

量化模型在建设项目职业病危害风险分类中的应用

高妍, 施爱民, 张绮

摘要: [目的] 探讨全面及定量地判定建设项目职业病危害风险程度的可行性。[方法] 采用模糊数学法和层次分析法, 建立职业病危害风险分类量化模型, 并在某建设项目中进行验证。[结果] 建立了包含固有危害、暴露时间、生产规模、接触人数、工程防护 5 个主要风险因素的职业病危害风险分类量化模型。通过在专用化学品制造行业中的某建设项目实际应用, 得出该建设项目的职业病危害风险严重, 与国家安监总局公布的建设项目职业病危害风险分类相一致。[结论] 该模型可操作性强, 能够对职业病危害风险进行全面和定量评价。

关键词: 职业病危害; 风险分类; 模糊数学法; 层次分析法; 量化

Application of Quantitative Model to Classification of Occupational Disease Hazard Risks in Construction Project GAO Yan, SHI Ai-min, ZHANG Qi (School of Public Health, Nanjing Medical University, Jiangsu 210096, China). Address correspondence to SHI Ai-min, E-mail: sam@njmu.edu.cn • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To explore the feasibility of determining the occupational disease hazard risks of construction project comprehensively and quantitatively. [Methods] Fuzzy mathematics method and analytic hierarchy process were used to establish a quantitative classification model for occupational disease hazard risks. Then the established model was applied to a construction project. [Results] The established quantitative model of occupational disease hazard risks included inherent hazards, exposure time, production scale, number of workers exposed, and engineering protection. The selected chemical manufacturing construction project was graded as high occupational disease hazard risk. The classification of the project evaluated by the established model was consistent with that published by the State Administration of Work Safety. [Conclusion] The model is practicable and could be used to evaluate the occupational disease hazard risks comprehensively and quantitatively.

Key Words: occupational disease hazard; risk classification; fuzzy mathematics method; analytic hierarchy process; quantitative

我国职业病防治工作实行分类管理、综合治理。2012年5月31日, 国家安监总局为实行建设项目职业卫生“三同时”分类监督管理, 配套发布了《建设项目职业病危害风险分类管理目录(2012年版)》(以下简称《目录》)。《目录》将建设项目职业病危害按照GB/T 4745—2011《国民经济行业分类》中所属行业分为一般、较重和严重。其划分是在综合考虑《职业病危害因素分类目录》所列各类职业病危害因素及其可能产生的职业病和建设项目可能产生职业病危害的风险程度的基础上的定性分类^[1]。目前, 国内尚无完全适用于建设项目职业病危害风险评价的定量方法^[2]。模糊数学法和层次分析法在量化模型构建中已有应用^[3-4], 本研究采用上述方法构建建设项目职业病危害风险量

化模型, 并探讨其可行性。

1 方法

采用模糊数学法和层次分析法建立职业病危害风险分类量化模型, 并在某新建项目中进行验证。

2 结果

2.1 模型构建

(1) 建立综合评价指标集 U ; (2) 确定指标权重集 A ; (3) 确定综合评价的评语集 V ; (4) 进行单因素模糊评价, 获得评价矩阵; (5) 建立综合评价模型; (6) 评价风险程度。

2.1.1 风险分类量化指标体系的建立 主要参照我国 GBZ 230—2010《职业性接触毒物危害程度分级》及新加坡人力资源部推荐的化学品半定量风险分级方法, 同时结合职业卫生工作实践, 综合专家意见, 建立职业病危害风险分类量化指标体系。见表1。综合评价指标集 $U=(u_1, u_2, \dots, u_m)$, 其中, 元素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2015.15213

[作者简介] 高妍(1986—), 女, 硕士生; 研究方向: 职业卫生检测与评价; E-mail: yg_2011@126.com

[通信作者] 施爱民, E-mail: sam@njmu.edu.cn

[作者单位] 南京医科大学公共卫生学院, 江苏 210096

代表影响评价对象的第*i*个因素。

2.1.2 指标权重的确定 量化指标权重集 $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)$, 其中 $a_i(0 \leq a_i \leq 1)$ 为 A 的隶属度, 它是单位指标 u_i 在总评价中影响程度的一种度量, 称为 u_i 的重要程度系数或称权重。本研究采用层次分析法确定权重。采用两两比较法判定评价因素之间的相对重要性, 采用1~9及其倒数的标度方法。用和积法计算判断矩阵的最大特征根和特征向量, 最后进行一致性检验, 一致性比率(CR)<0.10, 则认为可以接受^[5]。职业病危害因素风险分类量化指标体系各项指标权重计算结果见表1。

表1 职业病危害风险量化指标体系及权重

目标	一级因素		二级因素	
	名称	权重	名称	权重
U综合评价指标集	u_1 : 固有危害	0.3554	—	—
	u_2 : 暴露时间	0.1733	—	—
	u_3 : 生产规模	0.1151	—	—
	u_4 : 接触人数	0.0864	—	—
	u_5 : 工程防护	0.2699	u_{51} : 密闭程度	0.5390
			u_{52} : 自动程度	0.1638
			u_{53} : 通风设施	0.2973

2.1.3 指标隶属度函数的确定 为获得评价矩阵, 需构建指标隶属度函数。本研究采用指派方法确定隶属度函数^[6], 呈梯形分布, 如图1。 a, b, c, d 为各项指标的分界值, 其确定是根据国内外职业卫生法律法规、规范标准及日常工作实践。具体应用值见表2。

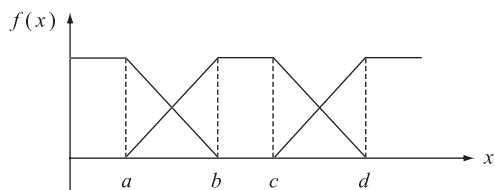


图1 梯形分布隶属度函数图形

表2 各项指标评价准则

指标	a	b	c	d	备注
固有危害	35	50	50	65	化学毒物: 根据GBZ 230《职业性接触毒性危害程度分级》进行分级
	2	6	6	8	粉尘: 按职业接触限值总尘(mg/m ³)分级
	85	90	95	100	噪声: 按作业场所噪声检测值(dB)分级
暴露时间	8	16	24	32	每周暴露时间(h/周)
生产规模	1	10	100	1000	识别为危害因素物料的每周使用或产生量(kg/周)
接触人数	30	50	50	100	人
工程防护					
密闭程度	10	30	30	50	存在危害因素设备: 敞开设备数/总设备数(%)
自动程度	10	30	30	50	手工操作时间/全部岗位操作时间(%)
通风设施	10	30	30	50	敞开处无通风设施数量/所有敞开处数量(%)

[注] ①有部分指标**b, c**分界值重合。②岗位人员同时接触多种职业病危害因素时, 固有危害按最大等级考虑; 若超过3种危害程度级别(THI)≥50, 则划为严重; 若多种职业病危害因素起联合作用(相加作用甚至增强作用)时, 固有危害适当提高。③其他指标为项目的平均情况。

根据梯形分布的隶属度函数确定量化指标隶属函数:

职业病危害风险一般:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (x < a) \\ \frac{b-x}{b-a} & (a \leq x < b) \\ 0 & (x \geq b) \end{cases}$$

职业病危害风险较重:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & (x < a) \\ \frac{x-a}{b-a} & (a \leq x < b) \\ 1 & (b \leq x < c) \\ \frac{d-x}{d-c} & (c \leq x < d) \\ 0 & (x \geq d) \end{cases}$$

职业病危害风险严重:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & (x < c) \\ \frac{x-c}{d-c} & (c \leq x < d) \\ 1 & (x \geq d) \end{cases}$$

上述为正向指标的隶属度函数, 若为负向指标, 如粉尘固有危害, 则反之。

2.1.4 职业病危害风险多级模糊综合评价 若指标集 U 中第*i*个元素对评语集 V 中第1个元素的隶属度为 r_{i1} , 则对第*i*个元素单因素评价的结果, 用模糊集合表示为 $R_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ 。以 m 个单因素评价集 $R_1, R_2, \dots, R_m$ 为行, 组成矩阵 R , 称为模糊综合评价矩阵^[5]。

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

通过模糊变换将 U 上的模糊向量 A 变为 V 上的模糊向量 B , 即

$$B = A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_m) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$= (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

其中: “ $\circ$ ”代表合成算子。模糊算子运算模型有4种, 多采用乘法—有界算子, 即 $b_j = \min(1, \sum_{i=1}^m a_i r_{ij})$ 。

(1) 二级模糊综合评价

一级因素工程防护 u_5 包括密闭程度 u_{51} 、自动程度 u_{52} 、通风设施 u_{53} 个指标。设因素权重为 A_5 , U_5 的模糊评价矩阵为 R_5 , 则得到

$$B_5 = (a_{51}, a_{52}, a_{53}) \circ \begin{bmatrix} r_{511} & r_{512} & r_{513} \\ r_{521} & r_{522} & r_{523} \\ r_{531} & r_{532} & r_{533} \end{bmatrix} = (b_{51}, b_{52}, b_{53})$$

(2) 一级模糊综合评价

一级模糊综合评价是职业病危害风险对包含的5个因素 u_1 固有危害、 u_2 暴露时间、 u_3 生产规模、 u_4 接触人数、 u_5 工程防护的评价。设指标权重集为 A , U 的模糊评价为 R , 则

$$B=(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, b_3)$$

根据最大隶属度, 即 b_1 、 b_2 、 b_3 隶属于职业病危害风险一般、较重、严重的度, 由最大的隶属度得出建设项目的职业病危害风险程度。

2.2 量化模型应用

为便于理解, 模型应用的企业选择职业病危害风险分类明确的某新建年产300 t顺酐催化剂项目。项目投资3 000万元。生产人员27人, 运行制度为三班两倒, 每班12 h。使用的原辅料为: 瓷环、37%盐酸、偏钒酸铵、钼酸铵, 反应过程产生氯化铵; 主要工艺流程: 酸化、涂覆、活化、包装; 主要设备: 反应釜、涂层锅、活化电炉、包装机; 生产车间: 占地1 120 m²的单层建筑物。接触的主要职业病危害因素有氯化氢及盐酸, 钒化合物、钼化合物及氯化铵烟。

项目概况见表3。

表3 项目概况一览表

体系指标	项目描述
固有危害	盐酸有腐蚀性, 在工艺条件下沸点在<50℃。THI=51
暴露时间	作业现场6h/d, 36h/周
生产规模	每周使用盐酸超过1 000 kg
接触人数	27人
工程防护	
密闭程度	3台反应釜、8台活化炉密闭, 6台涂层锅活动盖未完全封闭, 1台包装机敞开; 设备敞开率39%
自动程度	有集散控制系统, 但各工序人工投卸料, 且人工分装固体料、产品。手工操作率约50%
通风	各设备及操作处均设置局部排风及尾气吸收

一级评价(工程防护):

$$B_5=(0.5390, 0.1638, 0.2972) \circ \begin{bmatrix} 0 & 0.55 & 0.45 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.297, 0.296, 0.406)$$

二级评价(综合评价):

$$B=(0.3554, 0.1733, 0.1151, 0.0864, 0.2699) \circ$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.933 & 0.067 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.297 & 0.296 & 0.406 \end{bmatrix} = (0.167, 0.411, 0.422)$$

根据最大隶属度原则, 即隶属于严重等级的度最大(0.422), 得出该项目职业病危害风险严重。与《目录》规定的风险类别一致。

3 讨论

该职业病危害风险分类量化模型在充分考虑项目固有风险的各个方面的基础上, 从职业病危害因素的固有危害、暴露时间、生产规模、接触人数和工程防护5个主要风险影响因素, 综合分析建设项目的职业病危害风险程度, 评价结论全面、科学、客观, 并在已知职业病风险等级的企业中获得验证, 具有一定的可操作性。

本研究创建的模型有待于进一步实践验证, 有关职业病危害风险分类量化指标的建立及各项指标分界值的制定等方面, 需加以完善和改进。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] 国家安监总局. 建设项目职业病危害风险分类管理目录(2012年版)[EB/OL]. [2014-06-17]. http://www.chinasafety.gov.cn/newpage/Contents_Channel_5916/2012/0604/171653/content_171653.htm.
- [2] 张霞, 宁勇. 建设项目职业病危害定量评价方法的研究现状[J]. 中国卫生工程学, 2009, 8(5): 309-311.
- [3] 李戡. 基于Fuzzy模型的职业病危害综合风险评估方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(9): 90-95.
- [4] 万善福, 蒋仲安, 周姝嫣, 等. 煤炭企业风险多级模糊综合评价方法的研究[J]. 中国矿业, 2008, 17(11): 39-42.
- [5] 佟瑞鹏. 常用安全评价方法及其应用[M]. 北京: 中国劳动保障出版社, 2011: 200-208.
- [6] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 4版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2012: 29-36.

(收稿日期: 2015-03-09)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 汪源)