

DOI: 10.7667/PSPC151142

## 智能变电站二次系统在线监测评估的研究

李妍<sup>1</sup>, 车勇<sup>2</sup>, 单强<sup>2</sup>, 孙建龙<sup>1,3</sup>, 胡国伟<sup>1</sup>, 李鹏<sup>4</sup>, 李建波<sup>4</sup>, 刘战朋<sup>4</sup>

(1. 国网江苏省电力公司经济技术研究院, 江苏 南京 210008; 2. 新疆电力公司, 新疆 乌鲁木齐 830013;  
3. 东南大学, 江苏 南京 210096; 4. 南京五采智电电力科技有限公司, 江苏 南京 211106)

**摘要:** 针对智能变电站二次系统的通信结构、运行环境、信息量等的变化, 提出了二次系统在线监测评估的体系架构。通过对其核心参数及运行状态的监测评估, 对智能变电站安全隐患进行趋势性判断和损失性评估。围绕二次系统保护测控、智能终端、合并单元、监控系统、对时系统、交换机六大部分, 从评估参量模型、评估子项模型和评估对象模型三个方面描述了完整的在线监测评估模型, 最后给出了在线监测的评估流程。对智能变电站的二次系统进行在线监测与状态评估, 为系统的维护检修带来很大的便利, 为开展状态检修打下基础, 对提高系统的安全稳定运行有重要作用。

**关键词:** 智能变电站; 二次系统; 在线监测评估; 评估模型; 评估流程

### Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation

LI Yan<sup>1</sup>, CHE Yong<sup>2</sup>, SHAN Qiang<sup>2</sup>, SUN Jianlong<sup>1,3</sup>, HU Guowei<sup>1</sup>, LI Peng<sup>4</sup>, LI Jianbo<sup>4</sup>, LIU Zhanpeng<sup>4</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Economic Research, Nanjing 210008, China; 2. Xinjiang Electric Power Company, Urumqi 830013, China; 3. Southeast University, Nanjing 210096, China;  
4. Five-C Smart Power Grid Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

**Abstract:** In view of the changes in communication structure, operating environment and quantity of information of the secondary system of smart substation, an online monitoring and assessing system structure of the secondary system is proposed. Such a system structure will make trend judgement and loss assessment of safety risks in smart substation through monitoring and evaluating its core parameters and operating conditions. Around 6 parts with protection and bay control unit, smart terminal, merging unit, HMI, time synchronization system and switch in the secondary system, the complete on-line monitoring and assessment model is described from three aspects — the evaluation parameter model, the evaluation sub-item model and the evaluation model, and finally the evaluation process of the on-line monitoring system is given. It can carry out the on-line monitoring and status assessment to the secondary system of the smart substation, bring great convenience for the maintenance and repair of the system and lay a foundation for performing the condition based maintenance and it also plays an important role in improving the safety and stable operation of the system.

**Key words:** smart substation; secondary system; on-line monitoring and evaluation; evaluation model; evaluation process

## 0 引言

智能变电站是由智能化一次设备(电子式互感器、智能化开关等)和网络化二次设备分层(过程层、间隔层、站控层)构建, 建立在 IEC 61850 标准和通信规范基础上, 能够实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。在此基础上实现变电站运行操作自动化、变电站信息共享化、变电站分区统一管理、利用计算机仿真技术实现智能

化电网调度和控制的基础单元<sup>[1]</sup>。

智能变电站中虚端子概念的引入以及信息采集传输的全数字化, 使得许多以前可见的物理实体被数字化描述的模型替代, 所以必须由依靠人工监测转向自动化的在线监测。二次系统中通信网络问题、配置参数问题以及数据品质问题等已经上升到影响变电站安全运行的核心要素, 大量的虚拟信息需要通过在线监测评估技术进行分析整理。国内外智能变电站二次系统生产厂家、电力公司的运行人

员以及科研机构都开始关注变电站二次系统的在线监测评估问题<sup>[2-5]</sup>。

目前在线监测评估大部分是针对一次系统展开的,对二次系统在线监测评估还很不完善,特别是对智能变电站二次系统在线监测评估建模及评估流程的研究还极少。本文深入分析智能变电站二次系统的特点,不仅给出了智能变电站二次系统在线监测评估架构,而且提出了完整的二次系统在线监测评估模型和评估流程,并基于一定的评估规则,给出二次系统各个评估对象的状态等级和健康程度。

## 1 在线监测评估架构

早期建设的智能变电站二次系统,主要采用三层两网的架构(三层即分过程层、间隔层、站控层;两网即站控层网和间隔层网)。近年来为了提高变电站数据信息的互联互通能力,将站控层网和间隔层网进行了合一,形成了基于全网数据信息共享的新一代智能变电站二次系统架构。

很明显,新一代智能变电站二次系统对数据通信的实时性、可靠性等更加依赖。二次系统任一通信节点的故障、数据品质的变化都有可能给变电站的运行带来极大的风险。因此必须通过核心参数及运行状态的监测评估,对智能变电站安全隐患进行趋势判断和损失性评估。

图1给出了智能变电站二次系统在线监测评估架构。通过对智能变电站SCD文件的读取和通信报文的在线监测,获取变电站的特征模型和运行状态。整个二次系统在线监测评估过程,即将智能变电站二次系统典型设备作为评估对象,构建了包括参量评估、子项评估及对象评估在内完整的评估体系,最后采用量化的指标来衡量评估对象的状态,给出

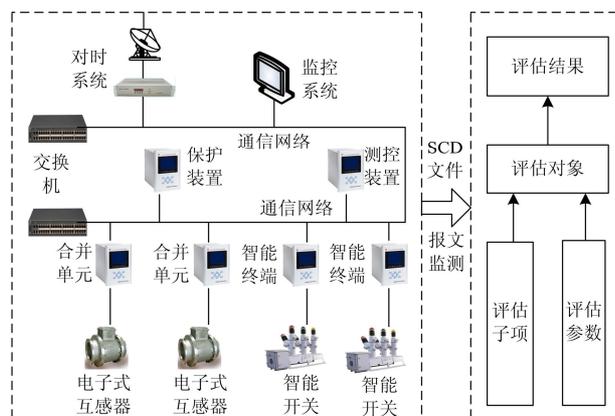


图1 智能变电站二次系统在线监测评估架构

Fig. 1 Framework of on-line monitoring and evaluation on secondary system of smart substation

设备的状态等级和健康程度,指导电力公司运维人员进行二次系统相应设备的检修。

## 2 在线监测评估模型<sup>[6-14]</sup>

智能变电站二次系统在线监测评估需要构建评估模型,围绕智能变电站保护测控装置、智能终端、合并单元、监控系统、对时系统、交换机6大类,构建满足不同评估颗粒度的评估模型,即评估参量模型、评估子项模型和评估对象模型。

### 2.1 评估参量模型

对于评估参量建模,若评估对象依托的设备已存在ICD文件,则评估参量直接在此ICD文件中建模,不应再新建不同的ICD文件;若评估对象依托的设备没有ICD文件,如对时系统、监控系统、网络系统、交换机等,可建立新的ICD文件,评估参量模型建立在新的ICD文件下;对于评估参量建模,新扩展的逻辑节点不宜扩展新的逻辑设备,宜在LD0、MEAS、PROT等逻辑设备下管理。

#### 2.1.1 保护测控、智能终端和合并单元的评估参量模型

保护测控采集的评估参量,若符合IEC61850-7-4<sup>[15]</sup>或Q/GDW1396<sup>[16]</sup>,可直接引用标准的逻辑节点,若评估参量已在ICD中建模,不用重复建模,例如保护测量、保护告警、保护动作、开入量等;对于新扩展的评估参量,例如温度、电平、光强、端口信息等,可在站内ICD文件基础上增加此类评估参量的逻辑节点或数据对象,新扩展的评估参量可寄宿在标准的逻辑节点下直接扩展数据对象,若新增的评估参量无可寄宿的标准逻辑节点,可扩展新的逻辑节点类。

#### 2.1.2 交换机的评估参量模型

交换机的评估参量模型需建立新的ICD文件,可参考Q/GDW1845-2012<sup>[17]</sup>附录D。包含下列逻辑节点:端口统计信息逻辑节点APST、端口邻居信息逻辑节点APNE、告警信息GGIO等。

#### 2.1.3 监控系统的评估参量模型

监控系统的评估参量模型需建立新的ICD文件,包含下列逻辑节点(新扩展逻辑节点):服务器CPU负载、内存使用、磁盘余量、核心进程信息、down机时间、IED设备通信状态、IED重连次数、召唤次数、数据召唤流量、服务器同步数据流量、数据库容量、客户端连接数。

#### 2.1.4 对时系统的评估参量模型

对时系统的评估参量模型需建立新的ICD文件,包含下列逻辑节点(新扩展逻辑节点):GPS卫星接收灵敏度、GPS卫星接收颗数、GPS卫星接收捕获时间、GPS卫星接收前沿准确度、北斗接收灵敏

度、北斗卫星捕获时间、授时精度、对时光纤输出信息、对时 TTL 输出信息、对时空接点输出信息、对时 IRIG-B 输出信息、对时 RS485 差分输出信息、对时 RS232 串口输出信息、对时 RJ45 网络输出信息。

### 2.2 评估子项模型

总结分析了智能变电站二次系统的运行行为，梳理了 18 项核心评估子项，主要包括：采样精度、运行环境、内部环境、自检状态、保护启动、开入一致性、开入实时性、开出功能、整组动作时间、端口流量、无故障时间、正确动作、正确控制、站控层通信、过程层通信、端口功能、端口性能、定时接收、定时输出。

以内部环境评估子项为例，这是一个用于评估服务器性能的评估模型。表 1 给出了内部环境评估项。

表 1 内部环境评估子项

Table 1 Internal environmental evaluation items

属性名	属性类型	全称	M/O	中文语义
公用逻辑节点信息				
Mod	INC	Mode	M	模式
Beh	INS	Behaviour	M	行为
Health	INS	Health	M	健康状态
NamPt	LPL	Name	M	逻辑节点铭牌
评估参量				
CPUload	MV		O	CPU 负载
RAMMem	MV		O	内存数据
HDMem	MV		O	硬盘数据
PSta	MV		O	进程状态
DBMem	MV		O	数据库容量
定值				
WarVal	ASG		M	预警门槛
评估结果				
SubEvlVal	CN_INS		M	评估子项评估结果

评估子项模型主要由公用逻辑节点信息、评估参量、定值以及评估结果组成。表中内部环境评估子项中公用逻辑节点信息包括模式、行为、健康状态以及逻辑节点铭牌，可从 SCD 文件中读取继承；评估参量包括 CPU 负载、内存数据、硬盘数据、进程状态以及数据库容量，是评估设备内部运行性能的主要参数；定值中有一项预警门槛，是判别评估结果的重要依据，直接反映设备的状态等级和健康程度。

### 2.3 评估对象模型

对于智能变电站二次系统典型设备的对象评

估模型，则需要从多个评估子项的评估模型中进行引用和继承，包括趋势性评估和损失性评估内容。

以继电保护评估对象为例，其评估子项包括运行环境、无故障时间、开入一致性、开入实时性、站控层通信、过程层通信、保护启动、保护动作、正确动作以及自检状态信息等。其评估对象模型如表 2。

表 2 继电保护类评估对象模型

Table 2 Relay protection class evaluation object model

评估类	评估子项	逻辑节点类	M/O	LD
共用部分	管理逻辑节点	LLN0	M	MONT
	物理设备逻辑节点	LPHD	M	
趋势性评估	运行环境	ESRE	M	
	采样精度	ESSA	M	
	无故障时间	ESNF	M	
	开入一致性	ESDC	M	
	开入实时性	ESDR	M	
	站控层通信	ESSP	M	
	过程层通信	ESPP	M	
损失性评估	保护启动	ESPS	M	
	保护动作	ESPO	M	
	正确动作	ESCO	M	
	自检状态	ESRS	M	

评估对象模型除了共用部分都需要引入二次系统设备管理逻辑节点和物理设备逻辑节点外，需要根据不同的评估内容，选择不同的评估子项进行评估。还是以继电保护评估对象为例，对于趋势性评估，需要引用运行环境、采样精度、无故障时间、开入一致性、开入实时性、站控层通信以及过程层通信评估子项模型，对于损失性评估，需要引用保护启动、保护动作、正确动作、自检状态评估子项模型。

## 3 在线监测评估流程<sup>[18]</sup>

智能变电站二次系统在线监测评估流程包括模型和数据读入(SCD 配置文件导入及 SV、GOOSE 等报文在线监测)，状态评估过程及评估数据输出三个阶段。智能变电站二次系统在线监测评估流程见图 2。评估流程分为以下 7 个步骤。

(1) 评估参量模型的建立或导入。若评估对象已有 ICD 文件，在此 ICD 文件基础上增加评估参量的数据对象或者逻辑节点。若评估对象无 ICD 文件，新建 ICD 文件，仅需配置评估的评估参量模型。同时也可导入评估参量模型配置 ICD 文件，参数模型

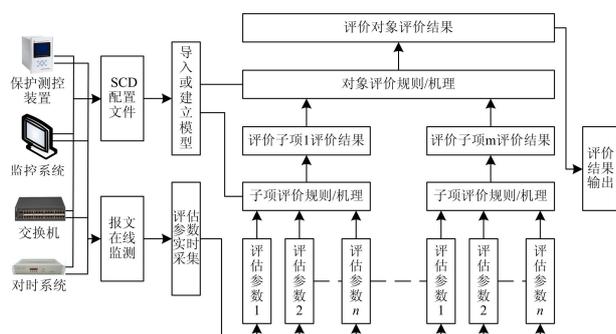


图2 智能变电站在线监测评估流程

Fig. 2 Process of on-line monitoring and evaluation of smart substation

建立后,方可依据评估参量模型信息实时采集评估对象的评估参量。

(2) 评估子项模型的建立。评估参量数据对象和评估子项的评估结果数据对象共同组成一个评估子项对应的逻辑节点。若一个评估对象下有多个评估子项,可按照同样的方法建立多个评估子项的逻辑节点。

(3) 评估对象模型的建立。各个评估子项的逻辑节点共同组成评估对象的 ICD 模型文件。评估对象模型下仅包含多个评估子项的逻辑节点。

(4) 评估参量的选择。针对某一个评估子项,在评估子项模型中选择一个或者多个评估参量。

(5) 评估子项的评估规则搭建。选择评估参量后,搭建与或非、延时、取反、特征曲线、特征算法等逻辑。

(6) 评估对象的评估规则搭建。选择评估子项的评估结果,按照一定的权重和比例分值,搭建评估对象的评估方法逻辑。

(7) 评估对象的评估结果的输出。采用量化的指标来衡量评估对象的状态,可指导用户的状态检修。评估结果包括状态等级和健康程度,状态等级分为:“良好状态”、“正常状态”、“预警状态”、“一般故障”和“严重故障”5个状态。

## 4 结语

基于智能变电站二次系统在线监测评估这一现实需求出发,对影响变电站二次系统的重要参数及运行状态进行了分析,提出了开展智能变电站在线监测评估的体系架构,构建了包括评估参量、评估子项及评估对象在内完整的评估模型,并给出了开展智能变电站二次系统在线监测评估的具体流程,建立了较为完整的监测评估理论体系。

智能变电站二次系统在线监测评估的准确性

对于提升智能变电站的运维能力具有重要意义。下一步需要结合更多的现场运维数据和案例,优化二次系统在线监测评估模型,形成在线监测评估专家策略库,使评估结果更加科学。

## 参考文献

- [1] 李孟超,王允平,李献伟,等. 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): 59-62.  
LI Mengchao, WANG Yunping, LI Xianwei, et al. Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 59-62.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 潘华君,许晓峰,许东,等. 基于模糊评判法的智能变电站二次系统状态评估[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2014, 10(2): 143-147.  
PAN Huajun, XU Xiaofeng, XU Dong, et al. Status evaluation of secondary system in smart substation based on comprehensive fuzzy evaluation method[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science), 2014, 10(2): 143-147.
- [6] 朱林,王鹏远,石东源. 智能变电站通信网络状态监测信息模型及配置描述[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(11): 87-91.  
ZHU Lin, WANG Pengyuan, SHI Dongyuan. Status monitoring information model and configuration description of communication network in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(11): 87-91.
- [7] 倪益民,杨宇,樊陈,等. 智能变电站二次设备集成方

案讨论[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3): 194-199.  
 NI Yimin, YANG Yu, FAN Chen, et al. Discussion on integration of secondary devices in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 194-199.

[8] 王同文, 谢民, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66.  
 WANG Tongwen, XIE Min, SUN Yueqin, et al. Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 58-66.

[9] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 24-27.  
 LI Ruisheng, LI Yanbin, ZHOU Fengquan. The functional frame and design principles of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 24-27.

[10] 张跃丽, 陈幸琼, 王承民. 智能变电站二次系统可靠性评估[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(11): 7-12.  
 ZHANG Yueli, CHEN Xingqiong, WANG Chengmin. Reliability assessment of smart substation secondary system[J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(11): 7-12.

[11] 雷宇, 李涛. 变电站综合自动化系统可靠性的定量评估[J]. 电力科学与工程, 2009, 25(6): 37-40.  
 LEI Yu, LI Tao. Reliability evaluation of substation automation system[J]. Electric Power Science and Engineering, 2009, 25(6): 37-40.

[12] 耿方方, 高强, 崔绍飞. 基于物元模型的继电保护业务可靠性评估[J]. 电力科学与工程, 2009, 25(3): 28-32.  
 GENG Fangfang, GAO Qiang, CUI Shaofei. Reliability evaluation of relay protection service based on matterelement model[J]. Electric Power Science and Engineering, 2009, 25(3): 28-32.

[13] 卢岩, 宋玮, 于同伟, 等. 智能变电站过程层数据共网可靠性研究[J]. 电力科学与工程, 2012, 28(6): 51-55.  
 LU Yan, SONG Wei, YU Tongwei, et al. Research on reliability of the process layer data in one network on smart substation[J]. Electric Power Science and Engineering, 2012, 28(6): 51-55.

[14] 徐天奇, 李琰, 尹项根, 等. 数字化变电站自动化系统可靠性评估[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 12-17, 67.  
 XU Tianqi, LI Yan, YIN Xianggen, et al. Reliability assessment of digital substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 12-17, 67.

[15] Communication networks and systems in substations – part 7-4: basic communication structure for substation and feeder equipment – compatible logical node classes and data classes[S]. 2003.

[16] 国家电网公司. Q/GDW 1396-2012 IEC 61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[17] 国家电网公司. Q/GDW 1845-2012 智能变电站网络交换机技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[18] 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.

收稿日期: 2015-07-03; 修回日期: 2015-10-21

作者简介:

李妍(1981-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为输变电工程的建设与设计; E-mail: simple198136@126.com

车勇(1965-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力工程建设管理与技术;

单强(1971-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力工程建设管理与技术。

(编辑 姜新丽)