

500 kV-220 kV 电磁环网开环方案模糊综合评价

叶 华¹, 刘玉田¹, 牛新生²

(1. 山东大学 电气工程学院, 山东 济南 250061;

2. 山东电力研究院, 山东 济南 250002)

摘要: 用层次分析法建立模糊综合评价模型的指标体系。对评价指标体系指标层的因素分别引入行为指标, 包括线路或变压器过负荷指标、母线电压越限指标、最大发电机功角差指标、开关设备投资指标以及系统网损指标。隶属度函数描述了各行为指标对评价结果的不确定性。模糊综合评价的优先度综合考虑了各种因素的影响, 对电磁环网开环方案作出了定量、全面、综合的评价。基于模糊综合评价模型, 开发了电磁环网开环方案的模糊综合评价程序, 并应用于电网各区域内(间)电磁环网开环方案的评估。考虑 4 种开环方案, 进行 $N-1$ 静态安全分析、暂态稳定性分析、短路计算以及系统网损计算, 经模糊综合评价后依据优先度判别可行性。

关键词: 电磁环网; 层次分析; 模糊综合评价

中图分类号: TM 732

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)07-0001-05

0 引言

目前, 国内许多电网 500 kV 主网架已经形成, 但仍有不少 500 kV-220 kV 高低压电磁环网存在事故隐患。随着高一级电压电网的建设, 下级电压电网应逐步实现分区运行, 相邻分区之间保持互为备用; 应避免和消除严重影响电网安全稳定的不同电压等级的电磁环网^[1]。

打开 500 kV-220 kV 电磁环网前, 需要进行静态安全、暂态稳定、短路电流和网损等方面的计算与分析, 从电网运行的安全性、稳定性和经济性等方面综合评价利弊, 选择最佳运行方式。这一决策过程是个多目标、非结构性优化问题, 难以用数学语言描述为完整、统一的数学模型, 然后用优化理论求解, 目前只能凭借工程经验作出判断^[2]。文献[3]在对影响电磁环网开环各方面因素进行理论分析基础上, 提出了判断电磁环网是否需要打开的一般性步骤, 但未给出电磁环网开环方案的评价方法和评价工具。本文用层次分析法对 500 kV-220 kV 高低压电磁环网开环方案的评价问题建立了模糊综合评价模型。基于该模型, 开发了电磁环网开环方案模糊综合评价程序, 结合实例说明了本文方法的有效性和可行性。

1 模糊综合评价

模糊综合评价^[4]是以模糊数学为基础, 运用模糊线性变换原理, 综合考虑与被评价事物相关的各种因素, 对被评价事物作出全面综合的评价。根据被评价事物的复杂程度, 可分为单级和多级模糊综合评价。下面介绍多级模糊综合评价的主要步骤。

1.1 确定因素集

$$A = (B_1, B_2, \dots, B_m) \quad (1)$$

因素集 A 为评价事物的指标体系。 A 可分为 m 类, 每一类为一个因素子集 $B_i (i=1, 2, \dots, m)$, 每个因素子集又有 n 个因素, 即 $B_i = (C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in})$ 。

1.2 确定权重集

权重集是由因素集 A 或因素子集 B_i 中各个因素相对重要性的权重组成的集合。确定因素集和各因素子集相对应的权重集是模糊综合评价最为关键的一环。在实际应用中, 常用的确定权重集的方法有专家评议法、专家调查法和判断矩阵分析法^[4-5]。判断矩阵分析法是通过经验丰富的专家对因素集各因素之间的相对重要性作两两比较后构造判断矩阵, 判断矩阵的最大特征值对应的特征向量经归一化后即为该因素集对应的权重集。

以因素子集 $B_i = (C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in})$ 为例, 可构造判断矩阵如下:

$$\tilde{B}_i = (c_{st})_{n \times n} = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $c_{st} (s, t=1, 2, \dots, n)$ 表示的是 C_{is} 对 C_{it} 相对重要性的数值表现形式。

通常 c_{st} 取 1、3、5、7、9, 分别表示 C_{is} 与 C_{it} 相比较的重要程度为同等重要、稍微重要、明显重要、重要得多、绝对重要; 当 c_{st} 取 2、4、6、8 时, 表示重要性在上述各相邻等级之间。显然, 对于任何判断矩阵都有

$$\begin{aligned} c_{ss} &= c_{tt} = 1 \\ c_{st} &= 1/c_{ts} \quad s \neq t \end{aligned} \quad (3)$$

为了检验判断矩阵的一致性, 需要计算它的一

致性指标 r_{CI} 。设 $\tilde{B}_i$ 的最大特征值为 $\lambda_{\max}$, 则

$$r_{CI} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

当判断矩阵具有完全一致性时, $\lambda_{\max}=n$, $r_{\text{CI}}=0$ 。对 1、2 阶判断矩阵, 由于 $r_{\text{CI}}=0$, 因此其总具有完全一致性。当阶数大于 2 时, 判断矩阵的一致性指标 r_{CI} 与同阶平均随机一致性指标 r_{RI} 之比称为随机一致比率, 记为 r_{CR} 。当

$$r_{\text{CR}}=r_{\text{CI}}/r_{\text{RI}}<0.1 \quad (5)$$

时, 认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则需要调整判断矩阵元素的取值, 并使之具有满意的一致性。对于 1~9 阶判断矩阵, r_{RI} 的取值分别为 0、0.058、0.90、1.12、1.24、1.32、1.41 和 1.45。

1.3 确定评语集

评语集为对被评价事物作出的各级评语组成的集合。设评语共有 p 个, 则评语集 V 可以表示为

$$V=(v_1, v_2, \dots, v_p) \quad (6)$$

式中 $v_k(k=1, 2, \dots, p)$ 代表由高到低的各级评语, 即评价等级。

对评语集中的每个评语 v_k 可以给出相应的分数, 则可以得到评语集对应的分数集为 $E=(e_1, e_2, \dots, e_p)$ 。一般 5 级评语即认为可对评价对象作出较为准确的描述, 即 $p=5$ 。

1.4 一级模糊综合评价

一级模糊综合评价是对因子集 B_i 中的各个因素进行模糊综合评价。 B_i 的一级模糊综合评价的单因素评价矩阵, 即 B_i 到 V 的模糊关系矩阵 R_i 为

$$R_i=(\mu_{ijk})_{n \times p}=\begin{bmatrix} \mu_{i11} & \cdots & \mu_{i1p} \\ \vdots & & \vdots \\ \mu_{in1} & \cdots & \mu_{inp} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中 $\mu_{ijk}(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, p)$ 为 B_i 的第 j 个因素 C_{ij} 隶属于评语集中第 k 个评语的隶属度。

通过模糊矩阵的合成运算, 可得 B_i 的模糊综合评价集 $\tilde{S}_i$:

$$\tilde{S}_i=W_i \circ R_i=(S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ip}) \quad (8)$$

$\tilde{S}_i$ 描述的是 B_i 中的所有因素隶属于评语集中各评语的加权和。

若取加权平均型 $(\cdot, \oplus)$ 算子, 则

$$S_{ik}=\sum_{j=1}^n w_{ij} \mu_{ijk} \quad (9)$$

1.5 二级模糊综合评价

二级模糊综合评价即对因素集 A 中的各因素进行模糊综合评价。由一次模糊综合评价的结果, 可得二级模糊综合评价矩阵为

$$R=[r_{ik}]_{m \times p}=\begin{bmatrix} \tilde{S}_1 \\ \tilde{S}_2 \\ \vdots \\ \tilde{S}_m \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} W_1 \circ R_1 \\ W_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ W_m \circ R_m \end{bmatrix} \quad (10)$$

则二级模糊综合评价集为

$$S=W \circ R=(S_1, S_2, \dots, S_p) \quad (11)$$

$S_k(k=1, 2, \dots, p)$ 是指综合考虑所有因素的影响时, 被评价事物对评语集中第 k 个评语的隶属度。

1.6 模糊综合评价的优先度

以二级模糊综合评价集 S 的元素 S_k 为权重, 对分数集 E 中第 k 个元素进行加权平均, 作为模糊综合评价的优先度 N 。

$$N=\sum_{k=1}^p S_k e_k / \sum_{k=1}^p S_k \quad (12)$$

2 电磁环网开环方案的模糊综合评价模型

2.1 评价指标体系

为了把影响电磁环网开环方案的诸多因素作为一个有机整体全面地反映出来, 就必须建立一个互相联系的评价指标体系。下面从影响电磁环网开环方案的诸多因素, 以及这些因素之间的隶属关系和关联关系出发, 用层次分析法^[5-6]建立电磁环网开环方案模糊综合评价的指标体系, 如图 1 所示。

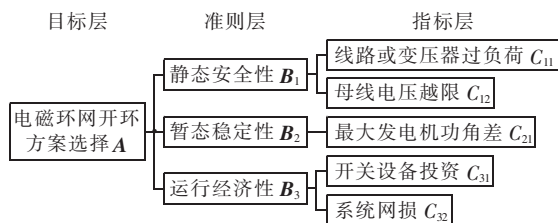


图 1 评价指标体系的层次结构图

Fig.1 Hierarchical structure of evaluation index system

2.1.1 目标层

综合考虑各种影响因素, 从 500 kV - 220 kV 电磁环网合环运行方式和各开环方案中选出最佳的运行方式。

2.1.2 准则层

按照《电力系统安全稳定导则》^[1]对安全稳定计算分析的规定, 对电磁环网的各个可能开环方案必须进行安全稳定校验。主要进行静态安全性和暂态稳定性两方面分析和计算。此外, 对各开环方案还应该从运行的经济性角度进行考察。因此, 可以将静态安全性、暂态稳定性和运行经济性作为评价指标体系准则层的因素。

2.1.3 指标层

将准则层中的各因素细化为具体的指标要素, 得到评价指标体系的指标层。指标层与准则层之间具有层次关系。指标层中的各指标按照其所隶属的准则层因素进行分析。

a. 静态安全性。安全性指电力系统在运行中承受故障扰动的能力。静态安全性可以用系统在发生预想事故后新的运行工况下, 各种约束条件能否得到满足来表征^[1,7]。具体而言, 即线路和变压器没有过负荷且母线电压模值在允许限值范围内。

b. 暂态稳定性。暂态稳定性是指系统突然经受大扰动后, 各同步电机能否继续保持同步运行的能力。遭受扰动后, 除了在系统中出现电磁暂态过程外, 由于扰动引起系统结构或参数的变化, 使得各发

电机转子之间产生相对运动,转子之间的相对角度也会发生变化^[8]。因此,系统暂态稳定性水平的变化可以通过对开环前后的系统发生相同故障,在故障切除后的暂态过程中发电机转子间最大功角差衡量。

c. 运行经济性。通过合理地解开高低压电磁环网,实现下级电压电网的分区运行,可以减小单个分区电网的容量,降低短路电流,节省开关设备投资。此外,开环运行还可以使系统的潮流分布更加合理,由于高压线路电阻远小于低压线路,开环后低压线路的功率转移到高压线路,线路的有功损耗将有可能减小。需要指出的是,由于电网结构的复杂性,功率的转移可能会与预期的不同。因此,运行经济性可以用开关设备投资和系统网损 2 个因素反映。

2.2 模糊行为指标

首先,对指标层的各因素分别引入行为指标,然后用模糊隶属度函数描述各行为指标隶属于评语集中各评语的程度,从而使评价过程更具客观性。

a. 线路或变压器过负荷指标 λ_P ^[7,9]。

$$\lambda_P = \sum_{\alpha} w_{P,l} \left(S_l / S_l^{\max} \right)^{2m} \quad (13)$$

式中 α 为输电线路或变压器支路集合; $w_{P,l}$ 为第 l 条支路的权重因子; S_l 为支路 l 的功率; $S_l^{\max}$ 为其上限; m 为正实数。

b. 母线电压越限指标 λ_U ^[10]。

$$\lambda_U = \sum_{\beta} w_{U,i} \left(\frac{U_i - U_i^{\text{sp}}}{\Delta U_i^{\text{lim}}} \right)^{2n} \quad (14)$$

$$U_i^{\text{sp}} = (U_i^{\text{H}} + U_i^{\text{L}}) / 2, \quad \Delta U_i^{\text{lim}} = (U_i^{\text{H}} - U_i^{\text{L}}) / 2$$

式中 β 为母线集合; $w_{U,i}$ 为母线 i 的权重因子; U_i 为母线 i 的电压幅值, U_i^{H} 和 U_i^{L} 分别为其上限和下限; n 为正实数。

c. 最大发电机功角差指标 λ_{θ} 。

$$\lambda_{\theta} = \sum_{\gamma} w_{\theta} (\text{Max} |\theta_i - \theta_j|) \quad (15)$$

式中 γ 为预想事故集; w_{θ} 为权重因子; θ_i, θ_j 为故障切除后暂态过程中任意 2 台发电机的功角。

d. 开关设备投资指标 λ_I 。

$$\lambda_I = \sum_{\beta} w_{I,k} (I_k / I_k^{\max})^{2m} \quad (16)$$

式中 β 为母线集合; $w_{I,k}$ 为母线 k 的权重因子; I_k 为母线 k 的三相短路电流; $I_k^{\max}$ 为开关设备的最大遮断电流。

e. 系统网损指标 λ_{loss} 。以某种开环方案下系统的有功网损衡量。

行为指标隶属于评语集中各评语的程度可以用半梯形和三角形隶属度函数予以描述。以线路或变压器过负荷指标 λ_P 为例,如图 2 所示,不妨设 $p=5$,则 $\mu(\lambda_P, v_k) (k=1, 2, \dots, 5)$ 即表示该行为指标对评语 v_k 的隶属度,其中 $\lambda_1 \sim \lambda_5$ 为常量参数。其他行为指标也可以用类似方法进行处理。

2.3 模糊综合评价

设待评价电磁环网开环方案有 L 个(含电磁环

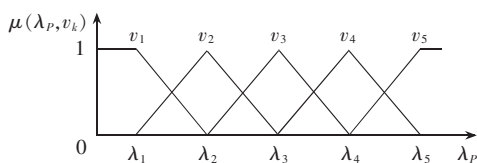


图 2 行为指标的隶属度函数

Fig.2 Membership functions of performance indices

网合环运行方式)。对各方案评价步骤如下:

a. 确定因素集(即评价指标体系) $A=(B_1, B_2, B_3)$, 因素子集 $B_1=(C_{11}, C_{12}, C_{13})$, $B_2=(C_{21})$, $B_3=(C_{31}, C_{32})$;

b. 计算因素集和各因素子集对应的权重集 $W=(w_1, w_2, w_3)$, $W_1=(w_{11}, w_{12}), W_2=(w_{21}), W_3=(w_{31}, w_{32})$;

c. 确定评语集为 $V=(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)=(\text{可行性很好, 可行性好, 可行性一般, 可行性差, 可行性很差})$, 相应的分数集为 $E=(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5)=(0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0.1)$;

d. 计算模糊行为指标, 并得到各因素子集的一级模糊综合评价的单因素评价矩阵(即隶属度矩阵) R_1, R_2, R_3 ;

e. 一级模糊综合评价, 计算得到各因素子集的模糊综合评价集 $\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3$;

f. 二级模糊综合评价, 计算得到二级模糊综合评价集 S ;

g. 计算方案模糊综合评价的优先度 N 。

根据各电磁环网开环方案 N 的大小,即可对各被评价的电磁环网开环方案进行排序。

3 电磁环网开环方案模糊综合评价程序

电磁环网开环方案模糊综合评价程序的各个功能模块和数据库之间的拓扑关系如图 3 所示。

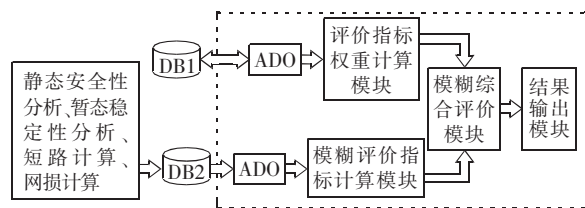


图 3 模糊综合评价程序的结构

Fig.3 Structure of fuzzy comprehensive evaluation program

图中,实线框部分完成电网静态安全性、暂态稳定性、短路和网损计算与分析功能,这部分可以充分利用现有的电力系统分析软件,如电力系统分析综合程序 PSASP 等;虚线框部分是评价程序所要实现的功能,主要进行评价指标权重计算、模糊评价指标计算、模糊综合评价和评价结果的输出等。参数数据库 DB1 存放专家构造的判断矩阵和模糊行为指标计算及其模糊化过程中涉及的常量参数;系统分析结果数据库 DB2 存放电网在各开环方案下计算和分析的结果。对电网进行计算分析后,可借助 ActiveX 数据对象(ADO)接口技术直接应用其分析计算的结果,简化程序设计难度的同时,也减少了数据冗余。

对实际电网而言,首先应该分析电网的结构,找

出电网中存在的 500 kV-220 kV 电磁环网,形成开环方案集合;然后对每一方案分别用电力系统分析计算软件进行分析计算;最后用模糊综合评价程序进行模糊综合评价。

4 应用实例

本文按照上述方法构建数据库和编制程序,对山东电网各区域内(间)电磁环网进行了模糊综合评价。这里仅以山东北部电网电磁环网开环方案的模糊综合评价说明本文的方法。采用 PSASP 对电网进行计算和分析。

山东北部电网结构如图 4 所示。华德电厂是该地区的主要电源,它包括 4 台 300 MW(1~4 号)和 2 台 600 MW(5、6 号)机组。其中 1~3 号机组接在 220 kV 母线上,4~6 号机组接在 500 kV 母线上。该地区的临邑站在德州市辖区,双庙站在滨州市,中索站在济南市,肖镇站在淄博市。由于德州电厂联络变压器(额定容量为 500 MV·A)的存在,该地区电网形成了多个高低压电磁环网。图 4 中箭头表示在电磁环网合环运行方式下有功潮流的方向。

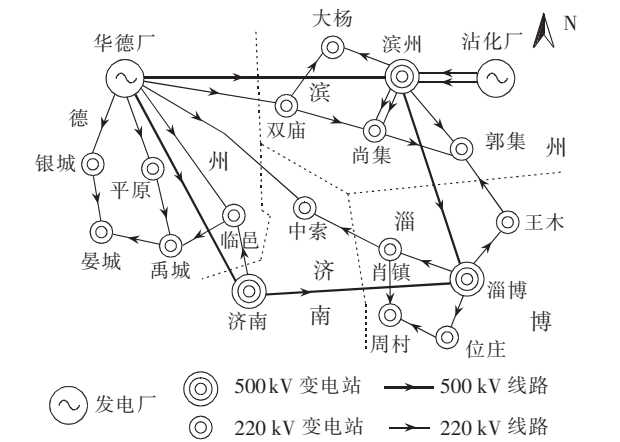


图 4 北部电网地理接线图

按照电网分区运行的原则,考虑以下几种开环方案:

- 方案 1 临邑站断开济南—临邑 220 kV 线路;
- 方案 2 双庙站断开华德厂—双庙 220 kV 线路;
- 方案 3 中索站断开中索—肖镇 220 kV 线路;
- 方案 4 临邑站分母线运行,临邑站负荷由济南站 220 kV 母线供电。

方案 1 和方案 4 实现德州与济南间电磁环网的开环运行,方案 2、3 分别实现德州与滨州、德州与淄博间电磁环网的开环运行。

4.1 系统分析与计算

4.1.1 N-1 静态安全分析

在电磁环网合环运行方式和各开环方案下,山东北部电网 N-1 过负荷情况如表 1 所示。

方案 1 下,当华滨线 N-1 断开后,功率要从华德厂联变 500 kV 侧流向 220 kV 侧,再由华双线流向滨州地区,这使得华德厂联变负荷进一步加重而发

表 1 N-1 过负荷情况一览表
Tab.1 Comparison of overflows with N-1 criterion among schemes

运行方式	N-1 开断元件	过负荷元件	负荷功率/(MV·A)	过载率/%
方案 1	淄博—肖镇	淄博—位庄	359.9	1.61
	华德厂—滨州	华德厂联变	540.5	7.88
方案 2	滨州主变	淄博—王木	384.1	8.45
方案 3	淄博—肖镇	淄博—位庄	402.4	13.61

生过负荷。方案 2 下,由于滨州站只有 1 台主变(额定容量为 750 MV·A),当其掉闸后,淄王线由于潮流加重而过流。从图 4 可以看出,由于淄博、肖镇、周村和位庄 4 个变电站形成了一个四边形的 4 个顶点,在方案 1 中,当淄肖线 N-1 断开时,淄位线即发生过流,这个问题在方案 3 下显得更为突出。电磁环网合环运行方式和开环方案 4 下,系统均满足 N-1 静态安全分析的要求。

与电磁环网合环运行方式相比,在 4 种开环方案下,各母线电压有升有降,变化幅度为 1~2 kV。

4.1.2 暂态稳定性分析

分别考察在电磁环网合环运行方式和各开环方案下,500 kV 系统的暂态稳定性水平。若 500 kV 系统能够保持稳定,还可以继续考察 500 kV 线路 N-1 无故障掉闸时,220 kV 系统的暂态稳定性水平。校验采用的故障类型为三相接地短路,500 kV 线路故障的切除时间为 80 ms,220 kV 线路为 110 ms。计算表明,系统在开合环各运行方式下均能保持稳定。

4.1.3 短路计算

在电磁环网合开环各运行方式下,各母线的三相短路电流均未超过开关设备的最大遮断电流。与电磁环网合环运行方式相比,在 4 种开环方案下,与开断线路相连或邻近母线的三相短路电流有较大幅度的降低。

4.1.4 系统网损

在电磁环网合环运行方式和各开环方案下,系统的网损分别为 341.38、340.95、343.12、340.66 和 341.89 MW。

4.2 模糊综合评价

构造判断矩阵,通过计算得到因素集 A 和因素子集 B₁、B₂、B₃ 对应的权重集分别为 W=(0.633, 0.261, 0.106), W₁=(0.500, 0.500), W₂=(1.000), W₃=(0.750, 0.250)。

在各开环方案下,各行为指标的计算结果如表 2 所示。各行为指标隶属度函数的参数如表 3 所示。

经模糊综合评价后,电磁环网合环运行方式及开环方案 1~4 的优先度分别为 0.673 4、0.385 1、0.658 9、0.570 6 和 0.756 3。由此可知,开环方案 4 的可行性最好,方案 1 的可行性最差。

从因素集 A 相应的权重集 W 可以看出,静态安全性是 3 个因素中最重要的。因此,各方案在静态安全性因素下的评价价值越高,即系统的静态安全性水平越高,该方案模糊综合评价的优先度就有可能越大。由此可知,以上模糊综合评价的结果与工程

规划人员的实际分析与判断相吻合。

表 2 行为指标的计算结果

Tab.2 Performance indices of different schemes

运行方式	λ_p	λ_U	λ_θ	λ_I	λ_{loss}
合环运行	372.95	4 426.23	8.11	25.38	341.38
方案 1	486.47	4 761.00	8.08	20.55	340.95
方案 2	367.81	4 643.48	8.13	20.30	343.12
方案 3	406.06	4 501.58	8.14	19.85	340.66
方案 4	355.59	4 306.34	8.06	20.54	341.89

表 3 行为指标隶属度函数的参数

Tab.3 Parameters of performance index membership functions

指标	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
λ_p	350	415	480	545	610
λ_U	3940	4 080	4 220	4 360	4 500
λ_θ	7.95	8.00	8.05	8.10	8.15
λ_I	18	20	22	24	26
λ_{loss}	340	341	342	343	344

5 结论

本文提出了 500kV-220kV 电磁环网开环方案的模糊综合评价方法。模糊综合评价的优先度综合考虑了所有因素的影响,很好地处理了评价标准的模糊性,对电磁环网开环方案作出定量、全面、综合的评价。该方法不仅包含了专家的经验 and 知识,而且将定性分析与定量计算结合,为规划人员提供科学决策依据。山东电网电磁环网开环方案的模糊综合评价结果与规划人员的实际分析和判断相一致,表明本文所提高低压电磁环网开环方案的模糊综合评价方法切实可行,具有实际应用价值和现实意义。

参考文献:

[1] 电力行业电网运行与控制标准化技术委员会. DL755-2001 电

力系统安全稳定导则[S]. 北京:中国电力出版社,2001.
[2] 侯春青,郑惠萍. 2005 年山西中南部 500 kV 及 220 kV 电网的电磁环网运行方式研究[J]. 电网技术,2005,29(10):80-84.
HOU Chun-qing,ZHENG Hui-ping. Research on parallel operation of 500 kV and 220 kV power networks in south and central part of Shanxi power grid in 2005[J]. Power System Technology, 2005,29(10):80-84.
[3] 孔涛,王洪涛,刘玉田,等. 500 kV-220 kV 电磁环网开环研究[J]. 电力自动化设备,2003,23(12):13-16.
KONG Tao,WANG Hong-tao,LIU Yu-tian,et al. On opening 500 kV-220 kV electromagnetic loop circuit[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003,23(12):13-16.
[4] 陈水利,李敬功,王向公. 模糊集理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2005.
[5] 赵焕臣,许树柏,和金生. 层次分析法[M]. 北京:科学出版社,1986.
[6] 高远望,顾雪平,刘艳,等. 电力系统黑启动方案的自动生成与评估[J]. 电力系统自动化,2004,28(13):50-54,84.
GAO Yuan-wang,GU Xue-ping,LIU Yan,et al. Automatic derivation and assessment of power system black-start schemes [J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(13):50-54,84.
[7] 吴际舜. 电力系统静态安全分析[M]. 上海:上海交通大学出版社,1985.
[8] 夏道止. 电力系统分析(下册)[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
[9] WOOD A J,WALLENBERG B F. Power generation,operation, and control[M]. 2nd ed. New York:John Wiley & Sons,1996.
[10] CHEN Y,BOSE A. Security analysis for voltage problems using a reduced model[J]. IEEE Trans on Power System,1990, 5(3):933-940.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

叶 华(1981-),男,湖北随州人,博士研究生,主要研究方向为电力系统运行与控制(E-mail:yehua@mail.sdu.edu.cn);
刘玉田(1964-),男,山东青州人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统运行与控制及人工智能在电力系统中的应用;
牛新生(1962-),男,山东德州人,高级工程师,主要从事电网规划和电网计算分析方面的工作。

Fuzzy comprehensive evaluation of opening schemes for 500 kV-220 kV electromagnetic loop

YE Hua¹,LIU Yu-tian¹,NIU Xin-sheng²

(1. School of Electrical Engineering,Shandong University, Ji'nan 250061, China;
2. Shandong Electric Power Research Institute, Ji'nan 250002, China)

Abstract: The analytic hierarchy process is used to establish the index system of the fuzzy comprehensive evaluation model. Performance indices corresponding to elements in the index hierarchy are introduced,including the overload of lines or transformers,the busbar voltage violation,the maximal generator power angle error,the device investment and the system power loss. Membership functions denote the uncertainty of performance indices with respect to evaluation results. Considering various factors comprehensively,the priority of fuzzy comprehensive evaluation represents the quantitative and comprehensive evaluation of schemes. Based on the model,the fuzzy comprehensive evaluation program for electromagnetic loop opening schemes is developed and used to evaluate opening schemes of regional power networks. Four opening schemes are compared. N-1 static security analysis,transient stability analysis,short-circuit and system power loss calculations are carried out for each scheme. Their feasibilities are distinguished by priorities of the fuzzy comprehensive evaluation.

This project is supported by the Program for New Century Excellent Talents in University 2005[35].
Key words: electromagnetic loop; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation