

王建楠,李元良,温晓寒,等.基于云D-S证据理论的极端天气下电力系统应急能力评判[J].气象研究与应用,2024,45(1):42-48.
WANG Jiannan, LI Yuanliang, WEN Xiaohan, et al. Emergency capability evaluation of power systems under extreme weather conditions based on cloud D-S evidence theory[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(1): 42-48.

基于云D-S证据理论的极端天气下电力系统应急能力评判

王建楠, 李元良, 温晓寒, 赖元威, 卢军严, 郑宇琦, 何 青, 郭桔炜

(广西电网有限责任公司南宁供电局, 南宁 530031)

摘要: 以提高应对极端天气下电力系统突发事件能力为目标,将电力系统应急能力作为研究对象,提出基于云模型和证据理论融合的评估算法。采用层次分析法和熵值法相结合的方法确定应急指标权重,运用云模型做为基础对电力系统应急能力进行评估,以解决评价指标模糊性和随机性的问题,并引入D-S证据理论对指标进行综合评估,构建极端天气下电力系统的应急能力评估模型。通过案例证明,该方法可以有效准确地定量和定性评估电网系统的应急能力,为提高电网系统的应急管理能力提供科学依据。

关键词: 云模型;D-S证据理论;层次分析法;熵值法;电力系统应急能力

中图分类号: P429

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.1.08

随着气候变化加剧,极端天气事件频发,给电力系统的稳定运行带来巨大挑战。2019年8月,台风“利奇马”登陆后,造成浙江、福建、上海、江苏等地电网共72座35 kV以上变电站、4 823条10 kV及以上线路受损或故障,772万户停电。2021年7月,河南遭遇特大强降雨天气,全省近3成供电设施受到较大影响,374万用户停电。2023年1月,云南出现持续干旱少雨天气,全省90%的区域(113个站)出现气象干旱,大部分地区以中等及以上等级气象干旱为主,加剧水电供给不足的问题。为了有效应对极端天气对电力系统的影响,很多学者围绕极端天气对电力系统的状态评估进行研究^[1-2]。张驰、门永生等^[3-4]采用层级分析法确定电力企业的应急能力指标的分量,采用模糊综合评价法评价电力网的应急能力,相对准确地定量评估电力系统的应急能力,为提高电力系统的应急管理能力提供科学依据。刘超等^[5]提出城市电力系统应急能力评估思路,分为4个一级指标:城市电网本质安全能力评估指标、应急管理能力评估指标、应急响应流程评估

指标、应急处置评估调查指标。鲁鹏等^[6]使用基于指标尺度的AHP评价算法,统一标准化分类的指标体系,提出反映电网的灾害抵抗能力指标的权重确定方法,结合具体的城市例子进行有效的评价。王迪等^[7]使用结合层级分析法和变异系数法的组合赋权法对每个指标进行加权和静态评估。

在上述研究的基础上,本文综合考虑多个定量和定性评价指标,合理提出基于云模型和证据理论融合的电力系统应急能力评估算法。采用层次分析法和熵值法确定权重,以云模型隶属函数为“桥梁”,最后引入D-S证据理论对指标进行综合评估,找出电力系统应急能力中的薄弱环节并加以改进,以期为电力系统提高极端天气下的应急能力提供参考依据。

1 研究方法

1.1 指标体系构建

极端天气下电力系统应急能力性能指标众多,彼此存在相关联系,但其影响程度各不相同,因此,

需考虑其自身工作条件和机理,建立合适、可靠、准确的指标体系^[8]。按照客观性、系统完整性、可操作性和独立性的原则,依据《中华人民共和国突发事件应对法》和《中国南方电网有限责任公司应急管理工作规定》的各项标准,本文建立指标体系,整个评估模型包括两层,第一层指标为属于第二层因素集的单因子指标,第二层为因素集,分别为:应急预防、应急准备、应急响应、应急恢复,如图1所示。

1.2 相对劣化度处理

由于指标中量纲影响,即指标量纲和数量级不同导致评估结果偏差较大,因此采用指标的相对劣化度处理方法。

对于正向指标,代入式(1)进行归一化处理。

$$x = \begin{cases} 0 & X \geq X_{\max} \\ \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} & X_{\min} < X < X_{\max} \\ 1 & X \leq X_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

对于适中型指标,代入式(2)进行归一化处理。

$$x = \begin{cases} \frac{X - X_{\min}}{X_m - X_{\min}} & X_{\min} < X \leq X_m \\ \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_m} & X_m \leq X < X_{\max} \\ 1 & X \geq X_{\max}, X \leq X_{\min} \end{cases} \quad (2)$$

对于逆向型指标,代入式(3)进行归一化处理。

$$x = \begin{cases} 0 & X \leq X_{\min} \\ \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} & X_{\min} < X < X_{\max} \\ 1 & X \geq X_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

其中, x 为相对劣化度值, X 为状态指标的原始数, X_m 是各个指标最合适值, X_{\max} 为某单因素指标安全运行标准限值的上限, X_{\min} 为某单因素指标安全运行标准限值的下限。

1.3 综合权重确定

为提高极端天气下电力应急能力的可靠性,将根据专家和技术人员的实际经验和现场实际应急数据确定。传统的层次分析法以决策者的经验为基础,计算较为主观。熵值法是权重计算的重要数学理论,相对客观,但缺乏一定经验^[9]。因此,为了提高应急网络功率指数的质量,本文结合层次分析法和熵值计算权重,既能保主观经验,又能结合客观实际情况。

1.3.1 熵值法计算权重

信息熵的主要思想是从熵的角度反映评价主

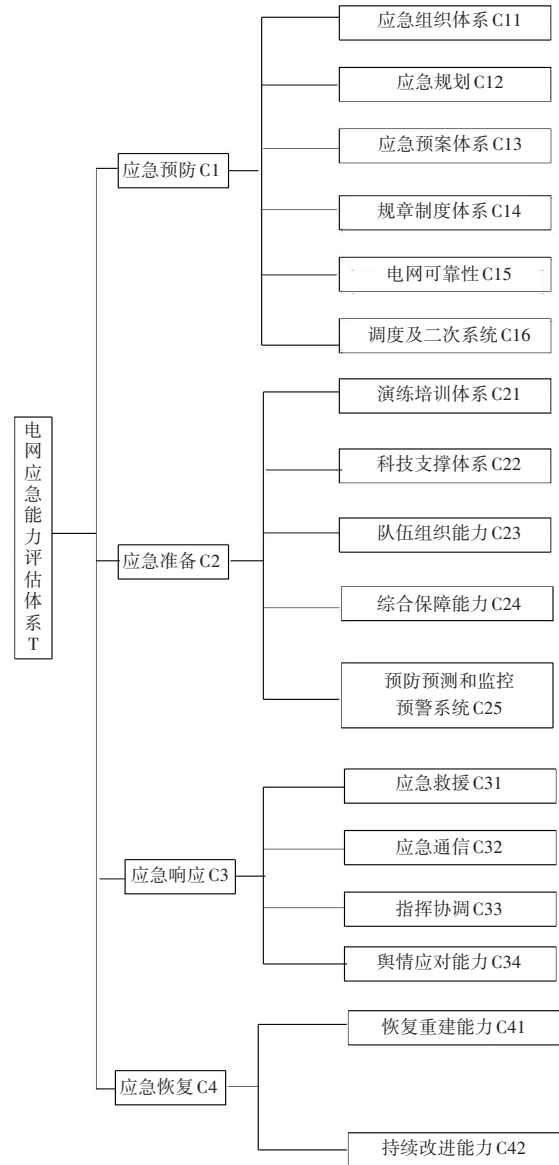


图1 电力应急能力评估指标体系

体的指标划分程度。在电网故障情况下,引入熵值法可以更好地评估指标对电网应急能力的影响^[10]。熵变越小,提供的信息就越少,对应于指数的质量也就越小。相反的情况适用于更大的熵。

步骤1:计算第 j 项指标的第 i 组数据的特征比重

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (4)$$

步骤2:计算第 j 项的熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (5)$$

其中, $k=1/\ln m$

步骤3:归一化确定各个指标权重

$$w_{2j} = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^m e_j} \quad (6)$$

1.3.2 层次分析法计算权重

根据分析过程的层次结构,专家应根据个人知识和经验对所有评级指标进行比较,最后验证连续性是否对应错误,并建立评级矩阵。层次分析法计算步骤如下:

1) 基于分层评价模型,分配网络应急能力指标,建立不同维度的指标要素层次关系。

2) 构建判断矩阵 A 。设某一层为 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,其下一层包含 n 个评价指标,可记作: (A_1, A_2, \dots, A_n) , A 满足条件 $a_{ij} + a_{ji} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$, 为第 i 个评价指标和第 j 个评价指标比较得到判断值,采用 1~9 标度法作为标度, a_{ij} 如表 1 所示。

3) 同一层次指标排序及一致性检验。

4) 由于人类观察的单边性,构建评估矩阵的过程受到主观因素的强烈影响,因此对判断矩阵 A 采用式(7)调整:

$$\begin{cases} AX = \lambda X \\ CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \\ CR = \frac{CI}{RI} \end{cases} \quad (7)$$

式中, X 为判断矩阵, λ 是特征向量, λ_{\max} 为特征向量最大值, n 为对应阶数, CI 是一致性阶数, CR 为一致性比率, RI 是随机一致性指标。当 $CR < 0$ 时,则称判断矩阵具有满意的一致性;若 $CR \geq 0$ 时,在通过系统测试之前,必须再次进行专家评分重新选择。

表 1 九标度比较法

标度 a_{ij}	含义
1	两指标重要程度相等
2	i 指标比 j 指标略为重要
9	i 指标与 j 指标相比极端重要
2~8	两相邻指标判断的中值
倒数	i 指标与 j 指标的比为 b , 则 j 指标比 i 指标是 $1/b$

1.3.3 组合赋权方法

主观权重法可以根据决策者的经验进行判断,但主观度很高。客观权重分配有数学理论的支持,但缺乏决策者的经验,因此有必要结合主客观模型方法调整权重。组合赋权拟值采用线性的方式进行组合,导致主、客观的系数上具有较大的主观性,

所以不宜选取。故本文针对主客观权重进行优化组合,通过对评价指标历史回顾,对差异较大数据进行指数劣化。

已知组合权重为 w_j , 主观权重赋值为 w_i , 客观权重赋值为 w_{2j} , α 为变权系数, 本文 α 取值为 1, 则组合权重公式为:

$$w = \frac{w_{1i} \times w_{2j}^{\alpha}}{\sum w_{1i} \times w_{2j}^{\alpha}} \quad (8)$$

1.4 云模型简介

U 被定义为一个由正确的数值表示的域, C 是关于 U 的定性概念的集合, 云模型的数值特征值被定义为 $C(Ex, En, He)$ 。在这种情况下, Ex 认为是电力系统应急能力数据的预期值。熵 En 是定性概念的不确定性和概率的度量, 反映电力系统应急功率水平以下的一系列允许值。 He 表征电力系统应急能力的不确定性, 反映自然语言属性的随机性和模糊性概念的一致性。其计算流程如下所示:

1) 综合评价云 C 中选择特征值 (Ex, En, He) 和云滴 n 。

2) 生成 $x \sim N(Ex, En^2)$ 。

3) 令 $C_i = (X_i, \mu_i)$, 由公式 $\mu_i = \exp(-(x_i - Ex)^2 / (2En^2))$

4) 重复计算 1)~3), 直到求得 N 个云滴生成的云图。

5) 重复运行云发生器 N 次, 以 N 次求得平均值作为隶属度矩阵的元素 r_{ij} 。

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n r_{ij}^k}{N} \quad (9)$$

由权重集向量 ω 与隶属度矩阵 R 进行多级模糊转换得出模糊子集 G , 可以得出各个子系统和不同等级之间的关联度:

$$G = \omega \times \mu = (w_1, w_2, \dots, w_n) \times \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2m} \\ M & M & \mu_{ij} & M \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nm} \end{bmatrix} = (g_1, g_2, \dots, g_k, \dots, g_m) \quad (10)$$

1.5 D-S 证据理论

对于测试理论, 应首先确定所有测试评估结果。 Θ 代表样本评估结果的样本空间称为测试框架。本研究中的鉴定参考是四个状态级别 z_1, z_2, z_3, z_4 , 以及不确定度 θ , 即:

$$\Theta = \{z_1, z_2, z_3, z_4, \theta\} \quad (11)$$

本文在证据理论中, Θ 表示所有评价结果的样本空间, 称 Θ 为识别框架。 Θ 中的元素两两互斥, 本文识别框架为 4 个状态等级, 分别为 $\Theta = \{H_1, H_2, H_3,$

$H_i, \theta\}$, H_i 为状态等级, θ 为不确定度。

基本信度分配函数 m 是一个集合 $2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ 的映射, A 为识别框架的任一子集, 即 $A \subseteq \Theta$, 且满足: $m(\emptyset) = 0$, $\sum_{x \subseteq \Theta} m(A) = 1$, $0 \leq m(A) \leq 1$, 即:

$$\begin{cases} m(\emptyset) = 0 \\ 0 \leq m(X) \leq 1 \\ \sum_{x \subseteq \Theta} m(X) = 1 \end{cases} \quad (12)$$

式中, m 为证据函数; $m(X)$ 为命题 X 的基本信度分配函数, \emptyset 为空集, 其基本信度分配值为 0。

鉴于证据的可靠性不同, 该值建立一个置信因子 λ_k , 由不同参考层的相对重要性决定, 置信度越高, 反之亦然。

$$\omega_{\max} = \max\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k, \dots, \omega_n\} \quad (13)$$

其中, λ 为优先置信系数, 本文取 0.95; ω_{\max} 为指标计算权重 ω_k 中的最大值。

基本信度分配函数通过下式修正:

$$\begin{cases} m_k(X) = \lambda_k \mu_k \\ m_k(\theta) = 1 - \lambda_k \end{cases} \quad (14)$$

1.6 证据理论决策

假定识别框架 Θ 下有 n 个相互独立的证据体, 其相应的概率分配函数(basic probability assignment, BPA)为 m_1, m_2, \dots, m_n , 焦点分别为 $A_1, \dots, A_i, \dots, A_j, \dots, A_n$, 则 D-S 证据融合规则为:

$$m(A) = \begin{cases} \frac{1}{1-K} \sum_{A_i \cap A_j = A} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_n), A \neq \emptyset \\ 0, A = \emptyset \end{cases} \quad (15)$$

式中, $m = m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n$, $k = \sum_{A_i \cap A_j = \emptyset} \prod_{1 \leq i \leq n} m_i(A_n)$, 它表示各证据之间的冲突程度, 若 $K > 1$, 则表示 m_1 和 m_j 矛盾, 不能进行融合。

依次进行两两证据融合直至此次融合结束。定义 θ 为不确定性系数, 计算公式为:

$$\theta = 1 - \sum_{i=1}^n m(A_i) \quad (16)$$

θ 越小说明融合的不确定性越小, 可信度越高。若涉及到多层融合, 则在一层融合结束之后, 将融合结果作为该证据的基本可信度分配。

2 结果与分析

2.1 评估原则

利用云模型的模糊性及随机性特征可以较全面地处理定性指标与定量指标, 得到评价对象与相

应标准的隶属度, 接着应用证据推理将同一层级下的评价信息融合, 最后通过评价原则确定最终评估结果。

评估原则结合最大限度地遵守可靠性标准的原则, 如果两个级别的评估水平非常相似, 则可以有效避免不公平的决定。该决定的具体规则如下:

(1) 判断准确性原则:

$$\varepsilon_1 = 0.05 \quad (17)$$

如果计算的不确定度 $m(\theta)$ 低于设定的限值 ε_1 , 则说明结果的准确性。本文取 $\varepsilon_1 = 0.05$ 。

(2) 最大隶属度原则:

$$m(z_0) - m(\bar{z}_0) > \varepsilon_2 \quad (18)$$

其中 $m(z_0) = \max\{m(Z_i) | Z_i \subseteq \Theta\}$, $m(\bar{z}_0) = \max\{m(Z_i) | Z_i \subseteq \Theta, Z_i \neq z_0\}$ 。

若评估等级的 BPA 最大值 $m(z_0)$ 与次大值 $m(\bar{z}_0)$ 的差值超过阈值 ε_2 , 则可判断结果为 z_0 级, 本文 $\varepsilon_2 = 0.15$ 。

(3) 若不满足式 (18) 的条件则按信度原则继续判断, 其条件为:

$$z_0 = \min \left\{ z_0 \sum_{i=1}^{z_0} m(z_i) > \varepsilon_3, 1 \leq z_0 \leq 4 \right\} \quad (19)$$

其中: $\varepsilon_3 = 0.5$ 为置信水平, 本文 $\varepsilon_3 = 0.5$ 。在评估等级 BPA 相差不大时, 若满足 BPA 依次加和达到置信水平的最小值为 λ_k , 则可判断结果为 λ_k 级。

2.2 评估流程

1) 选取电力系统应急能力体系特征量及相应指标, 构建电力系统应急能力评估指标体系。

2) 使用层次分析法和熵权法计算每个指数大小的相对重要性, 通过等式 (4) 至 (8) 确定质量值, 并输入可变权重因子调整权重。

3) 选择适当的评价标准, 设其分为 K 个级别, 并确定评价因子及其个数 M 。

4) 选择第 m 个评价因子 x_m , 根据相对劣化度的定义, 建立各个级别对应相对劣化度值模糊范围 (a, b) 。

5) 以 (a, b) 的中心值为该云的 Ex , 并适当选择另外两个参数 En 、 He 的值, 运用云发生器生成云模型。

6) 重复步骤 4) 和 5), 直至每一个评价因子都产生 K 朵云, 共产生 $K \times M$ 朵云。

7) 采用云模型计算各指标与相应状态等级的联系度。

8) 根据式 (13) 至 (14) 构建主要概率分布, 并根

据式(15)进行测试,从而对条件进行全面评估。

9)结合最大相关性原理和置信指数,使用式(17)~(19)给出评估的最终结果。

2.3 实例分析

由于篇幅限制,本文仅以广西某A供电局、B供电局、C供电局为例,对极端天气下电力应急能力动态综合评价进行说明。通过调研获取企业应急能力建设方面的相关资料,然后按照专家打分分数为0~100的方法取得本文所需的初始数据行统计分析。将初始数据代入式(4)~(7),计算得到层次分析法的权重和熵值法权重,最终求得组合权重如表2所示。

表2 各指标权重计算结果

指标	层次分析法	熵值法	综合赋权
C11	0.03	0.08	0.055
C12	0.13	0.13	0.130
C13	0.06	0.08	0.080
C14	0.11	0.09	0.095
C15	0.21	0.27	0.240
C16	0.46	0.34	0.400
C21	0.04	0.11	0.085
C22	0.08	0.11	0.100
C23	0.17	0.11	0.135
C24	0.30	0.18	0.240
C25	0.41	0.47	0.440
C31	0.21	0.22	0.215
C32	0.10	0.22	0.160
C33	0.64	0.35	0.495
C34	0.05	0.22	0.135
C41	0.82	0.81	0.815
C42	0.18	0.19	0.185

选择10位应急技术专家根据国内的电力系统应急能力建设评价标准,基于层次分析过程和熵权法的计算。总分为100分,其中85~100分为优,70~85分为良,60~70分为合格,60分以下的为不合格,并将指标归一标准化最大值和最小值,然后回收调查表,对专家的评语进行归一化处理式(1)~(3),最终划分为4个等级:正常Ⅰ级、注意Ⅱ级、异常Ⅲ级、严重Ⅳ级(表3),分别记为 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 。

由云模型求得各指标与相应评估等级隶属度。根据采用表4中公式计算云数字特征。

表3 应急准备能力评价数据归一化

指标状态参量	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
C11	(1,0.8)	(0.8,0.4)	(0.4,0.3)	(0.3,0)
C12	(1,0.7)	(0.7,0.5)	(0.5,0.3)	(0.3,0)
C13	(1,0.6)	(0.6,0.4)	(0.4,0.2)	(0.2,0)
C14	(1,0.9)	(0.9,0.6)	(0.5,0.2)	(0.2,0)
C15	(1,0.7)	(0.7,0.4)	(0.4,0.3)	(0.3,0)
C16	(1,0.7)	(0.7,0.3)	(0.3,0.1)	(0.1,0)
C21	(1,0.7)	(0.7,0.4)	(0.4,0.3)	(0.3,0)
C22	(1,0.7)	(0.7,0.5)	(0.5,0.3)	(0.3,0)
C23	(1,0.8)	(0.8,0.4)	(0.4,0.2)	(0.2,0)
C24	(1,0.8)	(0.8,0.6)	(0.6,0.3)	(0.3,0)
C25	(1,0.5)	(0.5,0.3)	(0.3,0.1)	(0.1,0)
C31	(1,0.9)	(0.9,0.8)	(0.8,0.7)	(0.7,0)
C32	(1,0.8)	(0.8,0.6)	(0.6,0.4)	(0.4,0)
C33	(1,0.8)	(0.8,0.6)	(0.6,0.3)	(0.3,0)
C34	(1,0.8)	(0.8,0.4)	(0.4,0.3)	(0.3,0)
C41	(1,0.8)	(0.8,0.4)	(0.4,0.3)	(0.3,0)
C42	(1,0.8)	(0.8,0.4)	(0.4,0.3)	(0.3,0)

表4 特征值计算

	(1,a)	(a,b)	(b,c)	(c,0)
Ex	Ex1=1	Ex2= (a+b)/2	Ex3= (b+c)/2	Ex4=0
En	En1= (Ex1-Ex2)/3	En2= (Ex2-Ex3)/3	En3= (Ex3-Ex4)/3	En4= (Ex4-Ex5)/3
He	q	q	q	q

在确定云模型的特征参数后,生成每个级别对应的云模型,最后求得指标综合评价矩阵,同时用基本概率分配函数计算,各应急处置权重:应急预防 $\omega_1=0.356\ 1$,应急准备 $\omega_2=0.154\ 8$,应急响应 $\omega_3=0.264\ 0$,应急恢复 $\omega_4=0.225\ 1$,由公式(19)可得 $\lambda_k=\{0.95,0.413\ 0,0.306\ 2,0.193\ 5\}$ 。

表(5)至表(8)显示最初根据方程式(14)修改的BPA。上述基本概率分布函数的计算结果与试验相结合,最终结果见表(8)。按2.1节,式(17)~(19)的判断准则,根据最大隶属度原则,在极端天气下应急能力综合评估分值A供电局为0.836 8、B供电局为0.637 4,二者应急能力评估均为优秀,C供电局为0.738 3,应急能力评估为良好。整体来看一级指标应急预防对电网企业应急能力建设评价结果有较大影响,这是在实际工作中,电网企业将较大的关注点放在应急预防之中,在现场检查中发现

A供电局各项指标都很好,B供电局存在忽略规章制度体系建设、演练培训体系建设次数过少、队伍组织能力建设不够完善和指挥协调不足,C供电局存在电网可靠性建设薄弱,调度及二次系统建设不完善,演练培训体系建设次数过少,队伍组织成员不足,最终评价结果与现场检查结果一致。此外,尽管A供电局的评价结果最好,但仍存在着许多不足,A供电局在应急预防上十分注重,但在其他3个综合指标上水平仍然较低。因此,在今后的工作中,应该加强其他3个综合指标水平建设,如增加综合保障能力、增强应急通信能力等等。

表5 A局基本概率分配函数计算结果

证据	$m(z_i)$				$m(\theta)$
	z_1	z_2	z_3	z_4	
X_1	0.780 3	0.169 7	0	0	0.05
X_2	0.287 5	0.090 3	0.035 2	0	0.587
X_3	0.160 8	0.145 2	0	0.000 2	0.693 8
X_4	0.127 9	0.065 6	0	0	0.806 5

表6 B局基本概率分配函数计算结果

证据	$m(z_i)$				$m(\theta)$
	z_1	z_2	z_3	z_4	
X_1	0.579 3	0.344 1	0.026 6	0	0.05
X_2	0.257 3	0.109 5	0.045 2	0.001 0	0.587
X_3	0.015 8	0.215 2	0.075 0	0.000 2	0.693 8
X_4	0.127 9	0.065 6	0	0	0.806 5

表7 C局基本概率分配函数计算结果

证据	$m(z_i)$				$m(\theta)$
	z_1	z_2	z_3	z_4	
X_1	0.232 3	0.717 7	0	0	0.05
X_2	0.282 7	0.061 2	0.067 4	0.001 7	0.587
X_3	0.075	0.224 6	0.006 3	0.000 3	0.693 8
X_4	0.005 2	0.188 3	0	0	0.806 5

表8 各供电局应急能力综合评估比较结果

证据	$m(z_i)$				$m(\theta)$
	z_1	z_2	z_3	z_4	
A局	0.836 8	0.137 3	0.001 5	0	0.024 4
B局	0.637 4	0.315 5	0.021 3	0	0.025 8
C局	0.230 5	0.738 3	0.003 5	0	0.027 7

3 结论

(1)本文综合考虑电网应急能力评估标准及专家经验,建立客观而科学的三层极端天气下电力系统应急能力指标体系,分别采用层次分析法和熵值法对数据进行处理,避免单一权重方法计算偏差,使电网系统应急能力可靠性指标权重更加科学合理,并在一定程度上减少计算量。

(2)提出基于云模型和证据理论融合的电网系统应急能力评估方法。利用云模型综合处理定性与定量指标,同时通过云隶属度来构造证据理论的基本概率分配,最后通过证据推理确定评价结果。

(3)实例研究表明,采用基于云模型和证据理论融合的电网系统应急能力评估方法可以为电网应急能力评估做决策,该方法具有较强实用性和可靠性。

参考文献:

- [1] 钟远强,卢锐.电力系统应急通信能力评估研究[J].电气应用,2013,32(增刊1):312-315.
- [2] 佟强.地方电网企业应急能力评估系统研究[D].北京:华北电力大学,2014.
- [3] 张驰,陈涛,倪顺江.基于层次分析和模糊综合评价的电网系统应急能力评估[J].中国安全生产科学技术,2020,16(2):180-186.
- [4] 门永生,朱朝阳,于振,等.电网基础设施突发事件应急能力指标体系构建及评价[J].安全与环境学报,2014,14(3):84-87.
- [5] 刘超,朱朝阳,龚波涛,等.城市电网企业应急能力评估理念、指标及方法研究[J].华东电力,2013,41(9):1900-1906.
- [6] 鲁鹏,姜理源,纪宁,等.省级电网事故处理应急系统的构建[J].自动化与仪器仪表,2018,222(4):203-206.
- [7] 王迪,蔡东军,房鑫炎,等.动态综合评价方法在电网应急能力评估中的应用[J].电力系统保护与控制,2019,47(16):101-107.
- [8] 高小平,刘一弘.中国应急管理制度创新:国家治理现代化视角[M].北京:中国人民大学出版社,2020.
- [9] 郭显光.熵值法及其在综合评价中的应用[J].财贸研究,1994(6):56-60.
- [10] 鲁鹏,陈大军,时珉,等.基于熵权法的电网应急能力水平评价研究[J].电力科学与工程,2013,29(11):44-48.

Emergency capability evaluation of power systems under extreme weather conditions based on cloud D–S evidence theory

WANG Jiannan, LI Yuanliang, WEN Xiaohan, LAI Yuanwei, LU Junyan,
ZHENG Yuqi, HE Qing, GUO Zhiwei

(Nanning Power Supply Bureau, Guangxi Power Grid Company Limited, Nanning 530031, China)

Abstract: This article aims to improve the ability to respond to power system emergencies under extreme weather conditions, the emergency response capability of power system is taken as the research object, and an evaluation algorithm based on the fusion of cloud models and evidence theory is proposed. The combination of analytic hierarchy process and entropy method are used to determine the weights of emergency indicators, the cloud model is used as the basis to evaluate the emergency capacity of the power system, which is used to solve the problems of fuzziness and randomness of evaluation indicators, and the D–S evidence theory is introduced to comprehensively evaluate the indicators, and then a model for evaluating the emergency capacity of the power system under extreme weather conditions is constructed. It is proved through cases that this method can effectively and accurately evaluate the emergency capability of power grid systems quantitatively and qualitatively, and provide a scientific basis for improving the emergency management capability of power grid systems.

Key words: cloud model; D–S evidence theory; analytic hierarchy process; entropy method; emergency capability of power system;