

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.02.018

基于 TOPSIS 的高校工科实验室安全评价^①

曹以¹, 赵璐¹, 龙训建², 李洪涛¹, 万里¹

1. 四川大学 水利水电学院, 成都 610065; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715

摘要: 为科学评价高校工科实验室的安全, 从管理制度、环境安全管理、电气安全和机械安全 4 个方面选择 12 个指标构建了实验室安全评价指标体系. 采用 AHP-熵权法确定每个评价指标的权重, 用 TOPSIS 法对某高校工科学院 6 个实验室的安全进行了排序, 研究成果可科学、规范地对高校工科实验室进行安全管理提供依据和保障.

关键词: 实验室安全; 评价指标体系; 层次分析法; 熵权法; 逼近理想解排序方法

中图分类号: G482

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2022)02-0118-06

On Evaluation of Engineering Laboratory Safety in Universities Based on TOPSIS Method

CAO Yi¹, ZHAO Lu¹, LONG Xunjian², LI Hongtao¹, WAN Li¹

1. College of water resources and hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. School of resource and environment, Southwest University, Chongqing, 400715, China

Abstract: To evaluate the safety of engineering laboratories in colleges and universities scientifically, twelve indexes were selected from 4 aspects of management as the evaluation index system of environmental safety management, including electrical and mechanical safeties to construct laboratory safety evaluation index system. Comprehensive weighting method, together with the AHP method and the entropy weight method, were employed to determine the final weight of each evaluation index, and the TOPSIS method was used to rank the safety on the six laboratories in an engineering college. The result of safety evaluation can provide basis and guarantee for safety management of university engineering laboratories scientifically and normatively.

Key words: laboratory safety; evaluation index system; AHP method; entropy weight method; TOPSIS method

① 收稿日期: 2020-03-14

基金项目: 四川大学校级实验技术项目(20170155).

作者简介: 曹以, 工程师, 硕士, 主要从事水利水电工程实验中心的管理工作.

通信作者: 赵璐, 博士, 实验师.

高校承载着为社会发展和科技进步培养输送人才的重要使命, 实验室是高校重要的实践教学基地, 是高校开展实验教学、科学研究和社会服务的重要场所和窗口^[1-2]. 在我国高校实验室建设迅速发展的过程中, 安全问题却是一个容易被忽视的问题, 实验室安全事故频频发生^[3-4].

我国在高校实验室的安全体系构建和安全制度建设中, 还存在诸如安全意识淡薄、安全教育投入不足、安全基础设施不完善、安全管理制度不全面等问题^[5]. 如何通过构建一套科学的安全评价指标体系, 客观评价高校实验室的安全级别, 从而提供切实可行的整改方案, 有效地排除安全隐患, 是现今实验室管理工作值得研究和探索的问题^[6].

实验室涉及多种安全因素, 每个因素重要性的大小又各有不同. 本文在分析和总结实验室安全管理相关研究的基础上, 针对高校工科实验室安全管理的特点, 从管理制度、环境安全管理、电气安全和机械安全 4 个方面构建了实验室安全评价指标体系, 采用主观权重和客观权重相结合的综合赋权法确定评价指标权重, 然后通过 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)法对某高校工科学院的实验室安全进行评价^[7], 最终得出的评价结果可为实验室安全方面的改进与提高指明方向.

1 工科实验室安全评价指标体系构建

构建正确的实验室安全评价指标体系是实验室安全评价关键性的一步, 直接决定了实验室安全管理评价的结果和成效, 合理地选取实验室安全评价指标可提高实验室安全管理评价的准确性和科学性.

首先, 指标的选取应体现被评价实验室的安全管理内容并符合客观实际情况. 如本文评价的某高校工科实验室, 主要是以力学指标、工程材料、岩土性质等为主的实验室, 并不包含化学化工类和生物医学类实验室, 所以评价指标体系中也不出现此两类指标. 其次, 所选指标应兼顾实验室的通用性及所有实验室都应具备的安全指标, 如: 安全管理制度建设、安全教育与培训、实验室环境安全、电子电气安全. 第三, 突出大型力学设备安全指标. 通常测试力学性能和工程材料等的设备都属于大型机械设备, 自重和施力范围相对较大, 指标中应有专门的安全项目对大型机械设备所产生的安全隐患进行防护.

根据以上原则, 本文从管理制度、环境安全管理、电气安全和机械安全 4 个方面选择 12 个指标构建了实验室安全评价指标体系(表 1).

表 1 实验室安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层
高校实验室安全 A	管理制度 A_1	安全制度、规程 A_{11}
		突发事件应急预案、安全隐患整改制度 A_{12}
		安全知识、措施培训制度 A_{13}
	环境安全管理 A_2	实验室布局、规划 A_{21}
		实验室门禁系统及准入制度 A_{22}
		监控及消防设施 A_{23}
	电气安全 A_3	用电安全标志标识 A_{31}
		低压配电系统、用电设备接地 A_{32}
		电源控制装置状况 A_{33}
	机械安全 A_4	机械设备操作规程 A_{41}
		机械伤害防护措施 A_{42}
		个体防护装置 A_{43}

10 位老师和学生代表被邀请对某高校工科学院的 6 个实验室(建材实验大厅、压力试验机室、MTS815 力学测试系统实验室、土工检测室、声学振动实验室、河工水力学仪器室)的指标层进行定量评价, 其中 90,80,60,50,40 分对应优、良、中、差、劣级别, 各项指标值详见表 2.

表 2 某高校工科学院 6 个实验室安全评价指标值

指标	建材实 验大厅	压力试 验机室	MTS815 力学 检测系统	土工 检测室	声学振动 实验室	河工水力学 仪器室
A_{11}	80	95	95	70	80	80
A_{12}	80	85	90	80	80	60
A_{13}	80	85	95	90	85	65
A_{21}	85	95	95	85	90	85
A_{22}	85	90	90	90	90	80
A_{23}	85	90	90	90	85	80
A_{31}	80	85	90	85	80	70
A_{32}	90	90	90	85	85	80
A_{33}	90	90	95	90	95	90
A_{41}	95	98	98	95	70	85
A_{42}	85	95	90	80	70	65
A_{43}	85	85	85	75	75	68

2 研究方法

2.1 权重确定

权重反映了评价指标对整体方案的影响程度,是实验室安全评价中非常重要的内容.目前,确定指标权重主要有两种方法:主观权重法和客观权重法.主观权重法是通过决策者或专家的经验 and 知识来确定权重,包括专家咨询法、层次分析法等.而客观权重法是应用统计学的方法,利用数据本身决定权重,包括信息熵法、主成份法等^[8].本文采用主观权重和客观权重相结合的综合赋权法来确定各评价指标的权重.

2.1.1 层次分析法

层次分析法(The Analytic Hierarchy Process, AHP)是由美国运筹学者 Saaty 最早提出的一种定性 with 定量分析相结合的多目标评价决策方法,其基本思路是决策者通过将复杂问题分解为若干层次和要素,在各要素之间简单地进行比较判断和计算以获得不同要素和不同待选方案的权重,具体计算步骤见参考文献[9].

2.1.2 熵权法

假定有 n 个待评价对象, m 个评价指标,则该评价体系就可用初始评价矩阵: $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$,利用熵权法获取评价指标权重的详细步骤^[10]如下:

首先对初始指标数据进行标准化处理:设各指标数据标准化后的值为 Y_{ij} ,则有:

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}$$

(1)

然后计算各指标的信息熵值:第 j 组指标数据的信息熵值为

$$S_j = \ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

(2)

其中, $p_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n Y_{ij}}$,若 $p_{ij} = 0$,则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$;

最后计算指标权重向量:

$$\omega = \{\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n\}, \text{ 其中 } \omega_j = \frac{1 - S_j}{\sum_{j=1}^m (1 - S_j)}, 0 \leq \omega_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1$$

(3)

2.1.3 综合权重法

将上述两种方法计算的权重结果对应第 j 个指标权重相乘,并归一化处理得到组合权重 ω_j ,归一化公

式为

$$\omega_j = \frac{\alpha_j \times \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j \times \beta_j} 1 \leqslant j \leqslant n \tag{4}$$

式中: α_j, β_j 分别为利用 AHP 层次分析法和熵权法确定的第 j 个指标的权重。

2.2 TOPSIS 法

TOPSIS 意为“逼近理想解排序方法”, 是 HWANG 等^[11]于 1981 年提出的一种适用于多项指标、多个方案比较选择的分析方法, 依据评价对象与理想化目标相对贴近度的大小进行排序, 判断评价对象相对优劣的评价方法, 具体计算步骤如下^[12]:

- 1) 建立决策矩阵.
- 设实验室安全的原始评价指标矩阵为

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} & \mathbf{C}_1 & \mathbf{C}_2 & \cdots & \mathbf{C}_n \\ \mathbf{M}_1 & Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1n} \\ \mathbf{M}_2 & Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{M}_m & Z_{m1} & Z_{m2} & Z_{m3} & Z_{mn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

其中: $\mathbf{Z}$ 为初始评价矩阵; Z_{ij} 为第 i 个实验室第 j 个指标的初始值; $i = 1, 2, \cdots, m, m$ 为参评的实验室数量, $j = 1, 2, \cdots, n, n$ 为指标数。

- 2) 构建标准化决策矩阵 $\mathbf{V} = (v_{ij})_{m \times n}$.

$$v_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m Z_{ij}^2}} \tag{6}$$

式中: v_{ij} 为第 i 个实验室第 j 个指标的标准化值。

- 3) 构建加权决策矩阵. 将矩阵 $\mathbf{V}$ 与指标权重相乘, 得加权标准化决策矩阵:

$$r_{ij} = \omega_j v_{ij} \tag{7}$$

式中: ω_j 为每个指标权重, 由综合权重法确定。

- 4) 计算正理想解和负理想解. 第 j 个指标的正理想解 $v_j^+(x)$ 与负理想解 $v_j^-(x)$.

$$v_j^+(x) = \{ \max_i (r_{ij}(x) | j \in J_1), \min_i (r_{ij}(x) | j \in J_2), | i = 1, 2, \cdots, m \} \tag{8}$$

$$v_j^-(x) = \{ \min_i (r_{ij}(x) | j \in J_1), \max_i (r_{ij}(x) | j \in J_2), | i = 1, 2, \cdots, m \} \tag{9}$$

式中: J_1 为效益性指标; J_2 为成本性指标。

- 5) 确定各个指标与正、负理想解的距离, 距离计算的方法较多, 采用欧氏距离计算公式:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^+(x)]^2} \quad i = 1, \cdots, m \tag{10}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^-(x)]^2} \quad i = 1, \cdots, m \tag{11}$$

式中: S_i^+, S_i^- 分别为第 i 个实验室与正理想解、负理想解的距离。

- 6) 各方案与理想解的相对贴近程度及方案决策

$$\epsilon_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad i = 1, 2, \cdots, m \tag{12}$$

式中: 根据 ϵ_i 值的大小对实验室安全 M_i 排序, ϵ_i 越大则实验室安全 M_i 越接近理想解, 项目越优, 反之, 实验室安全越差。

3 实验室安全评价指标权重的确定

根据 AHP 法分别确定准则层及其对应的指标层的主观权重, 最终确定各个指标的最终主观权重(表 3), 根据熵权法确定各指标层指标的客观权重, 根据公式(4)得到各指标的综合权重, 详见表 3.

从表 3 可以看出, 综合权重最大的 3 个指标分别为 A_{11} , A_{21} 和 A_{33} . 其中, A_{11} 指标是从安全管理制度的建立出发, 对所有类型的高校实验室进行宏观刚性规定. 无论是机械类、生物医学类、化学化工类、电子电气类实验室, 只要养成良好的安全习惯, 严格按照正确的安全管理制度执行, 就可以大大降低安全事故率. A_{21} 则是一个实验室基本面貌的体现, 布局不合理、脏乱差的实验室存在潜在安全隐患的可能性大大增加. 而 A_{33} 为电气安全类最重要的一个指标, 也是高校实验室出现安全事故最常见的原因. 四川省某高校曾经连续发生几起实验室火灾, 皆是因为电源和电线出现问题而引起, 造成了实验数据和实验设备的巨大损失. 而 A_{22} , A_{43} 等指标属于有条件的实验室应当配备的安全措施, 所以权重相对较低.

表 3 高校实验室安全各指标权重

准则层	准则层主观权重	指标层	指标层主观权重	最终主观权重	客观权重	综合权重
A_1	0.352	A_{11}	0.496	0.175	0.068	0.130
		A_{12}	0.168	0.059	0.047	0.030
		A_{13}	0.336	0.118	0.050	0.065
A_2	0.176	A_{21}	0.337	0.059	0.176	0.114
		A_{22}	0.165	0.029	0.050	0.016
		A_{23}	0.498	0.088	0.055	0.053
A_3	0.236	A_{31}	0.158	0.037	0.052	0.021
		A_{32}	0.298	0.07	0.055	0.043
		A_{33}	0.543	0.128	0.263	0.367
A_4	0.236	A_{41}	0.288	0.068	0.049	0.036
		A_{42}	0.425	0.100	0.072	0.079
		A_{43}	0.288	0.068	0.062	0.046

4 实验室安全评价结果

实验室安全评价所有指标均为效益型指标, 即指标值越大越好, 由式(8)、式(9)计算正负理想解, 再由式(10)、式(11)、式(12)计算各实验室与正负理想解的距离 S^+ , S^- 及相对贴进度 ϵ_i , 依据相对贴进度 ϵ_i 的大小对各实验室安全进行排序, 结果见表 4.

表 4 高校实验室安全评价结果

实验室	S^+	S^-	ϵ_i	名次
建材实验大厅	0.015 1	0.013 2	0.466 6	3
压力试验机室	0.008 8	0.022 9	0.722 0	2
MTS815 力学检测系统	0.002 0	0.024 6	0.925 6	1
土工检测室	0.019 8	0.011 7	0.371 3	5
声学振动实验室	0.015 4	0.013 2	0.461 4	4
河工水力学仪器室	0.021 7	0.006 8	0.237 8	6

由表 4 可以看出在这 6 大实验室中, 安全评价结果最好的是 MTS815 力学测试系统实验室, 随后依次是压力试验机室、建材实验大厅、声学振动实验室、土工检测室和河工水力学仪器室, 评价结果与实际情况比较符合. 以 MTS815 力学测试系统实验室为例, 其安全制度的建立、实验室环境与布局、电器电路安全等重要指标得分较高, 从而排名第一. 而排名最后的河工水力学仪器室在重要指标得分并不很高的前提下, 在突发事件应急预案、安全隐患整改制度, 安全知识与措施培训等方面也比较欠缺.

总体来看, 该学院的实验室安全评价在全国高校属于中上水平, 作为传统的工科高等院校, 该学院的实验室在管理制度、机械安全方面都比较完善, 防火设施齐备, 安装了网络监控功能的门禁系统等防盗措施. 在保持优势的同时, 通过本文的科学评价方法, 找出各个实验室的不足并改进, 能更好地完善实验室安全制度.

5 结束语

针对普通高校工科实验室安全管理的特点, 本文从管理制度、环境安全管理、电气安全和机械安全 4 个方面选择 12 个评价指标构建了实验室安全评价指标体系. 采用 AHP 法和熵权法相结合的综合赋权法确定每个评价指标的综合权重, 通过 TOPSIS 法对某高校工科学院 6 个实验室的安全进行了排序, 评价结果与实际情况较为符合, 本文提出的基于综合赋权的 TOPSIS 评价法可科学、规范地对高校实验室进行安全管理提供依据和保障.

参考文献:

[1] 刘艳, 陶懿伟, 方心葵, 等. 高校实验室安全问题引起的思考与管理探讨 [J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(1): 287-289, 292.

[2] 黄林玉, 全纹萱, 陈倩, 等. 地方高校化学实验室安全管理体系的构建与探索 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, 44(1): 155-160.

[3] 邹晓川, 王存, 张雪, 等. 基于“三圆环事故致因理论”的危险化学品安全管理分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(8): 134-139.

[4] 郑斌. 实验室安全因素分析与改善策略 [J]. 合肥师范学院学报, 2017, 35(6): 85-86.

[5] 陈立君, 顾凤岐. 高等学校实验室安全管理体系的研究与探索 [J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(7): 339-341.

[6] 陆琳睿, 吴伊萍, 陈祺. 基于 BP 神经网络的高校实验室安全评价模型及应用 [J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(2): 214-218.

[7] 殷锐. 基于熵权 TOPSIS 模型的河源民营企业核心竞争力评价研究 [J]. 物流工程与管理, 2018, 40(1): 137-138, 136.

[8] 张志才, 陈力. 基于 AHP-熵权 TOPSIS 的区域油料保障力量部署方案优化 [J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(9): 50-54, 60.

[9] 刘豹, 许树柏, 赵焕臣, 等. 层次分析法—规划决策的工具 [J]. 系统工程, 1984, 2(2): 23-30.

[10] 赵领娣, 海霞, 乔石, 等. 用熵权的 TOPSIS 法评价城市经济实力 [J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(24): 301-306.

[11] HWANG C L, YOON K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications [M]. Berlin: Springer, 1981.

[12] 李东, 张光德, 赵宝峰, 等. AHP-TOPSIS 法在顶板水害危险性评价中的应用 [J]. 煤炭工程, 2017, 49(12): 111-115.

责任编辑 汤振金