

基础化学综合实验中学生“自主设计”的教学实践

周祖新* 王爱民 黄莎华 程利平 肖秀珍

(上海应用技术学院化学与环境工程学院, 上海 200233)

摘要: 在基础化学综合实验中, 教师只提出主要原料和欲制备的产品大类, 学生通过查找资料自主设计, 用不同的方法、途径制备出所要求产品, 并分析几种方法在操作过程、经济及环保等方面各自的优缺点, 从而达到培养学生自主创新能力的目的。

关键词: 综合实验; 自主设计; 创新

中图分类号: O6; G64

Laboratory Practice of a Designed-by-Student Comprehensive Chemical Experiment

ZHOU Zu-Xin* WANG Ai-Min HUANG Sha-Hua CHENG Li-Ping XIAO Xiu-Zhen

(School of Chemical and Environmental Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200233, P. R. China)

Abstracts: The comprehensive chemical experiments are introduced. After summarizing the advantages and drawbacks in the operation, cost, and impact on the environment based on the literature reading, students can make chemical products with a variety of methods and experimental designs starting with the raw materials provided by teachers. In such a way, the ability to bring forth new ideas is enhanced.

Key Words: Comprehensive chemical experiment; Designed by student; Bring forth new idea

化学实验已不仅仅是为学生学习化学知识和训练实验技能而提供的直观手段, 实验教学还应激发学生学习化学的兴趣、培养学生解决问题的能力^[1]。学生要从实验的被动参与者转变为实验过程的设计者。目前所实施的基础化学实验, 其实验内容和操作步骤都有详细规定, 每个实验一般只有3–4个课时; 在课时数很有限、很多化学基础原理还未学习的情况下, 要想通过实验课培养学生的创新能力确实有较大难度, 这与培养学生的创新能力^[2]、“研究型”学习有距离。在大一课程已完成、第二学期最后2周安排的综合化学实验课, 给我们提供了让学生“自主设计”实验的机会, 通过几年的不断探索, 取得了一些经验, 为后续的综合实验和毕业设计奠定了较好的基础。

1 实验内容的选择

由于大一两个学期已学习了无机化学、分析化学和部分有机化学的课程, 基础化学综合实验的内容不再局限于某一单科的知识, 综合实验的内容可力求融无机、有机和分析为一体, 构建一个较高层次的平台, 努力形成一个应用特点鲜明、有颇多创新余地的综合化学实验课程。多年来, 我校在该指导思想下在这一学习时间段开设了综合化学实验A1这门为时两周的课程。

*通讯作者, Email: zhouzuxin@sit.edu.cn

1.1 内容的综合性^[3]

实验内容的综合性是设计实验首先要考虑的。实验过程一定要运用到学生前面所学习过的无机化学、分析化学和部分有机化学知识和实验技能,并贯穿于物质制备、分离纯化、表征这一主线中。实验操作上应使学生用到所学过的技能(如无机物、有机物的制备和纯化,定性、定量分析方法),实验仪器大多为实验课用过的仪器(如常用的玻璃仪器,分析天平,分光光度计,pH计等),也可以根据实验需要,使用以往实验未使用过的仪器,通过阅读说明书,让学生使用(如热分析仪)。实验中所需要的各种试剂,只提供商品,具体不同浓度的试剂由学生自己配制。

1.2 内容的自主性

既然是自主设计实验,实验内容要充分体现出自主设计这一主线。只提供主要原料,提出应制备产品大类,具体产品及其制备、纯化、检验、表征和三废处理等实验步骤由学生自行设计。制备同一产品,不同学生可以用不同的合成路线,并进行结果比较。本实验选择附近工厂的烂版液(用 FeCl_3 或 CuCl_2 浓盐酸溶液氧化电路板表面铜皮,其中涂蜡部分未被氧化仍为铜皮线状,即为设计的电路板,原液经多次使用达到较高铜浓度后的液体)作为主要原料,每人制备至少3种一定纯度的化学产品,每组至少制备5种不同的产品,其中一种是有机物,并分析其经济可行性。

1.3 实验内容的挑战性^[4]

根据实验室条件,以学生已经掌握的基本操作和基本理论知识为基础,适当高于所学知识,有利于学生对学科理论的探究。学生制备的产品,若在一般实验教材中没有出现过,可取得加分。课题还应具有现实意义,把制备产品的模拟成本(试剂以工业品价格计,不计操作和三废处理费用)与市场的价格进行对比。本实验中,我们要求所制备的无机产品达到试剂级,铜的有机产品达到工业级,模拟工业生产后,其成本小于市场价格。

2 实验的实施

实验前3周,用2节课讲解本次实验的内容、要求和大致评分标准,然后让学生查找资料,制定实验方案。教师审查方案,并与制订者一起修改、完善后,与实验室教师共同准备。

2.1 实验准备阶段

2.1.1 教师对实验的布置、讲解

为了有充分的时间让学生准备实验,一般在实验前3周布置本次综合实验。首先讲解烂版液的产生,里面大致成分及含量;铜的常见化合物及其性质、应用;生产中对环保的要求;为了进行多种实验操作训练,规定其中一种化合物要经过单质铜这一步;介绍资料的查阅方法,如各种化学手册、国家标准、化工网、维普期刊网等;规定两周后交实验预习报告。

2.1.2 学生对实验的准备、预习报告

一周后确定欲制备的含铜化合物,针对所用原料和产物,要求每组学生(相邻桌4位学生为一组)先查资料,鼓励他们设计不同的实验方案,并要求写出实验预习报告。包括原料和欲制备的含铜化合物的物理、化学性质,需要配制试剂的配制方法,实验方案设计,实验操作步骤,产物的纯度检测和表征,所使用仪器的使用方法的等。实验原理简明扼要,操作步骤尽量用简单词汇、箭头、示意图、图表来表示。此阶段可使学生对实验原理和实验内容有比较清晰的了解,在准备实验预习过程中学习如何获得相关知识、如何分析问题的能力。

2.1.3 对准备工作的检查、讨论

实验前一周集中半天,首先每一组选一位学生根据预习报告汇报准备情况,主要是欲制备的产品和制备、纯化的实验方案,然后指导教师及其他学生进行提问。主要是一些实验细节上的处理方法,如煤气灯加热的温度控制、如何通过陈化使沉淀完全、如何使铜粉更完全地转化等。每一组汇报完后

进行讨论,对比较差的实验方案,只要原理正确、符合实验室安全规范并且该组学生坚持,仍然可以实施,以便在实验结束后再比较、讨论,以明确原因。因为方案有多种,实验室教师的工作量很大,对一些以前没实施过的方案,教师需提前做一遍,以便及时发现问题,有效地指导实验。

2.2 实验操作阶段

2.2.1 对原料的分析

为了体现实验的差异性,准备了两种不同成分的烂版液,分别标为A液和B液,让学生自己分析。很多学生凭以前的实验经验从颜色判断出A液是氯化铜的盐酸溶液,B液是氯化铁与氯化铜的混合溶液。分别取少量,加入一定量的碱来确定酸度,再加入铁粉完全置换出铜,干燥后称量以确定铜的含量。B液中的含铁量可通过氧化还原滴定法分析,但要减去前面加入铁的量。

2.2.2 产品的制备

由于布置的题目是含铜化合物,学生选择的种类不少,制备方法各不相同(图1),但第一步中和强酸性烂版液和置换出单质铜是一致的。中和酸液,大多数学生首先想到的是用NaOH溶液,分别用片碱溶液和工业液碱;有些学生从成本出发,用价格较低的碳酸钠;还有几组学生,用价格更低的工业生石灰氧化钙;有一组学生把捡来的石头粉碎,与酸液反应。指导教师肯定了学生的多种不同方法,也指出了不同方法对后续产品纯度的影响。对于如何改进提纯、是否由于提纯难度增加反而会提高产品成本这些问题,等做完实验再计算总成本。含铜化合物的无机产品有硫酸铜、硝酸铜、磷酸铜、碘化亚铜等十余种,有机产品有乙酸铜、甘氨酸铜和葡萄糖酸铜等多种,有些学生认为其中的铁也不能浪费,分别制备了氯化铁和三草酸根合铁(III)酸钾等含铁产品,有些用工业熟石灰或石头粉中和酸液的学生,还制得了氯化钙作为产品。

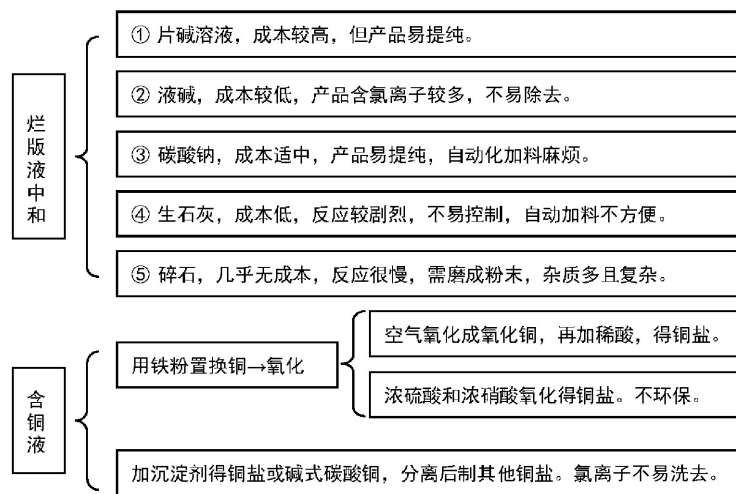


图1 产品制备流程图

得到可溶性铜盐后,再制备其他铜盐和铜的有机产品。从图1可看出,若经过铁置换铜这一步,中和时可用低成本原料,杂质不带入后续产品;若中和后直接加沉淀剂得到铜盐沉淀,则氯离子很难洗净,产品的档次下降很多。

2.2.3 产品的纯化和检验

由于产品有多种,纯化、检验方法也不同,这里以大部分学生做的硫酸铜为例。硫酸铜的提纯在第一学期的无机化学实验中已做过,这次对产品的纯度要求更高(产品达到深蓝色),提纯的收率要超过以往。学生在做实验时,根据资料,蒸发到稍有晶膜即停止加热,常温放置一晚上,制备出深

蓝色、呈针状的高纯度硫酸铜，然后每组把剩下的4份母液合并，再蒸发浓缩、冷却，制备出等级稍差的产品。产品和最后残留液中的铜离子均采用碘量法和分光光度法分析两次，让学生体会到铜离子含量不同则分别用不同方法检测的道理。然后分别测定其他杂质离子，与国家标准对照，确定产品等级。

2.2.4 三废的处理

对学生环保理念的教育要贯穿到每一次实验中。综合实验时间长、实验多、各种废液不仅量大种类也多。我们要求学生在实验设计时就要考虑到三废的利用和处理。如硫酸铜蒸发后的废液合并后再蒸发制备等级稍次的硫酸铜；铁粉置换硫酸铜后的残液制备氯化铁等产品；对碘量法分析后的残液，每组学生把残液集中后再统一处理。

2.3 实验总结讨论

实验操作结束后的第二天，实验正式报告还没写，召集学生集中讨论、总结本次实验的经验和教训。实验结果不太理想的学生先谈其结果不理想的原因，其他学生根据该实验结果帮助他们寻找原因并讨论，当学生归结的原因不恰当或几种可能的原因无法确定时，教师当场做演示实验以验证；实验结果理想的学生也谈一些实验操作时的注意事项、实验操作的诀窍等与大家分享。以此形式共同提高学生的实验能力。

3 考核体系的建立

综合实验时间长，操作步骤多，所制备产品多且各组不尽相同，还要考虑经济因素和环保因素，因此考核要考虑的因素很多。

准备工作是否认真、充分是本次训练的重要考核指标，故预习报告占25%，实验前一周讨论时检查预习报告，根据预习报告及后面的讨论给出初步分数，在实验前再检查预习报告，有重大改进的再加上分数，有创造性想法的有附加分。实验操作占20%，指导教师在实验过程中不断巡视，有操作不规范的每次扣1分，有大的操作失误扣5分，对操作中符合规范又有创造性的加5分，以资鼓励。产品质量、晶形及纯度、综合原料成本占35%，产品纯度等级以国标为标准，低一个等级扣2分，综合成本不超过零售价的为成本合格。废液处理占10%，要求最后的废水要达到国家排放标准，废水量超过平均值的要按超过的百分比扣分，对于使用新方法使产生的废液减少的有附加分。最后的实验报告占10%，要求像写论文一样写实验报告，前面有中英文摘要、关键词，实验操作后重点是结果和讨论，对自己小组使用的不同实验装置、不同操作方法(包括分析方法)及其他可变因素进行讨论，最后得出最佳实验设计和方法。最后参考文献也像正式论文一样列出。上述因素最后再综合，得出综合实验成绩(表1)。

4 实验效果

该综合实验已进行了十多届，每一届的要求都根据前面的经验不断改进，特别是对“自主设计”的要求在不断提高，到近三年趋向于完善。通过“自主设计”的训练，学生对化学的兴趣、化学素养及动手解决问题的能力都有显著提高。

4.1 有利于学生兴趣的提高及创新能力的培养

综合性实验需要学生自己查阅文献资料，设计实验方案，实验的整个过程中学生遇到的问题由自己来思考、解决，从而提高了学生分析问题、解决问题的能力，激发了学生学习的主动性和积极性。这不仅对后续的化学课程和实验有明显的帮助作用，对学生自己探究问题的能力、创新能力的培养也不无益处。仅笔者所带学生，20多人参加了上海市大学生发明竞赛和陈嘉庚青少年发明奖大赛，15人分别获得二等奖和三等奖。

表1 综合化学实验A1分数分配

项目	评分要素	配分	评分标准	扣分	得分	备注
预习报告(25分)	初步预习报告	7	步骤合理, 准备充分			
	讨论实验发言	10	叙述清晰, 回答准确			
	修改后预习报告	8	有较多改进			
实验操作(20分)	加热(小火、大火, 水浴)	4	不规范每次扣1分			
	溶液pH控制及测试	2	pH试纸使用正确, pH控制在所要求范围			
	常压过滤及减压过滤	4	操作规范, 会洗涤沉淀			
	结晶颗粒大小控制	2	分别得到大、小颗粒			
	分析滴定	4	操作规范, 误差小于0.2%			
	热分析	4	根据说明书准确操作			
产品性质(35分)	烘干后单质铜质量	3	达理论量98%以上			
	氧化铜质量	3	达理论量95%以上			
	提纯后硫酸铜质量	5	达理论量75%以上			
	硫酸铜晶型	5	深蓝色较大颗粒			
	所制铜产品纯度	5	在规定范围内			
	所制铜产品种类	8	每种2分			
	成本控制	6	不超过零售价			
废液处理(10分)	废液量(按产品种类数)	5	在规定范围内			
	处理方法	5	符合排放标准			
实验报告(10分)	实验报告正常书写	5	书写规范			
	问题及讨论	5	对问题认识有见的			

4.2 训练了学生的科研能力

综合实验在方法上模仿了正式的科研过程, 其步骤很多与正式科研相似, 经过这样的训练, 学生科研能力普遍有所提高, 这在他们四年级的毕业论文环节中体现明显。论文的指导教师都说, 与以往相比, 经过综合实验训练后, 学生的论文前期准备工作更及时充分, 开题报告更加符合标准, 实验工作有条不紊, 毕业论文的书写也很规范。

4.3 锻炼了学生分工协作的能力

本综合实验中, 我们虽然把学生的“自主设计”能力作为培养重点, 但团队分工协作、善于与组员沟通也是“自主”能力的重要部分。实验中我们把4个学生分为一组, 不同实验产生的不同废水按处理方法不同分类, 组员间协作处理不同废水; 实验中每组所使用的不同单元操作种类数也是每组考核指标之一; 所制备含铜化合物的种类除按每人考核外, 也按组来考核, 实验成绩为个人成绩与小组成绩加权后确定。通过这样的训练, 学生间分工协作的能力普遍增强。

综合化学实验A1是一年级快结束时的第一次综合化学实验, 随着学习内容的增加, 二年级、三年级均有包含更多内容的综合化学实验, 由于注重“自主设计”能力的培养, 学生综合实验的能力不断增强。

参 考 文 献

- [1] 李 力. 化学工程与装备, **2011**, No. 4, 35.
- [2] 张 霞, 刘晓霞, 于永丽. 实验室研究与探索, **2008**, 27 (5), 72.
- [3] 朱振中, 刘俊康. 中国科教创新导刊, **2008**, No. 19, 42.
- [4] 倪哲明, 王力耕. 实验室研究与探索, **2003**, 22 (2), 53.