

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201912041

www.dxhx.pku.edu.cn

元素周期表实物展窗：元素化学性质的形象化展示

马锴果, 贾莉, 高珍, 马艳子*

北京大学化学与分子工程学院, 化学国家级实验教学示范中心, 北京 100871

摘要: 以展示元素单质、化合物和矿物样品为形式制作的元素周期表实物展窗能够形象化地展示各种元素的化学特性。元素周期表实物展窗将实物样品展示度与样品背后的化学内涵相结合, 可以展示元素和化学学科的风貌。

关键词: 元素周期表; 实物; 展窗

中图分类号: G64; O6

A Periodic Table Cabinet Designed to Demonstrate Chemical Properties of Elements Using Physical Samples

MA Kaiguo, JIA Li, GAO Zhen, MA Yanzi *

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, P. R. China.

Abstract: It is a vivid platform to demonstrate chemical properties of elements using a periodic table cabinet full of physical samples in the form of elements, compounds and minerals for each element. In combination of appearance of physical samples and chemical principles behind, the periodic table cabinet is an appealing vehicle to display chemical elements and chemistry disciplines.

Key Words: Periodic table of the elements; Physical samples; Cabinet of samples

元素周期表以科学系统的方式展示着化学元素。自 1869 年门捷列夫发现以来, 元素周期表不仅对化学学科的发展起到了巨大的推动作用, 也对其他相关科技领域产生了极大的影响。元素周期表深刻地体现了化学规律, 公众也耳熟能详, 可以说是化学学科最具代表性的名片。对于元素周期表, 大多数人的印象还只是教科书或《新华字典》上的文字表格, 缺乏形象化的认识。让元素周期表脱胎于枯燥晦涩的文字表格, 而以形象化的实物样品展窗的样貌示人, 不仅更能体现出元素周期表的化学内涵, 也有助于传递化学学科的魅力, 增进公众对化学学科的好感。元素周期表实物展窗如同自然博物馆内陈列着各种生物和古生物标本的展窗一样, 不仅仅是形形色色的化学样品的展窗, 也是展示化学学科的魅力以及化学发展史的窗口。

近些年来, 国内外已有一些化学爱好者^[1,2]尝试以元素周期表实物展窗的形式展示元素周期表。其中最著名的莫过于美国化学工作者西奥多·格雷及其团队设计的展窗^[3]。他们为每种元素都收集了丰富的展品。以镁元素为例, 他们收集了镁金属块、镁条、镁屑、镁粉等形式的镁金属单质, 操纵杆、脚踏板、内轮毂、抹泥刀等生活中的镁合金用品, 白云石、尖晶石、泻利盐和绿色植物(叶绿素)等含镁的矿物和化合物。以这些展品来展示镁元素, 远比文字表格中的“镁”“magnesium”或“Mg”

收稿: 2019-12-11; 录用: 2019-12-13; 网络发表: 2019-12-16

*通讯作者, Email: mayanzi@pku.edu.cn

基金资助: 2013 年北京市科学技术普及专项项目; 2016 年北京市科学技术普及专项项目

等更形象化,更有视觉冲击力。不过他们收集的展品以单质或合金类样品为主,化合物类样品较少,在某种程度上并不能很好地反应元素的化学性质。2013 年 11 月,我们设计制作了一款侧重展示化学元素性质的元素周期表实物展窗(图 1,下面简称展窗),下面作简要介绍。

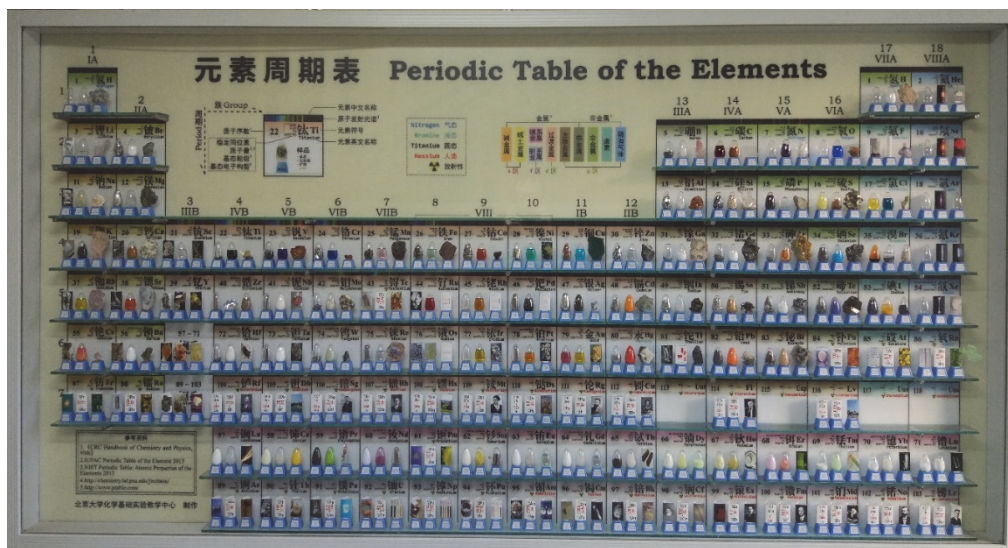


图 1 元素周期表实物展窗

1 展窗的设计与展示形式

展窗固定于楼梯间,平日里起到装饰和营造化学氛围的作用,同时也用于接待中小学生和公众的参观(图 2)。

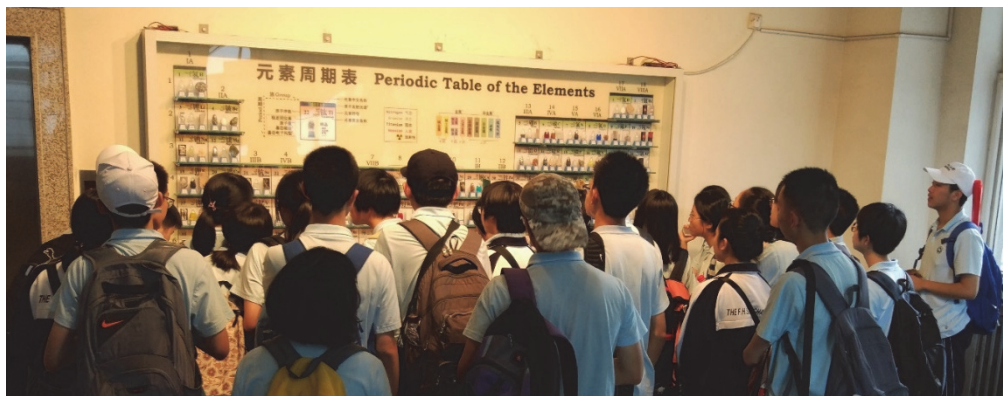


图 2 元素周期表实物展窗常用于接待中小学生参观

展窗整体上由铝合金框架、防火背板、LED 背光、玻璃展架和透明亚克力视窗板组成,有很好的安全性和透视性。视窗板可滑动打开,便于样品更换。背板喷涂了以 2013 年 IUPAC 公布为准的元素周期表并标注了族和周期。每个元素格子内的基本信息丰富,包括原子序数、元素符号、中文名称、英文名称、相对原子质量、稳定同位素、基态能级、基态电子构型、元素所在分区、常温下物态和原子发射光谱等信息。背板后加装 LED 背光灯以突出背板元素基本信息(图 3)。

展示样品主要置于玉兰形样品瓶中,并根据其特性采用不同的封装形式。一般单质和化合物样品使用反口塞及玻璃胶密封在样品瓶中,以避免湿度和灰尘的影响。对于腐蚀性样品(如溴单质、碘单质)、挥发性样品(如氯单质的四氯化碳溶液、汞单质)以及在空气中易变质的样品(如二氯化铬溶液、

硫酸铁铵晶体), 则将样品瓶烧至密封后(类似安瓿瓶)进行展示。矿物样品直接展示, 不进行密封。危险性较大的样品(放射性样品、剧毒样品、碱金属金属单质等)以图片形式展示。样品收集时也注意减少含有机易燃物质(如甲苯、丙酮等)和避免易制爆物质(如硝酸镍、高锰酸钾等固体)的收集。

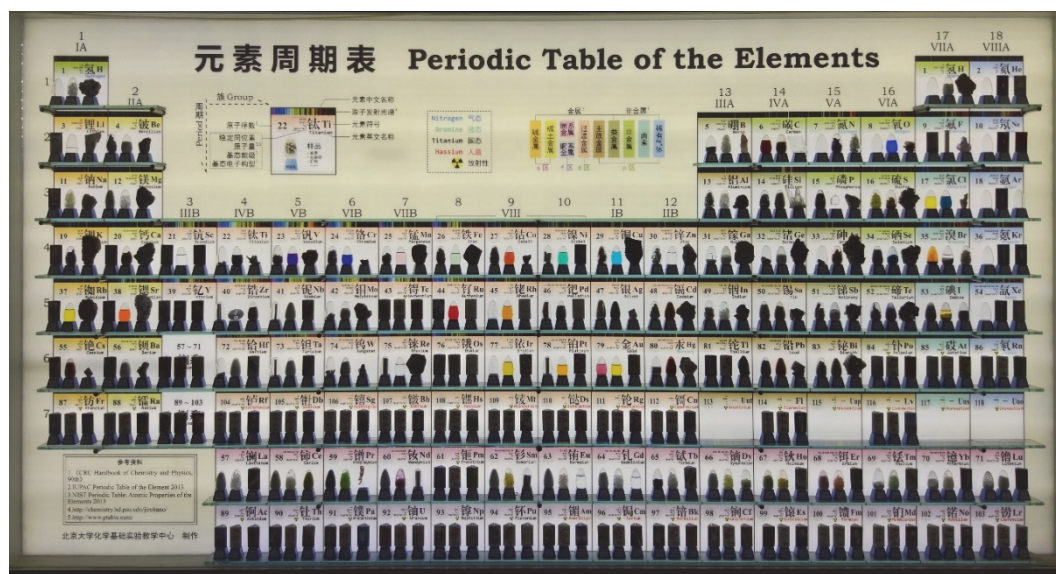


图3 元素周期表实物展窗的LED背光可突出背板文字信息和溶液样品

2 展窗中的样品选择

“有故事”的样品是展窗的核心。各元素的展品要体现出元素的化学特性, 同时还须保持展品之间风格上的统一。因此, 我们对每种元素均选取三个展品(元素单质、含该元素的化合物和矿物)来体现该元素的化学性质(图4)。对于一些元素的展品, 我们还将其编为一组来展示, 以便更好地体现化学特性。下面以具体例子来说明上述展示方式。



图4 元素周期表实物展窗中的每个元素放置了单质、化合物和矿物三种样品

2.1 单个元素的展示

绿色的孔雀石、紫红色的铜丝和蓝色的硫酸铜溶液是铜元素的三个展品，它们美观漂亮，体现出化学之美。其中硫酸铜是铜的代表性化合物，也是实验室最常用的铜的化合物之一；孔雀石是铜元素的代表性矿物，在自然界中常见，是古代人类通过冶炼获取铜的重要矿物之一。

孔雀石、铜单质和硫酸铜三个展品摆放在一起，可以反映出铜元素的一些化学特性。一方面，“孔雀石-铜单质-硫酸铜”这条线可以反映出人类对铜元素的发现和利用过程，也可以体现铜元素的化学性质。孔雀石是人类在自然界接触到的铜元素的存在形式之一，其本身有着一定用途，可以加工成形态各异的装饰品，也可经开采和冶炼得到铜元素的单质；自然铜(铜单质)在自然界中虽存在，但较为稀有，其主要来源于各种铜矿石(如孔雀石)的冶炼；硫酸铜是常见的铜的化合物之一，其中的铜元素以+2价形式存在，是铜的化合物中最常见的价态。硫酸铜溶液的蓝色和孔雀石(碱式碳酸铜)的绿色都来源于过渡金属的 $d-d$ 跃迁，但因为配位环境不同而颜色不同。另一方面，孔雀石、铜单质和硫酸铜三个展品可以共同传递一个信息，即同一种元素可存在于外观迥异的不同物质中，而这些物质间还可以互相转化。同时，揭示这些外观迥异的物质的共同本质以及它们间相互转化的方法也是化学的基础研究领域之一。

2.2 相关元素间的分组展示

钪、钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌这10种元素我们将其编为一组。这组元素的化合物的颜色丰富多变，在元素周期表的118种元素中十分突出。在选择这组元素的实物样品时，我们侧重选取能够揭示颜色背后的化学原理的样品。这组元素的水合离子是教科书中讲述配合物的 $d-d$ 跃迁时的经典实例，所以我们均选择了水合离子溶液作为对应元素的化合物样品，即三氯化钪(无色)、三氯化钛(紫红色)、二氯化钒(蓝紫色)、二氯化铬(蓝色)、硫酸锰(粉色)、硫酸亚铁(浅绿色)、硫酸钴(红色)、硫酸镍(绿色)、硫酸铜(浅蓝色)和硫酸锌(无色)。

钨、铼、钼、钨、铼、钨、钨这6种元素我们将其编为一组。这组元素的单质和很多化合物的催化性能优异，所以我们选择了有催化性能的物质作为它们的化合物样品，即 Grubbs 催化剂(钨化合物)、Wilkinson 催化剂(铼化合物)、乙酸钼、钨酸钾、Crabtree 催化剂(钨化合物)、Karstedt 催化剂(钨化合物)，其中以乙酸钼为代表的钼催化剂应用十分广泛，有“有机合成的万金油”之称^[4]。借助这些催化剂，很多复杂结构都可以合成出来。如钼催化的交叉偶联反应是构筑化学键的高效方法，它包括许多有机人名反应，如构筑碳-碳键的赫克(Heck)反应、松山(Hiyama)反应、熊田(Kumada)反应、根岸(Negishi)反应、茑头(Sonogashira)反应、施蒂勒(Stille)反应、铃木(Suzuki)反应，以及构筑碳-氮键的布赫瓦尔德-哈特维西(Buchwald-Hartwig)反应。钼催化剂还可以使碳-氢键活化，发生烯基化、芳基化、炔基化、烷基化、羰基化等反应，从而高效地构筑有机化合物。

氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁这8种元素我们将其编为一组。这些元素是地壳中含量最丰富的元素，所以我们选取了硅酸盐类矿物作为它们的矿物样品，即水晶(氧)、普通辉石(硅)、锰铝石榴石(铝)、黑云母(铁)、透闪石(钙)、辉沸石(钠)、正长石(钾)和橄榄石(镁)，其中辉沸石是一种沸石族矿物，早在1756年就被瑞典科学家克朗斯泰特(Cronstedt)所发现。借助XRD等结构解析技术，人们得以窥探沸石的微观结构。目前国际沸石协会结构委员会确认的天然和人工合成的沸石的骨架结构共有248种^[5]。沸石的骨架结构中具有均匀且有序的空腔和孔道，是一种多孔固相材料^[6]。这些空腔和孔道可以允许体积较小的分子进入而将体积较大的分子留在外面，即筛选分子的功能，所以沸石也被称为沸石分子筛。沸石中的孔道尺寸为0.3–2 nm。例如A型沸石(LTA)、ZSM-5(MFI)、X型沸石(FAU)和VPI-5(VFI)的孔径分别为0.4、0.55、0.75和1.2 nm，分属于小孔、中孔、大孔和超大孔分子筛。沸石的孔道结构有利于对反应物、中间体和产物进行选择，孔道壁上具有活性中心(如酸性中心)，广泛用作石油精炼和石油裂解等领域的催化剂^[7]。

3 展窗的拓展

展窗自 2013 年底制作完成以来,受到参观来访中小学生和教师的好评,已经成为北京大学化学与分子工程学院一道吸引本校师生驻足观看的亮丽的化学文化风景线。然而每种元素仅展示单质、化合物和矿物三个样品的形式,存在较大的局限性,不能充分展示每个元素的风貌。2016 年,我们开发了三款展窗的拓展产品,作为对展窗展示内容和展示形式的补充。

颜色是物质最醒目的性质之一。颜色背后蕴含着很多化学理论知识。如前所述,展窗中第一过渡系元素水合离子我们进行了分组展示,以介绍配合物的 $d-d$ 跃迁。为了更好地展示颜色背后的化学原理,我们制作了颜色背后的化学展架^[8](图 5,以下简称展架),这样可以不受每种元素只能展示一个化合物样品的限制,同时也可克服有关联的展品因在元素周期表中相距较远而难以放在一起展示的问题。这样展架可以视为展窗在展示专题方面的拓展。每个展架围绕一个与颜色成因相关的化学知识点。展架采用一组实物样品辅以文字说明的形式进行展示。在配合物的 $d-d$ 跃迁展架中我们收集了第一过渡系元素的 14 种水合离子,即三氯化钛溶液(d^0 , 无色)、三氯化钛溶液(d^1 , 紫红)、硫酸氧钒溶液(d^1 , 深蓝)、三氯化钒溶液(d^2 , 翠绿)、二氯化钒溶液(d^3 , 蓝紫)、三氯化铬溶液(d^3 , 灰紫)、二氯化铬溶液(d^4 , 蓝色)、氯化锰溶液(d^5 , 浅粉)、硫酸铁铵晶体(d^5 , 淡紫)、硫酸亚铁溶液(d^6 , 浅绿)、硫酸钴溶液(d^7 , 红色)、硫酸镍溶液(d^8 , 绿色)、硫酸铜溶液(d^9 , 浅蓝)和硫酸锌溶液(d^{10} , 无色)。这些展品可以说明 $d-d$ 跃迁与中心金属的种类和价态有关。需要说明的是,三氯化铬的水溶液初为翠绿色,久置后呈现 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的颜色。教科书中通常将 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的颜色描述为蓝紫色,但实际上这种颜色与 $[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 的蓝紫色差异较大,似乎描述为灰蓝色更贴切一些。



图 5 颜色背后的化学展架

展窗由于固定在墙上且其中的样品只能固定在展示架上,在互动性和便携性方面存在一定劣势。我们借鉴棋盘和棋子的形式,制作了元素周期表实物展盒^[9](图 6,以下简称展盒)。展盒中元素周期表类似“棋盘”,实物样品类似“棋子”。体验者可以将实物样品“棋子”落在元素周期表“棋盘”中对应的元素格子中。这样有利于体验者熟悉周期表中各元素的位置。讲解者可以在此过程中对元素周期表中各元素的位置进行讲解,同时为体验者提供指导和帮助。实物样品“棋子”不仅限于单质、化合物和矿物样品,也有日常生活中的实物样品和元素周边物品(如对应于铜元素的美国加州纪念碑和对应于镍元素的爱因斯坦纪念邮票)。每种元素的实物样品“棋子”数目不限。铜元素的实物样品有铜块、黄铜、白铜、锡青铜、硫酸铜、氯化铜、无水氯化铜、溴化亚铜、自然铜、赤铜矿、孔雀石、蓝铜矿、黄铜矿和铜导线,这些样品可以堆叠放置在铜元素格子上,让体验者感受元素存在形式的多样。讲解者可以围绕一个或多个样品介绍样品或元素的相关化学知识。例如铜元素在自然界中可以以单质的形式(自然铜)存在,但常见的是以化合态的形式存在于硫化物类矿物(黄铜矿)、



图6 元素周期表实物展盒及应用场景

氧化物类矿物(赤铜矿)和含氧酸盐类矿物(孔雀石、蓝铜矿)中。人类将铜矿石开采和冶炼得到铜单质。日常生活中,铜单质广泛应用于各种电器元件中(铜导线)。铜的各种合金(黄铜、白铜、锡青铜)广泛用于铸造各种器皿(青铜器)和铸件。铜在化合物中常以+1价(溴化亚铜)和+2价(硫酸铜、氯化铜和无水氯化铜)存在。铜的+2价化合物颜色丰富多彩。铜的+1价化合物广泛应用于有机和高分子合成领域,如陈-林(Chan-Lam)偶联反应、乌尔曼(Ullmann)反应、二炔类化合物合成中常用的卡迪奥-乔德凯维奇(Cadiot-Chodkiewicz)偶联反应、点击化学中常用的铜催化的叠氮-炔基环加成(CuAAC)反应和“活性”/可控自由基聚合中的原子转移自由基聚合(ATRP)反应等。

为了更好地推广展窗和展盒,我们制作了展窗的虚拟化版本——爱猜元素,一个教育类移动应用程序^[10](图7,以下简称App)。App在设计时借鉴了展盒和猜谜游戏的形式。体验者在App中须将样品图片移动到相应的元素格子中,完成答题。这与展盒的使用方式类似,只不过不是移动实物样品而是移动实物样品的图片。每张样品图片有类似谜面的提示,体验者根据提示将图片移动到认为对应的元素格子中。如果体验者移动到的元素格子不正确,App会给出错误提示,此时体验者须继续移动样品图片,直到移动到正确的格子中。与游戏任务类似,App每一关有6张样品图片,6张样品图片均移动至正确位置后可进入下一关。目前App共有16关。通关后,96张样品图片会展示



图7 体验者在指导下使用“爱猜元素”移动应用程序

在相应的元素格子中,作为对体验者的奖励。体验过程中,体验者可以查看样品的高清大图和文字介绍,以便了解和学习相关化学知识。

4 总结与展望

元素周期表中的化学元素是构成物质世界的基石,也是化学学科最有代表性的事物之一。我们从元素的化学特性入手,制作了一款元素周期表实物展窗。展窗以一种形象化的方式向人们展示化学元素的风采,让人们了解并喜爱元素周期表和化学学科。我们还制作了颜色背后的化学展架、可互动的便携式元素周期表实物展盒和爱猜元素教育类移动应用程序,作为对展窗的进一步拓展。日后我们会在元素相关化学反应方面进行拓展,以动态的化学反应弥补静态实物展品的不足,以期更好地借助元素周期表这座桥梁达到沟通公众与化学的目的。

致谢:元素周期表展窗在2013年制作时,田曙坚老师在整体框架的设计和加工方面给予了莫大的帮助,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] [2019-11-01]. <http://www.stardustelements.com>.
- [2] [2019-11-01]. <https://www.novaelements.com>.
- [3] 西奥多·格雷. 视觉之旅: 神奇的化学元素. 陈沛然, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [4] 马锴果, 李田, 高珍, 李维红. 大学化学, **2017**, 32 (2), 47.
- [5] [2019-11-01]. https://asia.iza-structure.org/IZA-SC/ftc_table.php.
- [6] Koohsaryan, E.; Anbia, M. *Chin. J. Catal.* **2016**, 37, 447.
- [7] Lobo, R. F. Introduction to the Structural Chemistry of Zeolites. In *Handbook of Zeolite Science and Technology*; Auerbach, S. M., Carrado, K. A., Dutta, P. K. Eds.; CRC Press: Boca Raton, US, 2003; pp. 80–113.
- [8] 马锴果, 贾莉, 马艳子, 高珍, 李维红, 边磊, 黄军, 关玲, 徐烜峰, 赵浩. 大学化学, **2018**, 33 (7), 129.
- [9] 贾莉, 马锴果, 高珍, 李维红, 边磊, 赵浩, 黄军, 关玲, 徐烜峰, 马艳子. 大学化学, **2018**, 33 (7), 123.
- [10] 马艳子, 马锴果, 高珍, 李维红, 边磊, 赵浩, 黄军, 关玲, 徐烜峰, 贾莉. 大学化学, **2018**, 33 (7), 133.

【作者简介】



马艳子, 1984 年出生, 女, 回族, 硕士研究生, 本科毕业于北京理工大学, 硕士毕业于北京师范大学。现就职于北京大学化学与分子工程学院、化学国家级实验教学示范中心, 日常从事普通及无机化学实验室的管理、技术支持及新实验开发工作。对化学科普及化学实验演示有浓厚的兴趣及经验。2013 年参与制作了“元素周期表”展窗, 2017 年负责并完成北京市科普项目《让我们更爱化学——化学科普系列产品研发》分课题“化学之门的钥匙——有生命力的化学元素周期表”, 其中设计制作了科普产品“元素周期表互动展盒”, 并开发了一款教育类移动应用“爱猜元素”app, 并携两产品参展 2017 年北京市科技周。