

DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.18139

基于 MIF 的继电保护状态评价及其在设备全寿命周期管理中的应用

王丽敏, 杨国生, 詹荣荣, 王文焕, 李妍霏

(中国电力科学研究院有限公司, 北京市海淀区 100192)

State Evaluation of Relay Protection Based on Multi-Source Information Fusion and Its Application in the Life Cycle Management of Equipment

WANG Limin, YANG Guosheng, ZHAN Rongrong, WANG Wenhuan, LI Yanfei

(China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

摘要: 为准确评价继电保护设备健康状态, 提升继电保护设备管理工作水平, 提出一种基于多源信息融合技术的继电保护状态评价方法, 该方法充分考虑了继电保护的技术特点; 建立继电保护状态评价体系和评价指标, 解决了多源信息融合技术在继电保护状态评价中的关键技术问题; 建立继电保护状态评价及其在设备全寿命周期管理应用的功能模型和结构模型, 确定了继电保护状态评价方法。结合目前继电保护设备全寿命周期管理的现状, 有针对性地提出继电保护状态评价结果在设备全寿命周期管理过程中应用的解决思路, 并开发完成基于多源信息融合技术的继电保护状态检修系统, 应用于多家调度单位, 验证了所提方法的正确性和实用性。

关键词: 多源信息融合; 继电保护; 状态评价; 全寿命周期管理; 状态检修辅助决策系统

ABSTRACT: In order to accurately evaluate the health status of relay protection equipment and improve the management level of relay protection equipment, a relay protection status evaluation method based on multi-source information fusion technology was proposed, in which the technical characteristics of relay protection was fully considered. The evaluation system and index of relay protection were established. The key technical problems of the multi-source information fusion technology used in the state evaluation of relay protection, the function and structure model of state evaluation of relay protection and its application in the life cycle equipment management were solved. The state evaluation method of relay protection was established. Combining with the current situation of life cycle management of relay protection equipment, a solution to the application of relay protection status evaluation results in the process of equipment life cycle management

was put forward. A relay protection status maintenance system based on multi-source information fusion technology was developed, being applied to many dispatching units. The correctness and practicability of this method was verified.

KEY WORDS: multi-source information fusion; relay protection; state evaluation; life cycle management; condition maintenance decision system

0 引言

随着电网规模的迅速扩大和各项技术的飞速发展, 对继电保护专业管理工作的规范化、精益化要求越来越高, 需要不断地加强对保护设备从规划、设计、采购、建设、运行维护、检修、技改、报废退役等全寿命周期过程管理。目前, 我国继电保护设备的全寿命周期管理还处于起步发展阶段, 对全寿命周期各个流程节点的决策管理还主要以经验决策手段为主, 缺乏科学有效的评价指标体系和管理决策方法, 不同部门、不同业务流程之间在管理体制和管理方法上还存在信息壁垒, 不能实现信息共享和综合决策^[1]。

继电保护的健康状态是影响设备全寿命周期管理主要流程环节的关键指标依据, 所以开展继电保护状态评价技术研究是提升保护专业管理水平的基石。继电保护的状态评价需要依据设备的设计原理、运行工况、运维和检修数据、缺陷和动作信息、运行维护信息、设备运行历史信息等

各类综合状态信息,依据规程标准、运行经验、设备厂家技术指标等判据,采用合适的算法,对设备的状态信息进行综合量化分析,从而判断评价设备的真实健康状态。保护设备状态评价信息来自于不同部门,具有不同的时间维度,源自不同的信息采集手段,如何科学有效地筛选过滤和融合这些信息资源,采用恰当的信息融合方法对保护设备开展科学准确地状态评价,获得保护设备的真实健康状态,是本文研究的关键技术。通过对多源信息融合技术的研究,可以看出多源信息融合技术在继电保护状态评价中的有很多应用的契合点。

为解决继电保护设备的全寿命周期管理还不能实现信息共享和综合决策得问题,本文开展了基于多源信息融合(multi source information fusion, MIF)技术的继电保护状态评价技术研究,并结合目前我国继电保护全寿命周期管理的现状,将状态评价结果应用于继电保护设备的全寿命周期管理主要流程环节中,通过量化的评价指标和精益化的评价模型的应用,达到提升继电保护专业管理水平的目的,可为继电保护工作提供参考。

1 多源信息融合技术简介

多源信息融合技术是近年来新兴起的一门边缘学科,已经被广泛应用于很多领域,比如:目标跟踪、情报分析、军事指挥、图像处理、工业控制、环境监测、智能系统设计等。总体来说, MIF 是一种多层次、多方面的数据处理过程,对来自多个信息源的数据进行自动检测、关联、相关、估计及组合等处理,并且利用各种有效方法把不同来源、不同时间点的信息自动或半自动地转换成一种能为人类或自动的决策提供有效支持的表示形式。MIF 的信息融合模型主要包括功能模型、结构模型、过程模型和数学模型等,前 3 类模型密切相关,可统称为信息融合模型,而数学模型是指各种信息融合方法^[2]。

人们已提出了多种信息融合模型,其中最典型的 JDL 模型如图 1^[3-5]所示。图 1 中 JDL 模型各级功能的定义如下。

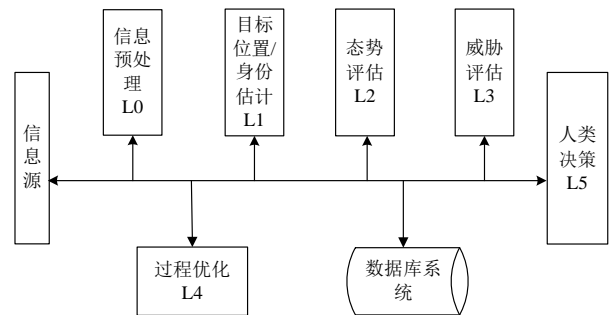


图 1 JDL 信息融合模型

Fig. 1 JDL information fusion model

1) 第 L0 级数据预处理:在信号级数据关联的基础上,估计和预测信号/目标的可观测状态。

2) 第 L1 级目标评估:在数据关联、连续或离散状态估计的基础上,估计和预测实体状态。

3) 第 L2 级态势评估:估计和预测实体间的关系。

4) 第 L3 级威胁评估:估计和预测参与实体的行动态势所产生的效果。

5) 第 L4 级过程优化(资源管理的一个要素):自适应地获取和处理数据,以支持目标感知。

6) 第 L5 级人类决策(知识管理的一个要素):针对不同用户自适应地检索与显示数据,以支持认知决策和行动。

MIF 的结构模型常按数据处理的层次和融合的位置进行划分。按照数据处理层次, MIF 结构模型通常分为 3 层融合结构:数据层信息融合、特征层信息融合和决策层信息融合。数据层信息融合是直接采集到的原始数据层上进行的融合,在各种传感器的原始测报未经预处理之前就进行数据的综合和分析,是最低层次的融合;特征层融合属于中间层次,它先对来自传感器的原始信息进行特征提取,然后对特征信息进行综合分析;决策层融合是 3 级融合的最终结果,是直接针对具体决策目标的融合结果,直接影响决策水平。

按照融合的结构类型, MIF 可以分为中心式融合结构和无中心融合结构,中心式融合结构又分为集中式融合结构、分布式融合结构和混合式融合结构 3 类。常用的信息融合方法主要有加权平均法、层次分析法、Bayes 方法、Kalman 滤波法等。

2 基于多源信息融合的继电保护状态评价技术研究

目前继电保护状态评价技术多以专家评判模型为支撑，在对继电保护运行经验和规律进行统计分析的基础上，通过专家讨论制定一系列的状态评分条例，继电保护工作者根据一定的评价周期，参照评分条例对设备的运行状态进行评分，并根据不同的专家评判分析模型对设备状态做出判断^[5]。现有的评价指标以及评价方法都存在一定弊端，亟需寻找更加科学合理的继电保护状态评价技术和方法。通过对多源信息融合技术及继电保护状态评价技术的研究，本文认为继电保护状态评价所需的评价指标来自于不同的时间和空间维度，取自多个不同的信息源，对每个指标的数据信息处理和评价方法也各不相同，所以对继电保护开展状态评价是多源信息融合技术的典型应用场景。

基于多源信息融合的继电保护状态评价有以下几个关键的技术问题需要解决：

1) 继电保护状态评价体系、评价指标的建立及评价方法的选择；

2) 建立基于多源信息融合的继电保护状态评价技术的功能模型；

3) 确定基于多源信息融合的继电保护状态技术的结构模型。

2.1 继电保护状态评价体系、指标及方法

继电保护设备与电网一次设备状态评价有所不同，首先，一次设备本身的设备检测手段比较丰富，一次设备发生故障前通常都会有趋势性的变化，因此可以主要通过对一次设备的现场运行状态量检测值判断设备的健康状态。而保护设备本身是由大量的电子元器件组成，电子元器件的可靠性直接影响了继电保护装置的可靠性，所以对保护设备的状态评价要充分考虑电子元器件的失效特点和失效模式，并不能简单依据运行检测状态量来判断设备健康状态。电子元器件的失效特点为：破坏性失效与老化性失效共存，元器件可能存在固有缺陷，失效检测较为困难。其次，继电保护的工作不是依靠单个的设备，而是一个

单元或者系统，通常是由以下 5 个部分组成一个串联系统模型：装置本体、通道部分、通讯部分、交流回路、直流控制回路，对继电保护开展状态评价必须要充分考虑每个部分的工作原理和失效模式，进行综合评价。综上所述，在依据继电保护的构成特性及运行特点的基础上，结合目前的监测、运维手段技术现状，确定了以继电保护装置及其二次回路为评价单位的评价结构体系及评价指标模型^[6-8]。根据继电保护装置及二次回路的结构体系以及评价结果的具体应用需求，选取以下 4 类指标进行继电保护系统状态评价，每类指标又包含不同的评价状态量^[9-13]。

1) 检测型状态量。检测型状态量是指利用不停运的检查、巡视、巡检、在线监测信息等，通过观测或仪器检测继电保护系统状态量的变化，反映有效环境或装置性能劣化的情况。

2) 可靠性状态。利用统计学原理，通过继电保护系统运行中积累的统计数据以及制造厂家提供的设备参数，反映相同家族型号的继电保护装置系统中的薄弱环节，对相对品质较差的部件进行预防性更换，可以进一步提高保护系统的可靠性。

3) 失效风险状态量。通过经受完整停运检查或者正确动作时间的长短，反映保护系统的可靠度指标，当可靠度指标不满足要求时，适时对保护系统进行停运检修。

4) 改进型状态量。综合反映设备运行年限、设备消缺情况及反措执行情况等综合因素对设备运行状态的影响。

基于前述各类评价指标的确立，采取层次分析法，建立继电保护状态评价体系，如图 2 所示。

2.2 基于 MIF 的继电保护状态评价及应用的功能和结构模型研究

本文研究的最终目标是科学合理地对继电保护设备开展状态评价，并将评价结果应用于保护设备的全寿命周期管理中，围绕这个目标构建基于 MIF 的功能模型和结构模型，是将 MIF 应用于继电保护状态评价的首要任务。

实现上述需求目标主要包含如下 5 个实现步骤：状态检测和收集；信息融合和处理；设

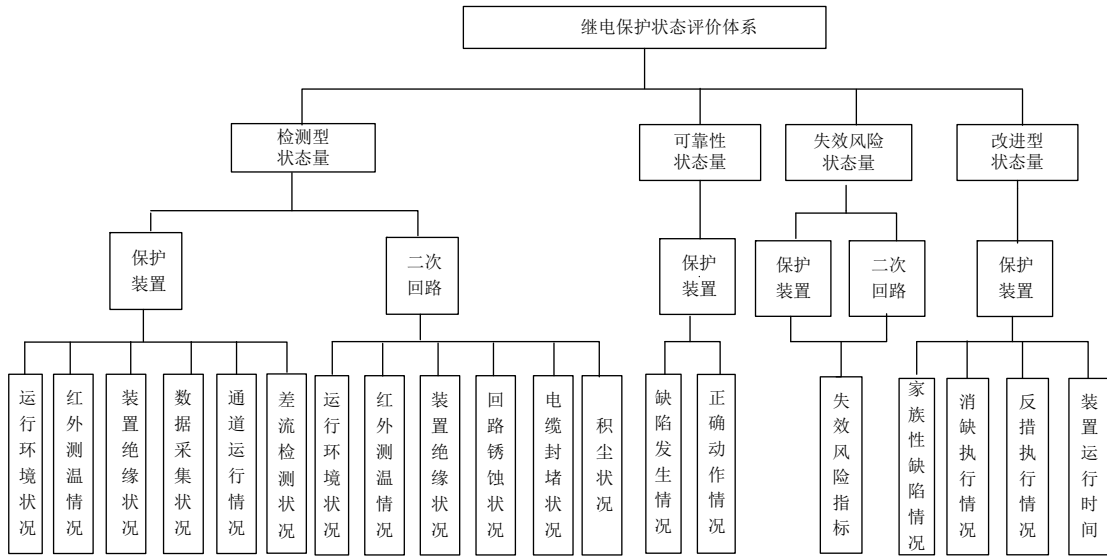


图 2 继电保护状态评价体系结构图

Fig. 2 Structure diagram of relay protection state evaluation system

备状态评价；设备健康状态的诊断；全寿命周期管理应用。结合 MIF 功能模型中的 JDL 模型，搭建基于多源信息融合技术的继电保护状态评价及在设备全寿命周期管理应用的功能模型如图 3 所示^[9]。

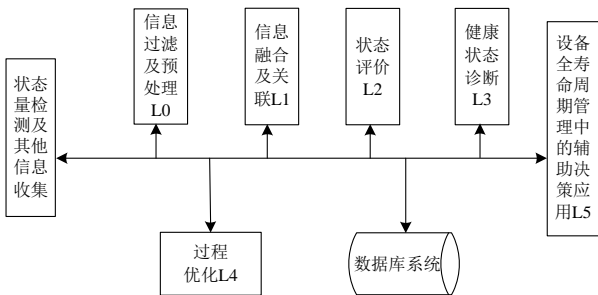


图 3 继电保护状态评价的 MIF 功能模型图

Fig. 3 MIF function model diagram of relay protection state evaluation

图 3 对应到 JDL 模型的继电保护状态评价及应用的功能模型各级功能如下。

1) L0 级：获取设备台账信息、检测型状态量的信息、缺陷、动作、反措等可靠性状态数据、生产厂家、家族型号等各类数据源信息，并对数据源信息进行过滤，过滤挑选出与状态评价相关的信息存入继电保护状态检修辅助决策系统的数据库中。

2) L1 级：对各类预处理后的数据根据状态检修业务需求进行数据融合及数据关联的处理，将不同类型的数据按照面向对象的原则进行数据关联处理。

3) L2 级：利用评价体系和评价算法对继电保护设备进行状态评价。

4) L3 级：根据状态评价结果对设备进行健康状态的诊断。

5) L4 级：对前面 4 级过程节点进行优化。

6) L5 级：将状态评价和设备健康状态的诊断结果应用于保护设备全寿命周期管理不同应用节点的辅助决策过程中。

结合继电保护保状态评价及其辅助决策应用的业务特点，确定继电保护状态评价及应用所采用的 MIF 结构模型为分布式融合结构，MIF 结构模型如图 4 所示。

根据继电保护状态评价的业务流程特点，将保护设备及其二次回路的信息收集、信息过滤和融合、状态评价等工作分散在各个班组进行，最后将所有保护装置的缺陷信息、动作信息和状态评价结果都汇总至调度中心，进行全网范围内综合统计分析，针对设备全寿命周期管理的不同应用节点提取出不同的特征向量，并结合专家知识库，为保护专业管理提供辅助决策建议。

2.3 基于多源信息融合的继电保护状态评价方法研究

层次分析法是一种对评价对象进行一种综合性、定量相结合的分析方法，用于解决多因素复杂系统。层次分析法的基本思路是先分解后综合的系统思想，即首先将所要分析评价的问题层

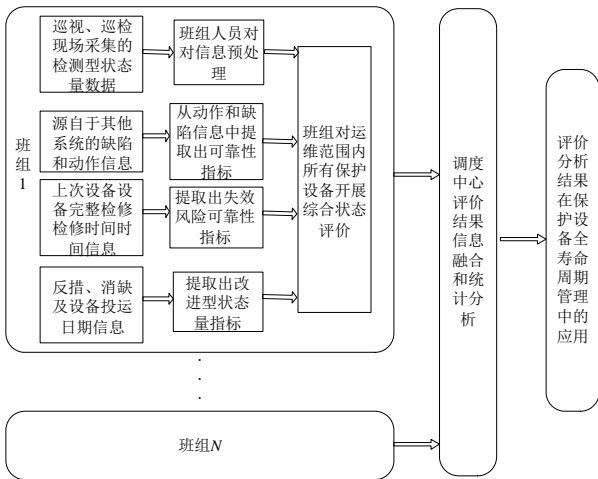


图 4 继电保护状态评价的 MIF 结构模型图

Fig. 4 MIF function structure diagram of relay protection state evaluation

次化，根据问题的性质和要达到的总目标，将问题分解为不同的组成因素，按照因素间的相互关系和隶属关系，将因素按照不同的层次聚类组合，形成一个多层分析结构模型，最终归结为最低层指标相对于最高层相对重要程度的权值，并整理和综合人们的主观判断，使定性分析与定量分析有机结合，实现量化决策。如图 2 所示，本文利用层次分析法的基本思想，构建了继电保护状态评价体系，结合继电保护装置的特性，确定了继电保护状态评价指标，采用层次分析法对保护设备开展状态评价。但考虑到继电保护状态评价的特点，以及实际现场采集技术和手段的限制，对各个层次评价指标权重的确定上，并不能完全按照层次分析法构造对比矩阵的方法来确定，结合继电保护状态评价的技术特点对不同的指标采用不同的具体方法。对于检测型状态量，考虑到保护系统的串联模型，为保守起见，选取保护装置和二次回路中得分少的，作为单个评价单元的检测型状态量得分，如表 1 所示。

3 状态评价在保护设备全寿命周期管理中的应用技术研究

根据继电保护设备全寿命周期管理的各个阶段业务需求，将保护设备全寿命周期管理分为 3 个阶段：设备前期管理阶段、设备运行管理阶段和设备退役阶段。将基于多源信息融合的数据挖

表 1 继电保护状态评价权重表

Tab. 1 The table of relay protection status evaluation weight

状态量类型	类型 权重/%	评价对象	评价指标	指标 权重/%
检测型 状态量	30	保护装置	运行环境状况	10
			红外测温情况	20
			数据采集状况	20
			装置绝缘状况	20
			通道运行状况	15
		二次回路	差流检测状况	15
			运行环境状况	10
			红外测温情况	20
			装置绝缘状况	20
			回路锈蚀状况	20
可靠性 状态量	20	保护装置	缺陷发生情况	60
			正确动作情况	40
		保护装置	上次检修时间及二次回路或者正确动作时间	100
			家族性缺陷	40
			设备消缺情况	15
			反措执行情况	15
改进型 状态量	30	保护装置	设备运行年限	30

掘和状态评价分析结果充分应用于这 3 个阶段的管理过程中，为技术指导和管理决策提供依据。继电保护数据挖掘和状态评价在设备全寿命周期管理中的应用如图 5 所示。

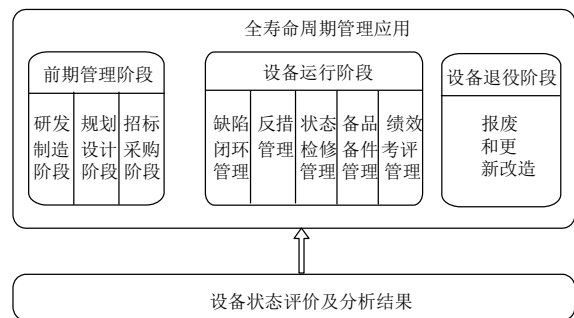


图 5 继电保护状态评价在设备全寿命周期管理应用图

Fig. 5 Application diagram of relay protection state evaluation in equipment life cycle management status evaluation result

3.1 设备前期管理阶段

在设备研发制造阶段，基于全网范围的缺陷、

动作、家族性缺陷等分析结果对生产厂家进行技术监督和指导,提升继电保护设备本身的可靠性水平。

在规划、设计阶段,基于缺陷和事故分析结果指导改进设计方案,严把规划设计关,确保技术标准、反措要求有效落实,建立运行动态反馈机制,及时完善通用设计。

在设备采购阶段,基于缺陷和动作分析基础,加强和在设备招标管理中,基于全网设备状态评价和数据分析结果发布技术评分标准,为设备选型提供依据,严把设备选型关,强化入网检测管理,建立运行质量评价和物资招标闭环机制,确保设备质量。

3.2 设备运行阶段

基于保护设备健康状态评价结果,为继电保护检修策略和检修计划的制定提供辅助决策建议,开展继电保护状态检修。

基于全网范围构建缺陷原因分析及处理的专家知识库,指导设备消缺,提供缺陷预防措施,实现对家族性缺陷的管理。

基于缺陷、动作的分析结果,为反措要求的下达提供依据,对反措执行实现监督管理。

基于缺陷原因的细化分析,为保护备品

备件提供依据,规范备品备件管理,满足运行需要。

从专业管理的角度,基于继电保护的数据分析和状态评价结果,从多方面开展继电保护专业的绩效考核管理和同业对标管理;为大修技改项目的立项提供依据;完善设备运维考评机制,提升设备可靠运行水平^[14]。

3.3 设备退役管理阶段

根据状态评价的结果为设备的报废、更新改造提供依据。

在研究过程中,结合目前继电保护专业管理的现状,首先选择亟需解决的全寿命周期管理应用功能点之一“继电保护状态检修”进行了深入的应用技术研究和系统开发及现场应用。基于前述多源信息融合技术开发完成了国、分、省全网一体化的继电保护状态检修辅助决策系统,实现了保护设备在省级由运维单位分布式信息采集和评价,然后将评价结果逐级上报至各级调度单位进行汇总分析和综合应用,最终实现全网 220 kV 及以上常规变电站微机型保护设备检修模式由定检模式向状态检修模式的转换,极大提高了保护专业管理水平,获得了可观的经济效益和社会效益。系统的总体部署模式如图 6 所示。

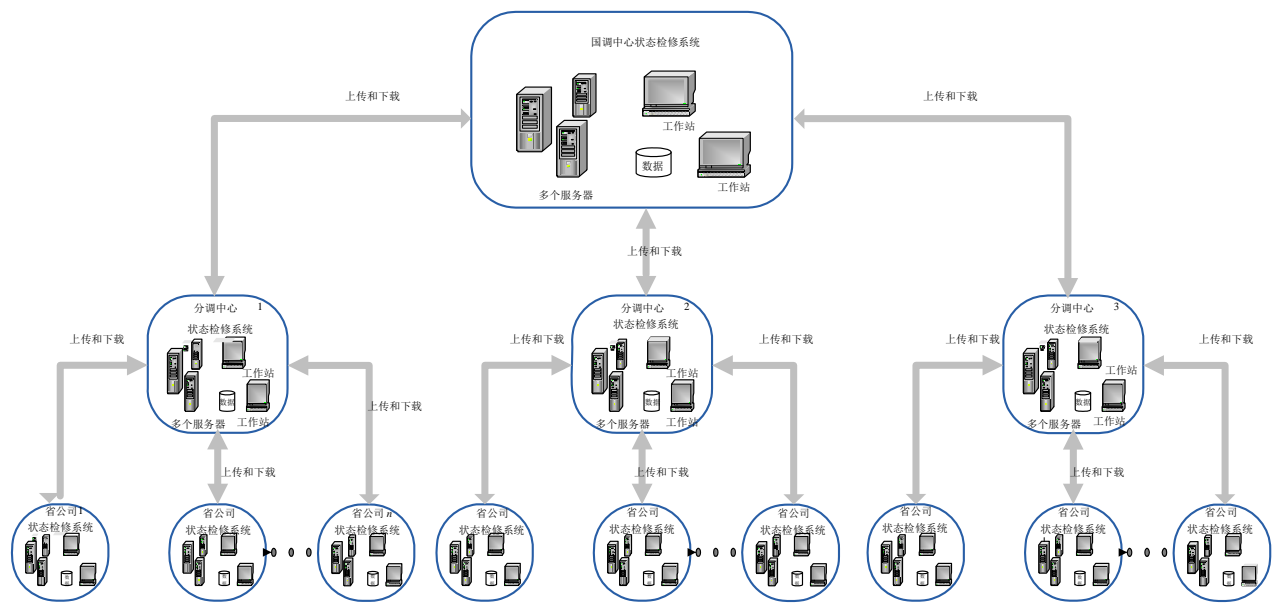


图 6 继电保护状态检修系统 3 级分布式部署模式

Fig. 6 The deployment mode diagram of relay protection condition maintenance decision system used in the three-level dispatching center

4 结论

基于多源信息融合技术的继电保护状态评价关键技术及方法已经在继电保护状态检修辅助决策系统的开发中得到了应用, 实践证明, 基于所述方法开发的继电保护状态检修辅助决策系统评价方法科学合理, 评价分析结果准确, 能够为继电保护状态检修业务提供辅助决策建议。通过该应用证明了该研究方法的先进性及实用性, 为该方法在其他业务中的推广应用奠定了良好的基础, 但受限于目前继电保护专业管理模式的限制, 所提到的继电保护状态评价结果在设备全寿命周期管理中的其他应用功能点尚未得到实际应用, 后续随着管理模式的不断改进, 期待文中所述方法将会在保护设备全寿命周期管理的其他环节中得到广泛的应用。

参考文献

- [1] 潘巍巍, 方旭初, 吴国威, 等. 电网资产全寿命周期过程性管理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社.
- [2] 李明. 多源信息融合技术发展简述[J]. 舰船电子工程, 2017, 37(6): 5-9.
- [3] 陈科文, 张祖平, 龙军. 多源信息融合关键问题研究进展与新动向[J]. 计算机科学, 2013, 40(8): 6-11.
- [4] 侯艾君. 继电保护状态评价方法及其在检修决策中的应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [5] 曾克娥. 电力系统继电保护装置运行可靠性指标探讨[J]. 电网技术, 2004, 28(14): 83-85.
- [6] 曹建东, 吴姜, 蔡泽祥, 等. 电力系统二次设备状态参量模型的构建[J]. 南方电网技术, 2012, 6(3): 107-110.
- [7] 梁永亮, 李可军, 牛林, 等. 变压器状态评估多层次不确定模型[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(22): 73-77.
- [8] 熊小伏, 陈星田, 郑昌圣, 等. 继电保护系统状态评价研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 51-56.
- [9] 荣经国, 郑玲. 多源信息融合技术在变压器故障诊断中的应用[J]. 电力科学与工程, 2013, 29(11): 21-25.
- [10] 国家电网公司. 继电保护状态检修导则: Q/GDW 1806—2013 [S]. 北京: 国家电网公司, 2013.
- [11] 王献林, 吕飞鹏. 继电保护可靠性及其状态检修方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(9): 65-69.
- [12] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 继电保护相关二次回路的在线状态检测技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(23): 107-111.
- [13] 高翔. 继电保护状态检修应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [14] 杨国生. 以技术带动继电保护全寿命周期管理提升[N]. 中国电力报, 2014-01-21(2).

收稿日期: 2018-10-31.

作者简介:



王丽敏

王丽敏(1972), 女, 硕士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护相关技术及软件开发, wanglm@epri.sgcc.com.cn;

杨国生(1977), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;

詹荣荣(1978), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;

王文焕(1984), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护;

李妍霏(1988), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护相关技术及软件开发。

(责任编辑 辛培裕)