

多特征融合下配电自动化系统二次设备状态评估研究

张 超

(广东电网有限责任公司中山供电局)

摘要：配电自动化系统中的二次设备种类繁多，包括继电保护装置、自动化控制器、通信设备、智能仪表等，每种设备的工作原理、性能指标和故障模式都不尽相同，这增加了评估方法的复杂性，为此提出一种新的多特征融合下配电自动化系统二次设备状态评估方法。即分析配电自动化系统二次设备状态评估影响因素，计算评估关联度，再在多特征融合下构建二次设备状态评估模型，确定状态评估主观权重，从而完成配电自动化系统二次设备状态评估。实验结果表明，设计方法的评估经验值与评估理想值接近，整体评估偏差较小，具有可靠性，有一定的应用价值，可以提高配电自动化系统运行安全性。

关键词：多特征融合；配电自动化系统；二次设备；状态；评估

0 引言

配电自动化系统是一种具有馈线自动化与电网综合分析功能的特殊互联系统，主要运用 GIS、计算机等技术，能实现实时监控^[1]，自动进行故障定位处理。配电自动化系统二次设备指对发电机、变压器等一次设备进行保护、监测的重要设备，是电力系统稳定运行的基础^[2]。常见的配电自动化系统二次设备包括电压、电流、功率等测量仪表、继电保护装置、启停调节控制设备、数据采集传输自动化设备、数据通信设备等。研究表明，在配电自动化系统二次设备运行过程中^[3]，容易出现设备老化损坏，运行环境恶劣等问题，导致严重故障，降低配电可靠性。因此，需要对配电自动化系统二次设备状态评估进行深入研究。

事实上，配电自动化系统二次设备状态评估涉

及安全性、可用性等参数，需要实时采集设备运行数据，进行综合预警^[4]。除此之外，二次设备状态评估属于动态过程，需要消除状态变化风险，提高评估的可靠性。相关研究人员针对配电自动化系统运行特点设计了几种常规的状态评估方法。文献[5]提出考虑变电二次设备主人制的配电自动化系统二次设备状态评估方法，考虑综合状态参量完成评估，但该方法的评估局限性较高。文献[6]提出基于实时信息的配电自动化系统二次设备状态评估方法，采用层次分析降低主观权重偏差^[6]，调整模糊隶属度，但该方法需要计算评价分数，计算复杂性较高。为了降低供配电风险，本文在多特征融合下设计了一种有效的配电自动化系统二次设备状态评估方法。

1 多特征融合下配电系统二次设备状态评估方法设计

1.1 分析配电自动化系统二次设备状态评估关联度

配电自动化系统二次设备的种类相对较多,包括FTU、DTU等,异常状态评估要素复杂,需要分析二次设备状态评估关联度。首先需要对多维影响因素进行分析,如图1所示。

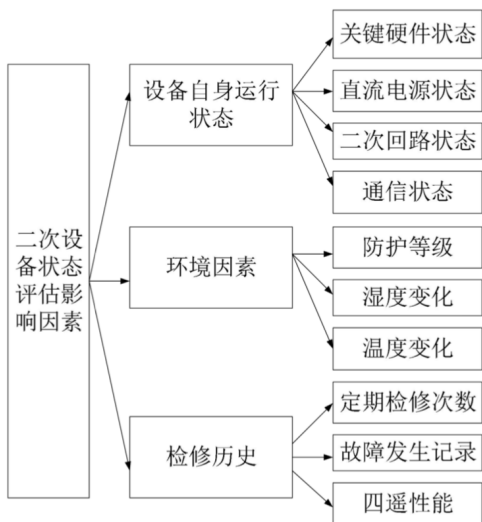


图1 二次设备状态评估影响因素

由图1可知,配电二次设备布点复杂,不确定性较高,可以将各设备的相似度作为基础,进行灰色关联度分析,使其满足设备状态评估的对称性要求。根据评估对象类型生成的理想行为序列 X_0 为:

$$X_0 = x_0(i) \cdot f \quad (1)$$

式中, $x_0(i)$ 为评估对象的状态理想值; f 为影响因素系数,此时每个影响因素的理想值 $x_i(i)$ 为:

$$x_i(i) = \frac{x_0(i)}{x_0'(i)} \quad (2)$$

式中, $x_0'(i)$ 为评估系数,评估对象关联阈值参量越高证明评估对象的重要度越高,且各因素的信息利用率与最终的评估结果相关。在实际评估过程中,需要利用灰熵理论进行变换,构造有限离散序列,此时计算的二次设备状态评估关联度 $W(i)$ 为:

$$W(i) = \frac{1 - B(i)}{\sum [1 - b(i)]} \quad (3)$$

式中, $B(i)$ 为序列正比均衡系数; $b(i)$ 为评估状态测度,结合上述评估关联度可以划分灰熵极大值,计算均衡度函数,再进行综合权重计算,提高状态评估决策的可靠性。

1.2 多特征融合下构建二次设备状态评估模型

多特征融合可以将多维度不同来源数据集中融合处理,提高数据获取的鲁棒性,降低信息冗余偏差,因此,需要结合上述分析的影响因素,在多特征融合下构建二次设备状态评估模型。首先,需要明确二次设备状态评估的目标和需求,包括评估的精度要求、实时性要求、可靠性要求等,进行模型的特征选择^[7],此时的状态信息评估因素集合 U 为:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\} \quad (4)$$

式中, $u_1, u_2, \dots, u_m$ 为不同类型的设备异常状态。当状态评估离散型数据发生变化时,其运行状态也会进行更新^[8],需要根据数据连续变化范围进行综合转化,获取的状态评估区间 $P(S)$ 为:

$$P(S) = Ke_{cs} \quad (5)$$

式中, K 为评估尺度因子; e_{cs} 为评估原始简化量。在多特征融合的过程中,可以进行特征拼接与选择,将原始的差异性特征向量转换为高维特征向量。二次设备评估标准不同,计算复杂度较高,需要采用负指数曲线进行拟合^[9],完成反演计算,此时的评价周期函数 Q 为:

$$Q = \sum M_i Ke_{cs} \cdot s_i \quad (6)$$

式中, M_i 为评估周期内各个等级对应的设备总量; s_i 为设备评估状态等级。二次设备的信息状态主要包括严重状态、异常状态、略微异常状态、正常状态^[10],此时构建的二次设备状态评估模型 $l_p(z)$ 为:

$$l_p(z) = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

式中, $x_{\max}$ 为监测指标信息的最大值; $x_{\min}$ 为监测指标信息的最小值; x 为原始监测值。上述状态评

估模型可以实现区间型信息标准化，进行梯度计算，此时的状态评估主观权重 ω_i 为：

$$\omega_i = \frac{\overline{w_z}}{\sum a_{ij}} \tag{8}$$

式中， $\overline{w_z}$ 为评估权重系数； a_{ij} 为 ISE 分数，使用上述的状态评估模型可以判断二次设备是否满足健康状态幅值关系，实现反熵权处理，降低二次设备状态评估干扰。

2 实验

为了验证设计的多特征融合下配电自动化系统二次设备状态评估方法的评估效果，本文选取有效的实验平台，将其与考虑变电二次设备主人制的配电自动化系统二次设备状态评估方法，以及基于实时信息的配电自动化系统二次设备状态评估方法对比，进行实验，如下。

2.1 实验准备

根据配电自动化系统二次设备状态评估实验要求，本文选取 PMS 平台作为实验平台，该实验平台采用松耦合度构建 SOA 框架，实现组件化开发，获取二次设备实验状态数据，该实验平台的逻辑关系如图 2 所示。

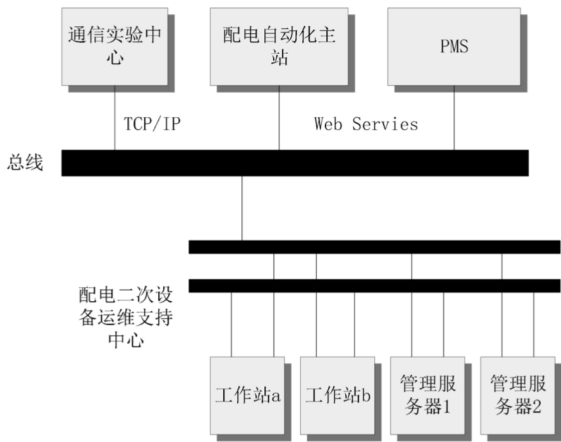


图 2 实验平台逻辑关系

由图 2 可知，该实验平台的分层关系良好，包括基础平台与应用层，可以发布通用实验指标。为了满足自动实验的自动告警要求，需要使用 PMS2.0 辅助输入设备状态评估流程，判断消缺状态，完成校核交互。

本实验选取 FA 列式交换机进行负载联络，假定各个实验区段的原始运行状态相同，不存在 FTU 回路失效问题。针对原始的实验数据，需要进行无量纲处理，确定评估因素权重，降低故障隔离作用导致的供电恢复问题。待上述步骤完毕后，可以进行风险参考排序，得到可靠的二次设备状态评估实验结果。

2.2 实验结果与讨论

结合上述的实验准备，可以进行配电自动化系统二次设备状态评估实验，即以某地区的 DTU（Data Transfer unit）作为研究对象，从多个角度出发设置多维状态评估健康因素。此时需要对原始数据进行无量纲预处理，在满足灰色关联度需求基础上计算灰度熵值矩阵，获取理想状态评估值，此时分别使用本文设计的多特征融合下配电自动化系统二次设备状态评估方法，文献 [5] 提出的考虑变电二次设备主人制的配电自动化系统二次设备状态评估方法，以及文献[6]提出的基于实时信息的配电自动化系统二次设备状态评估方法进行评估，得到的实验结果如表 1 所示。

表 1 实验结果

方法	参数	评估经验值	评估理想值
本文方法	运行时间 (s)	4.8	5.0
	缺陷合格率 (%)	95.2	99.9
	通信性能误差率 (%)	1.3	1.5
文献[5]方法	运行时间 (s)	2.8	5.0
	缺陷合格率 (%)	81.6	99.9
	通信性能误差率 (%)	1.1	1.5
文献[6]方法	运行时间 (s)	3.5	5.0
	缺陷合格率 (%)	74.6	99.9
	通信性能误差率 (%)	0.9	1.5

由表 1 可知，本文方法运行时间评估经验值为 4.8s，接近评估理想值 5.0s，显示出较高的运行效率。缺陷合格率评估经验值为 95.2%，与评估理想值 99.9% 相比，虽然有一定差距，但在三种方法中表现最佳，表明本文方法在检测缺陷方面具有较高的准确率。通信性能误差率评估经验值为 1.3%，接近评估理想值 1.55%，表明该方法在通信性能上的稳定性较好，误差率较低。

文献 [5] 方法运行时间评估经验值为 2.8s，远低于评估理想值 5.0s。缺陷合格率评估经验值为 81.6%，与评估理想值 99.9% 相比有较大差距，在检测缺陷方面的准确率相对较低。通信性能误差率评估经验值为 1.1%，低于评估理想值 1.55%，通信性能表现良好。文献 [6] 方法运行时间评估经验值为 3.5s，低于评估理想值 5.0s，但高于文献 [5] 方法，运行效率中等。缺陷合格率评估经验值为 74.6%，与评估理想值 99.9% 相比差距最大，表明该方法在检测缺陷方面的准确率最低。通信性能误差率评估经验值为 0.9%，低于评估理想值 1.55%，且为三种方法中最低，通信性能最优。由此可知，本文方法在整体评估效果上表现最佳，特别是在缺陷合格率和通信性能误差率方面均优于其他两种方法，有一定的应用价值。

3 结束语

综上所述，在电力行业发展背景下，我国的电力自动化建设规模越来越大，各种各样先进的电力信息技术应运而生，对实现智能管理与综合控制，提高电网的自动化水平有重要意义。配电自动化设备主要由开关变压器等一次设备及保护装置等二次设备组成。二次设备属于核心控制设备，负责发送控制指令。影响二次设备运行状态的因素较多，监控难度较高，因此，本文在多特征融合下设计一种有效的配电自动化系统二次设备状态评估方法。进行实验，结

果表明，设计的二次设备状态评估方法的评估效果较好，具有可靠性，有一定的应用价值，为保证配电系统有序运行做出了一定的贡献。

参考文献

[1] 甘芸芸, 陈涛, 刘欣宇, 等. 基于改进 TOPSIS 组合赋权法的配电自动化通信系统多属性决策设计 [J]. 电力与能源, 2024, 45 (3): 300-307, 323.

[2] 侯永辉, 王赛爽, 李帅, 等. 新型配电系统多层级交直流数字高压表自动化计量校准方法 [J]. 自动化与仪器仪表, 2024 (2): 250-254.

[3] 罗雪莲, 陈成功, 刘志豪, 等. 基于配电自动化系统的配网单相接地故障辅助研判模块开发及应用 [J]. 机电工程技术, 2022, 51 (11): 243-247.

[4] 黄洁, 赵岱平, 李慧军. 基于“源网荷储”的新型配电系统真型实训平台设计 [J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2022, 27 (2): 40-44.

[5] 齐帅, 刘霞. 基于变电二次设备主人制的状态检修技术管理探讨 [J]. 中国设备工程, 2024 (14): 174-176.

[6] 孔军, 朱海峰, 潘芸, 等. 基于实时信息的智能变电站二次设备状态综合评价 [J]. 机电工程技术, 2023, 52 (4): 221-226.

[7] 郑欢, 唐元春, 林文钦. 配电自动化无线专网中基于干扰抑制的小区深度覆盖和频谱分配策略 [J]. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2022, 34 (2): 320-330.

[8] 唐金锐, 鲍柯方, 曹芸玉, 等. 考虑负荷停电差异化的配电自动化终端混合优化配置方法 [J].

(下转第 23 页)

(上接第 19 页)

- 电力系统自动化, 2024, 48 (14) : 157-166.
- [9] 刘强, 孔庆楠, 李元良全. 数据中心核心机楼
低压配电变压器软启动智能化系统设计与应用
[J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36 (S1) :
179-184.

- [10] 李强, 胡润武, 陈立新. 基于配电自动化简图
分层智能识别布局的建设规划研究——评《智
能电网技术标准》[J]. 中国科技论文, 2023, 18
(10) : 1179.

(收稿日期：2024-08-20)