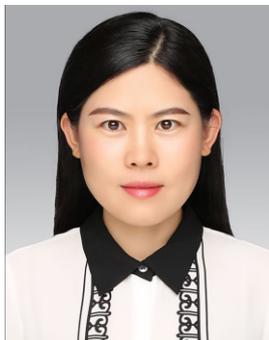


高校实验室模糊综合风险评价与分析

吴立荣^{a, b}, 屈亚龙^b, 程卫民^{a, b}

(山东科技大学 a. 矿业工程国家级实验教学示范中心; b. 安全与环境工程学院, 山东 青岛 266590)



摘要: 高校实验室含危险有害因素种类多、数量大,事故后果严重。为了降低高校实验室事故发生带来的损失和危害,根据安全评价原理和安全评价指标体系建立原则,从安全规章制度、人的因素、仪器设备与化学品、管理与使用、应急管理5个方面建立全面、合理的高校实验室安全评价指标体系。通过专家咨询法和层次分析法确定1级、2级评价指标的权重,采用模糊综合评价法对高校实验室进行安全评价,确定实验室安全等级。根据高校实验室安全评价过程和评价结果分析影响实验室安全的关键因素,在此基础上,结合安全管理理论,制定有针对性的安全对策,对于预防高校实验室事故发生具有重要的意义。

关键词: 实验室; 层次分析法; 模糊综合评价; 评价指标; 安全对策

中图分类号: X 913.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-7167(2020)02-0300-04

Fuzzy Comprehensive Risk Evaluation and Cause Analysis of Laboratory in Universities

WU Lirong^{a, b}, QU Yalong^b, CHENG Weimin^{a, b}

(a. National Demonstration Center for Experimental Mining Engineering Education; b. College of Safety and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China)

Abstract: There are many kinds and large quantities of dangerous and harmful factors in university laboratories. In order to reduce the loss and hazard caused by the accidents in university laboratories, according to the principles of safety evaluation, a comprehensive and reasonable safety evaluation index system is established with five aspects, i. e., safety rules and regulations, human factors, equipment and chemicals, management and use, and emergency management. Taking a university laboratory as an example, the weights of the first and second evaluation indexes are determined by expert consultation method and analytic hierarchy process (AHP), and the safety evaluation is carried out by fuzzy comprehensive evaluation method to determine the safety level of laboratories. Based on the process and results of laboratory safety evaluation in universities, the key factors affecting laboratory safety are analyzed. On this basis, combined with safety management theory, the formulation of targeted safety countermeasures is of great significance for preventing laboratory accidents in universities.

Key words: laboratories; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation; evaluation index; security countermeasure

收稿日期: 2019-03-28

基金项目: 山东科技大学矿业工程一流学科建设专项(04AQ02802); 山东科技大学教育教学研究“群星计划”项目(QX2018Z14、QX2018M07); 矿业工程国家级实验教学示范中心(山东科技大学)开放基金(KYSF20180210)

作者简介: 吴立荣(1981-),女,山东滨州人,博士,讲师,研究方向为安全科学与工程。Tel.: 0532-86058080; E-mail: lrwu1981@163.com

0 引言

高校实验室是培养创新人才的重要阵地,是科技创新的主要场所,更是衡量一所高校科技综合能力的指标之一。由于实验室所含危险有害因素种类多、数量大,涉及易燃、易爆等危险物质,若管理不善,极易发

生事故且后果严重。近年来高校实验室事故时有发生,严重影响学生的安全、学校的稳定和发展^[1-4]。如 2018 年 12 月 26 日,北京交通大学东校区 2 号楼实验室内发生爆炸,事故造成 3 名参与实验的学生死亡。因此,对高校实验室开展全面科学的安全评价,明确其安全状况,分析可能造成事故的原因并采取措施,对于预防事故发生、保证实验室安全至关重要。

1 高校教学实验室安全评价指标体系

安全评价指标体系是进行安全评价的基础,评价指标将直接影响评价结果的准确性。从安全规章制度、人员、仪器设备与化学品、管理与使用、应急管理等方面建立实验室安全评价指标体系^[5-7](见图 1)。

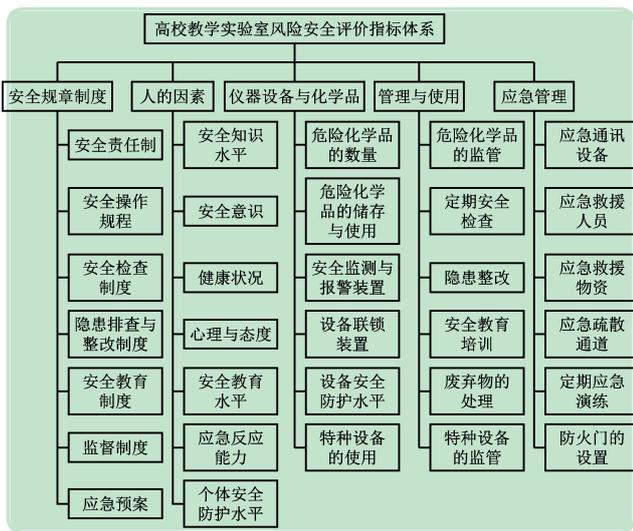


图 1 高校教学实验室风险安全评价指标体系

(1) 安全规章制度。建立健全的安全规章制度是实验室安全运行的重要保障,因为实验室环境的复杂性,需要通过完善的规章制度,使实验室管理做到有章可循。实验室安全规章制度应从安全责任制、安全操作规程、安全检查和隐患整改制度、安全教育制度和安全监管着手,同时要有完善的应急预案。

(2) 人的因素。人是实验室操作的主体,其操作的正确性和安全性直接影响着实验室的安全,是影响安全诸多因素中非常重要的一个,人的因素对实验室的安全影响主要包括:人的安全知识水平和安全意识、人的健康状况、人的心理与态度、安全教育水平、应急反应能力和个体防护水平。

(3) 仪器设备与化学品。仪器设备的可靠性和化学品的安全管理是实验室安全的重要组成部分,其中仪器设备的管理包括安全监测和报警装置、设备连锁装置、设备的安全防护和特种设备的管理。化学品的管理包括危险化学品的数量、危险化学品的储存和使用符合规范。

(4) 管理与使用。对实验室的管理与使用是实验室操作的主要过程,管理方法是否符合规范直接影响实验室的安全。主要分为对危险化学品的监管、定期的安全检查和隐患整改、安全教育培训、废弃物处理和特种设备的监管。

(5) 应急管理。事故的应急处理直接关系到人身安全和实验室财产安全,应急处理恰当能最大程度降低事故带来的损失,保障人和设备免受二次伤害。因此,应急管理主要包括应急通信设备、救援人员和救援物资、疏散通道、定期应急演练和防火门的设置。

2 高校实验室模糊综合评价

以某高校实验室为例,对实验室开展模糊综合评价。本研究中评价对象记为 $P = [$ 高校实验室安全情况 $]$,评价对象的各个影响因素构成因素集,表达式为 $P = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$,其中, Y_n 为评价指标的影响因素。评语是被评价对象属于各评价等级的程度,依据评价要求将评价等级设置为安全(ν_1)、较安全(ν_2)、一般安全(ν_3)、比较危险(ν_4)、危险(ν_5) 5 个等级,表示为: $V = [\nu_1 \nu_2 \nu_3 \nu_4 \nu_5]$ 。

2.1 实验室安全评价指标权重确定

根据专家咨询法确定评价指标判断矩阵,通过 MATLAB 计算出最大特征值与特征向量,并通过一致性检验确定判断矩阵是否具有良好的一致性^[8-13]。以安全规章制度及 2 级指标为例,如表 1 所示。

表 1 安全规章制度(Y_1) 2 级指标判断矩阵

| Y_1 | y_{11} | y_{12} | y_{13} | y_{14} | y_{15} | y_{16} | y_{17} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| y_{11} | 1 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 2 | 3 | 1/2 |
| y_{12} | 5 | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 |
| y_{13} | 4 | 1/2 | 1 | 2 | 5 | 6 | 3 |
| y_{14} | 3 | 1/3 | 1/2 | 1 | 4 | 5 | 2 |
| y_{15} | 1/2 | 1/6 | 1/5 | 1/4 | 1 | 2 | 1/3 |
| y_{16} | 1/3 | 1/7 | 1/6 | 1/5 | 1/2 | 1 | 1/4 |
| y_{17} | 2 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 3 | 4 | 1 |

由 MATLAB 计算出其最大特征值 $\lambda_{\max} = 7.196$,经过一致性检验,即 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.025 < 0.1$,此判断矩阵具有良好一致性。因此,最大特征值对应特征向量 $W^T = (0.068, 0.354, 0.240, 0.159, 0.045, 0.031, 0.104)$,为各 2 级指标权重值。同理,可得其他指标权重,如表 2 所示。

2.2 单因素模糊评价

依据已经确立的评价等级,通过专家咨询法进行单因素模糊评价,确立各指标的评价矩阵^[14-15]。以安全规章制度及 2 级指标为例,如表 3 所示。

表 2 实验室安全评价指标权重表

| 对象 | 1 级指标 | 2 级指标 | 权重 | |
|---------------|-------------------|----------------|----------|-------|
| 高校 实验 室 | 安全规章制度 0.166 | 安全责任制 | 0.068 | |
| | | 安全操作规程 | 0.354 | |
| | | 安全检查制度 | 0.240 | |
| | | 隐患排查与整改制度 | 0.159 | |
| | | 安全教育制度 | 0.045 | |
| | | 监督制度 | 0.031 | |
| | | 应急预案 | 0.104 | |
| | | 人的因素 0.424 | 安全知识水平 | 0.415 |
| | | | 安全意识 | 0.215 |
| | | | 健康状况 | 0.029 |
| | 心理与态度 | | 0.143 | |
| | 安全教育水平 | | 0.062 | |
| | 应急反应能力 | | 0.095 | |
| | 仪器设备与化学品 0.235 | 危险化学品的数量 | 0.160 | |
| | | 危险化学品的储存与使用 | 0.383 | |
| | | 安全监测与报警装置 | 0.250 | |
| | | 设备连锁装置 | 0.064 | |
| | | 设备安全防护水平 | 0.101 | |
| | | 管理与使用 0.108 | 特种设备的使用 | 0.043 |
| | | | 危险化学品的监管 | 0.393 |
| 定期安全检查 | 0.262 | | | |
| 隐患整改 | 0.174 | | | |
| 安全教育培训 | 0.036 | | | |
| 应急管理 0.067 | 废弃物的处理 | 0.081 | | |
| | 特种设备的监管 | 0.053 | | |
| | 应急通信设备 | 0.058 | | |
| | 应急救援人员 | 0.091 | | |
| | 应急救援物资 | 0.039 | | |
| | 应急疏散通道 | 0.448 | | |
| | | 定期应急演练 | 0.221 | |
| | | 防火门的设置 | 0.143 | |

表 3 安全规章制度及 2 级指标评价矩阵

| | y_{11} | y_{12} | y_{13} | y_{14} | y_{15} | y_{16} | y_{17} |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| v_1 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0 | 0 | 0 | 0.2 |
| v_2 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0 | 0.5 |
| v_3 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| v_4 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.1 |
| v_5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0 |

根据 $Y = W \times R$, 以安全规章制度为例, 对其进行综合运算。

$$Y_1 = W_1 \times R_1$$

$$W_1 = (0.068 \quad 0.354 \quad 0.240 \quad 0.159 \quad 0.045$$

$$0.031 \quad 0.104)$$

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0.5 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

由计算可得:

$$Y_1 = (0.277 \quad 0.313 \quad 0.304 \quad 0.097 \quad 0.011)$$

同理可得:

$$Y_2 = (0.120 \quad 0.257 \quad 0.429 \quad 0.173 \quad 0.022)$$

$$Y_3 = (0.268 \quad 0.398 \quad 0.206 \quad 0.129 \quad 0)$$

$$Y_4 = (0.281 \quad 0.304 \quad 0.295 \quad 0.079 \quad 0.039)$$

$$Y_5 = (0.195 \quad 0.323 \quad 0.311 \quad 0.127 \quad 0.044)$$

依据最大隶属度原则, 可得安全规章制度最大隶属度为 0.313, 评价等级为比较安全; 人的因素最大隶属度为 0.429, 评价等级为一般安全; 仪器设备与化学品最大隶属度为 0.398, 评价等级为比较安全; 管理与使用最大隶属度为 0.304, 评价等级为比较安全; 应急管理最大隶属度为 0.323, 评价等级为比较安全。

2.3 综合模糊评价

根据 2 级指标的模糊矩阵得出目标层的评价矩阵^[14-15]:

$$R = \begin{pmatrix} 0.277 & 0.313 & 0.304 & 0.097 & 0.011 \\ 0.120 & 0.257 & 0.429 & 0.173 & 0.022 \\ 0.268 & 0.398 & 0.206 & 0.129 & 0 \\ 0.281 & 0.304 & 0.295 & 0.079 & 0.039 \\ 0.195 & 0.323 & 0.311 & 0.127 & 0.044 \end{pmatrix}$$

由权重表得出权重矩阵:

$$W = (0.166 \quad 0.424 \quad 0.235 \quad 0.108 \quad 0.067)$$

由 $Y = W \times R$ 得出目标层模糊矩阵:

$$Y = (0.261 \quad 0.250 \quad 0.276 \quad 0.256 \quad 0.259)$$

由模糊矩阵 Y 可得出, 目标层相对于安全得隶属度为 0.261, 相对于比较安全的隶属度为 0.250, 相对于一般安全的隶属度为 0.276, 相对于比较危险的隶属度为 0.256, 相对于危险的隶属度为 0.259。依据最大隶属度原则, 可得实验室处于一般安全状态, 表明该实验室安全管理整体情况一般, 有较大的提升空间。

2.4 分析与讨论

结合实验室安全综合评价过程, 分析影响实验室安全的因素:

(1) 1 级指标中人的因素安全等级最低, 其所对应的 2 级指标中, 人的安全知识水平与安全意识评价等级最低。实验室活动的主体是人, 人的行为直接影响到实验室的安全状态。目前实验室人员普遍存在安全技能不足, 安全意识薄弱的现象。因此加强人员的安全教育培训, 将安全教育深入到师生的日常生活和

学习中去,切实增强实验室人员的安全意识,提高其安全技能。

(2) 在其余的2级指标中,危险化学品的储存与使用,危险化学品的监管,安全检查制度等均处于一般安全状态。危化品的使用与监管是造成实验室事故的重要因素,危化品的管理要专人负责,层层监督,同时要落实每日的安全检查,坚决杜绝检查走过场走形式,发现问题隐患及时整改。

3 安全对策

在对高校实验室安全评价和分析基础上,提出以下安全对策^[16-18]:

(1) 安全教育培训日常化。人的不安全行为是造成实验室事故的主要原因,因此要将实验室安全培训深入师生日常学习活动中,坚决避免安全培训形式主义,切实提高安全操作技能。

(2) 严格实验室准入制度。避免不符合要求的人员进出实验室。相关人员要取得相应的资格才能进入实验室从事实验工作,且进入实验室前要做好防护,禁止在实验室从事与实验无关的活动。

(3) 定期安全检查。实验设备失效与电路老化是实验室隐患之一,应制定实验室轮值制度,每天安全检查。定期和不定期进行实验室环境检查,发现问题及时督促整改,真正做到防患于未然。

(4) 定期组织消防演练。火灾是影响实验室安全的重要因素,做好应急管理,定期进行消防演练,切实提高实验人员自救能力。同时,定期检查应急救援物资,如消防栓、灭火器等,保证其可靠实用。

4 结论

(1) 从安全规章制度、人的因素、仪器设备与化学品、管理与使用、应急管理等方面建立实验室安全评价指标体系。

(2) 采用层次分析法确定了各指标的权重,开展了实验室模糊综合评价,确定实验室安全等级。根据实验室实际情况分析了影响实验室安全的主要因素:

人的因素和危险物品的管理。

(3) 从安全教育、实验室准入制度、安全检查和消防演练等四个方面制定安全对策。

参考文献(References):

- [1] 王冰,周围. 加强高校实验室安全管理工作的思考[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(8): 187-189.
- [2] 武晓峰,闻星火. 高校实验室安全工作的分析与思考[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(8): 81-84.
- [3] 曹艳晓,陈曦,杨涛,等. 化学实验室安全管理现状评价和优化探析[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(1): 144-148.
- [4] 吕长平,周凤莺,何喜. 高校实验室安全管理体系的现状与对策[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(2): 242-244.
- [5] 徐炜. 实验室危险化学品安全指标体系研究[D]. 上海: 复旦大学, 2008: 16-17.
- [6] 曹庆贵. 安全评价[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [7] 陈晶晶,孙贤波,朱育红,等. 高校实验室化学品安全管理评价体系的构建[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(11): 241-245.
- [8] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008(5): 148-153.
- [9] 巴振宁,韩亚鑫,梁建文. 基于改进AHP和模糊综合评价法的燃气管道腐蚀风险评价[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2103-2109.
- [10] 冯长根,李杰,李生才. 层次分析法在中国安全科学研究中的应用[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2126-2130.
- [11] 王新民,康度,秦健春,等. 层次分析法-可拓学模型在岩质边坡稳定性安全评价中的应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(6): 2455-2462.
- [12] 张万红,陈振斌. 基于层次分析法的和谐矿区评价体系研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007(6): 848-852.
- [13] 刘桂艳,张喜刚. 层次分析法在高校实验室压力容器安全评价中的应用[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(3): 51-54.
- [14] 任颖. 模糊综合评价在实验室安全管理评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(1): 186-190.
- [15] 刘国栋,申璐,李翔. 模糊评价法在生物安全实验室环境风险评价中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(4): 114-120.
- [16] 张煜炯,林燕,钱江,等. 基于DHGF算法的高职院校实验室安全管理评价[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(2): 300-303.
- [17] 董金刚,杜成刚. 高校实验室安全事故原因分析与对策[J]. 沧州师范专科学校学报, 2017, 27(1): 131-132.
- [18] 陈玲. 高校实验室安全管理面临的问题与对策[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(1): 283-286.

· 名人名言 ·

照亮我的道路,并且不断地给我新的勇气去愉快地正视生活的理想,是善、美和真。要是没有志同道合者之间的亲切感情,要不是全神贯注于客观世界——那个在艺术和科学工作领域里永远达不到的对象,那末在我看来,生活就会是空虚的。人们所努力追求的庸俗的目标——财产、虚荣、奢侈的生活——我总觉得都是可鄙的。

——爱因斯坦