



我国高校实验室安全事故原因分析及对策

盛耀楠^{1,2}, 卢恩达¹, 贡兆恒¹, 张艳君³, 江胜强¹

1. 南京医科大学医政学院, 江苏 南京 211166; 2. 南京医科大学附属宿迁第一人民医院耗材管理处, 江苏 宿迁 223812; 3. 中国药科大学生命科学与技术学院, 江苏 南京 211198

摘要:为促进我国实验室安全建设、减少实验室安全事故,通过文献计量学方法对2012—2022年高校实验室安全的相关文献进行关键词图谱分析,同时通过对2012—2022年28起国内高校实验室重大安全事故调研,探究国内高校实验室安全事故发生原因,并提出相关的应对策略。结果显示,人为因素、物品因素、环境因素以及管理因素是事故发生的主要原因,进而围绕落实实验室安全责任、开展实验室安全检查、全方位培训师生安全教育观念、建立应急预案、定期进行安全演习以及完善实验室信息化建设等方面提出对策,同时提出构建高校实验室安全风险预警机制,从源头上避免安全事故的发生,为我国高校实验室风险管控工作提供参考。

关键词:高校实验室;安全;原因分析;对策;风险预警机制

中图分类号:G647

文献标志码:A

文章编号:1671-0479(2023)06-591-006

doi:10.7655/NYDXBSS20230614

高校实验室作为科研人员开展基础实验研究的场地,为广大师生提供了一个重要的科研平台,学生可以利用其锻炼基础实验操作能力,加深对基础理论的理解,在高校具有举足轻重的地位。而一个实验室正常运行的基本保证是具备健全的实验室安全管理体系。2010年以来,国家颁布了一系列实验室安全的要求,明确了实验室安全规章制度、实验室设施及环境等要求。2019年发布的《高校教学实验室安全工作检查要点》强调,高校行政主管部门需实施监管职责,学校定期进行实验室安全教育。尽管国家不断对高校实验室安全加强管理,近十年来实验室安全问题却屡见不鲜。一方面是高校扩大办学规模与加大教学深度导致实验室人员流动性大、实验形式多样,另一方面则是科研的飞速发展对实验室相关配置要求越来越高。本文通过文献计量学方法,对我国2012—2022年高校实验室安全报道的相关文献进行可视化分析,统计近十年高校实验室发生的安全事故,深度探究事故发生的原因,并提出对策排除可能存在的安全隐

患,构建高校实验室安全风险预警机制,旨在完善高校实验室安全管理体系,为我国高校实验室安全管理研究提供参考。

一、文献分析

(一)文献收集和处理

通过中国知网(CNKI)文献库,采用专业检索方式,主题式为“SU=‘高校实验室’*‘安全管理’ and FT=‘实验室安全’”,时间跨度为2012—2022年,共检索到1 812篇文献。对这些相关文献进行筛选整理,删除1条无关文献,将所得1 811篇文献通过Grafhpad软件进行统计分析,同时导出为Refworks格式,导入CiteSpace 6.2 R4软件,对文献数据集进行关键词共现及聚类分析,跨度选择2012—2022年,节点类型选择为“Keyword”,时间切片设置为1年,赋值的“Selection Criteria”值为“TopN=50”,频次选择 ≥ 5 ,通过调整切片网得到关键词共现图谱及关键词聚类。

(二)结果分析

文献时间分布情况一定程度上代表了本领域

基金项目:国家自然科学基金面上项目“创新抗癌药物医保覆盖对癌症用药可及性与经济性的影响:价值视角下的政策评估与优化研究”(72074123);江苏省社会科学基金“江苏高校科技创新人才培养与梯队建设研究”(22GLD009)

收稿日期:2023-08-18

作者简介:盛耀楠(1992—),女,江苏宿迁人,主管技师,研究方向为医疗器械管理;江胜强(1979—),男,江苏溧阳人,副研究员,研究方向为高等教育管理、科研管理,通信作者,jsq@njmu.edu.cn。

的研究现状及趋势,通过对 CNKI 数据库 1 811 篇文献进行计量分析,得到 2012—2022 年文献发文数量情况(图 1)。由图 1 可知,2012—2022 年我国高校实验室安全领域发文数量呈阶段性上升趋势,2012—2014 年基本持平,平均每年发文 75 篇,从 2015 年起文献突破 100 篇,这和我国坚持科教兴国战略密不可分,2019—2022 年大幅提升,平均每年发表 265 篇,是 2012 年的 3.6 倍。文献关键词共现图谱显示,高校实验室安全主题出现频率较高的关键词为“安全管理”“安全教育”等,说明现阶段我国重视高校实验室安全管理;然而“安全隐患”“风险评估”“体系构建”等关键词出现频率相对较低,分别是 22、18、15 次,侧面反映我国目前在实验室安全风险预警方面的研究存在不足。

关键词聚类显示近十年共有 6 类明显的聚类分支,按聚类值高低排序分别为:#0 安全管理、#1 安全、#2 安全教育、#3 高校、#4 信息化、#5 对策(图 2)。关键词聚类值越高,表明关于这部分内容的文献数量越

多,侧面反映出这方面研究的支撑性越强。值得关注的是,近年来文献中有关信息化的主题增多,说明实验室安全管理的一个趋势是信息化、数字化。然而其他研究内容主要集中在安全管理、安全教育以及对策上,存在聚类内容大小相近、关键词重合等问题,同时“安全隐患”“风险预警”“危险因素”等宏观性关键词缺失,说明我国高校实验室安全风险预警相关的研究需要深化。

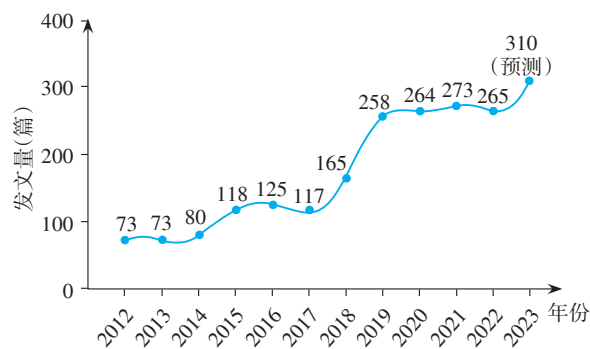


图 1 2012—2022 年高校实验室安全相关研究发文量

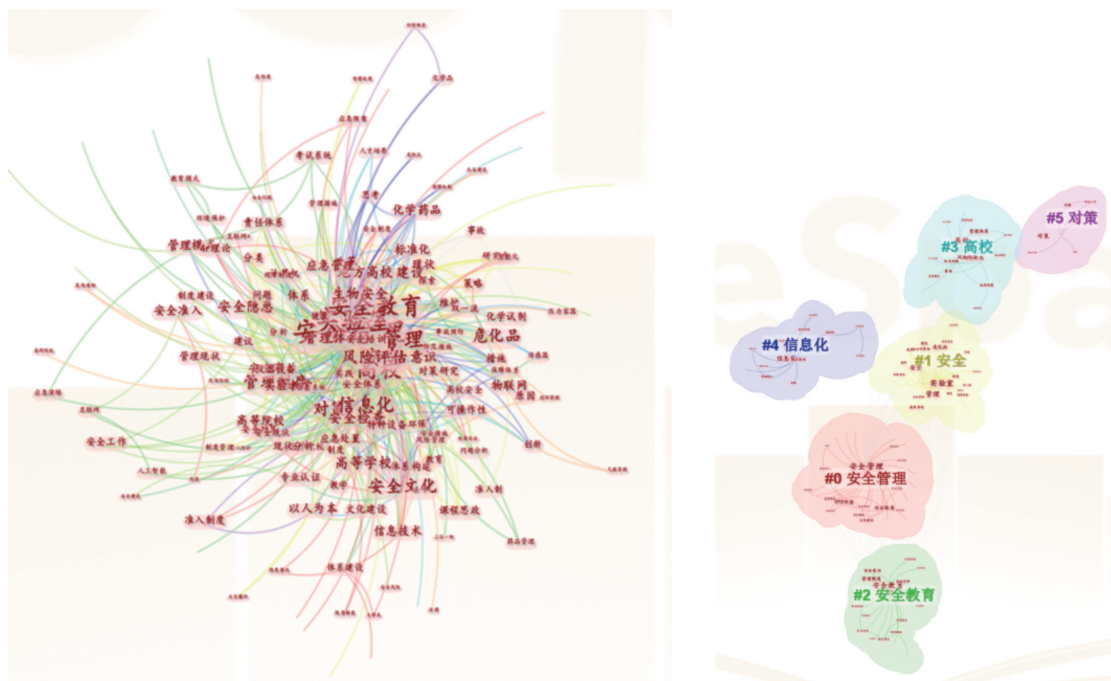


图 2 文献关键词共现图谱及聚类分析

二、2012—2022 年高校实验室安全事故概况与原因分析

(一)事故发生概况

根据相关新闻及文献,2012—2022 年高校实验室安全事故 28 起,各年份事故发生例数分布情况如图 3 所示。可以看出,高校实验室安全事故频繁发生,尤其是 2015 及 2022 年,事故均达到了 5 例。尽管国家及各高校历来重视实验室安全事项管理,但高校实验室事故却屡见不鲜,并且历

年事故发生的次数也并未下降。因此各高校仍需从已发生的实验室安全事故中总结问题、分析原因、做好相应的预防措施,保障师生的人身及财产安全。

(二)事故类型及原因分析

根据统计结果,2012—2022 年发生的实验室安全事故主要包括爆炸事故及火灾事故等类型,具体见表 1 及图 4。对高校实验室安全事故发生原因进行讨论分析,最后确定四个主要原因,分析如下。

实验人员人为导致。实验人员不当操作往往

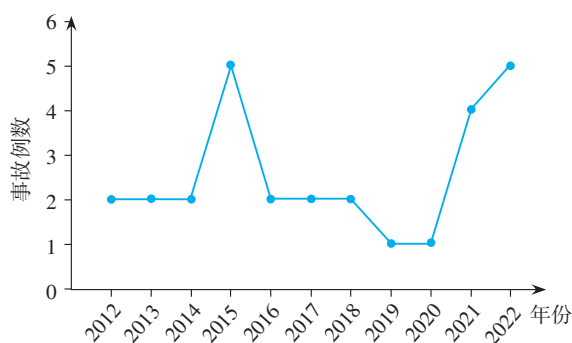


图3 2012—2022年高校实验室安全事故情况

是高校实验室安全事故导火索,在所发生的各类安全事故中,因实验人员不当操作引发的事故占总数的五分之四^[1]。在一个完整实验过程中,参与者不仅仅是相关操作人员,还有实验室安全责任人、监管人等,不同人员的实验手法不同,安全意识不同,安全管理能力不同,诸如此类的因素均可能导致实验室安全事故。

实验物品状态不佳导致。实验物品的状态是否完好一定程度上决定了实验室安全事故的发生概率。例如实验设备是否可靠、实验材料性能是否

表1 事故情况及原因

时间	地点	事故类型	原因
2012.2.15	南京大学	甲醛泄露	危险品存储不规范
2012.3.17	华南理工大学	仪器爆炸	天气潮湿,实验环境恶劣
2013.4.1	上海某高校	饮水机投毒	投毒,实验室物料管理不当
2013.4.30	南京理工大学	爆炸	煤气罐和氧气瓶使用不当
2014.3.18	北京师范大学	火灾	实验操作不慎
2014.12.4	常州工程职业技术学院	玻璃仪器爆炸	试剂使用不当
2015.4.5	中国矿业大学	甲烷爆炸	甲烷气瓶压力表未经检验;实验人员操作不当;危险气体认识不足;违规配置实验用气;爆炸气瓶超期服役;实验室不具备资质;安全管理制度缺陷
2015.6.17	苏州大学	锂块爆炸	学生操作失误
2015.9.22	北京大学	起火	学生做实验时,火焰枪与氢气管连接处脱落,氢气喷出后被引燃
2015.12.5	华东理工大学	烧瓶爆燃	操作失误;未预估反应产生压力
2015.12.18	清华大学	氢气爆炸	没有意识到氢气泄露
2016.1.10	北京化工大学	冰箱起火	冰箱短路引发自燃
2016.9.21	东华大学	爆炸	未注意实验条件;实验室不具备喷淋装置;校方培训不当
2017.3.18	中北大学	火灾	易燃易爆物品放置不当
2017.3.27	复旦大学	反应釜发生爆炸	操作失误;仪器出问题
2018.11.11	南京中医药大学翰林学院	爆燃	未在老师指导下进行危险实验;易燃易爆物品放置不当
2018.12.26	北京交通大学	氢气、镁粉爆燃	违规开展实验、冒险作业;违规购买、违法储存危险化学品;对实验室和科研项目安全管理不到位
2019.2.27	南京工业大学	火灾	易燃易爆物品放置不当
2020.12.21	成都某大学	塑料袋燃烧	违规使用塑料袋携带金属粉末样品,导致塑料袋燃烧
2021.3.31	中科院化学所	反应釜爆炸	反应釜未冷却就强行开启,导致爆炸
2021.7.13	南方科技大学	兰尼镍着火	易燃易爆物品放置不当;紧急喷淋装置使用不当
2021.7.27	中山大学药学院	化学品爆炸	处理未知化学试剂导致爆炸
2021.10.24	南京航空航天大学	镁铝粉二次爆燃	火灾用水灭火造成二次爆燃;未在老师指导下进行危险实验;实验室管理员不当班;易燃易爆物品放置不当
2022.4.20	中南大学	爆燃	实验环境温度过高导致铝粉爆燃
2022.6.7	深圳某大学	玻璃仪器爆炸	封闭玻璃仪器实验未使用高压反应釜
2022.11.15	四川轻化工大学	投毒	实验室进出权限随意
2022.11.26	南京农业大学	实验室着火	易燃化学品存放不当
2022.12.6	香港大学	玻璃仪器爆炸	氢化钠实验失当

完好、安全防护设备是否齐全、实验物品的储存摆放环境、实验室化学安全等情况。一旦易燃易爆物品或者具有腐蚀性的物质储存不当,实验室消防设施损坏缺失,极有可能导致事故,甚至出现二

次事故。

实验室不良环境影响。过于干燥的实验环境加上易燃易爆品摆放不当往往导致火灾的发生,而过于潮湿的环境可能使得实验物品失效导致事

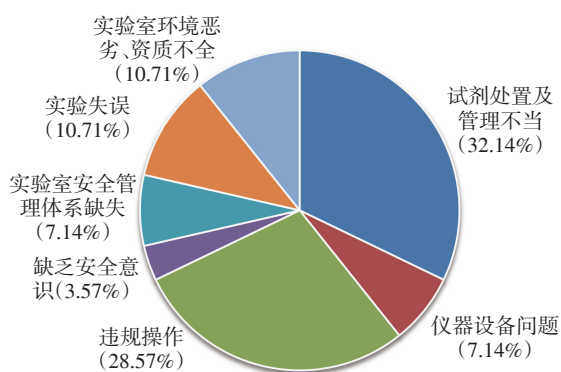


图4 2012—2022年高校实验室安全事故类型占比

故。环境因素也可能间接导致事故。比如实验人员在黑暗环境中开展科研活动,失误率会大大增加,从而发生实验室安全事故。规范化的实验室必须保证操作人员实现相关实验操作无障碍化,以排除潜在威胁。除此之外,一旦发生事故,过于拥挤的实验室布局可能会影响受困人员的逃生,加大事故威胁性,因此进行合理规范化的实验室布局非常必要。

实验室日常安全管理不当导致。实验室的安全管理体系是否健全是实验室能否保证长效安全的关键,实验室安全责任人不作为导致事故发生的案例比比皆是^[2-3]。增强实验室安全员责任意识与安全感是重中之重。此外,必须制定严格的管理制度,形成完善的实验室安全管理体系,进行安全教育培训,加强相关实验人员的安全意识,在日常的工作中总结经验教训,进一步消除实验室的安全隐患。

三、高校实验室安全管理对策

(一)落实实验室安全责任

实验室安全责任落实到个人是完善实验室安全管理体系的第一步,将安全责任进行细节划分,不遗漏任何一个环节,任一环节发生异常情况可以第一时间找到责任人。此外,建立校级—院级—实验室的层级责任制度势在必行,保障实验室安全是各个部门的责任,如果仅依赖于主管部门进行管理,必定会存在一定的安全隐患。无论是实验室管理人员还是实验操作人员都应该全面投入到安全工作中,注意一切可能存在的安全隐患。对实验室安全管理的各个环节进行责任划分,细节落实到个人,明确实验室各个安全岗位的职责和界限^[4]。进行“校级—院级—实验室”自上而下的分级管理,依次签署实验室安全责任书^[5],明确每个主体职责,层层压实责任,以降低事故发生概率。

(二)建立实验室安全管理体系

1. 完善实验室安全管理制度

2000年以来,国内众多高校均发布了实验室

操作人员培训及管理办法,同时也对实验人员的基本素质进行考核与奖励,在实验室环境安全方面形成了一系列的管理措施^[5]。如南京大学环境学院对符合要求的实验室或个人授予实验室工作先进集体、先进个人荣誉称号,同时颁发相应的奖励金,对于违反学校学院实验室安全、环境管理等相关要求的实验室或个人,视情节轻重予以相应的处罚,包括取消年度评优资格、通报限期整改、暂缓暂停废弃物处置和实验物资领用、按学院绩效考核办法扣罚绩效点、收回实验用房等。相关安全制度的发布与实施也是高校保障实验室安全的重要手段,例如实验室日常安全检查制度、危化品管控制度、有毒有害物质管理制度、废液处理制度^[6-7]。依据实验物品的性能及实验安全要求,制定实验前、中、后各个环节的实验守则并遵守,如清华大学针对剧毒物品实施了安全管理办法,东南大学针对实验室废气、废液、固体废弃物的排放实施了有关规定。国内某些高校进行资金单独立项用于实验室安全技术规范和标准的研究^[7],如湖北省高等学校实验室研究会针对实验室(实训)建设与管理、实验室仪器设备管理、实验技术队伍建设管理、实验室技术安全管理4个方向启动项目申报工作。还有部分高校针对实验室所存在的隐患进行属性分类,并以此进行标准化管理^[8],浙江大学实验室与设备管理处根据危险源的特性分为化学类、生物(医学)类、辐射类、机械类、电子(电气)类和其他类,同时根据实验室危险源可能引发危险的严重程度,将各类别危险源由高到低分为4个安全风险等级。目前国内大部分高校的实验室依旧沿袭过期的管理办法,制度体系不够灵活多变,实用性差,与国外相比仍然存在较大差距^[9],因此目前急需推进实验室安全管理体系改革,完善科学的管理制度体系。

2. 提升实验人员基本素质

进行实验室相关人员安全培训,实验室人员必须具备相关知识和技能,同时拥有强大的心理素质冷静应对各种突发状况,在事故发生后能够准确迅速控制危机的发展及蔓延。教育部办公厅在2020年发布了《教育系统安全专项整治三年行动计划实施方案》,将“加强实验室安全教育,开设实验室安全相关专业及课程,把实验安全教育纳入相关人才培养方案”作为重中之重。高校的实验室安全教育应当具有一系列完善的教育课程,同时积极创建相关实验室安全文化活动,全方位加强安全应急教育。

3. 加强日常资源配置及事故预防管理

实验室试剂及药品实行分类管理。从上述28起高校安全事故原因分析中可以发现,危险化学品的不规范操作和管理是引发事故的重要原因。实验室现场布置、防护设备设置、消防通道设置等

都影响实验室危险化学品安全^[10]。高校应针对危险化学品的管理进行必要研究,例如对危险品进行从入库到耗尽的监管监控,同时做好使用记录。对购买、储存、使用和用后处置的情况进行规范化、制度化管理,提升高校化学实验室危险化学品的管理水平。对于不同的试剂药品实行分类摆放、分类管理、专人负责,可极大程度地避免危险品相关实验室安全事故的出现。

定期开展实验室安全检查。高校应当坚定不移地推进日常实验室管理制度,对各个实验室相关管理制度实施情况例行检查,同时安排专人对实验室潜在的安全隐患进行定期查验,对于违反相关管理规定的行为实行惩罚制度,只有这样才能保障实验室的有效运作,保障广大师生的生命安全。教育部在2015年制定了《高等学校实验室安全检查项目表》,并于2019年针对某些内容进行修订,将其分为12大类、151项条款,此项目表也是现阶段我国高校实验室进行安全检查的标准。

国内众多高校不仅在检查内容上进行了革新,同时在检查机制方面也有所改进。例如校级—院级—实验室层级查验制度结合管理部门的突击检查^[11]、校外专业机构的第三方检查^[12],这些机制的革新都大大增强了检查的高效性。此外,部分高校利用办公自动化系统实现实验室安全检查的常态化开展^[13]。国内某高校通过招募若干名研究生,利用其所具备的专业知识进行实验室安全巡检,同时进行安全知识宣传^[14],切实保障了实验室的安全运行。

4. 建立应急预案

一旦发生安全事故,科学的应急预案能够阻止事故进一步扩大,将损失降至最低。高校制订相关应急预案应包含以下内容:成立现场指挥小组,根据事故现场进行应急疏散,建立完善的通信联络系统,内部资源不足时寻求外部支援等。

定期举行安全演习,安全演习能够锻炼学生面对突发状况时的应对能力,极大减少事故所带来的伤亡。高校应根据实验室的自身情况定期举行消防演习,加强师生的安全互救及自救意识。具体包括:掌握火灾或爆炸等消防安全事故的处置流程;知晓灭火器及消防栓等器材的放置地点;熟练掌握灭火器材的正确使用及扑灭火灾的技能;熟悉逃生路线,迅速并有秩序地逃离事故现场;提升师生在突发事件中的协调配合能力,尽可能降低事故发生后的损失,保障师生的生命和财产安全。

完善高校实验室的信息化建设。现阶段实验室安全管理体系与传统的实验室安全管理体系相比,信息化程度越来越高,有的甚至可以对实验室安全情况进行实时监测,一旦事故发生能够第一时

间进行报警^[15]。各高校可立足实际情况,针对性地建立包含人员管理、危险物品的采购管理、物品及设备台账管理、数据信息上传等实验室管理系统;监控和管理实验室的设备、实验物品及其使用情况。可参照高值医用耗材的管理模式,对危险化学品及使用设备实行条形码或二维码扫码管理,实时更新所有物品库存、摆放位置,全程监控试剂空瓶和过期药品处置。可通过建立门禁系统、使用预约系统及药品使用监管等系统实施智能化管理。最终为高校实验室的安全使用提供切实可行的保障支持。

(三)构建实验室安全管理风险预警机制

通过对2010—2022年高校及实验室发生的消防安全事故数据统计分析,发现管理风险的滞后性导致其在工作过程中容易被忽视,随着时间的积累,管理风险会逐渐加大,最终导致高校及研究所实验室消防安全事故。构建管理风险预警机制能够及时发现安全管理中的问题,避免问题的扩大与衍生。具体流程见图5。

1. 监测风险因素,划分风险级别

为辨别实验室安全风险行为,定期进行安全检查、巡查、审核及安全例会反馈。主要有实验设施不完善、应急设备落后、安全制度落实不到位、安全意识淡薄、违规操作、应急预案不完整、安全演习不到位等风险行为。通过对风险行为进行数据采集,分析其对安全目标指标的影响程度,依据影响程度,对不同的风险因素划分级别。

2. 建立预警响应机制

接收到安全管理风险预警发布,根据所接收的预警等级及风险行为,相关管理人员依据重点实验制定自身的“资源可控、操作可达”的应急预案,充分做好应对危机的条件保障。高校应加强潜在隐患检测、定期安全检查、消除隐患等安全保障措施,提供迅速而高效的应急救助。应急防护小组率先评估安全风险等级,选择防护应急等级,根据“确定事故—保障现场安全—终结安全事故—事故后反思”流程迅速做出决断,尽可能将损失降到最低,避免事故引发更大的影响^[16]。

3. 构建风险处置机制,完善应急预案

针对不同类型风险点和可能导致的后果,制定科学周密的应急预案,并定期组织安全演习及培训。2012—2022年高校实验室发生的安全事故原因可以看出,绝大多数事故类型为火灾及爆炸,少部分为有毒有害品污染。在日常安全管理中,高校实验室要统一采购、规范放置相关物资,包括消防栓、灭火器、紧急医疗包、隔离面罩等,同时进行培训,保证实验室的每个参与人员做到心中有数。各实验室可附设急救室或急救台,配备急救解毒处理

药物,在危险管制物品处安装摄像监控器,配合协同应急演练,大幅度降低事故危害率。加强专业化应急队伍建设,经常性组织应急演练专业化培训,提高风险处置的保障能力。

4. 建立风险责任机制,落实安全管控责任

实验室负责人是本实验室风险管控工作的第一责任人。对本实验室各区域划分风险网格单元,将安全风险排查的事项、内容和频次等工作逐一落实到个人,提高风险管控工作效率。

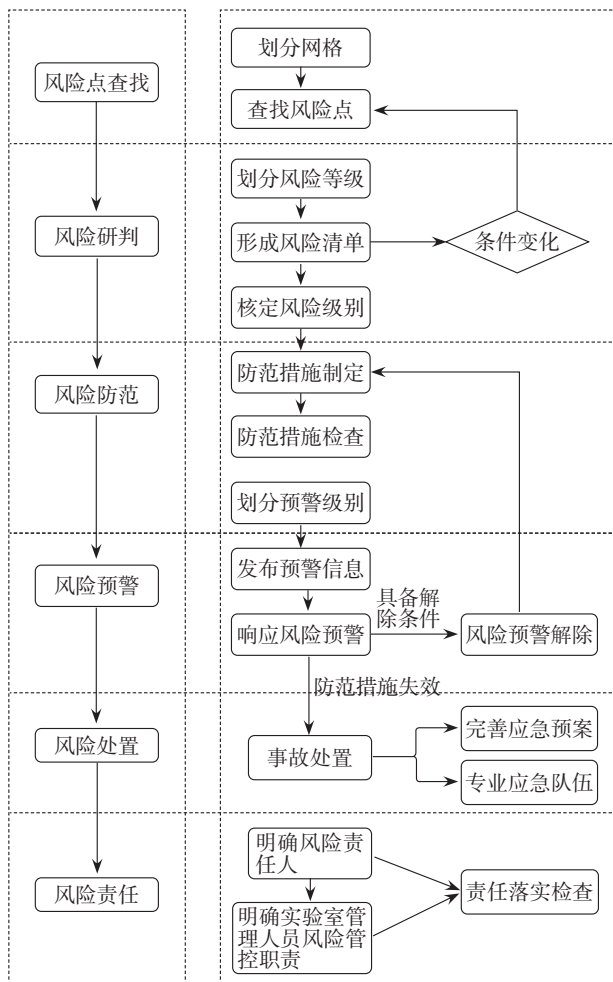


图5 实验室安全风险预警机制流程图

高校实验室安全关系着高校高质量发展,关系着人才培养、文化传承及学生专业技能和科研素质的培养,因此必须建立健全实验室安全管理长效机制,加强安全风险防控,为高质量发展创造更加良好的环境,高校才能在传授知识与技能的同时为学生创造更加安全、舒适、放心的学习与生活环境,在达成学生期望的同时实现培养高素质人才的目标。

参考文献

- [1] 徐晓明,周海,刘青,等. 高校实验室危险源人因主导的阶段性转变与安全防护研究[J]. 化工设计通讯, 2020,46(11):100-101
- [2] 孙婷荃,徐金光. 关于完善实验室安全管理体系的几点思考[J]. 湖北师范学院学报(自然科学版), 2007, 27(3):112-114
- [3] 高淑芹,平梅. 新时期高校实验室安全管理分析及对策[J]. 实验室研究与探索, 2007,26(10):149-152
- [4] 安宇,郭子萌,王彪,等. 高校实验室事故成因分析与安全管理研究[J]. 安全, 2022,43(8):34-39
- [5] 方东红,荆晶,张欣,等. 新时代一流高校实验室管理体系构建思考与探索[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(2):1-3,7
- [6] 刘长宏,赵方,宋典达,等. 安全检查提升实验室保障能力的研究与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(1):8-11
- [7] 贺占魁,黄涛. 综合治理视角下的高校实验室安全管理体系构建[J]. 实验技术与管理, 2019,36(1):4-7
- [8] 高惠玲,董鹏,董玲玉,等. 基于危险源辨识和风险评价的高校实验室安全管理[J]. 实验技术与管理, 2018,35(8):4-9
- [9] 贺蕾,廖婵娟,卢丽丽,等. 112起高校实验室事故统计分析 with 防控对策研究[J]. 中国公共安全(学术版), 2017(2):49-53
- [10] 潘越,吴林根. 高校实验室危化品安全预警评价体系设计及应用[J]. 实验技术与管理, 2019,36(6):263-266
- [11] 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
- [12] 周健,徐宏勇,袁洪学. 第三方实验室安全检查机制的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2018,35(10):1-5
- [13] 余伟亮,张彪,宋欣瑶. 基于医学院 OA 系统的实验室安全自查系统构建[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(5):289-293
- [14] 赵建新,钱婷婷,王世强,等. 构建多方联动与齐抓共管的高校实验室安全管理体系[J]. 实验技术与管理, 2018,35(8):1-3,15
- [15] 肖慧娟,杜婕,张旻. 基于知识图谱的国内实验室安全管理研究的可视化分析[J]. 化学教育(中英文), 2022, 43(4):129
- [16] 韩琴,刘新,苏春丽,等. 4R 理论在高校实验室安全管理中的应用[J]. 化工管理, 2022(13):125-129

(本文编辑:姜 鑫)