

基于风险矩阵分析法的化学环境类高校实验室安全风险识别和风险评估

胡雷雷, 李凯慧, 张 鹏, 翟雯航, 孙凌帆, 肖 琳, 王 娟, 李海华

华北水利水电大学环境与市政工程学院, 河南 郑州

收稿日期: 2024年6月2日; 录用日期: 2024年6月22日; 发布日期: 2024年6月30日

摘 要

在分析高校化学环境类实验室特点的基础上, 采用风险矩阵分析法, 对高校化学环境类实验室安全风险进行评估。以报告风险评估为实例, 说明风险矩阵分析法可以有效地运用于高校化学环境类实验室的安全风险评估中, 帮助实验室提高安全保障水平。

关键词

实验室, 安全管理, 风险矩阵, 识别, 评估

Safety Risk Identification and Risk Assessment of Chemical Environment University Laboratory Based on Risk Matrix Analysis

Leilei Hu, KaihuiLi, Peng Zhang, Wenhong Zhai, Lingfan Sun, Lin Xiao, Juan Wang, Haihua Li

School of Environmental and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

Received: Jun. 2nd, 2024; accepted: Jun. 22nd, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

Based on the analysis of the characteristics of the chemical environment laboratories in universi-

文章引用: 胡雷雷, 李凯慧, 张鹏, 翟雯航, 孙凌帆, 肖琳, 王娟, 李海华. 基于风险矩阵分析法的化学环境类高校实验室安全风险识别和风险评估[J]. 统计学与应用, 2024, 13(3): 992-998. DOI: 10.12677/sa.2024.133100

ties, the safety risk of the chemical environment laboratories is evaluated by the risk matrix analysis method. Taking the report risk assessment as an example, it shows that the risk matrix analysis method can be effectively applied to the safety risk assessment of the chemical environment laboratories in universities, and the risk matrix analysis can help the laboratory to improve the level of safety assurance.

Keywords

Laboratory, Safety Management, Risk Matrix, Distinguish, Assessment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化学环境类高校实验室具有操作频繁、人员流动性大等特点,且内部存放有易燃、易爆、易挥发等化学药品,同时配备高温、高压、强磁、搅拌、震动等大量教学和科研用仪器与设备[1] [2] [3]。因此,化学环境类高校实验室安全是高校校园安全管理的重要内容。

化学环境类高校实验室风险因素较多,高校在日常的风险控制中需要做大量工作。开展教学和科研实验室安全的“日日检测”,既降低工作效率,又大幅度提升成本。因此,文章将风险矩阵法应用于化学环境类高校实验室的风险评估,期望高校能够借鉴风险评估的结果,对实验室安全采取有效的风险分级监控,确保实验室安全无事故。

2. 化学环境类实验室特点

2.1. 安全事故多

2001~2016 年我国高校实验室共发生爆炸事故 50 起,造成伤亡人数达 79 人,平均每起事故导致的伤亡人数为 1.58 人[4]。据统计,高校实验室危险化学品引起的安全事故占比高达 46%,实验室仪器设备使用不当引起的安全事故占比 42% [5]。

除了惊人的事故数据,化学环境类高校实验室发生的安全事故,极大地引起了社会的高度关注。2015 年 12 月 18 日上午 10 点左右,清华大学化学系一名博士研究生在实验室内使用氢气做化学实验时发生爆炸并起火,现场气味刺鼻,事故造成该博士生死亡[6]。2018 年 12 月 26 日,北京交通大学市政与环境工程实验室发生爆炸燃烧,9 时 33 分 21 秒模型室出现颜色发白的强光为氢气爆炸,9 时 33 分 25 秒模型室出现颜色泛红的强光为镁粉爆炸,现场 3 名学生被烧死[1]。

2.2. 危险化学品多

化学环境类高校实验室使用各种不同规格的化学试剂进行科学实验。这些试剂大多是易燃、易爆、有毒和腐蚀性的,有些试剂甚至具有剧毒特性。这些试剂是国家控制的剧毒化学品,因此统称为“危险化学品”。

就这些危险化学品的规格和包装而言,大多数固体包装为 500 克、液体为 500 毫升,部分固体为 250 克、10 克和 1 克,部分液体试剂为 100 毫升和 10 毫升。根据其性质,它们主要分为两类:有机化学品和无机化学品。大多数有机化学品是易燃、易爆和有毒的,而大多数无机化学品具有腐蚀性,甚至有些

药物具有很强的腐蚀性。

同时,随着科学研究水平的提高和实验数量的增加,实验室每年产生的危险废物越来越多。如果危险废物处置不当,不仅会污染环境,还会威胁实验室的安全。合理、安全、有效地处理实验性危险废物是安全问题的重要组成部分。

2.3. 特种设备多

环境化学类实验室涉及许多特殊设备。包括气瓶、储气罐、空气压缩机、高压灭菌锅、高速离心机、超低温冰箱等,这些设备的使用危险性水平较高。要求所有用户必须经过相关培训,取得特种设备操作证,定期检查设备性能,建立档案。

高压气瓶在化学环境类实验室中使用最广泛,例如氢气、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、液氨、乙炔、氩气、氮气和其它气瓶。瓶内的物质常常在高压下。当气瓶跌落时,即使在热或不规则的情况下工作,也可能发生爆炸或其他危险。除了爆炸性和简单的喷雾之外,钢瓶中的许多压缩气体都是可燃的、有毒的、腐蚀性的。例如,氢的浓度非常小,不易溶于水,泄漏性非常强。气瓶阀门的微小缺陷容易引起泄漏。氢是可燃的并且在燃烧期间具有高的单位热。当大量的氢与空气混合着火时,会发生剧烈的爆炸。

高压灭菌锅也是化学环境实验室的通用装置。高压灭菌锅是一种快速可靠的杀菌和消毒装置,使用压力饱和蒸汽对产品进行消毒。适用于玻璃或溶液培养基等的杀菌消毒,一般在约 121 °C 的温度下进行高压蒸汽灭菌。在达到灭菌所需的温度和时间后,实验室使用通气阀对废气进行减压,以便立即取出灭菌的物品。高温蒸汽通过放气阀快速释放,实验者有被灼伤的危险。当通气孔被切断时,灭菌锅的压力变得无法控制,成为容器破裂等重大事故的主要原因。

高速离心机也是化学环境类实验室的通用装置。由于其极快的转速,在意外时,与旋转离心物料接触可能导致手指和手臂被切割的事故。另外,由于各种原因引起的滚筒破裂、滚筒位移、盖板的飞溅也会造成严重的损害。

2.4. 实验室学生专业杂、人员多

在一些综合性大学,除了化学和环境专业的学生外,还有其他专业需要学习化学,并接触危险化学品和特种仪器。例如:材料、核化学和物理、金属冶炼、生物发酵、制药、食品科学与工程、能源(锂和燃料电池等)、公共卫生与医学、地质等专业。

3. 化学环境类高校实验室中安全风险因素识别

根据国家标准《生产过程危险和有害因素分类与代码(GB13861-2009)》,从四个因素——人、物、环、管,结合化学环境类高校实验室特点,来识别实验室可能会出现的安全风险[7]。

3.1. 人的因素

必须在心理上小心。必须客观地识别实验中的危险有害因素,并对其危险性进行评价。例如,用水稀释浓硫酸的时候,应该明确正确的操作程序是只能将浓硫酸少量多次的倒入到水中,而不能将水倒入到浓硫酸中。如果没有建立详细的操作程序,直接进行实验。结果实验会发生爆炸,造成重伤。

当过度疲劳、过度紧张或疾病时,不建议开展实验,特别是高风险的实验。如严重感冒期间和重大考试之前,不建议开展高风险实验项目。

如果实验工作量大或时间长,必须合理的安排时间或得到他人的支持,不得单独进行实验。如需 24

小时不间断的环境微生物生长曲线实验，需多人轮流值守，不得独立一人进行实验。

当实验人员得视力低下、色觉异常或味觉异常，则不能进行实验。其实验指标可以用工具衡量，也可以由其他人协助。应避免误操作，严格遵守操作顺序，并采用联动防呆措施。

实验时，要注重观察、检查和巡逻的有效性。实验和观察过程中的精力不集中，观察、检查和巡逻的失效、流于形式甚至长时间离岗等，都会造成严重后果。特别是离岗对实验是非常有害的，而且常发生，由此发生过很多严重的安全事故。如化学专业使用集热式磁力搅拌装置进行化学合成实验时，虽然设备有自动控温功能，但是实验人员不得离岗。

3.2. 物理性危险和有害因素

在开展实验之前，必须仔细查明物理危害和有害因素，并考虑到实验所需的物质条件，以满足现有要求。如有必要，需要进行预先模拟实验，如：

设备、工具和附件必须满足必要的条件。如实验玻璃器皿没有裂纹且厚度适中，否则容易破裂。再如通风橱的通风效率是否满足要求，不然，有毒有害气体扩散到室内空间。特别是环境专业的强酸消解实验，必须在通风性能良好的通风橱内进行，以彻底排出一氧化氮、二氧化氮等有害气体。

设备设施无防护缺陷。避免使用无防护的设备设施，如高压气瓶的防护链是否启用，有毒气体的浓度报警器是否启用等。

实验中使用的设施和设备不得有暴露的带电体，以避免电损伤。如环境专业的静电除尘实验，实验过程中，瞬间最高电压可达 70 KV，务必防止电流泄漏、静电、电火花等爆炸。

要特别注意辐射、噪声等物理性危害。如环境专业使用的 X 射线荧光光谱仪，在测量固态样品时，要注意 X 射线对人体的伤害。再如曝气实验装置所配备的空压机、冷冻干燥设备所配备的真空油泵，在使用的时候应配备隔音装置，以防止噪音伤害。

实验中要防止高温流体的溅射。比如化学合成时使用高温硅油当加热介质，要特别小心不能将水或者其他低沸点的溶剂误滴入其中，以防止高温硅油的溅射。

实验室尽量避免使用明火加热，如果必须使用，那就要注意明火与易燃易爆化学品的距离。比如，环境微生物灭菌操作，使用酒精灯时，要远离无菌棉以及封口用的废旧报纸等可燃物。

要防止高温设备的烫伤和低温气体的冻伤。比如环境和化学类实验室常见的电吹风、电烘箱、马弗炉等高温物体，使用不当极易造成烫伤及灼伤。低温化学合成实验常用到液氮，环境微生物实验检材的保存常用到超低温冰箱，如操作不当极易造成冻伤。以上操作要严格按照仪器的操作规程进行，同时要做好个人防护。

对光源的使用要做好防护。如环境光催化降解污染物实验会长时间使用氙灯光源，切勿直视出光口，如需观察光斑状况，务必佩戴防护眼镜。

在进行危险实验时，在划定警戒范围的同时，应在显眼的地方设置规范、清晰的提醒告示牌，以防止无关人员靠近。

3.3. 化学性危险和有害因素

国家《危险化学品目录》里面列举了共 2828 目危险化学品，而化学环境类高校实验室，除了常见的化学品外，通常还涉及到易制毒易制爆、甚至剧毒类化学品。如环境专业污水中化学需氧量的测定常用易制爆化学品重铬酸钾，而污水高锰酸盐指数测定实验常用到高锰酸钾，高锰酸钾既是易制爆化学品也是易制毒化学品。水中氨氮测定实验，常用剧毒品碘化汞来配制纳氏试剂。因此化学性危险对化学环境类实验室来说尤其突出。

在进行化学环境类实验时,除了要注意化学品的安全分类保存,更需要特别注意危险化学品的使用。包括爆炸品、易燃固体、自燃物品、遇湿易燃物品、氧化剂、强腐蚀化学品、有毒有害物质。

爆炸品在受热、撞击等外界作用下,能发生剧烈化学反应,瞬时产生大量气体和热量,使周围压力急剧上升,如:硝酸钾、苦味酸、硝化甘油、重氮甲烷等。因此,在使用爆炸品时要采取防爆措施。如降低爆炸品的用量,减慢加料速度,采取降温措施,加速搅拌等措施。

易燃固体的燃点低,对热、撞击、摩擦敏感,易被外部火源点燃、燃烧迅速并能散发出有毒烟雾或有毒气体,如:红磷、硝化棉、松香、铝粉等,在使用易燃固体时,要远离火源,并避免加热和撞击。

自燃物品的自燃点低、在空气中易被氧化、能放出热量并且自行燃烧,如:黄磷、三乙基铝、叔丁基锂等。因此在使用时要预防其接触空气。

(遇湿易燃物品遇水或受潮时发生剧烈化学反应、释放出大量易燃气体和热量的物品,有些不需要火源即能燃烧或爆炸。如:钾、钠、锂及钾钠合金,氢化钾,碳化钙、磷化钙等,在使用时避免其接触水分甚至湿空气。

氧化剂通常处于高氧化态、具有强氧化性、易分解并释放出氧和热量。氧化剂本身不燃烧,但由于富氧可以助燃,能够强化可燃物的燃烧。如:氯酸钠、高锰酸钾、氯酸钾、过氧化苯甲酚、过氧化锌、过硫酸铬、亚硝酸钠、重铬酸钾等,在使用氧化剂时,要可靠的降温措施,尽量降低加料速度和增加搅拌速度,防止温度失控。

强腐蚀化学品能灼伤人体组织并对金属等物品造成损坏。如:硫酸、硝酸、高氯酸、氢氧化钠、氢氧化钙、氢氧化钾、硫氢化钙等,在使用强腐蚀化学品时,尤其要注意做好个人防护,戴好手套、面罩,穿耐腐蚀的实验服,以防止强腐蚀化学品沾染到皮肤。

有毒有害物质进入肌体并累积到一定量后能与器官发生生物化学作用,破坏肌体的正常生理功能,引起器官和系统暂时性或持久性病变,乃至危及生命。如:氰化钾、三氧化二砷、汞、氯乙醇、二氯甲烷、苯、四氯化碳等。使用有毒有害物质时,要在通风条件良好的通风橱内进行,以防止有毒物质扩散到反应体系外特别是空气中,造成人员中毒。

3.4. 场所环境因素

关于环境因素,主要是讨论化学环境类实验室的内部场所环境对实验的影响。

水走下,电走上,水和电的管路相对独立,坚决避免触电情况的发生。

实验室内部地面不能有凸起物。通常化学环境类实验操作比较频繁,经常需要手持装有危险化学品的玻璃器皿进行实验台面之间的转移。

火灾风险大的房间,安全通道要保持通畅,不得在门口、过道堆放杂物,75平方米以上的实验室要有两个安全出入口。

通风橱的通风效果要良好,化学环境类实验常涉及易燃易爆及有毒有害气体,要避免有害物质扩散到房间内。

使用遇湿易燃化学品时,要在干燥的手套箱内进行操作。

容易产生振动的设备,需考虑建立合理的减震措施,比如高速离心机在使用时需要在底部安装防震垫。

要避免噪声伤害,实验室噪声一般不高于55分贝(机械设备不高于70分贝),化学环境类实验室常见的空气压缩机需要在隔音室内使用。

3.5. 管理因素

在实验室管理方面,除了签订责任书,建立管理体系外,还应该从以下方面强化具体的管理措施。

针对化学环境类实验室化学品繁杂的特点，要开展化学品安全专项检查和巡查，并将检查结果进行通报。

针对化学环境类实验等危险性实验需要制定严格的操作规程，制定专项紧急预案，并做好应急物资储备。

要定期开展应急演练，不能仅仅是消防灭火演练，应该是针对化学环境类实验常见危险化学品处置的应急演练。

4. 化学环境类高校实验室中安全风险因素识别

选用较为常用的半定量评价法——风险矩阵分析法，对实验室质量风险进行评估[8]。

根据事件发生后造成的质量损害程度，可将化学环境类高校实验室的风险分为 5 个等级，见表 1。

Table 1. Level of severity of laboratory risk (S)

表 1. 化学环境类高校实验室风险严重性等级(S)

等级	伤害程度	说明
1	对安全影响可忽略不计	可忽略
2	安全影响在可控范围内	轻微
3	安全影响可弥补	一般
4	对安全造成不可挽回的影响	严重
5	安全影响违法违规	非常严重

结合化学环境类高校实验室的特点，将实验室安全风险发生可能性分为 5 个等级，见表 2。

Table 2. Level of possibility of the occurrence of laboratory risk (L)

表 2. 化学环境类高校实验室风险发生可能性等级(L)

等级	发生频率	说明
1	事件发生概率很低，甚至不发生	不可能
2	发生概率很低，每年一次者几次	很少
3	时有发生，每月一次或几次	偶尔
4	发生不意外，每周会发生	可能
5	常常发生，每天都会发生	频繁

将风险的严重性(S)和发生可能性(L)制成矩阵形式进行研判。风险评价指数 $R = S \times L$ ，见表 3。

Table 3. Assessment index (R) of risk and requirements of control

表 3. 风险评价指数(R)及控制要求

风险评价指(R)	程度描述	风险等级	应采取的控制措施
1~3	可忽略的风险	1 级	不需要采取措施
4~8	可接受的风险	2 级	不额外增加改进措施，定期监督
9~15	中等风险	3 级	采取措施，加强人员培训和监督频率
16~25	重大风险	4 级	采取应急和预防措施，投入成本和资源来降低风险，必要时修订质量

本文以报告风险为例，运用风险矩阵分析法对化学环境类实验室安全风险进行评估。实验室安全风险等级评价见表 4。

Table 4. Assessment of risk level of laboratories' reports
表 4. 实验室安全风险等级评价

风险来源	导致的后果	发生可能性等级(L)	严重性等级(S)	风险评价指数(R)	风险等级
蒸馏水器干烧	火灾	2	3	6	2 级
实验中玻璃器皿损坏	其他伤害	2	3	6	2 级
化学品使用方法不当	中毒、火灾	3	3	9	3 级
使用高温设备	灼烫	4	3	12	3 级
有毒有害气体溢出	中毒	2	4	8	2 级
接线板断路	火灾	2	3	6	2 级
激光、强磁、高速运动等特殊设备使用不当	其他伤害	4	4	16	4 级

由表 4 可知，实验室 7 个报告风险中，有 4 个可接受风险、2 个中等风险和 1 个重大风险。对 4 个可接受风险要选配与岗相适人员出具报告，指定专人校核报告，并定期监督和抽查。对 2 个中等风险，要提出有效的控制措施，加强法律规范学习，签订责任状明确权责奖惩，使风险降低到可接受水平。对 1 个重大风险，该实验室须纳入学校的安全检查体系，建立三级安全检查体系，接受最高级别的监督和检查。

5. 结论

运用半定量的风险矩阵分析法可以较好地解决环境化学类实验室的安全风险评估问题，有效地帮助实验室识别风险、控制风险，并根据风险评估指数等级来采取适当的应对措施，持续改进安全保障水平。

基金项目

- 1、华北水利水电大学 2024 年校级教育教学研究与改革项目(2024XJGXM077)。
- 2、华北水利水电大学高等教育教学改革研究与实践项目：高校本科实验教学安全风险识别、管控、预警体系及危废内循环管理模式研究。

参考文献

[1] 阳富强, 邱东阳. 基于相似安全系统学的高校实验室爆炸事故分析及防控[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(2): 92-97.

[2] 刘冬, 刘洋, 许丽丹. 高校化学实验室安全隐患分析及防控对策[J]. 化工管理, 2024(7): 101-103.

[3] 贾思璠, 舒心. 浅析 6S 管理模式在高校化学教学实验室的应用[J]. 化工安全与环境, 2024(1): 57-60.

[4] 贺蕾, 廖婵娟, 卢丽丽, 等. 112 起高校实验室事故分析统计与防控对策研究[J]. 中国公共安全: 学术版, 2017(5): 49-53.

[5] 田志刚, 周晓凤, 张燕, 等. 基于系统动力学的高校实验室安全风险建模与应用[J]. 实验室研究与探索, 2021(4): 292-298.

[6] 王杰. 防范为本落实为要要做好实验室安全管理[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(8): 260-263, 311.

[7] 李志华, 邱晨超, 贺继高, 等. 浅谈化学实验的安全设计[J]. 实验室科学, 2018, 21(5): 210-214.

[8] 刘芳, 宋红元, 李剑超, 等. 风险矩阵分析法在地质实验室质量风险评估中的应用[J]. 资源环境与工程, 2020(4): 635-638.