

# 基于模糊数学综合评判模型的钢铁企业职业危害防治状况评价

王永斌<sup>1</sup>, 许春杰<sup>1</sup>, 张生奎<sup>1</sup>, 张文会<sup>2</sup>, 朱莹<sup>1</sup>, 李小明<sup>1</sup>, 马石头<sup>1</sup>, 袁聚祥<sup>1</sup>

## 摘要:

[目的] 探讨模糊数学综合评判模型(FSEM)在职业危害防治效果评价中的应用,为以后有针对性地进行职业危害防治提供科学依据和方法学基础。

[方法] 采用某钢铁企业职业卫生方面的历史资料和现场调查资料,依托课题组前期构建的钢铁企业职业危害防治综合评价指标体系,利用FSEM评价某钢铁企业职业危害防治效果。

[结果] 该钢铁企业职业危害总体防治效果得分为85.215,一级指标中工人自身情况维度得分为75.370,二级指标中工人基本情况、身体状况和职业危害知信行得分分别为73.190、72.660和74.800。

[结论] 该钢铁企业职业危害防治的总体效果较好,但最薄弱环节在于工人方面,应有针对性地对这方面进行强化;FSEM在钢铁企业职业危害防治效果评价方面可能具有广泛的应用前景。

关键词: 钢铁企业; 职业危害; 防治; 模糊数学综合评判模型

引用: 王永斌,许春杰,张文会,等.基于模糊数学综合评判模型的钢铁企业职业危害防治状况评价[J].环境与职业医学,2017,34(10):902-908. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16789

**Evaluation on occupational hazard control in iron and steel enterprises based on fuzzy synthetic evaluation model** WANG Yong-bin<sup>1</sup>, XU Chun-jie<sup>1</sup>, ZHANG Sheng-kui<sup>1</sup>, ZHANG Wen-hui<sup>2</sup>, ZHU Ying<sup>1</sup>, LI Xiao-ming<sup>1</sup>, MA Shi-tou<sup>1</sup>, YUAN Ju-xiang<sup>1</sup> (1.School of Public Health, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063000, China; 2.Tangshan Iron and Steel Group Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063000, China). Address correspondence to YUAN Ju-xiang, E-mail: yuanjx@heuu.edu.cn · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

## Abstract:

[Objective] To explore the application of fuzzy synthetic evaluation model (FSEM) to the evaluation on occupational hazard control programs, and to provide scientific and methodological evidence for future occupational hazard prevention and control.

[Methods] Historical data and field survey data on occupational health of an iron and steel enterprise were collected. On the basis of the comprehensive evaluation index system of occupational hazard prevention and control that was established previously by our team, the status of occupational hazard prevention and control in the enterprise was evaluated by FSEM.

[Results] The total score of occupational hazard prevention and control of the iron and steel enterprise was 85.215. Specifically, the score of workers' conditions, a dimension of the first-level indicators, was 75.370, and the scores of workers' basic information, physical conditions, and knowledge-attitude-behavior, three dimensions of the second-level indicators, were 73.190, 72.660, and 74.800, respectively.

[Conclusion] The overall preventive effect on occupational hazards in the selected iron and steel enterprise is good, but effective measures are required to improve workers' conditions which is the weakest link in the whole system evaluated. In addition, the FSEM is a promising tool in the evaluation on occupational hazard prevention and control in iron and steel enterprises.

**Keywords:** iron and steel enterprise; occupational hazard; prevention and control; fuzzy comprehensive evaluation model

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 国家科技部重点研发项目(编号:2016YFC0900605);河北省重点职业病防治技术研究(编号:13277709D);河北省研究生创新项目(编号:2017B008);华北理工大学研究生创新项目(编号:2017B13)

[作者简介] 王永斌(1989—),男,博士生;研究方向:职业人群传染病防治;E-mail:568019636@qq.com

[通信作者] 袁聚祥,E-mail:yuanjx@heuu.edu.cn

[作者单位] 1.华北理工大学公共卫生学院,河北唐山063000;2.唐山钢铁集团有限责任公司,河北唐山063000

**Citation:** WANG Yong-bin, XU Chun-jie, ZHANG Wen-hui, et al. Evaluation on occupational hazard control in iron and steel enterprises based on fuzzy synthetic evaluation model[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(10): 902-908. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16789

职业人群作为一种特殊群体,在社会进步和发展中发挥着重要作用,而职业危害和职业病已成为影响各国劳动者健康,造成劳动者过早失去劳动能力的最主要因素,在发展中国家表现得尤为明显<sup>[1]</sup>。我国有工业企业790多万个,接触职业病危害因素人数数以亿计,职业危害造成的健康影响不可低估<sup>[2]</sup>。

钢铁行业作为我国经济体系中的基础性、先导性产业,在第二产业中处于主导地位,对于加速建设和发展我国现代社会主义经济发挥了重要作用<sup>[3]</sup>。钢铁企业在我国分布面广,从业人数众多,生产的各个环节中都存在着大量职业危害。随着环保政策日趋严格,钢铁企业职业危害防治情况已成为评价其发展状况的一个重点指标<sup>[4]</sup>。因此,科学全面地对钢铁企业职业危害的防治现状进行评价具有重要的现实意义。

我国现行的职业危害防治效果评价方法主要包括定性评价(如类比法、检查表法)和定量评价(如风险指数评估法、定量分级法、数学扩散模式等),大多是依据国家标准进行评价。但目前我国配套标准尚不完善,有关法规标准或规范性文件没有很好地衔接。因此,本研究依托课题组前期建立的钢铁企业职业危害防治综合评价指标体系,运用模糊综合评价模型(fuzzy synthetic evaluation model, FSEM)对某钢铁企业的职业危害防治状况进行评价,探讨该模型在钢铁企业职业危害防治效果评价方面的应用,从而为以后有针对性地进行钢铁企业职业危害防治效果评价,提供科学依据和方法学基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

课题组前期进行了三轮Delphi专家咨询,根据咨询结果,从职业活动中产生的有害因素、工人自身情况、职业危害防护设施和职业卫生管理状况四个维度构建了综合评价钢铁企业职业危害防治状况的三级指标体系,指标体系的结构为“4—20—95”。第一、二和三轮咨询问卷的回收率分别为82.5%、100.0%和100.0%;咨询问卷的有效率分别为75.0%、100.0%和100.0%;专家对四个维度的权威程度分别为0.875、0.769、0.832和0.800;专家对四个维度意见的一致性

系数差异均具有统计学意义;综合评价指标体系的克朗巴赫 $\alpha$ 系数、经条目标化的克朗巴赫 $\alpha$ 系数和分半信度分别为0.959、0.950和0.810。结果显示,课题组构建的综合评价指标体系比较可靠、合理和科学。

收集2014年1月—2016年6月某钢铁企业职业卫生历史资料和现场调查资料,然后基于课题组前期构建的综合评价指标体系,以及后文叙述的定性和定量指标分值及隶属度评判矩阵确定方法,最终采用多层次FSEM进行逐层评价,从而得到该钢铁企业职业危害防治的总体效果及薄弱环节。

### 1.2 FSEM的建模步骤<sup>[5-7]</sup>

1.2.1 建立因素集 因素集 $U=\{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}$ ,其中: $U_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为钢铁企业职业危害防治综合评价指标体系中各评判因素的集合, $n$ 是同一层内指标的个数。

1.2.2 确定因素集 因素集对应的权重集 $W=\{W_1, W_2, W_3, \dots, W_n\}$ ,其中: $W_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为钢铁企业职业危害防治综合评价指标体系中各指标权重的集合。 $n$ 是同一层内指标的个数。

1.2.3 建立评语集 针对被评价的指标体系,构建评价等级集合 $V=\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\}$ ,其中: $V_i(i=1, 2, \dots, n)$ 是根据评价目的确定的评价等级标准; $n$ 为评语个数,可以是评语档次也可以是数字区间。本研究钢铁企业职业危害防治综合评价等级为 $V=\{\text{好, 较好, 一般, 较差, 差}\}$ ,对应的量化分数为 $V=\{95, 85, 75, 65, 30\}$ 。

1.2.4 确定隶属度矩阵 如果单独对于某一个因素,确定评价指标对评语集 $V$ 的隶属程度,称为单因素模糊评价;如果对多因素集合 $U$ 中第 $i$ 个目标 $U_i$ 进行评价,那么评语集 $V$ 中的第 $j$ 个元素 $V_j$ 的隶属度为 $R_{ij}$ ,则对 $U_i$ 的单因素评价可取得模糊集 $R_i=\{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}\}$ ,这是单因素的隶属度矩阵。应用FSEM进行分析时,指标隶属度矩阵的构建往往会影响到评价结果的准确性。因此本研究对定性与定量指标确定了具体的隶属度矩阵构建方法。

(1)定性指标隶属度矩阵建立方法。本研究定性指标用于评价钢铁企业职业危害防治现状。一方面,为了方便专业技术人员根据钢铁企业职业危害防治

的实际状况判断定性指标所属水平；另一方面，为了方便统计结果，定性指标的等级范围统一为{好，较好，一般，较差，差}。隶属度基于数据资料进行构建。

(2)定量指标隶属度矩阵建立方法。定量指标隶属度矩阵构建的难点是如何确定综合评价指标的评分标准，根据指标的类型不同，评分标准也应不同。为了使确定的定量指标的评分标准具有科学性、规范性及合理性，本研究确定定量指标分值的标准为：根据国家《职业病防治规划(2009—2015年)》《职业病防治法》和《全国健康教育及健康促进工作规划纲要》等相关文件、政策、法律、法规，或企业技术性文书、规划、标准等的要求，确定定量指标分值；对于企业内部相关文件或法律、法规没有作出明确规定的，定量指标分值确定时基于“适度体现梯度，注重当前实际情况，兼顾未来发展”的原则。定量指标隶属度确定时常常采用线性分析方法，首先确定出{好，较好，一般，较差，差}五个等级的分界点，然后按照线性内插公式将实际值进行分配即可。本研究借助层次分析法(AHP)思想、百分位数的思想和连续型半梯形分布函数的原理<sup>[5]</sup>，确定定量指标隶属度矩阵的隶属函数。

1.2.5 合成算子的选择 在模糊数学综合评判过程中，合成算子的选择对评价结果的准确程度具有较大的影响。而加权平均型 $M(, \oplus)$ 合成算子主要是根据

各指标权重的大小对评价对象作出评价，它可以充分利用各指标提供的信息，适合于对评价对象作全面评价的情形<sup>[8]</sup>。结合本研究的特点，最终选择加权平均型合成算子进行复合运算。

1.2.6 进行综合评判 使用FSEM对最底层指标作出综合评价之后，将其评判结果作为上一层指标体系的评价矩阵，对上一层指标体系进行综合评判，以此类推，直至得到评价对象的评价结果。本研究指标体系共有三级，因此需进行三级综合评判得出钢铁企业职业危害防治的现状。综合评判公式： $Y_i = K \cdot W_i \cdot R_{ij} \cdot V^T$ 。式中： $K$ 为逻辑数，计算过程中各指标的 $K=1$ ； $W_i$ 为FSEM的隶属度(即指标权重集)； $R_{ij}$ 对应于指标隶属度评判矩阵； $V^T$ 为评语集对应的量化分数向量的转置。

### 1.3 统计学分析

使用Excel 2012软件建立数据库。经过逻辑查错及复查数据证实无误后，采用Matlab8.4软件编程实现多层次FSEM的逐层评价。

## 2 结果

### 2.1 确定综合评价隶属度评判矩阵

基于前文综合评价指标体系中定性和定量指标分值及隶属度评判矩阵的确定方法，得到三级指标的隶属度评判矩阵见表1。

表1 三级指标的隶属度评判矩阵

三级指标	权重	好	较好	一般	较差	差
A <sub>1.1</sub> 粉尘监测点合格率	0.169	0.836	0.164	0.000	0.000	0.000
A <sub>1.2</sub> 有害气体监测点合格率	0.168	0.975	0.025	0.000	0.000	0.000
A <sub>1.3</sub> 高温监测点合格率	0.176	0.336	0.664	0.000	0.000	0.000
A <sub>1.4</sub> 噪声监测点合格率	0.176	0.293	0.707	0.000	0.000	0.000
A <sub>1.5</sub> 热辐射监测点合格率	0.163	0.169	0.831	0.000	0.000	0.000
A <sub>1.6</sub> 风速监测点合格率	0.149	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A <sub>2.1</sub> 劳动组织和制度	0.212	0.400	0.400	0.200	0.000	0.000
A <sub>2.2</sub> 职业心理紧张	0.180	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
A <sub>2.3</sub> 劳动强度	0.223	0.000	0.000	0.656	0.344	0.000
A <sub>2.4</sub> 不良的体位	0.188	0.200	0.800	0.000	0.000	0.000
A <sub>2.5</sub> 工具的使用	0.197	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
A <sub>3.1</sub> 自然环境	0.182	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000
A <sub>3.2</sub> 设备布局	0.195	0.600	0.400	0.000	0.000	0.000
A <sub>3.3</sub> 采光照明	0.195	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
A <sub>3.4</sub> 通风条件	0.228	0.000	0.700	0.300	0.000	0.000
A <sub>3.5</sub> 空气调节	0.200	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
B <sub>1.1</sub> 生活习惯	0.310	0.000	0.000	0.800	0.200	0.000
B <sub>1.2</sub> 卫生习惯	0.321	0.000	0.000	0.800	0.200	0.000
B <sub>1.3</sub> 平均接触工龄	0.368	0.000	0.000	0.852	0.148	0.000

续表 1

三级指标	权重	好	较好	一般	较差	差
B <sub>2.1</sub> 接触人数	0.352	0.000	0.000	0.600	0.400	0.000
B <sub>2.2</sub> 接触水平	0.323	0.000	0.000	0.900	0.100	0.000
B <sub>2.3</sub> 接触频度	0.325	0.000	0.000	0.813	0.187	0.000
B <sub>3.1</sub> 文化水平	0.494	0.000	0.000	0.913	0.087	0.000
B <sub>3.2</sub> 专业技能	0.506	0.400	0.400	0.200	0.000	0.000
B <sub>4.1</sub> 知晓率	0.366	0.000	0.000	0.753	0.247	0.000
B <sub>4.2</sub> 信念形成率	0.281	0.000	0.000	0.723	0.277	0.000
B <sub>4.3</sub> 行为形成率	0.353	0.000	0.420	0.580	0.000	0.000
C <sub>1.1</sub> 个人防护用品使用率	0.169	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C <sub>1.2</sub> 防护用品的防护特性和性能	0.170	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
C <sub>1.3</sub> 防护用品的日常维护	0.169	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
C <sub>1.4</sub> 保养更换周期	0.166	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000
C <sub>1.5</sub> 防护用品发放记录	0.157	0.800	0.200	0.000	0.000	0.000
C <sub>1.6</sub> 防护用品发放种类适当	0.169	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
C <sub>2.1</sub> 排毒净化设施设置率	0.175	0.911	0.089	0.000	0.000	0.000
C <sub>2.2</sub> 噪声与振动控制设施设置率	0.172	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C <sub>2.3</sub> 非电离辐射防护设施设置率	0.166	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C <sub>2.4</sub> 防暑降温、防寒、防潮设置率	0.163	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C <sub>2.5</sub> 高温、热辐射防护设施设置率	0.170	0.822	0.178	0.000	0.000	0.000
C <sub>2.6</sub> 其他有害因素防护设施设置率	0.154	0.933	0.067	0.000	0.000	0.000
D <sub>1.1</sub> 制定职业健康监护工作计划	0.194	0.600	0.400	0.000	0.000	0.000
D <sub>1.2</sub> 职业健康监护档案完成率	0.198	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>1.3</sub> 职业健康体检率	0.217	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>1.4</sub> 岗前、在岗、离岗查体	0.213	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>1.5</sub> 离岗后医学随访检查	0.178	0.000	0.000	0.400	0.400	0.200
D <sub>2.1</sub> 职业病危害因素监测点覆盖率	0.169	0.784	0.216	0.000	0.000	0.000
D <sub>2.2</sub> 职业病危害因素检测率	0.178	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>2.3</sub> 个人剂量监测率	0.168	0.511	0.489	0.000	0.000	0.000
D <sub>2.4</sub> 监测结果存档和上报	0.172	0.800	0.200	0.000	0.000	0.000
D <sub>2.5</sub> 监督检测机构完善率	0.157	0.433	0.567	0.000	0.000	0.000
D <sub>2.6</sub> 监测设备完好率	0.157	0.784	0.216	0.000	0.000	0.000
D <sub>3.1</sub> 新技术、新工艺和新材料采用	0.196	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
D <sub>3.2</sub> 产生职业病危害的设备和材料使用	0.199	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>3.3</sub> 企业使用的主导原材料供应商	0.193	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>3.4</sub> 有害设备、有害化学品和放射性物品的中文说明	0.205	0.800	0.200	0.000	0.000	0.000
D <sub>3.5</sub> 新技术、新工艺和新材料的危害公开	0.207	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
D <sub>4.1</sub> 生产卫生室设置率	0.343	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>4.2</sub> 生活用室设置率	0.334	0.466	0.534	0.000	0.000	0.000
D <sub>4.3</sub> 妇女卫生室设置率	0.323	0.380	0.620	0.000	0.000	0.000
D <sub>5.1</sub> 应急机构建立	0.141	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000
D <sub>5.2</sub> 应急预案	0.142	0.200	0.600	0.200	0.000	0.000
D <sub>5.3</sub> 救援物资	0.139	0.600	0.200	0.200	0.000	0.000
D <sub>5.4</sub> 应急演练	0.140	0.000	0.000	0.800	0.200	0.000
D <sub>5.5</sub> 报警装置设置率	0.148	0.725	0.275	0.000	0.000	0.000
D <sub>5.6</sub> 警示标示设置率	0.146	0.871	0.129	0.000	0.000	0.000
D <sub>5.7</sub> 应急救援设施的维护	0.144	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
D <sub>6.1</sub> 整改监督	0.493	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
D <sub>6.2</sub> 处罚力度	0.507	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>7.1</sub> 建设项目的工艺审查、立项	0.256	0.800	0.600	0.000	0.000	0.000
D <sub>7.2</sub> 职业病危害因素申报管理项目申报率	0.244	0.733	0.267	0.000	0.000	0.000
D <sub>7.3</sub> 职业安全生产许可证	0.244	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>7.4</sub> 产生职业病危害的建设项目预评价率	0.256	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>8.1</sub> 职业病危害告知率	0.340	0.489	0.511	0.000	0.000	0.000

续表 1

三级指标	权重	好	较好	一般	较差	差
D <sub>8.2</sub> 职业卫生机构设置及日常管理	0.336	0.200	0.800	0.000	0.000	0.000
D <sub>8.3</sub> 职业卫生培训率	0.324	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>9.1</sub> 职业危害事故的查处率	0.253	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>9.2</sub> 体检合格率	0.245	0.840	0.160	0.000	0.000	0.000
D <sub>9.3</sub> 职业病检出率	0.249	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>9.4</sub> 工伤保险覆盖率	0.253	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>10.1</sub> 职业卫生管理机构及专(兼)职管理人员	0.341	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
D <sub>10.2</sub> 职业卫生专业技术监测机构及专(兼)职卫生技术人员	0.321	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000
D <sub>10.3</sub> 职业卫生领导机构及构成人员	0.338	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.1</sub> 职业病危害防护设备设施管理制度	0.074	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.2</sub> 劳动用工及健康监护档案管理制度	0.072	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000
D <sub>11.3</sub> 作业场所管理制度	0.070	0.200	0.800	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.4</sub> 职业病诊断管理制度	0.069	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.5</sub> 职业危害日常监测管理制度	0.072	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
D <sub>11.6</sub> 职业病危害因素评价制度	0.071	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
D <sub>11.7</sub> 职业危害告知制度	0.072	0.000	0.600	0.400	0.000	0.000
D <sub>11.8</sub> 职业危害排查制度	0.071	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000
D <sub>11.9</sub> 职业健康宣传教育培训制度	0.069	0.600	0.200	0.200	0.000	0.000
D <sub>11.10</sub> 防护用品发放管理制度	0.071	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.11</sub> 设备维修管理制度	0.072	0.800	0.200	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.12</sub> 职业病危害申报制度	0.072	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.13</sub> 建设项目职业病危害评价制度	0.073	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>11.14</sub> “三同时管理制度”	0.073	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.2 一级FSEM综合评判

以生产工艺过程中产生的职业有害因素的综合评判矩阵构建为例进行说明。根据公式  $R_i = W_{2i} R_{2i}$ ，其中  $W_{21}$  和  $R_{21}$  具体值及运行 Matlab8.4 程序得到的  $R_1$  见表 2。同理可得到 20 个二级指标的隶属度评判矩阵见表 3。

表 2 一级 FSEM 运算结果

$W_{2i}$	$R_{2i}$	$R_i$
$W_{21} = \begin{bmatrix} 0.1685 \\ 0.1678 \\ 0.1757 \\ 0.1763 \\ 0.1631 \\ 0.1486 \end{bmatrix}$	$R_{21} = \begin{bmatrix} 0.836 & 0.164 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.975 & 0.025 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.336 & 0.664 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.293 & 0.707 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.169 & 0.831 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$	$R_1 = \begin{bmatrix} 0.591 \\ 0.409 \\ 0.000 \\ 0.000 \\ 0.000 \end{bmatrix}$

表 3 二级指标的隶属度评判矩阵

指标	权重	好	较好	一般	较差	差
A <sub>1</sub> 生产工艺过程中产生的职业有害因素	0.340	0.591	0.409	0.000	0.000	0.000
A <sub>2</sub> 劳动过程中的有害因素	0.328	0.123	0.504	0.297	0.077	0.000
A <sub>3</sub> 工作环境中的有害因素	0.333	0.117	0.559	0.325	0.000	0.000
B <sub>1</sub> 基本情况	0.249	0.000	0.000	0.819	0.181	0.000
B <sub>2</sub> 身体状况	0.260	0.000	0.000	0.766	0.234	0.000
B <sub>3</sub> 工人素质	0.260	0.202	0.202	0.552	0.043	0.000
B <sub>4</sub> 工人职业危害知信行	0.232	0.000	0.148	0.684	0.168	0.000
C <sub>1</sub> 个体防护	0.497	0.328	0.504	0.168	0.000	0.000
C <sub>2</sub> 工程防护	0.503	0.944	0.056	0.000	0.000	0.000
D <sub>1</sub> 职业健康监护	0.092	0.744	0.078	0.071	0.071	0.036
D <sub>2</sub> 职业危害监测	0.092	0.724	0.276	0.000	0.000	0.000
D <sub>3</sub> 材料和设备管理	0.086	0.164	0.594	0.242	0.000	0.000
D <sub>4</sub> 卫生辅助设施	0.082	0.622	0.378	0.000	0.000	0.000
D <sub>5</sub> 应急救援设施及警示标识配置	0.091	0.347	0.285	0.340	0.028	0.000
D <sub>6</sub> 监督机构的监管力度	0.099	0.507	0.296	0.197	0.000	0.000
D <sub>7</sub> 早期预防	0.091	0.884	0.116	0.000	0.000	0.000
D <sub>8</sub> 作业过程的防护与管理	0.092	0.558	0.443	0.000	0.000	0.000
D <sub>9</sub> 职业危害后处理情况	0.088	0.961	0.039	0.000	0.000	0.000
D <sub>10</sub> 组织机构	0.093	0.338	0.461	0.201	0.000	0.000
D <sub>11</sub> 规章制度	0.095	0.470	0.388	0.143	0.000	0.000

### 2.3 二级FSEM综合评判

根据公式  $R=W_i \cdot R_i$ , 同理可得到4个一级指标的隶属度评判矩阵, 见表4。

表4 一级指标的隶属度评判矩阵

指标	权重	好	较好	一般	较差	差
A 职业活动中产生的有害因素	0.252	0.280	0.490	0.205	0.025	0.000
B 工人自身情况	0.243	0.053	0.087	0.704	0.156	0.000
C 职业危害防护设施	0.255	0.638	0.279	0.083	0.000	0.000
D 职业卫生管理状况	0.251	0.574	0.304	0.110	0.009	0.003

### 2.4 三级FSEM综合评判

根据公式  $R_{总}=W_{总} \cdot R$ , 同理可得到某钢铁企业职业危害防治状况的评语集  $V=\{好, 较好, 一般, 较差, 差\}$ , 对应的隶属度评判矩阵  $R_{总}=\{0.390, 0.292, 0.271, 0.046, 0.001\}$ 。

### 2.5 评价结论

为了更加直观地对钢铁企业职业危害防治综合评价结果进行量化比较, 本研究根据国家相关纲要及法律法规等将评价结果的等级转化为分值的形式, 各等级对应的分数等级为  $V_1 [90, 100], V_2 [80, 90), V_3 [70, 80), V_4 [60, 70), V_5 [0, 60)$ , 然后将各等级对应的分值等级取中位数得到评价等级向量, 即  $V=[好, 较好, 一般, 较差, 差]=[95, 85, 75, 65, 30]$ 。根据公式  $F_i=R_i \cdot V$  及上文计算的各二级指标、一级指标及综合评价指标隶属度评判矩阵, 可计算出各指标的具体得分分别为  $F_1=90.910, F_2=81.805, F_3=83.005, F_4=73.190, F_5=72.660, F_6=80.555, F_7=74.800, F_8=86.600, F_9=94.440, F_{10}=88.330, F_{11}=92.240, F_{12}=84.220, F_{13}=91.220, F_{14}=84.510, F_{15}=88.100, F_{16}=93.840, F_{17}=90.665, F_{18}=94.610, F_{19}=86.370, F_{20}=88.355, F_A=85.250, F_B=75.370, F_C=90.550, F_D=89.295, F_{总}=85.215$ (其中  $F_1 \sim F_{20}$  为20个二级指标的得分结果,  $F_A \sim F_D$  为4个一级指标的得分结果,  $F_{总}$  为总的得分结果)。根据得分结果可知该钢铁企业职业危害防治状况较好。

## 3 讨论

FSEM的基本思想是: 在进行决策时往往需要邀请经验丰富、理论知识扎实的专业人士或专家发表自己的建议。该方法尤其适用于评价既有定性指标又有定量指标的问题<sup>[9]</sup>。在处理复杂的问题时, 指标体系不仅包含的层次较多, 而且每个层次所包含的指标个

数较多<sup>[10]</sup>。此时可采用单层次FSEM逐层进行评价, 经过多次模糊变换即可获得各层次的综合隶属度, 最终得到评价对象的等级分数<sup>[8]</sup>。

本研究在进行实证研究阶段, 需要得出钢铁企业职业危害防治的总体状况: 总体防治状况评价时包含多个层次; 每个层次内包含多个指标, 每个指标的权重系数不太容易确定; 每个层次内的多个指标具有模糊性。考虑到获得数据过程中的模糊性、主观性和难以量化, 以及FSEM的优点<sup>[11]</sup>: 将比较模糊、难以量化的指标经过模糊评价复杂的数字运算处理, 可得到一个比较科学、可信的量化结果; 可将定性和定量指标进行有机结合, 得到的结果符合实际情况; 经过FSEM处理, 可以得到一个矢量结果, 而非某个点值。这样就会包含丰富的信息, 既可以比较准确地刻画被评价对象, 又可以进一步加工, 得到参考信息。综上, 本研究最终选用FSEM得出某钢铁企业职业危害防治状况得分为85.215, 对照评分等级量化标准, 可知该钢铁企业职业危害防治的总体状况较好。同样可得出各二级指标处于何等级, 并且处于同等级时, 可根据得分的高低判断优劣。赋值后可更具体地算出一个分数, 为钢铁企业职业危害防治状况进行横向比较和纵向比较提供了方法。通过FSEM发现该企业职业危害防治的最薄弱环节在于工人方面, 应有针对性的对这方面进行强化。

通过将FSEM和所建立的综合评价指标体系应用于某钢铁企业, 有两大收获: 其一, FSEM对处理主观性强、容易定性的模糊问题具有很强的实用性; 其二, 通过FSEM可以发现钢铁企业职业危害防治的薄弱环节, 从而有针对性地进行防治。但需注意: 本研究进行实证研究时, 只选取了一家钢铁企业, 实证研究结果缺乏对比分析。因此下一步应选取多家钢铁企业, 通过现场调研并收集企业相关方面的历史资料, 对综合评价结果结合实际情况进行对比研究。并且指标体系的应用需结合国家、地方或企业的相关文件进行, 而国家、地方或企业的相关文件的标准也会发生变化。因此应根据现实情况及国家、地方或企业的相关文件, 对综合评价指标体系进一步考评。使用FSEM进行实证研究时, 最关键的是对评判矩阵隶属度的构建, 这直接关系到实证研究结果的可靠性和准确性。而以往将FSEM应用于其他方面的研究在构建综合评判矩阵时, 不管是定性资料还是定量资料, 都通过专家打分的方式构建综合评判的隶属度, 这样

就会损失定量资料的信息<sup>[12]</sup>。本研究借助百分位数的思想和连续型半梯形分布函数的原理,根据相关的文件资料,比较详细地制定出了定量和定性资料评判矩阵隶属度的构建方法。实证研究阶段还可以使用综合评分指数  $GI$  进行综合评价<sup>[13]</sup>,首先借助 FSEM,将定性资料直接转化为定量指标,然后以各指标的组合权重乘以相应的数值,将所有计算结果相加即可进行横向和纵向比较。也可根据本研究中确定的综合评价指标体系的分值,提前制定好相应的打分标准,然后以各指标的组合权重乘以相应的数值,将所有计算结果相加即可进行横向和纵向比较。

### 参考文献

- [1] Chauhan A, Anand T, Kishore J, et al. Occupational hazard exposure and general health profile of welders in rural Delhi [J]. Indian J Occup Environ Med, 2014, 18(1): 21-26.
- [2] 朱玮洁. 某微电子企业的职业危害与控制效果分析[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2014.
- [3] 李木易. 钢铁企业信用风险评价指标体系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [4] 赵秀丽. 国家创新体系视角下的国有企业自主创新研究[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- [5] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 3版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 2-124.
- [6] 陈健, 唐颖, 倪骏, 等. 模糊综合评价法在轨道交通卫生学评价中的应用[J]. 环境与职业医学, 2013, 30(6): 427-430.
- [7] 戎艳, 张巧耘, 阮艳君, 等. 《职业健康监护技术规范》应用情况评价方法研究[J]. 环境与职业医学, 2014, 31(2): 138-142.
- [8] Öztürk N, Tozan H. A fuzzy-based decision support model for selecting the best dialyser flux in haemodialysis [J]. J Healthc Eng, 2015, 6(3): 303-324.
- [9] Feng L, Zhu X, Sun X. Assessing coastal reclamation suitability based on a fuzzy-AHP comprehensive evaluation framework: A case study of Lianyungang, China [J]. Mar Pollut Bull, 2014, 89(1/2): 102-111.
- [10] 文莉军. 海口磷矿绿色矿山建设示范与综合评价[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [11] 叶松. 中国西南部主要断裂带城镇地震地质灾害风险模糊综合评判研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [12] 刘海茹. AHP-模糊综合评价法在露天磷矿山企业效能评价中的应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [13] 王建军. 安徽省某县石英砂企业职工健康状况及其职业防护认知综合评价研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.

(收稿日期: 2016-12-24; 录用日期: 2017-04-12)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 汪源)

### 【告知栏】

## 《环境与职业医学》杂志新版网站已正式上线

经过历时半年的筹备和建设,新版《环境与职业医学》杂志网站(<http://jeom.scdc.sh.cn:8081/>)于2017年1月1日正式上线。

本次改版更突出本刊网络新媒体的优势: 当期及以往各期的文章在首页以目录形式呈现, 点击即可以实现浏览摘要、全文、pdf 下载、图表下载等。新增的“写作园地”“专业资源”板块将从多个角度为作者提供写作指导, “图片新闻”栏目将定期更新杂志及行业最新前沿信息, “伦理声明”栏目重点提示了研究设计及论文写作中的注意事项。

欢迎广大读者浏览及使用!

