

DOI: 10.7667/PSPC161910

智能变电站二次安措策略自动生成和在线校核技术

刘孝刚¹, 施琳¹, 张帆¹, 李鹏², 顾俊捷²

(1. 国网江苏省电力公司检修分公司, 江苏 南京 211100; 2. 南京五采智电电力科技有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 针对目前智能变电站在二次安措票填写及校核方面效率不高且容易出错的情况, 提出了一种二次安措策略自动生成和在线校核技术, 设计了一套检修安措策略规则。软件根据二次设备之间的停役关系以及对应一次设备的停电状态, 分析检修安措时的隔离点及隔离措施, 自动生成 word 格式的安全措施票及 XML 格式的安措执行条目表。开发了一种具有制造报文规范(MMS)通信功能的手持终端设备, 解析变电站配置描述(SCD)文件和安措执行条目表并连接相应的二次设备获取实时状态量信息, 对安措执行情况以在线可视化图形界面的方式进行在线校核。通过自动生成与在线校核两方面, 提高智能变电站现场技改、消缺和校验的工作效率, 同时减少人为因素造成的工作失误。

关键词: 智能变电站; 二次安措; 隔离点; 自动生成; 在线校核

Automatic generation and online checking technology for secondary safety measures of smart substation

LIU Xiaogang¹, SHI Lin¹, ZHANG Fan¹, LI Peng², GU Junjie²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211100, China;
2. Five-C Smart Power Grid Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: At present, filling in and checking secondary safety measures tickets of smart substation are inefficient and error-prone. This paper proposes a secondary safety measures strategy on automatically generating and online checking technology, and designs a set of policy rules of secondary safety measures. Based on the relationship between the secondary equipment and the outage status of the corresponding equipment, the developed software analyzes the separation points and the separation measures, then automatically generates word format safety tickets and XML format of the secondary safety measures. The developed hand-held terminal device with manufacturing message specification (MMS) communication functions could analyze the substation configuration description (SCD) file and the XML format and obtain real-time state information by connecting to the corresponding secondary equipment. The implementation of the safety measures has online visual graphical interface for online checking. The automatic generation and online checking technology would improve the efficiency of the smart substation site technical transformation, defects eliminating and proof test, and reduce the fault of the work caused by the human factors.

Key words: smart substation; secondary safety measures; separation points; automatic generation; online checking

0 引言

随着目前智能变电站的大规模建设投运, 作为智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的核心枢纽, 智能变电站已成为电网的重要组成部分, 对电网的安全稳定运行有着直接影响^[1-6]。智能变电站的顺利建设投产, 只是变电站全生命周期中的一

个环节, 保障智能电网的安全、稳定和经济运行, 后期还面临定期检修、消缺和技改等工作^[7-9]。因此, 智能变电站的检修运维技术越来越受到重视, 二次安全措施是检修运维工作中的重要一环, 是待检修设备与运行设备之间的重要防护措施, 关系整个电网的安全稳定运行。

目前, 国家电网公司针对智能变电站发布了《国网调中心关于印发智能变电站继电保护和自动装置现场检修安全措施指导意见(试行)的通知(调继

[2015] 92 号)》^[10], 二次检修安全措施的主要方式有: 投退过程层链路软压板、投入装置检修硬压板、投退装置出口压板和拔光纤断开物理回路等。虽然从一定程度上规范了检修工作期间的具体实施方式, 但在实际实施过程中还得强化智能变电站安措执行条目的先后顺序, 顺序不正确也可能导致保护装置误闭锁; 拔插光纤频繁也会影响到光纤的使用寿命, 不利于智能变电站的稳定运行^[11-16]。同时, 检修二次安全措施票的开具主要还是由运维检修人员手动填写去完成, 容易缺项漏项, 效率不高, 并且开具二次安全措施票的准确性也会受相关人员水平限制, 不利于电网的安全运行。故而关于智能变电站二次安全策略研究出一套通用且可靠的自动生成及在线校核技术十分必要。

本文对当前智能变电站二次安全策略进行探讨研究, 并通过智能变电站的标准配置描述文件 (Substation Configuration Description, SCD) 及相关规范^[17-20], 梳理出一种二次检修安措策略生成规则, 以此为基础, 提出了一种二次安措策略自动生成及在线校核的方法, 为智能变电站二次安全措施的研究和发展提供参考。

1 二次安全策略机制

智能变电站安全策略主要是指在变电检修时, 为保障人身、电网和设备等的安全, 将待检修设备和运行设备进行安全隔离的措施。二次设备检修作业时, 应隔离采样、跳闸(包括远跳)、合闸、启失灵等与运行设备相关的联系, 并保证安全措施不影响运行设备的正常运行, 常用隔离机制有如下几种。

1.1 软压板机制

过程层软压板分为 GOOSE 发送软压板、GOOSE 接收软压板和 SV 软压板 3 种。根据国网 1396 规范, 软压板只存在于保护和测控等站控层设备中, 且 GOOSE 接收软压板只存在于母差及主变保护的失灵回路中。

1) 当 GOOSE 发送软压板退出时, 本装置不向外发送相应保护指令;

2) 当 GOOSE 接收软压板退出时, 本装置对其他装置发来的相应 GOOSE 信号不作逻辑处理;

3) 当 SV 软压板退出时, 本装置相应回路采样值不显示, 并且不参与保护计算。

1.2 检修机制

智能变电站引入了与常规变电站不一样的检修机制, 常规变电站的检修机制主要是屏蔽制造报文规范 (Manufacturing Message Specification, MMS) 层报文上送监控系统; 而智能变电站的检修机制是将

MMS 层报文带检修标志上送监控系统; 同时对于过程层, 装置收到带有品质为 TEST 的 GOOSE、SV 报文后, 会将此与装置本身的检修状态做“异或”逻辑处理, 若两者一致, 则进行处理, 反之则将报文视为无效, 不做逻辑处理^[21]。

1.3 光纤机制

智能变电站过程层网络报文信息通过光纤传输, 装置根据收到的心跳报文来判断光纤链路的通断, 断开装置间的光纤链路, 能保证检修装置与运行装置之间可靠隔离。

1.4 出口硬压板

区别于常规变电站, 智能变电站的出口硬压板由智能终端控制^[22], 处于智能终端和断路器之间的电气回路中, 可作为明显的断开点, 将二次回路可靠断开。

依据 92 号文要求, 在不影响运行设备功能的前提下, 智能变电站的检修二次安措应按照双重化、最少化的原则进行设计。4 种方案中, 投退软压板、检修压板、出口硬压板相对简便, 拔光纤虽然能断开物理回路, 但容易缩减光纤使用寿命。二次安措策略的自动生成可依据以上 4 种隔离方案展开, 同时通过采集二次设备的状态信息开展可视化在线校核工作。

2 方案设计及软件实现

2.1 整体设计流程

整体设计方案流程如图 1 所示。

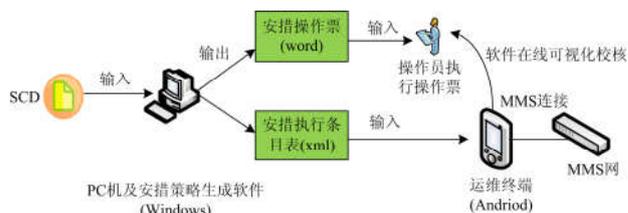


图 1 整体设计流程

Fig. 1 Overall design process

1) 在 PC 机上安装安措策略生成软件, 导入 SCD 文件, 获取 IED 之间的逻辑关系。

2) 用户点击一次、二次等相关设备划定检修范围, 软件根据 IED 之间的逻辑关系, 分析出待检修设备与运行设备的隔离点, 分析各个虚回路连接与之对应的软压板。根据安全策略规则, 对相关的 GOOSE、SV 软压板、检修硬压板、智能终端的出口硬压板和光纤等的投入退出或断开进行分析。

3) 策略分析完成后根据该地区对应的安措模板格式给出安全措施票, 同时生成该安措票的文本

文件,即安措执行条目表,该文件中记录安措执行的详细步骤,设备对象,IEDname、操作的软硬压板的引用名、期望值等。

4) 将安措执行条目文件导入手持终端中,手持终端解析条目表,启动 MMS 服务连接各个 IED 设备,对于可以进行连接的设备进行在线校核,为了更方便地展示其逻辑连接关系,将采用图形可视化的方式进行展示。

5) 可视化的图形在手持终端上可以以某个 IED 设备视角为中心进行展示,其关键点在于如何将软压板与虚回路的连接关系进行耦合,软压板和检修压板可动态展示,可根据 MMS 上送的状态量进行实时更新,其状态值应为操作票执行后的状态显示。

2.2 安措自动生成软件架构及实现

2.2.1 安措自动生成软件架构

安措自动生成软件,采用跨平台语言 Qt 实现软件平台,加上策略解析库及图形化逻辑搭建,用户可以通过该软件自行选定检修范围,生成检修安措 word 文档,并可进行增加、删除和修改等操作。

2.2.2 安措自动生成软件实现

图 2 为安措自动生成软件设计结构图。

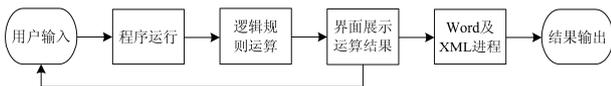


图 2 安措自动生成软件设计结构图

Fig. 2 Structure diagram of automatic generation software design

用户通过软件界面划定检修范围,程序根据划定的检修范围,通过策略解析库进行策略规则运算,将得出的安措信息在软件界面展示,用户可对此结果进行判定及增删改操作,结果无误后则确认进行下一步操作,通过 Word 及 XML 进程,生成最终安措票(word)及安措执行条目(XML)。

2.3 安措在线校核软件架构及实现

2.3.1 安措在线校核软件架构

安措在线校核软件,以 Java 作为开发工具,基于 Andriod 系统平台,通过移植 MMS 应用、XML 解析功能和图形可视化功能,用户可方便获取判定结果及当前设备隔离状态。

2.3.2 安措在线校核软件实现

如图 3 为安措在线校核软件设计结构图。用户通过手持终端导入安措执行条目表(XML),程序根据 XML 文件解析出安措执行步骤及期望结果,同时通过从 MMS 层读取到当前安措执行状态,再根据期望结果进行判定,最后通过终端可视化图形界面展示在线校核结果。

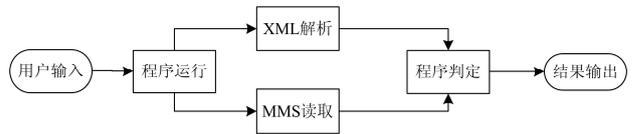


图 3 安措在线校核软件设计结构图

Fig. 3 Structure diagram of on-line checking software design

3 检修安措的自动生成技术

3.1 典型二次设备安全措施

以某 500 kV 智能变电站的 5041 边开关保护(3/2 接线方式)改造为例,整串间隔带三个开关、一台主变、一条出线。一次停电设备:5041 开关;二次停役设备:5041 断路器保护、5041 断路器智能终端、5041 断路器合并单元。

图 4—图 6 所示为该边开关停役时,以各二次检修设备为中心的设备逻辑图。

为防止边开关二次设备检修对相应主变保护、母线保护、中开关保护和中开关智能终端的影响,就需要做如下隔离措施:

- 1) 退出“PL5091A 母线保护”的“5041 支路 SV 接收软压板”;
- 2) 退出“PT5002A 主变保护”的“5041 支路 SV 接收软压板”;

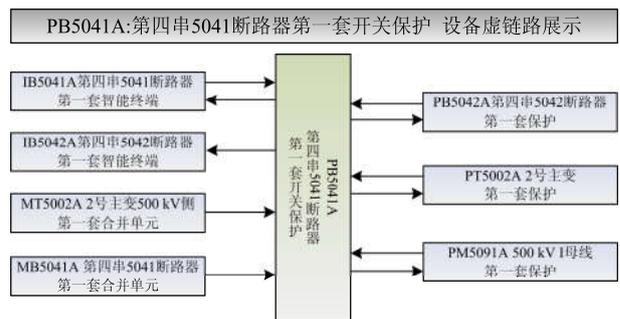


图 4 设备虚链路展示(保护)

Fig. 4 Virtual link display device (protection device)

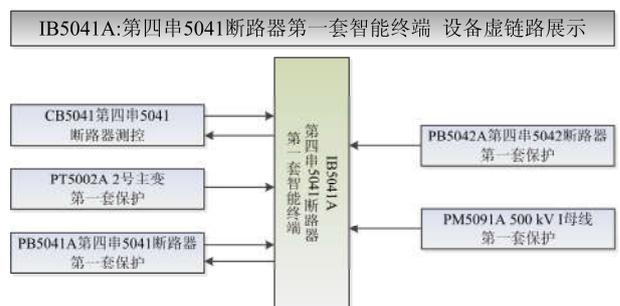


图 5 设备虚链路展示(智能终端)

Fig. 5 Virtual link display device (intelligent terminal)

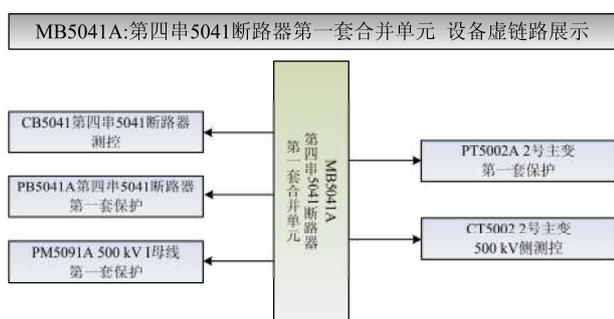


图6 设备虚链路展示(合并单元)

Fig. 6 Virtual link display device (merging unit)

3) 退出“PL5091A 母线保护”的“5041 支路失灵联跳开入”GOOSE 接收软压板;

4) 退出“PT5002A 主变保护”的“高压 1 侧失灵联跳开入”GOOSE 接收软压板;

5) 退出“PB5041A 边断路器保护”的“失灵跳闸”GOOSE 发送软压板, 并且投入其检修硬压板;

6) 如有需要断开与运行链路之间的光纤回路;

7) 投入“IB5041A 边断路器智能终端”的检修硬压板;

8) 将“MB5041A 边断路器合并单元”的电流回路断开并短接, 电压回路断开, 并且投入其检修硬压板。

3.2 安措策略软件自动生成总体规则

通过分析大量典型设备安措, 并结合变电站安全措施票相关规范, 设计了安措策略自动生成的总体规则。

1) 通过分析 SCD 文件获取以检修设备为视角的逻辑关系图, 逐个分析运行设备与检修设备之间的隔离点, 自动生成安措策略。

2) 发送侧软压板根据 1396 规范能够较为准确地定位与虚回路的对应关系, 没有按照 1396 规范建模的采用模糊语句进行描述; 接收侧软压板无法准确定位虚回路的对应关系, 将通过模糊语句进行描述。

3) 凡是采用模糊语句进行描述的都应该提供 dsRelayEna 的软压板下拉框, 通过人工方式进行准确关联, 继而生成准确的操作票和 XML 文件, 未人工关联的通过模糊语句进行生成。

4) 所有逻辑关系生成后, 应按照设备为单位, 再进行整理, 合并冗余链路的软压板。

3.3 隔离点及安措判断原则

1) 用户在软件界面手动勾选相关检修设备;

2) 软件解析 SCD 文件, 依次分析检修设备, 以检修设备为中心分析所有的发送接收链路;

3) 以检修机制为基础, 两侧检修不一致处为隔离点, 此时考虑安措;

4) 当链路两侧设备均检修时, 则不考虑安措。

3.4 软压板与虚回路对应原则

3.4.1 GOOSE、SV 链路判断原则

根据接收虚端子的引用名区分 SV 链路和 GOOSE 链路, 如果是 SVIN 前缀则为 SV 链路, 如果是 GOIN 前缀链路则是 GOOSE 链路。

3.4.2 SV 链路跟软压板对应原则

一个 SV 链路需要对应一个 SV 接收软压板, 即在软压板数据集中寻找相对应的 SV 接收软压板, 由于虚回路和软压板信息没有对应关系, 因此需要人工对应。

3.4.3 GOOSE 链路跟软压板对应原则

1. 发送或者接收设备含有“测控”关键字, 不设置 GOOSE 发送和接收软压板。

2. 对智能终端为发送设备的链路, 不设置 GOOSE 发送和接收软压板。

3. 其他 GOOSE 链路, 应当在发送侧设置 GOOSE 发送软压板。分三种类型进行说明。

1) 如果发送侧是线路、断路器保护, 映射方法

a. 如果虚端子描述含有“跳”, 虚端子对应的压板是跳闸软压板, 即在软压板数据集中寻找 PTRC*.TrStrap 的引用名, 且虚端子和软压板的实例号相同;

b. 如果虚端子描述含有“闭锁重合闸”、“永跳”、“闭锁断路器重合闸”、“闭锁边断路器重合闸”, 虚端子对应的压板是闭锁重合软压板, 即在软压板数据集中寻找 PTRC*.BlkRecStrp 的引用名, 且虚端子和软压板的实例号相同;

c. 如果虚端子描述含有“失灵”, 虚端子对应的压板是启动失灵软压板, 即在软压板数据集中寻找 PTRC*.StrBFStrp 的引用名, 且虚端子和软压板的实例号相同;

d. 如果虚端子描述含有“重合闸”, 虚端子对应的压板是重合闸软压板, 即在软压板数据集中寻找 RREC*.OpStrp 的引用名, 且虚端子和软压板的实例号相同。

2) 如果发送侧是母线, 映射方法

a. 如果虚端子描述含有“跳”, 虚端子对应的压板是跳闸软压板, 即在软压板数据集中寻找 PTRC*.TrStrap 的引用名, 且虚端子和软压板的实例号相同;

b. 如果虚端子描述含有“启动失灵”, 虚端子对应的压板是启动失灵软压板, 即在软压板数据集中寻找 PTRC*.StrBFStrp 的引用名, 且虚端子和软压

板的实例号相同;

c. 如果虚端子描述含有“失灵联跳”,虚端子对应的压板是失灵联跳软压板,即在软压板数据集中寻找 RBRF *. TrStrap 的引用名,且虚端子和软压板的实例号相同。

3) 如果发送侧是变压器,映射方法

a. 如果虚端子描述含有“跳”,虚端子对应的压板是跳闸软压板,即在软压板数据集中寻找 PTRC*.TrStrap 的引用名,且虚端子和软压板的实例号相同;

b. 如果虚端子描述含有“启动失灵”,虚端子对应的压板是启动失灵软压板,即在软压板数据集中寻找 PTRC*. StrBFStrp 的引用名,且虚端子和软压板的实例号相同;

c. 如果虚端子描述含有“备自投”,虚端子对应的压板是失灵联跳软压板,即在软压板数据集中寻找 GGIO *. TrStrap 的引用名,且虚端子和软压板的实例号相同。

4) 如果接收设备是母线或主变保护的失灵回路,再增加接收软压板,即在软压板数据集中寻找相对应的失灵开入软压板,由于虚回路和软压板信息没有对应关系,因此需要人工对应。如“高压 1 侧失灵开入”对应“高压 1 侧失灵开入软压板”。

5) 如果发送设备是母线保护,接收设备是智能终端或边开关的,跳闸和启动失灵共用跳闸压板,即在软压板数据集中寻找相对应的跳闸软压板。

3.5 安措策略自动生成顺序原则

1) 第一次遍历所有勾选的检修设备,分析隔离点,退出运行设备内该检修设备的 SV 接收软压板;

2) 第二次遍历所有勾选的检修设备,分析隔离点,退出运行设备内该检修设备的 GOOSE 接收软压板;

3) 第三次遍历所有勾选的检修设备,分析隔离点,退出检修设备内至运行间隔的 GOOSE 发送软压板;

4) 如有需要则断开检修设备与运行设备之间的光纤回路;

5) 如果该一次设备不停电,退出该间隔智能终端出口硬压板;

6) 投入检修设备的检修硬压板;

7) 如果该一次设备停电,电流回路断开并短接,电压回路断开。

3.6 安措策略生成软件自动生成结果

安措策略软件按生成规则及地区模板,最终生成“二次工作安全措施票”(图 7)和“安措执行条目(XML 文件)(图 8)”。

附件 A: 二次工作安全措施票

单位: 检修分公司		工作票号: _____		
检修设备名称	500kV XXX 变电站 50X3 开关智能控制柜			
工作负责人	工作时间	年 月 日	签发人	
工作内容:				
一、安全措施				
序号	执行	回路类别	安全措施内容	收费
1		出口硬压板	退出 50X3 开关智能终端 A 所有出口硬压板	
2		检修状态	投入 50X3 开关智能单元 A 检修压板	
二、二次设备状态记录				

图 7 安全措施票

Fig. 7 Safety measures

```
<Precaution>
<IED desc="变压器保护" name="PT2201A" ipaddr="198.120.0.19" />
<Entry desc="投入变压器保护检修压板" ref="LD0/GGIO1.SPCSO1.stVal" expect="1"/>
<Entry desc="退出中央解除复压闭锁GOOSE出口软压板" ref="LD0/GGIO1.SPCSO2.stVal" expect="0"/>
<Entry desc="退出启动中压侧断路器失灵GOOSE出口软压板" ref="LD0/GGIO1.SPCSO3.stVal" expect="0"/>
<Entry desc="退出跳中压侧母联GOOSE出口软压板" ref="LD0/GGIO1.SPCSO4.stVal" expect="0"/>
<Entry desc="退出跳中压侧分段1 GOOSE出口软压板" ref="LD0/GGIO1.SPCSO5.stVal" expect="0"/>
<Entry desc="退出跳中压侧分段2 GOOSE出口软压板" ref="LD0/GGIO1.SPCSO6.stVal" expect="0"/>
<Entry desc="检修硬压板" ref="LD0/GGIO1.Ind1.stVal" expect="1"/>
</IED>
</Precaution>
```

图 8 安措执行条目(XML)

Fig. 8 Safety measures executive entry (XML)

3.7 安措执行条目模板文件格式说明

图 8 为软件自动生成的安措执行条目表,同时作出了表内元素的定义。

1) Precaution 根元素,表示安措执行条目。

2) IED 元素,表示装置信息。一个 Precaution 元素包括一个或多个 IED 元素,IED 属性有 desc, name, ipaddr。desc 表示设备描述信息, name 表示 IED 的名称, ipaddr 表示 IED 的 IP 地址。

3) Entry 元素,表示安全措施的条目。一个 IED 元素包括一个或多个 Entry 元素,Entry 属性有 desc, ref, expect。desc 表示安措内容描述; ref 表示这条安措信息的信号引用名; expect 表示这条安措信息的期望值。

4 检修安措的在线校核技术

检修安措的在线校核技术可以帮助运行人员辅助校验安措步骤的执行情况,通过图形化的方式显示当前设备的隔离状态,有效地提高安措步骤的准确性,有助于智能变电站检修工作的效率开展。

检修安措的在线校核技术关键在于 MMS 客户端程序在手持终端安卓平台上的移植应用及手持终端可视化在线校核界面的实现。

1) MMS 客户端程序移植手持安卓平台

在手持安卓平台实现 MMS 客户端程序功能,可实现手持终端通过解析 XML 条目表,启动 MMS 服务连接各个 IED 设备,读取 IED 设备软压板、检修压板和链路状态等状态量的实时值。

2) 可视化在线校核

在手持终端上以当前检修设备为中心, 通过图形可视化的方式, 展示出当前检修设备的二次虚回

路信息及相关 GOOSE、SV 软压板和检修硬压板等状态, 如图 9 所示。

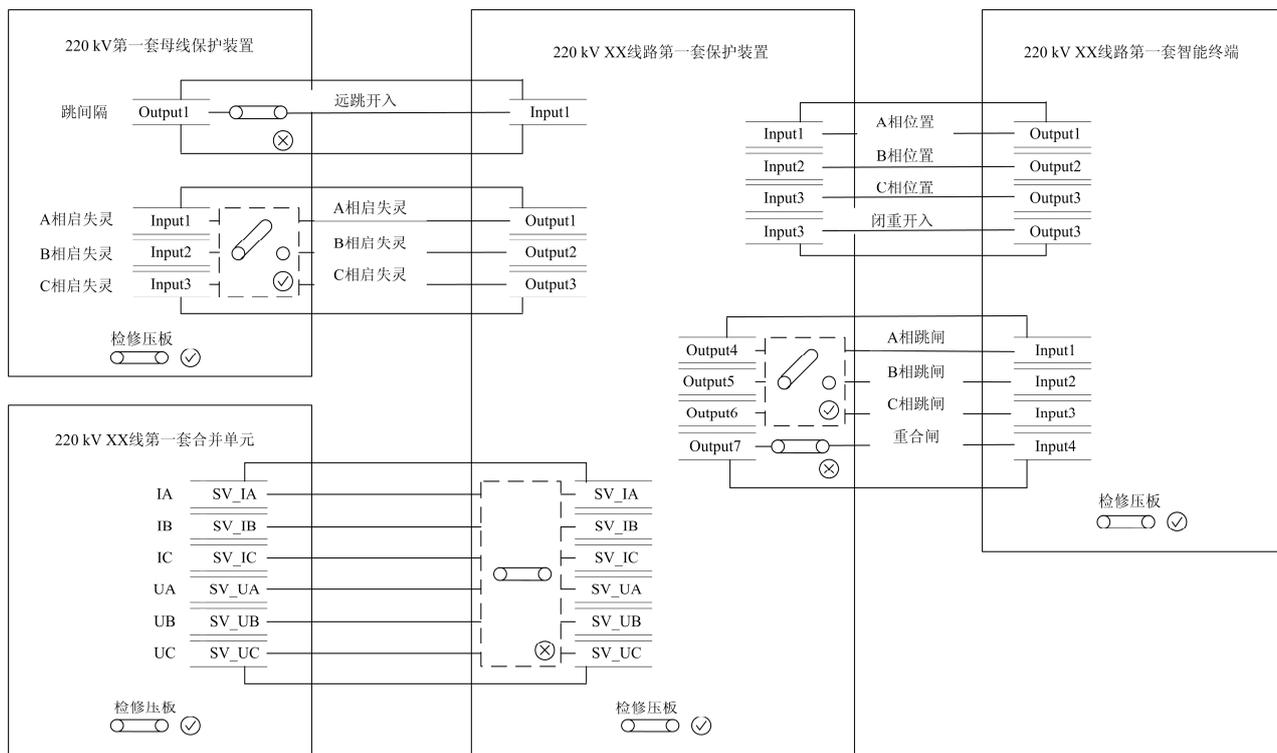


图 9 在线可视化界面

Fig. 9 Online visual interface

手持终端在线可视化校核界面展示的实时二次回路及压板状态, 有效地显示了当前检修设备的隔离状态; 另外通过解析执行条目文件(XML)获取到的执行步骤, 软件可自动判定执行结果, 有效保证了安措步骤的执行正确率, 降低了误操作的风险。

5 安措方案优劣分析

表 1 所示为本设计方案与传统方案的差别, 在检修隔离点安措分析、安措票生成和安措票执行后校核方面实现了自动或部分自动的优化。

表 1 安措方案优劣分析

Table 1 Strength and weakness analysis of the safety measures

内容	传统方式	本技术方式
检修隔离点安措分析	人工	自动
安措票编写	人工	自动
安措票审核	人工	人工
安措票执行	人工	人工
安措执行后校核	人工	部分自动

变电站在进行二次设备检修、技改和校验等工作前, 需开具二次安全措施票。传统方式下, 二次

安全措施票一般通过检修运维人员根据相关工作内容要求、规范要求 and 地区模板要求等分析检修隔离点安全措施, 按屏柜或设备依次人工填写所有安全措施条目, 并经相关人员审核无误后方可使用。同时, 安全措施票的开具效率也受限于不同检修运维人员对智能变电站了解程度的水平差异以及变电站的规模和检修范围的差异。另外, 在二次安全措施票实施过程中, 每一步操作的同时需进行监护并确认成功操作后方可进行下一步操作。

本文提出了智能变电站二次安措策略自动生成与在线校核技术。在二次安全措施票生成方面, 检修人员只需在软件界面根据检修范围划定检修设备及确定检修方式, 软件会自动进行隔离点安全措施分析, 自动生成符合该地区模板要求的二次安全措施票, 检修运维相关人员审核确认无误后, 便可使用, 有效提高开具二次安全措施票的效率。在二次安全措施票实施过程中, 可视化在线校核功能可以实时读取相关检修设备的信号状态并进行可视化展示, 对于断开 CT、PT 端子连片等少数状态, 因无相关信号, 还需检修运维人员人工核实, 故为部分

自动方式，可以辅助检修运维人员对每一步安全措施操作结果进行核对，有效保障操作的正确性。

6 结论

智能变电站区别于传统变电站，在数据传输上有着本质的不同，大量采用光纤通信传输，其安全措施发生了极大改变。同时，当前安全措施票依靠人工方式编写及审核，安全措施票编写存在效率不高和准确性低的问题。因此，如何可靠和有效地检修作业是智能变电站发展过程中的重要问题。

针对上述问题，本文提出的检修安措策略自动生成及在线校核技术具有以下优势：在效率方面，自动生成技术可以大大减少运行人员编写安全措施票的时间；在可靠性方面，在线可视化校核技术有效保证安措执行步骤的正确性。从而为智能变电站检修作业的有效开展提供有力的辅助手段。

参考文献

[1] 戴志辉, 张天宇, 刘谨, 等. 面向状态检修的智能变电站保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 14-21.
DAI Zhihui, ZHANG Tianyu, LIU Huan, et al. Research on smart substation protection system reliability for condition-based maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 14-21.

[2] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian, et al. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 8pp.
DOI 10.1186/s41601-016-0012-2

[3] 蓝海涛. 智能变电站继电保护二次安措标准化的研究[J]. 电力安全技术, 2014, 16(2): 12-16.
LAN Haitao. Research on standardization of secondary safety measures of smart substation relay protection[J]. Electric Safety Technology, 2014, 16(2): 12-16.

[4] 嵇建飞, 袁宇波, 王立辉, 等. 某 110 kV 智能变电站合并单元异常情况分析及对策[J]. 电工技术学报, 2015, 30(16): 255-260.
JI Jianfei, YUAN Yubo, WANG Lihui, et al. Analysis and countermeasure on abnormal operation of one 110 kV intelligent substation merging unit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(16): 255-260.

[5] 王建华, 张国钢, 耿英三, 等. 智能电器最新技术研究及应用发展前景[J]. 电工技术学报, 2015, 30(9): 1-11.
WANG Jianhua, ZHANG Guogang, GENG Yingsan, et al. The latest technology research and application prospects of the intelligent electrical apparatus[J]. Transactions of

China Electrotechnical Society, 2015, 30(9): 1-11.

[6] 邹三红, 徐强超, 邝国安, 等. 智能变电站合并单元关键参数测试[J]. 广东电力, 2017, 30(5): 124-127.
ZOU Sanhong, XU Qiangchao, KUANG Guoan, et al. Testing on key parameters of intelligent substation merging unit[J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(5): 124-127.

[7] 朱维钧, 黄巍, 唐志军. 智能变电站继电保护现场工作保安细则的制定[J]. 电力与电工, 2013, 33(3): 26-28.
ZHU Weijun, HUANG Wei, TANG Zhijun. Constitute of safety regulation for relaying protection field work of smart substation[J]. Electric Power & Electrical Engineering, 2013, 33(3): 26-28.

[8] 陈桥平, 姚亮, 梁博, 等. 智能变电站不停电改造扩建方案的应用[J]. 陕西电力, 2016, 44(9): 89-92.
CHEN Qiaoping, YAO Liang, LIANG Bo, et al. Application of smart substation reform & extension scheme with uninterrupted power bay[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(9): 89-92.

[9] 李乃永, 邹本法, 许乃媛, 等. 新改扩建设备启动临时保护配置策略研究[J]. 广东电力, 2016, 29(6): 72-77.
LI Naiyong, ZOU Benfa, XU Naiyuan, et al. Research on temporary protection configuration strategy for startup of newly reconstructed equipments[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(6): 72-77.

[10] 国调中心关于印发智能变电站继电保护和安全自动装置现场检修安全措施指导意见(试行)的通知(调继[2015]92号)[S]. 2015.

[11] 王玉财, 吕飞鹏, 何奎, 等. 满足可靠性要求的继电保护装置预防检修模型[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 49-53.
WANG Yucai, LÜ Feipeng, HE Kui, et al. Preventive maintenance model for relay protection device based on reliability requirements[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 49-53.

[12] 黄昕, 杨宁, 孟楠, 等. 基于 DL/T860 协议的通信模拟装置在智能变电站检修和扩建中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(21): 176-181.
HUANG Xin, YANG Ning, MENG Nan, et al. Application of communication simulator based on DL/T860 in smart substation maintenance and expansion[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(21): 176-181.

[13] 张曼. 智能变电站设备检修的二次安全控制措施[J]. 湖北电力, 2015, 39(2): 32-34.
ZHANG Man. Secondary safety control measures for smart substation equipment maintenance[J]. Hubei Electric Power, 2015, 39(2): 32-34.

[14] 徐秦, 杨振, 刘曦, 等. 智能变电站安全隔离措施的研究

- 究和应用[J]. 电工技术, 2015(12): 3-4.
- XU Qin, YANG Zhen, LIU Xi, et al. Research and application of safety isolation measures of smart substation[J]. Electric Engineering, 2015(12): 3-4.
- [15] 孔志鹏, 陈晓刚, 叶刚进, 等. 智能变电站安措技术及可视化研究[J]. 电工技术, 2014(4): 19-21.
- KONG Zhipeng, CHEN Xiaogang, YE Gangjin, et al. Research on safety measures and visualization of smart substation[J]. Electric Engineering, 2014(4): 19-21.
- [16] 张静怡, 刘艳, 霍明雷. 基于模糊熵权 Vague 集的配电网检修决策优化[J]. 电工技术学报, 2015, 30(15): 37-45.
- ZHANG Jingyi, LIU Yan, HUO Minglei. The maintenance decision optimization for distribution networks based on the fuzzy entropy weight of vague set[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(15): 37-45.
- [17] 国家电力调度通信中心. 继电保护现场标准化作业管理规定[S]. 2007.
- National Electric Power Dispatching and Communication Center. The management specification of relay protection field standardization work[S]. 2007.
- [18] 国家电网公司. 智能变电站继电保护工程文件技术规范: Q/GDW1396[S]. 2015.
- State Grid Corporation of China. The standard on configuration files of relay protection in smart substation: Q/GDW1396[S]. 2015.
- [19] 国家电网公司. 线路保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW1161[S]. 2014.
- State Grid Corporation of China. Standardization design specification for transmission line protection and auxiliary equipments: Q/GDW1161[S]. 2014.
- [20] 国家电网公司. 变压器, 高压并联电抗器和母线路保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW1175[S]. 2013.
- State Grid Corporation of China. Standardization design specification for power transformer, high voltage shunt reactor, bus bar protection and auxiliary equipments: Q/GDW1175[S]. 2013.
- [21] 邹磊, 薛明军, 姚亮, 等. 智能变电站采样异常处理方法的研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(4): 39-43.
- ZOU Lei, XUE Mingjun, YAO Liang, et al. Research and analysis on SV exception treatment method in smart substation[J]. Shaanxi Electric Power, 2017, 45(4): 39-43.
- [22] 王湘涛, 党幼云, 韩明琦, 等. GIS 智能终端中智能控制单元的研制[J]. 陕西电力, 2016, 44(10): 6-10.
- WANG Xiangtao, DANG Youyun, HAN Mingqi, et al. Development of intelligent control unit in GIS intelligent terminal[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(10): 6-10.

收稿日期: 2016-11-16; 修回日期: 2016-12-26

作者简介:

刘孝刚(1971—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化; E-mail: liuxiaogang@js.sgcc.com.cn

施琳(1988—), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: shilinchina@126.com

张帆(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。E-mail: zhangf2@js.sgcc.com.cn

(编辑 葛艳娜)