

化工企业 VOCs 治理评估指标体系的建立与应用

沈达¹, 刘金吉², 周飞¹, 郑达¹, 豆闯¹

(1. 江苏省环境科学研究院 江苏省环境工程重点实验室, 江苏 南京 210036; 2. 连云港赣榆区环境监测站, 江苏 连云港 222199)

摘要:在对江苏省化工企业开展挥发性有机物(VOCs)治理核查评估的基础上,采用层次分析(AHP)与模糊综合评价(FCE)相结合的方法,运用化工企业 AHP-FCE 综合评估模型,建立了包括项目建立、现场排查、评估分析和监督管理 4 个准则层及 22 个指标层的化工企业 VOCs 治理综合评估体系。以江苏某化工园区企业为例,运用建立的指标体系对 3 家企业进行 VOCs 治理评估,结果表明,评估结果与企业实际状况相符。提出,VOCs 治理评估指标体系的应用,可确定指标权重,解决模糊性问题,减少企业在 VOCs 整治绩效评估中的主观臆断,具有实际应用价值。

关键词:化工企业;挥发性有机物;层次分析法;模糊综合评价法;评估指标体系

中图分类号:X820.6

文献标志码:A

文章编号:1674-6732(2020)04-0051-05

Construction and Application of Evaluation Index System for VOCs Control in Chemical Enterprises

SHEN Da¹, LIU Jin-ji², ZHOU Fei¹, ZHENG Da¹, DOU Kang¹

(1. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Engineering, Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing, Jiangsu 210036, China; 2. Ganyu Environmental Monitoring Station, Lianyungang, Jiangsu 222199, China)

Abstract: Based on the verification and evaluation of volatile organic compounds (VOCs) control in chemical enterprises, by combining analytic hierarchy process (AHP) with fuzzy comprehensive evaluation (FCE), an evaluation index system of 22 indicators at 4 criteria levels, including project establishment, site investigation, assessment & analysis, and management & supervisor, was established. Taking a chemical industrial park in Jiangsu Province as an example, the evaluation index system was applied to evaluate the VOCs controlling effect of 3 enterprises. The results showed no difference with actual condition. The evaluation of the index system can reduce the individualistic assumptions, determine the weight of the index and solve the problem of ambiguity in the process of VOCs control, which means the index system has good practical application value.

Key words: Chemical enterprises; Volatile organic compounds; Hierarchy process; Fuzzy comprehensive evaluation; Evaluation index system

挥发性有机物(VOCs)的污染控制工作是我国大气污染控制的重点工作之一^[1-3],其中以化工VOCs治理最为复杂。化工是江苏省的支柱产业,全省共有52个化工园(集中)区,近年来面临了较大的环境风险考验。虽然环保政策越来越严格,但环境违法案件仍然频发,其中与化工行业有关案件所占比例较高。

2014年,原江苏省环保厅颁布了《江苏省化工

行业废气污染防治技术规范》(苏环办〔2014〕3号),对企业废气过程收集输送控制、末端治理和管理要求等均作出明确要求。2016年,江苏省颁布了《省政府关于深入推进全省化工行业转型发展的实施意见》(苏政发〔2016〕128号),在废气排放控制方面,要求切实加强企业废气,尤其是无组织废气的收集和治理,有效控制生产过程中污染物的排放^[4-5]。2017年,江苏省政府印发《“两减六

收稿日期:2019-05-28;修订日期:2019-11-05

基金项目:江苏省环保科研课题基金资助项目(2016016);国家重点研发计划“大气污染成因与控制技术研究”专项基金资助项目(2016YFC0209200)

作者简介:沈达(1989—),男,工程师,硕士,主要从事废气治理研究工作。

治三提升”专项行动方案》(苏政办发〔2017〕6号),明确要求2017年底全面完成园区综合治理,确保治理设施稳定有效运行,建立园区有机废气整治绩效评估制度。但在2018年4月,央视《经济半小时》栏目报道了江苏省灌河口3个化工园区的环境污染问题,说明许多政策规范仍未得到有效落实。虽然,目前已有不少化工园区废气治理相关政策规范,但要掌握化工园区废气治理的实际情况,需要开展相关评估工作。现建立一套客观实际、系统科学的化工企业 VOCs 评估指标体系^[6-7],以综合评估化工企业 VOCs 整治情况。

1 化工企业 VOCs 综合评估指标体系

构建评估指标体系的方法主要有层次分析法(AHP)^[8-9]和模糊评价法(FCE)^[10-11],其中 AHP 是一种定量和定性相结合的层次化分析方法,主要用于研究目标函数在给定区间上的最优化问题;FCE 是运用模糊数学的概念,将模糊性、不确定性问题转化为定量指标,减少个人主观臆断的影响,从多个因素对被评价事物隶属等级状况进行综合性评价^[12-15]。现将 AHP 和 FCE 两种评价方法有机结合,先通过 AHP 法计算各评价指标的权重值,然后采用 FCE 法确定因数集并设定评价等级,根据评价对象建立适当的隶属函数,并进行模糊运算,根据最大隶属度原则,最终得到综合评价结果^[16-19]。针对化工园区企业,采用3层指标评估体系和乘积法和模糊评价进行综合评价^[20-22]。

1.1 评估指标筛选依据

评估指标的建立主要参考《江苏省化工工业挥发性有机物无组织排放控制技术指南》(苏环办〔2016〕95号)、《化学工业挥发性有机物排放标准》(DB 32 2862—2016)、《江苏省化工行业废气污染防治技术规范》(苏环办〔2014〕3号),以及周学双等^[23]关于石化化工企业 VOCs 污染源排查及估算方法研究与实践,并结合江苏省响水、灌南、大丰等园区化工企业废气核查评估经验,建立包括目标层、准则层、指标层3个层次的指标体系^[24-25]。

1.2 层次分析指标权重设计

1.2.1 构建阶梯层结构模型

将研究目标评估中的因素分解为3层,建立目标层 A、准则层 B(B₁, B₂, …, B_m)、指标层 C(C₁, C₂, …, C_n)的阶梯式层次结构模型^[26]。

1.2.2 确定判断矩阵

首先,根据准则层与目标层对应关系的重要程度进行两两比较,构造准则层的判断矩阵;然后,根据各指标层与准则层对应关系的重要程度进行两两比较,构造指标层的判断矩阵;最后,通过专家打分进行重要性标度并对准则层和指标层进行两两比较,形成指标元素的两两重要性判别矩阵。

1.2.3 层次单排序及一致性检验

计算构建矩阵的最大特征值及其判断矩阵对应的特征向量,得出每一层指标的相对权重,并对各层次指标进行一致性检验。

根据矩阵特征根的求解方程 $NW = \lambda_{\max} W_i$ 求解出 W_i ,求解矩阵 M 对于准则层判断矩阵的指标权重,转化为向量的形式为 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$, N 为矩阵数量, W_i 为指标权重。

对于单排序的判断矩阵进行一致性检验,指标的一致性计算见公式(1)和(2)。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中: CI——一致性指标; n ——判断矩阵的阶数; $\lambda_{\max}$ ——该矩阵的最大特征根; CR——随机一致性比率; RI——平均随机一致性指标。

一致性比率值以 0.1 为界限,若 < 0.1 ,则说明判断矩阵 M 满足一致性检验,计算结果有效,指标的权重即可取为向量 W 中的分向量 W_i ;否则,则说明矩阵 M 未能通过一致性检验,不能将 W_i 作为指标的权重,此时,应调整矩阵中的两两比较,使其能够满足一致性检验。

1.2.4 层次总排序及一致性检验

总排序即指根据准则层中的指标权重值,计算指标层中指标权重的过程,并进行一致性检验。对指标层总排序的一致性检验见公式(3)。若 $CR^* < 0.1$,则可以通过总层次一致性检验,计算过程科学合理,否则,则调整指标的取值重新进行权重计算。

$$CR^* = \frac{\sum_{i=0}^m b_i CI_i}{\sum_{i=0}^m b_i RI_i} \quad (3)$$

式中: CR^* ——层次总排序一致性比率; b_i ——上一层次中指标的权重; CI_i ——指标层的判

断矩阵的一致性指标; RI_i ——指标层中判断矩阵的平均随机一致性指标。

建立的化工园区 VOCs 治理评估指标体系及权重值见表 1,具体计算过程省略^[27-29]。

由表 1 权重数值分析可知,工艺反应过程和公辅真空泵区废气收集输送、企业 VOCs 管理制度、VOCs 工艺路线选择和环保设备选型设计等因素是化工企业 VOCs 整治重点关注对象。

表 1 化工园区 VOCs 治理评估指标体系及权重值

目标层	准则层(权重值 W_i)	指标层	权重值 W_i
建立化工行业 VOCs 管控评估指标体系 A	项目建立 B1(0.139)	受控范围 C1	0.024 7
		生产工艺单元 C2	0.068 8
		生产工况 C3	0.031 6
		物料物性 C4	0.013 9
	现场排查 B2(0.332)	储存和装卸过程 C5	0.018 9
		物料投加过程 C6	0.030 5
		工艺反应过程 C7	0.069 1
		出料转料过程 C8	0.033 2
		真空操作过程 C9	0.064 4
		固液分离过程 C10	0.034 5
		烘干干燥过程 C11	0.034 5
		敞开液面控制过程 C12	0.015 6
		固废(液)贮存过程 C13	0.015 6
	评估分析 B3(0.332)	清洗应急、非正常等过程 C14	0.015 6
		废气收集 C15	0.155 4
		废气输送 C16	0.049 8
		治理工艺路线 C17	0.063 4
	管理与监督 B4(0.197)	环保设备选型 C18	0.049 8
		建立 VOCs 污染运行管理制度 C19	0.088 1
		厂区与周边污染监控 C20	0.046 1
		治理措施在线监测 C21	0.046 1
		排放量估算 C22	0.016 2

1.3 模糊综合评判设计

将化工园区 VOCs 治理评估指标体系中的 4 个层次 22 个指标作为评估依据确定因素集,用 U 表示, $U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_{22}\}$ 。设定模糊评价等级 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$;其中“ V_1 ”代表好,“ V_2 ”代表良好,“ V_3 ”代表一般,“ V_4 ”代表较差,“ V_5 ”代表差。按照加权平均原则,将 5 个等级作为相对连续的位置。为了定量处理指标范围和尺度,更为直观地呈现评价结果,根据专家意见及实际情况,使用百分值表示标准分值^[27-28],模糊综合评价等级得分标准见表 2。

1.4 建立多因素评价矩阵

鉴于建立的 VOCs 治理评估指标体系考虑了多指标、多因素的综合作用,通过各指标信息反映整体综合目标,因此选用乘积求积模型进行模糊综合评价。该模型是由层次分析与模糊综合评价相结合建立的,模糊综合评价结果计算见公式(4)。

表 2 模糊综合评价等级得分标准

评价等级	1	2	3	4	5
评语	优秀	良好	一般	较差	差
评判集	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
标准分值	90 ~ 100	80 ~ 89	60 ~ 79	40 ~ 59	< 40
加权值	95	80	70	50	20

$$B_i = W_i \times R_i \tag{4}$$

式中: B_i ——准则层的指标层次分析与模糊综合评价结合的综合评估得分; W_i ——各个层次中的指标权重; R_i —— i 层次的评判矩阵。

根据准则层的合成结果,对准则层进行综合运算,即可得出总的评价得分。假设参与企业废气评估的专家及管理人员有 n 个,每个评价人员在评价指标 U_{ij} 时,形成一个因素 U_{ij} 到评价等级 V_k 的模糊映射关系矩阵,根据每个专家的评价判断模糊矩阵,可形成综合性的评价结果。

2 实证分析

2018年下半年对某化工园区A企业、B企业、C企业进行现场核查评估,根据评估结果,A企业情况较好,B企业整体一般,C企业问题较多。随即邀请3家第三方机构的专家各1人及环保管理人员2人,共5人对3家企业进行指标评估分析,以验证该评估指标体系的合理性和可行性。

2.1 A企业分析

A企业是一家综合性有机化工大型企业,生产的产品涉及农药、医药和染料中间体,拥有7个生产装置,7个产品及原辅料储罐区,3座原辅料及产品仓库。对应的环保工程设备齐全,拥有2座污水处理站和多套废气处理系统。首先对具体的指标层进行模糊综合评估,然后在求出指标层结果的基础上,利用模糊综合分析法对准则层进行模糊分析,具体计算过程省略^[27-28]。

项目建立 $B_1 = W_1 \times R_1 = (0.503\ 8, 0.405\ 4, 0.090\ 8, 0, 0)$; 现场排查 $B_2 = W_2 \times R_2 = (0.450\ 0, 0.377\ 2, 0.096\ 4, 0.076\ 4, 0)$; 评估分析 $B_3 = W_3 \times R_3 = (0.618\ 0, 0.060\ 0, 0.281\ 0, 0, 0)$; 监督管理 $B_4 = W_4 \times R_4 = (0, 0.471\ 8, 0.476\ 0, 0.032\ 8, 0)$; 通过 AHP-FCE 综合评估,对A企业整体进行归一化处理得到, $B_A = W_A \times R_A = (0.361, 0.375, 0.242, 0.022, 0)$, 即在对企业 VOCs 无组织评估中,处于“优秀”等级的占 36.1% ,“良好”等级的占 37.5% ,“一般”等级的占 24.2% ,“较差”等级的占 2.2% ,“差”等级的占 0% 。

A企业综合评估得分为: $T_{A总} = B_A \times V = (0.361, 0.375, 0.242, 0.021, 0) \times (95, 80, 70, 50, 25)^T = 82.29$ 分,评价等级为2级,评价结果为“良好”,说明A企业实施综合效果良好。

2.2 B企业分析

B企业是以橡胶、涂料生产为主的小型化工企业,有氯化橡胶和树脂涂料以及配套储罐装卸区。企业清洁生产水平较高,整体环保措施较好,但在部分区域存在收集和治理遗漏。

通过 AHP-FCE 综合评估,对B企业整体进行归一化处理得到, $B_B = W_B \times R_B = (0.039\ 6, 0.507\ 6, 0.299\ 0, 0.153\ 8, 0)$, 即在对企业 VOCs 无组织评估中,处于“优秀”等级的占 3.96% ,“良好”等级的占 50.76% ,“一般”等级的占 29.99% ,“较差”等级的占 15.38% ,“差”等级的占 0% 。

B企业综合评估得分为: $T_{B总} = B_B \times V =$

$(0.039\ 6, 0.507\ 6, 0.299\ 0, 0.153\ 9, 0) \times (95, 80, 70, 50, 25)^T = 73$ 分,评价等级为3级,评价结果为“一般”,说明B企业实施综合效果一般。

2.3 C企业分析

C企业是以染料中间体生产为主的中型化工企业,有9个产品以及2个储罐区和1个产品仓库。拥有多套废气环保设备,但现场无组织逸散严重,废气产污环节收集及处理工艺均不到位。

通过 AHP-FCE 综合评估,对C企业整体进行归一化处理得到, $B_C = W_C \times R_C = (0.065\ 4, 0.306\ 0, 0.391\ 2, 0.216\ 7, 0.020\ 7)$, 即在对企业 VOCs 无组织评估中,处于“优秀”等级的占 6.54% ,“良好”等级的占 30.6% ,“一般”等级的占 39.12% ,“较差”等级的占 21.67% ,“差”等级的占 2.07% 。

C企业综合评估得分为: $T_{C总} = B_C \times V = (0.065\ 4, 0.306\ 0, 0.391\ 2, 0.216\ 7, 0.021\ 0) \times (95, 80, 70, 50, 25)^T = 69.44$ 分,评价等级为4级,评价结果为“一般”,说明C企业实施综合效果较差,有待进一步完善改进。

3 结论

(1)经过化工园区排查评估并运用 AHP 模型进行权重计算,可以得出化工园区企业在工艺反应过程和公辅真空泵区废气收集输送、企业 VOCs 管理制度、VOCs 工艺路线选择和环保设备选型设计等方面是企业 VOCs 整治重点关注对象。

(2)运用化工企业 AHP-FCE 综合评估模型,构建了包括项目建立、现场排查、评估分析和管理监督4个准则层及22个指标层的化工园区企业 VOCs 综合评估体系。突出了评估指标之间的因果关系,评估指标体系较为全面,为化工园区企业 VOCs 综合整治绩效评估提供了一种新的可行思路。

(3)利用 VOCs 整治 AHP-FCE 综合评估模型,对江苏某化工园3家企业进行实证分析,评估结果分别为“良好”“一般”“较差”,符合3家企业现有实际状态。

【参考文献】

- [1] 王刚,魏巍.典型工业无组织源 VOCs 排放特征[J]. 中国环境科学,2015,35(7):1957-1964.

- [2] 李建军,徐明,王志良,等. 浅谈化工园区废气综合整治[J]. 污染防治技术,2012,25(4):69-70.
- [3] 郝苗青,史恺,张时佳,等. 天津市工业源挥发性有机物排放清单及区域分布研究[J]. 环境污染与防治,2017,39(1):35-39.
- [4] 江苏省人民政府. 省政府关于深入推进全省化工行业转型发展的实施意见[EB/OL]. (2016-11-11)[2018-07-01]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2016/11/11/art_46572_2555892.html.
- [5] 江苏省人民政府. 全省沿海化工园区(集中区)整治工作方案[EB/OL]. (2018-06-16)[2018-07-01]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2018/6/26/art_46144_7715487.html.
- [6] 田锋,施文静,何欢,等. 某化学工业园区重点行业企业 VOCs 污染问题初探[J]. 环境监测管理与技术,2015,27(5):59-62.
- [7] 关丽萍. 工业源 VOCs 排放特征及控制思路分析[J]. 现代化工,2018,38(10):20-22.
- [8] 加里·T·亨利. 实用抽样方法[M]. 重庆:重庆大学出版社,2008:31-58.
- [9] NEFESLIOGLU H A, SEZER E A, GOKCEOGLU C, et al. A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments[J]. Computers & Geosciences, 2013, 59(10):1-8.
- [10] 杨静. 胜利工业园区环境评价指标体系的构建与应用研究[D]. 北京:中国石油大学,2007.
- [11] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社,2015:9-61.
- [12] 王志良,周大顺,胡志军,等. 属性层次模型在有机废气净化技术决策中的应用[J]. 环境工程,2014,32(10):90-93.
- [13] 张丽娜. AHP-模糊综合评价法在生态工业园区评价中的应用[D]. 大连:大连理工大学,2006.
- [14] 邓雪,李家铭,曾浩健,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.
- [15] 王国胜. 河流健康评价指标体系与 AHP——模糊综合评价模型研究[D]. 广州:广东工业大学,2007.
- [16] 赵曦,李娟,张文忠,等. 垃圾焚烧厂污染控制水平评价指标体系研究[J]. 环境科学与技术,2016,3(5):162-168.
- [17] 杜艳春,毛建素,徐琳瑜. 基于 SPR 的焦作生态安全评价指标体系构建[J]. 环境科学与技术,2011,34(12):332-337.
- [18] 魏亮,陈滢,刘敏,等. 城镇污水处理厂的综合绩效评价[J]. 环境工程学报,2016,10(1):490-494.
- [19] 郑幸成. 石化行业泄漏检测与修复评估指标体系的建立与应用[D]. 天津:天津工业大学,2018.
- [20] 张二强,刘小勇,韩辉. 化工园区安全风险评估指标体系的建立及应用[J]. 能源技术与管理,2014,39(5):11-14.
- [21] 胡馨升. 化工园区事故风险评估方法及应用研究[D]. 北京:中国矿业大学,2018.
- [22] 徐星,孙光中,王公忠. 基于层次分析法的矿井突水风险模糊综合评价[J]. 工业安全与环保,2016,42(6):26-29.
- [23] 周学双,崔书双,童莉,等. 石化化工企业挥发性有机物污染源排查及估算方法研究与实践[M]. 北京:中国环境出版社,2015:150-263.
- [24] 童莉,郭森,崔积山,等. 美国炼油厂排放估算协议[M]. 北京:中国环境出版社,2015.
- [25] 中华人民共和国环境保护部. 石化行业 VOCs 污染源排查工作指南[EB/OL]. (2015-11-18)[2018-07-01]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201511/t20151124_317577.htm.
- [26] 韩璐,宋永会. 基于层次分析-模糊综合评判的特征污染物环境风险评估研究[C]//中国环境科学学会. 2016 中国环境科学学会学术年会论文集:第2卷,2016:5.
- [27] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社,2015.
- [28] SAATY T L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation[M]. New York: McGraw-Hill International Book Company, 1980.
- [29] CHOI H H, CHO H N, SEO J W. Risk assessment methodology for underground construction projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management. 2004, 130(2):258-272.
- [30] 辜凌云,全向春,杨志峰. 基于二级模糊综合评价的白洋淀淀中村生活污水处理技术决策方法[J]. 环境工程学报,2012,6(4):1161-1166.
- [31] 袁长兵. 层次分析-模糊综合评估法在化工园区安全评价中的应用[J]. 当代化工研究,2016(12):33-34.