

重大危险设备的确定及其失效后果严重度分析*

程凌¹ 工程师 华洁² 讲师 陈正南¹

(1 江苏省安全生产科学研究院, 南京 210042 2 南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037)

学科分类与代码: 620.5020

中图分类号: X924.4

文献标识码: A

资助项目: 江苏省省属科研院所社会公益研究和服务专项(BM2007707)。

【摘要】 采用火灾、爆炸危险指数(F&EI)方法对石化设备的危险性进行评价, 根据计算设备的危险指数值来确定其是否为重大危险设备; 应用模糊综合评价方法对石化装置失效后果严重程度进行综合评价研究, 建立了石化装置失效后果严重程度的综合评价指标体系; 采用定性与定量相结合的层次分析法计算评价因素的权重, 运用模糊综合评判理论, 提出失效后果严重度的二级模糊综合评价方法, 实现对其失效后果严重度的综合评判。实例表明: 模糊综合评价方法可操作性强、效果较好, 可在石化装置失效后果严重度评价中广泛应用。

【关键词】 重大危险设备; 火灾爆炸危险指数(F&EI); 失效后果; 严重度; 模糊综合评价

The Determination of High-risk Equipment and Its Failure Consequence Analysis

CHENG Ling¹, Engineer HUA Jie², Lecturer CHEN Zheng-nan¹

(1 Jiangsu Academy of Safety Science & Technology, Nanjing 210042, China

2 College of Mechanical & Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Fire and Explosive Index (F&EI) method is firstly used to assess the safety level of petrol chemical equipment, and according to the danger index obtained by F&EI, the high-risk equipments are determined. Then, for these high-risk equipments, safety assessment is conducted on their failure severity with fuzzy comprehensive evaluation method, the comprehensive assessment index system for the failure of high-risk equipments is constructed, and the weight of each index is determined through AHP (the analytic hierarchy process). On this basis, a two-layer fuzzy comprehensive assessment model for consequence evaluation of high-risk equipment is set up. The illustration shows that the fuzzy comprehensive evaluation method is practical and effective, and can be widely used in the failure consequence assessment of petrol chemical equipment.

Key words: major hazard equipment; fire and explosive index(F&EI); failure consequence; severity; fuzzy comprehensive assessment

0 引言

在石油化工行业的生产中, 由于工况及环境较为恶劣, 石化装置多为承载易燃、易爆、有毒、有害、易腐蚀等介质, 或在高温、高压、真空、深冷、临氢、烃氧化等条件下运行, 设备和装置的安全运行显得极其重要。特别是随着生产日趋复杂和规模的扩大,

潜在事故隐患有增大的趋势。石化企业中运行的设备一般都是危险性大、专业性强的设备, 其一旦失效发生事故, 将导致巨大的人员伤亡和财产损失。例如:

1989年美国德克萨斯州一个乙烯工厂由于密封爆裂造成大量易燃气体泄漏爆炸起火, 造成23人遇难, 工厂严重损坏;

* 文章编号: 1003-3033(2009)05-0129-06; 收稿日期: 2009-01-19; 修稿日期: 2009-04-30

1996年墨西哥石油公司罐区的一个过期的阀门故障引起爆炸,4人死亡,19人受伤,损失500万美元,5 000人被撤离;

1999年泰国润滑油炼油厂油罐区起火,一天中伤亡近100人,除了5个油罐损坏,10万升汽油也被烧掉。

据权威部门统计,一年内仅美国,由于事故在石油化工领域造成的经济损失就高达200亿美元。

近30年以来,石化企业100件重大损失事故统计表明,在众多的因素中,设备故障的比例高达43%^[1]。因此,设备的安全运行对石化企业的安全生产起到重要作用,开展在役石化装置的风险评价研究,特别是石化装置中重大危险设备的风

企业的生产经营中起着重要作用。

失效后果严重性分析是风险评价的一个重要方面。进行失效后果严重性评价与预测,其中重要内容之一是对失效可能导致灾害性质的分析。不同的危险介质在不同的生产装置和不同的工况下,其失效后所产生的灾害有不同的形式。即使是相同的介质,在不同的工况下,其失效所导致的灾害形式也不一样,产生后果的严重程度亦各不相同。

石化企业的安全管理是以预防事故为中心的,常常需要对危险性等级及可能导致损伤的严重程度进行客观的评定,划定安全与危险、可行与不可行的界限,这就需要进行危险源的辨识与风险评价。进行石化装置失效后果分析的具体流程如图1所示。

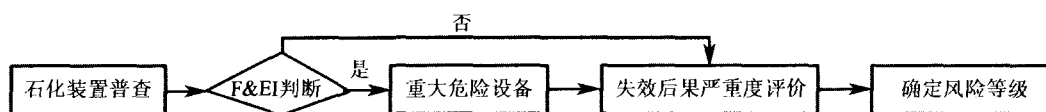


图1 石化装置失效后果分析流程

1 重大危险设备的确定

重大危险设备是指石化工业生产中的关键设备,又是存在重大安全隐患的危险设备。它是否能安全运行,直接关系到石化工业的安全生产。因此,开展重大危险设备的风险评价方法研究对保证石化工业安全生产具有重要意义。

石化企业中的重大危险设备一般为成套装置中的关键设备,它的安全运行对装置的安全起到举足轻重的作用。其工况较恶劣,且结构复杂,安全检查、检修、维修困难,安全隐患较多;一旦发生事故,破坏严重,损失巨大。在《危险化学品从业单位安全标准化规范》^[2]中,将关键装置定义为在易燃、易爆、有毒、有害、易腐蚀、高温、高压、真空、深冷、临氢、烃氧化等条件下进行工艺操作的生产装置。

上述定义过于笼统,没有定量地给出重大危险设备的定义。石化企业中运行的设备并不都是重大危险设备,即使是在《危险化学品从业单位安全标准化规范》中所定义的部分工艺或工况下运行的设备,也不完全都是重大危险设备。

笔者将采用美国道化学公司火灾爆炸危险指数评价(F&EI)方法对能导致火灾爆炸的情况进行分析,根据F&EI评价的结果来判断设备是否为重大危险设备。

F&EI评价法是对工艺装置及所含物料的潜在

火灾爆炸和反应性危险进行逐步推算的客观评价方法^[3]。该评价方法已日趋成熟,被化学工业和石油化学工业公认为最主要的危险评价方法。用火灾、爆炸指数来估计生产事故可能造成的破坏,为了对火灾、爆炸的严重程度有一个相对的认识,建立F&EI与危险程度之间的关系,如表1所示,当F&EI值超过128时,即认为该设备为重大危险设备,需要进行进一步的定量分析,计算危险事件的严重度。

表1 F&EI的危险等级

F&EI 值	危险等级	F&EI 值	危险等级
1 ~ 60	最轻	128 ~ 158	很大
61 ~ 96	较轻	> 158	非常大
97 ~ 127	中等		

2 失效后果严重度等级的划分

重大危险设备的事故具有危害严重、发生频率低等特点,目前石化企业应用的风险评价方法都是根据不同的对象和要求开发出来的,它们有其各自的特点,也有各自的适用范围或局限性。在确定重大危险设备失效后果严重程度时,主要有两个问题:一是严重程度等级的划分;二是对失效后果多因素判断与综合评价方法的探索。

关于失效后果严重程度等级的划分,不同行业根据各自的工作性质有着不同的划分标准。例如:

《锅炉压力容器压力管道特种设备事故处理规

定》^[4]将失效后果严重度划分为5个等级,即特别重大事故、特重大事故、重大事故、严重事故和一般事故;

中国石油化工股份有限公司将失效后果的严重度划分为3个等级,即特重大事故、重大事故和一般事故^[5];

GB6411《企业职工伤亡事故分类》^[6]则将事故分为轻伤事故、重伤事故和死亡事故。

失效后果的严重性,除了按照人员伤亡、财产损失等指标进行评价外,还必须考虑多方面因素的影响,例如:对环境的影响程度、对企业信誉的影响程度等。在对这些因素进行分析的过程中,涉及了许多难以定量表述的内容,必须利用人的经验判断与推测。人的经验是很宝贵的,但在阐述时,往往在量上没有明确的界限,具有一定程度的模糊性。为了解决这个问题,基于模糊集理论的模糊综合评价方法显示出其强大的优势^[1,7]。

模糊综合评价方法是基于模糊集理论和最大隶属度原则或加权平均法对多因素系统的特征进行总体评价的一种方法。通过构造等级模糊子集把反映被评价事物的模糊指标进行量化(即确定隶属度),然后利用模糊变换原理对各指标综合。该方法应用范围广泛,是解决多因素复杂问题行之有效的工具。

3 多层次模糊综合评价原理

在复杂的系统中,考虑的因素多,而且各因素之间有层次之分,用多层次模糊综合评价方法能够比较好地解决系统安全评价问题,其具体步骤如下^[8-10]。

3.1 建立因素集 U

进行模糊综合评价的第一步是确定石化装置失效后果严重度的主要因素,并将它们列成集合, $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 。式中 U 代表论域称因素集, u 代表影响因素,每个因素按照对评价对象的影响程度可以分为 m 个等级, $u_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}) (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

3.2 建立评价集

根据石化装置失效后果严重度,建立评价集 $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ 。式中 V 代表评价集, v 代表评价指标。文中共分为5个等级。

3.3 建立因素等级评价集

每一个因素等级对于评价集的评价指标都有一

定的影响,其影响程度可用隶属度函数表示,将其写成矩阵形式:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1k} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{im1} & r_{im2} & \cdots & r_{imk} \end{bmatrix}, \text{ 即为第 } i \text{ 个因素的}$$

等级评价矩阵。

3.4 建立因素等级的权重集

所谓权重,即表征各因素等级所对应的重要性大小的量值。设 $u_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 表示第 i 个因素第 j 个等级,它对应的权重为 a_{ij} ,则对于 u_i 的等级权重集为 $A(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ 。

因素权重集的确定是综合评价中关键的环节,确定得恰当与否,直接影响综合评价的结果。确定权重集的方法很多,常用的方法有德菲尔法、专家估测法、层次分析法等。笔者采用层次分析法计算的结果建立子目标权重分配集 A : 且满足条件 $0 < A_i < 1, \sum_{i=1}^n A_i = 1, (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

3.5 一级模糊评价:

一级模糊评价是对每一个因素的各个等级对评价对象的影响。

$$\bar{B}_i = \bar{A}_i \cdot \bar{R}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$$

$$\begin{bmatrix} b_{i11} & b_{i12} & \cdots & b_{i1k} \\ b_{i21} & b_{i22} & \cdots & b_{i2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{im1} & b_{im2} & \cdots & b_{imk} \end{bmatrix} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik}) \quad (1)$$

式中, $\cdot$ 表示模糊矩阵的合成运算,采用“ $\cdot, +$ ”算法,其表达式为 $b_{ik} = \sum a_{ij} r_{ijk}$,于是得到一级评价矩阵 R_i :

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.6 二级模糊评价:

一级模糊综合评价,反映单因素不同等级对评价对象的影响;二级模糊综合评价是考虑各因素对评价对象的综合影响。由于涉及的因素较多,为了综合考虑各个因素对评价结果的总体影响,必须进行二级模糊综合评价。

$$\bar{B} = \bar{A} \cdot \bar{R} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \cdot \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1k} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nk} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中，“·”模糊矩阵合成运算采用“·，+”算法。

4 实例应用

现以某石化工厂一台二甲醚球罐发生火灾、爆炸为例，采用 F&EI 评价法进行重大危险设备确定，进而用模糊综合评价法对其造成的后果严重性进行评价。

由危险源辨识可知，二甲醚球罐易发生火灾、爆炸事故。现将二甲醚球罐(3 000 m³)作为一个评价单元，应用美国道化学公司 F&EI 评价法对其进行评价，以确定二甲醚球罐的危险指数，确定其是否为重大危险设备。

二甲醚球罐的火灾、爆炸指数评价结果汇总表

表 3 失效后果等级划分表

因素	等级	失效后果因素等级				
		I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
受伤人数 u_1		无	<19 人	20 ~ 49 人	50 ~ 99 人	≥100 人
死亡人数 u_2		无	1 ~ 2 人	3 ~ 9 人	10 ~ 29 人	≥30 人
财产损失 u_3		<50 万元	50 ~ 100 万元	100 ~ 500 万元	500 ~ 1 000 万元	>1 000 万元
对人体危害程度 u_4		无影响	轻度危害	中度危害	高度危害	极度危害
停产损失 u_5		损失可忽略	损失较小	损失一般	损失较大	损失极大
环境影响程度 u_6		无影响	轻度污染	中度污染	高度污染	极度污染
企业信誉影响程度 u_7		无影响	轻度影响	中度影响	高度影响	极度影响
其他潜在影响 u_8		无影响	轻度影响	中度影响	高度影响	极度影响

根据该二甲醚球罐发生火灾、爆炸的具体情况 and 损失大小，设定该装置失效所造成的后果为

u_1 受伤人数——II 级

u_2 死亡人数——II 级

u_3 财产损失——III 级

u_4 对人体危害程度——III 级

u_5 停产损失——I 级

u_6 环境影响程度——II 级

u_7 企业信誉影响程度——III 级

u_8 其他潜在影响——II 级

为了进一步计算，必须确定每个因素各自 5 个等级的隶属函数。

由于各个因素及其所处状态的模糊性，因此，将各个因素视为等级集上的模糊子集。每个因素的各个等级对该因素的隶属度根据具体评定的在役压力

于表 2 中。

表 2 3 000 m³ 二甲醚球罐火灾、爆炸指数评价汇总表

F&EI 值	168	工艺单元危险系数 F_3	8
危险程度	非常大	MF	21
安全措施补偿系数 C	0.69	破坏系数	0.82
$F&EI \times C$	115.92	暴露半径(m)	43.0
实际危险程度	中等	暴露面积(m ²)	5 806

由计算结果可知，F&EI 评价结果为 168，根据表 1 可知二甲醚球罐的级非常大，属于重大危险设备，需采用模糊综合评价方法对其作进一步评价。

4.1 建立因素集 U

进行模糊综合评价的第一步是确定石化装置失效后果的主要影响，笔者根据国家质量监督检验检疫总局对失效后果严重性等级划分的标准，并参考相关文献[11]，编制如表 3 所示的因素等级表，作为评价的依据。

容器的实际情况来确定。如何确定隶属函数，目前还没有一个完全客观的评定标准。

笔者选择最为常用的线性分布隶属函数——三角形函数作为隶属函数^[12]，确定因素的具体等级隶属于 1 ~ 5 等级的隶属度。该方法将各因素所处的高低、大小、优劣状态等级都可给予一个相应的分值，相邻等级以其影响评价结果的高低程度以等差值递增或递减。

当确定某个具体等级隶属于 1 ~ 5 等级的隶属度时，可由如图 2 所示的隶属函数形式：某个等级隶属于同一等级的隶属度为 1，隶属于其他等级的隶属度是按相差程度一致来确定的，等级之间隶属度的级差采用等差值 0.20。

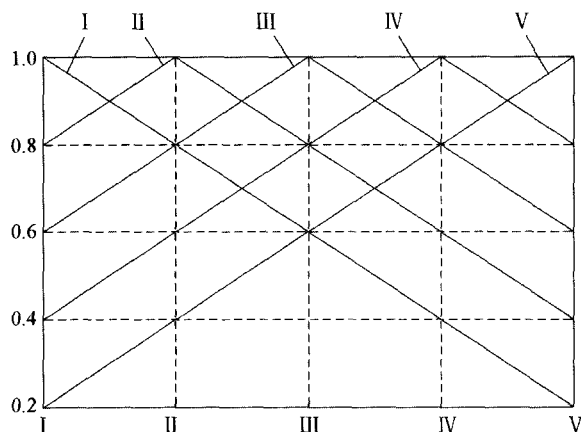


图2 因素等级对应于各等级的隶属度函数图

$$\bar{A}_i = \begin{bmatrix} 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 \\ 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 \\ 0.6 & 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 \\ 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 \\ 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{归一化}}$$

$$\begin{bmatrix} 0.2222 & 0.2778 & 0.2222 & 0.1667 & 0.1111 \\ 0.2222 & 0.2778 & 0.2222 & 0.1667 & 0.1111 \\ 0.1579 & 0.2105 & 0.2632 & 0.2105 & 0.1579 \\ 0.1579 & 0.2105 & 0.2632 & 0.2105 & 0.1579 \\ 0.3333 & 0.2667 & 0.2000 & 0.1333 & 0.0667 \\ 0.2222 & 0.2778 & 0.2222 & 0.1667 & 0.1111 \\ 0.1579 & 0.2105 & 0.2632 & 0.2105 & 0.1579 \\ 0.2222 & 0.2778 & 0.2222 & 0.1667 & 0.1111 \end{bmatrix}$$

(i=1,2...8)

4.2 建立评价集

根据装置失效后果的严重程度,将其分为5个等级,用模糊语言标识为

$V = \{\text{不严重, 不太严重, 严重程度一般, 比较严重, 非常严重}\}$

4.3 建立因素等级评价集

每一个因素等级对于评价集的评价指标都有一定的影响,其影响程度可用隶属度函数表示。文中隶属函数的取值,仍采用线性分布——三角形函数。

列出因素等级矩阵如下:

$$\bar{R}_i = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.8 & 1.0 & 0.8 & 0.6 \\ 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1.0 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.8 & 1.0 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{归一化}}$$

$$\begin{bmatrix} 0.3330 & 0.2670 & 0.2000 & 0.1330 & 0.0670 \\ 0.2220 & 0.2780 & 0.2220 & 0.1670 & 0.1110 \\ 0.1575 & 0.2110 & 0.2630 & 0.2110 & 0.1575 \\ 0.1110 & 0.1670 & 0.2220 & 0.2780 & 0.2220 \\ 0.0670 & 0.1330 & 0.2000 & 0.2670 & 0.3330 \end{bmatrix}$$

(i=1,2...8);

4.4 建立因素等级的权重集

所谓权重,即表征各因素等级所对应的重要性大小的量值。文中采用层次分析法来确定权重。

判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 1/7 & 1/4 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/7 \\ 1/2 & 7 & 1 & 3 & 1 & 3 & 2 & 1/3 \\ 1 & 4 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 5 & 1 & 3 & 1 & 3 & 1/4 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/6 \\ 1 & 5 & 1/2 & 3 & 4 & 3 & 1 & 1/3 \\ 3 & 7 & 3 & 3 & 3 & 6 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

经计算,一致性指标 $CI = 0.09389$,查得平均随机一致性指标 $RI = 1.41$,因此,可得到总体一致性比率 $CR = CI/RI = 0.06659 < 0.1$,由此可得,判断矩阵满足一致性检验。因此,得出各因素的权重 $\bar{A}$ 为

$$\bar{A} = (0.1431 \quad 0.0243 \quad 0.1440 \quad 0.0676 \quad 0.1065 \quad 0.0521 \quad 0.1506 \quad 0.2120)$$

4.5 一级模糊评价:

首先,根据上述计算结果进行一级模糊综合评价:

$$\bar{R}_1 = \bar{A}_1 \cdot \bar{R}_1 = (0.2222, 0.2778, 0.2222, 0.1667, 0.1111) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.333 & 0.267 & 0.2 & 0.133 & 0.067 \\ 0.222 & 0.278 & 0.222 & 0.167 & 0.111 \\ 0.1575 & 0.211 & 0.263 & 0.211 & 0.1575 \\ 0.111 & 0.167 & 0.222 & 0.278 & 0.222 \\ 0.067 & 0.133 & 0.2 & 0.267 & 0.333 \end{bmatrix} =$$

$$(0.1968, 0.2258, 0.2239, 0.1986, 0.1548)$$

同理可得:

$$\begin{aligned}\bar{R}_2 &= (0.1968, 0.2258, 0.2239, 0.1986, 0.1548) \\ \bar{R}_3 &= (0.1749, 0.2121, 0.2260, 0.2121, 0.1749) \\ \bar{R}_4 &= (0.1749, 0.2121, 0.2260, 0.2121, 0.1749) \\ \bar{R}_5 &= (0.2212, 0.2362, 0.2215, 0.1858, 0.1353) \\ \bar{R}_6 &= (0.1968, 0.2258, 0.2239, 0.1986, 0.1548) \\ \bar{R}_7 &= (0.1749, 0.2121, 0.2260, 0.2121, 0.1749) \\ \bar{R}_8 &= (0.1968, 0.2258, 0.2239, 0.1986, 0.1548)\end{aligned}$$

4.6 二级模糊评价:

利用一级模糊评价的结果,进行二级模糊综合评价:

$$\bar{B} = \bar{A} \cdot \bar{R} = (0.1431, 0.0243, 0.1440, 0.0676, 0.1065, 0.0521, 0.1506, 0.2120) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.1968 & 0.2258 & 0.2239 & 0.1986 & 0.1548 \\ 0.1968 & 0.2258 & 0.2239 & 0.1986 & 0.1548 \\ 0.1749 & 0.2121 & 0.2260 & 0.2121 & 0.1749 \\ 0.1749 & 0.2121 & 0.2260 & 0.2121 & 0.1749 \\ 0.2212 & 0.2362 & 0.2215 & 0.1858 & 0.1353 \\ 0.1968 & 0.2258 & 0.2239 & 0.1986 & 0.1548 \\ 0.1749 & 0.2121 & 0.2260 & 0.2121 & 0.1749 \\ 0.1968 & 0.2258 & 0.2239 & 0.1986 & 0.1548 \end{bmatrix} =$$

$$(0.19147, 0.22195, 0.22441, 0.20216, 0.16002)$$

根据计算结果,按照最大隶属度原则,得出二甲醚球罐失效后果的严重程度为一般。

5 结 论

笔者根据 F&EI 方法对石化设备的危险性进行评价,根据计算设备的危险指数值来确定其是否为

重大危险设备,进而对石化装置失效后果的严重程度进行风险评价。石化装置失效后果模糊风险评价方法,是针对石化装置的事故发生数据不足的特点,引入了模糊集的知识来解决数据的不确定性,对装置的失效后果进行风险评价,确定其危险程度,从而指导设备安全管理和检修维修工作。综合的分析和研究,有以下几点结论:

1) 根据 F&EI 方法对石化设备的危险性进行评价,根据计算设备的危险指数值来确定其是否为重大危险设备。

2) 根据石化装置发生事故调查资料,归纳成 8 个因素,每个因素分为 5 种状况等级的失效后果严重程度模糊评价方法,为石化设备风险评价中失效后果严重程度评价的难题,提供了解决的途径。

3) 应用模糊综合评价法,可以全面考虑影响系统安全的各种因素,将定性和定量的分析有机地结合起来,既能够充分体现评价因素和评价过程的模糊性,又尽量减少个人主观臆断所带来的弊端,比一般的评价方法更符合客观实际。因此,评价结果更可信、可靠。

4) 该方法易于实现计算机程序化,在计算机上即可得出评价人员因素评价结果,直观易懂、可操作性强,具有一定的应用价值,是一种较好的系统安全评价方法。

5) 虽然在模糊综合评判的过程中采用了模糊的概念来表示某些参量,以及对一些难以用数字精确衡量的参量采用模糊的语言来划分其等级,事实证明,采用的模糊概念的存在并不影响其最终结果。

参 考 文 献

- [1] 赵俊茹. 石化企业重大危险设备模糊概率风险评价方法研究[D]. 大庆:大庆石油学院, 2006
- [2] 国家安全生产监督管理总局. 危险化学品从业单位安全标准化规范(试行)[Z], 2005
- [3] 国家安全生产监督管理总局编. 安全评价[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1988
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局令 2 号. 锅炉压力容器压力管道特种设备事故处理规定[Z], 2001
- [5] 中国石油化工集团公司文件. 中国石油化工集团公司安全生产监督管理制度(中国石化安[2004] 553 号)[M]. 北京:中国石化出版社, 2004
- [6] 中华人民共和国国家标准. 企业职工伤亡事故分类[S]. GB6441—1986, 1986
- [7] 张艳丽, 赵建平. 设备重要度的模糊综合评判[J]. 南京化工大学学报, 1999, 21(6): 40—43
- [8] 韩利, 梅强, 陆玉梅等. AHP—模糊综合评价方法的分析与研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(7): 86—89
- [9] 肖红飞, 彭斌, 李树清. 基于层次分析—模糊综合评判的电解车间安全现状评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(11): 152—157
- [10] 李树清, 谢正文, 王鹏飞. 石化生产装置安全现状模糊综合评价方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(1): 121—125
- [11] 中华人民共和国国家标准. 职业性接触毒物危害程度分级[S]. GB5044—1985, 1985
- [12] 戴树和. 工程风险分析技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2007