

以磷指示剂变质为问题导向的新型探究性实验设计与实施

罗慧 刘帆 麻淑芳 姜艳胜 闫秀玲

伊犁师范大学化学与环境科学学院, 新疆 伊犁 835000

[摘要] 发展一种新的探究式实验有助于培养学生的创新性思维, 提升学习积极性, 培养化学核心素养。钼酸铵分光光度法是环境科学专业(本科)必学的一个实验, 药品安全无毒, 其指示剂变质快, 并存在从浅绿色到蓝色、再到棕色的明显变化过程, 其中蕴含的化学原理还未彻底阐明, 有助于设计一种新型的探究式实验。因此, 文中基于磷标准曲线的配制, 设计一种新的探究式实验, 在绘制标准曲线的过程中引导学生发现指示剂变色的问题, 并查阅相关书本和文献, 分析指示剂变色的原因, 从而设计改进实验, 最终获得标准、可持续的磷浓度测试方法, 有望于助力新课标中培养化学学生核心素养的核心观点的落地与实施。

[关键词] 探究式实验; 磷标准曲线; 化学核心素养; 教学方案实施

DOI: 10.33142/fme.v2i1.3934

中图分类号: G642.0

文献标识码: A

Design and Implementation of a New Exploratory Experiment Based on the Deterioration of Phosphorus Indicator

LUO Hui, LIU Fan, MA Shufang, JIANG Yansheng, YAN Xiuling

College of Chemistry and Environmental Science, Yili Normal University, Yili, Xinjiang, 835000, China

Abstract: The development of a new inquiry experiment is helpful to cultivate students' innovative thinking, enhance their learning enthusiasm and cultivate the core quality of chemistry. Ammonium molybdate spectrophotometry is a necessary experiment for environmental science major (undergraduate). The drug is safe and non-toxic and its indicator deteriorates quickly. There is a significant change process from light green to blue and then to brown. The chemical principle contained in it has not been fully clarified, which is helpful to design a new type of inquiry experiment. Therefore, based on the preparation of phosphorus standard curve, this paper designs a new exploratory experiment. In the process of drawing the standard curve, it guides students to find the problem of indicator discoloration and analyzes the causes of indicator discoloration by consulting relevant books and literature, so as to design and improve the experiment and finally obtain a standard and sustainable phosphorus concentration test method, which is expected to help the implementation of the core idea of cultivating the core literacy of chemistry students in the new curriculum standard.

Keywords: inquiry experiment; phosphorus standard curve; chemistry core literacy; teaching plan implementation

引言

全国教育人才发展中长期规划(2010—2020年)中提到:我国教育总体上还不能适应建设人才强国和创新型国家的新要求。而现有的教学中较多的为“黑板实验”,主要以老师演示实验为主,学生动手实验缺乏探究性,考核度弱。探究性实验集实验设计、实验分析、实验验证于一体,有助于培养五个维度的化学学科核心素养的全面发展,掌握化学学科特质的思想和方法,从而培养学生的创新性思维,培养学生团队协作的能力。因此,引导学生进行探究性创新型实验显得尤为重要。

探究性实验是指实验者在提前不知道实验结果的情况下,通过不断实验、猜测、推理、探究得出结论,所形成的一种科学活动。郑长龙^[1]2006年在《关于科学探究教学若干问题的思考》中通过一系列具体案例得出结论:科学探究始于问题。任长松^[2]认为学生自主学习掌握知识极其重要,但对于探究式学习的实施方案提出的比较少。仅有探究式实验“活性炭吸附性的实验”,“制取二氧化碳时,选何种物质反应较适宜”等^[3]少数实验,此类实验仪器需求小,实验操作简单,但上述实验的探究性不足,容易从网络上找到相关信息,因此,发展一种新的探究式实验是一项有意义的工作。

钼锑抗分光光度法测试水中磷的实验是环境科学专业必学的一个实验,它显色明显,而且药品无污染无危害,如陈洁^[4]等人使用钼锑抗分光光度法测定循环水中总磷,科研实验中已有诸多研究。然而,钼锑抗分光光度法中的指示剂易变质,从而失去检测能力,其中科学原理尚未明确。文献报道其最终显色产物为复杂的六价钼、五价钼的钼蓝,不易表征^[5-7],网络资源及书本资源对钼酸铵分光光度法的原理部分解释较少,仅有零零散散的相关叙述。因此,对钼酸

铵分光光度法的分析需要学生整理总和并得出自己的结论，具有较强的探究性。

综上所述，我们立足于钼酸铵分光光度法测试磷的实验设计了一个探究式实验的流程和案例，围绕指示剂如何变质的科学问题，以期对探究式实验创作一个新的案例，对培养学生的化学核心素养有积极的促进作用。

1 探究性实验设计

目标：引导学生发现指示剂变质的现象，锁定指示剂如何变质的科学问题，设计相关实验进行验证。从而促进学生核心素养的培养。

探究流程：a. 提出绘制磷标准曲线的目标 b. 引导学生查阅相关信息及文献 c. 安排学生进行相关实验 d. 发现指示剂变质的现象，并进行分析 e. 查阅资料提出假设，并设计实验验证 f. 总结收获

教学对象：以四人为一个小组

实验所用仪器及试剂：可见分光光度计（上海美谱达仪器有限公司）；玻璃仪器（移液管（1 mL、2 mL、5 mL、10 mL）、容量瓶（100 mL、5个）、锥形瓶（250 mL、4个）、离心管（10 mL、10个）；试剂（磷酸二氢钾、抗坏血酸、钼酸铵、酒石酸锑钾、2 mol/L的硫酸）

2 探究式实验的实施及访谈评价

2.1 实施过程

a. 提出绘制磷标准曲线的目标

教师：大家好，欢迎大家来到本次探究性实验的教学中，我们都知道，磷元素是植物生长中必不可少的营养元素，也是导致水体富营养化的重要因素。水体富营养化是指江流湖泊中，绿藻大量的繁殖，从而污染环境。如果能知道水体中的磷浓度，我们就可以提前采取措施，避免水体富营养化的产生，那么，如何检测水中的磷呢？

学生：希望解答

教师：水中磷的检测方法，我们一般通过标准曲线的方法，标准曲线是标准物质的物理/化学属性跟仪器响应之间的函数关系。也就是说，先配制一系列标准浓度的溶液，和溶液颜色等建立一定的关系，如 $A=kc$ （ A 为吸光度、 c 为溶液的浓度）通常情况下的标准工作曲线是一条直线，用 R^2 来表示标准曲线的好坏。同学们课后通过百度百科、书籍资料检索一下，如何配制磷的标准曲线。

b. 引导学生查阅相关信息及文献

教师：同学们都查阅了哪些资料？

同学A：我查了磷的标准曲线画法为：用磷酸二氢钾，计算每毫升溶液里磷含量，然后分别取2、4、6、8、10 mL的溶液在100 mL容量瓶中定容，然后测其吸光度，根据吸光度和磷含量在Origin上绘制曲线^[8]。

同学B：我查到实验原理为在酸性溶液中，磷酸与钼酸铵反应，在锑盐存在下生成黄色的磷钼杂多酸，随后溶液立即被抗坏血酸还原，生成蓝色的络合物^[9]。

同学C：老师在实验过程中有什么注意事项吗？

教师：①在配制溶液时记得要在定容前进行检漏，配制完成后要贴好标签。

②应用右手食指抵住移液管管口，左手拿洗耳球。

③移取溶液时，要记得将移液管先进行润洗，操作规范。

c. 安排学生进行相关实验

教师：同学们，你们知道配制磷溶液和指示剂的方法吗？知道如何测定磷的吸光度吗？

同学A：我通过查阅书籍了解到，配制磷酸盐储备液需要称取1.098 g磷酸二氢钾，溶解后移入250 mL容量瓶内，加入蒸馏水定容，即得1000 $\mu\text{g/mL}$ 磷溶液。制备不同浓度梯度的磷酸需要取5个100 mL容量瓶，用移液管分别量取2、4、6、8、10 mL磷酸溶液于100 mL容量瓶中，加水稀释至刻度线。

同学B：我也从书中得知配制指示剂的具体方法：

①配制2 mol/L硫酸：取5.3 mL浓硫酸于50 mL容量瓶加蒸馏水定容。

②配制酒石酸锑钾：称取2.2 g $\text{KSbC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 于锥形瓶中，加100 mL蒸馏水稀释。

③配制钼酸铵：称取4 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 于锥形瓶中，加100 mL蒸馏水稀释。

④配制抗坏血酸：称取3.52 g抗坏血酸于锥形瓶中，加200 mL蒸馏水稀释。

分别移取 20 mL 硫酸, 2 mL 酒石酸锑钾, 6 mL 钼酸铵, 12 mL 抗坏血酸, 将这 4 种溶液按顺序加入, 配制成指示剂。

同学 C: 在测吸光度时, 要用移液管分别移取不同浓度磷酸于 10 mL 离心管中, 加入指示剂, 最后加入 10 mL 的蒸馏水稀释, 静置 10 min, 用分光光度计测量, 波长为 710 nm。

教师: 好的, 准备开始实验吧, 将磷溶液和指示剂按 1: 1 比例进行反应。若有问题, 随时可以来找我。

d. 发现指示剂变质的现象, 并进行分析

方案一: 若学生未发现指示剂颜色发生变化, 引导学生重新配制一次指示剂, 直到学生自主发现指示剂颜色变化现象。

方案二: 学生已发现指示剂颜色变化现象。

同学 A: 我发现指示剂刚配好时为淡绿色, 但瓶口为蓝色。放置一天后, 指示剂变为棕色。

教师: 你们知道颜色为何会变化吗?

同学 B: 不知道。

教师: 课下查一下这个反应的原理是什么? 发生了什么反应?

e. 查阅资料提出假设, 并设计实验验证

同学 B: 老师, 钼酸根解离后由无色的六价钼被抗坏血酸还原成四价钼为绿色, 随后四价钼逐渐被还原成三价钼为棕色, 因此, 钼离子不能和磷反应生成磷钼蓝。

同学 C: 是这样啊, 所以当时的瓶口为蓝色, 是因为我们当时取完磷溶液后移液管未洗干净, 有一点点残留在了瓶口。

教师: 嗯, 你们知道为何自己配制的指示剂会变质吗?

同学 A: 老师, 会不会是我们放置的时间太长了?

教师: 有可能, 你们可以试一下将指示剂的存放时间缩短, 最好现配现用, 看看指示剂会不会变质。

同学 A: 老师, 现配现用是什么意思?

教师: 在配制指示剂时最后加入抗坏血酸, 避免四价钼被还原成三价钼。

f. 总结收获

同学 B: 老师, 我们将硫酸, 酒石酸锑钾, 钼酸铵按之前所取的量制得混合液, 最后加入 0.1 mL 的抗坏血酸溶液, 以做到指示剂现配现用。

教师: 很好, 你们的数据怎么样?

同学 B: 我们在开始时将二者按 1: 1 以 0.4 mL 来取, 按梯度大小所测得值为: 0.298, 0.416, 0.417, 0.431, 0.435; 以 0.2 mL 来取, 按梯度大小所测得值为 0.09, 0.099, 0.131, 0.138, 0.149, 标准曲线不稳定, 均无法成一条直线。这时尝试将二者按 1:2 来取, 前者取 0.15 mL 后者取 0.3 mL, 按梯度大小所测得值为 0.100, 0.155, 0.175, 0.195, 0.256。结果见图 1

教师: 所取磷溶液在 10 mL 时应测的数据为 0.657 左右, 我刚看了你们的数据。你们是否知道自己所测值变小的原因是什么?

同学 A: 我猜测是应该是指示剂变质使得所测值偏低, 所以我们重新配制了指示剂。

教师: 你们再尝试一下吧, 我觉得这个想法很好。

同学 C: 然后我们继续将二者按 1: 2 来取, 前者取 0.15 mL 后者取 0.3 mL, 按梯度大小所测得值为 0.193, 0.318, 0.442, 0.563, 0.694. 相邻数据之间的相差值相近, 可化成一条直线, 所得标准曲线稳定。结果见图 2

教师: 你们将最后的静置时间 10 分钟进行一下延长, 看一下实验结果会有如何变化。

同学 A: 老师, 我们取 10 mL 的磷溶液为最大梯度, 现配现用时为 0.694, 两小时后为 0.620, 十小时后为 0.562, 然后发现随着时间的延长, 指示剂在不断变质的过程中, 磷的吸光度在不断降低。

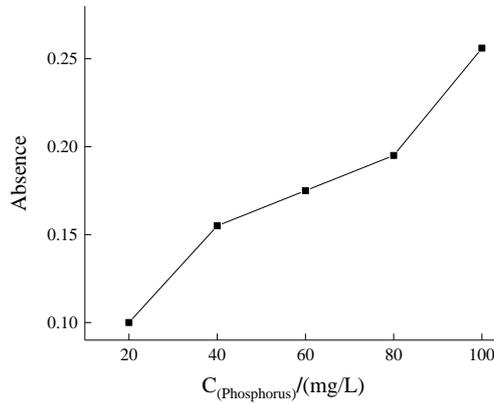


图 1 第一次使用磷钼蓝方法测试的曲线

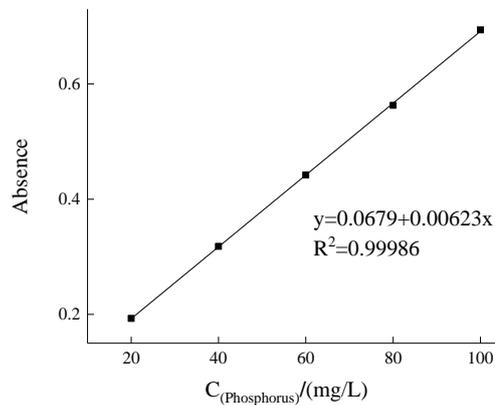


图 2 第二次使用磷钼蓝方法测试的曲线

2.2 访谈

问题一：你们结合实验原理对指示剂溶液颜色变化设计一个实验，尝试将黄色的三价钼离子氧化为更高价态的钼离子。

学生：我们取来之前所配制的已变质为黄色的指示剂，打开瓶盖，使其通入空气，放置一段时间，注意观察其颜色变化。通入空气的指示剂由黄色逐渐变为蓝色，这是由于黄色的三价钼离子被空气中的氧气逐渐氧化为五价蓝色钼离子和六价无色钼离子。

问题二：通过参加这次的探究性实验，你们来分享一下有什么感想或收获。

同学 A：实验刚开始时，我们之间有一些小争议，我书上写的是量取 1.00 mL 储备液于 100 mL 容量瓶中，得 10 ug/mL 工作溶液。所以我分别移取 2 mL, 4 mL, 6 mL, 8 mL, 10 mL 磷酸溶液于 100 mL 容量瓶中。可同学 B 认为这样取量太少，会使磷溶液浓度太低，导致最后吸光度之间变化不明显，影响曲线。

同学 B：是的，我认为应该分别移取 20 mL, 40 mL, 60 mL, 80 mL, 100 mL 磷酸溶液。由于意见不合，本来我们打算分开做，分别配两份磷溶液，按自己认为的量量取，但老师说可以不需要移取这么多。同学 A 量取的量可以，时间原因，我也就没再配制溶液。下次有机会，我要试一下我自己的取量，得出来的结果怎么样。

同学 C：一开始做实验的时候，不太适应，通过和组员的交流和合作，看到指示剂的颜色变化过程，我发现做实验很有意思，也学会了查阅资料，如何对药品进行优化配比。以前做实验的时候，总是依靠老师所讲的内容，按部就班的做实验。而这次做实验，感觉自己得到了很多锻炼的机会，提高了我的动手能力，并且一切都要靠我们自己去摸索，这提高了我的自主性。这样的探究性实验很有挑战，也很有意义。

3 结论

作为一个发展中国家,我国一直注重科教兴国,人才强国,大力培养创新型人才,开展探究性创新型实验十分必要,然而现有的探究式实验在具体实施过程中存在诸多现实因素的限制,阻碍了其落地和实施。本文将常见的化学问题(磷指示剂变质的科学问题)整理成可探究的探究式教学实验,梳理新型教学模式中的阶段,提供可行的方案。本模式的实施将对化学学科核心素养的落地以及培养学生创新能力等进一步的教学模式的实施和探究,具有可借鉴的意义。

[参考文献]

- [1]郑长龙.关于科学探究教学若干问题的思考[J].化学教育,2006,12(8):6-12.
- [2]任长松.探究式学习:学生知识的自主建构——从两个探究案例引发的思考[J].课程.教材.教法,2004,27(1):37-42.
- [3]邵海云.探究式化学实验教学的实践[J].学园,2015,11(13):138.
- [4]陈洁,张吉荣.钼锑抗分光光度法测定水中总磷[J].金山油化纤,2005,19(1):31-33.
- [5]丛梅.钼酸铵分光光度法测定水中总磷不确定度[J].黑龙江水利科技,2017,45(1):9-15.
- [6]朱素华,冯家望.钼酸铵分光光度法测定水中总磷方法的改进[J].河南科技,2013,21(15):212-213.
- [7]严一乾.钼锑抗分光光度法测定水中总磷的影响因素分析[J].绿色科技,2017,34(2):32-38.
- [8]沈洁,张乐,张静.关于磷酸盐标准曲线替代总磷工作曲线的研究[J].化学工程与装备,2012,25(1):133-135.
- [9]张燕焕,念昆林.工作场所空气中检测磷化氢的钼酸铵分光光度法的改进[J].中国卫生工程学,2019,18(2):259-260.

作者简介:第一作者:罗慧(1998-),女,研究生,硕士,实验教学改进。

通信作者:闫秀玲(1972-),女,博士,教授,硕士生导师,现就职于伊犁师范大学化学与环境科学学院,研究方向:实验教学改进。