

DOI: 10.16513/j.2096-2185.DE.2010005

配电主设备可靠性评价系统设计及实现

刘晨龙

(国网综合能源服务集团有限公司, 北京 西城 100052)

摘要: 为解决配电主设备状态评价主观依赖性大、状态信息来源复杂、实用性较低等问题,设计开发了配电主设备可靠性评价系统,综合应用多源状态信息,以可靠性评价为中心,从可靠性、安全性、经济性多角度综合评估配电主设备的健康状态。可靠性评价系统支持多源信息采集与处理、指标体系分类管控、权重计算与样本管理、动态变权评价,现场示范应用效果良好,为提升配电设备状态管控水平、辅助提高供电可靠性提供了有力支撑和保障。

关键词: 配电设备; 状态评价; 多源信息; 指标体系; 权重计算

中图分类号: TM 726 文献标志码: A

Design and Implementation of Main Distribution Equipment Reliability Evaluation System

LIU Chenlong

(State Grid Integrated Energy Service Group Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100052, China)

ABSTRACT: In order to solve the problems of subjective dependence, complex state information source and low practicability of distribution main equipment condition evaluation, the reliability evaluation system of distribution main equipment is designed and developed. Comprehensive application of multi-source state information, taking reliability evaluation as the center, comprehensively evaluates the health status of distribution main equipment from the perspectives of reliability, safety and economy. Reliability evaluation system supports multi-source information collection and processing, index system classification control, weight calculation and sample management, dynamic variable weight evaluation. The application effect of the system is good, which provides strong support and guarantee for improving the control level of power distribution equipment and auxiliary improvement of power supply reliability.

KEY WORDS: distribution equipment; state evaluation; multi-source information; index system; weight calculation

0 引言

配电网直接联系着电网与用户,配电设备是配电网的基础核心,其运行可靠性直接影响配电网供电可靠性。配电网规模不断增大导致传统的检修模式与供电可靠性、运检人员紧缺的矛盾日益突出,使得状态检修成为一种必然趋势。开展配电设备状态检修将大幅减少计划停运次数,有效提高配电网供电可靠性^[1-5]。

状态评价是状态检修的基础和核心。目前,配电设备状态评价及检修技术还处于局部突破的起

步阶段,配电设备种类繁多、分布广泛、差异性大,直接简单套用输变电设备的状态评价系统设计方法并不适用。已有的配电设备评价决策系统主要是依赖现场运检人员经验对设备当前状态指标进行逐项打分,根据短板原理进行评价,对运检人员技术水平和现场经验要求较高,具有一定局限性^[6-12]。

配电设备数量巨大,状态评价系统智能化、流程化是提高状态评价实用性和效率的有效手段。配电设备状态信息来源复杂,形式多样,综合应用多源状态信息对配电设备状态进行多层次、多角度、全方位评价,也是状态评价系统开发设计的关键^[13-19]。针对已有配电设备评价决策软件的局限性,以及当前对配电设备状态评价的现实需求,设计开发了配电主设备可靠性评价系统,以可靠性评

基金项目: 国家自然科学基金项目(51777257)

Project supported by National Natural Science Foundation of China (51777257)

价为中心,从可靠性、安全性、经济性多角度评估配电主设备的健康状态,优化配电设备状态管理模式,辅助配电网状态检修,支撑提高配电网供电可靠性。

1 系统架构设计

1.1 系统整体架构

面向配电设备状态评价现场应用的现实需求,结合评价系统智能化、流程化、实用化的整体目标,配电主设备可靠性评价系统总体架构分为多源信息融合、指标及权重管理、评价与统计分析3个层次,如图1所示。通过统一数据接口获取多源状态信息,建立数据校核、数据转换、特征提取、数据关联机制及模型,实现配电设备当前状态信息的有效融合。通过构建类别化指标体系及差异化权重样本,从设备类别、运行环境、运行工况等多角度对配电主设备进行精细划分,满足用户个性化配置和计算需求,实现配电主设备指标及权重的精细化、个性化管理。采用以可靠性为中心、安全性和经济性

多角度评价相结合的评价模式,通过设备健康状态、统计分析、状态告警等多种方式全方位展示评价结果。

1.2 系统技术架构设计

配电主设备可靠性评价系统为方法导向的模型驱动系统,其技术架构设计主要从支撑数据、方法、模型、应用等业务需求及功能实现角度出发,以功能完备、操作方便、界面友好为基本原则,将系统划分为公共管理模块、应用管理模块和业务服务模块3大部分,其中业务服务模块包含信息管理、指标及权重管理、综合评价、决策管理和统一展现模块,系统技术架构设计如图2所示。

2 系统实现关键技术

2.1 多源信息全方式采集与分类融合处理

(1) 多源信息全方式采集。反映配电设备状态的信息包括状态监测信息、带电检测信息、人工巡检信息、运维检修信息、例行试验信息、家族缺陷信息、营销管理信息、工作环境信息等,信息来源复

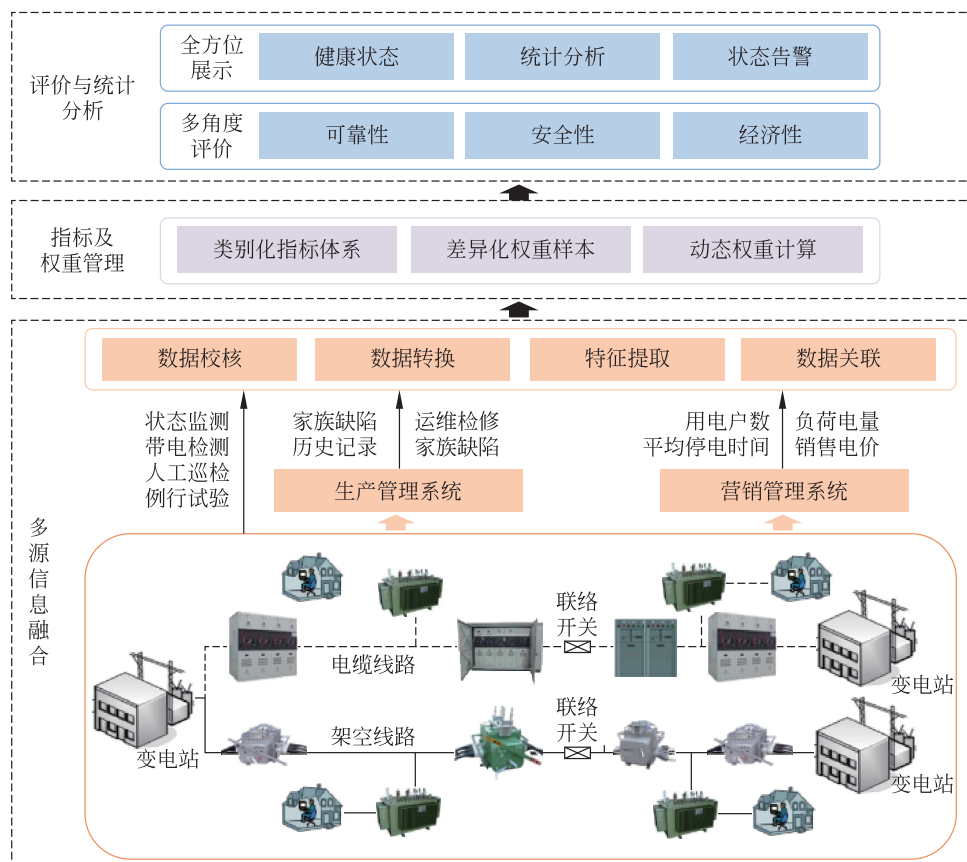


图1 配电主设备可靠性评价系统总体架构设计

Fig. 1 Overall architecture design of main distribution equipment reliability evaluation system

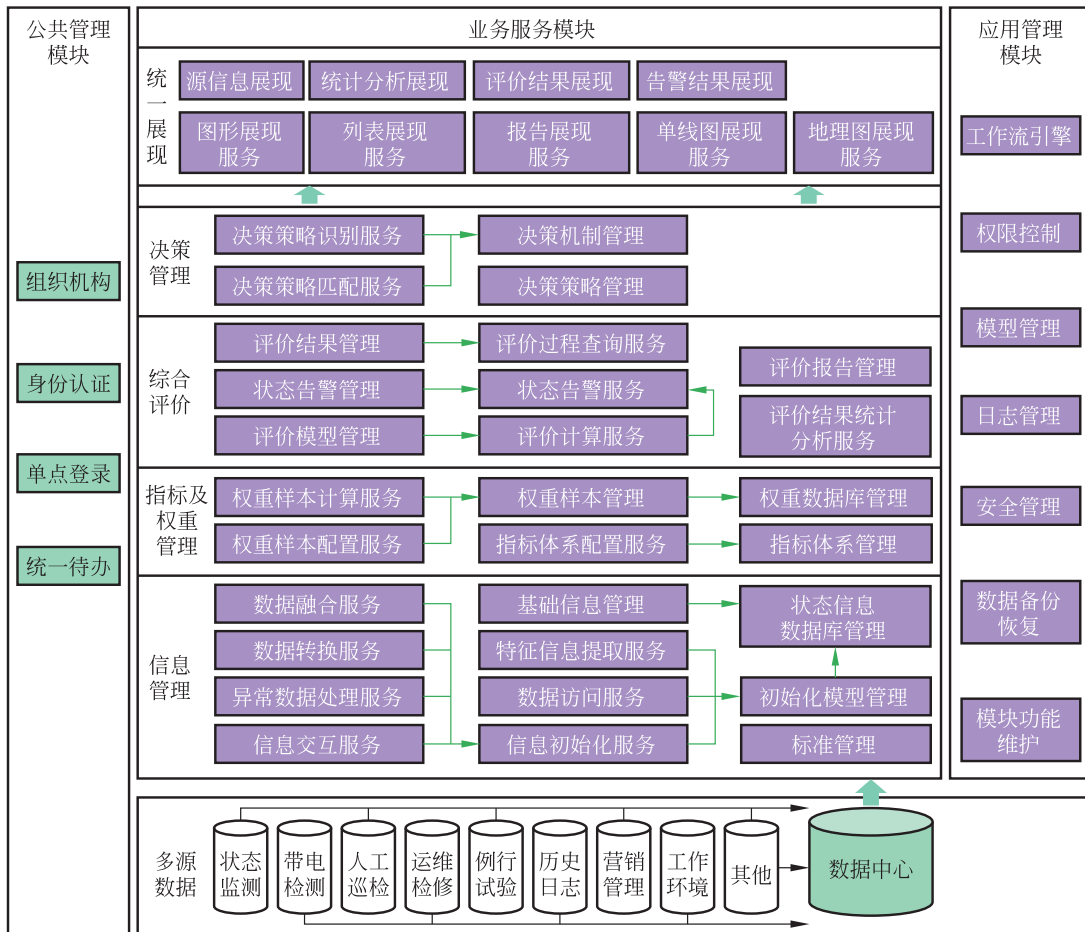


图 2 配电主设备可靠性评价系统技术架构设计

Fig. 2 Technical architecture design of main distribution equipment reliability evaluation system

杂、形式多样、特点各异。源信息是状态评价的基础和依据,为全面高效获取多源信息,系统采用自动采集、控制采集和人工录入紧密结合的信息采集方式。对于状态监测信息等实时数据按照一定周期进行自动采集;对于运维检修信息、例行试验信息、家族缺陷信息、营销管理信息等已上线运行系统中存在的数据,通过有效数据接口以人工触发的方式进行控制采集;对于带电检测信息、人工巡检信息、工作环境信息等已上线运行系统中不完善的字段数据,通过人工录入或集中导入的方式进行采集获取。

(2) 分类融合处理。基于信息采集偏差的偶然性和随机性,以及不同信息源数据形式的多样性,系统首先剔除异常、不良数据,降低源信息错误对状态评价结果的影响,然后提取特征信息,规范数据格式,为状态评价提供易于识别和统一计算分析的基础数据。系统根据多源信息与状态评价的关联关系,将状态监测信息、带电检测信息、人工巡检信息等直接应用于状态评价的信息定义为直接信

息,将家族缺陷信息、工作环境信息等对直接信息进行辅助修正的信息定义为间接信息,根据多源信息自身性质差异又将直接信息划分为定性信息和定量信息。针对不同信息类别,分别建立信息融合处理模型,采用分类融合处理方法实现多源信息融合,见图 3。

(3) 状态信息数据库。多源信息融合处理后形成有效的设备当前状态信息,自动存入状态信息数据库,并记录该状态信息的存储时间。状态评价时系统从状态信息数据库中调取待评价设备最近一次的状态信息进行评价。

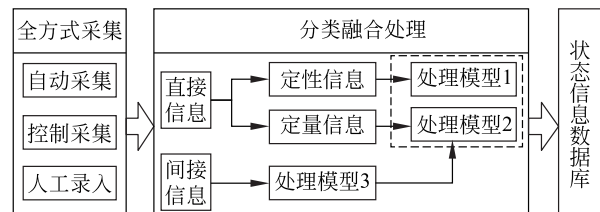


图 3 多源信息全方式采集与分类融合处理

Fig. 3 All way acquisition and classification fusion processing of multi-source information

2.2 类别化指标体系构建与精细化管控

指标体系是状态评价的核心,也是系统开发的关键,需与状态信息、权重计算等一一对应,指标体系调整将直接影响多源信息融合及指标权重赋值。基于上述问题,本系统一方面根据评价目标、评价层级、评价对象、设备类型等对指标体系进行详细分类,提高指标体系与现场实际应用的匹配度,减少频繁调整。另一方面开放指标体系配置权限,有权限的用户可对指标体系进行灵活配置,指标体系配置与状态信息采集、状态信息融合、权重配置、权重计算等高度关联,保持同步调整。

为提高综合评价指标体系的广泛适用性和精细化管控水平,本系统从多角度对指标体系进行类别划分和分类管理,适应不同目标、不同层级设备状态评价的需求。如图4所示,根据评价目标不同,将指标体系划分为可靠性评价指标体系、安全性评价指标体系和经济性评价指标体系。根据评价对象不同,将可靠性评价指标体系划分为配电变压器指标体系、配电开关指标体系和配电线路指标体系,基于不同设备类型的差异性,各评价对象对应的指标体系又包含干式变压器、油浸式变压器、开关柜、柱上开关、架空线路、电缆线路等多套指标体系。根据评价层级不同,将安全性评价指标体系和经济性评价指标体系划分为单个设备指标体系和设备集合指标体系,其中,单个设备指标体系面向设备本身,主要考虑设备安全和设备经济价值,设备集合指标体系面向馈线、变电站、区域电网等设备集合,主要考虑评价区域内配电网的供电安全和供电损失。

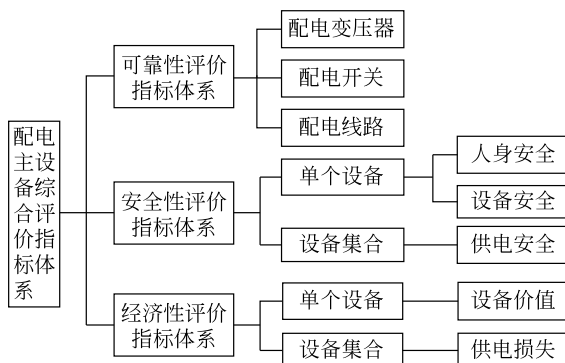


图4 配电主设备综合评价指标体系类别划分

Fig. 4 Classification of comprehensive evaluation index system of the main distribution equipment

2.3 常权与变权联合计算及差异化权重样本管理

考虑到状态评价的主观特性,本系统在充分考虑主观经验的基础上,从样本数据收集、样本数据分析、权重计算方法等多环节将主观问题客观化,

最大程度提高权重计算的客观性,见图5。

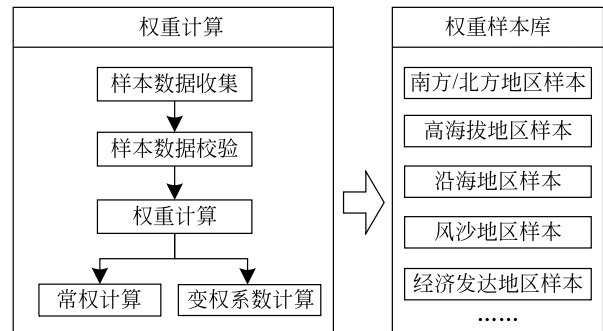


图5 权重计算与权重样本管理

Fig. 5 Weight calculation and sample management

(1) 权重计算。样本数据收集是权重计算的基础,其科学性和全面性直接影响权重计算结果的准确性。通常情况下,用于统计分析的样本数据越多,统计分析结果越准确。为解决权重计算样本数据量大,数据收集方式不一致易造成计算结果偏差等问题,本系统采用集中智能的样本数据收集与处理模式,对应不同指标体系,应用优化正交试验方法,自动生成包含全面信息的最简化的权重计算样本数据收集表,并能将样本数据收集表集中导入/导出,通过样本数据校验模型进行数据校验,提高样本数据的有效性。配电主设备状态评价指标较多,为防止某一状态指标异常在整体评价中被淹没,以及考虑到设备劣化规律,即处于不同状态水平的同一状态指标对设备整体健康状态的影响程度不同,本系统针对校验处理后的样本数据,采用常权与变权联合计算的权重计算方法,在常权计算的基础上进行变权系数计算,根据状态指标当前状态对常权进行变权修正,以符合设备状态指标权重变化的客观规律。

(2) 差异化权重样本管理。不同运行工况、运行环境下,影响设备健康状态的主导因素可能不同,同一设备不同状态指标之间的相对权重也会有所差异。系统通过构建权重样本数据库,存储典型运行工况及运行环境权重样本,面向不同用户需求,提供差异化权重样本灵活选择和配置功能。同时,用户可根据个性化需求,通过样本数据收集、处理和权重计算,生成并存储个性化权重样本。

2.4 以可靠性为中心的分级动态变权评价

为全面反映配电主设备的健康状态,本系统采用以可靠性为中心、安全性和经济性相结合的综合评价方式,构建配电主设备健康状态域,全方位、多角度表征设备健康状态,见图6。首先通过调用设

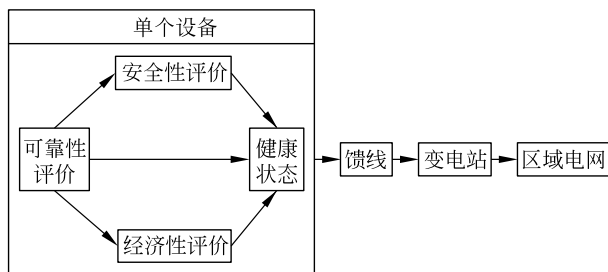


图6 以可靠性为中心的分级评价

Fig. 6 Reliability centered grading evaluation

备最近一次的状态信息、所处运行工况及运行环境对应的权重样本和变权系数,应用可靠性评价模型进行可靠性动态变权评价,然后以可靠性评价结果为基础,分别调用安全性和经济性评价模型进行安全性和经济性评价,最后通过评价结果归一化处理,获取设备当前健康状态。

配电主设备状态综合评价采用分层分区评价模式,首先以单个设备作为评价对象,针对不同设备类型逐层评价,形成设备部件和设备整体评价结果,自动匹配、生成相应检修策略。同时,面向不同层级用户需求,生成区域电网、变电站、馈线等设备集合的状态综合评价结果,并可根据评价结果,对初始状态信息、评价过程等进行回溯查询,为不同层级配电设备状态管控提供有力支撑。

3 应用案例分析

国网山东省某供电公司配电主设备可靠性评价系统进行了示范应用。示范区域覆盖面积 461 km²,涉及变电站 56 座,10 kV 配电线路 580 条,包含配电变压器 3 215 台,配电开关 1 257 台,线路长度 1 312 km(架空线路 778 km、电缆线路 534 km)。

配电主设备可靠性评价系统集成基础信息管理、状态信息初始化、指标体系配置、权重计算、权重样本管理、状态评价、统计分析、状态告警、评价报告生成、辅助决策等功能于一体,涵盖指标体系类别细致、全面,支持差异化权重样本灵活选择、配置,支持动态变权评价,与实际应用需求契合度高。成果应用以后,试点区域内配电设备状态管理模式得以优化,状态评价准确率和效率有效提高,供电可靠性提高至 99.997%,综合电压合格率提高至 99.985%,综合线损率降低至 2.1%。

4 结论

配电主设备可靠性评价系统能够直接融合处

理运行/检修记录、家族缺陷、运行寿命等多源状态信息,对配电变压器、配电开关、配电线路进行以可靠性为中心、安全性和经济性评价相结合的动态变权评价,形成辅助检修策略,生成综合评价报告。同时,系统可进行区域级、变电站级、馈线级等多层次评价结果统计与分析,可根据评价结果,对初始状态信息、评价过程等进行回溯查询。

目前,本系统已在山东、浙江等地区进行了示范应用。通过工程实践应用,系统功能性能不断完善优化,更好的实现了以可靠性为中心的配电主设备状态综合评价,有效解决了配电主设备状态评价主观依赖性大、状态信息来源复杂、实用性较低等问题,为提升配电设备状态管控水平、辅助提高供电可靠性提供了有力支撑和保障。

参考文献

- [1] 田嘉, 蒋大伟, 张新宇, 等. 配电设备开展状态检修的必要性与可行性[J]. 东北电力技术, 2014, 35(10): 23-26.
TIAN Jia, JIANG Dawei, ZHANG Xinyu, et al. The necessity and feasibility analysis on distribution equipment condition-based maintenance [J]. Northeast Electric Power Technology, 2014, 35(10): 23-26.
- [2] 徐荆州, 李扬. 基于 GO 法的复杂配电系统可靠性评估[J]. 电工技术学报, 2007, 22(1): 149-153.
XU Jingzhou, LI yang. Reliability assessment of complex distribution system using GO method [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2007, 22(1): 149-153.
- [3] 姚李孝, 赵兵, 崔杜武, 等. 基于多级 B-C-N-M 域子网络故障扩散的复杂配电系统可靠性评估[J]. 电工技术学报, 2005, 20(10): 107-112.
YAO Lixiao, ZHAO Bing, CUI Duwu, et al. Reliability assessment for complex distribution system based on fault pervasion of multilevel B-C-N-M region sub-networks [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2005, 20(10): 107-112.
- [4] FAN Wenbo, SHENG Wanxing, SUN Qiujie, et al. Condition evaluation index system of distribution equipments [C]//International Conference on Power System Technology. IEEE, 2014: 1199-1205.
- [5] FAN Wenbo, SHENG Wanxing, JIANG Cheng, et al. Condition evaluation of distribution equipment based on conjoint analysis [C]//International Conference on Power System Technology. IEEE, 2014: 1207-1212.
- [6] 郑惠俊, 袁海文. 配电设备健康状态评价专家系统的设计与实现[J]. 应用科技, 2017, 44(4): 55-59.
ZHENG Huijun, YUAN Haiwen. Design and implementation of the expert system for health state evaluation of distribution equipment [J]. Applied Science and Technology, 2017, 44(4): 55-59.
- [7] 范闻博, 盛万兴, 高媛, 等. 带电检测技术在配电设备状态检修中的应用研究[J]. 电气应用, 2013, 32(17): 64-67, 80.

- FAN Wenbo, SHENG Wanxing, GAO Yuan, et al. Research on the application of the charged detection technology in the condition based maintenance of power distribution equipment [J]. Electro Technical Application, 2013, 32(17): 64-67, 80.
- [8] 霍明雷, 刘艳, 杨林. 计及风险损失的配电设备检修方式选择 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(19): 100-106.
- HUOMinglei, LIU Yan, YANG Lin. Maintenance mode selection of power distribution equipment considering the loss of risk [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(19): 100-106.
- [9] 应高亮, 张波, 高山. 配电网状态检修技术体系研究 [J]. 浙江电力, 2013, 32(6): 1-4, 29.
- YING Gaoliang, ZHANG Bo, GAO Shan. Research on technical system for condition-based maintenance of distribution networks [J]. Zhejiang Electric Power, 2013, 32(6): 1-4, 29.
- [10] 唐燕, 刘艳. 考虑电网总风险和检修收益的设备状态检修计划优化 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 33-39.
- TANG Yan, LIU Yan. Optimization for maintenance schedule based on equipment condition considering the overall risk of grid operation and the maintenance revenue [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 33-39.
- [11] 王一, 王慧芳, 张亮, 等. 基于效用和成本的状态检修维修方式选择研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 39-45.
- WANG Yi, WANG Huifang, ZHANG Liang, et al. Research on maintenance type selection with CBM technology based on effectiveness and cost analysis [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 39-45.
- [12] DESPA D, MITANI Y, WATANABE M, et al. PMU based monitoring and estimation of interarea power oscillation for Singapore-Malaysia interconnection power system [J]. 能源与动力工程: 英文版, 2012, 6(3): 463-468.
- [13] 马振祺, 温定筠, 江峰, 等. 基于三维度的带电检测设备质量评价体系及应用 [J]. 电气技术, 2014(12): 123-126.
- MA Zhenqi, WEN Dingjun, JIANG Feng, et al. Quality assessment system and application based on the three dimension of energized testing instrument [J]. Electrical Engineering, 2014(12): 123-126.
- [14] 谢静, 束洪春, 王科, 等. 基于模糊分层理论的高压开关柜状态评估算法 [J]. 高电压技术, 2014, 40(10): 3186-3192.
- XIE Jing, SU Hongchun, WANG Ke, et al. State evaluation based on AHP fuzzy theory of high voltage switch gears [J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(10): 3186-3192.
- [15] 许丹, 唐巍. 基于区域可达性分析的复杂配电网可靠性评估 [J]. 电工技术学报, 2011, 26(6): 172-178.
- XU Dan, TANG Wei. Reliability evaluation of complex distribution networks based on regional accessibility analysis [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2011, 26(6): 172-178.
- [16] REID A J, JUDD M D, DUNCAN G. Simultaneous measurement of partial discharge using TEV, IEC60270 and UHF techniques [C]//Conference Record of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation. IEEE, 2012.
- [17] BILLINTON R, SINGH G. Application of adverse and extreme adverse weather: modeling in transmission and distribution system reliability evaluation [J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 2006, 153(1): 115-120.
- [18] 任初, 袁海文. 一种基于综合研讨的配电设备健康状态评价方法 [J]. 应用科技, 2018, 45(2): 43-48.
- REN Reng, YUAN Haiwen. Method for evaluating health status of distribution equipment based on comprehensive discussion [J]. Applied Science and Technology, 2018, 45(2): 43-48.
- [19] 路军, 黄达文, 吴卫堃, 等. 考虑配电设备多源监测数据缺失的深度森林状态评价方法 [J]. 新型工业化, 2020, 10(4): 1-6, 12.
- LU Jun, HUANG dawen, WU Weikun, et al. Condition evaluation of power distribution equipment based on deep forest method considering missing values in multi-source monitoring data [J]. The Journal of New Industrialization, 2020, 10(4): 1-6, 12.

收稿日期: 2020-10-14

作者简介:

刘晨龙(1988),男,硕士,工程师,主要研究方向为配电网综合优化与综合能源服务。



刘晨龙