

DOI: 10.7667/PSPC180333

电网调控自动化系统运行状态在线监视与智能诊断研究及应用

任晓辉

(国网福建电力调度控制中心, 福建 福州 350001)

摘要: 针对智能电网调度控制自动化系统安全稳定运行需求, 提出了智能电网调度控制自动化系统运行状态在线监视与智能诊断平台技术方案。并对其中的状态信息采集、系统健康评估、系统故障分析与定位等关键技术给出了具体的解决方案。该方案已经在调控中心试点应用。实践表明, 该方案能够实现智能电网调度控制自动化系统运行状态的实时监视、评价、预警及故障的提前感知, 提高系统的运行维护管理水平, 保障系统的稳定运行, 从而保障电网的安全稳定运行。

关键词: 运行状态在线监视; 故障分析; 健康评价; 调控自动化系统

Research and application of operating states of grid dispatching and control system

REN Xiaohui

(Fujian Electric Power Dispatching and Control Center, Fuzhou 350001, China)

Abstract: According to the demand of stable operation for smart grid dispatching and control system, online monitoring and intelligent diagnostic platform technology scheme for operating states of smart grid dispatching and control system is proposed. And specific solutions are provided to such key technologies as the states information acquisition, system health evaluation, system failure analysis and positioning, etc. The scheme has been pilot applied in the control center. Practice shows that it is capable of achieving operating states monitoring, evaluation, early warning and failure precognition of grid dispatching and control system. The scheme has improved the level of maintenance and management to ensure the stable operation of the system, as well as guaranteeing the safety and stability of the grid.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 5442DZ160031).

Key words: operating states online monitoring; failure analysis; system health evaluation; grid dispatching and control system

0 引言

智能电网调度控制自动化系统(简称电网调控自动化系统)是电网运行控制和调度生产管理的重要技术支撑手段, 在保障电网安全稳定运行方面发挥了巨大的作用^[1-3]。随着电网规模的日益扩大和复杂程度的不断增加, 电网运行特性日趋复杂, 驾驭大型电网的难度也越来越大。为了适应电网发展与运行要求, 电网调控自动化技术也取得了长足的进步, 系统也相应变的非常庞大和复杂。如何保障电网调控自动化系统的稳定运行^[4-5], 从而保障电网安

全稳定运行, 是电力系统自动化专业面临的新挑战。长期以来, 对电网调控自动化系统的运行监视^[6-21]主要依靠人工及简单的值班告警。这种监视手段无法对电网调控自动化系统进行全面的监视、分析、故障诊断和状态预警, 运行维护管理人员也无法对调控自动化系统的运行状态有整体的认知, 经常由于系统的运行维护不及时而导致电网运行故障。因此, 迫切需要研究电网调控自动化系统状态在线监视与智能诊断技术, 保障电网调控自动化系统稳定运行, 从而保障电网安全稳定运行。

文献[1]回顾了电网调控自动化技术发展历史及未来展望, 为本文的系统架构设计提供了重要的参考依据。文献[2]介绍了一种消息总线的设计与实

现,是本文平台设计的重要参考。文献[3]从调控自动化的角度,研究了变电站集中监控的技术方案,是本文变电站设备信息采集方案的重要参考依据。文献[5-21]分别从二次设备监视、安全管控等方面为本文提供了重要的参考。本文提出了电网调控自动化系统运行状态在线监视与智能诊断平台的技术方案,并对其中的状态信息采集、系统健康评估、系统故障分析与定位等关键技术给出了具体解决方案。利用该方案能够实现调控自动化系统运行状态的评价、预警及故障的提前感知,提高系统的运行维护管理水平,保障系统的稳定运行,从而保障电网的安全稳定运行。

1 总体架构

电网调控自动化系统运行状态在线监视与智能诊断平台(简称二次设备监管平台)架构如图1所示。平台由数据采集管理、在线监视管理、高级应用管理以及可视化展示四部分组成。数据采集负责实时采集主站端系统、调度数据网系统以及变电站端系统等数据,通过该平台的数据传输总线上传到在线监视管理模块,实现对所有采集指标的实时监视。在线监视管理模块实现了对所有监视指标的分类存储和异常告警的实时推送,能够及时发现系统存在的隐患。告警功能管理主要分为系统健康状况评价、系统故障综合分析以及系统故障智能预判三个部分,能够提高系统的缺陷分析效率和缺陷预测能力。可视化展示模块能够实现对所有应用功能完全统一呈现,提供图形化的管理界面,统一的用户认证和登陆界面。展示的内容主要包括系统运行状态全景监控、告警信息实时展示、故障诊断结果展示和设备健康状态评价等。



图1 二次设备监管平台架构

Fig. 1 Architecture of secondary equipment supervision platform

2 关键技术

2.1 状态数据采集

电网调控自动化系统全方位的运行信息从运行维护管理角度主要分为四类:主站系统、子站系统、安全防护设备以及调度数据网设备等。主站系统的主要监视对象为主调控自动化系统和备用调控自动化系统,并且每个监视对象又可以详细分为机房环境、硬件状态和软件状态。子站系统的监视对象分为常规站和智能站,每个站中的详细监视对象又可以分为监控主机、交换机、时间同步装置、相量测量装置(Phasor Measurement Unit, PUM)集中器装置以及不间断电源(Uninterrupted Power Supply, UPS)、直流电源装置等;安防设备的监视对象主要分为通用安防设备和专用安防设备;调度数据网的监视对象主要分为网络设备和链路信息。主站系统的信息指标采集方式主要有三种:其中属于主站系统的网络设备通过简单网络管理协议(Simple Network Management Protocol, SNMP)协议进行采集;硬件和软件信息通过部署代理程序的方式进行采集;机房环境信息则是通过机房管理系统提供的第三方接口进行采集。子站系统的信息指标采集主要通过站在站端部署可视化运行维护子站进行采集,通过通用服务协议上送到主站的汇聚服务器;安全防护设备信息是通过内网安全监视平台提供的第三方接口进行采集;调度数据网中的网络设备和链路信息则是通过网络设备管理平台提供的第三方接口进行采集。

2.2 健康评价

2.2.1 评价体系

健康评价是将电网调控自动化系统当前运行情况(包括硬件和软件的资源利用)、告警情况等因素作为参数项进行综合考虑,将其通过算法计算得出量化结果,用以反映整个系统以及各个部分运行情况的评价方法。

在对电网调控自动化系统的业务逻辑进行梳理的基础上,将健康评价体系分为三层,第一层为电网调控自动化系统总健康度,而总体健康度又细分为第二层和第三层的健康度,具体层次如图2所示。其中第三层的每个评价指标都由若干个具体的采集状态量组成,例如服务器的健康度由中央处理机(Central Processing Unit, CPU)使用率、内存使用率、网络流量、磁盘使用率等指标组成。硬件健康度是指电网调控自动化系统中相关硬件的运行整体状态,主要由相关的服务器、网络设备、存储设备等组成。基础平台健康度由服务总线、消息总线、公共服务、历史数据库以及实时数据库健康度组成。

应用健康度由属于调控自动化系统的各类应用组成，分别是公共服务、数据采集应用及 SCADA 应用等。数据质量健康度是指调控自动化系统中关键业务数据的健康状态，具体包括：重要量测数据的不刷新、越限、跳变、状态估计合格率等。

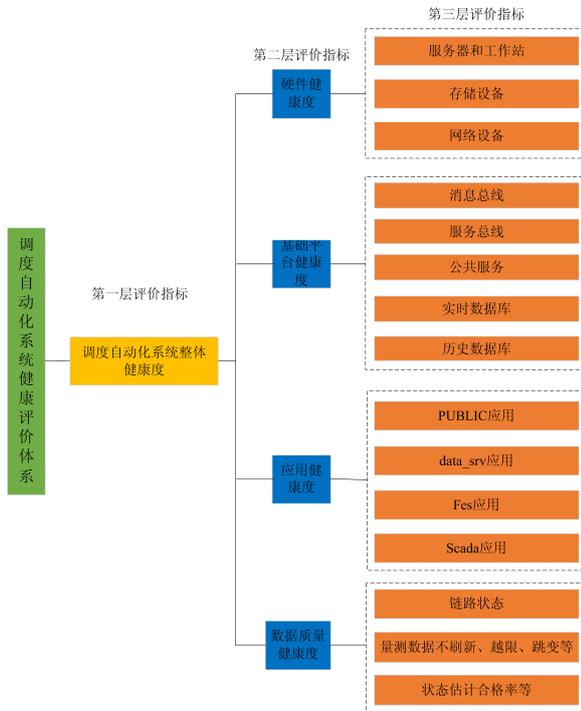


图 2 健康评价体系

Fig. 2 Health evaluation system

2.2.2 评价方法

系统健康度评价方法首先对最底层的指标进行评价，然后依据专家经验给出的指标权重进行加权求和，计算出第三层的健康度，并逐层向上进行评价，直至计算出系统的整体健康度。以硬件健康度为例，评价流程如图 3 所示。

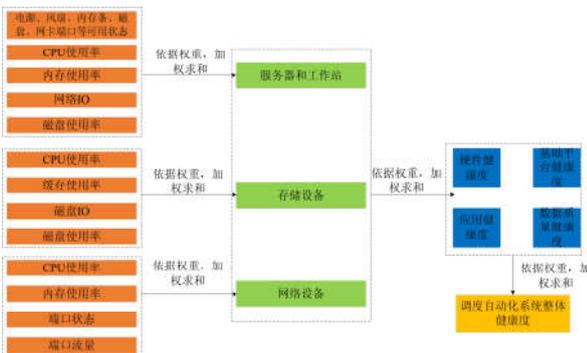


图 3 硬件健康度评价流程

Fig. 3 Hardware health evaluation process

指标评价状态量有两类，二值型和数值型，二

值型的分数为 0 或 100，对应的指标为异常或正常，如实时数据库表结构的正确性和一致性；数值型的分数为 0~100 的数值，通过分段函数将指标与健康度相对应，如 CPU 利用率等。

2.3 故障分析

2.3.1 故障检测

电网调控自动化系统的故障诊断和定位主要分为三个方面，即故障检测、故障诊断以及故障定位。故障检测主要实现在系统运行过程中已经出现但值班员或运行维护人员却难以发现的较复杂的业务故障进行发现和告警，进而提醒运行维护人员尽快处理故障；故障诊断则是主要实现对已经发现的故障进行初步分析、判断、标注和分类，为后续的故障定位做准备；故障定位是依据故障诊断判断出故障类型，结合调控自动化系统的业务拓扑关系，实现对故障最终的定位和确认。调控自动化系统业务繁多，逻辑层级关系复杂，因此状态数据采集具有数量庞大、关联关系较多和动态更新较快等特点。因此，故障检测使用孤立森林算法，该算法具有数据利用率高、模型构建迅速和学习策略准确度高等特点。该算法通过业务相关进程的实时资源占用数据，对电网调控自动化系统的业务运行异常状态进行检测，详细流程如图 4 所示。

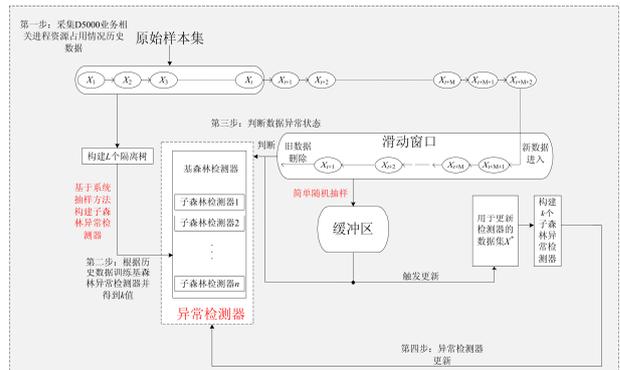


图 4 故障检测流程

Fig. 4 Fault detection process

故障检测具体步骤如下：1) 对系统运行过程中产生的业务相关进程的资源占用历史数据进行采集；2) 根据历史数据，运用孤立森林异常检测算法对告警阈值 k 进行训练，建立初始异常检测模型；3) 采集业务相关进程的实时资源占用信息，将该信息实时输入异常检测模型中，经过模型检测后得出该时刻系统状态分数，分数取值范围为(0, 1)，其中(0, k)范围内的分数表示系统处于正常状态，(k , 1)范围内的分数表示系统此时出现异常；4) 对已完成检测的实时数据进行抽样，当积累的抽样数据满足

异常检测模型更新条件后,对异常检测模型进行更新,使异常检测模型与系统的运行状态保持匹配,对异常检测模型的性能进行优化。

2.3.2 故障诊断

故障诊断方法是依据故障检测功能检测出的电网调控自动化系统的异常状态,对这些异常状态发生时的实时数据进行人工处理,标注该时刻系统发生的故障类型,系统的故障类型可能只有一种,也可能有多种;通过异常检测系统的运行,收集并标注多种故障类型的异常数据(每种故障类型需要100条左右);基于多种故障类型的异常数据,通过分类器算法训练与测试,建立故障分类模型,区分不同故障类型,完成异常诊断系统,实现自动判断系统出现异常状态时产生的故障类型。

2.3.3 故障定位

故障定位功能综合考虑电网调控自动化系统的业务逻辑拓扑、告警先后时间等因素,定位源头异常。具体步骤如下:1)读取数据库中业务逻辑映射表和进程信息表,获得数据库中一段时间内的告警信息。2)根据业务信息将告警进程按业务类型进行分类。3)针对单业务告警,按业务内进程号确定故障源进程,针对多业务告警,在单业务内定位到告警源进程之后,根据约束关系定位到最终故障源进程。对于需要引入约束关系的多业务告警,定位逻辑如下:(1)节点硬件资源类型异常。根据业务源头告警进程所在的节点号,将该节点上所有占用该资源类型的进程都关联起来。由资源约束关系,确定引起节点硬件资源占用异常的原始进程。(2)系统软件资源占用类型异常。根据软件资源占用情况映射表,按照软件资源类型分类,把共享故障相关软件资源的所有进程关联起来。根据软件资源占用情况确定引起软件资源占用异常的原始进程。(3)数据库类型异常。根据数据库操作映射表按数据库、表类型进行分类。把对同一数据库进行操作的所有进程关联起来,根据数据库操作情况判断是否存在数据库相关的异常以及数据库实时数据是否异常。(4)业务逻辑类型异常。如果所有报警进程都属于同一进程且非上述三种类型异常,可初步判断为业务逻辑类型异常。根据业务功能实现的逻辑拓扑映射表,确定引发逻辑异常的进程。

3 示范应用

电网调控自动化系统运行状态监视与智能诊断平台于2017年5月在福建电力调度控制中心投入使用。该系统部署在安全III区,具体部署如图5所示。该平台将所有采集的运行状态信息保存到三区的独

立服务器。一区、二区、备调以及云平台的所有设备状态信息都是以管理网内的主备服务器作为数据汇聚节点,然后穿过正向隔离设备将数据汇聚到三区的数据存储服务器。在各个分区内,服务器和工作站的软硬件信息通过部署采集代理程序的方式进行采集,通过TCP/IP协议传输到该区的汇聚节点;网络设备的状态信息是通过在汇聚节点部署采集程序,通过SNMP协议进行获取;机房管理系统和内网安全监视平台都是部署在安全二区,机房环境信息和安防设备信息则是通过第三方接口的方式,由二区的汇聚节点进行采集。

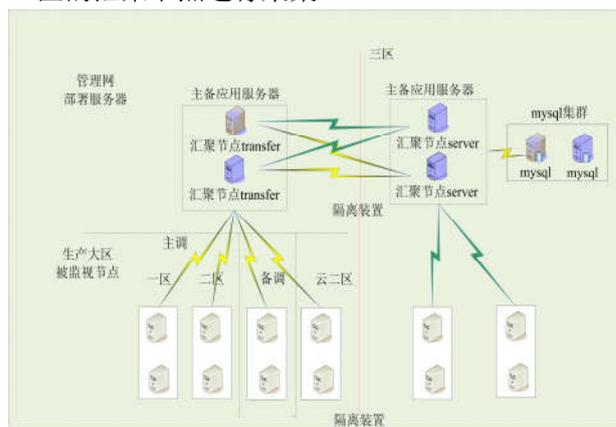


图5 在线监视与智能诊断平台部署架构

Fig. 5 Deployment architecture of online monitoring and intelligent diagnostic platform

目前该平台监视的范围主要包括主站机房内的所有服务器和工作站、存储设备、网络设备、安防设备以及机房动力环境设备的硬件状态和软件状态,自动化值班和专业运行维护人员可以通过WEB访问的方式查看所有自动化设备的运行状态。该平台自投入使用以来,预警安全三区的OMS系统中纵向网关机磁盘空间占满异常三次,快速定位三区的磁盘阵列电源故障一次,实时告警安全I区SCADA应用关键进程缺陷二次。通过健康度评价结果多次发现系统潜在问题,指导系统运行维护工作,保证了智能电网的安全稳定运行,有力推动了电网调控自动化系统7×24安全稳定运行目标的实现。

福建电网调控自动化系统运行状态监视与智能诊断平台的运行实践表明,该平台保障了福建电网调控自动化系统安全稳定运行。系统运行值班人员可以通过该平台全面掌握电网调控自动化系统的整体运行状态,及时发现系统存在的告警和异常,及时处理系统隐患。系统专业运行维护人员通过该平台准确定位系统存在的故障点,快速分析故障,实现了对系统的精细化和专业化运行维护。

4 结语

实践证明电网调控自动化系统运行状态监视与智能诊断平台能够实现系统运行状态的监视、评价、预警及故障的提前感知,提高了系统的运行维护管理水平,保障了系统的稳定运行,从而保障了电网的安全稳定运行。本文仅限于电网调控自动化系统运行状态监视与诊断方面的研究,从整个二次设备监视的角度来看,还存在大量需进一步深化研究的地方:1)研究省地一体和主子站一体的自动化设备的协同监视体系,实现对主子站和各级调度二次设备的统一监视和管理。2)研究二次设备全寿命周期信息模型,实现覆盖规划设计、物资采购、工程建设、维护检修和退役报废五大环节的设备全生命周期管理体系。

参考文献

- [1] 辛耀中,石俊杰,周京阳,等.智能电网调度控制系统现状与技术展望[J].电力系统自动化,2015,39(1):2-8.
XIN Yaozhong, SHI Junjie, ZHOU Jingyang, et al. Technology development trends of smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 2-8.
- [2] 王恒,郭凌旭,武瑞龙,等.基于电力调度数据网的广域消息总线设计与实现[J].电力系统自动化,2017,41(15):100-106.
WANG Heng, GUO Lingxu, WU Ruilong, et al. Design and implementation of wide-area message bus based on electric power dispatching data network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(15): 100-106.
- [3] 金芬兰,王昊,范广民,等.智能电网调度控制系统的变电站集中监控功能设计[J].电力系统自动化,2015,39(1):241-247.
JIN Fenlan, WANG Hao, FAN Guangmin, et al. Design of centralized substation monitoring functions for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 241-247.
- [4] 金学成,孙炜,梁野,等.电力二次系统内网安全监视平台的设计和实现[J].电力系统自动化,2011,35(16):99-104.
JIN Xuecheng, SUN Wei, LIANG Ye, et al. Design and implementation of inner net security monitoring platform in power secondary systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(16): 99-104.
- [5] 曹志昆,章杜锡,董树锋,等.改进功能分解的二次系统风险评估方法[J].电网技术,2016,40(4):1265-1270.
CAO Zhikun, ZHANG Duxi, DONG Shufeng, et al. An improved method of secondary system risk assessment based on functional decomposition[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 1265-1270.
- [6] 李妍,车勇,单强,等.智能变电站二次系统在线监测评估的研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(10):66-70.
LI Yan, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 66-70.
- [7] 王力军,周凯,吴迪,等.基于风险传递网络的智能变电站二次系统风险评估[J].电力系统保护与控制,2018,46(6):97-105.
WANG Lijun, ZHOU Kai, WU Di, et al. Risk assessment for smart substation secondary system using risk transfer network model[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 97-105.
- [8] 李飞,褚罡,李芸,等.调控智能防误操作票系统及其应用研究[J].陕西电力,2015,43(8):30-33.
LI Fei, CHU Gang, LI Yun, et al. Application of anti-misoperation ticket in integrated dispatch and control system[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 43(8): 30-33.
- [9] 刘必雄,魏连,许榕生.基于Agent技术的多源日志采集系统的设计与实现[J].计算机系统应用,2008(2):71-74.
LIU Bixiong, WEI Lian, XU Rongsheng. Design and implementation of multi-source log collect system based on Agent technology[J]. Computer Systems and Applications, 2008(2): 71-74.
- [10] 王德文,阎春雨.变电站在线监测系统的一体化建模与模型维护[J].电力系统自动化,2013,37(23):78-82.
WANG Dewen, YAN Chunyu. Integrated model maintenance of on-line monitoring system in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(23): 78-82.
- [11] 杨欢红,姚建华,阮远峰,等.变电站综合自动化系统二次设备在线监测技术研究[J].华东电力,2014,42(7):

- 1381-1384.
YANG Huanhong, YAO Jianhua, RUAN Yuanfeng, et al. On-line monitoring technology for secondary equipment of substation integrated automation system[J]. East China Electric Power, 2014, 42(7): 1381-1384.
- [12] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.
- [13] 蔡骥然, 郑永康, 周振宇, 等. 智能变电站二次设备状态监测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 148-154.
CAI Jiran, ZHENG Yongkang, ZHOU Zhenyu, et al. A survey of research on secondary device condition monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 148-154.
- [14] 王月月, 陈民铀, 姜振超, 等. 基于云理论的智能变电站二次设备状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 71-77.
WANG Yueyue, CHEN Minyou, JIANG Zhenchao, et al. A state assessment method for secondary equipment in intelligent substation based on cloud model[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 71-77.
- [15] 张桦, 魏本刚, 李可军, 等. 基于变压器马尔可夫状态评估模型和熵权模糊评价方法的风险评估技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 134-140.
ZHANG Hua, WEI Bengang, LI Kejun, et al. Research on risk assessment technology based on Markov state evaluation model for power transformer and entropy-weighted fuzzy comprehensive evaluation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 134-140.
- [16] 陈少华, 马碧燕, 雷宇, 等. 综合定量计算继电保护系统可靠性[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(15): 111-115.
CHEN Shaohua, MA Biyan, LEI Yu, et al. Integrative and quantitative calculation of reliability for relay protection system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(15): 111-115.
- [17] 霍利民, 朱永利, 范高锋, 等. 一种基于贝叶斯网络的电力系统可靠性评估新方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(5): 36-40.
HUO Limin, ZHU Yongli, FAN Gaofeng, et al. A new method for reliability assessment of power system based on Bayesian networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(5): 36-40.
- [18] 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): 51-58.
XIONG Xiaofu, CHEN Xingtian, ZHENG Changsheng, et al. Overview of research on state evaluation of relaying protection system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 51-58.
- [19] 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.
ZENG Kee. Research on operation situation and reliability indices of protective relays in power system[J]. Power System Technology, 2004, 28(14): 83-85.
- [20] 宋人杰, 陈禹名. 基于变权系数的继电保护状态模糊综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 46-50.
SONG Renjie, CHEN Yuming. Fuzzy synthetic evaluation of relay protection based on variable weight value[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 46-50.
- [21] BAI Feifei, LIU Yong, LIU Yilu, et al. A measurement-based approach for power system instability early warning[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 17-25. DOI: 10.1186/s41601-016-0014-0.

收稿日期: 2018-03-26; 修回日期: 2018-04-19

作者简介:

任晓辉(1964—), 男, 工学学士, 高级工程师, 主要研究方向为电网调度与运行、系统运行、调控自动化、继电保护等。E-mail: 1102517160@qq.com

(编辑 周金梅)