

一种基于模糊算法的用电信息采集系统运行状态评估方法研究

周 玉，潘 超，易永仙，周瑞雪

(江苏省电力公司电力科学研究院，江苏 南京 211103；
国家电网公司电能计量重点实验室，江苏 南京 211103)

摘 要：针对用电信息采集系统运行状态评估中如何有效进行多关联评价的问题，提出了一种基于模糊算法的用电信息采集系统运行状态评估方法，通过对采集成功率指标的实例进行分析，该评价体系实现了多关联指标下的用电信息采集系统运行状态评估。

关键词：模糊算法；用电信息采集系统；状态评估

近几年，随着智能电能表的推广应用，电能计量技术也迈入了新的阶段，朝着计量精准、通信高速、实时监测、智能服务的方向发展，通过用电信息采集系统建设的快速推进，营销计量集约化、精益化管理水平得到了极大提高^{[1][2]}。用电信息采集系统运行状态关系到计量公平公正，直接影响到各方的经济利益，且如何有效进行用电信息采集系统运行状态多关联评价尚未得到有效解决。本文提出了一种基于模糊算法的用电信息采集系统运行状态评估方法。利用该方法，综合多个相互关联的指标数据，对用电信息采集系统运行状态做出评估，极大地提高了状态评估准确率。

1 模糊算法

已知因子集 $U=(U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$ ，评语集 $V=(V_1, V_2, V_3, \dots, V_n)$ ，对因子的权重分配为 U 上的模糊子集 A ，简记为 $A: (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)$ ，其中， W_i 为第 i 种指标 U 所对应的权重。对第 i 个因子的单因子评判为 V 上的模糊子集 R ，则有 $R=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ ，从而可以构成一个单因子评价矩阵 R 为^{[3][4]}：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

R 为因子集 U 与评价集 V 之间的模糊关系，根据矩阵的运算法则， R 确定了一个模糊映射，把 U 上的一个模糊子集 A 映射到 B 上的一个模糊子集，即

$B=A \cdot R$ ，模糊子集即为多因子综合评价的结果^{[5][6]}。

2 用电信息采集系统运行状态评估方法

用电信息采集系统运行状态评估方法对影响评价的各个指标进行数据标准化处理并根据熵权模块对指标因子分配权重模糊子集，最终根据模糊数学综合评判算法给出多关联综合评价的结果^{[7][8]}。

假设影响评价的各个指标构成因子集 $U=(U_1, U_2, U_3 \dots U_n)$ ， n 为评价指标数目。引入评价等级集 $V=(V_1, V_2, V_3, V_4)$ ，其中， V_1 =高， V_2 =较高， V_3 =中等， V_4 =差。

对因子的权重分配为 U 上的模糊子集 A ， $A=(W_1, W_2, W_3 \dots W_n)$ ，其中， W 为第 i 种指标因子 U 所对应的权重。对第 i 个因子的单因子评判为 V 上的模糊子集 R ， $R=(r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4})$ ，定义 R 为因子集 U 与评价集 V 之间的模糊关系，根据矩阵运算法则， R 确定了一个模糊映射，把 U 上的一个模糊子集映射到 V 上的一个模糊子集 B ，即 $B=A \cdot R$ ，模糊子集 B 即为多因子综合评价的结果。

其中，模糊子集 A 所对应的权重由熵权值算法进行计算，首先进行标准化，采用以下两个公式：

$$d_{ij} = \frac{f_{ij} - \min f_{ij}}{\max f_{ij} - \min f_{ij}} \quad (1)$$

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

其中， f_{ij} 表示第 i 个评价对象的第 j 项指标。公式

(1) 适用于指标越大越好的情况，公式(2)适用

于指标越小越好的情况，通过以上得到标准化数据^[9]。

对每个评价对象的每个评价指标分配一个系数，系数计算公式为：

$$E_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, j=1, 2, 3..., n \quad (3)$$

其中m为被评价对象的数目，n为评价指标数

目，并且
$$p_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}}$$
，如果 $p_{ij}=0$ ，我们定义
$$\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$$
。

各指标权重公式为：

$$W_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} \quad j=1, 2, 3..., n \quad (4)$$

利用公式（3）（4）可得出各指标的熵 E_j 和权重 W_j 。N个指标的权重因子组成模糊子集A， $A=(W_1, W_2, W_3... W_n)$ 。

3 用电信息采集系统运行状态评估方法应用

现选取用电信息采集系统运行状态中的“采集成功率”综合指标进行客观评价，详见表 1。其中四级指标构成了三级指标的因子集，三级指标构成了二级指标的因子集，通过多关联客观评价体系得出该指标的健康指数。

表 1 采集成功率指标

二级指标	三级指标	四级指标
采集成功率	低压集抄采集成功率	日均采集成功率
		用户采集成功率
		采集调试占比率
		采集失败事件率
	配变采集成功率	终端投运率
		/

各指标含义及计算公式为：

（1）日均采集成功率（ F_1 ）

日均采集成功率=每日采集成功数/每日用户采集建设数×100%

（2）用户采集成功率（ F_2 ）

用户采集成功率=(日均采集成功率+三天采集

成功率)/2×100%

（3）采集调试占比率（ F_3 ）

采集调试占比率=采集系统“调试”和“停运”状态电能表总数/累计接入采集系统主站的电能表总数。

（4）采集失败事件率（ F_4 ）

采集失败事件率=采集失败事件数/事件总数

（5）终端投运率（ F_5 ）

终端投运率=及时投运终端数/应投运终端总数

显然，对于地市公司而言， F_1 、 F_2 、 F_5 指标越大越好，而 F_3 、 F_4 指标则越小越好。各地市公司指标情况如表 2。

表 2 各地市指标情况

地市公司	日均采集成功率	用户采集成功率	采集调试占比率	采集失败事件率	终端投运率
南京	0.965	0.990	0.020	0.002	1.000
苏州	0.975	0.972	0.012	0.003	0.998
无锡	0.985	0.969	0.025	0.001	0.992
常州	0.985	0.987	0.014	0.002	0.998
扬州	0.984	0.968	0.033	0.001	0.993
镇江	0.990	0.977	0.026	0.005	0.992
泰州	0.972	0.989	0.000	0.003	0.996
南通	0.968	0.98	0.011	0.002	0.999
盐城	0.977	0.979	0.005	0.006	0.991
宿迁	0.989	0.985	0.070	0.003	0.995
淮安	0.980	0.986	0.020	0.001	0.997
徐州	0.982	0.984	0.010	0.002	0.998
连云港	0.988	0.986	0.015	0.002	0.986

3.1 数据的标准化

通过计算得到决策矩阵的标准化结果如表 3 所示。

表 3 决策矩阵的标准化结果

地市公司	日均采集成功率	用户采集成功率	采集调试占比率	采集失败事件率	终端投运率
南京	0.0000	1.0000	0.9091	0.8000	1.0000
苏州	0.4000	0.1818	0.0000	0.6000	0.8571
无锡	0.8000	0.0455	0.6429	1.0000	0.4286
常州	0.8000	0.8636	0.4545	0.8000	0.8571
扬州	0.7600	0.0000	1.0000	1.0000	0.5000
镇江	1.0000	0.4091	0.6364	0.2000	0.4286
泰州	0.2800	0.9545	0.5909	0.6000	0.7143
南通	0.1200	0.5455	0.6818	0.8000	0.9286
盐城	0.4800	0.5000	0.5000	0.0000	0.3571
宿迁	0.9600	0.7727	0.4545	0.6000	0.6429
淮安	0.6000	0.8182	0.8636	1.0000	0.7857
徐州	0.6800	0.7273	0.6364	0.8000	0.8571
连云港	0.9200	0.8182	0.4091	0.8000	0.0000

3.2 信息熵的计算

经计算, 各指标的 p_{ij} 见表 4。

各指标的信息熵如下: $E_1=0.9298$; $E_2=0.9164$;
 $E_3=0.9634$; $E_4=0.9491$; $E_5=0.9500$ 。

表 4 各指标的 p_{ij} 值

地市 公司	日均采集 成功率	用户采集 成功率	采集调试 占比率	采集失败 事件率	终端 投运率
南京	0.0000	0.1310	0.1163	0.0889	0.1197
苏州	0.0513	0.0238	0.0000	0.0667	0.1026
无锡	0.1026	0.006	0.0832	0.1111	0.0513
常州	0.1026	0.1131	0.0581	0.0889	0.1026
扬州	0.0974	0.0000	0.1279	0.1111	0.0598
镇江	0.1282	0.0536	0.0814	0.0222	0.0513
泰州	0.0359	0.1250	0.0756	0.0667	0.0855
南通	0.0154	0.0714	0.0872	0.0889	0.1111
盐城	0.0615	0.0655	0.064	0.0000	0.0427
宿迁	0.1231	0.1012	0.0581	0.0667	0.0769
淮安	0.0769	0.1071	0.1105	0.1111	0.094
徐州	0.0872	0.0952	0.0814	0.0889	0.1026
连云港	0.1179	0.1071	0.0523	0.0889	0.0000

3.3 指标权重的计算

将以上值带入公式 (4) 得到 $W_1=0.2408$;

$W_2=0.2871$; $W_3=0.1257$; $W_4=0.1747$; $W_5=0.1717$ 。

3.4 评价因子的隶属度函数

根据各指标因子的阈值确定各指标分级标准如表 5。

表 5 分级标准

评价因子	一级 (高)	二级 (中等)	三级 (差)
日均采集成功率/%	>98.5	98	<97
用户采集成功率/%	>99	98.8	<98.5
采集调试占比率/%	<2	3	>5
采集失败事件率/%	<0.1	0.5	>1
终端投运率/%	100	99.5	<99

一级隶属度函数:

$$u(x_i) = \begin{cases} 1 & x_i \geq a_i \\ \frac{b_i - x_i}{b_i - a_i} & b_i \leq x_i \leq a_i \\ 0 & x_i \leq b_i \end{cases} \quad (5)$$

二级隶属度函数:

$$u(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq a_1, x_1 \leq c_1 \\ \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i} & b_1 \leq x_1 \leq a_1 \\ \frac{c_i - x_i}{c_i - b_i} & c_1 \leq x_1 \leq b_1 \end{cases} \quad (6)$$

三级隶属度函数:

$$u(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq b_1 \\ \frac{x_i - b_i}{c_i - b_i} & c_1 \leq x_1 \leq b_1 \\ 1 & x_1 \leq c_1 \end{cases} \quad (7)$$

以上公式适用于指标F1、F2、F5 (指标越大越好), 指标F3、F4 (指标越小越好) 条件相反。 X_i 为指标的实测值; a_i 、 b_i 、 c_i 分别为因子对应于一级、二级、三级指标状况的标准值。取一级水平 100 分, 二级水平 90 分, 三级水平 70 分。

已知各地市指标数据 (见表 2), 可计算出相关隶属度函数和评价分值, 以南京为例, 详见表 6。

表 6 评价分值

项目	日均采集 成功率	用户采集 成功率	采集调试 占比率	采集失败 事件率	终端 投运率
一级隶属度	0	1	1	0.75	1
二级隶属度	0	0	0	0.25	0
三级隶属度	1	0	0	0	0
评价等级	三级	一级	一级	二级	一级
评价分值	85	100	100	97.7	100

3.5 客观评价指数的确定

通过权重和评价分值可计算出南京低压集抄采集成功率客观评价指数:

$$\begin{aligned} \text{评价指数} &= V(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5) \times W(W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) \\ &= 0.2408 \times 85 + 0.2871 \times 100 + 0.1257 \times 100 \\ &\quad + 0.1747 \times 97.3 + 0.1717 \times 100 \\ &= 96.00 \end{aligned}$$

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, 详见表 7。

表 7 各地市客观评价指数

地市公司	客观评价指数
南京	96.00
无锡	91.42
徐州	93.04
常州	95.77
苏州	92.22
南通	91.41
连云港	93.41
淮安	91.35
盐城	88.96
扬州	91.31
镇江	93.63
泰州	93.66
宿迁	93.30

4 结束语

本文所介绍的用电信息采集系统运行状态评估方法通过综合电能计量装置运行状况中的各个因素,结合熵权值及模糊数学方法,多关联地对各个地市的电能计量装置运行状况进行了客观评价,经过验证,该评价体系极大地提高了用电信息采集系统运行状态评估工作中对指标多维度评价的准确性和客观性。

参考文献:

- [1] 钱立军,李新家.用电信息采集系统中数据比对功能的实现及应用[J].江苏电机工程,2013(2).
- [2] 顾国栋,周玉,钱立军,等.用电信息采集系统集抄用户采集成功率提升研究[J].江苏电机工程,2013(6).
- [3] 叶秀清.快速模糊分割算法[J].模式识别与人工智能,1996,9(1).
- [4] 贺仲雄.模糊数学及其应用[M].天津:天津科技出版社,1983.
- [5] 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).
- [6] 宋光兴,钱鑫,刘怀.基于熵技术的矿产资源综合开发利用评价方法研究[J].中国矿业,2000,9(3).
- [7] 王昆.三种客观权重赋权法的比较分析[J].技术经济与管理研究,2003(6).
- [8] 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.
- [9] 李成标,胡树华.企业新产品的一种评价方法[J].江汉石油学院学报(社科版),2001,3(3).

The Application of Fuzzy Mathematics in the Running station Standard of the Power User Eleco Energy Data Acquire System

ZHOU Yu, PAN Chao, YI Yong-xian, ZHOU Rui-xue

(JiangSu Elecric Power Company Research Institute, Nanjing,211103,China;State Grid Key Laboratory of
Electric Power Metrology, Nanjing 211103,China)

Abstract: Invent a Power User Eleco Energy Data Acquire System standard method, used to standard the guide line of the Running station of the Power User Eleco Energy Data Acquire System. By the use of the analysis of the collection percentage, successfully solve the multidimensional standard of the technology supervise. It can standard the guide line successfully.

Key words: Fuzzy Mathematics; the Power User Eleco Energy Data Acquire System