



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107358332 A

(43)申请公布日 2017. 11. 17

(21)申请号 201710350887.0

(22)申请日 2017.05.18

(71)申请人 国网浙江省电力公司

地址 310007 浙江省杭州市西湖区黄龙路8号

申请人 浙江大学 国家电网公司

(72)发明人 项中明 倪秋龙 朱炳铨 徐立中

文福拴 徐奇锋 谷炜 张小聪

孙文多 崔鹏程 傅子昊 徐兵

(74)专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通

合伙) 33206

代理人 王晓燕

(51) Int. Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

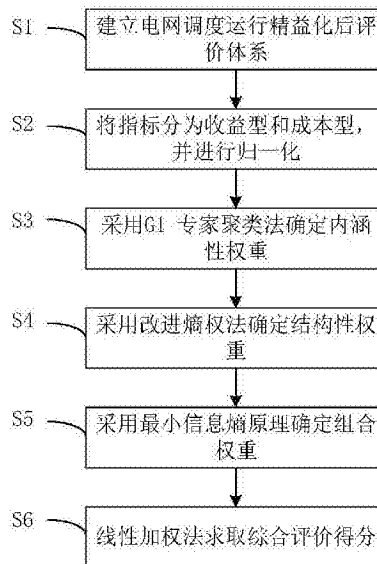
权利要求书4页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种电网调度运行精益化评价方法

(57)摘要

一种电网调度运行精益化评价方法,涉及一种电网调度评价方法。随着电网规模的不断扩大,运行特性的日趋复杂,电网调度运行精益化管理的难度也急剧增大;本发明步骤包括:构建评价指标体系;将评价指标体系中的指标进行分类,并进行归一化处理;确定评价指标体系的内涵性权重;确定评价指标体系的结构性权重;得到综合权重;利用得到的综合权重进行综合计算,得到评价结果。本技术方案根据评价结果可以全面合理地反映电网调度运行精益化水平,为电网优化运行提供指导。



1. 一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于,包括:

步骤S1,从安全性、经济性、节能性、环保性和公平性出发构建评价指标体系;

步骤S2,将评价指标体系中的指标进行分类,并进行归一化处理;

步骤S3,采用G1-专家聚类法确定评价指标体系的内涵性权重;

步骤S4,采用改进熵权法确定评价指标体系的结构权重;

步骤S5,采用最小鉴别信息原理,将步骤S3确定的内涵性权重和步骤S4确定的结构性权重综合得到综合权重;

步骤S6,利用线性加权综合法对步骤S2中归一化后的指标值和步骤S5得到的综合权重进行综合计算,得到评价结果。

2. 根据权利要求1所述的一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于:在步骤S1中,基于平均值效应、短板效应、异常对象效应和指标构建的基本原则构建评价指标体系,包括安全性指标集、经济性指标集、节能性指标集、环保性指标集和公平性指标集;

所述的安全性指标集包括N-1通过率、主要断面N-2通过率、短路电流指标、断面安全指标、主变安全指标、线路安全指标、电网运行均衡度指标、电力流向指标、旋转备用不足率指标、供区负荷无功裕度指标、电压合格率、频率合格率、负荷预测合格率;

所述的经济性指标集包括平均购电成本偏差率、网损率、旋转备用过剩率、尖峰负荷机组负载率、供区无功平衡程度;

所述的节能性指标集包括发电平均煤耗、发电机组等效平均负荷率;

所述的环保性指标集包括可再生能源并网率、可再生能源发电占比、单位电量SO<sub>2</sub>排放量、单位电量氮氧化物排放量、单位电量烟尘排放量;

所述的公平性指标集包括日发电计划完成度、日发电利用率均衡度。

3. 根据权利要求1所述的一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于:在步骤S2中,按照指标值与期望结果的关系将评价指标分为成本型指标和效益型指标;其中成本型指标的指标数值越小,指标得分越大;效益型指标则相反;

1) 成本型指标得分函数

$$r_{ij} = \frac{x_{i,\max} - x_{ij}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \times 100 \quad (1)$$

式中: $r_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*日的得分; $x_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*日的数值; $x_{i,\max}$ 和 $x_{i,\min}$ 分别表示指标*i*的历史最大值和最小值;

2) 效益型指标得分函数

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \times 100 \quad (2)$$

4. 根据权利要求1所述的一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于:在步骤S3中,采用G1-专家聚类法确定评价指标体系的内涵性权重,其步骤包括:

S31:确定序关系

若评价指标 $A_i$ 相对对应评价准则的重要程度不小于 $A_j$ ,记为 $A_i \geq A_j$ ;建立递阶层次结构以后,上下层的隶属关系就被确定了;假定上一层的最优目标作为准则,比较*m*个元素 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 对最优目标的影响,以确定他们在最优目标中所占的比重,即确定准则层对目标层

的序关系;

对于评价指标 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 按下述步骤建立序关系:

- a) 评价者在评价指标 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 中, 选出认为是最重要的一个指标, 记为 $A'_1$ ;
- b) 评价者在余下的 $m-1$ 个评价指标中, 选出认为是最重要的一个指标, 记为 $A'_2$ ;
- c) 评价者在余下的 $m-(k-1)$ 个评价指标中, 选出认为是最重要的一个指标, 记为 $A'_k$ ;
- d) 经过 $m-1$ 次挑选, 最后剩下的指标记为 $A'_m$ ;

利用序关系法表征二级指标对于一级指标的影响及一级指标对总目标的影响;

S32: 给出指标间相对重要程度的比值判断, 专家关于指标 $A'_{k-1}$ 和 $A'_k$ 的相对重要度之比为

$$w_{k-1} = r_k w_k \quad (k=m, m-1, m-2, \dots, 3, 2) \quad (3)$$

S33: 计算各指标的内涵性权重

$$w_m = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i\right)^{-1} \quad (4)$$

S34:  $n$ 个专家根据步骤S31、S32和S33对 $m$ 个指标权重进行确定, 得到经验判断矩阵

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,n} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{m,1} & w_{m,2} & \dots & w_{m,n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

S35: 判断专家 $x$ 与专家 $y$ 的意见相容度, 以夹角余弦表示:

$$d(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m w_{i,x} w_{i,y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^m w_{i,x}^2\right) \times \left(\sum_{i=1}^m w_{i,y}^2\right)}} \quad (6)$$

根据 $n$ 个专家各自的经验判断权重可以得到相容度矩阵 $D = [d(x, y)_{n \times n}]$ , 根据相容度矩阵即可进行聚类分析;

S36: 设定阈值 $U$ , 以意见相容度大于阈值 $U$ 为准则, 确定两两专家聚类集合, 并将含有相同专家的子集进行“并”操作, 获得专家聚类结果;

S37: 设 $n$ 位专家被分为 $l$ 类, 第 $k$ 类的专家数目为 $\Phi_k$ , 第 $k$ 类中第 $j$ 个专家给出的内涵权重序列为 $\mathbf{W}_{jk} = [w_{1,jk} \ w_{2,jk} \ \dots \ w_{m,jk}]^T$ ;  $\mathbf{W}_{jk}$ 的信息熵 $H(\mathbf{W}_{jk})$ 为:

$$H(\mathbf{W}_{jk}) = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m w_{i,jk} \ln(w_{i,jk}) \quad (7)$$

则第 $k$ 类的类间权重 $\lambda_k$ 和类内第 $j$ 个专家的类内权重 $\alpha_{jk}$ 分别为:

$$\lambda_k = \frac{\Phi_k^2}{\sum_{g=1}^l \Phi_g^2} \quad (8)$$

$$\alpha_{jk} = \frac{[1 - H(\mathbf{W}_{jk})]}{\sum_{g=1}^{\Phi_k} [1 - H(\mathbf{W}_{gk})]} \quad (9)$$

S38:确定各专家的权重,并对其各自判断的内涵权重进行加权,得到内涵性权重 $w_{s,i}$ ;

$$w_{s,i} = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^{\phi_k} \lambda_k \alpha_{jk} w_{i,jk} \quad (10)$$

5.根据权利要求4所述的一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于:在步骤S4中,设有 $m$ 个评价指标, $q$ 个评价日,用改进熵权法确定评价指标体系的结构权重步骤如下:

S41:计算第 $i$ 个评价指标下第 $j$ 日的指标得分的比重 $p_{ij}$ :

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (11)$$

S42:计算第 $i$ 个指标的熵值 $H_i$ :

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (12)$$

当 $p_{ij}=0$ 时,则令 $p_{ij} \ln p_{ij}=0$ ;

S43:由此计算得到第 $i$ 个指标的结构权重 $w_{o,i}$ :

$$w_{o,i} = \begin{cases} (1 - \bar{H}^{35.35}) w_{0i} + \bar{H}^{35.35} w_{3i} & H_i < 1 \\ 0 & H_i = 1 \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} w_{0i} = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^q (1 - H_i)} \\ w_{3i} = \frac{1 + \bar{H} - H_i}{\sum_{k=1, H_k \neq 1}^q (1 + \bar{H} - H_k)} \end{cases} \quad (14)$$

式中: $\bar{H}$ 是所有不为1的熵值的平均值。

6.根据权利要求5所述的一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于:在步骤S5中,利用最小鉴别信息原理获得综合权重 $w_{o,i}$ ,综合权重的优化模型如下:

$$\min F = \sum_{i=1}^m w_{c,i} (\ln w_{c,i} - \ln w_{s,i}) + \sum_{i=1}^m w_{c,i} (\ln w_{c,i} - \ln w_{o,i}) \quad (15)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m w_{c,i} = 1; \quad w_{c,i} > 0, \quad i=1,2,\dots,m \quad (16)$$

采用拉格朗日乘子法求解上述优化问题,得:

$$w_{c,i} = \frac{[w_{s,i} w_{o,i}]^{0.5}}{\sum_{i=1}^m [w_{s,i} w_{o,i}]^{0.5}} \quad (17)$$

7. 根据权利要求6所述的一种电网调度运行精益化评价方法,其特征在于:在步骤S6中,采用线性加权综合法对步骤S2中的指标得分和步骤S5中得到的综合权重进行综合计算,得到第j日的评价结果 $Res_j$ 的如下:

$$Res_j = \sum_{i=1}^m r_{ij} w_{c,i} \quad (18)。$$

## 一种电网调度运行精益化评价方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统领域,特别是涉及一种电网调度运行精益化评价方法。

### 背景技术

[0002] 面对近年来我国经济下行压力增加、电力需求增速趋缓的新形势,电力公司将进入精益化发展的新阶段。且随着电网规模的不断扩大,运行特性的日趋复杂,电网调度运行精益化管理的难度也急剧增大。因此,迫切需要建立一套电网调度运行精益化评价指标体系,从“事后”角度对前一日电网调度运行实际情况进行定量评价,发现其中的薄弱环节,为后续电网调度运行精益化水平的提高提供科学依据。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种电网调度运行精益化评价方法,能够全面合理地反映电网调度运行精益化水平,便于调度人员及时发现前一日电网调度运行中的薄弱环节,为电网优化运行提供指导。

[0004] 本发明的目的通过如下技术方案实现:

[0005] 一种电网调度运行精益化评价方法,包括:

[0006] 步骤S1,从安全性、经济性、节能性、环保性和公平性出发构建评价指标体系;

[0007] 步骤S2,将评价指标体系中的指标进行分类,并进行归一化处理;

[0008] 步骤S3,采用G1-专家聚类法确定评价指标体系的内涵性权重;

[0009] 步骤S4,采用改进熵权法确定评价指标体系的结构权重;

[0010] 步骤S5,采用最小鉴别信息原理,将步骤S3确定的内涵性权重和步骤S4确定的结构权重综合得到综合权重;

[0011] 步骤S6,利用线性加权综合法对步骤S2中归一化后的指标值和步骤S5得到的综合权重进行综合计算,得到评价结果。

[0012] 进一步的,在步骤S1中,基于平均值效应、短板效应、异常对象效应和指标构建的基本原则构建评价指标体系,包括安全性指标集、经济性指标集、节能性指标集、环保性指标集和公平性指标集;

[0013] 所述的安全性指标集包括N-1通过率、主要断面N-2通过率、短路电流指标、断面安全指标、主变安全指标、线路安全指标、电网运行均衡度指标、电力流向指标、旋转备用不足率指标、供区负荷无功裕度指标、电压合格率、频率合格率、负荷预测合格率;

[0014] 所述的经济性指标集包括平均购电成本偏差率、网损率、旋转备用过剩率、尖峰负荷机组负载率、供区无功平衡程度;

[0015] 所述的节能性指标集包括发电平均煤耗、发电机组等效平均负荷率;

[0016] 所述的环保性指标集包括可再生能源并网率、可再生能源发电占比、单位电量SO<sub>2</sub>排放量、单位电量氮氧化物排放量、单位电量烟尘排放量;

[0017] 所述的公平性指标集包括日发电计划完成度、日发电利用率均衡度。

[0018] 进一步的,在步骤S2中,按照指标值与期望结果的关系将评价指标分为成本型指标和效益型指标;其中成本型指标的指标数值越小,指标得分越大;效益型指标则相反;

[0019] 1) 成本型指标得分函数

$$[0020] \quad r_{ij} = \frac{x_{i,\max} - x_{ij}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \times 100 \quad (1)$$

[0021] 式中: $r_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*日的得分; $x_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*日的数值; $x_{i,\max}$ 和 $x_{i,\min}$ 分别表示指标*i*的历史最大值和最小值。

[0022] 2) 效益型指标得分函数

$$[0023] \quad r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \times 100 \quad (2)$$

[0024] 在步骤S3中,通过征询多位有关专家,采用G1-专家聚类法确定评价指标体系的内涵性权重,具体步骤如下:

[0025] S31:确定序关系

[0026] 若评价指标 $A_i$ 相对对应评价准则的重要程度不小于 $A_j$ ,记为  $A_i \geq A_j$ ;建立递阶层次结构以后,上下层的隶属关系就被确定了。假定上一层的最优目标作为准则,比较*m*个元素 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 对最优目标的影响,以确定他们在最优目标中所占的比重,即确定准则层对目标层的序关系。

[0027] 对于评价指标 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 按下述步骤建立序关系:

[0028] a) 评价者在评价指标 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 中,选出认为是最重要的一个指标,记为 $A'_1$ ;

[0029] b) 评价者在余下的*m*-1个评价指标中,选出认为是最重要的一个指标,记为 $A'_2$ ;

[0030] c) 评价者在余下的*m*-(*k*-1)个评价指标中,选出认为是最重要的一个指标,记为 $A'_k$ ;

[0031] d) 经过*m*-1次挑选,最后剩下的指标记为 $A'_m$ ;

[0032] 利用序关系法表征二级指标对于一级指标的影响及一级指标对总目标的影响;

[0033] S32:给出指标间相对重要程度的比值判断,专家关于指标 $A'_{k-1}$ 和  $A'_k$ 的相对重要程度之比为:

$$[0034] \quad w_{k-1} = r_k w_k \quad (k = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2) \quad (3)$$

[0035] S33:计算各指标的内涵性权重

$$[0036] \quad w_m = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i\right)^{-1} \quad (4)$$

[0037] S34:*n*个专家根据步骤S31、S32和S33对*m*个指标权重进行确定,得到经验判断矩阵

$$[0038] \quad \mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,n} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{m,1} & w_{m,2} & \dots & w_{m,n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0039] S35:判断专家*x*与专家*y*的意见相容度,以夹角余弦表示:

$$[0040] \quad d(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m w_{i,x} w_{i,y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^m w_{i,x}^2\right) \times \left(\sum_{i=1}^m w_{i,y}^2\right)}} \quad (6)$$

[0041] 根据n个专家各自的经验判断权重可以得到相容度矩阵  $D = [d(x, y)_{n \times n}]$ , 根据相容度矩阵即可进行聚类分析。

[0042] S36: 设定阈值U, 以意见相容度大于阈值U为准则, 确定两两专家聚类集合, 并将含有相同专家的子集进行“并”操作, 获得专家聚类结果。

[0043] S37: 设n位专家被分为l类, 第k类的专家数目为  $\Phi_k$ , 第k类中第j个专家给出的内涵权重序列为  $W_{jk} = [w_{1,jk} \ w_{2,jk} \ \cdots \ w_{m,jk}]^T$ 。  $W_{jk}$  的信息熵  $H(W_{jk})$  为:

$$[0044] \quad H(W_{jk}) = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m w_{i,jk} \ln(w_{i,jk}) \quad (7)$$

[0045] 则第k类的类间权重  $\lambda_k$  和类内第j个专家的类内权重  $\alpha_{jk}$  分别为:

$$[0046] \quad \lambda_k = \frac{\Phi_k^2}{\sum_{g=1}^l \Phi_g^2} \quad (8)$$

$$[0047] \quad \alpha_{jk} = \frac{[1 - H(W_{jk})]}{\sum_{g=1}^{\Phi_k} [1 - H(W_{gk})]} \quad (9)$$

[0048] S38: 确定各专家的权重, 并对其各自判断的内涵权重进行加权, 得到内涵性权重  $w_{s,i}$ 。

$$[0049] \quad w_{s,i} = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^{\Phi_k} \lambda_k \alpha_{jk} w_{i,jk} \quad (10)$$

[0050] 进一步的, 在步骤S4中, 设有m个评价指标, q个评价日, 用改进熵权法确定评价指标体系的结构性权重步骤如下:

[0051] S41: 计算第i个评价指标下第j日的指标得分的比重  $p_{ij}$ :

$$[0052] \quad p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (11)$$

[0053] S42: 计算第i个指标的熵值  $H_i$ :

$$[0054] \quad H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (12)$$

[0055] 当  $p_{ij} = 0$  时, 则令  $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

[0056] S43: 由此计算得到第i个指标的结构性权重  $w_{o,i}$ :

$$[0057] \quad w_{o,i} = \begin{cases} (1 - \overline{H}^{35.35}) w_{0i} + \overline{H}^{35.35} w_{3i} & H_i < 1 \\ 0 & H_i = 1 \end{cases} \quad (13)$$



$$[0058] \quad \begin{cases} w_{0i} = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^q (1 - H_i)} \\ w_{3i} = \frac{1 + \bar{H} - H_i}{\sum_{k=1, H_k \neq 1}^q (1 + \bar{H} - H_k)} \end{cases} \quad (14)$$

[0059] 式中： $\bar{H}$ 是所有不为1的熵值的平均值。

[0060] 进一步的，在步骤S5中，利用最小鉴别信息原理获得综合权重  $w_{0,i}$ ，综合权重的优化模型如下：

$$[0061] \quad \min F = \sum_{i=1}^m w_{c,i} (\ln w_{c,i} - \ln w_{s,i}) + \sum_{i=1}^m w_{c,i} (\ln w_{c,i} - \ln w_{o,i}) \quad (15)$$

$$[0062] \quad \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m w_{c,i} = 1; \quad w_{c,i} > 0, \quad i=1,2,\dots,m \quad (16)$$

[0063] 采用拉格朗日乘子法求解上述优化问题，得：

$$[0064] \quad w_{c,i} = \frac{[w_{s,i} w_{o,i}]^{0.5}}{\sum_{i=1}^m [w_{s,i} w_{o,i}]^{0.5}} \quad (17)$$

[0065] 进一步的，在步骤S6中，采用线性加权综合法对步骤S2中的指标得分和步骤S5中得到的综合权重进行综合计算，得到第j日的评价结果  $Res_j$  的如下：

$$[0066] \quad Res_j = \sum_{i=1}^m r_{ij} w_{c,i} \quad (18)$$

[0067] 有效效果：本发明根据电网调度运行精益化的需求，基于平均值效应、短板效应、异常对象效应和指标构建的相关指导思想，构建了涵盖安全性、经济性、节能性、环保性和公平性这5个方面的一套电网调度运行精益化评价指标体系。同时，发明采用G1-专家聚类法综合多位专家的权重判断信息，并采用改进熵权法提取样本的数据结构信息，兼顾了赋权的主客观因素。通过本发明所提出的评价指标体系和综合评价方法，可以全面合理地反映前一日电网调度运行情况，便于调度运行人员及时找出电网运行中的薄弱环节，促进电网调度运行精益化水平的不断提高。

## 附图说明

[0068] 图1为本发明的评价指标体系；

[0069] 图2为本发明的步骤流程图。

## 具体实施方式

[0070] 一种电网调度运行精益化评价方法，步骤如下：

[0071] 步骤S1，从安全性、经济性、节能性、环保性和公平性出发构建评价指标体系。基于平均值效应、短板效应、异常对象效应和指标构建的相关指导思想，从安全性、经济性、节能

性、环保性和公平性出发构建评价指标体系。建立的评价指标体系如图1所示,包括安全性指标集、经济性指标集、节能性指标集、环保性指标集和公平性指标集;

[0072] 所述的安全性指标集包括N-1通过率,主要断面N-2通过率,短路电流指标,断面安全指标,主变安全指标,线路安全指标,电网运行均衡度指标,电力流向指标,旋转备用不足率指标,供区负荷无功裕度指标,电压合格率,频率合格率,负荷预测合格率;

[0073] 所述的经济性指标集包括平均购电成本偏差率,网损率,旋转备用过剩率,尖峰负荷机组负载率,供区无功平衡程度;

[0074] 所述的节能性指标集包括发电平均煤耗,发电机组等效平均负荷率;

[0075] 所述的环保性指标集包括可再生能源并网率,可再生能源发电占比,单位电量SO<sub>2</sub>排放量,单位电量氮氧化物排放量,单位电量烟尘排放量;

[0076] 所述的公平性指标集包括日发电计划完成度,日发电利用率均衡度。

[0077] 步骤S2,将评价指标体系中的指标进行分类,并进行归一化处理。

[0078] 按照指标值与期望结果的关系将评价指标分为成本型指标和效益型指标。其中成本型指标的指标数值越小,指标得分越大;效益型指标则相反。

[0079] 1) 成本型指标得分函数

$$[0080] \quad r_{ij} = \frac{x_{i,\max} - x_{ij}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \times 100 \quad (1)$$

[0081] 式中: $r_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*日的得分; $x_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*日的数值; $x_{i,\max}$ 和 $x_{i,\min}$ 分别表示指标*i*的历史最大值和最小值。

[0082] 2) 效益型指标得分函数

$$[0083] \quad r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \times 100 \quad (2)$$

[0084] 步骤S3,采用G1-专家聚类法确定评价指标体系的内涵性权重。

[0085] 通过征询多位该领域专家,采用G1-专家聚类法确定评价指标体系的内涵性权重,具体步骤如下:

[0086] S31:确定序关系

[0087] 若评价指标*A<sub>i</sub>*相对对应评价准则(或目标)的重要程度不小于 *A<sub>j</sub>*,记为*A<sub>i</sub>* ≥ *A<sub>j</sub>*;建立递阶层次结构以后,上下层的隶属关系就被确定了。假定上一层的最优目标作为准则,比较*m*个元素*A<sub>1</sub>*,*A<sub>2</sub>*,…*A<sub>m</sub>*对最优目标的影响,以确定他们在最优目标中所占的比重,即确定准则层对目标层的序关系。

[0088] 对于评价指标*A<sub>1</sub>*,*A<sub>2</sub>*,…*A<sub>m</sub>*按下述步骤建立序关系:

[0089] (1) 评价者在评价指标*A<sub>1</sub>*,*A<sub>2</sub>*,…*A<sub>m</sub>*中,选出认为是最重要的一个指标,记为*A'₁*;

[0090] (2) 评价者在余下的*m-1*个评价指标中,选出认为是最重要的一个指标,记为*A'₂*;

[0091] (3) 评价者在余下的*m-(k-1)*个评价指标中,选出认为是最重要的一个指标,记为*A'ₖ*;

[0092] (4) 经过*m-1*次挑选,最后剩下的指标记为*A'ₘ*;

[0093] S32:给出指标间相对重要程度的比值判断,专家关于指标*A'ₖ₋₁*和 *A'ₖ*的相对重要度之比为:

[0094]  $w_{k-1} = r_k w_k$  ( $k = m, m-1, m-2, \dots, 3, 2$ ) (3)

[0095]  $r_k$ 的赋值可以参照表1

[0096] 表1

[0097]	$r_k$	说明
	1.0	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 具有同样重要性
	1.1	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 之比介于同样重要和稍微重要之间
	1.2	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 稍微重要
	1.3	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 之比介于稍微重要和明显重要之间
[0098]	1.4	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 明显重要
	1.5	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 之比介于明显重要和强烈重要之间
	1.6	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 强烈重要
	1.7	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 之比介于强烈重要和极端重要之间
	1.8	指标 $A_{k-1}$ 与指标 $A_k$ 极端重要

[0099] S33: 计算各指标的内涵性权重

[0100] 
$$w_m = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i\right)^{-1} \quad (4)$$

[0101] S34: n个专家根据步骤S31、S32和S33对m个指标权重进行确定, 得到经验判断矩阵

[0102] 
$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,n} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{m,1} & w_{m,2} & \dots & w_{m,n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0103] S35: 判断专家x与专家y的意见相容度, 以夹角余弦表示:

[0104] 
$$d(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m w_{i,x} w_{i,y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^m w_{i,x}^2\right) \times \left(\sum_{i=1}^m w_{i,y}^2\right)}} \quad (6)$$

[0105] 根据n个专家各自的经验判断权重可以得到相容度矩阵  $D = [d(x, y)_{n \times n}]$ , 根据相容度矩阵即可进行聚类分析。

[0106] S36: 设定阈值U, 以意见相容度大于阈值U为准则, 确定两两专家聚类集合, 并将含有相同专家的子集进行“并”操作, 获得专家聚类结果。

[0107] S37: 设n位专家被分为l类, 第k类的专家数目为  $\Phi_k$ , 第k类中第j个专家给出的内涵权重序列为  $W_{jk} = [w_{1,jk} \ w_{2,jk} \ \dots \ w_{m,jk}]^T$ 。  $W_{jk}$ 的信息熵  $H(W_{jk})$  为:

$$[0108] \quad H(\mathbf{W}_{jk}) = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m w_{i,jk} \ln(w_{i,jk}) \quad (7)$$

[0109] 则第k类的类间权重 $\lambda_k$ 和类内第j个专家的类内权重 $\alpha_{jk}$ 分别为:

$$[0110] \quad \lambda_k = \Phi_k^2 / \sum_{g=1}^l \Phi_g^2 \quad (8)$$

$$[0111] \quad \alpha_{jk} = [1 - H(\mathbf{W}_{jk})] / \sum_{g=1}^{\Phi_k} [1 - H(\mathbf{W}_{gk})] \quad (9)$$

[0112] S38:确定各专家的权重,并对其各自判断的内涵权重进行加权,得到内涵性权重 $w_{s,i}$ 。

$$[0113] \quad w_{s,i} = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^{\Phi_k} \lambda_k \alpha_{jk} w_{i,jk} \quad (10)$$

[0114] 步骤S4,采用改进熵权法确定评价指标体系的结构性权重。

[0115] 设有m个评价指标,q个评价日,用改进熵权法确定评价指标体系的结构性权重步骤如下:

[0116] S41:计算第i个评价指标下第j日的指标得分的比重 $p_{ij}$ :

$$[0117] \quad p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (11)$$

[0118] S42:计算第i个指标的熵值 $H_i$ :

$$[0119] \quad H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (12)$$

[0120] 当 $p_{ij}=0$ 时,则令 $p_{ij} \ln p_{ij}=0$ 。

[0121] S43:由此计算得到第i个指标的结构性权重 $w_{o,i}$ :

$$[0122] \quad w_{o,i} = \begin{cases} (1 - \bar{H}^{-35.35}) w_{0i} + \bar{H}^{-35.35} w_{3i} & H_i < 1 \\ 0 & H_i = 1 \end{cases} \quad (13)$$

$$[0123] \quad \begin{cases} w_{0i} = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^q (1 - H_i)} \\ w_{3i} = \frac{1 + \bar{H} - H_i}{\sum_{k=1, H_k \neq 1}^q (1 + \bar{H} - H_k)} \end{cases} \quad (14)$$

[0124] 式中: $\bar{H}$ 是所有不为1的熵值的平均值。

[0125] 步骤S5,采用最小鉴别信息原理,将步骤S3确定的内涵性权重和步骤S4确定的结构性权重综合得到综合权重 $w_{o,i}$ ,综合权重 $w_{o,i}$ 的优化模型如下:

$$[0126] \quad \min F = \sum_{i=1}^m w_{c,i} (\ln w_{c,i} - \ln w_{s,i}) + \sum_{i=1}^m w_{c,i} (\ln w_{c,i} - \ln w_{o,i}) \quad (15)$$

$$[0127] \quad \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m w_{c,i} = 1; \quad w_{c,i} > 0, \quad i=1,2,\dots,m \quad (16)$$

[0128] 采用拉格朗日乘子法求解上述优化问题,得:

$$[0129] \quad w_{c,i} = \frac{[w_{s,i} w_{o,i}]^{0.5}}{\sum_{i=1}^m [w_{s,i} w_{o,i}]^{0.5}} \quad (17)$$

[0130] 步骤S6,利用线性加权综合法对步骤S2中归一化后的指标值和步骤S5得到的综合权重进行综合计算,得到第j日的评价结果Res<sub>j</sub>的如下:

$$[0131] \quad Res_j = \sum_{i=1}^m r_{ij} w_{c,i} \quad (18)$$

[0132] 下面以经济性指标为例,根据前述步骤得到评价结果。

[0133] 1) 指标得分计算

[0134] 从智能电网调度控制系统中获取基础数据,根据评价指标类型分类求得指标得分,其中平均购电成本偏差率、网损率、旋转备用过剩率为成本型指标,尖峰负荷机组负载率、供区无功平衡程度为效益型指标。

[0135] 2) 确定指标权重

[0136] 首先聘请多位专家,采用G1法确定经济性二级指标的重要度排序和两两之间的重要程度系数,求解得到各专家确定的内涵性权重,组成得到经验判断矩阵W如下:

$$[0137] \quad \mathbf{W} = \begin{bmatrix} 0.39 & 0.27 & 0.38 & 0.36 & 0.24 & 0.38 & 0.24 \\ 0.24 & 0.38 & 0.17 & 0.25 & 0.38 & 0.23 & 0.38 \\ 0.12 & 0.09 & 0.09 & 0.11 & 0.17 & 0.14 & 0.12 \\ 0.09 & 0.11 & 0.12 & 0.10 & 0.12 & 0.13 & 0.10 \\ 0.16 & 0.15 & 0.24 & 0.18 & 0.10 & 0.12 & 0.17 \end{bmatrix}$$

[0138] 计算专家间的相容度矩阵,取阈值T=0.99,可以得到聚类集合为{(1,4,6)(2,7)(3)(5)},则类间权重分别为

$$[0139] \quad \lambda_1 = \frac{3^2}{3^2+2^2+1+1} = \frac{9}{15}, \quad \lambda_2 = \frac{4}{15}, \quad \lambda_3 = \lambda_4 = \frac{1}{15}$$

[0140] 计算各专家的信息熵,结合步骤S37得到各专家的类内权重为

$$[0141] \quad \alpha_{11}=0.38 \alpha_{21}=0.32 \alpha_{31}=0.30$$

$$[0142] \quad \alpha_{12}=0.55 \alpha_{22}=0.45 \alpha_{13}=\alpha_{14}=1$$

[0143] 根据步骤S38即得到各指标的内涵性权重 $w_s = [0.33 \ 0.28 \ 0.12 \ 0.11 \ 0.16]$ 。

[0144] 通过改进熵权法确定结构性权重,选取输电网具有代表性的5个运行日作为样本,通过上述指标得分计算得到样本矩阵R如下:

$$[0145] \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 35 & 87 & 62 & 12 & 72 \\ 46 & 64 & 53 & 32 & 84 \\ 75 & 36 & 42 & 51 & 20 \\ 91 & 49 & 59 & 42 & 19 \\ 63 & 78 & 67 & 82 & 85 \end{bmatrix}$$

[0146] 根据步骤S4即得到指标的结构性权重如表2所示。

[0147] 在得到内涵性权重和结构性权重的基础上,根据步骤S5的组合赋权法,即得到表2所示的各指标的综合权重值。由权重计算的结果可以看到,综合权重融合了指标的内涵信息和数据结构信息。

[0148] 表2

	$x_{2.1}$	$x_{2.2}$	$x_{2.3}$	$x_{2.4}$	$x_{2.5}$
[0149] 内涵权重	0.33	0.28	0.12	0.11	0.16
结构权重	0.35	0.14	0.20	0.26	0.05
综合权重	0.36	0.21	0.16	0.18	0.09

[0150] 3) 量化评价结果

[0151] 根据指标得分和综合权重,代入步骤S6中即得到该日经济性指标的得分。

[0152] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细地说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

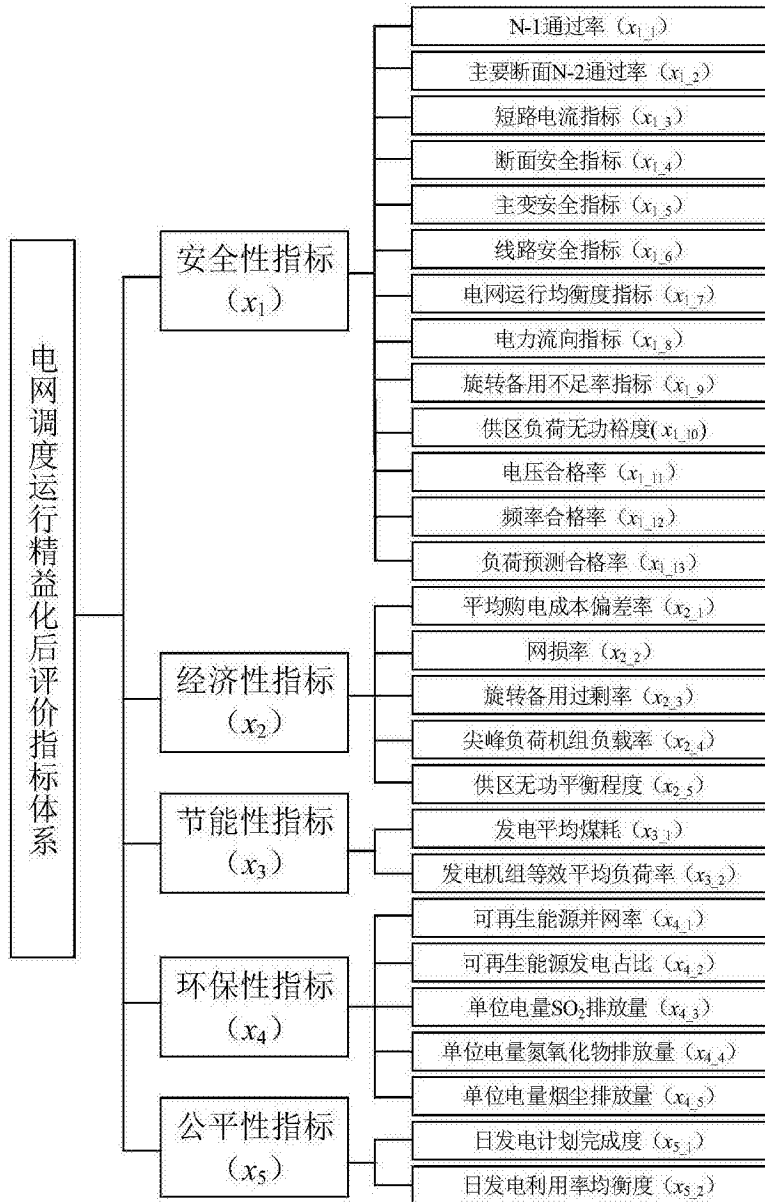


图1

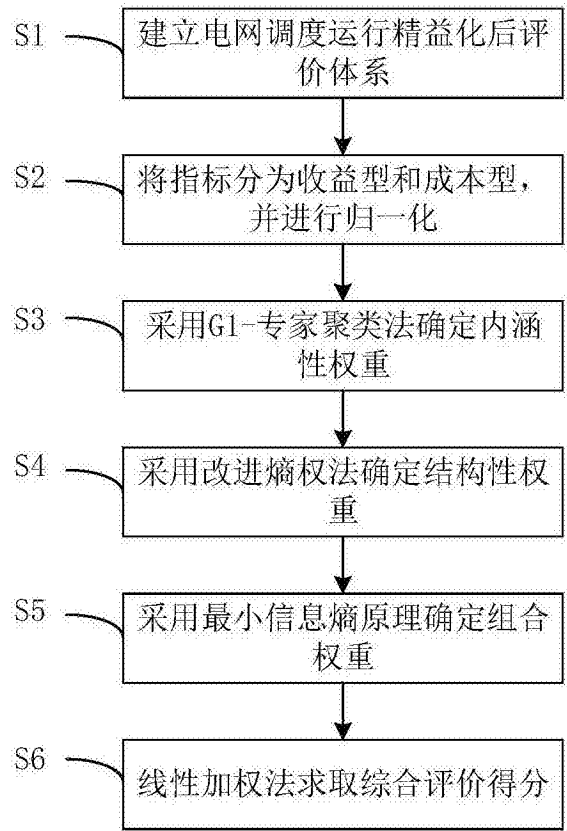


图2