

基于 FCM – AHP 的应急能力评估 权重模型结构研究

康 健 高建村 张继信

(安全工程学院, 北京石油化工学院)

摘 要 应急能力评估是应急管理的基础, 能够为应急准备提供可靠的依据。然而, 目前应急能力评估方法的理论研究还不够深入。因此, 本文基于模糊认知图 (Fuzzy Cognitive Mapping, FCM) 和层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP), 对应急能力评估中的权重分配模型开展深入的理论研究, 基于分析不同结构和功能模型的优势。从系统化和结构化的角度揭示应急能力评估中各评价要素之间及对整体的影响, 对应急能力评估机理进行解析, 进而从多角度为应急管理者提供辅助信息。

关键词 应急能力评估 权重模型 模糊认知图 层次分析法

0 引言

应急能力评估工作从宏观层面来看, 其覆盖了大量法律法规。从微观层面来看, 系统内部要素间彼此影响。因此, 对应急能力评估体系具有多剧情关联效用。分析相关文献可知: 应急管理的基本职能、构成要素和组织属性间存在着明显的耦合作用关系, 鉴于应急能力评估主要取决于专家打分, 打分动作相对主观、透明和直接^[1-3]。因此, 在评价过程中有必要开发出较深刻的权重分配模型, 从理论上支持评价结果。如何表达权重分布是组织、计算已得要素的评价分数反应整体应急能力的核心。

1 评价体系中权重模型结构研究

在多目标和多属性决策问题中, 权重分配模型为体系的能力评价提供了计算框架。该框架主要分为水平和网状两种。图 1 直观地展示了水平结构和网状结构的评价模型^[4,5]。图 1a 中的元素信息流具有平衡结构, 而图 1b 的元素间信息流相对内聚而混沌。

1.1 水平结构模型

在水平结构模型中, 各基本要素以发散的层次结构围绕在中心准则周围。在这一形似树状的组织里, 信息流向具有可观测性, 每一基本要素对整体的影响量可以通过路径追溯。因此, 在水平结构模型中, 我们可以预判任何由基本节点变化引起的系统变化趋势^[6,7]。

1.2 网状结构模型

网状结构模型比较灵活和发散, 要素间的联系通过连接路径实现。由于要素间的连接

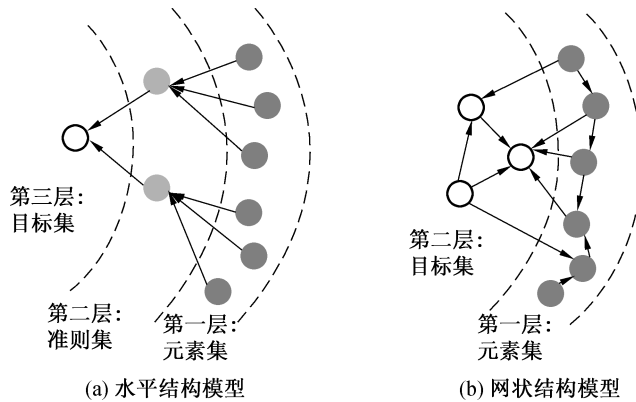


图1 水平结构和网状结构的评价模型

关系呈网状，因此，信息流向非直观，评价系统的变化趋势也较难直观预测^[8,9]。

一方面，应急能力评估具有严格的层次鲜明的执行程序 and 操作规程。另一方面，应急能力评估是一个包含了大量法规和管理理论的复杂知识系统。因此，深入研究水平结构和网状结构评价模型的特征，有助于深入了解应急能力评估中评价要素间的关联机制，获得评价系统内部运行的启示。

2 建立基于模糊认知图（FCM）和层次分析法（AHP）评价要素模型框架

本文选取模糊认知图（FCM）作为网状分析模型代表，层次分析法（AHP）作为水平结构分析模型代表。

(1) 对于评价小组的 P 位专家，为每位专家赋一个信誉值。

(2) 专家对于系统 N 个概念节点给出相应的描述和评价，组成 FCM 模型。

(3) 对于系统中每一对概念节点 C_i 和 C_j ，每位专家均使用 IF - Then 原则赋予其描述性的权重，IF - Then 原则如下：

IF C_i 改变

THEN 引起 C_j 变化

THUS C_i 对于 C_j 的影响权重为 $Weight(C_i, C_j)$

(4) 选择概念节点的评价集构建 FCM，每个节点的语意权重为模型中的直接或间接路径。

(5) 如果可以得到定量数据（数值或符号），AHP 就可以用来进行节点间的关联分析。

(6) 对比 FCM 和 AHP 结果，一些节点的评价结果存在较大差异。因此，返回 FCM 模型，找出连接冲突节点的因果路径。

(7) 通过查阅历史记录、与管理者沟通及现场调研，分析冲突结果产生的原因，并调整相应的权重值。

(8) 重新运行 FCM - AHP 模型。

IF 每个节点的评价结果无冲突，进入决策环节

ELSE 重构 FCM 模型

END

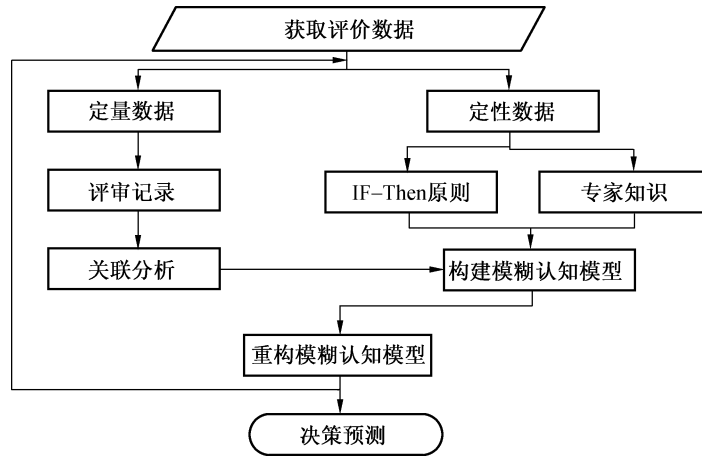


图2 基于 FCM - AHP 的决策结构图

图2所示为基于 FCM - AHP 的决策结构图。在 FCM 模型中，专家为每对节点关联性赋予模糊语言描述，这些关联权重构成 FCM 模型的路径，鉴于 FCM 的具有较强的主观性，AHP 从定量计算角度，为基于知识路径构建的 FCM 模型提供了必要的数值校正。

3 水平结构及网状结构应急管理评估权重分配模型实例研究

本文以城市防灾减灾应急能力为例，将应急能力评价要素分为基本保障、危机处理和善后处理评估指标3类，每类中的具体指标见表1，应急管理能力以公众满意度，体系可控性和社会影响考量准则^[10,11]。

3.1 基于层次分析法（AHP）的水平结构权重模型

节点间的权重关系由评价专家组确定，该案例中，AHP 评价框架如图3所示，每类指标直接作用应急管理能力上，彼此间无相互关联作用。

表1 基于专家知识构建的应急能力评估模型

类别	概念	型号	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	H1	H2	H3	P1	P2	P3
基本保障	社会经济状况	B1	0	V.S	M	0	0	W	0	S	M	W	S	M	S	M	S	M
	法律、法规和其他规定	B2	0	0	0	0	V.S	V.S	0	S	S	0	V.S	V.S	0	W	W	0
	机构设置	B3	S	0	0	0	0	V.S	0	W	0	M	W	0	0	W	S	M
	人员、物资保障	B4	0	0	V.S	0	S	S	0	0	0	0	0	M	S	0	0	0
	预案及宣传	B5	M	0	S	0	0	S	0	M	0	M	M	0	0	S	0	V.S

表1 (续)

类别	概念	型号	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	H1	H2	H3	P1	P2	P3
危机处理	预警反馈	C1	M	0	0	0	S	0	W	S	V.S	M	0	M	0	0	0	M
	危机控制	C2	0	0	0	0	0	W	0	M	W	0	W	W	0	0	0	0
	资源整合	C3	0	0	M	0	W	W	0	0	S	0	M	W	0	M	M	0
	响应时效	C4	0	0	0	0	W	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	W
	社会秩序	C5	W	0	0	0	W	0	W	W	0	0	0	S	0	W	0	0
善后处理	损失评价	H1	M	0	M	0	0	0	W	0	0	0	0	S	V.S	S	M	V.S
	恢复重建	H2	S	0	W	0	0	0	M	S	M	W	0	M	M	0	0	S
	事故补偿	H3	W	0	0	0	0	0	W	0	0	S	W	0	W	0	0	S
能力反馈	公众满意度	P1	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	W	0	W	0	S	M
	体系可控性	P2	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M	0	W
	社会影响	P3	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M	0	M	W	0	0

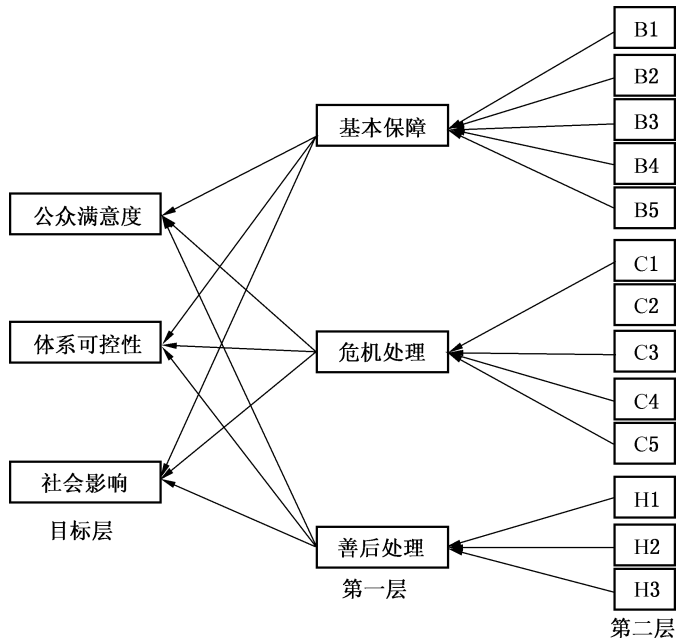


图3 基于 AHP 模型的应急能力评价权重模型结构

评价小组成员对于每一对节点关系给出评价意见结果。根据 AHP 方法，计算得表 2。

表2 第二层到目标层权重 (ω') 和第一层到目标层权重 (ω)

目标层	P1 ω_1	P2 ω_2	P3 ω_3	第一层	第二层	P1 $\omega'/1$	P2 $\omega'/2$	P3 $\omega'/3$
基本保障	0.53	0.33	0.21	B1	0.53	0.33	0.12	0.06
				B2	0.05	0.03	0.01	0.01
				B3	0.13	0.08	0.03	0.01
				B4	0.21	0.13	0.05	0.02
				B5	0.08	0.05	0.02	0.01

表 2 (续)

目标层	P1 ω_1	P2 ω_2	P3 ω_3	第一层	第二层	P1 ω'_1	P2 ω'_2	P3 ω'_3
危机处理	0.21	0.18	0.36	C1	0.46	0.05	0.04	0.12
				C2	0.20	0.02	0.02	0.05
				C3	0.20	0.02	0.02	0.05
				C4	0.09	0.01	0.01	0.02
				C5	0.04	0.01	0.01	0.01
善后处理	0.26	0.69	0.43	H1	0.11	0.03	0.08	0.07
				H2	0.26	0.07	0.18	0.17
				H3	0.63	0.17	0.44	0.40

3.2 基于模糊认知图 (FCM) 的网状结构权重模型

图 4 展示了网状结构模型中应急管理能力的各类指标 (独立变量) 与系统绩效间的关系。

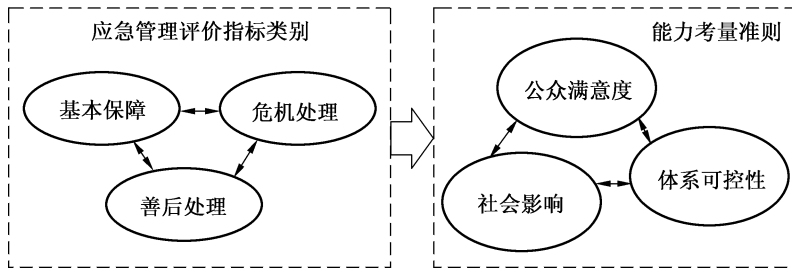


图 4 基于网状结构模型的应急能力评估评价指标与考量准则的关系描述

在网状模型中, 评价每个要素是否对其他要素产生影响作用, 并确定影响效用的大小。为了简化计算量, 当影响效用评语为“弱”时, 该路径权重赋值为“0”, 同时, 同类指标间的评价要素没有关联影响。FCM 的评价要素关联影响示意图表 1。FCM 不但可以描述每对要素间的相互影响效用, 也可以深入探索系统中各要素间的复杂关联影响, 这为知识组合和信息优化提供了参考, 为了直观展现权重值, 将 W_{p1} 、 W_{p2} 和 W_{p3} 标准化:

$$W_{p1} = [W, W, W, M, M, W, S, S, V.S, W, W, S, S]$$

$$W_{p2} = [W, M, W, M, M, W, S, M, M, W, V.S, S, S]$$

$$W_{p3} = [S, S, W, W, M, W, S, S, W, W, W, W, S]$$

如果将各要素的具体得分带入权重向量, 就可以得到系统的整体绩效成绩。

4 结论

通过水平结构及网状结构权重分配模型结果对比得到以下结论:

(1) 水平结构模型。如果一个评价要素在判断矩阵中有相对高的重要度, 我们就可以预测它的权重值相对较高。例如, 表 2 中, 对于基本保障类别, 专家普遍认为 B1 相对于其他评价要素明显重要, 因此, 从第二层到第一层, B1 比其他要素的权重值都大。另外, 从第一层到目标层, 基本保障类的重要度比危机处理和善后处理高, 综上两层分析可预测基于水平结构模型的应急能力评估指标最终权重分配趋势。

评价要素在同类范围内进行成对比较, 认为不同类评价要素间无关联效用, 这种严格

的比对矩阵允许专家组可以追溯评价模型是如何处理和加工评价意见。

(2) 网状结构模型。在网状结构模型中，每个评价要素均与系统中其他要素相比较。除了直接关联路径，还有大量间接关联路径。也就是说，每一个评价要素都有可能对其他要素产生直接或间接的影响。通常，我们无法从专家的判断矩阵预测权重分配趋势。例如，在表1中，B1有11条直接路径，为了计算出B1到P1的影响效用，需要考虑的路径多于几十条，因此，权重趋势很难通过直观观察得到。

将所有的评价指标和绩效视为概念节点，通过连接路径，节点间的影响在整个系统内传播。在直接路径和间接路径的影响中，直接路径的效用起着决定性作用，间接路径可提供分析者更多的系统关联性洞察。

5 致谢

感谢北京市优秀人才培养资助，项目编号：2016000020124G059。

参 考 文 献

- [1] 邓云峰, 郑双忠, 刘铁民. 突发灾害应急能力评估及应急特点[J]. 中国安全生产科学技术, 2005, 1 (5): 56 - 58.
- [2] 窦站, 张勇, 张明广, 等. 基于 AHP - 模糊方法的某化工园区应急能力评估[J]. 安全与环境学报, 2015, 15 (2): 29 - 34.
- [3] 韦彦. 基于模糊认知图的电子政务网站评价系统[J]. 信息安全与通信保密, 2008 (7): 29 - 31.
- [4] 李因果, 李新春. 综合评价模型权重确定方法研究[J]. 辽东学院学报 (社会科学版), 2007, 9 (2): 92 - 97.
- [5] 张秀菊, 李嘉欢, 丁凯森. 基于最小偏差的组合权重模型在水资源应急管理评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2016 (6): 22 - 26.
- [6] Coulter E D, Sessions J, Wing M G. Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics[J]. Silva Fennica, 2015, 40 (1): 143 - 160.
- [7] Kar A K. A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network[J]. Journal of Computational Science, 2015, 6: 23 - 33.
- [8] Irani Z, Sharif A, Love P E D, et al. Applying concepts of fuzzy cognitive mapping to model: The IT/IS investment evaluation process[J]. International Journal of Production Economics, 2002, 75 (1 - 2): 199 - 211.
- [9] Sharif A M, Irani Z. Exploring Fuzzy Cognitive Mapping for IS Evaluation[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 173 (3): 1175 - 1187.
- [10] 孔庆立. 重庆防灾减灾应急能力分析[J]. 合作经济与科技, 2010 (4): 125 - 126.
- [11] 伍国春. 日本社区防灾减灾体制与应急能力建设模式[J]. 城市与减灾, 2010 (2): 18 - 22.