

基于 PHA 的化学实验室安全风险防控

王茂鑫¹ 冉栋刚¹ 田庚¹ 王小宁¹ 董芹² 苗世清¹

1. 山东大学资产与实验室管理部 山东济南 250100

2. 山东大学药学院 山东济南 250100

摘要: 精准化和差异化是高校实验室安全管理的必然趋势,也是加强实验室安全风险针对性和有效性管控的必然要求。在实验室安全分类分级工作开展基础上,以化学实验室为研究对象,运用预先危险性分析方法(PHA),对火灾、高温灼烫、化学灼伤、中毒、化学爆炸、容器爆炸等进行了辨识、分析、分级,并制定预防性措施。更深入地,提出了风险评估、实验活动预习、安全管理要求、个人安全防护几方面的风险防控策略。为高校化学实验室安全风险防控提供参考借鉴。

关键词: 化学实验室; 分类分级; 预先危险性分析; 危险有害因素; 风险防控

高校实验室安全工作经过近年来持续建设和发展,已逐步进入精细化管理阶段。科学、精准的管理模式是有效提升实验室安全管理水平的重要路径^[1-2]。面对不同学科专业、不同实验室危险源种类,眉毛胡子一把抓的同质化管理模式已不适应当下安全管理需要,重点在于有针对性地开展差异化管理。国内研究人员对实验室安全风险管控开展了较为深入的探究^[3-5]。北京科技大学贾海江等人^[4]基于三类危险源理论,划分3类安全风险及4个风险等级,对应建立风险防控模型,实现实验室风险的实时动态分级管控。深圳市环境科学研究院吴宪宗等人^[5]利用预先危险性分析法对环境类实验室进行危险辨识并提出安全对策。

精细化管理、精准化防控是实验室安全重要努力方向。本文以实验室安全分类分级工作实践为基础,选取化学实验室作为主要研究对象,选用合适的安全评价方法,通过开展实验室内危险源自我识别和风险评价,深入剖析化学实验室危险因素及安全风险,制定专业化安全管理要求和预防措施,确保实验室安全风险处于可控范围内。

1 实验室安全风险防控管理前期实践

1.1 突出重点开展安全风险评估

近年来,学校聘请有资质的第三方安全服

务机构先后对化学、物理、材料、药学等重点单位实验室开展全方位安全评估,排查实验室存在安全问题,提出合理化整改建议,形成安全评估报告。被评估单位根据评估意见及时整改,逐步补足短板弱项,为后续实验室安全分类分级工作开展奠定基础。

1.2 系统组织实施分类分级

(1) 落实组织管理制度保障。学校制定实验室安全分类分级管理办法,明确各层级责任分工,划定实验室类别及安全风险等级,为分类分级工作的顺利开展提供遵循。

(2) 细致科学划分标准指标。一是划分实验室类别。根据实验室涉及的危险源类别和学科特点,将实验室分为化学类、生物类、辐射类、机械类、电子类和其他类等六大类。二是划定实验室安全风险等级。根据实验室涉及危险源数量及危险程度,通过定性或者定量方式,将安全风险级别由高到低划分为A、B、C、D共4个等级。

(3) 组织实施并持续改进。统一部署各学院开展实验室安全分类分级工作;组织专题培训指导,详细解读分类分级划分判定规则,重点分析分类标准和安全风险分级评价指标。同时,总结分析问题不足,在各类检查活动中有针对性地加强检查,提出改进建议,并组织实施。

基金项目:教育部高等教育司产学研合作协同育人项目(231105248020445, 231101665221344);山东大学实验室建设与管理研究项目(sy20231402, sy20233702);2023年山东省职业教育教学改革研究项目(2023041)。

作者简介:王茂鑫,男,工程师,主要研究方向为实验室技术安全管理。

1.3 面临主要难点问题

(1) 危险源辨识不够全面。危险源辨识是实验室安全风险分级的基础,部分实验室未对所涉及的危险源进行全面辨识,可能会对后续的安全风险等级判定产生影响。

(2) 风险等级判定不够准确。实验室安全风险等级判定是危险源辨识的结果,实际工作开展中由于对分类分级规则理解不到位或者危险源辨识不全面等原因,可能存在实验室风险等级判定与危险源不相匹配现象。

(3) 风险防范措施不够细化。针对实验室分类分级结果,科学制定安全管理要求和预防措施才是关键所在,但大多数实验室只是完成了分类分级,并没有制定有针对性的风险防范措施。

(4) 动态更新调整有困难。实验室危险源信息处于动态变化中,但由于受信息化手段不足的限制,无法实现及时的调整、更新,导致难以实时准确掌握。

2 化学实验室危险源辨识分析

从全校实验室安全分类分级辨识结果来看,化学类实验室占比超过三分之一,安全风险等级为 A 级的实验室中化学类实验室位居首位,是学校实验室安全管理工作的重中之重。关于危险源辨识,参照安全生产活动中的划分标准,一般可以从以下两个角度分析:一是依据《生产过程危险和有害因素分类与代码》(GB/T 13861—2022),从生产过程分析,主要涉及人、物、环境、管理等四个方面因素;二是依据《企业职工伤亡事故分类》(GB/T 6441—1986),从伤亡事故类别分析,主要涉及火灾、爆炸、中毒等方面。针对化学实验室安全风险实际,危险有害因素的辨识分析可以参照 GB/T 6441 中事故类别进行划分,同时引入合适的安全评价方法,以潜在安全事故“倒推”事故原因,更加直观清晰。

3 预先危险性分析方法分析运用

常用的安全评价方法有安全检查表法(SCA)、危险指数方法(RR)、预先危险性分析方法(PHA)、事故树分析方法(FTA)、风险矩阵评价方法(LS)等^[6-7]。其中,预先

危险性分析方法^[8]是一项实现系统安全危害分析的初始定性分析方法,能够对存在的危险因素、产生原因及导致后果进行识别分析,进而主动采取针对性预防措施,更加符合事前预防的实验室安全管理趋势^[9]。

3.1 PHA 分析路径

(1) 前期准备。围绕实验室所开展的实验活动、使用的仪器设备、化学品及实验场所的环境等方面,进行详细了解,做好各项准备工作。

(2) 分析研判。全面识别实验室内存在的危险有害因素和安全风险,分析判断出现原因及可能发生的意外事件或安全事故。

(3) 危险分级。针对潜在的安全事故,通过评估事故可能造成后果的严重程度,按照危险性的划分标准,可划分为 I 级(安全的)、II 级(临界的)、III 级(危险的)和 IV 级(灾难性的)共 4 种不同的危险性等级^[10]。

(4) 对策措施。根据危险有害因素类型及危险性等级,差异化的制定预防性对策措施,有效防范风险向事故转变,确保实验室安全。

3.2 化学实验室 PHA 具体应用分析

化学实验室涉及多种类型的化学反应、化学工艺,有毒有害化学品、高温高压设备等危险源种类多且使用数量大,是潜在实验室安全事故的重要源头。运用预先危险性分析方法,重点从火灾、高温灼烫、中毒、化学爆炸等实验过程中常见典型事故入手,辨识危险有害因素,分析事故原因及后果,划定相应的危险性等级,细化制定具体防范措施(见表 1),让实验室每一位师生做到安全风险心中有数、预防措施得当到位,最大限度减少事故发生。

4 化学实验室安全风险防控策略

通过对化学实验室进行预先危险性分析,较为全面的分析了实验过程中可能产生的事故危害。总体来说,应着重从事故预防的角度,围绕实验项目风险评估、实验活动预习、安全管理要求、个人安全防护等方面,加强化学实验室安全风险防控。

表 1 化学实验室预先危险性分析表

序号	可能导致安全事故	危险有害因素	事故产生原因	事故后果	危险性等级	预防性对策措施建议
1	火灾	①易燃化学品；②酒精灯、煤气炉等明火设备	①实验过程中使用不当，引发易燃化学品撒漏；②实验操作中，未将明火与易燃实验物品保持安全距离	①烧毁实验物品，造成财产及实验数据损失；②威胁实验人员生命安全；③可能产生连锁反应，波及其他实验室及人员安全	II	①实验人员严格规范操作；②尽量避免使用明火设备，若确需使用，须采取安全防范措施；③配备灭火毯、灭火器等，一旦发生火灾，及时处理
2	高温灼烫	①管式炉、马弗炉等高温设备；②水浴、油浴等实验装置	①未采取必要的个人防护（如耐高温手套、护目镜等）；②违反设备操作规程，未冷却至安全温度；③设备产生故障，导致超温或者隔热损坏	实验人员因高温造成烫伤	II	①正确穿戴好个人防护用品；②严格按照安全操作规程使用；③定期开展设备检查、维护，保证设备工作正常；④储备治疗烫伤药品
3	化学灼伤	具有腐蚀性的酸、碱、盐类化学品	实验操作不规范，腐蚀性化学品撒落或者飞溅	实验人员因沾染腐蚀性化学品造成灼伤	III	①正确穿戴好个人防护用品；②规范实验操作；③安装应急喷淋、洗眼装置等，做好应急准备；④储备相应的应急药品
4	中毒	①有毒有害化学品；②有毒有害实验气体	①误食：未弄清饮料瓶内盛有的介质，误把有毒有害化学品食用；②经呼吸道吸入：有毒有害气体泄漏，实验人员未佩戴防护口罩造成吸入中毒；③皮肤沾染：未穿戴防护服、防护手套等，导致皮肤直接接触有毒有害化学品	造成实验人员身体中毒、皮肤损伤等	III	①杜绝在实验室内饮食；②佩戴合适的防毒面罩；③穿戴好防护服、防护手套等，避免皮肤裸露；④在通风橱内开展实验活动；⑤安装合适的气体监测报警装置
5	化学爆炸	①易爆、强氧化性化学品；②实验反应剧烈的危险性实验	①配伍禁忌的化学品混用；②违反实验操作流程，造成不可控实验反应	化学品混合不当或者实验失控发生爆炸，危及实验人员人身安全	IV	①提前做好实验预习，熟悉所用化学品；②严格按照化学品理化性质进行使用；③合理设计实验方案，选择温和实验；④严格遵守实验操作流程
6	容器爆炸	①高压反应釜；②带压实验装置	①减压阀、爆破片等安全附件失效，压力未及时释放，导致设备超压爆炸；②设备维护不及时，带压部件老化	容器爆炸可能会使实验人员遭受物体打击受伤	IV	①按规定对压力容器安全附件进行检测和校验确保工作正常；②加强设备检查维护

4.1 开展实验项目风险评估

对照化学实验室预先危险性分析表（表1），对化学实验项目可能涉及的危险有害因素开展辨识，明确可能存在安全风险点，根据危险有害因素的风险高低及潜在事故严重程度，确定实验项目的安全风险等级，并从实验人员教育培训、安全设施设备配备、安全经费保障等方面采取针对性防范措施^[11]。

4.2 注重实验活动前预习

针对教学实验活动，学生应注重实验预习，熟悉实验步骤，了解安全注意事项；实验指导老师明确告知学生安全风险，重点强调实验关键环节，指导学生做好个人防护，做好各种突发实验状况应对措施。针对科研实验活动，实验人员参考文献资料，科学设计实验流程，认真阅读化学品安全信息卡（SDS），正确搭建

实验装置,熟悉仪器设备,按需穿戴合适的个人防护装备。

4.3 差异化制定安全管理要求

(1)开展差异化安全检查督导。针对化学类实验室制定专项检查项目指标,满足安全检查需要;针对不同安全风险等级的实验室,制定对应的检查频次,突出检查重点,兼顾检查范围。

(2)开展针对性安全准入教育培训。严格实验室人员准入管理,不同风险等级实验室实行差异化的准入要求;结合实验室所涉及危险有害因素类型,针对性开展教育培训。

4.4 动态调整更新分类分级信息

依托学校实验室安全管理服务平台,借助信息化手段,通过在系统内设定实验室类别和安全风险等级,同时内置实验室安全分类分级的判定标准;实验室结合自身危险源勾选相应指标实现自动分类分级,进而明确每个实验室的类别和风险等级,当实验室的使用方向或研究内容等关键因素发生改变时,便于动态实时更新调整^[12]。

4.5 全方位做好个人防护

化学实验室涉及危险有害因素多,做好个人防护显得尤为重要。基于潜在安全事故原因分析,针对每一类危险有害因素,制定相应的安全防护措施,配备合适的个人防护用品,例如,为防止操作高温加热设备时高温灼烫,穿戴耐高温手套、护目镜;为防止化学中毒,佩戴防毒面罩,穿防护服等。

5 结束语

化学类实验室是高校实验室安全管理的重点和难点,也是实验室安全事故的多发场所。通过引入预先危险性分析方法,精准识别实验室危险有害因素,差异化制定预防性对策措施建议,并从实验项目风险评估、实验活动前预习、安全管理要求、个人防护等方面提出了化学实验室安全风险防控策略。预先危险性

分析方法在化学实验室的分析运用是实验室安全分类分级管理工作的完善和细化,有助于高校进一步提升实验室安全的科学化、精细化管理水平,保障教学科研实验活动顺利进行。□

参考文献

- [1] 乔磊,高志燕,何晓燕,高校化学实验室安全管理和精细化初步探索[J]. 科教文汇, 2022, 19(11): 82-86.
- [2] 台红祥,贾桂颖,陈彦军,等. 基于网格化管理的高校实验室安全管理研究[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(7): 282-285+290.
- [3] 李悦天,刘雪蕾,赵小娟,等. 高校实验室安全双重预防机制的构建与实践[J]. 实验技术与管理, 2023, 61(S1): 43-48.
- [4] 贾海江,李培省,赵明,等. 基于三类危险源理论的高校科研实验室风险分级管控方法研究[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(10): 322-328.
- [5] 吴宪宗,欧蕾,李智. 基于 PHA 法的环境类实验室危险辨识与安全对策分析[J]. 化工安全与环境, 2022, 35(38): 2-5.
- [6] 周煜明. 系统安全评价方法选择与分析[J]. 轻工标准与质量, 2016, 29(4): 67-68.
- [7] 王旭明. 化工安全评价方法选择与探讨[J]. 当代化工研究, 2020, 20(19): 26-27.
- [8] 曾勇,沈最意. 基于 PHA 法在危险化学品物流中的安全风险分析[J]. 中国物流与采购, 2023, 44(4): 56-57.
- [9] 李雪峰. 提高公共安全治理水平的战略意涵与实现路径[J]. 中国应急管理科学, 2022, 7(11): 13-26.
- [10] 吕宏志,王维全,陈超. 基于预先危险性分析法的大理岩矿安全评估分析[J]. 工程技术研究, 2023, 8(11): 16-18.
- [11] 沈冰洁,丁珍菊,刘闯. 基于危险源辨识的高校实验项目安全风险评估体系构建[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(6): 107-109.
- [12] 李志刚,何一萍,宋强. 贵州大学实验室安全管理体系建设探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(12): 9-12.