

DOI: 10.7667/PSPC160133

智能变电站二次设备检修安措规则数据库设计与实现

徐晓春¹, 汤同峰¹, 赵雨田², 都晨³

(1. 国网淮安供电公司, 江苏 淮安 223002; 2. 南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094;
3. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 智能变电站在二次回路上高度网络化, 使得二次回路物理结构模糊, 给检修安措带来了不便。对此建立合理的安措规则数据库能够极大地提高安措分析的效率和可靠性。该数据库可同时作为计算机辅助分析软件的分析依据。分析了安措规则的结构特点, 据此给出了一种安措规则数据库的结构设计方案, 主要包含操作规则编码表和设备安措规则映射表, 同时对每张表的字段的详细设计做出了说明。该数据库能够适用于目前智能变电站检修安措中使用的光纤和压板操作的规则存储, 并为其他的辅助分析软件提供数据访问接口。

关键词: 智能变电站; 二次检修; 隔离方案; 数据库; 安全措施

Design and implementation of maintenance protection rule database for secondary equipment of smart substation

XU Xiaochun¹, TANG Tongfeng¹, ZHAO Yutian², DU Chen³

(1. State Grid Huaian Electric Power Company, Huaian 223002, China; 2. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 3. Jiangsu Frontier Electric Technology Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Highly networked secondary system in smart substation makes its physical structure unclear, and it is inconvenient for maintenance. The appropriate maintenance-protection-rule database is designed to significantly improve efficiency and reliability of maintenance and become basis for computer-aided analysis. The characteristics of maintenance rules is analyzed, which derives the design of maintenance protection rules database structure, including maintenance rule code data table and equipment maintenance rule mapping code data table, with their fields detail design. The database can be applied in storage for rules of optical operations and strip operations in smart substation maintenance protection, and provides interfaces for other analysis software.

Key words: smart substation; secondary maintenance; isolation strategy; database; maintenance protection

0 引言

智能变电站由高可靠性、高集成度的设备组合而成, 以高效网络通信技术为信息交换基础, 自动完成信息采集、测控、保护等功能, 并可以支持电网智能调节、协同互动、在线诊断决策等高级应用功能^[1]。在我国, 目前智能变电站已经建成为完全以 IEC 61850 规约作为基础的变电站^[2]。智能变电站中的交流采样、开入开出等信息均以数字化的方式通过光纤传输, 与传统变电站相比, 二次回路的物理结构比较模糊, 难以直观地辨别各个信号的回路。对于组网的信号, 只能通过设备的软压板操作实现传统变电站中信号硬压板的功能, 在物理结构上难以实现“明显的电气开断点”^[3]。智能变电站

中, 各个智能电子设备(Intelligent Electronic Device, 以下简称 IED)之间的信号关联、虚端子参数等都配置在 SCD 文件中。SCD 文件是基于 XML 标准的文档, 非常适合计算机处理^[4]。由于 IED 的功能类型和集成度不断更新, 新型 IED 不断应用于智能变电站中, 难以建立一套统一的设备检修安措标准对所有设备进行规范。目前, 智能变电站中设备检修安措方案的制定通常依靠检修人员以往的规则制定经验, 但对不同人员的经验无法实现有效的整合和共享, 也不能被计算机直接利用。因此建立一种安措规则数据库, 用于存储和整合不同人员在以往安措方案制定中的经验, 并使之转化为计算机能够处理的数据, 为 SCD 文件分析软件提供数据共享功能, 就可以实现智能变电站设备安措规则的计算机辅助分析^[5-6]。

1 智能变电站安措方案特点

在传统变电站中,二次回路的安措一直遵循“明显电气开断点”的理念,认为在跳合闸、启动失灵等开出回路都串有硬压板,在检修过程中,检修人员退下这些压板就可以保证设备不会误出口^[7]。但是,智能变电站二次回路与传统变电站有很大的不同,其二次回路高度耦合^[8]。与常规的变电站继电保护相比,智能变电站继电保护实现了用光纤取代交流采样回路,用 GOOSE 数字信息流代替了传统的直流二次回路^[9]。所以利用传统变电站的安措方法难以完成智能变电站检修安措任务。对于一个典型的智能变电站二次回路构成(如图 1),包含负责数据采集的合并单元,负责保护动作判定的继电保护装置以及负责断路器和隔离开关控制的智能终端。

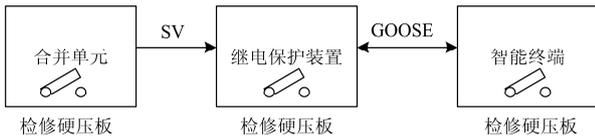


图 1 典型的智能变电站二次回路构成

Fig. 1 Typical secondary system structure in smart substation

通常,继电保护设备要求采用“直采”、“直跳”,为了像传统变电站检修安措那样制造“明显的电气开断点”,避免检修过程中设备误出口,可以采用断开相应设备之间的连接光纤,在二次设备已经不能正常工作时,这种方法具有极高的可靠性。但是多次插拔光纤会磨损光纤接头,造成数据传输延时增大,并且对于多数的计划性检修,二次设备仍然能够正常运行。此时可不再采用断开光纤的方式进行安措,改为退出设备相关信号的发送和接收软压板来达到隔离检修设备的目的,这能够减小操作的复杂程度,同时免除插拔光纤带来的磨损消耗。

因此,智能变电站的安措隔离手段主要包括以下几种:

- (1) 投退保护装置的 GOOSE 发送和接收软压板;
- (2) 投退智能终端上的出口硬压板;
- (3) 投退保护装置上的 SV 接收压板;
- (4) 插拔装置间的 SV 和 GOOSE 连接光纤;
- (5) 投退装置上的检修硬压板。

同时,智能变电站中引入了检修机制,即设备检修硬压板投入时,该设备被认为投入检修态,其检修态标识位置 1,同时由该设备向其他设备发送的报文中的品质位 q 的 Test 属性也置 1;设备收到报文后都会将报文的 Test 与自身的检修态标识位进

行对比,两者相同时才做出相应的动作^[10-11]。

综合上述 IED 的检修安措方法所构成的检修规则可分为三类:光纤操作类、软压板操作类和硬压板操作类。

按照操作对象可分为:SV 信号回路操作、GOOSE 信号回路操作、检修压板操作、出口压板操作等。

合理的安措规则分类是优化安措规则数据库的前提,能够减小重复数据的存储并构造更合理的数据关系。

2 安措规则数据库设计方案

计算机数据库中的数据按照表的形式存储,在数据库设计中,为了减少重复数据的存储,各个数据表应尽量采用第三范式,将有多种重复数据的表拆分为几个无内部依赖关系的表。这样能够大大减少重复数据的存储,也为数据的插入、修改、删除提供方便。因此将安措规则数据库划分为设备类型编码表、操作方式编码表、操作对象编码表、安措规则编码表和设备安措规则映射表五个部分。

2.1 设备类型编码表设计

由于每一种 IED 的安措规则不同,但同一类 IED 的安措规则基本一致,因此寻找某个 IED 的安措规则时首先应该确定该 IED 的类型,通常 IED 的类型包含合并单元、保护设备、测控设备、录波设备、智能终端等。随着 IED 的集成度不断提高,目前也出现了多种功能合一的设备,对于这种设备的安措规则并不能简单地用基本类型关联的规则叠加,而需要单独制定。为了减少重复数据的存储,需要对各种 IED 类型进行编码,以方便计算机进行处理,其编码表的字段包含:ID、设备类型(EqCl)、类型编码(EqCo)、描述(Desc),如表 1 所示。

表 1 设备类型编码表的结构

Table 1 Structure of equipment class coding table

ID	EqCl	EqCo	Desc
1	保护设备	1	类型编码
2	测控设备	2	类型编码
3	智能终端	3	类型编码

ID 字段作为主键,可采用自增式的整型或 GUID,数据库的主键通常无业务含义。设备类型字段包含合并单元、保护设备、测控设备、录波设备、智能终端等,为字符串数据,对于新研发的多功能一体化的设备,只需要添加一条记录即可。类型编码字段对应于设备类型,对每一种设备类型进行编码,通常可采用整型数据。描述字段用来解释该条记录

中的一些信息, 便于人员理解记录的内容。同时该表设置类型编码的唯一性约束。

2.2 操作方式编码表设计

安措规则中的操作方式通常仅有三种, 软压板操作、硬压板操作和光纤操作。但是安措规则的数目能够达到几十条甚至上百条, 此外安措规则需要根据人员的经验添加。如果将操作方式设计成一个字符串类型字段放入安措规则的表中, 将会造成大量数据的重复存储, 不利于数据库的维护。因此对操作方式编码十分必要。

该表的字段设计为 ID、操作方式(Op)、方式编码(OpCo)、描述(Desc), 其结构如表 2 所示。

表 2 操作方式编码表的结构

Table 2 Structure of operation coding table

ID	Op	OpCo	Desc
1	退软压板	2	退出虚回路软压板
2	退硬压板	4	退出设备出口硬压板
3	断开光纤	6	断开通信光纤

ID 字段为主键, 不设置业务含义。操作方式字段包含六种, 从三种操作方式中细分出来, 分别为投软压板、退软压板、投硬压板、退硬压板、断开光纤和连接光纤。方式编码字段对这六种操作方式进行编码, 通常采用整型数据。描述字段用来解释各条记录的内容。此外, 该表设置方式编码的唯一性约束。

2.3 操作对象编码表设计

操作对象表示规则中要操作的对象的名称, 可以是压板名称或是光纤的名称, 例如压板中的 SV 接收、SV 发送、GOOSE 发送、检修态等。不同的 IED 可能包含一些相同的操作对象, 如检修硬压板、IED 检修过程中都要对其进行操作。因此为了减少重复数据的存储, 需要将操作对象进行编码。

该表的字段设计为 ID、操作对象名称(ObNa)、操作对象编码(ObCo)、描述(Desc), 其结构如表 3 所示。ID 字段设为主键, 不设置业务含义。操作对象名称字段包含了所有的软压板、硬压板和光纤的名称。操作对象编码字段与操作对象名称字段一一对应, 通常采用整型数据。描述字段对每一条记录

进行相应的解释性说明。该表在操作对象编码上设置唯一性约束。

表 3 操作对象编码表的结构

Table 3 Structure of object coding table

ID	ObNa	ObCo	Desc
1	检修态	5	设备检修态压板
2	SV 接收	1	SV 接收软压板
3	跳闸出口	6	保护跳闸出口压板

2.4 安措规则编码表设计

安措规则编码表是安措规则数据库的核心数据, 它记录了全部的安措规则。为了能够让计算机方便地调用这些规则, 需要将一条安措规则分解成多个部分。安措规则的构成形式相似, 例如应用于某线路保护的安措规则:

(1) 退出接收该线路保护失灵启动信号的母线保护, 退出 GOOSE 启动失灵软压板^[12];

(2) 退出该线路保护的 SV 接收软压板;

(3) 投入该线路保护的检修硬压板。

这些规则均可以分为操作方式、操作设备和操作对象三个部分, 如表 4。

表 4 规则的结构

Table 4 Structure of rule

序号	操作方式	操作设备	操作对象
1	退软压板	母线保护	启动失灵
2	退软压板	线路保护	SV 接收
3	投硬压板	线路保护	检修

对于“直采”的回路, 例如线路合并单元的 SV 信号只发送给该间隔的线路保护, 那么退出该合并单元的 SV 发送软压板也可以达到和退出线路保护 SV 接收压板同样的效果, 因此在特定情况下, 某些规则具有替代规则, 每条规则的替代规则集合需要和该规则关联。

综合以上问题, 安措规则编码表设计如下几个字段: ID、规则编码(RuCo)、操作方式编码(OpCo)、操作方向(OpDir)、操作设备类型编码(EqCo)、操作对象编码(ObCo)、优先级(Pr)、替代规则编码集合(SubSet)、描述(Desc), 如表 5。

表 5 安措规则编码表的结构

Table 5 Structure of rule coding table

ID	RuCo	OpCo	OpDir	EqCo	ObCo	Pr	SubSet	Desc
1	1	2	0	1	1	125	2,5	退出当前保护装置 SV 接收软压板
2	3	2	0	1	4	36	6	退出当前保护装置 GOOSE 发送软压板
3	9	3	0	1	5	500	0	投入当前保护装置检修态硬压板

其中 ID 字段作为主键，通常配置为整型数据或 GUID。操作方式编码字段填入规则使用的操作方式编码，与操作方式编码表中的方式编码字段对应。操作方向字段为整型数据类型，其值为 0 时表示规则的操作设备是本设备，其值大于 0 时表示操作设备是当前设备的后一级设备，其值小于 0 时表示操作设备是当前设备的前一级设备。操作类型编码字段记录规则需要操作的设备类型编码，其值与设备类型编码表中的类型编码字段对应。操作对象编码字段记录规则的操作对象编码，其值与操作对象编码表中的操作对象编码字段对应。优先级字段为 0~999 之间的整型数据，表明安措规则的优先级。优先级越小的规则在最终形成安措方案时会优先实施。替代规则编码集合字段用来存储规则的替代规则的规则编码(不包含其本身的编码)。由于替代规则编码字段和规则编码字段存在内部关联，因此该表并不满足第三范式的要求，但是表中数据通常不做更改，而这种设计方案能极大地方便其他软件的访问。描述字段用来存储规则的解释性信息，以帮助数据库使用人员理解这些规则。另外，该表还设置规则编码字段的唯一性约束。

2.5 设备安措规则映射表设计

为了将安措规则和具体的设备类型关联起来，设备类型和安措规则之间必须建立某种映射关系。但是仅建立抽象的设备类型和安措规则间的映射关系不能满足具体设备的安措分析要求。例如，线路保护设备和母线保护设备同属于保护设备，但是线路保护检修安措通常只在所在间隔内实施，母线保护的检修安措将会涉及多个间隔，它们的安措方法具有很多不同之处，所投退的压板或操作的光纤也各不相同，因此需要建立设备的具体类型和安措规则的映射方案。

综上，该表的字段设计为 ID、设备具体类型名称(DtlNa)、设备具体类型编码(DtlCo)、设备从属类型编码(EqCo)、映射规则编码集合(MapSet)、描述(Desc)，如表 6 所示。

表 6 操作方式编码表的结构

Table 6 Structure of operation coding table

ID	DtlNa	DtlCo	EqCo	MapSet	Desc
1	线路保护	1	1	47,3,1,9	映射
2	母线测控	2	2	44,13	映射
3	线路智能终端	1	3	22,24,28,27	映射

ID 字段作为表的主键。设备具体类型名称字段用于保存设备的具体类型，对于保护来说通常包括线路保护、母线差动保护、主变差动保护等。设备

具体类型编码字段和设备从属类型编码字段的组合唯一确定某一种具体的设备，该设备所属的设备类型编码填入该表的从属设备类型编码字段，其值应该与设备类型编码表中的类型编码字段数据对应，同时在从属设备类型下对设备的具体类型编码，因此从属设备类型不同的记录，它们的具体类型编码可能相同。映射规则编码集合字段存储了该关联 IED 的安措规则编码，该字段是无序的。描述字段为记录了相关解释性的说明。该表设置从属类型编码字段和具体类型编码字段的组合唯一性约束。

3 安措规则数据库的外部调用方案实例

SCD 分析软件按照一定的规则调用数据库中的数据，如图 2。

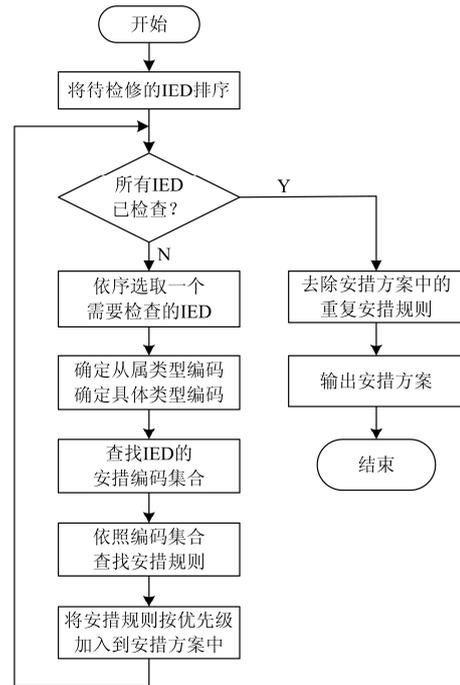


图 2 规则库的调用流程

Fig. 2 Flow chart of calling rule database

智能变电站设备检修通常按照间隔划定，有时检修的设备不止一个，这时如果不注意设备安措操作的顺序可能会造成设备的误动作。因此当待检修的设备不止一个时，应首先对这些设备排序，然后依序遍历这些设备寻找安措规则。

根据设备安措规则映射表的结构，确定一个设备的安措方案需要确定该设备的从属类型编码和具体类型编码。通常从属类型编码可从 SCD 文件的 IED 节点下的 LDevice 节点的 inst 属性的值以及 LDevice 节点下的 LN 节点的 lnClass 属性值判断得出。具体类型编码直接从 SCD 文件的 IED 节点的 desc 属性得出，或者根据其他的设备信息数据库得

出。根据这两种编码的唯一性组合可以确定 IED 的映射规则编码集合, 再依据映射规则编码集合中的数据在安措规则编码表中查询安措规则并按照优先级从小到大的顺序输出安措规则到安措方案中。

以淮安板闸变电站安措数据库应用于该站 110 kV 线路保护设备检修安措分析为例。以下出现的所有数据表中数据为实际实施配置的数据, 由于数据表中数据很多, 下文仅给出与本例有关的数据。由于 ID 和描述(Desc)两个字段没有业务含义, 将在某些表中略去这两个字段的数据。生成线路保护设备检修安措方案的步骤如下。

1) SCD 文件分析软件通过查找 IED 节点的 InClass 属性并结合 desc 属性判断出当前要分析的是保护设备, 通过 SQL 中的 select 语句查找 EqCl 字段为保护设备的对应设备类型编码, 可得到当前分析设备的类型编码为 1, 相关数据见表 7。

表 7 设备类型编码表的相关数据

Table 7 Related data in equipment class coding table

EqCl	EqCo	Desc
保护设备	1	类型编码

2) SCD 分析软件通过对 IED 节点的 desc 属性的字符串数据读取, 判断当前分析的设备为线路保护, 得到当前分析设备的具体类型编码, 其值为 1。由设备安措规则映射表的组合唯一性约束, 利用 SQL 中的 select 语句可以查找唯一的映射规则编码集合, 见表 8, 对应的映射规则集合为 {1,3,9,41}。

表 8 操作方式编码表的相关数据

Table 8 Related data in operation coding table

DtlNa	DtlCo	EqCo	MapSet
线路保护	1	1	1,3,9,47

3) 在安措规则编码表中, 利用 SQL 中的 select 语句一次性查找规则码(RuCo 字段)为 1, 3, 9, 41 的记录, 并利用 order by 语句将查找到的记录按照其对应的优先级(Pr 字段)排序, 可得到相关的数据见表 9。

表 9 安措规则编码表的相关数据

Table 9 Related data in rule coding table

RuCo	OpCo	OpDir	EqCo	ObCo	Pr	SubSet
47	2	0	1	11	0	46
3	2	0	1	4	36	6
1	2	0	1	1	125	2,5
9	3	0	1	5	500	0

4) 由于本例只有一个待检修的设备, 表 9 的规则(已按照优先级排序)就是本次分析中的安措方案, 由于本例没有重复数据, 因此经去重复处理后

仍然为表 9。

5) 再将这些数据翻译成人员可识读的安措规则。以表 9 中规则码(RuCo)为 3 的规则为例, 其操作方式编码(OpCo)为 2, 利用 SQL 中的 select 语句可以在操作方式编码表中查得该操作为退出软压板操作, 相关数据见表 10。操作方向(OpDir)为 0, 表示是当前设备操作, 即在所分析的线路保护上操作。操作设备类型编码(EqCo)为 1, 通过表 7 可知操作的是保护设备, 事实上, 该字段只在 OpDir 不为 0 时才有意义。操作对象编码(ObCo)为 4, 通过查询操作对象编码表可得到操作对象为 GOOSE 发送(压板), 见表 11。综合可知, 该条规则翻译成人员可识读的信息为“退出线路保护装置 GOOSE 发送软压板”。依次翻译所有的数据可得到安措方案。

表 10 操作方式编码表的相关数据

Table 10 Related data in operation coding table

Op	OpCo	Desc
退软压板	2	退出虚回路软压板

表 11 操作对象编码表的相关数据

Table 11 Related data in object coding table

ObNa	ObCo	Desc
GOOSE 发送	4	GOOSE 发送压板

上述所有的数据查询操作均可以通过数据库 SQL 语句实现, 从而实现设备安措方案的计算机辅助分析。

4 结论

通过对目前应用于智能变电站设备检修安措规则的特点分析, 将规则按照应用的设备类型和操作方式进行分类, 并据此建立了一种安措规则数据库。该数据库由设备类型编码表、操作方式编码表、操作对象编码表、安措规则编码表和设备安措规则映射表五个部分构成。该数据库是计算机利用人员经验辅助人员进行分析的桥梁。由于分析过程中所有的数据操作均可以通过基本 SQL 语句实现, 因此该数据库在应用过程中不受制于数据库管理软件的类型, 也可以十分方便地进行权限管理并为其他软件共享数据。若与智能变电站的测控数据交互并用适当的软件管理, 还可以实现安措实施过程中的实时校核, 能够更好地避免安措实施过程中的误操作。因此该数据库在智能变电站信息化建设中具有工程应用价值。

参考文献

- [1] 孙志鹏. 智能变电站安全措施及其可视化技术研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2014.

SUN Zhipeng. The study on safety measure and visualization based on smart substation[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2014.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 刘筱萍. 符合 IEC 61850 标准的 IED 配置工具的研究与实现[D]. 济南: 山东大学, 2007.
LIU Xiaoping. Study and implementation on IED configuration tools based on IEC 61850 standard[D]. Jinan: Shandong University, 2007.

[5] 郭健生, 吴文宣, 王云茂, 等. 基于 TinyXML 的智能变电站 SCD 文件的解析[J]. 电力与电工, 2011, 31(3): 7-10.
GUO Jiansheng, WU Wenxuan, WANG Yunmao, et al. Parse for SCD file of smart substations based on TinyXML[J]. Electric Power and Electrical Engineering, 2011, 31(3): 7-10.

[6] 高吉普, 张沛超, 何旭, 等. 智能变电站保护系统可靠性的自动分析方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 107-112.
GAO Jipu, ZHANG Peichao, HE Xu, et al. An automatic reliability analysis method for protection systems in smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 107-112.

[7] 伊洋, 胡苏凯, 周宇, 等. 智能变电站 SCD 文件二维校验码校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 113-118.
YI Yang, HU Sukai, ZHOU Yu, et al. Research of smart substation SCD file check based on two-dimensional check code[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 113-118.

[8] 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.

[9] 彭少博, 郑永康, 周波, 等. 220 kV 智能变电站检修二次安措优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(23): 143-148.
PENG Shaobo, ZHENG Yongkang, ZHOU Bo, et al. Study of optimization of secondary safety measures of 220 kV smart substation maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(23): 143-148.

[10] 徐小宁. 变电站主接线方式可靠性评估与方案优选[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 441-446.
XU Xiaoning. Reliability assessment and optimization of main electrical connection of substation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 441-446.

[11] 国家电网公司. Q/GDQ 396 - 2009 IEC 61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China. Q/GDQ 396 - 2009 IEC 61850 engineering relay protection application model[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.

[12] 王明松, 马鸿雁. 基于组态王的变电站运行状态在线监控系统设计与应用[J]. 电工技术学报, 2015, 30(增刊 1): 484-489.
WANG Mingsong, MA Hongyan. Design and application of running status of substation online monitoring system based on kingview[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(S1): 484-489.

收稿日期: 2016-01-24; 修回日期: 2016-03-28
作者简介:
徐晓春(1970-), 女, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化;
汤同峰(1980-), 男, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护;
赵雨田(1991-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护. E-mail: eaglesnest@sina.cn
(编辑 魏小丽)