

基于线上线下结合的无机定性分析实验教学

李 婉 黄 微 刘济红 高明丽 朱平平*

(化学国家级实验教学示范中心(中国科学技术大学), 合肥 230026)

摘要: 针对在实验室开设定性分析实验受到的制约, 设计并开设了“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验, 以作为常规无机定性分析实验的重要补充和扩展。虚拟实验和传统实验一并开设, 构成线上线下结合的教学模式, 完善知识体系, 全面培养学生的无机定性分析能力。

关键词: 定性分析实验; 虚拟实验; 线上线下结合; 无机化合物的性质与鉴定
中图分类号: G64; O6-3

The Online-Offline Combination in the Laboratory Teaching of Inorganic Qualitative Analysis

LI Wan HUANG Wei LIU Ji-Hong GAO Ming-Li ZHU Ping-Ping*

(National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (University of Science and Technology of China),
Hefei 230026, P. R. China)

Abstract: A virtual experiment “properties and identification of inorganic compounds” was developed in order to solve the problems existing in the laboratory teaching of inorganic qualitative analysis. The virtual experiment was provided simultaneously with the lab experiments so as to train the students’ ability of qualitative analysis systematically.

Key Words: Qualitative analysis experiments; Virtual experiment; Online-offline combination; Properties and identification of inorganic compounds

无机化合物的定性分析是无机化学实验的传统教学内容之一。2016年8月在格鲁吉亚举办的第48届国际化学奥林匹克竞赛中, 实验部分三道考题里就有两道是未知化合物的鉴定^[1]。这充分说明观察实验现象、分析反应原理, 进而推测出反应物的种类和名称, 是每一个化学工作者必备的基本能力。

为提高学生的定性分析能力, 基础实验教学应该提供尽可能多种类的化合物性质实验, 让学生熟悉并建立起反应现象和反应物之间的逻辑关系。但目前大部分高校都弱化甚至不再开设定性分析实验^[2], 究其原因主要有以下几点: ① 定性分析实验涉及到的化合物种类繁多, 但操作简单重复, 包含的技术手段少, 难以激起学生的学习兴趣; ② 开设性质实验需要准备的试剂多, 除各种反应试剂外, 还须准备不同浓度的酸、碱、缓冲溶液等。例如仅 ds 区重要化合物的性质实验, 药品就有40多种, 每间实验室配3套, 就有140多瓶药品^[3], 给实验的准备、试剂的存放都带来不少压力; ③ 大部分过渡金属化合物具有毒性和污染性。如 Cu^{2+} 、 Cr^{6+} 、 Co^{2+} 等, 都是定性分析实验经常用到的试剂。将这些试剂用于本科教学会产生对环境有害的大量废液, 不符合现在倡导的绿色化学理念。但定性分析实验的缺失又必将导致学生基本的化合物分析鉴别能力薄弱。

*通讯作者, Email: zhupp@ustc.edu.cn

基金资助: 2015安徽省高等学校省级质量工程项目(2015jyxm012); 2016年安徽省教学团队建设项目(2016jxtd134)

化学课堂的虚拟仿真教学正在受到越来越多的重视^[4]。当传统的化学实验教学受到制约时，可以建设虚拟实验作为重要补充。定性分析实验操作简单、重复，要求反应现象明显，试剂品种多而且有毒、有污染等，这些特点都表明定性分析实验非常适合开设成虚拟实验形式。2015年中国科学技术大学(简称中科大)无机化学实验课程组开设了“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验，和传统性质实验一起构成线上线下结合、互相补充的教学模式，帮助学生掌握相关知识点，完善知识体系。下面是我们的具体做法介绍。

1 线上线下结合的教学模式

中科大常规开设有“碱金属和碱土金属的分离和检出”以及“卤素的性质与鉴定”两个元素性质实验^[5]。通过这两个实验的学习，学生可以掌握定性分析实验的基本操作以及分析流程。但由于学生只做了两个主族元素的性质实验，没有接触过更多元素的配位、沉淀等特征反应，造成学生整体的化合物分析鉴别能力比较薄弱。

针对这种情况，我们开设了“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验。学生在网上首先观看、学习一些典型化合物的特征反应视频，列表记录反应现象；之后系统随机抽取一套测试题检查学生的学习情况。学生根据测试题中给出的反应现象，分析推断化合物名称，写出反应方程式，完成实验报告。

教学中我们保留了“碱金属和碱土金属的分离和检出”以及“卤素的性质与鉴定”两个课堂实验，同步开设“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验作为补充和扩展。这种线上线下结合的教学模式具有如下特点：

(1) 通过课堂定性分析实验的开设，锻炼学生的基本操作。无机定性分析基本操作包括试管的使用、pH试纸的使用、分步沉淀、离心分离等。另外两个课堂实验中都有混合离子的分离与鉴定步骤，需要先将试液中性质相似的离子分组，然后在每一组中，再用合适的反应鉴定各离子的存在。学生只有亲自动手操作后才能更好地掌握系统分析的分离、鉴定流程。

(2) 虚拟实验大大扩展了课堂实验的药品种类，减少了药品准备和存贮的压力，并且不对环境造成危害，符合绿色化学的理念。以前因为有毒有污染不宜在本科实验中使用的化学试剂，都可以在虚拟实验中一一呈现。比如常规实验中尽量避免使用钴试剂，而在虚拟实验里，可以观察 CoCl_2 与 NaOH 、 NH_3 、 H_2SO_4 、 HCl 等的反应现象，帮助学生全面了解 Co^{2+} 在不同酸碱介质中的化学性质和反应特点。

(3) 虚拟实验突出了实验细节和关键反应现象。反应视频呈现的是各化合物的典型反应现象，颜色的变化、沉淀的形成和溶解等都非常明确，有助于学生更好地建立反应现象和反应物之间的逻辑关系。

(4) 虚拟实验和其他传统实验的知识点可以互相补充，加深学生对知识的理解掌握。比如 CuSO_4 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的虚拟实验反应。将 CuSO_4 溶液逐滴加入 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 中，学生会观察到溶液始终保持澄清，只是颜色逐渐加深。而将 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 加入至 CuSO_4 溶液时，学生会发现随着氨水的不断加入，天蓝色溶液先变浑浊，接着逐渐变澄清，最后形成一杯透明蓝紫色溶液。反应原理为 CuSO_4 先是和氨水生成 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{SO}_4$ 沉淀，之后转化为可溶的 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 。通过虚拟实验的学习，学生充分掌握了这两种化合物之间的反应特点，在之后的传统实验“工业硫酸铜的提纯及其铁的含量分析”里，学生就能很容易理解用氨水转化和洗涤铜离子的实验步骤，掌握操作要点。

此外，该虚拟实验教学软件采用全英文界面，有利于锻炼学生的专业英语阅读能力，为其今后的科研工作打下基础。

2 虚拟实验软件介绍

图1是“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验的主页面。学生在了解实验目的、实验背景后，就可以进入具体的实验步骤。

Properties and Identification of Inorganic Compounds

Purpose of the Experiment

Background

Experimental Procedure

A. Observation of Reactions Between Known Solutions

Matrix for Ten Known Chemicals

Chemical Logic Table

B. Observation of a Set of Seven Unknowns

Start Quiz

C. Identify Your Unknowns and Write the Chemical Reactions

An Individual Report

Copyright



Copyright © 中国科学技术大学 All Rights Reserved 皖ICP备08002528号

图1 虚拟实验主页面

图2是化合物的性质及相互反应页面。若直接点击化合物名称，可以观察该化合物溶液的颜色，以及该溶液在广泛pH试纸上呈现的颜色和对应的pH。若点击表格内试管图标，则可以观看化合物间发生的反应(当前反应视频来自美国化学教育期刊网站^[6])。

	Ammonia NH ₃	Barium Chloride BaCl ₂	Cobalt(II) Chloride CoCl ₂	Copper(II) Nitrate Cu(NO ₃) ₂	Copper(II) Sulfate CuSO ₄	Hydrochloric Acid HCl	Sodium Carbonate Na ₂ CO ₃	Sodium Chloride NaCl	Sodium Hydroxide NaOH	Sulfuric Acid H ₂ SO ₄	
Ammonia NH ₃											Ammonia NH ₃
Barium Chloride BaCl ₂											Barium Chloride BaCl ₂
Cobalt(II) Chloride CoCl ₂											Cobalt(II) Chloride CoCl ₂
Copper(II) Nitrate Cu(NO ₃) ₂											Copper(II) Nitrate Cu(NO ₃) ₂
Copper(II) Sulfate CuSO ₄											Copper(II) Sulfate CuSO ₄
Hydrochloric Acid HCl											Hydrochloric Acid HCl
Sodium Carbonate Na ₂ CO ₃											Sodium Carbonate Na ₂ CO ₃
Sodium Chloride NaCl											Sodium Chloride NaCl
Sodium Hydroxide NaOH											Sodium Hydroxide NaOH
Sulfuric Acid H ₂ SO ₄											Sulfuric Acid H ₂ SO ₄
	Ammonia NH ₃	Barium Chloride BaCl ₂	Cobalt(II) Chloride CoCl ₂	Copper(II) Nitrate Cu(NO ₃) ₂	Copper(II) Sulfate CuSO ₄	Hydrochloric Acid HCl	Sodium Carbonate Na ₂ CO ₃	Sodium Chloride NaCl	Sodium Hydroxide NaOH	Sulfuric Acid H ₂ SO ₄	

图2 化合物的性质及相互反应页面

学生观看反应视频的同时要记录溶液的颜色变化、气泡的产生、沉淀的生成和溶解等现象，完成实验现象记录表，从而培养认真观察、如实记录的科学习惯。

为检查学生的掌握情况，观看完所有视频后，系统将随机抽取一套未知化合物的表格对学生进行测试。测试页面如图3所示，学生将逐一观看未知化合物的溶液颜色以及化合物之间的反应现象。例如点击第一行第三列，表格右侧即会弹出将A加入至C溶液中的反应视频。

学生根据之前学习掌握的化合物性质，推断出各未知化合物的名称，在实验报告上写明推断理由；并通过查阅课本和相关文献，写出实验涉及到的化学反应方程式。

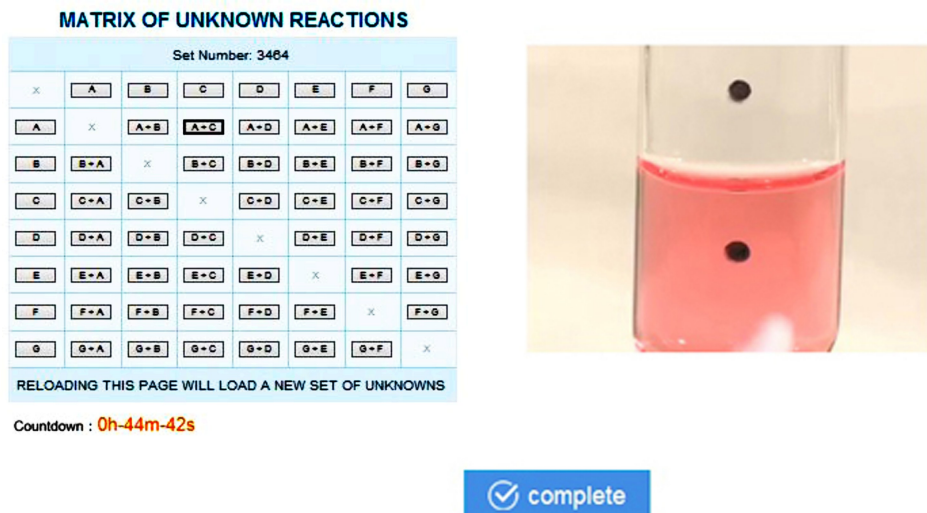


图3 未知化合物测试页面

3 教学组织与教学效果

“无机化合物的性质与鉴定”虚拟实验教学软件由中科大无机化学实验课程组和专业软件公司合作完成。产品由任课教师和研究生多次试做、逐步完善后，于2015年11月面向该学期修读无机化学实验的249名本科生开放，计入一次实验成绩。实验结束后收集学生意见反馈，包括页面设计、提示说明、测试安排等。在总结意见和经验的基础上，我们对软件作了进一步修改完善，于2016年10月底第二次向244名本科生开放。

为达到良好的线上线下结合的教学效果，虚拟实验安排在“碱金属和碱土金属的分离和检出”课堂性质实验之后，计5个课时。实验开设一周，期间学生可以从任意地点登录中科大化学实验教学中心的相关服务器完成实验。系统会自动记录学生的完成时间和试卷编号，供老师随时查询实验进度。

教学过程中我们不断调整完善教学实施方式。2016年第二次开设该虚拟实验时，针对部分学生反映没有电脑做实验，或者遇到操作问题无法得到及时解答等意见，我们申请开放了化学院的电脑远程会议室供学生使用，每天下午安排一名教师和两个助教值班，现场解答学生的问题，帮助每一个学生顺利完成实验。另外助教也会通过QQ群和学生互动。

两次的教学实践中都有学生反映实验中 CoCl_2 与 NaOH 的反应现象难以解释。学生的教材上写明 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 颜色为粉红色，而实验视频中两者的反应产物为绿色浑浊液。面对这个问题，我们一方面在实验报告收齐后，统一在课堂上解释 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 有两种形态，一种是不稳定的 $\alpha\text{-Co}(\text{OH})_2$ ，为绿色沉淀^[7]；另一种是较稳定的 $\beta\text{-Co}(\text{OH})_2$ ，为粉红至玫瑰红沉淀。另一方面我们也将该问题反映给理论课教师，请他们在讲授“铁、钴、镍”章节时，以此为例讲授晶体的不同形态具有不同的物理化学性质，以达到更好的教学效果。

对于定性分析实验线上线下相结合的教学模式，学生普遍给予好评。很多学生反映“虚拟实验的形式很新颖”“在对已知化合物的反应现象进行观察后，用quiz这种形式的小测试，更能提高我们对实验现象的细节把握”。也有学生评价“这次实验涉及到多种元素化合物的酸、碱、盐反应。如果自己动手操作，费时费力。虚拟实验可以让我们观察到更加清晰的实验现象”。

下一步我们计划扩充化合物的种类，丰富化学反应视频数据库，让学生能够接触到更多的化合物特征反应，为提升化学本科教学质量和培养创新性人才打下坚实基础。

参 考 文 献

- [1] 江万权, 朱平平, 王颖霞, 裴 坚. 大学化学, **2016**, 31 (11), 101.
- [2] 张 颖, 成文玉. 化工高等教育, **2013**, 130 (2), 63.
- [3] 高洪琴, 安 颖, 杨秋华, 崔建中. 大学化学, **2011**, 26 (4), 24.
- [4] 岳宣峰, 吕家根, 漆红兰, 张延妮. 大学化学, **2015**, 30 (1), 21.
- [5] 中科大无机化学实验课程组. 无机化学实验. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2012: 76–104.
- [6] [2015-06-20]. <https://www.chemedx.org/>.
- [7] 谢莉婧, 金小青, 付国瑞, 解玉龙, 王耀先, 胡中爱. 高等学校化学学报, **2010**, 31 (2), 353.