

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2018.05.027

无机及分析化学实验改革与绿色化实验教材建设^①

钟国清

西南科技大学 材料科学与工程学院, 四川 绵阳 621010

摘要: 用绿色化学的观念对传统化学实验进行改造, 建立制备实验小量化、分析实验减量化、实验内容绿色化的无机及分析化学实验内容体系, 编写出版了《无机及分析化学实验》教材, 它是一本全面培养学生科学思维方法与环保意识的绿色化学实验教材. 该教材的使用可大幅度降低试剂消耗与经费, 减少“三废”污染, 使学生树立绿色化学思想和节能减排意识, 从而提高人才的培养质量和效益.

关键词: 无机及分析化学实验; 小量化; 减量化; 绿色化学; 教学改革; 教材建设

中图分类号: G642.423

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)05-0162-05

将绿色化学理念融入育人的全过程, 已成为当代化学教育工作者所追求的目标, 它对人类可持续发展及环境保护具有重要的意义. 无机及分析化学实验是材料、生物、环境学科群有关专业的一门重要基础课, 我校每年有 1 600 余名学生学习本课程. 根据理工类高等院校无机及分析化学实验课程的特点, 从合理设置实验项目、减少试剂浓度和用量、取代试剂、回收利用实验等方面对实验内容进行了系列改革研究和实践, 逐步建立了“小量化、减量化、绿色化”无机及分析化学实验教学体系和课程内容, 将其固化到《无机及分析化学实验》教材, 减少了实验室“三废”的排放量, 降低了实验成本, 取得了良好的教学效果.

1 无机及分析化学实验教学内容的绿色化改革

1.1 绿色化学实验改革的思路

无机及分析化学实验课程体系和实验内容的改革, 应从训练学生科学思维、掌握科学实验方法、提高学生综合实践能力和创新意识角度入手, 用绿色化学方法逐步规划和完善实验教学内容, 优化实验教学体系. 在化学实验教学中加强绿色化学教育, 对传统化学实验内容进行绿色化改造, 并推行绿色化学实验是大势所趋, 也是化学实验课程改革的重点课题. 绿色无机及分析化学实验新体系的建立和完善, 有利于与化学相关专业的大一学生牢固树立起绿色化学的观念与环保意识, 为将来自觉运用这些方法打下坚实基础. 从有关高校实验教学改革的经验看, 寻找替代品、推行微型实验、发展封闭实验和串联实验、开发模拟实验、回收利用实验产物是实现无机及分析化学实验绿色化的重要途径^[1]. 例如, 硫酸亚铁铵制备实验的产物可用作三草酸合铁(Ⅲ)酸钾制备实验的原料; 从含碘废液中可以提取回收单质碘, 并用于碘量法中配制碘标准溶液. 因此, 放弃污染严重的传统化学实验, 探索传统化学实验内容的“绿色化”改造, 是化学实验教育工作者的奋斗方向. 在无机及分析化学实验课教学中, 注重在继承传统内容的基础上创新, 增加设

① 收稿日期: 2016-12-14

基金项目: 四川省精品资源共享课建设项目(川教函[2015]734号); 西南科技大学教材建设项目(xnjc1403).

作者简介: 钟国清(1965-), 男, 教授, 主要从事基础化学教学与配位化学研究.

计性实验,加强综合性实验,减少验证性质实验,通过对原有实验项目的整合,实现实验教学内容体系的整体优化^[2].教学中注重对学生环境保护意识的培养,为学生灌输绿色化学思想,积极开展绿色化学实验研究,并推进化学实验教学的绿色化.

根据无机及分析化学实验的特点,笔者用绿色化学的观念对传统化学实验进行改造,建立了“制备实验小量化、分析实验减量化、实验内容绿色化”课程体系^[3].例如,对硫酸亚铁铵的制备实验,传统实验教材要求在通风橱中进行,而实验室通风橱的容量很难满足全部学生的实验需要,同时整个实验室仍能闻到明显臭味.与绿色化学要求相比,该实验存在以下缺点:废气有待治理和未达到原料最大限度的合理利用.对实验内容进行减量化与绿色化研究,改造后的试剂用量比传统实验减少50%以上,并把整个实验装置封闭起来,因铁屑不纯而产生的 H_2S 和 SO_2 有毒气体用去油污时用过的碱液吸收,改进装置后虽不在通风橱内进行制备实验,也闻不到臭味,实验时间缩短大约1/3,降低了实验消耗费用^[4].

1.2 滴定分析实验存在的问题与改革措施

长期以来,国内化学实验教材中滴定分析实验沿用50 mL滴定管、25 mL移液管和250 mL锥形瓶等容器,标准溶液的浓度一般采用0.1~0.2 mol/L,而配位滴定中EDTA标准溶液用0.01~0.02 mol/L^[5].由于实验教材中标准溶液的浓度较高,所以化学试剂消耗量大,实验费用较高,并且对环境产生较大的污染.对那些在实验中使用 I_2 、KI和 AgNO_3 等贵重药品较多的实验项目,因化学试剂费用消耗太大而很难继续开出,如间接碘量法测定铜盐中铜的含量将消耗大量的 I_2 和KI.近年来,人们对微型滴定实验研究较多,主要用市售双管式滴定管(规格5 mL)、10 mL微型滴定管等进行滴定,有些装置用计滴数来确定消耗标准溶液的体积,但多数微量滴定管不满足滴定分析要求的精密度和准确度,或者仪器结构复杂、操作麻烦,同时因试样用量少,称量误差大,有的实验准确度达不到定量分析的基本要求.微型化学实验是以尽量少的化学原料和试剂获取尽量多的化学信息,具有减少试剂用量、节约实验经费、降低实验室“三废”排放量等优点.微型化学实验的试剂用量比常规实验节约90%以上,时间实验缩短1/3左右.采用微型化学实验技术,可以减少试剂用量,降低环境污染,但重新购置微型实验仪器,也会增加较多经费,并且微型滴定实验仪器的操作方法与常规仪器的操作方法不同,因此大面积推广难度较大.

在推行微型化学实验的基础上,应着重进行小量化、减量化实验改革,即在保证教学效果的前提下,用常量仪器通过减少试剂浓度和用量等方法进行滴定分析实验^[6].笔者从20世纪90年代中期开始对基础化学实验教学体系和课程内容进行改革,逐步建立了“小量化、减量化、绿色化”实验体系,于常规小容量仪器中完成无机及分析化学实验教学,不仅可以大量减少化学试剂和药品的消耗,而且可加强学生的环保意识、减轻环境污染,从而提高实验教学的质量和效益.在实验原理、方法、操作与常量滴定分析相同的情况下,用10 mL移液管、100或150 mL锥形瓶、25 mL滴定管等常规小容量仪器,并将标准溶液的浓度降低至0.01~0.05 mol/L,可以保证测定结果的精密度和准确度要求^[7].例如,对葡萄糖含量的测定实验,在小容量仪器基础上进行减量化实验改造,把样品溶液用量降低5倍, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液浓度降至0.02 mol/L,改进前后其相对均差和相对标准偏差差异不具有统计学意义,减量法测定葡萄糖含量的准确度和精密度可达到实验教学的要求,3次平行实验消耗 I_2 将低于0.1 g、KI低于0.2 g,比传统实验方法节约经费80%以上^[8].再如,水泥熟料中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、CaO和MgO含量的测定^[9],传统教材中水泥样品称取0.5 g左右,处理后的滤液及洗涤液定容为250 mL,EDTA标准溶液的浓度为0.015 mol/L,测定 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 每次消耗样品溶液25 mL,每次滴定不失败,250 mL样品溶液才能保证平行测定3次,并且测定 Fe^{3+} 时消耗EDTA标准溶液体积很小(大约2 mL),而测定 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 时消耗EDTA标准溶液则为40 mL左右,测定误差较大;改进后的实验,水泥样品称取0.4~0.5 g,EDTA标准溶液的浓度用0.005 mol/L左右,测定 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 每次消耗样品溶液50.00 mL,测定 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 每次消耗样品溶液5.00 mL,这样可保证250 mL样品溶液至少能平行测定3~4次,测定 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 时消耗ED-

TA 标准溶液的体积一般在 10~20 mL 之间,测定误差小,尤其是滴定管的读数误差能满足要求.由于小量化实验所用仪器较传统仪器小,所以操作起来更轻松,可减轻实验强度、缩短实验时间、降低仪器破损率并且大幅度节省实验经费.

2 无机及分析化学实验教材建设与实践

2.1 实验教材的编写思路 and 编写原则

教材是教学思想和培养目标的载体,也是教学内容和课程体系改革的主要标志,教材建设要有利于教师使用和有利于学生学习.无机及分析化学实验教材是体现无机及分析化学实验教学内容和教学方法以及实现人才培养目标的一种重要载体,高水平的实验教材是提高实验教学质量和学生创新实验技能的重要保证^[10].无机及分析化学实验教材的编写要适应高等教育的改革与发展,打破无机化学和分析化学学科界限,贯彻绿色化学教育思想,对传统实验教材内容进行绿色化改造.实验教材应以“注重基本操作和基础实验,加强综合实验和设计实验,注重培养学生的创新思维与能力”的原则,把无机化学实验和分析化学实验进行有机的融合.实验教材的编写应做到图文并茂,实验选材要注意思想性、科学性、创新性、启发性、系统性、针对性、趣味性和先进性,并体现材料科学、生命科学和环境科学之间的相互交叉与渗透,使实验教学更接近于科学研究与工业生产.

实验教材的编写应注重学生自学能力的培养,注重对实验内容的绿色化改造,注重各实验间的联系,注重吸收教学科研的新成果,注重学生专业学习兴趣的培养,提高学生对所学知识的综合应用能力,培养学生的科学思维方法和创新能力,提高学生的科研意识和能力以及科技论文的写作水平.因此,必须不断地研究和建设实验教材,使之符合加强学生能力训练和培养的要求.立体化教材建设能最大限度地满足教师教学和学生学习的需要,满足教育市场的需求,提高教学和学习质量,促进教学方法和教学手段的改革.因此,在注重纸质实验教材建设的同时,应更加注重立体化教材建设,建设与无机及分析化学实验教材配套的网络资源(<http://wjfxhxjpk.swust.edu.cn/>).西南科技大学无机及分析化学精品资源共享课程平台的实验教学部分网络资源包括的栏目有师资队伍、教学大纲、授课计划、实验规章、实验考核、安全知识、实验操作、实验指导、多媒体课件、实验操作与实验内容录像、实验测试、阅读材料和学生优秀实验报告展示等内容,并实时更新.网络资源的建设可有效地拓展和完善实验教学内容和弥补化学实验教材的不足,有助于拓宽知识面以及更快地提高学生的综合素质和能力^[11].绿色化的无机及分析化学实验教材的建设,实现了与实验教育教学改革同步,与省级精品资源共享课建设同步,与省级化学与分析测试实验示范中心建设同步,与专业人才培养目标同步.目前,绿色化学实验改革与研究的论文已有较多报道,而相关绿色化实验教材的编写与建设则较少报道.一些高校还一直沿用 10 多年前的实验教材,实验内容一成不变,缺乏创新,需要加强绿色化学实验教材建设.

2.2 实验教材的主要内容与特点

第 1 版《无机及分析化学实验》教材主要内容包括绪论、化学实验基础知识、化学实验基本操作技术、基础实验、综合实验和设计实验,书后附有有关物理常数.绪论部分介绍为什么要做化学实验、怎样做好化学实验、如何撰写预习报告,对如何写好各种类型的实验报告作了较为详细的介绍.实验报告的基本格式一般包括实验目的、实验原理、实验步骤(用流程图或扼要文字表述)、实验现象(数据)与结果、问题与讨论,并附有制备类、物理量测定类及滴定分析类实验报告示例.同时,绪论部分还简要介绍了一些文献资源的查阅和常见文献数据库的检索和使用方法.化学实验基础知识部分介绍误差与数据处理、计算机作图(Excel 和 Origin 软件绘制各种曲线)、化学实验安全知识(包括安全守则,危险品分类,易燃、易爆和腐蚀性药品使用规则,有害、有毒药品使用规则,灭火常识,意外事故的预防与处理等)、实验室“三废”处理、普通实验仪器简介等.化学实验基本操作技术部分介绍常用玻璃仪器的洗涤和干燥,加热装置与加热方

法,试剂的分类、取用、配制与保管,试样的溶解、固液分离、溶液的浓缩与结晶,沉淀的干燥与灼烧,分析天平的使用,滴定管、移液管和容量瓶的洗涤与使用等.本实验教材的特色是用绿色化学理念对传统实验内容进行“小量化、减量化、绿色化”改造,实验内容除保持通用化学实验外,把最新科学技术信息和教师的教学科研成果融入并固化到实验教材中,引入了微波合成、室温固相合成和水热合成等实验新方法,包括物质的制备、分离与提纯、物质的测定、物质性质与结构探究、物理量和常数的测定等.

为适应高等教育的改革和发展及多元化教学的需要,进一步完善实验内容的绿色化改造,于2015年出版了第2版《无机及分析化学实验》^[12].该教材属于科学出版社普通高等教育“十二五”规划教材和四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材,包括42个基础实验、18个综合实验和14个设计实验项目,是一本以化学实验为载体、全面培养学生科学思维方法与环保意识的绿色化学实验教材.第2版教材的基础实验和综合实验部分,每个实验项目包括预习内容、实验目的、实验原理、仪器试剂、实验步骤、阅读材料和思考题等内容,预习内容指明了学生做好该实验应预习的主要知识点与相关内容,在第1版教材基础上新增加的阅读材料按标准文献撰写格式录入,学生可从中国知网数据库中检索下载或从我们建立的无机及分析化学省级精品资源共享课网站下载或查看,学生通过文献材料的阅读学习,可深入了解该实验的研究进展及前沿知识,以及如何更好完成该实验及如何以科技小论文格式撰写好实验报告,为毕业论文及今后的工作或继续深造打下良好基础.同时,该教材对实验过程中的一些注意事项、可能出现的问题及应对措施、重要的知识介绍等给出了大量页注,以便学生更好地完成实验.设计实验部分只给出实验背景知识和实验基本要求,学生根据实验课题,自己查阅文献资料,自己设计实验方案,经教师审核后独立完成所设计的实验,并按科技论文格式撰写实验报告,培养学生独立思考问题、独立分析和解决问题的能力.

笔者所编《无机及分析化学实验》教材是对传统实验教学内容进行小量化、减量化和绿色化改造后的实验教材,在教学实践中试剂用量大大减少,提高了实验的安全性;产生的“三废”量很少,改善了实验环境条件,极大减少了对环境的污染.该实验教材的使用,可节省实验教学经费50%以上.

3 结 束 语

将绿色化学理念贯穿到无机及分析化学实验教学中,不仅能收到一定的经济效益和良好的环境效益,而且能更新师生的化学实验观念,同时对增强全民环保意识也有着重要的现实意义和深远的历史意义.绿色化学的发展是化学发展史中不可阻挡的历史潮流,高校化学实验室应以绿色化学为发展方向加快改革与建设.在化学实验绿色化理念的驱使下,经过20余年的研究与探索,对无机及分析化学实验从合理设置、减量、取代、回收利用等方面进行了一系列的改革,并固化到绿色化的《无机及分析化学实验》教材中,使更多师生受益,从实验源头控制“三废”对环境造成的污染和师生身体健康的损害,降低了实验教学成本.通过对实验教材不断改进与建设,使学生的能力得到了普遍提高.

参考文献:

- [1] 陈 敏,卢其明,罗志刚.化学开放实验教学绿色化的探索与实践[J].实验室研究与探索,2013,32(4):135—139.
- [2] 钟国清,蒋琪英.无机及分析化学实验教学的绿色化探索与实践[J].实验室研究与探索,2010,29(9):150—153.
- [3] 钟国清,蒋琪英,杨定明.无机及分析化学省级精品资源共享课的建设与实践[J].高教论坛,2016(9):18—21.
- [4] 钟国清,周齐文,夏 安.硫酸亚铁铵的制备反应条件与绿色化减量化研究[J].实验技术与管理,2013,30(5):14—16.
- [5] 许文菊,易华玉,张小丹,等.分析化学滴定实验学生常见问题分析及教学改进建议[J].西南师范大学学报(自然科学版),2014,39(3):188—192.
- [6] 钟国清.滴定分析化学实验的小量化和减量化改革与实践[J].实验技术与管理,2013,30(10):186—189.
- [7] 钟国清,杨定明.科研促进“无机及分析化学”教学的探索与实践[J].中国电力教育,2013(11):68—69,75.
- [8] 钟国清,夏 安.碘量法测定葡萄糖含量的小量化与绿色化研究与实践[J].化学教育,2014,35(22):26—29.

- [9] 四川大学化学工程学院, 浙江大学化学系. 分析化学实验 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2015: 157—166.
- [10] 马卫兴, 李艳辉, 沙 鸥, 等. 无机及分析化学实验教材建设的几点思考与探索 [J]. 淮海工学院学报(人文社会科学版), 2013, 11(19): 84—86.
- [11] 孔 玲, 袁 若, 杨 睿, 等. 国家级网络教育精品课程“分析化学”的建设 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(5): 184—187.
- [12] 钟国清. 无机及分析化学实验 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2015.

Reform of Inorganic and Analytical Chemistry Experiment and Construction of Green Experimental Textbook

ZHONG Guo-qing

School of Material Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010, China

Abstract: The alteration of the traditional chemical experiments has been carried out with the idea of green chemistry, and the content system of *inorganic and analytical chemistry experiment* which is made up of the miniaturized preparation experiment, the decrement titration analysis and the green experimental content has been established. The textbook of the Inorganic and Analytical Chemistry Experiment was published in Science Press, and it is a green chemistry experimental textbook which comprehensively cultivates the students' scientific thinking method and environmental awareness. The use of the experimental textbook can significantly decrease reagent wastage and expenditure, reduce the pollution of “three wastes”, and make the students to build up the idea of green chemistry and the awareness of energy conservation and emission reduction, and enhance comprehensively the quality and benefit of the talent training.

Key words: inorganic and analytic chemical experiment; miniaturization; reduction; green chemistry; teaching reform; construction of textbook

责任编辑 潘春燕