

“育、管、查、练”四位一体高校化学实验室安全体系的建设与实践

龚良玉^{1*}, 王杰¹, 王强¹, 杜丰玉¹, 徐鲁斌¹, 徐香¹, 潘维¹, 王修中¹, 尹莉¹, 李元君²

¹ 青岛农业大学化学与药学院, 山东 青岛 266109

² 青岛农业大学实验室管理中心, 山东 青岛 266109

摘要: 青岛农业大学化学与药学院构建了“育、管、查、练”四位一体的实验室安全体系。一“育”: 即“多层次、多渠道、多样性、多层次、全程化”推进实验室安全教育; 二“管”: 指“定人、定岗、定责、定章”管控实验室安全, 并突出重点环节管控; 三“查”: 即“全员性、全时段、全要素、全覆盖”推进实验室安全检查常态化、制度化; 四“练”: 指强化演练模拟, 提升安全防范及应急处变能力。“育、管、查、练”四位一体, 多点齐抓、多维共建, 保障了实验室的安全运行, 并为高校化学实验室安全管理提供了有益借鉴。

关键词: 安全教育; 安全管理; 安全检查; 安全演练; 四位一体安全体系

中图分类号: G64; O6

Construction and Practice of a Four-in-one Chemistry Laboratory Safety System on “Education, Management, Examination and Practice” in Universities

Liangyu Gong^{1,*}, Jie Wang¹, Qiang Wang¹, Fengyu Du¹, Lubin Xu¹, Xiang Xu¹, Wei Pan¹, Xiuzhong Wang¹, Li Yin¹, Yuanjun Li²

¹ College of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China.

² Laboratory Management Center, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China.

Abstract: The College of Chemistry and Pharmaceutical Sciences in Qingdao Agricultural University built a four-in-one laboratory safety system on “education, management, examination, and practice”. For the education aspect, we proposed a “multi-branched institution, multi-channel, diversified, multi-level, whole-process” system to promote laboratory safety education. The management defined the responsible person, positions, responsibilities, and regulations to promote laboratory safety control and emphasize on the management of key parts of the laboratory. We follow the fore aspects of “all members, full time, total factor, full coverage” to promote the normalization and institutionalization of laboratory safety inspections. In practice, the teachers and students were guided to pay attention to simulation drills and constantly improve their safety prevention abilities. Thus, we established a four-in-one laboratory safety system on “education, management, examination, practice”, which effectively ensures safe laboratory practices and can provide a useful reference for the safe management of chemical laboratories in universities.

收稿: 2023-02-03; 录用: 2023-03-27; 网络发表: 2023-04-12

*通讯作者, Email: lydhny@163.com

基金资助: 山东省本科教学改革培育项目(P2020020); 教育部产学合作协同育人项目(202002052034); 山东省本科教学改革项目(Z2021220); 山东省高等教育学会高等教育研究专项-“农科教”融合培养“新工科”化学类专业创新应用型人才的探索与实践; 校级优秀本科教学团队培育项目-制药工程专业主干课程群教学团队; 青岛农业大学课程思政教学团队培育项目(XTD2022008)

Key Words: Safety education; Safety management; Safety inspection; Safety drill; Four-in-one safety system

习近平总书记在十九大报告中提出“树立安全发展理念，弘扬生命至上、安全第一的思想”，这是新时代对安全生产工作的思想指引，把“安全第一”思想推到了历史新高度。国家和教育部对实验室安全出台了相应的法律法规和具体的要求^[1,2]。实验室被称为现代大学的“心脏”，是高校建设发展的基石^[3]。现代科学技术的发展呈现出多学科领域交叉融合的趋势，许多新课程、领域的发展都离不开化学实验的支持，高校化学实验室在化学及相关学科专业的建设与发展、实践育人和人才培养方面的作用日益凸显。当前，各高校正处于内涵建设的发展阶段，在此过程中面临着实验体量增加、科研进度更快、创新探索实验要求增大、危险源种类增加等系列挑战；与此同时，高校师生安全意识薄弱、安全培训实用性及操作性不强、安全知识系统性及专业性不深入、安全管理粗放、对突发事件缺少应急处置的经验等问题依然突出，由此引起的安全风险累加效应还在一定范围内存在，实验室安全事故还时有发生。实验室安全无小事，其事关国家、集体及个人利益，高校建立健全实验室安全体系，筑牢实验室安全之基，愈发责任重大，任务紧迫^[4-7]。

青岛农业大学化学与药学院面向全校理、工、农学科30余个本科专业开设超过40门实验课，年均实验人时数近40万。同时，随着科研氛围日趋浓厚，学院承担的实验教学及科研实验覆盖面愈加广泛，相应的伴随着安全隐患加大、危险源增多等特点。学院高度重视实验室安全，通过“育、管、查、练”实验室安全体系的构建与实施，营造了安全的教学及科研工作环境，确保了实验室的安全、高效运行，为化学及相关专业内涵提升和人才培养质量提高奠定了坚实基础，建设经验可为同类高校提供参考。

1 “育”——构建“四多一全”安全教育培训体系，扎实推进安全教育工作

安全教育是落实实验室安全源头管理的关键所在^[8,9]。狠抓安全教育，强化安全知识及技能培训应成为高校实验室安全管理与服务工作的重点。青岛农业大学化学与药学院构建了“四多一全”安全教育培训体系(图1)，通过“多层次、多渠道、多样性、多层次、全程化”的实验室安全教育与培训，让师生深刻领会“安全是相对的，危险是绝对的”这一辩证关系，实现从“要我安全”到“我要安全”的意识转变，树立“我要安全，安全为我”的安全观念，并系统掌握实验安全知识和技能，主动辨识安全风险，践行安全行为。



图1 “四多一全”安全教育体系示意图

1.1 “多层级、多渠道”开展安全教育, 拓宽师生获取安全知识的途径

学校构建了“校级→院级→实验室”三个层级的安全教育责任主体, 合理分工, 合力开展实验室安全教育。将安全教育融合到师生自学、专家教育培训、理论及实验课程讲授、科研训练等各个环节, 并不断创新教育形式, 增强安全教育的实效性。

学校层面: 将实验室安全教育考试系统(下简称“考试系统”)建设作为普及实验室安全知识, 增强师生安全意识以及落实实验室安全准入制度的重要举措。师生通过进入考试系统学习、自测、模拟考试等环节巩固安全知识, 准备充分后参加安全考试, 考核合格方可进入实验室工作。仅化学与药学院平均每年就有超过400人次参加安全培训和考试。

学院层面: 从顶层设计上将安全教育纳入人才培养计划, 推进安全教育的专业化、内涵化发展。首先, 学院为一年级本科生开设“化学化工实验安全”实践课, 对于制药工程、化学工程与工艺、应用化学等工科专业, 按照工程教育认证的要求, 进行安全教育加码, 进一步开设“过程安全与环保”“化工安全与环保”等必修课程, 并给研究生独立设置“安全工程概论”课程。其次, 学院还将安全教育融合到实验(训)课程的主要环节: 在“开课第一讲”预留1-2个学时专门讲本实验课程的安全知识, 并将有关仪器设备操作规范、用水(电)规范、药品使用规范及其他注意事项的讲解贯穿于教学全过程。从理论和实践环节详细渗透实验室安全知识是高校实验室安全教育建设与实施的深化与拓展, 是较为有效的教育形式之一^[10]。通过对不同专业开设相应的安全教育课程, 经过系统化讲授与学习, 有效改善安全知识内容的碎片化、零散化及表层化现象。此外, 学院还充分利用自身的师资资源和校内外有关部门专业人员, 面向全体师生不定期开展实验室安全教育讲座与培训。

实验室层面: 针对具体学科方向、研究内容与研究特点实施精准化安全教育。学生须在教师的指导下对实验内容、操作方法以及有关仪器、试剂的性能有充分的了解, 每次开展工作前须与指导教师讨论并确定好实验方案后进行实践。

此外, 学院还通过多方位安全宣传教育, 营造浓厚的安全文化氛围。首先, 在化学楼大厅布置实验室安全标识墙, 其正面是安全标识, 背面为对应安全标识的相关说明, 并定期更换标识内容, 推进各类安全知识的宣传普及, 使每位走进化学楼的师生都切身体悟到各种安全标识背后的警示作用。其次, 通过学院实验管理工作群、学院网站及微信公众号等多种宣传媒介进行实验室安全知识的推送。另外, 还通过学生对实验室安全课程课外作业拓展材料的收集与展示等方式营造浓厚的实验室安全文化氛围。

1.2 “多样化、多层次”开展安全教育, 强化安全教育内容的丰富度和受益面

采用“通识+专业”的安全教育模式, 教育对象为学院全体本科生、研究生、实验技术人员、实验教师以及有关管理人员。师生通过学校考试系统学习, 掌握通识类的安全知识, 涵盖危险化学品类、通识与急救知识类、消防安全类、电气安全类、机械安全类、环保教育类、辐射安全类、特种设备及仪器设备类等十余个安全专题板块知识。通过参加各类安全讲座学习与应急演练, 了解消防安全知识与技能、安全警示教育、国内外先进的安全管理经验、安全管理制度等方面的知识, 掌握危化品分类及管理、安全标识认识与使用、安全设施类别及使用、特种设备使用规程、用水用电用气安全、防护品使用规范等专题知识。

一方面强化学院教师队伍的安全管理能力, 支持实验室教师队伍通过线上线下结合的方式参与各级各类安全管理知识的培训与学习, 鼓励其主持实验室安全管理有关的教学课题或实验技术课题, 并将获得的成果纳入年度考核以及岗位评聘等指标体系中, 鼓励教师探索提升实验室安全工作水平的新方法。另一方面, 着力提升学院学生安全知识的专业性和系统性。主要通过从顶层设计将安全教育纳入人才培养计划, 将安全知识类、安全技能类和安全素养类等模块知识渗透于安全教育理论及实验实训课程授课和科研训练等环节, 使学生从理论学习、实操以及安全价值观的塑造等方面得到系统学习; 此外, 通过线上线下相结合, 融入互动式、体验式、案例式等教学方法, 形成循序渐进螺旋式上升的安全教育模式。

1.3 将“全程化”安全教育贯穿于学生四年学习的全过程

通过初始教育+持续教育相结合,将安全意识转化并形成行为习惯。在学生入学安全教育、各级安全培训与演练、安全教育理论课程学习、各学期实验(训)活动、科研创新实践以及各类竞赛活动、自主创新实验训练、毕业实习、毕业论文(设计)等环节中,有机渗透来自于专业人员、任课教师、实验指导教师、科研导师给予的通识性以及专业性的安全教育。学院在四年不断线的“全程化”安全教育过程中,让师生全面了解实验室内存在哪些安全风险点、特种设备和危险化学品如何安全使用、可能产生的危险废物及其规范处置方式、实验室潜在的风险及处置预案等方面的知识,进而树立安全意识、掌握安全技能,养成安全防护的良好习惯,深化“环境保护,从我做起”的理念和行为规范,为自身的身体健康和生命安全以及实验室安全提供重要保障^[11,12]。

2 “管”——搭建“四定一强”实验室安全管理机制,提升管理水平保安全

实验室安全管理机制是防范实验室安全风险的重要环节,实验室安全管理体制不健全是实验室安全管理工作的掣肘^[13]。学院搭建了“四定一强”管理机制(图2)，“四定”即“定人、定岗、定责、定章”，借助建章立制，定人定岗，履职尽责做好实验室安全管理工作；“一强”即指强化实验室安全重点部位的有效管控，做好实验室安全管理工作的“精准施力”。



图2 “四定一强”实验室安全管理机制示意图

2.1 着力完善安全管理架构与责任体系,确保安全管理工作落到实处

学院成立了实验室安全管理领导小组,遴选具有实验室一线工作经验的教授担任实验中心主任,配备具有注册安全工程师资格的教师兼任学院实验室安全管理员,并遴选优秀本科生和研究生兼任实验室安全督导员,每个实验室都指定有安全责任人,构建起“学院→实验室→实验室负责人或导师→学生”的四级安全管理架构。通过层层签订责任状的方式,将安全责任进行压力传导,做到“谁主管谁负责、谁管理谁负责、谁使用谁负责”。明确四级管理架构的具体负责人,具体岗位职责,形成各司其职的有机整体,共同营造安全稳定的实验室环境。

2.2 着力健全安全管理制度体系,确保实验室安全管理工作有章可循,有据可依

遵循“以生为本、安全第一、预防为主、综合治理”的实验室安全与环保管理理念,在学校规章制度的引导下,学院结合自身实验室特点,建章立制。首先,根据实验室人员分布,制定了《实验室中心管理细则》《实验室中心主任岗位职责》《实验室实验人员工作守则》《学生实验守则》等制度;其次,结合实验室试剂及设备种类繁多、隐患大的实际,制定了《实验室安全管理规定》《低值易耗品采购实施细则》《压力容器安全管理办法》《大型精密分析仪器管理办法》等制度,确

保试剂从购买、保管、使用、处置的全链条有章可循、规范管理,并确保设备得以安全使用与精细化管理;最后,围绕安全事故应急处理及实验室危险废物的规范化处置,完善制订了《安全事故应急预案》《学生实验室违规行为及安全事故责任人员处理办法》《危险化学品及其废弃物管理规定》等。“没有规矩不成方圆”,通过建立健全实验室安全管理制度,完善操作规程,确保实验室安全管理有法可依、有据可查。同时,学院还将实验室安全管理情况纳入教师的评优评先及年度绩效考核体系中,实行实验室安全事故一票否决制。

2.3 强化实验室重点管控的范围,精准发力,确保实验室安全

强化实验室药品管理,特别是危险化学品管理,形成危险源安全风险分布档案和相应的数据库。

首先,严格实验室药品的购置、存储、使用以及处置流程。试剂购买由分管院长审批,批量试剂购买须经小组论证,易制毒易制爆化学品须经学校部门审批,从源头上确保药品的来源合法,可追溯。由实验室安全管理员负责学院试剂的出入库管理,各实验室均指定安全责任人专门负责药品的存储、台账登记等管理工作。学院定期对试剂进行清点与盘查,将不经常使用或一次购买量大的试剂在全院范围内调配使用,减少库存风险,力争做到“零库存”。

其次,学院督促各实验室严格按学校规定规范化收集与处置实验室危险废弃物。① 针对实验室产生量最大的“废液”,严格按照其种类不同分类处置。对于酸、碱、氧化剂及还原剂等废液,通过酸碱中和或氧化还原等预处理后,分类收集至专用废液桶;对于含重金属及有机溶剂等不能在实验室进行预处置的废液,则直接分类收集至专用废液桶,并做好详细的信息记录。② 对于固体试剂及沉淀残渣等,严格按照危险废物的种类,做好信息记录并分类收集至专用收纳袋。③ 学校定期将各实验室产生的危险废物集中收集到学校建设的标准化暂存点,由招标确定的专业处置公司参与危险废物的安全管理、定期转运及处置工作,确保实验室安全。④ 针对实验室产生的“废气”,学校进行了实验室通风管路及配套设施的全面升级改造,管路材质全部升级为耐酸碱、耐腐蚀的PP材质,并更换大功率楼顶风机设备,确保“废气”的安全无害排放。另外,学院专门构建了危险化学品暂存库,高标准配置了排风系统、防爆柜、防爆冰箱等,还配有报警系统、视频监控系统等安防监控设施。严格执行“五双”管理制度,实行危险化学品库管理情况月报告制度,确保管控药品的存放、管理及使用规范、安全。

注重高温高压等特种设备的管理:包括设备安全状况的定期检查、维修、维护保养,确保设备安全运行。所有设备均配置使用规程以及注意事项说明,并放置在显眼的位置,引导师生使用前研读。学院还按需配备气瓶柜、气瓶固定架等设施。对于人员流动大,使用频率高的科研共享平台,学院专门安装了气体管路等设施。

3 “查”——创建“四全一重”安全检查机制,实现实验室安全的有效“预防”

著名的“海恩法则”表明:每一起严重事故的背后,必然有29次轻微事故和300起未遂先兆以及1000起事故隐患^[4]。安全检查是在安全管理制度下的过程监督,是发现安全隐患的前提,是化学实验安全管理中至关重要的一环^[1]。学院实验室安全检查贯彻落实“四全一重”的工作机制(图3)。“四全”即指安全检查的“全员性、全时段、全要素、全覆盖”特点,“一重”即指重点检查危险化学品和高温高压等特种设备。通过推进实验室安全检查常态化、制度化,实行月查、节假日前(期间)查、不定期突击检查与督查、实验室每日自查等多形式结合的立体化、闭环式实验室安全检查制度。在师生心中牢固建立起“隐患就是事故”的理念,达到主动落实“安全第一、预防为主”的工作方针。通过全时空检查,把风险防控做在隐患前面、把隐患排查与治理做在事故前面,形成了“全员参与、群策群防”的工作氛围。

3.1 高度重视实验室安全,做到安全检查“全员参与”“全覆盖”与“全程化”

成立学院安全检查工作小组,形成安全检查由主要领导班子成员、实验室安全管理员、实验中心主任及师生共同参与的检查模式,把安全摆到“第一”的位置。实验室每日自查由实验室负责人

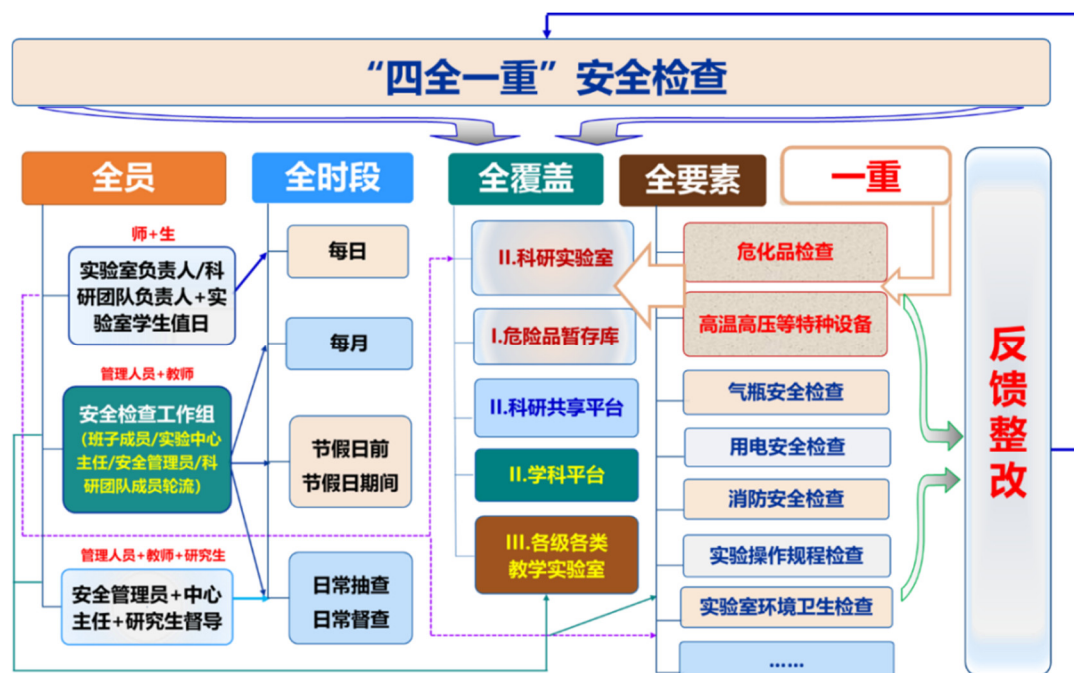


图3 “四全一重”实验室安全检查机制示意图

(导师)带领值日学生共同参与,并建立自查工作台账,做到边查边教边学边改。创新工作方式,安排科研团队成员轮流参与安全检查小组的检查工作,并选拔优秀研究生作为安全督导员参与安全检查。科研团队成员以及研究生是科研工作的主力军,较了解实验室的安全隐患与问题^[9],通过吸纳他们作为实验室安全检查监督队伍的重要力量,以安全事务管理者身份参与检查,主动进行风险辨识,反思安全管理防范观念和措施是否规范,进而形成从被动的“要我安全”转变到主动参与安全事务的“安全要我”“安全有我”的安全观念。

“拉网式”排查安全隐患,做到安全检查“全覆盖”。根据实验室风险隐患程度,将实验室安全检查进行分类对待。对于安全隐患等级高的实验场所,比如存放危险化学品、高温高压等特种设备的场所,将其列为安全检查的重中之重,建立专人日查及学院日常检查必查制度;鉴于科研实验室研究内容的专业性、探索性以及人员的流动性,其安全事件的诱发因素存在特殊性和多样性^[15,16],学院将其列入安全检查的重点范围,该类实验室采用实验室每日自查与学院定期检查相结合的检查方式。对于一般教学实验室,因其项目内容确定,使用试剂相对固定,危险系数相对较低,一般采用学院定期检查和抽查的方式检查。在此分类管理及对应检查机制基础上,落实实验室安全每日自查、危险品暂存库专人日查的常态化检查机制,实验室安全检查工作组月检查制度,逢节假日,在假期前中后必查制度。另外,还建立“实验中心主任+实验室安全管理员+研究生安全督导员”工作小组,开展不定期安全突击检查与监督工作。多措并举,做到实验室安全检查“全程化”。

3.2 在实验室安全检查做到“全要素”检查基础上,着力推进“一重查”

实验室安全检查无盲点、无漏点,做到安全检查“全要素”覆盖。关注实验室布局是否合理,室内设备设施摆放是否得当,室内环境卫生是否达标;关注安全设施是否齐全,放置是否得当;检查安全管理制度是否系统,重要制度是否上墙;检查安全教育与培训落实是否到位,应急演练是否定期开展等;重视档案的建设与管理,检查包括设备购置、管理及使用等各类档案是否齐全、规范。

将重点检查点落到化学试剂和设备管理方面,即在全要素检查的基础上落实“一重查”。每次检查重点必放在隐患程度高的危化品和高温高压等特种设备上。尤其是危化品购买是否合法,存放是否科学,使用是否规范,坚决防止风险隐患失控引发事故;严格监督检查危险废弃物是否按时按

规收集、转运或处置。与此对应,每次检查重点必放在危险品暂存库和科研实验室的检查上,而科研实验室检查的重中之重又集中在危险品多、科研工作任务重、人员流动大的科研实验室上。此外,鉴于爆炸和火灾是实验室安全事故的主要类型之一,占实验室安全事故的87%左右^[17],学院还将实验室是否在规定的放置了灭火器、灭火毯等,是否定期检修、更换等状况作为重点检查对象。

3.3 注重安全检查实效,形成工作闭环

各类检查均有工作记录,做到底数清、情况明,发现问题有反馈。主要采用点对点的方式反馈问题清单至负责人(或者科研团队),对于典型问题,则通过学院工作群公开现场图片或影像资料,既形成有力震慑,又警示实验室立查立改。隐患整改效果安排回头看,按照“零容忍”原则,实现对安全隐患的逐步、全面消除。对于问题严重或屡教不改的实验室实行挂牌督办,落实以查促建的目的,通过检查发现安全管理体系和安全管理制度不足,及时整改完善。同时,对于实验室管理优秀的典范则大力表扬和鼓励。做到经验共享、问题同改、以查促建、以查促改。

4 “练”——演练模拟促提升,防患于未然

安全教育必须将理论与实践密切结合起来,避免出现“纸上谈兵”的情况。演练能够提高实验人员的应急处置能力、组织协调能力、配合响应能力以及心理素质,可有效遏制安全事故发生,严防事故升级^[5,18]。

4.1 根据专业特点,制定实验安全事故应急预案

学院在辨识和评估各实验室潜在的重大危险、事故类型、发生可能性等基础上,为保证迅速、有序、有效开展应急与救援行动而预先制定系列方案。主要针对于危险化学品、气体钢瓶(不燃、易燃、助燃、易爆、有毒等)、高温高压设备、加热设备等容易出现的试剂泄漏、气体泄漏、爆炸、爆燃、烫伤、触电等各种危险,设计出对应的安全事故应急预案。明确应急预案适用范围、内容、步骤、程序等,并明确负责人、工作电话等相关信息。应急预案实行动态管理,及时根据危险因素的变化,不断修正完善预案,降低风险。

4.2 协同各部门开展实验室安全事故演练工作

除入学教育面向新生开展的全校性消防演练之外,学院还联系保卫处、实验室管理中心、校医院等部门,到化学实验楼实地开展灭火、逃生等演习(图4a-c)。并着重组织师生开展具有专业性的实验室安全事故应急演练,主要包括触电、烫伤、化学试剂泄漏(图4d)、危险废液泄漏、气体泄漏、有毒气体泄漏、危险化学品爆燃等危险发生时,如何快速、高效、有序地组织开展事故抢险、救援,如何快速疏散师生,如何及时报告事故发生情况,如何科学处置情况,如何正确处置伤情(图4e)等。通过演练,让师生认识到事故的严重性和危害性,掌握事故万一发生“怎么办”的科学方法,实现“我要安全”到“我懂安全、我会安全”的再提升。确保当事故真的发生时人们不会由于缺乏演练而惊慌失措、缺乏常识而出错、缺乏知识而盲动,避免人员受伤甚至失去生命。同时,以演练为抓手,加大对预案的学习及贯彻力度,强化师生的安全意识,检验师生的应急能力,并不断修订完善预案。

4.3 规范实验设计,严格实验操作,保障实验安全

化学实验实施过程危险性时刻存在,只要科学地按照规范要求进行实验,就能最大限度避免危险事故的发生^[2]。鉴于此,学院推进实验课程团队常态化开展实验教学观摩研讨活动,做到实验教学规范化、科学化、高标准、严要求,在师生心中植入“抓安全,当树立规则意识”的理念,坚决杜绝因实验操作不规范带来的隐患或者事故。对于科研实验室,则重点引导负责人对在实验室工作的师生进行实验项目的安全风险分析,实验操作的规范性要求等方面的培训。

5 结语

学院构建起了“育、管、查、练”四位一体的实验室安全体系,各种要素相互作用、相互促进形成有机整体。强化教育是做好实验室安全工作的“关键”;严格管理是做好实验室安全工作的“根

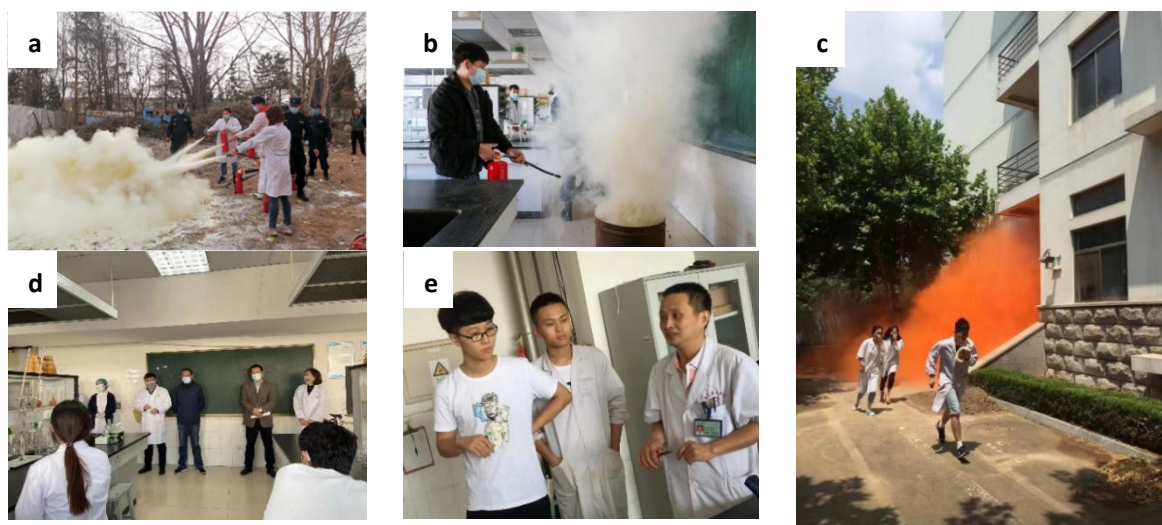


图4 化学与药学院开展危险化学品处置演练及模拟火场应急疏散演练

本”；加强检查是做好实验室安全工作的“基础”；强化演练是检验、评价和保持应急能力的“手段”。该体系的构建与实施为学院营造了“我要安全，我懂安全，人人参与安全，事事安全，人人安全”的良好氛围，达到了实验室安全高效运行的目标，确保了学院教学、科研工作良好秩序，为学院学科专业的快速发展，为创新应用型人才的培养提供了有力保障。实验室安全不能有万一，实验室安全管理工作仍然是一项长期、复杂、系统的工程，只有“进行曲”，没有“休止符”，完善实验室安全体系，扎实做好实验室安全管理工作，在诸多方面还有待更加深入的探索、研究和实践。

参 考 文 献

- [1] 王敏, 冉秀芝, 王胜胜. 实验室科学, **2021**, 24 (1), 215.
- [2] 徐庆红, 陈咏梅, 张丽丹, 靳兰, 崔猛, 曹鼎, 李刚, 李春闯, 张春婷. 大学化学, **2022**, 37 (2), 2109004.
- [3] 李文涛, 俞建光. 实验室研究与探索, **2020**, 39 (8), 304.
- [4] 房川琳, 熊庆, 李俊玲. 实验科学与技术, **2022**, 20 (1), 128.
- [5] 虞俊超, 宁信, 王满意, 张锐, 渠晖, 张金, 孙蓁. 实验技术与管理, **2020**, 37 (12), 297.
- [6] 黄林玉, 陈倩, 黄成, 王跃, 邹晓川. 安全与环境工程, **2018**, 258 (3), 150.
- [7] 高文红, 孙欢, 韩晓敏, 苏冠元. 实验室科学, **2020**, 23 (6), 211.
- [8] 张海英. 化工设计通讯, **2022**, 48 (5), 132.
- [9] 陈亮, 戴灵豪, 关旻, 王辉. 实验室研究与探索, **2022**, 41 (2), 286.
- [10] 金仁东, 马庆, 柯红岩. 实验室技术与管理, **2018**, 35 (12), 4.
- [11] 周骥平, 张键, 何朝龙, 张惠芹, 周俊, 王国田. 实验技术与管理, **2016**, 33 (6), 216.
- [12] 王春霞. 实验室研究与探索, **2020**, 39 (1), 173.
- [13] 果雅静, 马姝婷, 杜龙龙, 王馨悦. 实验室技术与管理, **2019**, 36 (8), 238.
- [14] 高文红. 科技与创新, **2022**, No. 14, 111.
- [15] 朱久娟, 范寒寒, 孙兵, 冯嘉靖. 实验室技术与管理, **2022**, 39 (6), 214.
- [16] 王莉, 于燕梅, 刘林强, 韦草宏. 实验室研究与探索, **2020**, 39 (6), 278.
- [17] 柯丁宁, 高尚, 王凯, 况婷, 宋琳琳. 实验室技术与管理, **2020**, 37 (1), 284.
- [18] 吴林根, 王国兴. 中国林业教育, **2014**, 32 (2), 33.