

基于动态权重和模糊综合评判法的健康评估模型^①

彭炎亮, 李汪根, 刘 娇, 陈 骞

(安徽师范大学 数学计算机科学学院, 芜湖 241000)

摘 要: 开关柜是电网系统中最关键和最复杂的设备之一, 在保证电网系统可靠安全运行中发挥着重要作用. 为更好地正确评估开关柜的健康状态, 根据专家经验和监测系统的实际情况, 建立了基于动态权重机制的模糊综合评估模型. 评估模型以在线监测的非电量特征参数为基础, 确立了综合评估指标体系和隶属度分布函数, 结合模糊综合评判法和动态权重修正模型, 综合考虑了各指标对开关柜健康状态的不同影响, 同时着重凸出了设备的异常状态. 另外, 利用该评估模型进行了仿真分析, 实验结果表明评估模型具有一定的有效性和合理性, 符合电力行业的实际标准和需求, 具有一定的使用价值.

关键词: 开关柜; 动态权重; 模糊综合评判法; 健康评估

Health Assessment Model Based on Dynamic Weight and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

PENG Yan-Liang, LI Wang-Gen, LIU Jiao, CHEN Qian

(School of Mathematics and Computer Science, Anhwei Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: The switchgear is one of the most critical and complex equipment in a power system, and plays an important role in ensuring the safe and reliable operation of the grid system. In order to better assess the health status of the switch cabinet, according to expert experience and the actual situation of monitoring system, this paper establishes a fuzzy comprehensive evaluation model based on a dynamic weighted mechanism. The evaluation model establishes a comprehensive evaluation index system and a membership degree distribution function based on non-electric characteristic parameters, combined with fuzzy comprehensive evaluation method and the dynamic weight correction model, considering the different effects of each index of health condition of the switchgear, and emphasizing the abnormal state of the equipment. In addition, the simulation analysis is carried out by using the evaluation model. The experimental results show that the evaluation model is effective and reasonable, and conforms to the actual standard and demand of the electric power industry.

Key words: switch cabinet; fuzzy comprehensive evaluation; dynamic weight; state estimation

开关柜在电网系统中发挥着重要作用, 是电网系统中最关键和最复杂的设备之一, 一旦发生故障将导致严重后果. 然而, 从开关柜目前运行、维护的实际情况看, 在大多数的在线监测系统中, 只实现了监测开关柜某些运行状态参数和单因素报警的功能, 并且监测到的每一类运行状态参数对开关柜整体健康状态的反映都有其局限性, 不能仅仅通过单一监测指标来反映整个开关柜的运行状态.

目前, 电网系统内对开关柜的状态评估的研究还

较少, 对电网系统内设备的状态评估主要集中在对变压器等大型设备的状态评估, 近年来诸多相关学者将各种智能算法如遗传算法^[1]、人工神经网络^[2]、模糊理论^[3]、小波分析^[4]、灰色聚类^[5]等引入变压器的故障诊断中, 取得了比较好的效果.

开关柜的健康状态评估研究包括: 谢静提出的基于模糊分层理论评估算法^[6]和基于突变级数法的状态评价算法^[7]. 重庆大学周念成等提出改进的拉普拉斯分值的开关柜的故障诊断方法^[8]. 然而这些主要以带

① 收稿时间:2016-04-11;收到修改稿时间:2016-05-08 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005503]

电检测方法为主, 并且没有着重突出异常状态。

为此, 本文以在线监测系统监测的各类非电量特征参数为主, 选择合理、科学的评价指标体系, 建立合理的开关柜健康状态等级, 然后运用合适的计算方法统筹兼顾评价指标体系中所有的监测指标对开关柜状态的影响, 继而综合评估出开关柜的健康状态, 便于相关工作人员更准确、合理的了解开关柜当前的健康状态。

1 模糊综合评判法

模糊理论是由美国控制论专家 Zadeh 教授 1965 提出, Zadeh 指出现实生活中除了经典集合论中描述的“非此即彼”现象外, 还存在着一种“亦此亦彼”的模糊现象^[9]。

利用各种评价因素对被评判对象不同的影响, 利

用某种计算方法做出最终评价的评价方法, 叫做模糊综合评判法。

据上所述, 模糊综合评判法^[9]的主要步骤如下:

- 1) 确定评价因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$;
- 2) 确定评语集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$;
- 3) 进行单因素评判得到 $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$;
- 4) 构造综合评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

5) 综合评判: 利用权重 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 计算 $P = W \circ R$, 并根据隶属度最大原则求出综合评判结果。

根据运算 \circ 的不同定义, 可以得到不同的模型, 如表 1 所示。

表 1 四种模糊算子的关系

序号	模型	算子	计算公式	利用模糊判断矩阵程度	类型
1	$M(\wedge, \vee)$	\wedge, \vee	$P_j = \max\{w_i \wedge r_{ij}\}$	不充分	主因素 决定型
2	$M(\cdot, \vee)$	\cdot, \vee	$P_j = \max\{w_i \cdot r_{ij}\}$	不充分	主因素 突出型
3	$M(\cdot, \oplus)$	\cdot, \oplus	$P_j = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot r_{ij})$	充分	加权 平均型
4	$M(\wedge, \oplus)$	\wedge, \oplus	$P_j = \min\left\{1, \sum_{i=1}^n (w_i \wedge r_{ij})\right\}$	比较充分	取小 上界和型

2 评价指标体系的建立

在开关柜状态评估中, 监测到的某类特征数据, 往往只反映某个方面的状态。同时, 每一类特征量的监测对状态的反映都有其优势与局限性, 不能仅仅通过单一监测指标来反映整个开关柜的运行状态。

因此, 本文针对开关柜典型故障, 结合专家经验和当前传感器技术发展水平等因素综合考虑, 选取了温度、湿度、弧光、图像、环境温度 5 个具有代表性和可测量的特征参数作为开关柜健康状态评估的评价指标体系。

3 评语集的建立

本文中开关柜的健康状态分为 5 个等级, 从高到底依次分别为健康、正常、异常、预警、报警, 表示成集合形式为 $V = \{v1, v2, v3, v4, v5\}$, 相应等级的开关

柜状态和评估结果说明如表 2 所示。

表 2 开关柜健康评估评语集

评语	状态	评估结果说明
v1	健康	开关柜运行非常正常, 检修周期可适当延长
v2	正常	开关柜运行基本正常, 部分指标可能会接近预警临界值
v3	异常	开关柜仍然可以继续运行, 但存在不明显的异常, 可能有指标越过预警临界值或大多数指标都接近预警临界值
v4	预警	开关柜存在事故隐患, 有指标越过预警值, 需要预警报警凸显异常情况
v5	报警	开关柜存在出现危险状况, 需要立即报警提示并由维护人员处理

4 评价指标权重的确定

4.1 确定初始指标权重

由于目前对开关柜的健康评估处于起步阶段,对评估指标体系如何建立以及各指标的权重如何分配没有明确的行业标准,相关算法还在不断的探索中.鉴于当前的实际情况,本文采取借鉴专家经验的方式来确定评估模型的指标初始权重.

本文邀请5位行业专家对已建立的评估指标体系中各指标的权重进行打分,具体结果如表3所示.

表3 指标权重专家打分表

专家	温度	湿度	弧光	图像	环境温度
专家1	0.34	0.34	0.18	0.13	0.05
专家2	0.30	0.28	0.20	0.16	0.06
专家3	0.45	0.31	0.10	0.10	0.04
专家4	0.34	0.27	0.17	0.18	0.04
专家5	0.32	0.30	0.14	0.18	0.06

利用5位专家给出的5种不同的权重分配方案,本文采取求平均数来确定单项指标分配权重,最后根据专家打分法求得综合评价指标体系的初始权重为: $W = \{0.35, 0.30, 0.15, 0.15, 0.05\}$.

4.2 动态权重机制

在传统的模糊综合评判法中,各指标权重一旦使用某种方法确定以后就一直保持不变.但当某项评价指标超过预警值甚至报警值时,有可能会因为原来该指标分配的权重比较小,经模糊算子综合计算后得到开关柜依然处于正常状态的结果,造成其异常信息被淹没,显然,这样的结果是不合理也是不符合实际需求的.

因此,在开关柜健康状态综合评估中,应充分考虑异常信息被淹没的情况,适当的对指标权重进行调整,使得异常信息能够在综合评估结果中得到凸出.

① 指标预警的权重自适应修正

在本文设计的在线综合辅助系统中,每项监测指标都设有预警值和报警值,当这些监测值超过对应的预警值或报警值时,系统会发出对应的报警提示,提醒运维人员加强对该指标的关注程度,视具体情况进行处理.

那么当某项评价指标的监测值超过预警值时,其在正确评价当前开关柜健康状态中的重要性应增加,成为综合评价开关柜健康状态的关键指标,应当适当地对其指标权重进行修正,凸显其对开关柜安全的重要影响,便于工作人员关注到开关柜安全指标的趋势变化,起到预警作用.

当开关柜监测指标中出现 n 个异常指标的监测值超过了预警值,记其异常指标序号集合记为 A ,监测值在正常范围内的指标为 m 个,其序号集合为 B .对超过预警值的异常指标的权重值按式(1)进行调整^[10].

$$w_i = w_{i0} + \left(1 - \sum_{k \in A} w_{k0}\right) w_{i0} \quad i \in A \quad (1)$$

其余监测值在正常范围内的指标权重也需要按式(2)进行调整.

$$w_j = w_{j0} - \left(1 - \sum_{k \in B} w_{k0}\right) w_{j0} \quad j \in B \quad (2)$$

可以发现式(2)满足式(3),上述权重调整机制保持了评价指标体系权重的整体平衡性.

$$\sum_{i \in A} w_i + \sum_{j \in B} w_j = 1 \quad (3)$$

② 报警指标的重惩罚修正

当开关柜的某些评价指标的监测值超过了其规定的危险报警值,表明系统进入了一定程度的危险状态,开关柜的整体状态应引起工作人员的高度注意.为避免由于初始指标权重较小,危险信息在综合计算的时候造成信息淹没,必须对初始权重进行必要的修正,充分凸显系统的危险状态.

当开关柜的综合评价指标中有 k 个指标的监测值超过了其对应的报警值,记其下标集合为 C .危险评价指标的权重按式(4)进行修正.

$$w_i = e^{\frac{w_{i0}(x-\alpha)}{\beta-\alpha}} \quad i \in C \quad (4)$$

其中 α, β 为修正因子, x 为危险评价指标的监测值,通常 α 为危险报警的界限值.

式(4)的报警指标权重修正模型只对超过报警值的指标权重进行了调整,而对其他处于正常范围内的评价指标权重未做修改.这种重惩罚机制能够充分凸显危险指标所反映的危险信息,虽然调整后所有评价指标权重之和大于1,但是这是出于尽可能避免开关柜发生事故的目的,符合实际安全需求.

③ 自定义权重修正

除了预警和报警两种权重调整机制外,对系统初始化时求出的权重还应根据行业标准的发展、不同设备特性以及检修人员的经验等因素做适当的调整,使得综合评估的结果尽可能反映开关柜实际的健康状态,确保开关柜可靠安全地运行.

自定义修正权重应保持综合指标之间的权重平衡,假设有 h 个评价指标需要进行自定义修正,记其

下标集合为 D, 权重调整机制如式(5)所示:

$$w_i = w_{i0} + \gamma_i \quad i \in D \quad (5)$$

其中 γ_i 表示自定义权重修正量, 同时式(5)应满足式(6), 这样可以保持指标权重总体平衡.

$$\sum_{i \in D} \gamma_i = 1 \quad (6)$$

5 建立隶属度函数

根据我国开关柜的共用技术要求 GB/T 11022-2011 和行业专家的经验列出了不同状态等级下各评价指标的参数范围^[11], 如表 4 所示.

表 4 评语集对应的各指标参数范围

评语集	温度 (°C)	湿度 (%)	电弧 (ms)	图像 (%)	环境温度 (°C)
v1	[-40,60)	[0,50)	[0,20)	[0,10)	[-50,20)
v2	[60,80)	[50,85)	[20,30)	[10,30)	[20,40)
v3	[80,90)	[85,90)	[30,40)	[30,50)	[40,50)
v4	[90,100)	[90,95)	[40,50)	[50,60)	[50,60)
v5	[100,110)	[95,100)	[50,100)	[60,100)	[60,100)

隶属度函数的确定方法有多种, 本文采用指派法, 设计出分布如图 1 所示的梯形函数与三角行函数相结合的隶属度函数, 计算简单方便, 符合实际使用的需求.

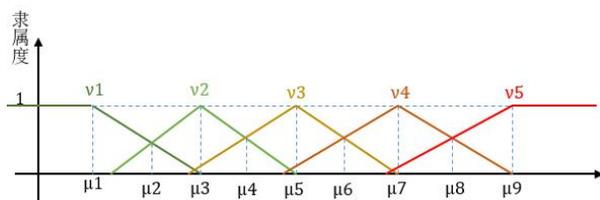


图 1 隶属度函数分布图

假设应对五个评价等级中各项指标的区间临界值, 具体对应关系如表 5 所示.

表 5 评语集区间临界值对应表

评语集	v1	v2	v3	v4	v5
参数 μ_i	$[\mu_1, \mu_2)$	$[\mu_2, \mu_4)$	$[\mu_4, \mu_6)$	$[\mu_6, \mu_8)$	$[\mu_8, \mu_9)$

本文中, 表 5 中的 μ_3 、 μ_5 、 μ_7 的取值分别为:

$$\mu_3 = \frac{\mu_2 + \mu_4}{2}, \quad \mu_5 = \frac{\mu_4 + \mu_6}{2}, \quad \mu_7 = \frac{\mu_6 + \mu_8}{2}.$$

根据图 1 中设计的隶属度函数分布图, 设计出各评价等级所对应的隶属度函数如表 6 所示.

表 6 评语集对应的各指标参数范围

评语集	隶属度函数
v1	$A_{v1}(x) = \begin{cases} 1, & x \in (-\infty, \mu_1) \\ \frac{\mu_3 - x}{\mu_3 - \mu_1}, & x \in [\mu_1, \mu_3) \\ 0, & x \in [\mu_3, +\infty) \end{cases}$
v2	$A_{v2}(x) = \begin{cases} 0, & x \in (-\infty, \mu_3 - \frac{1}{k_2}) \cup [\mu_5, +\infty) \\ k_2(x - \mu_3) + 1, & x \in [\mu_3 - \frac{1}{k_2}, \mu_3) \\ \frac{\mu_5 - x}{\mu_5 - \mu_3}, & x \in [\mu_3, \mu_5) \end{cases}$
v3	$A_{v3}(x) = \begin{cases} 0, & x \in (-\infty, \mu_5 - \frac{1}{k_3}) \cup [\mu_7, +\infty) \\ k_3(x - \mu_5) + 1, & x \in [\mu_5 - \frac{1}{k_3}, \mu_5) \\ \frac{\mu_7 - x}{\mu_7 - \mu_5}, & x \in [\mu_5, \mu_7) \end{cases}$
v4	$A_{v4}(x) = \begin{cases} 0, & x \in (-\infty, \mu_7 - \frac{1}{k_4}) \cup [\mu_9, +\infty) \\ k_4(x - \mu_7) + 1, & x \in [\mu_7 - \frac{1}{k_4}, \mu_7) \\ \frac{\mu_9 - x}{\mu_9 - \mu_7}, & x \in [\mu_7, \mu_9) \end{cases}$
v5	$A_{v5}(x) = \begin{cases} 0, & x \in (-\infty, \mu_7) \\ \frac{x - \mu_7}{\mu_9 - \mu_8}, & x \in [\mu_7, \mu_9) \\ 1, & x \in [\mu_9, +\infty) \end{cases}$

本文中, 表 6 中的 k_2 、 k_3 、 k_4 取值分别为:

$$k_2 = \frac{\mu_2 - \mu_1}{(\mu_3 - \mu_1)(\mu_3 - \mu_2)}, \quad k_3 = \frac{\mu_4 - \mu_3}{(\mu_5 - \mu_3)(\mu_5 - \mu_4)}, \quad k_4 = \frac{\mu_6 - \mu_5}{(\mu_7 - \mu_5)(\mu_7 - \mu_6)}.$$

结合表 4 中的各等级指标的参考值和表 6 中的隶属度函数表达式, 可求出综合评估指标体系中每个评价指标对应 5 个评语集的具体隶属度函数.

6 最大隶属度原则有效性讨论

在综合评价计算得到评价结果后, 本文采用最大隶属度原则选取隶属度最大值对应的等级作为最后综合评价的等级. 这种方法计算简单, 也易于理解, 但同时也容易丢失信息, 可能会导致评估的结果不合理. 所以, 对综合评价的结果做最大隶属度有效性验证十分必要^[12]. 设:

$$\beta = \frac{\max\{P_i\}}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad \gamma = \frac{\text{sec}\{P_i\}}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad i \in \{1,2,3,\Lambda, n\}$$

其中 $\text{sec}\{P_i\}$ 表示评估结果中第二大隶属度值, β 和 γ 分别表示评估结果中最大隶属度值和第二大隶属度值占隶属度值总和的比例. 可以看出, 通常

$$\beta^\circ \in \left[\frac{1}{m}, 1\right], \quad \gamma^\circ \in \left[0, \frac{1}{2}\right]. \quad \text{设:}$$

$$\beta^\circ = \frac{\beta - \frac{1}{m}}{1 - \frac{1}{m}}; \quad \gamma^\circ = \frac{\gamma - 0}{\frac{1}{m} - 0}$$

其中 $\beta^\circ \in [0,1], \gamma^\circ \in [0,1]$. 定义

$$\delta = \frac{\beta^\circ}{\gamma^\circ} = \frac{m\beta - 1}{2\gamma(m-1)} \quad (7)$$

表 7 给出了 δ 值与最大隶属度原则有效性的基本关系, 可以看出 δ 值越大, 最后评价结果采用最大隶

属度原则就越有效.

表 7 最大隶属度原则有效性与 δ 值对应表

δ	最大隶属度原则有效性
$+\infty$	完全有效
$[1, +\infty)$	非常有效
$(0.5, 1)$	比较有效
$(0, 0.5)$	低效
0	完全无效

7 仿真分析

基于 Java 语言编程实现了上述基于动态权重的模糊综合评判模型, 模拟产生多组数据对评估模型的评估效果进行了检验. 表 8 列举几组具有代表性的评价指标监测值.

表 8 仿真综合评估结果表

指标集 X	权重集 W	综合评估			最终评估结果
		算子	评价结果 P	有效性 δ	
$\left\{ \begin{matrix} 65, \\ 60, \\ 25, \\ 25, \\ 30 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 0.35, \\ 0.30, \\ 0.15, \\ 0.15, \\ 0.05 \end{matrix} \right\}$	$M(\wedge, \vee)$	[0.11 0.35 0.15 0.00 0.00]	0.95	正常 v_2
		$M(\cdot, \vee)$	[0.03 0.20 0.04 0.00 0.00]	2.49	
		$M(\cdot, \oplus)$	[0.05 0.71 0.04 0.00 0.00]	6.97	
		$M(\wedge, \oplus)$	[0.16 0.71 0.04 0.00 0.00]	2.95	
$\left\{ \begin{matrix} 88, \\ 88, \\ 37, \\ 46, \\ 42 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 0.35, \\ 0.30, \\ 0.15, \\ 0.15, \\ 0.05 \end{matrix} \right\}$	$M(\wedge, \vee)$	[0.00 0.05 0.35 0.30 0.00]	0.44	异常 v_3
		$M(\cdot, \vee)$	[0.00 0.01 0.27 0.10 0.00]	1.45	
		$M(\cdot, \oplus)$	[0.00 0.01 0.76 0.16 0.00]	2.15	
		$M(\wedge, \oplus)$	[0.00 0.05 1.00 0.55 0.00]	0.77	
$\left\{ \begin{matrix} 93, \\ 60, \\ 25, \\ 25, \\ 30 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 0.58, \\ 0.20, \\ 0.10, \\ 0.10, \\ 0.02 \end{matrix} \right\}$	$M(\wedge, \vee)$	[0.11 0.20 0.20 0.58 0.00]	1.12	预警 v_4
		$M(\cdot, \vee)$	[0.02 0.13 0.12 0.46 0.00]	1.48	
		$M(\cdot, \oplus)$	[0.02 0.34 0.14 0.46 0.00]	0.50	
		$M(\wedge, \oplus)$	[0.11 0.42 0.30 0.58 0.00]	0.43	
$\left\{ \begin{matrix} 53, \\ 60, \\ 80, \\ 25, \\ 30 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 0.35, \\ 0.30, \\ 1.82, \\ 0.15, \\ 0.05 \end{matrix} \right\}$	$M(\wedge, \vee)$	[0.15 0.30 0.15 0.36 0.64]	0.54	报警 v_5
		$M(\cdot, \vee)$	[0.05 0.20 0.04 0.66 1.16]	0.69	
		$M(\cdot, \oplus)$	[0.09 0.37 0.04 0.66 1.16]	0.66	
		$M(\wedge, \oplus)$	[0.27 0.50 0.15 0.36 0.64]	0.32	

表 8 中最终评估结果可用如图 2 所示的雷达图展示, 该图能够形象地展示出每个指标集综合反映的开关柜健康状态及在各状态等级中所占的比重, 这有助于更加准确地判断开关柜当前的健康状态.

① 指濒临越界时显示异常

在第二行的指标集 $X = \{88, 88, 37, 46, 42\}$ 中, 各评价指标均未超过其预警值, 但又都接近其预警值.

从评估的结果可以看出, 因为所有指标值都未超

过预警值,所以各指标的初始权重并未进行修正,但由于所有指标值都非常接近指标的预警值,所以这种情况也应该引起重视,确实需要慎重对待和处理.最终综合评估结果为异常状态,起到了警示作用,评估结果符合行业标准和实际情况,表明该综合评估模型具有一定的有效性,满足实际需求.

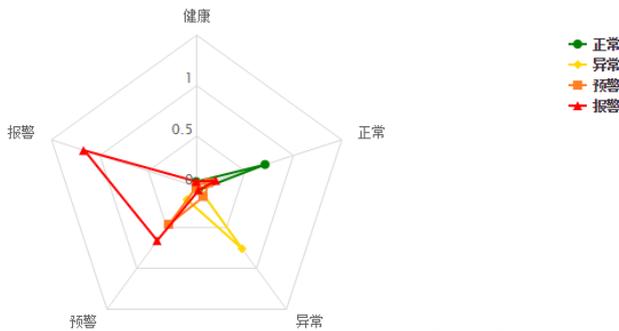


图2 仿真综合评估结果雷达图

② 异常信息得到充分凸显

在第三行的指标集 $X = \{93,60,25,25,30\}$ 中,其中温度指标的监测值 93 超过了其预警值.

按上述建立的动态修正权重机制,应对指标集的初始权重进行适当调整.调整后的权重为 $W_1 = \{0.58,0.20,0.10,0.10,0.02\}$,依然满足 $\sum_{i=1}^5 w_{1i} = 1$,属于动态平衡权重修正.从评价的结果可以看出,四种算子分别计算的结果中正常状态的隶属度 P_2 和预警状态的隶属度 P_{v4} 所占比较大,因为在评价指标集中除温度异常外,其他指标均处于正常范围内,评价结果合理地体现了这一情况.由于评价指标集中温度指标的监测值超过了其预警值,权重修正模型正确合理地增大了温度所占的权重,所以综合评价的结果为预警状态,比较合理,符合实际情况.同时也充分凸显了系统中出现的异常状况,增加了开关柜检修人员的注意,为其决策提供参考依据.

在第四行的指标集 $X = \{53,60,80,25,30\}$ 中,其中弧光指标的监测值超过了其报警值.

按上述建立的动态修正权重机制,应对指标集的初始权重进行适当调整.调整后的权重为 $W_2 = \{0.35,0.30,1.82,0.15,0.05\}$,显而易见, $\sum_{i=1}^5 w_{2i} > 1$,并不是动态平衡的权重修正,但是这是对存在危险情况的特殊处理,符合实际工作的需要.从评价的结果可以看出,超过报警值的监测指标权重被大大提高,

凸显出了开关柜当前的危险状态,虽然其权重总和超过了1,但这是在危险极端情况下使用的非常手段,符合保证开关柜安全、可靠运行的初衷.最后的综合评估结果为开关柜当前处于报警阶段,充分反映出了开关柜处于危险状态,需要开关柜检修人员对开关柜进行必要的处理,评价结果比较合理,符合实际情况.

据上所述,动态权重修正机制使得开关柜中出现的异常状态得到了充分的凸显,有助于相关工作人员正确判断开关柜的健康状态,及时发现开关柜的异常状态,进而及时进行处理,尽力避免事故的发生.

③ 模糊算子的选取

从表 8 中四个指标集的评估结果可以看出,每个指标集经不同综合评判算子计算后得到评估等级基本一致,但存在其最大隶属度有效性不同的现象.通常,我们都选择评估结果有效性最高的评估结果作为开关柜健康状态综合评估的最终结果.另外,经分析还发现,对于正常范围内的待评价指标集,通常加权平均型 $M(\oplus)$ 算子计算的评估结果对应的有效性最高,而当有指标值超过预警值或报警值时,主因素突出型 $M(\vee)$ 算子计算的结果有效性最高,正好符合有异常情况时需要着重考虑异常情况的基本原则.综上所述,应用该基于动态权重的开关柜健康状态评估模型对开关柜进行状态评估时,若所有评价指标都在正常范围内,综合评估应采用加权平均型 $M(\oplus)$ 算子,若有指标出现预警或报警时,综合评估应采用主因素突出型 $M(\vee)$ 算子.

8 结语

本文根据专家经验和监测系统实际情况,构建了开关柜健康状态综合评价指标体系,将开关柜的健康状态分为五个等级,建立了梯形与三角形相结合的隶属度分布函数,根据模糊理论的基本原理,建立了基于动态权重机制的综合模糊评估模型,并利用该评估模型进行了仿真实验分析,分析结果表明基于动态权重和模糊综合评判法的开关柜健康状态综合评估模型是有效和合理的,具有一定的使用价值.

参考文献

- 1 高峻,何俊佳.量子遗传神经网络在变压器油中溶解气体分析中的应用.中国电机工程学报,2010,30(30):121-127.
- 2 阮羚,谢齐家,高胜友,聂德鑫,卢文华,张海龙.神经网络

- 和信息融合技术在变压器状态评估中的应用.高电压技术,2014,40(3):822-828.
- 3 张桦,魏本刚,李可军,梁永亮.基于变压器马尔可夫状态评估模型和熵权模糊评价方法的风险评估技术研究.电力系统保护与控制,2016,44(5):134-140.
- 4 孔杰.变压器状态监测与故障诊断系统研究[硕士学位论文].武汉:华中科技大学,2006.
- 5 张俊,彼德,敬海兵,邓浩,李建坤,陈俊峰.基于熵权理论和灰色评估理论的变压器绝缘状态评估方法.电气开关,2012,1(2):24-27.
- 6 谢静,束洪春,王科,彭晶,向恩新.基于模糊分层理论的高压开关柜状态评估算法.高电压技术,2014,40(10):3186-3192.
- 7 谢静,束洪春,王科,张文英,陈仕龙,马奎.基于突变级数法的高压开关柜状态评价算法.高电压技术,2014,40(8):2372-2380.
- 8 周念成,周川,王强刚,张静,李题印.基于改进拉普拉斯分值的开关柜故障特征选择和诊断方法.电网技术,2015,39(3):850-855.
- 9 Yao YY. A comparative study of fuzzy sets and rough sets. Information Sciences, 1998, 109(1): 227-242.
- 10 徐鹏,杨胜春,李峰,冯树海,王珂,石飞.基于层次分析和变权重机制的电网安全指标计算及展示方法.电力系统自动化,2015,39(8):133-140.
- 11 GB/T 11022—2011,高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求.北京:中国标准出版社,2011.
- 12 卢岚.安全工程.天津:天津大学出版社,2002.