

# 实验室安全全过程动态管理研究

王紫伟<sup>1</sup>, 陈小雨<sup>1\*</sup>, 白向玉<sup>2\*</sup>, 王涵铎<sup>1</sup>, 刘宏<sup>1</sup>, Othmane Chems<sup>1</sup>, 蒋家超<sup>2</sup>, 王丽萍<sup>2</sup>, 朱雪强<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学安全工程学院, 徐州 221116; 2. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116)

**摘要:** 近些年, 高校实验室事故时有发生, 把控实验室安全是近些年高校管理人员的工作重点, 在实验室全过程管理的实践上, 还需深入探索。本文结合临时危险源管理难度大、设备与实验室环境不兼容、学生安全素养提高程度受限的实验室现状, 提出将动态管理理念融入全过程管理中, 借助于学校实验室安全智能监测与管控系统实现对人员、试剂、设备、环境四个要素的全过程动态安全管理, 能有效完善实验室全过程管理流程。

**关键词:** 动态管理; 全过程; 实验室

## Research on the dynamic management of the whole process of laboratory safety

WANG Zi-Wei<sup>1</sup>, CHEN Xiao-Yu<sup>1\*</sup>, BAI Xiang-Yu<sup>2\*</sup>, WANG Han-Duo<sup>1</sup>, LIU Hong<sup>1</sup>, OTHMANE Chems<sup>1</sup>,  
JIANG Jia-Chao<sup>2</sup>, WANG Li-Ping<sup>2</sup>, ZHU Xue-Qiang<sup>2</sup>

(1. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;  
2. School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**ABSTRACT:** In recent years, laboratory accidents in colleges and universities have occurred from time to time, and controlling laboratory safety has been the focus of university managers in recent years. In the practice of whole-process laboratory management, further exploration is needed. Combined with the current situation of the laboratory where the management of temporary hazards is difficult, the equipment is incompatible with the laboratory environment, and the improvement of students' safety literacy is limited, it is proposed to integrate the concept of dynamic management into the whole process management process, and realize the whole process dynamic safety management of the four elements of personnel, reagents, equipment and environment with the help of the school laboratory safety intelligent monitoring and control system, which can effectively improve the whole process management process of the laboratory.

**KEY WORDS:** dynamic management; the whole process; laboratory

## 0 引言

实验室是高校师生科研实验和教授学习的重要场所, 是国家优秀栋梁的摇篮, 是国家高精尖技术的孵化中心。实验室安全是师生人身安全和设备财产安全的重要保证, 实验室的安全与否影响范围不止局限于校园层面, 还广泛受到社会层面的监

督。一旦发生事故, 会让社会舆论怀疑学校的管理水平, 影响社会稳定发展, 甚至于影响国家的人才储备和科技发展水平<sup>[1]</sup>。高校的实验室安全建设是当今教育关注的重点, 2023年教育部印发《高等学校实验室安全规范》<sup>[2]</sup>意在最大限度减少实验室安全事故, 保障校园安全。当今实验室安全研究一般通过人、机、环、管的管理体系来进行分析<sup>[3]</sup>, 事故主要原因有人的不安全

**基金项目:** 江苏省高等教育教改重中之重研究课题(2023JSJG027); 中国矿业大学教学学术重大课题(2022ZDKT05); 中国矿业大学体育、美育与劳育专项一般课题(2023ZX75); 中国矿业大学宣传思想文化发展培育项目(2024)

**Fund:** Jiangsu Province Higher Education Reform Priority Research Project (2023JSJG027); China University of Mining and Technology (2022ZDKT05); General Project of Sports, Aesthetic Education and Labor Education, China University of Mining and Technology (2023ZX75); China University of Mining and Technology Propaganda Ideological and Cultural Development Cultivation Project (2024)

\* **通信作者:** 陈小雨, 博士, 副教授, 主要研究方向为公共安全与消防、职业卫生安全、矿用柴油车尾气处理等。E-mail: drizzle13xy@126.com; 白向玉, 博士, 高级实验师, 主要研究方向为实验室安全与环保。E-mail: cumtbxy@126.com

\* **Corresponding author:** CHEN Xiao-Yu, Ph.D, Associate Professor, School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China. E-mail: drizzle13xy@126.com; BAI Xiang-Yu, Ph.D, Senior Experimentalist, School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China. E-mail: cumtbxy@126.com

行为、物的不安全状态、环境的不安全因素和管理的不健全<sup>[4]</sup>等。对实验事故调查发现,近年来实验室各个环节都可能会发生事故<sup>[5]</sup>,不能采取以往针对性强、碎片化的安全管理策略。基于全过程、全要素、全方位的三全理念,结合某学校实验室安全智能监测与管控系统,深入挖掘全过程管理内涵,从人员、试剂、设备、环境等四个方面来实行全过程动态管理,提高实验室安全水平。

## 1 实验室安全管理中存在问题分析

目前高校实验室利用物联网、数字孪生、信息化平台建设来实现实验室全过程管理<sup>[6-7]</sup>,但是实际应用中不难发现,即便实施了全过程管理策略,也经常存在实验样品堆积、实验设备堆积占据实验活动通道以及实验室供配电与实验设备不匹配等情况,这些对于实验活动的展开以及应急逃生都是非常不利的。

### 1.1 临时性危险源管理难度大

重大课题项目经常会持续很久,一些重要的实验样本可能需要放置较长时间才能进行数据表征等下一步计划,其中一些实验人员可能会因为毕业或者辞职而离开,一些没有及时处置的实验样本可能就会堆积在样品柜中。若样品标签不完备不清楚,鉴于实验数据的重要独特性,学生不敢擅自清理这些可能已经没有价值的样品。长此以往,实验样品就会堆满药品柜或纯净室,占据了过多的空间,同时过期的药品长时间放置可能会挥发污染药品柜,存在风险继而引发安全事故,不利于实验室的整体安全。实验实际操作过程中,由于环境或材料限制,可能会搭建临时性实验场景,便于实验顺利完成,具有总体危险程度较小,整改进程迅速,实验进行中暂时不便整改等特征,此类情况未实时跟进也有可能造成较严重的后果,管理起来比较棘手。客观分析来说,实验室冰箱以及样品柜中胡乱堆砌的实验样本,固定在不稳定桌角的实验设备均属于不稳定的临时性风险,不能“一刀切”管理,需要与使用人员密切联系。而由于实验经费的限制、实验场所的完备程度要求,科研实验室往往由各个老师的学生共同使用,在实验室检查过程中经常不能跟实验人员直接对话,无形中增加了管理成本和难度。

### 1.2 设备与实验室环境不兼容

随着课题推进及新增课题项目,经常需要购入新的仪器设备,同时,由于设备的长期磨损以及科研项目结题,一些实验设备会损坏或者闲置。通常设备仪器造价高昂、体型笨重,不易挪动,但又不能简单堆积在杂物房,因此不仅浪费了科研资源,还会给实验室现行运转流程造成空间阻碍。实验室的管道线路以及供配电线路往往根据之前实验室布局设置,新增的实验设备可能会与以往的布局不兼容,比如,配电插头数量不够、设备电源电压要求与现有条件不一致、通风设施不能覆盖实验操作台以及配电箱被实验仪器遮挡不能打开。同时大量购置的新设备,用电、空间等超过了实验室的最大容许容量,存在走线混乱和电路老化<sup>[8]</sup>的隐患,易发生火灾事故,不利于实验室系统的安全平衡发展。关于实验室水电管道的扩容更新,往往只能根据已有情况进行改造来重新适配新设备、新器材,时间金钱成本还是其次,主要是实验室的安全防控措施的不兼容

会提高实验室的危险性且改造难度大。还有部分实验室建设初期未明确实验室用途类别,中途更改使用用途,如机械类实验室未有应急电源等易导致仪器等报废;化学气瓶实验室缺乏通风装置<sup>[9]</sup>。如此种种,都增加了实验室和设备的使用成本和管理成本。

### 1.3 学生安全素养提高程度受限

高校育人的目的是培养高水平高素质的创新型人才。实验室除了科学研究的功能外,还承载着提高学生实验安全素养、保护优秀人才人身安全的责任。新生入学时,迫于科研时间紧张,再加上普遍认为学生本科时已经接受了完善的教育培训,针对研究生的实验室安全教育往往流于形式,但研究生面对的是更加创新的科研项目、更加复杂的实验环境,更应该拥有完整针对的安全培训,同时也能满足研究生较本科生更高的育人要求。从实验室育人的角度,研究生导师教学科研任务繁重,实验室检查发现的问题往往会交给学生来解决。学生只是机械地完成导师的任务,不清楚实验室为什么要这么整改,学生的实验安全认知不明确,学生在实践中能提升的安全素养有限,相似的问题在以后的科研道路中又会频繁发生,会呈现出屡教不改的假象,增加了许多无谓的工作量,不利于学生持续教育工作的展开。同时,研究生毕业的压力较本科生大得多,任务紧迫的情况下不得不挑战实验室安全的高压线,知其不可为而为之。受限于实验室空间的狭小和仪器的稀缺,不能充分满足每位学生的教学需求,不能在实践中锻炼学生的动手能力<sup>[10]</sup>,学生安全素养提升有限。

## 2 实验室全过程动态管理途径

全过程管理理论是指在事物发展变化的整个周期内,从头到尾进行严格动态把控,强调事故的每一个环节都不能忽视。全过程管理理论在项目管理、工程建设、信息建设、财务管理均得到广泛应用<sup>[11-12]</sup>。全过程管理的理念应用到实验室上,实践效果在多篇文献中都有体现。吴林根等人<sup>[13]</sup>认为要从完善机构、规范制度、加强督查等方面来实行实验室全过程管理,才能减少实验事故的发生,确保实验室安全运行。何允刚等人<sup>[14]</sup>提出,在校内实行危险化学品全过程管理体系后,院、所、系三级能够实现对危险化学品信息状态的精准把控,有利于及时消除隐患。何森等人<sup>[15]</sup>利用信息化手段,建立了一套危险化学品管理体系,实现对危险化学品从采购、储存、使用到废弃的全过程监管,对化学品储量种类等的分析方便指导管理决策的制定。王卫等人<sup>[16]</sup>认为基于实验室全过程管理平台建设平台的课题组管理、实验室安全、仪器开放、物品管理等模块可以提高实验室管理效率,减轻工作人员压力。上述文章均体现出全过程管理在实验室安全中旺盛的生命力,但在实际应用中忽略了实验室全过程管理的一个重要特征,那就是实验室的人员、试剂、设备等要素随着时间变化、科研项目增减变换而变动。全过程管理缺乏动态调整,长此以往,将会失去活性,造成管理体制僵化,不利于实验室的平稳运行,因此实验室的全过程安全管理工作也应当配合动态特征,动态变化调整。动态管理的核心在于持续的监测、评估和调整,将动态管理战略融入实

实验室管理全过程中，面对实验室安全管理过程中遇到的不确定的要素，有较宽泛的自由度，能够游刃有余应对不同等级的危险隐患，将可能会发生较大事故的危险源扼杀在摇篮中。

基于此，从人、试剂、设备、环境四个实验室重要组成要素出发，提出上述要素全过程动态管理的实施途径，如图1，从而完善实验室全过程管理流程，更新实验室全过程管理理论。

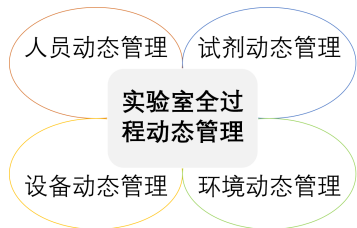


图1 实验室全过程动态管理途径

Fig.1 Laboratory whole process dynamic management approach

人员动态管理的途径有通过安全教育培训提高人员安全素养，以及利用技术手段监控实验室人员不安全行为等，从而实现从进入实验室做实验到实验完成、离开实验室的全过程动态管理。试剂动态管理针对所有化学品实施申请、采购、入库、储存、使用、报废等流程，而针对管制类化学品，如易制毒、易制爆，按照法律法规的要求，加装报警等功能，并与公安部门协同合作，采取预警、应急更为严格的管理流程。设备动态管理则是在对设备动态开放使用的过程上增加安全管理要素，延长使用寿命，降低耗损概率。环境动态管理则是对实验室作业区域环境以及药品存放等区域设置气体传感器等装置，连接后台动态监控实验室环境，将事故伤害降低在最小，或者避免发生事故。

### 3 实验室全过程动态安全管理实践

在前文介绍的实验室全过程动态管理途径基础上，结合学校实验室安全智能监测与管控系统的应用实践，介绍实验室安全全过程动态管理的具体举措。

#### 3.1 人员动态管理

针对学生进出实验室、进行实验等行为，划分管理节点，采取如下图2所示的人员管理流程，切实提高学生的安全意识，坚决拒绝懈怠心理。

首先学校实验室采用人员准入机制，进入实验室的人员均经过实验室准入培训及考核，签署实验室安全承诺书，对该实验室常涉及的危险源应知应会，考核合格后方能进入实验室。实验室准入年限一般根据学生教育周期确定，不是一次获取就能永远进出。人员获取进入实验室的资格后，利用学生一卡通证件刷卡进入实验区域，每个学生仅开设相关实验区域进入权限，杜绝无关人员进入实验室，保证实验设备、材料的安全性。进入实验室后，学生必须规范穿着实验服、丁腈手套以及护目镜，才能顺利完成实验室签到流程，从技术手段断绝实验室人员不规范穿戴的问题。实验进行过程中，实验室安全智能监测与管控系统通过人脸识别技术手段定位人员位置，可以精准掌握实验人员进行实验的状态。视频监控技术对实验室人员行为进行实时监测，管理人员可随时查看实验学生的实验操作，并及时

通过扩音器进行制止不当操作。除此之外，设置鹰眼抓拍系统动态监控、精准识别学生不安全行为，并采用惩罚手段，取消实验室准入资格，需再次参加准入考核重新获取准入权限。实验人员离开实验室前需把实验室打扫干净并刷校园卡签退，管理系统因此就具有实验人员详细进出时间，督促学生尽量避免夜间实验等不安全行为，督促学生合理规划实验时间。通过上述手段能够实现人员进出实验室的全过程动态管理以及人员从入学到毕业的全过程闭环管理，实时监测人员动态，切实减少人员不安全行为，防范由人带来的不稳定因素；提高人员安全素质，实现高校高素质育人目标。

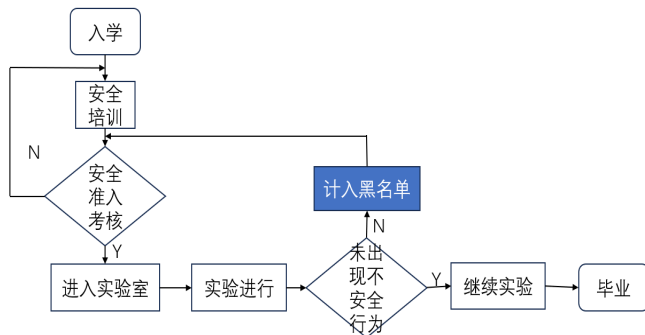


图2 实验室人员全过程动态管理流程图

Fig.2 Laboratory personnel dynamic management flow chart of the whole process

#### 3.2 试剂动态管理

目前关于试剂的管理多是从全生命管理流程出发，但在实践应用中，还存在一些管理的盲区。因而从关键节点出发，建立试剂全过程动态管控体系，把控试剂的全方位信息，不遗漏任一试剂，对试剂追根溯源，从而获得更加完整的试剂信息(见图3)。

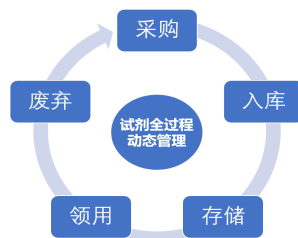


图3 危化品管控流程

Fig.3 Hazardous chemicals control process

利用学校实验室安全智能监测与管控系统对危险化学品从采购、入库、存储、领用、废弃等环节严格把控，采购环节综合考察，指定供应商；化学品确定颜色性状正常方可入库，均贴有标签，便于管理；化学品存储在通风环境良好的化学品柜中，符合国家规定和环保要求，并配有自动报警系统；领用危化品采用双人双锁，双人使用制度；建立完善的化学品废弃流程，并且具有实验室化学品库存可视化功能，能对较多化学品的实验室进行预警。试剂全过程动态治理是一个长期过程，需要管理人员按期检查，方能利用系统排查隐蔽的隐患。除此之外，还应考虑到自配试剂的全过程管理，尤其是报废处理，自

配试剂成分只有本人才清楚, 如果本人也没有做好记录, 不明成分的试剂报废是很有难度的, 会加剧胡乱倾倒的乱象, 不符合环保要求。因此自配置试剂配置时一定要明确成分、所有人、有效期等四要素标签, 并做好电子档案备份, 不仅方便人员管理工作的展开, 还能够帮助学生建立起良好的记录意识, 并能防止废弃物的污染。学校实验室系统也可以后续往这方面努力, 设置清理提醒, 到期自动提醒。

### 3.3 设备动态管理

当前研究关于设备动态管理的角度集中在利用数字孪生手段、信息化平台等手段做好设备的开放使用, 增加设备使用的轮转频次, 提高设备的开放效率<sup>[17-18]</sup>, 而设备安全动态管理的重心应放在设备与实验室建筑布局的兼容性、供电电路的适配性以及设备的安全使用、检修、维护等方面, 如图 4。从安全经济的角度考虑, 安全管理的目的是保证人、财产安全, 对设备进行安全管理和维保, 减少设备故障次数, 降低故障概率, 减轻故障程度, 符合安全管理的初衷。首先学校将设备全生命周期理念引入到设备安全管理方面, 要求每个实验室有明确、针对设备类型制定设备安全操作规程, 并要求学生按照实际情况填写设备使用情况记录表, 这也是管理人员检查的重点。学校要求购置仪器前做好风险评估, 同时要求师生开展新实验项目前进行风险评估, 也包括了设备使用的再次风险评估, 均有纸质资料存档。购置设备时不仅要考虑设备的使用场景, 还要考虑实验室与设备的兼容性, 比如设备运行时产生的噪声、热量、振动等对实验室环境的影响, 实验室供配电电压是否满足, 是否需要另外新配置继电器更换配电箱, 大型设备放置区域是否遮挡实验室电源、通风橱以及影响实验室通行。以上情况很多时候只能等设备购置完成后投入运用才能清楚知道这个设备对于实验室安全生态系统的影响, 当已经对实验室系统构成影响时就该及时采取补救措施, 措施手段需要动态衡量。仪器使用需严格按照操作规程, 并根据风险评估结论撰写应急预案, 并张贴。管理人员在巡查时发现潜在危险源要及时上传手机端 app, 包括设备不正常使用状态、人员不安全使用行为, 面对隐

患及时整改。针对设备的检验、维护, 学院学校可制定固定期限内检修, 并存档在系统中, 在截止期限内自动提醒。

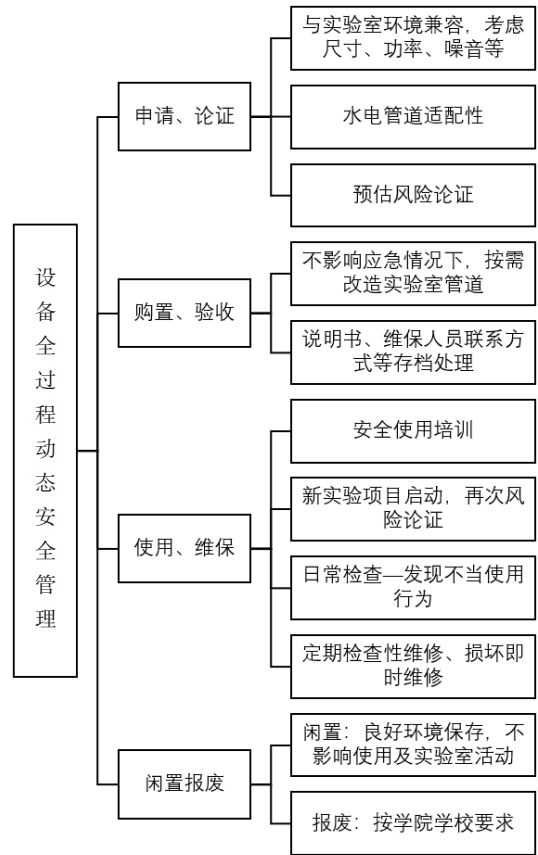


图 4 设备全过程动态安全管理

Fig.4 Whole process dynamic security management of equipment

### 3.4 环境动态管理

实验人员可能会在实验室待上数小时, 因此良好安全的实验室环境必不可少。实验环境的维持有赖于灵敏的监测手段、迅速的报警机制以及快速响应的应急处置。如下图 5, 学校配备了相应的应急设备, 完善的应急流程, 保障实验室环境安全。



图 5 应急处理流程

Fig.5 Emergency treatment process

学校实验室安全智能监测与管控系统要求实验室布设 O<sub>2</sub> 探测器, 同时根据实验室存在气瓶, 增加相应气体探测器, 监测

室内气体动态指数, 防范气体泄漏事故。火灾是实验室近些年经常发生的事故, 初期火灾有温度和烟雾的特征, 实验室内的

温湿度检测装置以及感温感烟装置均能识别初期火灾,将火灾的萌芽扼杀在摇篮中,免于火灾爆发的高危害。上述措施与系统终端协调作用,发现火灾和气体泄漏等问题,及时通知值班老师和110、119,远程启动应急方案,如图中启动灭火装备、停电通风等。上述监测装置并不是只有实验人员在的情况下才开启,24小时监测,同时配备视频回放功能,能让管理人员了解因什么问题触发的预案,给应急救援人员提供技术指导,能有效减少因为救援人员不专业带来的不必要伤害。另外,探测装置的可靠性至关重要,因此要经常测试有效性,及时检修维护,可根据厂家建议时间定期进行检查性维修,并设置在系统内部自动提醒;平时学生和管理人员发现故障及时上报,即时维修,可有效降低风险概率。

#### 4 结束语

实验室安全全过程动态管理的好处有两个,一个是能促使重要因素相互协调,紧密合作;另一个是通过对全过程各危险源、风险点的不断把控,能够及时调整管理策略重点,用最少的投入获取尽可能好的管理效果,促使实验室安全系统向好发展。实验室安全全过程动态管理是对全过程理念的补充和完善,只有理论持续创新,才能指导实验室安全实践。借助实验室安全智能监测与管控系统分类别把控好重要因素,做好动态管控,促进各要素紧密配合,同时不断完善系统以适应人员管理,提高系统可靠性让人员更加信任依赖系统,实现人员和系统的互相反哺,才能让实验室安全管理有理有序进行。

#### 参考文献

- [1] 王茂鑫,王小宁,张平清,等.实验室安全事故溢出效应及应对举措[J].中国现代教育装备,2024,(05):43-45.
- [2] 教育部办公厅关于印发《高等学校实验室安全规范》的通知[J].中华人民共和国教育部公报,2023,3(03):40-51.
- [3] 阳富强,尹航,黄宗侯,等.基于fsQCA方法的高校实验室事故影响因素分析[J].实验技术与管理,2024,41(03):257-262.
- [4] 黄吉祥,崔长彩,姜峰.机械科研实验室“三全三化”安全教育机制探索[J].实验技术与管理,2023,40(04):217-221.
- [5] 侯作贤,汪波,林莉,等.高校实验室安全全过程管理的思考[J].化工管理,2023,(19):97-99.
- [6] 吴葛,尹仕.基于物联网的实验室综合管理系统建设与实践[J].实验室研究与探索,2023,42(05):168-172.
- [7] 刘雪蕾,李恩敬,张志强,等.大学实验室环境安全健康管理信息系统设计与实践[J].实验室研究与探索,2018,37(06):

297-301.

- [8] 李恩敬,黄士堂.高等学校实验室用电安全管理[J].实验室科学,2016,19(05):205-208.
- [9] 张南.深入强化实验室安全构建平安和谐育人环境[J].黑龙江畜牧兽医,2014,(09):217-218.
- [10] 周娟,陈雯,孙成明,等.高校实验室管理中的问题与对策[J].中国高校科技,2017,(12):23-24.
- [11] 孙健.建设项目工程造价全过程管理与控制[D].南昌:南昌大学,2016.
- [12] 李亦乔.浅论全过程控制理论在基建审计中的应用[J].经济师,2017,(04):140-141.
- [13] 吴林根,余观夏,王国兴.高校实验室安全全过程管理[J].实验室研究与探索,2014,33(08):300-303.
- [14] 何允刚,王亮,张春宇,等.高校危险化学品全过程安全管理实践[J].实验室研究与探索,2021,40(03):305-307.
- [15] 何森,赵明,韩光宇,等.高校实验室危险化学品管理现状与全过程监管实践[J].实验室研究与探索,2021,40(03):297-300.
- [16] 王卫,袁友亮,罗琳,等.基于全过程管理的高校科研协作平台探究[J].实验室研究与探索,2021,40(12):254-257.
- [17] 秦淑芳,严士常,陈文昊,等.现代高校实验室设备动态管理研究[J].实验科学与技术,2021,19(02):141-145.
- [18] 陈博,蒋杨,刘霞,等.基于校企合作的智慧化机能学实验室建设[J].西部素质教育,2023,9(21):148-152.

#### 作者简介



王紫伟, 硕士, 主要研究方向为实验室安全管理。



陈小雨, 博士, 副教授, 主要研究方向为公共安全与消防、职业卫生安全、矿用柴油车尾气处理等。

白向玉, 博士, 高级实验师, 主要研究方向为实验室安全与环保。