



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104063750 B

(45)授权公告日 2017.07.14

(21)申请号 201410301386.X

(22)申请日 2014.06.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104063750 A

(43)申请公布日 2014.09.24

(73)专利权人 国家电网公司

地址 100761 北京市西城区长安街86号

专利权人 国网辽宁省电力有限公司沈阳供

电公司

东北大学

(72)发明人 郭昆亚 刘鑫蕊 冯喜强 孙秋野
刘文娟 李悦悦 王洋 韩金洋
付倩 张化光 杨珺 陈清森

(74)专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限
公司 21109

代理人 李梁

(54)发明名称

基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响
的预测方法

(57)摘要

本发明一种基于改进AHP-反熵权的电力系
统受灾影响的预测方法，属于输配电网领域，本
发明针对目前的评价方法过于主观的缺点做了
进一步的修正改进，能够适应各个不同地区电网
受自然灾害影响的实际评价及横向比较，分析各
个电网发展的优缺点，找出其薄弱环节，对未来
电网的规划、建设坚强电网有很好的指导作用，
提升电力系统的供电可靠性，尤其是灾害条件下
电力系统的供电可靠性，提高电网投资收益。

(51)Int.Cl.

G06F 17/00(2006.01)

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

(56)对比文件

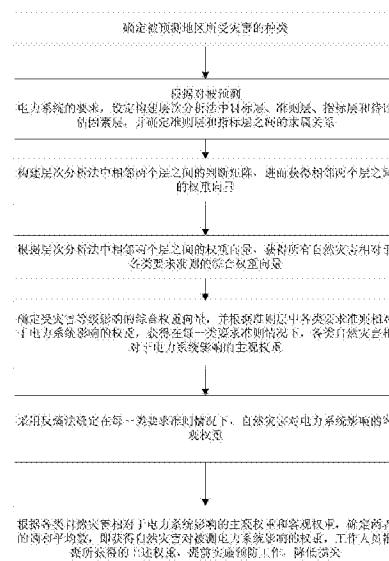
邓雪等.层次分析法权重计算方法分析及其
应用研究.《数学的实践与认识》.2012,第42卷
(第7期),第93-100页.

张心洁等.智能配电网综合评估体系与方
法.《电网技术》.2014,第38卷(第1期),第40-46
页.

张海瑞.智能电网综合评价方法研究.《中国
优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》
.2012,第2012年卷(第7期),摘要,正文第2-5章.

审查员 范红军

权利要求书4页 说明书14页 附图3页



1. 一种基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、确定被预测地区所受灾害的种类;

步骤2、根据对被预测电力系统的要求,设定构建层次分析法中目标层、准则层、指标层和待评估因素层,并确定准则层和指标层之间的隶属关系;

所述的目标层为自然灾害对电力系统的影响;

所述的准则层为实际中电力系统的各类要求准则;

所述的指标层为实际中电力系统的各类评估指标;

所述的待评估因素层为被预测地区的各类自然灾害;

所述的准则层包括人员和设备的安全性、电力系统的可靠性、负荷转带和故障弥补能力、电力系统的经济性;所述的指标层包括变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比、人员的安全工作、变压器可利用系数、电压合格率、线路可利用系数、系统平均停电时间、系统平均停电频率、主变N-1通过率、中压线路N-1通过率、变电站单变率、变电站单电源线率、线路截面规范化率、中压线路平均分段数、区域间联网备用率、单位输配电成本、单位电量产值、网损和停电用户损失;

步骤3、构建层次分析法中相邻两个层之间的判断矩阵,进而获得相邻两个层之间的权重向量,具体如下:

步骤3-1、构建目标层与准则层之间的判断矩阵,即要求准则对电力系统的影响与各类要求准则之间的判断矩阵,采用九级标度法确定矩阵元素取值;

目标层与准则层之间的判断矩阵A如下:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, a_{ij} 表示在相对于电力系统影响情况下,第 i_1 类要求准则 a_{i_1} 相对于第 j_1 类要求准则 a_{j_1} 的重要程度, $i_1, j_1 = 1, 2, \dots, n$, n 表示要求准则的种类数;

步骤3-2、将判断矩阵内元素进行归一化处理,并采用求几何平均数的方法获得该判断矩阵的各个准则相对目标层相对重要性的权重向量;

获得该判断矩阵的权重向量计算公式如下:

$$W_{i_1} = \sqrt[n]{\prod_{j_1=1}^n a_{i_1 j_1}} \quad (2)$$

其中, W_{i_1} 表示相对于电力系统影响,各类准则相对重要性的权重值, $\overline{a_{i_1 j_1}}$ 表示归一化处

理后判断矩阵中的元素, $\overline{a_{i_1 j_1}} = \frac{a_{i_1 j_1}}{\sum_{i_1=1}^n a_{i_1 j_1}}$;

获得相对于电力系统影响,各类准则相对重要性的权重向量 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$;

步骤3-3、根据判断矩阵的最大特征值近似值,对该判断矩阵进行一致性测试,若通过一致性测试,则执行步骤3-4,否则,返回执行步骤3-1重新设置判断矩阵内元素的取值;

求解最大特征值近似值,即

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW_{i_1})}{W_{i_1}} \quad (15)$$

步骤3-4、构建准则层与指标层之间的判断矩阵,即根据准则层和指标层之间的隶属关系,构建各类评估指标与其隶属的某一准则之间的判断矩阵,采用九级标度法确定矩阵元素取值,构建完成所有准则与其对应评估指标之间的判断矩阵,并根据步骤3-2至步骤3-3计算获得所有判断矩阵的各个指标相对应的准则下相对重要性的权重向量;

各类评估指标与其隶属的某一准则之间的判断矩阵B如下:

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1N} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{N1} & b_{N2} & \dots & b_{NN} \end{pmatrix} \quad (3)$$

其中, $b_{i_2j_2}$ 表示在相对于某一准则情况下,第 i_2 类评估指标 b_{i_2} 相对于第 j_2 类评估指标 b_{j_2} 的重要程度, $i_2, j_2 = 1, 2, \dots, N$, N 表示隶属于该准则的评估指标种类数;

步骤3-5、构建指标层与待评估因素层之间的判断矩阵,即构建各类自然灾害与某一评估指标之间的判断矩阵,采用九级标度法确定矩阵元素取值,构建完成所有评估指标与自然灾害之间的判断矩阵,并根据步骤3-2至步骤3-3计算获得该判断矩阵的各个待评估因素,即自然灾害,对每个评价指标影响大小的权重向量;

构建各类自然灾害与某一评估指标之间的判断矩阵C如下:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中, $c_{i_3j_3}$ 表示在相对于某一评估指标情况下,第 i_3 类自然灾害 c_{i_3} 相对于第 j_3 类自然灾害 c_{j_3} 的重要程度, $i_3, j_3 = 1, 2, \dots, m$, m 表示自然灾害种类数;

完成获得层次分析法中相邻两个层之间的权重向量;

步骤4、根据层次分析法中相邻两个层之间的权重向量,获得所有自然灾害相对于各类要求准则的综合权重向量;

计算综合权重公式如下:

$$W_{i_3} = \sum_{j_2=1}^N W_{i_2j_2} W_{j_2} \quad (5)$$

其中, W_{i_3} 表示所有自然灾害相对于各类要求准则的综合权重向量; $W_{i_2j_2}$ 为一个矩阵,其中,矩阵每一列为根据指标层与待评估因素层之间的判断矩阵,获得的某个指标受自然灾害影响大小的权重向量,列数为指标层的指标类数,行数为自然灾害种类数; W_{j_2} 表示不同指标相对于其隶属准则的重要性大小的权重向量;

步骤5、确定受灾害等级影响的综合权重向量,并根据准则层中各类要求准则相对于电力系统影响的权重,获得在每一类要求准则情况下,各类自然灾害相对于电力系统影响的

主观权重；

计算受灾害等级影响综合权重向量 W_i' 公式如下：

$$W_{i_3}' = aW_{i_3} \quad (6)$$

其中， a 表示灾害因子修正系数， $a = \frac{(4-l)!}{e^{4-l}}$ ， l 表示灾害等级，小灾 $l=1$ ，中灾 $l=2$ 、大灾 $l=3$ ，重灾 $l=4$ ；

再将受灾害等级影响的综合权重向量与各类要求准则相对于电力系统影响的权重相乘，获得在每一类要求准则情况下，各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重；

步骤6、采用反熵法确定在每一类要求准则情况下，自然灾害对电力系统影响的客观权重，具体如下：

步骤6-1、根据被测电力系统历史数据记录，构建各个评价指标受自然灾害影响的原始数据矩阵 $X = (x_{i_3j_2})_{m \times N}$ ：

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mN} \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中， $x_{i_3j_2}$ 表示第 j_2 类评估指标受第 i_3 类自然灾害影响的历史数据， $i_3=1, 2, \dots, m$ ， $j_2=1, 2, \dots, N$ ；

步骤6-2、将原始数据矩阵进行标准化处理；

标准化处理后的原始数据矩阵如下：

$$R = (r_{i_3j_2})_{m \times N} \quad (10)$$

当 $x_{i_3j_2}$ 大者为优时：

$$r_{i_3j_2} = \frac{x_{i_3j_2} - \min_{j_2}\{x_{i_3j_2}\}}{\max_{j_2}\{x_{i_3j_2}\} - \min_{j_2}\{x_{i_3j_2}\}} \quad (11)$$

其中， $\min_{j_2}\{x_{i_3j_2}\}$ 表示 $x_{i_3j_2}$ 中的最小值， $\max_{j_2}\{x_{i_3j_2}\}$ 表示 $x_{i_3j_2}$ 中的最大值；

当 $x_{i_3j_2}$ 小者为优时：

$$r_{i_3j_2} = \frac{\max_{j_2}\{x_{i_3j_2}\} - x_{i_3j_2}}{\max_{j_2}\{x_{i_3j_2}\} - \min_{j_2}\{x_{i_3j_2}\}} \quad (12)$$

步骤6-3、根据标准化处理后的原始数据矩阵，获得各类自然灾害的反熵；

反熵的计算公式如下：

$$h' = -\sum_{i_3=1}^N p_{i_3j_2} \ln(p_{i_3j_2}) \quad (8)$$

其中， $p_{i_3j_2} = r_{i_3j_2} / \sum_{j_2=1}^N r_{i_3j_2}$ ； $r_{i_3j_2}$ 表示标准化处理后原始数据矩阵内部的元素；

步骤6-4、确定在每一类要求准则方面，自然灾害对电力系统影响的客观权重；

$$w_{i_3}' = h_{i_3}' / \sum_{i_3=1}^m h_{i_3}' \quad (9)$$

其中， w_{i_3}' 表示第 i_3 类自然灾害对电力系统影响的客观权重， h_{i_3}' 表示第 i_3 类自然灾害的反熵；

步骤7、根据各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重和客观权重，确定两者的调和平均数，即获得自然灾害对被测电力系统影响的权重，工作人员根据所获得的该自然灾害对被测电力系统影响的权重，提前实施预防工作，降低损失。

基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法

技术领域

[0001] 本发明属于输配电网领域,具体涉及一种基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法。

背景技术

[0002] 目前,有学者对气象条件对电力系统运行状态的影响的相关方面做了一些研究;分析了7大自然灾害对中国电力系统造成的影响,并从文献的研究类型、研究对象地域分布、研究热度和灾害解决方案4个角度进行了统计分析,总结了中国电力系统防御自然灾害的各种对策。但这仅仅是为中国电力系统改造以及建设抗灾型电网提供参考。或者从稳定性、安全性和经济性3方面进行考虑,提出一种综合评价方法来评价气象事件对电网的影响并采用层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)对各层面的影响进行综合评估。将所述方法用于冰雪灾害侵袭电网的各个典型阶段的综合评估。但是层次分析法在确定评估对象相对重要性时、在最终确定各指标权重时均需要人为的进行确定,较大程度的受到人为主观因素的影响。而目前的相关技术规程侧重于线路设计标准的量化,未能从系统角度提出重大自然灾害下电网运行方式设计的要求,无法定量评估抗灾型电网规划方案的合理性;电网规划相关指导意见和已有文献研究侧重于差异化规划思路的定性论证,缺乏定量分析决策方法。

发明内容

[0003] 针对现有评估方法存在的不足,本发明的目的是提供一种基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法,以达到提升电力系统的供电可靠性,尤其是灾害条件下电力系统的供电可靠性,提高电网投资收益的目的。

[0004] 一种基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤1、确定被预测地区所受灾害的种类;

[0006] 步骤2、根据对被预测电力系统的要求,设定构建层次分析法中目标层、准则层、指标层和待评估因素层,并确定准则层和指标层之间的隶属关系;

[0007] 所述的目标层为自然灾害对电力系统的影响;

[0008] 所述的准则层为实际中电力系统的各类要求准则;

[0009] 所述的指标层为实际中电力系统的各类评估指标;

[0010] 所述的待评估因素层为被预测地区的各类自然灾害;

[0011] 步骤3、构建层次分析法中相邻两个层之间的判断矩阵,进而获得相邻两个层之间的权重向量,具体如下:

[0012] 步骤3-1、构建目标层与准则层之间的判断矩阵,即要求准则对电力系统的影响与各类要求准则之间的判断矩阵,采用九级标度法确定矩阵元素取值;

[0013] 目标层与准则层之间的判断矩阵A如下:

$$[0014] \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

[0015] 其中, $a_{i_1j_1}$ 表示在相对于电力系统影响情况下, 第 i_1 类要求准则 a_{i_1} 相对于第 j_1 类要求准则 a_{j_1} 的重要程度, $i_1, j_1=1, 2, \dots, n$, n 表示要求准则的种类数;

[0016] 步骤3-2、将判断矩阵内元素进行归一化处理, 并采用求几何平均数的方法获得该判断矩阵的各个准则相对目标层相对重要性的权重向量;

[0017] 获得该判断矩阵的权重向量计算公式如下:

$$[0018] \quad W_{i_1} = \sqrt[n]{\prod_{j_1=1}^n a_{i_1j_1}} \quad (2)$$

[0019] 其中, W_{i_1} 表示相对于电力系统影响, 各类准则相对重要性的权重值, $\overline{a_{i_1j_1}}$ 表示归一化处理后判断矩阵中的元素,

$$\overline{a_{i_1j_1}} = \frac{a_{i_1j_1}}{\sum_{i_1=1}^n a_{i_1j_1}};$$

[0020] 获得相对于电力系统影响, 各类准则相对重要性的权重向量 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$;

[0021] 步骤3-3、根据判断矩阵的最大特征值近似值, 对该判断矩阵进行一致性测试, 若通过一致性测试, 则执行步骤3-4, 否则, 返回执行步骤3-1重新设置判断矩阵内元素的取值;

[0022] 步骤3-4、构建准则层与指标层之间的判断矩阵, 即根据准则层和指标层之间的隶属关系, 构建各类评估指标与其隶属的某一准则之间的判断矩阵, 采用九级标度法确定矩阵元素取值, 构建完成所有准则与其对应评估指标之间的判断矩阵, 并根据步骤3-2至步骤3-3计算获得所有判断矩阵的各个指标相对应的准则下相对重要性的权重向量;

[0023] 各类评估指标与其隶属的某一准则之间的判断矩阵B如下:

$$[0024] \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1N} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{N1} & b_{N2} & \dots & b_{NN} \end{pmatrix} \quad (3)$$

[0025] 其中, $b_{i_2j_2}$ 表示在相对于某一准则情况下, 第 i_2 类评估指标 b_{i_2} 相对于第 j_2 类评估指标 b_{j_2} 的重要程度, $i_2, j_2=1, 2, \dots, N$, N 表示隶属于该准则的评估指标种类数;

[0026] 步骤3-5、构建指标层与待评估因素层之间的判断矩阵, 即构建各类自然灾害与某一评估指标之间的判断矩阵, 采用九级标度法确定矩阵元素取值, 构建完成所有评估指标与自然灾害之间的判断矩阵, 并根据步骤3-2至步骤3-3计算获得该判断矩阵的各个待评估因素, 即自然灾害, 对每个评价指标影响大小的权重向量;

[0027] 构建各类自然灾害与某一评估指标之间的判断矩阵C如下:

$$[0028] \quad C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

[0029] 其中, $c_{i_3 j_3}$ 表示在相对于某一评估指标情况下, 第 i_3 类自然灾害 c_{i_3} 相对于第 j_3 类自然灾害 c_{j_3} 的重要程度, $i_3, j_3 = 1, 2, \dots, m$, m 表示自然灾害种类数;

[0030] 完成获得层次分析法中相邻两个层之间的权重向量;

[0031] 步骤4、根据层次分析法中相邻两个层之间的权重向量, 获得所有自然灾害相对于各类要求准则的综合权重向量;

[0032] 计算综合权重公式如下:

$$[0033] \quad W_{i_3} = \sum_{j_2=1}^N W_{i_3 j_2} W_{j_2} \quad (5)$$

[0034] 其中, W_{i_3} 表示所有自然灾害相对于各类要求准则的综合权重向量; $W_{i_3 j_2}$ 为一个矩阵, 其中, 矩阵每一列为根据指标层与待评估因素层之间的判断矩阵, 获得的某个指标受自然灾害影响大小的权重向量, 列数为指标层的指标类数, 行数为自然灾害种类数; W_{j_2} 表示不同指标相对于其隶属准则的重要性大小的权重向量;

[0035] 步骤5、确定受灾害等级影响的综合权重向量, 并根据准则层中各类要求准则相对于电力系统影响的权重, 获得在每一类要求准则情况下, 各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重;

[0036] 计算受灾害等级影响综合权重向量 W_i' 公式如下:

$$[0037] \quad W_{i_3}' = a W_{i_3} \quad (6)$$

[0038] 其中, a 表示灾害因子修正系数, $a = \frac{(4-l)!}{e^{4-l}}$, l 表示灾害等级, 小灾 $l=1$, 中灾 $l=2$, 大灾 $l=3$, 重灾 $l=4$;

[0039] 再将受灾害等级影响的综合权重向量与各类要求准则相对于电力系统影响的权重相乘, 获得在每一类要求准则情况下, 各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重;

[0040] 步骤6、采用反熵法确定在每一类要求准则情况下, 自然灾害对电力系统影响的客观权重, 具体如下:

[0041] 步骤6-1、根据被测电力系统历史数据记录, 构建各个评价指标受自然灾害影响的原始数据矩阵 $X = (x_{i_3 j_2})_{m \times N}$:

$$[0042] \quad X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mN} \end{pmatrix} \quad (7)$$

[0043] 其中, $x_{i_3 j_2}$ 表示第 j_2 类评估指标受第 i_3 类自然灾害影响的历史数据, $i_3 = 1, 2, \dots, m$, $j_2 = 1, 2, \dots, N$;

[0044] 步骤6-2、将原始数据矩阵进行标准化处理;

[0045] 步骤6-3、根据标准化处理后的原始数据矩阵, 获得各类自然灾害的反熵;

[0046] 反熵的计算公式如下：

$$[0047] h' = -\sum_{j_2=1}^N p_{i_3 j_2} \ln(1 - p_{i_3 j_2}) \quad (8)$$

[0048] 其中, $p_{i_3 j_2} = r_{i_3 j_2} / \sum_{j_2=1}^N r_{i_3 j_2}$; r_{ij} 表示标准化处理后原始数据矩阵内部的元素;

[0049] 步骤6-4、确定在每一类要求准则方面,自然灾害对电力系统影响的客观权重;

$$[0050] w_{i_3} = h_{i_3}' / \sum_{i_3=1}^m h_{i_3}' \quad (9)$$

[0051] 其中, w_{i_3} 表示第 i_3 类自然灾害对电力系统影响的客观权重, h_{i_3}' 表示第 i_3 类自然灾害的反熵;

[0052] 步骤7、根据各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重和客观权重,确定两者的调和平均数,即获得自然灾害对被测电力系统影响的权重,工作人员根据所获得的上述权重,提前实施预防工作,降低损失。

[0053] 步骤2中所述的准则层包括人员和设备的安全性、电力系统的可靠性、负荷转带和故障弥补能力、电力系统的经济性;所述的指标层包括变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比、人员的安全工作、变压器可利用系数、电压合格率、线路可利用系数、系统平均停电时间、系统平均停电频率、主变N-1通过率、中压线路N-1通过率、变电站单变率、变电站单电源线率、线路截面规范化率、中压线路平均分段数、区域间联网备用率、单位输配电成本、单位电量产值、网损和停电用户损失。

[0054] 步骤6-2所述的将原始数据矩阵进行标准化处理,标准化处理后的原始数据矩阵如下:

$$[0055] R = (r_{i_3 j_2})_{m \times N} \quad (10)$$

[0056] 当 $x_{i_3 j_2}$ 大者为优时:

$$[0057] r_{i_3 j_2} = \frac{x_{i_3 j_2} - \min_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\}}{\max_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\} - \min_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\}} \quad (11)$$

[0058] 其中, $\min_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\}$ 表示 $x_{i_3 j_2}$ 中的最小值, $\max_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\}$ 表示 $x_{i_3 j_2}$ 中的最大值;

[0059] 当 $x_{i_3 j_2}$ 小者为优时:

$$[0060] r_{i_3 j_2} = \frac{\max_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\} - x_{i_3 j_2}}{\max_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\} - \min_{j_2} \{x_{i_3 j_2}\}} \quad (12)$$

[0061] 本发明优点:

[0062] 1、采用改进层次分析法计算自然灾害对电力系统影响的主观权重,通过建立清晰的层次结构分解复杂的问题,用相对标度将人的判断标量化,其次引入测度理论,通过两两比较,通过求解判断矩阵计算几何平均数得出方案的综合权重,由于正常气候条件下,典型的电网连锁故障通常会有一个确定的初始故障作为故障累积阶段的开始以及一个确定的触发故障作为连锁反应阶段的开始;在恶劣天气条件下,电网初始故障的分布与恶劣天气

的类型及响应区域密切相关,往往具有多重性及群发性的特点;这种恶劣天气下的电网故障特性使得初始故障和触发故障之间并没有一个明确的界限或是划分标志,二者之间相互融合,即在电网经历过故障累积阶段后无确定触发故障,直接跨入连锁反应阶段;各个指标值之间存在连乘积关系,实时变化,因为计算几何平均数要求各观察值之间存在连乘积关系,因此采用改进层次分析法确定自然灾害对电力系统影响的主观权重更加准确,更加合理。

[0063] 2、采用反熵法计算自然灾害对电力系统影响的客观权重,故障的发生分为故障累积阶段、触发故障和连锁反应阶段,因此权重是时变的,表示一个事件发生的可能性大小的数是一个在0到1之间的实数,一件事情发生的概率为 P_i ,则它不发生的概率为 $1-P_i$,由于自然灾害对电力系统的影响权重大小是时变的,因此可以用这种相对的思想确定权重。

[0064] 3、采用调和平均数计算各指标的权重,在实际中,往往由于缺乏总体单位数的资料而不能直接计算算术平均数,这时需用调和平均法来求得平均数;调和平均数易受极端值的影响,且受极小值的影响比受极大值的影响更大;调和平均数是总体各单位标志值倒数的算术平均数的倒数,也称倒数平均数;调和平均数是平均数的一种;在数学中调和平均数与算术平均数都是独立的自成体系的;计算结果前者恒小于等于后者;中国的智能电网是以特高压电网为骨干网架、各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础,以充分满足用户对电力的需求和优化资源配置、确保电力供应的安全性、可靠性和经济性、满足环保约束、保证电能质量、适应电力市场化发展等为目的,实现对用户可靠、经济、清洁、互动的电力供应和增值服务;“十二五”期间,国家电网将投资5000亿元,建成连接大型能源基地与主要负荷中心的“三横三纵”的特高压骨干网架和13回长距离直流输电工程,初步建成核心的世界一流的坚强智能电网;因此我国电力系统的抗灾变性较强,再加上目前天气预报是利用“风云一号”气象卫星摄取、利用卫星云图照片进行分析,大大提高了天气预报的准确率,使大部分灾害发生时电力公司有一定的时间准备应急预案,所以电力系统受自然灾害影响权重比理论上小一些,因此采用调和平均数使计算更加准确合理;

[0065] 综上所述:

[0066] 本发明一种基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法,并且针对目前的评价方法过于主观的缺点做了进一步的修正改进,能够适应各个不同地区电网受自然灾害影响的实际评价及横向比较,分析各个电网发展的优缺点,找出其薄弱环节,对未来电网的规划、建设坚强电网有很好的指导作用,提升电力系统的供电可靠性,尤其是灾害条件下电力系统的供电可靠性,提高电网投资收益。

附图说明

[0067] 图1为本发明一种实施例的基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法流程图;

[0068] 图2为本发明一种实施例的层次分析法构建结构;

[0069] 图3为本发明一种实施例的层次分析法确定主观权重流程图。

具体实施方式

[0070] 下面结合附图对本发明一种实施例做进一步说明。

[0071] 本发明实施例中，基于改进AHP-反熵权的电力系统受灾影响的预测方法，方法流程图如图1所示，包括以下步骤：

[0072] 步骤1、确定被预测地区所受灾害的种类；

[0073] 本发明实施例中，选取A地区配电网作为自然灾害对电力系统影响的评价对象；

[0074] 该地区冬季漫长寒冷，寒冷期长，平均最高温度也在0℃以下，因此考虑冰雪灾害对电力系统的影响。当覆冰达到一定的厚度，在一定的风力和风向作用下，风口地段的线路易动作，导致会出现大幅度低频率的自激振动；严重覆冰时会使绝缘子串冻成冰柱，发生冰闪；当覆冰的厚度超过杆塔和线路的设计标准时，覆冰杆塔两侧的张力不平衡就容易引起断线倒塔事故，这种事故多发生在地形起伏较大，相邻杆塔在高度和距离上存在很大差异的地区。

[0075] 该地区年降水量在600-1100毫米之间。当有洪涝灾害时，变压器绝缘受潮后，绝缘性能大大降低，甚至击穿，导致变压器损坏；折断的树枝容易压在架空输电线上造成输电线路断电故障；造成断线、倒杆等破坏，而由于大量的降雨，致使绝缘子容易受潮发生闪络；因此考虑洪水灾害对电力系统的影响。

[0076] 近年来，“梅花”、“维达”等台风相继登陆该地区，因此考虑台风灾害对电力系统的影响。

[0077] 雷电因其强大的电流、炙热的高温、强烈的电磁辐射以及猛烈的冲击波等物理效应而能够在瞬间产生巨大的破坏作用，造成雷电灾害。该地区受东北冷涡天气影响，多雷阵雨天气，全年最多雷暴日数都在40天以上，因此考虑雷电灾害对电力系统的影响。

[0078] 因此，本发明实施例中以冰雪、洪水、台风、雷电灾害为影响因素，建立评价体系。

[0079] 步骤2、根据对被预测电力系统的要求，设定构建层次分析法中目标层、准则层、指标层和待评估因素层，并确定准则层和指标层之间的隶属关系；

[0080] 如图2所示，本发明实施例中，目标层为自然灾害对电力系统的影响；准则层包括人员和设备的安全性、电力系统的可靠性、负荷转带和故障弥补能力、电力系统的经济性；指标层包括变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比、人员的安全工作、变压器可利用系数、电压合格率、线路可利用系数、系统平均停电时间、系统平均停电频率、主变N-1通过率、中压线路N-1通过率、变电站单变率、变电站单电源线率、线路截面规范化率、中压线路平均分段数、区域间联网备用率、单位输配电成本、单位电量产值、网损和停电用户损失。待评估因素层为被预测地区的各类自然灾害，包括冰雪、洪水、台风和雷电四类；

[0081] 其中，变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比和人员的安全工作六类指标隶属于人员和设备的安全性准则；变压器可利用系数、电压合格率、线路可利用系数、系统平均停电时间和系统平均停电频率五类指标隶属于电力系统的可靠性准则；主变N-1通过率、中压线路N-1通过率、变电站单变率、变电站单电源线率、线路截面规范化率、中压线路平均分段数和区域间联网备用率七类指标隶属于负荷转带和故障弥补能力准则；单位输配电成本、单位电量产值、网损和停电用户损失四类指标隶属于电力系统的经济性准则。

[0082] 本发明实施例中，采用改进层次分析法确定各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重，其流程图如图3所示。

[0083] 步骤3、构建层次分析法中相邻两个层之间的判断矩阵,进而获得相邻两个层之间的权重向量,具体如下:

[0084] 以冰雪、洪水、台风、雷电灾害为影响因素,影响因素相当于评估模型中的待评估因素层,即最终经过电力专家标准评判对指标进行两两比较判断计算得到不同方案即不同影响因素对电力系统的影响大小。

[0085] 步骤3-1、构建目标层与准则层之间的判断矩阵,即要求准则对电力系统的影响与各类要求准则之间的判断矩阵,采用九级标度法确定矩阵元素取值;

[0086] 本发明实施例中,专家根据专家经验和九级标度法(如表1),对各个指标进行评分。采用专家匿名投票的方法,专家之间不能进行讨论以避免发生横向联系,只能与调查人员进行联系;

[0087] 表1九级标度表

	标度值	标度意义
	1	a_i 与 a_j 同等重要
	3	a_i 比 a_j 稍微重要
	5	a_i 比 a_j 相当重要
[0088]	7	a_i 比 a_j 强烈重要
	9	a_i 比 a_j 极端重要
	2、4、6、8	表述上述相邻判断的中间值
	倒数	a_j 相对 a_i 的重要性 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

[0089] 本发明实施例中,以人员和设备的安全性、可靠性、负荷转带和故障弥补能力和经济性为准则层,目标层与准则层之间的判断矩阵A如下:

$$[0090] A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{41} & a_{42} & \dots & a_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0091] 其中, a_{ij} 表示在相对于电力系统影响情况下,第*i*类要求准则 a_i 相对于第*j*类要求准则 a_j 的重要程度, $i_1, j_1=1, 2, \dots, 4$;

[0092] 比较判断矩阵 $A=(a_{ij})$ 对应一个特征方程:

$$[0093] \lambda W = AW \quad (13)$$

[0094] 其中, λ 为矩阵A的特征值;

[0095] 权重 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$;

[0096] 步骤3-2、将判断矩阵内元素进行归一化处理,并采用求几何平均数的方法获得该判断矩阵的权重向量;

[0097] 将判断矩阵归一化处理,即

$$[0098] \overline{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (14)$$

[0099] 获得归一化处理后的判断矩阵 $\bar{A} = \left(\bar{a}_{ij} \right)_{n \times n}$;

[0100] 获得该判断矩阵的权重向量计算公式如下:

$$[0101] W_{i_1} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{a}_{i_1 j_1}} \quad (2)$$

[0102] 其中, W_{i_1} 表示相对于电力系统影响, 各类准则相对重要性的权重值, $\bar{a}_{i_1 j_1}$ 表示归一化处理后判断矩阵中的元素;

[0103] 获得相对于电力系统影响, 各类准则相对重要性的权重向量 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]$; 本发明实施例中, $W_1 = W_2 = \sqrt[4]{3/8 \times 3/8 \times 3/8 \times 3/8} = 0.375$, $W_3 = W_4 = \sqrt[4]{1/8 \times 1/8 \times 1/8 \times 1/8} = 0.125$, $W = [0.375, 0.375, 0.125, 0.125]$:

[0104] 求解最大特征值近似值, 即

$$[0105] \lambda_{\max} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{(AW_{i_1})}{W_{i_1}} \quad (15)$$

[0106] $\lambda_{\max} = 4.0000$

[0107] 步骤3-3、根据判断矩阵的最大特征值近似值, 对该判断矩阵进行一致性测试, 若通过一致性测试, 则执行步骤3-4, 否则, 返回执行步骤3-1重新设置判断矩阵内元素的取值;

[0108] 进行一致性检验通过计算一致性比例C.R. (Consistency Ratio) 来决定:

$$[0109] C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (16)$$

[0110] 式中C.I. (Consistency Index) 是判断矩阵一致性指标:

$$[0111] C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (17)$$

[0112] R.I. (Random Index) 称为平均随机一致性指标, 其取值规则如表2所示, λ_{\max} 为特征方程的最大特征根, n为比较判断矩阵A的阶数, 此处, n=4;

[0113] 表2一致性检验标准对照表

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

[0115] 当C.R. < 0.1时, 便认为判断矩阵具有可以接受的一致性; 当C.R. ≥ 0.1时, 就需要调整和修正判断矩阵, 使其满足C.R. < 0.1, 从而具有满意的一致性;

[0116] 本发明实施例中, $C.R. = \frac{4.0000 - 4}{(4-1)*0.90} = 0 < 0.1$, 一致性校验通过;

[0117] 步骤3-4、构建准则层与指标层之间的判断矩阵, 即根据准则层和指标层之间的隶属关系, 构建各类评估指标与其隶属的某一准则之间的判断矩阵, 采用九级标度法确定矩阵元素取值, 构建完成所有准则与其对应评估指标之间的判断矩阵, 并根据步骤3-2至步骤3-3计算获得所有判断矩阵的权重向量;

[0118] 本发明实施例中,以人员和设备的安全性为准则层举例说明,隶属指标包括变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比、人员的安全工作,根据其相对重要性得判断矩阵B如下:

$$[0119] B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{61} & b_{62} & \dots & b_{66} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 1/4 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 1/4 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1/2 \\ 2 & 2 & 4 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0120] 其中, $b_{i_2 j_2}$ 表示在相对于某一准则情况下, 第 i_2 类评估指标 b_{i_2} 相对于第 j_2 类评估指标 b_{j_2} 的重要程度, $i_2, j_2 = 1, 2, \dots, 6$;

[0121] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0122] W_1 = W_2 = W_5 = \sqrt[6]{1/6 \times 1/6 \times 2/12 \times 2/12 \times 1/6 \times 1/6} = 0.167$$

$$[0123] W_3 = W_4 = \sqrt[12]{1/12 \times 1/12 \times 1/12 \times 1/12 \times 1/12 \times 1/12} = 0.083$$

$$[0124] W_6 = \sqrt[12]{2/6 \times 2/6 \times 2/12 \times 2/12 \times 2/12 \times 2/12} = 0.334$$

[0125] $W = [0.167, 0.167, 0.083, 0.083, 0.167, 0.334]$, $\lambda_{\max} = 5.7604$, 由此

$$C.R. = \frac{5.7604 - 6}{(6-1) * 1.24} = -0.0386 < 0.1, \text{一致校验通过;}$$

[0126] 步骤3-5、构建指标层与待评估因素层之间的判断矩阵,即构建各类自然灾害与某一评估指标之间的判断矩阵,采用九级标度法确定矩阵元素取值,构建完成所有评估指标与自然灾害之间的判断矩阵,并根据步骤3-2至步骤3-3计算获得该判断矩阵的权重向量;

[0127] 本发明实施例中,四种自然灾害对于标准中变压器故障百分比的判断矩阵C如下:

$$[0128] C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1/2 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

[0129] 其中, $c_{i_3 j_3}$ 表示在相对于某一评估指标情况下, 第 i_3 类自然灾害 c_{i_3} 相对于第 j_3 类自然灾害 c_{j_3} 的重要程度, $i_3, j_3 = 1, 2, \dots, 4$;

[0130] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0131] W_1 = W_4 = \sqrt[4]{2/7 \times 3/10 \times 1/4 \times 2/7} = 0.2797$$

$$[0132] W_2 = \sqrt[8]{2/7 \times 3/10 \times 3/8 \times 2/7} = 0.3096$$

$$[0133] W_3 = \sqrt[8]{1/7 \times 1/10 \times 1/8 \times 2/7} = 0.1503$$

[0134] $W = [0.2797, 0.3096, 0.1503, 0.2797]$, $\lambda_{\max} = 4.0192$, 由此 $C.R. = \frac{4.0192 - 4}{(4-1) * 0.9} = 0.00714 < 0.1$,

一致性校验通过;

[0135] 四种影响因素对于标准中绝缘子闪络百分比的判断矩阵为:

$$[0136] C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

[0137] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0138] W_1 = W_2 = W_4 = \sqrt[4]{2/7 \times 2/7 \times 2/7 \times 2/7} = 0.286$$

$$[0139] W_3 = \sqrt[4]{1/7 \times 1/7 \times 1/7 \times 1/7} = 0.142$$

$$[0140] W = [0.286, 0.286, 0.142, 0.286], \lambda_{\max} = 4.0000, \text{由此 } C.R. = \frac{4.0000 - 4}{(4-1)*0.90} = 0 < 0.1,$$

一致性校验通过;

[0141] 四种影响因素对于标准中互感器故障百分比的判断矩阵为:

$$[0142] C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

[0143] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0144] W_1 = W_2 = \sqrt[4]{1/3 \times 1/3 \times 1/3 \times 1/3} = 0.333$$

$$[0145] W_3 = W_4 = \sqrt[4]{1/6 \times 1/6 \times 1/6 \times 1/6} = 0.167$$

$$[0146] W = [0.333, 0.333, 0.167, 0.167], \lambda_{\max} = 4.0000, \text{由此 } C.R. = \frac{4.0000 - 4}{(4-1)*0.90} = 0 < 0.1,$$

一致性校验通过;

[0147] 四种影响因素对于标准中熔断器故障百分比的判断矩阵为:

$$[0148] C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1 & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

[0149] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0150] W_1 = \sqrt[4]{1/3 \times 1/3 \times 2/7 \times 6/17} = 0.3253$$

$$[0151] W_2 = \sqrt[4]{1/6 \times 1/6 \times 1/7 \times 3/17} = 0.1627$$

$$[0152] W_3 = \sqrt[4]{1/6 \times 1/6 \times 1/7 \times 2/17} = 0.1470$$

$$[0153] W_4 = \sqrt[4]{1/3 \times 1/3 \times 3/7 \times 6/17} = 0.3601$$

$$[0154] W = [0.3253, 0.1627, 0.1470, 0.3601], \lambda_{\max} = 4.0232, \text{由此 } C.R. = \frac{4.0232 - 4}{(4-1)*0.9} = 0.00859 < 0.1,$$

一致性校验通过;

[0155] 四种影响因素对于标准中电容器故障百分比的判断矩阵为:

$$[0156] C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

[0157] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0158] W_1 = W_2 = W_4 = \sqrt[4]{2/7 \times 2/7 \times 2/7 \times 2/7} = 0.286$$

$$[0159] W_3 = \sqrt[4]{1/7 \times 1/7 \times 1/7 \times 1/7} = 0.142$$

$$[0160] W = [0.286, 0.286, 0.142, 0.286], \lambda_{\max} = 4.0000, \text{由此 } C.R. = \frac{4.0000 - 4}{(4-1)*0.90} = 0 < 0.1,$$

一致性校验通过;

[0161] 四种影响因素对于标准中电容器故障百分比的判断矩阵为:

$$[0162] C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{44} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 1 & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

[0163] 获得判断矩阵的权重向量:

$$[0164] W_1 = W_4 = \sqrt[4]{6/17 \times 4/11 \times 3/9 \times 6/17} = 0.3505$$

$$[0165] W_2 = \sqrt[4]{3/17 \times 2/11 \times 2/9 \times 3/17} = 0.1883$$

$$[0166] W_3 = \sqrt[4]{2/17 \times 1/11 \times 1/9 \times 1/17} = 0.0914$$

$$[0167] W = [0.3505, 0.1883, 0.0914, 0.3505], \lambda_{\max} = 4.0104, \text{由此 } C.R. = \frac{4.0104 - 4}{(4-1)*0.90} = 0.0039 < 0.1,$$

一致性校验通过;

[0168] 完成获得层次分析法中相邻两个层之间的权重向量;

[0169] 步骤4、根据层次分析法中相邻两个层之间的权重向量,获得所有自然灾害相对于各类要求准则的综合权重向量;

[0170] 本发明实施例中,分别计算出22个单项指标的综合权重,此处,就人员和设备的安全性举例计算说明,以人员和设备的安全性为准则层,以变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比、人员的安全工作作为指标层,计算综合权重公式如下:

$$[0171] W_{i_3} = \sum_{j_2=1}^N W_{i_3j_2} W_{j_2} = \begin{bmatrix} 0.2797 & 0.286 & 0.333 & 0.3253 & 0.286 & 0.3505 \\ 0.3096 & 0.286 & 0.333 & 0.1627 & 0.286 & 0.1883 \\ 0.1503 & 0.142 & 0.167 & 0.147 & 0.142 & 0.0914 \\ 0.2797 & 0.286 & 0.167 & 0.3601 & 0.286 & 0.3505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.167 \\ 0.167 \\ 0.083 \\ 0.083 \\ 0.167 \\ 0.334 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3139398 \\ 0.2512625 \\ 0.1291177 \\ 0.3030502 \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0172] 其中, W_{i_3} 表示所有自然灾害相对于各类要求准则的综合权重向量; $W_{i_3j_2}$ 为一个矩

阵,其中,矩阵每一列为根据指标层与待评估因素层之间的判断矩阵,获得的某个指标受自然灾害影响大小的权重向量,列数为指标层的指标类数,行数为自然灾害种类数; W_{i_2} 表示不同指标相对于其隶属准则的重要性大小的权重向量;

[0173] 步骤5、确定受灾害等级影响的综合权重向量,并根据准则层中各类要求准则相对于电力系统影响的权重,获得在每一类要求准则情况下,各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重;

[0174] 计算受灾害等级影响综合权重向量 W_i' 公式如下:

$$[0175] W_i' = aW_{i_2} = \begin{bmatrix} 0.3139398 \\ 0.2512625 \\ 0.1291177 \\ 0.3030502 \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0176] 其中,a表示灾害因子修正系数,以本地区发生四种类型灾害均为重灾时灾害对电力系统影响为例,因此四种灾害均取l=4,则 $a=\frac{(4-l)!}{e^{4-l}}=\frac{0!}{1}=1$,1表示灾害等级,小灾1=1,中灾1=2、大灾1=3,重灾1=4;

[0177] 再将受灾害等级影响的综合权重向量与各类要求准则相对于电力系统影响的权重相乘,获得在每一类要求准则情况下,各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重;

[0178] 从评价总排序可以看出,在人员和设备的安全性方面,冰雪灾害对该地区电力系统运行状态的影响最大,其次是雷电灾害,再次是洪水灾害,台风灾害的影响较小。

[0179] 根据准则层中人员和设备安全性所占的比重,得

$$[0180] W_i' = W_1 W_{i_2}' = 0.375 \times \begin{bmatrix} 0.3139398 \\ 0.2512625 \\ 0.1291177 \\ 0.3030502 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.117727425 \\ 0.0942234375 \\ 0.0484191375 \\ 0.113643825 \end{bmatrix} \quad (24)$$

[0181] 步骤6、采用反熵法确定在每一类要求准则情况下,自然灾害对电力系统影响的客观权重,具体如下:

[0182] 步骤6-1、根据被测电力系统历史数据记录,构建各个评价指标受自然灾害影响的原始数据矩阵 $X=(x_{ij})_{m \times N}$:

[0183] 本发明实施例中,设4个待评价因素分别为冰雪、洪水、台风、雷电灾害,6个评价对象为变压器故障百分比、绝缘子闪络百分比、互感器故障百分比、熔断器故障百分比、电容器故障百分比、人员的安全工作作为人员和设备的安全性,形成原始判断矩阵,如表3所示:

[0184] 表3

[0185]

	压器故障百分比	缘子闪络百分比	感器故障百分比	断器故障百分比	容器故障百分比	员的安全工作
冰雪	5	8	3	3	4	6

[0186]

洪水	7	7	2	2	3	7
台风	4	7	3	2	2	7
雷电	6	5	2	4	5	8

[0187] 步骤6-2、将原始数据矩阵进行标准化处理；

[0188] 标准化处理后的原始数据矩阵R=(r_{ij})_{4×6}如下：

$$[0189] R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{41} & \cdots & r_{46} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 2/3 & 0 & 0 & 1/2 & 1/3 & 0 \\ 0 & 1/3 & 1 & 1 & 2/3 & 1/2 \\ 1 & 1/3 & 0 & 1 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0190] 当x_{i,j₂}大者为优时：

$$[0191] r_{i,j_2} = \frac{x_{i,j_2} - \min_{j_2}\{x_{i,j_2}\}}{\max_{j_2}\{x_{i,j_2}\} - \min_{j_2}\{x_{i,j_2}\}} \quad (11)$$

[0192] 其中, min_{j₂}{x_{i,j₂}} 表示x_{i,j₂}中的最小值, max_{j₂}{x_{i,j₂}} 表示x_{i,j₂}中的最大值；

[0193] 当x_{i,j₂}小者为优时：

$$[0194] r_{i,j_2} = \frac{\max_{j_2}\{x_{i,j_2}\} - x_{i,j_2}}{\max_{j_2}\{x_{i,j_2}\} - \min_{j_2}\{x_{i,j_2}\}} \quad (12)$$

[0195] P=(r_{ij})_{m×n}矩阵如下：

$$[0196] P = \begin{bmatrix} 1/3 & 0 & 0 & 1/5 & 1/6 & 0 \\ 0 & 1/5 & 1/2 & 2/5 & 1/3 & 1/4 \\ 1/2 & 1/5 & 0 & 2/5 & 1/2 & 1/4 \\ 1/6 & 3/5 & 1/2 & 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

[0197] 其中, p_{i,j₂} = r_{i,j₂} / ∑_{j₂=1}^N r_{i,j₂}; r_{ij}表示标准化处理后原始数据矩阵内部的元素；

[0198] 步骤6-3、根据标准化处理后的原始数据矩阵,获得各类自然灾害的反熵；

[0199] 反熵的计算公式如下：

$$[0200] h' = -\sum_{i_3=1}^N p_{i,j_2} \ln(1 - p_{i,j_2}) \quad (8)$$

[0201] 本发明实施例中,

$$[0202] h'_1 = -(-0.13555 - 0.044628 - 0.03038) = 0.210558$$

$$[0203] h'_2 = -(-0.044628 - 0.3465 - 0.20433 - 0.135155 - 0.0719) = 0.802513$$

$$[0204] h'_3 = -(-0.3465 - 0.044628 - 0.20433 - 0.13555 - 0.0719) = 0.802908$$

$$[0205] h'_4 = -(-0.03038 - 0.54977 - 0.3465 - 0.3465) = 1.27315$$

[0206] 步骤6-4、确定在每一类要求准则方面,自然灾害对电力系统影响的客观权重；

$$[0207] w_{i_3} = h'_{i_3} / \sum_{i_3=1}^m h'_{i_3} \quad (9)$$

[0208] 其中, $w_{i_3}^*$ 表示第 i_3 类自然灾害对电力系统影响的客观权重, h_{i_3} 表示第 i_3 类自然灾害的反熵;

[0209] 本发明实施例中,

$$w'_1 = 0.210558 / 3.089129 = 0.06816 = 6.816\%$$

$$w'_2 = 0.802513 / 3.089129 = 0.25978 = 25.978\%$$

$$w'_3 = 0.802908 / 3.089129 = 0.259914 = 25.9914\%$$

$$w'_4 = 1.27315 / 3.089129 = 0.412138 = 41.2138\%$$

[0214] 步骤7、根据各类自然灾害相对于电力系统影响的主观权重和客观权重,确定两者的调和平均数,即获得自然灾害对被测电力系统影响的权重,工作人员根据所获得的上述权重,提前实施预防工作,降低损失;

[0215] 由计算得到的主观权重和客观权重两者结合计算调和平均数得到各指标的权重,即

$$[0216] H_{i_3} = \frac{2}{\frac{1}{W'_{i_3}} + \frac{1}{w'_{i_3}}} \quad (26)$$

$$[0217] H_1 = \frac{2}{\frac{1}{0.117727425} + \frac{1}{0.06816}} = 0.08634$$

$$[0218] H_2 = \frac{2}{\frac{1}{0.0942234375} + \frac{1}{0.25978}} = 0.13828$$

$$[0219] H_3 = \frac{2}{\frac{1}{0.0484191375} + \frac{1}{0.259914}} = 0.08163$$

$$[0220] H_4 = \frac{2}{\frac{1}{0.113643825} + \frac{1}{0.412138}} = 0.17816$$

[0221] 本发明实施例,计算得到指标的权重分别为0.08634,0.13828,0.08163,0.17816。通过对以上数据的分析可以看出,由于该地区冬季漫长寒冷,寒冷期长,所以在电力系统的运行及维护上针对冰雪灾害的预防和控制做了很多工作,因此该地区电力系统对冰雪的抗灾变性能较强,冰雪灾害对电力系统的影响没有主观上那么大,而雷电因其强大的电流、炙热的高温、强烈的电磁辐射以及猛烈的冲击波等物理效应而能够在瞬间产生巨大的破坏作用,因此雷电灾害对该地区电力系统的影响较大。

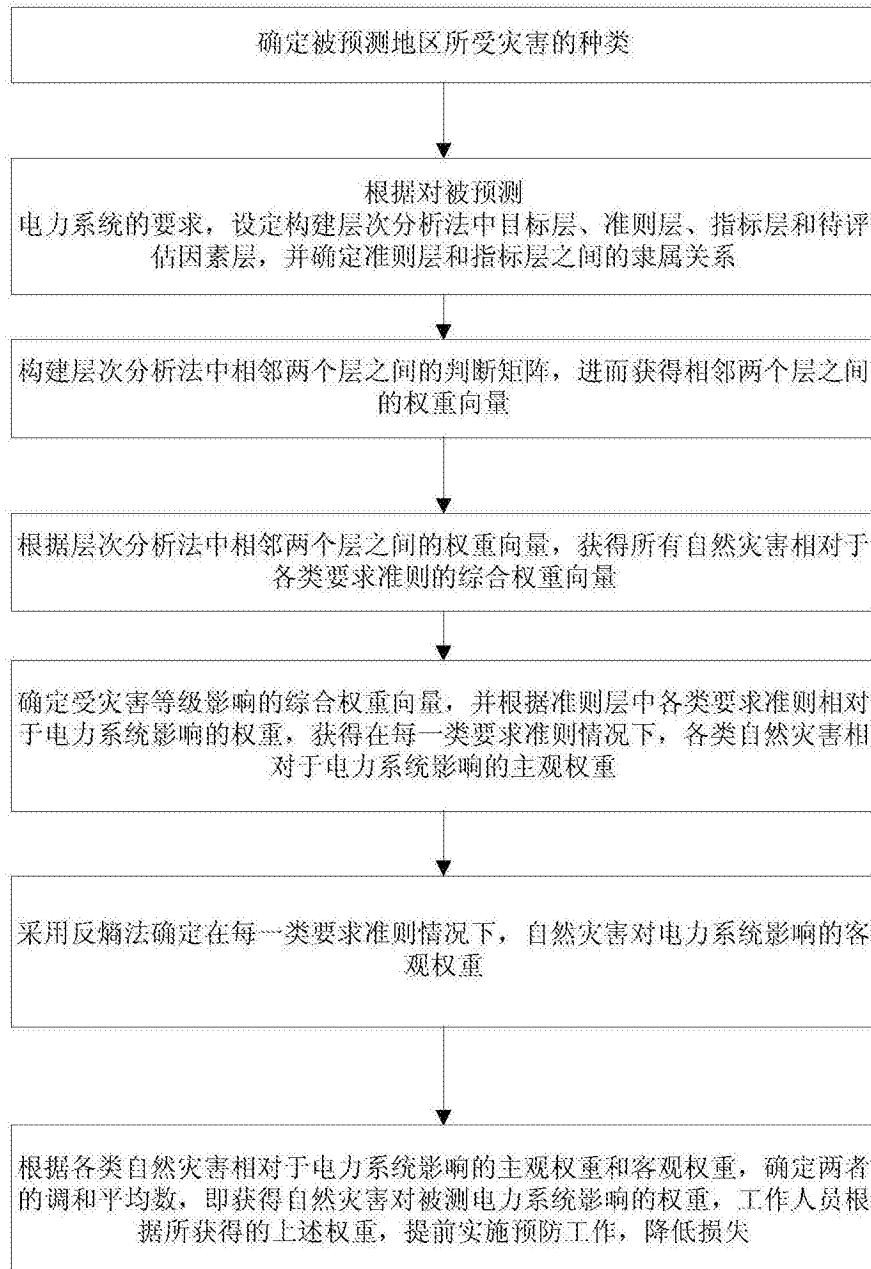


图1

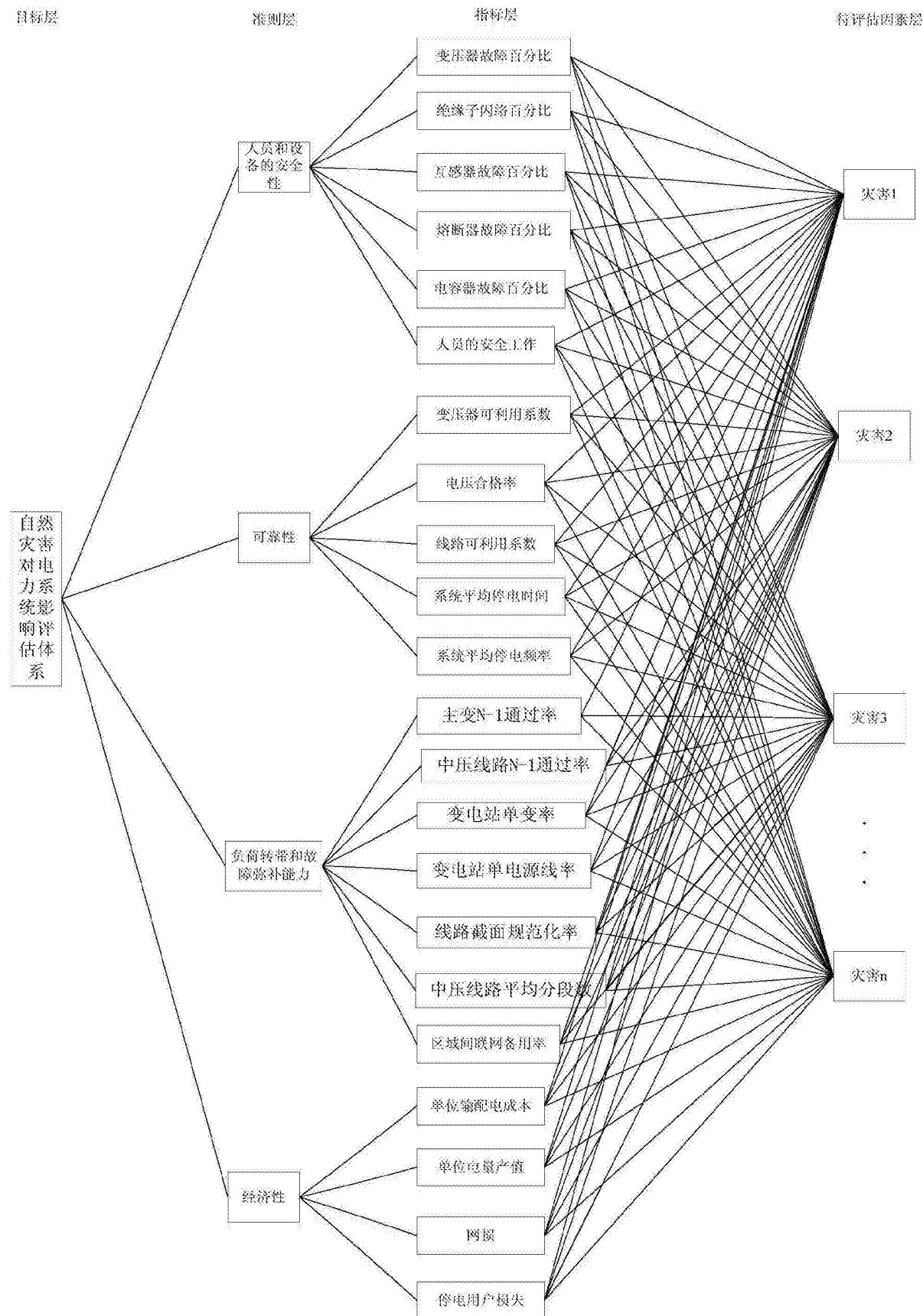


图2

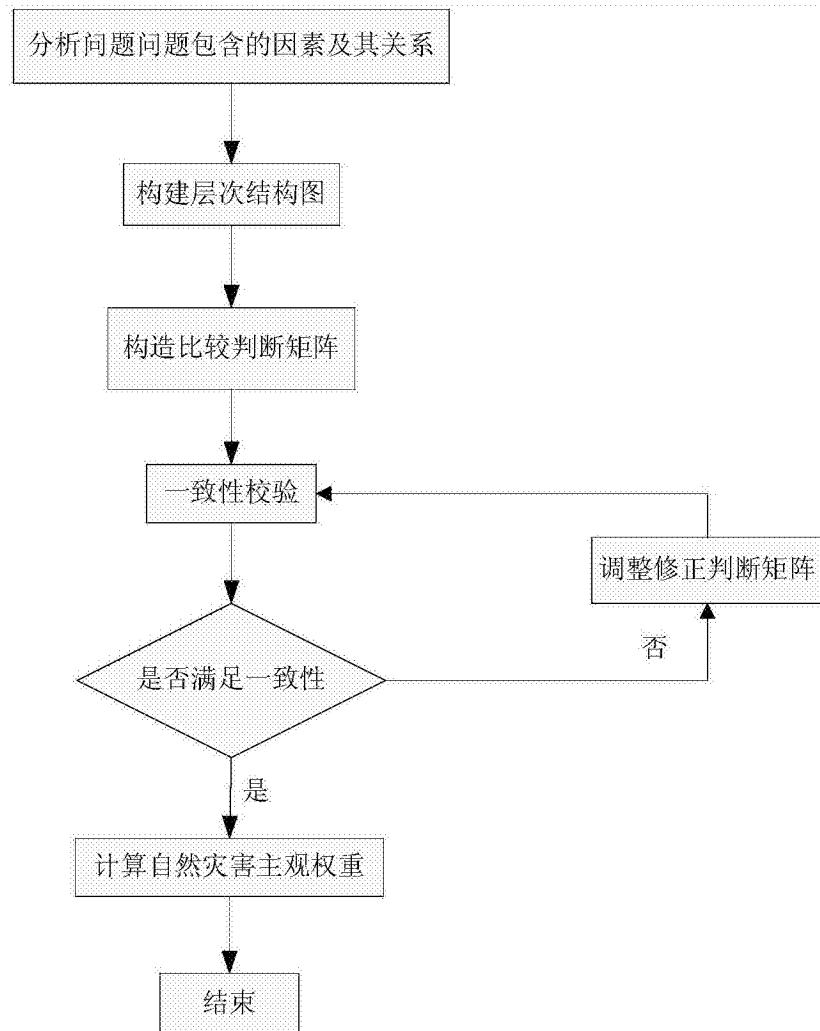


图3