, 孟艳. 化学教育, **2016**, 37 (4), 38.
- [3] 纪永升, 吕瑞红, 李玉贤, 张淑玲, 孙德梅. 大学化学, **2013**, 28 (6), 42.
- [4] 孔令雷. 化学教育, **2016**, 37 (4), 42.
- [5] 汪丰云, 王小龙. 大学化学, **2006**, 21 (1), 51.
- [6] 张婉佳, 李燕红, 龚志翔. 化学试剂, **2015**, 37 (5), 460.
- [7] 张立会, 叶露阳, 周延彪. 化学教育, **2016**, 37 (4), 35.
- [8] 张军科. 化学教育, **2016**, 37 (4), 46.
- [9] 王永明. 实验室科学, **2014**, 17 (3), 11.
- [10] 徐敏. 当代化工, **2015**, 44 (1), 36.
- [11] 王锐. 固原师专学报(自然科学), **2005**, 26 (3), 73.