

基于模糊综合评判的断路器可靠性状态评估

谢伟, 卢更生, 谭杰, 刘芳芳
(宜宾电业局, 四川 宜宾 644002)

摘要: 由于设备制造质量的提高, 高压断路器逐渐成为少维护或免维护的设备, 为保证供电的可靠性, 需密切关注其运行工作状态, 确保及时必要的维修工作。利用模糊数学的思想, 提出一种模糊综合评判的方法来评估断路器工作状态, 将表征断路器工作状态的可靠性参数结合起来, 为断路器状态检修工作提供依据。

关键词: 高压断路器; 状态检修; 模糊综合评判

Abstract: HV circuit - breaker has gradually become the equipment needing less maintenance or free of maintenance due to the improvement of equipment manufacturing quality, but in order to ensure the reliability of power supply, a close attention to its operating condition is needed to guarantee the necessary maintenance in time. Using the idea of fuzzy mathematics, a fuzzy comprehensive evaluation method is proposed to evaluate the working condition of the circuit - breaker, and the proposed method is combined with the reliability parameters which characterize the working condition of circuit - breaker, which gives a reference for the condition - based maintenance of circuit - breaker.

Key words: HV circuit - breaker; condition - based maintenance; fuzzy comprehensive evaluation

中图分类号: TM561 文献标志码: B 文章编号: 1003 - 6954(2011)04 - 0069 - 03

0 引言

随着电网规模的不断扩大, 电网设备数量不断增加, 传统的基于周期的设备检修模式已呈现出工作量增加、人员紧缺的问题, 已经不能适应电网发展的要求。为提高设备检修工作的针对性和有效性, 合理降低检修成本, 国家电网公司于2007年全面推行输变电设备状态检修的建议。

高压断路器在电力系统中担负着控制、保护的双重作用, 为确保其运行的可靠性, 减少浪费, 提高设备的可用率, 许多科研单位和运行部门对其状态检修的评估研究也投入了大量的人力物力, 并取得一定的成果。但由于对断路器的状态检测工作处于起步阶段, 目前还仅限于对断路器机械和电气特征的研究, 随着可靠性工作的要求和开展, 越来越多的关注将放在设备可靠性的工作参数上来。

1 模糊综合评判

模糊数学是通过使用模糊集合来工作的, 是一种

解决不精确不完全信息的方法, 其最大特点就是用它比较自然地处理人类思维的主动性和模糊性。综合评估是对多种影响事物的优劣、好坏的因素进行评比、判别, 做出一个能合理地综合这些因素的总体评判。模糊综合评判要处理的主要问题是: 对每一个因素赋予一个非负实数值作为评判指标, 再据此排序择优^[1]。

模糊综合评判的主要步骤^[2]如下。

- 1) 确立因素集。评判对象的性能或各种参数指标的集合, 表示为 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。
- 2) 确立权重集。根据各个因素 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的重要程度给出不同的权重, 表示为 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。通常应满足归一化和非负条件: $\sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0$ 。
- 3) 确立评判集。由评判对象可能做出的评判结果组成的集合, 表示为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 采用相应的方法确定最底层评判因素的隶属函数。
- 4) 建立因素评判矩阵。从因素集 U 中的单个因素出发, 确定评判对象对评判集中个元素的隶属程度。则对第 i 个因素的评判集合为 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 。将 n 个 R_i 竖排得到模糊矩阵为

表1 沙江南线268开关运行记录表

起始时间	终止时间	持续时间	作业起始时间	作业终止时间	作业持续时间	状态符
2006-03-26 08:42	2006-03-26 17:17	8.58			0.0	PR
2006-03-26 17:17	2006-03-27 18:30	25.22	2006-03-26 17:17	2006-03-27 18:30	25.22	T
2006-07-07 12:30	2006-07-08 18:20	29.83	2006-07-07 12:30	2006-07-08 18:20	29.83	U ₀₃
2008-07-09 11:10	2008-07-11 10:20	47.17			0.0	PR
2008-07-11 10:20	2008-07-12 11:00	24.67	2008-07-11 10:20	2008-07-12 11:00	24.67	T
2008-07-12 11:00	2008-07-13 11:20	24.33			0.0	PR
2009-12-01 08:37	2009-12-02 21:03	36.43			0.0	PR

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

5) 模糊综合评判。按照模糊矩阵的乘法,得到

模糊综合评判集 $B = A \cdot R$ 即

$$(b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_m) =$$

$$(a_1 \ a_2 \ \cdots \ a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中 b_j 为模糊综合评判指标,它的含义是:在综合考虑所有影响因素的情况下,评判对象对评判集 V 中第 j 个元素的隶属度。

2 高压断路器状态评估可靠性因素分析

一个设备的状态指该设备在特定时间里所处的特定状态。正确划分设备的工作状态是分析设备可靠性性能指标的基础^[3]。电力设备工作状态分类如图1



图1 工作状态划分

电力设备可靠性可用以下几个指标参数来判断。

$$\text{计划停运系数 } POF = \frac{\text{计划停运小时数 } POH}{\text{统计期间小时数 } PH} \times 100\%$$

$$\text{非计划停运系数 } UOF = \frac{\text{非计划停运小时数 } UOH}{\text{统计期间小时数 } PH} \times 100\%$$

$$\text{强迫停运系数 } FOF = \frac{\text{强迫停运小时数 } FOH}{\text{统计期间小时数 } PH} \times 100\%$$

连续可用小时 $CSH =$

$$\frac{\text{可用小时数 } AH}{\text{统计期间计划停运次数 } POT + \text{统计期间非计划停运次数 } UOT} \text{ 小时/次}$$

$$\text{可用系数 } AF = \frac{\text{可用小时数 } AH}{\text{统计期间小时数 } PH} \times 100\%$$

$$\text{运行系数 } SF = \frac{\text{运行小时数 } SH}{\text{统计期间小时数 } PH} \times 100\%$$

$$\text{暴露率 } EXR = \frac{\text{运行小时数 } SH}{\text{可用小时数 } AH} \times 100\%$$

暴露率与可用系数和运行系数之间存在相关性,这里选择计划停运系数 POF 、非计划停运系数 UOF 、强迫停运系数 FOF 和可用系数 AF 、运行系数 SF 共同作为可靠性特征的评估指标。

3 实例分析

表1给出了宜宾电业局220kV白沙变电站沙江南线268开关2010年10月30日至以前5年期间内运行记录情况。

由表征断路器可靠性的特征参数组成的因素集为 $U = \{ POF, UOF, FOF, AF, SF \}$,对各参数评分公式为: $S_{POF} = 100 \times (1 - POF)$; $S_{UOF} = 100 \times (1 - UOF)$; $S_{FOF} = 100 \times (1 - FOF)$; $S_{AF} = 100 \times AF$; $S_{SF} = 100 \times SF$ 。由表1及评分公式计算结果见表2。

表2 268开关可靠性指标及评分

日期	POF	UOF	FOF	AF	SF
2010.10.30	0.068%	0.173%	0	99.76%	99.46%
评分变量	S_{POF}	S_{UOF}	S_{FOF}	S_{AF}	S_{SF}
评分值	99.932	99.827	100	99.76	99.46

对于断路器设备应尽量增长其可用小时数,故取权重集 $A = (0.15 \ 0.15 \ 0.275 \ 0.275)$ 。

根据故障诊断、维修经验以及专家的分析,将断路器的健康状态分为:正常、注意、异常、严重4个状态。

1) 正常状态:指断路器电气及机械性能运行正常,停电和带电试验数据正常,设备资料齐全,满足安全性评估、输变电设备评估和反措的要求,即各状态量处于稳定且良好的范围内,设备可以正常运行。

2) 注意状态: 指断路器及主要附件有一般缺陷、暂时不对安全运行构成威胁。一般建议适时消缺或暂不处理、待停电预试或大修改造时一并处理, 但应加强运行中的监视。

3) 异常状态: 指断路器及主要附件有重大缺陷, 试验数据或运行工况异常, 应监视运行, 并适时安排停电检修。

4) 严重状态: 指断路器及主要附件有严重缺陷, 直接威胁安全运行, 若不及时处理有可能导致事故或非计划停运。需要尽快安排停电检修。

由于可靠性指标的评分值越大对应设备状态越好, 则根据经验, 计算时应选择隶属度函数如图2。

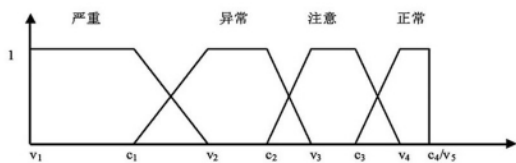


图2 可靠性指标的隶属度函数

4个等级(正常, 注意, 异常, 严重)的阈值均取为:(0, 99.6, 99.8, 99.98, 100), 则 c_1, c_2, c_3 的值分别取为区间 $[v_1, v_2], [v_2, v_3], [v_3, v_4]$ 的中值, c_4 取 v_5 值, 分别为(49.8, 99.7, 99.89, 100), 把原始数据代入隶属度函数可得指标的质量为

$$R_{正} = \begin{cases} 1 & 99.98 \leq V \leq 100 \\ \frac{V - 99.89}{0.09} & 99.89 \leq V \leq 99.98 \\ 0 & V < 99.89 \end{cases}$$

$$R_{注} = \begin{cases} 0 & V > 99.98 \\ \frac{99.98 - V}{0.09} & 99.89 < V \leq 99.98 \\ 1 & 99.8 \leq V \leq 99.89 \\ \frac{V - 99.7}{0.1} & 99.7 \leq V < 99.8 \\ 0 & V < 99.7 \end{cases}$$

$$R_{异} = \begin{cases} 0 & V > 99.8 \\ \frac{99.8 - V}{0.1} & 99.7 < V \leq 99.8 \\ 1 & 99.6 \leq V \leq 99.7 \\ \frac{V - 49.8}{49.8} & 49.8 \leq V < 99.6 \\ 0 & V < 49.8 \end{cases}$$

$$R_{严} = \begin{cases} 0 & V > 99.6 \\ \frac{99.6 - V}{49.8} & 49.8 \leq V \leq 99.6 \\ 1 & V < 49.8 \end{cases}$$

根据以上分析, 将因素集评分值(99.932, 99.827, 100, 99.76, 99.46)代入, 可得单因素评判矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\ 0.467 & 0.533 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.997 & 0.003 \end{bmatrix} \begin{matrix} POF \\ UOF \\ FOF \\ AF \\ SF \end{matrix}$$

则关于可靠性特征的模糊综合评判为

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

$$= (0.15, 0.15, 0.15, 0.275, 0.275) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.467 & 0.533 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.997 & 0.003 \end{bmatrix}$$

$$= (0.22005, 0.39495, 0.384175, 0.000825)$$

由以上评判结果可知, 断路器整个工作状态处于注意-异常阶段, 这期间断路器的运行状况基本稳定, 偶发性故障发生的可能性较大, 在以后运行期间需多加注意。实际运行情况也证明该断路器偶发性故障较多, 运行基本稳定, 与模型所得结果基本相符。

4 结论

将体现高压断路器工作状态的可靠性参数采用模糊数学的方法结合起来, 建立基于模糊综合评判的状态评估评判模型, 通过实例分析了模型的有效性和可行性。

以上仅仅在可靠性参数下进行的一级模糊评判, 实际工程应用中还需结合断路器的机械和电气参数进行多级模糊的综合评判, 得出更加精确的结果, 为状态检修提供依据。

参考文献

- [1] 芮延年, 傅戈雁. 现代可靠性设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 178-219.
- [2] 周津慧. 重大设备状态检测与寿命预测方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006.
- [3] 杨昆, 顾煜炯. 设备维修理论与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 84-121.

(收稿日期: 2011-05-10)