

DOI: 10.7667/PSPC160070

## 配电网运行状态综合评估方法研究

冷华<sup>1</sup>, 童莹<sup>2</sup>, 李欣然<sup>2</sup>, 唐海国<sup>1</sup>, 朱吉然<sup>1</sup>

(1. 湖南省电力科学研究院, 湖南 长沙 410007; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

**摘要:** 目前大多数配电网评估指标体系都是针对配电网规划建立的, 而没有形成一套完整的配电网运行状态评估指标体系。基于层次分析法建立了一套实用型配电网运行状态评估指标体系, 包括6类上层指标和23个底层单项指标。详细介绍了评估体系中指标的含义、指标值计算所需基础数据及其来源。采用AHP-Delphi方法计算指标权重因子, 从而提高指标权重的客观性, 并利用模糊隶属度函数来确定单项指标评分公式。最后, 通过对某实际配电网运行状态进行综合评估, 验证了所述评估指标体系及评估方法的可行性和有效性。

**关键词:** 配电网; 运行状态评估; 指标体系; 层次分析法; 德尔菲法; 模糊隶属度

### Comprehensive evaluation method research of the operation state in distributed network

LENG Hua<sup>1</sup>, TONG Ying<sup>2</sup>, LI Xinran<sup>2</sup>, TANG Haiguo<sup>1</sup>, ZHU Jiran<sup>1</sup>

(1. Hunan Electric Power Research Institute, Changsha 410007, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** Most of the current distribution network evaluation index system is established for distribution network planning, and a complete index system to evaluate the operation state of distributed network hasn't been formed. A practical index system to evaluate the operation state of distributed network is established, which includes 6 upper indexes and 23 underlying individual indexes. The definition of every index, the basic data needed and its resources related to index calculation are introduced in detail. AHP-Delphi method is used to calculate the weight of every index in order to improve the objectivity of the index weights, and fuzzy membership function is adopted to determine the formula of every single index. Finally, the feasibility and effectiveness of the index system and method are verified through the comprehensive assessment of the operation state in a realistic distributed network.

**Key words:** distribution network; operation state evaluation; index system; analytic hierarchy process; Delphi method; fuzzy membership

## 0 引言

配电网作为连接输电网和用户的重要环节, 其运行状态的好坏直接影响着用户用电的可靠性和电能质量, 与人民生活水平和国民经济发展息息相关。与输电网相比, 配电网的结构更加复杂, 包含的设备数目更加庞大, 自动化水平也相对较低, 由此导致了配电网运行数据采集的困难, 并且加大了配网运行状态评估的难度。

目前对电网运行状态的研究主要集中在输电网或高压配电网<sup>[1-4]</sup>, 还未延伸到中低压配电网。文献[1]对电力系统运行状态进行了详细的划分并给出了划分的依据和原则, 但提出的评估指标适用于包含发电系统和输电系统的组合电力系统, 而不适用

于结构复杂的配电网; 文献[2-4]则分别从变压器运行状态、架空输电线路运行状态和高压配电网无功运行状态给出了相应评估指标体系, 但均未形成一套针对整个配电网运行状态评估的指标体系。

此外, 现有的关于配电网评估的文献大多都是从规划<sup>[5-7]</sup>的角度出发, 评估配电网在一个较长时段内的经济性<sup>[5]</sup>、安全性<sup>[6]</sup>和可靠性<sup>[7]</sup>等, 其评估结果能为配电网规划改造提供有效的参考意见, 却难以以为配电网优化运行提供有效的指导。

针对以上问题, 本文在全面考察配电网的各项重要运行指标, 并结合电网公司的实际工作需要后, 构建了一套实用型的配电网运行状态评估指标体系, 使用AHP-Delphi方法来确定指标权重, 并利用模糊隶属度函数来确定单项指标评分公式。所提出的评估

体系和方法能够帮助运行人员及时掌握配电网的运行状态，为配电网优化运行提供参考意见和建议。

### 1 评估指标体系的构建

#### 1.1 确定评估范围

图 1 所示为配电系统组成示意图，其中 A、B、C 分别表示高、中、低压配电系统。高压配变(也称主变)将 35 kV 或 110 kV 的电压降到 10 kV，通常将主变的每一回 10 kV 出线称为一条馈线，开关站作为 10 kV 母线的延伸，起到分配电能的作用。中压配变(也称配变，将配变及其供电的低压区域称为台区)和低压线路(0.4 kV)组成了低压配电系统。

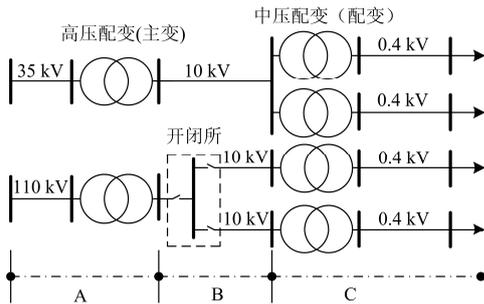


图 1 配电系统组成示意图

Fig. 1 Diagram of the composition of distributed system

#### 1.2 构建评估指标体系

本文在构建评估指标体系时，严格遵循系统性、一致性、可测性、独立性和可比性五大基本原则<sup>[8]</sup>。

选取目前较为成熟的层次分析法 AHP 作为构造指标体系的基本方法。通过对配电网各个业务部门进行调研分析，找到了目前配电网运行较为关心的几类指标，分别是负载率、电压质量、运行故障、供电可靠性、线损和三相不平衡，从而确定了指标体系目标层的 6 大类指标，然后根据准则层逐步确定指标层的 23 个单项指标，最后形成如图 2 所示的指标体系。

各类指标的含义及具体计算方法如下所述。

##### (1) 负载率指标

负载率是衡量电力系统中设备运行情况的指标，负载率过高的设备会存在过热等安全隐患，反之则说明设备的利用率过低，运行经济性较差。根据《配电网运行规程》Q/GDW519-2010 可知设备负载率为三相最大电流与额定电流的比值。变压器及线路的过载、重载、轻载定义可参考《城市配电网运行水平和供电能力评估导则》GDW 565-2010，具体含义如下所述。

1) 主、配变过载：主、配变年最大负载率达到或超过 100%且持续 2 h 以上。

2) 主、配变重载：主、配变年最大负载率达到或超过 80%且持续 2 h 以上。

3) 主、配变轻载：主、配变压器年最大负载率小于或等于 20%。

4) 10 kV 线路过载：10 kV 线路年最大负载率达到或超过 100%且持续 1 h 以上。

5) 10 kV 线路重载：10 kV 线路年最大负载率达到或超过 70%且持续 1 h 以上。

6) 10 kV 线路轻载：10 kV 线路年最大负载率小于或等于 30%。

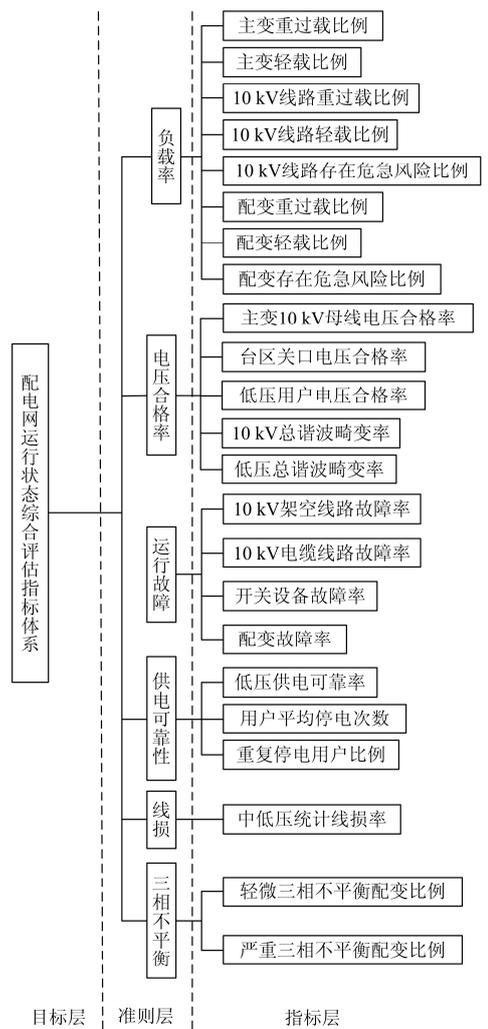


图 2 配电网运行状态评估指标体系

Fig. 2 Index system of distributed network operation state assessment

需要注意的是《城市配电网运行水平和供电能力评估导则》定义的过载、重载、轻载是针对年最大负载率来判断的，而本文提出的指标体系适合各种时间维度(月/季/年)的配电网评估，因此将以上定义中的年最大负载率改为评估时间段内的最大负载率。

本文构造了 8 个指标来反映设备的负载率情况,其中 6 个指标分别统计了主变、10 kV 线路、配变的重过载和轻载比例。另外加入 2 个指标来评估 10 kV 线路和配变的运行风险,其中配变存在危急风险是指配变在重过载的情况下,重过载时间占总监测时间的百分比大于等于 15%(电流采集装置每 15 min 记录一次)。配变存在危机风险比例是指存在危急风险的配变占有重过载配变的比例。同理可计算 10 kV 线路存在危急风险比例。

## (2) 电压质量指标

电压质量指标包含 3 个电压合格率指标和 2 个谐波相关指标。电压合格率是评价电能质量的重要指标。而随着可再生能源接入和各种电力电子设备增多,配电网的谐波超标问题日益严重,因此在电压质量指标中加入了谐波相关指标。

本指标体系为了能够全面反映配电网不同层次的电压情况,选取了三类电压(10 kV 母线、台区出口和低压用户)进行统计。按照《电能质量 供电电压允许偏差》GB 12325 的规定,主变 10 kV 母线供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ ,台区关口电压(即配变低压侧出口电压)允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ ,低压用户供电电压允许偏差为额定电压的 $+7\%$ 和 $-10\%$ 。监测点电压合格率计算公式如下:

$$\text{电压合格率} = \left(1 - \frac{\text{电压越限时间}}{\text{统计时间}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

指标体系中三类电压合格率取各类电压监测点的电压合格率平均值。

将周期性交流电压进行傅里叶级数分解,可以得到频率与工频相同的基波分量,以及频率为工频整数倍的  $h$  次谐波分量。本文选取中、低压的总谐波畸变率来整体反应中低压配电网的谐波情况。按照《电能质量 公用电网谐波》GB/T 14549-93 中的谐波分量限值表中的规定可知,低压(380 V)监测点的总谐波畸变率不应高于 5(%),中压 10 kV 线路监测点的总谐波畸变率不应高于 4(%).监测点的电压总谐波畸变率  $THD_u$  计算公式如下:

$$THD_u = \frac{U_H}{U_1} \times 100\% \quad (2)$$

其中谐波电压含量  $U_H$  计算公式如下:

$$U_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (U_h)^2} \quad (3)$$

式中:  $U_1$  表示基波电压均方根值;  $U_h$  表示第  $h$  次谐波的电压均方根值。

10 kV 总谐波畸变率为所有 10 kV 线路监测点的总谐波畸变率的平均值;低压总谐波畸变率为所有低压监测点总谐波畸变率的平均值。

## (3) 运行故障指标

设备运行故障是导致用户停电的重要因素,因此加强对设备运行故障的管理尤为重要。按照《城市配电网运行水平和供电能力评估导则》GDW 565-2010 中的定义,10 kV 线路(电缆、架空)故障率为全年内每 100 km 线路故障停电次数,配变、开关设备故障率为全年内每 100 台配变、开关设备的故障停电次数。由于本指标体系适用于不同时间维度的配电网运行状态评估,而单项指标评分公式(见 2.2)是以年为评估单位时间进行确定的,为了使评分公式具有普适性,在计算故障率指标时应将其结果折算到年,折算公式如下:

$$\text{故障率} = \text{统计时间段内故障率} \times \frac{8760 \text{ h}}{\text{统计小时数}} \quad (4)$$

## (4) 供电可靠性指标

供电可靠性是指电力系统不间断地向电力用户提供合格电能的能力。《供电系统用户供电可靠性评价规程》DL/T 836 中详细描述了供电可靠性相关的各种评估指标,本文从该规程中选取典型的 3 个指标,并将统计供电可靠性的“用户”由配变改为低压用户,指标具体计算公式如下:

$$\text{低压供电可靠率} = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间}}{\text{统计时间}}\right) \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{用户平均停电次数} = \frac{\sum \text{每次停电用户数}}{\text{总低压用户数}} \text{次/户} \quad (6)$$

$$\text{重复停电用户比例} = \frac{\text{停电次数} \geq 2 \text{ 的用户数}}{\text{总低压用户数}} \times 100\% \quad (7)$$

公式(5)中低压用户平均停电时间计算公式如下:

$$\text{用户平均停电时间} = \frac{\sum \text{停电用户数} \times \text{停电时间}}{\text{总低压用户数}} \quad (8)$$

式(6)、式(7)中的单项指标值需要按照式(4)的方法将折算到年。

## (5) 线损指标

线损是反映配电网运行经济性的重要指标。按照《电力网电能损耗计算导则》DL/T 686-1999 中的定义,统计线损率计算公式如下:

$$\text{统计线损率} = \frac{\text{供电量} - \text{售电量}}{\text{供电量}} \times 100\% \quad (9)$$

由于存在低压用户的窃电现象,中低压配电网的线损统计工作显得尤为重要。中低压统计线损率指标中供电量为统计区域在统计时间内所有 10 kV 馈线出线开关的电量总和,售电量低压用户的电表电量总和。

## (6) 三相不平衡指标

三相不平衡问题在目前低压配电网中尤为突

出。根据《配电网运行规程》Q/GDW 519-2010 的规定,三相不平衡度不应大于 15%。三相不平衡度计算公式如下:

$$\text{三相不平衡度} = \frac{\text{最大相电流} - \text{最小相电流}}{\text{最大相电流}} \quad (10)$$

轻微三相不平衡配变比例是指三相不平衡度  $\geq 15\%$  的时间占比  $> 5\%$  的配变占总配变的比例(配变的三相电流 15 min 记录一次,当三相不平衡度  $\geq 15\%$  时,时间累加 15 min)。同理可求严重三相不平衡配变比例,即三相不平衡度  $\geq 50\%$  的时间占比  $> 20\%$  的配变比例。

### 1.3 评估所需数据及其来源

在确定了评估指标体系之后,进一步需要确定评估所需的基础数据及其来源。目前配电网的基础运行数据分布在配电网各个管理系统中,如调度管理系统 OMS,生产管理系统 PMS,营销的用电采集系统。本文所述评估指标体系所需数据及其来源见表 1。

表 1 所需数据及其来源

Table 1 Required data and its sources

配网基础数据	数据来源系统
主变额定容量, 10 kV 线路最大允许载流量	PMS
主变电流, 10 kV 线路电流, 主变 10 kV 母线电压, 10 kV 线路跳闸信息, 开关故障信息, 停电事件相关信息, 主变 10 kV 出线开关电量	OMS
配变额定容量, 配变电流, 台区关口电压, 低压用户测量点电压, 配变故障信息, 低压用户电表电量信息	用电采集系统

## 2 评估方法研究

### 2.1 权重因子的确定方法

指标权重反映了指标在评估体系中的重要程度,用科学合理的方法确定指标权重才能保证评估体系的可靠性和正确性。

目前权重因子的确定方法众多,主要有德尔菲法<sup>[9]</sup>Delphi(又称专家打分法)、层次分析法 AHP<sup>[10]</sup>、组合赋权法<sup>[11-13]</sup>等。

利用 AHP 方法来确定指标权重,首先需要建立两两比较矩阵<sup>[14]</sup>,然后通过一系列操作得到指标的权重向量。为了提高 AHP 方法中两两比较矩阵确定指标权重的科学性,本文在建立两两比较矩阵的过程中引入 Delphi 方法,即邀请多位配电网运行专家共同参与两两比较矩阵的制定。AHP-Delphi 方法的基本流程如图 3 所示。

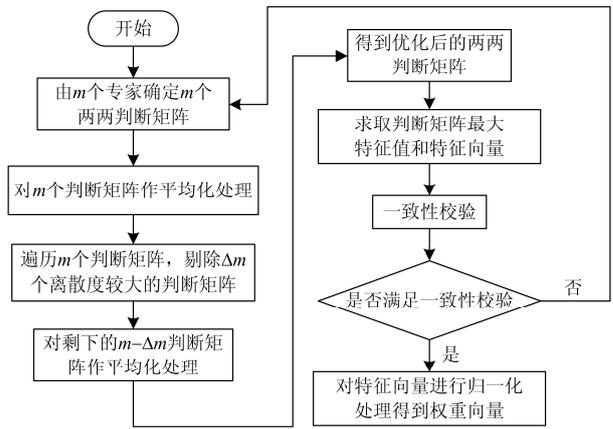


图 3 AHP-Delphi 流程图

Fig. 3 Flow chart of AHP-Delphi

AHP-Delphi 方法的具体步骤如下:

(1) 确定  $m$  个两两判断矩阵

让  $m$  位配电网运行专家对两两判断矩阵进行独立赋值,其中第  $k$  位专家的判断矩阵如下

$$B^k = \{b_{ij}^k\}_{n \times n} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (11)$$

式中:  $B^k$  表示第  $k$  位专家给出的两两判断矩阵;  $n$  表示该两两判断矩阵的阶数(即指标个数);  $b_{ij}^k$  表示矩阵  $B^k$  的  $i$  行  $j$  列的元素(表示第  $i$  个指标相对第  $j$  个指标的重要程度,根据 1-9 互反性标度<sup>[14]</sup>确定)。

(2) 对  $m$  个判断矩阵进行平均化处理

如果直接对  $m$  个判断矩阵进行平均化处理,得到的平均判断矩阵中任一元素值为  $\bar{b}_{ij}$ , 计算公式如下

$$\bar{b}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m b_{ij}^k \quad (12)$$

显然  $\bar{b}_{ij} \times \bar{b}_{ji} = \left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m b_{ij}^k\right) \times \left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m b_{ji}^k\right) \neq 1$ , 不符

合 AHP 中两两判断矩阵的基本形式(关于主对角线对称的元素互为倒数)。

因此,本文对  $m$  个两两判断矩阵做以下处理:

1) 所有两两判断矩阵中主对角线的元素均为 1, 不作处理。

2) 仅对  $m$  个两两判断矩阵中主对角线以上部分的  $n(n-1)/2$  个元素作平均化处理。

3) 通过 1)、2) 得到平均判断矩阵不完整,需要根据公式  $\bar{b}_{ji} = 1/\bar{b}_{ij}$  进行补全,得到的平均判断矩阵  $\{\bar{b}_{ij}\}$ 。

(3) 遍历  $m$  个两两判断矩阵

如果矩阵  $B^k$  中任意一个元素  $b_{ij}^k$  满足  $|b_{ij}^k - \bar{b}_{ij}| \geq \bar{b}_{ij}/2$ , 则该矩阵离散度较大,视为无效矩

阵。对  $m$  个矩阵全部遍历一遍后,剔除  $\Delta m$  个无效矩阵。

(4) 对剩下的判断矩阵作平均化处理

平均化处理过程见式(9),如果未剔除任何矩阵,则无需进行此步骤。

(5) 求两两判断矩阵最大特征值及特征向量

计算优化后判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  和最大特征值对应的特征向量  $W$ ,  $W=[w_1, w_2, w_2, \dots, w_n]$ 。

(6) 一致性校验和归一化处理

对满足一致性校验(校验方法见文献[14])的判断矩阵特征向量  $W$  进行归一化处理为  $\bar{W}$ ,  $\bar{W}$  中任意元素  $\bar{w}_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i$ 。

## 2.2 单项指标评分公式的确定方法

本文采用模糊隶属度函数确定评估体系中单项指标评分公式。如图4所示。

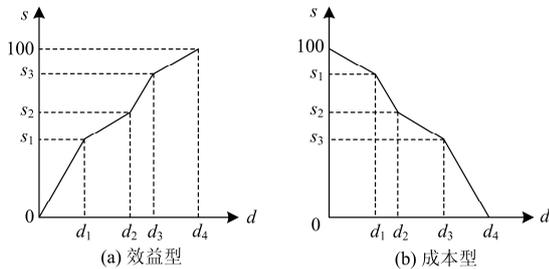


图4 模糊隶属度函数图

Fig. 4 Diagram of fuzzy membership function

评分公式分为效益型和成本型两类,  $d_i$  为被考虑的因素,即单项指标值的分段点,  $s_i$  为  $d_i$  对某次决策评语的隶属度,即单项指标值分界点对应的评估得分。单项指标评分公式的确定步骤如下。

1) 确定单项指标的类型: 效益型或成本型。

2) 通过对大量历史数据进行分析,统计单项指标值的分布情况(一般符合正态分布规律)。

3) 专家针对2)中统计的结果,并结合国家电网公司相关评估导则的规定,来确定各个单项指标的模糊隶属度函数图(主要是确定分段点  $d_i$ 、 $s_i$ )。

4) 将3)中确定的模糊隶属度函数图转换为计算公式,便于给各个单项指标打分。

## 3 评估流程

(1) 收集配网数据: 包括运行数据和设备参数等(见表1)。

(2) 数据统计分析: 对配网数据进行统计分析得到单项指标的值(根据1.2中指标计算公式)。

(3) 计算单项指标得分: 将单项指标值代入单项指标评分公式获取单项指标得分。

(4) 计算准则层指标得分和目标层指标得分

根据单项指标的得分和权重因子,逐层向上计算,计算公式如下

$$s^{(k+1)} = \sum_{j=1}^n s_j^{(k)} w_j^{(k)} \quad (13)$$

式中:  $s^{(k+1)}$  代表层级结构中第  $k+1$  层某指标  $A^{(k+1)}$  的评分;  $n$  表示指标  $A^{(k+1)}$  的  $k$  层子指标的个数;  $s_j^{(k)}$  表示  $A^{(k+1)}$  的  $k$  层子指标  $j$  的评分;  $w_j^{(k)}$  表示  $A^{(k+1)}$  的  $k$  层子指标  $j$  的权重。

(5) 分析配电网运行的薄弱环节

本文采用百分制进行评分,将评估得分分为4个等级,分别为“优”、“良”、“中”、“差”,其中得分  $\geq 90$  的为“优”,  $90 > \text{得分} \geq 70$  的为“良”,  $70 > \text{得分} \geq 60$  的为“中”,得分  $< 60$  的为“差”。

首先分析宏观指标(目标层),若该指标得分为“中”或“差”则再根据单项指标的得分找出其运行的薄弱环节,最后提出相应的改善措施。

由于目前供电区域主要划分为5类<sup>[15]</sup>(A/B/C/D/E),不同类型的区域配电网规划建设存在差异,因此对运行状态指标得分的要求也不同,市中心(A类)就比农村(D或E类)要求高很多。因此在实际评估中,需要根据各个区域的差异性,合理提高或降低对评估指标得分的要求。

## 4 实例分析

### 4.1 确定各指标权重

限于篇幅,仅以供电可靠性的3个指标为例对指标权重的确定过程进行说明:

1) 确定两两比较矩阵

由3位专家分别确定的两两比较矩阵如下:

$$B_1 = [1, 4, 5; 0.25, 1, 2; 0.2, 0.5, 1];$$

$$B_2 = [1, 2, 4; 0.5, 1, 2; 0.25, 0.5, 1];$$

$$B_3 = [1, 2.5, 6; 0.4, 1, 3; 0.167, 0.333, 1].$$

2) 得到平均判断矩阵  $\bar{B} = [1, 2.833, 5; 0.353, 1, 2.33; 0.2, 0.429, 1]$ 。

3) 遍历3个判断矩阵: 根据筛选规则,以上3个矩阵均有效,无需剔除任何矩阵。

4) 求判断矩阵最大特征值和特征向量  
最大特征值  $\lambda_{\max} = 3.0085$ ; 特征向量  $W = [0.9193, 0.3559, 0.1675]$ 。

5) 一致性校验和归一化处理

$\bar{B}$  满足一致性校验,归一化处理得到供电可靠性三类指标的权重向量为  $\bar{W} = [0.6371, 0.2467, 0.1162]$ 。

根据本文所述 AHP-Delphi 方法所确定的指标权重因子如表 2 所示。

表 2 权重因子表

Table 2 Weight factor table

上层指标	权重	底层单项指标	权重
负载率	0.278 4	主变重过载比例	0.157 8
		主变轻载比例	0.105 2
		10 kV 线路重过载比例	0.184 9
		10 kV 线路轻载比例	0.119 0
		10 kV 线路存在危急风险比例	0.095 7
		配变重过载比例	0.156 1
		配变轻载比例	0.100 5
		配变存在危急风险比例	0.080 8
		主变 10 kV 母线电压合格率	0.377 8
		台区关口电压合格率	0.221 1
电压质量	0.195 1	低压用户电压合格率	0.154 5
		10 kV 总谐波畸变率	0.136 7
		低压总谐波畸变率	0.110 0
		10 kV 架空线路故障率	0.274 1
运行故障	0.180 3	10 kV 电缆线路故障率	0.274 1
		开关设备故障率	0.208 2
		配变故障率	0.243 7
		低压供电可靠率	0.637 1
供电可靠性	0.135 9	用户平均停电次数	0.246 7
		重复停电用户比例	0.116 2
		中低压统计线损率	1
线损率	0.102 8	中低压统计线损率	1
三相不平衡	0.107 4	轻微三相不平衡台区比例	0.412 6
		严重三相不平衡台区比例	0.587 4

上表所列出的权重指标是由湖南省电力科学研究所的多名专家共同确定，具有一定的参考意义。

#### 4.2 确定单项指标评分公式

由于单项指标众多，限于篇幅，仅选取主变重过载比例(指标 A)和台区关口电压合格率(指标 B)两个指标进行说明。

首先根据 2.2 中步骤 1)确定指标的类型，其中指标 A 为成本型指标，指标 B 为效益型指标。然后根据步骤 2)和步骤 3)确定指标 A、B 评分公式的分段点，并绘制模糊隶属度函数图，其中指标 A 的分段点  $d_i, s_i$  依次为(2, 90)、(15, 60)、(30, 0)，指标 B 的分段点  $d_i, s_i$  依次为(96, 0)、(97.5, 60)、(98.5, 90)， $d_i$  单位为%。最后根据函数图写出指标 A、B 的评分公式，如式(14)、式(15)所示。

指标 A: 主变重过载比例

$$\begin{cases} y = 100 - 5x & 0 < x \leq 2 \\ y = 94.615 - 2.307x & 2 < x \leq 15 \\ y = 120 - 4x & 15 < x \leq 30 \\ y = 0 & 30 < x \end{cases} \quad (14)$$

指标 B: 台区关口电压合格率

$$\begin{cases} y = 0 & x \leq 96 \\ y = 40x - 3840 & 96 < x \leq 97.5 \\ y = 30x - 2865 & 97.5 < x \leq 98.5 \\ y = 6.667x - 566.67 & 98.5 < x \leq 100 \end{cases} \quad (15)$$

式(14)、式(15)中:  $x$  表示单项指标值;  $y$  表示单项指标值得分。

#### 4.3 实际配电网运行状态评估

选取湖南省湘潭市 2015 年 2 月份的运行数据进行统计，得到评估指标体系的各项单项指标值，并结合单项指标评分公式和指标权重因子进行计算，最终得出该地区该时段内的运行状态综合评估得分，如表 3 所示。

表 3 评估结果

Table 3 Assessment results

负载率	电压质量	运行故障	供电可靠性	线损	三相不平衡	总分
58.54	66.37	78.90	85.44	72.12	69.73	69.99

从评分结果可以看出湘潭市 2015 年 2 月份的整体运行情况得分为 69.99，评分为“中”并且接近“良”。

其中评分较低的指标为负载率和电压质量。经过调查分析，造成负载率指标评分偏低的原因是 2 月份正逢春节，用电负荷增加导致多条线路和配变出线重过载，而造成电压质量偏低的主要原因是配变台区“低电压”现象普遍，需要加强台区低电压管理工作。

另外，供电可靠性指标的得分较高，主要归功于 2 月份湖南省电力公司积极开展 10 kV 城市配网带电作业的工作，其中架空线路带电作业 607 次，共计减少停电 2.27 万时户，多供电量 274 万 kWh。最后，湘潭市还需进一步加强三相不平衡的管理工作，这也是一种降低线损的有效途径。

#### 5 结论

本文提出了一套实用型的配电网运行状态综合评估指标体系，该指标体系涵盖配电网运行各个方面，能够全面反映某配电网在一段时间内的运行状态好坏。本文采用 AHP-Delphi 方法确定指标权重因子，并利用模糊隶属度函数来确定单项指标评分公式，从而形成了一套科学、完整的评估体系和评估方法。

此外，单项指标值计算所需的基础数据均可由配电网各个系统获取，可以实现在线评估，避免了

人为统计数据可能出现的数据造假等问题,提高了评估工作的真实性。

最后,本文所提出的评估体系还需要不断进行扩充以适应智能配电网的发展,例如加入有关微网的评估指标。另外,可以在大量统计数据的基础上结合相关的预测方法,对配电网的运行状态发展态势进行预判,从而提前掌握配电网的运行状态,并做好相应的预防工作。

### 参考文献

- [1] 丁明, 李生虎, 吴红斌, 等. 基于充分性和安全性的电力系统运行状态分析和量化评价[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 47-53.  
DING Ming, LI Shenghu, WU Hongbin, et al. Analysis of power system operation state based on adequacy and security[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 47-53.
- [2] 陈发广, 周步祥, 曾澜钰. 基于多信息融合的变压器运行状态评估模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(4): 140-144.  
CHEN Faguang, ZHOU Buxiang, ZENG Lanyu. State evaluation model of transformer operation based on multi-information fusion[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2013, 25(4): 140-144.
- [3] 韩富春, 董邦洲, 贾雷亮, 等. 基于贝叶斯网络的架空输电线路运行状态评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 101-104.  
HAN Fuchun, DONG Bangzhou, JIA Leliang, et al. Operation state evaluation of overhead transmission lines based on Bayesian network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2008, 20(1): 101-104.
- [4] 颜伟, 田志浩, 余娟, 等. 高压配电网无功运行状态评估指标体系[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 104-109.  
YAN Wei, TIAN Zhihao, YU Juan, et al. An index system to assess reactive power operation in high voltage distribution network[J]. Power System Technology, 2011, 35(10): 104-109.
- [5] 汤亚芳, 王建民, 程浩忠, 等. 配电网经济性综合评估体系[J]. 电网技术, 2007, 31(增刊): 127-130.  
TANG Yafang, WANG Jianmin, CHENG Haozhong, et al. An integrated economic evaluation system of distribution power systems[J]. Power System Technology, 2007, 31(S): 127-130.
- [6] 刘伟, 郭志忠. 配电网安全性指标的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(8): 85-90.  
LIU Wei, GUO Zhizhong. Research on security indices of distribution networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(8): 85-90.
- [7] 赵洪山, 赵航宇. 考虑元件故障率变化的配电网可靠性评价[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 56-62.  
ZHAO Hongshan, ZHAO Hangyu. Distribution system reliability analysis considering the elements failure rate changes[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 56-62.
- [8] 王成山, 罗凤章. 配电系统综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 刘胜利, 曹阳, 冯跃亮, 等. 配电网投资效益评价与决策模型研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 119-125.  
LIU Shengli, CAO Yang, FENG Yueliang, et al. Research and application of distribution grid investment effectiveness evaluation and decision-making model[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 119-125.
- [10] 黄知超, 谢霞, 王斌. 结合模糊综合评判与决策的电力系统状态估计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 65-69.  
HUANG Zhichao, XIE Xia, WANG Bin. Power system state estimation combined with fuzzy comprehensive evaluation and decision-making[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 65-69.
- [11] 卢志刚, 韩彦玲, 常磊. 基于组合权重的配电网运行经济性评价[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 1-6.  
LU Zhigang, HAN Yanling, CHANG Lei. The economic evaluation of the distribution system operation based on the combination weighing[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 1-6.
- [12] 李正明, 施诗, 潘天红, 等. 基于灰色关联度和理想解法的电能质量综合评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(6): 14-19.  
LI Zhengming, SHI Shi, PAN Tianhong, et al. A synthetic power quality assessment based on grey correlation analysis and TOPSIS method[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(6): 14-19.
- [13] 顾雪平, 王大江, 梁海平, 等. 电力系统扩展黑启动方案动态综合评价[J]. 电工技术学报, 2015, 30(3): 44-53.  
GU Xueping, WANG Dajiang, LIANG Haiping, et al. Dynamic comprehensive assessment of power system extended black-start plants[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(3): 44-53.
- [14] SATTY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [15] Q/GDW 738-2012 配电网规划设计技术导则[S].

收稿日期: 2016-01-13; 修回日期: 2016-03-31

作者简介:

冷华(1982-),男,高级工程师,研究方向为配电自动化信息化; E-mail: lh1436@163.com

童莹(1991-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制。E-mail: 498428007@qq.com

(编辑 张爱琴)