

实验室废水污染防治措施 ——以含铜实验废液应用于综合创新实验研究为例

秦建芳¹ 谭俊民² 弓巧娟^{1,*}

(¹运城学院应用化学系, 山西 运城 044000; ²康杰中学, 山西 运城 044000)

摘要: 将基础实验室含铜废液的处理、回收及检测创新性地设计为大型综合性实验课题, 增加了学生理论与实践相结合的能力, 培养了学生的环保意识; 同时进行教学反思, 对如何减少实验室废液提出了可行性建议, 以期加强高校化学实验室的废液污染控制; 借此推动化学实验课程的教学改革, 保护环境。

关键词: 含铜实验废液; 综合设计性实验; 污染控制; 实验课程教学改革

中图分类号: G64; O642.0

Treatments for the Laboratory Waste Water: Taking the Copper-Containing Waste Reused in Comprehensive Experiments as a Case

QIN Jian-Fang¹ TAN Jun-Min² GONG Qiao-Juan^{1,*}

(¹Department of Applied Chemistry, Yuncheng University, Yuncheng 044000, Shanxi Province, P. R. China;

²Kangjie Middle School, Yuncheng 044000, Shanxi Province, P. R. China)

Abstract: The treatment, recovery and detection of copper-containing waste from chemical laboratory were designed as a comprehensive experiment for college students. The students' ability of integrating theory with practice was enhanced. The environmental awareness was cultivated. At the same time, feasible suggestions for reducing laboratorial waste were proposed to strengthen the university chemistry laboratory waste pollution control. We aim to promote the teaching reform of chemistry experiment course, and to protect the environment.

Key Words: Copper-containing waste from chemical laboratory; Comprehensive experiment; Environmental pollution control; Teaching reform

环境安全是人类社会普遍关心的重大问题。大多数高校化学实验室都会产生废液, 但严格处理废液的措施还有待改进。所以, 如何处理实验室产生的大量废液, 是环境污染控制中迫切需要解决的问题之一^[1-3]。同时, 为适应社会发展对人才的需求, 高校应适度增加综合设计性实验, 增强学生的综合实践能力。对于地方本科院校, 由于缺乏适合本科生的实验项目和素材, 可开设的内容需要认真探究。按照国家对化学类本科生实验教学中强化实验综合性和创新性的设计要求, 以及强化学生环保意识的需要, 课题组充分利用现有的实验室条件, 把基础实验室产生的含铜废液进行处理、回收及检测, 创新地整合为一个综合设计性实验, 具体方法如下: 首先向含铜废液中加入硫化钠废液进行处

*通讯作者, Email: gqjuan@163.com

基金资助: 山西省普通本科高校教育教学改革研究重点项目(J2014103); 山西省化学特色建设专业; 运城学院教学改革研究项目(JG201611)

理,使其中的铜离子浓度降低,回收硫化铜沉淀,然后再检测处理后废液中的铜离子含量,使其达到排放标准。该实验以保护环境为出发点,强化学生理论与实际相联系的能力,着力于增强学生的专业素养,因此受到师生普遍欢迎。在此基础上,我们还进行了教学反思,提出减少高校化学实验室废液污染的可行性意见,包括加强实验室废液管理和合理设计实验教学内容两个方面。以期推动化学实验课程的教学改革,达到提高人才培养质量与保护环境双赢的目的。

1 含铜废液综合设计实验

1.1 基本思路

基础化学实验“*ds*区金属元素的性质”中,产生了大量含有 Cd^{2+} 、 Ag^{+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 等多种金属元素的废水。这些重金属离子对环境危害很大,必须减少实验试剂的用量,并对使用后的废弃物进行处理后再排放。目前对含铜废液的处理,一般有两种方案^[4]:(1)利用铁还原法将铜从含铜废液中直接还原;(2)在含铜废液中加入 Na_2CO_3 ,使溶液呈碱性后,铜转化为 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 或两者的混合物,如果处理后溶液仍呈很强的碱性,则碱性溶液须经中和处理后再排放。但是方案(1)中由于大量铁粉的加入,使处理的成本过高;方案(2)则由于 $K_{\text{sp}}^{\ominus}(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 2.2 \times 10^{-11}$ 较大,处理后废液中铜离子浓度较高,而且处理后多数情况下得到的是混合物,回收后产品的实用价值不高。为解决含铜废液处理过程中的问题,笔者利用溶度积原理设计了第3种方案:在含铜废液中加入基础实验室另一种废液——硫化钠作为沉淀剂,使铜离子生成溶解度非常小的硫化铜,再过滤,用蒸馏水洗涤沉淀。产品在 $40-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干,回收。取少量剩余液,利用原子吸收光谱法测定溶液中铜离子含量,若 $c(\text{Cu}^{2+}) \leq 1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,即达到国家污水综合排放标准要求^[5]。本方案中学生首先根据沉淀-溶解平衡知识,计算处理后废液中铜离子浓度为 $s\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。若生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉淀, $\text{Cu}(\text{OH})_2 = \text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^{-}$,而 $K_{\text{sp}}^{\ominus}(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 4s^3 = 2.2 \times 10^{-11}$, $s = 1.76 \times 10^{-4}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;若生成 CuS 沉淀, $\text{CuS} = \text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-}$,而 $K_{\text{sp}}^{\ominus}(\text{CuS}) = s^2 = 6.3 \times 10^{-36}$,则 $s = 2.50 \times 10^{-18}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。通过实际问题的引入,加深了学生对难溶性强电解质溶解度计算的理解,并把理论与实际紧密地结合到一起。同时也增加了学生学习理论化学的热情。由上面的计算可知,当生成 CuS 沉淀时,处理后废液中铜离子浓度极低,非常好地满足了废水排放的环保要求,且回收的 CuS 固体可以供其他基础实验使用。该实验以废治废、变废为宝,资源循环再利用。此外,通过用原子吸收光谱法测定处理后废液中铜离子含量,学生既能够熟练掌握大型仪器的使用,又能进一步加深对分析化学基本术语(如回收率、精密度、标准曲线、检出限、干扰性等概念)的理解和掌握,激发了学生的学习兴趣,实现了知识、能力及素质的综合迁移。

1.2 组织与运行

该综合设计性实验安排在学期末进行(共2个实验,6学时)。实验原料来源于学生基础实验产生的含铜废液。每4人为一组,进行无毒化处理、回收及达标检测。实验前让学生做好准备工作,通过文献查阅了解此类废液回收、处理的现状和意义,根据沉淀溶解平衡知识自行设计实验方案,经教师准许后才可实施。处理过的废水经原子吸收光谱法检测达标后方可排入下水道。整个实验过程由学生独立完成,学生可根据个人对实验内容的理解及仪器的使用情况,与教师商议后对实验方案作出调整(如有学生提出用分光光度法测量铜离子含量)。该实验使学生的学习由被动变为主动,大大提高了学生的实验技能及分析和解决问题的能力。

1.3 考核与评价

实验结束后,要求学生撰写实验论文,具体内容包括研究意义、国内外实验室废水处理现状、理论依据、实验步骤、结果及讨论和心得体会。虽然学生只是用简单的方法对实验废液进行回收、处理及检测,但是该实验却涉及了无机化学的沉淀-溶解平衡理论知识,溶解、沉淀、过滤、洗涤、干燥

等基本技能训练,以及原子吸收光谱仪的使用和分析检测的基本步骤。论文完成后,再组织各小组之间相互评价,鼓励质疑,然后进行总结。通过该综合设计性实验,既处理了废液,又回收了化学品,同时也学会了常见金属离子的检测方法。最重要的是让学生认识到废液处理的不易,在实验过程中要尽量节约试剂,减少废液的产生,从源头上减少污染,提高学生的环保意识。

2 教学反思——实验室废水污染防治措施

由于高校在进行实验教学时,学生流动性大、人数多,加上药品用量大、品种繁杂、排放时间不定等因素,导致实验废液对环境带来的压力不容忽视。结合几年的教学实践,提出实验室废水污染防治措施,具体如下。

2.1 加强实验室废液管理

2.1.1 分类收集

在日常基础化学实验过程中,可根据废液量的大小、回收利用程度、酸碱性、浓度、毒性,要求学生按要求、按标记对产生的废液进行分类收集保存。

对于量较多的含铜、含钡、含铬废液,把它们分别盛装在耐强酸、强碱并且已经使用过的塑料桶中,以便于节约成本,进行二次利用。而对于量较少的含锰、含镉、含汞、含铅、含锌、含铁废液,可以用盛装酸液的大试剂瓶回收,收集的废液待期末进行综合设计实验时处理。

2.1.2 以废治废

采用以废治废的方法来处理废液,增加了废液的利用率,节约了处理成本。如本研究中利用回收的硫化钠废液处理含铜废液,亦可以用含 CO_3^{2-} 、 OH^- 、 PO_4^{3-} 的废液处理其他金属离子,或者利用酸碱中和原理来处理酸性和碱性废液,降低处理费用。

2.1.3 分级沉降处理

对于混合有多种金属离子的废液,可以根据分步沉淀的原理,用分级沉降的方法处理。由于这类废液的处理需要无机化学、分析化学、仪器分析等多方面理论知识做支撑,并且废液中金属离子的含量须通过科学方法来检测,所以既可提高学生的基本实验操作技能,还可与环境检测、食品检验等工作紧密结合;如果作为毕业班学生论文的选题也有积极的意义。此外,在保证教学质量的前提下,还可以通过基础化学实验的课程改革来降低实验废水对环境的污染。

2.2 合理设计实验教学内容,进行实验教学改革

2.2.1 虚拟实验教学系统

借助先进的虚拟实验教学系统,使学生产生身临其境的感受,达到教学目的。目前,已经有成熟的虚拟实验教学系统。利用系统的虚拟实验平台可做成Java、Applet、ActiveX或Flash插件,实现界面仿真、模型表示、模型求解和操作控制^[6]。某些毒性较大、操作危险、仪器设备比较复杂的实验可以通过虚拟实验教学系统进行演示、预习或人机对话进行提示或巩固。

2.2.2 微型实验

微型实验是以尽可能少的实验试剂来获取化学信息的实验方法与技术。它的试剂用量一般只为常规实验用量的几十分之一甚至几千分之一,却可以达到准确、安全、方便和防止环境污染等目的^[7]。例如,在“固体碱熔氧化法制备重铬酸钾”实验中,常规实验氧化焙烧时须用酒精喷灯加热30–35 min;改用微型实验后,由于试剂用量减少,用酒精灯也可以使 Cr_2O_3 熔融氧化完全。在常规方法中,用4 g Cr_2O_3 制备 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,可得产品5.32 g,产率为68.7%;而使用微型实验方法,试剂用量减少到1/10,制得产物0.4117 g,产率为53.2%,产生的废液量随试剂用量减少相应地大量减少。与常规实验相比,微型实验方法产率较低,但已满足后期含量测定的要求。

2.2.3 探究性实验

在元素化学中以探究性实验代替传统验证性实验。例如，高等教育出版社出版的《无机化学实验》^[8]“第一过渡系元素(二)”中，针对Fe(II)、Co(II)、Ni(II)的还原性和Fe(III)、Co(III)、Ni(III)的氧化性，书上设计了7个实验内容，涉及到大量的实验药品，学生做实验时产生了大量废液；而采用探究性实验，只须提出1个探究性问题，按照Fe、Co、Ni的顺序，高氧化态(+3)化合物的氧化性、稳定性和低氧化态(+2)化合物的还原性、稳定性如何变化？首先理论探究：由 $E^{\ominus}(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0.771 \text{ V}$ ， $E^{\ominus}(\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}) = 1.82 \text{ V}$ 可知：Co³⁺的氧化性强于Fe³⁺，即按照上述顺序，高氧化态(+3)的氧化性逐渐增强，化合物的稳定性减小；低氧化态(+2)的还原性逐渐减弱，化合物的稳定性增强。其次，设计实验：自制Fe(OH)₂、Co(OH)₂、Ni(OH)₂在空气中放置或通入氯气，观察现象。而后在Fe(OH)₃、Co(OH)₃、Ni(OH)₃中加入浓盐酸，观察现象，用淀粉-碘化钾试纸检验放出的气体。最后试验：按照上述设计的实验步骤进行实验，观察并记录实验现象，得出结论，写出反应方程式。通过探究实验，不仅使药品的使用量明显减少，减少了大量废液的污染，又把无机化学的基本理论融入到元素化学实验之中，让学生带着问题做实验，提高学生学习的主动性，培养了学生自主获取知识的能力，比传统的“照方抓药”效果要好得多。

3 结 语

分类收集是处理实验室废水的基本前提，有的废水还可相互利用，降低处理费用。本实验创新性地利用以废治废的方法将基础实验室含铜废液与含硫化钠废液的处理、回收及检测设计为大型综合性实验课题，通过理论与实践相结合增强了学生分析、解决问题的能力。经过教学反思，结合长期教学实践提出实验室废液防治的两种具体措施：合理设计实验教学内容、加强实验室废液管理。借此推动化学实验课程的教学改革，达到保护环境、资源循环利用的目的。

参 考 文 献

- [1] 张 奕, 贺 纓, 程文涛. 环境科学与技术, **2006**, 29 (8), 56.
- [2] 李铁龙, 金朝晖, 宣晓梅. 环境卫生工程, **2004**, 12 (2), 73.
- [3] 姚运先, 王艺娟. 化学教育, **2002**, No. 2, 9.
- [4] 李增新, 薛淑云, 王国明. 实验室研究与探索, **2008**, 27 (7), 105.
- [5] 国家环保总局科技标准司. 污水综合排放标准(GB8978-1996)//中华人民共和国国家标准. 北京: 中国环境保护科技出版社, 1997.
- [6] 李爱峰, 孙爱玲, 柳仁民. 大学化学, **2012**, 27 (5), 26.
- [7] 王 春. 化学教育, **2009**, No. 8, 53.
- [8] 北京师范大学无机化学教研室. 无机化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2006: 183-185.