

DOI: 10.7667/PSPC171600

基于形式化描述机制的检修安措策略研究与应用

耿少博¹, 赵春雷¹, 高翔², 冯俊国³, 孙利强¹

(1. 国网河北省电力公司, 河北 石家庄 050022; 2. 上海毅昊自动化有限公司, 上海 201204;
3. 国网石家庄供电公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 由于智能变电站二次系统的信号关联采用网络通信模式, 使得二次系统安措具有安措对象复杂, 隐含不直观的缺点。为有效降低智能变电站的二次检修工作风险, 提出了基于形式化描述机制的检修安措生成策略。首先对 SCD 文件进行正确性检查, 然后构成检修安措模型。最后结合模型和推演规则, 在给定检修任务时自动生成形式化描述的检修安措。在此基础上, 提出了在操作之前进行可视化校验的安措检查机制。通过某 220 kV 智能变电站的应用实例, 证明了所提出的技术方案的可行性。

关键词: 智能变电站; 继电保护; SCD 模型; 安措; 形式化描述

Research and application of the strategy for repair security measures based on formalized description mechanism

GENG Shaobo¹, ZHAO Chunlei¹, GAO Xiang², FENG Junguo³, SUN Liqiang¹

(1. State Grid Hebei Electric Power Company, Shijiazhuang 050022, China; 2. Shanghai Yihao Automation Co., Ltd, Shanghai 201204, China; 3. State Grid Shijiazhuang Power Supply Company, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Due to the application of network communication for signal association in smart substation secondary system, the security measures of secondary equipment for smart substations become implicit and complicated. For the sake of reducing the risk of maintenance associated with protections of the smart substation, this paper proposes a novel method for security measures generation based on formalized description mechanism. This method starts from checking SCD, then generates the model of security measures. Under the circumstances of combining models and deduction rules, the maintenance security measures are automatically generated for a maintenance task based on a formalized description mechanism. In order to improve the reliability of the final maintenance security measures, this paper proposes a visualized verifying method for maintenance security measures. The implementation of 220 kV substation has proved the feasibility of the proposed technical solution.

This work is supported by Major Projects of State Grid Corporation of China (No. SGCC-MPLG001-2012).

Key words: smart substation; relay protection; SCD model; security measures; formalized description

0 引言

自 2009 年国家电网公司实施智能电网战略以来, 基于 IEC61850 标准的数字化及智能变电站工程应用获得了快速发展, “十三五”期末预计新建智能变电站将达到 8 000 座, 我国已成为智能变电站投运数量最多的国家^[1-4]。

智能变电站的一大特点就是“三层两网”的

网络通信体系替代了二次系统的大量电缆, 通信规范由 IEC61850 规约给出^[5-6]。模拟量采样的交流回路采用 SV 报文通信, 保护跳闸、开入开出等信息采用 GOOSE 报文通信。由于智能变电站独特的通信特点, 智能变电站在改建、扩建和装置检修时, 二次设备安措的操作往往由 GOOSE/SV 软压板、跳合闸出口硬压板、检修硬压板等多种形式的安措操作要求组合而成, 存在压板数量多, 隐含不直观, 无“明显电气断开点”等特点。

鉴于智能变电站的上述特点, 传统变电站的二次安措已经无法适应智能站现场检修和消缺的需

要^[7-8]。智能变电站运维工作人员根据已有的工作经验, 结合智能变电站的特点, 提出了诸多智能变电站二次安措的技术方案^[9-12]。文献[9]从智能变电站二次安措防误的角度, 提出了基于安措隔离原则的安措票自动校验技术, 以期减少二次设备操作人员负担, 减少失误。文献[10]从实际变电站操作人员的角度, 提出分间隔停电检修, 并针对首检和定检两种情况, 分别制定针对性的二次安措方案。文献[11]针对当前各电网公司普遍使用的检修安措模板库, 设计了从 SCD 文件读取变电站的实际配置信息结合安措模板库生成检修安措实例库的方案。文献[12]展望了智能变电站的高级应用场景, 探索了从完整配置的 SCD 文件模型出发实现智能变电站的防误闭锁、智能安措票以及智能告警等高度智能化的应用。但是上述文献都只在最终的安措实例化中使用 SCD 文件模型, 实际的安措策略生成均采用从安措数据库调取结合人工出票的方式, 且其安措策略仍以自然语言写成, 不利于计算机的处理和应用。

为充分挖掘利用 SCD 文件模型中的变电站配置信息, 实现安措策略的自动生成, 本文提出了利用规则推演自动生成形式化描述的安措策略方案。立足于智能变电站 SCD, 通过分析智能变电站相对于传统变电站的特点对于运维检修带来的问题, 探索了基于 SCD 模型的虚回路验证机制, 并在此 SCD 模型正确性验证的基础上, 提出了计算机可读的安措形式化描述机制, 以支撑智能变电站的检修安措自动生成及其可视化验证, 为基于 SCD 的智能变电站工程应用提供可靠的技术支撑。

1 智能变电站检修安措现状分析

1.1 检修安措基本特征

IEC61850 标准支持用信息流描述变电站一次拓扑关系, 一、二次设备关联关系、数据通信关系, 涵盖继电保护二次功能回路信息, 自动化联锁信息等。光纤代替电缆, “数据包”代替了硬接线联接, 以往常规端子排为界面的管理边界不复存在^[13-15]。智能变电站的整个二次系统由 GOOSE 和 SV 网组成, 软压板不仅数量多, 而且关联关系隐含复杂, 对于运行检修人员呈现为“黑匣子”特征, 无法建立基于物理维护对象的模型描述机制。智能变电站高度网络信息化的特点给现场运行、检修及故障判别带来极大困难。因此, 智能变电站保护检修相对于传统变电站的保护检修风险增加, 已经出现了因运行检修人员无法准确判断信号造成若干变电站全停的事件。

为了提高智能变电站的运行和检修安全, 必须

针对智能变电站自身固有的二次系统网络通信特点, 以智能变电站配置描述文件 SCD 模型为依托, 通过基于模型的可视化技术, 实现无“明显电气断开点”二次虚回路关联关系的可视化, 在此基础上建立检修设备与运行设备关联关系信号验证机制。

1.2 安措票生成机制

现阶段智能变电站二次设备安措票一般有两种生成机制, 具体如下。

1) 在智能变电站长时间的运行和检修过程中, 将各种典型一二次设备检修时的安措进行统计汇总, 形成一个安措规则知识库。在安措知识库形成之后, 每当接到一个具体的检修任务时, 通过检修人员对检修任务的分析, 从安措知识库中提取与该检修任务相关联的检修规则, 并按照知识库中的规则与要求手动编写安措票, 即所谓“安措票知识库模式”。

2) 针对智能变电站二次设备检修安措的要求, 通过从 SCD 文件中提取和手动添加模型的方案完成变电站的二次检修安措建模, 将变电站的一二次设备和检修操作对象模型化。然后以模型为基础制定各种典型检修工作场景下的安措生成规则, 检修工作时由计算机根据规则自动生成安措票。

其中方案 1 着重于对已有运行经验的总结, 优点是能够对安措票的编写起到直观的指导作用, 缺点是: ① 因缺少对变电站对象的模型化而无法使用计算机程序自动生成安措票, 安措票的编撰工作量较大且难以避免因人为疏忽所带来的错误; ② 知识库覆盖了各种典型的场景, 但是对一些非典型的场景以及多个典型场景复合的情况没有覆盖, 此时知识库的指导作用大大降低。

方案 2 的优点是基于变电站的一二次设备和操作对象模型化进行安措票自动生成, 大大减少了安措票的编写工作, 且可以避免大部分因人为疏忽所带来的错误; 随着当前智能变电站 SCD 模型文件的完善以及计算机科学技术如人工智能领域的不断发展, 方案 2 的实现成为可能, 本文提出的基于 SCD 模型的检修安措生成策略即采取方案 2, 并称之为“基于形式化描述机制的安措策略”。

2 检修安措的关键要素

方案 2 是一种普遍 (general) 规则向具体化 (concrete) 对象的部署 (deploy) 过程, 表现为推演 (derivation), 本质上是知识的启发式演算。这里的知识由两部分构成: ① 规则知识, 可由规则库进行形式化承载; ② 对象知识, 主要包括变电站设备对象和回路对象, 由 SCD 承载和提供。此外, 为了使

安措生成自动化，安措实例采用形式化承载。

2.1 基于 SCD 语义的分层辨识机制

智能变电站二次设备安措本质上是基于 SCD 判断检修设备与运行设备之间的关联关系，并由此确定安措隔离的操作对象。因此，基于 SCD 的二次虚回路是否正确构成了检修安措策略能否自动生成的重要基础。

SCD 虚回路的正确性辨识可按照语义强度进行分级，以构成逐级推进的检查方案，分级必须满足以下两个性质：① 所需信息越少的正确性定义，其语义强度越低；② 高等级的正确性定义包含低等级正确性定义。因此，可基于语义强度进行 SCD 正确性的分等级检查，前一步检查通过后，进行下一步检查，参见图 1。

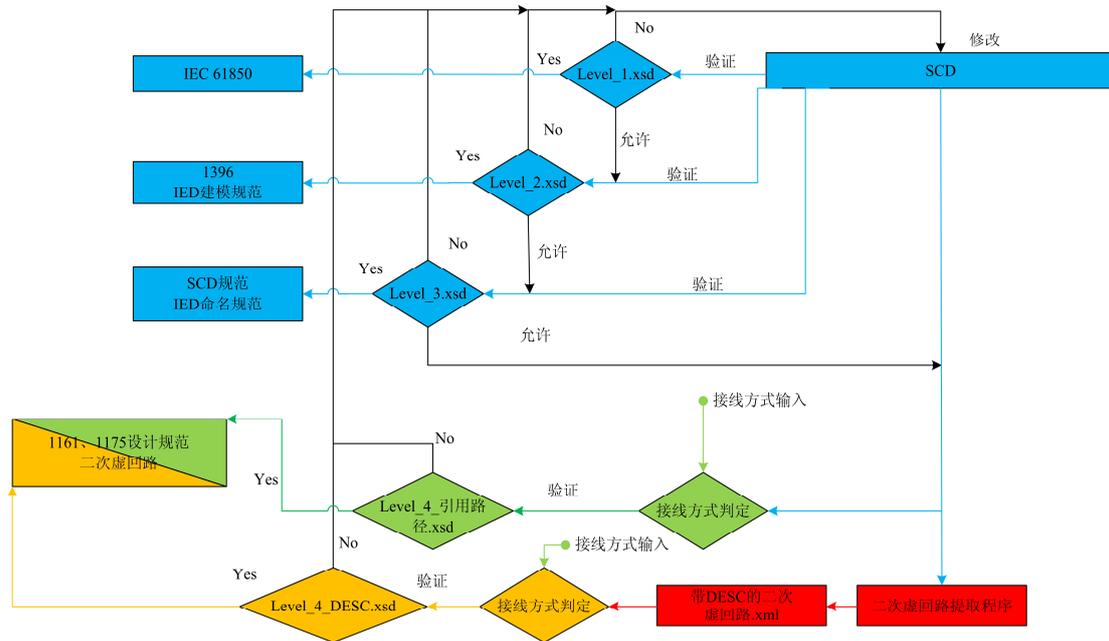


图 1 基于语义的 SCD 分层检查

Fig. 1 Semantic based hierarchical inspection of SCD

通过上述基于 SCD 语义强度的逐级辨识，能确保检修安措所涉及的二次虚回路关联关系可以唯一明确定义，由此，可以构成检修安措策略生成的基础。

2.2 SCD 虚回路描述特征

SCD 文件中对于虚回路的描述是间接和隐含的，没有实现对象化的显性描述。例如发送远方跳闸令的虚回路，在 SCD 中的保护外部关联部分的描述如下：

```
<ExtRef intAddr="PI/GOINGGIO13.SPCSO1.stVal"
doName="Tr" lnInst="5" iedName="PM2201B"
daName="general" ldInst="PI" lnClass="PTRC"
prefix="">
```

该回路是由母线保护 PM2201B 发给 PL2201B 的远方跳闸命令回路。对象化的描述应该包含三个部分：① 虚回路名称，② 发送虚端子，③ 接收虚端子。

因此，对于虚回路的对象化显性描述构成了安措策略自动生成的重要基础。其中，FCDA 的合法

性为：通过 FCDA 中的 LD、LN、DO、DA 能否在 IED 的对应 LD/LN/DO/DA 路径下找到。ExtRef 和 FCDA 的对应为：ExtRef 中每一组 LD+LN+DO+DA 能否在其指定 iedName 的 FCDA 中找到对应的 LD+LN+DO+DA。

若满足：① FCDA 合法；② ExtRef 能够找到 FCDA 的对应，由此可以建立二次虚回路，下一步再通过检查 ExtRef 来确定输入回路的含义是否满足 Q/GDW 1161-2014，线路保护及辅助装置标准化设计规范，及 Q/GDW1175-2013，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。对于上述设计规范中的输出回路，可以通过检查 FCDA 来实现。这样，就为下一步安措策略所涉及的检修设备与运行设备之间关联关系的形式化描述奠定了基础。

2.3 形式化描述机制

传统的检修安措均以自然语言的形式构成，不能适应计算机应用处理。为了实现智能变电站二次设备的检修安措自动生成及其后续的自动化应用，

需要一套计算机可读的安措策略形式化描述机制, 本文提出如下的安措策略形式化描述机制。

1) 结构:

<Bay...>

<Task...>

<Operation...>

(1) Bay 为间隔信息, 含有 name 和 desc 两个属性, 对接一次设备的间隔建模;

(2) Task 为检修任务信息, 含有 type 和 desc 两个属性;

(3) Operation 为检修操作信息, 含有 name、iedName、type、connection、state 和 desc 信息。

2) 属性说明:

(1) Task 的 type 属性表示基于国调 92 号文^[11]的检修任务分类, 检修任务的类型, 如“P1”表示保护第 1 类检修任务;

(2) Operation 的 name 为操作对象名称;

(3) Operation 的 iedName 表示操作对象的所属 IED 的名称, 如“PL2214A”表示属于线路保护 PL2214A;

(4) Operation 的 type 表示操作对象的类型信息, 如“SV-IN”表示 SV 接收软压板;

(5) Operation 的 connection 表示由操作对象所控制的回路连接的对象;

(6) state 表示操作之后的状态。如“ON”表示从退出到投入;

(7) desc 表示该安措操作的具体中文描述。

3) 线路保护安措形式化示例:

以变电站线路保护检修为例, 形式化描述具体如下:

```
<Bay name="xianlu1L" desc="线路 1 间隔">
```

```
<Task type="P1" desc="保护 1 类检修">
```

```
<Operation name="1SLP3" iedName="PM220A"
type="SV-IN" connection="ML2214A" state="OFF"
desc="退出母线保护对应线路的 SV 接收压板"/>
```

```
<Operation name="1KLP2" iedName="PM220A"
type="StrBF-IN" connection="PL2214A"
state="OFF" desc="退出母线保护对应线路的
GOOSE 启动失灵接收压板"/>
```

```
<Operation name="1FLP3" iedName="PM220A"
type="Func" connection="NULL" state="ON" desc="
投入母线保护对应线路的刀闸强制分软压板"/>
```

```
<Operation name="1LP2" iedName="PL2214A"
type="StrBF-OUT" connection="PM220A"
state="OFF" desc="退出对应线路的线路保护
GOOSE 启动失灵发送软压板"/>
```

```
<Operation name="1-13JLD1"
iedName="ML2214A" type="CT"
connection="CTR14A" state="OFF" desc="短路并断
开该线路合并单元的 A 相 CT 端子"/>
```

```
<Operation name="2-13JLD1"
iedName="ML2214A" type="PT"
connection="VTR14A" state="OFF" desc="断开该线
路合并单元的 A 相 PT 端子"/>
```

```
<Operation name="1RLP1" iedName="PL2214A"
type="OVERHAUL" connection="NULL"
state="ON" desc="投入对应线路的线路保护检修压
板"/>
```

```
<Operation name="1LP-1" iedName="ML2214A"
type="OVERHAUL" connection="NULL"
state="ON" desc="投入对应线路的合并单元检修压
板"/>
```

```
<Operation name="1-LP1" iedName="IL2214A"
type="OVERHAUL" connection="NULL"
state="ON" desc="投入对应线路的智能终端检修压
板"/>
```

```
</Task>
```

```
</Bay>
```

3 检修安措实施策略

如前所述, 这一过程是一种规则的启发式演算。规则指安措规则, 演算指安措生成机制。

3.1 检修安措规则

检修安措可分解为基本规则和装置规则, 基本规则指独立于变电站具体模型和具体检修任务的一般性电力系统安全运行约束, 其规定了检修安措生成过程中必须要遵循的原则, 而具体的规则细节则由这些基本规则结合模型和任务推理得出。检修安措四条基本规则定义如下。

1) 任何情况下一次设备不能处于无保护运行状态; 一次设备不能无保护运行, 如保护单重化配置方案, 保护检修时必须停役一次设备; 保护双重化配置, 如其中一套已经退出运行(含投信号状态), 另一套保护检修时必须停役一次设备。

2) 检修设备不能影响运行设备安全; 确定检修任务和对象后, 一般先在运行设备进行安措隔离操作, 然后再进行检修间隔操作。

3) 保护设备的停、复役操作过程中, 保护系统未处于正常状态时不能具备出口跳闸能力; 正常状态指保护系统的所有交流输入(母差、变压器多间隔)、控制信号的输入/输出全部正常。

4) 尽可能减少不必要的检修操作。如检修设备

发送至运行设备的信号回路必须隔离，运行设备发送至检修设备的信号回路可以不隔离。

保护停役操作应按照与运行系统的关联度强弱排序，依据运行间隔优先隔离原则操作，具体如下：
① 运行间隔功能软压板；② 检修间隔功能软压板；③ 硬压板；④ 检修压板。保护复役操作：依据功能恢复的完整性原则操作，先检修间隔、后运行间隔；
① 恢复相应 CT 端子，PT 端子；② 投入检修间隔功能软压板；③ 投入运行间隔功能软压板；④ 投入跳合闸硬压板；⑤ 退出检修压板；

装置规则是指基于装置原理特征需要遵循的有关规则：如双母线母差保护安措规则，一次设备停电，线路(变压器)保护检修时，需要投入母线保护对应间隔(所检修的线路/变压器)的隔离刀闸强制分软压板。原因在于运行的母差保护装置需要知道实际运行的隔离刀闸位置，以免母线保护的分段母线差流计算出错；检修间隔智能终端退出运行时，需要对 GOOSE 回路中接收母线隔离刀闸位置信号进行强制置位，以免检修间隔参与母差计算，参见图 2。

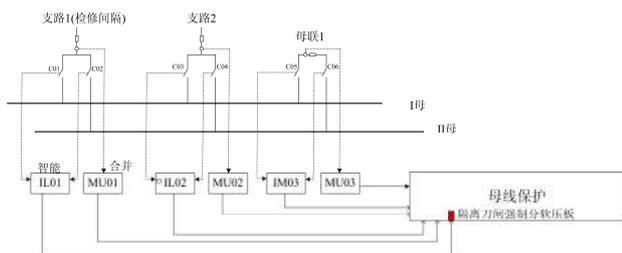


图 2 双母线保护刀闸信号关联示意图

Fig. 2 Disconnector information associated with bus bar protection

3.2 安措生成机制

3.2.1 检修安措规则推演

在 3.1 节所述检修安措基本规则的基础上，基于不同类型的一二次设备，制定与具体的检修工作场景无关的具体检修安措生成规则。

根据检修工作中装置的状态来生成安措规则，装置的状态包括：① 对应的一次间隔是否停电，② 装置运行、停用、检修状态。例如：220 kV 线路合并单元在一次设备停电状态下检修，根据基本规则 2，需要隔离合并单元到运行保护装置的 SV 回路，并断开其与电流/电压互感器回路的连片。

单套配置的 220 kV 线路合并单元在一次设备不停电状态下检修时，根据基本规则 1，必须申请停役一次设备；双重化配置的 220 kV 线路合并单元在一次设备不停电状态下检修时，根据基本规则 2，

需短接并断开其与电流互感器的回路，断开其与电压互感器回路的连片，同时需退出相关的运行保护装置。

由此，任何复杂的检修工作场景都可以分解成一个个具体装置的组合并找到对应的安措规则，从而实现对各种工作场景的全覆盖，构建基于模型的安措策略自动生成的基础。

3.2.2 检修安措模型文件的生成

SCD 模型文件定义了检修设备与运行设备之间的关联关系，是检修安措策略生成的基础，由于当前 SCD 的不规范使用现状，为了实现检修安措模型的自动生成，必须先针对 SCD 文件进行正确性检查，保证其完整性和正确性；根据检修安措的需要，分析和提取 SCD 中的一次系统和二次系统信息，然后生成检修安措模型。

由于检修安措不仅涉及到二次设备的软压板，还包含了硬压板和光纤等硬件设备的操作，而上述设备在 IEC61850 定义的 SCD 文件中是缺少描述机制的。因此，需要补充 SCD 文件中未描述的安措操作对象模型，如智能终端跳合闸出口硬压板、CT 回路连片等。

3.2.3 检修安措生成的具体步骤

根据国调中心“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”进行检修任务分类，基于 3.2.2 节生成的检修安措模型，找到检修设备以确定检修安措的操作对象。然后根据 3.2.1 节所述检修安措的推演规则生成如 2.3 节所述形式化描述的具体检修安措。

需要注意的是，生成安措票时除了对典型的检修工作场景生成安措票外，还需要自定义生成安措票，包括对多个典型检修工作场景的组合和非典型检修工作场景的自定义。

3.3 可视化安措校验机制

智能变电站的安措中 SV 和 GOOSE 的软压板操作占据了绝大部分，然而这些软压板相对于传统变电站的硬压板来讲，其具有“不直观、易漏投退”的特点，对于上述没有明显电气断开点的安措隔离操作，必须增加可视化安措校验机制，以确保现场实施的检修安措是正确和完备的。

检修安措的校验主要要完成两个基本规则的核定，分别是：

1) 一次设备不能无保护运行；基于 SCD 及变电站模型分析间隔或保护装置的保护功能回路，检查安措票执行时每操作一个步骤对保护系统的影响，防止出现保护误动、保护拒动等一次设备失去保护运行等情况。

2) 检修设备与运行设备的完全隔离; 检修安措的实施目的, 必须保证检修设备与运行设备的最终有效隔离。另一方面, 安措隔离有优先级高低的顺序, 与运行设备关联度高的操作必须优先进行, 以排除安措的后续步骤不当对运行设备的影响。

为了实现对安措实施过程的全程管控, 应采用可视化技术, 对二次设备的压板状态以图形方式直观展示, 使得运维人员能够准确及时把握智能变电站二次设备所处状态, 提高检修安措实施的可靠性和安全性, 参见图 3。

安措检验的另一个重要功能是防误, 当检查到安措操作的内容有误或者操作顺序有错误时, 校验能够告警并给出错误与修改建议, 检修安措的具体实施策略流程如图 4 所示。

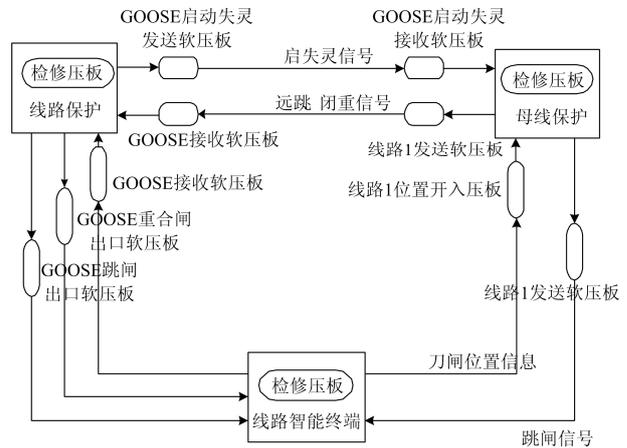


图 3 可视化安措校验技术

Fig. 3 Visual security verification technique

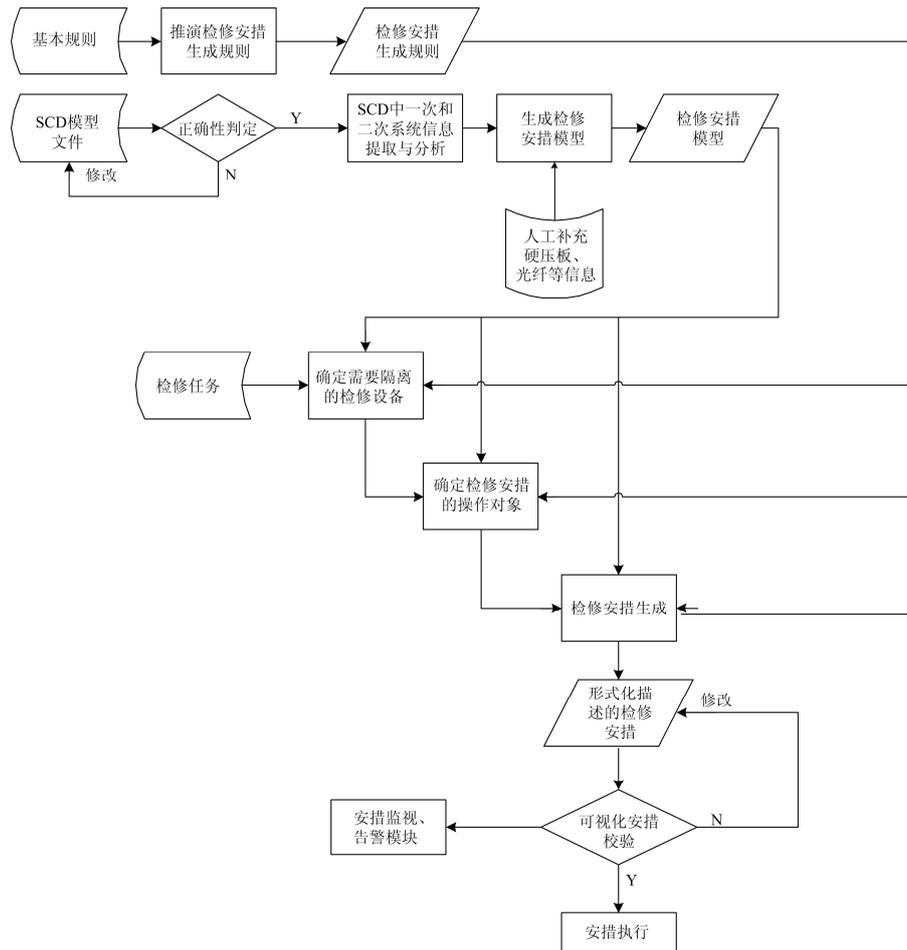


图 4 基于 SCD 模型的检修安措实施流程图

Fig. 4 Flow chart of SCD model based maintenance

4 典型工程应用分析

4.1 工程简介

某 220 kV 智能变电站依据国调中心“关于印发

继电保护设备在线监视与分析提升方案文件”的要求, 在保护小室部署了“保护在线监测与智能诊断装置”独立的柜, 柜内配置 4 台在线监测装置, 其中一台装置同时作为管理单元, 在控制室部署一台后台机,

实现对于整个保护在线监测系统的运行监视，系统架构图见图 5。

上述保护在线监测系统通过基于全模型 SCD 监视，采用可视化技术，实现二次虚回路图形与光纤、虚端子、虚回路实时关联展示及二次系统的“透明化”展示，获得智能变电站保护二次系统“图实相符”的应用效果。在此基础上，配置了基于 SCD

模型的可视化安措功能软件，为现场保护检修工作提供可视化的安措策略。

4.2 检修安措生成示例

该智能变电站采用了上述基于形式化描述机制的检修安措生成策略方案。根据安措预票实现被检修对象的二次联接图及虚回路联接关系(含软压板)的可视化展示，参见图 6。

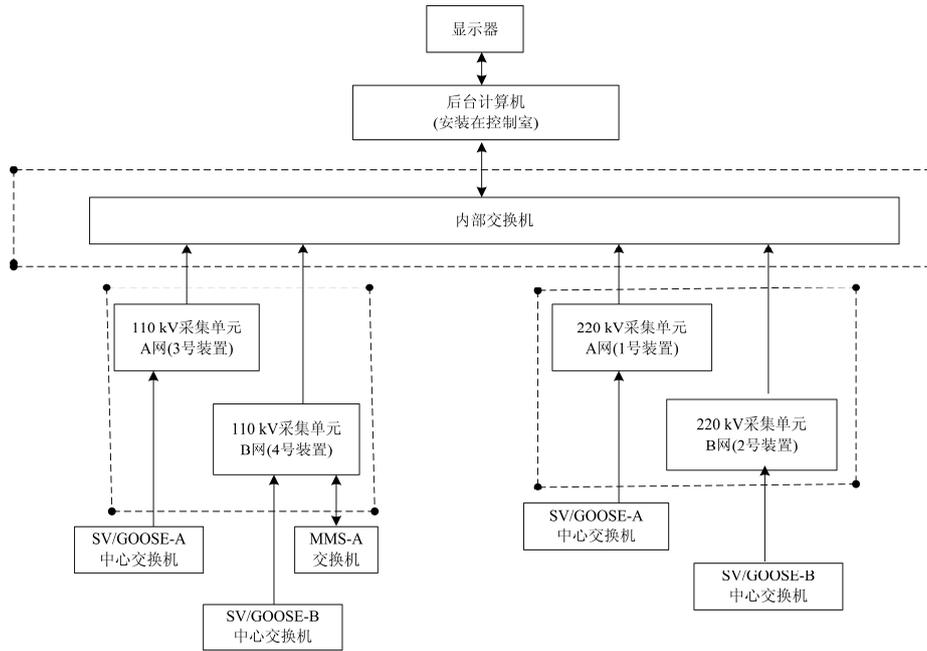


图 5 某 220 kV 智能站保护在线监测系统示意图

Fig. 5 Sketch map of a 220 kV intelligent station protection on-line monitoring system

序号	IED名称
1	PE22012A:220kV I/II母联第一套
2	PE22012B:220kV I/II母联第二套
3	ME22012A:220kV I/II母联第一套
4	ME22012B:220kV I/II母联第二套

序号	状态	操作内容
7	—	在 220kV I II 母联间隔汇控柜, 投入装置 220kV I/II母联第一套合分单元的检修压板, 压板双重命名为: 1-13RLP//投检修状态
8	—	在 220kV I II 母联间隔汇控柜, 投入装置 220kV I/II母联第二套合分单元的检修压板, 压板双重命名为: 2-13KLP//投检修状态
9	—	在 220kV I II 母联间隔汇控柜, 投入装置 220kV I/II母联第一套智能终端的检修压板, 压板双重命名为: 1-4RLP//投检修状态
		在 220kV I II 母联间隔汇控柜, 投入装置 220kV I/II母联第二套

图 6 安措联接关系可视化

Fig. 6 Safety relation visualization

根据安措预票进行仿真预演操作, 若没有按照人工确定的安措操作票步骤进行操作, 则可实现安措操作预警, 参见图 7。

从上述实际应用案例来看, 基于形式化描述机

制的安措策略生成机制可以大大节省人工制订安措的时间, 提高了检修安措的制订效率; 另一方面, 可视化安措校验机制提供了在检修安措实际操作前的纠错防线, 增强了检修安措的可靠性和安全性。

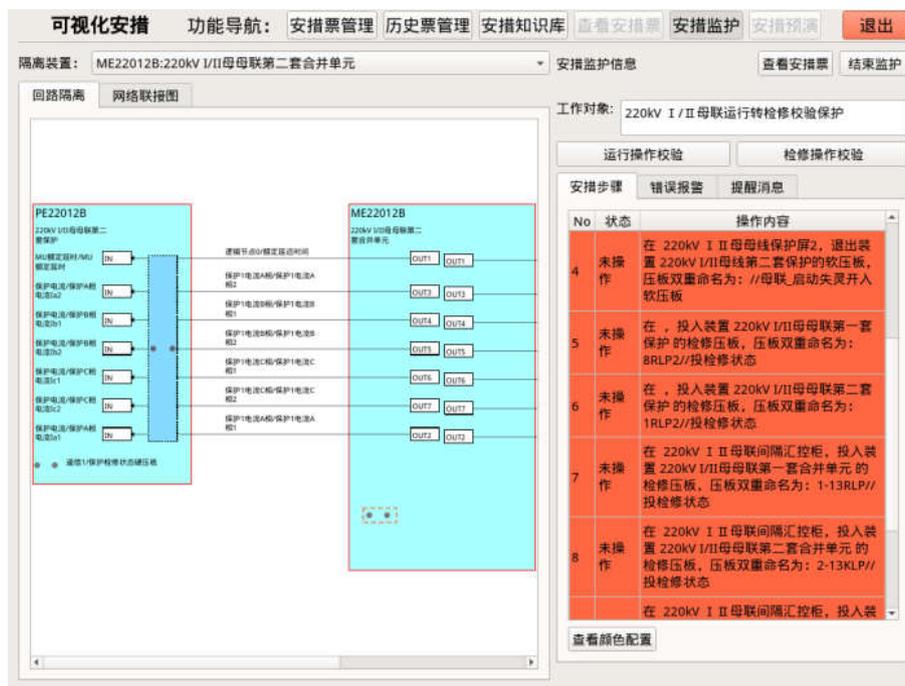


图 7 安措监护示意图

Fig. 7 Schematic diagram of safety monitoring

5 结论

本文针对智能变电站二次检修安措中安措对象复杂、压板数量多, 隐含不直观和无“明显电气断开点”等特点, 在充分考虑到当前 SCD 文件模型不规范和信息量不够的前提下, 提出了基于 SCD 文件模型的检修安措生成策略, 其主要有以下 5 个特点和优势。

1) 针对当前 SCD 文件模型不规范的现状, 提出了在 SCD 文件使用之前, 对其进行正确性检查的策略, 保证了 SCD 文件的完整性和正确性, 为检修安措的自动正确生成提供信息支撑。

2) 针对 IEC 61850 规定的 SCD 文件中缺少完整的检修安措操作对象的缺点, 提出了以 SCD 文件模型为主体信息来源, 人工补充为辅助信息来源的综合检修安措模型生成方案, 保证了最终安措生成的完整性。

3) 为实现检修安措的自动生成, 提出了安措基本规则, 并以此为基础, 推演出不同一二次设备的安措规则, 为计算机自动生成检修安措提供技术支持。

4) 针对当前二次安措以自然语言构成, 难以适应计算机处理的缺点, 提出了检修安措形式化描述机制, 在此基础上可依靠计算机实现基于模型和检修安措规则的检修安措自动生成机制, 大大减少了安措票的编写工作, 且可以避免大部分因人为疏忽所带来的错误; 同时, 检修安措的形式化描述机制为后续如可视化校验的计算机自动化应用提供了数据结构支撑。

5) 为最大程度避免检修安措票的错误, 提出了对最终检修安措进行可视化校验的检查机制, 以图形方式直观展示检修安措隔离点的状态变化。

本文提出的技术方案可为智能变电站二次安措策略的应用提供可借鉴的思路, 以有效提高检修安措生成的可靠性和安全性。

参考文献

[1] 张沛超, 高翔. 智能变电站[J]. 电气技术, 2010, 11(8): 4-10.
ZHANG Peichao, GAO Xiang. Smart substation[J]. Electrical Engineering, 2010, 11(8): 4-10.
[2] 高翔. 智能变电站技术应用探讨[J]. 供用电, 2014(2): 54-59.

- GAO Xiang. Application of smart substation technology[J]. Distribution and Utiliation, 2014(2): 54-59.
- [3] 吴恒福, 窦会光, 向前, 等. 基于设计规范的智能变电站 SCD 文件规范性检查[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(4): 84-88.
WU Hengfu, DOU Huiguang, XIANG Qian, et al. The SCD file check method based on design specification of smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(4): 84-88.
- [4] 鲍伟, 高翔, 涂琦, 等. 基于正确性检查的 SCD 管理方案探讨[J]. 电气技术, 2016, 17(6): 133-137.
BAO Wei, GAO Xiang, TU Qi, et al. The development of SCD management method based on correct checking[J]. Electrical Technology, 2016, 17(6): 133-137.
- [5] 刘世民, 袁野, 范秉旭, 等. 智能变电站在线监测系统的研究与应用[J]. 电气技术, 2015, 16(2): 132-134.
- [6] 张沛超, 姜健宁, 杨漪俊, 等. 智能变电站配置信息的全生命周期管理[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(10): 85-89.
ZHANG Peichao, JIANG Jianning, YANG Yijun, et al. Life-cycle management of smart substation configuration information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(10): 85-89.
- [7] 蔡泽祥, 王海柱. 智能变电站技术及其对继电保护的影响[J]. 机电工程技术, 2012, 21(5): 1-4.
CAI Zexiang, WANG Haizhu. Impacts of smart substation on relay protection[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2012, 21(5): 1-4.
- [8] 王海柱, 蔡泽祥, 邵向潮, 等. 智能变电站过程层网络关键对象建模与仿真[J]. 中国电力, 2013, 46(6): 80-84.
WANG Haizhu, CAI Zexiang, SHAO Xiangchao, et al. Key object modeling and performance simulation of process level networks in smart substation[J]. Electric Power, 2013, 46(6): 80-84.
- [9] 张旭升, 李江林, 赵国喜. 智能变电站二次安措防误系统研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11): 141-146.
ZHANG Xusheng, LI Jianglin, ZHAO Guoxi. Research and application of the anti-misoperation system for the intelligent station secondary equipment security measures[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(11): 141-146.
- [10] 孙志鹏, 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.
SUN Zhipeng, CHEN Xiaogang, YE Gangjin, et al. Intelligent substation safety technology and visualization study[J]. Electric Engineering, 2014(4): 19-21.
- [11] 黄卿. 面向智能变电站检修帮助的软件平台设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
HUANG Qing. Design and implementation of software platform for maintenance of intelligent substation[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2013.
- [12] 叶刚进. IEC 61850 标准在智能化变电站工程化应用研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2012.
YE Gangjin. Research on engineering application of IEC 61850 standard in intelligent substation[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2012.
- [13] 李妍, 车勇, 单强, 等. 智能变电站二次系统在线监测评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 66-70.
LI Yan, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 66-70.
- [14] 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.
- [15] 郑文彬, 王瑞彪. 基于控制虚端子修改的智能变电站 SCD 版本权限管理技术[J]. 智能电网, 2015, 3(9): 92-96.
ZHENG Wenbin, WANG Ruibiao. Authority management technique of scd version of smart substation based on the control of virtual terminal modification[J]. Smart Grid, 2015, 3(9): 92-96.

收稿日期: 2017-10-30; 修回日期: 2017-12-26

作者简介:

耿少博(1986—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电气工程; E-mail: gengsb@he.sgcc.com.cn

赵春雷(1968—), 男, 本科, 教授级高工, 研究方向为继电保护; E-mail: zcl@he.sgcc.com.cn

高翔(1962—), 男, 博士, 教授级高工, 研究方向为继电保护及变电站自动化系统。E-mail: xiang_gao@syhpower.com

(编辑 周金梅)