

# 基于网络层次分析法的乙炔生产厂 应急救援能力评价

董铭鑫 贾进章\*

(辽宁工程技术大学 安全科学与工程学院 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室, 辽宁 阜新 123000)

**摘 要:** 乙炔生产厂应急救援能力评价指标之间关系复杂,各指标相互影响,使得常规的评价方法难以准确地体现这种错综复杂的关系,无法对乙炔生产厂应急救援能力进行准确的评估。为了提高乙炔生产厂应急救援能力并提供一种更加合理的评价方法,按照事故发生的时间顺序,结合乙炔生产厂应急救援的特点,基于网络层次分析法从事故预防、应急准备、应急响应、灾后恢复4个方面建立了评价指标体系,将复杂问题系统化,解决了各指标下一层内部指标间以及相邻层指标间相互影响的问题,保证了评价的客观性。以某乙炔有限责任公司为例进行计算分析,基于网络层次分析法(ANP)建立了乙炔生产厂应急救援能力评估指标体系模型,运用超级决策(SD)软件和专家打分法实现了对各评价指标的赋权和评分,最终得到该公司的应急救援能力为“良”。依据评价结果,提出通过提高预防事故能力、完善灾后恢复相关工作和增强灾后重建能力来提高该企业应急救援能力的对策。

**关键词:** 乙炔气厂; 网络层次分析法; 应急救援; 评价; 超矩阵

**中图分类号:** X92 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2018.02.003

## 引 言

乙炔在日常生产生活中发挥着重要作用,可用于照明、焊接及切断金属(氧炔焰),还可以作为化工产品的基本原料用于生产乙醛、醋酸、苯、合成橡胶、合成纤维等化工产品。乙炔在生产过程中涉及到电石、丙酮、乙炔气、氢氧化钠、次氯酸钠和液氮等危险品的贮存、运输和使用,而且乙炔为易燃易爆气体,火灾、爆炸成为工艺过程中的主要危险<sup>[1]</sup>,另外还存在着毒害、化学灼伤等事故的可能性。一旦发生危险事故,不仅对经济财产造成严重的损害,而且还会造成严重的环境污染以及不良的社会影响。

国内在应急能力评估体系方面的研究,最早始于邓云峰等<sup>[2]</sup>提出的公共安全概念。随着安全意识的提高,企业也在逐渐加强应急措施,如设立安全应急部门、为事故的应急救援提供保障等<sup>[3]</sup>。近年来,有研究者针对石油化工园区开展了应急管理

评估和应急救援评估的研究<sup>[4-6]</sup>。严明亮<sup>[1]</sup>、林彬等<sup>[7]</sup>和王洪德等<sup>[8]</sup>针对乙炔生产过程中的危险有害因素进行了分析和定量评价,对生产单元火灾爆炸事故的诱发因素进行排序,并提出了相应的预防措施,提高了乙炔生产过程的安全性。另外,文献<sup>[9-10]</sup>提出了针对城市应急、矿山等全方位的EMRC应急能力评估体系。

选择合适的评估方法是确保应急救援能力评估结果科学、合理的重要因素。应急救援能力评估指标体系的各个指标间相互影响并关联,这使得单纯的层次分析法(AHP)很难较为理想地处理这种情况。Saaty<sup>[11-12]</sup>提出了网络层次分析法(ANP),它是一种用于解决评价指标体系内部非独立性递阶层次结构的决策方法。ANP不仅继承了AHP将复杂问题系统化的优越性,而且在其基础上解决了各指标下一层内部指标间以及相邻层指标间的关系相互影响的问题。它通过构建超级矩阵,根据指标间的依存反馈关系计算出各指标的权重,从而能够克服AHP只能对同一层互不影响的指标进行分析的缺陷。

本文基于ANP建立了乙炔生产厂应急救援能力评价指标体系模型,有效解决了各评价指标之间复杂的关联问题;然后利用超级决策(SD)软件计算求解各项指标的权重,该软件较好地将ANP的理论

收稿日期: 2017-09-01

基金项目: 国家自然科学基金(51374121); 辽宁省高等学校优秀人才支持项目(LR2015027)

第一作者: 男,1991年生,硕士生

\* 通讯联系人

E-mail: jiajinzhang@163.com

计算过程程序化,提高了评价工作的效率。最后利用该模型对某乙炔有限责任公司的应急救援能力进行了评估。

## 1 基于 ANP 的乙炔生产厂应急救援能力评价模型

### 1.1 评价模型的构建

选择有效的评价指标,构架一套科学合理、完整可行的乙炔生产厂应急救援能力评价指标体系,是正确评价乙炔生产厂应急救援能力建设情况的重要前提和基础。指标体系的设置是否科学合理,直接关系到乙炔生产厂应急救援能力评价的准确度和可信度<sup>[13]</sup>。

本文根据乙炔生产厂的事故危险性和应急救援的特点,从事故发生的完整时间链出发,充分考虑了事故的预防、准备、响应以及灾后处理等多方面的影响因素。在文献[8]基础上,根据 ANP 的相关原则<sup>[14-15]</sup>,结合对阜新恒生乙炔有限责任公司生产工艺、设备和设施的实地调查分析并且以国家相关法律、法规以及相应的行业标准为参考,设定评价模型的目标层为乙炔生产厂应急救援能力,评价模型的目标层为乙炔生产厂应急救援能力,评价模型的目标层为乙炔生产厂应急救援能力,评价模型的目标层为乙炔生产厂应急救援能力,评价模型的目标层为乙炔生产厂应急救援能力。

首先,事故预防是有效防止事故发生的重要前提,因此将预防事故能力作为乙炔生产厂应急救援能力评价体系中的一项目标。事故预防方面评估所依据的标准为:《中华人民共和国安全生产法》(2014 年修订),《中华人民共和国职业病防治法》(2016 年修订),《危险化学品名录(2015 版)》,《特种设备安全监察条例》(2009 年修订),《危险化学品安全管理条例》(2011 年修订),《使用有毒物品作业场所劳动保护条例》。

为了避免或减少事故发生造成的不必要损失,需要在事故发生前具备充足的应急准备能力,因此将事故应急准备能力作为应急救援评价体系的一项目标。事故应急准备能力方面评估所依据的标准为:《中华人民共和国安全生产法》(2014 年修订),《中华人民共和国职业病防治法》(2016 年修订),《生产经营单位安全培训规定》(2015 年修订),《国家安全生产事故灾难应急预案》,《特种设备作业人员监督管理办法》,《使用有毒物品作业场所劳动保护条例》,《生产安全事故应急预案管理办法》。

在事故发生以后,超强的应急响应能力是减少事故危害和控制事故灾害进一步扩大的重要保障。应急响应能力方面评估所依据的标准为:《中华人民共和国突发事件应对法》,《国家安全生产事故灾难应急预案》,《危险化学品重大危险源监督管理暂行规定》(2015 年修订),《危险化学品事故应急救援预案编制导则》(GB/T 29639—2013),《中华人民共和国消防法》(2008 年修订),《危险化学品安全管理条例》(2011 年修订),《中华人民共和国突发事件应对法》。

健全的灾后恢复能力对企业在最短的时间内重新恢复生产、减少社会负面影响具有重要作用。灾后恢复能力方面评估所依据的标准为:《生产安全事故报告和调查处理条例》,《生产安全事故应急预案管理办法》(2016 年修订),《国家安全生产事故灾难应急预案》。

控制层由目标层(乙炔生产厂应急救援能力 A)和准则层(一级指标 B)构成,整个网络层由 17 个二级指标及它们之间的相互依存与反馈关系共同组成。控制层和网络层共同组成基于 ANP 的乙炔生产厂应急救援能力评价体系模型,如图 1。

### 1.2 基于 ANP 的指标赋权计算过程

在一个规定的准则下,通过元素间的两两比较获得判断矩阵,此步骤在基于 ANP 的指标赋权计算过程中起到了重要作用。为了解决指标体系中被比较元素之间相互影响的问题,本文采用直接优势度比较和间接优势度比较两种方式:在一个给定的准则下,比较两元素对于该准则的重要程度,此过程即为直接优势度比较;在一个给定的准则下,比较两个元素在该准则下对第三个元素的影响程度,此过程即为间接优势度比较。

将乙炔生产厂应急救援能力设定为目标层元素 A,将预防事故能力、事故应急准备能力、事故应急响应能力和灾后恢复能力设定为准则层元素  $B_i (i = 1, 2, 3, 4)$ ;将准则层包含的 4 个元素组设定为  $C_i$ ,  $C_{ij}$  表示元素组内的元素 ( $j = 1, 2, \dots, n; n$  为网络层中各个元素组内元素的个数),基于 ANP 的指标赋权计算过程如下。

1) 判断矩阵的构建。利用直接优势度比较和间接优势度比较构建判断矩阵。网络层中不仅同组的各个元素间存在互相依存和反馈关系,而且异组的元素间也存在类似的关系。首先,在特定的标准准则下,设定网络层元素  $B_i$  为准则,元素  $C_{ij}$  为次准

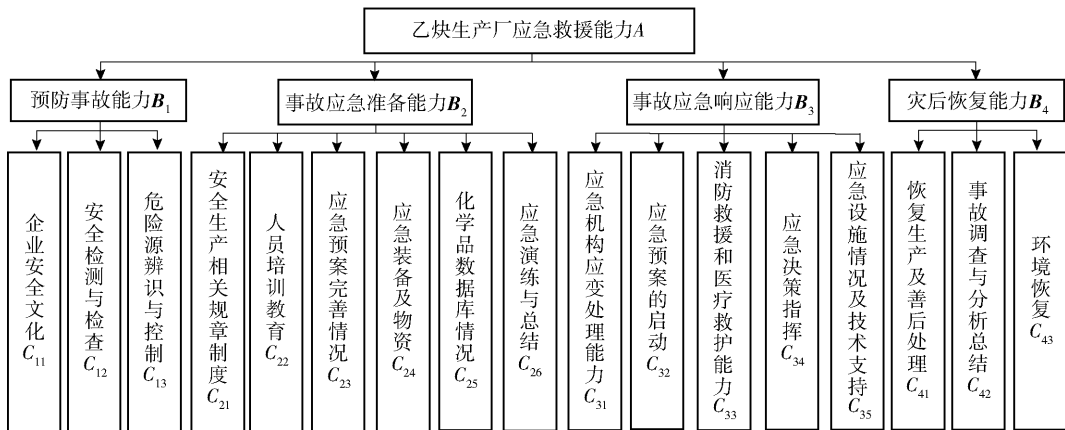


图1 基于 ANP 的乙炔气厂应急救援能力评价体系模型

Fig.1 Evaluation system model of the emergency rescue capability of an acetylene gas plant based on ANP

则;然后,利用间接优势度比较对各元素组内元素进行计算处理,得到两两判断矩阵。

2)超矩阵的确定。利用特征根法求得元素组  $C_j$  的排序向量  $W_{ij}$ ,然后在  $C_j$  准则层下,将排序向量组合得到超矩阵  $W$ 。最后通过对 4 个准则层进行运算处理,可以求得与之对应的 4 个超矩阵。

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & W_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $W_{ij}$  表示元素组  $C_i$  中各元素对  $C_j$  中各元素重要程度排序的向量组合。

3)加权矩阵的确定。显然超矩阵  $W$  中的各个列向量不是归一化的,首先设定准则为  $B_i$ ,设定次准则为  $C_i$ ,然后计算  $B_i$  中各元素组内元素对  $C_i$  的重要程度得到所需的判断矩阵,最后通过对 4 个判断矩阵进行处理得到权矩阵

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (2)$$

利用公式  $\bar{W} = W \cdot A$  求得加权超矩阵,对加权矩阵通过公式  $\bar{W}^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} \bar{W}^k$  求得极限矩阵( $\bar{W}^\infty$  的第  $j$  列就是某准则下网络层各元素对于元素  $j$  的极限相对排列(权重))。从而解决了指标权重稳定性的问题。

### 1.3 模糊综合评价

在完成各个评价指标赋权和建立评判集的工作后,利用专家打分法获得模糊评判矩阵<sup>[16]</sup>。通过公式  $F_i = B_i \cdot R_i$  ( $F_i$ 、 $B_i$ 、 $R_i$  分别表示第  $i$  个一级指标的

评价向量、第  $i$  个一级指标的权重向量和第  $i$  个一级指标的模糊评价矩阵)计算求得各指标的评价向量。结合评价集加权获得所求的乙炔生产厂应急救援能力的综合评分。在 ANP 的应用过程中计算比较繁琐,常规的应用软件无法对其理论计算过程进行程序化处理,本文借助 SD 软件<sup>[17-18]</sup> 计算乙炔生产厂应急救援能力各个评价指标的权重并进行一致性检验。针对乙炔生产厂应急能力评价指标体系中的 4 个一级指标和 17 个二级指标,对存在依存反馈关系的评价指标两两比较并邀请相关专家进行打分。把专家打分结果录入到 SD 软件中,通过简单的操作可以很方便地计算出各个一级指标的权重以及各个二级指标的综合权重。

## 2 基于 ANP 的乙炔生产厂应急救援能力评价

阜新市恒生乙炔有限责任公司是一家位于辽宁省阜新市的乙炔生产企业,该企业采用电石法进行乙炔的生产。本文以阜新恒生乙炔有限责任公司为例,根据建立的基于 ANP 的乙炔生产厂应急救援能力评价指标体系模型并采用 SD 软件对该公司的应急救援能力进行评估。在 SD 软件中通过执行 [Design]、[Cluster]、[Node]、[Node conations from] 等一系列操作创建包含元素组、节点的指标框架并构建出各节点之间相互依存、相互反馈的关系。

### 2.1 各级指标判断矩阵的构造

采用专家打分的方式,由 10 位分别来自东北大学火灾安全专业、沈阳化工大学化工安全专业、辽宁工程技术大学安全专业等相关领域的经验丰富的专



家对各指标的重要程度进行打分,并取其算术平均值。利用专家对各项指标的打分结果计算获得各指标的直接和间接重要程度,并构建出判断矩阵。分别对录入 SD 软件的元素集两两判断矩阵进行一致性检验。

2.2 加权超矩阵和极限超矩阵的计算

对所有录入的元素集判断矩阵进行一致性检验后,首先通过执行[ Computations]、[ Weighted Super Matrix]等一系列操作获得未权重化的超矩阵;然后

对所有输入 SD 软件中的元素集两两判断矩阵也进行一致性检验,重复之前执行的[ Computations]、[ Weighted Super Matrix]等操作,获得权重化的超矩阵;最后通过执行[ Computations]、[ Limit Matrix]操作获得极限矩阵,实现对矩阵的稳定性处理。

2.3 各评价指标权重的确定

通过在 SD 软件中执行[ Computations]、[ Priorities]等操作,获得各个评价指标的稳定权重,结果见表 1。

表 1 恒生乙炔有限责任公司应急能力各评价指标权重结果  
Table 1 The weight of each evaluation index for the emergency capacity of Hengsheng Acetylene Limited Company

一级指标	一级权重	二级指标	指标间依存反馈关系	二级权重	综合权重
预防事故能力 $B_1$	0. 2033	企业安全文化( $C_{11}$ )	$C_{11}, C_{42}$	0. 3115	0. 0487
		安全检测与检查( $C_{12}$ )	$C_{11}, C_{13}, C_{22}, C_{42}$	0. 3623	0. 0578
		危险源辨识与控制( $C_{13}$ )	$C_{11}, C_{12}, C_{22}$	0. 3262	0. 0433
事故应急准备能力 $B_2$	0. 2641	安全生产相关规章制度( $C_{21}$ )	$C_{22}, C_{26}, C_{43}$	0. 1186	0. 0396
		人员培训教育( $C_{22}$ )	$C_{21}, C_{26}, C_{43}$	0. 1478	0. 0514
		应急预案完善情况( $C_{23}$ )	$C_{21}, C_{26}, C_{43}$	0. 1643	0. 0529
		应急装备及物资( $C_{24}$ )	$C_{21}, C_{26}$	0. 1729	0. 0568
		化学品数据库情况( $C_{25}$ )	$C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{21}, C_{24}, C_{26}$	0. 2094	0. 0787
		应急演练与总结( $C_{26}$ )	$C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}$	0. 1870	0. 0623
		应急机构应变处理能力( $C_{31}$ )	$C_{21}$	0. 1620	0. 0665
事故应急响应能力 $B_3$	0. 3489	应急预案的启动( $C_{32}$ )	$C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{25}, C_{33}, C_{34}$	0. 2059	0. 0845
		消防救援和医疗救护能力( $C_{33}$ )	$C_{22}, C_{24}, C_{32}, C_{35}$	0. 1843	0. 0786
		应急决策指挥( $C_{34}$ )	$C_{33}, C_{35}, C_{42}$	0. 1662	0. 0708
		应急设施情况及技术支持( $C_{35}$ )	$C_{33}, C_{34}$	0. 2816	0. 0938
灾后恢复能力 $B_4$	0. 1837	恢复生产及善后处理( $C_{41}$ )	$C_{22}, C_{24}, C_{42}$	0. 3582	0. 0433
		事故调查与分析总结( $C_{42}$ )	$C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{41}$	0. 3315	0. 0364
		环境恢复( $C_{43}$ )	$C_{21}, C_{22}, C_{42}$	0. 3103	0. 0302

由表 1 可得一级指标( 准则层) 权重向量  $B = [0. 2033, 0. 2641, 0. 3489, 0. 1837]$ , 二级指标( 网络层) 权重向量:  $B_1 = [0. 3115, 0. 3623, 0. 3262]$ ,  $B_2 = [0. 1186, 0. 1478, 0. 1643, 0. 1729, 0. 2094, 0. 1870]$ ,  $B_3 = [0. 1620, 0. 2059, 0. 1843, 0. 1662, 0. 2816]$ ,  $B_4 = [0. 3582, 0. 3315, 0. 3103]$ 。

由计算出的一级指标( 准则层) 权重可以明显看出: 事故应急响应能力的权重最大。显然, 在乙炔生产厂应急救援能力评价体系的各项评价指标中, 事故应急响应能力的影响最大, 在实际生产中所起的作用最强。二级指标( 网络层) 中权重较大的有企业安全文化、安全检测与检查、危险源辨识与控

制、化学品数据库情况、应急设施情况及技术支持、恢复生产及善后处理、事故调查与分析总结等。但通过综合权重来看, 其中的化学品数据库情况、应急预案的启动、消防救援和医疗救护能力、应急决策指挥、应急设施情况及技术支持等的权重与其他指标的权重相比相对较大, 因此不管在乙炔生产厂的正常生产还是应急救援过程中, 都应该重点考虑。

2.4 模糊综合评价结果

设置本文评价模型的量化评价集为  $V = (4, 3, 2, 1) = (优, 良, 中, 差)$ 。在实际评价工作中, 最终的量化结果经常出现存在小数的情况, 因此通常采用将这 4 个等级进行区间划分的方法来解决此问

题,即令(优,良,中,差) = ([4,3.5],(3.5,2.5],(2.5,1.5],(1.5,1])。通过对专家打分的原始数据进行计算处理并归一化得到恒生乙炔有限责任公司各应急救援能力评价指标的评价结果,具体见表 2。

表 2 恒生乙炔有限责任公司各指标归一化的专家评价结果

Table 2 Normalized expert evaluation results of each index for the Hengsheng Acetylene Limited Company

指标层	相对权重	优	良	中	差
$C_{11}$	0.2851	0.2	0.6	0.2	0
$C_{12}$	0.5107	0.1	0.5	0.4	0
$C_{13}$	0.2042	0.2	0.4	0.4	0
$C_{21}$	0.2382	0	0.7	0.3	0
$C_{22}$	0.2739	0.1	0.5	0.4	0
$C_{23}$	0.0417	0.1	0.5	0.4	0
$C_{24}$	0.1403	0.2	0.5	0.3	0
$C_{25}$	0.0624	0.2	0.7	0.1	0
$C_{26}$	0.2435	0.4	0.5	0.1	0
$C_{31}$	0.0729	0.2	0.4	0.4	0
$C_{32}$	0.1264	0.1	0.2	0.6	0.1
$C_{33}$	0.2233	0	0.7	0.3	0
$C_{34}$	0.2150	0.1	0.5	0.4	0.1
$C_{35}$	0.3624	0.1	0.4	0.4	0.1
$C_{41}$	0.1063	0.2	0.3	0.5	0
$C_{42}$	0.3806	0.2	0.6	0.2	0
$C_{43}$	0.5131	0	0.7	0.3	0

由表 2 可以得到一级指标  $B_1$  的模糊综合评价矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

$B_1$  的综合评价向量  $F_1 = B_1 R_1 = [0.1489, 0.5081, 0.3430, 0]$ 。同理可以得到  $B_2$  的综合评价向量  $F_2 = B_2 R_2 = [0.1695, 0.5601, 0.2704, 0]$ ,  $F_3 = B_3 R_3 = [0.0850, 0.4632, 0.4030, 0.0704]$ ,  $F_4 = B_4 R_4 = [0.0974, 0.6194, 0.2832, 0]$ 。再令乙炔生产厂应急救援能力的综合评价向量  $D = B[F_1, F_2, F_3, F_4]^T = [0.2742, 0.2967, 0.2631, 0.2722]$ 。由此得到该企业的应急救援能力为“良”。用传统的层次分析法计算得到的评价结果为  $D = B[F_1, F_2, F_3, F_4] = [0.2429, 0.2821, 0.2575, 0.2196]$ , 显然,

对应的该企业的应急救援能力也是“良”。

### 3 结论

(1) 构建了乙炔生产厂应急救援能力评价指标体系模型。针对乙炔生产厂应急救援能力评价指标之间关系复杂的问题,基于 ANP 建立了乙炔生产厂应急救援能力评价体系模型,评价体系包含 4 个一级指标和 17 个二级指标。

(2) 确定了基于 ANP 的乙炔生产厂应急救援能力评价体系中各项指标的权重。基于 ANP 并运用模糊综合评价,通过 SD 软件对评价指标体系中各项指标的权重进行计算,由此来确定各评价指标的权重。明确元素组内及元素组间各指标的相互影响关系是利用该软件对各项评价指标进行赋权计算的关键。采用 10 位相关领域专家打分的算术平均数作为原始数据,通过直接和间接优势度对比获得元素组内和元素组间的两两判断矩阵,减小了人为主观因素影响。

(3) 利用建立的乙炔生产厂应急救援能力评价体系模型进行综合评价。通过评价得到恒生乙炔有限责任公司的应急救援能力为“良”。实证研究表明,恒生乙炔有限公司应急救援能力评价体系中 4 个一级指标级的权重从大到小依次为:事故应急响应能力 > 事故应急准备能力 > 预防事故能力 > 灾后恢复能力。

(4) 提出了提高阜新恒生乙炔有限公司应急救援能力的措施。该公司应急救援体系建设应按照以权重较大者为重心、全面兼顾的原则,着重提高应急救援能力评估指标体系中的事故应急响应能力、事故应急准备能力。通过完善化学品数据库,不断改善和演练应急预案,增强同地方消防以及医疗机构的合作,保证应急救援设施能够发挥应有的作用并提高相应的技术支持。

### 参考文献:

[1] 严明亮. 乙炔生产过程中危害因素分析及安全控制[J]. 聚氯乙烯, 2005(12): 40-43.  
Yan M L. Analysis on harmful factors and safety control during the production of acetylene [J]. Polyvinyl Chloride, 2005(12): 40-43. (in Chinese)  
[2] 邓云峰, 郑双忠, 刘功智, 等. 城市应急能力评估体系研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2005, 1(6): 33-36.  
Deng Y F, Zheng S Z, Liu G Z, et al. Study on city e-

- mergency capability assessment system[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2005, 1(6): 33-36. (in Chinese)
- [3] 陈安, 赵燕. 我国应急管理的进展与趋势[J]. 安全, 2007, 28(3): 1-7.
- Chen A, Zhao Y. The progress and trend of emergency management in China[J]. Safety, 2007, 28(3): 1-7. (in Chinese)
- [4] 钱新明, 刘牧, 郭臣, 等. 基于 GIS 的油品储罐区风险评价及应急资源优化调运系统[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(6): 206-210.
- Qian X M, Liu M, Guo C, et al. Area risk assessment and emergency resource optimized dispatch system of oil tanks zone based on GIS[J]. Journal of Safety and Environment, 2010, 10(6): 206-210. (in Chinese)
- [5] 谭珮琮. 化工园区事故应急能力综合评价研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- Tan P C. Research on comprehensive evaluation of accidents emergency capability of chemical industrial park [D]. Chongqing: Chongqing University, 2009. (in Chinese)
- [6] 袁斐, 巫殷文, 刘建, 等. 基于改进层次分析法的化工园区应急能力评估研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(1): 160-164.
- Yuan F, Wu Y W, Liu J, et al. Research on emergency capability assessment of chemical industrial park based on improved AHP[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(1): 160-164. (in Chinese)
- [7] 林彬, 王凤英. 乙炔生产过程的危险有害因素分析[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(10): 281-282.
- Lin B, Wang F Y. Analysis on the dangerous and harmful factors in the production process of the acetylene[J]. Sci/Tech Information Development & Economy, 2005, 15(10): 281-282. (in Chinese)
- [8] 王洪德, 郑玉钱. 基于 AHP 的乙炔生产单元火灾爆炸危险性分析及定量评价[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(4): 139-143.
- Wang H D, Zheng Y Q. Fire and explosion risk analysis quantitative evaluation model in the acetylene production cell based on AHP[J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(4): 139-143. (in Chinese)
- [9] 张薇. 基于模糊综合评价法的城市应急能力评估[J]. 电力科学与工程, 2009, 25(4): 70-78.
- Zhang W. Urban emergency capability assessment based on fuzzy synthesis evaluation[J]. Electric Power Science and Engineering, 2009, 25(4): 70-78. (in Chinese)
- [10] 马茂东, 韩尧, 张倩. 基于模糊层次分析法的应急能力评估方法探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(2): 98-101.
- Ma M D, Han Y, Zhang Q. Evaluation method of emergency response capabilities based on FAHP[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(2): 98-101. (in Chinese)
- [11] Saaty T L. Decision making with dependence and feedback: the analytic network process [M]. Pittsburgh, USA: RWS Publication, 1996.
- [12] Saaty T L. Decision making: the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP) [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2004, 13(1): 1-35.
- [13] 徐明明, 张立军, 张潇. 综合评价指标体系的优良标准及测度方法[J]. 统计与决策, 2015(3): 18-21.
- Xu M M, Zhang L J, Zhang X. The excellent standard and measure method of the comprehensive evaluation index system[J]. Statistics and Decision, 2015(3): 18-21. (in Chinese)
- [14] 孙宏才, 田平. 网络层次分析法 (ANP) 与科学决策 [C] // 中国系统工程学会决策科学专业委员会第九届学术年会论文集. 北京: 知识产权出版社, 2011: 3-8.
- Sun H C, Tian P. The analytic network process science decision [C] // Chinese Institute of Systems Engineering Decision Science Committee Ninth Academic Annual Proceedings. Beijing: Intellectual Property Publishing House, 2011: 3-8. (in Chinese)
- [15] 王莲芬, 蔡海鸥. 网络分析法的理论与算法 [C] // 中国系统工程学会决策科学专业委员会第九届学术年会论文集. 北京: 知识产权出版社, 2011: 9-17.
- Wang L F, Cai H O. The theory and algorithim of analytic network process [C] // Chinese Institute of Systems Engineering Decision Science Committee Ninth Academic Annual Proceedings. Beijing: Intellectual Property Publishing House, 2011: 9-17. (in Chinese)
- [16] 李森, 付田田, 武光辉, 等. 基于 G1 模糊综合评价法的煤矿应急救援能力评价研究[J]. 科技创新与应用, 2013(26): 1-2.
- Li S, Fu T T, Wu G H, et al. Study on the evaluation of coal mine emergency rescue capability based on G1 fuzzy comprehensive evaluation [J]. Science and Technology Innovation and Application, 2013(26): 1-2. (in Chinese)
- [17] 高厚军. 网络层次分析法 (ANP) 在水利工程风险分析中的应用[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(12): 1049-1050.
- Gao H J. Application of network analytic hierarchy

process (ANP) in risk analysis of water conservancy projects [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2009, 15 (12): 1049–1050. (in Chinese)

- [18] 刘睿, 余建星, 孙宏才, 等. 基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003

(8): 141–143.

Liu R, Yu J X, Sun H C, et al. Introduction to the ANP super decisions software and its application [J]. Theory and Practice of System Engineering, 2003(8): 141–143. (in Chinese)

## Emergency rescue capability evaluation of an acetylene production plant based on a network analytic hierarchy process

DONG MingXin JIA JinZhang\*

(Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

**Abstract:** The relationship between the evaluation indexes of the emergency rescue capability for an acetylene production plant is complicated, and the indexes affect each other. General evaluation methods can not accurately reflect this complicated relationship, and can not accurately evaluate the emergency rescue capability for an acetylene production plant. In order to improve the emergency rescue capability for an acetylene production plant and provide a more realistic evaluation method, in this the paper, we propose an analytic hierarchy process whereby the time sequence of the accident, combined with the characteristics of the acetylene gas plant emergency, can be used to establish a valuation index system involving accident prevention, emergency preparedness, emergency response, and restoration after a disaster. This can solve the problems of the complexity of the system, the interactions between the indexes of the next levels, and the interactions between the indexes of adjacent levels, and thus ensure the objectivity of the evaluation. Based on calculations and analysis for the Hengsheng Acetylene Limited Company, an evaluation index system model of the emergency rescue capability of their acetylene gas plant is established using the network hierarchy analysis method. The empowerment and score of each evaluation index were realized by using the super decision software and the expert scoring method, and showed that the company's emergency rescue capability was "good". According to the evaluation results, countermeasures which should improve the emergency rescue capability of the enterprise, such as improving the ability of accident prevention, improving the disaster recovery measures and enhancing the ability of disaster reconstruction are put forward.

**Key words:** acetylene gas plant; analytic network process (ANP); emergency rescue; evaluation; super matrix

(责任编辑:吴万玲)