

化学科普活动安全的一点思考

冯红艳*, 李维维

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: 总结了化学科普活动的安全现状, 建议化学家从科普实验设计的源头出发, 将安全性放在首位进行实验设计, 展开充分的安全评估, 减少易燃、有毒、腐蚀性、刺激性化学品的使用, 本质上确保科普实验开展中的科普活动安全, 可供同行参考。

关键词: 化学; 科普安全; 科普实验;

中图分类号: G64; O6

Reflections on the Safety of Chemical Science Popularization Activities

Hongyan Feng*, Weiwei Li

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

Abstract: This paper summarizes the current safety status of chemical science popularization activities and recommends that chemists prioritize safety from the outset of experiment design. It suggests conducting thorough safety assessments and minimizing the use of flammable, toxic, corrosive, and irritant chemicals. By fundamentally ensuring the safety of science popularization experiments, this paper serves as a reference for colleagues involved in science popularization.

Key Words: Chemistry; Science popularization safety; Science popularization experiments

化学科普教育是将化学科学知识、研究方法与技术, 以及融于其中的科学思想和科学精神, 通过多种方法和多种途径传播到社会, 使之为公众所理解, 用以开发智力、提高素质、培养人才、发展生产力, 并使公众有能力参与科技政策的决策活动^[1]。化学科普教育常采用科普课程、科普讲座、科普公众号、科普文章、科普视频、科普活动、科普实验等途径和方法进行化学科普知识传授^[2-7]。化学科普教育是一项长期的、系统性的公益事业和社会教育工程。

我国每年5月的第三周为“科技活动周”, 作为国内的品牌科普活动, 已成为公众了解科技进展、探索科学内容、传播科学知识的重要平台。其中化学科普实验因常伴有发光、发热、变色、产生气体、生成沉淀等特点, 能够给出直观的现象, 且参与性强, 成为化学科普活动中不可或缺的科普手段^[3-5]。

随着化学家对科普教育重要性认知的提高, 具有“科学性、探究性、趣味性”的高质量化学科普实验, 也慢慢涌现出来^[8-15]。自2019年中国化学会和教育部高等学校国家级实验教学示范中心联席会开始主办“全国大学生化学实验创新设计竞赛”活动。竞赛内容设立“科普实验”, 推动了高校

收稿: 2024-04-15; 录用: 2024-06-11; 网络发表: 2024-09-09

*通讯作者, Email: fenghy@ustc.edu.cn

基金资助: 校级重点项目(2023xjyxm012); 教育部产学合作协同育人项目(221000575125629)

化学科普实验的创作。国内《大学化学》《化学教育》等杂志设有科普栏目，刊登化学科普文章，推荐趣味性强、安全易操作的科普实验，拓展了化学科普教育的时间和空间。

然而大部分化学科普实验的方案，涉及使用易燃、有毒、腐蚀性、易制毒等化学试剂。特别是新涌现的化学科普实验，在实验方案上仍然没有把安全放在首位去设计。大多数科普实验使用到和常规大学化学教学实验相当的化学试剂，对科普实验的推广和科普活动的安全非常不利。本文对此做了一点思考，希望可以引起同行关注，重视化学科普活动安全。

1 化学科普实验中使用的化学品

1.1 经典化学科普实验中涉及的化学品

彩虹演示实验、叶脉书签、大象牙膏、手指点灯、碘钟实验、喷雾作画、牛奶豆浆等都是非常经典的化学科普实验^[1,3]，因其操作简单、现象明显，常用在化学科普活动中。经典化学科普实验涉及的化学试剂涵盖了腐蚀性、氧化性、有毒、易制毒类等化学品，需要在化学科普活动中引起重视。

1.1.1 易燃化学品

“彩虹演示实验”使用IA、IIA族金属及其化合物，使火焰呈现出特征的颜色，因火焰颜色绚丽多彩非常吸引大众。实验中会使用到易燃试剂乙醇或甲醇。美国化学品安全与危害调查委员会(U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 缩写简称CSB)曾详细调研了2014年纽约一高中生在学校参与“彩虹演示实验”中受伤的事故案例^[16]。“手指点灯”实验涉及使用酒精灯或者蜡烛。“碘钟”实验使用到淀粉。在化学科普活动中其他常见的易燃物有：蜡烛、纸巾、罐装气溶胶消毒剂、汽油等。对于涉及使用易燃化学品或易燃物的科普活动，科普工作人员要有足够专业的消防安全知识，能够安全使用及正确应对易燃化学品或易燃物引起的突发情况。科普活动中做好易燃化学品和易燃物的管理工作，如，易燃化学品和易燃物必须远离热源和火源，远离氧化剂和助燃剂，活动中注意控制易燃化学品或易燃物的使用量，实验中保持与受众的安全距离。

1.1.2 酸碱腐蚀性化学品

化学科普活动中不可避免会使用到酸碱这种基础物质。常见的酸碱化学试剂有乙酸、硫酸、盐酸、氢氧化钠、碳酸钠和氢氧化钙等。常用的酸碱物品有柑橘类水果、维生素C、酸味糖果、铅酸电池、食醋、小苏打、碱性电池、洗洁精、洗衣液、洁厕灵等。涉及酸碱使用的化学科普活动，要尽量减少大众直接接触酸碱物质。比如“叶脉书签”实验中使用到氢氧化钠。首先杜绝氢氧化钠原试剂整瓶出现在科普活动现场。科普活动前用氢氧化钠溶液(浓度约15%)在水浴锅里提前煮好树叶，并用水清洗干净，测pH为中性或弱碱性后，再带到科普活动现场。其次大众参与时安排志愿者提供一次性手套并做好手套回收，减少大众直接接触树叶。最后用塑封的方式，把叶脉书签做成成品，减少大众直接接触叶脉。通过全面细致的活动方案，将大众直接接触酸碱物质的可能性降低，确保活动安全。

1.1.3 氧化性化学品

“大象牙膏”实验中使用过氧化氢，过氧化氢是氧化剂，反应性强；“滴水成烟”实验中使用碘，碘与锌反应(水作催化剂)会放出大量的热，使碘升华成碘蒸气，是一个不容忽视的风险点。漂白剂(次氯酸钠)、高锰酸钾在科普活动中使用的也非常多。大多数氧化剂因其具有助燃性，在科普实验准备和科普活动中都要做好完备的安全使用和管理方案。

1.1.4 有毒化学品

化学科普活动中也会用到一定的微毒和低毒试剂，比如“彩虹演示实验”中的乙醇和甲醇都具有一定毒性。“喷雾作画”实验中使用的氯化铁，其对呼吸道有强烈刺激腐蚀作用。高锰酸钾也是有毒试剂，致死量为10 g。更为危险的是部分有毒试剂可以通过市售获得，如乙醇就是一种消毒剂，二氯甲烷是一种脱漆剂。在活动中要做好此类化学试剂完整使用记录，并明确来源和去向。

1.1.5 易制毒化学品

“大象牙膏”实验中使用的高锰酸钾、“铜锌电池”实验中所使用的硫酸、“指示剂变色”实验中所使用的盐酸，属于易制毒化学品，为国家规定管制的化学品。科普活动中此类化学品安全管理要到位，流入社会隐患巨大，需要在活动中明确到责任人。

1.2 新化学科普实验中涉及的化学品

表1为2023年《大学化学》期刊推荐的部分化学科普实验^[8-15]，新涌现的科普实验涉及知识点丰富、操作安全简便、现象明显、观赏性强、展示手段多样、启迪性强，可用于面向不同年龄阶段、具有不同知识背景受众的科普教育。如部分实验可以用于类似科技周的科普活动中，部门实验可面向化学知识水平较高的受众，开设成化学或近化专业的科普实验课程。

表1 2023年《大学化学》期刊推荐的科普实验及试剂清单

化学试剂名称	项目名称来源	化学品危险类别
蔗糖、 盐酸	多彩的糖——旋光追踪蔗糖水解反应(大学化学, 2023, 38 (11), 131-137)	腐蚀性、易制毒
醋酸铜(一水)、30% 过氧化氢 、水合肼、 乙醇 、1,2-二氯乙烷、油酸	基于纳米铜涂层的超浸润织物的制备及应用——推荐一个化学科普实验(大学化学, 2023, 38 (9), 114-121)	低毒、易燃、氧化性
一水合乙酸钙、氯化锂、氯化钠、氯化铯、酚酞、苯酚红、甲基红、溴百里酚蓝、溴甲酚紫、 乙醇 (95%)、 氨水 、乙酸、硼酸	璀璨星云——乙醇凝胶的焰色与变色(大学化学, 2023, 38 (7), 289-296)	刺激性气味、易燃
Sr(AlO ₂) ₂ 、 无水乙醇 、 乙酸乙酯 、 氨水 、原硅酸四乙酯、盐酸、3-氨丙基三乙氧基硅烷、 氢氧化钠	将“幻想植物”带入现实纳米材料功能化的“植物光容器”(大学化学, 2023, 38 (7), 267-273)	刺激性气味、易燃、低毒、腐蚀性
姜黄素、 无水乙醇 、对二甲苯、 乙酸乙酯 、1, 4-二氧六环、 <i>N,N</i> -二甲基甲酰胺(DMF)、硼酸、36%乙酸、碳酸氢钠、碳酸钠、硼酸洗液(市售)	炫彩咖喱——姜黄素的颜色变幻及应用(大学化学, 2023, 38 (7), 223-231)	易燃、低毒
镓 99.99%、 硫酸 、 氢氧化钠 、30% 过氧化氢	舞蹈“镓”——镓心跳及相关性质科普实验(大学化学, 2023, 38 (4), 192-198)	易制毒、腐蚀性、氧化性
氢氧化钠 、 盐酸 、 无水乙醇	姹紫嫣红，与花青素的浪漫邂逅(大学化学, 2023, 38 (4), 124-133)	易制毒、腐蚀性、易燃
<i>N</i> -(磷酰甲基)甘氨酸、九水合氯化镍、八水合氧氯化锆、九水合硅酸钠、氟化钠、五水合硫酸铜、 氢氧化钠 、六水合氯化钴	走进奇妙的分子聚集态世界——渗透扩散及表面张力的魅力(大学化学, 2023, 38 (4), 116-123)	腐蚀性

新涌现的科普实验因阐述的化学原理更为复杂，使用到的化学品也更为多样。涉及化学试剂涵盖了易燃(乙醇)、腐蚀(氢氧化钠、硫酸、盐酸)、低毒(乙醇、乙酸乙酯)、易制毒(硫酸、盐酸)、有刺激性气味(氨水)和氧化性(双氧水)等化学品。表1中的化学试剂清单可以看出大多数的科普实验使用到和常规大学化学教学实验相当的化学试剂(如表1中加粗试剂)，对科普实验的推广和科普活动的安全非常不利。

2 化学科普活动中其他常见的风险源

化学科普活动中不可避免地会涉及到化学品的使用，化学品的使用和管理不当或者化学科普实验的操作和处理不当，都会出现危险，因此每年科技周化学科普活动的安全问题备受关注。除了化

学品的使用安全和科普实验的操作安全，化学科普活动从场地和受众的角度也存在着很多独特且常见的风险。

2.1 场地

科普活动场地多设置在科学博物馆、儿童博物馆、图书馆、公园或学校的校内广场。缺乏常规化学实验操作需要的通风橱、水、电、消防设备、应急设备、化学废弃物回收桶等。对操作和安全都是非常大的挑战。因此需要在实验室既定标准操作的基础上进行更为全面和特殊的安全考虑。

2.1.1 水电

因不同于常规实验室场所，水电使用常常都是不方便的，甚至不能方便地使用到自来水。广场类型的活动场地也没有下水，任何一次溶液的溢出和泄漏，都存在更大的危险。需要提前做好用水方面的安排和安全考虑。因大多数科普场地也没有足够的电源，不可避免会使用插线板。因此任何一个电器设备的使用，都要重新考虑用电容量的安全问题，更要注意活动中插线板的使用安全。

2.1.2 通风

倾倒、搅拌或滴定溶液时可能会发生溢出和飞溅；摇晃、喷洒、倾倒或蒸发溶液时溶剂和溶质会进入到空气中，需要提前考虑因通风、人群聚集可能产生的吸入危害和窒息风险。比如干冰和液氮是科普活动中常用的低温试剂，存在场地通风不良引起窒息风险。

2.1.3 废物回收

化学实验室内产生的一般性废物有规范的处理要求和指定回收位置。但在科普活动中的废物回收环节，即使处理一般性废物，都很难采用常规的废物回收方法。比如不含重金属的无机废液，实验室内可调pH 6-8直接在实验室水池的下水废弃。但大多数科普活动场地不具备就地处理的条件。废物处理环节如果做得不到位，使场地无法恢复，会留下非常大的安全隐患。

化学科普活动的场地恢复也是特别考验科普人员专业素养的环节，一是化学实验习惯素养，一是环境保护素养。大众在活动中看到化学家是否关注安全，是否在自己的专业知识和职业素养做安全的化学科普教育，至关重要。

2.2 受众

参与科普活动的大众，对化学学科可能不是非常了解，对于实验操作比较陌生，一些常规的操作在实验室，不存在特别大的安全问题，而在科普活动现场却要引起注意，比如在实验室进行加热磁力搅拌的操作，一般不用特别警醒学生注意高温表面，但是在科普活动中，因高温表面不容易被感知，要提醒注意烫伤。从受众的角度分析，科普活动中的风险包括高温、易碎品和尖锐物品、过敏原和致敏剂。

2.2.1 高温

热风枪、水浴锅、塑封机等常用在科普活动中，用于提供科普实验需要达到的实验条件或获得良好科普效果。使用时须提醒大众注意，以免造成轻度甚至重度烫伤，特别是低龄儿童更要警醒其注意安全。

2.2.2 易碎品和尖锐物品

科普活动中常用的易碎品有烧杯、烧瓶、试管和滴管等常用实验室用具，以及放大镜、酒杯和花瓶等家用物品，都很容易发生破损。常用的尖锐物有剪刀、安全剪刀、打孔器、刀具、订书钉、针头、安全别针、牙签、断线钳和剃须刀片等。在科普活动中要时刻注意此类物品的安全使用，特别是开放给大众操作使用时，要注意指导和提醒注意安全。这类物品也要做好数量统计记录和精准回收，以免遗失或散落，存在大众意外接触造成刺伤或割伤的风险。

2.2.3 过敏原和致敏剂

化学科普活动中常见的过敏原和致敏剂包括花生、坚果、鸡蛋、乳制品、贝类、面粉、各种植物油、织物柔软剂、硼砂、乳胶手套等。如“牛奶-豆浆”实验中的牛奶是常见的过敏原，过敏因人

而异, 过敏可能会引起一系列症状, 从流泪、轻微皮疹、肿胀, 甚至严重的过敏反应。因此在科普活动使用时, 要有明显的提醒注意。

3 化学科普活动安全的建议

现行的科普实验使用到和常规大学化学教学实验相当的化学试剂, 单从试剂类型的角度, 风险性是相当的。但是必须强调和注意的是在化学实验室安全的实验, 用在类似科技周活动中未必安全。需要从科普实验、场地和大众多个角度思考科普活动的安全问题。

3.1 安全放在首位的科普实验设计

作为科普实验因其教育的功能要求, 更需要将安全放在首位进行考虑。审视经典科普实验和最新科普实验使用的化学试剂, 很多试剂都可以从安全的角度出发进行替换, 比如硫酸和盐酸作为一种使用安全要求很高的试剂, 虽然使用的浓度并不大, 但是在整个科普活动中的使用风险很高, 不适合作为科普材料大量出现。翻阅涉及硫酸和盐酸使用的科普实验的方案^[3,8,15], 发现硫酸和盐酸几乎都是作为酸性介质使用, 因而这些科普实验的开展都有将其换成其他酸的可能。比如经典科普实验“铜锌电池”中可以将其换成柠檬酸; 表1中“姹紫嫣红, 与花青素的浪漫邂逅”可以将其换成醋酸, 使得科普活动更为安全。

建议化学家从科普实验设计的源头出发, 将安全性放在首位进行实验设计, 展开充分的安全评估。国内多所高校在教学、科研实验项目的风险评估^[17,18]上积累了丰富的经验, 可借鉴用于科普实验项目的安全评估上, 特别是减少易燃、有毒、腐蚀性、刺激性化学品的使用, 本质上确保开展科普实验的科普活动安全。

建议“全国大学生化学实验创新设计竞赛”活动中的竞赛作品, 以及《大学化学》《化学教育》等杂志设有科普栏目稿件要求中, 增加安全评述内容, 确保科普项目和实验最终可以落地使用, 发挥科普教育功能。

3.2 出台科普活动安全指南

美国化学学会化学教育部制定了相应的化学科普安全指南, 为美国化学周和社区活动提供安全指导。2022年最新版指南中指导活动方使用RAMP(Recognize the Hazards, Assess the Risks, Minimize the Risks, Prepare for Emergencies)原则进行科普前的风险评估^[19,20]。参考美国化学学会制定的“Safety in Outreach Settings”^[20], 甚至对科普活动中的个人防护用品安全使用也给予了明确指导。参考美国化学学会化学安全委员会的“化学演示或教育活动中使用的化学品的安全运输建议”(2021年7月)^[21], 对化学科普活动涉及化学品的使用, 以及往返科普活动现场化学品的运输提供了政策文件。

目前国内还没有合适的化学科普活动安全风险评估或者管理的指导文件可以参考。建议中国化学学会或者化学品管理部门, 针对化学科普活动尽快出台相应的安全指南和安全管理条例, 对科普活动中使用的化学品安全运输或者管理进行政策指导。尽快推进化学科普活动的风险评估工作, 确保科普活动安全。

4 结语

化学是现代科学技术发展的重要基础学科, 存在于生活的方方面面, 生活中衣食住行都离不开化学和化学安全。让大众学习化学常识, 学会从生活中发现化学和化学安全, 化学科普教育任重道远。其中化学科普活动的安全开展尤为重要。化学家需要行动起来, 从科普实验设计的源头出发, 将安全放在首位进行设计。同时可以借鉴教学、科研实验项目的风险评估方面积累的丰富经验, 开展化学科普实验的安全风险评估, 提升科普实验的安全性。倡议相关部门形成官方的化学科普活动安全指南, 提升化学科普活动的安全性, 并在科普活动中让大众看到化学家关心安全, 安全地和大众一起学习和分享化学!

参 考 文 献

- [1] 李厚金, 陈六平. 大学化学, **2020**, *35* (11), 1.
- [2] 黄微, 高明丽, 李维维, 郑媛, 李婉. 大学化学, **2016**, *31* (8), 33.
- [3] 朱平平, 兰泉, 冯红艳, 汪红蕾, 黄微, 查正根, 郑媛, 刘济红, 魏伟, 李婉, 等. 大学化学, **2018**, *33* (7), 96.
- [4] 边磊, 徐炬峰, 关玲, 李田, 张奇涵. 实验室研究与探索, **2019**, *38* (10), 147.
- [5] 马错果, 贾莉, 马艳子, 高珍, 李维红, 边磊, 黄军, 关玲, 徐炬峰, 赵浩. 大学化学, **2018**, *33* (7), 129.
- [6] 邵伟, 兰泉, 冯红艳, 方思敏, 郑媛, 李玲玲, 朱平平. 大学化学, **2019**, *34* (8), 156.
- [7] 李红春, 吴红, 王钰熙, 冯红艳, 郑媛, 兰泉, 江国顺, 吴强华, 朱平平. 大学化学, **2021**, *36* (10), 2107064.
- [8] CSB-Key Lessons for Preventing Incidents from Flammable Chemicals in Educational Demonstrations. [2024-04-01]. <http://www.csb.gov/>
- [9] 司俊涛, 沈佳龙, 吴强华, 吴红, 江国顺, 朱平平, 冯红艳, 金邦坤, 王晓葵, 李红春, 等. 大学化学, **2023**, *38* (11), 131.
- [10] 肖怡婷, 赵瑾瑜, 孟莹, 帅琴, 欧阳磊. 大学化学, **2023**, *38* (9), 114.
- [11] 魏莱, 倪梅, 刘妍岑. 大学化学, **2023**, *38* (7), 289.
- [12] 黄俊铭, 龚晓儒, 葛兴祥, 刘红瑜, 蒋俊. 大学化学, **2023**, *38* (7), 267.
- [13] 潘玉珍, 薛淞匀, 张健平, 毛诗雨, 张文珠. 大学化学, **2023**, *38* (7), 223.
- [14] 王珠宁, 舒姗, 陈丽, 丁琼, 张海波. 大学化学, **2023**, *38* (4), 192.
- [15] 郭笑汝, 于小满, 张伊径, 卢忠林. 大学化学, **2023**, *38* (4), 124.
- [16] 李洋, 陆心宇, 张湘川兰, 宋知远, 徐庆红. 大学化学, **2023**, *38* (4), 116.
- [17] Hill, R. H., Jr.; Finster, D. C. *Laboratory Safety for Chemistry Students*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016.
- [18] 许峰, 赵艳, 刘松. 化学实验室安全原理: RAMP原则的运用. 北京: 化学工业出版社, 2023: 9.
- [19] 冯红艳, 朱平平. 化学实验安全知识. 北京: 高等教育出版社, 2022: 4.
- [20] Safety in Outreach Settings INSTRUCTION GUIDE. [2024-04-01]. <http://www.acs.org>
- [21] Safe Transportation Recommendations for Chemicals Used in Demonstrations or Educational Activities. [2024-04-01]. <http://www.acs.org>