

模糊综合评判法在汽车行业职业病危害评价中的应用与探讨

邓颖聪¹, 刘移民^{1,2*}, 张维森¹, 陈菊艳¹, 王致¹, 肖晓琴¹

(1. 广州市职业病防治院, 广东 广州 510620 2. 中山大学公共卫生学院, 广东 广州, 510080)

摘要: 目的 把风险因素模糊综合评判法运用在职业病危害风险评价中, 尝试建立一套科学合理、量化可比, 能够在实际职业病危害风险评价中推广应用的多指标综合评价方法。方法 参考标准、文献、国内相关指标体系, 并对汽车制造及相关行业(以下简称汽车行业)生产企业进行职业卫生预调查和专家咨询, 逐级分解目标风险因素, 初步建立职业病危害风险因素指标体系及模糊评判准则; 采用头脑风暴法和层次分析法确定各级指标的权重。结果 初步形成汽车行业职业病危害评价体系、评判准则及指标权重, 该体系从多角度反映了汽车行业生产企业的职业卫生工作概况。结论 模糊综合评判法对企业职业病危害风险因素给予综合性评价, 能划定风险等级, 给出确切结论。

关键词: 模糊综合评判法; 职业病危害评价体系; 层次分析法; 头脑风暴法

中图分类号: R135 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-221X(2009)01-0013-04

Discussion on application of fuzzy comprehensive evaluation on occupational hazards in automotive industry

DENG Yingcong, LIU Yimin^{1,2*}, ZHANG Weisen, CHEN Juyan, WANG Zhi, XIAO Xiaoqin

(1. Guangzhou Municipal Prevention and Treatment Center for Occupational Diseases, Guangzhou 510620 China

2. School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080 China)

Abstract: Objective To explore the possibility of applying fuzzy poly-assessment to occupational hazards risk assessment and develop a systematic scientific reasonable measurable and comparable method which can be applied to the occupational risk assessment. Methods Based on the related standards, references and domestic index systems, a survey on occupational hazards in automobile and other related manufacturing industries was performed, meanwhile, the expert consultation was also made, they disintegrated the target risk factors and found the index system of risk factor and the criteria for fuzzy assessment. The index weight at each level was determined by "brain storming" and "analytic hierarchy process (AHP)" methods. Results The occupational hazard evaluation system including assessment criteria and index weight was basically established, which could well reflect the general situation of occupational hygiene from multi aspects. Conclusions The results showed that "fuzzy comprehensive evaluation" method could synthetically assess the risk factor of occupational hazards of enterprises, well designate risk rank and give out accurate conclusion.

Key words: Fuzzy comprehensive evaluation; Occupational hazard assessment system; Analytic hierarchy process (AHP); Brain storming

现行职业病危害评价多采用定性法(经验法、类比法、检查表分析法、检测检验法)对职业病危害因素进行评价, 为进一步提高评价技术, 本文拟尝试引入模糊数学、风险评价等安全评价的常用技术^[1-3], 用于职业病危害的定量评价。

1 方法简介

利用模糊数学的“隶属度”或“隶属函数”基本理论, 描述中介过程的模糊信息量, 浮动地选择因素阈值, 确定权重, 再利用传统的数学方法进行处理^[3-4]。

在建设项目职业病危害风险评价过程中, 利用已建立的某行业职业病危害评价体系(职业活动中影响劳动者健康的各种危害因素的集合, 并确定各项指标因素的权重), 引入模糊数学方法进行处理(处理程序见图1), 减少各类失效因素的客观不确定性。

2 汽车行业应用实例

2.1 调查对象

选择轿车、客车、发动机制造、车用零部件制造(见表1)等17家汽车行业企业进行现场职业卫生调查, 调查内容包括: 经济学特征(投资规模、劳动定员、建筑面积等)、职业卫生状况(生产工艺、原辅材料、防护措施、职业卫生管理状况等)、生产企业工人对职业卫生的认识状况。

收稿日期: 2008-07-16 修回日期: 2008-10-22

作者简介: 邓颖聪(1978-), 男, 硕士, 主管医师, 主要从事职业病危害评价工作。

*. 通讯作者, 主任医师, 硕士研究生导师。

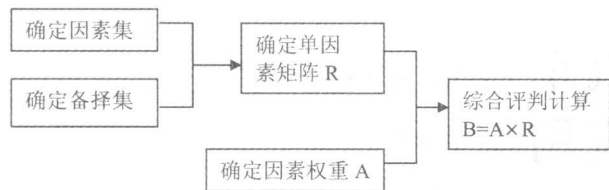


图 1 模糊评判法简图

表 1 17家汽车行业企业分布

企业种类	轿车	客车	发动机	车用漆料	零部件	合计
调查数量	2	2	2	2	9	17

2.2 评价指标体系及评判准则

依据《工业企业设计卫生标准》(GBZ—2002),结合 17家汽车生产企业的现场调查资料,形成指标体系条目库及其评判准则,通过多次的专家咨询和筛选,初步确定职业病危害风险因素因子,形成 8条一级因素:(1)选址与总体布局 (2)生产工艺和使用原辅材料,(3)职业病危害因素防护措施,(4)个人使用的职业病防护用品,(5)建筑卫生学和辅助用室,(6)职业卫生管理情况,(7)职业病危害防治经费,(8)职业健康检查工作。

将 8条一级因素展开,形成 28条二级因素指标,37条三级因素,部分三级因素下形成四级因素;并对各项因素形成模糊评判准则,形成汽车行业职业病危害风险评价因素体系。

2.3 确定指标权重

在风险因素评价体系的基础上,采用专家头脑风暴法(Brain Storming 即专家集中论证法)、层次分

析法(AHP)等对体系中的因素赋值,计算所占比例,确定因素在体系中的权重。

在汽车行业职业病危害风险评价指标体系中,我们知道风险因素(u)对风险值的影响程度是不一样的,因此,需要给评价指标赋予权重,权重集为:

$$A = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}$$

式中 a_i ——各因素的权重, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$

本研究采用的赋权重方法是层次分析法(AHP)^[5-9],对专家打分进行调整,可提高评价体系权重分配的合理性能^[7-9]。为了使比较判断定量化,引入了 1~9比率标度方法,并写成矩阵形式,构成判断矩阵,标度方法见表 2

表 2 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有同样的重要性
3	表示两个因素相比,一个比另一个稍微重要
5	表示两个因素相比,一个比另一个明显重要
7	表示两个因素相比,一个比另一个强烈重要
9	表示两个因素相比,一个比另一个极端重要
2, 4	上述相邻判断的中值
6, 8	上述相邻判断的中值
因素 i 与 j 比较得到判断 b_{ij} , 则因素 j 与 i 比较得到判断倒数 $b_{ji} = \frac{1}{b_{ij}}$	

为保证一致性,引入判断矩阵的非负平均值 CI (Consistency Index) 与同阶平均随机一致性指标 RI (表 3)之比称为随机一致性比率 CR, $CR \leq 0.1$ 时,即认为判断矩阵具有满意的一致性。

表 3 平均随机一致性指标 (RI)

因素个数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI 值	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

我们以已建立的评价体系中“U311 防尘防毒设施”因素为计算示例。

(1) 按照表 2 构造方案,根据头脑风暴法原则,集中专家讨论构建模块的判断矩阵,见表 4

表 4 专家构建判断矩阵

	设施原料替代	屏蔽设置	通道具有通风设施	应急换气设施	设备管道密封设施	移动防尘/毒设施
设施原料替代	1	2	8	6	3	7
屏蔽设置	1/2	1	7	5	2	6
通道具有通风设施	1/8	1/7	1	1/2	1/6	1/2
应急换气设施	1/6	1/5	2	1	1/3	2
设备管道密封设施	1/3	1/2	6	3	1	3
移动防尘/毒设施	1/7	1/6	2	1/2	1/3	1

即专家构建的矩阵为:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 8 & 6 & 3 & 7 \\ 1/2 & 1 & 7 & 5 & 2 & 6 \\ 1/8 & 1/7 & 1 & 1/2 & 1/6 & 1/2 \\ 1/6 & 1/5 & 2 & 1 & 1/3 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 6 & 3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/6 & 2 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量

①将判断矩阵每一列元素正规化:

$$\bar{b}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

②将正规化后的判断矩阵按行相加:

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

③将行向量归一化:

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

即形成“U311防尘防毒设施”权重向量 见表 5

表 5 U311权重向量表

风险因素	设施原料替代	屏蔽设置	通道具有通风设施	应急换气设施	设备管道密封设施	移动防尘/毒设施	合计
权重	0.400 0	0.273 7	0.034 8	0.068 7	0.164 2	0.058 4	1.000 0

④一致性检验: 计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(AW_i)}{W_i}$$

计算判断矩阵偏离的一致性指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{6.144 - 6}{5} = 0.028 8$$

根据表 3 查出同阶矩阵的平均随机一致性指标 $RI=1.24$ ($n=6$), 计算随机一致性比率 CR (Consistency Ratio):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.028 8}{1.24} = 0.023 2$$

CR ——随机一致性比率, 当 $CR \leq 0.1$ 时有满意的一致性。

“U311防尘防毒设施”判断矩阵 $CR=0.023 2 < 0.1$, 可认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 即接受所确定的权重分配。同理得出评价体系其他因素的权重, 即完成汽车行业职业病危害风险因素体系的建立。

2.4 风险因素评判语集确定

在汽车行业职业病危害风险评价模型的模糊处理过程中, 重要的一步是对评价项目风险单因素的原始评判情况, 也就是单因素模糊矩阵的确定。每个单因素的评判标准是由一些评价等级组成的, 原则上这些等级也可以对应相应的评价语言。这里规定随着等级的不同, 评判语言的组成也不同。本研究的风险要素与评判语言的对应关系如下:

- 2等级——{大, 小}
- 3等级——{大, 中等, 小}
- 4等级——{大, 较大, 较小, 小}

- 5等级——{很大, 大, 中等, 小, 很小}
- 6等级——{很大, 大, 较大, 较小, 小, 很小}
- 7等级——{很大, 大, 较大, 中等, 较小, 小, 很小}

2.5 单因素等级矩阵的确定

为了评判的准确性, 将风险程度按安全→危险在区间 $[7, 1]$ 内按步第 1 进行离散, 各离散值组成的集合, 即为备择集 $V, V = \{7, 6, 5, 4, 3, 2, 1\}$, 对应的单因素等级矩阵 $R_{2 \times 7} \sim R_{n \times 7}$ 。见表 6

表 6 $R_{2 \times 7}$ 单因素等级矩阵列表

评价矩阵 等级	风险度						
	7	6	5	4	3	2	1
2	1.0	0.8	0.5	0.1	0	0	0
1	0	0	0.1	0.3	0.7	0.9	1.0

2.6 全局风险因素模糊综合评判法的实现 (图 2)

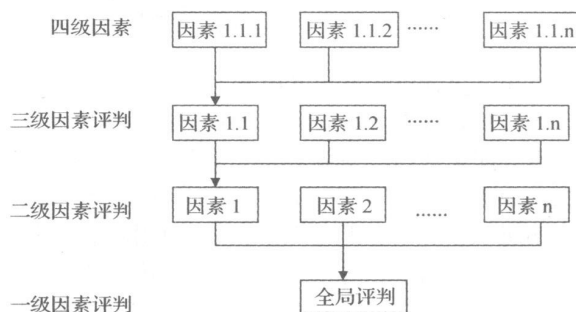


图 2 实现全局模糊综合评判程序图

由确定的评价体系风险因素集 U 和备择集 V 得到单因素等级矩阵 R 联合权重集 A 逐级计算模糊评判矩阵:

$$B = A \times R = A \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_7 \end{bmatrix} = (b(1) \quad b(2) \quad \dots \quad b(7))$$

$$b(k) = \sum_{i=1}^k a_i b_{ik} \quad k = (1, 2, \dots, 7)$$

最终得到全局职业病危害风险因素的模糊综合评判集为: B

2.7 应用实例职业病危害风险评价结论

根据最大隶属度原则, 参照备择集 $V = \{7, 6, 5, 4, 3, 2, 1\}$, 确定全局职业病危害风险因素模糊综合评判的等级 [7等级——(很小, 小, 较小, 中等, 较大, 大, 很大)]。

3 讨论

我们认为, 只是把职业病危害风险评价方法学停留在定性指标或检查表的研究上还不够, 因为生产企业作为一个整体, 它的各个组成部分都有着特定的任务, 承担不同的生产工序, 存在着不同的职业病危害因素, 而影响职业病危害因素程度的管理因素又是复杂多样的, 之间联系具有一定模糊性。所以关于职业病危害风险评价方法的研究可逐渐从定性向半定量及定量、局部评价向综合评价的方向发展。

本研究的模糊综合评判法是把模糊数学理论和聚类思想进行融汇扩充而形成, 它的基本方法是以相似矩阵为基本信息的分析方法。通常我们工作中遇到的生产企业职业病危害风险因素很多, 彼此之间以及它们与职业卫生工作优劣之间的内在联系尚未明确, 呈现模糊特性, 如评价体系中四级因素“ U_{3115} 设备管道密封设施”和“ U_{3116} 移动防尘/毒设施”之间的联系较难明确, 这样就充分利用了模糊综合评判法对数据量没有严格的要求, 也不需要原始数据满足什么分布的特点。

模糊综合评判法找出各因素对职业卫生风险水平的影响程度是根据现场检测和调查资料的等级关系及其权重分配来判断其风险程度, 计算方法并不复杂, 可归纳为 $B = A \times R$ 分别对两方面数据进行计算: 工作场所职业病危害因素检测数据和工作场所现场职业卫生调查数据, 并通过“ $n \times 7$ 阶评价矩阵”把两种来源的数据结合进行模糊综合评判, 解决过往职业

病危害评价中只把模糊评判单用于检测因素甚至于只对化学检测因素进行评价的问题, 有效对企业职业卫生全局状况进行综合评判。

根据最大隶属度原则和备择集 V 我们可以轻易得到企业局部或全局的职业病危害风险评价, 即可以回答在包括诸因素的系统中, 哪些需要发展, 哪些需要关注, 甚至需要改善。这样, 既能发现企业在职业病危害评价体系中做得不足的地方(因素), 又能对企业职业病危害风险给出一个综合的评价。

模糊综合评判法的应用前提是建立相关行业的职业病危害风险因素体系, 在研究中我们初步建立汽车制造及相关行业的因素体系, 但没有对风险因素做进一步的统计论证, 确定风险因素的数理依据不够; 如果能积累到 30家以上的同类企业, 结合数理统计学方法进行指标筛选, 效果可能会更佳。

职业病危害风险评价是一项政策性强、牵涉面广、较为复杂的理论和实践课题。从研究过程看, 由于时间限制和客观上的困难, 本次只是初步的探索, 希望通过不断探讨和应用, 使(半)定量评价方法更加系统、完善。

(本研究得到我院从事职业病危害评价工作的各位同事的大力支持, 特此致谢!)

参考文献:

- [1] 钱均琪, 吕敏, 陈阳, 等. 有关建设项目职业病危害评价工作中难点的商榷 [J]. 职业与健康, 2007, 23 (1): 57-58
- [2] 唐涛, 张华东. 建设项目职业病危害评价中常见问题的探讨 [J]. 现代预防医学, 2006, 33 (7): 1265-1266
- [3] 方华灿. 油气长输管线的安全可靠分析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 1-15
- [4] 刘育骥, 耿新宇, 肖辞源. 石油工程模糊数学 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994: 20-39
- [5] 魏世孝, 周献中. 多属性决策理论方法及其在 C_3I 系统中的应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 86-115
- [6] 高杨, 牟德一. 航空安全评估中的层次分析法——AHP [J]. 中国安全科学学报, 2000 (10): 38-41
- [7] 陈晓剑, 梁梁. 系统评价方法及应用 [M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 1993: 13-18
- [8] 邱东. 多指标综合评价方法的系统分析 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991: 55-132
- [9] 王孝宁, 何苗, 何钦成, 等. 层次分析法判断矩阵的构成方法及比较 [J]. 中国卫生统计, 2002, 19 (2): 111-113

欢迎投稿

欢迎订阅