

基于作战指挥环理论的实验室安全 事故应急联动体系模型

穆渴心, 冉栋刚, 田 庚, 王茂鑫, 谭 潇

(山东大学 资产与实验室管理部, 山东 济南 250100)

摘 要: 实验室安全事故应急处置是实验室安全管理的关键环节, 该文将作战指挥环 (OODA 环) 理论引入实验室安全事故应急处置, 提出基于事故预警、事故研判与响应、预案与决策、事故处置四个模块的实验室安全事故应急处置 OODA 环模型, 通过健全组织保障、制度保障、文化保障和物资保障, 构建基于 OODA 环的实验室安全应急联动体系。通过设计实验室安全事故案例并组织实地应急演练, 验证了该模型可完善实验室安全事故应急管理联动体系。

关键词: 作战指挥环; 实验室安全事故; 应急管理; 应急救援; 联动处置

中图分类号: X922.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-4956(2023)09-0250-05

Model of emergency linkage response system for laboratory safety accidents based on theory of operational command loop

MU Kexin, RAN Donggang, TIAN Geng, WANG Maoxin, TAN Xiao

(Department of Assets and Laboratory Management, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract: Emergency response to laboratory safety accidents is a key link in laboratory safety management. This paper introduces the theory of operational command loop (OODA) into the emergency disposal of laboratory safety accidents, and proposes an OODA loop model of emergency disposal of laboratory safety accidents based on four modules: accident early warning, accident judgment and response, plan and decision-making, and accident disposal. Through the improvement of organizational security, institutional security, cultural security and material security, a laboratory safety emergency linkage system based on OODA loop is constructed. By designing laboratory safety accident cases and organizing field emergency drills, it is verified that the model can improve the emergency management linkage system of laboratory safety accidents.

Key words: operational command loop; laboratory safety accidents; emergency management; emergency rescue; linkage disposal

应急管理是实验室安全管理的重要防线, 直接关系到实验人员的生命健康。实验室安全事故发生紧急, 需要有统一指挥、反应迅速、专常兼备、协同联动的应急管理体制提供坚强保障^[1]。建立有急能应的实验室安全应急体系, 是高校实验室安全管理的一项重要工作。

2019 年 11 月 29 日, 中央政治局就我国应急管理

体系和能力建设进行第十九次集体学习。习近平总书记在主持集体学习时强调, 应急管理是国家治理体系和治理能力的重要组成部分, 要发挥我国应急管理体系的特色和优势, 借鉴国外应急管理有益做法, 积极推进我国应急管理体系和能力现代化^[2]。2022 年 2 月, 国务院印发《“十四五”国家应急体系规划》, 规划明

收稿日期: 2023-05-04

基金项目: 山东大学 2023 年本科教育教学改革研究项目 (2023Y401)

作者简介: 穆渴心 (1991—), 女, 黑龙江鹤岗, 硕士, 工程师, 主要研究方向为实验室技术安全, mx@sdu.edu.cn。

通信作者: 冉栋刚 (1980—), 男, 山东泰安, 博士, 副研究员, 主要研究方向为实验室建设与技术安全, ran@sdu.edu.cn。

引文格式: 穆渴心, 冉栋刚, 田庚, 等. 基于作战指挥环理论的实验室安全事故应急联动体系模型[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(9): 250-254.

Cite this article: MU K X, RAN D G, TIAN G, et al. Model of emergency linkage response system for laboratory safety accidents based on theory of operational command loop[J]. Experimental Technology and Management, 2023, 40(9): 250-254. (in Chinese)

确到 2025 年,应急管理目标是形成中国特色应急管理体制;到 2035 年,要形成共建、共治、共享的应急管理新格局。2017 年 2 月,教育部印发《关于加强高校教学实验室安全工作的通知》(教高厅〔2017〕2 号),指出要多方联动,提高教学实验室安全应急能力。2019 年 5 月,教育部印发《关于加强高校实验室安全工作的意见》(教技函〔2019〕36 号),提出高校要建立应急预案逐级报备制度和应急演练制度^[3]。2021 年 12 月,教育部印发《关于开展加强高校实验室安全专项行动的通知》(教科信厅函〔2021〕38),指出高校要加强实验室安全应急体系建设,提高实验室安全应急能力。

1 作战指挥环应用于实验室安全应急

1.1 作战指挥环概念

作战指挥环概念源于军事领域^[4],是指观察、判断、决策、行动(OODA)的循环往复过程^[5](图 1):敌对双方通过侦察和预警设备观测作战空间,收集整合作战环境、可疑目标等作战现场相关信息,为精准打击可疑目标建立数据信息支持^[6];观察是判断的基础,通过整理、研究和评估收集的信息,搜集可采取的方案,结合必要技术手段进行综合态势分析,动态优化、调整作战方案;决策是判断的结果,决策阶段形成作战计划、作战方案,并准确发布作战指令;行动则是依据决策,落实各项指令。初次 OODA 环完成后,产生的新情报作为下次观察基础,依据事态发展实时调整作战决策形成循环,以应对复杂多变的作战环境^[7]。

1.2 实验室安全事故特点

(1) 突发性。实验室安全事故通常发生于意料之外,发生迅速。

(2) 复杂性。高校实验室危险源多,涉及管控类化学品、危险气瓶、病原微生物、辐射和特种设备等,危险源短时间内扩散,发生事故的情况多样,极易造成衍生事故。

(3) 严重性。明火、爆炸、感染等事故造成的

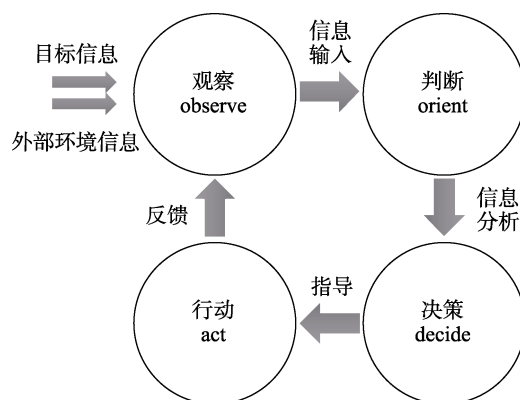


图 1 OODA 作战指挥环结构

伤害大,严重影响教学科研活动,甚至影响正常生活^[8]。

1.3 可行性分析

事故应急处理是一项与时间赛跑的工作,OODA 环注重收集实时信息,兼顾作战目标与作战环境,能够实现复杂环境下的精准打击。多维度分析事故发生可能性与严重程度,可提高研判正确率,而战争的胜利取决于循环速度,迅速采取行动能获得制胜先机^[9]。因此,实验室安全事故的应急处置可借鉴 OODA 环,快速研判事故状态,做出科学合理判断,采取适当应急处置预案,针对性开展事故现场救援,把握事故控制主动权,赢得人员救援和财产保护的最佳时机。

1.4 应用分析

突发实验室安全事故发生后,应急决策机构面临复杂无序的现场情况,与常规应急理论相比,基于 OODA 环的应急联动模型,决策机构由高度集权的应急指挥转变成应急指挥部领导下的多元主体实时性决策^[10]:可采用非程序化的动态研判,依据现场情况实时调整救援策略与救援方案。同时,建立适用性更强的综合性预案,整合现有确定信息和现场随机性、不确定性的事故信息,集中解决涉险人员安全问题、事故现场控制和次生灾害控制,随时汇报、随时汇总现场信息,确保在事故现场信息完备的情况下产生处置决策(表 1)。

表 1 突发实验室安全事故 OODA 环模型特征分析

模块	指标	常规应急管理	OODA 应急管理
预警模块	应急决策机构	高度集权的应急指挥部	应急指挥部领导下的多元主体实时性决策
事故研判与响应模块	应急决策产生	集中研判	动态研判
	应急响应方式	程序化决策	非程序化决策
预案与决策模块	应急预案依据	单一预案,可能导致事故处置不周全	增加综合性预案,适用性更强
	应急决策依据	现有确定信息的统一整合	现有确定信息+现场随机性、不确定性的事故信息
事故处置模块	应急处置目标	目标稳定、单一的处置方式	目标多样,阶段性、动态协调处置方式

2 实验室安全应急联动模型

模型以预警、研判响应、预案决策、联动处置四个环节作为基本框架，包含：基于危险源监控、事故

预警和信息上报三部分的实验室安全预警模块；基于动态研判的事故研判与响应模块；基于多类型事故的预案与决策模块；基于多种力量的应急救援联动处置模块（图 2）。

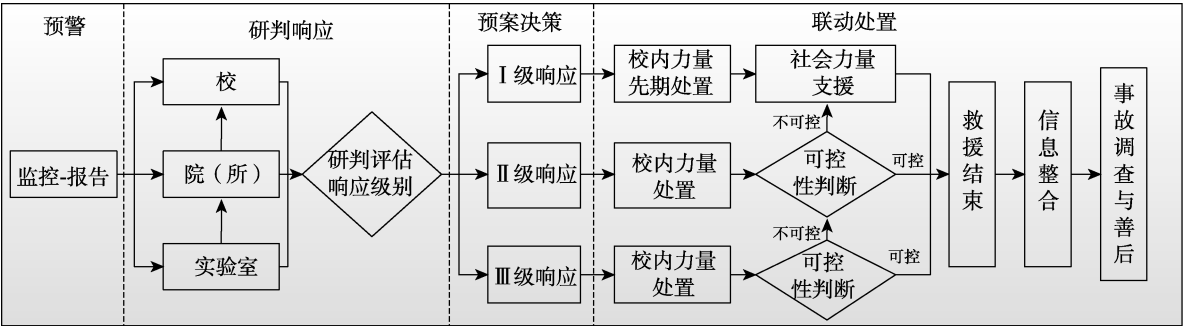


图 2 实验室安全应急联动 OODA 环流程图

2.1 事故预警模块

2.1.1 危险源监控

（1）硬件监控。楼宇烟感报警系统、可燃气体报警器、氧含量报警器、大型储物罐泄漏报警器等监控装置能够及时对事故征兆发出警报。

（2）软件监控。从实验人员角度出发，进入实验室开展一般实验工作需经过准入考试；进入实验室开展涉及辐射、病原微生物、特种设备操作等工作需提前取证，未经取证不得从事相关实验活动，重要危险

源需配备专职管理人员。从管理人员角度出发，实验室需要建立风险源清单，配套有隐患排查制度，且信息上报通道畅通，一旦发现危险源异常信息，立即上报事故。

2.1.2 预警级别

按照危险源事故严重程度、可控性以及影响程度将事故预警级别划分成三级（表 2）。预警级别需要根据事态发展及时做出调整：事故在现有响应范围下得到妥善处置时，预警级别降低或取消；事故在现有预警级别无法控制或需要支援时，预警级别提升。

表 2 实验室安全事故应急预警与响应分级

事故级别	事故情况	预警级别	响应级别	响应主体
一般事故	事故未造成人员受伤、无经济损失、无连锁事故、未影响周边环境，依靠实验室力量可妥善处置和消除			实验室
中等事故	事故造成人员轻伤、有经济损失、无连锁事故、未影响周边环境，依靠院（所）力量可妥善处置和消除。	Ⅲ级预警	Ⅲ级响应	院（所）级
严重事故	事故造成多人受伤、严重经济损失或引发连锁事故或影响周边环境，依靠院（所）力量无法妥善处置和消除，需学校救援力量支持	Ⅱ级预警	Ⅱ级响应	学校级
重大事故	事故造成人员重伤、重大经济损失、有连锁事故或影响周边环境，依靠学校力量无法妥善处置和消除，需社会救援力量支持	I级预警	I级响应	社会级

2.1.3 信息上报

事故发生后，现场人员按照 5W1H 标准（事故发生时间（when）、发生地（where）、事故种类（what）、主要原因（why）、人员伤亡情况（who）、已采取的初步措施或拟采取的措施（how））向实验室负责人报告事故情况信息。

2.2 事故研判与响应模块

事故研判与响应环节为信息传递和处理的过程，随着事态进展，不断完善实时信息，准确把握事故发展态势，为后续决策和行动提供依据。

（1）初次研判。事故发生后，院（所）、校区应迅速行动，组织自救并按预定路线疏散人员，控制事

态发展，最大限度减少人员伤亡和经济损失。应急救援组应根据事故类别立即启动现场处置方案，并判定响应级别是否超过Ⅲ级，若超过则上报应急指挥部，并请求启动Ⅱ级响应。

（2）再次研判。应急指挥部接到报告后，再次判定响应级别，若响应级别超过Ⅲ级，立即启动Ⅱ级响应。

（3）动态研判。启动Ⅱ级响应后，若事故不能有效控制或有扩大趋势，影响周边环境时，即预警级别超过Ⅱ级，由学校应急指挥机构向政府应急办公室报告，请求启动应急救援支持。社会力量到达前，学校应急指挥机构负责指挥先期救援，社会力量到达后，服从社会应急救援队伍指挥。

2.3 预案与决策模块

决策阶段是依据研判信息确定响应级别,启动综合预案或专项预案,明确事故处置方式。

应急预案是应急行动的指挥棒。专项预案是针对明确、具体的事故类别,有详细的救援程序和救援措施,专项预案应根据学科特点和实验活动涉及的危险源,分为火灾事故、爆炸事故,危化品泄露,辐射、生物安全、特种设备、用电事故等^[10]。在专项预案基础上建立综合预案,包括实验室安全事故总体的应急方针、政策,组织机构和相应的职责分工、措施和保障等基本内容,对于原因不确定的实验室安全事故应当首先启动综合预案^[11]。应急预案应当依据相关法律法规、危险源情况、风险评估结果、应急机构与人员、应急措施和演练中发现的问题等及时作出调整,并及时发布。在OODA环的决策环节,现场人员或最先发现者初次研判,开展先期决策处置,抢占最佳时机控制事态发展,避免事故升级或次生事故发生。当事故得不到有效控制时,应立即向实验室负责人和应急指挥办公室逐级汇报,情况严重时可直接向应急指挥部报告,应急指挥组、应急指挥部进行二次决策和动态决策,有效避免了僵化等待造成的事故救援效率降低^[12]。

2.4 事故处置模块

按照决策阶段确定的预案类别,根据先控制后消除,严防次生或衍生事故发生的原则,迅速展开现场应急救援。

按照“统一指挥,协同联动”原则,各应急救援组接到指令后,救援力量应在规定的时间内迅速到达指定集合地点,进入应急工作状态。在现场指挥的统一领导下,在安全位置迅速设立现场指挥部,调集装备器材,组织应急救援队伍分工合作,协同实施抢险和紧急处置行动。

3 应急联动体系保障措施

3.1 组织保障

OODA环的有效运转离不开科学合理的应急救援组织机构,组建校级应急指挥部、院级应急指挥组,明确各级各类应急人员的工作职责,包括通信联络、事故救援、警戒疏散、物资供应、医疗救护等,确保多元主体能够有序参与应急管理过程^[13]。按照就近原则,院(所)级应急救援工作应当由院(所)人员承担。校级应急救援工作由相关职能部门承担:综合管理办公室人员承担通信联络工作;保卫部、实验室管理部门等负责事故救援、警戒疏散工作;后勤保障、资产管理部门等负责物资供应工作;校医院人员负责医疗救护工作。

3.2 制度保障

依据应急管理法律法规,结合应急管理的特有属性和学校管理实际,完善应急管理制度并及时修订。健全事故预案,要确保实验室安全事故应急预案的精细化、专业化,发挥预案的纲领、指南作用。将应急管理工作职责纳入安全责任书,确保突发事件发生时,相关人员主动担当作为,响应效率、协作能力不打折扣。

3.3 文化保障

应急处置素养、应急管理文化是应急体系建设的根基^[14]。一是通过技能培训、应急演练和实战演习等方式提高救援队伍应急处置专业素养;二是强化实验室安全应急指挥部、应急指挥组领导干部解决和应对突发急难险重事故的应急决策知识储备^[15];三是通过案例展示和宣传等方式提升应急管理意识,营造科学化、专业化应急管理文化氛围。

3.4 物资保障

根据学科属性和危险源性质,健全实验室安全应急管理设施设备建设,加强通信、指挥、救援、物资等保障设施的规范化建设。为教学科研单位、楼宇集中配备必要的应急物资,列明应急设施清单,明确贮存地点,并保持完好的应急状态^[16]。实验室安全防护设施依据EHS要素配置。

4 案例应用分析

假设实验人员在补加有机试剂前未撤去电热套,试剂撒漏至高温电热套中,产生明火和烟雾并引燃三口烧瓶中的反应试剂,实验操作人员惊慌之下,将通风柜中浓硝酸打翻在地,事故造成2名实验人员受伤。以该实验室试剂爆燃、危险化学品倾倒泄漏事故为例,模拟应急联动体系。

4.1 事故预警

事故产生的烟雾引发烟感报警器,中控室值班人员立即通知校园110。同时,实验管理人员立即上报事故,依事故严重程度逐级报告。

4.2 事故研判与响应

实验室负责人结合事故情况进行初次研判,按照以下流程处理事故:①疏散人员;②上报事故;③启动应急喷淋洗消;④召集校医院医疗救护组救治伤员;⑤展开现场紧急处置。

4.3 预案与决策

学院应急指挥组召集学院应急救援小组进行二次研判,按照相关预案上报学校应急指挥部,经现场会商后研判事故未影响周边环境,受伤人员和现场可依靠校内救援力量妥善处置,决定启动二级应急响应,按照相关预案处置事故现场。

4.4 事故处置

(1) 通信联络组负责召集全部救援组抵达事故现场。

(2) 警戒疏散组负责现场安保与人员疏散。

(3) 医疗救护组开展医疗救治, 如创面洗消、身体检查、包扎处理等, 将伤员送往就近医院做进一步检查。

(4) 事故救援组负责火灾现场处置。使用干粉灭火器扑灭明火, 并使用高压水枪掩护。用吸附条隔离试剂遗撒区域, 用吸附枕吸附遗撒硝酸后用吸附棉吸附残余硝酸, 并使用 CaO 、 CaCO_3 或 NaHCO_3 中和硝酸, 喷洒抗溶性泡沫覆盖遗撒区域以减少挥发, 废弃物收集后移出现场。同时, 勘察检测现场是否泄露有毒有害气体。

(5) 物资供应组负责物资保障和技术支援。现场及时补充防化服、正压式呼吸器、耐酸碱手套, 保障救援现场水电供应正常。

(6) 事故善后与调查组负责安抚伤者, 开展现场取证、事故认定和责任追究。后期召集相关部门对现场进行恢复、改造或重建。

救援过程由现场指挥部统一指挥, 现场指挥部依据现场情况动态研判, 调整响应等级和处置方式, 待事故现场情况可控, 响应降级, 处置完成后, 应急响应终止。

5 结语

为提高实验室安全事故应急管理能力和水平, 本文引入 OODA 环理论, 优化事故预警、事故研判与响应、预案与决策、事故处置管理流程, 构建实验室安全应急管理 OODA 环模型。以实验室试剂爆燃、危化品泄露为例, 验证基于 OODA 环的实验室安全应急联动模型的适用性。分析结果表明, 基于 OODA 环的实验室安全事故应急联动模型对于提高实验室安全事故应急处置能力、建立实验室安全事故应急联动体系具有参考意义。

参考文献 (References)

[1] 闪淳昌. 学习贯彻习近平总书记重要讲话精神 推进我国应急管理体系和能力现代化[J]. 中国减灾, 2020(1): 24-29.
SHAN C C. Study and implement General Secretary Xi Jinping's important speeches, promote the modernization of China's emergency management system and capacity[J]. Disaster Reduction in China, 2020(1): 24-29. (in Chinese)

[2] 王臻, 徐晓倩, 金妍言, 等. 突发公共卫生事件府际协同治理研究[J]. 中国预防医学杂志, 2022, 23(9): 641-645.
WANG Z, XU X Q, JIN Y Y et al. Review on intergovernmental collaborative governance for public health emergencies[J]. Chinese Preventive Medicine. 2022, 23(9): 641-645. (in Chinese)

[3] 宋毅, 高东锋. 新时代高等学校教学实验室安全管理体系与管理能力提升实践[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(1): 1-2, 9.
SONG Y, GAO D F. Practice on improvement of safety management system and management ability for university teaching laboratories in new era[J]. Experimental Technology and Management. 2020, 37(1): 1-2, 9. (in Chinese)

[4] 张阳, 王艳正, 司光亚. 集群式电子战无人机的 OODA 作战环分析与建模[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(8): 31-36.
ZHANG Y, WANG Y Z, SI G Y. Analysis and modeling of OODA circle of electronic warfare group UAV[J]. Fire Control & Command Control, 2018, 43(8): 31-36. (in Chinese)

[5] 王旭, 黄炎焱. 基于 OODA 环的城市内涝灾害应急联动体系建模[J]. 南京理工大学学报, 2018, 42(2): 234-242.
WANG X, HUANG Y Y. Modeling of emergency response system on urban waterlogging disaster based on OODA loop[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2018, 42(2): 234-242. (in Chinese)

[6] 苏明占, 郭邵萌, 张欣, 等. 基于 OODA 作战指挥环的室内战场环境数据服务模型构建[J]. 信息工程大学学报, 2022, 23(1): 115-119.
SU M Z, GUO S M, ZHANG X et al. Construction of data service model of indoor battlefield environment based on OODA operational command ring[J]. Journal of Information Engineering University, 2022, 23(1): 115-119. (in Chinese)

[7] 雷梓烽. 基于 OODA 环的作战体系对抗博弈建模研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2020.
LEI Z F. Research on operation system-of-systems combat game model based on OODA loop [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2020. (in Chinese)

[8] 安宇, 郭子萌, 王彪, 等. 高校实验室事故致因分析与安全管理研究[J]. 安全, 2022, 43(8): 34-39.
AN Y, GUO Z M, WANG B et al. Accident cause analysis and safety management research of laboratory in colleges and universities[J]. Safety & Security, 2022, 43(8): 34-39. (in Chinese)

[9] 李旋. 基于 OODA 环的作战网络评估与优化研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2021.
LI X. Research on evaluation and optimization of combat network based on OODA loop[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2021. (in Chinese)

[10] 陈黎, 李芳芳, 冯清江, 等. 一种基于 OODA-A 环的防空体系及其作战时效分析[J]. 指挥与控制学报, 2021, 7(4): 383-388.
CHEN L, LI F F, FENG Q J, et al. Combat timeliness analysis of air defense system-of-systems based on OODA-A loop[J]. Journal of Command and Control, 2021, 7(4): 383-388. (in Chinese)

[11] 王金贵, 罗飞云, 张苏, 等. 基于多级联合响应的高校实验室应急预案体系[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(7): 262-264, 277.
WANG J G, LUO F Y, ZHANG S et al. University laboratory emergency plan system based on multi-level joint response[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(7): 262-264, 277. (in Chinese)

(下转第 266 页)

方法: CN112781958B[P]. 2022-07-08.

CHEN C, WEI W, LI A. A characterization of the fluidity of specific components of emulsion molecules: CN112781958B[P]. 2022-07-08.

- [14] CHEN C, LI D, LI J, et al. Microstructure and biomolecules mobility of human milk fat globules by fluorescence recovery after photobleaching with confocal scanning laser microscope[J]. Food Structure, 2022, 31: 100251.
- [15] CHEN C, KARRAR E, LI D, et al. Chemical mapping of milk fat globules using confocal Raman microscopy: Comparison of different milk species and fat globule sizes[J]. International Dairy Journal, 2023, 146: 105746.

- [16] 李华. 生物信息学工具知识图谱构建和新实体嵌入生成[D]. 吉林: 吉林大学, 2022.

LI H. Knowledge graph construction for bioinformatics tools and generation of new entity embeddings[D]. Jilin: Jilin University, 2022. (in Chinese)

- [17] 陆鹏. 基于 Neo4j 的大数据组织检索研究与应用[D]. 南京: 东南大学, 2016.

LU P. The research and application of big data retrieval organization based on Neo4j[D]. Nanjing: Southeast University, 2016. (in Chinese)

(编辑: 孙浩)

(上接第 254 页)

- [12] 于红, 李兰, 杨俊云, 等. 海洋核动力平台的核与辐射应急响应策略研究[J]. 海军工程大学学报(综合版), 2019, 16(1): 64–67.

YU H, LI L, YANG J Y, et al. Nuclear and radiological emergency response strategy for ocean nuclear power platform[J]. Journal of Naval University of Engineering (Comprehensive Edition), 2019, 16(1): 64–67. (in Chinese)

- [13] 戚建刚. 学校应急管理多元协作与应急决策机制的法制化研究[J]. 行政法论丛, 2014(1): 216–246.

QI J G. Research on the legalization of multi-cooperation and emergency decision-making mechanism of school emergency management[J]. Administrative Law Review, 2014(1): 216–246. (in Chinese)

- [14] 杨杲辉. 应急管理文化与安全管理文化的内涵辨析[J]. 中国安全生产, 2022, 17(4): 24–27.

YANG G H. Analysis of the connotation of emergency management culture and safety management culture[J]. Emergency Management, 2022, 17(4): 24–27. (in Chinese)

- [15] 张英, 齐培潇, 王丽慧, 等. 应急科普标准体系建设研究[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 81–84.

ZHANG Y, QI P X, WANG L H, et al. Thoughts on the construction of emergency science popularization standard system[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 81–84. (in Chinese)

- [16] 易玉枚, 王文豪. 高校实验室应急管理体系构建[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(11): 282–286.

YI Y M, WANG W H. Construction of emergency management system for university laboratory[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2022, 41(11): 282–286. (in Chinese)

(编辑: 孙浩)