

基于风险矩阵法的石化企业罐区苯系物职业性化学危害风险评估

肖振航, 周德红, 李维东, 常林, 王妮

武汉工程大学资源与安全工程学院, 湖北 武汉 430074

摘要:

[背景] 石油化工企业储罐区苯系物的职业危害严重威胁作业人员生命健康。

[目的] 通过实际-危害-管理(RHM)职业性化学危害风险综合评价模型, 评价3家石油化工生产储存企业储罐区苯系物职业性化学危害风险水平。

[方法] 选取3家湖北省石油化工企业, 依据相关标准规范, 检测其储罐区工作区域的苯系物浓度, 采用职业性化学危害风险评估优化指标体系评估企业职业性化学危害风险, 采用层次分析法和模糊数学综合评价法评价企业职业卫生管理质量。通过上述结果, 同时结合风险矩阵法思想, 构建RHM职业性化学危害风险综合评价模型, 综合评价储罐区苯系物职业性化学危害风险水平。

[结果] 企业2的苯浓度最高, 短时间接触质量浓度为 $7.88\sim 18.53\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 时间加权平均质量浓度为 $1.26\sim 2.30\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 其他企业对象区域各物质均未超标; 苯、甲苯以及二甲苯职业性化学危害风险等级分别为I级危害、0级危害和0级危害; 3家企业职业卫生管理质量评估结果分别为优秀、良好、良好。RHM职业性化学危害风险综合评价模型结果显示, 3家石油化工生产储存企业储罐区存在A级危害(红色)1个, C级危害(黄色)1个, D级危害(蓝色)7个。

[结论] RHM职业性化学危害风险综合评价模型能够相对客观有效地评价有害物质的危害程度。石化企业罐区苯系物职业性化学危害风险大多处于较低水平, 但仍有风险较高的情况出现。

关键词: 石油化工企业; 风险矩阵法; 职业性化学危害; 风险评价

Occupational chemical hazard risk assessment of benzene and its analogies in storage tank areas of petrochemical enterprises based on risk matrix method XIAO Zhenhang, ZHOU Dehong, LI Weidong, CHANG Lin, WANG Ni (School of Resource & Safety Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract:

[Background] The occupational hazards of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) in storage tank areas of petrochemical enterprises seriously threaten the lives and health of workers.

[Objective] This study evaluates the occupational risk levels of BTEX in storage tank areas of three petrochemical production and storage enterprises by the reality-hazard-management (RHM) based comprehensive evaluation model for occupational chemical hazards.

[Methods] Three petrochemical enterprises in Hubei Province were selected to detect the BTEX concentrations in the storage tank areas according to relevant standards and codes. An optimized risk assessment index system for occupational chemical hazards was used to assess occupational health risk of the enterprises. The analytic hierarchy process (AHP) and the fuzzy comprehensive evaluation method were used to evaluate the quality of occupational health management of the enterprises. An RHM based comprehensive evaluation model was constructed with the above results based on the risk matrix method to comprehensively evaluate the level of BTEX in the storage tank areas.

[Results] The concentration of benzene in enterprise 2 was the highest, with a short-time exposure mass concentrations of $7.88\sim 18.53\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ and a time-weighted average concentration of $1.26\sim 2.30\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. The other enterprises did not show unqualified substances in storage tank

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.21078

基金项目

武汉工程大学第十二届研究生教育创新基金资助项目(CX2020357, CX2020360, CX2020365, CX2020374)

作者简介

肖振航(1997—), 男, 硕士生;
E-mail: xiaozh0717@163.com

通信作者

周德红, E-mail: dhzhou@wit.edu.cn

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-02-28

录用日期 2021-05-25

文章编号 2095-9982(2021)10-1140-05

中图分类号 R13

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21078

►引用

肖振航, 周德红, 李维东, 等. 基于风险矩阵法的石化企业罐区苯系物职业性化学危害风险评估[J]. 环境与职业医学, 2021, 38(10): 1140-1144.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21078

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHOU Dehong, E-mail: dhzhou@wit.edu.cn

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2021-02-28

Accepted 2021-05-25

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21078

►To cite

XIAO Zhenhang, ZHOU Dehong, LI Weidong, et al. Occupational chemical hazard risk assessment of benzene and its analogies in storage tank areas of petrochemical enterprises based on risk matrix method[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(10): 1140-1144.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21078

areas. The occupational chemical hazard risk levels for benzene, toluene, and xylene were graded I, 0, and 0, respectively. The quality assessment results of occupational health management for the three selected enterprises were excellent, good, and good, respectively. The results of the RHM based comprehensive evaluation model showed that there was one A-level hazard (red), one C-level hazard (yellow), and seven D-level hazards (blue) in the storage tank areas of the three petrochemical production and storage enterprises.

[Conclusion] The RHM based comprehensive evaluation model can evaluate the hazard level of hazardous substances objectively and effectively. The occupational risks of BTEX in selected petrochemical tank farms are mostly at a low level, but there are still cases of high risks.

Keywords: petrochemical enterprise; risk matrix method; occupational chemical hazard; risk evaluation

石油化工企业具有生产工艺复杂、生产物质种类繁多等特点,在日常生产储存过程中会产生大量有毒有害物质。近年来,我国职业性急慢性苯系物中毒发生率一直高居急慢性职业中毒的前3位^[1],它们对作业人员健康的危害仍为亟待解决的公共安全和健康问题。石油化工企业储罐区是危险化学品存量最大的区域,在罐区的日常管理中,它们严重威胁着各岗位作业人员的生命健康,对此区域进行职业危害风险评估具有重要意义。

我国职业危害风险评估研究起步晚于其他发达国家,但近年研究中不断取得进展。国内学者分别采用了不同方法或者模型,对煤矿、电力生产作业场所的职业危害风险评估进行了研究^[2-4]。与此同时,国外学者也持续开展相关研究。Moon等^[5]根据韩国职业安全健康局提出的《化学危险风险管理》,用暴露水平等级乘以危险等级进行定性风险评估,随后采用《化学品危害风险评估指南》中提出的四步风险评估体系进行定量评价,提出定性定量相结合的评价方法。Dada等^[6]采用定量微生物风险评估框架,评估吸入严重急性呼吸系统综合征冠状病毒气溶胶对污水处理厂操作人员的职业健康风险。Saeedi等^[7]通过个人抽样确定了司机、工人和工程人员三种职业的职业暴露水平,并通过从废气中取样估算环境排放量,再利用软件对环境空气中的可吸入颗粒物浓度进行建模,并估算出职业危害风险。

目前国内学者关注点多集中在对现行国际通用方法应用于不同行业的对比研究,探索较适合于本行业的方法。国外的学者会考虑运用新的体系、框架或使用新的软件提出新的评价方法,但也存在方法普遍较单一、考虑因素不全等问题。本研究从实际、危害、管理三个角度出发,运用现场职业卫生调查法、职业性化学危害风险评估优化指标体系^[8]与职业卫生管理质量评价相结合的方法,构建实际-危害-管理(Reality-Hazard-Management, RHM)职业性化学危害

风险综合评价模型,综合评价石油化工企业储罐区苯系物的职业性化学危害。

1 材料与方法

1.1 对象

2020年9—11月,选择3家湖北省内石油化工生产储存企业,其储罐区中涉及接触苯系物的工作岗位作为调查对象。

1.2 方法

1.2.1 现场职业卫生调查 调研记录企业的概况、生产工艺、生产场所、设备、管理情况、应急及防护物资储备后,对其中涉及接触苯系物的工作岗位区域进行现场职业卫生调查。依据GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》和GBZ/T 300.66—2017《工作场所空气有毒物质测定 第66部分:苯、甲苯、二甲苯和乙苯》,对苯系物(苯、甲苯以及二甲苯)进行布点采样监测。采用定点采样的方法,取每个对象岗位具有代表性的6个采样点,上午和下午工作时间段各采样1次,每次15 min,连续采样3个工作日。依据GBZ 2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(以下简称GBZ 2.1—2019)判别工作场所中苯系物质量浓度(后称“浓度”)是否超标。

1.2.2 职业性化学危害风险评估 职业性化学危害风险评估优化指标体系通过危害因素固有特征分值、接触者特征以及危害后果影响因素3个指标评估职业性化学危害。依据GBZ 230—2010《职业性接触毒物危害程度分级》,确定危害因素固有特征分值;接触者特征分值和危害后果影响因素分值都依据林健等^[8]提出的职业性化学危害风险评估优化指标体系中的二级指标和三级指标进行打分,再依据权重获得相应数值。运用公式(1)对职业性化学危害风险进行评价。

$$\hat{y}=0.383x_1+0.284x_2+0.333x_3 \quad (1)$$

(1)中: $\hat{y}$ 为职业性化学危害风险分值, x_1 为危害

因素固有特征分值, x_2 接触者特征分值, x_3 为危害后果影响因素分值。 $0 \leq \hat{y} < 50$, 危害风险等级为 0 级危害 (轻微危害作业); $50 \leq \hat{y} < 65$, 危害风险等级为 I 级危害 (轻度危害作业); $65 \leq \hat{y} < 80$, 危害风险等级为 II 级危害 (中度危害作业); $\hat{y} \geq 80$, 危害风险等级为 III 级危害 (重度危害作业)。

1.2.3 职业卫生管理质量评估 本研究中采用层次分析法^[9]与模糊数学综合评价法^[10]评估企业职业卫生管理质量。首先构建职业卫生管理评估体系^[11], 并运用层次分析法对目标层、准则层以及因素层进行计算, 得到各因素权重。在此基础上, 应用模糊数学综合评价法进行决策。依据现场职业卫生调查的资料和记录, 组织相关专家评估企业的职业卫生管理质量水平和层级, 评估的主要内容为各二级评估指标下属的打分项, 评估分为优秀、良好、合格和不合格 4 项。

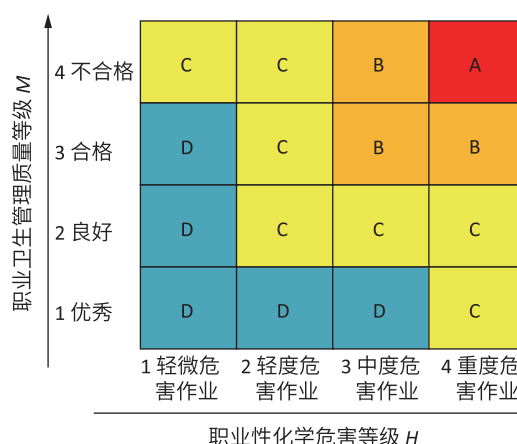
1.2.4 RHM 职业性化学危害风险综合评价模型 结合风险矩阵法^[12]思想, 依据现场监测、职业性化学危害风险评估以及职业卫生管理质量评估结果构建 RHM 职业性化学危害风险综合评价模型。在现场监测结果中: 任一物质浓度超过 GBZ 2.1—2019 的限值时, 则判别此种物质为 A 级危害; 未超过限值时, 根据职业性化学危害风险评估和职业卫生管理质量评估结果, 将两类评估的四级结果进行赋分, 构建评价矩阵。在职业性化学危害风险评估中, 对 0 级危害 (轻微危害作业) 到 III 级危害 (重度危害作业), 由低到高依次赋分为 1、2、3、4。同理在职业卫生管理质量评估中, 对管理质量中优秀到不及格, 依次赋分 1、2、3、4, 两者乘积构成矩阵。根据公式 (2) 计算 RHM 职业性化学危害风险综合评价分。依据图 1 所示风险矩阵图进行风险分级。

$$C = \begin{cases} R(H \times M), & R=1 \\ 16, & R=0 \end{cases} \quad (2)$$

(2) 中: C 为 RHM 职业性化学危害风险综合评价分值, H 为职业性化学危害风险评估分值, M 为职业卫生管理质量评估分值, R 为现场监测结果 (物质浓度超标为 0, 物质浓度未超标为 1)。 $0 \leq C < 4$, 判定为 D 级危害 (蓝色); $4 \leq C < 9$, 判定为 C 级危害 (黄色); $9 \leq C < 16$, 判定为 B 级危害 (橙色); $C=16$, 判定为 A 级危害 (红色)。依据《关于实施遏制重特大事故工作指南构建安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制的意见》(安委办〔2016〕11 号), 红色表示重大风险, 橙色表示较大风险, 黄色表示一般风险, 蓝色

表示低风险。见图 1。

将得到的 RHM 职业性化学危害风险综合评价模型评价结果与职业性化学危害风险评估优化指标体系评价结果进行对比研究。



[注] 综合风险等级: A, 重大风险 (红色); B, 较大风险 (橙色); C, 一般风险 (黄色); D, 低风险 (蓝色)。

图 1 RHM 职业性化学危害风险综合评价矩阵图

Figure 1 RHM based comprehensive evaluation matrix for occupational chemical hazards

2 结果

2.1 现场职业危害调查结果

现场调查结果显示: 企业 2 苯浓度最高, 短间接接触浓度为 $7.88 \sim 18.53 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 时间加权平均浓度为 $1.26 \sim 2.30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 前者高于 GBZ 2.1—2019 标准 ($10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), 甲苯、二甲苯浓度也较其他企业高; 另两家企业苯系物浓度均未超标, 见表 1。企业基本情况见补充材料表 S1。

表 1 3 家石油化工企业储罐区苯系物浓度

Table 1 Concentrations of BTEX in storage tank areas of selected three petrochemical enterprises

企业	物质	采样数目	短时间接触浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	时间加权平均浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
1	苯	6	0.65~0.71	0.16~0.18
	甲苯	6	2.17~2.32	0.60~0.71
	二甲苯	6	4.11~4.15	1.10~1.23
2	苯	6	7.88~18.53	1.26~2.30
	甲苯	6	3.52~4.98	1.88~1.90
	二甲苯	6	5.2~8.8	2.01~3.22
3	苯	6	<0.17	<0.05
	甲苯	6	1.31~1.36	0.51~0.63
	二甲苯	6	2.47~2.89	0.79~0.99

2.2 职业性化学危害风险评估结果

评估结果显示: 企业 1、2、3 储罐区的苯均为 I 级危害 (轻度危害作业), 其他因素均为 0 级危害 (轻微危害作业)。见表 2。

表2 3家石油化工企业储罐区职业性化学危害风险评估结果
Table 2 Occupational chemical hazard risk classification results in storage tank areas of selected three petroleum enterprises

企业	职业危害因素	x_1	x_2	x_3	$\bar{y}$ 值	风险等级
1	苯	68	40.31	48.52	53.65	I 级危害 (轻度危害作业)
	甲苯	35	40.31	48.52	41.01	0 级危害 (轻微危害作业)
	二甲苯	41	40.31	48.52	43.31	0 级危害 (轻微危害作业)
2	苯	68	40.31	50.68	54.37	I 级危害 (轻度危害作业)
	甲苯	35	40.31	50.68	41.73	0 级危害 (轻微危害作业)
	二甲苯	41	40.31	50.68	44.03	0 级危害 (轻微危害作业)
3	苯	68	40.31	46.17	52.87	I 级危害 (轻度危害作业)
	甲苯	35	40.31	46.17	40.23	0 级危害 (轻微危害作业)
	二甲苯	41	40.31	46.17	42.56	0 级危害 (轻微危害作业)

2.3 职业卫生管理质量评估结果

2.3.1 层次分析法 运用层次分析法评估企业职业卫生管理质量, 评估体系及权重见表3。

表3 3家石油化工企业储罐区职业卫生管理质量评估体系及权重
Table 3 Occupational health management quality assessment system and weights in storage tank areas of selected three petroleum enterprises

目标层	准则层	权重	因素集	权重
企业职业卫生管理质量	组织管理	0.27	建立职业卫生管理机构、配备专兼职职业卫生管理人员	0.26
			完善职业卫生监护方案	0.04
			健全的职业卫生制度和规范的操作规程	0.51
			完善的建设项目职业病危害评价与审核程序	0.06
			职业病危害项目申报与实际相符	0.13
	预防措施	0.56	职业危害防护、应急救援设施及管理	0.45
			警示标示管理	0.05
			职业卫生培训	0.11
			个人防护用品发放及使用情况	0.21
			职业病危害告知	0.06
	健康监护	0.04	作业场所职业病危害公示	0.08
			职业病危害项目转移	0.04
			岗前职业健康体检	0.23
			离岗职业健康体检	0.08
			岗中职业健康体检以及健康监护档案	0.69
	监督监测	0.13	监测项目和监测点覆盖率	0.23
			危害因素监测点位合格情况	0.69
			监测结果存档和上报情况	0.08

2.3.2 模糊数学综合评价法 依据层次分析法评估的结果, 综合考虑各二级评估指标下属的打分项, 结合企业职业卫生管理质量实际条件, 确定二级评估指标的评估矩阵, 评价矩阵计算过程及结果见补充材料S1。根据最大隶属度原则, 企业1、2、3的评估结果分别为优秀、良好、良好。

2.4 职业性化学危害风险综合评价结果

RHM 职业性化学危害风险综合评价模型评价结果显示, 3家石油化工企业储罐区存在D级危害 (蓝

色) 7个, C级危害 (黄色) 1个, A级危害 (红色) 1个, 结果见表4。矩阵图见补充材料图S1。

表4 3家石油化工企业储罐区职业性化学危害风险综合评价结果
Table 4 Comprehensive evaluation results of occupational chemical hazard risks in storage tank areas of selected three petroleum enterprises

企业	物质	现场监测结果 R	职业性化学危害风险评估分值 H	职业卫生管理质量评估分值 M	综合评价分值 C	综合分级
1	苯	1	2	1	2	D 级危害
	甲苯	1	1	1	1	D 级危害
	二甲苯	1	1	1	1	D 级危害
2	苯	0	2	2	16	A 级危害
	甲苯	1	1	2	2	D 级危害
	二甲苯	1	1	2	2	D 级危害
3	苯	1	2	2	4	C 级危害
	甲苯	1	1	2	2	D 级危害
	二甲苯	1	1	2	2	D 级危害

2.5 两种职业危害评价方法比较

RHM 职业性化学危害风险综合评价模型与职业性化学危害风险评估优化指标体系评价比较结果显示: 企业2苯由两种方法判定的职业危害风险等级差别较大, 其余企业对象区域物质职业危害风险等级基本保持一致, 见补充材料表S2。

3 讨论

本次RHM 职业性化学危害风险综合评价模型评价结果显示, 3家企业储罐区苯系物共9项职业危害风险评价结果中, 8项都处于较低风险等级, 1项处于较高风险等级。

在RHM 职业性化学危害风险综合评价模型与职业性化学危害风险评估优化指标体系对比研究中存在一项差异较大, 其主要原因在于职业性化学危害风险评估未考虑现场检测结果, 而企业2苯的现场浓度超过标准要求限度, 所以RHM 职业性化学危害风险综合评价模型评价为最高风险等级——A级危害, 而职业性化学危害风险评估优化指标体系评价低估了其风险等级。

石油化工作业人员普遍存在职业健康风险。陆叶等^[13]收集某石化企业2010—2014年作业场所中苯系物的环境监测数据, 运用美国环境保护署吸入风险模型评估进行评估, 结果中苯、甲苯和二甲苯的监测浓度合格率为100%, 模型评价结果显示苯、甲苯职业危害较大, 二甲苯职业危害较低。此结果与本研究结果存在一些差别, 该研究的研究对象仅为1家企业, 且

未考虑企业管理质量差异的影响。而本研究选取了3家企业进行调研,所使用的RHM职业性化学危害风险综合评价模型采用的风险分级方法是依据风险矩阵法的科学性,通过现场监测、职业性化学危害风险评估以及职业卫生管理质量评估三种现行权威的科学方法共同决策,能够依据评价中层次分析法的各因素权重制定有针对性的预防策略。同时所构建的类似风险矩阵法模型可以将综合风险评价所得到的结果绘制在矩阵图中,运用红、橙、黄、蓝风险分级颜色进行区分,起到警示作用,并为企业职业危害风险评估提供了可视化的工具,在日常职业卫生管理工作中,可以对不同风险等级区域采取相应的对策措施,协助实现风险分级管控,最大限度降低风险水平。

综上,本研究提出的RHM职业性化学危害风险综合评价模型较适用于石油化工企业储罐区苯系物职业危害风险评估,石油化工企业储罐区仍存在较高风险等级的情况。

参考文献

- [1] 夏昭林, 孙品, 张忠彬, 等. 苯的职业健康危害研究的回顾与展望 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2005, 23 (4): 241-243.
- XIA ZL, SUN P, ZHANG ZB, et al. Review and prospect of benzene-induced health hazards [J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2005, 23 (4): 241-243.
- [2] 成连华, 曹东强. 煤矿职业病危害评价体系构建及应用 [J]. 煤矿安全, 2020, 51 (6): 260-264.
- CHENG LH, CAO DQ. Construction and application of assessment system of occupational hazards in coal mine [J]. Saf Coal Mines, 2020, 51 (6): 260-264.
- [3] 刘阳阳, 吴仙, 谢豪杰, 等. 电力生产作业场所职业病预警评价模型研究与应用 [J]. 华北科技学院学报, 2020, 17 (6): 119-124.
- LIU YY, WU X, XIE HJ, et al. Research and application of occupational diseases warning evaluation model in electric power production workplace [J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2020, 17 (6): 119-124.
- [4] 袁树杰, 姜丽, 王晓楠. 风险评估模型对煤矿职业危害评价的适用性研究 [J]. 煤矿安全, 2019, 50 (4): 248-252.
- YUAN SJ, JIANG L, WANG XN. Applicability of risk assessment models in assessment of occupational hazards in coal mines [J]. Saf Coal Mines, 2019, 50 (4): 248-252.
- [5] MOON HI, HAN SW, SHIN S, et al. Comparison of the qualitative and the quantitative risk assessment of hazardous substances requiring management under the occupational safety and health act in South Korea [J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18 (3): 1354.
- [6] DADA AC, GYAWALI P. Quantitative microbial risk assessment (QMRA) of occupational exposure to SARS-CoV-2 in wastewater treatment plants [J]. Sci Total Environ, 2021, 763: 142989.
- [7] SAEEDI R, JAZANI RK, KHALOO SS, et al. Risk assessment of occupational and public exposures to airborne particulate matter arising from a subway construction site in Tehran, Iran [J]. Air Qual Atmos Health, 2021, 14 (6): 855-862.
- [8] 林健, 黄汉林, 闫雪华, 等. 职业性化学危害风险评估指标体系验证与优化研究 [J]. 中国职业医学, 2014, 41 (5): 507-512.
- LIN J, HUANG HL, YAN XH, et al. Research on the validation and optimization of occupational chemical hazard risk assessment index system [J]. China Occup Med, 2014, 41 (5): 507-512.
- [9] DOLAN JG. Shared decision-making—transferring research into practice: the Analytic Hierarchy Process (AHP) [J]. Patient Educ Couns, 2008, 73 (3): 418-425.
- [10] ZENG D, HE Q, YU Z, et al. Risk assessment of sustained casing pressure in gas wells based on the fuzzy comprehensive evaluation method [J]. J Nat Gas Sci Eng, 2017, 46: 756-763.
- [11] 张焜, 宋文华, 张桂钊. 企业职业卫生综合风险管理评估体系的研究与应用 [J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13 (5): 163-169.
- ZHANG K, SONG WH, ZHANG GC. Research and application of comprehensive risk management assessment system for occupational health in enterprise [J]. J Saf Sci Technol, 2017, 13 (5): 163-169.
- [12] 郝瑜婉, 田添, 朱泽林, 等. 我国输入性利什曼病传播风险矩阵评估研究 [J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2018, 30 (04): 428-432.
- HAO YW, TIAN T, ZHU ZL, et al. Transmission risk matrix assessment of imported leishmaniasis in China [J]. Chin J Schisto Control, 2018, 30 (4): 428-432.
- [13] 陆叶, 黄简抒, 周元陵, 等. 上海市某石化企业苯接触工人的职业危害风险评估 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2016, 34 (10): 746-749.
- LU Y, HUANG JS, ZHOU YL, et al. Occupational hazard risk assessment of workers exposed to benzene in a petrochemical enterprise in Shanghai, China [J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2016, 34 (10): 746-749.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)