

基于多参量模型的智能变电站二次设备状态评估方法及应用

高磊¹, 宋亮亮¹, 杨毅¹, 袁宇波¹, 崔玉², 吴奕²

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024)

摘要:为解决智能变电站二次设备运行状态评价体系建立与实际工程应用的难题,引入多参量信息融合的二次设备综合评价模型。提出不同类型二次设备的评价子项、评价参量及评估方法,建立通过监视装置稳态量变化来表征二次设备健康状态发展的趋势性评估模型和监视装置故障量特征来表征二次设备故障程度的损失性评估模型,提出了不同评估子项的工程量化指标。研发了智能变电站二次设备健康状态评估系统,并在500 kV 智能变电站工程中试点应用。

关键词:智能变电站;二次设备;多参量信息融合;状态评估模型;工程应用

中图分类号:TM 761

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.10.033

0 引言

变电站继电保护系统可靠性与电网安全运行息息相关,二次设备状态评估将为科学地掌握装置运行状态、指导针对性的巡视检修打下基础。长期以来,大量学者从继电保护运行状态、动作结果、隐藏风险等不同维度,研究了支持向量机、神经网络、Markov 模型法、故障树法、层次分析法在继电保护可靠性评估中的应用^[1-8]。目前,大部分评价数据采用人工录入,且评价方法不统一,成为限制评价结果准确性和实用性的瓶颈。

文献[9-12]研究了二次设备评价的采集状态量和评价方法。其中文献[9]针对装置自检信息、运行状态信息、隐藏故障数据等,分别通过不同的方法进行评价,并通过DS证据理论将3种评估方法的评估结果进行融合。文献[10]从设备投运前工况、历史运行工况、实时运行工况和检修工况等选取状态参量。文献[11-12]提出了包括装置状态、运行环境、通道运行情况、绝缘状况、家族性缺陷、正确动作率、无故障时间等状态量,并将上述信息分为静态数据和动态数据,研究不同状态量所占的权重及评估方法。

文献[13-15]研究了二次设备状态评价系统的建立和实现模式。其中文献[13]提出继电保护在线监测系统框架,采用状态监测单元和评估单元组成的方式,评估结果通过子站上送。文献[14]提出继电保护监测系统厂站端实现方式,通过安全I区汇集过程层和间隔层的监测数据、站控层数据服务器和网关机的自检信息,由综合应用服务器定期读取,经过分析和处理后进行可视化展示。文献[15]初步建立二次设备在线监测逻辑节点的模型,并对保护设备状态监测、二次回路状态监测、辅助检修操作等的应用前景进行了分析。

现有继电保护评估的研究多停留在理论阶段,

未能有效获取各状态量并在实际应用中对各指标进行量化,未区别不同类型装置状态量的差异,缺乏清晰的评估系统架构,实际应用效果欠佳。

本文围绕二次设备在线监视和状态评估模型开展研究,提出基于多参量融合数据采集和评价方法,并研究建立评价主子站系统。

1 智能变电站二次设备状态评估模型

1.1 状态评估模型体系

二次设备状态评估体系由评估对象、评估子项和评估参量构成,各项之间为包含关系。评估对象的状态由各评估子项的结果综合计算得出,并根据所有评估对象的状态得出整个变电站的运行状态。评估体系如图1所示。

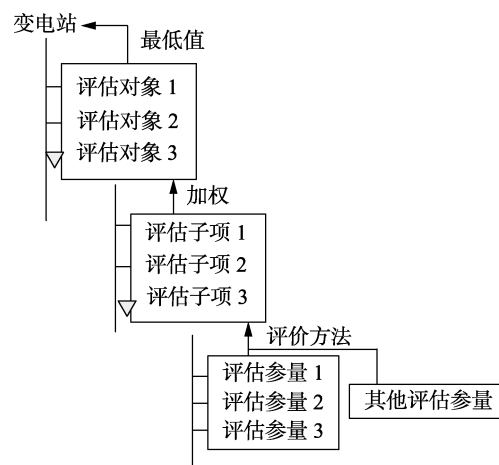


图1 智能变电站二次设备状态评估体系

Fig.1 Secondary equipment status evaluation system for smart substation

1.2 二次设备评估子项

选择装置的采样环节、开关量环节、执行计算环节、自检信息、其他因素5个部分作为评价子项,其中采样环节评价测量精度与一致性;开关量环节用于评价实时性与一致性;执行计算环节用于评估启

动信号和动作出口的行为与时间;自检信息用于评估装置温度、端口流量、直流电平、相关告警;其他环节用于对装置投运时间、平均无故障时间、反措要求、家族性缺陷等进行综合评价。

1.3 二次设备评估参量

为实现二次设备评估模型标准化,采用 IEC61850 标准建立继电保护装置、合并单元、智能终端的典型状态评估参量模型分别如表 1—3 所示。

2 基于多参量模型的二次设备状态评估方法

按照继电保护装置健康状况特征,基于多参量模型的二次设备状态评估方法可分为随运行时间逐步变化和突发性功能失效 2 类。前者通过对一段时间内状态量的变化情况,分析其随时间逐步变化的趋势,称为趋势性评估;后者通过反映装置异常情况的突发信号,判断部分或全部功能的丢失,称为损失性评估。

2.1 趋势性评估

趋势性评估是通过对装置稳态量的长期监视和

表 1 继电保护装置评估参量模型

Table 1 Evaluation parameter model of relay protection devices

类型	评估子项	状态评估参量
运行状态 监视	软硬件自检	Trp(温度)、Irp_c(通道光强)、 Urp(电源电压)
	SV	Alrp(支路 SV)、 DCCrp(差动电流计算)
	开关量	DIrp(重要开入量状态)、 Srp_f(功能压板)、Srp_o(出口压板)
	压板	
告警信号 监视	SV 异常	Almrp_ct(电流互感器断线)、Almrp_pt (电压互感器断线)、Almrp_sv1(SV 品质异常)、Almrp_sv2(SV 链路中 断)、Almrp_sv3(SV 检修状态不一致)
	开关量异常	Almrp_di(开入量异常)、 Almrp_go1(GOOSE 链路中断)、 Almrp_go2(GOOSE 检修不一致)
	装置异常	Almrp_off(失电告警)、Almrp_bl(闭锁)
保护动作 信号监视	动作信号	Actrp_st(保护启动)、 Actrp(保护动作元件)、 Actrp_t(保护动作时间)
	动作出口	Actrp_go(GOOSE 开出量动作)

注:SV 为采样值,GOOSE 为面向通用对象的变电站事件。

表 2 合并单元状态评估参量模型

Table 2 Evaluation parameter model of merging units

类型	评估子项	状态评估参量
运行状态 监视	软硬件自检	Tmu(温度)、Imu_c(通道光强)、 Umu(电源电压)
	SV 报文状态	SVamp(幅值精度)、SVph(相位精度)、 SVad(双 AD 一致性)、SVint(报文等 间隔性)、SVmat(检修状态)、SVsyn(同 步状态)、SVval(数据有效性)
告警信号 监视	GOOSE 告警	Almmu_go(其他 GOOSE 告警)
	装置异常	Almmu_off(失电告警)、 Almmu_bl(闭锁)

表 3 智能终端状态评估参量模型

Table 3 Evaluation parameter model of intelligent terminals

类型	评估子项	状态评估参量
运行状态 监视	软硬件自检	Tit(温度)、Iit_c(通道光强)、 Uit(电源电压)
	开关量	DIlloc(就地开入量状态)、 Sit_f(功能压板)、Sit_o(出口压板)、 DSctr(控制回路)、DSnon(非全相)、 DSacc(事故总)
告警信号 监视	报文异常	Almit_go(GOOSE 链路中断)、 Almit_mat(检修状态不一致)、 Almit_syn(同步信号丢失)
	装置异常	Almit_off(失电告警)、 Almit_bl(闭锁)
动作信号 监视	动作出口	Actpha(出口相别)、 tset(整组返回时间)

记录,准确反映一段时间内评估状态量趋势的变化,如采样值准确性、开关量一致性、装置自检参数等。这类状态量的表征可采用阈值方式,即当被监测元件的数值超过给定阈值时提示装置元件预警。

(1) 继电保护装置的 SV 评估。

合并单元发送的 SV 报文通过不同通道被保护、测控、计量等不同的终端接收,同时保护装置所接收到的 SV 会在站控层制造报文系统(MMS)报告中进行对应,其评估过程如下。

a. 监测保护装置 MMS 报告中的 SV 信息,同时解析出变电站配置描述(SCD)文件中对应的智能电子设备(IED)名称、有缓存报告控制块(BRCB)的报告控制块标识(RptID)、数据集(DataSet)中对应的功能约束数据属性(FCDA)。

b. 以一次开关为对象,关联合并单元的 SV 输出,并订阅该合并单元 SV 的多台保护测控装置 MMS 通道,进行综合比对。若为双重化配置,则增加 AB 套的数据互校验。差动电流评估采用复合逻辑,分别取保护装置的电流互感器断线告警定值和电流互感器断线闭锁定值,进行 2 套保护装置之间的互校和每套装置的差动电流与评估装置设定的两段定值比较,如表 4 和图 2 所示。表 4 中, I_n 为额定电流。

c. 设置 SV 和差动电流比对结果的权重分别为 X_1 和 Y_1 ,取最小值记为结果 K_1 。对于评价项的不同

表 4 SV 评估表

Table 4 Evaluation of SV

SV 误差/%	差动电流	分值	权重	
			SV 误差	差动电流
(-0.1,0.1)	绝对值小于 $0.05I_n$ 且差值小于 $0.02I_n$	3		
[0.1,1) 或 (-1,-0.1]	绝对值范围为 $(0.05I_n,0.1I_n)$ 或差值范围为 $(0.02I_n,0.05I_n)$	1	X_1	Y_1
≤ -1 或 ≥ 1	绝对值大于 $0.1I_n$ 或差值大于 $0.05I_n$	0		

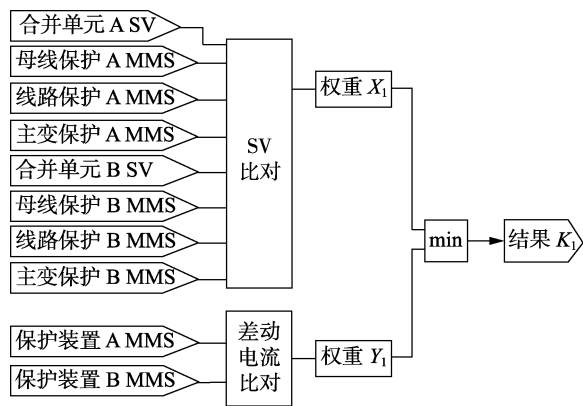


图 2 采样值评估逻辑图

Fig.2 Evaluation logic of SV

误差结果,设定相应的分值,其中满足要求为 3 分,不满足要求为 0 分,其余根据误差范围设定为 1 分。

(2) 继电保护装置的开入量评估。

评估继电保护装置开入量状态与实际情况的对应性与实时性,包括过程层至间隔层保护信号和保护与监控系统之间的信号,其评估过程如下:

a. 解析出 SCD 文件中保护装置〈Inputs〉中的内容,根据解析结果分析发出开关量的具体 IED 名称,配置其 GOOSE 控制块(GOCB)的 GOOSE 应用标识(APPID)及对应通道;

b. 解析与之关联的 GOOSE 报文,标记对应通道的状态位;

c. 实时监视继电保护装置以 MMS 报告方式发出的开入信息,同时解析出 SCD 文件中对应的 IED 名称、BRCB 的 RptID、DataSet 中对应的 FCDA;

d. 将站控层 MMS 报告与过程层 GOCB 的 APPID 进行关联,比较继电保护装置报告中的开入量状态与 GOOSE 通道的状态是否一致。

通过监视指定 GOOSE 通道的位置信息,如断路器、刀闸位置信息等,与继电保护装置 MMS 报告中的保护动作与出口信息进行校验比对。同时监视开入量异常、GOOSE 链路中断、GOOSE 检修状态不一致告警等信息,判断具体开入量异常通道,如表 5 所示。将开关量信号一致性和开关量时间的评估分值分别乘以权重 X_2 和 Y_2 ,取最小值记为结果 K_2 。

表 5 开关量评估表

Table 5 Evaluation of switching values

开关量 一致性	开关量 时间/ms	分值	权重	
			开关量 一致性	开关量 时间
Y	<2	3	X_2	Y_2
	[2,10)	1		
N	≥ 10	0		

注:Y、N 分别表示一致和不一致,后同。

(3) 继电保护装置运行环境及自检状态。

a. 运行温度。

运行温度子项包括装置 CPU 温度、光口温度和环境温度。其中,CPU 温度、光口温度由装置的 IED 能力描述(ICD)文件扩充建模,环境温度通过独立的传感器进行监测,并通过 GOOSE 报文上送。根据不同厂家装置的条件设定不同环节温度的阈值值进行评分,如表 6 所示。

表 6 运行温度评估表

Table 6 Evaluation of operating temperature

CPU 温 度/℃	光口温 度/℃	环境温 度/℃	分值	权重		
				CPU 温度	光口 温度	环境 温度
<80	<80	[-10,40)	3	X_3	Y_3	Z_3
[80,90)	[80,90)	[40,60)	1			
≥ 90	>100	<-10 或 ≥ 60	0			

将 CPU 温度、光口温度和环境温度的评估分值分别乘以权重系数 X_3 、 Y_3 和 Z_3 ,比较后取最小值记为结果 K_3 。

b. 端口光功率。

继电保护装置各光口的发送功率由装置 ICD 文件扩充建模,数据主动上送。评估系统设定发送和接收光强的阈值,采用越限评分,如表 7 所示。

表 7 端口光功率评估表

Table 7 Evaluation of port optical power

波长/nm	发送光强/dBm	分值	权重	
			波长	发送光强
1 310	[-20, -14)	3	X_4	Y_4
850	[-19, -10)			
其他检测结果		0	—	

将各端口接收光强和发送光强的评估分值分别乘以权重系数 X_4 、 Y_4 ,取最小值记为结果 K_4 。

c. 直流电源模块电平。

继电保护装置对直流电源模块的电平及纹波进行监测,并通过建模主动上送,由评估系统设定阈值,采用越限评分,如表 8 所示。

表 8 电源模块评估表

Table 8 Evaluation of source module

电源电压/V	纹波系数/%	分值	权重	
			电源电压	纹波系数
[4.9,5.1)	[-1.5,1.5)	3	X_5	Y_5
[4.5,4.9)或 [5.1,5.5)	[-5,1.5)或[1.5,5)	1		
其他检测结果		0		

将电源电压和纹波系数的评估分值分别乘以权重 X_5 、 Y_5 ,取最小值记为结果 K_5 。

2.2 损失性评估

损失性评估方法是指当装置发生异常告警时,通过对告警信息按类型进行分析和统计,推断故障的具体性质,如严重等级、持续时间、影响范围、最可能的故障位置等,为装置异常缺陷处理提供辅助

依据。

(1) 装置自检告警信号。

装置内部建模,自检状态信息主动上送。自检状态包括装置所有的数据变位,如压板投退、开关变位、通信状态、异常告警信息、采样数据无效、保护启动次数等,并根据信号的严重程度区分等级。评估模型设置一般类告警和严重类告警信号逻辑节点。

(2) 评估装置分析。

评估装置获取站内所有保护装置运行信息,通过对所有报文内容、数据流量等的分析,实现对二次设备异常的辅助分析。评估装置功能包括:

a. 通过过程层合并单元、智能终端间的 SV/GOOSE 报文,监视各 IED 装置的故障、告警、实时信息(电压、电流、温度等),监视 SV/GOOSE 网络的流量,以及网络风暴、节点突增、通信超时、通信中断等;

b. 采集保护测控装置的 MMS 报文,校验各设备相应的服务模型及信号上送是否正常。

(3) 保护动作信号。

评估继电保护装置动作行为的正确性及时间特性,判断装置单体功能和整组时间是否满足要求。对于双套配置的继电保护,检查 2 套保护装置的动作行为是否一致,包括各自的动作元件及出口时间;检查重合闸动作是否成功,报文是否完整(是否有整组返回信号),如表 9 所示。表中,①、②、③分别对应动作出口报文的时间差、动作元件是否一致、保护动作出口至开关位置变位时间差。

表 9 保护动作评估表

Table 9 Evaluation of relay action

动作出口报文的时间差/ms	动作元件是否一致	保护动作出口至开关位置变位时间差/ms	分值	权重		
				①	②	③
<10	Y	<60	3	X_6	Y_6	Z_6
≥ 10	N	≥ 60	0			

由于厂站端数据信息量有限,可结合主站端其他数据对保护动作行为进行综合判断。将保护动作出口时间差、动作元件一致性和整组时间特性的评估分值分别乘以权重 X_6 、 Y_6 和 Z_6 ,取最小值记为该项目的评估结果 K_6 。

3 二次设备异常状态判断方法

变电站二次设备异常信息除了用于装置健康状态评价外,还需要对异常信息进行智能分析,判断故障点和故障性质,为检修处理提供参考。由于 IEC61850 报文基于订阅机制,任一数据异常将导致多个相关设备同时告警,每条通信链路对应的通道节点如设备、板卡、端口、光纤等都可能是故障点,如何快速确认故障源是长期以来的难点。

(1) 继电保护装置 SV 异常评判方法。

a. 实时监视继电保护装置以 MMS 报告方式发出的 SV 断链告警,同时解析出 SCD 文件中对应的 IED 名称、BRCB 的 RptID、DataSet 中对应的 FCDA。

b. 根据 SCD 文件中该保护装置接收 SV 的合并单元,配置其 SV 控制块(SVCB)的 APPID。

c. 将站控层 MMS 报告与过程层合并单元的 APPID 进行关联,对继电保护装置 MMS 报告中该告警信息对应 FCDA 的数据值进行置位或复归,并进行如下分析判断:若仅无法接收网采 SV,则一般判定为合并单元闭锁;若同一合并单元关联的相关直采保护(如线路、母差等)都报异常,则判定为合并单元直采板卡异常;否则判断为直采光纤回路异常。

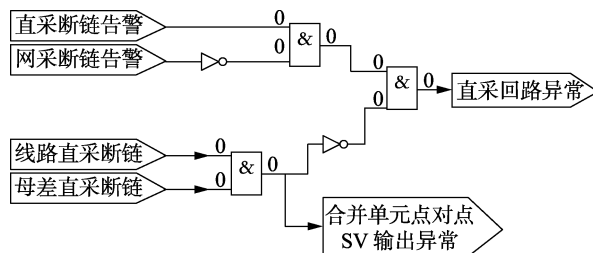


图 3 继电保护装置采样回路监视逻辑

Fig.3 Logic of sampling circuit monitoring for relay protection device

(2) 多合并单元之间同步性异常的评判方法。

a. 对于采用点对点连接方式的合并单元,接上同源时钟进行同步,在接收到合并单元发送的 SV 报文的第一位时即打上时标,采样标号为“0”的报文对应时刻的实际延时与额定延时的偏差不大于 $10 \mu\text{s}$;

b. 若 SV 报文采取组网方式,检查不同 APPID 的 SVCB 报文之间的采样计数偏差,将该偏差折算成时间后不应超过 2 ms ;

c. 长期监视同一电流互感器、电压互感器的 2 套合并单元 SV 是否出现较大偏差。

(3) 合并单元 SV 数据异常评判方法。

当接收到合并单元发送的 SV 报文后,对 SV 报文进行各种异常的评判,包括:

a. 采样计数偏离、发送频率抖动、发送延时偏离;

b. 配置版本(ConfRev)、DataSet、SV 标识(SVID)、MAC 条目数不匹配;

c. 超时、丢包、错序、重复、采样序号错误;

d. 品质改变;

e. 双 AD 采样不一致;

f. 流量突增/突减;

g. 长度参数错、应用协议数据单元(APDU)、应用服务数据单元(ASDU)编码错。

4 二次设备状态评估系统的实现

建立二次设备状态评估系统实现基于多参量模

型的评估与诊断方法,系统包括主站和子站 2 个部分,功能架构如图 4 所示。

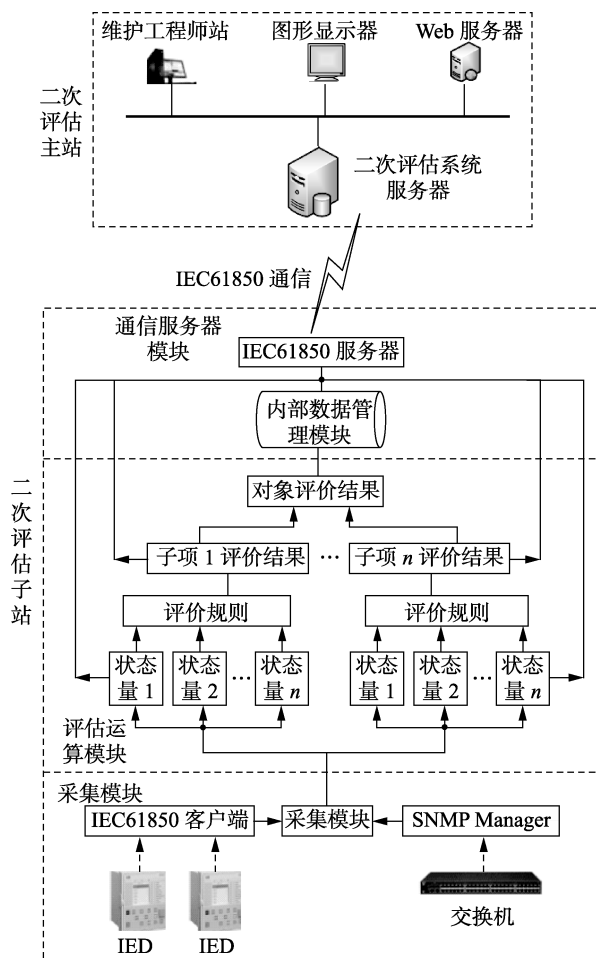


图 4 二次设备状态评估系统功能架构图

Fig.4 Framework of secondary device status evaluation system

评估子站功能模块分为采集模块、评估运算模块和通信服务模块,分别负责全站二次设备 GOOSE/SV/MMS 报文采集、数据计算处理,并将评价结果和相关数据上传至主站。评估主站主要包括数据服务器、应用服务器和图形显示器,分别实现子站数据的采集入库、数据分析及展示。配置 Web 服务器用于向生产管理大区发布变电站二次设备状态评估结果。

装置评价周期可根据需要调整,如 5 min、1 h、1 d 等。除常规的稳态量及告警信息外,对于运行时间、家族性缺陷等其他参量,留有独立界面供管理人员录入,并参与装置整体的评估。在 1 个评估周期内,对装置的扣分是累加且不可逆的,即对于本周期内发生的异常,若消除,则在下一周期恢复正常值,本周期内不恢复;若未消除,则在下个周期内继续保持低得分。反映装置随时间变化的特征量不可逆,即随着装置运行时间的增长,装置的得分按照时间段呈现下降趋势,超过 12 a 后该项所占比重逐步增大,即装置得分的下降速度加快。

该系统能根据全景数据有效地对装置各模型健康状况进行评价,并得到所有二次设备健康状态评价的最终结果。系统展示智能变电站所有智能设备的得分信息,支持人工索引和排序,并显示装置详细的扣分原因和相关报文。

5 结论

本文针对智能变电站二次设备状态监测和评估技术开展研究,提出了表征智能设备健康状态所需要监视的参数及评价指标。提出基于多参量信息融合分析的二次设备状态评估方法,基于过程层、间隔层、站控层的各种告警信息、遥测数据、遥信状态等多维度参量进行分析,实现正常状态的监视预警与异常状态辨识诊断。研究成果在实际工程中得到了应用,为智能变电站二次系统可视化运维和状态检修提供了可行的实践方案。

参考文献:

- [1] 戴志辉,王增平. 继电保护可靠性研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(15):161-167.
DAI Zhihui, WANG Zengping. Overview of research on protection reliability[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15):161-167.
- [2] 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):65-70.
WANG Xianli, LÜ Feipeng. Relay protection reliability and its state overhaul method[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2014, 26(9):65-70.
- [3] 戴志辉,李芷筠,焦彦军. 基于 BP 神经网络的小样本失效数据下继电保护可靠性评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):129-133.
DAI Zhihui, LI Zhijun, JIAO Yanjun. Reliability assessment based on BP neural network for relay protection system with a few failure data samples[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(11):129-133.
- [4] 吴文传,吕颖,张伯明. 继电保护隐患的运行风险在线评估[J]. 中国电机工程学报,2009,29(7):78-83.
WU Wenchuan, LÜ Ying, ZHANG Boming. On-line operating risk assessment of hidden failures in protection system[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(7):78-83.
- [5] YU Xingbin, SINGH C. A practical approach for integrated power system vulnerability analysis with protection failures[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4):1811-1820.
- [6] 熊海军,朱永利,张琦. 基于概率行为树的保护系统建模与可靠性定量评估[J]. 电力自动化设备,2016,36(1):162-168.
XIONG Haijun, ZHU Yongli, ZHANG Qi. Protection system modeling based on probabilistic behavior trees and quantitative evaluation of its reliability[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(1):162-168.
- [7] 袁浩,屈刚,庄卫金,等. 电网二次设备状态监测内容探讨[J]. 电力系统自动化,2014,38(10):100-106.
YUAN Hao, QU Gang, ZHUANG Weijin, et al. Discussion on condition monitoring contents of secondary equipment in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(10):100-106.
- [8] 尹项根,陈德树. 主设备保护运行情况评价方法的讨论[J]. 电

- 力自动化设备,1996,16(4):17-19.
- YIN Xianggen, CHEN Deshu. The discussion on the evaluation method of the operation reliability to protective relays for main power equipments [J]. Electric Power Automation Equipment, 1996,16(4):17-19.
- [9] 王晓亮,董海鹰,任伟. 基于信息融合的750 kV电网二次设备状态评估[J]. 电力系统及其自动化学报,2013,25(1):40-46.
- WANG Xiaoliang, DONG Haiying, REN Wei. State evaluation of secondary device in 750 kV power grid based on information fusion [J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2013,25(1):40-46.
- [10] 王从威,吕飞鹏,张海翔. 改进物元模型在继电保护状态评估中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(8):55-60.
- WANG Congwei, LÜ Feipeng, ZHANG Haixiang. Application of improved matter-element model to state evaluation of relay protection [J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2016,28(8):55-60.
- [11] 顾乔根,吕航,杨国生,等. 智能化变电站继电保护状态评估机制研究[J]. 江苏电机工程,2016,35(1):80-83.
- GU Qiaogen, LÜ Hang, YANG Guosheng, et al. Research on status assessment technology of relay protection in smart substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016,35(1):80-83.
- [12] 师元康,姜振超,安寸然. 智能变电站继电保护装置状态评估实用化研究[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(10):119-125.
- SHI Yuankang, JIANG Zhenchao, AN Cunran. Research on practical state evaluation of protection device in smart substation [J]. Power System Protection and Control, 2016,44(10):119-125.
- [13] 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.
- LIU Yongxin, SHI Feng, JIANG Shuai, et al. A fuzzy evaluation algorithm for condition monitoring of smart substation relay protection [J]. Power System Protection and Control, 2014,42(3):37-41.
- [14] 文继锋,盛海华,周强,等. 智能变电站继电保护在线监测系统设计与应用[J]. 江苏电机工程,2015,34(1):21-29.
- WEN Jifeng, SHENG Haihua, ZHOU Qiang, et al. Design and application of relay protection on-line monitoring system in the intelligent substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015,34(1):21-29.
- [15] 笃峻,叶翔,葛立青,等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力系统及其自动化设备,2016,36(7):163-175.
- DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2016,36(7):163-175.

作者简介:



高磊

高磊(1982—),男,山东青岛人,高级工程师,硕士,主要从事电力系统继电保护及智能变电站理论技术研究(E-mail: gaolei_seu@163.com);

宋亮亮(1985—),男,江苏如东人,高级工程师,硕士,主要从事电力系统继电保护及智能变电站理论技术研究(E-mail: songliang1005@163.com);

杨毅(1983—),男,江苏盐城人,高级工程师,博士,主要从事电力系统继电保护试验、智能变电站二次系统及网络安全研究工作;

袁宇波(1975—),男,江苏镇江人,研究员级高级工程师,博士,从事电力系统继电保护研究与管理工

作;崔玉(1978—),女,江苏扬州人,高级工程师,硕士,从事电力系统继电保护研究与管理工

作;吴奕(1968—),男,江苏苏州人,研究员级高级工程师,硕士,从事电力系统继电保护研究与管理工

Secondary equipment condition evaluation based on multi-parameter model for smart substations

GAO Lei¹, SONG Liangliang¹, YANG Yi¹, YUAN Yubo¹, CUI Yu², WU Yi²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

Abstract: In order to solve the problem of establishment and practical engineering application of secondary equipment operation evaluation system for smart substation, the comprehensive evaluation model of secondary equipment based on multi-parameter information fusion is introduced. The evaluation sub-items, evaluation parameters and evaluation methods are proposed to evaluate state of different types of secondary equipment. A trend assessment model is established to characteristic health status of secondary equipment by monitoring the change of steady state quantities, while a loss assessment model is established to characterize failure degree of secondary equipments. Engineering quantification index of different evaluation sub-items are proposed. The secondary equipment health evaluation system is developed and has been applied in 500 kV smart substation project.

Key words: smart substation; secondary equipment; multi-parameter information fusion; condition evaluation model; engineering application