

变电站保护装置状态监测的优化和异常处置

余骏阳,李继尧,李辉,宋麟飞,李飞鹏,蒋枝
(国网四川省电力公司检修公司,四川成都 610042)

摘要:随着变电站二次系统的不断发展,对于二次设备状态,特别是继电保护装置状态的监测越发重要。基于采集保护装置自身各类信号形成的站端和主站状态监测系统已经全面推广,但由于监测规模和信号数量的不断膨胀,对保护装置的状态监测呈现复杂化、无序化的趋势,运维人员也难以高效排查处置保护装置异常。文中首先多角度分析了现有站端保护装置监测系统的优缺点,进而从现场实际出发提出优化保护装置状态监测的方案。在优化状态监测信号以及显示的同时,结合实际运行维护经验,提出并讨论了发现、处置、报送保护装置异常的标准流程。

关键词:变电站;保护装置;状态监测

中图分类号:TM 77 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)01-0081-06

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220118

Optimization and Abnormal Disposal of Condition Monitoring for Substation Protection Device

YU Junyang, LI Jiyao, LI Hui, SONG Linfei, LI Feipeng, JIANG Zhi
(State Grid Sichuan Maintenance Company, Chengdu 610042, Sichuan, China)

Abstract: With the continuous development of substation secondary system, monitoring the status of secondary equipment, especially relay protection devices becomes much more important. The condition monitoring system in the station and remote terminal based on the collection of various signals of protection devices has been widely promoted. However, due to the expansion of the scale and the quantities, the condition monitoring of protection devices presents a trend of complexity and disorder. And it is hard for the operation and maintenance personnel to efficiently troubleshoot and deal with the abnormal problems. Firstly, the advantages and disadvantages of the existing monitoring system for in-station protection device analyzed from multiple perspectives, and then a scheme to optimize the monitoring system is put forward from on-site experience. While optimizing the signal and display of condition monitoring, a standard process of finding, disposing and reporting the abnormal problems of protection devices based on the practical operation and maintenance experiences is also proposed.

Key words: substation; relay protection device; condition monitoring

0 引言

变电站各类保护装置作为二次系统重要组成部分,在继电保护功能框架内处于核心位置。保护装置对变压器、线路、电容电抗等设备出现故障时采取的措施,能有力确保人身安全威胁快速消除、电网影响范围得到控制、相关联设备损失尽可能最小化。以保护装置为核心构成的继电保护体系是电网稳定运行的基石。在高电压等级的变电网络中,脱离保护运行是被严格禁止的。这也意味着保护装置运行状态直接与一次设备能否正常投运存在密切关联,

如何有效监测和处置异常保护装置极为重要。

随着保护装置自身监测能力提升,通过采集保护装置信号判别保护装置运行状态已广泛应用,对采集信号进行挖掘分析能够有效预警和确认装置异常程度^[1-4]。对监控系统的优化研究逐步发展,其中:通过改进监测系统后端界面的友好性可以提升监控人员的工作效率^[5],也有研究尝试将具备采集保护装置信号的站端系统有机结合,进行广域监测,从而更加有效利用现有站端信息^[6];更有一些研究针对智能站网络报文多提出了利用神经网络或大数据方式进行处置的方案^[7-8]。但这些研究多忽略了实际中的问题,即现在用来监测设备状态的信息量

已经从不足向过多跨越,由原有的信号缺乏使运维人员不能发现保护装置异常的难点,已经转向为信号太多使运维人员无法高效排查实际异常的痛点。

下面讨论了当前变电站对保护装置监测的实际现状,从监测设备主体出发,对监测方式、监测内容等方面展开了分类论述,并结合运维实际讨论了当前设备状态监测存在的不足。针对现有保护状态监测不足的现状,试图从减少重叠、降低负担、有效分类等关键点出发,提出并讨论了几个保护装置状态监测的优化方向。对装置状态监测系统本身异常的及时处置是正确可靠监测保护设备状态的基础,为此讨论了一套经现场验证有效的排查流程,从有效定位异常、临时处置和高效报送 3 个层次提升现场运行维护应对二次保护装置异常的能力。

1 变电站保护装置监测的现状

现有变电站自动化系统已日趋完善,特别对于站端数据采集与监视控制(supervisory control and data acquisition, SCADA)系统,各后台厂家在实践中不断改进,逐渐形成了一套既符合现有标准,同时也基本满足变电站实际需求的自动化厂站监控平台,能够做到站端信息应收尽收、应显尽显。与此同时,以站端通信管理机(或应用服务器)加上主站平台的前置服务器构成的集中监控平台也同步发展成熟。上述 2 套系统的重要功能之一就是对于厂站端包括保护装置在内的各类设备进行监控。除此之外,保护信息子站、录波装置、网络报文分析仪等新辅助设备也直接或间接对保护装置工作状态进行了有效监测。下面将分类对变电站保护装置监测的应用特点进行阐述,并结合运行维护实际,指出其应用中存在的缺点。

1.1 站端自动化监控系统

变电站自动化监控系统,实际上是 SCADA 系统应用在变电站环境下一个具体化实例,其基本特点与 SCADA 系统一致。在对保护装置进行监测方面,站端自动化监控系统主要依靠测控装置和保护装置自身对保护装置工作状态进行监控。具体地说,硬接点信号一般通过测控装置采集,软信号通过保护装置经协议上送。

各类信号中,硬接点信号较少,但部分信号具有唯一性,例如通过电源常闭接点传递的电源故障信号,该信号无法通过保护自身发出。随着变电站保护装置的不断增多,硬信号存在 2 个主要短板:1)

经电路传递至测控再转换为报文上送的流程,相较于保护装置直接上送信号报文更为繁琐,在实际中由于导线松动、测控装置异常等原因会造成漏报、误报;2)其唯一性存在争议,部分信号,例如装置电源故障亦可以通过间接手段发现(通信中断,或无正常心跳报文上送等)。

由于硬信号通常反应严重问题和总体异常,因而两者在实际中会给运行维护人员造成误解,其原因在于监控系统未能对软硬节点进行明显区分。从事序列(sequence of event, SOE)和光字牌中运行维护人员无从分辨其来源,只能通过经验判别。

1.2 主站监控系统

主站监控系统主要通过站端前置机、调度数据网络、站端远动通信装置构成,站端远动通信装置类同于监控系统;通过采集测控装置和保护装置的遥测信号实现对保护装置状态的监测;通过 60870-5-104 协议经调度数据网络与主站前置进行通信。主站前置系统采集多个站点信息,显示异常状态并及时发出报警,告知集中监控人员。

由于在实际中远动通信管理机多采用与后台监控服务器相同的采集数据库导出得到,且对于新站,更多后台厂家更将远动通信应用化,运行于服务器之上,此时远动应用大多与后台采用完全相同的遥测数据库,仅增加通信点表用于上传至主站。如此,远动通信管理机或服务器与站端监控系统的信息来源完全一致。

主站监控相对于站端监控增加了在主站发现异常、分析异常、通知站端的这个步骤,而站端收到通知后仍需按照固有步骤处置异常,如图 1 所示。由

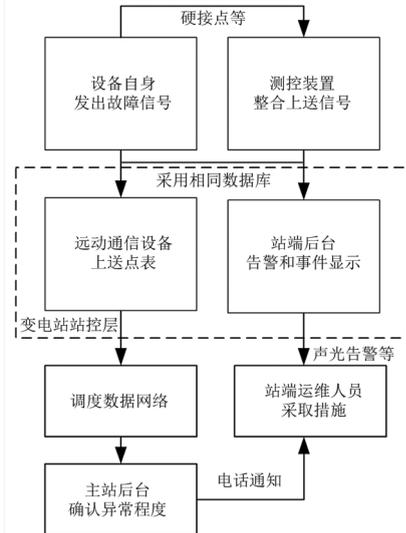


图 1 主站和站端监控异常信息流的传递

于其采集来源、方式一致,主站监控和站端监控的重叠性极大,主站监控系统存在和站端监控同样的短板,同时还受到主站—站端联络这一流程不确定性的附加影响。

1.3 保护信息子站

保护信息子站,顾名思义就是对保护信息设备信息进行归纳汇总,采集其动作、运行信息^[9],同时保护信息子站还在实际应用中接入故障录波装置等设备,丰富其信息采集的广度和深度。

但由于保护信息子站在认知中,仅作为辅助装置存在,其信息在站端和主站均不受重视,更多作为一种补充性质和历史故障回顾性质的设备存在。同时,考虑保护信息子站在二次网络中处于非实时 II 区,其实时性也无法得到保证。在变电站的实际运维中,运行维护人员甚少关注保护信息子站的动作信息,仅仅对保信子站设备本身的状态和其与主站链路状态的异常进行跟踪和维护,忽略了保护信息装置采集信息本身的价值。

1.4 其他辅助设备

在前述三大类设备之外,站端还有部分设备同样具有对保护设备状态进行监测的功能。例如故障录波装置、智能站中普遍配备的网络报文记录分析装置等,均可以间接方式反应站内保护设备异常情况,即设备在特定异常时,此类辅助设备无法正常完成其业务交互,从而产生相应告警。在这些设备本体出现异常的同时,部分设备还会将此类异常作为一个总的异常信息上送至监控和远动系统,告知运行维护和监控人员。

1.5 小结

从总体考察现有保护装置监测的体系,考虑到大部分装置异常信号来源完全一致(保护装置自身)的前提下,多个监测设备的存在,在提供更多信号冗余性的同时,也增添了重复性和复杂性,瑜不掩瑕。

随着变电站少人或无人运行维护体系的不断推广,站端保护装置状态监测的实际执行单一、强度弱。当前,因为人员配置的减少、运行维护工作繁杂、站端监控信号过多、异常状态信号不明确等原因,保护装置状态监测在内的站端运行感知已经越发依赖于主站监控;在无人站,装置的异常告知完全依赖于主站通知;有人值守站也由于人员和工作强度因素而更加倾向于由主站监控人员通知,而不是通过站端信号分辨是否存在需要处置或进一步验证的保护装置异常。顺应智能化和少人化的要求而导

致的异常确认模糊和处置缓慢值得关注。

2 保护装置状态监测的优化

由上可知,在实际变电站对继电保护等保护设备的状态监测网络中,无论是监测设备主体、监测实施方式以及监测功能上均存在较多冗余。过多的状态监测冗余不但不能提升装置状态监测的可靠性,反而降低了状态监测的准确性,减缓了运行维护人员的反应速度,甚至直接影响设备的稳定运行。

结合现场实际运行经验,提出可以通过减少硬接点信号、简化信号展示、合理筛选处理信号、增加信号来源等方式进行改进,以期达到增强保护装置监测水平、减少无谓时间浪费、提升站端二次系统稳定性的目的。

2.1 减少对硬接点信号的依赖

逐步减少并最终消除对硬接点信号的采集和依赖从长远看是必要的。以电源掉电和 CPU 板件故障为例,在实际运维中处置此类异常的操作,与其他引发非硬接点信号的异常是完全一样的。从这个意义上来说,对于此类故障,尽管在处置初期无法分辨故障的根本来源,但不会对处置行为(停用设备、隔离动作回路等)的正确性产生影响。运行维护人员在出现异常后,均需到达保护装置现场进行检查,鉴于设备自身的面板或信号显示已经统一完备,运行维护人员能够轻易在现场确定实际故障点。

与硬信号带来的信号冗杂、传递繁琐相比较,在监控信号上牺牲部分明确性是对整个监控体系有益的。进一步,更少甚至消除硬接点信号意味着公用测控装置的减少、电缆使用的减少,可在走向智能站间隔层网络少电缆化的道路上实现跨越。

2.2 简化非必要信号的展示

站端、主站后台,保护信息子站和录波装置等设备一般均接入了大部分甚至所有保护装置所能提供的信号节点。在新的保护装置信号更加细化以及保护装置的软信号上送能力不断提升的当前,信号缺失已不再是问题,新的问题是信号过多带来的困扰。变电站端监控在后台画面绘制时,常常将异常信号状态的光字不加以挑选地按间隔分页铺满整个屏幕,运维人员难以准确分辨关键的异常信号,对异常的程度判定造成困难。实际中,一个间隔光字屏幕

包含了该间隔的近百个信号,当保护装置 CPU 板故障时,曾出现过几十个信号同时闪烁,运维人员难以辨别的事件。

因而,简化后台信号的展示是有必要的。通过不显示非必要信号或者过增加子页面的形式,仅在间隔页面显示关键信号、总信号,来帮助运行维护人员快速判定故障的范围和程度。应注意,简化非必要信号的展示并不等于不采集、不使用这些信号,监测系统应在后台通过 SOE 的方式记录这些信号,用于后期分析、报告撰写等用途。

2.3 分类、分级、合并处理信号

在简化关键信号显示的同时,对信号进行智能分类、分级、合并处理也应一并开展。除开光字信号,运维人员常通过 SOE 观察基于时间的异常发生记录。对于状态监测系统,各信号均会以发出和复归两种状态显示在 SOE 中进行展示,同时,较新的监测系统会按照系统数据库后台预设的类型以颜色等方式标记信号是否为警告、提示等。但以上特性并不能减小对装置异常的分析负担,运行维护及检修人员仍需要在数十甚至数百条信息中,提取关键的时间节点,确定异常的发生和发展过程。

在监测系统的后台软件上着手,对信号进行智能分类、分级并采用适当合并处理的方式使得 SOE 信息清晰化。具体说来,首先,应明确标识信号的发出和复归作为一对信号进行展示或处理;其次,应基于时间和装置个体,对信号进行分类后再进行合并处理,并在必要时可以展开显示时间段内的所有信号;再次,应根据信号的重要性,例如是否为总信号,是否为关联到光字的信号等,对信号进行分级,对高级别信号进行突出显示;最后,软件应增加“有选择性地标识”和“导出信号”的功能,便于进一步分析。

2.4 增加信号接入并标识来源

当前站端和主站的后台监控仅基于测控装置作为状态监测消息源,浪费了其他设备提供的信息。应加强对支持 61850 协议设备的推广,并加快后台系统对于其他辅助监测设备的信号接入能力,实现多信号源交叉接入,并结合对信号的展示优化、分类分级优化,在一个间隔异常的时间段内综合多个消息源,增强其可信度,夯实具体信息。在此之外,通过对每条信号的来源进行标识,能够帮助运行维护、检修人员从多角度准确分析异常。

在信号增多、设备性能增强的情况下,针对保护

装置监测信号的优化,能够更好帮助运行维护人员发现异常、排查异常、分析异常,更好实现站端或主站端一个平台、多个接入、提示关键、信息详实、异常可发现、故障可处置、事件可回溯,提升变电站运维水平进一步提升。

2.5 小结

根据装置监测系统,特别是基于测控、远动系统的监控系统的实际,为更好地展示信号、利于运行维护人员进行故障排查、增加可信度,从精简、突出、多源等方向提出了优化方案。

对当前设备监测的优化应在信号采集和显示进行优化的基础上,进一步加强对软件界面、逻辑、功能的开发,减少人工干预,智能化处置信号,利用强大的计算机算力减少人员负担。

3 状态监测异常的故障处置

变电站保护装置状态监测的存在,大大提升了变电站二次系统的运维水平,有利于电网设备安全稳定运行。但当前,不论保护装置状态监测的重叠性和复杂性,单纯观察现有运行维护人员在应对异常出现时的反应,仍然存在许多漏洞和不足。针对跳闸等突发事件,运行维护水平高的变电站通过对各类预案的培训,能够较好地处置。但对于各类保护装置的异常处置,仍依赖于个人经验,撒网式对异常信号的搜寻以及无条件依赖于对二次专业人员的求助,缺乏条理、过程混乱、处置低效。

事实上,对于保护装置监测设备的故障处置,按照时间先后顺序,可以分为 3 个关键步骤进行处置:定位监测设备故障、监视失效时的临时处置、异常状况的报送。

3.1 定位设备故障

首先,快速、正确定位故障源应是理清装置异常的前提。正确定位故障又应根据监控后台信息找到异常影响的范围:若是异常范围局限在一台设备,可以认为异常源出自于该设备;但若异常信息指向的设备广,则应考虑状态监测设备自身或电源故障等。在站控层广泛应用 IEC 61850 协议的当下,装置模型中信号多,若设备出现严重异常,信号数量会较大,此时应忽略异常设备具体的异常信号,先明确异常设备的数量和范围,排除引发大面积异常设备的情形,再进一步分析可能的异常来源。

在进一步确认保护设备异常的过程中,应能够

找准关键异常信息,避免错误判断异常实质。具体说,要避免自身设备以及关联设备的冗余信号干扰:一方面,要排除设备自身由于异常发出的干扰信息,按照逻辑先后的顺序锁定引发连锁异常的头部异常源;另一方面,要排除由于本设备异常导致的关联设备异常,例如线路保护装置故障可能引起存在虚端子连接的母线保护、断路器保护异常等。

另外,定位故障除了发现异常设备、关键的异常消息之外,还隐含着确认故障程度的要求。在监控信号中,信号不仅会指出设备自身侦测到的问题,同时还会不同程度地给出设备自身逻辑给出的“处置”,例如闭锁、失效等。应以相关信号作为参考,确定异常的严重性:是否影响了全部功能,是否使得关联设备功能无效,是否存在扩大的可能等等。定位故障的整个流程如图 2 所示,对异常范围和程度有初步判断,能够更好指导对异常的临时处置以及在与上级沟通时提供更多信息。

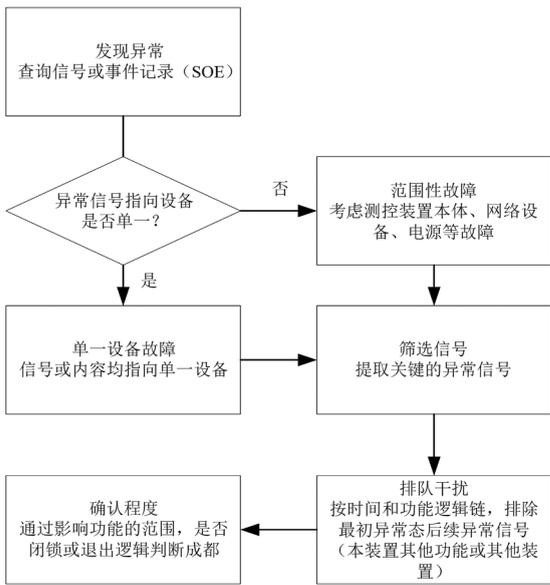


图 2 定位设备故障流程

3.2 临时处置异常

保护设备异常发出后,应采取对应的临时处置措施。确定采取何种临时处置措施的前提是了解以下两点:异常的当前影响和异常的可能发展。其中异常的当前影响包含了范围和程度,即有多少设备出现了异常,和这些异常对设备的运行是否产生了实质性的影响。而异常的可能发展实际上是异常状态是否长期保持,是否出现了新的异常等。

根据不同的影响和故障的发展,在向上级进行异常情况报送之前,运行维护人员可以采取不同的措施控制异常进一步恶化,如表 1 所示。

表 1 临时处置措施

程度	间断发生	稳定保持	进展恶化
不影响功能	加大巡视密度	加大巡视密度	现场采取进一步措施
部分闭锁	现场监视,准备采取进一步措施	现场监视,视情况停用保护设备	现场监视,停用保护设备
全部闭锁	现场监视,视情况停用保护设备	现场监视,停用保护设备	停用保护设备,监视其他设备

需要注意的是,上述讨论均基于异常不会导致一次设备丢失保护的情况,即双重性保护体系仍可以确保线路等间隔不丢失保护。若异常已经影响了间隔的所有保护,则应首先考虑联系上级采取措施停运被保护间隔,因为无论是否处置装置异常,均存在在一次间隔完全丢失保护的风险,而这是绝对不允许发生的。

3.3 异常状态的报送

对于运行维护人员,受限于备件和专业能力,在对保护装置异常的临时处置之后,不应要求其能够最终排除持续性和复杂性的异常,但应向上级或二次检修部门可靠汇报异常情况。汇报内容应专业、准确、简明、不遗漏关键信息,便于准确采取进一步措施对异常进行处置。

对于保护装置异常状态的报送,应突出以下几个方面的内容:

1) 时间节点。报送中应包含异常在时间轴上的有关信息,包括但不限于异常发生的事件、异常是否持续、异常是否多次重复发生、异常随时间是否有发展。同时,还应同时在报送中指出在异常出现、发展的时间点附近是否有相关操作,是否有其他工作进行,是否出现气象变化,以便排查引起异常的原因是否与外界操作有关。

2) 影响范围。报送中应体现出现异常的范围,即归纳总结本次异常情形造成了哪些间隔、哪些保护和辅助设备出现了异常情形。当保护装置监测状态系统出现异常时,报送中除说明监测设备本身受异常影响的范围外,还应体现哪些范围内的设备因此失去了站端和主站后台的监控。

3) 对运行的实际影响。在向上级的报送中,除体现影响范围外,更应按间隔作为单位说明异常对保护造成的实际影响程度,例如:保护完全失去功能,主保护失去功能,导致后备保护失去功能,不影响保护功能。在报送时,应按照前述中的表述,准确定义最关键、影响最大的异常,忽略影响不大的异常。

4) 当前已经采取的措施。在报送的最后,应报

告针对异常已经采取或准备采取的措施。同时,应给出从运维角度对异常的分析意见,提供可能需要准备的备件、工器具清单。若可能,在检修人员远程指导下,可根据变电站备件和工具情况对异常进一步处置或直接消除异常。若异常严重需要考虑一次停电处理,还应沟通后向调度和检修部门分别反馈准备的检修操作和可能的停电时间,做好协调,以便最高效地处置异常。

4 结 论

上面从优化装置监测信号和加强针对异常的处置流程出发,讨论了加强变电站保护装置监测系统的有效手段和方法。随着对异常处置流程的不断完善、运维培训不断加强、各个监测系统的有机统一加深、监测信息显示的进一步优化,以及监测设备、保护设备自身鲁棒性、异常侦测能力以及性能加强,越来越智能化的保护状态监测系统将会在保障变电站正常运行上发挥更强作用。

参考文献

[1] 王彦洁. 智能变电站继电保护在线监测系统关键技术及应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2020.
 [2] 张晓华, 刘跃新, 刘永欣, 等. 智能变电站二次设备的

(上接第 44 页)

2) 双母线接线支路 CT 单侧安装在断路器母线侧时,存在保护死区,需要靠断路器失灵保护延时动作隔离故障;CT 单侧安装在断路器非母线侧时,通过其他保护动作远跳对侧的方式能快速切除故障。

3) 双母线接线母联 CT 安装在母联断路器单侧时,存在保护死区,在分列运行时,母联分位死区保护能快速切除故障,其他情况需要靠母联死区保护延时动作隔离故障。

4) CT 和断路器之间的死区发生故障时,除母联分位死区外,保护装置为隔离故障均会扩大停电范围,与 CT 安装位置无关。

因此,为保障系统稳定,应按照国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施(修订版)的要求在断路器两侧布置 CT。

参考文献

[1] 继电保护和安全自动装置技术规程:GB/T 14285—2006[S].上海:上海人民出版社,2006.

状态监测技术研究[J].电气技术,2011(4):41-44.

[3] 朱华,刘柱揆,许守东,等.基于 EPON 网络的智能变电站继电保护测试技术的研究[J].云南电力技术,2021,49(3):7-10.
 [4] 刘永欣,师峰,姜帅,等.智能变电站继电保护状态监测的一种模糊评估算法[J].电力系统保护与控制,2014,42(3):37-41.
 [5] 段翔兮,邹璇,高剑,等.基于 Unity3d 的监控告警信息展示系统的设计与实现[J].四川电力技术,2020,43(3):78-84.
 [6] 叶远波,刘宏君,张兆云,等.基于广域信息的继电保护实时评价研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(13):150-157.
 [7] 张宇泽,张心洁,刘宪棚,等.基于竞争神经网络的变电站集中监控全面监视周期分类方法[J].四川电力技术,2020,43(6):11-15.
 [8] 张艺,李大中,郑永康.基于大数据的智能变电站二次状态监测系统研究[J].四川电力技术,2019,42(4):43-48.
 [9] 王跃强,廖华兴,袁晓青,等.基于保信系统的继电保护状态评价系统的开发与应用[J].电力系统保护与控制,2014,42(8):134-139.

作者简介:

余骏阳(1990),女,硕士,工程师,从事继电保护和厂站自动化工作。(收稿日期:2021-09-14)

[2] 国家电网有限公司.国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施(修订版)[Z].北京:国家电网有限公司,2018.
 [3] 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1175—2013[S].北京:中国电力出版社,2013.
 [4] 线路保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1161—2014[S].北京:中国电力出版社,2014.
 [5] 长园深瑞继保自动化有限公司:BP-2CA-F/DA-G 母线保护装置技术使用说明书[Z].深圳:长园深瑞继保自动化有限公司,2013.
 [6] 南京南瑞继保电气有限公司:PCS-921-G 系列断路器保护及自动重合闸装置说明书[Z].南京:南京南瑞继保电气有限公司,2015.

作者简介:

王利平(1972),男,博士,教授级高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

程浪(1987),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

胡杨(1995),男,硕士,助理工程师,从事继电保护现场检修工作。(收稿日期:2021-09-06)