

DOI: 10.7667/PSPC180196

基于综合评价识别法的智能变电站虚回路 在线状态监测技术研究

高旭¹, 刘宏君², 杜丽艳¹, 武同心¹

(1. 国网冀北电力有限公司, 北京 100081; 2. 长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要: 为了建设全过程模块化的智能变电站, 实时地监测继电保护装置, 提出了一种智能变电站虚回路的在线状态监测技术。在智能变电站全过程模块化管控策略的基础上, 研究了SCD文件的图形化展示技术, 提供了装置自身运行状态、软压板投运状态、逻辑链路状态等综合信息。同时在线状态监测系统中将熵权法和灰色关联分析法相结合, 用于综合评价识别智能变电站虚回路中的故障类型, 及时消除故障隐患, 提高现场运维人员的工作效率, 进而推进变电站智能化的发展。

关键词: 智能变电站; SCD文件可视化; 熵权法; 灰色关联分析; 在线状态检测

Study on the online status monitoring technology of intelligent substation virtual circuit based on comprehensive evaluation and recognition method

GAO Xu¹, LIU Hongjun², DU Liyan¹, WU Tongxin¹

(1. State Grid Jibei Electric Power Company Limited, Beijing 100081, China; 2. CYG SUNRI Co. Ltd, Shenzhen 518057, China)

Abstract: In order to construct a modular intelligent substation and monitor the relay protection device in real time, an online state monitoring technology for the virtual circuit of intelligent substation is proposed. Based on the whole process modularized control strategy of smart substation, this paper studies the graphical display technology of SCD files and provides integrated information such as the operating status of the device itself, the operation state of the soft press plate and the state of the logic link. In on-line condition monitoring system, entropy weight method and Grey Relational Analysis (GKA) are combined to comprehensively evaluate the fault types in the virtual circuit of intelligent substation, eliminate the problems in time, improve the work efficiency of field operations staff, and promote the development of intelligent substation.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 524625160028).

Key words: intelligent substation; SCD file visualization; entropy weight method; GRA; on-line state detection

0 引言

随着智能电网建设的快速进行, 作为变电站重要的二次设备, 继电保护能否正常运行关乎着整个电力系统的安全性^[1-4]。因此国网公司颁布了一系列规范指导继电保护的设计、开发、调试、生产等, 其中包括《智能变电站继电保护技术规范》、《IEC 61850工程继电保护应用模型》等^[5-7]。

在实际二次设备的运行维护过程中, 目前主要存在如下问题: 由于装置自身的运行状态、软压板投退状态以及逻辑链路状态展示不够一目了然, 因

此运维人员不能快速了解虚回路的工作情况及装置的异常情况; 隐性故障消除周期长, 在智能站缺陷判断处理中严重依赖厂家技术人员及专用工具, 运维人员掌握专业工具技术难度系数较高, 短时间内难以实现等^[8-12]。

针对上述问题, 国内学者进行了一系列的研究^[13-14]。文献[15]设计了一套基于C++的SCD文件可视化管理系统, 并引入基于位置的文件对比算法, 可消除版本不同带来的一系列问题, 同时解决SCD文件在实际应用中可读性差等问题。文献[16]则设计了SCD文件管控系统用于解决目前智能变电站SCD文件管控方面的问题, 提高SCD文件升级的安全性, 但实际的管控效果仍需检验。学者对于基于

SCD 文件的二次回路监测主要技术方案进行概述, 主要分析了不同 SCD 监测技术方案的基本特征, 针对现阶段智能变电站 SCD 文件应用辅助措施进行介绍, 最后分别从可视化手段、管控流程以及发展方向三方面对二次回路监测进行了展望^[17]。文献[18]针对智能变电站二次回路不可见、回路状态不可视等问题, 设计了一体化的监控系统, 可实现对虚拟二次回路运行状态的全景数据监视。但由于监控系统中未引入智能手段, 并不能对故障进行智能预警, 因此未能实现变电站真正的智能化。

针对目前智能变电站运行维护与消缺过程中存在的问题, 在实现智能变电站保护装置、间隔保护、变电站保护模块化的基础上, 本文对 SCD 文件进行了可视化设计, 提供了装置自身运行状态、软压板投运状态、逻辑链路状态等综合信息, 方便智能变电站的运行维护人员调试查看。同时在虚回路在线监测系统中引入了熵权法和灰色关联分析法, 减少在故障判断中过分依赖专家、厂家技术人员等问题, 并将二者结合, 综合评价识别智能变电站虚回路中的故障类型, 实现变电站在线监测过程的智能化。该在线监测系统的研究可提高现场运维人员的工作效率, 推进变电站智能化的发展。

1 SCD 可视化设计

考虑到各厂家继电保护装置端子设计存在差异、联调测试缺乏详细规范指导等问题, 目前学者已设计了智能变电站全过程模块化管控策略, 保证每个模块的边界条件清晰, 测试手段、测试方法与测试评价明确。

基于智能变电站全过程模块化管控策略, 实现 SCD 文件可视化成为实现智能变电站全过程管控的重点, 同时, SCD 文件可视化也是实现智能变电站虚回路在线状态监测及故障诊断的前提。

1.1 可视化系统的构造

SCD 文件是智能变电站配置的重要数据源, 主要用于描述 IED 的实例配置和通信参数、IED 之间的通信配置、虚端子连线配置以及变电站一次系统结构等信息。因此实现 SCD 文件的可视化, 智能化展示装置的虚端子图、虚回路图、逻辑链路图以及网络结构图, 可为智能变电站的运行维护人员调试查看提供极大的便利。

本文设计的 SCD 文件可视化方案主要包括四个模块, 分别为: 解析模块、SCD 内存库模块、离线可视化模块以及画图模块。进行可视化展示的前提是对 SCD 文件进行快速解析。经由可视化工具处理后, 即输出单装置的虚端子图、装置信号图、通

信链路图及母线保护关联图等。可视化系统构架如图 1 所示, 该可视化工具可跨平台运行于 Linux、Windows 中, 更加灵活方便。

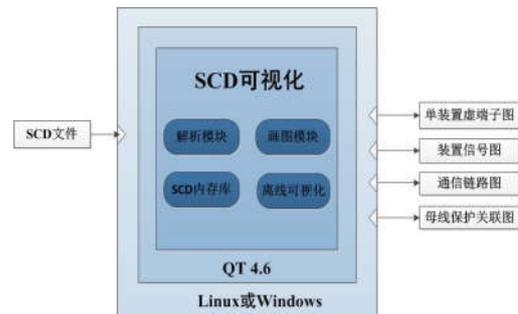


图 1 可视化系统构架

Fig. 1 Architecture of visual system

实现 SCD 文件可视化的前提是对 SCD 文件进行快速解析。解析的内容包括: 网络信息解析、虚端子信息解析、装置虚端子关联信息解析。具体解析流程如下:

1) 网络信息解析

(1) 由根结点依次经过 Communication 元素及其子元素 SubNetwork, 获取网络名称及其类型。

(2) 基于获取的网络类型再获取其相应的配置信息。如若网络类型是 MMS, 则需获取 IEDName、IP 地址、子网掩码等信息; 若网络类型是 GOOSE, 则需获取 IEDName、MAC 组播地址、APPID、GOCB 等信息; 若网络类型是 SV, 则需获取 IEDName、MAC 组播地址、APPID、SVCB 等信息。

2) 虚端子信息解析

(1) 由根结点经过 IED 元素获取 IEDName 和 IEDDesc, 再进入其子元素 AccessPoint, 判断其属性值。

(2) 若属性值 name 为 S 开头, 则访问点属性为站控层访问点, 不对其进行解析; 若属性值 name 为 G 开头, 则访问点属性为 GOOSE 访问点, 需要对其进行解析; 若属性值 name 为 M 开头, 则访问点属性为 SV 访问点, 需要对其进行解析。

(3) 根据标准解析出来的信息主要用于绘制单装置虚端子图。

3) 装置虚端子关联信息解析

(1) 由根结点经过 IED 元素获取 IEDName 和 IEDDesc, 再进入其子元素 AccessPoint, 判断其属性值。

(2) 若属性值 name 为 S 开头, 则访问点属性为站控层访问点, 不对其进行解析; 若属性值 name 为 G 开头, 则访问点属性为 GOOSE 访问点, 需要

对其解析；若属性值 name 为 M 开头，则访问点属性为 SV 访问点，需要对其解析。

(3) 根据标准解析出来的信息主要用于绘制单装置信号图。

1.2 基于 SCD 可视化系统的管控技术

基于 SCD 文件可视化系统为配置文件一致性校验问题、SCD 各版本差异化对比问题的解决提供了方便。SCD 文件管控技术包括离线管控和在线管控。管控流程图如图 2 所示。

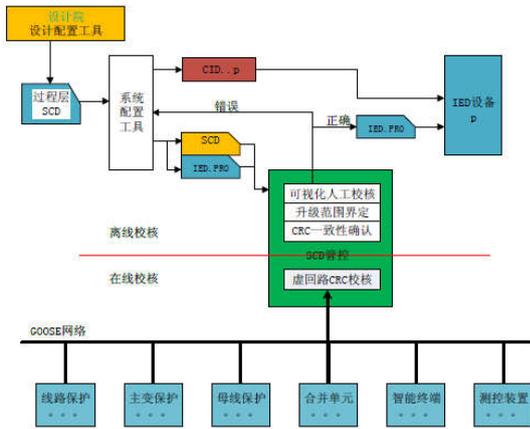


图 2 SCD 文件管控流程图

Fig. 2 Flow chart of SCD file control

SCD 文件离线管控内容主要包括：1) 基于 CRC 提取算法，对 SCD 文件版本升级后对装置的影响范围进行了界定，若升级后的 SCD 文件的虚回路配置完全正确，则不需要重新进行保护试验；2) 对升级后的 SCD 文件进行比对，自动生成升级报告、母线 SUBCRC 报告、信息比对细节报告等；3) 对 SCD 文件档案库进行管理，可有效预防 SCD 版本管理混乱而造成工程人员获取的 SCD 版本不一致等问题。

SCD 文件在线管控内容主要包括两方面，分别为：虚回路 CRC 校验和虚回路状态监测。其中虚回路 CRC 校验是基于过程层网络获得在线 IED 设备虚回路的 CRC 码，通过对比获取的 CRC 码和 SCD 文件中的 CRC，判断其一致性及重复性，若存在上述问题，则及时告警并显示相应的 SCD 文件。

SCD 文件可视化能够为现场人员在智能变电站的安装调试、日常运行维护、故障检修等方面提供便利，从而提高工作效率。

2 基于综合评价识别法的虚回路在线监测技术

虚回路的状态监测是基于 SCD 文件可视化基础上，采用熵权法和灰色关联分析法，将两者结合，

综合评价识别智能变电站虚回路中的故障类型，从而实现在线监测的智能化功能。采用熵权法，可以减少在故障判断中对专家、厂家技术人员的过分依赖，可以充分利用客观数据提供的信息来确定客观权重。灰色关联分析是在充分利用客观数据的基础上进行的决策。传统的灰色关联分析主要采用平权法或专家赋权法，对权重进行赋值，这样情况下的权重具有一定的主观性，本文采用的熵权法中，熵是反映随机变量的不确定性能的信息量，在此基础上进行灰色关联分析，对故障类型的综合评价识别更具有客观性，应用中更加真实有效。

2.1 综合评价识别法

2.1.1 熵权法

在综合评价识别中，权重是指各个指标在指标集中的重要程度，各指标的权重值大小直接反映该指标对总体的贡献大小，是综合评价的基础。

目前对权重赋值的方法很多，其中平权法、专家赋权法等都具有一定的主观性。而熵权法^[18]是一种客观赋权法，它主要根据各指标所包含的信息量的多少进行赋值。其中，某指标的熵值越大，说明该指标的变异程度越小，提供的信息量越少，在综合评价识别中起的作用就越小，因此该指标在综合评价识别中的权重值就越小。

设 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ 为综合评价识别矩阵，其中， m 表示综合评价方案的个数， n 表示评价指标个数。

1) 为了消除各指标间的不可公度，应该首先对 n 项指标进行归一化处理。

$$Z_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \quad (1)$$

式中， Z_{ij} 为标准化后的指标。

2) 计算各指标的熵值。

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^m Z_{ij} \ln Z_{ij}}{\ln m} \quad (2)$$

式中，当 $Z_{ij} = 0$ 时，令 $Z_{ij} \ln Z_{ij} = 0$ 。

3) 计算各指标的权重系数 α_j ，权重系数能够客观且直观地反映各指标间的差异度。

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_j &= \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \\ \sum_{j=1}^n \alpha_j &= 1 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

2.1.2 灰色关联分析法

灰色关联分析法(Grey Relational Analysis, GRA)是灰色系统理论的一种常用方法。主要通过对不完整的信息进行分析,找出其内在的关联程度,从而对相应问题的发展趋势做出合理的推断与预测。GRA的基本思想是基于曲线对数据序列进行相应的分析,通过判断曲线几何形状的相似度来获取各序列的关联程度^[20-21]。灰色关联分析法的操作流程如下:

1) 获取母序列及不同时刻的子序列。

设母因素序列为

$$Y_0(n) = \{Y_0(1), Y_0(2), \dots, Y_0(n)\}$$

子因素序列为

$$Y_i(n) = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)\}, i = 1, 2, 3, \dots$$

式中: n 为不同时刻子因素对母因素的影响值; i 为影响因素的个数。

2) 计算在第 n 时刻, 第 i 个子序列与母序列的灰色关联系数值。

$$\delta_{0i}(n) = \frac{\min_i \min_k |Y_0(n) - Y_i(n)| + \lambda \max_i \max_k |Y_0(n) - Y_i(n)|}{|Y_0(n) - Y_i(n)| + \lambda \max_i \max_k |Y_0(n) - Y_i(n)|} \quad (4)$$

式中, λ 为分辨系数, 取值区间为 $[0.1, 1]$, $\lambda \max_i \max_k |Y_0(n) - Y_i(n)|$ 主要用于反映分辨系数 λ 对 $\max_i \max_k |Y_0(n) - Y_i(n)|$ 的重视程度, 同时还会反映系统中各因子对关联系数的影响程度。

3) 计算关联度。在步骤 2) 中获取了灰色关联系数, 在此基础上采用熵权法计算各子序列与母序列之间的关联度, 计算式如式(5)所示。

$$\beta(i) = \sum_{n=1}^N \alpha_n \delta_{0i}(n) \quad (5)$$

2.2 综合评价识别法在虚回路在线监测中的应用

基于熵权法和灰色关联分析法的综合评价识别法, 可对虚回路中的故障类型进行识别, 以便及时消除故障。基于上文中对综合评价识别方法的介绍, 其在虚回路在线状态监测中的应用过程如下:

1) 首先应建立智能变电站二次侧虚回路的故障监测向量。软压板配置信息、逻辑通讯配置信息等作为辨别二次侧虚回路故障的依据, 即各项指标, 如图 3、图 4 所示。将间隔保护装置故障、间隔智能终端故障或网口断链、间隔合并单元故障或网口

断链、GOOSE 交换机故障这四种典型的故障类型定为二次侧虚回路典型故障类型。

2) 根据熵权法中的式(1)~式(3), 计算获得指标的客观权重。

3) 根据灰色关联分析法中式(4), 求取灰色关联系数矩阵。

4) 根据步骤 2) 中获取的客观权重值, 按照式(5), 计算熵权-灰色关联度。

5) 根据所求得的灰色关联度进行排序, 综合评价识别智能变电站二次侧虚回路出现的故障。根据诊断的故障类型, 现场运维人员应对及时采取相应的运行维护和消除方案。

(1) 若检测结果为间隔保护装置故障, 应采取如下措施:

① 双套配置线路失灵功能的母线保护, 当保护装置故障可能导致误发出失灵 GOOSE 信号导致智能终端误动时, 退出相应智能终端、相应母线保护的失灵功能。

② 单套配置的保护对应的一次设备停电, 并退出母线保护相应间隔, 同时做好现场安全措施后处理。

(2) 若检测结果为间隔智能终端故障或网口断链故障, 应采取如下措施:

① 双套配置的智能终端, 退出智能终端的出口压板, 同时退出相应的线路保护。

② 单套配置的, 应将相应一次设备停电同时做好现场安全措施后处理。

(3) 若检测结果为间隔合并单元故障或网口断链故障, 应采取如下措施:

① 双套配置的间隔, 退出本间隔与故障合并单元对应的保护出口压板、故障合并单元对应的母线保护装置。

② 单套配置的间隔, 相应一次设备停电, 并退出母差相应间隔, 做好现场安全措施后处理。

(4) 若检测结果为 GOOSE 交换机故障, 应采取如下措施:

① 间隔交换机故障处理方法同间隔智能终端同样处理。

② 公共交换机故障时退出接入本公共交换机的公共保护做相应处理。做好现场安全措施后, 重上电恢复正常, 不能恢复正常时需更换交换机, 更换交换机时必须考虑交换机参数配置。

NRR_LP_01 PCS-943G-DM装置MMS软压板与虚端子对应关系表					
GOOSE_Output(GOOSE出口(发送)软压板)					
序号	MMS软压板	中文描述	对应过程层虚端子	控制对象中文描述	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI03.SPCS01	跳闸出口GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/PTRC1\$ST\$Tr\$general	跳闸出口_GOOSE	
2	NRR_LP_01/PROT/GGI04.SPCS01	跳闸后失灵GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/PTRC2\$ST\$Tr\$general	跳闸后失灵_GOOSE	
3	NRR_LP_01/PROT/GGI06.SPCS01	重合出口GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/PTRC4\$ST\$Tr\$general	重合出口_GOOSE	
4	NRR_LP_01/PROT/GGI08.SPCS01	闭锁重合闸GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/PTRC6\$ST\$Tr\$general	闭锁重合闸_GOOSE	
5	NRR_LP_01/PROT/GGI05.SPCS01	过负荷出口GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/GOOUTGGI01\$ST\$Ind4\$stVal	过负荷出口_GOOSE	
6	NRR_LP_01/PROT/GGI07.SPCS01	收远传1输出GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/GOOUTGGI01\$ST\$Ind6\$stVal	收远传1输出_GOOSE	
7	NRR_LP_01/PROT/GGI09.SPCS01	收远传2输出GOOSE发送软压板	NRR_LP_01/PIG001/GOOUTGGI01\$ST\$Ind7\$stVal	收远传2输出_GOOSE	

SMV Input(SV接收软压板)					
序号	MMS软压板	中文描述	对应过程层虚端子	控制对象中文描述	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI019.SPCS03	电流电压链路SV接收软压板	NRR_LP_01/PISV01/SVINTCTR1\$MX\$Amp	保护电流A相	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI019.SPCS03	电流电压链路SV接收软压板	NRR_LP_01/PISV01/SVINTCTR1\$MX\$AmpChB	启动电流A相	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI019.SPCS03	电流电压链路SV接收软压板	NRR_LP_01/PISV01/SVINTCTR2\$MX\$Amp	保护电流B相	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI019.SPCS03	电流电压链路SV接收软压板	NRR_LP_01/PISV01/SVINTCTR2\$MX\$AmpChB	启动电流B相	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI019.SPCS03	电流电压链路SV接收软压板	NRR_LP_01/PISV01/SVINTCTR3\$MX\$Amp	保护电流C相	
1	NRR_LP_01/PROT/GGI019.SPCS03	电流电压链路SV接收软压板	NRR_LP_01/PISV01/SVINTCTR3\$MX\$AmpChB	启动电流C相	

图3 软压板配置信息

Fig. 3 Information of soft platen configuration

序号	发送方装置名	APPID	发送方控制块名称	接收方装置名	接收方数据集名	逻辑链路通信状态变量名	变量中文描述
1	CYSR_LP_01	0x0001	CYSR_LP_01/PIG0/LLN0\$gocb0	CYSR_LP_01	CYSR_LP_01/PIG0/LLN0\$dsGOOSE1	CYSR_LP_01/PROT/GGI02.Aln10.stVal	Gocb2置
2	CYSR_LP_01	0x0005	CYSR_LP_01/PIG1/LLN0\$gocb0	CYSR_LP_01	CYSR_LP_01/PROT/LLN0\$dsCommState2	CYSR_LP_01/PROT/GOALMGGI01.ALMTYPE1COMM01C.stVal	GOCB01

图4 逻辑通信配置信息

Fig. 4 Information of logical communication configuration

3 结论

针对目前智能变电站二次设备在实际生产运行中存在的问题,本文在智能变电站保护装置、间隔保护、变电站保护等模块化的基础上,重点研究介绍了对SCD文件可视化的设计,其中包括SCD可视化构架和SCD文件的管控流程。同时在SCD文件虚回路在线状态监测系统中引入熵权法和灰色关联分析法,将两者结合,用于综合评价识别智能变电站虚回路中的故障类型,同时对各个故障类型有针对性地提出了消除故障隐患的措施。

本文的研究可将原本不可见的虚回路连接以图像化的方式展示出来,避免了运维人员对SCD文件的解析和虚回路连接的检测,极大地减少了任务量。同时,将熵权法和灰色关联分析法结合,构成的综合评价识别法,实现了智能变电站虚回路的在线监测和故障诊断,提高了运维人员的工作效率,进而保障了电网安全。

参考文献

[1] 高翔. 智能变电站技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 1-14.

[2] 李孟超, 王允平, 李献伟. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 50-56.

LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei. Smart substation and technical characteristic analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 50-56.

[3] 张沛超, 高翔. 智能变电站[J]. 电气技术, 2010, 30(8):

4-10.

ZHANG Peichao, GAO Xiang. Intelligent substation[J]. Electrical Technology, 2010, 30(8): 4-10.

[4] 黄益庄. 智能变电站是变电站综合自动化的发展目标[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 88-92.

HUANG Yizhuang. Smart substation is the further objective of SAS[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 88-92.

[5] 高压设备智能电网智能化技术导则: Q/GDWZ410—2010[S].

High voltage apparatus intelligent network intelligent technology guidelines: Q/GDWZ410—2010[S].

[6] 变电站改造智能化技术规范: Q/GDWZ414—2010[S].

Substation intelligent technical specifications: Q/GDWZ414—2010[S].

[7] 智能变电站继电保护技术规范: Q/GDWZ441—2010[S].

Intelligent substation relay protection technical specifications: Q/GDWZ441—2010[S].

[8] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.

ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems faced by the relay protection system of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.

[9] 赵晓明. 基于虚拟仪器技术的二次回路仿真系统研究与应用[J]. 浙江电力, 2013, 32(1): 1-3.

- ZHAO Xiaoming. Research and application of simulation system of secondary circuit based on virtual instrument technology[J]. Zhejiang Electric Power, 2013, 32(1): 1-3.
- [10] 吴义纯, 徐正清, 王国平, 等. 变电站二次仿真回路虚拟测量系统的实现[J]. 自动化技术与应用, 2017, 36(9): 100-104.
- WU Yichun, XU Zhengqing, WANG Guoping, et al. Realization of virtual measurement system of substation secondary simulation circuit[J]. Automation Technique and Application, 2017, 36(9): 100-104.
- [11] 叶远波, 陈晓东, 项忠华, 等. 继电保护在线状态检修的应用和探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(22): 132-138.
- YE Yuanbo, CHEN Xiaodong, XIANG Zhonghua, et al. Application and discussion of relay protection online state maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 132-138.
- [12] 赵晓东, 李锋, 张驰, 等. 基于 SCD 配置文件的高度可视化工具研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(20): 148-152.
- ZHAO Xiaodong, LI Feng, ZHANG Chi, et al. Research on highly visualized tool based on SCD configuration file [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(20): 148-152.
- [13] 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): 21-24, 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): 21-24, 29.
- [14] 管文明. 智能变电站继电保护在线监测系统设计与应用[J]. 通讯世界, 2017(17): 118-119.
- GUAN Wenming. Intelligent substation relay protection online monitoring system design and application[J]. Communication World, 2017(17): 118-119.
- [15] 熊华强, 万勇, 桂小智, 等. 智能变电站 SCD 文件可视化管理和分析决策系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(5): 166-171.
- XIONG Huaqiang, WAN Yong, GUI Xiaozhi, et al. Design and implementation of visual management and analytical decision system for smart substation SCD files[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(5): 166-171.
- [16] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.
- ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.
- [17] 孙一民, 刘宏君, 姜健宁, 等. 智能变电站 SCD 文件管控策略完备性分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(16): 105-109.
- SUN Yimin, LIU Hongjun, JIANG Jianning, et al. Analysis on completeness of substation configuration description file control strategy for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(16): 105-109.
- [18] 高翔, 杨漪俊, 姜健宁, 等. 基于 SCD 的二次回路监测主要技术方案介绍与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 149-154.
- GAO Xiang, YANG Yijun, JIANG Jianning, et al. Analysis of secondary circuit monitoring methods based on SCD[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 149-154.
- [19] 陈立荣, 郭继伟, 王敬敏. 基于熵权的灰色关联分析在电力企业竞争力评价中的应用[J]. 电力学报, 2005, 20(4): 359-361.
- CHEN Lirong, GUO Jiwei, WANG Jingmin. Application of the grey relevant analysis based on entropy in evaluating competition of power enterprises[J]. Journal of Electric Power, 2005, 20(4): 359-361.
- [20] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [21] 王清印. 灰色 B 型关联分析[J]. 华中理工大学学报, 1989, 17(6): 77-82.
- WANG Qingyin. The analysis of grey B correlation[J]. Journal of Huazhong University of Technology, 1989, 17(6): 77-82.

收稿日期: 2018-02-26; 修回日期: 2018-04-27

作者简介:

高旭(1975—), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化设备的运行与管理; E-mail: gao.xu@nc.sgcc.com.cn

刘宏君(1974—), 男, 硕士, 教授级高工, 研究方向为电力系统继电保护及自动化设备的研发; E-mail: liuhj@sznari.com

杜丽艳(1981—), 女, 工程师, 研究方向为电力系统自动化的运行与管理。

(编辑 张爱琴)