

陈文涛, 葛世友. 基于三角模糊数的化工园区事故应急救援能力评价[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 167–171. [Chen Wentao and Ge Shiyu. Capability evaluation on emergency response ability for accidents in chemical industry parks based on triangular fuzzy number[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 167–171.]

# 基于三角模糊数的化工园区事故应急救援能力评价<sup>\*</sup>

陈文涛<sup>1,2</sup>, 葛世友<sup>2</sup>

(1. 北京城市系统工程研究中心, 北京 100089; 2. 中国职业安全健康协会, 北京 100013)

**摘 要:** 在化工园区事故风险分析的基础上, 以危险化学品泄漏事故为对象, 从化工企业、园区自身、外部援助3个责任主体方面分析应急救援能力需求, 针对性构建应急救援能力评价指标体系; 对评价指标进行分类量化处理, 建立风险和应急救援能力之间的联系; 基于三角模糊数理论和模糊综合评价理论建立了模糊综合评价模型。通过上述指标体系和评价模型从而达到对化工园区事故应急救援能力综合评价的目的。某化工园区应用实例评估分析结果表明该模型及评价方法具有较强的实用性和借鉴价值。

**关键词:** 化工园区; 泄漏事故; 救援能力; 评价指标; 三角模糊数

**中图分类号:** X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2015)02–0167–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.02.033

2000年以来我国相继建立的各类化工园区有千余家, 其中省级以上人民政府批准建设的化工园区有592家<sup>[1]</sup>。近年来, 化工园区向着大型一体化、集约化、深加工方向不断发展, 其事故风险显著提高。化工园区内由于化工企业相对集中, 生产、储存、使用了大量的危险化学品且种类繁多, 化学工艺复杂, 装置规模巨大, 操作条件苛刻, 稍有不慎, 就有可能发生危险化学品泄漏、火灾、爆炸事故, 极易造成大面积的群死群伤事故<sup>[2]</sup>, 威胁周边区域人民生命安全。如2005年11月13日, 中石油吉林石化公司双苯厂苯胺装置发生危险化学品特大燃爆事故, 造成8人死亡, 1人重伤, 59人轻伤, 疏散群众10 000多人, 同时造成下游和国外地域水体严重污染; 2008年8月26日, 广西广维化工股份有限公司有机车间发生爆炸事故, 造成20人死亡, 61人受伤, 11 500多名群众紧急疏散。建立基于风险的应急救援体系及能力评价体系, 针对性提高应急救援能力对于降低化工园区事故风险, 减缓事故后果具有重要意义。

国内外最早开始在公共安全等方面开展的应急能力评价体系研究, 主要是针对特定对象的综合应急能力或某类灾害的综合应对能力评价<sup>[3–6]</sup>, 化工园区应急能力评价研究较少且侧重于综合评价研究<sup>[7]</sup>, 缺乏对特殊灾害救援能力评价的深入研究。笔者以化工园区危化品泄漏事故为研究对象, 按照突发事件分级响应原则, 从事故处置中相关参与和影响的主体出发, 有针对性地构建评价指标体系, 以三角模糊数和模糊综合评价理论

为基础, 建立综合评价模型并进行实证分析。

## 1 评价指标体系构建

### 1.1 评价指标分析

化工园区危险品泄漏事故的应急救援处置需要企业、园区自身、外部援助力量的参与, 构建评价指标体系要从这些事故处置相关参与和影响的主体出发, 综合考察化工企业的救援能力、园区自身应急救援能力和外部援助能力<sup>[8]</sup>。

发生事故后, 企业应立即开展救援行动, 进行现场应急处置, 并和场外进行沟通合作。当事故超出企业现场处置范围时, 园区应立即协调辖区内资源, 开展救援处置。由于泄漏事故应急救援的复杂性以及园区资源的占有量和等级水平, 决定了其在救援处置中必须获得充分的上级业务部门指导和社会支持系统的配合, 而此能力的获得除了上级政府部门的命令外, 还必须在平时加强与周边社区的沟通与协调。在充分考虑各相关因素的基础上<sup>[8]</sup>, 针对泄漏事故建立应急救援处置评价指标体系。

### 1.2 评价指标的量化处理

为了提高指标量化的科学性, 将评估指标按三种类型进行量化: 第一类是可调查性指标, 有一定的统计数据指标, 或通过数据统计分析, 明确一种或几种关键要素作为定量的主要指标, 如安全管理人员应急意识、应急联动机制等, 只需作一般的数学处理就能获得明确的结果; 第二类

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014–09–01

修回日期: 2014–10–27

基金项目: 国家自然科学基金研究项目(71162024, 71362019); “十一五”国家科技公关计划(2007BAK22B04)

作者简介: 陈文涛(1983–), 男, 安徽宿松人, 博士, 助理研究员, 研究方向为应急管理、社区安全管理。

E-mail: Cwt123@vip.sina.com

是经验性指标, 缺少具体的可量化测量工具, 因此根据相关管理者经验或专家评分进行量化, 例如地区应急技术水平、横向协作程度等; 第三类是可计算指标, 通过事故后果模拟或计算取得所需理想值, 再经过简单的数学处理就可得到明确的结果, 例如, 疏散管理人员配备率、医疗床位数达标率等。这种处理方法合理对评价指标进行了量化处理, 又使应急救援能力评价建立在事故后果分析的基础上, 从而建立风险和应急救援能力之间的联系。按照 3 种类型对不同指标进行量化处理。如表 1 所示。

2 三角模糊数综合评价模型

2.1 三角模糊数及改进的层次分析法

按照模糊数理论<sup>[9]</sup>, 设  $A$  是实域  $R$  上的正规  $F$

集, 且存在任意的  $\lambda \in [0, 1]$ , 使得截集  $A_\lambda = \{x | \mu_A(x) \geq \lambda\}$  均为一闭区, 即  $A_\lambda = [a_\lambda, b_\lambda]$ , 则称  $A$  为一个模糊实数, 简称模糊数。隶属函数成三角形的模糊数称为三角模糊:

$$\mu_A(X) = \begin{cases} \frac{x - a^-}{a^* - a^-}, x \in [a^-, a^*]; \\ \frac{a^+ - x}{a^+ - a^*}, x \in [a^*, a^+]; \\ 0, x \in (-\infty, a^-) \cup [a^+, +\infty) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\mu_A(x)$  称为“隶属函数”, 具有上述隶属函数的三角模糊数可记为  $(a^-, a^*, a^+)$ 。其中  $a^-$  称为三角模糊的下限,  $a^*$  称为三角模糊数的重心,  $a^+$  称为三角模糊的上限。层次分析法<sup>[9]</sup>的基本思路是把复杂的问题分解成各个因素, 将各个因素按关系分组, 形成有层次的结构, 通过两两比较的方式, 综合判断计算诸因素的相对重要性, 从而构造判断矩阵。但两两因素重要性对比, 前者与后者重要性“相当”, 或者前者比

表 1 化工园区事故应急救援能力评价指标体系及权重

A层目标层	B层 (准则层) 权重	C层 (一级指标) (相对上层指标的权重)	D层 (二级指标) (相对上层指标的权重)	指标测评量化方法
化工园区事故救援能力	企业应急救援能力 B1 (0.496)	企业人员 C1 (0.408)	现场人员的应急技能 D1 (0.480)	考核合格率
			管理人员应急技能 D2 (0.188)	持证率
			救援队伍人员技能 D3 (0.332)	救援队伍达标率
		应急设备设施 C2 (0.222)	重大源危险监控设备 D4 (0.359)	报警设备配备率
			现场应急物资 D5 (0.284)	应急物资配备率
			救援队伍救援设备 D6 (0.217)	队伍设备配备率
		现场应急指挥与处置 C3 (0.170)	医疗防护设施 D7 (0.140)	气防站达标率
			应急组织机构 D8 (0.212)	机构达标率
			应急指挥系统 D9 (0.227)	系统达标率
			应急通讯网络 D10 (0.282)	通讯网络达标率
			应急预案 D11 (0.139)	应急预案达标率
			应急演练与培训 D12 (0.140)	应急演练达标率
化工园区事故救援能力	园区自身应急救援能力 B2 (0.312)	场外沟通合作 C4 (0.200)	安全报告 D13 (0.309)	安全报告备案率
			应急预案备案 D14 (0.353)	应急预案备案率
			社区宣传 D15 (0.338)	社区宣传的比率
		日常应急准备 C5 (0.126)	应急组织机构 D16 (0.374)	组织成员覆盖率
			应急预案 D17 (0.224)	应急预案达标率
			应急演练与培训 D18 (0.264)	应急演练达标率
		消防救援能力 C6 (0.139)	应急联动机制 D19 (0.138)	联动平台覆盖率
			消防人员素质 D20 (0.160)	技能考核合格率
			消防站布局 D21 (0.524)	保护面积覆盖率
		医疗救援能力 C7 (0.117)	救援装备 D22 (0.316)	救援装备配备率
			医疗机构布局 D23 (0.208)	服务面积覆盖率
			医生人数 D24 (0.202)	人员数量达标率
化工园区事故救援能力	外部援助能力 B3 (0.192)	疏散能力 C8 (0.270)	医疗人员技能 D25 (0.450)	持有急救证书比率
			医疗床位数 D26 (0.14)	医疗床位数达标率
			疏散预案 D27 (0.245)	疏散决策能力
		紧急通告与公众 应急能力 C9 (0.348)	道路环境 D28 (0.231)	疏散道路地形条件
			道路通行量 D29 (0.180)	平均交通量 (辆)
			疏散车辆数 D30 (0.112)	疏散车辆配备率
		上级部门指导 C10 (0.476)	疏散管理人员数量 D31 (0.147)	人员配备率
			避难场所容量 D32 (0.085)	面积达标率
			社区通报网络 D33 (0.610)	通报网络覆盖人员比率
		技术环境 C11 (0.317)	公众应急措施知晓率 D34 (0.39)	应急措施知晓率
			上级部门业务水平 D35 (1.0)	指导救援过程的成功率
			所在地区应急技术水平 D36 (1.0)	所在地区应急技术水平
		周边环境 C12 (0.207)	横向协作 D37 (1.0)	周边社区资源实力

后者“稍微重要”、“明显重要”、“强烈重要”、“极端重要”等都是些模糊的概念,这些概念内涵清楚,但外延模糊,故 Saaty 采用 1、3、5、7、9 五个确切的数值来表达这些模糊量,显然有一定的局限性,若采用三角模糊数来表示则更为科学、合理<sup>[10]</sup>。例如,用  $(1/2, 1, 2)$  表示重要性相当,这说明  $1/2$  和  $2$  属于“重要性相当”的程度为 0,  $1$  属于“重要性相当”的程度为 1,而区间的其他数字属于“重要性相当”的程度则为 0 ~ 1 之间,即专家针对两两因子之比需给定三个数值,依顺序排列,中间值(三角性顶点)是专家认为两两因子相对重要性之最可能值,两侧的值则为专家可接受评值的范围,因此这些数值可反映出专家评值之隶属函数图。改进的判断矩阵标度如表 2 所示。

表 2 改进的判断矩阵标度<sup>[11]</sup>

标度	含义
(1/2, 1, 2)	表示两个因素相比,具有同样的重要性(相等)
(2, 3, 4)	表示两个因素相比,前者比后者稍微重要(较强)
(4, 5, 6)	表示两个因素相比,前者比后者明显重要(强)
(6, 7, 8)	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要(很强)
(8, 9, 10)	表示两个因素相比,前者比后者极端重要(绝对强)
(1, 2, 3)、(3, 4, 5)、 (5, 6, 7)、(7, 8, 9)	表示上述相邻判断的中间值
倒数	如果因素 $x_i$ 与因素 $x_j$ 的重要性之比为 $\tilde{a}_{ij} = a_{ij}^-, a_{ij}^*, a_{ij}^+$ , 那么因素 $x_j$ 与因素 $x_i$ 的重要性之比为 $\tilde{a}_{ji} = (1/a_{ij}^+, 1/a_{ij}^*, 1/a_{ij}^-)$

由三角模糊数构成的判断矩阵形式为:  $\tilde{A} = (A^-, A^*, A^+)$ , 其中  $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$ ,  $A^- = (a_{ij}^-)_{n \times n}$ ,  $A^* = (a_{ij}^*)_{n \times n}$ ,  $A^+ = (a_{ij}^+)_{n \times n}$ ,  $(A^-)_{ii} = (A^*)_{ii} = (A^+)_{ii} = 1$ ;  $A^-, A^*, A^+$  的权重向量采用方根法计算并进行一致性检验。

## 2.2 基于三角模糊数的综合评价模型

(1) 确定因素集,对应急救援能力系统进行层次分析,构建评价指标体系,并按照层次分析法建立指标体系,包括 3 个准则层指标、12 个一级指标和 38 个二级指标,见表 1。

(2) 确定评价集,对于选定的指标,把它们水平状态划分为用很好,较好,一般,较差,很差 5 个等级,组成评语集,具体情况见表 3。

(3) 确定各因素的权重,采用层次分析法,集中多位专家的评判用三角模糊数来表示权重,权重向量形式如下:

$$\tilde{A} = ((a_1^-, a_1^*, a_1^+), (a_2^-, a_2^*, a_2^+), \dots, (a_n^-, a_n^*, a_n^+))。 (2)$$

通过计算得各级指标的权重(限于篇幅,指标权重计算过程忽略),见表 1。并进行了一致性检验,结果均可接受。

(4) 根据评价语集建立隶属函数。对无法用数量来表示的指标,采用等级比重法确定单因素隶属度,对于可以用数量表示的指标,应用梯形分布构造隶属函数(见图 1)<sup>[11]</sup>。

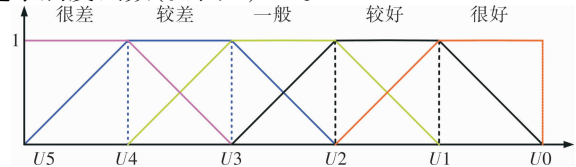


图 1 隶属度函数示意图

(5) 对单因素评判,得到模糊判断矩阵,进行三层模糊评价,即二级指标层  $D$  对一级指标层  $C$ 、一级指标层  $C$  对准则层指标  $B$ 、准则层指标  $B$  对总目标层  $A$  的评价。其结果形式如下:

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_m)^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}。 (3)$$

式中:  $R_i$  为第  $i$  个准则的指标模糊关系矩阵。

二级指标对一级指标的模糊评价为:

$$D_i = W_{ic} \cdot R_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im_i}) \cdot \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1n} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{im_i1} & r_{im_i2} & \dots & r_{im_i n} \end{bmatrix} = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im_i})。 (4)$$

式中:  $i = 1, 2, m$ 。

一级指标对准则层的模糊评价为:

$$C_i = W_C \cdot D = W_C \cdot \begin{bmatrix} W_{1c} \cdot R_1 \\ W_{2c} \cdot R_2 \\ \dots \\ W_{mc} \cdot R_m \end{bmatrix} = (c_1, c_2, \dots, c_n)。 (5)$$

表 3 应急救援能力指标量化方法和分级标准

三级指标	测评方法	指标分级标准				
		很好	较好	一般	较差	很差
D1 - D23, D25、 D31 D34、D35	达标率、配备率、备案率等比率	(90, 100]	(80, 90]	(70, 80]	(60, 70]	[0, 60]
D24	人员数量达标率	(60, 100]	(50, 60]	(40, 50]	(30, 40]	[0, 30]
D26	医疗床位数达标率	(60, 100]	(50, 60]	(40, 50]	(30, 40]	[0, 30]
D27	疏散决策能力(建立量化评估表进行赋分)	(90, 100]	(80, 90]	(70, 80]	(60, 70]	[0, 60]
D28	疏散道路地形条件	平地	轻微起伏地形	丘陵地形	比较陡峭的地形	山地
D29	平均交通量/辆	25 000	10 000 - 5 000	4 500 - 7 000	2 000- 5 000	2 000
D30	疏散车辆配备率	(70, 80]	(60, 70]	(50, 60]	(40, 50]	[0, 40]
D32	面积达标率	(50, 100]	(40, 50]	(30, 40]	(20, 30]	[0, 20]
D33	通报网络覆盖人员比率	(80, 100]	(70, 80]	(60, 70]	(50, 60]	[0, 50]
D36	所在地区应急技术水平	国际先进水平	国际一般水平	国际 10 年前水平	国际 20 年前水平	国际 30 年前水平
D37	周边社区资源实力	视借用周边社区资源是否满足救援需求选取				

准则层对目标层的模糊评价为:

$$B = W_B \circ C = W_B \circ \begin{bmatrix} W_{1B} \circ R_1 \\ W_{2B} \circ R_2 \\ \dots \\ W_{gB} \circ R_g \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n). \quad (6)$$

式中:  $b_i$  为目标层对第  $i$  个等级的隶属度。

(6) 采用加权平均型模糊算子<sup>[11]</sup> 进行计算。为了给出确定的评价结果,采用分值法,以采用  $\sum_{i=1}^m b_i f_i$  来表示最终结果,根据此结果和各等级的比值,判断属于哪一等级,见表 4。

表 4 应急能力评价等级表

分数	100	90	80	70	60
级别 $f_i$	很好	较好	一般	较差	很差

### 3 实例分析

某化工园区区域的面积为  $9.6 \text{ km}^2$ , 人口为 26.2 万人。园区内有 20 家化工企业,涉及仓储、初级形态的塑料及合成树脂制造、有机化学原料制造、专项化学用品制造、合成材料制造、化学试剂和助剂制造等多个行业类别。其中 14 家企业共有重大危险源 19 个。

#### 3.1 评价指标计算

通过现场检查及对所提供相关资料的核实,对化工企业和化工园区的应急设施、人员等多个指标进行评分,将检查结果汇总分析,按照提出的评价指标量化处理方法对可调查指标、经验性进行处理(限于篇幅,二级指标结果从略)。

区域内有毒化学品主要是液氨,以液氨储罐泄漏来说明可量化指标的计算过程。储罐的基本数据为:卧罐,质量 30 t,压力 1.5 MPa,管道最大流量 20 kg/s,最大管径 150 mm。采用毒负荷准则对伤害区域进行计算,风速取平均风速 2.2 m/s,稳定度取 E,采用“重大危险源区域定量风险评价软件 CASST V1.0”对事故后果进行模拟计算(瞬时泄漏采用高斯烟团模型、连续泄漏采用高斯烟羽模型),液氨整体破裂事故后果见图 2 和图 3,泄漏事故后果具体数据见表 5。

表 5 液氨储罐泄漏事故后果模式

重大危险源	泄漏模式	灾害模式	死亡半径/m	重伤半径/m	轻伤半径/m
液氨储罐	容器大孔泄漏	中毒扩散(静风/E类)	841	1051	1501
液氨储罐	容器整体破裂	中毒扩散(静风/E类)	761	991	1051
液氨储罐	容器中孔泄漏	中毒扩散(静风/E类)	171	241	331
液氨储罐	容器物理爆炸	物理爆炸	14	24	40



图 2 液氨整体破裂事故后果



图 3 液氨整体破裂事故后果图(东南风)

依据模拟计算结果,确定死亡区面积  $93\,384 \text{ m}^2$ 、重伤区面积  $138\,501 \text{ m}^2$ 、轻伤区面积  $414\,495 \text{ m}^2$ ,总危害面积为  $646\,380 \text{ m}^2$ ,约  $0.01 \text{ km}^2$ ,人口密度为  $0.01 \text{ 人}/\text{m}^2$ ,则最大可能死亡的人数为 1 667 人(死亡区人员 100% 死亡、重伤区人员死亡概率为 50%,轻伤区人员死亡概率为 1%),需要疏散的人口为 6 460 余人,以此计算当量疏散车辆、疏散管理人员、应急避难场所面积、医疗救援人员数量、医疗床位数等,相应计算疏散车辆配备率、疏散管理人员配备率、疏散面积拥有率、医疗人员配备率等可量化指标的计算,并按照梯形分布构造隶属度函数方法计算隶属度及评价结果。

#### 3.2 模糊综合评价计算

##### (1) 三级模糊综合评价

企业人员素质下属 3 个指标的权重为(0.480, 0.188, 0.332) 则评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.15 & 0.5 & 0.35 & 0 \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$$D_1 = W_{1C} \circ R_1 = [0.480 \quad 0.188 \quad 0.332] \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.15 & 0.5 & 0.35 & 0 \end{bmatrix} = [0.238 \quad 0.384 \quad 0.262 \quad 0.116 \quad 0];$$

$$F_1 = \sum_{i=1}^m d_i f_i = 100 \times 0.238 + 90 \times 0.384 + 80 \times 0.262 + 70 \times 0.116 + 0 = 87.44. \quad (8)$$

同理可计算出 C2 ~ C12 对应的隶属度及分数。

##### (2) 二级模糊综合评价

$$C_1 = W_C \circ D = W_C \circ \begin{bmatrix} W_{1C} \circ R_1 \\ W_{2C} \circ R_2 \\ \dots \\ W_{mC} \circ R_m \end{bmatrix} = [0.408 \quad 0.222 \quad 0.170 \quad 0.200] \cdot \begin{bmatrix} 0.238 & 0.384 & 0.262 & 0.116 & 0 \\ 0.340 & 0.470 & 0.19 & 0 & 0 \\ 0.36 & 0.50 & 0.14 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.33 & 0.18 & 0.17 & 0.17 \end{bmatrix} = [0.26 \quad 0.41 \quad 0.21 \quad 0.08 \quad 0.04]; \quad (9)$$

$$F = \sum_{i=1}^m d_i f_i = 100 \times 0.26 + 90 \times 0.41 + 80 \times 0.21 + 70 \times 0.08 + 60 \times 0.04 = 87.7. \quad (10)$$

同理可计算出 B2 和 B3 对应的隶属度及分数。

##### (3) 一级模糊综合评价

$$B = W_B \circ C = W_B \circ \begin{bmatrix} W_{1B} \circ R_1 \\ W_{2B} \circ R_2 \\ \dots \\ W_{gB} \circ R_g \end{bmatrix} = [0.496, 0.321, 0.192] \begin{bmatrix} 0.26 & 0.41 & 0.21 & 0.08 & 0.04 \\ 0.26 & 0.19 & 0.26 & 0.23 & 0.06 \\ 0.54 & 0.35 & 0.11 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0.31 \quad 0.33 \quad 0.21 \quad 0.11 \quad 0.04]。 \quad (11)$$

则救援能力综合评价值  $V$  为:

$$V = \sum_{i=1}^m d_i f_i = 100 \times 0.31 + 90 \times 0.33 + 80 \times 0.21 + 70 \times 0.11 + 60 \times 0.04 = 87.6。 \quad (12)$$

二级指标(D1~D20)评价结果见图3。

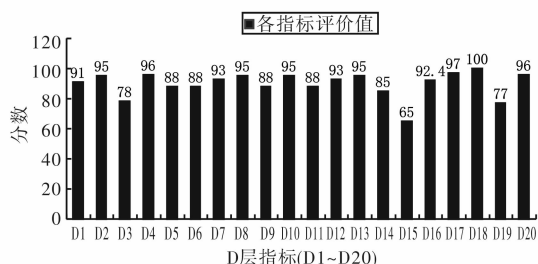


图3 指标评价(D1~D20)结果对比分析图

综合以上评价结果可知:该化工园区应急救援能力属于较好等级;依据二级指标结果确定需要整改的项目(分值 $\leq 70$ )有:社区宣传、医疗救援人员数量、医疗人员技能;需要加强的项目( $70 < \text{分值} \leq 80$ )有:救援队伍建立与人员技能、应急联动机制、医疗床位数、疏散决策能力、社区通报网络。

## 4 结论

(1)以危化品泄漏事故为对象,构建化工园区应急救援能力评价指标体系,评价指标体系的设计考虑了化工企业、园区自身、外部援助3个责任主体在救援中的职责和任务,该指标体系综合考虑各相关者的救援需求,指标全面并具有较好的实用性。按照评价指标类型提出了不同量化处理方法,建立了风险和应急能力之间的联系。

(2)建立了救援能力模糊综合评价模型,该模型的特别之处是采用三角模糊数的形式构造指标之间重要性比较的判断矩阵,充分考虑了专家主观评价、判断的模糊性,克服了评价过程中的单一化、主观化的缺点,扩大了可利用信息的范围,使最终的计算结果更贴近实际。

(3)以化工园区为例开展了应急救援能力评估分析,有助于明确该化工园区整体的应急救援能力,以及化工园区救援能力中不同部分的存在状况和不足,从而及时掌握园区区域应急救援状况,采取有效措施提升园区的综合应急救援能力和管理水平。

## 参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会,国土资源部,建设部. 中国开发区审核公告目录(2006年版)[Z]. 2007.
- [2] 黄沿波,刘铁梅. 化工园区安全管理技术策略[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 172-176.
- [3] Federal Emergency Management Agency. State capability assessment for readiness, a report to the United States senate committee on appropriations[R]. 1997.
- [4] 何沙,吉安民,姬荣斌. 基于AHP-最小判别的逐级判别模型的石油企业安全应急能力评价[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(2): 41-47.
- [5] 张铭,徐瑞华,李献忠. 城市轨道交通应急救援能力的评价[J]. 城市轨道交通, 2007, 20(1): 30-33.
- [6] 姜伟,周心权,刘亚楠. 矿井火灾应急救援能力评价[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(5): 25-27.
- [7] 闻洪春. 化工园区应急能力评估方法研究[D]. 北京:北京科技大学, 2008.
- [8] 陈文涛,刘晓然. 基于应急救援能力的典型重大事故原因分析[J]. 安全, 2012(3): 22-26.
- [9] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [10] 苏世彬,黄瑞华. 基于三角模糊数的属性层次模型[J]. 系统工程理论与实践, 2006(12): 115-119.
- [11] 姜艳萍,樊治平. 三角模糊数互补判断矩阵排序的一种实用方法[J]. 系统工程, 2002, 20(2): 89-92.

# Capability Evaluation on Emergency Response Ability for Accidents in Chemical Industry Parks Based on Triangular Fuzzy Number

Chen Wentao<sup>1,2</sup> and Ge Shiyou<sup>2</sup>

(1. Beijing Research Center of Urban System Engineering, Beijing 100089, China; 2. China Occupation Safety and Health Association, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Based on risk analysis on the accidents in chemical industry park, taking leakage accidents of dangerous chemicals as the object, emergency rescue capacity requirements are analyzed from three responsibility subjects as chemical enterprises, the park itself and external aid to construct an evaluation index system of emergency rescue capability accordingly. Evaluation index are quantitatively classified, and the connection between risk and emergency rescue ability is established. A fuzzy comprehensive evaluation model is established based on triangular fuzzy number theory and fuzzy comprehensive evaluation theory. Comprehensive evaluation on emergency rescue ability of chemical Industry Park accident is achieved by the above mentioned index system and evaluation model. A chemical industry park application example analysis results show that the evaluation model and method have stronger practicability and reference value.

**Key words:** chemical industry park; leakage accidents; rescue ability; evaluation index; triangular fuzzy number