

文章编号: 1673 - 193X(2009) - 04 - 0110 - 05

论基于多元联系数的集对分析评价模型

李德顺¹, 许开立¹, 叶海云²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 沈阳 110004)

(2. 沈阳化工股份有限公司, 沈阳 110142)

摘要:集对分析是一种处理不确定性问题的系统分析方法,利用该方法对系统危险性进行了评价,指出了多元联系数集对分析方法在系统危险性评价中存在的不足,探讨了其应用条件,提出了与系统级别特征值相结合来判断系统危险性级别的方法,并给出了多元联系数集对分析的评价程序。实例表明,该方法科学、可行,为系统危险性评价提供了一种新的思路。

关键词:集对分析;多元联系数;危险性评价;级别特征值;指标权重

中图分类号: X937 **文献标识码:** A

Discussion of set pair analysis assessment model based on multi-contact number

LIDe-shun¹, XU Kai-li¹, YE Hai-yun²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

(2. Shenyang Chemical Industry Co. Ltd, Shenyang 110142, China)

Abstract: Set pair analysis is a system analysis method to deal with uncertain problem. The method was used to system risk assessment. The defects of set pair analysis for multi-contact number in system risk assessment were pointed out, and its application condition in the system risk assessment was discussed. The method to determine system risk level by the risk level eigenvalue was put forward, and the assessment procedure of set analysis for multi-contact number was presented. The example showed that this method is suitable to the risk assessment, and provides a new idea for the risk assessment.

Key words: set pair analysis; multi-contact number; risk assessment; level eigenvalue; index weight

1 引言

20世纪60年代,赵克勤产生了将集合论运用于自然辩证法的想法,经过多年研究,于1989年正式提出了新的不确定性理论-集对分析。它可以统

一描述和处理随机性、模糊性、不完整性等不确定性因素引起的确定不确定系统^[1]。20年来,集对分析如雨后春笋,已经在社会、经济、科技、工程等诸多领域中应用,文献[2]选用集对分析法作为矿井通风系统的评价方法,并对其评价步骤和评价结果进行系统的研究;文献[3]以集对理论为基础,进行了同异反分析,确定了煤矿安全预评价指标和各评价因素的联系度,建立了集对分析评价模型;文献[4]将集对分析的同一度方法应用到政绩考核中,并取得

收稿日期: 2009-04-13

作者简介:李德顺,博士研究生。

了一定的效果。然而,现阶段,集对分析应用多数是三元联系数,虽然文献 [5] 提出了五元联系数集对分析模型,应用在湖泊水质营养化领域,但笔者经过深入分析,认为其在应用方面存在不足之处,因此,本文探讨了多元联系数集对分析在系统危险性评价中的应用条件,并结合系统级别特征值来判断系统最终的危险性状态。

2 集对分析

2.1 基本理论^[1,6]

给定两个集合 A 和 B , 并设这两个集合组成集对 $H = (A, B)$, 在某个具体的问题背景 W 下, 对集对 H 的特性展开分析, 共得到 N 个特性, 其中: 有 S 个为集对 H 中的集合 A 和 B 所共同具有; 在 P 个特性上集合 A 和 B 相对立, 在其余的 $F = N - P - S$ 个特性上既不对立, 又不为这两个集合所共同具有, 则称比值: $\frac{S}{N}$ 为这两个集合在问题 W 下的同一度, 简称同一度; $\frac{F}{N}$ 为这两个集合在问题 W 下的差异度, 简称差异度; $\frac{P}{N}$ 为这两个集合在问题 W 下的对立度, 简称对立度, 并用式 (1) 表示:

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式 (1) 也可表示为 $\mu = a + bi + cj$ a 为同一度, b 为差异度, c 为对立度; i 为差异标记符号或相应系数, 取值区间为 $[-1, 1]$, j 为对立标记符号或相应系数, 规定取值为 -1 。根据定义, a, b, c 满足归一化条件 $a + b + c = 1$ 。

若考虑各特性权重, 则式 (1) 变为:

$$\mu = \sum_{k=1}^S \frac{1}{N} k + \sum_{k=S+1}^{S+F} \frac{1}{N} k i + \sum_{k=S+F+1}^N \frac{1}{N} k j \quad (2)$$

其中, k 为特性权重, 且满足 $\sum_{k=1}^N k = 1$ 。

同时, 集对分析用集对势来反映两个集合的同异反联系程度, 即当联系度 $a + bi + cj$ 中 $c = 0$ 时, 称为同一度 a 与对立度 c 的比值 $\frac{a}{c}$ 为所论集对在指定问

题背景下的集对势, 即 $SHI(H) = \frac{a}{c}$, 集对势的意义在于能反映所论两个集合在指定问题背景下的某种联系趋势, $SHI(H) > 1$ 为同势, $SHI(H) = 1$ 为均势, $SHI(H) < 1$ 为反势, 同势还可以划分为准同势、强同势、弱同势与微同势, 均势与反势也可以划分为四级, 由于篇幅所限, 这里不再详叙, 具体见文献 [1]。

2.2 多元联系数集对分析在系统危险性评价中的应用条件

以上给出了三元联系数集对分析中联系度与集对势的定义及其表达式, 而在实际应用的过程中, 如果将三元联系数中的不确定项 bi 分解, 则可得大于三元的多元联系数表达式 $\mu = a + b_1 i_1 + b_2 i_2 + \dots + b_n i_n + c_j$, 称之为 $n + 2$ 元联系数, 心理学家米勒经过实验证明, 在某个属性上对方案进行判别时, 普通人能正确区别属性的等级在 5 ~ 9 级之间^[7], 而在系统危险性评价中, 通常将等级划分为奇数, 因此, 本文主要针对五元联系数集对分析进行探讨。设系统危险性等级分为 5 级, 见表 1。

表 1 系统危险性分级

危险性级别	1	2	3	4	5
等级论域	危险	较危险	一般安全	较安全	安全

应用五元联系数集对分析法对某系统进行危险性评价后得到的联系度为: $\mu = 0.1 + 0.3i_1 + 0.1i_2 + 0.1i_3 + 0.4j$, 这时, 根据确定性与不确定性各项的系数通常判定 10% 属于“危险”, 30% 属于“较危险”, 10% 属于“一般安全”, 10% 属于“较安全”, 40% 属于“安全”, 由上述的分析可知, “安全”级别所占比例最大, 因此, 最后得出该系统的级别为“安全”, 那么实际上如何呢? 由于“安全”状态 (40%) 小于其它状态之和 (60%), 笔者认为, 该评价结果存在错误的可能性, 值得研究。众所周知, 在模糊评价中, 以最大隶属度为准则, 具有简明、直观的特点, 但不是所有条件下, 该原则都可以应用, 该原则的误用, 会导致不合理的判定结果, 特殊地, 当最大隶属度处于各种状态的中间, 且两侧状态的隶属度值呈对称分布, 按最大隶属度原则所做出的判断才符合实际, 但这样的情

况毕竟是特殊情况,在实际中很难遇到^[8]。在基于多元联系数集对分析的系统危险性评价中存在同样的问题,因此,为了避免评价结果失真,有必要对该问题进行说明并改进。

设在 $[0, 1]$ 闭区间数的连续统的两个极点之间,取 $n+2(n-1)$ 个级别点(含两端极点级别点),应用集对分析对系统危险性进行评价后,得到系统对各个级别点归属程度,分别为 $a, b_1, b_2, \dots, b_n, c$,若满足式(3)、式(4):

$$b_k = \max(a, b_1, b_2, \dots, b_n, c) \quad (3)$$

$$b_k = (a, b_1, b_2, \dots, b_n, c) - b_k \quad (4)$$

可得:

$$b_k > 0.5 \quad (a, b_1, b_2, \dots, b_n, c) \quad (5)$$

式(5)就是基于多元联系数的集对分析在判断系统归属级别时的不适用条件,考虑到集对分析一般满足 $(a, b_1, b_2, \dots, b_n, c) = 1$ 条件,则可得到通常情况下的适用条件为:

$$b_k > 0.5 \quad (6)$$

以上只是假设 b_k 为最大时,当 a 或 c 为最大时,将替换为或即可。同时,本文认为应将上述判断条件和集对势相结合判断系统危险性级别,这样得出的结果才更符合实际情况,毕竟集对势是集对分析的一大特点。

3 集对分析评价模型

以上给出了集对分析在系统危险性评价中的应用条件,那么,怎样弥补该方法在应用时存在的不足就成为分析的重点,在集对分析的基础上,本文认为结合系统级别特征值来判断系统危险性状态更为适合,因为该方法利用了系统各级别变量的全部信息,使样本归属于哪一级别更为全面、客观与科学,从而避免了失真现象的出现,假设系统各级别变量及其归属程度分布见表 2。

表 2 系统各级别变量及其归属程度分布

级别变量	1	2	3	n+1	n+2
级别归属程度	a	b ₁	b ₂	b _n	c

把各级别变量归属程度作为权重,其与对应的级别特征值之积的总和作为系统最终的级别特征值,即

$$\mu_{sum} = \sum_{i=1}^n [a \cdot 1 + b_i \cdot (i+1) + c \cdot (n+2)] \quad (7)$$

式(7)中,当 $i=1$ 时, $\mu_{sum} = a \cdot 1 + b \cdot 2 + c \cdot 3$,即为基于三元联系数集对分析的系统级别特征值,可见式(7)是三元联系数的一般形式,以下给出基于多元联系数集对分析的系统危险性评价程序,见图 1。

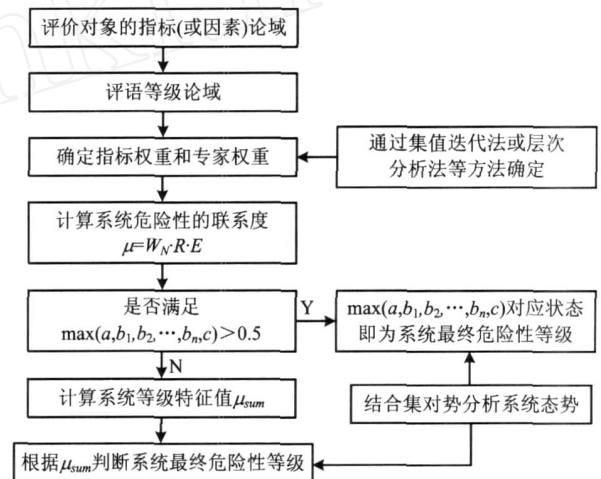


图 1 基于多元联系数集对分析的系统危险性评价程序

4 应用实例

石化行业是一个高风险的行业,由于生产过程中的物料危险性大,工艺技术复杂,运行条件苛刻,装置大型化,生产规模大,连续性强,资金密集等特点,易发生火灾、爆炸事故,造成人员伤亡、财产损失或环境污染的严重后果。因此,利用文献[9]所建立的评价指标体系,从安全管理、工艺过程、作业环境、人员素质、生产设备及安全教育六个方面针对某石化企业生产装置进行危险性评价。

聘请 5 位专家,采取现场打分,评价指标打分标准为五级,分别对应 1、2、3、4、5,其中 1 分属于“危险”,2 分属于“较危险”,3 分属于“一般安全”,4 分属于“较安全”,5 分属于“安全”,系统危险性等

级也分为五级,即“危险”、“较危险”、“一般安全”、“较安全”、“安全”,通过对专家专业、知识水平等因素的考察,取其权重为 $W_N = [0.3, 0.1, 0.2, 0.3, 0.1]$,将专家现场评分结果列入表 3 中。

其中, x_1 :安全管理机构; x_2 :安全组织; x_3 :安全规章制度; x_4 :安全预案演练; x_5 :安全检查; x_6 :劳动保护措施; x_7 :物料危险情况; x_8 :生产组织; x_9 :生产特性; x_{10} :厂区布置; x_{11} :厂区布置; x_{12} :安全组织; x_{13} :安全规章制度; x_{14} :安全预案演练; x_{15} :安全检查; x_{16} :劳动保护措施; x_{17} :物料危险情况; x_{18} :生产组织; x_{19} :生产特性; x_{20} :厂区; x_{21} :安全管理机构; x_{22} :三级教育; x_{23} :安全培训; x_{24} :安全宣传; x_{25} :安全活动。

表 3 某石化企业生产装置危险性评价结果

专家	指标					专家	指标				
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5		N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
x_1	4	4	3	4	4	x_{14}	4	4	4	4	4
x_2	5	5	5	5	4	x_{15}	5	5	4	5	5
x_3	3	3	3	3	3	x_{16}	5	5	5	5	5
x_4	1	2	1	1	1	x_{17}	3	3	3	3	3
x_5	3	3	4	3	4	x_{18}	4	4	4	4	3
x_6	2	2	2	2	3	x_{19}	2	1	1	1	1
x_7	3	3	3	3	3	X_{20}	2	2	2	1	2
x_8	2	2	2	3	3	X_{21}	5	5	5	4	5
x_9	4	5	4	4	4	X_{22}	3	2	3	3	3
x_{10}	5	5	5	5	5	X_{23}	1	1	1	1	1
x_{11}	2	2	1	2	2	X_{24}	4	4	4	4	3
x_{12}	1	1	1	1	2	X_{25}	5	4	5	5	5
x_{13}	3	3	3	3	4						

应用层次分析法确定评价指标权重为: $W = [0.0599, 0.0153, 0.0082, 0.0341, 0.1427, 0.0423, 0.2539, 0.0280, 0.1330, 0.0138, 0.0040, 0.0073, 0.0398, 0.0191, 0.0080, 0.0062, 0.0356, 0.0090, 0.0710, 0.0068, 0.0190, 0.0121, 0.0220, 0.0067, 0.0022]$ 。

通过公式 (2) 计算专家 $N1$ 评价结果为:

$$\mu_1 = 0.0634 + 0.1521i_1 + 0.4923i_2 + 0.2277i_3 + 0.0645j$$

同理可以得到其他 4 位专家评价结果:

$$\mu_2 = 0.1003 + 0.1273i_1 + 0.4802i_2 + 0.0969i_3 + 0.1953j$$

$$\mu_3 = 0.1384 + 0.0771i_1 + 0.4095i_2 + 0.3207i_3 + 0.0543j$$

$$\mu_4 = 0.1412 + 0.0463i_1 + 0.5203i_2 + 0.2489i_3 + 0.043j$$

$$\mu_5 = 0.1271 + 0.0181i_1 + 0.3958i_2 + 0.4120i_3 + 0.0470j$$

结合专家自身的权重,可得联系数为:

$$\mu = [0.3 \quad 0.1 \quad 0.2 \quad 0.3 \quad 0.1] \cdot \begin{bmatrix} 0.0634 & 0.1521 & 0.4923 & 0.2277 & 0.0645 \\ 0.1003 & 0.1273 & 0.4802 & 0.0969 & 0.1953 \\ 0.1384 & 0.0771 & 0.4095 & 0.3207 & 0.0543 \\ 0.1412 & 0.0463 & 0.5203 & 0.2489 & 0.0433 \\ 0.1271 & 0.0181 & 0.3958 & 0.4120 & 0.0470 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ j \end{bmatrix}$$

$$= 0.1118 + 0.0895i_1 + 0.4733i_2 + 0.2580i_3 + 0.0674j$$

由于 $\max(a, b_1, b_2, b_3, c) = 0.4733 < 0.5$, 不满足判断条件,按照基于多元联系数集对分析的系统危险性评价程序可知:需要计算级别特征值 μ_{sum} ,由公式 (7) 得 $\mu_{sum} = 3.08$,可见该生产装置危险性等级为“一般安全”,结合集对势来 $SHI(H) = \frac{0.118}{0.0674} = 1.66 > 1$,就态势而言,该装置处于“微同势”态势,即该生产装置存在危险性,这就提醒企业不能盲目乐观地认为该生产装置处于“一般安全”等级而放弃安全措施的实施,因为就态势而言,该装置还存在一定的危险性,所以企业应该加强管理,定期对其进行检查,防患于未然。

5 结论

本文采用集对分析理论研究了基于多元联系数集对分析的危险性评价方法,该方法将系统各级别集结在一起,通过联系数表达式反映各级别特征的关系,相互联系、相互制约、相互影响,最后通过级别特征值来判断系统的危险性等级,客观、科学、可行,避免了传统评价方法中的不足,兼顾了两种方法的优点,也扩大了集对分析的应用范围,丰富了系统危险性评价方法的内容,相信其有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 叶义成,柯丽华,黄德育.系统综合评价技术及其应用 [M].北京:冶金工业出版社,2006,132~138
YE Yi-cheng, HE Li-hua, HUANG De-yu Technology and application of system comprehensive assessment[M]. Beijing:Metallurgical Industry Press,2006, 132~138
- [2] 万善福,蒋仲安,周姝嫣.集对分析法在煤矿通风系统评价中的应用研究 [J].中国安全生产科学技术,2008,4(6):62~65
WAN Shan-fu, JIANG Zhong-an, ZHOU Shu-yan The study on SPA application into coalmine ventilation system [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(6): 62~65
- [3] 李凡修,陆晓华,梅平,等.煤矿安全预评价的集对分析模型及应用 [J].安全与环境学报,2005,5(1):118~120
LI Fan-xiu, LU Xiao-hua, MEI Ping, et al Set pair analysis model and application for preliminary evaluation of coalmine safety[J]. Journal of Safety and Environment, 2005, 5(1): 118~120
- [4] 张瑞兰,耿建敏.基于动态集对同一度的政府政绩综合评价方法研究 [J].数学的实践与认识,2006,36(4):84~90
ZHANG Rui-lan, GENG Jian-min The Research on Comprehensive Assessment Method of Government Performance Based on Dynamic Set Pair Analysis[J]. MATHEMATICS IN PRACTICE AND THEORY, 2006, 36(4): 84~90
- [5] 王万军.多元联系数集对模型及其评价应用 [J].甘肃联合大学学报(自然科学版),2007,21(4):76~78
WANG Wan-jun The Set Pair Analysis Model for Evaluation of Multi-factor Number and Its Application [J]. Journal of Gansu Lianhe University (Natural Sciences), 2007, 21(4): 76~78
- [6] 赵克勤.集对分析及其初步应用 [M].杭州:浙江科学技术出版社,2000,15~17
ZHAO Ke-qing Preparatory Application of Set Pair Analysis[M]. Huangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000, 15~17
- [7] 孔峰.模糊多属性决策理论方法及其应用 [M].北京:中国农业科学技术出版社,2008,3
KONG Feng Theory and Its Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008, 3
- [8] 陈守煜.工程模糊集理论与应用 [M].国防工业出版社,1998,6~8
CHEN Shou-yu Engineering Fuzzy Set Theory and Applications[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998, 6~8
- [9] 黄敏,左治兴,易斌.基于改进层次分析法的石化生产装置安全评价 [J].工业安全与环保,2008,34(4):40~42
HUANG Min, ZUO Zhi-xing, YI Bin Safety Evaluation for Safety State of Petrochemical Production Installations Based on Improved Analytic Hierarchy Process (AHP) [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2008, 34(4): 40~42

中国安科院矿山所与邯邢冶金矿山管理局合作开展矿山标准化工作

2009年7月27日,中国安全生产科学研究院矿山安全技术研究所相关研究人员参加了邯邢冶金矿山管理局标准化工作交流会。安科院研究人员分为地下矿山技术组、地下矿山设备组、尾矿库技术组和安全组四个小组,分别对邯邢冶金矿山管理局所属北河铁矿和西石门铁矿开展标准化工作进行了具体指导,使得两矿标准化工作思路更加明晰,为标准化工作的顺利实施提供了技术支撑。

此前,中国安科院总工程师张兴凯就开展标准化工作与邯邢冶金矿山管理局安全环保部部长张增学进行会晤。会上双方就邯邢冶金矿山管理局开展标准化工作的工作方案进行了完善。会后对邯邢冶金矿山管理局局级领导和中层干部进行了为期2天的安全标准化培训工作,取得了良好的效果。