

以实验为情境问题的 PBL 教学法在元素化学教学中的应用

胡瑞祥, 郑少九, 张漫波*

湖南师范大学化学化工学院, 长沙 410081

摘要: 元素化学是无机化学课程的学习重点和讲授难点。针对元素化学内容繁杂、易学难巩固的特点, 本文以铁、铜化合物实验为情境问题, 在元素化学的教学中实施 PBL 教学方法以激发学生的学习兴趣, 促进并巩固教学效果。

关键词: 铁; 铜; 元素化学; PBL 教学法

中图分类号: G64; O6

Application of PBL Method in the Teaching of Element Chemistry Based on Experimental Problems

Ruixiang Hu, Shaojiu Zheng, Manbo Zhang *

College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, P. R. China.

Abstract: Teaching and studying of element chemistry is difficult in inorganic chemistry course. In the paper, we take the experiment of iron and copper compounds as cases, and carry out PBL teaching method in the teaching of element chemistry to stimulate students' learning interest and enhance the teaching effect.

Key Words: Iron; Copper; Element chemistry; PBL teaching method

元素化学是无机化学的核心内容和特色部分, 对学生后续专业内容的学习和研究很重要。目前各类高校开设的元素化学的学习大多安排在学完无机化学的基础理论部分之后。相比较于基础理论部分, 元素化学部分的教学会面临以下问题: (1) 学生的学习兴趣下降。无机化学的基础理论部分涉及的化学热力学, 化学平衡和原子、分子结构等知识对学生来说系统性、规律性强, 容易推导和归纳; 而元素部分则元素种类繁多, 化学反应复杂, 内容以描述为主, 学生在学习这部分内容的时候很容易因为知其然而又难以追踪其所以然而降低学习兴趣^[1]; (2) 理论授课与实验环节脱节。化学学科最大的魅力在于实验和实践, 元素化学部分各种单质、化合物的性质实验缤纷多彩, 极具吸引力。但学生在学完元素化学后, 对实验中遇到的问题仍然无所适从, 不能运用所学理论知识解决实际问题, 从而导致元素化学教学效果难以得到巩固^[2,3]。所以, 针对如何提高无机化学中元素化学部分的教学效果的改革和探索一直都是从事相关教学工作的老师们关注的问题。

PBL (Problem-Based-Learning) 是一种以学生为中心的教学方法, 使学生能够针对情境问题进行研究, 整合和实践, 并应用知识和技能来设计和实施可行的解决方案。PBL 有利于学生进行自主、合作和探究性学习, 能培养学生自主学习和协作学习的能力, 发展学生的高级认知, 拓展思维和提高解决问题的能力。在 PBL 教学过程中, 学生会充当自我指导和主动学习者的角色, 因为 PBL 教

收稿: 2020-03-25; 录用: 2020-04-15; 网络发表: 2020-06-11

*通讯作者, Email: manbozhang@163.com

基金资助: 湖南省普通高等学校教学改革研究项目(121-0899); 教育部产学合作协同育人项目(201802085022)

学需要学生承担识别问题和提供解决方案的责任,这种责任会促使学生提高学习的动机水平^[4,5]。

在 PBL 教学场景中,问题是至关重要的组成部分,是实施 PBL 教学过程的起点。Wood^[6]认为 PBL 教学中的“问题”应根据预先设定的目标建立,并且尽可能从实际问题 and 专业学科中选取。在实施 PBL 教学法最广的医学和工程专业,病例或案例就是最好的情境问题。相较于医学和工程学科,其他的学科能调用的实际问题比较有限,而且这些问题对专业知识的覆盖广度和深度一般无法达到课程的教学目标。化学学科是一门以实验为基础的学科,许多的化学实验就是非常好情境问题的素材。在实验过程中,学生会遇到不同的问题,需要验证和解决不同的问题,这为 PBL 教学的设计提供了关键材料。针对元素化学教学存在的问题和特征,我们对部分元素的教学展开了以实验为导向的 PBL 教学模式的应用探索。本文以铁、铜两种元素化合物的制备和性质实验为例,初步探讨 PBL 教学法在元素化学教学中的应用。

1 PBL 教学法在元素化学教学中的实施过程

1.1 根据教学内容和教学目标设定问题

“问题”是 PBL 教学法实施的最重要的环节。教师设定的问题应该是真实的、有意义的,与专业相关联的,并能让学产生学习和探究的内驱力。元素化学内容繁杂是实施常规教学的缺点和难点,但对 PBL 教学法则意味着丰富的“问题”素材。元素化学的 PBL 教学法中问题的设定可以从以下几方面着手:(1) 化工生产或日常生活中的真实案例;(2) 化学史上的趣闻轶事;(3) 学科发展前沿的最新成果;(4) 化学实验^[7]。无机化学实验是掌握无机化学理论知识和基本实验技能的保障,是针对化学理论设计的实践环节,因此在元素化学的教学过程中引入实验问题开展教学会有利于提高学生分析问题、解决问题的能力,让学生将理论和实践联系起来,促进和巩固学生对理论知识的学习效果(图 1)。

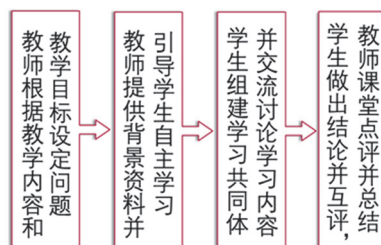


图 1 PBL 教学模式简要流程图

铁在人类文明的发展史上有着其他元素不可比拟的重要作用。自从学会炼铁而进入铁器时代,人类的发展史就是一部积极探索铁、为铁而奋斗的历史。铜是人类最早使用的金属之一,早在史前时代,人们就开始使用铜制造武器、工具和器皿。现在,铜已经被广泛地应用于电力电气、轻工,机械制造、建筑和国防工业等许多领域。无机化学基础实验和综合实验一般会分别设计 3—4 个铁和铜元素化合物的制备以及性质实验。这些实验是元素化学里铁元素和铜元素的教学内容的体现和延伸,可以作为 PBL 教学法中的“问题”。以下是铁和铜元素的实验内容设计的两个情境问题:

【情境问题 1】三草酸合铁具有感光性,常作为测定光量子效率的试剂,它的制备和感光实验涉及了很多铁化合物的性质和反应特点,感光实验具有很强的可操作性和趣味性,是学生非常感兴趣的一个无机化学实验。根据铁元素的教学内容,我们设定了如下问题: A 同学制备了三草酸合铁酸钾,并用感光实验检验了它的感光性:将三草酸合铁(III)酸钾与铁氰化钾按一定比例配成溶液,涂于滤纸上形成感光纸,然后在感光纸上附上具有心形镂空的剪纸图案,置于阳光下曝晒 10 s 左右。B 同学也按照上述步骤进行了同样操作,但他误将亚铁氰化钾当成了铁氰化钾使用,得到的图案颜色与 A 同学的恰好相反,为什么?

【情境问题 2】在 CuSalen 配合物的铜含量分析实验中,需要加入适量 H_2O_2 使溶液变成浅蓝色,然后继续加热赶走多余的 H_2O_2 。冷却后相继加入氨水($V(\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}):V(\text{H}_2\text{O})=1:1$)和醋酸($V(\text{HAc}):V(\text{H}_2\text{O})=1:1$)调节体系的 pH,接着稀释溶液加入 1 g KI 固体,立即盖上塞子,轻晃后放置暗处 10 min,得到暗棕褐色溶液 A,接着用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至溶液呈浅黄色。有一位学生得到的溶液 A 是灰绿色,用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定也不呈现浅黄色。试分析这位学生实验失败的原因;如果要采取补救措施,应该如何处理,这样处理对铜含量的分析会产生什么影响?

1.2 提供背景资料,引导学生自主学习

“问题”提出后,教师需要提供相关的背景资料,并提出学习要求,让学生自主完成学习过程(图 1)。在这个过程中,学生是学习的主体,他们可以自由安排学习时间,可以选择自己的学习方法,也可以选择自己感兴趣的学习资源;教师则主要起引导、观察和支持学生学习的作用,而不再是说教,指导或提供解决方案^[8]。在 PBL 的教学中,教师可以提供符合教学要求的多种资料和信息,让学生拥有更多的选择空间,比如书籍、文献、音频和视频,网络资源等^[9]。在铁元素和铜元素的教学资料中,教师可以借助网络教学平台上传实验文档,提供校级“无机化学”精品课程网址以及相关的虚拟仿真实验教学项目网址等。上传相关资料后,教师在网络平台上提出学习要求。

1.2.1 “三草酸合铁(III)酸钾的制备、性质及组成确定”学习要求

① 阅读实验文档,根据实验内容及现象写出三草酸合铁(III)酸钾的制备,感光分解和配位数测定的相关反应方程式。

② 在制备三草酸合铁(III)酸钾的氧化还原反应中,为什么用 $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 而不用 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$?

③ 根据标准电极电势, Fe^{3+} 应该能氧化 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, 为什么一般条件下 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ 能稳定存在?

④ A 同学和 B 同学的心形感光图案会有什么不同,请画图示意。原因是什么?

1.2.2 “CuSalen 配合物的合成与结构确认”学习要求

① 阅读实验文档,试画出 CuSalen 配合物的结构式;

② 根据铜含量分析实验步骤和实验现象写出相关反应方程式或者离子方程式;

③ 某同学在用氨水和醋酸溶液反应后得到的浅蓝色铜溶液中加入 1 g KI 进行相关处理,但没有得到预期的棕褐色溶液,而是灰绿色悬浊液,请分析原因,并写出反应方程式。

④ 碘量法滴定时,为什么最后要追加 KSCN?

1.3 组建学习共同体,交流讨论学习内容

现在高校的招生规模已经远超前 20 年前。学生人数的增加会导致学生之间不容易建立联系,也不利于教师对学生的过程进行观察、组织和规范。因此组建学习共同体是在 PBL 实践中加强学生之间社交联系和教师引导学生学习的方式(图 1)。学习共同体人数一般 5~6 人为宜,这样学生更容易与其他学生建立联系,有利于学生的自主学习和相互交流。在这个环节中,教师需要对学生的学习过程进行观察或监督,合理分配资源和任务,引导学习和讨论的方向^[10]。

1) 在【情境问题 1】的学习过程中,学生对学习要求③的问题进行了很热烈的讨论,大部分学生都考虑到了在 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ 中, $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ 配离子的形成使铁离子的氧化性和草酸根离子还原性都减弱,所以一般条件下能稳定存在。受到学习要求③的启发,有学生质疑 FeC_2O_4 与 H_2O_2 反应时,是否会将草酸根氧化为 CO_2 。教师要引导学生从电极电势的角度分析亚铁离子和草酸根还原性的强弱,另外也要提醒学生化学反应的发生与否既有热力学因素也有动力学因素的影响。教师也可以进一步深化讨论:如何通过原电池原理来设计实验检验亚铁离子和草酸根离子的还原性强弱?学习要求④的问题是学生最感兴趣的问题,教师可以要求学生以组为单位呈现自己的示意图作品,并派代表讲解原因。

2) 在【情境问题 2】中,学生对 CuSalen 配合物在浓硫酸作用下分解形成红色的溶液进行了相关讨论。有些学生认为这种红色溶液的形成可能是铜配合物经过硫酸高温降解产生了红色的 Cu_2O 。在讨论红色溶液时,教师可以提示学生 Cu_2O 在酸性溶液中能否存在?同时也可以提供一些有关二

价铜离子和含氮有机配体体系在高温时发生还原反应的文献让学生阅读。学生就能明白红色溶液可能是铜配合物经过硫酸高温降解产生的一价铜离子与 Salen 配体的分解中间产物显现的颜色。教师应该重点引导学生讨论问题③, 浅蓝色铜溶液中加入 1 g KI 进行相关处理后没有得到棕褐色溶液, 而是灰绿色悬浊液。教师可以引导讨论: 灰绿色悬浊液说明有哪种价态的铜离子存在, 这种铜离子的存在会对后续的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定溶液有何影响? 根据这些引导和之前的小组讨论, 学生就能明白 1 g KI 的加入没有使溶液中的二价铜离子被全部还原, 所以可以通过增加 KI 的用量来还原剩余的二价铜离子而得到棕褐色溶液 A。教师也可以继续组织讨论: 根据实验设计, 1 g KI 相对于用于分析的 CuSalen 配合物的质量来说是过量的, 应该能还原所有的二价铜离子, KI 的不足说明体系中还有别的物质跟铜离子竞争消耗 KI。教师在此需要强调, 虽然 KI 用量的增加作为补救措施能使灰绿色溶液变成棕褐色溶液 A, 但只要有灰绿色悬浊液形成就会影响铜离子的分析结果。

1.4 学生做出结论并互评, 教师课堂点评并总结

“问题”提出后, 学生在小组内讨论学习, 每位学生需要提供根据学习要求学习后得到的结果或结论, 然后小组成员之间互评, 并由全组成员对所有结论进行归纳总结, 得出小组结论并提交给教师(图 1)。教师组织每个小组在课堂内呈现本组的结论, 并对每个小组的结论进行点评。教师的点评方式也应该体现 PBL 教学法特点, 即教师应该结合多种评价指标及评价方式对学生的学习进行评价, 如自评、互评和教师点评相互结合或者各有侧重。评价的指标也可以突破使用单一的标准答案这种衡量方式, 可以设定诸如表述、文献查阅、创新等指标强调学习过程中分析、求证、归纳、创新等能力的体现^[11,12]。在这个阶段, 教师一定要避免大包大揽的讲评模式, 彻底消除学生的依赖思想, 变被动学习为自主学习。

2 以实验为情境问题在元素化学教学中实施 PBL 教学法的效果分析

2.1 教学内容的覆盖度分析

1) 实验“三草酸合铁(III)酸钾的制备、性质及组成确定”中提出的学习要求涉及了铁离子的不溶性化合物、铁的配位化合物、铁离子与亚铁离子之间的转换、电极电势、配位平衡、沉淀平衡和酸碱平衡等知识点的应用。学习要求②的问题需要学生调用草酸的解离平衡对三草酸合铁(III)酸钾配位解离平衡的影响, 即酸性条件会降低 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 的浓度, 不利于三草酸合铁(III)配离子的形成。学习要求③的问题既考查了学生对电极电势影响因素的掌握和应用, 也考查了铁离子和亚铁离子配合物的物理化学性质, 即三价铁离子遇到黄血盐生成蓝色沉淀, 而二价亚铁离子则遇赤血盐生成蓝色沉淀, 所以制备感光纸进行光照后图案如图 2 所示。

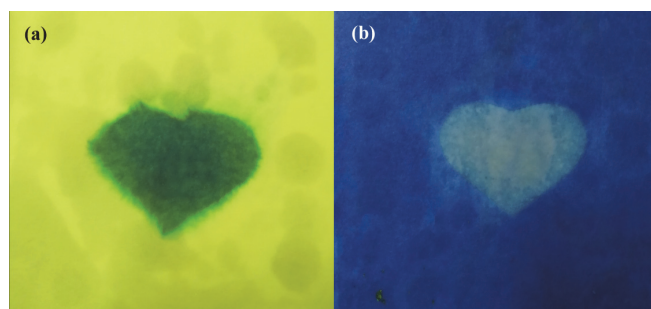


图 2 感光实验

(a) 感光液为三草酸合铁(III)酸钾和铁氰化钾; (b) 感光液为三草酸合铁(III)酸钾和亚铁氰化钾
电子版为彩图

2) 实验“CuSalen 配合物的合成与结构确认”中提出的学习要求需要学生掌握二价铜离子的化合物 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 、CuI、CuSCN 的性质, 铜离子和亚铜离子之间的转换关系, 以及沉淀

的转化、配位平衡等知识点。除了铜化合物的知识点,学生还需回顾并应用浓硫酸的脱水性、过氧化氢的氧化性和不稳定性、碘量法原理、拟卤素离子的性质。学习要求③提出的问题是学生在实验的过程中经常出现的异常现象,灰绿色悬浊液的形成影响后续的滴定实验无法进行。这里涉及过氧化氢和铜离子与碘离子的氧化还原反应,考查了学生对过氧化氢的氧化性和加热易分解性的掌握。

2.2 教学效果分析

PBL 教学法的教学效果是通过问卷调查的方式进行的评价。我们选择本校 2019 级浩青班 25 名本科生从学习兴趣、学习目标、自主学习和团队意识等方面对以实验为情境问题的 PBL 教学法在元素化学教学的应用进行了问卷调查,调查表 25 份全部回收。对问卷调查结果进行了统计和分析,结果见表 1。

表 1 问卷调查内容及评价结果

调查内容	评价结果		
	是(%)	中立(%)	不是(%)
1. PBL 教学法中的小组讨论促进了你跟同学之间的沟通与交流吗?	92	8	0
2. 你喜欢以实验问题为切入点来学习元素化学吗?	84	16	0
3. 教师组织的课堂讨论解决了学习要求里的问题吗?	92	4	4
4. 相较于实时课堂教学,你喜欢线上小组讨论的学习方式吗?	48	24	28
5. PBL 教学过程加重了你的学习任务吗?	40	28	32
6. 你对 PBL 教学法中的多方位评价方式满意吗?	72	24	4
7. PBL 教学法使你的学习时间更灵活了吗?	64	20	16
8. PBL 教学法调动了你的学习主动性吗?	88	12	0
9. 描述你通过 PBL 教学法学习铁元素和铜元素性质的具体过程。			
10. 你觉得 PBL 教学模式与传统教学模式有什么区别?			

通过表 1 中统计数据可以看出:(1) 有 84% 的学生喜欢以实验问题为切入点来学习元素化学,这说明以化学实验为情境问题的 PBL 教学法可以增加学生对元素化学内容的学习兴趣。PBL 这种教学方式有别于传统教学,它切换了教师和学生的角色,改变了沉闷的说教模式。另外,在设计情境问题时,教师提供的资料都是学生以后在实验中将会遇到的问题和特殊实验现象,学生兴致较高,都希望能利用所学知识解决历届学生实验中存在的问题而体现自身价值。(2) 92% 的学生认为在教师组织的课堂讨论中解决了学习要求里的问题,即达到了掌握铜、铁元素相关知识点的教学目标。在 PBL 教学法中,学生对元素化学的学习目标认识更清楚、更明确。在传统的教学方法中,学生对化学物质的制备和性质相关反应方程式的理解是孤立的、单一的,所以他们对化合物性质的掌握就只能是片段的、表面的,不能深入,无法关联。而以实验为情境问题实施 PBL 教学时,学生需要根据实验的内容和步骤调用学过的知识点,他们清楚应该调用哪种元素的哪种性质来解决问题,从而也明白了学习相应知识点的目的。(3) 88% 的学生认为 PBL 教学法调动了自己学习的主动性,提高了自主学习能力。PBL 教学法的宗旨之一就是让学生成为教学过程的主要和主动参与者。在实施 PBL 教学过程中,很多的环节都需要在课后进行,比如资料的收集阅读、学习要求的讨论、影像资料的观看等。整个学习过程中的发现、质疑、分析、结论都需要学生参与,充分锻炼了学生自我导向的学习能力。(4) 92% 的学生认为 PBL 教学法中的小组讨论促进了同学间的沟通和交流,48% 的学生喜欢小组讨论方式,说明学生是认可小组学习的,但讨论的方式可能还需改进。PBL 教学过程中,学习共同体的建立很重要,教师需要组长辅助教学过程的实施,比如分配每个小组内部的任务,在规定时间内发起讨论,提交小组结论等。学生在这些过程中需要建立联系,及时交流和沟通,一起为团队的荣誉而努力。在描述自己通过 PBL 教学法学习铁元素和铜元素性质的过程时,许多学生都提到了自己为了回答学习要求中的问题,除了阅读规定材料以外,还上网查了很多资料;通过小组讨论

和教师点评,对不能理解的实验现象有了一个层层推进的理解过程。学生认为在 PBL 教学模式中,他们的工作量增加了,课堂上留给他们讨论的时间多了,自己解决问题增加了他们的自豪感。从学生的这些反馈信息来看,他们对 PBL 教学模式整体上是接受和肯定的。

3 以实验为情境问题在元素化学教学中实施 PBL 教学法的反思

3.1 教学内容覆盖率有限

以铜、铁化合物的实验为情境问题实施 PBL 教学的过程中,教师能明显感受到学习要求的提出虽然覆盖了铜元素和铁元素的重要知识点,但还有很多的知识点没有设计进去。因此在元素化学的教学中,全部知识点都实施 PBL 教学法是不现实的,还需结合传统的教学方法。PBL 教学法相对传统教学法的最大区别是翻转了教师和学生的角色,强调学生的自主学习能力。但在学习过程中,有部分学生自觉性不够,没有教师在课堂上的实时监管和督促,这部分学生的 PBL 教学法的课外学习环节比较敷衍,而且对其他组员存在依赖思想,分配的任务不能按质按量完成,总抱着还有其他组员和组长会把工作完成的想法。因此需要教师加强监管和完善评价机制,调动所有学生的积极性参与到学习中去。

3.2 需要大力开发网络资源和线上教学来实施 PBL 教学

PBL 教学法的实施包括课内学习和课外学习。课外学习的流程一般是教师通过 QQ 或微信提前将学习资料和学习要求传达给学生,然后学生在规定的时间段里按照学习要求看书,查阅资料,参与小组讨论、提交作业,但是教师经常会感受到监管不能到位。现在,线上教育和网络教学得到了长足的发展,可供教师实施课外教学的平台也非常丰富,这对 PBL 教学模式的推广和发展是非常有利的。教师可以利用超星学习通、钉钉或者腾讯课堂等组织课余时间的讨论,引导学生在规定的时间内完成学习要求,并能按时监管学习过程,检测学习效果。

4 结语

在元素化学的教学中,采用以实验为情境问题的 PBL 教学法的实施等同于在理论和实验部分架起了一座桥梁,使两部分内容的教学效果都能得到促进和巩固。通过 PBL 教学模式,教师缓解了元素教学中枯燥无味、难以出彩的讲授效果,同时也增加了学生学习元素化学的兴趣;PBL 教学法让学生提前对实验过程中的问题进行学习,对实验课程的教学起到预习作用,提高学生分析问题、解决问题的能力。随着网络教学兴起和线上资源的完善而快速发展,相信以实验为情境问题的 PBL 教学法能广泛地应用于元素化学的教学,切实提升授课质量,增强学习效果。

参 考 文 献

- [1] 罗树常, 郑鹏飞. 化学教育, **2014**, No. 22, 16.
- [2] 刘谨懋, 陈怀清. 化学教育, **1981**, No. 5, 12.
- [3] 郭凤仙. 化学教育, **1983**, No. 3, 10.
- [4] 庄晓娟, 韩明梅. 大学化学, **2016**, 31 (12), 13.
- [5] Lopes, R. M.; Hauser-Davis, R. A.; Oliveira, M. M.; Pierini, M. F.; Magalhaes de Souza, C. A.; Michel Cavalcante, A. L.; Dos Santos, C. R.; Comaru, M. W.; da Fonseca Tinoca, L. A. *Sci. Total Environ.* **2020**, 702, 134809.
- [6] Wood, D. F. *Brit. Med. J.* **2003**, 326 (7384), 328.
- [7] 周映华, 承勇. 教育教学论坛, **2019**, 33, 170.
- [8] O'Brien, R.; McGarr, O.; Lynch, R. *Teach. High. Educ.* **2020**, in press. doi: 10.1080/13562517.2020.1725881
- [9] 王睿. 实验技术与管理, **2016**, 33 (7), 220.
- [10] Dolmans, D. H. J. M. *Adu. Health Sci. Educ.* **2019**, 24, 879.
- [11] 魏明灯, 魏巧华. 大学化学, **2020**, 35 (8), 24.
- [12] 张玉荣, 林森, 袁耀锋. 大学化学, **2020**, 35 (8), 13.