

基于熵权的计量技术监督模糊综合评价方法

崔高颖, 周 玉, 郑爱霞, 易永仙, 潘 超

- (1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏省南京市, 211103;
2. 国家电网公司电能计量重点实验室, 江苏省南京市, 210019)

摘 要: 电网的信息化、智能化发展趋势对计量技术监督工作质量提出了更高要求, 准确客观的评价计量技术监督工作意义重大。目前传统计量技术监督主要依靠人工, 缺乏有效的工具利用已有数据评价关键节点指标。本文提出了基于熵权的计量技术监督模糊综合评价方法, 建立基于用采系统的指标体系, 利用指标熵值结合模糊数学方法, 实现了多对象技术监督工作客观评价和排序, 该方法有效提高了各公司技术监督工作的区分度和相应评价工作的准确性。

关键词: 技术监督; 指标体系; 熵权算法; 模糊综合评价

0 引言

随着科技进步和能源格局的变化, 经济社会发展对电能的依赖程度日益增强。电能计量业务贯穿发电、输电、配电、用电各环节, 服务于电能贸易结算, 其准确度关系到计量公平公正, 直接影响各方的经济利益, 其信息化和智能化也受到社会的广泛关注。计量技术监督工作主要通过监督计量业务各环节的关键指标和工作质量, 实现用电信息采集系统的高效运维, 及时发现并诊断计量装置异常, 规范计量资产全寿命周期管理等工作。科学、及时、客观的技术监督方法是保证计量工作顺利开展和计量业务质量的重要手段。

随着国网公司“三集五大”体系建设的不断深化和提升, 在新的“大营销”体系运行模式下, 一方面, 各层级计量业务、组织架构发生很大的变化, 对新体系下的计量技术监督提出更高要求, 其监督范围更广、管理要求更高; 同时, 随着用电信息采集系统的建设和智能电能表应用推广, 以及阶梯电价的实施, 电能表的质量和运行可靠性愈来愈受到社会各方的普遍高度关注。另一方面, 随着经济社会的快速发展, 计量工作面临的形势日趋复杂, 业务数量日益增长、业务操作更加频繁, 工作差错、指标异常等经营风险变得突出; 同时, 电能计量工作具有点多面广、作业分散、流程复杂、时效性高、与客户接触点多等特点, 如果不加强对关键节点和指标的过程监督, 就会直接影响公司的经济效益和服务形象; 而传统计量技术监督工作的开展仍主要依靠人工监控协调, 监督手段单一, 缺乏有效的监

督工具, 对表计质量管理相对薄弱, 缺乏对计量工作关键节点和指标的过程监督。

本文提出了一种基于熵权的计量技术监督模糊综合评价方法, 对多个评价对象的技术监督工作水平进行综合评价和排名。该方法采用来自用电信息采集系统、营销业务系统、省级计量中心生产调度平台(MDS)等多个业务系统的多维度基础数据, 综合考量与计量业务技术监督工作相关联的多级评价指标, 对多个评价对象的计量技术监督工作开展情况进行科学评估, 使得计量技术监督工作更加科学、客观、有针对性, 同时有效提高计量技术监督工作执行效率, 保证计量业务顺利开展。

1 模糊评价和熵权算法

1.1 模糊评价基本模型

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法, 根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价^[1]。由于被评价对象是受多方因素影响的, 模糊综合评价的基本思想就是在对单个因素对被评价对象进行评价的基础上, 用模糊数学对所有因素做出总体评价, 防止信息中途缺失, 具有结果清晰、系统性强的特点, 能较好的解决模糊的、难以量化的问题, 适合各种非确定性问题的解决。

设评价对象为 P , 定义其指标集为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 评价集为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 则对 U 中每一个指标, 根据 V 中的评价等级进行模糊评价, 得到模糊评价矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。其中 r_{ij} 表示 u_i 关于 v_j 的隶属程度, R 为 U 到 V 的一个模糊映射,

(U, V, R) 则构成一个模糊综合评价模型。该模型需要确定各指标的权重, 权重向量记为 $A = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, 满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, 其中 w_i 为第 i 个指标 u_i 所对应的权重。合成得到 V 的模糊子集 $B = A \cdot R = (\overline{b_1}, \overline{b_2}, \dots, \overline{b_m})$, 归一化后得到 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, 即可确定对象 P 的综合评价指数。

1.2 熵权算法

熵的概念起源于热力学, 是反应系统有序程度的度量, 后来由Shannon引入到信息论中表示信息量的不确定性。熵权法是一种客观的指标权重确定方法, 其基本思路是根据指标变异程度, 利用信息熵计算出各指标的熵值, 再通过熵值对各指标的权重进行修正, 从而得出较为客观的指标权重^[2]。

根据熵的定义, 当系统可能处于 m 种不同状态, 每种状态出现的频率为 p_i ($i=1, 2, \dots, m$) 时, 则该系统的熵就定义为:

$$E = - \sum_{i=1}^m p_i \cdot \ln p_i$$

(1)

显然, 当 $p_i = 1/m$ ($i=1, 2, \dots, m$), 即各种状态出现的概率相同时, 熵取最大值。

相应的, 若依据 n 个评价指标对 m 个评价对象进行评价, 采用熵值作为某指标的权重, 则指标的信息熵 E 越大, 就表明该指标对在对 m 个对象的评价中贡献越均衡, 指标值对不同对象评价的区分度越小, 能为最终决策提供的信息量越小, 在综合评价中所起的作用越小, 则其权重也应越小。反之, 则权重也应越大。

由上可见, 用指标熵值赋相应权重仅反映了指标在评价对象时的客观差异度, 熵权本身并不能完全反映指标在解决实际问题时的重要性。

利用模糊数学方法和熵权赋值的方法解决多对象综合评价问题在其他行业已有相关研究^[3-6], 电网规划中也有将二者结合的应用^[7], 但将二者结合并利用多层次隶属度分级标准对技术监督工作进行综合评价还未见同类研究。

2 基于熵权的计量技术监督模糊综合评价

2.1 明确指标体系和评价对象

江苏省电力计量业务技术监督工作主要依据实际开展的技术监督工作和用电信息采集系统所收集的数据, 从四个方面建立指标体系对各地市公司

(共 13 个) 的技术监督情况进行评价, 则待评价对象集包含 13 个评价对象。现有计量技术监督指标体系主要包括: 用采系统建设类指标, 设备管理类指标, 运维管理类指标, 计量业务督办类指标。参考基于同类划分的指标评价方法^[8]和用电信息采集系统运行状态评估体系^[9], 从每个大类选取影响该类工作的关键指标, 分解为 12 个末级指标, 评价指标体系如图 1 所示。

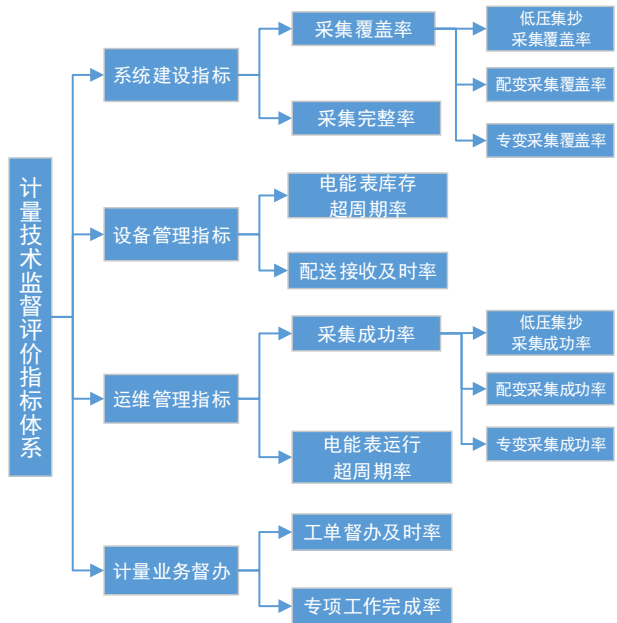


图 1 计量技术监督评价指标体系

其中, 除电能表库存超周期率、电能表运行超周期率为反向指标 (指标值越小越好) 外, 其余指标均为正向指标 (指标值越大越好)。各类指标含义及计算方法如表 1 所示。

表 1 指标体系末级指标定义

指标	计算方法
低压采集覆盖率	低压用户电能表采集覆盖数/低压用户电表总数
配变采集覆盖率	配变用户电能表采集覆盖数/配变用户电表总数
专变采集覆盖率	专变用户电能表采集覆盖数/专变用户电表总数
采集完整率	电表数据项采集成功数/电表数据项采集数
电能表库存超周期率	库存电能表超检定期数量/库存电能表总数
配送接收及时率	配送接收及时数/配送总数
低压采集成功率	低压用户电能表采集成功数/低压用户电表总数
配变采集成功率	配变用户电能表采集成功数/配变用户电表总数
专变采集成功率	专变用户电能表采集成功数/专变用户电表总数
电能表运行超期率	运行电能表超检定期数量/在运电能表总数
工单督办及时率	工单反馈及时数/工单派发数量
专项工作完成率	专项工作评价分值/100

2.2 评价矩阵标准化

模糊综合评价方法中指标权重向量的确定要求

各指标权重 w_i 满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ，因此使用熵权法确

定指标权重时，首先要对影响评价的各个指标进行数据标准化处理。本文采用以下两个公式：

$$d_{ij} = \frac{f_{ij} - \min f'_{ij}}{\max f'_{ij} - \min f'_{ij}} \quad (2)$$

$$d_{ij} = \frac{\max f'_{ij} - f_{ij}}{\max f'_{ij} - \min f'_{ij}} \quad (3)$$

其中， f_{ij} 表示第 i 个评价对象的第 j 项指标， $\max f'_{ij}$ 和 $\min f'_{ij}$ 分别为指标 u_i 的最大值和最小值。公式（1）适用于正向指标，公式（2）适用于反向指标的情况，通过以上公式得到指标值的标准化数据。

2.3 熵权法计算指标权重

依据 n 个评价指标对 m 个评价对象进行评价，形成原始评价矩阵为 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ，则对某个评价指标 r_j 有信息熵：

$$E_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (4)$$

其中， $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 且 $p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}$ ，如

果 $p_{ij} = 0$ ，定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

指标最终的权重综合考虑指标的重要性和指标提供的信息量两方面的因素，得到各指标权重公式为：

$$W_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} \quad (5)$$

其中， $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 且公式满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

2.4 构造模糊评价矩阵

设指标体系的评价集为 $V = \{v_1, v_2, v_3\} = \{\text{优秀（一级）, 良好（二级）, 一般（三级）}\}$ ，评价集中各值表明当前评价对象通过其评价指标对相应评语的隶属度。模糊评价方法中评价集的确定需选定合适的隶属度函数，才能计算出指标集 U 到评价集 V 的模糊映射 R 。根据各指标的阈值确定各指标分级标准如表 2 所示。

表 2 隶属度分级标准

评价因子	一级（优秀）	二级（良好）	三级（一般）
低压采集覆盖率	>99.0%	98.5%	<98.0%
配变采集覆盖率	>99.95%	99.85%	<99.5%
专变采集覆盖率	>99.95%	99.65%	<99.5%
采集完整率	>99.5%	99.4%	<99.3%
电能表库存超周期率	<0.9%	0.95%	>1.0%
配送接收及时率	>97.0%	96.0%	<95.0%
低压采集成功率	>99.0%	98.5%	<98.0%
配变采集成功率	>99.0%	98.5%	<98.0%
专变采集成功率	>99.0%	98.5%	<98.0%
电能表运行超期率	<0.9%	0.95%	>1.0%
工单督办及时率	>95.0%	94.5%	<94.0%
专项工作完成率	>95.0%	94.5%	<94.0%

各指标隶属度函数的计算方法如下，其中一级隶属度函数：

$$u_1(x_i) = \begin{cases} 1 & x_i \geq a_i \\ \frac{b_i - x_i}{b_i - a_i} & b_i \leq x_i < a_i \\ 0 & x_i < b_i \end{cases} \quad (6)$$

二级隶属度函数：

$$u_2(x_i) = \begin{cases} 0 & x_i \geq a_i, x_i \leq c_i \\ \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i} & b_i \leq x_i < a_i \\ \frac{c_i - x_i}{c_i - b_i} & c_i < x_i < b_i \end{cases} \quad (7)$$

三级隶属度函数：

$$u_3(x_i) = \begin{cases} 0 & x_i \geq b_i \\ \frac{x_i - b_i}{c_i - b_i} & c_i \leq x_i < b_i \\ 1 & x_i < c_i \end{cases} \quad (8)$$

其中， x_i 为用电信息采集各末级指标的实际值， $u(x_i)$ 为 x_i 的隶属度分值， a_i 为 x_i 的一级隶属度阈值， b_i 为 x_i 的二级隶属度阈值， c_i 为 x_i 的三级隶属度阈值。

由此可以得出每个评价对象的模糊评价矩阵为：

$$R = \begin{bmatrix} r_1(v_1) & r_1(v_2) & r_1(v_3) \\ r_2(v_1) & r_2(v_2) & r_1(v_3) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{12}(v_1) & r_{12}(v_2) & r_{12}(v_3) \end{bmatrix}$$

2.5 得到综合评价结果

根据模糊评价的基本模型, 利用 2.3 中得到的各指标的权重 w_j 组成权重因子组成包含 12 个权重值的模糊子集 $A=(w_1, w_2, \cdots w_{12})$, 以及 2.4 中得到的模糊评价矩阵, 通过矩阵运算得到最终评价集 V 上的模糊子集 B ,

$$B=A \cdot R=(\overline{b_1}, \overline{b_2}, \overline{b_3}), \tag{9}$$

其中,
$$\overline{b_i}=\sum_{j=1}^3 a_j \cdot r(v_j)$$

对 B 进行归一化运算,

$$b_i=\overline{b_i} / \sum_{k=1}^3 \overline{b_{ik}} \quad (k=1, 2, 3) \tag{10}$$

得到 $B=(b_1, b_2, b_3)$, 即可确定当前评价对象对于评价集中各评语的隶属度。

由于用指标熵值作为权重仅反映了指标在评价对象时的客观差异度, 熵权本身并不能完全反映指标在解决实际问题时的重要性。本文为每一级隶属度赋予一个分值进行量化, 将各指标模糊评价的隶属度与具体评价分值相结合, 计算出第 i 个评价对象的客观评价指数 S 为:

表 3 各地市指标情况

地市公司	低压采集覆盖率	配变采集覆盖率	专变采集覆盖率	采集完整率	电能表库存超周期率	配送接收及时率	低压采集成功率	配变采集成功率	专变采集成功率	电能表运行超期率	工单督办及时率	专项工作完成率
公司 A	96.5%	99.6%	99.2%	99.1%	0.0%	100.0%	98.2%	98.5%	98.8%	1.3%	95.1%	95.3%
公司 B	99.1%	99.8%	99.8%	99.6%	0.2%	100.0%	99.2%	99.3%	99.4%	0.2%	96.3%	96.6%
公司 C	98.5%	99.9%	99.8%	99.0%	1.9%	95.1%	96.9%	98.2%	97.8%	0.1%	94.6%	94.9%
公司 D	99.1%	99.8%	99.9%	99.7%	11.0%	100.0%	99.3%	99.1%	99.2%	0.3%	97.7%	97.0%
公司 E	98.4%	99.6%	99.7%	99.3%	4.2%	68.2%	98.8%	97.5%	97.8%	1.0%	94.6%	93.1%
公司 F	99.0%	100.0%	100.0%	99.7%	4.2%	100.0%	99.4%	99.0%	99.1%	0.2%	97.7%	97.1%
公司 G	98.2%	99.9%	99.7%	99.2%	0.1%	100.0%	98.1%	98.2%	98.1%	0.2%	93.5%	94.6%
公司 H	96.8%	99.9%	100.0%	99.1%	0.0%	100.0%	98.0%	97.5%	98.0%	0.2%	94.3%	94.0%
公司 I	98.7%	99.9%	99.9%	99.3%	1.4%	0.0%	98.9%	98.5%	98.5%	0.4%	94.9%	94.3%
公司 J	98.9%	99.9%	99.6%	99.4%	0.0%	72.7%	98.5%	98.2%	98.7%	1.3%	94.5%	94.6%
公司 K	98.0%	99.8%	99.7%	99.4%	0.2%	100.0%	98.6%	98.4%	98.5%	0.3%	95.1%	96.1%
公司 L	98.2%	99.9%	99.8%	99.5%	0.5%	100.0%	98.4%	98.8%	98.4%	0.2%	95.8%	95.8%
公司 M	97.8%	99.9%	99.9%	99.0%	18.4%	69.4%	97.6%	97.2%	97.5%	0.8%	93.3%	93.0%

表 4 决策矩阵的标准化结果

地市公司	低压采集覆盖率	配变采集覆盖率	专变采集覆盖率	采集完整率	电能表库存超周期率	配送接收及时率	低压采集成功率	配变采集成功率	专变采集成功率	电能表运行超期率	工单督办及时率	专项工作完成率
公司 A	0	0.6190	0	0.1429	0.9994	1	0.52	0.6190	0.6842	0	0.4091	0.5601
公司 B	1	1	0.6122	0.8572	0.9905	1	0.92	1	1	0.9745	0.6818	0.8780
公司 C	0.7692	0.4762	0.9922	0	0.8997	0.9508	0	0.4762	0.1579	1	0.2955	0.4634
公司 D	1	0.9048	0.9845	1	0.4034	1	0.96	0.9048	0.8947	0.8618	1	0.9756
公司 E	0.7308	0.1429	0.7641	0.4286	0.7714	0.6819	0.76	0.1429	0.1579	0.2857	0.2955	0.0244
公司 F	0.9615	0.8571	0.9964	1	0.7695	1	1	0.8571	0.8421	0.9272	1	1
公司 G	0.6538	0.4762	0.6455	0.2857	0.9924	1	0.48	0.4762	0.3158	0.9716	0.0455	0.3902
公司 H	0.1154	0.1429	1	0.1429	1	1	0.44	0.1429	0.2632	0.9346	0.2273	0.2439
公司 I	0.8462	0.6190	0.9411	0.4286	0.9224	0	0.8	0.6190	0.5263	0.7590	0.3636	0.3171
公司 J	0.9231	0.4762	0.4562	0.5714	0.9998	0.7273	0.64	0.4762	0.6316	0.0548	0.2727	0.3902
公司 K	0.5769	0.5714	0.9225	0.5714	0.9876	1	0.68	0.5714	0.5263	0.8886	0.4091	0.7561
公司 L	0.6538	0.7619	0.7094	0.7143	0.9732	1	0.6	0.7620	0.4737	0.9503	0.5682	0.6829
公司 M	0.5	0	0.9593	0	0	0.6944	0.28	0	0	0.4586	0	0

3.2 信息熵和指标权重计算

将决策矩阵标准化结果代入公式(4)计算,得到各指标的信息熵,代入公式(5),得到各评价指标的权重向量,如表5所示。

表5 评价指标信息熵及权重向量

指标名称	信息熵	权重向量
低压采集覆盖率	0.9466	0.0704
配变采集覆盖率	0.9582	0.0551
专变采集覆盖率	0.9630	0.0488
采集完整率	0.8873	0.1486
电能表库存超周期率	0.9645	0.0469
配送接收及时率	0.9683	0.0418
低压采集成功率	0.9533	0.0616
配变采集成功率	0.9321	0.0895
专变采集成功率	0.9241	0.1001
电能表运行超期率	0.9235	0.1008
工单督办及时率	0.9061	0.1238
专项工作完成率	0.9145	0.1126

3.3 隶属度计算和模糊评价矩阵

已知各地市指标数据(见表3),可计算出相关隶属度函数和评价分值,取一级水平100分,二级水平90分,三级水平70分,可得出相应评价等级。以地市公司G为例,如表6所示。

表6 评价分值

评价指标	隶属度			评价 分值	评价 等级
	一级	二级	三级		
低压采集覆盖率	0	0.4	0.6	78	三级
配变采集覆盖率	0.5	0.5	0	95	二级
专变采集覆盖率	0.16	0.83	0	90.7	二级
采集完整率	0	0	1	70	三级
电能表库存超周期率	1	0	0	100	一级
配送接收及时率	1	0	0	100	一级
低压采集成功率	0	0.2	0.8	74	三级
配变采集成功率	0	0.4	0.6	78	三级
专变采集成功率	0	0.2	0.8	74	三级
电能表运行超期率	1	0	0	100	一级
工单督办及时率	0	0	1	70	三级
专项工作完成率	0.2	0.8	0	92	二级

3.4 客观评价指数的确定

将公司G的12个评价指标分值和各指标的权重带入公式(12):

$$S = \sum_{i=1}^{12} v_i w_i \quad (12)$$

可计算出地市公司G计量技术监督评价指标体系中综合指标的客观评价指数 $S = 82.48$ 。同理,可计算出全省各地市公司采集成功率的客观评价指数,如表7所示。

表7 各地市客观评价指数

地市公司	客观评价指数
公司A	84.95
公司B	99.05
公司C	83.71
公司D	97.80
公司E	76.82
公司F	98.59
公司G	82.48
公司H	80.01
公司I	87.81
公司J	87.69
公司K	92.54
公司L	95.31
公司M	75.78

4 结论

本文所介绍的计量技术监督综合评价方法依据用电信息采集系统采集的运行数据,通过综合电能计量装置运行状况中的各指标因素,结合熵权值以及模糊数学的评价方法,关联多项评价指标对各地市公司的电能计量技术监督工作开展情况进行了客观评价,经过验证,该评价体系有效提高了电能计量技术监督工作中多指标多维度评价的准确性和各地市公司工作开展的区分度。

参考文献:

- [1] 谢季坚,刘承平.模糊数学方法及其应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2000,21.
- [2] 李政毅.指标权重确定方法之熵权法[EB/OL].<http://blog.sina.com.cn/dream626216991>,2013.
- [3] 石晓翠.模糊数学模型在土壤重金属污染评价中的应用[J].天津农业科学,2005,11(3):28-30.
- [4] 谢赤,钟赞.熵权法在银行经营绩效综合评价中的应用[J].中国软科学,2002(9):108-110.
- [5] 丛建春,杨玉中.基于熵权的模糊综合评价模型的库存控制绩效评价[J].价值工程,2009(10):78-81.
- [6] 付钰,吴晓平,叶清,彭熙.基于模糊集与熵权理论的信息系统安全风险评估研究[J].电子学报.2010(7):1489-1494.
- [7] 聂宏展,吕盼,乔怡,等.基于熵权法的输电网规划方案模糊综合评价[J].电网技术,2009,33(11):60-64.
- [8] 周艾辉.用电信息采集系统运行评估体系研究[D].北京:华北电力大学,2013.
- [9] 孙志明,郑爱霞,周前.基于同类划分的线损指标评价方法[J].江苏电机工程,2014,33(6),55-57.

作者简介:

崔高颖 (1980-), 女, 山东沂水人, 高级工程师, 主要研究
电 力 信 息 化 和 智 能 用 电 技 术, E-mail :
cgy_js_sgcc@sina.com;
周玉 (1982-), 男, 江苏镇江人, 工程师, 主要研究电测量
技术和用电信息采集技术;

郑爱霞 (1968-), 女, 河南温县人, 研究员级高工, 主要研
究电网技术和计量管理技术;
易永仙 (1988-), 男, 浙江苍南人, 工程师, 主要研究电测
量技术和用电信息采集技术;
潘超 (1989-), 男, 江苏南京人, 主要研究用电信息采集技
术。

A Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Based on Entropy Weight for Metering Technical Supervision

Gaoying Cui, Yu Zhou, Aixia Zheng, Yongxian Yi, Chao Pan

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 210019, China;

2. Key Laboratory of Electric Energy Metering, State Grid Corporation, Nanjing 210019, China)

The current develop tendency to informatization and intelligence of power grid puts forward stricter requirement on metering technical supervision. It is important to evaluate the technical supervision work accurately and objectively, but most traditional evaluation on metering technical supervision is manual and lacking in effective tools to assess the indicators of key nodes based on existing data. This article proposes a fuzzy comprehensive method which firstly employs calculated entropy weight of key indices from the Electric Energy Information Acquisition System to build an indicator architecture and secondly obtains an accurate evaluation result as well as ranks of different technical supervision work according to the fuzzy comprehensive method. The proposed method effectively enhances the discrimination of technical supervision work from different companies and improves the accuracy degree of corresponding evaluation.