

基于模糊层次分析法的评估方法在电力系统 应急通信预案中的应用研究

王 群¹, 李 巍¹, 于 海¹, 金成明¹, 全 欣²

(1. 国网辽宁电力有限公司信息通信分公司, 辽宁 沈阳 110006; 2. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 为有效评估电力系统应急通信预案, 发现并解决预案中可能出现的各类问题, 以最大限度地减少电力系统突发事件造成的损失和对社会的不良影响, 建立一种电力系统应急通信预案评估指标体系。针对评估过程中可能出现的主观因素影响, 基于模糊层次分析法建立一种综合评估模型。同时以国网辽宁省电力有限公司某应急通信预案作为评估目标案例, 展开具体评估分析。结果表明, 该评估方法能够对应急通信预案进行较为准确、全面的评估, 从而为预案的修订完善提供有效建议。

关键词: 应急通信; 应急通信预案; 层次分析法; 模糊理论; 预案评估

Research on the application of evaluation method based on fuzzy analytic hierarchy process in emergency communication plans for power system

WANG Qun¹, LI Wei¹, YU Hai¹, JIN Chengming¹, TONG Xin²

(1. State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd. Information and Communication Branch, Shenyang 110006, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to evaluate the emergency communication plan effectively and to minimize the losses caused by incidents and the adverse effect on the society, as well as to detect and solve problems that may arise in the plan, a comprehensive evaluation index system for emergency communication plan is presented. In the meantime, a comprehensive evaluation model based on fuzzy analytic hierarchy process is established to reduce the subjective factors that may appear in the assessment process. Furthermore, an evaluation example of the emergency communication plan in State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd. is also presented. The results show that the evaluation method can be used for evaluation of emergency communication plans, providing effective suggestions for revision and improvement of emergency plans.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61371068).

Key words: emergency communication; emergency communications plan; analytic hierarchy process; fuzzy theory; plan evaluation

0 引言

当地震等自然灾害与突发公共事件及重要国事活动发生时, 通信网络可能会遭到破坏与攻击, 严重威胁社会安全, 对我国电力通信系统应急响应能力、网络服务能力和水平提出了新的更高要求^[1-2]。为正确、有效、快速地处理各类紧急突发事件, 最大限度减少突发事件造成的损失和对社会的不良影

响, 保障网络安全稳定运行, 目前国家、各级政府部门以及各大企业均制定了较多的应急预案, 对履行社会责任和树立政府、企业形象起到了极大的促进作用。但从实际情况中看, 现有应急通信预案还存在着操作规范不够明晰、各环节衔接性不强、不同应急预案较难有机统一等问题, 仍需进一步修改完善^[3-5]。可以看出, 建立合理有效的评估模型, 并针对应急通信预案进行预先性的综合评估, 对发现预案存在的问题并督促其修订完善、提高应急通信预案的科学性和实效性具有重要意义^[6]。

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(61371068)

目前，常用的应急通信预案评估方法可分为定性评估和定量评估两类^[7]。主要包括综合评分法、模糊综合评价法、层次分析法^[8]、责任矩阵分析法^[9]、故障树分析法等。文献[10]提出针对应急预案体系完备性、决策指导性等方面进行绩效评估，但该评估方法为定性评估，具有一定的主观性。文献[11]提出了基于层次分析法的石油化企业应急预案综合评价方法，选取十五种评价指标建立了应急预案完善程度的评价模型，但采用的线性加权模型较为简单。文献[12]采用模糊综合评价方法对预案进行评估，将预案的完整、有效性等因素作为评判因素，但各评估因素权重取值易受主观因素影响。而模糊层次分析法集中了层次分析法和模糊理论的优点，能够尽量避免评估过程中的主观因素影响，减少计算量，较为准确地分析预案优缺点，为预案修订完善提供可靠参考，可以作为应急通信预案评估的有效手段^[13]。文献[14]基于综合层次分析法和模糊综合评价法构建了应急预案有效评价指标体系，为本文提供了良好参考，但应急预案评估指标体系较为笼统，仍存在较大改进空间。

针对上述问题，本文首先从应急通信预案中响应分级、预案启动、应急处置、应急结束四个阶段着手^[15]，充分考虑预案的有效性、快速性及广泛适用性，从响应分级、预案启动、应急处置、应急结束四个阶段着手，建立应急通信预案评估指标体系；其次，综合考虑层次分析评价法与模糊综合评价法，考虑不同评估专家的可信程度，设置不同评估权重，建立基于模糊层次分析法的综合评估模型；同时，以国网辽宁省电力有限公司(以下简称“辽宁公司”)应急通信预案为例展开具体评估分析，明确预案优缺点，为进一步完善预案提供参考。

1 应急通信预案评估指标体系

明确应急通信预案评估指标体系，是进行应急通信预案评估的基础。本文综合考虑应急通信预案特点及重要因素，以应急通信预案的整体工作流程为基础，从响应分级、预案启动、应急处置、应急结束四个阶段着手，建立应急通信预案评估指标体系。具体评估指标体系如表 1 所示。

其中，评估等级(百分制)如表 2 所示。

2 基于模糊层次分析法的应急通信预案评估模型

模糊层次分析法集中了层次分析法和模糊理论的优点，可为预案修订完善提供有效参考。因此，

表 1 应急通信预案评估指标体系
Table 1 Evaluation index system of emergency communication plans

应急通信阶段	具体评估指标
响应分级	分类分级
	信息上报
预案启动	下达任务通知书
	成立应急组织机构
	现场监测评估
应急处置	信息通报
	责任分解
	部门合作
	安全防护
	应急恢复
应急结束	下达解除任务通知书
	信息发布

表 2 评估等级
Table 2 Evaluation level

评估等级	很差	较差	一般	较好	很好
分值	[0,40]	(40,60]	(60,80]	(80,90]	(90,100)

本文基于模糊理论与层次分析法建立应急通信预案评估模型。首先，基于层次分析法^[16]，根据应急通信预案评估指标体系，确定各指标权重；其次，考虑不同专家评估的可信程度，设置不同权重，基于模糊评价法^[17]通过评估指标权重确定模糊评估矩阵与综合评估函数，建立应急通信预案评估模型，对应急通信预案进行综合评估。

2.1 基于层次分析法的评估指标权重确定

层次分析法可将指标权重处理转换为对随机变量的处理，从而使分析过程更为合理；同时政府、企业可根据实际情况确定评估准则，使决策更具适用性和灵活性。基于层次分析法确定评估指标权重的具体步骤如下。

2.1.1 确定评估指标、建立层次结构模型

根据上文所述的评估指标体系，分别确定目标层、准则层等具体内容。本文将目标层设置为“应急通信预案评估指标体系”，将准则层设置为“响应分级、预案启动、应急处置、应急结束”四部分、共十二类准则。

2.1.2 构造判断矩阵

按照层次结构模型构造判断矩阵。对每一层次各个准则的相对重要性进行两两比较，给出判断，并通过判断矩阵表示。本文采用 1-9 比例标度法，具体表示方法如表 3 所示。

表 3 1-9 比例标度法
Table 3 1-9 methods of scale

标度	含义
1	X 与 Y 同样重要
3	X 比 Y 稍微重要
5	X 比 Y 明显重要
7	X 比 Y 很重要
9	X 比 Y 极端重要
2、4、6、8	相邻判断的中值

通过建立两两比较矩阵的方法, 比较 n 个因素 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 对某因素影响的大小, 就可得到矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, 称 A 为 $Y-X$ 之间的判断矩阵。

2.1.3 层次单排序

根据判断矩阵求解各因素相应权值。首先, 计算判断矩阵 A 的满足等式 $AW = \lambda W$ 的最大特征值 λ_{\max} 和相对应的特征向量 W ; 其次, 对最大特征值 λ_{\max} 和其对应的特征向量 W 进行归一化处理, 即得到层次单排序权重向量。具体步骤如下。

1) 将判断矩阵 A 的元素按列归一化, 得到矩阵 $B=(b_{ij})_{n \times n}$, 其中

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

2) 将矩阵 B 中的元素按行相加, 得到向量 $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)^T$, 其中

$$c_{ij} = \sum_{j=1}^n b_{ij}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

3) 对向量 C 进行归一化处理, 得到特征向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 其中

$$w_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

4) 求解最大特征根

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (4)$$

2.1.4 检验矩阵一致性

在进行层次单排序时需进行一致性检验。根据文献[18], 一致性检验具体步骤如下。

1) 计算一致性指标 CI 。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

2) 确定平均随机一致性指标 RI , 如表 4 所示。

3) 计算一致性比例 CR 并进行判断。

表 4 平均随机一致性指标

Table 4 Average random consistency index									
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

当 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵具有一致性; $CR > 0.1$ 时不符合要求, 需重新修正。

2.2 基于模糊理论的评估模型建立

2.2.1 确定评估指标集和评估集

将影响评估对象的指标的集合记为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, 每个指标又可继续划分为 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{in}\}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。将评估集记为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ 。

本文中, 评估指标集:

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\} = \{\text{响应分级, 启动预案, 应急处置, 应急结束}\} \quad (7)$$

式中:

$$U_1 = \{U_{11}, U_{12}\} = \{\text{分类分级, 信息上报}\} \quad (8)$$

$$U_2 = \{U_{21}, U_{22}\} = \{\text{下达任务通知书, 成立应急组织机构}\} \quad (9)$$

$$U_3 = \{U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, U_{35}, U_{36}\} = \{\text{现场监测评估, 信息通报, 责任分解, 部门合作, 安全防护, 应急恢复}\} \quad (10)$$

$$U_4 = \{U_{41}, U_{42}\} = \{\text{下达解除任务通知书, 信息发布}\} \quad (11)$$

评估集:

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\} = \{\text{很好, 较好, 一般, 较差, 很差}\} = [95 \ 85 \ 75 \ 55 \ 35] \quad (12)$$

2.2.2 考虑专家权重的评估分数计算

设共有 n 名专家, 专家 i 对该应急预案某评估指标的评估分数为 G_{i0} 。

将专家权重设为两部分, 其一考虑专家对该领域的熟悉程度、业务水平设定的权重 p_1 , 其中

$$\sum_{i=1}^n p_{1i} = 1, \text{ 该专家对本领域的熟悉程度、业务水平}$$

越高, 则权重越大。其二考虑不同专家相似与差异程度设定的权重 p_2 , 该专家与其他专家评估分数的差异性越小, 表明该专家评估可信程度越高, 则权重越大。两种权重的比例为 α 与 β , 且 $\alpha + \beta = 1$ 。

可得到专家 i 的综合权重 q_i 为

$$q_i = \alpha p_{1i} + \beta p_{2i} = \alpha p_{1i} + \beta \left(\frac{G_i - \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}}{\sum_{i=1}^n (G_i - \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n})} \right) \quad (13)$$

则考虑专家综合权重后的该评估指标的最终评分为

$$G_{\text{final}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot G_i \quad (14)$$

2.2.3 构建模糊评估矩阵

基于上述评估分数,对评估指标集 U 中的因素进行评估,构造单因素模糊评估矩阵 R_i 。

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

式中, r_{ij} 表示单因素 U_{ij} 被评为 V_{ij} 的隶属度, $i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,m$ 。

2.2.4 模糊综合评估

1) 根据各权重指标 w_i 和对应的评估矩阵 R_i 根据公式

$$B_i = w_i^T \cdot R_i \quad (16)$$

进行一级模糊综合评估。

2) 利用一级模糊评估结果 $R = (B_1, B_2, \dots, B_n)$, 根据公式

$$B = W^T \cdot R \quad (17)$$

进行二级模糊综合评估。

3) 对评估集 V 中因素赋予相应分值,根据公式

$$S = B \cdot V \quad (18)$$

计算最终得分与评估等级。

2.3 方案比较

文献[19]引入模糊综合评价方法对预案进行评估,首先由专家对各个预案的评估指标进行评价打分,然后采用模糊综合评价方法评判预案,该方法与本文基于模糊理论的评估模型建立过程相似。文献[20]综合运用灰色系统理论和多层次分析法建立

了基于灰色多层次评价的危化品泄漏事故应急预案实施效果评价模型,其中基于层次分析法的评估指标权重确定过程与本文相似。文献[19]实验结果表明,将多级模糊评估方法用于应急预案评估可得到较为理想的结果,但其中评估指标权重直接给出,存在较大主观性的可能。文献[20]表明层次分析法可有效解决应急预案实施效果评价中由于信息不完备、不确切以及评价者主观感知等产生的灰色性问题,但计算量较大。

本文结合了以上述文献为代表的两类应急预案评估方法——模糊综合分析与层次分析法,综合两类评估方法的优势,在克服主观因素影响的基础上进一步减少计算量,能取得较好的效果。

3 应急通信预案评估的实现——以评估《国网辽宁省电力有限公司信息安全突发事件专项应急预案》为例

3.1 案例概述

辽宁公司根据《国网辽宁省电力有限公司信息系统应急预案制(修)订计划》,已制定了包括《国网辽宁省电力有限公司国网 OTN 通信系统辽宁段现场处置预案》在内的四十余项应急预案。本文以辽宁公司《国网辽宁省电力有限公司信息安全突发事件专项应急预案》为例,展开应急通信预案具体评估分析。该预案主要包含总则、应急处置基本原则、事件分类和危险源分析监控、事件分级、应急组织机构及职责、应急响应及处置、应急恢复、注意事项等内容。其中应急响应及处置工作主要包括事件报警及确认、切断连接、系统恢复及分析、安全审计及事故分析、安全策略调整、损失评估、归档等内容。预案具体流程如图 1 所示。

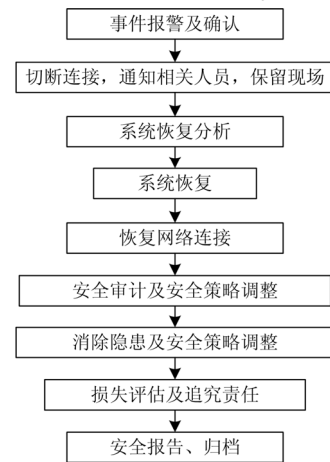


图 1 应急预案处置流程

Fig. 1 Emergency plan disposal process

3.2 基于模糊层次分析法的应急通信预案评估模型

采用专家打分的方法表示各评估指标情况。将十二位专家划分为三个专家小组对该预案进行评估, 每个专家小组单独对预案进行评估打分, 考虑专家小组权重并综合平均各专家小组打分, 形成最终评估分数。具体分数如表 5 所示。

表 5 应急通信预案评估指标专家打分

Table 5 Emergency communication plan evaluation score

应急通信阶段	具体评估指标	专家打分
响应分级	分类分级	92
	信息上报	83
预案启动	下达任务通知书	85
	成立应急组织机构	81
	现场监测评估	78
	信息通报	74
应急处置	责任分解	81
	部门合作	78
	安全防护	77
	应急恢复	93
应急结束	下达解除任务通知书	88
	信息发布	84

3.2.1 基于层次分析法的评估指标权重

1) 确定评估指标、建立层次结构模型

如上文所述, 本文将目标层设置为“应急通信预案评估指标体系”, 将准则层设置为响应分级等四部分, 共十二类准则。

2) 构造判断矩阵、层次单排序

根据上文所述评价指标集与评价集, 构造各判断矩阵并计算相应权重。各因素权重如表 6—表 10 所示。

表 6 判断矩阵 U Table 6 Judgment matrix U

U	U_1	U_2	U_3	U_4	权重 W	λ_{\max}
U_1	1	1/2	1/4	1	0.12	4.02
U_2	2	1	1/3	2	0.22	
U_3	4	3	1	4	0.54	
U_4	1	1/2	1/4	1	0.12	

表 7 判断矩阵 U_1 Table 7 Judgment matrix U_1

U_1	U_{11}	U_{12}	权重 W	λ_{\max}
U_{11}	1	2	0.67	2
U_{12}	1/2	1	0.33	

表 8 判断矩阵 U_2 Table 8 Judgment matrix U_2

U_2	U_{21}	U_{22}	权重 W	λ_{\max}
U_{21}	1	2	0.67	2
U_{22}	1/2	1	0.33	

表 9 判断矩阵 U_3 Table 9 Judgment matrix U_3

U_3	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}	U_{35}	U_{36}	权重 W	λ_{\max}
U_{31}	1	3	2	2	3	1/3	0.19	6.06
U_{32}	1/3	1	1/2	1/2	1	1/5	0.07	
U_{33}	1/2	2	1	1	2	1/4	0.12	
U_{34}	1/2	2	1	1	2	1/4	0.12	
U_{35}	1/3	1	1/2	1/2	1	1/5	0.07	
U_{36}	3	5	4	4	5	1	0.43	

表 10 判断矩阵 U_4 Table 10 Judgment matrix U_4

U_4	U_{41}	U_{42}	权重 W	λ_{\max}
U_{41}	1	2	0.67	2
U_{42}	1/2	1	0.33	

3) 一致性检验

判断矩阵 U 、 U_1 、 U_2 、 U_3 和 U_4 的一致性检验分别为

$$CR=0.0074<0.1; \quad CR_1=CR_2=CR_4=0<0.1; \quad CR_3=0.0097<0.1;$$

均通过检验, 矩阵具有一致性。

因此, 该评估指标的权重 W 为

$$w = (0.12, 0.22, 0.54, 0.12)^T \quad (19)$$

$$w_1 = w_2 = w_4 = (0.67, 0.33)^T \quad (20)$$

$$w_3 = (0.19, 0.07, 0.12, 0.12, 0.07, 0.43)^T \quad (21)$$

3.2.2 基于模糊理论的评估模型

1) 确定评估指标集与评估集

评估指标集与评估集的具体内容已在第二部分叙述, 在此不再赘述。

2) 构建模糊评估函数

将各指标评估集定义在 $[0, 100]$ 上, 各单因素模糊评估矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0.15 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

3) 模糊综合判断

一级模糊综合评估

$$B_1 = w_1^T \cdot R_1 = [0.135 \quad 0.601 \quad 0.264 \quad 0 \quad 0] \quad (26)$$

$$B_2 = w_2^T \cdot R_2 = [0 \quad 0.368 \quad 0.632 \quad 0 \quad 0] \quad (27)$$

$$B_3 = w_3^T \cdot R_3 = [0.129 \quad 0.314 \quad 0.499 \quad 0.058 \quad 0] \quad (28)$$

$$B_4 = w_4^T \cdot R_4 = [0 \quad 0.668 \quad 0.332 \quad 0 \quad 0] \quad (29)$$

二级模糊综合评估

$$R = (B_1, B_2, \dots, B_n) = \begin{bmatrix} 0.134 & 0.602 & 0.264 & 0 & 0 \\ 0 & 0.368 & 0.632 & 0 & 0 \\ 0.129 & 0.313 & 0.499 & 0.059 & 0 \\ 0 & 0.668 & 0.332 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$B = W^T \cdot R = [0.086 \quad 0.402 \quad 0.480 \quad 0.032 \quad 0] \quad (31)$$

$$S = B \cdot V = 80.134 \quad (32)$$

按照该评估方法进行评估, 方案的最终得分为 80.134 分, 根据评估等级可知, 评估结果为较好。

3.3 评估结果

该预案的评估结果为较好, 表明该预案较为全面。从上述专家打分及评估分析也可以看出, 该应急通信预案在分类分级、应急恢复等方面表现均非常优秀, 大部分评估结果在较好及以上, 不存在较差的情况, 较为全面详细地解释了信息安全突发事件应急通信的要求及整体流程, 可为该突发事件处置提供较好指导。

但同样的, 该预案仍存在需要改进之处。从专家所评分数可以看出, 在信息通报、安全防护方面的分数较低, 需对此项进行完善; 同时可以看出, 应急恢复指标的权重最大, 在制定预案时应重点关注该指标, 这与我们的主观感受也是相吻合的。通过案例证实了该评估方法的有效性, 可对其他应急通信预案的评估工作提供有益参考。

4 结论

应急通信预案的建立、修订与完善对履行社会责任和树立政府、企业形象均具有重大意义, 大力推进应急通信预案体系建设和编制、修订研究对充分应对突发事件、尽可能降低损失具有重要意义。为准确评估各应急通信预案, 促进预案进一步修订完善, 本文建立了应急通信预案评估指标体系, 综

合层次分析法与模糊理论, 并考虑不同评估专家的可信程度, 设置不同评估权重, 建立了基于模糊层次分析法的综合评估模型。同时以辽宁公司应急通信预案作为评估目标案例展开具体评估分析, 明确了预案优缺点。结果显示了该评估方法的可行性和有效性, 可为其他应急通信预案评估提供有效参考。本文主要从理论方面针对应急通信预案评估展开研究, 具体评估指标选择仍需进一步结合实际需求。下阶段, 本文将对算法及评估指标进行深入研究, 进一步发挥算法在应急通信预案评估中的作用。

参考文献

- [1] 郭祯. 煤矿突发事件应急管理系统研究[D]. 太原: 山西财经大学, 2015.
GUO Zhen. Research of the emergency management system of coal mine[D]. Taiyuan: Shanxi University of Finance & Economics, 2015.
- [2] HOU Kaiyuan, SHAO Guanghui, WANG Haiming, et al. Research on practical power system stability analysis algorithm based on modified SVM[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 119-125. DOI: 10.1186/s41601-018-0086-0.
- [3] 王立新, 孙智勇, 董新宇, 等. 完备性评价在陕西电网突发事件应急预案中的应用研究[J]. 陕西电力, 2009, 37(7): 45-50.
WANG Lixin, SUN Zhiyong, DONG Xinyu, et al. Application of perfection evaluation in emergency prevention schemes of Shaanxi power grid[J]. Shaanxi Electric Power, 2009, 37(7): 45-50.
- [4] 薛元杰, 周建新, 刘铁民. 突发事件应急预案的评估研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(10): 127-132.
XUE Yuanjie, ZHOU Jianxin, LIU Tiemin. Study on evaluation of emergency plans[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(10): 127-132.
- [5] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 121-127. DOI: 10.1186/s 41601-016-0025-x.
- [6] 杨云涵. 政府公共突发事件应急预案评估模型研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
YANG Yunhan. Research on the evaluation model of government emergency plans[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011.
- [7] 薛元杰. 突发事件应急预案的评估研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2016.
XUE Yuanjie. Study on evaluation of emergency plans[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business,

- 2016.
- [8] 罗文婷, 王艳辉, 贾利民, 等. 改进层次分析法在铁路应急预案评价中的应用研究[J]. 铁道学报, 2008, 30(6): 24-28.
- LUO Wenting, WANG Yanhui, JIA Limin, et al. Application of improved AHP in evaluation of railway emergency plans[J]. Journal of the China Railway Society, 2008, 30(6): 24-28.
- [9] 刘吉夫, 张盼娟, 陈志芬, 等. 我国自然灾害类应急预案评价方法研究(): 完备性评价[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(2): 5-11.
- LIU Jifu, ZHANG Panjuan, CHEN Zhifen, et al. Study on evaluation method of natural disaster emergency plan in China (part 1): completeness evaluation[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(2): 5-11.
- [10] 陈国华, 张新梅, 金强. 区域应急管理实务: 预案、演练及绩效[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [11] NATSEV A, NAPHADE M R. Learning the semantics of multimedia queries and concepts from a small number of examples[C] // ACM International Conference on Multimedia, ACM, 2005: 598-607.
- [12] QI G J, HUA X S, RUI Y, et al. Two-dimensional active learning for image classification[C] // 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 23-28, 2008, Anchorage, USA: 1-8.
- [13] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
- GUO Jinyu, ZHANG Zhongbin, SUN Qingyun. Study and applications of analytic hierarchy process[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148-153.
- [14] 樊自甫, 魏晶莹, 万晓榆, 等. 基于层次分析法与模糊综合评价的突发事件应急预案有效性评估[J]. 数字通信, 2012, 39(1): 15-19.
- FAN Zifu, WEI Jingying, WAN Xiaoyu, et al. The effectiveness evaluation of emergency plan based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation[J]. Digital Communication, 2012, 39(1): 15-19.
- [15] 樊自甫, 王蕾. 基于流程的通信保障应急预案有效性评估模型及应用[J]. 科技管理研究, 2016, 36(1): 185-189.
- FAN Zifu, WANG Lei. The effectiveness evaluation model of emergency plans of communication support based on the procedure and its application[J]. Science and Technology Management Research, 2016, 36(1): 185-189.
- [16] 雷琪, 苗世洪, 郭宝甫, 等. 基于层次分析和改进逼近理想解法的分层储能系统综合评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(3): 13-19.
- LEI Qi, MIAO Shihong, GUO Baofu, et al. Comprehensive operation risk evaluation of overhead transmission line based on hierarchical analysis-entropy weight method[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(3): 13-19.
- [17] 张晶晶, 许修乐, 丁明, 等. 基于模糊层次分析法的变压器状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(3): 75-81.
- ZHANG Jingjing, XU Xiule, DING Ming, et al. A condition assessment method of power transformers based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(3): 75-81.
- [18] 陈国宏, 李美娟, 陈衍泰. 组合评价及其计算机集成系统研究[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [19] 张海龙, 李雄飞, 董立岩. 应急预案评估方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(7): 142-148.
- ZHANG Hailong, LI Xiongfei, DONG Liyan. Fuzzy evaluation model of emergency plans[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(7): 142-148.
- [20] 张英菊. 基于灰色多层次评价方法的应急预案实施效果评价模型研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 39(9): 3312-3315.
- ZHANG Yingju. Research on implementation effect evaluation model of emergency plans based on multi-level and grey evaluation method[J]. Application Research of Computers, 2012, 39(9): 3312-3315.

收稿日期: 2017-10-23; 修回日期: 2018-01-12

作者简介:

王 群(1988—), 男, 助理工程师, 研究方向为信息通信安全与技术. E-mail: 275819130@qq.com

(编辑 张爱琴)