



# 基于实验室风险识别的“定制化” 安全准入方案

何丹

(华中科技大学 实验室与设备管理处, 武汉 430074)

**摘要:** 近年来, 构建实验室安全准入体系已受到各高校的广泛重视。该体系主要集中在实验室人员的安全教育准入, 实验场所、项目以及物品的安全准入管理等方面。通过分析高校实验室安全准入管理的模式现状, 并结合学校和院系的实际情况, 提出了基于实验室风险识别的“定制化”安全准入方案, 旨在将传统的粗放式准入管理转变为精确化、专业化、全面化的“定制化”模式, 从而减少实验室的安全隐患, 降低安全事故发生的概率。

**关键词:** 实验室安全; 风险识别; 定制化管理; 安全准入

中图分类号: X923; X913

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240402

## “Customized” Security Access Protocol Based on Laboratory Risk Identification

HE Dan

(Lab and Equipment Administration Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In recent years, establishing a laboratory safety access system has gained significant attention in colleges and universities. The system mainly focuses on safety education requirements for laboratory personnel, and safety access management of experimental sites, projects and items. Based on an analysis of current modes of laboratory safety access management in universities, combined with the actual situation of schools and colleges, this paper proposes a “customized” safety access protocol based on laboratory risk identification. It aims to shift the traditional extensive access management toward a precise and “customized” management approach, making safety access management more accurate, professional and comprehensive. This approach can reduce laboratory safety hazards and lower the probability of safety accidents.

**Key words:** laboratory safety; risk identification; customized management; security access

### 1 实验室安全因素风险识别

高校化学实验室是开展化学类科学实验工作的重要场所, 具有人员密集、流动性大、实验内容多样、仪器设备多、风险种类广和实验室分散等特点。随着高校办学和科研规模的不断扩大, 科研项目、特种仪器设备显著增加, 导致大量易燃易爆危化品、废弃物危险源的产生, 这为实验室安全管理带来全新的挑战<sup>[1]</sup>。近年来, 频发的高校实验室安全事故引发了全社会广泛关注, 亟待创新安全管理工作的方法、模式和措施。

根据实验室“危险源—风险—隐患—事故”的发展模式, 必须做好行之有效的风险防控。控制实验室的危险源以减少安全隐患, 将安全管理精准落实, 从实验准入层面着手, 才能从根本上降低安全事故的发生率<sup>[2]</sup>。

“定制化”安全准入的关键是“精准预防”。首先, 分析实验室的安全因素, 进而确定和细化存在的风险, 这也是实验室“定制化”安全准入中风险识别的重要环节。具体是要做好人员、场所、实验项目和物品的个性化审查和定向监管。

收稿日期: 2024-08-01

基金项目: 国家自然科学基金(51703080); 湖北省高等学校省级教学研究项目(2021076); 湖北省高校实验室研究项目(HBSY-04)。

作者简介: 何丹, 硕士, 工程师, 主要从事实验室管理方面的研究。E-mail: danneyhe@hust.edu.cn

实验室安全因素主要分为人员、场所、实验项目和物品 4 大方面,如图 1 所示。其中人员风险因素含有意识、态度和技能;场所风险来源于实验用房的建筑结构、实验环境、基础水电和防护设施;实验项目风险主要是操作规范、实验方案和应变措施等;物品风险来源于危化品、特种设备、特殊用品和废弃物,它们都是实验室安全隐患和风险的主要来源<sup>[3]</sup>。如何在安全准入前将实验人员、场所、实验项目、物品存在的安全风险识别出来,并进行“定制化”安全准入的培训教育?针对风险识别提出有效的综合管理解决方案后,怎样在加强安全管理效率的同时提高实验室安全系数?这些问题均值得深入探讨和研究。



图 1 实验室主要安全因素构成图

## 2 国内外实验室安全准入现状

基于国内外各高校实验室安全管理模式,通过线上文献资料查询、线下调研走访,了解各高校在实验室安全准入管理的模式情况,内容主要有安全知识的教育与培训、应急演练情况、危险源的信息收集与管控方式等。

通过查阅资料发现,已有很多国家体系化地实行实验室安全准入制度,很多高校设置了安全必修课程、线上安全教育准入培训、实验项目操作规范培训等<sup>[4]</sup>。以日本某些高校为例,所有人员在进入实验室之前,实验室管理人员会对其进行安全知识测试,课题组责任人对其进行实验操作规范的培训,在应急处置、个人防护等措施都考核合格后,实验人员方可进入实验室操作。欧美许多国家早在 21 世纪初就实行了“无培训合格证不得进入实验室操作”,初入课题组的人员会在环境、健康、安全(environment, health, safety, EHS)部门管理人员处接受为期 10~21 天不等的安

全培训和应急处置教育。然而由于治理模式的不同,国内高校难以成立独立的 EHS 职能部门并实施系统化管理<sup>[5]</sup>。目前,国内大部分院校都计划在安全准入管理方面加快传统模式的转型,如清华大学建立并实施了较为完善的实验室准入制度和系统,实验室人员在取得安全操作通行卡后才能进入课题组学习<sup>[6]</sup>和操作实验;北京大学、浙江大学、武汉大学也均建设有安全教育与考试系统、材料与化学品采购系统以及危化品信息管理系统等。

在上述调研工作的基础上,我们通过参加国内高校化学实验室安全管理等培训,与各高校相关管理人员交流专业的安全知识、学习先进的实验室安全管理经验、讨论如何有效地进行“定制化”安全准入管理。总结优秀经验,探索精准的“定制化”准入方案,将调研的各高校安全管理经验收集汇总,基于华中科技大学实验室安全管理的相关信息,结合化学相关学院的学科特色及现有情况,制定出了一种简单可行、高效精确的“定制化”安全准入管理方案。

## 3 “定制化”安全准入的人员管理

传统的实验室人员安全准入主要方式有实验人员安全教育、强调安全责任意识、开展安全知识考试等。然而,该方式趋于形式化和表面化<sup>[7]</sup>,对于人员的操作规范培训不够深入全面,无法真正让其熟练掌握实验项目的操作规范。诸多高校已意识到实验操作规范的重要性,都在致力于优化实验室人员的安全准入方案,目前较完善的安全准入工作体系如图 2 所示。从学院教育和课题组培训双层面着手,不仅包含了普及的实验室安全知识学习和考核、签订安全承诺书、安全教育讲座培训、专业应急演练等内容。同时,把课题组的实验项目安全操作规范作为必要条件,专业和特种操作需持证上岗。

然而,上述安全准入管理方案仍存在一定的弊端。据调查统计,96% 以上的安全事故都是由人为因素造成的,人作为实验活动中的主体,其主观能动性、个体差异明显<sup>[8]</sup>,人员的意识、态度和技能直接影响着实验室的安全管理。因此,仅培训基本的实验操作规范远远不够,“定制化”的安全培训显得尤为重要。结合日常实验室安全工作实际情况,通过分析研究影响实验室安

全的因素,有效识别存在的安全风险,实施个性化“定制化”的安全准入后,需掌握实验室的动态信息,将安全准入管理精确到位,才能真正做到预防为主、闭环管理。

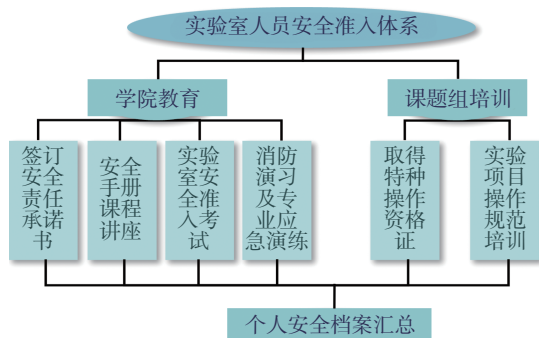


图2 安全准入工作体系结构图

通过总结和借鉴各高校实验室安全管理成功经验,结合现有实际情况实现实验人员的“定制化”安全准入管理,在全面评估危险源和识别风险后,再有针对性地进行人员实验行为规范的培训。基于实验室风险识别的“定制化”安全准入流程如图3所示。

1) 实验人员报到,学习安全准入须知。

2) 安全知识学习。包括对《实验室安全手册》《安全制度汇编》、风险源识别及基本操作规范的学习。

3) 安全考试。可通过在线安全考试系统进行考试,也可以通过现场纸质版进行考核。

4) 安全承诺书签订。学院安全考试合格后,与指导老师签订安全承诺书并上交备案,外来联培人员签订安全管理协议。

5) 文献及危化品安全数据表(safety data sheet, SDS)上传。进入实验室前,必须熟读相关文献及所需危化品的SDS,掌握关于化学品的物理和化学性质、毒性、环境危害,以及安全使用、泄漏应急救护处置等综合信息文件。

6) 掌握实验室安全风险评估表中的风险源及应对措施。

7) 专业操作培训备案。参加课题组组织的实验项目专业操作培训,合格后才能进入实验室进行操作,联系安全管理老师开通楼栋门禁。

8) 安全教育活动打卡。在读期间至少参加一次安全教育活动,必须参加一次安全演习。进入实验室后要积极参加各类安全教育培训。

9) 实验室“二次准入”。若因本人原因发生安全事件,参照相关安全管理制度执行,需要再次执行上述步骤(执行几项视具体情况而定)进行实验室的“二次准入”。

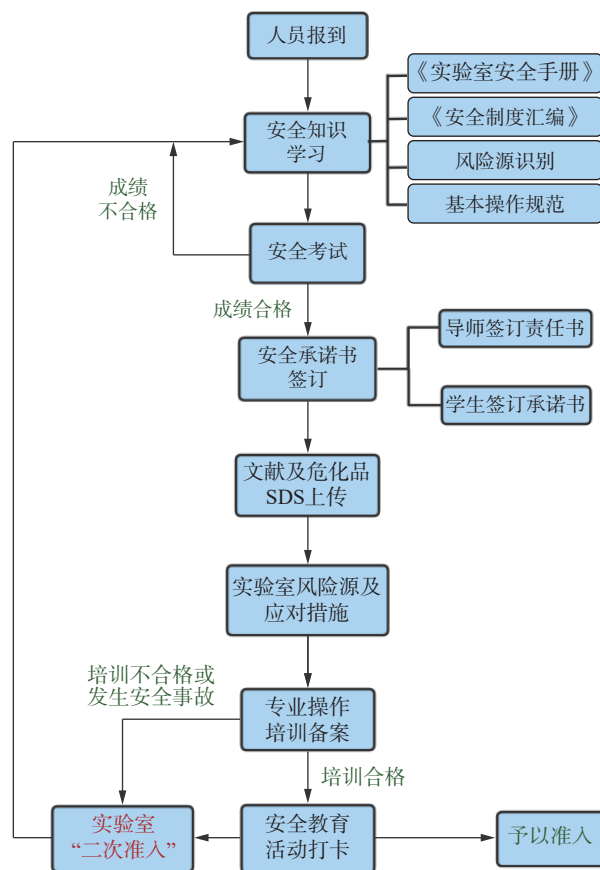


图3 基于实验室风险识别的“定制化”安全准入管理流程图

基于实验室风险识别的“定制化”安全准入方案完善了传统实验室安全管理方案的不足,不仅作为实验室安全准入工作的开端,同时也需要贯穿实验人员的学习和科研生涯。该方案贯彻落实的“差异化考核”“动态化管理”和“持续性监督”,希望能为高校化学化工类实验室的人员准入和管理提供参考。

首先该安全准入方案能够考核实验人员是否掌握相应的实验室安全知识。人员在进入实验室之前必须进行院级的安全培训,包括基本安全知识、安全法律法规及制度等。除此之外还要学习实验室基本风险识别、实验仪器操作规范,涉及特种设备、动物实验的还需要进行专门的培训操作取证。通过院级的安全考试合格以后才能签订安全承诺书,承诺书能督促安全责任的层层

落实。

其次通过该安全准入方案能知晓实验人员是否具备进入实验室工作的条件。人员进入课题组后主要通过参考文献、实验方案和危化品 SDS 来学习专业的实验操作规范和风险, 还未完全掌握实验过程中紧急情况应采取的措施。因此课题组要带实验人员到实验现场去手把手地教导传授, 让其充分掌握实验过程中安全风险的辨识方法和应急措施。尤其涉及一些专用仪器设备或自主搭建设施的实验, 课题组负责人须对实验人员逐个考核并合格, 向学院报备后才能让其上岗。

与此同时, “定制化”的安全准入对于已经进入实验室开展工作的人员也可以进行行为约束。培训不达标或者发生了安全事故的人员暂停实验, 需要进行“二次准入”合格后才能准予进入。这样, 安全准入贯穿实验人员整个学习生涯, 通过持续的监督和行为矫正, 以此来培养学生的安全习惯, 提高学生的专业素养。

#### 4 “定制化”安全准入的实验场所、实验项目、危险物品管理

除了人的主观因素, 实验室涉及的场所、项目、危险物品等客观因素也需要重点考虑。“定制化”安全准入方案, 是将实验场所、项目、物品的风险识别后分类, 然后将风险细化分级再进行安全准入和管理。这一管理模式的核心是安全准入的“精细化”、科学合理地进行配置, 前提条件是对实验室全方位开展针对性的风险识别和安全风险评估, 旨在将安全风险防控的措施前置化、高效化。

##### 4.1 实验场所

实验场所安全准入的重点内容, 是考察实验场所及设施是否符合安全规范。然而, 国内在实验室设计方面存在许多不规范现象, 给实验室的后期使用埋下隐患。

首先, 建筑结构和选址规划应考虑全面, 如实验室选址不当, 不仅会影响周边环境, 同时也会对实验室建筑本身造成影响。其次, 土建设计应按照工艺要求, 审批单位对资金、面积的规划应与实际使用相吻合, 设计师对实验室科研工艺应有全面了解与认知。实验室设计与建筑标准比普通功能性建筑要高, 施工过程的要求也更多, 必须适合其工作特点和技术要求, 在装修前需要

专业技术人员进行大量分析与总结, 以便得到最适合的设计方案。最后, 在实验室设计时必须做好适应性研究, 采用先进技术设备, 提高装修质量, 做到专业化、规范化、系列化。同时要注意在安全、节能、环保等方面的设计, 实现技术层面的可持续发展。

实验场所的风险主要来源于建筑结构、实验环境、基础水电和防护设施等方面。对于新建或改造的实验场所, 应遵循相关法律法规及建设改造规范, 进行科学的规范设计和合理布局, 并在此基础上配置完备的安全设施, 使实验室符合各项安全的要求<sup>[9]</sup>。如实验通风、用电、用水、消防应急等设施是否达到标准, 各类场所及设施建筑设计需要参考国内外相关标准进行。基于风险识别的“定制化”实验场所安全准入的一般程序如下。

1) 建设审核。实验室在新建、改建或扩建前, 实验室安全责任人须与学院签订《房屋装修承诺书》, 向学院提交建设方案、承建公司资质等资料, 学院安全工作委员会(以下简称“安委会”)对资料进行审核, 合格后方可开工。

2) 验收审查。实验场所在建成后运行前, 实验室安全责任人要按照学校总务长办公室、基建管理处、房产管理处等部门规定, 对实验场所的各项设施进行现场检查、验收和审查, 验收通过的实验场所方可开展实验或者教学活动。

3) 风险评估。实验室安全责任人自行或委托专业机构对实验场所内的风险源进行安全评估, 对于设施设备, 需要制定“一机一规程”, 对于实验室环境, 需要制定“安全风险评估表”。

4) 更新报备。实验场所的建设后期如有所更新, 实验室安全责任人应及时向学院安委会报备, 并及时更新实验室“一机一规程”和“安全风险评估表”。

##### 4.2 实验项目

实验项目的开展实施影响着各类实验教研活动, 应确保其风险可预估和准确应对。实验项目的执行主要基于标准作业程序规范、实验方案和应变措施等。这里的实验项目主要指在研纵向、横向科研项目; 课程教学实验、毕业论文、课程设计、实践课程、创新创业类项目等本(专)科生及研究生实验教学活动。

针对实验项目, 实验人员是否具备全面的专

业实验安全操作技能, 实验项目开展过程中可能出现的风险评估、风险防范措施是否到位等, 均需要被记录跟踪和信息化存储。

首先, 开展实验项目安全风险评估工作主要由安委会审查, 同时成立风险评估专家组。组长由院长担任, 成员由学院负责本科教学、科研实践、实验室工作的负责人及下设科研平台负责人组成。实验室安全责任人负责提出方案和具体落实, 学院负责建立实验室安全风险评估机制、切实把控安全风险源头。其次, 需要进行细化且专业的安全风险科学评价。风险评估专家组负责对实验项目进行科学论证和风险评估, 深入查找每个项目的安全风险点, 提出切实可行的防控措施, 建立安全管理应急预案。

基于风险识别的“定制化”实验项目的安全准入一般程序如下4个方面。

1) 申报前风险评估。实验项目的申报、立项、合同等环节的安全保障条件审核要按学校科学技术发展院、先进技术与装备研究院的相关规定执行。同时, 实验项目负责人/实验室安全责任人将根据实验室情况拟定《实验项目安全风险评估表》上交学院安委会审查, 并对高风险实验项目应采取专家安全风险评估的措施。

2) 立项实施前审查。获批立项后, 项目负责人/实验室安全责任人将实验项目风险应对措施等相关材料上报学院, 学院安委会、风险评估专家组将进行全面审查和评估, 合格后方可开展实验项目。

3) 人员评估风险报告。开展实验项目的实验人员必须根据掌握的实验方案和技术路线, 撰写实验项目风险报告和安全应对措施分析, 并掌握相应实验室安全设施的配置和使用方法, 经导师审批、学院安委会审核合格后, 方可进入该实验项目的操作。

4) 实施后更新报备。实验项目实施以后, 安全风险评估列表项目后期如有所更新, 项目负责人/实验室安全责任人应及时向学院安委会报备。

### 4.3 危险物品

危险物品的安全准入目的是监督与管理实验室的危险源<sup>[2]</sup>、确保实验的安全有序开展, 适用于所有涉及危险物品的教学和科研活动的安全监督与管理, 包括危险化学品、特种设备、特殊材料等的采购、存储、使用和处置等过程管理。

针对以上风险源, 可建立管理系统或台账记录进行“定制化”准入和管控。基于实验室风险识别的“定制化”危险物品的安全准入方案, 包含将药品的SDS、管制类药品的采购、特种设备的购买审批、废弃物的暂存信息等进行准确记录和规范管理跟踪等。基于实验室风险识别的“定制化”危险物品的安全准入一般程序包括4个方面。

#### 4.3.1 危险化学品

实验室危化品的购买、入库、存放、台账记录等准入程序, 需要建立危险化学品安全管理督查机制, 督促各实验室完成危险化学品日常信息登记、统计、上报等工作, 定期组织对涉及危险化学品的人员进行培训。

危险化学品使用人员事先应经过培训和指导, 掌握安全操作方法及有关防护知识; 剧毒化学品使用人员须取得上岗资格证。使用危险化学品时应严格按照操作规程规范进行, 确保安全。需要特别注意以下4点。

1) 使用爆炸性、有毒物品时, 应在通风良好的条件下进行。

2) 实验过程中, 操作人员穿戴的防护用品和采取的安全措施必须与实验内容的安全等级相匹配。

3) 使用可燃、助燃气体时应远离热源、火源。

4) 禁止在实验室留宿, 夜间进行实验时必须有两人以上在场。

#### 4.3.2 特种设备

实验室特种设备的购置、安装、注册备案等准入程序, 应遵守国家相关法律法规制度进行。各实验室应将特种设备安全操作规程、使用台帐和安全技术信息等上墙, 并教育相关人员遵守。需要特别注意以下4点。

1) 应对特种设备的安全附件、保护装置、测量控制装置及有关附属仪器仪表进行定期校对和检验。

2) 定期检验合格后, 实验室须提交特种设备的检验合格证、使用登记证及检验报告的复印件备案。

3) 未经定期检验、超出定期检验合格有效期或者定期检验不合格的特种设备, 不得继续使用。

4) 特种设备出现故障或者发生异常情况, 应及时记录并委托具有维修资质的维保单位进行全

面检查。故障排除并确保安全后,方可重新投入使用。

#### 4.3.3 实验废弃物

实验室废弃物的分类存放、收集、暂存、转移及处理等环节程序,应以危废源头减量化为原则进行管理,尽量减少危废排放,节约资金,减轻危险废弃物处置压力。各实验室必须加强实验人员危险废弃物处置知识和技能的培训和考核,考核合格后方可上岗。需要特别注意以下 4 点。

1) 不将无毒无害的废液和废旧试剂当作危险废弃物处理。

2) 应尽可能对某些有毒有害废液进行无害化处理。

3) 对剧毒废液和废旧剧毒化学试剂,应尽量利用化学反应进行解毒或降毒的无害化处理。

4) 多余的、旧的但尚可使用的试剂应积极进行调剂。

#### 4.3.4 特殊用品

实验需要用到的特殊用品应提前向学院安委会提出申请,提交特殊用品的性质、状态、用途及防护等信息,经安委会评估审查合格后方可带入实验室内进行操作。因实验室的特殊用品比较多,这里以实验动物为例说明。从事实验动物相关工作的人员应参加省级相关部门组织的统一培训及考核,并取得《实验动物专业技术考试合格证书》,参加培训及考核结果等情况应及时向学院备案。需要特别注意以下 4 点。

1) 应根据实验目的,按照使用许可证的许可范围,选用相应合格的实验动物。不同品种、不同等级和互有干扰的动物实验,不得在同一实验间进行。

2) 动物实验涉及放射性和感染性等有特殊要求的实验,应严格按照国家相关规定执行。

3) 在符合科学原则的前提下,按照替代、减少和优化原则进行动物实验设计,尽量减少动物使用量。

4) 为实验动物提供清洁、舒适的生活环境,提供保证健康所需的充足的食物、饮水和空间。使实验动物减少或避免不必要的伤害、饥饿、不适、惊恐疾病和疼痛。

## 5 “定制化”安全准入的信息化建设

在高校实验室安全管理逐步信息化的背景

下,实验室安全准入制度的引入及信息化管理已成为提升高校实验室安全管理水平的重要标志。近年来,教育部明确提出要采用信息化手段管理实验室安全,逐步建立和完善实验室安全信息管理系统和监控预警系统。在此政策导向下,各高校加大了安全信息化建设的支持力度,构建了多种信息化管理平台<sup>[10]</sup>。

从国内外高校的实践来看,实验室安全准入管理的信息化建设正在不断深化。如美国麻省理工学院搭建的实验室安全管理信息化平台,整合了多学科领域的安全信息资源,为实验人员提供全面的安全规范指导,并与政府安全监管部门实现数据实时对接。国内高校也在积极探索实验室安全准入的信息化管理路径,如清华大学通过物联网智能监控设备结合图像识别与行为分析技术,对进入实验室的药品、特种设备等进行管控,同时也对实验人员的操作行为进行实时监控与分析。一旦系统检测到实验人员的操作步骤偏离标准流程,便会立即发出警报提醒,实现了对实验人员行为的实时监控与规范管理。

然而,当前高校实验室安全管理信息化建设仍面临一些挑战。首先,各高校的信息化平台尚未实现互联互通,“信息孤岛”现象普遍,难以充分发挥信息化管理的综合效能,进而未能实现各危险源的全生命周期管理<sup>[11]</sup>。其次,现有信息化手段在管理实验人员行为方面缺乏精准性,未能根据不同实验室的风险特点制定个性化管理策略。如化学实验室和生物实验室的风险特点差异显著,但部分高校的信息化管理系统未能实现差异化管理。

基于大数据的信息融合系统为解决上述问题提供了新路径。通过构建 AI 驱动的智能门禁系统与智能化监控体系,实现人员、场所、项目、物品的联动监管<sup>[12]</sup>,其技术优势在于可定制化安全准入机制的构建。具体实施路径分为 3 个阶段:第一阶段开发危化品采购与实验室信息一体化管理平台,通过“定制化”安全准入规则实现实验场所与物品的全生命周期动态追踪;第二阶段建立实验人员安全准入信息化系统,在标准化准入流程基础上,实现人员基本信息、安全培训记录与考核结果的数字化采集;第三阶段通过构建多维度安全准入大数据模型,将人员、场所、项目、物品等要素进行系统集成,形成风险关联分

析的动态决策支持体系。最终在数据模型框架下,借助AI技术的深度应用,推动实验室安全准入管理向智能化、定制化方向持续演进。具体有以下4个体系。

1) 风险动态评估体系。基于机器学习算法,整合实验室研究方向、危化品种类、设备参数及历史事故数据,构建动态风险评估模型<sup>[13]</sup>。该模型可自动划分实验风险等级,并根据实时监测数据动态调整评估结果。

2) 智能准入流程引擎。针对不同风险等级的实验项目, AI系统自动生成差异化的准入流程。对于高风险实验,除常规培训考核外,系统将智能推送模拟演练方案,并利用自然语言处理技术对操作方案进行合规性审查<sup>[14]</sup>。

3) 行为特征分析系统。通过计算机视觉与深度学习技术,构建实验人员行为特征图谱。系统可实时识别操作偏差,并基于历史数据预测潜在风险。当检测到高温高压设备操作失误频发时, AI会自动优化培训内容,生成针对性教学视频。

4) 自适应培训体系。结合知识图谱技术,为实验人员定制个性化学习路径。系统通过交互式问答模块实时收集操作疑问,利用大数据分析精准定位知识盲区,动态调整培训内容的难度与重点。

通过设置多维反馈渠道,系统可实时采集实验人员体验数据与安全绩效指标,借助强化学习算法持续优化管理策略。这类基于AI技术的定制化安全管理模式,不仅实现从“人防”到“技防”的转变,而且通过多源数据融合打破信息壁垒。其核心价值在于构建可进化的安全管理生态系统,为各类高校提供可复制、可扩展的解决方案框架。随着AI赋能及其与其他技术的融合应用,未来实验室安全管理系统将向更智能的实时决策支持系统演进,持续提升高校实验室安全管理整体水平。

## 6 结束语

在对国内外高校调研工作的工作基础上,对一些高校的实验室安全准入管理方法、信息化管理措施进行了总结。通过精准比较和深入分析,结合现有安全管理模式,设计了简单可行、高效精确的“定制化”安全准入管理方案,探索如何将人员的活动与场所、实验项目、物品进行“定

制化”安全准入。该方案可使人员规范且方便地操作实验项目,场所的建设维护更加标准化,减少实验项目的安全风险和流动物品带来的安全隐患,同时发挥信息化优势实施全过程动态管理,进而显著降低实验室事故的发生概率。

## 参考文献

- [1] 沈启慧,张俭,刘岩. 化工类高校化学实验室的管理与建设[J]. 高校实验室工作研究, 2016(3): 3-5.
- [2] 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): 6-8.
- [3] 黄桂兰,刘景全,刘石磊,等. 实验室安全的影响因素与保障体系[J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(7): 301-304.
- [4] 刘丽艳,杜光玲,张宏馨,等. 高校实验室安全管理问题引发的思考及启示[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(8): 4-6.
- [5] 彭华松,沈冰洁,丁珍菊,等. 多部门联动构建高校实验室EHS管理体系[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(9): 5-7.
- [6] 杜奕,张翀,陈定江,等. 化学实验室准入制度的建立与实施[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(10): 4-7.
- [7] 郭万喜,高惠玲,唐岚,等. 高校实验室安全准入制度的实践与探索[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(3): 198-200.
- [8] 王岩,张志勇,张迎颖,等. 100起实验室安全事故分析与建议[J]. 实验室科学, 2021, 24(6): 7-9.
- [9] 赵耀东,荆晶,陈黎. 高校实验室标准化建设和质量管理探索[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(2): 18-21.
- [10] 朱臻,窦小刚. 基于信息化平台建设的高校实验室安全管理体系研究[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(4): 1-3.
- [11] 卫飞飞,石琦,钟冲,等. 高校实验室安全信息化建设探究[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(10): 4-6.
- [12] 郭均纺,张若好,陈淑洁,等. 高校实验室安全智能化视频监控系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(5): 5-8.
- [13] ZHANG Y, LI X, WANG H. Intelligent laboratory safety management system based on computer vision and deep learning[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021, 17(3): 1895-1903.
- [14] CHEN L, LIU Q, ZHOU M. AI-driven risk assessment and customized safety training for chemical laboratories[J]. Journal of Chemical Health and Safety, 2022, 29(4): 112-120.