

高校化学实验教学的安全管理与实践探索

李芳, 刘阳, 韩杰*, 邱晓航*

南开大学化学学院, 化学国家级实验教学示范中心, 天津 300071

摘要: 为加强实验安全管理, 从安全规章制度制定、实验安全培训与实验教学内容优化, 以及安全急救实训三方面构建本科生化学实验安全系统。在实验内容改进方面重点介绍了设计绿色化学实验、经典实验内容安全化及高危实验虚拟化等方法。将安全管理贯穿教学全过程, 不仅有效培养学生的安全意识, 而且有利于提高学生的综合素质。

关键词: 化学实验安全; 安全制度; 安全培训; 教学优化

中图分类号: G64; O6

Exploration of Safety Management and Practice in University Chemistry Laboratory Teaching

Fang Li, Yang Liu, Jie Han*, Xiaohang Qiu*

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, College of Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China.

Abstract: To strengthen the management of laboratory safety, a comprehensive system for undergraduate chemistry laboratory safety is constructed from three aspects: the establishment of safety regulations and rules, safety training for laboratory experiments, and optimization of experiment teaching content, as well as safety emergency training. In terms of improving experiment content, this paper focuses on introducing methods such as designing green chemistry experiments, ensuring the safety of classic experiments, and virtualizing high-risk experiments. By integrating safety management throughout the entire teaching process, not only can students' safety awareness be effectively cultivated, but also their overall quality can be enhanced.

Key Words: Chemical experiment safety; Safety rules and regulations; Safety training; Teaching optimization

由于对高校实验室安全管理不善或没有充分重视, 导致事故频频发生。例如, 2009年, 某大学化学系教师误将本应接入307实验室的CO气体通入211室的输气管, 导致女博士一氧化碳中毒死亡^[1]。2015年, 徐州某大学化工实验室爆炸造成1人死亡、5人受伤^[2]。为加强实验室安全管理, 避免安全事故, 2019年5月教育部印发了《教育部关于加强高校实验室安全工作的意见》, 并要求持续开展安全教育, 要按照“全员、全面、全程”的要求, 创新宣传教育形式, 宣讲普及安全常识, 强化师生安全意识, 提高师生安全技能, 做到安全教育“入脑入心”, 达到“教育一个学生、带动一个家庭、影响整个社会”的目的^[3]。

收稿: 2023-09-28; 录用: 2023-11-21; 网络发表: 2023-12-15

*通讯作者, Emails: hanjie@nankai.edu.cn (韩杰); qiuhx@nankai.edu.cn (邱晓航)

基金资助: 2022年基础学科拔尖学生培养计划2.0 研究项目(20221008)

南开大学化学国家级实验教学示范中心(以下简称“中心”)承担了全校化学学院、材料科学学院、生命科学学院、环境科学与工程学院、药学院、医学院等专业学院本科生的化学实验教学任务,年教学量近30万人时数。化学实验中危化品种类多、安全操作技术性强,不同年级、不同专业的学生认知水平、操作能力差异较大,实验室安全管理尤为重要。为了保障实验教学安全、有序地开展,全面提升实验教学质量,创造更加安全、高效的实验教学环境,中心对实验室进行了装修并全面升级了实验教学设施。同时,在软件方面,中心建立了本科化学实验教学的安全保障制度,规范了危化品的管理;在课程建设上不断改进,开展了线上实验安全教育、高危虚拟仿真实验、实验操作的规范化、安全应急的案例分享和火灾演练实训,将安全管理贯穿教学全过程。

1 中心规章制度的制定和实施

中心制定了完善的安全管理体系和具体可行的安全管理制度。通过《实验室安全管理办法》以及多层次、垂直化的岗位责任制,明确了安全责任范围,对于出现相关安全事故及事故隐患的整改和责任认定均有明确规定,按照“谁主管、谁负责,谁使用、谁负责”的原则,逐级落实安全责任制,层层签订安全责任书,将责任落实到每一个岗位,每一个人。为中心安全管理工作的规范、稳定开展打下基础。

针对化学教学实验的特殊性,中心在《实验室安全管理办法》的基础上进一步制定了《化学实验室技术安全突发事件应急处置流程》(图1)和《化学品安全事故应急处置方法》(图2)。

在完善的制度基础上,中心进行了系列相关举措,保证安全制度的贯彻执行,包括相关安全制度和相关信息在中心各实验室做到制度上墙、增强实验教学人员的安全意识和安全规范,以及建立中心下属实验室的每周安全巡查和互查制度。通过每周的安全巡查与互查,对实验室的安全卫生工作进行评估,重点在于对实验室中存在的安全隐患做到“早发现、早整改、早清除”。

2 实验安全培训与实验教学内容安全优化

2.1 实验安全培训

化学实验安全知识是学生进入化学实验室前必须掌握的^[4],是实验教学的安全保障。根据大学本科生的年龄特点,我们采取多种渠道开展实验安全培训,使安全教育“新起来、活起来、动起来”。

南开大学化学学院实验室技术安全突发事件应急处置流程



图1 南开大学化学学院实验室技术安全突发事件应急处置流程

南开大学化学学院化学品安全事故应急处置方法

(一) 化学品泄漏

气体泄漏: 1、切断泄漏源——关闭阀门等气体开关; 2、切断电源——一定要注意, 当易燃易爆气体泄漏时, 要确保切断电源时不能产生电火花; 3、增加通风——完全打开窗户, 让泄漏的气体尽快消散。

液体泄漏: 1、泄漏时, 应用吸水性强的纸或布, 擦干净台面地面的泄漏物; 2、如果有毒性或可燃性蒸汽放出, 请打开门窗和其它通风设备; 3、如果造成人员损伤, 应优先抢救伤员。

硫酸二甲酯泄漏后, 先用氨水洒在污染处, 使其起中和作用; 也可用漂白粉加 5 倍水后浸湿污染处, 再用碱水浸湿, 最后用热水和冷水各冲一遍。

甲醛泄漏后, 可用漂白粉加 5 倍水后浸湿污染处, 使甲醛遇漂白粉氧化成甲酸, 再用水冲洗干净。

汞泄漏后, 可先行收集, 尽可能不使其泻入地下缝隙, 并用硫磺粉盖在洒落的地方, 使汞转变成不挥发的硫化汞, 否则汞蒸气将长期污染空气。

苯胺泄漏后, 可用稀盐酸溶液浸湿污染处, 再用水冲洗。因为苯胺呈碱性, 能与盐酸反应生成盐酸盐, 如用硫酸溶液, 可生成硫酸盐。

溴泄漏可用氨水使生成铵盐, 再用水冲洗干净。

固体洒落: 1、有毒化学品要戴手套清理; 2、清理用的抹布纸张要按照化学废物进行处理。

盛磷容器破裂, 一旦脱水将产生自燃, 故切勿直接接触, 应用工具将磷迅速移入盛水容器中。污染处先用石灰乳浸湿, 再用水冲。被黄磷污染过的工具可用 5% 硫酸铜溶液冲洗。

砷撒漏可用碱水和氢氧化铁解毒, 再用水冲洗。

(二) 化学品灼伤的救护

强酸灼伤: 小面积时, 立即用大量清水冲洗, 然后用 5% 的饱和碳酸氢钠或 10% 的氨水清洗伤口。大面积时, 用纸吸收皮肤表面的残留酸液, 用 5% 的饱和碳酸氢钠或 10% 的氨水清洗伤口。若溅入眼睛内, 先用清水冲洗, 然后用 3% 的碳酸氢钠冲洗, 随即去医院治疗。

铬酸灼伤: 用水冲洗, 然后用硫酸铵溶液漂洗, 包扎。

强碱灼伤: 小面积时立即用大量水冲洗, 大面积时, 应用然后用 2% 的硼酸或 2% 的醋酸冲洗, 严重者去医院治疗。

金属钠灼伤: 可见的小块用镊子移去, 其余与碱灼伤处理相同。

氢氟酸: 立即用水 (及上法) 冲洗伤口至苍白色, 并涂以甘油与氧化镁糊 (2:1) 或用冷的饱和硫酸镁溶液清洗伤口后包扎好, 要严防氢氟酸侵入皮下和骨髓中。

溴灼伤: 立即用大量水冲洗, 再用乙醇擦至无溴液存在为止, 然后涂上甘油或烫伤油膏。

酚灼伤: 用水冲洗后, 再用 4 体积 72% 酒精与 1 体积 (1M) 三氯化铁混合液冲洗、包扎。

氯化锌、硝酸银灼伤: 用水冲洗, 再用碳酸氢钠溶液漂洗。

(三) 化学品中毒的救护

呛入中毒: 应将中毒者移至空气清新且流通的地方进行人工呼吸, 嗅闻解毒剂蒸汽, 输氧。

二氧化碳、氯气刺激眼部, 用 2%~3% 的 NaHCO_3 水溶液充分洗涤; 咽喉中毒用 2%~3% 的 NaHCO_3 水溶液漱口, 或吸入 NaHCO_3 水溶液的热蒸汽, 并饮热牛奶或 1.5% 的氧化镁悬浮液。

硫化氢中毒者禁止口对口人工呼吸。

吸入少量氯气或溴, 可用 NaHCO_3 溶液漱口。

服食中毒: 根据情况尽快催吐, 洗胃

酸: 立即服用氢氧化铝膏、牛奶、豆浆、鸡蛋清、花生油等食用油洗胃, 忌用小苏打, 因产生二氧化碳气体可增加胃穿孔的危险。或饮入 2% 的 Na_2CO_3 溶液洗胃, 吃氧化镁 (每杯 2 匙, 先服半杯, 然后每隔 10 分钟服 1 匙) 催吐。

碱: 立即服用柠檬汁、桔汁或 1% 的醋酸溶液、鸡蛋白等, 再服 1% 的硫酸铜溶液以引起呕吐; 生物碱中毒, 可灌入活性炭水浊液以催吐。

汞: 误入后, 用炭粉洗胃, 服大量牛奶 (1L) 或鸡蛋解毒。

苯: 误入消化系统者, 内服催吐剂引起呕吐, 洗胃; 吸入者应进行人工呼吸, 输氧。

酚: 饮石灰水催吐。

氟化物: 服 2% 的氯化钙催吐。

磷化物: 误入时速用 0.1% 的硫酸铜溶液催吐, 洗胃后用缓泻剂如硫酸镁。严禁饮食脂肪。在操作磷的工作场所, 应戴用 5% 的硫酸铜润湿的口罩。

砷化合物: 误入时用炭粉及 25% 的硫酸铁和 0.6% 的氧化镁混合液洗胃, 再服用食糖。

钡化合物: 误入时, 用炭粉及 25% 的 Na_2SO_4 溶液洗胃。

图2 化学品安全事故应急处置方法

2.1.1 安全培训课程

中心开发了一套实验安全线上闯关系统。学生们通过雨课堂学习安全课程后, 以线上闯关化学实验安全小游戏的方式进行实验安全培训。以2021年为例, 有400名学生在雨课堂学习安全课程, 292人参加了化学实验安全小游戏, 275人闯关成功获得精美电子证书。

2.1.2 开展实验技术技能培训

中心自2019年起开展定期实验技术技能培训活动, 以讲座报告的形式促进中心实验员之间的交流, 不仅有效提升了教师和实验人员的技能, 同时使实验教学安全相关知识技能也得到很大的提升。实验技术技能培训活动在全校范围内得到了推广, 也使得活动中交流的内容不再局限于化学实验技术。中心邀请到医学实验教学中心的教师进行了“心肺复苏术(CPR)及止血包扎”为主题的培训活动,

使中心的教师可以更高效、正确地掌握必要的急救技能，有效提升了安全能力储备，为应对实验教学过程中的潜在突发事件提供了有效的保障。

2.2 实验教学绿色安全化

绿色化学又称环境友好化学，其十二原则中的两点提到：设计低危险性化学合成工艺、设计更安全的化学品和产品。我们以绿色化学理念作为指导我们实验环境安全工作的方向，开展了一些相应的实验改进方法。

2.2.1 设计教学实验

化学实验教学所用到的试剂通常具有气味难闻、有毒、污染环境等特点，大部分试剂还具有易燃甚至易爆等危险性。设计绿色环保的合成实验并用于本科生基础化学实验教学实践，不仅保证实验过程的安全性，培养了学生的绿色化学意识，也是基础化学实验内容改革的趋势之一。

有机化学学科尤其是手性化合物的合成与性能研究是南开大学的优势学科，将手性化合物的绿色合成方法设计为基础化学实验内容，有助于提高学生的综合素养。为此，我们设计了手性化合物(-)-薄荷醇氧化制备薄荷酮的实验(图3)，其原料和产物均为天然产物，在化妆品、药品及食品中广泛使用，不仅没有刺激性味道，而且具有令人愉悦的清香，增加了学生的学习兴趣。实验中选择重铬酸钠和次氯酸钠作为氧化剂，对比考查二者的特点，尤其是比较不同氧化剂对环境的影响，强化绿色化学意识^[5]。

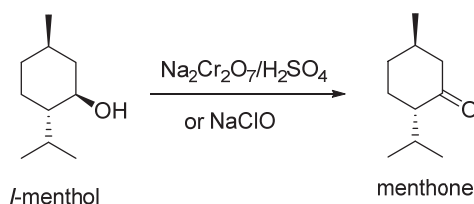


图3 薄荷酮的制备

2.2.2 经典实验的安全开展

化学实验教学中一些经典的实验，其中包含了对人体有伤害、对实验环境有污染的试剂。为了保障这些实验安全开展，我们针对这些问题不断思考，通过采购一些先进的仪器、或者自制一些实验装置，切实解决了学生实验操作中潜在的安全问题。

有机实验教学中的邻氨基苯甲酸的制备，是有机化学中经典的霍夫曼重排反应(图4)，但是该实验中用到的液溴是一种对粘膜有强烈刺激性和腐蚀性的试剂。该试剂危害人体的身体健康、腐蚀和污染实验环境。为此，我们自主研制了一套玻璃仪器装置(图5)。

自主研制仪器利用倒虹吸原理研制而成，整个实验装置从上至下由恒压滴液漏斗、自主研制仪器和反应烧瓶组成，连接部位均采用磨口连接，危化品在该装置中处于相对密闭环境条件，没有气体和液体的溢出，避免了学生在量取过程中直接接触危险化学试剂。危险化学试剂从恒压滴液漏斗中不断流入到危险化学试剂发样器中，当蓄积一定量时，会发生“倒虹吸现象”(此刻旋停恒压滴液漏斗开关)，自动排空虹吸管内的危险化学试剂，使其流入到学生使用的反应烧瓶内。该仪器的定量、连续性量取试剂也大大缩减了教学实验的时间。该仪器也适用于其他危险化学品的定量量取^[6]。

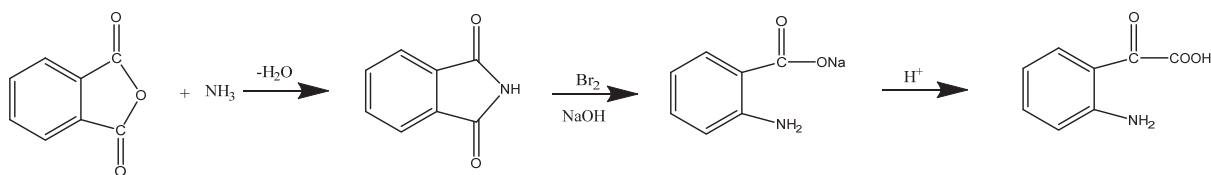


图4 邻氨基苯甲酸的制备



图5 自主研制的危化品发样装置

2.2.3 高危实验虚拟化

为开阔学生的科研视野，我们将学科科研前沿成果设计为本科生实验并开展教学实践。这些实验对学生的知识体系的完备和今后科研的开展非常必要，但是这些实验操作危险性高、周期性长，我们将实验开发成虚拟仿真实验，规范危险化学实验的操作方法，增强学生们的安全意识。

2022年诺贝尔奖得主Sharpless K. B.于2001年提出利用“点击化学”(Click chemistry)的方法进行有机合成，即利用可靠的化学转化法将化学单元相连接，高收率、高选择性地得到目标化合物的模块化合成手段^[7]。叠氮化合物含有叠氮高能活性官能团，是一类重要的有机合成中间体，广泛应用于有机合成、化学生物学、功能材料及临床医药等领域^[8]，但叠氮化合物遇热易发生爆炸，在本科生实验中开设具有较高安全风险。为此，我们开发了“点击化学方法合成麦芽糖修饰的磁性纳米粒子的虚拟仿真实验”。通过虚拟实验向学生介绍了实验原理、叠氮反应的操作注意事项(图6)和通过线上操作了解实验全过程，具有良好教学效果。

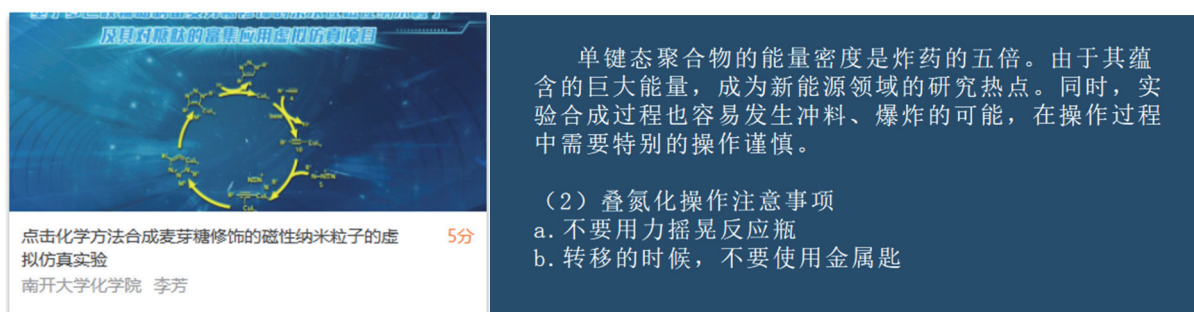


图6 虚拟仿真实验的截图

3 安全急救训练及处理措施

无论是从安全制度还是安全培训方面，教学优化进行了一系列的举措。为防万一，有必要对可能的事故进行预案准备，我们开展了化学应急培训和灭火的演习。

开展化学安全急救治课程，从有关火灾、爆炸、中毒、窒息、灼伤、烫伤、冻伤、泄漏的案例事故分离，警示学生们重视化学实验安全，增强安全意识。同时，从身边找出安全隐患，总结实验室以往的事例，并进行分析、总结、改进。为学生们在今后的学习、工作中遇到问题时起到抛砖引玉的作用(表1)。还从化学实验的角度介绍了实验室试剂的危险分类、实验室安全防护装备、应急处置器材和实验室的一般伤害、中毒事件的伤害处理。

表1 实验教学中的事例与改进措施

发现的问题	造成的结果	分析可能原因	完善措施
橡胶管与玻璃管连接时, 未润滑, 硬连接	学生被玻璃划伤	规范的实验操作未重视	将常压蒸馏的规范操作整理成文章 ^[9]
回流冷凝管与橡皮管连接不到位, 水压将橡皮管冲落, 水喷出后, 水流进加热套中易造成短电	整个实验室断电, 实验停止	保险闸控制整个电路	装修改造对单排实验台进行电路漏电保护
格氏试剂中用到金属钠进行无水处理	后期处理醇钠时, 遇水出现小火苗	少量残留在烧杯壁上的金属钠	存放和使用过程都有很大的不安全性, 已采购无水溶剂处理器

4 结语

中心承载了全校本科生各专业化学实验教学, 实验室安全是实验教学工作的重中之重。我们制定了安全管理规定, 采用多样化的安全教育方式, 将安全意识贯穿于实验教学中, 形成了一套行之有效的管理体系, 并对教学内容进行了改进, 安全保障了化学实验教学正常运行。

参 考 文 献

- [1] 李志红. 实验技术与管理, **2014**, 31 (4), 210.
- [2] 王金贵, 胡超, 林其彪, 张苏, 郭进. 实验技术与管理, **2022**, 39 (1), 210.
- [3] 高敏. 实验室研究与探索, **2023**, 42 (3), 304.
- [4] 杨玲, 吕明泉, 杨德胜. 大学化学, **2010**, 25 (6), 23.
- [5] 韩杰, 陈文彬, 李玉新, 马如江, 贺峥杰. 大学化学, **2021**, 36 (8), 2010060.
- [6] 李芳, 翟玉平, 韩杰. 实验技术与管理, **2019**, 36 (1), 115.
- [7] 付世涛, 窦容慧, 李馨, 郭义娜, 张玉苹, 熊辉, 高晓莉, 徐鑫, 王龙. 大学化学, **2023**, 38 (4), 151.
- [8] 江玉波, 韩春美, 梁雪秋, 杨保民. 化学研究与应用, **2013**, 25 (3), 273.
- [9] 李芳, 赵卫光. 大学化学, **2023**, 38 (1), 206.