

双重预防机制在高校实验室安全管理中的应用研究

林鹏*

(岭南师范学院资产与实验室管理处, 湛江 524048)

摘要: 安全是高校实验室开展教学科研基本保障, 以风险分级管控和隐患排查治理为核心的双重预防机制能有效遏制实验室安全事故发生。本文阐述了构建双重预防机制四个阶段, 利用作业条件危险性评价法(LEC)对实验室风险进行评价定级, 将实验室风险管控的关口前移至风险点分级管控上, 筑牢了实验室安全防线。

关键词: 双重预防机制; 风险分级管控; 隐患排查治理

Research on the application of dual prevention mechanism in university laboratory safety management

LIN Peng*

(Asset and Laboratory Management Division, Lingnan Normal College, Zhanjiang 524048, China)

ABSTRACT: Safety is the basic guarantee for university laboratories to carry out teaching and research. The dual prevention mechanism with risk classification control and hidden danger investigation and management as the core can effectively curb the occurrence of laboratory safety accidents. This paper describes the four stages of building a dual prevention mechanism, and uses the operating condition risk assessment method (LEC) to evaluate and grade laboratory risks, moving the threshold of laboratory risk management and control to the risk point classification management and control, and building a solid laboratory safety defense line.

KEY WORDS: dual prevention mechanism; risk management by levels; hidden danger investigation and treatment

0 引言

在国家“双一流”学科建设、“双万计划”本科专业建设等政策支持下, 高校实验室建设得到迅速发展^[1]。高校实验室迅速发展给实验教学和科研创新带来便利, 但同时给管理者带来巨大压力。

2019年以来, 教育部陆续发布了《高等学校实验室分级分类管理办法(试行)》等一系列文件, 要求各高校重视实验室工

作, 不断提高实验室安全工作的系统化、规范化和精准化, 预防实验室各类事故的发生^[2]。

1 高校实验室安全特点、安全问题分布及对策

1.1 高校实验室特点分析

实验室作为高校实验室教学和技术创新的主要阵地, 具有复杂性、人员更替频繁、挑战性和不确定性安全特征^[3]。

(1) 复杂性。①实验室种类多: 根据《高等学校实验室安全

基金项目: 广东省高等教育学会实验室管理专业委员会基金项目(GDJ20220276)

Fund: Guangdong Institute of Higher Education Laboratory Management Committee Fund Project (GDJ20220276)

*通信作者: 林鹏, 高级实验师, 研究方向为实验室安全管理、大型仪器共享。E-mail: lin3183806@163.com

*Corresponding author: LIN Peng, Senior Experimenter, Asset and Laboratory Management Division, Lingnan Normal College, Zhanjiang 524048, China. E-mail: lin3183806@163.com

分级分类管理办法(试行)》的标准,实验室划分为化学类、生物类、辐射类、机电类及其他类等五大类,每类实验室又包含若干学科的实验室;②实验材料繁多且具体危险性:常用实验材料有化学试剂,动物,病毒、细菌、真菌等微生物,放射性同位素等。根据《危险化学品目录(2015版)》,实验室常用的危险化学品有2828种,其中不乏易燃易爆、化学品、剧毒化学品、高反应活性化学品及易制毒化学品等。③隐患类型多样。有火灾、毒害、燃烧爆炸、机械伤害、触电、放射性污染、激光伤害和冻伤等。

(2) 人员更替频繁:实验室人员层次多,主要是在校大学生,每年毕业的大学生约1000多万,随着学习周期的完成,存在项目研究有多人接替进行的情况,项目交接不够严谨而发生安全事故时有发生。2021年7月27日,广州某大学博士生用水清理上届学生遗留在玻璃瓶内废试剂时发生爆炸刺穿手臂动脉血管。

(3) 挑战性:高校实验室往往数量多且高度分散,有些实验室可能需要设在校外或工厂。实验室运行时间较长,有的甚至趋于全天候。

(4) 不确定性:高校实验室是进行创新科学研究的主要场所,开展的实验内容往往具有创新性和探索性,因而实验操作未知风险极大。

1.2 高校实验室安全问题分析

教育部科技司于2015—2017年连续3年对62所综合或理工类学校实验室安全督查工作,检查中共发现1684个安全问题,化学品安全管理出现问题的比例高达34.5%,是所有检查项中发现问题比例最高的,全部学校都存在化学品安全管理问题^[4](详见表1)。

表1 2015-2017年教育部安全督查62所理工综合类高校高校实验室安全问题分析表

Table 1 Analysis of laboratory safety problems in 62 science and technology comprehensive colleges and universities inspected by ministry of education from 2015 to 2017

序号	实验室安全检查项 问题类别	发现 问题数	发现问题占 比例 %	存在问题学校 比例 %
1	组织体系	154	9.1	83.9
2	规章制度	188	11.1	80.6
3	安全教育	43	2.6	45.2
4	实验室环境与管理	183	10.9	90.3
5	安全设施	202	12	95.2
6	基础安全	140	8.4	80.6
7	化学安全	581	34.5	100
8	生物安全	37	2.2	24.2
9	辐射安全	29	1.7	14.5
10	机电与特种设备 安全	127	7.5	75.8

1.3 高校实验室安全问题对策

海因里希调查了75000件工伤事故,发现其中88%是由于人的不安全行为造成的,10%是由于物的不安全状态造成的,还有2%是由于不可控因素造成的,防止人的不安全行为和消除物的不安全状态是做好实验室管理的关键。基于海因里希事故致因理论的实验室安全管理对策如图1所示^[5]。

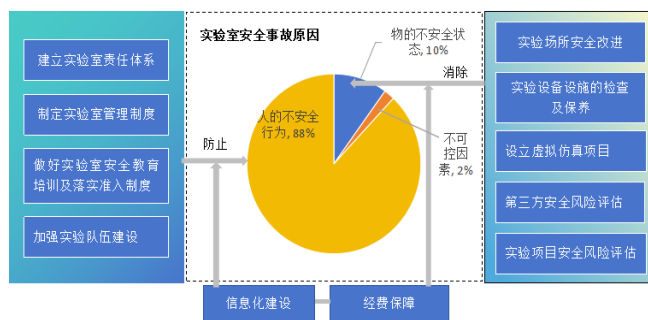


图1 实验室安全管理对策

Fig.1 Laboratory safety management strategy

2 高校实验室双重预防机制管理体系的构建

2.1 双重预防机制管理体系的构建

通过现有研究发现,高校实验室双重预防机制总体可划分为四个阶段,即前期准备阶段、风险分级管控阶段、隐患排查治理阶段及持续改进阶段^[6-8]。

前期准备阶段:前期准备阶段包括成立双重预防体系组织机构、制定相关管理制度及组织参与人员的培训。

风险分级管控阶段:对风险点内的不同危险源进行识别、评价、分级,并根据评价结果采取不同控制措施,实施风险分级管控,是隐患排查治理的前提和基础,是双重预防机制的第一道防线^[6]。

隐患排查治理阶段:通过实验室安全检查,排查风险管控过程中出现的缺失和漏洞,将隐患消灭在事故发生之前,是双重预防机制的第二道防线^[6-7]。

持续改进阶段:实验室是科学研究和技术创新的主场所,新的危险源和安全隐患不断出现,双重预防机制也要不断创新适应新的情况才能有效保障实验室的安全^[8]。

在马巧焕、陶菁及李悦天等人的研究^[6-8]中提出的双重预防机制构建流程,结合高校实际情况,从四个阶段的具体需求出发,构建了高校实验室双重预防机制管理体系流程图,如图2所示。

2.2 实验室风险分级管控

风险分级管控阶段是以安全风险辨识和管控为基础,从源头上系统辨识风险、分级管控风险,努力把各类风险控制在可接受范围内,杜绝和减少事故隐患,主要分为风险评估单元划分、风险辨识、风险评价定级及风险控制措施四个环节。

(1) 风险评估单元划分：风险评估单元是指风险伴随的区域、场所或某一作业活动。通常根据物理边界或使用功能划分，遵循边界清晰、功能独立、大小适中的原则^[9]。

(2) 风险辨识：即危险源识别，是识别危险源的存在并确定其特性的过程，失控的危险源即为隐患，一般包括人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全条件及管理上的缺陷^[10]，如图 3 所示。

(3) 风险评价和定级：高校实验具有时间上的间断性、操作上的灵活多变性、作业环境的复杂多样性等特点，在评估实验操作风险时，宜选用作业条件危险性评价法 (likelihood exposure consequence, LEC)^[11-12]。LEC 是指对于一个具有危险性的作业条件，其危险性 (D) 的主要影响因素包括发生事故或危险事件的可能性 (L)、人员暴露于危险环境中的频繁程度 (E)、事故发生可能产生的后果 (C)，首先根据实际经验对 L、E、C 打分，然后由公式 $D=L \times E \times C$ 计算危险性，最后采取针对性的技术措施或管理手段将风险降低至可控范围内^[12]。

根据《高等学校实验室安全分级分类管理办法 (试行)》，实验室安全等级可分为 I、II、III、IV 级 (或红、橙、黄、蓝级)，分别对应重大风险、高风险、中风险、低风险等级的实验室。

(4) 风险控制措施：高校实验室风险点繁多、隐患复杂，风险管控措施应“聚焦重、高风险，兼顾中、低风险”，要把风险管控落实到岗到人，注意措施的可行性和安全性，避免在管控中再次出现风险或生成隐患。

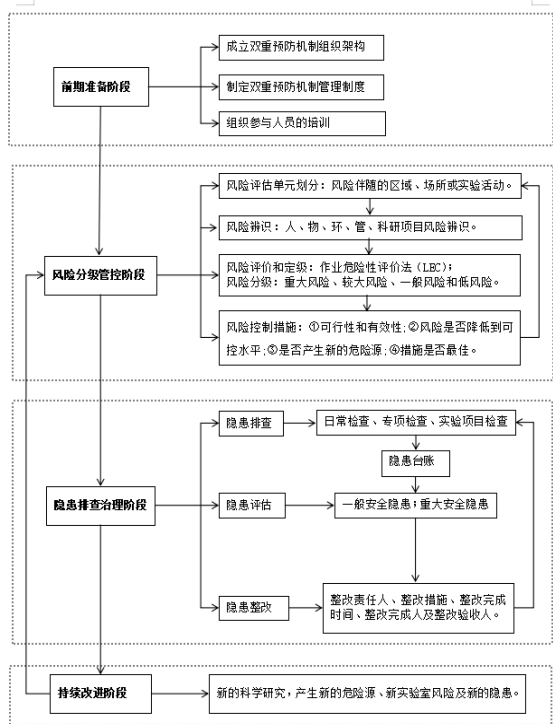


图 2 高校实验室双重预防机制管理体系流程

Fig.2 University laboratory dual prevention mechanism management system flow

1、未穿戴个人防护用品开展实验操作 2、气瓶没有固定且放在电箱旁边



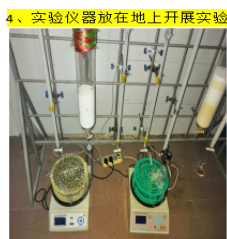
(a) 人的不安全行为



(b) 物的不安全状态



(c) 管理上的缺陷



(d) 环境不安全因素

图 3 实验室危险源分析

Fig.3 Laboratory hazard analysis

2.3 实验室隐患排查治理

隐患排查治理主要是排查风险管控过程中出现的缺失和漏洞，将隐患消灭在事故发生之前，主要包括隐患排查、隐患评估及隐患整改三个阶段^[13]。

(1) 隐患排查：隐患排查主要以实验室安全检查的形式开展，主要有日常检查、专项检查、安全飞行检查及实验项目安全风险评估等，检查时发现安全隐患要建立台账。

(2) 隐患评估：组织实验室安全专家审核隐患台账，根据隐患的潜在危险性和整改难易程度，将事故隐患分为一般事故隐患和重大事故隐患两个等级。

(3) 隐患整改：根据隐患的等级、具体情况和急迫程度，由实验室管理部门、相关学院、实验人员 (项目负责人) 制定治理措施。安全隐患整改实行闭环管理，整改不到位决不销账。

3 双重预防机制管理体系在实验室安全管理的应用

3.1 利用 LEC 法开展实验室危险源风险分析

由学校实验室管理部门牵头，组织实验室安全专家对学校教学、科研实验室和实验项目所涉及的化学试剂、气瓶、高压灭菌锅、马弗炉、干燥箱、气瓶、环境设施和个人防护等开展危险源辨识并建立危险源清单，对确定的危险源进行 LEC 风险评价。根据函数式 $D=L \times E \times C$ 代入相应的分值，计算作业环境的危险性。根据研究发现，D 值越大，说明作业环境的危险等级越高^[14]，根据危险等级开展风险分级管控。以我校化学化工学院实验室为例，通过风险辨识确定各类危险源 28 处，实验室危险源风险分析见表 2^[10]。

3.2 建立实验室安全隐患排查治理台账

根据《高等学校实验室安全检查项目表 (2024 年)》的内

容, 检查小组针对不同的区域和危险源风险点开展检查, 根据 风险隐患排查全覆盖。以我校化学化工学院实验室安全检查为检查结果进行分类分级编制安全隐患排查治理清单, 做到安全 例, 建立隐患排查治理台账 (见表 3)。

表 2 化学化工学院实验室危险源风险分析表

Table 2 Laboratory hazard risk analysis table of chemistry and chemical engineering college

风险点	作业过程	危险源或潜在的事件	可能导致的事故类型	风险评价				危险等级	风险程度
				L	E	C	D		
化学试剂	存储	(1) 试剂柜存放互为禁忌的化学品	爆炸或发生化学反应	10	10	3	300	二级	高
		(2) 试剂室超量存储化学品	爆炸	10	10	3	300	二级	高
		(3) 试剂瓶没有标签或不完整	中毒或其他	6	6	3	108	三级	中
		(4) 使用饮料瓶装化学试剂	中毒	6	6	7	252	二级	高
		(5) 需低温存放的易燃易爆试剂无存放在低温防爆功能的冰箱或试剂柜内;	爆炸或火灾	6	10	3	180	二级	高
		(6) 化学品的进、用、存台账不清	其他	6	6	1	36	四级	低
		(7) 存放的瓶装气体有效期超期	爆炸	6	6	3	108	三级	中
	使用	(1) 配制的试剂没有贴上有效标签	中毒灼烫	6	6	3	108	三级	中
		(2) 超量使用试剂进行操作	爆炸或其他	6	6	7	252	二级	高
		(3) 实验中没有做好个人防护	中毒灼烫	6	6	3	108	三级	中
	废弃物处置	(1) 废物仓库没有设置分区存放	爆炸或其他	6	10	3	180	二级	高
		(2) 互为禁忌的废物放在一起	爆炸	10	10	3	300	二级	高
		(3) 暂存区缺乏安全标识; 没有防渗漏托盘	中毒灼烫	6	6	3	108	三级	中
	高压灭菌锅	实验过程	(1) 没有高压灭菌锅操作规程	爆炸	6	6	3	108	三级
(2) 高压灭菌锅操作员没有经过培训			灼烫	6	6	3	108	三级	中
(3) 高压灭菌锅没有办理使用登记、年检			爆炸	6	3	3	54	四级	低
马弗炉、干燥箱	实验过程	(1) 缺乏操作规程、操作不规范	灼烫或其他	6	6	3	108	三级	中
		(2) 设备周边放置纸箱等易燃物	火灾	6	6	3	108	三级	中
		(3) 实验中人员长时间离开实验室	爆炸	10	6	3	180	二级	高
		(4) 电线负荷小于设备最大功率	火灾	10	10	1	100	三级	中
气瓶	实验过程	(1) 气瓶没有固定	机械伤害	6	6	3	108	三级	中
		(2) 互为禁忌的气瓶放在一起	爆炸	6	6	7	252	二级	高
		(3) 使用惰性气体无设置氧气浓度报警仪	中毒窒息	6	6	3	108	三级	中
		(4) 实验室放置的气瓶过多	爆炸	6	6	3	108	三级	中
实验室环境设施		(1) 实验室环境差、纸箱等杂物过多	火灾	3	6	3	54	四级	低
		(2) 实验室周边 15 m 内没有安装喷淋器	灼烫或其他	3	6	3	54	四级	低
		(3) 实验室内没有配备灭火器或灭火毯或灭火毯	火灾	3	6	3	54	四级	低
个人防护		(1) 实验室没有配备必要的防护眼镜、防毒面具、防护服等	损伤	3	6	3	54	四级	低

表 3 化学化工学院实验室安全隐患排查治理台账
Table 3 School of chemistry and chemical engineering laboratories

排查范围	排查内容	隐患内容 / 管控措施	排查形式	整改部门	排查依据	
二级学院教学、 科研实验室及 科研项目等。	院系层面安全责任体系	院系没有签订责任书到实验房间安全责任人	校级综合检查	学院	《高等学校 实验室 安全检查 项目表 (2024 年)》;	
	实验室安全管理制度	没有正式发文的实验室安全管理办法或细则	校级综合检查	学院		
	安全应急制度	院系、实验室没有相应的应急预案	校级综合检查	学院		
	场所环境	实验室房间门口挂的安全信息牌信息不完整		专项检查		实验中心
		实验室消防通道不畅通		专项检查		实验中心
	应急喷淋与洗眼装置	应急喷淋和洗眼装置的区域标识不明显		日常检查		实验中心
		洗眼装置的供水量, 水压不足		日常检查		学校
	危险化学品	互为禁忌的化学品放在一起		专项检查		实验室
		室内废旧试剂较多, 没有及时清理		专项检查		实验室
		试剂存储间配备必要的二次泄漏防护、吸附或防溢流功能		专项检查		学院
		化学品标签不完整或不清晰		专项检查		实验室
	气瓶管理	使用饮料瓶存放试剂、样品		专项检查		实验室
		气瓶没有固定		学院巡查		实验中心
		可燃性气体与氧气等助燃气体气瓶混放		学院巡查		实验室
	实验室废弃物(液) 管理	较小密封空间使用可引起窒息的气体, 没有设置气体报警装置		学院巡查		学校
		实验室没有设立化学废弃物暂存区		校级综合检查		学院
	压力容器	针头等利器没有放入利器盒中收集		校级综合检查		实验室
		固定式容器或移动式容器, 没有取得《特种设备使用登记证》		校级综合检查		学校
	加热及制冷装置管理	压力容器没有定期检验		专项检查		学院
		贮存危险化学品的冰箱为普通冰箱		专项检查		学校
		冰箱周围堆放杂物, 影响散热		专项检查		实验室
		加热设备旁放置易燃易爆化学品、气瓶、冰箱、杂物等		专项检查		实验室
		烘箱、电阻炉等加热设备周边醒目位置没有张贴高温警示标识和安全操作规程等		专项检查		学院

3.3 实验室安全隐患整改落实

为了加强隐患整改落实的力度, 对未进行整改的隐患责任人, 应该采取一定措施^[8]。

利用物联系技术构建学校实验室综合管理平台, 通过信息手段加强安全隐患整改。安全隐患 10 天内没有完成整改的, 停

止该实验室或课题组实验耗材采购; 超过 10 天没有完成整改的安全责任人要再次进行培训, 直到整改完成验收合格后才开放耗材采购。如属重大安全隐患超过 10 天没有整改完成的, 学校停止该实验室使用并约谈实验室(课题组)负责人, 直到整改完成验收合格后方可使用该实验室。实验室隐患整改流程如图 4 所示。

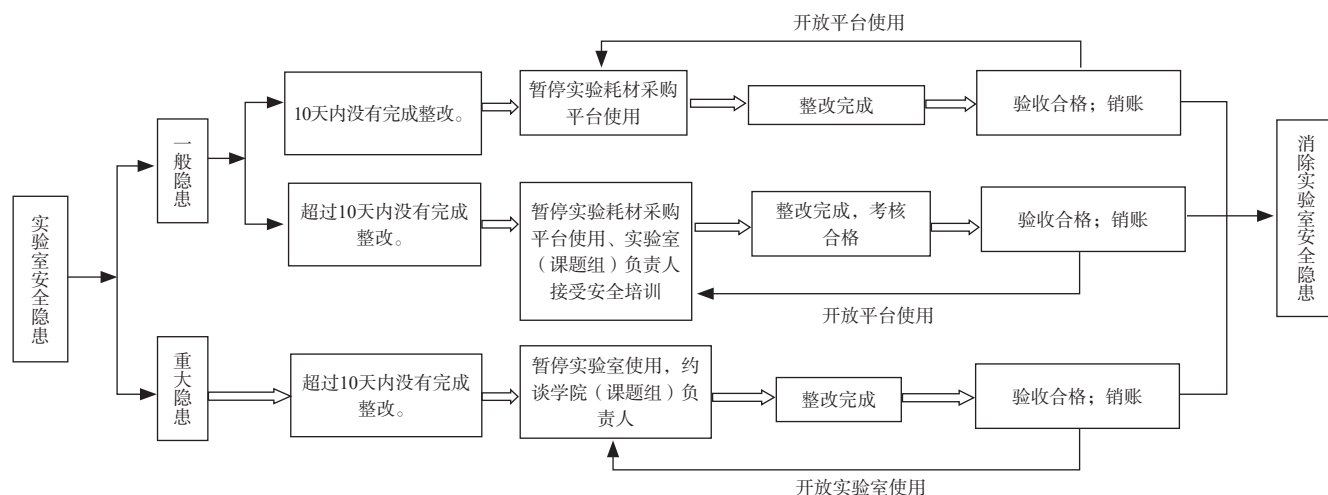


图4 实验室隐患整改流程

Fig.4 Hidden dangers in the laboratory

4 实验室双重预防机制持续改进

科学研究是一个不断探索与创新的过程,实验方法不断创新,实验室新的危险源和风险隐患便会随之产生^[8]。我们必须定期组织对实验室双重预防机制运行情况进行评估,验证双重预防机制在学校实验室管理的可行性、适宜性及有效性,及时修正偏差。因此,实验室双重预防机制也要持续改进,才能有效管控风险^[8]。

5 结束语

高校实验室危险源风险点种类繁多,安全隐患复杂,安全管理难度大。实验室管理以《高等学校实验室安全分级分类管理办法(试行)》为抓手,建立实验室双重预防机制,实施风险分级管控,不让风险形成隐患,落实隐患排查治理,不令其失控而发生事故,双重预防机制能有效提高实验室管理水平。

参考文献

- [1] 熊宏齐. “双一流”建设中高校实验技术队伍持续发展之思考[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(09): 18-21.
- [2] 张飞, 戴澧. 高校化学类实验室事故分析与安全管理对策[J]. 实验室研究与探索, 2024, 04(43): 259-260.
- [3] 李爽. 双重预防机制在实验室安全管理中的应用. 2022 年高校实验室安全培训 [EB/OL]. [2022-04-19]. <https://lmd.just.edu.cn/2022/0617/c10798a309225/page.htm> [2024-04-19].
- [4] 杜奕, 冯建跃, 张新祥. 高校实验室安全三年督查总结(II)-从安全督查看高校实验室安全管理现状[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(07): 5-11.
- [5] 杜莉莉, 郑前进. 基于海因里希事故致因理论的高校实验室

安全管理[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(08): 258-259.

- [6] 马巧焕, 欧盛南. 基于双重预防机制的实验计划及风险处置备案书及应用[J/OL]. [2023-06-02]. <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.2034.T.20230601.1523.004.html> [2024-04-19].
- [7] 陶菁, 毛亚军. 高校实验室安全管理双重预防机制构建及应用[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(06): 274-275.
- [8] 李悦天, 刘雪蕾. 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, 40(S1): 46-48.
- [9] 王世海. 双重预防机制基本概念辨析及创建方法探讨[J]. 工业安全与环保, 2021, 47(03): 65-67.
- [10] 孟兆磊, 马巧焕. 基于双重预防机制的高校实验室安全管理探究[J]. 实验室研究与探索, 2023, 11(42): 294-296.
- [11] 夏斯伟, 周海. 基于改进 LEC 方法辨析高校机械实验室安全风险[J]. 实验室科学, 2022, 25(02): 211-214.
- [12] 马庆, 赵雨霄. 优化的 LEC 法在高校实验室安全风险评估中的应用[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(11): 221-222.
- [13] 王金贵, 胡超. 基于双重预防机制的高校实验室安全管理体系建设[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(01): 210-211.
- [14] 申建军, 李倩雯. 高校实验室双重预防机制构建及信息化平台[J]. 山东化工, 2023, 52: 227.

作者简介



林鹏, 高级实验师, 研究方向为实验室安全管理、大型仪器共享。