

实验与实践教学

基于瑟利模型的高校实验室安全管理*

阳富强¹, 李施怡¹, 蔡剑英²

(福州大学 1.环境与安全工程学院, 2.实验室建设与设备管理处, 福建 福州 350116)

[摘要]有效预防高校实验室事故的发生,是高校安全运行的重要保障。文章通过对30起高校实验室事故产生原因的定性分析,发现人的因素是导致高校实验室安全事故发生的最主要因素;同时基于分析结果构建了高校实验室安全事故瑟利模型,并据此建立了高校实验室安全管理系统。该系统为闭环系统,主要分为消除隐患阶段和事故处理阶段,可以用于高校实验室以及实验过程的规范、高效管理。

[关键词]高校实验室;安全管理;瑟利模型;管理系统

Laboratory Safety Management in Colleges and Universities
Based on Surry ModelYang Fuqiang¹, Li Shiyi¹, Cai Jianying²

(1.College of Environment and Safety Engineering, 2.Division of Laboratory
Construction and Equipment Management, Fuzhou University,
Fuzhou 350116, Fujian, China)

Abstract: To prevent accidents effectively in university laboratories, is the important guarantee for the safe operation of universities. 30 university laboratory accidents are qualitatively analyzed in this work. It is found that the human factor is the most important factor leading to the occurrence of safety accidents in college laboratories. Then, the Surry Model of university laboratory safety accidents is constructed based on the analysis results. Finally, according to the Surry Model, a safety management system of university laboratory is established. The system is a closed-loop system, and mainly divided into the elimination of hidden dangers stage and the accident treatment stage. It can be used to the standardized and efficient management of college laboratories and the experimental process.

Key words: University laboratory; Safety management; Surry Model; Management system

[作者简介] 阳富强(1982-),男,教授,博士。

[通信作者] 蔡剑英, E-mail: 66324304@qq.com。

* 基金项目:福建省本科高校教育教学改革研究项目(FBJG20200189);福州大学2022年校级本科教育教学研究项目(03626450)。

高校实验室是开展实验教学和科研工作的主要场所,在培育优秀人才、提高学校科研水平等方面起着重要作用^[1]。近年来,我国高等教育事业快速发展,国家和地方对高校实验室建设的投入不断加大^[2],但各方面的管理还不够完善,实验室安全隐患仍然存在,安全事故时有发生。

目前,有关我国高校实验室安全管理的研究主要集中在事故致因分析和事故预防对策上^[3]。在实验室安全事故中,人为失误是造成事故的主要原因。瑟利模型认为,事故是人对外界刺激反应失误造成的,该模型能从人的失误角度帮助人们去分析事故产生的原因^[4]。因此,采用瑟利模型来推动实验室安全管理建设较为合适。有关瑟利模型的研究大多集中于火灾方面。田硕利用瑟利模型对建筑工地火灾发生的原因进行分析,并提出了相应的预防措施^[5];慈小玉等基于瑟利模型分析地铁火灾发生原因,并提出地铁火灾预防和控制的应对思路^[6]。但从现状看,在高校实验室安全管理方面,有关瑟利模型的研究相对较少。在此,本文尝试利用该模型分析高校实验室安全管理问题,为更有效地预防各类实验室事故提供参考。

首先,笔者将分析导致实验室事故发生的主要原因和具体因素;其次,建立基于瑟利模型的高校实验室安全管理模型,得出实验室危险出现、释放直至导致事故的原因;最后,根据构建的高校实验室安全管理模型建立相应的高校实验室安全管理系统,以提高高校实验室安全管理效率,降低高校实验室发生安全事故的可能性。

一、高校实验室事故原因分析

(一)导致高校实验室事故发生的主要原因

有关研究发现,导致高校实验室事故发生的主要原因是人的不安全行为和物的不安全状态,“管理上的失误”“管理失误”是发生事故的本质原因^[7]。因此,要想避免实验室事故发生,应该杜绝实验室的管理失误。

1.人的不安全行为

统计分析发现,有近89%的高校实验室事故是由学生引发的,且80%的事故发生在科研实验

过程中,由学生的不安全行为导致^[8]。在人的不安全行为中,95%以上的不安全行为都与人的不良心理状态有关^[9]。师生在进行实验时,任何操作不当的行为都可能导致事故发生^[10],如专业知识掌握不充分、实验操作不规范、实验过程中擅自离开操作台、实验无人监管、发生事故未能及时处理等。鉴于此,要预防高校实验室事故的发生,必须从师生入手,充分认识人的不安全行为的危害性,提高师生的安全意识和安全素养,这样才能保障实验室的整体安全。

2.物的不安全状态

物的不安全状态是导致高校实验室安全事故发生的一大主因,只有全面提升实验场所的实验材料和基础设备的安全性,才能使实验场所处于安全状态。实验室内部材料存放不规范、材料废弃物未按要求处理、用电用水不规范等行为都会导致实验室陷于不安全状态。因此,要想保证实验室的安全,必须让实验设备、器材以及实验项目都处于安全状态。

3.管理失误

当前,部分高校实验室仍未建立完善的实验室管理体系,管理体系落后易导致管理失误出现,从而使实验室处于不安全状态,甚至发生安全事故^[11]。另外,实验室管理失误还包括缺乏安全教育和培训、相关规章制度不合理等,这与某些高校设置不同部门负责实验室材料、实验教学,再由教研室统一管理的做法有一定的关系。这种做法在一定程度上会导致实验室管理混乱,也与现代高校注重资源整合、协调发展以实现整体效益的理念相矛盾。

4.环境的不安全条件

除了上述原因,高校实验室安全事故的发生还与不安全的环境有关,如实验室照明不佳、实验室通风系统效果差、未按要求设定所需条件等。例如,噪声过大会导致室内人员的听力、心血管系统、神经系统受损,也会增加实验室人员之间的沟通难度;实验信息传达不及时会导致相关人员操作失误;实验室振动可使精密仪器出现数据错误甚至产生不可逆的损坏。

(二)高校实验室事故案例分析

为更好地了解高校实验室事故发生的原因，我们基于河南理工大学 2021 年整理的 30 起高校实验室安全典型事故案例展开分析^[12]。这些事

故按照类型可分为火灾事故、爆炸事故、中毒事故、烧伤灼伤事故、触电事故、特种设备事故、危险化学品泄漏事故、辐射事故和生物安全事故，其中每种类型的典型事故案例如表 1 所示。

表 1 不同类型的高校实验室典型事故案例

事故类型	事故时间	事故地点	事故原因
火灾事故	2019 年 2 月 27 日	江苏某高校	电源未关闭,导致电路火灾
爆炸事故	2018 年 12 月 26 日	北京某高校	氢气和空气的混合物发生爆炸(一次爆炸),镁粉爆炸(二次爆炸);实验人员操作不规范、对安全工作重视程度不够、有效的实验室安全常态化监管机制未建立
中毒事故	2015 年 3 月 3 日	上海某高校	在操作人员换气过程中,硫化氢发生泄漏
烧伤灼伤事故	2012 年 5 月 16 日	辽宁某高校	学生违反实验室安全守则,指导教师未及时提醒并制止;危险化学品储存不符合规范、应急处理措施不当
触电事故	2005 年 1 月 4 日	江苏某高校	学生在实验过程中不慎触电,实验过程中无指导教师监管
特种设备事故	2019 年 3 月 27 日	上海某高校	学生操作不当
危险化学品泄漏事故	2012 年 2 月 5 日	江苏某高校	高压釜未做好气密性检查且无人看守,实验人员临时脱岗
辐射事故	2008 年 4 月 11 日	山西某科研院所	工人贸然进入处于辐照情况的辐照室,未佩戴个人剂量报警仪;研究中心在安全不达标的情况下仍运行辐照装置
生物安全事故	2014 年 6 月 6 日	国外某实验室	实验员操作不规范,实验室存在安全管理漏洞

在这些事故中,由人为因素引起的事故占 48.9%,由管理因素引起的事故占 23.4%,物的因素占 21.3%,环境因素占 6.4%。从中可以发现,造成高校实验室安全事故发生的最主要原因是人的不安全行为。因此,高校实验室开展安全管理工作时,必须加强对人的监测与管理,以降低因人的失误而导致事故发生的可能性。

高校实验室安全事故发生的重要因素,其中人的因素是最主要的因素。高校实验室人员受教育程度较高,但每个人对安全的重视程度不同,加上实验室管理制度不完善导致的实验室安全管理和监督难以落实到位,使得人为因素成为影响高校实验室安全的重要因素。

二、模型选择

由上述分析可知,人、管理、物和环境是导致事故致因理论是对大量事故根本原因进行分析后总结的事故机理和事故模型。事故致因理论包括瑟利模型、事故因果连锁理论等。由上文分

析可知,人的因素是导致事故发生的主要因素。因此,从人的因素出发,研究高校实验室事故的具体成因和预防措施,具有重要意义。

瑟利模型是以人为出发点研究事故发生发展的理论,适合用于研究高校实验室安全事故的发生和预防。该模型是美国人瑟利在1969年提出的理论,是一个典型的根据人的认知过程分析事故致因的理论^[13]。该模型把事故的发生过程分为危险构成和危险输出两个阶段,每个阶段又包括感觉、认识和行为响应三个环节。在危险构成阶段,只要对人的信息进行正确的响应,就可以消除或控制事故的发生;否则,操作人员就会直接陷入危险。在危险输出阶段,假设人的信息处理过程是正确无误的,尽管存在着已经显露出来的风险,还是能够避免风险自动释放,不会造成伤害或损坏;否则,风险也会转化成伤害或损坏。

结合高校实验室的实际情况,上述两个阶段具有类似的信息处理过程:1.高校实验室危险的出现(或释放)有警告吗?2.实验室管理人员和实验室使用者能接收到这个警告吗?3.实验室管理人员和实验室使用者认识到这个警告了吗?4.使用实验室的师生知道如何避免危险发生吗?5.实验室管理人员和使用者决定要采取行动吗?6.在决定采取行动的情况下,实验室能够避免危险发生吗?其中,问题1和问题2是对信息的准确感知,问题3—5与正确的判断和反应有关,问题6与人的行为响应有关。对照以上描述,结合导致高校实验室事故发生的各种因素,本文将人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全状态和管理失误归为危险构成阶段,将事故隐患处理归为危险输出阶段,以更好地反映实验室事故的发生过程。只有每个阶段的信息处理都不发生失误,才能避免实验室事故的发生。

基于对瑟利模型的认识和分析,我们构建了实验室安全事故防控思路,将事故防控分为危险显现、危险警告及感知、回避感知、决策及实施等四个阶段,按顺序依次递进^[14]。在危险显现阶段,高校实验室要定期进行安全检查,使实验室管理人员尽早察觉潜在危险,以便预防或控制事故

发生;在危险警告及感知阶段,高校实验室应通过安全教育,提高实验人员感知危险源的能力,培养其处理突发事故的能力;在回避感知阶段,高校应通过安全教育,确保实验室管理人员在收到危险警报后,能够让实验室的师生了解如何避免危险的出现,以及如何控制危险的进一步发展;在决策及实施阶段,高校实验室应通过系列安全教育和安全检查,使实验室使用者和管理人员在做出正确决策后,有足够的时间和条件迅速、准确地做出应急响应。在对上述四个阶段进行分析的基础上,我们设计了专门针对高校实验室安全管理的瑟利模型,并提出有效的管理与控制策略,以期减少高校实验室安全事故的发生。

三、基于瑟利模型的高校实验室安全管理

(一)高校实验室安全管理瑟利模型

要避免事故发生,先要控制主要原因,即人的失误,同时控制实验室内部物的不安全状态以及实验室内部环境的不安全条件^[15]。为了更好地分析实验室事故发生时人、物、环境和管理状态,我们构建了相应的瑟利模型,如图1所示。

从图1中可以看到,该模型分为两部分,第一部分为事故发生因素,第二部分为事故处理及人员疏散。该模型的具体解释如表2所示。

由表2可知,在第一部分中,无论是有关人所处状态还是有关物和环境所处状态,若所有提问的回答均为“是”,则高校实验室处于安全状态;若有一个回答为“否”,则高校实验室存在事故隐患。在第二部分中,有关管理所处状态,若所有提问的回答均为“是”,则实验室在解决存在的隐患之后,恢复安全状态;若有一个回答为“否”,则实验室会损坏并发生伤亡事故。

(二)基于瑟利模型的高校实验室安全管理系统

由图1可知,在高校实验室中,人既是操作的主体,也是导致事故发生的主要因素。所以,对人进行有效管理,就能够降低高校实验室事故的发生率^[16]。根据对人、物、环境和管理所处状态的分析,为了更好地预防和处理高校实验室事故,我

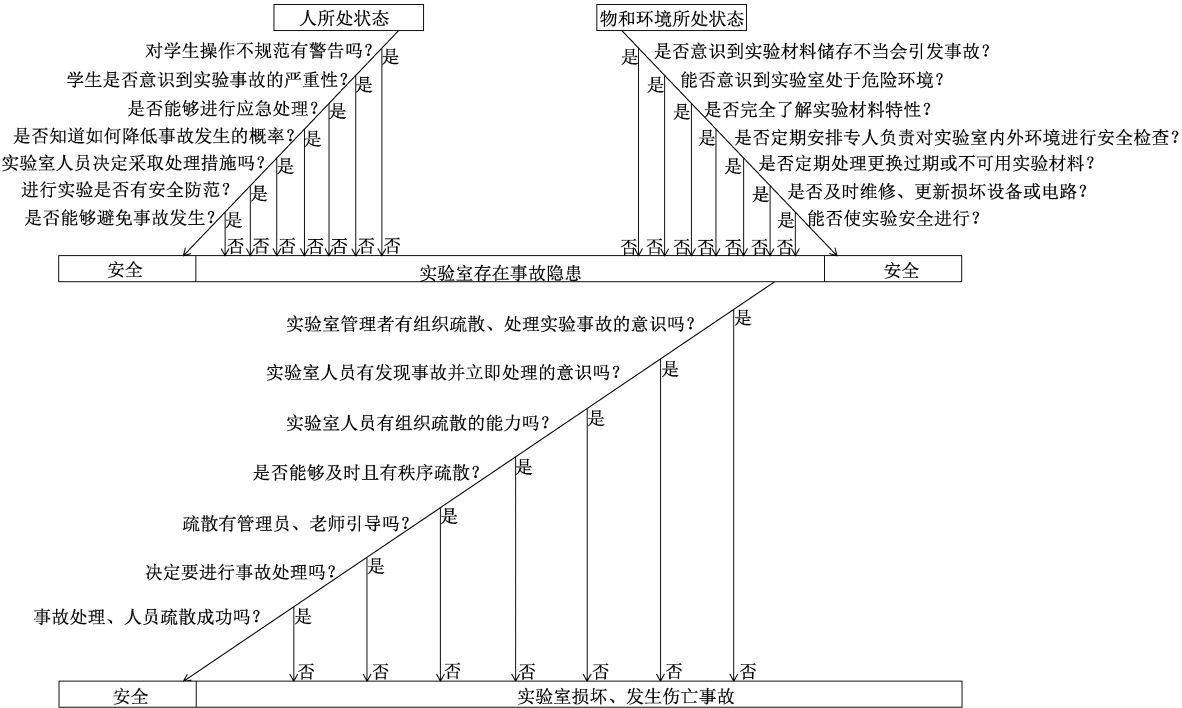


图 1 高校实验室安全事故瑟利模型

表 2 高校实验室安全事故瑟利模型的具体解释

模型 划分	所处状态 的对象	提问问题	回答为“是”	回答为“否”
第一 部分	人所处 状态	对学生操作不规范有警告吗？	安全	实验室 存在事故 隐患
		学生是否意识到实验事故的严重性？		
		是否能够进行应急处理？		
		是否知道如何降低事故发生的概率？		
		实验室人员决定采取处理措施吗？		
		进行实验是否有安全防范？		
		是否能够避免事故发生？		
	物和环境 所处状态	是否意识到实验材料储存不当会引发事故？	安全	实验室 存在事故 隐患
		能否意识到实验室处于危险环境？		
		是否完全了解实验材料特性？		
		是否定期安排专人负责对实验室内外环境进行安全检查？		
		是否定期处理更换过期或不可用实验材料？		
		是否及时维修、更新损坏设备或电路？		
		能否使实验安全进行？		
第二 部分	管理所处 状态	实验室管理者有组织疏散、处理实验事故的意识吗？	安全	实验室 损坏、发生 伤亡事故
		实验室人员有发现事故并立即处理的意识吗？		
		实验室人员有组织疏散的能力吗？		
		是否能够及时且有秩序疏散？		
		疏散有管理员、老师引导吗？		
		决定要进行事故处理吗？		
		事故处理、人员疏散成功吗？		

们基于所构建的瑟利模型,建立了相应的安全管 理系统,如图 2 所示。

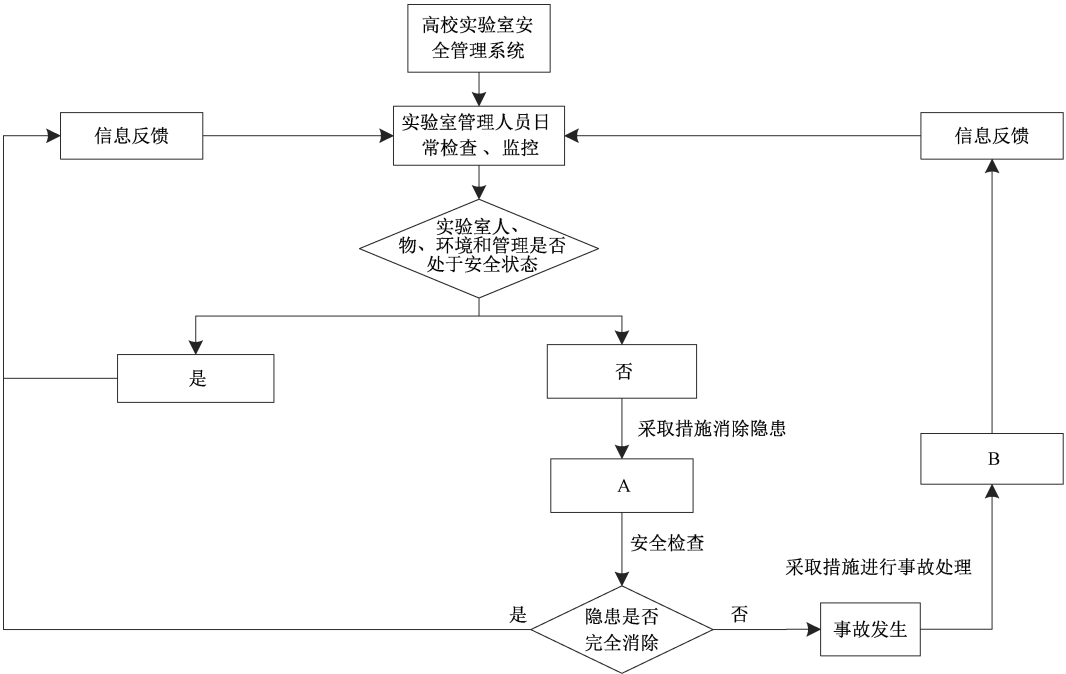


图 2 基于瑟利模型的高校实验室安全管理系统

该系统将管理分为消除隐患和事故处理两个阶段,要求实验室管理人员进行日常检查及监控,检查与实验室有关的人、物、环境和管理是否皆处于安全状态。若四者皆处于安全状态,则系统 will 将相关信息反馈后继续进行日常检查和监控;若有处于不安全状态的情况,则需要先采取相关措施消除隐患,再进行安全检查,以确定隐患是否完全消除。若隐患完全消除,则系统将信息反馈后继续进行日常监控检查;若隐患未能完全消除,则会导致实验室事故的发生。在实验室事故发生的情况下,相关人员需要采取相关的措施处理事故,以降低事故后果的严重程度。在事故处理完毕后,系统也需要对相关信息进行反馈,使实验室继续处于日常安全检查和监控的状态。该系统属于闭环系统,安全检查和监控覆盖每一个阶段。对于图 2 中 A 和 B 阶段,具体措施如表 3 所示。

1.消除隐患阶段

高校要建立和完善分级管理责任体系,进一步提升实验室管理人员的素质,以便更好地满足高校实验室安全管理的要求;做好实验室管理人员选拔和培训工作,妥善管理每个与实验室有关的个体,使管理人员的安全管理素质与管理岗位相适应。

表 3 A 和 B 阶段的具体措施

阶段	措施
A.消除 隐患 阶段	做好实验室管理人员选拔和培训
	开展常态化安全教育
	强化实验材料和防护装置的质量管理
	实验环境的安全隐患整改
	规范实验操作
B.事故 处理 阶段	实验室管理者和老师组织疏散实验室人员
	实验室人员自行疏散
	应急救援立即到位
	实验室人员有正确处理事故的能力

实验开始前,实验室管理人员须对师生进行安全教育。开展实验的师生必须具备足够的专业知识和实验操作技能,能够按照要求安全开展实验。同时,实验室管理人员需具备收到实验危险警告后迅速、正确地进行应急处理的能力。尤其是对于涉及危险化学品的实验,实验室相关人员必须具备高校实验室要求的危险源辨识处理能力,一旦出现不安全因素就进行处理,防止事故进一步扩大。

高校应不断强化实验材料的质量管理,保持整洁、有序的实验环境,消除实验环境中的安全隐患。实验室管理人员要根据高校实验室环境条件的基本要求,定期进行检查,一旦发现环境条件不符合标准,应立即上报并采取有效措施使其回到安全状态。在实验室的日常管理中,长期不用的仪器设备也要定期检查和擦拭,保持整洁。实验室内严禁一切与实验无关的行为,如吸烟、吃零食和存放个人物品等。实验前、实验中和实验后,实验室管理人员要定期对实验室的内外部环境进行检查,确保师生在实验结束后将实验室恢复到实验前的安全状态,同时确保实验室的消防、供电、通风和给排水系统均处于安全状态。

各学科的实验室有不同的特点,因而每个实验室都应制定相应的管理制度。如化学实验室需要特别注意各种实验试剂的特性,根据其特性进行储存;物理实验室需要特别注意用电、用水和辐射安全,并对相关实验室的管理和操作人员上岗前专项培训。实验室相关人员均需具备规范的实验操作能力和及时应对并正确处理事故的能力。

2. 事故处理阶段

在事故发生时,实验室管理者和老师应当立即组织疏散,以最快的速度将人员疏散到安全区域。在等待实验室管理者和老师组织疏散的过程中,学生应在保证自身安全的前提下自行疏散,以降低消防部门后期救援的难度。在事故发生后,应急救援力量应立即到位。高校是人员密集的场所,救援力量越快到位,处理速度也越快,事故则越轻。无论是大型事故还是小型事故,实验室师生都应该具备正确处理事故的能力,在保证自身安全的前提下保障实验室的安全。

在后期管理过程中,高校实验室要根据实验操作规范,进行科学化的管理。高校应建立完善的实验室管理制度,面向实验室管理人员和使用实验室的师生定期开展安全教育和事故应急处理能力培训;设立相应的实验室管理部门,定期检查实验室的安全状态,如实提出实验室存在的不安全状况;实施奖罚措施,提高实验室管理者的积极

性。此外,高校实验室还要制定一套合理的安全化、标准化实验室安全管理规章制度,促使实验室师生保持良好的实验状态。如该系统能够顺利实施,将可以在很大程度上提高实验师生的安全素养。

四、结论

高校实验室事故发生的主要原因是人为因素,次要原因是实验室材料和设备等的不安全状态以及实验环境的不安全性,本质原因是实验室管理上的失误。本文将瑟利模型分为事故发生因素和事故处理及人员疏散两部分,针对第一部分提出 14 个问题,分析人所处状态、物和环境所处状态,以此判断实验室是否存在安全隐患;针对第二部分提出 7 个问题,以此判断实验室是否会发生更严重的事故。在此基础上,本文构建了高校实验室安全管理系统,用于对高校实验室以及实验过程进行更高效、更规范的管理。本文使用的瑟利模型主要是从人的失误方面进行分析,但人的失误很难全面分析,因此在后续的研究中,我们将考虑从更多角度出发进行全面分析。

(责任编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 阳富强,毛亚军,林晓航,等.基于社会技术系统理论的高校实验室安全管理[J].化工高等教育,2021,38(4):16-21.
- [2] 廖敏敬.高校实验室安全管理之思考[J].实验室研究与探索,2010,29(1):168-170.
- [3] 云霞皓月.我国高校实验室安全管理职责体系优化研究[D].北京:中国地质大学,2021.
- [4] Heinrich H W. Industrial accident prevention: a safety management approach [J]. New York: McGraw-Hill,1980.
- [5] 田硕.基于瑟利模型的建筑工地火灾分析与预防[J].建筑安全,2020,35(1):55-58.
- [6] 慈小玉,吴金洪.基于瑟利模型的地铁火灾原因及防控思路分析[J].城市轨道交通研究,2012,15(11):108-110.
- [7] 沈斐敏.安全系统工程理论与应用[M].北京:煤炭

工业出版社,2001.

[8] 董继业,马参国,傅贵,等.高校实验室安全事故行为原因分析及解决对策[J].实验技术与管理,2016,33(10):258-261.

[9] 郑亚文.工业事故中违章人的心理调查分析与预防[J].山东工业技术,2018(1):238.

[10] Olewski T, Snakard M. Challenges in applying process safety management at university laboratories[J].Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2017,49:209-214.

[11] Park K S. Development of standard safety management regulation for research laboratory[J].Korean Journal of Hazardous Materials,2016(4):1-7.

[12] 河南理工大学能源学院实验中心.高校实验室安全典型事故案例汇编[EB/OL].(2021-08-18)[2023-04-07].<https://mlab.hpu.edu.cn/article-92.html>.

[13] 罗春红,谢贤平.事故致因理论的比较分析[J].中国安全生产科学技术,2007(5):111-115.

[14] 杨瑞波.瑟利模型在电力事故分析及预控中的应用[J].云南电力技术,2015,43(5):87-88.

[15] 谭钦文,董勇,段正肖,等.复杂事件事故树“人-机-环”简易展开模型及应用[J].工业安全与环保,2018,44(5):57-60.

[16] Lee H K, Lee I B, Sin Y T, et al. Development of laboratory hazard discovery and management techniques [J]. Journal of the Korea Safety Management and Science,2016 (18):81-90.

(上接第 16 页)普遍包括水盐体系相图特征、相图实验及计算方法、相图基础数据等内容。在此基础上,我们建议教师在课堂教学中补充讲授相关科研前沿和技术创新成果,并提出将新的热力学计算模型、商业计算软件作为教学内容,将相平衡状态机理及溶液微观结构的研究方法作为教学案例,以帮助学生把握科研动态;增设分离工程中的动态变温过程、介稳态相图、多模型耦合、强酸性体系相分离的案例分析,开展“智慧盐湖”的工程设计,让学生及时了解行业技术的更新情况,进一步强化学生的工程意识。 (责任编辑:袁倩)

参考文献:

[1] 崔香梅,关云山,党力,等.面向新工科的化工结晶过程原理及应用课程改革与实践[J].化工高等教育,2020,37(5):54-58.

[2] 成怀刚,程芳琴,宋慧平.资源循环工程设计教材的适应性及对策分析[J].高等工程教育研究,2023(2):96-101.

[3] 牛自得,程芳琴.水盐体系相图及其应用[M].天津:天津大学出版社,2002.

[4] 邓天龙,周桓,陈侠.水盐体系相图及应用[M].北京:化学工业出版社,2013.

[5] 李栋婵.水盐体系相图及其应用实验课程的开发和研究[J].化工设计通讯,2018,44(12):163-164.

[6] 韩效钊,张旭,王百年,等.以化工热力学知识点为主线的大学生创新创业能力培养[J].教育教学论坛,2019(5):79-80.

[7] 成怀刚,程芳琴.水盐体系相分离[M].北京:冶金工业出版社,2022.

[8] 马振东.盐湖集团“智能盐湖”工业互联网平台正式上线[N].青海日报,2023-05-11(6).