

基于模糊数学和 Borda 数法的 重大危险源评价模型

黄艳, 赵晓君

(郑州轻工业学院 软件学院, 河南 郑州 450001)

摘要:根据重大危险源的监控和管理需求,研究重大危险源的评价和分级技术.利用模糊数学评价模型完整和准确的评价能力,识别影响重大危险源危害程度的评价指标,建立了数据模型对危害程度进行综合评价,为不同类型的重大危险源建立适当的监控管理体系;对于同种类型的重大危险源,建立 Borda 数横向分级模型,根据其危害程度进行分级,为同种类型不同级别的危险源定制合理的监控管理措施,达到了提高监控管理效率,降低监控管理成本的效果.

关键词:重大危险源评价模型;模糊数学;Borda 数法

中图分类号:X92 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.04.024

Evaluation model of major hazard facilities based on fuzzy mathematics and Borda count method

HUANG Yan, ZHAO Xiao-Jun

(College of Software Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The evaluation and classification technology of major hazard facilities were explored according to the monitoring and management needs. Taking advantage of the complete and accurate evaluation capacity of fuzzy evaluation model, the evaluation factors related to harm degree were identified, and a data model for evaluating the harm degree of major hazard facilities and an appropriate monitoring and management system for different types of major hazard facilities were established. For the same type major hazard facilities, a horizontal evaluation model based on Borda ranking method was built to rank their harm degree, and the corresponding monitoring and management measures were customized based on their ranks to improve the efficiency and reduce the costs for monitoring and management of major hazard facilities.

Key words: evaluation model of major hazard facility; fuzzy mathematic; Borda count method

0 引言

重大危险源是导致重大人身伤亡或重大经济损失事故发生的根源.重大危险事故的不断发生,

使人们认识到,现代工业生产蕴藏着潜在的巨大危险.因此,1970年代以来,引起重大危险事故的危险源受到了国际社会的广泛重视,对重大危险源的研究已成为各国技术发展的重点研究热点之一^[1-5].

收稿日期:2013-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(61272038);河南省科技攻关项目(102102210040)

作者简介:黄艳(1977—),女,河南省信阳市人,郑州轻工业学院讲师,博士,主要研究方向为公共安全应急管理、人工智能.

近年来,对重大危险源的研究重点是如何对重大危险源进行有效地辨识和评估,更好地为重大危险源监控管理提供科学化的决策支持,提高重大危险源的监控管理水平.重大危险源本身具有种类多、分布散、情况杂的特性,重大危险源的辨识和评估是一项十分复杂的技术性工作,需要系统地设计、运行及收集与重大危险源有关的资料和信息.以往对重大危险源的评估往往基于单一的评价或分级模型,评价或分级因素的选择在不同种类的重大危险源之间难以平衡.

现代城市中,易燃、易爆、有毒的重大危险源的存在,构成了危及工业生产和人民群众生命财产安全的隐患.近年来,为了减少重大事故的发生,一些学者提出了重大危险源分级管理的思路:首先对重大危险源进行辨识,然后进行评价分级,可为重大危险源的监管提供依据.刘宏等^[1]根据危险源风险的大小不同对危险源进行分级,并制订合适的安全生产管理制度和控制措施;李德顺等^[2]采用动态分级法将重大危险源分为“化学品重大危险源”和“非化学品重大危险源”,以适应重大危险源管理现状;沙锡东等^[4]提出进行危险化学品危险源分级时,将周边环境可能波及到的财产损失和人员伤亡考虑进去,使得分级考虑的因素更加全面,分级结果和实际情况更加吻合.然而,上述重大危险源分级方法没有区分危险源的类别,也就无法针对不同级别不同类别的危险源分别制订合适的监管措施.鉴于此,本文拟建立模糊数学纵向评价模型对危险源的危害程度进行综合评价,为不同类型的重大危险源建立适当的监控管理体系,建立 Borda 数横向分级模型对同种类型的重大危险源进行分级,以期对同种类型不同级别的危险源定制合理的监控管理措施,提高监控管理效率,降低监控管理成本.

1 评价理论^[3]

1.1 模糊综合评价理论

模糊综合评价理论是 L. A. Zadeh 教授于 1965 年提出的,从此,模糊综合评价理论在各个领域得到了广泛的应用^[6-7].模糊综合评价是对具有多种属性的事物,或者说其总体优劣受多种因素影响的事物,做出一个能合理地综合这些属性或因素的总体评判.

模糊综合评价的基本原理是从影响问题的诸因素出发,确定被评价对象从优到劣若干等级的评

价集合和评价指标的权重,对各指标分别做出相应的模糊评价,确定隶属函数,形成模糊判断矩阵,将其与权重矩阵进行模糊运算,得到定量的综合评价结果.其中,指标权重的计算采用层次分析法,首先将层次结构模型的各要素进行两两比较判断,其次按照一定的标度理论建立判断矩阵,通过计算得到各因素的相对重要度,最后建立权重向量.

1.2 Borda 数评价理论

由于 Borda 数法具有原理简明、易于计算等优点,也常被用来进行样本评价计算,目前已在群体决策、方案论证、人为经济评价、质量评定等诸多领域得以广泛应用^[8-10].

Borda 数法的基本思想是:设 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 为评价对象集合; $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为评价因素集合,对于 V 中的每一个因素 v_i ,都可将 A 中的元素 a_j 排成一个线性序,用记号 $B_i(a_j)$ 表示在 v_i 中落后于 a_j 的个数,则 $B(a_j) = \sum_i B_i(a_j)$ 称为元素 a_j 的 Borda 数.若各评价指标 v_1, v_2, \dots, v_n 的重要程度不同时,应该对其做加权处理,有 $B(a_j) = \sum_i w_i B_i(a_j)$ (其中 $\sum_i w_i = 1, w_i$ 为评价指标 v_i 的权重),按加权后的 Borda 数大小,可对评价对象进行排序和评价.排序时应遵循以下两条原则:

- 1) 当 v_i 为正指标(指标 v_i 值越大的元素,其排序越优先)时,对 A 中的评价对象 a_j 按其对应指标 v_i 的值,从大到小进行排序.
- 2) 当 v_i 为负指标(指标 v_i 值越小的元素,其排序越优先)时,对 A 中的评价对象 a_j 按其对应指标 v_i 的值,从小到大进行排序.

2 重大危险源模糊数学纵向评价模型

重大危险源危险程度的评价指标有很多,按照系统工程的观点,重大危险源是由危险源自身因素、人为因素和周边自然社会环境因素交互作用的动态系统.本文旨在建立重大危险源模糊数学纵向评价模型,以期对不同类型重大危险源危险程度予以科学、合理和全面的评价.

2.1 评价指标的选取

重大危险源危害程度综合评价是对危险源自身特性、人员因素和资源等诸多方面的系统分析.设 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 是一个由评价指标组成的综

合评价指标集.对现有重大危险源的研究资料进行归纳总结,得出下列 10 个重大危险源危险程度评价指标:危险物质的数量、危险物质的能量特性、危险物质的危害特性、工艺过程中的危害特性、建筑及设备的危险特性、财富密集度、人员密集度、安全管理制度、人员安全素质、控制措施.

2.2 计算评价指标的权重

权重的确定:在综合分析结合经验评定的基础上,利用层次分析法,对重大危险源评价指标的重要性做两两比较,由此形成判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$.对判断矩阵采用方根法近似求解其归一化的特征向量 W 和最大特征值,其中特征向量 W 的各分量 w_i 即是各相应指标的权重^[3].

设 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 是重大危险源评价指标的权重集,则 $w_i \leq 1, \sum_i w_i = 1$. w_i 表示第 i 个评价指标在指标集 V 中的权重.

2.3 设计评价集

根据重大危险源危险程度的不同,把重大危险源分为 4 个等级:1 级、2 级、3 级和 4 级,即评语集 $U = (u_1, u_2, u_3, u_4)$.其中, u_1 为 1 级危险源,是危险级别最高的危险源; u_2 为 2 级危险源,是危险级别较高的危险源; u_3 为 3 级危险源,是危险级别较低的危险源; u_4 为 4 级危险源,是危险级别最低的危险源.

2.4 确定隶属函数,构造模糊矩阵

由于重大危险源的评价模型中存在难以量化的因素,基于调查或专家打分的模糊统计法确定隶属函数是较为直观和实用的方法.依据评价等级,对重大危险源每个评价指标进行独立评价,根据其频率统计得出隶属估值.具体可参考文献[3].

构造模糊评价矩阵 R 描述从重大危险源评语集 U 到综合评价指标集 V 的模糊关系

$$R = \begin{pmatrix} R_{11} & \cdots & R_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & \cdots & R_{n4} \end{pmatrix}$$

其中, $R_{ij} (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4)$ 表示对第 i 个评价指标作出的第 j 级评语的隶属度.

2.5 模型求解

根据重大危险源评价指标的权重集 W 和模糊评价矩阵 R ,应用模糊矩阵的复合运算,可得

$$W \circ R = B$$

即

$$(w_1, w_2, \dots, w_n) \circ \begin{pmatrix} R_{11} & \cdots & R_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & \cdots & R_{n4} \end{pmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

令 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, B 是 V 上的模糊子集,为评价指标对评语等级的隶属度.

2.6 采用加权平均法判断最终评价结果

以 V_j 为权重,对重大危险源评价集 B 进行加权平均得到的值作为最终评价结果 T ,即

$$T = \frac{\sum_{j=1}^n B_j V_j}{\sum_{j=1}^n B_j}$$

3 重大危险源 Borda 数横向分级模型

重大危险源的分级不仅是一项技术措施,也是一项政策行为.重大危险源 Borda 数分级模型选取已经发生的重大危险源事故个案做为参考,以当前存在的危险源自身因素、人为因素和周边自然环境因素为依据,对同种类型的重大危险源进行分级处理,以便制订合理细致的监控和管理措施.

设 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 为重大危险源评价对象集合, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为评价因素集合.首先计算 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 在 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 下的 Borda 数.把按 v_i 对 A 中元素排成的线性序列 L_i 记为 $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}$.对于任一 a_j 和 v_i ,用符号 $B_i(a_j)$ 表示在序列 L_i 中落后于 a_j 的元素个数.若 a_j 在 L_i 中排在第 1 位,则 $B_i(a_j) = m - 1$;若 a_j 在 L_i 中排在第 K 位,则 $B_i(a_j) = m - K$. $B_i(a_j)$ 即为重大危险源 a_j 在评价指标 v_i 中的得分.

由于各评价因素(也称评价指标) v_i 的重要程度不同,应该对其进行加权处理.常用的指标权重确定方法有专家咨询法和层次分析法,在本研究中,采用专家咨询法确定重大危险源各评价指标的权重 ($W = (w_1, w_2, \dots, w_n), \sum_i w_i = 1$).因此,基于重大危险源评价指标的分级模型为

$$B(a_j) = \sum_i w_i B_i(a_j)$$

对重大危险源评价对象集合 A 中的评价对象 a_j ,求其对应于评价指标集合 V 中的各评价指标 v_i 的 $B_i(a_j)$ 数之和,即为 a_j 在 V 下的 Borda 数 $B(a_j)$.通过 Borda 数分级模型求得的重大危险源的 Borda 数越大,其危险程度越高,排名越靠前.

4 实验结果

为了测试本文提出的重大危险源评价模型的

有效性,选取了 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{16}\}$ 16 个重大危险源评价对象 (见表 1), 其中 a_1, a_2, \dots, a_8 为同种类型的重大危险源. 首先运用第 2 节所述的“重大危险源模糊数学纵向评价模型”对所有这些重大危险源评价对象进行评价, 10 个评价指标在指标集 V 中的权重见表 2, 评价结果见表 3.

从“重大危险源模糊数学纵向评价模型”的评价结果可以看出, a_1, a_2, \dots, a_8 这 8 个同种类型的重大危险源评价对象的评价结果相同, 都属于 3 级危险源. 这主要是因为对于 a_1, a_2, \dots, a_8 这 8 个同种类型的重大危险源评价对象, 其在表 2 中权重大的 3 个评价指标 v_1 (危险物质的数量)、 v_2 (危险物质的能量特性) 和 v_7 (人员密集度) 具有相近值.

为了对 a_1, a_2, \dots, a_8 这 8 个同种类型的重大危

险源评价对象采取合理高效的监控和管理措施, 再次对其运用“重大危险源 Borda 数横向分级模型”对这 8 个重大危险源评价对象进行评价, 其评价指标集 V 修改为 $V = \{v_3, v_4, v_5, v_6, v_8, v_9, v_{10}\}$, 评价指标在指标集 V 中的权重见表 4, 评价结果见表 5. 表 5 中, 通过 Borda 数分级模型求得重大危险源的 Borda 数越大, 其危险程度越高, 排名越靠前. 编号为 a_6, a_7 和 a_8 的重大危险源为参考危险源, 我们将其 Borda 数大于 a_6 的 Borda 数的重大危险源定义为 1 级危险源; 将其 Borda 数位于 a_6 的 Borda 数与 a_7 的 Borda 数之间的重大危险源定义为 2 级危险源; 将其 Borda 数位于 a_7 的 Borda 数与 a_8 的 Borda 数之间的重大危险源定义为 3 级危险源; 将其 Borda 数小于 a_8 的 Borda 数的重大危险源定义为 4 级危险源.

表 1 重大危险源评价对象

评价对象	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
名称	汽油	汽油	汽油	汽油	汽油	汽油	汽油	汽油	丙酮	爆竹	丙烷	爆竹	丙酮	爆竹	烟花	丙烷
数量/ m^3	90	60	50	80	30	80	70	40	80	90	60	120	100	100	150	70

表 2 纵向评价模型评价指标的权重

评价指标	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}
权重	0.21	0.23	0.023	0.07	0.06	0.1	0.21	0.07	0.02	0.007

表 3 纵向评价模型的评价结果

评价对象	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
评价结果	3 级	3 级	3 级	3 级	3 级	3 级	3 级	3 级	1 级	2 级	4 级	2 级	1 级	2 级	3 级	4 级

表 4 横向评价模型评价指标的权重

评价指标	v_3	v_4	v_5	v_6	v_8	v_9	v_{10}
权重	0.13	0.07	0.16	0.18	0.17	0.12	0.17

表 5 横向评价模型的评价结果

评价对象	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
$B(a_j)$	17.25	12.61	9.32	14.19	7.02	16.60	13.72	7.39
排名	1	5	6	3	8	2	4	7
评价结果	1 级	3 级	3 级	2 级	4 级	参考	参考	参考

从“重大危险源 Borda 数横向分级模型”的评价结果可以看出, a_1, a_2, \dots, a_8 这 8 个同种类型的重大危险源评价对象的评价结果不同, 这主要是因为对于 a_1, a_2, \dots, a_8 这 8 个同种类型的重大危险源评价对象, 其在表 4 中的评价指标取值有差异. 根据表 5 中的评价结果, 对 a_1, a_2, \dots, a_8 这 8 个同种类型的重大危险源评价对象应各自采取合理的监控和管理措施.

5 结论

本文从重大危险源危险程度的共性出发, 对影响重大危险源的主要因素进行深入分析, 建立了重大危险源模糊数学纵向评价模型, 对重大危险源进行综合评价, 并为评价结果相同的同类重大危险源建立 Borda 数横向分级模型进行再次分级, 为重大危险源的监控管理和应急方案提供更加细致全面的理论指导, 以达到提高监控管理效率, 降低系统运行成本的目的. 下一步工作将考虑如何由纵向评价结果自动生成 Borda 数横向分级模型, 提高横向分级的速度和质量.

参考文献:

[1] 刘宏, 唐禹夏, 程宇和. 基于风险管理方法的危险源评价分级研究 [J]. 中国安全科学学报, 2007, 17 (6): 145.

的高校,在相关行业具有明显的产出优势,而且其发展思路稳定,采用立即获得数据样本和后滞信息数据样本没有太大的差异。

决策单元 7,9,14 为近 3 a 刚刚成为省部(局)共建高校,虽然其发展思路明确,特色鲜明,但是近年来的投入不断加大,而当年的产出是基于原有基础的效果,因此由有效决策单元变成弱有效决策单元;而决策单元 13 为今年刚刚更名大学的院校,在投入产出方面的一致性更加明显。

4 结论

本文基于灰色 GM(1,1)模型的信息后滞系统 DEA 评价研究,利用灰色模型对具有数据滞后性的指标系统进行预测,即由已有的历史数据得到具有滞后性特征的合理数据,再进一步对系统进行 DEA 评价。实证分析表明,该方法克服了传统 DEA 的不足,提高了传统 DEA 的应用合理性。在利用基于灰色模型的信息后滞系统 DEA 评价研究模型中,如何利用 GM(1,N)来预测滞后性数据是有待进一步研究的问题。

(上接第 102 页)

- [2] 李德顺,许开立. 重大危险源分级技术的研究[J]. 中国公共安全:学术版,2007,9(3):44.
- [3] 周剑峰,陈国华,万木生,等. 基于多 Agent 的重大危险源分布式监控系统[J]. 华南理工大学学报,2007,35(9):107.
- [4] 沙锡东,姜虹,李丽霞. 关于危险化学品重大危险源分级的研究[J]. 中国安全生产科学技术,2011,7(3):37.
- [5] Zachary F Lansdowne. Ordinal ranking methods for multi-criterion decision making[J]. Naval Research Logistics, 1998,43(5):613.
- [6] Xu Ming, Wu Zongzhi, Duo Yingquan, et al. Unconstrained two-objective land use safety planning for chemical industry park based-on NSGA-II [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2010, 24

参考文献:

- [1] Charnes A, Cooper W W, Rodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429.
- [2] Charnes A, Cooper W W, Golnay B, et al. Foundation of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical function [J]. Journal of Econometrics, 1985, 30(1/2):91.
- [3] 魏权龄. 数据包络分析 [M]. 北京:科学出版社,2004.
- [4] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用 [M]. 5 版. 北京:科学出版社,2010.
- [5] 李刚,李蔚. 基于输出 C^2GS^2 模型对学习成绩(效果)的评价[J]. 数学的实践与认识,2008,38(18):59.
- [6] 王宇熹,汪泓,肖峻. 基于灰色 GM(1,1)模型的上海城镇养老保险人口分布预测[J]. 系统工程理论与实践, 2010,30(12):2244.
- [7] 师宝山,李刚. 基于复合 DEA 模型高校办学效益评价方法研究[J]. 数学的实践与认识,2008,38(11):50.
- [8] 河南省教育厅. 河南省教育统计年鉴 [M]. 开封:河南大学出版社,2012.
- (5):858.
- [7] Sun Dongliang, Jiang Juncheng. Discussion on the several problems in quantitative risk analysis of chemical industry park [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2010,36(5):50.
- [8] Wu Zongzhi, Xu Ming. Optimization method of land-use safety planning for chemical industry park [J]. CIESC Journal, 2011, 62(1):125.
- [9] Li Qiang, Chen Xiang, Chen Jin, et al. An evacuation risk assessment model for emergency traffic with consideration of urban hazard installations [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(10):1000.
- [10] Shi Chao, Luo Aimin, Chen Wentiao, et al. Chemical equipment failure probability model based on JC method [J]. Science & Technology Review, 2011, 29(8):35.